

# 技術開発推進事業報告書

(製材の力学的性質に関する資料の翻訳)

平成 10 年 3 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



# 目 次

前言	1
1 無欠点材の性質	2
1. 1 緒言	2
1. 2 小さな無欠点材のデータ	2
1. 3 グレーディングルール及び許容応力	2
1. 4 無欠点材の性質の評価	3
2 製材の構造的性質	9
2. 1 緒言	9
2. 2 イングレード試験による設計性能	10
2. 3 イングレード試験及び性能評価基準	10
2. 4 イングレード試験の意義	11
3 CWCの製材の性質に関するプロジェクト	12
3. 1 緒言	12
3. 2 サンプルング	12
3. 3 試験方法	16
3. 4 統計分析の方法	22
3. 5 機械的性質の要約	22
3. 6 性質に及ぼす樹種、グレード、及び幅の影響	37
4 機械応力格付け製材	51
4. 1 緒言	51
4. 2 製品規格—SPS 2	51
4. 3 MSR製材の性質	54
4. 4 構造的性質の要約	57
4. 5 討議	77
4. 6 要約	79
5 荷重速度	80
5. 1 緒言	80
5. 2 無欠点の材料	80
5. 3 構造用サイズのメンバー	81
5. 4 討議	90
6 サイズの影響	92
6. 1 緒言	92
6. 2 最弱点リンク理論	93
6. 3 フルサイズの製材のサイズの影響	94
6. 4 曲げにおけるサイズの影響	98
6. 5 引っ張りにおけるサイズの影響	101
6. 6 圧縮におけるサイズの影響	103
6. 7 討議	104
6. 8 引っ張り曲げの相関関係	107
6. 9 サイズの係数の国際的な調整	109
6. 10 結論	110

7	グレードの関係	1 1 1
7. 1	緒言	1 1 1
7. 2	データの作製	1 1 1
6. 3	理論	1 1 1
7. 4	結果	1 1 3
7. 5	MOEの回帰	1 2 8
7. 6	強度とグレードの影響についての試験	1 3 4
7. 7	討議	1 3 7
8	製材の性質の相関関係	1 4 1
8. 1	緒言	1 4 1
8. 2	性質の調整	1 4 1
8. 3	性質のモデル	1 4 2
8. 4	曲げ強度に基づく関係	1 4 4
8. 5	引っ張り強度に基づく関係	1 5 1
8. 6	圧縮強度に基づく関係	1 5 6
8. 7	MOR、UCS及びUTSの予測	1 5 8
8. 8	MOEに基づいた関係	1 5 9
8. 9	討議	1 6 9
9	含水率の影響	1 7 0
9. 1	緒言	1 7 0
9. 2	性質調整のモデル	1 7 1
9. 3	データ	1 7 2
9. 4	含水率の交差	1 7 3
9. 5	破壊係数 (MOR) 及びモーメントキャパシティーのモデル	1 7 4
9. 6	圧縮と圧縮キャパシティーのモデル	1 7 9
9. 7	引っ張り及び引っ張りキャパシティーのモデル	1 8 6
9. 8	モデルの適用	1 8 6
9. 9	討議	1 8 9
9. 10	モデルについての限界	1 9 0
9. 11	使用条件の係数	1 9 2
9. 12	イングレード試験データについての含水率の記述的な統計	1 9 4
9. 13	結論	1 9 6
10	試験方法	1 9 7
10. 1	緒言	1 9 7
10. 2	スパンと深さの比の影響	2 0 0
10. 3	結論	2 0 7
11	カナダ規格における設計値	2 0 8
11. 1	緒言	2 0 8
11. 2	カナダの建築コード及び規格	2 0 8
11. 3	目視格付けのデイメンジョンランバーの設計値	2 1 1
11. 4	他の製材製品についての設計値	2 2 2
11. 5	最終用途についての考察	2 2 5
11. 6	将来の展開	2 2 6
12	アメリカ規格における設計値	2 2 7
12. 1	緒言	2 2 7
12. 2	アメリカの建築コード及び規格	2 2 7
12. 3	目視格付けのデイメンジョンランバーの設計値	2 3 0
12. 4	他の製材製品についての設計値	2 3 8
12. 5	将来の展開	2 3 9



カナダ産製材の性質

(CANADIAN LUMBER PROPERTIES)

By  
J. D. Barrett  
W. Lau

CANADIAN WOOD COUNCIL



## カナダ産製材の性質

J. D. Baett

W. Lau

---

### 前 言

カナダは大量かつ多様な天然資源に恵まれており、カナダの森林から生産される木材はカナダ人及び世界の人々の需要に応ずる様々な製品に加工されている。

カナダは世界最大の針葉樹製材製品の輸出国である。これらの製品の主要な用途の1つは住宅、産業用及び商業用の建物での用途である。構造における木材の効率的な利用には、精緻な設計手続きの開発のための材料の性質に関する正確な情報を必要とする。

この報告はエンジニア、建築家、科学者、及び基準作成者に対して、カナダの製材工場から採取した製品のフルサイズの試験（"in-grade test"）での構造的性質についての情報源を提供するものである。技術的資料の大部分は、CWCの製材性質研究プロジェクト及びFCC（Forintek Canada Corp.）その他が行なった協力研究によるものである。

報告はブリティッシュコロンビア大学とカナダ木材評議会の共同事業で、研究プロジェクトとフォリントックが行なった共同研究の成果を組織的に評価しそれを顕示しようとするものである。

実大試験のプロジェクトは1970年代の終わりに、BC大学でマドセン教授が行なった構造特性に関する研究を拡大するために始められたものである。

カナダ製材業界はCWCを通じて1980年代の初期に、目視格付け及び機械応力格付けについて研究プロジェクトを依頼した。CWCプロジェクトはアメリカ・カナダの実大試験についての共同計画の一部となっている。

CWCプロジェクトの実大試験の結果は、カナダの木材工学設計コード（CAN/CSA-086.1）の設計性能を求めるのに使われている。CAN/CSA-086.1における特定の強度の開発に使われた原則と分析方法は、R. フォシーとF. ヤオの報告（Reliability-Based Design of Wood Structures信頼度ベースの木材構造設計）に報告されている。

この報告の主な目的は、CWCプロジェクトでのデータを組織的に示すことで、研究結果の背景、試験方法、データの統計的要約に興味のある製材の性質についての情報を提供している。

この報告は、サンプリングの討議、試験及び分析方法、目視格付けしたデイレメンジョンランバーの曲げ、引張り、圧縮及び弾性係数の資料、サイズの効果の分析、性能関連、実大試験での含水率及び荷重速度の影響、及び機械格付け製材の引張り及び曲げ性能の評価について報告している。

## 1 無欠点材の性質

### 1. 1 緒言

無欠点材の試験は、木理通直で欠点のない小さな試験片による試験である。無欠点材でのアプローチは、木材の強度は小さな無欠点の木材の強度と比例しており、それにサイズ、グレード、含水率、及び安全度の係数を乗ずることによって調整が可能であるという仮定に基づいている。この理論はこれらの色々な要因が製材の性質に及ぼす影響は独立的で一定であることを想定しており、たとえば、グレード品質の影響はすべての樹種について同じ程度であるという想定である。

このアプローチの利点はデータが経済的なベースで世界的に集めることが可能であるということである。一度データが集められれば、設定された設計値に適切な係数を適用することによって製材の性質を引き出すことができる。

### 1. 2 小さな無欠点材のデータ

1940年から1970年の間に、製材の性質を決定するための小さな無欠点材での試験データのアプローチは、カナダ、アメリカその他世界各地で広く行なわれた。カナダでは商業的に重要な樹種についての大規模な総合的な試験計画が進められた。小試験片での初期のカナダでの試験は、ASTM規格のための信頼すべき性質の資料を得るためのサンプリングを確保するために、木材の密度の調査を使って1960年代の終わりまで拡大した。

製材、合板、集成材その他の素材製品の許容応力を求めるのに必要な小試験片のデータ及びそれに関連する資料は、ASTM規格D2555（無欠点材の強度の値の決定方法）に集められている。ASTM D2555の小試験片のデータはASTM規格245（目視格付け製材の構造グレード決定の標準方法）に使われて、個々の樹種または樹種グループの設計的性質が求められている。これらの手続きによって、針葉樹または広葉樹の樹種の製材は、小試験片での性質のデータが得られれば、構造用の目的で格付けあるいは市販することができる。

### 1. 3 グレーディングルール及び許容応力

ASTM規格D245は構造用製材の目視グレード及び許容設計応力を求めるための基本原則を提供するものである。ASTM D245にはどの希望する強度割合でも構造グレードを設定する手続きを含んでいる。強度割合は節、逆目、穴その他の強度を減少する欠点についてのアロウアンスを行なった後に残る無欠点部材の強度の割合である。

カナダ製材についてのNLGAグレーディングルールはNLGAから公表されているが、ASTM D245の強度比の考え方を使ったものである。このグレーディングルールは樹種に係わらずグレードを決定する特性の最大サイズを北米グレーディングルールに基

づいて決めている。一定のサイズ及び位置の節など強度を落とす特性はどの樹種でも同じ程度に強度に影響するという仮定に基づいている。

すべてのグレードとサイズの製材の許容設計応力は小さな無欠点材のデータから求めたものである。カナダでは、林産研究所（当時は政府機関であった）がASTM D143（木材の小試験片による標準試験方法）によってカナダ産材の小試験片によるデータを開発していた。

ASTM D245では、“許容応力は樹種グループの材及び応力グレードの応力の95%以下の応力を意図している”、と述べており、言い換えれば、許容応力は5%除外限度の考え方に基づいたものである。

小試験片の強度的性質を商業的な製材の許容性能に調整する調整係数には、乾燥の要因、サイズの要因（曲げのみ）、及び安全係数と荷重の持続という要因が含まれている。

製材の許容応力は次のように計算される：

$$P_{allow} = P_{0.05, clear} \times K_{size} \times K_{seasoning} \times K_{grade} \times K_{safety}$$

乾燥の要因 $K_{seasoning}$ は生材の値を平均含水率15%の最終使用条件に調整するものであり、サイズの要因 $K_{size}$ は曲げ強度が材の深さが増すと減少するので、深さによって曲げ強度を調整するものである。グレードの要因 $K_{grade}$ はグレードルールに許された強度減少特性に応じて無欠点材の強度から差し引くのに適用される。安全及び荷重の持続に対する要因 $K_{safety}$ は短期的な強度的性質を正常な荷重期間の条件に対応するように調整する係数である。正常な荷重持続期間は構造設計のフル荷重連続10年に相当するものとして報告されている。

#### 1.4 無欠点材の性質の評価

何人かのカナダの研究者達は、個々のグレード、サイズ、及び樹種の構造的性質の検討を始めており、許容応力をフルサイズの試験データから求めた性質と比較している。これらの構造メンバーについてのフルサイズの試験は一般にはASTM D198（構造サイズの木材の静的試験の標準方法）に従って行なわれている。

Littleford（1967）及びMcGowan（1968, 1971）はASTM D198の方法に従って、38mm x 140mmのダラスファーの引っ張り強度を評価している。彼等は機械格付け及び目視格付けのダグラスファー製材の規定された引っ張り強度は、曲げ強度に比して高すぎると結論している。Madsen（1976）はヘムファーのデイメンジョンランバーについてフルサイズの試験を行なって、No. 2グレードの許容応力はかなり増加し得ることを示唆している。McGowan, Rovner 及び Littleford はいくつかの樹種についての許容引っ張り応力はASTM D2915の方法では確認できないとしている。Littleford（1977）は曲げ試験でASTM D245で期待される以上にサイ

ズの影響が大きいという結果を報告している。

1960年代の終わりから1970年代の初期にかけての Littleford, McGowan Madsen 等の製材の強度的性能に関する研究は、小試験片の試験から得たカナダ材の許容応力を求めるのに使うサイズ、グレード、含水率及び荷重の持続についての調整係数の有効性について多くの疑問を抱かせるものである。証拠は不完全ではあるが、構造用製材の設計応力の設定には新しいアプローチが必要であることは明らかである。1970年代半ばまでには製材の設計応力は” in-grade testing” の考え方によるフルサイズの試験結果に基づくべきものであるという合意が出来た。

伝統的な無欠点材によるアプローチは長年にわたって製材産業及び使用者に寄与してきた。アプローチの不確実さは木構造システムにおける冗長性と保守性で改善された。しかしながら、木材設計の信頼度を向上し、木材資源の有効利用を促進する必要性は高まっている。このことが実大試験の実施を推進している。

Table 1.1  
Physical  
properties and  
bending  
strength –  
conifers  
(from Jessome,  
1977)

Species	Place of Growth of Material Tested	Sample Size		Moisture Condi- tion	Specific Gravity		
		No. of Loca- tions Sam- pled	No. of Trees Tested		Basic	Nominal	Oven-dry
					Volume Green Weight Oven- dry	Volume Air-dry Weight Oven- dry	Volume Oven-dry Weight Oven- dry
Douglas-Fir <i>Pseudotsuga menziesii</i>	B.C.	12	78	green air-dry	0.450 2169 11.4	0.487	0.510 438 12.3
Fir, Alpine <i>Abies lasiocarpa</i>	B.C.	11	11	green air-dry	0.331 385 10.9	0.351	– – –
Fir, Amabilis <i>Abies amabilis</i>	B.C.	4	26	green air-dry	0.360 843 10.6	0.389	0.412 156 11.4
Fir, Balsam <i>Abies balsamea</i>	Que. Man. Sask.	4	26	green air-dry	0.335 198 8.0	0.350	0.367 51 9.0
Hemlock, Western <i>Tsuga heterophylla</i>	B.C.	4	21	green air-dry	0.409 422 9.4	0.429	0.470 120 10.9
Pine, Jack <i>Pinus banksiana</i>	N.B. Ont. Man. Sask.	4	25	green air-dry	0.421 309 8.8	0.444	0.454 84 9.6
Pine, Lodgepole <i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i>	B.C. Alta.	2	13	green air-dry	0.403 139 8.8	0.412	0.455 65 7.8
Spruce, Black <i>Picea mariana</i>	N.B. Que. Man.	6	32	green air-dry	0.406 216 9.4	0.428	0.445 66 9.3
Spruce, Engelmann <i>Picea engelmannii</i>	B.C.	2	11	green air-dry	0.375 181 8.6	0.395	0.425 66 9.6
Spruce, Red <i>Picea rubens</i>	N.S. N.B.	2	13	green air-dry	0.380 106 6.3	0.401	0.425 33 6.9
Spruce, White <i>Picea glauca</i>	N.B. Que. Man. Sask. Alta.	7	43	green air-dry	0.354 510 10.2	0.372	0.393 125 11.8

Four statistics are included for most properties. On the first line of the box is the species mean in the unseasoned condition. On the middle line to the left is the number of tests, and to the right is the coefficient of variation. On the bottom line is the species mean for air-dry material, adjusted to a moisture content of 12 percent.

Table 1.1  
continued

Species	Shrinkage			Static Bending		
	Green to Oven-dry Green to Air-dry Based on Dimensions when Green (percent)			Stress at Proportional Limit (MPa)	Modulus of Rupture (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)
	Radial	Tan- gential	Volu- metric			
Douglas-Fir	4.8	7.4	11.9	29.8	52.0	11100
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	—	—	7.0	1057 18.8 53.4	1057 13.8 88.6	1057 17.7 13500
Fir, Alpine	—	—	—	—	35.6	8690
<i>Abies lasiocarpa</i>	—	—	—	—	123 12.7 55.2	124 14.5 10300
Fir, Amabilis	4.2	8.9	12.5	20.6	37.8	9310
<i>Abies amabilis</i>	—	—	7.5	433 19.3 40.1	433 12.8 68.9	433 15.9 11400
Fir, Balsam	2.7	7.5	10.7	19.3	36.5	7790
<i>Abies balsamea</i>	1.2	4.3	5.7	52 14.0 30.5	52 10.6 58.3	52 14.3 9650
Hemlock, Western	5.4	8.5	13.0	28.3	48.0	10200
<i>Tsuga heterophylla</i>	—	—	8.1	204 17.9 53.8	204 12.1 81.1	204 13.4 12300
Pine, Jack	4.0	5.9	9.6	23.8	43.5	8070
<i>Pinus banksiana</i>	2.1	3.8	5.7	69 16.7 48.8	69 11.3 77.9	69 19.8 10200
Pine, Lodgepole	4.7	6.8	11.4	20.5	39.0	8760
<i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i>	—	—	6.6	78 20.1 48.6	78 10.9 76.0	78 14.3 10900
Spruce, Black	3.8	7.5	11.1	21.3	40.5	9100
<i>Picea mariana</i>	1.7	4.0	6.5	44 14.7 44.6	44 13.3 78.3	44 22.3 10400
Spruce, Engelmann	4.2	8.2	11.6	21.2	39.0	8620
<i>Picea engelmannii</i>	—	—	6.8	93 19.2 44.3	93 11.1 69.5	93 14.8 10700
Spruce, Red	4.0	7.9	11.7	20.7	40.5	9100
<i>Picea rubens</i>	—	—	6.2	39 12.2 46.5	39 8.4 71.5	39 10.0 11000
Spruce, White	3.2	6.9	11.3	19.2	35.2	7930
<i>Picea glauca</i>	1.4*	4.0*	6.8	191 15.0 36.7	191 12.5 62.7	191 18.6 9930

Four statistics are included for most properties. On the first line of the box is the species mean in the unseasoned condition. On the middle line to the left is the number of tests, and to the right is the coefficient of variation. On the bottom line is the species mean for air-dry material, adjusted to a moisture content of 12 percent.

\* Two locations only



Table 1.1  
continued

Species	Compression Parallel to Grain		Compression Perpendicular to Grain		Shear Parallel to Grain		Tension Perpendicular to Grain	
	Stress at Proportional Limit (MPa)	Maximum Crushing Stress (MPa)	Stress at Proportional Limit (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Stress at Proportional Limit (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Stress at Proportional Limit (MPa)	Maximum Stress (MPa)
Douglas-Fir	19.4	24.9	3.17	6.36	2.81			
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	700 24.7	2158 17.3	860 30.9	441 14.0	436 24.2			
	34.1	50.1	6.01	9.53	3.06			
Fir, Alpine	—	17.2	1.79	4.74	—			
<i>Abies lasiocarpa</i>	— —	127 13.8	135 23.0	133 15.5	— —			
	—	35.4	3.61	6.74	—			
Fir, Amabilis	14.8	19.1	1.61	4.92	1.89			
<i>Abies amabilis</i>	263 22.3	843 14.5	378 30.3	156 14.0	155 31.2			
	28.6	40.8	3.61	7.54	3.06			
Fir, Balsam	11.7	16.8	1.68	4.68	2.02			
<i>Abies balsamea</i>	92 23.8	207 11.9	96 21.9	146 13.6	127 28.2			
	22.9	34.3	3.14	6.25	2.08			
Hemlock, Western	20.5	24.7	2.57	5.18	2.69			
<i>Tsuga heterophylla</i>	125 17.2	425 14.1	129 27.9	123 14.5	118 20.4			
	36.5	46.7	4.53	6.48	2.93			
Pine, Jack	13.9	20.3	2.31	5.67	2.44			
<i>Pinus banksiana</i>	103 26.7	318 15.9	149 28.5	185 13.3	167 18.6			
	23.8	40.5	5.70	8.23	3.65			
Pine, Lodgepole	15.3	19.7	1.90	4.99	2.29			
<i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i>	55 18.9	139 15.3	55 23.6	76 14.0	76 14.2			
	30.7	43.2	3.65	8.54	3.78			
Spruce, Black	12.7	19.0	2.07	5.49	2.34			
<i>Picea mariana</i>	104 26.4	223 14.9	109 25.4	148 10.8	142 23.1			
	30.3	41.5	4.25	8.65	3.43			
Spruce, Engelmann / <i>Picea engelmannii</i>	15.1	19.4	1.85	4.84	2.18			
	56 23.7	182 11.3	58 16.3	66 10.1	66 21.3			
	30.5	42.4	3.70	7.55	2.72			
Spruce, Red	13.4	19.4	1.88	5.56	2.41			
<i>Picea rubens</i>	60 18.3	111 9.9	38 22.1	70 11.1	70 19.8			
	23.4	38.5	3.77	9.20	3.70			
Spruce, White	12.5	17.0	1.69	4.62	2.12			
<i>Picea glauca</i>	246 21.8	670 15.2	341 23.1	307 12.1	307 22.6			
	25.6	36.9	3.45	6.79	3.28			

Four statistics are included for most properties. On the first line of the box is the species mean in the unseasoned condition. On the middle line to the left is the number of tests, and to the right is the coefficient of variation. On the bottom line is the species mean for air-dry material, adjusted to a moisture content of 12 percent.

Table 1.2  
 Adjustment  
 factors for  
 deriving  
 allowable  
 properties for  
 clear straight-  
 grained  
 members  
 (ASTM D245)

Property	Adjustment		
	Size	Seasoning	Safety and Duration of Load
Bending	$(2/d)^{1/9}$	1.25	1/2.1
Tension		1.25	1/2.1
Compression Parallel		1.50	1/1.9
Modulus of Elasticity*		1.14	--

\* MOE also adjusted for shear deflection by a ratio of 1/0.94.

## 2 製材の構造的性質

### 2.1 緒言

製材の構造的性質は構造用として製材を効率的に使用するために必要である。製材の構造的性質を設定することは木材自体の不均一性から複雑である；節などの特性の構造的性質に及ぼす影響；考慮すべき性質の多様性；構造に使われる樹種、グレード、サイズの数が多いことなどがある。

木材の機械的性質に関する以前の論文は、構造サイズの木材メンバーの様相についての関心を反映している。Booth（1964）は、18世紀の終わりまでは強度的性質はメンバーのサイズと荷重の持続期間によって変わると認識されていたことを報告している。Buffon（1941）は小さい試験片ではジョイスト（根太）の強度についての信頼すべきガイドにならないと報告している。

木材構造部材の様相を理解することについての関心は20世紀の初期にアメリカにおいて急速に高まった。Cline 及び Heim（1912）はアメリカで使っている構造部材についての初期の研究を発表した。重量ビーム及び横梁材、軽量ジョイスト及び無欠点小試験片の試験結果は、構造的性質を決定するのに欠点のサイズと位置を考慮した構造材の樹種に無関係なグレーディングルールを開発する背景を提供するものであった。

構造用製材の標準グレーディングルールの開発は1920年代に共通のグレードの必要性に答えて始まり、アメリカで全米格付け検査システムができた。サイズとグレードの標準化の過程は1970年にその頂点に達しデイメンジョンランバーの標準規格(National Grading Rule for Dimension Lumber)が採用され、これは今日でも生きている。このルールによって構造用製材は樹種に関係なく標準化されたサイズとグレードのものが製造されている。

構造用製材の全国規格の採用及びASTM規格D2915（構造用製材の各グレードの許容応力の評価の標準方法）の公表は、フルサイズ試験を使っての構造的性質の評価への関心を更新したものである。グレーディングルールの標準化によって、フルサイズ試験を使っての色々な樹種、グレード、サイズのもの構造性能を試験し比較することが可能になった。

ASTM D2915はフルサイズ試験から許容応力を設定するための統計的な枠組みを提供するものである。ASTM D2915を使ってのフルサイズ試験から許容応力を求めることで、初期のASTMの手法を使った小試験片から求めた許容応力との比較が可能になった。これらの直接の比較で、設計性能決定のための小試験片のアプローチはフルサイズの構造用製材の値と一致した値を提供するものではないことが解った。この認識及び製材の安全かつ経済的な利用確保の必要性が、実大試験の考え方を根拠とした設計性能の開発とその結果としての実施に導いた。

## 2. 2 イングレード試験による設計性能

カナダにおけるイングレード試験の考え方は Borg Madsen 教授等の開発的事業から始まった。彼等は構造用材の設計性能の開発には新しいアプローチが必要であるという認識に立ったのである。Madsen教授の著書、木材の構造性能、はカナダ材の構造性能についての研究についての彼のイングレード試験の哲学とその結果について記載している。

イングレード試験の哲学の原則的な長は最終使用条件に出来るだけ近い条件での製品の様相を反映した構造的データを開発することであった。従って、イングレード試験には通常次のようなことが含まれる：（１）業界によって製造されたサイズ、グレード及び樹種の材のサンプリング及び試験、（２）最終用途での荷重条件と同様な試験方法、（３）製造過程における様々な変異に対応する大型のサンプルについての急速な試験、及び（４）すべての重要な構造的性質を直接試験すること。

Madsen 教授の元々の考え方は、ポータブルな試験設備を使って材料を工場で証明試験することであった。工場の試験は各グレード、サイズ及び樹種のサンプルが大量に採取でき、現場で試験が出来るというメリットがある。一部の証明荷重の条件では、傷つけられない材料を工場の在庫に戻すことも出来る。

工場の試験には2つの主な制約があることが解った。それは、（１）材料が容易には標準の含水率に調整することが出来ない、（２）ポータブルな試験設備は十分な精度と信頼性を確保するには注意深く設計されていなければならないこと、であった。

工場ベースの試験の制約は試験を実験室で行なうことによって克服できる。実験室ベースの試験では試験コストを削減し得るが、これらのコストは通常実験室の装置を使つての規制された条件のもとでのコンデイショニングと試験のコストと比べれば比較的小さい。

この報告に記載されているすべての結果は実験室ベースの試験プログラムから得られたものである。

## 2. 3 イングレード試験及び性能評価基準

新しいASTM規格がイングレード試験及びフルサイズの試験から設計応力を求める標準化のベースを提供するために作成された。

ASTM D4761（製材及び木質構造材料の機械的性質の標準試験方法）は北米のイングレード計画との関連で開発された。これはASTM D198の標準試験よりも弾力的なもので、D4761では製造されたばかりのサンプル及びコンデイショニングしたサンプルの試験、より早い荷重速度、及び大量のサンプルについての現場及び実験室での試験により適した変異測定方法を許容している。曲げ試験片の引っ張り側は任意に選択される。

許容応力はASTM D2915あるいはASTM D1990（フルサイズのイングレード試験による目視グレードのデイメンジョンランバーの許容応力の設定についての標準方法）のいずれかで求めることが出来る。D2915はシングルサイズ/グレードの試

験データについて許容応力を求める方法で、新しいD1990はD2915の考え方を拡大して、複数の試験セットからのデータを使って、試験したもの及び試験していないサイズとグレードの許容性能を設定できるようにしたものである。D1990は樹種及び樹種グループ、並びに新しい樹種グループのための許容性能を計算できるような手続きを定めたものである。

カナダ木材評議会の木材性能研究計画は、ASTM D4761-88に定められた試験方法に従って企画されたものである。アメリカで使われるカナダ産樹種の許容応力はASTM D1990-91の要求に従って設定されている。

この報告の残りの章はCWCの製材性質研究プロジェクト及びカナダ製材の含水率及び荷重への調整に関する協力研究によって求められた構造性能に関する情報を記載したものである。

#### 2.4 イングレード試験の意義

イングレード試験の主要な利点は製材に設計値を規定する精度を改善したことである。結果としてのデータは、信頼度ベースの規格と進歩したシステム技術を使っての特性強度の決定に有用である。イングレード試験は製材の構造的データ作成の標準的な方法となっている。

この知識の改善に伴うコストがある。イングレード試験は無欠点材の試験よりも経費がかかる。財貨の勝れた代表を得るためには幅広くサンプリングする必要がある。イングレード試験の方法は、小試験片の試験では気にならなかった含水率など最終使用条件への調整についての疑問も生じさせている。

上昇するコスト及び最終使用での意義からして、イングレードのデータを仔細に検討し、結果及び結論をの一般的な適用性を検討する場合にはできるだけ既存のデータを活用することが必要である。

## 3 CWCの製材の性質に関するプロジェクト

### 3.1 緒言

CWCの製材の性質に関するプロジェクトはアメリカのグレーディングルール作製当局及びアメリカ林産研究所との共同で行なわれた。北米イングレード技術委員会が結成されて、カナダ及びアメリカでの研究結果による設計、実施及びデータの解釈についての意見を交換するフォーラムが形成された。技術委員会は、カナダ及びアメリカで生産される主な商業樹種グループの強度的性能に関するサンプリング、試験及びデータ収集のための共通のアプローチについて討議し、合意した。

CWCの製材性質研究プロジェクトは1983年に始まった。このプロジェクトは作用応力及び信頼度ベースの設計基準に使う設計性能開発のための短期の強度及び剛性のデータを提供する目的で設計された。Limit States Design の考え方が1984年にカナダ木材工学設計コード(CAN3/CSA-084.1-M84)として改訂された。1984年の改訂にはNLGAのために1977年から1980年にかけて行なわれたフルサイズのイングレード試験によるデイメンジョンランバーの設計性能が含まれている。これらの研究は証明荷重試験を使つての平均弾性係数及び5%曲げ及び引っ張り強度性能を提供している。CWCプロジェクトはNLGAの研究を拡大して、単一部材及び構造システムの性能評価に必要な完全分布データ、強度性能及び曲げ弾性係数(MOE)のデータを提供するように設計された。

カナダ木材工学設計コードの設計性能設定の根拠となったフルサイズのイングレード試験の採用につながったNLGAの初期の研究結果は、Madsen(1992)が要約を発表している。

この報告はその後のCWCの製材性質研究プロジェクトの結果を示し、評価することに重点を置くことになる。

### 3.2 サンプリング

#### 背景

CWCの計画に使つたサンプリングの戦略が、イングレード試験についての以前の経験及びアメリカの林産研究所並びにアメリカの主な製材規格機関が使つた手続きを考慮して作製された。CWCプロジェクトは3種のカナダの主要な商業樹種グループ及び残りのマイナー樹種の強度及び剛性の分布についての資料を提供する意図であつた。

主要な樹種グループは3つの性質、曲げ、引っ張り、圧縮についてのサンプルを幅広く採取した。その結果、マイナーの樹種は”北方樹種(Northern Species)”としてグループ化された。この報告は3つの主要な樹種グループについて得られた結果の分析及び要点を報告しているものである。

## プロジェクトの計画範囲

CWCプロジェクトはカナダ製材業界が生産している38mm厚さのデイメンジョンランバーの構造性能を設定しようとするものである。デイメンジョンランバーはNLGA規格によって生産され格付けされた製材である。3つの主要な樹種グループは、ダグラスファー・ラーチ、ヘムファー、及びスプルース・パイン・ファー（SPF）で、それらについてサンプリングした。便宜上この報告ではグループを、D. Fir-L, Hem-Fir 及びS-P-F としている。

各樹種グループには一緒に成育し、収穫され、加工され、市販されるいくつかの樹種が含まれている。

各樹種グループで厚さ38mmで、幅が89mm（2x4）、184mm（2x8）及び235mm（2x10）の3種のもが採取された。グレードはセレクト、No1及びNo2の3種である。各樹種、サイズ、グレード、及び性質の組合せを”cell(細胞)”と呼ぶことにした。特定の性質についての目標のサンプルサイズは、セレクト、No2及びNo1アンドベター（1+Btr）の組み合わせについて360個である。スタッドのグレード及びNo3については曲げ試験についてのみ試験片を採取した。

各樹種グループについて、3種のグレード、3種のサイズ、3種の性質で構成されている27個のセルができた。3つの追加のセルは、No3について2x4、2x8、2x10の120個のサンプルを目標とした。S-P-Fについては2x8、No2グレードの補助サンプル500個を採取した。

## サンプリングの考え方

サンプリングの計画は考慮すべきサイズ、グレード及び樹種のカナダ産材の代表的な材料性能のデータを集めるように設計した。サンプリングは各樹種グループについて成育地域全体にわたるようにした。成育地域は商業樹種グループで区分し、その中を地形的特性、気象条件、樹種の成育パターンによって更に細分した。

各サンプリング区域での材片の数は地域の総生産量の割合で決めた。地域内で選んだ工場は地域を代表するのに必要な材の数によって決めた。製材工場はNLGAが用意した生産工場のリストから任意に選んだ。各工場は各セルの材料を供給した。製材は最低10個の単位（ロット）であった。特定の工場からの特定のセルについて2ロットを最大限とした。

ある場合にはサンプリングの計画は工場の生産内容及び資源の制約から修正した。たとえば、ある工場ですべての幅の材を得ることは出来ず、その場合には他の近隣の工場から供給を受けた。すべての場合において、各格付け機関は、その地域でその機関がグレードスタンプを押した生産量の割合に応じて材料を提供した。

Table 3.1 Canadian major commercial species groups	Commercial Designation	Grade Stamp Identification	Individual Species Within the Group
	Douglas Fir-Larch (North)	D. Fir-L(N)	Douglas Fir Western Larch
	Hem-Fir (North)	Hem-Fir(N)	Western Hemlock Amabilis Fir
	Spruce-Pine-Fir	Spruce-Pine-Fir or S-P-F	White Spruce Engelmann Spruce Black Spruce Red Spruce Lodgepole Pine Jack Pine Alpine Fir Balsam Fir

Table 3.2 Use categories, grades, and sizes sampled for Canadian lumber	Use Category (NLGA)*	Grades Sampled	Sizes Sampled (nominal)
	Structural Light Framing	Select Structural	2x4
		No. 1	2x4
		No. 2	2x4
		No. 3	2x4
	Structural Joists and Planks	Select Structural	2x8, 2x10
		No. 1	2x8, 2x10
		No. 2	2x8, 2x10
		No. 3	2x8, 2x10
	Light Framing	Construction, Standard, Utility	2x4
	Stud	Stud	2x4

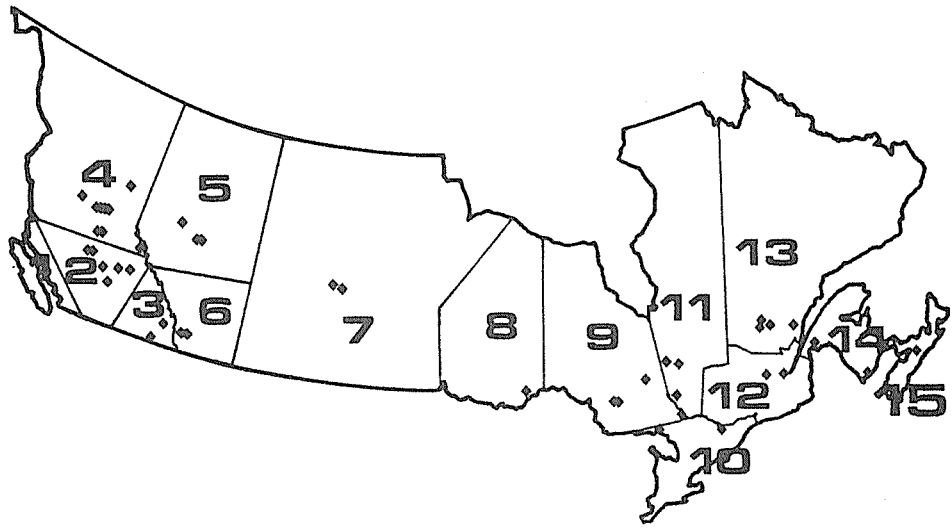
\* All materials sampled were graded in accordance with the NLGA Standard Grading Rules for Canadian Lumber

Table 3.3 Target sample sizes by grade, size, and property for each Canadian commercial species group	Use	Bending					Tension			Compression		
		Sel.Str.	1+BTR <sup>1</sup>	No. 2	No. 3	No. 2 <sup>5</sup> LF <sup>6</sup>	Sel.Str.	1+BTR	No. 2	Sel.Str.	1+BTR	No. 2
	2x4 <sup>2</sup>	360	360	360	120	120	360	360	360	360	360	360
	2x8 <sup>3</sup>	360	360	360	120	500	360	360	360	360	360	360
	2x10 <sup>4</sup>	360	360	360	120		360	360	360	360	360	360

- "No. 1 and better" includes Select Structural and No. 1 grades.
- For bending and compression tests, specimens were 8 ft long. For tension tests, specimens were 12 ft long.
- For bending and compression tests, specimens were 12 ft long. For tension tests, specimens were 16 ft long.
- For bending and compression tests, specimens were 14 ft long. For tension tests, specimens were 16 ft long.
- Augmented sample for Spruce-Pine-Fir only.
- Light Framing Grades.



Figure 3.1  
Sampling  
regions



### 工場内のサンプリングの考え方

各工場における製材のサンプリングはその工場にサービスを提供している格付け機関の責任である。工場内で製材を選択する方法は、地区検査員計画と協力のもとにNLGAの格付け検査員によって行なわれた。NLGAの検査員は地区検査機関を訪問してサンプリングの方法を再検討して適切に理解され運営されているかどうかを確かめた。地域格付け監督者は工場及び各工場で集めるべきサンプルのリストを確認した。

サンプリングの方法は、曲げ、引っ張り及び圧縮の試験に応じてセレクト、No1アンドベター、No2の特定のサンプルを考慮して示した。

基本的な手続きは次のとおりである：

1. 在庫の中からNo2アンドベターのパッケージ1個を選ぶ。
2. オアパッケージのなかのトップの列を除き、第2列の材から検討を始める。
3. 最初のNo2及びNo1アンドベターの材片10個を曲げ試験用として選び、No2及びNo1アンドベター(1+B t r)を別勘定とする。
4. 1+B t rのサンプルの中で構造用セレクトのグレードのものが10個に満たなかった場合は、追加して選んで10個とした。
5. 引っ張り試験片のロット(10個)について3から4の段階を繰り返して、圧縮試験片について繰り返した。
6. 必要に応じて10個の第2のロットについて1から5の段階を繰り返した。

各ロットの試験片の数は、その後の事故に備えて11個を増やした。これらの予備の試験片は10個の試験片のデータを揃えるのに必要であった場合を除いて分析には加えなかった。

### 3. 3 試験方法

#### 背景

CWCプロジェクトは目視格付けグレードのデイメンジョンランバーの機械的・物理的性質についてのデータをフルサイズの試験に基づいて開発しようとするカナダ及びアメリカの製材業界の主導によるプロジェクトの一部で、試験計画のアメリカの部分の多くは工場現場で行なわれた。これには試験手続きについて考慮が必要であった。

カナダ及びアメリカの経験は、実験室及び実験室以外の条件での製材の性質の評価には新しい試験基準が必要であることを示した。ASTM D198(構造サイズの木材の静的試験標準方法)は実験室での研究には最も適していた。試験片のコンデイショニング、試験装置の正確性、変形測定システム、及び試験速度は実験室の条件に適していた。実験室以外の試験システムはASTM D198の精度要求を満足できなかった。プロジェクトの要求に答えるには早い試験速度が必要で、試験片のコンデイショニングは必ずしも

易ではなかった。

A S T M D 4 7 6 1 - 8 8 (製材及び木質構造材料の機械的性質に関する標準試験方法)は大規模な製材プロジェクトにより適した試験方法を開発したものである。これらの方法は製材工場現場でのフィールド試験あるいは実験室ベースの研究に使用できる。D 1 9 8 と D 4 7 6 1 の主な相違は試験の速度、変形の測定、試験片のコンデイショニング、及びデータ報告の要求にある。試験方法はまた試験片に破壊に至るまでの荷重を要求していない。

C W C プロジェクトのもとでの試験は A S T M D 4 7 6 1 の要求に従って実験室で行なわれた。材料のコンデイショニング、試験片の作製、及び試験に使われた試験方法は次の節に記載しており、A S T M の方法に従っていない特殊な環境については、その方法を文書として記録した。

### 材料のコンデイショニング

すべての製材は試験前に含水率を 1 5 % に調整するためにバンクーバーの中央倉庫に運ばれた。生材条件での材料は緩慢なスケジュールで天然乾燥あるいは人工乾燥した。乾燥状態でサイジングしたがバンクーバー到着時点で 1 9 % 以上の含水率の材料は放置してコンデイショニングした。含水率の測定はすべて深さ 5 / 1 6 インチまで通るように調整したデルムホーストの抵抗含水率計を用いて行なった。

人工乾燥すべき材料は、7 6 時間スケジュールで最初の 2 4 時間は乾球温度 1 3 5 ° F 次の 2 4 時間は 1 4 5 ° F、最後の 2 8 時間は 1 5 0 ° F で乾燥した。湿球温度は 1 3 0 ° F にセットした。

目標の含水率のコンデイショニングしてから、材料はフォリンテックの西部研究室に送って物理的及び機械的性質について評価した。

### 非破壊測定

#### フラット方向の弾性係数

フラット方向の弾性係数は Cook-Boinder の S G - A F グーディングマシオンを使って、送り速度 1 5 m / m i n で測定した。この機械は 9 1 0 m m のスパンで中央集中荷重で特定の変形量を維持するに必要な力を測定するものである。データは 1 5 0 m m 間隔で平均 2 パスしてからその後の加工のために貯えた。長さに関連したデータの一貫性を保つために、材は先ずグレードスタンプの押してある端部から送った。

#### 物理的性質

物理的性質、含水率、比重、及び寸法は破壊試験の前に記録した。実際の断面寸法は出来るだけスパン中央に近い所で記録した。含水率は A S T M D 2 0 6 1 (木材の含水率

測定方法—方法B)に従って決定した。

#### 目視特性

各材料の目視グレードはプロジェクトの先任格付け監督者によって確認された。グレードを規制する欠点のタイプ、サイズ、及び位置は記録された。最大の強度を減少する欠点の位置とサイズを記録した。その他特定して記録した特性は機械応力格付け製材に決められたエッジの節の目視グレード、木口割れの長さ、春材の割合、及び成長の割合である。欠点の位置は材のスタンプのある端部からの位置で測定した。

#### エッジ曲げによる弾性係数

エッジ曲げによる弾性係数は曲げ試験の方法によって、曲げ、引っ張り、圧縮の試験片すべてについて測定した。試験片には6.9 MPaの応力がかけられ、弾性係数(MOE)は荷重及び2.8~6.9 MPaの応力範囲での変形に基づいて計算した。

#### 曲げ試験の方法

曲げ試験はASTM D4761の方法によって行なった。2つの完全自動の試験システムで、それぞれ荷重フレーム、MTSの閉鎖ループの水圧駆動のサーボ水圧システム、ロードセル及びコントロールエレクトロニクスのついたもので、データ記録システムの付いたものがこのプロジェクトでは使われた。

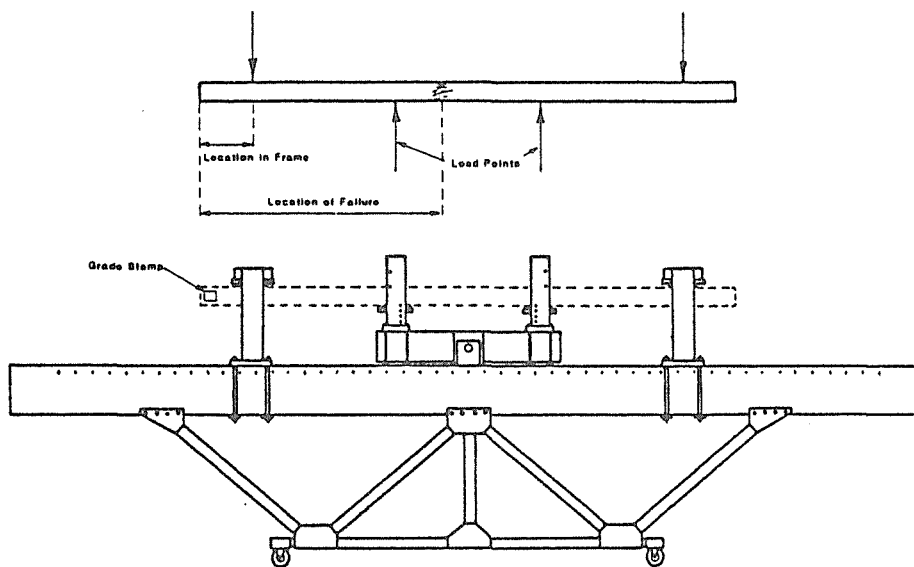
単純支持の曲げ試験片は3点荷重で試験された(図)。スパンの長さは材の標準乾燥深さの1.7倍であった。荷重点における横方向の支持はビームの座屈を防ぐようにした。荷重は長さ150mmのベアリングプレートを通じて第3点に加えた。荷重プレートの点での木理直角方向の破壊を最小限にするために、フラットなプレートが選ばれた。ベアリングプレートは4点のうちの3点で横にスライドするように設計した。

試験システムは固定したクロスヘッドの移動が122mm/minにコントロールするように設定した。曲げ破壊は概ね約1分の間で起こった。

ビームの第3点における歪みを水圧駆動のシャフトにつけた直線的に動く変換器(LVDT)を使って測定した。したがって、LVDTは試験フレームに対する荷重ヘッドの移動を測定しているので、LVDTの変異にはフレームの曲がり、試験片の変形、及び荷重点における木材の破壊が含まれる。

荷重及びLVDTの移動のデータは、各メンバーの見かけの弾性係数(MOE)及び破壊係数(MOR)を出すのに使った。

曲げ試験片の長さ方向の位置決めの方法は、最大の強度減少欠点がスパンの中で任意の位置にくるようにした。曲げ試験片の引っ張り側のエッジは試験フレームに対してグレードスタンプの位置と方向を標準化することによって任意に選んだ。



ポータブル実大曲げ試験機及び試験片の位置の側面図

曲げ試験片のスパン、剪断スパン、及びヘッドの移動速度

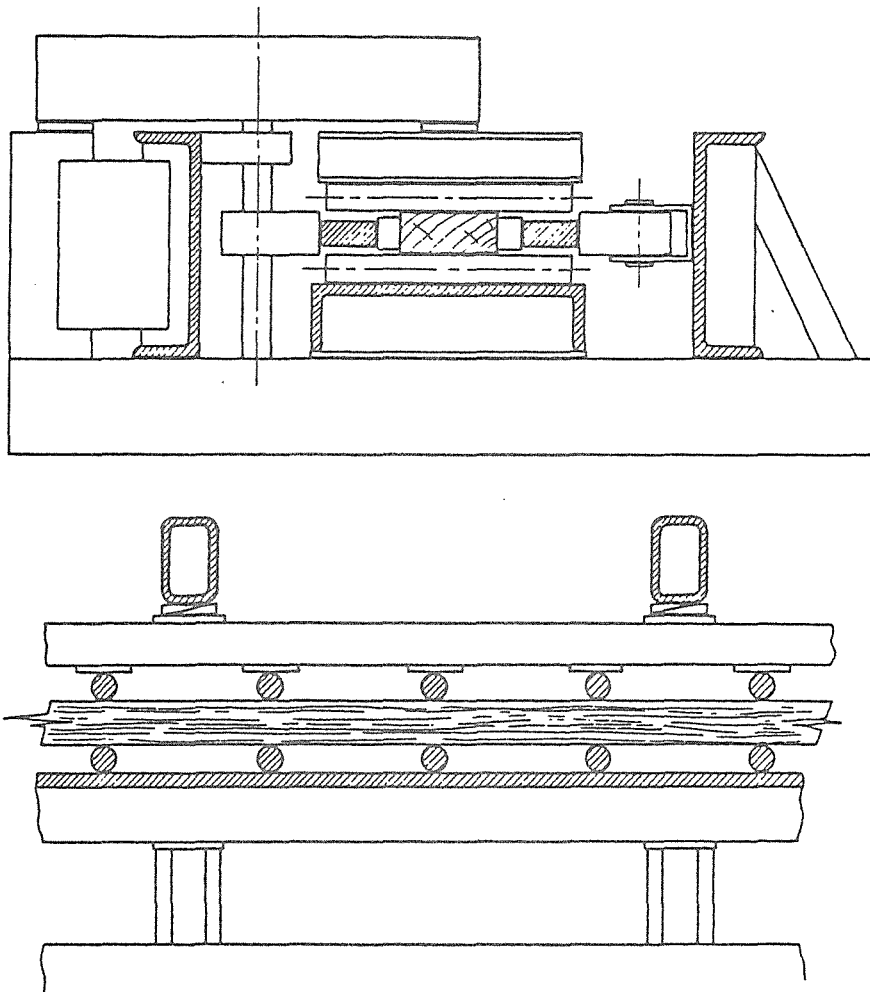
断面サイズ	スパン(mm)	剪断スパン(mm)	ヘッドの移動速度 (mm/min)
2x4	1511	504	122
2x8	3131	1043	122
2x10	3994	1331	122

### 圧縮試験の方法

木理平行方向の圧縮強度はASTM D4761の方法によって評価した。試験のシステムは図に示した。軸方向の荷重はMTS閉鎖ループ、コンピューター制御のデータ記録システムをつけたサーボ水圧試験システムによって加えた。荷重速度は平均歪みが0.01mm/mm/minになるようにした。

試験した長さ及び圧縮試験に使った駆動速度は表に示した。中間の横の支持は座屈が起らないようにした。ローラー支持は幅広面で450mm間隔、幅の狭い面で150mm間隔に取り付けた。

圧縮試験片は長さ全体について試験した。最終圧縮応力（UCS）は最大荷重を実際の断面積で割って決定した。圧縮破壊は概ね1分間で生じた。すべての圧縮試験片について曲げ試験の方法を使って曲げ弾性係数を決定した。



実大圧縮試験装置の平面図及び側面図

圧縮試験における試験スパンと荷重速度

断面のサイズ	スパン (mm)	歪みの割合 (mm/mm/min)	ストロークの割合 (mm/min)
2x4	2438	0.01	24.3
2x8	3658	0.01	36.6
2x10	4267	0.01	42.7

## 引っ張り試験の方法

引っ張り試験片は2つの水圧機械を使ってASTM D4761の方法にしたがって試験した。試験システムは荷重規制方式で操作し、軸方向の荷重を規定された速度で加えた。各機械はコンピューター制御のデータ記録装置に連結した。

引っ張り試験片の長さ及びゲージ長さは表に示した。2つの機械を使ったのでその間にゲージ長さに僅かな相違があった。荷重速度は断面積によって変わるがそれは表に示した。最終引っ張り応力(UTS)は最大引っ張り荷重を実際の断面積で割って求めた。引っ張り破壊は約1分間で発生した。

試験実施前に、前節に記載した曲げ試験の方法によって曲げ弾性係数(MOE)を決定した。

引っ張り試験の長さ、スパン、及び荷重速度 (試験機 1)

断面のサイズ	試験片の長さ (mm)	ゲージ長さ (mm)	荷重速度 (kN/min)
2x4	3658	2642	93.4
2x8	4877	3886	191.3

引っ張り試験の長さ、スパン、及び荷重速度 (試験機 2)

断面のサイズ	試験片の長さ (mm)	ゲージ長さ (mm)	荷重速度 (kN/min)
2x4	3658	2642	93.4
2x8	4877	3683	193.5
2x10	4877	3683	193.5

## 試験片についての測定

特性によって生ずる破壊についてはASTM D4761によって記録した。破壊断面の位置はグレードスタンプのある端部から測定した。節による破壊はASTM D4761の方法で測定記録した。比重はすべての圧縮試験片についてASTM D2395の方法Bによって測定した。比重はフル断面の長さ25mmのブロックを切り取り、絶乾重量法によって測定した。

### 3. 4 統計分析の手法

#### 緒言

この節はCWCプロジェクトで使った統計的手法を記述したもので、それによって点の推定、信頼度間隔、試験データの許容限度を計算したもので、4種の変数モデルを使ったものである。

この節は純粹に統計の考え方を記したもので、一般の読者は次の節に進んでも差支えない。（以下この節省略）

### 3. 5 構造的性質の要約

#### 機械的性質の誘導

デイメンジョンランバーの機械的性質を求める方法については前節に記述した。方法は出来るだけ偏向を避けるように設計した。たとえば、最大の強度減少欠点の位置は実際の材の使用条件にシミュレートするように任意に選択した。

弾性係数（MOE）は、予め定めた2つの荷重水準で最小自乗回帰線を荷重／歪みの曲線にフィットさせることによって決定した。MOEの値は剪断歪みを考慮せずに求めた。破壊係数（MOR）は荷重／歪み曲線の最大荷重を使って計算し、実際の寸法は試験時に決定した。

木理平行の引っ張り及び圧縮試験片については、最終引っ張り強度（UTS）及び最終圧縮強度（UCS）は最大荷重を試験片の実際の断面積で除して決定した。

#### データの調整

試験時の含水率と温度は試験片毎に異なる。これらの変異は記録しておいてデータに適正な補正を行なった。しかし、実験室の温度は結果に影響するほどの変化はないので補正は行なわなかった。

曲げ、引っ張り及び圧縮の試験片はすべて標準の含水率に調整したが、強度に影響することがあり得る僅かな含水率の変異はあったので、すべての強度の値は2期のリニアースーフフェイスモデル（LSM）を使って正確な含水率に調整した。含水率の調整に使った式はBarett等（1990）の別の研究結果によるものである。

弾性係数の値は機械の変形及び支持点における部分的な破壊について補正した。この補正式はBarettが実大試験で開発したものである：



$$\frac{1}{E_a} = \frac{1}{E_{test}} - 3.3747 \times 10^{-8} H$$

ここで、 $E_a$  = 機械の変異について補正したMOE, MPa

$E_{test}$  = 補正前のMOE, MPa

$K$  = メンバーの標準の乾燥深さ mm

この式はスパンと深さの比が17:1で3点荷重で試験した試験片に使った。 $E_{test}$ は荷重点で測定した変異を使って計算した。

MOEの値はまたASTM D2915の調整式を使って、スパン/深さの比が21:1の荷重ベースにも補正を行なった。

$$E_{a1} = \frac{1 + K_1 \left\{ \frac{h_1^2}{L_1} \right\} \left\{ \frac{E}{G} \right\}}{1 + K_2 \left\{ \frac{h_2^2}{L_2} \right\} \left\{ \frac{E}{G} \right\}} \cdot E_a$$

ここで、 $h_1, h_2$  = ビーム1及び2の深さ

$L_1, L_2$  = ビーム1及び2の支点の間の総スパン

$E$  = 剪断のない弾性係数

$G$  = 剛性係数

$E/G = 1.6$  (デイメンジョンランバーを想定)

$K_1$  = 荷重点で歪みを測定した第3点について1.080

$K_2$  = スパン中央で歪みを測定した等布荷重について0.960

### 表と図の要約

イングレード試験のデータの統計的な要約はいくつかの異なった方法で示した。累積的な確率プロットは、3種の樹種グループ(D. Fir-L, Hem-Fir, S-P-F)、3種のサイズ(2x4, 2x8, 2x10)、3種のグレード(セレクト、No1、No2)及び各機械的性質(MOR, UTS, UCS, MOE)について作製した。

非パラメーターモデル及びパラメーターモデルはこれらのデータに整合している。各分布タイプのパラメーターは付録に示した。

各分布形式はその応用性を持っている。加えて、それぞれの分布は異なった区域でデータがより良くフィットするので、データのどの部分がモデルにフィットさせるのに使われ

たかを知ることは重要である。異なった分布モデルでの試験データのプロットは3.5の表に示した。

変異係数(COV)はデータの分布範囲を示すのに屢々使われる。COVが高いということはデータのばらつきが大きいということである。

作った表には次のようなものが含まれる：

- ・MOEの要約
- ・強度(MOR, UTS, UCS)の要約
- ・パラメータ2個のWeibull推計
- ・パラメータ3個のWeibull推計
- ・正規分布の推計
- ・対数推計
- ・5%法によるポイント推計
- ・50%法によるポイント推計

上記の表及び作製した図は、1及び2の項を除いて付録に記載した。

強度及びMOEの値は、強度と含水率の相関関係から含水率について補正を行なった。強度の補正には4タームのリニアースーフフェイスモデルが使われた。含水率の補正に使った方法は第9章に示した。結果は含水率12%、15%及び24%(繊維飽和点)に調整した。

表の要約はこの節に示した。ここに示した2つの表の要約は含水率15%の場合のみを示している。

#### 表についての詳細な資料

##### 1) MOEの要約表

MOEの表はデータの平均値と推定中央値(median)、5thパーセンタイルの値及び中央値についての75%信頼度限界を含んでいる。すべての計算はASTM D2915の方法によったものである。

##### 2) MOR, UTS及びUCSの要約表

これらの表は推定中央値、5thパーセンタイル及びその時の75%信頼度限界を示したもので、すべての計算はASTM D2915の方法によっている。

##### 3) ノーマル推定(正規分布)

MOR, UTS及びUCSについては、MOEと各樹種、サイズ、グレードの組合せについてノーマル推定を行なった。

#### 4) ログノーマル推定 (対数正規分布)

対数正規分布の推定はノーマル推定と同様であるが、観察結果の対数を統計分析に使ったもので単位はログリズムベースである。

#### 5) 2-P Weibull 推計

2つのパラメーターによる Weibull 推計も各樹種、サイズ及びグレードの組み合わせについての全体のデータベースに基づいて決定した。

#### 6) 3-P Weibull 推計

3-P Weibull 分布のパラメーターの推定は2-Pの場合と同じベースで示した。サンプルサイズが小さいので有意水準は決定しなかった。

#### 7) ポイント推定

各サイズ及びグレードの組合せについての性質の値のポイント推定は表の次のセットに示した。これらの表は4つのパラメーターモデルと1つのノンパラメーターモデルを使った5thパーセンタイルと50thパーセンタイルの値である。50%信頼度に基づいたものである。

#### 8) 中央値についてのポイント推定

中央値についてのポイント推定の手続きは基本的には上記の5%値の場合と同じである。ただし、中央値は5thパーセンタイルの所で評価した。

#### 9) 2-P Weibull は下方15%のデータとフィットする

Foschi 等は下方15%のデータにフィットする分布は低い方の部分の曲げのデータにより良くフィットすることを示している。信頼度分析を使ったCAN/CSA-086.1-M89の開発の過程においては下方15%のデータに伴う分布資料が使われた。信頼度分析には少なくとも下方10%のデータを含んだ分布資料が必要であることは示されてきている。

表 3.5.1 D. Fir-Lの曲げ強度

サイズ	グレード	サンプル数	MOR (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	370	66.43	35.62	35.33
	1+Btr	370	62.11	30.30	29.07
	No1	99	49.41	25.83	22.34
	No2	370	52.23	20.51	19.13
	No3	150	46.28	13.95	11.16
	Cons.	150	60.67	28.70	27.70
	Stan.	150	46.08	15.14	14.33
	Util	140	47.29	14.35	13.99
	Stud	140	58.01	23.19	19.17
2x8	セレクト	373	56.94	25.53	24.68
	1+Btr	385	52.74	22.04	20.34
	No1	83	36.25	18.10	14.57
	No2	370	39.91	15.75	15.33
	No3	149	34.58	8.94	8.58
2x10	セレクト	372	46.42	21.21	19.88
	1+Btr	389	43.31	18.23	18.02
	No1	76	31.03	14.68	13.87
	No2	374	34.40	14.32	13.43
	No3	150	31.10	10.16	9.40

註: 含水率 = 15%

表 3.5.2 D. Fir-Lの曲げ試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	370	11,893	12,204	8,894	11,659
	1+Btr	370	11,231	11,659	8,239	11,100
	No1	99	9,908	10,335	7,253	9,728
	No2	370	10,197	10,687	7,198	10,066
	No3	150	9,639	9,749	5,336	9,501
	Cons.	150	11,528	11,631	7,370	11,349
	Stan.	150	9,997	10,011	5,826	9,701

	Util	140	9,853	9,942	5,254	9,722
	Stud	140	10,666	10,914	7,501	10,459
2x8	セレクト	373	13,472	13,603	9,046	13,327
	1+Btr	385	13,024	13,031	8,225	12,741
	No1	83	10,404	10,528	6,888	10,163
	No2	370	11,004	11,328	7,053	10,907
	No3	149	9,997	10,073	5,399	9,659
2x10	セレクト	372	12,576	12,914	8,860	12,521
	1+Btr	389	12,142	12,486	8,418	11,983
	No1	76	9,722	10,514	7,825	9,584
	No2	374	10,707	11,038	6,998	10,604
	No3	150	10,342	10,659	5,792	9,901

註: 含水率 = 15%

表 3.5.3 D.fir-Lの引っ張り強度

サイズ	グレード	サンプル数	UTS (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	372	34.89	18.31	18.08
	1+Btr	388	31.73	17.15	2.93
	No1	125	26.27	14.84	13.67
	No2	373	24.59	11.47	10.90
2x8	セレクト	373	29.92	14.89	14.60
	1+Btr	384	27.35	13.58	13.02
	No1	90	19.17	10.05	9.74
	No2	371	21.38	9.38	9.27
2x10	セレクト	373	28.34	14.09	13.96
	1+Btr	381	26.73	12.93	12.49
	No1	70	19.18	10.58	10.00
	No2	370	20.35	8.35	6.20

註: 含水率 = 15%

表 3.5.4 D. Fir-Lの引っ張り試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	372	11,907	12,224	8,225	11,804
	1+Btr	388	11,445	11,852	7,991	11,342
	No1	125	10,825	10,914	7,674	10,535
	No2	373	10,384	10,735	6,922	10,253
2x8	セレクト	373	13,183	13,452	9,039	13,045
	1+Btr	384	12,714	12,921	8,646	12,514
	No1	90	10,735	10,901	8,026	10,618
	No2	371	11,094	11,590	7,550	10,990
2x10	セレクト	373	12,514	12,817	8,825	12,411
	1+Btr	381	12,293	12,486	8,177	12,183
	No1	70	10,515	10,990	7,805	10,101
	No2	370	10,894	11,252	7,171	10,687

註: 含水率 = 15%

表 3.5.5 D. Fir-Lの圧縮強度

サイズ	グレード	サンプル数	UCS (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	372	41.21	29.67	29.55
	1+Btr	390	39.69	28.94	29.55
	No1	101	35.51	27.99	26.68
	No2	374	37.01	26.37	25.81
2x8	セレクト	374	37.01	26.37	25.81
	1+Btr	389	35.87	24.81	24.56
	No1	71	30.24	21.22	18.70
	No2	371	30.64	18.92	18.60
2x10	セレクト	375	36.45	26.14	25.38
	1+Btr	388	35.19	23.71	23.57
	No1	76	29.81	21.01	18.40
	No2	373	30.61	19.22	18.62

註: 含水率 = 15%

表 3.5.6 D.Fir-Lの圧縮試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	372	11,749	12,190	8,432	11,618
	1+Btr	390	11,418	11,804	8,343	11,358
	No1	101	10,370	10,714	7,757	10,080
	No2	374	10,232	10,521	7,171	10,149
2x8	セレクト	374	12,576	13,038	8,701	12,369
	1+Btr	389	11,962	12,611	8,129	11,776
	No1	71	10,328	10,377	6,984	10,128
	No2	371	10,432	10,832	6,971	10,321
2x10	セレクト	375	12,535	12,748	8,729	12,438
	1+Btr	388	12,073	12,362	7,895	11,893
	No1	76	10,487	10,466	6,943	10,108
	No2	373	10,714	11,087	6,998	10,452

註: 含水率 = 15%

表 3.5.7 Hem-Firの曲げ強度

サイズ	グレード	サンプル数	MOR (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	381	66.40	36.66	35.01
	1+Btr	392	62.92	30.48	28.25
	No1	104	53.64	23.50	21.53
	No2	380	56.37	25.97	25.28
	No3	170	49.67	19.46	17.73
	Cons.	172	58.36	23.68	23.35
	Stan.	171	52.05	20.68	18.72
	Util.	180	49.22	19.17	16.18
2x8	Stud	130	53.02	23.70	21.58
	セレクト	382	51.31	24.51	23.57
	1+Btr	397	49.55	21.57	19.89
	No1	60	36.94	17.09	14.95
	No2	402	44.00	18.64	17.88
No3	158	35.29	12.65	12.17	

2x10	セレクト	379	41.75	20.73	20.42
	1+Btr	398	40.78	19.69	18.82
	No1	54	32.03	13.48	11.60
	No2	385	34.07	16.47	15.88
	No3	159	29.85	11.47	10.75

註: 含水率 = 15%

表 3.5.8 Hem-Firの曲げ試験片でのMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	381	11,590	11,700	7,715	11,494
	1+Btr	392	11,280	11,425	7,681	11,149
	No1	104	10,404	10,549	7,543	10,177
	No2	380	10,721	10,797	6,984	10,639
	No3	170	9,529	9,915	6,343	9,349
	Cons.	172	10,914	10,970	7,881	10,549
	Stan.	171	10,384	10,556	6,860	10,225
	Util.	180	10,087	10,032	6,281	9,811
	Stud	130	10,259	10,535	6,840	10,094
2x8	セレクト	382	11,962	12,135	8,570	11,866
	1+Btr	397	11,769	11,969	8,419	11,631
	No1	60	10,356	10,452	7,191	10,301
	No2	402	11,066	11,225	7,564	10,942
	No3	158	9,818	9,984	5,819	9,701
2x10	セレクト	379	11,742	11,893	8,729	11,631
	1+Btr	398	11,597	11,700	8,515	11,459
	No1	54	10,577	10,639	8,046	10,349
	No2	385	10,735	11,039	8,046	10,652
	No3	159	9,942	9,901	6,033	9,604

註: 含水率 = 15%



表 3.5.9 Hem-Firの引っ張り強度

サイズ	グレード	サンプル数	UTS (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	360	37.20	17.99	16.66
	1+Btr	371	35.31	16.44	15.82
	No1	90	28.21	13.94	13.32
	No2	362	28.45	12.91	12.40
2x8	セレクト	381	29.10	13.78	13.63
	1+Btr	395	27.25	12.94	12.63
	No1	67	18.78	7.45	5.05
	No2	381	22.70	10.39	10.16
2x10	セレクト	383	27.15	13.12	12.60
	1+Btr	397	25.96	12.06	11.61
	No1	92	18.15	9.54	8.91
	No2	378	21.21	8.96	8.80

註: 含水率 = 15%

表 3.5.10 Hem-Firの引っ張り試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	360	12,121	12,197	7,950	12,004
	1+Btr	371	11,873	12,059	7,839	11,749
	No1	90	11,307	11,363	7,584	11,107
	No2	362	11,011	11,128	7,343	10,921
2x8	セレクト	381	11,707	11,962	8,591	11,631
	1+Btr	395	11,583	11,728	8,315	11,535
	No1	67	10,542	10,501	7,329	10,349
	No2	381	10,866	11,087	7,577	10,770
2x10	セレクト	383	12,073	12,176	8,522	12,011
	1+Btr	397	11,900	11,969	8,294	11,804
	No1	52	10,280	10,494	6,881	9,936
	No2	378	11,142	11,176	7,626	11,045

註: 含水率 = 15%

表 3.5.11 Hem-Fir の圧縮強度

サイズ	グレード	サンプル数	UCS (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	382	40.84	27.74	27.38
	1+Btr	400	38.63	23.79	23.59
	No1	119	32.88	20.32	19.59
	No2	381	34.12	22.66	22.26
2x8	セレクト	383	34.76	23.29	23.13
	1+Btr	399	33.79	22.37	22.57
	No1	53	29.05	19.02	18.75
	No2	382	31.62	20.36	21.16
2x10	セレクト	381	33.72	22.10	21.39
	1+Btr	391	32.94	20.64	20.48
	No1	41	26.68	16.61	16.23
	No2	380	30.23	19.68	19.26

註: 含水率 = 15%

表 3.5.12 Hem-Fir の圧縮試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	382	11,569	11,714	8,094	11,466
	1+Btr	400	11,307	11,411	7,860	11,459
	No1	119	10,852	10,756	7,570	10,646
	No2	381	10,721	10,735	7,205	10,659
2x8	セレクト	383	11,652	11,873	8,598	11,549
	1+Btr	399	11,280	11,604	8,322	11,190
	No1	53	10,115	10,170	7,315	9,742
	No2	382	10,811	11,073	7,701	10,687
2x10	セレクト	381	11,914	12,066	8,625	11,845
	1+Btr	391	11,680	11,804	8,205	11,604
	No1	41	9,908	10,142	6,971	9,604
	No2	380	10,990	11,080	7,515	10,935

註: 含水率 = 15%

表 3.5.13 S-P-Fの曲げ強度

サイズ	グレード	サンプル数	MOR (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	441	55.10	31.62	31.05
	1+Btr	458	53.01	29.50	29.09
	No1	123	46.84	27.81	25.20
	No2	440	45.93	21.55	20.19
	No3	180	40.83	16.20	14.95
	Cons.	190	51.70	26.58	25.75
	Stan.	190	44.96	20.79	18.57
	Util	170	43.29	19.18	16.63
	Stud	172	50.47	28.58	27.15
2x8	セレクト	444	41.13	22.72	22.28
	1+Btr	454	39.62	21.15	20.70
	No1	84	34.52	17.38	16.55
	No2	986	36.37	17.24	16.69
	No3	200	29.60	12.84	12.22
2x10	セレクト	440	36.29	20.38	20.10
	1+Btr	440	35.18	19.26	18.80
	No1	63	30.85	17.06	15.31
	No2	441	30.31	14.46	13.79
	No3	210	25.59	9.31	8.73

註: 含水率 = 15%

表 3.5.14 S-P-Fの曲げ試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	441	10.76	10.73	7.52	10.68
	1+Btr	458	10.36	10.45	7.38	10.29
	No1	123	9.48	9.70	6.63	9.39
	No2	440	9.35	9.49	6.09	9.26
	No3	180	9.30	9.32	5.30	9.23
	Cons.	190	10.29	10.19	6.80	10.07
	Stan.	190	9.24	9.45	6.11	9.11

	Util.	170	9.15	9.38	6.27	9.01
	Stud	172	10.36	10.18	6.74	9.93
2x8	セレクト	444	10.37	10.42	7.36	10.24
	1+Btr	454	10.14	10.22	7.18	10.11
	No1	84	9.34	9.48	6.56	9.16
	No2	986	9.65	9.75	6.50	9.16
	No3	200	8.71	8.96	6.03	8.47
2x10	セレクト	440	10.10	10.21	7.41	9.97
	1+Btr	440	9.91	10.02	7.15	9.78
	No1	63	9.52	9.27	5.93	9.43
	No2	441	9.21	9.31	5.93	9.43
	No3	210	8.41	8.52	4.59	8.16

註：含水率 = 15%

表 3.5.15 S-P-Fの引っ張り強度

サイズ	グレード	サンプル数	UTS (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	440	30.86	26.34	15.79
	1+Btr	458	28.38	14.98	14.68
	No1	114	23.63	12.81	11.25
	No2	444	23.27	9.69	9.45
2x8	セレクト	441	24.92	12.02	11.34
	1+Btr	456	23.65	10.69	10.42
	No1	75	18.42	8.30	5.84
	No2	440	19.53	8.20	7.86
2x10	セレクト	446	23.93	11.73	11.40
	1+Btr	476	23.10	10.66	10.58
	No1	62	17.38	5.97	5.80
	No2	463	19.31	8.47	8.11

註：含水率 = 15%

表 3.5.16 S-P-Fの引っ張り試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	440	10,825	10,970	7,846	10,721
	1+Btr	458	10,528	10,687	7,681	10,452
	No1	114	10,218	10,190	7,915	9,887
	No2	444	9,915	9,935	6,633	9,784
2x8	セレクト	441	10,508	10,452	7,060	10,404
	1+Btr	456	10,142	10,273	6,805	10,211
	No1	75	9,377	9,391	6,081	9,239
	No2	440	9,556	9,653	6,385	9,453
2x10	セレクト	466	10,142	10,177	7,260	10,066
	1+Btr	476	10,073	10,080	7,026	10,004
	No1	62	9,432	9,301	6,198	9,315
	No2	463	9,563	9,598	6,529	9,467

註: 含水率 = 15%

表 3.5.17 S-P-Fの圧縮強度

サイズ	グレード	サンプル数	UCS (MPa)		
			平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	440	32.58	23.02	22.88
	1+Btr	470	31.05	22.23	22.08
	No1	131	27.44	21.15	20.73
	No2	441	28.18	18.24	17.97
2x8	セレクト	440	27.77	19.11	18.75
	1+Btr	456	27.39	19.05	18.58
	No1	66	25.85	18.26	17.31
	No2	443	25.81	18.15	17.75
2x10	セレクト	420	26.16	18.75	18.59
	1+Btr	431	25.49	18.22	18.00
	No1	55	22.02	16.96	16.57
	No2	418	23.61	14.94	14.89

表 3.5.18 S-P-Fの圧縮試験片のMOE

サイズ	グレード	サンプル数	MOE (MPa)			
			中央値	平均値	5th	75%限界
2x4	セレクト	440	10,549	10,604	7,598	10,411
	1+Btr	470	10,170	10,246	7,219	10,115
	No1	131	9,625	9,591	6,495	9,460
	No2	441	9,570	9,611	6,509	9,398
2x8	セレクト	440	10,280	10,287	7,302	10,197
	1+Btr	456	10,032	10,184	7,260	9,984
	No1	66	9,336	9,673	7,046	9,108
	No2	443	9,584	9,687	6,626	9,508
2x10	セレクト	420	10,094	10,108	7,136	9,963
	1+Btr	431	9,804	9,866	7,053	9,715
	No1	55	8,770	8,701	6,019	8,618
	No2	418	9,398	9,411	6,019	9,363

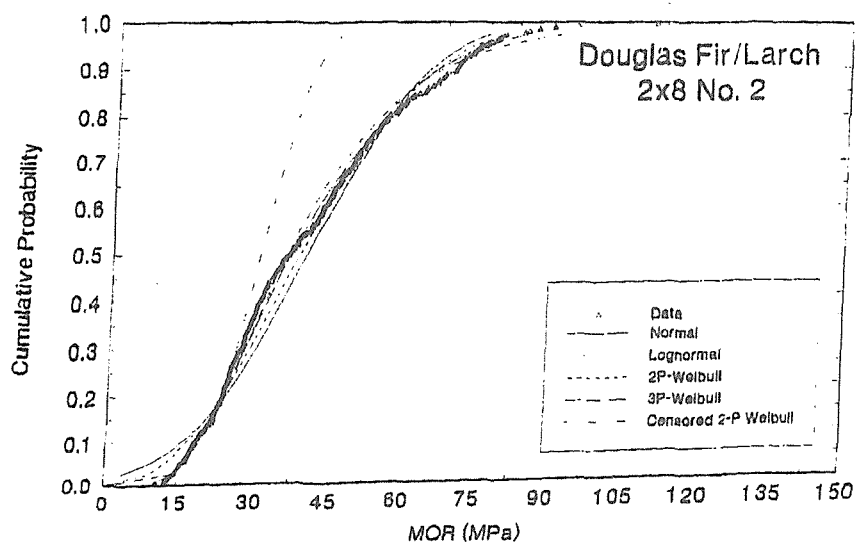


図 3.5 色々な分布に対応するD. Fir-L 2x8 No2 のMORのデータの累積確率プロット

### 3. 6 性質に及ぼす樹種、グレード、及び幅の影響

#### 性質の特性

イングレード試験計画においては、多くの樹種を北米各地からサンプリングした。少なくとも45種の樹種がNLGAのグレーディングルールに従って樹種毎あるいは樹種グループ毎に格付けされた。サイズ/グレードのセル毎に約360個の試験片が、各樹種グループ毎に必要であった。その他のカナダ産の樹種は、より数量の少ない樹種として分類された。主要な樹種グループに属している樹種は同様な特性を持っているので、性質は個々の樹種というよりは樹種グループとして作製した。

#### 樹種の影響

図3.6.1から3.6.3.まではセレクト及びNo2の色々な樹種グループの機械的性質を比較したものである。これらのグラフは樹種の影響を調べるとともに、試験片の幅の傾向を調べるものである。

色々な機械的性質でセレクトとNo2のグレードで樹種の間にははっきりした傾向は見だせなかった。5%強度ではセレクトでS-P-Fが最低であったが、No2のグレードではS-P-Fは中間の値であった。樹種の影響はUTSあるいはUCSよりもMORの場合に若干著しい。

$MOE_{mean}$  と  $MOE_{0.05}$  を樹種について比較したのが図3.6.2と3.6.3である。樹種の関係は一定の傾向を示している。MOEはいずれの場合もS-P-Fが最も低く、D. Fir-LとHem-Firの差は小さい。

#### サイズの影響

サイズの影響はすべての強度的性質において観察された。色々な樹種、グレード、機械的性質でのサイズの影響についてはここに示したが、詳細は第6章に記した。

図3.6.4から3.6.6までは試験片の幅に対する機械的強度をプロットしたものである。MOR対幅についての一貫した傾向が、各樹種及びグレードについて観察された。樹種の相違では著しい差は認められない。No1とNo2の間の乖離は小さく、No1とNo2の機械的性質は似たようなものであることを示している。セレクトは他のグレードのものとは大きな差がある。性質によってサイズの影響の程度は異なっており、曲げで最も大きく、引っ張りでは中位で、UCSでは最も小さい。

試験片の幅に対する $MOE_{0.05}$  及び $MOE_{mean}$  のプロットは図3.6.7から3.6.12に示した。

No1とNo2のグレードに対応する性質は極めて似たものであるが、セレクトは他のものよりもはつきり高い。No3は $MOE_{mean}$ が最も小さい。樹種の比較では、D. Fir-LとHem-FirはS-P-Fよりも $MOE_{mean}$ の値が高い。セレクトで比較すると、D. Fir-LはHem-FirやS-P-Fよりも著しく高い $MOE_{mean}$ を持っており、同様の傾向はMOEのデータにも見られる。

試験片の幅に対して $MOE_{0.05}$ をプロットしたものは3樹種について図3.6.10から3.6.12に示したが、この場合もサイズは大きく影響していない。引っ張りと圧縮の試験片でも同様の傾向が見られる。

### グレードの影響

図3.6.4から3.6.6まではグレードに対する5%強度をプロットしたもので、期待されるように、機械的性質はグレードの低いものほど小さい。グレードが下がると強度が落ちる傾向は試験片の幅に関係なく同様である。2x4のカーブが他の2つのカーブと離れているのはサイズの影響が著しいことを示しており、この傾向は曲げ、引っ張り及び圧縮を通じて同様である。

グレードに対して $MOE_{mean}$ の値をプロットしたものが、図3.6.7から3.6.9までであるが、多くの場合、No2のグレードのものはNo1よりも $MOE_{mean}$ の値が高い。同じ傾向はサイズや樹種の相違でも観察された。

グレードに対して $MOE_{0.05}$ の値をプロットしたものを、図3.6.10から3.6.12までに示したが、グレードとともに一般的に低下する傾向がすべてに現われている。3種の試験片のグループで傾向は大きくは変わらない。

### 要約

これらの試験結果から3つの一般的な結論が得られる：

- ・No1とNo2は性質は似たものである。
- ・強度的性質にはサイズの影響は重要であるが、MOEではそれ程でもない
- ・樹種の影響は性質及びグレードによって異なり、平均と5%強度の間でも異なる。



Figure 3.6.1  
Species effects  
(strength)

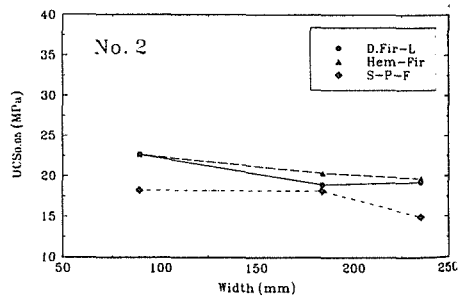
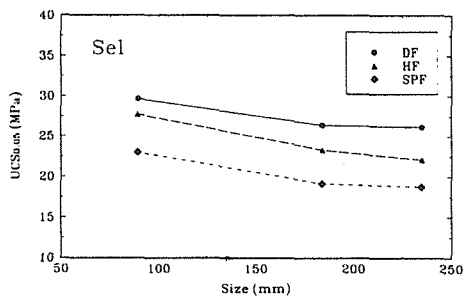
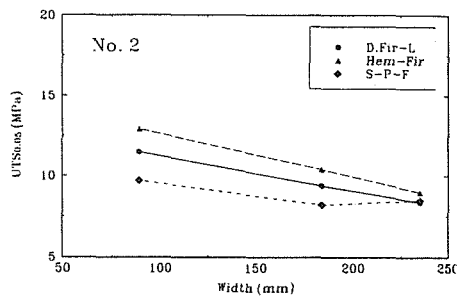
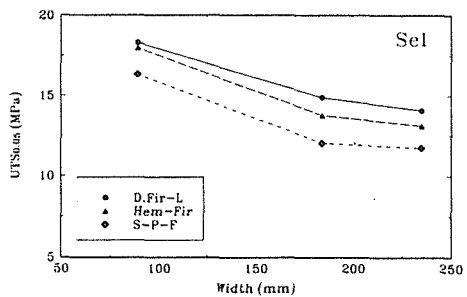
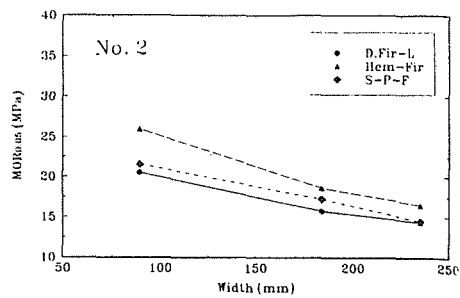
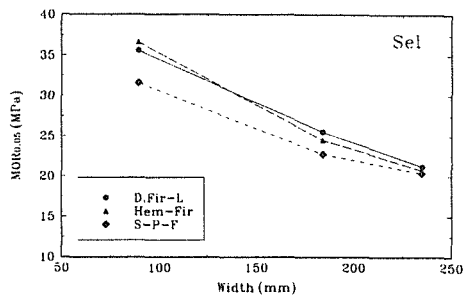


Figure 3.6.2  
Species effects  
(MOE)

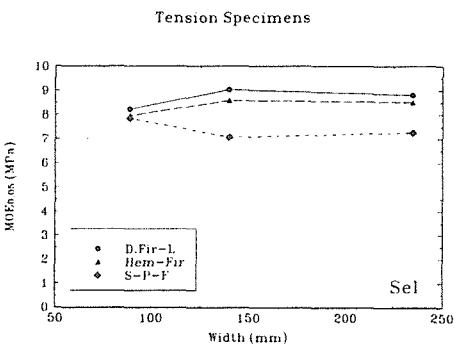
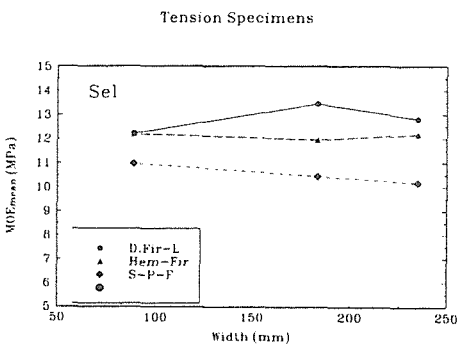
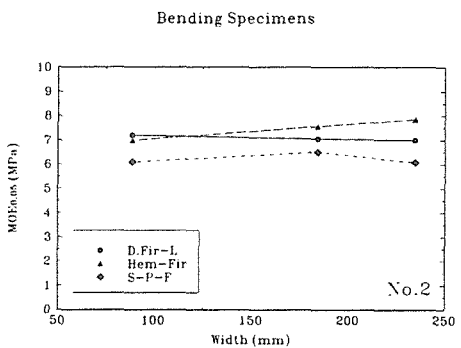
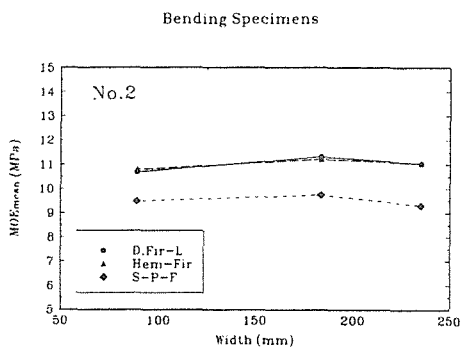
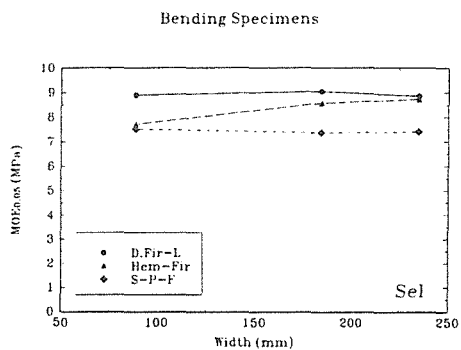
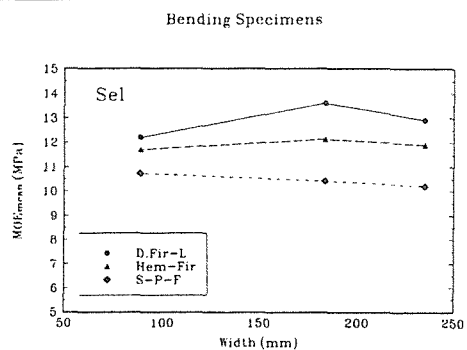


Figure 3.6.3  
Species effects  
(MOE, cont'd)

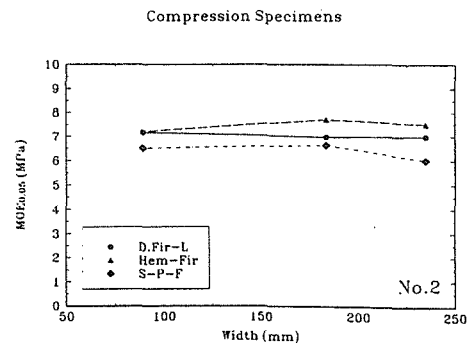
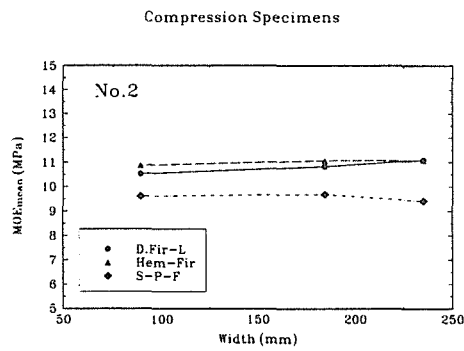
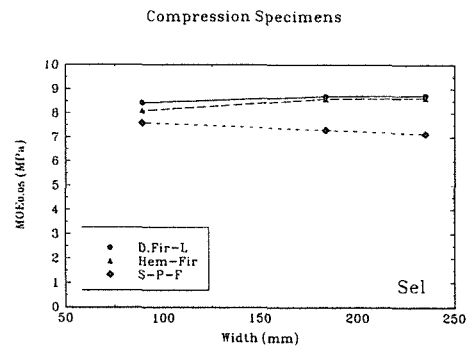
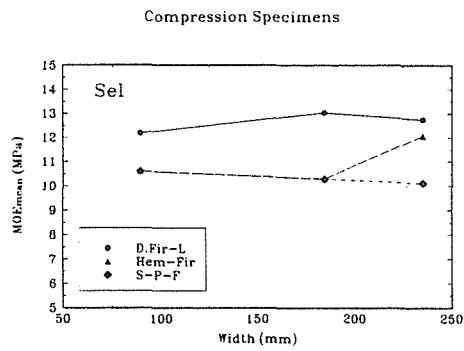
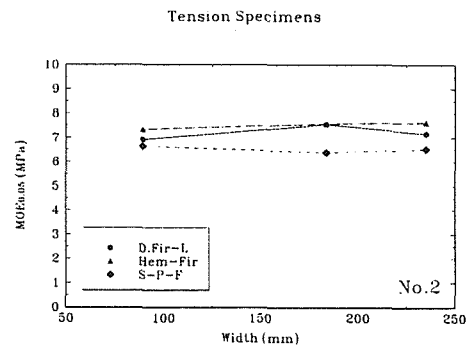
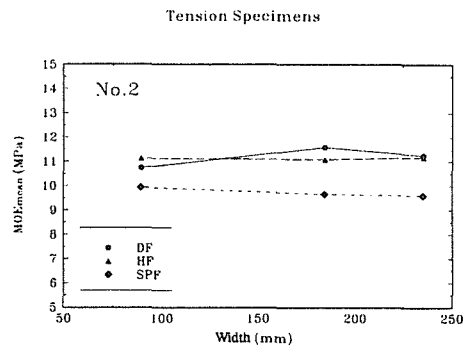


Figure 3.6.4  
Width and  
grade effects  
(MOR)

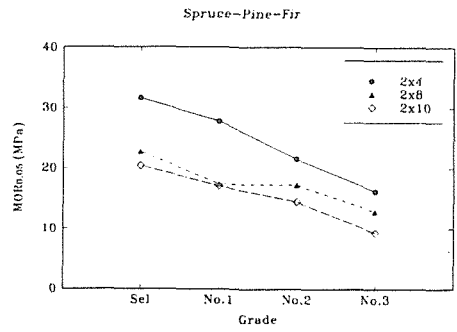
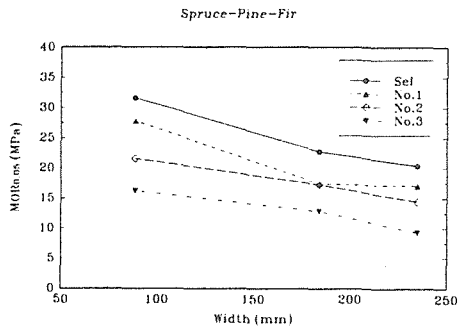
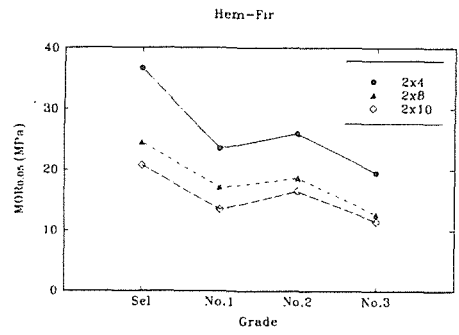
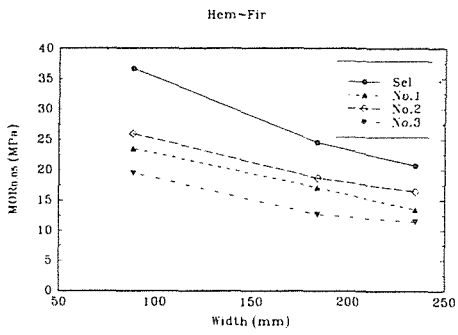
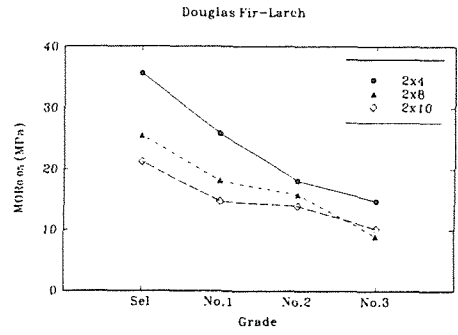
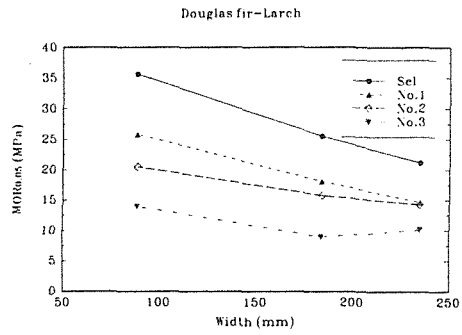


Figure 3.6.5  
Width and  
grade effects  
(UTS)

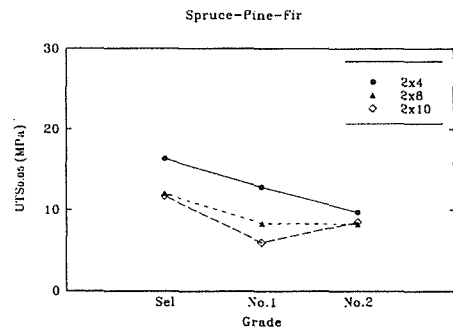
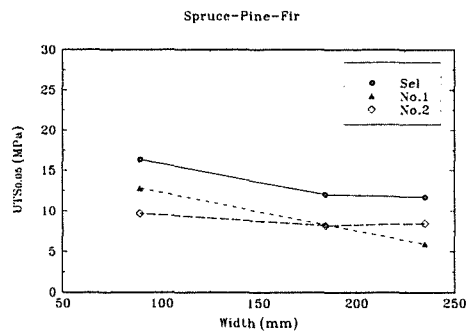
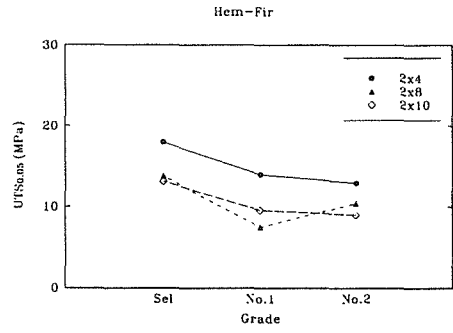
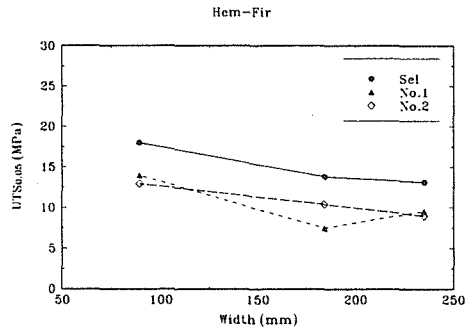
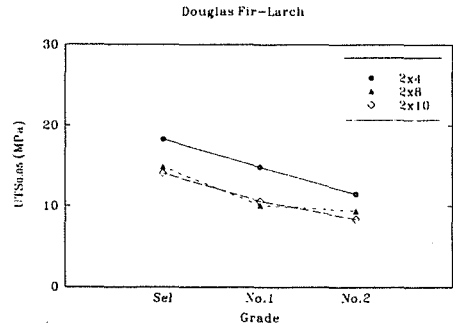
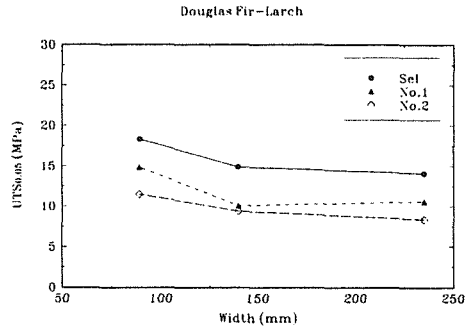


Figure 3.6.6  
Width and  
grade effects  
(UCS)

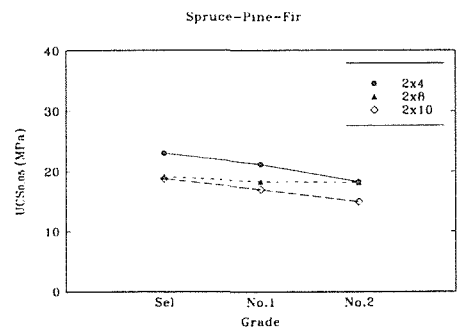
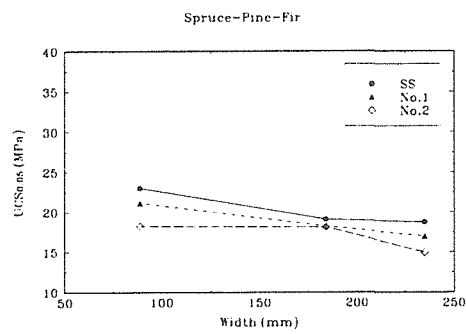
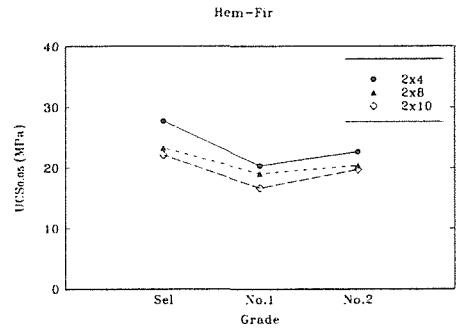
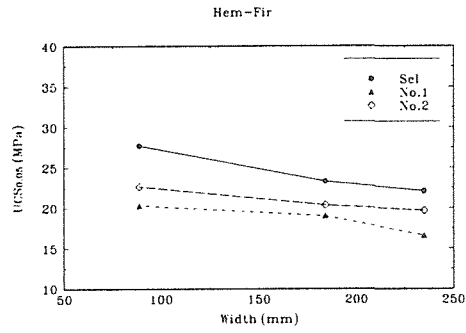
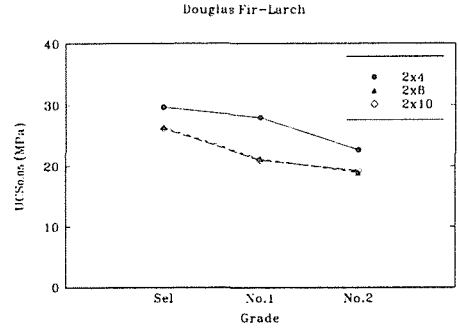
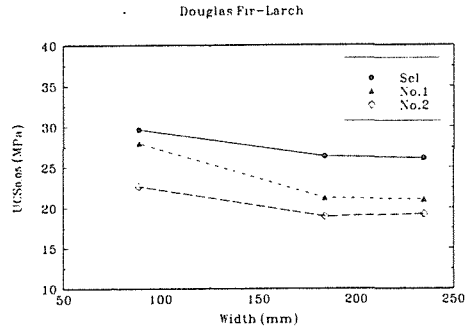


Figure 3.6.7  
Width and  
grade effects  
( $MOE_{mean}$ )

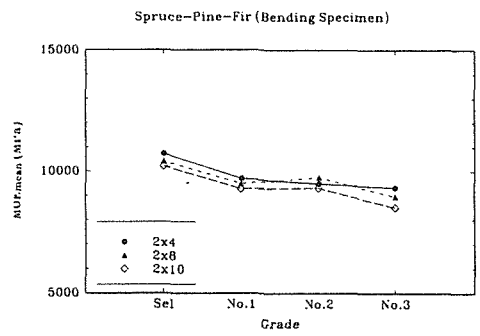
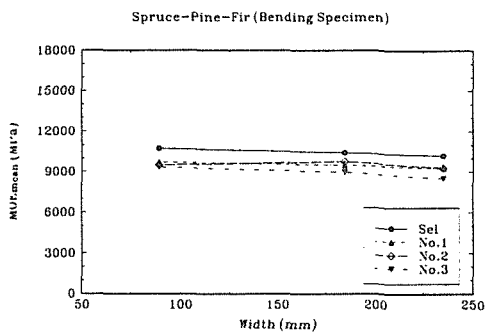
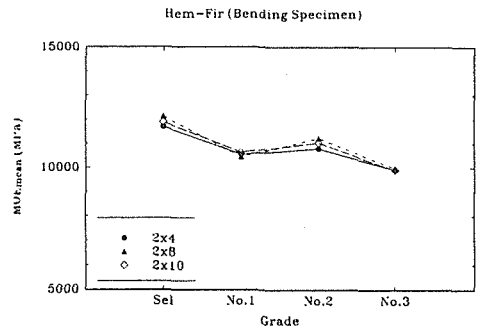
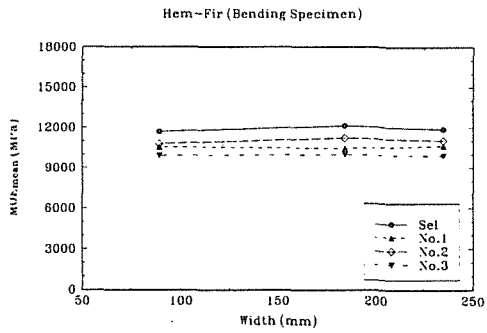
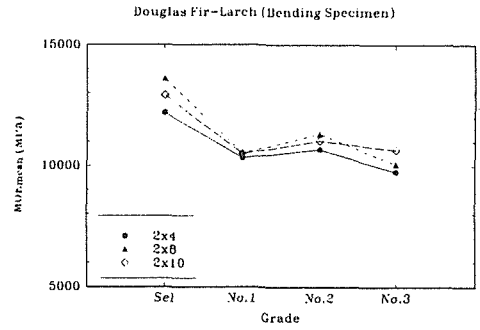
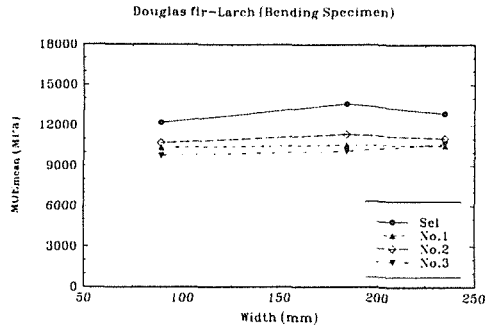


Figure 3.6.8  
Width and grade effects  
( $MOE_{mean}$ ,  
cont'd)

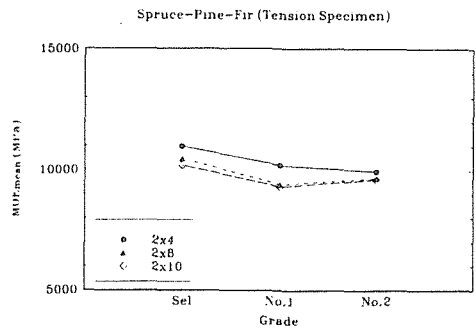
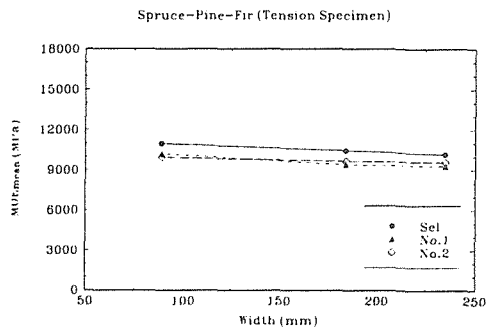
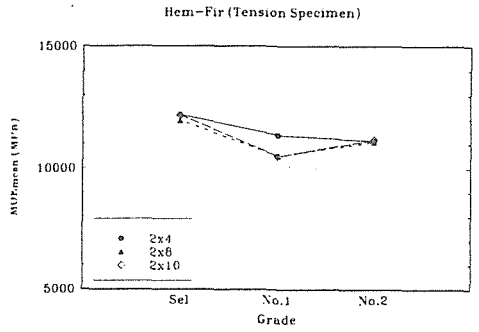
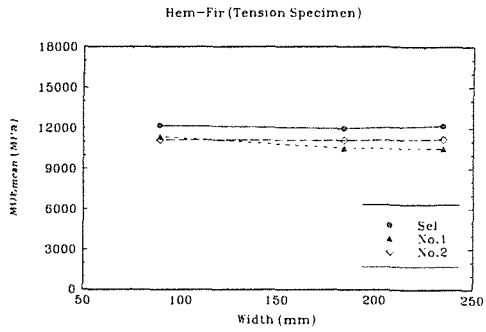
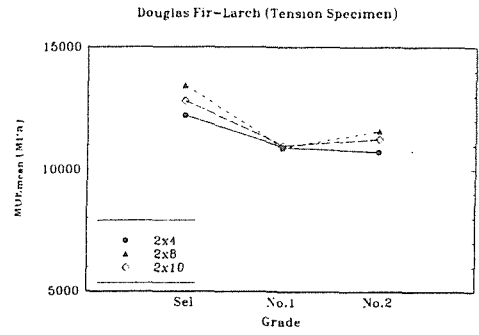
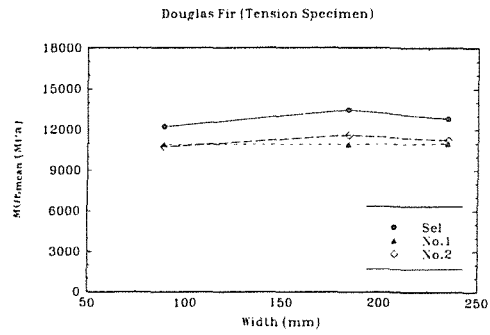




Figure 3.6.9  
Width and  
grade effects  
( $MOE_{mean}$ ,  
cont'd)

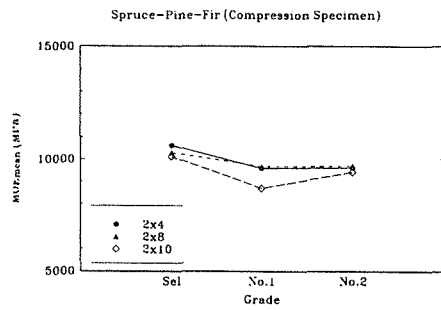
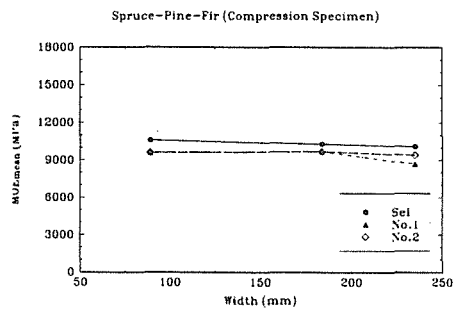
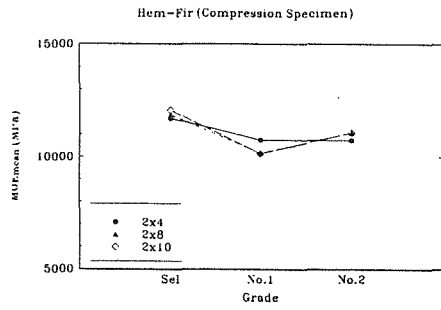
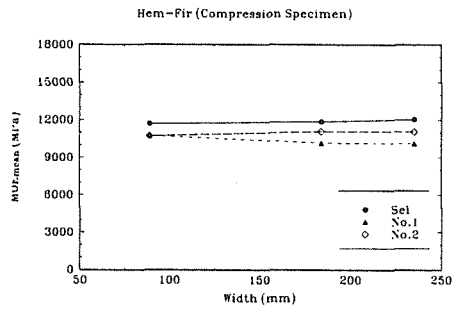
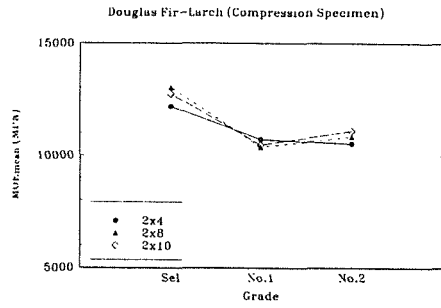
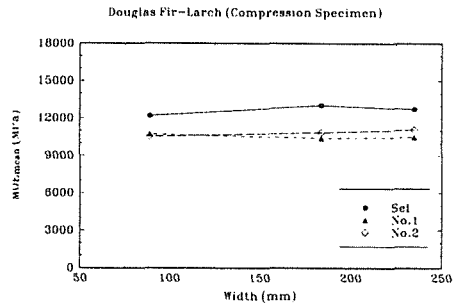


Figure 3.6.10  
Width and  
grade effects  
( $MOE_{0.05}$ )

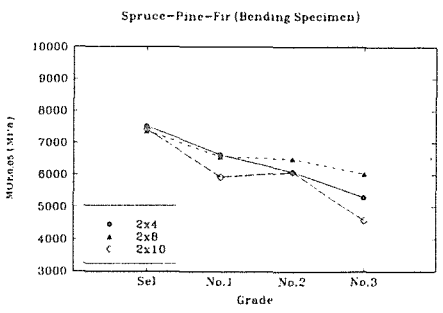
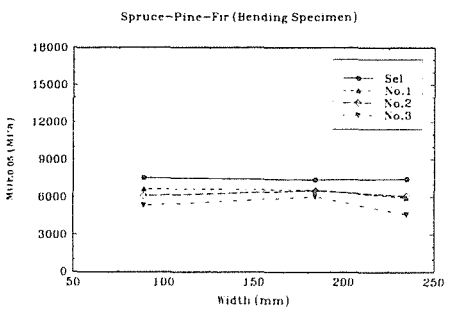
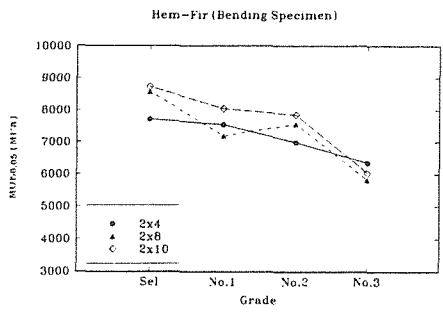
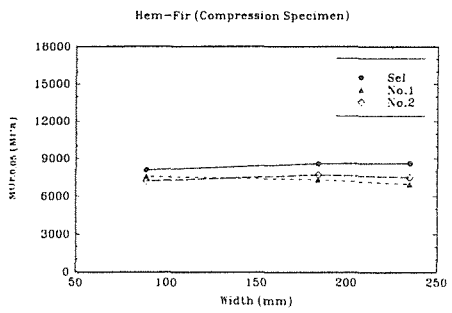
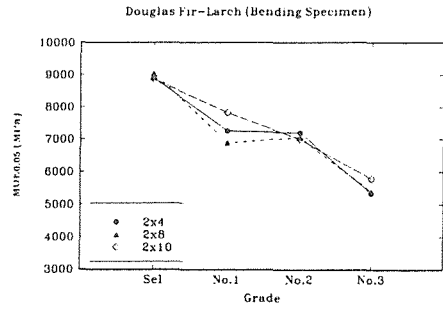
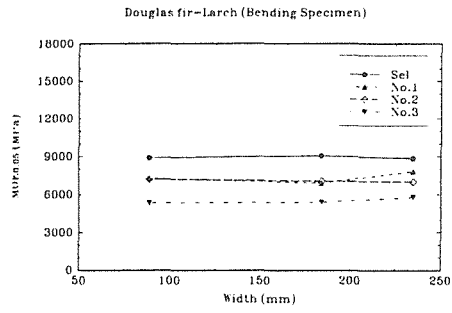


Figure 3.6.11  
Width and  
grade effects  
( $MOE_{0.05}$ ,  
cont'd)

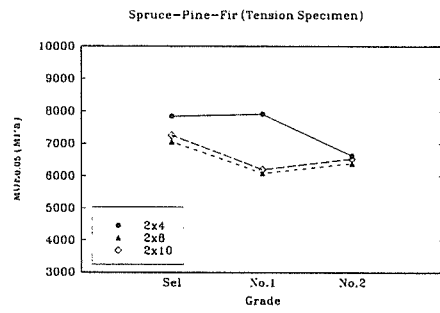
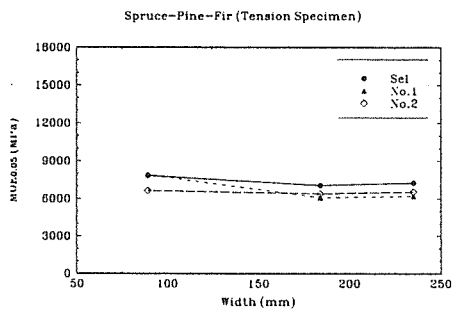
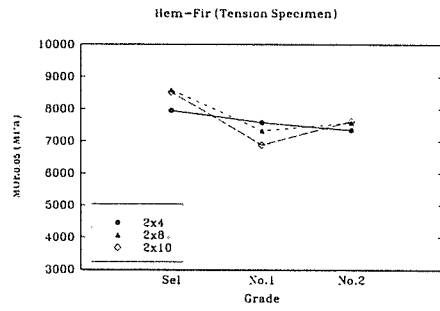
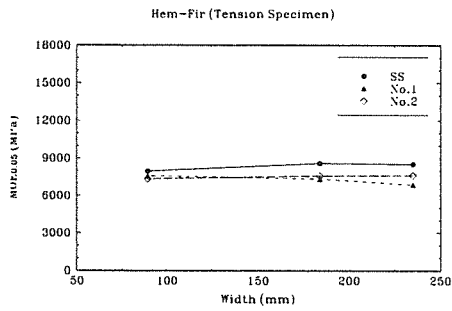
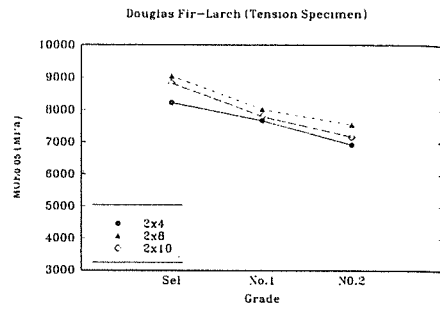
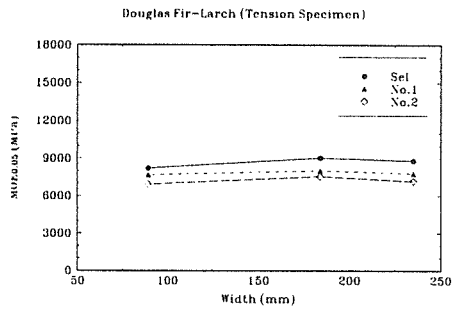
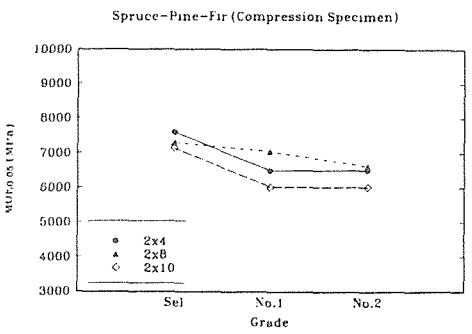
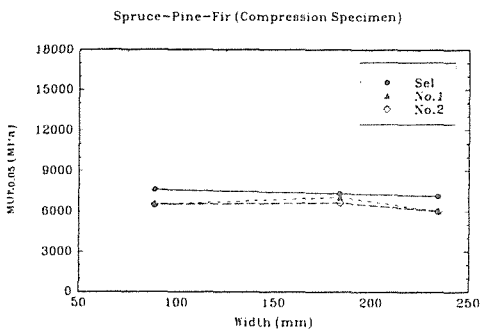
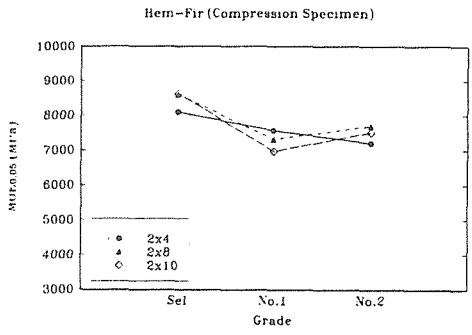
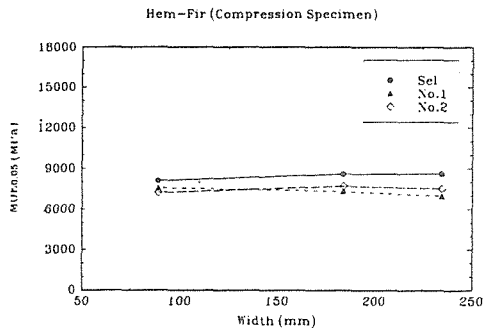
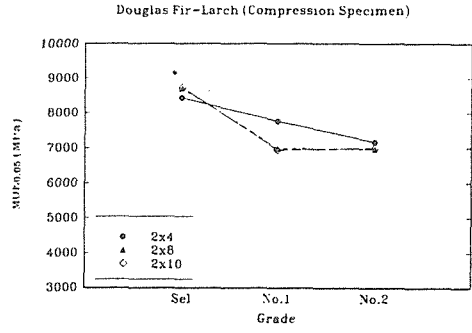
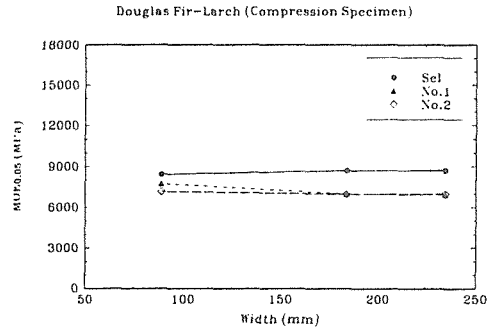


Figure 3.6.12  
Width and  
grade effects  
( $MOE_{0.05}$ ,  
cont'd)



## 4 機械応力格付け製材

### 4.1 緒言

機械応力格付け製材はカナダの多くの製材工場で生産されている。機械格付けは弾性係数を測定することによって、非破壊で各材片を評価し、規定の強度性能に応じてグレードを規定することによって達成される。機械格付けは典型的には目視グレードよりも強度及び剛性の変異の少ないグレードを提供するもので、目視による格付けよりも高い強度と剛性のグレードを選ぶことも可能にしている。

構造用製材の機械応力格付けは1960年代に、商業的なグレードの製材の強度は弾性係数に関連しているという認識から始まった。いくつかのタイプの応力格付け機械で、工場生産のスピードでオンラインで管理しつつ非破壊で性質を測定することのできるものが設計された。機械応力格付けでは弾性係数が最も広く使われている性質である。強度の判断を改善するために目視特性も合わせて使われている。

グレーディングマシンは機械的コントロールでも生産コントロールのモードでも操作できる。機械的コントロールのシステムは機械を特定の特性のグレードを作るのに必要なようにセットして置く方法で、セッティングは各樹種、グレード及びサイズについて設定する。機械のセッティングをすることは時間のかかるプロセスである。しかしながら、一度機械をセットすれば、製造業者の仕事は各製品に適切なセッティングが使われているかどうかということになる。行なわれている品質保証試験が追加として必要な場合と必要でない場合がある。

生産コントロールモードは、グレーディングマシンが毎日の生産から任意に選んだ試験用サンプル製材によってコントロールされる方式である。毎日の品質管理プログラムは規制外の条件を見出し、それを除外するように是正の行動が取れるように設計したもので、安定した生産を助けるためにオンラインでのプロセスコントロールの機能を付けている。この方法は北米では最も普通に行なわれている方法で、グレーディングマシンは、限られた種類の樹種、グレード及びサイズの製材が生産されている工場に設置されている。カナダの製材工場は通常生産ラインが長いので、グレーディングマシンはコントロールでき、特定の資源状況及び操業条件で、日々の生産からの試験サンプルによってグレードの歩留まりを適正にすることが出来る。

### 4.2 製品規格—SPS2

カナダのMSR製材は、NLGAの”機械格付け製材の特別製品規格SPS2)”に従って生産されている。SPS2は、グレードの特性、標準サイズ、目視グレード、機械的性質についての要求、性能評価方法、グレードの表示、認定及び品質管理要求について規定しているものである。

MSR製材は、特定のグレードについて弾性係数（MOE）及び機械的性質について定義した一連の標準グレードによって生産される。MSR製材のグレードは、曲げ強度に関連した曲げ応力（ $F_b$ ）を伴ったグレード名及び弾性係数（ $E_g$ ）を規定したグレードのよって特定化される。各 $F_b-E_g$ グレードは、5%弾性係数（ $E_{0.05g}$ ）、平均MOE（ $MOE_{mean}$ ）、5%MOR（ $MOR_{0.05g}$ ）その他関連する特性のセットを持っている。腰文字の $g$ はグレードに規定された性質であることを示している。

いくつかの正規のグレードについての特性的性質は表4.1に示した。

平均MOEが $E_g$ 、 $E_{0.05g}$ と同等以上であることを要求するプロセスでは $E_g$ の82%に規定している。木理平行な引っ張りや圧縮など他の性質は曲げ強度のフラクションとして規定されている。5%圧縮強度（ $UCS_{0.05g}$ ）は $MOR_{0.05g}$ の72%に設定してある。最初は $UTS_{0.05g}$ は $MOR_{0.05g}$ の80%に設定されていたが、後には34.7MPaよりも大きい $MOR_{0.05g}$ については引っ張りは曲げの80%であるというスライディングスケールが採用されて39%に減らした。最近では圧縮強度にもスライディングスケールが適用されている。

生産コントロールの格付けシステムでは、プロセスが管理されていることを示すオンゴイングの品質証明が必要である。SPS2では曲げ強度及び弾性係数の平均値と最小値を認定するために生産されたサンプル製材について日々の品質管理試験について規定している。

曲げのサンプルはスパン/深さの比を2.1とした3点荷重を使ってエッジについて試験する。曲げの強度性能はスパンの中央1/3に位置する最大の強度減少欠点で評価する。曲げ材料の引っ張りエッジは任意に選択する。サンプルにはそのグレードの $MOR_{0.05g}$ 以上の荷重がかけられる。弾性係数は曲げ試験のセットで試験フレームの中央の試験片で測定する。

引っ張りの品質管理試験は多くのグレードでオプションである。引っ張り試験を行なう場合はゲージ長さは2440mm（96in）以上でなければならない。最大の強度減少欠点は出来れば試験する範囲内に置くものとする。

表 4.1 MSR製材のグレードとその機械的性質についての要求

グレード	弾性係数の平均値 ( $E_{mean, g}$ )		弾性係数の最小値 ( $E_{0.05, g}$ )		破壊係数 ( $MOR_{0.05, g}$ )		引っ張り強度 ( $UTS_{0.05, g}$ )	
	(1000psi)	(MPa)	(1000psi)	(MPa)	(psi)	(MPa)	(psi)	(MPa)
1200f-1.2E	1,200	8,274	984	6,784	2,520	17.4	1,260	8.7
1450f-1.3E	1,300	8,963	1,066	7,350	3,045	21.0	1,680	11.6
1500f-1.4E	1,400	9,653	1,148	7,915	3,150	21.7	1,890	13.0
1650f-1.5E	1,500	10,342	1,230	8,481	3,465	23.9	2,142	14.8
1800f-1.6E	1,600	11,032	1,312	9,046	3,780	26.1	2,467	17.0
1950f-1.7E	1,700	11,721	1,394	9,611	4,095	28.2	2,887	19.9
2100f-1.8E	1,800	12,411	1,476	10,177	4,410	30.4	3,307	22.8
2250f-1.9E	1,900	13,100	1,558	10,742	4,725	32.6	3,675	25.3
2400f-2.0E	2,000	13,789	1,640	11,306	5,040	34.7	4,042	27.9
2550f-2.1E	2,100	14,479	1,722	11,873	5,355	36.9	4,305	29.7
2700f-2.2E	2,200	15,168	1,804	12,438	5,670	39.1	4,515	31.3
2850f-2.3E	2,300	15,858	1,886	13,003	5,985	41.3	4,830	33.3
3000f-2.4E	2,400	16,547	1,968	13,569	6,300	43.4	5,040	34.8

註： 1. 平均のエッジの曲げ弾性係数 ( $E_{mean}$ )のプロセスではそのグレードの $E_{mean, g}$  と同等以上でなければならない。

2. エッジの曲げ弾性係数の下方5%のプロセスでは $E_{0.05}$  は $E_{mean, g}$  の0.82倍以上でなければならない。

3. 曲げ強度の平均5%のプロセスでは $MOR_{0.05}$  は $MOR_{0.05, g}$  と同等以上でなければならない。

#### 4. 3 M S R 製材の性質

M S R 製材の性質に関するプロジェクトは状況制限設計コードに使うための基礎的な性質に関する資料を得ようとして企画されたものである。工場で行なわれる品質管理試験によるデータは、品質管理試験が特性的曲げ強度水準 ( $MOR_{0.05, g}$ ) についてのみ証明荷重を加えたものであるもので、限られた値のものである。典型的にはこの応力は試験片の破壊の5%以下で生ずるもので、特性的性質 ( $MOR_{0.05}$ ) あるいは材料の性質の変異の可能性を評価するためにはあまり資料を提供しない。信頼度分析にはサンプルの最も弱い10~15%についてのデータが必要である。

M S R 製材の性質についてのプロジェクトは1980年代の終わりに、工場からのサンプルによって、S P F のM S R 製材の選ばれたグレードについての曲げ強度及び引っ張り強度を研究するために設計された。プロジェクトの主たる目的は、(1) 曲げ、引っ張り及び弾性係数の分布についての資料を開発すること、及び(2) M S R 製材の特性を実証することであった。

##### サンプリング

M S R 製材のサンプリングはカナダの工場の在庫から、長さ16 f t で2 x 4サイズのものを選んだ。B C 州及びアルバータ州の18工場が含まれている。サンプルは在庫の中の格グレードから選ばれた。グレードの組合せは表4. 2に示した。各工場各んグレードについて曲げ試験片30個、引っ張り試験片30個が選ばれた。その手続きは次の通りである：

- 1) 各グレードについて、在庫の中から3個の16フィート(4.88m)のパッケージを任意に選択する。
- 2) パッケージの最初の層及び各列の最初と最後の材片を取り除いて置く。
- 3) パッケージの残りのトップから最初の”オングレード”の材10個を選んで曲げ試験に供する。
- 4) 次の10個の試験片は引っ張り試験用とする。
- 5) 2と4の段階を第2と第3のパッケージについて行なって、合計で30個の引っ張り及び30個の曲げ試験片を得る。
- 6) 2から5の手続きを各グレードについて繰り返す。

##### 試験方法

強度的性質はA S T M D 4 7 6 1 (構造用製材及び木質材料の機械的性質についての標準試験方法) に規定する手続きを使って評価した。試験方法は次の節で論議する。



製材は試験のためにバンクーバーのフィリンテックに送られた。試験片の寸法は工場で記録するとともに、試験時に測定した。最大の強度減少欠点（MSRD）は各試験片にマークした。

表2 グレードの組合せとMSR製材研究のためにサンプリングした工場の要約

工場の番号	工場毎のグレード	グレードの組み合わせ				
		1450f-1.3E	1650f-1.5E	1800f-1.6E	2100f-1.8E	2400f-2.0E
1	1		#			
1	1			#		
1	1				#	
9	2		#		#	
1	3	#	#		#	
3	3		#		#	#
2	5	#	#	#	#	#

### 弾性係数

曲げ試験で測定した見かけの弾性係数は、荷重のかけ方、歪み測定技術及び試験片の長さ方向の位置付けによって異なる。見かけの弾性係数は、イングレードのASTM D4761及びMSR（SPS 2）試験方法に関して適したデータセットを与えるように、4種のエッジ曲げ試験方法を使って測定した。

実際の寸法は試験時に測定した。MOEの結果はすべて標準乾燥寸法（38mm x 89mm）を想定して計算して、工場での品質管理の実施を反映するようにした。

#### a) 工場のMOE ( $MOE_{m11}$ )

$MOE_{m11}$ は工場の品質管理試験装置を使って、SPS 2のMOE試験方法によって測定した。スパンは深さの2.1倍であった。 $MOE_{m11}$ は1/3点荷重で試験片の長さの中央で決定した。

#### b) 実験室のMOE ( $MOE_{21}$ )

M

$MOE_{21}$ は各試験片について実験室の試験装置を使ってASTM D4761の試験方法で、1/3点荷重で測定した。スパンは深さの2.1倍であった。歪みはクロスヘッドの

変異で測定した。試験片はSPS2で規定するように、スパンの中央にした。

c) イングレードのMOE (MOE<sub>17</sub>)

MOE<sub>17</sub>はASTM D4761の方法に従って測定した。スパンと深さの比は17であった。荷重は1/3点方式で加え、歪みはクロスヘッドの変異で測定した。試験片は最大の強度減少欠点が試験スパンの任意の位置にくるように位置した。

d) ASTM曲げMOE (MOE<sub>ASTM</sub>)

MOE<sub>ASTM</sub>は曲げ試験片のサブサンプルについて、ASTM D198の方法によって1/3点荷重で測定した。スパンと深さの比は21であった。中立軸のスパン中央の歪みはフルスパンの枠を使って支持点での撓みに関して測定した。試験片はスパン中央に置いた。

各試験での最も重要な性質の要点と比較は表4.3に示した。

表4.3 各MOE試験方法の比較

試験方法	呼称	スパンと深さの比	試験ゾーン	分析に使った寸法	機械の歪み調整	試験片
21:1 試験	MOE <sub>21</sub>	21:1	中央	標準	Yes	全部
17:1 試験	MOE <sub>17</sub>	17:1	任意	標準	Yes	曲げ
ASTMD198	MOE <sub>D198</sub>	21:1	中央	標準	No	曲げ
Mill	MOE <sub>mill</sub>	21:1	中央	標準	Yes	全部

註: 1. 最大の強度減少欠点は曲げ試験スパン全対の任意の位置に置いた。

2. 曲げ試験のサブサンプル

### 曲げ強度

曲げ強度試験の方法は、プロジェクトで目視格付けで使ったのと同じである。スパンと深さの比は17とした。MSRDはスパンの任意の位置に置いた。引っ張り側のエッジは任意に選んだ。荷重ヘッドの移動速度は122mm/minで、MORは破壊荷重を使って標準の乾燥寸法で計算した。

## 引っ張り強度

引っ張り試験片にはゲージ長さ3658mm(12ft)で荷重を加えた。最大の強度減少欠点は出来るだけ試験域内に位置するようにした。試験片は閉鎖ループ試験システムで荷重速度を毎分27.6MPa(4000psi)になるようにコントロールし、最終引っ張り強度(UTS)は標準の乾燥寸法を使って計算した。

## 比重及び含水率

破壊曲げ試験の後に、各試験片から1.5inフルサイズのブロックを切り取って、比重(絶乾重量法)をASTM D2395方法Bによって測定し、ASTM D4442方法Aによって評価した。

### 4.4 構造的性質の要約

#### MOEの調整

MOE<sub>17</sub>及びMOE<sub>21</sub>の試験結果は試験機の荷重ヘッドの変異を使って求めた。その他の測定方法は、フルスパンの枠を使って中立軸の変異を測定する方法(ASTM D198)である。比較のために、MOE<sub>17</sub>とMOE<sub>21</sub>の結果は、共通の試験機ベース及び共通の歪み測定ベースで、この報告の3.5に記載した調整方法を使って調整した。

調整の表現は次の通りである：

17:1の試験スパンについては、

$$\frac{1}{E_a} = \frac{1}{E_{test}} - 3.37 \times 10^{-8} H$$

21:1の試験スパンについては、

$$\frac{1}{E_a} = \frac{1}{E_{test}} - 1.70 \times 10^{-8} H$$

ここで、E<sub>test</sub>は調整前のMOEの値 MPa

E<sub>a</sub>は調整後のMOEの値 MPa

Hは標準乾燥試験片の幅 mm

## サイズの調整

M S R 製材の設計性能は標準の乾燥サイズを想定して、微小なサイズの変異について調整した。メンバーの実際の断面積  $A_A$  と実験室で測定したメンバーの慣性モーメント  $I_A$  の統計は表 4. 4 に示した。結果を単純化するために、及び結果のコードへの利用のために、強度及び弾性係数の結果はすべて標準乾燥サイズを基準として決定した。

表4.4  $A_A/A_s$  及び  $I_A/I_s$  の記述的な統計

グレード	勘定	$A(\text{実際})/A(\text{標準})$		$I(\text{実際})/I(\text{標準})$	
		平均	標準 <sup>1</sup>	平均	標準 <sup>1</sup>
1450f-1.3E	180	1.0054	0.0186	1.0024	0.0330
1650f-1.5E	960	1.0045	0.0152	1.0035	0.0278
1800f-1.6E	180	1.0084	0.0153	1.0149	0.0294
2100f-1.8E	960	1.0057	0.0149	1.0063	0.0266
2400f-2.0E	300	1.0036	0.0144	1.0000	0.0277

註： 1 は標準偏差

## 弾性係数の要約統計

$MOE_{m11}$ ,  $MOE_{D198}$ ,  $MOE_{17}$  及び  $MOE_{21}$  の統計数値の要約は、表 4. 5 から表 4. 8 までに、試験片全体についてグレード別に示した。これらの表には各  $MOE$  試験について平均値、変異係数、パラメーターを使わない 5 % 値、及び中央値を含んでいる。

製品規格 S P S 2 は弾性係数の測定は A S T M D 1 9 8 に規定する方法を使うことを推奨している。 $MOE_{m11}$  と  $MOE_{D198}$  の相関関係は  $MOE$  の両方の値を測定した試験片を使って求めた。回帰線は次の通りである：

$$MOE_{D198} \text{ (MPa)} = 1.0110 MOE_{m11} \text{ (MPa)} + 18.62 \text{ (} R^2 = 0.93 \text{)}$$

工場でプールした結果では  $MOE_{m11}$  と  $MOE_{D198}$  の間に高い相関関係があることが確認された。傾斜及び交点は、1. 0 及び 0. 0 であまり大きな差はなかった。回帰線の 9 5 % 信頼限界も図に示されている。

表4.5 グレード別の工場のMOE<sub>m i l l</sub>の数値 (MOEの単位はMPa)

グレード	数	平均値	変動係数(%)	5%値	50%値	W:Normal	Prob<W
1450f-1.3E	180	9,589	9.62	8,067	9,515	0.9797	0.3335
1650f-1.5E	958	10,793	11.45	8,895	10,687	0.9846	0.1958
1800f-1.6E	180	11,770	11.36	9,998	11,515	0.9336	0.0001
2100f-1.8E	960	12,816	8.76	11,170	12,687	0.9751	0.0001
2400f-2.0E	299	14,046	8.46	12,411	13,859	0.9630	0.0001

表4.6 グレード別のASTM MOE(MOE<sub>D198</sub>)の数値 (MOEの単位はMPa)

グレード	数	平均値	変動係数(%)	5%値	50%値	W:Normal	Prob<W
1450f-1.3E	40	9,292	10.00	7,187	9,329	0.9553	0.1651
1650f-1.5E	130	10,838	14.50	8,508	10,756	0.9885	0.9025
1800f-1.6E	30	12,630	13.70	9,970	12,259	0.9678	0.5281
2100f-1.8E	130	12,989	10.71	11,004	12,797	0.9589	0.0048
2400f-2.0E	40	14,019	8.02	12,301	13,859	0.9725	0.5449

表4.7 グレード別の21:1曲げ試験のMOE(MOE<sub>21</sub>)の数値 (MOEの単位はMPa)

グレード	数	平均値	変動係数(%)	5%値	50%値	W:Normal	Prob<W
1450f-1.3E	180	9,725	9.58	8,115	9,667	0.9798	0.3404
1650f-1.5E	960	10,772	11.23	8,998	10,694	0.9847	0.2130
1800f-1.6E	180	11,879	12.60	9,949	11,522	0.9217	0.0001
2100f-1.8E	960	12,714	9.47	10,942	12,583	0.9743	0.0001
2400f-2.0E	300	13,829	7.76	12,328	13,714	0.9649	0.0001

表4.8 グレード別の17:1曲げ試験のMOE (MOEの単位はMPa)

グレード	数	平均値	変動係数(%)	5%値	50%値	W:Normal	Prob<W
1450f-1.3E	90	9,134	9.51	7,784	9,095	0.9815	0.6353
1650f-1.5E	480	9,983	11.98	7,991	10,046	0.9859	0.6125
1800f-1.6E	90	11,083	13.84	9,143	10,639	0.9236	0.0001
2100f-1.8E	470	11,846	9.81	10,080	11,784	0.9896	0.9225
2400f-2.0E	150	12,719	9.12	10,508	12,701	0.9785	0.3236

MOE<sub>D198</sub> とMOE<sub>21</sub>の関係について、直線回帰分析で次の相関関係が得られている：

$$MOE_{D198}(MPa) = 1.0474 MOE_{21}(MPa) - 428.16 \quad (R^2 = 0.95)$$

分析結果はこれらのMOEの間には高い相関関係の存在を示している。回帰式はMOEの間には約1%の乖離があることを示している。実験室のMOEと工場のMOEの双方が、SPS2の製品規格に採用されているASTM D198のMOEと良く相関している。

イングレードのMOE<sub>17</sub>は別のスパンと試験ゾーンを使って求められたが、この場合の線回帰方程式は次の通りであった：

$$MOE_{21}(MPa) = 0.9267 MOE_{17}(MPa) + 1638.88 \quad (R^2 = 0.80)$$

回帰線の傾斜は1.0に近かったが、交点は0とは違っていた。回帰線から計算したMOE<sub>21</sub>は必ずMOE<sub>17</sub>よりも高かった。それはMOE<sub>17</sub>のスパンの中には常に強度減少欠点があったからである。決定係数(R<sup>2</sup>=0.80)は、試験方法が異なっているために、他のMOEの結果よりも低かった。

### 破壊係数

破壊係数(MOR)はイングレード試験方法を使って求めた。この方法では最大の強度減少欠点は、17:1のスパンと深さの比のスパンの中に任意に位置した。各グレード、各工場の集積データは表4.9に示した。グレードが上がるとMOR<sub>0.05</sub>が上がる傾向を示した。

Figure 4.1  
Normal fit to  
21:1 bending  
MOE test data

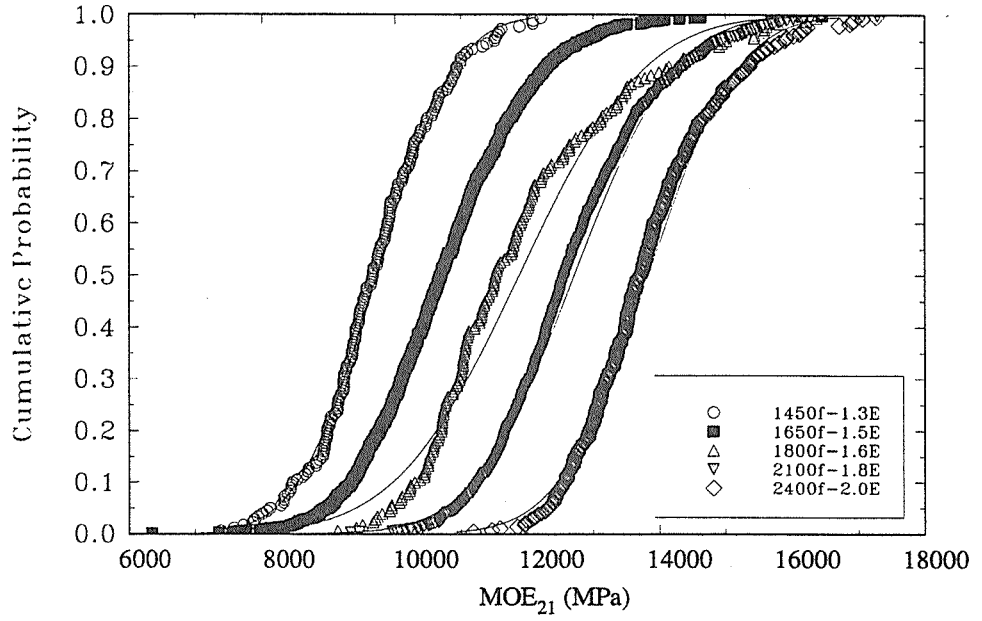


Figure 4.2  
MOE  
(ASTM D198)  
vs MOE(MILL)  
linear  
regression

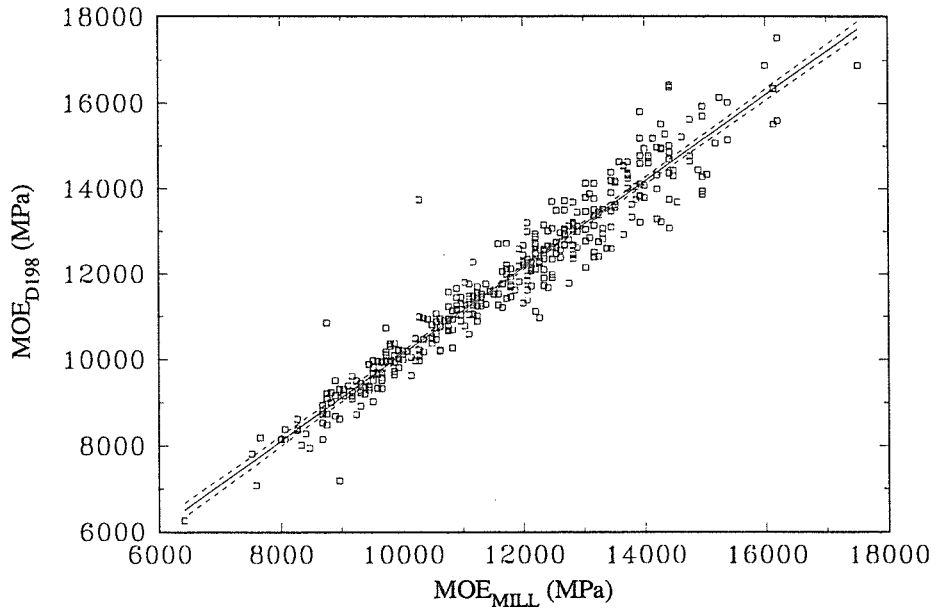


Figure 4.3  
MOE  
(ASTM D198)  
vs MOE(21:1  
test)

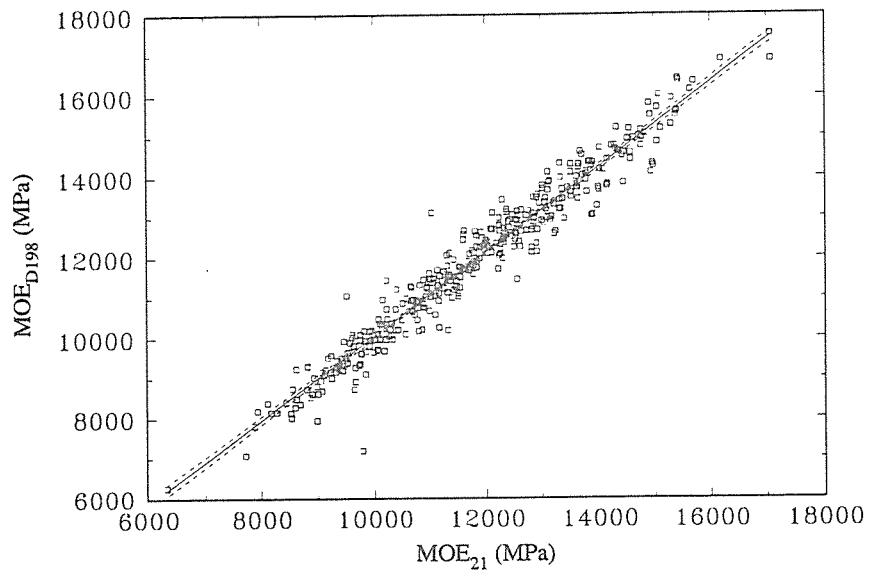


Figure 4.4  
MOE(21:1 test)  
vs MOE(17:1  
test)

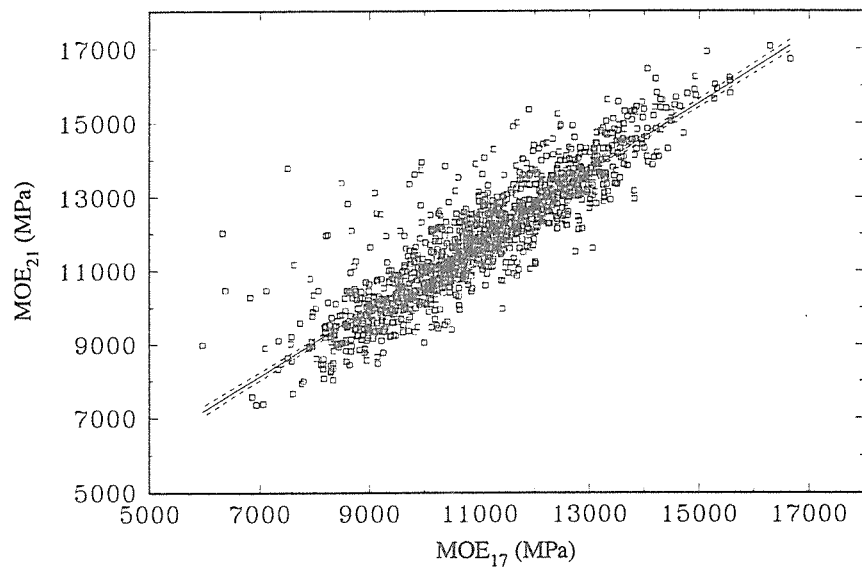


Figure 4.5  
Ratios of  
MOE (21:1)/  
MOE (17:1) vs  
MOE grade

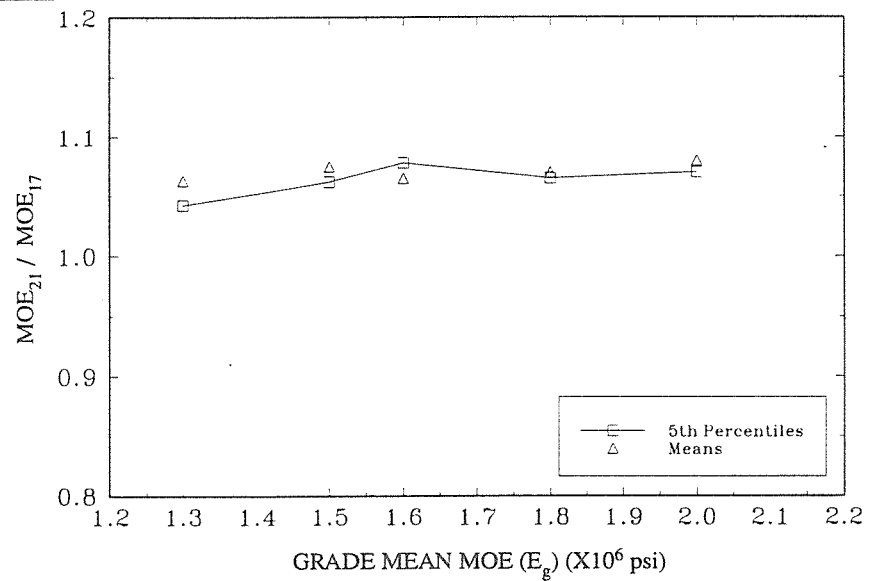




Figure 4.6  
MOR<sub>0.05</sub> versus  
grade

MSR 2x4 Spruce-Pine-Fir

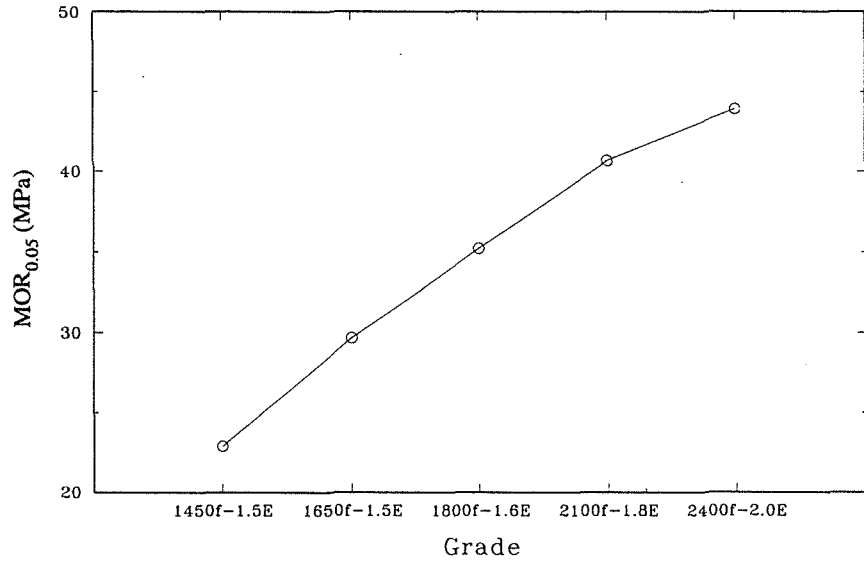


表4.9 グレード毎の破壊MOR試験の数値 (MORの単位はMPa)

グレード	数	平均値	変動係数(%)	5%値	50%値
1450f-1.3E	90	41.30	25.04	22.89	41.43
1650f-1.5E	480	48.02	23.42	29.66	47.97
1800f-1.6E	90	55.87	22.37	35.21	55.38
2100f-1.8E	470	60.93	20.01	40.67	61.27
2400f-2.0E	150	67.30	18.76	43.93	67.81

2パラメーター(2-P)と3パラメーター(3-P)のWeibullモデルのパラメーターは各グレードで最大可能性方法を使ったデータとフィットした。パラメーターが使ったフィッティングの技術に敏感であることは重要である。各グレードについてプールしたデータセットで得たモデルパラメーターは表4.10に示した。

表4.10 MORデータのためのWeibullのパラメーター

グレード	2-P Weibull		検閲した2-P Weibull			3-P Weibull		
	スケール (MPa)	シェイプ	スケール (MPa)	シェイプ	V <sub>w</sub> (%)	Loc. (MPa)	スケール (MPa)	シェイプ
1450f-1.3E	45.33	4.4975	39.96	6.0416	19.06	13.55	31.18	2.9793
1650f-1.5E	52.45	4.6692	48.44	6.2161	18.56	17.13	34.60	3.0034
1800f-1.6E	60.59	4.6239	55.48	7.2677	16.07	23.27	36.30	2.7820
2100f-1.8E	65.87	5.5261	61.12	7.1822	16.25	13.86	51.66	4.2888
2400f-2.0E	72.63	6.1172	69.99	6.9036	16.85	13.26	59.11	4.9181

2-PのWeibull分布での形のパラメーター(k)はデータセットにフィットする強度分布の変動係数(V<sub>w</sub>)の推定に使った。係数は公称の抵抗信頼度ベースの規格を作るのに必要であった。kとV<sub>w</sub>の相関関係は概ね次のようである:

$$V_w = k^{-0.9217}$$

検定したデータから得たMORの変動係数(V<sub>w</sub>)は各グレードについて表4.10に示した。MSR製材の強度の変動係数は完全分布から得た変動係数より小さかった。

Figure 4.7  
Weibull fit of  
MOR for  
1450f-1.3E  
grade – all data  
combined

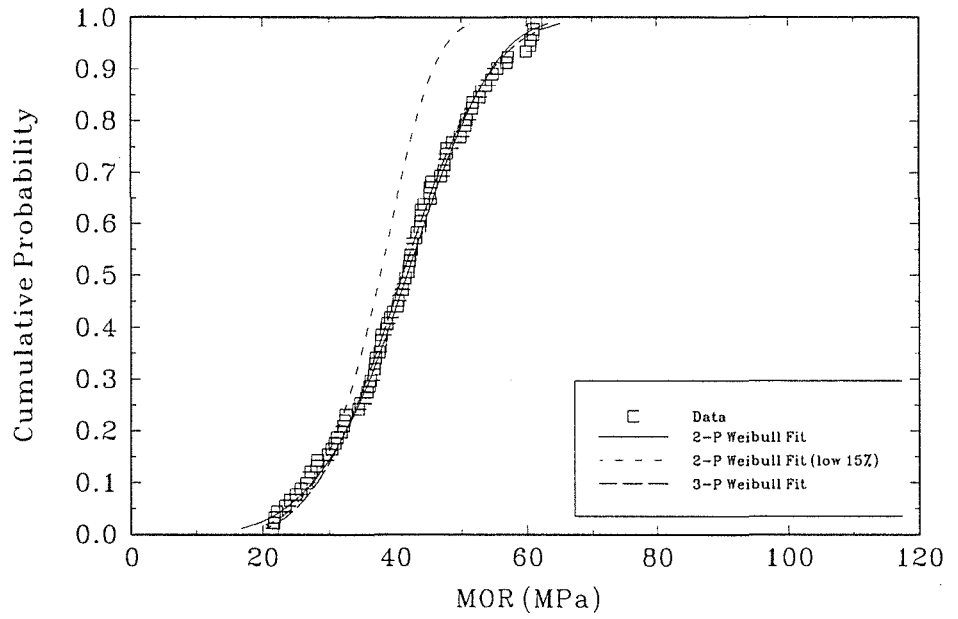


Figure 4.8  
Weibull fit of  
MOR for  
1650f-1.5E  
grade – all data  
combined

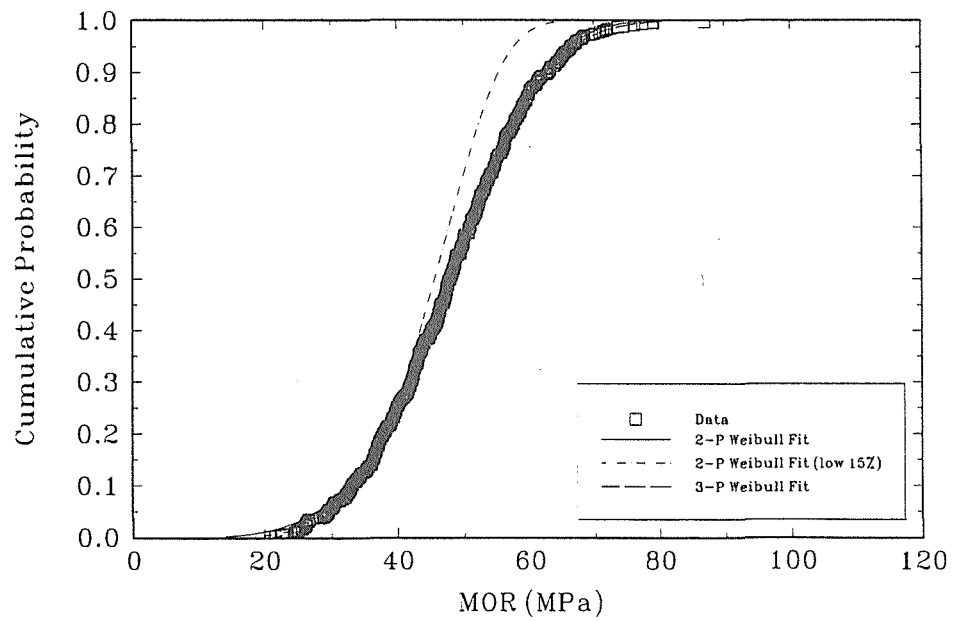


Figure 4.9  
Weibull fit of  
MOR for  
1800f-1.6E  
grade – all data  
combined

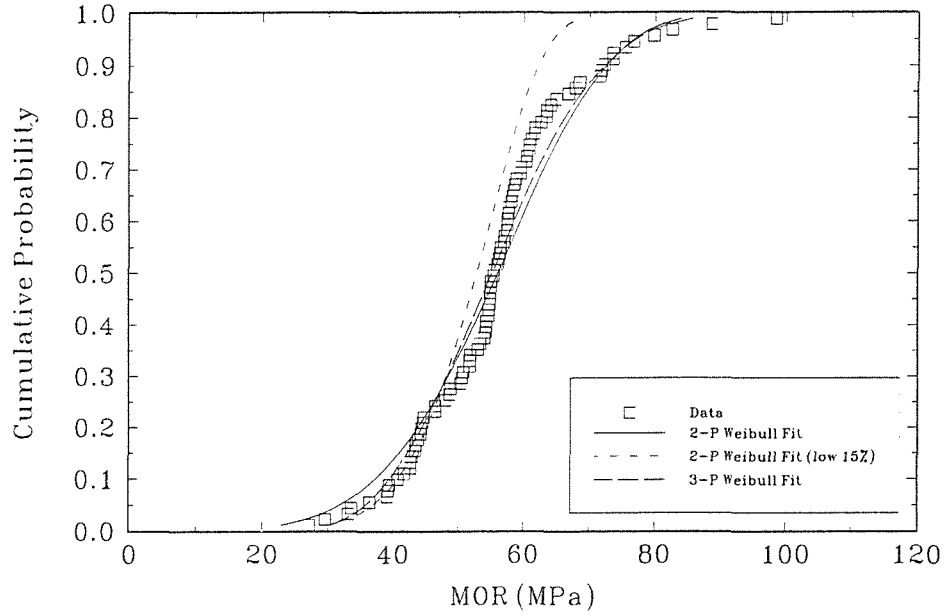


Figure 4.10  
Weibull fit of  
MOR for  
2100f-1.8E  
grade – all data  
combined

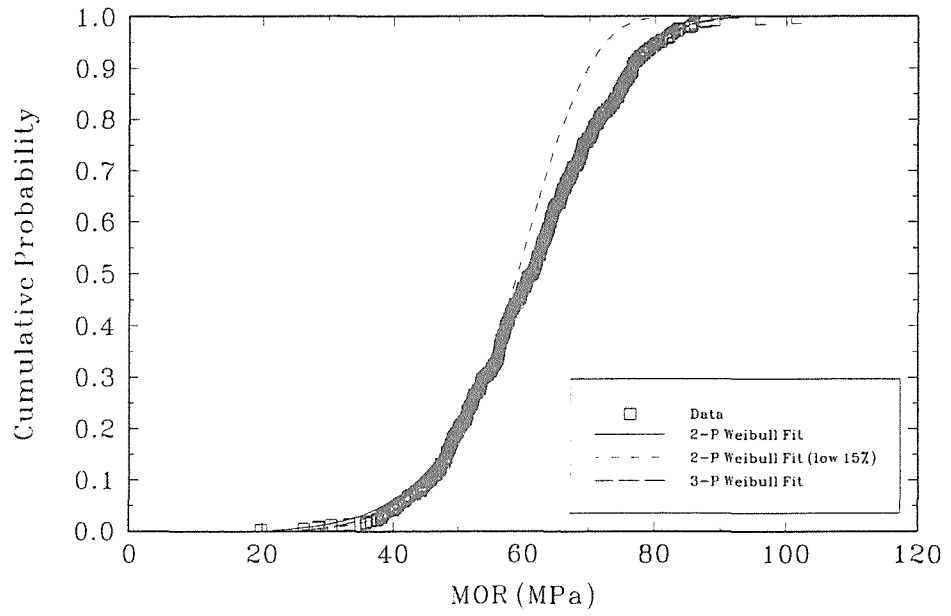
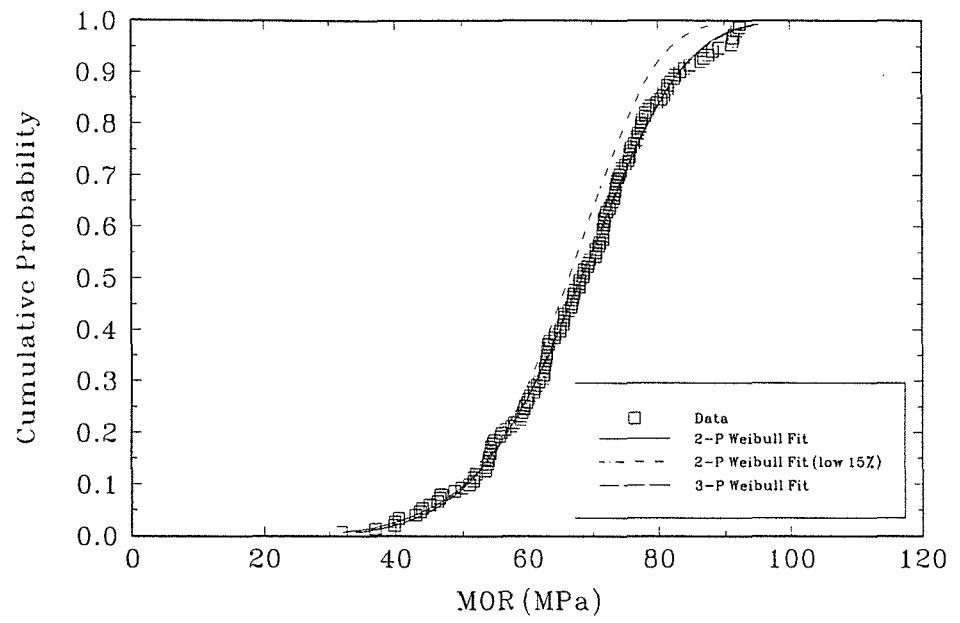


Figure 4.11  
Weibull fit of  
MOR for  
2400f-2.0E  
grade – all data  
combined



## 引っ張り強度

引っ張り試験の結果はグレード別に表4. 11に示した。表4. 12は、各グレードにフィットする2-P、3-P及び検知した2-Pの Weibullモデルのパラメータを示すものである。

表4.11 グレード別の引っ張り強度（単位はMPa）

グレード	数	平均値	変動係数(%)	5%値	50%値
1450f-1.3E	90	25.13	26.31	15.86	23.54
1650f-1.5E	480	28.69	27.23	17.14	28.30
1800f-1.6E	90	33.24	24.04	19.96	32.47
2100f-1.8E	490	40.33	24.34	26.03	39.37
2400f-2.0E	150	45.52	24.00	29.50	43.64

表4.12 引っ張り強度(UTS)のデータのための Weibull のパラメーター

グレード	2-P Weibull		検知した2-P Weibull		3-P Weibull			
	スケール (MPa)	シェイプ	スケール (MPa)	シェイプ	$V_w$ (%)	Loc. ( $\mu$ Pa)	スケール (MPa)	シェイプ
1450f-1.3E	27.68	3.8529	23.19	9.0813	13.09	14.82	11.47	1.5899
1650f-1.5E	31.65	3.8380	26.28	7.2178	16.17	9.69	21.39	2.5797
1800f-1.6E	36.38	4.4146	32.49	7.6568	15.32	16.42	18.98	2.2329
2100f-1.8E	49.82	4.2723	38.55	7.5533	15.51	13.42	30.14	2.9138
2400f-2.0E	49.82	4.4144	40.44	9.6176	12.42	24.35	23.88	2.0345

## 比重及び含水率

グレード毎の比重についての単一変量分析のデータは表4. 13に示した。表に示す通り、比重（SG）のデータは $E_k$ が増加するのに伴って増加する。したがって、比重とグレードは相互に関連している。正規性のテストではSGのデータは正規分布からきていることを示している。

Figure 4.12  
Weibull fit of  
UTS for  
1450f-1.3E  
grade – all data  
combined

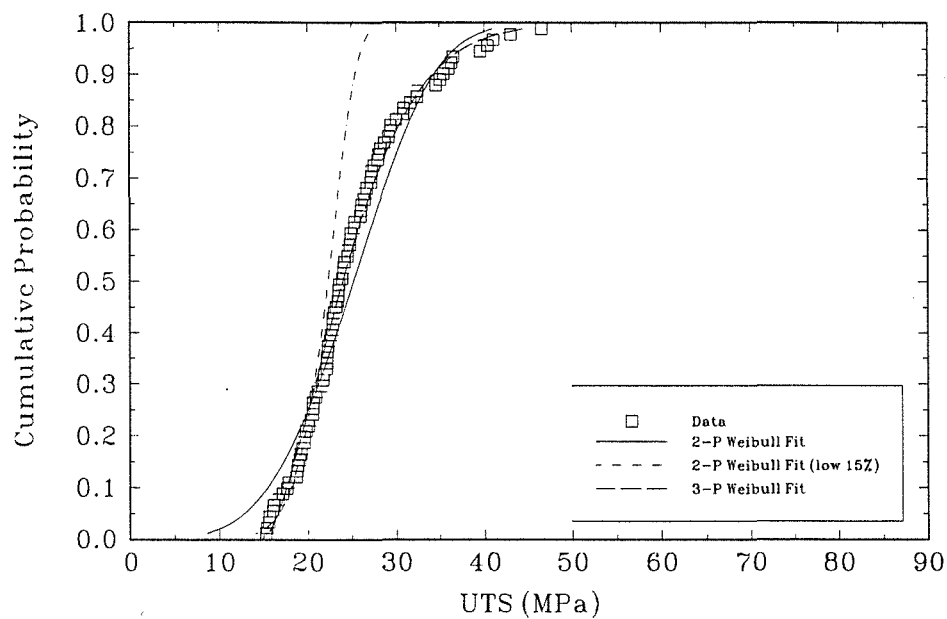


Figure 4.13  
Weibull fit of  
UTS for  
1650f-1.5E  
grade – all data  
combined

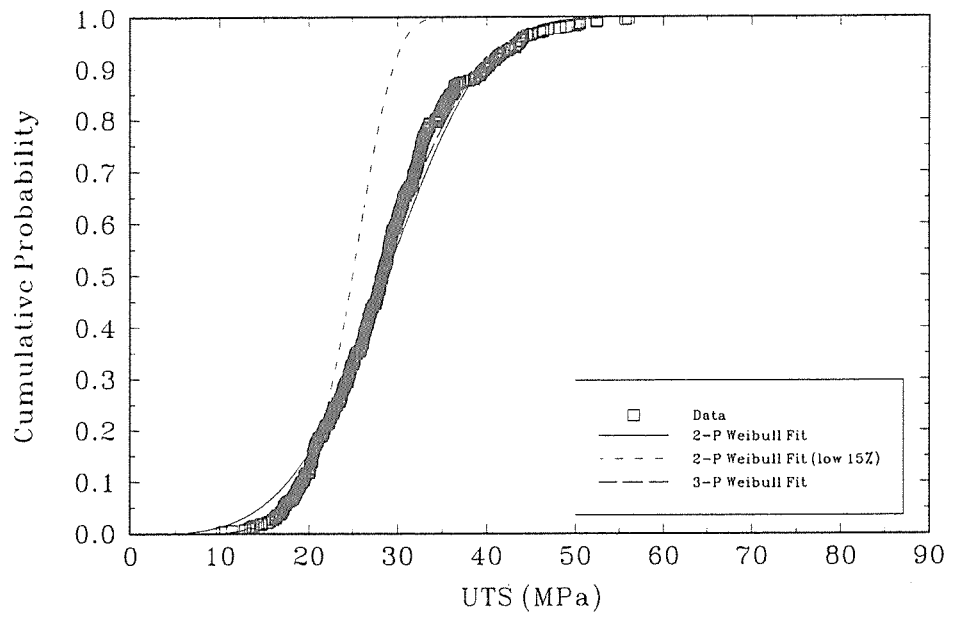


Figure 4.14  
Weibull fit of  
UTS for  
1800f-1.6E  
grade – all data  
combined

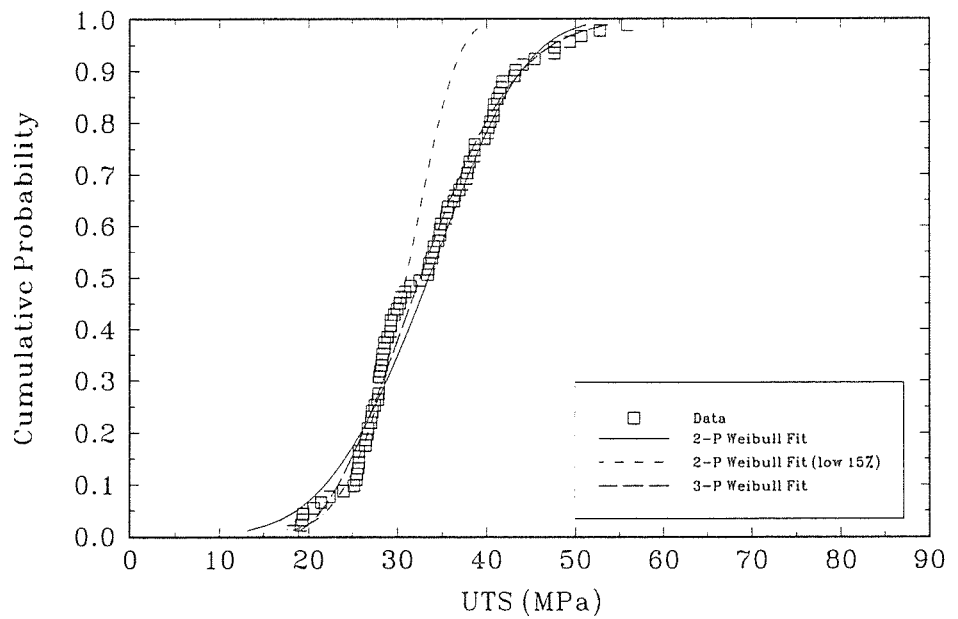




Figure 4.15  
Weibull fit of  
UTS for  
2100f-1.8E  
grade – all data  
combined

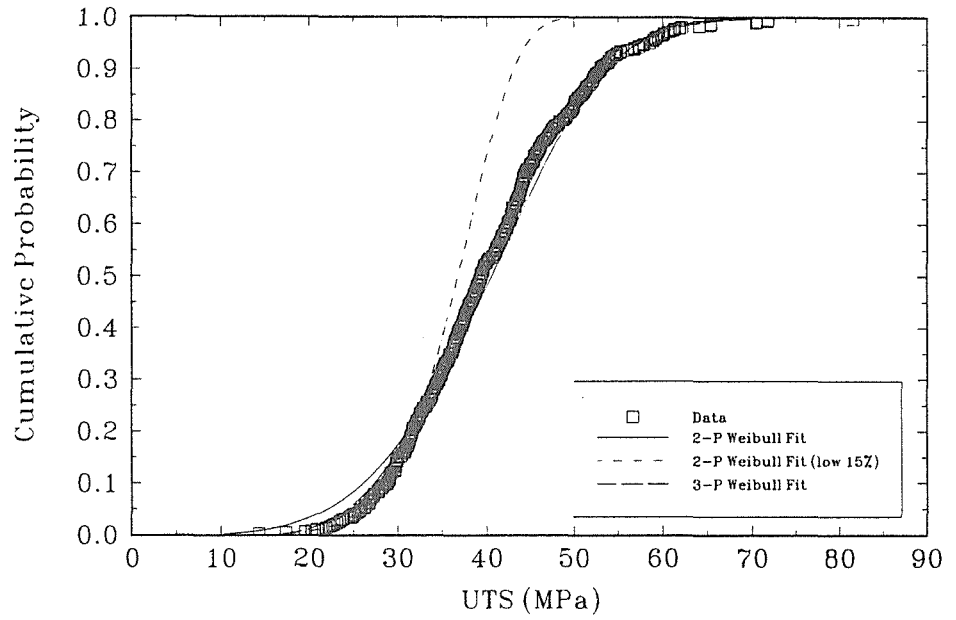


Figure 4.16  
Weibull fit of  
UTS for  
2400f-2.0E  
grade – all data  
combined

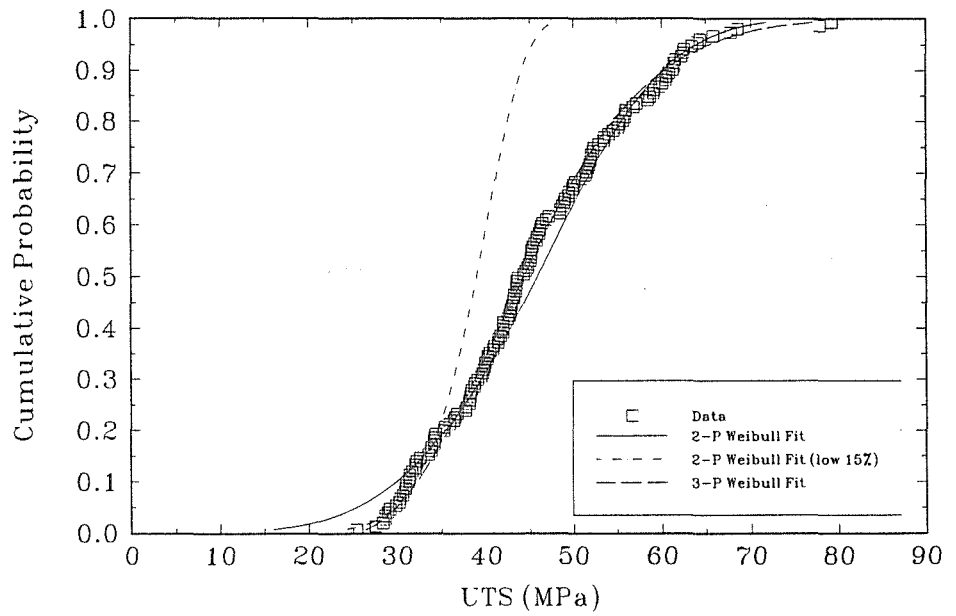


Figure 4.17  
UTS<sub>0.05</sub> versus  
Grade

MSR 2x4 Spruce-Pine-Fir

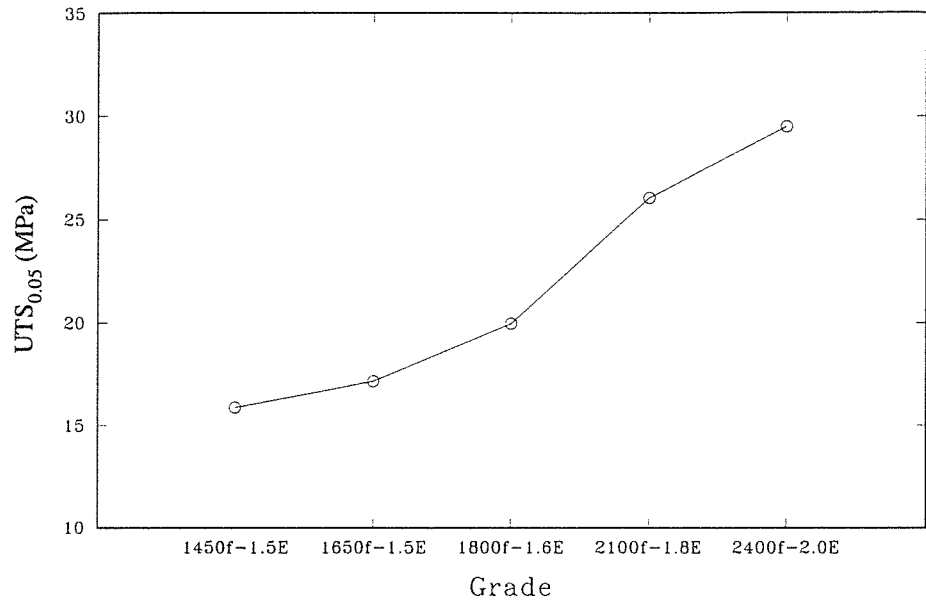


表4.13 グレード別の比重のデータ

グレード	数	平均値	変動係数(%)	5%値	50%値
W:Normal	Prob<W				
1450f-1.3E	90	0.4218	8.23	0.3612	0.4193
1650f-1.5E	481	0.4433	8.73	0.3803	0.4193
1800f-1.6E	89	0.4569	8.66	0.3920	0.4595
2100f-1.8E	470	0.4794	8.34	0.4140	0.4794
2400f-2.0E	150	0.5095	7.00	0.4507	0.5099

MSR製材の機械的性質は比重と相関している。比重は曲げ試験片のみからサンプリングした。SGとMOR及びMOEとの相関関係を評価した。MOE(21:1)に対する各工場及びグレードの平均値としての比重(SG)の回帰分析である。回帰式は次の通りである：

$$SG = 0.2340 + 10^{-5}MOE_{21} \quad (MPa)$$

$R^2$ は0.82である。

MORデータの平行分析では次式で与えられる直線回帰であった：

$$SG = 0.3599 + 0.0030MOR \quad (MPa)$$

$R^2$ は0.59である。

実験室で絶乾重量法で測定した含水率の平均値及び標準偏差は、含水率計(MMR)の読みで比較して表4.14に示した。

表4.14 色々な含水率試験での結果の比較

グレード	工場のMMR	実験室のMMR	科学的含水率(%)
1450f-1.3E	14.2	13.7	14.1
1650f-1.5E	13.1	13.3	14.1
1800f-1.6E	12.9	13.1	13.9
2100f-1.8E	13.4	13.4	13.9
2400f-2.0E	13.5	12.9	13.7

Figure 4.18  
Regression of  
 $SG_{\text{mean}}$  versus  
 $MOE_{\text{mean}}$   
(21:1 MOE Test)

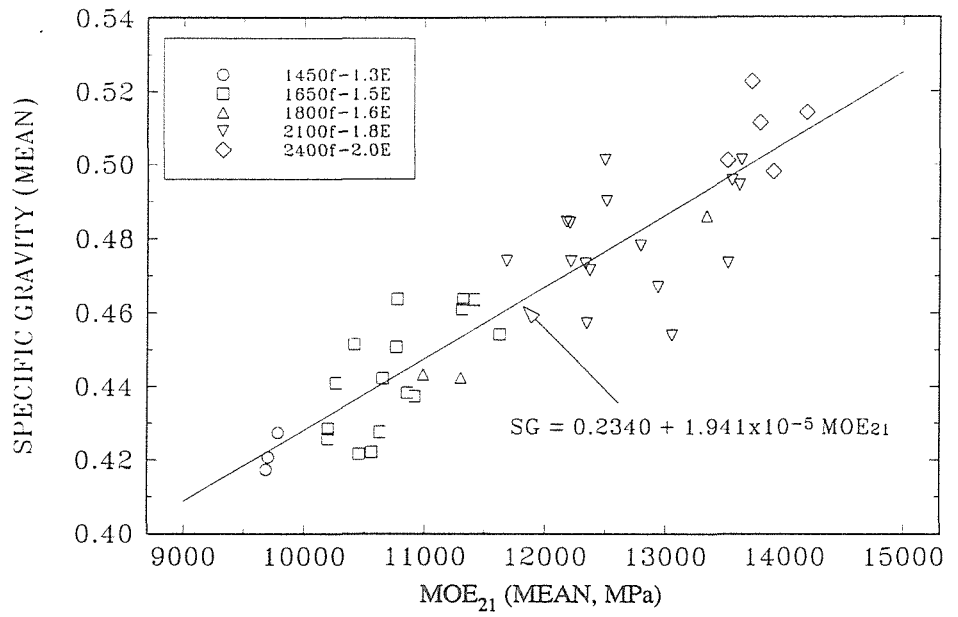


Figure 4.19  
Regression of  
 $SG_{\text{mean}}$  versus  
 $MOR_{0.05}$

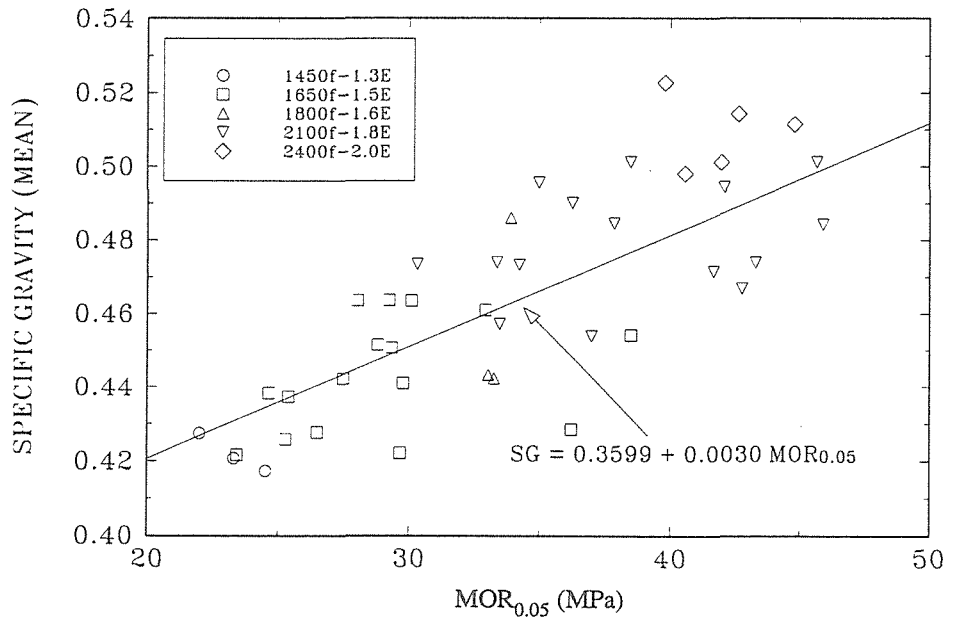


Figure 4.20  
Regression of  
MOR<sub>0.05</sub> versus  
MOE<sub>mean</sub>

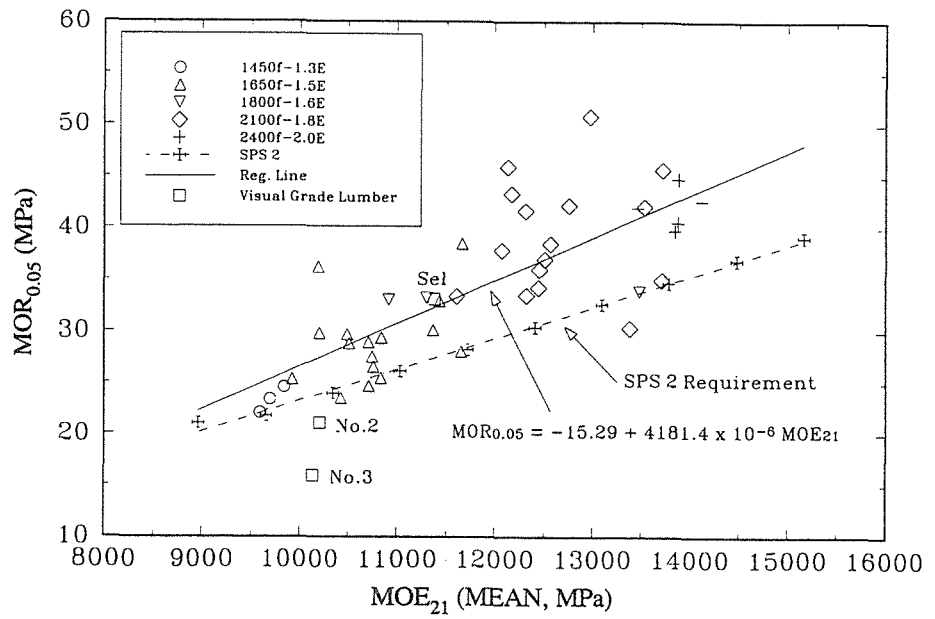


Figure 4.21  
Regression of  
UTS<sub>0.05</sub> versus  
MOE<sub>mean</sub>

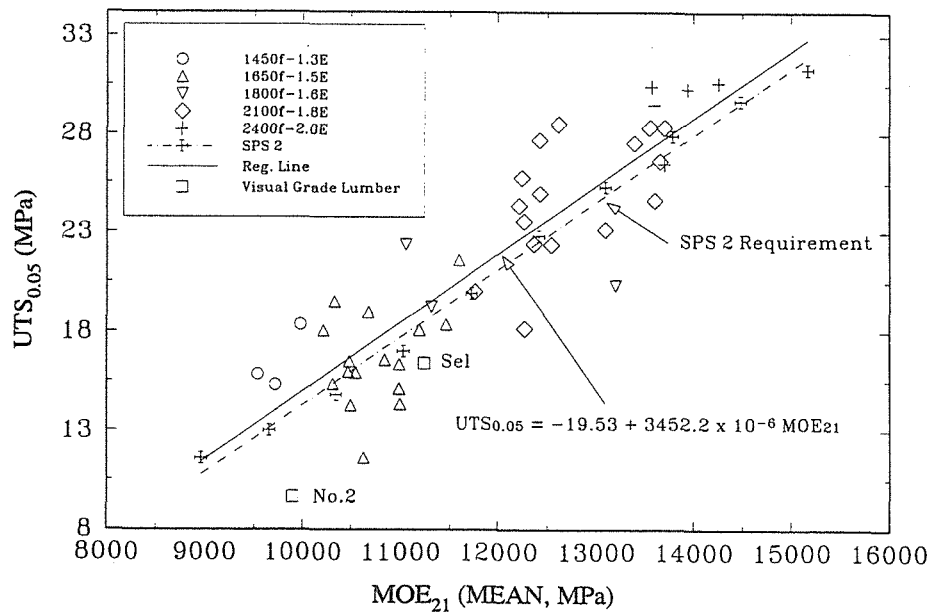


Figure 4.22  
 UTS vs MOR  
 using 5th  
 percentiles  
 & means of  
 all cases

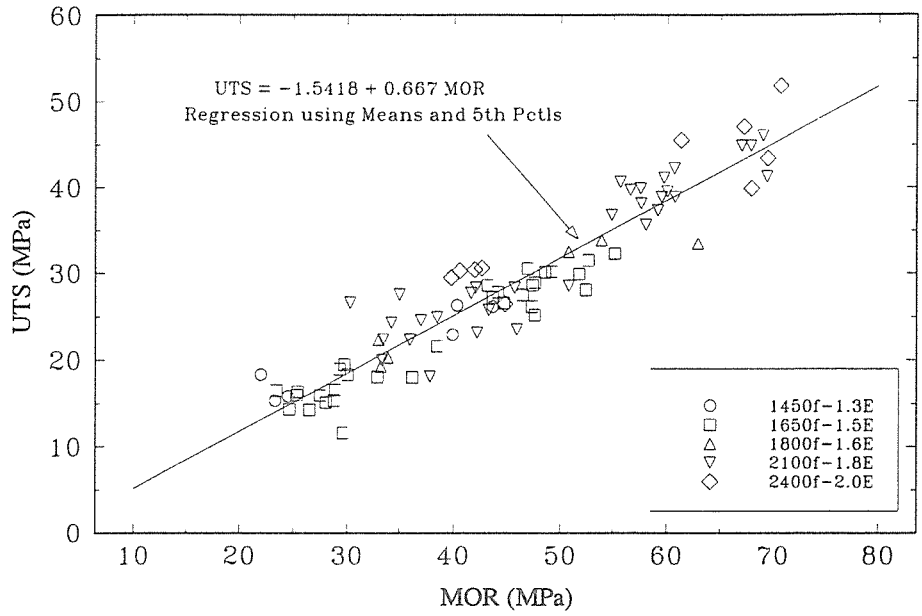
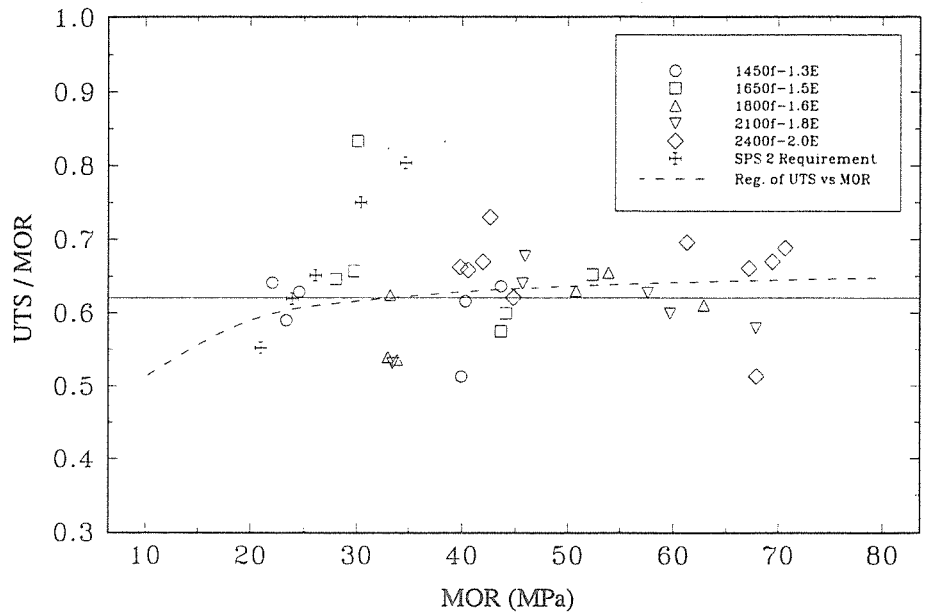


Figure 4.23  
 UTS/MOR vs  
 MOR using  
 5th percentiles  
 & means of  
 all cases



## 機械的性質の相互関係

M S R 製材の各グレードでは  $E_b - E_g$  の各カテゴリーについて特性的性質の特定のセットを定めている。強度と弾性との間の関係は、樹種に係わらず伝統的に固定されている。この研究の結果は S P S 2 に規格で採用している相互関係が S P F の M S R 製材の結果と一致しているかどうかを決定するのに使うことができる。

各工場及びグレードについて得られた  $MOR_{0.05}$  と  $MOE_{21}$  の平均値の間の関係は図に示したが、現在の S P S 2 グレードの平均の  $(E_g)$  と曲げ強度  $(MOR_{0.05,g})$  も示した。工場のデータとフィットする回帰関係は次式で示される：

$$MOR = 15.29 + 4181.4 \times 10^{-6} \cdot MOE_{21} \quad (MPa)$$

$R^2$  は 0.61 である。

特性的な引っ張り強度と平均の  $MOE_{21}$  との関係は現行の S P S 2 の要求と伴に図に示したが、リニア回帰分析で次の関係が得られた：

$$UTS = 19.53 + 3452.2 \times 10^{-6} \cdot MOE_{mean} \quad (MPa)$$

$R^2$  は 0.76 である。

MOR 及び UTS の平均値及び 5% 値は、各グレードについての UTS と MOR の比についての研究に使われた。URS と MOR の関係は次の通りであった：

$$UTS = 1.5418 + 0.667MOR \quad (MPa)$$

UTS/MOR の比は、各グレード及び工場のデータから MOR の関数として求めた。回帰分析では、 $UTS/MOR = 0.62$  ( $R^2 = 0.016$ ) という結果がでた。この結果は、最終引っ張り強度はグレードに関係なく破壊係数の約 62% であることを示している。

コードの要求は、破壊係数が増加すると性能比率が増加する傾向を示している。しかしながら、この傾向はこのデータからはでてこなかった。

## 4.5 討議

### 弾性係数

S P S 2 は M S R 製材の弾性係数の決定に A S T M D 1 9 8 の方法を使うことを推奨

している。ASTM D198の試験方法はビームの撓みの測定にフルスパンの枠の使用を要求しているが、これは工場での品質管理計画には不便である。品質管理装置ではASTM D198の結果に相当するMOEの結果ができるように調整することができる。工場でのプールしたデータに基づいたMOE試験の結果は、工場及び実験室のMOE試験結果はASTM D198の試験結果と密接に相関していることを示している。

見かけのMOEについての試験方法の影響は、同じ試験片からの $MOE_{21}$ と $MOE_{17}$ の結果の比較によって評価した。僅かな例外を除いて $MOE_{21}$ の結果は一貫して $MOE_{17}$ の値よりも高かった。SPS2の方法は目視格付けした製材を試験するのに使った方法よりも高いMOEの値を与えた。その差はMOEの平均値でも5%値でも約5%であった。

$MOE_{21}$ 及び $MOE_{17}$ の平均値及び5%値では、SPS2の要求する弾性係数はすべてのMSR製材のグレードで達成されることが確認された。

### 破壊係数

MSR製材の曲げ強度試験は、目視グレードの製材の試験に使った任意の位置付けの方法で行なった(ASTM D4671)。最大の強度減少欠点をスパンの任意の位置に置くことで、欠点をモーメントの最も大きい位置に置くSPS2の方法よりも高い強度が得た。

MORの5%値( $MOR_{0.05}$ )の結果は各グレードでSPS2の要求を上回った。この研究からはSPS2とASTM D4761の試験方法の調整係数を求めることは出来なかった。しかしながら結果は、目視グレードと同じ方法で評価したSPFのMSR製材はSPS2に規定されている特性値よりも大きい曲げ強度を持っていることを示している。カナダ及びアメリカの建築コードは構造用製材の設計値の決定にASTM D4761の方法を使うことを規定しているので、MSR製材と目視格付けした製材が同じ根拠から求めた性能を有していることが望ましい。

MSR製材の曲げ試験の結果は一般に目視グレードのもの程は変異しない。正規分布を想定して求めた曲げ強度の変動係数と完全なデータセットを使ったものとは18~25%の相違があった。2-PWeibullを使って得た変動係数は検知したデータセット(下方15%)に16~19%の範囲でフィットしている。MSR製材が目視グレードと比べて変動が少ないことは、状況制限設計コードに反映させるべきである。このプロジェクトのデータは2x4サイズに関するもののみである。

### 引っ張り強度

各工場各グレードのデータをプールした引っ張り強度の5%値( $UTS_{0.05}$ )はSPS2の要求を上回っていたが、MORの場合ほど大きくはなかった。



SPS 2の方法は引っ張り試験片の最小のゲージ長さを2440 mm (8 ft)と規定している。引っ張り試験は3660 mm (12 ft)のゲージ長を使って行なわれた。

MSR製材の引っ張り強度の変異の大きさは目視グレードの場合よりも小さかった。フルデータセットの引っ張り強度の変動係数は24%から27%であった。2-P Weibullから求めた変動係数は下方テールに12~16%の範囲でフィットしている。

### 性質の相関関係

MOR<sub>0.05</sub>,及びUTS<sub>0.05</sub>のMOE<sub>mean</sub>に対する回帰線は、SPFのMSR製材(38 x 89 mm)は特定のMOE水準で、現行のSPS 2の要求から予測したよりも高い曲げ強度及び引っ張り強度を持っている。最も大きな相違はまげ強度で起こっており、MOR<sub>0.05</sub>はSPS 2が要求しているものよりも著しく高かった。これは一部には試験方法の影響である。引っ張りの回帰線の結果はSPS 2の条項から期待されるものよりも僅かに高かった。

引っ張りと曲げ強度との比較では、MORに対するUTSの比はその特性水準で大体一定(UTS/MOR=0.6)であることがわかった。UTS/MORの関係の一般的な傾向はSPFの目視グレードの場合と大体同じである。UTS/MORの比は特定の特性水準で目視グレードで予測されたよりも僅かに高かった。高い性能比率はMSRグレードに適用されるエッジの節の制限の影響であるということはある。目視グレード製材についての曲げ、引っ張り圧縮強度の関係については、詳細は第8章に記載した。

## 4.6 要約

この章はCWCのMSR製材の性質に関する計画について記載したものである。この計画はBC州及びアルバータ州の工場から採取した製材のサンプルの曲げ及び引っ張り強度に重点をおいて、強度データの分布形態を開発し、SPS 2の規格に要求されている特性性能の適切性を確認しようとするものである。結果として次の結論が得られた：

1. 工場のMOEは色々な試験方式で得られた実験室のMOEの値と相関している。
2. これらのMOE変数の間の回帰式は高度に直線的な関係である。僅かな例外はあるが、MOE<sub>17</sub>の結果はMOE<sub>21</sub>の値よりも小さい。
3. MOEの平均値及び5%値は、MOR<sub>0.05</sub>やUTS<sub>0.05</sub>と伴に、SPS 2の機械的性質の要求はすべてのMSRグレードについて満足されている。
4. 一般に、MSR製材は目視格付け製材よりも変動係数が小さい。
5. MOEに対するMOR<sub>0.05</sub>及びUTS<sub>0.05</sub>の回帰線は、SPFのMSR製材は現行のSPS 2から予測されるMOEについて、高い曲げ及び引っ張り強度を持っている。一方、引っ張りと曲げ強度の比はすべてのグレードで約0.6に一定している。この比は目視グレードの製材の場合と同じである。

## 5 荷重速度

### 5.1 緒言

製材の強度的性能は短期的な性能を決定するために選ばれた荷重速度（ROL）あるいは変形率（ROD）による。材料の性能試験基準では、色々な荷重方法で木材製品の最終荷重を設定するのに使うべき荷重速度あるいは変形の割合を規定している。たとえば、ASTM D198では構造サイズで短期の木材強度を測定するための試験は約10分以内に最大荷重に達するように、一定の変形量の率で行なわねばならないとが、最大荷重は5分以内（曲げ試験では6分以内に達するようにし、20分を越えてはならないと規定している。

コンピューターでデータを集める新しい試験システムでは、もっと早い速度で荷重し、荷重速度も変形率もコントロール出来るようになってきている。D4761など新しいASTM規格では約1分で破壊荷重に達するようになってきているが、10秒以下でも10分以上でもいけないことになっている。速度の早い試験では、イングレード試験で各樹種あるいは樹種グループの設計応力を決めるのに、より多くの試験片を受け入れることが出来る。

荷重速度（ROL）あるいは変形率（ROD）と最終荷重との間の関係は、色々な調査結果の比較あるいは設計応力を求めるのに使った条件が標準条件と違う場合にデータの調整をする場合に、解っていなければならない。数多くの研究がデイメンジョンランバーの最終強度に及ぼすROLとRODの影響について検討している。多くの研究は単一の樹種、荷重方法及びサイズ／グレードの組み合わせについてのものである。主要な構造性能についての総合的な検討結果はでていない。

Karacabeyli 及び Barrett（1993）は構造用製材について色々な荷重条件で荷重速度の影響に関するROLとRODのデータを集めて分析した。ヨーロッパ、カナダ、アメリカの樹種が検討の対称となっている。荷重速度及び変形率試験からの試験結果は、樹種及び部材のサイズを組み合わせて、曲げ、引っ張り、及び圧縮の試験様式での破壊時と破壊に至るまでの応力間の相関関係についての総合モデルを開発したものである。

この章においては、彼等及びその他最近得られた圧縮データを報告し、カナダ産の樹種のデイメンジョンランバーについての試験に基づいたROLとRODの影響についての分析結果を記述している。

### 5.2 無欠点の材料

無欠点の材料でのRODの影響は、最終荷重での応力水準（SL）と破壊に至るまでの時間の対数（ $T_r$ ）の直線関係で示される：

$$SL = A + B \log_{10} T_r$$

応力水準 (SL) は破壊時の強度のパーセンテージで表される最終荷重の時の応力である。破壊に至るまでの時間は1分とした。

Pearson (1972) は小型の無欠点の曲げ試験で、調整関係を次の式で示した：

$$SL = 100.0 - 6.4 \log_{10} T_r$$

ここで、 $T_r$  は破壊に至るまでの時間 (分) である。

Gehards (1977) は小さい無欠点の試験片で木理平行の圧縮あるいは曲げ強度について同様の関係を提案している：

$$SL = 100.0 - 7.1 \log_{10} T_r$$

ここで、 $T_r$  は破壊に至るまでの時間 (分) である。

無欠点小試験片でのROLとRODの研究結果を要約すると、破壊に至るまでの時間が長くなると、最終の曲げ及び圧縮強度が減少するという一貫した傾向を示している。応力水準対破壊に至るまでの時間の関係は、どの樹種でも強度水準でも同様である。したがって、無欠点の曲げ及び圧縮メンバーについては単純な関係が採用された。

### 5.3 構造用サイズのメンバー

フルサイズの製材での荷重速度 (あるいは変形率) の関係は、無欠点小試験片で求めたものとは異なっている。Madsen (1971, 1972) は曲げにおける時間の影響は材料の絶対強度によると結論している。強度の小さい材料では荷重速度の影響は、同じサイズ及び樹種で高い強度の材料よりも小さいということである。

Spencer (1979) はダグラスファーのNo2グレードの2x6の材で、曲げ試験におけるROLの影響について研究している。強度の高いメンバーはROLが増すと強度が増すが、強度の小さいメンバーではこの影響ははっきりしない。

Foschi 及び Barrett (1982) は2x6, No2のウエスタンヘムロックの製材についての5ランプの荷重割合での曲げ試験を行なった。彼等は試験片を1分での破壊の代わりに0.1秒で破壊すると、強度が約10%増加し、約30時間で破壊すると約10%減少することを見出だしている。ROLの影響は強い材料の方が大きい。

カナダ産樹種についての荷重コントロール曲げ試験の結果は一貫していた。カナダでの結果は他の研究結果よりも色々な強度レベルで、より一貫した傾向を示した。その差は試験様式が相違しているためかも知れない。

CWCのイングレード曲げ試験は荷重をコントロールして行なわれた。この章では、カナダ材についての曲げ荷重速度試験を検討して、特にカナダ材についてのROL調整を求

めた。

フルサイズの構造材料のための引っ張り試験に替えて、曲げで荷重速度試験を行なえば、引っ張り性能の調整に使えるR O L調整が得られるかもしれない。

### 変形の圧縮率

Bellosillo (1984) はSPFの2種のグレード(構造用セレクトとNo. 2)、2種のサイズ(38 x 89 x 2440 mm及び38 x 184 x 3660 mm)について移動距離制御の試験を行なった。フルサイズの圧縮試験が歪み率1で行なわれた。ASTM D198の歪み率毎分0.001の10ないし25倍である。

試験片は弾性係数の分布にマッチして60個ずつのグループに分け、試験前に含水率を約15%にコンデイショニングした。

試験の結果は表5.1に示した。

表 5.1 SPFでの歪み率によって影響されるUTC (MPa)の試験数値の要約

サイズ	グレード	歪み率	数	平均値	標準偏差	最小値	最大値	パーセンタイル				
								5th	25th	50th	75th	95th
2x4 <sup>2</sup>	セレクト	1	60	28.90	5.23	12.05	41.75	22.45	25.77	27.78	31.54	38.74
		10	60	31.36	5.22	22.44	46.89	25.05	27.53	30.97	35.10	40.60
		25	60	32.45	6.50	22.56	51.36	23.98	27.01	32.31	34.89	47.18
	No.2	1	60	23.37	5.25	13.56	38.60	16.85	19.29	22.89	26.00	32.54
		10	60	26.32	5.66	15.47	39.62	19.44	21.97	25.53	30.12	37.61
		25	59	25.35	5.61	16.74	42.46	17.68	21.53	24.15	29.34	33.08
2x8 <sup>3</sup>	セレクト	1	60	23.53	3.81	13.29	35.60	18.25	21.62	23.95	25.70	29.35
		10	60	25.69	4.52	16.06	37.50	19.66	22.52	25.39	28.87	34.08
		25	60	26.90	4.52	16.72	42.09	20.67	24.30	26.93	29.80	34.09
	No.2	1	60	20.77	4.95	11.80	30.00	13.74	16.74	20.55	24.26	29.68
		10	60	22.26	5.61	12.20	35.55	14.19	17.78	21.80	26.41	30.79
		25	60	23.15	5.42	13.35	38.46	15.44	19.62	23.36	26.22	32.13

註: 1. 歪み率はASTMの0.001/min. 2. 試験長さは96in. 3. 試験長さは144in.

Figure 5.1  
Relationship  
between UCS  
and strain rate  
for S-P-F

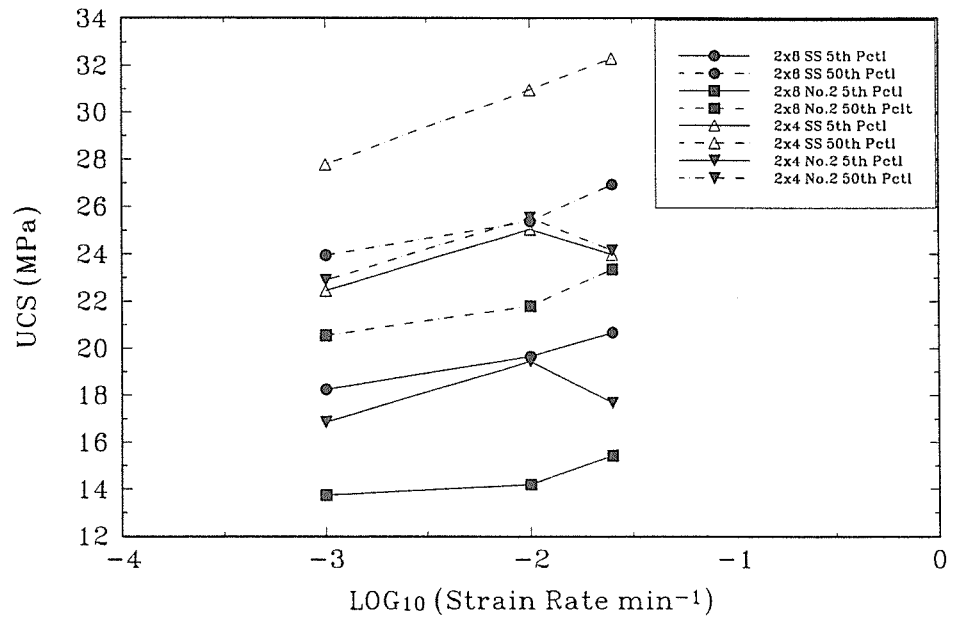


Figure 5.2  
Relationship  
between  
strength and  
strain rate  
for S-P-F

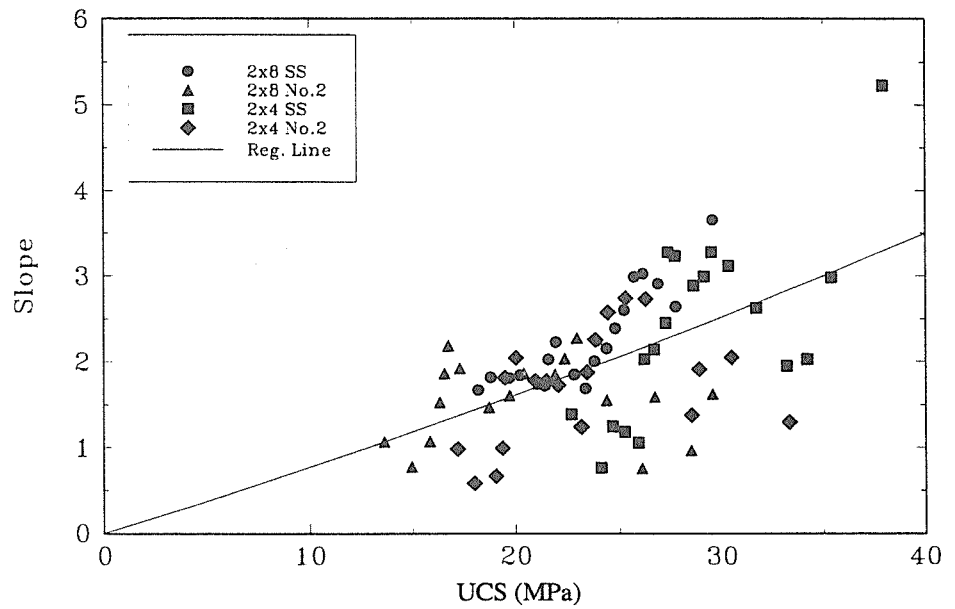


Figure 5.3  
 Relationship  
 between UCS  
 and strain rate  
 for S-P-F (size-  
 adjusted)

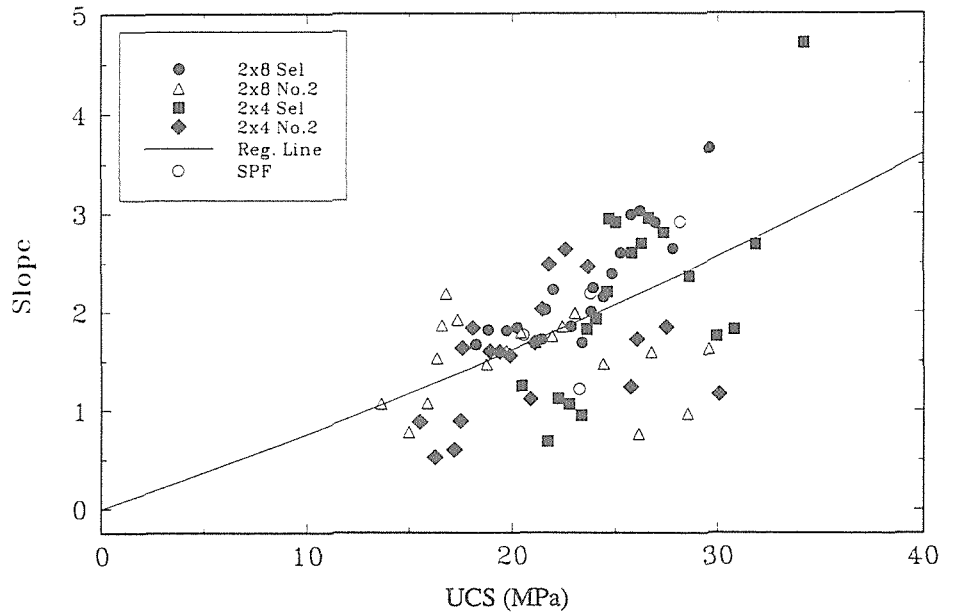
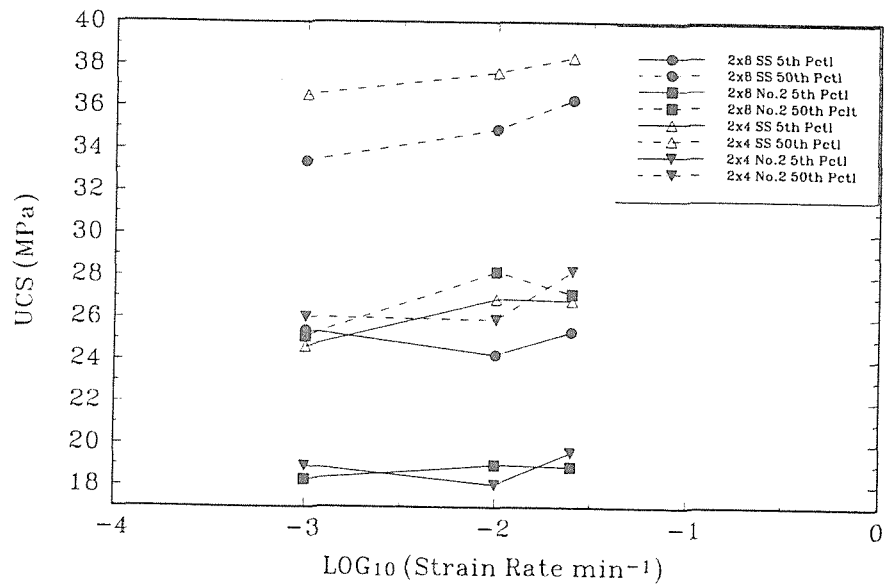


Figure 5.4  
 Relation  
 between UCS  
 and Strain rate  
 for Douglas fir



歪み率に対するUCSのリニアモデルは次の通りである：

$$UCS = A + B L \log_{10} \varepsilon$$

ここで、 $\varepsilon$  は毎分の歪み率である。

このモデルは非変数の0.05, 0.10, 0.15...0.95パーセンタイルの水準でデータにフィットしている。ASTMの歪み率での圧縮強度 $UCS_{0.001}$ は、次の表現を使って各水準で求めた：

$$UCS_{0.001} = A + B L \log_{10} 0.001$$

傾斜度Bは強度の絶対値水準によって異なる。

分析はサイズを幅184mm長さ17x184mmに補正したデータを使って、サイズ調整モデルによって繰り返した。

$$UCS = UCS_{as-tested} \left( \frac{W}{184} \right)^{0.11} \left( \frac{L}{3128} \right)^{0.10}$$

ここで、W及びLは試験したときの幅と長さである。

サイズを調整したデータを使って求めた傾斜は図5.3にプロットしたが、歪み率の影響は強度水準による。

歪み率に対するUCSに関する単純な分析的表現のためにはリニアサーフェイスモデルが使われた。

傾斜Bに関連し、 $UCS_{0.001}$ のデータに対応するために、次の第2の多項式が選ばれた：

$$B = D_1 UCS_{0.001} + D_2 UCS_{0.001}^2$$

”試験時”及び”サイズ調整”データについて得られた変数 $D_1$ 及び $D_2$ は次の通りである：

	$D_1$	$D_2$
試験時	$7.369 \times 10^{-2}$	$3.4 \times 10^{-4}$
サイズ調整後	$7.156 \times 10^{-2}$	$4.6 \times 10^{-4}$

Jessome 及び Bellosillo (1985) はダグラファ-の2種のグレード(セレクトとNo2)及び2種のサイズ(38x89x2440mm及び38x140x2440mm)について、木理平行方向の圧縮で歪み率の影響について調べた。弾性係数のマッチした

60個のグループを試験前に含水率15%に調整し、ASTMの標準レート毎分0.001よりも早い歪み率1の荷重速度で試験した。結果の数字は表5.2に示した。傾斜のパラメーターBは試験時及びサイズ調整後のデータを使って計算した。パラメーターは次の通りである：

	$D_1$	$D_2$
試験時	$7.056 \times 10^{-2}$	$-8.6 \times 10^{-4}$
サイズ調整後	$5.126 \times 10^{-2}$	$-2.7 \times 10^{-4}$

表 5.2 ダグラスファーのUCS (MPa)に及ぼす歪み率の影響についてのデータの要約

サイズ	グレード	歪み率 <sup>1</sup>	数	平均値	標準偏差	最小値	最大値	パーセンタイル				
								5th	25th	50th	75th	95th
2x4 <sup>2</sup>	セレクト	1	60	37.18	7.48	15.27	57.30	24.63	33.40	36.52	41.09	49.99
		10	60	37.62	6.78	22.24	61.15	26.91	33.38	37.60	41.85	47.02
		25	60	37.91	8.23	7.94	55.88	26.83	34.06	38.33	43.04	49.35
No. 2		1	60	32.95	5.64	21.04	46.14	25.39	28.36	33.39	36.26	42.95
		10	60	34.75	6.72	21.17	48.79	24.25	29.58	34.93	39.29	45.49
		25	59	29.08	6.63	17.32	48.79	19.59	23.85	28.24	32.61	39.96
2x8 <sup>3</sup>	セレクト	1	60	32.95	5.64	21.04	46.14	25.39	28.36	33.39	36.26	42.95
		10	60	34.75	6.72	21.17	48.79	24.25	29.58	34.93	39.29	45.49
		25	60	35.81	7.09	18.80	58.50	25.35	31.31	36.31	39.98	44.75
No. 2		1	60	26.33	5.77	13.93	40.67	18.29	22.37	25.12	29.85	35.72
		10	60	28.47	6.45	16.48	50.28	18.99	24.58	28.19	30.68	40.38
		25	60	28.20	7.70	16.60	57.09	18.90	23.21	27.17	31.19	43.35

註： 1 ASTMの標準率毎分0.001の倍数で表した。

2 試験長さ=96 in.

3 試験長さ=96 in.

S P Fとダグラスファーの結果を比較すると、ダグラスファーよりもS P Fの方が影響が大きい。両者のデータを合わせて見ると、サイズ調整後のパラメーターBは次のようになる：

$$B = 0.1045 UCS_{0.001} - 1.60 \times 10^{-3} UCS_{0.001}^2$$



Figure 5.5  
Relationship  
between UCS  
and strain rate  
for Douglas fir  
(as-tested)

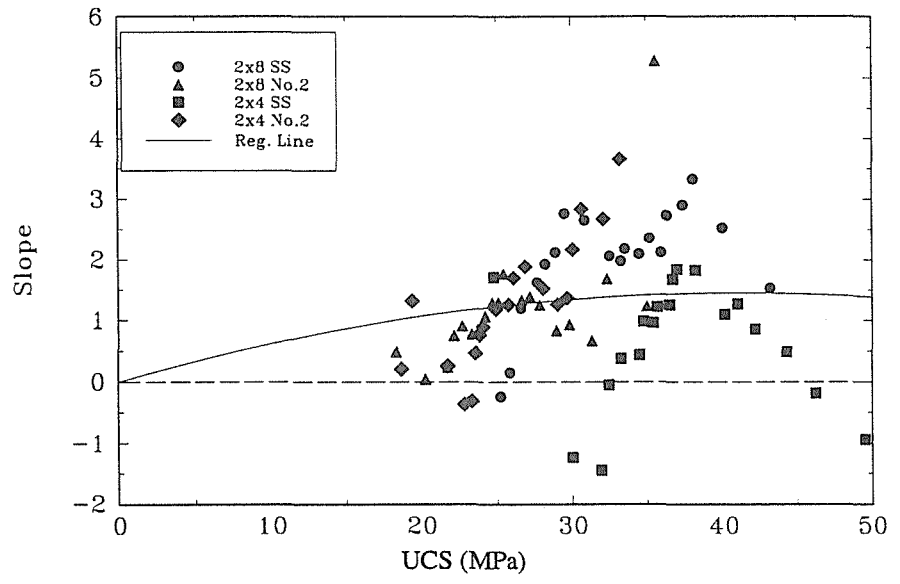
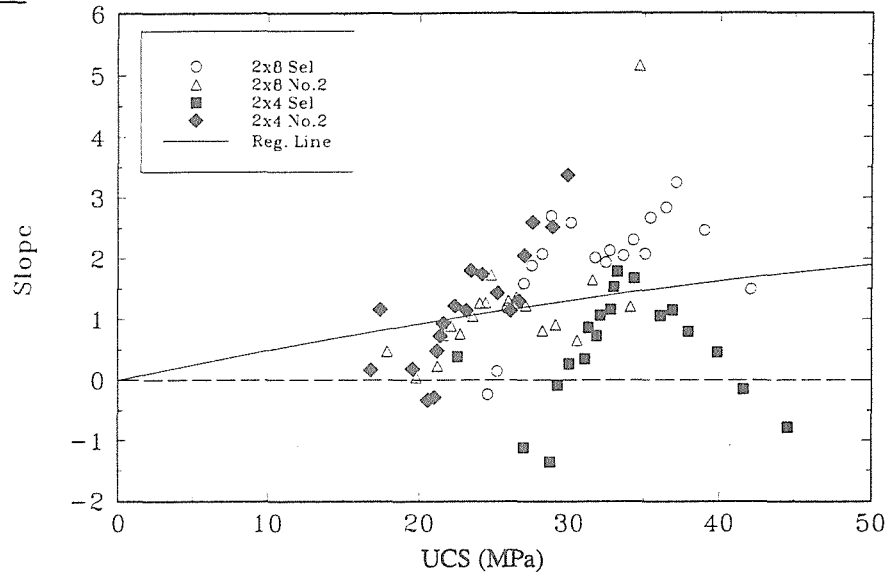


Figure 5.6  
Relationship  
between UCS  
and strain rate  
for Douglas fir  
(size-adjusted)



Results for the S-P-F and Douglas fir tests are compared in Figure 5.7. The strain rate effect was more pronounced in S-P-F than Douglas fir. If the S-P-F and Douglas fir data are combined, the B parameter for the size-adjusted data sets becomes :

$$B = 0.1045 UCS_{0.001} - 1.60 \times 10^{-3} UCS_{0.001}^2$$

Figure 5.7  
Relationship  
between UCS  
and strain rate  
(size-adjusted,  
combined for  
D.Fir and S-P-F)

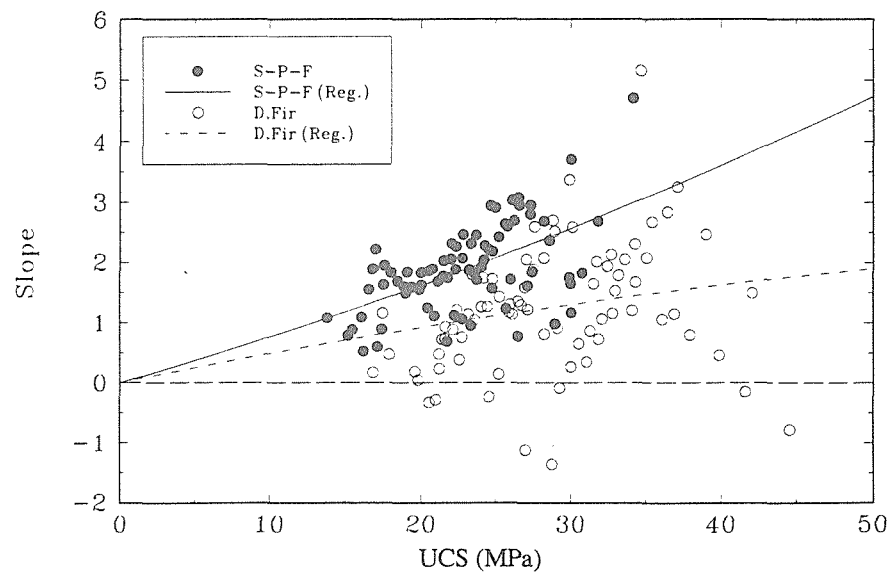
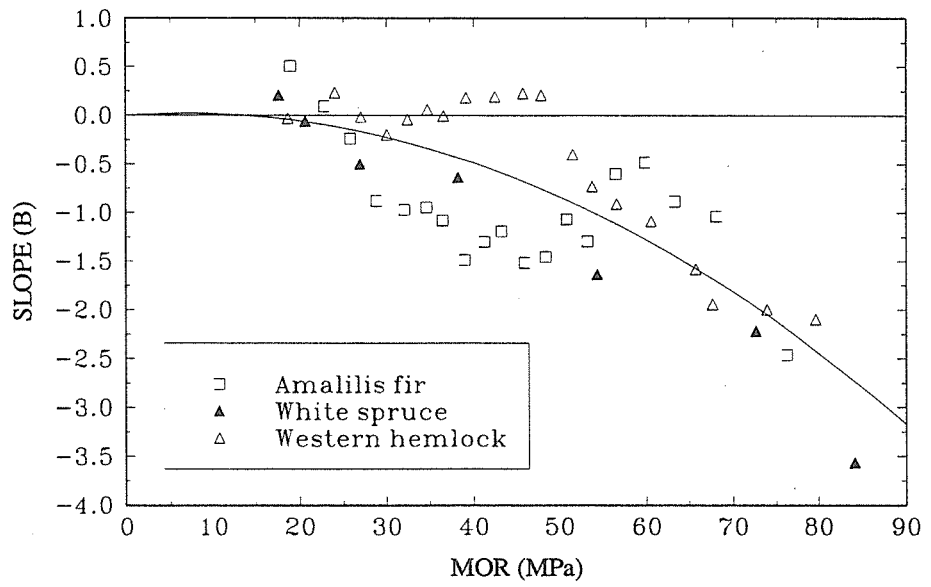


Figure 5.8  
Slope B vs  
MOR strength  
at 1 minute



構造用製材の性能結果に及ぼす荷重速度の影響についてのメカニズムを検討するには、更に今後の研究が必要である。サイズを調整したモデルは、すべてのサイズとグレードが単純な関係で代表できるので有利である。

#### 曲げにおける荷重速度

Karacabeyli 及び Barrett (1993) は、アメリカ及びカナダ産材について ROL 及び ROD を含む総合データセットを代表させるために、単純な 2 項のリニアースーフフェイスモデルを使っている。Hem-Fir、ダグラスファー、及びアマビリスファーについての ROL のデータを別々に分析して、カナダ材についてリニアースーフフェイスモデルのパラメーターを求めた。次の関係がある：

$$MOR = A + B L \log_{10} T_r$$

$$\text{ここで、} B = D_1 MOR_{1min} + D_2 MOR_{1min}^2$$

$$D_1 = 6.44 \times 10^{-3}$$

$$D_2 = -4.626 \times 10^{-4} \quad \text{である。}$$

#### 5.4 討議

無欠点材料についての幅広い研究結果をベースとして、曲げ試験における応力水準 (SL) と破壊に至るまでの時間 ( $T_r$ ) の関係について平均的な傾向を求めた (Pearson 1972):

$$SL = 100.0 - 6.4 L \log_{10} T_r$$

曲げ及び圧縮については (Gerhards 1977):

$$SL = 100.0 - 7.1 L \log_{10} T_r$$

ここで、 $T_r$  (分) は破壊に至るまでの時間で、1 分間の試験で  $SL = 100\%$ 。

アメリカ及びカナダ産の樹種のデイメンジョンランバーでの ROL 及び ROD のデータを含めた構造サイズの材の荷重速度の影響についての分析では次の結果が得られている：

$$SL = 100.0 - 3.5 L \log_{10} T_r \quad (T_r \text{ は分})$$

この式は小型の無欠点材の試験片の場合よりも荷重速度の影響が小さいことを示している。1分間の試験条件と比較して、1秒間の試験での強度の増加は6.2%、10分間の試験での強度減少が3.5%である。

フルサイズの構造部材の試験結果は、短期の強度が増すと荷重速度の影響が増加するという一貫した傾向を示した。荷重速度の影響が強度水準によるということは単純リニアサーフェイスモデルによって示される。これらのモデルによると、荷重速度の対数に対する強度の傾斜は標準条件での強度によることを示している。

リニアサーフェイスモデルは、イングレードの曲げ及び圧縮の試験データを荷重速度の影響について調整する根拠を与えるものである。サンプルにとったカナダ材についての曲げ及び圧縮試験から求めたモデルのパラメーターは、荷重速度の影響は設計応力の開発に使う特性に伴う強度水準では小さいという観察結果と一致している。

リニアサーフェイスモデルを使つての荷重速度あるいは変形率についてのデータ調整の手続きについてはこの章のアネックスに付した。(省略)。

カナダ産の商業樹種グループについてフルサイズの構造材に関して荷重速度あるいは変形率についての調整手続きの一連のセットを求めるには、更に研究が必要である。木理平行方向での圧縮における変形率の調整に関しては単一樹種のデータから求めた。

## 6 サイズの影響

### 6. 1 緒言

構造用製材に関する最近の研究は、曲げ、引っ張り、圧縮などの機械的性質はメンバーのサイズと荷重条件によって異なることを示している。サイズの影響は木材メンバーの中の強度の自然の変異からくるものである。脆い材料についての、メンバーの最も弱い構成要素が破壊すれば破壊が起こるという考え方に基づいて、メンバーのサイズと荷重条件が及ぼす強度性能の変異については統計的強度モデルを使つての説明が行なわれてきている。たとえば、引っ張りメンバーはチェーンとして働き、チェーンの強度は最も弱い繋がり所と同じ大きさであるということである。

この考え方はコットンヤーンについてこれを応用した Pierce (1926) に始まり、Tucker (1927) はコンクリートについて研究した。大きく貢献したのは Weibull (1939) で、最弱リンク理論に基づいて色々な材料の強度について研究を行なった。指数分布を使つて、彼は試験片が統計的に同様な要素で構成されていると仮定して、強度は試験片の応力を受けた量によることを示した。それは後には、Johnson (1953) によつて Weibull の提案した分布はメンバーの最も弱い要素のほぼ極端な値の分布であることが示された。

Bohannon (19966) は Weibull の理論を使つて無欠点材のメンバーの曲げ強度に及ぼすサイズと荷重条件の影響について研究した。彼は、試験材の深さと長さが増すと平均の弾性係数が減少するが、破壊係数はビームの厚さによることを発見した。すなわち、ビームの強度は、最弱リンク理論から予測される量というよりは、長さが深さの何倍かとうことに関係するということである。

Barrett (1974) は無欠点のダグラスファーの木理直角方向の引っ張りでサイズの影響は量ベースの最弱リンク理論のモデルと一致することを示した。Tak Jee Mau (1976) も市販の集成材ブロックで木理直角方向の引っ張りでサイズの影響を示した。

Foschi, 及び Barrett (1976) はダグラスファーの剪断強度に及ぼすサイズの影響を観察した。Colling (1986) の最近の研究も他の樹種について木理直角方向の剪断と引っ張りでサイズの影響を確認している。

Buchanan (1984) は Weibull の理論には、長さ、幅及び厚さの異なつたサイズの影響を含めるべきであると結論している。彼はまた曲げ荷重を受けた場合のサイズの影響には圧縮の影響を考慮に入れることの重要性を認めている。彼の発見によると、破壊係数 (MOR) はメンバーの長さが増すと減少するということである。

Madsen (1986) は曲げ及び引っ張りメンバーについて同様の長さの影響を報告しているが、引っ張りには幅の影響があるが、曲げにはないことを報告している。彼はまた曲げ強度は厚さが増すと増加するとしている。曲げ部材では大断面のものでは "depth" (深さ) と言われることが多いが、引っ張り部材では、それは "width" (幅) と呼ばれることが多いのは注目すべきである。

製材製品は不等方性であり、不均質性である。節などの欠点は離散性で樹木の枝の出方によって距離をおいて発生する。欠点が離散性であることは単純な最弱リンクモデルの使用を制約することがある。最弱点リンクモデルは、不均質性が無視されるようなメンバーのサイズの場合にサイズの調整に使うことが出来る。このモデルの使用限界は樹種によって異なり、大きな枝のある樹種では、より小さい節が均一に分布している樹種よりも制約が大きい。しかし、若干の使用目的ではサイズのモデルはすべての樹種に適用できる。

脆い部分が破壊するという理論では、破壊は引っ張り破壊を伴う。曲げメンバーでは最終荷重は一般にメンバーの引っ張り部分での破壊を伴う。曲げメンバーの強度は、メンバーは破壊に対して直線的に弾力的であるという想定で計算した特性的な”破壊係数”である。しかしながら、曲げメンバーは圧縮応力が比例限界を越える場合は直線的な活動を示さない。

曲げメンバーの圧縮ゾーンにおいては直線的でないということに基づいた弾性-塑性ストレス/ストレインの関係についての研究は数多くの報告がある。Buchanan (1984) は圧縮メンバーの研究において、非直線活動とサイズの影響を結びつけた。彼は軸方向及び横方向の荷重を受けているメンバーの最終荷重は双線形 (bilinear) の圧縮のストレス/ストレインの関係及びリニア-弾性引っ張りモデルを使ってモデル化することが出来ることを示している。

## 6. 2 最弱点リンク理論 (統計的強度理論)

最弱点 リンク理論は通常統計的に同様な一連の要素を含み、均一な応力を受けるメンバーについて求められている。メンバーの強度はそのシステムの最も弱い要素の強度によって決定される。

最弱点リンク理論は、ここでは目視格付けした製材の曲げ、引っ張り及び圧縮強度に及ぼすサイズの影響を評価するのに使っている。サイズの影響の分析のために必要な式は、構造用製材に適用するために求められている。

(理論式は省略)

### 6. 3 フルサイズの製材のサイズの影響

最弱点リンクの考え方は構造用木材製品におけるサイズの影響についての研究に幅広く使用されている。weibull の最弱点リンクの考え方は、同じメンバーの形で同じ荷重条件であれば、強度性能の対数はメンバーのサイズの対数と直線的な関係になるという結論になる。この対数関係はメンバーの長さ、幅及び厚さについてのサイズの係数の決定に使われている。

製材の厚さの影響に関する Madsen 及び Stinsen (1982) の研究は、メンバーの厚さが増加すると、曲げ強度が増加することを示している。この結果は、最弱点にリンクして破壊するという考え方と矛盾している。Madsen 及び Buchanan (1986) はこの異常なことは、メンバーの幅の広い面及び狭い面での節のサイズを制限しているグレーディングルールの中であるとしている。これらのルールではメンバーの厚さに係わらず固定したメンバーの深さについて節の最大サイズを制限している。この節で分析した試験結果は厚さ 38 mm のデイメンジョンランバーについてのものである。したがって、この研究では厚さの影響はそれ以上のものは考えていない。

一定の厚さで不等方性のサイズのメンバーでのサイズの影響は次のようなパラメーターで特長付けることが出来る：

- $S_w$  — 幅による強度の変異に対するサイズのパラメーター
- $S_L$  — 長さによる強度の変異に対するサイズのパラメーター
- $S_R$  — 長さ／深さの割合を固定したメンバーの長さ幅による強度の変異に対するパラメーター
- $S_A$  — 見付け面積（メンバーの幅に対する長さの倍数）による強度の変異に対するパラメーター

厚さの一定な構造用製材のサイズの影響は、次の 5 つの基本的な調書（プロトコール）を使って評価されてきている：

1. 幅の影響の試験 — 幅は変化するけれども長さとは荷重条件は固定されている試験
2. 長さの影響の試験 — 長さは変化するけれども幅とは荷重条件は固定されている試験
3. 荷重条件の影響の試験 — 幅及び長さを固定して荷重条件を変えての試験
4. 一定比率での試験 — 長さとは幅の比率及び荷重条件を固定して、長さ及び幅を変えての試験
5. 見付け面積試験 — 荷重条件は固定されているが、メンバーの長さ及び幅は変わってくる試験



色々なサイズの影響についての相関関係は図6. 3に示した。

サイズのパラメーターを求める方法及び、 $S_R$ ,  $S_L$ ,  $S_w$  及び  $S_A$  の間の関係を決める方法は、厚さを一定と想定した典型的なサイズの影響についての試験で開発した。

等しい厚さで同じ荷重条件での2つのメンバーについて、メンバーの見付け面積 ( $A_1 = W_1 L_1$  及び  $A_2 = W_2 L_2$ ) と対応する最終強度 ( $\delta_1$  及び  $\delta_2$ ) の関係についての2-Pの Weibull の式は次のようになる：

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \left( \frac{A_2 S_A}{A_1} \right) \quad (24)$$

ここで、 $A$ は分析しているスケールの係数である。

異なった見付け面積についてのサイズのパラメーター  $S_A$  はメンバーのどの幅あるいは長さについても一定であると考えられる。 $S_A$  の大きさはメンバーの見付け面積を変えて同じ荷重条件で行なう試験から決定することが出来る。

長さ及び幅の影響がそれぞれ独立のものであったとしたら、式(24)は異なった長さ及び幅のサイズのパラメーター ( $S_w$  及び  $S_L$ ) を入れて、次のように修正することが出来る：

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \left( \frac{W_2 S_w L_2 S_L}{W_1 L_1} \right) \quad (25)$$

ここで、 $L_1$ ,  $L_2$  及び  $W_1$ ,  $W_2$  はそれぞれメンバー1及び2の長さ及び幅である。

スパン/深さの比を一定にして同様に荷重されたメンバー、すなわち、 $L_1 = R W_1$  及び  $L_2 = R W_2$  については、式(25)は次のようになる：

$$\frac{\delta_1}{\delta_2} = \left( \frac{W_2 S_w R W_2 S_L}{W_1 R W_1} \right) = \left( \frac{W_2 S_w + S_L}{W_1} \right) = \left( \frac{W_2 S_R}{W_1} \right) \quad (26)$$

ここで、 $S_R$  はスパン/深さの比が一定の強度のパラメーターである。サイズのパラメーター  $S_R$ ,  $S_w$ ,  $S_L$  及び  $S_A$  は次のような関係になる：

$$\begin{aligned} S_R &= S_w + S_L \\ S_R &= 2 S_A \end{aligned} \quad (27)$$

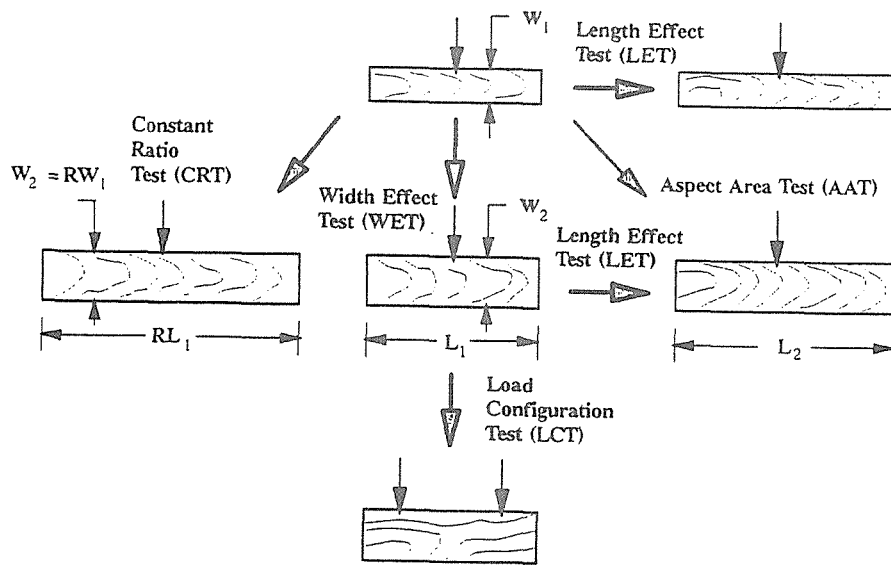


図 6.3 典型的な曲げメンバーでのサイズの影響についての試験

実際には、サイズのパラメーターは一般に強度の対数に対する幅、長さ、厚さ、面積あるいは容積の対数の回帰線の傾斜から決定される。サイズの影響は適切な試験によるので、サイズのパラメーターは曲げ ( $b$ )、引っ張り ( $t$ )、圧縮 ( $c$ ) などに使う強度にそれぞれの下付き文字を付けている。サイズのパラメーターの一般記号としては  $S_{xy}$  である。始めの下文字  $x$  はサイズのパラメーターのスケールを示し、次の下文字はサイズの影響を適用する性質を示している。たとえば、 $S_{Lb}$  は曲げメンバーでの長さの影響のパラメーターということである。

もしも曲げにおける最終荷重が引っ張り域の強度で決定され、引っ張り強度は最弱点の強度になるとし、製材が均質な材料であるとすると、次のようなことが真実となる：

1. 曲げ ( $S_{Lb}$ ) 及び引っ張り ( $S_{wt}$ ) の長さのサイズパラメーターは同じである。
2. 曲げ ( $S_{wb}$ ) と引っ張り ( $S_{wt}$ ) の幅についてのサイズパラメーターは同じである
3. 幅と荷重条件を固定した引っ張りと曲げの強度の比は、長さのサイズのパラメーターに関連している。
4. 幅 (深さ) を固定しての曲げメンバーの荷重条件のパラメーターは長さのパラメーターに関連している。

この章の残りの部分は目視格付けの製材のサイズ調整のパラメーターを求めているものである。サイズのパラメーターの一部、 $S_{At}$ 、 $S_{Ab}$ 、 $S_{c}$ 、 $S_{Rb}$  は CWC のデータベースを使って直接求めることが出来る。曲げ、引っ張り及び圧縮についての他のサイズのパラメーターは他の研究から間接的に求めなければならない。

サイズのパラメーターは強度の対数をスケールの係数（長さ、幅または面積）の対数に対して回帰させて求めた。サイズのパラメーターは回帰直線の傾斜の絶対値である。樹種、グレード、または強度水準についてサイズのパラメーターに大きな差のある試験には共変動の分析技術を使った。

CWCのイングレードのデータベース及び他の公表された結果を、厚さ38mmのディメンジョンランバーの曲げ、引っ張り及び圧縮のサイズのパラメーターの評価に使い、また構造用製材は引っ張り及び曲げにおいて最弱点リンクの脆い材料として働くという仮設について試験した。

## 6. 4 曲げにおけるサイズの影響

曲げにおけるサイズの影響については、樹種及びグレードについての各組み合わせ、及びすべてのデータの総合について評価した。北米のイングレード試験計画では、破壊係数の対数を幅の対数に対して回帰させることによってコンスタントレシオのサイズの影響である  $S_{Rb}$  が決定できるように、曲げ試験ではスパンと深さの比 17 : 1 を採用した。幅の影響のパラメーター ( $A_{wb}$ ) 及び長さの影響のパラメーター ( $S_{Lb}$ ) は間接に求めた。

### 曲げにおけるコンスタントレシオのサイズの影響

コンスタントレシオのサイズの影響のパラメーターは3種の樹種グループ (D. Fir-L、Hem-Fir、SPF) 及び3種のグレード (セレクト、No 2、No 3) について2種の規定された強度パーセンタイル水準 (5%と50%) について決定した。データをプールして、樹種、グレード及びパーセンタイル水準毎にサイズのパラメーターを決定した。加えて、プールしたデータを使って、すべての樹種、グレード及びパーセンタイル水準について全般のサイズ係数について評価した。

共変動による分析の方法は、サイズのパラメーターは樹種グレードあるいはパーセンタイル水準に無関係であるという仮説を試験するのに使われた。仮説を否定するものには表 6. 1 に星印 (\*) を付けた。全般のサイズのパラメーターは  $S_{Rb} = 0.449$  という値になった。5%有意の水準でパーセンタイル水準、グレード、樹種の間には  $S_{Rb}$  に相違はなかったが、SPFのセレクトグレードで5%と50%のプールしたものが例外であった。

表 6.1 曲げにおけるコンスタントレシオの影響のパラメーター

性質の水準	グレード	樹種			すべての樹種
		D. Fir-L	Hem-Fir	S-P-F	
5th	セレクト	0.516	0.579	0.452	0.516
	No 2	0.368	0.466	0.386	0.407
	No 3	0.397	0.555	0.513	0.487
	すべてのグレード	0.426	0.533	0.450	0.470
50th	セレクト	0.306	0.439	0.395	0.380
	No 2	0.447	0.521	0.372	0.446
	No 3	0.425	0.455	0.504	0.461
	すべてのグレード	0.393	0.471	0.424	0.429

全級	セレクト	0.411	0.509	0.424*	0.448
	No 2	0.407	0.493	0.379	0.427
	No 3	0.409	0.505	0.508	0.474
	すべてのグレード	0.409	0.502	0.437	0.449

註：\* リジェクトH<sub>0</sub>：すべてのサイズのアラメーターが等しい（有意水準5%）

S<sub>Pb</sub> が強度の絶対値水準で変わるかどうかについて詳細な分析が行なわれた。サイズのパラメーターは各樹種及び3種のグレードについて19のパーセンタイル水準（0.02, 0.05, 0.10, 0.15... 0.90, 0.98）で決定された。各パーセンタイル水準での回帰分析は、幅184mmでの曲げ強度の決定に使われた。もう1つの回帰分析は幅184mmでの強度のパーセンタイルの値でのサイズのパラメーターの関連に使われた。すべての樹種及びグレードの組合せについての回帰式は次の通りであった：

$$S_{Rb} = 0.4507 - 5.804 \times 10^{-4} \text{MOR} \quad (\text{MPa}) \quad (28)$$

回帰線は強度が増すとS<sub>Rb</sub>が僅かに増加することを示したが、傾斜は5%有意水準で0からあまり離れていなかった。

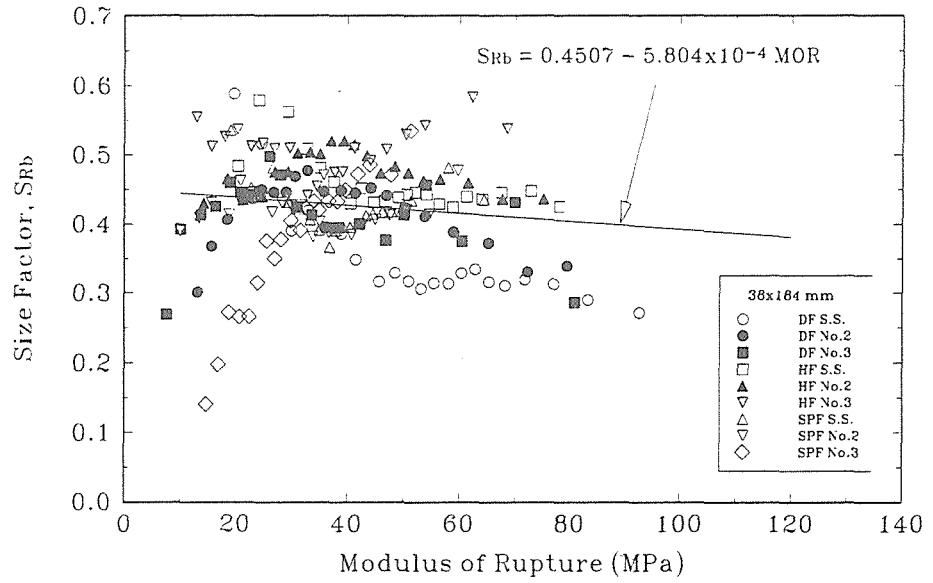
メンバーは幅も長さも割合が異なっていたので、CWCのデータベースから長さの影響S<sub>Lb</sub>及びS<sub>wb</sub>を直接求めることは出来なかった。そのため、次のアプローチを行なった。

#### 曲げにおける長さの影響、S<sub>Lb</sub>

Hem-Fir及びDSPFについてMadsen（1990）が発表した曲げにおける長さの影響についてのデータは長さをスケールの係数として分析された。曲げ強度の対数に対する長さの対数の傾斜を決定するには共変動分析の技術が使われた。Hem-Fir及びSPFのサイズ係数S<sub>Lb</sub>はそれぞれ0.18と0.16であった。分析の結果は両樹種について適用される0.17という係数はリジェクト出来ないことを示した。

他の研究では、Madsen（1992）が、No2&BtrのHem-Firで10%及び50%のパーセンタイル水準で、長さのサイズ係数S<sub>Lb</sub>はそれぞれ0.30と0.16であったと報告している。サイズからサイズへのグレードミックスの変異はサイズのパラメーターの変異性を増加し、サイズのパラメーターに影響する。たとえば、Madsen及びNielsen（1976）は4種の幅での試験で一定したサイズの影響が得られなかったと報告している。これに含まれたセレクトの割合はそれぞれ44、54、56、44%であった。グレードの異なったサンプルでは一定のサイズの影響が出てこないことを示している。

Figure 6.4  
 Variation of the  
 bending size  
 parameter  $S_{Rb}$   
 with strength  
 level



### 曲げにおける幅の影響 $S_{wb}$

幅の影響は既存の実験データからは直接決定することが出来なかつたので、 $S_{wb}$  は式(26)及びコンスタントレシオの試験と長さの影響の試験の結果を使って推定した。 $S_{Rb} = 0.45$ 及び $S_{Lb} = 0.17$ という値から $S_{wb} = 0.45 - 0.17 = 0.28$ という値を求めて、曲げメンバーの幅の影響を推定した。

### 6.5 引っ張りにおけるサイズの影響

CWCプログラムでの引っ張り試験片のゲージ長さはメンバーの幅によって異なっている。選ばれた長さでは、コンスタントレシオ、長さ及び幅のサイズの影響のパラメーターを直接求めることは出来なかつた。計算したサイズのラメーターに誤差が出ることを避けるために、 $S_{At}$ の値は試験時の引っ張りのデータ及び見付け面積(幅×ゲージ長さ)をスケールの係数として使用することによって計算した。個々の樹種/グレードの組み合わせ及び全般のサイズのパラメーターは表6.2に示した。全樹種及びグレードについての共通の傾斜 $S_{At}$ の仮設は5%有意の水準で否定されなかつた。

### 引っ張りにおける長さの影響 $S_{Lt}$

引っ張りメンバーの長さの影響は公表された研究結果から求めた。これらの研究結果は、SPFについて引っ張りにおける長さの影響は $S_{Lt} = 0.12$ 、サザンパインについては $S_{Lt} = 0.15$ と報告している。SPFについての共変動の分析ではグレードやパーセントイル水準で長さのパラメーターに大きな変化はないことを示している。

Madsen (1990)もSPFの長さの影響について研究している。その分析の結果はSPFについて $S_{Lt} = 0.18$ で、サイズのパラメーターには5%及び50%のパーセントイル、及びメンバーの断面積によって著しい相違はなかつたということである。3つのデータセットをプールすると、共通のサイズのパラメーターとして $S_{Lt} = 0.17$ という結果が得られそれぞれの間にあまり差がない。

Madsen (1992)はHem-FirのNo2について研究して、10%パーセントイル水準で $S_{Lt} = 0.26$ 、25%水準で $S_{Lt} = 0.20$ という従来の値よりも著しく高い値を出している。その相違は純粹のグレードのデータというよりはグレードのミックスによるものであろう。

### 引っ張りにおける幅の影響 $S_{wt}$

CWCのデータベースでの38 x 89 mmの試験片による引っ張り強度のデータは、

$S_{L_t} = 0.17$  を使って、長さ 3.68 m に調整された。幅 184 mm と 235 mm の試験片についてゲージ長さ 3.68 m で試験した。そしてこの長さを幅の影響のパラメーター  $S_{w_t}$  の決定に使った。表 6.3 は共変動分析によるサイズのパラメーターを示すものである。全般のパラメーターは全樹種について  $S_{w_t} = 0.21$  であった。この値は式 (26) の  $S_{w_t} = 2 S_{A_t} - S_{L_t} = 2(0.21) - 0.17 = 0.25$  という値に近いものであった。

Madsen 及び Nelson (1978) は 3 つの樹種グループの個々のグレードについて一定のゲージ長さで試験した。これらの結果は引っ張りにおける幅の影響の調査に使われた。3 つの主要樹種グループの 5% 値の分析をプールして、樹種やグレードによって著しい相違のない共通のサイズの係数  $S_{w_t} = 0.217$  という値が得られた。CWC のデータベースから得られたサイズの係数と以前の研究結果から得られた値は概ね同じである。

表 6.2 引っ張りにおける見付け面積のパラメーター (メンバーの幅×長さをスケールの係数として求めたもの)

性質の水準	グレード	樹種			全樹種
		D. Fir-L	Hem-Fir	S-P-F	
5th	全部	0.215	0.251	0.197	0.220
50th	全部	0.153	0.224	0.194	0.190
全部	全部	0.184	0.238	0.193	0.205

註: グレードの全部とは No. 2 及びセレクト

表 6.3 引っ張りにおける幅の影響のパラメーター (長さ 3.68 m に調整した引っ張り強度試験で得られた  $S_{w_t}$  を使ったもの)

性質の水準	グレード	樹種			全樹種
		D. Fir-L	Hem-Fir	S-P-F	
5th	セレクト	0.222	0.253	0.287	0.254
	No 2	0.263	0.306	0.107	0.225
	全グレード	0.242	0.280	0.197	0.240
50th	セレクト	0.122	0.257	0.230	0.203
	No 2	0.139	0.232	0.130	0.167
	全グレード	0.131	0.245	0.180	0.185
全部	セレクト	0.172	0.255	0.258	0.229
	No 2	0.201	0.269	0.119	0.196
	全グレード	0.186	0.262	0.188	0.212



## 6. 6 圧縮におけるサイズの影響

圧縮試験片も色々なゲージ長さで試験したが、長さとの幅の比は一定ではなかった。そのためデータからコンスタントレシオ、幅及び長さのサイズの影響を直接評価することは出来なかった。サイズのパラメーター  $S_{A_c}$  は見付け面積をスケールの係数として評価した（表 6. 4）。共変動の分析では、樹種とグレードの間に共通の傾斜があるという仮設を否定しなかった。そして共通のサイズの係数  $S_{A_c} = 0.11$  が決められた。樹種の間は小さいものと考えられる。

### 圧縮における長さの影響 $S_{L_c}$

Madsen (1990) は S P F の製材について圧縮で長さの影響を研究した。分析結果は  $S_{L_c} = 0.10$  で、幅 (89 及び 184 mm) 及びパーセントイル水準でパラメーターに大きな差はなかった。彼はまた Hem-Fir についても No. 2 のグレードの材について長さの影響を研究し、 $S_{L_c} = 0.09$  であったと報告している。Hem-Fir のデータは公表されていないので、圧縮における長さの影響についての共通のサイズのパラメーターを作ることは出来なかった。式 (26) を使って、 $S_{w_c} + S_{L_c} = 0.11 + 0.10 = 0.21$  という結果を得た。これは試験時のデータ分析で得た  $2S_A = 0.22$  という値とほぼ等しいものであった。

表 6.4 圧縮における見付け面積のパラメーター  $S_{A_c}$

性質の水準	グレード	樹種			全樹種
		D. Fir-L	Hem-Fir	S-P-F	
5th	全部	0.103	0.121	0.122	0.115
50th	全部	0.073	0.091	0.125	0.096
全部	全部	0.088	0.106	0.123	0.106

註: 全部のグレードとは No. 2 とセレクトである。

表 6.5 圧縮における幅の影響のパラメーター  $S_{w_c}$

性質の水準	グレード	樹種			全樹種
		D. Fir-L	Hem-Fir	S-P-F	
5th	全部	0.105	0.133	0.133	0.124
50th	全部	0.058	0.086	0.139	0.094
全部	全部	0.082	0.110	0.136	0.109

## 6. 7 討議

曲げ、引っ張り、及び圧縮におけるサイズの影響のパラメーター  $S_R$ ,  $S_w$ ,  $S_L$  及び  $S_A$  は公表された データ及び CWC のデータベースの分析によって求められた。長さの影響のパラメーター  $S_{Lb}$ ,  $S_{Ll}$ ,  $S_{Lc}$  (表 6. 6) は公表された文献から求めた。プールした CWC のデータから得られたその他のサイズのパラメーターは表 6. 6 に示した。幅についてのサイズのパラメーター  $S_{wb}$ ,  $S_{wl}$ ,  $S_{wc}$  は、曲げ、引っ張り、圧縮の試験結果に長さの影響のパラメーターを使って共通の長さに調整してから求めた。

曲げの分析においては、サイズのパラメーター  $S_{Rb}$  には性質の水準やグレード、樹種の間が多きな差がないことが解った。曲げにおけるサイズの影響はすべての樹種、グレードについて同じであるという仮説は否定されなかったので、共通のコンスタントレシオのサイズのパラメーター  $S_{Rb} = 0.45$  が設定された。Hem-Fir についてのサイズの係数  $S_{Rb}$  は、十分に有意という程ではないが、一貫して 3 樹種グループの中では高かった。(Hem-Fir は  $S_{At}$  の値でも最高であった)。

CWC の製材の性質に関するプロジェクトはカナダ・アメリカの共同プログラムの一部として行なわれ、商業用針葉樹デイメンジョンランバーの主要グループについて構造性能を評価することが目的であった。直接データを比較し得るように、両プログラムは極めて似たサンプリングと試験の方法を採用した。アメリカの商業樹種グループ (サザンパイン、ダグラスファー、ヘムファー) についてのイングレード試験で得られたサイズのパラメーターについては Johnson 等 (1989)、Anon (1989)、Green, Evans (1989) が報告している。

表 6.6 曲げ、引っ張り、及び圧縮におけるサイズのパラメーター

性質	サイズのパラメーター					
	$S_w$	$S_L$	$S_A$	$S_R=2S_A$	$S_R=S_L+S_w$	$S_R$
曲げ	0.28	0.17 <sup>1</sup>	-	-	-	0.45
引っ張り	0.21	0.17 <sup>2</sup>	0.21	0.42 <sup>4</sup>	0.38 <sup>4</sup>	0.40 <sup>5</sup>
圧縮	0.11	0.10 <sup>3</sup>	0.11	0.22 <sup>4</sup>	0.21 <sup>4</sup>	0.21 <sup>5</sup>

註: 1 Madsen 等のデータに基づく

2 Lam, Varo 等のデータに基づく

3 Madsen による

4 計算した値である

5 前の2つの欄の計算した値の平均である

カナダとアメリカのプロジェクトからの結果の一部は表 6. 7 に示し、結果を NLGA

の以前のプロジェクトで Madsen 及び Nielsen (1978) が行なった結果と比較した。NLGA の証明荷重の 5% 値のデータの分析で共通のサイズの係数  $S_{Rb}$  が 0.43 と出てこの数字はアメリカとカナダの CWC の結果と一致している。 $S_{Rb}$  は北米で生産される主要な商業樹種グループの 38 mm のデイメンジョンランバーで大体 0.40 であるというコンセンサスが出来ている。

Forchi 等 (1989) は CWC のデータベースを使って、カナダの信頼度ベースの木材設計コード (CAN/CSA-086.1-M89) のためのサイズの調整係数を開発した。信頼度分析では、サイズとグレードについて均一な信頼度を保つようにサイズの係数が出来た。Foschi の研究から得られたサイズの係数は、 $S_{Rb} = 0.48$ ,  $S_{At} = 0.18$ ,  $S_{Ac} = 0.13$  であった。彼の研究では No 3 の材は別に考慮しているのので、この調査で示している CWC のデータベースからの結果と僅かに違っている。

固定した幅の曲げメンバーにおける長さの影響についてのいくつかの独立した研究が、曲げにおける長さの影響についてのパラメーターを供給している。Madsen 等の公表されたデータから、樹種、グレード及びサイズに関係なく、 $S_{Lb} = 0.17$  という結果がでた。この結果は Madsen が推奨する長さの影響の係数 0.2 と比較し得るものである。

Madsen は曲げにおけるサイズの影響は長さの影響のみによるものだと結論している。しかしながら、カナダとアメリカのインフレードの試験結果は  $S_{Rb} = 0.4$  となっており、Madsen の結果は  $S_{Lb} = 0.2$  を示唆しているのので、 $S_{Rb} = S_{Lb} + S_{wb}$  という条件を満たすには、 $S_{wb}$  は約 0.2 でなければならない。Madsen (1992) によって報告された幅の影響は No 2 または No 3 のグレードの組合せのサンプルの評価に基づいたものであって純粹のグレードのものとはいえない。

表 6.7 カナダ及びアメリカの商業樹種グループの評価から求めたサイズのパラメーターの比較

性質	サイズのパラメーター	カナダのプロジェクト	カナダ人の研究	アメリカ人の研究
曲げ	$S_{Rb}$	0.45	0.43	0.40
引っ張り	$S_{wt}$	0.21	0.22	0.28
圧縮	$S_{Rc}$	0.21	--	0.12

註: 1 CWC のデータベース - 5th 及び 50th パーセンタイルのデータ

2 Madsen 及び Nielson - 5th パーセンタイルのデータ

3 Green 及び Evans - 商業樹種グループの 5th 及び 50th のパーセンタイルのデータ

幅の影響についての試験でミックスしたグレードのものを使う場合には、グレードミックスの中の幅の変異がサイズのパラメーターの推定の変異を大きくしてしまっていて、真のサイズの影響を全く隠してしまうことがある。たとえば、Madsen 及び Nelson (1976) は No 3 & B t r のミックスグレードについて4種の幅(89、140、184及び235 mm)で試験した結果、一貫したサイズの影響がでなかったことを報告している。これらのサンプルでのセレクトグレードの割合が結果に影響しており、何故に幅の影響が出なかったかを説明している。

CWCプロジェクトから得られた引っ張りにおける見付け面積の影響は、樹種、グレード及び強度水準に係わらず、 $S_{A_t} = 0.20$ であった。引っ張りにおける長さのパラメーター $S_{L_t} = 0.17$ は以前に公表した長さの影響についての研究から求めた。引っ張り及び曲げ強度が最弱点リンクのメカニズムによって支配される場合は、長さのサイズ係数である $S_{L_b}$ と $S_{L_t}$ は同じになるはずである。表6に示した結果は、 $S_{L_b} = S_{L_t} = 0.17$ という仮説を指示している。もしこれらのサイズ係数が同じであるとしたら、最弱点リンクのモデルは引っ張りと曲げの強度の関係を予測させるはずで、引っ張りまたは曲げ強度に及ぼす荷重条件の影響を予測させるはずである。

引っ張りにおける幅のパラメーター $S_{W_t} = 0.21$ は、共通の長さ $S_{L_t} = 0.17$ を使ってCWCのデータベースを調整することによって求めた。 $0.21$ という値は、曲げ試験片についての幅のサイズ係数 $S_{W_b}$ よりも小さい。その差は、幅についての目に見える欠陥の均一でない分布及びグレーディングルールの影響によるものであろう。

たとえば、破壊は引っ張り域でのみ生ずると思われる曲げメンバーについて考えてみよう。最悪の欠点がこの破壊区域にある確率は引っ張り試験片で考えられるよりは小さいはずである。このことは、最悪の欠点が常に引っ張りゾーンにあるとしない限り、曲げ強度の変異を増し、サイズのパラメーターが大きくなるはずである。更に、グレーディングルールもサイズのパラメーターにはっきりした影響を持っている。節のような一部の欠点は深さ全体に対するパーセンテージで規制されている。したがって、グレーディングルールはこれらの目視水準での欠点の分布に影響しており、それがサイズのパラメーターに反映することになる。

コンスタントレシオのパラメーター $S_{R_t}$ は $S_{R_t} = 2 S_{A_t}$ あるいは $S_{R_t} = S_{L_t} + S_{W_t}$ のいずれかによって計算できる。表6.6に示されている $S_{R_t} = 0.40$ という値は2つの結果の平均値である。

NLGAの引っ張り試験プログラムでは、引っ張り試験片はすべて同じゲージ長さで試験されている。共変動分析を使つてのNLGAデータの引っ張りにおける幅の影響は $S_{W_t} = 0.22$ であった。この数字はCWCのデータベースから得た $S_{W_t} = 0.21$ と比較できるものである。

アメリカでも3樹種グループについて同様の引っ張り強度試験が行なわれている。引っ張り試験片は、ゲージ長さ2440 mm (2 x 4) 及び3660 mm (2 x 8, 2 x 10)

で試験したが、例外はサザンパインの2 x 4は3660mmで試験した。3660mmに調整した試験データは3つの樹種グループについて $S_{wt}=0.28$ という値を与えている。この結果はカナダ材について求めた引っ張りにおける幅の影響の結果よりも多少高い値である。これはアメリカのD. Fir及びHem-Firは $S_{wt}$ が高いためであろう。サザンパインについては $S_{wt}=0.28$ でカナダでの結果と一致する。アメリカの樹種についての全般の $S_{wt}=0.28$ は、カナダ材についての曲げにおける幅の影響 $S_{wb}=0.28$ と一致する。

曲げ及び引っ張り試験片で3種のカナダ産材及び3種のアメリカ産樹種グループでのサイズの影響のパラメーターは共通のサイズの影響の係数の採用を支持している。共通のサイズのパラメーターはまた、引っ張り及び曲げにおけるサイズの影響は最弱点リンクの破壊のプロセスによって支配されるという仮説を支持している。

圧縮におけるサイズの影響の分析では、 $S_{Ac}$ は強度水準、グレード及び樹種によってあまり影響しないことを示している。長さのパラメーター $S_{Lc}=0.10$ は共変動法を使って、幅の影響 $S_{wc}=0.11$ という値をだしている。 $S_{Rc}$ は $1/2S_{Ac}$ と $S_{Lc}+S_{wc}$ の平均を取って式(26)から求め、コンスタントレシオのサイズの係数は $S_{Rc}=0.21$ となった。

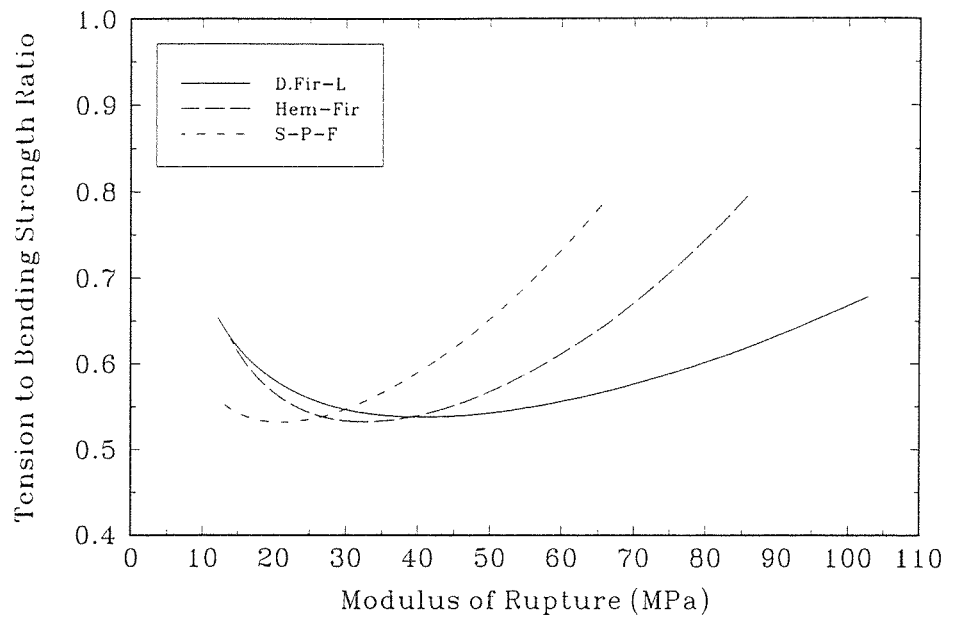
アメリカの樹種についての木理平行方向の圧縮試験は、幅と長さの比が約2.5の短い試験片を使って行なわれた。各々の短い試験片は最大の強度減少欠点がメンバーの長さの中に来るように選択された。コンスタントレシオのサイズのパラメーターは、Johnson等(1989)の研究から $S_{Rc}=0.12$ と出ているが、これはカナダ産の樹種の対応する値よりもかなり小さい。サイズの係数 $S_{Rc}$ はCWCのデータベースから得た幅の影響よりも小さい。アメリカとカナダの間の試験方法の違いがその相違点を説明してくれるかもしれない。アメリカの試験では各材片から2個の試験片を採取し、最悪の結果を使っている。これらの2個の試験片は常に最悪の欠点を含んでいるので、サイズの影響は幅の影響に伴うものが多いかも知れない。

## 6.8 引っ張りと曲げの相関関係

カナダ及びアメリカのデータベースから求めた曲げ及び引っ張り強度の試験結果は、曲げと引っ張りとの間のサイズの関係の研究に使うことができる。引っ張りと曲げの試験片の双方に最弱点リンク破壊のメカニズムが想定される場合は、その相関関係は式(18)によって代表される。もしも引っ張り破壊の前に圧縮による凹みが生じた場合は、関係式は式(22)になる。

Green及びKretschmann(1991)はアメリカ材の性質のデータを、試験時ベースで分析した。ゲージ長さはサイズによって違っていた。

Figure 6.5  
Variation of the  
ratio of tension  
strength to  
bending  
strength with  
bending  
strength load



曲げ試験片には3点荷重がかけられたが曲げ強度が50MPa未満のものでは引っ張り強度は対応する曲げ強度の約56%であった。この比率はサイズのパラメーター $S_{L,b} = S_{L,b} = 0.166$  (式18)に対応するものである。

曲げ、引っ張り、及び圧縮の間の相互関係についての詳細な研究は Barrett 等 (1993) が行っており、性質の間の関係は樹種によって異なるようであった。この調査では強度のデータはすべて38mm x 184mm x 3128mmの共通サイズに調整されており、スパンと深さの比は17:1に対応するものであった。曲げに対する最終引っ張り強度の比 (UTS/MOR) は強度水準によるようである。しかしながら、50パーセントail水準よりも低い曲げ強度では、カーブは極めて安定しており、平均の率で0.55という値が得られた。これは $S_L = 0.174$ というサイズのオアラメーターに対応するもので、曲げ及び引っ張りにおける長さの影響の研究で得られた結果と極めてよく一致している。

Barrett 及び Fewell (1990) はカナダ及びヨーロッパ産のデイメンジョンランバーにおいてサイズの影響について研究した。その結果はCWCのデータベースから得た結果と極めて良く一致している。引っ張りと曲げ強度の比はヨーロッパ産の樹種もカナダやアメリカ産の樹種も同様である。

## 6.9 サイズの係数の国際的な調整

カナダ、アメリカ及びヨーロッパ産の樹種グループのデイメンジョンランバーで結果が一致しているということは規格を単純化し調和させるために、デイメンジョンランバーについての世界的なサイズ係数の採用を示唆するものである。Barrett 及び Fewell (1990) は、曲げ及び引っ張り試験片の長さの幅のパラメーターは $S_L = 0.17$ ,  $S_w = 0.23$ であるべきことを報告しており、それはCWCの結果と極めて良く一致している。圧縮における長さのパラメーター ( $S_{L,c} = 0.10$ ) 及び幅のパラメーター ( $S_{w,c} = 0.11$ ) もカナダ及びアメリカ産の樹種グループのものと同じである。

ASTM D1990 (フルサイズの製材のイングレード試験における目視格付け製材の許容応力決定の標準方法) は、長さのパラメーター ( $S_L = 0.14$ ) 及び幅のパラメーター ( $S_w = 0.29$ ) を規定しており、コンスタントレシオのサイズのパラメーターは ( $S_R = 0.43$ ) となってCWCの調査結果と極めて近いものとなっている。

色々な樹種グループ及び色々な機械的性質についてサイズの影響を研究したすべての公表された文献及び研究結果を総合して考えると、曲げ、引っ張り、圧縮のパラメーターについての一連のサイズ係数は国際的に受け入れることが適切であると考えられる。それは表6.8に示したような数字である。

表 6.8 コードの調整のために推奨されるサイズの係数

性質	サイズの係数 ( $S_L$ )	サイズの係数 ( $S_W$ )
曲げ	0.2	0.2
引っ張り	0.2	0.2
圧縮	0.1	0.1

## 6. 10 結論

Weibull の最弱リンク理論は目視格付け製材の強度的性能及びメンバーのサイズの間の関係を研究する根拠を提供するものである。この理論に基づいて、木材のサイズの影響の不等方性を計算する修正モデルが開発された。目視格付け製材のサイズの係数を求めるには共変動分析が使われた。この研究の結果から次のような結論が導かれる：

1. 目視格付け製材のサイズの影響は、樹種及びグレードで著しく一致している。サイズの影響はある程度は絶対的な強度水準によるが、考慮しているデータの範囲では、強度水準でのサイズの影響は小さい。
2. 引っ張り ( $S_{Lt} = 0.17$ ) 及び曲げ ( $S_{Lb} = 0.17$ ) における長さの影響のパラメーターは等しい。
3. 曲げから求めた幅の影響のパラメーター ( $S_{wb} = 0.28$ ) は引っ張りから求めた幅の影響のパラメーター ( $S_{wt} = 0.21$ ) よりも僅かに大きい。
4. 圧縮におけるサイズのパラメーターは  $S_{Lc} = 0.10$  及び  $S_{wc} = 0.11$  である。
5. 幅を固定したメンバーでは、試験データから求めた曲げと引っ張り強度の間の関係は最弱リンク理論を使って予測される関係と一致する。
6. サイズのパラメーターの関係  $S_R = S_W + S_L$  及び  $S_R = 2 S_A$  はカナダのイングレード試験のデータによって正当化される。
7. 引っ張り及び曲げにおけるサイズのパラメーターの比較ではカナダ及びアメリカの商業樹種グループで同様の結果を得ている。このことは北米のすべての樹種及びグレードのデイレメンジョンランバーに共通のパラメーターを適用するという考え方を強化する。圧縮においては両国で相違があるが、これは試験片のサイズの差によるものであろう。
8. サイズの調整についての国際的な調和のためには、曲げ及び引っ張りの幅及び長さについては  $S_w = S_L = 0.20$ 、圧縮については  $S_w = S_L = 0.10$  が適用できる。これらの勧告は、信頼度ベースの状況制限デザインコードを求めるのに使った係数と一致するものである。



## 7 グレードの関係

### 7. 1 緒言

製材の構造的性能は1つの樹種グループの中でもグレードとサイズによって異なる。製材の設計性能を決めるための伝統的な方法は、サイズとグレードの関係は樹種を通じて共通であるという想定に基づいたものである。構造的性能における樹種の相違は無欠点材の性質から求められてきた。これまでの章に示した結果は、樹種の影響は小さな無欠点材の強度に基づいて予測される程大きなものではないことを示しており、またグレードの関係は樹種によること、及びサイズの影響は以前に考えられていたよりもかなり大きいことを示している。

CWCの試験プログラムでは商業的にグレーディングされた構造メンバーのフルサイズでのデータを集めた。この章では製材についての相対的なサイズ、グレード及び樹種の要因について検討する。

### 7. 2 データの作製

分析の目的のために、曲げのデータは製材について試験時の長さで5 t h及び5 0 t hのパーセントイルの水準でまとめた。引っ張り及び圧縮のデータは曲げ試験に使ったのと同じ長さとの比に調整した。長さの調整(6. 1及び6. 2参照)はサイズの係数として引っ張りには $S_{L_t}=0. 17$ 、圧縮には $S_{L_c}=0. 10$ を使った。長さとの比が一定なので、サイズの影響は幅あるいは長さをスケールの係数を使うことで代表できた。

### 7. 3 理論

商業的に格付けされたディメンジョンランバーの圧縮、引っ張り及び曲げ強度並びに弾性係数に及ぼすサイズ、グレード及び樹種の影響を計量化するために、次のモデルを採用した：

$$P = b_0 \cdot S \cdot g \cdot W^{S_R} \quad (1)$$

ここで、 $b_0$  は材料の定数

$S$  は樹種の係数

$g$  はグレードの係数

$S_R$  は長さとの比が一定なメンバーのサイズの指数 である。

モデルの係数は回帰分析及びグレードと樹種の影響に取り入れる指標変数の技術を使って求めることが出来る。これらの指標変数は0と1の2つの値だけを取る。2つの値は観察は2つのあり得べきカテゴリーのいずれかに属するということを意味する。指標変数の数値的な値はカテゴリーの量的な順序を反映するものではないが、単にカテゴリーを特定するのに役立つのみである。

もしも対称が2つのカテゴリー以上であった場合は、必要な指標変数の数はカテゴリーの数から1を差し引いたものとなる。たとえば、試験片のグレードが4つのカテゴリー（セレクト、No1、No2、No3）を持っているとすれば、3つの指標変数（ $E_1$ 、 $E_2$  及び  $E_3$ ）がグレードを特定するのに必要である。

この調査で考えているグレードと樹種では、次のような指標変数の組み合わせが使われている：

	SS	No1	No2	No3					
$E_1$	0	1	0	0			DF	HF	SPF
$E_2$	0	0	1	0		$F_1$	0	1	0
$E_3$	0	0	0	1		$F_2$	0	0	1

回帰分析はロガリズムになっているので、式(1)はダミー変数で次のようになる：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \gamma_1 E_1 + \gamma_2 E_2 + \gamma_3 E_3 + \delta_1 F_1 + \delta_2 F_2 \quad (2)$$

ここで、 $\beta_0$   $\beta_1$  は実際の変数Xの交点と傾斜

Y は性質の自然対数 (Log<sub>e</sub>)

X は幅Wの自然対数 (Log<sub>e</sub>)

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \delta_1, \delta_2$  は指標変数の係数

指標変数の範囲について式(2)を評価すると、4グレード、3樹種について次の12の式ができる：

D, Fir-L	{	セレクト	P = $b_0 W^{SR}$
		No. 1	P = $b_0 g_1 W^{SR}$
		No. 2	P = $b_0 g_2 W^{SR}$
		No. 3	P = $b_0 g_3 W^{SR}$

$$\text{Hem-Fir} \quad \left[ \begin{array}{ll} \text{セレクト} & P = b_0 s_1 W^{SR} \\ \text{No. 1} & P = b_0 s_1 g_1 W^{SR} \\ \text{No. 2} & P = b_0 s_1 g_2 W^{SR} \\ \text{No. 3} & P = b_0 s_1 g_3 W^{SR} \end{array} \right.$$

$$\left[ \begin{array}{ll} \text{セレクト} & P = b_0 s_2 W^{SR} \\ \text{No. 1} & P = b_0 s_2 g_1 W^{SR} \\ \text{No. 2} & P = b_0 s_2 g_2 W^{SR} \\ \text{No. 3} & P = b_0 s_2 g_3 W^{SR} \end{array} \right.$$

ここで、 $b_0 = \exp(\beta_0)$

$s_1 = \exp(\delta_1)$

$s_2 = \exp(\delta_2)$

$g_1 = \exp(\gamma_1)$

$g_2 = \exp(\gamma_2)$

$g_3 = \exp(\gamma_3)$

そして、 $P$ は機械的性質 (MOR, UTS, UCS, MOE) (MPa)

$W$ は試験片の幅 (最大寸法) mm

$s$ は樹種を特定する係数

$g$ はグレードを特定する係数 である。

変形した直線回帰のアプローチを使って、サイズの係数を決定して、データがモデルに最も良くフィットさせることが出来た。選択した共通のサイズの係数が回帰パラメーターに及ぼす影響についても研究した。

#### 7. 4 結果

##### MORの回帰

MORの5%及び50%のパーセンタイル分析の回帰の結果は表7. 1及び7. 2に示した。MOR回帰の相関係数は非常に高く、それぞれ940と946であった。

変動の分析では、メンバーの幅と指標変数が $MOR_{0.05}$ と $MOR_{0.50}$ での変動全体の中の大きな割合を占めることを示している。表7. 1及び7. 2に示したパラメーターの推定は変形してあり、それに対応する変形しない式は次の通りである：

$$MOR_{0.05} = 294.3 \cdot s \cdot g \cdot W^{-0.4893} \quad (4)$$

ここで、樹種の係数  $s$  とグレードの係数  $g$  はそれぞれ  $D. Fir-L$  とセレクトグレードについてのものであって、

$$s : DF = 1.0 \quad HF = 1.0936 \quad SPF = 1.041$$

$$g : SS = 1.0 \quad No1=0.7291 \quad No2 =0.6947 \quad No3=0.4786$$

とすると、

$$MOR_{0.50} = 471.7 \cdot s \cdot g \cdot W^{-0.4410} \quad (5)$$

$$s : DF = 1.0 \quad HF = 1.0755 \quad SPF = 0.8987$$

$$g : SS = 1.0 \quad No1= 0.7260 \quad No2 = 0.7798 \quad No3 = 0.6617$$

仮説 ( $H_0$ : パラメーター=0) の試験を式 (2) の各パラメーターについて行なった。すべての試験で  $P$  の値が低かったということは、5thパーセンタイルのMORの回帰 ( $p=0.8032$ ) 以外はパラメーターが0から著しく違っていたことを示している。 $P$  の値が高いということは、SPFの樹種の影響が $D. Fir-L$ のそれとの差がすべてのグレードで著しくなかったことを示している。

このモデルでは樹種とグレードの係数は、性質とメンバーの幅との関係に独立に影響すると想定している。これらの2つの係数の間の相互関係は標準化した残余プロットを使うことによって見出すことが出来る。標準化した残余プロットは3から-3の間にある。図7. 1は幅の対数に対してプロットした残余の回帰を示す。各樹種/グレードの組み合わせの残余は0に対して対照的に分布している。したがって、 $MOR_{0.05}$ 、幅、樹種、及びグレードの関係は、モデル(式(2))によって適切に記述されていると見られる。図7. 2には残余を予測した $MOR_{0.05}$ に対してプロットしている。

$MOR_{0.05}$  についての残余のプロット(図7. 3及び7. 4)はこのモデルが、 $MOR_{0.05}$  に対するグレード及び樹種の影響を適切に表していることを確かめている。

図7. 5及び7. 6は $MOR_{0.05}$ 及び $MOR_{0.50}$ のデータ並びに各樹種グループについての回帰結果を示すものである。5thと50thのパーセンタイルの間の主な相違は、No1とNo2の相対的な位置にある。5thパーセンタイルの水準ではNo1のグレードの係数はNo2よりも大きい、50thパーセンタイルではその傾向が逆になる。

Table 7.1  
Regression  
analysis of  
5th percentile  
MOR values

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Regression	6	3.97489	0.66250	74.911	0.0001
Error	29	0.25660	0.00885		
Total	35	4.23149			

Parameter Estimates

Variable	DF	Coefficient	Standard Error	T for H <sub>0</sub> : Parameter=0	Prob >  T
INTERCEPT	1	5.684617	0.19593	29.014	0.0001
W	1	-0.489330	0.03800	-12.873	0.0001
$\gamma_1$	1	-0.315939	0.04433	- 7.127	0.0001
$\gamma_2$	1	-0.364312	0.04433	- 8.218	0.0001
$\gamma_3$	1	-0.736895	0.04433	-16.622	0.0001
$\delta_1$	1	0.089479	0.03839	2.331	0.0269
$\delta_2$	1	0.040239	0.03839	1.048	0.3032
n = 36		R <sup>2</sup> = 0.9394		s = 0.09407	

Table 7.2  
Regression  
analysis of  
50th Percentile  
MOR values

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Regression	6	2.23116	0.37186	84.257	0.0001
Error	29	0.12799	0.00441		
Total	35	2.35914			

Parameter Estimates

Variable	DF	Coefficient	Standard Error	T for H <sub>0</sub> : Parameter=0	Prob >  T
INTERCEPT	1	6.156295	0.13841	44.479	0.0001
W	1	-0.440954	0.02685	-16.421	0.0001
$\gamma_1$	1	-0.320242	0.03132	-10.226	0.0001
$\gamma_2$	1	-0.248683	0.03132	- 7.941	0.0001
$\gamma_3$	1	-0.412989	0.03132	-13.187	0.0001
$\delta_1$	1	0.072788	0.02712	2.684	0.0120
$\delta_2$	1	-0.106800	0.02712	- 3.938	0.0005
n = 36		R <sup>2</sup> = 0.9457		s = 0.06643	

Figure 7.1  
Standardized  
residual vs  
ln(W) :  
MOR<sub>0.05</sub>

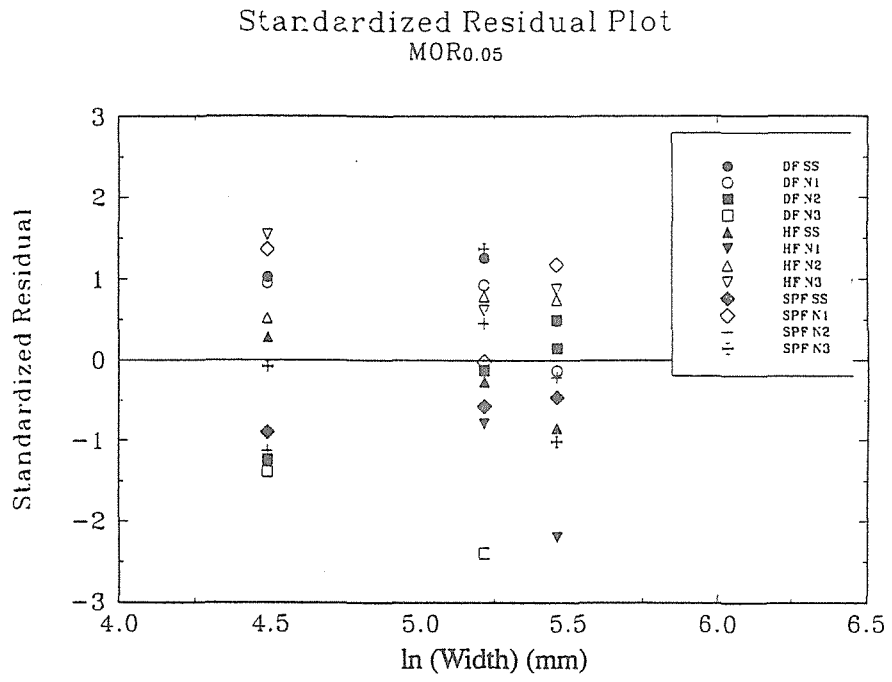


Figure 7.2  
Standardized  
residual vs  
predicted  
MOR<sub>0.05</sub>

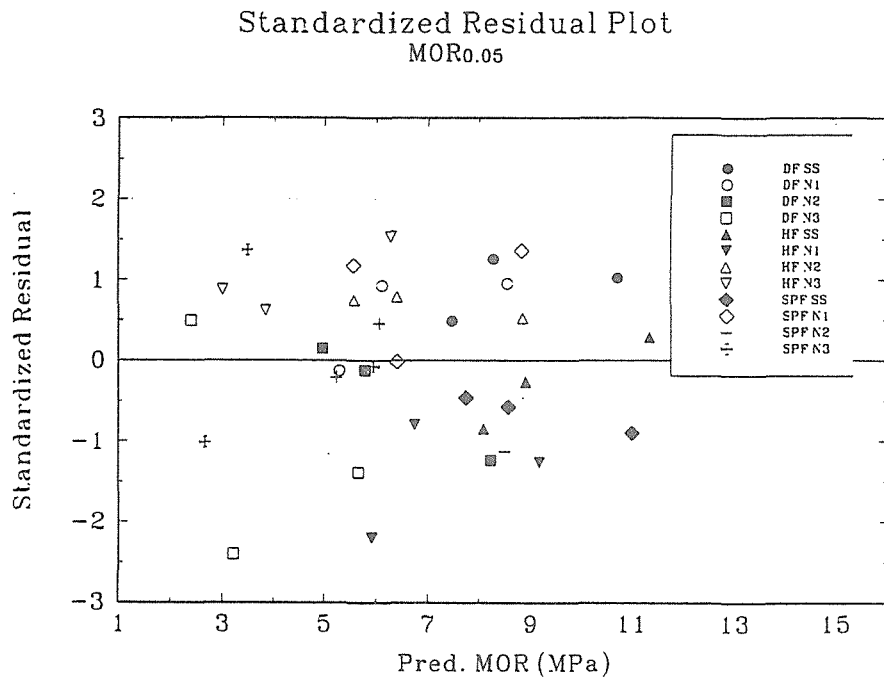


Figure 7.3  
Standardized  
residual vs  
 $\ln(W)$  :  
 $MOR_{0.50}$

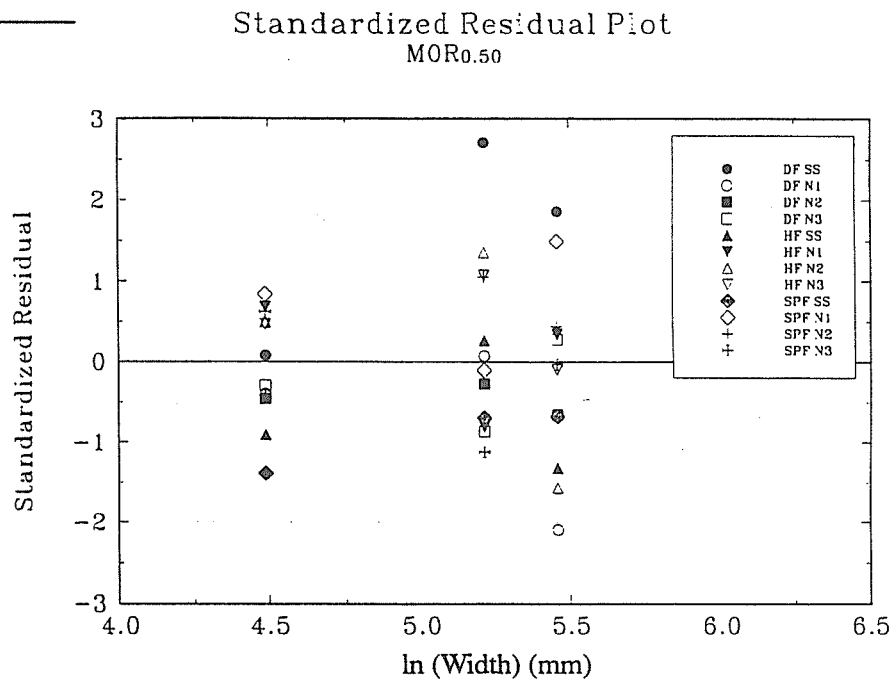


Figure 7.4  
Standardized  
residual vs  
predicted  
 $MOR_{0.50}$

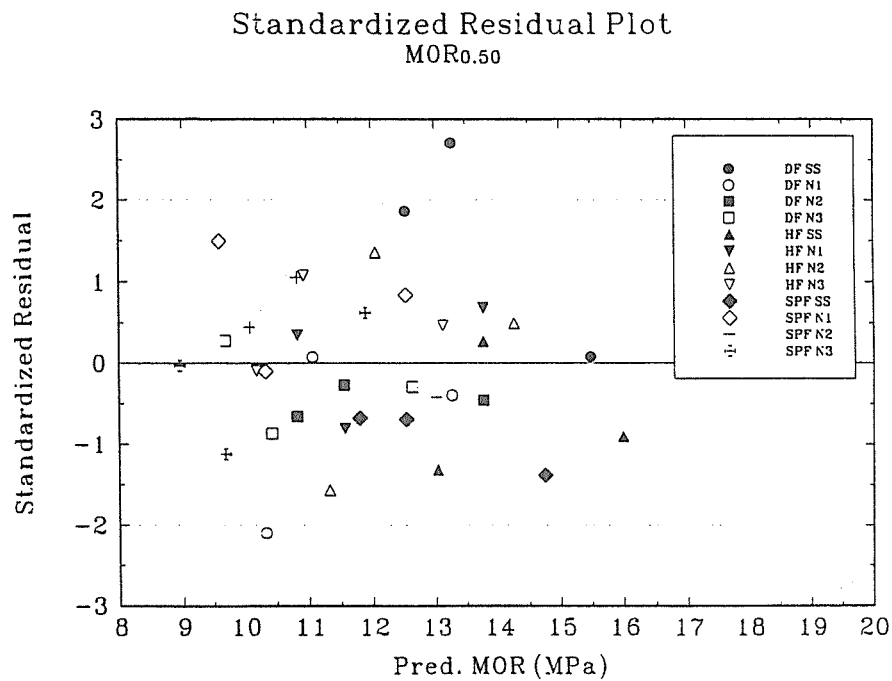
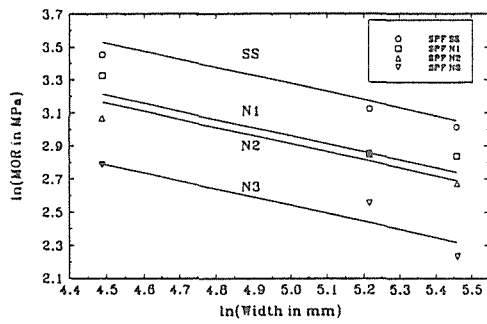
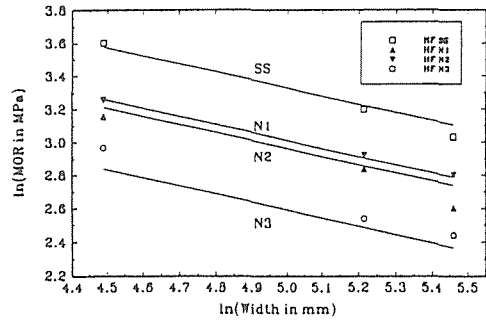
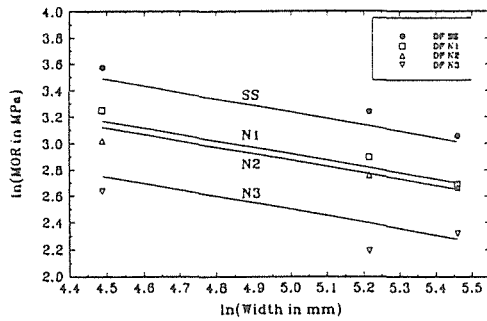


Figure 7.5  
Regression of  
 $MOR_{0.05}$  vs  
member width  
in logarithmic  
scale

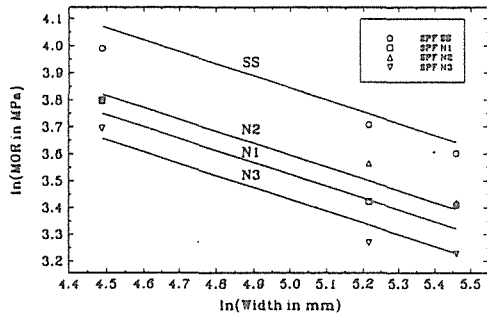
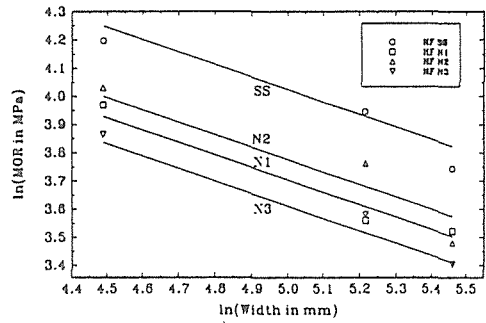
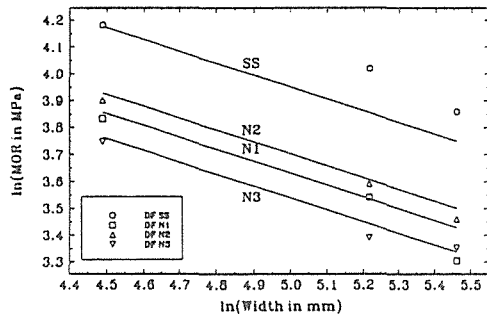


$$MOR_{0.05} = 294.305 s g (\text{Width})^{-0.4893}$$

$$s: DF = 1.0 \quad HF = 1.0936 \quad SPF = 1.0411$$

$$g: SS = 1.0 \quad N1 = 0.7291 \quad N2 = 0.6947 \quad N3 = 0.4786$$

Figure 7.6  
Regression of  
 $MOR_{0.50}$  vs  
member width  
in logarithmic  
scale



$$MOR_{0.50} = 471.68 s g (\text{Width})^{-0.4410}$$

$$s: DF = 1.0 \quad HF = 1.0755 \quad SPF = 0.8987$$

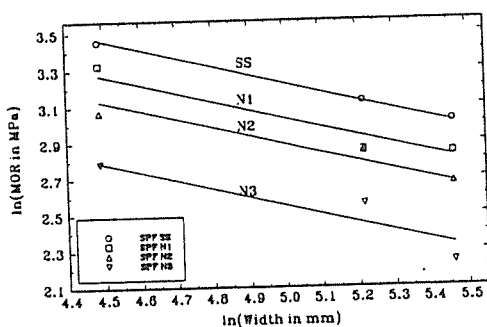
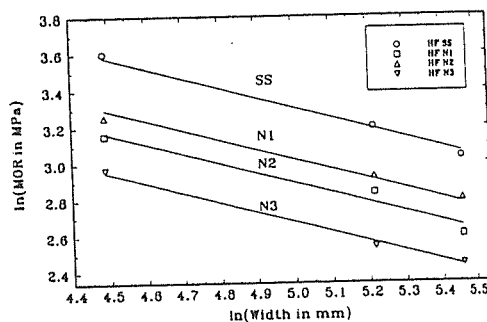
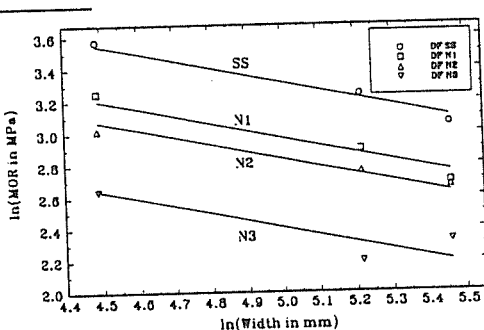
$$g: SS = 1.0 \quad N1 = 0.7260 \quad N2 = 0.7798 \quad N3 = 0.6617$$



回帰分析は樹種と特定のグレード及びサイズの係数を得るのにも使った。結果は図7.7及び7.8に示した。D. Fir-Lのグレードの係数は一般にHem-Firの係数よりも低かった。3樹種グループのサイズのパラメーター ( $S_R$ ) は同様であった。モデルのパラメーターの唯一の大きな相違は回帰線の交点で、それは各樹種で異なった乗法係数を与えた。図に示すように樹種の影響は5%及び50%水準で著しかった。

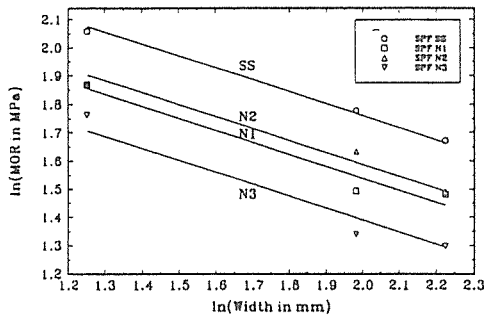
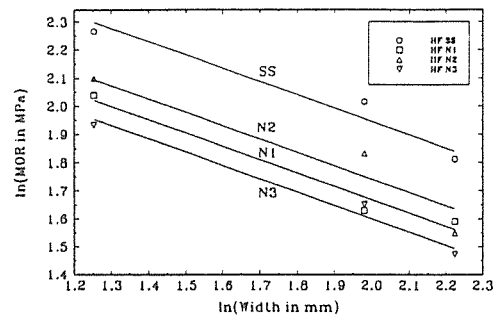
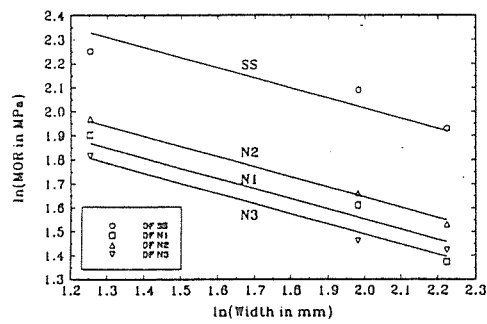
曲げにおけるサイズの影響に関する以前の研究で、サイズのパラメーター  $S_R = 0.4$  0という結果がカナダ材及びヨーロッパ材の樹種とサイズを含むMORデータの5%値から得られている。サイズのパラメーターを  $S_R = 0.40, 0.45, 0.49$  と想定してモデル(式(3))を評価した結果は、グレードと樹種の係数はサイズの係数と無関係であることを示している。サイズの係数の変化は回帰関係の傾斜と交点にのみ影響する。各場合について計算した相関係数は表7.3に示したベストモデルと比べて殆ど変わっていないかった。

Figure 7.7  
Regression of  
 $\ln(MOR_{0.05})$  vs  
 $\ln(W)$ :  
individually  
for each  
species



DF:	MOR <sub>0.05</sub> = 273.14 g (Width) <sup>-0.4224</sup>
HF:	MOR <sub>0.05</sub> = 396.19 g (Width) <sup>-0.4743</sup>
SPF:	MOR <sub>0.05</sub> = 265.42 g (Width) <sup>-0.4242</sup>
g	SS    N1    N2    N3
DF	1.0 0.7085 0.6214 0.4034
HF	1.0 0.6623 0.7537 0.5333
SPF	1.0 0.8259 0.7158 0.5095

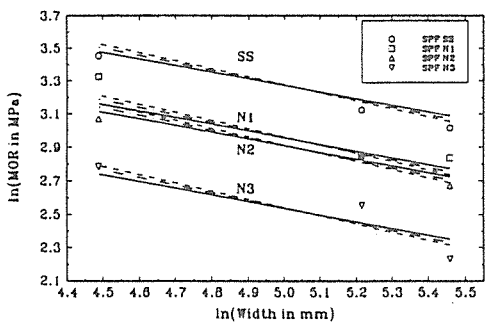
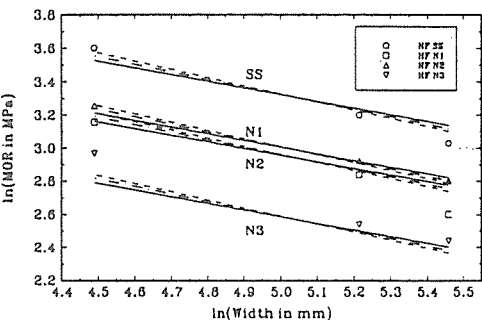
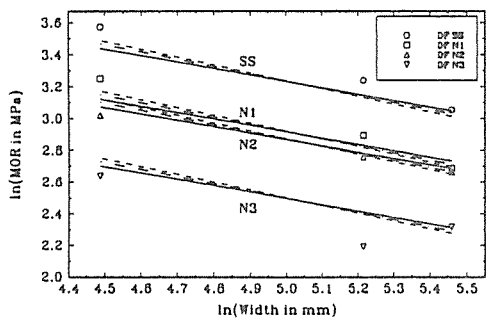
Figure 7.8  
Regression of  $\ln(\text{MOR}_{0.50})$  vs  $\ln(W)$  : individually for each species



DF:  $\text{MOR}_{0.50} = 471.43 \text{ g (Width)}^{-0.4224}$   
 HF:  $\text{MOR}_{0.50} = 577.69 \text{ g (Width)}^{-0.4743}$   
 SPF:  $\text{MOR}_{0.50} = 368.78 \text{ g (Width)}^{-0.4242}$

g	SS	N1	N2	N3
DF	1.0	0.6303	0.6910	0.5922
HF	1.0	0.7575	0.8152	0.7079
SPF	1.0	0.8013	0.8418	0.6911

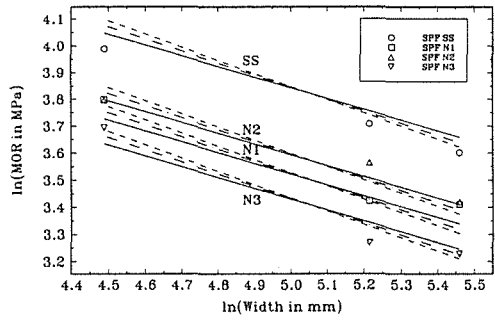
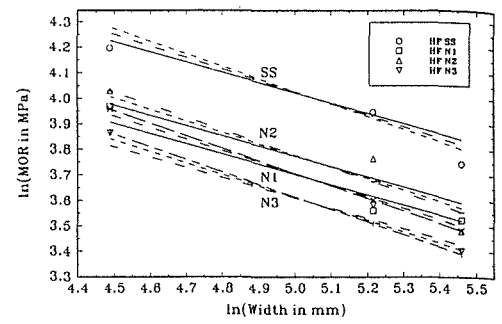
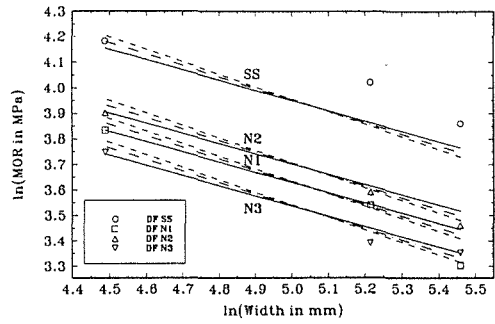
Figure 7.9  
Fixed model regression for  $\text{MOR}_{0.05}$



SR = -0.40  
 $\text{MOR}_{0.05} = 187.37 \text{ s g (Width)}^{-0.40}$   
 SR = -0.45  
 $\text{MOR}_{0.05} = 241.24 \text{ s g (Width)}^{-0.45}$   
 SR = -0.49  
 $\text{MOR}_{0.05} = 295.29 \text{ s g (Width)}^{-0.49}$

s: DF=1.0 HF=1.0936 SPF=1.0411  
 g: SS=1.0 N1=0.7291 N2=0.6947 N3=0.4786

Figure 7.10  
Fixed model  
regression for  
 $MOR_{0.50}$



$SR = -0.40$   
 $MOR_{0.50} = 383.47 s g (Width)^{-0.40}$   
 $SR = -0.45$   
 $MOR_{0.50} = 493.72 s g (Width)^{-0.45}$   
 $SR = -0.49$   
 $MOR_{0.50} = 604.34 s g (Width)^{-0.49}$   
 $s: DF=1.0 HF=1.0755 SPP=0.8987$   
 $g: SS=1.0 N1=0.7280 N2=0.7798 N3=0.8617$

Table 7.3  
Correlation  
coefficients  
( $R^2$ ) for fixed  
values of  $S_R$   
and "best"  
models for  
MOR

Percentile Level	"Best" Model	Fixed Model $S_R$		
		0.40	0.45	0.49
5th	0.9394	0.9280	0.9372	0.9394
50th	0.9457	0.9414	0.9454	0.9393

## UTSの回帰

UTSのデータのためのグレード、樹種及びサイズの係数は、曲げについての全出の式(3)のモデルを使って求めた。引っ張り強度についてのデータは3種のグレード：セレクト、No1及びNo2についてしか得られていない。したがって、式(2)の係数 $\gamma_3$ は0であった。変動分析では極めて有意な結果がでて、 $R^2=0.87$ であった。パラメーターについては次の結果を得た：

5thパーセンタイル —

$$UTS_{0.05} = 106.1 \cdot s \cdot g \cdot W^{-0.3812} \quad (6)$$

ここで、s : DF = 1.0    HF = 0.9629    SPF = 0.8270

g : SS = 1.0    No1 = 0.6879    No2 = 0.6644

50thパーセンタイル —

$$UTS_{0.50} = 109.7 \cdot s \cdot g \cdot W^{-0.2957} \quad (7)$$

ここで、s : DF = 1.0    HF = 1.0336    SPF = 0.9397

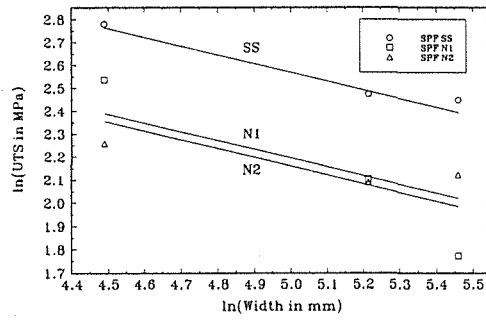
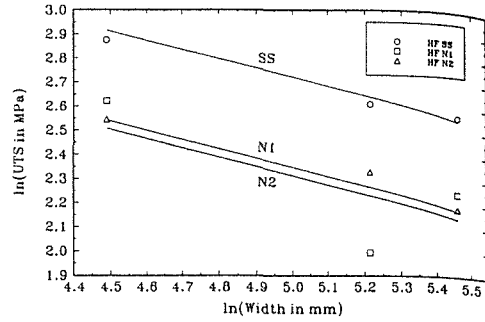
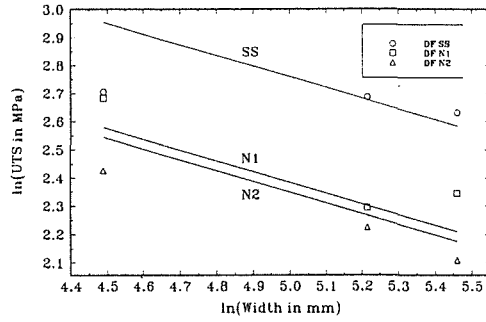
g : SS = 1.0    No1 = 0.7019    No2 = 0.7165

Tテスト(有意水準=95%)では、指標変数 $\delta_3$ を除いてすべてのパラメーターが0から十分に離れていた。D-F i e - LからH e m - F i rの樹種の影響の差は、UTS 0.05あるいはUTS<sub>0.50</sub>の分析では著しくはないという結論に達した。

回帰推定は図7.11と図7.12でのUTSのデータで比較される。総合の樹種モデルは、セレクトの構造用グレードはNo1及びNo2グレードとははっきり別であることを示している。No1グレードは5%値水準ではNo2よりもやや高いが、50%値の水準では僅かに低い。No1とNo2のグレードの係数は両方の確率水準で同様である。図7.13及び7.14に示すように樹種/特定のグレード及びサイズについての係数を求めるために各樹種について回帰分析が行なわれた。

回帰モデル(式3)でも3種の固定サイズの係数 $S_R=0.40, 0.45, 0.49$ について評価した。サイズの係数が変わることは回帰関係の傾斜及び交点にのみ影響する。3つの場合について計算した相関係数は、表7.4に示したベストモデルと比べて殆ど変わらない。

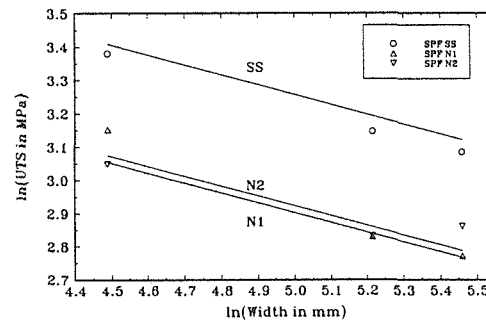
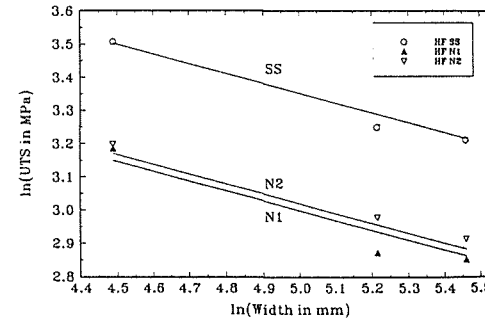
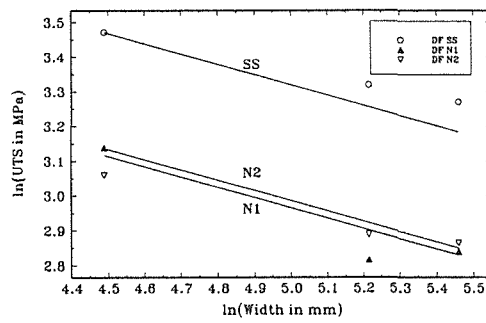
Figure 7.11  
Regression of  
 $\ln(UTS_{0.05})$  vs  
 $\ln(W)$  for  
"best" model  
(all species)



$$UTS_{0.05} = 106.14 s g (Width)^{-0.3812}$$

s: DF = 1.0 HF = 0.9629 SPF = 0.8270  
g: SS = 1.0 N1 = 0.6879 N2 = 0.6644

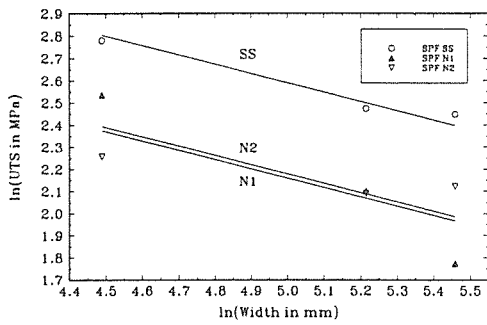
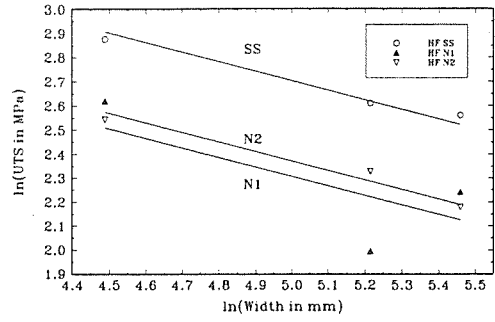
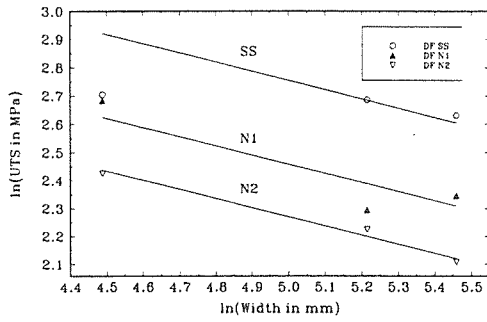
Figure 7.12  
Regression of  
 $\ln(UTS_{0.50})$  vs  
 $\ln(W)$  for  
"best" model  
(all species)



$$UTS_{0.50} = 109.69 s g (Width)^{-0.2957}$$

s: DF = 1.0 HF = 1.0336 SPF = 0.9397  
g: SS = 1.0 N1 = 0.7019 N2 = 0.7165

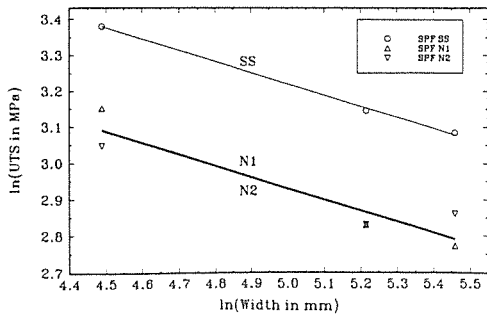
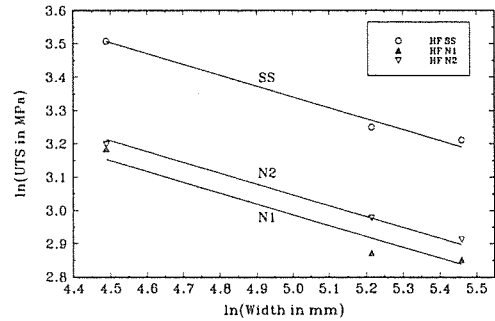
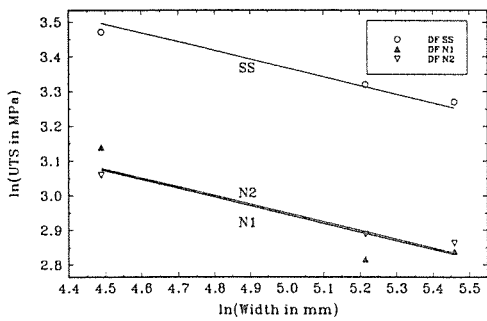
Figure 7.13  
Regression of  
 $\ln(UTS_{0.05})$  vs  
 $\ln(W)$  :  
Individually  
for each  
species



DF:  $UTS_{0.05} = 80.35 \text{ g (Width)}^{-0.3263}$   
 HF:  $UTS_{0.05} = 108.59 \text{ g (Width)}^{-0.3968}$   
 SPF:  $UTS_{0.05} = 109.16 \text{ g (Width)}^{-0.4206}$

g :	SS	N1	N2
DF	1.0	0.7436	0.6160
HF	1.0	0.6726	0.7176
SPF	1.0	0.6507	0.6634

Figure 7.14  
Regression of  
 $\ln(UTS_{0.50})$  vs  
 $\ln(W)$  :  
Individually  
for each  
species



DF:  $UTS_{0.50} = 102.29 \text{ g (Width)}^{-0.2521}$   
 HF:  $UTS_{0.50} = 143.58 \text{ g (Width)}^{-0.3253}$   
 SPF:  $UTS_{0.50} = 117.79 \text{ g (Width)}^{-0.3096}$

g :	SS	N1	N2
DF	1.0	0.6555	0.6593
HF	1.0	0.7024	0.7458
SPF	1.0	0.7512	0.7480

表 7.4 UTSについての固定した値  $S_R$  とベストモデルについての相関係数 ( $R_2$ )

パーセンタイル水準	ベストモデル	固定モデル $S_R$		
		0.40	0.45	0.49
5%	0.8682	0.8660	0.8674	0.8575
50%	0.9531	0.9419	0.9117	0.8626

### UCSの回帰

圧縮については、変動分析の結果は、やはり樹種/グレード/サイズの関係が高度に有意であることを示しており、相関係数は $R^2=0.8609$ である。50%モデルの $\delta_1$ を除いてすべてのパラメーターが0とは違っていた。他のすべてのパラメーターも有意であった。結果で( $\delta_1=0$ )ということは、中央値の水準でD. Fir-LとHem-Firの間に著しい差がないということである。

結果としての分布は図7.15及び7.16にそれぞれ5%と50%のデータを示した。樹種を総合したモデルではセレクトグレードのものはNo1及びNo2のグレードと一貫して異なっていることを示している。引っ張りや曲げの場合と同様に、No1の圧縮強度は5%値でNo2よりもやや高く、50%値では僅かに低い。No1とNo2のグレードの係数は似たものである。

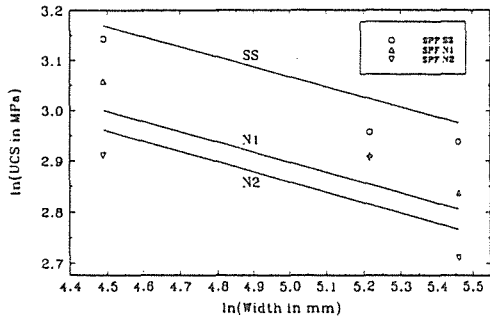
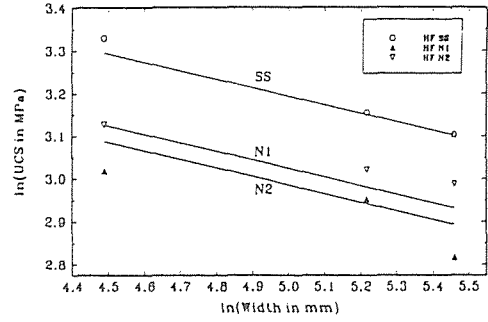
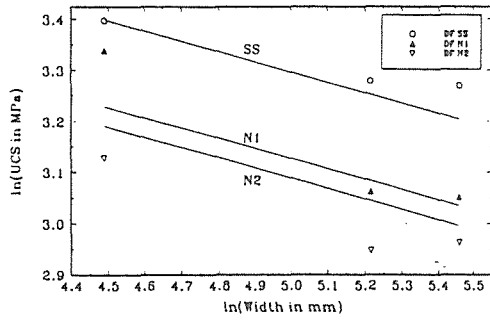
樹種毎の回帰は図7.17及び7.18に示した。サイズの係数は樹種及びパーセンタイル水準で同様である。D. FirについてはNo1グレードの強度は5%値でNo2よりも高かった。MOR, UTS, UCSについては各樹種ともNo1とNo2の間に一貫した関係はなかった。

UCSは3つの固定したサイズの係数 $S_R=0.16, 0.21, 0.26$ について評価した。この場合に計算した相関係数( $R^2$ )は表5に示した5%と50%水準でのベストモデルと比較した。図7.15~7.18に示した樹種とグレードの係数はパラメーター $S_R$ とは別のものである。

表 7.5  $S_R$  の固定値及びUCSのベストモデルについての相関係数 ( $R^2$ )

パーセンタイル水準	ベストモデル	固定モデル $S_R$		
		0.40	0.45	0.49
5th	0.8609	0.8508	0.8603	0.8390
50th	0.9569	0.8566	0.9421	0.8890

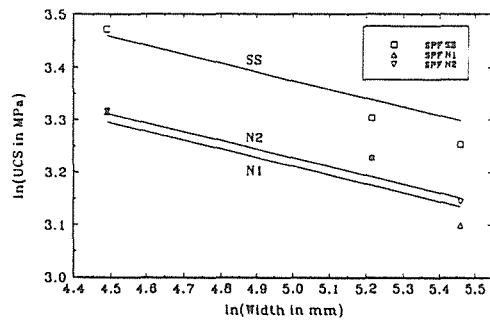
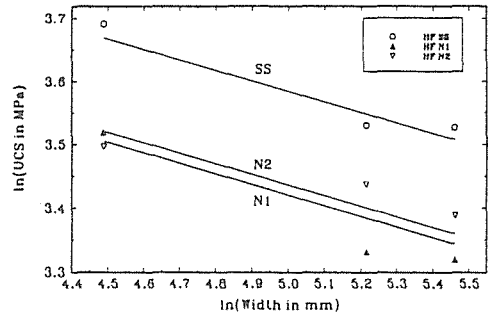
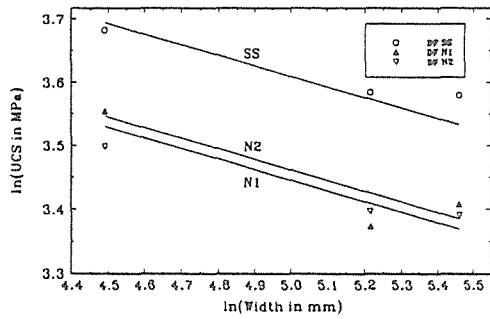
Figure 7.15  
Regression of  
 $\ln(UCS_{0.05})$  vs  
 $\ln(W)$  for  
"best" model



$$UCS_{0.05} = 73.5654 g (Width)^{-0.2004}$$

s: DF = 1.0 HF = 0.9021 SPF = 0.7952  
g: SS = 1.0 N1 = 0.8441 N2 = 0.8120

Figure 7.16  
Regression of  
 $\ln(UCS_{0.50})$  vs  
 $\ln(W)$  for  
"best" model

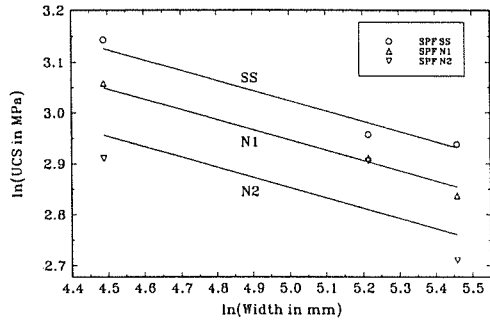
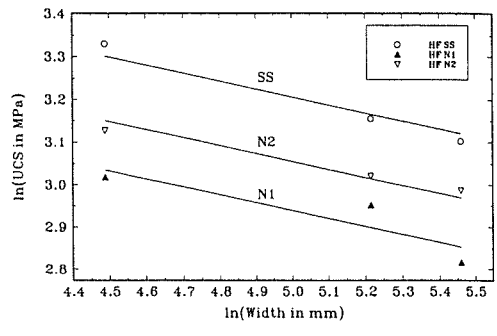
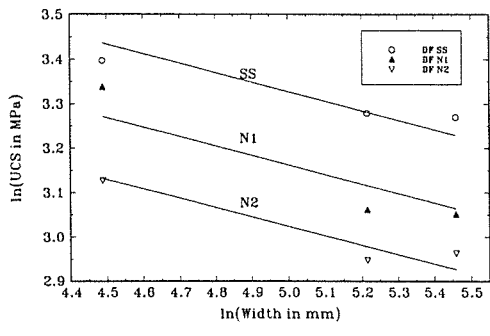


$$UCS_{0.50} = 84.7741 g (Width)^{-0.1662}$$

s: DF = 1.0 HF = 0.9752 SPF = 0.7914  
g: SS = 1.0 N1 = 0.8489 N2 = 0.8627



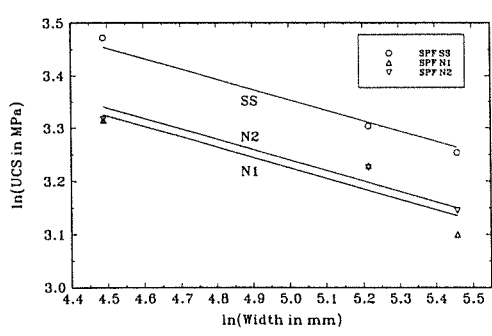
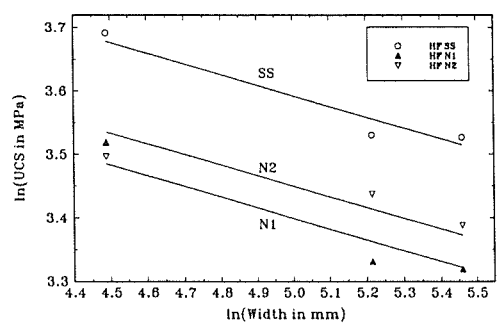
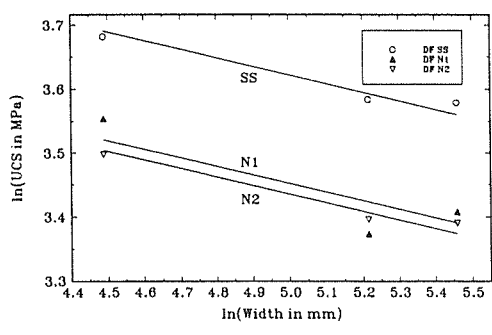
Figure 7.17  
Regression of  
 $\ln(UCS_{0.05})$  vs  
 $\ln(W)$  :  
individually  
for each  
species



DF:  $UCS_{0.05} = 80.8446 g (Width)^{-0.2131}$   
 HF:  $UCS_{0.05} = 63.3238 g (Width)^{-0.1892}$   
 SPF:  $UCS_{0.05} = 56.1303 g (Width)^{-0.2008}$

g	SS	N1	N2
DF	1.0	0.8480	0.7385
HF	1.0	0.7659	0.8599
SPF	1.0	0.9259	0.8433

Figure 7.18  
Regression of  
 $\ln(UCS_{0.50})$  vs  
 $\ln(W)$  :  
individually  
for each  
species



DF:  $UCS_{0.50} = 73.1670 g (Width)^{-0.1341}$   
 HF:  $UCS_{0.50} = 84.0440 g (Width)^{-0.1679}$   
 SPF:  $UCS_{0.50} = 76.4630 g (Width)^{-0.1966}$

g	SS	N1	N2
DF	1.0	0.8439	0.8298
HF	1.0	0.8245	0.8674
SPF	1.0	0.8791	0.8922

## 7. 5 MOEの回帰

MOE, メンバーの幅、樹種、及びグレードの間の相関関係を得るためには指標変数を使った回帰モデルが使われた。CWCのイングレード計画では、MOEの値は、MOR、UTC及びUCSのすべての試験片について得られており、3つのタイプの試験片についてのMOEの結果は、MOE, サイズ、グレード及び樹種の係数における試験間の変異を評価するために別々に分析が行なわれた。

回帰モデルとして式(2)を使って、MOR試験片について5%水準でのMOEの値の回帰パラメーターは次のようになった：

$$MOE_{0.05}(\text{曲げ}) = 8299 \cdot s \cdot g \cdot W^{-0.0115} \quad (8)$$

ここで、樹種(s)及びグレード(g)の係数は：

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fir-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fir} = 1.0290 \quad \text{SPF} = 0.8833 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8611 \quad \text{No2} = 0.8407 \quad \text{No3} = 0.6825 \end{aligned}$$

MOR試験片では50%水準で：

$$MOE_{0.05}(\text{曲げ}) = 11845 \cdot s \cdot g \cdot W^{-0.0112} \quad (9)$$

ここで、

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fie-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fie} = 0.9921 \quad \text{SPF} = 0.8825 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8610 \quad \text{No2} = 0.8883 \quad \text{No3} = 0.8218 \end{aligned}$$

式(8)及び(9)から解るように、サイズのパラメーターは0に非常に近い。Tテストを使った両パセンタイル水準でのpの値が大きかった(0.6559と0.4788)ことは、サイズのパラメーターが0からあまり離れていないことを示している。簡単なモデルではMOEはメンバーの幅によって変わらないことを示している。回帰分析ではMOEの5%、50%の回帰で次のような結果がでている：

5%水準で：

$$MOE_{0.05}(\text{曲げ}) = 8473 \cdot s \cdot g \quad (10)$$

ここで、

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fir-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fir} = 1.0290 \quad \text{SPF} = -.8833 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8611 \quad \text{No2} = 0.8407 \quad \text{No3} = 0.6825 \end{aligned}$$

50%水準で：

$$MOE_{0.05}(\text{曲げ}) = 12090 \cdot s \cdot g \quad (11)$$

ここで、

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fir-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fir} = 0.9921 \quad \text{SPF} = 0.8825 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8610 \quad \text{No2} = 0.8883 \quad \text{No3} = 0.8218 \end{aligned}$$

これらの結果を式(8)及び(9)と比較すると、グレードと樹種の係数はモデルの選択によって影響されないことは明らかである。

引っ張り及び圧縮におけるMOEデータの回帰分析も幅の影響は極めて小さいことを示している。MOE、樹種及びグレードの間の回帰関係を得るために単純化したモデルが使われた。引っ張り及び圧縮におけるMOEの値の式は次の通りである：

$$MOE_{0.05}(\text{引っ張り}) = 8272 \cdot s \cdot g \quad (12)$$

ここで、

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fir-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fir} = 1.0133 \quad \text{SPF} = 0.9021 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8947 \quad \text{No2} = 0.8646 \end{aligned}$$

$$MOE_{0.50}(\text{引っ張り}) = 12170 \cdot s \cdot g \quad (13)$$

ここで、

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fie-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fie} = 0.9919 \quad \text{SPF} = 0.8791 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8895 \quad \text{No2} = 0.9008 \end{aligned}$$

$$MOE_{0.05}(\text{圧縮}) = 8404 \cdot s \cdot g \quad (14)$$

ここで、

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fie-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fir} = 1.0153 \quad \text{SPF} = 0.8859 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8620 \quad \text{No2} = 0.8568 \end{aligned}$$

$$MOE_{0.50}(\text{圧縮}) = 11935 \cdot s \cdot g \quad (15)$$

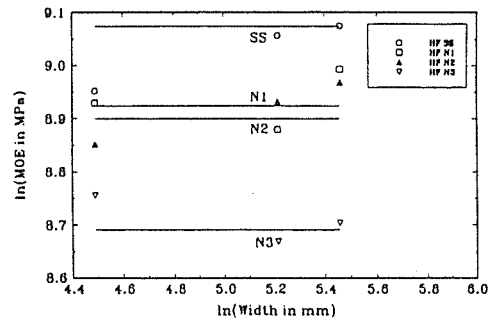
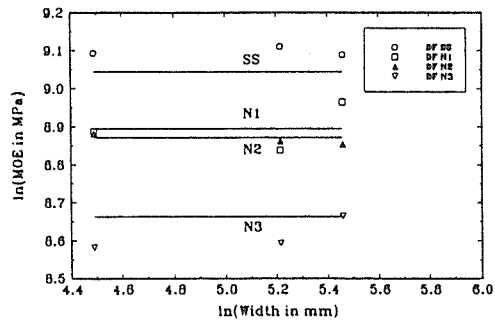
ここで、

$$\begin{aligned} s : & \text{D.Fir-L} = 1.0 \quad \text{Hem-Fir} = 0.9926 \quad \text{SPF} = 0.8790 \\ g : & \text{SS} = 1.0 \quad \text{No1} = 0.8731 \quad \text{No2} = 0.8993 \end{aligned}$$

MOEモデルの5%及び50%水準では樹種とグレードの係数は極めて同様であったが、No.3は例外であった。曲げ、引っ張り、及び圧縮でのMOEモデルの比較では、データセットの差は小さいことを示している。結果が同様であることは、MOEの性質の計算にはデータセットを総合することが出来ることを示している。データセットを性質の相関関係の研究にも使えることを意味している。

回帰モデルはデータとともに図7.19から図7.24までにプロットした。

Figure 7.19  
Regression of  
ln(MOE) vs  
ln(W) –  
bending  
specimen  
5th percentile  
level



MOE<sub>0.05</sub> = 8472.95 gs  
s: SS=1.0 N1=0.8611 N2=0.8407 N3=0.8825  
g: DF=1.0 HF=1.0290 SPF=0.8833

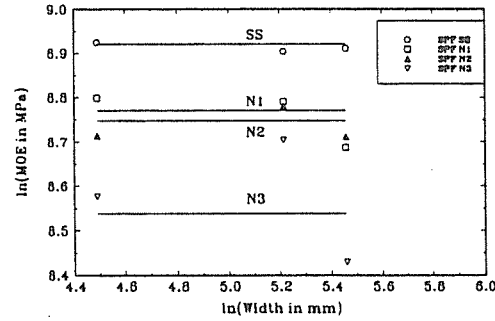
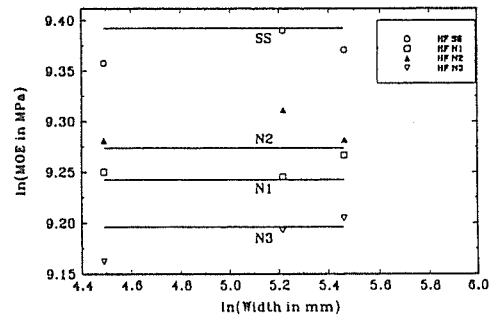
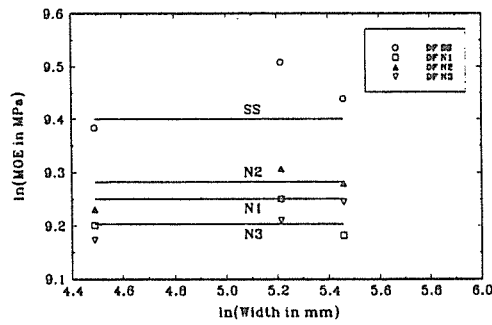


Figure 7.20  
Regression of  
ln(MOE) vs  
ln(W) –  
bending  
specimen  
50th percentile  
level



MOE<sub>0.50</sub> = 12089.25 gs  
s: SS=1.0 N1=0.8610 N2=0.8883 N3=0.8128  
g: DF=1.0 HF=0.9921 SPF=0.8825

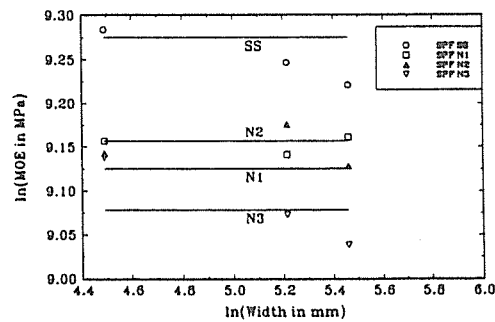
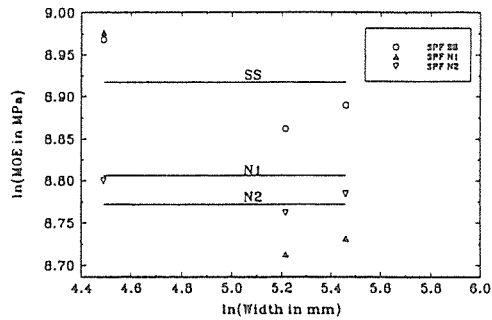
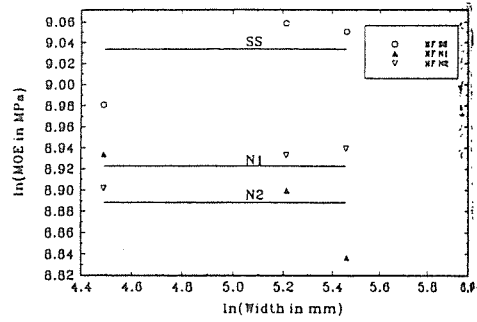
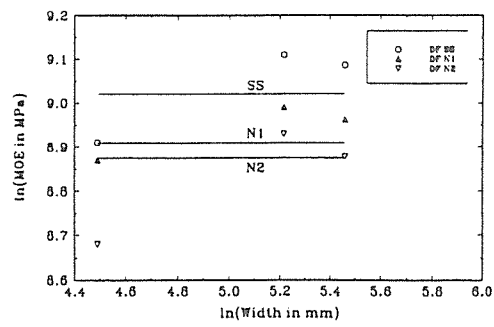


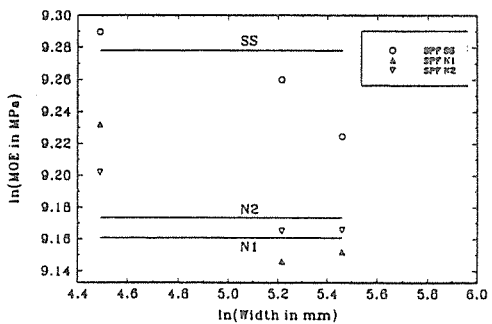
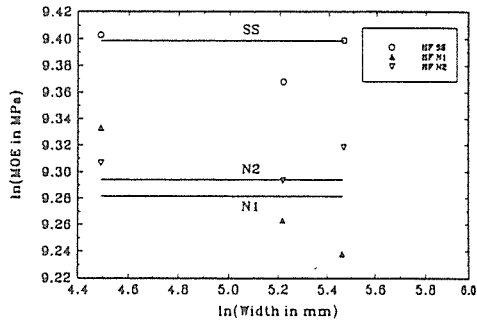
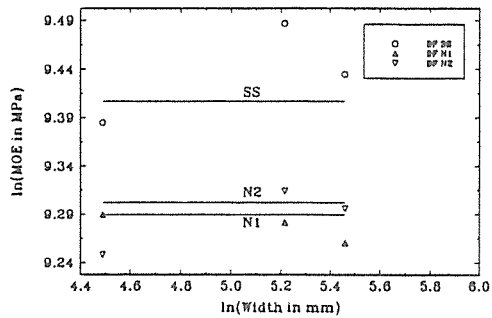
Figure 7.21  
Regression of  
ln(MOE) vs  
ln(W) –  
tension  
specimen  
5th percentile  
level



MOE<sub>0.05</sub> = 8271.63 gs

s: SS=1.0 N1=0.8947 N2=0.8646  
g: DF=1.0 HF=1.0133 SPF=0.9021

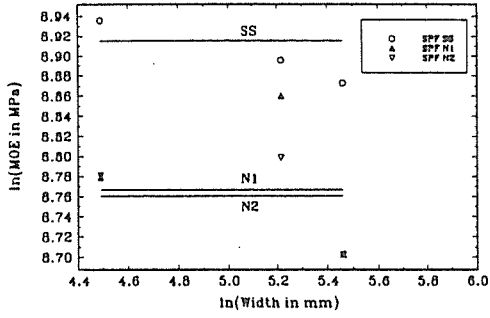
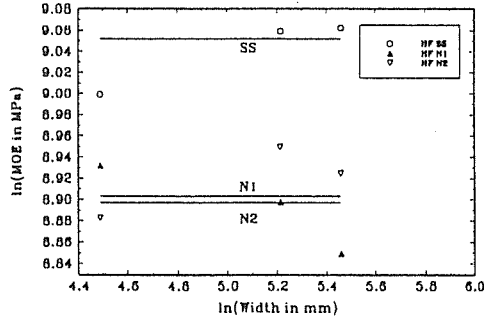
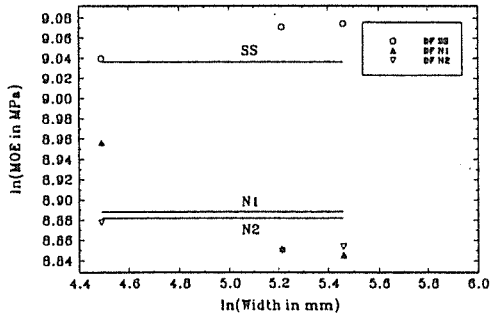
Figure 7.22  
Regression of  
ln(MOE) vs  
ln(W) –  
tension  
specimen  
50th percentile  
level



MOE<sub>0.50</sub> = 12169.91 gs

s: SS=1.0 N1=0.8895 N2=0.9008  
g: DF=1.0 HF=0.9919 SPF=0.8791

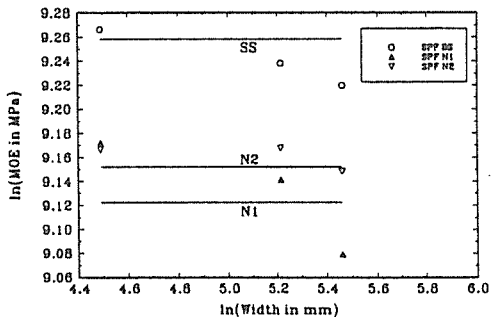
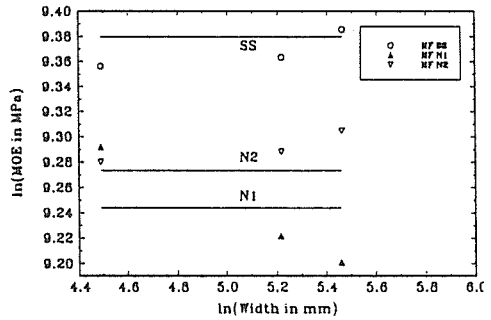
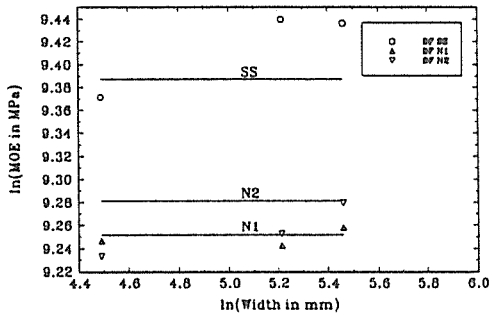
Figure 7.23  
Regression of  
 $\ln(\text{MOE})$  vs  
 $\ln(W)$  –  
compression  
specimen  
5th percentile  
level



$\text{MOE}_{0.05} = 8404.00 \text{ gs}$

s: SS=1.0 N1=0.8620 N2=0.8568  
g: DF=1.0 HF=1.0153 SPF=0.8859

Figure 7.24  
Regression of  
 $\ln(\text{MOE})$  vs  
 $\ln(W)$  –  
compression  
specimen  
50th percentile  
level



$\text{MOE}_{0.50} = 11935.49 \text{ gs}$

s: SS=1.0 N1=0.8731 N2=0.8993  
g: DF=1.0 HF=0.9926 SPF=0.8790

## 7. 6 強度とグレードの影響についての試験

### 強度の性質のモデル

5%及び50%水準でのデータに基づいた強度の性質のモデルでは別の交点及び傾斜のパラメーターがでる。傾斜が著しく異なっているかどうかを決定するために、部分的なFテストの方法を使って仮説を試験した。

MOR, UTS, UCSの5%及び50%水準のモデルを、次のフルモデルと削減モデルを使って共通の傾斜(サイズの係数)について試験した。フルモデルは5%と50%で傾斜に弾力性を持たせるもので、削減モデルは一定の傾斜(サイズの係数)を想定したものである:

$H_0$ : 傾斜(サイズの係数)は5%と50%水準で同じ

$H_1$ : 傾斜(サイズの係数)が同じでない

フルモデル :  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 G + \beta_3 (X \cdot G) + \gamma_1 E_1 + \gamma_2 + \dots$

削減モデル :  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 G + \gamma_1 E + \gamma_2 E_2 + \dots$

ここで、Yは性質の自然対数(Log.)

Xは幅Wの自然対数(Log.)

E's はグレードの指標変数

F's は樹種の指標変数

Gはパーセンタイル水準の指標変数(5%ではG=0、50%ではG=1)

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \delta_1, \delta_2$ は指標変数の係数である。

傾斜が等しいということの試験は、パラメーター  $\beta$  が0と等しいかどうかを試験するのに相当する。

ゼロ仮定は5%有意の水準で否定されなかったため、傾斜(サイズの係数)は大きくは違っていないということのようである。

期待されたとおり、仮説の試験は5%と50%の交点は、UTS, MOR及びUCSで著しく異なっていた。

### No 1とNo 2のグレードの係数

No 1とNo 2のグレードの強度の値はすべての機械的性質で良く似ていた。No 1とNo 2でMOR, UTS, UCS及びMOEのデータセットで著しい相違があるかどうかを決定するために仮説試験を行なった。各性質でMOEのデータは別々に評価した。評価すべき仮説は次の通りである:



H<sub>0</sub> : N o 1 と N o 2 のグレードの係数は同じである

H<sub>1</sub> : グレードの係数は同じでない

フルモデルと削減モデルは :

フルモデル :  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \gamma_1 E_1 + \gamma_2 E_2 + \gamma_3 E_3 + \delta_1 F_1 + \gamma_2 F_2$

削減モデル :  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \gamma_2 E_2 + \gamma_3 E_3 + \delta_1 F_1 + \delta_2 F_2$

ここで、E' s はグレードの指標変数で、F' s は樹種の指標変数である。更に、E' s は次のように再定義される :

	N o 1	N o 2	N o 3	SS
E <sub>1</sub>	0	1	0	0
E <sub>2</sub>	0	0	1	0
E <sub>3</sub>	0	0	0	1

(註 : N o 3 は圧縮と引っ張りでは試験しなかった。)

N o 1 と N o 2 のグレードの係数が同じであることの試験は、パラメーター  $\gamma_1$  が 0 に等しいことを試験することに相当する。部分的な F テストでは 5 % 有意の水準で、MOR , UTS , UCS または MOE のデータセットで N o 1 と N o 2 のグレードでグレードの係数に著しい相違はなかったことが確認された。

#### MOE に及ぼす試験片の影響

曲げ、引っ張り及び圧縮の試験片での MOE についての樹種及びグレードの係数は極めて類似していた。したがって、MOE についていずれのタイプかの試験片で試験することが合理的であった。試験すべき仮説は次の通りである :

H<sub>0</sub> : 曲げの MOE は、MOR , UTS , UCS の試験片で同じである

H<sub>1</sub> : まげの MOE は同じではない

これらの仮説を確かめるのに部分的な F テストが使われた。仮説に対応するフルモデル及び削減モデルは次の通りである :

フルモデル :  $Y = \beta_0 + \beta_1 W + \gamma_1 E_1 + \gamma_2 E_2 + \gamma_3 E_3 + \delta_1 F_1 + \delta_2 F_2 + \mu_1 X + \mu_2 X_2$

削減モデル :  $Y = \beta_0 + \beta_1 W + \gamma_1 E_1 + \gamma_2 E_2 + \gamma_3 E_3 + \delta_1 F_1 + \delta_2 F_2$

ここで、E's 及び F's はグレードと樹種の影響を区別する指標変数である。更に、No 3 のウレードの試験片はなかったので、引っ張り及び圧縮試験片では  $E_3 = 0$  である。X's は3種の異なったMOE試験片について使った指標変数である。新しい指標変数は次のように定義される：

	SS	No 1	No 2	No 3		B	T	C
$E_1$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	1	0	0	$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}$	0	1	0
$E_2$		0	1	0		0	0	1
$E_3$		0	0	1		0	0	0

各試験片のタイプによって異なった係数が必要かどうかを試験することは、パラメータ  $\mu_1$  と  $\mu_2$  が 0 に等しいかどうかを試験することに相当する。0.05 の有意水準で部分的な F テストでは 5 t h パーセンタイルの水準で影響がないことが判明したが、50 t h パーセンタイルの水準では試験片のタイプによる影響が僅かにあることを示している。

## 7. 7 討議

CWCのプロジェクトが特に強調するところはカナダ産の3種の樹種グループの構造性能をはっきりさせることである。技術的なデータが部分的なものであったり、あるいは殆どないという他の多くの樹種もあり、フルサイズの試験による樹種、性質及びグレードの知識を使って構造性能を評価することが必要になってくる。

構造用木材製品の生産者及び使用者は構造用製材の設計値の表示を単純化することを求めている。樹種やグレードを通じて統一的な性質の相関関係が存在していれば、コード及び規格で表現するための単純化した設計表あるいは強度でグループ化するシステムの採用が可能になる。

### 樹種の係数

5%及び50%水準の強度的性質の樹種関連係数は4種のグレードについて表7.6に要約した。無欠点材のデータを使って、最も弱い樹種をベースとして計算した樹種の関連係数は表7.7.に示した。無欠点材のデータはHem-Fir及びSPFの強度的性能はD. Fir-Lの性能の概ね70%であるということを示唆させた。フルサイズの試験データでは無欠点材のデータから予測されるよりも樹種の影響はかなり小さいことを示している。

MOEの樹種関連係数(表7.6)は、MOR、UTS及びUTCの試験片について別々に示している。曲げのMOEの試験はすべての試験片について同じ方法で行なわれている。樹種の係数が似ていることは、3つの試験片のタイプがMOEについては良くマッチしていることを示している。

表 7.6 D. Fir-Lに対して指標化したすべての機械的性質の樹種関連係数

試験片のタイプ	5th パーセンタイル			50th パーセンタイル		
	DF	HF	SPF	DF	HF	SPF
MOR	1.00	1.094	1.041	1.00	1.076	0.899
UTS	1.00	0.963	0.827	1.00	1.034	0.940
UCS	1.00	0.902	0.795	1.00	0.975	0.791
MOE(MOR)	1.00	1.029	0.883	1.00	0.992	0.883
MOE(UTS)	1.00	1.013	0.902	1.00	0.992	0.879
MOE(UTC)	1.00	1.015	0.886	1.00	0.993	0.879

表 7.7 ASTM D2555-最も弱い樹種からの樹種関連係数

	D.Fire-L	Hem-Fir	S-P-F
MOR	1	0.73	0.70
UTS	1	0.73	0.70
UTC	1	0.77	0.68
MOE	1	0.84	0.70

グレードの係数

MOR, UTS, UCS, MOEについてのグレードの関連係数は樹種グループ毎に表7.8から表7.10までに示した。全樹種を総合したものは表7.12に示した。ASTM D245の方法によって求めたグレード関連係数は表7.13に示した。セレクトとNo2グレードの間の関係は5%水準でASTM D245のモデルと極めて良く一致するようである。No1とNo2のグレードの関連係数はすべての性質で同様であり、No1とNo2を同じ設計性能に規定しているカナダで採用しているアプローチを支持している。

MOEのグレードの係数(表7.11)と樹種の係数(表7.8)が一致していることは、曲げ、引っ張り及び圧縮の試験片でのMOEの分布が非常に似ていることを確認させている。

表 7.8 セレクトグレードに対して指標化した各樹種のMORのグレードの関連係数

樹種	5% 水準				50% 水準			
	SS	No1	No2	No3	SS	No1	No2	No3
DF	1.00	0.709	0.621	0.403	1.00	0.630	0.691	0.592
HF	1.00	0.662	0.754	0.533	1.00	0.758	0.815	0.708
SPF	1.00	0.826	0.716	0.510	1.00	0.801	0.842	0.691
全樹種	1.00	0.729	0.695	0.479	1.00	0.726	0.780	0.662

表 7.9 セレクトグレードに対して指標化した各樹種のUTSのグレードの関連係数

樹種	5% 水準			50% 水準		
	SS	No1	No2	SS	No1	No2
DF	1.00	0.744	0.616	1.00	0.656	0.659
HF	1.00	0.673	0.718	1.00	0.702	0.746
SPF	1.00	0.651	0.663	1.00	0.751	0.748
全樹種	1.00	0.688	0.664	1.00	0.702	0.717

表 7.10 セレクトグレードに対して指標化したUCSのグレードの関連係数

樹種	5% 水準			50% 水準		
	SS	No1	No2	SS	No1	No2
DF	1.00	0.848	0.739	1.00	0.844	0.830
HF	1.00	0.766	0.860	1.00	0.825	0.867
SPF	1.00	0.926	0.843	1.00	0.879	0.892
全樹種	1.00	0.844	0.812	1.00	0.849	0.863

表 7.11 セレクトグレードに対して指標化したMOEのグレードの関連係数の要約

試験片の タイプ	5% 水準				50% 水準			
	SS	No1	No2	No3	SS	No1	No2	No3
曲げ	1.00	0.861	0.841	0.683	1.00	0.861	0.888	0.822
引っ張り	1.00	0.895	0.865	--	1.00	0.890	0.901	--
圧縮	1.00	0.862	0.857	--	1.00	0.873	0.899	--
全樹種	1.00	0.873	0.854	0.690	1.00	0.875	0.896	0.824

表 7.12 セレクトグレードに対して指標化したすべての機械的性質についてのグレードの関連係数の要約

試験片の タイプ	5% 水準				50% 水準			
	SS	No1	No2	No3	SS	No1	No2	No3
曲げ	1.00	0.729	0.695	0.479	1.00	0.726	0.780	0.822
引っ張り	1.00	0.688	0.664	--	1.00	0.702	0.717	--
圧縮	1.00	0.844	0.812	--	1.00	0.849	0.863	--
MOE(MOR)	1.00	0.861	0.841	0.683	1.00	0.861	0.888	0.822
MOE(UTS)	1.00	0.895	0.865	--	1.00	0.890	0.901	--
MOE(UCS)	1.00	0.862	0.857	--	1.00	0.873	0.899	--

表 7.13 グレード関連係数 - ASTM D245<sup>1</sup>による

	SS	No1	No2	No3
MOR	1	0.85	0.69	0.40
UTS	1	0.85	0.69	0.40
UCS	1	0.90	0.75	0.48
MOE	1	1.00	0.90	0.80

註: 1 ジョイスト及びプランクのサイズについての National Grading Rule から求めた。

## 8 製材の性質の相関関係

### 8.1 緒言

製材の性質の相関関係は、まだ試験されていない樹種の性質の予測、強度区分のシステムの開発の指針及び非破壊のグレーディングシステムの開発のために使われる。Green 及び Kretschmann (1991) はアメリカ産の3樹種グループ及びカナダ産の1つの樹種グループについての研究から求めた製材の性質の一連の関係が工学的な設計基準に使用するのに適していると推奨している。これらの研究からの結果はMOR, UTS, UCSに関する内輪な相関関係を求めるのに使われ、ASTM D1990の基準に採用されている。Curry 及び Fewell (1977) はヨーロッパ産のレッドウッド及びホワイトウッドについての研究から求めたUTS/MOR及びUCS/MORの関係を提案している。

CWCのデータベースは、曲げ、引っ張り及び圧縮のサンプルを各工場から採取し、すべての試験片について曲げ弾性係数を測定しているため、そのような研究を企画するためのユニークな機会を提供するものである。サンプリングの方法は各工場が等しい材の数で各性質の試験に貢献することを確保している。MOR, UTS及びUCSのサンプルの弾性係数の分布の比較は、試験片がMOEについて密接にマッチしていることを確認させている。

この章の目的は、曲げ、引っ張り及び圧縮の強度的性質の間関係を検討するとともに、カナダ産の構造用製材の強度的性質と弾性係数との間関係を検討することである。

### 8.2 性質の調整

製材の構造性能はメンバーのサイズによって異なる。分析のための一貫した根拠を提供するために、すべての試験データは標準のサイズに調整した。第6章で求めたサイズの調整のモデルは曲げ、引っ張り及び圧縮の強度データを標準のメンバーの幅 $W = 184 \text{ mm}$ 及び長さ $L = 1.7W_0$  ( $3128 \text{ mm}$ )に調整するのに使った。式は次の通りである：

$$P_0 = P_1 \left( \frac{L_1}{L_0} \right)^{S_L} \left( \frac{W_1}{W_0} \right)^{S_W} \quad (1)$$

ここで、 $P_1$  = 長さ $L_1$ 、幅 $W_1$ で測定した性質

$P_0$  = 標準サイズに調整した性質

$S_L$  = 長さの影響のサイズのパラメーター

$S_W$  = 幅の影響のサイズのパラメーター

UTS及びMORの調整に使ったサイズのパラメーターは Barrett 及び Fewell が報告しているとおりに表8. 1に示した。サイズ、樹種及びグレードについての幅広い評価に基づいたこの研究では、長さとの影響は引っ張り及び曲げにおいて同様であることを示している。これらの値は第6章の表6. 6のカナダ産樹種についてのみ求めた値と僅かに相違している。性質の関係についての予備調査では、Barrett等が提案しているサイズのパラメーターは、樹種、グレード及びサイズの間でのUTS/MORの関係における変異を最小限にしたものである。UCSについてのサイズのパラメーターは第6章(表6. 6)から取った。

含水率15%におけるMOR, UTS, UCSのデータは、式(1)及び表8. 1からの適当なサイズのパラメーターを使って標準サイズに調整した。曲げのMOEのデータはサイズの調整を行なわなかった。パーセンタイルのデータセットは3つのサイズ(共通サイズベースに調整)、3つの樹種、2つのグレード(セレクトとNo2)及び3種の性質について非変数パーセンタイル(0.02, 0.05, 0.10, …0.95, 0.98)を含んで構成された。パーセンタイルの値はASTM D2915の方法を使って計算した。これらのデータセットは、フルサイズのデータセットから切り離して、“パーセンタイル”のデータセットと呼ばれている。

引っ張り、圧縮及び曲げの強度は同じ試験片で測定することは出来ないで、等しいパーセンタイルの想定を使って、ペアとなっている性質の関係を作った。同じパーセンタイル水準の性質を取って強度的性質の間での関係を調査するためのペアのデータとした。

表 8.1 性質の関係の分析のための長さとの幅についてのサイズのパラメーター

性質	$S_L$	$S_w$
曲げ	0.17	0.23
引っ張り	0.17	0.23
圧縮	0.10	0.11

### 8. 3 性質のモデル

2つの性質 $P_1$ 及び $P_2$ を関連付けるには回帰モデルが使われた。リニア及びノンリニアの回帰モデルが、パーセンタイル及びデータセット全体のプロットに現われている傾向に一致するものとして選ばれた。



リニア-回帰モデルは：

$$P_1 = a + b P_2 \quad (2)$$

このモデルは関係が実質的に直線である場合のデータセットを代表するのに使われた。このモデルは製材の強度的性質と弾性係数の関係を示すのに幅広く使われてきた。

ノンリニア-の関係を示すにはパワータイプのモデルが使われてデータセットを示した。最初のパワーモデルは2つのパラメーターの Weibull 分布によって示されるデータについて予測される形を取っている。強度についての Weibull 分布のパラメーターが解っていれば、特定のパーセンタイル水準での強度的性質の間の関係は直接計算できる。

もしも2つの性質 $P_1$ と $P_2$ が2-Pの Weibull 分布に適合していれば、シェーク ( $k$ ) とスケール ( $m$ ) の係数を使って、共通のパーセンタイル水準での性質の関係は次のようになる：

$$\left( \frac{P_1}{m_1} \right)^{k_1} = \left( \frac{P_2}{m_2} \right)^{k_2} \quad (3)$$

それから $P_1$ と $P_2$ の関係は次のように表現できる：

$$P_1 = a \cdot P_2^b \quad (4)$$

ここで、 $a$  及び  $b$  は常数である。

このモデルは製材の性質のデータセットに幅広く使われてきた。2つのパラメーターのモデル (式2及び4) は性質の関係すべてには適切にフィットしない。そのような場合は、次の3つのパラメーターのパワーモデルが使われる：

$$P_1 = a \cdot P_2^b \cdot c^{P_2} \quad (5)$$

ここで、 $a$ ,  $b$ ,  $c$  は常数である。

$c = 1$  の場合は、このモデルは二元の形 (式4) になる。

式2、4及び5におけるモデルのパラメーターは直線回帰の技術を使って求めたものである。式4及び5では、モデル及び試験データの対数変形を行なった後に回帰分析を行なった。  $c$  が5%有意の水準で有意であるかどうかの試験には後方消去の方法が使われた。 $c$  のパラメーターが有意でなかった場合は、 $a$  及び  $b$  のパラメーター (式5  $c = 1$ ) が報告された。

## 8. 4 曲げ強度に基づく関係

曲げ強度はフルサイズの構造メンバーを評価するのに最も普通に用いられる性質である。曲げ試験では設計に必要なMORとMOEのデータが得られる。UCS及びUTSのデータが得られない場合は、他の試験から求めた性質の間関係に基づいてUTSとUCSを推定することが必要な場合が多い。

この節での分析は、一定のMORについてUTSとUCSを予測するモデルを開発することである。性質の相互関係は式(5)を使ってモデル化し、パーセンタイルのデータベースをサイズについて調整した。

### a) UTS 対 MOR

パーセンタイルのデータセットに基づいたUTSとMORの関係はリニアなものではない。3種の樹種グループについて式(5)を使って求めた回帰パラメーターは表8.2に示した。UTS対MORの回帰曲線はパーセンタイルデータベースとともに図8.1, 8.2及び8.3に示した。

引っ張り強度と曲げ強度に基づいたUTS/MORの回帰モデルも式(5)及び表8.2のパラメーターを使って求めた。回帰の傾向はすべての場合のデータの傾向と一致している。

3樹種についてのUTS/MORの回帰モデルを図8.4で比較した。全樹種で一般的な傾向は同じである。UTS/MORの比は低い強度範囲では減少し、最少に達してから曲げ強度の増加にしたがって増加する。その傾向はアメリカの樹種での傾向と一致している。

表 8.2 UCS, UTS, 及びMORのパーセンタイルデータの間の関係のための回帰モデル

性質 (MPa)	樹種	a	b	c
UTS/MOR (パワーモデル)	D. Fir-L	1.531102	0.613231	1.009554
	Hem-Fir	2.37700	0.394300	1.018736
	S-P-F	1.201354	0.601656	1.019119
UCS/MOR (パワーモデル)	D. Fir-L	7.219882	0.357230	1.004457
	Hem-Fir	7.565218	0.292120	1.008341
	S-P-F	7.439503	0.227380	1.012155

MOR/UTS (パワーモデル)	D. Fir-L	0.873372	1.356439	0.984422
	Hem-Fir	0.948491	1.358764	0.980135
	S-P-F	1.672839	1.120344	0.984729
UCS/UTS (パワーモデル)	D. Fir-L	6.277376	0.531627	1.000000
	Hem-Fir	5.799738	0.543546	1.000000
	S-P-F	5.670907	0.505273	1.000000
UTS/UCS (パワーモデル)	D. Fir-L	0.036066	1.843108	1.000000
	Hem-Fir	0.043771	1.809625	1.000000
	S-P-F	0.039695	1.915547	1.000000

UTS/MORの関係は樹種による。高い強度水準の場合は樹種の影響は大きい。品質の非常に高い製材では、Hem-Fir やSPFで引っ張り強度は曲げ強度の80%近くになる。

樹種の影響は目視格付けの標準の曲げの性質に伴う通常強度範囲で最も小さい。カナダ産3樹種についての平均のUTS/MORの比は、アメリカの樹種について得られているUTS/MOR=0.56という結果、及びヨーロッパ産の樹種についてのUTS/MOR=0.60という結果に非常に良く一致している。これら3つの研究は同じベースで行なわれたものではないけれども、結果はUTS/MORの比は標準の特性の範囲で比較的一定していることを示している。

UTSとMORの関係は評価したサイズとグレードの範囲を通じて同様である。標準サイズにサイズを調整することによって、UTS対MORの関係はメンバーの幅及びグレードに関係なく単純な回帰関係で示すことが出来る。

UTS/MORの比は次のように他の長さについて調整することが出来る：

$$\frac{UTS}{MOR} = \left( \frac{UTS_0}{MOR_0} \right) \left( \frac{L_t}{L_b} \right)^{S_L} \quad (6)$$

Figure 8.1  
 Relationship  
 of UTS to MOR  
 for D.Fir-L  
 (percentile  
 data)

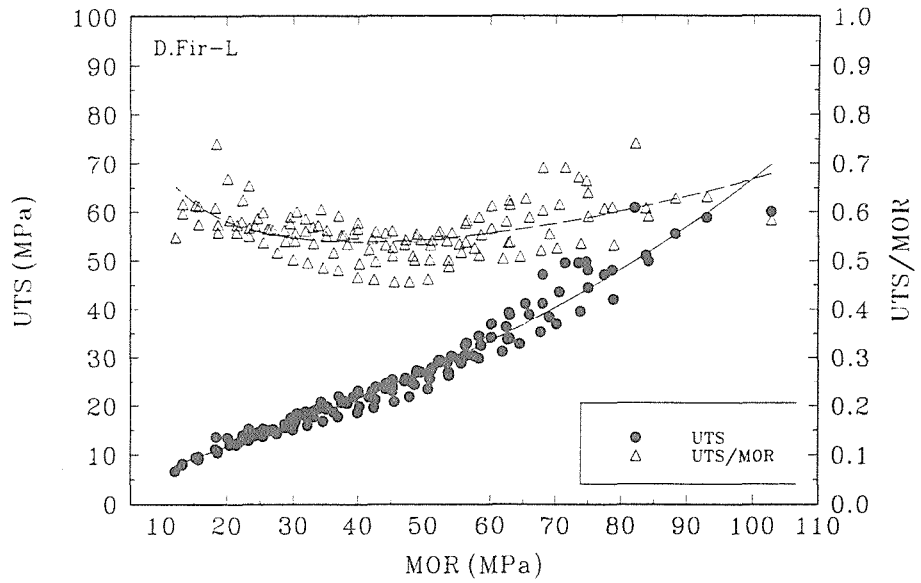


Figure 8.2  
 Relationship  
 of UTS to MOR  
 for Hem-Fir  
 (percentile  
 data)

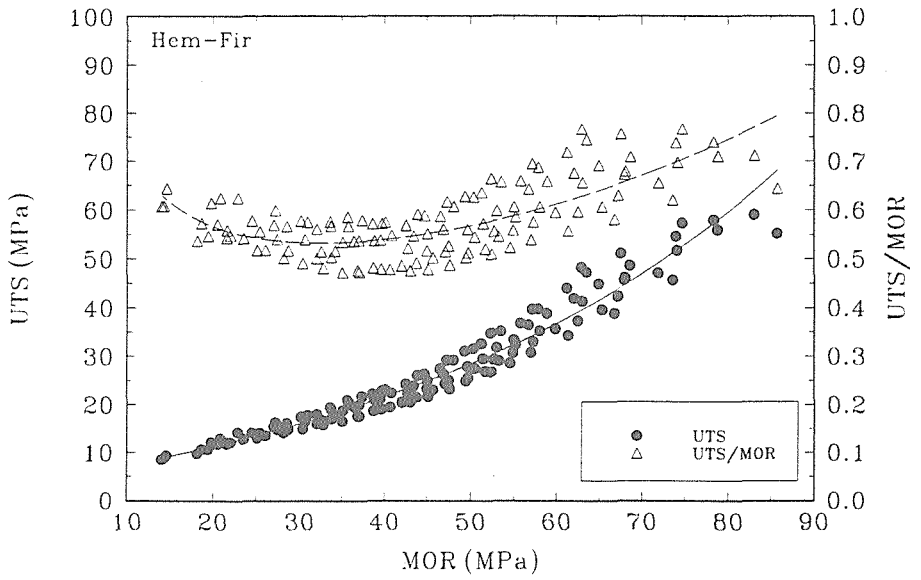


Figure 8.3  
 Relationship  
 of UTS to MOR  
 for S-P-F  
 (percentile  
 data)

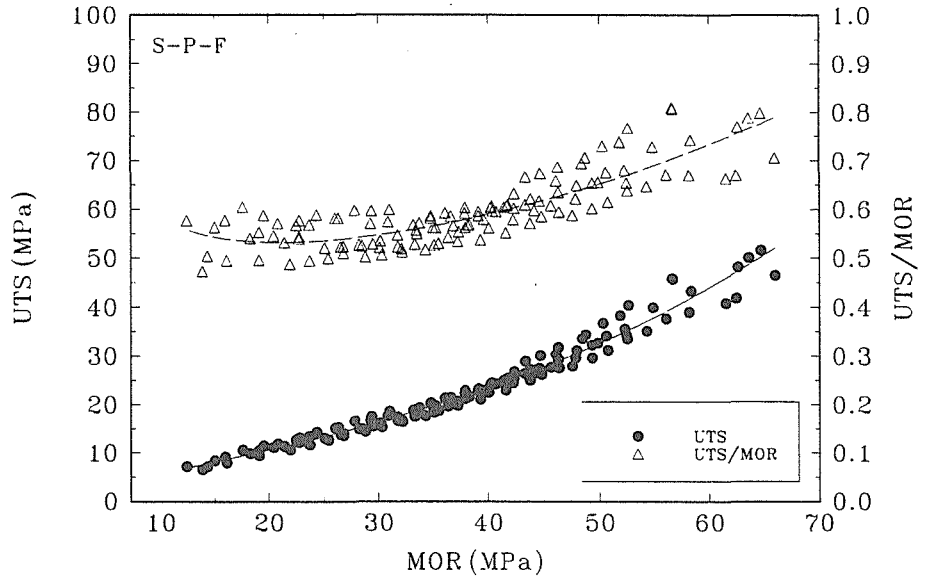
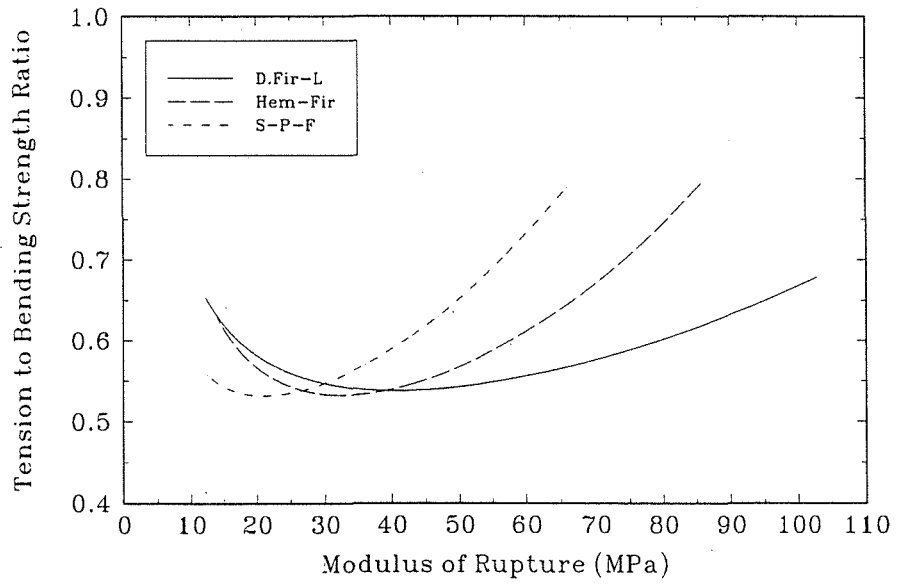


Figure 8.4  
 Predicted  
 tension to  
 bending  
 property ratios  
 for Canadian  
 species



ここで、 $UTS_o/MOR_o$  = 標準サイズでの性質の比

$UTS/MOR$  = 長さ $L_t$ の引っ張りメンバーと長さ $L_b$ の曲げメンバー  
の性質の比（幅は同じ）

$S_L$  = 長さの影響についてサイズのパラメーター（ $S_L=0.17$ ）

### b) UCS 対 MOR

UCSとMORとの関係は式（5）を使って評価した。回帰パラメーターは表8. 2に示した。UCS/MORの比はパーセントailsのデータセットを使って計算し、式（5）及び表8. 2のパラメーターを使って求めた回帰モデルと比較した。3樹種についての性質の比及び対応する回帰の結果は図8. 5、8. 6, 及び8. 7に示した。（図は省略）

UCS/MORの比は曲げ強度が増加するのに伴って減少し、高い品質の構造用製材の下限に達する。カナダ産の商業樹種グループの各樹種の無欠点小試験片での結果を使って無欠点材の傾向線を求めた。UCS/MORの無欠点小試験片での傾向はフルサイズの試験片での結果と一致している。UCS/MOR水準での多少の相違は試験片のサイズと試験方法によるものであろう。

UCS/MORの比はMOEによるようである。性質の比はD. Fir-Lで最大で、SPFで最小である。カナダ産樹種について求めたUCS/MORの関係は他の樹種について求められたものと同じ傾向である。カナダ、アメリカ及びヨーロッパ産の樹種間の相違は試験方法あるいはデータ分析の方法の差によるものであろう。アメリカ及びヨーロッパ産の樹種についての圧縮試験は選ばれた欠点を有する短柱の試験片を使って行なわれた。

強度性能を標準サイズに調整することによって、UCSとMORの関係は、メンバーの幅及びグレードに関係なく、単純な回帰モデルで表すことが出来る。標準サイズでのUCS/MORの比は次のようにして他のサイズに調整することが出来る：

$$\frac{UCS}{MOR} = \frac{UCS_o \left( \frac{L_o}{L_t} \right)^{0.1} \left( \frac{W_o}{W_t} \right)^{0.11}}{MOR_o \left( \frac{L_o}{L_b} \right)^{0.17} \left( \frac{W_o}{W_b} \right)^{0.23}} \quad (7)$$

Figure 8.5  
Compression  
to bending  
property ratios  
for D.Fir-L  
(percentile  
data)

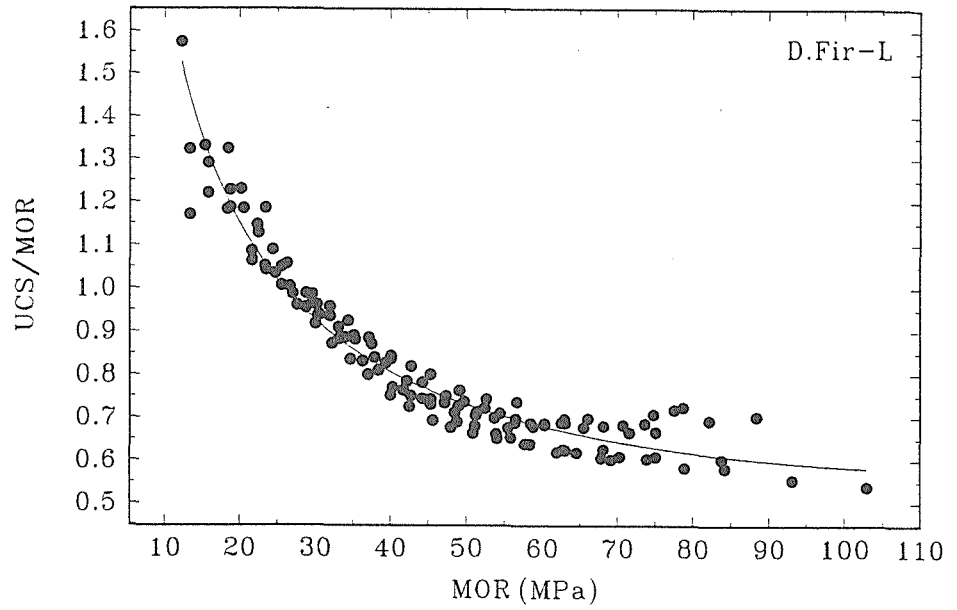


Figure 8.6  
Compression  
to bending  
property ratios  
for Hem-Fir  
(percentile  
data)

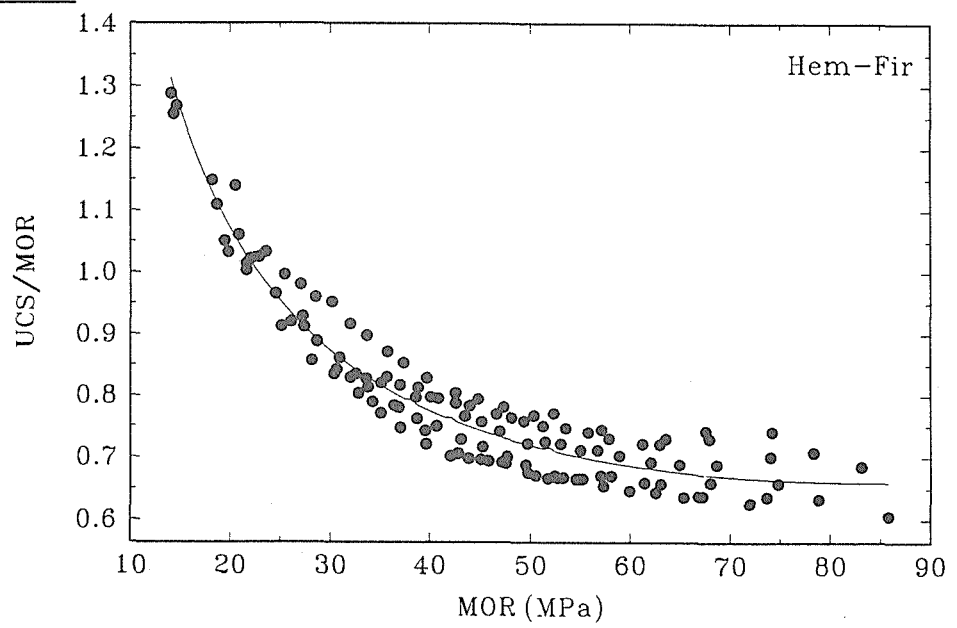


Figure 8.7  
 Compression  
 to bending  
 property ratios  
 for S-P-F  
 (percentile  
 data)

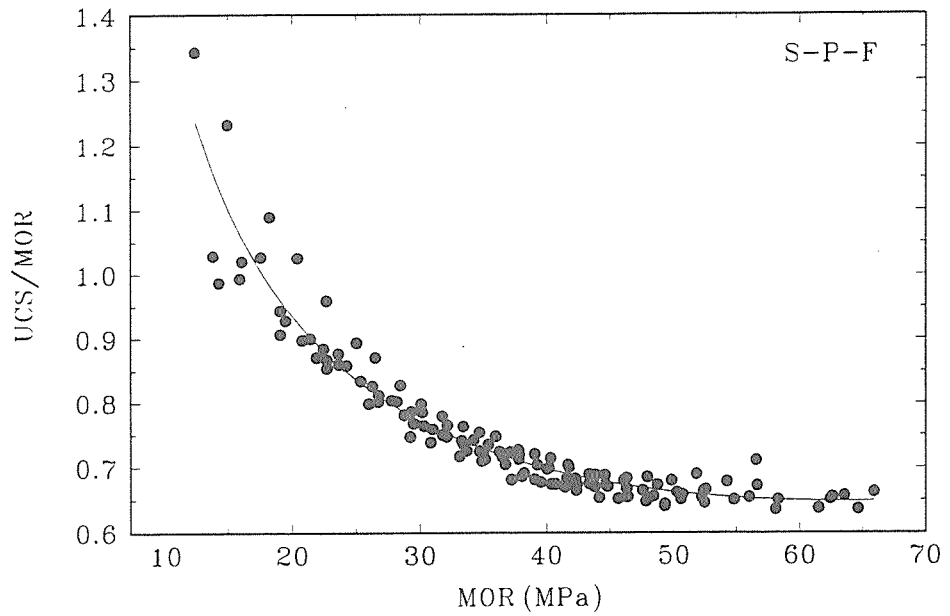
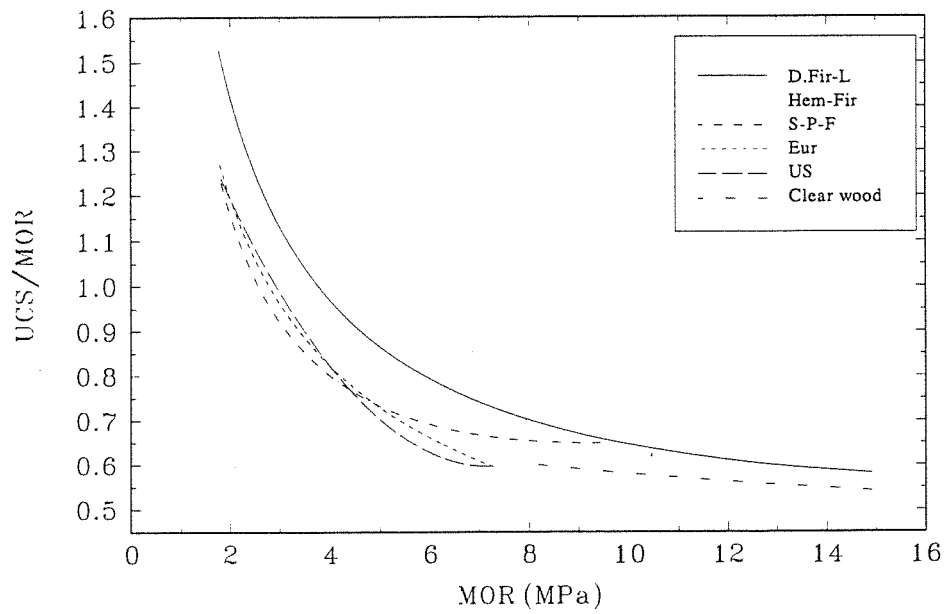


Figure 8.8  
 Compression  
 to bending  
 property ratios  
 derived from  
 Canadian, U.S.  
 (Green &  
 Kretschmann  
 1991) and  
 European  
 (Curry & Fewell  
 1977) full-size  
 tests and  
 Canadian clear  
 wood data





ここで、 $UCS_0/MOR_0$  = 標準サイズでの性質の比  
 $UCS/MOR$  = 幅 $W_0$ の圧縮メンバーと幅 $W_0$ で長さが $L_0$ の曲げ  
 メンバーの性質の比  
 $W_0, L_0$  = 標準サイズでの幅と長さ

## 8. 5 引っ張り強度に基づく関係

引っ張り強度と圧縮強度は、公称均一な応力の状態での試験で測定される基本的な材料の性質である。曲げにおける最終荷重は通常引っ張り破壊を伴うものであるので、曲げ強度は引っ張り強度に関連する。UCSとUTSとの間の相関関係については特定の説明は知られていない。しかしながら、両方の強度的性能は相対的な密度と弾性係数に関連しているため、同様のMOE及び密度を持っているメンバーは相関的な性質を持っていることが考えられる。この節では、一定のUTSでMORとUCSが予測できる回帰式を開発している。

### a) MOR 対 UTS

MORからUTSを予測する回帰式(5)は、一定のUTSでMORを予測するための表現の出来る形には変えられない。UTS/MORの関係はパーセントイルのデータセットを使って求めた。回帰モデルのパラメーターは表8. 2に要約した。MOR/UTSの関係は各樹種について求めた。MOR/UTSの比は樹種によるようであり、樹種による影響のパターンはUTS/MORの比と同様(逆)である。

MORの予測における相対誤差について検討した。まず、UTS/MORの回帰を使ってUTS<sub>p</sub>を予測した。それからMOR/UTSの回帰を使って一定のUTS<sub>p</sub>でのMOR<sub>p</sub>を計算した。相対誤差(MOR<sub>p</sub> - MOR) x 100/MORは図8. 12に要約した。

### b) UCS 対 UTS

UTSとUCSの関係は材料の基本的な特性であると考えられる。UCSとUTSの関係は二元パワーモデルを使ってモデル化した。表8. 2に示したモデルのパラメーターはパーセントイルデータセットを使って求めた。UCS/UTSのデータの比は各樹種について計算した。性質の比のデータは回帰傾向線に近く密に集まっていた。傾向は曲げ強度と引っ張り強度の関係からUCS/MORについて予測されたものと同様であった。

Figure 8.9  
Bending to  
tension  
property ratios  
for D.Fir-L  
(percentile  
data)

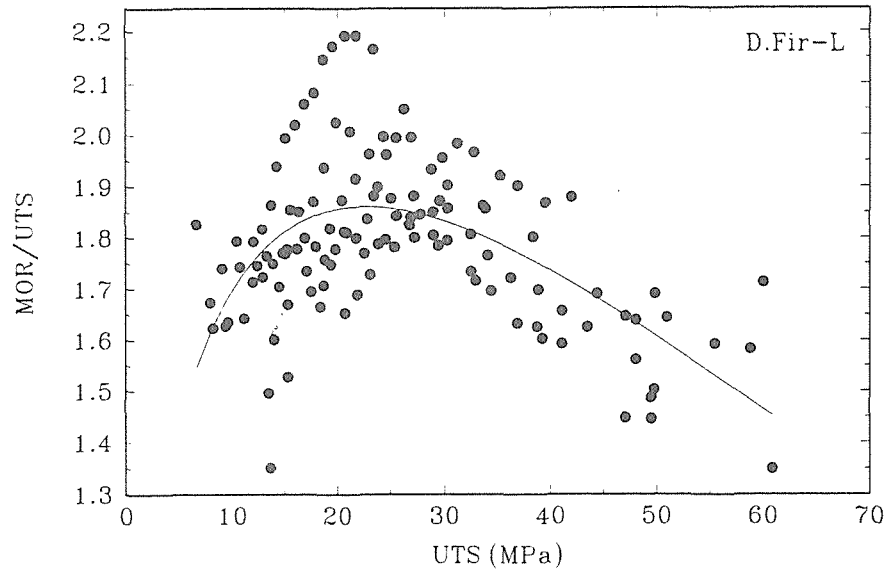


Figure 8.10  
Bending to  
tension  
property ratios  
for Hem-Fir  
(percentile  
data)

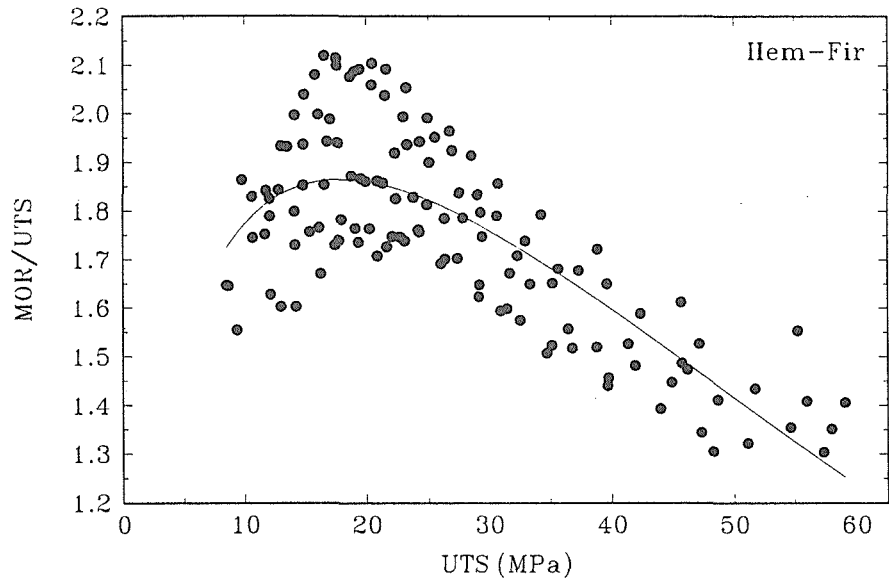


Figure 8.11  
Bending to  
tension  
property ratios  
for S-P-F  
(percentile  
data)

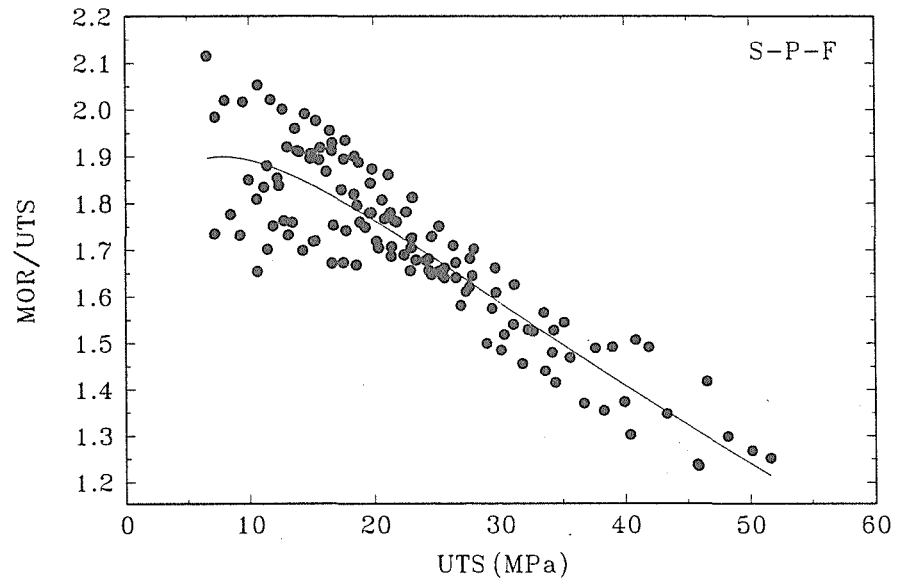


Figure 8.13  
Compression  
to tension  
property ratios  
for D.Fir-L  
(percentile  
data)

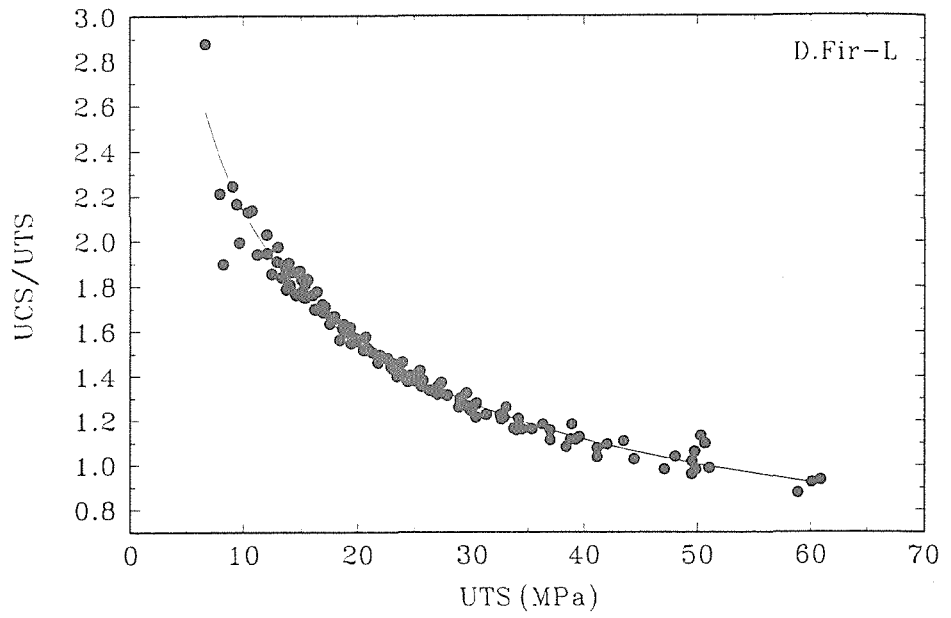


Figure 8.14  
Compression  
to tension  
property ratios  
for Hem-Fir  
(percentile  
data)

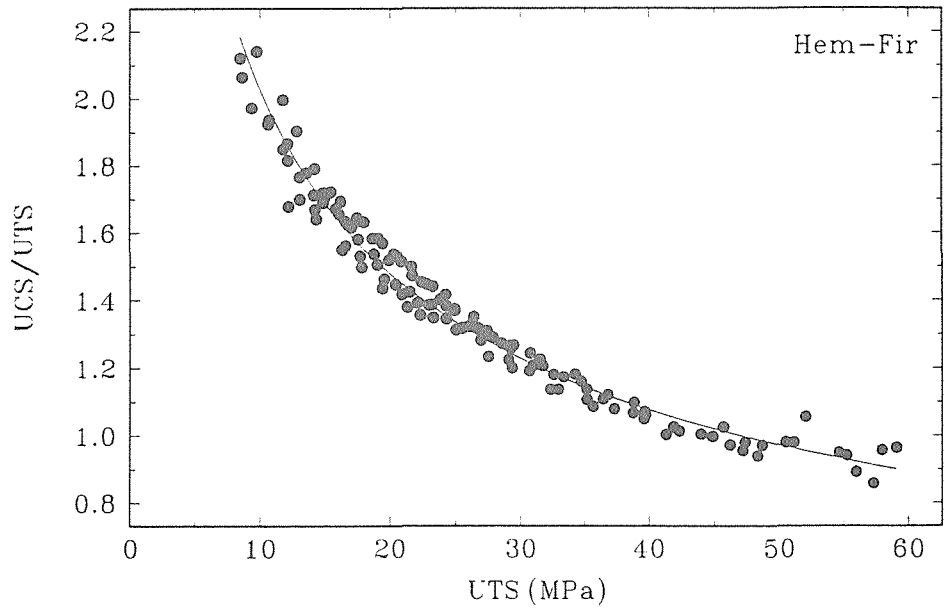
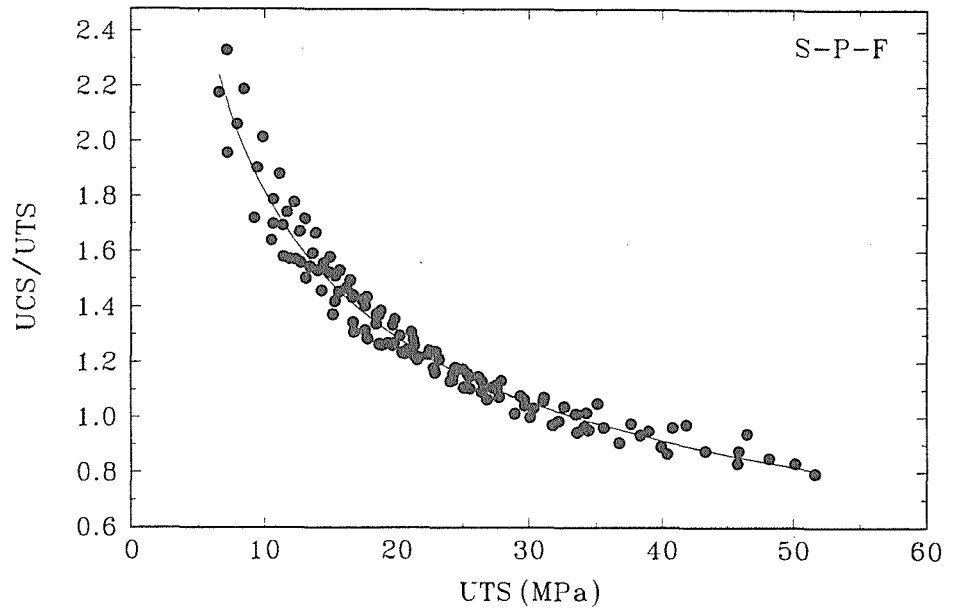


Figure 8.15  
Compression  
to tension  
property ratios  
for S-P-F  
(percentile  
data)



UCS/UTSの比は標準サイズについて求めた。サイズを調整した性質の比は、各樹種においてサイズとグレードを通じて一定であった。その結果はUCSの信頼すべき予測は、その樹種のUTSが解っていれば求めることができることを示唆している。

Figure 8.12  
Relative error  
analysis for  
MOR

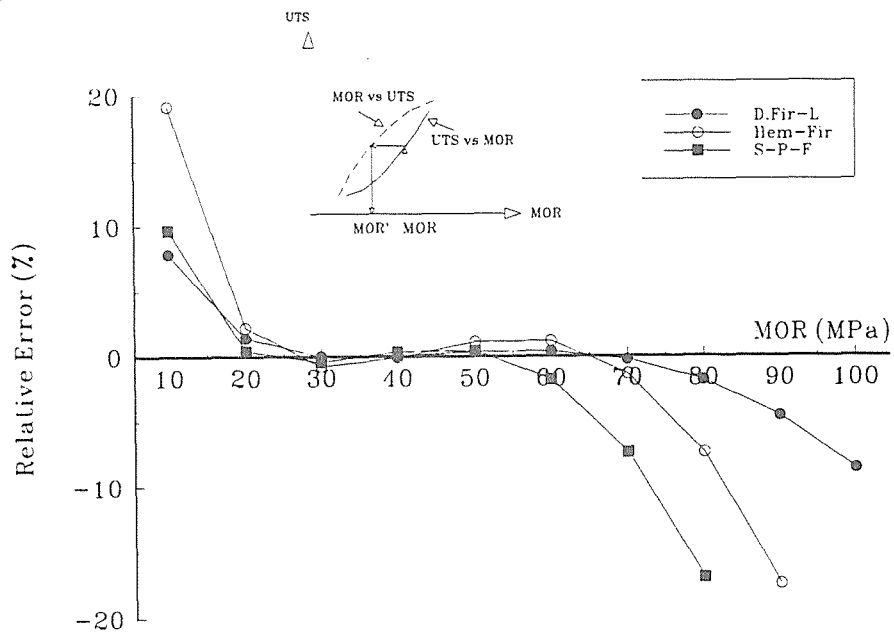


図 8.12 MORについての相対誤差の分析

## 8.6 圧縮強度に基づく関係

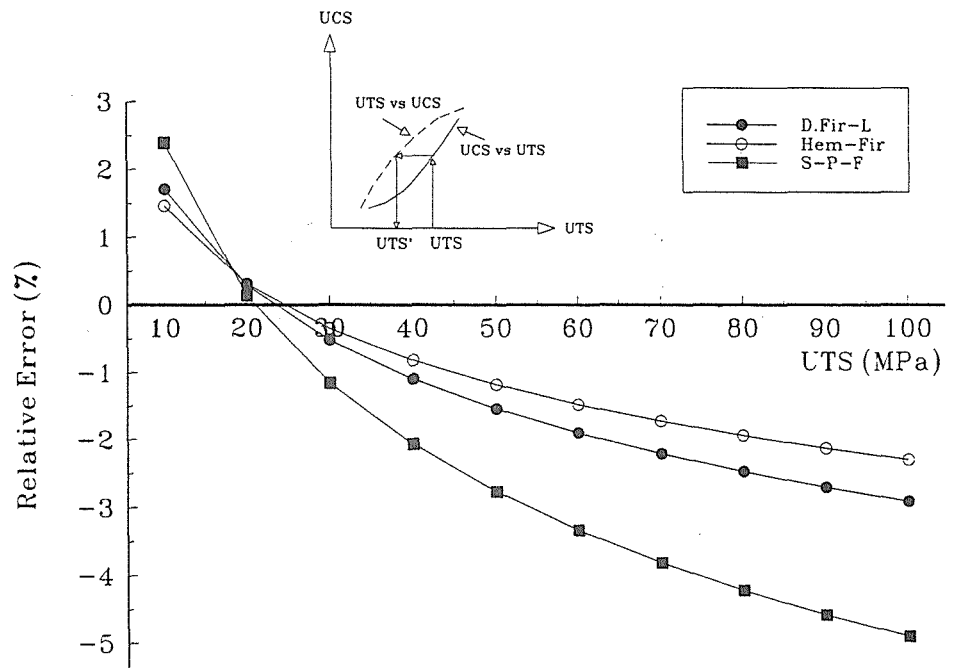
UTSとMORはUCSと相関している。MORとUCSの関係は、MORが一般に引張強度によって支配されるので、間接的である。したがってこの関係は基礎的な興味に限られたものである。

UTSはUCS対UTSの回帰式を変形し、あるいはUTS対UCSの関係をデータから求めることができる。後者の場合のパラメーターは表8.2に示してある。

サイズを調整した結果はサイズと樹種について一定であり、UTS/UCSの回帰モデルから予測できるような傾向を示した。しかし、変形したUTS/UCSの関係はUCS対UTSのモデルと正確には同じパラメーターではなかった。

UCSの予測における相対誤差について検討した。まず、 $UCS_p$ をUCS/UTSのモデルを使って予測し、それから、一定の $UCS_p$ での $UTS_p$ を計算した。相対誤差は $(UTS_p - UTS) \times 100 / UTS$ を求めた。相対誤差はデータの範囲内では小さく、そのことは回帰式は概ね逆に関連していることを示している。

Figure 8.16  
Relative error  
analysis for  
UTS



## 8. 7 MOR, UCS及びUTSの予測

MOR, UTS及びUCSは相関関係にある。1つの性質(MOR)が解っていれば、他の2つの性質(UTS, UCS)は適切な回帰式を使うことによって予測できる。回帰式の最も適切なセットは、最初に選ばれた性質( $MOR_i, UTS_i, UCS_i$ )に関係なく同じMOR, UTS及びUCSのセットを予測させる。

引っ張り強度と圧縮強度は基本的な材料の性質である。UTSとUCSの関係は試験によって決定されなければならない。それは、現状においては一定のUCSでのUTSを予測できるモデルがないからである。相対誤差分析では、 $UCS/UTS$ あるいは $UTS/UCS$ のいずれかのモデルを使って3%以下の誤差でUTSあるいはUCSを求めることが出来ることを示している。したがって、強度を予測する目的ではいずれかの回帰モデルを使うことが出来る。

曲げ強度は引っ張り強度と圧縮強度の両方による。破壊時のメンバーの引っ張り応力分布は、引っ張り破壊の前に強いメンバーに生ずる圧縮応力に影響される。通常最終荷重は引っ張り破壊にともなうものである。サイズの影響についての調査では引っ張り及び曲げ強度は最弱点リンク理論の使用に関連することを示しており、引っ張り破壊がキャパシティー特に低いないし中庸の品質の材料のキャパシティーを支配するという仮説を支持している。

MORとUTSに関連する回帰式は、同じ性質のペアー(MOR一定のUTS, あるいはUTS一定のMOR)を予測させるものではない。予測されるMOR( $MOR_p$ )に対してUTS回帰を使った場合に生ずるUTSの誤差の大きさを決定するために相対誤差分析が行なわれた。それから、 $MOR_p$ を使ってMOR回帰式の基づいてUTS( $UTS_p$ )を予測した。誤差はデータセットの中間範囲で最も小さかったが( $<1\%$ )、極端なデータでは10%にも増加した。最低極端における性質の関係が特に重要なので、適用すべき好ましいモデルを選択することが必要である。

回帰式を作るための独立変数としてMORが選ばれた、それは構造用を特長づけるのにMORが最も普通に使われるからである。一定のMORでUTSを予測し、それからUTSをUCSを独立変数として使って予測する。

MOR, UCS及びUTSの間関係は次のように示される：

$$\begin{aligned} UTS &= F_1(MOR) \\ UCS &= F_2(UTS) \end{aligned} \quad (8)$$

あるいはUTSが決まっていれば、

$$\begin{aligned} MOR &= F_1^{-1}(UTS) \\ UCS &= F_2(UTS) \end{aligned} \quad (9)$$



あるいはUCSが決まっていれば、

$$UTS = F_2^{-1}(UCS)$$

$$MOR = F_1^{-1}(UTS)$$

(10)

基本式は最初の性質の変数に係わらず、3つのすべての場合に、同じMOR, UTS, UCSの性質のセットを与える。回帰式のパラメーター $F_1$ 及び $F_2$ は各樹種について表8.2に示されている。

## 8.8 MOEに基づいた関係

曲げにおけるMOEは、同じ試験方法及び試験片の配置を使って、曲げ、圧縮及び引っ張りのすべての試験片について決定した。各試験片について曲げMOEともう1つの強度について測定したので、パーセンタイルデータセットとフルデータセットの両方を使って強度的性能とMOEの関係进行分析することが出来た。パーセンタイルデータセットによる分析は前述の手続きにしたがって行ない、フルデータセットの分析は通常回帰分析の方法で、各試験片についての強度的性質(MOR, UTSあるいはUCS)とMOEはそれぞれ独立でない変数及び独立変数として処理した。

### a) MOR 対 MOE

フルデータセットから求めた回帰モデルのパラメーターは表8.3に示した。そのリニアモデルはMOR対MOEのデータに良くフィットしていることが解った。各樹種についての回帰関係はフルデータとパーセンタイルデータによるリニアモデル(式2)を使って、及び式5のパワーモデルでパーセンタイルデータを使ったものを図8.17(D. Fir-L)に示した。(図8.18及び19はHem-FirとSPFについてのもので省略した)。パーセンタイルデータを使っての回帰の結果は表8.4に示した。

Figure 8.17  
Relationship  
between MOR  
and MOE for  
D.Fir-L

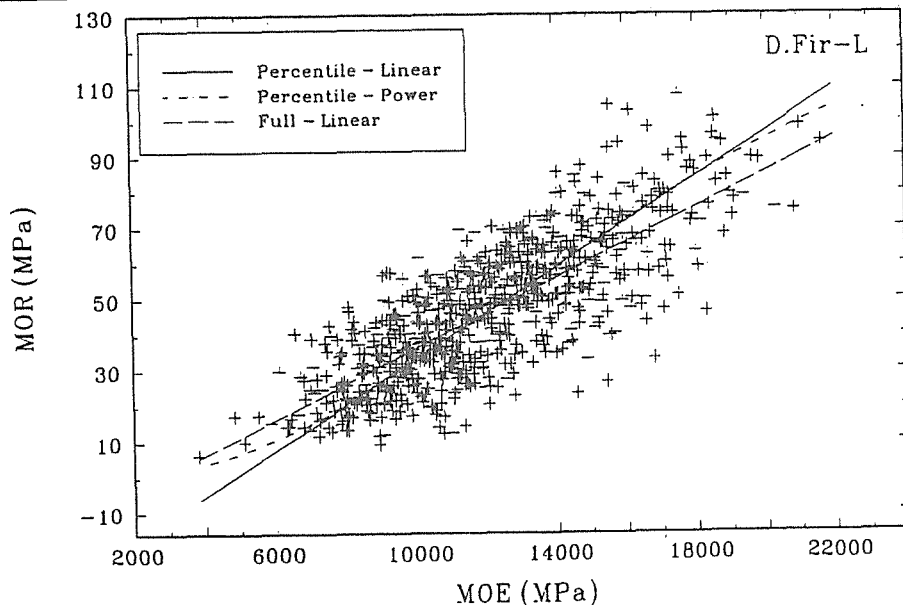


Figure 8.18  
Relationship  
between MOR  
and MOE for  
Hem-Fir

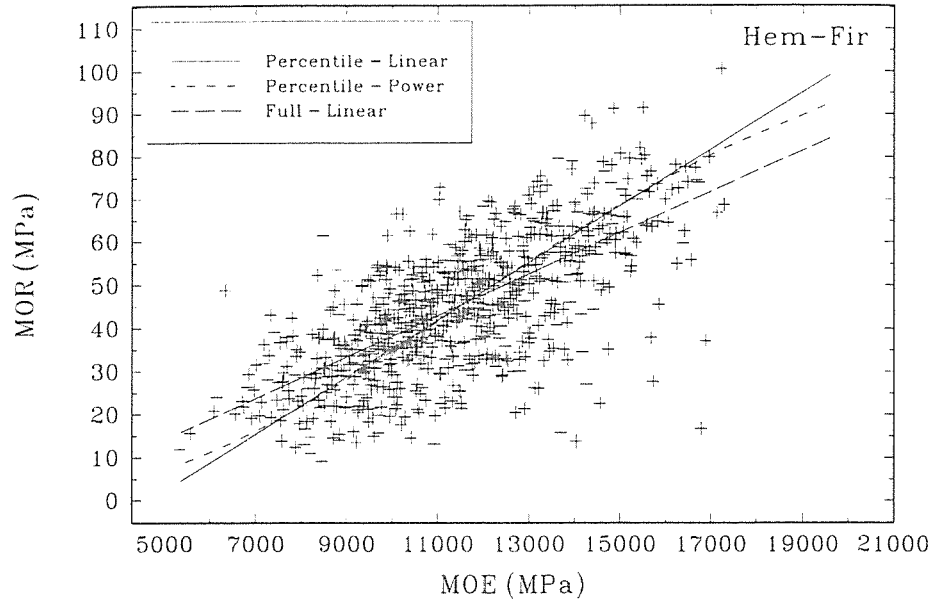
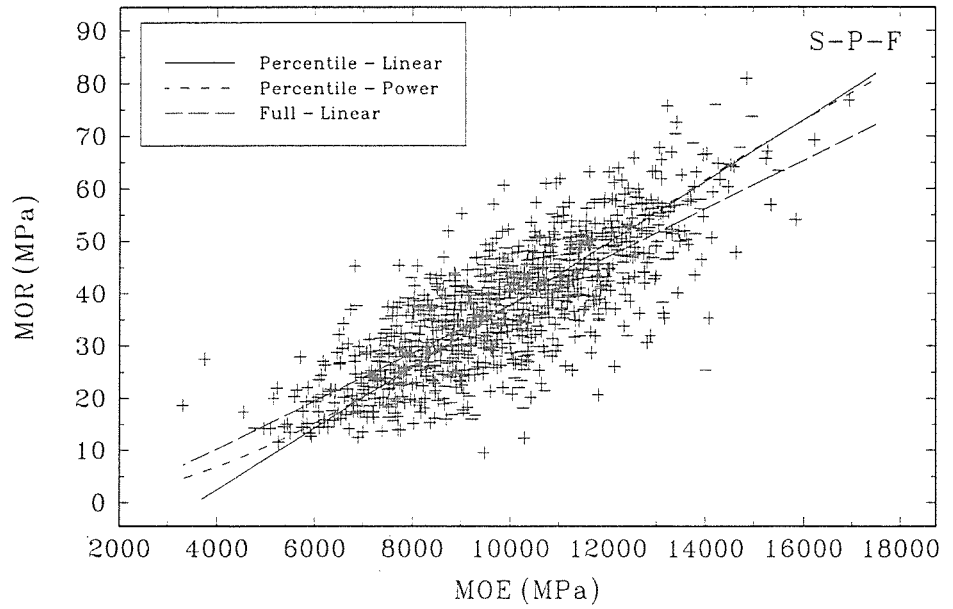


Figure 8.19  
Relationship  
between MOR  
and MOE for  
S-P-F



## b) UTS 対 MOE

UTS対MOEの関係はすべての樹種についてリニア-ではない。フルデータセットから求めた回帰モデルのパラメーターは表8. 3に示した。UTSのパーセンタイルデータについてのパワーモデルの回帰パラメーターは表4に示した。

## c) UCS 対 MOE

UCS対MOEの関係はフルデータセットに基づくすべての樹種について基本的にはリニア-である。回帰の結果は表8. 3に示した。パーセンタイルデータセットでのリニア-及びパワーモデルでの回帰の結果は表8. 4に示した。

3樹種についてフル及びパーセンタイルのデータセットを使つてのMOR, UTS, UCS及びMOEの間の回帰関係は図8. 26及び図8. 27で比較した(図は省略)。

表 8.3 剛性と強度の間の関係のモデル (フルデータをベース)

性質	樹種	a	b	c
MOR対MOE (リニア-モデル)	D. Fir-L	-13.2271144	$4.933252 \times 10^{-3}$	——
	Hem-Fir	-9.9932996	$4.813143 \times 10^{-3}$	——
	S-P-F	-8.09303481	$4.586501 \times 10^{-3}$	——
UCS対MOE (リニア-モデル)	D. Fir-L	7.0993620	$2.338899 \times 10^{-3}$	——
	Hem-Fir	3.3500191	$2.664197 \times 10^{-3}$	——
	S-P-F	3.5721338	$2.352171 \times 10^{-3}$	——
UTS対MOE (パワー-モデル)	D. Fir-L	$1.2652 \times 10^{-4}$	$1.294520 \times 10^{-3}$	1.000000
	Hem-Fir	0.059264	$0.544820 \times 10^{-3}$	1.000079
	S-P-F	0.019474	$0.667165 \times 10^{-3}$	1.000083

註: MOR, UTS, UCS, MOE は単位は MPa

表 8.4 剛性と強度の間の関係のモデル (パーセントイルデータベース)

性質 <sup>1</sup>	樹種	a	b	c
<u>パワーモデル</u>				
MOR対MOE	D.Fir-L	$2.579055 \times 10^{-10}$	2.874936	0.999908
	Hem-Fir	$4.253712 \times 10^{-10}$	3.148493	0.999981
	S-P-F	$3.789574 \times 10^{-10}$	2.326306	0.999929
UCS対MOE	D.Fir-L	$3.250924 \times 10^0$	0.989500	n.s. <sup>2</sup>
	Hem-Fir	$8.414390 \times 10^{-3}$	0.853252	1.000028
	S-P-F	$0.0516286 \times 10^0$	0.627900	1.000047
UTS対MOE	D.Fir-L	$1.056986 \times 10^{-6}$	1.805776	n.s.
	Hem-Fir	$6.134624 \times 10^{-4}$	1.016500	1.000094
	S-P-F	$1.363917 \times 10^{-8}$	1.197660	1.000091
<u>リニアモデル</u>				
MOR対MOE	D.Fir-L	-30.400376	$6.364100 \times 10^{-3}$	——
	Hem-Fir	-31.08365	$6.637700 \times 10^{-3}$	——
	S-P-F	-21.036671	$5.880000 \times 10^{-3}$	——
UCS対MOE	D.Fir-L	0.495113	$2.904935 \times 10^{-3}$	——
	Hem-Fir	-5.842999	$4.470382 \times 10^{-3}$	——
	S-P-F	-2.675925	$2.984073 \times 10^{-3}$	——

註: 1 MOR, UTS, UCS, 及びMOEは単位は MPa

2 n.s. は c が1.0とあまり離れていないことを示す。

Figure 8.20  
Relationship  
between UTS  
and MOE for  
D.Fir-L

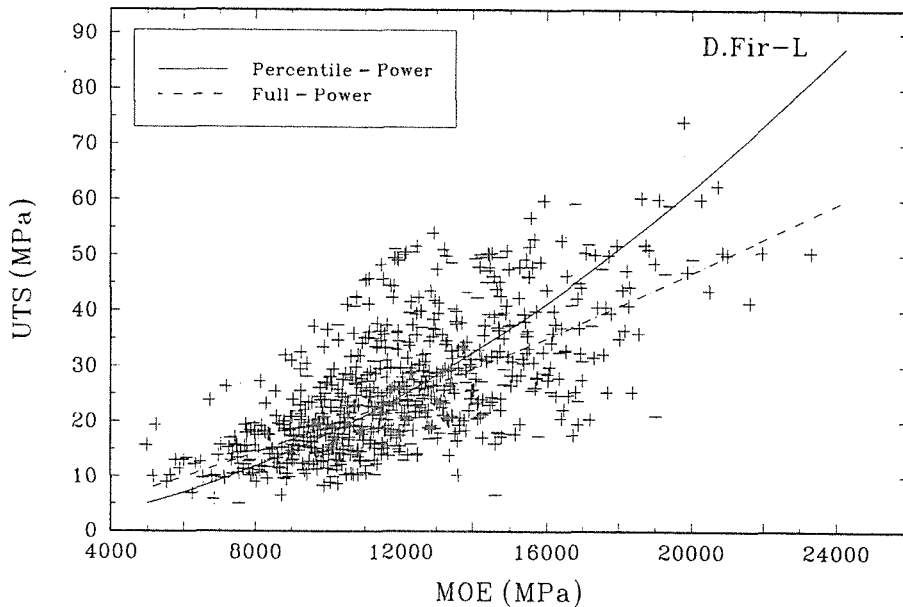


Figure 8.21  
Relationship  
between UTS  
and MOE for  
Hem-Fir

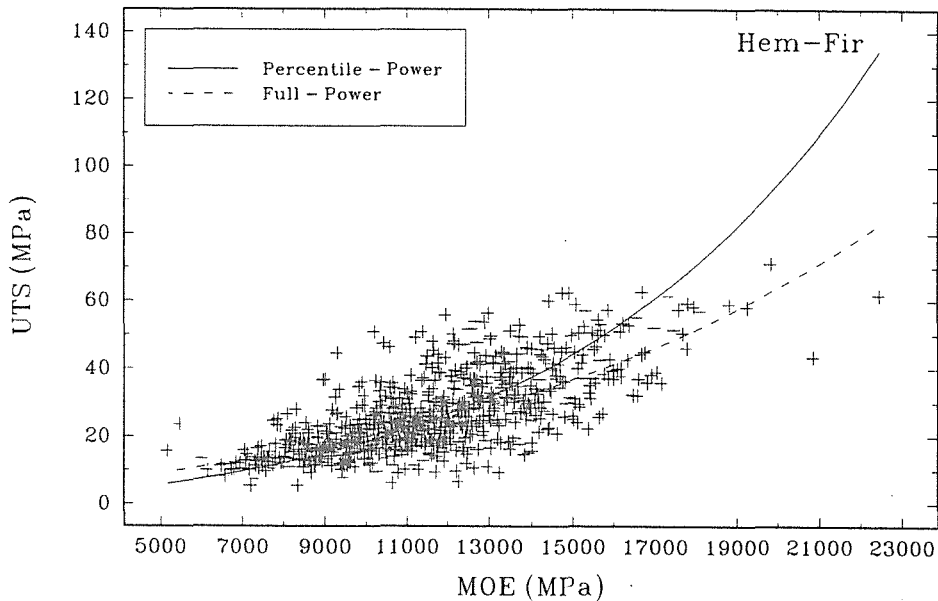


Figure 8.22  
Relationship  
between UTS  
and MOE for  
S-P-F

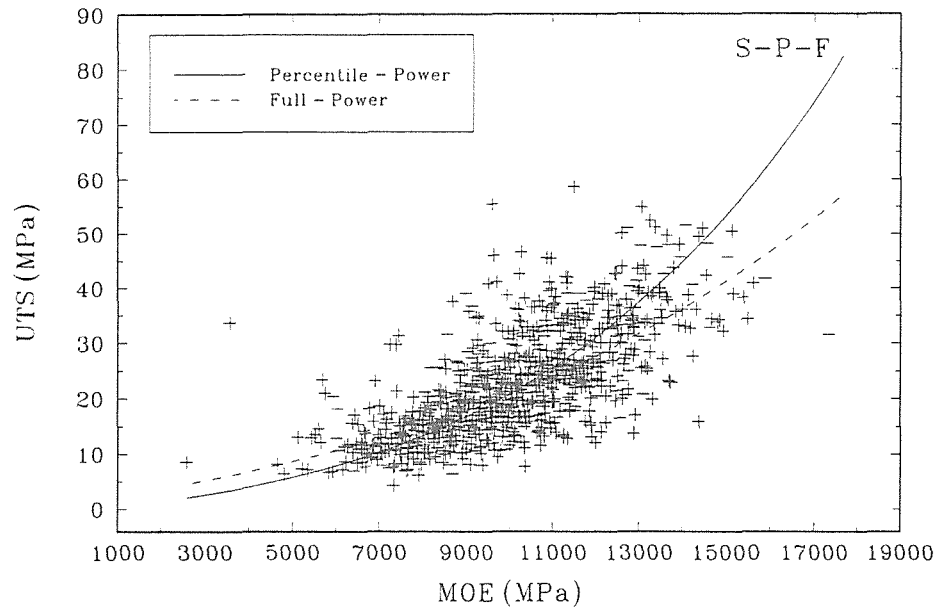


Figure 8.23  
Relationship  
between UCS  
and MOE for  
D.Fir-L

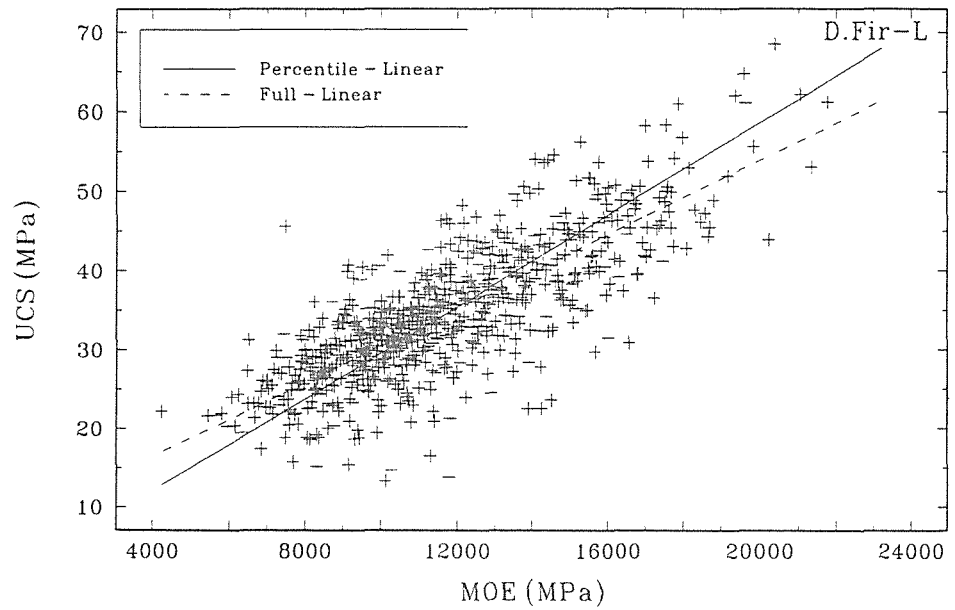


Figure 8.24  
Relationship  
between UCS  
and MOE for  
Hem-Fir

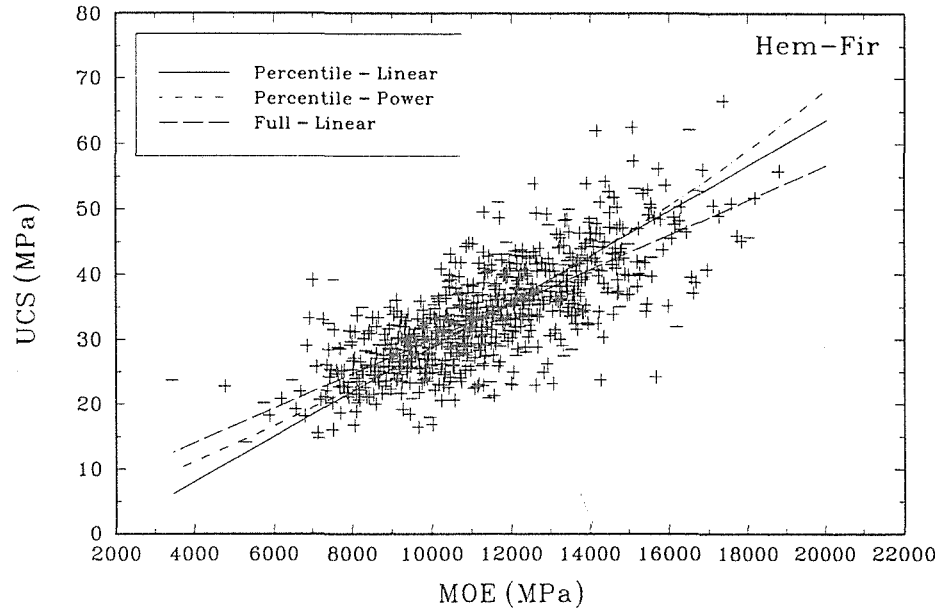


Figure 8.25  
Relationship  
between UCS  
and MOE for  
S-P-F

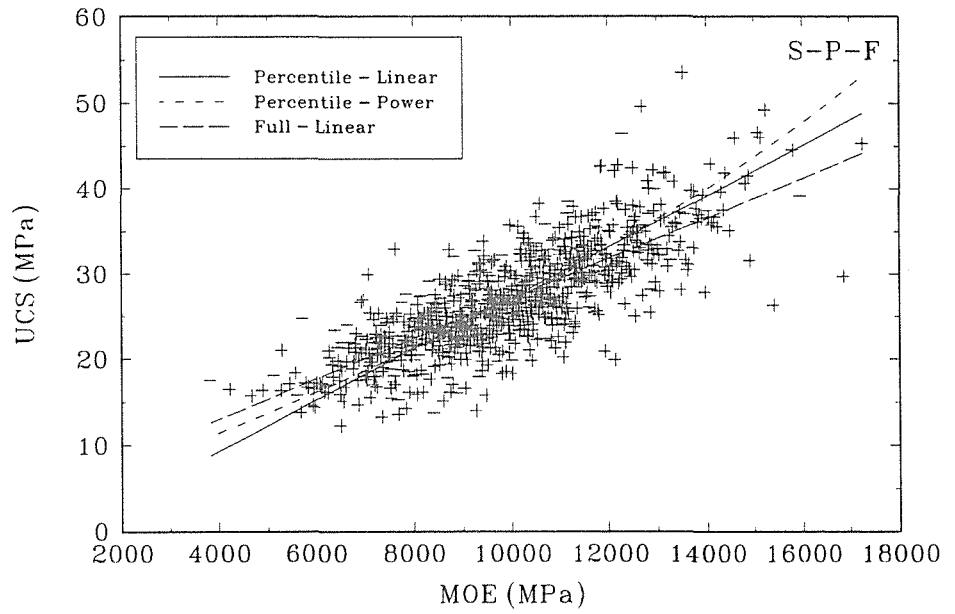


Figure 8.26  
 Predicted relationships between MOR (Eqn. 2), UTS (Eqn. 2), UCS (Eqn. 5) and MOE - full dataset.

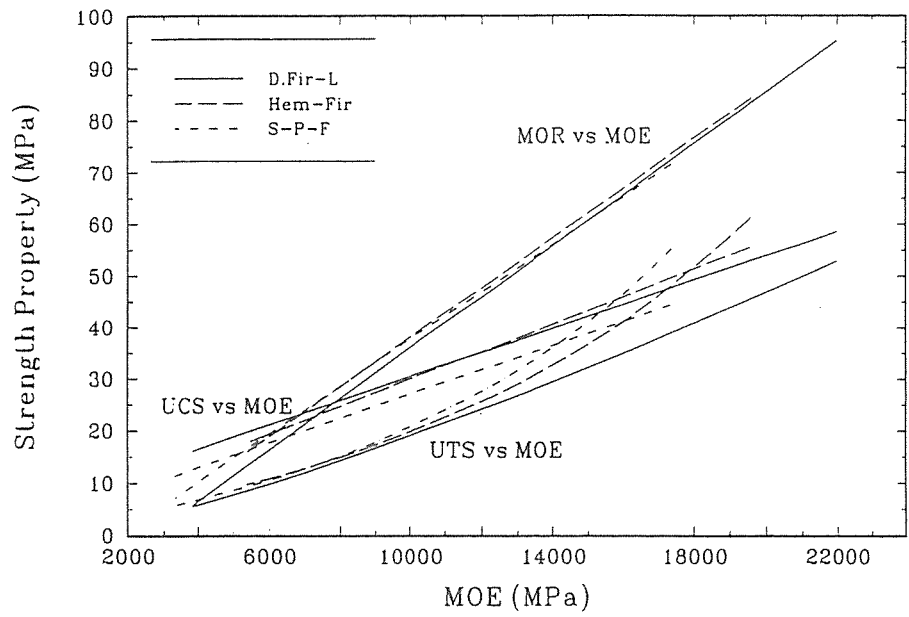
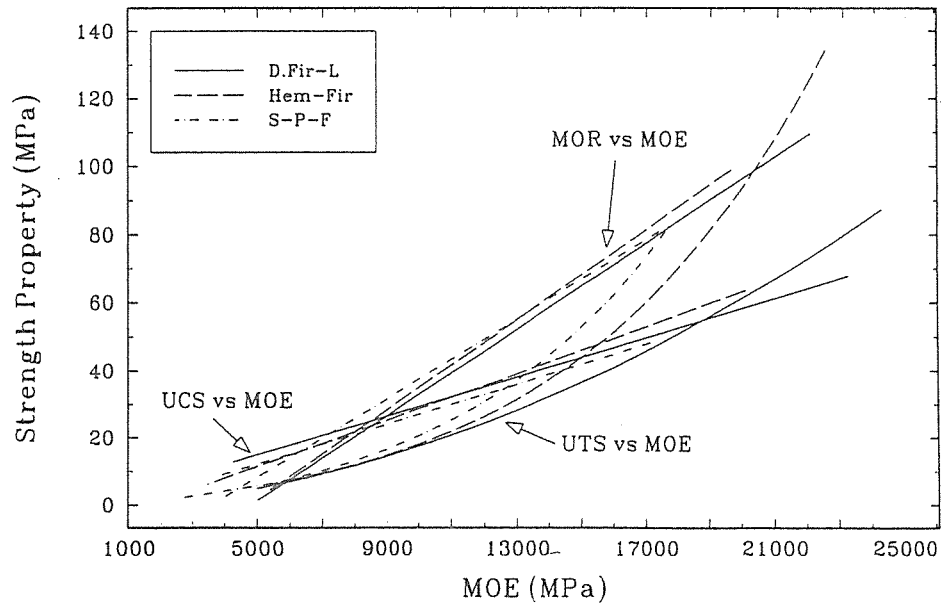


Figure 8.27  
 Predicted relationships between MOR (Eqn. 2), UTS (Eqn. 2), UCS (Eqn. 5) and MOE - percentile dataset.





d) 性質の比

UTS/MOR及びUCS/MORの性質の比はいくつかの異なった技術を使って求めた。性質の比率の関係における傾向は図8. 28, 8. 29及び8. 30で比較した。パーセンタイル強度モデルとして示した関係は、図8. 1から8. 3までに求めたUTS/MORの傾向及び図8. 5. . から8. 7までで求めたUCS/MORの傾向である。

第2のアプローチでは、性質の比は8. 8節からのMOEに基づいて回帰式を使って求めた。UCS及びMORは規定されたMOEの範囲内で計算した。それから、UTS/MOR及びUCS/MORは各MOEの水準で決定して、MORの函数として図8. 28に示した。

MOEの回帰から求めたUTS/MORの結果はパーセンタイルモデルから予測した比と極めて似たものであった。

UCS/MORの比は3樹種グループすべてについてMORの増加と伴に一貫して減少した。MOE回帰分析から求めたUCS/MORの関係は、他のアプローチよりも若干高い値となった。分析アプローチの方法によって結果が少し違うということは、UCSの関係について今後研究を進めなければならないことを示しているようである。

Figure 8.28  
Property relationships for D.Fir-L derived from MOE-based and strength regression models

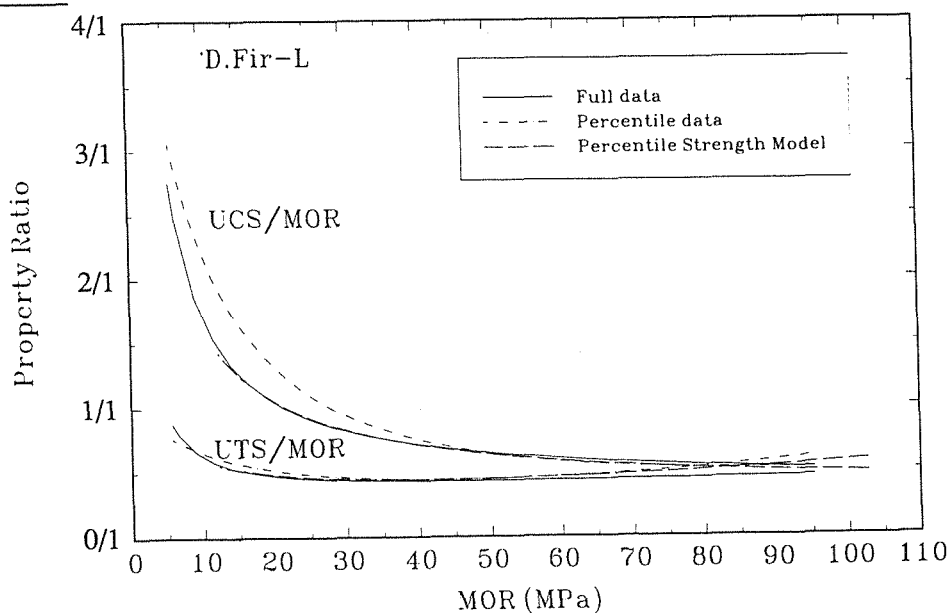


Figure 8.29  
Property relationships for Hem-Fir derived from MOE-based and strength regression models

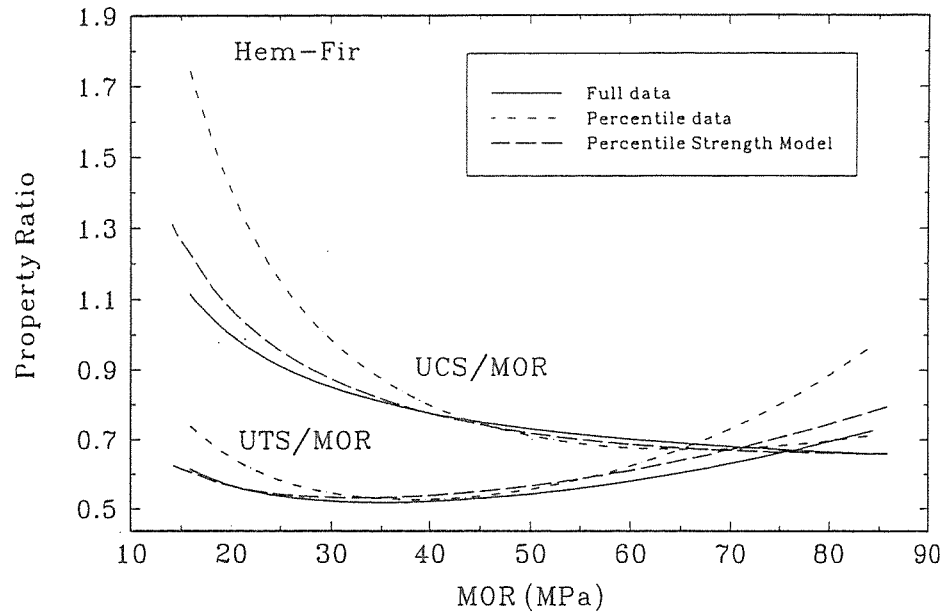
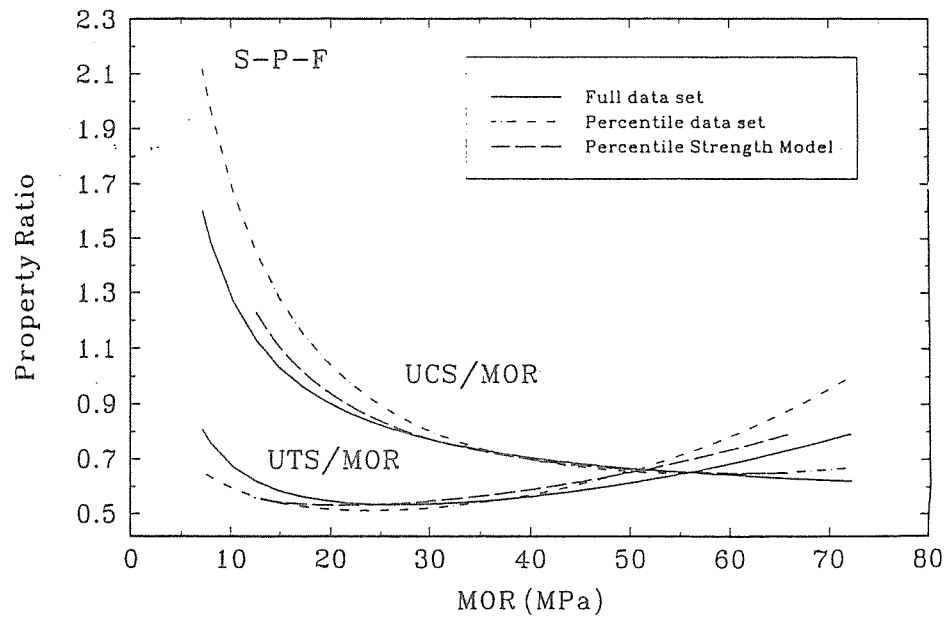


Figure 8.30  
Property relationships for S-P-F derived from MOE-based and strength regression models



## 8.9 討議

構造的性質のペアーの間の関係を設定するには回帰線技術が使われた。分析にはサイズ、グレード及び樹種が考慮された。

性質の相互関係は標準サイズ（特性的サイズ）について求めた。標準サイズはサイズの調整が性質の関数に及ぼす影響を最小限にするように選んだ。サイズの調整は構造性能の間の相関関係を改善した。性質の関数は考慮する性質についてのモデルを使うことによって他のサイズに調整することが出来る。

性質の関数は樹種やグレードによって変わらない。パーセンタイルデータセットから求めたUTSとMORの関数は直線的ではない。UCSとMOEの関数は殆ど直線的である。フルデータとパーセンタイルデータを使ったMOEと他の性質との関数は同様の結果を得た。リニア回帰モデルはMOR/MOE及びUCS/MOEのデータセットと良くフィットしている。UTS/MOEの関数は明らかに直線的ではない。

UTS/MORの比の傾向は回帰を使ってパラメータを使わない方法で計算した。同様なUTS/MORの比が、パーセンタイルが同じという想定に基づいたUTS/MOR回帰及びUTS/MOE並びにMOR/MOEの回帰モデルから得られた。同一になっているのはUTSとMOEがリニアな関係になっていないからで、それはフルデータ及びパーセンタイルのデータセットから得られた回帰線で明らかである。

3種のカナダ産材について得られたUTS/MORの比は、アメリカ及びヨーロッパ産材について得られた結果と形が非常に良く似ている。カナダ産材について得られた性質の比は曲げ強度範囲の高い部分で樹種の間にはっきりした相違がある。

MOEに対するUCS及びMORの関数についての傾向はほぼリニアである。回帰及びノンパラメータの方法を使って計算した性質の比は極めて類似しており、カナダ材について得られた結果はアメリカ及びヨーロッパ産の樹種と同じ形を取っている。結果を共通のベースで調整することは困難である。それはアメリカ及びヨーロッパ産の樹種では、圧縮試験に限られた欠点を有する短い試験片を使っているからである。

UTS, MOR, 及びUCSに関して2つの回帰式を使っての統一したアプローチを示した。UTSはMORの函館数としてしめた。それは、MORは通常製材の性能を特長づけるのに普通に使われているからである。UCSはUTSから予測することが出来る。このアプローチを使って予測したUTS, MOR及びUCSの性質のセットは最初の変数（MOR, UTSまたはUCS）の選択あるいは分析のために選んだ性質の値とは無関係である。

## 9 含水率の影響

### 9.1 緒言

木材製品における含水率の変化は収縮（あるいは膨張）のみならず強度や弾性的性質に変化をもたらす。収縮するとメンバーの断面積の減少、断面の弾性係数及び慣性モーメントの減少をもたらす。伝統的には、強度的性能は乾燥によって収縮による断面積の減少を相殺して増加すると考えられてきた。

A S T M D 2 4 5 及び 2 9 1 5 は含水率に対して製材の性質を調整する手続きを規定している。たとえば、A S T M D 2 4 5 は木理直角方向の圧縮強度は、生材から含水率 1 5 % までに調整した場合に 5 0 % 増加し、木理平行方向の曲げ及び引っ張りでは 2 5 % 増加することを勧告している。

含水率の変化の影響については多くの研究報告が出されている。これらの研究は一般に製材の機械的性質は品質の高い材料程より多く影響さえることを示している。このことは含水率の影響が強度水準によることを示している。更に、木理平行方向の圧縮強度はまげや引っ張りよりも含水率の影響を大きく受けることが示されている。これらの結論は、H e m - F i r 及び S - P - F の商業樹種グループについての研究でも確認されている。

製材のキャパシティー（強度 x 断面の性質）が特に重要である。それは強度の変化が断面の変化で隠されてしまうことがあるからである。製材の曲げキャパシティー（R Z）は曲げ強度に断面係数を乗ずることによって得られる。T A 及び C A はそれぞれ強度の値に断面積を乗ずることによって得られる。

Green（1989）はデイメンジョンランバーの収縮を計算するための式を作っている。Green の式による曲げモーメントのキャパシティー（R Z）、引っ張りのキャパシティー（T A）及び圧縮のキャパシティー（C A）の計算では含水率の減少とともに~~キャ~~キャパシティーが増加するという結果をもたらすようである。これは伝統的な見方と一致している。

しかしながら、構造用製材に関する最近の研究では、これらの伝統的な強度と収縮の考え方は、閉鎖された構造の中での通常の含水率以上の範囲での 38 mm 厚さの製材には当てはまらないことを示している。Madsenn（1975, 1980, 1982）は含水率の減少で強度が減少することを報告している。ダグラスファー及びサザンパインについての最近の研究も強度水準によって傾向が違うことを報告している。

Green は含水率の影響を特長づける二次方程式の表面モデルを提唱している。Barrett 等（1991）は含水率調整についての伝統的なアプローチと一致する別のモデルである直線的な表面モデルを提唱している。

この章では、厚さ 38 mm のデイメンジョンランバーについて、曲げ、圧縮、及び引っ張り強度に及ぼす含水率の影響について検討している。

## 9. 2 性質調整のモデル

機械的性質と含水率の関係は一般に経験的にモデル化されている。Wilson (1932)は無欠点材の試験片について強度の対数と含水率を関連させている。デイメンジョンランバーについて含水率と強度の関係を示すいくつかの別のタイプのモデルも提案されてきている。いくつかのモデルには物理的な関係についての特定の仮定があり、他のモデルでは物理的なプロセスには特に考慮を払わずに関係を求めたものもある。

基本的には、性質調整のモデルには2つのクラスがある：1つは製材の強度(MOR, UTS及びUCS)を調整するものであり、もう1つは製材のキャパシティー(RZ, TA及びCA)を調整するものである。

Green等(1986、1988)は二次方程式の表面モデル(QSM)を提唱している。これは含水率と製材の質の間に二次式的な関係があることを想定したものである。繊維飽和点以上では性能はコンスタントであると考えられる。これは木材と水分の原則と一致する。QSMはまた製材の性質と性質の変化の程度との間には三次の関係があることを想定して強度の影響を考慮に入れている。

同じような考え方に基づいたリニア-な表面モデルは二次式の表面モデルを単純化したものである。それは一定の強度水準においては含水率と性質との間の関係はリニア-なものであり、製材の品質と含水率の影響の関係は多項式の関係であることを想定したものである。リニア-表面モデルにはモデルに想定した多項式の程度によっていくつかの形式がある。

リニア-表面モデルでは、強度Pは繊維飽和点 $M_p$ 以下では含水率Mと次のような関係になる：

$$P = a + bM \quad (M < M_p) \quad (1)$$

含水率 $M_1$ 及び $M_2$ での性質の値 $P_1$ 及び $P_2$ は次のような関係になる：

$$P_2 = P_1 + b(M_2 - M_1) \quad (2)$$

もし $M_2 = 15\%$ であれば、含水率15%での性質は、含水率 $M_1$ で次のようになる：

$$P_{15} = P_1 + b(15 - M_1) \quad (3)$$

傾斜のパラメーターbは特定のパーセンタイル水準で性質の値のリニア-回帰によって求められる。品質水準によるbの変異は、二次式を使って $P_{15}$ の函数として次のように表わすことが出来る：

$$b = D_0 + D_1 P_{15} + D_2 P_{15}^2 + \dots \quad (4)$$

式(4)の別の形について Barrett 及び Lau (1991) が評価している。  
4項のLSMでは、パラメーターbは三次式の函数になる：

$$b = D_0 + D_1 P_{15} + D_2 P_{15}^2 + D_3 P_{15}^3 \quad (5)$$

3項の変数では、常数項D<sub>0</sub>がなくて、P<sub>15</sub>が0の時に傾斜のパラメーターbが0になる。

$$b = D_1 P_{15} + D_2 P_{15}^2 + D_3 P_{15}^3 \quad (6)$$

2項のLSMは強度データ調整のための閉鎖型の解決が出来るという利点があり、二次式は次のようになる：

$$b = D_1 P_{15} + D_2 P_{15}^2 \quad (7)$$

含水率M<sub>1</sub>で性質の値がP<sub>1</sub>であるとする、P<sub>15</sub>は2項のLSMを使って式(7)を式(3)に導入することによって、次の式で計算できる。

$$P_{15} = \frac{\{1 - D_1(15 - M_1)\} - \sqrt{\{1 - D_1(15 - M_1)\}^2 - 4D_2P_1(15 - M_1)}}{2D_2(15 - M_1)} \quad (8)$$

もしP<sub>15</sub>が解っていれば、bは式(7)を使って計算でき、それから式(2)が、含水率M<sub>2</sub>の場合の性質の値P<sub>2</sub>の計算に使える。

### 9.3 データ

曲げでのモデルのタイプを評価するのに2樹種(ダグラスファーとサザンパイン)のデータが使われた。データには3種のグレード(セレクト、No2、No3)、3種のサイズ(38 x 89 mm, 38 x 140 mm, 38 x 184 mm)で、4種の通常の含水率(生材、20、15及び10%)で試験した曲げ強度とキャパシティーが含まれている。試験方法及びデータの分析についての記述は、Aplin(1986)及び McLain(1984)が行なっている。ダグラスファーについての別の分析は Barrett及び Lau(1991)が行なっている。

曲げのデータと平行しているのは圧縮のデータで、それにはダグラスファーの製材について、2つのサイズ(2 x 4, 2 x 8)、2種のグレード(セレクト、No 2)、4種の含水率水準(生材、20、15、10%)でのデータを含んでいる。通常の穏やかな乾燥スケジュールで約2週間のコンデイショニングの期間をおいて目標の含水率にした。各メンバーはフルの長さ(2.44 m)で横方向を支えて試験した。荷重ヘッドの移動速度は毎分0.96インチでASTM D198の規定にしたがったものである。含水率はデルムホーストの含水率計を使って試験時に測定した。

引っ張り強度に及ぼす含水率の影響についてはカナダのイングレード試験のプログラムでは調査しなかったが、アメリカの調査では行なった。アメリカの試験の結果によると、引っ張り強度は含水率の減少に伴って最初は増加し、それから減少するという事になっている。この傾向は多くのパーセンタイル水準で同様である。引っ張り強度が最大になるのは含水率15%の付近である。しかしながら、含水率の程度が引っ張り強度に及ぼす影響は、MORやUCSの場合程大きくはなかった。現在入手できるデータの範囲では、引っ張り強度を含水率で調整する必要はないと考えるのが合理的である。

#### 9.4 含水率の交点

すべてのモデルについて、それ以上では強度に変化を生じないという最大の含水率がある。この点の含水率を”含水率の交点 ( $M_p$ )”と呼ぶ。

二次及びリニア-表面モデルでの最適の含水率の交点は、residual sums of squares (自乗残差合計)の技術を使って求めた。21のパーセンタイル水準(0.02, 0.05, 0.10...0.90, 0.95, 0.98)に対応するデータの値は、各サイズ、グレード、及び含水率のデータセットで内挿した。

表9.1は曲げのデータでの適正な $M_p$ の値とそれに伴う含水率の範囲を要約したものである。LSMを使った適正 $M_p$ の値はQSMを使って予測した値よりも小さかった。圧縮の調査で得られた適正 $M_p=22\%$ という値も、ダグラスファーの曲げ試験によって得られた値 $M_p=26\%$ よりも若干低かった。曲げ及び圧縮から求めた $M_p$ の値の安定域は $M_p=24\%$ でオーバーラップしている。この資料に基づいて、 $M_p=24\%$ という値を採用した。

表 9.1 ダグラスファー(DF)及びサザンパイン(SP)の曲げ試験モデルでの含水率の交点 ( $M_p$ )

モデル <sup>a</sup>	樹種	$M_p$ (安定領域)	$M_p$ (適正)
QSM	DF	26-30 <sub>+</sub>	30 <sub>+</sub>
LSM 4-T	DF	24-28	26

LSM 3-T	DF	24-28	26
LSM 2-T	DF	24-28	26
LSM 4-T	SP	23-25 <sup>a</sup>	24
LSM 3-T	SP	23-25 <sup>a</sup>	24
LSM 2-T	SP	23-25 <sup>a</sup>	24

註： a 平均及び5thパーセンタイルのデータのみに基づく。

### 9. 5 破壊係数 (MOR) 及びモーメントキャパシティーのモデル

ダグラスファーについての含水率 (%) に対する MOR (MPa) に関連する二次及びリニアの表面モデルのパラメータは表 9. 2 に示した。自乗残差合計 (RSS) を使って適合性を評価し、最大絶対値差 (MSD) 基準の平均と、すべてのデータを含水率 15% に調整した RSS 及び MAD の結果はそれぞれ表 9. 3 及び表 9. 4 に示した。

表 9. 2 ダグラスファーの曲げ強度についての QSM 及び LSM の回帰相関係数

相関係数 <sup>b</sup>	モデル <sup>a</sup>			
	QSM	LSM 4-T	LSM 3-T	LSM 2-t
D <sub>0</sub>	-2.48947E+00	-3.12797E-02	0	0
D <sub>1</sub>	2.95465E-01	5.82709E-03	3.59055E-03	-9.56890E-03
D <sub>2</sub>	-5.76080E-03	-8.27766E-04	-7.82132E-04	-2.94851E-04
D <sub>3</sub>	2.62523E-05	4.35310E-06	4.07507E-06	0
E <sub>0</sub>	6.84561E-02	0	0	0
E <sub>1</sub>	-8.14236E-03	0	0	0
E <sub>2</sub>	1.38550E-04	0	0	0
E <sub>3</sub>	-6.13052E-07	0	0	0

註： a 単位： MORはMPa, 含水率は%

b QSM ではEの係数は性質に対して含水率に関連する



表 9.3 ダグラスファーの曲げ試験での二次及びリニア-の表面モデルのRSS

モデル	パラメーター	RSS (MPa <sup>2</sup> )
QSM	8	4,500
LSM 4-T	4	4,353
LSM 3-T	3	4,354
LSM 2-T	2	4,511

表 9.4 ダグラスファーの曲げ試験における最大絶対差の結果

モデル	パラメーター	平均値	各パーセンタイル水準における最大絶対差の平均				
			5	25	50	75	95
ゼロ調整	0	15.69	5.01	11.45	15.17	21.93	28.09
QSM	8	3.77	3.56	4.17	4.84	5.47	6.82
LSM 4-T	4	5.08	2.97	5.00	6.36	7.31	7.90
3-T	3	5.08	2.98	5.00	6.33	7.29	7.91
2-T	2	5.20	2.96	4.89	6.66	7.56	9.31

傾斜のパラメーター  $b$  と 4-T の LSM の実験的な値は図 9.1 に示した。MAD の結果によると、色々なパーセンタイル水準での QSM モデルと LSM モデルの比較は、QSM のほうが LSM よりも良くフィットしていることを示しているが、5th パーセンタイル水準では LSM モデルが QSM モデルよりも最大絶対差が小さい。

モーメントキャパシティーのデータは LSM モデルを使って分析した。メンバーの曲げモーメントキャパシティー (RZ) はメンバーの曲げ強度 (MOR) と断面係数 ( $Z = (\text{厚さ} \times \text{幅})^2 / 6$ ) で出来ている。モーメントキャパシティーのモデルは 2 つの方法で求めることが出来る：実験的なキャパシティーと含水率の関係は直接モデルを求めるのに使える、また今まで論議してきた曲げ強度のモデルは断面係数のモデルとともに含水率の変化に伴うキャパシティーの変化の計算に使える。

異なったサイズに共通するモデルを得るためには、モーメントキャパシティーのデータは先ず、”標準化(normalize)”しておかなければならない。すなわち、キャパシティーを適切な乾燥した公称断面係数で割っておくことである。(この章のこの後にでてくる  $R_n$ 's は標準化した MOR's で単位はMPaである。)

モーメントキャパシティーを調整する手続きには先ずそれを標準化し、それからモデルを使って他の含水率に調整し、そして適切な断面係数を乗じて水分を調整したモーメントキャパシティーを得るのである。含水率15%に調整した  $RZ_{n15}$  に関する多項式の表現は図9.2に示した。キャパシティーモデルのパラメーターは表9.5に示した。MAD及びRSSの基準に基づいた適合性の評価は表9.6及び9.7に示したが、キャパシティーモデルの結果は強度モデルのものと同一である。

また、曲げのキャパシティーの含水率による変異は断面収縮の性能の解っているMORのモデル(表9.2)から求めることが出来る。Green(1989)は幅( $S_w$ )、厚さ( $S_t$ )のメンバーについての収縮調整式(単位は%)を開発した:これらの収縮関係式は:

$$\begin{aligned} S_w &= 6.031 - 0.215M \\ S_t &= 5.062 - 0.181M \end{aligned} \quad (9)$$

含水率  $M_1$  及び  $M_2$  での曲げモーメントキャパシティー ( $RZ^*$ ) は破壊係数及び断面性能比に関連している:

$$\frac{RZ_1^*}{RZ_2^*} = \frac{MOR_1 Z_1}{MOR_2 Z_2} \quad (10)$$

上記の式から求めた乾燥-生材の  $RZ^*$  の比は、4-Tと2-Tの  $RZ$  のモデルを使って求めた対応する比の値と対比される。

表 9.5 標準化した断面性能でのQSMとLSMの回帰相関係数 (ダグラスファー)

相関係数 <sup>b</sup>	モデル <sup>a</sup>			
	QSM	LSM 4-T	LSM 3-T	LSM 2-T
$D_0$	-2.58992E+00	-6.26763E-02	0	0
$D_1$	3.10205E-01	1.63155E-02	1.18471E-02	-3.41783E-03
$D_3$	2.85049E-03	-9.31051E-04	-8.39765E-04	-2.75608E-04
$E_0$	7.06282E-02	--	--	--
$E_1$	-8.28829E-03			
$E_2$	1.41090E-04			
$E_3$	-6.51461E-07			

註: a 単位: 標準化した断面性能  $RZ_n$  はMPa, 含水率は%

b QSMでは相関係数  $E$  は強度に対して含水率に関連する

表 9.6 断面性能を標準化したダグラスファーの二次及びびりニア-の表面モデルでのRSS

モデル	パラメーター	RSS (MPa)
QSM	8	4,913
LSM 4-T	4	4,756
LSM 3-T	3	4,757
LSM 2-T	2	4,955

表 9.7 断面性能を標準化したダグラスファーの最大絶対差の結果

モデル	パラメーター	平均値	各パーセンタイル水準での最大絶対差の平均 (MPa)					
			5	25	50	75	95	
ゼロ調整	0	12.28	3.95	9.39	12.24	17.95	21.14	
QSM	8	3.78	3.79	4.45	4.78	5.36	6.93	
LSM	4-T	4	5.03	3.01	4.91	6.66	7.22	7.59
	3-T	3	5.03	3.02	4.90	6.66	7.19	4.59
	2-T	2	5.16	3.07	4.88	6.77	7.52	8.68

Figure 9.1  
 Calculated  
 linear surface  
 model b  
 parameters for  
 the Douglas fir  
 bending data

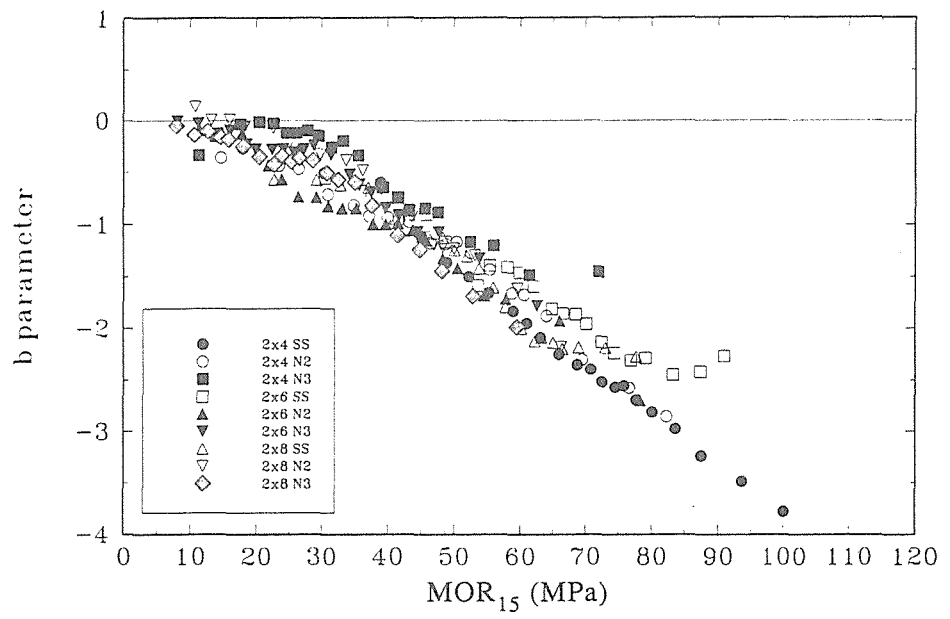
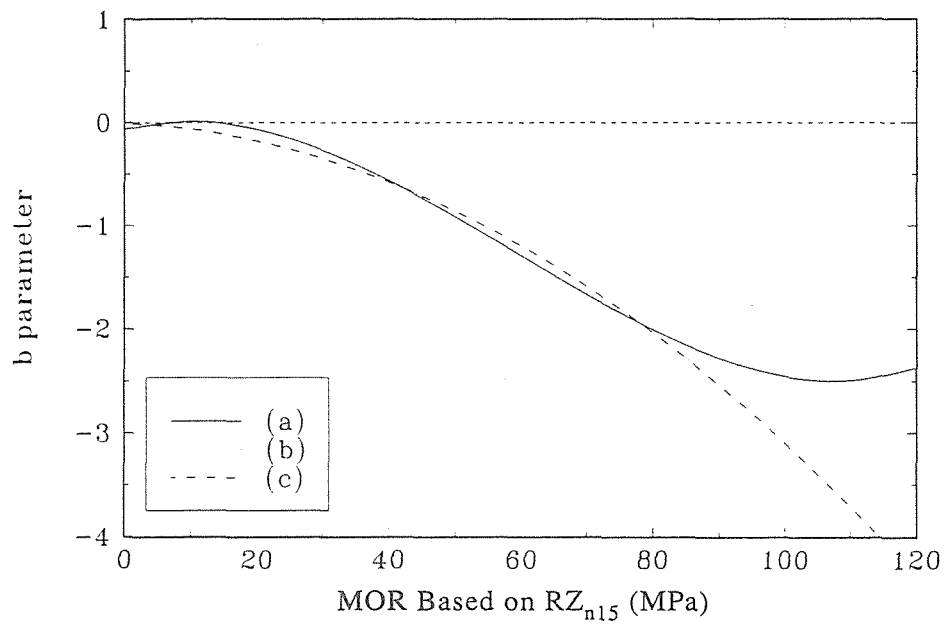


Figure 9.2  
 A comparison  
 of the (a) 4-term  
 (b) 3-term and  
 (c) 2-term  
 expressions  
 relating the  
 slope  
 parameter b to  
 normalized  
 bending  
 capacity ( $RZ_{n15}$ )



## 9.6 圧縮と圧縮キャパシティーのモデル

二次式及びリニア-の表面モデルのパラメーター（表9.8）は圧縮強度を21のパーセントイル水準に挿入して求めたものである。この場合もRSSとMADを適合性の評価の基準として使った。RSSの結果（表9.9）はLSMはQSMと同様にフィット刷ることを示しているが、MADですべてのデータを含水率15%に調整したもの（表9.10）ではQSMは全体的にデータに最も良くフィットするが、4-TのLSMとQSMの間の差は殆どないことを示している。表9.11は、生材から含水率20%までに調整した5%水準でQSMとLSMがフィットしていることを示している。全体として、2つのモデルが適合基準からは等しく良く機能している。

表 9.8 ダグラスファーの圧縮強度での二次及びリニア-モデルでの回帰相関係数

相関係数 <sup>b</sup>	モデル <sup>a</sup>			
	QSM	LSM 4-T	LSM 3-T	LSM 2-T
D <sub>0</sub>	3.35807E+00	8.59062E-01	0	0
D <sub>1</sub>	-3.31768E-02	-7.80181E-02	-3.59447E-3	-2.36662E-2
D <sub>2</sub>	-8.62464E-03	6.59720E-04	-1.35754E-03	-3.12615E-04
D <sub>3</sub>	1.18173E-04	-4.43085E-06	1.28175E-05	0
E <sub>0</sub>	-7.28346E-02	0	0	0
E <sub>1</sub>	-5.94269E-04	0	0	0
E <sub>2</sub>	2.30663E-04	0	0	0
E <sub>3</sub>	-3.11035E-06	0	0	0

註： a 単位： UCSはMPa， 含水率は%

b QSMでは相関係数Eは強度に対して含水率に関連する。

表 9.9 ダグラスファーの圧縮強度における二次及びリニア-モデルでのRSS

モデル	パラメーター	RSS (MPa)
QSM	8	1,672
LSM 4-T	4	1,201
LSM 3-T	3	1,217
LSM 2-T	2	1,263

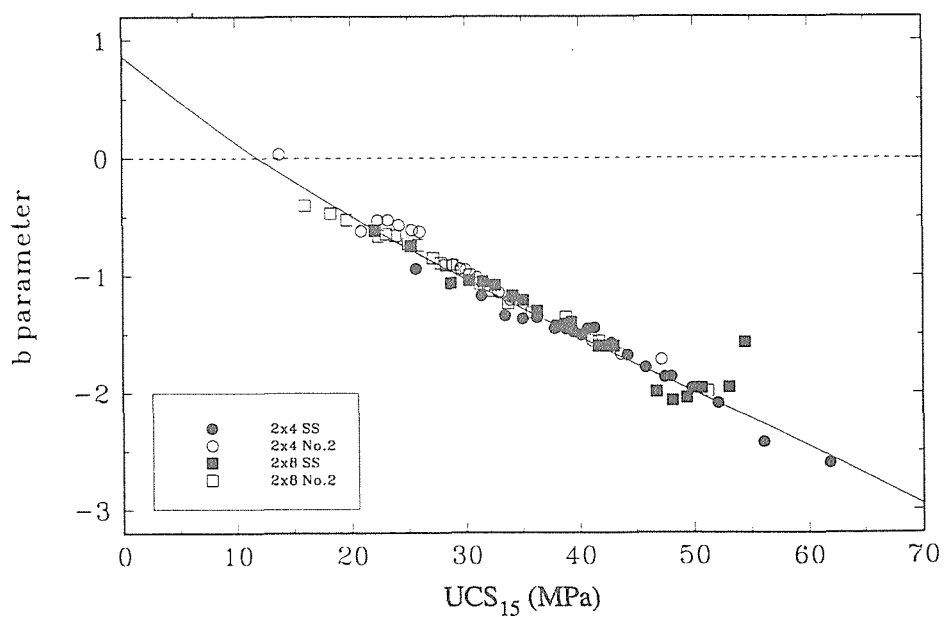
表 9.10 ダグラスファーの圧縮強度のMADの結果

モデル	パラメーター	平均値	各パーセンタイル水準でのMADの平均 (MPa)					
			5	25	50	75	95	
QSM	8	3.330	4.557	3.958	3.275	4.254	6.909	
LSM	4-T	4	3.896	4.482	4.137	3.847	4.750	8.239
LSM	3-T	3	3.902	3.654	4.082	4.013	4.875	8.522
LSM	2-T	2	3.792	3.558	4.061	3.661	5.178	8.998

表 9.11 ダグラスファーの5thパーセンタイル水準での圧縮強度データのMADの結果

モデル	パラメーター	各含水率におけるMADの結果 (MPa)				
		10%	15%	20%	生材	
QSM	8	7.1085	4.5574	3.0957	2.7096	
LSM	4-T	4	5.7364	4.4816	3.2267	2.2201
LSM	3-T	3	4.4747	3.6542	2.8269	2.1650
LSM	2-T	2	4.2472	3.5577	2.8682	2.3235

Figure 9.3  
Calculated  
linear surface  
model  
b parameters  
for the  
Douglas fir  
compression  
data.



LSM 4-Tからの傾斜のパラメーターbは図9.3に示した。2-T、3-T、4-Tのリニアモデルについての関係は図9.4に示した。リニアモデルを使って求めた生材及び各乾燥状態の強度は表9.12に示した。誤差の推定は4-Tのモデルについて行った。

圧縮のキャパシティーモデルは標準化した圧縮キャパシティーを使って作った。パラメーターは二次及びリニアのモデルについて2.1パーセント水準での標準化した圧縮キャパシティーを使って求め、表9.13に示した。

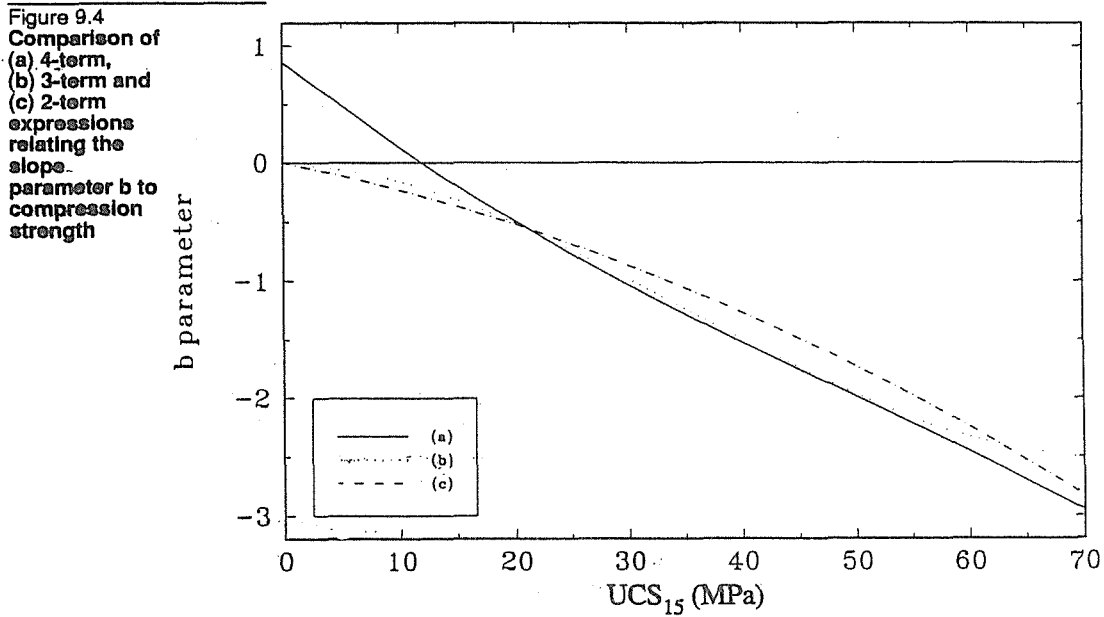


表 9.12 リニア-表面モデルを使って計算した乾燥から生材までの圧縮強度 ( $UCS_{15}$ ) の比較

生材強度 (MPa)	乾燥材(含水率15%)の圧縮強度 (MPa)				
	4-T LSM		3-T LSM		2-T LSM
	$UCS_{15}$	$UCS_{15}$	誤差 <sup>1</sup> (%)	$UCS_{15}$	誤差 <sup>1</sup> (%)
20	28.2789	27.9148	-1.30	28.2706	-0.03
25	37.2434	37.1490	-0.25	36.5388	-1.89
30	45.8067	46.1956	0.85	45.5302	-0.60
35	54.2556	54.3176	0.11	55.4745	2.25
40	62.8430	61.3282	-2.41	62.3390	-0.80
45	71.8662	72.6032	-6.27	67.3391	-6.30
50	81.8077	72.6032	-11.25	72.390	-11.57

註: 1 誤差は4-T LSMについて示した。

表 9.13 ダグラスファーの各モデルでの標準化した圧縮キャパシティー ( $C_n$ ) についての回帰相関係数

相関係数	モデル <sup>a</sup>			
	QSM	LSM 4-T	LSM 3-T	LSM 2-T
$D_0$	4.74643E+00	7.93511E-01	0	0
$D_1$	-1.40415E-01	-6.18084E-02	6.70584E-03	-2.02927E-02
$D_2$	-5.56325E-03	1.69626E-04	-1.68500E-03	-2.86805E-04
$D_3$	9.51831E-05	1.23160E-06	1.70946E-05	0
$E_0$	-1.09244E-01	0	0	0
$E_1$	2.45896E-03	0	0	0
$E_2$	1.42870E-04	0	0	0
$E_3$	-2.40352E-06	0	0	0

註: a 単位:  $C_n$  はMPa, 含水率は%

4-Tのモデルについて計算したパラメーターbは図9.5に示した。リニアモデルについての比較は図9.6に示した。RSS及びMADの結果は表9.14、9.15及び9.16に示した。生材から乾燥材までの性質の調整(表9.17)には4-Tモデルでの誤差を示した。

Figure 9.5  
Trends in b  
parameters as  
a function of  
normalized dry  
compression  
capacity ( $C_{n15}$ )  
compared with  
the 4-term  
linear surface  
model.

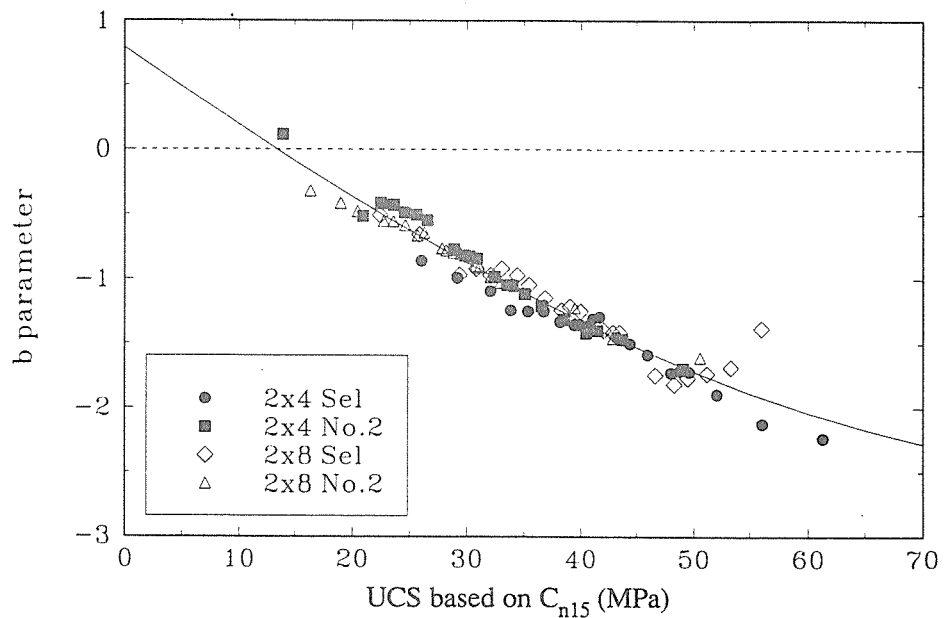




Figure 9.6  
Comparison of  
(a) 4-term,  
(b) 3-term and  
(c) 2-term  
linear surface  
model fitted  
relationships  
for the  
Douglas-fir  
normalized  
compression  
strength model.

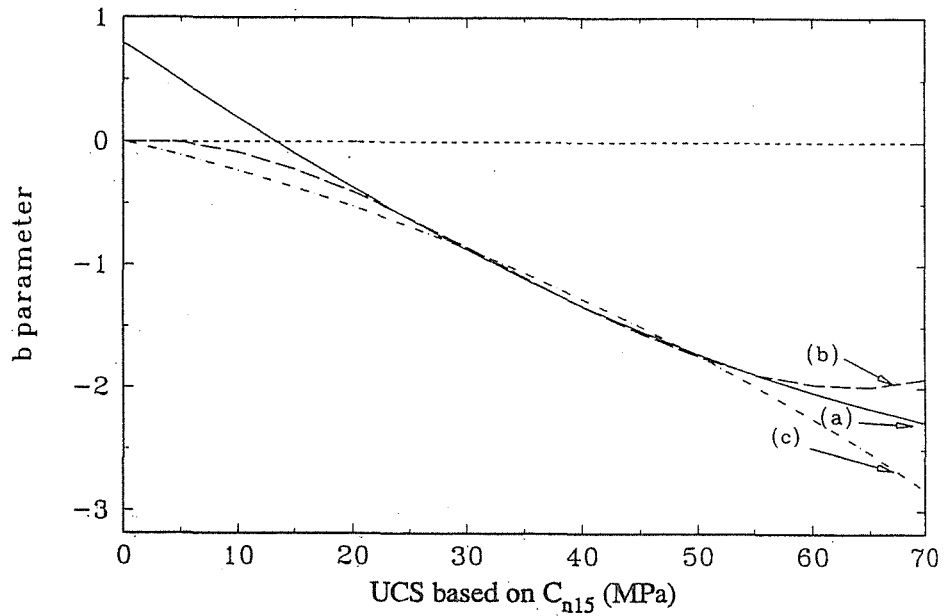


表 9.14 ダグラスファーの標準化した圧縮キャパシティーについてのリニアモデルでのRSS

モデル	パラメーター	RSS (MPa) <sup>2</sup>
QSM	8	1,507
LSM 4-T	4	1,093
LSM 3-T	3	1,106
LSM 2-T	2	1,136

表 9.15 ダグラスファーの含水率調整モデルでの標準化した圧縮キャパシティーのMADの結果

モデル	パラメーター	平均値	各パーセンタイル水準におけるMADの平均 (MPa)				
			5	25	50	75	95
QSM	8	3.661	3.668	3.337	3.392	3.530	6.894
LSM 4-T	4	3.475	4.289	3.896	3.668	3.751	7.529
LSM 3-T	3	3.537	3.785	4.061	3.558	3.896	8.067
LSM 2-T	2	3.406	3.785	4.020	3.151	4.275	8.612

表 9.16 ダグラスファーの5thパーセンタイルの標準化した圧縮キャパシティーでのMADの平均の結果

モデル	パラメーター	MADの平均 (MPa)			
		10%	15%	20%	生材
QSM	8	5.736	3.668	2.523	2.289
LSM 4-T	4	5.412	4.289	3.172	2.275
LSM 3-T	3	4.599	3.785	2.972	2.317
LSM 2-T	2	4.440	3.785	2.972	2.613

表 9.17 リニア-表面モデルを使って計算した乾燥材の圧縮強度 ( $C_{n15}$ ) の比較

生材強度 (MPa)	乾燥材の圧縮強度 (MPa)				
	4-T LSM	3-T LSM		2-T LSM	
	$C_{15}$	$C_{15}$	誤差 <sup>a</sup> (%)	$C_{15}$	誤差 (%)
20	26.1746	25.9636	-0.81	26.7248	2.10
25	34.9702	34.7668	-0.58	34.3014	-1.91
30	43.1164	43.3480	0.54	42.3731	-1.72
35	50.6896	50.9406	0.49	51.0509	0.71
40	57.7595	57.4051	-0.61	62.3390	7.93
45	64.3874	62.9154	-2.29	67.3390	4.58
50	70.6258	67.6831	-4.17	72.3390	2.43

註: 誤差は4-T LSMについて示した。

また、圧縮キャパシティーの含水率による変異は、圧縮強度モデルと断面積収縮モデルを使って求められる。含水率による収縮の変異についての Green の式を使えば、含水率  $M_1$  における圧縮キャパシティー  $CA_1^*$  は、次式によって含水率  $M_2$  での  $CA_2^*$  に調整することが出来る:

$$\frac{CA_1^*}{CA_2} = \frac{C_1 A_1}{C_2 A_2}$$

ここで、圧縮強度 $C_1$ 及び $C_2$ は圧縮強度モデルを使って求め、面積は収縮の関係式を使って計算する。4-T及び2-Tの表現を使つての $C_0$ 及び $CA^*$ のモデルは表9.18で比較した。

表 9.18 圧縮強度モデル(表9.8)及び断面性能モデル(表9.13)を使って計算したキャバンティ-の比の比較

生材の強度 (MPa)	乾燥-生材の強度の比 (4-T LSM)	圧縮キャバンティ-の比			
		4-T LSM		2-T LSM	
		強度モデル	キャバンティ-モデル	強度モデル	キャバンティ-モデル
20	1.4139	1.3420	1.3087	1.3416	1.3362
25	1.4897	1.4139	1.3988	1.3872	1.3721
30	1.5269	1.4492	1.4372	1.4405	1.4124
35	1.5502	1.4713	1.4483	1.5044	1.4586
40	1.5711	1.4912	1.4440	1.4792	1.3853
45	1.5970	1.5158	1.4308	1.4203	1.4964
50	1.6362	1.5530	1.4125	1.3732	1.4468

註: 乾燥材の含水率は15%。

## 9.7 引っ張りと引っ張りキャパシティーのモデル

このモデルが適切であるかどうかを調査するために必要なデータが不足しているので、含水率の変化による強度調整の係数は均一なものとする（調整せず）。

## 9.8 モデルの適用

樹種及び樹種グループの幅広い範囲に適用する強度調整に適した単一のモデルは有用である。Green 及び Evans (1987) はダグラスファー及びサザンパインのデータセットは総合して両樹種についての単一のモデルを、あまり著しい不利な点なしに、作ることが出来ることを示している。この総合モデルは、 $M_p = 23\%$  で上位及び下位の強度をカットして樹種に関係のないモデルの開発の根拠を提供している。

このモデルは強度（パーセントイル）水準に基づいているので、このモデルは特定の強度の値にキャリブレートするものと考えられた。より高いあるいはより低い強度の樹種については含水率研究のデータベースに”標準化”することが必要と考えられた。樹種Aについての個々の性質の値  $P_1$  ( $MC_1$ ) は次の式によって標準化される：

$$P_{1n} = P_1 \frac{K_A}{K_{model}}$$

ここで、

- $P_{1n}$  は含水率  $M_1$  における標準化した性質の値
- $K_{model}$  は含水率調査のデータベースから求めた  $38 \times 89$  mm のセレクトストラクチュラルのデイメンジョンランバーの平均強度
- $K_A$  は調整すべき樹種の  $38 \times 89$  mm のセレクトストラクチュラルのグレードの製材の平均強度

標準化してから、性質の値  $P_{1n}$  は含水率調整モデルを使って  $P_{2n}$  に調整する。それから含水率  $M_2$  における性質の値  $P_2$  を次式によって計算する：

$$P_2 = P_{2n} \frac{K_{model}}{K_A}$$

上記のアプローチは含水率の影響は強度の絶対値の水準というよりは樹種グループ内の材料の相対的な強度によるということを想定している。

ダグラスファーの平均及び5 t hパーセントイルのMORのデータは、4-Tのリニアモデル ( $M_p=24$ ) について傾斜のパラメーター  $b$  及び対応する  $MOR_{15}$  を求めるのに使われて、図9. 7に示す回帰線としてプロットした。サザンパインについての対応するデータのペア (Green 1986) についてもプロットしたが、ダグラスファーとサザンパインのデータセットは含水率の変化に対して同様の影響を示すという以前の観察を確認している。図9. 7はまたデンマーク及びスウェーデンのホワイトウッドについて求めたパラメーター  $b$  と  $MOR_{15}$  との関係をも示している。

カナダ産樹種についての標準化パラメーター  $K_A$  は、Jessome (1971) が出した個々の樹種についてのから求めたものを表9. 19に示した。これらの値で上記の標準化モデルを評価することが出来る。

同様のモデルは色々な樹種についての圧縮強度の調整にも適用できる。このモデルの評価は、Littleford 及び Abott (1978) 並びに Madsen (1982) からのデータを使って行なわれた。すべての樹種について  $M_p=24\%$  が使われた。

No 2 & B t r についての元の試験データ (Madsen 1982) は H e m - F i r 及び S P F についてのパラメーターを決めるために再分析された。それはダグラスファーの4-Tのモデルとともに図9. 8に示した。Littleford の調査による H e m - F i r のセレクト及びNo 2のパラメーター  $b$  は、生材、19%及び12%の累積分布関数からの圧縮強度を測って6種のパーセントイル水準 (0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 0.90) で決定した。

表にしたデータから求めて”平均”として示したパラメーター  $b$  (図9. 8) は、データの正確性を確認するために示したものである。しかしながら、平均値は必ずしもすべての分布で同じパーセントイル水準に対応するものではないこと認めなければならず、したがってそれらの結果はこの調査で使った手続きと直接比較できるものではない。

試験データ及びサンプリングの相違、コンデイショニング、及び試験方法に相違があることを認めるとしても、その結果はダグラスファーのモデルが他の樹種にも適用できることを示唆している。図9. 8はこれらの樹種のデータがダグラスファーのモデルの周辺に集まっている傾向を示している。S P Fのデータのパラメーターはダグラスファーのモデルに従っており、パーセントイル水準が上がるとパラメーター  $b$  の値が下がる一般的な傾向を示している。H e m - F i rのパラメーター  $b$  はダグラスファーのものよりも僅かに小さいが、傾向はすべての水準でダグラスファーと平行になっている。

Figure 9.7  
A comparison of the slope parameters  $b$ , derived for several softwood species and the 4-term expression derived from the Douglas-fir data set.

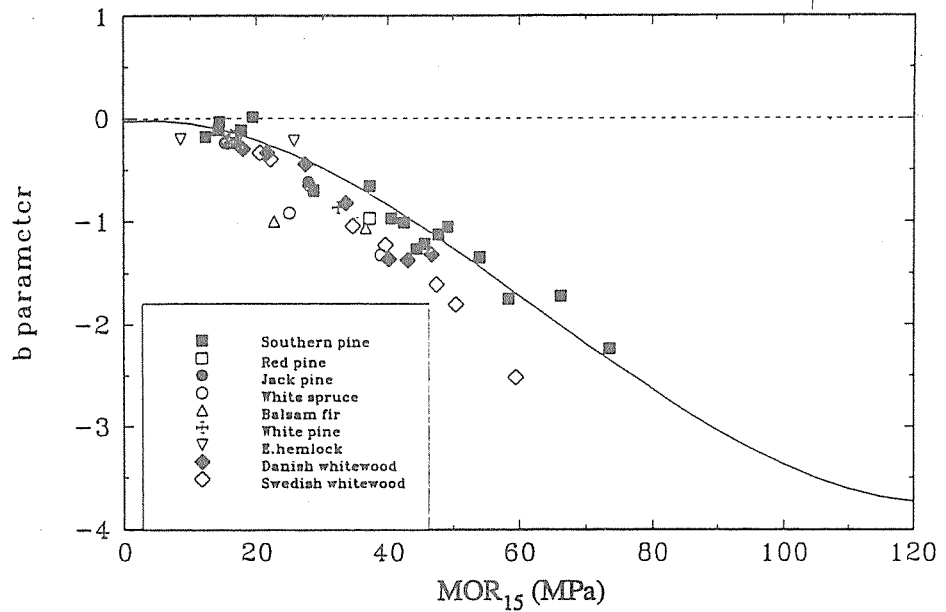
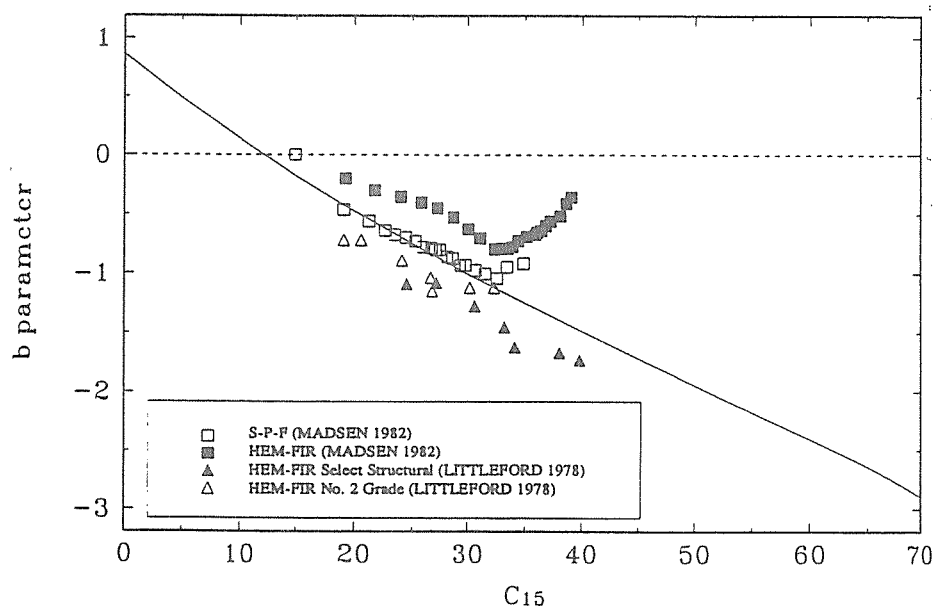


表 9.19 いくつかの樹種についての樹種標準化係数

樹種	標準化係数 $K_A$ (MPa)
ダグラスファー ( <i>Pseudotsuga menziesii</i> )	67
サザンパイン <sup>a</sup>	74
レッドパイン ( <i>Pinus resinosa</i> )	39
ジャックパイン ( <i>Pinus banksiana</i> )	55
ホワイトスプルース ( <i>Picea glauca</i> )	55
バルサムファー ( <i>Abies balsamea</i> )	55
イースタン ホワイトパイン ( <i>Pinus strobus</i> )	46
i-sutann hemurokku ( <i>Tsuga canadensis</i> )	48

註: a いくつかの商業樹種を含んでいる。主要樹種は4種である。

Figure 9.8  
Comparison of  $b$  parameter trends for Hem-Fir and S-P-F with the Douglas fir 4-term linear surface model relationship for compression strength.



## 9.9 討議

MOR及びUCSに及ぼす含水率の影響は絶対強度の水準による。強度によることは2-T, 3-T及び4-TのLSMで統合されており、伝統的なASTMの強度と含水率に関するリニアな傾向と一致している。

この調査の結果も設計性能水準での針葉樹構造用製材における性能変化の大きさは一般に伝統的なASTMの調整値よりも小さいことを示している。更に、性能変化は曲げ性能よりも圧縮性能において著しく大きいことを示している。

この調査で決定した含水率の交点 $M_p$ は曲げにおいて24%、圧縮において22%となっている。しかしながら、両方の性質において24%という共通の $M_p$ の値は受け入れられるようである。

二次方程式の表面モデル (Green 1986, 1988) 及び一次 (リニア) 式のモデル (Barrett 1991) はRSS及びMADの手法を使って、その適合性をチェックした。RSSの評価に基づく、リニア表面モデルがやや良く適合するようである。しかしながら、高い強度の水準では2つの基準は相反した指標を示している。統計的な適合基準は最良のモデルの決定的な証拠を提供するものではないので、工学的な判断のためには、データの適正さ、モデルの単純さ、モデルの安定性、従来の考え方との調和、及びモデルの使い方などの要因を考慮して適切なモデルの形を選択することが必要である。

実験的な結果では曲げ及び圧縮強度は繊維飽和点以下の含水率では含水率の減少に伴って一般に強度が増すことが示されている。しかし調整モデルの選択にあたっては、使うデータがそのモデルが根拠としている範囲の内にあるか外にあるかに注意すべきである。たとえば、圧縮の4-TのLSMでは強度の低いメンバーでは乾燥とともに強度が減少することを予測している。2-T及び3-Tのリニア表面モデルは、強度の値が0に近づくにつれてパラメータ $b$ は0に近づくという制約のもとに開発されている。このことは二次式あるいは4-Tのリニアモデルよりも適切な性能調整をもたらすモデルを作ることになる。

メンバーキャパシティーについては、2-T及び4-TのRZ断面キャパシティーモデルがいずれも乾燥とともに曲げキャパシティーが増加することを示している。同様の結果は、MORモデルと断面収縮の関係を使ってモーメントキャパシティーの比を求めたRZ\*モデルから得られている。高い強度水準においてはモーメントキャパシティーはMORモデルを使った場合により高くなる。2つのアプローチが一致していることは、両方のモデルが結果を求めるのに別のデータソースを使っていることを考慮しても一致したキャパシティーレシオを与えることを示している。2-TのMORベースのモデルは4-TのRZモデルに比べて影響を過大に評価する傾向がある。そのことは含水率調整は、含水率についての正確な曲げキャパシティー調整が必要な場合は、真の断面キャパシティーモデルに基づくべきであることを示唆している。

圧縮のキャパシティーは一段階の圧縮キャパシティーモデルを使って、あるいは断面収縮モデルを組合せた二段階の強度モデルを使っても同様のアプローチで計算することが出来る。これらのモデルでダグラスファーについて同様の結果がでている。

以前に開発された二次式のモデルに替わってリニア-の表面モデルが提案されている。二次モデルに自由度を加えることによってデータに更に良くフィットするはずである。RSS及びMADの基準に基づくと、余分の自由度を加えても良好なフィットを確保するものではないようである。更に、曲線的な関係はある場合には乾燥によってキャパシティーが減少することを予測させるが、それは伝統的なASTMのプルーチと矛盾する。リニア-表面モデルがデータと良くフィットするので、そのモデルを38mmの針葉樹の製材の性質の調整に使うべきであることが提案される。

#### 9.10 モデルについての限界

これらの表面モデルを含水率の影響のデータ調整に使うには注意を要する。これらのモデルの相関係数は試験データから求めたものであるので、これらのモデルをデータの範囲外で使うことは有効でないかもしれないし、非現実的な結果を招くこともあり得る。

この問題に対する1つのアプローチとして、極限に近いデータについてモデルを比較することによって、使用の限界が作られた。データが上限を越えている場合には一定の傾斜が想定された。データが下限以下になっている場合は含水率による調整は想定されていない。下限はパラメータbの曲線から自由裁量で得られ、そこではbの値は0ということになる。リニア-表面モデル及び限界外でデータ調整に使うべき方程式は表9.20に示した。

例としてMORについての4-TのLSMを使うことにする。 $0.0 < P_1 < 179.3 - 3.74 MC_1$ では、 $P_1$ は調整前の強度(MPa)、 $MC_1$ は%で、4-Tのリニア-表面モデルが適用できる。 $P_1 > 179.3 - 3.74 MC_1$ では次の式が使える：

$$P_2 = P_1 - 3.7370 (MC_2 - MC_1)$$

ここで、 $P_2$ は調整した強度(MPa)、 $MC_2$ は最終の含水率(%)である。



表 9.20 リニア-表面モデルの限界

製材の性質	LSMモデル	$P_1 < \text{下限}$	LSMの範囲内		$P_1 > \text{上限}$
			下限	上限	
MOR	4-T	調整なし	0.0	$179.3 - 3.7370MC_1$	$P_2 = P_1 - 3.7370(MC_2 - MC_1)$
	3-T	調整なし	4.826	$182.7 - 3.8128MC_1$	$P_2 = P_1 - 3.8128(MC_2 - MC_1)$
	2-T	調整なし	0.0	$155.1 - 3.7921MC_1$	$P_2 = P_1 - 3.7921(MC_2 - MC_1)$
RZ	4-T	調整なし	13.790	$145.5 - 2.5235MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.5235(MC_2 - MC_1)$
	3-T	調整なし	15.169	$149.6 - 2.5235MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.5649(MC_2 - MC_1)$
	2-T	調整なし	0.0	$128.2 - 2.5511MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.5511(MC_2 - MC_1)$
UCS	4-T	調整なし	12.411	$98.6 - 2.4821MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.4821(MC_2 - MC_1)$
	3-T	調整なし	0.0	$109.6 - 2.5097MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.5097(MC_2 - MC_1)$
	2-T	調整なし	0.0	$96.5 - 2.4821MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.4821(MC_2 - MC_1)$
CA	4-T	調整なし	13.100	$128.9 - 2.4959MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.4959(MC_2 - MC_1)$
	3-T	調整なし	4.137	$93.77 - 1.9926MC_1$	$P_2 = P_1 - 1.9926(MC_2 - MC_1)$
	2-T	調整なし	0.0	$92.39 - 2.2063MC_1$	$P_2 = P_1 - 2.2063(MC_2 - MC_1)$

註:  $P_1$ は単位MPa,  $M_1$ 及び $M_2$ は単位%。

## 9. 1 1 使用条件の係数

色々な樹種及び色々なサイズについての使用条件の係数を求めるには、2-Tのリニア-表面モデル及び収縮の式を使うことが出来る。使用条件の係数は湿潤使用の係数とも呼ばれ乾燥（含水率15%）強度キャパシティー及び生材の強度キャパシティーに対する比である。一般にこれらの係数は強度モデル及び収縮方程式を使って求められる。生材条件はここでは含水率25%と想定している。

ここでは使用条件の係数を求めるのにイングレード試験プログラムからの特性的強度の値が使われた。2つの収縮方程式が考慮された：Greenの収縮方程式とASTM D245の方法である。これらの式は表9.21及び表9.22に示すように僅かに異なった結果を出している。最近における設計コードでの使用条件の係数を比較のために掲げた。表から解るように、ASTM D245での値はやや内輪にでる傾向がある。

表 9.21 ASTM D245の方法を使った湿潤使用の係数

樹種	グレード	湿潤使用の係数								
		MOR <sup>1</sup>			UCS <sup>2</sup>			UTS <sup>3</sup>		
		2x4	2x8	2x10	2x4	2x8	2x10	2x4	2x8	2x10
DF	SS	0.865	0.893	0.901	0.722	0.738	0.743	1.036	1.036	1.036
	No2	0.904	0.921	0.926	0.747	0.758	0.762	1.036	1.036	1.036
	No3	0.937	0.944	0.947	--	--	--	--	--	--
HF	SS	0.868	0.895	0.903	0.729	0.743	0.748	1.036	1.036	1.036
	No2	0.898	0.895	0.922	0.743	0.755	0.759	1.036	1.036	1.036
	No3	0.922	0.934	0.937	--	--	--	--	--	--
SPF	SS	0.864	0.893	0.901	0.745	0.756	0.760	1.036	1.036	1.036
	No2	0.893	0.913	0.919	0.759	0.768	0.771	1.036	1.036	1.036
	No3	0.922	0.934	0.937	--	--	--	--	--	--

註： 1 断面係数では収縮係数は 0.9479

2 面積では収縮係数は 0.9653

表 9.22 Green の収縮方程式による湿潤使用の係数

樹種	グレード	湿潤使用の係数								
		MOR <sup>1</sup>			UCS <sup>2</sup>			UTS <sup>3</sup>		
		2x4	2x8	2x10	2x4	2x8	2x10	2x4	2x8	2x10
DF	SS	0.884	0.913	0.921	0.735	0.751	0.755	1.054	1.054	1.054
	No2	0.924	0.942	0.947	0.760	0.771	0.775	1.054	1.054	1.054
	No3	0.958	0.966	0.968	--	--	--	--	--	--
HF	SS	0.888	0.916	0.923	0.741	0.756	0.761	1.054	1.054	1.054
	No2	0.919	0.938	0.943	0.755	0.768	0.771	1.054	1.054	1.054
	No3	0.943	0.955	0.959	--	--	--	--	--	--
SPF	SS	0.884	0.913	0.921	0.757	0.769	0.773	1.054	1.054	1.054
	No2	0.913	0.934	0.940	0.757	0.769	0.773	1.054	1.054	1.054
	No3	0.943	0.955	0.959	--	--	--	--	--	--

註： 1 断面係数では収縮係数は 0.9269

2 面積では収縮係数は 0.9491

## 9. 1.2 イングレード試験データについての含水率の記述的な統計

イングレード試験プログラムにおける製材は試験する前に含水率を約15%にコンディショニングした。各試験片の実際の含水率は試験時に記録した。含水率の影響のない一定のデータベースを得るために、データは2-Tのリニア-表面モデルを使って含水率15%に調整した。

しかしながら、均一なデータベースが得られたかどうかを評価するために各グループにおける含水率の平均と分布を調べることは価値のあることである。更に、含水率の調整に使ったモデルの間に著しい相違があるかどうかを決定することも出来る。

この節においては、2つのモデル、すなわち2-TのLSMとQSMを比較した。イングレードの曲げ、引っ張り、及び圧縮のデータはいずれもこの2つの式を使って含水率15%に調整した。各樹種及びサイズについて累積分布関数(cdf's)を作って、2つのモデルに対応するcdf'sをKolmogorov-Smirnovの2サンプルの試験を使って試験した。

各データグループの試験時における含水率の平均及び標準偏差は表9.23に示した。計算では3つのサイズ(2x4, 2x6, 2x8)を総合した。統計はグレード及び試験片のタイプを通じて一貫していた。各試験片のタイプの全体の平均は表の最も下の欄に記載したが、含水率は17%に近かった。全体の含水率は目標の含水率(15%)からあまり離れていなかったため、含水率調整で元のデータはあまり変ることはなかった。

Kolmogorov-Smirnovの試験は試験統計での2つのcdf'sの間の最大垂直距離を使っている。この結果を表にした基準試験値と比較する。

累積分布頻度は2-TのLSM及びQSMを使ったデータについて作った。これらのcdf'sを作る場合には、すべてのグレードを各サイズ、樹種、試験片のタイプの中でプールした。引っ張りについては調整が必要でなかったため、このデータは評価しなかった。他の2つのタイプの試験片からの試験結果は基準値よりも低かった、そこで、2-TのLSMを使ってもQSMを使ってもイングレードデータを含水率15%に調整することにおいてあまり相違がないという結論を引き出すことが出来た。

表 9.23 CWCのイングレード試験データにおける含水率の記述的な統計

樹種	グレード	曲げ		引っ張り		圧縮	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
D. Fir-L	SS	16.55	2.37	17.25	2.57	16.60	2.01
	No1	16.17	2.31	16.82	2.55	16.44	1.89
	No2	16.53	2.46	17.29	2.64	16.50	2.05
	No3	17.54	2.77	--	--	--	--
	Const	15.92	2.32	--	--	--	--
	Stand	15.98	2.31	--	--	--	--
	Stud	17.53	3.05	--	--	--	--
	Util	19.76	2.71	--	--	--	--
Hem-Fir	SS	16.46	2.66	18.09	2.95	16.84	2.51
	No1	15.97	2.61	18.00	2.87	16.70	2.74
	No2	16.78	2.75	18.34	3.06	17.14	2.58
	No3	17.55	2.91	--	--	--	--
	Const	17.95	2.91	--	--	--	--
	Stand	18.24	2.75	--	--	--	--
	Stud	16.80	2.94	--	--	--	--
	Util	18.34	2.93	--	--	--	--
S-P-F	SS	17.51	3.23	16.82	3.38	17.23	2.89
	No1	17.10	3.09	16.38	3.52	16.74	2.46
	No2	17.44	3.16	16.96	3.39	17.24	2.96
	No3	18.07	3.27	--	--	--	--
	Const	18.33	3.27	--	--	--	--
	Stand	17.82	3.14	--	--	--	--
	Stud	17.65	2.45	--	--	--	--
	Util	18.39	2.79	--	--	--	--
全体		17.072	2.916	17.371	3.079	16.900	2.542

### 9. 1 3 結論

構造用製材の強度的性能に及ぼす含水率の影響は強度水準及び品質水準によって異なる。低品質の製材の強度性能は高品質（高い強度）の製材の強度性能よりも影響は著しく小さい。高品質の製材の反応は無欠点材で観察されたのと同様で、曲げ及び圧縮強度は繊維飽和点以下では含水率が減少すると著しく増加する。

曲げあるいは圧縮の強度的性質と含水率との関係を代表するリニア－（一次式）の表面モデルを開発した。これらのモデルでは、強度と含水率の関係はいずれの強度水準においてもリニア－（直線関係）であるという想定である。この意味ではモデルはASTMの規格に伝統的に使われているものと一致する。しかしながら、強度と含水率の関係の傾斜は強度水準によって異なる。

モデルのパラメーターは、製材メンバーの曲げ強度（MOR）、曲げキャパシティー（RZ）、圧縮強度（UCS）、及び圧縮キャパシティー（CA）の調整のために求められた。現時点においてはカナダ産のデイメンジョンランバーの引っ張り強度性能について含水率調整モデルを作製するには十分なデータが得られない。したがって、この報告では引っ張り強度については含水率の調整を行っていない。

強度と含水率の関係は単純な2-Tのリニア－表面モデルで示すことができ、それによって含水率調整を計算することができる。この報告での2-Tのリニア－モデルは、ASTM規格D1990においてイングレードのデータの調整に使っている含水率調整モデルと良く似ている。

構造用製材の含水率調整についての今後の研究は引っ張り性能について焦点を当てることが考えられ、あるいは構造用製材における強度が含水率によって影響されるメカニズムについてのより良き理解を開発することに焦点が当てられることになるだろう。

## 10 試験方法

### 10.1 緒言

弾性係数は多くの試験計画で測定が行なわれる重要な性質である。弾性係数の測定は試験方法に敏感であって、分析には調整の手続きが行なわれる。実験的な変形量から求めた見かけの弾性係数 ( $E_a$ ) は剪断歪みのような他の変形が加わることもあって、真の弾性係数を示すものではない。

ASTM D198 は構造用サイズの木材の静的試験の標準方法を含んでいる。弾性係数の決定にはこの規格は3点荷重の方法を推奨しており、荷重は両端から等距離の所に加え、変形量はヨークのデフレクトメーターで測定する。測定した変形量は試験フレームの歪み及び荷重点や支持点での材料の破壊のないものでなければならない。ASTM D198 は見かけの弾性係数及び真の弾性係数 (剪断歪みを補正) を評価する方程式を含んでいる。スパンと深さの比は最低12:1を推奨しているが、実際には21:1が推奨される。それは予想される最終用途の使用条件を反映しているからである。MOEの試験が標準化された条件、たとえば荷重方法やスパン/深さの比、と違っていた場合にはデータについて剪断歪みの影響について計算する必要がある。

特定の荷重条件及びスパン/深さの比から求めた見かけの弾性係数 ( $E_{a1}$ ) を見かけの弾性係数 ( $E_{a2}$ ) に調整するには次の式を解くことによってできる:

$$E_{a2} = \frac{1 + K_1 \left( \frac{h_1^2}{L_1} \right) \left( \frac{E}{G} \right)}{1 + K_2 \left( \frac{h_2^2}{L_2} \right) \left( \frac{E}{G} \right)} \quad (1)$$

ここで、 $h$  = ビームの深さ

$L$  = ビームの支持点の間のスパン

$E$  = 剪断のない弾性係数

$G$  = 剛性係数

$K_1$  = 荷重方式の係数 (詳細は図10.1)

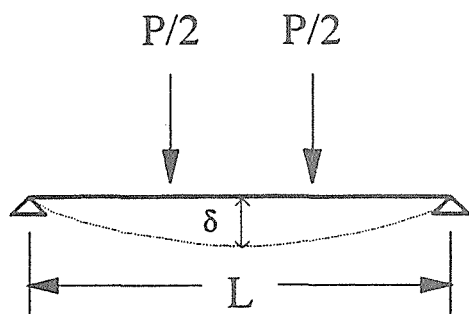
= 3点荷重で歪みを中央で測定した場合は23/1296

= 3点荷重で歪みを荷重点で測定した場合は5/324

= 中央集中荷重で歪みを中央で測定した場合は1/48

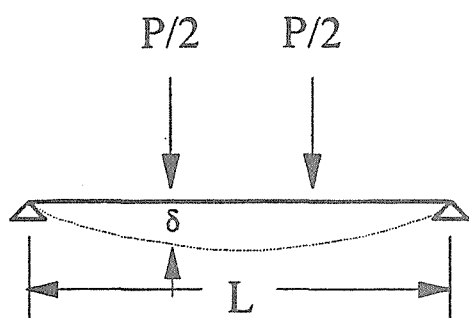
上記の式は単純ビームの理論を使って、そのビームが均一な欠点分布で均質な弾性材料であることを想定したものである。これらの仮定は、素材製材で固定したスパン／深さの比での荷重方法について調整して合理的な結果（限られた範囲内で）を得るのに示されている。

Figure 10.1  
Beam diagrams  
and load  
configuration  
factors



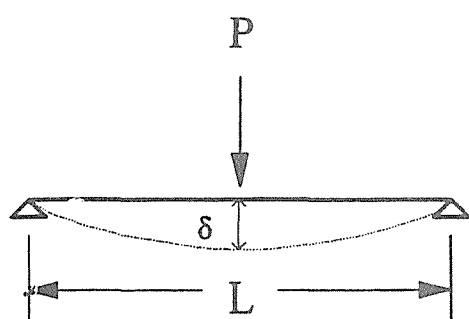
$$\delta = \frac{23 P L^3}{1296 EI}$$

$$K = 23/1296$$



$$\delta = \frac{5 P L^3}{324 EI}$$

$$K = 5/324$$



$$\delta = \frac{P L^3}{48 EI}$$

$$K = 1/48$$



式(1)を見かけの弾性係数の調整に使うには、典型的には $E/G$ の単純な比を仮定している。歴史的には、剪断のない弾性係数( $E_0$ )の剛性係数( $G$ )に対する比は16:1としてきているが、Palka 及び Barrett (1983)は、 $E/G$ は、節の数、サイズ、及び位置、木理の傾斜、並びに歪みを測定するスパンによって変るとしている。

北米において製造される製材の目視応力グレードは、ASTM D2555によって節及び木理の傾斜に基づくことになっている。強度及び弾性係数の値は伝統的にASTMのD2555(小さい無欠点試験片による)にしたがって決められている。

ポータブルな試験装置の導入によって、フルサイズの強度性能の開発が可能になった。ASTM D1990はイングレード試験を通じて目視で格付けしたデイレメンジョンランバーの許容性能を設定する手続きを提供している。幅広い範囲の試験片を処理するために、イングレード試験装置が急速な試験ができるように設計された。曲げ試験片の破壊は約1分間の間に起こるようになっている。

イングレード試験でのスパンと深さの比は第3点荷重で17:1にセットしており、ビームの変形量は水圧の荷重ヘッドの移動距離で測定する。しかしながら、総変形量には試験フレームの変形と繊維の破壊が含まれている。

イングレードのデータベースが標準の方法と比較できるようにするために、データは式(1)を適用して均一な荷重のもとでスパンと深さの比を21:1に調整した。式(1)を適用する前に、データは機械のフレームの歪みと支持点及び荷重点における部分的な繊維の破壊について調整した。これらの要因についてのデータの補正の手続きについてはPalka 及び Barrett (1983)が詳細に論議している。見かけの弾性係数に及ぼすスパン/深さの比の影響については以下の節で論ずる。

## 10.2 スパンと深さの比の影響

ASTM D198の試験方法によると、ビームの変形量はスパンの中央でヨークのデフレクトメーターを使って、支持点でビームの中立軸に沿って測定することになっている。それから見かけの弾性係数（ $E_a$ ）は基本的なビームの理論にしたがって次式によって求める：

$$E_a = \frac{23}{1296} \frac{PL^3}{I\delta} \quad (2)$$

ここで、  
 $P$  = 格荷重点における試験片の荷重  
 $L$  = 試験片の支持点間のスパン  
 $I$  = 慣性モーメント  
 $\delta$  = ヨークデフレクトメーターで測定したスパン中央の変形量

変形量を標準のヨークデフレクトメーターで測定した場合は、測定には曲げ及び剪断の歪みの両方が入ってくる。剪断歪みは、スパンと深さの比（ $h/L$ ）が小さい木質材料では剪断応力が曲げ応力に比べて比較的大きいので、重要である。

Castigliano の理論はメンバーの総剪断歪みエネルギーに適用して、任意の点  $b$ （図 10.2）における剪断歪みを次式によって計算することが出来る：

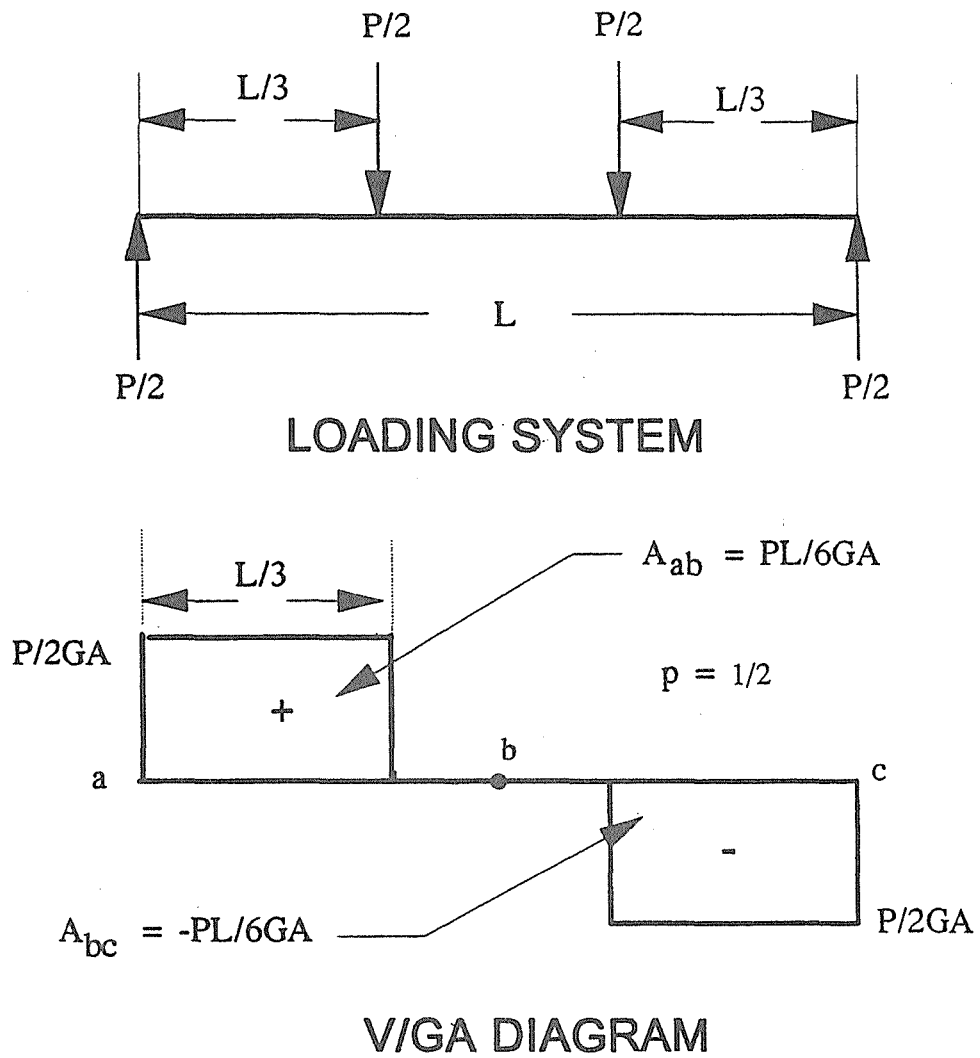
$$\begin{aligned} \delta_{shear} &= k \int \frac{V_v}{AG} dx \\ &= k \{ (1-p) A_{ab} - p A_{bc} \} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、

$k$  = 断面の形によるパラメーター  
 $V$  = 実際の荷重による垂直剪断  
 $V$  = 変形量が求められる断面に働く 1 単位の荷重による垂直剪断  
 $A$  = 断面の面積  
 $G$  = 剛性係数  
 $p$  = 図 10.2 におけるフルスパンに対するスパン  $a$   $b$  の比  
 $A_{ab}$  =  $a$  と  $b$  の間の  $V/GA$  ダイアグラムの面積  
 $A_{bc}$  =  $b$  と  $c$  の間の  $V/GA$  ダイアグラムの面積

この方法は曲げメンバーの任意の点における変形量を決定する”モーメントエーリア”の考え方と相似している。形のパラメータ  $k$  は断面の形による係数である。方形の断面では  $k = 6/5$  である。

Figure 10.2  
Loading and  
V/GA diagram  
for third-point  
load test.



スパン中央における剪断歪みは第3点荷重においては次式によって評価される：

$$\begin{aligned} \delta_{shear} &= k \{ (1-p) A_{ab} - A_{bc} \} \\ &= \frac{6}{5} \left\{ \left( 1 - \frac{1}{2} \right) \frac{PL}{6GA} - \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{-PL}{6GA} \right) \right\} \\ &= \frac{1}{5} \left( \frac{PL}{GA} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

スパン中央で測定する3点荷重での曲げ剪断のない変形量は、式(2)をアレンジすることによって次のようになる：

$$\delta_{shear} = \frac{23}{1296} \frac{PL^3}{E_b I} \quad (5)$$

剪断歪みは式(4)及び(5)の適応によって曲げ歪みに関連する：

$$\delta_{shear} = \frac{108}{115} \frac{E_b}{G} \left( \frac{h}{L} \right)^2 \delta_{flexural} \quad (6)$$

このように剪断歪みは剛性に対する弾性係数の比及びスパン／深さの比の函数である。一般に剪断歪みは次の式で表わされる：

$$\delta_{shear} = C \frac{E_b}{G} \left( \frac{h}{L} \right)^2 \delta_{flexural} \quad (7)$$

ここで、 $C$  = 剪断調整係数  
 = 標準の3点荷重試験・中央歪みで0.939  
 = イングレードの3点荷重試験・第3点歪みで1.08  
 = イングレード中央集中荷重試験・中央歪みで1.20

標準のヨークの方法で測定した総変形量には曲げと剪断による変形の部分が含まれており、総変形量は式(5)と(7)を組合せることによって次のような単純な式で表わすことが出来る：

$$\delta_B = \delta_{flexural} + \delta_{shear} = \delta_{flexural} \cdot \left\{ 1 + C \frac{E_b}{G} \left( \frac{h}{L} \right)^2 \right\} \quad (8)$$

見かけの弾性係数 $E_a$ は次式によって与えられる：

$$\frac{1}{E_a} = \frac{1}{E_{yoke}} = \frac{1}{E_b} \left\{ 1 + C \cdot \frac{E_b}{G} \cdot \left( \frac{h}{L} \right)^2 \right\} \quad (9)$$

### $E_b$ と $G$ の推定

見かけの弾性係数( $E_a$ )及びビームの歪みに及ぼすスパンと深さの比の影響を予測するためには、剪断のない弾性係数( $E_b$ )と剪断剛性( $G$ )の両方を決定しなければならない。

そのためのデータを得るために、3種の商業樹種(ウエスタンヘムロック、ホワイトスプルース、ダグラスファー)、3種の公称サイズ(2x4, 2x8, 2x10)及び2種の品質水準(クリアー、No2)の各々から選んだ30の製材試験片を予め含水率10%にコンデイショニングしておいた。各々の試験片はASTMの3点荷重方式に従って、4種の異なったスパンと深さの比(12:1, 17:1, 21:1, 25:1)で曲げ試験を行なった。変形量はロングスパンのヨークを使って測定した。サンプリングの場合に、適当なグレードの2x10のウエスタンヘムロック、及びクリアーグレードのダグラスファーの2x10は入手できなかった。総計450個の試験片について試験した。

実験の結果は表10.1に示した。各樹種、サイズ、グレードの組み合わせにおいて、 $E_a$ の平均値の逆数対スパンと深さの比の自乗( $h/L$ )<sup>2</sup>は単純な直線回帰で表わすことができ、回帰線は次の形になる：

$$\frac{1}{E_a} = A_0 + A_1 \left( \frac{h}{L} \right)^2 \quad (10)$$

これによって当該機械的性質は次の式から推定することが出来る：

$$E_b = \frac{1}{A_0} \quad (11)$$

$$G = \frac{0.93913}{A_1} \quad (12)$$

$$\frac{E_b}{G} = 1.06482 \cdot \frac{A_1}{A_0} \quad (13)$$

評価した回帰相関係数及び対応する性質は表10.1に示した。E<sub>b</sub>/Gの比は5.47から19.35までで、平均は12.34であった。ここことは、E<sub>b</sub>/Gは試験片によって著しく異なり、平均は16：1よりも小さいことを示すものである。

表 10.1 イングレードの製材の強度性能(E<sub>b</sub>, G)の予測した値

サイズ	樹種	グレード	係数		製材の性質		
			A <sub>0</sub> (10 <sup>6</sup> MPa) <sup>-1</sup>	A <sub>1</sub> (10 <sup>6</sup> MPa) <sup>-1</sup>	E <sub>b</sub> (10 <sup>3</sup> MPa)	G (10 <sup>3</sup> MPa)	E <sub>b</sub> /G
2x4	D. Fir	clear	79.94	910	12.51	1.03	12.12
		No2	81.61	1,482	12.26	0.63	19.35
	W. hem.	clear	70.56	994	14.17	0.94	15.00
		No2	90.91	1,194	11.00	0.79	14.00
	W. spr.	clear	87.30	1,459	11.46	0.64	17.79
		No2	90.91	1,194	11.00	0.78	10.69
2x8	D. Fir	clear	69.01	838	14.52	1.12	12.96
		No2	93.35	654	10.72	1.44	7.46
	W. hem.	clear	80.10	1,104	12.49	0.85	14.68
		No2	102.3	1,205	9.78	0.78	12.59

	W. spr.	clear	86.12	788	11.59	1.19	8.74
		No2	118.9	932	8.41	1.01	8.35
2x10	D. Fir	clear					
		No2	87.65	450	11.41	2.09	5.47
	W. hem.	clear					
		No2					
	W. spr.	clear	86.86	1,103	11.52	0.85	13.52
		No2	114.0	1,330	8.77	0.71	12.42

### その他の歪みの調整

CWCのプロジェクトの間に、データ取得システムによって記録されたビームの見かけの歪みに他の歪みの要素が含まれていた。これらには試験フレームの歪み、及び支持点及び荷重点における部分的な繊維の崩壊が含まれる。この影響は考慮されなければならない、ASTM規格の試験結果と比較できる弾性係数のデータを得るためには補正が行われなければならない。Palka 及び Barrett (1985) はこれらが総変形量に及ぼす影響を決定する方程式を作った。これらの補正方程式はCWCのイングレード試験システムにおいてのみ有効である。

イングレード曲げ試験における総変形量は次のように定義できる：

$$\delta_T = \delta_B + \delta_F + \delta_C \quad (14)$$

- ここで、 $\delta_T$  = 機械が測定した変形量  
 $\delta_B$  = 試験ビームのみの変形量  
 $\delta_F$  = 試験フレームのみの変形量  
 $\delta_C$  = 加重時のビームの崩壊

$\delta_F$ 及び $\delta_C$ は $h/L$ の比によると仮定して、イングレード試験の結果から $\delta_F$ は、 $h$ と $L$ の比の自乗 $(h/L)^2$ のリニアな函数であることが解った。Palka及び Barrettの式からの $\delta_F$  対  $(h/L)^2$  についての経験的なを示すと次の通りである：

$$\delta_F = \frac{5}{324} \cdot \frac{PL^3}{E_b L} \cdot \left\{ 35.768 \left( \frac{h}{L} \right)^2 \right\} \quad (15)$$

上記の式は第3点のもとでのスチールバーを測定した第3点での変形量でキャリブレーションすることによって求めたものである。スチールバーについて $E_b = 30.6 \times 10^6$ 及び $h = 50.8 \text{ mm}$ を採用することによって式(15)は次のようになる：

$$\delta_F = 1.443 \times 10^{-7} P \cdot L \quad (16)$$

ここで、 $P$ は適用した荷重、 $L$ はビームのスパンである。また、式(16)は、常数である $35.768$ が弾性係数に組み込まれるので式(15)の分母である $E_b$ をキャンセルするものであるということを仮定した。

木材の崩壊による歪みはイングレードの3点荷重試験あるいは中央点試験（歪みを機械で測定）の結果を標準の3点荷重試験の結果と比較することによって数式化することが出来る。式は次の通りである：

$$\delta_c = \delta_T - \delta_B - \delta_F \quad (17)$$

または、

$$\delta_c = K \frac{PL^3}{I} \left[ \frac{1}{E_a} - \frac{1}{E_b} \left\{ 1 + C \frac{E_b}{G} \left( \frac{h}{L} \right)^2 \right\} \right] - 1.44 \times 10^{-7} PL \quad (18)$$

ここで、 $K$  = 荷重タイプ調整の常数

= 標準の3点荷重では  $231 / 1296$

= イングレード3点荷重では  $5 / 324$

= イングレード中央点荷重では  $1 / 48$

3次の多項式を採用すると、関係は次のようになる：

$$\delta_c = R_0 + R_1 \left( \frac{h}{L} \right)^2 + R_2 \left( \frac{h}{L} \right)^3 \quad (19)$$

部分的な崩壊による歪みは回帰式を試験結果にフィットさせることによって推定できる。 $R_0$ ,  $R_1$ ,  $R_3$ の値は Palka 及び Barrett (1985) が出している。

機械的に測定した歪み ( $\delta_B$ ) に加えてフレームの変形 ( $\delta_F$ ) 及び繊維の崩壊による変形 ( $\delta_c$ ) を組み込むことによって、“標準ビーム変形量”は次式によって計算することができる。



$$\begin{aligned}
\delta_B &= \delta_T - \delta_F - \delta_C \\
&= \delta_T - 1.44 \times 10^{-7} P L - R_0 + R_1 \left( \frac{h}{L} \right)^2 = R_2 \left( \frac{h}{L} \right)^3
\end{aligned}
\tag{20}$$

式(16)及び(19)に基づいてこの補正を行なうと、イングレードの試験データは、標準の試験方法に従ったかのように取り扱うことが出来る。みかけの弾性係数( $E_a$ )は $\delta_B$ が解っていれば決定することができ、スパン/深さの比の影響は式(9)から理論的に予測することができる。

一定の試験条件でのビームの見かけの弾性係数( $E_{a1}$ )が解っていて、同じ材料で他の試験条件での見かけの弾性係数( $E_{a2}$ )が必要な場合は、2つの見かけのEの値は次の関係になる：

$$E_{a2} = E_{a1} \frac{K_2 P_2 L_2^3}{K_1 P_1 L_1^3} \frac{I_1 \delta_{T1}}{I_2 \delta_{T2}}
\tag{21}$$

ここで、

$$\frac{\delta_{T2}}{\delta_{T1}} = \frac{\delta_{B2} + \delta_{F2} + \delta_{C2}}{\delta_{B1} + \delta_{F1} + \delta_{C1}}
\tag{22}$$

### 10.3 結論

1. スパンと深さの比はASTMの方法で得た見かけの弾性係数に大きな影響を持っており、特にその比が小さく、 $E_b/G$ の値が大きい場合に著しい。第3点荷重条件でCastiglianoの剪断歪みエネルギー法を使っての見かけの弾性係数とスパン/深さの比の関係式を示した。
2. 標準の3点荷重試験の結果から、 $E_b$ 及びG(及びそれらの比)を評価し、その比は樹種及びグレードによって異なることが解った。
3. 見かけの弾性係数に及ぼす他の要因としては、試験フレームの歪み、及び支持点及び荷重点における繊維の崩壊がある。
4. 上記の結果に基づくと、1つの試験条件と他の試験条件の間の見かけの弾性係数に関する式を求めることが出来る。

## 1.1 カナダ規格における設計値

### 1.1.1 緒言

カナダにおける木材設計基準にイングレードの試験結果を取り入れることは、大規模な試験プログラムに基づいて過去約10年間に漸次進められてきた。この作業は1970年代に始まり、それについては Madsen (1992) が取り纏めている。

この移行は樹種、グレード及びサイズの間の変化という結果をもたらした。強度あるいは剛性という点において一部の樹種では値が増加し、一部では低下した。設計値が低下した場合でも、一般に既存の建物の安全性についての心配は起こらなかった。それは建築システムの効果、木構造における破壊のタイプや可能性によるためである。

全般的に、カナダ製材の設計値は増加してきている。これは小さな無欠点材による試験の不正確性及び節その他の特性が強度に及ぼす影響などを反映したものである。スプルーなどのようなカナダ製材は他の針葉樹の樹種と違って節のサイズが小さいという傾向がある。

イングレード試験の結果を取り入れ、設計上の仕事を単純化するために、カナダ産樹種は4つの樹種グループにグループ化された：S-P-F、Hem-Fir、D. Fir-L、及び北部産樹種グループの4種である。設計基準における製材の効率を改善するための他の措置も取られた。この章ではそれについても論じている。

### 1.1.2 カナダの建築コード及び規格

#### 設計要求

カナダの全国建築コード(NBCC)は統一したモデルコード及び国内のすべての建築コードの根拠を提供するものである。一般に、法的な建築コード要求を設定する責任は州政府及び地方政府の責任にかかっている。これらのコード要求は殆ど無修正でNBCCの条項と同一のものである。

特に、工学的設計を扱っているNBCCの条項は無修正で州及び地方政府によって採用されており、これがカナダの色々な管轄区域での工学的な安全要求の統一的な施行の根拠となっているのである。

1990年のNBCCで”構造材料の設計要求”を扱っている節は4.3節である。4.3.1の項は木材を材料とした建物及び構造メンバーに適用される。この項ではそのような建物及び構造メンバーはカナダ規格協会(Canadian Standards Association, CSA)の公表した次の2つの規格のいずれかを満足しなければならないことを要求している：

・ CAN 3-086 (1984年版)

木材の工学的設計(作業応力設計) (Engineering Design in Wood (Working Stress Design))

・ CAN/CSA-086.1 (1989年版)

木材の工学的設計(状況制限設計) (Engineering Design in Wood (Limit States Design))

伝統的に木材設計は作業応力設計(WSD)の方法に基づいてきた。1984年には木材設計のための最初のLSD基準がCSAから公表された。この最初のLSD基準は1984年のWSDコードの焼きなおしであって、LSDコードの設計パラメーターをWSDコードの同様のメンバーに当て嵌めたものであった。同時に、1970年代の終わりにNLGAが行なったプロジェクトの結果を取り入れて、製材の曲げ及び引っ張りの設計値をイングレードのものに変えた。LSD及びWSDの規格は合わせて1985年のNBC Cに組み込まれた。

1989年には、LSDはCWCの試験プログラムから集められたデータベースに基づいて信頼度ベースの設計値を導入した。BC州立大学のR.O. Foschi教授は彼の記述した(1989)方法論を使ってデータを分析した。この仕事がカナダにおける製材及び木材製品の設計性能を公表する新しい根拠となった。

同時に、他の変化も起こった。木理平行方向の圧縮が始めてイングレードベースで試験された。新しい柱の方程式が導入された。荷重の持続試験が製材の強度と荷重持続期間との間の関係に関する新しいデータがもたらされた。システムモデルは床板及び屋根のシステムにおけ製材の機能により良い理解が提供された。

その結果、1989年LSD基準には1984年の規格に基づいたメンバー断面と違ったものが製材設計に取り入れられた。木材の工学的設計に関するCSAの技術委員会はLSD規格に味方して1984年WSDの撤回を考慮したが、次のコードのサイクル(1995NBCC)までWSD規格は撤回されるべきではないということが決定された。

### サイズ及びグレードの要求

製材のサイズ及びグレードの標準化は、CSA規格0141-1970”針葉樹製材”の好評でカナダベースで達成された。以前のグレーディングルールは地域によって互いに相違していた。NLGAは1970年に”カナダ製材の標準グレーディングルール”を出版し、これにはすべてのディメンジョンランバーについての統一したサイズとグレードの要求が含まれていた。”National Grading Rule”とタイトルをつけたNLGARuleの部分はアメリカの規格当局が採用しているものと同様であって、これが北米全体の要求の統一したセットになった。

## 試験及び分析の要求

1984年の規格にイングレード試験の結果を採用する前に、CSAの技術委員会は製材についての2つの予備的なイングレード規格を開発した：

- ・ CSA S 442. 1 (1984-予備的な状態)  
製材のイングレード曲げ試験の方法
- ・ CSA S 442. 2 (1985-予備的な状態)  
製材のイングレード引っ張り試験の方法

分析方法はBC州立大学からいくつかの報告が出されている。北米のイングレード試験計画が始まってから、次のASTMの試験方法が公表された。

- ・ ASTM D 4761 (1988)  
製材及び木質構造材料の機械的性質に関する標準試験方法

この規格はCSAの予備的な規格と同一ではないが、それと比較できるものである。2つのCSAの予備規格はASTM D 4761の適切な資料がでて以来廃止され、ASTM D 198 (構造サイズの木材の静的試験の標準試験方法)及びASTM D 2915 (構造用製材の各グレードの許容性能を評価する標準方法)に合併された。

剪断、木理直角方向の圧縮などイングレードの試験方法でカバーできない性質、及びイングレードで試験していない製品の性質については、現行の設計基準では小さい無欠点の試験片に基づいての試験方法及び分析方法に戻っている：

- ・ ASTM D 143  
木材の小型無欠点試験片による標準試験方法
- ・ ASTM D 2555  
無欠点の木材の強度決定の標準試験方法
- ・ ASTM D 245  
目視格付け製材の構造グレード及び関連する許容性能の設定に関する標準方法

小型 無欠点試験片による試験データは、東部林産研究所 (現在の Forintek Canada Corp.) から出版されている。

### 1 1. 3 目視格付けのデイメンジョンランバーの設計値

#### 状況制限設計方式 (Limit States Design Format)

状況制限設計の方式はNBCCの4. 1. 4項にでており、NBCCのサプLEMENTの第4章にコメントを付けている。一般に、状況制限には2つのタイプがある：強度と使用性能である。強度の状況制限は次の式を満足するように設計されている：

$$\text{係数化した抵抗性} \geq \text{係数化した荷重影響}$$

係数化した抵抗性は2つの値の産物である、すなわち抵抗性と抵抗性係数(phi)である。メンバーの抵抗性はその寸法と規定された強度の値に基づいている。抵抗性係数は一定の材料の性質についての係数で、材料の変異性、破壊のタイプその他抵抗性の予測における不安定要因を計算に入れている。

抵抗性を計算するには、規定の強度に断面性能を乗じ、特定の使用条件に対して適切な修正係数を乗ずることによって得られる。

使用性能の状況制限は典型的には次の式を満足するように設計されている：

$$\text{規定された剛性} \geq \text{規定された荷重影響}$$

使用性能についてのアプローチは、作業応力または状況制限設計と同じである。

#### 信頼性の原則

信頼性ベースの設計の基本原則は、設計過程における不安定要素を考慮して安全設計の手続きを開発することにある。その分析は設計する材料の変異性及び荷重によって影響される。変異性の少ない材料はこの分析では良い結果がでる。

計算の結果は信頼性指標で、 $\beta$ と呼ばれる。信頼性指標 $\beta$ は設計性能を評価する一貫した手段を提供するものである。多くの材料で平均の $\beta$ の水準は2. 5から3. 0の範囲である。

CAN/CSA-086. 1での $\beta$ の計算に使われる方法はBC州立大学が開発したコンピュータプログラムに掲げられている。

#### 特性値

カナダ産の目視格付けのデイメンジョンランバーの特性値は、普通の2 x 8 (38 x

184 mm) のサイズ、含水率15%の条件に調整し、場合によっては信頼度分析によって調整したデータに基づいて定められている。

カナダ産の3つの主要樹種グループのセレクトストラクチュラル及びNo2のグレードについて特性値を設定するために、Foschi 等はセルバイセル（個体群毎）のベースで信頼度分析を行なった。その分析には3つの試験サイズ（2 x 4、2 x 8、2 x 10）及び7つの荷重条件（等布荷重5種と住宅フロアと事務所フロア）についてのものを含んでいる。このアプローチは平均信頼度の傾向並びに色々な場合での信頼度の範囲を提供している。一定の抵抗性係数（ $\phi$ ）については、各個体群で異なった水準の信頼度（ $\beta$ ）を与えた。たとえば、製材研究の曲げ試験のデータの分析では次のような平均結果がでている：

<u>抵抗性係数（<math>\phi</math>）</u>	<u>信頼度水準（<math>\beta</math>）</u>
0.65	3.1
0.70	3.0
0.80	2.8
0.90	2.6
0.95	2.5

逆に信頼度が一定の場合は、各個体群で異なった抵抗性係数がでている。このことは計算された信頼度が均一なものであることを示すものであるが、規格に記述するような作業できるアプローチではなかった。そのため、抵抗性係数は各材料の性質について選ぶということに決まった。

受け入れ得る信頼度については、Foschi 等は”スムージング”の方法を使って、各個体群に計算された抵抗性係数に比例してウェイトをつけた。選んだスムージングの方法は次の関数を極小化するものであった：

$$F = \{ \phi_{i,j,I} R_{(0.5)_{i,j}} - \phi_0 R_0 (\text{サイズ比})^{1/k} \}^2$$

ここで、 $i = 1 \dots 6$  （3樹種、2グレード）

$j = 1 \dots 3$  （3サイズ）

$I = 1 \dots 7$  （7種の荷重）

$\phi_{i,j,I}$  = 各々の場合の計算した抵抗性係数

$\phi_0$  = 性質について選んだ抵抗性係数

$R_{0.5}$  = 各個体群のノンパラメトリックな5thパーセンタイル

$R_{0,i}$  = 樹種-グレードについての特性的強度

サイズ比 =  $(H_0 L_0 / H_j L_j)$

- $H_0$  =標準化した深さ (184 mm)  
 $L_0$  =標準化した長さ (3000 mm)  
 $H_j$  =試験した深さ (一定のサイズで)  
 $L_j$  =試験した長さ (一定のサイズで)  
 $k$  =サイズの影響のパラメーター (方法からの結果)

このアプローチは曲げ、引っ張り及び木理平行方向の圧縮の性質に使った。その結果は規定された強度の決定に使った。

### 曲げ

曲げについては、極小化したサイズの影響のパラメーターが $K=4.3$ となった。一定のスパン/深さの比では、サイズの係数は $K/2$ あるいは $2:1$ となった。この係数は製材プロジェクトの結果及び他のデータと一致する。曲げのサンプルではNo3のグレードについての資料もあったので、No3についてもそのアプローチを行なって同様の結果を得た。

曲げの特性値及び5thパーセンタイルの値は次の通りである：

		<u>曲げの<math>R_0</math> (MPa)</u>	<u>曲げの<math>R_{0.5}</math> (MPa)</u>
S-P-F	セレクト	25.64	23.16
	No2	18.30	16.92
	No3	10.86	12.42
Hem-Fir	セレクト	24.76	25.36
	No2	16.98	18.77
	No3	10.87	12.39
D-Fir-L	セレクト	25.59	25.16
	No2	15.51	15.64
	No3	7.08	8.67

その結果は、曲げでは抵抗性係数 $\phi=0.9$ で平均 $\beta$ が2.6でその範囲は2.4から2.8であった。

### 引っ張り

木理平行方向の引っ張りでは、サイズの影響のパラメーターの極小化の結果は $k=5.6$ であった。引っ張りの特性値及び5thパーセンタイルの値は次の通りであった：

		引張りの $R_0$ (MPa)	引張りの $R_{0.5}$ (MPa)
S-P-F	セレクト	13.55	12.27
	No2	8.62	8.32
Hem-Fir	セレクト	15.28	14.72
	No2	9.77	10.42
D. Fir-L	セレクト	16.58	14.92
	No2	9.16	9.29

この結果は引張りにおける抵抗性係数 $\phi = 0.9$ で平均の $\beta$ が2.8で、その範囲は2.5から3.0であったことを示している。

### 木理平行方向の圧縮

木理平行方向の圧縮では、サイズの影響のパラメーターの極小化の結果は、 $k = 7.9$ であった。

圧縮の特性値及び5thパーセンタイルの値は 次の通りであった：

		圧縮の $R_0$ (MPa)	圧縮の $R_{0.5}$ (MPa)
S-P-F	セレクト	20.31	19.32
	No2	16.21	18.20
Hem-Fir	セレクト	24.77	23.33
	No2	20.82	20.38
D. Fir-L	セレクト	26.64	26.38
	No2	19.66	19.00

この結果は、完全に横方向を支持された圧縮での抵抗性係数 $\phi = 0.9$ で、平均の $\beta$ が2.9で、その範囲は2.6から3.4であったことを示している。しかしながら、柱の設計に伴う信頼度は、バックリッグ（座屈）破壊についての不安から2.9以下であった。

当時1989LSD規格が準備中であって、柱の設計についての新しいアプローチが考慮されていた。伝統的なアプローチは柱の3つのカテゴリーを認めていた、すなわち、短柱の塑性破壊から弾性座屈破壊への転移を代表する短柱、中間の柱及び長柱の3種である。新しい方式は”cubic Rankine Gordon”方式と呼ばれるもので、従来の式に替えるべきことが提案されていた。

新しい方式は柱のすべての細り度について連続的で、中間的な細り度の範囲での伝統的な柱方式よりも内輪なものであった。これは製材柱の研究結果を反映したものである。



しかしながら、製材プロジェクトによる圧縮強度のデータは規定の圧縮強度において大きく増加しており、中間的な細り度での柱の強度減少を相殺していた。

Foschi 等はいくつかの樹種、グレード、サイズ及び荷重で色々な柱方式についての信頼度分析を行なった。彼は分析において小さい離心率 (eccentricity) (5%) を導入した。その結果は、柱についての抵抗性係数は 0.8 で、平均の  $\beta$  は 2.8 という値であった。

### 長さ方向の剪断

剪断については、サイズの係数は 2 となった。Lau, Barrett 及び Foschi (1988) はフラクチャーメカニックスのアプローチ及びデータを使って、商業的なサイズとグレードの材の縦割れについて分析した。サイズの影響が大きいことが解った。

スムージングした剪断の特性値と 5 t h パーセンタイルの値は次の通りである：

		<u>剪断の <math>R_0</math> (MPa)</u>	<u>剪断の <math>R_{0.5}</math> (MPa)</u>
S-P-F	セレクト	1.489	1.631
	No 2	1.296	1.631
Hem-Fir	セレクト	1.455	1.757
	No 2	1.151	1.757
D. Fir-L	セレクト	1.586	2.259
	No 2	1.441	2.259

註： 上記の 5 t h パーセンタイルの値は無欠点小試験片によるもので、正規分布で端部の割れがなく、サイズの影響の係数 (4/9)、乾燥 (1.08) で ASTM D245 に従ったものである。

その結果は抵抗性係数 0.9 で、平均の  $\beta$  が 3.0、その範囲は 2.7 から 3.2 であることを示している。

### 平均値ベースの性質

強度的性質とは対照的に、弾性係数及びベアリング (木理直角方向の圧縮) の性質は最低値というよりは常に平均値に基づいている。一部の例外を除いて、これらの性質についての状況制限は使用性能に関するものである。このため正確な破壊基準を定義し、信頼度水準を設定することは、より困難である。

適切な剛性または破壊抵抗は最終使用条件による。一部の用途では変形が許されるが、

許されない用途もある。弾性係数及びベアリングについての設計値は信頼度分析に基づいたものではない。

イングレード試験プロジェクトの結果では弾性係数には著しいサイズの影響はなかった。したがって、特性値は単純にすべてのサイズのデータを加重平均したものである。柱の設計には5 t hパーセンタイルの値も必要である。データはプロジェクトから得られたので、目視格付け製材についてMOEの平均値と5 t hパーセンタイルの値を公表することに決定した。

カナダでは弾性係数の値は17：1の3点荷重から、ASTM D2915の表5にしたがって1.016の係数を使って、21：1の等布荷重に調整している。

弾性係数の平均値及び5 t hパーセンタイルの値は次の通りである：

		平均のE <sub>o</sub> (MPa)	5 t hパーセンタイル (MPa)
S-P-F	セレクト	10350	7340
	No2	9542	6338
	No3	8831	5250
Hem-Fir	セレクト	11880	8334
	No2	10960	7442
	No3	9855	5987
D. Fir-L	セレクト	12710	8709
	No2	10930	7049
	No3	10080	5469

木理直角方向の圧縮の値は無欠点小試験片によるデータに基づいたものである（ASTM規格D2555）。公表されている設計値はサイズ及びグレードの影響を組み込んだものではない。平均値は1 mm（0.04インチ）変形したときの応力を表わすもので、それを年輪角度の係数0.67を使って調整し、更に乾燥条件の係数1.5を使って調整したものである。

木理直角方向の圧縮の平均値は次の通りである：

	木理直角方向の圧縮の平均値 (MPa)
S-P-F	4.881
Hem-Fir	4.282
D. Fir-L	8.057

## 規定された強度と剛性の決定

CAN/CSA-086.1では規定された強度とは”強度抵抗を予測した用途に使用するための定められた強度”と規定されている。規定された強度のシンボルは次のとおりである：

<u>シンボル</u>	<u>規定された強度性能</u>
$f_b$	曲げ
$f_t$	木理平行方向の引っ張り
$f_c$	木理平行方向の圧縮
$f_v$	剪断
$f_{cp}$	木理直角方向の圧縮

規定された強度の値の決定については、強度的性能に影響する共通の修正係数を使って処理するという合意に達した。特に、サイズ及び荷重期間についての調整には決定が必要であった。

サイズの調整については、決定は普通最も幅の広い製材、多くの場合（2 x 12、38 x 286 mm）、をベースとした公表された設計値に基づくという決定であった。もし設計者がサイズの修正係数（ $K_z$ ）を見落とせば、その結果としての係数化した抵抗性は幅の狭いものについては内輪なものになる。それはサイズが大きくなれば強度が減少するからである。

荷重期間については、決定は規定された強度に等布荷重及び占有荷重についての係数を取り入れるということであった。規定された強度は表にする前にこの係数（0.8）を乗じた。もしも設計者が荷重期間についての修正係数を見落とすと、結果としての係数化した抵抗性は、デッドロードの場合を除いて多くの場合は等しいか内輪な値になる。

他の決定は他の樹種、グレード及びサイズに関するものであった。主要3樹種グループ以外の樹種はすべて北方樹種というグループに一括された。

2回のイングレード試験でNo1とNo2のグレードの間にははっきりした相違がないということが示されたので、これらのグレードには同じ設計値が決められた。セレクト、No1、No2、No3以外のすべてのグレードについては、得られるデータから見ると内輪な値になるかもしれないけれども、ASTM D245の強度比の考え方で設計値が定められた。38mmのデイメンジョンランバーよりも小さいサイズのものについては設計値は2 x 4（38 x 89 mm）と同じとされた。

詳細については、以下の節で強度的性質に応じて論ずることにする。

## 曲げ

曲げについての規定強度は試験したスパン／深さの比17：1で設定された。セレクト、No1、No2、No3のグレードについて表に載せた値は次の式から決定した：

$$f_b = C (K_D) (d_c / d_s)^{1/K} (L_c / L_s)^{1/K}$$

ここで、 C =曲げの特性値 (MPa)

$K_D = 0.8$  (荷重期間の係数)

$d_c = 184 \text{ mm}$  (標準化した深さ)

$d_s = 286 \text{ mm}$  (規定された深さ)

$L_c = 3000 \text{ mm}$  (標準化した長さ)

$L_s = 4862 \text{ mm}$  (規定された長さ、スパン／深さの比は17：1)

$K = 4.3$

スタッドのグレードについてはグレードの基本定義がNo3と同じで、設計値も同じである。

軽量フレーミングのグレードには、曲げの設計値では強度比の考え方を使っている。コンストラクションのグレードにおける強度比は0.34で、スタンダードグレードについては0.19である。No2グレードの強度比は0.45である。したがって、コンストラクショングレードの設計値はNo2に対して0.34／0.45倍であり、スタンダードグレードはNo2に対して0.19／0.45倍である。

軽量フレーミングのグレードでは上記の式を使っての修正も行なっているが、89mmの規定幅及び1513mmの規定長さ(17：1)についての修正を行なっている。89mmはこれらのグレードでの最大の幅であったからである。2x4以外のサイズ、たとえば2x2、4x4などについては強度比の考え方に基づいて軽量フレーミングについて更に削減を行なった。それはグレーディングルールで節について特定のアローアンスが認められているからである。

最後に、CAN/CSA-086.1の5.4.5.4の項では3x4あるいは4x4のNo1、No2、No3のグレードの製材のサイズの係数を1.00と定めている。これは軽量フレーミングのルールと同じであった以前のグレーディングルールから求めたものである。

## 引っ張り

引っ張りにおける規定強度はスパン／深さの比24：1で定められている。この比は曲

げに使われているものよりも大きく、試験計画に使われた引っ張りに使われているゲージ長さに近い。またそれはトラスに使う場合の典型的なパネルの長さを反映したものである。セレクト、No 1 及び No 2 のグレードの表にした値は次の式によって決定した：

$$f_t = C (K_D) (d_c/d_s)^{1/K} (L_c/L_s)^{1/K}$$

ここで、  
C = 引っ張りの特性値 (MPa)  
K<sub>D</sub> = 0.8 (荷重期間の係数)  
d<sub>c</sub> = 184 mm (標準化した深さ)  
d<sub>s</sub> = 286 mm (規定された深さ)  
L<sub>c</sub> = 3000 mm (標準化した長さ)  
L<sub>s</sub> = 6864 mm (規定長さ、スパン/深さの比は 24 : 1)  
K = 5.6

No 3 のグレードの引っ張りの値は No 3 の曲げの値から、ASTM規格 D1990 に記載された引っ張り/曲げの関係を使って求めたものである。その規格では引っ張り強度は曲げ強度の 0.45 倍と想定している。

他のグレードについては曲げの場合と同様に取り扱っている。

#### 木理平行方向の圧縮

圧縮における規定強度は曲げの場合と同じスパン/深さの比 17 : 1 で設定された。セレクト、No 1 及び No 2 についての値は次の式によって決定された：

$$f_c = C (K_D) (d_c/d_s)^{1/K} (L_c/L_s)^{1/K}$$

ここで、  
C = 標準化した圧縮の値 MPa  
K<sub>D</sub> = 0.8 (荷重期間の係数)  
d<sub>c</sub> = 184 mm (標準化した深さ)  
d<sub>s</sub> = 286 mm (規定された深さ)  
L<sub>c</sub> = 3000 mm (標準化した長さ)  
L<sub>s</sub> = 4862 mm (規定された長さ、スパン/深さの比 17 : 1)  
K = 7.9

No 3 のグレードについては、セレクト及び No 2 グレードの圧縮/曲げの関係の検討の結果、圧縮の規定強度は曲げの値と同じにすべきであることが示された。

他のグレードについては曲げの場合と同様の方法で処理された。（しかし、強度比率は曲げあるいは引っ張りの場合とは異なっている）。

### 長さ方向の剪断

剪断の規定強度は、剪断破壊の起こる状況を反映して、他の性質よりも小さいスパン／深さの比（12：1）で設定された。

剪断の値をグレードに関係なくするために、No 2のグレードの剪断強度の値は次の式によって決定した：

$$f_v = C (d_c / d_s)^{1/k} (L_c / L_s)^{1/k}$$

ここで、 C =標準化した剪断の値 MPa（No 2の値を使った）

$K_D = 0.8$ （荷重期間の係数）

$d_c = 184 \text{ mm}$ （標準化した深さ）

$d_s = 286 \text{ mm}$ （規定された深さ）

$L_c = 3000 \text{ mm}$ （標準化した長さ）

$L_s = 3432 \text{ mm}$ （規定された長さ、スパン／深さの比は12：1）

$k = 2.0$

剪断のアプローチにおいては他の性質の場合と違って、荷重期間による削減係数0.8は適用しなかった。これは一部には削減係数はASTM D245に基づいた無欠点小試験片の値に既に組み込まれているからである。

BC州立大学及びアメリカ林産試験場における最近の研究では製材は著しい留保剪断能力を持っていることが示されている。この削減係数を入れなかったもう1つの理由は特性的剪断強度は製材プロジェクトのデータを使ってエンドスプリットについて修正済みであったからである。

### 木理直角方向の圧縮

長さ方向の剪断の場合と同様に、木理直角方向の圧縮は伝統的にグレードに関係なく決定されてきた。値を公表されているアメリカの設計値と調和を取る場合に僅かな変異はあったけれども、表にした設計値は特性値と同じにしてある。

## 弾性係数

弾性係数の設計値は、セレクト、N o 1、N o 2 及びN o 3 のグレードについてMOEの特性的な平均値及び5 t hパーセンタイルの値と同じに設定してある。軽量フレーミングのグレードについてはコンストラクショングレードのMOEはN o 3 のグレードと同じにしてあり、スタンダードグレードについてはN o 3 の値の9 0 %に設定してある。

## 修正係数

CAN/CSA-086. 1の式の様式において、係数を乗じた抵抗性は2つの段階で計算された。第1は、規定強度には材料の反応に関連した修正係数を乗じた。

たとえば、曲げの値は次のように修正した：

$$F_b = f_b (K_D K_H K_{S_b} K_T)$$

ここで、 $K_D$  = 荷重期間の係数

$K_H$  = システムの係数

$K_{S_b}$  = 曲げについての使用条件の係数

$K_T$  = 処理の係数

荷重期間の係数は前に述べたとおり、多くの最終用途では1. 0であった。風や地震のような短期荷重では係数は1. 15である。長期荷重では係数は0. 65である。設計者は標準条件(1. 0)と長期荷重条件の間で挿入法を使うことが許される。

システムの係数は2つの場合に適用される。第1の場合は、トラスのような反復的なメンバーの部材に適用される一般的な場合で、係数1. 1に対して、曲げ、剪断、木理平行方向の圧縮及び引っ張り強度を乗ずることが許される。第2の場合は、素材メンバーにシーリングを取り付けた通常の木材フレーム構造にのみ適用される特殊な場合で、係数1. 4に対して曲げ及び剪断強度を乗ずることが許される(11. 5のシステムの影響参照)

第2の段階では、修正した規定強度の値にメンバーの配置及び仕組みに関する係数を及び性質についての抵抗性係数を乗じた。曲げを例にとると：

$$M_r = \phi F_b S K_{z_b} K_L$$

ここで、 $\phi$  = 曲げについての抵抗性係数

$S$  = 断面係数

$K_{z_b}$  = 曲げについてのサイズの係数

$K_L$  = 横方向の安定係数

抵抗性係数は、既に述べたとおり、圧縮では0. 8、他のすべての性質では0. 9である。

サイズの係数はこの節で前に述べたサイズの式から求めた。例外は剪断であって、この場合は曲げで使ったのと同じ係数を内輪な尺度として採用している。

## 1 1 . 4 他の製材製品についての設計値

### 機械応力格付け製材（MSR製材）

機械応力格付け製材（MSR）は主としてトラス弦材の用途に使われる。CAN/CSA-086.1-M89では、MSR製材の設計値は主に状況制限設計の方式の軟転換であって、トラスのスパンは1984年規格に基づいたスパンに近いものであった。しかし、転換の根拠を設定する必要があった。

荷重期間の係数、抵抗性係数及びシステム係数は1989年に変更になったので、CAN/CSA-086.1-M89ではMSR製材の設計値が変更された。また、CWCのMSR試験計画から得た予備的なデータも値の若干の調整が必要であることを示していた。以下の記述はそれらの変更についての説明である。

曲げにおける規定強度はNLGAの品質管理プロセスで適用された応力と同じに設定された。数字的にはこれは2.1とグレードF。(単位はMPa)の産物である。曲げにおける規定強度は1984年の値と同じであったが、結果としての係数化した抵抗性は典型的な屋根での使用において10～15%高かった。この増加はMSR試験プログラムでも支持されている。

木理平行方向の圧縮における規定強度は伝統的な水準すなわち曲げ強度の72%に維持された。これによって係数化した圧縮抵抗性は曲げの場合と同じオーダーで増加した。圧縮はCWCのMSR試験では試験されなかったが、目視格付け製材のデータから、以前の木理平行方向の圧縮強度の値はすべての製材について過小に評価されていることがはっきりしていた。

MSR製材の木理平行方向の圧縮にはサイズの係数を適用することも必要であった。以前にはMSR製材の性質はすべてのサイズの影響に無関係であると考えられていた。しかしながら、この係数を適用せずに目視グレードとMSRグレードの間の一貫性を維持することは出来ないはずであったし、MSRグレードは圧縮においてサイズの影響から外すべきだという根拠もなかった。

引っ張りにおける規定強度は他の性質とは違った方法で処理された。それはイングレード試験プロジェクトでの予備的な試験結果は、引っ張り/曲げの関係は伝統的なMSRの比とは変わってくる、特にグレードの高いものでは変わってくることを示していたからである。MSR製材の伝統的な引っ張りの値は、グレードの低いものでは曲げの値の50%からグレードの高いもので80%という範囲であった。

もう1つの要因は引っ張りにおけるシステムの係数(10%増)の導入である。これは1984年の規格には入っていなかった。また、抵抗性係数(0.9)は1984年規格の0.7よりも大きかった。そのため引っ張りの規定強度を削減された。その結果の係数化した抵抗性は、フロア荷重で約10%高くなり、屋根の荷重(等布荷重)で約5%低くなった。

その他のすべての性質については目視グレードノ製材と同じ方法で変換された。(現行のMSRの剪断と圧縮の設計値は樹種グループに基づいたものとなっている)。剪断についてはサイズの係数も適用された。



## 大角材 (Timbers)

大角材 (ティンバー) については生産量が比較的少なくイングレード試験のコストも高いので、イングレード試験のデータが殆どない。ティンバーについての特性的強度の値は無欠点小試験片のデータについてASTM D245の条項によってグレードとサイズの影響について修正したものである。ティンバーの強度はデイメンジョンランバーの強度とは異なったベースで決定されているので、厚さの薄い製材と厚い製材の間で設計値に不連続性があった。しかしこの不連続性はCAN/CSA-086.1では最小限になっている。

不連続性を解決するための第1の段階は同じ4樹種グループ (D. Fir-L、Hem-Fir、S-P-F及び北部産樹種) を使うことである。第2の段階はデイメンジョンランバーに使ったのと同じ修正係数を適用することであった。

1989年に新しく荷重期間の係数及び抵抗性係数を採用することによる避けることのできない結果は殆どすべての性能が変わってくることであった。イングレード試験でサイズの影響が大きかったことに照らして、サイズの係数はティンバーの強度に適用すべきであることが認められた。このことでサイズの小さいティンバー、特にデータの得られる性質について係数化した抵抗性が僅かに増加した。

Madsen 及び Stinson (1982) の限られたフルサイズのデータは、少なくともダグラスファーについては曲げ強度はサイズの小さいティンバーについて過小になっていることを示している。そのデータはまたサイズの影響が大きく、深さと長さが増加すると、強度が減少することを示している。

幅8インチ (191 mm) 以上のサイズのものの曲げのサイズの係数は、4インチ厚 (89 mm) の製材の係数と同じに設定されている。サイズの係数は1.3が最高である。規定された曲げ強度は増加を制限するようにキャリブレートされ、係数化した曲げ抵抗性は約15%に低下 (屋根荷重の場合) された。

剪断については同じサイズの係数を使っているので、同様のキャリブレーションがなされた。しかし、剪断の場合は係数化した抵抗性の増加は10%までに制限された。

引っ張りにおけるサイズの係数はデイメンジョンランバーの係数と同じに設定されている。剪断と同様に係数化した引っ張り抵抗性は10%増までに制限した。これによって大きなサイズのティンバーの性能は低下した。

木理平行方向の圧縮ではデイメンジョンランバーの強度の値は製材試験プログラムの試験結果と同様に増加した。ティンバーの圧縮性能にも同様の調整が行なわれ、サイズの係数も適用された。木理平行方向の圧縮の規定強度は増加を制限するようにキャリブレートされ、短柱の強度で約15%に下げられた (屋根荷重の場合)。

木理直角方向の圧縮強度はデイメンジョンランバーと同じになっている。

ティンバーの平均弾性係数の値は基本的には以前の規格と変わっていないが、ラウンディ

ングの調整は行なっている。MOEの5thパーセンタイルの値については、デイメンジョンランバー比較することによって関係式を作った。

### デッキング

デッキングのグレードについては規定されたイングレードの試験結果がない。規定強度、弾性係数及び係数化した抵抗性はデッキングとデイメンジョンランバーのグレードが相当するものとして決められている。

## 11.5 最終用途についての考察

### システムの影響

CAN/CSA-086.1の1989年版では”システム”の影響という考え方を導入した。従来の版では”荷重分担”効果と呼んでいたものである。システムの考え方には荷重分担のほかに複合機能（シージングとフレーミング部材など）のようなシステムの性能に寄与する他の要因が含まれており、システム内における強度的性能の推定される分布が含まれている。

システムの係数の開発については Foschi 等（1989）が説明している。そのアプローチは2つの場合について別々の係数を使ったCAN/CSA-086.1に実施されている。第1の場合は一般的な場合で、メンバーの最小の相互作用（荷重分担の定義）を想定しているが、第2の場合はソリッドのフレーミングメンバーと木材シージングパネルの組み合わせに関する特殊な場合で、通常の木材フレームのフローアー、屋根、壁面などのように最低の固着要求を持ったものに関する場合である。

このアプローチはデータと分析結果があれば他の用途にも拡大することが出来る。

### 使用性能に関する問題

カナダの建築基準は1990年には振動の基準を導入して住宅のフローアーに適用している。これらの基準は幅広い調査結果及びフォリンテックが実験室及びフィールドで試験してきた結果に基づいている。

フロアジョイストに関する伝統的な使用性能基準は等布荷重のもとでの撓みに関するものである。しかしながら、経験はこの基準は振動の実態を特に良く予測する指標ではないことを示している。複合したフローアーの実態を考えると、集中荷重のもとでの歪みの方が振動の勝れた予測者であるように考えられる。

フロアースパンはクロスブリッジング、フロアジョイストの下でのストラッピングと組合せたブリッジング、厚いサブフローアー、現場接着のフローアー施工など色々なフローアー構成の場合のために開発されてきた。これらの場合のパラメーターの開発に使われる回帰式も作られた。

伝統的な強度及び剛性のも維持されて、フローアーが適切な安全性と剛性の要求を満足することも確保されている。

その結果は、建築コードにおけるフローアーのスパン表の新しいセットとなっている。また、NBCCのアペンディックスには振動性能のための最大スパンを計算するための数字的な表現も含まれている。CWC (Canadian Wood Council) では”Span Book”としてスパン表を発刊している。

## 11.6 将来の展開

製材の性質に関する研究プロジェクト（Lumber Properties Project）はカナダの木材設計コード及び規格の開発を著しく進展させるデータベースを提供してきた。信頼度分析、システム知識及び使用性能基準に進展が見られた。これらの展開は建築に使われる木材の経済性及び受け入れ可能性を改善した。

イングレード試験のアプローチが実施されて以来、製材性能の長期保証の必要性についての関心が高まった。製材産業は現在の性能が長期間経過しても維持されるかどうかを確認するモニター計画を評価してきている。モニター計画はコストが高く付く時々のフルスケールのイングレード試験プロジェクトに替って要求されるものである。

そのほか将来の展開としては、工学的木材複合製品に使われる製材の特性化が含まれる。集成材あるいは木材Iジョイントに使われる製材の性質を正確に記述するためには、長さ方向の変異に関する資料が必要である。

## 1 2 アメリカ規格における設計値

### 1 2. 1 緒言

イングレード試験の結果は1991年にアメリカで取り入れられて、ALSB(American Lumber Standard Board)による新しい設計値の受け入れとなって、1991年に”全米木構造の設計仕様書(National Design Specification for Wood Construction)として公表された。

1977年に導入された商業サイズのデイメンジョンランバーについての予備的なデータに基づいた製材の引っ張りにおける設計値が変更された。数値の削減は幅の広いセレクトストラクチャルのグレードで20%のオーダーであり、その他のすべてのグレードについても40~50%にも及ぶものであった。

1991年には、引っ張りの設計値はイングレード試験結果に基づいて修正され、サイズの影響は確認されたけれども一般に1977年に設定されたものよりは高くなった。木理平行方向の圧縮の設計値もすべての樹種、グレード及びサイズについて増加された。曲げにおける結果は区々であって、一部の樹種では高くなり、他の一部の樹種では小さくなった。

一般に、アメリカにおけるカナダ産材の設計値は、D. Fir-L(北部産)を除いてすべて高くなった。カナダ産の樹種グループはデイメンジョンランバーの4種の樹種グループ(S-P-F、D. Hem-Fir(北部)、D. Fir-L(北部)、及び北部産樹種の4グループに単純化された。

カナダ産のD. Fir-L及びHem-Firは”北部(North)”という表示をグレードマークに付けることによってアメリカ産の相当する樹種グループと区別された。S-P-Fはやはり”南部(South)”とグレードマークに表示したアメリカ産のグループと区別された。北部産樹種はカナダ産樹種のその他の樹種に含まれて構造用として使われることは殆どなかった。

### 1 2. 2 アメリカの建築コード及び規格

#### 設計上の要求

A F P A (American Forest and Paper Association, 旧 NFPA) によって公表された”木構造のための全国設計仕様書(National Design Specification for Wood Construction (NDS))”は建築に使われる製材についての設計要求を含むアメリカの重要な仕様書である。

NDSはアメリカのすべてのモデルコード及び建築基準に引用されており、設計者には

設計要求についての重要な基準として認められている。最近ではNDSはアメリカ規格局（ANSI）によって全米規格（American National Standard）として承認されている。

NDSは設計許容応力についての仕様書である。カナダではこれは一般に”作業応力設計”と呼ばれている。もう1つの設計仕様は、AFPAとASCE（American Society of Civil Engineers）の共同プロジェクトで開発したもので、信頼度ベースの方式で、アメリカでは”Load and Resistance Factored Design (LRFD)”と呼ばれている。このプロジェクトは1994年に完了となっている。

NDSの付表には製材を含む色々な木材製品の設計値が表に示してある。設計値はカナダのNLGAを含む7つの規格機関によって公表されたグレーディングルール、から得られたものである。これらのグレーディングルール及び設計値はアメリカ製材規格検討委員会（American Lumber Standards Board of Review）によって承認されており、この機関は商務省の自主製品規格PS 20-70”American Softwood Lumber Standard”のもとで承認を与える権限を持っている。

#### サイズとグレードについての要求

自主製品規格PS 20-70は製材についての統一したサイズとグレードを定めている。これらの統一要求はアメリカ及びカナダのすべての規格制定機関によって採用されている。この規格はグレーディングルールに基づいた設計値の開発についてASTMの規格を適用するという一貫した根拠を持っている。

この規格はまた含水率の状態によって異なったサイズ要求を設定することによって製造時における含水率の問題を解決している。未乾燥材の製造のためのサイズは、製材を乾燥して収縮した後に同じサイズになるように設定されている。

#### 試験及び分析の要求

ASTMはD7（木材）委員会のもとで2セットの製材の試験及び分析の規格を持っている。第1のセットは無欠点小試験片による試験を取り扱っている。第2のセットはフルサイズの試験を取り扱っている。

”無欠点小試験片による標準試験方法”はASTM D143というタイトルである。アメリカ及びカナダの樹種についての代表的なデータはASTM D2555”無欠点材の強度値の設定”で公表されている。ASTM D2555はこのデータの解釈についての資料を含んでいる。ASTM D245”目視格付けのセイメンジョンランバーの構造用グレード及び関連する許容性能の設定”は無欠点小試験片のデータを表にした設計値に変換する方法を定めている。

無欠点小試験片による方法は製材の剪断及び木理直角方向の圧縮などの性質に使われる

ばかりでなく、テインバー（大角材）などフルサイズの試験データが制約されている製品にも使われる。

フルサイズの試験の基準はASTM D4761”製材及び構造用木質材料の機械的性質に関する標準試験方法”及びD198”構造用サイズの静的試験の標準試験方法”に含まれている。フルサイズの製材のデータを表にした設計値に変換するのに役立つ規格は、D1990”フルサイズの試験片によるイングレード試験から目視格付けデイメンジョンランバーの許容性能を設定する方法”である。この最後の規格は、アメリカにおけるイングレード試験結果の受け入れについての主要な文書である。

## 1 2 . 3 目視格付けのデイメンジョンランバーの設計値

### 許容応力設計の様式

許容応力設計の基本原則は規定荷重を安全係数を伴った強度値と比較することである。したがって強度要求は次の式によって満足される：

$$\text{強度} \div \text{削減係数} \geq \text{規定された荷重の影響}$$

削減係数はA S T Mの規格に規定されるとおり、典型的には針葉樹製材については次の通りである：

曲げ	2 . 1
引っ張り	2 . 1
木理平行方向の圧縮	1 . 9
木理直角方向の圧縮	1 . 6 7
剪断	4 . 1

これらの係数は安全係数と荷重期間についての係数を含むものと理解されている。削減係数を付けた荷重期間は” Normal”（正常な）荷重期間と呼ばれており、フロアーにおける居住荷重に対応するものである。

過去においては、ノーマル荷重期間は10年間継続と同じになっていた。Madisonの伝統的な曲線を使ってのこの荷重期間は削減係数が1.6であることを示している。このことは削減係数の多くが荷重期間によるもので安全のためではないことを示している。

より最近においては、適用される荷重の期間及び Madison の曲線の両方が再検討されてきている。最大の居住荷重の持続期間は10年というよりはむしろ1ヵ月か2ヵ月と考えられてきている。同時に、製材についてのフルサイズの荷重期間の試験では Madison のカーブは2、3ヵ月の荷重期間ではあまりにも内輪にでるということを示している。

この資料に基づくと、ノーマルな荷重期間での削減係数の荷重期間の分は1.6というよりは1.25に近いということになる。

剛性については、基本的には削減係数はない。製材の剛性の平均値は、歪みについては色々な使用条件の基準で短期間の規定された荷重の影響よりも大きくなるように設定されている。



## 荷重と抵抗性を係数化した設計

信頼度ベースの設計を様式化したLRFDの仕様書はカナダの状況制限設計のアプローチと同様のものである。強度要求は次の式によって満足される：

係数化した抵抗性 $\geq$ 係数化した荷重の影響

式の抵抗性の側は抵抗性の係数（ $\phi$ ）、時間の影響、その他適用すべき条件によって修正される。

時間の影響の係数は上記の荷重期間についての資料を反映したものであって、カナダのエンジニアリング規格CAN/CSA-086.1で使っている荷重期間の係数と非常に近いものである。

荷重の係数はASCE 7-88”建築物その他の構造の最小設計荷重”に基づいたもので、カナダのLSDの荷重係数とは僅かに異なっている。

使用性能要求については、製材の平均剛性は歪みについて規定された荷重の影響を上回るように設定されている（許容応力設計と同様）。

## 特性値

曲げ、引っ張り及び木理平行方向の圧縮のデimeンジョンランバーの特性値は、イングレード試験のデータを使ってASTM D1990によって求めた。剪断及び木理直角方向の圧縮並びに弾性係数についてはASTM D245の方法を使った。

目視格付けのデimeンジョンランバーのイングレードの特性値は、データを長さ12フィート（3.66m）で共通のサイズ2x8（38x184mm）に調整し、含水率15%の条件に調整したデータに基づいたものである。強度的性能の特性値は許容限度95%、信頼度75%で設定されており、平均値ベースの性質については平均値と定義している。

特性値はセレクトストラクチャル及びNO2のグレードについて設定しており、他のグレードについてはこれらの値から求められている。

次の式がすべてのサイズのデータを特性値のサイズに調整するのに使われた：

$$F_2 = (W_1/W_2)^w (L_1/L_2)^1 F_1$$

ここで、 $F_1$  = 試験サイズでの性質の値

$F_2$  = 特性値

$W_1$  =  $F_1$ での幅

$W_2$  =  $F_2$ （184mm）での幅

- $L_1$  =  $F_1$ での長さ  
 $L_2$  =  $F_2$  (3.66 m)での長さ  
 $W$  = 曲げ及び引っ張りでは0.29  
       = 木理平行方向の圧縮では0.13  
       = 弾性係数では0  
 $l$  = 曲げ及び引っ張りでは0.14  
       = 木理平行方向の圧縮及び弾性係数では0

## 曲げ

カナダのコードでは曲げのデータの調整に、曲げにおける幅のパラメータに0.29、長さのパラメータに0.14を使っており、幅及び長さのパラメータ0.23とは変えている。

曲げにおける特性値は次の通りである：

		曲げ $F_2$ (MPa)	曲げ $R_{0.5}$ (MPa)
S-P-F	セレクト	22.07	22.29
	No 2	15.46	15.76
Hem-Fir	セレクト	23.03	23.54
	No 2	17.71	18.03
D-Fir-L	セレクト	24.08	24.66
	No 2	14.78	14.90

平均してカナダ材の特性値はアメリカと比較して7%低い。この相違は一部にはカナダで使っている標準長さ(3.0 mに対して3.66 m)の選択の相違によるものであり、一部はアメリカでの許容限界の採用、及びカナダで使っている信頼度分析の方法によるものである。

## 引っ張り

カナダでは引っ張りのデータの調整に、幅のパラメータ0.29、長さのパラメータ0.14(幅及び長さで0.18を使っているのと対照的)を使っている。

引っ張りの特性値は次の通りである：

		引っぱり $F_2$ (MPa)	引っぱり $R_{0.5}$ (MPa)
S-P-F	セレクト	12.25	12.38
	No2	7.94	8.07
Hem-Fir	セレクト	13.77	14.08
	No2	9.97	10.09
D. Fir-L	セレクト	14.76	14.90
	No2	9.05	9.21

平均してカナダ材の特性値はアメリカのものよりも6%低い。曲げの場合と同様にその差はサイズの係数、標準長さの選択、許容限界及び信頼度分析によって説明される。

### 木理平行方向の圧縮

カナダでは、圧縮における幅のパラメーター0.13、長さのパラメーター0を使って（アメリカでは幅も長さも0.13）圧縮のデータを調整している。

圧縮の特性値は次の通りである：

		圧縮 $F_2$ (MPa)	圧縮 $R_{0.5}$ (MPa)
S-P-F	セレクト	19.62	19.79
	No2	16.15	16.38
Hem-Fir	セレクト	23.35	23.64
	No2	20.24	20.41
D. Fir-L	セレクト	26.60	26.92
	No2	19.92	20.13

平均してカナダ材の特性値はアメリカよりも2%低い。木理平行方向でのサイズのパラメーターが小さいので、その差は主としてアメリカで使っている許容限界及びカナダで使っている信頼度分析によるものである。

### 弾性係数

弾性係数に使っている平均特性値は次の通りである：

		Eの平均値 (MPa)
S-P-F	セレクト	10440
	No2	9618

Hem-Fir	セレクト	11980
	NO2	11045
D. Fir-L	セレクト	12810
	No2	11020

平均してカナダ材の平均のEの値はアメリカより約1%高かったのみである。これはASTM D2915が荷重方式のためにやや高い調整を許しているためである。

### 剪断

剪断の特性値はサイズやグレードに関係なくASTM D245から求めた。5thパーセンタイルの値を修正する係数は乾燥のための1.08と、割れまたは干割れのための0.5で、結果は次の特性値となった：

	<u>剪断のF<sub>2</sub> (MPa)</u>
S-P-F	1.977
Hem-Fir	2.104
D. Fir-L	2.640

これらの特性値はカナダで使っているものよりも高いと思われるかもしれないが、許容応力設計に使われる削減係数(4.1)が大きいので、その差を相殺する以上のものである。

### 木理直角方向の圧縮

木理直角方向の圧縮の特性値はサイズやグレードに関係なくASTM D245から求めた。特性値は0.04インチの歪みの時の平均応力の値を乾燥のための係数(1.5)で調整したもので、次の通りである：

	<u>木理直角方向の圧縮の特性値 (MPa)</u>
S-P-F	4.881
Hem-Fir	4.282
D. Fir-L	8.057

これらの値はカナダで使われているものと同じである。

## 表にした設計値の決定

NDSでは表にした設計値は、”特に指定しないかぎりノーマルな荷重期間で乾燥した使用条件での設計値”と定義している。製材の規格作製機関はそのグレーディングルールの中にその値を公表しており、同じ値がNDSのサプリメントにも”木構造のための設計値 (Design Values for Wood Construction) として載せられている。

設計値のシンボルは次の通りである：

<u>シンボル</u>	<u>設計性能</u>
$F_b$	曲げ
$F_t$	木理平行方向の引っ張り
$F_c$	木理平行方向の圧縮
$F_v$	剪断
$F_{c\perp}$	木理直角方向の圧縮

設計値を決定するには、強度的性能に影響する共通の調整係数を選ぶ根拠についての合意が必要である。サイズの調整には多くの規格作製機関が共通の最も幅の広いサイズ、すなわち2 x 1 2 (38 x 286 mm) をベースとして値を決めることに合意している。これはカナダでの決定と調和したものである。

荷重期間は依然として Madison の曲線とそれに関連する仮定をベースとしている。したがって、前述の削減係数がノーマルな荷重期間についての設計値に使われている。

カナダの製材の設計値はN o 1 グレードがN o 2 グレードと同じに設定されており、カナダ規格でも同様である。セレクト、N o 1 及びN o 2 以外のグレードについては、設計値はASTM D1990で説明しているグレードのモデルから求められている。

他の詳細については以下に性質ごとに論ずることとする。

### 曲げ

特性値は先ず各試験サイズの個体群についてサイズを標準化した値に調整した(スパン/深さの比は17:1)。これらのサイズを調整した値はその後ASTM D1990にしたがって、各試験個体群ごとに信頼度限界75%以上でチェックした。もしもサイズ調整後の値が信頼度限界を越えていた場合は、特性値はそれが解決する条件にまで削減された。

次に、解決した特性値は規定された幅及び長さ調整した。次のようなサイズが規定されている：

<u>幅 (mm)</u>	<u>長さの基本 (mm)</u>
89	3658
140	3658
184	3658
235	4623
286	6096

規定されたサイズの調整された値は、それから各試験個体群ごとに5 t hパーセンタイル推計に対してチェックした。ポイントがオーバーしていた場合は、特性値は再び条件が満たされるように削減した。

このプロセスが完了してから、特性値を使って、幅12インチ(286 mm)、長さ20フィート(6096 mm)についての”基本値(Base value)”を設定するのに使った。基本値は曲げについては2.1の削減係数で除してASTM D1990の規定にしたがって括約した。

曲げについての規定されたスパン/深さの比は、38 x 184 mmについての20:1から38 x 89 mmについての41:1までである。38 x 89 mmについての曲げ設計値の10%を越える削減はこの長さの調整からきている。5 t hパーセンタイル推計に対するデータチェックではそれ以上の削減もある。一般に、アメリカで製材に設定されている曲げの設計値は、同じベースで比較するとカナダで設定されているものよりも内輪になっている。

### 引っ張り

引っ張りにおける表にした設計値の値を決定する手続きは曲げの場合と大体同じである。特性値はサイズについて調整されてから75%以上の信頼度限界に対してチェックする。もしも値が信頼度限界を越えていた場合は、特性値を条件にあうように下方修正する。

それから特性値は曲げと同じように幅と長さについて調整し、5 t hパーセンタイル推計に対してチェックする。

結果として得られた幅12インチ(286 mm)の値を2.1で割って括約する。

引っ張りにおける試験片は特性値の決定に使った長さと同幅に近い長さ/幅の比で試験する。その結果、引っ張り設計値の設定に使うサイズの調整は曲げの場合程は結果を削減しないことになる。アメリカで設定されているカナダ材の引っ張りの設計値はカナダで設定されているものと大体同じである。

## 木理平行方向の圧縮

木理平行方向の圧縮の設計値の設定の手続きは曲げや引っ張りの場合と同様であるが、長さの影響はないものとする。そして削減係数は2.1でなくて1.9である。

アメリカでは長さの調整は設計値に影響しないので、アメリカでカナダ製材について適用している基本設計値はカナダのものと同じである。しかしながら、カナダでの柱の数式に使っている長さの調整は両者の間に僅かな相違をもたらしている。

## 弾性係数

表にした弾性係数の値は特性値と同じにしてある。ASTM D1990の規定にしたがって数値を括約してある。

## 剪断

表にした剪断の値は剪断の特性値と同じであるが、削減係数4.1で割ってASTM D245にしたがって括約してある。

## 木理直角方向の圧縮

表にした木理直角方向の圧縮の値は、特性値を削減係数1.67で割って括約したものである。

## 調整係数

NDSの1991年版では表にした設計値を調整して許容設計応力を決定する方程式を採用している。式の一般形は次の通りである：

$$F' = F (C_i) (C_j) \dots (C_n)$$

ここで、 $F'$  = 許容設計応力  
 $F$  = 表にした設計値  
 $C \sim C_n$  = 適当な調整係数

荷重期間の係数は、木理直角方向の圧縮及び弾性係数を除いてすべての性質に対して適用される。荷重期間の調整は伝統的な Madison の曲線に基づいている。フロアーの居住

荷重については係数は1.0である。屋根の等布荷重については係数は1.15である。

サイズの係数は設計値の設定に使った規定長さを使ってサイズ調整の式から求めた。

反復メンバーあるいは荷重分担の係数は、ジョイスト、トラスの弦材、ラフター、スタッド、デッキングなどのメンバーで24インチ(610mm)以上離れており互いに荷重を支持しているメンバーのの曲げ強度に適用できる。

平らに使用する場合の係数も幅広い表面で荷重を支える製材の曲げ強度に適用できる。

## 12.4 他の製材製品についての設計値

### 機械応力格付け製材(MSR製材)

機械応力格付け(MSR)製材についての曲げ、引っ張り、木理平行方向の圧縮及び弾性係数についての設計値は、樹種というよりはグレードをベースとして決定された。その他の性質(剪断及び木理直角方向の圧縮)については樹種をベースとして決定した。

表にした曲げの値はMSRの品質管理試験で確認された5thパーセンタイルの値を係数2.1で割った値と等しい。これらの5thパーセンタイルの値はグレードの特定に使った”f”の値(たとえば、2100f-1.8Eのグレードで2100psi)に相当するように設定された。

同様に、弾性係数の設計値は、MSRの品質管理試験で確認したMOEの平均値に等しい。この場合もMOEの値はグレードの特定に使った”E”の値(2100f-1.8Eのグレードで $1.8 \times 10^6$ psi)に相当するように設定した。

引っ張りの設計値は曲げの値との関係でスライディングスケールで設定された。引っ張りの値は900f-1.0Eのグレードで曲げの値の0.39から3300f-2.6Eのグレードの0.80の範囲である。ある場合には、引っ張り強度は5thパーセンタイルの確認のために工場モニターした。

木理平行方向の圧縮の設計値は、以前には曲げの値に対する固定比0.80で設定されていた。これは5thパーセンタイルの値の間の比0.72に対応するものである。それは圧縮の削減係数が僅かに1.9であるからである。

より最近における圧縮のデータは目視グレードでもMSRグレードでも過小に評価していることを示している。MSRのデータは、圧縮強度を標準のMSRグレードの曲げ及び平均のEに関連させるのに使われた。結果は多くのグレードで圧縮の値が増加した。しかし2400f-2.0Eよりも高いグレードでは若干減少した。圧縮/曲げの設計値の比は低いフレードのもので1.18、高いグレードのもので0.70になった。

剪断及び木理直角方向の圧縮の値は目視格付けの製材と同様の方法で決定された。



## ティンバー

ティンバーの設計値はアメリカではイングレード試験に影響されていない。設計アプローチは無欠点小試験片の試験データによっており、許容設計値についてはASTM D2455によっている。

ティンバーの設計値には変化はなかったため、デメンジョンランバーの値の変化は製材の厚さの差による若干の不連続性をもたらした。たとえば、D. Fir-L（北部）のNo1グレードの4x10の製材の許容曲げ強度（990 psi）は、No1グレードの6x10のティンバー（1350 psi）では36%増となった。それと対照的に、S-P-FのNo1グレードの4x10の製材の許容曲げ強度（1050 psi）はNo1グレードの6x10のティンバー（900 psi）では14%の減少となった。

この不連続性は、設計値を求めるのに使ったデータベースの相違、グレード要求の相違、及びティンバーの値が小さいサイズについて内輪に設定されていることなどを反映したものである。しかし、将来は設計値を合理化する必要がある。

## デッキング

デッキングの値もアメリカではイングレード試験による変化はなかった。個の場合も厚板のデッキングの設計値とフラットに使う場合のデメンジョンランバーの値との間に不連続性がでた。

### 12.5 将来の展開

アメリカの建築コード及び規格においてイングレード試験の結果を実施したことは製材の設計値の信頼度を著しく改善した。それはまた樹種、グレード、及びサイズの色々な強度性能に対する関係のより良い理解に繋がった。

カナダとアメリカの間でイングレード試験の結果を実施する方法には若干の相違がある。その例としては、設計値の設定に使うスパン／深さの比及び強度の値を試験していない製材に適用する方法の相違が含まれている。そのような相違は将来の規格の一貫性と合理性という見地から検討されなければならない。

荷重及び係数化した抵抗性についての設計方式の導入はアメリカにおける諸要求の合理化に役立つであろう。将来の展開としては、長期の製材の性質の保証プログラムについての考慮が含まれる。ASTM D7委員会は、資源が変化してきているかどうかを決定するモニター計画を評価する実行グループを設置している。