

平成10年度 農林水産省補助事業

エンジニアリングウッド性能評価事業 報告書

24

平成11年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

平成10年度 エンジニアリングウッド性能評価事業報告書

目 次

はじめに	1
要 約	3
第1章 構造用集成材	4
1. 1 集成材ラミナの強度性能	4
1.1.1 構造用木質建材と木質構造を取り巻く状況	4
1.1.2 構造用集成材の現状	4
1.1.3 ラミナの品質管理の必要性	5
1.1.4 ラミナの強度性能	6
1. 2 スギ大断面構造用集成材の製造と性能	13
1.2.1 目的と分担	13
1.2.2 試験方法	13
1.2.2.1 集成材及びラミナ試験用原木	13
1.2.2.2 製材および乾燥	14
1.2.2.3 ラミナの加工および配分	14
1.2.2.4 集成材の製造	15
1.2.2.5 試験方法	15
1.2.3 試験結果と考察	15
1.2.3.1 供試原木とラミナ	15
1.2.3.2 集成材の構成および曲げ試験結果	16
1.2.4 まとめ	18
1. 3 集成材性能予測のシミュレーションモデルとその適合性	19
1.3.1 シミュレーションの方法	19
1.3.2 シミュレーションによる予測結果の適合性の検討	30
1.3.3 集成材における寸法効果の検討	33
参考文献	39
第2章 製材品の強度性能	41
2. 1 曲げ強度性能	41
2.1.1 サンプルング	41
2.1.2 試験方法	41
2.1.3 標準試験条件への調整	42
2.1.4 標準試験条件への調整に関する検討	44
2.1.4.1 曲げ強度性能調整式	44

2.1.4.2	含水率調整係数	44	
2.1.4.3	寸法および荷重条件に対する調整係数	46	
2.1.4.4	データの調整結果	47	
2.1.5	各測定値間の相互関係		50
2.1.5.1	曲げ強さの予測因子	50	
2.1.5.2	丸太の動的ヤング係数による予測の可能性	51	
2.1.6	等級区分結果と基準材料強度の試算		51
2.1.6.1	J A Sによる目視および機械等級区分の結果	51	
2.1.6.2	基準材料強度の試算	53	
2.1.6.3	設計基準材料強度の試算	55	
2.1.7	今回の実験で得られたその他の情報		56
2.1.7.1	人工乾燥材	56	
2.1.7.2	スギの採取部位	56	
2. 2	縦圧縮強さ		57
2.2.1	試験体および試験方法	57	
2.2.2	試験結果	57	
2. 3	めり込み強さ（部分圧縮強さ）		60
2.3.1	試験体	60	
2.3.2	試験方法	60	
2.3.3	試験結果	61	
2. 4	せん断弾性係数		66
2.4.1	変動スパン法によるせん断弾性係数		66
2.4.1.1	試験の背景と目的	66	
2.4.1.2	試験研究方法	66	
1)	試験体	66	
2)	せん断弾性係数の測定方法	66	
3)	試験結果	67	
2.4.2	静的および動的ねじり法によるせん断弾性係数 と横圧縮（材端めり込み）強度試験		73
2.4.2.1	試験の背景と目的	73	
2.4.2.2	試験研究方法	73	
1)	試験体	73	
2)	試験方法	74	
3)	試験結果	77	
(1)	試験体の材質	77	
(2)	横圧縮（材端めり込み）試験結果	80	
4)	まとめ	80	

2. 5	せん断強さ	87
2.5.1	試験体	87
2.5.2	試験方法	87
2.5.3	試験結果	88
第3章	限界状態設計法への適用	90
3.1	はじめに	91
3.2	対象としたデータとパラメーターの推定方法	90
3.3	信頼性 (β) および設計点の算出方法	91
3.4	結果と考察	92
3.4.1	確率分布形と推定手法の影響	92
3.4.2	設計点と許容応力度	93
3.4.3	耐力・荷重係数	94
第4章	まとめ	109

参 考

1. これまでの実施概要（平成6年度～平成10年度）	1
2. 付表 2-1.(1)～(23)	7
付表 2-2.データの基準強度等	30
付録 1-1 東北ブロック	31
1.試験方法	31
1.1 供試材	31
1.2 集成材の製造と強度試験	31
2.試験方法および結果	32
2.1 丸太の形質	32
2.2 ラミナの形質	33
2.3 ラミナの等級区分	37
2.4 集成材の曲げ強度試験結果	38
3.まとめ	40
付録 1-2 中部ブロック	41
1.供試丸太の概要	41
2.ラミナの製造	42
3.集成材の製造と強度試験	43
付録 1-3 九州ブロック	45
1.原木およびラミナ	45
2.強度性能	47
3.九州ブロックのまとめ	48

農林水産省補助事業

平成10年度

エンジニアリングウッド性能評価事業 報告書

はじめに

建築物の構造解析は、世界的にみて、信頼性理論をもとにした限界状態設計法が主流となりつつあり、我が国においても、この設計法に対する関心が高まってきており、そのための準備を急ぐことが必要となっている。本事業は、こうした状況を踏まえ、国産材を原料としたエンジニアリングウッドの性能評価を行うことを目的とするものである。

我が国における集成材ラミナの強度試験方法とその評価は、これまで曲げによるものが主体であったが、①大断面集成材の強度性能を評価するには引張強度の方が望ましいこと、②シミュレーションによって強度分布を予測するには、ラミナの引張試験のデータが大量に必要であることから、ラミナの引張試験を行い、強度予測を行うことが必要である。そこで、本年度は、スギ丸太からラミナの製造、ラミナの選別による大断面集成材の製造を行い、各段階において曲げ強度、引張強度試験を行い、最終的には大断面集成材の曲げ破壊試験を行って、シミュレーションによる予測が可能であるかの検証を行った。

また、製材品の強度性能についても、国産材の曲げ・引張り・圧縮・せん断等の強度データが不足し、限界状態設計法を適用するには統一した試験方法を用いてこれらの強度性能のデータを蓄積することが必要である。このため、本年度は正角及び平角材のせん断試験とこれまでに収集したデータを用いて限界状態設計法への適用について検討した。

事業の実施に当たっては、下記委員会を設置して検討を進めた。

エンジニアリングウッド性能評価委員会、委員名簿（敬称略、順不同）

委員長	飯島 泰男	秋田県立農業短期大学 木材高度加工研究所、教授
委員	三橋 博三	東北大学工学部建築学科 教授
（代理	板垣 直行	東北大学工学部建築学科 助手）
委員	中村 昇	東京大学農学部附属千葉演習林 助教授
委員	秦 正徳	高岡短期大学産業工芸学科 助教授
委員	河合 直人	建設省建築研究所基準認証センター認証システム研究室長
委員	林 知行	森林総合研究所木材利用部接合研究室長
委員	長尾 博文	森林総合研究所材料性能研究室 主任研究官

委員	工藤	修	北海道立林産試験場性能部材料性能科	材料性能科長
委員	東野	正	岩手県林業技術センター	上席専門研究員
委員	梅田	久男	宮城県林業試験場木材利用科	木材利用科長
委員	橋爪	丈夫	長野県林業総合センター	主任研究員
委員	池田	潔彦	静岡県林業技術センター	副主任
委員	中谷	浩	富山県林業技術センター木材試験場	主任研究員
委員	山吉	栄作	三重県林業技術センター	技術史員
委員	村上	英人	福岡県森林林業技術センター	研究員
委員	遠矢	良太郎	鹿児島県工業技術センター	木材工業部長
委員	阿部	庄吾	(社)全国木材組合連合会	検査部長

平成10年3月

(財)日本住宅・木材技術センター
理事長 岡 勝 男

要 約

我が国における集成材ラミナの強度試験方法とその評価は、小断面の集成材が主体であったため曲げ試験によるものが主体であったが、昨今のように主要構造部材に大断面集成材が用いられることが多くなると、引張強度で評価することが合理的と考えられる。また、近年、ラミナの強度分布から集成材の強度分布を予測できるモデルが世界的に重要視されるようになってきた。このような情勢の元で、①大断面集成材の強度性能を評価するには引張強度の方が望ましいこと、②シミュレーションによって強度分布を予測するには、ラミナの引張試験のデータが大量に必要であることから、昨年度まではスギ、カラマツ、ベイマツ、ヒバ、スプルースラミナの引張試験を行い、その結果をとりまとめた。

本年度は、スギについて、丸太段階からラミナ製造さらに大断面集成材を製造し、各段階において強度性能を把握し、大断面集成材の曲げ破壊試験結果と併せて、ラミナの強度性能から大断面集成材の強度予測が可能であるかの検証を行った。

一方、製材品については、柱・はり・桁等の構造部材に国産材を用いるためには強度性能についての大量のデータを蓄積することにより強度値の信頼性を高めることが重要である。また、これらのデータを収集するための測定項目や評価方法が必ずしも統一されていない部分があるため、本年度は、現時点で統一できる測定項目や評価項目を定めた試験方法を明らかにし、これまでに実施したスギ、カラマツ、ヒノキ等の曲げ、圧縮、せん断強度データをとりまとめ、限界状態設計法への適用について検討した。

キーワード

等級区分、含水率、フィンガージョイント、集中節径比、ヤング係数、曲げ試験、引張試験、横圧縮試験、縦圧縮試験、せん断試験、気乾比重、平均年輪幅、断面欠損率、接合効率、破壊形態、曲げ強度、せん断強度、引張強度、圧縮強度、めり込み強度、大断面構造用集成材、ラミナ、人工乾燥、正角材、平角材、変動スパン法、シミュレーション、限界状態設計法

第1章 構造用集成材

1.1 集成材ラミナの強度性能

1.1.1 構造用木質建材と木質構造を取り巻く状況

1987年の建築基準法改正以来、途切れることなく続いてきた構造用木質建材と木質構造の大変革も、1998年の建築基準法の性能規定化とそれに続く住宅性能表示促進法案（審議中）により、第2フェイズとでもいうべき新しい局面に入りつつある。

構造用木質建材については、JASによる規格化が可能な製品の整備が一応終了し、許容応力度がほぼすべての製品について認められるようになった。またJAS化に馴染まないパララムやIビームのような特殊製品も、代表的なものについては旧建築基準法第38条による認定がなされ、ごく一般的に用いられるようになってきた。

今後の展開として考えられるのは、強度特性に関する品質管理の徹底と品質表示の明確さが建築サイドからより一層求められることであろう。また、様々な新製品や外国製品が、建築基準法の性能規定化によって市場に登場してくることも予想される。性能規定化によって容易になるであろうと予想される認定の方法は、現在のところ明らかになっていないが、遅くともあと1年以内には詳細が明らかにされるので、それを受けた形で新製品の開発が進められることになるであろう。いずれにしても、構造用木質建材については、より一層のエンジニアリングウッド化（EW化）が進むことになるであろう。

一方、木質構造については、海外からの様々な技術導入やわが国独自の新しい試みがなされ、大規模構造物についてはその技術水準が木質構造の先進国のレベルにまで達するようになってきた。建築技術的には、わが国の木質構造は先駆的で啓蒙的で物珍しいような段階をすでに脱しており、大規模木造建築で培われた技術が中小規模木質構造物にまで浸透した段階にある。ただ、建築物のエンジニアード化という面では未だ十分ではなく、理論面でも実務面でも様々な問題が山積している。設計方法についても、限界状態設計法（リミットステートデザイン：LSD）の導入が検討されてはいるものの、設計法の基礎となる材料強度のデータの蓄積が十分でないため、設計の精度は高いものにはなりにくい。また小規模木造住宅では、特殊なものをのぞいて、構造計算さえ一般化していないのが現状である。

木質構造の今後の方向性としては、性能規定化と住宅性能表示促進法案の流れを受けて、小規模住宅についても性能評価と表示が求められるようになるであろう。もちろん、基準法が性能規定化したとはいえ、従来からの仕様規定をそのまま適用することが木質構造では可能なので、ドラスティックな変化は無いかもしれないが、徐々にその方向に進んでゆくことは疑いのないところである。

1.1.2 構造用集成材の現状

さて、このような木質建材と木質構造を取り巻く情勢の中で、エンジニアリングウッド

の代表格とも言える構造用集成材の果たす役割は益々大きくなってきている。大規模木質構造の主要構造部材は大断面構造用集成材を抜きにしては考えられないし、小規模住宅でも小断面のいわゆる集成管柱が多用されるようになってきた。集成管柱の多用は、現在のところEWとしての強度特性が認められたと言うよりは、対策の遅れている国産未乾燥材に対する代用でしかない。とはいうものの、管柱は高断熱・高气密、さらには精密なプレカットや金物工法への対応性に関しても、優れたものがあるため、今後さらに使用量が増えるものと予想される。また柱のみならず、中断面の梁・桁についても、ベイマツなどの製材品から構造用集成材へのシフトが急激に進んでいる。さらに、従来であれば鉄骨のラティス梁などが使われていた商店建築の大開口部に大断面構造用集成材の梁が使用される例も増加している。

このような旺盛な需要状況の中にある構造用集成材であるが、先にも述べたような情勢を考えると、今後さらに正確な強度保証、言い換えれば高度のエンジニアリングウッド化が必要である。もちろん、現在でもJASの構造用集成材規格があり、さらにそれに連動した許容応力度も与えられてはいるが、規格そのものがいわゆる仕様規格（製造規格）であるため、製造方法についてはフレキシビリティに欠ける部分が多い。シミュレーション計算による断面設計法や異樹種混交構成などの道も方法論的には認められてはいるが、実際に行うとなると、データ不足が歴然であり、なかなか実用化されてはいない。また、集成材の強度に大きく関与すると考えられるフィンガージョイントに関しては、仕様規格による制限を適用しがたいところがあり、十分な強度保証ができているのかどうか、不安な部分も多い。

さらに、国産材特にスギについては、ベイマツなどの外材とMOE-MOR、あるいはMOE-TSの相関関係が大きく異なるところがあるため、製品の強度発現特性を他樹種と全く同じと仮定して、許容応力度を設定していることについては、議論も多いようである。またこれらの問題点以外にも、LVLなどの木質材料をラミナとして使うことができないこと、水平積層集成材については使用が制限されていること、曲げや引張についてはともかくとしてせん断に関してはこれといったデータがないことなど、まだまだ改良・研究の余地は多い。当然のことながら、限界状態設計法に関しては、検討に値するだけのデータの蓄積が少ない。

1.1.3 ラミナの品質管理の必要性

集成材は木質材料である。木質材料とは、木材をいったんエレメントに分解し、それを再構成した材料であるから、材料としての強度的性質はエレメントの強度特性とその配置・構成方法によって決定される。したがって、集成材ではエレメントであるラミナの強度特性から製品の強度特性をある程度まで予測することは可能である。また、逆に大断面のような大型の製品では、ラミナの品質管理を厳密に行ない、実大材としての性能を保証

せざるを得ない。

一般に、エレメントの強度特性は、ファイバーのように寸法が小さくなるほど均質化し、バラツキは小さくなる。逆に、集成材のラミナのように大きくかつ欠点を含んでいるエレメントではバラツキも大きくなる。ただ、エレメントのバラツキがそのまま製品に現れる訳ではない。よく知られているように、一般に積層材料と呼ばれる材料には、積層効果によるバラツキの減少効果が存在し、製品としてのバラツキが原材料のそれより低減するからである。このため、エレメントの管理が不十分であってもそれなりにバラツキの少ない製品となるが、積層効果は積層数の平方根に比例して大きくなるため、積層数がLVLやパララムのように多くない集成材では、この効果だけに頼ることはできない。

これらの2点、すなわち、①実大の性能を保証するにはエレメントの品質を管理せざるを得ないことと、②原料エレメントであるラミナのバラツキが大きいことが、集成材の強度品質保証においてラミナの管理が不可欠である理由である。なお、エレメントの強度特性の中で特に引張強度が重視されるのは、一般に大断面の集成材ほど、純粋な引張に近い応力が外層ラミナに発生するため、曲げ強度による評価では強度予測の精度が低下せざるを得ないからである。

1.1.4 ラミナの強度特性

さて、以上に述べたような構造用集成材を取り巻く背景の中で、本事業では集成材ラミナの強度データの収集と強度発現機構に関する様々な研究、さらにはシミュレーションによる強度分布予測方法に関する研究などを行ってきた。5年間の事業期間に行われたラミナ試験は表1.1.1に挙げられた通りであり、スギを中心に、10樹種、8,650体について試験が行われた。試験は引張試験が主であるが、シミュレーションによる集成材の性能予測方法において、ラミナの引張・曲げ・圧縮の各強度及びその強度間の相関関係などのデータを必要とするため、曲げ及び圧縮試験も若干行われた。また最近では、住宅における構造用集成材の利用が増加し、管柱などの小断面集成材も多く用いられるようになり、集成材の力学的性能の寸法効果について考慮する必要もでてきた。このような背景から、ラミナの寸法効果を検討する実験もいくつか行われている。個々の試験結果の詳細は、既往の報告書を参照していただくものとし、これらの中で明らかになったことを以下に要約する。

表 1.1.1 エンジニアリングウッド性能評価事業（平成6～10年）ラミナ試験一覧

群	樹種	試験	機関	参照報告書	原材料	試験体数		
						NJ	FJ	合計
B	ベイマツ	引張	森林総研	H6第1章	東京都内市場より購入	91	101	192
			長野	H7第5章	不明	100	99	199
			森林総研	H9第1章	不明		40	40
					計	191	240	431

表1.1.1 エンジニアリングウッド性能評価事業（平成6～10年）ラミナ試験一覧

群	樹種	試験	機関	参照報告書	原材料	試験体数合計		
						NJ	FJ	合計
C	アカマツ	引張	森林総研 岩手	H6第1章	島根県益田市市場より購入	98	105	203
				H6第4章	岩手県山形村・九戸村の2林分、岩手中央森林組合より購入	131	99	230
					計	229	204	433
	カラマツ	引張	北海道 長野 長野 長野 森林総研 長野	H6第3章	旭川市内木材会社より購入	98	98	196
				H6第5章	斎藤木材備蓄品	200	248	448
				H7第5章	不明	104	103	207
				H8第6章	長野県産	150	156	306
				H9第1章	不明	—	40	40
		H9第6章	不明	493	—	493		
				計	1,045	645	1,690	
	カラマツ	曲げ	長野	H8第6章	長野県産	149	155	304
					計	149	155	304
	ヒノキ	引張	静岡	H6第6章	静岡県春野町産	120	120	240
					計	120	120	240
	ヒバ		森林総研	H9第1章	不明	—	20	20
				計	—	20	20	
D	ベイツガ	引張	静岡	H6第6章	北米産	120	120	240
					計	120	120	240
E	エゾマツ	引張	北海道	H6第3章	旭川市内木材会社より購入	126	123	249
					計	126	123	249
	トドマツ	引張	北海道	H6第3章	旭川市内木材会社より購入	120	123	243
					計	120	123	243
スプルー	引張	北海道 森林総研	H6第3章	旭川市内木材会社より購入	122	121	243	
			H9第1章	不明	—	40	40	
				計	122	161	283	
F	スギ	引張	森林総研	H6第1章	日光市付近市場より購入、80年生	94	100	194
			森林総研	H6第1章	宮崎県南部市場より購入	100	100	200
			静岡	H6第6章	静岡県春野町産	170	170	340
			三重	H6第7章	三重県宮川村産(正角製材後の背板より採取)	103	110	213
			徳島	H6第8章	徳島県那賀郡上那賀町産50～80年生の3番玉(末口径18～20)	145	142	287
			森林総研	H7第1章	宮崎県南部市場より購入	159	—	159
			宮城	H7第4章	宮城県花山村産約40年生	143	—	143
			長野	H7第5章	秋田県産	100	100	200
			徳島	H7第8章	徳島県那賀郡木沢町産58年生の2番玉以上(末口径18及び26)	63	118	181
			森林総研	H8第1章	宮崎県南部市場より購入	—	240	240
			宮城	H8第4章	宮城県鳴子町産中径木	99	100	199
			福岡	H8第10章	福岡県産	117	118	235
			森林総研	H9第1章	不明	—	40	40
			宮城	H9第4章	宮城県仙台市泉区産中径木	100	120	220
			宮城	H9第4章	秋田県(山本、由利、雄勝)産 40年生及び60年生	100	100	200
			宮城	H10	青森、秋田、岩手、宮城、山形、福島各県、末口径24～28cm	30	30	60
			宮城	H10	富山、静岡、三重各県、末口径24～28cm	40	40	80
			宮城	H10	福岡、大分、熊本、宮崎、鹿児島各県、末口径24～28cm	—	50	50
			計	1,563	1,678	3,241		
スギ	曲げ	宮城	H7第4章	宮城県花山村産約40年生	132	—	132	
		長野	H7第5章	秋田県産	100	100	200	
		宮城	H8第4章	宮城県鳴子町産中径木	99	100	199	
		宮城	H9第4章	宮城県仙台市泉区産中径木	100	110	210	
		宮城	H9第4章	秋田県(山本、由利、雄勝)産 40年生及び60年生	100	110	210	
		宮城	H10	青森、秋田、岩手、宮城、山形、福島各県、末口径24～28cm	27	29	56	
		宮城	H10	富山、静岡、三重各県、末口径24～28cm	40	40	80	
			計	598	546	1,144		
スギ	圧縮	宮城	H7第4章	宮城県花山村産約40年生	132	—	132	
				計	132	—	132	
総計						4,515	4,135	8,650

(1) 原木とラミナの力学的特性の関係

一般に、ある原木から採材されたラミナはその原木が個体として持っていた特性を継承していると考えられる。また原木内の材質分布にはある傾向が存在するということが報告¹⁻⁵⁾されており、したがってこれらの関係を明らかにすることによって、原木の性能とその採材部分からラミナの性能を大凡予測できると考えられる。言い換えれば、原木を選別し有効な木取りを行うことによって、必要性能に応じたラミナを効率的に生産することが可能であると考えられる。

平成 6 年度の静岡県林業技術センター（以下静岡）における実験では、スギ、ヒノキについて、ラミナ採材位置とラミナのヤング係数及び引張強度との関係を調べたところ、いずれも樹心部から外周部に向けてヤング係数、引張強度が向上する傾向が得られている。また、平成 6 年度の三重県林業技術センター（以下三重）における実験では、原木と素材ラミナ（外周部より採取）それぞれのヤング係数の間には、明確な一次の相関関係が成立しており、原木のヤング係数による等級区分によりラミナのヤング係数をコントロールすることが可能であると考えられた。構造用集成材の日本農林規格（JAS）においては、集成材の強度等級に応じて構成されるラミナの等級が決められている。したがって目標とする集成材の性能に対応した等級のラミナを効率的に生産できるような原木の選定が重要である。

(2) ラミナのヤング係数

ラミナの性能評価としてヤング係数は重要な評価パラメータであるが、その測定方法については、静的曲げ载荷による方法や動的共振周波数より求める方法⁶⁾などいくつかの方法がある。それぞれの実験結果においては、両者について非常に高い相関が得られ、ほぼ等しい値が得られているが、動的ヤング係数の方が 5~10%程度高い値となる傾向がみられた。

また最近では、各地に連続走行式のグレーディングマシンが導入され、容易に材長方向に連続的にヤング係数を測定することも可能となってきた。平成 6 年度の長野による実験においては、ラミナ 1 枚について、連続走行式グレーディングマシンにより計測された平均ヤング係数（MGEAV）、動的ヤング係数（ E_{tr} ）、载荷区間をずらしながら静的曲げにより測定されたヤング係数の平均（EAV）の 3 つを求めそれらの相関を調べたところ、いずれも極めて高い相関が得られており、動的ヤング係数は測定区間における平均的ヤング係数を表していることが確認された。

(3) ラミナの強度特性

ラミナの強度については、引張、曲げ、圧縮のそれぞれ、また縦継ぎの有無、さらには樹種により異なった特性を示している。ここでは要点毎に整理して、実験結果から得られ

た知見をまとめる。

1)分布及び変動係数

引張強度は分布が広くばらついており、変動係数が大きい。さらに通しラミナ（以下 NJ ラミナ）は、フィンガージョイントラミナ（以下 FJ ラミナ）に比べて変動係数が大きく、FJ ラミナの強度分布は NJ ラミナの強度分布の下側部分に集中している。

曲げ強度、圧縮強度は、引張強度に比べると変動係数が小さく、15～20%程度であった。また曲げ強度においては、引張強度のような NJ ラミナと FJ ラミナにおける変動係数の差はみられず、FJ ラミナの分布は NJ ラミナの分布をそのまま下側にシフトしたような分布になっている（平成7年度宮城県林業試験場（以下宮城）、同長野県林業総合センター（以下長野）、平成9年度宮城）。ただし、平成8年度長野の結果のように、NJ ラミナと FJ ラミナの強度分布が、引張強度の分布と同じような傾向の結果も生じている。

これらの傾向は、後に述べる破壊の要因に大きく関係しているものと考えられ、異なる樹種においても同じような傾向が現れている。

2)破壊要因

引張試験においては、NJ ラミナは 70～80%前後が節により破壊しており、FJ ラミナでは 50～70%前後が FJ 部分で破壊し、残りの 20%前後が節によって破壊するという結果が多かった。しかし平成6年度の岩手県林業技術センター（以下岩手）におけるアカマツの実験結果のように、FJ ラミナにおいても 73%が節で破壊している例もあった。これはアカマツが輪生節であるために節による破壊が生じやすいこと（平成6年度森林総合研究所（以下森林総研）における島根産アカマツに関する実験でも節による破壊が多い）、さらに FJ の性能が比較的優れていたこと（接合効率 87%）によるものと考えられる。

曲げ試験においても破壊の要因は、NJ ラミナでは節、FJ ラミナでは FJ 部分が主であったが、FJ 部分での破壊が 80%前後の割合を占めており、引張の場合より高い割合であった。これは曲げ試験の場合、中央のモーメント最大区間に強度に影響するような節等の欠点が存在する確率が低いため、FJ が最弱となる確率が高いためといえる。

実験の結果においては、節による破壊は、材縁部に近い節が多く関係しており、中央部の節は節径が大きい場合などに関係していることが多かった。これより、節の破壊への影響は、節の大きさ、位置、質などの特性によって異なるため強度の変動が大きくなると考えられる。一方、FJ における破壊は FJ の加工精度と材質に依存するため強度の変動はあまり大きくなく、これらが先に述べたような NJ ラミナと FJ ラミナの変動係数の差に現れているものと考えられる。

3)接合効率

強度の平均値による接合効率（NJ に対する FJ の強度比）は、引張で 80%前後、曲げで 70%前後であり、曲げの方が低かった。先に述べた強度分布の関係より、引張強度に

ついでの接合効率は平均値より 5%下限値等の方が高く、平成 6 年度森林総研（アカマツ）、平成 7 年度長野（ベイマツ）、平成 8 年度長野（カラマツ）のように、接合効率が 100%を越えてしまったものもみられた。これに対して曲げ強度では、平均値と 5%下限値の接合効率にはあまり差は無かった。

4)強度への影響因子

一般的に強度とヤング係数には一次の相関があるとされているが、ほとんどの実験結果においても、強度と最も相関が高かったのはヤング係数であった。ヤング係数以外の影響因子については、いずれもある程度の相関が得られているが、常に高い相関が得られているものは無かった。

集中節径比は、引張強度との間にはある程度の相関が得られることが多く、特に NJ ラミナでは比較的高い相関が得られているものの、曲げ強度においては、ほとんど相関はみられなかった。節は破壊の要因として一番に挙げられるが、特に NJ ラミナにおいては大きく影響しており、強度との相関があつてしかるべきと考えられる。しかしながら破壊には、節径だけでなくその位置（材縁からの距離）や質などの節の特性も関係しているため、必ずしも集中節径比という評価指標では、高い相関は得られないものと考えられる。

比重、平均年輪幅も、ある程度の相関がみられ、特に曲げ強度においては平均年輪幅と比較的良好な相関が得られたが、いずれも一部に実験結果においてのみしか確認されなかった。

5)ヤング係数と強度との相関

先に述べたように強度との相関に関しては、相関係数に差はあるもののほとんどの実験結果においてヤング係数が最も高かった。

両者の相関は、NJ ラミナよりも FJ ラミナの方が高く、また引張強度との相関に比べ曲げ強度との相関の方が高かった。これは破壊の要因と関係しているといえ、節などの欠点破壊に影響しているものでは相関が低くなっていると考えられる。平成 6 年度の静岡における実験では、引張強度とヤング係数の相関について、スギ、ベイツガ、ヒノキの順で相関が低くなっており樹種による差異が生じているが、スギでは節による破壊が最も少ないため、これらについても破壊の要因が関係しているものと考えられる。

またヤング係数が高い程、回帰からのばらつきが大きくなる傾向があり、引張強度についてはこれが顕著であった。

6)強度間の相関

平成 7 年度宮城における実験では、同一材における NJ ラミナの引張、曲げ、圧縮のそれぞれの強度間の関係について調べており、その結果、引張強度と曲げ強度、曲げ強度と圧縮強度の間には、ある程度の相関がみられたものの、引張強度と圧縮強度の間にはほとんど相関がみられなかった。強度の決定因子は材質に依存している場合と欠点の特性に依

存している場合とがあるといえ、圧縮のように材質の影響が支配的なものと、引張強度のように欠点の影響が大きいものとは、強度の決定因子が異なるため相関が低かったものと考えられる。

また、平成8年度の宮城における実験では、同一材ににおける NJ ラミナと FJ ラミナの引張と曲げ強度間の関係について調べている。その結果、NJ ラミナでは節などの欠点により主に破壊が生じているが、それぞれの試験では破壊を生じさせた欠点は全く別のものとなるため、あまり相関が高くなかった。FJ ラミナではどちらも FJ で破壊するものが多く、材質による影響が共通しているため、比較的高い相関が得られた。

7) 縦継ぎ部の形状及び接着剤の影響

平成6年度の長野における実験では、フィンガー形状の異なる2種類の垂直 FJ ラミナ及び水平 FJ ラミナについて引張試験を行っている。その結果、水平 FJ は最も強度が低く、また垂直 FJ 同士では、フィンガー長が長く、スカーフ傾斜比の低いタイプの方が高い強度であった。

また、平成7年度の徳島県林業総合技術センター（以下徳島）における実験では、レゾルシノール樹脂接着剤とイソシアネート系接着剤のそれぞれを用いて縦継ぎしたスギラミナ（それぞれ Reso-FJ ラミナ、Iso-FJ ラミナとする）について引張試験を行っており、その結果、Iso-FJ ラミナに比べ、Reso-FJ ラミナの方が引張強度平均値は高かったものの、Iso-FJ ラミナの方が変動係数は小さく、最小値についてはほぼ同じであった。

(4) ラミナ等級区分との適合

本事業期間中に、構造用大断面集成材及び構造用集成材の日本農林規格（JAS）の改正が行われたため、事業前半と後半とではラミナの等級区分方法が異なってしまった。しかし基本的には、旧 JAS も新 JAS も節径比に基づいた目視等級区分とヤング係数に基づいた機械等級区分により格付けするものである。

平成6年度森林総研、平成7年度長野、平成7年度徳島、平成8年度長野などで、目視区分を行ったラミナと機械区分を行ったラミナそれぞれについて、等級順位と強度との関係を調べており、その結果、NJ ラミナと FJ ラミナのいずれも、必ずしも等級順位と強度順位の関係が対応しているとはいえないが、NJ ラミナの方がそれらの関係は良好であった。また、上位等級では強度の順位が一致しているが、下位等級になると強度の順位が逆転しているケースが多くみられた。

また JAS の強度等級基準値に対して、平均値では基準値をクリアしているものの、5% 下限値で基準をクリアできていないものが多く、機械等級に目視等級を併用する、或いはプルーフロードテストなどにより強度下限値を保証することが必要であると考えられた。

(5) ラミナ強度の寸法効果⁷⁾

平成7年度森林総研、平成9年度の長野における実験では、NJ ラミナの寸法効果について検討している。いずれの試験結果にも寸法効果が明確に現れており、長野の実験からはラミナの等級が低い方が寸法効果が明確に現れることが示されている。また平成8年度の森林総研の実験では、FJ ラミナにおけるジョイント数の増加に伴う効果を調べており、これについても寸法効果が現れることを確認している。

参考文献

- 1) 渡辺治人, 堤壽一, 小島敬吾: 木材学会誌, Vol.9, No.6, pp.225-230, 1963.
- 2) 太田貞明: ”スギ・ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学的特性に関する基礎的研究”, 九州大学農学部演習林報告, No.45, p.1-79, 1972.
- 3) 中谷浩: ”林木の冠雪害に関する樹木力学的研究”, 富山県林業技術センター研究報, No.4, 1991.
- 4) 東野正, 中野正志: 日本林学会東北支部会誌, Vol.39, 1987.
- 5) 東野正, 中野正志: 日本林学会東北支部会誌, Vol.40, 1988.
- 6) 高橋徹, 中山義雄: “木材科学講座3 物理”, 海青社, 1992, pp.86-89.
- 7) 増田稔, 大河平行雄: 三重大農学術報告, 71, 61, 1985.

1.2.スギ大断面構造用集成材の製造と性能

1.2.1 目的と分担

標記の実験を行った目的は、大きく分けて以下の2つである。

①スギ材の産地別強度特性の評価と生産可能集成材の検討

スギ材による構造用集成材製造技術確立とその性能予測は、全国各地で独自に行われ、丸太およびこれから採材される集成材用ラミナの性能に関する多くの知見が得られている。しかし、集成材の生産性や流通を考慮に入れると、原材料を「〇〇県産」から、さらに対象範囲を広げて考察することの方が、より現実的である。そこで、今回はいくつかの地域ブロックごとに研究グループを組織し、当該地域産のスギ材に関する同様の実験を共同で行い、大局的な視野から総合的な考察を進める。

②大断面集成材の実験データの収集

構造用集成材の実大実験については過去にいくつか報告されている。しかしそれらはほとんどが中断面以下の集成材であり、大断面集成材を検討した例は少ない。そこで、実際の大規模構造物、特に橋梁などに用いられる程度の寸法をもつ大断面長尺集成材を実際に製造し、その力学的特性から、寸法効果、シミュレーション予測の可能性を実験的に検証する。

研究構成と分担は表 1.2.1 に示した。また、本課題に関する各ブロックごとの個別データは、章末に述べる。

表 1.2.1 研究組織と分担

分 担		委員会メンバー	協力メンバー
総 括		飯島泰男(秋田木高研)	
集成材製造 試験	東北	東野 正(岩手林技セ)、梅田久男 (宮城林試)	江刺拓司(宮城林試)、宇野良樹(青 森林試)、高橋幹夫(山形森林セ)、 高橋宏成(福島林試)
	中部	中谷 浩(富山林技セ)、山吉栄作 (三重林技セ)、橋爪丈夫(長野林 総セ)、池田潔彦(静岡林技セ)	吉田孝久(長野林総セ)
	九州	遠矢良太郎(鹿児島工技セ)、村上 英人(福岡森林セ)	関師朋弘(鹿児島工技セ)、芦原義 伸(大分林試)、池田元吉(熊本林 研指)、荒武志朗(宮崎工技セ)
集成材性能評価		三橋博三、板垣直行(東北大工)、 林 知行(森林総研)	森 拓郎 (信州大学工)

1.2.2 試験方法

1.2.2.1 集成材およびラミナ試験用原木

1)原木の選定

$\phi = 24 \sim 28\text{cm}$ (中目材)、 $l = 400\text{cm}$ 、各県の市場に流通している材質 (品種) を標準とし、1県あたり25~30本程度とする。ただし、伐採地等が概ね特定されていることとした。また、E75-F240のJAS異等級対称構成の集成材を4本製造した場合、最外層 (L90以上) が2割 (56枚程度) が必要なので、そのことを勘案して原

木を選んだ。

2)原木のヤング係数 (E_{fr-log})

原木は縦振動法によってヤング係数を測定した。測定法は、以下の方法で統一した。

- ・支持点等：中央支持、2点支持のいずれも可（条件のみ記載のこと）、はえ積み条件は任意
- ・重量：任意
- ・固有振動数の次数：基本的には1次、高次（3、4次）を参考にとるのは任意
- ・単位系：MKS単位系で統一、最後のとりまとめのときSIに換算、Eの単位は $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ で小数点第1位までとする（以下、全て同様）
- ・材積：小泉法による、すなわち、丸太の末口・中央・元口の周囲長から各部位での平均直径を計算し、下式によって求める

$$V = \pi L/24 (D_b^2 + D_b D_m + 2D_m^2 + D_m D_t + D_t^2)$$

ただし、L：材長、 D_b ：元口径、 D_m ：中央径、 D_t ：末口径

- ・計算式： $E_{fr-log} = (2Lf)^2 \rho$

ここで、L：材長

f：一次共振周波数

ρ ：密度

1.2.2.2 製材および乾燥

1)製材

ラミナ原板 $38 \times 175 \text{mm}$ 、最終仕上がり $30 \times 160 \text{mm}$ を想定し、原木番号と採材位置が分かるように番号を付けておく。1本あたりラミナ5体を目標とし、だら挽きとする。ラミナの生材時動的ヤング係数（重量を測定、寸法は平均値で代用）、含水率（高周波式moko2、比重設定0.35を標準）を全数測定。生材でのヤング係数測定は縦振動法による動的ヤングとし、曲げヤングの測定はオプションとする。乾燥後のラミナ測定も本法に準じる。

2)人工乾燥

仕上がり含水率15%以下、平均含水率12%を目標とする。方法は蒸気式により、スケジュールは原則として、 $t=70^\circ\text{C}$ 一定、 Δt は初期 5°C 、終期 25°C 、調湿12hrとする。乾燥時間は概ね168hrである。

1.2.2.3 ラミナの加工および配分

1)等級区分およびFJ加工

モルダー掛け（ $33 \times 165 \text{mm}$ ）後、グレーディングマシン（今回はいずれも飯田工業製）の表示値（平均値、以下MGE）が分かるようにラミナに記載する。

2)ラミナの配分

ラミナのヤング係数分布を把握した後、E75-F240またはE65-F225のJAS異等級対称構成を想定してラミナを抜き出す。残りをラミナの曲げ、引張試験用とする。試料数はブロックごとに各構成層10体ずつ行う。JASラミナ等級に従い等級区分し、

分布の比率に応じて、集成材製造用、ラミナ試験用を選別し、集成材製造用を各ブロックの集成材工場へ、ラミナ試験用を宮城県林業試験場へ送付する。

1.2.2.4 集成材の製造

集成材は20層積層、寸法は150×600×12,000mm、試験体数は各ブロック4体、計12体である。集成材用ラミナはフィンガージョイント（FJ）加工を行い、最終仕上がり30×160mmとなった。積層構成は3.2に述べる。引張側最外層にモーメント一定区間にFJ部分を配置すること。

1.2.2.5 試験方法

1)集成材試験

モーメント一定区間の引張側最外層にFJ部分を配置し、JAS-A試験（全スパン18h=10,800mm、荷重点間4h=2,400mm）の条件で実験を行う。試験場所は、東北：秋田木高研、中部：長野林総センター、九州：鹿児島工技センターである。

2)ラミナ強度試験

JAS構造用集成材のラミナ試験法に準拠して行う。

1.2.3 試験結果と考察

1.2.3.1 供試原木とラミナ

試験に用いた原木の概要を表1.2.2に示す。

表1.2.2 供試原木の概要

ブロック	県	産地（品種）	供試本数	末口径（cm）	年輪数	密度（kg/m ³ ）	E _{fr-log} （10 ³ kgf/cm ² ）
東北	青森	三沢	21	32	—	—	76.1
	岩手	住田	33	30	40	—	69.4
	宮城	大和	20	28	31	—	66.3
	秋田	協和	20	30	29	—	66.2
	山形	西山	15	30	37	—	76.7
	福島	船引	15	28	40	—	69.7
			全体	124	30	35	—
中部	富山	県内一円	38	28	34	637	77.3
	静岡	春野町	20	29	55	737	90.4
	三重	中南勢	30	29	43	696	86.6
			全体	88	29	42	680
九州	福岡	福岡県黒木町産、約45年生（アカバ）	25	27	—	670	60.4
	大分	大分県日田市産、約50年生（ヤブクグリ、ウラセバル等）	25	28	—	690	60.3
	熊本	熊本県八代郡泉村、約40年生（シャカイン）	29	27	—	720	62.8
	宮崎	宮崎県日南市楠原産、約45年生（オビスギ）	25	27	—	570	61.0
	鹿児島	鹿児島県肝属郡高山町産、約45年生（オビスギ）	25	32	—	580	61.5
			全体	129	28	—	650

また、ブロック別の供試原木とラミナの材質の関係は表1.2.3のようになる。これらの値は、必ずしも各産地の平均的な材質値を示すものとは限らないが、地域別の $E_{fr-log}(x)$ と $E_{fr-lam}(y)$ の関係は、

東北： $y=1.00x+9.8$ (se=12.7, $R^2=0.357$)

中部： $y=0.93x+11.5$ (se=13.3, $R^2=0.515$)

九州： $y=0.90x+18.5$ (se=11.4, $R^2=0.310$)

となり、工学的に見た回帰直線の地域別有意差は認められない。したがって、直径30cm程度のスギ原木の場合、 E_{fr-log} からラミナ E の出現を予測するには、全国的に同一の関係式を用いても大過ないものと考えられる。これらを一括したときの関係を図1.2.1に示す。

なお、製材歩留まりは付録で述べるように、地域によって若干の差はあるが、径24~28cmでは約45%、30~32cmでは50%近い歩留りとなった。

スギ集成材を製造する場合、スギラミナのサイズが一般市場に流通していないことが多いため、製材したラミナが無駄なく、集成材に利用されるのが、コスト的にも重要なこととなる。そこで、MGE をもとにラミナの等級区分を行い、現行の JAS 区分（異等級対称構成）にしたがったときの最適等級構成を検討した。

集成材用ラミナを下位等級に転用しない、という条件を与えた場合の使用歩留まりを計算した結果は表 1.2.4 のようになり、このデータに限っていえば、九州では E75-F240、東北および全体では E85-F255、中部では E95-F270 が最適であった。しかし、層構成によっても使用歩留まりはかなり変動し、今回行った 20 層構成と標準的な構成である 16 層構成を比べてみると、前者の場合、かなり低くなる人が多いようである。

1.2.3.2 集成材の構成および曲げ試験結果

各ブロックで表 1.2.5 に示す集成材を作製した。ここで R3 構成とはラミナ MGE の出現頻度にフィットするように境界値を変更し、3 等級区分としたものである。

曲げ試験の結果を表 1.2.6 に示す。なお、MOE はスパン中央部の全スパンたわみ量から計算された値である。

表1.2.3 供試原木とラミナの材質

産地	原木			ラミナ		
	試料数	E_{fr-log} ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)		試料数	E_{fr-lam} ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	
		平均値	CV(%)		平均値	CV(%)
東北	124	70.6	13.7	660	80.2	19.8
中部	88	83.5	17.2	491	88.9	21.5
九州	129	61.2	13.6	592	73.4	18.8
全体	341	70.4	19.5	1743	80.3	21.6

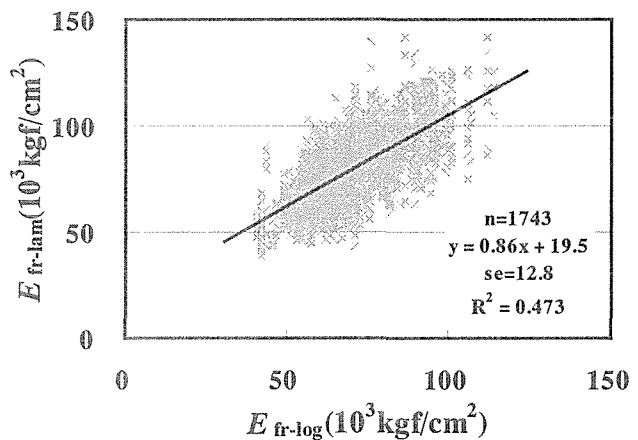


図 1.2.1 原木とラミナの E の関係

表1.2.4 ラミナ出現比率と使用歩留まり予測

20層構成の場合										
ラミナヤング係数 (MGE) 区分		集成材等級と構成比率(%)				ラミナ出現比率(%)				
		E65-F225	E75-F240	E85-F255	E95-F270	東北	中部	九州	平均	
E<50						1.5	3.1	5.6	3.3	
50≦E<60	(L50)	50	50			7.6	5.5	20.9	11.5	
60≦E<70	(L60)	20		50			18.2	7.9	24.2	17.3
70≦E<80	(L70)	10	20		50		25.6	14.5	25.2	22.3
80≦E<90	(L80)	20	10	20			22.4	20.0	15.2	19.3
90≦E<100	(L90)		20	10	20		13.5	18.1	7.1	12.6
100≦E<110	(L100)			20	20	10		6.8	17.5	1.7
110≦E<125	(L110)		20				20		3.8	11.6
125≦E						0.8	1.8	0.0	0.8	
集成材製造 歩留まり(%)	東北	15.2	51.6	57.0	23.0	注) 左欄の歩留まりは、 ラミナを下位等級に転用 しない条件による場合で ある				
	中部	11.0	26.8	44.8	67.0					
	九州	41.8	45.0	9.5	1.0					
	平均	23.1	57.7	68.3	27.9					
16層構成の場合										
ラミナヤング係数 (MGE) 区分		集成材等級と構成比率(%)				ラミナ出現比率(%)				
		E65-F225	E75-F240	E85-F255	E95-F270	東北	中部	九州	全体	
E<50						1.5	3.1	5.6	3.3	
50≦E<60	(L50)	50	50			7.6	5.5	20.9	11.5	
60≦E<70	(L60)	25		50			18.2	7.9	24.2	17.3
70≦E<80	(L70)	12.5	25		50		25.6	14.5	25.2	22.3
80≦E<90	(L80)	12.5	12.5	25			22.4	20.0	15.2	19.3
90≦E<100	(L90)		12.5	12.5	25		13.5	18.1	7.1	12.6
100≦E<110	(L100)				12.5	12.5	12.5		6.8	17.5
110≦E<125	(L110)		12.5				12.5		3.8	11.6
125≦E						0.8	1.8	0.0	0.8	
集成材製造 歩留まり(%)	東北	15.2	51.6	87.6	36.8	注) 左欄の歩留まりは、 ラミナを下位等級に転用 しない条件による場合で ある				
	中部	11.0	26.8	44.8	69.0					
	九州	41.8	72.0	15.2	1.6					
	全体	23.1	57.7	77.1	44.7					

表1.2.5 集成材のラミナ構成

構成(層数)		MGE区分		試験体数		
				東北	中部	九州
E65-F225	最外層(2+2)	80≦E<90		-	-	1
	外層(1+1)	70≦E<80				
	中間層(2+2)	60≦E<70				
	内層(10)	50≦E<60				
E75-F240	最外層(2+2)	90≦E<100		4	2	2
	外層(1+1)	80≦E<90				
	中間層(2+2)	70≦E<80				
	内層(10)	50≦E<70				
R3		中部	九州	-	2	1
	外層(3+3)	100≦E	85≦E			
	中間層(2+2)	90≦E<100	75≦E<85			
	内層(10)	50≦E<90	50≦E<75			

JAS 構成集成材は、1 体を除き各等級の MOE、MOR の適合基準値以上の性能であった。特に中部で製造された集成材の MOR が高かったが、これは最外層ラミナの素材と縦継ぎ部の品質が大変優れていたためと考えられる。基準に満たなかった集成材は、最外層ラミナの縦継ぎ部でフィンガーの根本から破断するような破壊をしており、素材の性能とフィンガージョイント加工における嵌合条件等が良好で無かったことが考えられる。

表1.2.6 実験結果のまとめ

ブロック	構成方法	MOE (10^3kgf/cm^2)	MOR (kgf/cm^2)	破壊位置
東北	E75-F240	82.2	243	最外層FJ
		79.5	237	最外層FJ
		75.4	212	最外層FJ
		77.0	230	最外層FJ
中部	E75-F240	79.0	335	2層目FJ直下
		78.6	333	2層目FJ直下
	R3	93.9	352	2層目FJ直下
		88.4	341	最外層FJ
九州	E75-F240	72.0	235	最外層FJ
		76.7	255	最外層FJ
	E65-F225	69.5	280	最外層FJ
	R3	76.7	290	FJ以外 (節)
等級 下限値	E95-F270	85.0	250*	*) :MOR 下限 値は材せいによる調整済みの値を示した
	E85-F255	75.0	236*	
	E75-F240	65.0	223*	
	E65-F225	55.0	209*	

R3 構成による場合、中部では E95-F270、九州では E75-F240 相当の強度値は確保できるようである。

荷重-変位曲線はすべての実験において、塑性域はほとんど見られず、脆性的に破壊していた。

1.2.4 まとめ

- 1)直径30cm程度のスギ原木の場合、 E_{fr-log} からラミナEの出現を予測するには、全国的に同一の関係式を用いても大過ない。
- 2)現行のJAS区分にしたがったときの最適等級構成は地域によってかなり差が認められる。
- 3)実験結果から見るとJAS構成集成材では、ほぼ現行の基準値には適合するようである。また、最外層ラミナの選定方法とFJ加工技術によって、材の強度性能は著しく左右される。ただし、材せいあるいは荷重条件によるMORの調整係数については、議論の余地が残されている。

なお、各ブロックごとの報告を付録1-1～3に添付する。

1. 3 集成材性能予測のシミュレーションモデルとその適合性

我が国における集成材の強度試験規格は日本農林規格（JAS）に定められている。この規格中における強度等級の適合基準は平均値及び 5%下限値によっているものの、基準の適合のために必要とされるサンプル数は非常に少なく、データの信頼性に関する記載はされていない。したがって製造に関する規定は示されているものの、供給される材料に関しての性能の保証は不明確な状態である。しかし、建築基準法が仕様規定から性能規定に移行していく今後、材料の性能信頼性は非常に重要な要素となる。また建築物の構造設計方法においても、現在の許容応力度設計法から限界状態設計法に移行するべく準備が進められているが¹⁾、ここにおいても材料性能の信頼性は重要である²⁾。

材料の性能をどの程度信頼して使えるかという信頼性は、信頼度という確率によって数量的に表現される³⁻⁶⁾。材料の信頼度を求めるためには材料性能の確率密度を表す関数が必要となり、また高い信頼度を保証するためには多くのデータを必要とする。特に木材のように性能のばらつきが大きいものについては、大量のデータを必要とする。本事業はそのために各地域材について多くの実験を行い、データを蓄積してきたが、実大の集成材について大量の強度試験を行い、データを収集することは大変困難なことである。

このような事により、実際に試験を行って強度データを得るのではなく、シミュレーションによりデータを作成し、性能分布を求める方法が研究されている⁷⁻¹⁵⁾。これらの方法はあくまでも仮想ではあるが、適正なモデルと材料（ラミナ）の基礎データを用いることにより、有効に集成材の性能分布を仮定できると考えられる。平成 8 年に改正された構造用集成材の JAS 規格においては、構造用集成材の強度等級と各付けの手順について、ひき板の品質基準及び接着積層するひき板の品質の構成基準に適合するひき板を用いた集成材においては、実証試験を伴うシミュレーション計算によって強度等級が確認されている場合は、それによって格付けができることになっている。したがって、このような方法によって、より実際の性能に即した等級の格付けが可能になったといえる。

本節では、現在提案されているシミュレーションによる性能予測方法を解説するとともに、本事業で行われた実験結果についてシミュレーションにより性能予測を行い、その適合性を検証した。

1.3.1 シミュレーションの方法

(1)シミュレーション方法の概要

集成材は再構成材料であるため、その力学的性能は構成要素であるラミナの力学的性能とその構成方法に大きく依存する。したがって、ラミナとそれを構成した集成材の力学的性能の関係を明らかにできれば、ラミナの性能から集成材の性能を求めることができる

考えられる。このような力学的関係は、まだ完全に理解されていないが、おおよその関係は捉えられている。シミュレーションは、このような関係をモデル化し、ラミナの基礎データに基づいて性能を予測するものである。ここでは、集成材の性能指標として一般的な曲げ剛性及び曲げ破壊係数を予測するシミュレーションモデルを検討する。

シミュレーションの大きな流れとして、図 1.3.1 に示すようなフローチャートが考えられる。シミュレーションモデルは、ラミナの基礎データに基づき仮想ラミナの力学的特性データを作製するラミナの性能モデルと、集成材の力学的特性を解析する集成材のメカニズムモデルの 2 つに大きく分けられる。

ラミナの性能モデルは、実在ラミナの試験データ（以後原データと呼ぶ）からその基礎特性データを求め、その基礎データに基づき仮想のラミナにヤング係数と強度を与える作業を行う。この際に重要な事は、性能を与えられた仮想ラミナが個々の性能としてはばらつきを持ちつつも、原データと同じ集団の特性を持つこと、すなわち同じ母集団のデータとみなせることである。そのためにラミナの性能モデルにおいて、木材の性能のばらつきを考慮しつつ、原データの性能分布に従いヤング係数及び強度の性能分布を再現させるモデルが必要となる。このような場合に大変有効な手段として、乱数を用いてこれをシミュレートするモンテカルロ法¹⁶⁻¹⁸⁾がある。この方法では、解析的なモデルで生じる過度の理想化や単純化の要求を緩和して、より現実に近いシミュレーションモデルを作ることができる。即ち、モンテカルロ法を用いることにより、原データの確率分布を基にして、実験的標本値と似た性格をもつデータを大量に作成することが可能である。ただし原データとの適合性が高い仮想データを得るには、原データにあてはめる分布関数の選択や、それぞれの変数の相関関係等を考慮した確率モデル^{8,9,11)}を作成することが重要である。

集成材のメカニズムモデルは、各層のラミナの力学的性能を基に、それらが集成加工された場合のヤング係数や強度を解析するモデルである。ヤング係数については、等価曲げ剛性の関係式¹³⁾を用いて各層のラミナのヤング係数から集成材全体の見かけの曲げヤング係数を求める方法が用いられている。一方曲げ破壊係数については、载荷により集成材の各層に生じる応力分布と各層のラミナの強度性能の間にある破壊条件を仮定し、集成材の見かけの曲げ破壊係数を決定するというのが基本的な

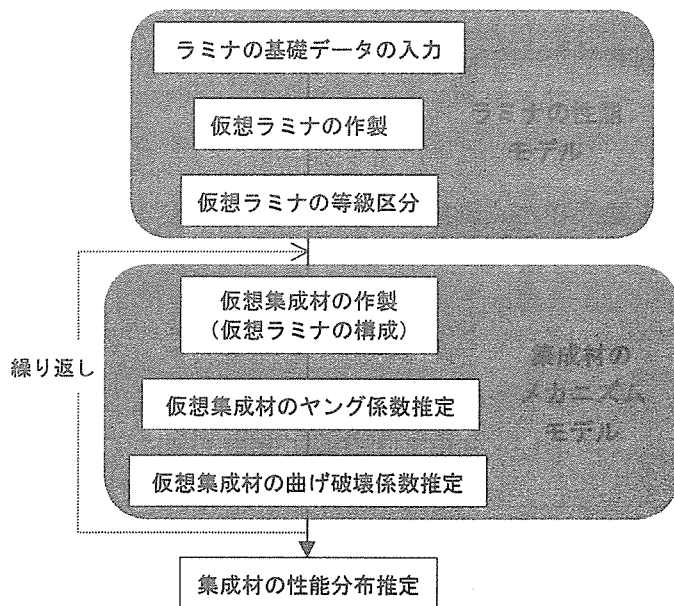


図 1.3.1 シミュレーションのフローチャート

理論となる。これらの応力分布や破壊条件の仮定については、実際の破壊現象が複雑かつ多様であるため、未だに決定的なモデルが確立しているとは言えないが、特定の適用範囲においては、かなり実用可能なレベルまで研究が進んできているといえる。

以下に既往の研究を踏まえ、新たに提案するシミュレーションモデルの具体的な方法について解説する。

(2) 集成材性能予測のためのシミュレーションモデル

1) 原データ MOE 分布の確率密度関数へのあてはめ

モンテカルロシミュレーションにより仮想ラミナにヤング係数を与えるには、ラミナの原データにおける MOE 分布を何らかの確率密度関数に当てはめておく必要がある。木材の性能分布としてよく用いられる分布形としては、正規分布、対数正規分布、3パラメータワイブル分布が挙げられるが、そのいずれを用いるかは原データとの適合度を評価して判断する。この適合度検定¹⁹⁾ (goodness of fit test) としては、連続分布の場合 Kolmogorov-Smirnov (KS) 検定法²⁰⁾が有名である。この方法は標本値の累積度数関数 $G(x)$ と仮定した累積分布関数 $F(x)$ の差の最大値

$$d_n = \max |F(x) - G_n(x)| \quad (1.3.1)$$

を検定量として用いるものである。

実際に集成材作製用に用意されたスギラミナ(150×25×3550mm)174 体について非破壊曲げ試験を行い静的ヤング係数(MOE)を測定した結果、ラミナの MOE 分布は図 1.3.2 に示されるような分布であった。この原データの MOE の累積度数分布及び3つの分布関数へ当てはめた場合のそれぞれの累積分布関数は、図 1.3.3 に示されるようになる。各累積分布関数における d_n 値は、正規分布、対数正規分布、3-パラメータワイブル分布のそれぞれに対して、0.058332、0.08986、0.066758 となり、正規及び 3-パラメータワイブル分布の適合レベルはほぼ同じであるものの、対数正規分布ではかなり劣る結果となった。この場合、原データの MOE 確率分布は、最も適合度が高い正規分布に仮定される。

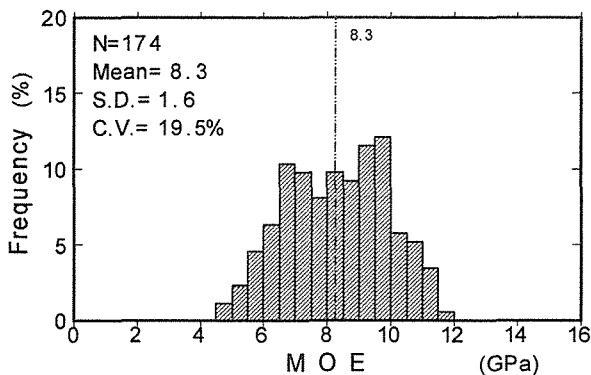


図 1.3.2 ラミナ原データの MOE 分布

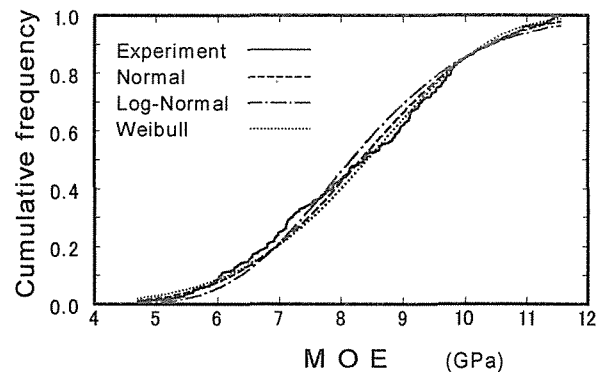


図 1.3.3 累積度数関数及び各累積分布関数

2) モンテカルロ法による仮想ラミナの作製

シミュレーションに用いる仮想ラミナの性能を、原データの MOE 及び各強度 (MOR(曲げ破壊係数)、TS(引張強さ)、CS(圧縮強さ)) データより決定する。以下にその手順を述べる。(図 1.3.4 参照)

① 原データ MOE 分布にあてはめた分布関数に従う乱数を発生させ、仮想ラミナの MOE を決定する。このためまず 0 から 1 の間の標準一様分布に従う乱数を発生させる必要がある。モンテカルロシミュレーションはコンピュータを用いて行うのが効果的で実用的な方法であり、これは BASIC あるいは C における rand 関数により疑似乱数を発生させることができる。

分布に従った乱数の発生方法は、この標準一様乱数を累積分布関数の逆関数に代入することにより求められるが (逆変換法)、正規分布や対数正規分布では累積分布関数から解析的に逆関数を求めることができないため、Box-Muller 法^{16,21)}により乱数を発生させる。この方法では、 r_1 、 r_2 を 1 組の独立な一様乱数とすると、正規分布 $N(\mu, \sigma)$ に従う 2 個の独立な乱数を次式により発生させる事ができる。

$$\begin{aligned} x_1 &= \mu + \sigma \sqrt{-2 \ln r_1} \cos 2\pi r_2 \\ x_2 &= \mu + \sigma \sqrt{-2 \ln r_1} \sin 2\pi r_2 \end{aligned} \quad (1.3.2)$$

② 発生させた仮想ラミナの MOE に対応する強度を決定する。図 1.3.4 に示すように、強度は与えられた MOE に対応する回帰線上の強度値 F' にばらつき U を与えて決定する。

$$F'_i = A \times MOE_i + B \quad (1.3.3)$$

$$F_i = F'_i + U_i \quad (1.3.4)$$

U は MOE と各強度の回帰直線式からの誤差であるが、その誤差は回帰直線上の各々の点に対する強度の分布で定義され、線形回帰の問題においてはその分布は正規分布に従うと仮定される²⁰⁾。したがって、 $X=MOE_i$ を固定して考えたときの F

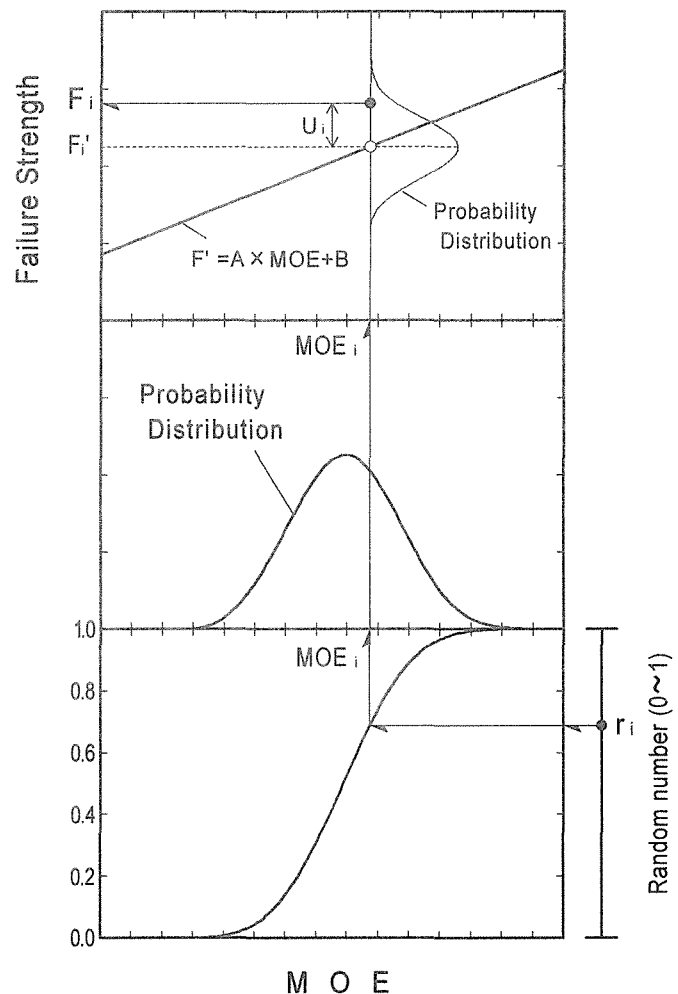


図 1.3.4 仮想ラミナの性能決定方法

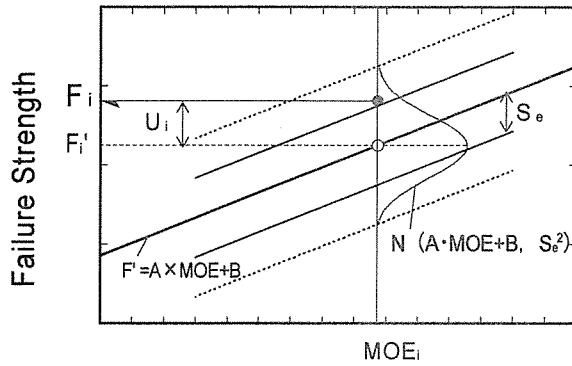


図 1.3.5 通常の回帰モデルにおける残差

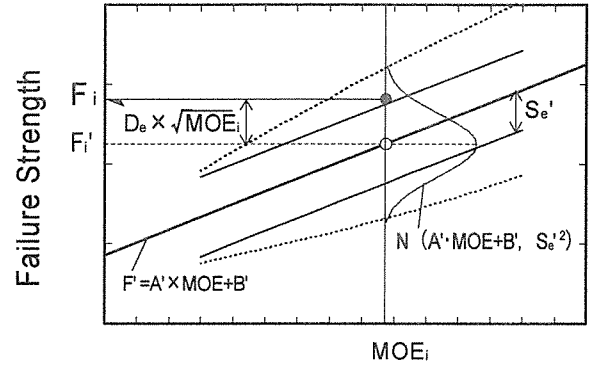


図 1.3.6 重み付けされた回帰モデルの残差

の値は、標準誤差 S_e を標準偏差とする正規分布 $N(A \cdot MOE_i + B, S_e^2)$ に従って分布しているとされる。図 1.3.5 のように、通常の回帰モデルにおいてはこの回帰からの誤差を一定と考えている。しかし、木材のヤング係数と強度の関係は、MOE の増加に伴い、強度のばらつきが大きくなる例がよくみられる。特に引張試験の結果については、ヤング係数の高領域において、欠点による強度の低下が生じ、ばらつきが大きくなっている。

このような場合、図 1.3.6 に示すような MOE と MOR が重み付きの回帰直線²²⁾で示され、MOR の標準誤差が MOE_i の平方根に比例するという回帰モデルの方が実際の現象との適合性が良い⁹⁾と考えられる。

重み付きの回帰分析は、次のように平均、平方和、積和などに重み $w_i = 1/x_i$ を付加して行う。

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \sum w_i x_i / \sum w_i, \quad \bar{Y} = \sum w_i y_i / \sum w_i, \\ S_{xx} &= \sum w_i (x_i - \bar{X})^2, \quad S_{yy} = \sum w_i (y_i - \bar{Y})^2, \quad S_{xy} = \sum w_i (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y}), \\ A &= S_{xy} / S_{xx}, \quad B = \bar{Y} - A\bar{X}, \\ S_e'^2 &= \frac{1}{(n-2)} \sum w_i (y_i - B - Ax_i)^2 \end{aligned} \quad (1.3.5)$$

ここで、

S_{xx} : X の平方和、 S_{yy} : Y の平方和、 S_{xy} : X と Y の積和、 x_i : i 番目の MOE データ、
 y_i : i 番目の強度データ、 \bar{Y} : 強度の平均、 \bar{X} : MOE の平均、 S_e' : 残差標準偏差、
 n : データ数。

この重み付きの S_e' を標準偏差とし、平均 0 の正規乱数 D_e を求め、さらにこれに $\sqrt{MOE_i}$ を乗じて U_i を決定する。

ただしこのとき決定する強度が 2 種類以上である場合は、それぞれの強度間の相関も考慮する必要がある。そのため MOE と各強度の相関関係における、回帰の標準誤差 S_e 。

をそれぞれの強度における U の標準偏差と考え、U に関する多次元正規乱数を発生して²³⁾ 相互に相関を持つばらつき U を作成する。

この多次元正規乱数を発生させるためには、まず各強度における U の共分散 $\text{Cov}[x, y]$ を要素とする共分散マトリクスを求める必要がある。共分散要素は x_i, y_i の平均値をそれぞれ \bar{x}, \bar{y} とするとき(1.3.6)式のように示される。

$$\text{Cov}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (1.3.6)$$

n 個の確率変数 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ において、それぞれの平均値が 0、共分散が $\text{Cov}[X_j, X_k]$ ($j=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,n$) で表されるとき、その共分散マトリクス C_X は対称で、正定値行列であるためコレスキー分解を用いて、 C_X を下三角行列 C とその転置の積の形に分解できる。

$$\begin{pmatrix} \text{Var}[X1] & \cdots & \cdots & \text{Cov}[X1, Xn] \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \text{Cov}[Xn, X1] & \cdots & \cdots & \text{Var}[Xn] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & & & \mathbf{0} \\ c_{21} & c_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{11} & c_{21} & \cdots & c_{n1} \\ & c_{22} & \cdots & c_{n2} \\ & & \ddots & \\ \mathbf{0} & & & c_{nn} \end{pmatrix}$$

すなわち、

$$C_X = CC^T \quad (1.3.7)$$

相互に相関をもつ n 個の正規確率変数のサンプル $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$ は、(1.3.7)式の C と、平均値 0、分散値 1 となる、互いに独立な n 個の正規確率変数の組 $\mathbf{a} = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}^T$ により、

$$\mathbf{X} = \mathbf{C}\mathbf{a} \quad (1.3.8)$$

すなわち、

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & & & \mathbf{0} \\ c_{21} & c_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix}$$

となる。

この方法により MOR、TS、CS のそれぞれについての U_i に与える、3 変数正規乱数を得ることができ、これを F_i に加えて F_i が決定される。ただし、理論上では F_i が 0 以下になることがあるため、その場合は再度乱数を発生させ強度を決定する。

3) 仮想ラミナの等級区分及び集成材の断面構成

作製された仮想ラミナを等級区分し、集成材の断面構成に応じて配置する。JAS にお

いては集成材の構成基準を定め、構成されるラミナの品質及びその構成方法を示しており、またそれにより集成材の等級区分の格付けが行われている。これらを参考に、必要とされる性能のラミナの構成を仮定して、ラミナの等級区分及び断面構成を設定することも有効であろう。

4) 集成材のヤング係数の算出

作製した仮想集成材は異なる等級のラミナが積層されており、全体としてはヤング係数は非均質であるため、単純に部材の曲げ剛性を求めることはできない。このような場合、全体の中立軸から各部分ごとの曲げ剛性を求め、それを積分することにより全体の曲げ剛性を求めることができる。この等価曲げ剛性の関係¹³⁾は式(1.3.9)に示され、この関係から見かけの集成材の曲げヤング係数を求めることができる。ただしここでは、各ラミナ内ではMOEが均質であると仮定する。

$$EI = \sum_{i=1}^n E_i I_{i-m'} \quad (1.3.9)$$

ここで、

E：集成材のヤング係数

I：集成材の断面2次モーメント

E_i ：各層のヤング係数

$I_{i-m'}$ ：各層の中立軸に関する断面2次モーメント

5) 集成材の破壊条件

曲げ破壊係数の推定については、まず集成材の破壊条件を仮定する必要がある。集成材の破壊は基本的に引張側外層のラミナの破断により生じることが実験において観察されているため、引張側各層に生じる応力分布と各層のラミナが持つ強度性能の間に、ある破壊条件を仮定する。

木材は、無欠点材においては引張強さの方が曲げ強さより大きい、実大材では一般的に曲げ強さの方が大きくなる。木材中の欠点は圧縮応力を受ける場合よりも、引張応力を受ける場合の方が脆性的に破壊に至りやすく、また引張試験の場合は断面全体が引張応力を受けるが、曲げ試験の場合は引張応力と圧縮応力を複合して受けるため、破壊への影響が異なるといえる。図 1.3.7 は梁の曲げ変形において、断面の平面保持を仮定した場合に各層のラミナが受ける応力分布を模式的に示した図である。ここで、引張側外層のラミナに注目してその応力状態を考慮し、集成材の破壊条件を、次のように仮定する。

モデル: 集成材外縁の応力が最外層ラミナの曲げ破壊係数と引張強度によって与えられる一定の複合応力に達した際に破壊する^{13,14)}。

$$\left(\frac{\sigma_{i-b}}{f_{i-b}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{i-t}}{f_{i-t}}\right)^2 = 1 \quad (1.3.10)$$

ここで

σ_{i-b} : i 層ラミナの曲げ応力成分

σ_{i-t} : i 層ラミナの引張応力成分

f_{i-b} : i 層ラミナの曲げ破壊係数

f_{i-t} : i 層ラミナの引張強さ

モデルは、軸力と曲げを分割して考えているため、引張応力の影響だけを考えると図 1.3.7 の最下図のように若干欠点の影響を大きくみていることになるが、一番現実に近いといえる。

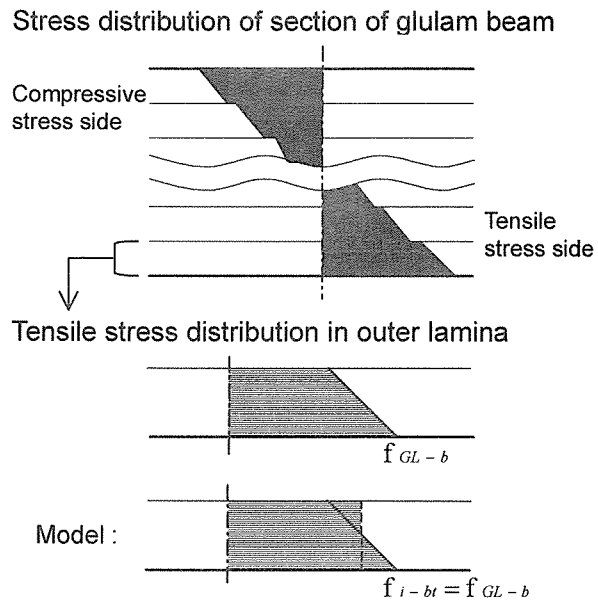


図 1.3.7 モデルにおけるラミナの応力の評価

6) ラミナの積層による補強効果

集成材においては、ラミナの性能が積層によって向上する、いわゆる“積層効果”がそのメリットの1つとされている。この積層効果は、中心極限定理に基づく性能のばらつきを低減効果として説明されるが、実際のラミナ同士が積層接着されることにより、単純に性能が平均化されるだけでなく、欠点を含んだラミナが補強されて、強度が向上する効果も存在すると考えられる。しかしながら、お互いの積層による効果がどの程度強度に影響しているかということについては、ほとんど明らかにされていない。前項で述べた破壊条件においては、ラミナ単体の性能を基に集成材の性能を求めているため、この積層効果による強度への影響を何らかの形で評価する必要がある。

節を有する材の片面に健全な材が積層された場合(nk)、あるいは両面に健全な材が積層された場合(nkn)の応力分布を有限要素法によりモデル解析し、強度への影響を評価した結果、その補強効果は図 1.3.8 に示されるようになる。これによると片面補強でも両面補強でも節径が大きくなるに従い補強効率が上昇することがわかる。また片面補強と両面補強の補強効果の比を表した図を図 1.3.9 に示す。これらの結果より、スギラミナにおいて一般的に破壊に関わる節の径の範囲を考えると、片面補強による補強効果は 1.1~1.25 程度、両面補強による補強効果は 1.15~1.5 程度、と考えられる。

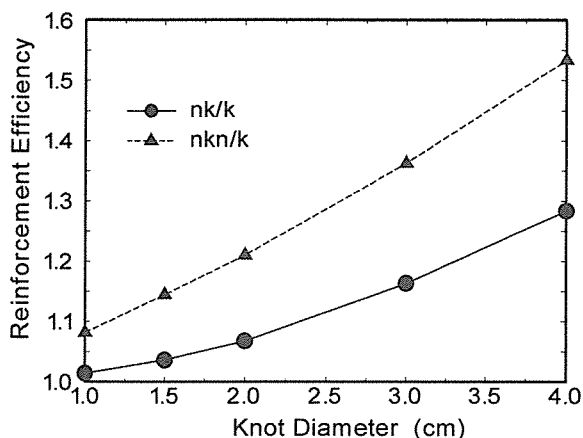


図 1.3.8 有孔材の積層による補強効率

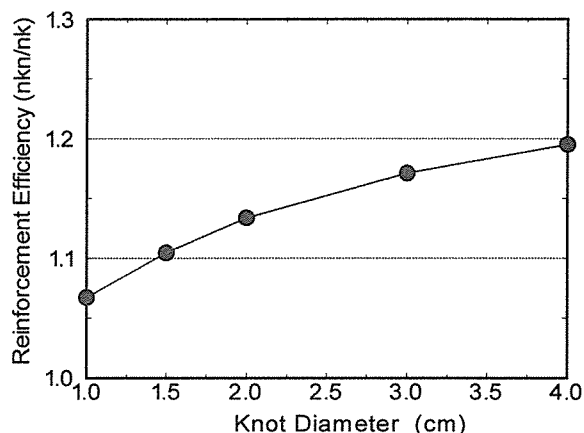


図 1.3.9 片面補強と両面補強の補強効率比

しかしながら実在のラミナにおいて欠点は多種多様であり、その補強効果も欠点の性質と積層される材の性能によってそれぞれ異なると考えられるため、補強効果を定量的に評価するのは困難である。したがって、それらを確率論的に評価する方が現実的であり、そのひとつの方法としていくつかの要素からなるシステムを考え、その破壊発生を確率過程理論により評価する方法^{24,25)}が考えられる。以下にその方法を示す。

時間（応力）の推移と共に状態が移り変わって行く現象は一種の Markov 過程といえ、破壊の問題は”出生死滅過程”の問題として取り扱えると考えられる。ここでは各要素が1個の欠点を含むものとし、ラミナはその要素が直列に連なるシステムとして考える。ある要素のとり得る状態は、未破壊状態(0)と破壊状態(1)のいずれかであり、状態(1)から(0)に戻ることはないとする。時刻 t に状態 0 から状態 1 へ移る確率(状態遷移確率)の平均 $\bar{p}_{01}(t)$ は、時刻 t までに要素が状態 0 に残存している確率(生存確率)を $\overset{\circ}{P}_0(t)$ とすると、次式のように表される。

$$\frac{1}{\overset{\circ}{P}_0(t)} d\overset{\circ}{P}_0(t) = -\bar{p}_{01}(t)dt \quad (1.3.11)$$

よって、生存確率は次式となる。

$$\overset{\circ}{P}_0(t) = \exp\left\{-\int \bar{p}_{01}(t)dt\right\} \quad (1.3.12)$$

但し、時刻 t の応力を $\sigma(t)$ とすると、

$$\bar{p}_{01}(t) = L \sigma(t)^\beta \quad (5.3.13)$$

と示される。ここで L は微細構造の非均質性を意味するパラメータであり、 β は材料定数である。

m 個の要素からなるシステム全体、即ち m 個の欠点を持ったラミナに一樣な引張応力が

作用する場合、このラミナの生存確率は次式で示される。

$$\begin{aligned} P(t) &= \left[\exp \left\{ - \int_0^t L \sigma(t)^\beta dt \right\} \right]^m \\ &= \exp \left\{ - \int_0^t mL \sigma(t)^\beta dt \right\} \end{aligned} \quad (5.3.14)$$

応力速度が $\dot{\sigma}$ で一定の場合、ある時刻 t における応力は $\sigma(t) = \dot{\sigma}t$ で表され、ラミナの生存確率は

$$P(\sigma) = \exp \left\{ - \frac{mL}{(\beta+1)\dot{\sigma}} \sigma^{\beta+1} \right\} \quad (5.3.15)$$

となり、破壊強度の確率分布 $F(\sigma)$ は生存確率との関係から次式で与えられる。

$$F(\sigma) = 1 - P(\sigma) = 1 - \exp \left\{ - \frac{mL}{(\beta+1)\dot{\sigma}} \sigma^{\beta+1} \right\} \quad (5.3.16)$$

従って、破壊強度の確率密度関数は、

$$q(\sigma) = \frac{mL}{\dot{\sigma}} \sigma^\beta \exp \left\{ - \frac{mL}{(\beta+1)\dot{\sigma}} \sigma^{\beta+1} \right\} \quad (5.3.17)$$

で表され、破壊強度の最頻値 $\bar{\sigma}$ は次式で求められる。

$$\bar{\sigma} = \left[\frac{\beta \dot{\sigma}}{mL} \right]^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (5.3.18)$$

ここで、(1.3.16)式の $mL/(\beta+1)\dot{\sigma}$ を δ 、 $\beta+1$ を γ で置き換えると(1.3.16)式は

$$F(\sigma) = 1 - \exp(-\delta\sigma^\gamma) \quad (1.3.19)$$

と表せる。この関数型はいわゆるワイブル分布関数である^{25,26)}。このことは脆性個体破壊の確率過程理論が、ワイブルの最弱リンク理論による結果をそれぞれのパラメータに物理的な意味を与えた特別の場合としてその中に形式的に含んでいることを意味している。

ここではラミナの欠点の個数は m (要素数) で表されているが、積層により欠点が補強される効果を欠点の減少として考えると、補強効果は m 値で評価される。ラミナの片面が積層接着されることにより最も危険なレベルの応力集中を引き起こす欠点が半減すると仮定した場合、破壊強度の増大は

$$\frac{\bar{\sigma}'}{\bar{\sigma}} = \frac{\left[\frac{\beta \dot{\sigma}}{0.5 \text{mL}} \right]^{\frac{1}{\beta+1}}}{\left[\frac{\beta \dot{\sigma}}{\text{mL}} \right]^{\frac{1}{\beta+1}}} = 2^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (1.3.20)$$

となる。(β+1)は(1.3.15)式を2回対数をとって変換した次式の傾きとして示される。

$$\ln\{-\ln P(\sigma)\} = \ln\left\{ \frac{\text{mL}}{(\beta+1)\dot{\sigma}} \right\} + (\beta+1)\ln\sigma \quad (1.3.21)$$

本実験における原データラミナの引張試験の結果より破壊強度とその破壊確率を求め、破壊強度の対数及び生存確率の2回対数を軸にとったものを図 1.3.10 に示す。

これらの回帰式より β=2.64 が求められ、これを(1.3.20)式に代入すると $\bar{\sigma}'/\bar{\sigma}=1.21$ となる。即ち、補強効果により引張強さは 1.21 倍になると評価できる。有限要素法によるモデル解析により求められた片面補強の場合の補強効果が節径 1.0~4.0cm の範囲で、約 1.0~1.3 倍程度であったことを考えると、求められた結果は妥当な値であると判断できる。

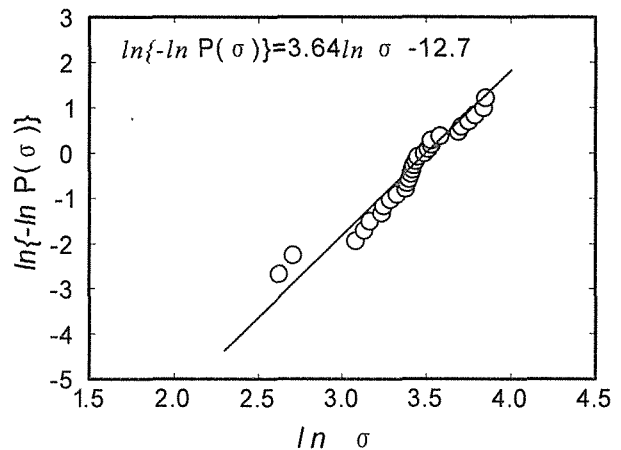


図 1.3.10 ラミナ引張強度と生存確率の関係

ただしこの評価においてはラミナの片面が接着積層されることにより m 値が半分になると仮定しているが、m の値は開放面の数に比例するものではない。両面が接着された場合には欠陥周りの応力集中度が開放面に欠陥がある場合よりも低い方へシフトする形で変化するものと考えられる。ここで採用されたモデルは極めて単純ではあるが、今回のシミュレーション結果が実大実験結果とかなり適合していることより、最外層では m/2 にかなり近い値であると考えられる。更にこの効果を厳密に評価するには、今後実験データに基づく更なる裏付けが必要であり、欠点の性状と破壊の関係及びその発生確率等について検討を重ねなければならない。

7) 圧縮層の塑性化

木材の曲げ試験においては、一般的に破壊時に圧縮側で塑性及び座屈が生じ、荷重-たわみ曲線には非線形の領域が存在する。フィンガージョイントを用いた集成材では、ラミ

ナの引張強度が低下するため塑性領域は減少すると考えられるが、一般的には引張強度に比べ圧縮強度の方が低い場合が多く、梁断面の応力分布において引張耐力が限界を迎える前に、圧縮応力が圧縮強度を越えてしまうことが考えられる。したがって圧縮層の塑性化を考慮した解析モデルを検討する必要がある。

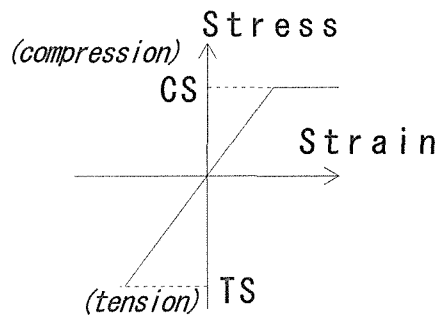


図 1.3.11 金による応力-ひずみモデル

木材の引張及び圧縮に対する応力-ひずみ曲線の仮定についてはいくつかの提案²⁷⁾がなされているが、スギラミナに関する圧縮試験²⁸⁾で得られた応力-ひずみ曲線を踏まえ、またより明快なモデル化という点を考慮して、本研究では金の提案した仮定²⁹⁾を適用する。この仮定は、応力-ひずみ曲線を図 1.3.11 の様に近似化しており、圧縮については圧縮強度に達するまでは線形弾性で、それ以後は完全塑性とし、引張については線形弾性とするものである。

1.3.2 シミュレーションによる予測結果の適合性の検討

以上述べてきたシミュレーションモデルを検証するため、ラミナ及び集成材の実大実験データについてシミュレーションによる性能予測を行った。

実験に用いたデータは、平成7年において宮城県林業試験場で行ったラミナ実験及び実大集成材実験の結果である。以下にモデルへのデータの適用及び予測結果の適合性に関して述べる。

(1) データのシミュレーションモデルへの適用

1) ラミナヤング係数分布の確率密度関数へのあてはめ

集成材の作製に用いたラミナのヤング係数分布を図 1.3.12 に示す。この分布と、正規分

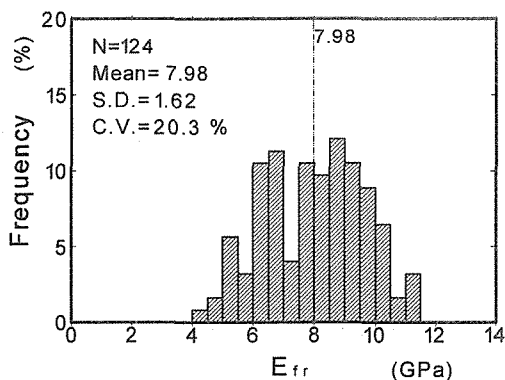


図 1.3.12 ラミナのヤング係数分布

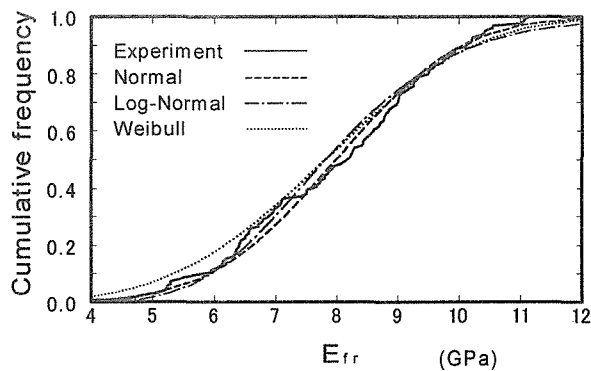


図 1.3.13 ラミナヤング係数の累積分布関数

布、対数正規分布、3 パラメータ・ワイブル分布の各分布関数にあてはめた場合の累積頻度曲線を図 1.3.13 に示す。これらの分布関数との適合度を K-S 検定により評価した結果、それぞれの dn 値は表 1.3.1 に示される通りとなり、一番適合度が良かったのは正規分布であった。これよりヤング係数分布を正規分布に仮定して以後のシミュレーションを行った。

表 1.3.1 K-S 検定による各分布の dn 値

	dn 値
正規分布	0.067697
対数正規分布	0.091484
3p-ワイブル分布	0.081264

2) ラミナの力学的特性

ラミナの力学的特性データは、図 1.3.14 及び図 1.3.15 に示される実験データを、各強度との相関について重み付けをした回帰分析を行い、回帰からの残差標準誤差、さらにそれらの残差における共分散を用い、仮想ラミナの基礎データとした。

3) 積層による補強効果

積層による補強効果について、まず最外層ラミナの補強効果を破壊の確率過程理論を適用して仮定する。ラミナ引張試験の結果について、引張強度と生存確率の関係を図 1.3.16 のように表し、この回帰式の傾きから $\beta=2.87$ を求める。片面補強の効果を欠点の要素数 m を半減させて評価するが、今回は引張試験を行ったチャック間の距離が 550mm であるのに対して、実大曲げ試験における最大モーメント区間の距離が 960mm と異なるため、これらの比を考慮して $m'=0.87m$ とし、補強効果を求める。

即ち

$$\frac{\bar{\sigma}'}{\bar{\sigma}} = \frac{1}{0.87} \frac{1}{3.87} = 1.04$$

となる。これより最外層のラミナの引張強度を 1.04 倍して与え、両面補強された内層ラミナについては、これをさらに 1.16 倍して評価した。

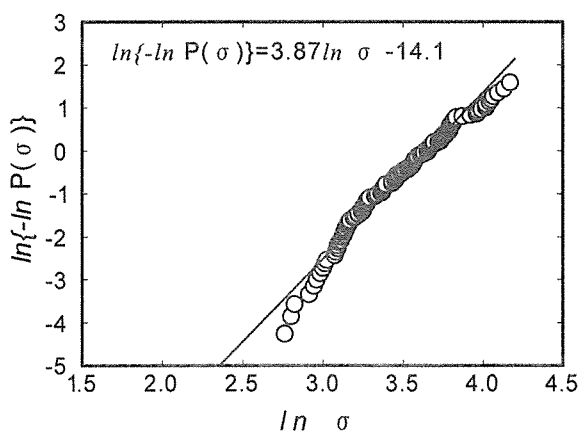


図 1.3.16 ラミナの引張強度と生存確率の関係

(2) 予測結果と実験値との適合性

シミュレーションの結果より得られた集成材の MOR 予測分布の累積頻度曲線を、実験値と共に図 1.3.17 に示す。

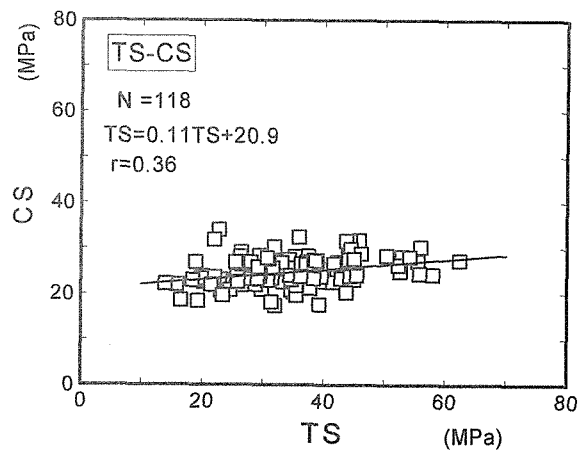
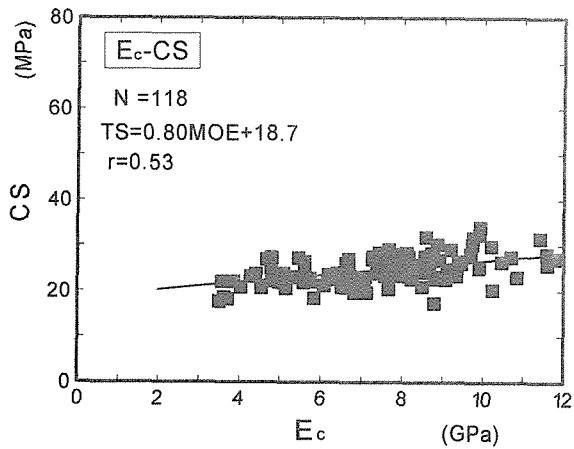
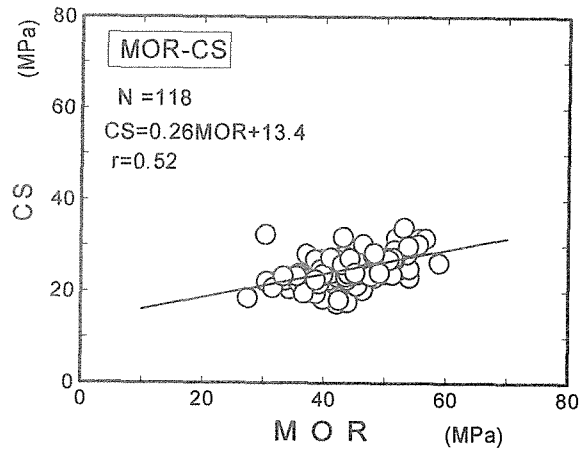
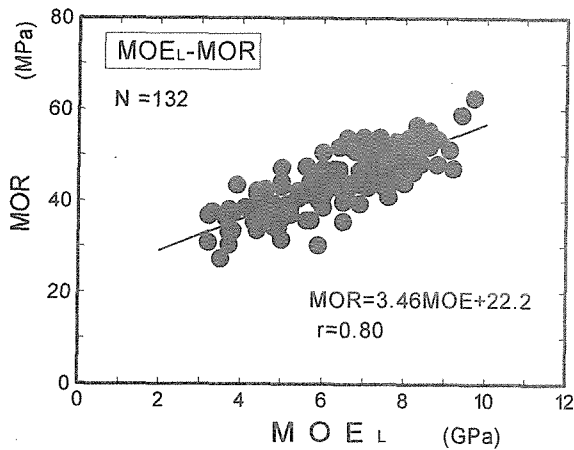
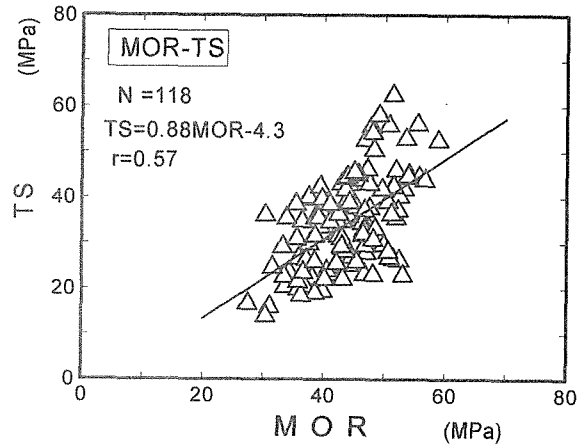
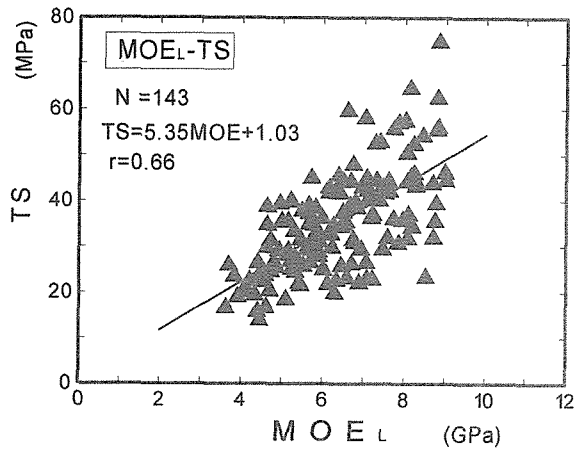


図 1.3.14 ヤング係数と各強度の関係

図 1.3.15 各強度間の相関関係

予測値分布は、実験結果よりも若干高いものの、ほぼ予測値と一致した分布であった。この結果について「実大試験の結果は本解析モデルによって予測された分布の母集団から得られたものとみなしてもよい」という帰無仮説の基に K-S 検定を行ったところ、棄却レベルは 20%以上となり、シミュレーションの結果が妥当なものであることを示した。これにより、作製したシミュレーションモデルの有効性が検証されたと判断される。

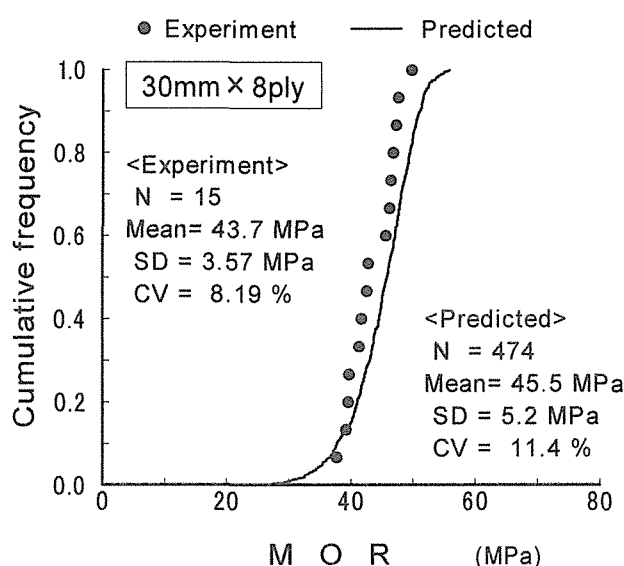


図 1.3.17 シミュレーションによる予測値と実験値の比較

1.3.3 集成材における寸法効果の検討

平成7年から9年までの本事業における実験を基に、以上のようなシミュレーションによる集成材の性能予測方法の大凡のモデルが確立された。しかしこのモデルは梁せいが300mm程度までの中断面集成材の実験に基づいており、梁せいが300mmを超えるような大断面集成材の性能予測において、このシミュレーションモデルが適用可能であるかという問題が残された。実大材の引張や曲げ強度においては、寸法効果が存在することが指摘されており³⁰⁻³²⁾、また直接寸法効果を謳ったものではないにせよ、日本建築学会による木質構造設計基準においても、曲げ応力度の算定の際に梁せいの増大による強度の低下を寸法調整係数を設定し考慮している。したがって大断面集成材の性能予測の際には、シミュレーションモデルにこのような寸法効果を考慮する必要があると考えられた。

そこで平成10年度の本事業においては、梁せいが600mmの20ply大断面集成材を製造し、実大曲げ試験を行うと共に、寸法効果を考慮したシミュレーションモデルにより性

能予測を行い、実大試験結果との適合性について検討した。

(1) シミュレーションモデルにおける寸法効果の考慮

1) 梁せい方向の寸法効果

シミュレーションモデルにおいては、集成材の破壊条件として曲げと引張による複合応力の条件式を用いているが、この条件式に従う場合、積層数の増大に伴う応力勾配の変化により強度の低下が生じることが指摘されている³³⁾。

これによると梁せい方向での寸法効果は集成材に曲げ載荷を行った場合、引張側最外層ラミナに生じる曲げ応力成分 σ_b 及び引張応力成分 σ_t は、平面保持を仮定した場合、力の釣り合い条件からそれぞれ(1.3.22)式、(1.3.23)式のように表される。

$$\sigma_b = \frac{6t}{bh^3} \cdot M \quad (1.3.22)$$

$$\sigma_t = \frac{6(h-t)}{bh^3} \cdot M \quad (1.3.23)$$

ここで、

t: ラミナ厚, b: 梁幅, h: 梁せい, M: モーメント

破壊の条件として2次の条件式(1.3.24)を仮定する場合、引張側最外層ラミナの引張側外縁における最大応力 σ_{\max} は(1.3.25)式のように示される。

$$\left(\frac{\sigma_b}{f_b}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{f_t}\right)^2 = 1 \quad (1.3.24)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{n}{\sqrt{r^2 + 1 - 2n + n^2}} f_t \quad (1.3.25)$$

ここで、

f_b : ラミナの曲げ破壊係数

f_t : ラミナの引張強さ

$r = f_t / f_b$: 引張強さと曲げ破壊係数の強度比

n : 集成材の積層数

これらの式より、積層数が増大すると最外層のラミナでは曲げ応力成分 σ_b に対する引張応力成分 σ_t の比率が高くなり、引張側外縁の最大応力 σ_{\max} に占めるラミナの引張強さ f_t の影響が非常に高くなるのが分かる。一般的に実大ラミナでは、曲げ破壊係数 f_b に比べ、引張強さ f_t の方が低いため、引張側外縁の最大応力 σ_{\max} は積層数の増大に伴って低下することになる。

平成10年度に行われた東北ブロックのラミナ強度試験結果より曲げ破壊係数 $f_b=320.4\text{kgf/cm}^2$ 、引張強度 $f_t=214.5\text{kgf/cm}^2$ を(1.3.25)式に代入した場合、最外層ラミナ

の応力 σ_{max} は、図 1.3.18 に示すように積層数の増大に伴って減少する。

したがって、既存のシミュレーションモデルでは、応力勾配の変化の中に梁せい方向での寸法効果が含まれていたといえる。これより、シミュレーションモデルに集成材の材長方向での寸法効果のみを新たに加えることを考える。

2) 材長方向の寸法効果

材料が最弱リンク理論に従うと考えられるとき、寸法効果の関係式は次のように表される。

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \left(\frac{V}{V'} \right)^{\frac{1}{2\alpha}} \quad (1.3.26)$$

ここで、

σ : 体積が V の時の強度

σ' : 体積が V' の時の強度

本事業の平成 8 年度実験において、林らはフィンガージョイントラミナと通シラミナについて、引張区間距離を変化させて試験を行い、(1.3.26)式の関係よりそれぞれの定数 α を求めている。

この結果に基づき、引張試験におけるチャック間長さを m 、集成材の曲げ試験における荷重スパンを m' として、寸法効果の一般式(1.3.26)における V を m に置き換えて考えると強度比は次のように表される。

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \left(\frac{m}{m'} \right)^{\frac{1}{2\alpha}} \quad (1.3.27)$$

この関係式により、シミュレーションにおける仮想ラミナに与える引張強度を補正するようにモデルを改良し、集成材の材長方向における寸法効果を考慮する。

(2)寸法効果を考慮した集成材の性能予測

1) 集成材モデル

以上述べたモデルにより、平成 10 年度に本事業で行った大断面集成材の曲げ試験結果に対する性能予測を行った。集成材は厚さ 30mm のラミナを 20ply 積層した断面 600×150mm の大断面集成材とし、断面構成は図 1.3.19 及び表 1.3.2 に示すような JAS 構成基準に従ったものと、ラミナの性能分布に従ったものとした。曲げ試験は構造用集成材の

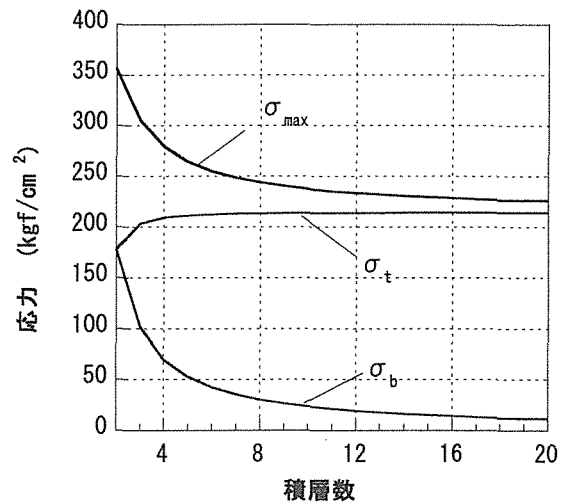


図 1.3.18 最外層ラミナの応力変化

JASにおける曲げA試験に準拠し、
 スパン 10,800mm、荷重点間
 2,400mm の4点載荷を行った場合
 を仮定した。

2) ラミナデータ

ラミナの力学的性能データについ
 ては、ヤング係数並びに曲げ及び引
 張強度は、図 1.3.20 及び図 1.3.21
 に示す本事業の平成 10 年度実験に
 おけるラミナの曲げ及び引張試験よ

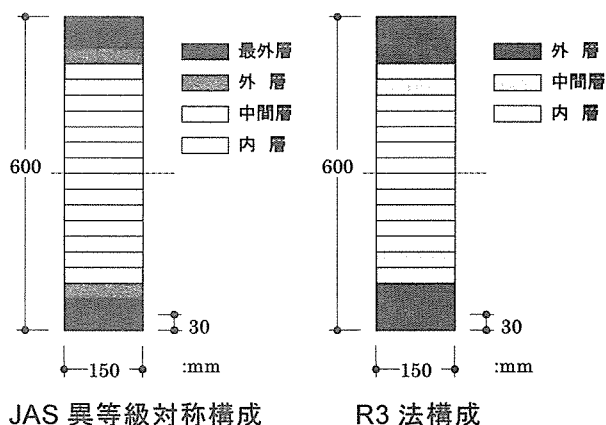


図 1.3.19 ラミナの構成方法

表 1.3.2 ラミナの構成方法

構 成		ヤング係数区分		試験体数		
				東北	中部	九州
E65- F225	最外層	80 ≤ E < 90		—	—	1
	外層	70 ≤ E < 80				
	中間層	60 ≤ E < 70				
	内層	50 ≤ E < 60				
E75- F240	最外層	90 ≤ E < 100		4	2	2
	外層	80 ≤ E < 90				
	中間層	70 ≤ E < 80				
R3		中部	九州	—	2	1
	最外層	100 ≤ E	85 ≤ E			
	外層	90 ≤ E < 100	75 ≤ E < 85			
	内層	50 ≤ E < 90	50 ≤ E < 75			

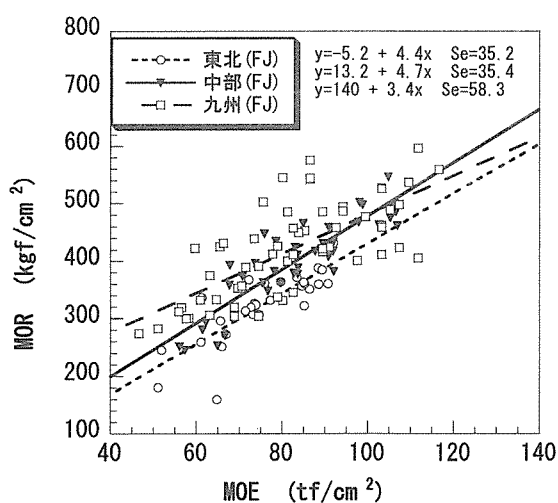


図 1.3.20 FJ ラミナの MOE と MOR の関係

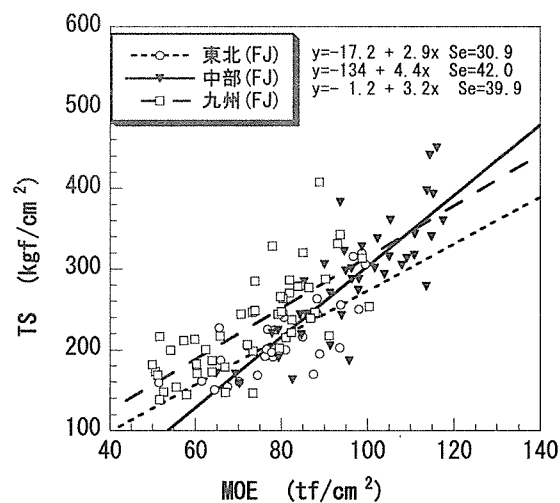


図 1.3.21 FJ ラミナの MOE と TS の関係

り得られたデータを用い、圧縮強度については図 1.3.14 及び図 1.3.15 に示した既往の実験データを用いた。

2) シミュレーション結果及び実験値との比較

MOR の予測分布を実験結果と併せて図 1.3.22 に示す。実験データが少ないため一概には判断できないが、中部ブロックにおける E75-F240 以外では予測分布の平均値付近に実験値が分布しており、シミュレーション予測値は実験値と概ね良く適合していると評価できる。中部ブロックにおける E75-F240 の実験結果は、他のブロックの E75-F240 に比べて明らかに高強度であり、等級の基準値をはるかに上回っている。しかし、ラミナの強度試験結果においては、必ずしも特に高い性能を示しておらず、また集成材の破壊発生位置が最外層から 2 層目縦継ぎ部であることから、最外層ラミナが FJ 部を含めて際だって高

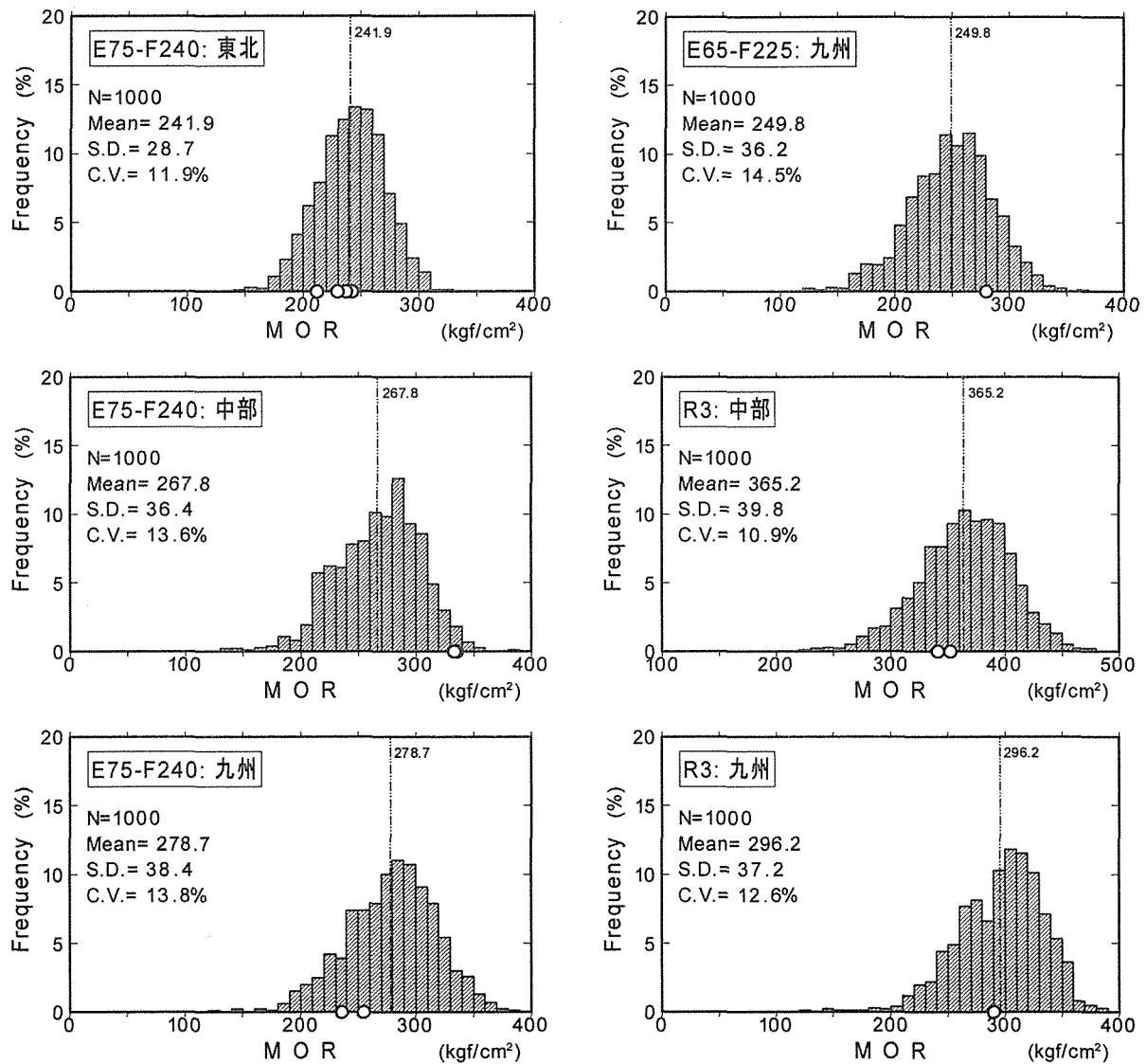


図 1.3.22 シミュレーションによる集成材の MOR 予測分布

表 1.3.3 集成材の MOR 予測結果

ブロック	構成法		平均値 (kgf/cm ²)	最小値 (kgf/cm ²)	変動係数 (%)	5%下限値 (kgf/cm ²)	JAS下限値 (kgf/cm ²)
東北	E75-F240	MOE	85.6	81.4	1.1	83.1	65.0
		MOR	242.6	145.9	11.8	194.9	223.2
中部	E75-F240	MOE	84.6	81.1	1.0	83.1	65.0
		MOR	276.1	159.0	13.5	211.2	223.2
	R3	MOE	108.1	98.2	3.0	102.6	—
		MOR	338.6	203.4	11.4	274.2	251.1
九州	E65-F225	MOE	75.2	72.6	1.2	73.8	55.0
		MOR	256.8	144.5	13.0	199.5	209.3
	E75-F240	MOE	84.6	81.8	1.1	83.0	65.0
		MOR	287.1	183.6	11.7	231.4	223.2
	R3	MOE	89.3	83.9	2.3	85.9	—
		MOR	307.1	145.3	11.7	245.3	223.2

強度であったことが考えられる。

シミュレーションによる MOR 予測値を表 1.3.3 に示す。予測された JAS 構成集成材の MOR 分布の 5%下限値は、九州ブロックの E75-F240 以外はいずれも JAS 等級の適合基準を下回る可能性があるとして予測された。ラミナのプルーフローディングなど工程上の品質管理によって、基準強度下限値を保証する方法を検討する必要があると思われる。また、R3 構成法の集成材に関しては、中部(E95-F270 相当)、九州(E75-F240 相当)の両ブロックの MOR 分布の 5%下限値が、ともに目標等級の基準値を大きく上回る予測結果となった。

(3) 結 論

材長方向の寸法効果を新たにシミュレーションモデルに加え、大断面集成材(20ply, 150×600×12,000mm)の曲げ破壊係数を予測した結果、シミュレーションによる予測結果は実験値と概ね良く適合した。このことから新たなシミュレーションモデルは、大断面集成材の性能分布予測にも適用可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 神田順：1995年度日本建築学会大会構造部門 PD 資料“限界状態とはなにか”，日本建築学会構造委員会・限界状態設計法小委員会編，日本建築学会，1991，p.1.
- 2) 神田順：“限界状態設計法のすすめ”，建築技術，1991，pp.8-24.
- 3) 岡村弘之，板垣浩：“強度の統計的取り扱い”，培風館，1979，pp.1-85.
- 4) A. H-S. Ang, W. H. Tang (伊藤學，亀田弘行，黒田勝彦，藤野陽三共訳)：“土木・建築のための確率・統計の応用”，丸善，1988，pp.357-404
- 5) 林知行：材料技術，9(2)，49-53 (1991).
- 6) 林知行：木材工業，47(4)，152-156 (1992).
- 7) D.A.Bender, F.E.Woeste, E.L.Schaffer, C.M.Marx: "Reliability Formulation for the Strength and Fire Endurance of Glued-Laminated Beams", Forest Products Laboratory Research Paper FPL460, 1985.
- 8) 林知行：“確率モデルによる集成加工材料の性能予測（第1報）－MOEの分布－”，木材学会誌，Vol.35，No.11，pp.1048-1057，1989.
- 9) 林知行：“確率モデルによる集成加工材料の性能予測（第2報）－ラミナ MOR の模擬乱数発生法－”，木材学会誌，Vol.35，No.12，pp.1144-1153，1989.
- 10) 林知行：“確率モデルによる集成加工材料の性能予測（第3報）－5プライ集成材の曲げ強度予測確率モデル－”，材料，Vol.39，No.444，pp.1197-1202，1990.
- 11) 林知行：“確率モデルによる集成加工材料の性能予測（第4報）－視覚等級区分されたラミナを用いて製造された5プライ集成材の曲げ強度予測確率モデル－”，木材学会誌，Vol.36，No.10，pp.812-818，1990.
- 12) 林知行：“確率モデルによる集成加工材料の性能予測（第5報）－5プライ集成材の引張強度予測確率モデル－”，木材学会誌，Vol.37，No.10，904-911，1991.
- 13) 小松幸平：“構造用集成材の強度と破壊性状 Part II”，木構造設計資料，木構造設計資料編集委員会編，(財)日本住宅・木材技術センター，pp.2-3，1991.
- 14) 平嶋義彦,山本幸雄,鈴木滋彦:木材学会誌，“集成材の強度計算モデルおよび確率モデル”，Vol. 40，No.11，pp.1178-1179，1994.
- 15) 飯島泰男,岡崎泰男：“スギによる構造用大断面集成材の性能予測”，日本建築学会1994年度大会学術講演梗概集 C，北海道，1994，pp.11-12.
- 16) 岡村弘之，板垣浩：“強度の統計的取り扱い”，培風館，1979，pp.191-217.
- 17) A. H-S. Ang, W. H. Tang (伊藤學，亀田弘行，黒田勝彦，藤野陽三共訳)：“土木・建築のための確率・統計の応用”，丸善，1988，pp.297-356
- 18) 林知行：“モンテカルロシミュレーションと強度研究”，木材工業，Vol.45，No.8，pp.353-358，1990.

- 19) 竹内啓：“現代数理科学事典”，広中平祐編，大阪書籍，pp.504-505，1991.
- 20) 芝祐順：“統計的方法Ⅱ 推測”，新曜社，pp.137-141
- 21) 脇本和昌，垂水共之，田中豊編：“パソコン統計解析ハンドブックⅠー基礎統計編ー”，共立出版，pp.163-166，1984.
- 22) 応用統計ハンドブック編集委員会：“応用統計ハンドブック”，養賢堂，1978，pp.107-108.
- 23) 星谷勝，石井清：“構造物の信頼性設計法”，鹿島出版会，pp.88-91
- 24) Mihashi,H.：Fracture Mechanics of Concrete，F.H.Wittmann,ed.，Elsevier，pp.301-339，1983.
- 25) 横堀武夫：“材料強度学 第2版”，岩波書店，1974，p.161-218.
- 26) Jayatilaka,A.S.:Fracture of Engineering Brittle Materials，Applied Science，London，1979，p.122-133.
- 27) 杉山英男：“建築構造学大系 22 木構造”，彰国社，p.33-49，1971.
- 28) 板垣直行，三橋博三：“スギ集成材の性能設計方法の開発に関する研究(2)”，日本建築学会大会（北海道）学術講演梗概集 C-1，pp.79-80，1995.
- 29) 金俊三：“木材の曲げ破損法則に就いて”，土木学会論文集，No.5，pp.41-55，1950.
- 30) 林知行，宮武敦，宮原久光：“スギラミナの引張強度における寸法効果”，木材工業，Vol.52，No.1，pp.15-19，1997.
- 31) 林知行，宮武敦，藤田和彦，廣津和夫：“スギ FJ ラミナの引張強度に及ぼすジョイント数の影響”，木材工業，Vol.52，No.9，pp.433-437，1997.
- 32) 鈴木直之：“木材の寸法効果”，木材工業，Vol.52，No.6，pp.278-282，1997.
- 33) 小松幸平：“任意断面構成集成材の最大モーメントの推定と実験結果による検証”，木材学会誌，Vol.43，No.11，p.934-939，1997.

第2章 製材品の強度性能

2.1 曲げ強度性能

2.1.1 サンプルング

製材のサンプルング方法を表2.1.1.1に示す。供試本数は、スギの10.5～12cm角230、10.5×15～24cm519、カラマツ10.5cm角235、ヒノキ10.5cm角102である。データの詳細は既往の報告書を参照されたい。

表2.1.1.1 製材のサンプルング

樹種	機関	参照報告書	n	原材料	公称寸法(cm)	試験時平均含水率(%)	摘要
スギ	岩手	H7第3章	83	2林分、末口径25～35cm	12×24×(370～400)	27.3～30.0	天然乾燥材
スギ	岩手	H8第3章	80	2林分、末口径27～41cm	12×24×400	14.5	人工乾燥材
スギ	長野	H7第5章その2	100	38～40年生の2林分、末口径16～24cm	12×12×300	16.9～24.3	人工乾燥材
スギ	静岡	H7第6章	192	1林分、中目丸太	10.5×(21～24)×(380～400)	24.0	人工乾燥材
スギ	静岡	H8第8章	150	40、50、70年生の3林分の1番中目丸太	10.5×(12～24)×(380～400)	8.8～20.3	人工乾燥材
スギ	三重	H7第7章	100	2林分、末口径16～24cm	10.5×10.5×300	14.5～16.5	人工乾燥材
スギ	福岡	H7第9章	30	1林分、40年生スギ、1～2番丸太	10.5×10.5×300	11.9	人工乾燥材
スギ	福岡	H7第9章	50	県内産スギ、製材購入	12×24×405	21.6	人工乾燥材
ヒノキ	三重	H8第9章	100	2林分、末口径20cm	10.5×10.5×300	14.3	人工乾燥材
カラマツ	長野	H8第7章	144	中信地区、末口径16～20cm	10.5×10.5×300	12.8	人工乾燥材(高温乾燥)
カラマツ	長野	H9新規データ	96	不明	10.5×10.5×300	15.4	天然乾燥材

2.1.2 試験方法

製材品の曲げ試験については、以下の項目の計測を行い、試験方法を統一した。ただし、本実験プロジェクトの標準試験法は、1997（平成9）年度から(財)日本住宅・木材技術センターで策定作業が開始された「構造用木材の強度試験法（以下、HT法とよぶ）」以前に作成されたものであるため、1.2以降では、本実験結果は原則的にHT法にしたがった表記法を用い、さらにデータの標準化を行っている。

測定法は「針葉樹構造用製材の日本農林規格（以下、製材JAS）」にしたがった。

1)含水率

試験時含水率は全乾法による。単位は%とする。

2)気乾密度 (R_{15})

気乾状態（含水率：15±2%）における密度。単位はg/cm³とする。

3)平均年輪幅

1木口面における完全年輪部分の平均値を測定する。単位はmmとする。

4)節径比

節径比の測定項目および記号は以下のとおりとする。単位は%とする。

狭い面	最大単独節径比	(荷重点間)	:	NkdC
	同	(全区間)	:	NkdL
	最大集中節径比	(荷重点間)	:	NskdC
	同	(全区間)	:	nSKDL
広い面	中央部最大単独節径比	(荷重点間)	:	wKDC-C
	同	(全区間)	:	wKDL-C
	中央部最大集中節径比	(荷重点間)	:	wSKDC-C
	同	(全区間)	:	wSKDL-C
	材縁部最大単独節径比	(荷重点間)	:	wKDC-E
	同	(全区間)	:	wKDL-E
	材縁部最大集中節径比	(荷重点間)	:	wSKDC-E
	同	(全区間)	:	wSKDL-E

5) 曲げ強度試験

本事業における曲げ試験方法は4点对称載荷法とし、材せい10.5～12cm、および21～24cm に対して、荷重点－支点間をそれぞれ90、135cmを標準とした。

このときの測定項目および単位は以下のとおりである。

ヤング係数（縦振動法による）：Efr (GPa)

同（重錘法による）：Edw (GPa)

同（曲げ試験時、モーメント一定区間たわみによる）：EI (GPa)

同（曲げ試験時、全スパンたわみによる）：EL (GPa)

曲げ比例限度応力（曲げ試験時）： σ_{bp} (MPa)

曲げ強さ（曲げ試験時）： σ_b (MPa)

曲げ比例限度たわみ（曲げ試験時）： δ_{bp} (mm)

最大荷重時たわみ（曲げ試験時）： δ_b (mm)

6) 強度等級

製材JASに基づいて等級区分を行う。

7) その他の試験項目

以上の他に行われた試験項目は以下のとおりである。

- ・製材用丸太のヤング係数（縦振動法による、Efr-log）測定：岩手（H7、8年度）、長野（H7年度）、静岡（H7年度）、三重（H7、8年度）

- ・製材の乾燥に関する試験：長野（H7、8年度）、静岡（H7、8年度）、三重（H7年度）、福岡（H7年度）

2.1.3 標準試験条件への調整

構造用木材の試験法は、これまで各国で独自のものが存在していたが、最近、国際的な統一化に向けていくつかのプロジェクトが進行中である。

また、国内では、建築基準法の性能規定化の動きに伴い、(財)日本住宅・木材技術センターが木材強度性能評価試験実施のため、ISOのprEN384/408、ISO/TC165のWG5における試験法草案、および建設省「木材の材料強度に関する評価基準」を参考にした「構造用木材の強度試験法（以下、HT法とよぶ）」を作成中である。

このうち、曲げヤング係数 (E_b) および曲げ強さ (f_b) の評価については、

①試験体は原則として平衡含水率が15%となるような条件で恒量に達したものとする。

②試験体の荷重条件は、単純支持、スパン $L=18h$ (h : 梁せい) の3等分点荷重を標準とし、やむを得ずこの条件の試験体が調達できない場合は、支点-載荷点間: $a=(6\pm 1.5)h$ 、両載荷点間: $S=(6\pm 1)h$ の範囲で設定できるものとする。

③本法に定める荷重方法によって曲げヤング係数を評価するときは、スパン中央の全体たわみを測定し、せん断影響を含んだ曲げヤング係数を算出する。

さらに、実際には、とくに材せいの大きい試料の場合などでは、上記の標準条件と異なった条件に設定せざるを得ないことも多くあるものと予想される。そのため、「既存のデータ等による特別な調査研究により明らかにされている場合」には、「含水率」および「荷重条件」によってデータを調整することができる、としている。

2.1.2に述べた本実験プロジェクトの標準試験法は、このHT法作成以前に作成されたものであるため、まず、本実験結果を用いてHT法にしたがったデータの標準化についての検討を行った。

以下、本報告で用いた記号および単位は一部変更し、特記のない限り以下の意味を持つものとする。

E_b : 標準荷重条件時の調整曲げヤング係数 (GPa)

E_m (ELから変更): 実験条件における曲げヤング係数(GPa)

f_b : 標準荷重条件時の調整曲げ強さ (MPa)

f_m (σ_b から変更): 実験条件における曲げ強さ (MPa)

h, L, a, S : 実験時における図2.Aに対応する値

h_0, L_0, a_0, S_0 : 標準荷重条件時における図2.Aに対応する値

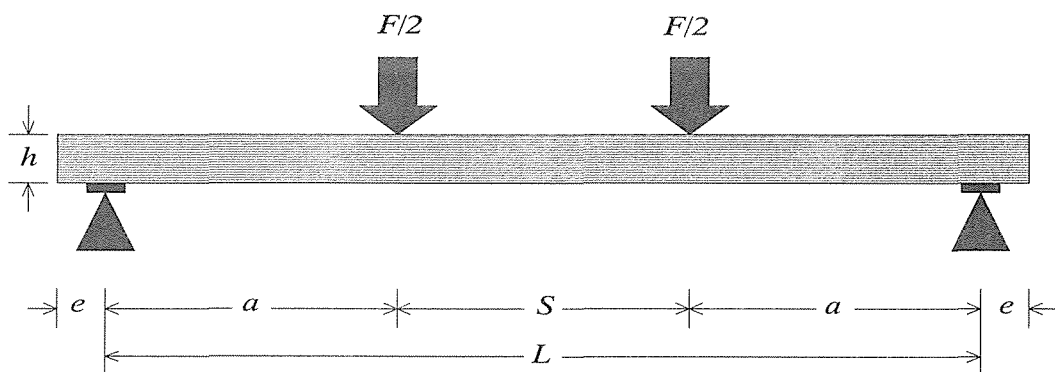


図 2.A 曲げ試験の方法

2.1.4 標準試験条件への調整に関する検討

2.1.4.1 曲げ強度性能調整式

HT法における曲げヤング係数 (E_b) および曲げ強さ (f_b) の調整方法は以下のとおりである。

1) 曲げヤング係数

$$E_b = k_{e1} \cdot k_{e2} \cdot E_m \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 E_b 、 E_m ：既出

k_{e1} ：含水率に関する調整係数

k_{e2} ：荷重条件に関する調整係数

2) 曲げ強さ

$$f_b = k_{f1} \cdot k_{f2} \cdot f_m \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 f_b 、 f_m ：既出

k_{f1} ：含水率に関する調整係数

k_{f2} ：荷重条件に関する調整係数

2.1.4.2 含水率調整係数 (k_{e1} 、 k_{f1})

HT法では、「試験体の含水率が15%を超える試験体については、木材の強度は含水率が高いほど小さくなるので、その結果をそのまま安全側の数値として、強度評価に使用するデータとして採用して差し支えない。この場合において、含水率と強度との関係が特別な調査研究により明らかにされている場合には、試験結果を含水率が15%の場合の値として補正してよい。

含水率が15%未満の試験体については、特別な調査研究による含水率と強度との関係を用いて、試験結果を含水率が15%の場合の値に補正しなければならない。ただし、全試験体の含水率が15±2%の範囲に収まるような試験にあっては、強度の補正を行わなくともよい。

含水率によるデータ調整法として提案されているのものには、ASTM D-2915、同 D-1990、prEN384 などがある。しかし、これらの式の適用に当たっては、当該試料に関する試験を予め行い、調整係数の妥当性を確認することとする。」

としている。

上記の各基準では、適用含水率範囲、調整係数などはそれぞれ異なっている。その概略は以下のとおりである。

(1) ASTM D 2915-94

同規格では、任意の含水率条件における各試験体ごとの強度値を、次式によって目標とする含水率条件での強度値に調整することとしている。ただし、含水率が22%以上はすべて生材と見なし、5%以上の含水率差がある場合の調整は避けるべきであるとしている。

$$P_2 = P_1(\alpha - \beta M_2) / (\alpha - \beta M_1)$$

表2.1.4.1 ASTM D2915
における含水率定数

項目	α	β
弾性係数	1.44	0.0200
曲げ強さ	1.75	0.0333
引張強さ	1.75	0.0333
縦圧縮強さ	2.75	0.0833
せん断強さ	1.33	0.0167
横圧縮強さ	1.00	0.0000

ここで、 P_2 ：含水率 M_2 における測定値
 P_1 ：含水率 M_1 における測定値
 α 、 β ：表 2.1.2.1 の含水率定数
 M_2 、 M_1 ：含水率(%)

(2)ASTM D 1990-91

同規格はイングレイドテストされた目視等級区分材の実験結果に適用されるもので、目標とする含水率への調整を行うこととしている。ただし、含水率が23%以上はすべて生材と見なし、5%以上の含水率の調整は避けるべきであるとしている。

a) 曲げ強さ(MOR)、縦引張強さ(UTS)、縦圧縮強さ(UCS)

$MOR \leq 16.6\text{MPa}$ 、 $UTS \leq 21.7\text{MPa}$ 、 $UCS \leq 9.6\text{MPa}$ のときは調整しない。
 $MOR > 16.6\text{MPa}$ 、 $UTS > 21.7\text{MPa}$ 、 $UCS > 9.6\text{MPa}$ のときは下式による。

$$S_2 = S_1 + (S_1 - B_1) / (B_2 - M_1) (M_1 - M_2)$$

ここで、 S_2 ：含水率 M_2 における測定値
 S_1 ：含水率 M_1 における定値
 B_1 、 B_2 ：表 2.1.2.2 の含水率定数
 M_2 、 M_1 ：含水率(%)

表 2.1.4.2. ASTM D1990
 における含水率定数

	B_1	B_2
曲げ強さ	16.6	40
縦引張強さ	21.7	80
縦圧縮強さ	9.6	34
弾性係数	1.857	0.0237
横圧縮強さ	1.000	0
せん断強さ	1.33	0.0167

b) 弾性係数、横圧縮強さ、せん断強さ
 下式から計算する。

$$P_2 = P_1 + (B_1 - B_2 M_2) / (B_1 - B_2 M_1)$$

ここで、 P_2 ：含水率 M_2 における測定値
 P_1 ：含水率 M_1 における測定値
 B_1 、 B_2 ：表 2.1.2.2 の含水率定数
 M_2 、 M_1 ：含水率(%)

(3)prEN384

prEN384 では、実験結果から得られた値に対し、含水率 10~18%の範囲内で 1%含水率変化あたりの変化率を、縦圧縮強さ 3%、弾性係数 2%として調整した値から平均値および 5%下限強度を求める。曲げ強さと縦引張強さの調整はない。

本報告では、ASTM D 2915-94とprEN384を併用し、任意の含水率条件における各試験体ごとの強度値を、MC18%以下の材ではASTM D-2915を準用、MC18%を超える材ではMC=18と読み替える、という方法でMC15%時の値に対する調整係数を求めた。すなわち、

$$ke_1 = (1.44 - 0.02 \times 15) / (1.44 - 0.02M) \dots\dots\dots(1)$$

$$kf_1 = (1.75 - 0.0333 \times 15) / (1.75 - 0.0333M) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 M ：試験時含水率 (%)

である。したがって、 $MC \geq 18\%$ ではすべて、 $ke_1 = 1.056$ 、 $kf_1 = 1.087$ となる。

2.1.4.3 寸法および荷重条件に対する調整係数

1) 曲げヤング係数の荷重条件調整係数 (k_{e_2})

曲げヤング係数に対する荷重条件調整係数 k_{e_2} は、一般に下式が成り立ち、ASTM D 2915-94でも本式から誘導された調整式が示されている。

$$k_{e_2} = \{1 + 2.4h^2(E/G)/(3L^2 - 4a^2)\} / \{1 + 2.4h_0^2(E/G)/(3L_0^2 - 4a_0^2)\} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、E：真のヤング係数

G：剪断弾性係数

h、L、a、 h_0 、 L_0 、 a_0 ：既出

である。

本式においてE/Gは実験的に求めなければならない。しかし、これは実用上では不可能であるため、たとえばASTM D 2915-94ではE/G=16と仮定して計算している。そのため、ここではEに概数値として E_m に k_{e_1} を乗じた値を代入、G（単位：GPa）は山本（木材のねじり変形特性に関する研究、北海道大学学位論文、1985）による針葉樹小試験体に対するねじり試験での実験式、

$$G = 2.15 \times R_{15} - 0.21$$

を用いて仮定する方法を採用した。これは、山本論文の「Gは実大材と無欠点小試験体では差はなく、E（GとEでは相関係数 $r = -0.342$ ）より密度（Gと密度では $r = 0.714$ ）による影響が大きい」との結果によるものである。

実験データから本式を用いて計算した結果は表2.1.2.4に示すが、E/Gは樹種にかかわらず平均12程度で、ASTMの仮定より幾分小さい値となった。しかし(3)式を適用し、 h/L を $1/15 \sim 1/21$ とした3等分点荷重条件で、E/Gを5～20の範囲に変動させて計算しても、 k_{e_2} は0.985～1.024の範囲内にあるから、厳密にE/Gを設定する必要はないものと判断される。

なお、スギではGは平均0.66（範囲：0.37～1.09、CV=17.3%）であった。山本のスギ無欠点小試験体の結果によるとGは平均0.78（範囲：0.48～1.08、CV=19.7%）であり、池田らによるスギ実大材Gの測定結果では、変動スパン法、静的ねじり法、動的ねじり法の3種の測定方式によって、いくぶん数値が異なっているが、Gはほぼ0.4～0.7とみられるので、これらとほぼ同程度の値といえる。

2) 曲げ強さ調整係数 (k_{f_2})

材料の破壊が「最弱リンク理論にしたがう」と仮定したとき、その関係式は一般に次式で表される。

$$\sigma_1 / \sigma_2 = (V_2 / V_1)^\alpha \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 σ 、Vはそれぞれ添え字の条件時の破壊応力、体積、 α は定数である。この考え方は、引張、圧縮のように、部材中に比較的均一の応力が発生する荷重条件では認識しやすい。しかし、曲げ条件の場合にこの仮定を導入するとき、Vの範囲を長さ方向のどこまでに設定するか、が問題になる。

ISO prEN384とASTM D 1990-91では、計算方法は異なっているが、こうした効果を考慮した調整式が示されている。まず、ISOのprEN384では、材せいに関しては $(h/h_0)^{0.2}$ 、荷重条件に関しては $\{(L+5S)/(L_0+5S_0)\}^{0.2}$ をそれぞれ乗じるものとしているが、これを総

合すると、

$$kf_3 = \left[\frac{\{h(L+5S)\}}{\{h_0(L_0+5S_0)\}} \right]^{0.2} = \left[\frac{\{h(S+0.2L)\}}{\{h_0(S_0+0.2L_0)\}} \right]^{0.2} \dots\dots(5)$$

と書き換えられるから、幅方向の影響を無視した上で、モーメント一定の中央区間の両側にモーメントの影響を考慮して材長の10%をそれぞれ加え、この区間の体積の0.2乗が曲げ強さに反比例する、との関係から誘導されたものと思われる。

また、ASTM D 1990-91では、材せい方向と長さ方向の影響を分離し、次式のかたちで表現している。なお、ここでも幅方向の影響は無視されている。

$$kf_2 = (h/h_0)^{0.29} \cdot (L/L_0)^{0.14} \dots\dots\dots(6)$$

以上に加え、今回のスギ材の実験データを用いて(4)式の α を計算する方法を試みた。ここでは、曲げヤング係数の影響を無視できるようにするため、 E_0 の範囲を6以上8未満のJAS構造用製材の機械等級区分E70相当材、計344データのみを用い、最弱リンク理論の一般式から幅方向の影響を無視した線形回帰モデルを、

$$\ln(f_{m-15}) = b_0 + b_1 \cdot \ln\left\{ \frac{h}{h_0} \cdot \frac{(S+0.2L)}{(S_0+0.2L_0)} \right\}$$

としたときの回帰分析結果から、偏回帰係数予測値 b_1 は0.256となったため、

$$kf_2 = \left[\frac{h}{h_0} \frac{(S+0.2L)}{(S_0+0.2L_0)} \right]^{0.25} \dots\dots\dots(7)$$

とした調整方法も検討した。試みに、標準条件を、 $h_0=150\text{mm}$ 、 $L_0=18h=2700\text{mm}$ 、 $S_0=6h=900\text{mm}$ とし、 L 、 S 、 h の条件をいくつか与えたときの、(5)~(7)式による kf_2 を計算すると表2.1.4.3のようになる。この結果から見ると今回行った実験条件である3等分点荷重では、調整方法による差は数%程度以内であるが、中央集中荷重では、若干異なった傾向を示すことが分かる。

表2.1.4.3 曲げ強さ調整係数の試算

荷重方式	L(mm)	S(mm)	h(mm)	ISO-(5)式	ASTM-(6)式	実験式-(7)式
中央集中 (L=16h)	1440	0	90	0.654	0.790	0.766
	2400	0	150	0.803	0.984	0.989
	3360	0	210	0.918	1.137	1.171
	4800	0	300	1.059	1.325	1.399
3等分点 (L=18h)	1620	540	90	0.815	0.803	0.775
	2700	900	150	1.000	1.000	1.000
	3780	1260	210	1.144	1.156	1.183
	5400	1800	300	1.320	1.347	1.414

2.1.4.4 データの調整結果

以上の(5)~(7)式にしたがって調整された f_b をそれぞれ、 f_b-1 、 f_b-2 、 f_b-3 と標記する。また、データ調整のための標準条件は、 $MC=15\%$ 、材せいおよび载荷条件は、ISO にならひ、 $h_0=150\text{mm}$ 、 $L_0=18h=2700\text{mm}$ 、 $a_0=S_0=6h=900\text{mm}$ とした。

1)曲げヤング係数

2.1.4.3に示した調整方法によるスギ材の曲げヤング係数の調整結果を図2.1.4.1~2に示す。ここでは、MCに関しては測定範囲の広い、岩手、長野、静岡、福岡各県の計649、 h/L に関しては同様に測定範囲の広い静岡の279の各データを用いた。

結果から見て、調整後の E_0 は、MC、 h/L による影響は無視できる程度となり、いずれ

の調整係数とも実用的には妥当性の高いものであることが分かる。

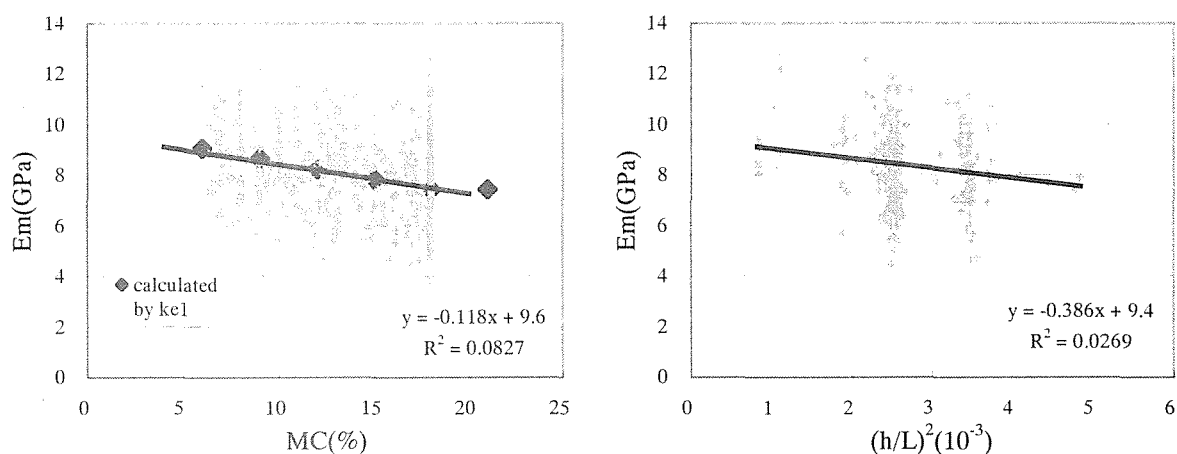


図2.1.1.1 EmとMCおよび荷重条件との関係

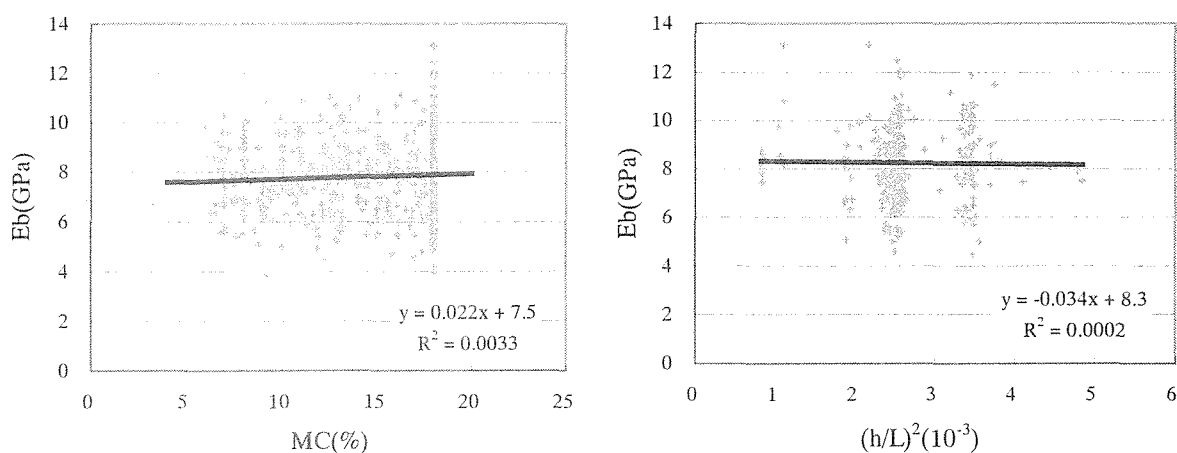


図2.1.1.2 EbとMCおよび荷重条件との関係

2) 曲げ強さ

曲げ強さに対してもスギ材について行った。ここでは、実験条件における曲げ強さ (f_m) を、含水率のみで調整し、ついで材せい、荷重条件（ただし、材幅の効果は無視）による調整係数を検討する、という2段階で検討した。すなわち、

$$f_{m-15} = k_{f1} \cdot f_m$$

$$f_b = k_{f2} \cdot f_{m-15}$$

ここで、 f_{m-15} ：含水率15%時の調整曲げ強さ

このときの対象データは、曲げヤング係数の影響を無視できるようにするため、 E_b によって機械等級区分したE70 ($6 \leq E_b < 8$) 相当材、計344データのみを用いた。

図2.1.4.3に示した結果では、MCに関する調整係数 k_{f1} は概ね妥当な方法と考えられる。また、図2.1.4.4～5における「V/V0」とは、 $\{h(S+0.2L)\} / \{h_0(S_0+0.2L_0)\}$ を意味している。 k_{f2} に関しては(5)～(7)のいずれの方法を採用しても、実用的は問題がないものと考えられるが、表2.1.4.3でも分かるように、(6)式と(7)式の方法はかなりよく一致している。そこで、以下、(7)式による f_{b-3} を基準に解析を進めることとする。

測定データを標準化した結果を付表2.1および樹種ごとの集計結果を表2.1.4.4に一覧する。

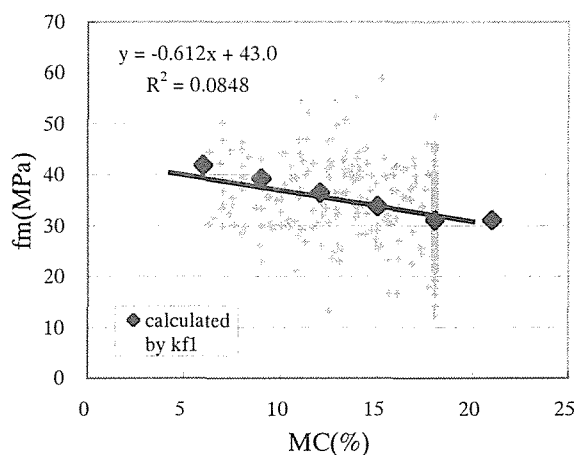


図2.1.1.3 fmとMCの関係

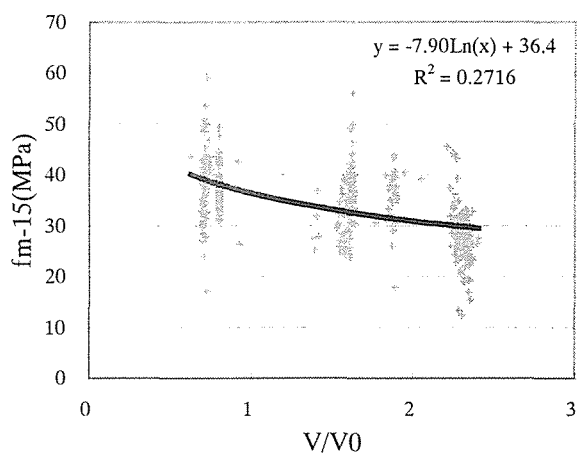


図2.1.1.4 fm-15とV/V0の関係

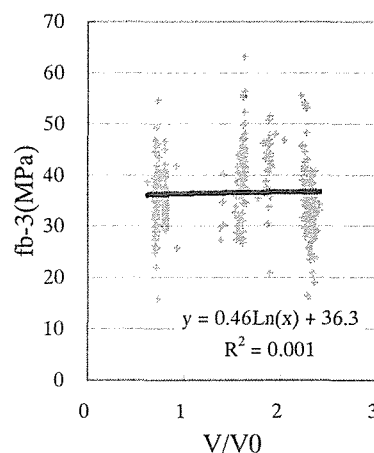
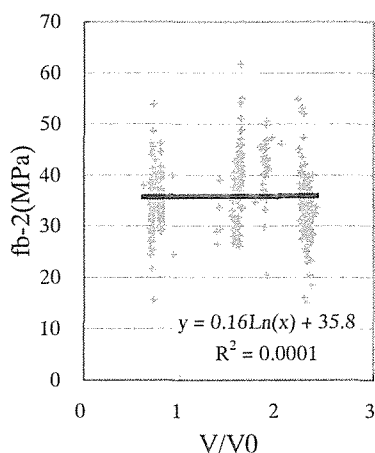
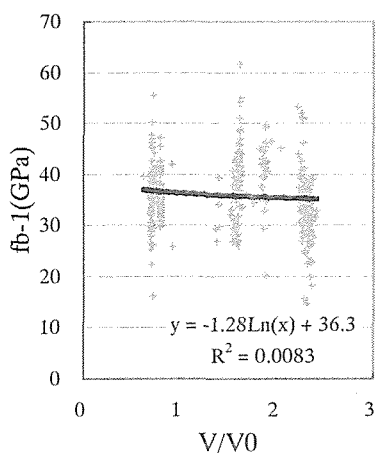


図2.1.1.5 fbとV/V0の関係

表2.1.4.4 測定結果の集計表

区分		R15 (g/cm ³)	ARW (mm)	MC (%)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G (GPa)	E/G	Eb (GPa)	fp (MPa)	Fm (Mpa)	fp/fm	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	n	749	748	749	600	749	749	749	749	589	749	589	749	749	749
	Mean	0.406	5.0	19.7	7.68	7.90	0.66	12.1	7.87	27.6	36.7	0.71	38.9	38.7	39.5
	sd	0.053	1.2	11.5	1.52	1.50	0.11	2.2	1.44	6.5	9.3	0.13	8.8	8.8	8.9
カラマツ	n	235	235	235	0	235	235	235	235	235	235	0	235	235	235
	Mean	0.505	4.7	13.8	—	10.11	0.88	11.3	9.76	40.0	35.8	—	32.8	31.7	32.2
	sd	0.039	1.0	1.4	—	1.53	0.08	1.6	1.56	8.8	14.0	—	13.8	13.4	13.6
ヒノキ	n	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102
	Mean	0.545	2.3	14.3	13.07	11.68	0.96	12.0	11.33	43.5	56.7	0.78	51.7	50.1	50.8
	Sd	0.029	0.4	0.7	1.13	1.08	0.06	1.0	1.01	8.6	12.4	0.12	11.1	10.8	10.9

2.1.5 各測定値間の相互関係

2.1.5.1 曲げ強さ (fb) の予測因子

各測定値間の相互関係を県別、樹種別の単相関係数表（表2.1.5.1）かたちで示した。また、fb（ここではfb-3を対象にしたが、fb-1でも同様の結果が得られている）を目的変数とし、R₁₅、VG（JASの目視等級）およびEbを説明変数とした線形重回帰分析を行った（なお、ARWはVGの評価因子に含まれているので除外）。この結果を表2.1.5.2に示す。

最終的な材料評価の基準となるfb-3についてみると、全樹種についてEbが最も有効な推定因子であることが確認され、表2.1.2.6に見られるように推定因子にEbが含まれている場合の標準誤差は、ない場合よりかなり小さくなることが分かる。また、現行のJAS等級には含まれていない密度（R₁₅）の影響も無視できない。密度の測定は重量と含水率の測定を併用する必要があるため、実用上、いくつかの問題解決が必要ではあるが、Ebの測定を省略するとすれば、目視

表2.1.5.1 単相関係数

スギ(岩手)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.284	1.000			
VG	-0.058	0.199	1.000		
Eb	0.473	-0.553	-0.279	1.000	
fb-3	0.328	-0.439	-0.400	0.656	1.000
スギ(静岡)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.105	1.000			
VG	0.115	0.100	1.000		
Eb	0.292	-0.273	-0.219	1.000	
fb-3	0.085	-0.103	-0.216	0.623	1.000
スギ(長野)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.100	1.000			
VG	0.143	0.082	1.000		
Eb	0.455	-0.247	-0.075	1.000	
fb-3	0.458	-0.285	-0.159	0.740	1.000
スギ(福岡)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.401	1.000			
VG	0.217	-0.025	1.000		
Eb	0.565	-0.446	0.072	1.000	
fb-3	0.399	-0.362	0.026	0.540	1.000
スギ(三重)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.142	1.000			
VG	0.298	-0.151	1.000		
Eb	0.627	-0.041	-0.011	1.000	
fb-3	0.512	0.007	-0.126	0.693	1.000
スギ(全体)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.230	1.000			
VG	0.232	-0.017	1.000		
Eb	0.438	-0.352	-0.089	1.000	
fb-3	0.392	-0.237	-0.126	0.651	1.000
カラマツ(長野)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.304	1.000			
VG	-0.032	0.176	1.000		
Eb	0.521	-0.413	-0.206	1.000	
fb-3	0.403	-0.372	-0.183	0.781	1.000
ヒノキ(三重)	R15	ARW	VG	Eb	fb-3
R15	1.000				
ARW	-0.226	1.000			
VG	0.377	-0.011	1.000		
Eb	0.483	-0.120	-0.171	1.000	
fb-3	0.178	-0.051	-0.365	0.651	1.000

表2.1.5.1 fb-3に対する回帰分析

スギ(全体)						
偏回帰 係数	R15	28.54	—	—	74.44	—
	VG	-1.17	-0.69	—	-2.32	-1.27
	Eb	3.52	4.01	4.05	—	—
	切片	2.46	9.27	7.61	13.79	41.98
重相関係数		0.671	0.654	0.651	0.451	0.126
標準誤差		6.643	6.766	6.789	7.987	8.871
カラマツ(長野)						
偏回帰 係数	R15	-0.93	—	—	100.68	—
	VG	-0.28	-0.28	—	-2.15	-2.32
	Eb	4.96	4.95	4.98	—	—
	切片	-7.67	-8.00	-9.05	-5.54	45.73
重相関係数		0.782	0.782	0.781	0.437	0.183
標準誤差		6.272	6.259	6.249	9.026	9.846
ヒノキ(三重)						
偏回帰 係数	R15	-11.48	—	—	136.97	—
	VG	-3.81	-4.04	—	-7.78	-5.64
	Eb	6.73	6.54	7.02	—	—
	切片	-5.48	-8.81	-28.71	3.98	71.01
重相関係数		0.701	0.700	0.651	0.499	0.365
標準誤差		7.946	7.910	8.366	9.602	10.263

法での精度を確保するためにはこの測定が欠かせないようである。

しかし、いずれにしろ、何らかの方法でヤング係数を測定する方が、有効であることには変わりはない。

2.1.5.2 丸太の動的ヤング係数(Efr-log)による予測の可能性

既往の報告で丸太および製材の各種ヤング係数の関係をまとめると、相関係数は概ね0.8以上であった。

一例として、丸太の動的ヤング係数(Efr-log)と製材のEbとfb-3の関係を図2.1.5.1に示す。ここでは、製材寸法をhを基準に分類して示してみたが、Ebの場合、 $h < 150$ (すべて10.5~12cm角材)の区分では、ヒノキとスギはほぼ同一の回帰式 ($y = 0.85x + 0.5$) で予測可能と思われる。しかし、幅がほぼ一定のままhのみが大きい $h \geq 150$ の区分ではこれらと若干異なった傾向を示す。これは、製材高さ方向の外層部にヤング係数の大きい成熟材が配置されるため、丸太の平均的ヤング係数を示すEfr-logより高めの値を示しているものと考えられる。しかし、いずれにしろ、Ebに関しては相関係数は0.7~0.95とかなり高い。

一方、fb-3については相関係数は0.5前後で、実用的には十分な値と思われる。

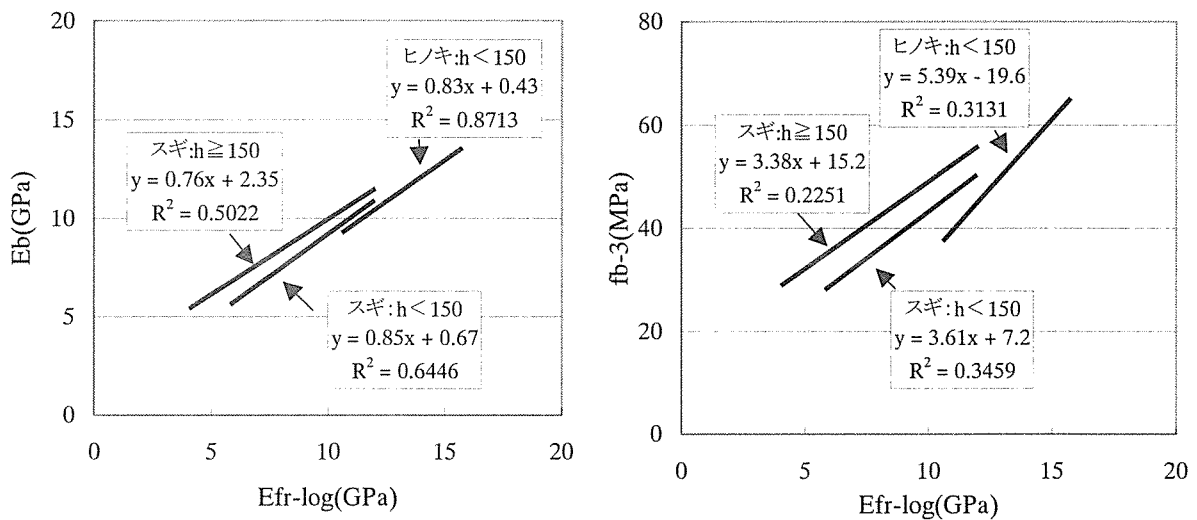


図2.1.1.6 Efr-logとEbおよびfb-3の関係

2.1.6 等級区分結果と基準材料強度の試算

2.1.6.1 JASによる目視および機械等級区分の結果

JASによる目視および機械等級区分の結果を表2.1.6.1に一覧した。表では、材のせい $h = 150$ を基準に $h < 150$ をH1、 $h \geq 150$ をH2として分類した上で、目視の甲種1~3級をVG1~VG3、等外をVG4、機械等級はEbを指標にとり、 $10^3 \text{kgf/cm}^2 = 0.1 \text{GPa}$ として換算して材を区分している。

表2.1.6.1 JAS等級区分の出現比率

スギH1							スギH2						
静岡	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)	岩手	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)
E30	0	0	0	0	0	0.0	E30	0	0	1	0	1	0.6
E50	0	0	0	0	0	0.0	E50	6	19	1	0	26	16.1
E70	0	2	0	0	2	15.4	E70	36	45	6	0	87	54.0
E90	4	3	2	0	9	69.2	E90	20	18	1	0	39	24.2
E110	1	0	0	0	1	7.7	E110	7	1	0	0	8	5.0
E130	1	0	0	0	1	7.7	E130	0	0	0	0	0	0.0
計	6	5	2	0	13		計	69	83	9	0	161	
比率(%)	46.2	38.5	15.4	0.0			比率(%)	42.9	51.6	5.6	0.0		
長野	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)	静岡	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)
E30	0	0	0	0	0	0.0	E30	0	0	0	0	0	0.0
E50	6	3	0	1	10	10.0	E50	0	15	1	0	16	6.0
E70	12	34	3	1	50	50.0	E70	50	53	5	1	109	41.0
E90	15	18	5	0	38	38.0	E90	60	44	2	1	107	40.2
E110	1	1	0	0	2	2.0	E110	19	10	1	1	31	11.7
E130	0	0	0	0	0	0.0	E130	3	0	0	0	3	1.1
計	34	56	8	2	100		計	132	122	9	3	266	
比率(%)	34.0	56.0	8.0	2.0			比率(%)	49.6	45.9	3.4	1.1		
福岡	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)	福岡	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)
E30	0	0	0	0	0	0.0	E30	0	1	0	0	1	2.0
E50	0	3	1	1	5	8.3	E50	0	4	5	0	9	18.4
E70	7	12	5	8	32	53.3	E70	1	8	13	1	23	46.9
E90	1	7	8	4	20	33.3	E90	1	6	5	2	14	28.6
E110	1	0	1	1	3	5.0	E110	0	1	1	0	2	4.1
E130	0	0	0	0	0	0.0	E130	0	0	0	0	0	0.0
計	9	22	15	14	60		計	2	20	24	3	49	
比率(%)	15.0	36.7	25.0	23.3			比率(%)	4.1	40.8	49.0	6.1		
三重	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)							
E30	0	0	0	0	0	0.0							
E50	0	1	0	1	2	2.0							
E70	0	11	16	14	41	41.0							
E90	0	9	26	15	50	50.0							
E110	1	2	1	3	7	7.0							
E130	0	0	0	0	0	0.0							
計	1	23	43	33	100								
比率(%)	1.0	23.0	43.0	33.0									
全体	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)	全体	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)
E30	0	0	0	0	0	0.0	E30	0	1	1	0	2	0.4
E50	6	7	1	3	17	6.2	E50	6	38	7	0	51	10.7
E70	19	59	24	23	125	45.8	E70	87	106	24	2	219	46.0
E90	20	37	41	19	117	42.9	E90	81	68	8	3	160	33.6
E110	4	3	2	4	13	4.8	E110	26	12	2	1	41	8.6
E130	1	0	0	0	1	0.4	E130	3	0	0	0	3	0.6
計	50	106	68	49	273		計	203	225	42	6	476	
比率(%)	18.3	38.8	24.9	17.9			比率(%)	42.6	47.3	8.8	1.3		
カラマツH1							ヒノキH1						
長野	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)	三重	VG1	VG2	VG3	VG4	計	比率(%)
E50	0	0	0	1	1	0.4	E50	0	0	0	0	0	0.0
E70	0	9	8	9	26	11.1	E70	0	0	0	0	0	0.0
E90	3	49	33	20	105	44.7	E90	0	0	0	11	11	10.8
E110	1	46	29	9	85	36.2	E110	1	4	15	40	60	58.8
E130	0	9	4	3	16	6.8	E130	1	3	8	19	31	30.4
E150	0	2	0	0	2	0.9	E150	0	0	0	0	0	0.0
計	4	115	74	42	235		計	2	7	23	70	102	
比率(%)	1.7	48.9	31.5	17.9			比率(%)	2.0	6.9	22.5	68.6		

カラマツとヒノキについてはデータが少ないため、スギのみについて考察すると、以下のようになる。

まず、目視等級に関しては、

①hの増加に伴い等級が高く判断される傾向がある。これは、等級格付けの大きな要因となる節（とくに材縁部）の評価は、節径比、すなわち節径と材せいの比率で行われているが、実際には絶対径が材せいにかかわらずほぼ一定であるためであろう。

②地域別の出現比率には大きな差はなく、H1のいわゆる正角材では約40%が2級で、等外材の出現比率も無視できない程度である。これに対してH2のいわゆる平角材では、大半が1～2級に相当する。

機械等級では、地域別の出現分布にやや差があるが、どの地域でもE70～E90があわせて80%以上を占める。したがって、E70～E90の範囲は6～10GPaになるから、スギの場合、少なくとも各材に保証できるEb値を表示することが急務と考える。

2.1.6.2 基準材料強度等の試算

スギ、カラマツおよびヒノキ材の曲げの等級別基準材料強度等を試算した。全結果は付表2.2に、その一部を表2.1.6.2に一覧した。なお、表中のE0.05、f0.05はベストフィットモデルによるときの E_b およびfbの5%下限値で、いずれも、計算ソフト「木材データ解析シートmini」を用いた。

これらの結果から以下のことがいえる。まず、目視区分による場合では、

①スギ、ヒノキではEbの等級間での差は認められない。一方カラマツでは等級の低下に伴って、緩やかに減少する傾向がある。Ebの変動係数はスギ、カラマツでは16～20%であるため、E0.05/Ebは0.75前後となる。また、ヒノキでは10%程度ときわめてばらつきが少ない。ただし、カラマツ、ヒノキでは産地が限定されているので、この結果のみから一般的な傾向と考えることはできない。

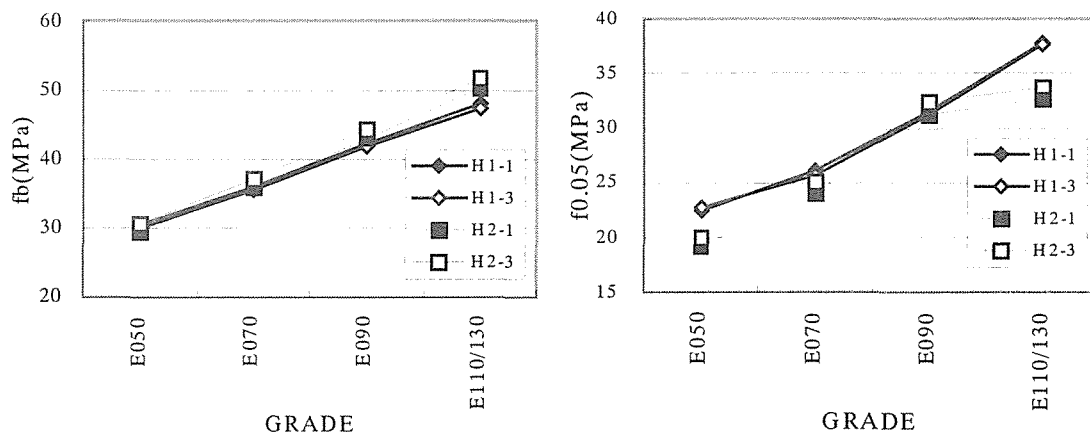


図 2.1.1.8 曲げ強さ調整法による fb、f0.05 の差

②スギ、カラマツではfbの等級間の明瞭な差は認めにくい。これに対し、ヒノキではかなり明瞭である。

また機械等級区分では、Ebは範囲が限定されているので表に示していない。fbに関しては、目視区分に比べてはるかに明瞭である。

つぎに、いわゆるbest-fitモデルについてみると、Ebでは14データ中、正規：6、対数正規：7、NON-PARA：

1、fb-1では26データ中、正規：8、対数正規：8、NON-PARA：9、fb-2では26データ中、正規：5、対数正規：12、NON-PARA：8、であったが、すべての分布データとも正規・対数正規の適合性が認められていた（2P・3Pのワイブル分布は一部不適）。したがって、限界状態設計法においては、Eb、fbとも対数正規分布をあてはめて計算することにはとくに問題はないように思われる。

fb計算法による差をスギについてみると、図2.1.6.2のようになる。fb（平均値、図左）は同一E等級で比較すると、fb-1が材せいにかかわりなく、ほぼ同様の値を示すが、f0.05ではfb-3で材せいの影響がより少なくなる傾向が認められる。しかしその差は実用的には著しいものではない。

表2.1.6.2 等級別基準材料強度等の試算

区分	n	Eb(GPa)		fb-1(MPa)		fb-3(MPa)			
		Mean	E0.05	Mean	f0.05	Mean	f0.05		
スギ	H1	POOLED	273	7.941	5.70	38.97	26.8	38.42	26.4
		VG1	50	8.088	5.53	39.27	26.2	38.85	25.9
		VG2	106	7.642	5.63	37.92	26.6	37.42	26.3
		VG3	68	8.231	6.15	40.19	26.0	39.55	25.7
		VG4	49	8.034	5.52	39.24	25.5	38.58	25.1
		E050	17	-	-	30.38	22.5	29.98	22.8
		E070	125	-	-	35.98	26.2	35.47	25.8
		E090	117	-	-	42.31	31.6	41.71	31.2
		E110/130	14	-	-	48.13	37.9	47.48	37.7
	H2	POOLED	476	7.837	5.52	38.84	24.5	40.01	25.5
		VG1	203	8.342	6.11	41.45	28.2	42.75	29.3
		VG2	225	7.466	5.19	36.87	22.5	38.07	23.4
		VG3	42	7.318	4.74	36.20	18.6	37.58	19.3
		VG4	6	8.298	5.32	42.69	27.3	44.13	28.4
		E050	51	-	-	29.44	19.2	30.53	20.0
		E070	219	-	-	35.87	24.1	37.07	25.1
		E090	160	-	-	42.99	31.3	44.31	32.4
		E110/130	44	-	-	50.24	32.7	51.75	33.8
	全体	POOLED	749	7.875	5.46	38.89	24.1	37.49	26.1
		VG1	253	8.292	6.02	41.02	28.2	41.98	28.9
		VG2	331	7.523	5.21	37.21	22.2	37.86	24.5
		VG3	110	7.882	5.30	38.67	23.6	38.80	23.8
		VG4	55	8.065	5.60	39.62	25.8	39.18	25.4
		E050	68	-	-	29.68	18.5	30.40	19.3
		E070	344	-	-	35.91	24.2	36.49	25.6
		E090	277	-	-	42.70	31.7	43.22	32.1
E110/130		58	-	-	49.73	33.9	50.72	33.7	
カラマツ	H1	POOLED	235	9.761	7.26	40.29	23.0	39.58	22.6
		VG1	4	9.314	7.61	36.53	23.6	35.89	23.2
		VG2	115	10.079	7.69	42.56	25.9	41.81	25.4
		VG3	74	9.649	7.02	38.48	21.8	37.80	21.5
		VG4	42	9.130	5.84	37.63	21.6	36.97	21.5
		E070	26	-	-	27.57	20.1	27.08	19.7
		E090	105	-	-	36.62	25.7	35.98	25.3
		E110	85	-	-	45.71	29.9	44.91	29.4
		E130/150	18	-	-	55.58	40.8	54.60	40.1
ヒノキ	H1	POOLED	102	11.326	9.54	51.75	30.3	50.83	29.8
		VG1	2	11.480	-	66.78	-	65.59	-
		VG2	7	11.544	9.02	59.53	45.1	58.47	44.3
		VG3	23	11.696	10.25	55.79	38.4	54.80	37.7
		VG4	70	11.179	9.41	49.21	29.2	48.34	28.7
		E090	11	9.638	-	37.09	23.1	36.44	23.0
		E110	60	11.023	-	50.02	32.1	49.13	31.5
		E130	31	12.513	-	60.29	47.3	59.23	46.4

2.1.6.3 設計用基準材料強度 (F) の試算

以上より設計用基準材料強度 (F) は調整式にしたがえば、材せいhのみならず、荷重条件によっても変化することになる。ここでは、以下の方法によって、いくつかのhおよびスパン条件を与えたときのF値を試算した。

①f0.05をfb-3、対数正規分布の条件から求める。

②条件は、hを120、150、180、240、300mm、Lを3600、2700、1800mmの3等分点荷重とする。

③以上より、 $F=f0.05 \times [(150 \times 1440) / \{h \times (8L / 15)\}]^{0.25}$ 、となる。

結果を表2.1.6.3に示す。表には、建設省通達による針葉樹JAS構造用製材の材料強度(F0)をあわせて示した。このF0値は、概ねh=105~120mm、L=2700mm、3等分点荷重条件程度の実験データから誘導されたものであるが、この条件時の値と比較してみると、概ね同等の傾向を示していることが分かる。しかし、実験データをもとにした若干の調整が必要であろう。

表2.1.6.3 hおよびスパン条件によるF値の試算

区分	F0	L=3600mm、3等分点荷重					L=2700mm、3等分点荷重					L=1800mm、3等分点荷重					
		h=120	h=150	h=180	h=240	h=300	h=120	h=150	h=180	h=240	h=300	h=120	h=150	h=180	h=240	h=300	
スギ	POOLED	-	25.0	23.7	22.6	21.1	19.9	26.9	25.5	24.3	22.6	21.4	29.8	28.2	26.9	25.0	23.7
	VG1	27.0	28.5	26.9	25.7	23.9	22.6	30.6	28.9	27.6	25.7	24.3	33.8	32.0	30.6	28.5	26.9
	VG2	25.5	24.1	22.8	21.8	20.3	19.2	25.9	24.5	23.4	21.8	20.6	28.7	27.1	25.9	24.1	22.8
	VG3	22.5	24.7	23.4	22.3	20.8	19.7	26.6	25.1	24.0	22.3	21.1	29.4	27.8	26.6	24.7	23.4
	VG4	-	25.6	24.2	23.1	21.5	20.3	27.5	26.0	24.8	23.1	21.8	30.4	28.8	27.5	25.6	24.2
	E050	22.5	20.5	19.4	18.5	17.2	16.3	22.0	20.8	19.9	18.5	17.5	24.3	23.0	22.0	20.5	19.4
	E070	28.5	25.2	23.8	22.8	21.2	20.0	27.1	25.6	24.5	22.8	21.5	30.0	28.3	27.1	25.2	23.8
	E090	34.5	31.6	29.9	28.5	26.6	25.1	33.9	32.1	30.7	28.5	27.0	37.6	35.5	33.9	31.6	29.9
	E110/130	40.5	33.2	31.4	30.0	27.9	26.4	35.6	33.7	32.2	30.0	28.3	39.4	37.3	35.6	33.2	31.4
カラマツ	POOLED	-	25.7	24.3	23.2	21.6	20.4	27.6	26.1	24.9	23.2	21.9	30.5	28.9	27.6	25.7	24.3
	VG1	28.5	25.1	23.8	22.7	21.1	20.0	27.0	25.5	24.4	22.7	21.5	29.9	28.3	27.0	25.1	23.8
	VG2	25.5	26.0	24.6	23.5	21.8	20.7	27.9	26.4	25.2	23.5	22.2	30.9	29.2	27.9	26.0	24.6
	VG3	22.5	22.5	21.3	20.3	18.9	17.9	24.2	22.9	21.8	20.3	19.2	26.8	25.3	24.2	22.5	21.3
	VG4	-	21.1	20.0	19.1	17.8	16.8	22.7	21.5	20.5	19.1	18.1	25.1	23.8	22.7	21.1	20.0
	E070	21.0	19.4	18.3	17.5	16.3	15.4	20.8	19.7	18.8	17.5	16.6	23.1	21.8	20.8	19.4	18.3
	E090	30.0	24.9	23.5	22.5	20.9	19.8	26.7	25.3	24.2	22.5	21.3	29.6	28.0	26.7	24.9	23.5
	E110	39.0	31.5	29.8	28.4	26.5	25.0	33.8	32.0	30.6	28.4	26.9	37.4	35.4	33.8	31.5	29.8
	E130/150	46.5	40.3	38.1	36.4	33.9	32.1	43.3	41.0	39.1	36.4	34.4	47.9	45.3	43.3	40.3	38.1
ヒノキ	POOLED	-	24.1	22.8	21.7	20.2	19.1	25.9	24.5	23.4	21.7	20.6	28.6	27.1	25.9	24.1	22.8
	VG1	37.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VG2	34.5	43.6	41.2	39.4	36.7	34.7	46.9	44.3	42.3	39.4	37.3	51.9	49.0	46.9	43.6	41.2
	VG3	28.5	37.4	35.4	33.8	31.5	29.7	40.2	38.0	36.3	33.8	32.0	44.5	42.1	40.2	37.4	35.4
	VG4	-	30.3	28.7	27.4	25.5	24.1	32.6	30.8	29.5	27.4	25.9	36.1	34.1	32.6	30.3	28.7
	E090	30.0	22.6	21.4	20.4	19.0	18.0	24.3	23.0	22.0	20.4	19.3	26.9	25.5	24.3	22.6	21.4
	E110	39.0	33.2	31.4	30.0	27.9	26.4	35.6	33.7	32.2	30.0	28.4	39.5	37.3	35.6	33.2	31.4
	E130	46.5	45.7	43.2	41.3	38.4	36.3	49.1	46.4	44.4	41.3	39.1	54.4	51.4	49.1	45.7	43.2

2.1.7 今回の実験で得られたその他の情報

今回の実験で得られたその他の情報を要約する。詳細は、既往の報告書を参照されたい。

2.1.7.1 人工乾燥材

いくつかの県では人工乾燥材に関する調査が行われた。

静岡県ではスギ材の同一ロットに関し、人工乾燥材（スケジュールは標準：50→69℃、高温：85→95℃、超高温：93→121℃、の3タイプ）と天然乾燥材の比較が行われている。その結果のうち、強度性能に関するものでは、「人工乾燥では初期蒸煮を行ったため、標準や高温スケジュールでは天然乾燥のものより割れの発生が少なかった。しかし、木口や材面の割れの量とMOEおよびMORとは相関は認められず、木口や材面割れがMOEやMORの低減に及ぼす影響は極めて少ないと考えられた。一部の試験体に、木口や材面の割れ大きなものは割れ発生箇所よりせん断力によって破壊するものがみられた。」とまとめられている。

長野県ではカラマツ材に関し、人工乾燥材（スケジュールは100℃以上の5条件）と天然乾燥材（別ロット）の比較が行われている。人工乾燥材のスケジュールによる強度の差は多くはないようであるが、幾分過乾燥気味であり、また天然乾燥に比べて強度が低い。

以上の結果については、データが限られているので、ここでの言及はさける。

2.1.7.2 スギの採材部位

福岡県ではスギの一番玉と二番玉についての比較試験が行われた。その結果、「一番玉よりも二番玉の方が E_{fr} 、 EI 、 σ_b のいずれも高い値を示した。また、バラツキも小さかった。」とまとめられている。このことは、これまでもいくつか同様の報告がある。

2. 2 縦圧縮強さ

2.2.1 試験体および試験方法

試験体はエゾマツ正角（北海道）、トドマツ正角（北海道）、カラマツ正角（長野県）、スギ正角（長野県）を用いた。試験体の断面寸法は100mm×100mm、105mm×105mm、120mm×120mmのいずれも正角であった。材長は横断面の一辺の約5～6倍、すなわち細長比（ λ ）を約17～20とした短柱条件下の範囲で縦圧縮試験を実施した。試験体は縦圧縮試験前に縦振動法によるヤング係数（Efr）、あるいは曲げヤング係数（Eb）の測定を行った。

なお、カラマツ正角は、縦圧縮強さに及ぼす乾燥条件、生育条件への影響を検討するために、試験体は産地別に採取され、あるいは異なる乾燥条件下で含水率の調整が実施されているが、これらの検討事項に関わる考察は、本事業の過去の報告書に記載されているので、それらの報告書を参照されたい。

2.2.2 試験結果

縦圧縮試験結果の概要を、樹種ごとに表1.2-1に、縦圧縮強さ（ σ_c ）と、密度（ ρ ）、曲げヤング係数（Eb）、および縦振動法によるヤング係数（Efr）との関係を樹種ごとに、図1-2-1～図1-2-8に示した。ここで、ヤング係数および縦圧縮強さは実験で得られた実測値であり、含水率、試験体の寸法、試験条件による調整を行っていない。

縦圧縮強さと密度との関係を見ると、スギのみについて高い相関関係が認められる。縦圧縮強さとヤング係数との関係を見ると、エゾマツ、カラマツ、スギについては高い相関関係が認められるが、トドマツの相関係数はかなり低かった。トドマツの縦圧縮強さは他の樹種に比べ低い値ではあったが、「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」の機械等級区分材としてみた場合、それに対応して設定されている許容応力度の3倍の値、すなわち材料強度をほぼ満足していた。

表1-2-1 縦圧縮試験結果の概要

		b	h	ρ	MC	ARW	Efr	Eb	σ_c
		(mm)	(mm)	(kg/m ³)	(%)	(mm)	(GPa)	(GPa)	(MPa)
エゾマツ 断面寸法： 100mm×100mm (北海道)	試験体数	60	60	60	60			60	60
	平均値	100.12	99.98	430	16.2			9.44	26.2
	最大値	101.35	101.06	476	21.9			12.16	36.4
	最小値	97.18	98.38	368	13.5			6.51	16.0
	変動係数(%)	0.9	0.5	5.0	11.3			13.9	18.2
トドマツ正角 断面寸法： 100mm×100mm (北海道)	試験体数	60	60	60	60			60	60
	平均値	100	100	398	17.1			8.01	20.0
	最大値			458	24.9			10.44	25.6
	最小値			346	13.7			6.14	14.3
	変動係数(%)			6.4	11.4			13.0	14.3
カラマツ 断面寸法： 105mm×105mm (長野県)	試験体数	296	296	437	141		437		433
	平均値	105.20	105.32	486	10.6		10.78		37.1
	最大値	106.62	107.66	632	11.9		15.53		56.7
	最小値	102.71	104.04	389	8.6		5.53		23.4
	変動係数(%)	0.4	0.5	8.1	6.5		14.9		13.9
スギ 断面寸法： 120mm×120mm (長野県)	試験体数	97	97	97		97	97		97
	平均値	121.40	121.12	385		5.11	7.78		30.7
	最大値	125.11	126.13	451		7.15	11.90		43.1
	最小値	115.08	115.09	322		3.43	4.05		21.8
	変動係数(%)	1.2	1.3	7.9		16.3	20.3		13.1

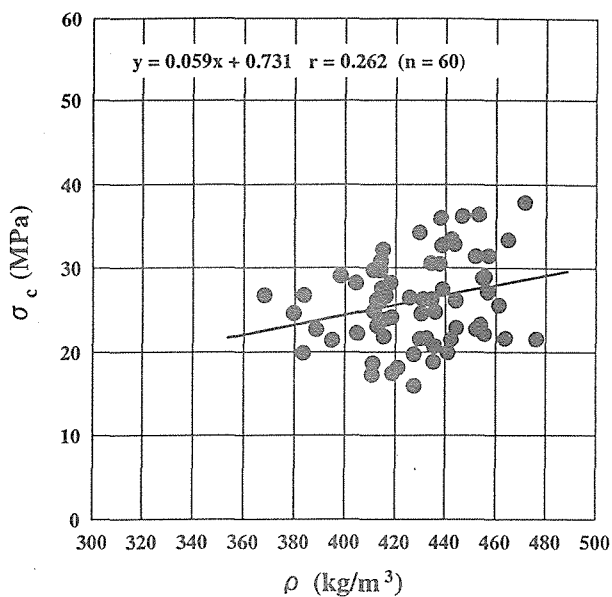


図 1-2-1 密度 (ρ) と縦圧縮強さ (σ_c) との関係 (エゾマツ)

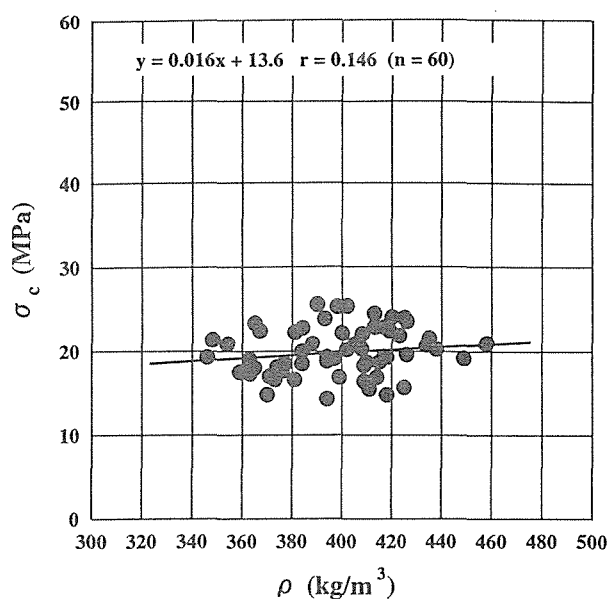


図 1-2-2 密度 (ρ) と縦圧縮強さ (σ_c) との関係 (トドマツ)

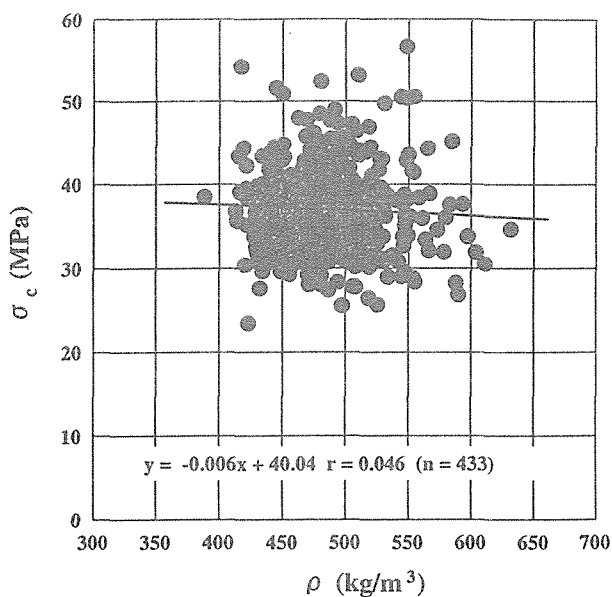


図 1-2-3 密度 (ρ) と縦圧縮強さ (σ_c) との関係 (カラマツ)

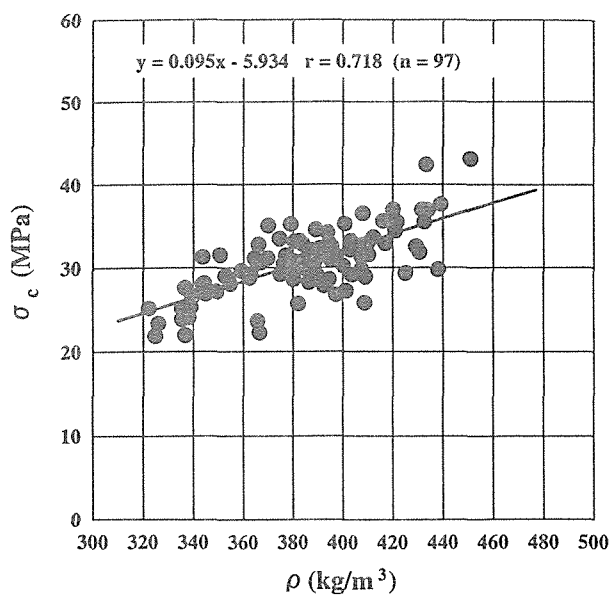


図 1-2-4 密度 (ρ) と縦圧縮強さ (σ_c) との関係 (スギ)

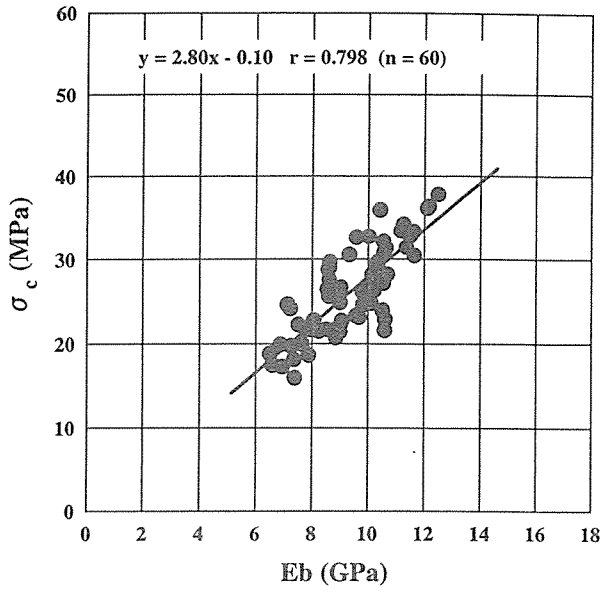


図 1-2-5 ヤング係数(E_b)と縦圧縮強さ(σ_c)との関係(エゾマツ)

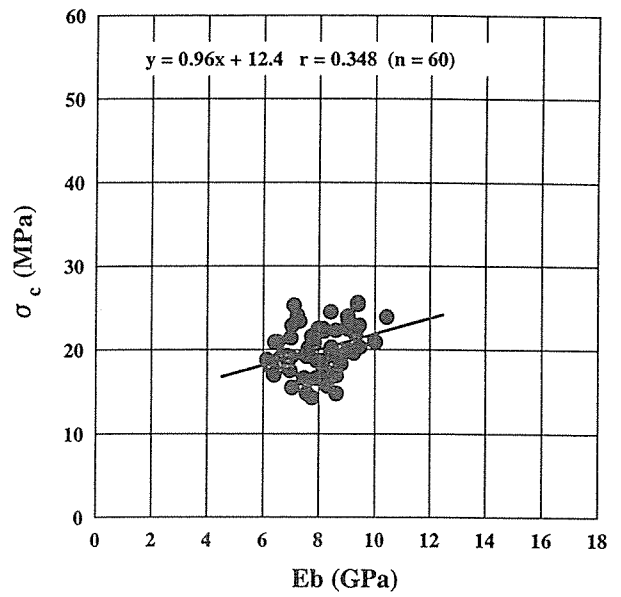


図 1-2-6 ヤング係数(E_b)と縦圧縮強さ(σ_c)との関係(トドマツ)

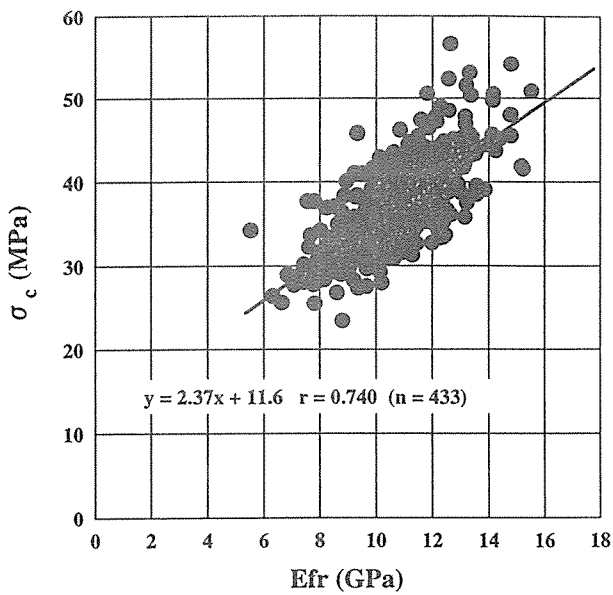


図 1-2-7 ヤング係数(E_{fr})と縦圧縮強さ(σ_c)との関係(カラマツ)

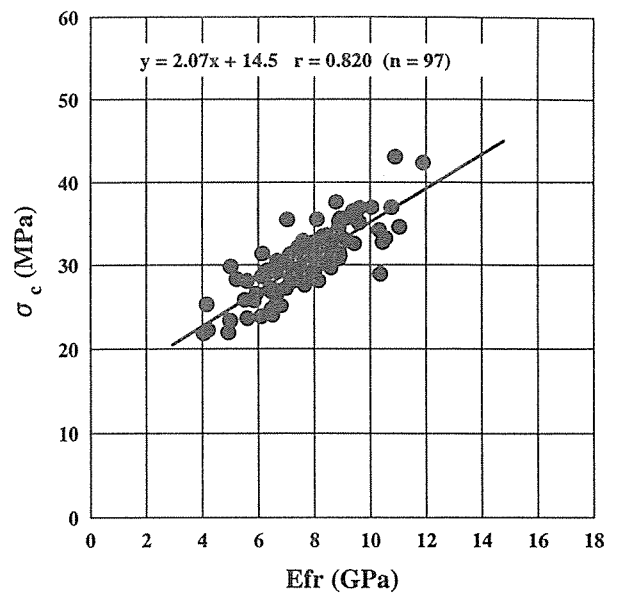


図 1-2-8 ヤング係数(E_{fr})と縦圧縮強さ(σ_c)との関係(スギ)

2. 3 むり込み強さ（部分圧縮強さ）

むり込み試験（部分圧縮試験）は、試験実施当時の ISO 案（STRUCTURAL TIMBER-TESTING, SAMPLING, AND EVALUATION OF CHARACTERISTIC VALUES OF STRESS-GRADED TIMBER, 1997）に準拠した方法で実施された。

2.3.1 試験体

試験体はトドマツ正角（北海道）、トドマツ平角（北海道）、スギ正角（岩手県、静岡県、三重県）、スギ平角（岩手県、静岡県、三重県）、カラマツ正角（長野県）、ヒノキ正角（静岡県）を用いて実施した。試験体の長さは材せいの 6 倍とし、試験体の加圧される 2 面は完全に平行、かつ平滑で、荷重方向に垂直であることとした。

2.3.2 試験方法

図 1.3-1 に示したように、試験体の材端の上下に幅 90mm の鋼製加圧板を設置し、材料試験機により加圧板に単調増加荷重を負荷した。荷重とともに、加圧板間の変位量を変位計によって測定し、図 1.3-2 に示したような、荷重－変位曲線を求め、これらの曲線から、以下の式によって、むり込み強さ ($f_{c,90}$)、むり込み降伏強さ ($f_{c,90,y}$)、むり込み剛性 ($K_{c,90}$) を算出した。

むり込み強さとむり込み降伏強さ

$$f_{c,90} = F_{\max} / (b \times l) \text{ (MPa)}$$

$$f_{c,90,y} = F_y / (b \times l) \text{ (MPa)}$$

ここで、 F_{\max} ：試験体が破壊したときの荷重 F_{ult} と試験体材せいの 10% の変形が生じたときの荷重 $F_{0.1h}$ の小さいときの荷重

F_y ：荷重－変形曲線と、この直線部分を延長し、さらに変形の増加方向に 1mm ずらした直線との交点における荷重

b ：試験体の幅

l ：加圧板の長さ (=90mm)

むり込み剛性

$$K_{c,90} = (\Delta F / \Delta w) \times (1 / (b \times l))$$

ここで、 $\Delta F / \Delta w$ ：荷重－変形曲線の直線部分における荷重と変形の比（図）

b ：試験体の幅

l ：加圧板の長さ (=90mm)

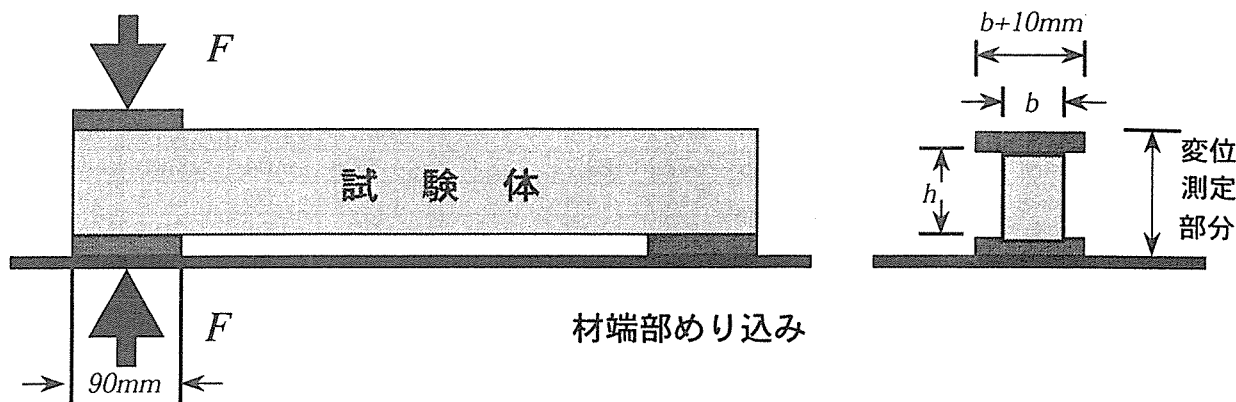


図 1-3-1 めり込み試験方法

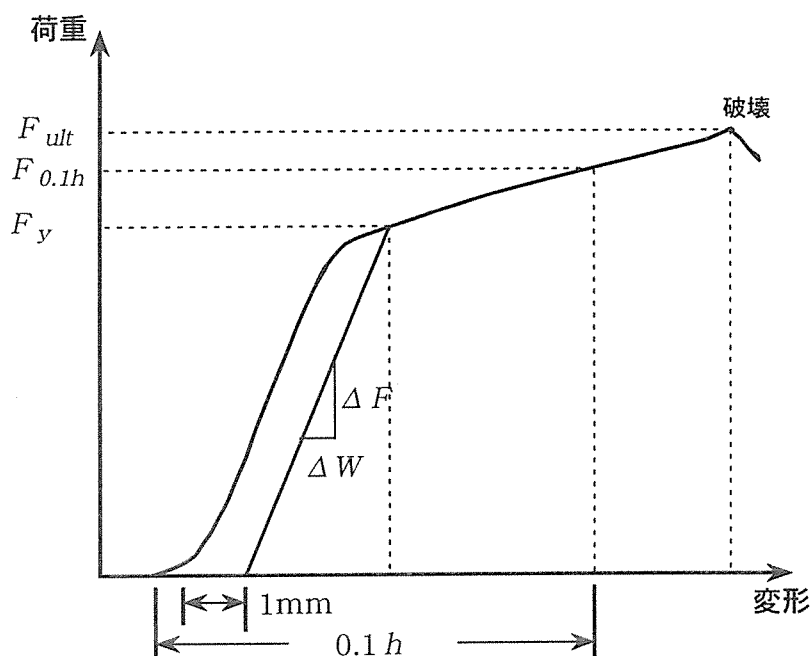


図 1-3-2 めり込み特性値の決定方法

2.3.3 試験結果

めり込み試験結果の概要を、道県・樹種・断面寸法ごとに表 1.3-1 に示した。

めり込み強さ ($f_{c,90}$)、めり込み降伏強さ ($f_{c,90,y}$)、めり込み剛性 ($K_{c,90}$) を樹種別にみると、すべてのめり込み性能においてヒノキが高い値をもつことが認められる。しかし、その他の樹種であるトドマツ、スギ、カラマツについては、めり込み性能の明瞭な違いは認められない。断面寸法によるめり込み性能値の違いをそれぞれの樹種別にみると、めり込み強さ、およびめり込み降伏強さは、トドマツでは明瞭な傾向は認められないが、スギについては、断面寸法が大きくなるのに伴い、小さくなる傾向が認められる。特に、めり込み剛性は、平角は正角の約 1/2 程度の値に小さくなる傾向が、トドマツとスギの両樹種で認められる。しかし、めり込み強さは他の曲げ・縦圧縮・縦引張り強さとは異なり、節の存在により増大することが予想されるため、加圧部分、加圧板の端部付近の欠点がめり込み強さを増加させないように試験体を採取することが必要である。

表 1-3-1 めり込み試験結果の概要

		b (mm)	h (mm)	ρ (kg/m ³)	MC (%)	ARW (mm)	Efr (GPa)	$f_{c,90}$ (MPa)	$f_{c,90,T}$ (MPa)	$K_{c,90}$ (N/mm ²)
トドマツ正角 断面寸法： 105mm×105mm (北海道)	試験体数	60	60	60	60		60	60	60	60
	平均値	98.96	99.10	402	17.5		9.40	4.12	3.13	1.91
	最大値	100.26	100.04	447	28.7		11.53	6.04	5.30	4.35
	最小値	98.02	98.14	346	14.4		7.43	3.00	2.13	0.84
	変動係数(%)	0.6	2.6	7.0	13.6		11.2	17.6	20.5	41.7
トドマツ平角 断面寸法： 105mm×240mm (北海道)	試験体数	60	60	60	60		60	60	60	60
	平均値	99.50	233.03	397	21.9		8.40	4.97	3.08	0.90
	最大値	99.94	234.00	453	32.8		10.90	9.26	5.20	1.73
	最小値	99.02	229.40	345	14.9		6.14	3.02	1.72	0.39
	変動係数(%)	0.2	0.3	7.4	19.7		14.1	23.6	22.0	37.6
スギ正角 断面寸法： 105mm×105mm (岩手県)	試験体数	60	60	60	60		60	60	60	60
	平均値	104.85	104.65	382	11.7		7.24	5.85	4.23	2.44
	最大値	111.62	106.07	454	14.8		10.19	8.26	6.46	4.22
	最小値	99.15	99.76	317	10.0		4.53	3.91	2.42	1.52
	変動係数(%)	1.7	1.5	8.2	10.3		18.7	15.3	19.9	19.8
スギ平角 断面寸法： 105mm×240mm (岩手県)	試験体数	60	60	60	60		60	60	60	60
	平均値	104.70	239.89	388	14.1		8.65	6.28	3.91	1.47
	最大値	106.93	241.10	462	26.2		11.19	8.64	5.49	2.08
	最小値	97.74	231.40	316	8.9		4.92	4.42	2.84	0.79
	変動係数(%)	2.2	0.7	7.6	31.9		14.1	14.7	15.0	21.4
カラマツ正角 断面寸法： 105mm×105mm (長野県)	試験体数	76	76	76	76	76	76	76	76	76
	平均値	105	105	509	12.2	3.75	12.44	5.73	4.44	3.64
	最大値			657	13.7	5.30	18.48	9.49	6.65	6.62
	最小値			402	9.1	2.35	7.18	4.11	3.30	0.99
	変動係数(%)			9.9	9.8	18.6	17.2	15.9	17.4	28.4
スギ正角 断面寸法： 105mm×105mm (静岡県)	試験体数	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	平均値	104.72	104.80	405	16.3	5.60	7.85	5.96	3.20	2.37
	最大値	105.38	105.52	481	29.6	7.02	9.52	7.13	4.55	4.14
	最小値	103.01	103.30	323	13.4	4.64	5.97	3.83	2.02	0.95
	変動係数(%)	0.6	0.3	7.3	21.3	10.4	11.8	13.5	19.2	28.9
スギ平角 断面寸法： 105mm×150mm (静岡県)	試験体数	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	平均値	103.62	148.66	388	15.1	5.45	7.68	5.90	3.59	2.08
	最大値	106.00	150.00	496	16.8	7.30	9.44	7.81	5.08	2.92
	最小値	102.00	147.00	325	14.2	4.29	6.53	4.19	2.58	1.55
	変動係数(%)	0.8	0.6	10.3	3.8	12.8	9.2	14.3	17.2	19.4
スギ平角 断面寸法： 105mm×240mm (静岡県)	試験体数	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	平均値	103.80	237.31	405	15.2	5.43	9.32	5.65	3.49	1.87
	最大値	105.00	240.00	504	17.5	7.30	12.38	7.37	4.49	2.46
	最小値	102.00	235.00	332	11.5	4.29	5.38	4.22	2.07	1.23
	変動係数(%)	0.8	0.6	9.5	9.3	12.6	15.8	14.2	19.2	20.8
ヒノキ正角 断面寸法： 105mm×105mm (静岡県)	試験体数	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	平均値	101.59	101.72	514	16.5	3.35	12.23	9.00	7.40	5.52
	最大値	102.15	102.00	575	29.7	4.53	15.03	12.00	9.40	8.18
	最小値	99.85	101.20	443	13.4	2.04	8.23	7.00	5.20	3.57
	変動係数(%)	0.5	0.2	6.7	22.7	21.8	12.6	15.0	14.7	20.0
スギ正角 断面寸法： 105mm×105mm (三重県)	試験体数	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	平均値	105.91	105.48	417	12.5	4.33	8.14	4.96	3.81	1.89
	最大値	108.00	107.83	490	18.8	8.50	10.89	6.51	5.24	2.68
	最小値	102.83	102.83	345	10.8	1.42	5.02	3.53	2.61	0.96
	変動係数(%)	1.0	1.1	8.1	11.3	35.1	19.4	14.3	17.1	19.7
スギ平角 断面寸法： 105mm×240mm (三重県)	試験体数	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	平均値	106.49	244.58	463	26.8	3.63	8.41	4.41	2.81	0.96
	最大値	110.67	247.67	635	68.6	6.74	11.09	6.21	4.53	1.59
	最小値	102.33	240.33	359	15.0	1.85	5.80	3.31	1.88	0.50
	変動係数(%)	1.7	0.6	13.1	40.1	33.8	15.6	13.9	15.9	25.9

今回の試験ではこれらの点が考慮されていない試験体も含まれているため、めり込み試験方法や特性値の算出方法、および断面寸法による調整方法についてデータを整備していく必要がある。

めり込み強さ ($f_{c,90}$)、めり込み降伏強さ ($f_{c,90,y}$)、めり込み剛性 ($K_{c,90}$) と、製材品の品質を表す密度 (ρ)、縦振動法によるヤング係数 (E_{fr}) との関係を、樹種・断面寸法ごとに図 1.3-3～図 1.3-8 に示した。なお、密度は試験時の試験体の密度であり、必ずしも水分状態が等しい条件での値ではなかったため、含水率による材積の変化（膨潤・収縮）を無視し、以下の式により、含水率 15% 時における密度の推定値 (ρ_{15}) を算出し、図中に用いた。

$$\rho_{15} = 115 / (100 + MC) \times \rho$$

ここで、MC：試験時における試験体の全乾法による含水率 (%)

めり込み強さ、めり込み降伏強さ、めり込み剛性と、密度およびヤング係数との関係を見ると、すべてのめり込み性能において、ヤング係数に比べて密度との相関係数の方が総じて高いことが認められる。すなわち、めり込み性能は、曲げ・縦圧縮・縦引張り強度性能とは異なり、ヤング係数より密度によって評価することが有効であろうことが示唆された。しかし、得られた相関係数は樹種・断面によって高低の幅が大きいので、今後ともめり込み性能を評価するパラメータについて検討していく必要がある。

めり込み強さ ($f_{c,90}$)、めり込み降伏強さ ($f_{c,90,y}$) とめり込み剛性 ($K_{c,90}$) との関係を、樹種・断面寸法ごとに図 1.3-9～図 1.3-10 に示した。めり込み剛性とめり込み強さおよびめり込み降伏強さは高い相関関係にあることが認められる。よって、めり込み試験時における初期のめり込み剛性によって、めり込み強さやめり込み降伏強さを評価できることが明らかになった。

- トドマツ正角 $y = 0.017x - 2.47$ $r = 0.624$ (n=60)
- トドマツ平角 $y = 0.024x - 4.12$ $r = 0.575$ (n=60)
- スギ正角 $y = 0.007x + 2.86$ $r = 0.245$ (n=150)
- スギ平角(h=150mm) $y = 0.001x + 5.21$ $r = 0.015$ (n=30)
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.017x - 0.66$ $r = 0.782$ (n=152)
- × カラマツ正角 $y = 0.003x + 4.19$ $r = 0.165$ (n=76)
- ◇ ヒノキ正角 $y = 0.015x + 1.59$ $r = 0.379$ (n=25)

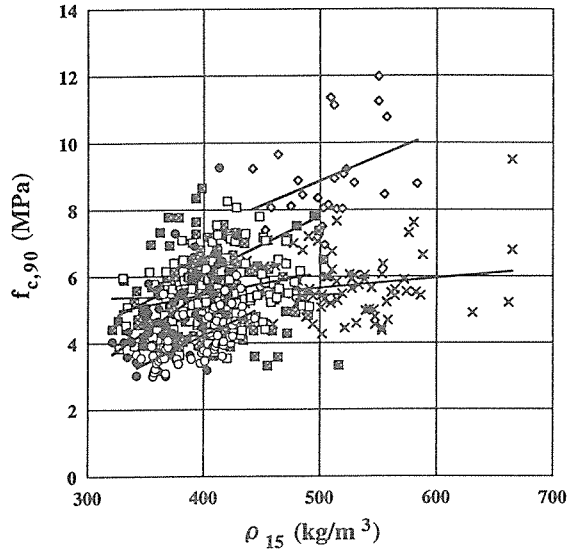


図 1-3-3 密度 (ρ_{15}) とめり込み強さ ($f_{c,90}$) との関係

- トドマツ正角 $y = 0.015x - 2.62$ $r = 0.619$ (n=60)
- トドマツ平角 $y = 0.012x - 1.58$ $r = 0.511$ (n=60)
- スギ正角 $y = 0.007x + 0.91$ $r = 0.309$ (n=150)
- スギ平角(h=150mm) $y = 0.000x + 3.29$ $r = 0.011$ (n=30)
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.012x - 0.96$ $r = 0.738$ (n=152)
- × カラマツ正角 $y = 0.005x + 1.92$ $r = 0.320$ (n=76)
- ◇ ヒノキ正角 $y = 0.014x + 0.26$ $r = 0.448$ (n=25)

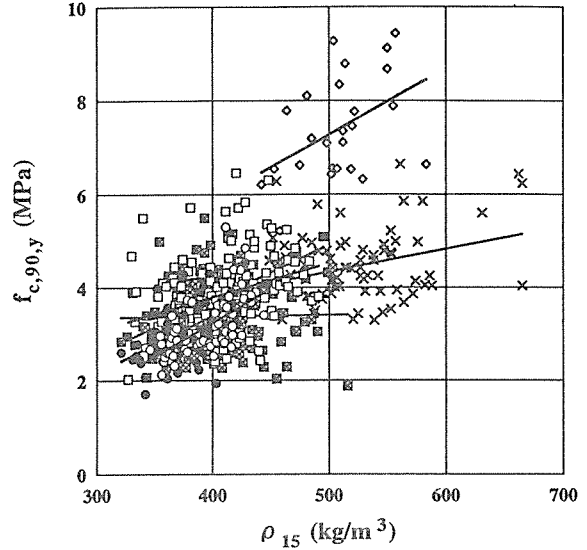


図 1-3-4 密度 (ρ_{15}) とめり込み降伏強さ ($f_{c,90,y}$) との関係

- トドマツ正角 $y = 0.006x - 0.411$ $r = 0.201$
- トドマツ平角 $y = 0.005x - 0.908$ $r = 0.398$
- スギ正角 $y = 0.002x + 1.466$ $r = 0.115$
- スギ平角(h=150mm) $y = -0.001x + 1.664$ $r = 0.057$
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.006x - 0.135$ $r = 0.552$
- × カラマツ正角 $y = 0.006x + 0.637$ $r = 0.285$
- ◇ ヒノキ正角 $y = 0.002x + 4.396$ $r = 0.070$

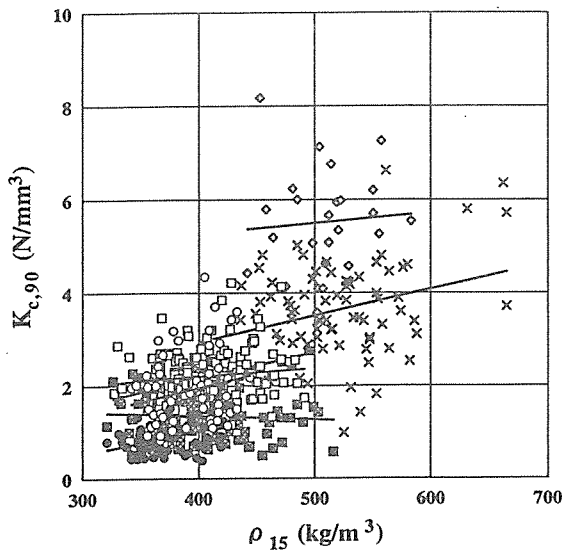


図 1-3-5 密度 (ρ_{15}) とめり込み剛性 ($K_{c,90}$) との関係

- トドマツ正角 $y = 0.230x + 1.95$ $r = 0.335$ (n=60)
- トドマツ平角 $y = 0.100x + 4.13$ $r = 0.101$ (n=60)
- スギ正角 $y = -0.061x + 5.98$ $r = 0.094$ (n=150)
- スギ平角(h=150mm) $y = 0.162x + 4.00$ $r = 0.190$ (n=30)
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.315x + 3.48$ $r = 0.265$ (n=152)
- × カラマツ正角 $y = 0.006x + 5.72$ $r = 0.001$ (n=76)
- ◇ ヒノキ正角 $y = 0.113x + 7.60$ $r = 0.130$ (n=25)

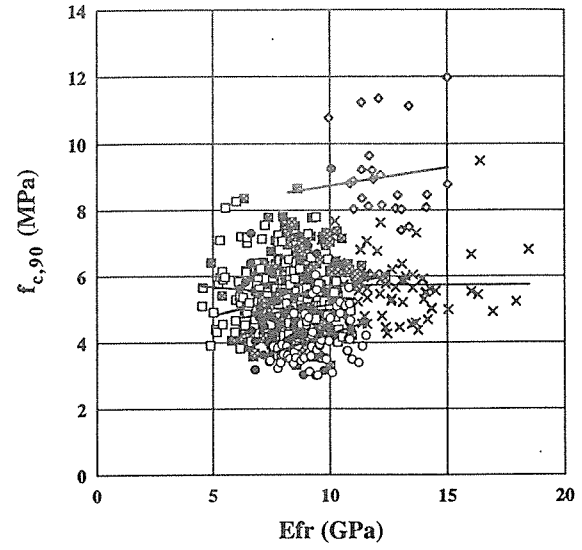


図 1-3-6 ヤング係数 (Efr) とめり込み強さ ($f_{c,90}$) との関係

- トドマツ正角 $y = 0.220x + 1.07$ $r = 0.362$ (n=60)
- トドマツ平角 $y = 0.014x + 2.97$ $r = 0.024$ (n=60)
- スギ正角 $y = -0.097x + 4.60$ $r = 0.170$ (n=150)
- スギ平角(h=150mm) $y = 0.067x + 2.60$ $r = 0.122$ (n=30)
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.138x + 2.54$ $r = 0.157$ (n=152)
- × カラマツ正角 $y = 0.025x + 4.14$ $r = 0.068$ (n=76)
- ◇ ヒノキ正角 $y = -0.219x + 10.1$ $r = 0.309$ (n=25)

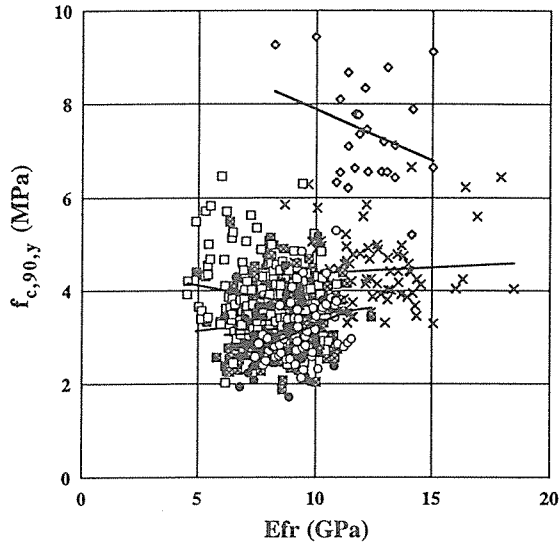


図 1-3-7 ヤング係数 (Efr) とめり込み降伏強さ ($f_{c,90,y}$) との関係

- トドマツ正角 $y = 0.039x + 1.54$ $r = 0.052$ (n=60)
- トドマツ平角 $y = -0.031x + 1.16$ $r = 0.109$ (n=60)
- スギ正角 $y = -0.064x + 2.70$ $r = 0.166$ (n=150)
- スギ平角(h=150mm) $y = 0.068x + 0.76$ $r = 0.196$ (n=30)
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.047x + 1.72$ $r = 0.083$ (n=152)
- × カラマツ正角 $y = 0.055x + 2.96$ $r = 0.114$ (n=76)
- ◇ ヒノキ正角 $y = -0.148x + 7.32$ $r = 0.206$ (n=25)

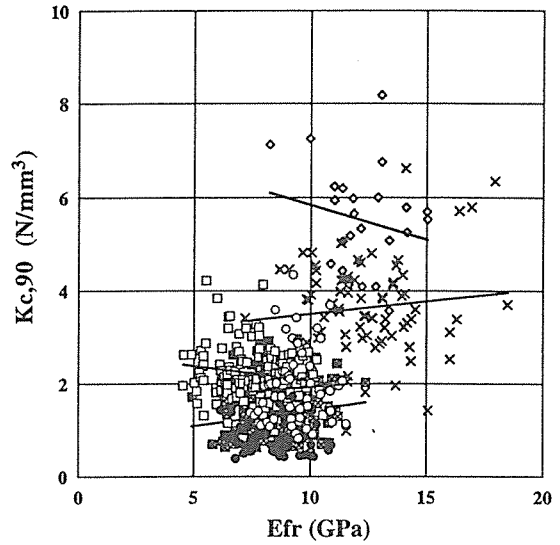


図 1-3-8 ヤング係数 (Efr) とめり込み剛性 ($K_{c,90}$) との関係

- トドマツ正角 $y = 0.474x + 3.21$ $r = 0.516$ (n=60)
- トドマツ平角 $y = 2.821x + 2.44$ $r = 0.810$ (n=60)
- スギ正角 $y = 1.266x + 2.72$ $r = 0.757$ (n=150)
- スギ平角(h=150mm) $y = 1.653x + 3.17$ $r = 0.671$ (n=30)
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.976x + 3.88$ $r = 0.466$ (n=152)
- × カラマツ正角 $y = 0.402x + 4.27$ $r = 0.455$ (n=76)
- ◇ ヒノキ正角 $y = -0.025x + 9.12$ $r = 0.021$ (n=25)

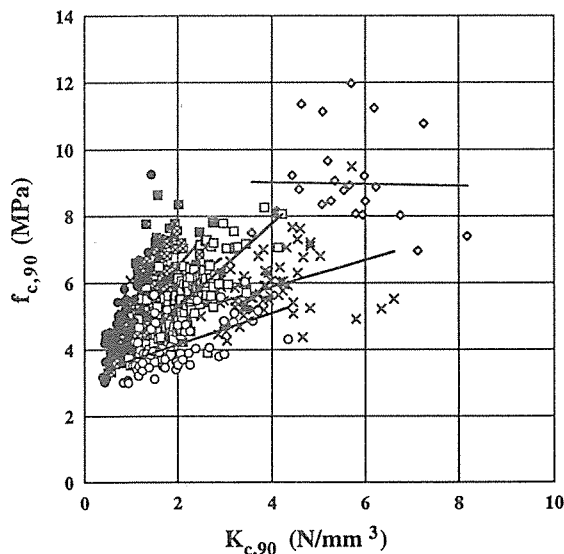


図 1-3-9 めり込み剛性 ($K_{c,90}$) とめり込み強さ ($f_{c,90}$) との関係

- トドマツ正角 $y = 0.319x + 2.53$ $r = 0.396$ (n=60)
- トドマツ平角 $y = 1.549x + 1.70$ $r = 0.770$ (n=60)
- スギ正角 $y = 0.802x + 2.08$ $r = 0.545$ (n=150)
- スギ平角(h=150mm) $y = 1.048x + 1.97$ $r = 0.663$ (n=30)
- ▨ スギ平角(h=240mm) $y = 0.685x + 2.17$ $r = 0.445$ (n=152)
- × カラマツ正角 $y = 0.624x + 2.17$ $r = 0.833$ (n=76)
- ◇ ヒノキ正角 $y = 0.466x + 4.84$ $r = 0.470$ (n=25)

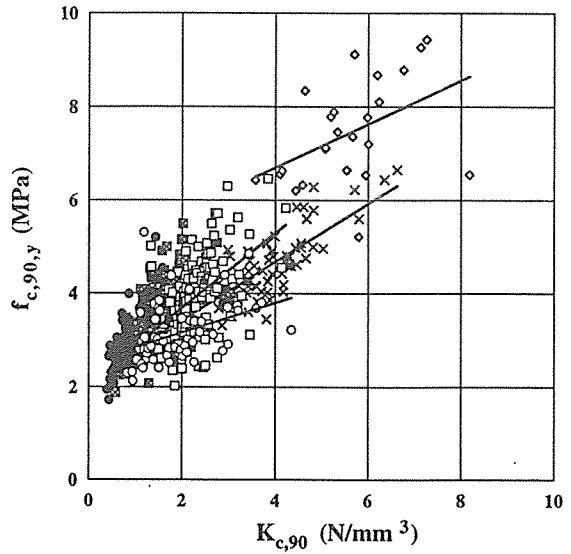


図 1-3-10 めり込み剛性 ($K_{c,90}$) とめり込み降伏強さ ($f_{c,90,y}$) との関係

2. 4 せん断弾性係数

2.4.1 変動スパン法によるせん断弾性係数

2.4.1.1 試験の背景と目的

木造建築物の設計法は、現在のところ許容応力度設計法となっているものの、信頼性理論をもとにした限界状態設計法への移行が検討されている。しかし、それに対応するための国産材の製材品等における実大強度試験に基づいたデータ（曲げ試験以外の）の蓄積が十分になされていない。

一方、国産針葉樹資源を需要拡大を図るとともに、それらの有効活用が早急に解決すべき行政課題となっている。針葉樹資源の需用の大半は、今後とも在来木造住宅等の建築部材への利用と思われるが、海外製品等との競合によりその利用比率は高い状況にあるとはいえない。更に、プレカット加工の普及やP L法の施行に伴い、今後、木造住宅の構造部材に性能保証が必要となる事が予想され、信頼性の高い構造用の製材品を”エンジニアード・ウッド”として普及するためには、強度性能が明確であり保証された製品の供給が必要と思われる。しかし、その周辺技術やデータの蓄積が必ずしも十分ではなく、例えば、梁桁部材等に利用する際、たわみ計算に必要な実大材のせん断弾性係数や粘弾性のデータは十分では無い状況にある。

これらの背景により、各種針葉樹製材の正角材および平角材のせん断弾性係数について、変動スパン法により検討した。

2.4.1.2 試験研究方法

1) 試験体

試験体は、スギの正角と平角、トドマツの正角と平角、カラマツ正角、ヒノキ正角である。各試験体は、いずれも人工乾燥した製材品であり、せん断弾性係数計測前にタッピング法による動的ヤング係数、密度、平均年輪幅、全乾法による含水率等の基礎材質を測定した。試験体数は、スギ正角が210体、同平角が264体、トドマツは正角、平角ともに60体、カラマツ正角が76体、ヒノキ正角が25体である。

2) せん断弾性係数の測定方法

せん断弾性係数は変動スパン法によって行った。荷重負荷方法は、中央集中荷重方式とし、最大荷重を長期曲げ許容応力度の約1.2倍に達するまで負

荷した。支持点間のスパンは図-1に示すように、正角が材（梁）背の25, 14, 10, 8倍とし、平角が材背の16, 13, 10, 8倍とした。試験は実大強度試験機を用いて行った。変位の計測は、ひずみゲージ式変位計を用い、材中央部と両端支持点（めり込み計測用）の中立軸で計測した。出力された荷重や変位のデータはデータロガーを介してパーソナルコンピュータに収録した。みかけのヤング係数は、曲げ応力が長期許容応力度の0.3倍から1.2倍の範囲でスパン中央部のたわみから算出した。

以下に変動スパン法によるせん断弾性係数の算出方法を記す。

中央集中荷重による曲げ試験での各スパン条件における中央たわみ δ は、(1)式で計算される。

$$\begin{aligned} \delta &= PL^3 / 48EI + 3PL / 10GA \quad (1) \\ &= \delta b (\text{曲げ}) + \delta s (\text{せん断}) \end{aligned}$$

ここで、P：荷重，E：純曲げヤング係数，G：せん断弾性係数，

L：スパン，I：断面2次モーメント，A：断面積

$\phi = \delta s / \delta b$ とすると

$$\phi = (6/5) (E/G) (h/L)^2, \quad \delta = \delta b (1 + \phi) \quad (2)$$

となる。

みかけのヤング係数（実験値）を E_{app} として前式を展開すると

$$1/E_{app} = 1/E + 1.2G \times (h/L)^2 \quad (3)$$

となる。ここで、h：梁背、1.2：梁に生じるせん断応力（最大値／平均値）の比：ティモシェンコ梁理論せん断ファクター（S）。

$1/E_{app}$ をy， $(h/L)^2$ をxとすれば、(3)式は(4)式に示す1次回帰式となる。

$$y = 1/E + 1.2G \times x \quad (4)$$

中央集中荷重方式による曲げ試験による、 $1/E_{app}$ と h/L のデータより、yとxとの関係を最小二乗法による直線回帰することにより、傾き（ $1/E$ ）と切片（ $1.2/G$ ）が算出され、純曲げヤング係数Eとせん断弾性係数Gが算出される。なお、直線回帰における決定係数が0.95を下回る場合は対応可能な範囲で再実験を行った。

3) 試験結果

表-1に試験結果を示す。

せん断弾性係数（G）の平均値（Gpa）は、スギ正角が0.64、同150平角が0.

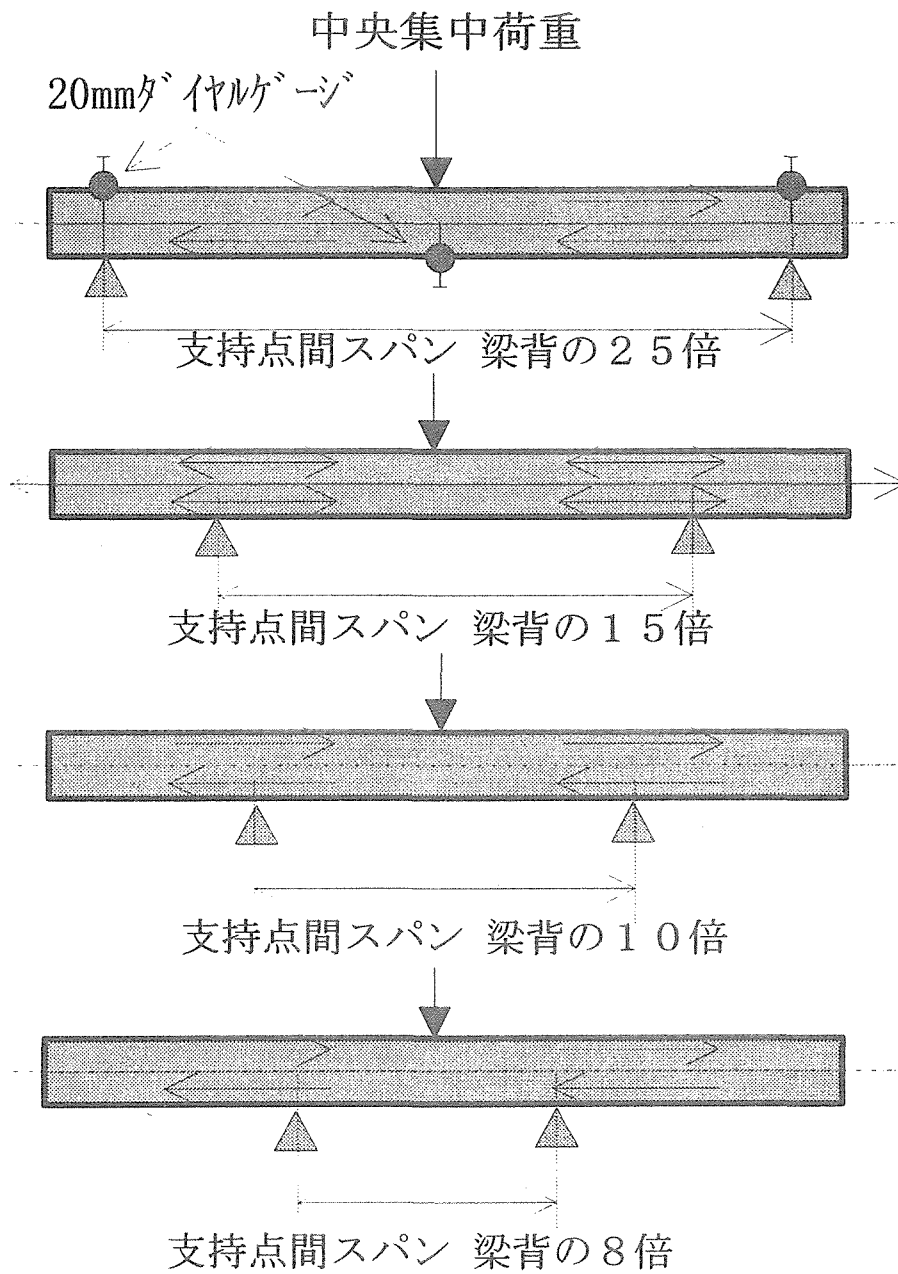


図-1 変動スパン法によるせん断弾性係数測定の実験図

表-1 変動スパン法によるせん断弾性係数と材質

スギ正角 N=210	密度 g/cm ³	E f r GPa	E GPa	G GPa	E/G	決定係数
平均値	411	7.22	7.75	0.64	16.0	0.945
変動係数(%)	9	21	19	80	53.1	10
最大値	490	10.89	11.64	5.24	37.6	1.000
最小値	323	3.91	4.37	0.23	1.3	0.184

スギ平角 N=264	密度 g/cm ³	E f r GPa	E GPa	G GPa	E/G	決定係数
平均値	419	8.04	8.40	0.55	17.4	0.938
変動係数(%)	13	17	22	40	43.0	11
最大値	646	11.35	14.29	1.87	49.3	1.000
最小値	323	4.92	4.55	0.19	4.8	0.184

トマツ正角 N=60	密度 g/cm ³	E f r GPa	E GPa	G GPa	E/G	決定係数
平均値	407	9.40	8.89	0.56	17.5	0.880
変動係数(%)	8	11	14	34	36.2	11
最大値	491	11.53	11.49	1.20	46.4	1.000
最小値	338	7.43	6.81	0.20	6.5	0.649

トマツ平角 N=60	密度 g/cm ³	E f r GPa	E GPa	G GPa	E/G	決定係数
平均値	409	8.40	8.33	0.45	20.5	0.965
変動係数(%)	8	14	16	40	32.5	7
最大値	493	10.90	11.34	1.42	33.4	1.000
最小値	345	6.14	5.45	0.25	4.9	0.636

カラマツ正角 N=76	密度 g/cm ³	E f r GPa	E GPa	G GPa	E/G	決定係数
平均値	510	12.44	13.34	0.70	25.3	0.925
変動係数(%)	9	17.23	18.12	60.83	54.4	10.537
最大値	648	18.48	20.41	2.61	72.1	0.998
最小値	399	7.18	9.01	0.22	3.4	0.510

ヒキ正角 N=25	密度 g/cm ³	E f r GPa	E GPa	G GPa	E/G	決定係数
平均値	562	12.28	16.99	0.79	24.0	0.879
変動係数(%)	22	25.60	24.43	37.05	37.6	11.659
最大値	1095	24.98	26.07	1.70	41.9	0.998
最小値	466	7.82	11.48	0.35	8.1	0.686

注) Efr: 縦振動法による動的ヤング係数
 E: 変動スパン法による純曲げヤング係数
 G: 変動スパン法によるせん断弾性係数

55であった。木材工業ハンドブックによれば、無欠点小試験体のせん断弾性係数 (Gpa)は、GLRが0.64、GTLが0.34であり、供試したスギの正角および平角は心持ち材でありそのGは概ねGLRとGTLの平均値と推定されたが、正角の平均値は概ねGTLとほぼ同じ値となり、平角はGLR0.64とGTL0.34の平均値0.49よりもやや大きな値であった。

トドマツのG (Gpa)は正角が0.56, 平角が0.45であった。エゾマツ (トドマツの代替として) の無欠点小試験体のせん断弾性係数 (Gpa)は、GLRが0.56, GTLが0.44であり、実験値の正角がGLRと、同平角がGTLとほぼ等しい。

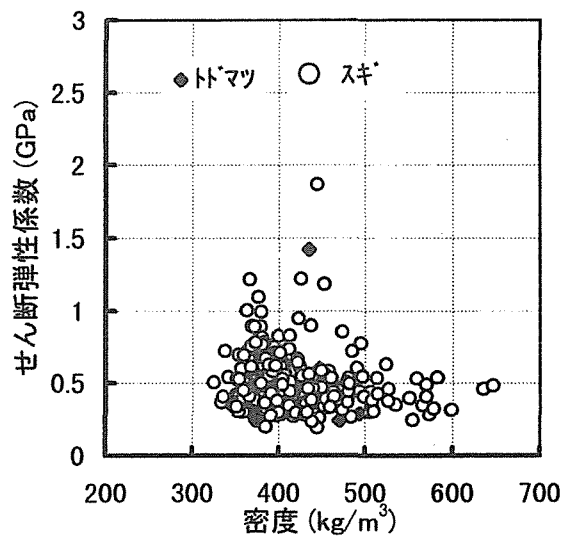
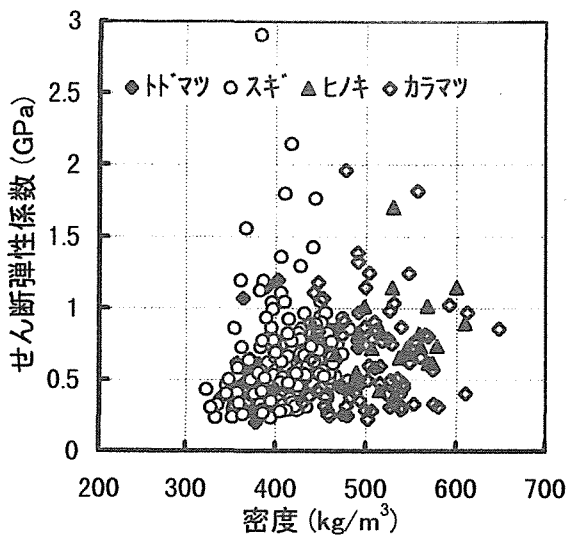
スギとトドマツについて正角と平角のGの差違を比較すると、両樹種ともに平角に比べて正角が大きいが、この原因は現在のところ不明である。カラマツおよびヒノキの正角のG (平均値 Gpa) は、それぞれ、0.70, 0.79となった。いずれの樹種、試験体でもGの変動係数は他の測定材質と比べて著しく高くデータにバラツキがみられた。

各タイプのGの度数分布に対する確率密度関数の当てはめでは、対数正規分布が最も良い適合性を示した。木質構造設計規準による強度樹種群は、ヒノキ>カラマツ>スギ, トドマツとなっているが、密度と動的ヤング係数およびGの平均値はそれと同順であった。

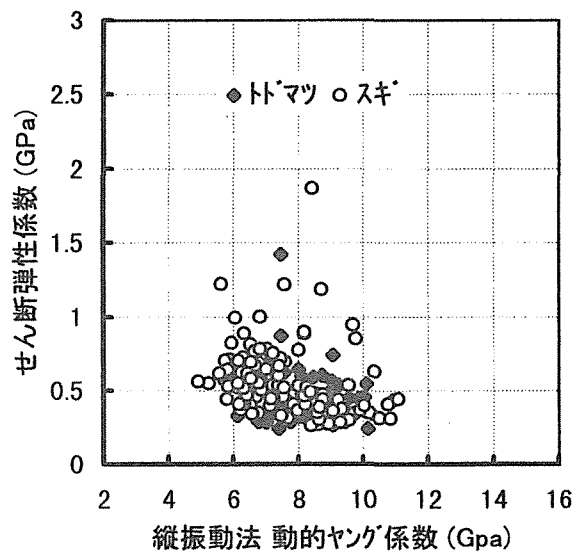
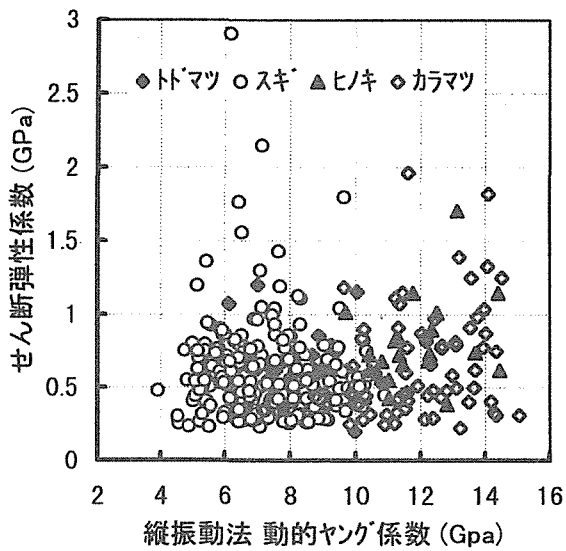
図-2~図-4に、前樹種をひとまとめとした、せん断弾性係数と密度、縦振動法による動的ヤング係数、純曲げヤング係数との関係を示す。トドマツの正角ではせん断弾性係数と密度または動的ヤング係数とに弱い相関がみられるものの、その他についてはGと密度、動的ヤング係数、純曲げヤング係数とには有意な相関関係が認められなかった。また、GとEを算出する際の決定係数が0.95以上であった試験体においても、Gと密度、縦振動法による動的ヤング係数、純曲げヤング係数との有意な相関関係が認められない。

純曲げヤング係数に対するせん断弾性係数の比率 (E/G) は、スギ正角が16.0、同平角が17.4、トドマツ正角が17.5、同平角が20.5、カラマツ正角が25.3、ヒノキ正角が24.0であった。山井のデータ (無欠点小試験体) によるとEL/GTLとEL/GLRは、スギでは19.0, 13.4、トドマツでは28.4, 19.3となっている。これと本試験結果を比較すると、スギでは正角、平角ともにEL/GTLとEL/GLRとの中間値であったが、トドマツ正角はそれよりやや小さい。

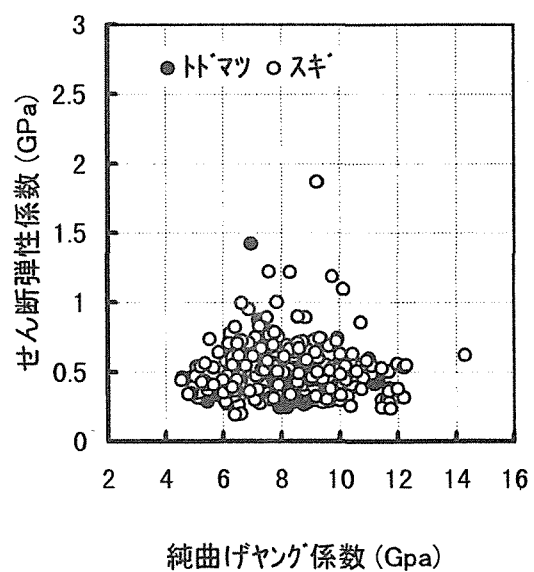
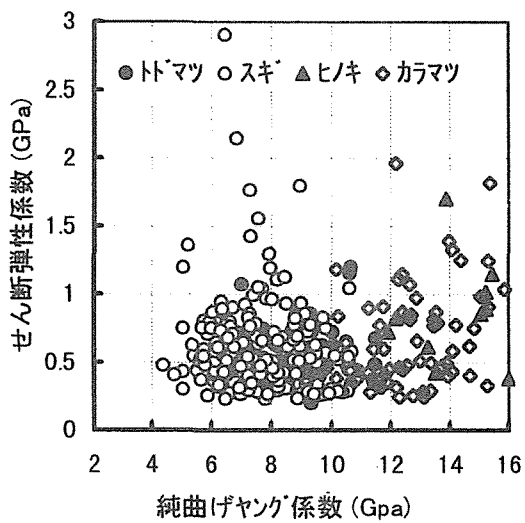
表-1に示した各試験体の決定係数の平均値をみると、トドマツ正角以外は各タイプともに0.95を下回っており (再実験を行った場合も含めて)、試験体の半数近くが計測精度の点で問題があったと思われる。この要因とし



図一2 せん断弾性係数と密度との関係 (左図:正角, 右図:平角)



図一3 せん断弾性係数と動的ヤング係数との関係 (左図:正角, 右図:平角)



図一4 せん断弾性係数と純曲げヤング係数との関係 (左図:正角, 右図:平角)

て、支持点めり込みや試験体の乾燥等に伴う材面割れや曲がりの存在がスパン中央部のたわみやみかけのヤング係数の値に影響を及ぼしたと推定される。

また、吉原によれば、曲げ試験における荷重－撓み挙動がティモシェンコの曲げ理論と一致せず、変動スパン法による方法では精度の良いせん断弾性係数の測定が困難であると報告している。そして、(3)式中の1.2（せん断ファクター）が一定でなく、（梁背／スパン）の変動に伴いせん断ファクターが変わる数式を提案しており、それによれば実験値と計算値が近似するとしている。

変動スパン法によりせん断弾性係数を精度よく計測することは、やや困難である結果となり、試験に費やす労力や時間の点からも問題があった。このため、今後、他の方法、例えば、捻り振動周波数と密度から算出する動的ねじり法、ISOで提案されている捻りモーメントと回転角から算出する静的ねじり法による実験を加えた検討が必要と思われる（頁参照）。

4. まとめ

人工乾燥した実大製材品について、スギとトドマツの正角および平角、カラマツよヒノキの正角を、変動スパン法によりせん断弾性係数測定試験を行った結果の概要を記す。

(1) 全試験体の半数近くは、みかけのヤング係数の逆数と（梁背／スパン）²とを直線回帰した際の決定係数が0.95を下回り、支持点でのめり込みや試験体の割れや曲がり等が影響したことが推定され、測定精度が十分でなかったと思われる。

(2) せん断弾性係数の平均値（Gpa）は、スギ正角が0.64、同150平角が0.55、トドマツのG（Gpa）は正角が0.56、平角が0.45、カラマツ正角が25.3、ヒノキ正角が24.0であった。また、各試験体とも変動係数（バラツキ）が大きい。

(3) 純曲げヤング係数に対するせん断弾性係数の比（E/G）は、スギ正角が16.0、同平角が17.4、トドマツ正角が17.5、同平角が20.5、カラマツ正角が25.3、ヒノキ正角が24.0であった。

(4) Gと密度、動的ヤング係数、純曲げヤング係数とには明確な相関関係が認められなかった。

2.4.2 静的および動的ねじり法によるせん断弾性係数と横圧縮（材端めり込み）強度試験

2.4.2.1 試験の背景と目的

木造建築物の設計法は、現在のところ許容応力度設計法となっているものの、信頼性理論をもとにした限界状態設計法への移行が検討されている。しかし、それに対応するための国産材の製材品等における実大強度試験に基づいたデータ（曲げ試験以外の）の蓄積が十分になされていない。

一方、スギやヒノキ等の国産針葉樹資源を需要拡大を図るとともに、それらの有効活用が早急に解決すべき行政課題となっている。針葉樹資源の需用の大半は、今後とも在来木造住宅等の建築部材としての利用と思われるが、海外製品等との競合によりその利用比率は高い状況にあるとはいえない。更に、プレカット加工の普及やP L法の施行に伴い、今後、木造住宅の構造部材に性能保証が必要となる事が予想され、信頼性の高い構造用の製材品を”エンジニアード・ウッド”として普及するためには、強度性能が明確であり保証された製品の供給が必要と思われる。しかし、その周辺技術やデータの蓄積は「曲げ」以外は必ずしも十分とはいえない状況にある。

昨年度、せん断弾性係数について、変動スパン法により計測を行ったが、データの再現性や実験の作業性等においていくつかの問題点が明らかになった。そこで、本年度は、スギおよびヒノキ製材品のせん断弾性係数についてI S O（国際標準化機構）で提案されている静的な捻り試験法や、捻り振動による動的な方法について行うとともに、横圧縮（材端部めり込み）強度についてデータの蓄積を行った。

2.4.2.2 試験研究方法

1) 試験体

静岡県水窪町産の林齢が35～70年のスギ丸太および林齢60年の春野町産のヒノキ丸太を原料とした。丸太は年輪数、平均年輪幅、密度、縦振動法によるヤング係数を調査した。その後、スギ丸太は採材寸法(mm)が105×105×3000の正角および105×150×4000, 105×240×4000の平角に、ヒノキ丸太は寸法(mm)105×105×3000の正角に製材した。

それらは目標含水率を15%±5%に設定して乾燥を行った。スギ材の乾燥スケジュールは、初期の乾球温度85℃、乾湿球温度差5℃の高温域による

ものとし段階的に温度を高め温湿度差を広げた。また、開始時に乾燥割れを抑えるため初期蒸煮（乾球温度、湿球温度ともに85℃）を行った。人工乾燥は蒸気式乾燥機を用いた。ヒノキ材は当センター構内の軒下に棧積みして約6ヶ月間自然放置による天然乾燥を行った。

乾燥終了後、スギの105正角と150平角の試験体は、モルダーにより表面仕上げを行った。試験体数はスギ105正角とスギ150、240平角が各30体、ヒノキ105正角が25体である。

2) 試験方法

各試験体は、密度、平均年輪幅、縦振動法によるヤング係数等の材質調査後、静的ねじり法および動的ねじり法によるせん断弾性係数を測定した。その後、所定の長さに切断して横圧縮材端めり込み試験を行った。

【静的ねじり試験によるせん断弾性係数】

実大材について静的なねじり負荷する装置は市販されていないため、試験体支持部の一端は固定とし試験体の回転が拘束され、他の一端支持部は付属したトルク負荷用レバーアームへの加力により試験体へのねじりモーメントの負荷ができる機能を有する試験機を試作した。図-1に、試作した静的ねじり試験によるせん断弾性係数の測定装置を示す。ねじりモーメントは回転支持部にて2tonfの小型油圧ジャッキでレバーアームを押し上げる事により試験体に負荷する、荷重は、ロードセル出力または予めロードセルとひずみゲージ（2ゲージ法）により荷重とひずみの関係を求め回転軸に貼付したひずみゲージのひずみ値から換算した。図-2に回転角 θ の計測方法と算出式を示す。固定端および回転端の支持部付近において、試験体の中立軸を対称に変位計2個を図-1に示す様に設置した。静的せん断弾性係数は、図-3に示す現在ISOにより提案されている方法に準じて行い、計測された荷重および回転角等により図中に示した式により算出した。

【動的ねじり試験によるせん断弾性係数】

試験条件は両端自由支持条件とし、試験体の中央部に発砲スチロール置いて試験体を水平に支持した。まず、試験体の材端中央部に加速時計を固定し、反対側材端の幅（梁背）方向中央部を軽くハンマで打撃し、曲げモーメントによるたわみ振動をFFTアナライザーにて集音した。次に、幅（梁背）方向の材端部に加速度計を固定した後、同様に打撃してねじりモーメントによる振動を集音した。集音された曲げおよびねじりモーメントによるたわみ振動の周波数を比較して、ねじり振動による固有振動数を読みとった。

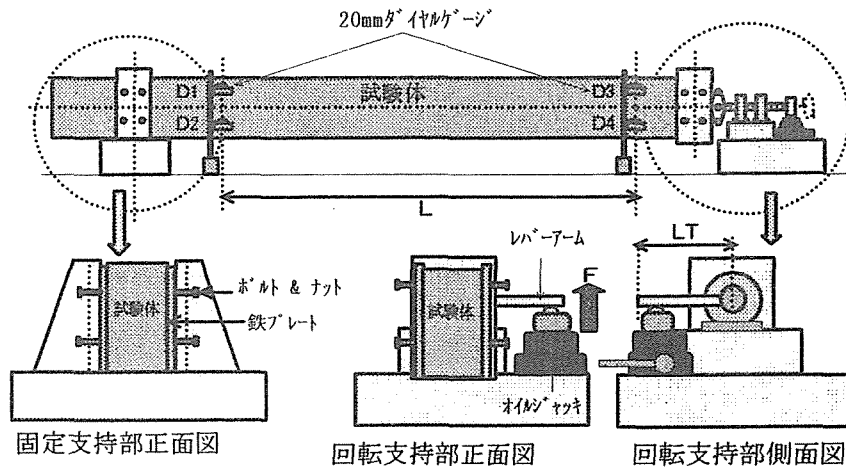


図-1 静的ねじり加力によるせん断弾性係数試験装置

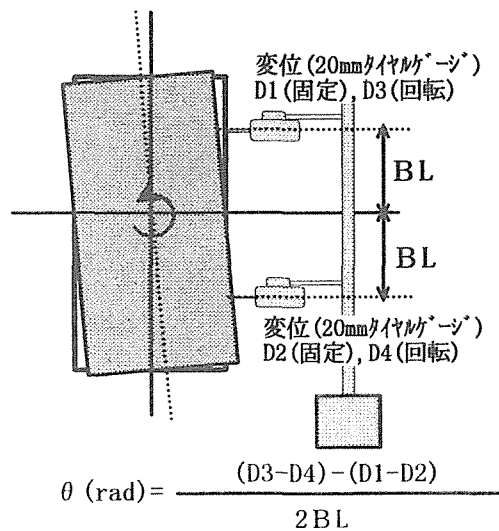
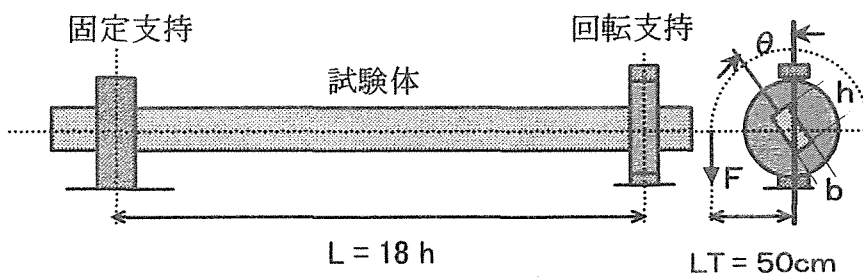


図-2 回転角 θ の計測法



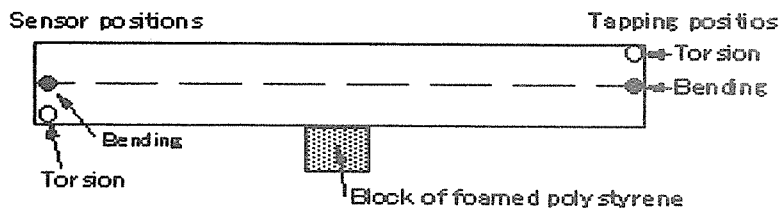
Torsional rigidity

$$G = \frac{L \cdot LT}{3 \cdot hb \cdot (1 - 0.63(h/b))} (\Delta F / \Delta \theta)$$

図-3 ISO案によるねじり試験によるせん断弾性係数試験法

動的せん断弾性係数は、計測したねじり固有振動数と密度等から下記に示す方法によって算出した。(図-4参照)

動的ねじり振動の周波数測定法



(b) Torsional vibration

動的ねじり振動によるせん断弾性係数(G)の算出

ねじり振動による固有振動数 f_r とせん断弾性係数 G の関係は次式で示される。

$$f_r = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{G \cdot K}{\rho \cdot J}} \quad \text{JとKは係数、}\rho\text{は密度}$$

$$G = 4 l^2 f_r^2 \rho \frac{J}{K} \quad J = \frac{4}{3} b h (b^2 + h^2)$$

$$G = 4 l^2 f_r^2 \rho \frac{\frac{4}{3} b h (b^2 + h^2)}{K}$$

$$K = \frac{16}{3} b h^3 \left\{ 1 - \frac{192}{\pi^5 (h/b)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \tanh \frac{n\pi h}{2b} \right\}$$

$$K = b h^3 f_1 \left(\frac{b}{h} \right)$$

$f_1(b/h)$ は、正角の場合2.249、平角(105×240)の場合3.791

図-4 動的ねじり法によるせん断弾性係数の計測(算出)方法

【横圧縮材端めり込み試験】

横圧縮材端めり込み試験は、荷重負荷条件や試験体の支持条件等概ねISOで提案されている方法に準じて行い（図-4A参照）、めり込み強度、めり込み降伏強度、めり込み剛性を算出した。荷重負荷は、実大強度試験機を用いて行い、加圧用鉄板を介して試験体の材端部分に行った。荷重負荷速度は概ね毎分10kgf/cm²とした。なお、試験後、破壊の影響が無い部分から含水率測定用の試片を採取し全乾法による含水率と試験時の密度を測定した。

3) 試験結果

(1) 試験体の材質

表-1に各試験体の基礎材質を示す。

2.2 静的および動的ねじり試験によるせん断弾性係数

表-2に静的ねじり法によるせん断弾性係数（以下Gs:kgf/cm²）および動的ねじり法によるせん断弾性係数（以下Gt:kgf/cm²）の結果を示す。また、図-5にそれらの度数分布を示す。正角ではスギがGs4000、Gtで5000、ヒノキがGsで5500、Gtで6800となった。正角では、従来報告されている無欠点小試験体の値と比べて小さく、スギの正角と平角では、厚（梁背）が大きくなるにつれて静的および動的ともにせん断弾性係数は大きくなっている。断面寸法の違いがせん断弾性係数に影響を及ぼす事は考えに難しく、この原因は現在のところ明確でないが、正角や150mmの平角では乾燥に伴う割れもしくは正角の一部に施された背割りがせん断弾性係数の低減に関与したと推定される。このため、今後、割れや背割りの存在がせん断弾性係数に及ぼす影響について定性的な検討を行う必要があると思われる。図-6にGsとGtとの関係を示す。両者には比較的高い相関関係が認められ、いずれの試験体でも動的が静的よりも10～20%程度高い値を示した。ただし、試験体の種類によって直線回帰式の傾き等が異なっている。

図-7にGsおよびGtとタッピング法による動的ヤング係数の関係を、図-8にGsおよびGtと密度との関係を示す。GsおよびGtと動的ヤング係数との相関は認められないが、密度とGsおよびGtとの相関は決定係数が0.5～0.6であり、両者間ともに認められる。

昨年度実施した、変動スパン法によるせん断弾性係数の測定では、みかけのヤング係数の逆数と（梁背/スパン）²とを直線回帰した際の決定係数が0.95を下回る試験体が多く、測定手法（例えば、めり込み変位の測定方法等）や試験体

表-1 スギ、ヒノキ製材品（正角、平角）の基礎材質

試験体	密度 (g/cm ³)		含水率 全乾法 (%)		タッピング法 動的ヤング係数 (tonf/cm ²)	
	MEAN	CV (%)	MEAN	CV (%)	MEAN	CV (%)
スギ105正角	0.405	7.0	16.3	7.0	80.0	7.0
ヒノキ105正角	0.514	7.0	15.0	10.0	124.7	13.2
スギ150平角	0.428	14.6	16.3	22.9	78.1	9.8
スギ240平角	0.448	11.5	14.0	53.8	91.0	17.6

表-2 スギ、ヒノキ製材品（正角、平角）のせん断弾性係数

試験体	せん断弾性係数 (G)					
	変動スパン法		静的捻り法 (kgf/cm ²)		動的捻り法	
	MEAN	CV (%)	MEAN	CV (%)	MEAN	CV (%)
スギ105正角	6800	45.5	3976	15.4	4973	22.0
ヒノキ105正角	8050	37.3	5598	15.0	6806	14.0
スギ150平角	5500	21.8	5155	19.0	6042	18.0
スギ240平角	4300	46.5	6471	19.0	7789	19.0

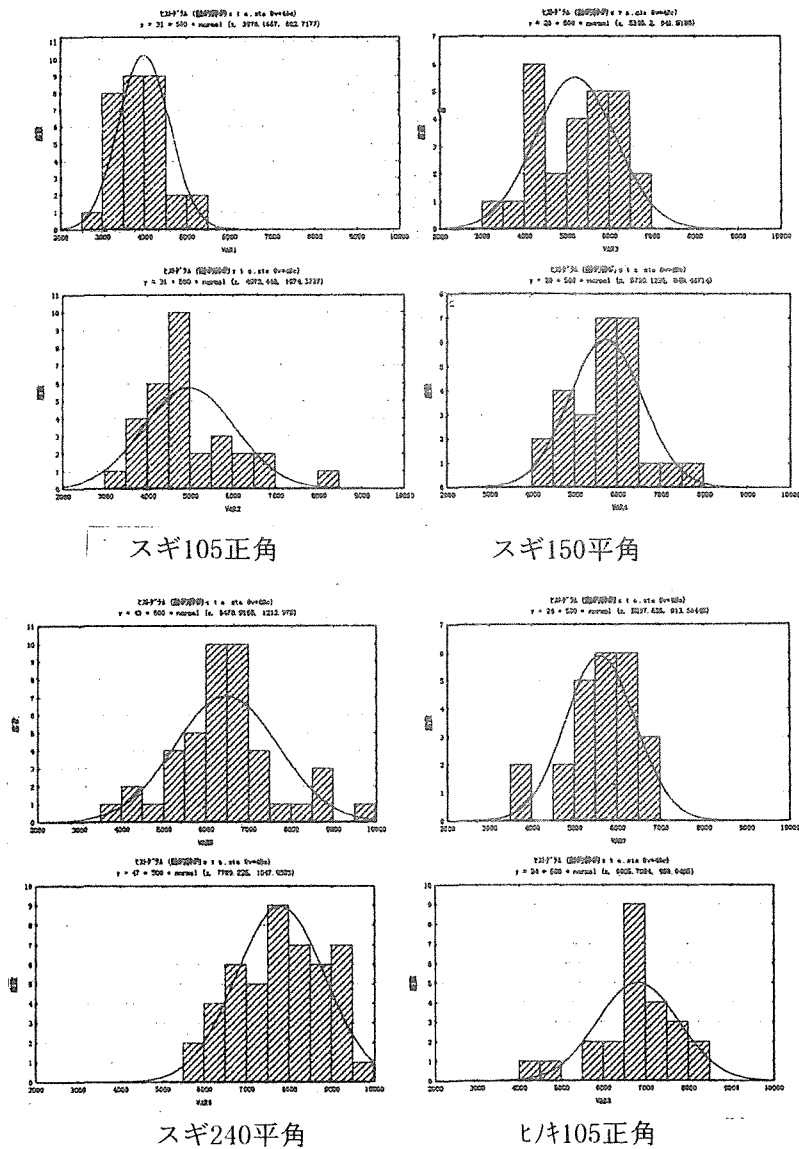
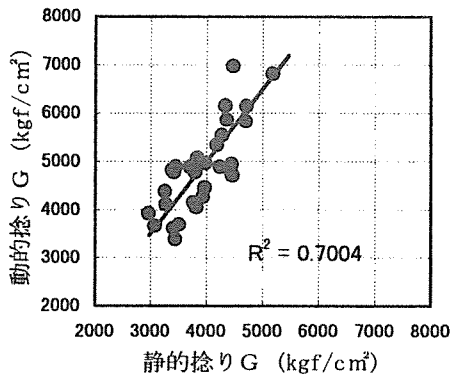
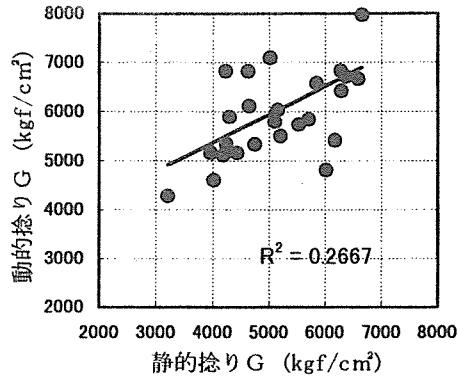


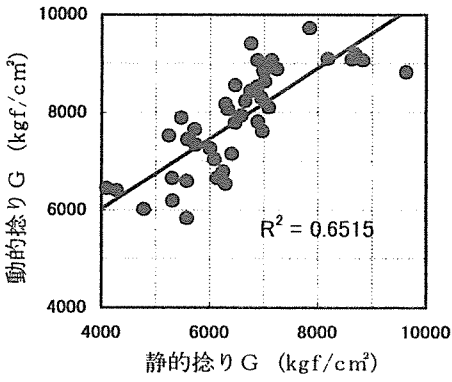
図-5 静的ねじり法と動的ねじり法によるせん断弾性係数の分布
各樹種、タイプとも上図が静的ねじり法、下図が動的ねじり法



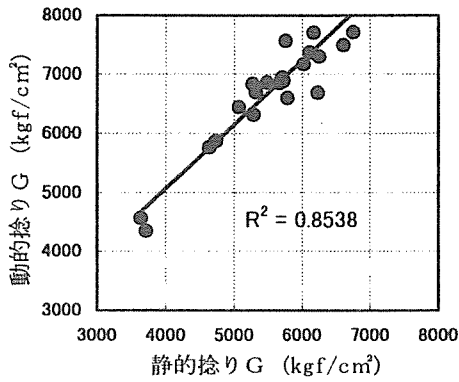
スキ KD105正角



スキ KD150平角



スキ KD240平角



ヒキKD105正角

図-6 静的ねじり法と動的ねじり法によるせん断弾性係数の関係

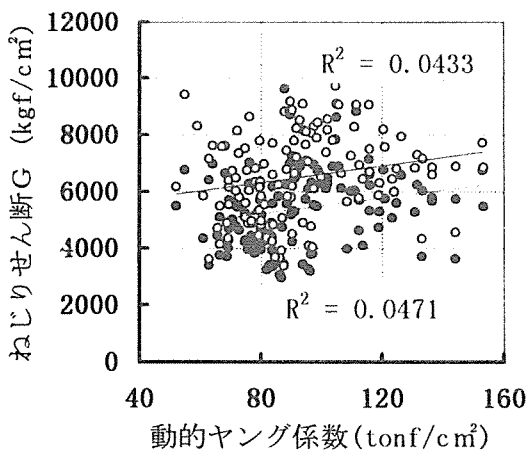
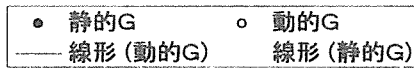


図-7 動的ヤング係数とねじりせん断弾性係数との関係

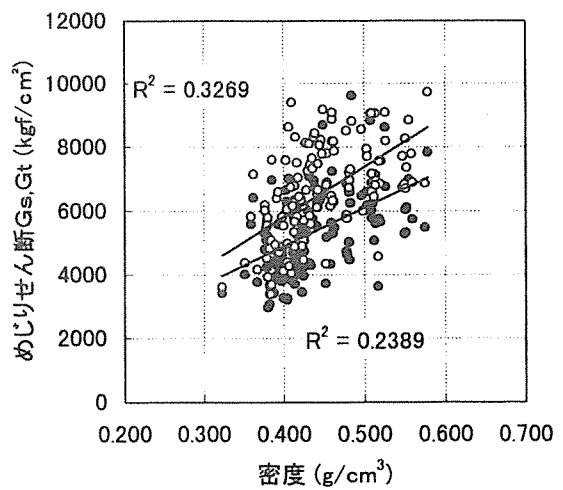


図-8 密度とGsおよびGtとの関係

(曲がり、割れ)等に起因したと思われた。また、得られたデータの計測精度や再現性が低い結果となり、その実験作業にも多大な労力が費やされた。それと比較して、静的ねじり法および動的ねじり法は、変動スパン法と比較して、実験が比較的容易でデータの再現性や測定精度でも高い結果となった。

(2) 横圧縮(材端めり込み)試験結果

表-3に横圧縮試験の結果を示す。図-9に密度とめり込み強度、めり込み降伏強さおよびめり込み剛性との関係を示す。密度とめり込み強度等との間には有意な相関関係が認められている。一方、動的ヤング係数とめり込み強度等との相関は認められなかった。スギの正角と2種類の平角とには、めり込み強度やめり込み剛性の差が見られなかったが、ヒノキ正角はスギと比較してそれらが大きな値を示した。めり込み強度に対するめり込み降伏強さの比率は、スギが60~50%、ヒノキが80%であった。

3) まとめ

本年度実施した試験結果の概要を記す。

(1)静的ねじり法によるせん断弾性係数(以下 G_s : kgf/cm^2)および動的ねじり法によるせん断弾性係数(以下 G_t : kgf/cm^2)。正角ではスギが G_s 4000、 G_t で5000、ヒノキ正角が G_s で5500、 G_t で6800となった。

(2)スギの正角と平角では、厚(梁背)が大きくなるにつれて静的および動的ともにせん断弾性係数は大きく、正角や150mmの平角では乾燥に伴う割れもしくは正角の一部に施された背割りがせん断弾性係数の低減に関与したと推定された。

(3) G_s と G_t との関係を示す。両者には比較的高い相関関係が認められ、いずれの試験体でも動的が静的よりも10~20%程度高い値を示した。

(4) G_s および G_t と動的ヤング係数との相関は認められないが、密度と G_s および G_t との相関は決定係数が0.5~0.6であり、両者ともに認められた。

(5)密度とめり込み強度等との間には有意な相関関係が認められたが、動的ヤング係数とめり込み強度等との相関は認められなかった。

(6)めり込み強度に対するめり込み降伏強さの比率は、スギが60~50%、ヒノキが80%であった。

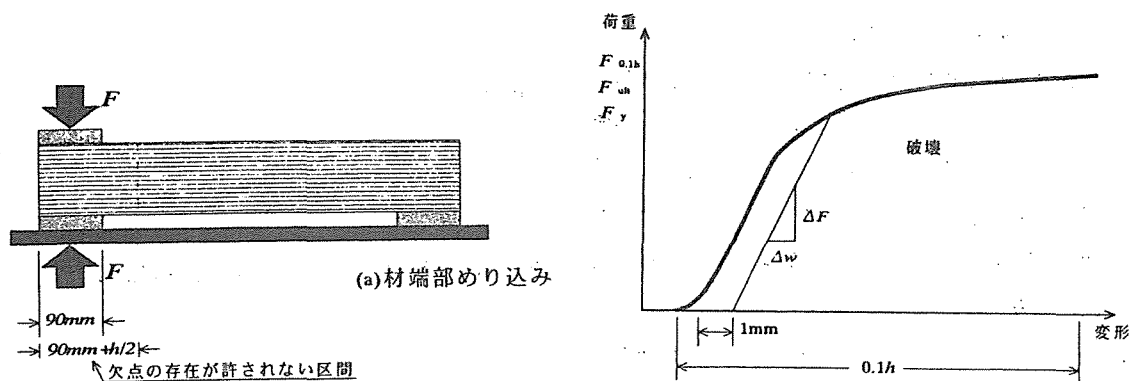


図-4A 材端めり込み試験の概念図 (左図は荷重-変位曲線)

表-3 材端めり込み横圧縮試験

	幅 (mm)	厚 (mm)	長 (mm)	密度 (kg/m ³)	MC(%) 全乾法	ARW (mm)	Efr (GPa)	fc, 90 (Mpa)	fc, 90, y (Mpa)	Kc, 90 (N/mm ³)
スギ製材	10.5cm×10.5cm正角									
Mean	104.72	104.80	700	404.80	16.30	5.60	7.85	5.95	3.20	2.37
max	105.38	105.52	700	481.35	29.65	7.02	9.52	7.13	4.55	4.14
min	103.01	103.30	700	322.53	13.39	4.64	5.97	3.83	2.02	0.95
CV(%)	0.6	0.3	0.0	7.3	21.3	10.4	11.8	13.5	19.2	28.9
スギ製材	10.5cm×150cm平角									
Mean	103.6	148.7	900	388.04	15.14	5.45	7.68	5.90	3.59	2.08
max	106.0	150.0	900	495.77	16.79	7.30	9.44	7.81	5.08	2.92
min	102.0	147.0	900	324.66	14.20	4.29	6.53	4.19	2.58	1.55
CV(%)	0.80	0.60	0.00	10.32	3.78	12.84	9.21	14.27	17.22	19.35
スギ製材	10.5cm×240cm平角									
Mean	103.8	237.3	144	405.22	15.17	5.43	9.32	5.65	3.49	1.87
max	105.0	240.0	144	504.03	17.53	7.30	12.38	7.37	4.49	2.46
min	102.0	235.0	144	332.11	11.52	4.29	5.38	4.22	2.07	1.23
CV(%)	0.79	0.62	0	9.49	9.34	12.56	15.78	14.22	19.18	20.77
ヒノキ製材	10.5cm×10.5cm正角									
Mean	101.59	101.72	700	514.42	16.48	3.35	12.22	8.98	7.40	5.52
max	102.15	102.00	700	574.84	29.65	4.53	15.03	11.98	9.43	8.18
min	99.85	101.20	700	442.59	13.39	2.04	8.23	6.96	5.21	3.57
CV(%)	0.50	0.18	0	6.67	22.74	21.80	12.59	14.88	14.75	19.97

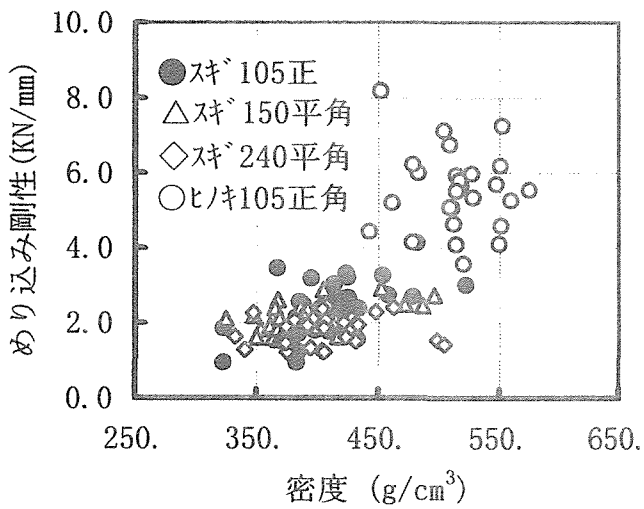
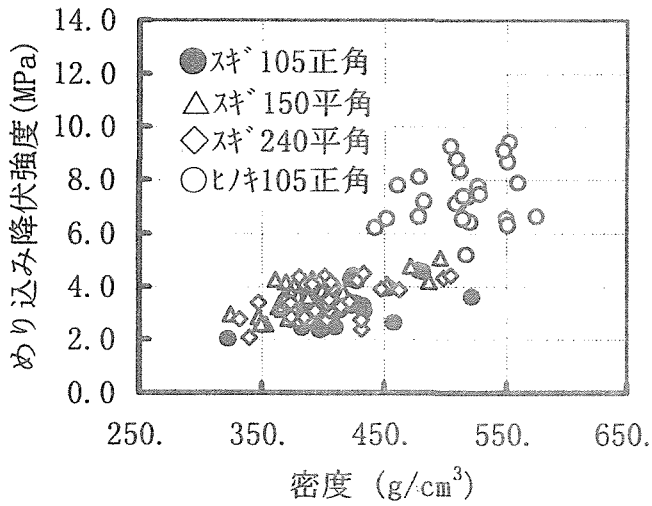
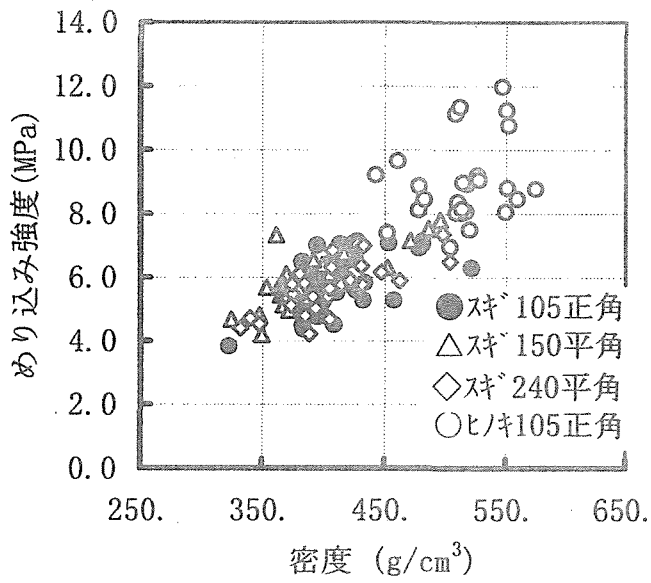


図-9 めり込み強度、めり込み降伏強度、めり込み剛性と密度との関係

付表1 材端めり込み横圧縮，せん断弾性係数データ スギ製材 10.5cm正角

No	幅 (mm)	厚 (mm)	密度 (kg/m ³)	MC(%) 全乾法	年輪幅 (mm)	Efr (GPa)	fc, 90 (Mpa)	fc, 90, y (Mpa)	Kc, 90 (N/mm ³)	静的G (kgf/cm ²)	動的G
1	105.03	104.85	383.64	14.0	5.12	8.579	5.53	2.79	1.24	3448	3388
2	104.58	104.69	380.26	16.0	5.25	8.509	5.06	2.85	1.78	2962	3930
3	104.68	104.90	411.53	17.8	6.17	6.819	6.23	3.06	2.79	4707	6153
4	104.57	105.34	382.80	25.6	5.54	8.458	4.98	2.83	0.95	3077	3666
5	103.79	104.77	416.94	15.3	5.11	7.848	6.49	3.34	1.61	4700	5831
6	104.73	104.78	432.54	19.0	4.88	5.974	5.28	3.28	1.56	4355	5860
7	104.02	103.30	422.70	15.9	5.91	9.203	6.56	4.27	2.65	3452	4897
8	105.38	104.77	397.68	14.1	5.82	9.471	5.36	2.35	1.80	3798	4786
9	105.34	104.60	387.93	15.6	5.66	8.124	6.00	3.02	2.50	3420	4786
10	104.88	105.21	399.82	14.3	4.73	9.400	5.24	2.40	2.00	3272	4116
11	104.76	104.85	394.84	16.4	5.18	6.451	7.01	3.83	3.19	4463	4712
12	104.96	105.35	413.35	14.4	5.03	8.116	5.89	3.10	2.49	4439	4792
13	105.32	104.68	457.78	19.7	5.25	7.810	5.28	2.63	2.75	4334	6161
14	104.20	104.79	322.53	13.4	7.02	6.163	3.83	2.02	1.85	3413	3624
15	103.13	105.52	424.47	14.3	6.62	7.776	7.06	4.40	3.22	3965	4467
16	105.12	104.64	453.49	15.0	5.57	7.669	7.08	3.95	3.27	5177	6818
17	105.22	104.87	382.64	15.2	5.53	8.246	6.50	3.01	2.14	3386	4830
18	103.01	104.99	409.80	14.3	5.25	9.516	5.76	2.46	2.51	3823	4057
19	105.27	104.79	405.07	14.3	5.38	8.045	6.45	3.17	2.26	3258	4381
20	104.77	104.80	385.26	15.8	5.82	8.297	5.89	3.34	2.57	3514	3698
21	104.26	104.85	406.38	13.9	4.64	8.202	5.84	3.06	2.37	3932	4262
22	105.03	104.70	413.84	14.8	5.26	6.761	6.16	3.18	2.26	3710	4890
23	105.14	104.79	395.44	29.6	5.70	7.556	4.76	2.79	1.99	4238	4895
24	105.04	104.73	367.26	14.7	5.84	6.532	5.70	3.12	3.46	3767	4156
25	104.87	105.09	427.32	16.2	4.95	7.090	7.13	4.20	2.48	5471	8148
26	104.98	104.68	400.13	14.1	5.57	7.963	5.89	3.18	2.19	4277	5546
27	105.00	104.66	384.45	15.2	5.81	7.646	5.62	2.90	1.93	3838	5084
28	104.94	104.65	389.57	15.9	6.35	7.541	5.97	3.34	2.08	4444	4948
29	104.61	104.66	481.35	17.5	6.54	7.949	7.06	4.55	4.14	4466	6979
30	105.08	104.63	413.31	16.8	6.39	7.790	7.04	3.51	3.04	4179	5343
Mean	104.72	104.80	404.80	16.30	5.60	7.85	5.95	3.20	2.37	3976	4973
max	105.38	105.52	481.35	29.65	7.02	9.52	7.13	4.55	4.14	5471	8148
min	103.01	103.30	322.53	13.39	4.64	5.97	3.83	2.02	0.95	2962	3388
CV(%)	0.6	0.3	7.3	21.3	10.4	11.8	13.5	19.2	28.9	15	22

付表2 材端めり込み横圧縮試験 スギ製材 105×150cm正角

No	b (mm)	h (mm)	ρ (kg/m ³)	MC(%) 全乾法	ARW (mm)	Efr (GPa)	fc, 90 (Mpa)	fc, 90, y (Mpa)	Kc, 90 (N/mm ³)	静的G (kgf/cm ²)	動的G
1	103.0	149.0	367.44	14.8	5.05	6.672	5.91	3.14	2.62	6659	7969
2	104.0	149.0	385.68	14.9	5.80	7.666	6.37	3.87	2.42	6277	6838
3	102.5	147.0	363.56	14.9	4.62	7.046	5.72	3.22	1.61	4631	6822
4	104.0	150.0	399.42	15.3	5.93	8.538	6.40	3.87	1.89	4750	5334
5	102.5	148.0	353.33	14.6	4.57	7.425	5.69	2.58	1.84	3965	5157
6	103.0	148.0	369.77	14.2	6.87	7.846	6.11	4.17	1.89	4192	5108
7	103.0	148.0	377.22	14.6	6.57	7.324	5.26	4.10	1.64	4238	5346
8	103.0	149.0	378.24	14.9	4.29	9.443	5.34	2.76	1.58	3206	4281
9	103.0	148.0	374.00	15.1	5.54	6.932	5.46	3.72	1.62	5017	7101
10	103.0	149.0	387.00	15.7	5.44	7.352	5.79	3.46	2.16	4300	5898
11	103.0	147.0	380.13	15.3	5.58	7.057	5.66	3.65	1.92	5501	8980
12	104.0	149.0	367.96	15.1	6.08	6.532	5.76	3.56	1.55	5105	5793
13	103.0	149.0	324.66	14.7	4.83	6.785	4.68	2.95	2.11	4017	4602
14	104.0	149.0	361.30	14.6	5.76	8.199	7.33	4.25	1.93	4430	5162
15	103.0	149.0	387.85	14.8	4.29	8.411	5.37	3.01	2.01	5844	6580
16	102.0	149.0	347.46	15.2	5.87	6.819	4.81	2.85	2.19	5702	5847
17	104.0	148.0	364.96	14.5	5.41	7.464	5.45	3.37	2.40	6288	6425
18	104.0	149.0	404.77	14.9	5.67	7.819	6.12	3.75	2.88	6370	6718
19	104.0	148.0	349.49	15.4	5.43	7.142	4.19	2.60	1.63	4647	6119
20	104.0	149.0	367.11	15.2	5.01	9.048	5.13	3.30	1.83	4235	6821
21	105.0	150.0	416.45	16.3	5.09	7.491	6.76	3.77	1.64	5526	5739
22	104.0	149.0	486.20	16.6	7.30	8.513	7.52	4.19	2.47	6015	4808
23	105.0	150.0	452.53	16.8	5.12	8.201	6.31	4.09	2.92	6589	6669
24	106.0	150.0	391.64	15.0	5.18	7.778	6.55	4.30	2.39	6175	5417
25	104.0	147.0	495.77	15.2	6.14	7.996	7.81	5.08	2.75	5201	5502
26	104.0	147.0	471.32	14.9	5.30	7.963	7.15	4.76	2.51		
27	103.6	148.6	389.43	15.1	5.49	7.672	5.95	3.63	2.09		
28	103.3	148.7	371.86	15.0	4.67	8.332	4.97	2.79	1.74		
29	103.7	149.3	385.96	15.4	5.23	7.032	6.04	3.54	1.96		
30	104.0	149.3	368.73	15.1	5.36	7.882	5.50	3.48	2.14		
Mean	103.6	148.7	388.04	15.14	5.45	7.68	5.90	3.59	2.08	5155	6042
max	106.0	150.0	495.77	16.79	7.30	9.44	7.81	5.08	2.92	6659	8980
min	102.0	147.0	324.66	14.20	4.29	6.53	4.19	2.58	1.55	3206	4281
CV(%)	0.80	0.60	10.32	3.78	12.84	9.21	14.27	17.22	19.35	19	18

付表3 材端めり込み横圧縮試験 スギ製材 105×240cm正角

No	b (mm)	h (mm)	L (mm)	ρ (kg/m ³)	MC(%) 全乾法	年輪幅 (mm)	Efr (GPa)	fc, 90 (Mpa)	fc, 90, y (Mpa)	Kc, 90 (N/mm ³)	静的G (kgf/cm ²)	動的G
1	102.0	238.0	144	427.87	14.2	5.05	10.00	7.03	4.24	2.12	6476	8562
2	103.0	237.0	144	408.79	11.5	5.80	10.17	5.68	3.25	2.03	6899	7811
3	104.0	235.0	144	332.11	14.6	4.62	6.29	4.41	2.77	1.63	6980	7619
4	103.0	238.0	144	414.65	16.9	5.93	7.48	5.78	3.25	2.03	7023	8634
5	104.0	236.0	144	431.69	16.6	4.57	6.17	5.78	2.38	1.99	6410	7156
6	105.0	239.0	144	401.58	14.0	6.87	11.14	5.69	4.39	2.44	4101	6449
7	103.0	238.0	144	431.05	16.3	6.57	10.77	6.37	2.74	1.52	6015	7264
8	103.0	238.0	144	340.11	14.0	4.29	8.61	4.72	2.07	1.29	9629	8819
9	103.0	236.0	144	388.75	14.5	5.54	10.94	4.22	2.74	2.11	8834	9072
10	103.0	239.0	144	462.31	17.5	5.44	8.78	5.89	3.86	2.41	6992	8848
11	104.0	235.0	144	433.01	14.4	5.58	8.80	7.00	4.49	1.95	8700	9191
12	104.0	236.0	144	498.15	14.9	6.08	10.30	7.37	4.32	1.54	8625	9092
13	104.0	235.0	144	407.41	14.0	4.83	8.71	6.85	3.94	2.46	5582	5833
14	104.0	239.0	144	396.55	15.7	5.76	9.80	5.01	4.16	2.12	6295	6539
15	105.0	237.0	144	393.90	13.7	4.29	10.27	5.04	3.07	1.34	7846	9726
16	105.0	238.0	144	403.19	13.9	5.87	8.86	4.72	2.75	1.25	5318	6191
17	104.0	236.0	144	371.22	15.0	5.41	8.87	5.34	3.27	1.49	7244	8882
18	104.0	236.0	144	406.85	14.5	5.67	11.35	6.32	4.16	2.08	7149	9070
19	103.0	235.0	144	504.03	15.2	5.43	9.57	6.50	4.42	1.43	6960	8306
20	105.0	237.0	144	347.40	16.5	5.01	9.11	4.55	3.40	2.27	6883	8526
21	103.0	236.0	144	375.01	15.0	5.09	9.01	5.47	3.08	1.23	6660	8232
22	105.0	237.0	144	422.85	15.4	7.30	9.48	5.84	3.40	1.62	6337	8065
23	104.0	237.0	144	385.33	12.8	5.12	9.69	4.80	2.83	2.02	6755	8444
24	103.5	237.0	144	384.54	14.8	5.18	8.67	5.82	4.12	2.06	5591	7448
25	103.0	238.0	144	380.82	17.0	6.14	10.37	6.13	4.37	2.08	6891	9065
26	105.0	236.0	144	405.23	13.5	5.30	9.32	4.69	3.07	1.23	7096	8108
27	103.0	239.0	144	391.61	17.0	5.30	9.21	5.40	4.09	1.95	8186	9102
28	104.0	239.0	144	421.57	16.6	5.49	12.38	5.93	3.44	2.02	6591	7938
29	104.0	239.0	144	403.89	16.5	4.67	5.38	5.41	3.33	2.38	6768	9414
30	103.0	239.0	144	374.25	16.0	5.23	9.29	5.80	2.85	1.90	5729	7661
31	105.0	240.0	144	447.62	15.9	5.36	10.00	6.17	3.90	2.29	6293	8180
32	104.0	239.0	144	373.77	17.1	5.00	9.38	5.13	3.38	1.47	6093	7053
Mean	103.8	237.3	144	405.22	15.17	5.43	9.32	5.65	3.49	1.87	6842	8134
max	105.0	240.0	144	504.03	17.53	7.30	12.38	7.37	4.49	2.46	9629	9726
min	102.0	235.0	144	332.11	11.52	4.29	5.38	4.22	2.07	1.23	4101	5833
CV(%)	0.79	0.62	0	9.49	9.34	12.56	15.78	14.22	19.18	20.77	16	12

付表4 材端めり込み横圧縮試験 ヒノキ製材 10.5cm正角

No	b (mm)	h (mm)	L (mm)	ρ (kg/m ³)	MC(%) 全乾法	ARW (mm)	Efr (GPa)	fc, 90 (Mpa)	fc, 90, y (Mpa)	Kc, 90 (N/mm ³)	静的G (kgf/cm ²)	動的G
1	101.75	101.75	700	514.12	14.0	2.99	11.025	8.03	6.54	5.94	5708	6942
2	101.80	101.75	700	526.57	16.0	3.02	11.814	9.21	7.77	5.98	6766	8201
3	101.75	101.50	700	510.38	17.8	3.35	11.381	8.35	7.10	5.07	6231	6691
4	101.50	101.85	700	549.62	25.6	2.34	12.816	8.05	6.55	4.10	5274	6842
5	101.80	101.85	700	550.95	15.3	3.52	11.356	11.24	8.68	6.20	5322	6701
6	101.70	101.80	700	519.93	19.0	3.34	13.389	7.50	6.43	3.57	5666	6853
7	101.75	101.70	700	559.46	15.9	3.36	14.155	8.46	7.89	5.26	5730	6894
8	102.15	101.70	700	552.33	14.1	3.66	9.959	10.77	9.43	7.26	6110	7375
9	102.05	101.70	700	477.71	15.6	3.19	11.654	8.11	6.63	4.14	4735	5874
10	101.90	101.85	700	482.39	14.3	3.52	12.904	8.45	7.20	6.00	6252	7304
11	101.30	101.85	700	518.01	16.4	3.03	11.860	8.93	7.36	5.66	5755	7573
12	101.90	101.85	700	547.32	14.4	2.04	15.009	11.98	9.12	5.70	6754	7719
13	101.50	101.50	700	551.16	19.7	2.09	10.867	8.80	6.33	4.59	6034	8276
14	101.85	101.85	700	574.84	13.4	3.00	15.030	8.77	6.64	5.54	5482	6864
15	99.85	102.00	700	508.72	14.3	2.06	13.387	11.13	7.12	5.09	5781	6600
16	100.25	101.95	700	503.78	15.0	4.53	8.227	6.96	9.27	7.13	6171	7711
17	101.60	101.50	700	442.59	15.2	2.99	11.365	9.22	6.21	4.44	6607	7496
18	101.90	101.75	700	478.29	14.3	4.17	11.008	8.88	8.10	6.23	4635	5767
19	101.60	101.20	700	460.95	14.3	3.98	11.688	9.65	7.79	5.19	5290	6319
20	101.75	101.50	700	512.01	15.8	4.09	12.091	11.35	8.34	4.63	5067	6450
21	101.85	102.00	700	508.91	13.9	4.31	13.067	8.02	8.78	6.76	6020	7170
22	101.65	101.50	700	452.07	14.8	4.30	13.049	7.40	6.54	8.18	3716	4346
23	101.20	101.65	700	516.79	29.6	4.40	14.124	8.08	5.21	5.79	3639	4563
24	101.58	101.72	700	513.86	16.5	3.36	12.227	8.15	6.55	4.09	5598	6806
25	101.76	101.74	700	527.69	16.8	3.03	12.168	9.07	7.46	5.34	5281	6302
Mean	101.59	101.72	700	514.42	16.48	3.35	12.22	8.98	7.40	5.52	5585	6786
max	102.15	102.00	700	574.84	29.65	4.53	15.03	11.98	9.43	8.18	6766	8276
min	99.85	101.20	700	442.59	13.39	2.04	8.23	6.96	5.21	3.57	3639	4346
CV(%)	0.50	0.18	0	6.67	22.74	21.80	12.59	14.88	14.75	19.97	14	14

2. 5 せん断強さ

せん断試験は、試験実施当時の ISO 案 (STRUCTURAL TIMBER TESTING, SAMPLING, AND EVALUATION OF CHARACTERISTIC VALUES OF STRESS-GRADED TIMBER, 1997) に準拠した方法で実施された。

2.5.1 試験体

試験体はトドマツ正角 (北海道)、トドマツ平角 (北海道)、スギ正角 (岩手県)、スギ平角 (岩手県、福岡県)、カラマツ正角 (長野県) を用いて実施した。原則として、試験体の長さは材せいの 8 倍とした。ただし、福岡県で実施したスギ平角 (105mm×240mm) のせん断試験は他の県と試験方法が異なり、試験体の長さは約 2000mm であった。

2.5.2 試験方法

福岡県を除いたすべての試験体は、図 1.5-1 に示したように、スパンを材せいの 6 倍とした中央集中荷重方式によって実施した。福岡県で実施したスギ平角のせん断試験については、図 1.5-2 に示したように、4 点荷重方式を採用し、支点間距離 (全スパン) を材せいの 7.5 倍、荷重点と支点との間の距離 (せん断スパン) を材せいの 2~2.5 倍の範囲で実施した。

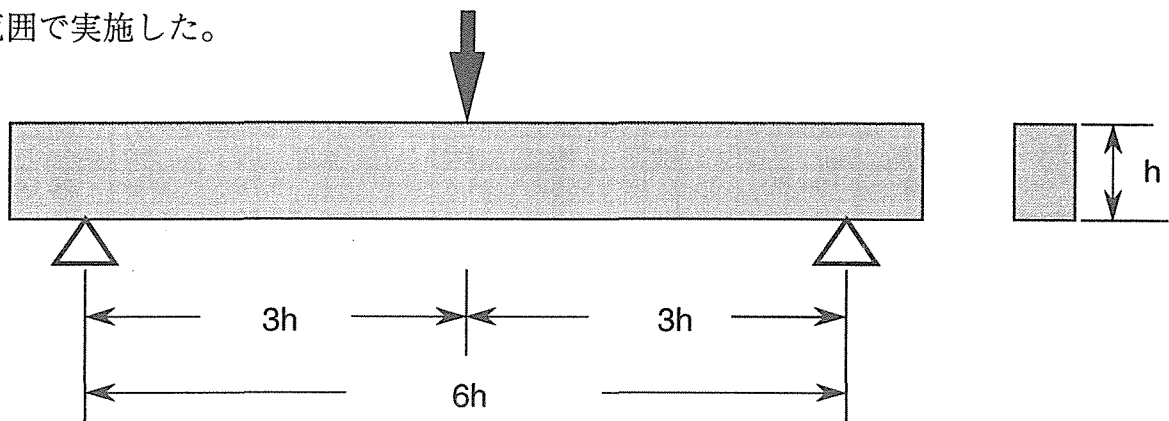


図 1-5-1 中央集中荷重方式によるせん断試験方法 (福岡県を除く)

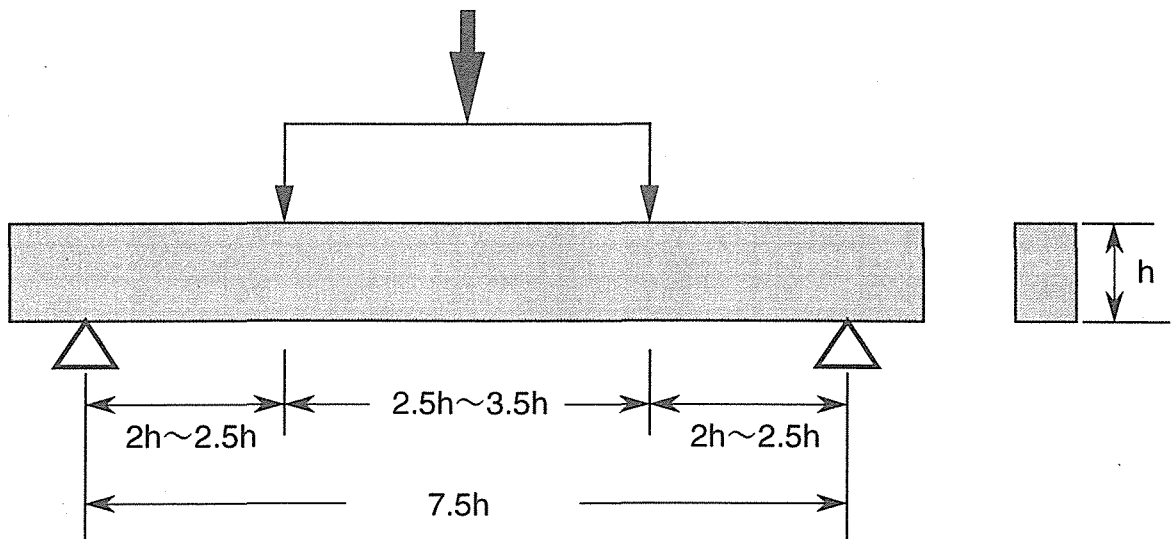


図 1-5-2 2点荷重方式によるせん断試験方法 (福岡県のみ)

2.5.3 試験結果

せん断試験結果の概要を、道県・樹種・断面寸法ごとに表 1.5-1 に示した。せん断試験において、せん断破壊を生じた確率は樹種、断面寸法を問わず低い結果となった。よって、せん断破壊を生じなかった試験体については、試験体がその他の原因で破壊を生じたときの最大荷重からせん断応力を算出し、せん断強さ (τ) とした。せん断強さを樹種別にみると、カラマツが大きく、トドマツ、スギの 2 倍以上の平均値を示している。建築基準法施行令、および建築学会木質構造計算基準では、カラマツのせん断許容応力度は 7kg/cm^2 、トドマツ、スギのせん断許容応力度は 6kg/cm^2 と設定されており、今回の試験は、トドマツ平角の 1 試験体を除き、せん断許容応力度の 3 倍の値、すなわち材料強度を満足していた。よって、現行の許容応力度は、本試験の結果みると問題ないと考えられる。また、せん断強さを断面寸法の違いでみると、トドマツとスギは、ともに平角に比べて正角の方が大きな平均値を示している。この原因として、断面寸法の大きさの差異によるせん断面積、もしくは材積の違いの影響も考えられるが、ほとんどの試験体がせん断破壊以外の原因で破壊しているため、試験方法の確立を含めて検討をする必要がある。

表 1-5-1 せん断試験結果の概要

		b (mm)	h (mm)	ρ (kg/m^3)	MC (%)	ARW (mm)	Efr (GPa)	τ (MPa)	
トドマツ正角 断面寸法： 105mm×105mm (北海道)	試験体数	60	60	60	60		60	60	
	平均値	104.80	105.43	396	14.8		9.70	3.08	4/60
	最大値	107.48	107.49		24.0		12.18	4.64	
	最小値	102.46	102.50	339	11.9		7.15	1.95	
	変動係数(%)	1.2	1.1	6.8	15.6		11.9	17.0	
トドマツ平角 断面寸法： 105mm×240mm (北海道)	試験体数	60	60	60	60		60	60	
	平均値	105.34	240.54	395	22.2		8.22	2.23	14/60
	最大値	109.07	246.05	444	33.3		11.36	2.94	
	最小値	102.03	234.75	330	15.9		5.78	1.47	
	変動係数(%)	1.6	1.3	7.5	18.6		15.8	14.2	
スギ正角 断面寸法： 105mm×105mm (岩手県)	試験体数	60	60	60	60		60	60	
	平均値	104.86	104.66	380	11.7		7.24	3.90	
	最大値	111.60	106.10	433	14.8		10.19	4.97	
	最小値	99.20	99.80	326	10.0		4.53	2.83	
	変動係数(%)	1.6	1.5	7.1	10.3		18.7	14.5	
スギ平角 断面寸法： 105mm×240mm (岩手県)	試験体数	60	60	60	60		60	60	
	平均値	104.70	239.89	394	14.1		8.65	2.77	
	最大値	106.90	241.10	511	26.2		11.19	3.87	
	最小値	97.70	231.40	329	8.9		4.92	1.69	
	変動係数(%)	2.2	0.7	8.3	31.9		14.1	15.6	
カラマツ正角 断面寸法： 105mm×105mm (長野県)	試験体数	76	76	76	76	76	76	76	
	平均値	105	105	508	12.2	3.75	12.44	8.64	0/76
	最大値			643	13.7	5.30	18.48	12.67	
	最小値			404	9.1	2.35	7.18	4.34	
	変動係数(%)			9.2	9.8	18.6	17.2	17.6	
スギ平角 断面寸法： 105mm×240mm (福岡県)	試験体数	10	10	10	10	10	10	10	
	平均値	103.22	237.35	385	14.9	4.87	6.19	3.56	
	最大値	103.94	239.00	420	17.5	6.76	7.58	4.16	
	最小値	102.16	235.50	360	11.3	3.39	4.92	2.58	
	変動係数(%)	0.6	0.5	4.7	12.1	17.8	12.3	14.3	

せん断強さ (τ) と、製材品の品質を表す密度 (ρ)、縦振動法によるヤング係数 (Efr) との関係を、樹種・断面寸法ごとに図 1.5-3、図 1.5-4 に示した。なお、密度は試験時の試験体の密度であり、必ずしも水分状態が等しい条件での値ではなかったため、めり込み試験体と同様に、含水率による材積の変化 (膨潤・収縮) を無視し、以下の式により、含水率 15% 時における密度の推定値 (ρ_{15}) を算出し、図中に用いた。

$$\rho_{15} = 115 / (100 + MC) \times \rho$$

ここで、MC：試験時における試験体の全乾法による含水率 (%)

せん断強さは、密度との関係に比べ、ヤング係数との関係において高い相関係数を示した。よって、せん断強さを評価する上で、ヤング係数が有効なパラメータと考えられるが、今回の試験では、せん断破壊を生じた試験体は非常に少なく、曲げ破壊を生じた試験体が多くみられた。よって、ここで算出されたせん断強度は、曲げ破壊を生じたときの最大荷重から求められたものが数多く含まれている。すなわち、ここで示した回帰直線の従属変数はせん断強さではなく、曲げ強さの指標と考えられる。よって、せん断強さを評価する有効なパラメータと確定することできない。これらの点を考慮すると、繰り返しにはなるが、せん断破壊を生じさせる試験方法を早急に確立することが不可欠である。

- トドマツ正角 $y = 0.010x - 0.674 \quad r = 0.457 \quad (n=60)$
- トドマツ平角 $y = 0.005x + 0.306 \quad r = 0.455 \quad (n=60)$
- スギ正角 $y = 0.014x - 1.464 \quad r = 0.653 \quad (n=60)$
- スギ平角 $y = 0.004x + 1.482 \quad r = 0.175 \quad (n=60)$
- × カラマツ正角 $y = 0.014x + 1.441 \quad r = 0.431 \quad (n=76)$

- トドマツ正角 $y = 0.021x + 2.87 \quad r = 0.046 \quad (n=60)$
- トドマツ平角 $y = 0.083x + 1.55 \quad r = 0.342 \quad (n=60)$
- スギ正角 $y = 0.268x + 1.96 \quad r = 0.643 \quad (n=60)$
- スギ平角 $y = 0.005x + 2.84 \quad r = 0.015 \quad (n=60)$
- × カラマツ正角 $y = 0.337x + 4.44 \quad r = 0.476 \quad (n=76)$

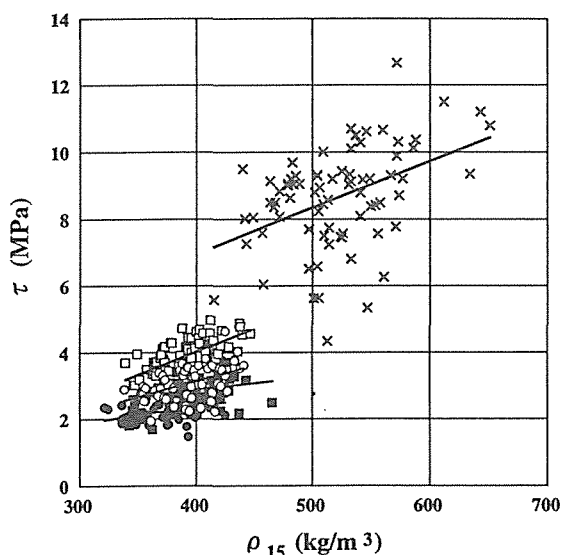


図 1-5-3 密度 (ρ_{15}) とせん断強さ (τ) との関係

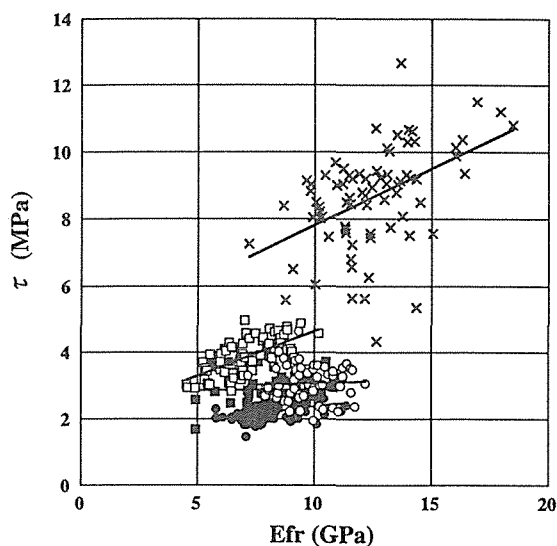


図 1-5-4 ヤング係数 (Efr) とめり込み降伏強さ (τ) との関係

第3章 限界状態設計法への適用

3.1 はじめに

本章の目的は、以下の3つである。

(1)正規分布、対数正規分布、2Pワイブル分布、3Pワイブル分布といった経験分布の相違およびそれらのパラメーター推定手法が、床梁、垂木、母屋の信頼性指標（ β ）および設計点に及ぼす影響について検討すること。

(2)破壊確率を算出することにより設計を行う信頼性設計は、実務者や設計者に馴染みの薄い設計法であるため、現行の許容応力度設計と同じ

$$\phi R_n \geq \sum_{i=1}^k \gamma_i W_{ni} \quad (1)$$

のような設計基準式にすることが必要である。ここで、 R_n は強度（耐力）の公称値、 W_{ni} は、荷重値を応力や変形、振動応答に変換した荷重効果の公称値である。このような耐力や荷重効果の公称値に対して、(1)式に示す耐力係数（ ϕ ）、荷重係数（ γ_i ）と呼ばれる部分安全係数を定めなければならない。そこで、設計点と1)ISOで推奨している信頼水準75%における5%下側許容限界、2)長期許容応力度の3倍に当たる材料強度のとの比較を行い、強度の公称値について検討すること。

(3)いくつかの荷重の組合せにおける耐力・荷重係数を算出すること。

3.2 対象としたデータとパラメーターの推定方法

本事業で得られたデータを用いた。樹種は、スギ、カラマツ、ヒノキ、トドマツ、ベイマツ、エゾマツ、ダフリカカラマツ、アカマツ、ヒバである。曲げ試験から得られたMOE、MORの値を標準荷重条件（ $h=150\text{mm}$ 、 $L=18h$ の3等分点荷重）および含水率（MC）15%時の値に調整して解析を行った。

MORについては100%データ、下限15%データに対して、正規分布、対数正規分布、2Pワイブル分布、3Pワイブル分布を仮定し、最尤法、線形最小二乗法、非線形最小二乗法、Foschiらの手法よりパラメーターを推定した¹⁾。MOEについても、MORと同

様 100% データおよび下限 15% データにフィットさせた場合について各手法よりパラメーターを求めた。

3.3 信頼性 (β) および設計点の算出方法

信頼性および設計点の算定は、AFOSM 法²⁾を用いた。また、荷重に関しては、いくつかの荷重の組合せの内、主たる荷重のみが最大値をとり（確率過程として扱う）、他の荷重は任意時点での値をとる（確率変数として扱う）とする Turkstra 則²⁾を用いた。

性能関数として、2 階床梁、3 階軒先の垂木、3 階屋根の母屋について単純梁の曲げの状態を考え、耐力を考えた終局限界状態の場合には、(2)~(4)式とし、たわみを考えた使用限界状態の場合には、(5)~(7)式とした。

$$\text{床梁（耐力）： } G = R - [D + Ls(t) + \max Le(t)] \cdot \frac{w\ell^2}{8Z} \quad (2)$$

$$\text{垂木（耐力）： } G = R - [-D + \max W(t)] \cdot \frac{w\ell^2}{2Z} \quad (3)$$

$$\text{母屋（耐力）： } G = R - [D + \max S(t)] \cdot \frac{w\ell^2}{8Z} \quad (4)$$

$$\text{床梁（たわみ）： } G = \frac{\ell}{300} - [D + \max Ls(t)] \cdot \frac{5w\ell^4}{384EI} \quad (5)$$

$$\text{垂木（たわみ）： } G = \frac{\ell}{200} - [-D + \max W(t)] \cdot \frac{w\ell^4}{8EI} \quad (6)$$

$$\text{母屋（たわみ）： } G = \frac{\ell}{200} - [D + \max S(t)] \cdot \frac{5w\ell^4}{384EI} \quad (7)$$

ここで、 R は強度分布、 E はヤング係数分布、 ℓ はスパン、 w は荷重負担幅、 Z および I はそれぞれ部材の断面係数および断面二次モーメントである。表 1 に各部材のスパン、荷重負担幅、荷重の基本値を示した。

また、 D は固定荷重分布、 L_s および $\max L_s(t)$ は常時の積載荷重分布およびその最大値分布、 $\max L_e(t)$ は非常時の積載荷重の最大値分布、 $\max W(t)$ は風荷重の最大値分布、 $\max S(t)$ は積雪荷重の最大値分布を表す。 \max の付いた荷重が主たる荷重である。

表 2 に荷重の基本統計量²⁾を示した。固定荷重については、資料 3) を参考にした。常時の積載荷重はポアソン方形波過程 (PSW process)、非常時の積載荷重はポアソンインパルス過程 (PI process)、積雪荷重は断続矩形パルス過程 (IRP process) としているので、それぞれの確率分布関数は次のように表せる。

$$\max L_s(t) : F(x) = \exp[-\lambda T(1 - F_{L_s}(x))] \cdot F_{L_s}(x)$$

$$\max L_e(t) : F(x) = \exp[-\lambda T(1 - F_{L_e}(x))]$$

$$\max W(t) : F(x) = \exp[-\lambda T(1 - F_W(x))]$$

$$\max S(t) : F(x) = [F_S(x)]^T$$

ここで $F_{L_s}(x)$ は対数正規分布、 $F_{L_e}(x)$ 、 $F_W(x)$ 、 $F_S(x)$ は極値 I 型分布、 λ は生起率、 T は耐用期間 (設計寿命) である。強度の場合 $T=50$ 年、たわみの場合 $T=1$ 年とした。 β に見合う断面係数 Z および断面二次モーメント I を求め、設計点を算出した。

3.4 結果と考察

3.4.1 確率分布形と推定手法の影響

例としてスギ材を用いた床梁の終局限界状態における β と強度の設計点の関係を図 1 および図 2 に示した。図 1 は 100% データにフィットさせた用いた場合についての結果を、図 2 は下限 15% データにフィットさせた場合の結果を示している。他の樹種、他の部材および使用限界状態におけるヤング係数の結果でも同様の傾向が見られた。これより以下のことが分かる。

(1) 推定手法 (最尤法、線形最少二乗法、非線形最少二乗法、Foschi らによる方法) による差は小さく、確率分布 (正規分布、対数正規分布、2P ワイブル分布、3P ワイブル分布) による差の方が大きい。

(2) 100%データフィットの場合は β が1.0くらいまで、また下限15%データフィットの場合は2.5くらいまでは、確率分布が異なっても設計点の値に大きな差は存在しないが、それ以上になると大きな差が生じてくる。これは、 β の値が大きくなると、設計点が分布の裾野に存在し、破壊確率は設計点以下の分布形に大きく左右されるため、下限15%のデータのみでフィットさせる場合には、確率分布の相違による分布形の差が少なくなるためと考えられる。

本報告では、強度やヤング係数の分布形は2Pワイブル分布とし、強度については下限15%データフィット、ヤング係数分布については100%データフィットとする。また、そのパラメーター推定手法は最尤法を用いることにする。その理由を以下に列挙する。

(1) 鋼構造限界状態設計指針⁴⁾では、耐力に関わる終局限界状態の場合には $\beta = 2.0 \sim 2.5$ 、たわみに関する使用限界状態の場合には $\beta = 1.0$ としている。

(2) 正規分布では強度値が負になる確率が存在すること、3Pワイブル分布では位置母数について理論的な根拠や物理的意味合いが曖昧である。2Pワイブル分布は安全側になる場合が多い。

(3) 積率法では収束しない場合があること、線形最小二乗法や非線形最小二乗法では確率分布関数として順序統計量を用いなければならないが、順序統計量にも不確定要素を含む。

3.4.2 設計点と許容応力度

耐力に関わる終局限界状態の場合、鋼構造限界状態設計指針では、固定荷重+積載荷重では $\beta = 2.5$ 、固定荷重+風荷重および固定荷重+積雪荷重では $\beta = 2.0$ としている。これらの β の値に対応する設計点の値を表3に示した。設計点の値は、下限15%のデータフィットの場合について、最尤法を用いて2Pワイブル分布に当てはめた場合の値である。また、同表には、長期許容応力度の3倍に当たる材料強度の値およびノンパラメトリックによる信頼度75%における5%下限値 ($R_{0.05}$)、データの平均値、変動係数も示してある。これより、以下のことが分かる。

(1)設計点の値は、変動係数の大きな樹種では $R_{0.05}$ を下回る位置に、変動係数が比較的小さな樹種では $R_{0.05}$ 付近、つまり分布の裾野に存在している。

(2)現行の許容応力度の基準値と考えられる材料強度を設計点と考えた場合、鋼構造限界状態設計指針における β の値を下回っている樹種が多い。

次に、たわみに関わる使用限界状態の場合、鋼構造限界状態設計指針では、いずれの荷重の組合せでも $\beta = 1.0$ としている。この β の値に対応する設計点の値を表 4 に示した。

100%のデータフィットの場合について、最尤法を用いて 2 P ワイブル分布に当てはめた場合の値である。また、同表には、日本建築学会における普通構造材の推奨値およびデータの平均値、変動係数も示してある。これより、変動係数の大きなスギの場合を除き、平均値を少し下回った位置に存在し、概ね学会の推奨値と同じであることが分かる。

3.4.3 耐力・荷重係数

最尤法により下限 15% データに 2 P ワイブル分布に当てはめた場合の分布を用いて、耐力および荷重係数を求めた。設計点の値をそれぞれの公称値で除した値が耐力・荷重係数である。荷重の組合せを以下に示す。下線部が主たる荷重である。

終局限界状態では次の 6 つの組合せを

(1) $D + L_s + \underline{Le}$

(2) $D + L_s + \underline{S}$

(3) $D + L_s + \underline{W}$

(4) $D + L_s + \underline{E}$

(5) $D + L_s + S + \underline{W}$

(6) $D + L_s + S + \underline{E}$

使用限界状態では次の 5 つの組合せを考慮する。

(1) $D + \underline{L_s}$

(2) $D + L_s + \underline{S}$

$$(3) D + L s + \underline{W}$$

$$(4) D + L s + \underline{E}$$

$$(5) D + L s + S + \underline{E}$$

例として、スギにおける係数の値を図3および4に示した。横軸には(主たる荷重の平均値)/(固定荷重の平均値)をとっている。その他の(従の荷重の平均値)/(固定荷重の平均値)はすべて0.5とした。その他の樹種でも同じような傾向が見られた。これより、(1)式の形で表すと以下のようなになる。

終局限界状態 (強度)

$$(1) D + L s + \underline{L e} \quad (\beta = 2.5)$$

$$\text{スギ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 2.0 L e_n$$

$$\text{カラマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 2.0 L e_n$$

$$\text{ヒノキ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 1.8 L e_n$$

$$\text{トドマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 2.0 L e_n$$

$$\text{ベイマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 1.8 L e_n$$

$$\text{エゾマツ} : 1.6 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 2.5 L e_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 2.0 L e_n$$

$$\text{アカマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 2.0 L e_n$$

$$\text{ヒバ} : 1.1 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 2.5 L e_n$$

$$(2) D + L s + \underline{S} \quad (\beta = 1.75)$$

$$\text{スギ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L s_n + 0.9 S_n$$

$$\text{カラマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L s_n + 0.9 S_n$$

$$\text{ヒノキ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L s_n + 1.2 S_n$$

$$\text{トドマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 0.9 S_n$$

$$\text{ベイマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L s_n + 0.9 S_n$$

$$\text{エゾマツ} : 1.5 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L s_n + 1.0 S_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.9 S_n$$

$$\text{アカマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.9 S_n$$

$$\text{ヒバ} : 1.1 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 L_{S_n} + 1.0 S_n$$

$$(3) D + L_{S_n} + \underline{W} \quad (\beta = 1.75)$$

$$\text{スギ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.2 W_n$$

$$\text{カラマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.2 W_n$$

$$\text{ヒノキ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.1 W_n$$

$$\text{トドマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.2 W_n$$

$$\text{ベイマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.1 W_n$$

$$\text{エゾマツ} : 1.6 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 W_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.2 W_n$$

$$\text{アカマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.2 W_n$$

$$\text{ヒバ} : 1.1 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 W_n$$

$$(4) D + L_{S_n} + \underline{E} \quad (\beta = 1.5)$$

$$\text{スギ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 E_n$$

$$\text{カラマツ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 E_n$$

$$\text{ヒノキ} : 1.5 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 E_n$$

$$\text{トドマツ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 E_n$$

$$\text{ベイマツ} : 1.5 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.3 E_n$$

$$\text{エゾマツ} : 1.6 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.3 E_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 1.5 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 E_n$$

$$\text{アカマツ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 E_n$$

$$\text{ヒバ} : 1.2 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 1.4 E_n$$

$$(5) D + L_{S_n} + S_n + \underline{W} \quad (\beta = 2.0)$$

$$\text{スギ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.2 W_n$$

$$\text{カラマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.2 W_n$$

$$\text{ヒノキ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.1 W_n$$

$$\text{トドマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.2 W_n$$

$$\text{ベイマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.1 W_n$$

$$\text{エゾマツ} : 1.6 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.4 W_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.2 W_n$$

$$\text{アカマツ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.2 W_n$$

$$\text{ヒバ} : 1.1 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.4 W_n$$

$$(6) D + L_S + S + \underline{E} \quad (\beta = 1.75)$$

$$\text{スギ} : 1.3 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.7 E_n$$

$$\text{カラマツ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.7 E_n$$

$$\text{ヒノキ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.7 E_n$$

$$\text{トドマツ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.7 E_n$$

$$\text{ベイマツ} : 1.5 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.6 E_n$$

$$\text{エゾマツ} : 1.6 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.6 E_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.7 E_n$$

$$\text{アカマツ} : 1.4 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.7 E_n$$

$$\text{ヒバ} : 1.2 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 L_{S_n} + 0.5 S_n + 1.7 E_n$$

使用限界状態（たわみ）

$$(1) D + \underline{L_S} \quad (\beta = 1.0)$$

$$\text{スギ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 L_{S_n}$$

$$\text{カラマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 L_{S_n}$$

$$\text{ヒノキ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 L_{S_n}$$

$$\text{トドマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 L_{S_n}$$

$$\text{ベイマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 Ls_n$$

$$\text{エゾマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 Ls_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 Ls_n$$

$$\text{アカマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 Ls_n$$

$$\text{ヒバ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.6 Ls_n$$

$$(2) D + Ls + \underline{S} \quad (\beta = 1.0)$$

$$\text{スギ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{カラマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{ヒノキ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{トドマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.5 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{ベイマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{エゾマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{アカマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$\text{ヒバ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n$$

$$(3) D + Ls + \underline{W} \quad (\beta = 1.0)$$

$$\text{スギ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{カラマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{ヒノキ} : 1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{トドマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{ベイマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{エゾマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{ダフリカカラマツ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{アカマツ} : 0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

$$\text{ヒバ} : 0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 W_n$$

(4) $D + Ls + \underline{E}$ ($\beta = 1.0$)

スギ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

カラマツ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

ヒノキ: $1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

トドマツ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

ベイマツ: $0.8 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

エゾマツ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

ダフリカカラマツ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

アカマツ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

ヒバ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.2 E_n$

(5) $D + Ls + S + \underline{E}$ ($\beta = 1.0$)

スギ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

カラマツ: $1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

ヒノキ: $1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

トドマツ: $1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

ベイマツ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

エゾマツ: $1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

ダフリカカラマツ: $1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

アカマツ: $0.9 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

ヒバ: $1.0 R_n \geq 1.0 D_n + 0.4 Ls_n + 0.5 S_n + 0.1 E_n$

謝辞

信頼性解析のプログラムを作成するにあたり、名古屋大学建築学科森 保宏助教授に助言を賜りました。ここに、深く感謝の意を表します。

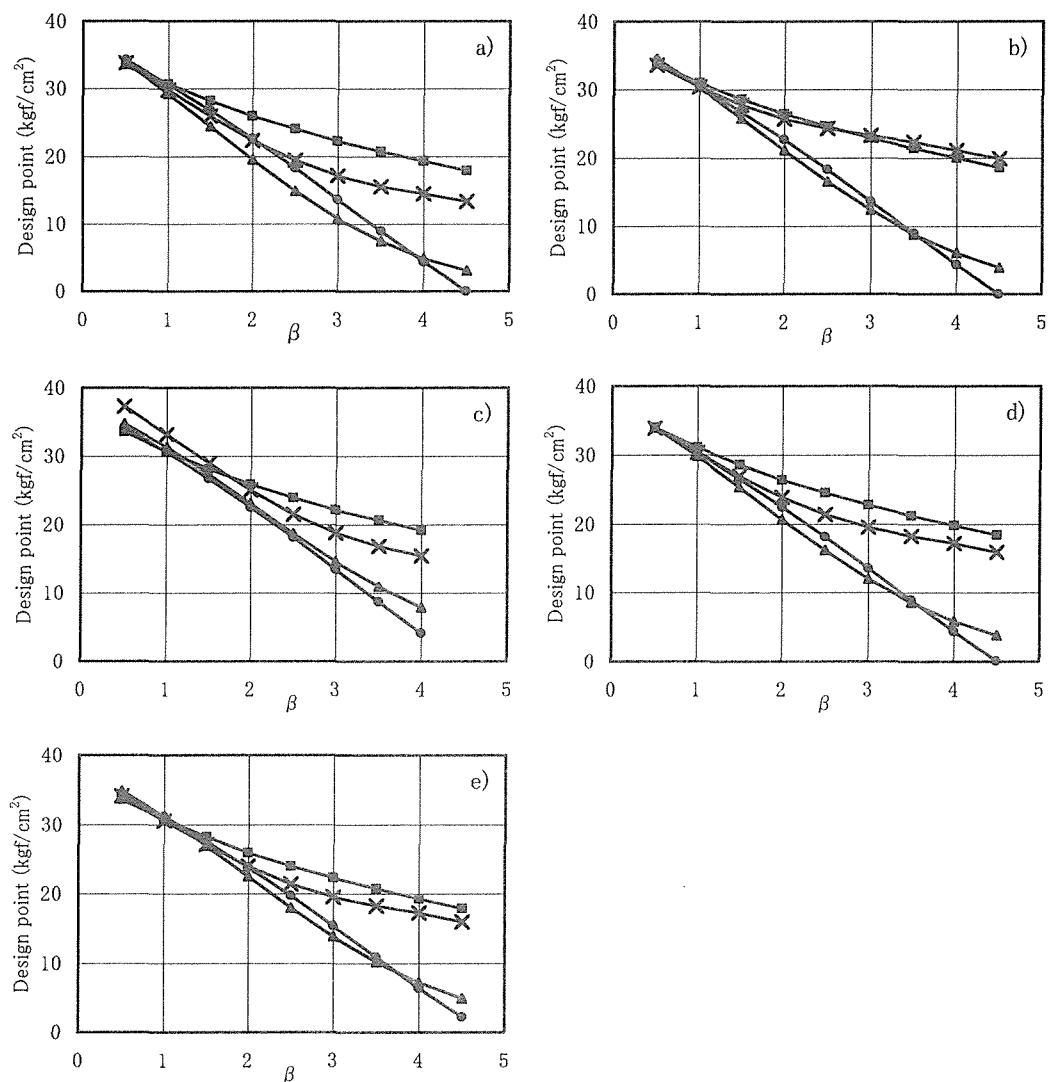


図 1. 信頼性指標(β)と設計点の関係

注：スギの曲げ強度について100%データフィットしたパラメーターを用いて、2階床梁について解析した。

Legends: a)最尤法、b)積率法、c)線形最小二乗法、d)非線形最小二乗法、e) Foschi らの方法、●：正規分布、■：対数正規分布、▲：2Pワイブル分布、×：3Pワイブル分布

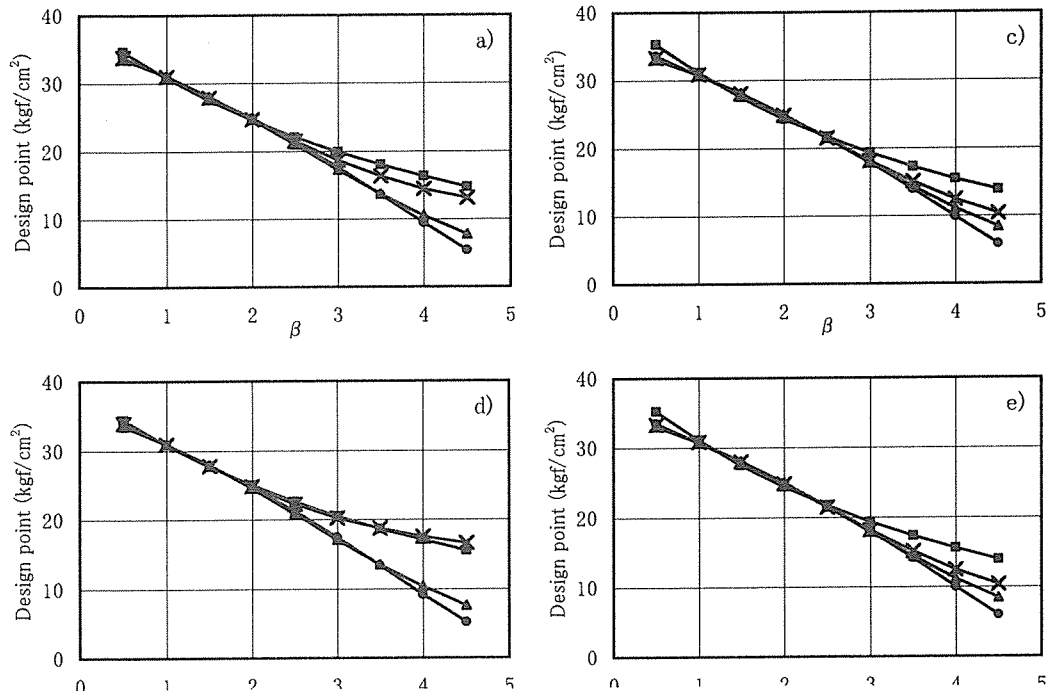


図 2. 信頼性指標(β)と設計点の関係

注：スギの曲げ強度について下限 15% データフィットしたパラメーターを用いて、2 階床梁について解析した。

Legends: a) 最尤法、b) 積率法、c) 線形最小二乗法、d) 非線形最小二乗法、e) Foschi らの方法、●：正規分布、■：対数正規分布、▲：2P ワイブル分布、×：3P ワイブル分布

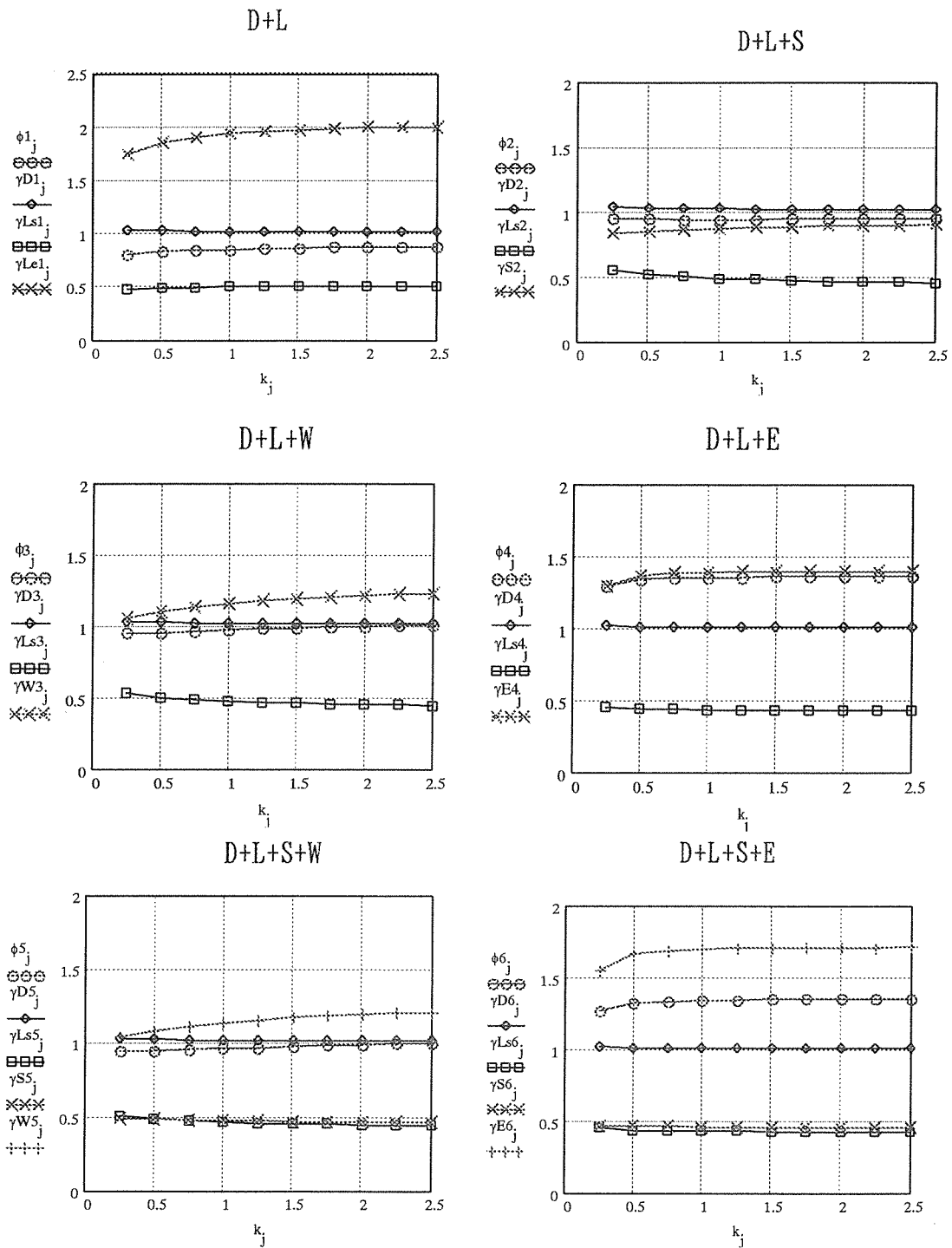


図3. 終局限界状態における耐力・荷重係数の例

注：樹種はズギ。横軸は（主たる荷重の平均値）／（固定荷重の平均値）を表す。また、（従の荷重の平均値）／（固定荷重の平均値）の値はすべて0.5とした。

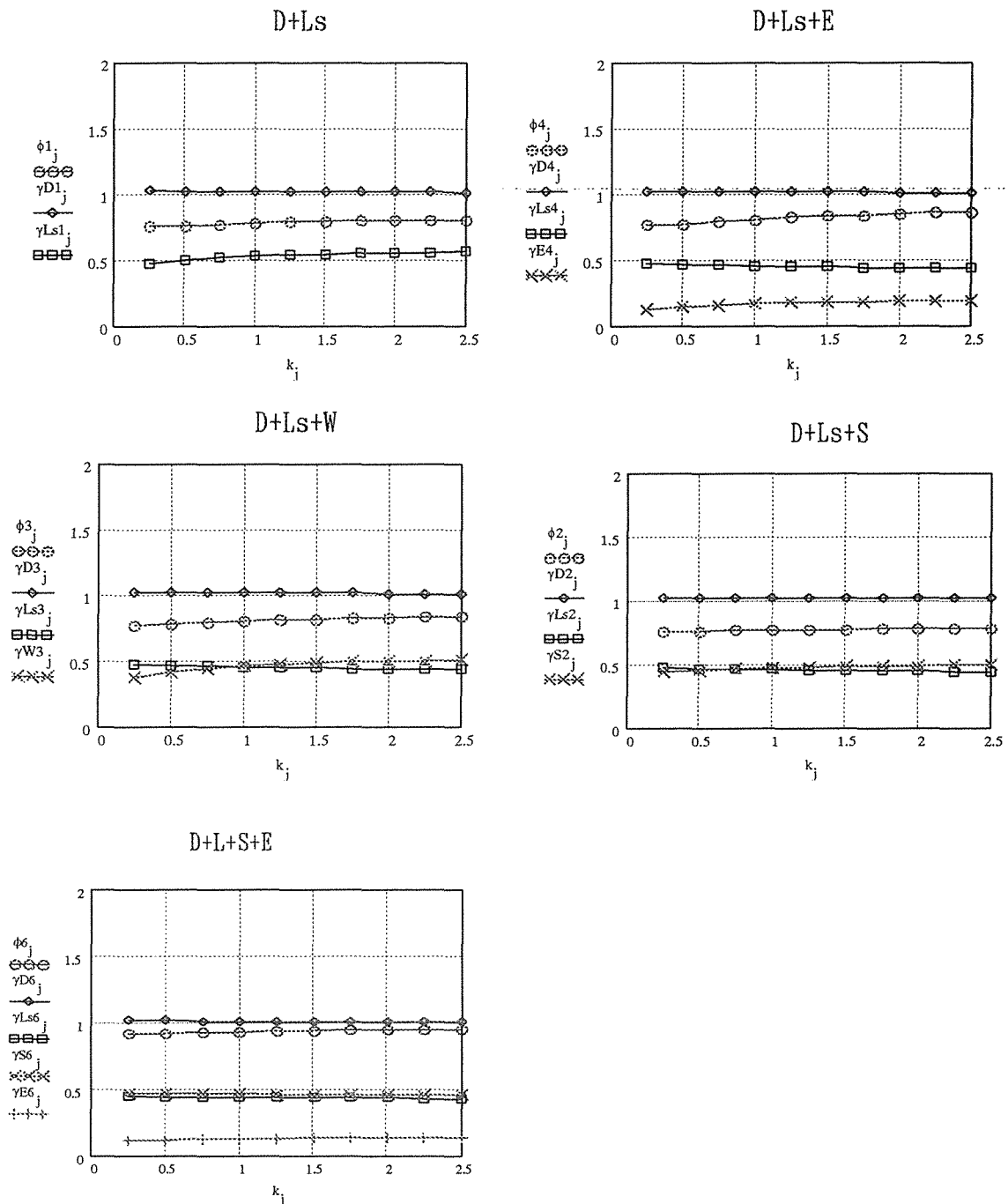


図 4. 使用限界状態における耐力・荷重係数の例

注：樹種はズギ。横軸は（主たる荷重の平均値）／（固定荷重の平均値）を表す。また、（従の荷重の平均値）／（固定荷重の平均値）の値はすべて0.5とした。

表 1 各部材の条件

	スパン (cm)	荷重分担幅 (cm)	幅 (cm)	公称値 (kgf/m ²)			
				固定荷重	積載荷重	風荷重	積雪荷重
2階の床梁	364	182	10.5	62	160	-	-
3階軒先の垂木	91	45.5	4	73	-	179	-
3階の母屋	273	91	10	100	-	-	1014

表 2 荷重および耐力効果

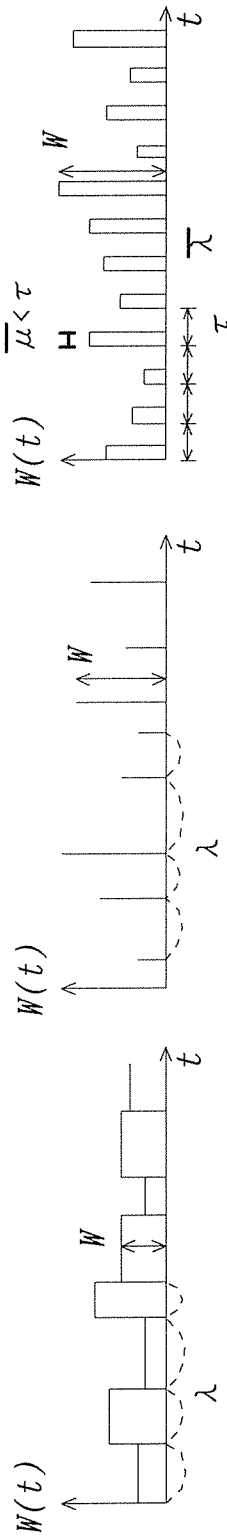
	確率過程モデル	平均生起率： λ (1/年)	平均作用時間： μ	平均値/ 公称値	COV	確率分布
W_D (固定荷重効果)	確率分布	—	—	1.00	0.10	正規分布
W_{L_s} (常時の積載荷重効果)	PSW	1/8	8 年	0.45	0.40	対数正規分布
W_{L_e} (非常時の積載荷重効果)	PI	1	1 日	0.45	0.80	極値 I 型分布
W_S (積雪荷重効果)	IRP	1	1/3 年	0.47	0.25	極値 I 型分布
W_W (風荷重効果)	PI	1	6 時間	0.40	0.50	極値 I 型分布
W_E (地震荷重効果)	PI	1	10 秒	0.16	0.98	極値 II 型分布
R (強度)	確率分布	—	—	—	—	4 つの分布
E (ヤング係数)	確率分布	—	—	—	—	4 つの分布

注：4 つの分布は、正規分布、対数正規分布、2 P ワイブル分布、3 P ワイブル分布、COV：変動係数、PSW=ポアソン方形波過程、IRP=断続矩形パルス過程、PI=ポアソンインパルス過程

PSW 過程

PI 過程

IRP 過程



μ と λ ($=1/\tau$)は平均値ではなく、確定変量を示す。

表 3. 強度に関する終局限界状態における設計点

設計点	スギ	カラマツ	ヒノキ	トドマツ	ベイマツ	エゾマツ	ダブリカカラマツ	アカマツ	ヒバ
梁	21.0	20.5	23.3	20.1	16.6	31.3	25.8	19.0	31.3
垂木	28.5	27.7	34.7	27.1	24.4	34.3	35.4	25.3	34.3
母屋	23.8	23.1	29.9	22.7	20.6	31.9	29.6	21.3	31.9
材料強度	22.1	25.0	26.5	22.1	27.9	22.1	27.9	25.0	26.5
$R_{0.05}$	24.8	24.2	30.8	23.1	22.5	20.3	29.1	21.0	29.1
平均	37.7	39.4	49.4	35.0	45.6	35.9	51.7	37.4	41.0
変動係数(%)	22	27	21	20	34	22	40	31	19

注:単位は MPa。

表 4. たわみに関する使用限界状態における設計点

	スギ	カラマツ	ヒノキ	トドマツ	ベイマツ	エゾマツ	ダブリカカラマツ	アカマツ	ヒバ
設計点	梁	7.1	10.0	7.8	8.5	8.0	10.9	6.7	8.0
	垂木	6.9	8.5	8.7	10.6	9.0	12.6	8.3	8.7
	母屋	5.5	7.1	7.7	8.4	8.0	10.8	6.7	7.9
推奨値	6.9	7.8	8.8	6.9	9.8	6.9	9.8	7.8	8.8
平均	7.2	8.7	10.6	8.8	11.0	9.1	12.7	8.6	8.8
変動係数(%)	25	21	12	15	26	15	18	24	14

注:単位は GPa。

参考文献

- (1)堀江和美、中村 昇、飯島泰男：木材学会誌、**45(2)**、103-110(1999).
- (2)限界状態設計法小委員会：建築物の限界状態設計指針（案）、日本建築学会、**1999**.
- (3)建設省住宅局建築指導課監修：木造の設計、新日本法規、**1983**.
- (4)日本建築学会：鋼構造限界状態設計指針・同解説、丸善株式会社、**1998**.

第4章 まとめ

以上、本事業の最終年度の報告として、第1章では構造用集成材、第2章では製材品の強度性能、第3章では限界状態設計法への適用について述べた。

それらの各章でのまとめと今後の問題を以下に記す。

1) 構造用集成材

構造用集成材では、これまでの5年間に収集されたNJ、FJ材を含めた11樹種、総計8650枚（約半数がスギ）のラミナ強度試験結果から、原木品質とラミナ品質の関係、ラミナのばらつき、破壊性状、接合効率、強度への影響因子などを明らかにした。

また、本年度全国3ブロックで行った、せい600mm、長さ12,000mmのスギ大断面構造用集成材の製造と強度試験の結果から、直径30cm程度のスギ原木の場合、原木のEとラミナのEは全国的に同一の関係式になること、現行のJAS区分にしたがったときの最適等級構成は地域によってかなり差が認められること、強度はほぼ現行の基準値には適合すること、最外層ラミナの選定方法とFJ加工技術によって、材の強度性能は著しく左右されることなどが分かった。ただし、材せいあるいは荷重条件によるMORの調整係数については、議論の余地が残されている。

さらに、確率論を適用した集成材強度性能のシミュレーションモデルを構築し、本年度行ったスギの大断面構造用集成材の実験データ結果への適合結果を検討したところ、概ね良好な予測精度であることが確認された。したがって、集成材に関しては、ラミナの強度データからシミュレーションによる予測は十分可能であるといえる。しかし、我が国で提案されているシミュレーションの方法には、現在のところ、本方法に加えて、小松、平嶋ら、などの数種があり、それらをも包含したモデルの提案が、今後望まれていくことになる。

2) 製材品の強度性能

製材品の強度性能では、前年度までの曲げ、縦圧縮に加えて、強度試験法の検討のためもあって、めり込み、せん断弾性係数およびせん断強さについて行った。

曲げ強度性能では、「構造用木材の強度試験法」における標準試験条件への調整についての検討を行った結果、本方法による標準化は概ね妥当と判断された。各測定値間の相互関係では、 f_b （曲げ強さ）は全樹種について E_b が最も有効な推

定因子であることが確認された。また、現行のJAS等級には含まれていない密度の影響も無視できず、目視法での精度を確保するためにはこの測定が欠かせない。また、丸太の動的ヤング係数から製材のEbは高精度で推定可能である。さらに、スギのJASによる目視および機械等級区分結果を考察した結果、目視区分による場合、Eb、fbとも等級間の明瞭な差は認めにくく、機械等級区分では明瞭である。

縦圧縮ではいずれの樹種とも産地が限定され、試験体数がやや不足していたため、今後の検討事項としておきたい。

めり込みについての試験方法はISO案で行った。この方式からは、めり込み強さ、めり込み降伏強さ、めり込み剛性が得られるが、いずれの性能とも縦ヤング係数より密度との相関が高いことが分かった。また、めり込み強さおよびめり込み降伏強さとめり込み剛性の相関関係は高く、初期のめり込み剛性を測定することによってめり込み強さおよびめり込み降伏強さを評価できることが明らかになった。しかし、樹種や断面の種類がやや少なく、今後のデータ蓄積が必要であろう。

せん断弾性係数は変動スパン法とねじり法（静的・動的）の各方法によって測定し、試験方法についてもあわせて考察した。その結果、いずれの方法によってもせん断弾性係数の測定は可能である。しかし、変動スパン法では実験に手間がかかり、また、材せいと荷重スパンの比と見かけのヤング係数の関係が必ずしも理論的な曲線にフィットしないこともあるなど、技術的な問題が多いことも明らかになった。

せん断強さに関しては、材せいと荷重スパンの比が6倍程度では、剪断破壊する確率はかなり低く、試験方法およびデータの処理方法について改めて検討する必要がある。

3)限界状態設計法への適用

本事業および1988年度に行われた日本木材学会木材強度木質構造研究会編「構造用木材・強度データの収集と分析」において収集された製材強度試験のデータを用いて、分布パラメータの推定手法と構造物の信頼性指標との関連を調べ、いくつかの荷重の組合せにおける耐力・荷重係数を算出した。その結果、強度については2Pワイブル分布当てはめの下限15%フィット、ヤング係数については2Pワイブル分布当てはめの100%フィットが妥当と考えられた。このことは、いわゆ

る強度試験においては、5%強度下限値を求めるには試験体全数を破壊する必要はなく、全体の15%程度が破壊するまでの荷重を加え、ヤング係数を測定した上で、残ったものは通常の商流に戻しても良いことを示している。

なお、本項目に関しては、現在建築学会の木質構造限界状態設計法小委員会で検討が進められている。

平成10年度農林水産省補助事業
エンジニアリングウッド性能評価事業 報告書

参考資料

これまでの実施概要	1
付表2. 1 測定データ一覧(1)～(23)	7
付表2. 2 データの基準強度等	30
付録1-1 東北ブロック	31
付録1-2 中部ブロック	41
付録1-3 九州ブロック	44

参考

これまでの実施概要（平成6年度～平成10年度）

本事業は、農林水産省補助事業として平成6年度から始まり、平成10年度までの5カ年間の実施事業である。実施目的は、本報告書の冒頭に記したように信頼性理論をもとにした限界状態設計法により、国産材を原料としたエンジニアリングウッドの性能評価を行うことを目標としている。現在の我が国の状況では、限界状態設計法を適用して集成材や製材品の性能評価を行うためには基礎的なデータの収集が充分でない。そのため、平成6年度から集成材ラミナの引張試験を実施しており、その結果を基に集成材の性能をシュミレーションによって性能予測を行い、実際の集成材との性能比較を行うことを目標とし、平成9年度までにラミナの試験を行ってデータの収集を実施した。平成10年度はシュミレーションによる性能予測法と実際との性能との比較を行うために、スギ丸太段階から曲げ性能を測定し、ラミナ製造後の性能、大断面集成材の製造と曲げ破壊試験による性能を確認し、性能予測法の検証を行った。

製材品については、試験方法と評価方法が確立されていないことから、試験体の選定方法、試験の実施手順、データの取り方、評価内容等についての試験基準を提案し、平成7年度から正角材、平角材の曲げ試験を行い、平成8年度からは曲げ試験とともに圧縮試験を行ってデータの収集を実施している。平成9年度は、変動スパン法によるせん断弾性係数の測定、材端横圧縮、縦圧縮等についても実施し、データの収集と共に試験実施方法の適否についても検討を行った。平成10年度は、これまで収集したデータを解析し、限界状態設計法への適用に関して検討を行った。

これまでに実施した試験の種類、試験実施機関、試験体数、実施年度等を別表に示す。

1. 平成6年度の実施内容

- | | |
|----------------------|--|
| 1) エゾマツ集成材ラミナの引張試験、 | 北海道立林産試験場 |
| 2) カラマツ集成材ラミナの引張試験、 | 北海道立林産試験場
長野県林業総合センター |
| 3) スギ集成材ラミナの引張試験、 | 森林総合研究所
静岡県林業技術センター
三重県林業技術センター
徳島県林業総合技術センター |
| 4) スプルース集成材ラミナの引張試験、 | 北海道立林産試験場 |
| 5) トドマツ集成材ラミナの引張試験、 | 北海道立林産試験場 |
| 6) ヒノキ集成材ラミナの引張試験、 | 静岡県林業技術センター |
| 7) ベイツガ集成材ラミナの引張試験、 | 静岡県林業技術センター |
| 8) ベイマツ集成材ラミナの引張試験、 | 森林総合研究所 |

2. 平成7年度の実施内容

- 1) カラマツ集成材ラミナの引張試験、
- 2) スギ集成材ラミナの引張試験、

長野県林業総合センター
森林総合研究所
宮城県林業試験場
長野県林業総合センター
徳島県林業総合技術センター
長野県林業総合センター
宮城県林業試験場
三重県林業技術センター
福岡県森林林業技術センター
長野県林業総合センター
岩手県林業技術センター
静岡県林業技術センター

- 3) ベイマツ集成材ラミナの引張試験、
- 4) スギ集成材ラミナの曲げ試験、
- 5) スギ正角製材の曲げ試験、

- 6) スギ平角製材の曲げ試験、

3. 平成8年度の実施内容

- 1) スギ集成材ラミナの引張試験、
- 2) アカマツ集成材ラミナの引張試験、
- 3) カラマツ集成材ラミナの引張試験、
- 4) スギ集成材ラミナの曲げ試験、
- 5) カラマツ集成材ラミナの曲げ試験、
- 6) カラマツ正角製材の曲げ試験、
- 7) スギ平角製材の曲げ試験、

森林総合研究所
宮城県林業試験場
静岡県林業技術センター
森林総合研究所
長野県林業総合センター
宮城県林業試験場
長野県林業総合センター
長野県林業総合センター
長野県林業総合センター
岩手県林業技術センター
静岡県林業技術センター
福岡県森林林業技術センター
北海道立林産試験場

- 8) エゾマツ正角製材の圧縮試験、

4. 平成9年度の実施内容

- 1) スギ集成材ラミナの引張試験、
- 2) カラマツ集成材ラミナの引張試験、
- 3) ベイマツ集成材ラミナの引張試験
- 4) ヒバ集成材ラミナの引張試験
- 5) スプルー集成材ラミナの引張試験
- 6) スギ集成材ラミナの曲げ試験

森林総合研究所
宮城県林業試験場
森林総合研究所
長野県林業総合センター
森林総合研究所
森林総合研究所
森林総合研究所
宮城県林業試験場

7) カラマツ集成材の材端横圧縮試験	長野県林業総合センター
8) カラマツ集成材の縦圧縮試験	長野県林業総合センター
9) スギ平角材の横圧縮試験	岩手県林業技術センター 三重県林業技術センター 静岡県林業技術センター
10) トドマツ正角材の横圧縮試験	北海道立林産試験場
11) トドマツ平角材の横圧縮試験	北海道立林産試験場
12) カラマツ正角材の横圧縮試験	長野県林業総合センター
13) スギ正角材の縦圧縮試験	長野県林業総合センター
14) カラマツ正角材の縦圧縮試験	長野県林業総合センター
15) トドマツ正角材の縦圧縮試験	北海道立林産試験場
16) スギ正角材の曲げ（変動スパン法）試験	岩手県林業技術センター 静岡県林業技術センター 三重県林業技術センター 福岡県森林林業技術センター
17) スギ平角材の曲げ（変動スパン法）試験	岩手県林業技術センター 静岡県林業技術センター 三重県林業技術センター 福岡県森林林業技術センター
18) カラマツ正角材の曲げ（変動スパン法）試験	長野県林業総合センター
19) ヒノキ正角材の曲げ（変動スパン法）試験	静岡県林業技術センター
20) トドマツ正角材の曲げ（変動スパン法）試験	北海道立林産試験場
21) トドマツ平角材の曲げ（変動スパン法）試験	北海道立林産試験場
22) トドマツ正角材のせん断試験	北海道立林産試験場
23) トドマツ平角材のせん断試験	北海道立林産試験場
24) カラマツ正角材のせん断試験	長野県林業総合センター
25) スギ平角材のせん断試験	岩手県林業技術センター

5. 平成10年度の実施内容

5.1 スギ集成材ラミナの曲げ試験

1) 東北ブロック

スギ丸太の収集（協力者）

岩手県林業技術センター
宮城県林業試験場
青森県林業試験場
山形県森林研究研修センター
福島県林業試験場

2) 中部ブロック

富山県林業技術センター
三重県林業技術センター
長野県林業総合センター

- 3) 九州ブロック
- スギ丸太の収集（協力者）
- 静岡県林業技術センター
福岡県森林林業技術センター
鹿児島県工業技術センター
大分県林業試験場
宮崎県工業技術センター
熊本県林業研究指導所
- 5.2 大断面集成材の曲げ破壊試験
- 1) 東北ブロック 秋田県立農業短期大学木材高度加工研究所
- 2) 中部ブロック 長野県林業総合センター
- 3) 九州ブロック 鹿児島県工業技術センター
- 5.3 スギ集成材データの解析、まとめ 秋田県立農業短期大学木材高度加工研究所
東北大学工学
農林水産省森林総合研究所
- 5.4 製材データのとりまとめ等 秋田県立農業短期大学木材高度加工研究所
農林水産省森林総合研究所
東京大学農学部
静岡県林業技術センター

別表-1 これまでの実験実施概要（平成6年度～平成10年度）
製材

樹種	断面寸法	試験項目	n	機関	年度
スギ	10.5×10.5	曲げ	100	三重	H7
スギ	10.5×10.5	曲げ	30	福岡	H7
スギ	12×12	曲げ	100	長野	H7
スギ正角、曲げ			計	230	
カラマツ	10.5×10.5	曲げ	144	長野	H8
カラマツ正角、曲げ			計	144	
スギ	10.5×10.5	曲げ（変動スパン法）	60	岩手	H9
スギ	10.5×10.5	曲げ（変動スパン法）	52	福岡	H9
スギ	12.0×12.0	曲げ（変動スパン法）	60	三重	H9
スギ正角、曲げ（変動スパン法）			計	172	
ヒノキ	10.5×10.5	曲げ（変動スパン法）	23	静岡	H9
カラマツ	10.5×10.5	曲げ（変動スパン法）	76	長野	H9
トドマツ	10.5×10.5	曲げ（変動スパン法）	60	北海道	H9
ヒノキ、カラマツ、トドマツ正角、曲げ（変動スパン法）			計	159	
エゾマツ	10×10	全面横圧縮	66	北海道	H8
エゾマツ	10×10	材端部部分横圧縮	66	北海道	H8
スギ	10.5×10.5	横圧縮	61	岩手	H9
スギ	12.0×12.0	横圧縮	60	三重	H9
カラマツ	10.5×10.5	横圧縮	76	長野	H9
トドマツ	10.0×10.0	横圧縮	60	北海道	H9
正角、横圧縮			計	389	
スギ	12.0×12.0	縦圧縮	97	長野	H9
カラマツ	12.0×12.0	縦圧縮	141	長野	H9
トドマツ	10.0×10.0	縦圧縮	60	北海道	H9
正角、縦圧縮			計	298	
スギ	10.5×10.5	せん断	61	岩手	H9
カラマツ	10.5×10.5	せん断	76	長野	H9
トドマツ	10.5×10.5	せん断	60	北海道	H9
正角、せん断			計	197	
平角製材					
スギ	12×24	曲げ	83	岩手	H7
スギ	12×24	曲げ	50	福岡	H7
スギ	平角	曲げ	192	静岡	H7
スギ	12×24	曲げ	80	岩手	H8
スギ	平角	曲げ	150	静岡	H8
スギ	平角	曲げ	60	福岡	H8
スギ平角、曲げ			計	615	
ヒノキ	10.5×10.5	曲げ	100	三重	H8
ヒノキ、平角、曲げ			計	100	
スギ	10.5×24.0	曲げ（変動スパン法）	68	岩手	H9
スギ	10.5×15.0	曲げ（変動スパン法）	24	静岡	H9
スギ	10.5×24.0	曲げ（変動スパン法）	25	静岡	H9
スギ	10.5×24.0	曲げ（変動スパン法）	60	三重	H9
スギ	10.5×24.0	曲げ（変動スパン法）	53	福岡	H9
スギ、平角、曲げ（変動スパン法）			計	230	
トドマツ	10.5×24.0	曲げ（変動スパン法）	60	北海道	H9
トドマツ、平角、曲げ（変動スパン法）			計	60	
スギ	10.5×24.0	横圧縮	68	岩手	H9
スギ	10.5×24.0	横圧縮	60	三重	H9
スギ、平角、横圧縮			計	128	
トドマツ	10.5×24.0	せん断	60	北海道	H9
トドマツ、平角、せん断			計	60	
			合計	2,782	

別表-2 これまでの実験実施概要 (平成6年度~平成10年度)

集成材ラミナ

N J材					F J材				
樹種	項目	n	機関	年度	樹種	項目	n	機関	年度
アカマツ	NJ引張	131	岩手	H6	アカマツ	FJ引張	99	岩手	H6
アカマツ(島根)	NJ引張	98	森林総研	H8	アカマツ(島根)	FJ引張	105	森林総研	H8
計		229			計		204		
エゾマツ	NJ引張	126	北海道	H6	エゾマツ	FJ引張	123	北海道	H6
計		126			計		123		
カラマツ	NJ引張	98	北海道	H6	カラマツ	FJ引張	98	北海道	H6
カラマツ	NJ引張	200	長野	H6	カラマツ	FJ引張	248	長野	H6
カラマツ	NJ引張	104	長野	H7	カラマツ	FJ引張	103	長野	H7
カラマツ	NJ引張	150	長野	H8	カラマツ	FJ引張	156	長野	H8
カラマツ	NJ引張	493	長野	H9	カラマツ	FJ引張	40	森林総研	H9
カラマツ引張 計		1,045			カラマツ引張 計		645		
スギ	NJ引張	170	静岡	H6	スギ	FJ引張	170	静岡	H6
スギ	NJ引張	103	三重	H6	スギ	FJ引張	110	三重	H6
スギ	NJ引張	145	徳島	H6	スギ	FJ引張	142	徳島	H6
スギ(宮崎)	NJ引張	100	森林総研	H6	スギ	FJ引張	100	森林総研	H6
スギ(栃木)	NJ引張	94	森林総研	H6	スギ	FJ引張	118	徳島	H7
スギ	NJ引張	143	宮城	H7	スギ	FJ引張	100	森林総研	H7
スギ	NJ引張	63	徳島	H7	スギ	FJ引張	100	長野	H7
スギ(宮崎)	NJ引張	159	森林総研	H7	スギ	FJ引張	100	宮城	H8
スギ(秋田)	NJ引張	100	長野	H7	スギ	FJ引張	118	福岡	H8
スギ	NJ引張	99	宮城	H8	スギ	FJ引張	240	森林総研	H8
スギ	NJ引張	117	福岡	H8	スギ	FJ引張	40	森林総研	H9
スギ	NJ引張	100	宮城	H9	スギ	FJ引張	120	宮城	H9
スギ	NJ引張	100	宮城	H9	スギ	FJ引張	100	宮城	H10
(東北ﾌﾞｯｸ)	NJ引張	30	宮城	H10	(東北ﾌﾞｯｸ)	FJ引張	30	宮城	H10
(中部ﾌﾞｯｸ)	NJ引張	40	宮城	H10	(中部ﾌﾞｯｸ)	FJ引張	40	宮城	H10
					(九州ﾌﾞｯｸ)	FJ引張	50	宮城	
スギ 計		1,563			スギ 計		1,678		
スギ	NJ曲げ	132	宮城	H7	スギ	FJ曲げ	100	宮城	H8
スギ	NJ曲げ	99	宮城	H8	スギ	FJ曲げ	100	長野	H8
スギ(秋田)	NJ曲げ	100	長野	H8	スギ	FJ曲げ	110	宮城	H9
スギ	NJ曲げ	100	宮城	H9	スギ	FJ曲げ	110	宮城	H9
スギ	NJ曲げ	100	宮城	H9	(九州ﾌﾞｯｸ)	FJ曲げ	57	宮城	H10
(中部ﾌﾞｯｸ)	NJ曲げ	40	宮城	H10	(中部ﾌﾞｯｸ)	FJ曲げ	40	宮城	H10
(東北ﾌﾞｯｸ)	NJ曲げ	27	宮城	H10	(東北ﾌﾞｯｸ)	FJ曲げ	29	宮城	H10
スギ 計		598			スギ 計		546		
カラマツ	NJ曲げ	149	長野	H8	カラマツ	FJ曲げ	155	長野	H8
カラマツ曲げ 計		149			カラマツ曲げ 計		155		
スギ	NJ圧縮	132	宮城	H7					
スギ 計		132							
スプルー	NJ引張	122	北海道	H6	スプルー	FJ引張	121	北海道	H6
					スプルー	FJ引張	40	森林総研	H9
スプルー 計		122			スプルー 計		161		
トドマツ	NJ引張	120	北海道	H6	トドマツ	FJ引張	123	北海道	H6
トドマツ 計		120			トドマツ 計		123		
ヒノキ	NJ引張	120	静岡	H6	ヒノキ	FJ引張	120	北海道	H6
ヒノキ 計		120			ヒノキ 計		120		
ベイツガ	NJ引張	120	静岡	H6	ベイツガ	FJ引張	120	静岡	H6
ベイツガ 計		120			ベイツガ 計		120		
ベイマツ	NJ引張	91	森林総研	H6	ベイマツ	FJ引張	101	森林総研	H6
ベイマツ	NJ引張	100	長野	H7	ベイマツ	FJ引張	99	長野	H7
					ベイマツ	FJ引張	40	森林総研	H9
ベイマツ 計		191			ベイマツ 計		240		
ヒバ					ヒバ	FJ引張	20	森林総研	H9
ヒバ 計					ヒバ 計		20		
合計		4,515			合計		4,135		

FJ:フィンガージョイント、NJ:フィンガージョイントなし

付表2.1 測定データ一覧 (1)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E:c	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	1	2	E050	19.9	0.298	0.290	8.5	3900	1300	120.2	244.6	6.44	5.34	0.41	13.6	5.70	18.9	32.1	38.1	39.0	39.8
スギ	2	3	E090	53.2	0.524	0.410	4.1	3900	1300	119.6	245.0	9.48	7.85	0.67	12.3	8.37	*	24.4	31.4	32.1	32.8
スギ	3	2	E050	30.5	0.356	0.327	5.6	3900	1300	118.7	243.9	6.25	5.03	0.49	10.7	5.35	*	22.8	29.4	30.0	30.6
スギ	4	1	E070	17.2	0.363	0.359	5.7	3900	1300	117.1	242.3	6.75	6.41	0.56	11.9	6.72	*	25.7	32.3	33.0	33.7
スギ	5	2	E070	20.1	0.354	0.345	7.0	3900	1300	119.9	245.0	6.13	5.93	0.53	11.8	6.32	*	24.7	31.9	32.6	33.3
スギ	6	2	E070	96.3	0.666	0.406	2.5	3900	1300	121.8	249.0	7.88	6.61	0.66	10.5	7.05	*	24.5	31.7	32.4	33.1
スギ	7	3	E070	35.7	0.450	0.397	5.7	3900	1300	120.5	244.5	8.69	7.25	0.64	11.9	7.73	*	14.1	18.2	18.6	19.0
スギ	8	2	E090	42.2	0.445	0.375	4.2	3900	1300	121.6	249.0	9.90	7.67	0.60	13.6	8.19	*	24.0	31.0	31.7	32.4
スギ	9	2	E070	16.8	0.338	0.335	6.1	3900	1300	118.6	242.3	6.72	6.19	0.51	12.5	6.45	*	22.5	28.0	28.6	29.2
スギ	10	1	E090	29.3	0.393	0.365	6.7	3900	1300	118.8	243.7	7.86	7.58	0.57	13.9	8.08	*	30.0	38.7	39.5	40.3
スギ	11	3	E070	22.6	0.363	0.349	3.9	3900	1300	118.7	242.0	7.74	6.76	0.54	13.2	7.20	*	22.5	29.0	29.6	30.2
スギ	12	2	E090	21.8	0.397	0.383	5.4	3900	1300	119.6	244.8	9.47	7.53	0.61	13.0	8.03	*	25.4	27.6	32.8	34.2
スギ	13	2	E050	19.4	0.335	0.327	7.3	3900	1300	118.8	242.5	5.04	4.98	0.49	10.7	5.30	*	17.0	18.4	22.3	22.8
スギ	14	2	E070	19.2	0.333	0.326	6.4	3900	1300	118.9	245.4	7.61	6.36	0.49	13.7	6.79	*	24.2	26.3	31.3	32.7
スギ	15	1	E070	41.7	0.413	0.350	3.5	3900	1300	119.7	245.8	7.97	7.26	0.54	14.1	7.75	*	30.2	39.0	39.9	40.8
スギ	16	1	E070	25.8	0.338	0.319	6.6	3900	1300	120.7	243.9	8.37	7.13	0.48	15.8	7.61	*	25.7	33.2	33.9	34.6
スギ	17	1	E070	17.9	0.345	0.340	5.0	3900	1300	118.7	242.3	7.75	6.19	0.52	12.5	6.57	*	24.1	30.9	31.6	32.2
スギ	18	2	E090	21.3	0.424	0.410	5.4	3900	1300	118.4	244.9	8.43	8.54	0.67	13.4	9.11	*	27.4	29.8	35.4	36.9
スギ	19	1	E070	17.3	0.391	0.386	6.4	3900	1300	118.8	242.7	7.90	6.80	0.62	11.4	7.15	*	25.6	27.3	33.0	33.7
スギ	20	2	E050	50.0	0.416	0.332	7.3	3900	1300	121.2	244.0	5.83	5.22	0.40	13.7	5.57	*	17.0	18.5	22.4	22.9
スギ	21	2	E070	26.4	0.410	0.387	3.7	3900	1300	119.2	245.1	8.16	7.70	0.50	14.0	7.13	*	21.9	23.8	28.8	29.5
スギ	22	2	E090	26.4	0.410	0.387	3.7	3900	1300	119.2	245.1	8.16	7.70	0.50	14.0	7.13	*	21.9	23.8	28.8	29.5
スギ	23	2	E050	33.2	0.349	0.314	6.5	3900	1300	119.1	244.5	6.02	5.10	0.47	11.6	5.43	*	32.3	35.1	41.7	43.5
スギ	24	2	E050	24.6	0.378	0.360	6.9	3900	1300	121.7	245.1	5.26	4.84	0.56	9.1	5.15	*	14.5	15.7	18.7	19.5
スギ	25	1	E090	31.4	0.352	0.321	4.7	3900	1300	120.4	243.7	6.59	8.08	0.48	17.8	8.64	*	18.0	19.5	23.2	24.2
スギ	26	2	E050	41.7	0.376	0.318	6.9	3900	1300	119.7	244.4	6.77	5.51	0.47	12.3	5.87	*	30.6	33.3	39.5	41.2
スギ	27	1	E070	19.2	0.346	0.338	5.1	3900	1300	119.8	243.1	5.76	5.52	0.52	13.3	6.95	*	19.3	21.0	24.9	25.5
スギ	28	2	E090	23.4	0.442	0.423	3.4	3900	1300	119.2	243.2	9.77	8.70	0.70	13.1	9.27	*	29.5	32.1	38.0	39.6
スギ	29	1	E090	21.5	0.365	0.353	4.6	3900	1300	119.7	244.6	8.59	8.25	0.55	15.9	8.82	*	30.8	33.5	39.7	41.4
スギ	30	2	E070	15.0	0.331	0.331	5.6	3900	1300	118.6	243.8	6.10	6.88	0.50	13.7	6.95	*	28.0	30.4	36.1	37.7
スギ	31	1	E090	23.2	0.401	0.384	3.7	3900	1300	118.8	244.0	9.10	8.58	0.62	14.7	9.15	*	30.5	33.2	39.3	41.1
スギ	32	1	E090	54.0	0.487	0.379	5.3	3900	1300	119.7	243.5	7.69	8.37	0.61	14.6	8.92	*	28.2	30.7	36.4	37.2
スギ	33	2	E070	21.6	0.363	0.351	3.4	3900	1300	119.7	243.9	7.00	6.29	0.54	12.2	6.70	*	23.8	25.8	30.7	31.4
スギ	34	2	E070	19.6	0.358	0.350	6.3	3900	1300	117.8	243.9	5.98	5.79	0.54	11.3	6.16	*	24.6	26.7	31.7	32.4
スギ	35	2	E090	52.5	0.490	0.385	5.6	3900	1300	119.8	244.8	7.93	8.39	0.62	14.3	8.96	*	30.3	32.9	39.0	40.8
スギ	36	2	E070	44.3	0.464	0.385	5.2	3900	1300	122.3	244.3	7.61	6.92	0.62	11.8	7.37	*	26.9	29.2	34.6	35.4
スギ	37	2	E070	30.5	0.381	0.350	5.5	3900	1300	121.0	244.7	8.69	7.32	0.54	14.3	7.81	*	24.3	26.5	31.4	32.1
スギ	38	3	E050	27.7	0.364	0.342	6.3	3900	1300	121.0	245.1	5.90	5.19	0.52	10.4	5.52	*	14.2	15.4	18.3	19.1
スギ	39	1	E090	18.7	0.418	0.410	3.3	3900	1300	120.1	244.7	9.94	9.20	0.67	14.5	9.82	*	40.4	43.9	52.1	53.3
スギ	40	2	E070	25.3	0.411	0.390	6.5	3900	1300	119.9	243.1	6.83	6.85	0.63	11.5	7.30	*	20.9	22.7	26.9	27.5
スギ	41	1	E050	16.7	0.319	0.316	5.9	3600	1300	119.0	244.6	5.85	5.56	0.47	12.2	5.83	*	18.5	19.4	22.9	23.3
スギ	42	1	E110	19.7	0.396	0.386	5.2	3600	1300	117.4	244.2	11.55	10.22	0.62	17.4	11.03	*	37.4	40.7	48.0	50.0
スギ	43	2	E090	27.5	0.368	0.345	5.8	3600	1300	119.1	244.1	8.47	7.90	0.53	15.7	8.51	*	29.1	31.7	37.4	38.0
スギ	44	2	E050	18.8	0.371	0.364	5.8	3600	1300	118.7	242.9	6.25	5.57	0.57	10.3	5.96	*	24.7	26.9	31.7	32.2
スギ	45	2	E070	23.3	0.395	0.379	5.4	3600	1300	119.1	243.5	6.86	6.40	0.60	11.2	6.85	*	26.1	28.4	33.4	34.8
スギ	46	1	E050	16.8	0.359	0.355	6.3	3600	1300	119.0	242.7	6.74	5.73	0.55	10.7	5.99	*	21.5	22.5	26.5	27.7
スギ	47	2	E070	31.6	0.401	0.365	5.2	3600	1300	117.4	244.0	6.80	6.58	0.58	12.1	7.06	*	26.0	28.3	33.3	34.7
スギ	48	2	E070	31.9	0.404	0.367	6.1	3600	1300	121.0	244.8	7.66	6.42	0.58	11.7	6.88	*	23.9	25.9	30.6	31.1

付表2.1 測定データ一覧 (2)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L (mm)	S (mm)	b (mm)	h (mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G (GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fn-15 (MPa)	fr-1 (MPa)	fr-2 (MPa)	fr-3 (MPa)
スギ	岩手95	49	E070	25.1	0.392	0.373	6.4	3600	1300	119.0	243.8	7.75	6.90	0.59	12.3	7.40	*	21.5	23.3	27.5	27.9	28.6
スギ	岩手95	50	E090	24.5	0.401	0.382	5.3	3600	1300	117.6	243.6	9.63	8.91	0.61	15.4	9.59	*	29.3	31.8	37.5	38.2	39.1
スギ	岩手95	51	E070	27.0	0.433	0.407	7.4	3600	1300	119.8	243.7	6.22	5.80	0.67	9.2	6.20	*	23.5	25.5	30.0	30.5	31.3
スギ	岩手95	52	E090	35.8	0.405	0.358	4.9	3600	1300	118.7	244.3	7.96	8.02	0.56	15.1	8.63	*	26.2	28.5	33.6	34.2	35.0
スギ	岩手95	53	E050	25.0	0.323	0.307	7.5	3600	1300	119.4	243.7	5.89	5.24	0.45	12.3	5.62	*	23.7	25.8	30.4	30.9	31.6
スギ	岩手95	54	E070	24.5	0.359	0.342	5.6	3600	1300	119.9	244.3	7.33	6.37	0.53	12.8	6.84	*	25.2	27.4	32.4	32.9	33.7
スギ	岩手95	55	E070	29.2	0.421	0.391	5.1	3600	1300	119.5	244.2	6.83	6.41	0.63	10.7	6.86	*	23.6	25.6	30.2	30.7	31.5
スギ	岩手95	56	E090	18.5	0.385	0.378	4.8	3600	1300	118.1	242.7	7.29	7.64	0.60	13.4	8.20	*	28.1	30.6	36.0	36.6	37.5
スギ	岩手95	57	E070	28.6	*	0.420	5.5	3600	1300	120.1	244.6	8.49	7.17	0.69	10.9	7.68	*	26.0	28.3	33.3	33.9	34.8
スギ	岩手95	58	E070	21.3	0.357	0.345	6.3	3600	1300	117.3	242.0	5.99	6.23	0.53	12.3	6.68	*	27.0	29.4	34.6	35.1	36.0
スギ	岩手95	59	E070	26.2	0.364	0.344	6.8	3600	1300	118.2	243.9	7.21	5.88	0.53	11.7	6.30	*	12.3	13.4	15.8	16.0	16.4
スギ	岩手95	60	E070	30.5	0.393	0.361	4.7	3600	1300	120.5	244.5	8.16	6.70	0.57	12.5	7.19	*	27.3	29.7	35.1	35.6	36.5
スギ	岩手95	61	E050	17.4	0.330	0.326	5.7	3600	1300	118.7	242.8	6.59	5.62	0.49	11.9	5.95	*	24.7	26.4	31.1	31.6	32.4
スギ	岩手95	62	E070	29.8	0.390	0.361	7.2	3600	1300	117.2	241.3	7.52	7.03	0.57	13.1	7.53	*	27.4	29.8	35.0	35.6	36.5
スギ	岩手95	63	E070	22.5	0.372	0.357	5.9	3600	1300	118.5	245.5	8.79	6.69	0.56	12.7	7.19	*	26.5	28.8	34.0	34.6	35.5
スギ	岩手95	64	E070	50.7	0.472	0.375	5.5	3600	1300	120.2	244.8	6.42	6.50	0.60	11.5	6.97	*	25.6	27.8	32.8	33.4	34.2
スギ	岩手95	65	E070	21.7	0.356	0.344	5.9	3600	1300	120.0	242.8	5.52	6.29	0.53	12.6	6.75	*	23.4	25.4	30.0	30.4	31.2
スギ	岩手95	66	E050	19.5	0.350	0.341	7.7	3600	1300	118.4	243.4	5.78	5.27	0.52	10.6	5.64	*	24.3	26.4	31.1	31.7	32.5
スギ	岩手95	67	E090	20.5	0.412	0.400	4.8	3600	1300	118.2	244.6	9.84	8.16	0.65	13.2	8.77	*	28.4	30.8	36.4	37.0	37.9
スギ	岩手95	68	E070	17.3	0.330	0.326	6.8	3600	1300	119.1	242.8	7.07	6.61	0.49	14.0	7.01	*	24.5	26.1	30.7	31.2	32.0
スギ	岩手95	69	E090	40.3	0.473	0.404	5.7	3600	1300	118.5	244.4	8.92	8.61	0.66	9.2	9.26	*	28.5	31.0	36.6	37.2	38.1
スギ	岩手95	70	E050	22.3	0.319	0.307	6.6	3600	1300	118.6	242.3	4.93	3.94	0.45	9.2	4.20	*	14.9	16.2	19.1	19.4	19.9
スギ	岩手95	71	E070	23.9	0.364	0.347	5.5	3600	1300	118.7	244.7	6.97	6.16	0.54	12.1	6.60	*	25.0	27.2	32.1	32.7	33.5
スギ	岩手95	72	E070	39.8	0.429	0.368	4.8	3600	1300	119.9	244.8	6.63	6.42	0.58	11.7	6.88	*	25.4	27.6	32.6	33.1	33.9
スギ	岩手95	73	E070	30.7	0.386	0.354	5.5	3600	1300	117.4	242.5	5.59	6.50	0.55	12.4	6.97	*	22.4	24.4	28.7	29.1	29.9
スギ	岩手95	74	E070	19.6	0.363	0.354	5.8	3600	1300	119.2	242.2	10.47	6.62	0.55	12.7	7.09	*	23.2	25.2	29.7	30.2	31.0
スギ	岩手95	75	E070	22.1	0.308	0.297	5.0	3600	1300	117.3	242.8	6.04	6.23	0.43	15.4	6.70	*	25.7	28.0	32.9	33.5	34.3
スギ	岩手95	76	E070	18.7	0.340	0.333	5.6	3600	1300	119.0	242.9	6.57	5.92	0.51	12.3	6.35	*	22.3	24.3	28.5	29.0	29.7
スギ	岩手95	77	E070	20.9	0.365	0.354	5.8	3600	1300	118.4	241.6	7.40	6.72	0.55	12.9	7.21	*	27.5	29.8	35.2	35.8	36.7
スギ	岩手95	78	E070	20.9	0.355	0.344	6.0	3600	1300	118.5	243.6	7.07	7.13	0.53	14.2	7.67	*	22.4	24.3	28.7	29.1	29.9
スギ	岩手95	79	E050	21.0	0.379	0.367	6.0	3600	1300	118.4	243.2	5.48	5.49	0.58	10.0	5.87	*	19.5	21.2	25.0	25.4	26.0
スギ	岩手95	80	E070	59.7	0.400	0.300	5.2	3600	1300	121.2	245.1	7.40	5.67	0.44	13.8	6.09	*	22.1	24.0	28.4	28.9	29.6
スギ	岩手95	81	E070	58.7	0.423	0.320	4.9	3600	1300	118.5	245.5	6.55	6.33	0.48	14.0	6.81	*	31.0	33.7	39.7	40.3	41.4
スギ	岩手95	82	E070	46.3	0.387	0.317	6.0	3600	1300	119.2	245.8	6.67	5.90	0.47	13.2	6.34	*	30.3	32.9	39.0	39.8	40.7
スギ	岩手95	83	E110	22.2	0.452	0.435	2.1	3600	1300	119.2	242.4	0.00	9.94	0.73	14.5	10.68	*	27.9	25.2	29.8	30.4	31.1
スギ	岩手96	1	E090	24.7	0.368	0.350	4.2	3900	1300	119.3	242.2	6.76	8.14	0.54	15.8	8.69	*	23.2	23.5	27.8	28.4	29.0
スギ	岩手96	2	E070	10.9	0.321	0.390	5.0	3900	1300	116.6	241.8	6.52	8.03	0.63	11.9	7.55	*	28.4	24.0	29.8	30.4	31.1
スギ	岩手96	3	E070	15.5	0.325	0.325	5.4	3900	1300	116.4	241.7	5.65	6.30	0.49	13.0	6.41	*	37.4	33.9	40.0	40.8	41.7
スギ	岩手96	4	E090	10.9	0.361	0.369	3.5	3900	1300	117.0	239.6	7.21	10.30	0.58	16.5	9.72	*	35.3	35.8	42.4	43.3	44.3
スギ	岩手96	5	E090	10.5	0.342	0.350	4.1	3900	1300	119.2	240.6	7.80	9.39	0.54	16.0	8.80	*	30.6	31.0	36.4	37.1	38.0
スギ	岩手96	6	E090	15.5	0.353	0.352	4.4	3900	1300	117.1	241.8	7.38	8.72	0.55	16.1	8.90	*	33.4	28.7	33.9	34.6	35.4
スギ	岩手96	7	E090	15.5	0.307	0.306	4.4	3900	1300	122.2	233.4	6.98	8.62	0.48	19.4	8.76	*	33.5	31.3	37.0	37.7	38.6
スギ	岩手96	8	E070	8.8	0.311	0.322	4.5	3900	1300	119.5	240.4	6.04	7.58	0.48	14.2	6.90	*	30.0	26.5	31.4	32.1	32.8
スギ	岩手96	9	E070	12.3	0.338	0.343	5.4	3900	1300	118.0	240.2	6.47	8.05	0.53	14.6	7.75	*	22.4	20.4	24.2	24.7	25.2
スギ	岩手96	10	E070	10.0	0.328	0.338		3900	1300	119.2	243.5	7.73	7.91	0.52	14.1	7.36	*	24.6	26.8	31.7	32.4	33.1
スギ	岩手96	11	E050	11.3	0.351	0.359	5.8	3900	1300	117.6	242.5	4.36	6.20	0.56	10.4	5.87	*	33.4	33.4	39.6	40.4	41.3
スギ	岩手96	12	E070	25.7	0.334	0.317	4.6	3900	1300	116.8	242.0	6.11	6.50	0.47	14.6	6.94	*	25.9	26.8	31.7	32.4	33.2
スギ	岩手96	13	E070	15.2	0.371	0.371	4.0	3900	1300	118.7	243.4	6.93	7.46	0.59	12.7	7.55	*	25.9	26.0	30.8	31.5	32.2

付表2.1 測定データ一覧 (3)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	岩手96 14	1	E070	12.9	0.317	0.321	5.4	3900	1300	119.3	240.3	6.98	7.82	0.48	15.7	7.62	*	32.3	30.7	36.3	37.0	37.8
スギ	岩手96 15	2	E070	8.9	0.389	0.403	4.2	3900	1300	116.7	242.8	4.73	7.21	0.66	18.8	6.56	*	26.1	22.4	26.6	27.1	27.7
スギ	岩手96 16	1	E110	11.0	0.355	0.363	4.0	3900	1300	116.6	241.3	9.45	11.50	0.57	19.8	10.88	*	38.0	34.4	40.7	41.6	42.5
スギ	岩手96 17	2	E070	12.5	0.339	0.343	4.5	3900	1300	118.1	239.4	7.04	8.08	0.53	14.6	7.80	*	13.2	12.4	14.7	15.0	15.3
スギ	岩手96 18	2	E090	15.0	0.353	0.353	5.1	3900	1300	117.9	241.3	7.32	8.31	0.55	15.1	8.39	*	35.2	35.2	41.7	42.6	43.5
スギ	岩手96 19	1	E090	16.5	0.337	0.334	4.6	3900	1300	118.2	240.3	6.40	8.90	0.51	18.0	9.24	*	32.2	33.6	39.7	40.5	41.4
スギ	岩手96 20	2	E050	16.1	0.319	0.317	6.8	3900	1300	119.5	241.0	4.29	5.34	0.47	11.5	5.48	*	21.9	22.6	26.7	27.2	27.8
スギ	岩手96 21	2	E070	15.4	0.363	0.363	5.2	3900	1300	118.2	242.3	5.30	6.86	0.57	12.1	6.96	*	32.5	32.8	38.9	39.7	40.6
スギ	岩手96 22	2	E070	12.9	0.288	0.291	6.1	3900	1300	121.2	242.2	5.92	6.48	0.42	15.1	6.32	*	26.0	24.6	29.2	29.8	30.4
スギ	岩手96 23	1	E090	16.8	0.341	0.338	4.5	3900	1300	118.1	242.5	7.69	8.35	0.52	16.7	8.72	*	29.3	30.8	36.5	37.3	38.1
スギ	岩手96 24	3	E070	18.3	0.326	0.320	6.3	3900	1300	118.7	244.2	6.42	6.77	0.48	14.9	7.22	*	17.7	19.2	22.8	23.3	23.8
スギ	岩手96 25	1	E070	9.5	0.335	0.346	5.9	3900	1300	118.4	240.6	6.08	6.54	0.53	11.2	6.01	*	29.3	25.6	30.3	30.9	31.6
スギ	岩手96 26	2	E070	15.6	0.333	0.332	5.3	3900	1300	119.1	243.1	7.13	7.76	0.50	15.6	7.94	*	16.6	16.9	20.0	20.4	20.9
スギ	岩手96 27	1	E070	9.4	0.341	0.352	3.8	3900	1300	117.9	238.1	5.76	7.50	0.55	12.5	6.88	*	29.7	25.8	30.5	31.1	31.8
スギ	岩手96 28	2	E050	10.5	0.309	0.317	4.4	3900	1300	117.7	242.9	5.35	6.40	0.47	12.5	5.98	*	27.0	24.1	28.5	29.1	29.7
スギ	岩手96 29	2	E090	18.7	0.343	0.336	5.6	3900	1300	117.4	243.1	7.03	8.07	0.51	16.6	8.62	*	24.7	26.8	31.8	32.5	33.2
スギ	岩手96 30	1	E110	12.8	0.383	0.387	4.3	3900	1300	118.6	239.6	8.87	10.97	0.62	17.0	10.68	*	33.5	31.7	37.5	38.2	39.1
スギ	岩手96 31	1	E090	15.4	0.423	0.422	5.8	3900	1300	116.7	242.5	6.37	9.01	0.70	13.0	9.15	*	34.0	34.4	40.7	41.6	42.5
スギ	岩手96 32	2	E070	27.1	0.333	0.313	4.5	3900	1300	118.7	241.8	6.12	6.87	0.46	15.7	7.33	*	25.4	27.7	32.7	33.4	34.2
スギ	岩手96 33	1	E110	18.9	0.347	0.340	3.4	3900	1300	118.9	242.9	7.79	9.75	0.52	19.8	10.44	*	34.5	37.5	44.4	45.4	46.3
スギ	岩手96 34	1	E070	11.9	0.384	0.390	4.3	3900	1300	118.6	242.1	6.03	8.29	0.63	12.5	7.93	*	30.5	28.2	33.3	34.1	34.8
スギ	岩手96 35	1	E070	10.5	0.307	0.315	5.3	3900	1300	117.6	241.9	6.91	8.21	0.47	16.3	7.69	*	31.2	27.8	33.0	33.6	34.4
スギ	岩手96 36	2	E090	17.9	0.373	0.368	4.6	3900	1300	119.5	241.2	7.15	8.67	0.58	15.7	9.23	*	29.3	31.8	37.6	38.4	39.2
スギ	岩手96 37	1	E070	23.2	0.373	0.358	5.8	3900	1300	119.3	241.6	7.18	7.20	0.56	13.6	7.68	*	24.6	26.7	31.6	32.3	33.0
スギ	岩手96 38	2	E090	14.5	0.356	0.357	4.9	3900	1300	118.0	243.0	7.85	8.35	0.56	14.8	8.37	*	33.5	33.1	39.2	40.1	40.9
スギ	岩手96 39	1	E070	12.1	0.320	0.325	5.5	3900	1300	118.7	243.2	6.28	6.96	0.49	13.5	6.68	*	25.9	24.1	28.5	29.1	29.8
スギ	岩手96 40	3	E070	10.0	0.335	0.345	5.8	3900	1300	117.5	241.8	7.63	8.56	0.53	14.8	7.95	*	35.2	31.1	36.8	37.6	38.4
スギ	岩手96 41	1	E090	12.3	0.360	0.365	4.6	3900	1300	119.8	243.5	6.38	8.46	0.58	14.0	8.17	*	31.0	28.9	34.3	35.0	35.8
スギ	岩手96 42	1	E070	14.7	0.316	0.317	5.9	3900	1300	119.0	243.0	6.96	7.87	0.47	16.6	7.92	*	29.0	28.8	34.1	34.8	35.6
スギ	岩手96 43	2	E070	9.4	0.329	0.339	4.0	3900	1300	116.6	241.1	6.96	7.95	0.52	14.0	7.31	*	35.7	31.1	36.8	37.5	38.4
スギ	岩手96 44	1	E070	11.6	0.313	0.319	4.2	3900	1300	117.1	242.5	5.16	6.58	0.48	13.1	6.27	*	29.6	27.2	32.2	32.9	33.6
スギ	岩手96 45	1	E070	9.3	0.350	0.362	4.5	3900	1300	120.0	241.7	7.71	7.69	0.57	12.3	7.05	*	35.7	31.0	36.6	37.4	38.2
スギ	岩手96 46	1	E070	13.8	0.358	0.361	4.6	3900	1300	117.4	241.5	5.65	7.95	0.57	13.8	7.86	*	34.1	33.1	39.2	40.0	40.9
スギ	岩手96 47	1	E070	9.0	0.368	0.381	4.5	3900	1300	118.6	240.8	5.95	8.40	0.61	12.5	7.66	*	22.9	19.8	23.4	23.9	24.4
スギ	岩手96 48	2	E070	19.0	0.418	0.409	6.1	3900	1300	118.1	241.7	8.53	9.39	0.67	14.8	10.01	*	33.1	36.0	42.6	43.5	44.4
スギ	岩手96 49	2	E110	13.3	0.343	0.347	4.3	3900	1300	119.6	242.3	7.25	9.19	0.54	16.7	9.03	*	30.2	28.9	34.2	34.9	35.7
スギ	岩手96 50	2	E070	15.1	0.333	0.333	6.4	3900	1300	119.8	242.7	5.67	6.77	0.51	13.4	6.84	*	25.4	25.5	30.2	30.8	31.5
スギ	岩手96 51	2	E050	27.4	0.389	0.365	5.9	3900	1300	116.2	242.2	5.28	5.42	0.58	9.9	5.77	*	23.9	26.0	30.8	31.4	32.1
スギ	岩手96 52	2	E070	16.1	0.340	0.338	5.3	3900	1300	117.0	241.0	6.01	7.25	0.52	14.3	7.46	*	23.6	24.3	28.8	29.4	30.0
スギ	岩手96 53	2	E070	16.1	0.340	0.338	5.3	3900	1300	117.0	241.0	6.01	7.25	0.52	14.3	7.46	*	23.6	24.3	28.8	29.4	30.0
スギ	岩手96 54	2	E070	12.2	0.364	0.369	4.5	3900	1300	120.1	242.3	8.55	9.16	0.58	15.0	8.83	*	41.6	38.8	45.9	46.9	47.9
スギ	岩手96 55	1	E090	9.1	0.312	0.323	5.4	3900	1300	118.6	239.2	6.04	7.18	0.48	13.4	6.56	*	37.2	32.2	38.0	38.8	39.6
スギ	岩手96 56	1	E070	14.7	0.337	0.338	7.7	3900	1300	119.4	242.3	4.56	5.89	0.52	11.3	5.90	*	23.6	23.4	27.8	28.4	29.0
スギ	岩手96 57	2	E050	17.4	0.375	0.371	4.9	3900	1300	119.7	241.6	7.87	9.52	0.59	16.9	10.05	*	23.9	25.5	30.2	30.9	31.5
スギ	岩手96 58	1	E110	10.4	0.329	0.338	4.2	3900	1300	119.4	240.2	5.25	7.67	0.52	13.8	7.16	*	29.6	26.4	31.2	31.8	32.5
スギ	岩手96 59	1	E070	18.6	0.416	0.408	5.2	3900	1300	121.6	243.6	7.16	9.00	0.67	14.2	9.60	*	27.1	29.5	34.9	35.7	36.5
スギ	岩手96 60	1	E090	12.6	0.329	0.334	4.6	3900	1300	118.3	241.2	8.00	8.82	0.51	16.7	8.56	*	33.2	31.1	36.9	37.6	38.4
スギ	岩手96 61	1	E090	12.5	0.333	0.338	4.6	3900	1300	117.7	241.1	7.90	11.32	0.52	21.0	10.99	*	32.4	30.3	35.9	36.7	37.4
スギ	岩手96 62	1	E110	10.4	0.363	0.373	4.1	3900	1300	118.0	249.9	7.33	7.65	0.59	12.0	7.15	*	31.0	27.6	32.9	33.7	34.3

付表2.1 測定データ一覧 (4)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	65	2	E090	23.2	0.402	0.385	7.7	3900	1300	118.4	238.8	5.99	7.82	0.62	13.3	8.32	*	14.9	16.2	19.1	19.5	19.9
スギ	66	2	E070	12.6	0.321	0.325	4.6	3900	1300	119.3	243.9	5.23	7.08	0.49	13.9	6.87	*	23.5	22.1	26.2	26.8	27.4
スギ	67	2	E070	21.3	0.355	0.343	4.5	3900	1300	118.0	239.7	6.82	7.37	0.53	14.7	7.85	*	30.0	32.7	38.6	39.4	40.3
スギ	68	2	E050	11.9	0.332	0.338	6.5	3900	1300	116.3	242.3	5.34	5.63	0.52	10.3	5.38	*	19.9	18.4	21.8	22.2	22.7
スギ	69	2	E070	17.6	0.320	0.316	4.2	3900	1300	119.3	243.6	6.31	5.90	0.47	13.2	6.25	*	18.0	19.4	23.0	23.5	24.0
スギ	70	2	E090	19.1	0.314	0.307	4.6	3900	1300	117.9	243.9	7.62	7.78	0.45	18.2	8.32	*	25.2	27.4	32.5	33.2	33.9
スギ	71	2	E090	15.6	0.379	0.378	4.8	3900	1300	120.3	244.6	7.22	8.13	0.60	13.6	8.31	*	26.8	27.3	32.3	33.1	33.8
スギ	72	2	E070	20.7	0.384	0.373	5.0	3900	1300	120.0	246.3	7.11	7.42	0.59	13.2	7.92	*	27.2	29.6	35.2	36.0	36.7
スギ	73	2	E050	13.2	0.336	0.339	6.5	3900	1300	118.6	242.6	5.16	5.94	0.52	11.1	5.80	*	25.7	24.5	29.0	29.7	30.3
スギ	74	2	E050	14.4	0.401	0.402	6.4	3900	1300	118.9	241.9	4.11	5.47	0.65	8.3	5.45	*	25.8	25.4	30.1	30.7	31.4
スギ	75	2	E050	11.8	0.356	0.363	6.5	3900	1300	118.3	239.7	4.32	5.16	0.57	8.6	4.91	*	24.8	22.9	27.0	27.6	28.2
スギ	76	3	E030	9.2	0.278	0.287	8.4	3900	1300	120.9	242.2	4.44	4.19	0.41	9.3	3.83	*	17.6	15.3	18.1	18.5	18.9
スギ	77	2	E070	12.7	0.277	0.281	4.6	3900	1300	119.8	245.9	6.17	6.41	0.39	15.6	6.24	*	24.8	23.3	27.7	28.3	28.9
スギ	78	1	E050	20.8	0.348	0.338	5.9	3900	1300	119.7	243.6	4.11	4.81	0.52	9.8	5.12	*	22.6	24.5	29.1	29.7	30.3
スギ	79	3	E070	11.1	0.303	0.309	4.3	3900	1300	118.6	244.3	7.45	7.98	0.45	16.4	7.56	*	29.2	26.4	31.3	32.0	32.7
スギ	80	3	E070	13.0	0.381	0.385	3.8	3900	1300	119.6	241.3	7.08	8.18	0.62	12.8	7.97	*	23.0	21.8	25.9	26.4	27.0
スギ	81	2	E070	10.8	0.335	0.343	6.6	3900	1300	118.0	240.4	5.81	7.53	0.53	13.3	7.07	*	21.1	19.0	22.5	22.9	23.4
スギ	82	1	E090	16.6	0.376	0.373	4.4	2700	900	120.0	120.0	*	8.30	0.59	14.4	8.42	29.9	43.1	45.0	43.0	42.2	42.6
スギ	2	2	E070	21.0	0.345	0.334	5.7	2700	900	120.0	120.0	*	5.75	0.51	12.0	6.00	19.2	30.6	33.3	31.8	31.2	31.5
スギ	4	1	E090	18.8	0.393	0.385	5.3	2700	900	120.0	120.0	*	7.89	0.62	13.5	8.22	27.7	42.8	46.5	44.4	43.6	43.9
スギ	5	2	E090	14.6	0.394	0.394	4.7	2700	900	120.0	120.0	*	8.67	0.64	13.5	8.50	35.1	50.6	50.1	47.9	47.0	47.4
スギ	6	1	E050	17.0	0.342	0.339	4.8	2700	900	120.0	120.0	*	5.32	0.52	10.6	5.45	20.5	28.5	30.1	28.8	28.2	28.5
スギ	7	2	E090	15.0	0.410	0.410	6.6	2700	900	120.0	120.0	*	9.55	0.67	14.2	9.41	35.5	44.8	44.8	42.8	42.0	42.3
スギ	8	2	E070	21.0	0.381	0.369	5.9	2700	900	120.0	120.0	*	7.31	0.58	13.2	7.61	22.6	35.1	38.1	36.5	35.7	36.1
スギ	9	1	E070	24.4	0.400	0.381	5.6	2700	900	120.0	120.0	*	7.03	0.61	12.2	7.33	22.5	36.1	39.2	37.5	36.7	37.1
スギ	10	1	E070	18.0	0.358	0.353	4.8	2700	900	120.0	120.0	*	6.94	0.55	13.4	7.22	22.6	38.4	41.8	39.9	39.2	39.5
スギ	11	2	E090	12.7	0.422	0.428	5.9	2700	900	120.0	120.0	*	8.62	0.71	11.7	8.19	31.2	43.0	40.5	38.7	37.9	38.3
スギ	12	2	E070	26.7	0.374	0.352	6.1	2700	900	120.0	120.0	*	7.00	0.55	13.5	7.28	19.4	31.9	34.6	33.1	32.5	32.7
スギ	13	1	E090	17.2	0.380	0.376	4.7	2700	900	120.0	120.0	*	8.62	0.60	15.0	8.83	31.8	40.6	43.2	41.3	40.5	40.8
スギ	14	3	E090	45.6	0.405	0.333	5.5	2700	900	120.0	120.0	*	8.10	0.51	16.9	8.41	23.5	36.6	39.8	38.0	37.3	37.6
スギ	15	1	E070	27.4	0.404	0.380	5.3	2700	900	120.0	120.0	*	7.48	0.61	13.0	7.79	22.2	36.2	39.3	37.6	36.9	37.2
スギ	16	1	E090	25.1	0.415	0.394	3.8	2700	900	120.0	120.0	*	9.38	0.64	15.5	9.74	31.4	41.0	44.5	42.6	41.8	42.1
スギ	17	2	E070	13.9	0.368	0.371	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	7.01	0.59	11.7	6.79	25.1	34.1	33.1	31.6	31.0	31.3
スギ	18	2	E090	17.2	0.427	0.422	5.5	2700	900	120.0	120.0	*	7.81	0.70	11.7	8.03	27.8	42.4	45.0	43.0	42.2	42.6
スギ	19	2	E070	25.9	0.384	0.363	6.2	2700	900	120.0	120.0	*	6.94	0.57	12.8	7.23	22.1	33.1	35.9	34.4	33.7	34.0
スギ	20	2	E070	43.4	0.365	0.305	5.8	2700	900	120.0	120.0	*	5.85	0.45	13.9	6.09	19.5	30.2	32.9	31.4	30.8	31.1
スギ	21	2	E070	31.0	0.409	0.374	5.4	2700	900	120.0	120.0	*	7.22	0.59	12.8	7.53	23.8	33.6	36.6	35.0	34.3	34.6
スギ	22	1	E090	17.2	0.407	0.402	6.3	2700	900	120.0	120.0	*	9.76	0.66	15.5	9.99	28.6	32.7	34.8	33.2	32.6	32.9
スギ	23	2	E070	15.5	0.351	0.350	4.5	2700	900	120.0	120.0	*	6.62	0.54	12.3	6.59	25.5	30.6	31.0	29.7	29.1	29.3
スギ	24	2	E070	18.6	0.384	0.377	5.2	2700	900	120.0	120.0	*	7.08	0.60	12.4	7.38	26.7	38.9	42.3	40.4	39.6	40.0
スギ	25	1	E070	27.7	0.376	0.352	4.7	2700	900	120.0	120.0	*	7.42	0.55	14.3	7.72	23.4	31.1	33.8	32.3	31.7	32.0
スギ	27	3	E090	19.8	0.405	0.394	4.6	2700	900	120.0	120.0	*	8.89	0.64	14.7	9.24	30.2	39.4	42.8	40.9	40.1	40.5
スギ	28	2	E070	17.9	0.385	0.379	4.2	2700	900	120.0	120.0	*	7.58	0.60	13.2	7.88	28.9	39.7	43.0	41.2	40.3	40.7
スギ	29	2	E070	26.0	0.358	0.338	5.5	2700	900	120.0	120.0	*	6.95	0.52	14.2	7.23	20.3	31.2	33.9	32.5	31.8	32.1
スギ	30	2	E070	47.1	0.329	0.268	3.9	2700	900	120.0	120.0	*	6.25	0.37	18.0	6.48	18.6	30.8	33.5	32.0	31.4	31.7
スギ	31	1	E070	30.1	0.453	0.417	4.7	2700	900	120.0	120.0	*	7.48	0.69	11.5	7.80	24.2	36.7	39.8	38.1	37.4	37.7
スギ	32	2	E110	20.7	0.406	0.394	3.9	2700	900	120.0	120.0	*	9.64	0.64	16.0	10.01	31.2	43.6	47.4	45.3	44.4	44.8
スギ	33	1	E090	30.8	0.450	0.412	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	7.81	0.68	12.2	8.15	23.6	36.1	39.3	37.6	36.8	37.1

付表2.1 測定データ一覧 (5)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	長野96M	34	2	E090	32.3	0.400	0.363	5.6	2700	900	120.0	120.0	*	8.68	0.57	16.1	9.02	31.1	40.5	44.0	42.0	41.2	41.6
スギ	長野96M	35	1	E090	23.6	0.409	0.391	6.5	2700	900	120.0	120.0	*	7.83	0.63	13.1	8.15	27.9	39.0	42.4	40.6	39.8	40.1
スギ	長野96M	36	2	E070	34.8	0.382	0.340	4.6	2700	900	120.0	120.0	*	6.71	0.52	13.6	6.98	22.4	28.9	31.4	30.0	29.4	29.7
スギ	長野96M	37	1	E090	26.0	0.425	0.401	4.6	2700	900	120.0	120.0	*	9.38	0.65	15.2	9.75	37.1	46.7	50.7	48.5	47.5	48.0
スギ	長野96M	38	2	E070	22.5	0.401	0.386	6.2	2700	900	120.0	120.0	*	7.36	0.62	12.5	7.68	26.3	35.8	38.9	37.2	36.4	36.8
スギ	長野96M	39	1	E070	23.1	0.399	0.382	5.9	2700	900	120.0	120.0	*	7.43	0.61	12.8	7.75	24.9	35.4	38.4	36.8	36.0	36.4
スギ	長野96M	40	1	E050	21.7	0.388	0.374	5.5	2700	900	120.0	120.0	*	5.40	0.60	9.6	5.65	17.7	27.7	30.1	28.8	28.2	28.5
スギ	長野96M	41	2	E090	21.9	0.396	0.382	7.1	2700	900	120.0	120.0	*	7.75	0.61	13.4	8.07	26.0	40.7	44.3	42.3	41.5	41.9
スギ	長野96M	42	2	E090	17.6	0.394	0.388	5.9	2700	900	120.0	120.0	*	8.23	0.62	13.8	8.50	34.3	45.4	48.7	46.6	45.7	46.1
スギ	長野96M	43	1	E050	46.1	0.382	0.314	5.3	2700	900	120.0	120.0	*	5.67	0.46	12.9	5.91	19.6	28.3	30.8	29.4	28.9	29.1
スギ	長野96M	44	2	E090	18.1	0.427	0.419	6.5	2700	900	120.0	120.0	*	8.38	0.69	12.8	8.73	30.0	42.8	46.5	44.5	43.6	44.0
スギ	長野96M	45	2	E070	21.6	0.398	0.385	5.2	2700	900	120.0	120.0	*	7.63	0.62	13.0	7.95	27.3	39.8	43.3	41.4	40.6	40.9
スギ	長野96M	46	2	E070	18.1	0.344	0.338	7.0	2700	900	120.0	120.0	*	6.26	0.52	12.8	6.53	20.5	29.5	32.1	30.7	30.1	30.3
スギ	長野96M	47	1	E090	19.5	0.397	0.387	4.6	2700	900	120.0	120.0	*	8.39	0.62	14.2	8.73	27.4	37.8	41.0	39.2	38.5	38.8
スギ	長野96M	48	2	E090	18.7	0.402	0.394	4.0	2700	900	120.0	120.0	*	8.81	0.64	14.6	9.16	33.5	40.8	44.3	42.4	41.5	41.9
スギ	長野96M	49	2	E070	27.8	0.465	0.436	6.1	2700	900	120.0	120.0	*	6.59	0.73	9.6	6.88	24.1	34.5	37.5	35.9	35.1	35.5
スギ	長野96M	50	1	E090	18.3	0.403	0.396	4.8	2700	900	120.0	120.0	*	7.98	0.64	13.1	8.31	32.2	44.8	48.7	46.6	45.6	46.0
スギ	長野96M	51	2	E090	26.9	0.385	0.363	5.0	2700	900	120.0	120.0	*	8.26	0.57	15.3	8.59	32.8	41.4	45.0	43.0	42.1	42.5
スギ	長野96M	52	1	E090	51.7	0.426	0.337	4.4	2700	900	120.0	120.0	*	9.50	0.51	19.5	9.83	25.8	38.9	42.2	40.4	39.6	40.0
スギ	長野96O	1	2	E090	9.8	0.453	0.467	3.6	2700	900	120.0	120.0	*	10.58	0.79	12.2	9.58	45.5	48.2	42.4	40.5	39.7	40.1
スギ	長野96O	2	2	E070	11.1	0.426	0.435	5.5	2700	900	120.0	120.0	*	7.79	0.73	10.1	7.23	28.1	42.7	38.7	37.0	36.3	36.6
スギ	長野96O	3	1	E050	14.9	0.356	0.356	3.5	2700	900	120.0	120.0	*	5.48	0.55	9.9	5.42	28.1	36.7	36.7	35.1	34.4	34.7
スギ	長野96O	4	1	E090	10.2	0.450	0.462	3.8	2700	900	120.0	120.0	*	10.47	0.78	12.3	9.54	35.2	53.6	47.5	45.5	44.5	44.9
スギ	長野96O	5	2	E070	30.3	0.359	0.330	4.7	2700	900	120.0	120.0	*	6.00	0.50	12.6	6.25	29.1	32.6	35.4	33.9	33.2	33.5
スギ	長野96O	6	2	E070	24.4	0.376	0.358	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	7.50	0.56	14.2	7.81	27.4	40.0	43.5	41.6	40.7	41.1
スギ	長野96O	7	1	E070	21.2	0.415	0.401	5.2	2700	900	120.0	120.0	*	6.04	0.65	9.8	6.32	27.5	40.8	44.4	42.4	41.6	42.0
スギ	長野96O	8	4	E070	16.7	0.401	0.397	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	7.47	0.64	12.0	7.61	26.0	35.2	36.9	35.3	34.6	34.9
スギ	長野96O	9	4	E050	17.4	0.438	0.432	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	4.63	0.72	6.7	4.80	11.4	23.3	24.9	23.8	23.3	23.5
スギ	長野96O	10	2	E070	10.8	0.402	0.412	5.2	2700	900	120.0	120.0	*	7.36	0.68	10.1	6.78	30.5	39.4	35.5	33.9	33.2	33.5
スギ	長野96O	11	2	E070	10.9	0.348	0.356	5.7	2700	900	120.0	120.0	*	6.82	0.55	11.5	6.29	30.5	35.7	32.2	30.8	30.2	30.4
スギ	長野96O	12	1	E070	21.5	0.373	0.361	5.8	2700	900	120.0	120.0	*	6.65	0.57	12.4	6.94	24.5	32.8	35.7	34.1	33.4	33.7
スギ	長野96O	13	2	E050	22.8	0.396	0.380	5.7	2700	900	120.0	120.0	*	5.57	0.61	9.7	5.82	18.4	32.2	35.0	33.5	32.8	33.1
スギ	長野96O	14	2	E090	27.2	0.423	0.398	5.6	2700	900	120.0	120.0	*	9.18	0.64	15.0	9.54	31.6	43.6	47.4	45.3	44.4	44.8
スギ	長野96O	15	3	E090	14.0	0.452	0.454	4.0	2700	900	120.0	120.0	*	9.95	0.77	12.7	9.65	36.7	43.6	42.5	40.6	39.8	40.2
スギ	長野96O	16	2	E090	25.5	0.458	0.434	6.4	2700	900	120.0	120.0	*	7.85	0.72	11.4	8.19	26.0	39.0	42.4	40.5	39.7	40.1
スギ	長野96O	17	1	E090	21.6	0.434	0.419	3.4	2700	900	120.0	120.0	*	8.72	0.69	13.3	9.08	41.2	56.5	61.5	58.8	57.6	58.1
スギ	長野96O	18	2	E070	16.0	0.403	0.401	5.8	2700	900	120.0	120.0	*	7.79	0.65	12.2	7.83	30.4	41.7	42.8	40.9	40.1	40.5
スギ	長野96O	19	2	E090	16.6	0.439	0.435	5.0	2700	900	120.0	120.0	*	9.28	0.73	13.1	9.42	33.6	55.9	58.3	55.8	54.6	55.1
スギ	長野96O	20	2	E090	10.8	0.465	0.476	4.4	2700	900	120.0	120.0	*	10.27	0.81	11.8	9.45	43.9	46.5	41.9	40.0	39.2	39.6
スギ	長野96O	21	2	E070	11.0	0.375	0.384	4.0	2700	900	120.0	120.0	*	6.72	0.62	10.2	6.22	32.5	37.3	33.7	32.2	31.6	31.9
スギ	長野96O	22	2	E070	10.2	0.365	0.375	5.8	2700	900	120.0	120.0	*	8.05	0.60	12.4	7.33	35.1	44.2	39.2	37.5	36.8	37.1
スギ	長野96O	23	2	E070	10.9	0.372	0.381	5.4	2700	900	120.0	120.0	*	8.11	0.61	12.4	7.48	36.7	46.8	42.3	40.4	39.6	40.0
スギ	長野96O	24	3	E070	18.0	0.423	0.416	3.7	2700	900	120.0	120.0	*	7.35	0.68	11.3	7.67	24.4	39.6	43.0	41.1	40.3	40.7
スギ	長野96O	25	2	E070	11.4	0.413	0.421	5.3	2700	900	120.0	120.0	*	6.45	0.70	8.7	6.01	24.4	40.7	37.1	35.5	34.8	35.1
スギ	長野96O	27	2	E070	11.4	0.404	0.412	5.4	2700	900	120.0	120.0	*	8.42	0.68	11.7	7.82	32.5	52.2	47.6	45.5	44.6	45.0
スギ	長野96O	28	2	E070	11.0	0.411	0.420	4.7	2700	900	120.0	120.0	*	7.96	0.69	10.7	7.35	32.6	54.6	49.3	47.1	46.2	46.6
スギ	長野96O	29	2	E050	34.0	0.332	0.297	4.8	2700	900	120.0	120.0	*	4.81	0.43	11.8	5.02	18.3	27.8	30.2	28.9	28.3	28.6
スギ	長野96O	30	1	E070	10.6	0.401	0.411	5.4	2700	900	120.0	120.0	*	8.16	0.67	11.2	7.48	24.5	39.1	35.0	33.5	32.8	33.1

付表2.1 測定データ一覧 (6)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	長野960	31	E050	11.8	0.348	0.354	5.9	2700	900	120.0	120.0	*	6.08	0.55	10.5	5.70	21.4	40.9	37.6	36.0	35.3	35.6
スギ	長野960	32	E090	11.6	0.432	0.440	4.3	2700	900	120.0	120.0	*	8.90	0.74	11.4	8.30	35.2	46.6	42.7	40.9	40.1	40.4
スギ	長野960	33	E050	15.8	0.406	0.404	6.6	2700	900	120.0	120.0	*	4.69	0.66	7.2	4.72	16.7	30.4	31.1	29.7	29.1	29.4
スギ	長野960	34	E110	31.8	0.403	0.367	3.7	2700	900	120.0	120.0	*	9.86	0.58	18.0	10.22	33.5	45.9	49.9	47.7	46.8	47.2
スギ	長野960	35	E090	25.1	0.432	0.410	3.8	2700	900	120.0	120.0	*	8.28	0.67	13.0	8.63	24.4	42.1	45.7	43.7	42.9	43.2
スギ	長野960	36	E090	12.7	0.427	0.433	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	9.90	0.72	13.2	9.39	40.8	59.3	55.9	53.4	52.4	52.8
スギ	長野960	37	E090	18.2	0.433	0.426	3.7	2700	900	120.0	120.0	*	8.17	0.70	12.2	8.51	32.0	42.1	45.8	43.8	42.9	43.3
スギ	長野960	38	E090	10.9	0.410	0.419	4.4	2700	900	120.0	120.0	*	9.15	0.69	12.3	8.43	33.4	50.4	45.5	43.5	42.6	43.0
スギ	長野960	39	E050	41.2	0.356	0.302	4.0	2700	900	120.0	120.0	*	5.57	0.44	13.3	5.80	21.4	35.2	38.2	36.6	35.8	36.2
スギ	長野960	40	E070	12.5	0.340	0.344	4.5	2700	900	120.0	120.0	*	6.58	0.53	11.9	6.23	22.8	39.6	37.1	35.5	34.8	35.1
スギ	長野960	41	E070	19.9	0.395	0.385	5.0	2700	900	120.0	120.0	*	6.92	0.62	11.8	7.22	27.5	39.7	43.1	41.2	40.4	40.8
スギ	長野960	42	E070	12.4	0.400	0.406	4.2	2700	900	120.0	120.0	*	7.95	0.66	11.5	7.51	32.0	41.1	38.4	36.8	36.0	36.4
スギ	長野960	43	E090	15.9	0.401	0.399	4.2	2700	900	120.0	120.0	*	8.45	0.65	13.3	8.48	33.8	42.4	43.5	41.6	40.7	41.1
スギ	長野960	44	E070	14.2	0.341	0.342	6.0	2700	900	120.0	120.0	*	6.66	0.53	12.5	6.49	23.5	34.2	33.5	32.0	31.4	31.7
スギ	長野960	45	E070	23.2	0.396	0.379	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	6.85	0.61	11.9	7.14	22.9	36.7	39.9	38.1	37.4	37.7
スギ	長野960	46	E070	14.4	0.431	0.433	4.6	2700	900	120.0	120.0	*	7.54	0.72	10.4	7.38	29.0	45.2	44.5	42.5	41.7	42.1
スギ	長野960	47	E070	13.3	0.424	0.428	5.1	2700	900	120.0	120.0	*	7.93	0.71	10.8	7.62	27.6	41.1	39.3	37.6	36.8	37.2
スギ	長野960	49	E070	12.8	0.408	0.413	5.4	2700	900	120.0	120.0	*	7.42	0.68	10.5	7.06	23.0	36.4	34.4	32.9	32.2	32.5
スギ	長野960	50	E070	11.3	0.411	0.420	5.3	2700	900	120.0	120.0	*	7.73	0.69	10.5	7.18	27.5	40.0	36.4	34.8	34.1	34.4
スギ	長野960	51	E090	15.7	0.401	0.400	4.7	2700	900	120.0	120.0	*	8.06	0.65	12.5	8.05	29.1	40.5	41.2	39.4	38.6	39.0
スギ	長野960	52	E070	19.8	0.401	0.391	5.7	2700	900	120.0	120.0	*	6.67	0.63	11.2	6.96	22.9	35.0	38.1	36.4	35.7	36.0
スギ	静岡95	2	E090	23.0	0.455	0.437	5.3	3600	1200	104.0	180.0	7.45	8.17	0.73	11.8	8.56	25.1	47.2	51.3	56.3	56.3	57.7
スギ	静岡95	4	E110	12.0	0.435	0.443	2.9	3600	1200	104.0	208.0	10.09	10.81	0.74	13.8	10.30	23.9	41.5	38.4	43.5	44.0	44.8
スギ	静岡95	5	E070	43.0	0.700	0.587	5.9	3600	1200	107.0	182.5	5.98	6.24	1.05	6.3	6.57	27.2	36.1	39.2	43.2	43.2	44.2
スギ	静岡95	6	E090	17.0	0.400	0.396	5.1	3600	1200	105.0	179.0	7.35	9.40	0.64	15.2	9.66	26.2	32.0	33.8	37.1	37.1	38.0
スギ	静岡95	7	E050	17.0	0.353	0.349	6.5	3600	1200	104.5	180.0	4.21	4.45	0.54	8.5	4.59	19.6	27.0	28.5	31.3	31.3	32.1
スギ	静岡95	9	E090	21.0	0.419	0.406	3.9	3600	1200	107.5	182.0	5.98	7.72	0.66	12.3	8.10	18.7	43.6	47.4	52.2	52.2	53.5
スギ	静岡95	12	E070	15.0	0.383	0.383	5.4	3600	1200	104.5	180.0	6.66	6.22	0.61	10.1	6.18	28.7	29.0	29.0	31.8	31.8	32.6
スギ	静岡95	14	E070	14.0	0.388	0.390	5.2	3600	1200	104.5	181.0	8.23	7.67	0.63	12.0	7.49	25.9	28.3	27.6	30.4	30.3	31.1
スギ	静岡95	15	E090	9.0	0.390	0.403	4.8	3600	1200	104.0	179.0	7.15	9.05	0.66	12.5	8.13	28.7	39.8	34.3	37.7	37.6	38.6
スギ	静岡95	16	E070	24.0	0.483	0.461	4.2	3600	1200	105.0	180.0	5.88	6.03	0.78	8.2	6.34	27.9	32.8	35.7	39.2	39.2	40.1
スギ	静岡95	17	E070	8.0	0.340	0.354	4.7	3600	1200	106.0	180.0	8.92	9.01	0.55	14.5	7.96	32.1	46.2	38.9	42.8	42.7	43.8
スギ	静岡95	18	E090	26.0	0.422	0.399	5.3	3600	1200	105.5	212.0	8.43	7.96	0.65	13.0	8.44	28.1	36.8	40.0	45.4	46.0	46.9
スギ	静岡95	19	E090	10.0	0.386	0.397	6.2	3600	1200	104.0	208.0	7.74	9.14	0.64	13.1	8.43	18.5	38.9	34.3	38.8	39.3	40.0
スギ	静岡95	21	E070	8.0	0.346	0.360	6.4	3600	1200	104.0	179.0	7.55	7.11	0.56	11.2	6.29	28.0	28.7	24.1	26.5	26.5	27.1
スギ	静岡95	22	E070	32.0	0.421	0.382	4.3	3600	1200	108.0	182.0	6.08	6.61	0.61	11.4	6.94	21.8	37.2	40.5	44.6	44.6	45.6
スギ	静岡95	23	E090	10.0	0.360	0.371	4.7	3600	1200	104.0	180.0	8.43	9.27	0.59	14.5	8.46	29.5	42.8	37.8	41.5	41.5	42.5
スギ	静岡95	25	E070	9.0	0.352	0.364	6.3	3600	1200	104.0	210.0	6.57	6.90	0.57	10.9	6.27	17.6	30.1	26.0	29.5	29.8	30.4
スギ	静岡95	26	E090	7.0	0.350	0.367	4.9	3600	1200	105.0	209.0	7.94	9.65	0.58	14.6	8.50	21.0	47.8	44.6	44.6	45.2	46.0
スギ	静岡95	30	E050	46.0	0.572	0.470	7.7	3600	1200	105.0	215.0	5.10	4.70	0.80	6.2	4.98	14.1	22.7	24.7	28.1	28.6	29.1
スギ	静岡95	31	E070	27.0	0.404	0.380	6.0	3600	1200	106.0	182.5	6.57	6.32	0.61	11.0	6.64	22.2	28.0	30.5	33.6	33.6	34.4
スギ	静岡95	32	E110	69.0	0.657	0.466	4.4	3600	1200	108.0	182.5	4.90	9.64	0.79	12.9	10.12	25.5	41.6	45.2	49.7	49.8	51.0
スギ	静岡95	33	E070	27.0	0.589	0.554	5.5	3600	1200	107.5	182.5	7.55	7.33	0.98	7.9	7.71	24.8	40.7	33.3	36.7	36.7	37.6
スギ	静岡95	34	E090	8.0	0.387	0.403	3.9	3600	1200	105.0	182.0	8.72	10.07	0.66	13.7	8.91	24.2	47.2	39.8	43.8	43.8	44.9
スギ	静岡95	35	E070	35.0	0.528	0.469	7.2	3600	1200	106.5	182.5	6.96	6.41	0.80	8.5	6.74	17.8	32.3	35.1	38.7	38.7	39.7
スギ	静岡95	36	E110	25.0	0.548	0.521	4.3	3600	1200	107.0	183.0	9.70	10.55	0.91	12.2	11.07	35.3	47.0	51.1	56.3	56.4	57.7
スギ	静岡95	38	E070	9.0	0.346	0.358	5.4	3600	1200	105.0	179.0	6.17	7.37	0.56	11.9	6.62	30.7	33.3	28.7	31.5	31.5	32.3
スギ	静岡95	39	E090	10.0	0.403	0.415	3.8	3600	1200	106.0	180.0	9.51	9.31	0.68	12.6	8.50	30.5	40.8	36.0	39.5	39.5	40.5

付表2.1 測定データ一覧 (7)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Ef-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	静岡95	42	2	E090	8.0	0.468	0.487	6.0	3600	1200	103.0	182.0	5.39	10.33	0.84	11.0	9.16	31.3	69.5	58.6	64.5	64.5	66.0
スギ	静岡95	43	2	E070	37.0	0.463	0.405	6.3	3600	1200	106.0	182.0	7.15	7.50	0.66	12.0	7.87	25.3	38.1	41.4	45.6	45.6	46.7
スギ	静岡95	44	2	E090	10.0	0.361	0.371	6.7	3600	1200	103.0	209.0	7.45	10.21	0.59	16.0	9.43	22.0	46.1	40.7	46.0	46.6	47.5
スギ	静岡95	45	1	E090	15.0	0.367	0.367	5.1	3600	1200	105.0	181.0	8.04	9.18	0.58	15.8	9.10	32.5	44.1	44.1	48.5	48.5	49.7
スギ	静岡95	46	2	E070	37.0	0.551	0.482	4.1	3600	1200	107.5	182.0	6.47	6.21	0.83	7.9	6.53	17.5	28.2	30.7	33.8	33.8	34.6
スギ	静岡95	47	1	E130	30.0	0.535	0.493	5.9	3600	1200	106.5	182.5	10.58	11.50	0.85	14.3	12.06	39.3	70.2	76.3	84.0	84.0	86.1
スギ	静岡95	48	1	E070	8.0	0.374	0.389	4.6	3600	1200	105.0	177.0	5.98	7.73	0.63	11.0	6.84	33.2	46.4	39.1	42.8	42.7	43.8
スギ	静岡95	50	1	E090	8.0	0.443	0.419	4.4	3600	1200	105.0	207.0	5.19	10.83	0.69	14.0	9.68	19.7	52.1	43.9	49.6	50.2	51.1
スギ	静岡95	52	1	E090	27.0	0.441	0.415	6.0	3600	1200	106.0	182.5	7.45	8.41	0.68	13.0	8.83	22.0	35.2	38.2	42.1	42.1	43.1
スギ	静岡95	53	2	E070	28.0	0.399	0.374	6.1	3600	1200	106.5	181.0	5.78	7.51	0.59	13.4	7.88	27.7	36.4	39.5	43.4	43.4	44.5
スギ	静岡95	54	1	E090	9.0	0.377	0.390	5.0	3600	1200	106.0	179.0	8.43	9.10	0.63	13.1	8.17	30.8	43.4	37.4	41.1	41.0	42.0
スギ	静岡95	56	2	E090	31.0	0.594	0.544	6.3	3600	1200	107.0	182.5	7.25	7.68	0.96	8.5	8.08	23.3	36.0	39.1	43.1	43.1	44.1
スギ	静岡95	57	2	E090	8.0	0.419	0.436	6.2	3600	1200	104.0	179.0	6.96	10.18	0.73	12.5	9.01	38.9	55.3	46.6	51.2	51.1	52.4
スギ	静岡95	59	2	E070	7.0	0.350	0.366	5.4	3600	1200	104.0	180.0	7.94	7.82	0.58	11.9	6.81	29.1	29.8	24.6	27.0	27.0	27.7
スギ	静岡95	60	2	E090	52.0	0.524	0.413	5.2	3600	1200	106.5	182.0	6.66	8.04	0.68	12.5	8.44	25.5	36.7	39.9	43.9	43.9	45.0
スギ	静岡95	61	2	E110	55.0	0.606	0.468	5.5	3600	1200	106.0	182.0	7.74	9.60	0.80	12.7	10.07	31.7	45.8	49.7	54.8	54.8	56.1
スギ	静岡95	62	2	E050	15.0	0.371	0.371	6.1	3600	1200	104.5	181.0	5.78	5.56	0.59	9.5	5.54	29.1	34.4	34.4	37.8	37.8	38.7
スギ	静岡95	63	1	E090	10.0	0.440	0.453	4.4	3600	1200	105.0	180.0	8.33	9.71	0.76	11.7	8.87	35.6	49.8	44.0	48.3	48.3	49.5
スギ	静岡95	65	1	E110	83.0	0.633	0.414	4.2	3600	1200	108.0	182.5	7.84	9.94	0.68	15.4	10.42	28.9	38.0	41.3	45.5	45.5	46.6
スギ	静岡95	66	2	E090	31.0	0.449	0.411	6.7	3600	1200	105.5	181.5	8.13	8.92	0.67	14.0	9.35	26.4	44.2	48.0	52.9	52.9	54.1
スギ	静岡95	68	2	E090	24.0	0.446	0.425	5.8	3600	1200	102.0	178.0	5.59	8.52	0.70	12.8	8.92	25.8	37.4	40.6	44.5	44.5	45.6
スギ	静岡95	69	1	E090	8.0	0.397	0.413	4.8	3600	1200	105.0	179.0	8.13	10.63	0.68	14.0	9.39	28.5	38.6	49.4	54.2	54.1	55.5
スギ	静岡95	70	1	E070	33.0	0.435	0.392	5.2	3600	1200	108.0	183.0	7.84	7.14	0.63	11.9	7.49	22.2	34.8	37.8	41.7	41.7	42.7
スギ	静岡95	71	1	E110	30.0	0.455	0.420	4.9	3600	1200	105.0	181.0	8.72	9.82	0.69	15.0	10.28	27.6	39.0	42.4	46.6	46.6	47.7
スギ	静岡95	73	1	E070	17.0	0.395	0.391	4.9	3600	1200	106.0	181.0	7.35	6.93	0.63	11.4	7.14	31.2	39.8	42.1	46.3	46.2	47.4
スギ	静岡95	74	2	E070	26.0	0.473	0.447	5.6	3600	1200	105.5	184.0	7.15	7.39	0.75	10.4	7.77	27.2	33.0	35.9	39.6	39.6	40.6
スギ	静岡95	76	1	E090	30.0	0.531	0.490	4.0	3600	1200	108.0	182.5	7.35	8.89	0.84	11.1	9.34	30.1	40.1	43.6	48.0	48.0	49.2
スギ	静岡95	77	1	E090	73.0	0.584	0.405	4.8	3600	1200	107.5	182.0	10.29	8.63	0.66	13.8	9.05	26.3	47.4	51.6	56.8	56.8	58.1
スギ	静岡95	79	2	E070	52.0	0.585	0.461	7.2	3600	1200	107.0	182.5	5.98	5.91	0.78	8.0	6.21	23.1	31.8	34.5	38.0	38.0	38.9
スギ	静岡95	80	1	E090	13.0	0.428	0.432	4.7	3600	1200	105.0	179.0	7.15	8.83	0.72	11.9	8.48	30.3	45.7	43.4	47.6	47.5	48.7
スギ	静岡95	81	2	E050	24.0	0.385	0.367	5.9	3600	1200	107.5	181.5	5.00	4.98	0.58	9.1	5.24	19.7	29.4	32.0	35.2	35.2	36.0
スギ	静岡95	83	1	E070	8.0	0.348	0.363	5.9	3600	1200	104.0	179.0	6.27	8.80	0.57	13.8	7.78	37.5	46.6	39.3	43.1	43.0	44.1
スギ	静岡95	85	2	E110	38.0	0.462	0.401	4.8	3600	1200	103.0	181.5	8.53	9.70	0.65	15.7	10.16	33.8	46.6	50.6	55.7	55.7	57.0
スギ	静岡95	86	1	E070	21.0	0.450	0.436	3.7	3600	1200	106.0	183.0	6.37	7.57	0.73	11.0	7.96	31.6	40.8	44.3	48.8	48.9	50.0
スギ	静岡95	87	1	E090	10.0	0.392	0.403	4.5	3600	1200	105.0	210.0	6.96	8.82	0.66	12.3	8.14	19.7	40.9	36.1	40.9	41.4	42.2
スギ	静岡95	88	2	E090	22.0	0.459	0.443	6.6	3600	1200	106.5	182.5	7.94	8.18	0.74	11.6	8.59	25.5	42.9	46.6	51.3	51.3	52.6
スギ	静岡95	90	1	E070	17.0	0.350	0.346	5.2	3600	1200	104.5	181.0	6.27	7.30	0.53	14.2	7.51	25.2	38.3	40.5	44.5	44.5	45.6
スギ	静岡95	94	1	E070	31.0	0.442	0.405	4.3	3600	1200	107.0	219.0	6.57	6.90	0.66	11.0	7.33	29.6	37.3	40.6	46.4	47.1	47.9
スギ	静岡95	96	1	E070	38.0	0.523	0.454	5.6	3600	1200	107.0	182.5	7.25	7.33	0.77	10.1	7.70	23.7	35.6	38.7	42.6	42.6	43.6
スギ	静岡95	97	2	E110	28.0	0.566	0.530	6.2	3600	1200	107.0	181.5	7.74	9.78	0.93	11.1	10.27	31.6	40.0	43.5	47.8	47.8	49.0
スギ	静岡95	98	2	E090	56.0	0.514	0.395	4.7	3600	1200	106.0	213.0	7.64	8.46	0.64	14.0	8.98	26.8	37.3	40.6	46.1	46.8	47.6
スギ	静岡95	99	1	E090	25.0	0.408	0.387	3.9	3600	1200	105.5	182.0	6.86	8.53	0.62	14.5	8.95	33.4	43.7	47.5	52.2	52.2	53.5
スギ	静岡95	100	2	E070	14.0	0.388	0.390	4.6	3600	1200	105.0	182.0	7.94	8.03	0.63	12.6	7.84	29.0	39.6	38.5	42.4	42.4	43.5
スギ	静岡95	101	1	E110	22.0	0.442	0.426	3.9	3600	1200	104.5	181.0	7.45	9.91	0.71	14.8	10.39	29.0	40.8	44.3	48.7	48.7	49.9
スギ	静岡95	102	2	E090	11.0	0.397	0.406	6.6	3600	1200	104.0	177.0	9.11	10.32	0.66	14.6	9.56	26.5	45.2	40.9	44.8	44.7	45.8
スギ	静岡95	103	1	E070	16.0	0.447	0.445	5.2	3600	1200	105.0	180.0	6.57	7.15	0.75	9.7	7.24	26.4	37.0	38.0	41.7	41.7	42.7
スギ	静岡95	104	1	E070	9.0	0.326	0.338	4.7	3600	1200	105.0	178.8	7.35	7.98	0.52	14.0	7.17	31.6	40.5	34.9	38.3	38.2	39.2
スギ	静岡95	105	2	E090	8.0	0.438	0.456	4.4	3600	1200	104.0	178.0	10.00	11.31	0.77	13.1	9.99	27.5	59.1	49.8	54.6	54.5	55.8

付表2.1 測定データ一覧 (8)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	静囲95	106	1	E090	16.0	0.420	0.418	5.5	3600	1200	104.0	181.5	6.76	8.06	0.69	11.9	8.15	22.9	47.1	48.3	53.2	53.2	54.5
スギ	静囲95	107	2	E070	9.0	0.346	0.358	5.6	3600	1200	104.0	181.0	6.27	6.87	0.56	11.1	6.18	27.5	29.8	25.7	28.3	28.3	28.9
スギ	静囲95	109	1	E110	25.0	0.439	0.417	3.0	3600	1200	105.0	212.0	9.41	11.16	0.69	17.2	11.85	29.2	51.7	56.2	63.8	64.7	65.9
スギ	静囲95	110	2	E070	52.0	0.497	0.392	2.9	3600	1200	105.0	214.0	7.64	7.51	0.63	12.6	7.97	19.8	32.4	35.3	40.1	40.7	41.4
スギ	静囲95	112	1	E090	10.0	0.414	0.426	3.2	3600	1200	104.0	181.0	6.47	9.88	0.71	12.9	9.02	24.2	42.2	37.2	40.9	40.7	41.9
スギ	静囲95	113	1	E110	33.0	0.482	0.435	4.7	3600	1200	103.5	182.0	9.31	10.15	0.72	14.8	10.63	25.5	39.3	42.7	47.0	47.0	48.2
スギ	静囲95	114	1	E070	18.0	0.378	0.372	3.8	3600	1200	106.0	180.0	5.59	7.54	0.59	13.5	7.90	28.0	29.4	32.0	35.1	35.1	35.9
スギ	静囲95	116	2	E070	16.0	0.402	0.400	5.8	3600	1200	104.5	182.5	7.74	7.09	0.65	11.1	7.18	33.4	36.9	37.9	41.8	41.8	42.8
スギ	静囲95	117	1	E070	7.0	0.366	0.383	4.8	3600	1200	104.0	178.0	8.62	8.85	0.61	12.6	7.70	22.7	28.3	23.8	26.2	26.2	26.8
スギ	静囲95	118	1	E070	8.0	0.330	0.344	4.6	3600	1200	105.0	181.0	6.86	7.82	0.53	13.2	6.92	22.7	28.3	23.8	26.2	26.2	26.8
スギ	静囲95	120	1	E070	55.0	0.658	0.509	4.5	3600	1200	107.5	183.0	5.88	7.09	0.88	8.5	7.46	23.5	38.3	41.6	45.9	45.9	47.0
スギ	静囲95	121	1	E070	47.0	0.472	0.385	4.2	3600	1200	105.0	184.0	5.78	6.66	0.62	11.4	6.99	30.6	33.6	36.5	40.3	40.3	41.3
スギ	静囲95	124	1	E090	10.0	0.385	0.396	5.5	3600	1200	106.0	179.0	8.62	10.39	0.64	14.9	9.47	29.0	43.8	38.7	42.4	42.4	43.4
スギ	静囲95	125	1	E070	27.0	0.455	0.428	3.8	3600	1200	104.5	183.0	6.66	7.07	0.71	10.5	7.42	28.6	39.2	42.6	46.9	46.9	48.1
スギ	静囲95	127	1	E090	37.0	0.638	0.558	5.3	3600	1200	107.0	182.0	8.23	8.44	0.99	9.0	8.87	31.9	44.8	48.7	53.6	53.6	54.9
スギ	静囲95	128	1	E090	19.0	0.466	0.456	5.2	3600	1200	103.0	182.5	7.35	9.43	0.77	12.9	9.90	30.6	52.3	56.9	62.7	62.7	64.2
スギ	静囲95	129	1	E070	41.0	0.464	0.395	5.3	3600	1200	107.0	182.0	6.96	7.18	0.64	11.9	7.61	13.9	28.7	31.2	35.4	35.9	36.6
スギ	静囲95	130	1	E070	20.0	0.447	0.435	5.0	3600	1200	106.0	182.0	7.25	7.20	0.73	10.5	7.56	26.2	45.3	49.2	54.2	54.2	55.5
スギ	静囲95	131	1	E070	10.0	0.358	0.368	4.2	3600	1200	103.0	209.0	6.66	8.23	0.58	13.0	7.59	25.2	36.5	32.2	36.5	36.9	37.6
スギ	静囲95	132	1	E090	6.0	0.435	0.458	4.6	3600	1200	104.0	179.0	6.86	11.51	0.77	12.8	9.87	33.1	47.7	38.5	42.2	42.2	43.2
スギ	静囲95	133	1	E070	55.0	0.585	0.453	3.8	3600	1200	105.0	212.5	5.68	7.40	0.76	10.2	7.84	27.2	37.4	40.7	46.2	46.9	47.7
スギ	静囲95	134	1	E070	28.0	0.469	0.439	5.1	3600	1200	105.5	182.0	6.27	6.58	0.73	9.5	6.91	24.8	40.6	44.1	48.6	48.6	49.7
スギ	静囲95	135	1	E070	8.0	0.353	0.367	5.6	3600	1200	106.0	206.0	5.88	7.04	0.58	10.8	6.29	24.3	37.2	31.3	35.4	35.8	36.4
スギ	静囲95	136	2	E110	22.0	0.424	0.409	6.4	3600	1200	105.5	212.0	9.41	9.99	0.67	15.8	10.60	24.6	35.3	38.3	43.5	44.1	44.9
スギ	静囲95	137	1	E070	16.0	0.368	0.366	4.4	3600	1200	105.0	180.5	5.59	6.59	0.58	11.6	6.66	28.8	31.5	32.3	35.5	35.5	36.4
スギ	静囲95	138	2	E090	25.0	0.504	0.478	3.9	3600	1200	106.0	212.0	9.21	9.16	0.82	11.8	9.71	28.1	43.3	47.1	53.4	54.2	55.2
スギ	静囲95	139	2	E090	8.0	0.357	0.371	6.7	3600	1200	102.0	209.0	8.04	9.44	0.59	14.3	8.44	21.5	46.1	38.8	43.9	44.5	45.3
スギ	静囲95	140	3	E110	86.0	0.669	0.431	8.5	3600	1200	106.5	212.5	9.31	10.09	0.72	14.8	10.71	26.4	41.3	44.8	50.9	51.6	52.6
スギ	静囲95	141	2	E070	8.0	0.358	0.373	6.8	3600	1200	105.0	209.0	6.27	7.23	0.59	10.9	6.46	21.8	41.6	35.1	39.7	40.2	41.0
スギ	静囲95	142	1	E090	25.0	0.428	0.406	3.2	3600	1200	111.0	215.0	8.72	8.71	0.66	13.9	9.25	26.5	43.7	47.5	54.1	54.9	55.9
スギ	静囲95	143	3	E070	32.0	0.460	0.418	3.1	3600	1200	106.5	182.5	7.35	6.75	0.69	10.3	7.09	21.9	32.2	35.0	38.6	38.6	39.5
スギ	静囲95	144	1	E110	17.0	0.412	0.407	4.9	3600	1200	104.5	180.0	9.31	10.60	0.67	16.5	10.89	27.5	49.2	52.0	57.1	57.1	58.5
スギ	静囲95	145	1	E070	8.0	0.352	0.366	5.1	3600	1200	105.0	209.0	6.86	8.78	0.58	13.5	7.84	22.2	45.0	37.9	42.9	43.5	44.3
スギ	静囲95	146	2	E070	21.0	0.389	0.377	5.0	3600	1200	105.5	210.5	7.15	7.12	0.60	12.5	7.55	24.9	31.9	34.7	39.3	39.8	40.5
スギ	静囲95	147	4	E090	45.0	0.581	0.480	4.4	3600	1200	108.5	183.0	10.19	8.79	0.82	11.3	9.23	26.3	39.4	42.8	47.2	47.2	48.4
スギ	静囲95	148	2	E070	8.0	0.373	0.389	3.7	3600	1200	104.0	208.0	7.15	6.93	0.63	9.9	6.18	22.3	39.5	33.3	37.7	38.1	38.9
スギ	静囲95	149	2	E070	9.0	0.396	0.409	6.2	3600	1200	104.0	208.0	7.64	8.13	0.67	11.0	7.38	23.2	43.0	37.1	41.9	42.4	43.2
スギ	静囲95	151	2	E050	7.0	0.310	0.325	5.0	3600	1200	106.0	209.0	6.27	6.56	0.49	11.8	5.77	14.3	28.4	23.4	26.5	26.8	27.3
スギ	静囲95	152	4	E110	25.0	0.456	0.433	3.1	3600	1200	106.0	209.0	8.82	9.49	0.72	13.9	10.05	25.2	45.9	49.8	56.4	57.1	58.2
スギ	静囲95	153	1	E090	35.0	0.401	0.356	3.9	3600	1200	105.5	211.5	7.84	8.02	0.55	15.3	8.51	26.2	36.5	39.6	45.0	45.6	46.4
スギ	静囲95	154	2	E070	10.0	0.399	0.410	3.4	3600	1200	105.0	211.0	8.43	8.40	0.67	11.5	7.75	17.1	32.8	28.9	32.8	33.2	33.8
スギ	静囲95	157	1	E070	42.0	0.503	0.424	3.9	3600	1200	106.5	213.0	5.39	6.88	0.70	10.3	7.29	17.5	28.1	30.6	34.7	35.2	35.9
スギ	静囲95	159	2	E070	7.0	0.336	0.352	2.8	3600	1200	103.0	182.0	8.04	8.85	0.55	14.2	7.71	32.2	50.3	41.4	45.6	45.6	46.7
スギ	静囲95	160	2	E110	19.0	0.483	0.472	3.3	3600	1200	104.0	182.0	9.51	9.92	0.81	13.0	10.41	21.9	33.2	36.1	39.7	39.7	40.7
スギ	静囲95	161	1	E090	47.0	0.508	0.414	3.4	3600	1200	106.0	212.0	8.33	8.33	0.68	12.9	8.83	23.1	33.2	36.1	41.0	41.6	42.3
スギ	静囲95	162	1	E090	29.0	0.478	0.444	5.8	3600	1200	105.0	182.0	8.53	8.43	0.74	11.9	8.85	23.1	38.7	42.1	46.3	46.3	47.4
スギ	静囲95	163	1	E090	28.0	0.407	0.381	5.6	3600	1200	104.5	211.0	8.72	8.94	0.61	15.5	9.49	25.2	38.4	41.7	47.3	48.0	48.9
スギ	静囲95	164	2	E110	7.0	0.430	0.451	2.6	3600	1200	104.0	180.0	10.88	11.89	0.76	13.7	10.35	25.9	54.8	45.1	49.6	49.6	50.8

付表2.1 測定データ一覧 (9)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARKW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Ef-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	静岡95	165	4	E070	9.0	0.440	0.456	3.7	3600	1200	104.0	180.0	8.43	8.23	0.77	9.7	7.41	30.2	38.5	33.2	36.5	36.4	37.3
スギ	静岡95	166	1	E110	24.0	0.455	0.435	5.4	3600	1200	105.5	212.0	9.02	9.56	0.72	13.9	10.14	27.9	45.5	49.4	56.1	56.9	57.9
スギ	静岡95	167	2	E090	42.0	0.556	0.469	3.1	3600	1200	106.5	182.0	8.53	8.36	0.80	11.0	8.77	27.0	36.7	39.8	43.9	43.9	44.9
スギ	静岡95	168	2	E070	23.0	0.444	0.426	3.6	3600	1200	106.5	181.5	7.94	7.49	0.71	11.2	7.86	23.6	32.5	35.4	38.9	38.9	39.9
スギ	静岡95	171	1	E110	46.0	0.732	0.601	2.0	3600	1200	106.0	182.5	7.84	11.23	1.08	11.0	11.79	26.0	42.8	46.5	51.3	51.3	52.5
スギ	静岡95	172	2	E090	25.0	0.410	0.389	3.0	3600	1200	105.5	213.0	8.62	7.61	0.63	12.8	8.08	21.8	26.4	28.7	32.6	33.0	33.6
スギ	静岡95	173	2	E110	29.0	0.527	0.489	3.1	3600	1200	106.5	182.5	11.96	11.35	0.84	14.2	11.90	41.3	55.2	60.0	66.1	66.1	67.7
スギ	静岡95	174	2	E070	46.0	0.612	0.503	1.7	3600	1200	106.5	183.0	6.47	6.59	0.87	8.0	6.94	30.2	45.9	49.8	54.9	55.0	56.3
スギ	静岡95	175	1	E090	35.0	0.553	0.491	1.8	3600	1200	104.0	184.0	6.76	8.51	0.85	10.6	8.94	21.6	30.4	33.1	36.5	36.5	37.4
スギ	静岡95	176	1	E070	30.0	0.454	0.419	5.9	3600	1200	105.0	179.0	5.00	6.78	0.69	10.4	7.11	32.5	36.4	39.6	43.4	43.4	44.5
スギ	静岡95	177	1	E070	20.0	0.381	0.371	4.2	3600	1200	111.0	185.0	6.86	6.39	0.59	11.5	6.72	22.2	27.9	30.4	33.5	33.6	34.4
スギ	静岡95	178	2	E090	31.0	0.508	0.464	3.7	3600	1200	106.0	182.0	6.86	8.06	0.79	10.8	8.46	27.6	36.6	39.7	43.7	43.7	44.8
スギ	静岡95	179	3	E070	24.0	0.422	0.402	8.7	3600	1200	108.5	210.5	6.86	7.33	0.66	11.8	7.76	24.6	36.1	39.2	44.4	45.0	45.8
スギ	静岡95	180	1	E070	25.0	0.497	0.472	5.7	3600	1200	106.5	181.5	6.17	6.51	0.80	8.5	6.85	23.1	32.4	35.3	38.8	38.8	39.7
スギ	静岡95	181	1	E110	15.0	0.401	0.401	4.5	3600	1200	105.0	210.0	10.29	10.39	0.65	15.9	10.43	21.5	54.6	54.6	61.9	62.7	63.8
スギ	静岡95	183	1	E090	8.0	0.381	0.397	5.8	3600	1200	105.0	209.0	8.43	9.12	0.64	12.6	8.15	21.8	53.4	45.0	50.9	51.6	52.5
スギ	静岡95	184	1	E090	29.0	0.475	0.441	3.8	3600	1200	105.0	212.5	7.94	7.63	0.74	10.9	8.09	22.3	33.3	36.2	41.1	41.7	42.5
スギ	静岡95	185	2	E090	29.0	0.496	0.461	6.3	3600	1200	104.5	182.0	9.31	9.28	0.78	12.5	9.74	22.8	41.8	45.5	50.1	50.1	51.3
スギ	静岡95	186	1	E090	45.0	0.350	0.289	4.3	3600	1200	106.5	212.0	5.98	7.65	0.41	19.6	8.13	21.8	25.1	27.3	31.0	31.0	31.9
スギ	静岡95	187	2	E090	10.0	0.380	0.391	4.1	3600	1200	104.0	179.0	7.45	9.06	0.63	13.2	8.27	28.9	36.8	32.4	35.6	35.5	36.4
スギ	静岡95	188	2	E110	22.0	0.438	0.422	6.2	3600	1200	104.5	208.5	9.21	10.00	0.70	15.1	10.60	43.8	62.2	67.6	76.5	77.5	78.9
スギ	静岡95	189	2	E050	10.0	0.394	0.405	6.8	3600	1200	105.0	179.0	6.37	5.46	0.66	7.6	4.99	32.4	40.2	35.5	38.9	38.9	39.8
スギ	静岡95	191	2	E070	64.0	0.628	0.459	3.1	3600	1200	104.5	212.0	7.15	7.51	0.78	10.2	7.95	16.2	16.5	17.9	20.3	20.6	21.0
スギ	静岡95	192	2	E110	12.0	0.435	0.442	2.8	3600	1200	104.0	209.0	11.17	10.61	0.74	13.6	10.11	11.5	34.2	31.7	35.8	36.3	37.0
スギ	静岡95	193	2	E110	32.0	0.467	0.424	3.3	3600	1200	106.0	212.0	10.09	9.64	0.70	14.5	10.23	22.9	27.0	29.3	33.2	33.7	34.3
スギ	静岡95	194	2	E090	11.0	0.368	0.377	4.1	3600	1200	104.0	207.0	8.33	9.34	0.60	14.5	8.75	19.4	42.9	38.8	43.8	44.3	45.1
スギ	静岡95	197	1	E090	13.0	0.410	0.414	5.3	3600	1200	104.0	179.0	6.37	9.46	0.68	13.4	9.07	32.4	47.1	44.7	49.1	49.0	50.3
スギ	静岡95	198	1	E070	27.0	0.459	0.432	3.9	3600	1200	109.0	186.0	6.37	7.33	0.72	10.8	7.70	26.7	30.2	32.8	36.3	36.4	37.2
スギ	静岡95	199	1	E110	69.0	0.622	0.441	4.2	3600	1200	106.0	213.0	9.31	10.00	0.74	14.3	10.61	22.7	34.6	37.6	42.7	43.3	44.1
スギ	静岡95	200	2	E090	19.0	0.381	0.373	6.6	3600	1200	103.5	209.0	6.66	8.06	0.59	14.4	8.54	34.9	41.2	44.7	50.6	51.3	52.2
スギ	静岡95	201	2	E090	18.0	0.462	0.455	3.3	3600	1200	105.0	210.0	9.60	8.36	0.77	11.5	8.85	22.6	38.8	42.2	47.8	48.4	49.3
スギ	静岡95	202	1	E070	11.0	0.354	0.362	5.3	3600	1200	104.0	206.0	7.74	8.21	0.57	13.5	7.69	20.9	44.1	39.9	45.0	45.5	46.4
スギ	静岡96A	1	1	E070	16.5	0.359	0.356	5.1	3600	1200	107.0	182.5	6.76	6.34	0.56	11.7	6.48	24.7	35.5	37.0	40.8	40.8	41.8
スギ	静岡96A	3	2	E070	18.2	0.441	0.434	5.4	3600	1200	107.5	182.5	8.16	6.87	0.72	10.0	7.22	23.4	51.5	56.0	61.7	61.7	63.2
スギ	静岡96A	8	1	E090	22.5	0.445	0.428	4.4	3600	1200	106.5	181.5	7.06	7.70	0.71	11.5	8.08	34.4	39.8	43.3	47.6	47.6	48.8
スギ	静岡96A	13	2	E090	20.7	0.418	0.406	4.2	3600	1200	105.5	182.5	7.52	8.09	0.66	12.9	8.49	28.3	32.3	35.1	38.7	38.7	39.6
スギ	静岡96A	20	2	E090	24.5	0.450	0.429	4.2	3600	1200	107.0	212.5	7.04	7.82	0.71	11.6	8.29	30.1	40.8	44.3	50.3	51.0	52.0
スギ	静岡96A	27	1	E070	19.3	0.373	0.364	6.0	3600	1200	108.0	213.0	7.15	6.97	0.57	12.9	7.40	26.6	34.6	37.6	42.8	43.4	44.2
スギ	静岡96A	28	1	E050	22.8	0.362	0.347	7.9	3600	1200	107.0	213.0	5.13	5.39	0.54	10.6	5.71	18.7	30.2	32.8	37.2	37.8	38.5
スギ	静岡96A	29	1	E070	25.7	0.382	0.361	6.2	3600	1200	107.0	212.5	6.95	6.44	0.57	12.0	6.82	24.3	36.2	39.4	44.7	45.3	46.1
スギ	静岡96A	37	2	E090	16.0	0.338	0.337	6.6	3600	1200	106.0	182.5	8.00	8.02	0.51	15.9	8.10	21.7	33.7	34.6	38.2	38.2	39.1
スギ	静岡96A	51	2	E070	23.5	0.391	0.374	6.0	3600	1200	107.5	213.5	5.43	5.69	0.59	10.1	6.03	22.7	33.0	35.8	40.7	41.3	42.1
スギ	静岡96A	64	2	E070	18.2	0.404	0.397	4.2	3600	1200	107.0	181.5	7.69	7.01	0.64	11.5	7.36	26.3	45.1	49.0	53.9	53.9	55.2
スギ	静岡96A	72	1	E090	12.0	0.393	0.381	6.2	3600	1200	107.5	182.5	7.03	8.15	0.61	14.1	8.55	25.9	37.8	41.1	45.2	45.3	46.3
スギ	静岡96A	75	2	E050	21.3	0.308	0.312	8.4	3600	1200	107.5	212.5	4.37	4.67	0.46	9.7	4.48	16.9	21.9	20.5	23.3	23.6	24.0
スギ	静岡96A	82	2	E070	17.5	0.377	0.372	4.3	3600	1200	107.0	182.5	7.36	6.80	0.59	12.1	7.07	24.5	37.1	39.8	43.8	43.8	44.9
スギ	静岡96A	84	1	E090	18.8	0.392	0.384	5.2	3600	1200	107.4	182.5	10.69	8.87	0.62	15.2	9.30	26.4	32.4	35.2	38.7	38.8	39.7
スギ	静岡96A	89	2	E050	16.2	0.361	0.358	6.1	3600	1200	107.0	183.0	6.63	5.33	0.56	9.7	5.41	24.4	32.3	33.4	36.8	36.8	37.7

付表2.1 測定データ一覧 (10)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Eft-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	静岡96A	92	1	E070	23.8	0.406	0.388	4.3	3600	1200	107.0	182.0	7.90	7.12	0.62	12.1	7.47	24.6	34.5	37.5	41.3	41.3	42.3
スギ	静岡96A	93	1	E090	18.3	0.388	0.382	5.7	3600	1200	105.5	181.5	6.95	7.65	0.61	13.2	8.02	27.2	39.0	42.4	46.7	46.7	47.8
スギ	静岡96A	95	1	E070	22.0	0.362	0.349	6.1	3600	1200	107.0	183.0	6.33	6.84	0.54	13.4	7.18	21.9	34.0	36.9	40.7	40.7	41.7
スギ	静岡96A	119	2	E070	28.2	0.396	0.370	4.5	3600	1200	109.5	182.5	7.06	6.34	0.59	11.4	6.66	25.2	33.8	36.7	40.4	40.4	41.4
スギ	静岡96A	122	1	E070	19.0	0.375	0.368	7.0	3600	1200	106.0	212.5	6.34	6.92	0.58	12.6	7.34	32.2	33.5	36.4	41.4	41.4	42.0
スギ	静岡96A	123	1	E070	18.3	0.369	0.363	4.7	3600	1200	107.0	183.5	7.91	7.44	0.57	13.8	7.80	25.0	36.8	40.0	44.1	44.2	45.2
スギ	静岡96A	126	1	E070	22.5	0.404	0.389	6.2	3600	1200	104.0	212.0	6.59	7.17	0.63	12.1	7.60	27.0	40.4	43.9	49.8	50.5	51.4
スギ	静岡96A	150	2	E070	20.2	0.401	0.390	3.7	3600	1200	106.5	182.5	8.46	7.25	0.63	12.2	7.61	13.4	42.6	46.3	51.0	51.0	52.3
スギ	静岡96A	155	1	E090	21.0	0.421	0.408	4.3	3600	1200	107.0	212.0	9.38	8.46	0.67	13.4	8.97	32.8	45.7	49.7	56.4	57.2	58.2
スギ	静岡96A	156	3	E090	20.5	0.409	0.397	3.2	3600	1200	107.0	213.0	10.67	9.19	0.64	15.1	9.76	29.4	43.2	46.9	53.3	54.1	55.0
スギ	静岡96A	158	2	E050	16.2	0.334	0.332	4.1	3600	1200	107.5	211.0	6.39	5.82	0.50	11.8	5.96	21.6	28.0	28.9	32.8	33.2	33.8
スギ	静岡96A	162	1	E070	15.5	0.342	0.341	2.5	3600	1200	107.5	211.5	8.55	7.73	0.52	14.9	7.84	23.1	39.4	40.0	45.3	46.0	46.8
スギ	静岡96A	169	2	E070	17.7	0.383	0.378	4.8	3600	1200	106.5	211.5	8.23	7.55	0.60	13.2	7.95	46.3	40.3	43.4	49.2	49.9	50.8
スギ	静岡96A	170	2	E070	18.5	0.381	0.373	3.5	3600	1200	104.5	212.5	6.77	6.13	0.59	10.9	6.49	25.2	34.2	37.2	42.3	42.9	43.6
スギ	静岡96A	190	1	E070	20.2	0.360	0.351	6.8	3600	1200	107.0	183.0	6.38	6.88	0.54	13.4	7.22	18.1	34.7	37.7	41.6	41.6	42.6
スギ	静岡96A	199	1	E110	39.7	0.481	0.473	2.6	3600	1200	111.0	186.0	9.34	9.92	0.68	15.5	10.41	32.2	46.2	50.2	55.5	55.7	57.0
スギ	静岡96A	201	1	E090	15.2	0.377	0.371	6.1	3600	1200	105.5	211.0	9.63	8.87	0.60	14.8	8.94	26.1	37.9	38.1	43.2	43.7	44.5
スギ	静岡96B	61	2	E090	6.7	0.475	0.499	3.7	3600	1200	112.0	172.0	7.62	10.69	0.86	10.8	9.25	38.4	56.2	46.0	50.0	49.8	51.1
スギ	静岡96B	63	1	E070	7.6	0.433	0.452	4.7	3600	1200	114.0	177.5	6.31	7.88	0.76	9.1	6.93	22.4	30.1	25.1	27.5	27.5	28.2
スギ	静岡96B	64	1	E090	7.2	0.480	0.502	4.1	3600	1200	110.5	156.5	7.64	10.24	0.87	10.4	8.91	24.5	47.3	39.2	41.9	41.3	42.6
スギ	静岡96B	65	1	E090	6.8	0.477	0.500	4.0	3600	1200	110.0	175.0	9.01	10.38	0.87	10.5	9.02	27.6	39.8	32.7	35.7	35.6	36.5
スギ	静岡96B	66	2	E070	6.9	0.400	0.419	5.3	3600	1200	112.5	174.0	6.67	8.89	0.69	11.2	7.72	25.9	42.2	34.7	37.9	37.7	38.7
スギ	静岡96B	67	2	E050	7.6	0.423	0.441	4.6	3600	1200	113.0	178.0	6.12	6.12	0.74	7.3	5.40	12.9	35.0	29.2	32.1	32.0	32.8
スギ	静岡96B	68	2	E070	8.3	0.504	0.523	4.8	3600	1200	112.0	158.5	7.03	8.61	0.92	8.4	7.64	28.5	43.4	36.9	39.5	39.0	40.2
スギ	静岡96B	69	1	E090	11.1	0.434	0.444	4.7	3600	1200	115.0	178.0	8.45	9.24	0.74	11.6	8.58	27.1	42.5	38.5	42.2	42.1	43.2
スギ	静岡96B	71	2	E090	12.6	0.598	0.606	4.2	3600	1200	109.5	158.0	6.81	10.27	1.09	9.0	9.76	31.1	50.7	47.6	51.0	50.3	51.8
スギ	静岡96B	72	2	E090	7.8	0.448	0.466	5.4	3600	1200	112.0	177.0	7.40	10.18	0.79	11.4	8.98	36.7	48.6	40.8	44.7	44.6	45.7
スギ	静岡96B	73	2	E090	6.7	0.454	0.477	4.3	3600	1200	110.5	158.0	6.82	9.42	0.81	10.1	8.14	28.5	36.2	29.7	31.8	31.4	32.3
スギ	静岡96B	74	2	E050	8.8	0.466	0.483	5.1	3600	1200	113.0	156.5	5.57	5.68	0.83	6.2	5.09	15.3	19.1	16.4	17.6	17.3	17.8
スギ	静岡96B	75	2	E090	16.3	0.487	0.484	4.5	3600	1200	113.0	181.5	6.99	7.85	0.83	9.7	8.00	17.3	29.0	30.1	33.1	33.1	33.9
スギ	静岡96B	78	2	E050	7.0	0.443	0.463	6.0	3600	1200	112.0	177.0	6.37	6.43	0.79	7.2	5.62	26.4	29.3	24.1	26.4	26.4	27.0
スギ	静岡96B	79	3	E050	8.0	0.379	0.395	6.0	3600	1200	114.0	175.5	5.95	6.18	0.64	8.6	5.47	13.6	26.5	22.3	24.4	24.3	25.0
スギ	静岡96B	80	2	E090	8.0	0.467	0.486	4.0	3600	1200	111.0	172.0	7.68	9.65	0.84	10.3	8.53	23.5	35.9	30.3	33.0	32.8	33.7
スギ	静岡96B	82	2	E090	7.2	0.570	0.597	4.8	3600	1200	111.5	177.5	7.57	10.95	1.07	9.0	9.57	40.1	51.2	42.3	46.4	46.3	47.5
スギ	静岡96B	83	1	E090	6.8	0.484	0.508	5.2	3600	1200	111.0	155.5	7.26	9.77	0.88	9.7	8.45	40.3	49.1	40.3	43.0	42.4	43.7
スギ	静岡96B	84	2	E050	8.6	0.546	0.566	4.9	3600	1200	111.5	176.0	7.21	6.35	1.01	5.7	5.69	26.6	31.5	26.9	29.4	29.3	30.1
スギ	静岡96B	85	1	E090	6.9	0.462	0.484	4.5	3600	1200	111.0	155.5	6.52	9.25	0.83	9.8	8.02	27.5	40.5	33.3	35.5	35.0	36.1
スギ	静岡96B	86	2	E070	9.0	0.498	0.515	5.3	3600	1200	113.0	177.5	6.78	7.39	0.90	7.5	6.66	26.8	38.1	32.9	36.0	35.9	36.8
スギ	静岡96B	88	2	E070	7.4	0.476	0.497	4.6	3600	1200	110.5	177.0	7.15	9.00	0.86	9.2	7.89	33.2	44.8	37.2	40.7	40.5	41.6
スギ	静岡96B	89	2	E070	6.3	0.473	0.498	5.1	3600	1200	110.5	176.0	6.59	8.86	0.86	8.9	7.64	27.7	44.4	36.1	39.5	39.4	40.4
スギ	静岡96B	90	2	E070	7.0	0.427	0.448	4.6	3600	1200	111.5	177.0	7.14	8.44	0.75	9.8	7.35	29.5	39.0	32.1	35.2	35.1	36.0
スギ	静岡96B	91	2	E070	10.7	0.500	0.512	5.3	3600	1200	113.0	159.0	6.73	7.33	0.89	7.6	6.76	20.7	31.0	27.8	29.8	29.4	30.3
スギ	静岡96B	95	2	E070	11.2	0.450	0.460	4.6	3600	1200	112.0	178.0	5.19	6.58	0.78	7.9	6.14	15.9	26.7	24.3	26.6	26.6	27.3
スギ	静岡96B	96	3	E090	6.9	0.523	0.548	3.9	3600	1200	114.5	157.0	7.87	9.25	0.97	8.4	8.03	26.6	40.3	33.1	35.4	35.0	36.0
スギ	静岡96B	97	1	E090	6.5	0.463	0.486	4.7	3600	1200	113.5	176.0	7.51	9.97	0.84	10.4	8.61	33.6	46.7	38.0	41.6	41.5	42.5
スギ	静岡96B	98	1	E090	13.4	0.520	0.524	5.3	3600	1200	112.5	177.5	6.91	8.72	0.92	9.2	8.43	23.9	33.4	32.0	35.1	35.0	35.9
スギ	静岡96B	99	2	E070	8.2	0.463	0.481	3.5	3600	1200	110.0	156.0	7.73	7.65	0.82	8.3	6.77	29.8	29.8	25.2	26.9	26.5	27.4
スギ	静岡96B	102	2	E090	10.9	0.453	0.464	5.0	3600	1200	110.5	156.5	8.06	9.77	0.79	11.6	8.99	25.4	37.0	33.3	35.6	35.1	36.2

付表2.1 測定データ一覧 (11)

スギ	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em、 (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	静岡96B	104	2	E070	7.5	0.372	0.389	5.3	3600	1200	109.0	177.5	6.86	7.77	0.63	11.0	6.82	23.4	34.2	28.5	31.2	31.2	32.0
スギ	静岡96B	105	1	E070	7.5	0.464	0.484	3.3	3600	1200	113.0	172.0	6.78	8.78	0.83	9.3	7.70	28.4	35.3	29.4	32.1	31.9	32.7
スギ	静岡96B	107	1	E090	6.9	0.527	0.552	3.4	3600	1200	111.5	171.0	7.96	11.05	0.98	9.9	9.61	30.1	46.0	37.9	41.2	40.9	42.0
スギ	静岡96B	108	2	E090	21.8	0.499	0.481	3.9	3600	1200	112.0	171.0	4.56	8.13	0.82	10.4	8.51	24.1	44.2	48.0	52.2	51.9	53.3
スギ	静岡96B	109	2	E090	13.4	0.543	0.547	4.8	3600	1200	111.0	157.0	7.10	8.57	0.97	8.6	8.26	27.7	41.4	39.7	42.4	41.9	43.1
スギ	静岡96B	110	1	E090	13.4	0.543	0.548	6.3	3600	1200	112.0	176.5	7.01	9.15	0.97	9.2	8.86	25.1	33.8	32.4	35.4	35.4	36.3
スギ	静岡96B	100-1	2	E070	9.5	0.471	0.486	8.3	3600	1200	111.5	177.5	7.94	7.97	0.84	8.7	7.22	23.5	30.8	26.8	29.4	29.3	30.1
スギ	静岡96B	100-2	2	E070	7.5	0.443	0.463	10.6	3600	1200	113.0	173.5	8.06	8.49	0.79	9.5	7.45	18.7	38.7	32.3	35.2	35.1	36.0
スギ	静岡96B	70-1	2	E090	14.1	0.426	0.428	8.4	3600	1200	110.5	173.0	6.27	9.04	0.71	12.5	8.82	33.4	35.5	34.7	37.8	37.6	38.6
スギ	静岡96B	70-2	2	E070	6.5	0.448	0.470	8.9	3600	1200	111.5	174.0	6.27	7.77	0.80	8.4	6.72	24.0	31.6	25.8	28.1	28.0	28.7
スギ	静岡96B	77-3	2	E070	7.4	0.437	0.457	7.8	3600	1200	112.5	174.5	7.10	7.93	0.77	9.0	6.95	27.8	32.4	26.9	29.4	29.3	30.0
スギ	静岡96B	92-1	3	E070	7.0	0.470	0.492	7.1	3600	1200	112.5	173.0	6.09	8.44	0.85	8.7	7.36	28.9	32.4	26.9	29.4	29.3	30.8
スギ	静岡96B	92-2	2	E070	7.0	0.436	0.457	7.6	3600	1200	113.5	175.5	6.09	8.03	0.77	9.1	7.00	21.7	34.2	28.2	30.9	30.8	31.6
スギ	静岡96B	93-1	2	E050	6.8	0.425	0.446	6.1	3600	1200	112.5	176.0	6.29	6.39	0.75	7.5	5.56	23.6	32.4	26.6	29.1	29.0	29.7
スギ	静岡96B	93-2	2	E070	6.3	0.389	0.409	6.8	3600	1200	111.5	174.0	6.29	7.40	0.67	9.6	6.37	24.7	30.3	24.6	26.8	26.7	27.4
スギ	静岡96B	94-1	3	E070	6.5	0.411	0.432	6.1	3600	1200	113.5	158.0	6.10	7.36	0.72	8.9	6.35	25.7	39.0	31.8	34.1	33.6	34.6
スギ	静岡96B	94-2	2	E070	6.9	0.423	0.443	6.0	3600	1200	110.5	155.0	6.10	7.65	0.74	9.0	6.63	17.6	33.4	27.5	29.3	28.9	29.8
スギ	静岡96C	1	1	E090	11.4	0.416	0.424	5.6	3600	1200	119.5	119.5	7.87	8.89	0.70	11.9	8.18	27.4	29.4	26.8	27.1	26.1	27.2
スギ	静岡96C	2	1	E090	13.0	0.429	0.433	4.7	3600	1200	101.5	178.0	9.29	10.38	0.72	13.9	9.95	41.5	64.2	60.9	66.8	66.7	68.3
スギ	静岡96C	3	1	E090	19.4	0.483	0.472	10.0	3600	1200	103.5	211.5	10.72	9.40	0.81	12.3	9.96	24.8	34.1	37.0	42.0	42.6	43.4
スギ	静岡96C	4	1	E090	19.3	0.481	0.470	3.1	3600	1200	103.5	119.5	10.21	12.84	0.80	16.9	13.15	28.5	39.2	42.6	43.1	41.5	43.2
スギ	静岡96C	5	2	E070	9.6	0.385	0.397	2.8	3600	1200	120.0	119.5	10.4	6.82	0.64	11.9	7.45	18.6	30.0	26.3	25.8	24.6	25.7
スギ	静岡96C	6	1	E090	30.6	0.450	0.413	5.6	3600	1200	104.5	104.0	6.82	8.36	0.68	13.0	8.78	28.2	35.3	38.4	42.7	43.0	43.9
スギ	静岡96C	7	1	E070	9.8	0.370	0.381	3.9	3600	1200	101.5	199.0	7.16	7.77	0.61	11.7	7.11	23.5	35.0	30.7	34.5	34.7	35.5
スギ	静岡96C	8	1	E090	39.5	0.476	0.409	3.7	3600	1200	104.0	104.0	6.82	9.28	0.67	14.6	9.70	30.7	45.2	49.1	53.6	53.5	54.8
スギ	静岡96C	9	3	E090	11.0	0.458	0.468	2.7	3600	1200	105.0	104.5	8.16	9.24	0.80	10.8	8.44	29.2	29.8	26.9	26.5	25.2	26.4
スギ	静岡96C	10	1	E110	9.9	0.463	0.477	6.2	3600	1200	102.5	168.0	8.45	11.19	0.81	12.6	10.17	29.1	35.5	31.3	33.9	33.7	34.6
スギ	静岡96C	11	1	E090	27.4	0.461	0.433	4.5	3600	1200	101.0	200.5	8.10	8.79	0.72	12.9	9.28	26.5	40.1	43.5	48.9	49.3	50.3
スギ	静岡96C	12	1	E130	19.7	0.479	0.467	5.4	3600	1200	102.0	168.0	9.48	12.59	0.79	16.7	13.11	36.0	57.2	62.2	67.4	66.9	68.7
スギ	静岡96C	13	1	E110	9.2	0.435	0.449	3.1	3600	1200	119.0	120.0	11.54	12.22	0.76	14.7	10.80	37.9	44.5	38.5	39.0	37.6	39.1
スギ	静岡96C	14	1	E090	29.4	0.504	0.467	3.4	3600	1200	103.5	163.0	8.77	9.48	0.79	12.6	9.89	23.7	44.6	48.5	52.3	51.8	53.2
スギ	静岡96C	15	1	E110	13.1	0.412	0.417	6.6	3600	1200	102.0	179.5	8.27	10.69	0.69	15.1	10.27	30.6	47.4	45.2	49.6	49.6	50.8
スギ	静岡96C	16	2	E070	11.3	0.427	0.436	2.7	3600	1200	105.0	103.5	8.05	8.54	0.73	11.0	7.84	21.2	46.9	42.7	42.0	39.9	41.8
スギ	静岡96C	17	1	E090	18.4	0.469	0.461	5.2	3600	1200	102.0	219.0	5.82	8.06	0.78	10.9	8.56	12.9	36.7	39.9	45.5	46.3	47.1
スギ	静岡96C	18	1	E090	46.9	0.472	0.385	4.9	3600	1200	103.5	220.0	5.32	7.84	0.62	13.4	8.35	22.8	36.0	39.1	44.8	45.6	46.3
スギ	静岡96C	19	1	E130	22.3	0.503	0.484	5.1	3600	1200	101.0	181.0	10.83	11.91	0.83	15.1	12.47	30.1	51.2	55.7	61.2	61.2	62.7
スギ	静岡96C	20	1	E110	8.1	0.414	0.431	4.3	3600	1200	102.0	188.5	10.35	11.33	0.72	14.1	10.07	36.4	45.6	38.5	42.7	42.8	43.8
スギ	静岡96C	21	3	E070	8.1	0.475	0.494	3.9	3600	1200	102.0	179.5	7.66	8.91	0.85	9.3	7.90	24.8	39.2	33.1	36.3	36.3	37.2
スギ	静岡96C	22	2	E090	45.7	0.515	0.424	3.0	3600	1200	104.0	151.5	9.36	9.19	0.70	13.8	9.54	18.9	36.2	39.4	41.8	41.1	42.4
スギ	静岡96C	23	1	E090	8.8	0.405	0.419	6.0	3600	1200	101.5	219.0	10.79	9.90	0.69	12.9	8.99	17.3	45.0	38.6	44.1	44.9	45.6
スギ	静岡96C	24	1	E090	36.7	0.564	0.494	5.8	3600	1200	103.5	219.5	7.12	7.78	0.85	9.6	8.26	21.0	27.2	29.5	33.8	34.3	34.9
スギ	静岡96C	25	1	E090	47.2	0.462	0.376	3.5	3600	1200	101.5	170.0	9.32	8.76	0.60	15.4	9.14	22.1	46.9	42.7	41.0	40.7	41.8
スギ	静岡96C	26	1	E090	17.0	0.477	0.472	7.0	3600	1200	103.5	240.0	4.77	7.69	0.81	9.9	8.07	23.0	37.5	39.6	46.1	47.2	47.8
スギ	静岡96C	27	1	E110	16.2	0.516	0.513	3.5	3600	1200	103.5	203.5	8.03	10.86	0.89	12.4	11.11	35.4	36.4	37.6	42.3	42.8	43.6
スギ	静岡96C	29	1	E090	14.3	0.440	0.441	4.0	3600	1200	102.5	184.5	8.34	9.11	0.74	12.2	8.94	30.4	35.5	34.8	38.4	38.5	39.4
スギ	静岡96C	30	1	E090	10.8	0.460	0.471	3.1	3600	1200	118.5	115.5	10.26	10.69	0.80	12.4	9.73	34.1	52.6	47.4	47.6	45.7	47.7
スギ	静岡96C	31	2	E090	35.5	0.455	0.402	4.2	3600	1200	105.0	163.5	7.75	8.54	0.66	13.8	8.90	32.7	36.3	39.4	42.5	42.1	43.3
スギ	静岡96C	32	2	E090	8.6	0.408	0.423	3.1	3600	1200	103.0	105.0	7.76	9.11	0.70	11.7	8.00	30.1	40.6	34.7	34.2	32.6	34.1

付表2.1 測定データ一覧 (12)

スギ	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Et-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	f _m -15 (MPa)	f _b -1 (MPa)	f _b -2 (MPa)	f _b -3 (MPa)	
スギ	静岡96C	33	2	E090	11.6	0.424	0.432	4.2	3600	1200	104.0	180.5	8.90	8.64	0.72	11.3	8.10	35.3	49.2	49.6	49.5	50.7	
スギ	静岡96C	34	1	E070	24.9	0.449	0.427	5.8	3600	1200	105.5	249.0	7.12	7.40	0.71	11.0	7.94	11.8	41.9	53.3	54.9	55.5	
スギ	静岡96C	35	2	E090	26.3	0.474	0.447	3.8	3600	1200	109.5	117.0	7.77	8.25	0.75	11.6	8.52	24.3	36.9	40.4	38.8	40.5	
スギ	静岡96C	36	1	E090	35.9	0.494	0.436	2.6	3600	1200	105.5	104.5	8.27	8.34	0.73	12.1	8.59	22.3	29.0	31.5	29.5	30.9	
スギ	静岡96C	37	2	E090	19.6	0.429	0.419	5.4	3600	1200	103.5	220.0	7.37	8.55	0.69	13.1	9.09	23.2	40.6	44.1	50.5	51.3	52.2
スギ	静岡96C	38	2	E090	9.8	0.435	0.448	5.0	3600	1200	103.5	104.0	7.64	9.07	0.75	11.0	8.12	28.5	28.6	25.1	24.7	23.5	24.6
スギ	静岡96C	38	3	E090	12.1	0.444	0.451	4.5	3600	1200	104.7	103.5	7.64	9.42	0.76	11.8	8.75	27.3	31.6	29.4	28.9	27.5	28.8
スギ	静岡96C	39	1	E070	10.5	0.394	0.394	4.9	3600	1200	104.5	250.5	7.82	7.90	0.64	11.5	7.46	14.7	41.8	37.3	43.8	45.1	45.6
スギ	静岡96C	40	1	E070	10.2	0.404	0.415	4.8	3600	1200	102.5	179.5	6.63	6.82	0.68	9.2	6.26	27.8	38.1	33.8	37.1	37.0	37.9
スギ	静岡96C	41	1	E070	10.1	0.430	0.442	6.6	3600	1200	102.5	230.5	6.98	8.02	0.74	10.0	7.45	22.8	44.2	39.1	45.1	46.1	46.8
スギ	静岡96C	42	1	E110	21.3	0.455	0.440	4.2	3600	1200	105.0	220.5	11.35	10.75	0.74	15.4	11.45	33.4	47.6	51.8	59.2	60.3	61.3
スギ	静岡96C	43	1	E090	26.6	0.431	0.406	3.4	3600	1200	102.5	104.0	7.45	8.05	0.66	12.8	8.27	24.2	41.6	45.2	44.5	42.4	44.4
スギ	三重95A	1	3	E090	16.2	0.480	0.477	5.3	2700	900	107.0	107.4	10.68	9.27	0.81	11.6	9.32	35.0	46.0	47.5	44.4	43.1	43.7
スギ	三重95A	2	3	E090	17.8	0.452	0.445	4.7	2700	900	106.4	107.0	8.38	7.78	0.75	10.9	8.06	33.2	44.7	48.3	45.1	43.8	44.4
スギ	三重95A	3	4	E070	19.7	0.426	0.416	4.7	2700	900	107.8	107.0	7.82	6.40	0.68	9.9	6.66	26.5	33.2	36.0	33.7	32.7	33.1
スギ	三重95A	4	3	E090	15.8	0.477	0.475	4.9	2700	900	106.6	107.7	8.96	8.86	0.81	11.1	8.85	39.0	50.1	51.1	47.9	46.4	47.1
スギ	三重95A	7	3	E090	15.8	0.442	0.441	4.3	2700	900	107.4	108.2	8.67	8.69	0.74	12.0	8.68	34.2	47.1	48.2	45.1	43.8	44.4
スギ	三重95A	8	4	E090	16.1	0.463	0.460	4.9	2700	900	106.4	107.2	8.91	8.53	0.78	11.2	8.57	33.2	40.4	41.6	38.9	37.8	38.3
スギ	三重95A	9	3	E070	16.3	0.400	0.397	5.0	2700	900	106.2	107.8	6.70	6.27	0.64	10.0	6.34	27.4	35.8	37.1	34.7	33.7	34.1
スギ	三重95A	10	4	E090	16.0	0.466	0.463	5.6	2700	900	101.7	106.9	8.57	8.50	0.79	11.0	8.52	31.3	40.6	41.7	38.9	37.8	38.3
スギ	三重95A	12	2	E090	16.3	0.460	0.457	5.1	2700	900	107.2	106.6	8.82	8.28	0.77	11.0	8.34	29.4	48.1	49.8	46.5	45.1	45.7
スギ	三重95A	13	4	E070	16.1	0.453	0.450	4.4	2700	900	107.3	107.5	8.18	7.90	0.76	10.6	7.94	29.3	33.8	34.8	32.5	31.6	32.0
スギ	三重95A	14	3	E110	15.7	0.491	0.489	5.0	2700	900	107.2	108.0	11.38	10.47	0.84	12.6	10.42	34.8	48.1	49.0	45.9	44.6	45.2
スギ	三重95A	15	2	E070	16.7	0.424	0.420	4.4	2700	900	107.1	107.1	8.06	7.81	0.69	11.6	7.92	31.3	37.1	38.9	36.4	35.3	35.8
スギ	三重95A	16	3	E070	15.8	0.451	0.449	4.1	2700	900	108.2	107.2	7.33	7.50	0.76	10.1	7.51	31.9	41.2	42.1	39.4	38.2	38.7
スギ	三重95A	17	4	E110	18.0	0.541	0.533	4.7	2700	900	107.1	106.5	10.38	11.07	0.94	12.5	11.48	41.8	53.9	58.5	54.6	52.9	53.7
スギ	三重95A	18	3	E090	16.4	0.461	0.457	4.9	2700	900	103.3	107.3	9.83	9.81	0.77	13.0	9.87	16.2	49.4	51.2	47.9	46.5	47.1
スギ	三重95A	19	4	E090	17.0	0.500	0.494	5.0	2700	900	107.2	106.7	10.23	9.76	0.85	11.9	9.96	36.1	47.2	49.9	46.6	45.2	45.8
スギ	三重95A	20	3	E090	17.0	0.481	0.476	3.9	2700	900	107.2	106.0	8.59	8.28	0.81	10.5	8.44	34.3	50.7	53.5	49.9	48.4	49.0
スギ	三重95A	21	3	E070	15.4	0.382	0.381	5.2	2700	900	107.9	107.6	7.54	6.87	0.61	11.4	6.82	26.4	31.1	31.4	29.4	28.5	28.9
スギ	三重95A	22	3	E090	15.2	0.446	0.446	4.8	2700	900	108.0	107.5	9.55	9.13	0.75	12.2	9.01	37.1	45.3	45.5	42.6	41.3	41.9
スギ	三重95A	23	3	E090	17.6	0.488	0.481	5.2	2700	900	106.6	106.7	11.07	9.68	0.83	12.3	9.97	36.3	47.4	50.8	47.5	46.1	46.7
スギ	三重95A	24	3	E070	15.8	0.404	0.402	4.4	2700	900	106.4	106.3	9.45	8.91	0.68	11.2	7.25	28.5	37.0	37.8	35.3	34.3	34.7
スギ	三重95A	25	4	E090	16.3	0.419	0.416	5.0	2700	900	107.9	107.5	7.59	7.26	0.65	13.3	8.96	33.2	39.6	41.1	38.4	37.2	37.7
スギ	三重95A	26	2	E090	15.5	0.413	0.411	4.7	2700	900	107.9	107.3	9.71	9.08	0.67	13.6	9.00	39.8	46.2	46.9	43.8	42.5	43.1
スギ	三重95A	27	4	E090	17.4	0.485	0.478	4.4	2700	900	106.1	109.2	9.00	8.29	0.82	10.6	8.53	26.0	37.2	39.7	37.3	36.2	36.7
スギ	三重95A	28	3	E090	15.3	0.478	0.478	4.2	2700	900	107.4	107.8	9.78	9.13	0.82	11.2	9.04	30.9	46.2	46.6	43.6	42.3	42.9
スギ	三重95A	29	3	E090	18.4	0.474	0.466	5.0	2700	900	107.1	107.3	10.06	8.75	0.79	11.7	9.09	34.3	43.8	47.6	44.5	43.2	43.8
スギ	三重95A	31	4	E070	16.1	0.409	0.407	4.9	2700	900	107.4	107.7	7.35	6.65	0.66	10.2	6.68	25.4	27.1	27.9	26.1	25.3	25.7
スギ	三重95A	33	3	E070	16.9	0.482	0.477	5.0	2700	900	107.2	107.3	7.84	7.08	0.82	9.0	7.23	27.9	43.2	45.5	42.6	41.3	41.9
スギ	三重95A	34	4	E110	16.0	0.492	0.490	4.8	2700	900	107.0	107.3	10.43	10.45	0.84	12.6	10.44	26.2	48.2	49.5	46.3	44.9	45.5
スギ	三重95A	35	4	E090	16.4	0.476	0.472	4.6	2700	900	107.9	107.8	8.62	8.35	0.81	10.6	8.44	28.3	39.2	40.8	38.2	37.1	37.5
スギ	三重95A	36	3	E090	15.9	0.468	0.466	5.2	2700	900	107.7	107.8	9.11	9.93	0.79	12.7	9.91	42.4	61.2	62.6	58.6	56.9	57.6
スギ	三重95A	37	3	E090	16.1	0.498	0.495	5.0	2700	900	106.9	107.5	9.11	9.54	0.85	11.4	9.57	38.2	52.8	54.3	50.8	49.3	50.0
スギ	三重95A	38	3	E070	16.6	0.401	0.398	4.7	2700	900	107.3	107.3	7.32	7.31	0.64	11.7	7.40	31.4	41.5	43.3	40.5	39.3	39.8
スギ	三重95A	39	4	E090	16.0	0.491	0.488	4.4	2700	900	107.1	107.0	10.38	9.55	0.84	11.6	9.56	38.4	48.9	50.2	46.9	45.5	46.1
スギ	三重95A	40	3	E090	15.4	0.424	0.423	5.7	2700	900	107.4	108.1	8.55	8.45	0.70	12.2	8.38	31.1	40.6	41.1	38.5	37.4	37.9
スギ	三重95A	41	4	E070	17.6	0.477	0.470	4.4	2700	900	107.3	106.6	8.34	7.67	0.80	10.0	7.92	27.1	46.1	49.5	46.2	44.8	45.5

付表2.1 測定データ一覧 (13)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	三重95A	42	E090	16.2	0.448	0.445	4.1	2700	900	107.2	108.1	8.11	8.60	0.75	11.8	8.65	35.5	52.6	54.4	50.9	49.5	50.1
スギ	三重95A	43	E090	15.4	0.455	0.455	4.6	2700	900	106.1	107.5	9.44	9.95	0.77	13.0	9.83	26.6	42.3	42.7	39.9	38.8	39.3
スギ	三重95A	44	E090	16.3	0.423	0.420	5.3	2700	900	108.0	107.6	8.86	8.07	0.69	11.9	8.12	27.4	40.2	41.7	39.0	37.8	38.3
スギ	三重95A	45	E090	15.9	0.443	0.438	3.5	2700	900	107.2	107.8	9.59	8.89	0.73	12.3	8.88	34.7	52.1	53.3	49.9	48.4	49.1
スギ	三重95A	46	E090	18.6	0.508	0.498	5.2	2700	900	106.5	106.4	10.02	9.27	0.86	11.4	9.63	36.7	51.2	55.7	52.0	50.4	51.1
スギ	三重95A	47	E070	18.4	0.495	0.486	4.1	2700	900	106.0	108.1	8.54	7.66	0.83	9.7	7.98	32.4	46.0	50.0	46.8	45.5	46.1
スギ	三重95A	48	E110	15.7	0.486	0.485	5.2	2700	900	105.9	107.9	10.10	10.48	0.81	12.7	10.42	37.5	49.3	50.2	47.0	45.6	46.2
スギ	三重95A	49	E090	17.6	0.482	0.475	4.2	2700	900	107.3	106.4	9.27	8.92	0.81	11.5	9.19	35.0	54.8	58.8	54.9	53.3	54.0
スギ	三重95A	50	E070	17.0	0.416	0.412	6.8	2700	900	106.5	108.2	8.45	7.24	0.68	11.1	7.38	28.0	41.7	44.0	41.3	40.1	40.6
スギ	三重95B	1	E090	14.0	0.423	0.425	4.9	2700	900	107.1	106.5	10.53	8.94	0.70	12.5	8.63	41.3	41.3	40.3	37.6	36.4	37.0
スギ	三重95B	2	E070	14.4	0.387	0.389	4.8	2700	900	107.3	106.3	6.91	6.27	0.63	9.9	6.12	28.2	32.3	31.8	29.7	28.8	29.2
スギ	三重95B	3	E070	13.7	0.368	0.371	5.6	2700	900	109.8	107.1	10.00	7.91	0.59	13.2	7.59	35.2	41.8	40.3	37.7	36.6	37.1
スギ	三重95B	5	E090	14.2	0.445	0.447	4.1	2700	900	109.4	106.2	9.00	9.52	0.75	12.5	9.22	41.7	54.9	53.7	50.1	48.6	49.3
スギ	三重95B	6	E090	13.8	0.381	0.384	4.6	2700	900	109.8	106.9	10.86	9.74	0.62	15.5	9.33	37.6	51.8	50.2	46.9	45.5	46.1
スギ	三重95B	7	E090	12.8	0.405	0.410	5.1	2700	900	111.0	107.2	10.58	8.94	0.67	12.8	8.46	30.8	47.6	45.0	42.0	40.8	41.3
スギ	三重95B	9	E070	12.6	0.429	0.435	4.5	2700	900	109.6	106.9	7.79	7.26	0.72	9.6	6.87	34.0	41.6	39.1	36.5	35.4	35.9
スギ	三重95B	10	E090	15.3	0.424	0.424	4.3	2700	900	113.7	111.2	10.31	9.37	0.70	13.5	9.27	38.5	44.4	44.8	42.2	41.0	41.5
スギ	三重95B	11	E090	17.0	0.454	0.449	4.2	2700	900	114.2	111.9	9.73	8.57	0.76	11.8	8.75	29.7	45.1	47.6	44.9	43.7	44.3
スギ	三重95B	12	E070	13.8	0.381	0.383	5.8	2700	900	113.5	110.6	6.76	6.46	0.61	10.3	6.24	29.6	39.2	38.0	35.7	34.8	35.2
スギ	三重95B	13	E090	13.4	0.431	0.435	4.1	2700	900	108.9	106.8	9.47	9.60	0.73	12.9	9.17	39.4	48.3	46.4	43.3	42.0	42.6
スギ	三重95B	14	E090	14.2	0.494	0.496	5.5	2700	900	108.5	107.2	11.91	10.07	0.86	11.6	9.77	41.5	55.8	54.6	51.1	49.6	50.2
スギ	三重95B	15	E070	13.9	0.410	0.412	4.4	2700	900	113.4	110.8	7.12	6.99	0.68	10.2	6.77	35.4	43.2	42.0	39.6	38.5	39.0
スギ	三重95B	16	E070	13.2	0.390	0.394	4.1	2700	900	108.2	104.7	7.15	7.74	0.64	11.8	7.38	34.0	39.8	38.0	35.4	34.2	34.7
スギ	三重95B	17	E070	15.2	0.495	0.494	3.6	2700	900	107.8	108.5	8.78	7.62	0.85	9.0	7.55	32.4	58.9	59.2	55.4	53.9	54.6
スギ	三重95B	18	E090	13.5	0.453	0.457	4.6	2700	900	107.2	106.4	10.05	9.53	0.77	12.0	9.12	36.8	53.4	51.3	47.9	46.4	47.1
スギ	三重95B	19	E090	14.7	0.403	0.404	2.9	2700	900	109.6	106.9	8.37	8.83	0.66	13.3	8.63	41.8	46.9	46.5	43.5	42.2	42.8
スギ	三重95B	20	E070	15.4	0.436	0.435	5.8	2700	900	108.9	108.0	7.88	6.75	0.73	9.4	6.71	27.8	39.7	40.1	37.6	36.5	36.9
スギ	三重95B	21	E070	14.1	0.406	0.408	4.5	2700	900	113.8	111.9	7.42	7.97	0.67	11.8	7.75	35.7	44.6	43.6	41.1	40.0	40.5
スギ	三重95B	22	E070	14.1	0.436	0.439	4.4	2700	900	108.9	107.8	8.43	8.19	0.73	11.0	7.94	38.8	40.7	39.7	37.2	36.1	36.6
スギ	三重95B	23	E070	13.3	0.409	0.413	6.1	2700	900	108.8	106.2	9.92	8.00	0.68	11.4	7.64	34.1	43.0	41.1	38.4	37.2	37.7
スギ	三重95B	24	E070	14.9	0.492	0.492	2.7	2700	900	108.9	107.0	6.86	7.04	0.85	8.3	6.95	28.2	38.2	38.2	35.7	34.6	35.1
スギ	三重95B	25	E050	14.0	0.363	0.365	3.7	2700	900	113.3	111.7	5.87	5.82	0.57	10.0	5.65	30.9	38.5	37.5	35.4	34.5	34.9
スギ	三重95B	26	E070	12.8	0.398	0.403	6.7	2700	900	113.7	111.0	9.10	8.35	0.66	12.3	7.92	43.7	49.6	46.9	44.1	42.9	43.5
スギ	三重95B	27	E070	14.1	0.430	0.432	6.3	2700	900	108.9	107.8	9.58	8.13	0.72	11.1	7.89	34.9	39.4	38.5	36.0	35.0	35.4
スギ	三重95B	28	E070	16.0	0.458	0.455	2.5	2700	900	109.3	108.1	6.96	6.29	0.77	8.3	6.33	12.7	16.7	17.2	16.1	15.6	15.8
スギ	三重95B	29	E070	15.9	0.412	0.410	4.1	2700	900	112.4	111.6	7.99	7.40	0.67	11.2	7.41	31.5	40.0	41.0	38.6	37.6	38.1
スギ	三重95B	30	E070	13.5	0.398	0.401	5.7	2700	900	108.2	106.5	8.00	6.84	0.65	10.2	6.57	32.5	40.6	39.1	36.5	35.4	35.9
スギ	三重95B	31	E070	13.7	0.408	0.411	3.6	2700	900	107.9	106.8	8.83	7.90	0.67	11.5	7.60	38.8	38.8	37.5	35.0	34.0	34.4
スギ	三重95B	32	E090	14.2	0.444	0.446	3.6	2700	900	107.9	106.8	9.64	9.85	0.75	13.0	9.54	41.7	41.7	40.8	38.1	37.0	37.5
スギ	三重95B	33	E070	13.4	0.439	0.443	4.9	2700	900	114.9	109.5	7.05	7.29	0.74	9.6	7.00	34.4	44.5	42.7	40.1	38.9	39.4
スギ	三重95B	34	E110	13.9	0.433	0.436	3.5	2700	900	112.9	110.8	11.21	11.28	0.73	15.2	10.85	46.8	55.7	54.1	50.9	49.6	50.2
スギ	三重95B	35	E070	15.1	0.409	0.409	5.2	2700	900	108.4	108.2	6.46	7.02	0.67	10.5	6.93	29.8	32.7	32.8	30.7	29.8	30.2
スギ	三重95B	36	E070	14.5	0.443	0.444	7.0	2700	900	109.1	105.7	8.39	7.46	0.74	9.9	7.29	27.3	34.8	34.3	32.0	31.0	31.4
スギ	三重95B	37	E070	14.6	0.412	0.413	4.1	2700	900	108.0	107.5	7.50	6.90	0.68	10.1	6.77	31.0	36.9	36.6	34.2	33.2	33.6
スギ	三重95B	38	E070	14.1	0.418	0.420	6.2	2700	900	107.4	105.9	6.28	6.20	0.69	8.8	6.03	27.5	35.5	34.7	32.4	31.4	31.8
スギ	三重95B	39	E070	13.8	0.445	0.448	4.9	2700	900	109.3	107.2	7.34	8.03	0.75	10.5	7.76	35.8	55.3	53.6	50.1	48.6	49.3
スギ	三重95B	40	E090	14.5	0.441	0.442	5.4	2700	900	110.0	106.9	8.09	9.24	0.74	12.4	9.01	16.3	38.9	38.4	35.9	34.8	35.3
スギ	三重95B	41	E090	13.8	0.483	0.486	4.9	2700	900	110.5	106.4	9.51	9.11	0.84	10.7	8.79	38.3	51.7	50.1	46.8	45.4	46.0

付表2.1 測定データ一覧 (14)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	三重95B	42	E070	13.4	0.430	0.433	3.2	2700	900	107.9	107.4	7.34	7.10	0.72	9.6	6.81	33.5	40.6	38.9	36.4	35.3	35.8
スギ	三重95B	43	E050	14.1	0.371	0.373	5.3	2700	900	108.1	106.3	6.85	6.10	0.59	10.2	5.93	28.4	35.1	34.3	32.0	31.0	31.5
スギ	三重95B	44	E070	13.2	0.421	0.425	4.0	2700	900	106.5	108.1	8.49	8.20	0.70	11.3	7.83	37.2	42.9	40.9	38.3	37.2	37.7
スギ	三重95B	45	E110	14.9	0.534	0.534	3.5	2700	900	108.8	107.9	8.85	10.31	0.94	11.0	10.15	43.4	44.1	44.0	41.2	40.0	40.6
スギ	三重95B	46	E090	15.5	0.428	0.427	5.4	2700	900	110.1	106.4	9.81	8.53	0.71	12.2	8.47	35.0	41.2	41.8	39.0	37.8	38.3
スギ	三重95B	47	E090	13.2	0.435	0.439	5.0	2700	900	108.3	106.2	9.20	8.51	0.73	11.2	8.12	39.1	52.3	49.9	46.6	45.2	45.8
スギ	三重95B	48	E090	12.8	0.427	0.432	3.2	2700	900	110.1	106.7	7.46	8.76	0.72	11.7	8.30	42.9	43.3	40.9	38.2	37.1	37.6
スギ	三重95B	49	E070	12.8	0.385	0.390	3.7	2700	900	109.1	106.8	6.93	6.56	0.63	10.1	6.23	30.4	33.3	31.5	29.4	28.5	28.9
スギ	三重95B	50	E090	15.4	0.494	0.493	3.5	2700	900	109.6	107.0	8.21	8.17	0.85	9.7	8.12	37.1	46.5	47.1	44.0	42.7	43.3
スギ	三重95B	51	E110	15.5	0.451	0.450	4.8	2700	900	109.9	108.4	11.59	10.69	0.76	14.2	10.58	44.1	57.2	58.0	54.3	52.8	53.4
スギ	三重95B	52	E090	14.2	0.423	0.425	3.1	2700	900	109.2	107.8	8.70	8.32	0.70	11.7	8.07	36.4	49.3	48.2	45.1	43.8	44.4
スギ	三重95B	53	E090	12.9	0.399	0.403	4.5	2700	900	107.9	106.0	8.97	9.48	0.66	13.9	8.96	46.5	52.2	49.5	46.1	44.7	45.3
スギ	三重95B	54	E070	13.6	0.398	0.401	4.2	2700	900	109.5	106.4	8.59	7.64	0.65	11.4	7.34	35.8	39.5	38.1	35.5	34.5	34.9
スギ	三重95B	55	E090	14.5	0.452	0.453	4.4	2700	900	108.6	106.1	9.02	9.21	0.76	11.9	8.97	34.1	34.1	33.6	31.4	30.4	30.8
スギ	三重95B	56	E090	14.9	0.417	0.418	5.6	2700	900	107.6	106.8	9.25	8.20	0.69	11.9	8.05	30.0	48.8	48.6	45.4	44.0	44.6
スギ	三重95B	57	E090	13.5	0.476	0.480	3.7	2700	900	104.2	104.7	8.46	7.75	0.82	11.0	8.91	31.8	41.4	39.8	37.2	36.1	36.6
スギ	福岡951	1	E070	13.9	0.411	0.414	4.7	2700	900	107.2	107.4	8.46	7.75	0.68	11.2	7.48	22.5	44.1	42.9	39.9	38.6	39.2
スギ	福岡951	2	E070	13.9	0.401	0.403	5.0	2700	900	103.8	103.8	8.09	7.67	0.66	11.5	7.40	27.8	33.8	32.9	30.5	29.5	30.0
スギ	福岡951	3	E070	37.7	0.540	0.470	5.0	2700	900	105.9	106.5	7.87	6.02	0.80	7.9	6.28	22.9	29.9	32.5	30.4	29.5	29.9
スギ	福岡951	4	E070	25.2	0.474	0.449	5.7	2700	900	105.8	106.2	10.52	7.40	0.76	10.3	7.69	13.6	38.2	41.5	38.8	37.6	38.1
スギ	福岡951	5	E070	13.9	0.384	0.386	4.9	2700	900	105.7	105.3	8.04	7.98	0.62	12.6	7.69	27.7	31.8	30.8	28.7	27.8	28.2
スギ	福岡951	6	E110	17.5	0.498	0.492	4.9	2700	900	104.8	106.0	10.27	10.28	0.85	12.7	10.55	31.4	54.2	57.9	54.1	52.4	53.1
スギ	福岡951	7	E090	14.1	0.439	0.441	4.8	2700	900	104.5	104.6	9.42	9.06	0.74	12.1	8.76	36.4	49.8	48.6	45.2	43.8	44.4
スギ	福岡951	8	E070	12.1	0.366	0.372	5.5	2700	900	105.0	105.4	7.23	6.62	0.59	10.7	6.21	23.5	32.1	29.8	27.8	26.9	27.3
スギ	福岡951	9	E110	13.4	0.418	0.421	5.6	2700	900	104.8	104.9	8.34	8.02	0.70	11.2	7.67	27.5	36.8	35.3	32.8	31.8	32.3
スギ	福岡951	10	E070	12.8	0.360	0.364	7.6	2700	900	105.2	104.7	7.82	7.43	0.57	12.5	7.03	25.6	32.0	30.2	28.1	27.2	27.6
スギ	福岡951	11	E050	12.8	0.373	0.378	7.1	2700	900	105.3	105.3	6.96	5.55	0.60	8.9	5.28	18.2	25.8	24.4	22.8	22.0	22.4
スギ	福岡951	12	E070	13.2	0.426	0.431	5.9	2700	900	105.0	105.2	8.45	6.45	0.72	8.7	6.17	24.7	35.9	34.2	31.9	30.9	31.3
スギ	福岡951	13	E050	31.1	0.428	0.391	7.1	2700	900	105.9	106.2	7.26	5.49	0.63	9.2	5.72	24.6	29.4	31.9	29.8	28.9	29.3
スギ	福岡951	14	E070	12.4	0.375	0.381	5.2	2700	900	104.3	104.6	7.61	6.89	0.61	10.8	6.49	23.9	30.5	28.6	26.6	25.8	26.1
スギ	福岡951	15	E090	14.6	0.436	0.437	5.5	2700	900	105.7	105.5	8.30	8.29	0.73	11.3	8.10	29.6	40.5	40.0	37.3	36.1	36.6
スギ	福岡951	16	E070	14.0	0.424	0.426	6.2	2700	900	105.2	105.2	8.84	7.20	0.71	10.0	6.97	24.7	32.7	31.8	29.6	28.7	29.1
スギ	福岡951	17	E050	32.2	0.443	0.401	7.5	2700	900	106.4	106.8	7.18	4.66	0.65	7.5	4.86	16.1	28.0	30.4	28.4	27.6	27.9
スギ	福岡951	18	E090	13.2	0.402	0.406	5.6	2700	900	105.1	105.7	8.61	8.49	0.66	12.4	8.08	30.8	45.0	42.9	40.0	38.8	39.3
スギ	福岡951	19	E070	18.8	0.460	0.451	6.0	2700	900	106.5	106.7	9.17	7.60	0.76	10.6	7.90	32.4	44.6	48.5	45.3	43.9	44.5
スギ	福岡951	20	E070	15.6	0.408	0.407	4.7	2700	900	105.8	105.7	7.33	6.84	0.66	10.4	6.81	22.1	32.0	32.5	30.3	29.4	29.8
スギ	福岡951	21	E070	16.8	0.423	0.419	5.0	2700	900	106.5	106.0	6.78	6.04	0.69	9.0	6.16	24.0	37.6	39.5	36.9	35.8	36.3
スギ	福岡951	22	E090	16.7	0.461	0.457	5.1	2700	900	105.9	106.8	9.28	8.03	0.77	10.7	8.15	20.0	44.0	46.0	43.0	41.7	42.3
スギ	福岡951	23	E090	14.4	0.455	0.456	5.5	2700	900	105.0	105.6	10.47	9.95	0.77	12.8	9.66	33.6	38.7	38.1	35.5	34.4	34.9
スギ	福岡951	24	E090	16.0	0.424	0.421	5.4	2700	900	105.8	105.7	8.68	8.13	0.70	11.9	8.14	25.6	30.7	31.5	29.4	28.5	28.9
スギ	福岡951	25	E070	13.2	0.404	0.408	5.2	2700	900	105.1	105.8	8.38	7.33	0.67	10.7	6.99	20.6	25.1	24.0	22.3	21.6	22.0
スギ	福岡951	26	E070	17.5	0.395	0.390	5.0	2700	900	104.9	106.2	8.86	7.30	0.63	12.1	7.51	26.5	32.1	34.4	32.1	31.1	31.5
スギ	福岡951	27	E070	13.9	0.410	0.412	4.4	2700	900	105.6	105.2	7.99	7.81	0.68	11.3	7.54	28.1	39.7	38.6	35.9	34.8	35.3
スギ	福岡951	28	E070	16.4	0.442	0.409	5.4	2700	900	105.6	106.0	8.65	7.76	0.67	11.9	7.82	26.9	40.9	42.4	39.6	38.4	38.9
スギ	福岡951	29	E050	18.3	0.433	0.425	5.6	2700	900	106.0	106.2	7.23	5.18	0.70	7.8	5.41	18.3	26.4	28.7	26.8	26.0	26.3
スギ	福岡951	30	E090	12.6	0.397	0.403	5.2	2700	900	105.4	105.3	9.21	9.11	0.66	13.3	8.57	26.5	36.6	34.3	32.0	31.0	31.4
スギ	福岡952	1	E090	12.2	0.431	0.438	3.9	2700	900	104.0	104.7	9.17	9.68	0.73	12.6	9.06	36.5	47.7	44.4	41.3	40.0	40.6
スギ	福岡952	2	E090	14.5	0.401	0.401	5.2	2700	900	105.3	104.6	9.13	8.43	0.65	12.8	8.21	37.2	44.6	44.1	41.0	39.7	40.3

付表2.1 測定データ一覧 (15)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
スギ	福岡952	3	4	E070	42.1	0.527	0.445	5.2	2700	900	106.3	106.3	8.16	6.17	0.75	8.7	6.44	22.0	35.2	38.3	35.7	34.6	35.1
スギ	福岡952	4	3	E090	21.6	0.469	0.453	4.8	2700	900	106.2	104.9	10.56	8.20	0.76	11.3	8.52	23.9	43.5	47.3	44.0	42.6	43.2
スギ	福岡952	5	1	E090	13.6	0.391	0.394	4.9	2700	900	104.7	105.8	8.09	8.38	0.64	12.8	8.03	29.4	42.9	41.3	38.6	37.4	37.9
スギ	福岡952	6	4	E110	16.0	0.502	0.499	4.9	2700	900	105.3	106.2	10.67	10.67	0.86	12.6	10.66	44.9	47.7	49.0	45.7	44.3	44.9
スギ	福岡952	7	3	E110	13.6	0.464	0.468	3.5	2700	900	104.8	104.1	11.02	11.13	0.80	13.6	10.64	45.7	65.5	63.1	58.7	56.8	57.6
スギ	福岡952	8	4	E070	13.3	0.408	0.412	4.8	2700	900	105.1	105.0	7.61	8.12	0.67	11.7	7.75	28.1	50.9	48.7	45.4	43.9	44.6
スギ	福岡952	9	4	E090	13.2	0.422	0.426	5.2	2700	900	105.1	104.8	8.62	8.84	0.71	12.1	8.41	32.3	45.2	43.1	40.1	38.8	39.4
スギ	福岡952	10	3	E070	11.7	0.367	0.374	5.9	2700	900	105.9	105.4	8.21	7.92	0.59	12.6	7.34	28.7	42.2	38.7	36.1	35.0	35.5
スギ	福岡952	11	4	E070	13.2	0.378	0.382	7.1	2700	900	105.4	105.0	7.52	6.64	0.61	10.5	6.34	24.8	36.3	34.6	32.2	31.2	31.6
スギ	福岡952	12	2	E070	12.6	0.442	0.448	5.0	2700	900	104.8	105.5	9.22	8.46	0.75	10.8	7.99	25.4	42.7	40.1	37.4	36.2	36.8
スギ	福岡952	13	3	E070	14.9	0.446	0.446	4.8	2700	900	105.9	104.7	7.98	6.63	0.75	8.8	6.54	23.9	27.1	27.1	25.2	24.4	24.8
スギ	福岡952	14	4	E070	13.0	0.381	0.385	5.0	2700	900	105.0	104.9	7.70	7.33	0.62	11.4	6.96	23.1	36.4	34.5	32.1	31.1	31.6
スギ	福岡952	15	4	E070	14.7	0.440	0.440	5.3	2700	900	105.3	105.3	8.67	8.15	0.74	11.0	7.98	22.8	39.8	39.5	36.8	35.7	36.2
スギ	福岡952	16	4	E090	14.1	0.440	0.442	5.8	2700	900	105.5	104.2	9.72	9.05	0.74	12.0	8.75	23.4	37.6	36.7	34.1	33.0	33.5
スギ	福岡952	17	4	E050	38.7	0.483	0.417	7.7	2700	900	106.5	106.3	7.43	5.33	0.69	8.2	5.56	21.1	30.4	33.0	30.8	29.9	30.3
スギ	福岡952	18	3	E090	11.8	0.401	0.408	5.0	2700	900	105.4	105.6	9.14	8.63	0.67	12.3	8.03	26.6	39.0	36.0	33.5	32.5	32.9
スギ	福岡952	19	3	E090	16.7	0.463	0.459	5.3	2700	900	106.0	106.2	9.15	8.64	0.78	11.5	8.76	38.5	51.7	54.2	50.6	49.0	49.7
スギ	福岡952	20	4	E070	14.5	0.424	0.425	3.9	2700	900	105.7	105.2	8.45	7.72	0.70	10.9	7.53	25.4	42.1	41.5	38.7	37.5	38.0
スギ	福岡952	21	2	E070	14.0	0.433	0.435	4.7	2700	900	105.1	105.2	7.33	7.03	0.73	9.5	6.81	34.1	41.5	40.4	37.6	36.5	37.0
スギ	福岡952	22	3	E090	13.5	0.470	0.474	4.6	2700	900	104.7	105.3	9.54	9.16	0.81	11.0	8.78	33.6	51.6	49.6	46.2	44.8	45.4
スギ	福岡952	23	4	E090	13.4	0.444	0.448	5.6	2700	900	94.1	95.5	11.37	9.08	0.75	11.7	8.65	34.4	50.6	48.5	44.3	42.6	43.4
スギ	福岡952	24	4	E090	14.6	0.410	0.411	5.2	2700	900	105.3	105.5	8.84	8.31	0.67	12.2	8.10	27.1	42.5	42.0	39.1	37.9	38.5
スギ	福岡952	25	2	E070	12.5	0.392	0.398	5.4	2700	900	105.2	104.6	7.85	8.34	0.65	12.4	7.85	31.1	42.4	39.7	37.0	35.8	36.3
スギ	福岡952	26	3	E090	14.0	0.397	0.400	4.8	2700	900	104.8	107.0	9.41	8.65	0.65	13.1	8.34	30.2	43.1	42.0	39.2	38.0	38.6
スギ	福岡952	27	4	E070	12.7	0.408	0.413	4.0	2700	900	105.1	105.7	7.66	8.38	0.68	11.9	7.93	32.3	54.2	51.1	47.7	46.2	46.8
スギ	福岡952	28	4	E070	12.4	0.407	0.413	5.3	2700	900	93.8	93.7	9.03	8.44	0.68	11.9	7.90	33.5	46.6	43.6	39.7	38.0	38.8
スギ	福岡952	29	2	E070	17.3	0.429	0.424	4.9	2700	900	106.4	105.2	7.40	6.11	0.70	9.1	6.29	26.5	33.5	35.7	33.3	32.2	32.7
スギ	福岡952	30	2	E090	12.3	0.402	0.408	4.8	2700	900	105.4	106.6	10.39	9.57	0.67	13.7	8.96	33.0	40.7	37.9	35.4	34.3	34.8
スギ	福岡95H	1	3	E070	20.9	0.420	0.407	5.9	3900	1275	116.2	234.3	*	6.52	0.67	10.3	6.92	28.0	34.5	37.5	44.0	44.9	45.8
スギ	福岡95H	2	3	E070	20.2	0.372	0.362	6.0	3900	1275	116.8	237.7	*	5.84	0.57	10.9	6.21	20.7	21.0	22.8	26.9	27.5	28.0
スギ	福岡95H	3	4	E090	17.1	0.449	0.444	4.3	3900	1275	118.3	238.3	*	8.15	0.74	11.4	8.51	25.6	35.2	37.2	43.8	44.8	45.7
スギ	福岡95H	4	3	E070	20.4	0.421	0.409	3.9	3900	1275	117.2	237.0	*	6.55	0.67	10.3	6.96	25.6	30.8	33.4	39.3	40.2	41.0
スギ	福岡95H	5	2	E070	11.6	0.378	0.385	4.9	3900	1275	115.0	235.5	*	8.15	0.62	12.5	7.74	21.7	33.0	30.3	35.5	36.3	37.0
スギ	福岡95H	6	3	E090	13.4	0.433	0.437	4.1	3900	1275	116.2	235.0	*	9.82	0.73	13.1	9.60	27.1	34.7	33.2	39.0	39.8	40.6
スギ	福岡95H	7	3	E070	18.7	0.428	0.419	3.9	3900	1275	116.6	236.9	*	7.14	0.69	10.9	7.58	24.2	31.9	34.7	40.8	41.7	42.5
スギ	福岡95H	8	2	E030	22.0	0.351	0.338	4.7	3900	1275	117.9	238.8	*	3.71	0.52	7.6	3.93	11.5	19.0	20.6	24.3	24.9	25.3
スギ	福岡95H	9	3	E050	12.9	0.438	0.443	5.2	3900	1275	116.2	234.7	*	5.38	0.74	7.0	5.20	29.0	34.7	32.9	38.6	39.4	40.2
スギ	福岡95H	10	2	E070	17.8	0.421	0.415	4.4	3900	1275	116.6	236.4	*	6.76	0.68	10.4	7.14	21.8	31.2	33.7	39.7	40.5	41.3
スギ	福岡95H	11	2	E070	22.9	0.429	0.412	4.1	3900	1275	118.5	238.9	*	6.83	0.68	10.7	7.26	22.7	36.2	39.3	46.3	47.3	48.2
スギ	福岡95H	12	4	E090	31.2	0.553	0.505	2.4	3900	1275	118.5	238.9	*	7.64	0.88	9.2	8.11	21.4	27.2	29.5	34.8	35.6	36.2
スギ	福岡95H	13	2	E050	13.1	0.360	0.363	6.7	3900	1275	117.1	235.5	*	5.76	0.57	9.8	5.60	22.3	35.4	33.7	39.6	40.4	41.2
スギ	福岡95H	14	2	E070	15.4	0.432	0.431	6.7	3900	1275	118.2	237.0	*	6.04	0.72	8.5	6.10	25.5	43.2	43.6	51.3	52.4	53.4
スギ	福岡95H	15	2	E070	12.7	0.421	0.427	3.4	3900	1275	115.6	236.5	*	7.34	0.71	10.0	7.09	30.4	46.9	44.2	52.0	53.1	54.1
スギ	福岡95H	16	2	E090	12.0	0.411	0.417	3.9	3900	1275	116.5	236.3	*	10.03	0.69	13.9	9.60	27.8	32.8	30.3	35.7	36.4	37.2
スギ	福岡95H	17	3	E070	16.8	0.418	0.414	3.8	3900	1275	117.2	236.8	*	7.28	0.68	11.0	7.57	19.0	28.8	30.3	35.7	36.5	37.2
スギ	福岡95H	18	3	E050	24.0	0.402	0.384	8.3	3900	1275	119.3	239.2	*	5.25	0.62	9.0	5.57	22.5	31.2	33.9	39.9	40.8	41.6
スギ	福岡95H	19	2	E070	15.0	0.362	0.363	5.8	3900	1275	116.2	234.5	*	6.21	0.57	10.9	6.24	20.6	26.0	26.0	30.5	31.1	31.7
スギ	福岡95H	20	2	E110	14.0	0.483	0.485	3.7	3900	1275	116.8	234.2	*	11.09	0.83	13.1	10.97	25.9	45.4	44.2	51.9	53.0	54.1

付表2.1 測定データ一覧 (16)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	M/C(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)	
スギ	福岡95H	21	3	E110	13.2	0.473	4.0	3900	1275	116.3	235.1	*	10.44	0.82	12.4	10.18	39.1	56.6	54.0	63.4	64.8	66.0	
スギ	福岡95H	22	3	E070	12.2	0.384	0.390	3900	1275	117.2	236.4	*	7.59	0.63	11.5	7.27	24.3	35.8	33.3	39.2	40.0	40.8	
スギ	福岡95H	23	3	E070	15.7	0.420	0.419	3900	1275	118.2	236.7	*	6.11	0.69	9.0	6.21	22.4	30.4	31.0	36.4	37.2	37.9	
スギ	福岡95H	24	3	E090	31.5	0.435	4.1	3900	1275	120.0	240.0	*	7.54	0.62	12.9	8.03	25.9	27.7	30.1	35.5	36.3	37.0	
スギ	福岡95H	25	3	E090	16.9	0.414	4.0	3900	1275	117.3	235.5	*	8.83	0.67	13.6	9.21	31.0	42.4	44.8	52.6	53.7	54.8	
スギ	福岡95H	26	2	E090	26.2	0.407	0.384	4.2	3900	1275	119.2	239.2	*	7.60	0.62	13.0	8.09	20.8	33.8	36.8	43.3	44.3	45.2
スギ	福岡95H	27	3	E050	26.7	0.403	0.380	7.7	3900	1275	119.2	238.8	*	5.64	0.61	9.8	5.98	19.9	29.4	31.9	37.6	38.4	39.2
スギ	福岡95H	28	3	E070	24.7	0.410	0.390	3.4	3900	1275	119.8	239.4	*	7.05	0.63	11.9	7.50	15.5	24.5	26.6	31.3	32.0	32.6
スギ	福岡95H	29	3	E090	27.3	0.459	0.431	2.9	3900	1275	119.3	239.5	*	7.58	0.72	11.2	8.06	16.3	29.3	42.7	50.4	51.5	52.5
スギ	福岡95H	30	2	E070	54.3	0.522	0.406	3.9	3900	1275	117.8	240.0	*	7.22	0.66	11.5	7.67	21.9	32.1	34.9	41.2	42.1	42.9
スギ	福岡95H	31	3	E070	17.3	0.413	0.408	4.0	3900	1275	117.0	237.1	*	7.38	0.67	11.5	7.74	26.7	34.0	36.3	42.7	43.6	44.4
スギ	福岡95H	32	3	E090	14.9	0.407	0.407	4.9	3900	1275	117.2	235.4	*	8.35	0.66	12.6	8.40	24.8	37.7	37.7	44.3	45.2	46.1
スギ	福岡95H	33	3	E070	30.6	0.430	0.394	5.0	3900	1275	119.6	239.5	*	6.98	0.64	11.5	7.42	24.0	29.3	31.8	37.5	38.4	39.1
スギ	福岡95H	34	2	E050	13.1	0.377	0.381	5.5	3900	1275	116.9	235.9	*	6.13	0.61	9.7	5.96	26.4	41.6	39.6	46.5	47.5	48.4
スギ	福岡95H	35	3	E050	12.9	0.386	0.391	5.6	3900	1275	116.4	234.8	*	5.90	0.63	9.0	5.72	17.9	23.1	21.9	25.7	26.3	26.8
スギ	福岡95H	36	2	E090	21.2	0.431	0.418	4.4	3900	1275	118.6	238.3	*	9.21	0.69	14.1	9.81	25.3	36.6	39.8	46.8	47.9	48.8
スギ	福岡95H	37	1	E070	23.4	0.447	0.428	3.5	3900	1275	119.3	238.5	*	5.94	0.71	8.8	6.31	27.1	39.7	43.2	50.8	52.0	53.0
スギ	福岡95H	39	2	E090	17.1	0.434	0.429	4.4	3900	1275	117.2	236.1	*	8.38	0.71	12.2	8.75	33.1	49.1	52.0	61.1	62.4	63.7
スギ	福岡95H	40	3	E070	21.5	0.518	0.500	2.1	3900	1275	115.7	235.9	*	7.13	0.87	8.7	7.56	19.4	26.2	28.5	33.5	34.2	34.9
スギ	福岡95H	41	2	E050	18.5	0.376	0.369	7.7	3900	1275	118.9	239.8	*	5.43	0.58	9.8	5.76	20.5	26.3	28.6	33.8	34.5	35.2
スギ	福岡95H	42	2	E070	18.1	0.417	0.410	4.1	3900	1275	115.3	236.3	*	7.02	0.67	11.0	7.45	20.2	31.3	34.0	40.0	40.9	41.7
スギ	福岡95H	43	3	E070	14.4	0.395	0.396	5.1	3900	1275	116.5	237.1	*	6.83	0.64	10.5	6.79	25.5	28.3	27.9	32.8	33.5	34.2
スギ	福岡95H	44	3	E090	37.6	0.540	0.470	3.6	3900	1275	117.4	237.5	*	8.02	0.80	10.6	8.51	18.6	26.9	29.2	34.4	35.1	35.8
スギ	福岡95H	45	1	E090	12.1	0.367	0.373	5.0	3900	1275	116.2	236.2	*	8.52	0.59	13.7	8.17	32.6	40.4	37.5	44.1	45.0	45.9
スギ	福岡95H	46	2	E090	23.0	0.416	0.399	4.8	3900	1275	119.1	239.3	*	8.14	0.65	13.2	8.66	28.5	31.8	34.6	40.8	41.7	42.5
スギ	福岡95H	47	4	E070	12.1	0.403	0.409	7.3	3900	1275	115.8	234.7	*	6.78	0.67	9.6	6.48	24.3	34.4	31.9	37.4	38.2	39.0
スギ	福岡95H	48	2	E050	23.3	0.361	0.346	5.9	3900	1275	121.9	241.4	*	5.05	0.53	10.0	5.37	15.3	19.3	20.9	24.7	25.3	25.8
スギ	福岡95H	49	3	E050	29.7	0.418	0.387	3.8	3900	1275	120.0	241.1	*	4.82	0.62	8.2	5.12	19.8	27.6	30.0	35.4	36.2	36.9
スギ	福岡95H	50	3	E070	39.8	0.471	0.404	2.6	3900	1275	118.4	239.0	*	5.95	0.66	9.5	6.32	22.7	28.5	31.0	36.5	37.4	38.1
カラマツ	長野96K	1002	2	E090	13.5	0.478	0.481	4.3	2700	900	105.4	105.0	*	10.17	0.82	12.0	9.74	29.2	37.2	35.8	33.3	32.3	32.7
カラマツ	長野96K	1003	2	E090	13.7	0.499	0.502	4.2	2700	900	105.1	105.2	*	9.17	0.87	10.3	8.83	23.5	25.4	24.6	22.9	22.2	22.5
カラマツ	長野96K	1006	4	E090	13.0	0.474	0.478	5.3	2700	900	105.0	104.9	*	8.99	0.82	10.6	8.55	24.8	40.7	38.6	36.0	34.8	35.3
カラマツ	長野96K	1007	2	E090	12.8	0.471	0.475	5.1	2700	900	105.1	105.0	*	9.17	0.81	10.9	8.70	27.8	44.7	42.3	39.3	38.1	38.7
カラマツ	長野96K	1008	2	E090	13.5	0.504	0.507	6.2	2700	900	105.1	105.1	*	9.44	0.88	10.5	9.06	22.0	37.7	36.2	33.7	32.7	33.1
カラマツ	長野96K	1009	2	E070	12.9	0.517	0.521	3.6	2700	900	105.0	105.1	*	6.77	0.91	7.2	6.46	17.4	22.9	21.7	20.2	19.6	19.9
カラマツ	長野96K	1010	3	E110	13.5	0.538	0.541	4.1	2700	900	105.0	105.1	*	10.64	0.95	10.9	10.20	25.4	37.3	35.8	33.4	32.3	32.8
カラマツ	長野96K	1011	4	E070	13.0	0.481	0.485	6.8	2700	900	104.9	105.2	*	6.32	0.83	7.3	6.05	17.2	26.0	24.7	23.0	22.3	22.6
カラマツ	長野96K	1012	2	E070	13.3	0.480	0.483	3.7	2700	900	105.1	105.3	*	7.86	0.83	9.2	7.53	18.2	32.3	30.9	28.8	27.9	28.3
カラマツ	長野96K	1015	3	E090	12.8	0.514	0.519	5.7	2700	900	105.1	105.2	*	9.47	0.91	10.1	8.98	24.2	36.6	34.6	32.2	31.2	31.7
カラマツ	長野96K	1016	3	E090	13.2	0.522	0.526	3.8	2700	900	105.0	104.8	*	10.18	0.92	10.7	9.72	27.8	46.5	44.3	41.3	40.0	40.5
カラマツ	長野96K	1018	2	E110	13.5	0.554	0.538	4.3	2700	900	104.9	104.9	*	10.76	0.99	10.9	10.32	26.8	43.7	42.0	39.1	37.9	38.4
カラマツ	長野96K	1019	3	E110	13.4	0.535	0.538	5.2	2700	900	104.9	105.1	*	10.65	0.95	10.6	10.20	28.7	54.7	52.4	48.8	47.3	48.0
カラマツ	長野96K	1024	2	E090	13.4	0.519	0.523	4.5	2700	900	105.0	104.9	*	9.68	0.91	10.3	9.27	25.6	38.0	35.7	31.8	30.2	30.9
カラマツ	長野96K	1026	2	E070	13.2	0.462	0.465	3.7	2700	900	105.1	105.1	*	7.63	0.79	9.4	7.30	20.9	40.7	38.8	36.1	35.0	35.5
カラマツ	長野96K	1027	2	E090	13.5	0.532	0.535	5.3	2700	900	105.1	105.0	*	10.28	0.94	10.6	9.86	27.4	36.3	34.9	32.5	31.4	31.9
カラマツ	長野96K	1028	2	E090	13.1	0.424	0.428	5.3	2700	900	105.5	105.0	*	9.03	0.71	12.3	8.59	27.7	41.9	39.9	37.2	36.0	36.5

付表2.1 測定データ一覧 (17)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
カラマツ	長野96K 1029	2	E090	12.9	0.496	0.500	4.3	2700	900	104.9	105.2	*	10.12	0.87	11.3	9.61	29.3	49.9	47.2	44.0	42.6	43.2
カラマツ	長野96K 1030	2	E110	13.3	0.522	0.525	4.7	2700	900	105.2	105.3	*	10.57	0.92	11.2	10.10	27.7	40.6	38.8	36.2	35.1	35.6
カラマツ	長野96K 1031	2	E090	13.3	0.439	0.443	4.6	2700	900	105.0	105.2	*	10.14	0.74	13.3	9.66	24.3	33.3	31.9	29.7	28.8	29.2
カラマツ	長野96K 1032	3	E090	12.8	0.443	0.447	4.9	2700	900	105.2	105.2	*	8.48	0.75	10.9	8.04	28.4	39.3	37.1	34.5	33.5	33.9
カラマツ	長野96K 1033	3	E090	13.5	0.518	0.521	4.5	2700	900	105.1	105.1	*	9.59	0.91	10.3	9.21	26.9	37.1	35.7	33.2	32.2	32.7
カラマツ	長野96K 1034	2	E110	13.3	0.468	0.471	3.9	2700	900	105.0	105.2	*	10.67	0.80	12.9	10.17	29.8	44.3	42.4	39.4	38.2	38.8
カラマツ	長野96K 1036	4	E070	12.9	0.473	0.477	7.4	2700	900	105.0	105.2	*	6.51	0.81	7.7	6.21	20.5	28.2	26.7	24.9	24.1	24.5
カラマツ	長野96K 1038	4	E090	13.4	0.554	0.558	5.5	2700	900	104.8	105.3	*	9.37	0.99	9.2	9.00	25.6	35.8	34.4	32.0	31.0	31.4
カラマツ	長野96K 1039	3	E090	13.0	0.461	0.465	6.0	2700	900	105.1	105.4	*	8.51	0.79	10.4	8.10	25.7	40.4	38.3	35.7	34.6	35.1
カラマツ	長野96K 1040	2	E070	13.2	0.595	0.599	4.1	2700	900	105.0	105.2	*	8.28	1.08	7.4	7.94	22.6	39.9	38.1	35.5	34.4	34.9
カラマツ	長野96K 1041	3	E110	13.8	0.583	0.586	3.5	2700	900	104.9	105.1	*	12.20	1.05	11.4	11.76	31.5	55.8	54.0	50.3	48.7	49.4
カラマツ	長野96K 1042	2	E090	12.8	0.463	0.467	6.2	2700	900	105.1	105.4	*	8.80	0.79	10.7	8.34	21.7	33.8	31.9	29.7	28.8	29.2
カラマツ	長野96K 1044	2	E070	13.1	0.457	0.461	6.3	2700	900	105.2	105.2	*	8.10	0.78	10.1	7.73	23.5	34.2	32.5	30.3	29.3	29.8
カラマツ	長野96K 1045	2	E090	12.8	0.474	0.478	4.5	2700	900	105.0	105.3	*	8.66	0.82	10.2	8.21	24.3	44.5	42.0	39.1	37.9	38.5
カラマツ	長野96K 1046	2	E110	13.1	0.519	0.523	4.8	2700	900	104.8	104.7	*	10.92	0.91	11.6	10.39	30.7	53.4	50.8	47.3	45.8	46.5
カラマツ	長野96K 1047	2	E070	12.6	0.503	0.508	6.1	2700	900	105.0	105.1	*	6.90	0.88	7.5	6.55	21.0	30.8	29.0	27.0	26.2	26.5
カラマツ	長野96K 1048	3	E090	13.0	0.548	0.552	6.8	2700	900	105.0	104.8	*	9.42	0.98	9.3	8.98	27.5	43.4	41.2	38.3	37.1	37.7
カラマツ	長野96K 2001	2	E090	12.6	0.460	0.465	5.5	2700	900	105.1	105.1	*	9.88	0.79	12.0	9.32	30.0	39.8	37.4	34.8	33.7	34.2
カラマツ	長野96K 2002	2	E090	11.9	0.449	0.455	4.6	2700	900	105.4	104.9	*	9.19	0.77	11.3	8.58	27.4	40.5	37.4	34.8	33.7	34.2
カラマツ	長野96K 2004	3	E110	12.6	0.512	0.518	5.4	2700	900	105.0	105.1	*	10.82	0.90	11.5	10.21	28.8	50.7	47.6	44.4	43.0	43.6
カラマツ	長野96K 2005	3	E090	12.3	0.444	0.449	6.6	2700	900	105.0	105.0	*	9.80	0.75	12.4	9.19	24.4	40.2	37.5	34.9	33.8	34.3
カラマツ	長野96K 2007	2	E090	12.4	0.433	0.437	7.3	2700	900	105.0	105.1	*	9.06	0.73	11.9	8.52	20.9	25.8	24.1	22.5	21.8	22.1
カラマツ	長野96K 2009	2	E090	12.8	0.465	0.469	4.5	2700	900	105.2	105.2	*	10.12	0.80	12.2	9.58	28.9	44.8	42.3	39.4	38.2	38.7
カラマツ	長野96K 2011	3	E090	13.0	0.498	0.502	4.9	2700	900	105.2	105.1	*	9.02	0.87	10.0	8.59	19.4	41.0	38.9	36.2	35.1	35.6
カラマツ	長野96K 2012	3	E090	12.9	0.528	0.532	4.2	2700	900	105.2	105.1	*	9.33	0.94	9.6	8.87	20.6	45.6	43.2	40.2	39.0	39.5
カラマツ	長野96K 2013	3	E110	12.5	0.492	0.497	4.4	2700	900	105.1	105.2	*	11.61	0.86	13.0	10.91	35.0	44.3	41.5	38.7	37.5	38.0
カラマツ	長野96K 2014	3	E090	12.3	0.472	0.478	3.8	2700	900	105.0	105.1	*	10.21	0.82	11.9	9.58	30.8	44.3	41.3	38.5	37.3	37.8
カラマツ	長野96K 2015	2	E090	13.1	0.483	0.487	4.5	2700	900	105.2	105.1	*	9.72	0.84	11.2	9.26	24.3	46.7	44.4	41.4	40.1	40.6
カラマツ	長野96K 2016	2	E110	13.5	0.584	0.588	5.1	2700	900	105.0	105.0	*	12.13	1.05	11.2	11.63	29.4	54.9	52.8	49.2	47.6	48.3
カラマツ	長野96K 2018	3	E110	12.9	0.572	0.578	3.3	2700	900	105.0	105.1	*	11.90	1.03	11.1	11.29	43.0	67.8	64.2	59.8	57.9	58.8
カラマツ	長野96K 2021	3	E070	12.4	0.428	0.433	6.6	2700	900	105.1	105.0	*	8.04	0.72	10.7	7.57	21.2	32.3	30.2	28.1	27.2	27.6
カラマツ	長野96K 2022	3	E110	13.0	0.519	0.523	4.1	2700	900	105.1	105.1	*	11.93	0.91	12.6	11.32	30.4	52.4	49.8	46.3	44.9	45.5
カラマツ	長野96K 2024	2	E090	12.3	0.458	0.464	5.0	2700	900	105.2	105.3	*	10.56	0.79	12.8	9.90	24.1	38.1	35.5	33.1	32.0	32.5
カラマツ	長野96K 2025	4	E070	11.6	0.466	0.473	6.7	2700	900	105.3	105.1	*	7.11	0.81	8.3	6.63	18.0	27.5	25.3	23.5	22.8	23.1
カラマツ	長野96K 2028	3	E110	13.6	0.499	0.502	7.1	2700	900	105.1	104.9	*	10.54	0.87	11.8	10.11	27.0	40.3	38.8	36.2	35.0	35.5
カラマツ	長野96K 2029	2	E090	14.1	0.540	0.542	5.5	2700	900	105.2	104.9	*	10.15	0.95	10.5	9.84	26.1	40.4	39.5	36.8	35.6	36.1
カラマツ	長野96K 3001	4	E090	15.1	0.537	0.537	4.8	2700	900	105.1	105.3	*	8.24	0.94	8.7	8.16	16.8	32.2	32.3	30.1	29.2	29.6
カラマツ	長野96K 3002	2	E110	14.8	0.526	0.527	4.6	2700	900	105.1	105.5	*	10.22	0.92	11.0	10.03	26.6	37.8	37.8	35.1	34.0	34.4
カラマツ	長野96K 3003	3	E110	14.5	0.499	0.500	3.7	2700	900	104.7	105.3	*	10.39	0.86	11.9	10.13	24.0	45.3	44.7	41.7	40.4	40.9
カラマツ	長野96K 3005	4	E090	12.6	0.545	0.551	5.4	2700	900	105.1	105.3	*	9.98	0.97	9.8	9.44	22.7	33.7	31.6	29.5	28.6	29.0
カラマツ	長野96K 3006	3	E110	13.7	0.518	0.521	3.6	2700	900	105.2	105.4	*	11.55	0.91	12.4	11.10	21.3	24.5	23.6	22.0	21.3	21.6
カラマツ	長野96K 3007	4	E070	13.3	0.499	0.503	5.4	2700	900	105.2	105.3	*	7.36	0.87	8.2	7.06	19.9	37.0	35.4	32.9	31.9	32.4
カラマツ	長野96K 3008	2	E090	13.3	0.516	0.520	5.1	2700	900	105.3	105.4	*	10.25	0.91	11.0	9.80	25.4	45.5	43.5	40.5	39.3	39.8
カラマツ	長野96K 3009	2	E090	13.2	0.463	0.467	4.6	2700	900	105.0	105.1	*	9.20	0.79	11.2	8.78	21.6	30.2	28.8	26.8	26.0	26.3
カラマツ	長野96K 3010	3	E090	13.9	0.554	0.556	1.4	2700	900	105.1	105.3	*	9.81	0.99	9.8	9.49	28.5	38.3	37.3	34.7	33.6	34.1
カラマツ	長野96K 3011	3	E090	13.7	0.527	0.529	4.5	2700	900	105.1	105.4	*	8.57	0.93	9.0	8.27	19.8	29.5	28.5	26.6	25.7	26.1
カラマツ	長野96K 3013	3	E090	13.9	0.484	0.487	6.3	2700	900	105.4	105.6	*	8.65	0.84	10.1	8.36	21.4	34.9	33.9	31.6	30.6	31.0
カラマツ	長野96K 3015	4	E090	12.6	0.452	0.457	5.6	2700	900	105.1	105.2	*	8.76	0.77	10.9	8.27	24.0	35.2	33.1	30.8	29.8	30.3

付表2.1 測定データ一覧 (18)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	EfI-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
カヲマツ	長野96K 3016	2	E090	13.3	0.456	0.459	4.2	2700	900	105.1	105.1	*	10.26	0.78	12.8	9.78	32.8	49.1	46.9	43.7	42.3	42.9
カヲマツ	長野96K 3021	3	E090	13.1	0.469	0.473	4.0	2700	900	105.2	105.3	*	9.65	0.81	11.6	9.19	25.2	30.9	29.4	27.4	26.6	27.0
カヲマツ	長野96K 3022	2	E090	13.9	0.556	0.558	4.1	2700	900	105.1	105.1	*	9.13	0.99	9.0	8.84	24.0	42.0	40.8	38.0	36.8	37.3
カヲマツ	長野96K 3023	2	E150	14.0	0.566	0.568	3.7	2700	900	105.0	105.1	*	14.79	1.01	14.4	14.24	48.2	63.0	61.3	57.1	55.3	56.1
カヲマツ	長野96K 3024	2	E090	13.3	0.482	0.486	6.1	2700	900	104.8	104.9	*	10.06	0.83	11.7	9.61	20.6	27.7	26.5	24.7	23.9	24.2
カヲマツ	長野96K 3025	1	E090	14.1	0.476	0.478	4.1	2700	900	105.2	105.4	*	9.19	0.82	11.1	8.91	18.8	32.7	31.9	29.7	28.8	29.2
カヲマツ	長野96K 3026	1	E090	13.9	0.486	0.488	3.7	2700	900	105.2	105.4	*	9.13	0.84	10.7	8.82	22.1	41.1	39.9	37.2	36.0	36.5
カヲマツ	長野96K 3027	3	E090	14.0	0.534	0.536	4.3	2700	900	105.0	105.1	*	8.79	0.94	9.2	8.53	20.7	35.5	34.6	32.2	31.2	31.6
カヲマツ	長野96K 3028	2	E090	13.3	0.548	0.552	5.5	2700	900	105.1	105.3	*	9.67	0.98	9.6	9.26	21.5	30.3	29.0	27.0	26.1	26.5
カヲマツ	長野96K 3030	3	E070	13.7	0.455	0.457	4.6	2700	900	105.2	105.4	*	6.96	0.77	8.8	6.72	12.5	23.2	22.4	20.9	20.3	20.6
カヲマツ	長野96K 3031	3	E090	9.8	0.469	0.480	4.3	2700	900	105.2	105.2	*	8.96	0.82	10.0	8.10	28.0	39.5	34.7	32.4	31.3	31.8
カヲマツ	長野96K 3032	3	E070	12.6	0.454	0.459	5.9	2700	900	104.9	105.2	*	6.38	0.78	7.9	6.05	18.8	25.8	24.2	22.6	21.9	22.2
カヲマツ	長野96K 3033	4	E090	14.5	0.597	0.599	3.6	2700	900	105.2	105.3	*	9.15	1.08	8.4	8.96	21.3	32.9	32.5	30.2	29.3	29.7
カヲマツ	長野96K 3034	2	E070	12.7	0.444	0.448	4.8	2700	900	105.1	105.3	*	8.20	0.75	10.4	7.76	24.7	37.9	35.7	33.3	32.2	32.7
カヲマツ	長野96K 3035	2	E110	13.1	0.498	0.502	3.9	2700	900	105.2	105.3	*	10.75	0.87	12.0	10.22	25.4	32.4	30.9	28.7	27.8	28.2
カヲマツ	長野96K 3036	4	E070	13.3	0.444	0.447	4.9	2700	900	105.3	105.5	*	7.03	0.75	9.1	6.74	18.8	29.7	28.4	26.5	25.6	26.0
カヲマツ	長野96K 3037	3	E090	13.0	0.434	0.438	4.8	2700	900	105.0	105.1	*	8.96	0.73	11.8	8.51	27.1	37.0	35.2	32.8	31.7	32.2
カヲマツ	長野96K 3038	3	E090	12.1	0.527	0.533	4.2	2700	900	105.2	105.4	*	9.69	0.94	9.8	9.09	30.2	43.7	40.5	37.8	36.6	37.1
カヲマツ	長野96K 4001	2	E110	12.3	0.499	0.505	5.8	2700	900	104.9	105.1	*	10.77	0.88	11.7	10.11	22.8	34.3	32.0	29.8	28.9	29.3
カヲマツ	長野96K 4002	2	E090	12.5	0.511	0.516	3.8	2700	900	105.1	105.2	*	10.26	0.90	10.9	9.68	27.6	40.9	38.4	35.7	34.6	35.1
カヲマツ	長野96K 4004	4	E090	12.2	0.468	0.473	4.7	2700	900	105.1	105.1	*	9.27	0.81	10.9	8.70	26.0	37.7	35.1	32.7	31.7	32.1
カヲマツ	長野96K 4005	4	E110	13.3	0.551	0.555	4.0	2700	900	105.0	105.0	*	11.03	0.98	10.9	10.54	27.7	39.2	37.5	34.9	33.8	34.3
カヲマツ	長野96K 4009	2	E090	13.0	0.532	0.536	3.6	2700	900	105.1	105.1	*	10.22	0.94	10.5	9.73	26.0	43.0	40.8	38.0	36.8	37.3
カヲマツ	長野96K 4010	3	E130	12.0	0.532	0.539	4.5	2700	900	105.0	105.2	*	13.05	0.95	13.1	12.17	34.0	56.0	51.9	48.3	46.8	47.5
カヲマツ	長野96K 4013	3	E090	12.0	0.450	0.456	5.1	2700	900	105.1	105.2	*	9.66	0.77	11.9	9.02	25.5	35.1	32.5	30.3	29.3	29.7
カヲマツ	長野96K 4014	3	E090	11.9	0.444	0.440	4.9	2700	900	105.1	105.0	*	9.39	0.74	12.1	8.75	25.1	35.5	32.8	30.6	29.6	30.0
カヲマツ	長野96K 4015	4	E070	12.4	0.466	0.471	6.3	2700	900	105.2	105.1	*	8.45	0.80	10.1	7.96	20.6	32.3	30.2	28.1	27.2	27.6
カヲマツ	長野96K 4017	2	E110	12.0	0.487	0.493	3.8	2700	900	104.9	105.1	*	11.84	0.85	13.2	11.03	36.6	54.9	50.8	47.4	45.9	46.5
カヲマツ	長野96K 4020	4	E090	12.5	0.500	0.505	4.3	2700	900	105.1	105.1	*	8.97	0.88	9.8	8.47	19.5	36.5	34.2	31.9	30.9	31.3
カヲマツ	長野96K 4022	2	E130	12.6	0.550	0.556	4.5	2700	900	105.2	105.2	*	12.82	0.99	12.5	12.06	32.1	47.7	44.7	41.6	40.3	40.9
カヲマツ	長野96K 4024	2	E090	12.6	0.446	0.450	4.0	2700	900	105.1	105.0	*	9.05	0.76	11.5	8.54	24.4	34.6	32.5	30.3	29.3	29.7
カヲマツ	長野96K 4025	2	E090	12.1	0.447	0.453	5.3	2700	900	105.2	105.1	*	8.81	0.76	11.0	8.25	25.1	42.0	39.0	36.3	35.2	35.7
カヲマツ	長野96K 4028	2	E090	12.3	0.438	0.443	4.7	2700	900	104.9	105.1	*	8.85	0.74	11.4	8.31	23.9	37.0	34.5	32.1	31.1	31.5
カヲマツ	長野96K 4030	3	E070	11.8	0.494	0.501	5.0	2700	900	105.1	105.1	*	8.02	0.87	8.8	7.50	19.8	31.6	29.1	27.1	26.3	26.7
カヲマツ	長野96K 4031	2	E090	11.9	0.466	0.473	4.4	2700	900	105.2	105.2	*	10.55	0.81	12.4	9.83	29.7	42.1	38.9	36.2	35.1	35.6
カヲマツ	長野96K 4032	2	E110	12.1	0.473	0.479	4.4	2700	900	105.0	105.1	*	10.76	0.82	12.5	10.06	31.6	55.2	51.3	47.7	46.2	46.9
カヲマツ	長野96K 4033	3	E090	12.4	0.468	0.474	4.0	2700	900	105.1	105.1	*	9.07	0.81	10.7	8.54	23.2	33.8	31.6	29.4	28.5	28.9
カヲマツ	長野96K 4036	2	E090	12.0	0.440	0.446	5.0	2700	900	105.0	105.0	*	10.03	0.75	12.7	9.36	25.7	46.7	43.2	40.3	39.0	39.6
カヲマツ	長野96K 4037	1	E090	11.9	0.500	0.506	4.2	2700	900	105.1	105.2	*	9.81	0.88	10.6	9.16	24.2	47.7	44.1	41.0	39.7	40.3
カヲマツ	長野96K 4040	2	E090	12.0	0.478	0.484	4.8	2700	900	105.3	105.2	*	10.13	0.83	11.6	9.47	34.4	49.3	45.6	42.5	41.2	41.8
カヲマツ	長野96K 4041	4	E070	12.1	0.452	0.458	5.1	2700	900	105.1	105.2	*	7.70	0.77	9.5	7.23	23.6	30.7	28.5	26.6	25.7	26.1
カヲマツ	長野96K 4042	2	E090	12.3	0.526	0.532	4.2	2700	900	105.1	105.1	*	10.34	0.93	10.6	9.73	29.7	44.7	41.7	38.8	37.6	38.1
カヲマツ	長野96K 4044	2	E090	12.3	0.418	0.423	4.2	2700	900	104.9	105.1	*	9.16	0.70	12.5	8.59	24.6	41.0	38.2	35.6	34.5	35.0
カヲマツ	長野96K 4045	4	E090	12.1	0.456	0.462	5.4	2700	900	105.1	105.2	*	8.71	0.78	10.6	8.17	24.4	36.1	33.5	31.2	30.2	30.7
カヲマツ	長野96K 5001	3	E090	14.2	0.554	0.556	3.5	2700	900	105.2	105.0	*	10.09	0.99	10.1	9.80	24.6	48.7	47.7	44.4	43.0	43.6
カヲマツ	長野96K 5006	2	E090	12.8	0.547	0.552	4.9	2700	900	105.1	105.1	*	10.46	0.98	10.3	9.92	30.3	47.3	44.7	41.6	40.3	40.9
カヲマツ	長野96K 5007	3	E090	12.2	0.482	0.488	5.4	2700	900	105.1	105.1	*	9.87	0.84	11.2	9.26	27.7	30.5	28.4	26.4	25.6	25.9

付表2.1 測定データ一覧 (19)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
カラマツ	長野96K	5008	2	E090	12.4	0.469	0.474	3.9	2700	900	105.2	105.0	*	8.63	0.81	10.2	8.14	22.6	45.2	42.2	39.3	38.1	38.6
カラマツ	長野96K	5009	4	E070	10.7	0.483	0.492	6.5	2700	900	105.1	105.2	*	6.98	0.85	7.6	6.42	21.7	28.8	25.8	24.0	23.3	23.6
カラマツ	長野96K	5010	4	E050	11.6	0.425	0.431	6.6	2700	900	105.1	105.1	*	6.34	0.72	8.4	5.92	19.0	23.3	21.4	19.9	19.3	19.6
カラマツ	長野96K	5011	2	E090	12.5	0.461	0.466	3.5	2700	900	104.6	104.8	*	9.48	0.79	11.5	8.93	27.4	45.5	42.7	39.7	38.5	39.0
カラマツ	長野96K	5012	3	E090	11.9	0.438	0.444	4.7	2700	900	105.0	105.1	*	8.99	0.74	11.4	8.38	29.0	42.8	39.6	36.9	35.7	36.2
カラマツ	長野96K	5013	3	E070	11.1	0.491	0.499	7.2	2700	900	105.2	105.1	*	8.66	0.86	9.4	7.99	23.9	26.8	24.3	22.6	21.9	22.2
カラマツ	長野96K	5014	3	E070	12.0	0.459	0.465	4.4	2700	900	105.2	105.1	*	9.17	0.79	11.1	8.58	23.4	23.4	21.6	20.1	19.5	19.8
カラマツ	長野96K	5015	3	E070	12.4	0.478	0.484	4.3	2700	900	105.0	105.0	*	8.37	0.83	9.6	7.89	21.3	29.0	27.1	25.3	24.5	24.8
カラマツ	長野96K	5016	3	E090	12.7	0.523	0.528	4.3	2700	900	105.0	105.0	*	10.35	0.93	10.8	9.80	24.8	42.8	40.3	37.5	36.4	36.9
カラマツ	長野96K	5018	4	E090	12.6	0.529	0.535	5.0	2700	900	104.7	104.8	*	9.93	0.94	10.1	9.39	25.1	34.1	32.1	29.9	28.9	29.3
カラマツ	長野96K	5019	2	E070	12.9	0.484	0.489	5.2	2700	900	105.1	105.1	*	8.39	0.84	9.6	7.98	22.6	33.4	31.7	29.5	28.5	29.0
カラマツ	長野96K	5020	2	E090	12.8	0.510	0.515	5.4	2700	900	105.0	105.0	*	9.07	0.90	9.7	8.61	32.8	45.3	42.8	39.9	38.6	39.2
カラマツ	長野96K	5022	2	E110	13.3	0.537	0.541	3.9	2700	900	104.8	104.6	*	12.11	0.95	12.3	11.55	36.1	54.7	52.4	48.7	47.2	47.8
カラマツ	長野96K	5023	2	E090	12.9	0.482	0.487	4.3	2700	900	105.0	105.1	*	9.93	0.84	11.5	9.42	27.4	43.9	41.6	38.8	37.5	38.1
カラマツ	長野96K	5024	2	E110	13.4	0.551	0.555	3.2	2700	900	104.8	104.9	*	11.00	0.98	10.9	10.53	31.9	61.1	58.6	54.5	52.8	53.6
カラマツ	長野96K	5025	3	E110	11.9	0.461	0.467	3.9	2700	900	104.7	104.9	*	10.74	0.79	12.8	9.99	28.5	43.0	39.8	37.0	35.8	36.4
カラマツ	長野96K	5026	2	E090	12.4	0.492	0.498	3.9	2700	900	104.9	104.9	*	10.52	0.86	11.7	9.89	30.6	46.4	43.4	40.4	39.1	39.7
カラマツ	長野96K	5027	3	E070	11.9	0.480	0.486	10.8	2700	900	105.0	105.2	*	7.92	0.83	9.0	7.41	22.8	35.0	32.3	30.1	29.1	29.6
カラマツ	長野96K	5028	3	E070	12.3	0.464	0.469	6.9	2700	900	105.0	105.3	*	6.54	0.80	7.8	6.17	18.5	28.1	26.2	24.4	23.7	24.0
カラマツ	長野96K	5029	2	E110	12.8	0.533	0.538	5.2	2700	900	104.9	104.4	*	11.70	0.95	11.9	11.07	30.3	46.6	44.0	41.0	39.7	40.2
カラマツ	長野96K	5031	1	E110	12.3	0.515	0.521	2.8	2700	900	105.0	104.9	*	11.04	0.91	11.6	10.37	39.5	44.0	41.0	38.2	37.0	37.5
カラマツ	長野96K	5032	2	E070	12.6	0.439	0.444	4.6	2700	900	104.9	104.9	*	8.41	0.74	10.8	7.95	24.9	39.6	37.2	34.6	33.5	34.0
カラマツ	長野96K	5033	2	E110	12.7	0.536	0.541	4.0	2700	900	104.8	104.7	*	12.17	0.95	12.3	11.49	36.0	54.6	51.4	47.9	46.3	47.0
カラマツ	長野96K	5034	2	E090	13.1	0.524	0.528	3.9	2700	900	104.2	104.9	*	10.47	0.93	11.0	9.98	28.4	39.6	37.7	35.1	34.0	34.5
カラマツ	長野96K	5036	2	E110	12.1	0.502	0.508	3.9	2700	900	104.8	104.9	*	10.93	0.86	11.8	10.22	31.0	51.0	47.4	44.1	42.7	43.3
カラマツ	長野96K	5037	2	E130	13.3	0.585	0.589	2.5	2700	900	105.0	105.0	*	13.52	1.06	12.4	12.89	38.1	54.3	52.0	48.4	46.9	47.5
カラマツ	長野96K	5038	3	E110	11.6	0.558	0.567	5.1	2700	900	105.0	104.6	*	11.30	1.01	10.6	10.50	32.0	47.7	43.7	40.7	39.4	39.9
カラマツ	長野96K	5039	4	E090	12.3	0.495	0.500	4.4	2700	900	105.2	105.2	*	9.08	0.87	10.0	8.55	25.2	51.2	47.7	44.5	43.1	43.7
カラマツ	長野96K	5040	2	E110	12.6	0.544	0.549	4.7	2700	900	104.9	105.2	*	11.69	0.97	11.6	11.04	32.3	44.6	42.0	39.1	37.9	38.4
カラマツ	長野96K	5041	3	E110	11.9	0.470	0.476	6.0	2700	900	105.1	105.2	*	10.87	0.81	12.7	10.12	29.6	45.7	42.2	39.3	38.1	38.6
カラマツ	長野98A	1	2	E090	15.3	0.521	0.520	4.3	2700	900	105.1	105.4	*	9.64	0.91	10.7	9.55	*	41.3	41.6	38.8	37.6	38.1
カラマツ	長野98A	2	2	E110	14.9	0.521	0.521	3.6	2700	900	105.6	105.4	*	10.20	0.91	11.2	10.02	*	44.9	44.8	41.7	40.4	41.0
カラマツ	長野98A	4	4	E110	15.9	0.493	0.491	4.0	2700	900	105.4	105.4	*	10.09	0.85	12.1	10.07	*	52.0	53.3	49.7	48.1	48.8
カラマツ	長野98A	5	2	E090	15.2	0.548	0.547	4.8	2700	900	105.0	105.3	*	9.21	0.97	9.6	9.12	*	48.6	48.9	45.6	44.1	44.8
カラマツ	長野98A	7	2	E130	16.0	0.569	0.566	3.5	2700	900	105.1	105.3	*	12.64	1.01	12.8	12.63	*	68.0	69.8	65.0	63.0	63.9
カラマツ	長野98A	8	4	E130	15.5	0.516	0.515	4.3	2700	900	105.5	105.6	*	12.26	0.90	13.8	12.13	*	46.9	47.5	44.3	42.9	43.5
カラマツ	長野98A	9	3	E090	15.2	0.521	0.521	4.7	2700	900	105.0	105.0	*	9.64	0.91	10.6	9.53	*	53.1	53.4	49.7	48.2	48.9
カラマツ	長野98A	10	4	E110	15.5	0.555	0.554	4.4	2700	900	105.3	105.0	*	10.35	0.98	10.6	10.28	*	44.8	45.4	42.3	40.9	41.5
カラマツ	長野98A	11	2	E090	16.1	0.513	0.511	5.3	2700	900	105.4	105.2	*	9.95	0.89	11.4	9.98	*	60.4	62.2	57.9	56.1	56.9
カラマツ	長野98A	12	2	E090	15.9	0.532	0.530	4.9	2700	900	105.3	105.3	*	9.55	0.93	10.4	9.56	*	55.6	57.0	53.1	51.4	52.2
カラマツ	長野98A	13	2	E110	16.1	0.563	0.560	6.3	2700	900	105.0	105.3	*	11.63	0.99	11.9	11.66	*	50.2	51.7	48.2	46.7	47.3
カラマツ	長野98A	14	4	E110	15.7	0.516	0.514	4.5	2700	900	105.4	105.5	*	10.11	0.90	11.4	10.94	*	44.3	45.1	42.1	40.8	41.3
カラマツ	長野98A	15	2	E110	16.5	0.536	0.532	3.4	2700	900	105.2	105.3	*	11.85	0.93	13.0	11.94	*	59.6	62.1	57.9	56.1	56.9
カラマツ	長野98A	16	2	E110	15.4	0.550	0.549	4.2	2700	900	105.2	105.3	*	11.41	0.97	11.8	11.29	*	55.7	56.3	52.5	50.9	51.6
カラマツ	長野98A	17	2	E110	15.0	0.553	0.553	4.6	2700	900	105.3	105.3	*	11.85	0.98	12.1	11.65	*	54.1	54.1	50.4	48.8	49.5
カラマツ	長野98A	19	2	E110	14.8	0.508	0.508	4.0	2700	900	105.7	105.1	*	12.04	0.88	13.6	11.77	*	62.9	62.6	58.3	56.5	57.3
カラマツ	長野98A	20	2	E110	15.5	0.530	0.529	4.0	2700	900	105.2	105.0	*	10.77	0.93	11.7	10.69	*	47.4	48.1	44.8	43.4	44.0
カラマツ	長野98A	21	2	E110	15.7	0.498	0.497	4.5	2700	900	105.4	105.4	*	10.80	0.86	12.8	10.74	*	56.6	57.6	53.7	52.0	52.8

付表2.1 測定データ一覧 (20)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eb(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
カラムツ 長野98A	22	4	E110	15.8	0.555	0.553	3.4	2700	900	105.6	105.4	*	11.45	0.98	11.9	11.42	*	53.5	54.7	50.9	49.3	50.0
カラムツ 長野98A	23	2	E110	16.0	0.520	0.518	6.0	2700	900	105.3	105.4	*	10.14	0.90	11.4	10.16	*	46.4	47.6	44.4	43.0	43.6
カラムツ 長野98A	24	2	E110	15.0	0.543	0.543	4.1	2700	900	105.2	105.3	*	11.97	0.96	12.5	11.76	*	55.7	55.7	51.9	50.2	51.0
カラムツ 長野98A	25	4	E090	15.4	0.509	0.508	4.0	2700	900	105.2	105.3	*	9.65	0.88	11.0	9.56	*	42.5	43.0	40.1	38.8	39.4
カラムツ 長野98A	26	3	E110	15.8	0.503	0.501	4.6	2700	900	105.1	105.3	*	10.30	0.87	12.0	10.27	*	40.5	41.4	38.5	37.3	37.9
カラムツ 長野98A	27	2	E110	15.6	0.505	0.504	4.2	2700	900	105.1	105.3	*	10.06	0.87	11.6	10.00	*	50.7	51.5	48.0	46.5	47.2
カラムツ 長野98A	28	3	E110	16.1	0.524	0.522	4.9	2700	900	105.3	105.3	*	10.58	0.91	11.8	10.61	*	50.0	51.5	47.9	46.4	47.1
カラムツ 長野98A	29	2	E110	16.2	0.529	0.526	4.2	2700	900	104.9	105.2	*	10.22	0.92	11.3	10.27	*	49.5	51.2	47.7	46.2	46.8
カラムツ 長野98A	30	3	E130	15.9	0.529	0.527	3.9	2700	900	104.9	105.4	*	12.19	0.92	13.4	12.15	*	54.0	55.3	51.5	49.9	50.6
カラムツ 長野98A	31	3	E090	15.5	0.496	0.495	4.5	2700	900	105.7	105.7	*	8.97	0.85	10.6	8.91	*	40.6	41.1	38.3	37.2	37.7
カラムツ 長野98A	32	3	E130	15.5	0.606	0.605	3.3	2700	900	105.2	105.5	*	14.03	1.09	13.0	13.89	*	63.0	63.9	59.5	57.7	58.5
カラムツ 長野98A	33	3	E110	14.7	0.487	0.488	4.8	2700	900	105.4	105.5	*	10.83	0.84	12.9	10.58	*	45.1	44.7	41.7	40.4	41.0
カラムツ 長野98A	34	2	E110	15.5	0.537	0.536	4.1	2700	900	105.0	105.0	*	11.00	0.94	11.8	10.91	*	61.1	61.9	57.6	55.8	56.6
カラムツ 長野98A	35	3	E110	15.0	0.548	0.548	4.4	2700	900	105.1	105.1	*	10.93	0.97	11.3	10.75	*	45.8	45.8	42.7	41.3	41.9
カラムツ 長野98A	36	3	E110	15.2	0.526	0.526	4.2	2700	900	105.0	105.2	*	10.99	0.92	12.0	10.84	*	61.0	61.3	57.1	55.3	56.1
カラムツ 長野98A	37	3	E090	14.8	0.493	0.494	5.5	2700	900	105.4	105.2	*	8.89	0.85	10.4	8.73	*	52.2	51.9	48.4	46.8	47.5
カラムツ 長野98A	38	4	E130	15.2	0.543	0.543	4.6	2700	900	104.9	105.1	*	12.79	0.96	13.4	12.59	*	62.1	62.4	58.1	56.3	57.1
カラムツ 長野98A	39	2	E110	14.9	0.563	0.563	4.9	2700	900	105.2	105.2	*	11.04	1.00	11.0	10.85	*	53.6	53.4	49.8	48.2	48.9
カラムツ 長野98A	40	2	E110	14.9	0.542	0.542	4.8	2700	900	105.1	105.3	*	10.57	0.95	11.0	10.38	*	46.4	46.2	43.1	41.7	42.3
カラムツ 長野98A	42	2	E110	15.0	0.548	0.548	4.5	2700	900	105.0	105.4	*	10.94	0.97	11.3	10.76	*	62.9	62.9	58.6	56.8	57.6
カラムツ 長野98A	43	3	E090	14.5	0.526	0.527	4.9	2700	900	104.9	105.0	*	9.59	0.92	10.3	9.37	*	50.8	50.1	46.6	45.2	45.8
カラムツ 長野98A	44	2	E110	15.1	0.492	0.492	3.5	2700	900	105.0	105.2	*	10.71	0.85	12.7	10.54	*	53.1	53.3	49.6	48.1	48.8
カラムツ 長野98A	45	2	E090	14.8	0.547	0.547	4.7	2700	900	105.3	105.3	*	9.33	0.97	9.6	9.17	*	41.7	41.4	38.6	37.4	37.9
カラムツ 長野98A	46	2	E110	14.7	0.501	0.502	4.3	2700	900	104.9	105.3	*	12.27	0.87	14.0	11.96	*	66.0	65.4	61.0	59.1	59.9
カラムツ 長野98A	47	2	E110	14.9	0.523	0.523	4.5	2700	900	104.9	105.1	*	10.91	0.91	11.9	10.71	*	51.7	51.5	48.0	46.5	47.1
カラムツ 長野98A	48	4	E110	15.0	0.538	0.538	4.8	2700	900	105.2	105.1	*	11.45	0.95	12.1	11.25	*	41.0	41.0	38.2	37.0	37.5
カラムツ 長野98B	1	2	E110	15.6	0.505	0.504	5.2	2700	900	105.1	105.2	*	11.66	0.87	13.5	11.56	*	48.9	49.7	46.3	44.8	45.5
カラムツ 長野98B	2	3	E130	15.5	0.522	0.521	3.9	2700	900	104.9	105.1	*	13.34	0.91	14.8	13.18	*	63.9	64.7	60.3	58.4	59.2
カラムツ 長野98B	3	2	E110	14.8	0.460	0.461	5.8	2700	900	105.2	105.1	*	10.93	0.78	14.0	10.67	*	57.5	57.2	53.3	51.6	52.3
カラムツ 長野98B	4	4	E090	15.5	0.443	0.442	4.3	2700	900	105.0	105.2	*	9.92	0.74	13.5	9.82	*	56.6	57.3	53.4	51.7	52.5
カラムツ 長野98B	5	3	E110	14.7	0.553	0.553	4.5	2700	900	105.0	105.1	*	11.25	0.98	11.4	11.01	*	57.8	57.4	53.4	51.7	52.5
カラムツ 長野98B	6	4	E130	14.5	0.566	0.567	4.3	2700	900	104.0	105.0	*	14.14	1.01	13.9	13.74	*	69.9	69.0	64.2	62.2	63.1
カラムツ 長野98B	7	2	E110	14.4	0.485	0.487	4.7	2700	900	104.3	105.1	*	11.42	0.84	13.5	11.08	*	50.8	50.0	46.6	45.1	45.8
カラムツ 長野98B	8	2	E130	15.2	0.544	0.544	5.4	2700	900	104.3	104.5	*	14.02	0.96	14.7	13.78	*	59.3	59.6	55.4	53.7	54.4
カラムツ 長野98B	9	4	E110	15.6	0.529	0.528	3.9	2700	900	105.0	105.2	*	11.13	0.93	12.2	11.05	*	54.8	55.7	51.9	50.3	51.0
カラムツ 長野98B	10	2	E110	15.4	0.515	0.514	4.3	2700	900	105.1	105.0	*	10.18	0.89	11.5	10.09	*	46.6	47.1	43.8	42.5	43.1
カラムツ 長野98B	11	2	E110	15.4	0.469	0.468	5.0	2700	900	105.4	105.6	*	10.63	0.80	13.4	11.25	*	48.1	48.7	45.4	43.9	44.6
カラムツ 長野98B	12	2	E110	15.7	0.466	0.465	4.6	2700	900	105.1	104.9	*	11.34	0.79	14.5	11.25	*	57.2	58.3	54.3	52.5	53.3
カラムツ 長野98B	13	3	E090	14.9	0.521	0.521	3.3	2700	900	105.2	105.0	*	9.07	0.91	9.9	8.92	*	32.6	32.5	30.2	29.3	29.7
カラムツ 長野98B	14	2	E130	15.1	0.507	0.507	4.4	2700	900	105.0	105.3	*	12.40	0.88	14.1	12.17	*	47.5	47.7	44.4	43.0	43.6
カラムツ 長野98B	15	4	E090	15.4	0.604	0.603	4.1	2700	900	105.1	104.8	*	9.84	1.09	9.1	9.78	*	42.3	42.8	39.8	38.5	39.1
カラムツ 長野98B	16	2	E110	15.8	0.458	0.457	3.6	2700	900	105.2	105.1	*	10.78	0.77	14.2	10.72	*	49.3	50.4	46.9	45.5	46.1
カラムツ 長野98B	17	4	E110	15.9	0.478	0.478	4.8	2700	900	105.1	105.2	*	10.95	0.82	13.6	10.91	*	55.9	57.3	53.3	51.7	52.4
カラムツ 長野98B	18	3	E090	15.3	0.448	0.447	5.1	2700	900	105.4	105.1	*	9.29	0.75	12.4	9.18	*	37.6	37.9	35.3	34.2	34.7
カラムツ 長野98B	19	3	E110	15.5	0.497	0.495	5.0	2700	900	104.9	105.1	*	10.80	0.86	12.7	10.70	*	47.7	48.3	45.0	43.6	44.2
カラムツ 長野98B	20	2	E110	15.2	0.527	0.526	3.9	2700	900	105.2	105.3	*	10.95	0.92	11.9	10.80	*	57.2	57.5	53.6	51.9	52.7
カラムツ 長野98B	21	3	E110	15.6	0.545	0.544	4.3	2700	900	105.0	104.9	*	11.11	0.96	11.7	11.04	*	48.7	49.5	46.0	44.6	45.2
カラムツ 長野98B	22	2	E130	15.9	0.535	0.533	4.9	2700	900	104.9	104.9	*	12.37	0.94	13.4	12.33	*	66.9	68.5	63.8	61.8	62.7

付表2.1 測定データ一覧 (21)

CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MCC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)	
カラムツ	23	2	E130	16.0	0.537	0.535	3.3	2700	900	105.1	105.2	*	13.34	0.94	14.4	13.30	*	56.3	57.8	53.8	52.1	52.9	
カラムツ	24	3	E110	15.5	0.530	0.528	5.9	2700	900	104.9	105.2	*	11.56	0.93	12.6	11.45	*	45.3	45.9	42.8	41.4	42.0	
カラムツ	25	3	E110	14.2	0.498	0.500	4.3	2700	900	105.1	105.2	*	11.80	0.86	13.5	11.41	*	44.6	43.7	40.7	39.4	40.0	
カラムツ	26	4	E110	15.2	0.487	0.487	5.0	2700	900	105.1	105.1	*	10.41	0.84	12.5	10.27	*	47.7	48.0	44.7	43.3	43.9	
カラムツ	27	4	E090	15.6	0.487	0.486	5.0	2700	900	105.0	105.0	*	9.05	0.83	11.0	9.00	*	43.5	44.2	41.2	39.9	40.5	
カラムツ	28	2	E130	15.6	0.504	0.502	4.3	2700	900	105.0	105.0	*	12.19	0.87	14.2	12.07	*	68.5	69.6	64.8	62.8	63.7	
カラムツ	29	2	E130	15.5	0.519	0.518	3.9	2700	900	105.1	105.2	*	12.47	0.90	13.9	12.34	*	61.4	62.2	57.9	56.1	56.9	
カラムツ	30	3	E090	16.0	0.484	0.482	4.2	2700	900	105.0	105.1	*	9.69	0.83	11.9	9.69	*	46.2	47.5	44.2	42.8	43.5	
カラムツ	31	2	E090	16.0	0.511	0.509	5.9	2700	900	105.1	105.1	*	9.89	0.88	11.4	9.60	*	29.5	30.3	28.2	27.3	29.7	
カラムツ	32	3	E110	15.7	0.472	0.470	4.9	2700	900	104.9	105.1	*	10.15	0.80	12.8	10.09	*	31.8	32.4	30.2	29.3	29.7	
カラムツ	33	3	E110	15.9	0.499	0.498	4.7	2700	900	105.0	105.0	*	11.97	0.86	14.1	11.92	*	57.5	58.9	54.9	53.1	53.9	
カラムツ	34	2	E110	16.0	0.467	0.465	4.6	2700	900	105.1	105.0	*	10.21	0.79	13.2	10.20	*	49.6	51.0	47.5	46.0	46.6	
カラムツ	35	4	E070	15.6	0.432	0.431	4.8	2700	900	105.1	105.1	*	7.21	0.72	10.2	7.18	*	32.5	33.0	30.7	29.8	30.2	
カラムツ	36	3	E110	16.3	0.527	0.524	4.9	2700	900	105.1	105.0	*	10.47	0.92	11.7	10.54	*	53.9	55.9	52.0	50.4	51.1	
カラムツ	37	3	E110	16.1	0.455	0.453	4.7	2700	900	105.0	105.1	*	10.02	0.76	13.4	10.02	*	55.5	57.2	53.3	51.6	52.3	
カラムツ	38	4	E090	16.4	0.445	0.442	5.0	2700	900	105.2	105.2	*	9.39	0.74	13.0	9.45	*	48.4	50.3	46.8	45.4	46.0	
カラムツ	39	4	E090	16.3	0.499	0.496	4.6	2700	900	104.8	105.3	*	9.38	0.86	11.2	9.45	*	40.8	42.3	39.4	38.2	38.7	
カラムツ	40	3	E110	16.2	0.464	0.462	5.8	2700	900	104.8	105.9	*	10.30	0.78	13.4	10.32	*	42.7	44.1	41.2	39.9	40.4	
カラムツ	41	2	E110	16.1	0.589	0.586	4.8	2700	900	104.9	105.5	*	11.51	1.05	11.2	11.55	*	50.9	52.5	48.9	47.4	48.0	
カラムツ	42	2	E110	14.0	0.477	0.479	4.1	2700	900	105.6	105.6	*	11.63	0.82	14.0	11.20	*	59.4	57.8	53.9	52.2	53.0	
カラムツ	43	4	E090	14.6	0.466	0.467	3.5	2700	900	104.7	105.0	*	10.23	0.79	12.8	10.07	*	45.8	45.3	42.2	40.8	41.4	
カラムツ	44	3	E110	14.8	0.452	0.452	5.7	2700	900	105.4	105.0	*	10.30	0.76	13.5	10.97	*	33.3	33.1	30.8	29.9	30.3	
カラムツ	45	4	E090	15.2	0.497	0.497	4.6	2700	900	104.5	105.3	*	10.07	0.86	11.8	9.94	*	42.9	43.2	40.2	39.0	39.5	
カラムツ	46	2	E090	15.0	0.461	0.461	5.0	2700	900	104.8	105.7	*	9.13	0.78	11.7	8.98	*	55.4	55.4	51.7	50.1	50.8	
カラムツ	47	4	E090	14.4	0.557	0.558	4.8	2700	900	105.0	105.1	*	9.32	0.99	9.3	9.10	*	48.0	47.3	44.0	42.6	43.3	
カラムツ	48	2	E150	14.8	0.560	0.561	4.0	2700	900	105.1	105.7	*	14.45	1.00	14.5	14.11	*	66.5	66.2	61.7	59.8	60.6	
CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MCC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)	
ヒノキ	三重96	3	E110	12.9	0.514	0.520	2.6	2700	900	105.0	105.0	12.49	11.39	0.91	12.1	10.80	41.3	59.7	56.5	52.6	50.9	51.7	
ヒノキ	三重96	MG02	1	E110	13.2	0.517	0.522	2.0	2700	900	105.0	105.0	12.75	11.48	0.91	12.2	10.93	55.0	80.7	76.9	71.6	69.3	70.3
ヒノキ	三重96	MG03	3	E110	14.7	0.532	0.533	2.4	2700	900	105.0	105.0	13.78	12.20	0.94	13.0	11.90	50.9	70.4	69.8	64.9	62.9	63.8
ヒノキ	三重96	MG04	3	E130	14.4	0.521	0.522	2.3	2700	900	105.0	105.0	14.23	13.11	0.91	14.2	12.72	50.4	59.8	58.9	54.8	53.1	53.8
ヒノキ	三重96	MG05	4	E110	13.5	0.515	0.519	2.7	2700	900	105.0	105.0	12.57	11.70	0.91	12.6	11.20	38.9	60.5	58.2	54.2	52.5	53.2
ヒノキ	三重96	MG06	3	E110	13.7	0.538	0.542	2.9	2700	900	105.0	105.0	13.46	11.90	0.96	12.2	11.43	52.5	64.2	62.0	57.8	55.9	56.8
ヒノキ	三重96	MG08	3	E130	13.7	0.514	0.518	2.2	2700	900	105.0	105.0	14.19	13.13	0.90	14.2	12.58	48.3	57.8	55.9	52.1	50.4	51.1
ヒノキ	三重96	MG09	3	E130	13.8	0.534	0.538	2.5	2700	900	105.0	105.0	14.33	12.80	0.95	13.3	12.30	51.8	62.8	60.8	56.6	54.8	55.6
ヒノキ	三重96	MG11	4	E130	14.1	0.570	0.575	2.9	2700	900	105.0	105.0	13.76	12.70	1.02	12.2	12.28	43.7	79.0	77.1	71.8	69.5	70.5
ヒノキ	三重96	MG12	3	E110	15.0	0.550	0.550	2.1	2700	900	105.0	105.0	13.34	11.98	0.97	12.3	11.76	44.9	66.7	66.7	62.1	60.1	61.0
ヒノキ	三重96	MG13	3	E110	14.2	0.505	0.507	2.8	2700	900	105.0	105.0	11.49	10.94	0.88	12.8	10.60	39.5	43.3	42.4	39.5	38.2	38.8
ヒノキ	三重96	MG14	4	E110	14.2	0.540	0.543	2.4	2700	900	105.0	105.0	12.56	11.44	0.96	11.10	11.10	29.1	35.4	34.6	32.3	31.2	31.7
ヒノキ	三重96	MG15	4	E130	13.5	0.602	0.607	2.1	2700	900	105.0	105.0	15.30	13.65	1.10	12.1	13.06	61.3	62.1	59.7	55.6	53.8	54.6
ヒノキ	三重96	MG16	4	E130	13.9	0.534	0.537	2.5	2700	900	105.0	105.0	14.43	13.71	0.95	14.2	13.17	59.0	71.9	69.8	65.0	62.9	63.8
ヒノキ	三重96	MG17	1	E130	14.0	0.523	0.526	2.2	2700	900	105.0	105.0	14.07	12.47	0.92	13.3	12.03	54.6	68.2	66.5	62.0	60.0	60.9
ヒノキ	三重96	MG18	4	E090	15.0	0.521	0.521	3.3	2700	900	105.0	105.0	11.12	9.90	0.91	10.9	9.75	26.4	44.2	44.2	41.2	39.9	40.5
ヒノキ	三重96	MG19	2	E110	15.0	0.526	0.526	1.9	2700	900	105.0	105.0	13.45	12.04	0.92	13.1	11.82	34.2	65.9	65.9	61.4	59.5	60.3
ヒノキ	三重96	MG20	4	E130	13.0	0.549	0.555	2.1	2700	900	105.0	105.0	13.71	13.18	0.98	13.0	12.50	59.2	76.2	72.5	67.5	65.4	66.3
ヒノキ	三重96	MG21	4	E110	14.9	0.506	0.506	2.9	2700	900	105.0	105.0	11.74	10.29	0.88	11.7	10.11	47.7	53.1	53.0	49.4	47.8	48.5
ヒノキ	三重96	MG22	3	E130	15.4	0.599	0.598	2.3	2700	900	105.0	105.0	13.17	12.18	1.08	11.4	12.06	50.8	62.6	63.3	58.9	57.1	57.9

付表2.1 測定データ一覧 (22)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	Eh(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
ヒ/キ	三重96	MG23	4	E110	14.3	0.531	0.533	2.4	2700	900	105.0	105.0	13.11	12.06	0.94	12.7	11.70	48.0	57.4	56.4	52.5	50.9	51.6
ヒ/キ	三重96	MG24	4	E110	14.1	0.490	0.493	2.5	2700	900	105.0	105.0	11.80	10.63	0.85	12.3	10.28	41.8	61.3	59.9	55.8	54.0	54.8
ヒ/キ	三重96	MG25	3	E110	13.1	0.533	0.538	2.4	2700	900	105.0	105.0	13.78	12.30	0.95	12.6	11.70	52.3	62.0	59.0	55.0	53.2	54.0
ヒ/キ	三重96	MG26	2	E130	14.5	0.529	0.530	2.4	2700	900	105.0	105.0	13.51	12.89	0.93	13.7	12.52	53.8	65.1	64.1	59.7	57.8	58.7
ヒ/キ	三重96	MG27	4	E110	14.9	0.584	0.585	2.3	2700	900	105.0	105.0	12.59	10.74	1.05	10.2	10.56	44.1	47.0	46.8	43.6	42.2	42.8
ヒ/キ	三重96	MG28	3	E110	13.8	0.494	0.497	2.2	2700	900	105.0	105.0	12.22	11.32	0.86	12.9	10.89	33.6	33.6	32.6	30.3	29.4	29.8
ヒ/キ	三重96	MG29	3	E110	13.0	0.529	0.535	2.4	2700	900	105.0	105.0	14.27	12.29	0.94	12.6	11.66	43.4	60.7	57.6	53.6	51.9	52.7
ヒ/キ	三重96	MG30	4	E090	13.6	0.488	0.492	2.6	2700	900	105.0	105.0	11.36	10.29	0.85	11.9	9.87	35.5	42.3	40.7	37.9	36.7	37.2
ヒ/キ	三重96	MG32	3	E130	13.3	0.545	0.551	2.7	2700	900	105.0	105.0	14.47	12.67	0.97	12.6	12.08	51.2	58.6	56.1	52.2	50.6	51.3
ヒ/キ	三重96	MG33	3	E130	13.4	0.531	0.536	2.0	2700	900	105.0	105.0	14.63	12.88	0.94	13.3	12.30	49.0	73.8	70.8	65.9	63.9	64.8
ヒ/キ	三重96	MG34	4	E110	14.1	0.505	0.508	2.2	2700	900	105.0	105.0	12.14	10.75	0.88	12.0	10.41	37.8	48.7	47.6	44.3	42.9	43.5
ヒ/キ	三重96	MG35	4	E130	15.2	0.552	0.551	2.6	2700	900	105.0	105.0	13.09	12.29	0.97	12.7	12.11	40.4	77.1	77.5	72.1	69.8	70.9
ヒ/キ	三重96	MG36	2	E130	13.5	0.518	0.522	2.2	2700	900	105.0	105.0	13.98	12.74	0.91	13.6	12.17	44.8	59.0	56.7	52.8	51.2	51.9
ヒ/キ	三重96	MG38	4	E130	14.3	0.534	0.536	2.9	2700	900	105.0	105.0	13.50	12.43	0.94	13.0	12.06	50.2	56.4	55.4	51.6	49.9	50.6
ヒ/キ	三重96	MG39	4	E130	14.2	0.585	0.588	2.2	2700	900	105.0	105.0	14.61	13.52	1.05	12.6	13.09	45.0	58.5	57.2	53.3	51.6	52.3
ヒ/キ	三重96	MG40	4	E090	15.6	0.524	0.523	2.8	2700	900	105.0	105.0	11.03	9.95	0.91	11.0	9.90	33.2	33.2	33.7	31.4	30.4	30.8
ヒ/キ	三重96	MG41	4	E130	13.7	0.542	0.546	2.9	2700	900	105.0	105.0	14.36	13.23	0.96	13.4	12.69	39.0	61.8	59.7	55.6	53.9	54.6
ヒ/キ	三重96	MG42	4	E110	14.4	0.555	0.557	2.2	2700	900	105.0	105.0	12.53	11.09	0.99	11.1	10.79	29.6	51.2	50.3	46.9	45.4	46.1
ヒ/キ	三重96	MG43	2	E110	14.3	0.471	0.473	2.5	2700	900	105.0	105.0	11.71	10.58	0.81	12.9	10.25	36.4	58.9	57.8	53.8	52.1	52.9
ヒ/キ	三重96	MG44	2	E110	13.6	0.470	0.474	2.5	2700	900	105.0	105.0	12.06	11.14	0.81	13.4	10.65	51.9	63.8	61.4	57.2	55.4	56.2
ヒ/キ	三重96	MG45	3	E110	13.9	0.532	0.536	2.7	2700	900	105.0	105.0	12.73	11.56	0.94	12.0	11.14	46.1	60.4	58.7	54.6	52.9	53.7
ヒ/キ	三重96	MG46	4	E110	13.6	0.527	0.531	2.7	2700	900	105.0	105.0	13.39	11.80	0.93	12.4	11.32	39.8	48.4	46.7	43.4	42.1	42.7
ヒ/キ	三重96	MG47	4	E130	14.2	0.581	0.584	3.2	2700	900	105.0	105.0	14.02	12.84	1.05	12.1	12.45	52.2	55.8	54.7	50.9	49.3	50.0
ヒ/キ	三重96	MG48	3	E110	14.2	0.533	0.536	1.9	2700	900	105.0	105.0	13.58	12.20	0.94	12.8	11.81	47.3	50.1	49.0	45.6	44.2	44.8
ヒ/キ	三重96	MG49	4	E090	13.6	0.524	0.528	2.5	2700	900	105.0	105.0	11.43	10.37	0.93	10.9	9.97	45.7	64.5	62.2	57.9	56.1	56.9
ヒ/キ	三重96	MG50	3	E110	14.8	0.529	0.529	2.7	2700	900	105.0	105.0	11.71	10.66	0.93	11.5	10.45	39.6	58.2	58.0	54.0	52.3	53.0
ヒ/キ	三重96	MG51	3	E110	13.9	0.490	0.493	2.3	2700	900	105.0	105.0	12.30	11.26	0.85	13.0	10.85	48.5	70.4	68.4	63.7	61.6	62.5
ヒ/キ	三重96	MG52	2	E110	13.3	0.510	0.515	2.3	2700	900	105.0	105.0	11.40	10.54	0.90	11.4	10.07	49.2	63.0	60.3	56.1	54.4	55.2
ヒ/キ	三重96	MG53	3	E110	14.4	0.553	0.555	2.5	2700	900	105.0	105.0	12.83	11.60	0.98	11.7	11.28	47.9	60.6	59.6	55.5	53.7	54.5
ヒ/キ	三重96	MG54	3	E110	13.6	0.524	0.528	2.5	2700	900	105.0	105.0	11.99	10.99	0.93	11.6	10.55	48.6	68.5	66.0	61.5	59.5	60.4
ヒ/キ	三重96	MG55	3	E130	14.6	0.548	0.549	1.7	2700	900	105.0	105.0	14.39	13.26	0.97	13.6	12.92	44.4	79.7	78.9	73.5	71.2	72.2
ヒ/キ	三重96	SK01	4	E110	14.7	0.569	0.570	2.0	2700	900	105.0	105.0	13.73	11.55	1.02	11.3	11.31	45.1	45.1	44.7	41.7	40.3	40.9
ヒ/キ	三重96	SK03	4	E130	13.7	0.571	0.575	2.0	2700	900	105.0	105.0	14.56	12.93	1.03	12.3	12.43	46.0	55.5	53.7	50.0	48.4	49.1
ヒ/キ	三重96	SK06	4	E110	14.6	0.544	0.544	2.2	2700	900	105.0	105.0	12.34	11.25	0.96	11.6	10.99	28.9	43.5	43.1	40.1	38.8	39.4
ヒ/キ	三重96	SK07	4	E130	14.4	0.579	0.581	1.8	2700	900	105.0	105.0	14.19	12.59	1.04	12.0	12.24	51.2	64.0	63.0	58.6	56.8	57.6
ヒ/キ	三重96	SK08	4	E110	14.3	0.545	0.548	2.8	2700	900	105.0	105.0	13.31	11.96	0.97	12.2	11.61	52.7	74.0	72.7	67.7	65.5	66.5
ヒ/キ	三重96	SK09	3	E110	15.3	0.554	0.553	1.6	2700	900	105.0	105.0	13.07	11.99	0.92	12.3	11.84	45.7	55.8	56.2	52.4	50.7	51.4
ヒ/キ	三重96	SK10	4	E110	14.2	0.523	0.525	2.0	2700	900	105.0	105.0	12.93	11.27	0.92	12.1	10.93	46.6	65.3	63.9	59.5	57.7	58.5
ヒ/キ	三重96	SK11	4	E110	14.3	0.540	0.542	2.0	2700	900	105.0	105.0	12.79	10.95	0.96	11.3	10.64	33.3	56.5	55.4	51.6	50.0	50.7
ヒ/キ	三重96	SK12	4	E110	13.9	0.616	0.619	2.3	2700	900	105.0	105.0	14.40	12.32	1.12	10.8	11.91	57.6	64.9	63.1	58.7	56.9	57.7
ヒ/キ	三重96	SK13	4	E110	15.2	0.568	0.567	1.6	2700	900	105.0	105.0	12.73	11.51	1.01	11.4	11.37	42.3	61.9	62.2	57.9	56.1	56.9
ヒ/キ	三重96	SK14	4	E110	13.3	0.576	0.581	1.7	2700	900	105.0	105.0	14.76	12.33	1.04	11.5	11.79	42.9	54.5	52.2	48.6	47.0	47.7
ヒ/キ	三重96	SK15	4	E110	15.0	0.581	0.581	1.5	2700	900	105.0	105.0	14.16	11.92	1.04	11.5	11.72	53.3	55.8	55.8	52.0	50.3	51.0
ヒ/キ	三重96	SK17	4	E110	13.9	0.532	0.535	1.8	2700	900	105.0	105.0	11.54	10.36	0.94	10.8	10.01	27.4	48.8	47.5	44.2	42.8	43.4
ヒ/キ	三重96	SK18	4	E110	14.0	0.542	0.544	1.8	2700	900	105.0	105.0	13.56	11.88	0.96	12.2	11.48	48.4	49.4	48.1	44.8	43.4	44.0
ヒ/キ	三重96	SK19	4	E110	14.3	0.587	0.589	2.6	2700	900	105.0	105.0	13.44	12.07	1.06	11.3	11.73	46.2	54.0	53.0	49.4	47.8	48.5
ヒ/キ	三重96	SK20	3	E130	14.0	0.545	0.548	1.4	2700	900	105.0	105.0	15.68	13.88	0.97	14.1	13.38	57.8	72.6	70.8	65.9	63.8	64.8

付表2.1 測定データ一覧 (23)

	CODE	No.	JAS-VG	JAS-MG	MC(%)	Ru	R15	ARW (mm)	L(mm)	S(mm)	b(mm)	h(mm)	Efr-log (GPa)	Em (GPa)	G(GPa)	E/G	EB(GPa)	fp (MPa)	fm (MPa)	fm-15 (MPa)	fb-1 (MPa)	fb-2 (MPa)	fb-3 (MPa)
ヒ/キ	三重96	SK21	4	E130	15.1	0.609	0.609	1.8	2700	900	105.0	105.0	14.52	12.68	1.10	11.6	12.49	44.8	64.0	64.2	59.8	57.9	58.8
ヒ/キ	三重96	SK22	4	E130	15.7	0.575	0.573	2.9	2700	900	105.0	105.0	14.04	12.62	1.02	12.5	12.55	58.5	66.0	67.3	62.6	60.7	61.5
ヒ/キ	三重96	SK23	4	E110	14.5	0.530	0.531	2.4	2700	900	105.0	105.0	13.14	11.45	0.93	12.2	11.15	42.4	55.7	54.9	51.1	49.5	50.2
ヒ/キ	三重96	SK24	4	E090	14.6	0.481	0.482	1.8	2700	900	105.0	105.0	11.54	10.18	0.83	12.2	9.92	35.2	37.8	37.3	34.8	33.7	34.2
ヒ/キ	三重96	SK25	4	E110	14.6	0.566	0.567	2.3	2700	900	105.0	105.0	13.40	11.68	1.01	11.5	11.40	44.3	61.8	61.1	56.9	55.1	55.9
ヒ/キ	三重96	SK26	4	E110	14.7	0.525	0.526	1.6	2700	900	105.0	105.0	12.70	10.72	0.92	11.6	10.48	43.1	59.5	59.0	54.9	53.2	53.9
ヒ/キ	三重96	SK27	4	E110	13.8	0.554	0.558	2.1	2700	900	105.0	105.0	12.97	10.94	0.99	10.8	10.55	29.9	37.9	36.7	34.2	33.1	33.6
ヒ/キ	三重96	SK28	4	E110	15.4	0.576	0.575	2.1	2700	900	105.0	105.0	13.38	11.22	1.03	11.0	11.11	31.3	43.8	44.2	41.1	39.8	40.4
ヒ/キ	三重96	SK29	4	E130	15.2	0.579	0.578	1.7	2700	900	105.0	105.0	13.97	12.64	1.03	12.3	12.46	53.0	70.0	70.4	65.5	63.5	64.4
ヒ/キ	三重96	SK30	4	E130	14.1	0.567	0.570	1.3	2700	900	105.0	105.0	14.13	12.86	1.02	12.5	12.45	54.9	78.7	76.9	71.6	69.4	70.4
ヒ/キ	三重96	SK31	4	E110	15.5	0.536	0.535	2.5	2700	900	105.0	105.0	12.33	11.42	0.94	12.2	11.32	37.2	41.5	42.0	39.1	37.9	38.4
ヒ/キ	三重96	SK32	4	E090	14.4	0.523	0.524	1.8	2700	900	105.0	105.0	11.36	9.97	0.92	10.7	9.71	31.5	31.8	31.3	29.1	28.2	28.6
ヒ/キ	三重96	SK33	4	E110	14.1	0.532	0.534	2.2	2700	900	105.0	105.0	11.94	11.00	0.94	11.5	10.64	41.5	55.1	53.8	50.1	48.5	49.2
ヒ/キ	三重96	SK34	4	E130	14.4	0.575	0.577	1.9	2700	900	105.0	105.0	14.43	13.28	1.03	12.8	12.91	48.8	73.1	72.0	67.1	64.9	65.9
ヒ/キ	三重96	SK35	4	E130	14.8	0.602	0.603	1.8	2700	900	105.0	105.0	14.28	12.33	1.09	11.3	12.09	36.4	53.7	53.4	49.8	48.2	48.9
ヒ/キ	三重96	SK36	4	E110	14.0	0.560	0.563	1.6	2700	900	105.0	105.0	12.53	10.81	1.00	10.6	10.47	29.9	35.3	34.4	32.0	31.0	31.4
ヒ/キ	三重96	SK37	4	E110	17.2	0.563	0.557	2.3	2700	900	105.0	105.0	11.78	9.93	0.99	10.5	10.18	36.9	48.6	48.6	48.1	46.6	47.3
ヒ/キ	三重96	SK38	4	E090	13.4	0.539	0.544	2.6	2700	900	105.0	105.0	11.65	9.59	0.96	9.7	9.20	26.3	43.0	41.2	38.4	37.2	37.7
ヒ/キ	三重96	SK39	4	E110	14.0	0.522	0.525	2.0	2700	900	105.0	105.0	12.15	10.79	0.92	11.6	10.43	40.5	47.8	46.5	43.3	42.0	42.6
ヒ/キ	三重96	SK40	4	E110	14.8	0.546	0.547	2.2	2700	900	105.0	105.0	12.84	10.83	0.97	11.2	10.62	35.6	35.6	35.4	32.9	31.9	32.4
ヒ/キ	三重96	SK41	4	E110	15.3	0.560	0.559	2.1	2700	900	105.0	105.0	11.78	10.55	0.99	10.7	10.44	37.5	39.1	39.4	36.7	35.6	36.1
ヒ/キ	三重96	SK42	4	E110	14.4	0.541	0.542	2.5	2700	900	105.0	105.0	12.09	10.97	0.96	11.4	10.69	43.7	44.8	44.1	41.1	39.8	40.3
ヒ/キ	三重96	SK43	4	E130	13.5	0.596	0.601	2.4	2700	900	105.0	105.0	14.32	12.66	1.08	11.4	12.13	40.4	62.4	60.0	55.9	54.1	54.9
ヒ/キ	三重96	SK44	4	E110	14.9	0.537	0.537	2.5	2700	900	105.0	105.0	13.57	11.59	0.94	12.3	11.37	25.0	37.5	37.5	34.9	33.8	34.3
ヒ/キ	三重96	SK45	4	E090	13.5	0.550	0.554	2.6	2700	900	105.0	105.0	11.42	9.80	0.98	9.7	9.42	32.1	32.1	30.9	28.7	27.8	28.2
ヒ/キ	三重96	SK46	4	E110	13.9	0.550	0.553	2.0	2700	900	105.0	105.0	13.00	11.59	0.98	11.6	11.19	52.1	68.9	67.0	62.4	60.4	61.3
ヒ/キ	三重96	SK47	2	E130	13.4	0.555	0.560	2.2	2700	900	105.0	105.0	15.46	13.96	0.99	13.7	13.32	61.1	84.5	81.2	75.6	73.2	74.2
ヒ/キ	三重96	SK49	4	E090	14.2	0.517	0.519	1.9	2700	900	105.0	105.0	10.88	9.76	0.91	10.6	9.48	38.2	48.2	47.2	43.9	42.5	43.2
ヒ/キ	三重96	SK50	4	E110	14.0	0.535	0.538	2.7	2700	900	105.0	105.0	12.31	10.98	0.95	11.4	10.62	46.4	54.5	53.1	49.5	47.9	48.6
ヒ/キ	三重96	SK51	4	E130	13.9	0.584	0.587	2.1	2700	900	105.0	105.0	14.30	12.84	1.05	12.0	12.39	44.4	60.5	58.8	54.7	53.0	53.7
ヒ/キ	三重96	SK52	4	E090	15.3	0.540	0.539	1.8	2700	900	105.0	105.0	10.67	8.91	0.95	9.4	8.84	31.2	31.2	31.5	29.3	28.4	28.8
ヒ/キ	三重96	SK53	4	E110	15.0	0.565	0.565	2.7	2700	900	105.0	105.0	12.75	11.57	1.00	11.5	11.37	32.1	32.1	31.2	29.3	28.4	28.8
ヒ/キ	三重96	SK54	4	E090	14.0	0.539	0.542	2.0	2700	900	105.0	105.0	11.82	10.28	0.96	10.6	9.95	33.9	39.0	38.0	35.4	34.3	34.8
ヒ/キ	三重96	SK55	4	E110	13.8	0.581	0.585	2.0	2700	900	105.0	105.0	14.17	12.14	1.05	11.3	11.69	46.6	59.5	57.6	53.6	51.9	52.7

付表2-2.データの基準強度等

区分	n	Eb															Ib-1															Ib-3														
		正規分布					対数正規分布					BF	正規分布					対数正規分布					NP	正規分布					対数正規分布					BF	NP											
		Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	BF	NP								
		Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	Mean	sd	CV(%)	E0.05	E0.05	BF	NP								
H1	VG1	50	8.088	1.620	20.0	5.16	2.071	0.199	5.53	5.45	LN	39.27	7.20	18.3	26.2	3.654	0.199	27.8	27.7	N	38.85	7.13	18.3	25.9	3.643	0.182	27.5	27.3	26.2	26.2	N	38.85	7.13	18.3	25.9	3.643	0.182	27.5	27.3	26.2	N					
	VG2	106	7.642	1.146	15.0	5.63	2.022	0.154	5.76	5.47	N	37.92	6.44	17.0	26.6	3.621	0.172	27.6	26.6	N	37.42	6.32	17.0	26.3	3.608	0.172	27.3	25.7	26.2	N	37.42	6.32	17.0	26.3	3.608	0.172	27.3	25.7	26.2	N						
	VG3	68	8.231	1.161	14.1	6.16	2.097	0.149	6.25	6.15	NP	40.19	7.64	17.0	26.6	3.675	0.198	27.7	26.0	NP	39.55	7.49	18.9	26.2	3.659	0.198	27.3	25.7	26.2	NP	39.55	7.49	18.9	26.2	3.659	0.198	27.3	25.7	26.2	NP						
	VG4	49	8.034	1.385	17.2	5.52	2.069	0.178	5.74	5.42	N	39.24	7.59	19.3	25.5	3.649	0.217	25.9	22.4	N	38.58	7.45	19.3	25.1	3.632	0.217	25.5	22.1	N	38.58	7.45	19.3	25.1	3.632	0.217	25.5	22.1	N								
	E050	17	5.453	0.390	7.2	-	-	-	-	-	-	30.38	4.00	13.2	22.5	3.406	0.135	23.1	-	N	29.98	3.98	13.3	22.2	3.392	0.136	22.8	-	LN	29.98	3.98	13.3	22.2	3.392	0.136	22.8	-	LN								
	E070	125	7.167	0.585	8.2	-	-	-	-	-	-	35.98	5.61	15.6	26.2	3.570	0.164	26.7	-	N	35.47	5.53	15.6	25.8	3.556	0.164	26.3	25.8	N	35.47	5.53	15.6	25.8	3.556	0.164	26.3	25.8	N								
	E090	117	8.794	0.569	6.5	-	-	-	-	-	-	42.31	6.14	14.5	31.6	3.734	0.152	32.1	29.2	N	41.71	6.02	14.4	31.2	3.720	0.151	31.7	28.8	N	41.71	6.02	14.4	31.2	3.720	0.151	31.7	28.8	N								
	E110/130	14	10.742	0.778	7.2	-	-	-	-	-	-	48.13	5.64	11.7	36.8	3.868	0.117	37.9	-	LN	47.48	5.37	11.3	36.7	3.854	0.112	37.7	-	LN	47.48	5.37	11.3	36.7	3.854	0.112	37.7	-	LN								
	POOLED	273	7.941	1.308	16.5	5.70	2.058	0.168	5.87	5.68	N	38.97	7.12	18.3	26.8	3.645	0.190	27.7	27.0	N	38.42	7.01	18.2	26.4	3.631	0.189	27.3	26.9	N	38.42	7.01	18.2	26.4	3.631	0.189	27.3	26.9	N								
	VG1	203	8.342	1.452	17.4	5.84	2.106	0.172	6.11	6.13	LN	41.45	8.95	21.6	26.0	3.702	0.211	28.2	28.5	LN	42.75	9.08	21.2	27.1	3.734	0.207	29.3	29.7	LN	42.75	9.08	21.2	27.1	3.734	0.207	29.3	29.7	LN								
VG2	225	7.466	1.443	19.3	5.00	1.991	0.197	5.22	5.19	NP	36.87	9.73	26.4	20.2	3.573	0.268	22.5	21.8	LN	38.07	9.93	26.1	21.0	3.605	0.265	23.4	22.8	LN	38.07	9.93	26.1	21.0	3.605	0.265	23.4	22.8	LN									
VG3	42	7.318	1.412	19.3	4.74	1.971	0.202	4.96	4.54	N	36.20	9.61	26.6	18.6	3.553	0.281	20.9	18.1	N	37.58	9.98	26.5	19.3	3.590	0.280	21.7	18.9	N	37.58	9.98	26.5	19.3	3.590	0.280	21.7	18.9	N									
VG4	6	8.298	1.273	15.3	5.32	2.106	0.157	5.70	-	-	42.69	8.23	19.3	23.5	3.739	0.185	27.3	-	LN	44.13	8.40	19.0	24.5	3.773	0.183	28.4	-	LN	44.13	8.40	19.0	24.5	3.773	0.183	28.4	-	LN									
E050	51	5.498	0.402	7.3	-	-	-	-	-	-	29.44	6.43	21.8	17.8	3.559	0.222	19.2	18.2	LN	30.53	6.64	21.8	18.5	3.395	0.221	20.0	18.9	LN	30.53	6.64	21.8	18.5	3.395	0.221	20.0	18.9	LN									
E070	219	7.129	0.544	7.6	-	-	-	-	-	-	35.87	7.49	20.9	23.0	3.557	0.217	24.1	23.6	LN	37.07	7.63	20.6	24.0	3.591	0.214	25.1	24.6	LN	37.07	7.63	20.6	24.0	3.591	0.214	25.1	24.6	LN									
E090	160	8.810	0.543	6.2	-	-	-	-	-	-	42.99	7.42	17.3	30.1	3.746	0.175	31.3	32.1	LN	44.31	7.53	17.0	31.3	3.777	0.172	32.4	33.4	LN	44.31	7.53	17.0	31.3	3.777	0.172	32.4	33.4	LN									
E110/130	44	10.714	0.708	6.6	-	-	-	-	-	-	50.24	11.39	22.7	29.5	3.893	0.222	32.7	32.1	LN	51.75	11.62	22.5	30.6	3.923	0.220	33.8	33.3	LN	51.75	11.62	22.5	30.6	3.923	0.220	33.8	33.3	LN									
POOLED	476	7.837	1.306	19.2	5.29	2.040	0.196	5.52	5.43	LN	38.84	9.64	24.8	22.5	3.628	0.254	24.5	23.4	LN	40.01	9.83	24.5	23.4	3.661	0.250	25.5	24.4	LN	40.01	9.83	24.5	23.4	3.661	0.250	25.5	24.4	LN									
VG1	253	8.292	1.486	17.9	5.74	2.100	0.178	6.02	5.90	LN	41.02	8.67	21.1	26.2	3.693	0.206	28.2	28.5	LN	41.98	8.85	21.1	26.8	3.716	0.205	28.9	28.5	LN	41.98	8.85	21.1	26.8	3.716	0.205	28.9	28.5	LN									
VG2	331	7.523	1.335	18.0	5.21	2.001	0.185	5.40	5.31	N	37.21	8.82	23.7	22.2	3.588	0.242	23.9	23.1	N	37.86	8.93	23.6	22.6	3.606	0.239	24.5	24.0	LN	37.86	8.93	23.6	22.6	3.606	0.239	24.5	24.0	LN									
VG3	110	7.882	1.333	16.9	5.55	2.049	0.181	5.65	5.30	NP	38.67	8.82	23.3	23.6	3.628	0.240	24.7	22.5	N	38.80	8.54	22.0	23.8	3.633	0.234	25.1	22.6	N	38.80	8.54	22.0	23.8	3.633	0.234	25.1	22.6	N									
VG4	55	8.065	1.365	16.9	5.60	2.073	0.174	5.80	5.57	N	39.62	7.66	19.3	25.8	3.659	0.214	26.4	23.9	N	39.18	7.68	19.6	25.4	3.647	0.216	26.0	23.6	N	39.18	7.68	19.6	25.4	3.647	0.216	26.0	23.6	N									
E050	68	5.487	0.397	7.2	-	-	-	-	-	-	29.68	5.90	19.9	19.1	3.370	0.204	20.2	18.5	NP	30.40	6.06	19.9	19.6	3.394	0.205	20.8	19.3	NP	30.40	6.06	19.9	19.6	3.394	0.205	20.8	19.3	NP									
E070	344	7.143	0.559	7.8	-	-	-	-	-	-	35.91	6.86	19.1	24.2	3.562	0.199	25.1	25.8	N	36.49	6.98	19.1	24.6	3.578	0.198	25.6	25.7	LN	36.49	6.98	19.1	24.6	3.578	0.198	25.6	25.7	LN									
E090	277	8.803	0.553	6.3	-	-	-	-	-	-	42.70	6.90	16.2	30.9	3.741	0.166	31.7	31.4	LN	43.22	7.04	16.3	31.2	3.753	0.166	32.1	32.4	LN	43.22	7.04	16.3	31.2	3.753	0.166	32.1	32.4	LN									
E110/130	58	10.721	0.718	6.7	-	-	-	-	-	-	49.73	10.29	20.7	31.2	3.887	0.201	33.9	33.4	LN	50.72	10.58	20.9	31.7	3.906	0.201	33.7	34.3	LN	50.72	10.58	20.9	31.7	3.906	0.201	33.7	34.3	LN									
POOLED	749	7.875	1.437	18.2	5.46	2.047	0.186	5.66	5.53	N	38.89	8.80	22.6	24.1	3.635	0.232	25.6	25.2	N	37.49	8.94	22.6	24.4	3.650	0.230	26.1	25.8	LN	37.49	8.94	22.6	24.4	3.650	0.230	26.1	25.8	LN									
VG1	4	9.314	0.717	7.7	7.39	2.229	0.075	7.61	-	LN	36.53	4.82	13.2	23.6	3.591	0.139	25.0	-	N	35.89	4.74	13.2	23.2	3.573	0.139	25.5	-	N	35.89	4.74	13.2	23.2	3.573	0.139	25.5	-	N									
VG2	115	10.079	1.483	14.7	7.48	2.300	0.148	7.69	7.64	LN	42.56	10.02	23.6	25.0	3.722	0.246	26.9	25.9	NP	41.81	9.85	23.6	24.6	3.704	0.246	26.4	25.4	NP	41.81	9.85	23.6	24.6	3.704	0.246	26.4	25.4	NP									
VG3	74	9.649	1.478	15.3	7.02	2.255	0.157	7.21	6.62	N	38.48	9.85	25.6	21.0	3.617	0.264	23.3	21.8	NP	37.80	9.68	25.6	20.6	3.599	0.264	22.9	21.5	NP	37.80	9.68	25.6	20.6	3.599	0.264	22.9	21.5	NP									
VG4	42	9.130	1.799	19.7	5.84	2.192	0.202	6.19	5.99	N	37.63	10.38	27.6	18.7	3.591	0.277	21.9	21.6	NP	36.97	10																									

付録1-1 東北ブロック

1. 試験方法

1.1 供試材

東北6県からスギ中目丸太（末口径24～28cm、材長4m）を、各県の市場に流通している材質（品種）を標準とし各県当たり15～30本程度供試した。

原木手配と原木調査は各県の林業関係試験研究機関で行い、原木の打撃法によるヤング係数測定を行った。なお材積は末口、元口、中央の3箇所の周囲から計算して算出した。

ラミナへの製材と生材時のラミナ調査、ラミナの人工乾燥と乾燥時のラミナ調査は岩手県（北3県分）と宮城県（南3県分）が担当した。

製材寸法はラミナ原板を38×175cmとし、乾燥後の最終仕上がり寸法を30×160mmと想定した。

ラミナの生材時動的ヤング係数（重量を測定、寸法は平均値で代用）と、含水率（高周波式moko2使用、比重設定0.35を標準）を全数測定した。乾燥後のラミナ測定も同様な手法で行った。

人工乾燥は仕上がり含水率15%以下、平均含水率12%を目標とした。方法は蒸気式により、スケジュールは原則として、乾球温度70℃一定、乾湿球温度差は初期5℃～乾燥末期25℃、調湿12時間とした。乾燥スケジュールを表に示した。

表.乾燥スケジュール

	乾燥時間 (hr)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)
蒸煮	2	70	70	0
～50		70	65	5
50～40		70	63	7
40～30		70	60	10
30～20		70	55	15
20～15		70	50	20
15～10		70	45	25
調湿	12	70	65	5

1.2 集成材の製造と強度試験

人工乾燥後のラミナの調査後、「協同組合遠野グルーラム」（岩手県遠野市）に委託し、ラミナの等級区分およびFJ加工を行った。

最初にモルダー加工により33×165mmに仕上げた後、グレーディングマシン（飯田工業製）により曲げヤング係数の等級区分を行い、表示値が分かるようにラミナに記載した。

ラミナのヤング係数分布を把握した後、構造用集成材の日本農林規格の基準値E7 5-F240を目標として、異等級対称構成を想定しラミナを抜き出し、節等の除去を行った後、強度等級が同一のラミナ間でフィンガージョイント加工（FJ加工）を行い、

寸法を30×150mm、長さ12mのラミナに仕上げ加工を行った。フィンガージョイント加工の形状は、垂直型でスカーフの傾斜比が1/8.7、フィンガーの長さが20mm、ピッチ6.2mm、フィンガーの先端厚さ1mm、フィンガーの底部幅0.6mm、かん合度0.4mmであった。

また、一部の通し及びFJラミナをラミナの曲げ、引張試験用とし、宮城県林業試験場がそのラミナの強度試験を担当した。

大断面集成材の製造は接着積層数を20枚とする20プライ構成とした。引張側最外層にモーメント一定区間にFJ部分を配置し、レゾルシノール樹脂系接着剤を使用し圧縮時間を約16時間とした。解圧後に仕上げ加工を行い、仕上げ寸法は150×600×12,000mmとして4体製造した。

強度試験は試験機の実力の関係で、秋田県立農業短期大学木材高度加工研究所で行った。JAS-A試験に従い、中央荷重点間距離を2,400mm(4h)、支点間距離を10,800mmの4点曲げとした。

ラミナ強度試験はJAS構造用集成材のラミナ試験法に準拠して行った（担当：宮城県）。

2.試験方法及び結果

2.1 丸太の形質

供試丸太は各県の市場で通常流通しているもので寸法は末口径24～28cm、材長400cmである。

表-1に丸太の形質及び縦振動法による動的ヤング係数 (E_{fr-log})を示す。試験計画よりも若干大径の丸太が試験に供された。 E_{fr-log} の度数分布は図1に示したとおりであり、供試丸太の全平均値は70.6tonf/cm²であった。

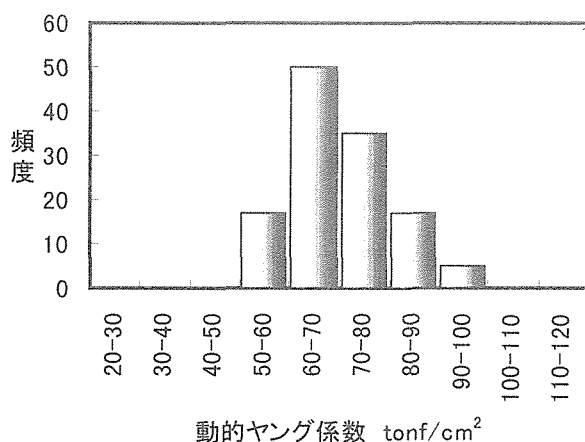


図-1 東北6県産丸太の動的ヤング係数

表-1 丸太の形質

		材長	年輪数		元口	直径 中央	末口	材積	材重量	比重	基本周波数 平均	動的ヤング Efr
		cm	元口 年	末口 年								
青森	平均	406.5			28.9	30.3	32.1	0.296	199.5	0.674	408.8	76.1
	最小	402.5			27.1	28.4	29.8	0.262	175.0	0.620	355.0	60.5
	最大	413.6			31.9	32.8	35.5	0.349	238.5	0.750	465.0	99.1
上北	標準偏差	2.51			1.4	1.4	1.7	0.029	20.2	0.042	23.1	9.1
	標本数	21			21	21	21	21	21	21	21	21
岩手	平均	411.2	46.4	39.5	37.9		29.7	0.370	239.5	0.650	394.2	69.8
	最小	404.7	40.0	31.0	32.3		26.3	0.288	179.0	0.568	355.0	58.2
	最大	416.0	58.0	50.0	43.9		33.5	0.467	295.0	0.762	455.0	89.6
住田	標準偏差	3.0	6.6	5.8	2.9		2.0	0.051	27.7	0.045	23.6	8.5
	標本数	33	33	33	33		33	33	33	33	33	33
秋田	平均	411.4	34.3	28.6	33.4	31.7	29.5	0.323	204.6	0.639	388.5	66.8
	最小	409.2	30.0	25.0	29.5	28.8	27.0	0.265	171.4	0.542	350.0	54.3
	最大	414.8	37.0	32.0	37.5	36.0	34.4	0.416	292.4	0.712	435.0	84.6
協和	標準偏差	1.5	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	0.040	26.6	0.039	26.8	9.1
	標本数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
宮城	平均	407.7	35.7	30.6	33.0	30.1	27.7	0.295	221.9	0.753	360.4	66.3
	最小	403.0	28.0	24.0	28.7	26.4	24.9	0.228	168.0	0.704	307.5	50.0
	最大	412.8	41.0	35.0	37.6	35.0	32.5	0.392	288.0	0.842	390.0	81.2
黒川	標準偏差	2.6	3.3	3.0	3.0	2.4	2.2	0.048	35.4	0.041	22.3	6.8
	標本数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
山形	平均	405.1	42.1	36.9	33.7	31.9	30.0	0.324	230.7	0.715	401.3	76.6
	最小	400.7	31.0	25.0	30.6	28.6	26.9	0.263	167.0	0.580	325.0	53.4
	最大	408.6	67.0	58.0	37.1	34.5	33.1	0.378	288.0	0.834	495.0	95.8
西山	標準偏差	2.4	11.4	10.0	2.1	1.8	2.0	0.037	26.7	0.077	44.5	11.4
	標本数	15	15.0	15	15	15	15	15	15	15	15	15
福島	平均	403.8	40.9		32.4	30.1	28.5	0.292	209.7	0.719	477.3	69.7
	最小	400.7	33.0		29.3	27.7	25.6	0.247	171.6	0.666	350.0	51.1
	最大	405.9	50.0		36.4	33.0	31.0	0.342	265.4	0.796	780.0	85.0
船引	標準偏差	1.4	4.4		2.1	1.8	1.7	0.034	28.1	0.045	157.2	10.3
	標本数	15	15		15	15	15	15	15	15	15	15

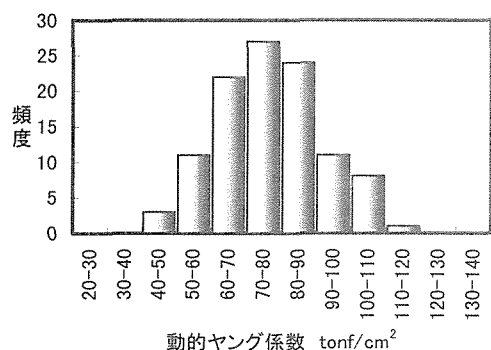
2.2 ラミナの形質

表-2、3にラミナの生材時及び乾燥後の形質及び縦振動法による動的ヤング係数の測定結果を示す。また、動的ヤング係数の度数分布を県別に生材時は図-2~7、乾燥後は図9~14、東北6県の全ラミナをまとめて図-8、15に示した。

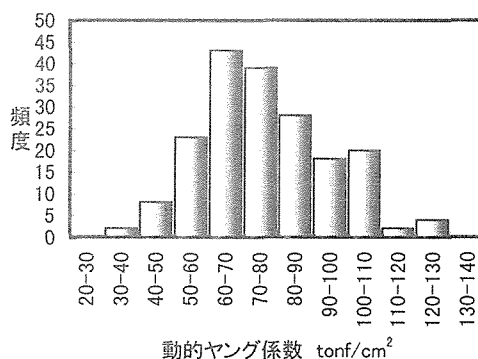
供試ラミナの動的ヤング係数は、生材時での全平均値が72.1tonf/cm²、乾燥後で80.2tonf/cm²であった。

表一 生材時のラミナの形質

	材幅	材厚	材長	材積	重量	比重	固有周波数			含水率		動的ヤング係数	
	mm	mm	cm	cm ³	g	g/cm ³	Hz	%	%	%	tf/cm ²	GPa	
青森	平均	175.23	38.13	400.0	26724.2	14.24	0.533	436.6	72.3	73.8	76.1	66.6	6.53
	最小	174.29	36.09	399.9	25255.1	10.90	0.409	335.0	44.0	45.0	45.0	38.0	3.72
	最大	176.05	40.10	400.1	28185.5	21.00	0.780	540.0	122.5	127.0	126.5	107.8	10.56
	標準偏差	0.39	0.85	0.05	619.94	1.92	0.072	51.2	17.6	17.7	20.4	15.2	1.49
	標本数	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
	岩手	平均	175.63	39.00	411.1	28158.8	14.87	0.529	457.4	74.1	66.3	61.9	76.3
最小	171.89	31.62	403.8	22802.1	11.00	0.394	315.0	29.0	27.5	32.0	36.8	3.61	
最大	179.14	43.92	418.8	31853.5	22.15	0.769	590.0	120.0	124.5	116.0	123.1	12.07	
標準偏差	1.20	1.59	3.09	1191.62	2.23	0.079	61.6	21.2	17.9	16.1	18.2	1.78	
標本数	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	
秋田	平均	175.28	38.57	411.2	27797.1	14.52	0.523	423.5	66.0	69.3	67.6	64.4	6.32
	最小	168.73	34.18	401.5	24694.9	11.02	0.388	320.0	31.0	27.5	32.5	38.8	3.80
	最大	180.42	41.80	415.4	30230.5	20.30	0.712	515.0	116.5	119.5	118.5	89.9	8.81
	標準偏差	1.84	1.30	1.76	991.47	2.00	0.072	41.0	19.0	19.7	20.0	11.1	1.09
	標本数	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
	宮城	平均	170.00	38.00	407.7	26336.2	16.52	0.627	412.8	64.9	83.2	65.7	71.5
最小		170.00	38.00	403.0	26033.8	11.83	0.449	295.0	32.5	40.0	31.0	42.2	4.14
最大		170.00	38.00	412.8	26666.9	25.10	0.945	490.0	127.5	1105.0	123.0	113.9	11.17
標準偏差		0.00	0.00	2.58	166.91	3.11	0.119	42.2	23.0	100.4	23.7	14.0	1.37
標本数		111	111	111	111	111	111	110	111	111	111	110	110
山形		平均	170.00	38.00	404.7	26140.5	16.27	0.622	452.5	60.3	70.1	63.0	84.3
	最小	170.00	38.00	400.7	25885.2	11.40	0.438	350.0	33.5	42.5	32.5	48.1	4.72
	最大	170.00	38.00	408.6	26395.6	23.24	0.885	575.0	121.5	126.5	119.5	131.6	12.90
	標準偏差	0.00	0.00	2.33	150.36	2.65	0.100	54.1	20.1	18.3	19.6	15.3	1.50
	標本数	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
	福島	平均	175.00	38.00	403.8	26852.7	16.15	0.601	405.8	57.2	60.6	78.6	65.4
最小		175.00	38.00	403.8	26852.7	11.20	0.417	320.0	37.5	32.5	32.0	36.6	3.56
最大		175.00	38.00	403.8	26852.7	23.35	0.870	495.0	122.0	130.5	147.5	93.5	9.16
標準偏差		0.00	0.00	0.00	0.00	2.88	0.107	44.8	18.6	19.9	32.7	14.4	1.40
標本数		66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66



図一 青森県産ラミナの乾燥時動的ヤング係数



図二 岩手県産ラミナの生材時動的ヤング係数

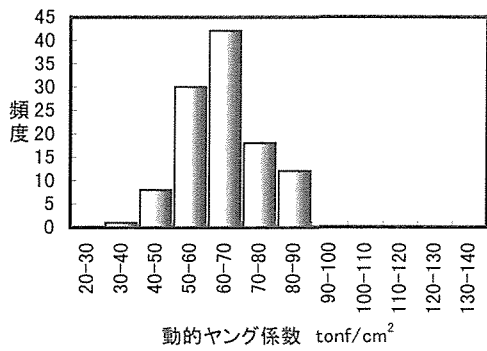


図-4 秋田県産ラミナの生材時動的ヤング係数

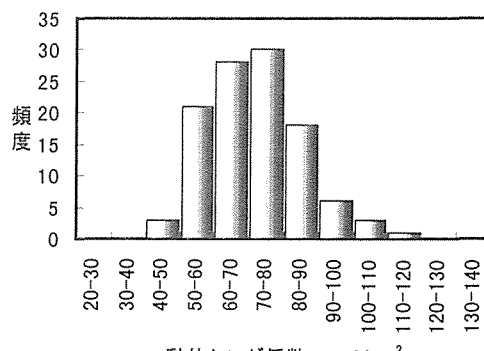


図-5 宮城県産ラミナの生材時動的ヤング係数

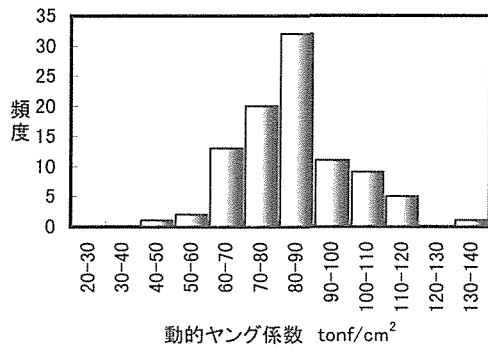


図-6 山形県産ラミナの生材時動的ヤング係数

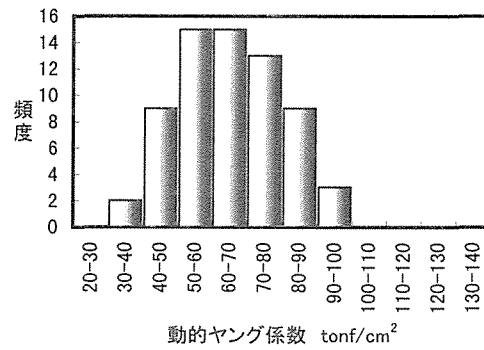


図-7 福島県産ラミナの生材時動的ヤング係数

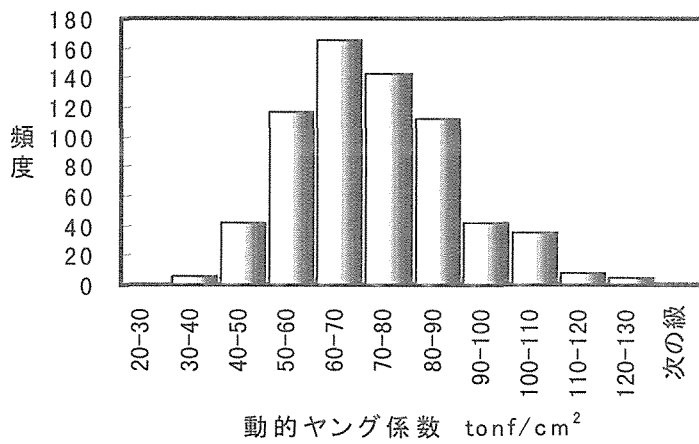
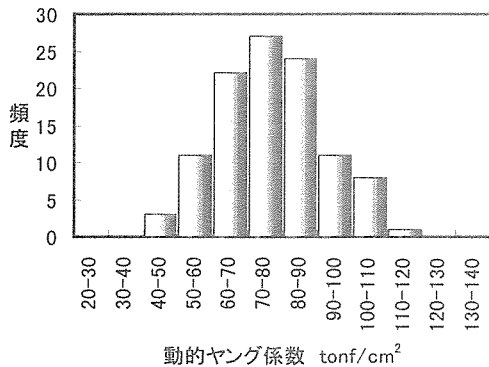


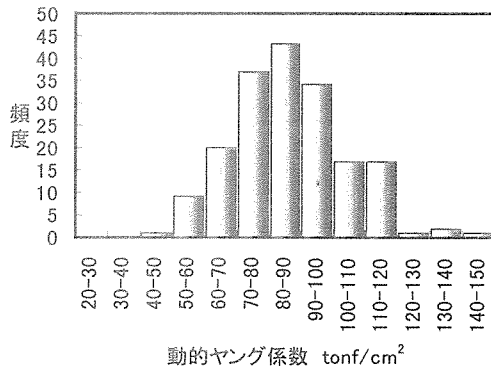
図-8 東北6県産ラミナの生材時動的ヤング係数

表一3 乾燥後のラミナの形質

	材幅	材厚	材長	材積	重量	比重	固有周波数	含水率	含水率	含水率	ヤング係数	Efr	
	mm	mm	cm	cm ³	g	g/cm ³	Hz	%	%	%	tf/cm ²	GPa	
青森	平均	169.65	36.65	399.5	24840.0	9.06	0.365	566.5	9.7	10.0	10.1	76.8	7.52
	最小	165.67	34.17	399.1	23256.8	7.45	0.293	440.0	8.5	8.5	8.5	46.2	4.52
	最大	172.90	38.60	399.8	26343.6	10.70	0.431	690.0	13.0	14.0	14.0	115.4	11.31
	標準偏差	1.76	1.01	0.13	608.58	0.66	0.028	59.4	0.8	1.1	1.1	15.5	1.52
	標本数	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
岩手	平均	169.41	37.80	411.1	26216.1	9.48	0.362	588.5	9.4	9.4	9.5	86.9	8.52
	最小	160.10	33.79	403.8	23656.8	7.71	0.290	455.0	7.5	7.5	7.5	48.3	4.73
	最大	177.27	66.88	418.8	29316.4	12.29	0.482	685.0	15.0	15.0	15.5	141.5	13.86
	標準偏差	2.08	2.61	3.12	1082.52	0.95	0.037	51.9	1.1	1.1	1.2	17.7	1.73
	標本数	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182
秋田	平均	169.05	37.45	411.2	26033.5	8.61	0.331	569.9	8.8	8.9	8.8	74.4	7.29
	最小	161.51	33.06	401.5	22669.7	6.95	0.266	450.0	7.5	7.5	7.5	45.9	4.50
	最大	175.44	40.20	415.4	28562.8	10.68	0.399	650.0	12.0	13.0	11.0	100.8	9.88
	標準偏差	2.31	1.30	1.78	1029.51	0.76	0.028	44.3	0.7	0.8	0.7	11.9	1.16
	標本数	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
宮城	平均	170.00	38.00	407.7	26336.2	9.62	0.365	551.6	13.3	12.7	11.7	75.1	7.37
	最小	170.00	38.00	403.0	26033.8	7.73	0.291	420.0	9.0	9.0	9.0	46.1	4.52
	最大	170.00	38.00	412.8	26666.9	13.22	0.503	645.0	38.5	33.0	22.0	103.2	10.11
	標準偏差	0.00	0.00	2.58	166.91	1.01	0.038	54.0	5.1	4.2	2.8	11.8	1.16
	標本数	111	111	111	111	108	108	108	108	108	108	108	108
山形	平均	170.00	38.00	404.7	26140.5	10.25	0.392	578.5	14.8	14.7	13.2	87.7	8.60
	最小	170.00	38.00	400.7	25885.2	8.57	0.326	470.0	9.5	10.0	10.0	55.7	5.47
	最大	170.00	38.00	408.6	26395.6	13.04	0.495	686.0	24.5	28.0	23.5	120.3	11.80
	標準偏差	0.00	0.00	2.33	150.36	0.94	0.035	54.6	3.7	3.6	3.2	14.1	1.38
	標本数	94	94	94	94	89	89	89	89	89	89	89	89
福島	平均	170.00	38.00	400.0	25840.0	9.31	0.360	561.2	12.6	11.3	11.4	74.7	7.32
	最小	170.00	38.00	400.0	25840.0	7.77	0.301	470.0	9.5	9.5	9.5	45.8	4.49
	最大	170.00	38.00	400.0	25840.0	11.49	0.445	650.0	18.0	15.0	17.5	103.7	10.17
	標準偏差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.032	48.4	1.9	1.6	1.7	14.7	1.44
	標本数	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66



図一9 青森県産ラミナの乾燥時動的ヤング係数



図一10 岩手県産ラミナの乾燥時動的ヤング係数

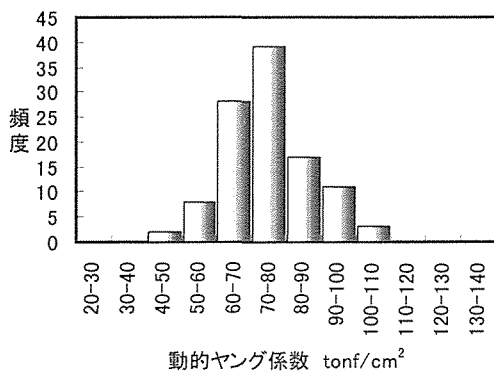


図-11 秋田県産ラミナの乾燥時動的ヤング係数

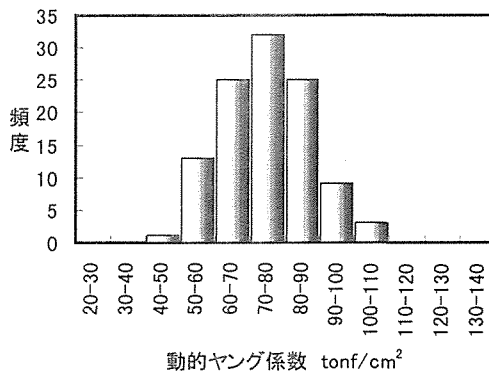


図-12 宮城県産ラミナの乾燥時動的ヤング係数

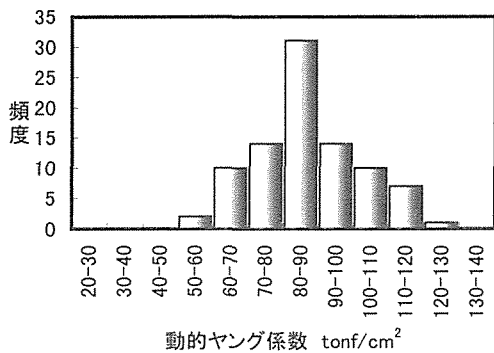


図-13 山形県産ラミナの乾燥時動的ヤング係数

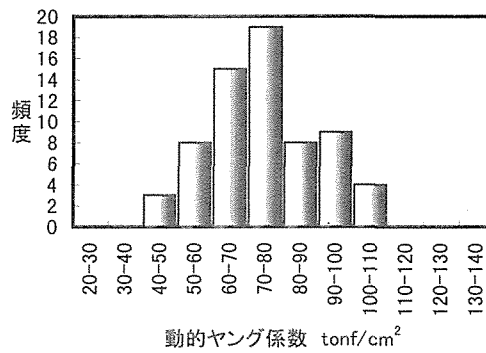


図-14 福島県産ラミナの乾燥時動的ヤング係数

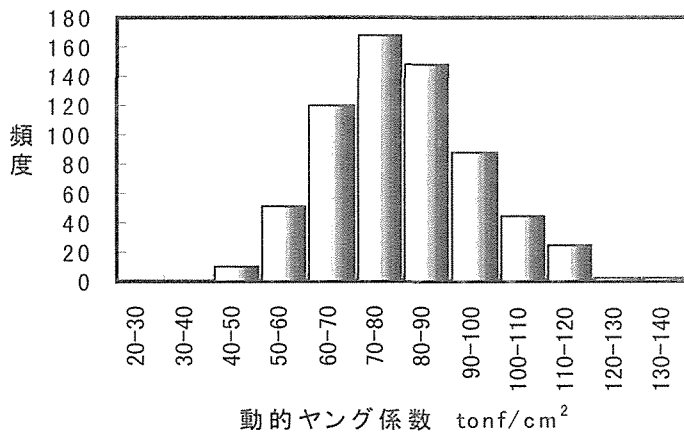


図-15 東北産ラミナの乾燥時動的ヤング係数

2.3 ラミナの等級区分

乾燥後のラミナについて動的ヤング係数で等級区分を行った結果を表-4に示した。

動的ヤング係数が70~90×10³kgf/cm²の範囲のラミナが、全体の約半分を占めていた。JAS対称異等級構成E75-F240の集成材のみを製造する場合、内層用となる50~70×10³kgf/cm²未満のラミナ不足が予想される。

2.4 集成材の曲げ強度試験結果

試験結果を表-5に示す。また、各試験体の荷重-変位関係を図に示す。

試験に供した集成材は、1体を除きE75-F240等級の曲げヤング係数(MOE)、曲げ強度(MOR)の適

合基準値以上の性能であった。またMOE、MORとも値のばらつきは小さく、比較的安定した性能であったと言える。基準に満たなかった集成材は、最外層ラミナの縦

継ぎ部でフィンガーの根本から破断するような破壊をしており、素材の性能とフィンゲージョイント加工における嵌合条件等が良好で無かったことが考えられる。

全スパンにおけるたわみより求めたMOE_Lに対し、荷重点間

のたわみより求めたMOE_Sは、おおよそ10tf/cm²程高かった。MOE_Sを純曲げによるヤング係数とし、MOE_Lを見かけのヤング係数として、(2)式の関係からせん断弾性係数Gを求めるとG=2 tf/cm²程度となり、一般的なスギのG値と比較してかなり低い値である。したがって、測定の精度やその他の影響について検討する必要もあるかと思われる。

$$\delta = \delta_b + \delta_s \quad (1)$$

$$\frac{P(L-S)}{96MOE_L I} (2L^2 + 2SL - S^2) = \frac{P(L-S)}{96MOE_S I} (2L^2 + 2SL - S^2) + \frac{3P(L-S)}{10GA} \quad (2)$$

表-4 ラミナの等級区分

動的ヤング 係数 tonf/cm ²	枚数 枚	比率 %
40-	10	1.5
50-	51	7.7
60-	120	18.2
70-	168	25.5
80-	148	22.4
90-	88	13.3
100-	45	6.8
110-	25	3.8
120-	2	0.3
130-	2	0.3
140-	1	0.0

表-5 実大集成材のラミナ構成及び曲げ試験結果

No.	構成 方法	MOE _L (全スパン) (tf/cm ²)	MOE _S (荷重点間) (tf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	破壊位置
1	JAS E75-F240	81.52	94.01	242.8	最外層FJ ^{a)}
2		79.80	89.56	237.0	最外層FJ
3		77.71	85.75	211.7	最外層FJ
4		79.26	89.31	229.9	最外層FJ
平均		79.57	89.65	230.35	
JAS適合 基準値	平均 5%下限値	75.00 65.00		223.20	

ここで、 δ : 全スパンたわみ, δb : 曲げモーメントによるたわみ, δS : せん断によるたわみ, P : 単位荷重, L : 全スパン長さ, S : 荷重点間長さ, I : 断面2次モーメント, A : 断面積

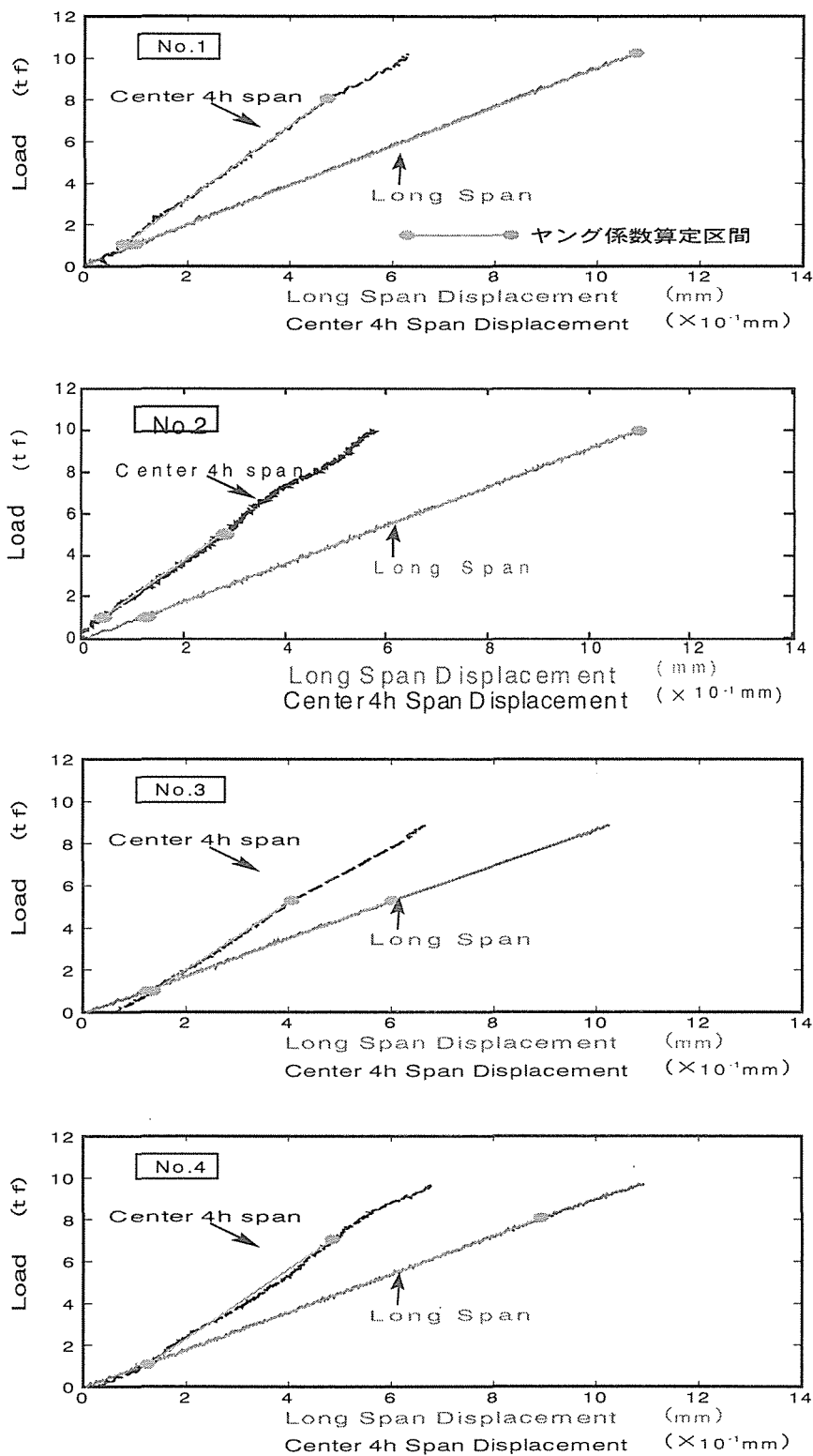


図16 集成材実大曲げ試験 荷重-たわみ関係

4. まとめ

今回の試験の結果、東北産の一般的なスギ中目材から得られたラミナの動的ヤング係数の分布状況と、そのラミナから製造された大断面集成材の強度性能があきらかになった。

集成材の強度は目標等級をほぼ満足するものであったが、より強度の向上のためには最外層ラミナを、フィンガージョイント加工の精度を含め、目切れ等の外観的な欠点のない材質の優れたラミナとする必要があり、現場的な生産システムを若干改良する余地があるものと考えられた。

付録1-2 中部ブロック

1. 供試丸太の概要

中部ブロック（三重、静岡、富山）におけるスギ丸太の概要を表1に示す。供試木は三重県が中南勢地区、静岡県春野町産、富山県は市場での購入のため数地区の混入となっている。供試した丸太は平均直径27～29cmで大きな差は無いが、標準偏差に示されるように、富山の試験丸太は21～31cmまで含まれており、直径のばらつきが大きくなっている。

丸太の形状では、直径の細りが静岡、三重は1m当たり9.2mmに対して富山では11.9mmに達している。これは、富山県の供試丸太が比較的小径のものを含んでいることから、細りが大きくなっていること、さらに積雪地帯である富山県では疎植が一般的であり細りが大きくなることが現れたと考えられる。したがって、成長量の点からみても、平均年輪幅で三重、静岡の3.5、2.9mmに対して富山県が4.2mmと大きく、疎植が影響しているものと考えられる。

表1. 試験供試丸太の概要

	三重		静岡		富山	
	平均	sd	平均	sd	平均	sd
本数	30		20		38	
平均末口直径 (cm)	28.8	1.64	29.4	1.86	27.4	3.18
細り (mm/m)	9.2	2.7	9.2	2.9	11.9	3.6
生材密度 (g/cm ³)	0.70	0.085	0.73	0.083	0.65	0.11
平均年輪幅 (mm)	3.5	0.62	2.9	0.11	4.2	0.81
E_{fr-log} ($\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$)	86.6	10.6	90.4	15.1	78.6	13.7

丸太の縦振動ヤング係数は、平均で三重県86.6、静岡県90.4、富山県78.6 $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ とであり、三重県、静岡県の供試木は全国的に見てもヤング係数が非常に高い値と思われる。スギのヤング係数については、品種、成長、施業など様々な要因が関与した上での地域性の違いとなって現れてくるものと考えられる。成長に関わる平均年輪幅と縦振動ヤング係数の

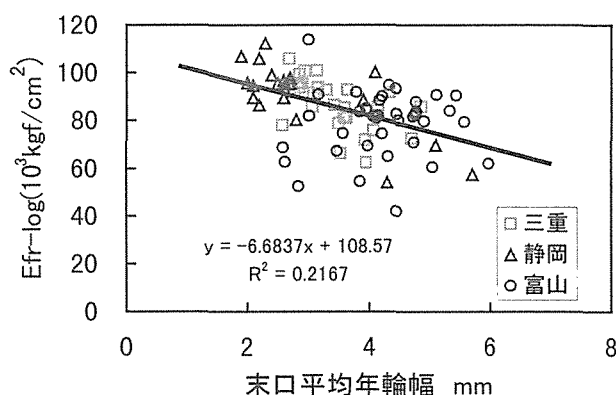


図 1. E_{fr-log} と平均年輪幅の関係

の関係を図1に示した。全体的にみると年輪幅の大きな丸太すなわち成長の良いものは、ヤング係数が低い傾向にある。これを地域別に見ると、静岡、三重産については全く同様の傾向を示すが、富山県産ではばらつきが大きいこともあり、明確な傾向が得られなかった。富山県産の丸太は、同一林分からのものではなく数地域から伐採されたものであることが、ばらつきを増し、傾向を不明確にしたものと考えられる。

2.ラミナの製造

各県の原木は、それぞれ寸法38x175mmのラミナに製材した。製材後、本文2.2.2に述べられたラミナの測定を行った。乾燥は、各県共通の標準乾燥スケジュールで含水率15%以下、平均含水率12%を目標に行った。乾燥後のラミナ測定も同様である。

ラミナ寸法38x175mm製材での歩留り（丸太材積は末口自乗法で計算）の平均は46%で、地域による違いは認められず、径24~28cmでは約45%、30~32cmでは50%近い歩留りとなった。

中部ブロックでのラミナの縦振動ヤング係数の測定結果を表2および図2に示す。三重県、静岡県丸太のヤング係数が高かったように、そこから採材された乾燥ラミナのヤング係数は、三重県で平均 $97.4 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 、静岡県で平均 $90.3 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ と非常に高い値となった。また、富山県では、平均 $80.5 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ が得られた。これら、乾燥ラミナのヤング係数は丸太ヤング係数と密接な関係にあり、丸太ヤング係数の測定でラミナヤング係数の出現予測は可能と考えられる。また、これらの関係において、3県の中で地域的な違いは工学的なレベルでは認められなかった。

3.集成材の製造と強度試験

フィンガージョイントの加工条件は、長さ18.63mm、ピッチ6mm、先端厚さ6mm、フィンガー底部幅6mm、スカーフ傾斜比1/8.1である。接着剤は大鹿ディアノールDF-1200、DL200（硬化剤）、圧縮圧 50kgf/cm^2 、高周波加熱硬化、ブルーフロ

表2.乾燥ラミナの縦振動ヤング係数

	三重	静岡	富山
件数	180	111	199
平均	97.4	90.3	80.5
最小値	65.4	44.5	38.4
最大値	126.9	141.8	139.5
標準偏差	14.5	19.7	18.8
変動係数	0.149	0.218	0.233

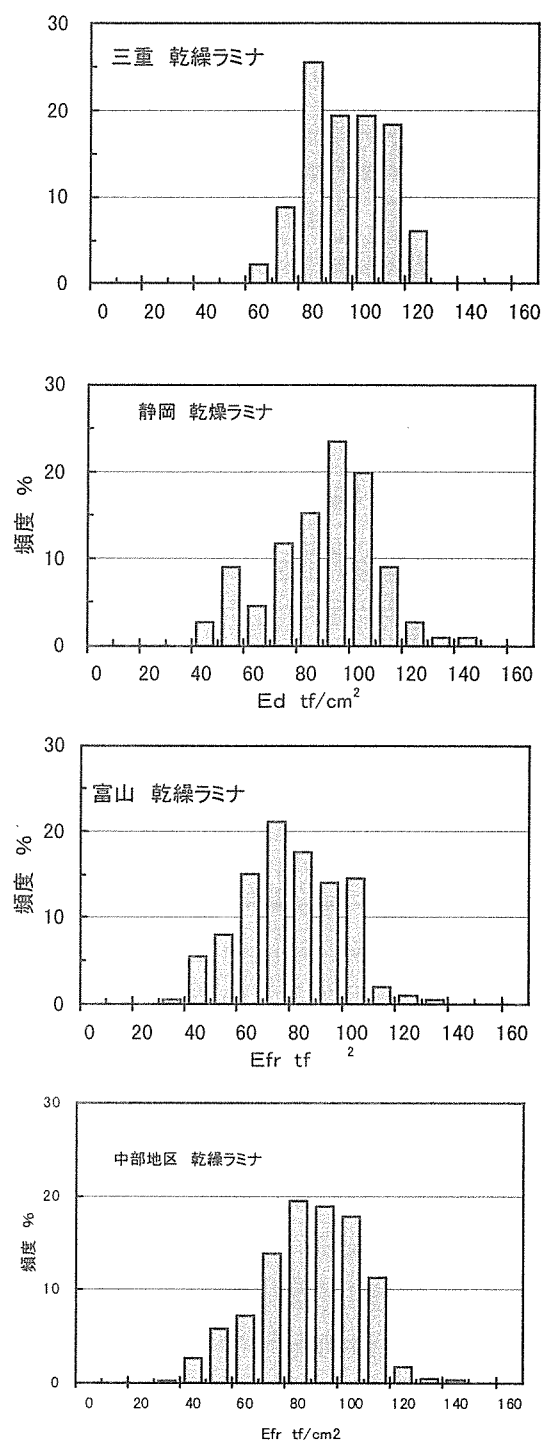


図2.乾燥ラミナの縦振動ヤング係数の分布

ード無しの条件とした。

中部地区でのスギラミナの縦振動ヤング係数 (E_{fr-lam}) の等級別割合 (静岡、三重、富山3県のスギを同一本数混入した場合) と、グレーディングマシンの数値(MGE) を表3にあわせて示す。表から見る限り、 E_{fr-lam} とMGEには、大きな違いは無いものと考えられる。

この分布型での最適な集成材としては、E95-F270クラスも可能と考えられる。ここでは、当初の目標であるE75-F240等級を2体 (JAS-1、JAS-2)、ラミナのヤング係数分布に応じて3等級に区分し対称構成としたE85-F255相当品2体 (N3、N4) とした。ラミナの構成は、表1.2.5で述べたとおりであり、ラミナ厚30mmの積層数20ply、仕上がり断面寸法150x600mmの大断面集成材となった。なお、フィンガージョイントは強度試験時のモーメント一定区間の引張り最外層に存在するよう設計した。

表3.ラミナの等級別出現割合

	E_{fr-lam}	MGE
等外	2.9	3.1
L50	5.8	5.5
L60	7.2	7.9
L70	13.9	14.5
L80	19.5	20.0
L90	18.9	18.1
L100	17.9	17.5
L110以上	13.1	13.4

試験結果を、本文表1.2.6に示す。製作した全ての集成材はMOE、MORの適合基準値を満たしており、性能面での問題は無かった。また、それぞれ2体の性能も極めて近く、非常に安定した性能を示した。また、破壊は最外層ラミナがほぼ無欠点に近いような良質なラミナであったこともあり、FJ部での破壊が予定されたが、2層目のFJに起因したような結果もあり、最外層FJは極めて高い性能を示した。

なお、荷重-変位曲線はほとんど曲線部を示さず、破壊は脆性的傾向を示した。

付録1-3 九州ブロック

1.原木およびラミナ

九州産中目スギ丸太から大断面構造用集成材を製造するため九州各県から末口直径24～28cm、長さ4mの丸太129本を用いた。

原木の E_{fr-log} の測定は、打撃法による固有振動数から求めた。原木の支持は中央支持とし、1次固有振動数を主に計測し、2次、3次は、1次の参考値とした。材積は、丸太の末口、中央、元口の周囲長から各部位での平均値から求めた。表1に供試した各県の丸太の末口径、測定時比重、 E_{fr-log} 、樹齢、本数を、図1に E_{fr-log} の出現分布を示す。

表1.九州各県中目スギの強度等

	末口径 (cm)	比重 (g/cm ³)	E_{fr-log} (10 ³ kgf/cm ²)	樹齢	本数
福岡県	27	0.67	60.4	45年程度	25
大分県	28	0.69	60.3	50年程度	25
熊本県	27	0.72	62.8	40年程度	29
宮崎県	27	0.57	61.0	45年程度	25
鹿児島県	32	0.58	61.5	45年程度	25
全体	28	0.65	61.2	45年程度	129

ラミナ原板は、原木番号と栽材位置が分かるように番号を付けて、乾燥前の E_{fr-lw} を測定した。

シャカインを除くラミナは天然乾燥した後、IF乾燥機で平均含水率が12%になるように人工乾燥し、シャカインは製材後直ちに人工乾燥を行った。人工乾燥においては、温度が70℃を越さないようにした。

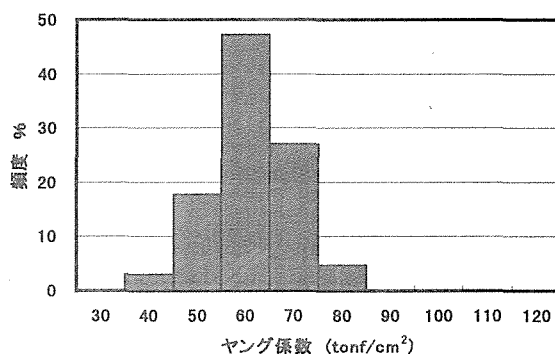


図 1. E_{fr-log} の出現分布

表2.ラミナ測定結果

		n	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数
福岡	Efr-lw	126	59.8	89.5	36.3	13.3	22.3
	Efr-lam	125	71.0	101.6	46.3	13.8	19.5
	MGE	125	67.3	93.1	42.6	12.8	19.0
大分	Efr-lw	112	52.0	84.9	29.4	10.2	19.5
	Efr-lam	112	68.5	106.8	43.3	11.9	17.4
	MGE	112	63.8	105.0	38.7	12.1	19.0
熊本	Efr-lw	133	63.5	99.0	38.3	12.9	20.3
	Efr-lam	118	79.1	110.7	48.5	13.6	17.1
	MGE	118	75.8	111.8	45.3	14.5	19.1
宮崎	Efr-lw	121	61.4	119.4	32.3	14.2	23.2
	Efr-lam	121	72.7	106.1	47.7	14.2	19.6
	MGE	121	71.2	105.0	47.3	13.8	19.4
鹿児島	Efr-lw	117	61.0	115.3	30.4	13.3	21.8
	Efr-lam	116	75.9	106.4	43.5	12.8	16.9
	MGE	116	72.6	105.6	35.2	13.1	18.0
全体	Efr-lw	609	59.7	119.4	29.4	13.4	22.5
	Efr-lam	592	73.4	110.7	43.3	13.8	18.8
	MGE	592	70.2	111.8	35.2	13.9	19.8

人工乾燥後Efr-lamを測定し、断面寸法33×165mmにモルダー掛けしたのち、グレーディングマシンでMGEを測定した。

乾燥前、乾燥後、モルダー掛け後のラミナについて各県別のヤング係数を表2に示す。MGEによる度数分布(表3)においてラミナ出現を確認し、製造した集成材はJAS異等級対象構成E75-F240を2体、E65-F225を1体、R3法によるものを1体作成した。

ラミナは、縦継ぎして、断面寸法30×165mm、長さ12.1mとした。縦継ぎ(フィンガージョイント)および接着積層条件を示す。

- ・フィンガー長さ：23mm
- ・フィンガーピッチ：6mm
- ・嵌合度：0.2mm
- ・フィンガー底部幅：0.8mm
- ・スカーフ傾斜比：1:0.13
- ・接着剤：エスレジンSR-160(田岡化学製)
- ・硬化剤：ハードナーA(田岡化学製)

表3.MGEの度数分布
(5県分、592枚)

	度数	相対度数(%)
30~40	4	0.7
40~50	29	4.9
50~60	124	20.9
60~70	143	24.2
70~80	149	25.2
80~90	90	15.2
90~100	42	7.1
100~110	10	1.7
110~120	1	0.2
120~130	0	0.0
	592	100

表4.集成材用ラミナの組合せ

1(E75-F240)						
201-5	106528-4	97508-4	107511-2	90	96A-1	
505-4	90526-1	92512-1	96220-1	91	A-3	
076-1	85526-2	84501-1	81201-4	91	85A-6	
529-4	85306-3	83316-1	81318-1	84	A-8	
318-1	84418-5	75420-2	75414-2	77	81A-9	
311-3	62502-1	65303-5	69310-5	64	A-12	
310-5	64518-3	69516-1	60221-2	66	A-13	
221-2	66063-2	62027-5	62529-2	61	A-14	
065-4	66303-4	61418-4	55418-3	56	A-19	
418-3	56007-2	59407-3	56420-4	57	62A-20	
420-4	57414-3	55017-2	54006-2	59	A-21	
027-3	63066-2	68023-1	65113-3	68	A-15	
113-3	68	311-4	61009-2	61303-2	66	A-16
303-2	66520-1	66301-1	63		A-17	
301-1	63501-2	68505-1	63501-3	65	A-18	
528-3	78506-1	77407-2	77524-1	77	77A-11	
414-2	77210-2	74312-5	74528-3	78	A-10	
201-4	91320-5	82421-1	81414-5	86	85A-7	
319-5	100314-4	97306-4	91319-3	94	A-5	
511-2	96503-1	104525-6	96512-6	99	97A-2	

2(E75-F240)						
512-6	99525-A	96514-4	88501-5	92	94B-1	
510-4	91508-2	90119-1	101525-1	91	B-3	
214-4	83410-6	86502-3	86417-5	81528-2	83	84B-5
524-1	77407-5	73210-4	74		B-7	
210-4	74225-1	77422-5	79		76B-8	
	206-2	74311-2	72		B-11	
077-4	66072-2	67015-3	64116-5	64	B-13	
077-3	61517-2	66515-3	68506-2	64	B-14	
506-2	64015-2	65065-2	64065-3	63	B-15	
006-2	59308-2	59006-5	59116-4	53	65B-20	
065-3	63527-6	67502-2	65527-1	66	B-16	
527-1	66027-2	62007-3	62		B-17	
116-2	64028-2	64028-1	69076-3	63	B-18	
076-3	63023-4	62027-1	63113-4	65	B-19	
214-3	72210-5	75519-3	79		B-12	
225-4	78504-3	74501-4	73		75B-10	
221-1	80417-2	73308-1	71		B-9	
528-2	83506-4	83503-4	83076-1	85	84B-6	
508-3	89319-2	100318-4	90		B-4	
501-5	92525-3	93509-3	95505-4	90	93B-2	

(E65-F225)					
070-1	83303-1	83417-1	90063-4	81	85C-1
410-1	85415-2	85403-1	87407-6	85	C-3
519-3	79511-3	77509-1	77524-1	77	78C-5
072-4	73015-4	70523-4	70308-3	67	C-7
308-3	67321-4	62310-2	64523-3	63	67C-8
407-4	56310-4	51417-3	53506-3	59	C-11
506-3	59027-4	59523-2	60516-5	57	C-12
006-4	55048-5	57520-4	58066-4	58	C-13
066-4	58075-3	52029-5	59102-2	57	C-14
102-2	57017-5	51023-3	56023-2	56	56C-15
023-2	56029-4	53029-2	53006-3	52	C-16
006-3	52075-2	56521-3	51066-3	58	C-17
066-3	58116-3	52102-3	55072-3	60	C-18
002-1	52527-3	57-7-3			C-19
028-4	59002-2	50063-3	60113-4	65	C-20
029-1	60514-2	72303-4	61311-3	62	64C-10
523-3	63518-4	67219-1	69029-1	60	C-9
524-4	78009-1	72015-1	70072-4	73	73C-6
407-6	85404-1	82205-1	88214-4	83	C-4
063-4	81310-1	83422-1	80410-1	85	83C-2

R3					
307-5	89413-5	89416-1	89413-1	89	88R-1
512-A	90528-1	82320-6	89306-2	88	R-2
512-2	88	309-5	86318-5	87	R-3
		526-4	85119-5	81	R-4
221-4	84510-3	85			84R-5
501-3	65507-2	68224-4	61504-2	69	R-6
504-2	69221-3	67503-3	66075-4	64	R-7
311-5	68102-4	65-1-1	081-2	66	R-8
116-4	53017-1	55521-1	53501-2	68	R-12
501-2	68520-2	54	422-4	52	61R-13
310-3	50417-4	57422-2	52048-2	56	R-14
048-2	56414-4	53119-3	59407-4	56	R-15
081-2	66301-3	66522-7	64		R-9
524-3	67076-2	63009-3	62081-4	60	R-10
081-4	60119-4	61028-5	67077-4	66	R-11
	516-4	50309-1	79221-4	84	78R-16
204-2	80207-4	85510-6	87		R-17
306-2	88314-1	87509-2	88525-2	88	R-18
504-1	87311-6	88070-2	89512-A	90	R-19
413-1	89420-1	89324-4	86504-1	87	88R-20

- ・圧縮圧：40kgf/cm²程度
- ・プルーフロード：無し

仕上げた大断面集成材は150×600×12、000mmである。また、ラミナの圧縮条件は以下の通りである。

- ・接着剤：テクノプライ815（田岡化学製）
- ・硬化剤：テクノプライ用硬化剤 L-1、P-1
- ・圧縮圧：7～8kgf/cm²

E75-F240、E65-F225、R3法の実際に用いたラミナの組み合わせを表3に示す。

2.強度性能

試験体：JAS異等級対象構成集成材E75-F240、E65-F225、R3構成に相当するラミナ構成で製造した大断面集成材材について、打撃法によるヤング係数（E_p）を測定した後、曲げ試験を行った。結果は図2に一覧した。

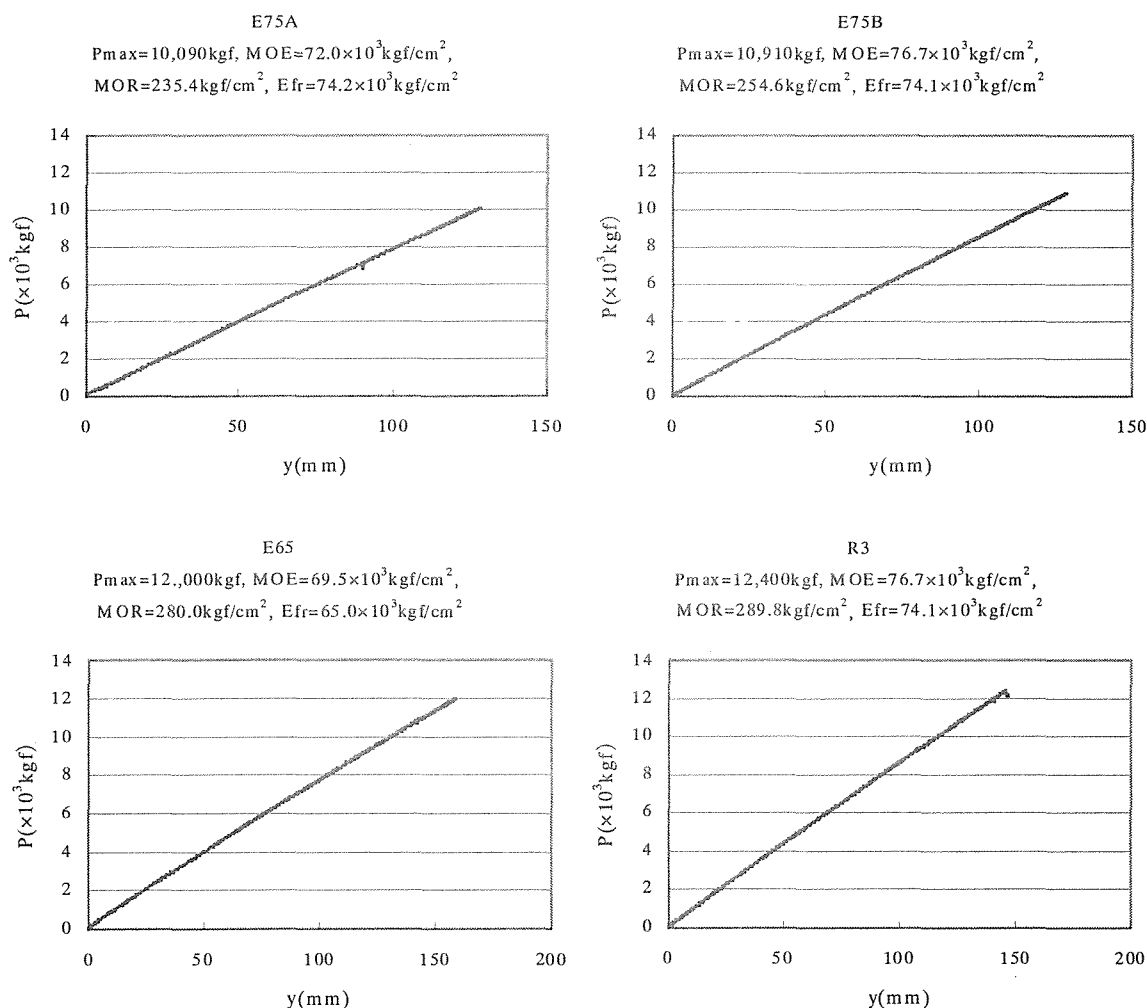


図 2.集成材の曲げ試験結果

3.九州ブロックのまとめ

製造上の問題点として、フィンガージョイントにおいて、ヤング係数の小さいラミナで十分に嵌合しても、ヤング係数の大きなラミナで隙間がフィンガー底部に生じる場合があり、曲げ破壊がここに起因することがある。逆の場合は、ヤング係数の小さなラミナに割れが生じる場合がある。このことからエンドプレッシャー圧の調整が難しいことが挙げられる。また、積層接着の終わった集成材を仕上げる場合、最外層が仕上げ切削のため約3mm削除され、この厚さが減じた分だけ等価断面としてシミュレーションしたヤング係数よりもヤング係数は小さくなることも問題点として挙げられる。九州産スギ中目材は樹齢が40～50年生で、肥大成長が大きく、広い年輪幅を有し、丸太のヤング係数は $61.2 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ と小さい。このため大断面集成材を製造するには、ヤング係数の大きい樹齢70年生以上の丸太を用いていた。

今回丸太をグレーディングした結果、ヤング係数の小さい $40 \sim 50 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ の丸太の出現割合が約20%であったが、一方 $70 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 以上の丸太は約30%出現している。この $70 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 以上の丸太を用いれば、樹齢70年生以上の丸太にのみ依存しなくても、樹齢40～50年生の九州産中目材からも大断面集成材製造の可能性がある。中目材から製材した592枚のラミナの曲げヤング係数の度数分布は、 $90 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 以上が9.0%、 $80 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 以上が24.2%であり、強度を必要とする最外層及び外層用ラミナは中目材からも入手できる。今回の実験でも、E75-F240の大断面集成材が製造可能であった。従って丸太をグレーディングし、ヤング係数の大きな丸太を集めることによって、九州産中目材からもE75-F240の強度性能を有する大断面集成材が充分製造可能である。