

平成9年度 農林水産省補助事業
技術開発研究推進事業
住宅部材安全性能向上等事業

住宅部材安全性能向上事業報告書 (集成材の強度性能評価事業)

平成10年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

木造の建築物は伝統的材料・技能に支えられて発展してきたが、大工技能の低下、新しい木質材料の開発、施工方法の合理化要請の強まり等の状況変化の中で、これに対応して安全性能を確保するための対策を講ずることが求められている。このため、木質部材及び構造の安全性、耐久性向上の確保のための技術開発をすることが重要となっている。

特に、近年、大規模木造建築物の建設が次第に増大する動きを示しているが、このような中でも接合部の構造設計法は、必ずしも標準化されていない状況にあり、安全に構造設計を進める観点から、そのような状況を改善することが急がれている。

本事業は、既往のデータを収集するとともに、実験によってデータを整備することを通じて、大規模木造建築物における集成材等の接合部の力学的性能とその試験法の標準化を図ろうとするものである。

多忙な中で、精力的に討議・執筆していただいた委員各位のご尽力に対して厚くお礼を申し上げます。

平成10年3月

(財) 日本住宅・木材技術センター

理事長 岡 勝 男

執筆者

(敬称略)

- 第1章 木質接合部の初期「あそび」に関する実験 : 槌本敬大
第2章 木栓接合部のせん断実験 : 稲山正弘、岩崎敏之
第3章 集成材接合部の終局耐力およびじん性評価のための資料の収集 : 安村 基
第4章 複合応力を受ける集成材梁継手の剛性・耐力評価式の検討
: 小松幸平、小塚裕一、鈴木 基
第5章 集成材ボルト接合の繊維方向と加力方向のなす角度の影響に関する実験
: 大橋好光
第6章 接合部の標準試験法 : 河合直人
第7章 接合具荷重－変形関係のデータベース化 : 原田真樹
第8章 まとめ及び今後の対応 : 小松幸平

集成材接合強度委員会 委員名簿

(五十音順、敬称略)

委員長	小松 幸平	京都大学木質科学研究所 助教授
委員	稲山 正弘	(株)稲山建築設計事務所 代表取締役
〃	岩崎 敏之	日本建築専門学校 教授
〃	大橋 好光	東京大学大学院工学系研究科 助手
〃	河合 直人	建設省建築研究所認証システム研究室 室長
〃	金子 吉汪	日本集成材工業協同組合 専務理事
〃	小塚 裕一	(株)竹中工務店東京支店 課長代理
〃	鈴木 基	齋藤木材工業(株)取締役設計部長
〃	槌本 敬大	東京大学大学院農学生命科学研究科 助手
〃	難波 三男	三井木材工業(株)開発研究所 副主任研究員
〃	原田 真樹	森林総合研究所木材利用部接合研究室 研究官
〃	安村 基	静岡大学農学部森林資源科学科 助教授
事務局	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究部長
〃	鴛海 四郎	(財)日本住宅・木材技術センター主任研究員
〃	林 晃正	(財)日本住宅・木材技術センター主任研究員

要約

大規模な集成材構造建築物の接合部の強度性能評価を目的として、下記項目について実験を中心にした検討を行った。

- ①集成材接合部の終局耐力およびじん性評価
- ②初期ガタを含む接合部実験による接合部剛性評価法の検討
- ③木ダボ接合部のせん断実験による接合部設計法の検討
- ④複合応力を受ける集成材梁継手の剛性・耐力評価式の提案
- ⑤合せ梁接合部設計法の検討
- ⑥接合部の標準試験法の提案
- ⑦接合具の荷重－変形データベースの整理

キーワード

大規模集成材建築物、木質接合部、初期「あそび」、モーメント抵抗、合せ梁型接合、木栓、ボルト接合、鋼板ガセット、ドリフトピン、ラグスクリュー、鋼板挿入、鋼板添え板、静的載荷試験、動的載荷試験、強制振動試験、4点曲げ試験、摩擦剛性、表面ひずみ、めり込み剛性、複合応力、スリップ、目切れ、径長比、ISO、CEN、データベース、ナラ材、

目 次

第1章 木質接合部の初期「あそび」に関する実験

1	実験の目的	1
2	試験体及び実験方法	
2.1	モーメント抵抗型集成材接合部試験体	2
2.2	静的載荷試験	5
2.3	動的載荷試験（強制振動試験）	7
2.4	自由振動モーダル解析	8
3	静的水平載荷試験結果と考察	
3.1	水平荷重と変形挙動について	9
3.2	初期「あそび」量、摩擦剛性、最大耐力の評価	19
3.3	接合具間の集成材表面ひずみ	21
4	強制振動試験の結果および考察	32
5	自由振動のモーダル解析	36

第2章 木栓接合部のせん断実験

1	試験の概要	42
2	木栓単体の曲げ試験	
2.1	試験体	43
2.2	試験方法	44
2.3	試験結果	45
2.4	考察	49
3	木栓接合部のせん断試験	
3.1	材種	50
3.2	試験体	50
3.3	試験体記号	51
3.4	試験方法	51
3.5	試験結果	52
3.6	考察	107
4	試験値と理論値の比較	
4.1	理論値の計算	108
4.2	試験値と理論値の比較表	110
4.3	試験値と理論値の比較に関する考察	111

第3章 集成材接合部の終局耐力およびじん性評価のための資料の収集

(1) 集成材ボルト・ドリフトピン接合部の正負繰り返しせん断試験

1	緒言	112
---	----	-----

2	試験体	112
3	試験方法	112
4	結果と考察	112
5	文献	113

(2) 繊維直角方向の加力を受ける集成材ボルト接合部の破壊の解析

1	緒言	133
2	試験体及び解析方法	133
3	解析結果	133
4	参考文献	133

第4章 複合応力を受ける集成材梁継手の剛性・耐力評価式の検討

1	はじめに	137
2	鋼板添板ラグスクリュー接合継手の剛性・耐力推定式の誘導	
2.1	対象とする鋼板添板継手の定義	137
2.2	中立軸の位置 λ の決定	138
2.3	継手の回転剛性 R_j の誘導	143
2.4	継手の最大モーメントの推定式	145
2.5	4点曲げ試験におけるスパン中央のたわみ推定	145
2.6	鋼板添板に作用する初期圧縮軸力の算定	147
2.7	継手試験体の荷重-たわみ関係の数値計算手順	148
3	実験	
3.1	曲げ試験方法	149
3.2	接合部の仕様	149
3.3	変位計等の配置	152
4	結果および考察	
4.1	ラグスクリュー接合試験体における木口面での相対開き	155
4.2	鋼板-集成材間のすべり変位	157
4.3	導入軸力の試験期間中の推移	159
4.4	荷重-たわみ関係の実測値と理論計算値の比較	161
4.5	ラグスクリュー接合試験体の終局状態	164
4.6	ドリフトピン接合試験体における木口面での相対開き	165
4.7	鋼板ガセット-集成材間の相対回転角	167
4.8	ドリフトピン接合試験体における荷重-スパン中央たわみ関係	169
4.9	最大耐力および終局状態	171

第5章 集成材ボルト接合の繊維方向と加力方向のなす角度の影響に関する実験

1	実験の目的	174
2	実験方法	
2.1	試験体	175
2.2	加力装置と加力方法	175

2. 3	測定方法	175
3	実験結果	
3. 1	荷重変形曲線	178
3. 2	結果の検討	193
3. 3	解析方法	195
3. 4	解析と実験	197
4	まとめ	200

第6章 接合部の標準試験法

1	接合部の試験法を定めた内外の規格類	201
2	標準試験法の概要の提案	
2. 1	接合部の単調加力試験	202
2. 2	接合具の曲げ試験	204
2. 3	めり込み試験	205
2. 4	接合部の繰返し加力試験	206
3	今後の検討事項	207

第7章 接合具荷重－変形関係のデータベース化

1	はじめに	208
2	研究方法	
2. 1	降伏荷重推定法	208
2. 2	適用データ	209
3	結果および考察	
3. 1	全体的な傾向	210
3. 2	実際の応力－めり込み変形量曲線と推定値との関係	212
3. 3	最大耐力に対する各推定値の比率	214
3. 4	径長比の影響	216
4	まとめ	218

第8章 まとめ及び今後の対応

219

第1章 木質接合部の初期「あそび」に関する実験

1 実験の目的

集成材接合部の剛性を予測し、その荷重－すべり関係を標準化をすることが現在の最重要課題である。その荷重－すべり関係は接合具付近の木部に弾性的に応力がはたらいっている領域については、多くの研究者が様々な実験、理論解析に尽力してきた結果、現在ではかなり精度高く評価されることが可能になった。

しかし、部材に弾性応力がほとんど作用しない微小載荷時に木質接合部特有の初期「あそび」が存在するか、あるいは施工当初に存在しなくても経年負荷に応じて生じてくることが知られている。この接合部の初期「あそび」は接合部の終局耐力に対してはともかく、一次設計における初期剛性に対しては大きな影響を及ぼし、荷重－すべり関係を把握する上で残された大きな課題の一つである。

現状では接合具と部材の先孔の寸法を等しくすることで、この初期「あそび」を無くし、或いは極力減らし、考慮に入れない設計法が一般的になっている。ところが、接合具と部材の先孔の寸法を等しくすることは、施工性と相反する関係にあることもよく知られている。このような理由から、接合部の初期「あそび」の挙動を標準化して設計に盛り込むことで、施工性との折り合いをうまく実現した接合部、もしくは接合部設計技術の開発が最終的な目標である。

本実験では木質接合部の初期「あそび」の挙動を実験的に明らかにすることを目的として、実大サイズのモーメント抵抗型集成材接合部試験体に対して動的載荷試験、静的載荷試験を実施してきた。昨年度までに実大接合部の静的、動的モーメント載荷試験を行った結果、「あそび」の有無は破壊荷重、破壊挙動に差異を与えることが認められたが、試験体数の点からも結論づけるには至らなかった。本年度は実大接合部の静的、動的モーメント載荷試験の結果の追加実験を行い、データの信頼性を確かめた。

なお、本文中で「あそび」という語を使用するが、一般に”ガタ”ともいわれているが、それと等しいものと考えていただきたい。あえてここで”ガタ”と呼ばないのは、その言葉が否定的なニュアンスを醸しだし、「あそび」が木質接合部の欠点であるという認識の上に立っていないからである。摩擦という物理現象が未だ学術的に明らかにされていない現在、ともするとそれが衝撃荷重の吸収性能など、木質接合部の利点にといえる可能性も否定できないからである。

2 試験体および実験方法

2. 1 モーメント抵抗型集成材接合部試験体

昨年度に引き続き、モーメント抵抗型集成材接合部を供試したが、形状については昨年度がL字状であったのに対し、接合箇所が主材端部から近いためにおこる（が、実際には大きな影響を及ぼさなかった）浮沈や、端部からの割裂への危惧を排除するために今年度は逆T字状とした。カラマツ集成材による主材（17プライ， $60 \times 600 \times 2000$ mm）および側材（15プライ， $60 \times 520 \times 2000$ mm）2体をボルトで接合することでモーメント抵抗型接合部試験体とした（図2-1）。

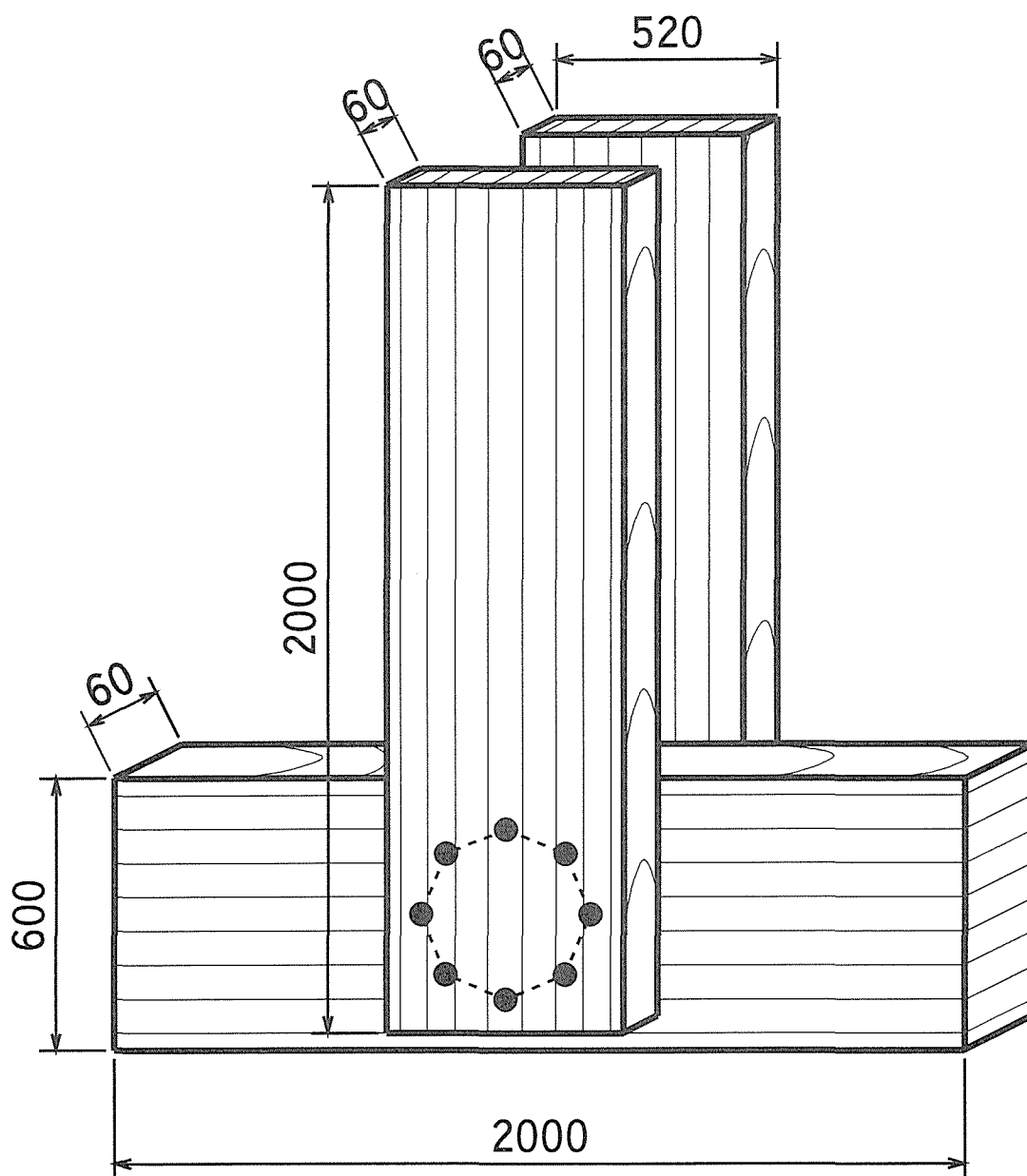


図2-1 試験体の概略

主材においては長軸方向中央、材上端から 260 mm の点を、側材においては材端から 50 mm、材縁から 260 mm の点を中心とした半径 180 mm の円弧上に 8 個の接合具を配し、主材と側材 2 体を接合した (図 2-2)。図中の「●」が接合具を配置した個所である。勿論、接合具 20 mm に対して端距離 7 d、縁距離 4 d を満たしている。

接合具には径 20 mm のボルト (M20) を用いたが、材との接触部分にはネジ山が存在しないものを用いた。

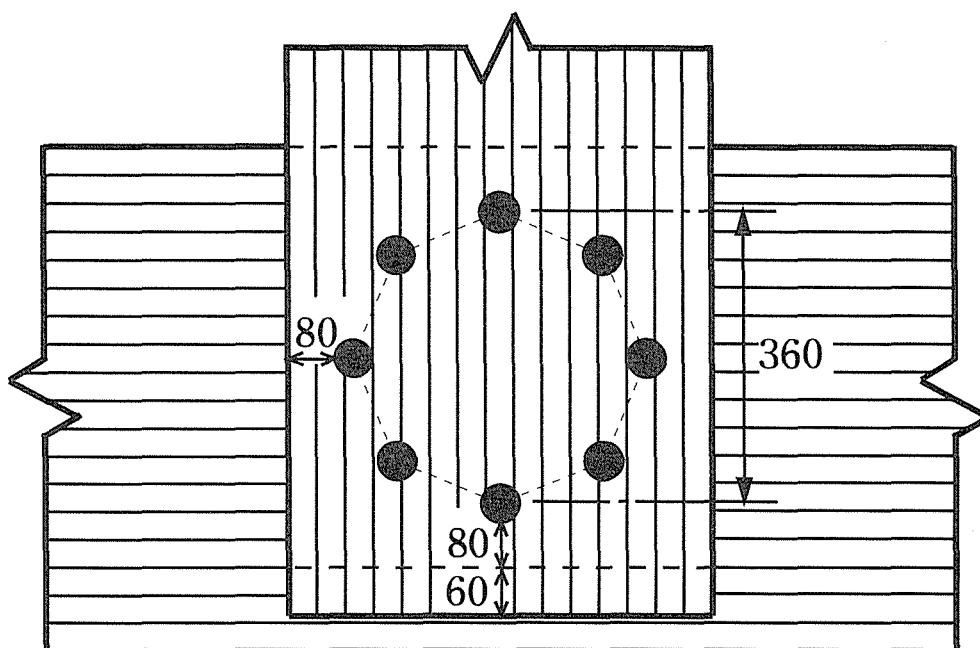


図 2-2 接合具の配置と位置関係の概略

ボルト径 20 mm に対し、ボルト先孔径 20, 21, 22 mm とすることで初期「あそび」 0, 1, 2 mm を設け、それぞれ試験体 C0, C1, C2 と称した (表 2-1)。さらに各々について 2 体ずつ試験を実施し、それぞれ試験体名を Cn-1, Cn-2 とした。

また、試験体に用いた部材の比重と応力波伝播速度法によって測定したヤング係数を表 2-1 に念のため併記しておく。

表 2 - 1 試験体の仕様と部材基礎物性値

試験体	接合具	形状	「あそび」 (mm)	ホルト径 (mm)	先孔径 (mm)	比重			ヤング率 (kgf/cm ²)		
						主材	側材①	側材②	主材	側材①	側材②
AP	アペリング	L	—	12	22	0.51	0.51	0.51	14.1	13.9	13.6
B0	ボ		0	20	20	0.53	0.49	0.49	15.3	12.6	13.7
B1			1	20	21	0.50	0.50	0.50	13.8	14.7	14.0
C0-1	ル	T	0	20	20	0.52	0.54	0.51	16.1	17.0	17.0
C0-2			0	20	20	0.53	0.53	0.54	16.8	15.4	15.5
C1-1	1		20	21	0.51	0.54	0.52	15.2	16.5	16.7	
C1-2	1		20	21	0.53	0.53	0.53	16.5	15.8	17.5	
C2-1	ト		2	20	22	0.52	0.52	0.52	17.2	15.8	16.1
C2-2			2	20	22	0.52	0.51	0.54	16.9	17.3	18.1

8年度
実施分

ここで、AP, B0, B1 については昨年度試験実施分であり、既に報告¹⁾してあるので、試験体の詳細は割愛するが、本報告の試験体 C0, C1, C2 と大きく異なるのは接合部が主材端部にあることと、主材、側材厚が異なることなどである。また既報¹⁾では、表中の B0, B1 はそれぞれ試験体 B, C と称していた。なお、AP はアペリングを使用した点でも異なる。

2. 2 静的載荷試験

前項において述べたモーメント抵抗型集成材接合部試験体に対して、正負繰返し静的モーメントを与え、このときの変形挙動および主材、側材にはいるひずみを測定した（図2-3）。

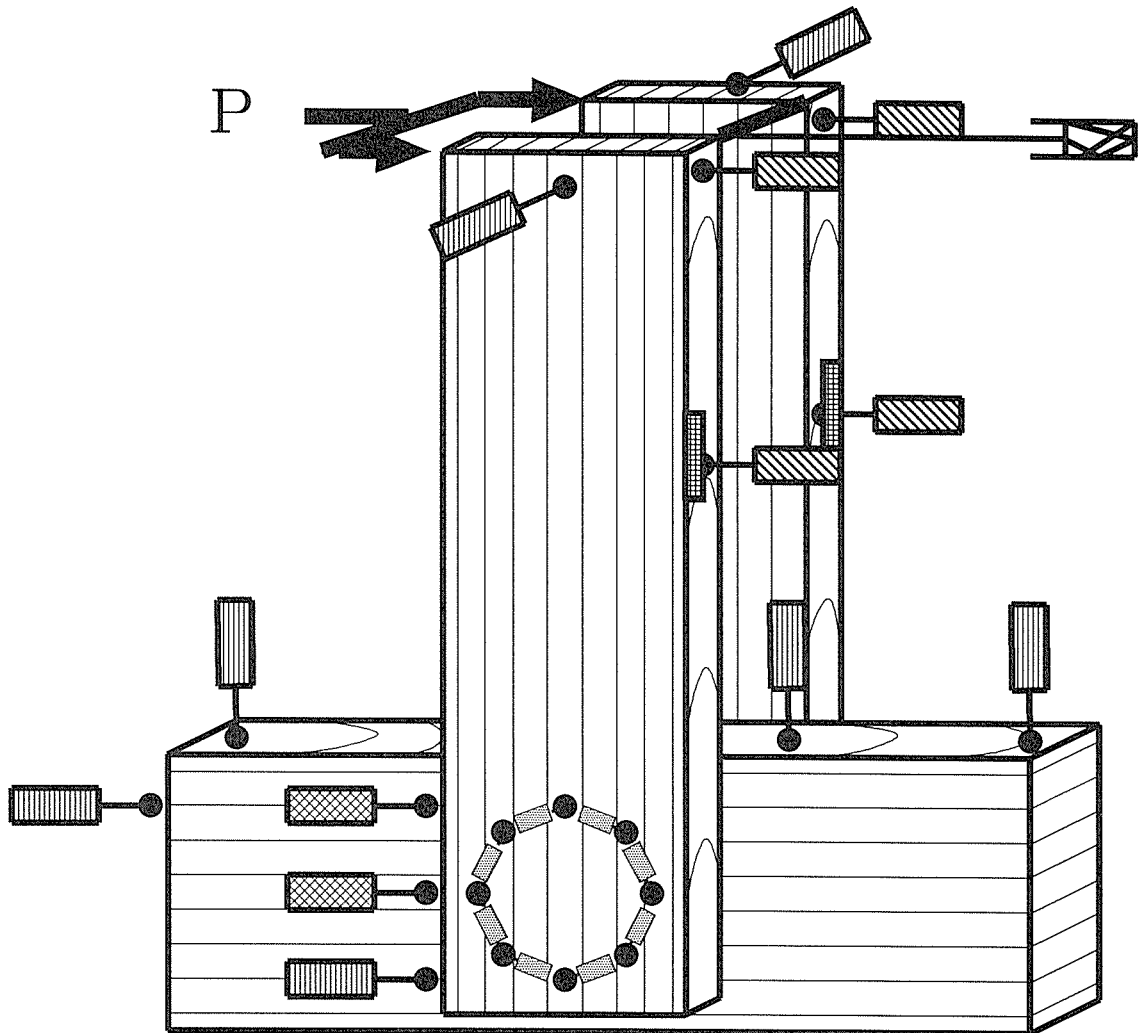








図2-3 静的載荷試験方法

- 但し、
-  変位計(CDP-100)
 -  変位計(CDP-50)
 -  変位計(CDP-25)
 -  巻き取り変位計
 -  ひずみゲージ(側材の長軸方向に対して対称の位置にも設置)
 -  ひずみベージ(側材Bの同位置にも設置)

主材を試験台に固定し、油圧ジャッキを用いて、同時に2本の側材上端部に載荷する（図2-3中の「P」）ことで、接合部に回転モーメントを与えた。載荷スケジュールは図中矢印の向きを負として側材頂部変位を接合具配置円の中心を基準とした見かけの回転角で制御し、 $+1/480 \text{ rad} \rightarrow -1/480 \text{ rad} \rightarrow +1/240 \text{ rad} \rightarrow -1/240 \text{ rad} \rightarrow +1/120 \text{ rad} \rightarrow -1/120 \text{ rad}$ まで載荷し、 $+2.3 \text{ tf} \rightarrow -2.3 \text{ tf}$ まで載荷した後、+方向（接合部が開く方向）で破壊に至らしめた。なお、面外への拘束は行わなかったが、面外への変位は僅かなものであった。なお、ボルトの締め付けトルクについては C_{n-1} については $900 \text{ kgf}\cdot\text{cm}$ とし、 C_{n-2} については $400 \text{ kgf}\cdot\text{cm}$ とした。

また、変位計の設置箇所は図2-3に示したが、側材下部3点は図中奥側の側材の同じ位置にも設置したことを示す。さらに、ひずみゲージ設置箇所も同図に示したが、側材中央板目面に描画されたものはそれぞれ側材長軸に関して対称の位置にも設置し、接合部表面に描画されたものは、いずれも奥側の側材の同じ位置に設置したことを示す。

2. 3 動的载荷実験（強制振動試験）

前々項において述べたモーメント抵抗型集成材接合部試験体の主材を試験台に固定し、2本の側材頂部に動的負荷を与えることで、接合部に動的回転モーメントを与えた（図2-4）。加振は側材頂部に渡したアルミ板上に約36 kgfの起振機を設置し、これによりスイープ加振を行った。このときの加速度、動的変位を測定した。

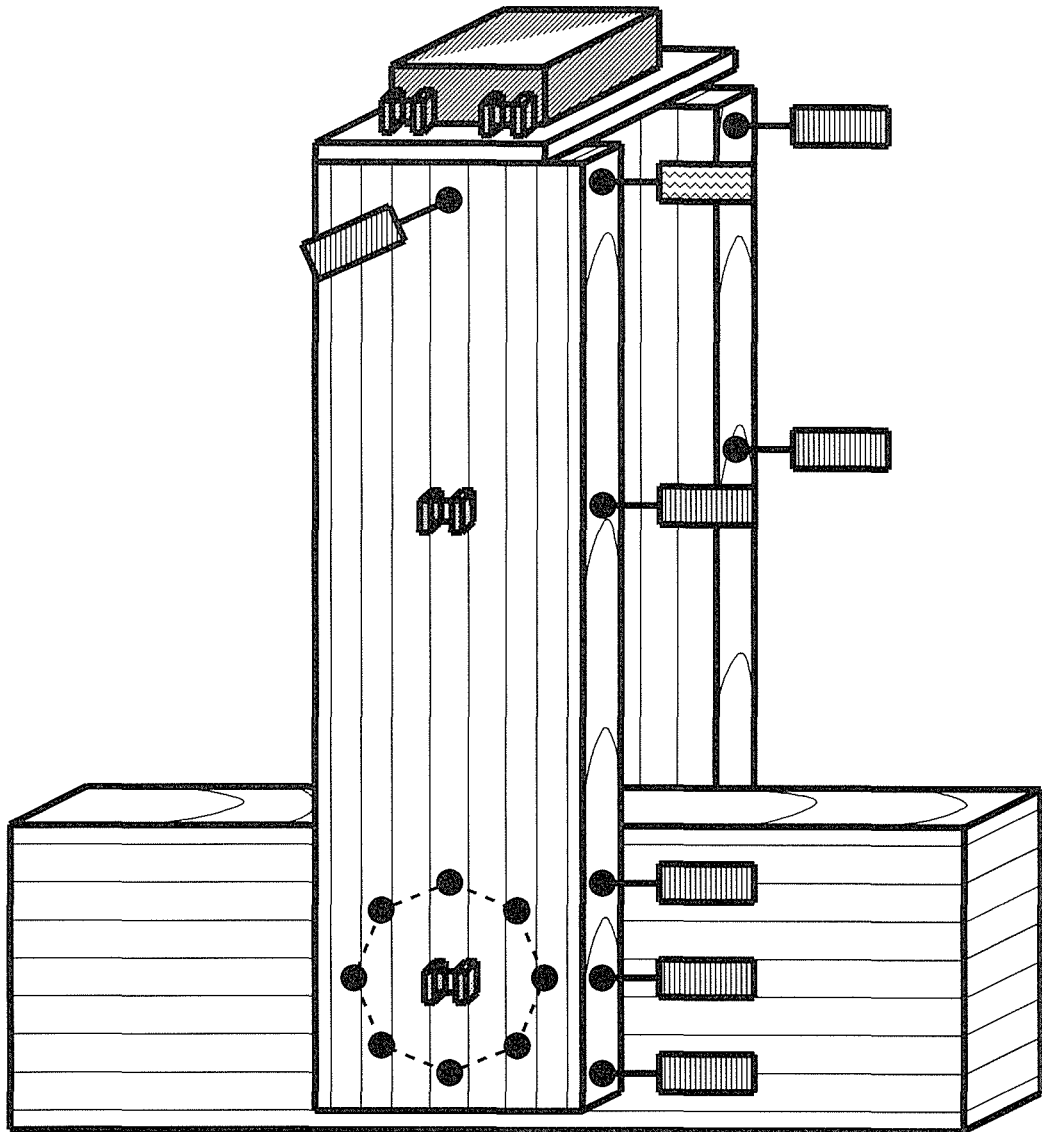






図2-4 振動実験方法

但し、

-  レーザ変位計
-  変位計(CDP-25)
-  サーボ型加速度計
-  起震機

2. 4 自由振動モーダル解析

前述のモーメント抵抗型集成材接合部試験体の主材を試験台に固定し、側材頂部に動的負荷を与えることで、接合部に動的回転モーメントを与えた（図2-5）。加振はロードセル内蔵型インパクトハンマーにて小打撃を与えることで、自由振動を励起した。このときの応答波を図2-5に示す各点に設置した圧電型加速度計で測定し、加振点との伝達関数を求めた。これにより、自由振動時の振動モード形状を得た。

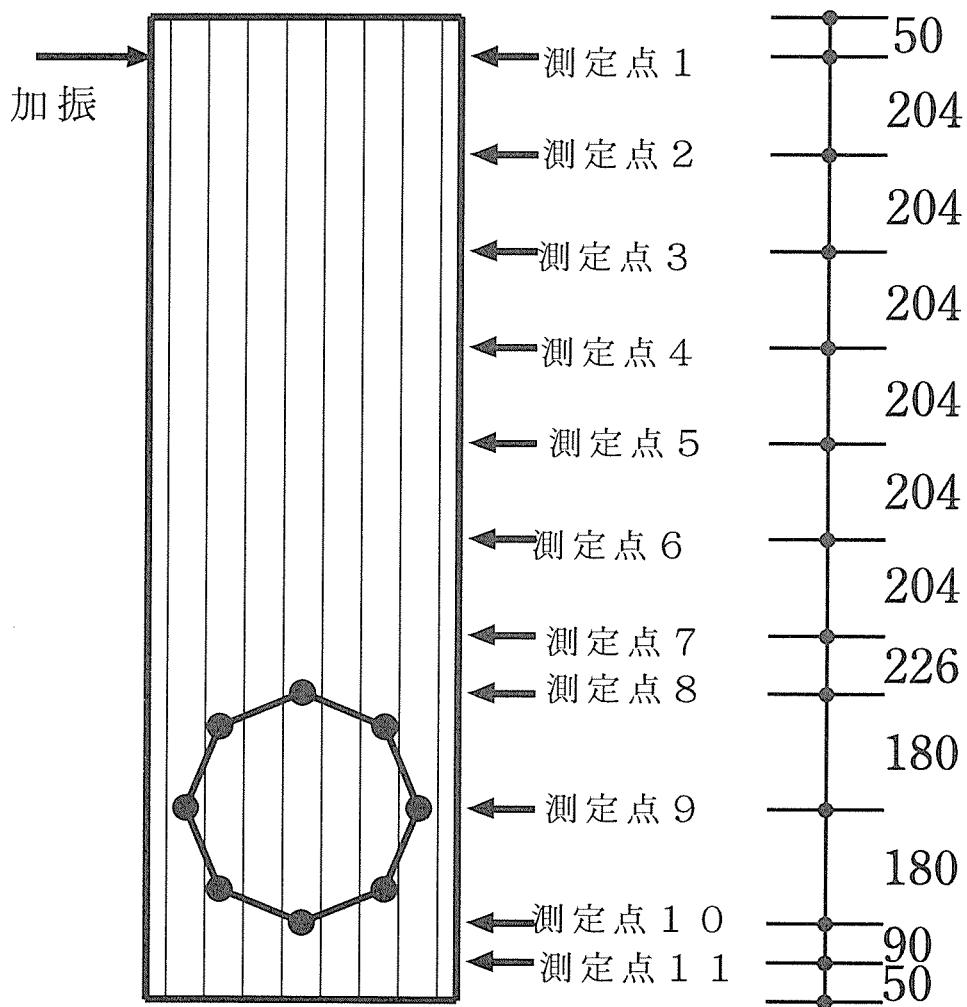


図2-5 自由振動モーダル解析測定点

3 静的水平載荷試験結果と考察

3. 1 水平荷重と変形挙動について

頂部水平変位と荷重の関係を各試験体について（C0-1：図2-6， C0-2：図2-7， C1-1：図2-8， C1-2：図2-9， C2-1：図2-10， C2-2：図2-11）示した。小荷重・小変形領域において初期「あそび」によるスリップが確認され、「あそび」量が増えるとその分スリップ領域も増大した。

次に、頂部の変形量 δt から側材の曲げ変形を次式(2-1)で除去し、接合部の真の回転変形角 γ を求めた。

$$\gamma = \delta t - \rho(1 - \cos\theta) / s \quad (2-1)$$

ここで、 ρ ：側材の曲率半径

θ ：側材を弧とする扇形の中心角

s ：接合具配置円の中心から側材頂部までの距離（= 1680 mm）

接合部の真の回転変形角を各試験体について（C0-1：図2-12， C0-2：図2-13， C1-1：図2-14， C1-2：図2-15， C2-1：図2-16， C2-2：図2-17）示した。接合部のスリップが0.005～0.01 rad程度生じているのが確認された。

さらに詳しく定性的な観察を行うため、各試験体における体荷重-微小変形領域での回転変形を各試験体について（C0-1：図2-18， C0-2：図2-19， C1-1：図2-20， C1-2：図2-21， C2-1：図2-22， C2-2：図2-23）示した。試験体C0-2， C1-2は締め付けトルクを400 kgf・cmとしたときのグラフであるが、変位の増加が滑らかなではなく、ある点で急激に変形が進み、締め付けトルク900 kgf・cmの試験体C0-1， C1-1と比して、滑らかなループを描かなかった。接合具にそれぞれ所定の「あそび」が含まれていると考え、それがボルトの全面に等価に存在すると考え、その「あそび」量を図中に点線で示した。その点線の前後でスリップを起こす「あそび」領域から「あそび」外の領域へ移行しているのが確認された。また、締め付けトルクが低いと「あそび」のスリップ荷重も低下した。

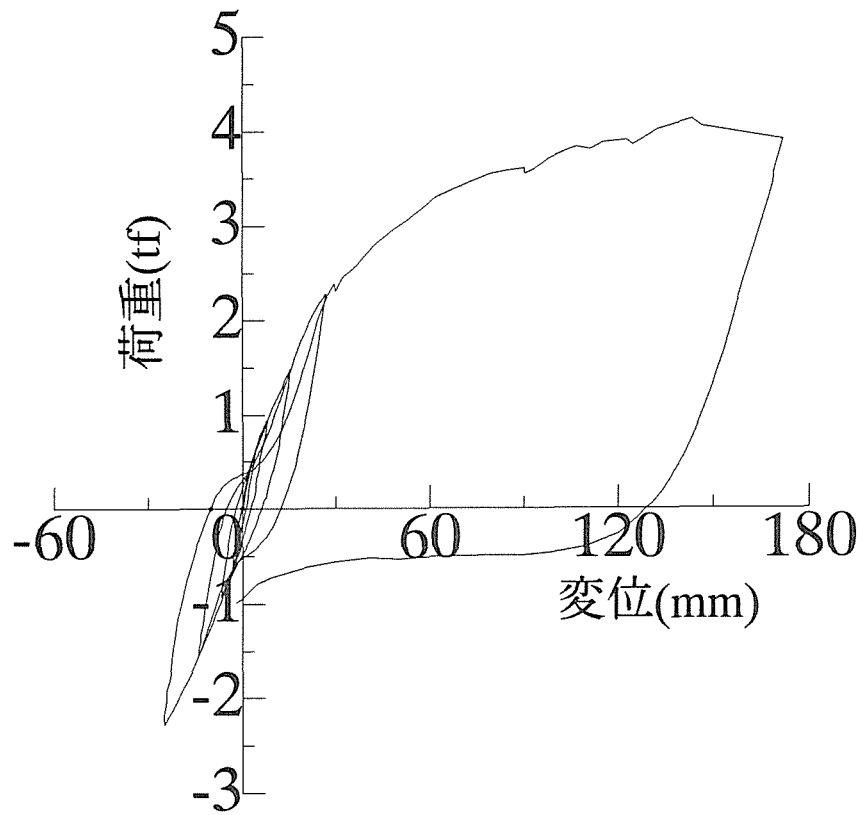


図2.6 試験体CO-1の荷重-頂部水平変位曲線

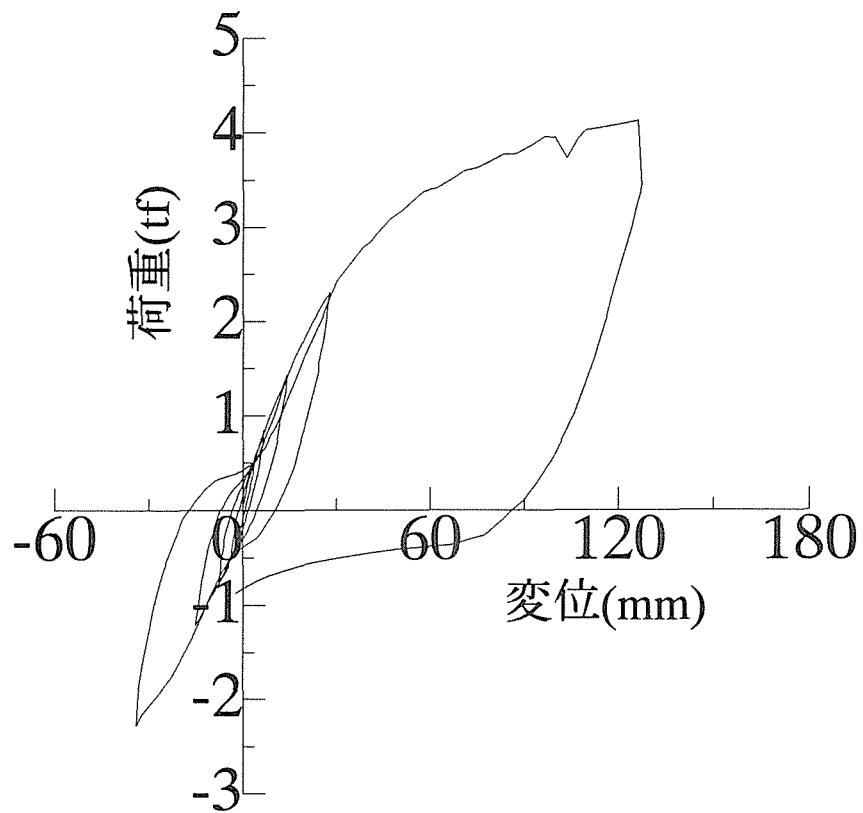


図2.7 試験体CO-2の荷重-頂部水平変位曲線

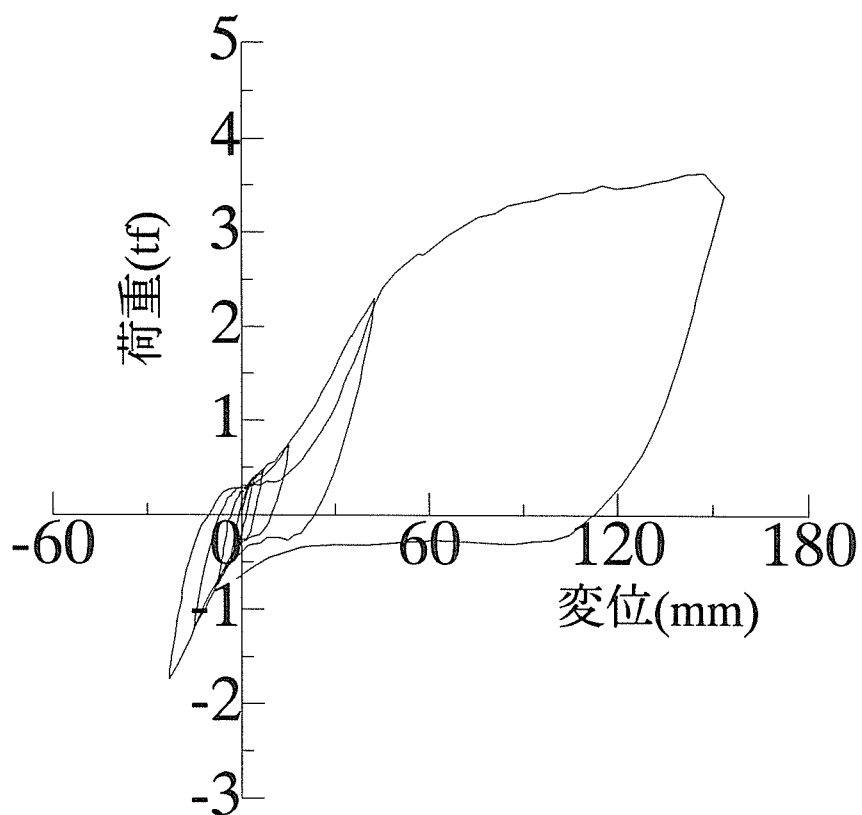


図2.8 試験体C1-1の荷重-頂部水平変位曲線

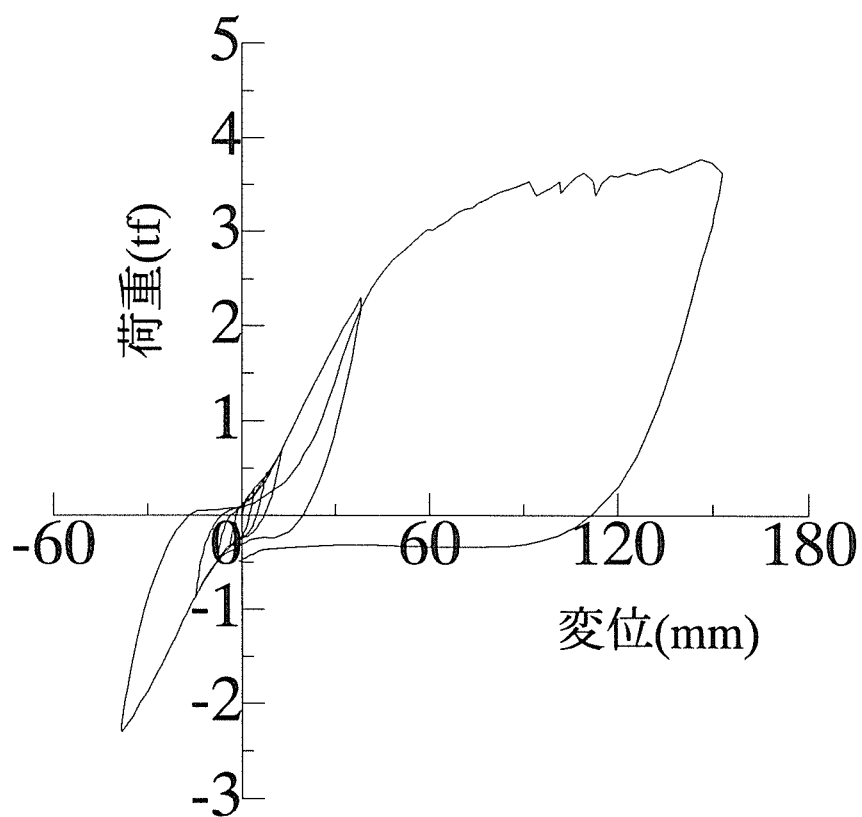


図2.9 試験体C1-2の荷重-頂部水平変位曲線

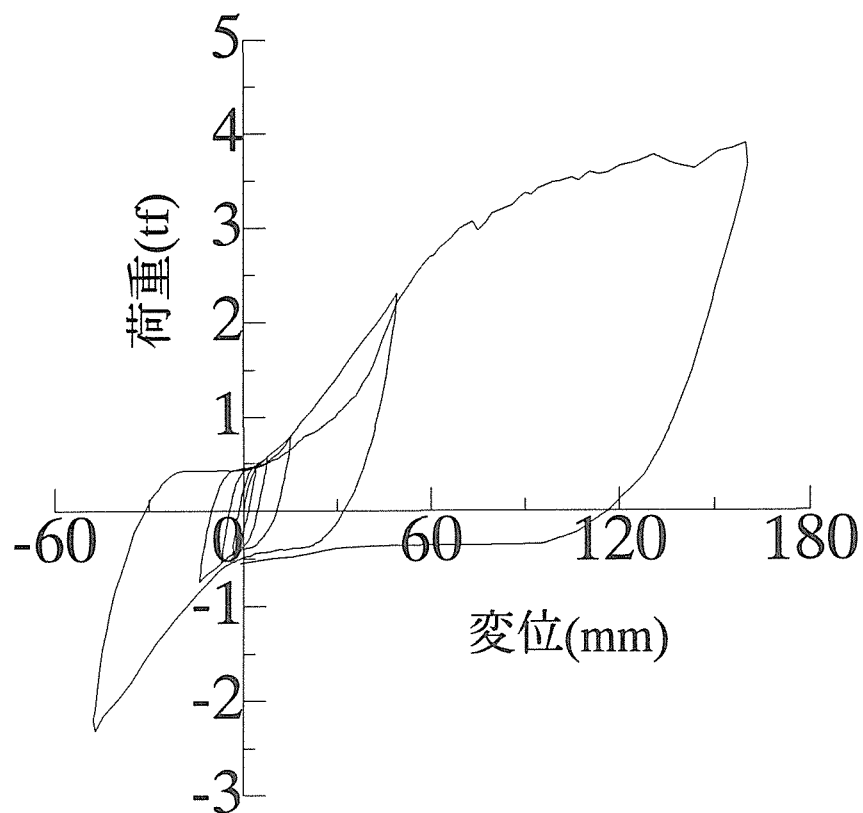


図2.10 試験体C2-1の荷重-頂部水平変位曲線

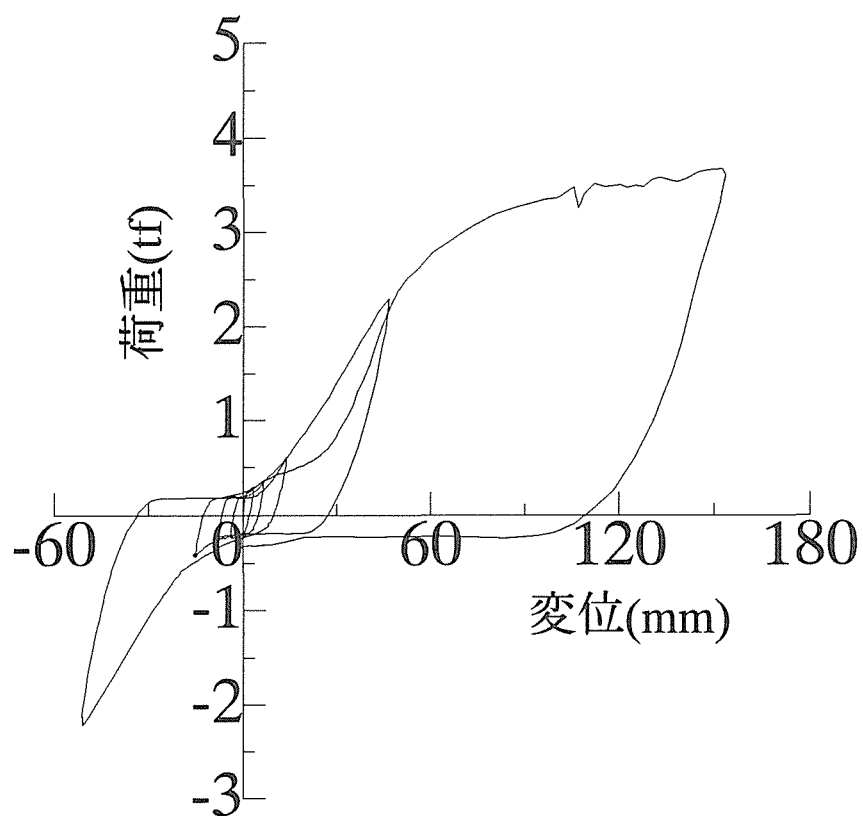


図2.11 試験体C2-2の荷重-頂部水平変位曲線

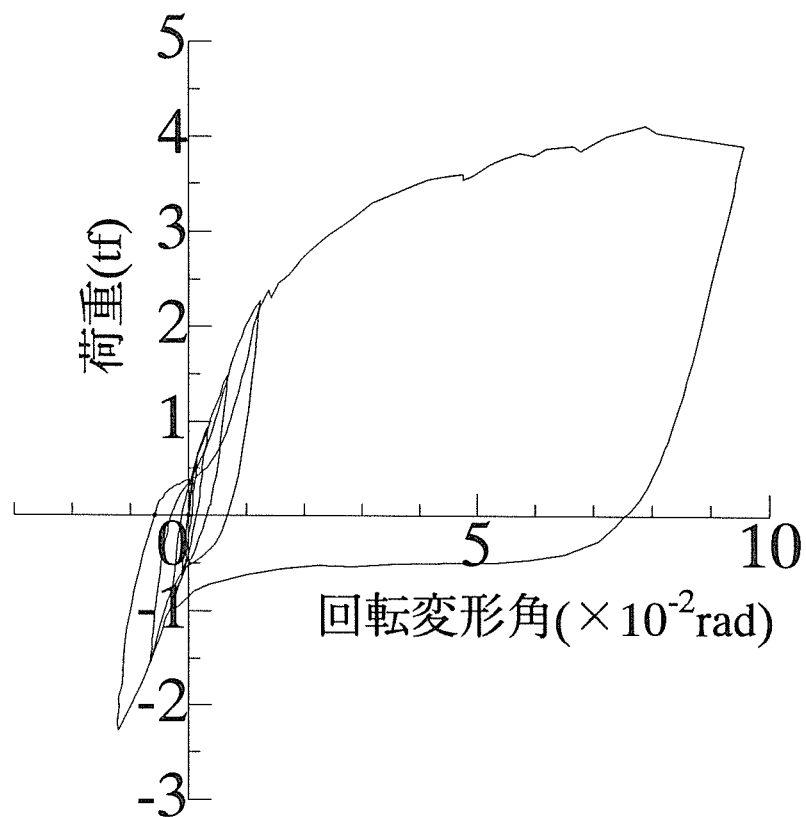


図2.12 試験体CO-1の回転変形

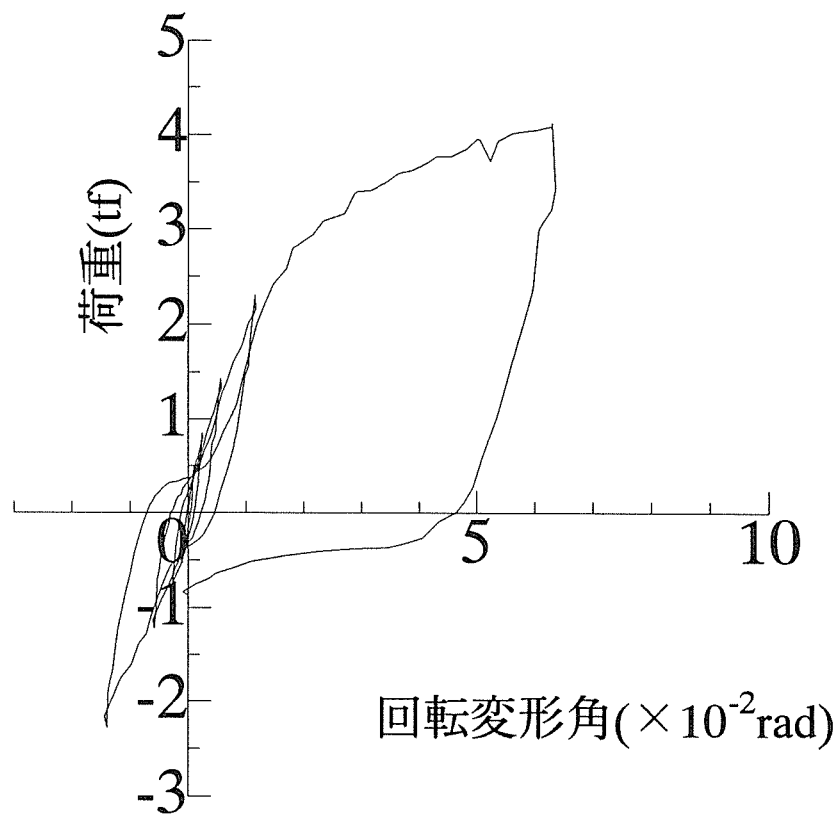


図2.13 試験体CO-2の回転変形

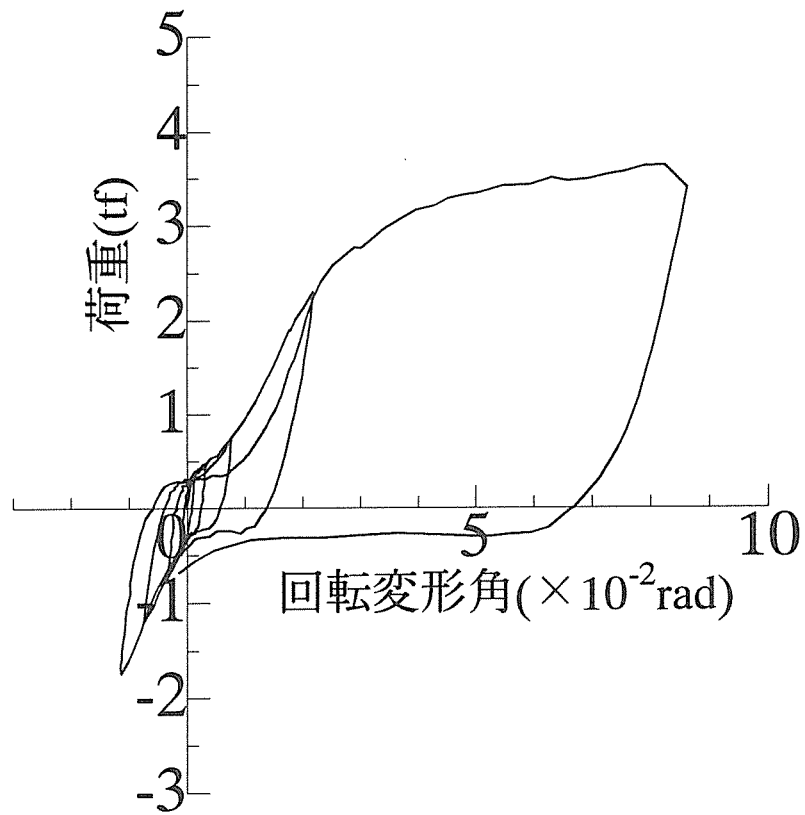


図2.14 試験体C1-1の回転剛性

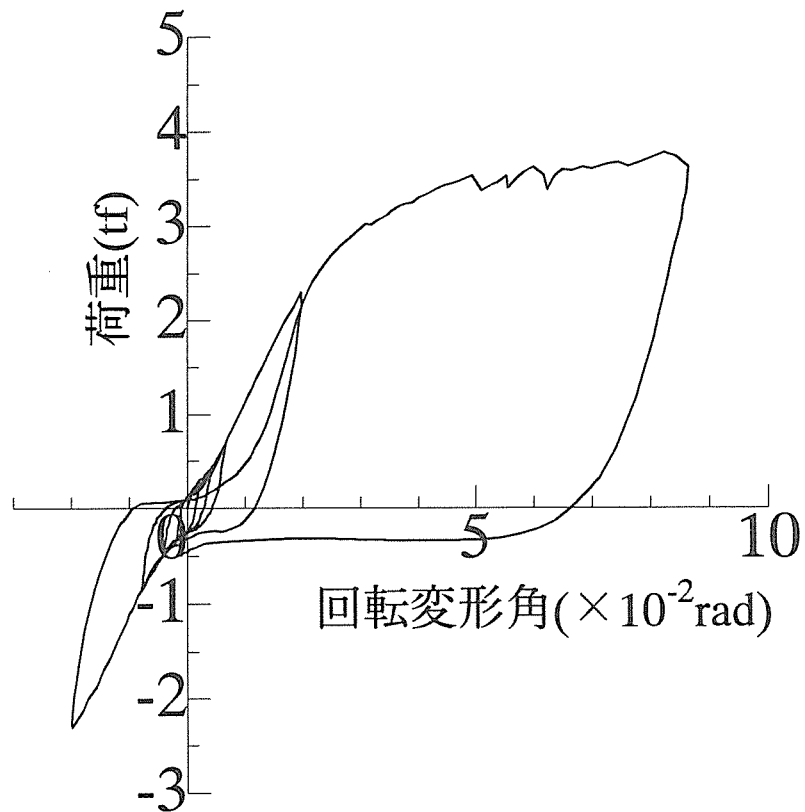


図2.15 試験体C1-2の回転剛性

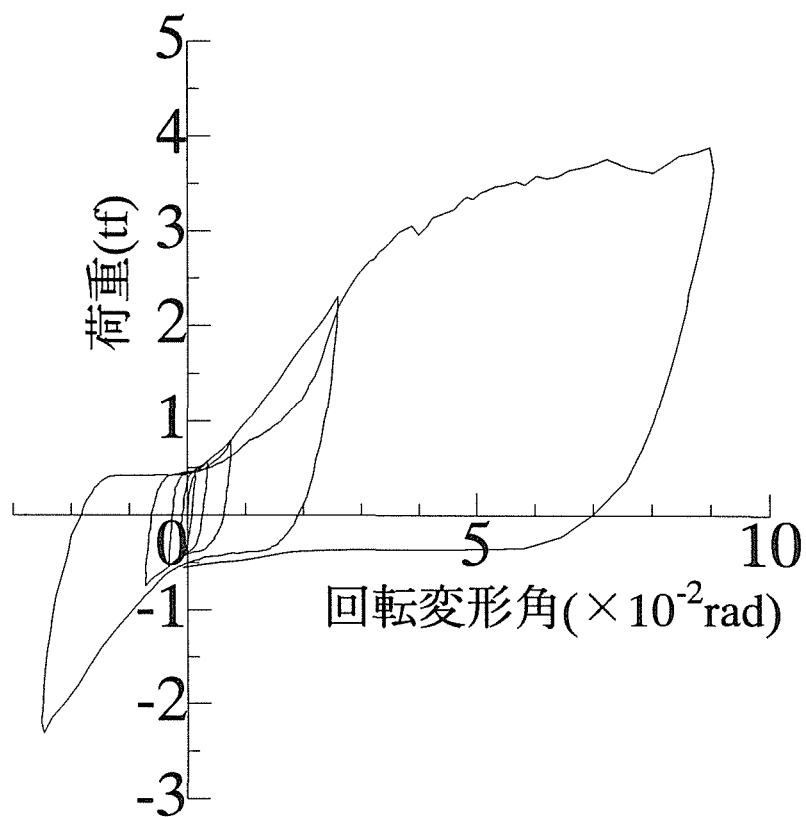


図2.16 試験体C2-1の回転変形

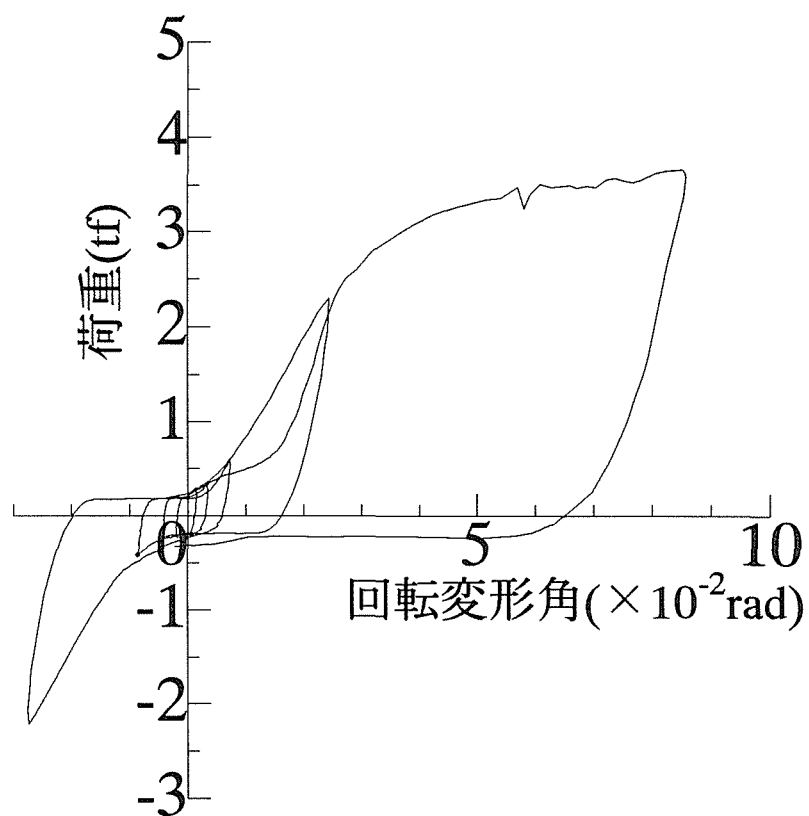


図2.17 試験体C2-2の回転変形

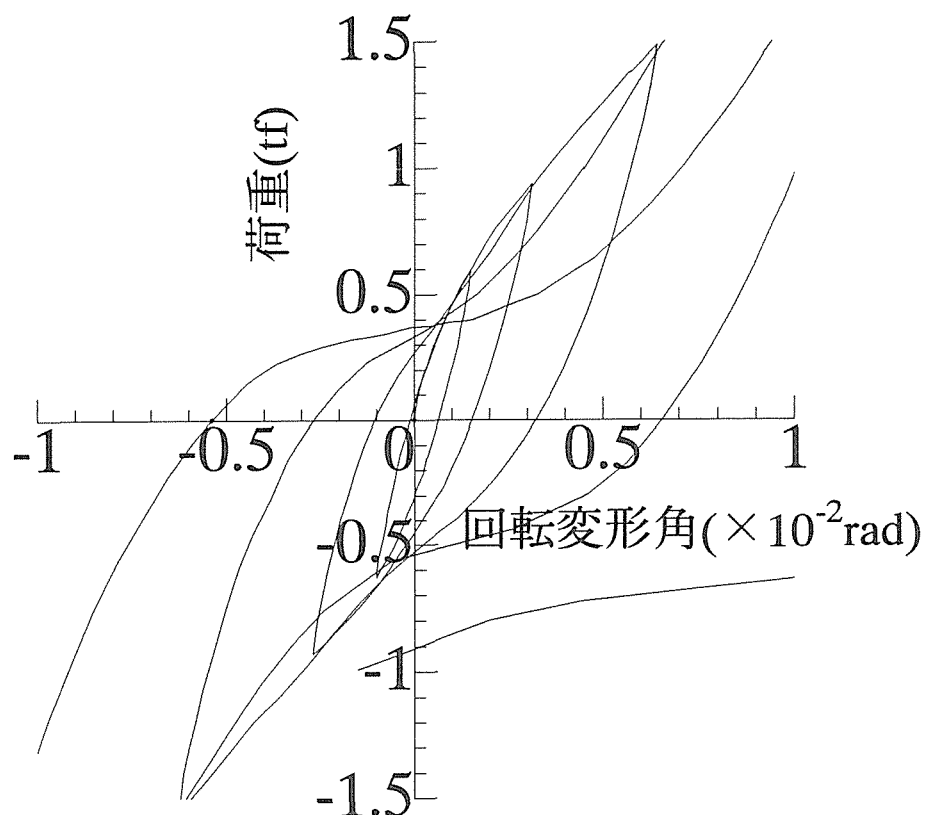


図2.18 試験体CO-1の低荷重-微小変形での回転変形

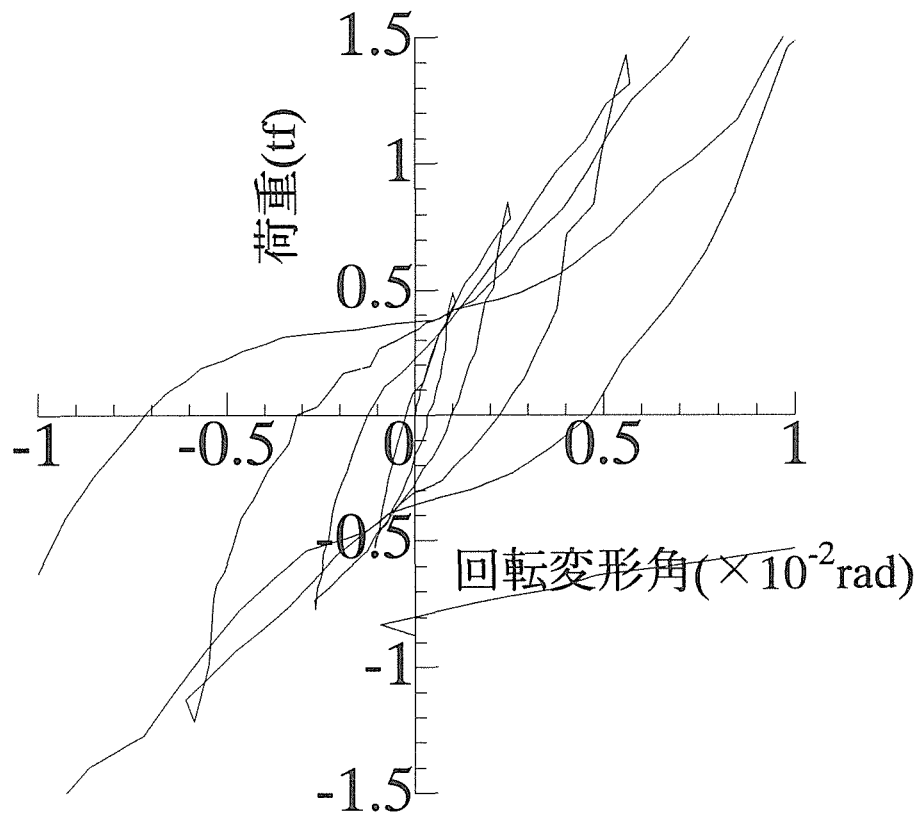


図2.19 試験体CO-2の低荷重-微小変形での回転変形

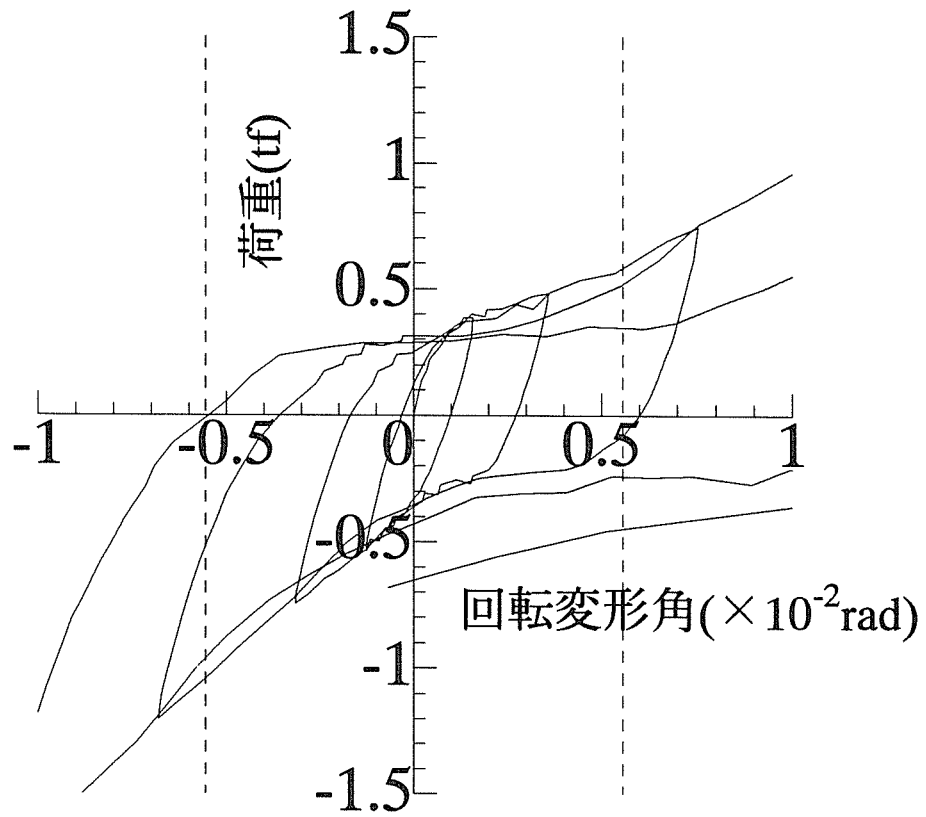


図2. 20 試験体C1-1の低荷重-微小変形での回転変形

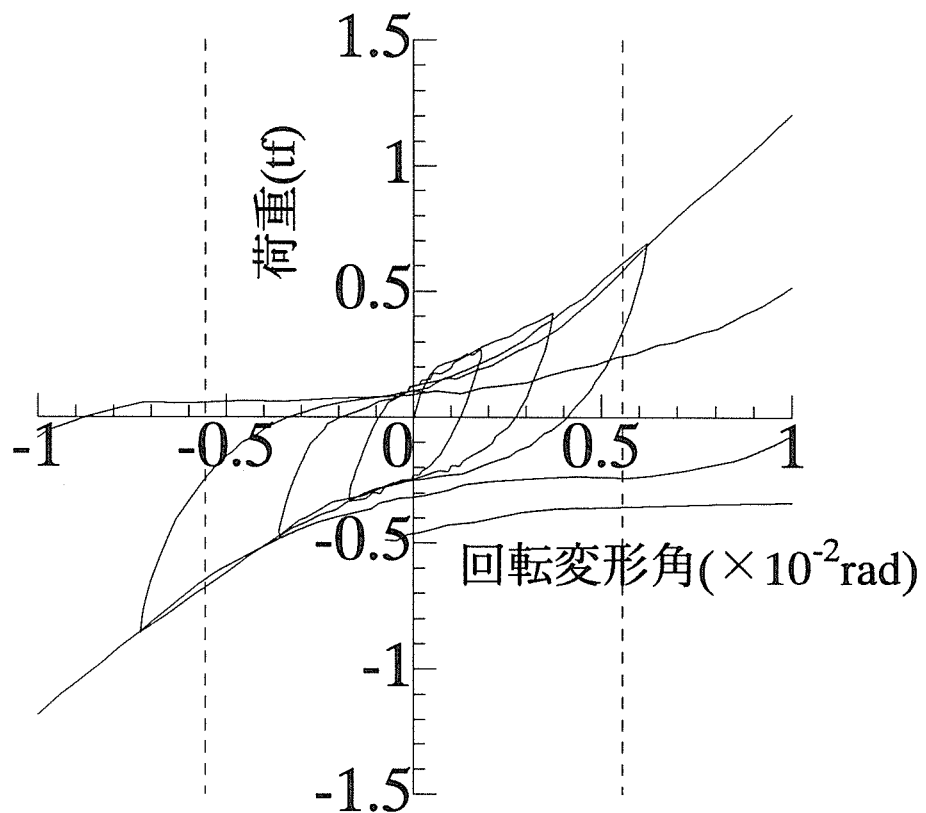


図2. 21 試験体C1-2の低荷重-微小変形での回転変形

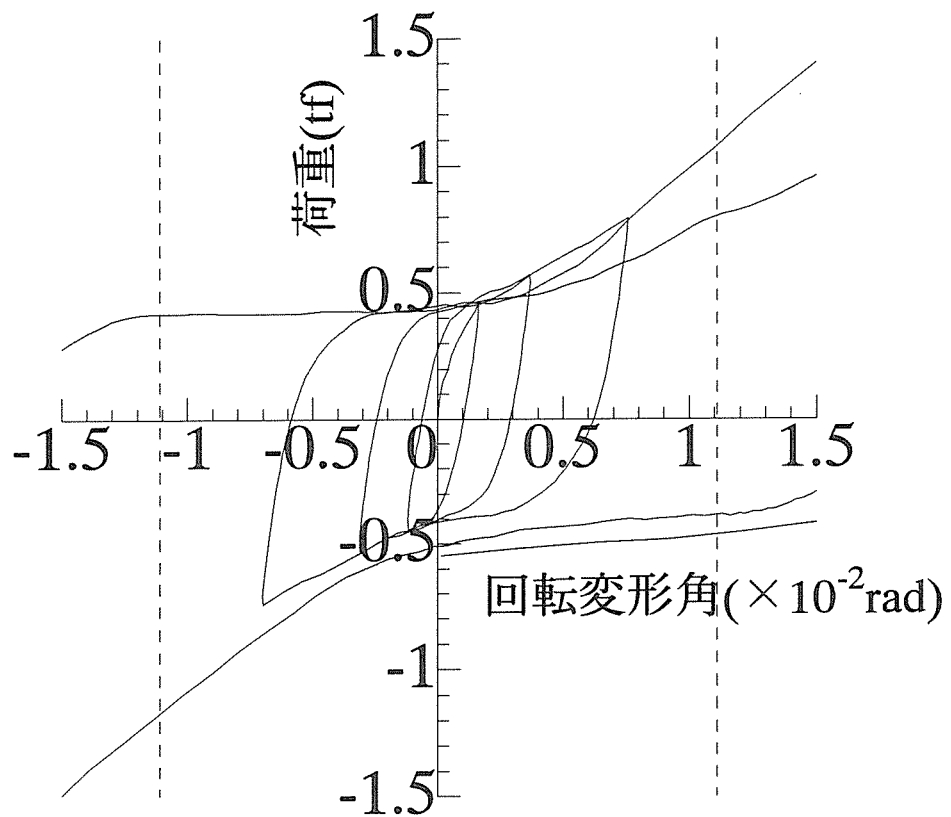


図2. 22 試験体C2-1の低荷重-微小変形での回転変形

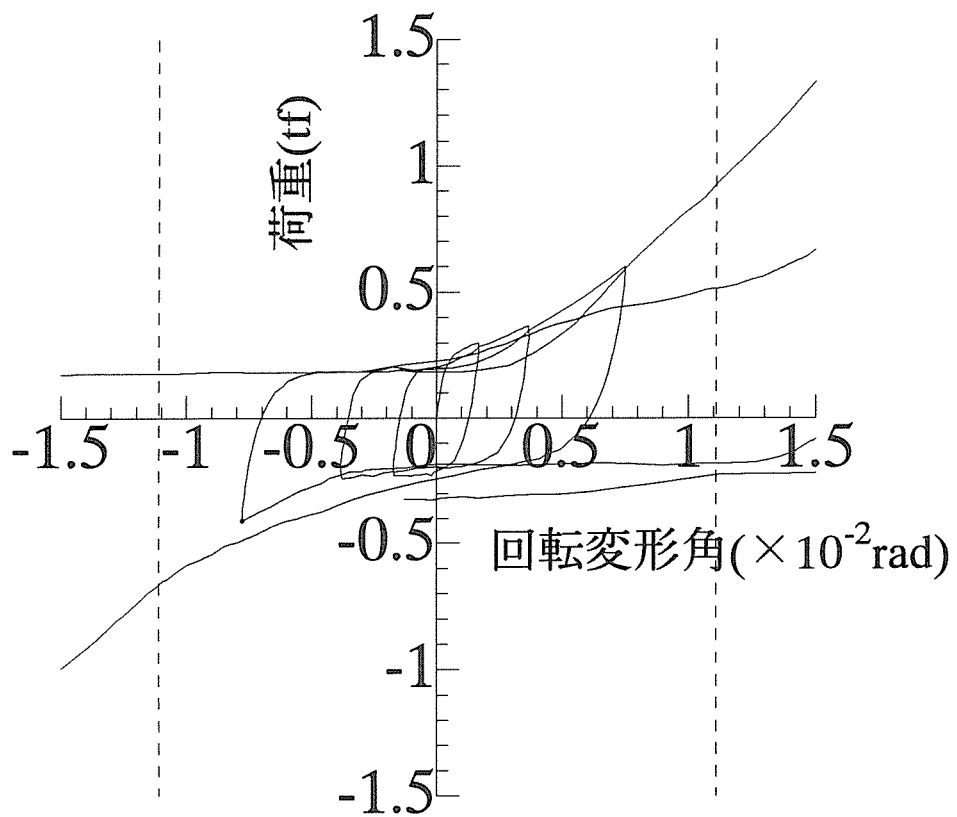


図2. 23 試験体C2-2の低荷重-微小変形での回転変形

3. 2 初期「あそび」量、摩擦剛性、最大耐力の評価

初期「あそび」を有する試験体に対して、「あそび」によるスリップ量の定量化を試みた。通常、荷重 - 変位曲線の立ち上がりの剛性は初期剛性と呼ばれるが、既報¹⁾で検討したように「あそび」を有する接合部では、3つの線形域が生じるため、次のように定義した。主側材間または木部接合具間の摩擦による1次剛性を k_0 、正負の「あそび」区間および2次線形域をそれぞれ直線近似(k_1, k_2, k'_1, k'_2)し、その交点Q, Rの x 座標の差を接合具配置円周上に換算したものを初期「あそび」によるスリップ量とした(図2-24)。

試験体C1, C2について前述の算出方法を適用し、「あそび」によるスリップ量を定量化した。各試験体の摩擦による初期剛性値 k_0 、「あそび」区間剛性値 k_1 、2次線形域剛性値 k_2 、および「あそび」によるスリップ量を比較して表2-2に示した。なお、前年度の試験体B0, B1とも比較して示した。

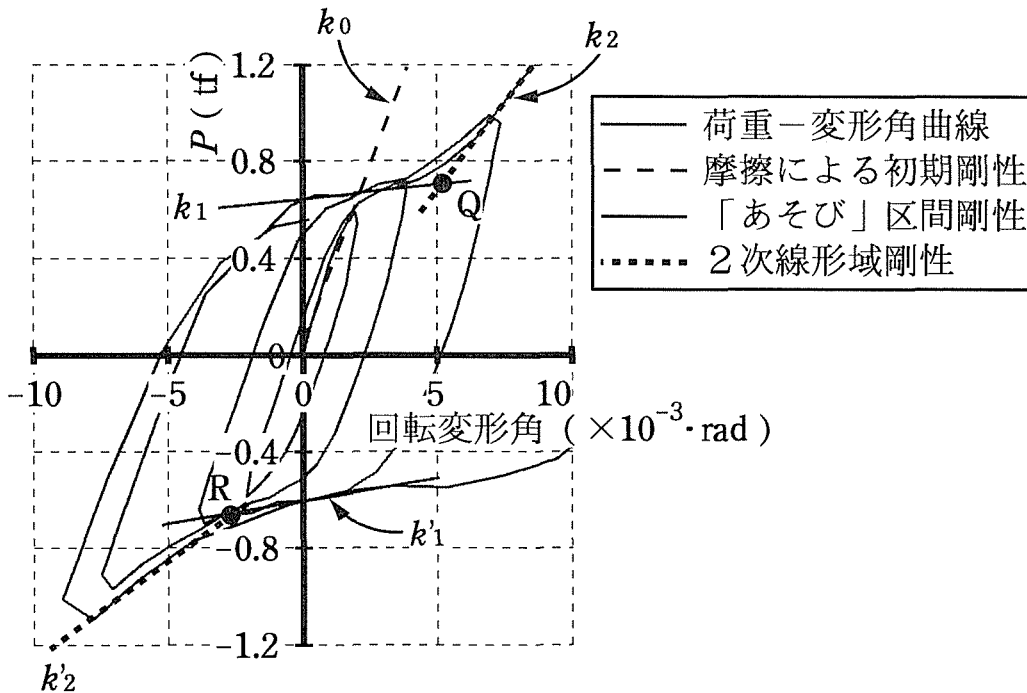


図2-24 初期「あそび」量の定量化方法

試験体CO-2とC2-2の摩擦による1次剛性は高い値を示した。これは、締め付けトルクが低いときには、ループが滑らかな曲線を描かないことなどからも判るように、ボルトおよびワッシャーのひっかかりが効いているためバラツキが大きくなると思われる。

また、所定変形角時の耐力は「あそび」を有さないものに比べ、「あそび」を有する試験体の方が低くなる傾向があった。最大耐力も「あそび」を有する試験体は低くなった。その様子を図2-25に示した。「あそび」量による違いは僅かであるが、「あそび」の無い試験体はどの所定変形時耐力でも「あそび」を有する試験体に比べ高い値であった。

表 2-2 各試験体の k_0 、 k_1 、 k_2 および「あそび」によるスリップ量、最大耐力の比較

試験体	初期「あそび」(mm)	摩擦の初期剛性値 k_0 (tf/rad)	「あそび」区間剛性値 k_1 (tf/rad)	2次線形域剛性値 k_2 (tf/rad)	「あそび」によるスリップ (mm)	あそびの影響		最大耐力 (tf)	「あそび」による低下率
						k_0 の比	k_2 の比		
B0	0	306	—	208	—	B1 / B0		4.81	—
B1	1	346	0.0308	142	1.40	1.131	0.683	4.37	0.909
C0-1	0	371	—	1.61	—	—	—	4.12	—
C0-2	0	526	—	1.43	—	Cx / C0		4.12	—
C1-1	1	341	0.488	1.27	2.27	0.760	0.836	3.63	0.881
C1-2	1	324	0.724	1.25	1.85	0.722	0.822	3.78	0.917
C2-1	2	355	0.498	0.846	1.90	0.792	0.557	3.77	0.915
C2-2	2	592	0.355	1.10	2.82	1.320	0.724	3.67	0.891

8年度
実施分

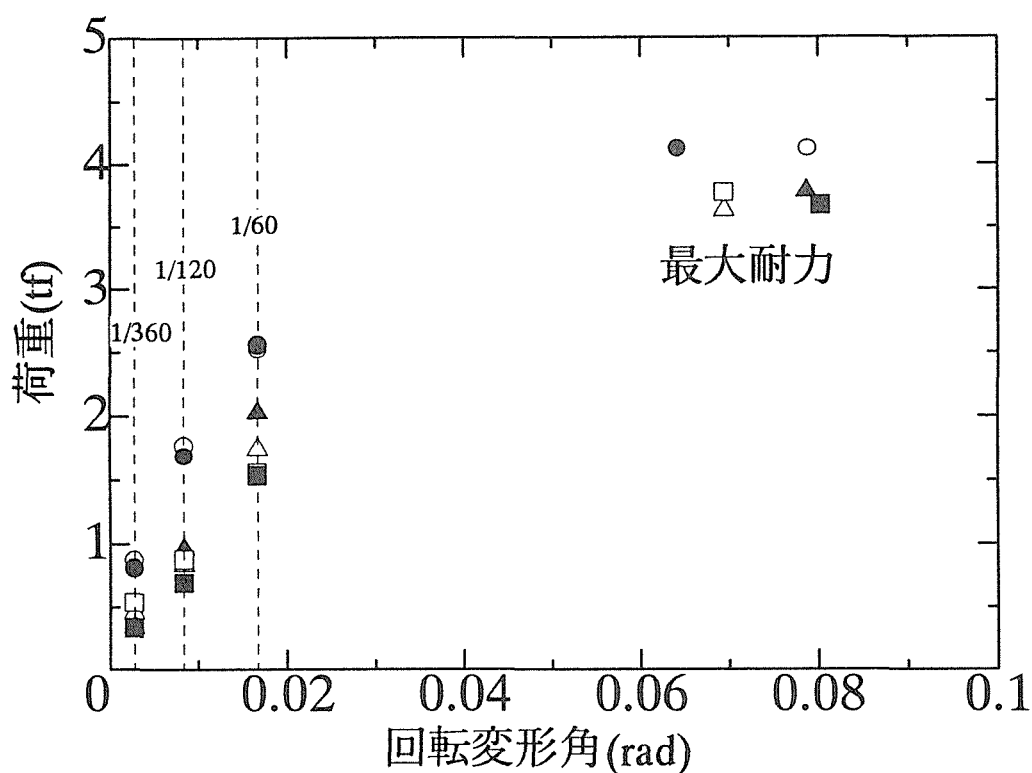
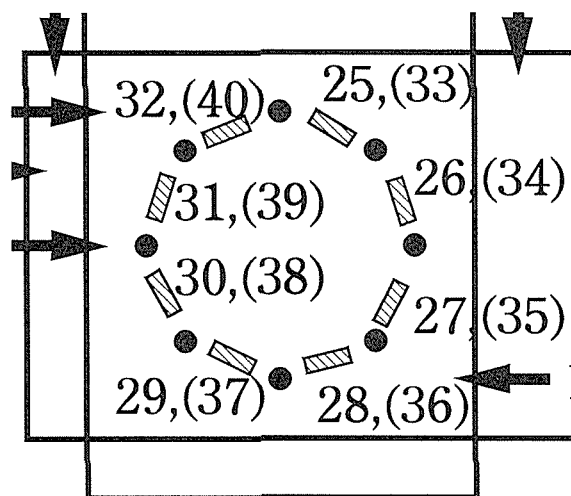


図 2-2 5 所定回転変形角時の耐力および最大耐力

3. 3 接合具間の集成材表面ひずみ

静的載荷時にボルト間の集成材表面のひずみを図2-26の箇所で測定したが、それらの頂部荷重との関係を各試験体の側材 A, B について (C0-1(A) : 図2-27, C0-1(B) : 図2-28, C1-1(A) : 図2-29, C1-1(B) : 図2-30, C1-2(A) : 図2-31, C1-2(B) : 図2-32, C2-1(A) : 図2-33, C2-1(B) : 図2-34, C2-2(A) : 図2-35, C2-2(B) : 図2-36) 示した。図中の番号は、図2-26に示すひずみ測定位置と同じである。

本報告における接合部の荷重-表面ひずみ関係は既報¹⁾の試験体 B0, B1 に比べ、線形性が高かった。「あそび」のない試験体に比して、「あそび」を有するものがボルト間表層ひずみは乱れて線形性が低いことが確認された。これは、「あそび」領域のスリップにより材にかかる応力が一定の割合でないことと、ボルトの「あそび」領域から「あそび」外の領域へ移行するときに応力のかかり方が大きくことなるためであると考えられる。



ただし、図中の数字はボルト間の表層に設置されたゲージの番号を示し、() 内の数字は側材 B に設置されたゲージの番号を示す。

図2-26 ひずみ測定位置と測定番号

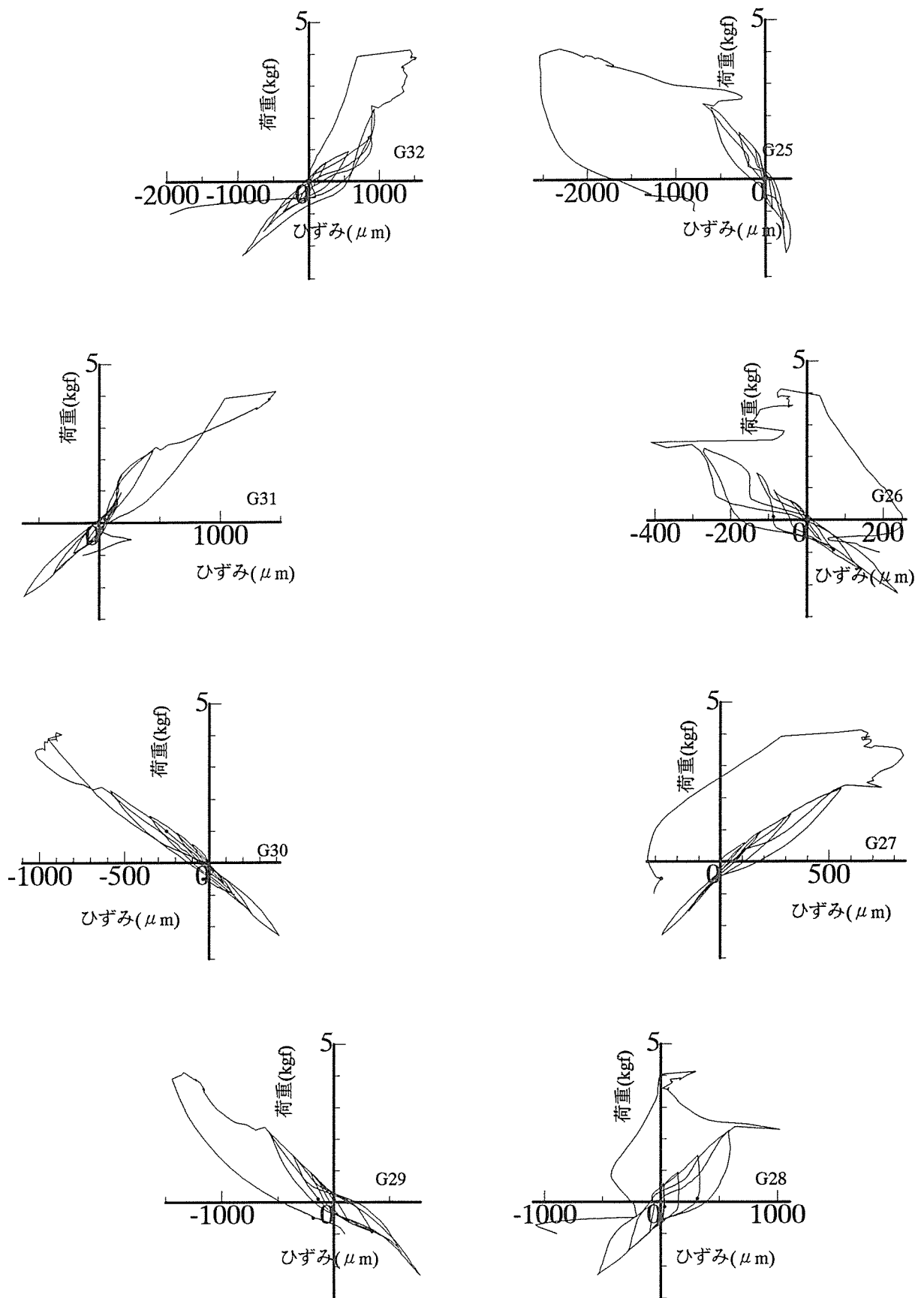


図2.27 試験体CO-1における側材Aのボルト間表層ひずみ

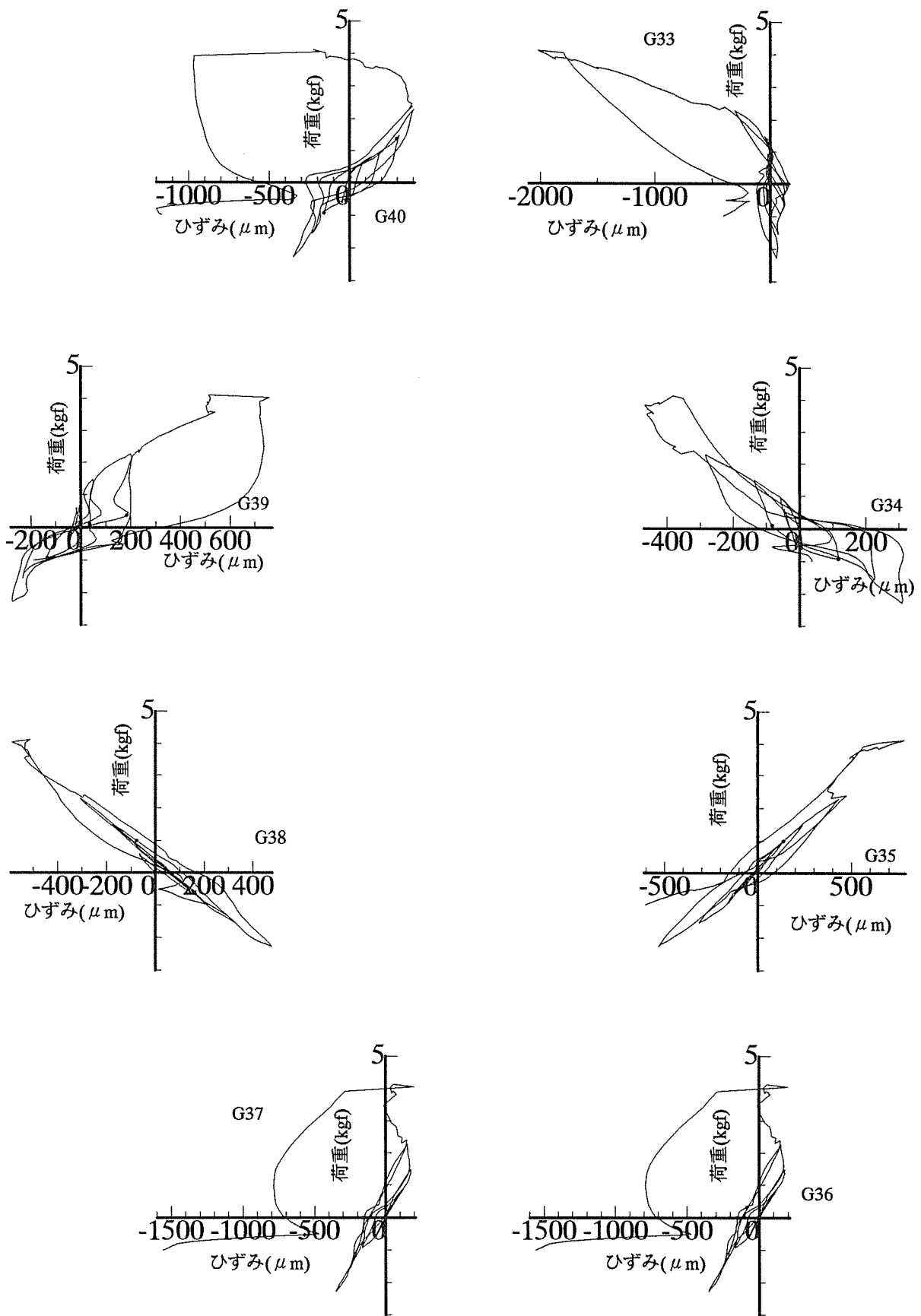


図2.28 試験体CO-1における
側材Bのボルト間表層ひずみ

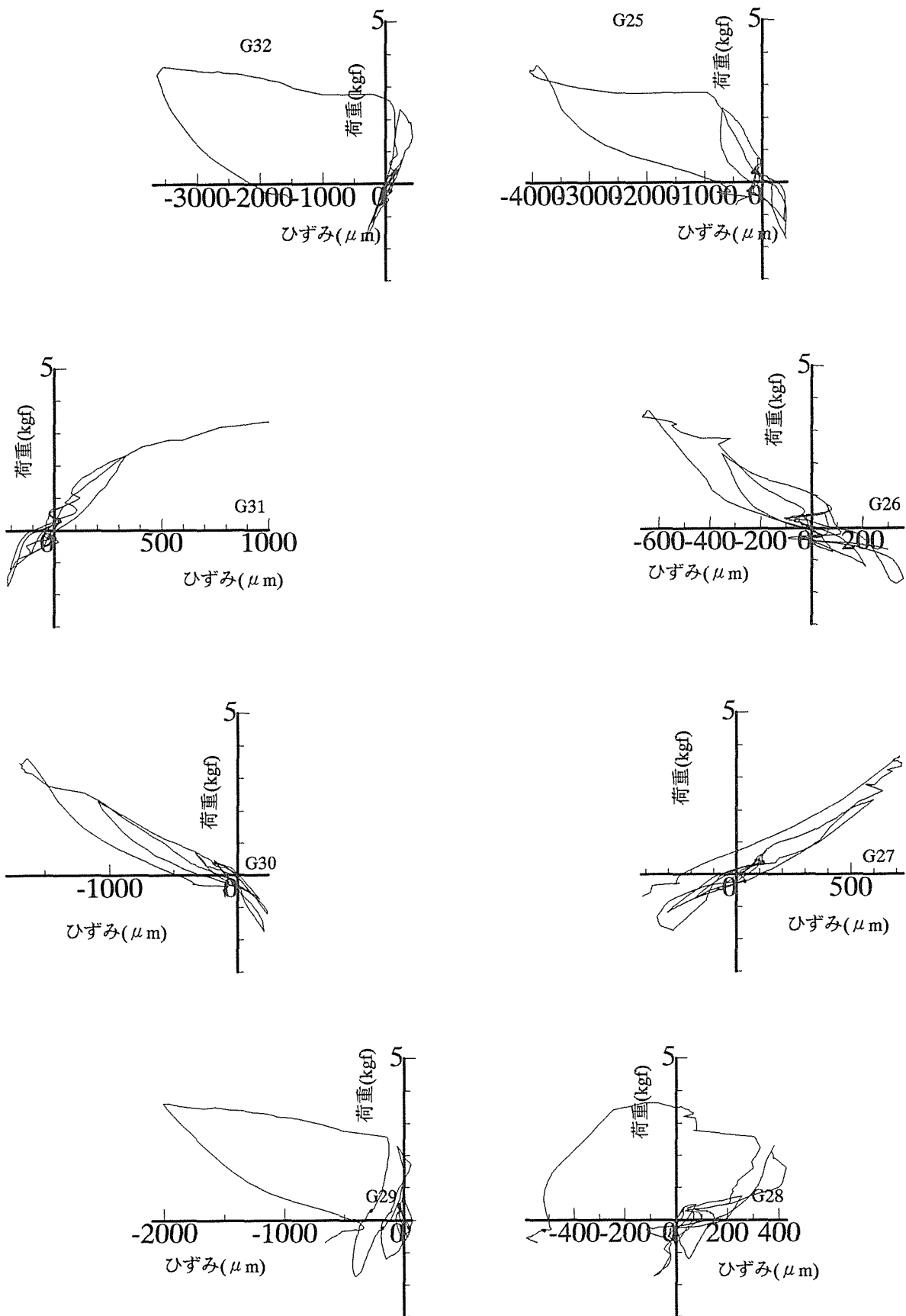


図2.29 試験体C1-1における側材Aのボルト間表層ひずみ

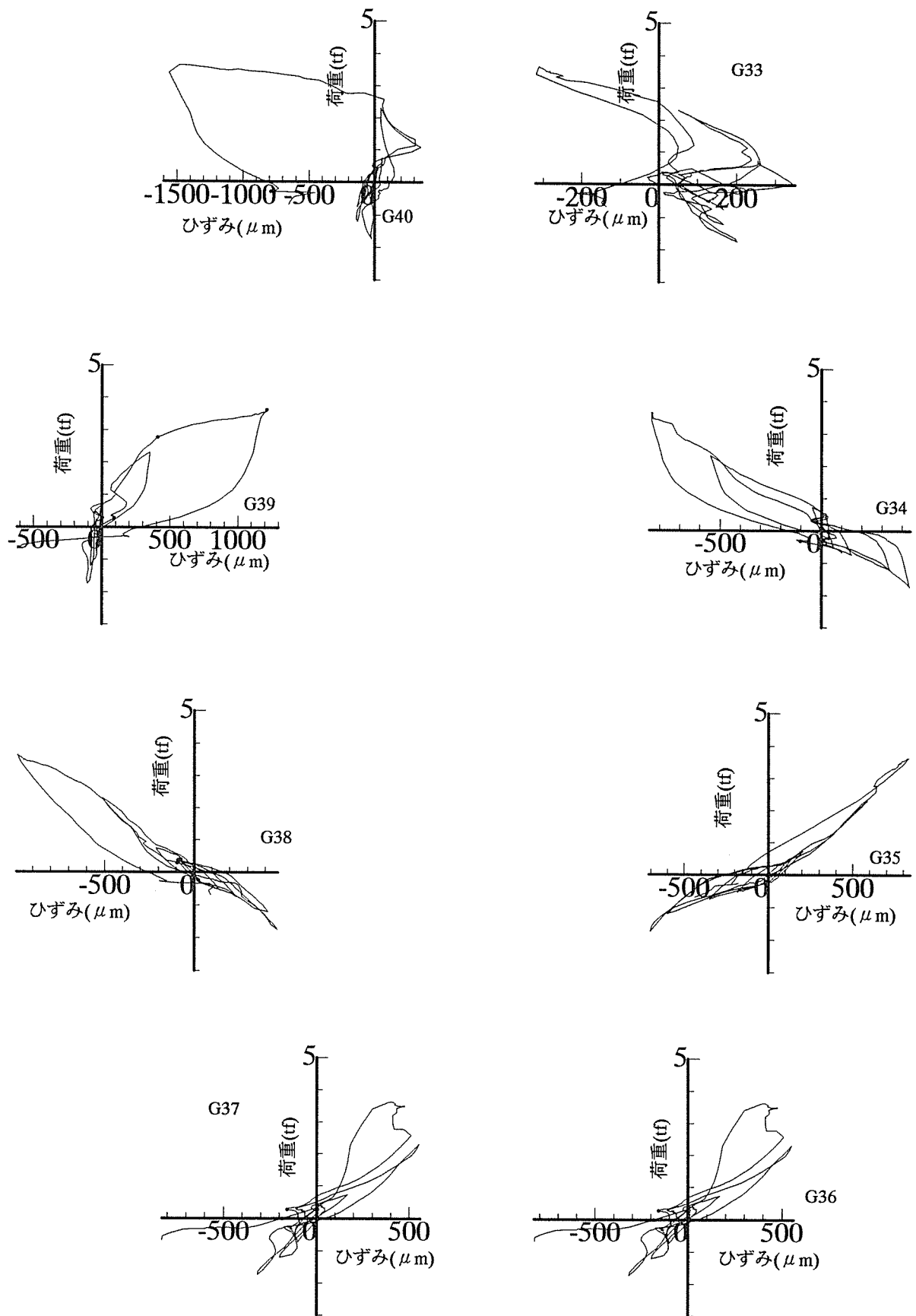


図2.30 試験体 C 1 - 1 における
側材 B のボルト間表層ひずみ

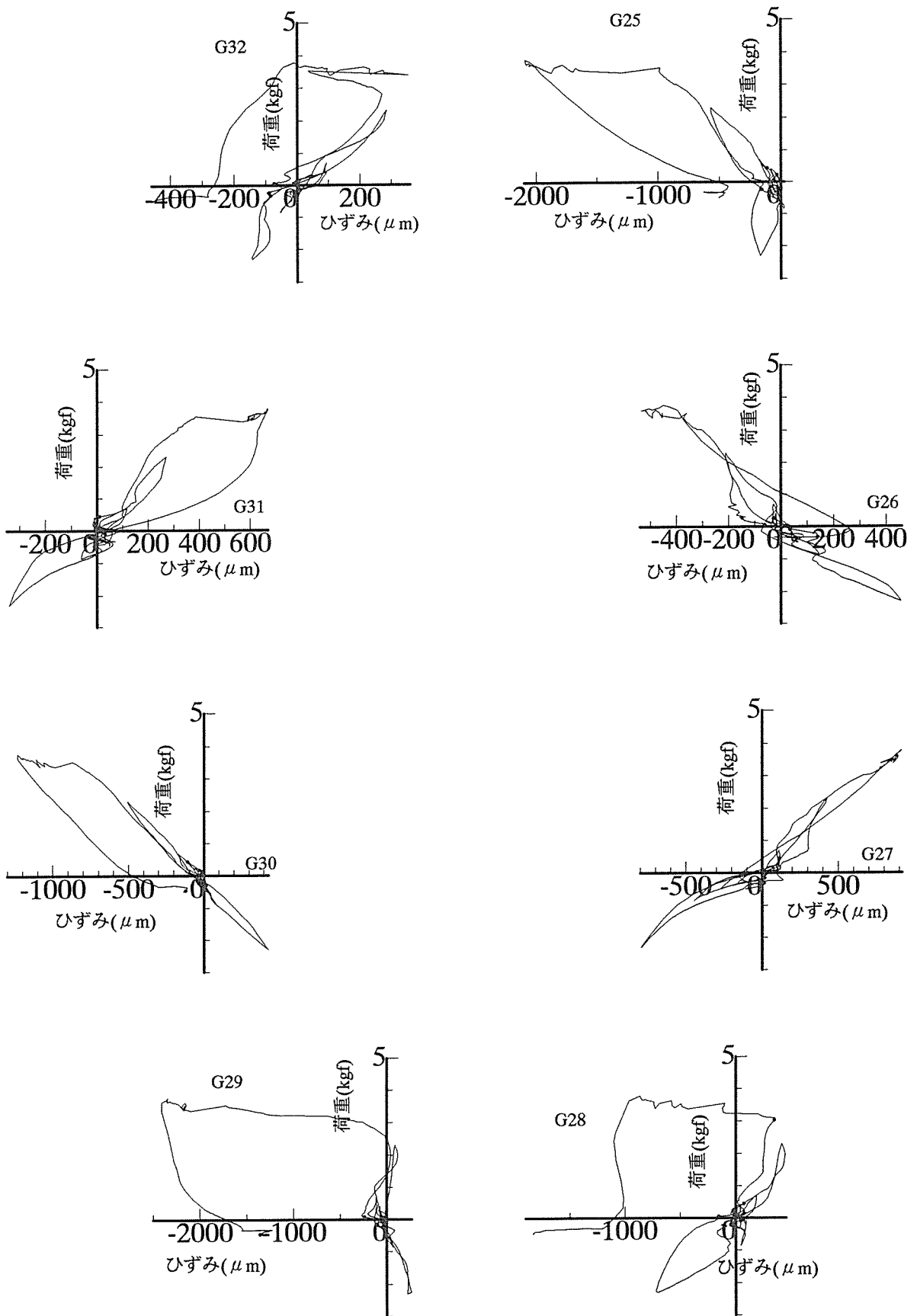


図2.31 試験体C1-2における側材Aのボルト間表層ひずみ

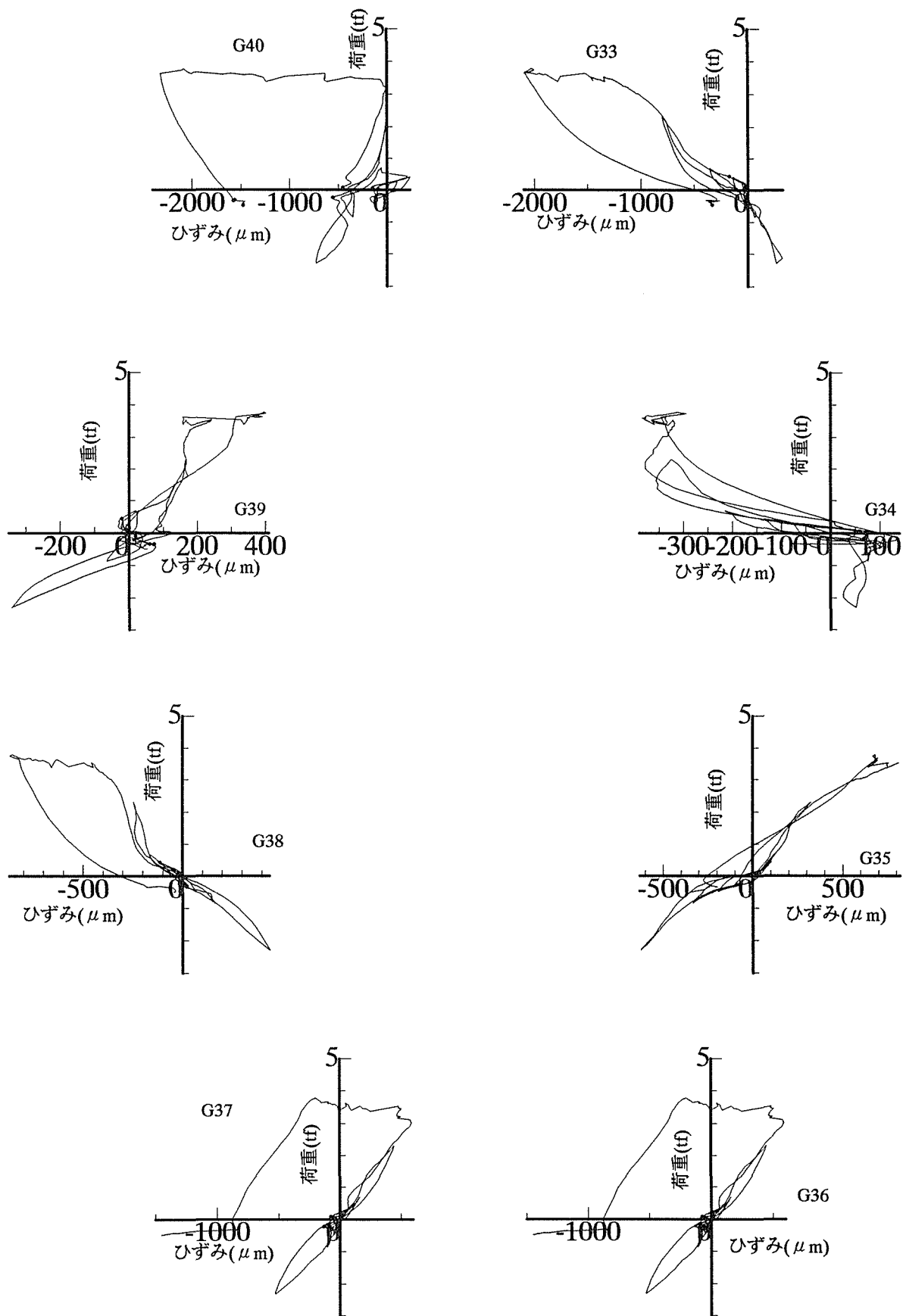


図2.32 試験体C 1 - 2における側材Bのボルト間表層ひずみ

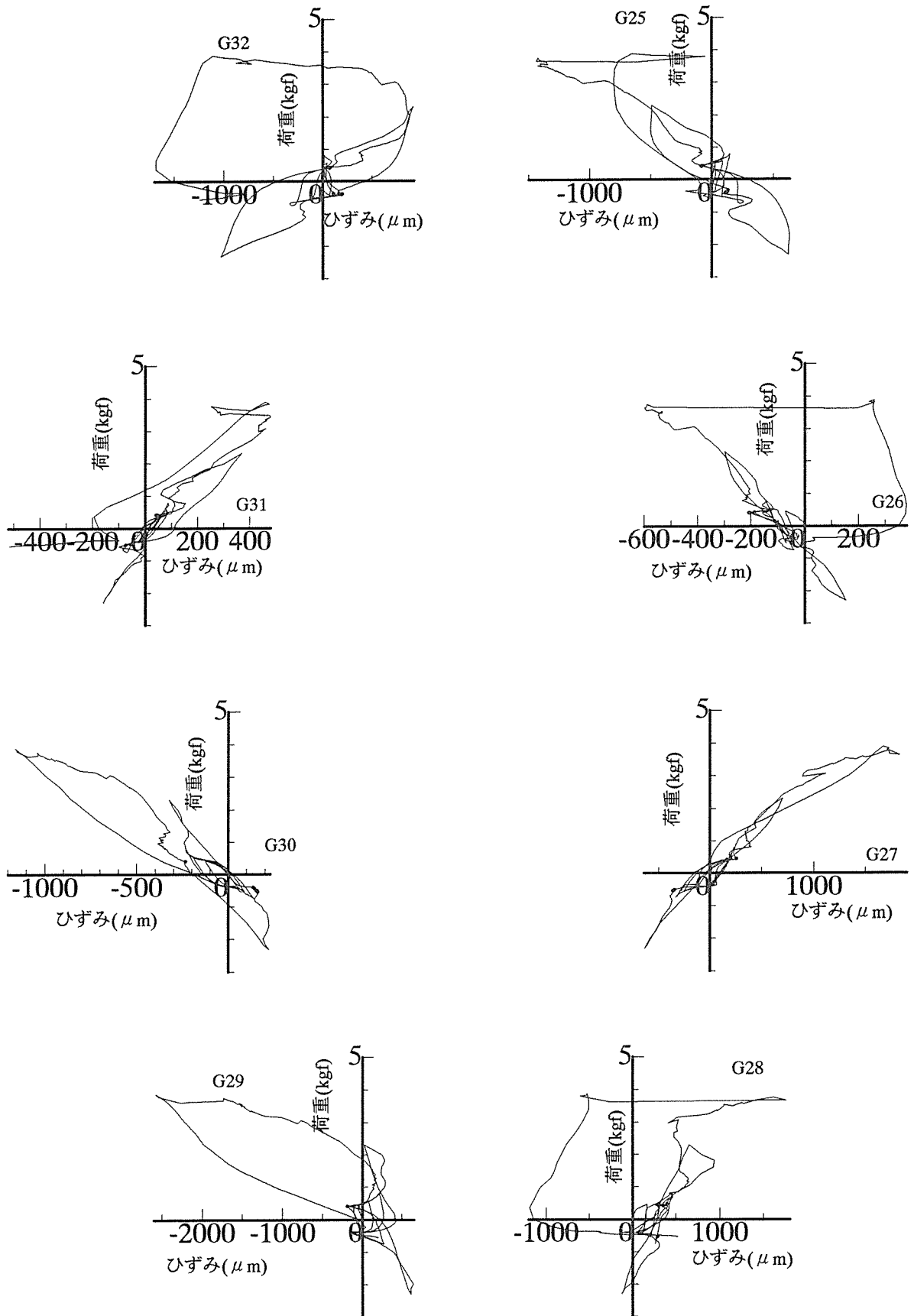


図2.33 試験体C2-1における
側材Aのボルト間表層ひずみ

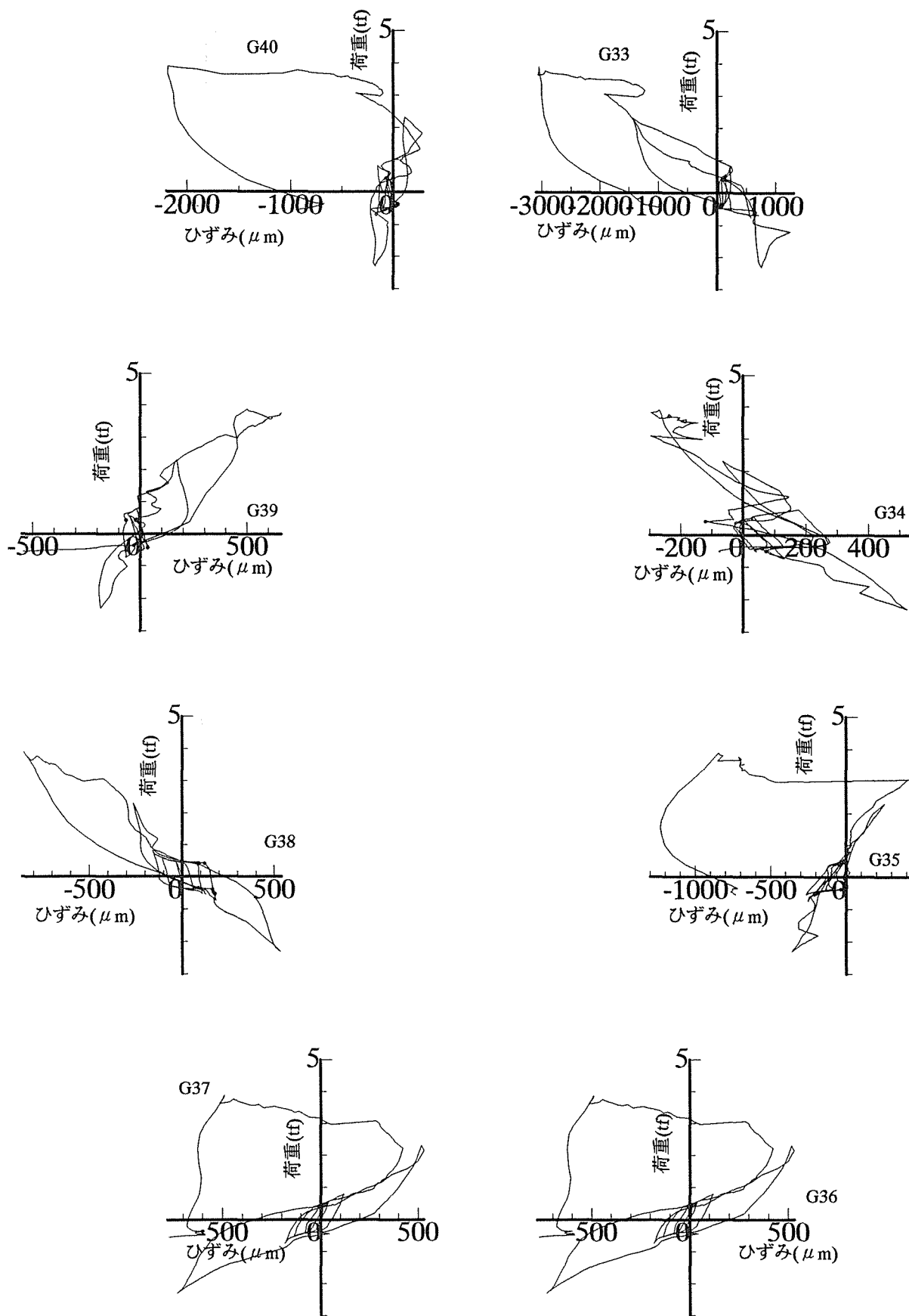


図2.34 試験体C 2 - 1における
側材Bのボルト間表層ひずみ

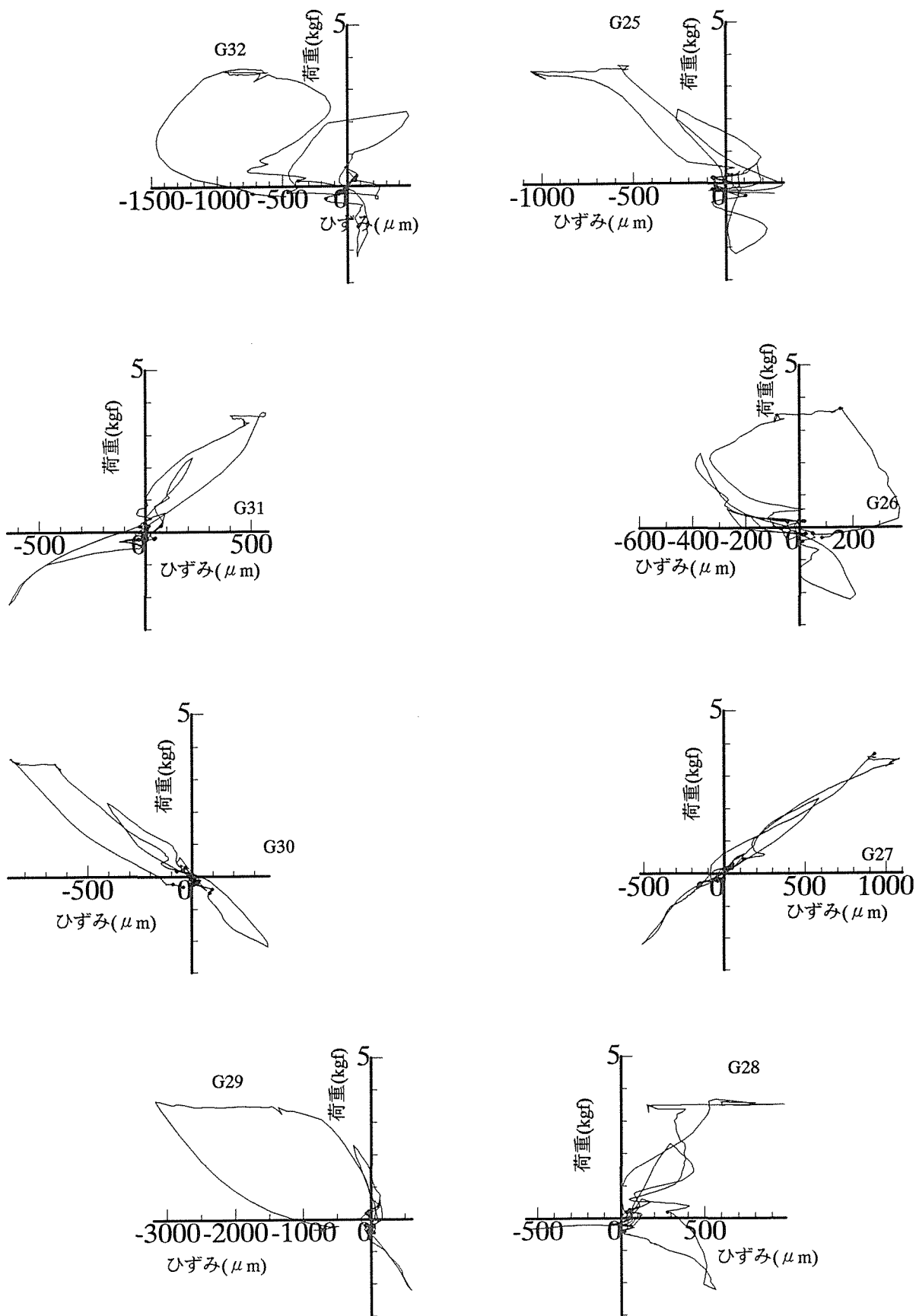


図2.35 試験体C2-2における側材Aのボルト間表層ひずみ

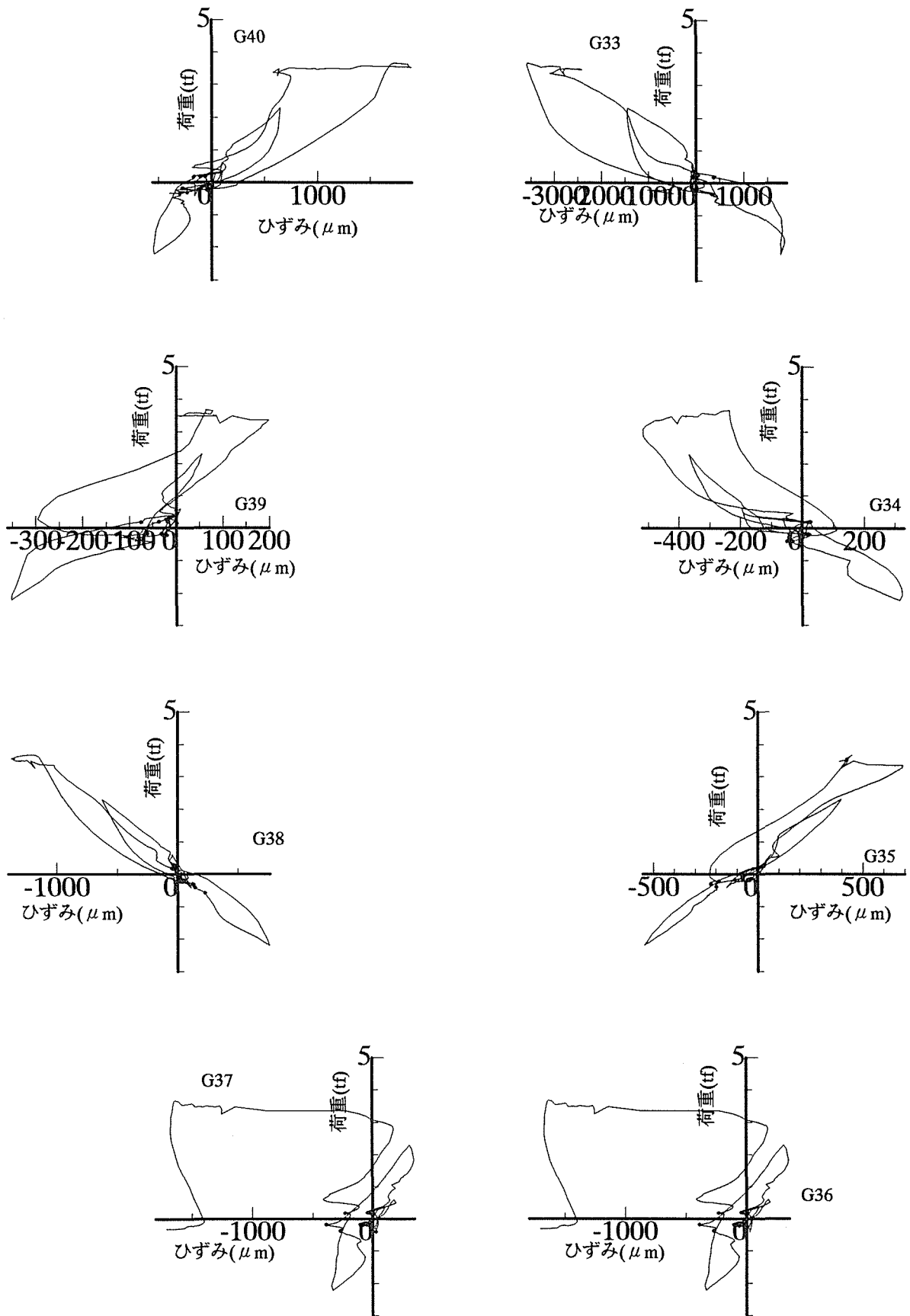


図2.36 試験体C2-2における側材Bのボルト間表層ひずみ

4 強制振動試験の結果および考察

各試験体においてスイープ加震による強制振動試験を行った。その共振曲線を図2-37に示した。Bタイプの試験体では振幅が小さく、ノイズの影響が大きく共振点が判り難かったが、Cタイプの試験体では、35Hzから40Hz台の顕著な共振点が観測された。これは、加速度応答を示した共振曲線の図2-38においてさらに明確に確認できた。なお、振動数の低い、2Hzから5Hzの共振点は面外の変位の測定から面外振動に起因するものであることが分かった。各試験体において締め付けトルクを200 kgf・cm、400 kgf・cm、900 kgf・cmの3段階に変化させて試験を行ったところ、共振周波数は、締め付けトルクの低下にしたがい、若干低下する傾向が認められ、振幅は増加した。しかし、Bタイプの試験体に比べると、その差は僅かであった。締め付けトルクの変化による振幅の変化を図2-39に、共振周波数の変化を図2-40に示した。いずれの試験体も振幅は増加が認められ、共振周波数は若干の低下傾向を示した。共振周波数の低下率と共振点での振幅の変化比を表2-3に示した。共振周波数の低下には「あそび」量の依存は認められなかったが、振幅は「あそび」を有する試験体の方が「あそび」のない試験体に比べ、大きく変化した。これは、「あそび」を有する試験体がボルトが材と密着していない分だけ、締め付けトルクによる影響を大きく受けるためであると考えられる。一般に用いられる木質構造材は、0.5 mmから1 mm程度の「あそび」を有しており、また、木質材料の接合部のボルトの締め付けトルクは長い年月耐えられず、低下しやすいということが知られているが、このようにボルトの締め付けトルクの低下は動的荷重に対し、変位の増加や、強度の低下が認められるので、なるべくなら締め付けトルクをある程度の値に保つのが望ましい。

表2-3

共振点における各試験体の周波数および振幅の変化率

試験体	周波数				振幅			
	締め付けトルク (kgf・cm)				締め付けトルク (kgf・cm)			
	900	400	200	低下率 %	900	400	200	比率 ^{※1}
CO-1	41.6	40	38.4	7.7	0.039	0.046	0.051	1.31
CO-2	38	37.8	37.4	1.6	0.065	0.061	0.065	1.00
C1-1	37.8	35.6	34.4	9.0	0.057	0.073	0.083	1.46
C1-2	37	37.2	35.2	4.9	0.044	0.043	0.078	1.77
C2-1	38	37.4	37	2.6	0.037	0.047	0.048	1.30
C2-2	37.8	37.4	36.8	2.6	0.032	0.044	0.052	1.63

※1 締め付けトルク900kgf・cmの時の振幅に対する200kgf・cmの時の振幅の比率

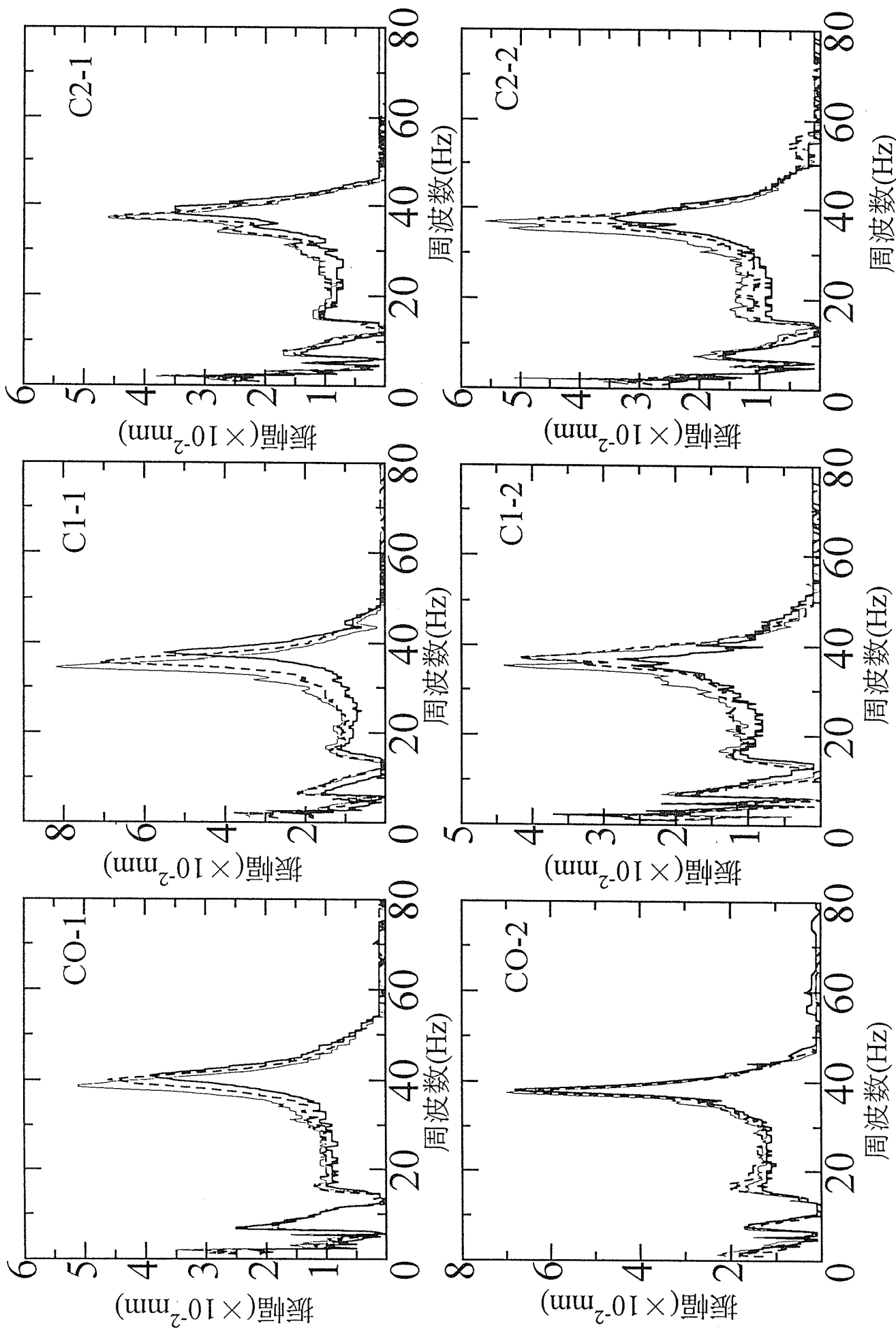
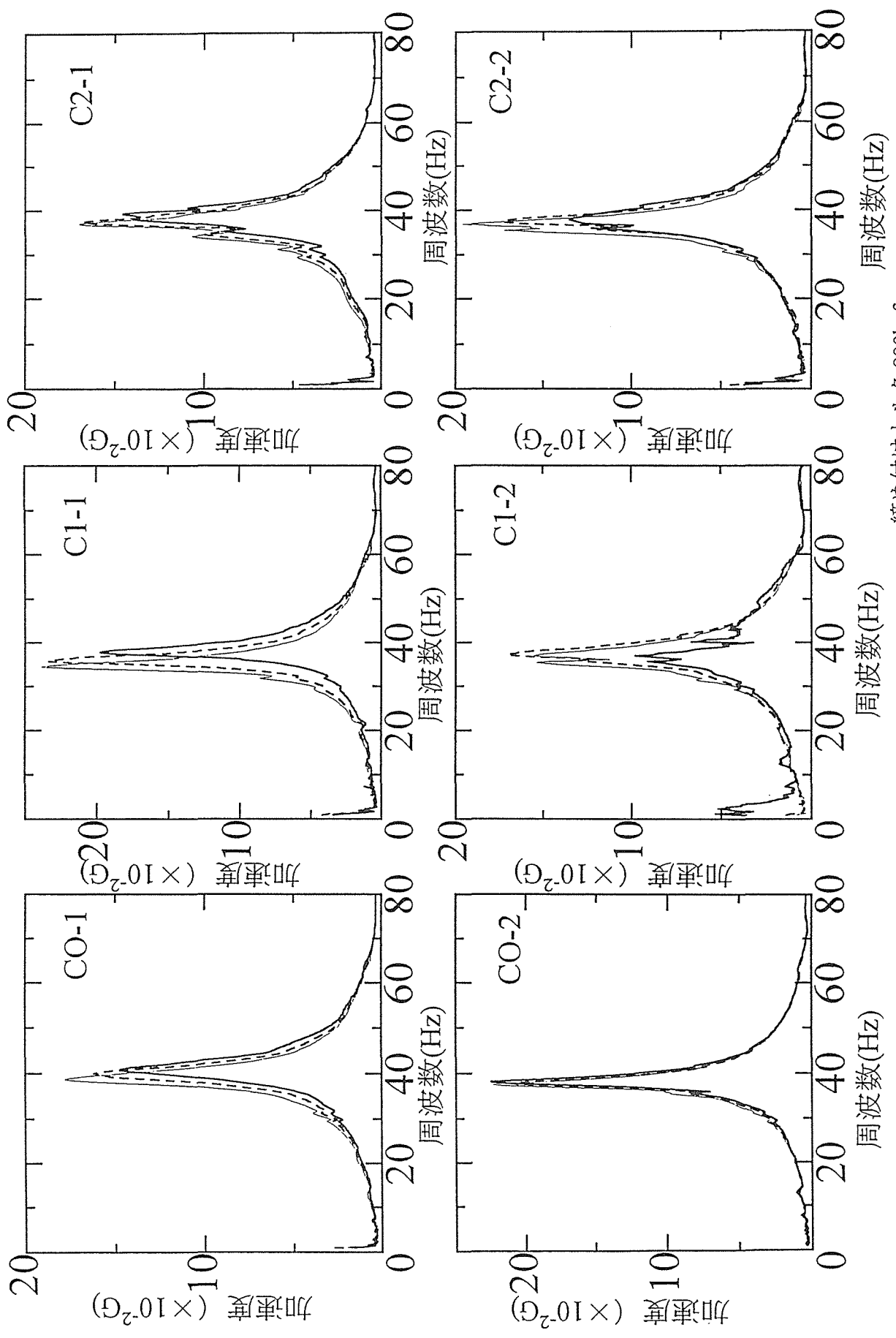


図 2-37 各試験体における共振曲線

— 締め付けトルク 900kgf·cm
 --- 締め付けトルク 400kgf·cm
 - · - 締め付けトルク 200kgf·cm



— 締め付けトルク 900kgf·cm
 - - - 締め付けトルク 400kgf·cm
 - · - 締め付けトルク 200kgf·cm

図 2-38 各試験体における共振曲線

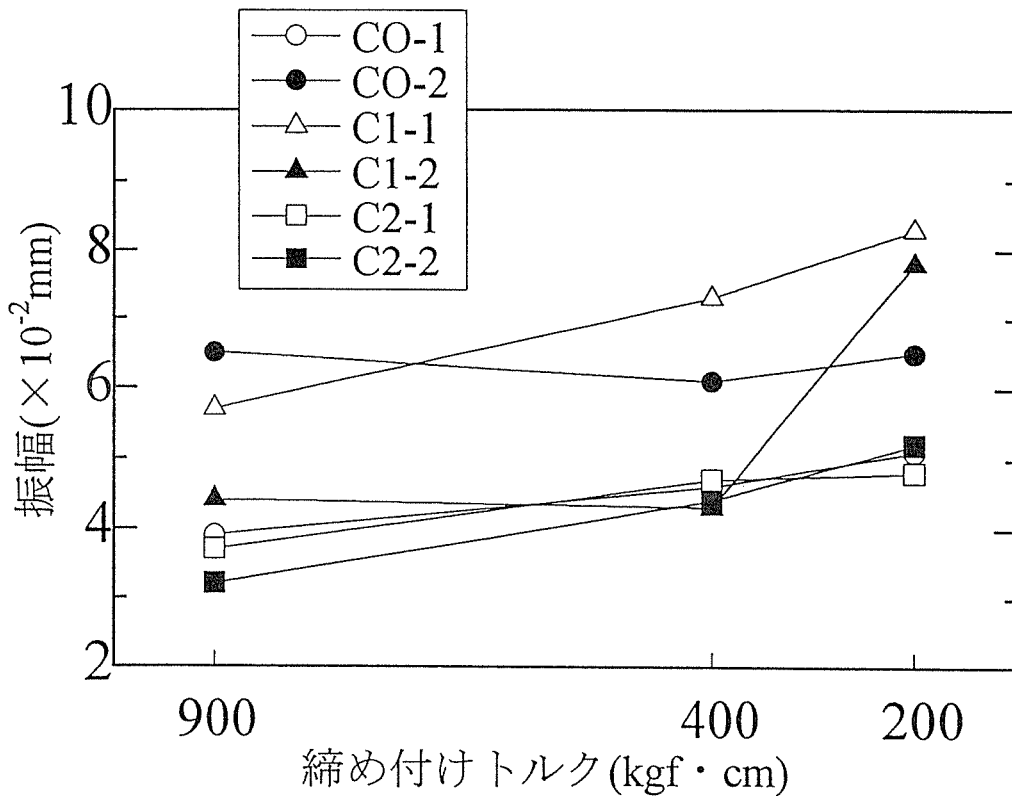


図2-39 各試験体の締め付けトルクの共振点の振幅への影響

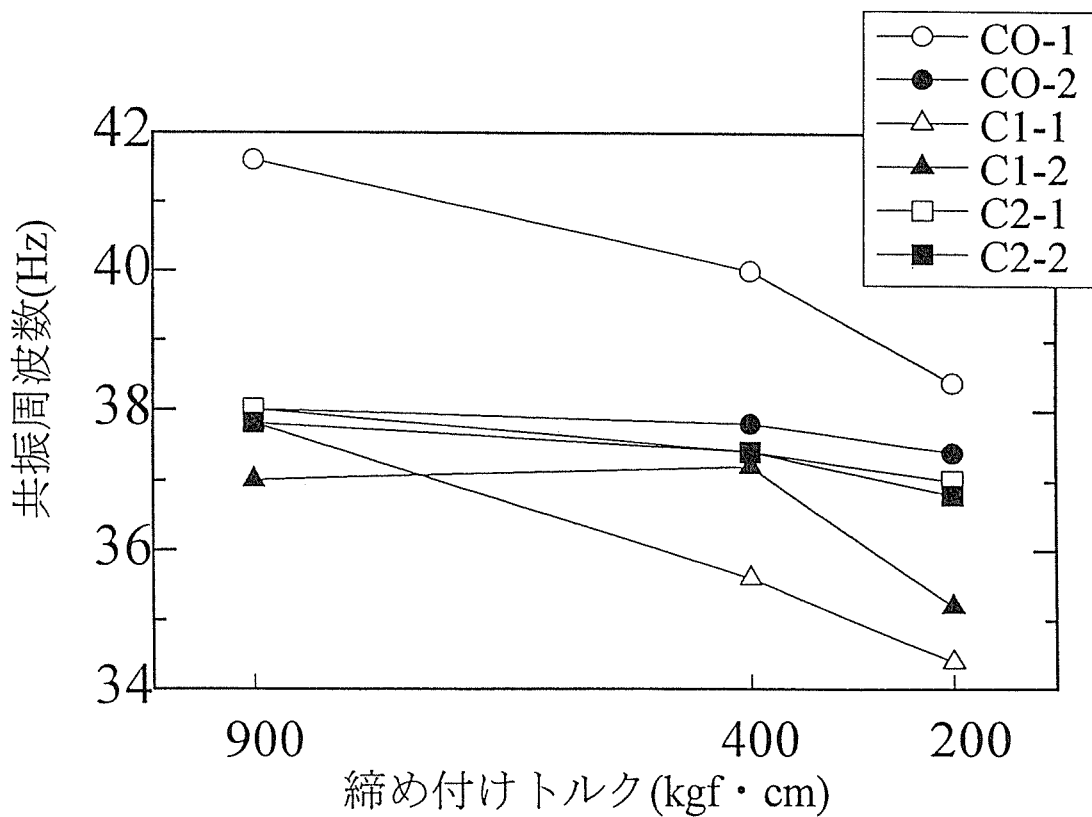


図2-40 各試験体の締め付けトルクの共振周波数への影響

5 自由振動のモーダル解析

締め付けトルクを 200、400、900 kgf・cm の 3 段階に変化させ、各試験体の側材上部に自由振動を励起させ、そのときの加速度応答を測定し、モーダル解析を行った。確認されたのは主に 1 次の共振点であった。各試験体の振動モードを図 2-41 から図 2-50 に示した。強制振動試験の結果と同じく締め付けトルクが低下すると、振動数は低下傾向であった。各試験体の共振周波数を表 2-4 に示した。しかし、「あそび」を有する試験体の方が振動数の低下が見られたが、「あそび」のない試験体では、低下が見られなかった。これは自由振動試験では、「あそび」のない試験体はボルトの締め付けにより動的モーメントに抵抗性しているのではなく、ボルトの接触面によってモーメントに抵抗しているためだと考えられる。

表 2-4

自由振動の共振周波数

試験体	締め付け トルク (kgf・cm)	1次振動 (Hz)	2次振動 (Hz)
CO-1	200	46.58	-
	900	46.36	-
C1-1	200	45.6	81.57
	900	49.63	76.39
C2-1	200	48.89	87.37
	900	49.41	77.96

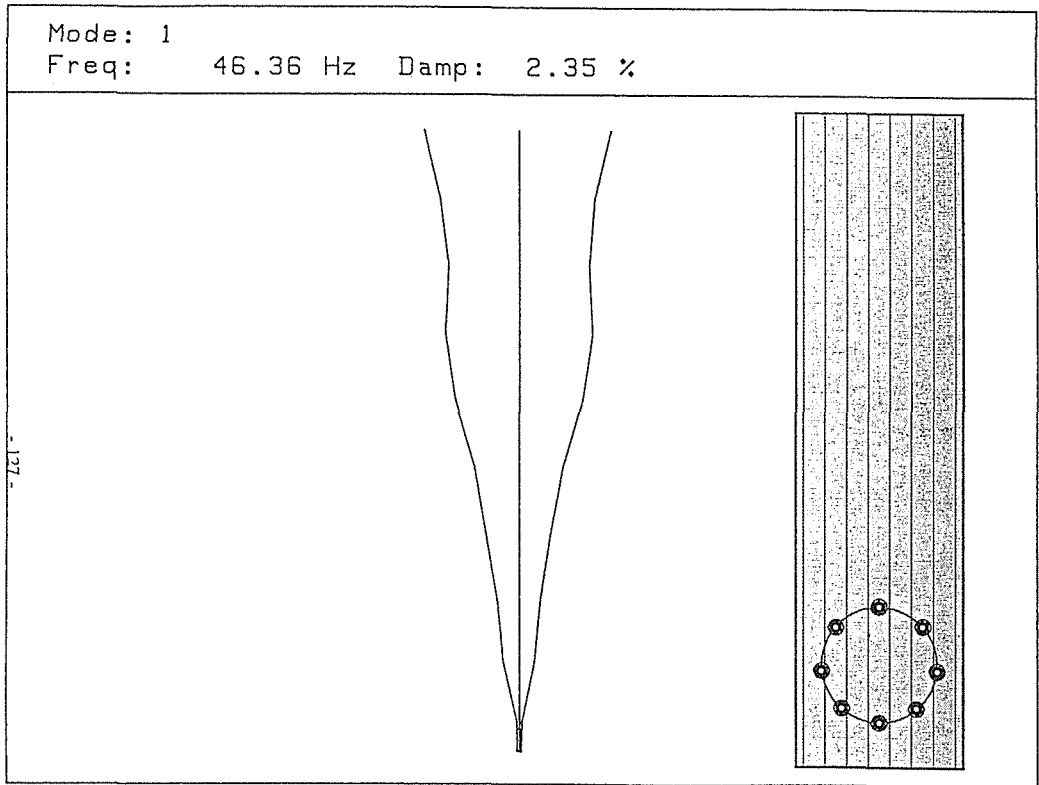


図 2.4.2 試験体 C O - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 900kgf・cm

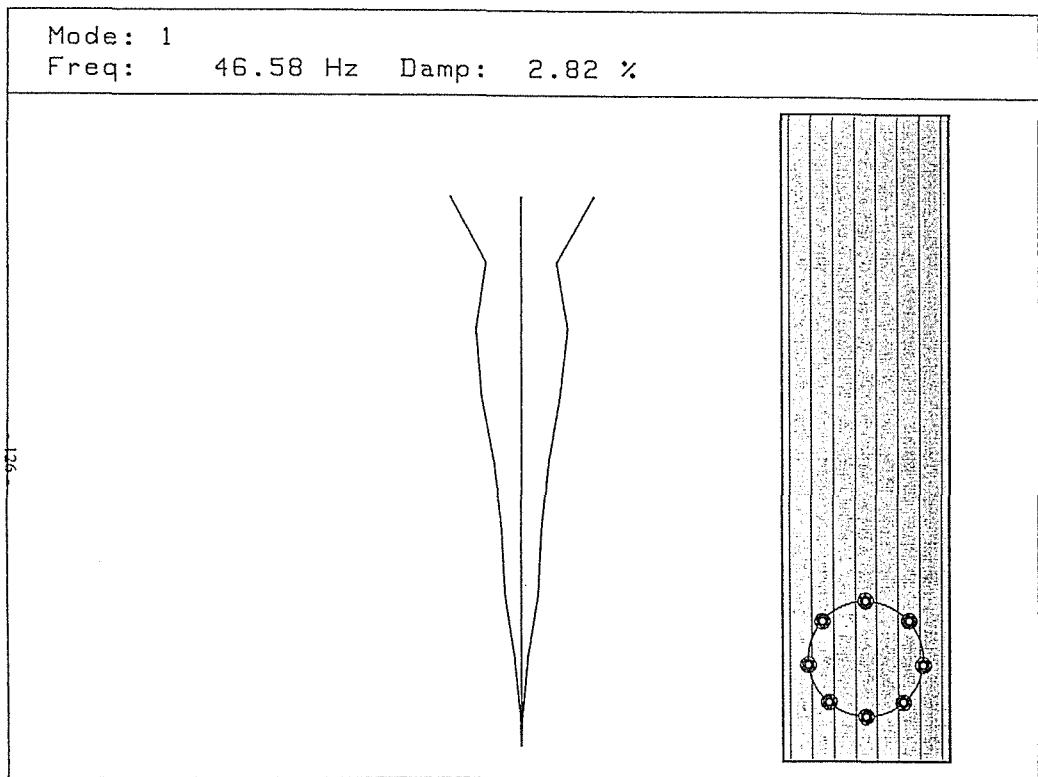


図 2.4.1 試験体 C O - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 200kgf・cm

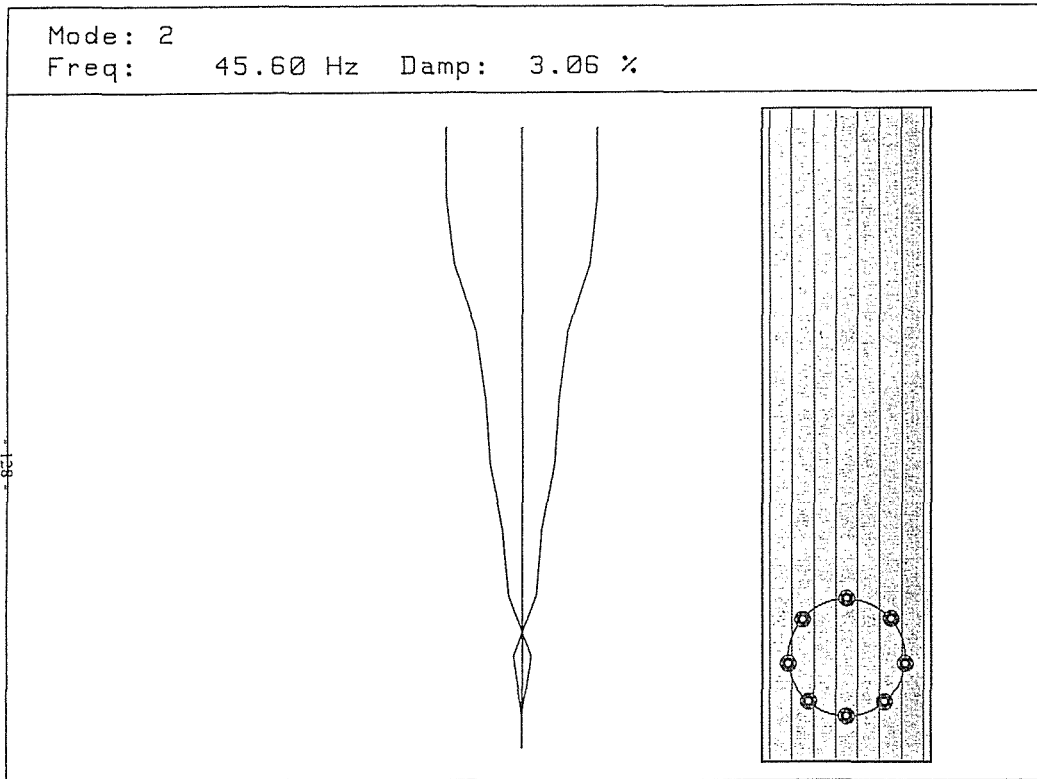


図 2.43 試験体 C 1 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 200kgf・cm

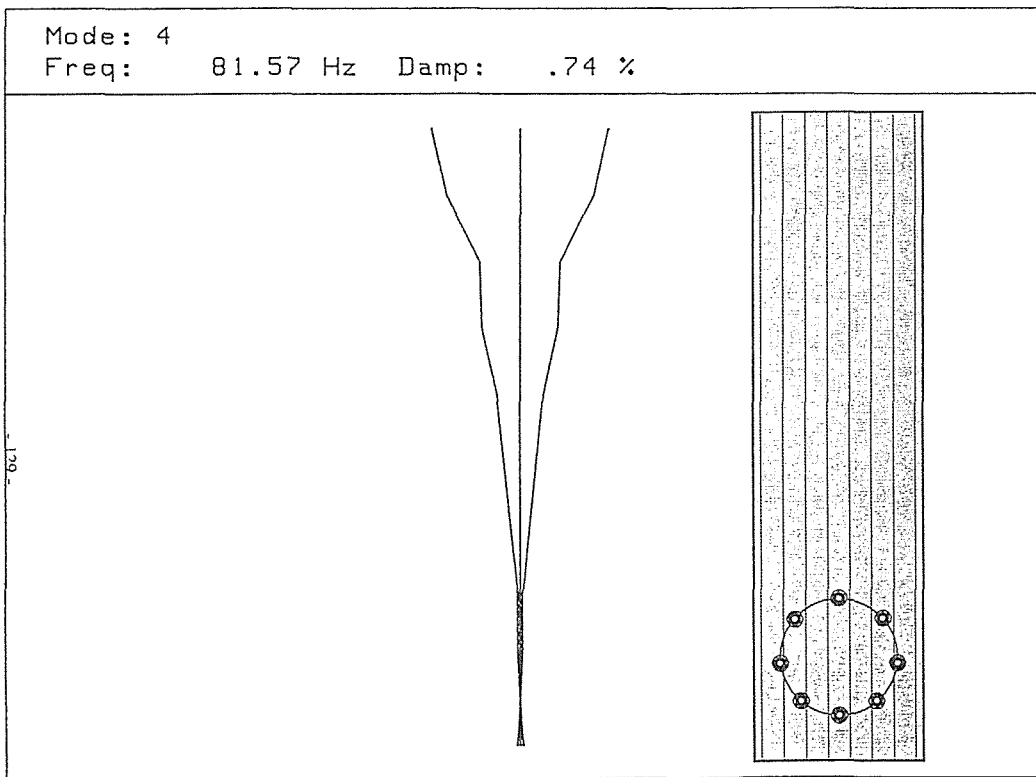


図 2.44 試験体 C 1 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 200kgf・cm

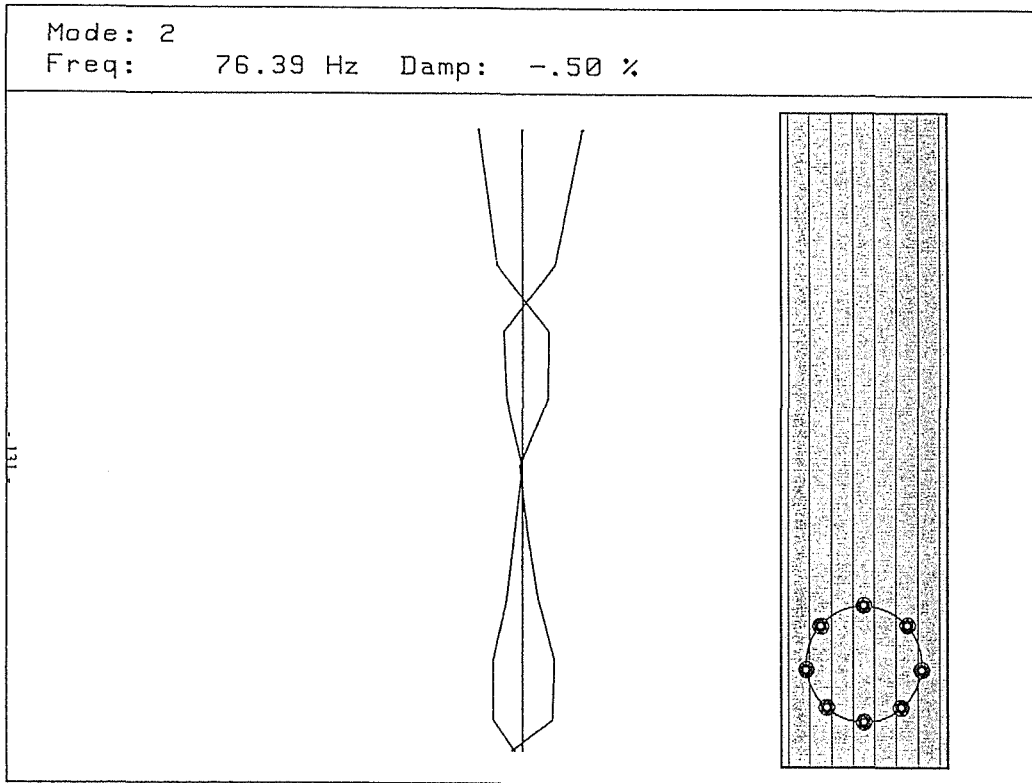


図 2.46 試験体 C 1 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 900kgf・cm

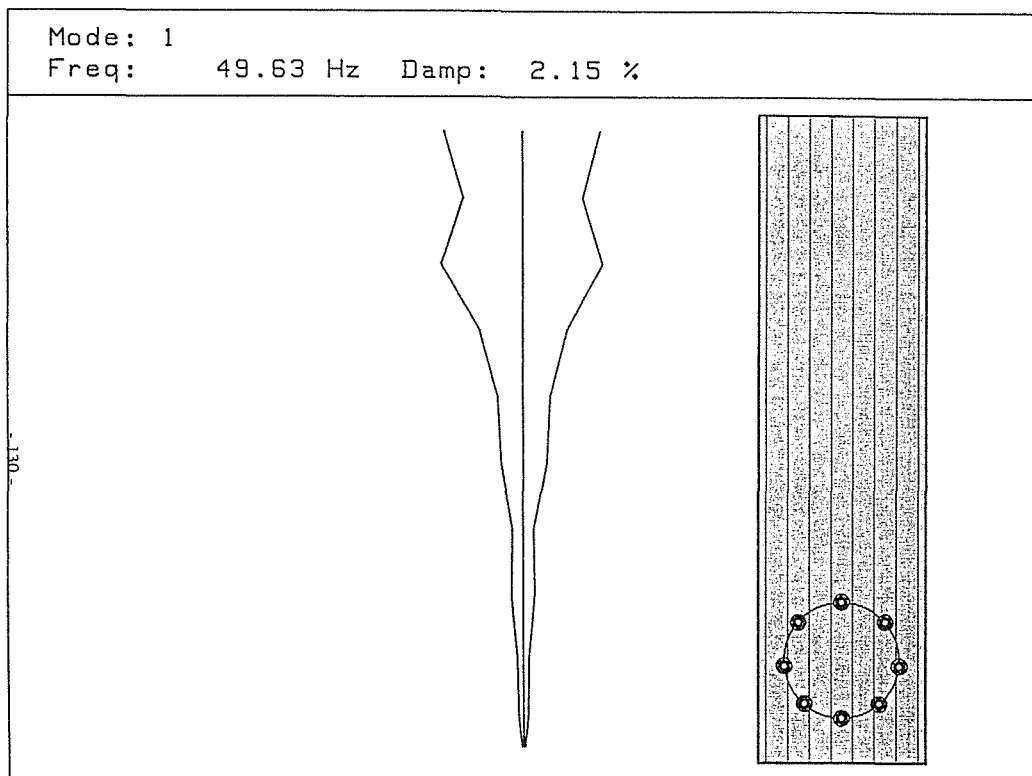


図 2.45 試験体 C 1 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 900kgf・cm

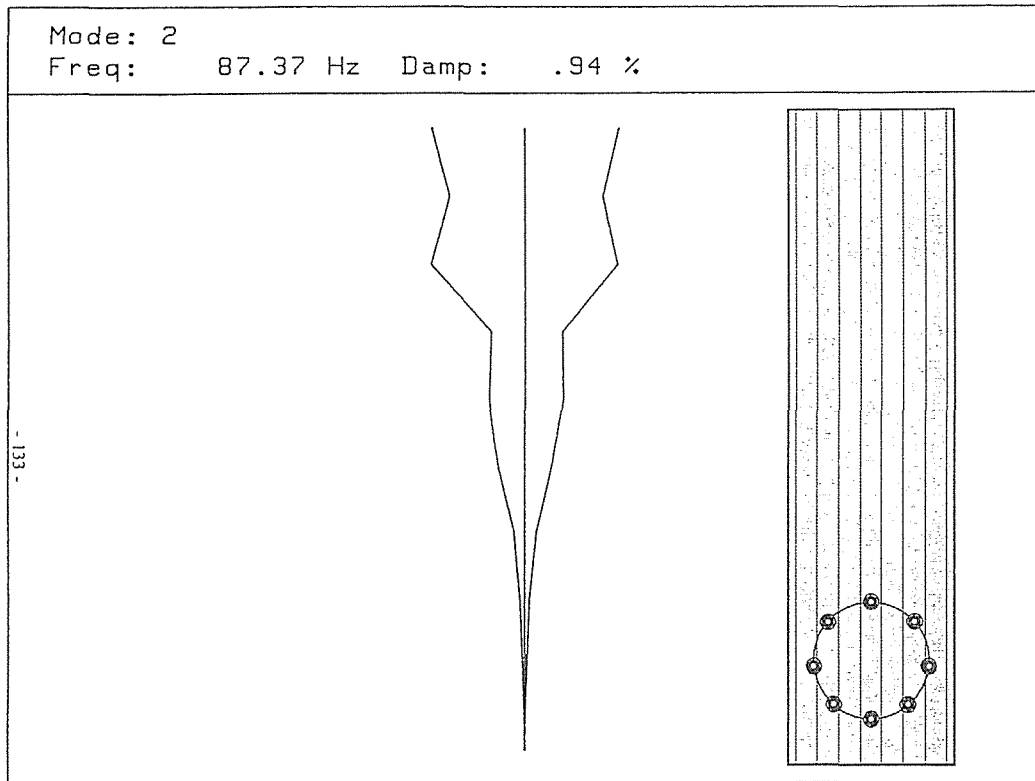


図 2.46 試験体 C 2 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 200kgf・cm

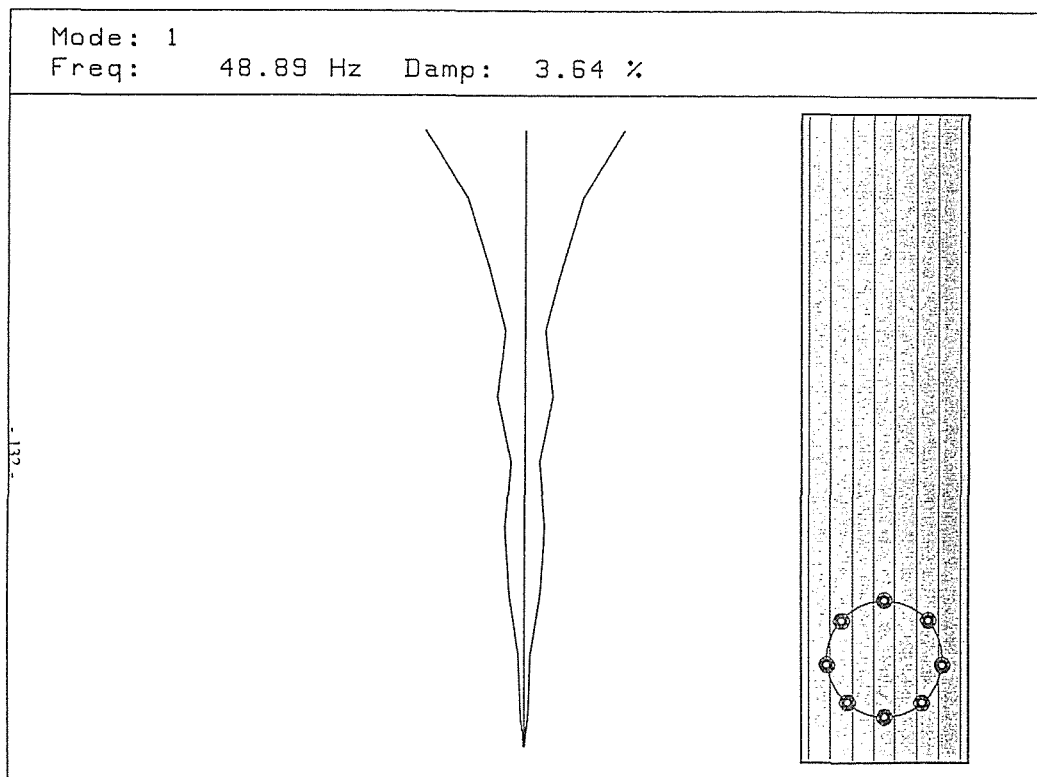


図 2.47 試験体 C 2 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 200kgf・cm

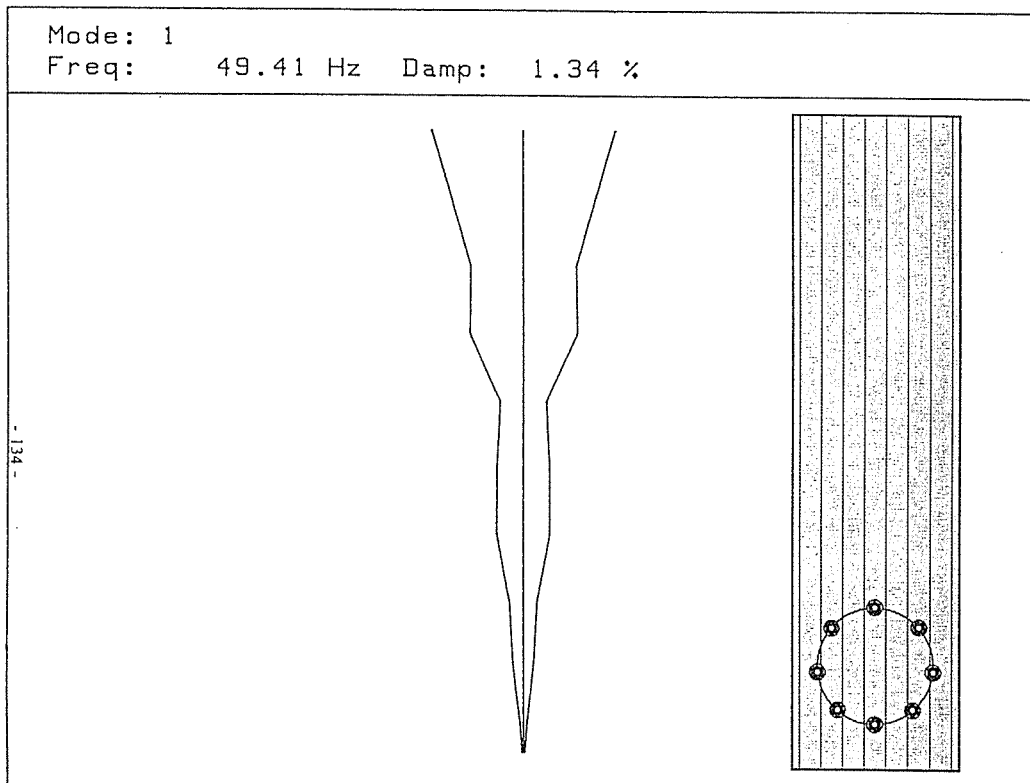


図 2.49 試験体 C 2 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 900kgf・cm

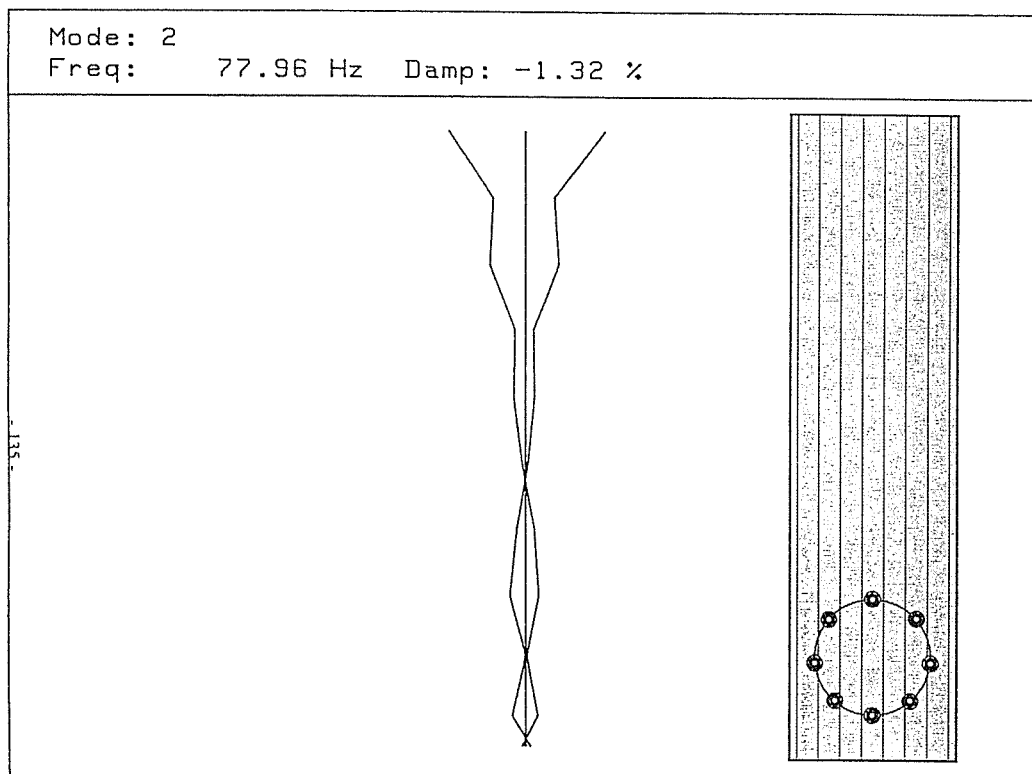


図 2.50 試験体 C 2 - 1 の側材 A の自由振動の振動モード
 締め付けトルク 900kgf・cm

第2章 木栓接合部のせん断実験

1 試験の概要

本章では、木栓のせん断実験について述べる。昨年度行なった試験では、同種の試験体を各3体ずつ製作したが、3体の試験結果のばらつきは大きいものであった。そこで、今回、ばらつきの究明を目指して試験を行なった。

ばらつきの原因として以下の3つを仮定した。

- 1) 木栓自体のばらつき
- 2) 目切れの影響
- 3) 施工の影響

まず初めに、納入された木栓を目視と比重の測定により、木栓自体のばらつきを調べた。若干本数、著しく比重が低く材そのものがスカスカの状態のものがあっただけで、大きなばらつきの要因となるものは確認できなかった。

次に木栓自体の曲げ試験を行ない、力学的性質についてのばらつきの大小を確認した。ここでは、目切れの影響についても考慮して試験を行なった。その結果、木栓自体のばらつきによる影響は少ないと判断し、せん断試験を、今回は同種で各6体ずつ製作して行なった。その際、施工の影響によるばらつきを抑えるため、木栓を叩き込むのではなく、圧縮試験機で圧入することにした。

以下2において、木栓自体の試験について、3においてせん断試験について紹介する。

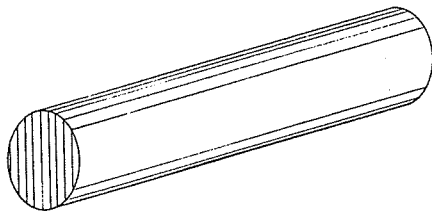
また、せん断試験の試験結果と理論式に基づく計算結果との比較も行なった。ここでは、木質構造設計基準に示されているボルトのせん断耐力ならびにせん断剛性を求めるための理論式を利用した。その内容については、4で触れる。

2 木栓単体の曲げ試験

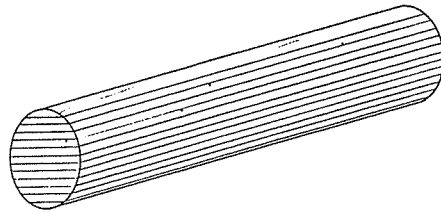
2.1 試験体

試験に使用した木栓は以下のとおりである。

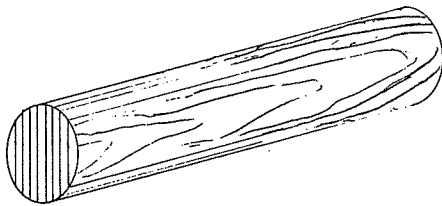
- ・ 径は、 $d = 18 \text{ mm}$ のものとする。
- ・ 長さは、 18 cm のものとする。
- ・ 材種は、ナラ材とする。



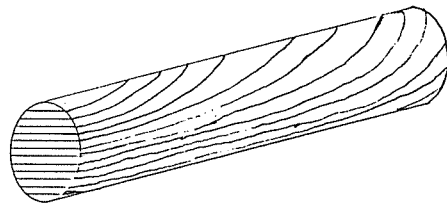
V



H



目切れありV



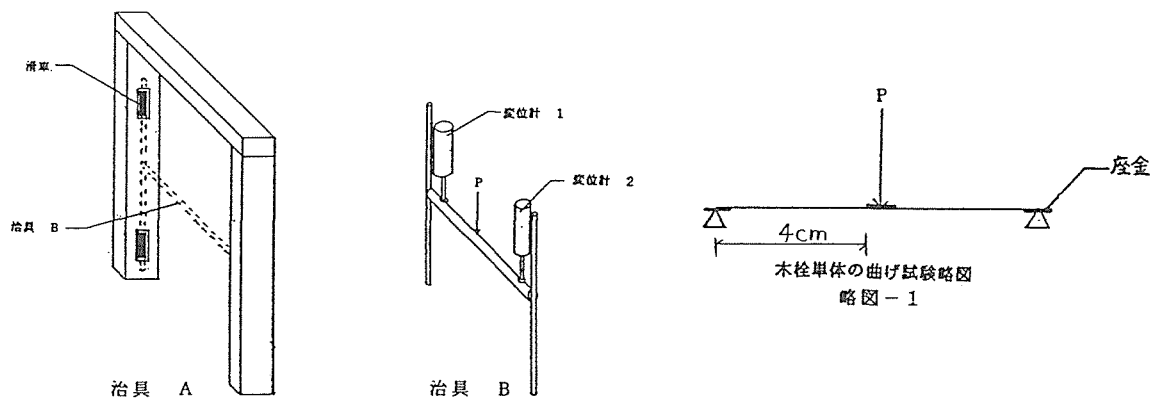
目切れありH

- ・それぞれ10本の木栓を使用する。

2.2 試験方法

以下のような条件で試験を行った。

- 加力は、トーシ式 R A T 3 0 t f 多能材料試験機によって行う。
- 計測に使用した機械類は、Macintosh powerbook 5300c, Mac ADIOS 488s, BUSCONTROLLER, TDS-302, 電気式変位計である。
- 変位計は、木栓の中心にあてがった治具の両端部に設置し、変位を計測する。
- 計測は、5秒ごとのインターバル計測を採用とする。
- 変位は、変位計を2個使うので、2つの平均値を使用する。
- 変位計は、動かないように治具 A・治具 B で固定する。
- 木栓は、重量を計り繊維の細かさ・密度・水分量などから起こるばらつきを調べる。
- 目切れの有るものと無いものを、目にたいして縦と横にして各10本ずつおこなった。
- 試験は、写真-1のようにして行う。(略図-1も参照)
- 計算式として、単純梁の計算式である $4/PL$ を使用する。
(P =最大荷重、 L =10-座金の当たっている距離)



2.3 試験結果

18-H

木栓の木目の少ない物を選び、木栓の繊維に対して垂直にし行った試験である。

下の表2-1 と次のページのグラフは、試験を行った結果である。

表からの考察

- ・木栓の自重からの値の変化は、あまり見られない。
- ・18-6, 7, 8Hを、除けば平均にほぼ近い値が出ている。

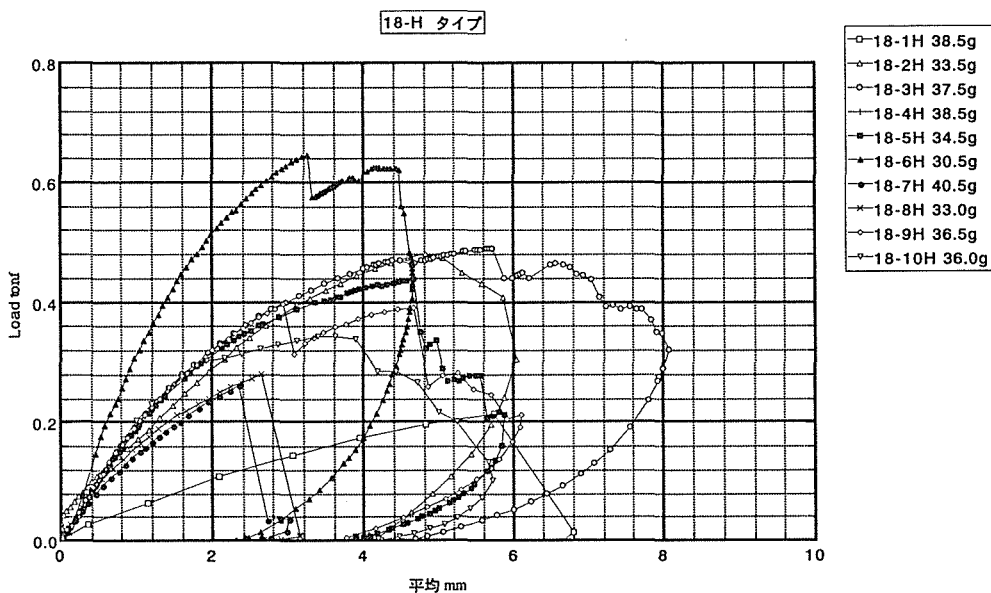
グラフからの考察

- ・18-1Hは、試験時に荷重を一気に加えてしまったために起こったばらつきであると思われる。
- ・18-7, 8Hは、木栓が完全に折れた事によってのものである。
- ・18-6Hが、なぜ飛び抜けて値が良いのか、原因不明である。
- ・その他のものは、降伏した後の違いはあるけれど荷重に対しての変位は比例している。

試験体番号	最大荷重 (tf)	最大荷重時の変位 (mm)	木栓の自重 (g)
18-1H	0.348	8.82	38.5
2H	0.481	4.82	33.5
3H	0.489	5.68	37.5
4H	0.437	4.66	39.5
5H	0.439	4.57	34.0
6H	0.644	3.24	30.5
7H	0.261	2.35	40.5
8H	0.280	2.66	33.0
9H	0.396	2.94	36.5
10H	0.342	3.63	36.0
平均	0.412	4.34	36.0

表2-1

(平均値を計算式に当てはめた結果) $4/PL=3/2P=0.615$



18 - V

木栓の木目の少ない物を選び、木栓の繊維に対して水平にし行った試験である。

下の表2-2 と次のページのグラフは、試験を行った結果である。

表からの考察

- ・木栓の自重からの値の変化は、あまり見られない。
- ・18-5, 9Vを、除けば平均にほぼ近い値が出ている。

グラフからの考察

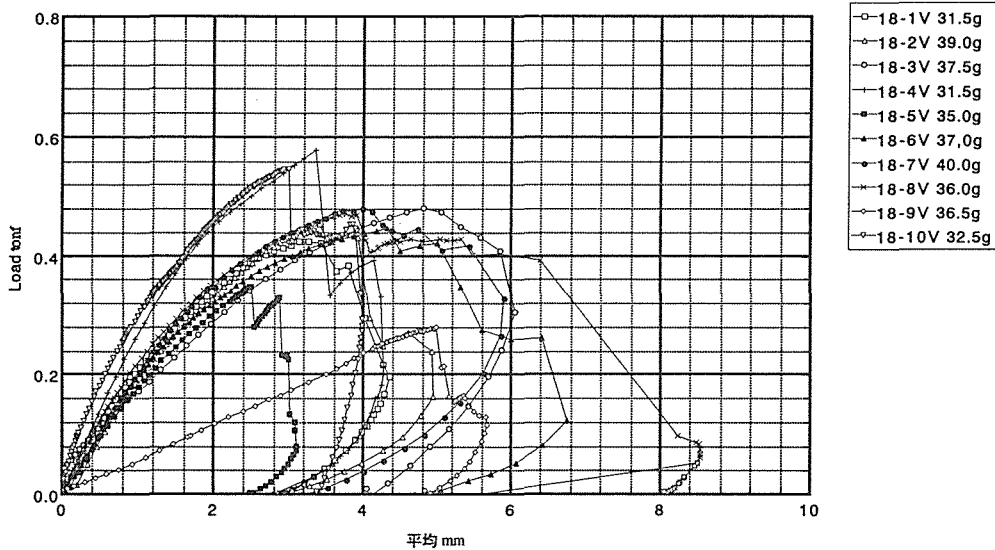
- ・18-9Vは、試験時に荷重を一気に加えてしまったために起こったばらつきであると思われる。
- ・18-4, 10Vが、なぜ飛び抜けて値が良いのか、原因不明である。
- ・その他のものは、降伏した後の違いはあるけれど荷重に対しての変位は比例している。

試験体番号	最大荷重 (t)	最大荷重時の変位 (mm)	木栓の自重 (g)
18-1V	0.424	3.27	31.5
2V	0.453	3.41	39.0
3V	0.481	4.82	37.0
4V	0.577	3.36	31.5
5V	0.348	2.51	35.0
6V	0.447	4.32	37.0
7V	0.480	3.98	40.0
8V	0.472	3.77	36.0
9V	0.279	4.99	36.5
10V	0.546	3.00	32.5
平均	0.451	3.74	35.5

表2-2

(平均値を計算式に当てはめた結果) $4/PL=3/2P=0.677$

18-V タイプ



目切れ有り 18-H

木栓の木目の多い物を目視で選び、木栓の繊維に対して水平にし行った試験である。

下の表2-3 と次のページのグラフは、試験を行った結果である。

表からの考察

- すべての試験体が、平均に近い値が出ている。
- 木栓の自重が、ほぼ平均的であるため、最大荷重も平均的だと考えられる。

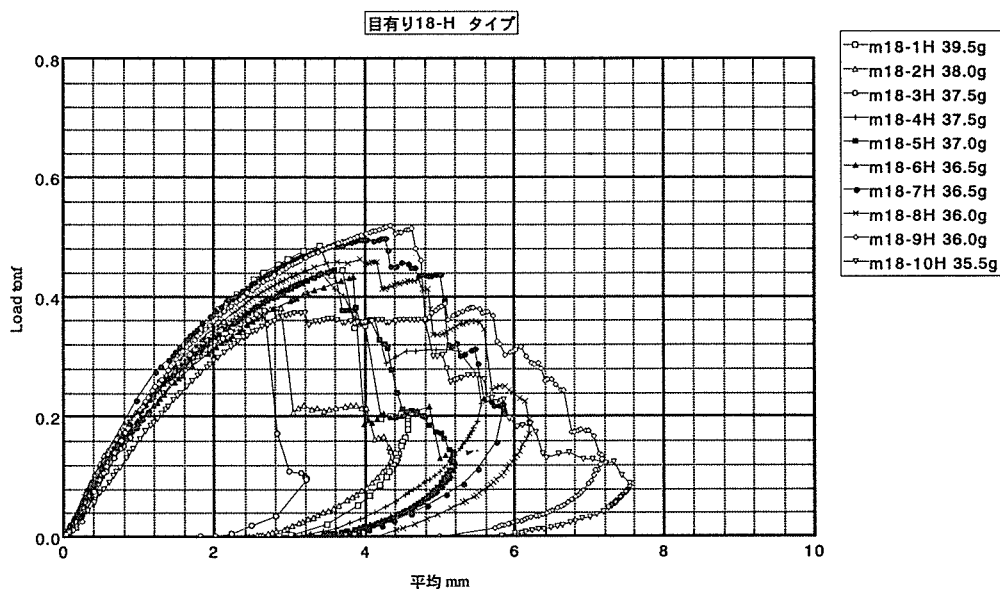
グラフからの考察

- すべての試験体が、降伏した後の違いはあるけれど、荷重に対しての変位は比例しており降伏点までの耐力は類似している。

試験体番号	最大荷重 (tf)	最大荷重時の変位 (mm)	木栓の自重 (g)
目切れ18-1H	0.484	3.40	39.5
2H	0.380	2.89	38.0
3H	0.375	2.67	37.5
4H	0.439	3.41	37.5
5H	0.444	3.59	37.5
6H	0.432	3.84	36.5
7H	0.499	4.26	36.5
8H	0.458	4.17	36.0
9H	0.517	4.34	36.0
10H	0.373	3.21	35.5
平均	0.440	3.58	37.0

表2-3

(平均値を計算式に当てはめた結果) $4/PL=3/2P=0.660$



目切れ有り 18 - V

木栓の木目の多い物を目視で選び、木栓の繊維に対して垂直にし行った試験である。

下の表2-4 と次のページのグラフは、試験を行った結果である。

表からの考察

- ・ 6, 8, 10Vの加重の値が低いのは、自重が軽く木栓の繊維がスカスカしていたのを、試験後目視で確認している。
- ・ その他の物は、平均にほぼ近い値が出ている。

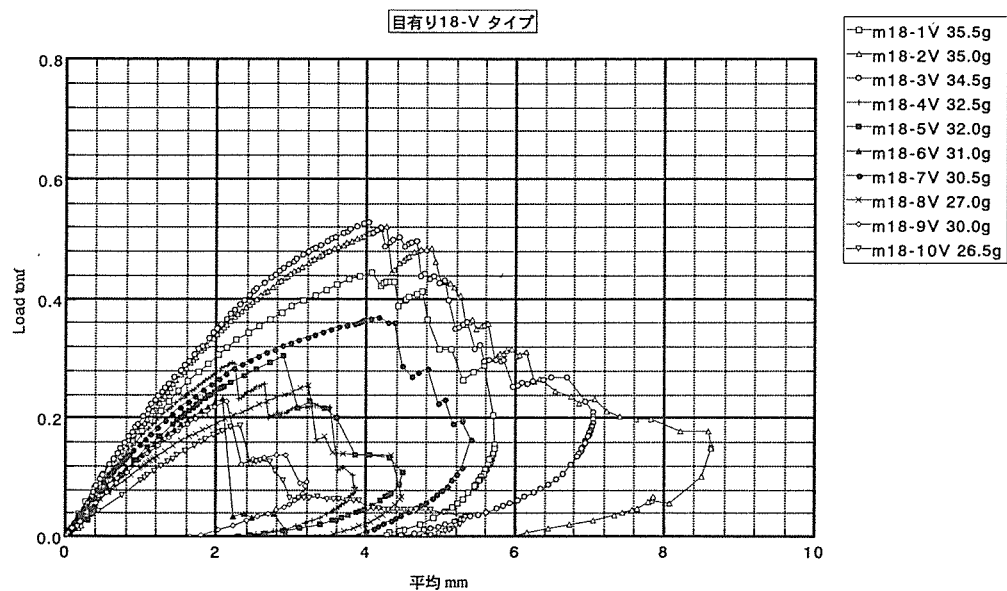
グラフからの考察

- ・ 6, 8, 9, 10V以外のものは、降伏した後の違いはあるけれど、荷重に対しての変位は比例しており、降伏点までの耐力は類似している。

試験体番号	最大荷重 (tf)	最大荷重時の変位 (mm)	木栓の自重 (g)
目切れ18-1V	0.444	4.06	35.5
2V	0.520	4.26	35.0
3V	0.528	4.03	34.5
4V	0.292	2.21	32.5
5V	0.303	2.88	32.0
6V	0.233	2.08	31.0
7V	0.367	4.05	30.5
8V	0.250	3.12	27.0
9V	0.299	2.14	30.0
10V	0.188	2.33	26.5
平均	0.342	3.12	31.5

表2-4

(平均値を計算式に当てはめた結果) $4/PL=3/2P=0.513$



2. 4 考察

木栓自体の曲げ試験より以下のような知見を得た。

1) 18-H、18-V、18-H目切れ有り、18-V目切れ有りにおいて、それぞれ10体の平均値の3/4下限値は、0.309tf、0.311tf、0.330tf、0.256tfであり、その値を下回る試験体数は10体中それぞれ、2体、1体、なし、3体であった。ただし、18-V目切れ有りの3体については、木栓がスカスカな状態のものであったことが確認されている。

2) 計40体の3/4下限値は、0.308tfとなる。それに対して、スカスカな状態が容易に確認できる3体を除いた試験体の中での最小値は、0.261tfであった。

3) 今回の試験結果から木栓の曲げ強度を算定すると次のようになる。

$$\text{断面係数 } Z = \pi \cdot 1.8^3 / 32 = 0.57 \text{ cm}^3$$

最小値0.261tfを採用した場合

$$\text{曲げモーメント } M = 261 \cdot 4 / 4 = 261 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

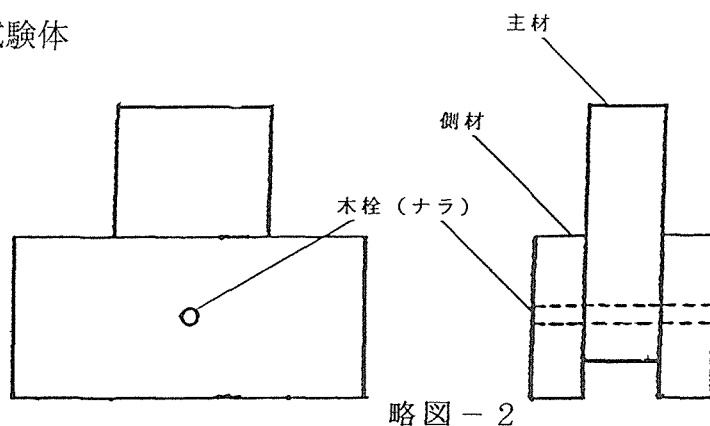
$$\text{木栓の曲げ強度 } fb = 261 / 0.57 = 458 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$$

3 木栓接合部のせん断試験

3.1 材種

- ・木栓は、径 $d = 12\text{ mm}$ 、 18 mm 、 24 mm のナラ材を使用する。
- ・主材・側材は、カラマツの集成材を使用する。
- ・木栓は、重さの平均を計り、それに近い値のものを使用する。

3.2 試験体



・試験体は、略図-2にあるように主材を側材2枚で挟み込み木栓を打ち込んで止める。

- ・木栓の位置は、縁端距離を十分にとった位置とする。
- ・木栓は、打ち込みを均等にするために、トーチ式 R A T 3 0 t f 多能材料試験機を使用して、押し込むこととする。
- ・主材（材厚 60 mm 、 90 mm ，材成 $4 d = 7 2$ ）側材（材厚 30 mm 、 45 mm 、 60 mm 、 75 mm 、 90 mm 、 105 mm ，材成 $8 d = 1 4 4$ ）を組み合わせる。
- ・主材・側材を組み合わせるとし、1種類につき6体ずつ行い計84体を行った。

<表2-5 に 記載>

木栓の径	12 mm	18 mm	24 mm
主材/側材			
A 60/30	6体	6体	6体
B 60/60	6体	6体	6体
C 60/90		6体	6体
D 90/45	6体	6体	6体
E 90/75	6体	6体	6体

主材・側材 カラマツの集成材

木栓 ナラ

計84体

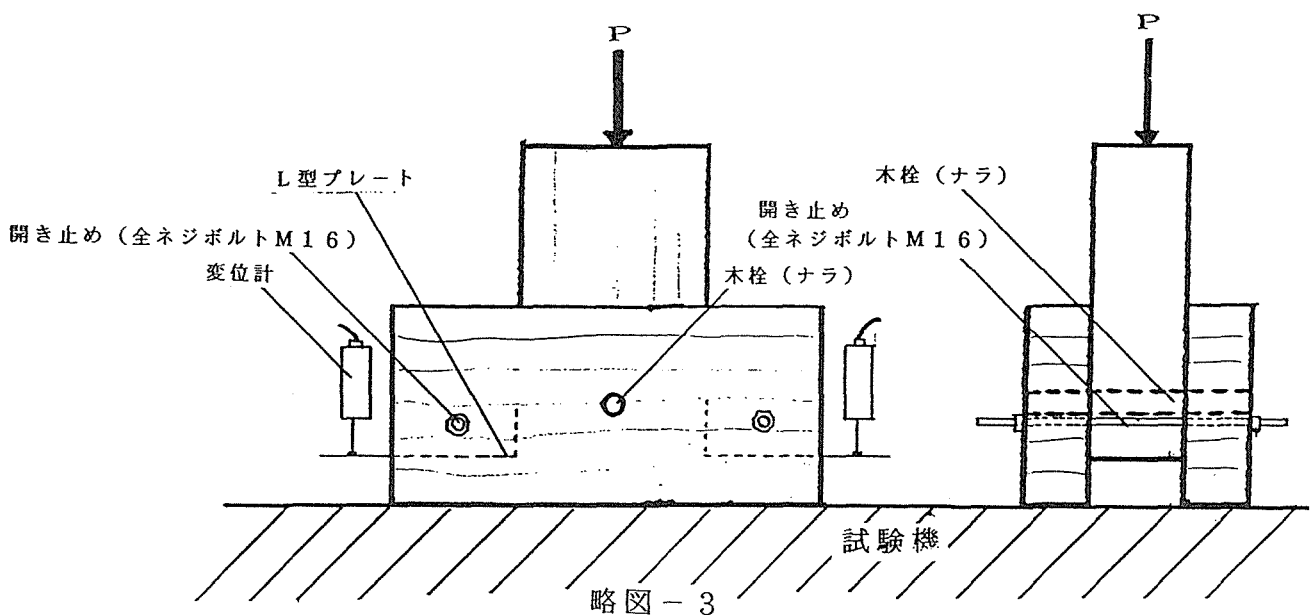
表2-5

3.3 試験体記号

K 18 A - 1

- Kは、材種のカラマツを示す。
- 18は、木栓（12、18、24mm）の太さを示す。
- Aは、主材・側材の厚みの違いを示す。
- 1は、同一種の6体のうち、何体目かを示す。

3.4 試験方法



- 試験は、略図-3のように主材の上端に荷重をかけて、木栓のせん断を計測するものとする。
- 変位は、変位計を2つ使って行うのでその平均の値を使うこととする。
- 計測は、5秒ごとのインターバル計測を採用する。
- 本試験で使用しているトーチ式RAT30tf多能材料試験機は、油圧式なので破壊によって急激に荷重が低下し変位が通過してしまう為に、その都度計測を行う。
- 変位計は、試験機に固定し主材にL型プレートを付けその上端にて変位を取る。
- 主材と側材との開きを防止するために、主材と側材に摩擦が起こらない程度に全ネジボルトで固定する。

3.5 試験結果

試験結果とタイプ別の考察

K12Aタイプ (木栓12mm / 主材60mm・側材30mm)

表の 2-6 からの考察を行う。

- ・ A-3, 4, 6の最大荷重が他の物の倍近い値が出ている。
- ・ その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-7 からの考察を行う。

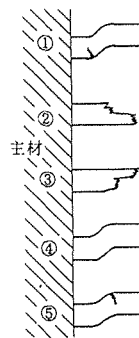
- ・ ④⑤のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ 降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、0.45tfぐらいである。

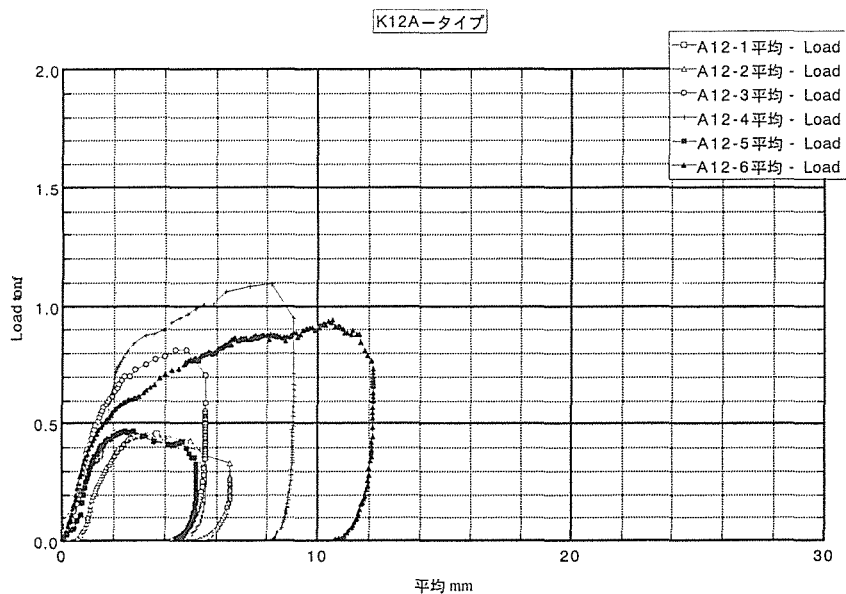
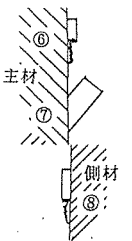
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K12A-1	0.458	2.70
2	0.457	3.08
3	0.813	4.87
4	1.095	8.21
5	0.448	3.15
6	0.934	10.43
平均	0.701	5.41

表2-6



最大値順位	K12A	試験体番号
1	4-5	A-4
2	5-5	A-6
3	2-4	A-3
4	4-2	A-5
5	2-5	A-1
6	2-2	A-2

表2-7



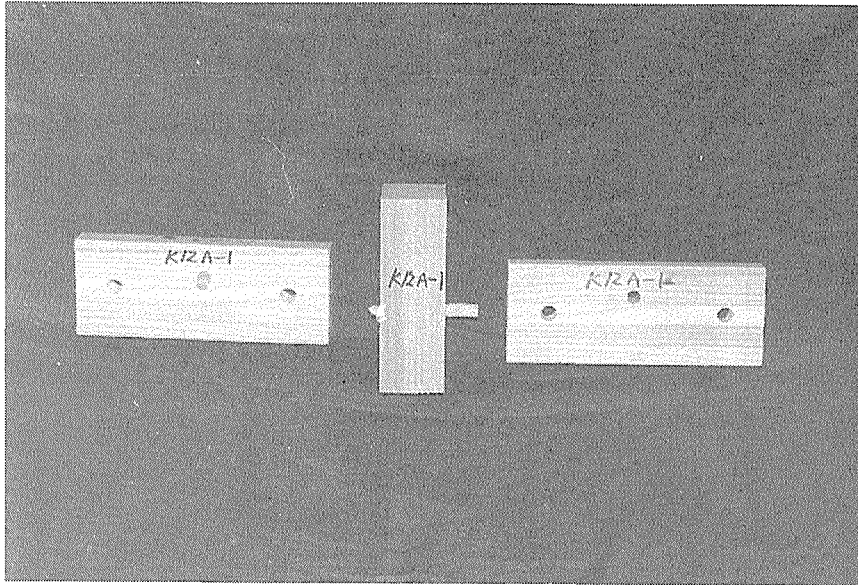


写真2-1
K12A-1
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる
2-5

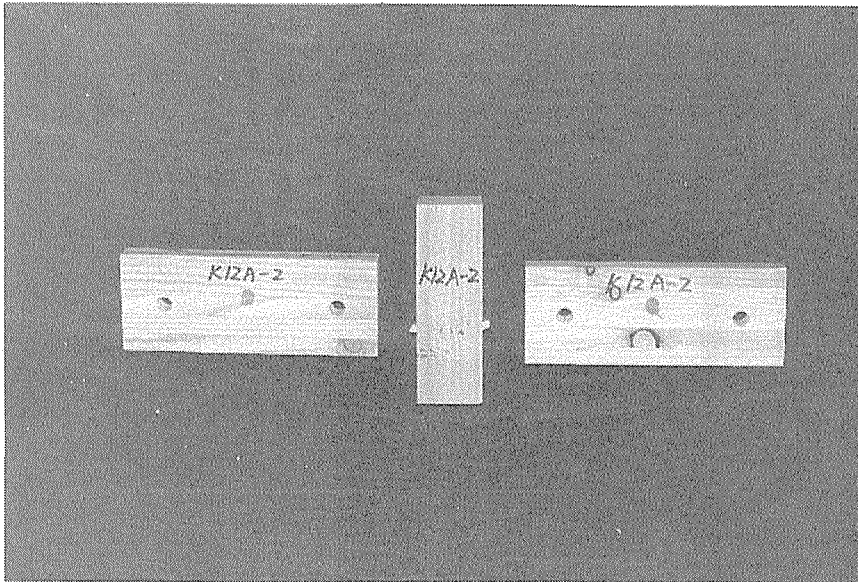


写真2-2
K12A-2
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2-2

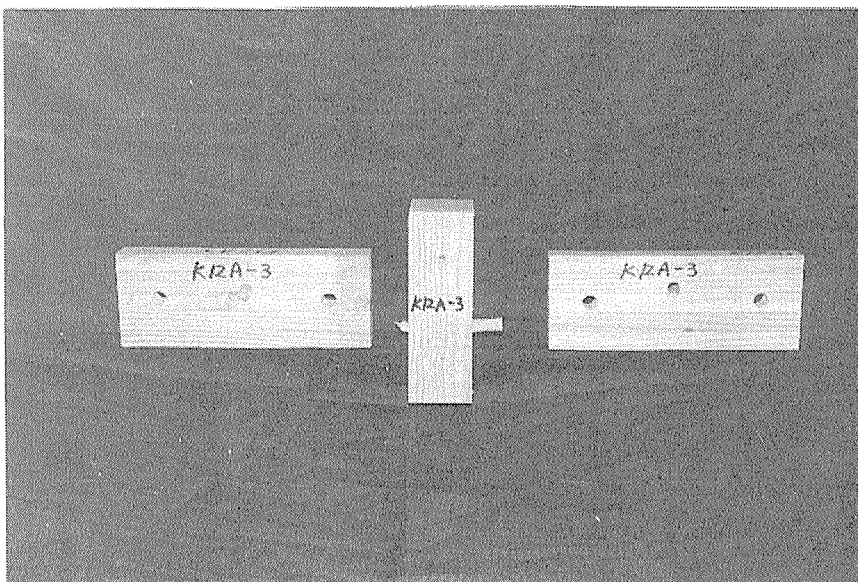


写真2-3
K12A-3
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
2-4

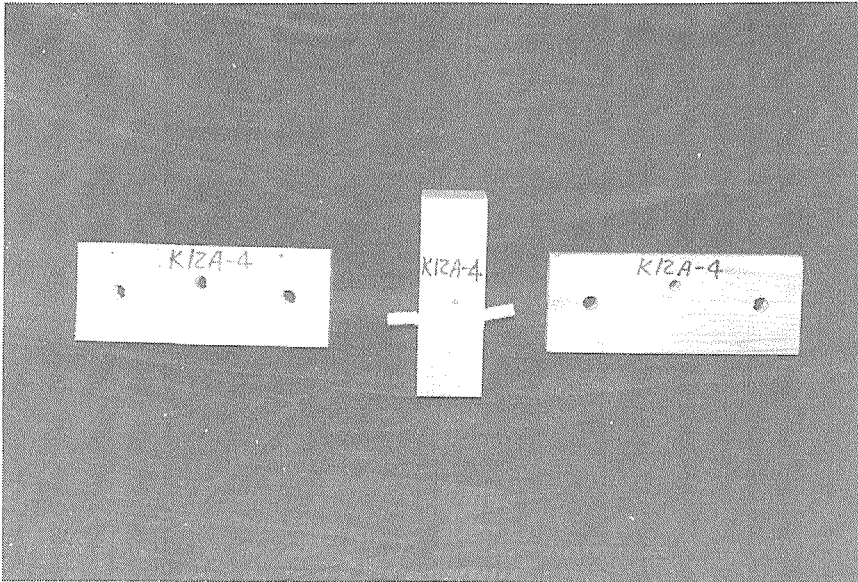


写真2-4
K12A-4
木栓がそのまま残っているタイプであることがわかる。
4-5

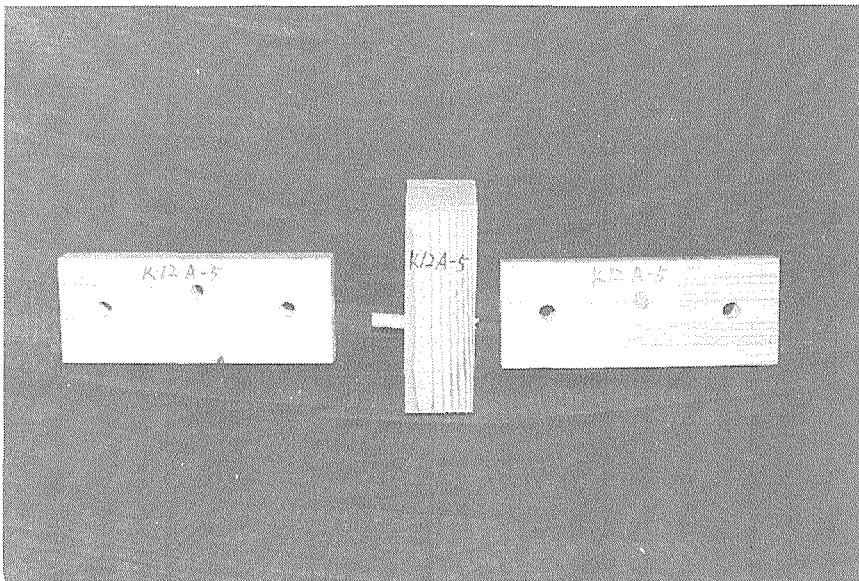


写真2-5
K12A-5
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
4-3

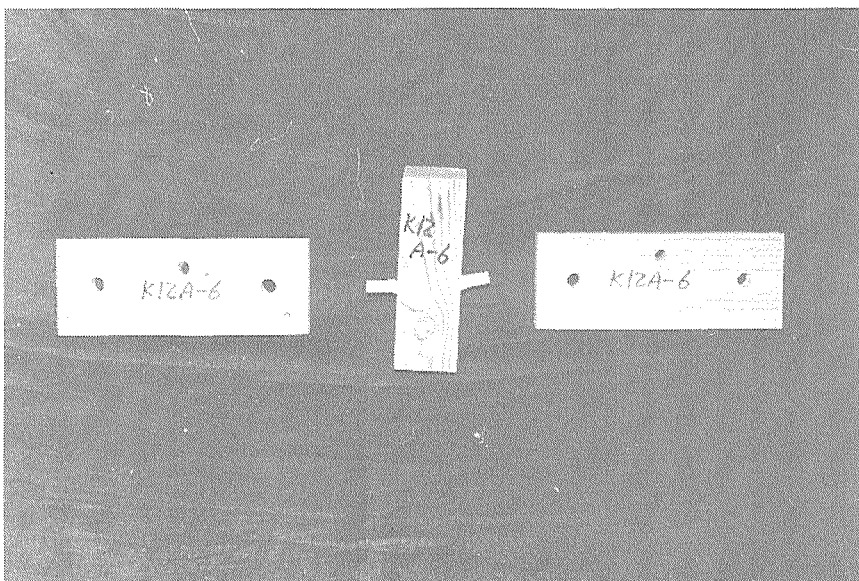


写真2-6
K12A-6
木栓がそのまま残っているタイプであることがわかる。
5-5



写真 2 - 7

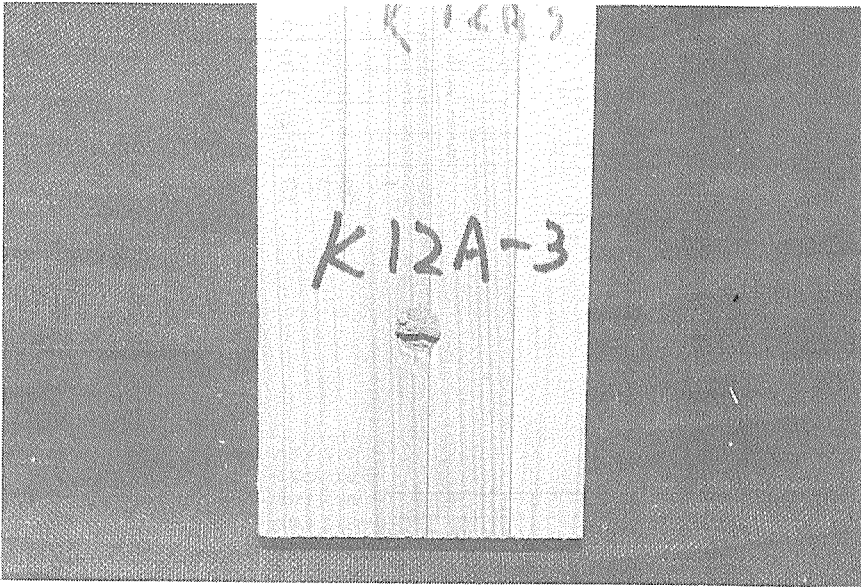


写真 2 - 8

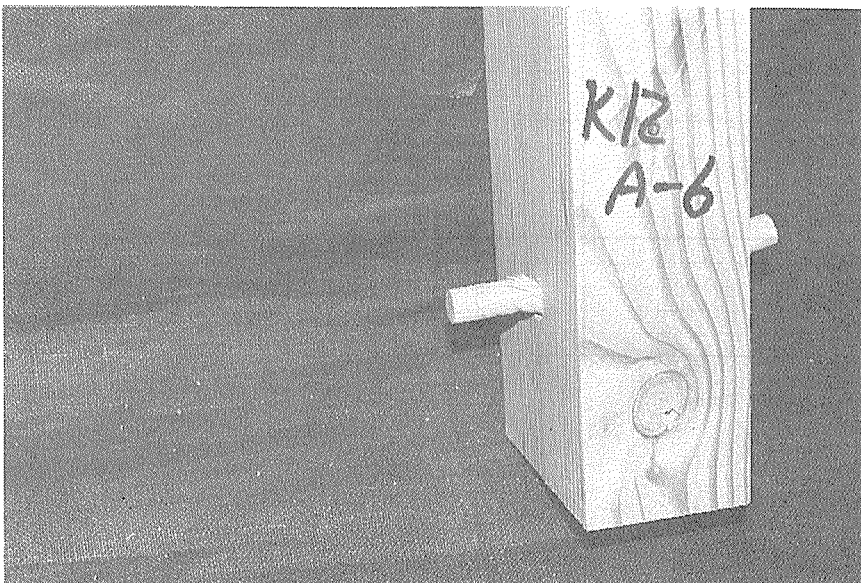


写真 2 - 9

K 1 2 Bタイプ (木栓 1 2 m m / 主材 6 0 m m ・ 側材 6 0 m m)

表の 2-8 からの考察を行う。

- ・ B-2, 4の最大荷重が他の物より高い数値が出ている。
- ・ その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-9 からの考察を行う。

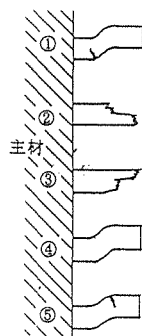
- ・ ⑤⑥のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ 降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、0.48tfぐらいである。

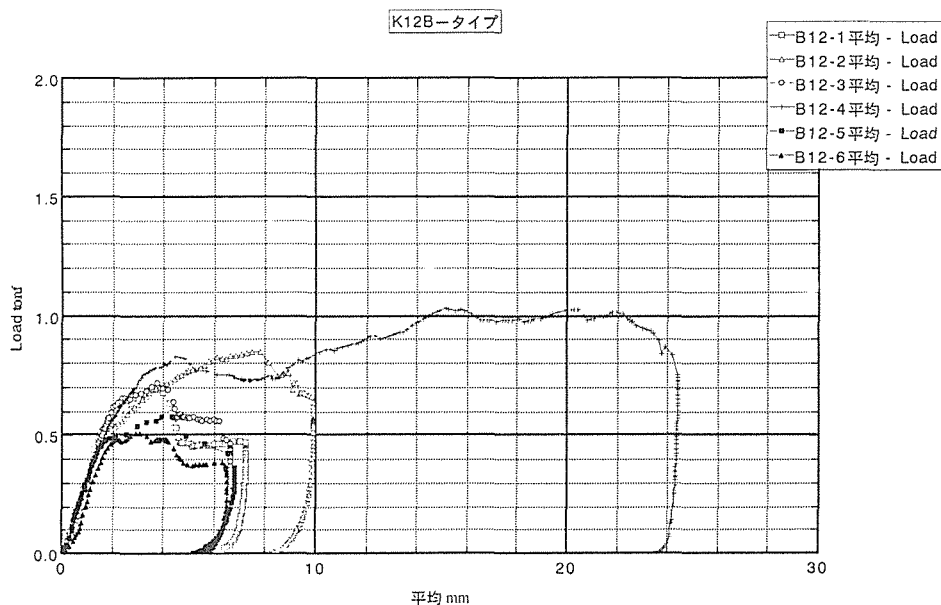
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K12B-1	0.688	3.49
2	0.847	7.51
3	0.714	3.78
4	1.032	15.14
5	0.573	4.34
6	0.506	3.13
平均	0.727	6.23

表2-8



最大値順位	k 1 2 B	試験体番号
1	6-6	B-4
2	5-5	B-2
3	2-2	B-3
4	2-2	B-1
5	2-5	B-5
6	2-5	B-6

表2-9



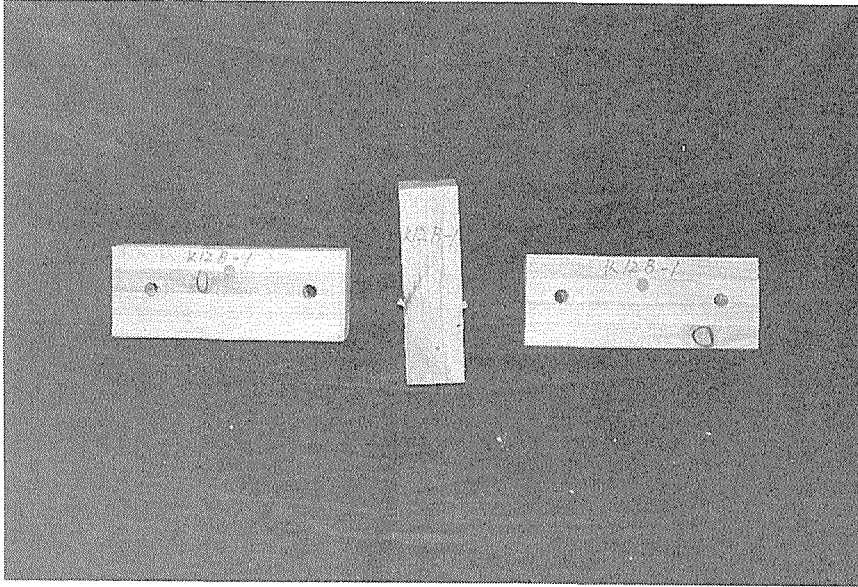


写真 2 - 10
K 1 2 B - 1
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 2

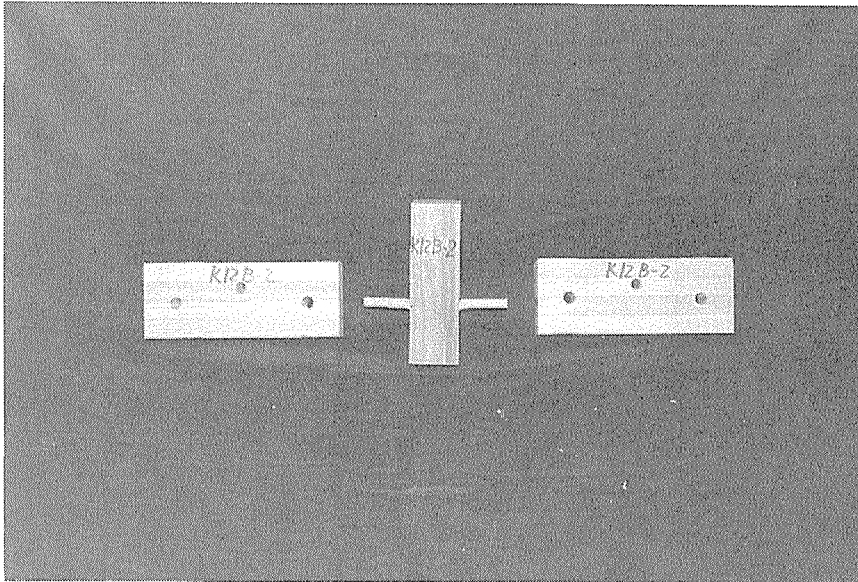


写真 2 - 11
K 1 2 B - 2
木栓がそのまま残っているタイプであることがわかる。
5 - 5

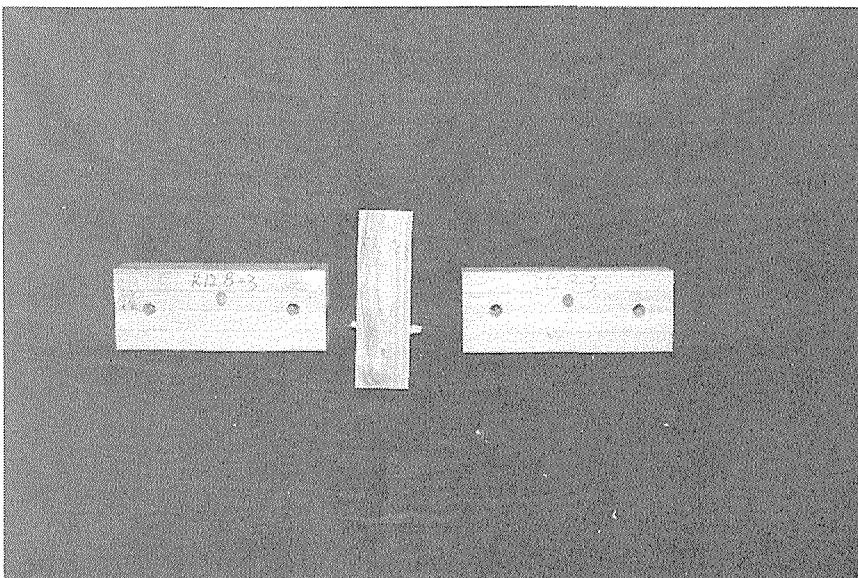


写真 2 - 12
K 1 2 B - 3
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 2

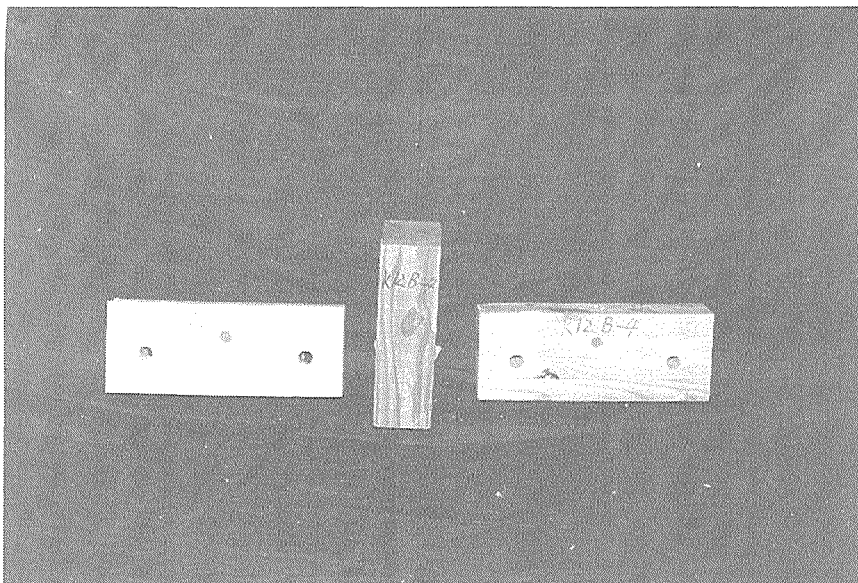


写真2-13
 K12B-4
 木栓が両方とも、折れてしまい主材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。
 6-6

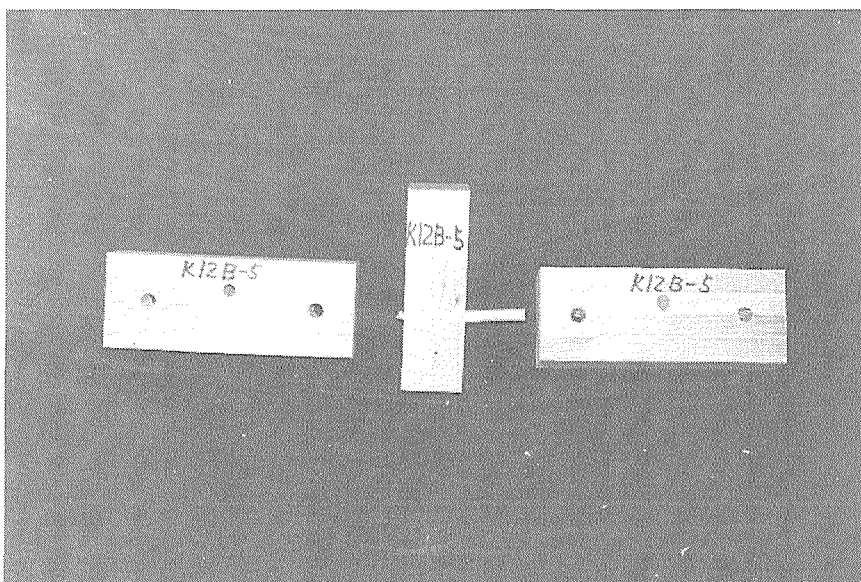


写真2-14
 K12B-5
 木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
 2-5

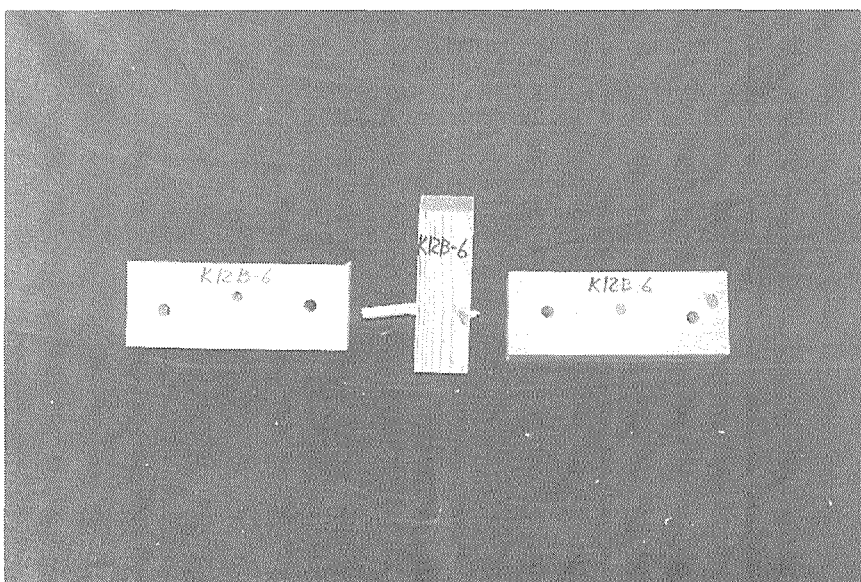


写真2-15
 K12B-6
 木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
 5-2

K 1 2 Dタイプ (木柱 1 2 m m / 主材 9 0 m m ・ 側材 4 5 m m)

表の 2-10 からの考察を行う。

- ・ D-3, 6の最大荷重が他の物の半分ぐらいの値になっている。
- ・ その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-11 からの考察を行う。

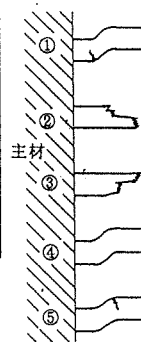
- ・ ②④⑤のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ 降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、0.51tfぐらいである。

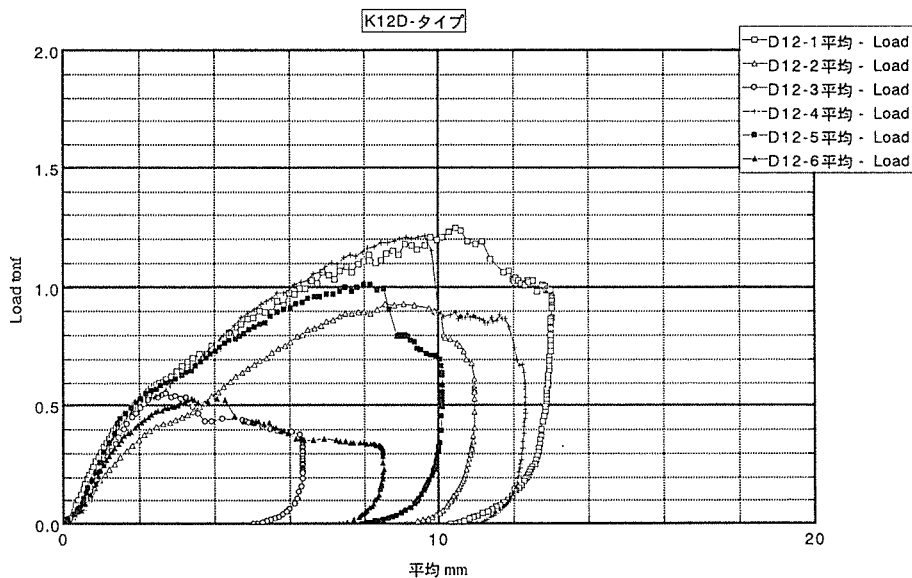
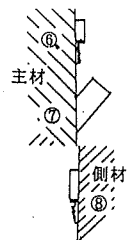
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K12D-1	1.244	10.47
2.	0.932	9.07
3	0.550	2.73
4	1.209	9.64
5	1.011	8.17
6	0.528	3.38
平均	0.912	7.24

表2-10



最大値順位	K 1 2 D	試験体番号
1	2 - 5	D-1
2	4 - 2	D-4
3	2 - 2	D-5
4	2 - 2	D-2
5	2 - 4	D-3
6	2 - 2	D-6

表2-11



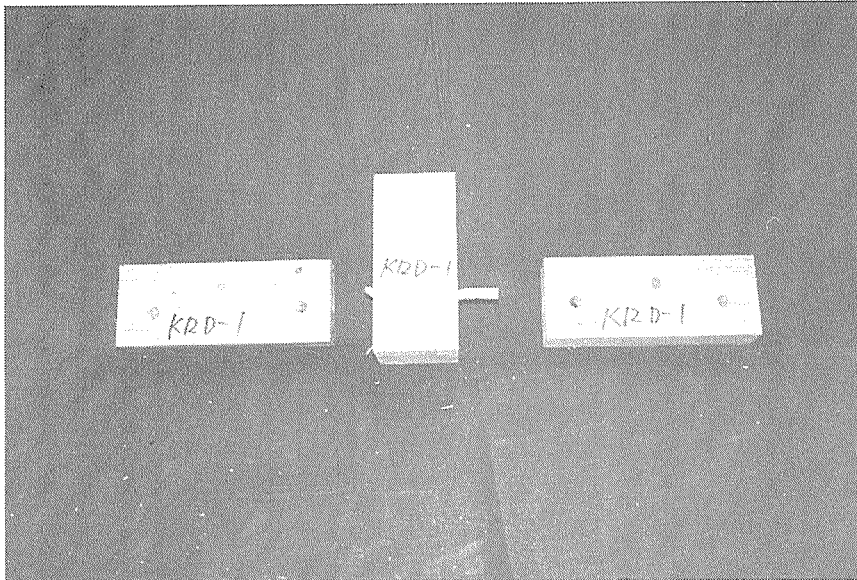


写真 2 - 16
K 1 2 D - 1
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 5

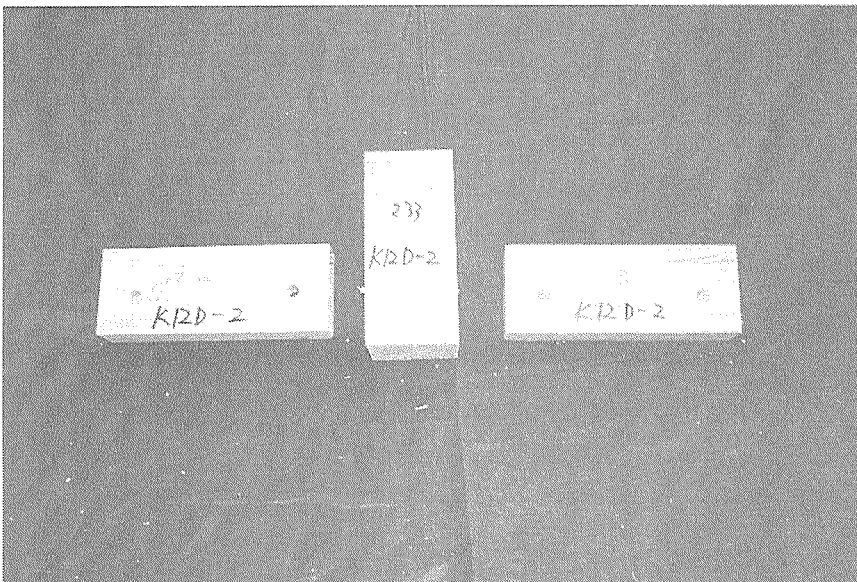


写真 2 - 17
K 1 2 D - 2
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 2

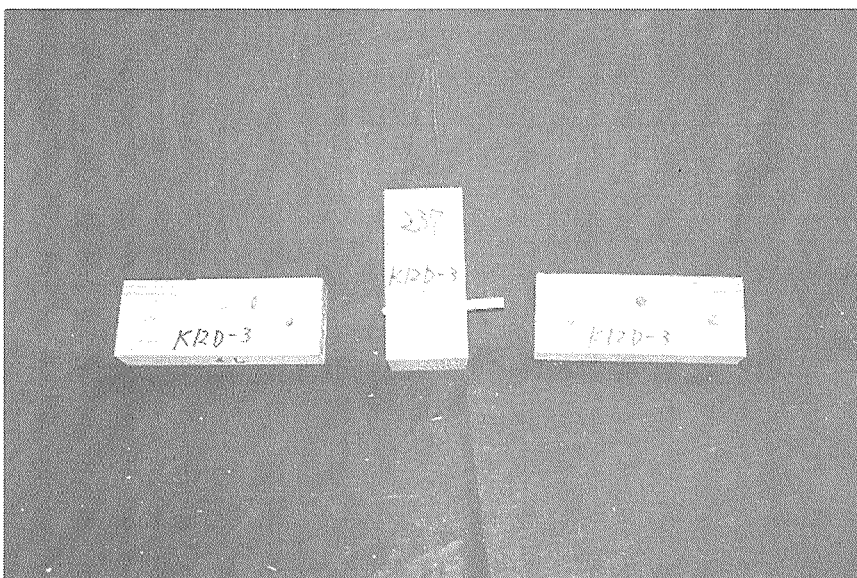


写真 2 - 18
K 1 2 D - 3
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 4

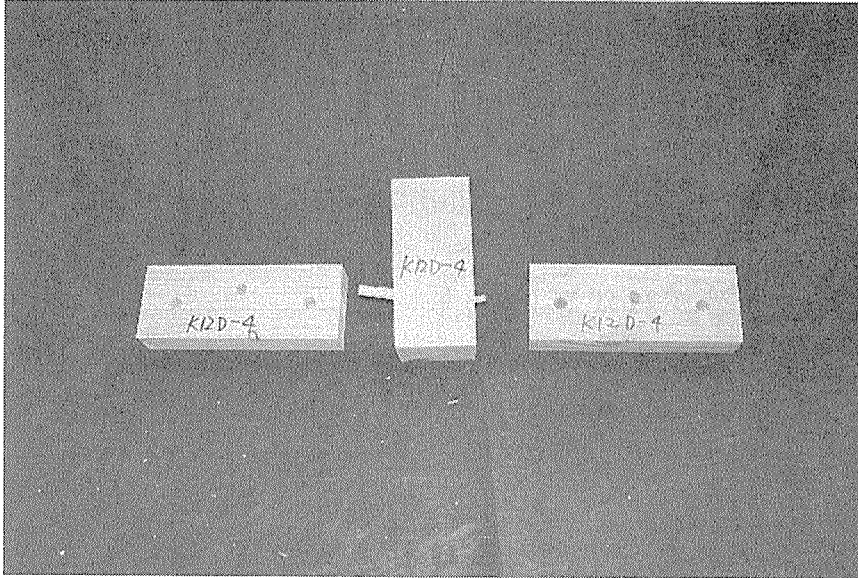


写真2-19
K12D-4
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
4-2

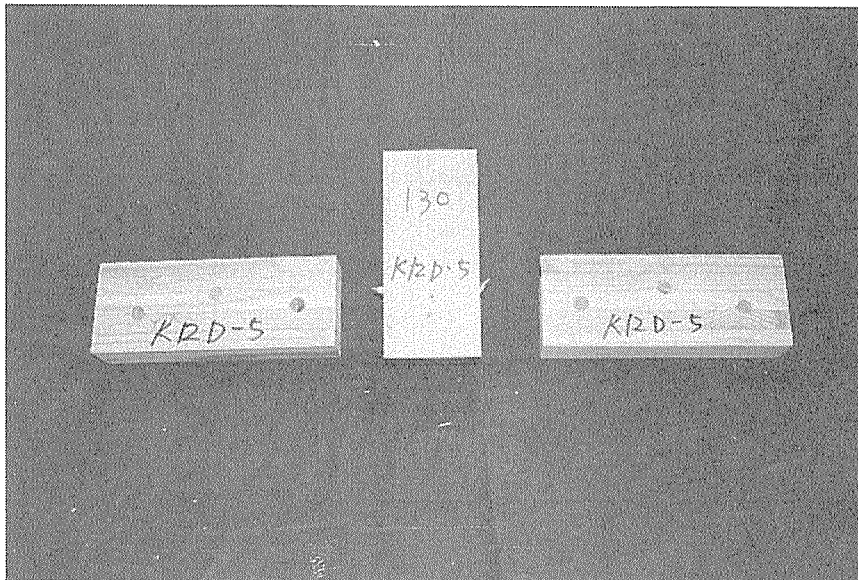


写真2-20
K12D-5
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2-2



写真2-21
K12D-6
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2-2

K12Eタイプ (木栓12mm / 主材90mm・側材75mm)

表の2-12 からの考察を行う。

- ・平均から大きく離れた値のものはない。

表の2-13 からの考察を行う。

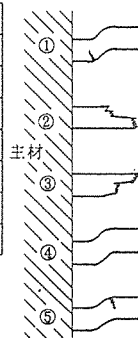
- ・②④のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・E-3 以外の降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・最低耐力は、0.46tfぐらいである。

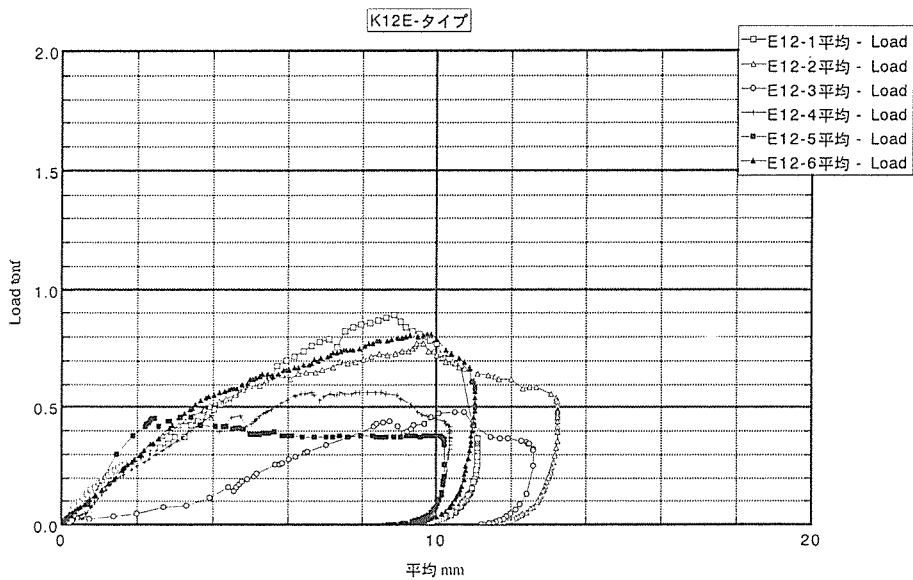
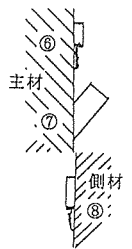
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K12E-1	0.889	8.87
2	0.771	9.63
3	0.479	10.48
4	0.564	6.64
5	0.456	3.43
6	0.814	9.77
平均	0.662	8.14

表2-12



最大値順位	K12E	試験体番号
1	2-4	E-1
2	2-4	E-6
3	2-4	E-2
4	4-4	E-4
5	2-4	E-5
6	2-3	E-3

表2-13



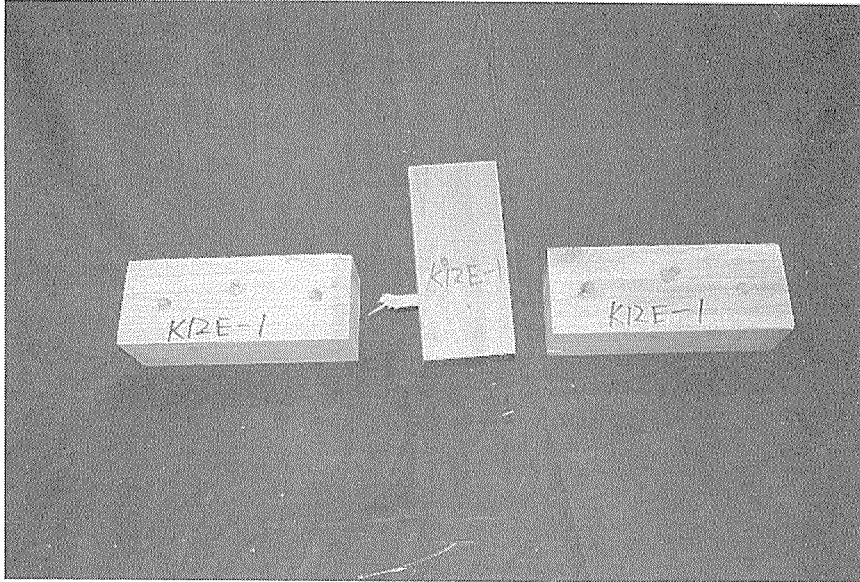


写真 2 - 22
K 1 2 E - 1
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 4

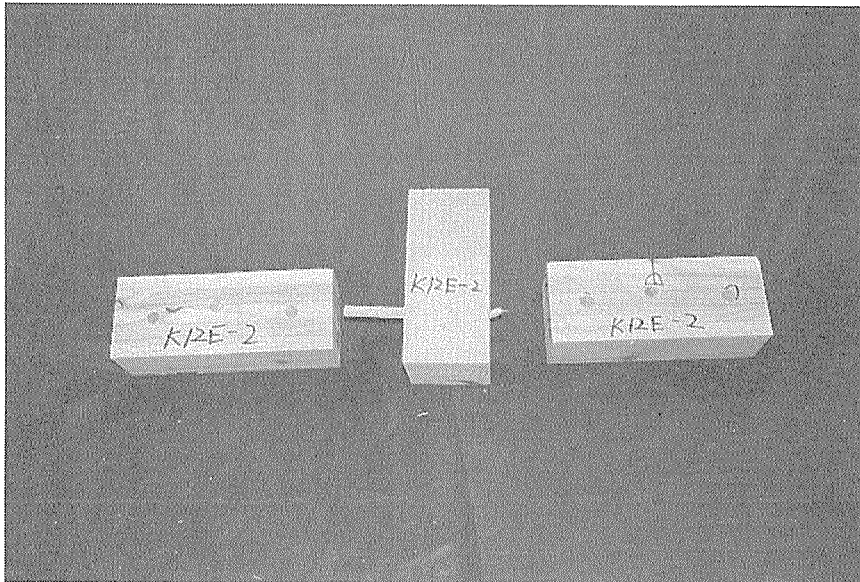


写真 2 - 23
K 1 2 E - 2
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
4 - 2

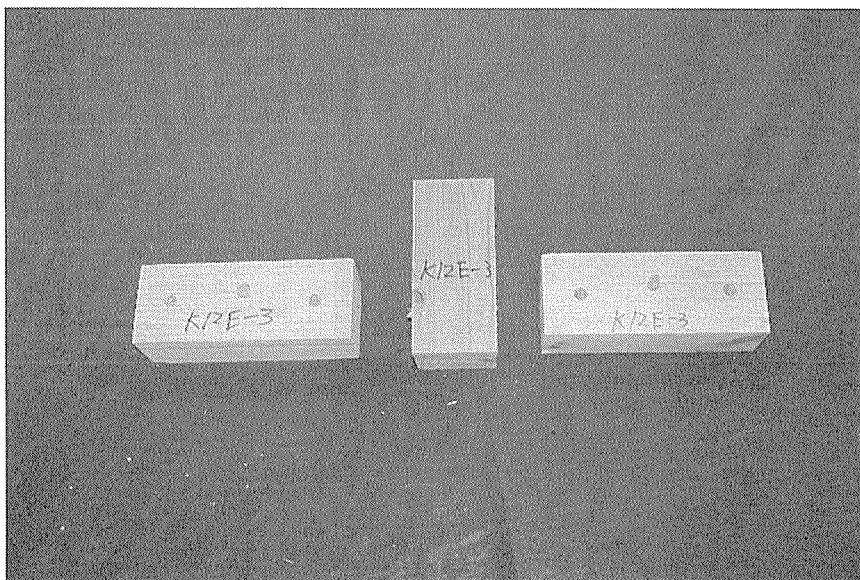


写真 2 - 24
K 1 2 E - 3
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 3

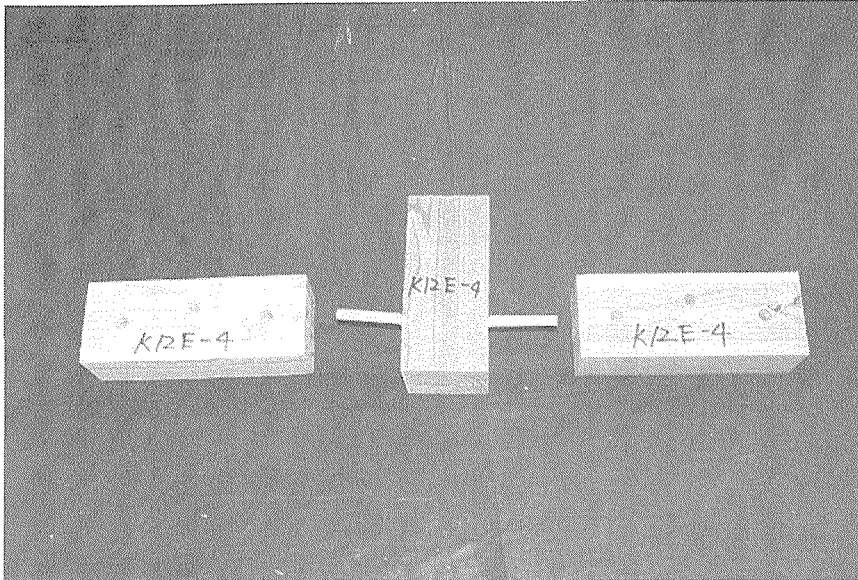


写真 2 - 25
K 1 2 E - 4
木栓がそのまま残っているタイプであることがわかる。
4 - 4

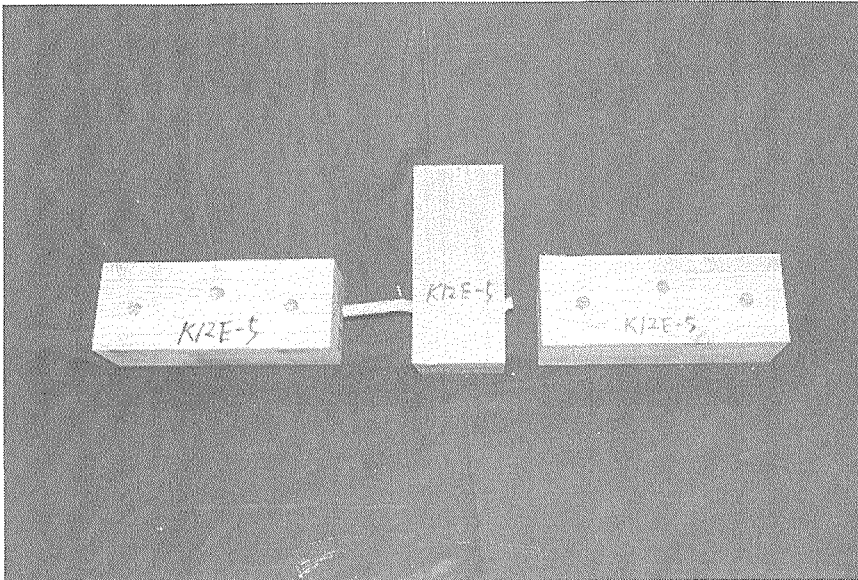


写真 2 - 26
K 1 2 E - 5
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
4 - 2

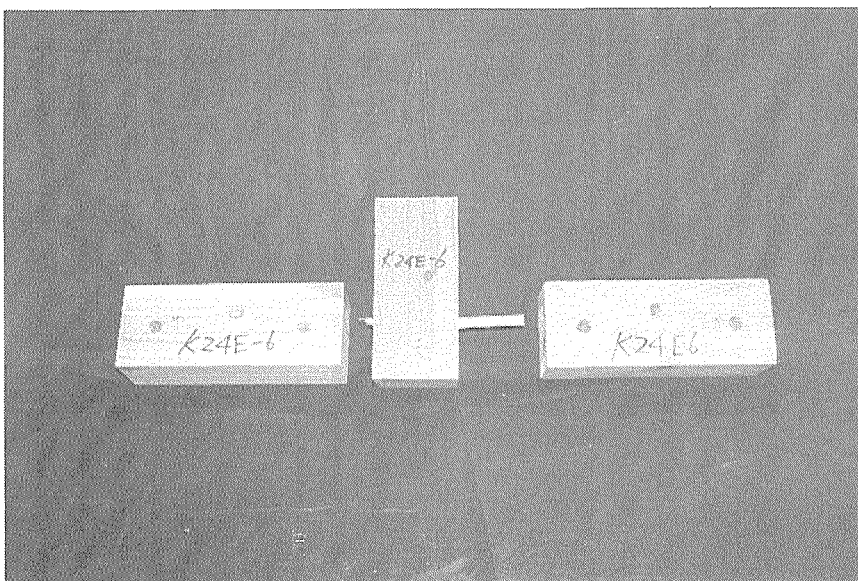


写真 2 - 27
K 1 2 E - 6
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 4

K18Aタイプ (木栓18mm / 主材60mm・側材30mm)

表の2-14 からの考察を行う。

- ・平均から大きく離れた値のものはない。

表の2-15 からの考察を行う。

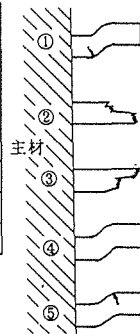
- ・④⑤のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・最低耐力は、0.88tfぐらいである。

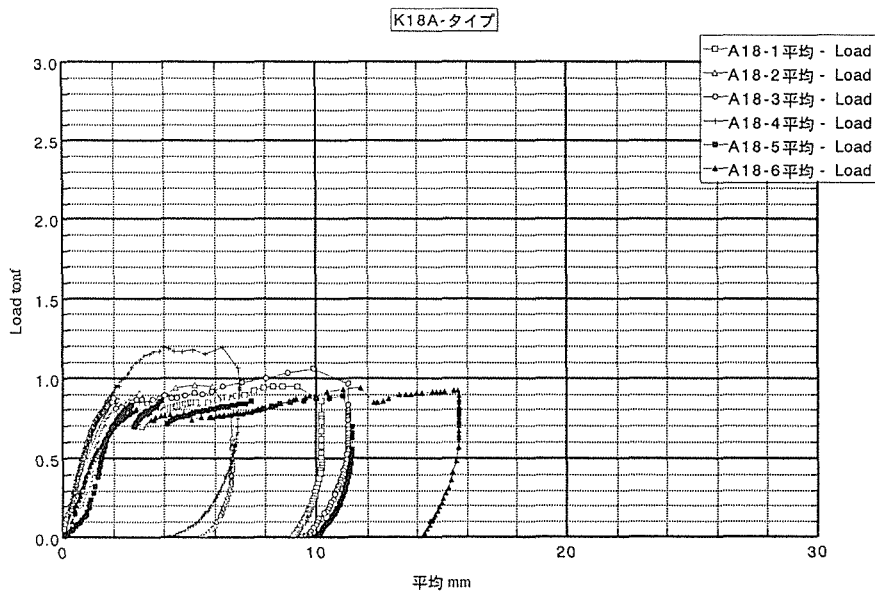
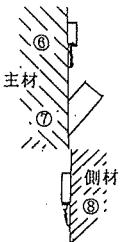
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K18A-1	0.949	9.25
2	0.954	5.20
3	1.059	9.91
4	1.188	6.32
5	0.884	11.08
6	0.939	11.73
平均	0.995	8.91

表2-14



最大値順位	K18A	試験体番号
1	4-4	A-4
2	2-2	A-2
3	4-5	A-3
4	4-5	A-1
5	2-4	A-5
6	4-2	A-6

表2-15



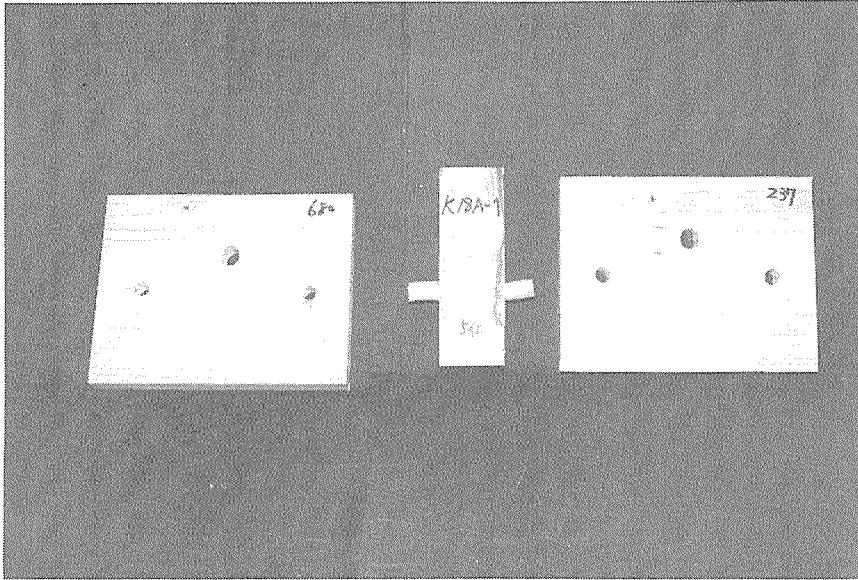


写真 2 - 28
 K 1 8 A - 1
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプであるこ
 とがわかる。
 4 - 5

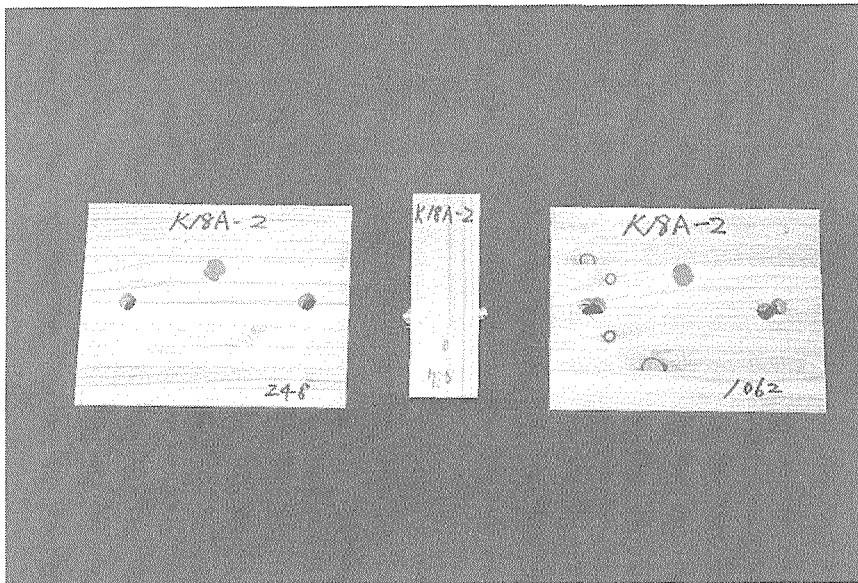


写真 2 - 29
 K 1 8 A - 2
 木栓が両方とも、折れ
 てしまったタイプであ
 ることがわかる。
 2 - 2

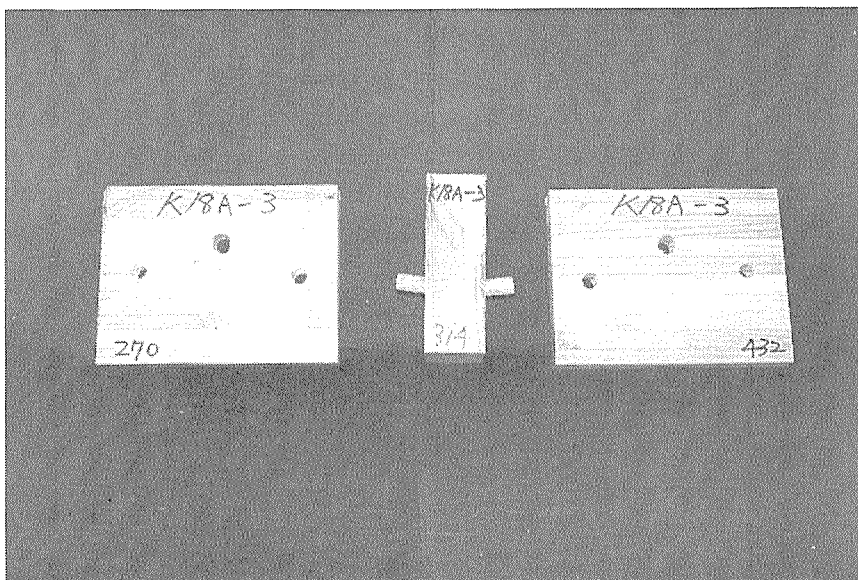


写真 2 - 30
 K 1 8 A - 3
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプであるこ
 とがわかる。
 4 - 5

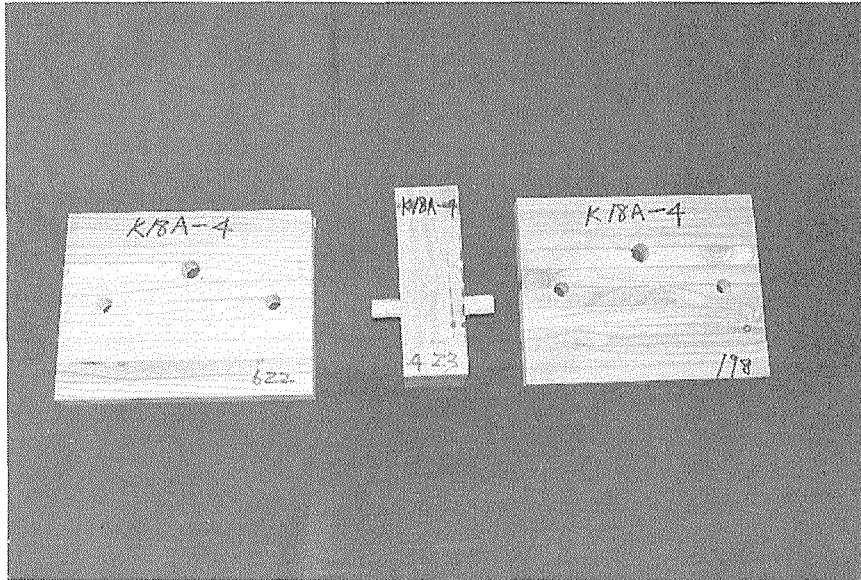


写真2-31
 K18A-4
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプであるこ
 とがわかる。
 4-4

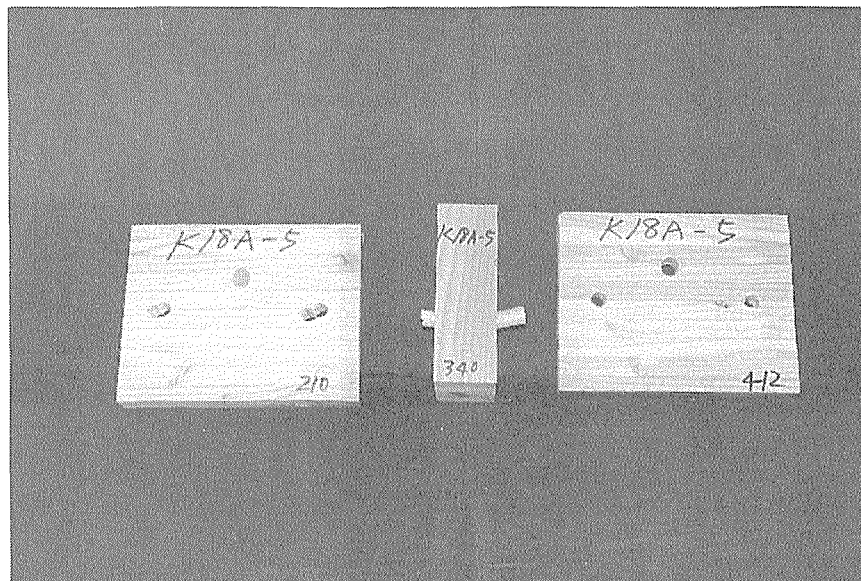


写真2-32
 K18A-5
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプと折れてし
 まったタイプであるこ
 とがわかる。
 2-4

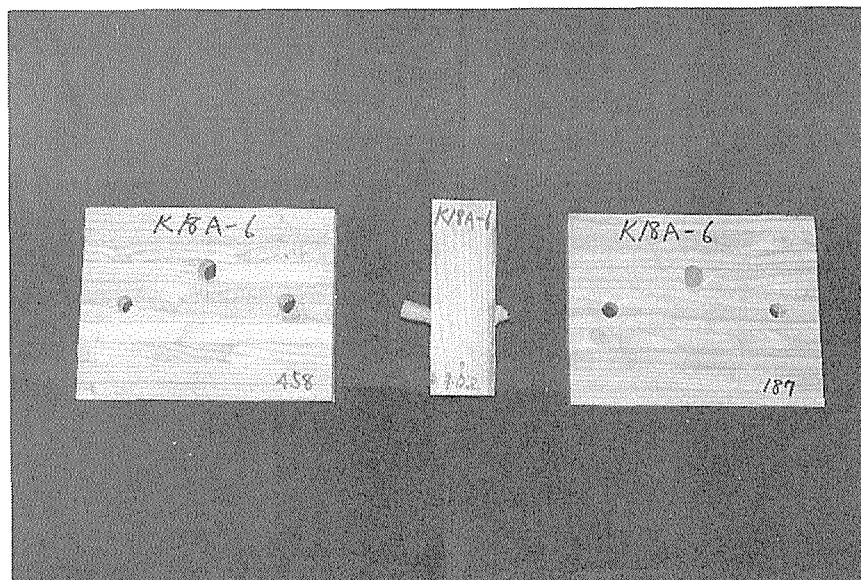


写真2-33
 K18A-6
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプと折れてし
 まったタイプであるこ
 とがわかる。
 4-2

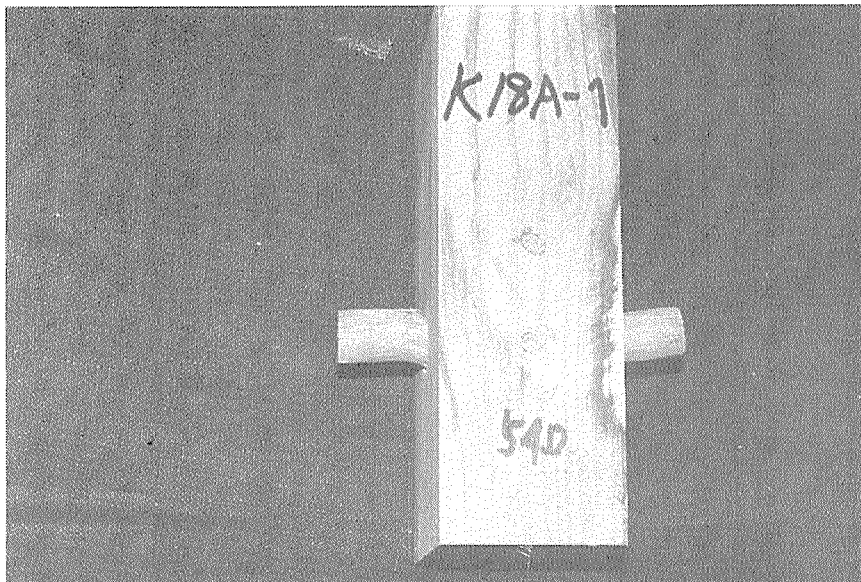


写真 2 - 34

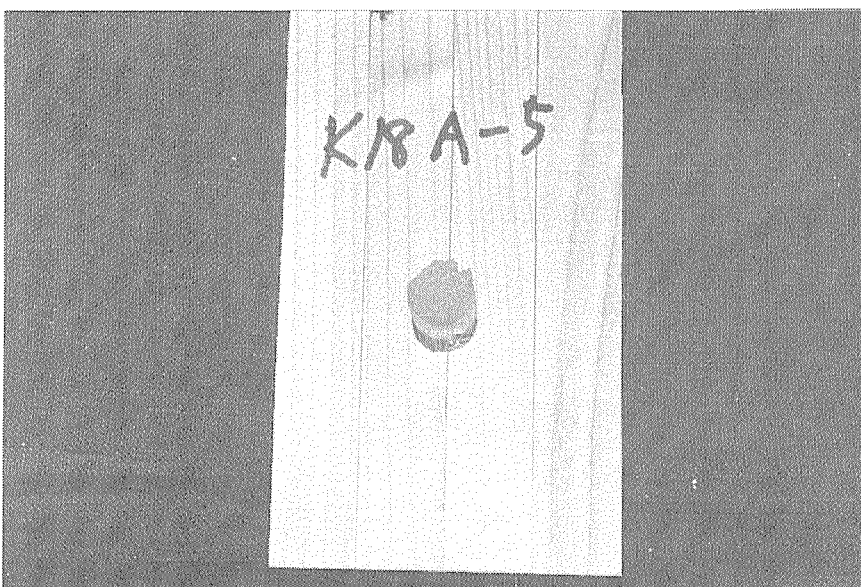


写真 2 - 35

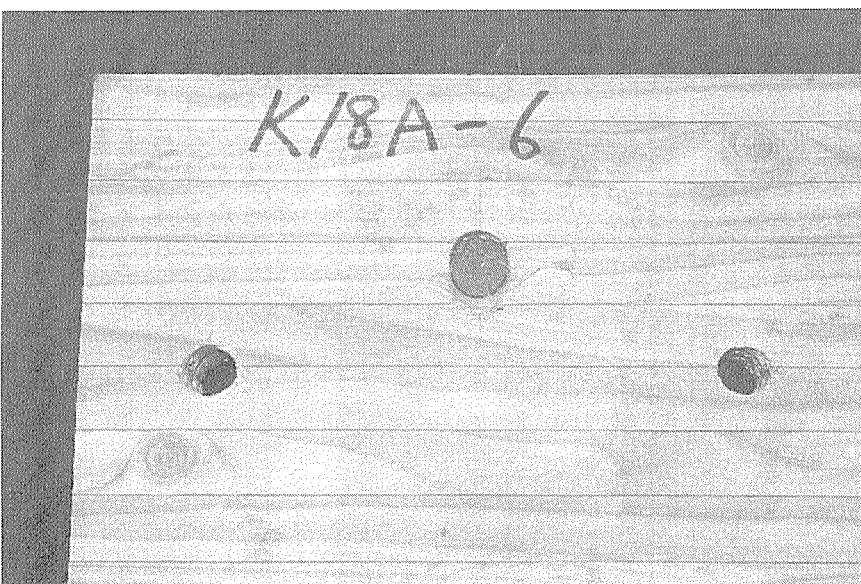


写真 2 - 36

K18Bタイプ (木栓18mm / 主材60mm・側材60mm)

表の 2-16 からの考察を行う。

- ・B-1, 3, 6の最大荷重が他の物の倍近い値が出ている。
- ・その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-17 からの考察を行う。

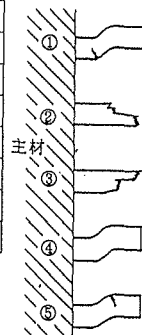
- ・④⑤のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・最低耐力は、1.08tfぐらいである。

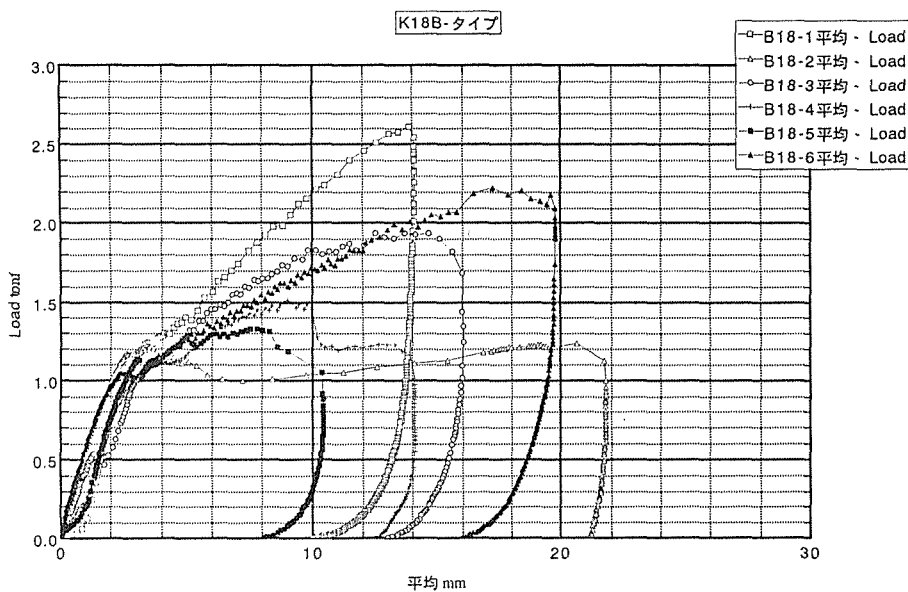
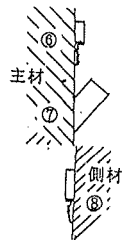
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K18B-1	2.614	13.46
2	1.222	19.26
3	1.936	14.67
4	1.515	9.04
5	1.326	7.81
6	2.225	17.25
平均	1.806	13.58

表2-16



最大値順位	K18B	試験体番号
1	2-2	B-4
2	6-6	B-2
3	4-2	B-3
4	4-5	B-1
5	2-2	B-5
6	5-5	B-6

表2-17



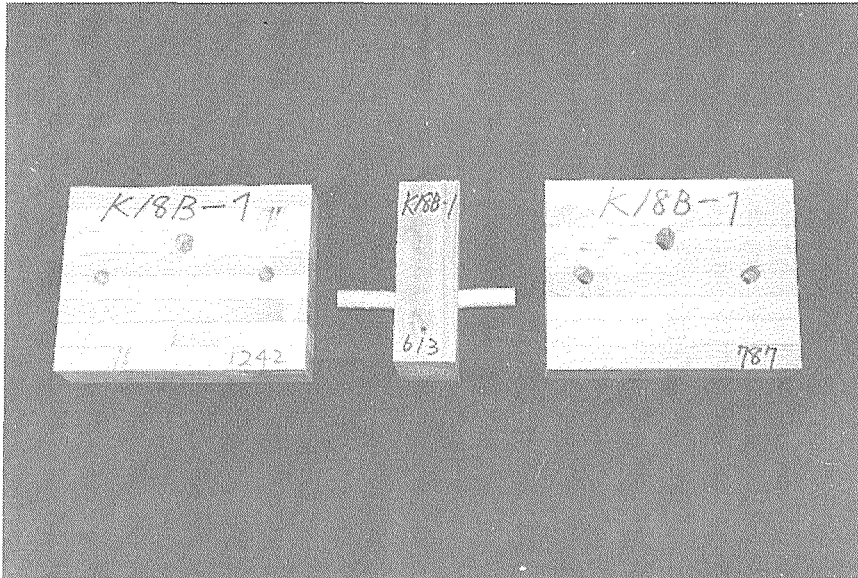


写真 2 - 37
 K 1 8 B - 1
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプであるこ
 とがわかる。
 4 - 5

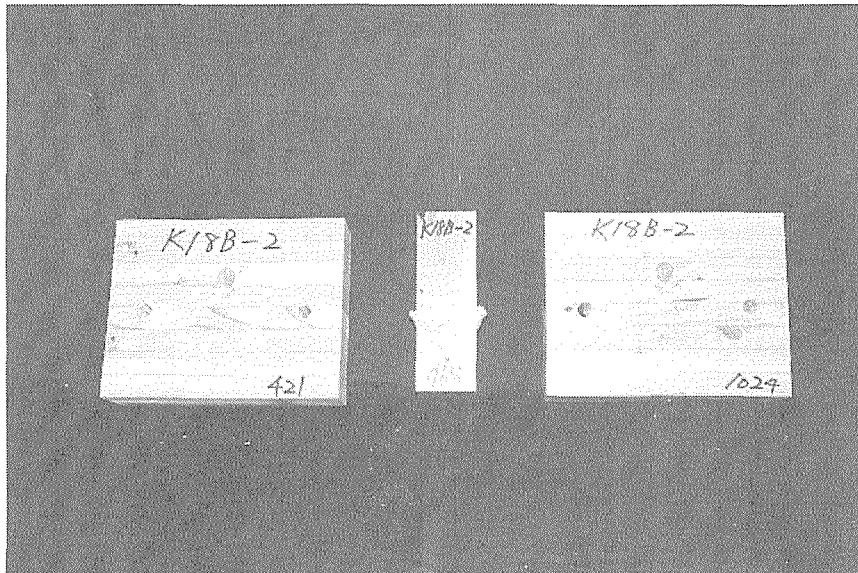


写真 2 - 38
 K 1 8 B - 2
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプであるこ
 とがわかる。
 4 - 4

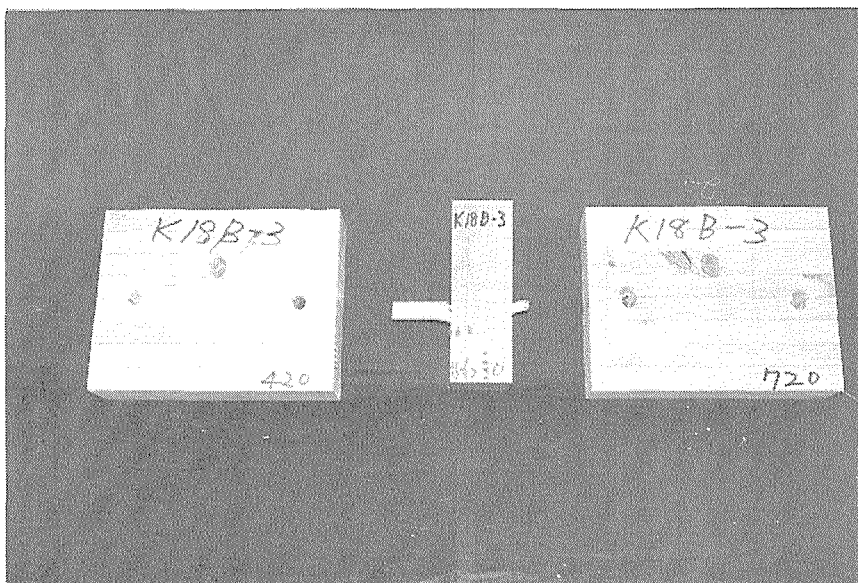


写真 2 - 39
 K 1 8 B - 3
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプと折れてし
 まったタイプであるこ
 とがわかる。
 4 - 2

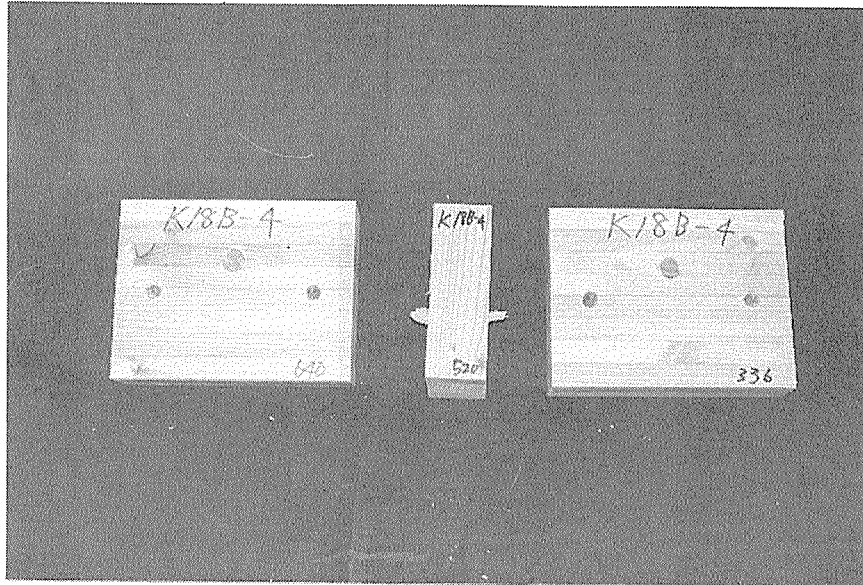


写真 2 - 40
 K 1 8 B - 4
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
 2 - 2

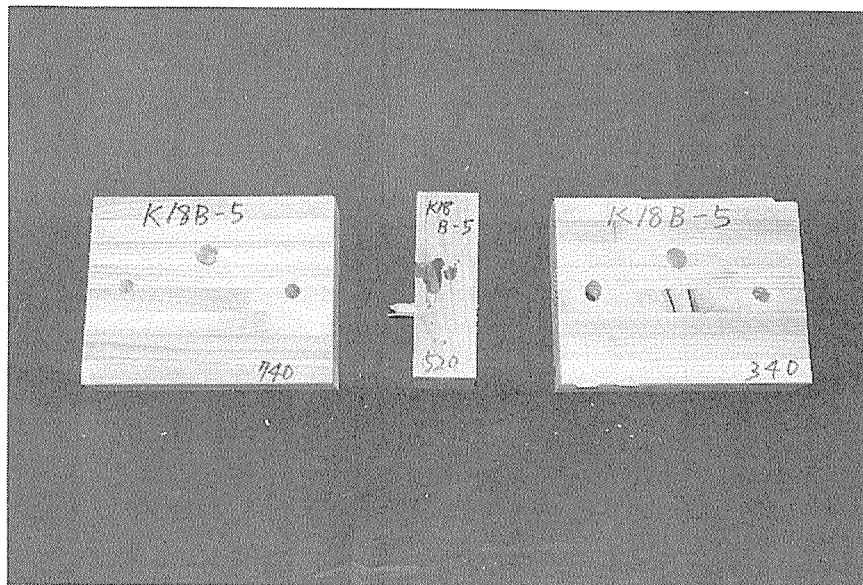


写真 2 - 41
 K 1 8 B - 5
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
 2 - 2

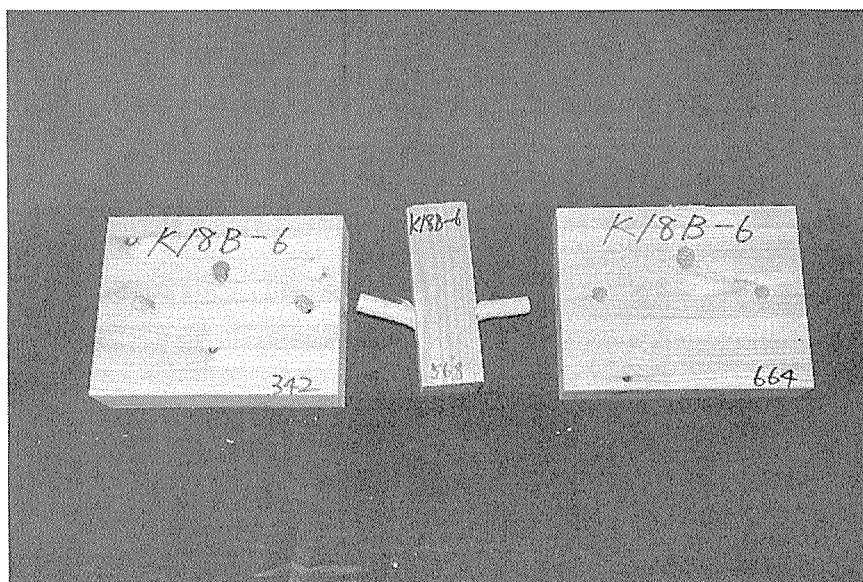


写真 2 - 42
 K 1 8 B - 6
 木栓がそのまま残っているタイプであることがわかる。
 5 - 5

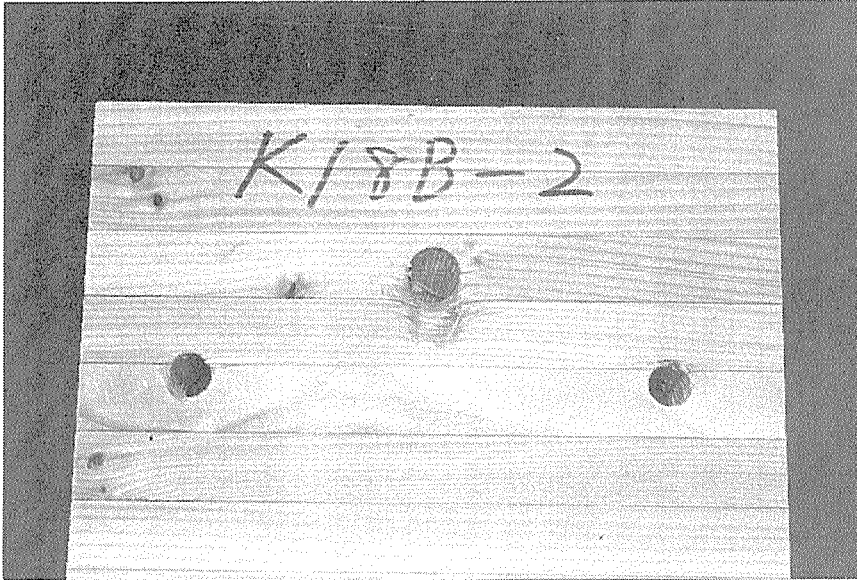


写真 2 - 43

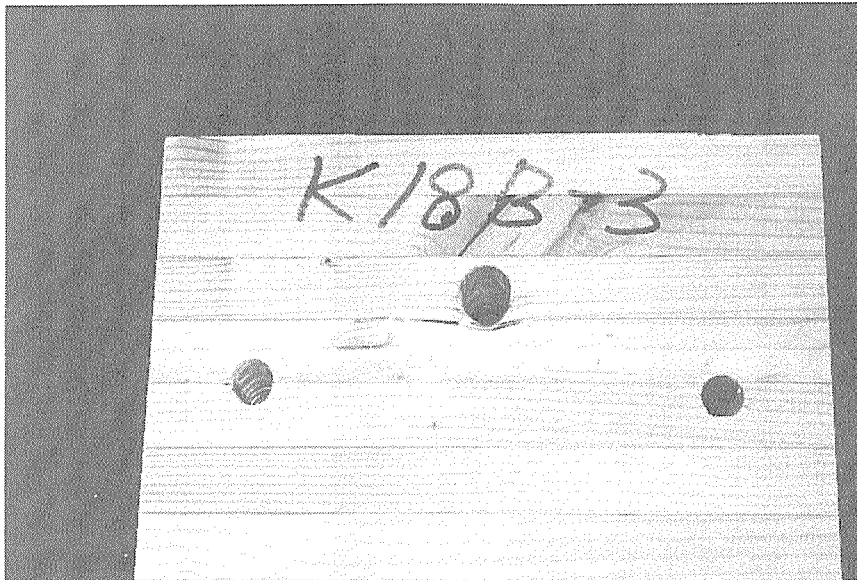


写真 2 - 44

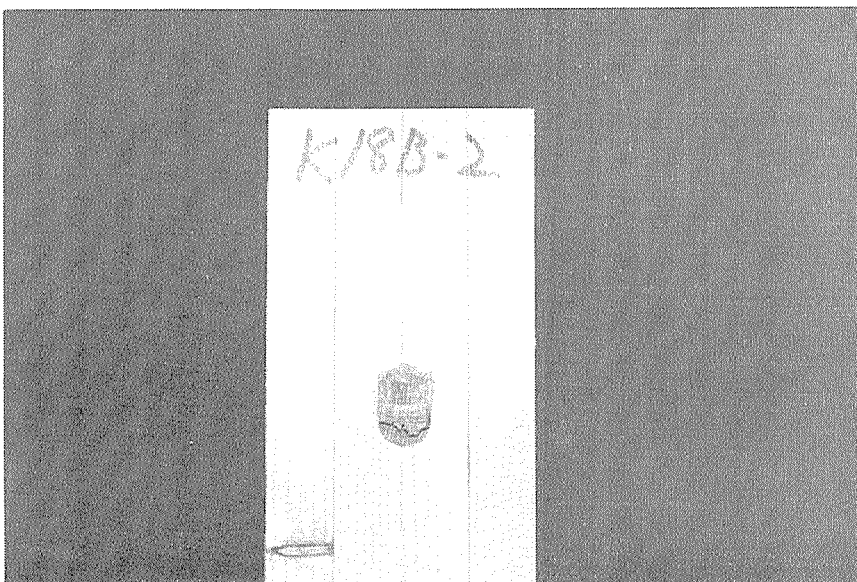


写真 2 - 45

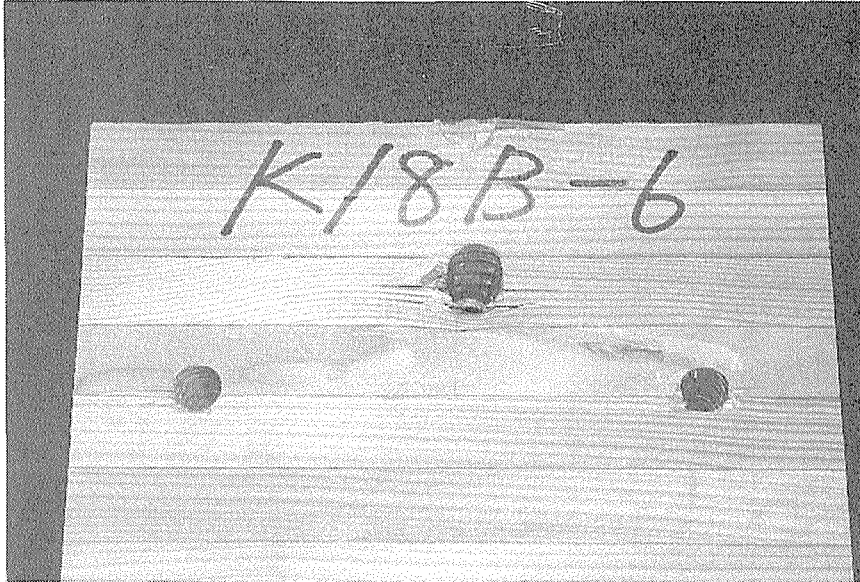


写真 2 - 46

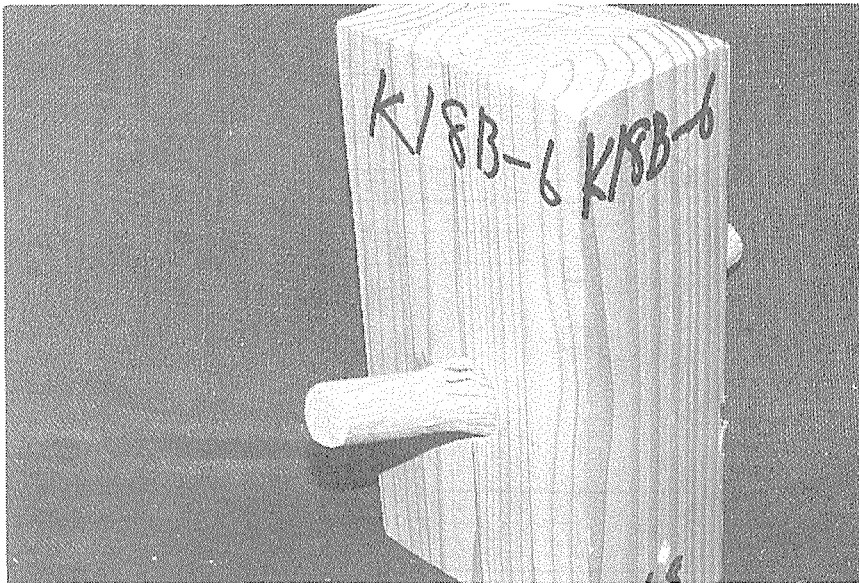


写真 2 - 47

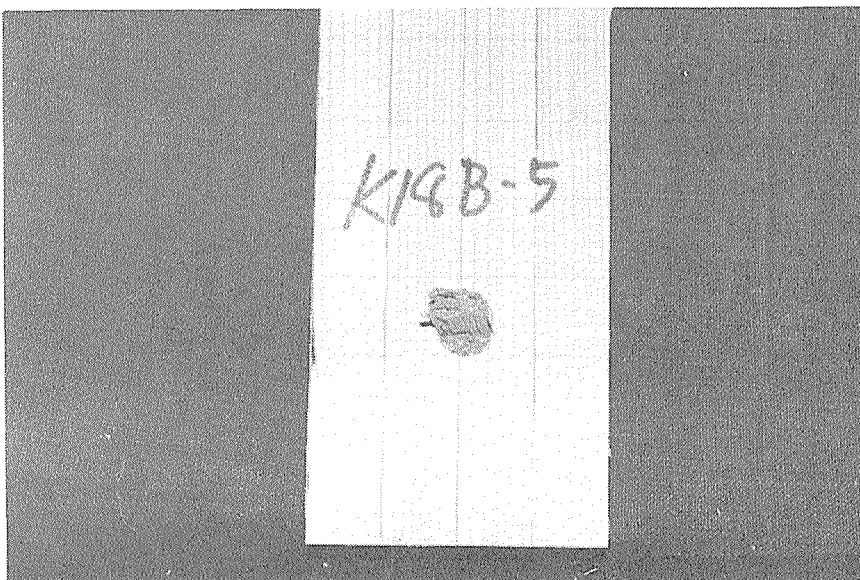


写真 2 - 48

K18Cタイプ (木栓18mm / 主材60mm・側材90mm)

表の2-18からの考察を行う。

- ・C-5, 6の最大荷重が他の物より高い値が出ている。
- ・C-2, 4の最大荷重が他の物より低い値が出ている。
- ・その他の値はほぼ一緒である。

表の2-19からの考察を行う。

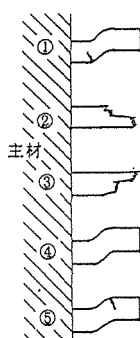
- ・②,④,⑤のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・最低耐力は、0.98tfぐらいである。

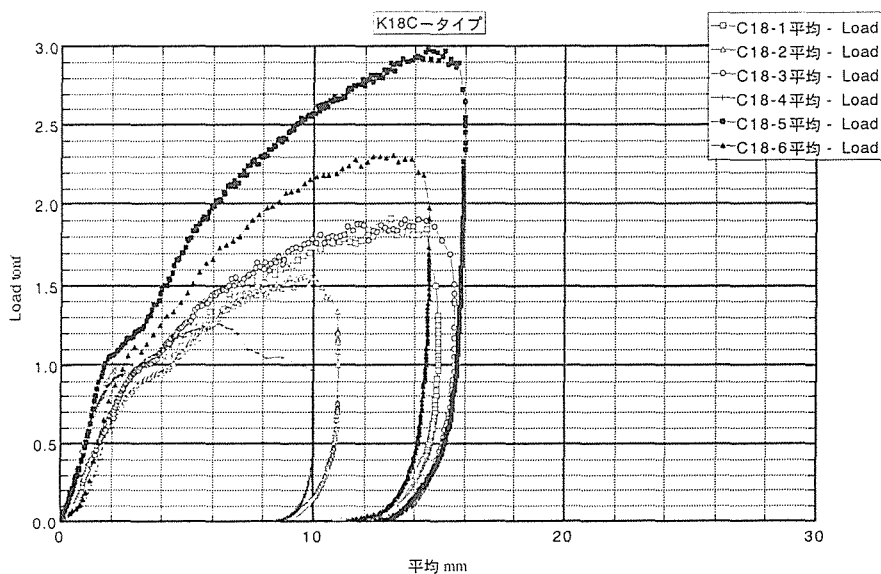
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K18C-1	1.906	13.01
2	1.557	9.63
3	1.901	13.60
4	1.256	6.20
5	2.973	14.54
6	2.308	13.15
平均	1.984	11.69

表2-18



最大値順位	K18C	試験体番号
1	4-2	C-5
2	2-2	C-6
3	2-2	C-3
4	5-2	C-1
5	2-2	C-2
6	2-3	C-4

表2-19



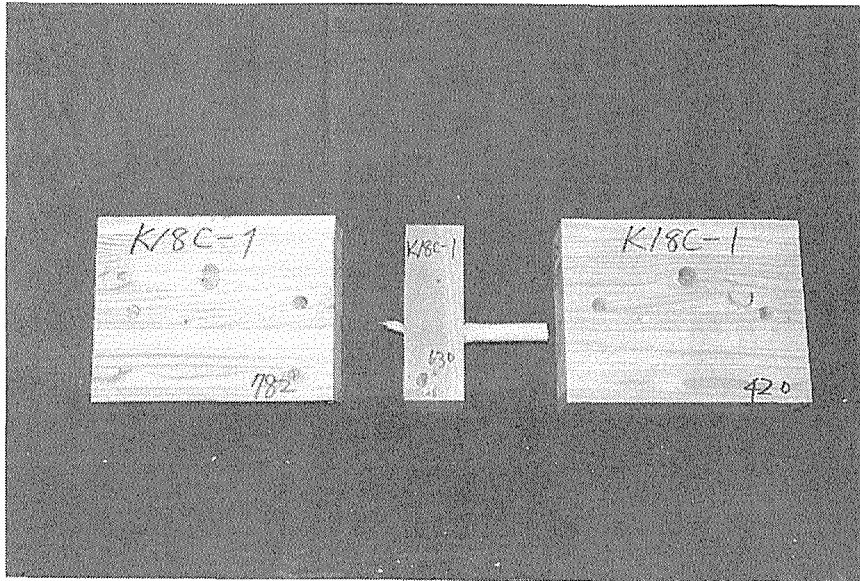


写真 2 - 49
 K18C-1
 木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
 2 - 5

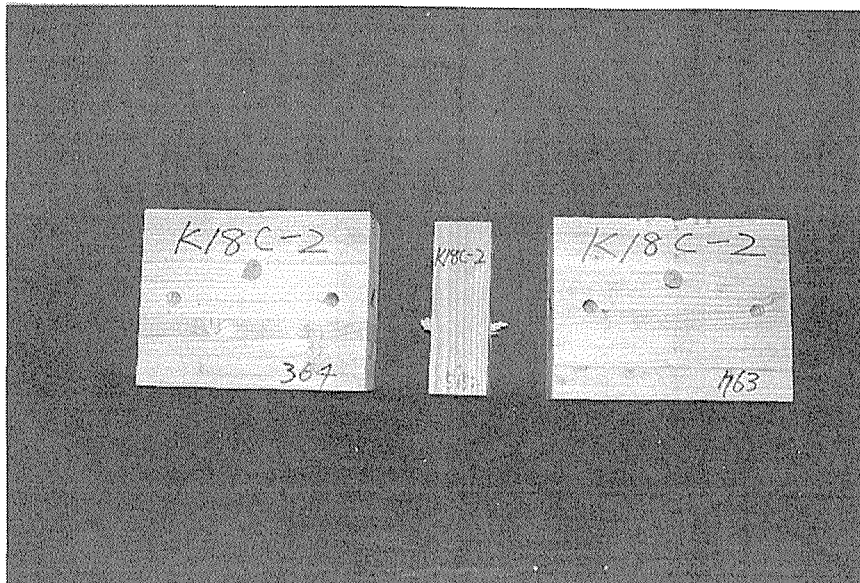


写真 2 - 50
 K18C-2
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
 2 - 2

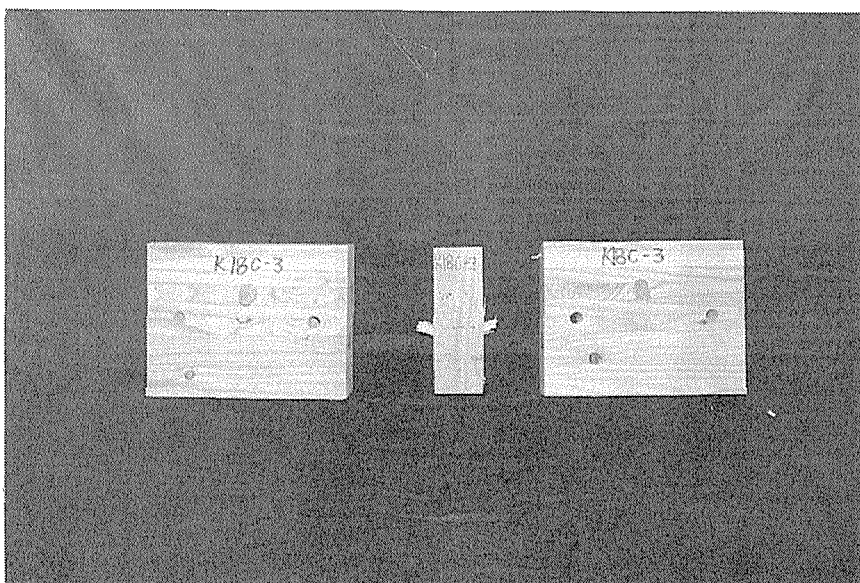


写真 2 - 51
 K18C-3
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
 2 - 2

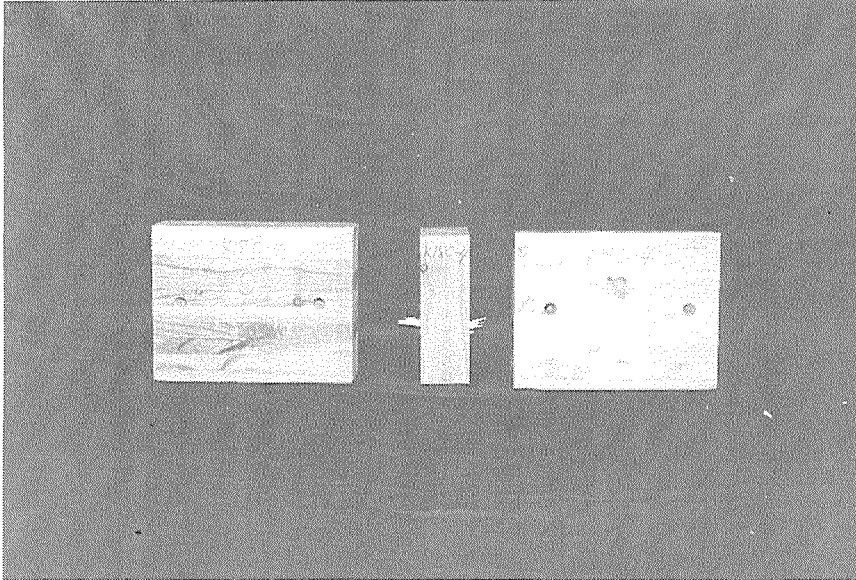


写真 2 - 52
K 1 8 C - 4
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 3

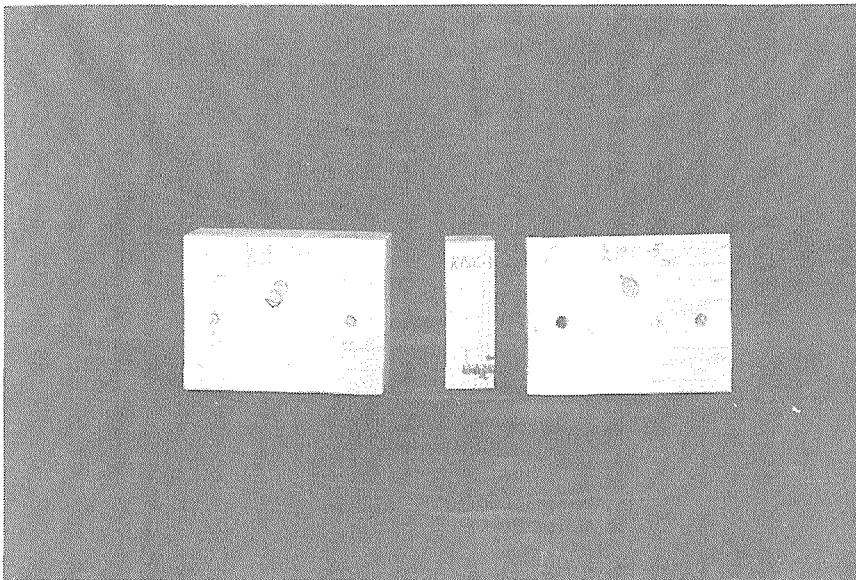


写真 2 - 53
K 1 8 C - 5
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 2

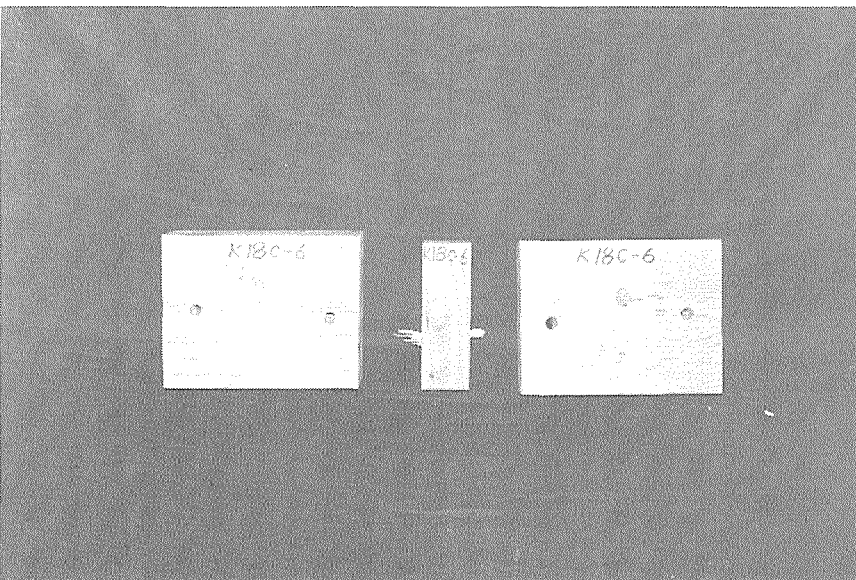


写真 2 - 54
K 1 8 C - 6
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 2

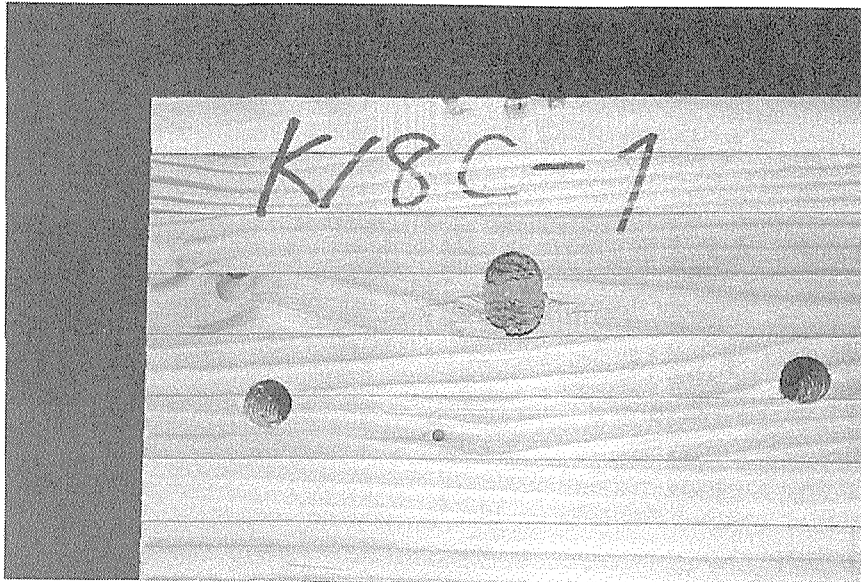


写真 2 - 55

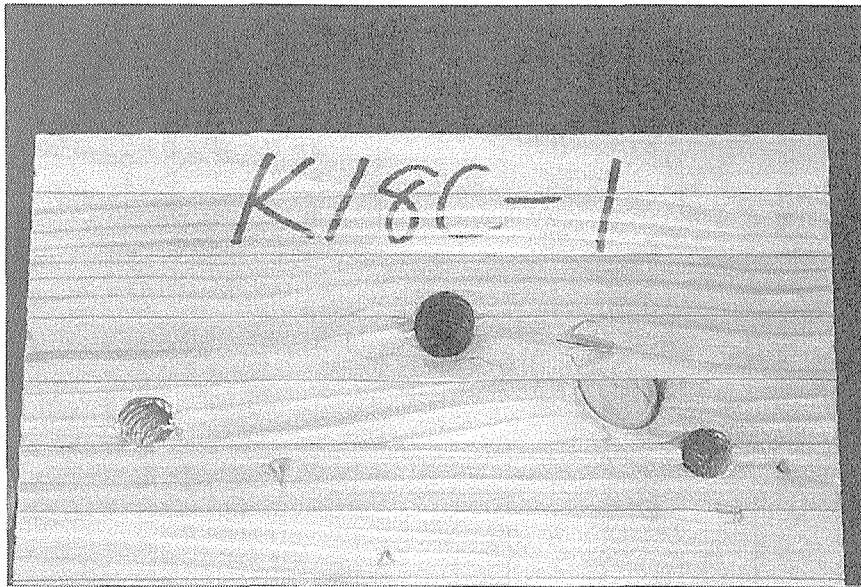


写真 2 - 56

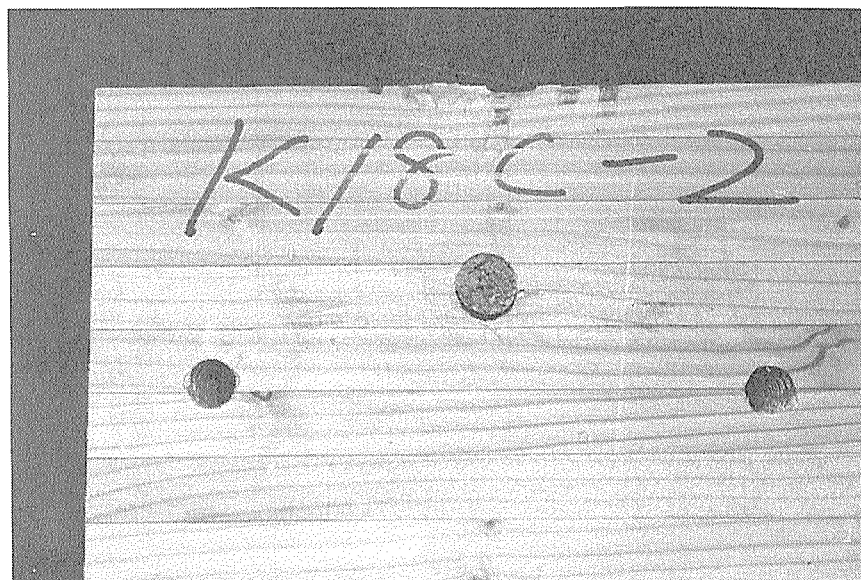


写真 2 - 57

K18Dタイプ (木栓18mm / 主材90mm・側材45mm)

表の2-20 からの考察を行う。

- ・D-4の最大荷重が他の物より低い値が出ている。
- ・その他の値はほぼ一緒である。

表の2-21 からの考察を行う。

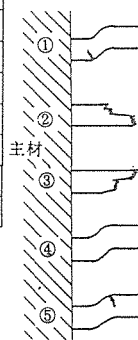
- ・⑤,⑧のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・最低耐力は、0.91tfぐらいである。

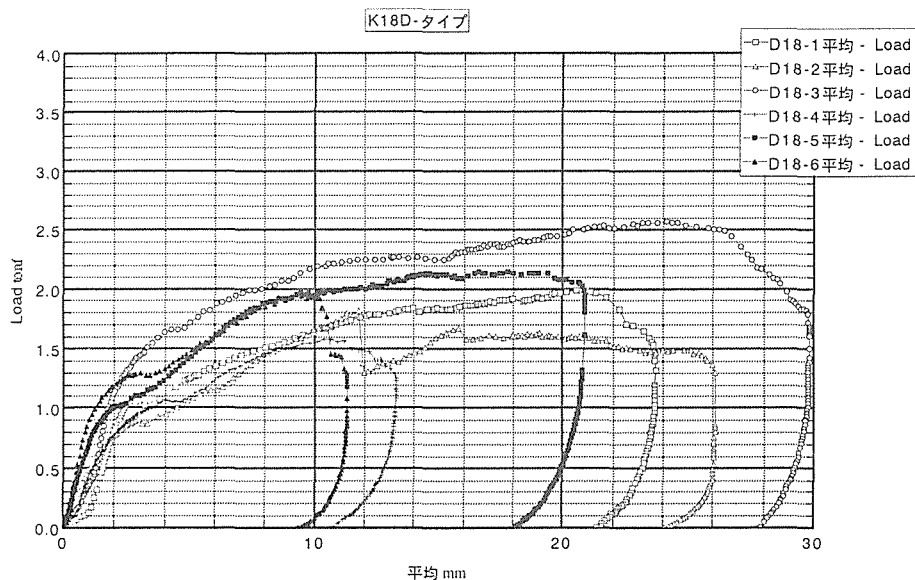
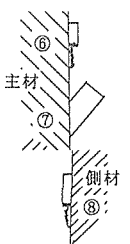
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K18D-1	1.986	20.93
2	1.815	11.76
3	2.573	24.37
4	1.576	10.37
5	2.135	14.35
6	1.956	10.03
平均	2.007	15.30

表2-20



最大値順位	K18D	試験体番号
1	8-8	D-3
2	5-4	D-5
3	5-2	D-6
4	2-5	D-1
5	5-2	D-2
6	4-2	D-4

表2-21



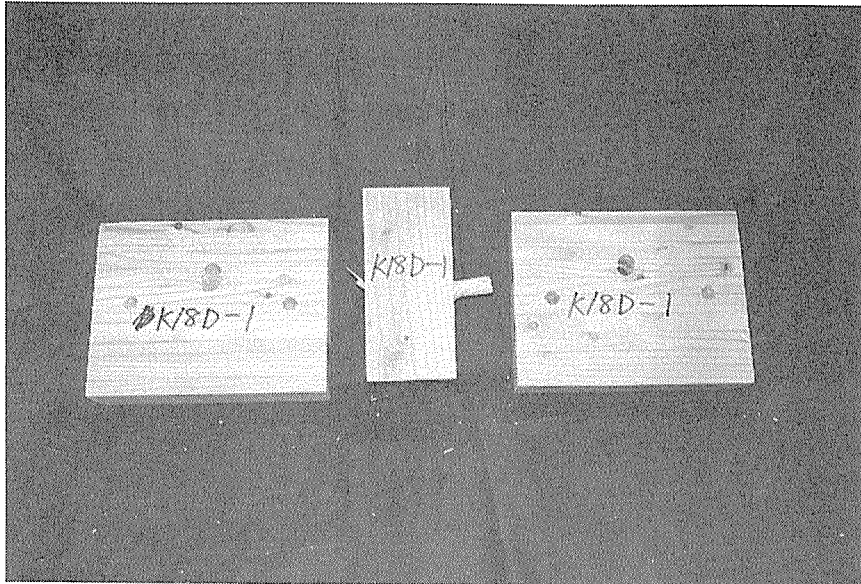


写真2-58
 K18D-1
 木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
 2-5

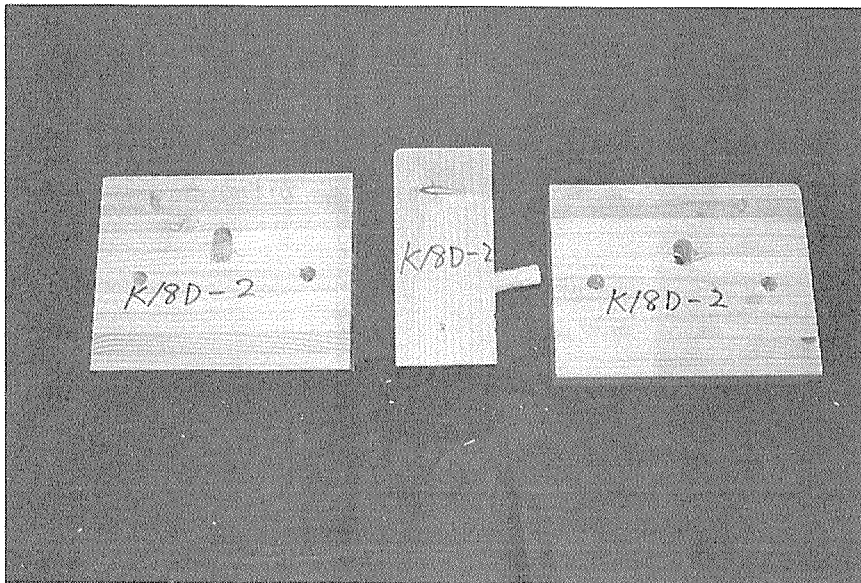


写真2-59
 K18D-2
 木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
 5-2

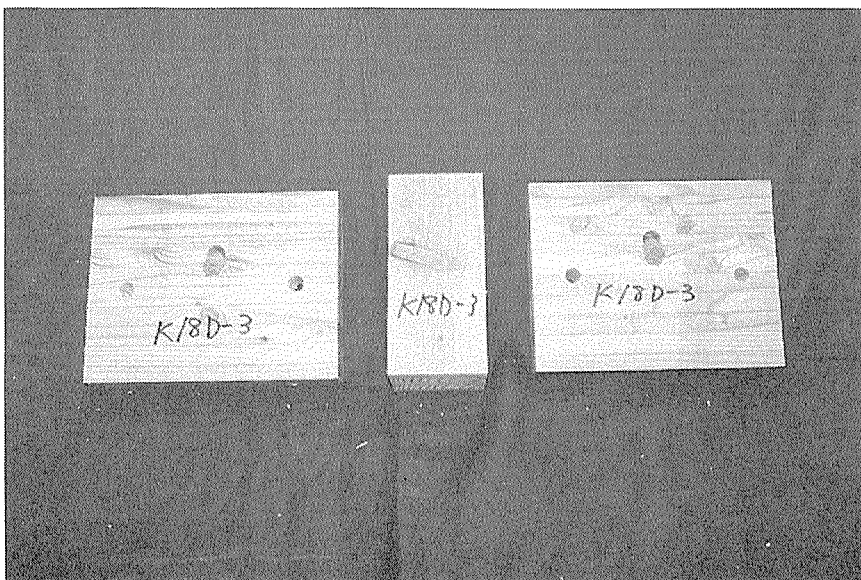


写真2-60
 K18D-3
 木栓が両方とも、折れてしまい側材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。
 8-8

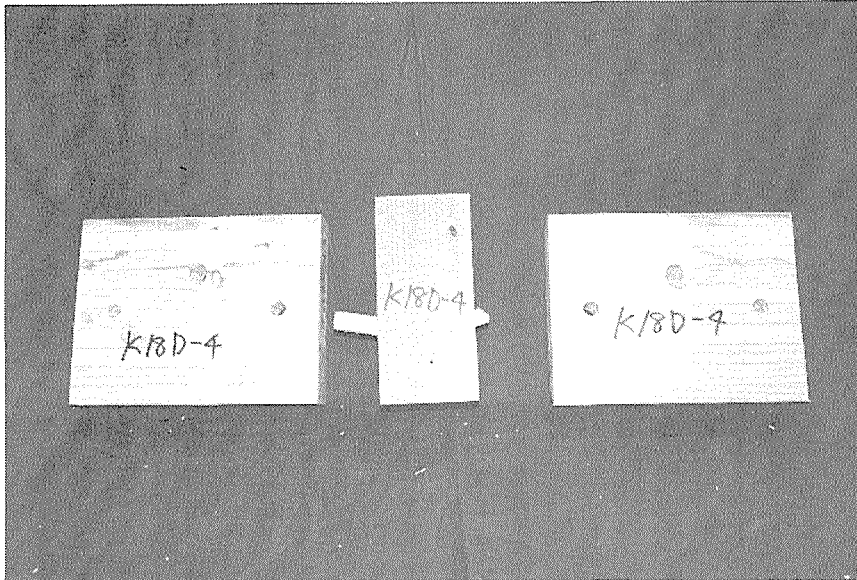


写真2-61
K18D-4
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
4-2

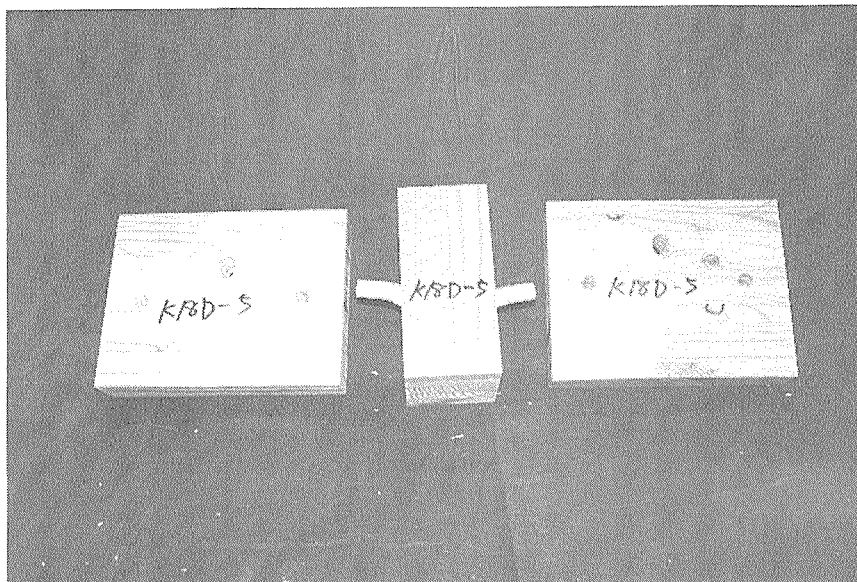


写真2-62
K18D-5
木栓がそのまま残っているタイプであることがわかる。
4-5

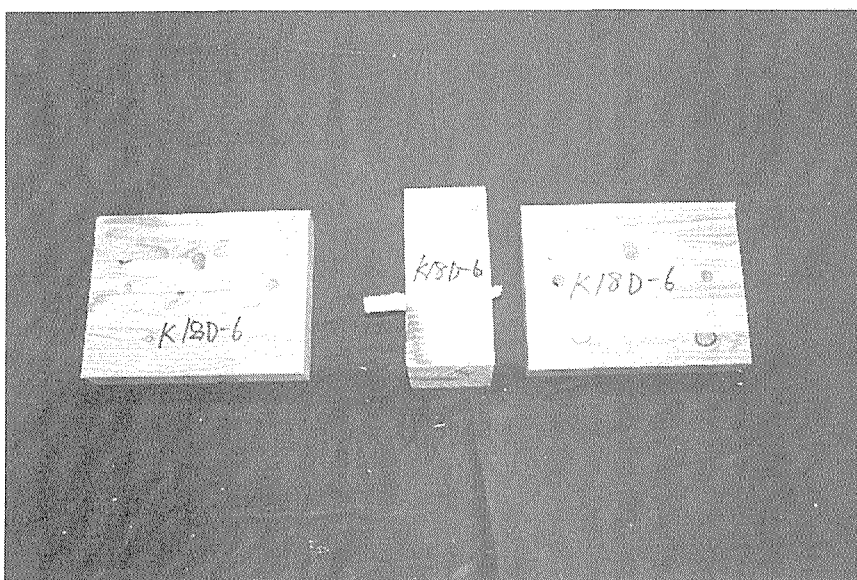


写真2-63
K18D-6
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
4-2

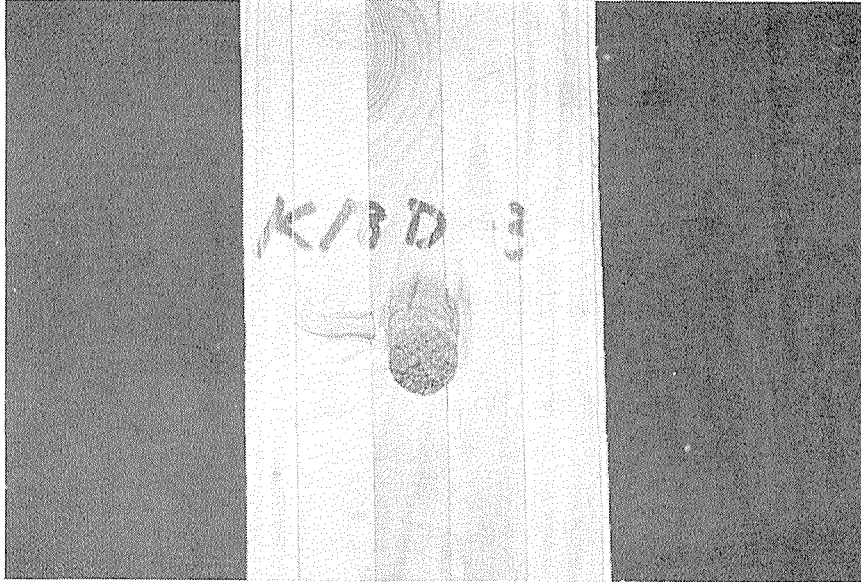


写真 2 - 64

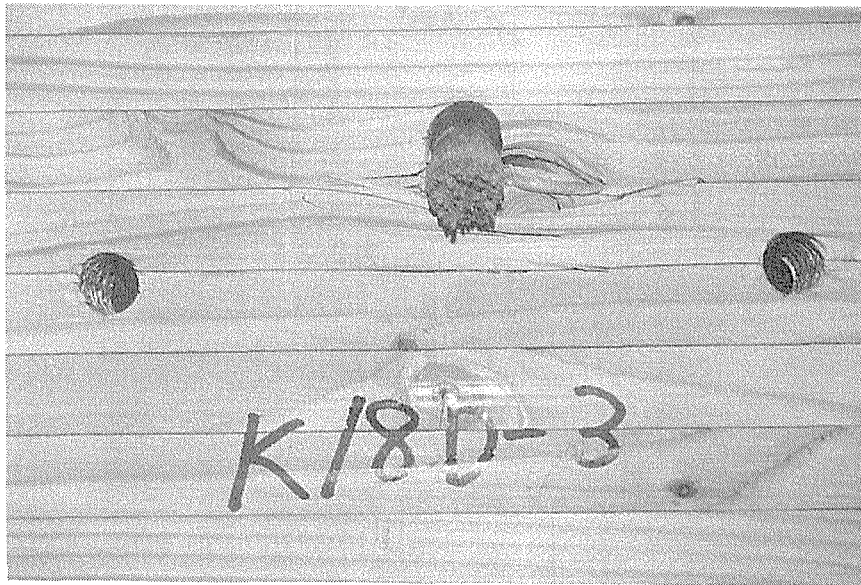


写真 2 - 65

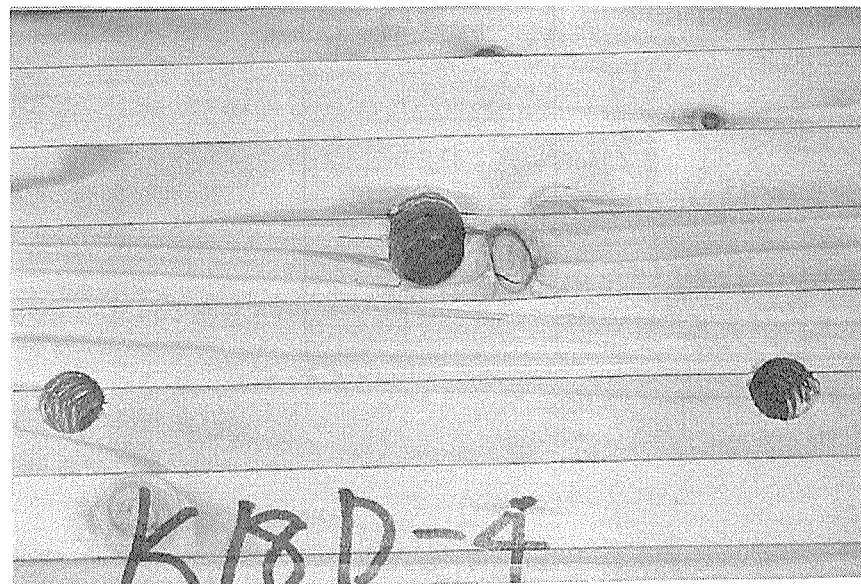


写真 2 - 66

K 1 8 Eタイプ (木栓 1 8 m m / 主材 9 0 m m ・ 側材 7 5 m m)

表の 2-22 からの考察を行う。

- ・ E-2,4の最大荷重が他の物より高い値が出ている。
- ・ E-5の最大荷重が他の物より低い値が出ている。
- ・ その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-23 からの考察を行う。

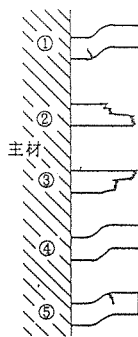
- ・ ②,④のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ E-5 以外の降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、0.91tfぐらいである。

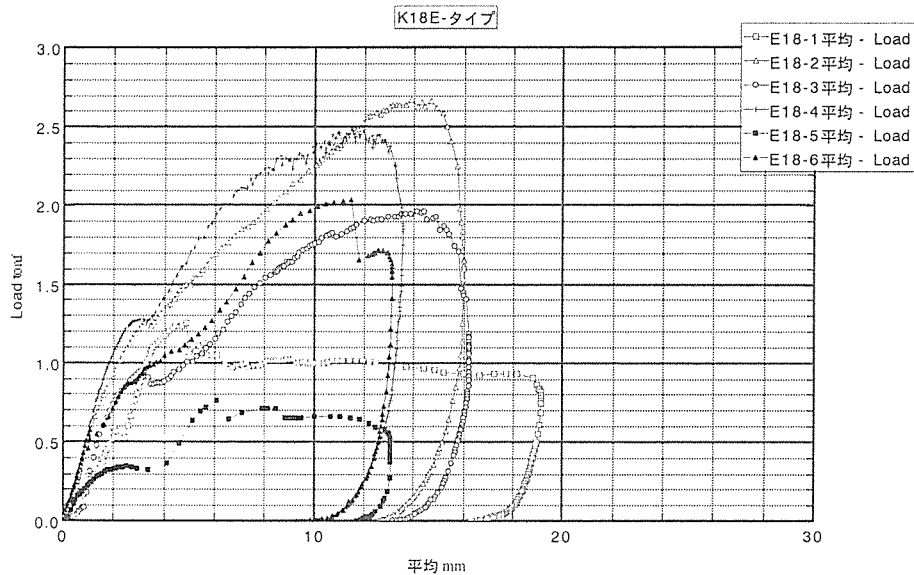
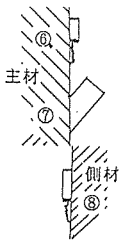
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K18E-1	1.256	4.86
2	2.673	13.64
3	1.964	14.15
4	2.477	11.97
5	0.758	6.12
6	2.037	11.44
平均	1.861	10.36

表2-22



最大値順位	K 1 8 E	試験体番号
1	2-2	E-2
2	2-4	E-4
3	2-2	E-6
4	2-2	E-3
5	6-8	E-1
6	2-2	E-5

表2-23



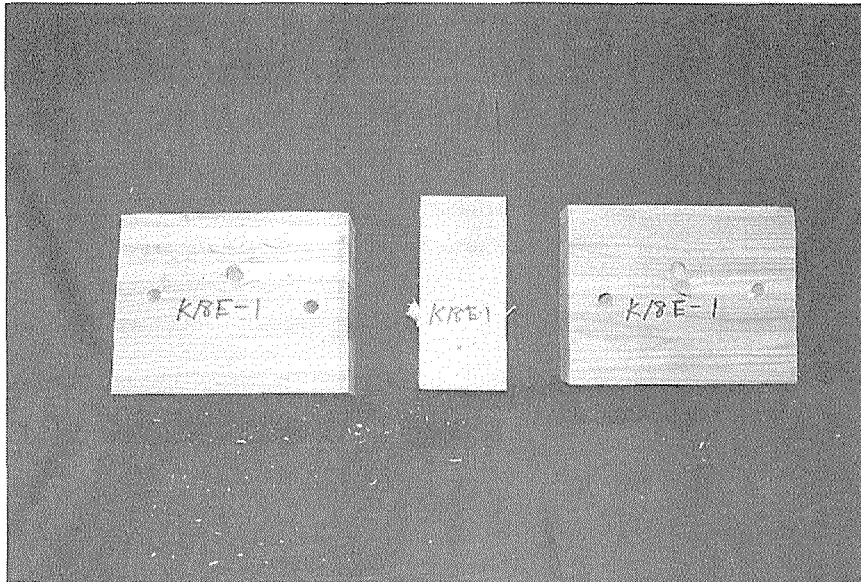


写真 2 - 67
 K 1 8 E - 1
 木栓が折れてしまい側材にめり込んでしまったタイプと、主材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。
 8 - 8

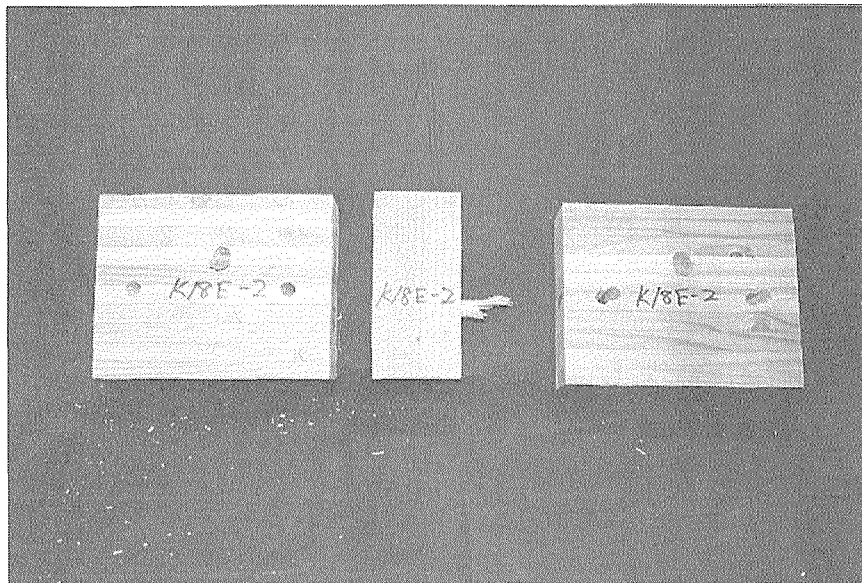


写真 2 - 68
 K 1 8 E - 2
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
 2 - 2

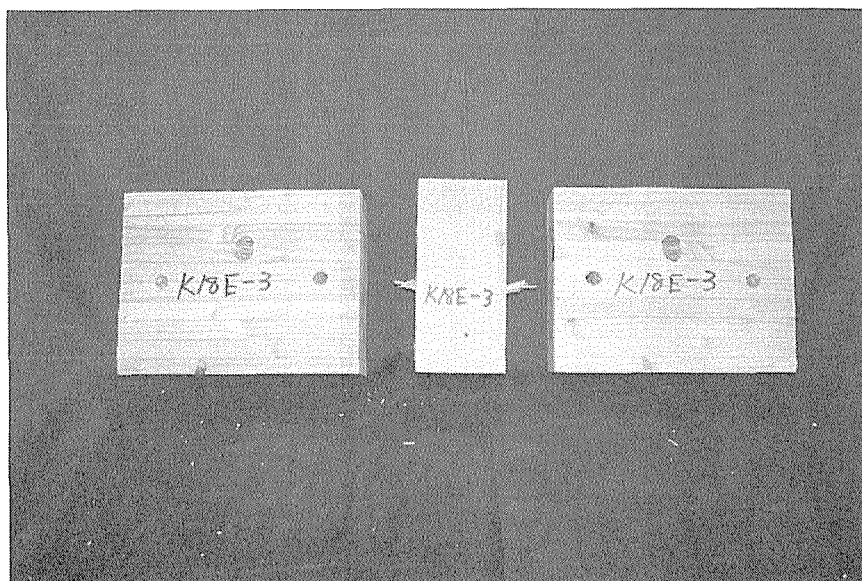


写真 2 - 69
 K 1 8 E - 3
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
 2 - 2

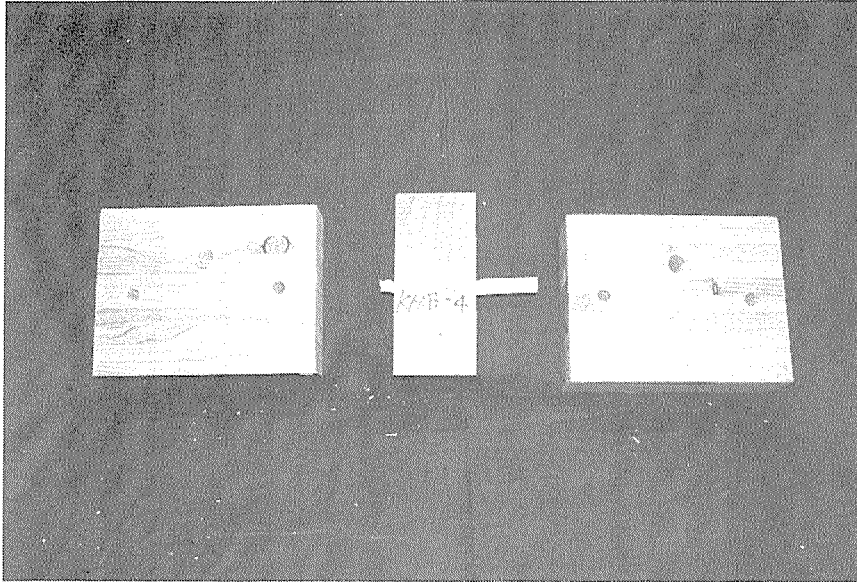


写真 2 - 70
K 1 8 E - 4
木栓がそのまま残って
いるタイプと折れてし
まったタイプであるこ
とがわかる。
2 - 4

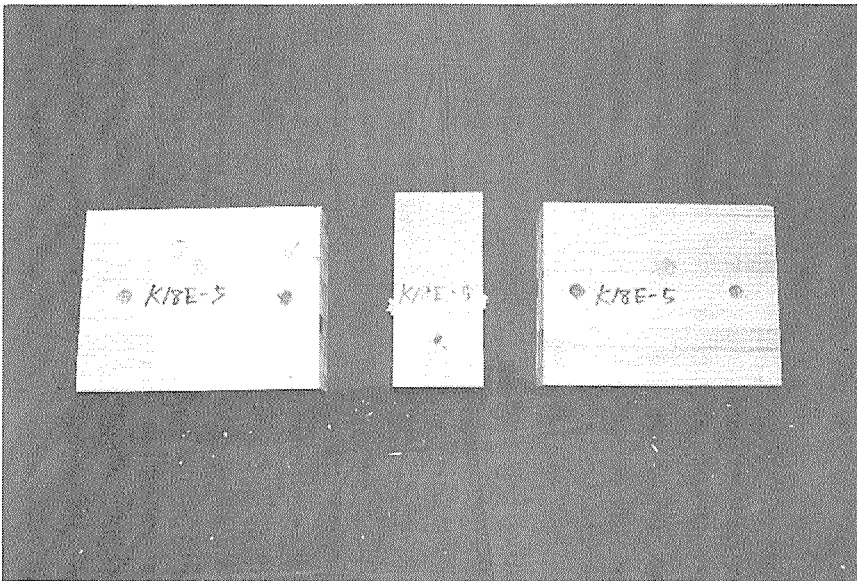


写真 2 - 71
K 1 8 E - 5
木栓が両方とも、折れ
てしまったタイプであ
ることがわかる。
2 - 2

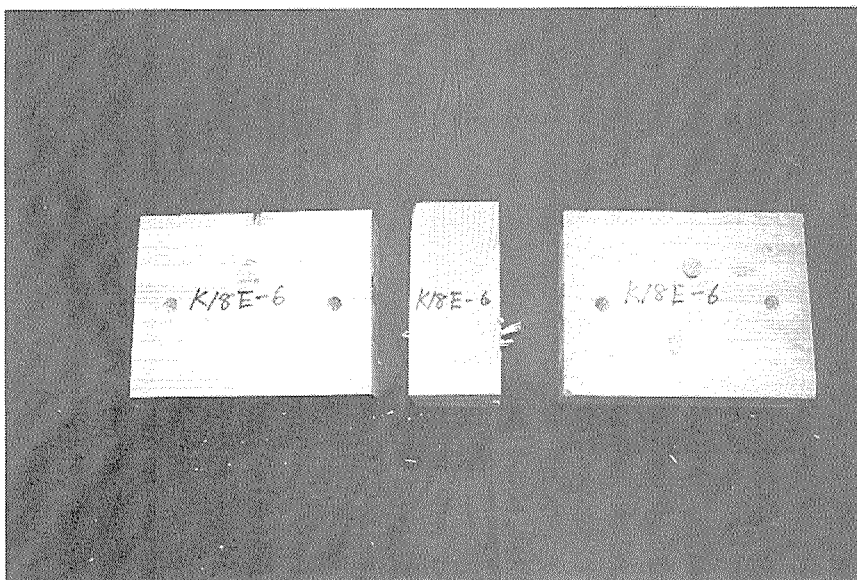


写真 2 - 72
K 1 8 E - 6
木栓が両方とも、折れ
てしまったタイプであ
ることがわかる。
2 - 2

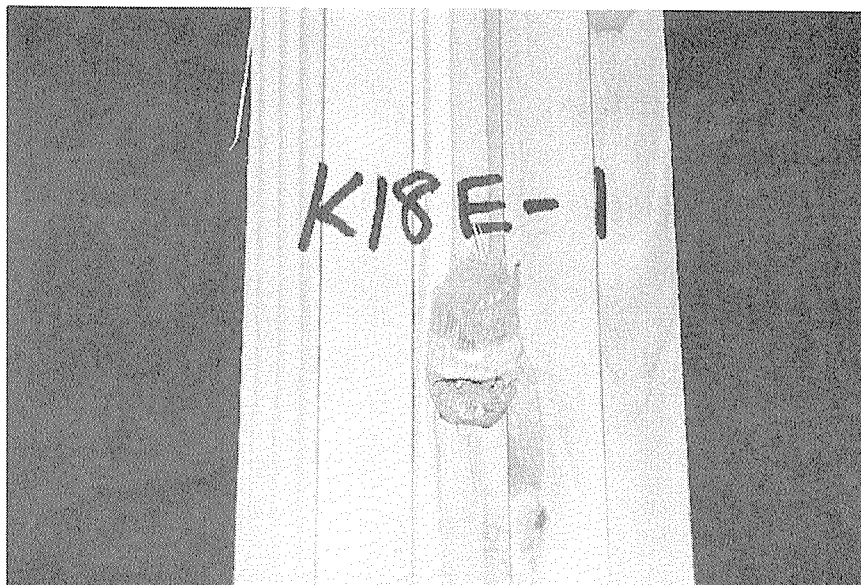


写真 2 - 73

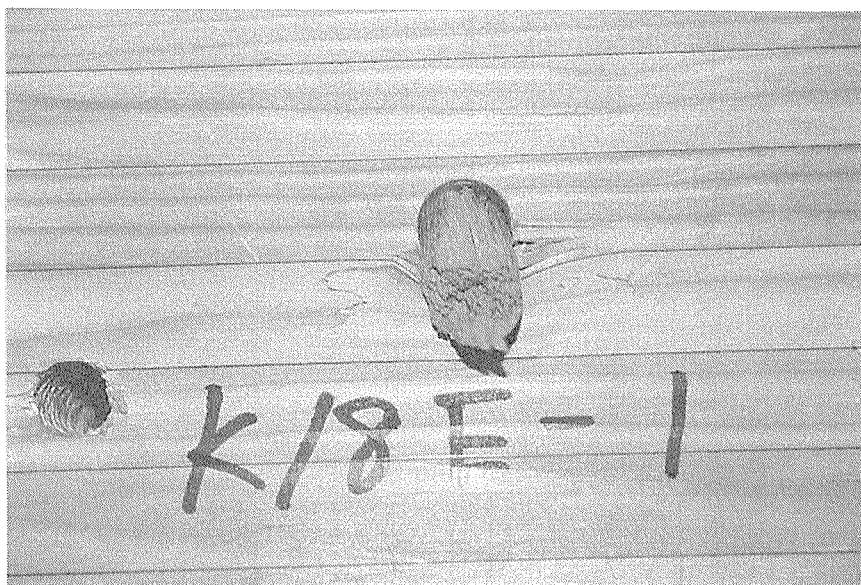


写真 2 - 74

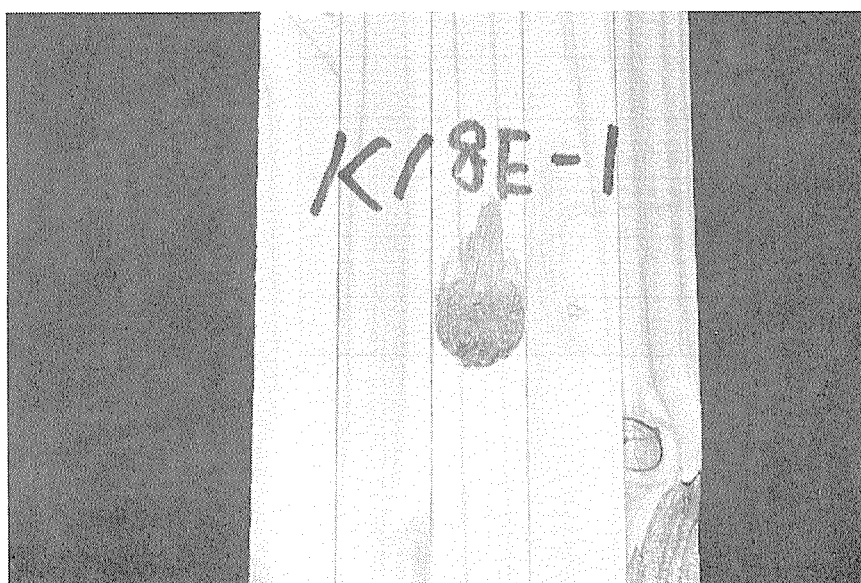


写真 2 - 75

K 2 4 A タイプ (木栓 2 4 m m / 主材 6 0 m m ・ 側材 3 0 m m)

表の 2-24 からの考察を行う。

- ・ 平均から大きく離れた値のものはない。

表の 2-25 からの考察を行う。

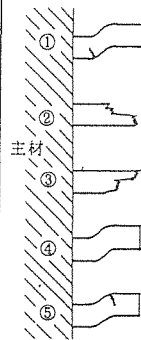
- ・ ⑥,⑦のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ 降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、1.20tfぐらいである。

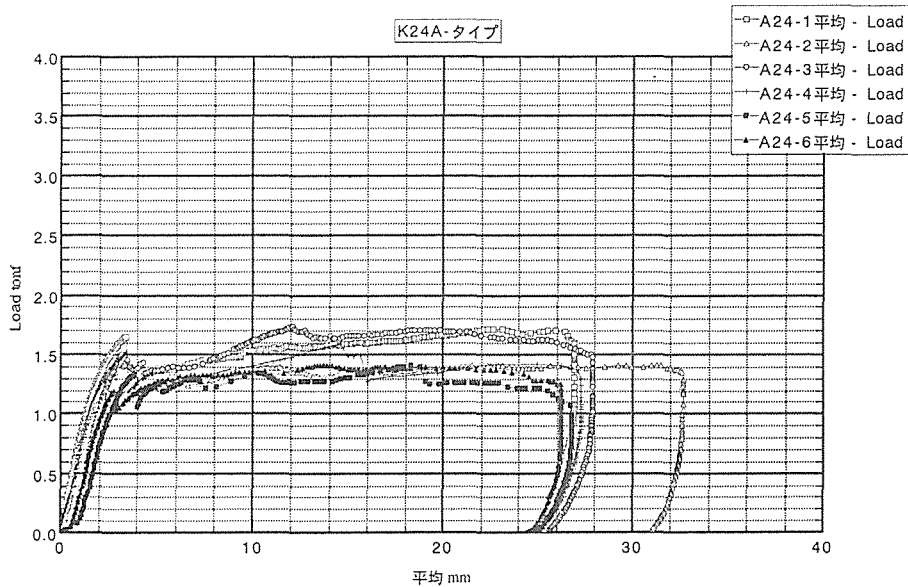
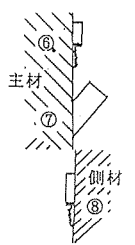
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K24A-1	1.642	3.36
2	1.412	29.98
3	1.732	12.18
4	1.589	14.63
5	1.414	18.34
6	1.410	14.06
平均	1.533	15.43

表2-24



最大値順位	K 2 4 A	試験体番号
1	7-7	A-1
2	7-7	A-4
3	6-7	A-3
4	6-7	A-2
5	7-7	A-5
6	7-7	A-6

表2-25



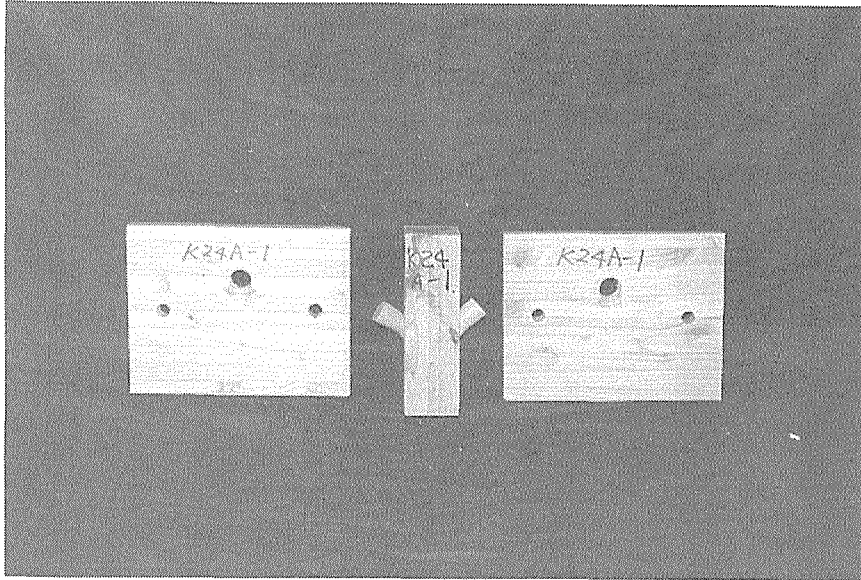


写真 2 - 76

K 2 4 A - 1

木栓が両方とも、側材から抜けてきてしまったタイプであることがわかる。

7 - 7

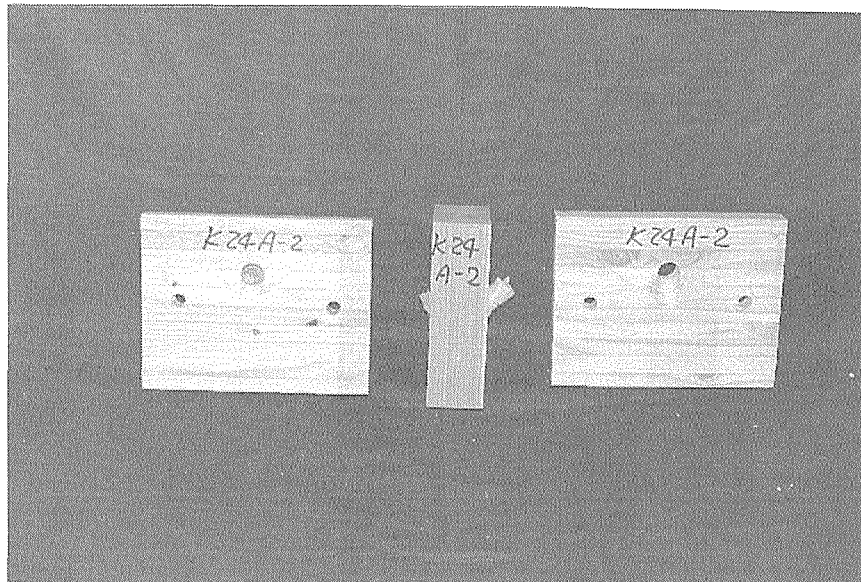


写真 2 - 77

K 2 4 A - 2

木栓が側材から抜けてきてしまったタイプと折れてしまい主材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。

6 - 7

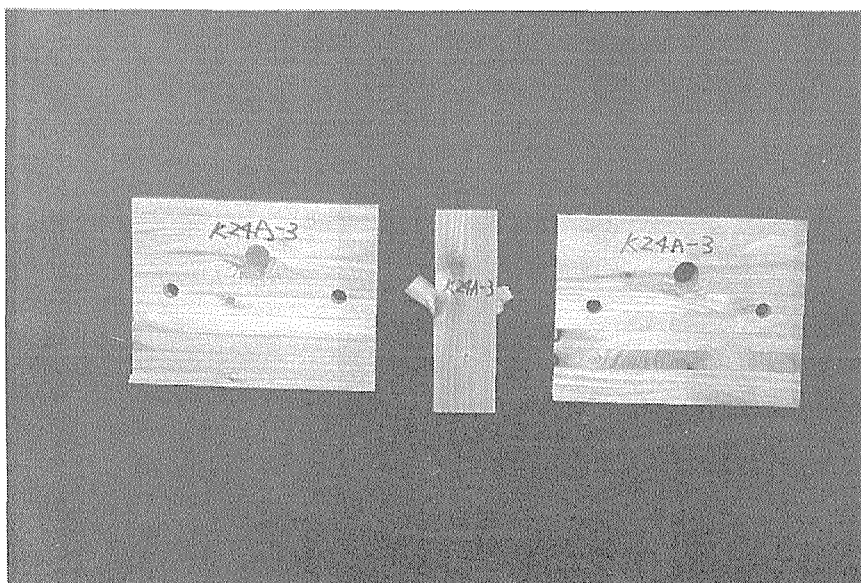


写真 2 - 78

K 2 4 A - 3

木栓が側材から抜けてきてしまったタイプと折れてしまい主材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。

6 - 7

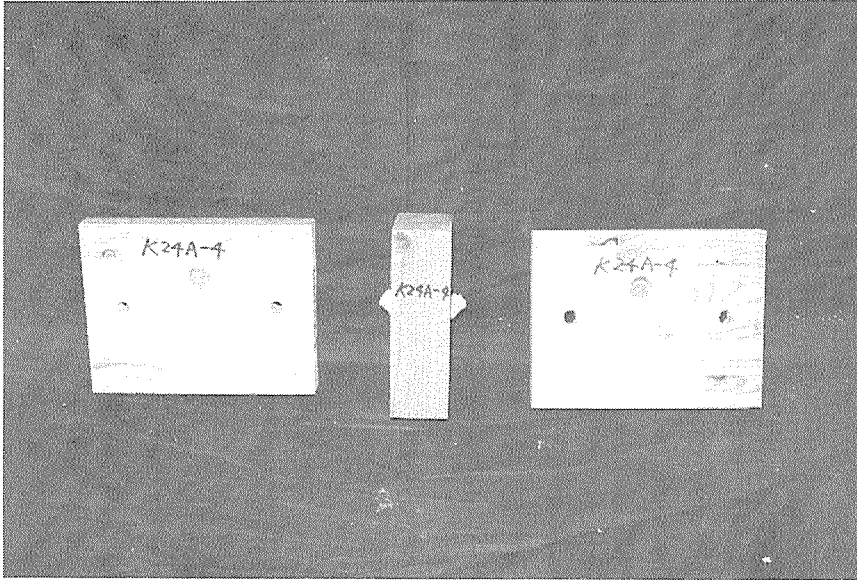


写真2-79
K24A-4
木栓が両方とも、側材
から抜けてきてしまっ
たタイプであることが
わかる。
7-7

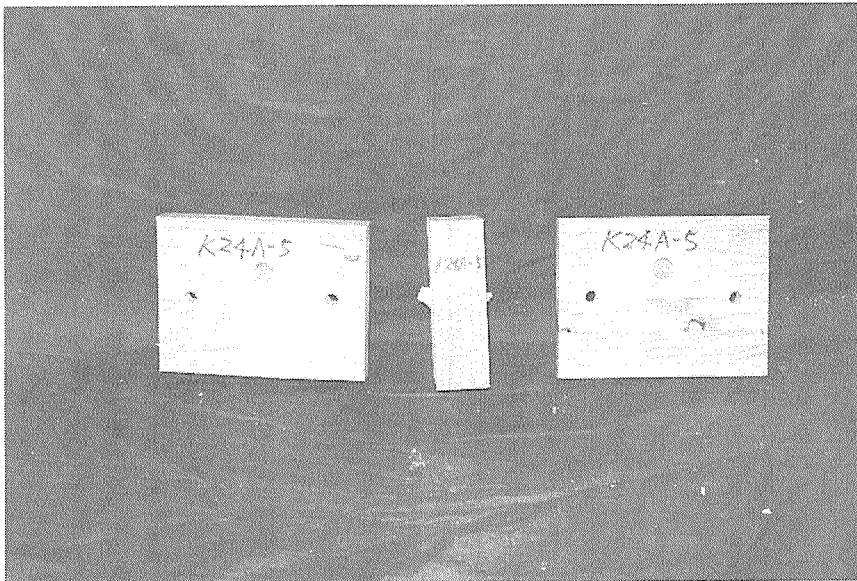


写真2-80
K24A-5
木栓が両方とも、側材
から抜けてきてしまっ
たタイプであることが
わかる。
7-7

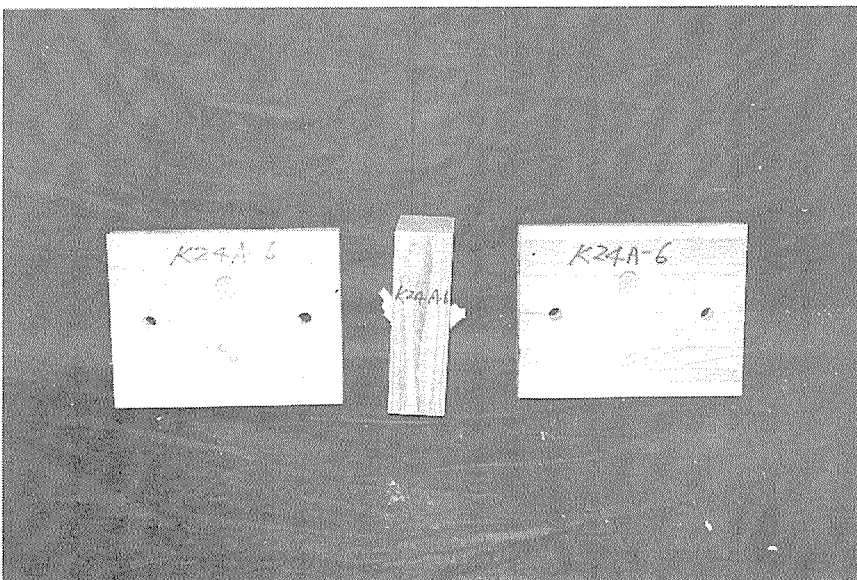


写真2-81
K24A-6
木栓が両方とも、側材
から抜けてきてしまっ
たタイプであることが
わかる。
7-7

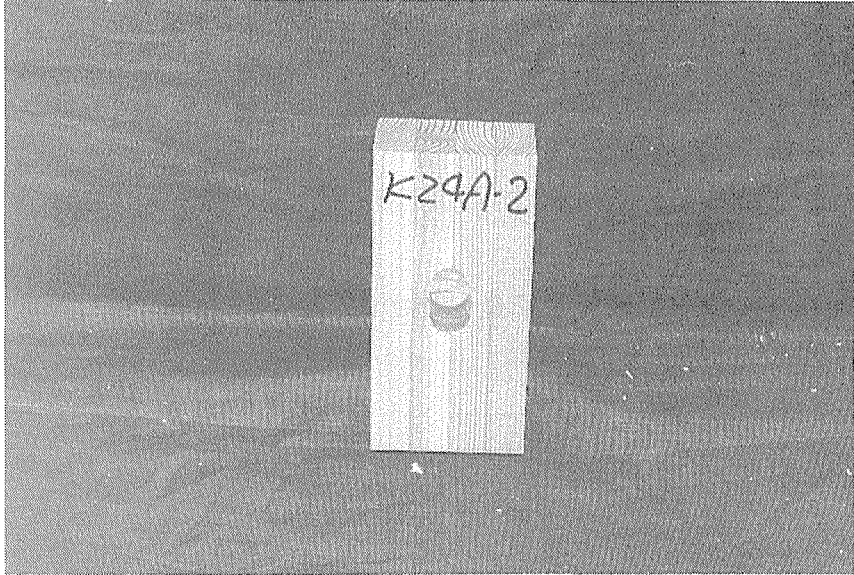


写真 2 - 82

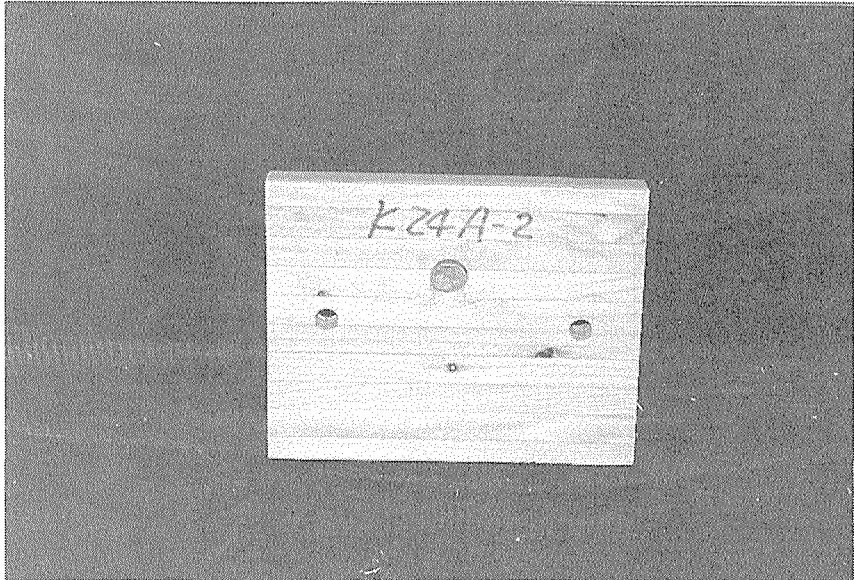


写真 2 - 83

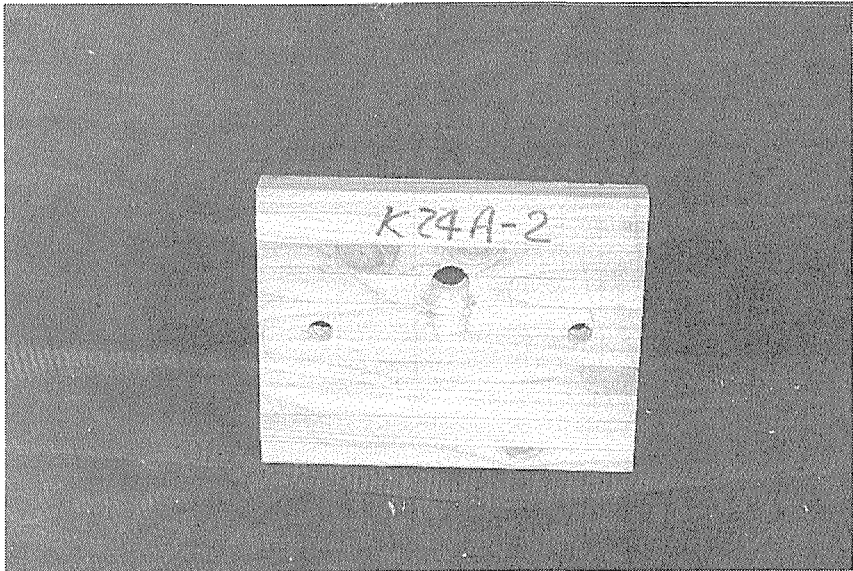


写真 2 - 84

K 2 4 Bタイプ (木栓 2 4 m m / 主材 6 0 m m ・ 側材 6 0 m m)

表の 2-26 からの考察を行う。

- ・ B-4,5の最大荷重が他の物より高い値が出ている。
- ・ B-2,3,6の最大荷重が他の物より低い値が出ている。
- ・ その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-27 からの考察を行う。

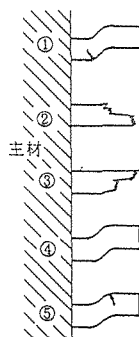
- ・ ②,③,④のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ 降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、1.00tfぐらいである。

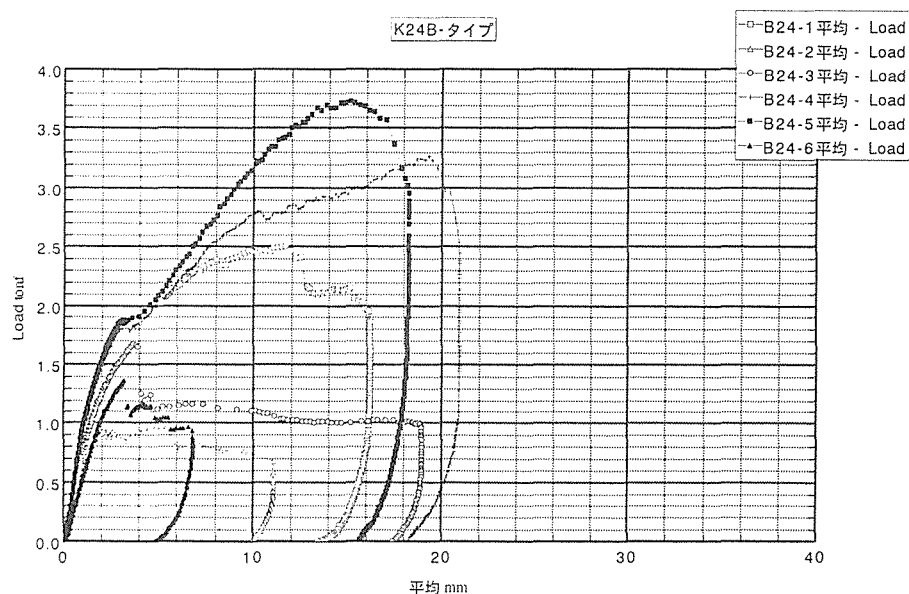
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K24B-1	2.503	11.72
2	0.974	5.45
3	1.665	3.72
4	3.265	19.30
5	3.732	15.38
6	1.368	3.23
平均	2.251	9.80

表2-26



最大値順位	K 24B	試験体番号
1	3-3	B-5
2	4-2	B-4
3	4-2	B-1
4	2-2	B-3
5	5-2	B-6
6	2-2	B-2

表2-27



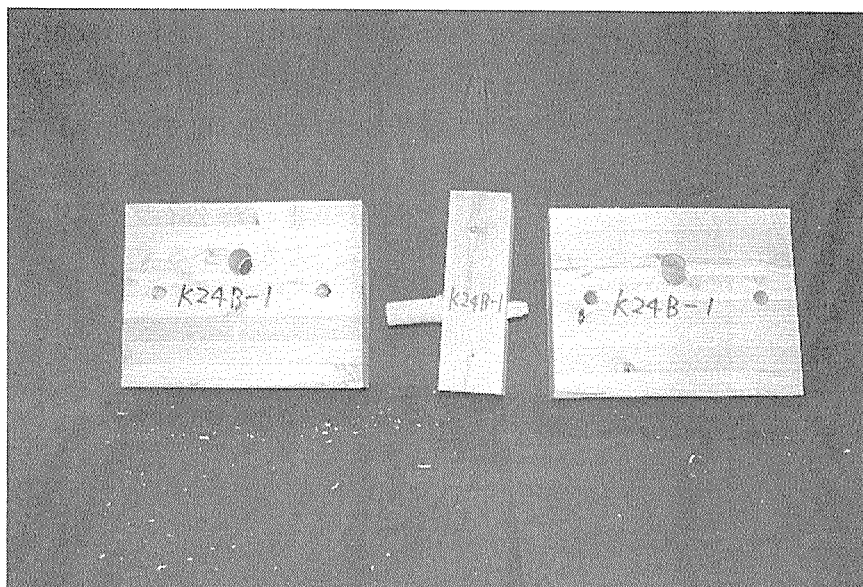


写真 2 - 85
 K 2 4 B - 1
 木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。

4 - 2

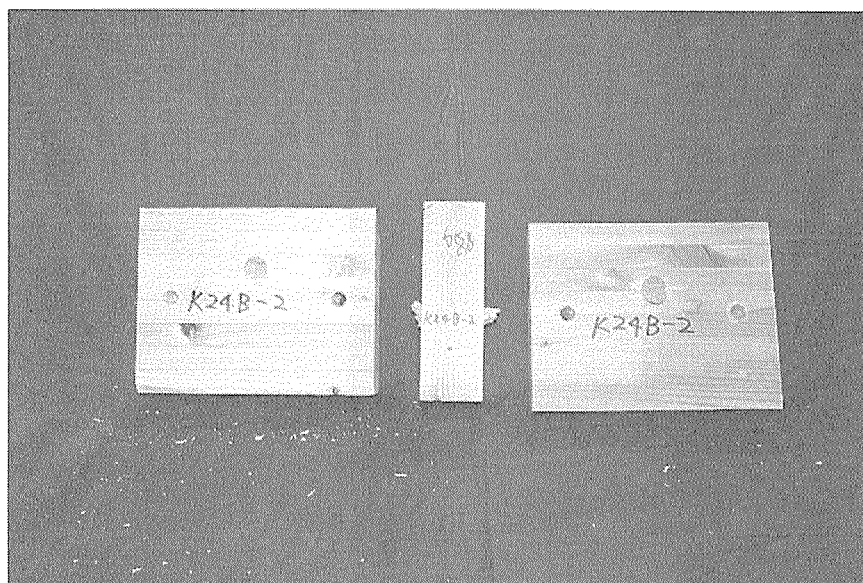


写真 2 - 86
 K 2 4 B - 2
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。

2 - 2

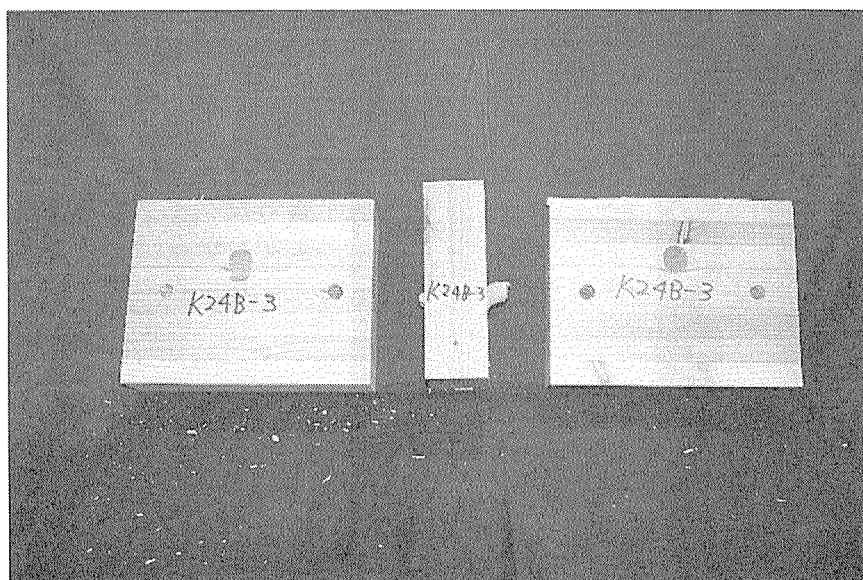


写真 2 - 87
 K 2 4 B - 3
 木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。

2 - 2

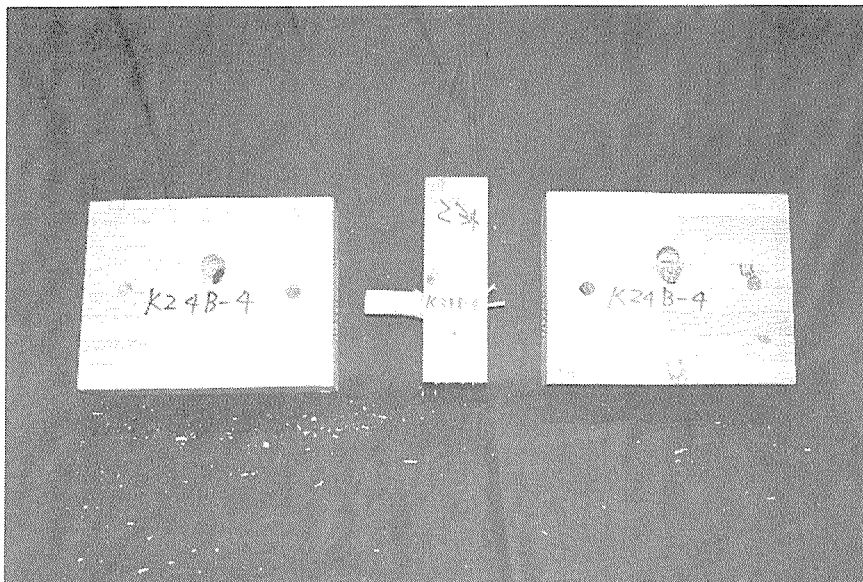


写真 2 - 88
K 2 4 B - 4
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
4 - 2

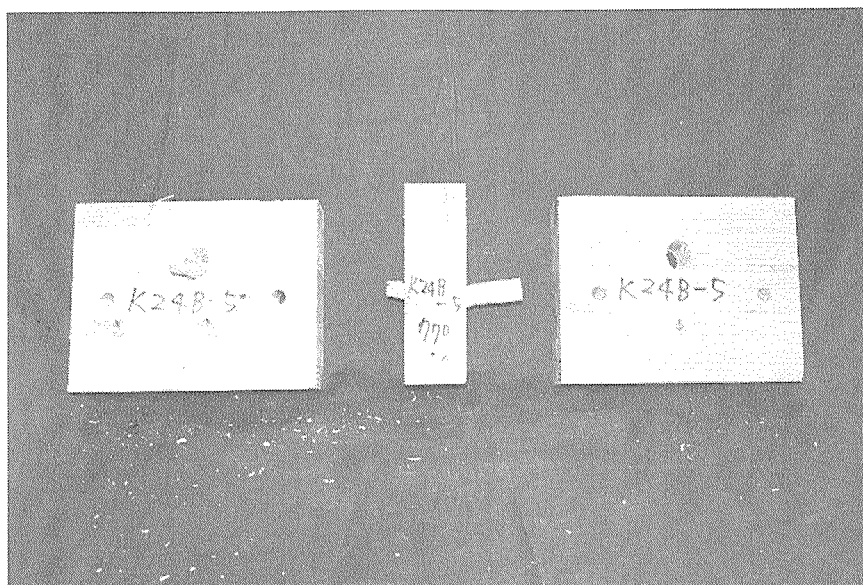


写真 2 - 89
K 2 4 B - 5
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
3 - 3

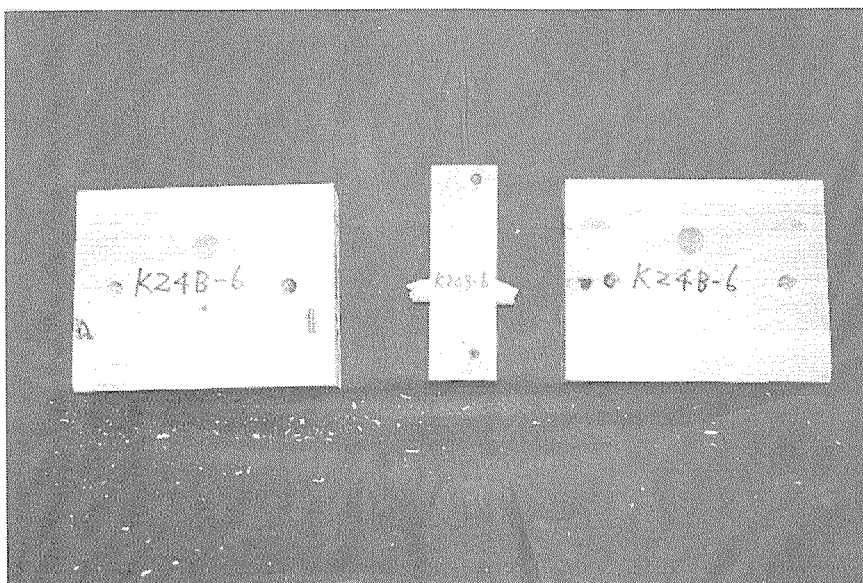


写真 2 - 90
K 2 4 B - 6
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
5 - 2

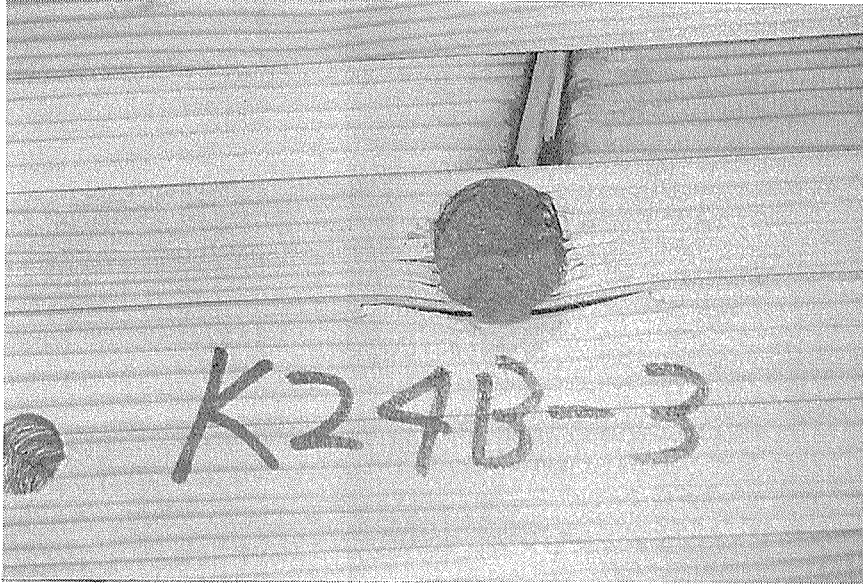


写真 2 - 91

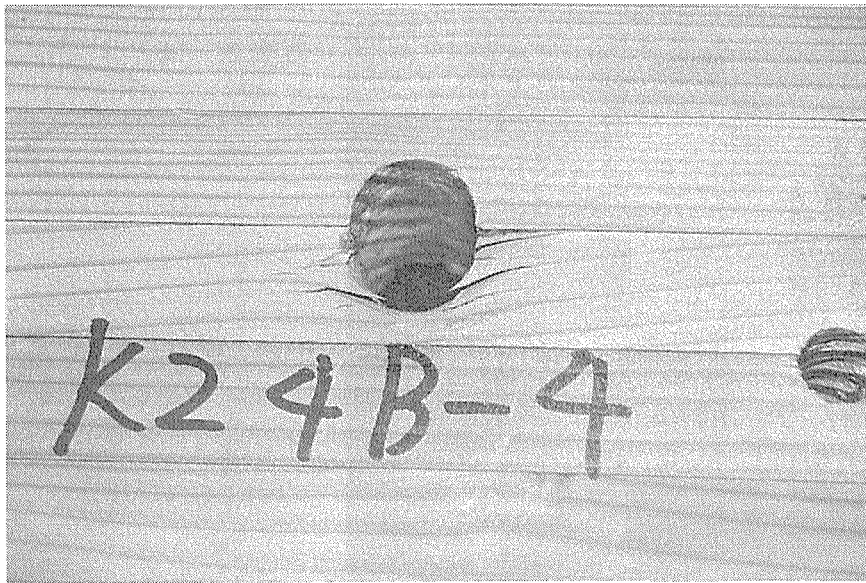


写真 2 - 92



写真 2 - 93

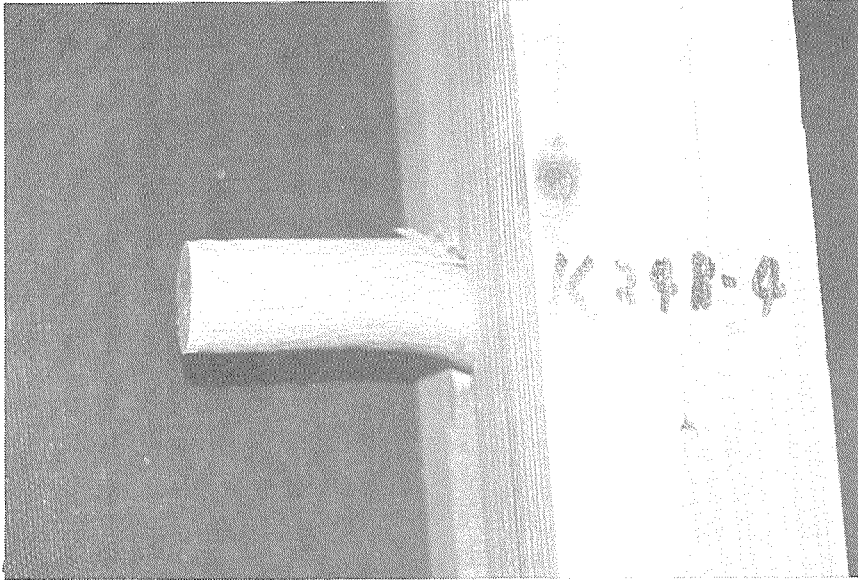


写真 2 - 94

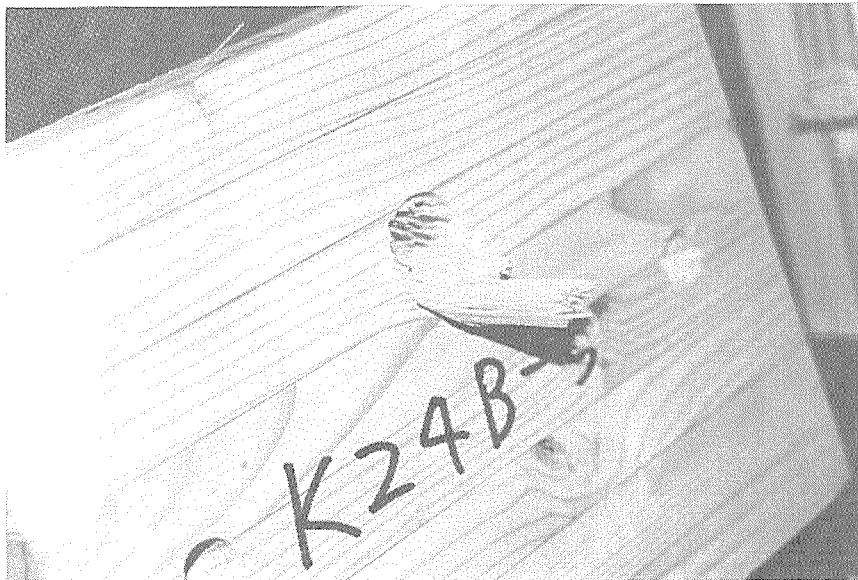


写真 2 - 95



写真 2 - 96

K24Cタイプ (木栓24mm / 主材60mm・側材90mm)

表の2-28 からの考察を行う。

- ・C-2,3の最大荷重が他の物より高い値が出ている。
- ・C-1,5の最大荷重が他の物より低い値が出ている。
- ・その他の値はほぼ一緒である。

表の2-29 からの考察を行う。

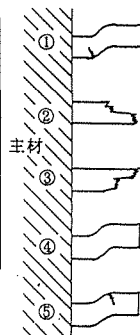
- ・②,③,⑤のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・最低耐力は、1.45tfぐらいである。

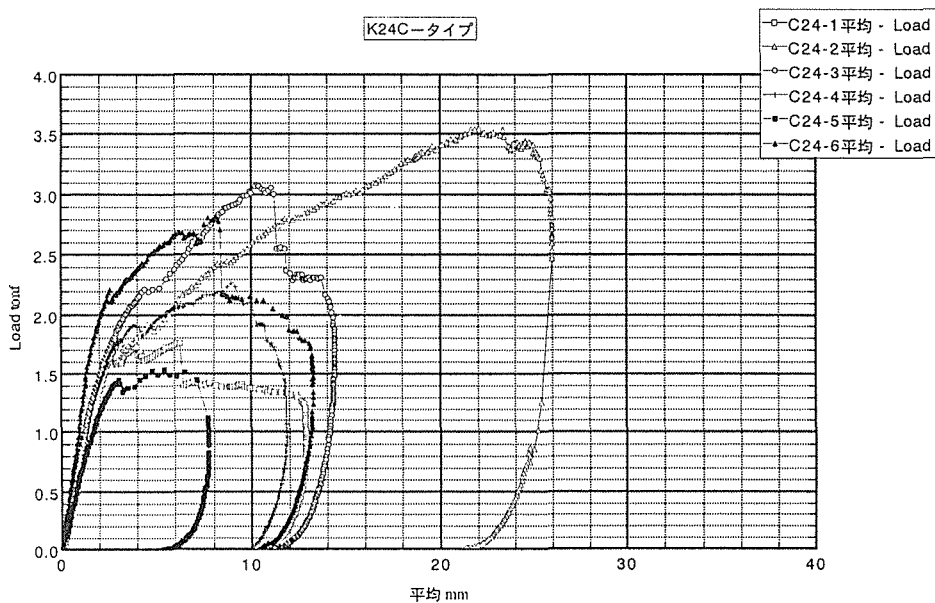
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K24C-1	1.761	6.24
2	3.547	22.11
3	3.075	10.39
4	2.263	8.93
5	1.532	5.47
6	2.813	8.19
平均	2.498	10.22

表2-28



最大値順位	K24C	試験体番号
1	2-5	C-2
2	2-3	C-3
3	2-2	C-6
4	2-4	C-4
5	2-2	C-1
6	2-2	C-5

表2-29



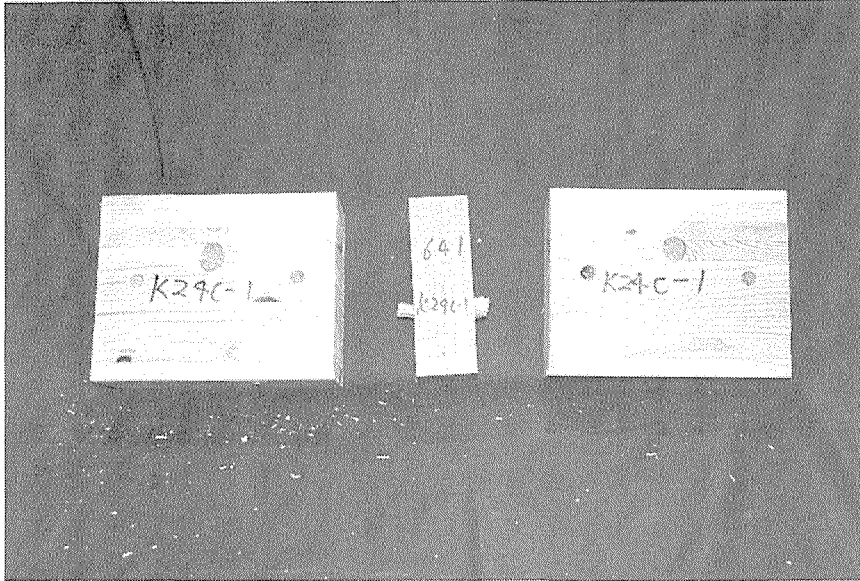


写真 2 - 97
K 2 4 C - 1
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 2

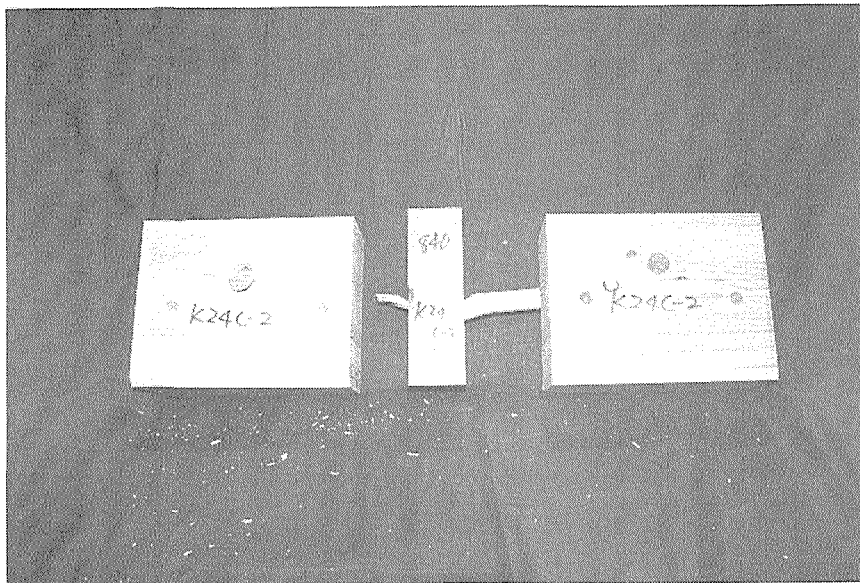


写真 2 - 98
K 2 4 C - 2
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 5

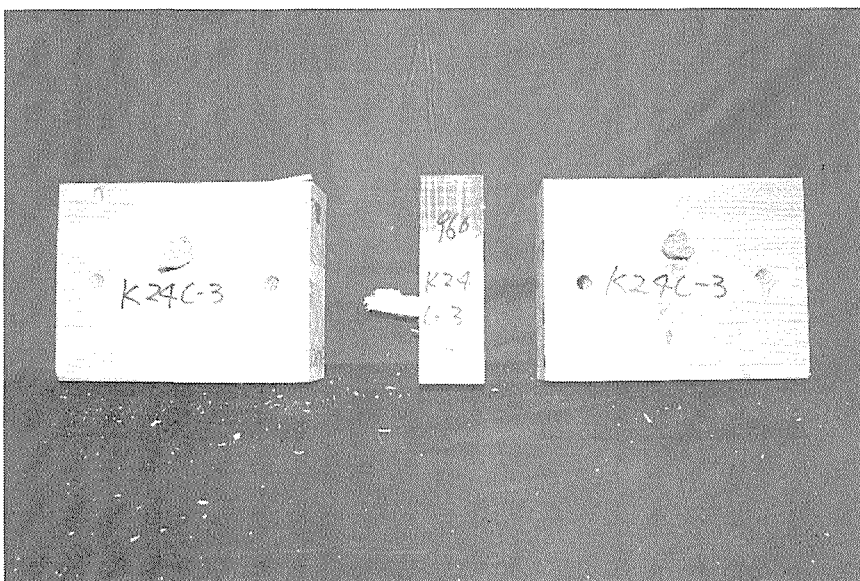


写真 2 - 99
K 2 4 C - 3
木栓が両方とも、折れてしまったタイプであることがわかる。
2 - 3

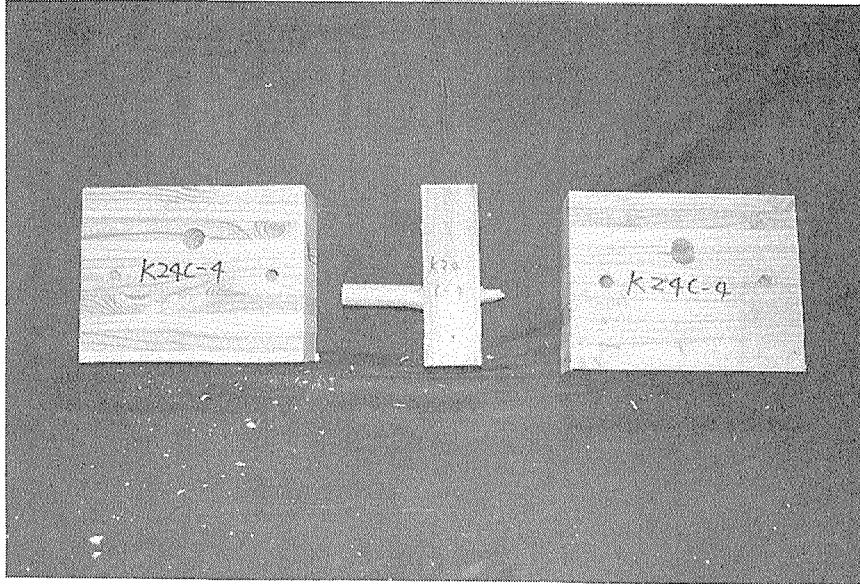


写真 2 - 100
K 2 4 C - 4
木栓がそのまま残って
いるタイプと折れてし
まったタイプであるこ
とがわかる。
2 - 4



写真 2 - 101
K 2 4 C - 5
木栓が両方とも、折れ
てしまったタイプであ
ることがわかる。
2 - 2

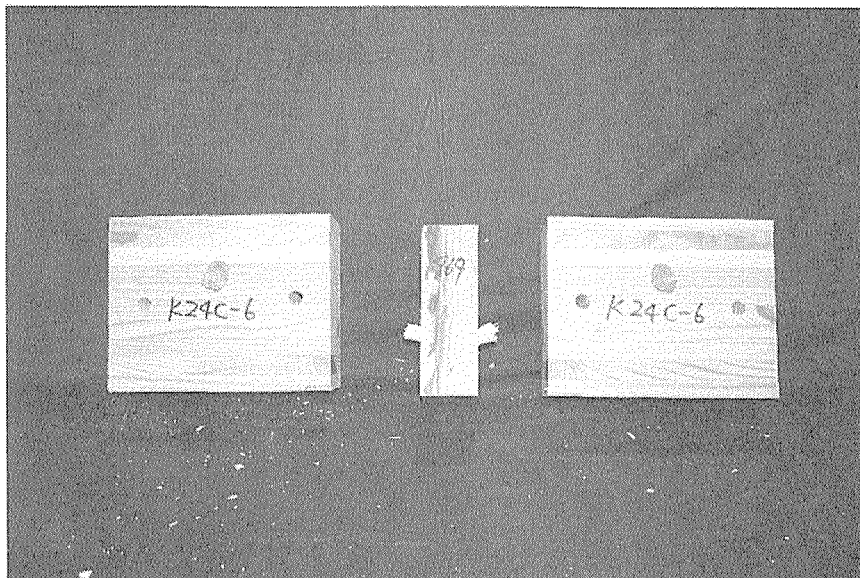


写真 2 - 102
K 2 4 C - 6
木栓が両方とも、折れ
てしまったタイプであ
ることがわかる。
2 - 2

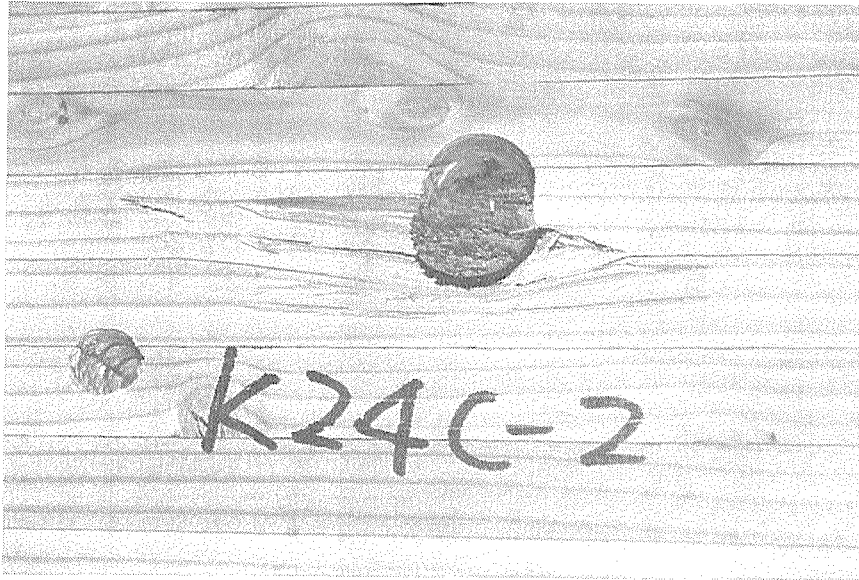


写真 2 - 103

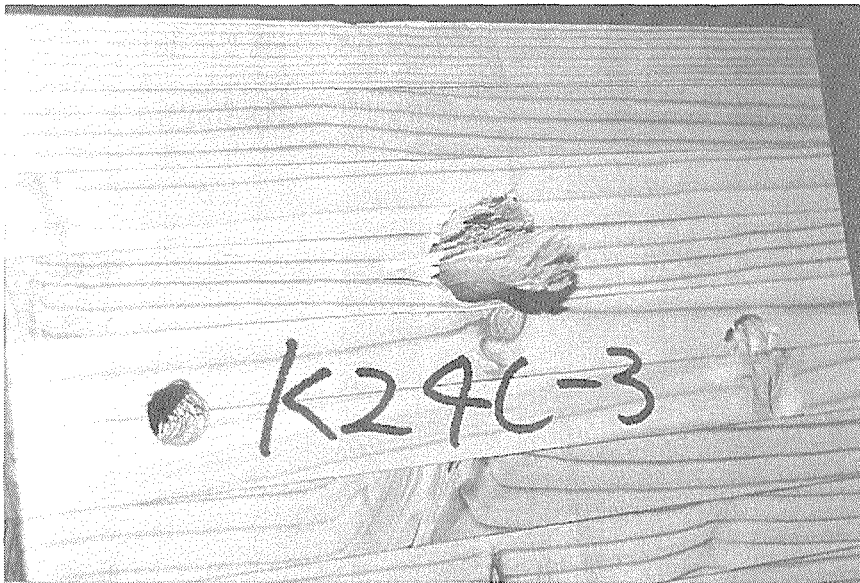


写真 2 - 104

K 2 4 Dタイプ (木柱 2 4 m m / 主材 9 0 m m ・ 側材 4 5 m m)

表の 2-30 からの考察を行う。

- ・ D-2,3の最大荷重が他の物より高い値が出ている。
- ・ D-4,6の最大荷重が他の物より低い値が出ている。
- ・ その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-31 からの考察を行う。

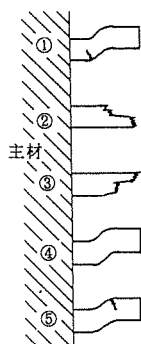
- ・ ②,③,⑥のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ 降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、1.40tfぐらいである。

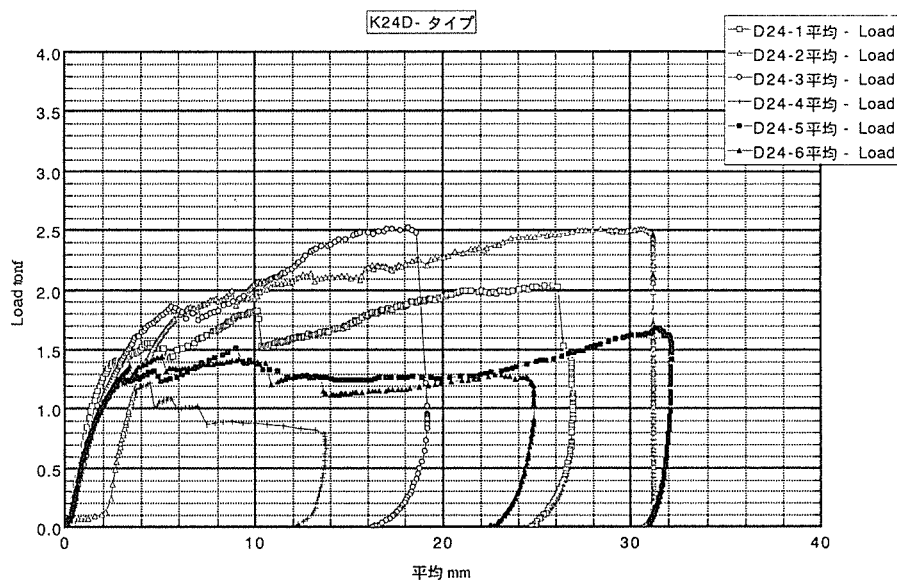
	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K24D-1	2.043	25.89
2	2.509	30.72
3	2.510	17.32
4	1.308	3.45
5	1.676	31.33
6	1.439	5.15
平均	1.914	18.98

表2-30



最大値順位	K24D	試験体番号
1	6-6	D-3
2	2-3	D-2
3	6-6	D-1
4	5-2	D-5
5	5-2	D-6
6	5-2	D-4

表2-31



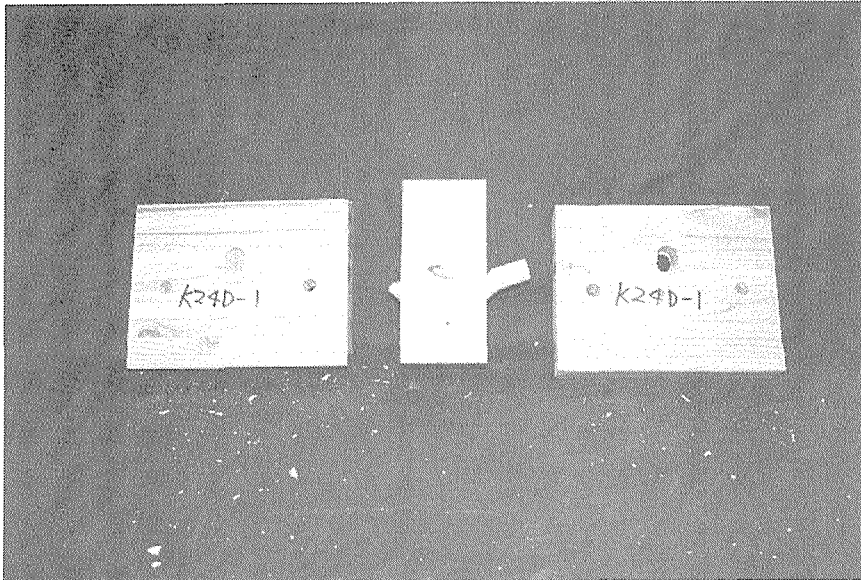


写真2 - 105
 K 2 4 D - 1
 木栓が両方とも、折れてしまい主材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。
 6 - 6

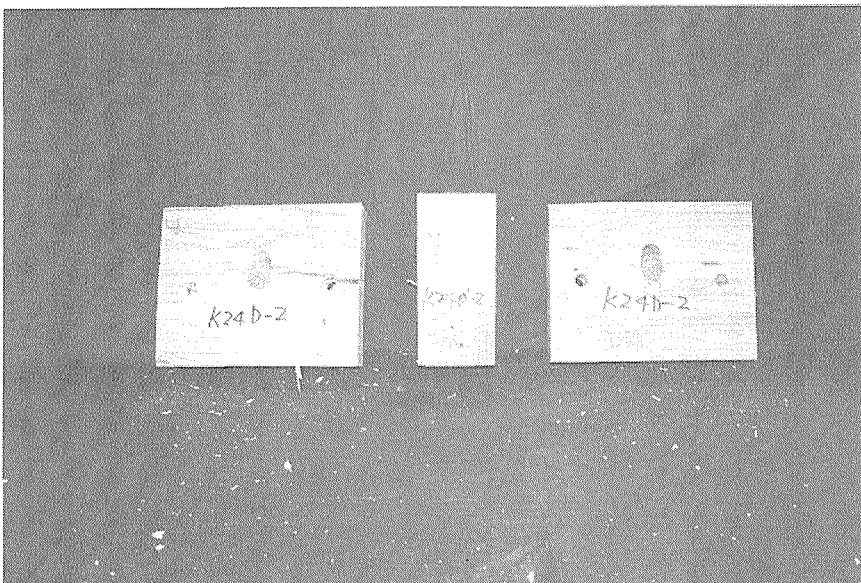


写真2 - 106
 K 2 4 D - 2
 木栓が両方とも、折れてしまい側材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。
 8 - 8

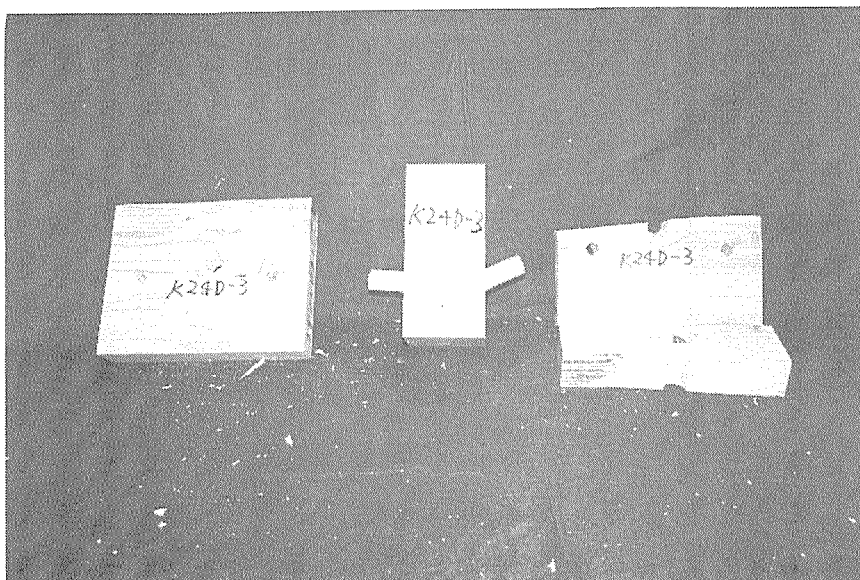


写真2 - 107
 K 2 4 D - 3
 木栓が折れずに側材が先に割れてしまったタイプであることがわかる。
 4 - 4

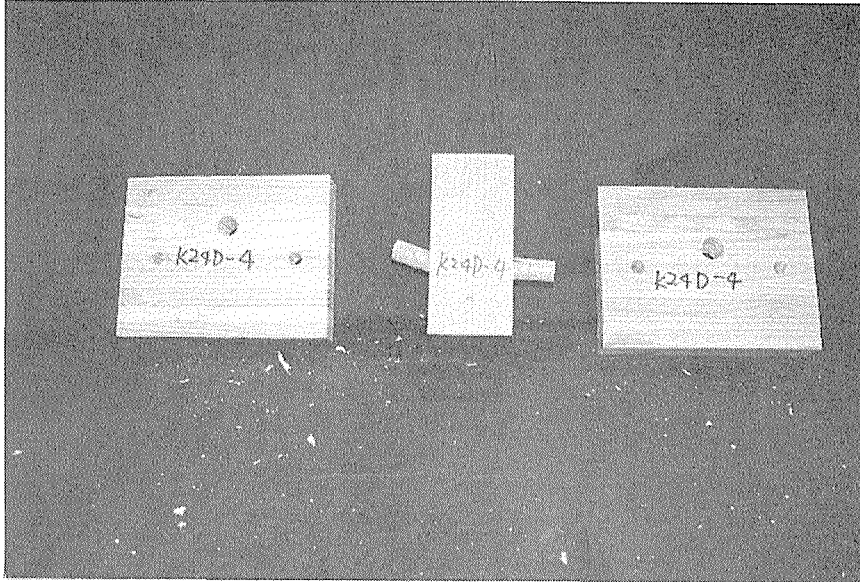


写真2-108
K24D-4
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
5-2

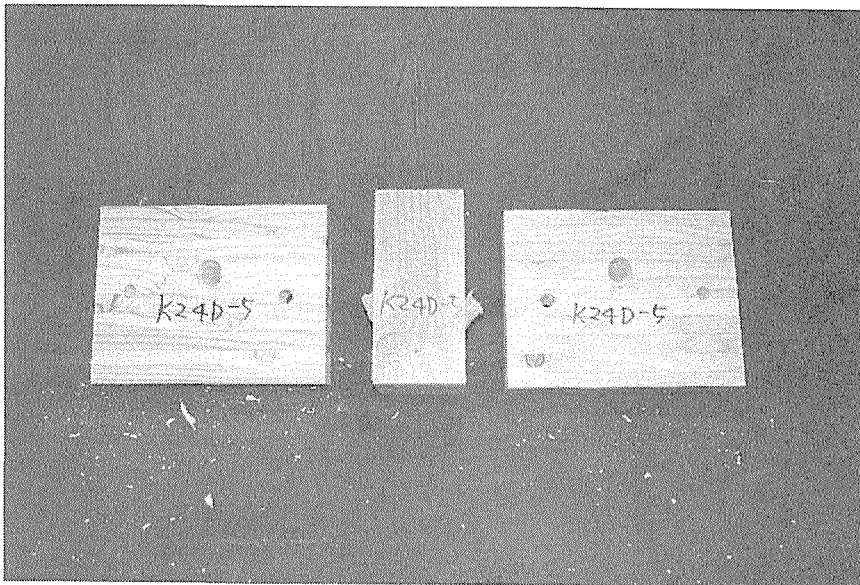


写真2-109
K24D-5
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
5-2

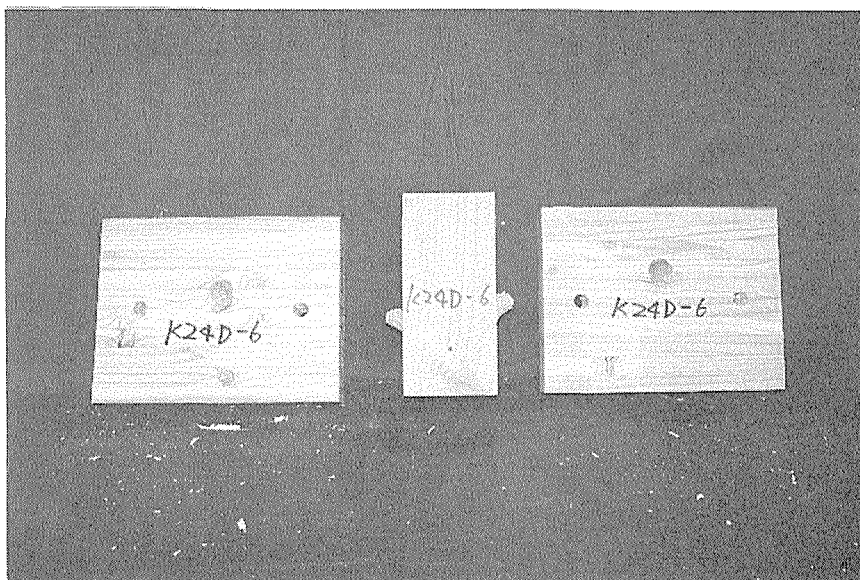


写真2-110
K24D-6
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
5-2

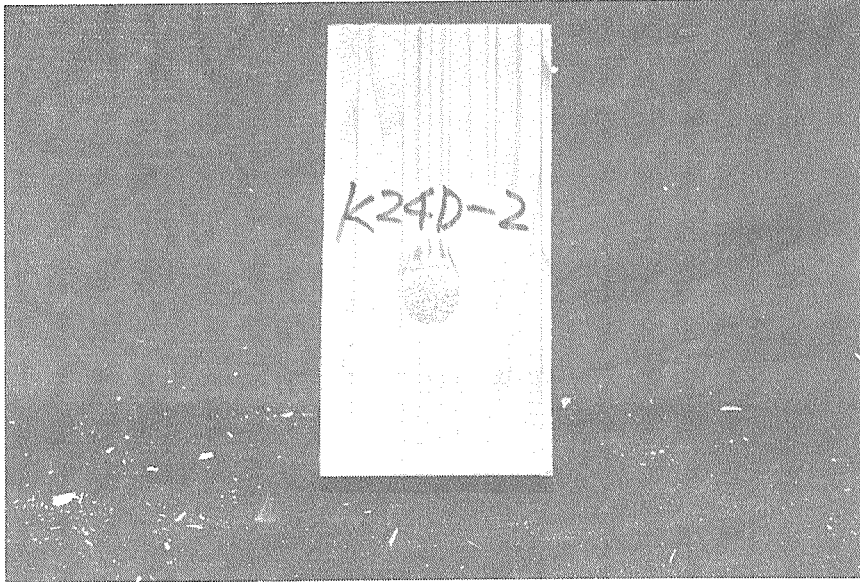


写真 2 - 111

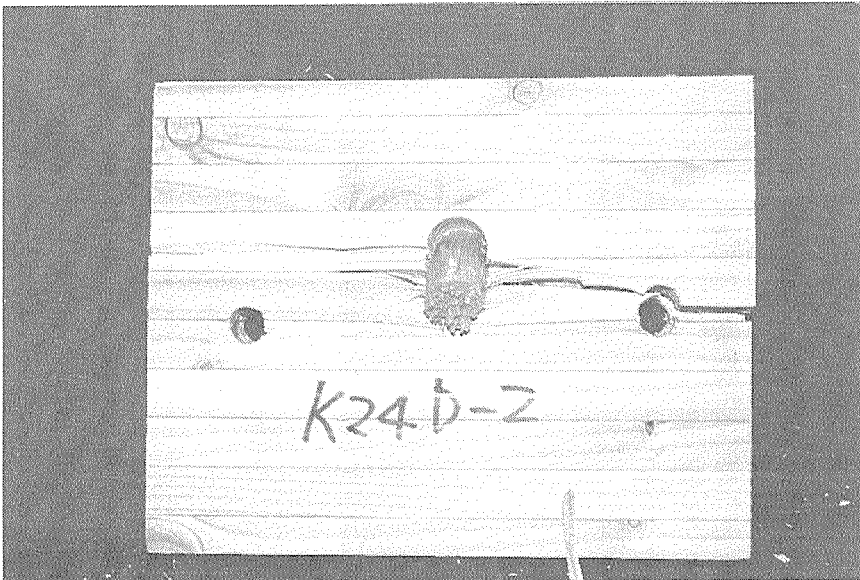


写真 2 - 112

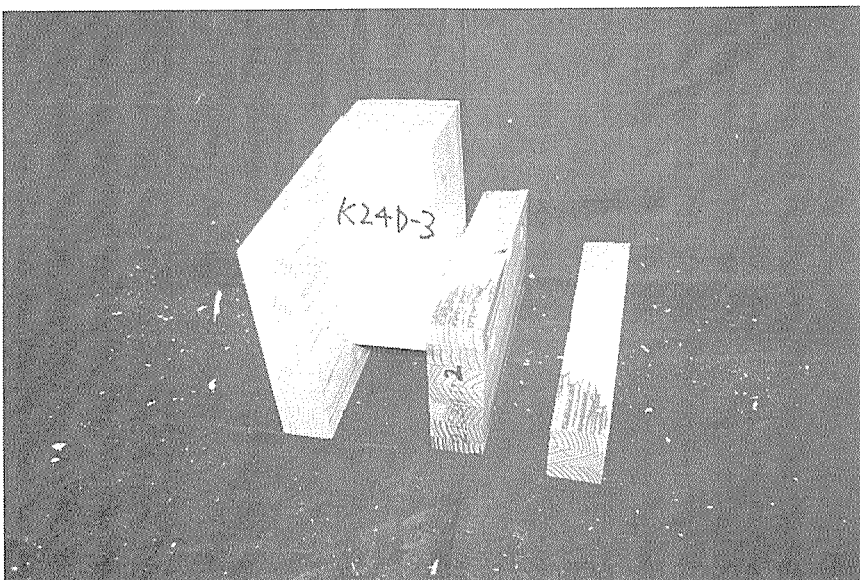


写真 2 - 113

K 2 4 E タイプ (木柱 2.4 m m / 主材 9 0 m m ・ 側材 7 5 m m)

表の 2-32 からの考察を行う。

- ・ E-6の最大荷重が他の物より高い値が出ている。
- ・ その他の値はほぼ一緒である。

表の 2-33 からの考察を行う。

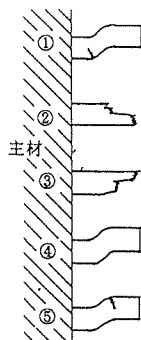
- ・ ⑥のパターンの折れ方になると数値的に良い値が出ている。

グラフからの考察を行う。

- ・ 降伏点までの剛性がほぼ等しい。
- ・ 最低耐力は、1.30tfぐらいである。

	最大荷重(tf)	最大荷重時の変位(mm)
K24E-1	1.539	22.36
2	1.525	5.04
3	1.454	6.88
4	1.447	6.12
5	1.663	4.43
6	3.921	13.45
平均	1.925	9.71

表2-32



最大値順位	K 24E	試験体番号
1	6-6	E-6
2	6-6	E-5
3	6-6	E-1
4	2-3	E-2
5	5-2	E-4
6	5-2	E-3

表2-33

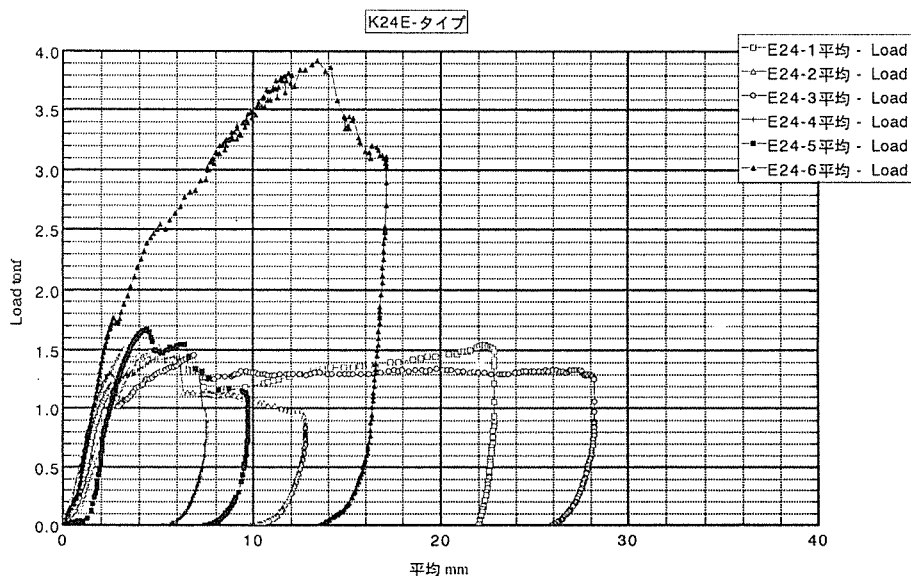




写真 2 - 114
 K 2 4 E - 1
 木栓が両方とも、折れて
 しまい主材にめり込
 んでしまったタイプで
 あることがわかる。
 6 - 6

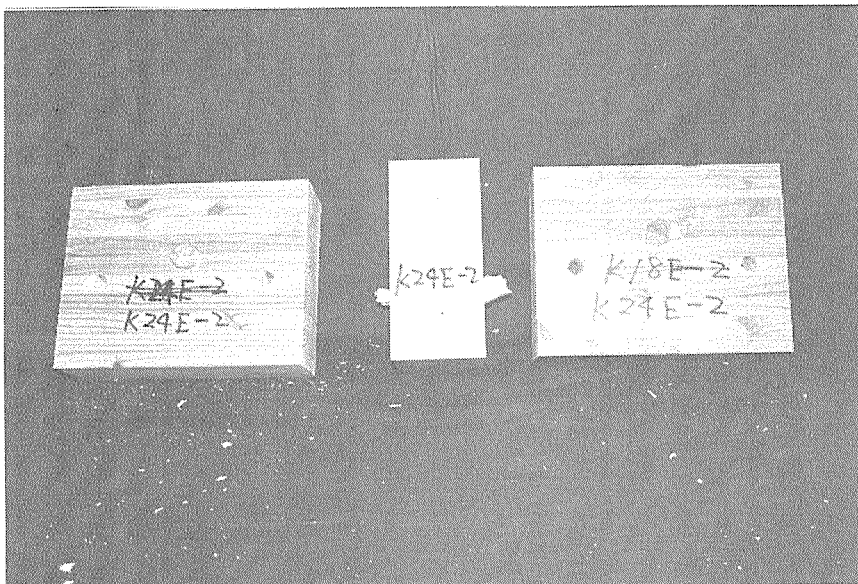


写真 2 - 115
 K 2 4 E - 2
 木栓が両方とも、折れ
 てしまったタイプであ
 ることがわかる。
 2 - 3



写真 2 - 116
 K 2 4 E - 3
 木栓がそのまま残っ
 ているタイプと折れて
 しまったタイプである
 ことがわかる。
 5 - 2

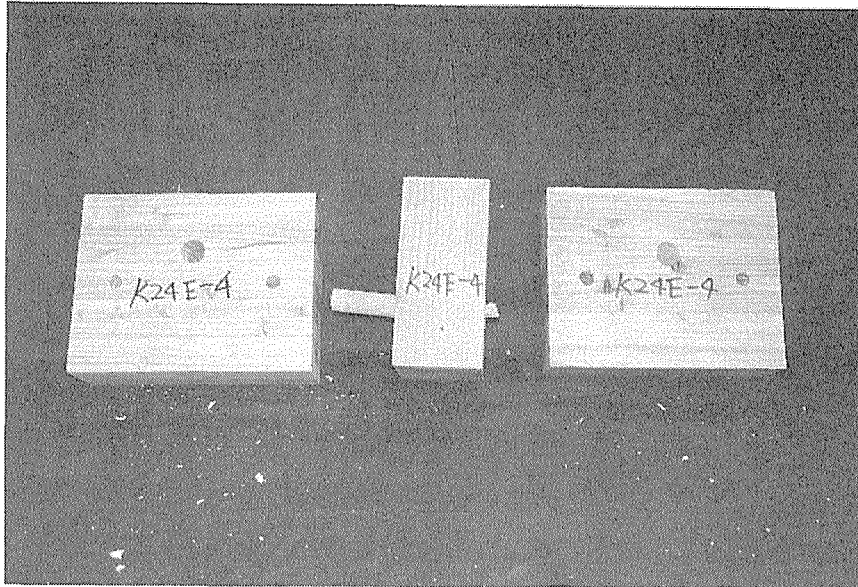


写真2-117
K24E-4
木栓がそのまま残っているタイプと折れてしまったタイプであることがわかる。
5-2

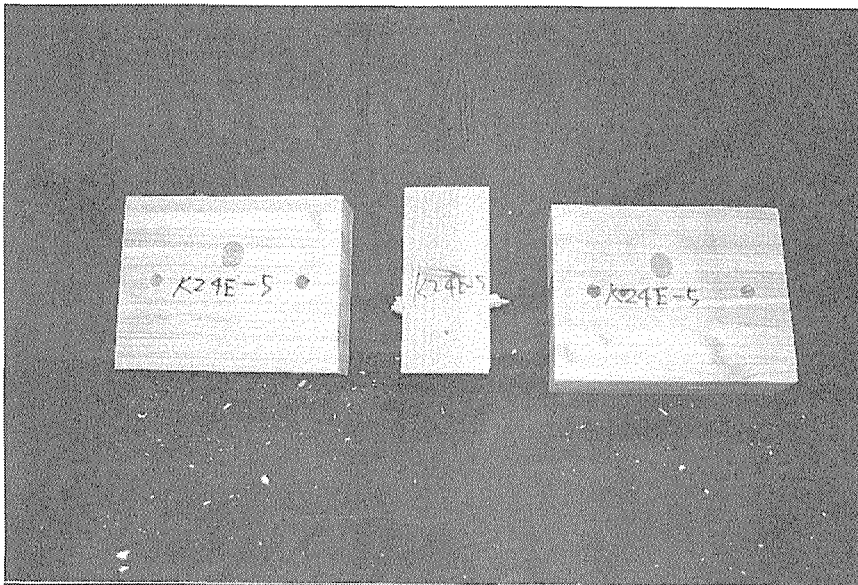


写真2-118
K24E-5
木栓が両方とも、折れてしまい主材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。
6-6

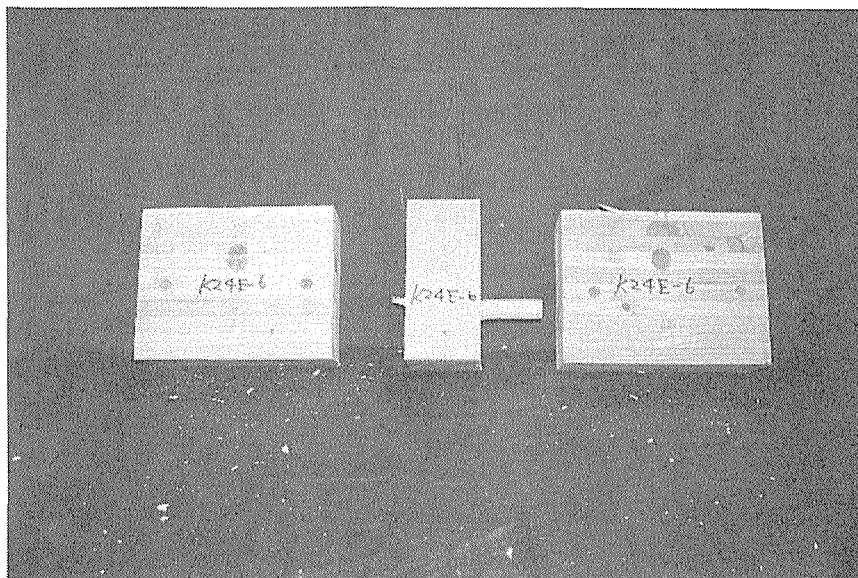


写真2-119
K24E-6
木栓が両方とも、折れてしまい主材にめり込んでしまったタイプであることがわかる。
6-6



写真 2 - 120



写真 2 - 121

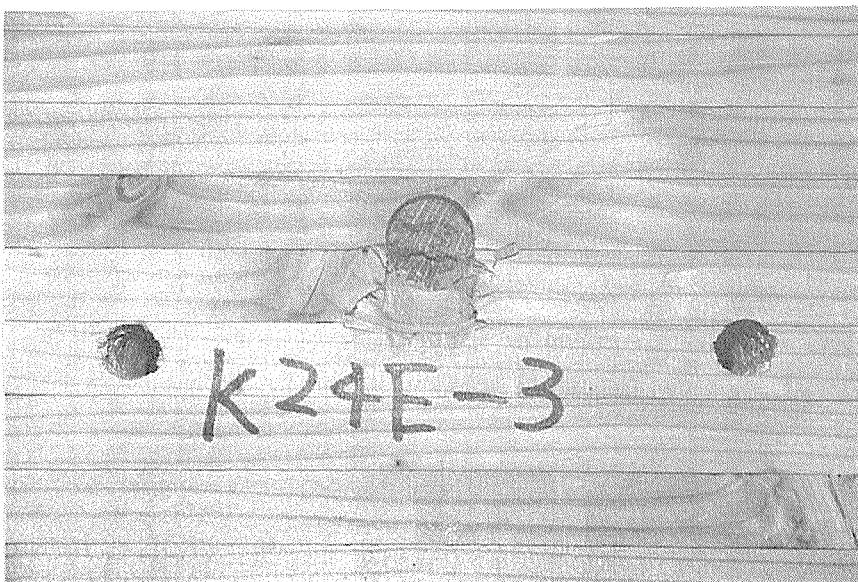


写真 2 - 122

3.6 考察

せん断試験より以下のような知見を得た。

- 1) 同種の試験体を各6体ずつ製作して試験を行なったが剛性および降伏耐力についてのばらつきは、ほとんどなかった。
- 2) 降伏点を超えた後の粘り強さについては、ばらつきが見られた。これには、破壊性状の違いによる影響が関与していると思われる。
- 3) 木栓自体のばらつきも大きくないため、昨年度の試験で生じたばらつきは、試験体製作時の施工に関する影響を大きく受けていると考えられる。今回、圧縮試験機による木栓の圧入を行なったが、そのため、試験結果のばらつきが、ほとんどなかったと考えられる。
- 4) 今後、主材、側材の樹種や木栓そのものの樹種を変えて同様の試験を行ないデータを収集する必要があると思われる。さらに、単調載荷だけではなく正負繰り返しの載荷についても確認する必要があると思われる。

4 試験値と理論値の比較

4.1 理論値の計算

試験値との比較のため、理論値を計算する。ここでは、木質構造設計基準に紹介されているボルト接合のせん断耐力ならびにせん断剛性を求める理論式に以下の数値を代入した。

1) 降伏耐力

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

・ F_e 主材支圧強度

木栓の方が支圧強度が低いため木栓の支圧強度を採用

$$35 \times 3 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{ならの長期許容部分圧縮応力度} \times 3)$$

* 木質構造設計規準・同解説 表4.3 参照

・ d 木栓の直径

・ l 主材厚

・ C 木質構造設計規準参照 算出に必要な数値は以下を用いる

$$F \quad \text{基準強度} \quad 488 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{ならの基準強度値})$$

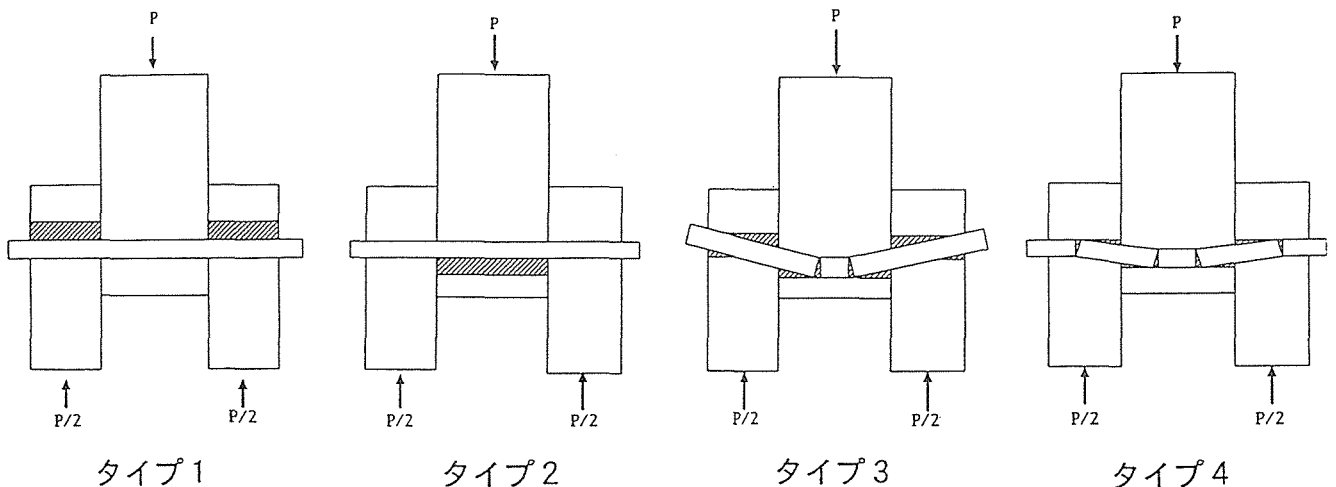
* 2.4 で得た今回の試験値を採用した

F_e' 側材支圧強度

$$25 \times 3 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{からまつ集成材の長期許容部分圧縮応力度} \times 3)$$

* 木質構造設計規準・同解説 表4.7 参照

なお、せん断耐力を求める際には、下記の4つのタイプの破壊モードについて、計算した。



2) 剛性

$$2 \text{ 面せん断 木材側材} \quad K_s = 1 / (L_1 + l_2 - (J_1 - J_2)^2 / (2 \cdot (K_1 - K_2)))$$

剛性については、主材と側材だけがめり込む場合と、主材と側材だけでなく木栓もめり込む場合の2通りの仮定に基づいて計算した。

i) 主材と側材のみめり込むと仮定した場合

- E_0 からまつ集成材の繊維方向のヤング係数

$$100000 \text{ kg f / cm}^2$$

* 木質構造設計規準・同解説 表 4. 8 参照

- 主材のめり込み剛性

$$\text{主材 } k_{0\text{主}} = 100000 / (3.16 + 10.9d)$$

- 側材のめり込み剛性

$$\text{側材 } k_{90\text{側}} = k_0 / 3.4$$

ii) 主材と側材だけでなく木栓もめり込むと仮定した場合

- E 木栓のヤング係数 $80000 \text{ kg f / cm}^2$ (ならのヤング係数)

* 木質構造設計規準・同解説 表 4. 5 参照

- E_0 からまつ集成材の繊維方向のヤング係数

$$100000 \text{ kg f / cm}^2$$

* 木質構造設計規準・同解説 表 4. 8 参照

- 主材のめり込み剛性 * 木栓の方もめり込むため主材側材両者の直列ばねとみなす

$$\text{主材 } k_{0\text{主}} = 100000 / (3.16 + 10.9d)$$

$$\text{木栓 } k_{0\text{木}} = 80000 / (3.16 + 10.9d)$$

$$k_{90\text{木}} = k_0 / 3.4$$

$$k = 1 / (1 / k_{0\text{主}} + 1 / k_{90\text{木}})$$

- 側材のめり込み剛性 * 上記同様直列ばねとみなす

$$\text{側材 } k_{0\text{側}} = 100000 / (3.16 + 10.9d)$$

$$k_{90\text{側}} = k_0 / 3.4$$

$$k = 1 / (1 / k_{90\text{側}} + 1 / k_{90\text{木}})$$

4.2 試験値と理論値の比較表

降伏耐力の試験値と理論値の比較を表2-37に示す。なお、降伏耐力の理論値は、各試験体4つずつあるが、上から順に4.1に示したタイプ1～タイプ4に対応している。また、剛性の試験値と理論値を試験値の比較を表2-38、2-39に示す。表2-38の理論値は、主材と側材のみめり込むものと仮定して計算して得た値であり、表2-39の理論値は、木栓も併せてめり込むものと仮定して導かれた値である。なお、試験値は、感覚に基づき、完全弾塑性となる線を引き、耐力・剛性ともその線から読んだものである。

試験値と理論値の降伏耐力の比較(kgf)

試験体名	試験値	理論値	試験値/理論値	試験体名	試験値	理論値	試験値/理論値
K12A	460	540	0.85	K18D	900	1215	0.74
		756	0.61			1701	0.53
		280	1.64			631	1.43
		344	1.34			773	1.16
K12B	490	1080	0.45	K18E	970	2025	0.48
		756	0.65			1701	0.57
		428	1.15			841	1.15
		344	1.43			773	1.25
K12D	520	810	0.64	K24A	1200	1080	1.11
		1134	0.46			1512	0.79
		348	1.49			974	1.23
		344	1.51			1374	0.87
K12E	450	1350	0.33	K24B	990	2160	0.46
		1134	0.40			1512	0.65
		513	0.88			1122	0.88
		344	1.31			1374	0.72
K18A	880	810	1.09	K24C	1450	3240	0.45
		1134	0.78			1512	0.96
		563	1.56			1393	1.04
		773	1.14			1374	1.06
K18B	1070	1620	0.66	K24D	1390	1620	0.86
		1134	0.94			2268	0.61
		728	1.47			1024	1.36
		773	1.38			1374	1.01
K18C	980	2430	0.40	K24E	1300	2700	0.48
		1134	0.86			2268	0.57
		963	1.02			1249	1.04
		773	1.27			1374	0.95

表2-37

試験値と理論値の剛性の比較(kgf/cm)

試験体名	試験値	理論値	試験値/理論値
K12A	2560	2017.48	1.27
K12B	2270	2696.73	0.84
K12D	2740	2585.89	1.06
K12E	1410	2702.01	0.52
K18A	3480	3269.41	1.06
K18B	3570	4636.30	0.77
K18C	3500	4793.43	0.73
K18D	4550	4608.11	0.99
K18E	4220	5596.57	0.75
K24A	4000	4459.95	0.90
K24B	5000	6880.98	0.73
K24C	6900	7458.71	0.93
K24D	5560	6480.25	0.86
K24E	4640	6136.58	0.76

表 2-38

主材と側材のみめり込むものと

仮定した場合の理論値と試験値の比較

試験値と理論値の剛性の比較(kgf/cm)

試験体名	試験値	理論値	試験値/理論値
K12A	2560	737.23	3.47
K12B	2270	841.16	2.70
K12D	2740	1029.43	2.66
K12E	1410	1210.86	1.16
K18A	3480	802.30	4.34
K18B	3570	1335.90	2.67
K18C	3500	1553.97	2.25
K18D	4550	1180.81	3.85
K18E	4220	1439.25	2.93
K24A	4000	833.89	4.80
K24B	5000	1481.80	3.37
K24C	6900	1906.90	3.62
K24D	5560	1242.68	4.47
K24E	4640	1804.18	2.57

表 2-39

木栓も併せてめり込むものと

仮定した場合の理論値と試験値の比較

4. 3 試験値と理論値の比較に関する考察

表 2-37 より、せん断降伏耐力について以下のような知見が得られた。

- 1) K 2 4 B を除き、すべての試験体において、試験値が理論値を上回った。
- 2) 径が 1 2, 1 8 mm の試験体で 1. 5 倍程度試験値が大きく、径が 2 4 mm の試験体の試験値は、理論値の 0. 9 から 1. 2 倍程度であった。
- 3) K 2 4 B の試験値が低いのが、これは 6 体の中で降伏点の低い試験体の試験値を採用したためであると考えられる。

表 2-38、表 2-39 より、せん断剛性について以下のような知見が得られた。

- 1) 表 2-38 において、K1 2 E 以外の試験体においては、試験値が理論値の 0. 7 倍から 1. 2 7 倍の範囲内に納まっている。
- 2) 表 2-39 のように木栓のめり込みも考慮した場合、理論値がかなり低くなり、試験値が理論値の 2 ~ 4 倍程度にまでなることが確認できた。

第3章 集成材接合部の終局耐力およびじん性評価のための資料の収集

(1) 集成材ボルト・ドリフトピン接合部の正負繰返しせん断試験

1. 緒言

建築物の構造設計の性能規定化にともない、大地震時の建築物の挙動を正確に予測することが要求されつつある。一般に集成材建築物では、地震時のエネルギー吸収を接合部の塑性変形に依存しており、接合部の終局性状を評価することが耐震設計上重要となる。このような理由から、欧州規格においては、構造物の地震時挙動を評価することを目的とし、木質構造における機械的接合部の正負繰返し試験法が提案されており、また、国際標準化機構木質構造作業委員会においても接合部の繰返し試験法の検討が行われているところである。ここでは、集成材と鋼板をボルト又はドリフトピンで緊結した接合部について種々の加力経歴による正負繰返し実験を行い、加力経歴、接合形式、材厚ボルト径比(L/d)等の諸因子が接合部の終局性状に及ぼす影響を調べた。

2. 試験体

図1に示す集成材の主材と鋼板の添え板を直径16mmのボルトで接合した鋼板添え板形式と、集成材に鋼板を挿入して直径16mmのドリフトピンで接合した鋼板挿入形式の2種類について実験を行った。集成材の樹種はエゾマツ(密度 0.44g/cm^3)、鋼板の厚さは12mmで、試験体の幅は96mm(6d)、ボルト孔中心から材端までの距離は112mm(7d)であった。材厚は、鋼板添え板形式ではボルト径の(d)の2,4,8倍、鋼板挿入形式では2,4,8,12倍であった。

3. 試験方法

各種試験体3体ずつについて図2に示す方法で引張力を加え、一方向加力せん断試験を行い、これより降伏変位(D_y)及び終局変位(D_u)を求め、これを基に、正負繰返しせん断試験を行った。正負繰返し試験での加力経歴はCEN(prEN11954)による方法(図3)、ISO TC165WG7ドラフトによる方法(図4)、日本住宅・木材技術センターによる試験法(案)(図5)の3種を適用し、CEN法では、一方向加力試験より求めたD_yの0.25、0.5倍の変位を最大とする繰返しを1回、0.75、1、2、4、6、8、...で3回ずつの繰返しを行い、ISO/TC165/WG7(案)ではD_uの1.25%、2.5%、5%、7.5%、10%で1回、20%、40%、60%、80%...で3回ずつの繰返しを行い、日本住宅・木材技術センターによる試験法(案)では、D_yの $1/2\sqrt{2}$ 、 $1/2$ で1回、 $\sqrt{2}/2$ 、1、 $\sqrt{2}$ 、2、 $2\sqrt{2}$ 、...で3回のずつの繰返しを行った。

4. 結果と考察

一方向加力試験の結果より、図6～8に示す方法で、降伏荷重(P_y)及び変位(D_y)を求めた。図6はprEN11954による方法で、荷重・変形曲線上における最大荷重の10%と40%にあたる点を結んで第一直線とし、曲線に接してこの第一直線の1/

6の傾きを持つ直線を第二直線とし、第一直線と第二直線の交点を P_y とし、この荷重に対応する曲線上の変位を D_y とした。図7は、これを改良したもので、第一直線の求め方はCEN法と同様であるが、荷重・変形曲線上における最大荷重の40%と90%にあたる点を結んで第二直線とし、第一直線と第二直線の交点を P_y とし、この荷重に対応する曲線上の変位を D_y とした。図8は、5%オフセット法で、第一直線をボルト径の5%左方に平行移動し、この直線と曲線との交点より、 P_y と D_y を求めた。

一方向加力試験における荷重・変形曲線を図11に、結果の概要を表1に示す。また、材厚ボルト径比(L/d)と P_y の関係を図12に示す。 P_y の値は、いずれの場合においてもCEN改良法の値が一番小さく、CEN法と5%オフセット法はほぼ近い値が得られた。また、 L/d が増加するにともなって、降伏耐力も増加する様子が図12よりわかる。

正負繰返し試験における荷重・変形曲線を図12に、試験結果の概要を表2に示す。図12において試験体名は、左よりCが繰返し、Iが挿入、Dが鋼板添え板、2、4、8、12が L/d 、1、2、3が試験体番号、C、I、Jが加力経歴(CEN、ISO、住木センター)を表す。これより材厚ボルト径比が増加すると、最大耐力及び最大変位が増加する様子が分かる。 L/d と最大耐力(P_{max})の関係を図13に示す。鋼板挿入形式では、正負繰返し試験における最大耐力が一方向加力試験の値とほぼ一致したが、鋼板添え板形式では、低下する傾向が見られた。

L/d と最大耐力時の変位(D_{max})の関係を図14に示す。鋼板添え板形式・挿入形式ともに、正負繰返し試験における最大変位は一方向加力試験よりも低下する傾向が見られた。次に、図9に示すように、正負繰返し試験における包絡線から、原点と降伏点を結ぶ直線とx軸及びx軸に平行な直線で囲まれた面積を求め、これが荷重変形曲線とx軸で囲まれた面積と等しくなるように終局耐力(P_u)を求めた。 P_u とこれより求めた塑性率 μ を表3に示す。また、繰返しのループより求めた等価粘性定数(heq)を図15に示す。第2サイクルと第3サイクルから求めた等価粘性減衰定数は、ほぼ同様な値を示し、変形が2mmの時5~10%、6mmの時12~15%となり、6mm以上ではほぼ一定の値を示した。

5. 文献

1. YASUMURA.M and N.KAWAI:Evaluation of Wood Framed Shear Walls subjected to Lateral Load, Proceedings of 30th Meeting of CIBW18, Paper 30-15-4, August 1997

2. 首藤向志、安村基:正負繰返しせん断力を受けるボルト及びドリフトピン接合部の強度性状、日本建築学会学術講演梗概集、1998年9月

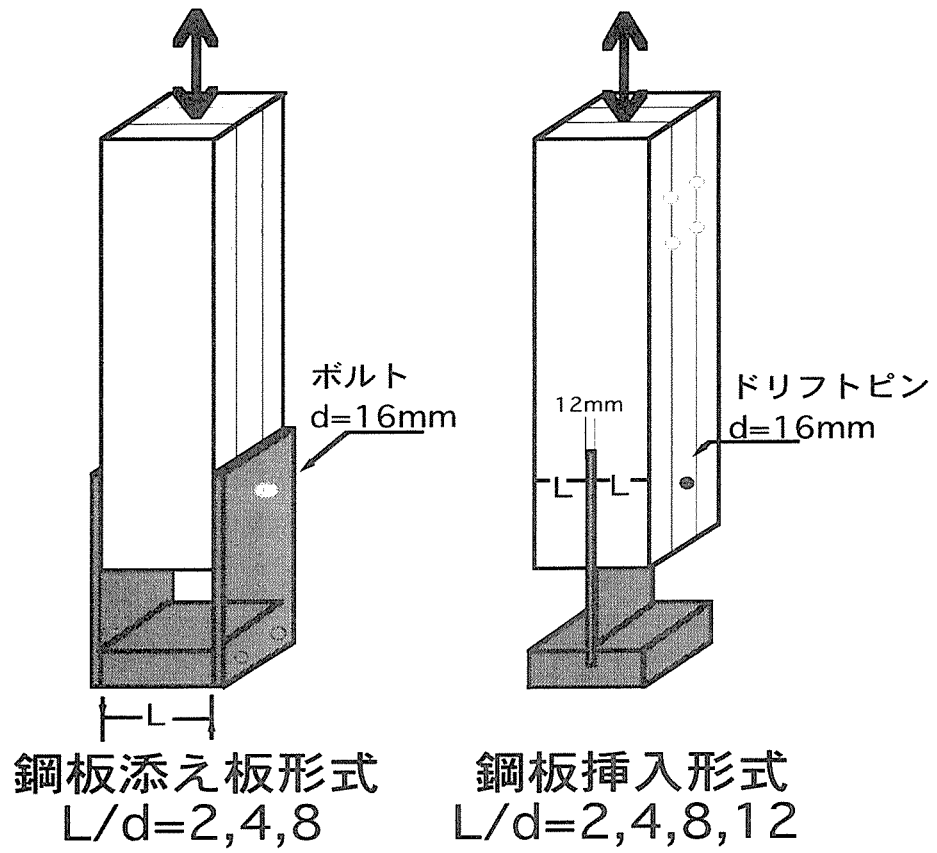


図1 試験体の概要

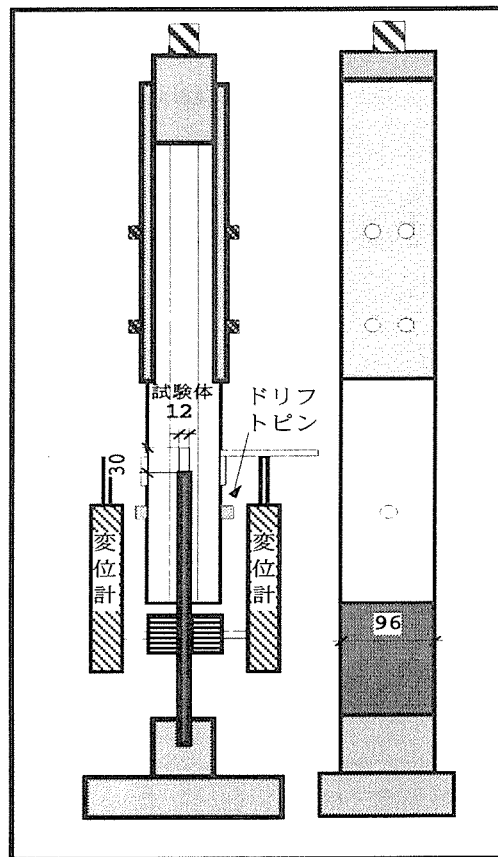


図2 試験方法

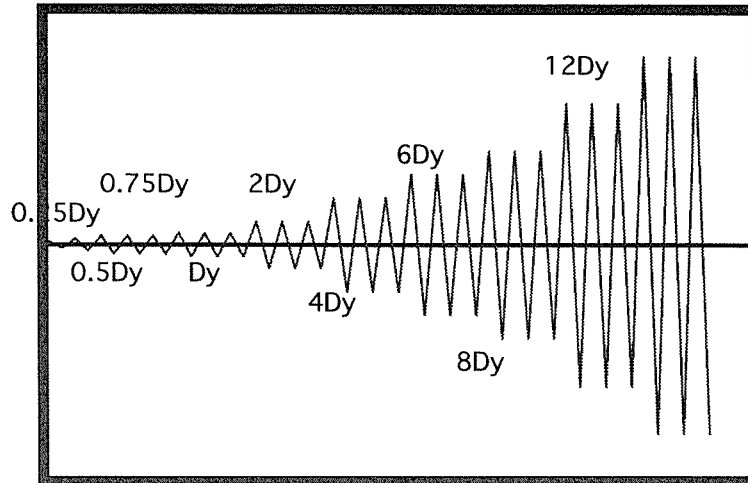


図3 Pr EN 11954による加力経歴

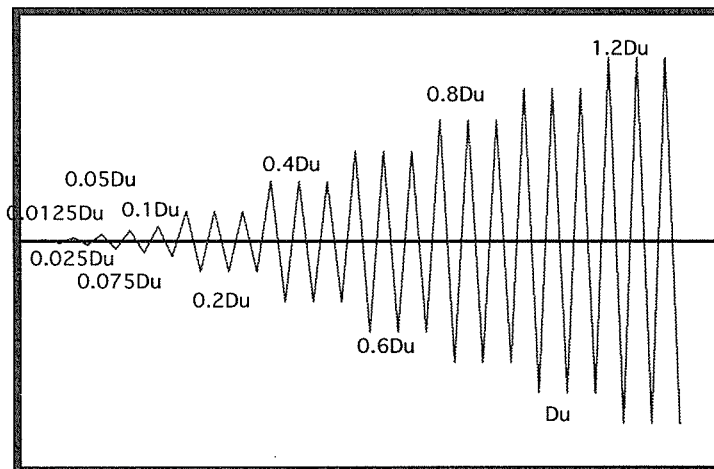


図4 ISO/TC165/WG7ドラフトによる加力経歴

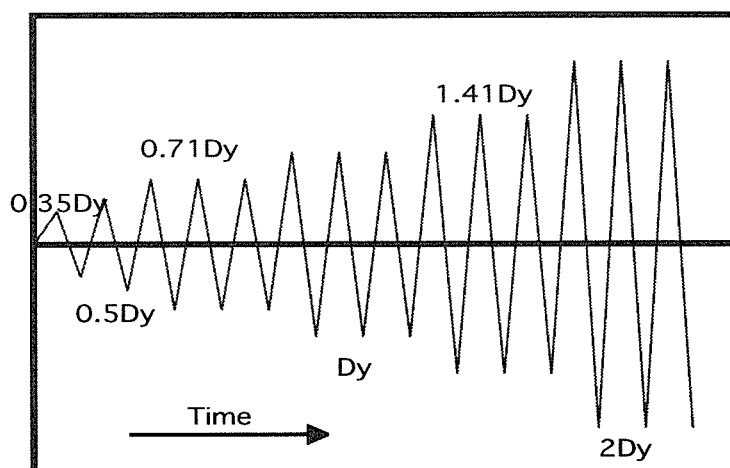


図5 日本住宅・木材技術センターによる試験法（案）

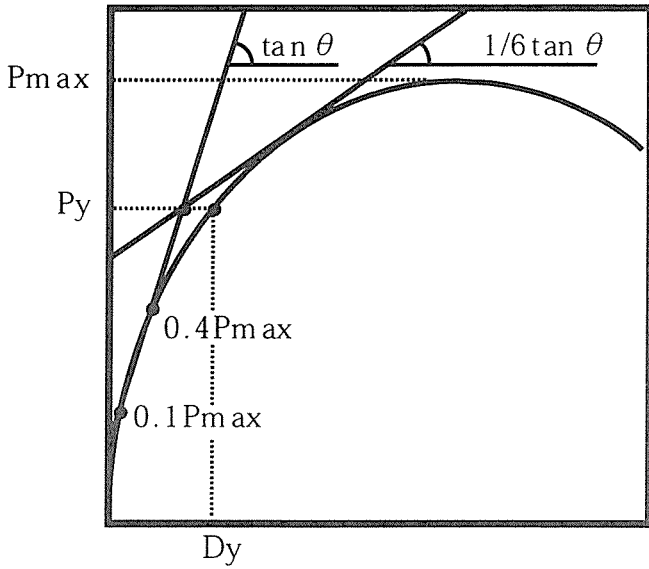


図6 CEN法によるPyの定義

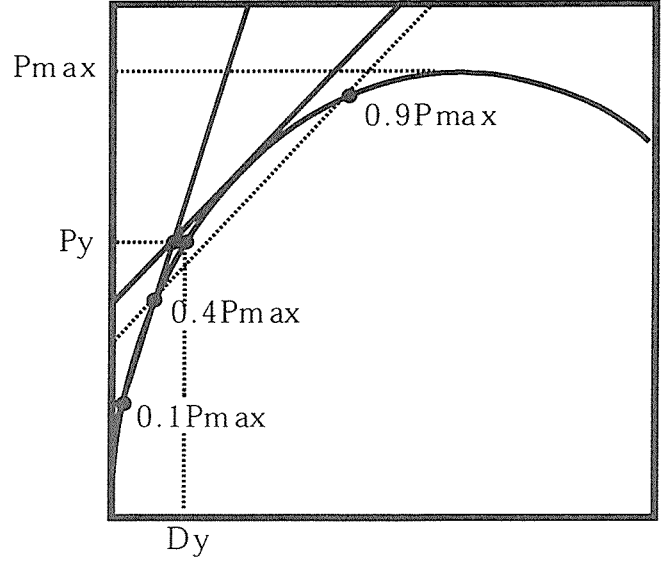


図7 CEN改良法によるPyの定義

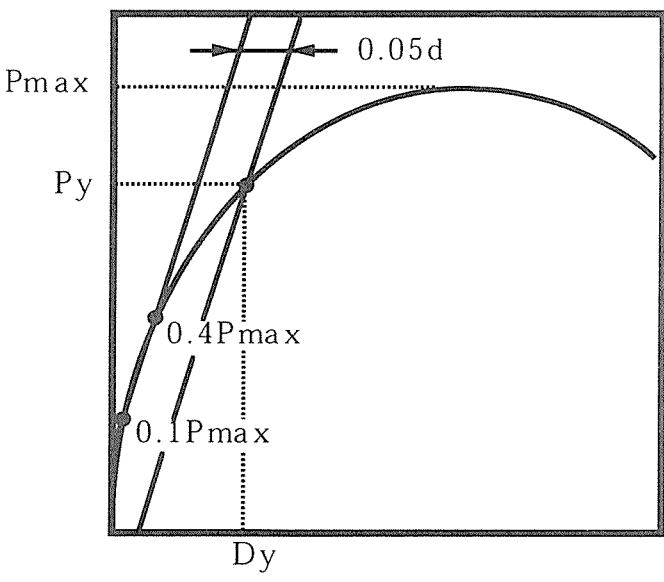


図8 5%オフ・セット法によるPyの定義

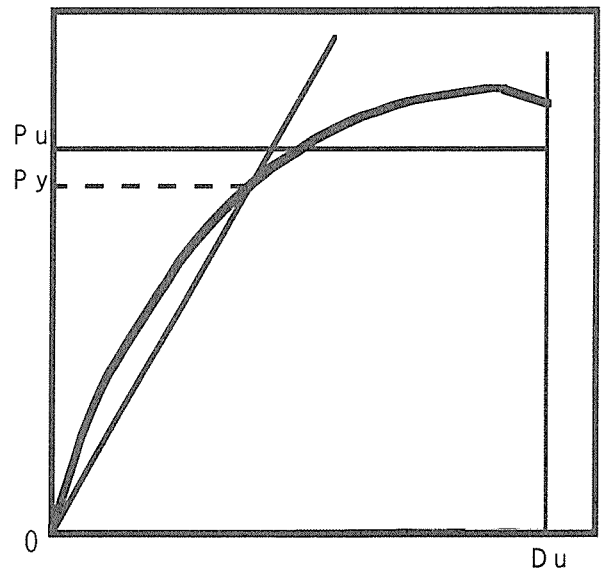


図9 等価エネルギーによるPuの定義

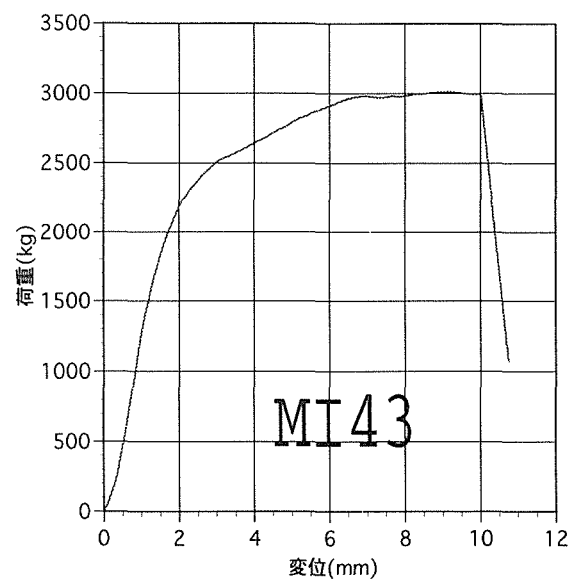
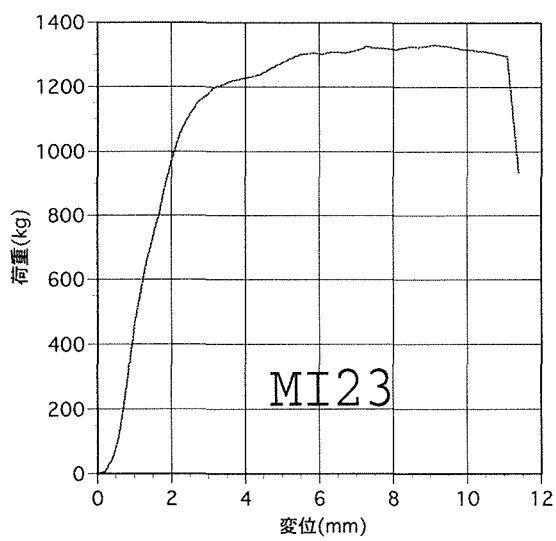
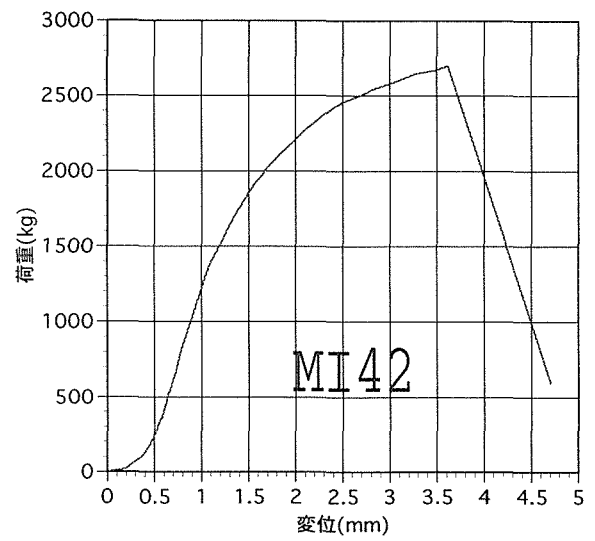
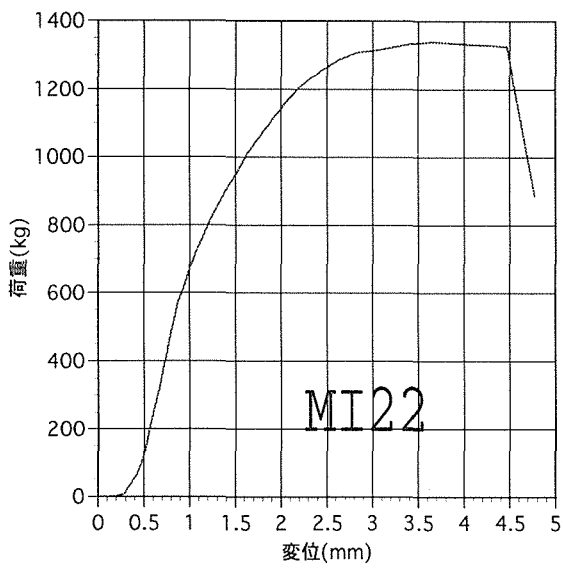
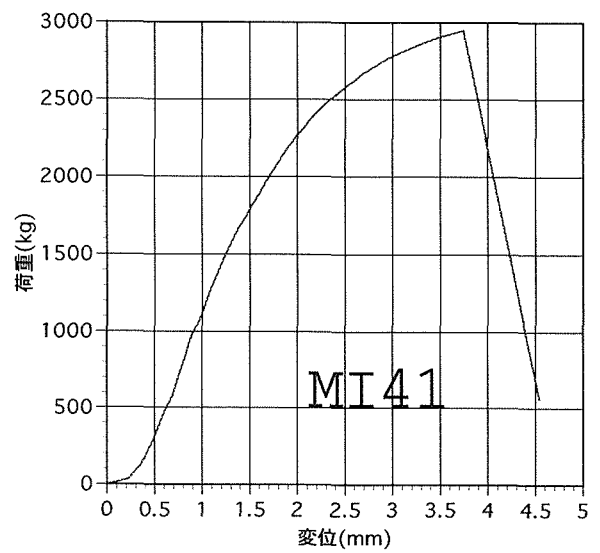
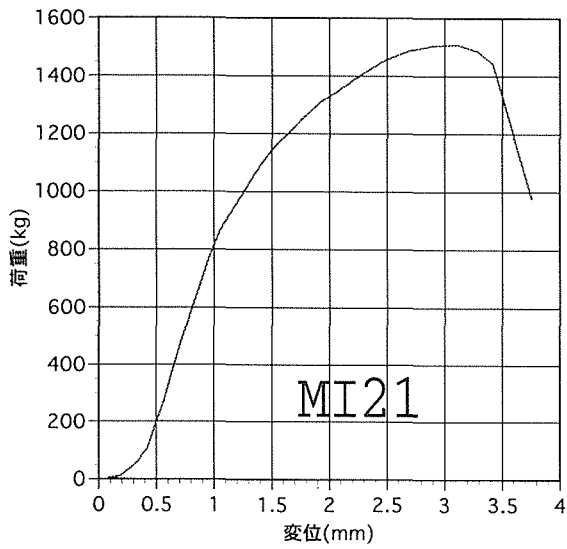


図 1 0 一方向加力試験における荷重・変形曲線

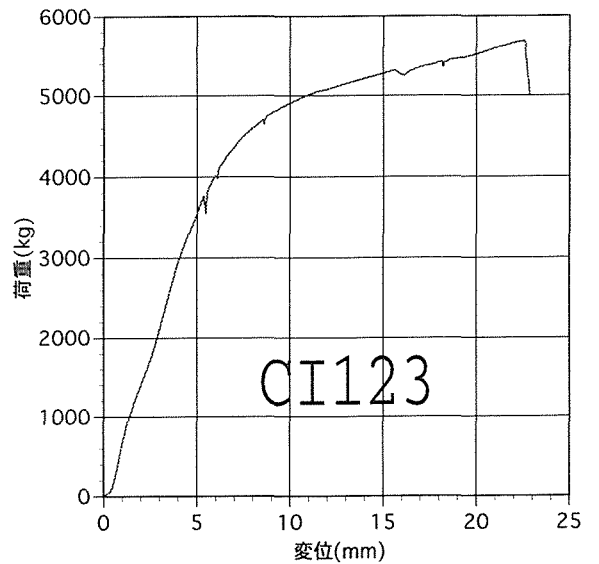
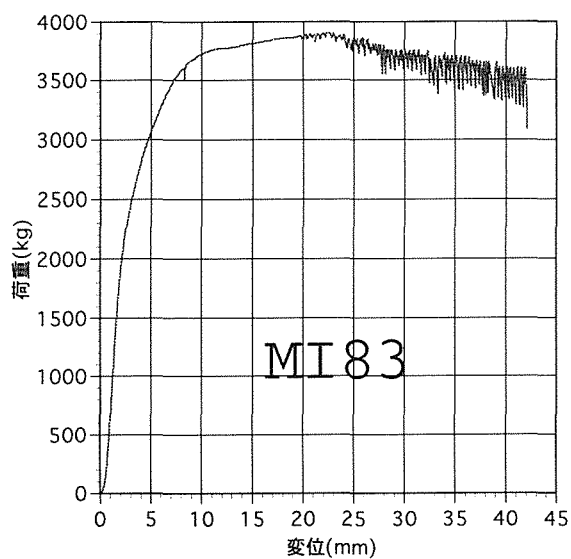
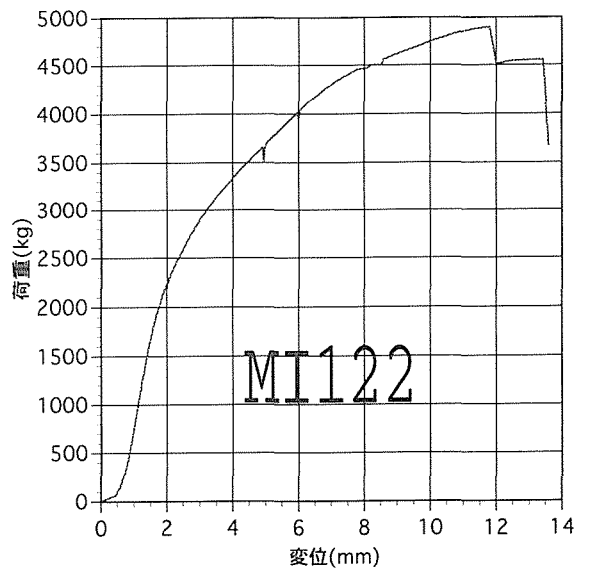
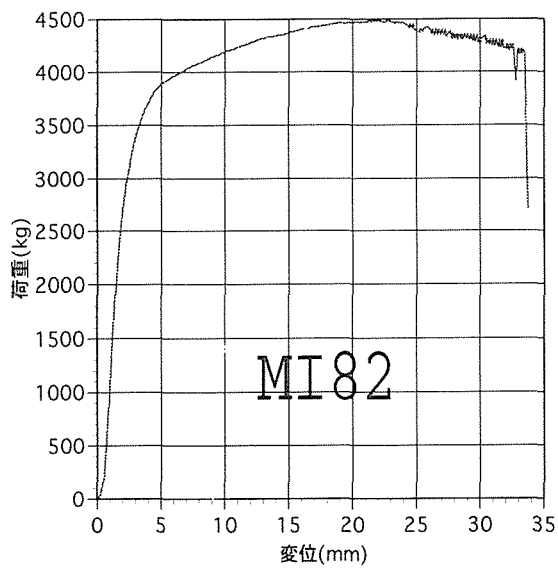
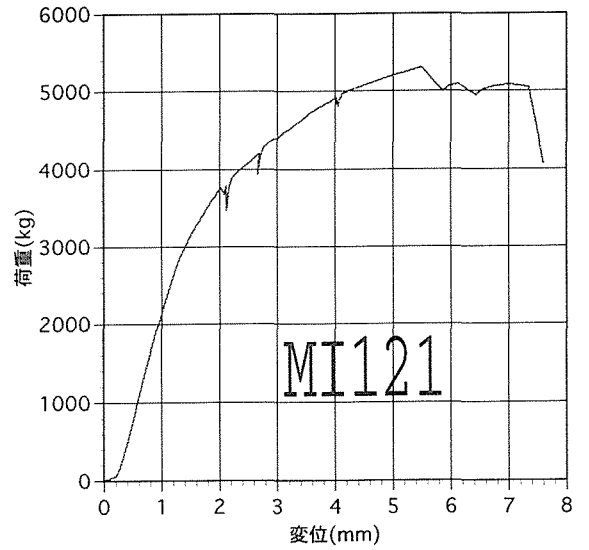
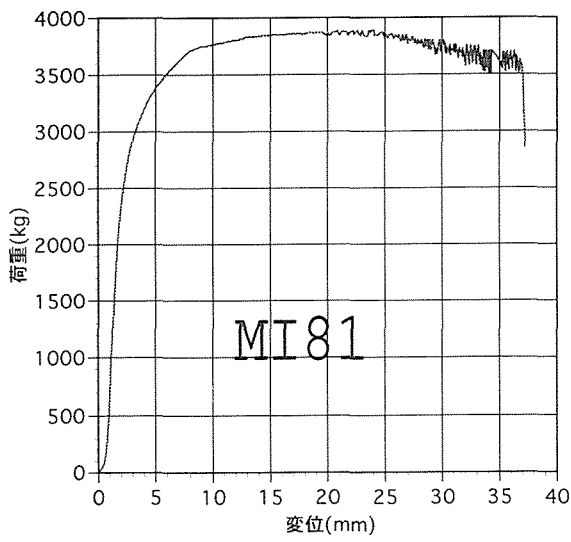


図 10 一方向加力試験における荷重・変形曲線

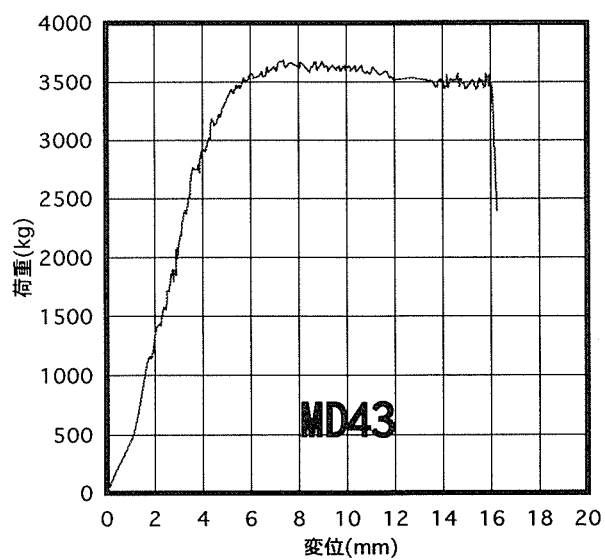
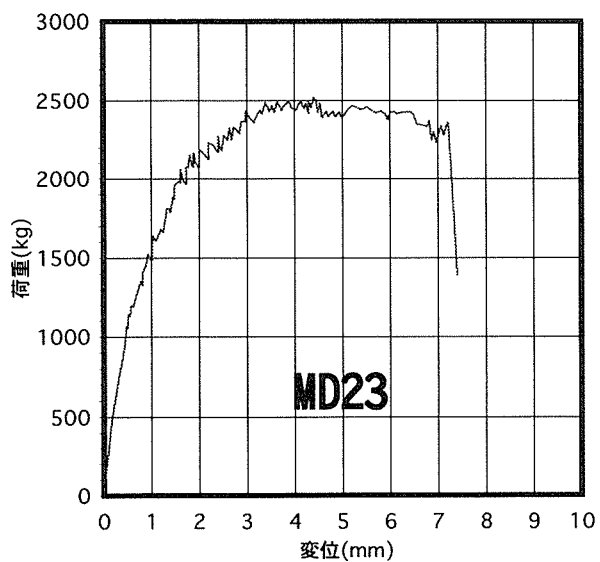
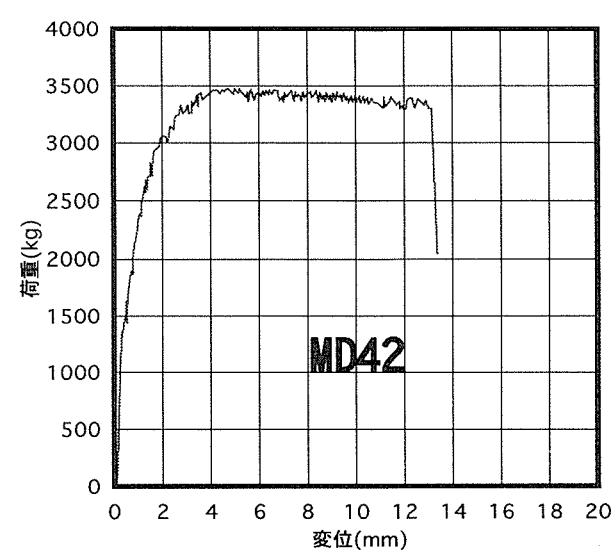
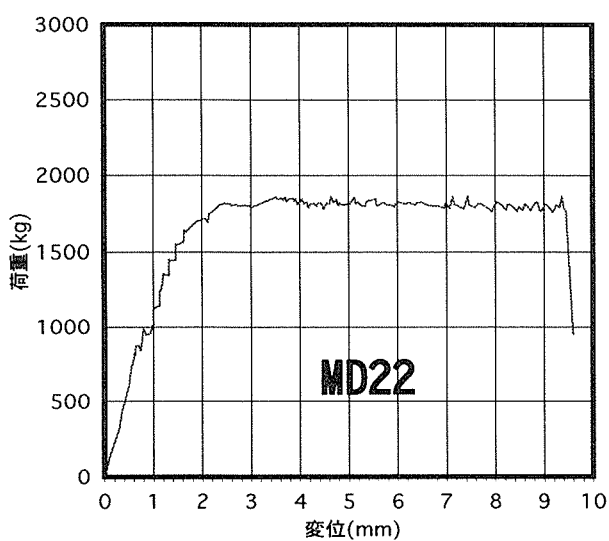
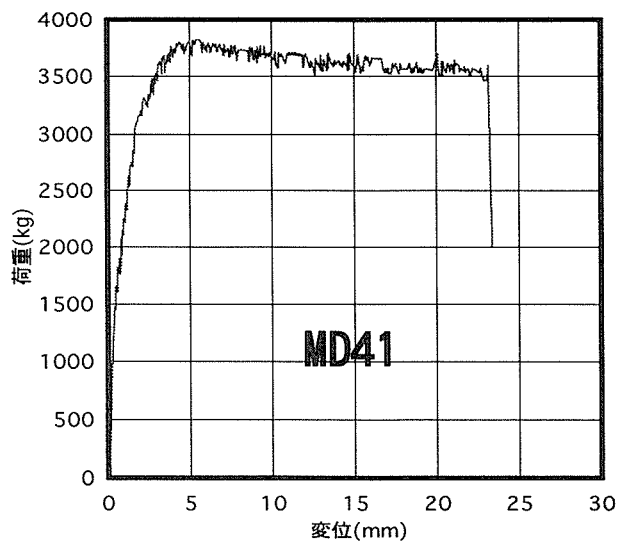
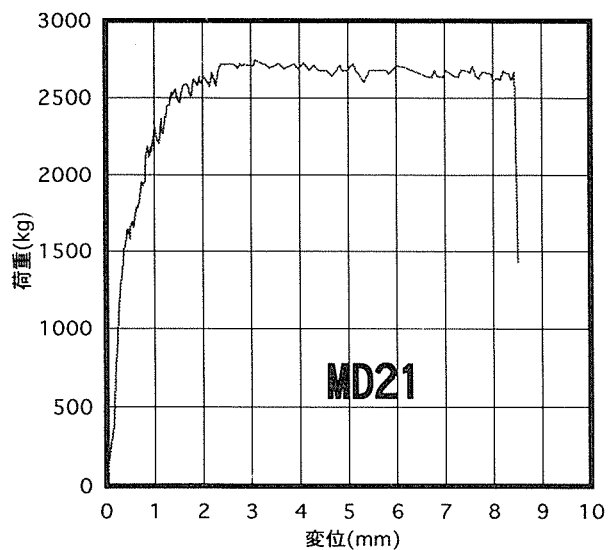


図 10 一方向加力試験における荷重・変形曲線

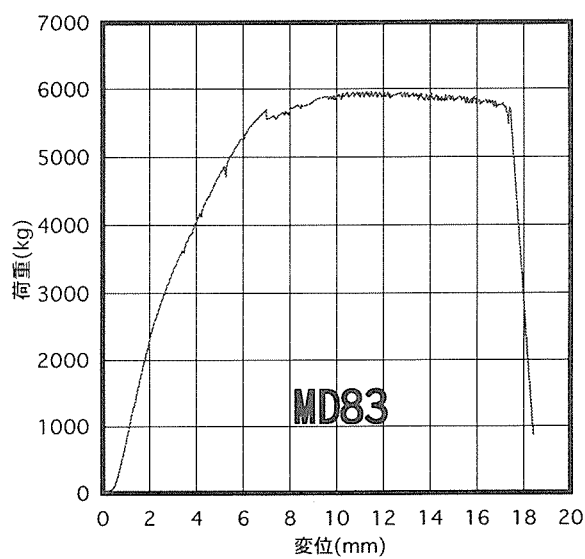
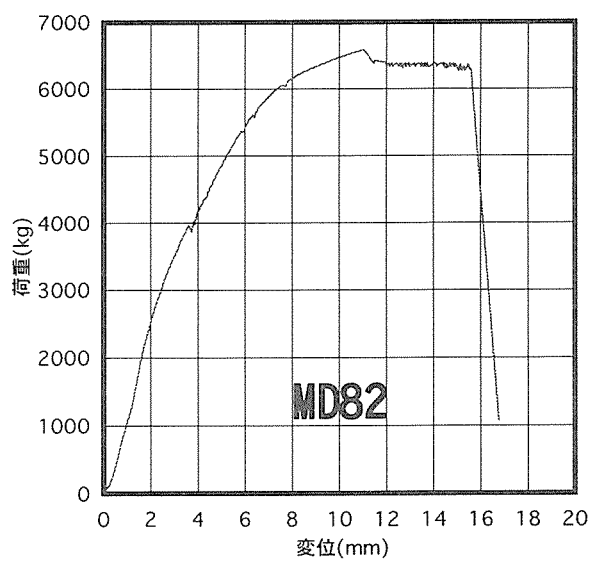
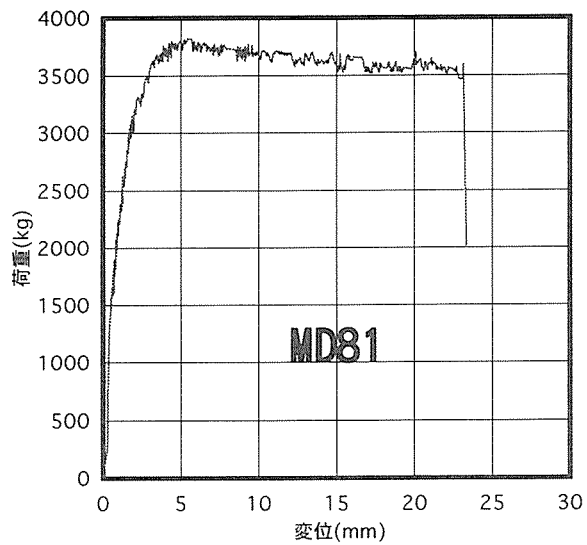


図 1 0 一方向加力試験における荷重・変形曲線

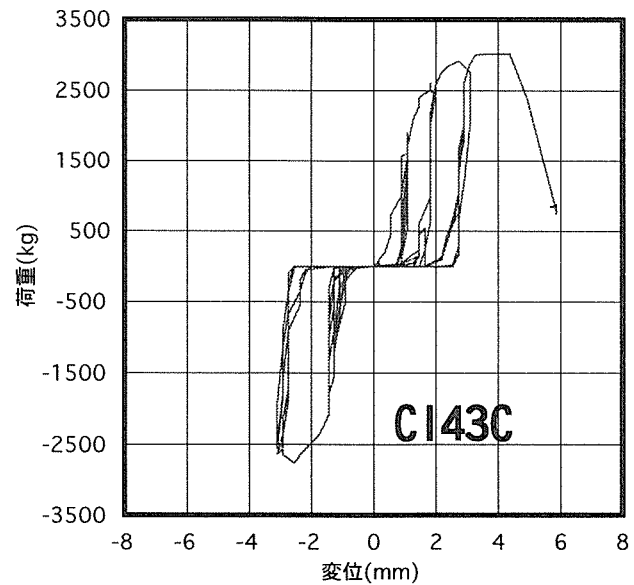
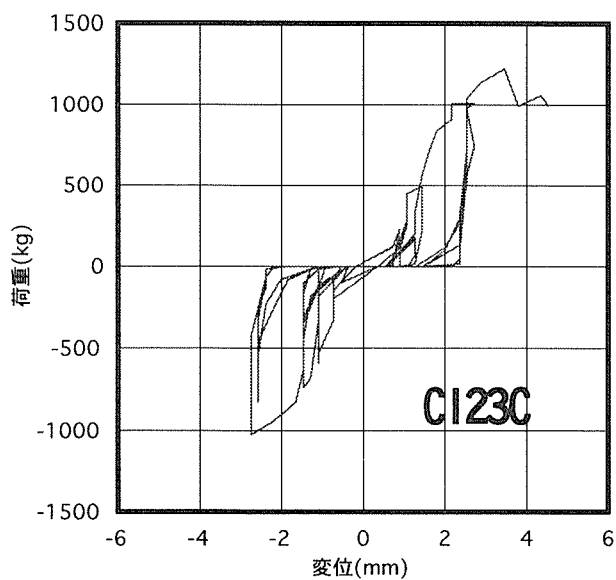
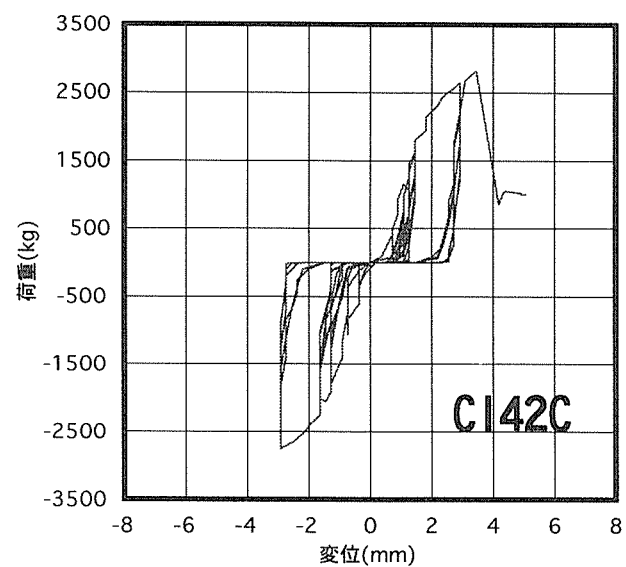
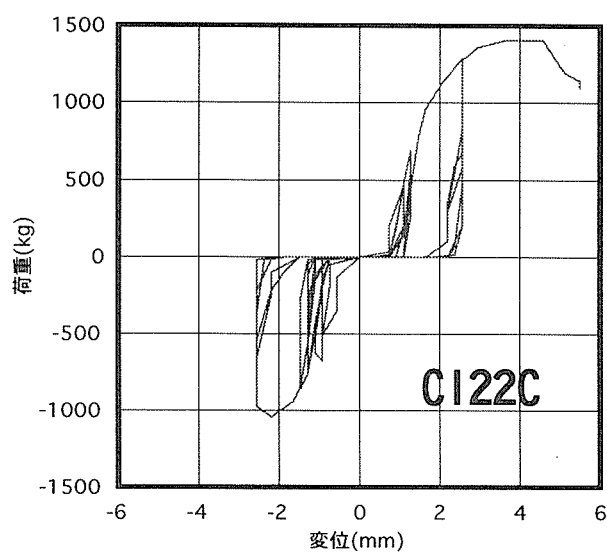
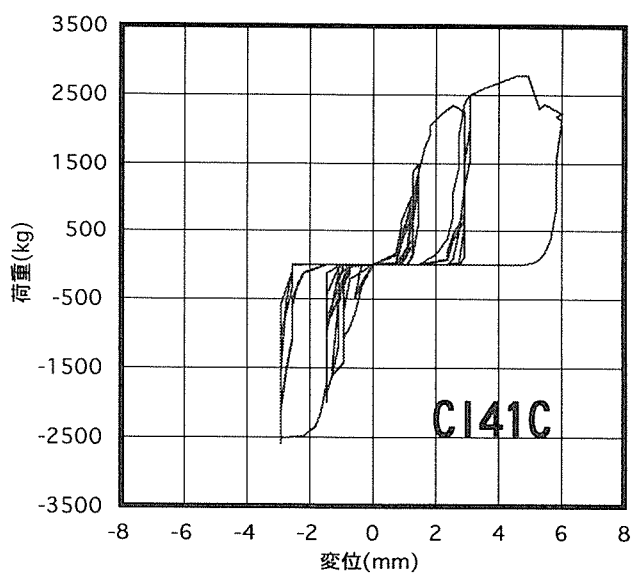
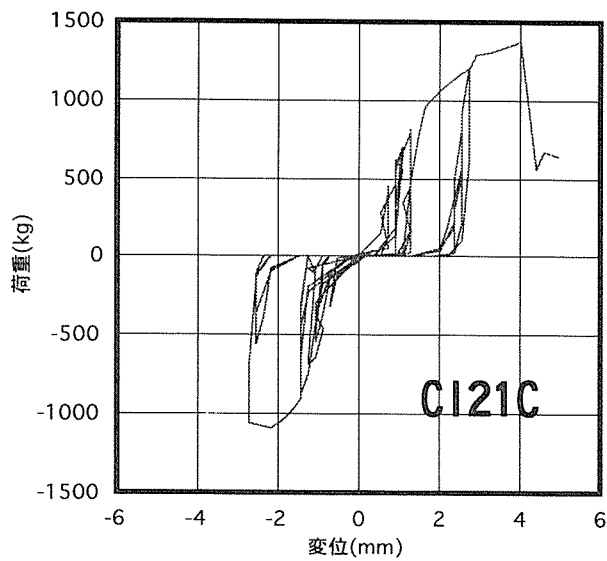


図 1 1 正負繰り返し試験における荷重・変形曲線

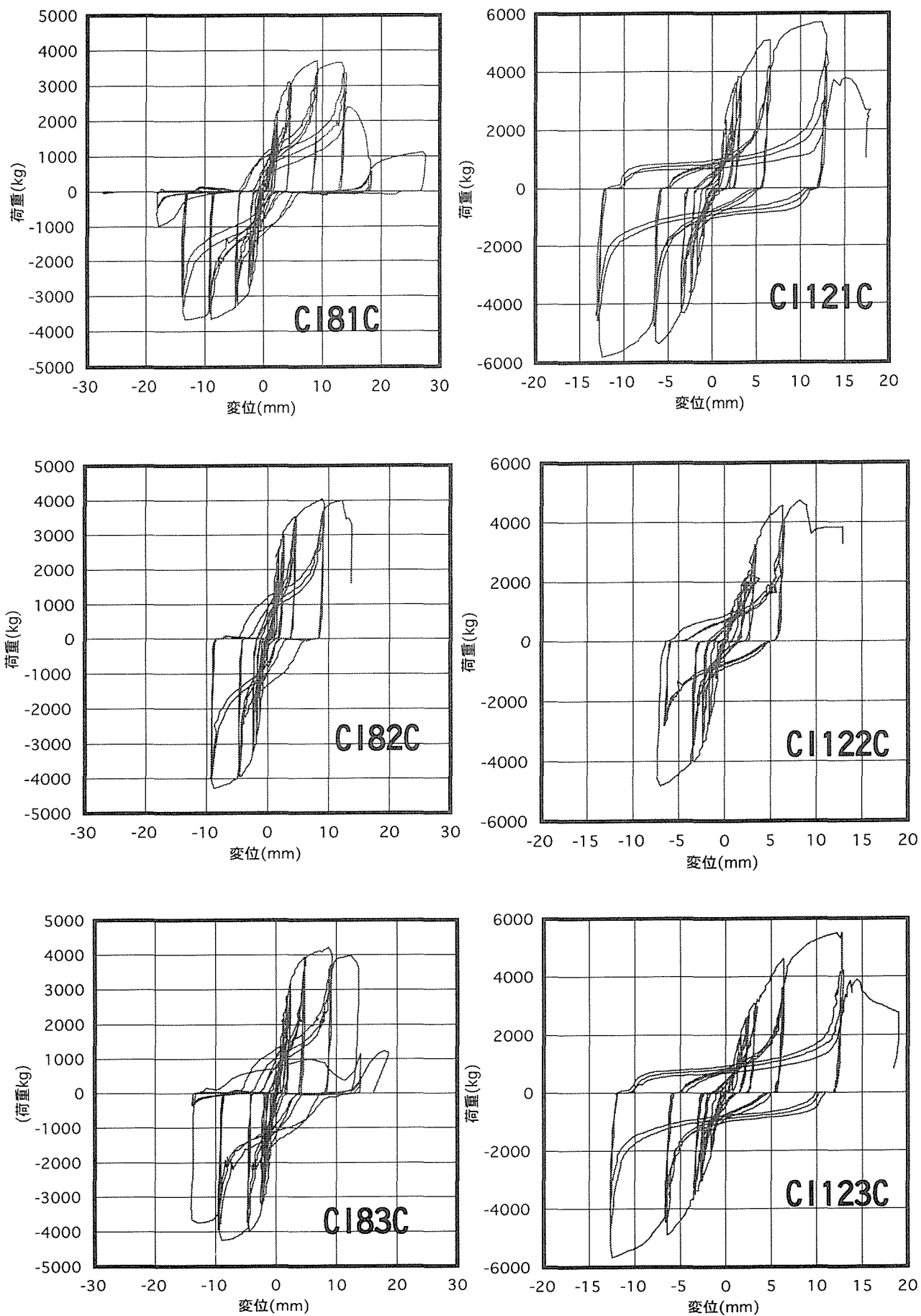


図 1 1 正負繰り返し試験における荷重・変形曲線

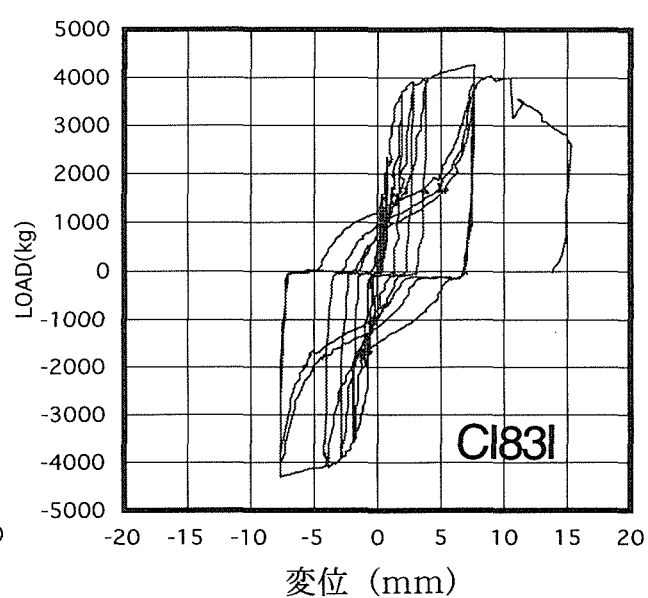
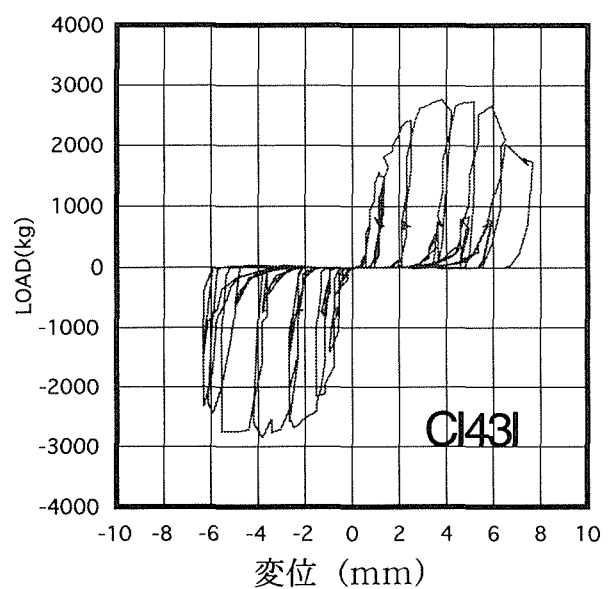
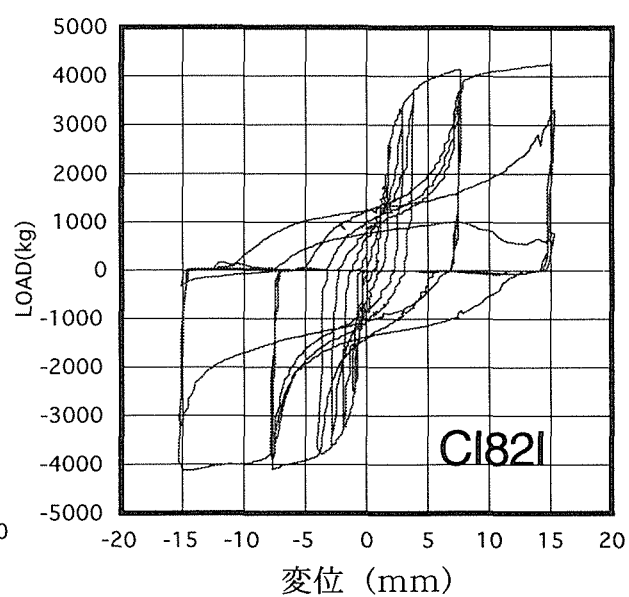
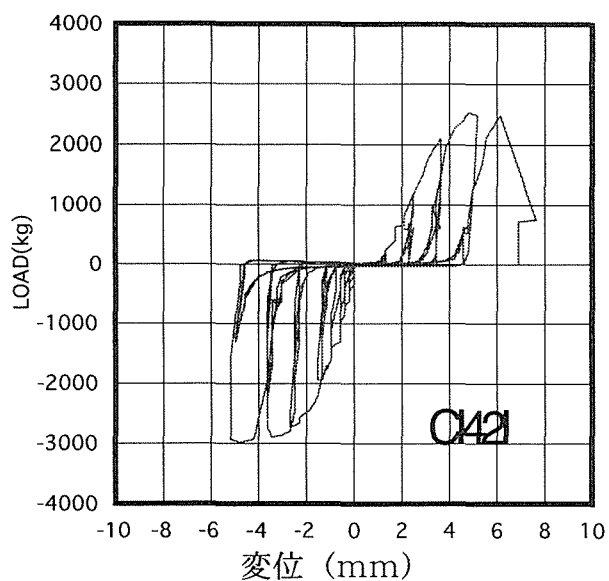
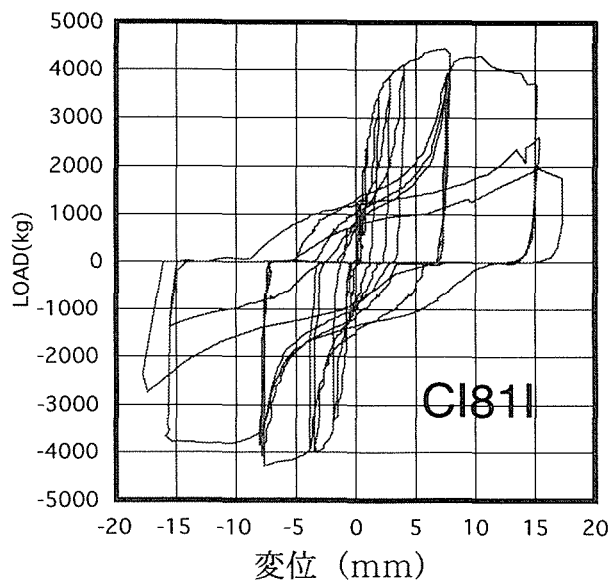
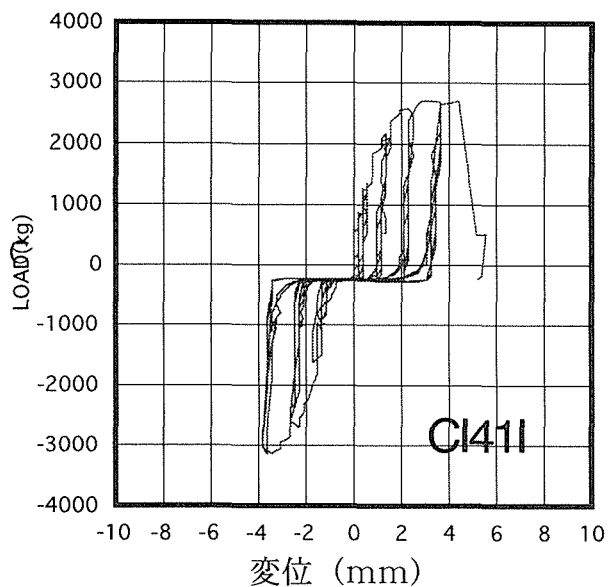


図 1 1 正負繰り返し試験における荷重・変形曲線

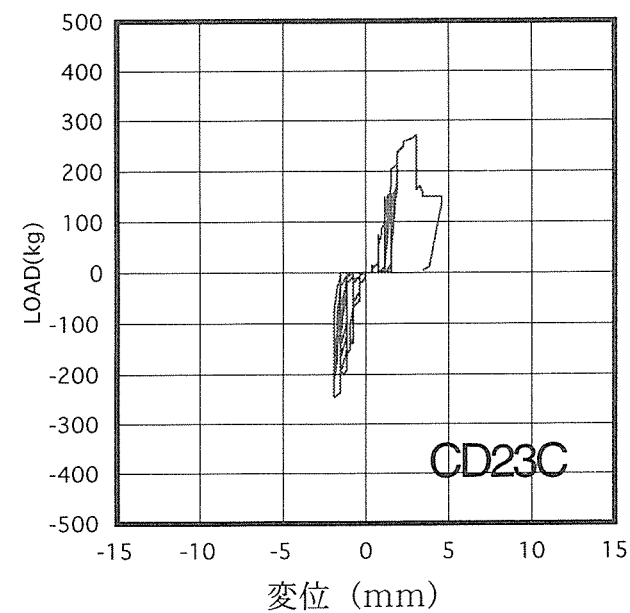
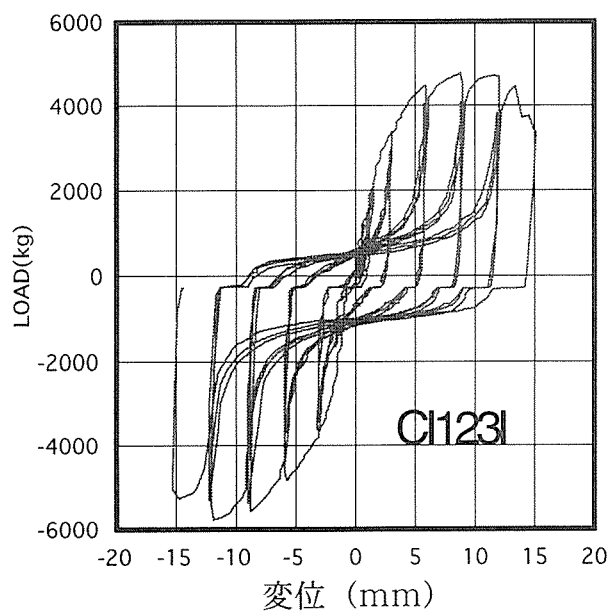
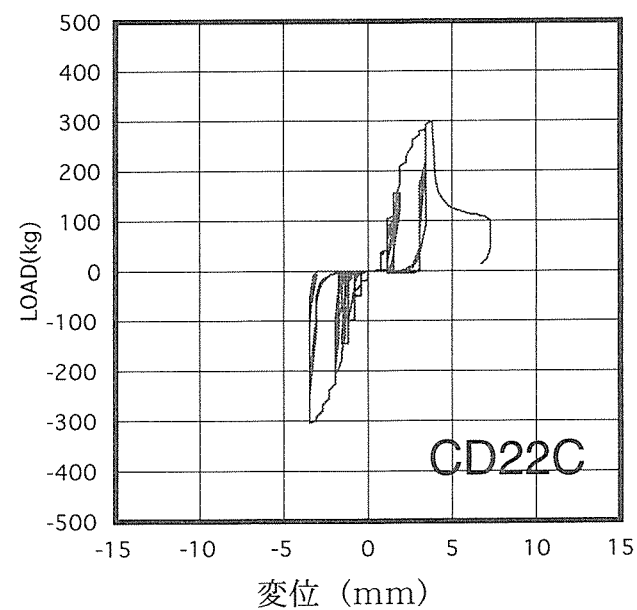
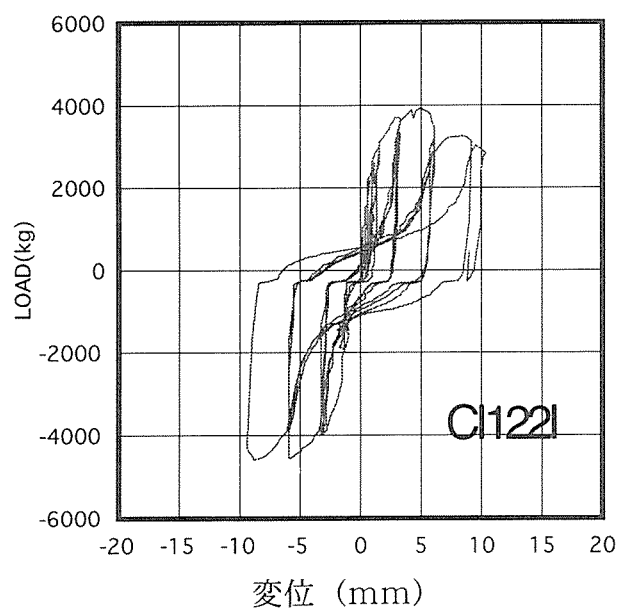
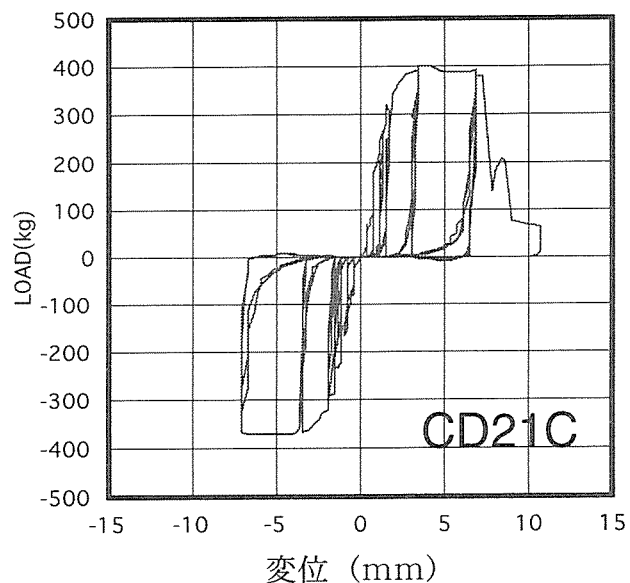
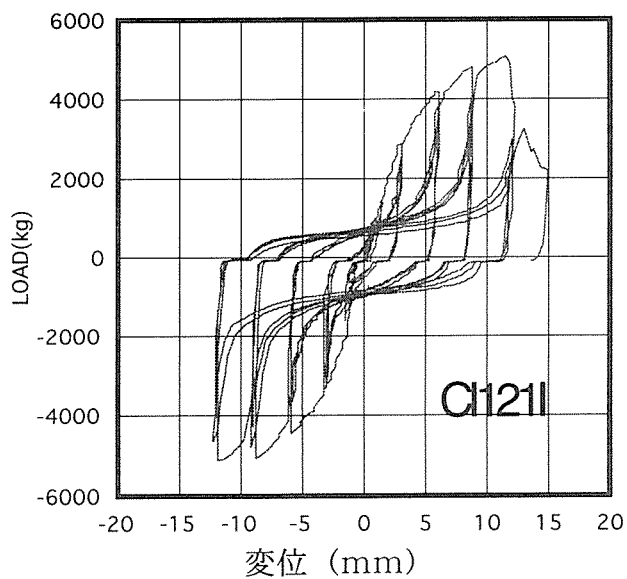


図 1 1 正負繰り返し試験における荷重・変形曲線

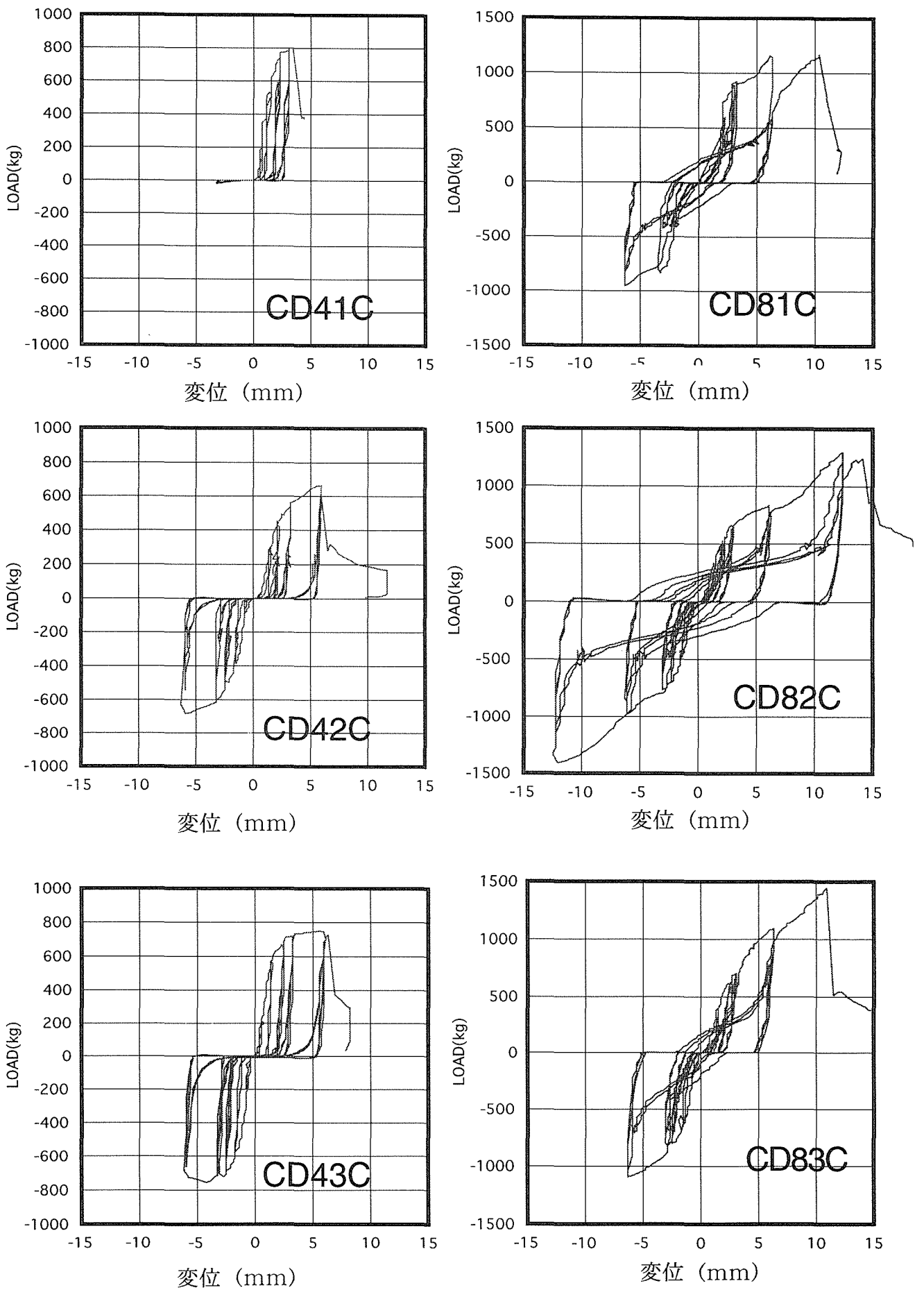


図 1 1 正負繰り返し試験における荷重・変形曲線

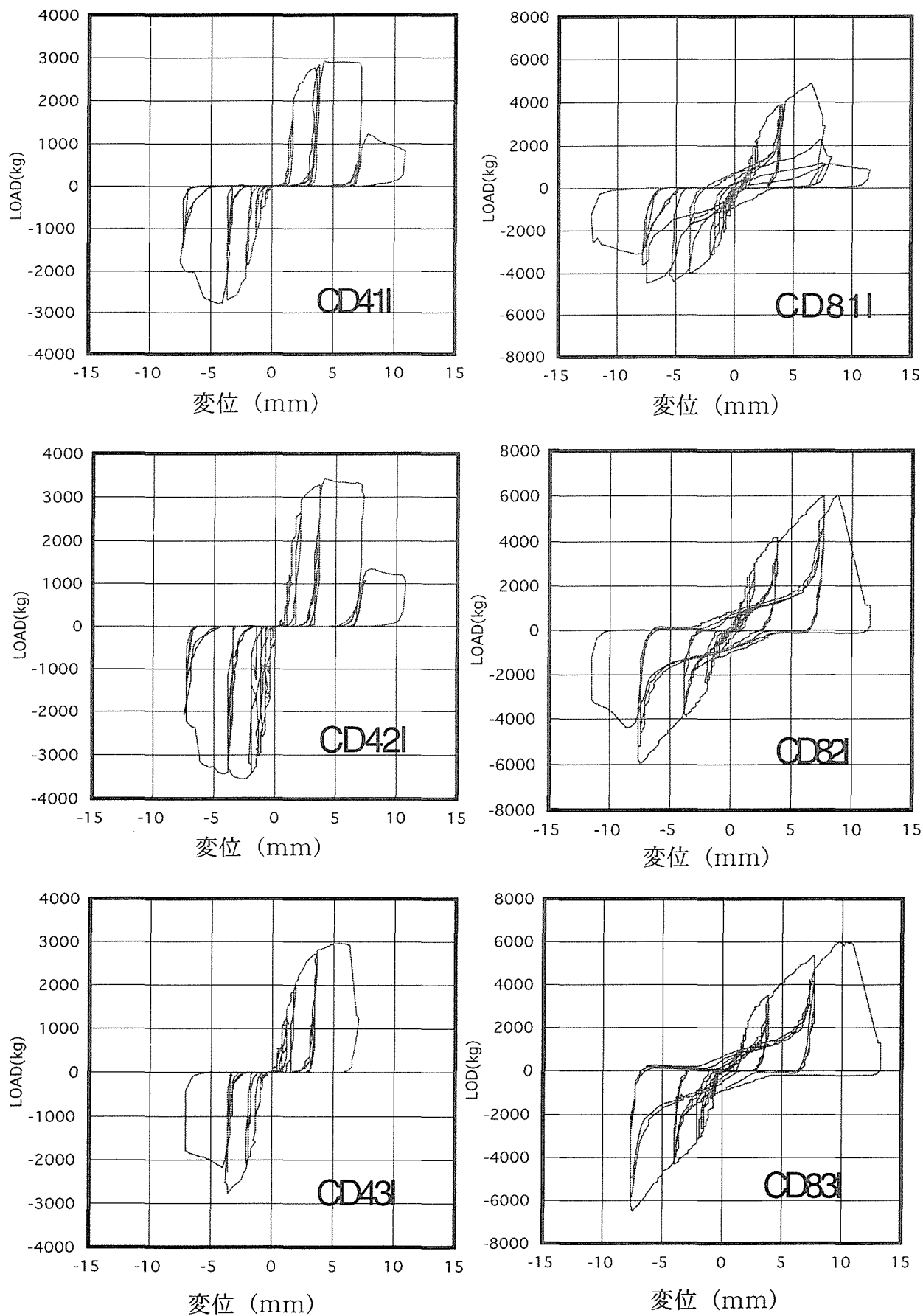


図 1 1 正負繰り返し試験における荷重・変形曲線

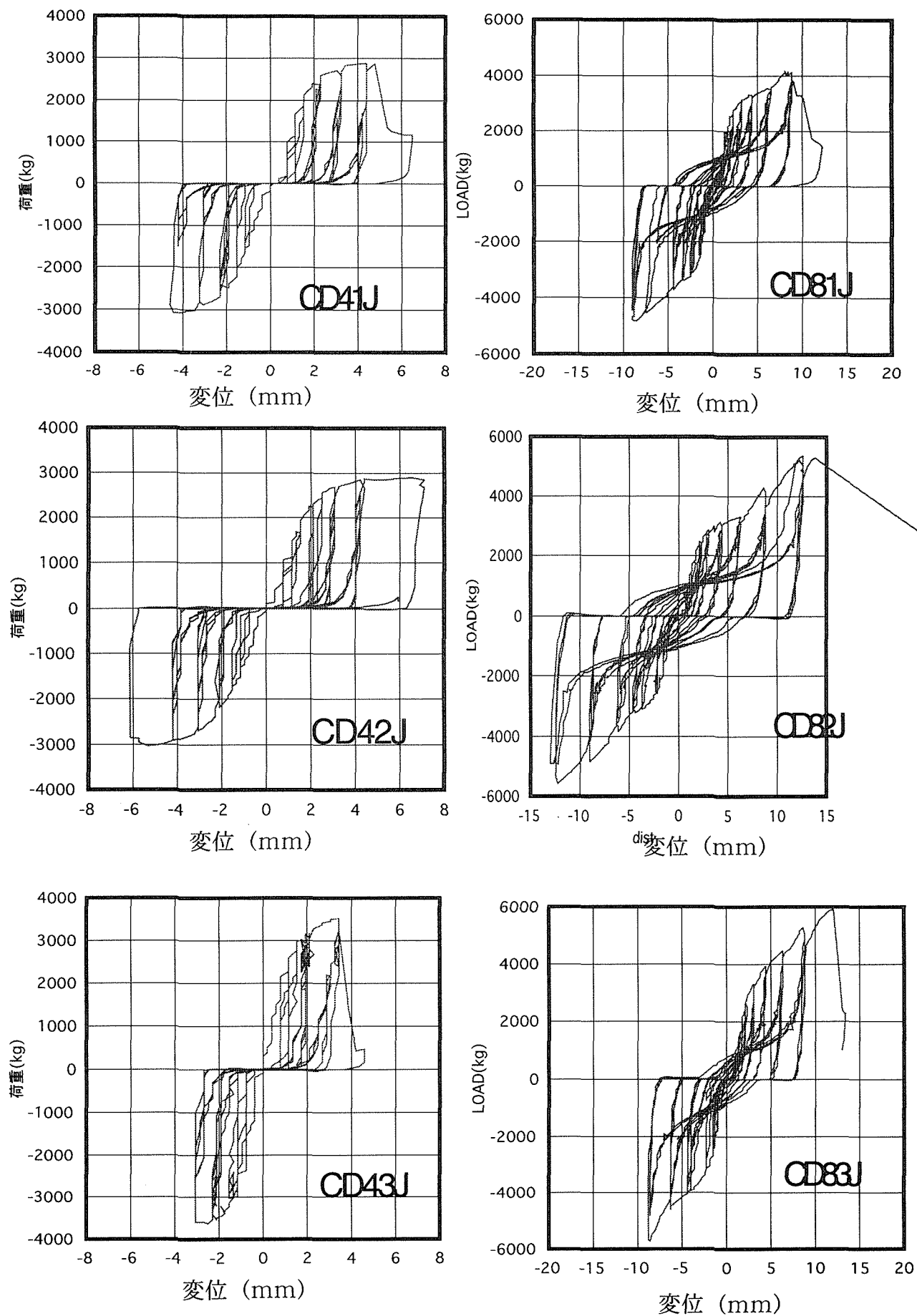


図 1 1 正負繰り返し試験における荷重・変形曲線

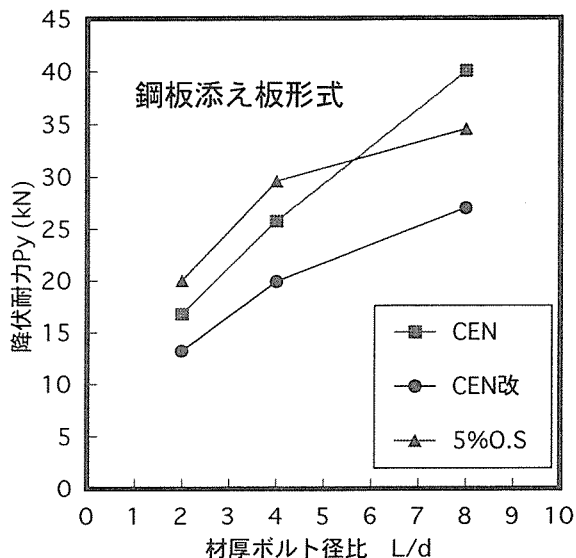
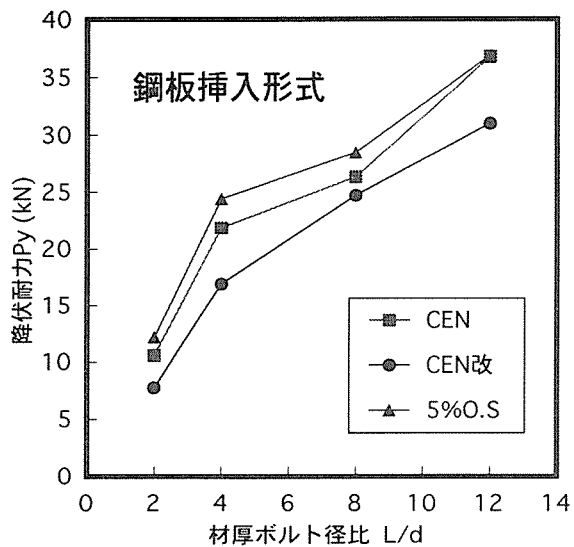


図12 L/dとPyの関係（一方向加力）

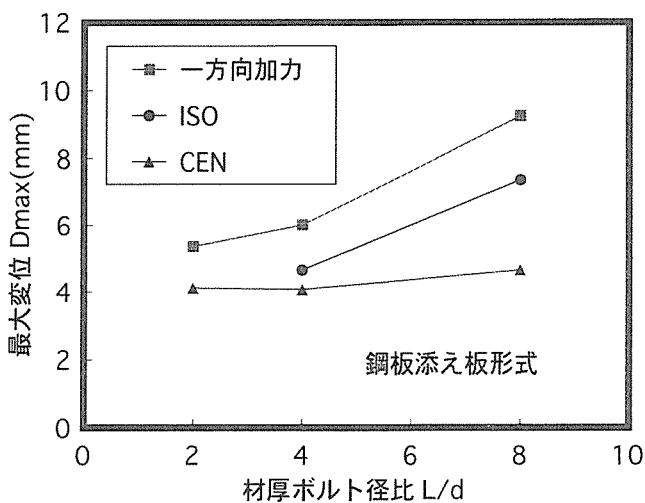
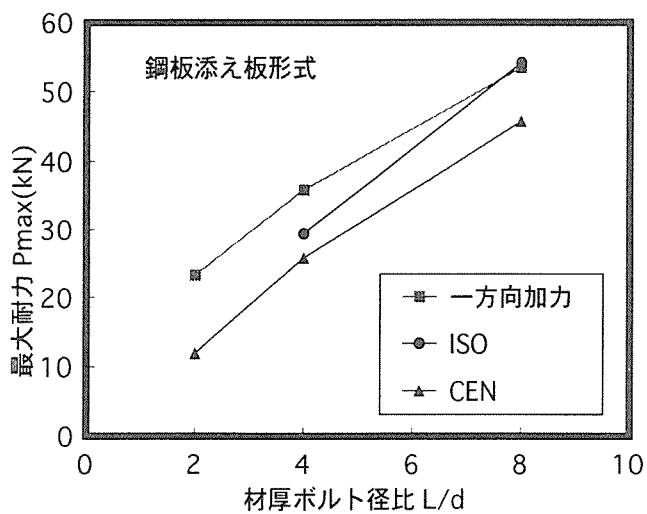


図13 L/dとPmaxの関係

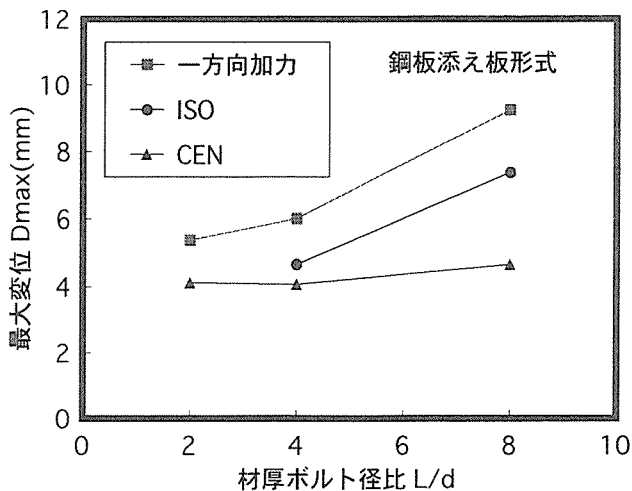
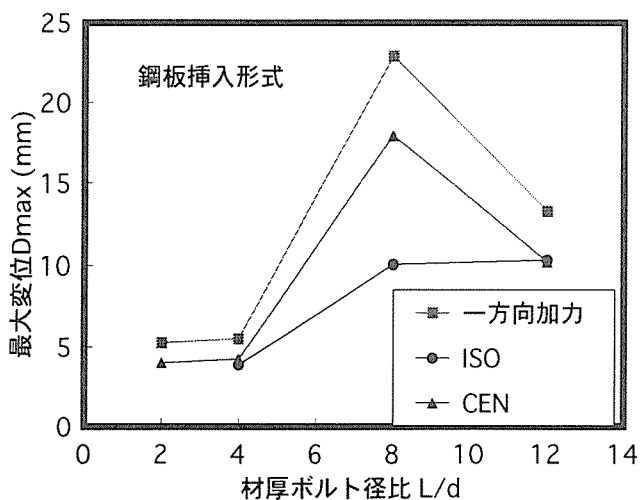


図14 L/dとDmaxの関係

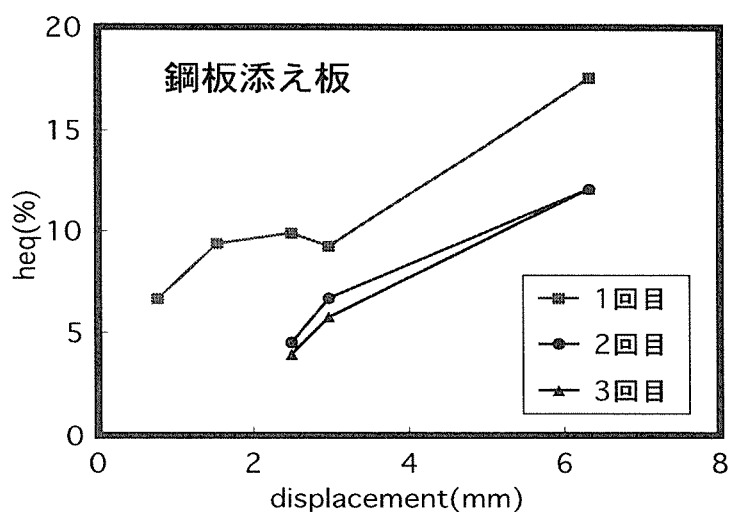
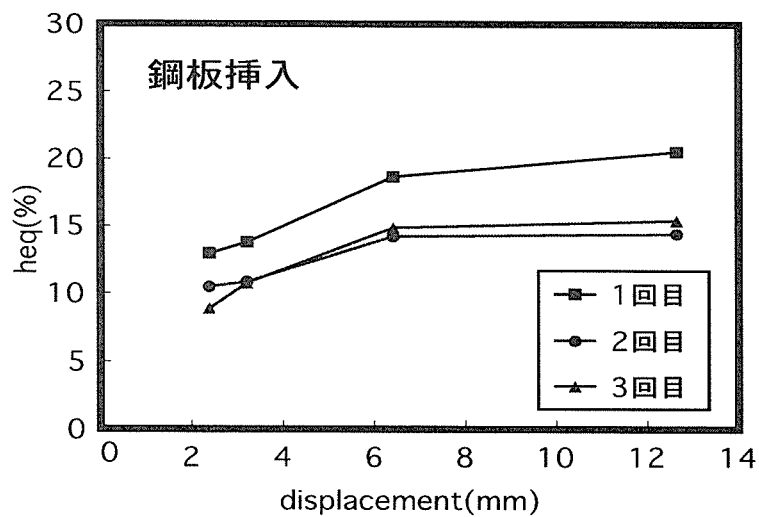


図 15 等価粘性減衰定数 (H e q)

表 3 終局耐力と塑性率

	L/d	Py(kN)	Pu(kN)	Pu/Py	μ
挿入	4	25.2	26.0	1.03	1.14
	8	32.9	38.2	1.16	3.86
	12	35.3	45.6	1.29	2.62
添え板	4	27.3	27.6	1.01	1.59
	8	28.4	39.4	1.39	1.88

$$\mu = (D_u/D_y) \cdot (P_y/P_u)$$

表 1. 一方向加力試験の結果（3体の平均）

	L/d	Py(kN)			Dy(mm)			Pmax (kN)	Dmax (mm)	Pu (kN)	Du (mm)
		CEN	CEN改	5%O.S	CEN	CEN改	5%O.S				
挿入形式	2	10.6	7.7	12.2	1.81	1.26	2.38	13.6	5.28	12.5	6.50
	4	21.9	16.9	24.4	2.01	1.42	2.54	28.3	5.53	25.2	6.02
	8	26.3	24.7	28.5	2.55	2.25	2.95	40.1	22.90	37.9	37.60
	12	36.8	31.0	36.9	4.20	3.16	4.08	51.9	13.30	46.6	14.67
添え板形式	2	16.8	13.2	20.0	1.17	0.75	1.69	23.3	5.37	22.0	8.42
	4	21.8	19.9	27.2	2.45	0.83	2.94	35.9	6.01	34.1	18.23
	8	40.0	27.0	34.6	3.89	2.04	3.05	53.5	9.25	49.8	18.88

表 2. 繰返し加力試験の結果（3体の平均）

	加力 経歴	L/d	Py(kN)			Dy(mm)			Pmax (kN)	Dmax (mm)	Pu (kN)	Du (mm)
			CEN	CEN改	5%O.S	CEN	CEN改	5%O.S				
挿入形式	CEN	2	9.1	6.1	9.7	1.43	0.72	1.84	10.9	2.43	9.3	1.98
		4	22.4	16.8	24.6	1.76	0.95	2.12	26.3	2.85	22.7	2.40
		8	27.2	24.8	30.0	1.81	1.53	2.35	39.0	8.92	36.4	11.69
		12	35.1	30.1	35.4	2.65	1.88	2.56	52.4	10.58	46.7	10.02
	ISO	4	24.5	24.2	25.7	2.98	3.04	3.32	27.8	3.97	29.2	3.97
		8	32.6	28.5	35.7	2.05	1.73	2.63	41.9	9.96	40.1	10.62
		12	33.7	29.3	35.4	3.80	2.77	3.69	47.6	9.63	44.8	10.69
添え板形式	CEN	2	10.4	7.9	10.1	2.23	0.96	0.96	11.9	4.12	7.8	4.12
		4	20.0	20.9	21.1	2.36	2.24	2.24	22.5	3.70	27.0	3.92
		8	33.3	26.7	32.2	3.90	2.31	2.31	45.7	4.66	37.9	4.72
	ISO	4	25.8	21.1	27.9	2.70	2.12	3.11	29.4	4.66	27.7	5.64
		8	45.9	37.1	26.9	5.45	2.07	2.80	54.2	7.37	42.9	7.75

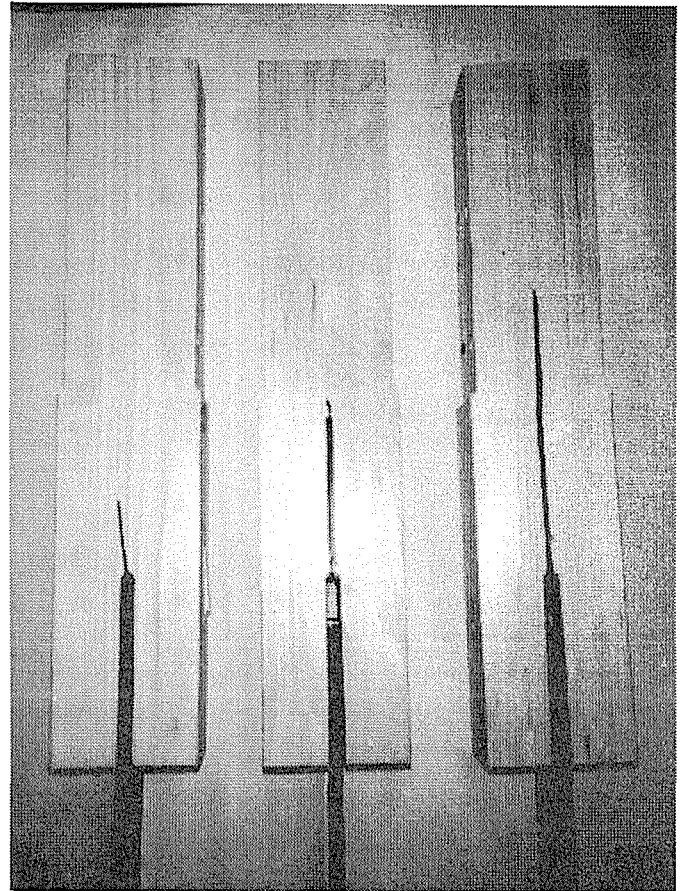
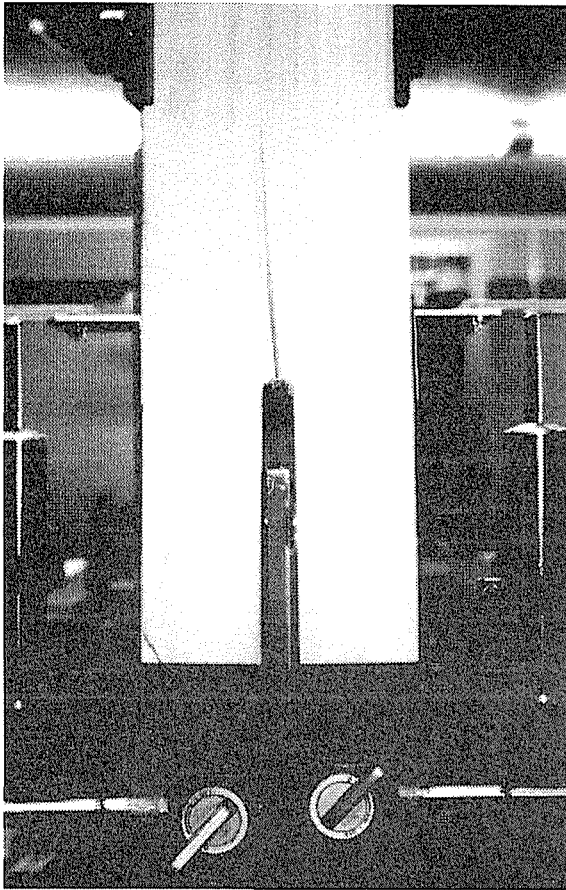


写真1 鋼板挿入式の破壊性状

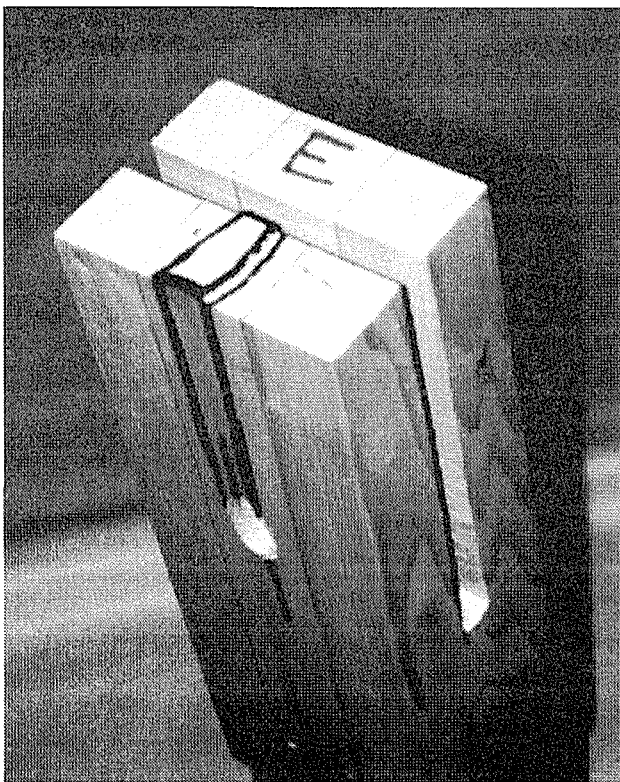


写真2 鋼板挿入式の破壊性状

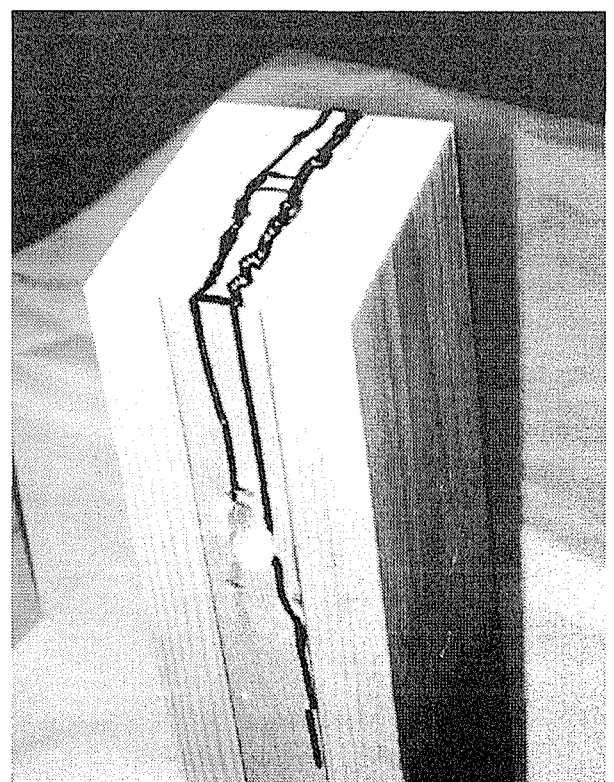


写真3 鋼板添え板式の破壊性状

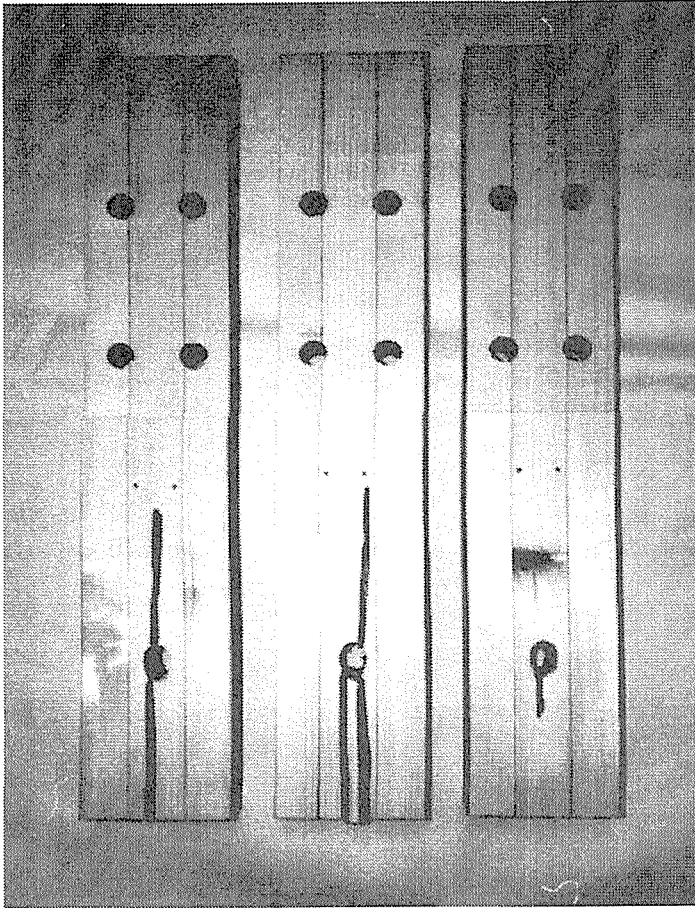
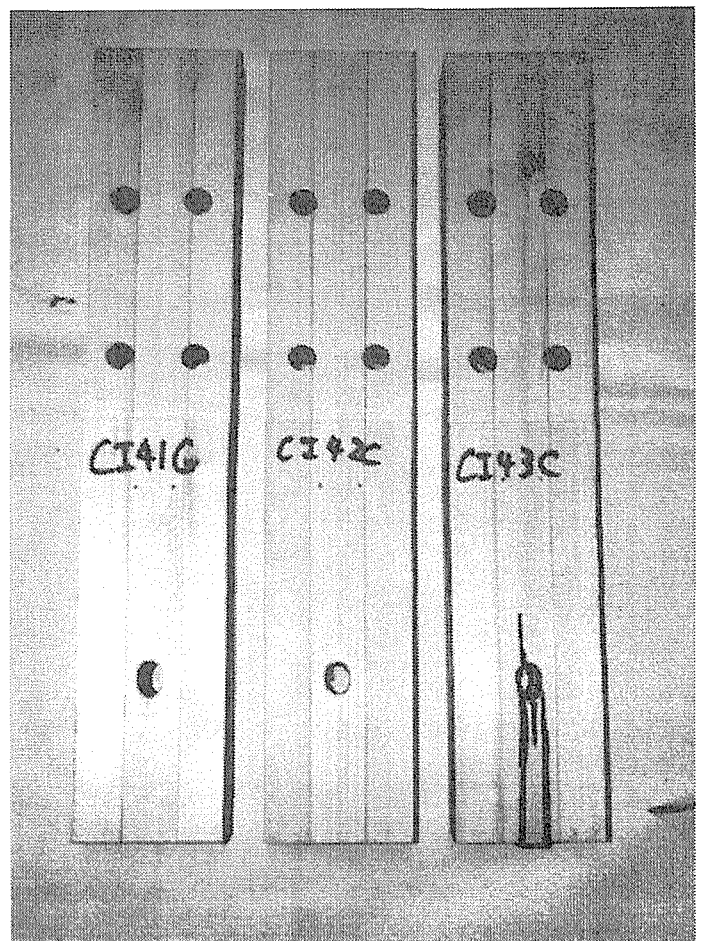


写真4 鋼板挿入式の破壊性状
(表面と裏面)
せん断型破壊とかつ裂型
破壊がみられる。また、
両側材が同時に破壊して
いない。



(2) 繊維直角方向の加力を受ける集成材ボルト接合部の破壊の解析

1. 緒言

木材は異方性を有するため、一般に繊維に直角方向の加力に対して、かつ裂等の脆性的な破壊を示しやすい。特に木質構造における接合部では、繊維に直角方向の加力を受けることにより接合部が脆性的に破壊し、構造物のじん性確保に支障を来す場合が考えられる。繊維方向に並んだボルトが繊維直角方向の加力を受ける場合については、昨年度解析を行い報告しているが、本年度は複数本のボルトが繊維直角方向に一系列に並んだ場合について解析を行った結果を報告する。

2. 試験体及び解析方法

試験体の概要を図1に示す。試験体は、厚さ64mmのスプルー集成材を厚さ9mmの鋼板2枚で挟み、直径16mmのボルトで緊結したもので、ボルト本数が1本、2本、3本の場合について実験及び解析を行った。ボルトの縁短距離及び間隔は64mm(4d)であった。解析には、有限要素法プログラムCASTEM2000(仏原子力委員会)を用い、図1に示す接合部を想定し、試験体の右上部1/4について図2に示すようにモデル化を行った。ボルト孔上半分を半径方向に拘束し、モデル下端に1mmの強制変位を加えた。解析は以下の2つの方法により行い、既往の研究結果[1]より、木材の横引張りに対する基準長さ(1c)を横引張り強度4.39MPaに対して2.84mmとし、また限界応力拡大係数(K1c)を0.439MPa \sqrt{m} として計算を行った。

- ・平均応力法(ASC)による亀裂の発生荷重の推定。
- ・線形破壊力学(LEFM)による最大耐力の推定。

3. 解析結果

(1) 亀裂発生時におけるボルト孔中心からの距離と繊維直角方向応力の関係を図3に示す。ボルト本数が1本、2本、3本の試験体とも、ボルト孔端部で応力が急速に増加する様子が分かる。ボルト孔端部の応力は、ボルト本数が複数のもものでは上部のボルトほど応力は大きく、一番縁端に近いボルトで亀裂が発生することがわかった。

(2) 亀裂長さと荷重の関係を図4に示す。ボルト本数が1本、2本、3本の試験体とも、亀裂の発生後、亀裂の進展にともない、荷重は増加するが、亀裂長さが約30mm程度で最大に達し、接合部が破壊することがわかった。

(3) ボルト本数が1~3本時のASCによる亀裂の発生荷重及びLEFMによる最大耐力の推定値と実験結果の比較を図5に示す。最大耐力は、亀裂の発生荷重より僅かに大きく実験値とほぼ良くあっていた。ボルト本数が2本及び3本の場合のボルト1本当たりの最大耐力の計算値は、1本の場合のそれぞれ74%、62%となり、本数の増加に伴い1本当たりの耐力が減少するので注意が必要であることがわかった。

4. 参考文献

1. YASMURA, M. ; DAUDEVILLE, R., Fracture Analysis of Bolted Timber Joints under Lateral Force Perpendicular to the Grain, Mokuzaï Gakkaishi, 42(3), 1996

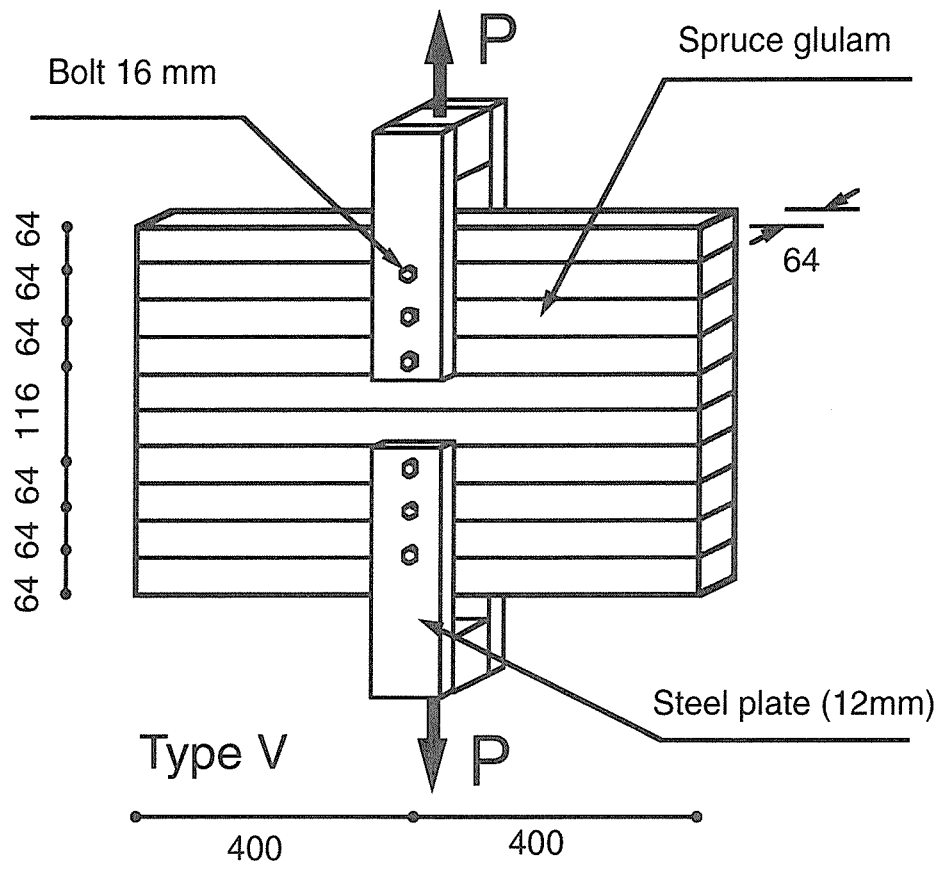


図1 試験体の概要

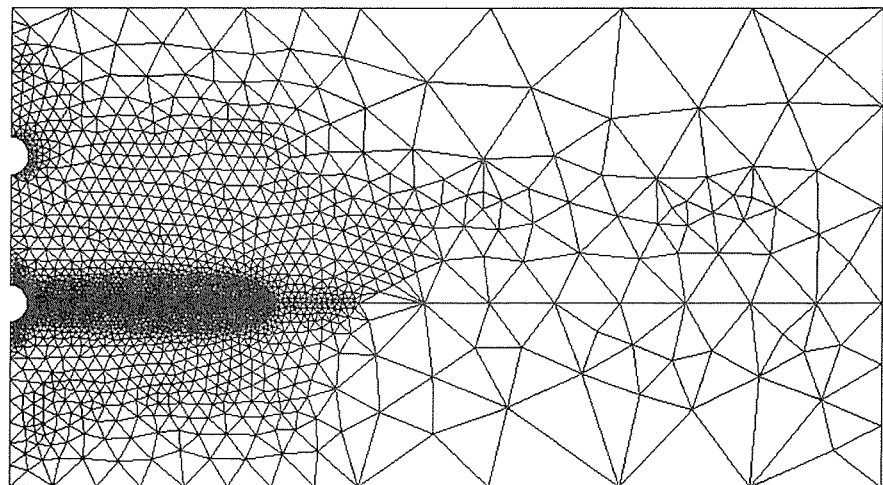


図2 有限要素モデル

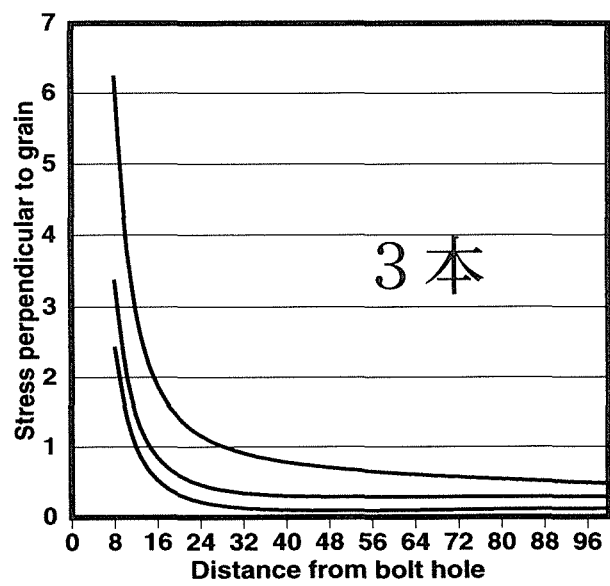
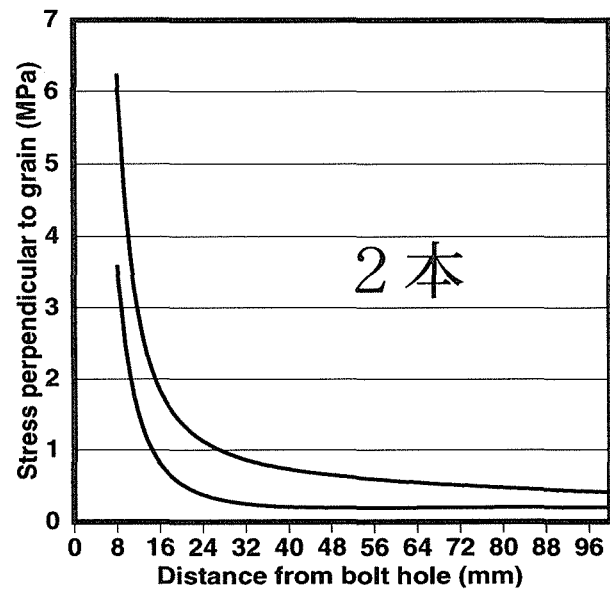
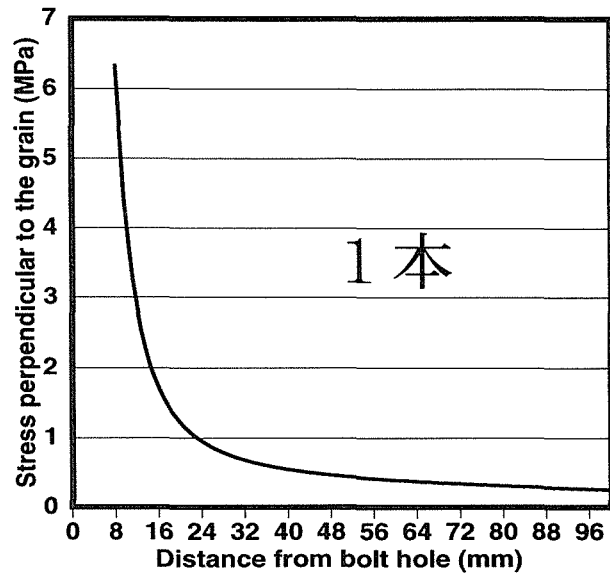


図3 ボルト孔中心からの距離と横引っぱり応力の関係

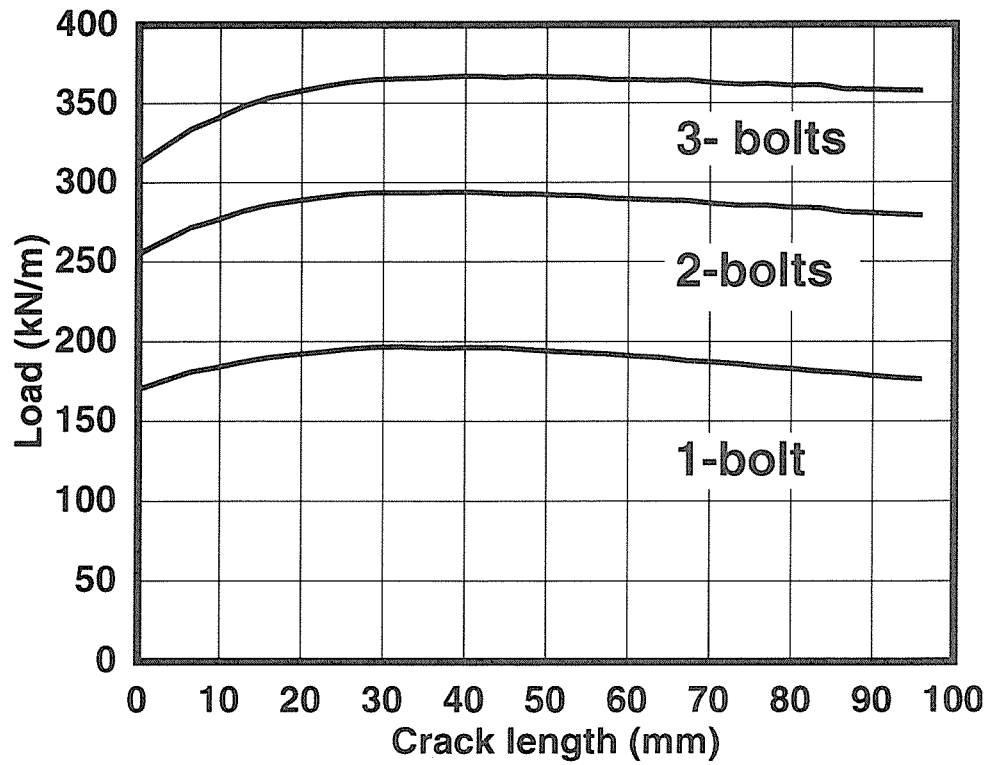


図4 亀裂の進行と荷重の関係

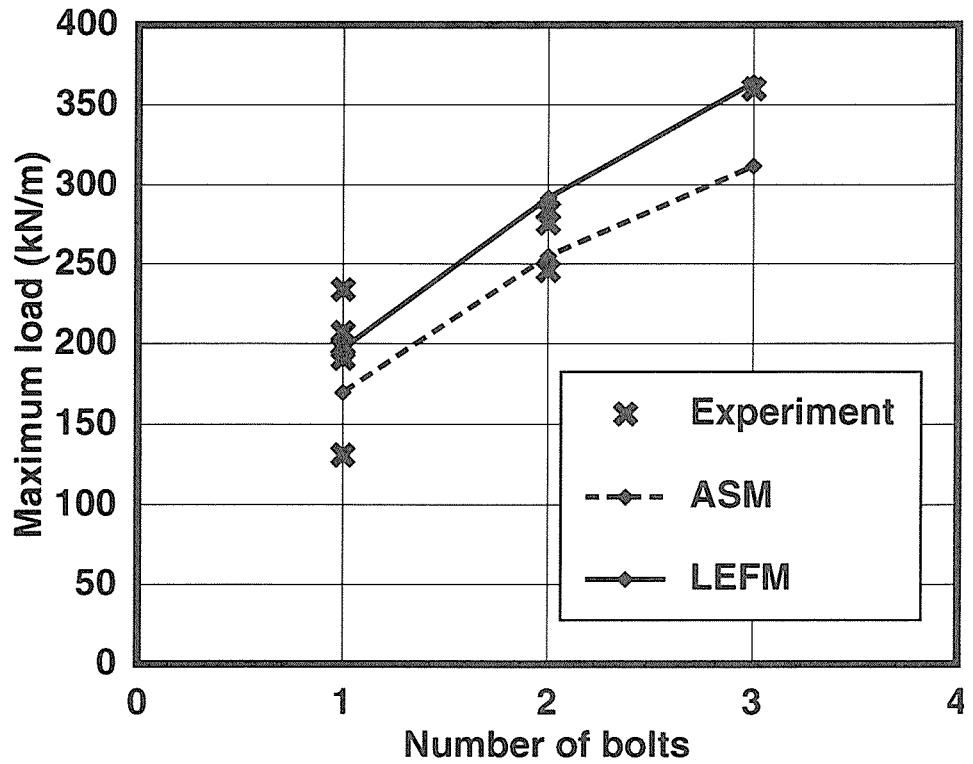


図5 ボルト本数と最大耐力の関係

第4章 複合応力を受ける集成材梁継手の剛性・耐力評価式の検討

1. はじめに

集成材の木口面を通じて軸力伝搬がある場合の継手の剛性・耐力評価はこれまで厳密には行われていない。本研究では、この面に関する設計式を提案するために、代表的な2種類の継手形式について、実大規模の曲げ強度実験を行い、接合部での木口面の相対開き等の分布を詳細に観察した。観察された様々な変形挙動をベースにして剛性・耐力を推定し得る理論式の誘導を試み、実験結果との対応でその妥当性を検討した。

なお、本研究で対象とした継手形式は「鋼板添板ラグスクリュー接合」と「鋼板挿入ドリフトピン接合」の2種類であるが、後者に関しては既に幾つかの設計式が提案されているので、本報告では、前者の剛性・耐力推定式について詳細な誘導過程を示し、後者に関しては実験結果のみを報告する。

2. 鋼板添板ラグスクリュー接合継手の剛性・耐力推定式の誘導

2. 1 対象とする鋼板添板継手の定義

図5. 1に解析の対象となる鋼板添板ラグスクリュー接合による集成材継手の形状・各部の定義等を示す。鋼板の幅と集成材の材幅が異なる場合や、集成材の材せい h と上下鋼板添板間距離 g が異なる場合がより一般的であるが、本解析ではそれらが同じである場合を考えた。

従来から、この種の継手の剛性の評価は殆ど行われてこなかった。一方、耐力については、木口面での応力伝達を無視して、上下の鋼板添板に絶対値の等しい軸力 F を考え、それがモーメント M と $M=gF$ の関係で釣り合うという簡単な算定式で評価されてきた。

本研究では、木口面での応力伝達を考慮するとともに、集成材3ヒンジアーチやドーム構造等の継手では無視できない圧縮軸力の存在を考慮して剛性・耐力の推定式をできるだけ精緻な形で誘導する。

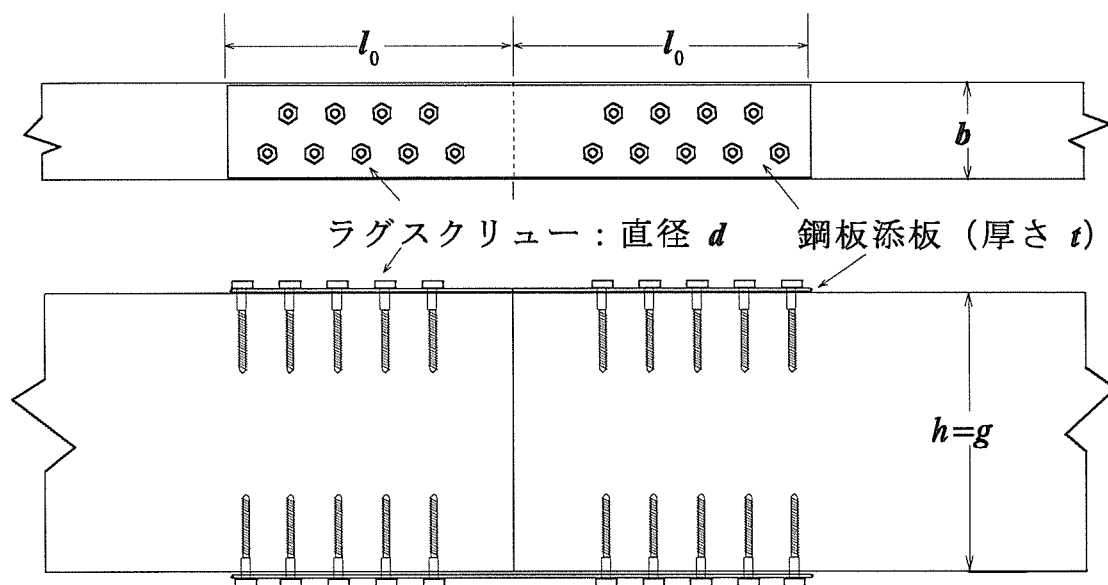


図5. 1 鋼板添板ラグスクリュー接合による集成材継手一般図

表5. 1に解析で使用する主な記号の定義を示。

表5. 1 解析で用いる主たる記号の定義

記号	単位	定義
A_s	cm^2	鋼板添板の断面積
b	cm	集成材の幅（鋼板添板の幅）
C	kgf	圧縮合力
C_0	kgf	一定初期軸圧縮力（図心に作用すると仮定）
C_{j0}	kgf	一定初期軸圧縮力 C_0 によって添板が受ける初期圧縮力
d	cm	ラグスクリューの直径
$f_{Log-max}$	kgf	ラグスクリューの終局耐力
E_w	kgf/cm^2	木材（集成材）のヤング係数
E_s	kgf/cm^2	鋼板添板のヤング係数
ε_c	—	圧縮側最外層木材に作用するひずみ度
ε_T	—	引張側鋼板添板に作用するひずみ度
g	cm	圧縮側最外縁（木材）から引張側鋼板添板の中心までの距離 ≡集成材の梁せいと仮定
K_s	kgf/cm	ラグスクリューのすべり係数
l_0	cm	鋼板添板の荷重負担有効長さ
l_s	cm	集成材梁継手試験体の片側せん断スパン
r	cm	梁の図心から梁の中立軸までの距離
λ	cm	圧縮側最外縁（木材）から中立軸（ $N-N'$ ）までの距離
σ_c	kgf/cm^2	圧縮側木材のひずみ度 ε_c に対応する応力度
σ_T	kgf/cm^2	引張側鋼板添板に作用するひずみ度 ε_T に対応する応力度
T	kgf	鋼板添板に作用する引張合力

2. 2 中立軸の位置 λ の決定

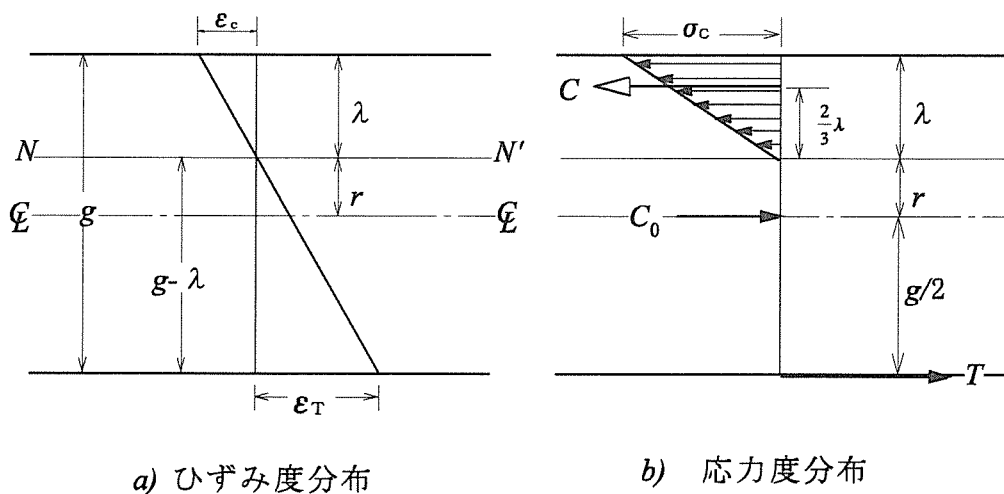


図5. 2 木口面でのひずみ度および応力度分布の仮定

(仮定)

解析上の前提として、応力の伝達は「圧縮側では木材の木口面を通じて、引張側では鋼板添板を通じて行われるもの」と仮定する。

木口面でのひずみ度分布、応力度分布を図5. 2-a)、b)のように考える。

(ひずみ度 ε_c と ε_T の関係)

図5. 2-a)より、

$$\begin{aligned} \varepsilon_c : \lambda &= \varepsilon_T : (g-\lambda) \\ \rightarrow \varepsilon_T &= \varepsilon_c \left(\frac{g-\lambda}{\lambda} \right) \dots 1) \end{aligned}$$

(応力度)

Hooke 則を適用すると、

$$\sigma_c = E_w \varepsilon_c \dots 2) \quad \sigma_T = E_s \varepsilon_T = E_s \varepsilon_c \left(\frac{g-\lambda}{\lambda} \right) \dots 3)$$

ただし、

λ : 圧縮側最外縁から中立軸までの距離
 g : 有効梁せい

(合力)

圧縮合力 C は ;

$$C = b \int_0^\lambda \sigma_c \frac{y}{\lambda} dy = b \int_0^\lambda \frac{E_w \varepsilon_c}{\lambda} y dy = \frac{b E_w \varepsilon_c}{\lambda} \int_0^\lambda y dy = \frac{b E_w \varepsilon_c \lambda}{2} \dots 4)$$

ただし、

E_w : 木材のヤング係

b : 梁の材幅

鋼板添板に働く引張合力は ;

$$T = \sigma_T A_s = E_s \varepsilon_c \left(\frac{g-\lambda}{\lambda} \right) A_s \dots 5)$$

引張合力 T と圧縮合力 C の差が一定圧縮軸力 C_0 と釣り合うから、

$$C_0 = C - T \dots 6)$$

式6)に式4)、5)を代入すると、

$$C_0 = \frac{E_w b \lambda}{2} \varepsilon_c - E_s A_s \left(\frac{g-\lambda}{\lambda} \right) \varepsilon_c \dots 7)$$

したがって、

$$\varepsilon_c = \frac{C_0}{\frac{E_w b \lambda}{2} - E_s A_s \left(\frac{g-\lambda}{\lambda} \right)} \dots 8)$$

(外力のモーメント M と内力によるモーメントの関係)

図心まわりのモーメントの釣り合いは、

$$M = C \left(\frac{2\lambda}{3} + r \right) + T \frac{g}{2} \dots 9)$$

ただし、 M : 外力のモーメント

式9)に式4)、5)を代入すると、

$$\begin{aligned} M &= \left(\frac{E_w b \lambda}{2} \varepsilon_c \right) \left(\frac{2\lambda}{3} + \frac{g}{2} - \lambda \right) + E_s A_s \varepsilon_c \left(\frac{g-\lambda}{\lambda} \right) \frac{g}{2} \\ &= \left\{ \left(\frac{E_w b \lambda}{2} \right) \left(\frac{g}{2} - \frac{\lambda}{3} \right) + \frac{E_s A_s g (g-\lambda)}{2\lambda} \right\} \varepsilon_c \dots 10) \end{aligned}$$

式10)より、

$$\varepsilon_c = \frac{M}{\left(\frac{E_w b \lambda}{2} \right) \left(\frac{g}{2} - \frac{\lambda}{3} \right) + \frac{E_s A_s g (g-\lambda)}{2\lambda}} \dots 11)$$

式8)=式11)と置くと、

$$C_0 \left\{ E_w b \lambda^2 \left(\frac{g}{2} - \frac{\lambda}{3} \right) + E_s A_s g (g-\lambda) \right\} = M \{ E_w b \lambda^2 - 2 E_s A_s (g-\lambda) \} \dots 12)$$

もし、一定軸圧縮力 C_0 が作用しない場合は、式12)の左辺はゼロとなり、中立軸の位置 λ は式12)の右辺=0から導かれる次の2次式を解いて、 M に関係なく一義的に決定される。

$$\lambda^2 + 2 \frac{E_s A_s}{E_w b} \lambda - 2 \frac{E_s A_s}{E_w b} g = 0 \dots 13)$$

一方、 $C_0 > 0$ の場合は、中立軸 λ は M と C_0 の関数となって以下の3次式を解いて決定される。式12)を更に展開して λ の3次式で表せば、

$$\lambda^3 - 3 \left(\frac{g}{2} - \frac{M}{C_0} \right) \lambda^2 + 6 \frac{E_s A_s}{E_w b} \left(\frac{g}{2} + \frac{M}{C_0} \right) \lambda - 6 \frac{E_s A_s}{E_w b} \left(\frac{g}{2} + \frac{M}{C_0} \right) g = 0 \dots 14)$$

さて、ここまでは、引張側のひずみ度を鋼板そのもののひずみ度と見なして解析を進めてきたが、実際には鋼板そのものが伸張しているというよりは、木材と鋼板を結合しているラグスクリューが荷重を受けてせん断変形を起こし、木材-鋼板間にすべり変位が発生し、鋼板自体は殆ど剛体変位をしているに過ぎない。この状態を誇張して表現したものが図5.3である。

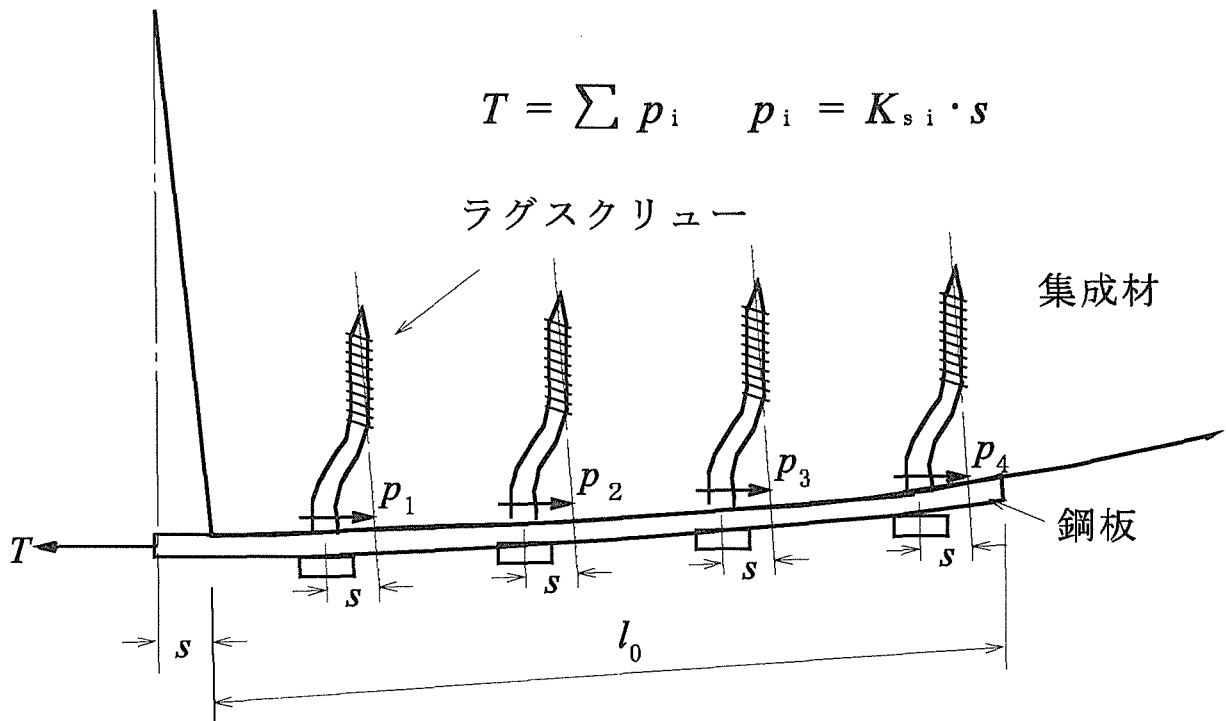


図5.3 ラグスクリューのせん断変形に起因した
鋼板-木材間のすべりと鋼板の剛体的変位

そこで、鋼板のヤング係数の代わりに、ラグスクリューのせん断変形に起因した「見かけのヤング係数」を以下のように定義する。すなわち、鋼板は T なる力を受けて元の位置より s だけ剛体変位したとする。鋼板の局部変形を無視すれば、この剛体的変位 s は個々のラグスクリューのせん断変形 s にほぼ等しい(剛床仮定)。

i 番目のラグスクリュウの負担する力 p_i とすべり s の関係は、

$$p_i = K_{s_i} \cdot s \quad \dots 15)$$

ただし、 K_{s_i} : i 番ラグスクリュウのすべり係数
個々の負担力 p_i の総和が引張力 T と釣り合っているから、

$$T = \sum p_i = (\sum K_{s_i})s \quad \dots 16)$$

見かけの応力度 σ_T 、ひずみ度 ε_T を式17)のように近似する。

$$\sigma_T = \frac{T}{A_s}, \quad \varepsilon_T \doteq \frac{s}{l_0} \quad \dots 17)$$

式16)、17)より

$$\sigma_T = \left(\frac{\sum K_{s_i} l_0}{A_s} \right) \varepsilon_T$$

を得るから、ヤング係数 E_s は次式で置換できる。

$$E_s \doteq \left(\frac{\sum K_{s_i} l_0}{A_s} \right) \text{ or } E_s A_s \doteq l_0 \sum K_{s_i} \quad (\text{引張剛度}) \quad \dots 18)$$

式18)の置換を用いれば、中立軸を決定するための3次式は式19)で表現できる。

$$\lambda^3 - 3 \left(\frac{g}{2} - \frac{M}{C_0} \right) \lambda^2 + 6\beta \left(\frac{g}{2} + \frac{M}{C_0} \right) \lambda - 6\beta \left(\frac{g}{2} + \frac{M}{C_0} \right) g = 0 \quad \dots 19)$$

ただし、

$$\beta = \frac{l_0 \sum K_{s_i}}{bE_w} \quad \dots 20)$$

(3次方程式の根)

式19)の3次方程式の根は以下の *Newton* 法によって求める。

第 i 回目の λ の近似解 λ_i は;

$$\lambda_i = \lambda_{i-1} - \frac{f(\lambda_{i-1})}{f'(\lambda_{i-1})} \quad \dots a)$$

ただし、 $f(\lambda_{i-1})$ は第 $i-1$ 回目の近似解を式19)に代入した関数の値。 $f'(\lambda_{i-1})$ は $f(\lambda_{i-1})$ の導関数である。 λ の近似は最初ゼロから始める。実際の数値計算の結果、式 a)は6,7回の繰り返し過程で値が収束し正解を得た。

また、 C_0 が作用しない場合は次式で λ は求められる。

$$\lambda = -\beta + \sqrt{\beta^2 + 2g\beta} \quad \dots b)$$

2. 3 継手の回転剛性 R_j の誘導

図5. 4に木口面での圧縮応力度の伝達を考慮した場合の接合部力学モデルを示す。

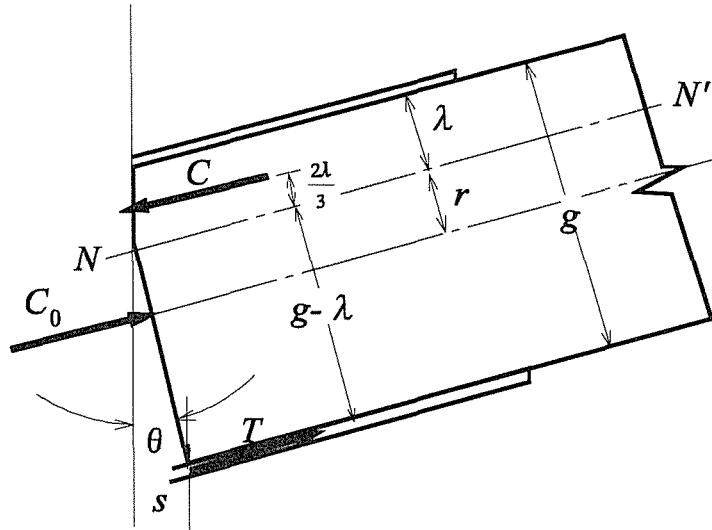


図5. 4 木口面を通じて圧縮応力度の伝達がある場合の変形 (仮定)

図5. 4に示すように圧縮側木口面での木材繊維方向の相互めり込みの影響は無視し、回転 θ は引張側ラグスクリューのすべり変位 s によって起こるものと仮定する。幾何学的関係より、回転角 θ は、

$$\theta \doteq \frac{s}{g-\lambda} \quad \dots 21)$$

引張力 T とすべり s の関係は式16)で示され、

$$T = \sum p_i = (\sum K_{s_i})s \quad \dots 16)$$

式21)と16)より、

$$T \doteq \sum K_{s_i}(g-\lambda) \cdot \theta \quad \dots 22)$$

一方、図心まわりのモーメントの釣り合い式9)は、

$$M = C \left(\frac{2\lambda}{3} + r \right) + T \frac{g}{2} \dots 9)$$

これに、

$$C_0 = C - T \dots 6)$$

を代入すると、

$$M = \left(g - \frac{\lambda}{3} \right) T + C_0 \left(\frac{g}{2} - \frac{\lambda}{3} \right) \dots 23)$$

更に式23)の T に式22)を代入すると、

$$M = \sum K_{s_i} (g - \lambda) \left(g - \frac{\lambda}{3} \right) \theta + C_0 \left(\frac{g}{2} - \frac{\lambda}{3} \right) \dots 24)$$

一方、中立軸を求めるための3次式19)から C_0 を M で表すと、

$$C_0 = - \left(\frac{6\lambda^2 + 12\beta\lambda - 12\beta g}{2\lambda^3 - 3g\lambda^2 + 6\beta g\lambda - 6\beta g^2} \right) M \dots 25)$$

式24)の C_0 に式25)を代入すると、 M と θ の関係は式26)で表現できる。

$$M = \left\{ \sum K_{s_i} (g - \lambda) \left(g - \frac{\lambda}{3} \right) \frac{(2\lambda^3 - 3g\lambda^2 + 6\beta g\lambda - 6\beta g^2)}{4\beta(6g\lambda - 6g^2 - \lambda^2)} \right\} \theta \dots 26)$$

従って、接合部の右半分の回転剛性 R_j は、

$$R_j = \left\{ \sum K_{s_i} (g - \lambda) \left(g - \frac{\lambda}{3} \right) \frac{(2\lambda^3 - 3g\lambda^2 + 6\beta g\lambda - 6\beta g^2)}{4\beta(6g\lambda - 6g^2 - \lambda^2)} \right\} \dots 27)$$

これより、回転剛性 R_j も M 、 C_0 の関数である。従って、たとえすべり係数 K_i が線形であっても、 M 、 C_0 のレベルに応じて λ が代わり、その結果 R_j も変化する。

2. 4 継手の最大モーメントの推定式

式26)を簡単に書くと、

$$M = R_j \cdot \theta \quad \dots 26')$$

これに式21)の関係を代入すると、

$$M \doteq \frac{R_j}{g-\lambda} s \quad \dots 28)$$

更に、式15)の関係を代入すると、

$$M \doteq \left(\frac{R_j}{g-\lambda} \right) \left(\frac{p_i}{K_{s i}} \right) \quad \dots 29)$$

最大モーメントは、 i 番ラグスクリューに作用する荷重 p_i がその最大値 $f_{LAG-max}$ に達した時点で決まるというクライテリアを設定する。式29)を式27)を用いて整理すると、鋼板添板ラグスクリュー接合による集成材梁継手の最大モーメント M_{max} は次の式30)で推定される。

$$M_{max} = \left(g - \frac{\lambda}{3} \right) \cdot \frac{\sum K_{s i}}{K_{s i}} \cdot \Phi \cdot f_{LAG-max} \quad \dots 30)$$

ただし、

$$\Phi = \frac{2\lambda^3 - 3g\lambda^2 + 6\beta g\lambda - 6\lambda g^2}{4\beta(6g\lambda - 6g^2 - \lambda^2)} \quad \dots 31)$$

$f_{LAG-max}$: ラグスクリューの最大耐力 (終局、降伏、許容どれでも可)

一定軸力 $C_0=0$ の場合は、式31)の係数 Φ は 1 となる。

2. 5 4点曲げ試験におけるスパン中央たわみの推定

通常の4点曲げ継手試験体のスパン中央たわみ δ は、以下の仮想仕事式で計算できる。

$$\delta = \int \frac{M\bar{M}}{EI} dx + \int \kappa \frac{Q\bar{Q}}{GA} dx + \sum \frac{M_{j i} \bar{M}_{j i}}{R_{j i}} \quad \dots 32)$$

ここで、

M : 外力によって生じる部材の曲げモーメント

\bar{M} : たわみを求めたい点に $P=1$ なる単位荷重を加えた場合の部材曲げモーメント

Q : 外力によって生じる部材のせん断力

\bar{Q} : たわみを求めたい点に $P=1$ なる単位荷重を加えた場合の部材せん断力

M_j : 外力によって生じる i 番接合部のモーメント

\bar{M}_j : たわみを求めたい点に $P=1$ なる単位荷重を加えた場合の i 番接合部に作用するモーメント

R_j : i 番接合部の回転剛性

EI : 部材の曲げ剛性

GA : 部材のせん断剛性

κ : せん断に関する形状係数 (矩形断面の場合は1.2)

図5.5に4点曲げ継手試験体の応力分布を示す。これらの応力を式32)に代入すると、継手試験体のスパン中央たわみは次の式33)で計算できる。

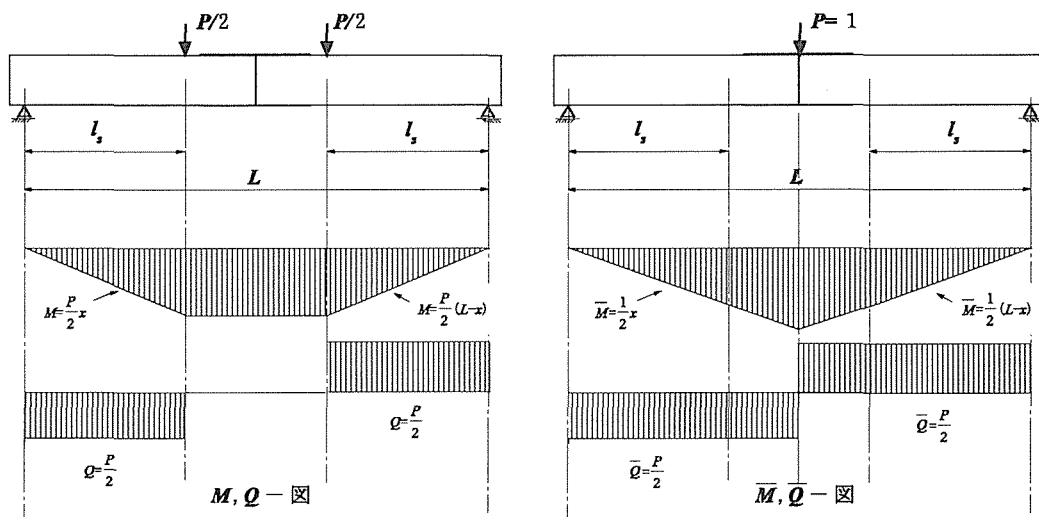


図5.5 4点曲げ継手試験体における応力分布

$$\delta = 2 \int_0^{L/2} \frac{MM}{EI} dx + 2 \int_0^{L/2} \kappa \frac{QQ}{GA} dx + 2 \frac{M_j \bar{M}_j}{R_j}$$

最終的に、

$$\delta = \frac{P(3l_s L^2 - 4l_s^3)}{48EI} + \frac{\kappa P l_s}{2GA} + \frac{P l_s L}{4R_j} \dots 33)$$

2.6 添板鋼板に作用する初期圧縮軸力の算定

鋼板添板ラグスクリュー接合試験体に一定軸力 C_0 を導入すると、圧縮荷重の一部が鋼板添板にも流れ、鋼板には初期応力（圧縮応力）が作用する。従って、曲げ荷重が作用しても鋼板の応力がこの初期応力を上回るまでは、継手試験体には引張応力は存在せず、集成材－鋼板間のすべり変形も、木口面の相対開きも発生しない。

一定圧縮軸力 C_0 を受ける曲げ試験体の変形挙動を解析するには、従って、この鋼板に流れる初期圧縮軸力の算定が重要となる。本研究では、集成材と鋼板の組み合わせを図5.6に示す並列バネモデルで仮定して、鋼板が分担する初期圧縮軸力を推定した。

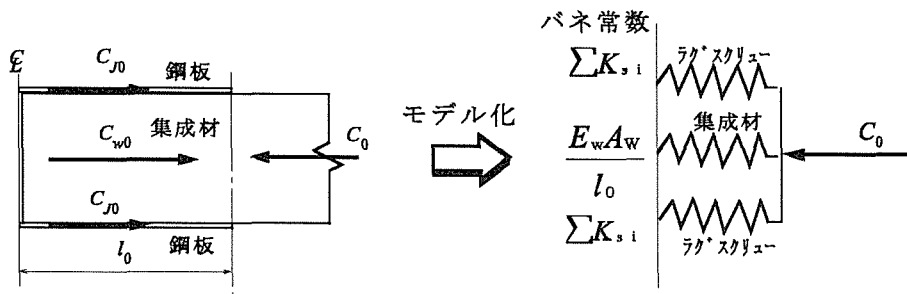


図5.6 並列バネモデルによる初期圧縮軸力の負担

鋼板の負担する初期軸力を C_{J0} 、集成材の負担する初期軸力を C_{w0} とする。力の釣合から、

$$2C_{J0} + C_{w0} = C_0 \dots 34)$$

軸力 C_0 によって、微小量 s だけ変位したとする。それぞれのバネでの力と変形の関係は、

$$\text{鋼板添板バネ : } C_{J0} = \sum K_{s,i} \cdot s \dots 35)$$

$$\text{集成材バネ : } C_{w0} = \frac{E_w A_w}{l_0} \cdot s \dots 36)$$

式35)、36)を式34)に代入し、 s を求めて再度式35)に代入すると、鋼板添板が負担する初期軸圧縮力は式37)で推定される。

$$C_{J0} = \frac{\sum K_{s,i}}{2\sum K_{s,i} + \frac{E_w A_w}{l_0}} C_0 \dots 37)$$

更に、鋼板に作用する引張力 T を式23)より式38)のように求め、式37)の初期軸圧縮力を越えているかチェックし、越えている場合だけ回転による付加たわみを計算する。

$$T = \frac{M - C_0 \left(\frac{g}{2} - \frac{\lambda}{3} \right)}{\left(g - \frac{\lambda}{3} \right)} \dots 38)$$

2. 7 継手試験体の荷重－たわみ関係の数値計算手順

図5. 7に数値計算の方法を簡易なフローチャートとして示す。

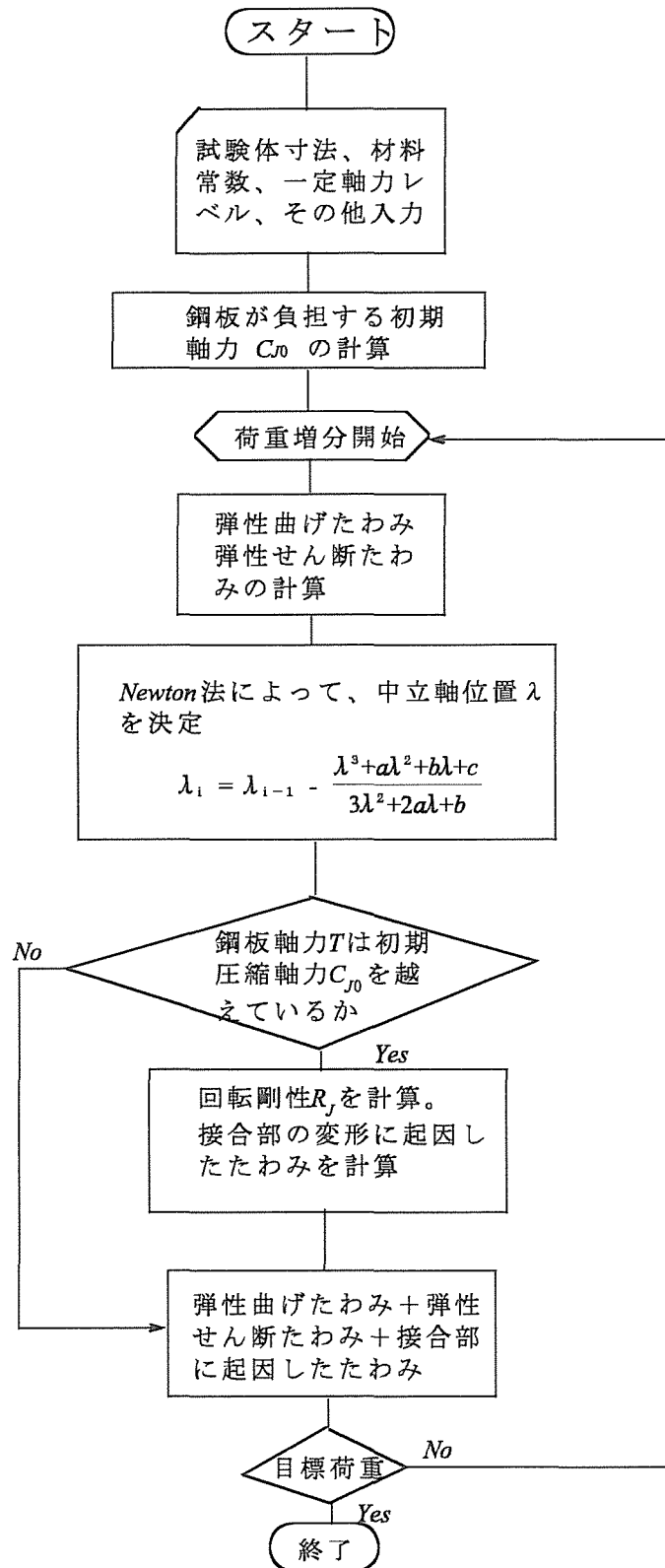


図5. 7 荷重－たわみ関係を求めるための数値計算フロー

3. 実験

3.1 曲げ試験方法

ベイマツ集成材を用いた継手試験体（材幅 $b=150\text{mm}$ 、材せい $h=464\text{mm}$ 、接合後の全長 $L_0=6500\text{mm}$ ）の3等分点4点曲げ試験の概要を図5.8に示す。

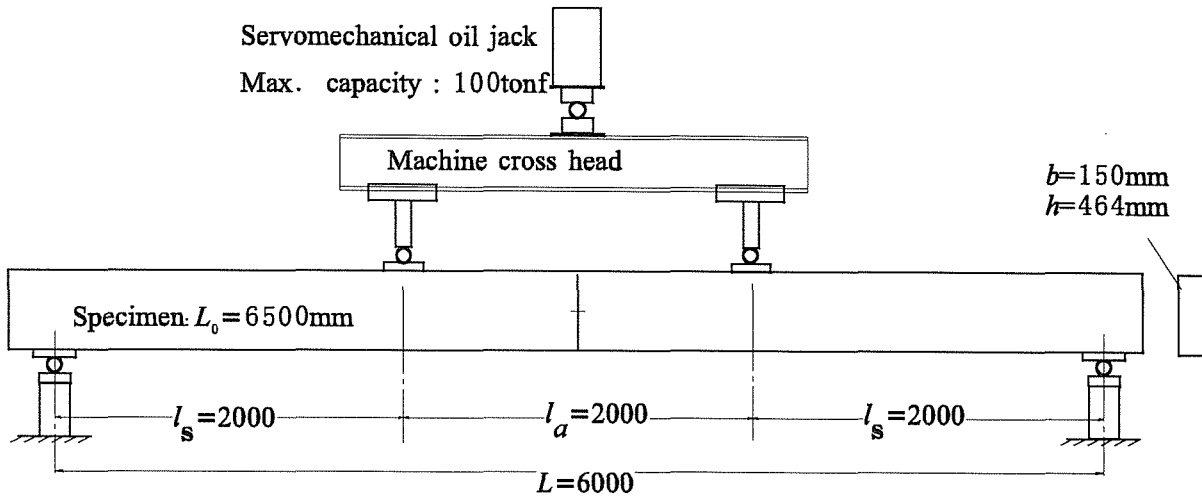


図5.8 集成材継手試験体の4点曲げ試験方法の概要

用いた試験機は、本来動の実験用のサーボアクチュエーターを備えた試験機（インストロン社、モデル8500。最大容量100tonf）であるが、これをランプ荷重仕様状態で静的曲げ試験に使用した。クロスヘッド移動速度は、すべての試験において、7mm /分とした。図5.9に試験装置の全景を、図5.10に軸力導入用油圧ジャッキを示す。また、図5.11に軸力測定用のロードセルの設置状況を示す。

3.2 接合部の仕様

表5.2に本研究で供試した集成材継手接合部の仕様一覧を示す。

表5.2 供試試験体の仕様

試験体呼称	接合具	接合具本数	鋼板 t (mm)	導入軸力 C0 (tonf)
LAGC00	$d=16\text{mm}$ 、 $l=160\text{mm}$ メッキ処理 ラグスクリュー	上下添板 1枚につき 8本	11	0
LAGC33				6.5
LAGC66				13.3
LAGC100				20
DRIFTC00	$d=16\text{mm}$ 、 $l=150\text{mm}$ SS400黒革付き ドリフトピン	片側の接合部 あたり 20本	9	0
DRIFTC33				6.5
DRIFTC66				13.3
DRIFTC100				20
使用した集成材の性質				
JAS規格	E105-f300			
断面寸法 (mm)	$b=150\text{mm}$	$h=464\text{mm}$	$L=3000\text{mm}$	
密度 TD (kg/m^3)	平均値 TD = $527\text{kg}/\text{m}^3$		S.D. = $9\text{kg}/\text{m}^3$	n=11
含水率 MC (%)	平均値 MC = 12%		S.D. = 12%	n=11

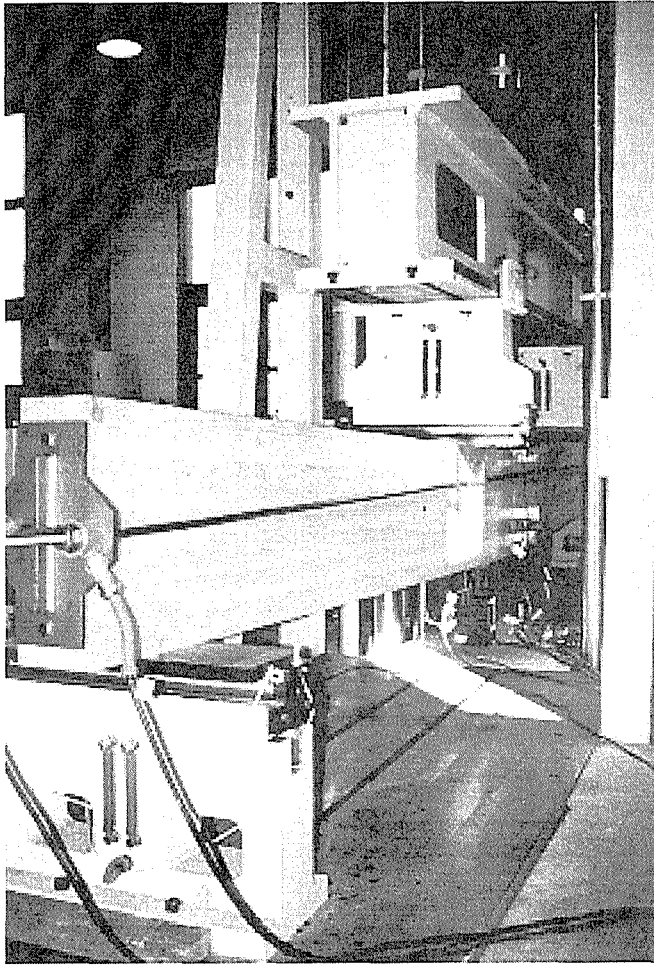


図 5 . 9 試験装置の全景 (A09654/9)

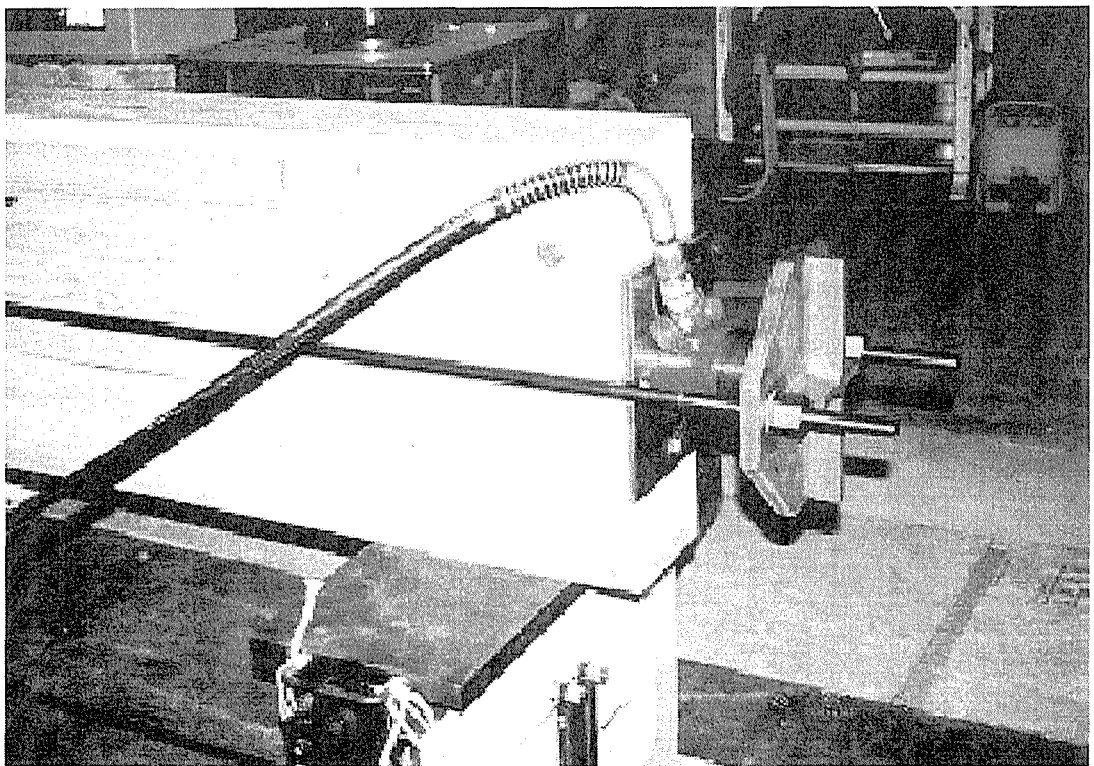


図 5 . 1 0 軸力導入用油圧ジャッキ (能力20tonf) (D76244/24)

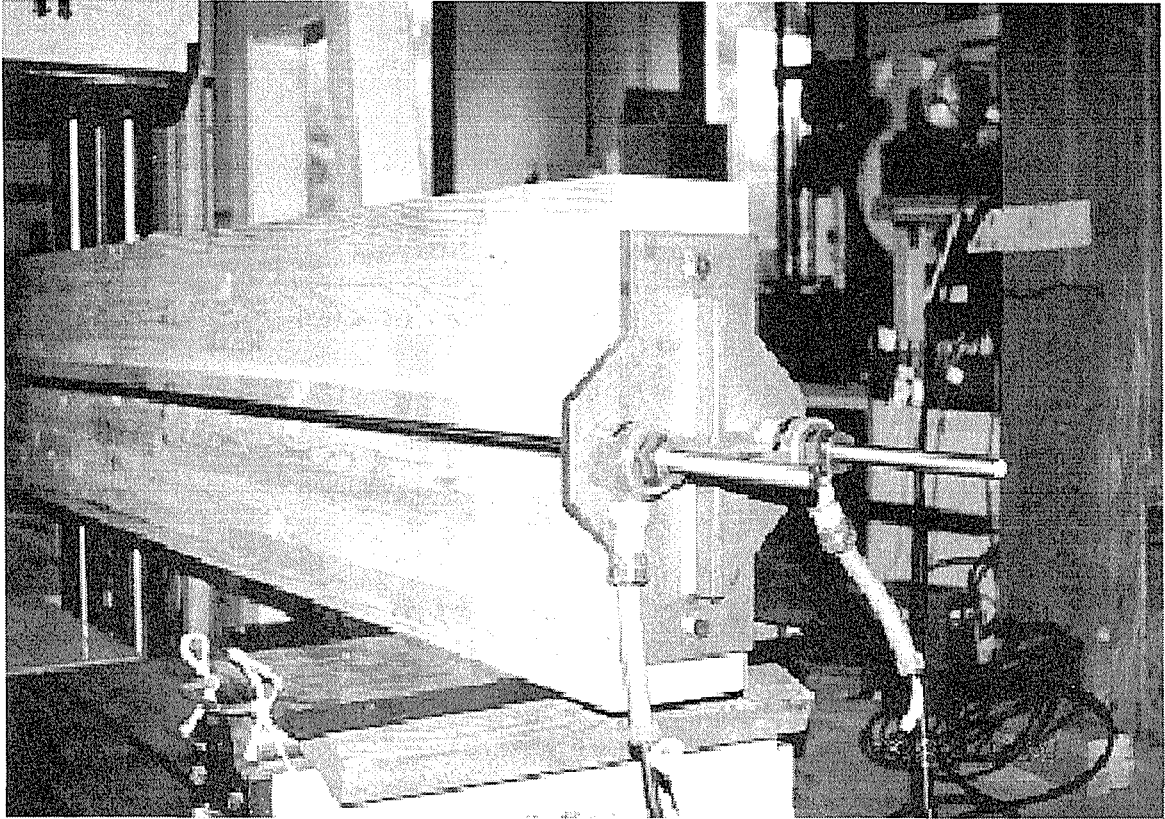


図5. 1 1 一定軸力測定用ロードセル（各10tonf）の設置状況（D76244/21）

図5. 1 2 に鋼板添板ラグスクリュー接合部の詳細を示す。

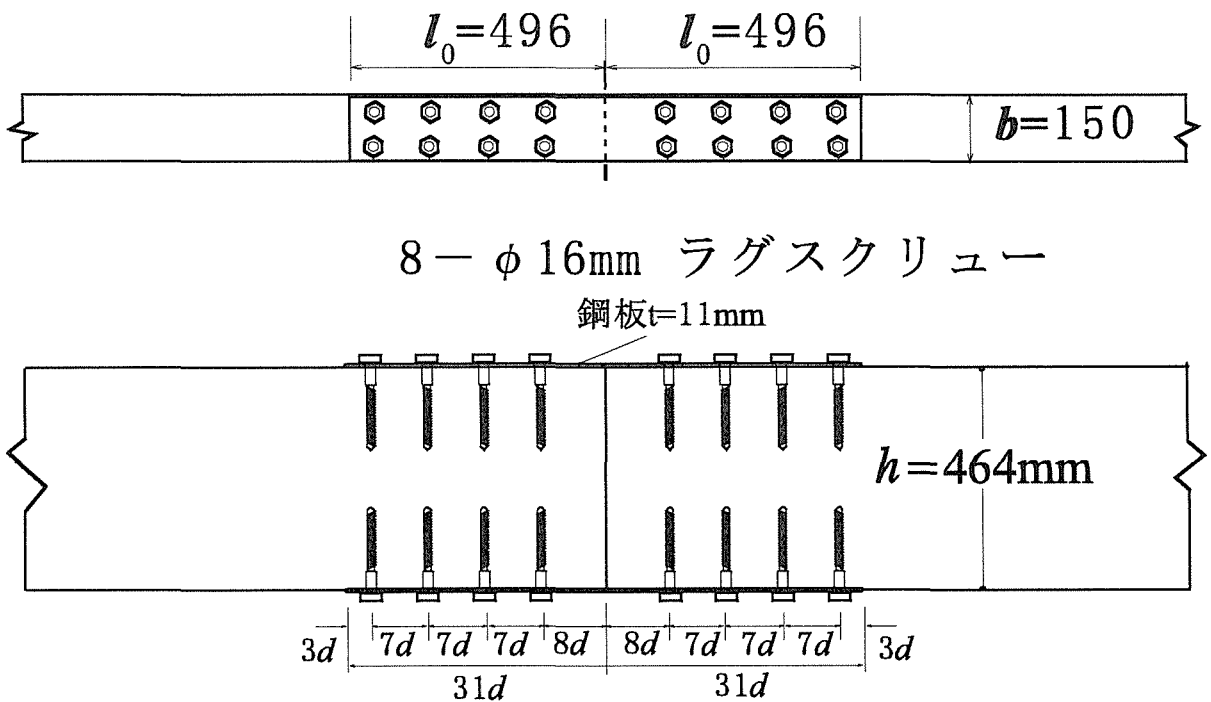


図5. 1 2 鋼板添板ラグスクリュー接合部の詳細

図5. 13に鋼板挿入ドリフトピン接合部の詳細を示す。

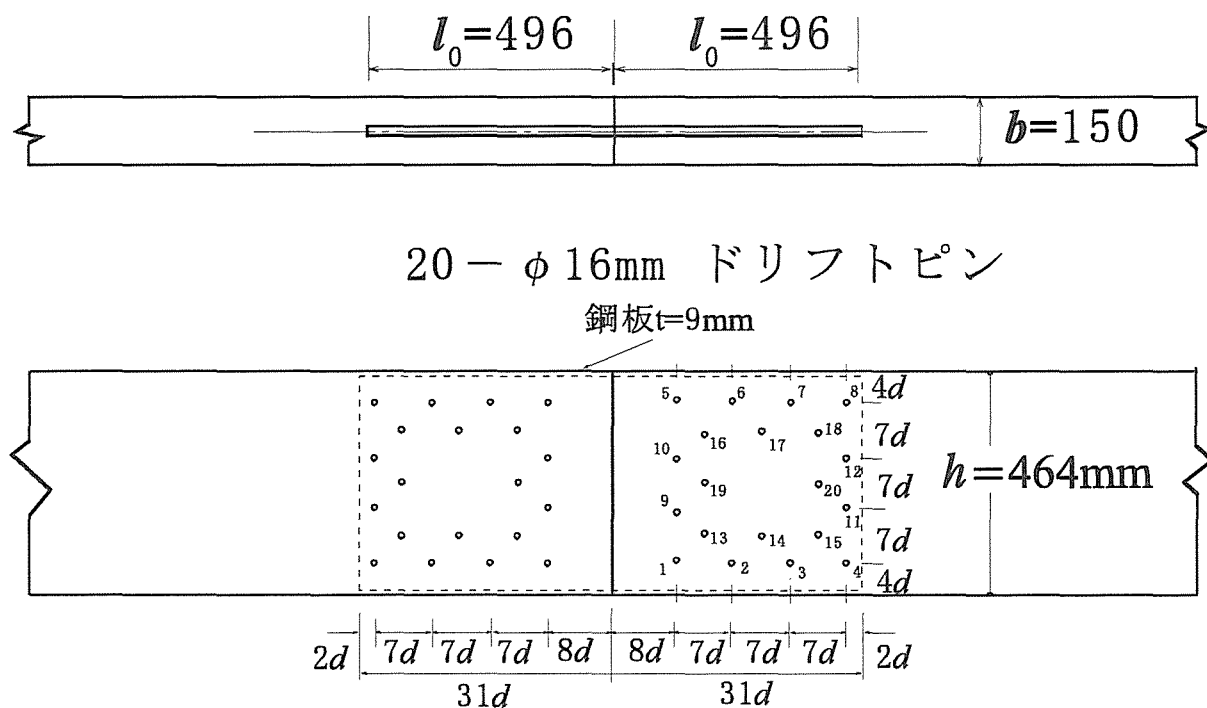


図5. 13 鋼板挿入ドリフトピン接合部の詳細

3. 3 変位計等の配置

本研究の最大の目的の一つは、木口面を通じて応力が伝達される様子を実大規模の継手試験体で観察し、その知見に基づいて継手のモデルを構築することにある。その目的のため、木口面で両方の部材が相対的に開く状態を観察するため、図5. 14～図5. 17に示すように変位計をセットした。

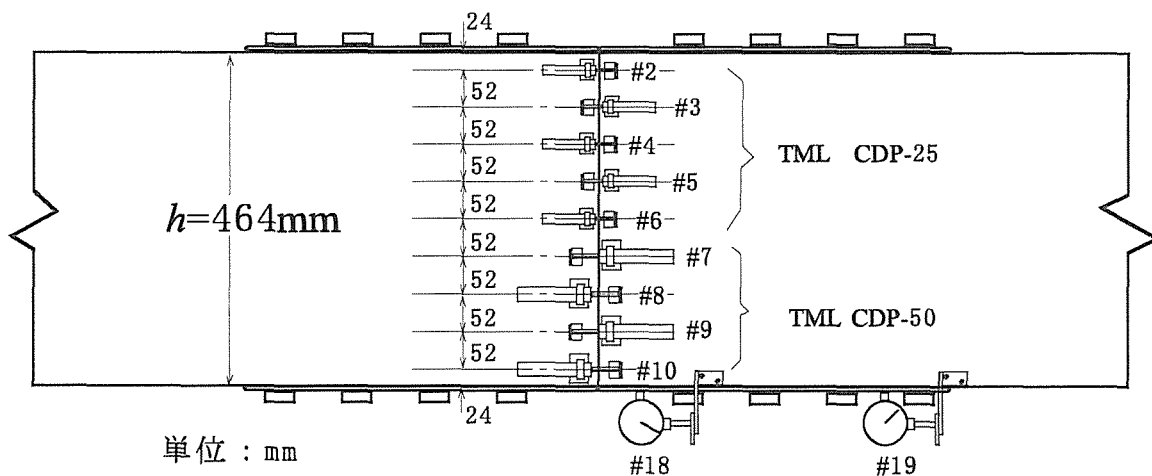


図5. 14 鋼板添板ラグスクリュウ接合試験体における木口面に沿った変位計のセットと番号（軸力を導入しない場合）

鋼板添板ラグスクリー接合における木口面相對開き測定用変計の位置

軸力が作用する場合

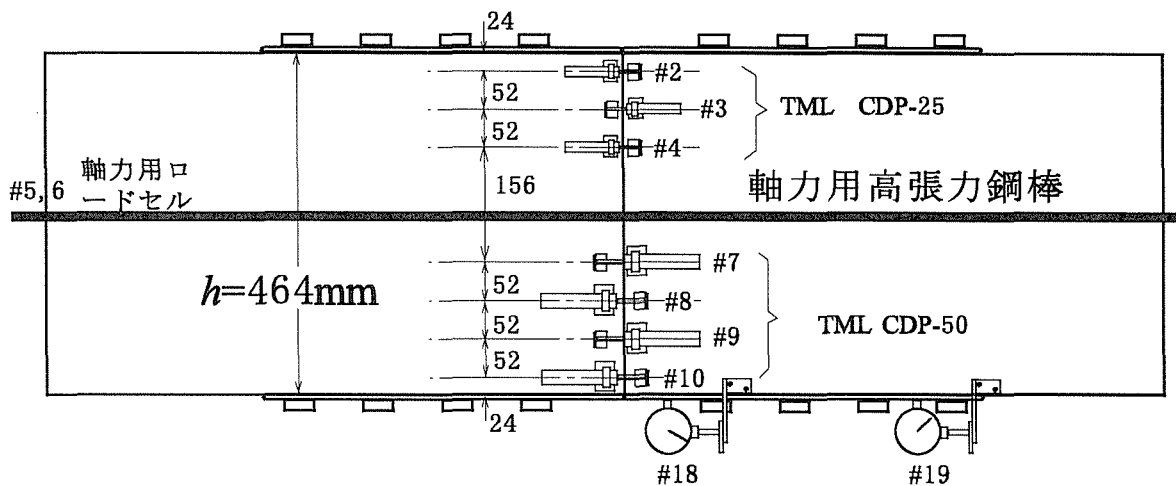


図5. 15 鋼板添板ラグスクリー接合試験体における木口面に沿った変位計のセットと番号（軸力を導入する場合）

鋼板挿入式ドリフトピン接合における木口面相對開き測定用変計の位置

軸力が作用しない場合

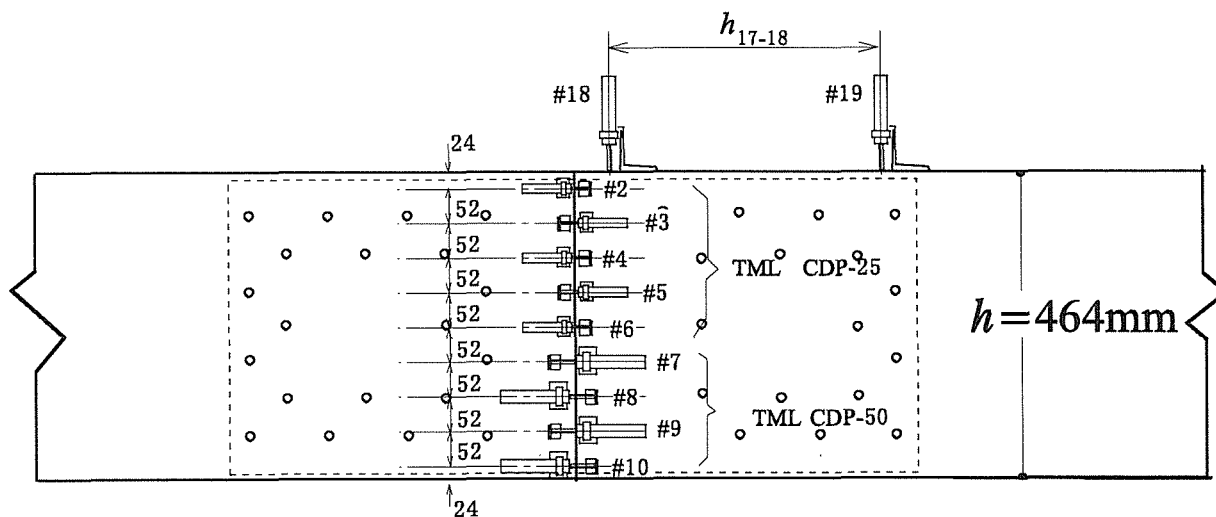


図5. 16 鋼板挿入ドリフトピン接合試験体における木口面に沿った変位計のセットと番号（軸力を導入しない場合）

鋼板挿入式ドリフトピン接合における 木口面相對開き測定用変計の位置

軸力が作用する場合

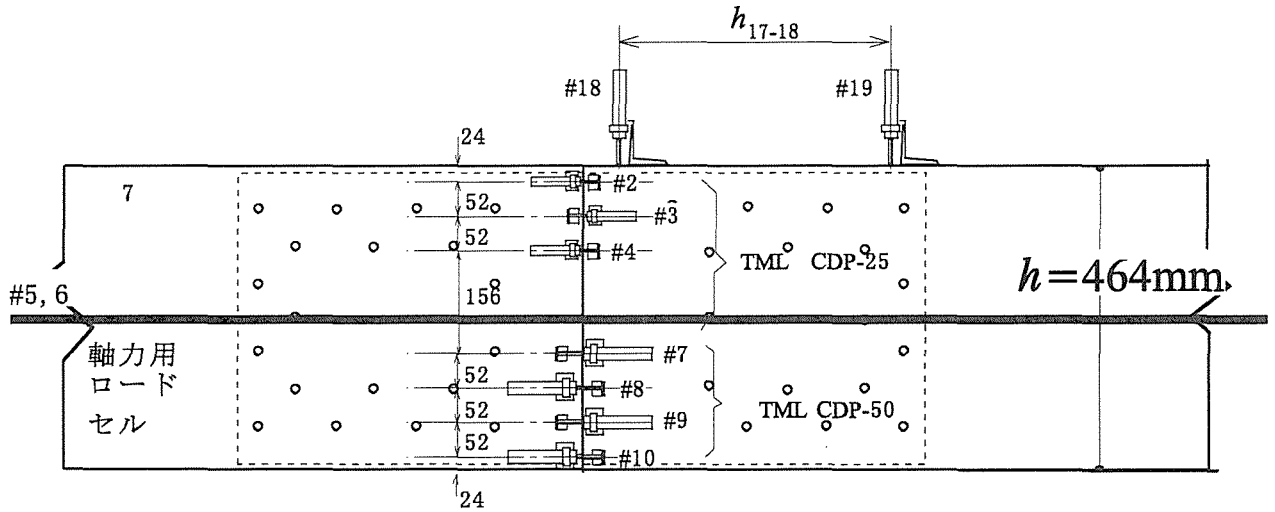


図5. 17 鋼板挿入ドリフトピン接合試験体における木口面に沿った変位計のセットと番号（軸力を導入する場合）

また、一部の試験体（主として最初に実験を行ったラグスクリュー接合試験体において）においては、圧縮側での応力度伝達をモニターする目的で、木口面に沿って片方の集成材側面に図5. 18に示すようなストレインゲージを張り付けたが、測定値は大きくばらついた。

ストレインゲージ張り付け位置

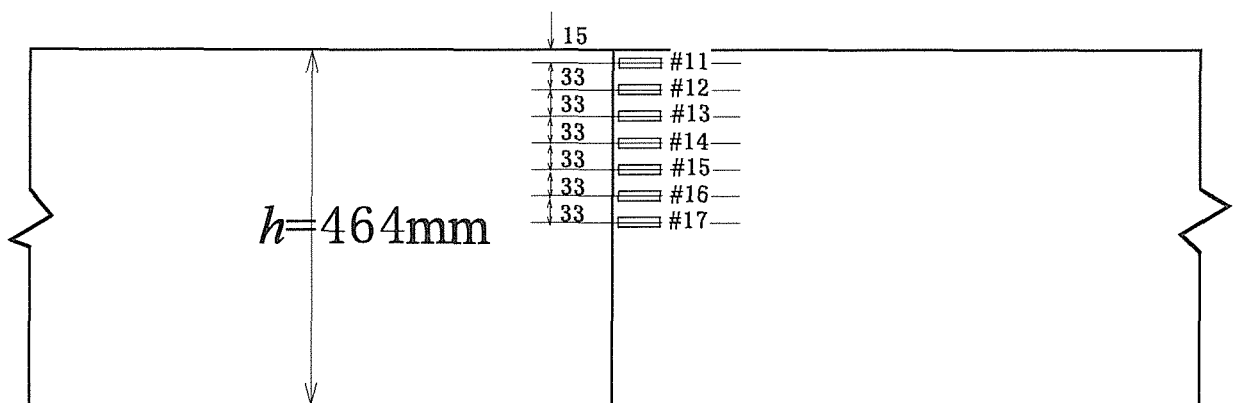


図5. 18 ストレインゲージ（ペーパーベース、長さ20mm）の張り付け位置

4. 結果 および 考察

4. 1 ラグスクリー接合試験体における木口面での相対開き

図5. 19～図5. 22にスパン中央部の木口面に沿って計測した相対開き変位に及ぼす導入軸力、曲げ荷重レベルの影響を示す。

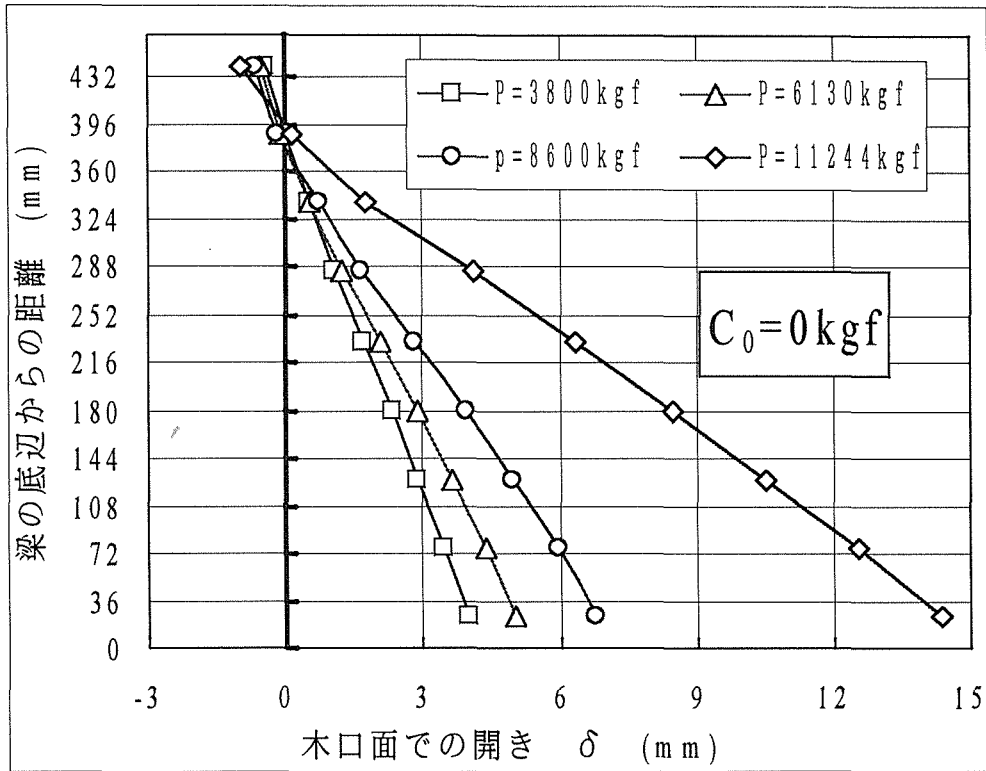


図5. 19 軸力のない試験体 (LAGC00) における木口面に沿った相対開きの実測値

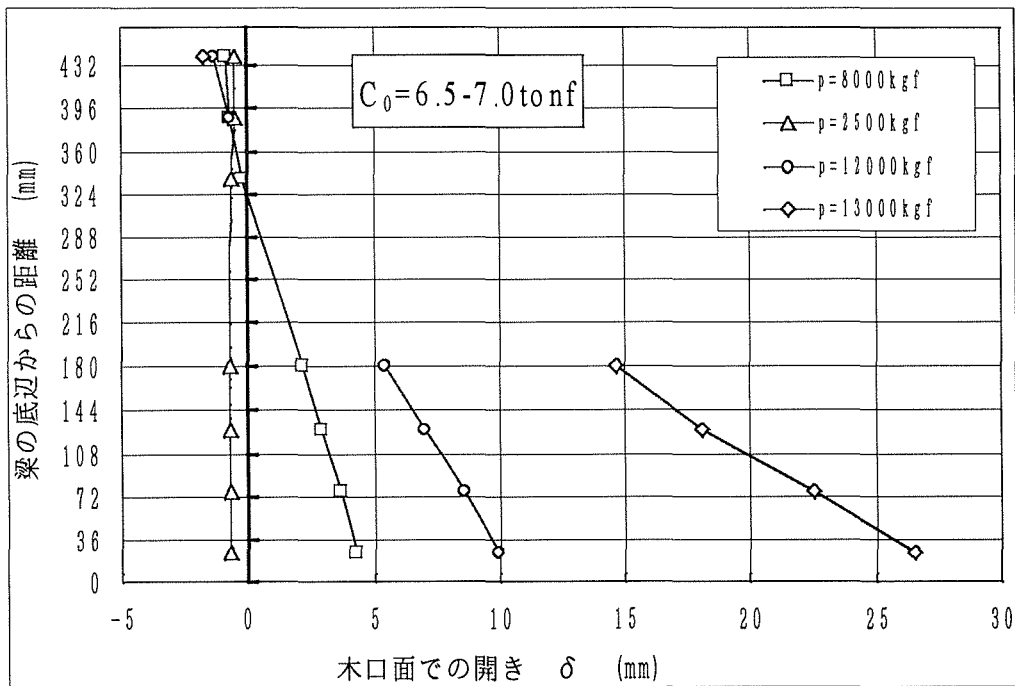


図5. 20 軸力が6.5～7ton 入った試験体 (LAGC33) における木口面に沿った相対開きの実測値

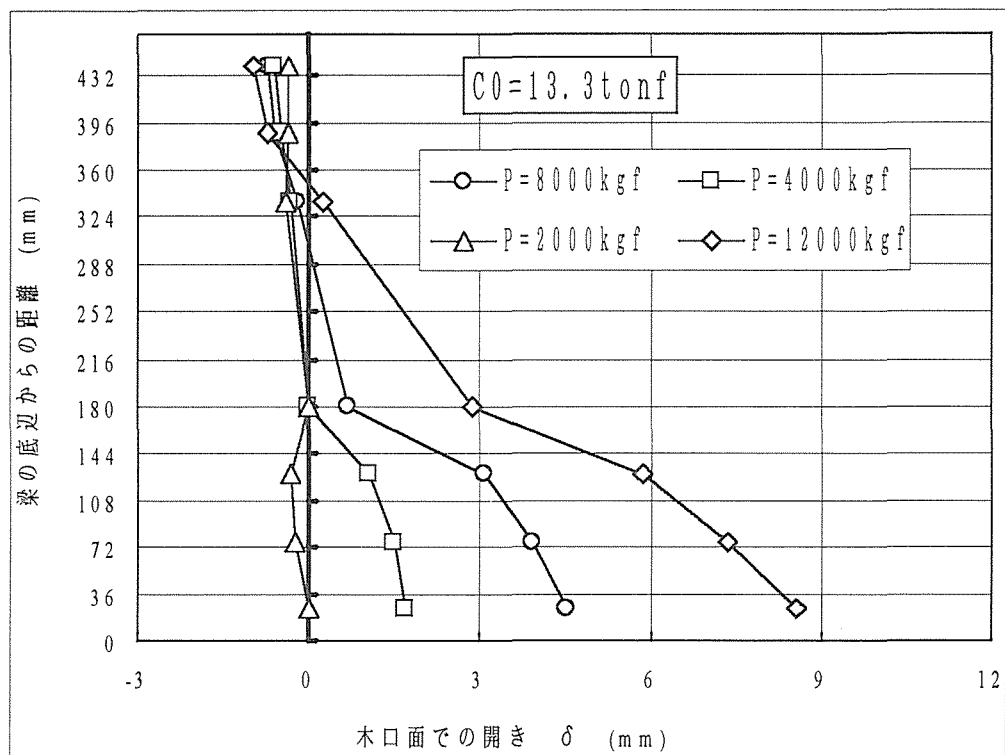


図5. 2 1 軸力が13.3tonf 入った試験体 (LAGC66) における木口面に沿った相対開きの実測値

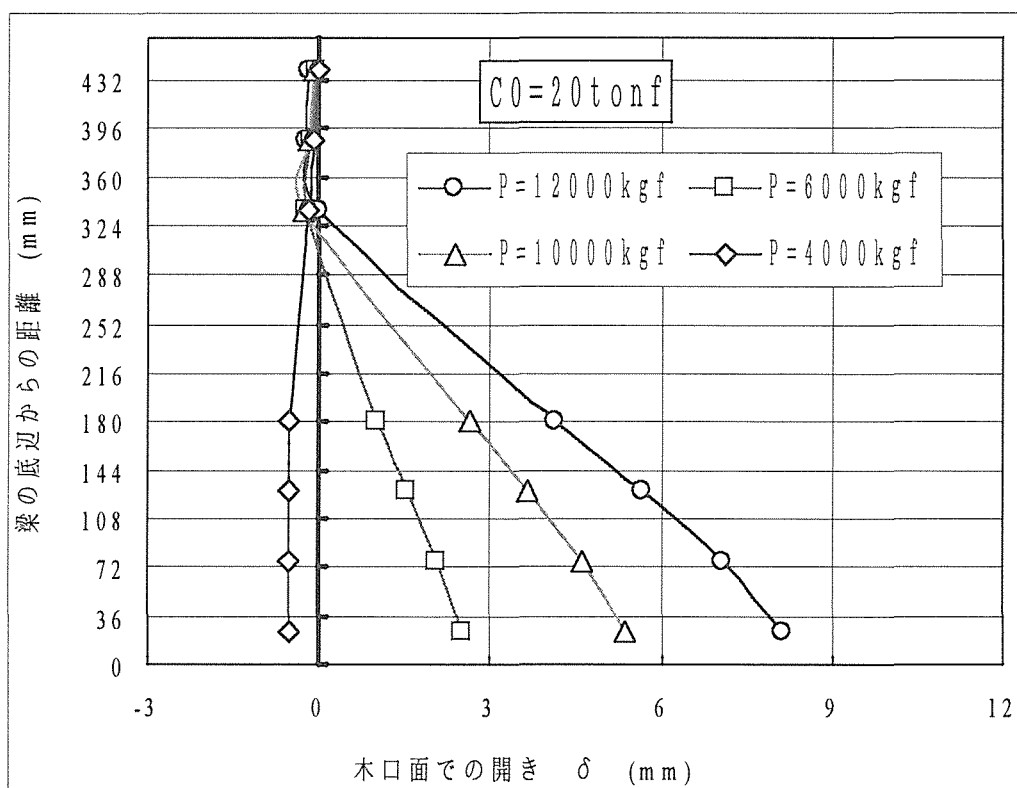


図5. 2 2 軸力が20tonf 入った試験体 (LAGC100) における木口面に沿った相対開きの実測値

以上の図より、軸力が導入されることによって、集成材同士がかなり圧縮される状況が分かる。ただし、この圧縮量は木口面の切削状況や加工精度等に影響されるため、必ずしも軸力の値に比例的なものとはなっていない。

4. 2 鋼板－集成材間のすべり変位

鋼板添板－集成材間のすべり変形と外力の関係を図5. 23～図5. 26に示す。

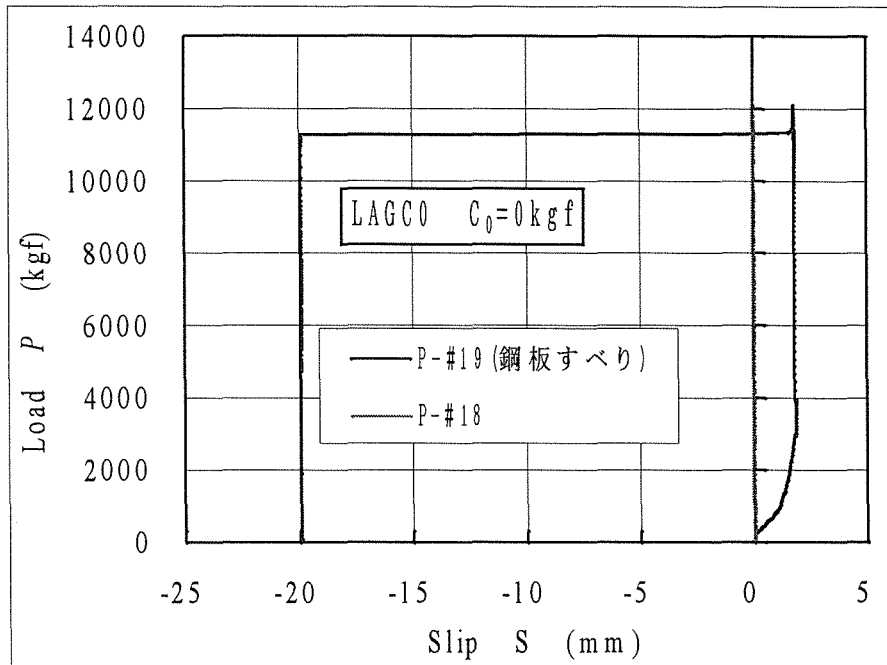


図5. 23 荷重と鋼板－集成材間のすべりの関係（軸力なし）

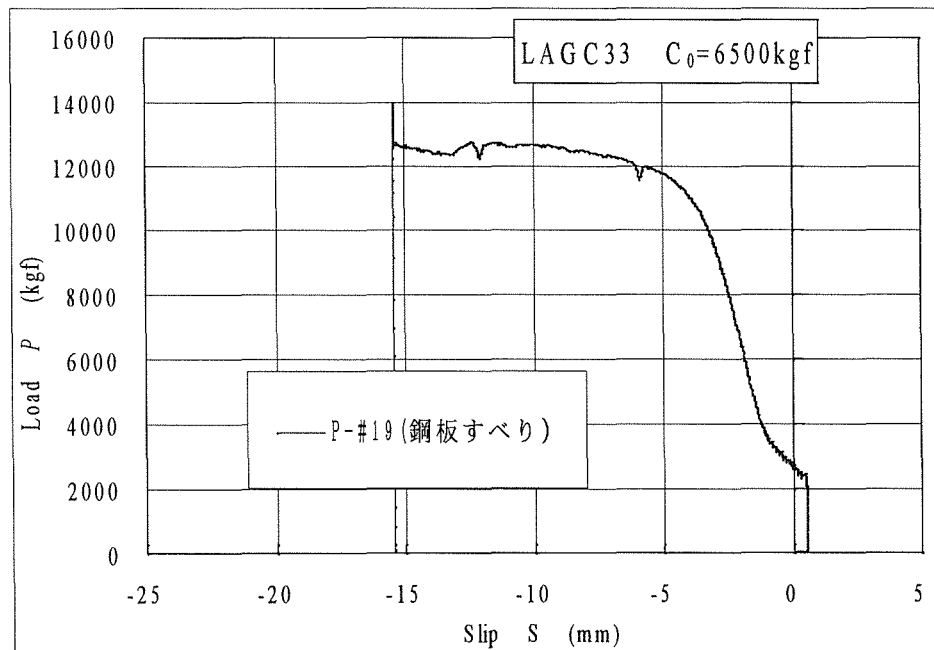


図5. 24 荷重と鋼板－集成材間のすべりの関係（軸力6.5～7.0tonf）

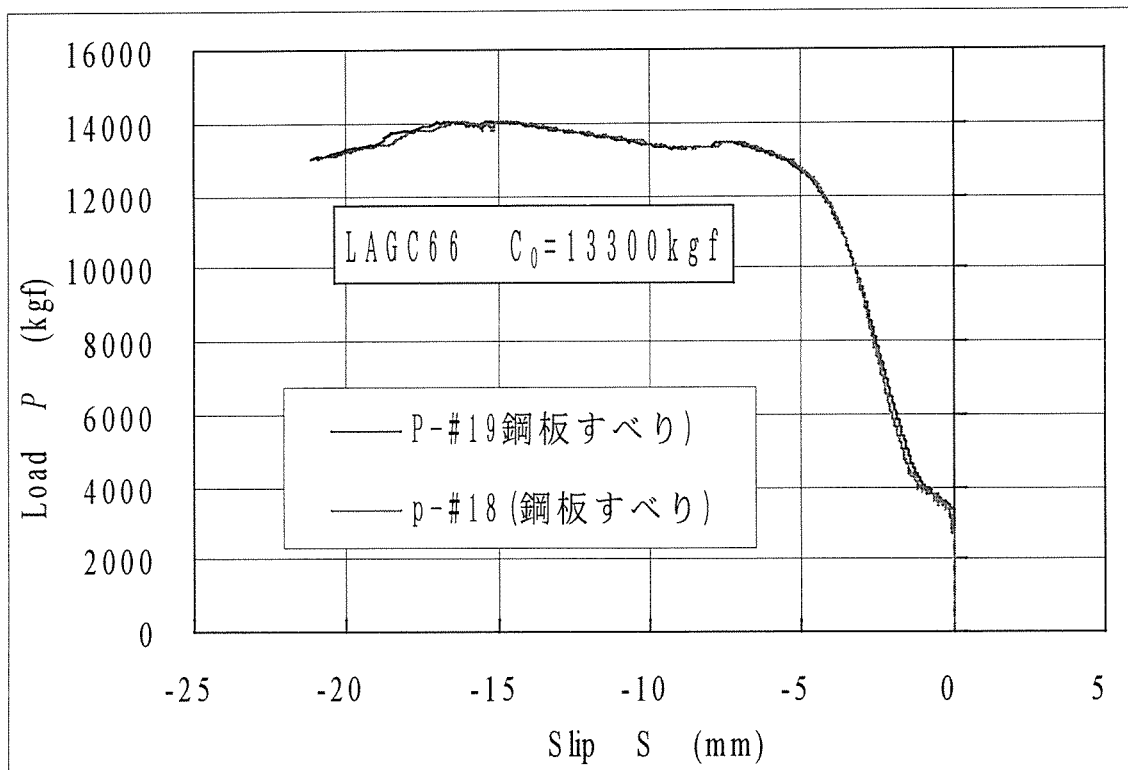


図5. 25 荷重と鋼板-集成材間のすべり関係 (軸力: 13.3tonf)

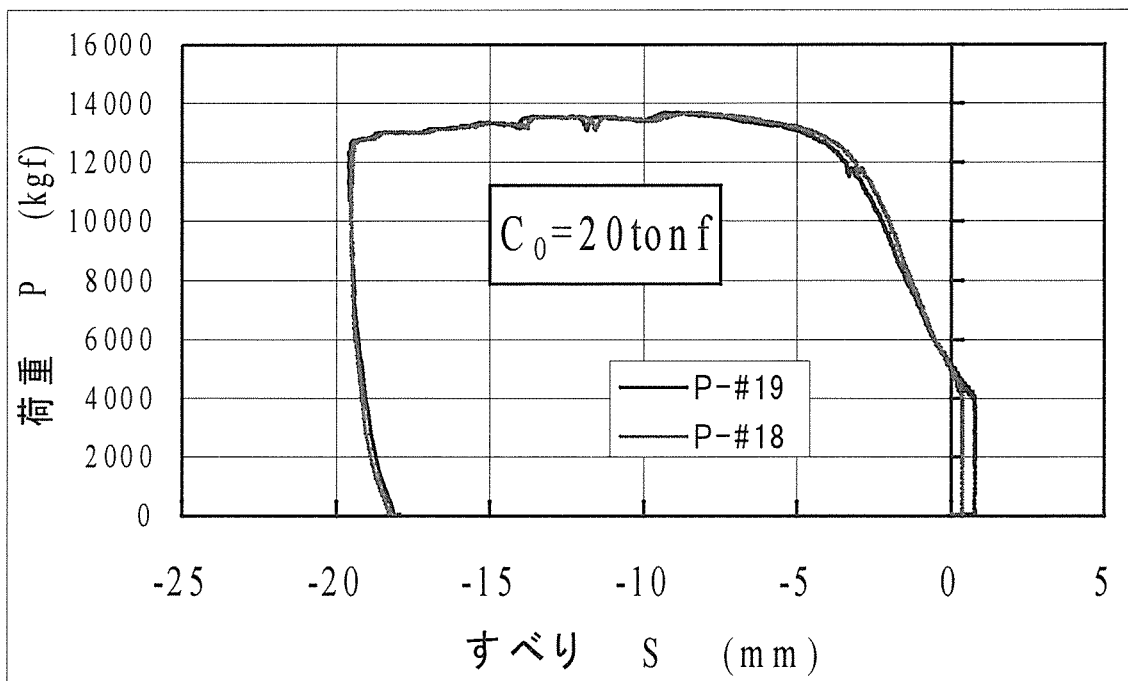


図5. 26 荷重と鋼板-集成材間のすべり関係 (軸力: 20tonf)

以上の鋼板－集成材間の相対すべりの実測グラフからも、一定軸力が導入された試験体においては、軸力の導入によって、マイナスの変形が生じており、解析の2.6で想定したように、鋼板添板部分においても一定程度の初期軸力を負担していることを裏付けている。

更に外力レベルが上昇すると、引張側添板の初期圧縮軸力は曲げによって生じた引張軸力にうち消され、プラスのすべり変位が発生している（グラフでは符号は逆転しているが）ことが看取される。なお、図5.23ですべり変位がいきなりプラス側へ進んでいて他と違うのは、変位計の極性を逆にとったためである。

4.3 導入軸力の試験期間中の推移

図5.27～5.29に導入した一定軸力が試験期間中どの程度変化したかを時刻歴データとして示す。

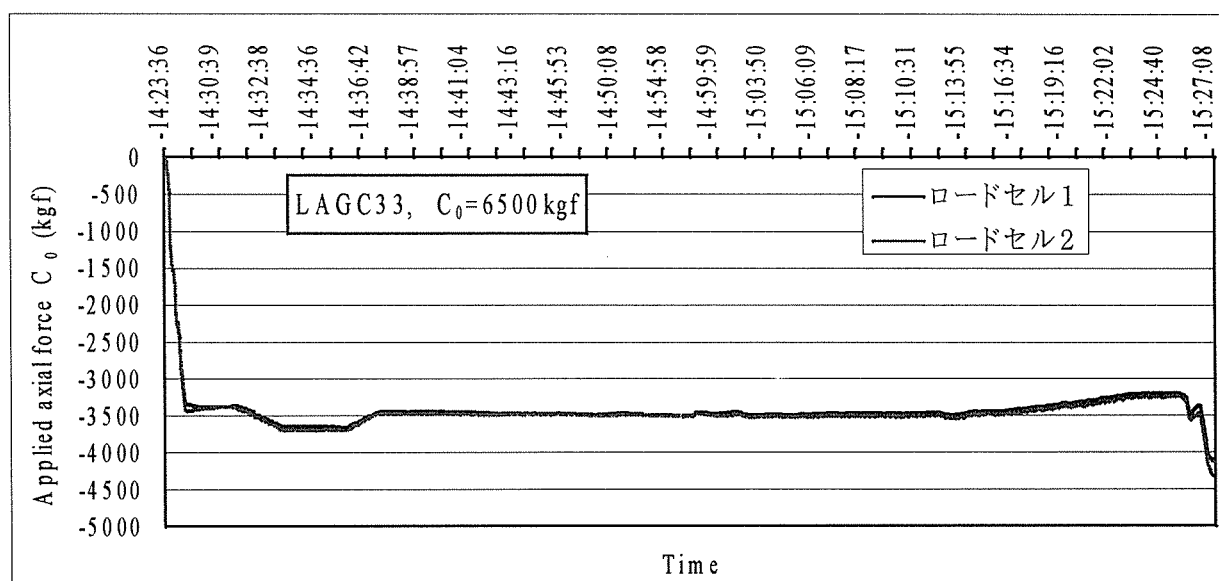


図5.27 一定軸力の時間経過 ($C_0=6.5\text{tonf}$ の場合)

試験体 LAGC33の場合、目標軸力は6.5tonfであったが、図5.27から分かるように殆どの時間中、1個のロードセルで3.5tonf程度の軸力が観測され、設定よりやや大きめの軸力が入っていたことが分かる。

試験体 LAGC66の場合、目標軸力は13.3tonfであった。図5.28を見ると、最初と最後を除いて、ほぼ目標の軸力が導入されていたことが分かる。

試験体 LAGC100の場合は、2個のロードセル間で軸力バラツキが見られ、合計では22～23tonf程度の軸力が作用していたように思える。

いずれの場合も、最大荷重を迎える頃に軸力値が上昇する理由は、試験体の曲げ変形が大きくなって、軸力導入用のPC鋼棒も、ジャッキ側とロードセル側の両端部で曲げ変形を受けたためである（装置の関係で両端ピン状態とはならなかった）。

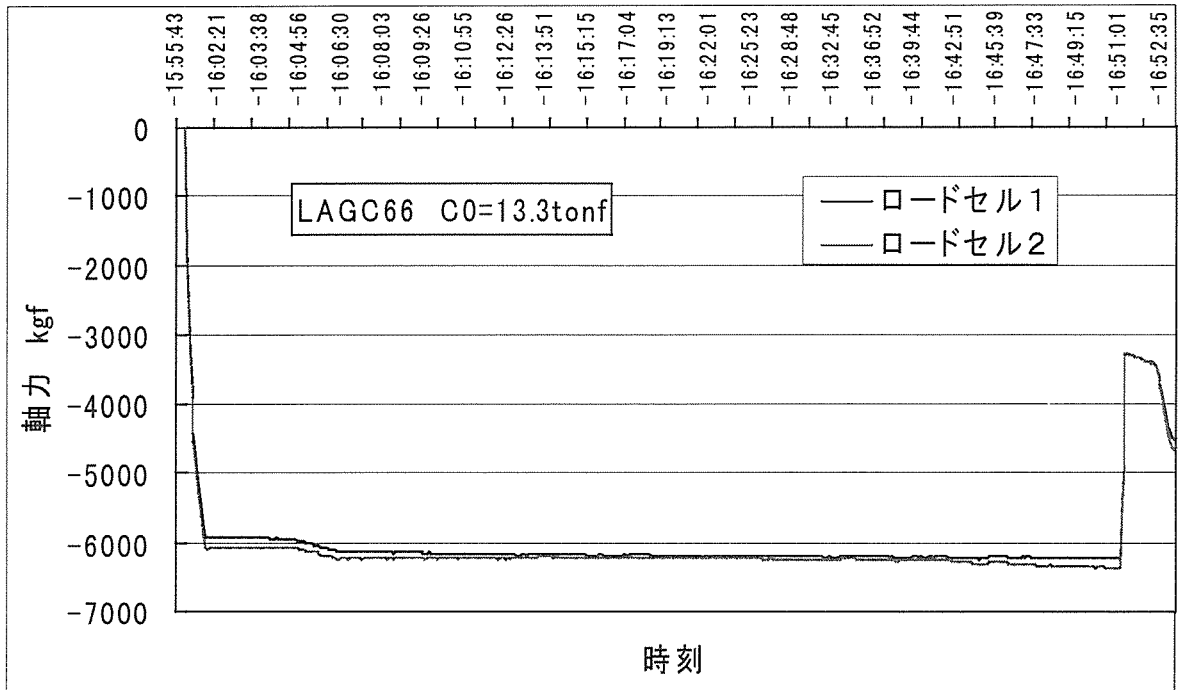


図5. 28 一定軸力の時間経過 ($C_0=13.3\text{tonf}$ の場合)

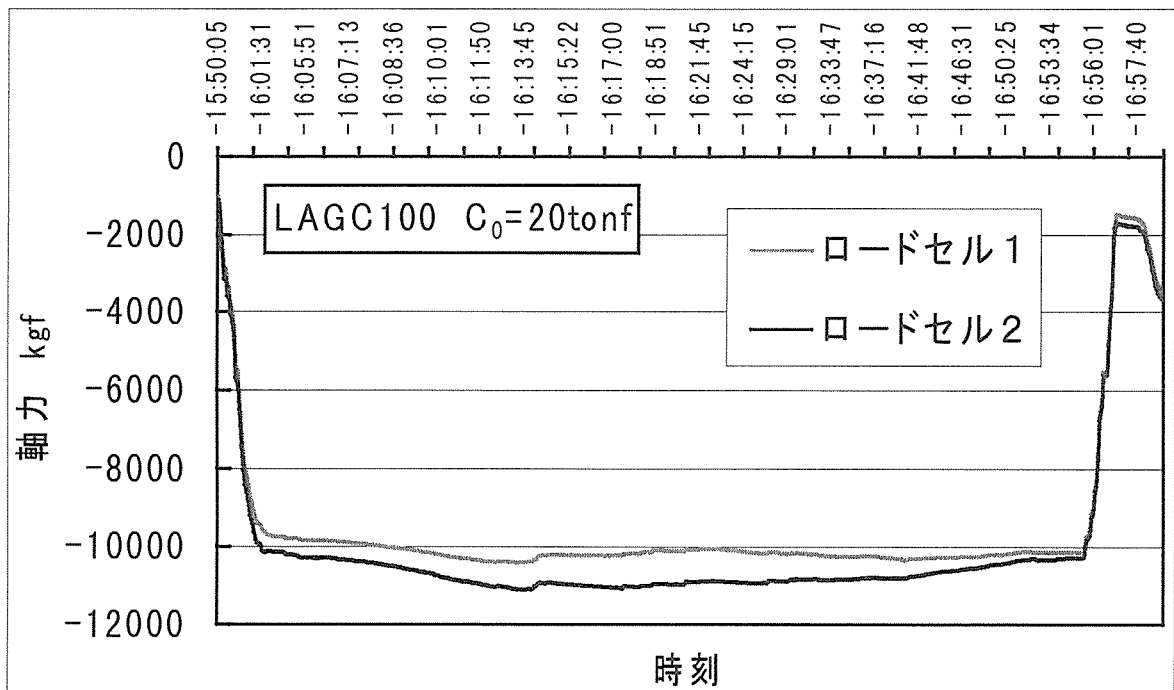


図5. 29 一定軸力の時間経過 ($C_0=20\text{tonf}$ の場合)

4. 4 荷重-たわみ関係の実測値と理論計算値の比較

図5. 30~図5. 34に鋼板添板ラグスクリュー接合試験体の実測荷重-たわみ関係と理論的荷重-たわみ関係の比較を示す。解析上最も重要な役割を演じるラグスクリューのすべり係数 K_s に関しては、筆者らが開発した非線形 FEM を用い、 $d=1.6\text{cm}$ 、 $l=16\text{cm}$ の一面せん断を受ける鋼棒に対して得られた計算値を取り敢えず充当した。

表5. 3に数値計算上仮定した諸数値を示す。集成材のヤング係数に関しては本計算では $E_w=125\text{tonf/cm}^2$ という値を仮定した。これについては、今後圧縮試験を実施して確認する予定である。

表5. 3 数値計算に用いた諸常数

常 数	記 号	数 値
集成材のヤング係数	E_w	125000 kgf/cm ²
集成材のせん断弾性係数	G_w	$E_w/15$
$d=1.6\text{cm}$ 、 $l=16\text{cm}$ のラグスクリューのすべり係数	K_s	62000 kgf/cm (FEM 解析値)

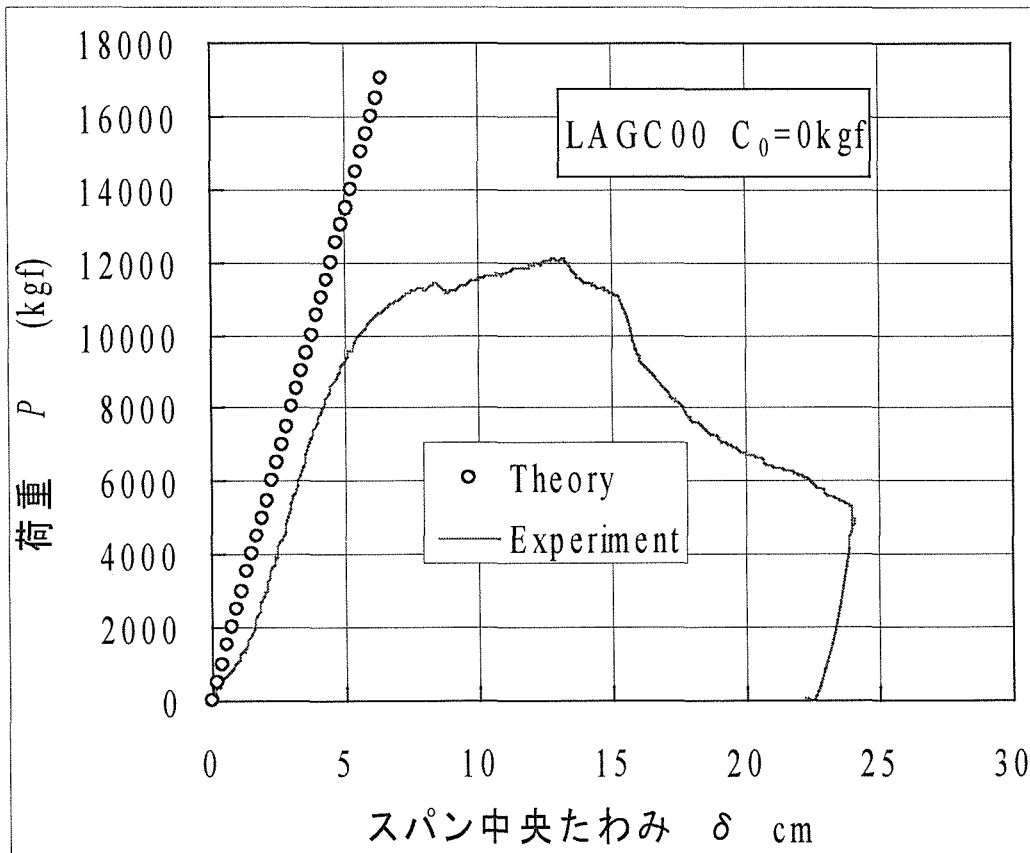


図5. 30 荷重(P)-スパン中央たわみ(δ)関係における実測値と計算値の比較 (軸力=0の場合)

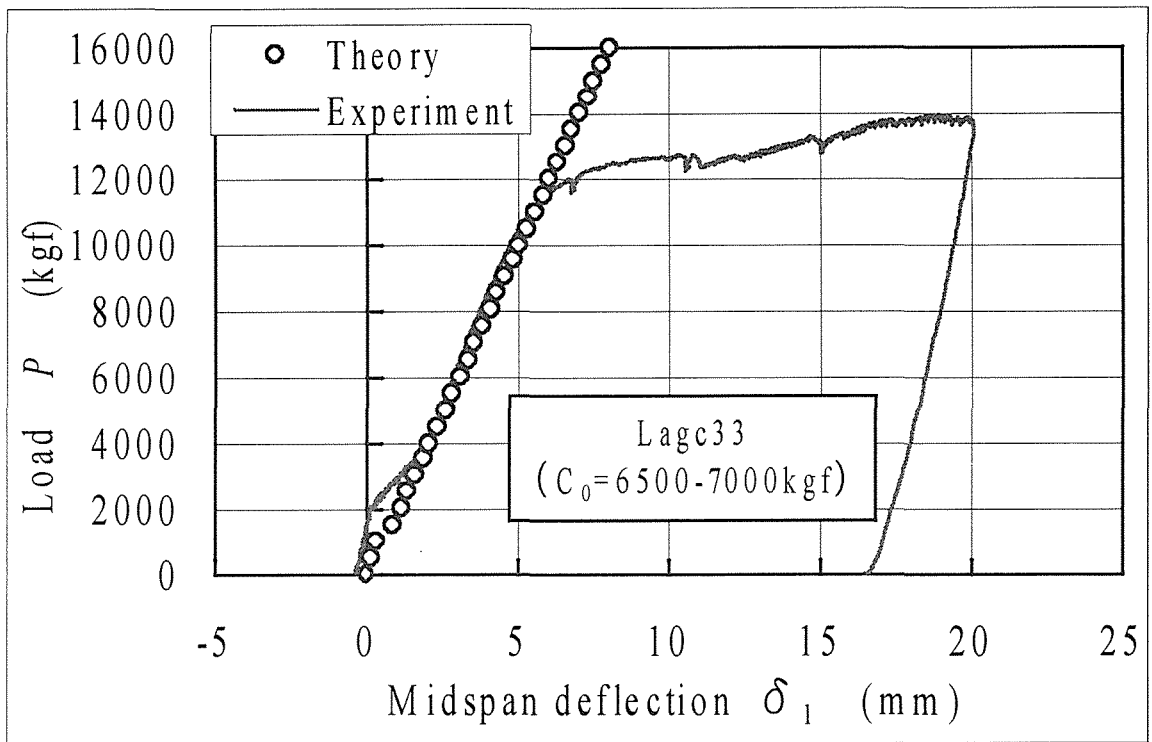


図5. 31 荷重(P)—スパン中央たわみ(δ)関係における
実測値と計算値の比較 (軸力=6.5~7.0tonf の場合)

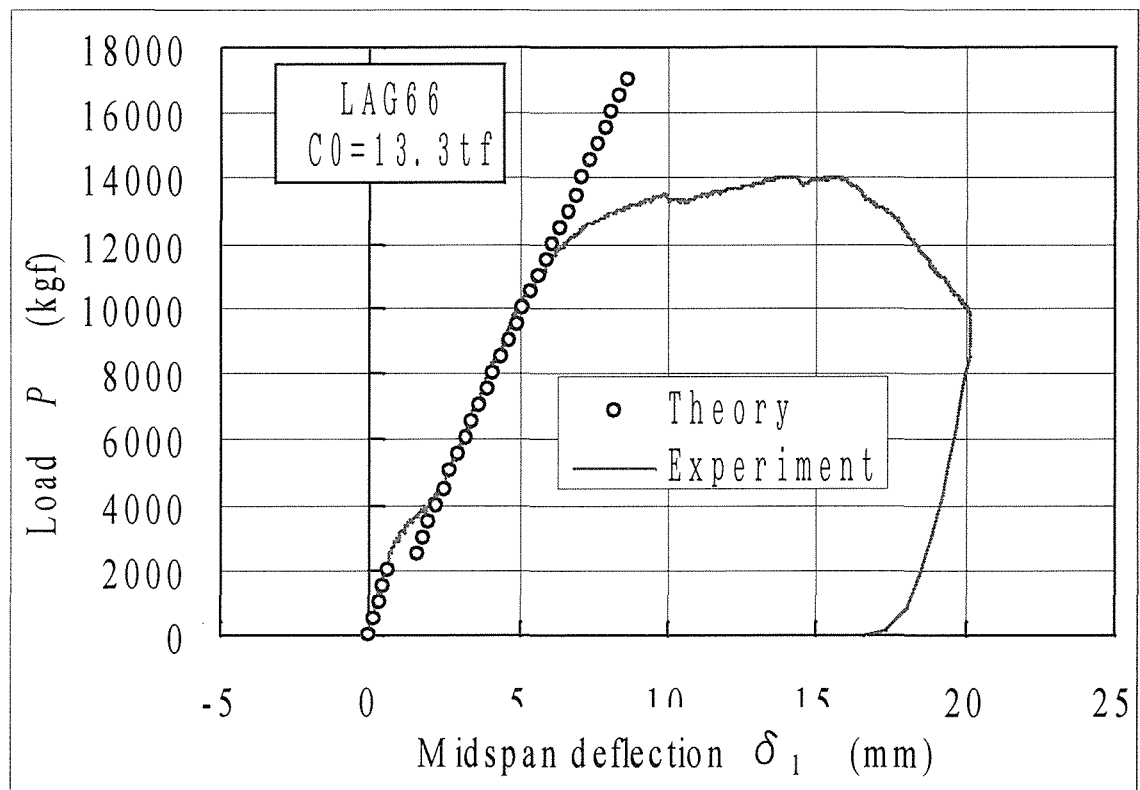


図5. 32 荷重(P)—スパン中央たわみ(δ)関係における
実測値と計算値の比較 (軸力=13.3tonf の場合)

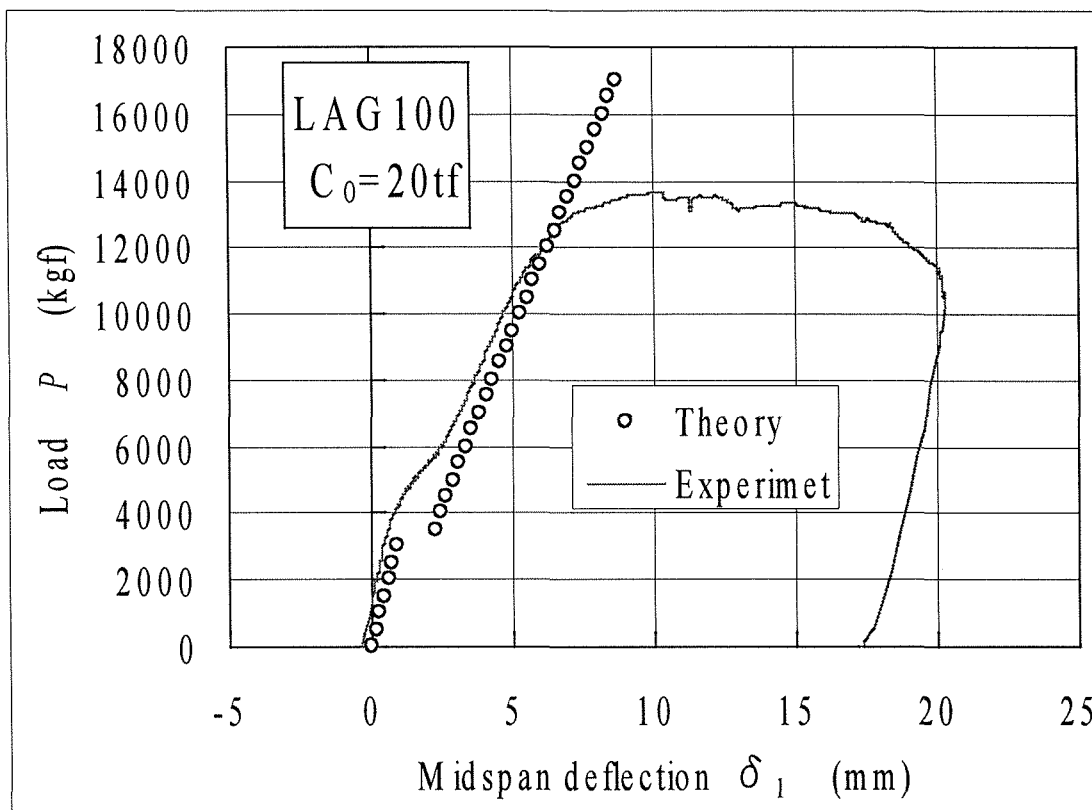


図5. 33 荷重(P)—スパン中央たわみ(δ)関係における
実測値と計算値の比較 (軸力=20tonfの場合)

以上の結果を見ると、初期軸圧縮力が曲げによる軸力にうち消されるまでの挙動とその後の挙動との2つの挙動は実際には連続的であるが、本研究で用いた数値計算法はこれを不連続的に計算している等、改良すべき点も多々残されている。しかし、基本的には、本研究で提案した解析法でこの種の集成材継手の荷重—スパン中央変位の関係を比較的精度良く推定できる見通しが確認された。

表5. 4に実測された最大耐力等をまとめて示す。

表5. 4 最大耐力等のまとめ

試験体呼称	軸力 (tonf)	最大荷重 (kgf)	最大荷重時たわみ (cm)	最大たわみ (cm)
LAGC00	0.0	12104	13.20	24.04
LAGC33	6.5	13976	18.88	20.08
LAGC66	13.3	14048	13.76	20.16
LAGC100	20.0	13674	10.24	20.16

4.5 ラグスクリーナー接合試験体の終局状態

図5.34、5.35にラグスクリーナー接合試験体における典型的な終局状態を示す。



図5.34 軸力の導入されていないLAGC00における木口面の開き (D76244/13)

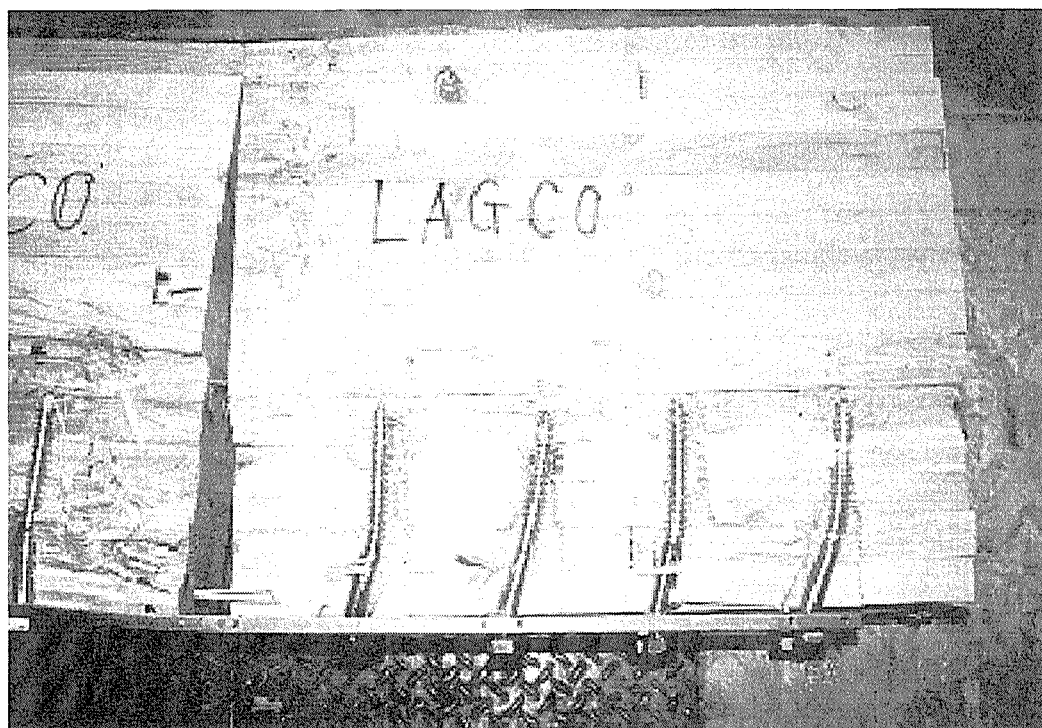


図5.35 ラグスクリーナーの終局変形状態 (D76244/20)

4. 6 ドリフトピン接合試験体における木口面での相対開き

図5. 36～図5. 39 にスパン中央部に沿って計測した相対開き変位に及ぼす導入軸力、曲げ荷重レベルの影響を示す。

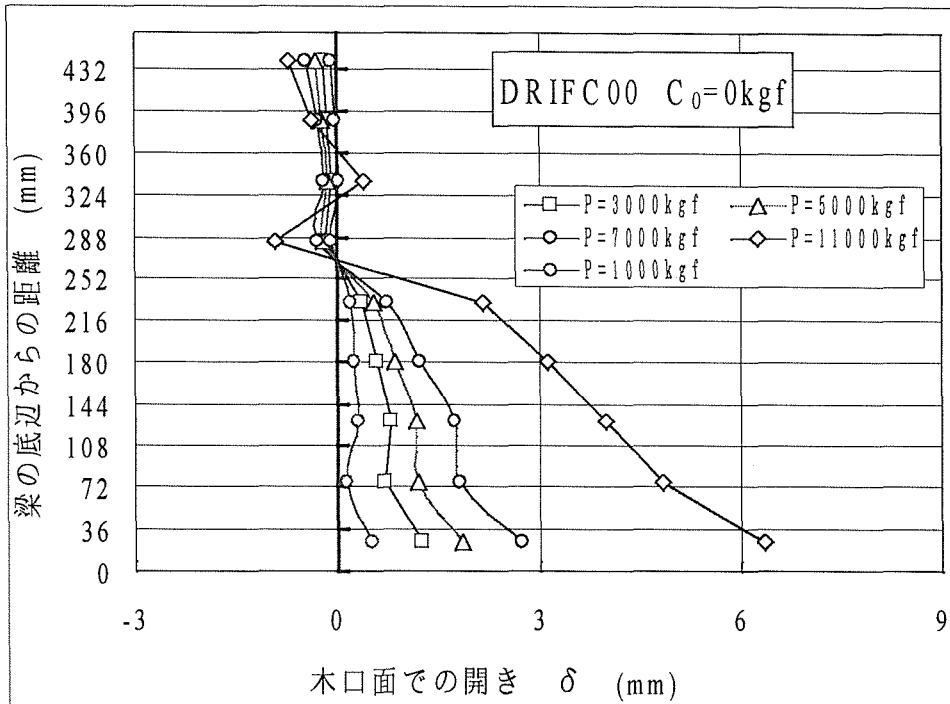


図5. 36 軸力の作用していない試験体 (DRIFC00) における木口面に沿った相対開きの実測値

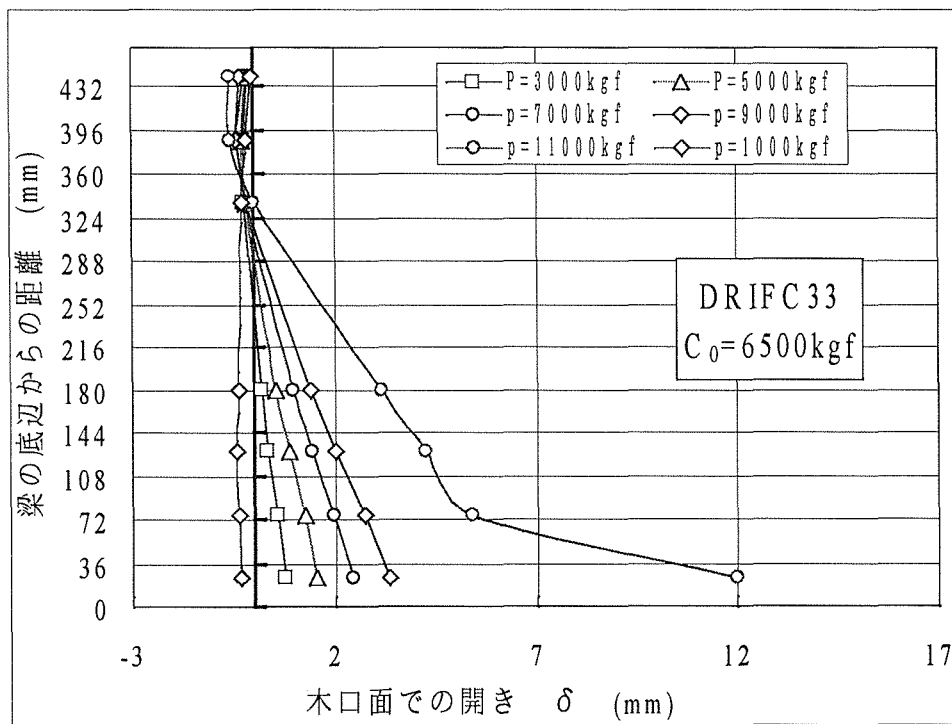


図5. 37 軸力が6.5tonf 程度入った試験体 (DRIFC33) における木口面に沿った相対開きの実測値

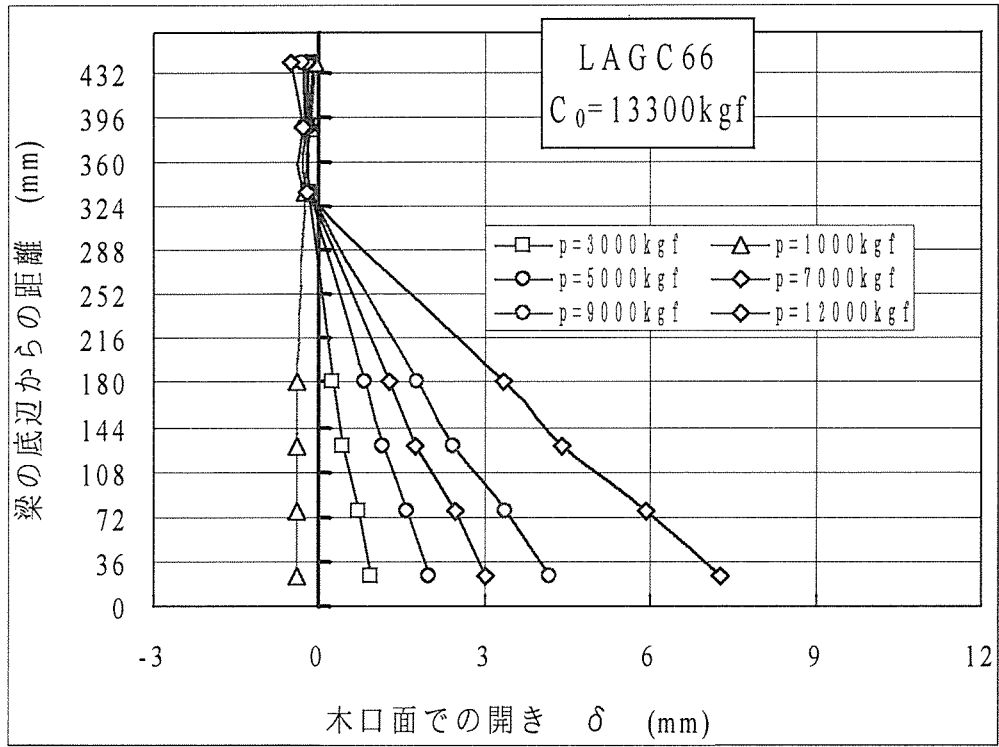


図5. 38 軸力が13.3tonf 程度入った試験体 (DRIFC66) における木口面に沿った相対開きの実測値

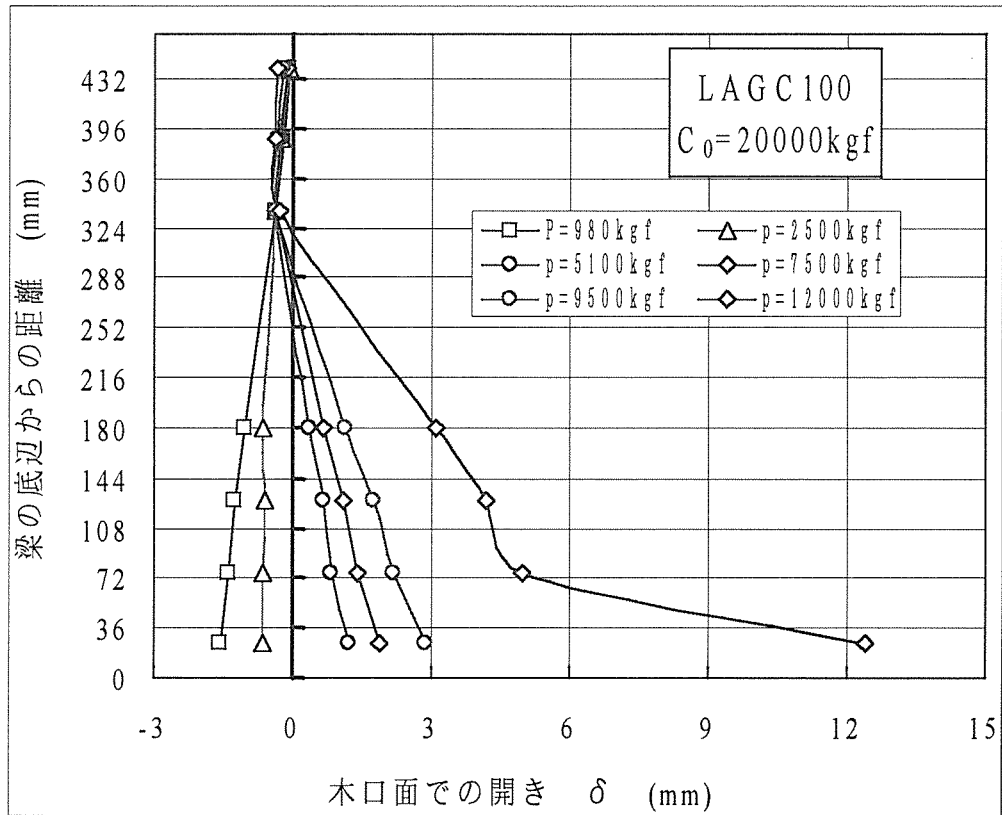


図5. 39 軸力が20tonf 程度入った試験体 (DRIFC100) における木口面に沿った相対開きの実測値

4. 7 鋼板ガセットー集成材間の相対回転角

図5. 40～図5. 43に鋼板ガセットー集成材間の相対回転角と荷重の関係を示す。

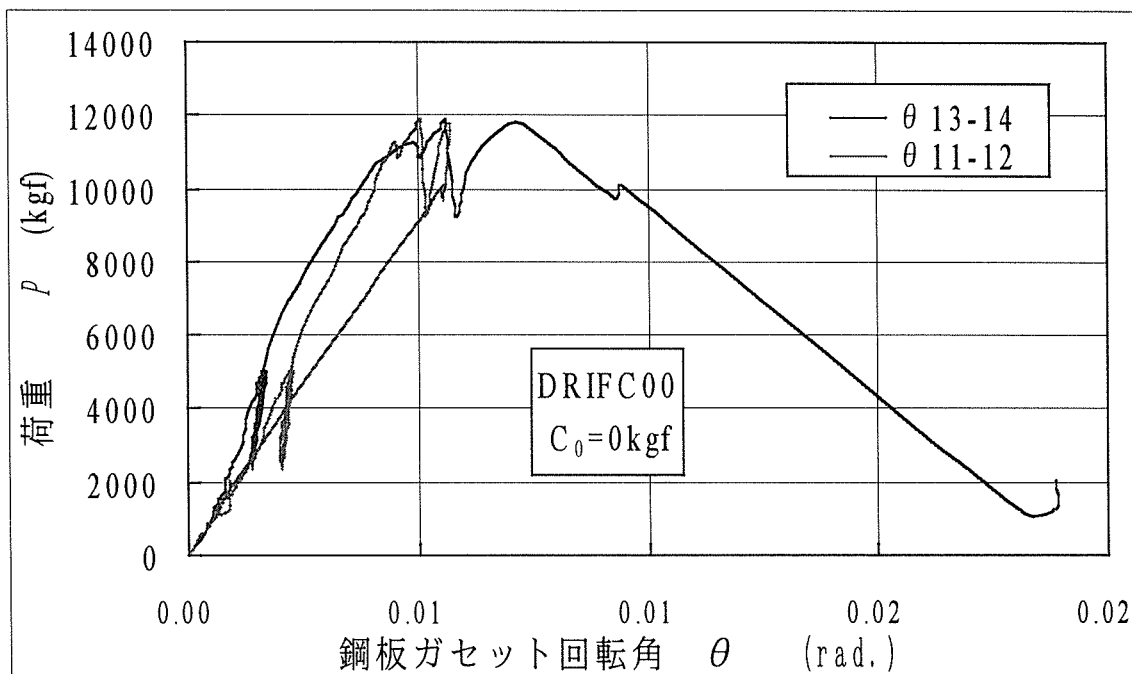


図5. 40 荷重と鋼板ー集成材間の相対回転角の関係（軸力無し）

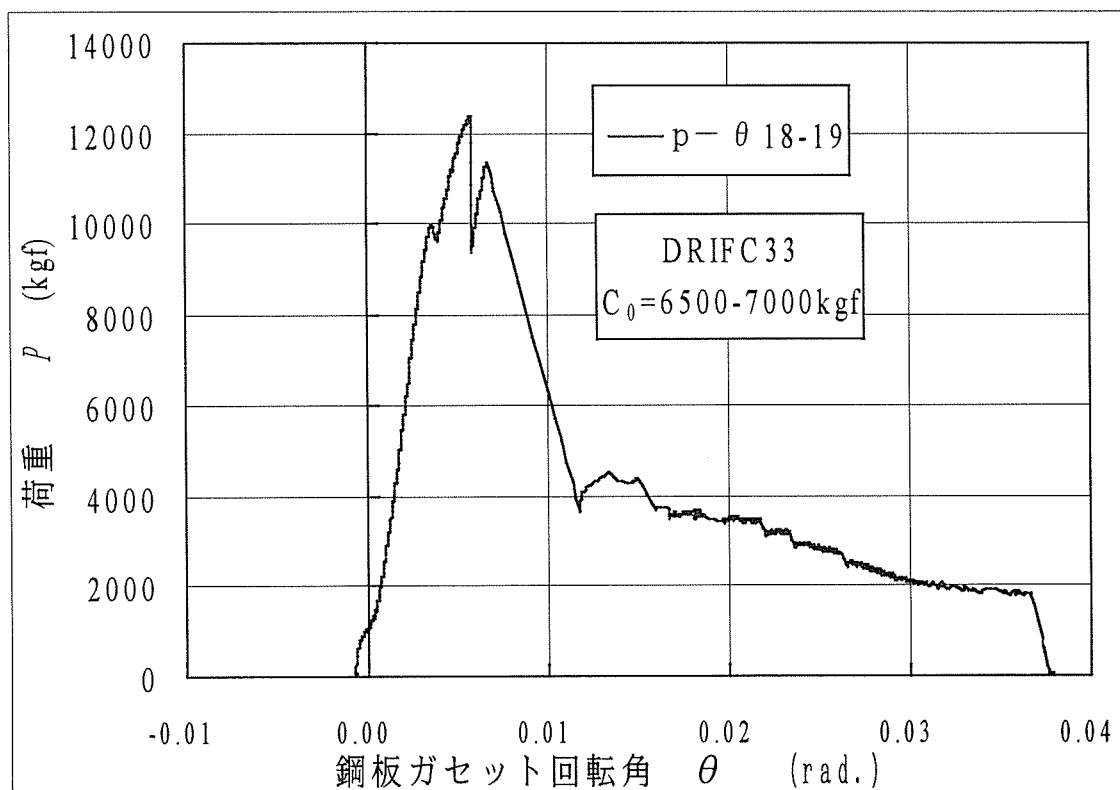


図5. 41 荷重と鋼板ー集成材間の相対回転角の関係（軸力6.5tonf程度）

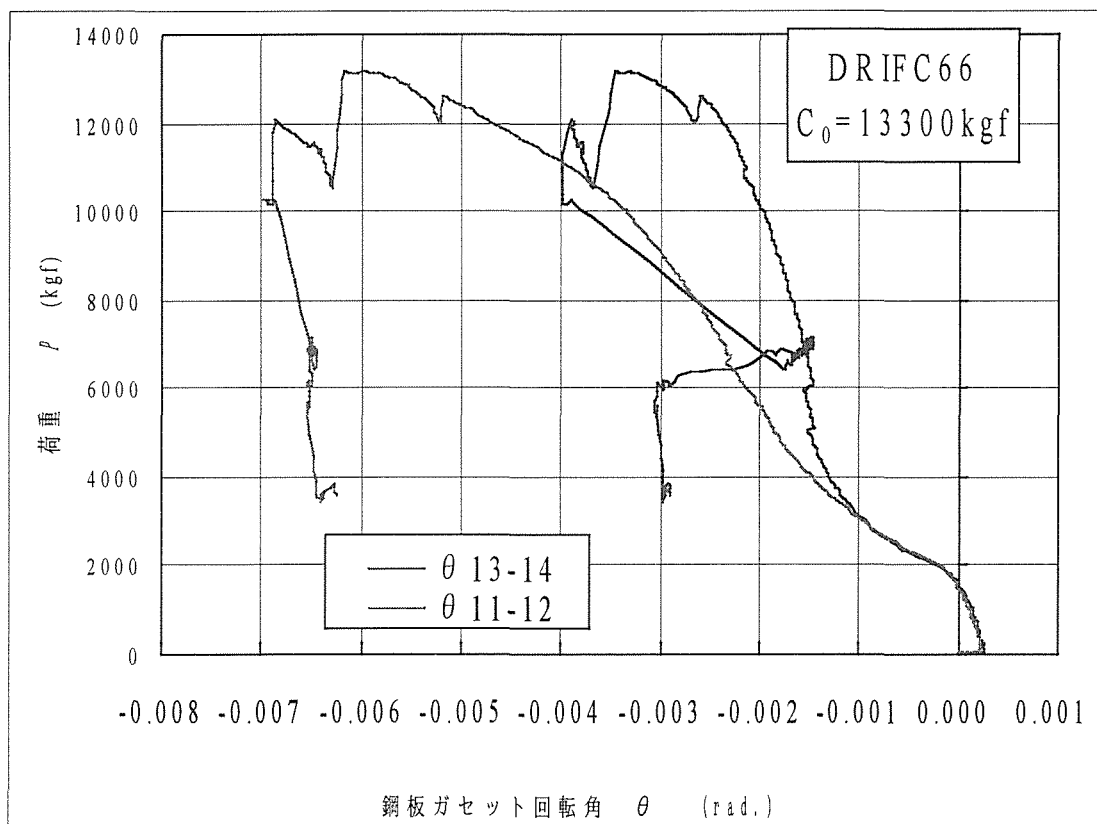


図5. 4 2 荷重と鋼板—集成材間の相対回転角の関係 (軸力13.3tonf程度)

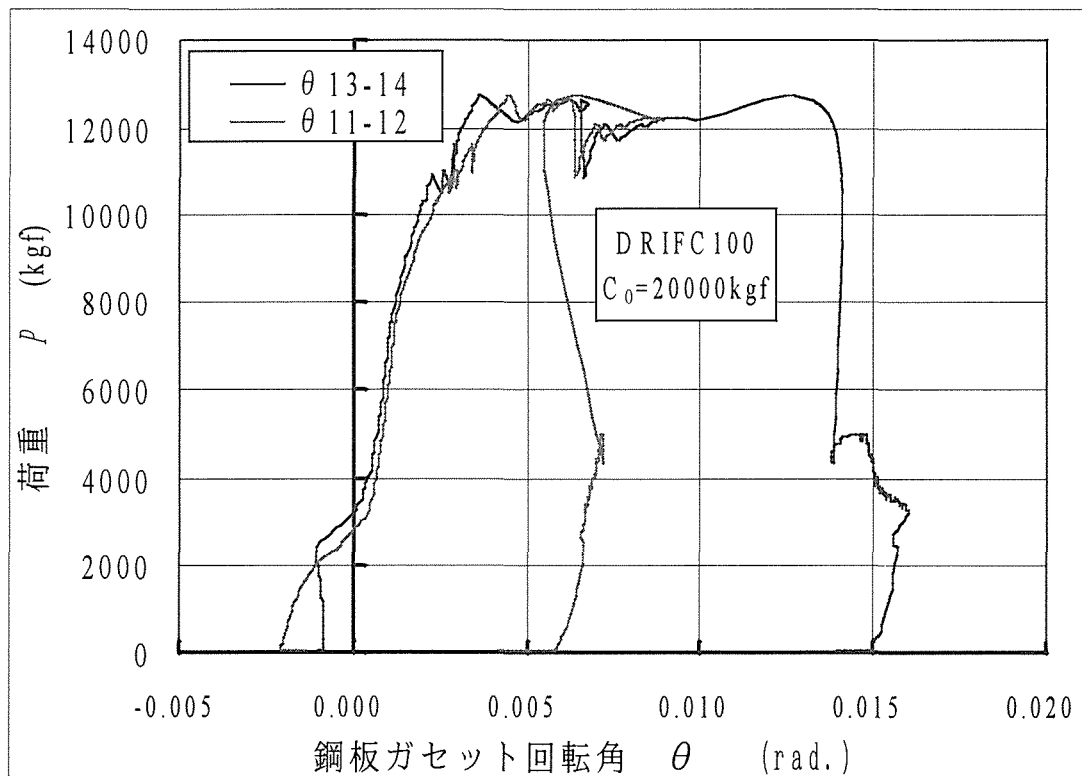


図5. 4 3 荷重と鋼板—集成材間の相対回転角の関係 (軸力20tonf程度)

4. 8 ドリフトピン接合試験体における荷重－スパン中央たわみの関係

図5. 4 4～図5. 4 7にドリフトピン接合試験体における荷重－スパン中央たわみの関係を示す。

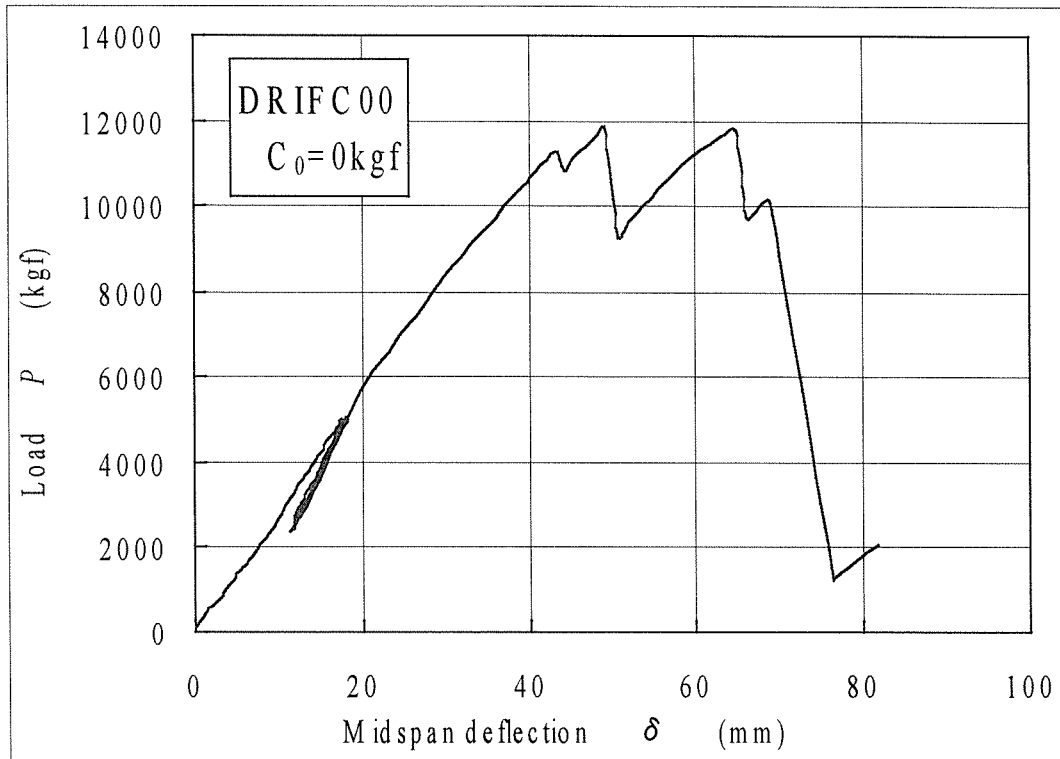


図5. 4 4 荷重－スパン中央たわみの関係（軸力なし）

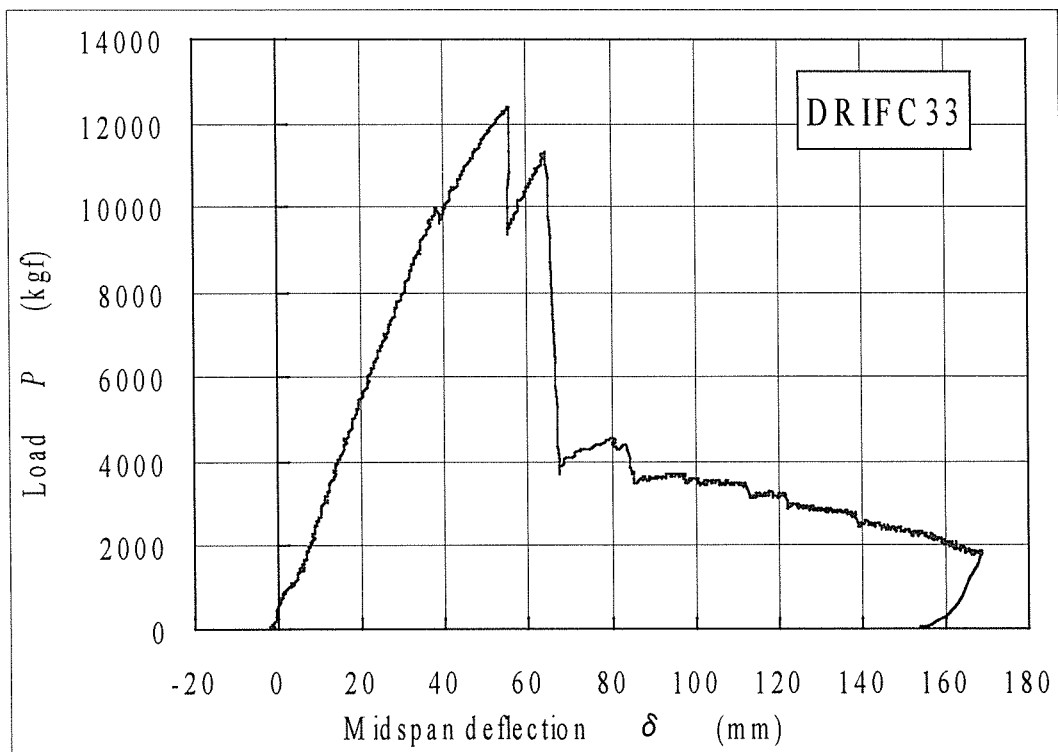


図5. 4 5 荷重－スパン中央たわみの関係（軸力6.5tonf程度）

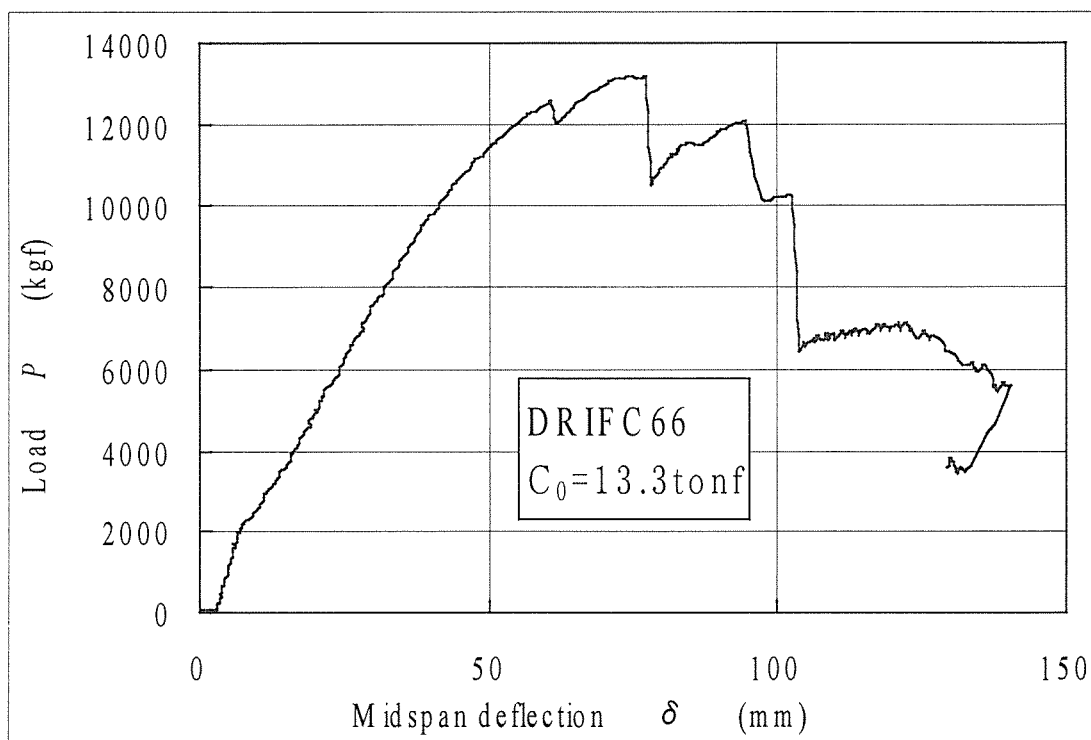


図5. 46 荷重—スパン中央たわみの関係（軸力13.3tonf程度）

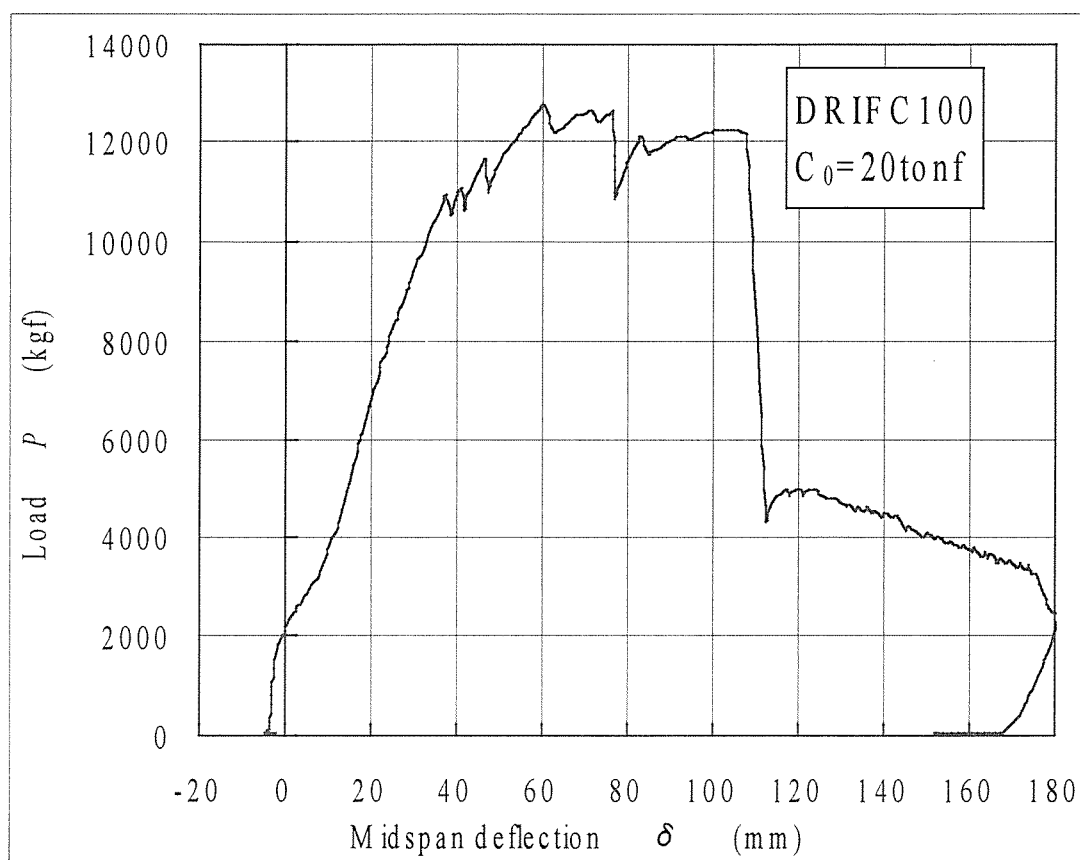


図5. 47 荷重—スパン中央たわみの関係（軸力20tonf程度）

4. 9 最大耐力および終局状態

表5. 5にドリフトピン接合試験体の最大耐力、最大耐力時たわみ、および最大たわみを示す。

表5. 5 最大耐力等 (ドリフトピン接合試験体)

試験体呼称	導入軸力 (tonf)	最大荷重 (kgf)	最大荷重 時たわみ (cm)	最大たわみ (cm)
DRIFC00	0.0	11809	4.92	8.17
DRIFC33	6.5	12372	5.56	16.88
DRIFC66	13.3	13185	7.72	14.04
DRIFC100	20.0	12734	5.99	18.10

図5. 48～図5. 51に各試験体の破壊性状を示す。いずれも、ドリフトピンからの脆性破壊である。



図5. 48 試験体 DRIFC00の破壊形態 (B37013/16)

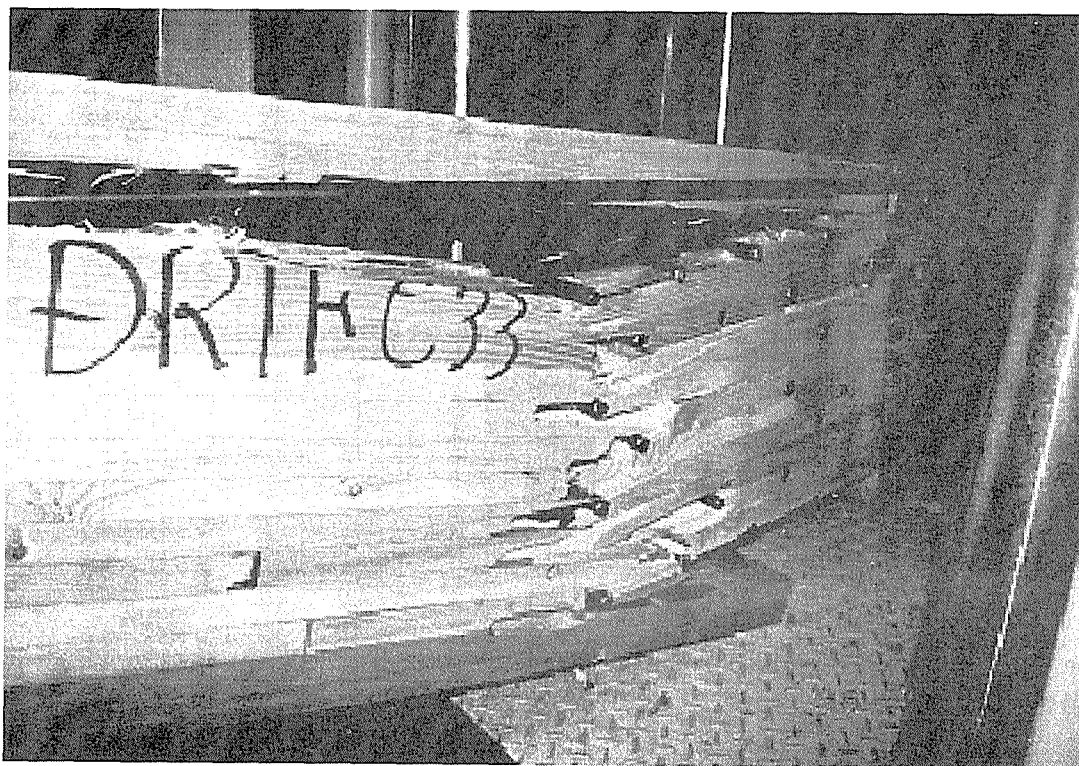


図5. 49 試験体 *DRIFC33*の破壊形態 (D88626/16)



図5. 50 試験体 *DRIFC66*の破壊形態 (D88626/23)

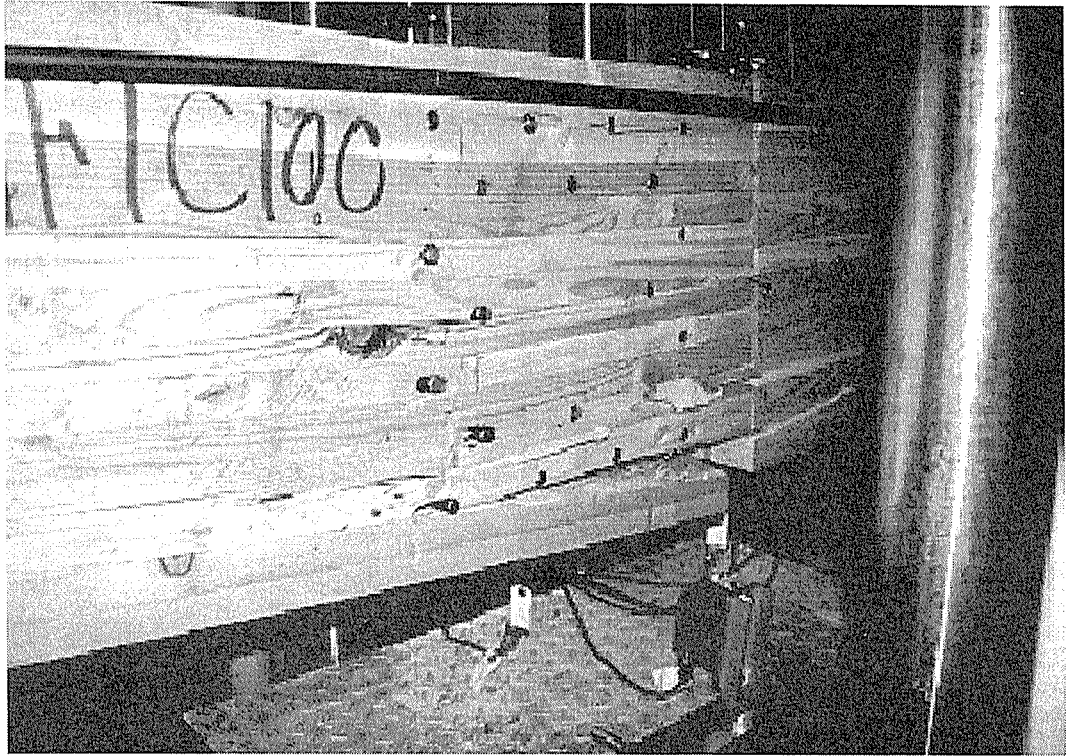


図5.51 試験体 *DRIFC100* の破壊形態 (B37013/8)

第5章 集成材ボルト接合の繊維方向と加力方向のなす角度の影響に関する実験

－合わせ梁型モーメント抵抗接合のために－

1. 実験目的

合わせ梁型のモーメント抵抗接合は、柱を両側から挟んでボルトやラグスクリュー、ドリフトピンなどで緊結するもので、柱と梁の間には、シアプレートなどを挟み込む場合がある。この接合方法は、柱と梁の交差部分（パネルゾーンと呼ぶ）が、ある程度の大きさが必要で、そのために、柱は長方形断面となることが一般的である。そこで、梁間と桁行で方向性ができるという特徴を有している。そうした特徴をうまく利用すれば、木造の特徴である、軽快なモーメント抵抗接合の架構を構成することが可能である。

また、構造的には、この接合をフレーム解析などでモデル化する場合には、柱と梁の交点1箇所回転剛性を設ければよく、鋼板挿入型の接合などに比べると有利である。

しかし、接合のメカニズムとしては、ボルト等の接合金物のせん断接合となり、その強度・剛性が、接合部全体の強度・剛性を支配している。そして、この接合が、鋼板添え板や鋼板挿入型などと基本的なメカニズムが異なっているのは、ボルトせん断接合の主材と側材がいずれも木材であることである。鋼板挿入型の場合、鋼板の面内剛性が高いことから、ボルトの位置は、鋼板に明けられた接合孔の位置から変化しないと見なすことができる。小松他による解析は、いずれも、これを前提としている。しかし、合わせ梁型接合の場合、ボルトの位置は、直接的には定まらない。これは、柱側と梁側で、加力の方向が異なっているためである。この点については、3-3で詳しく述べる。

本実験は、こうした、合わせ梁型のモーメント抵抗接合を解析するために行ったものである。すなわち、ボルトによる加力方向と、木材の繊維方向とのなす角度をパラメーターとして、ボルトがどのような耐力を示し、かつ、どのように変位していくかを詳細に測定しようとするものである。これより、合わせ梁型のモーメント抵抗接合の回転剛性を定量的に推定する解析法を確立することを目的としている。

2. 実験方法

2.1 試験体

試験体は、ベイマツの集成材で、ラミナ厚30、E110を指定して制作した。図2.1のような形状で、上から、100mmのところ、19.875mmのボルト用の穴をあけている。また、このボルト穴は、接着層にはかからないで、単一のラミナの中にあくようにした。また、繊維方向と加力方向（鉛直方向）とは、0度、22.5度、45度、67.5度、90度になるように、5種類の試験体を設定した。これらの試験体は、それぞれ、L00、L22、L45、L67、L90と呼ぶ。また、試験体は、1種類当たり各3体で、合計15体とした。

ボルトは、厳密にはネジを切ったボルトではない。普通鋼ではボルトが降伏してしまうことが予想されたために、PC鋼棒とした。ボルトの径は、19.75mmである。

2.2 加力装置と加力方法

加力は、東京大学工学部11号館6階の圧縮試験機を用いた。図2.2及び写真2.1に示すように、圧縮型の加力である。ボルトを加力する治具と試験機の圧縮板の間にローラーを挟んで、水平方向の変位を拘束しないようにした。

加力スケジュールは、圧縮のみの繰り返し加力とした。繰り返しのサイクルは、荷重制御で、1tf～5tfまで、1t刻みとした。（ただし、一部、4tで中止したものがある。）

2.3 計測方法

計測は、写真2.2に示すように、荷重、及びボルトの鉛直変位、水平変位を測定した。荷重は、試験機からの電圧出力を変換した。変位は、東京測器製の電気式変位計を用いた。また、変位は、試験体の表裏で測定して、その平均値を変位として採用した。

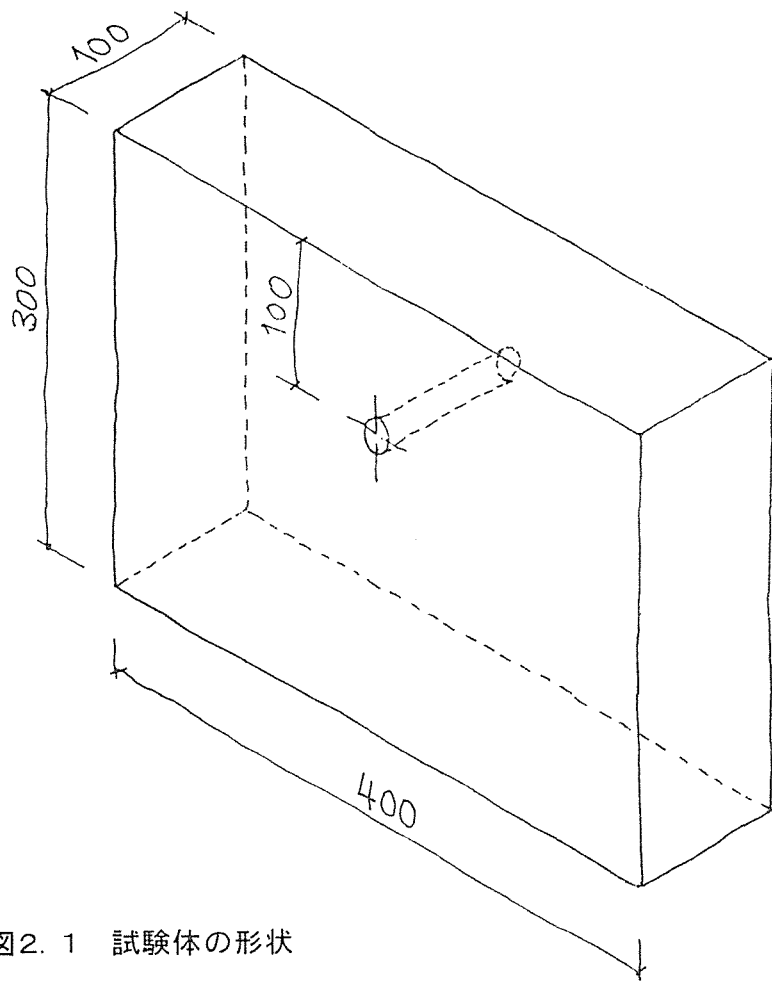


図2.1 試験体の形状

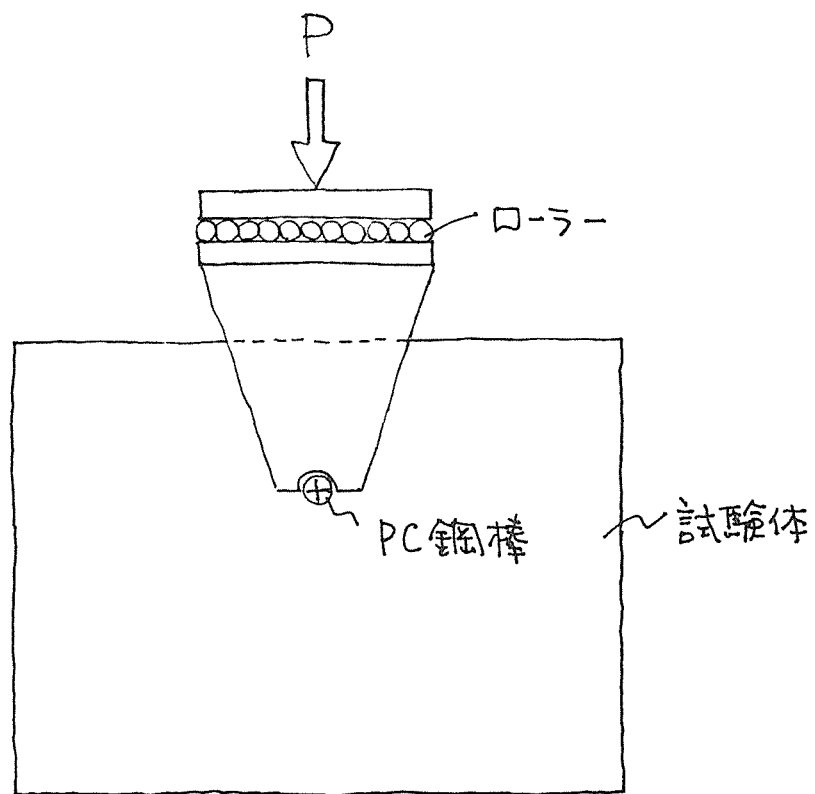


図2.2 加力方法

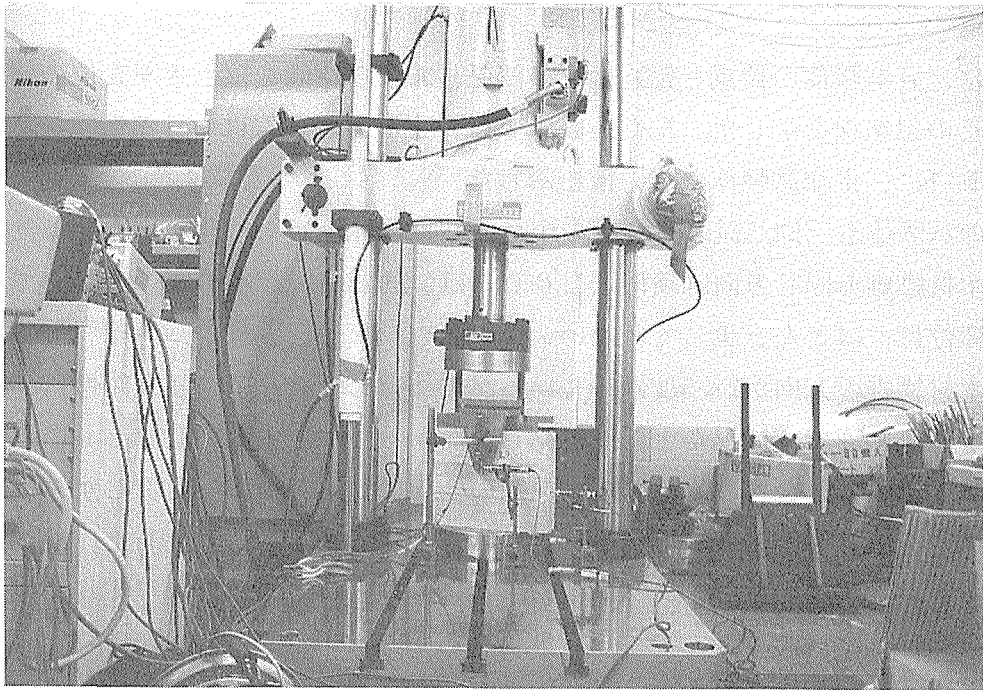


写真2.1 加力装置



写真2.2 計測装置

3. 実験結果と考察

3.1 荷重変形曲線

図3.1に、各試験体の荷重と鉛直変位の関係、および鉛直変位と水平変位の履歴を、図3.2に、その包絡線を示した。また、表3.1に、主な鉛直変位における荷重を示した。また、写真3.1に、主な試験体の加力後を示した。

いずれの試験体も、同じ試験体種類の中での初期剛性のばらつきは小さかった。

加力が木材繊維と同じ方向試験体（L00）は、約1500kgf/mmの剛性を示している。また、水平変位は、ほとんど生じていない。

加力と木材繊維の方向が22.5度傾いている試験体（L22）は、初期剛性は、L00より僅かに小さい程度で、ほとんど低下が見られなかった。L00、L22共に、5tまでの加力では、降伏といえるような明かな曲線の変化は見られなかった。しかし、図に示すように、ボルトは、繊維直角の方向に水平のずれを生じながら、変位した。つまり、加力は鉛直であるが、ボルトは、ヤング係数の小さい繊維直角方向にも水平ずれを生じながら、変位した。

加力と木材繊維の方向が45度傾いている試験体（L45）は、初期剛性の低下が見られ、また、2mm前後の変位で、降伏したように、荷重の上昇が緩やかになる。また、図に示すように、ボルトは、繊維直角の方向にかなりの水平ずれを生じた。各試験体中で最大であった。これは写真でも確認されている。なお、この水平ずれをしめした図において、水平変位が鉛直変位が大きくなると、丸く曲線を描いて再び小さくなる傾向が見えるが、これは、ボルトが回転を生じて、変位計が正確な数値を測定しなくなったためである。実際には、途中までの角度の延長上に変位していることが、目視で確認されている。このボルトの回転は、目視によれば、45度の場合のみに生じており、他の角度では生じていない。

加力と木材繊維の方向が67.5度傾いている試験体（L67）は、初期剛性は、L45に近い値を示し、L45からの低下は、僅かであった。曲線から推定される降伏の変位は、3mm程度で、むしろL45よりも大きな変位で降伏しているように見える。また、水平変位は、鉛直変位の20%程度の水平ずれを生じた。なお、L67-3は、先孔を明けたラミナに目切れが生じており、明らかにその影響を受けていたために、種々のデータ処理からは除外した。

加力と木材繊維の方向が90度傾いている試験体（L90）は、初期剛性は、約1000kgf/mmで、L00の約2/3であった。従って、22.5度から67.5度までは、1500kgf/mm～1000kgf/mmの間に位置している。また、曲線から推定される降伏の変位は、2mm程度で、再び小さい変位で降伏しているように見える。また、水平変位は、L00と同様に僅かである。

表3. 1 各鉛直変形時の荷重(kgf)

鉛直変位(mm)	L00-1	L00-2	L00-3	平均	L22-1	L22-2	L22-3	平均	L45-1	L45-2	L45-3	平均
0.5	591	582	839	671	720	728	696	715	599	533	664	599
1	1436	1323	1607	1455	1517	1449	1410	1458	1203	1177	1265	1215
1.5	2278	2207	2396	2294	2272	2122	2162	2185	1760	1789	1848	1799
2	3088	3035	3105	3076	2956	2836	2803	2865	2261	2297	2367	2308
2.5	3832	3842	3812	3829	3601	3507	3528	3545	2668	2705	2842	2738
3	4500	4675	4495	4557	4154	4074	4155	4128	3027	3009	3231	3089
3.5	5084		5147	5115	4668	4631	4656	4652	3294	3361	3629	3428
4						5021	5073	5047		3564	3932	3748
4.5										3737		3737
5										3839		3839
5.5												
6												
6.5												

鉛直変位(mm)	L67-1	L67-2	L67-3	平均	L90-1	L90-2	L90-3	平均
0.5	587	525		556	527	398	422	449
1	1175	1071		1123	1182	866	878	975
1.5	1734	1567		1650	1752	1319	1324	1465
2	2148	2084		2116	2167	1735	1771	1891
2.5	2581	2515		2548	2551	2134	2130	2272
3	2959	2921		2940	2873	2477	2505	2618
3.5	3196	3256		3226	3105	2700	2799	2868
4	3456	3517		3487	3266	2939	3034	3080
4.5	3646	3762		3704	3473	3079	3262	3272
5	3819			3819	3608	3296	3506	3470
5.5	4006			4006	3755	3494	3687	3645
6	4162			4162	3916	3641	3850	3802
6.5	4279			4279	4041	3836	4081	3986

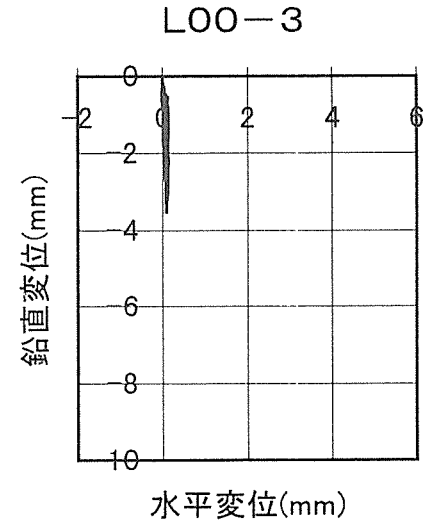
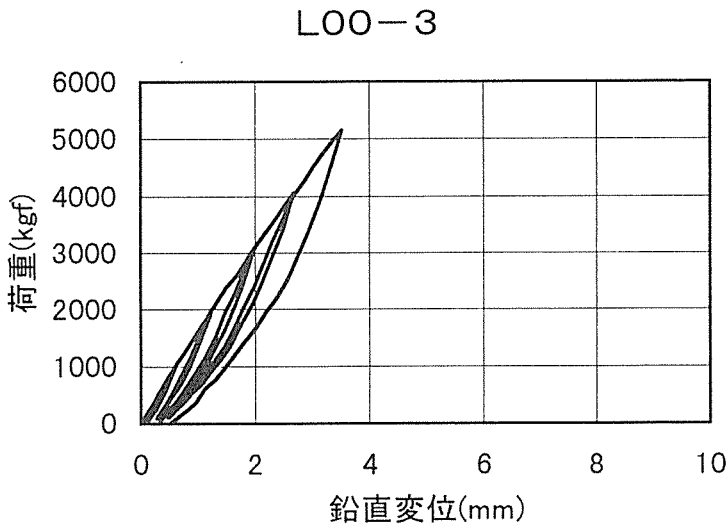
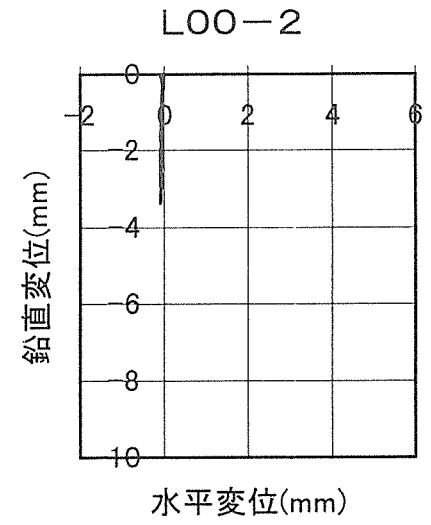
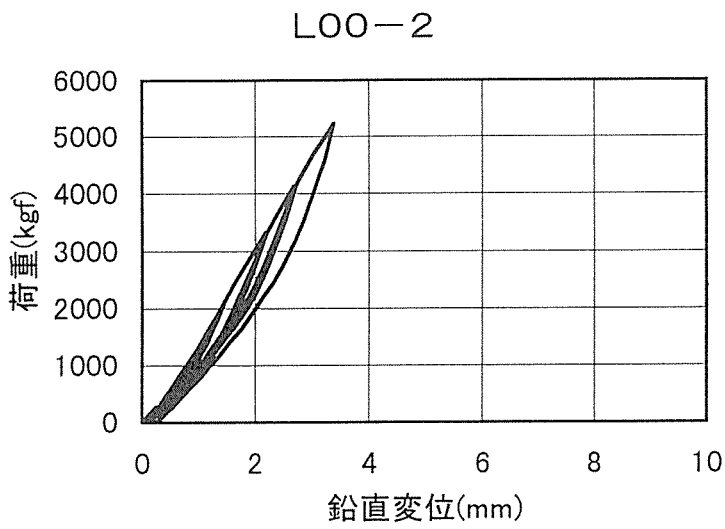
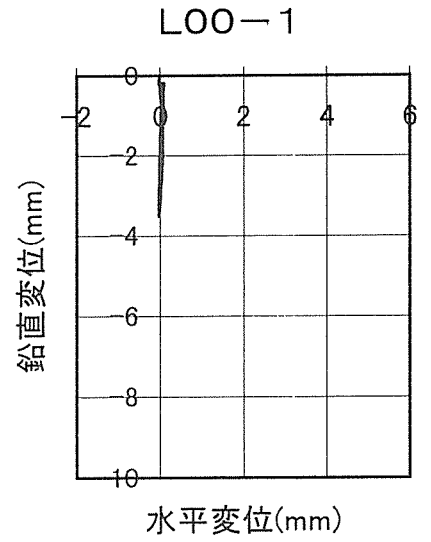
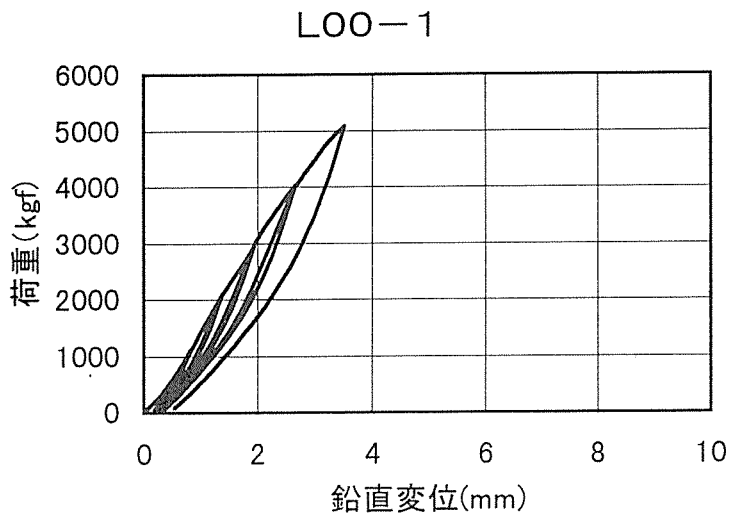


図3. 1(a) 荷重-変形曲線と鉛直変位-水平変位曲線(1)

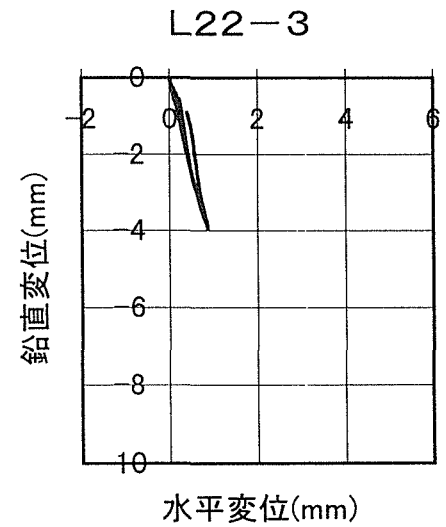
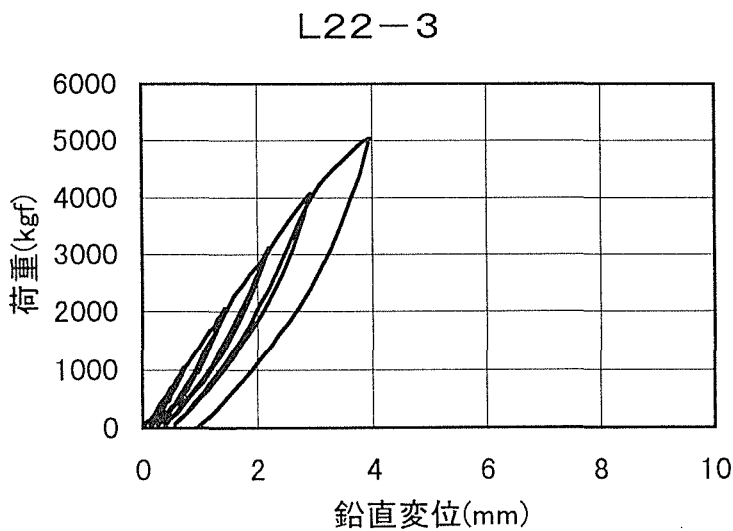
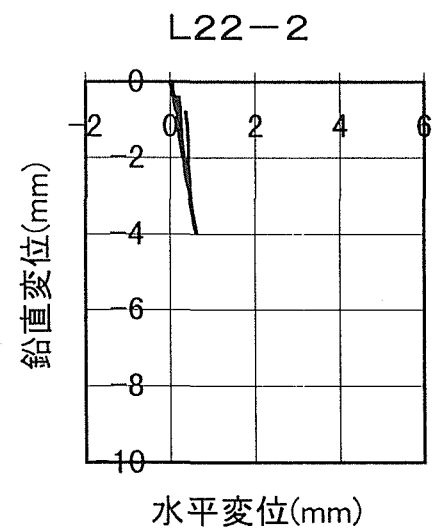
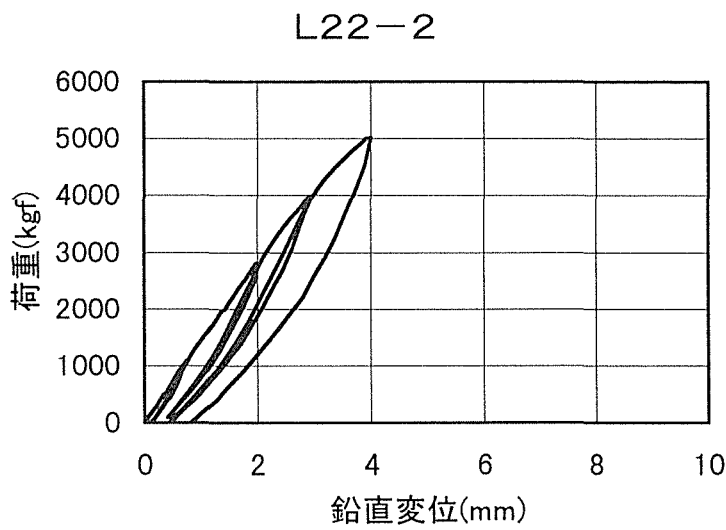
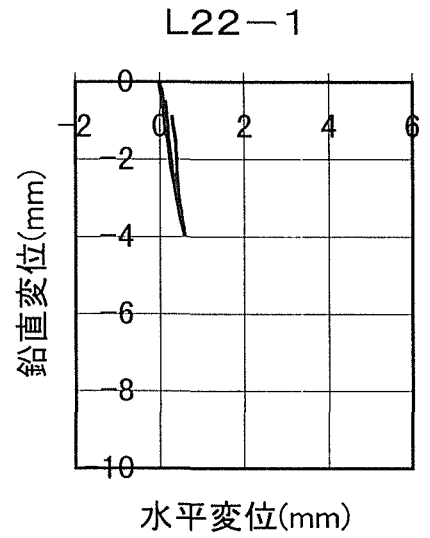
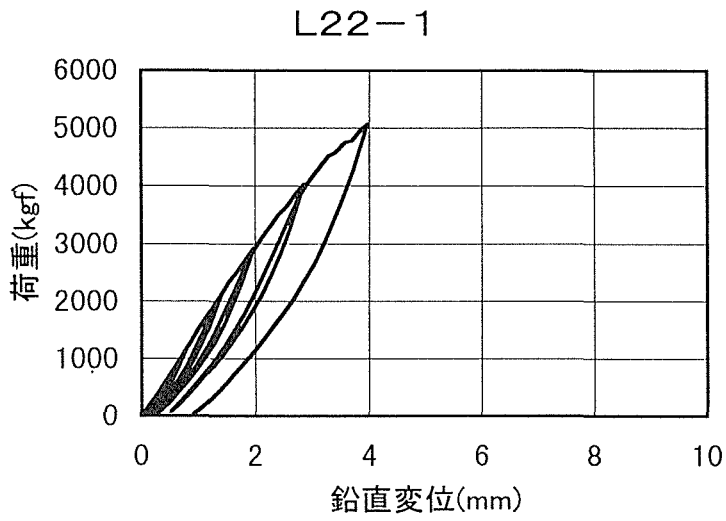


図3. 1(b) 荷重-変形曲線と鉛直変位-水平変位曲線(2)

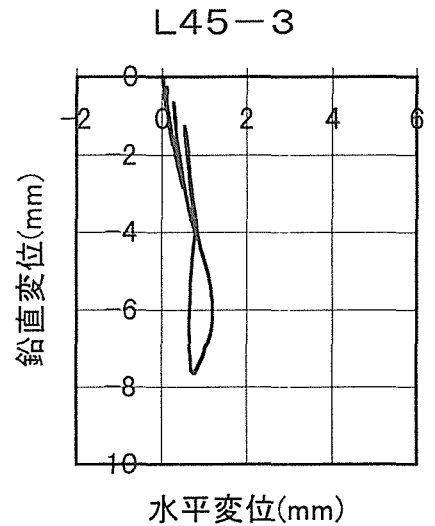
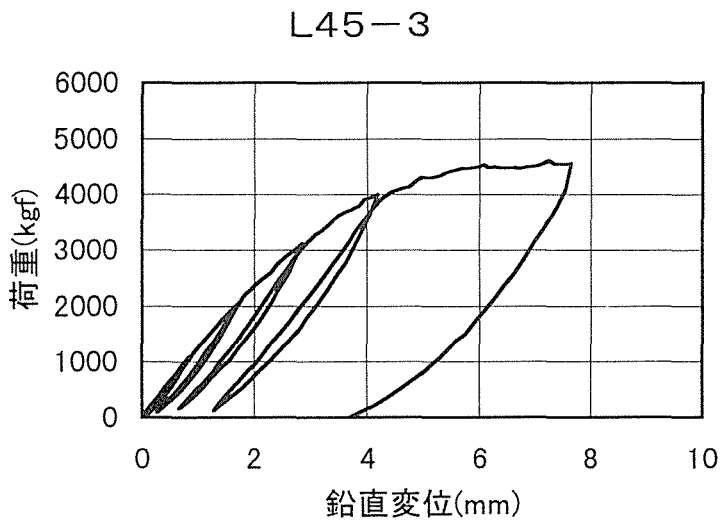
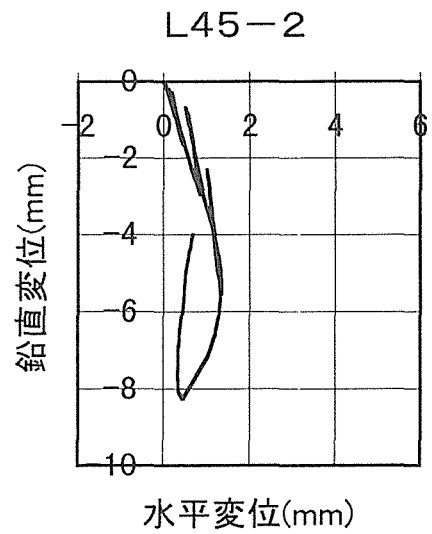
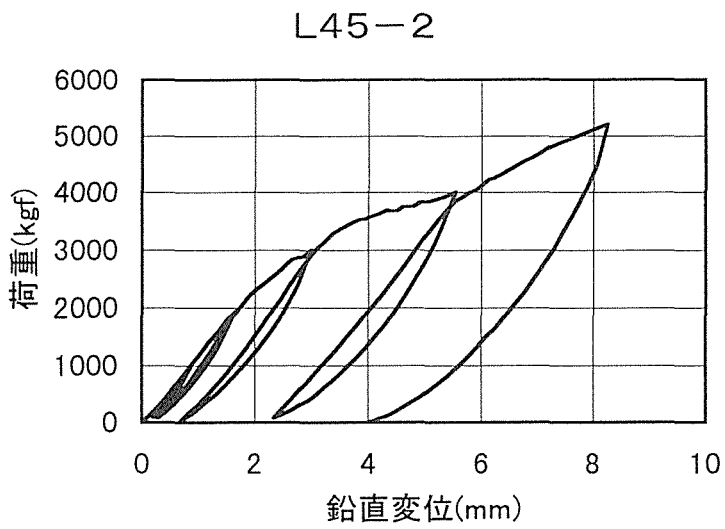
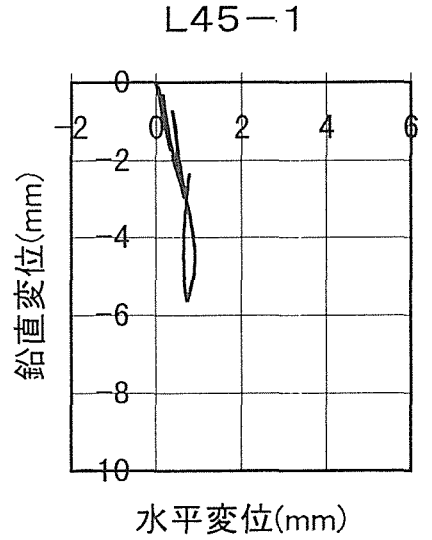
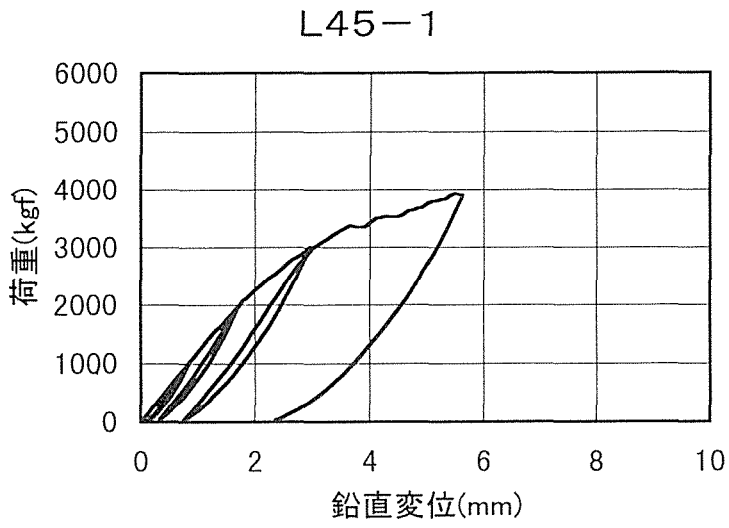


図3. 1(c) 荷重-変形曲線と鉛直変位-水平変位曲線(3)

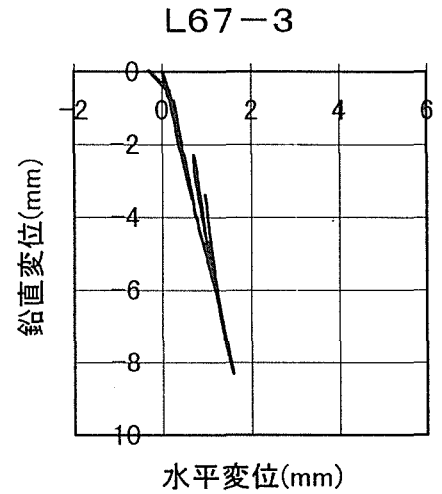
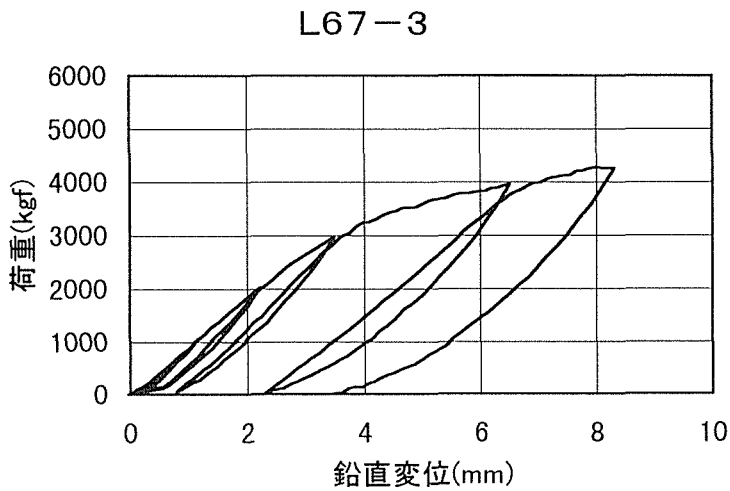
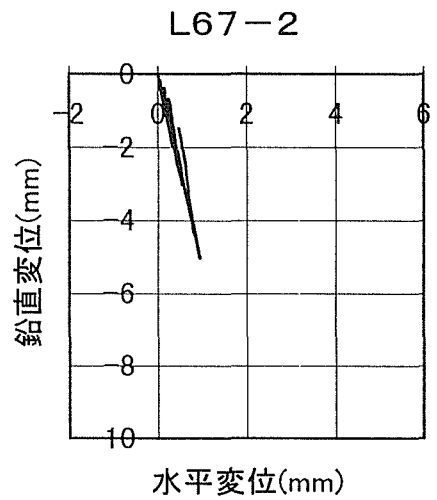
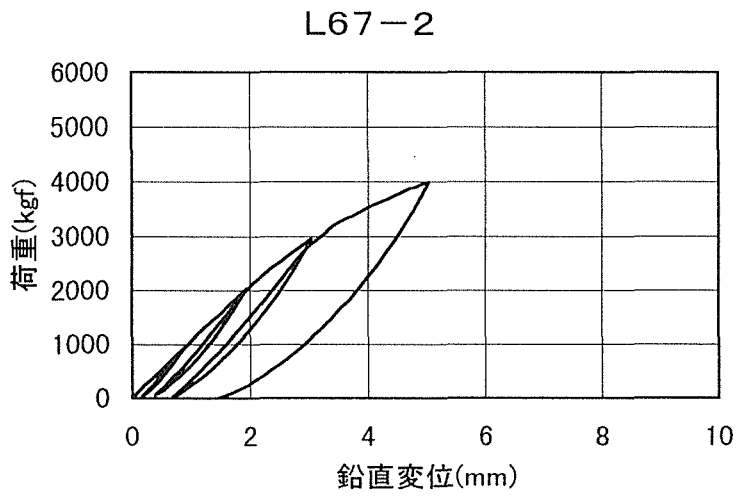
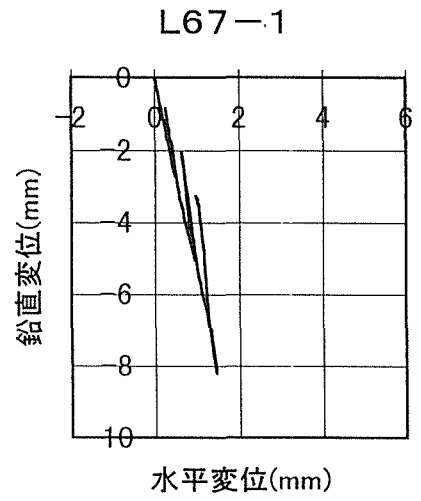
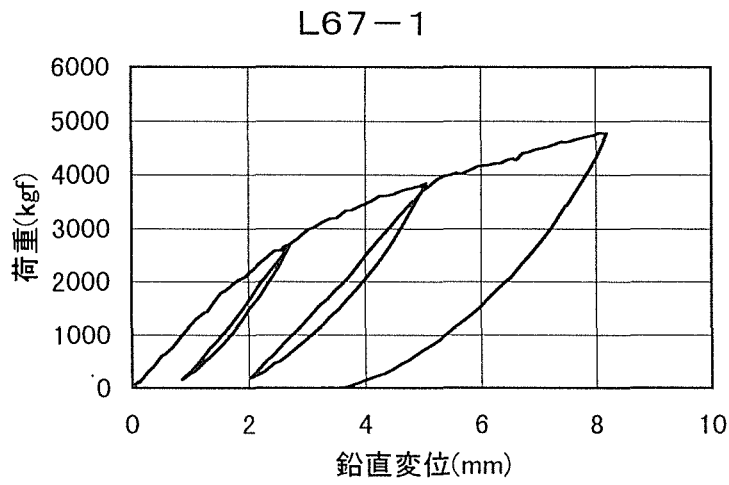


図3. 1(d) 荷重—変形曲線と鉛直変位—水平変位曲線(4)

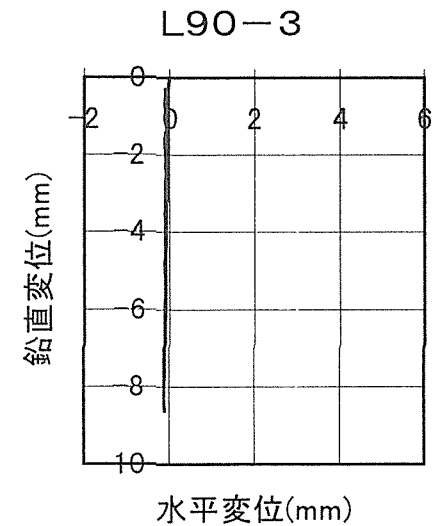
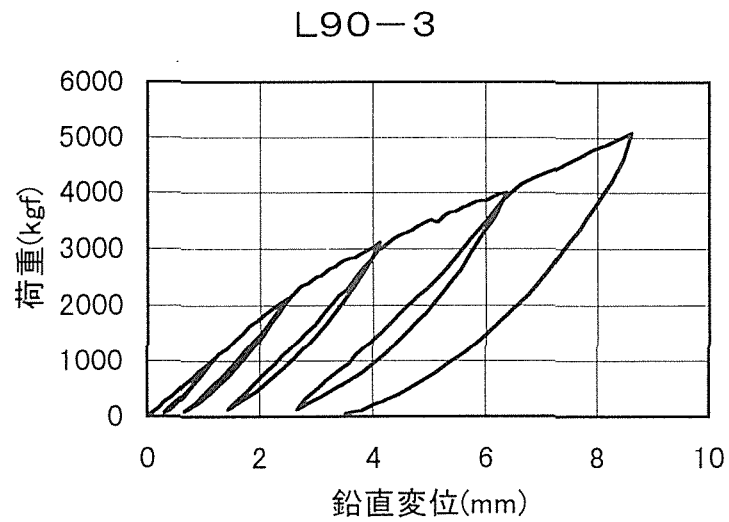
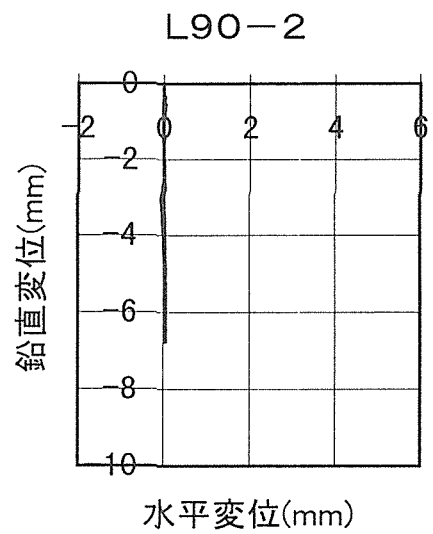
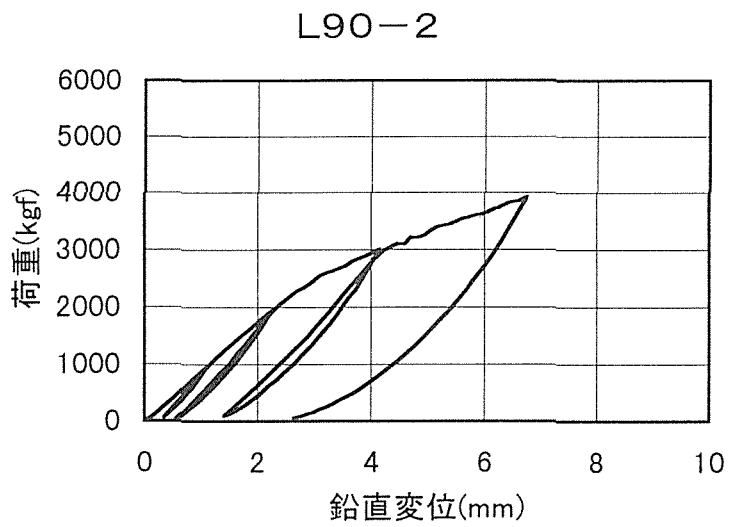
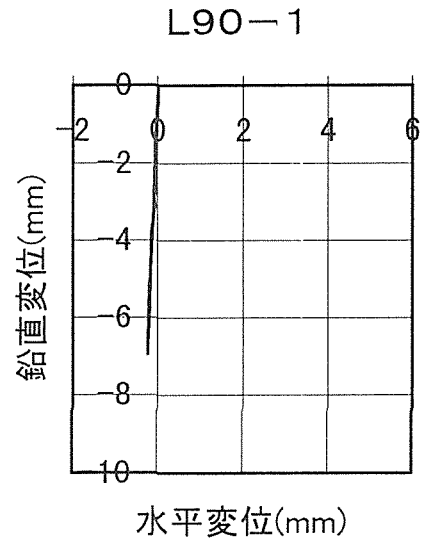
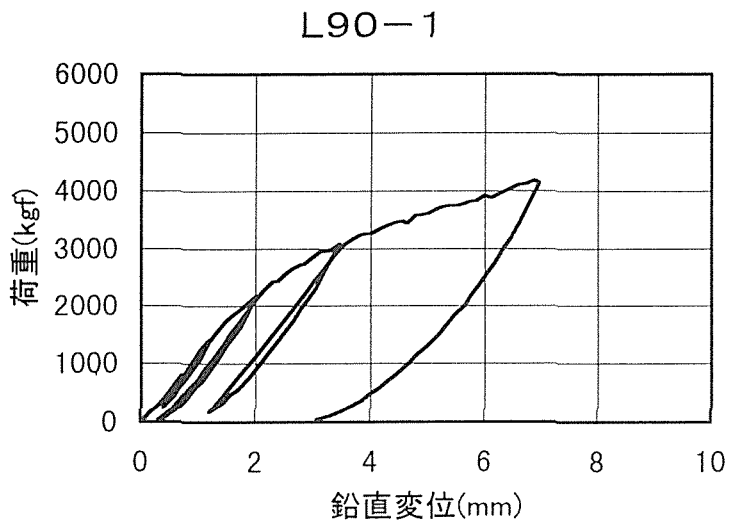


図3. 1(e) 荷重-変形曲線と鉛直変位-水平変位曲線(5)

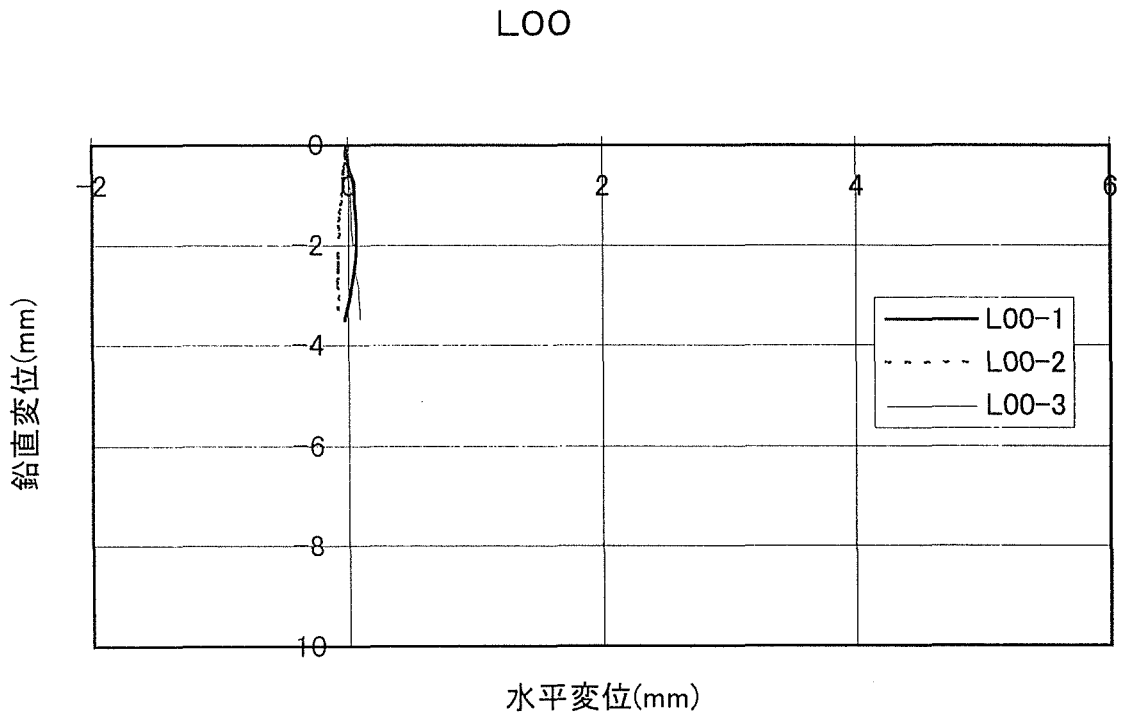
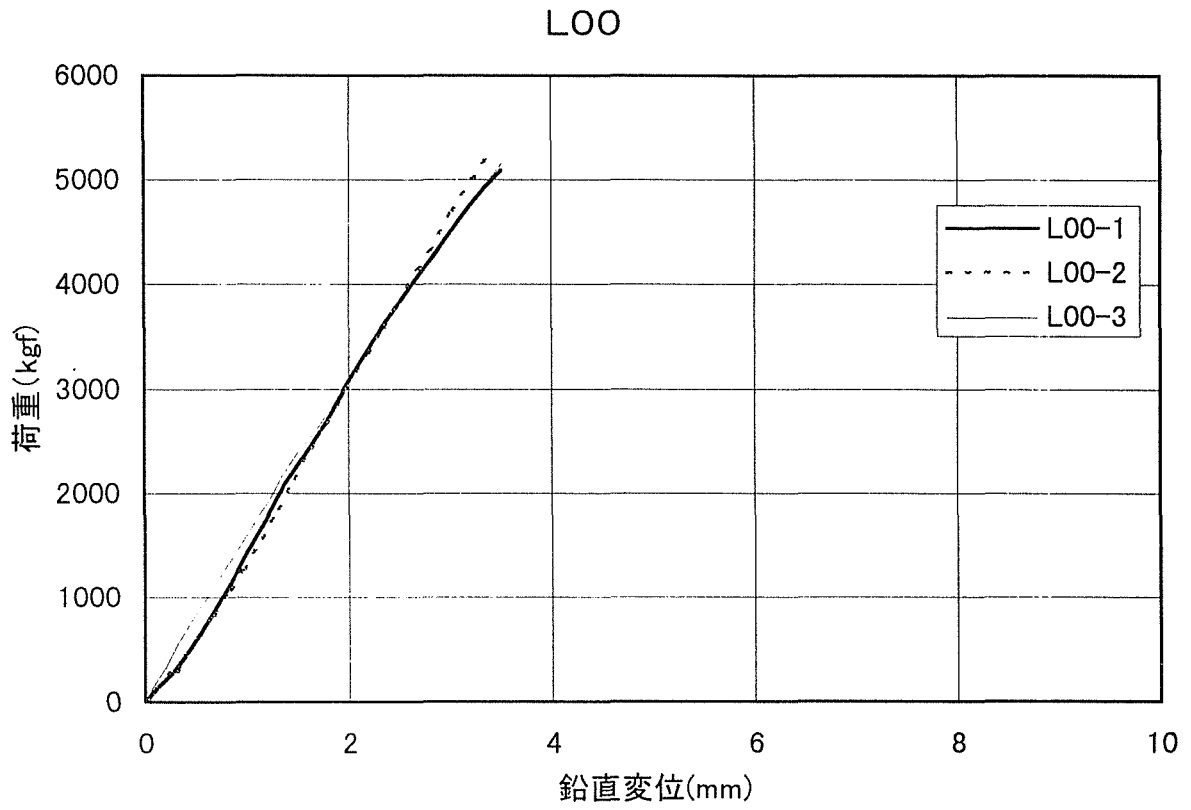


図3. 2(a) 荷重－変形曲線の包絡線と鉛直変位－水平変位曲線の包絡線(1)

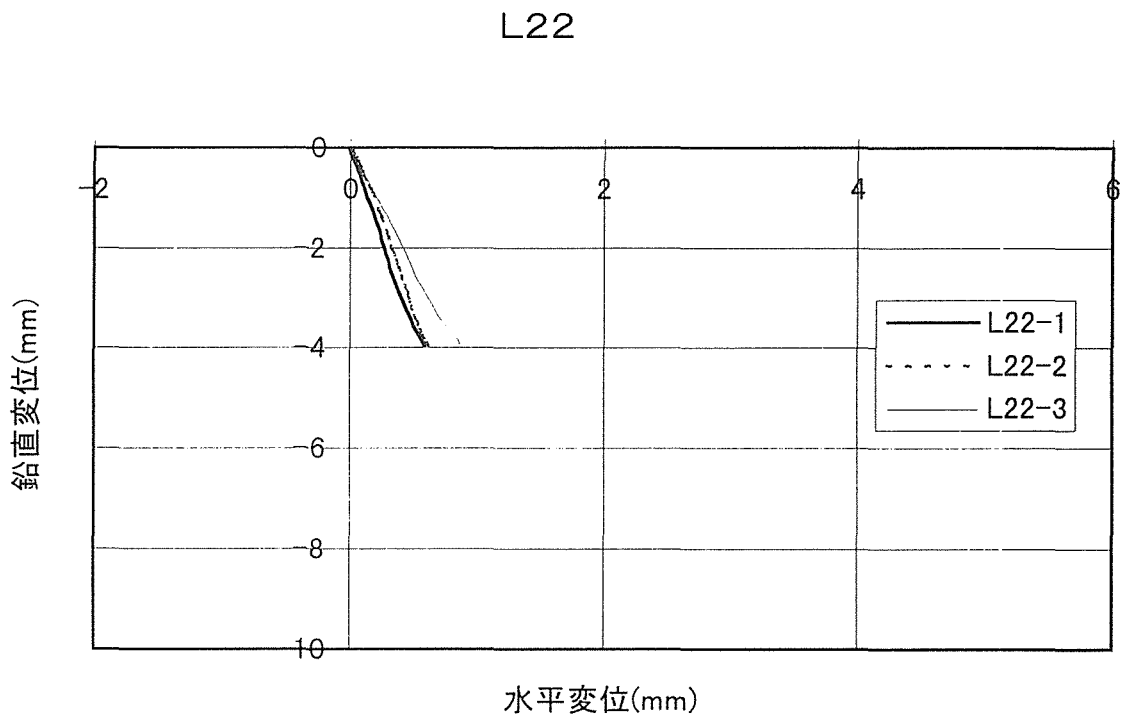
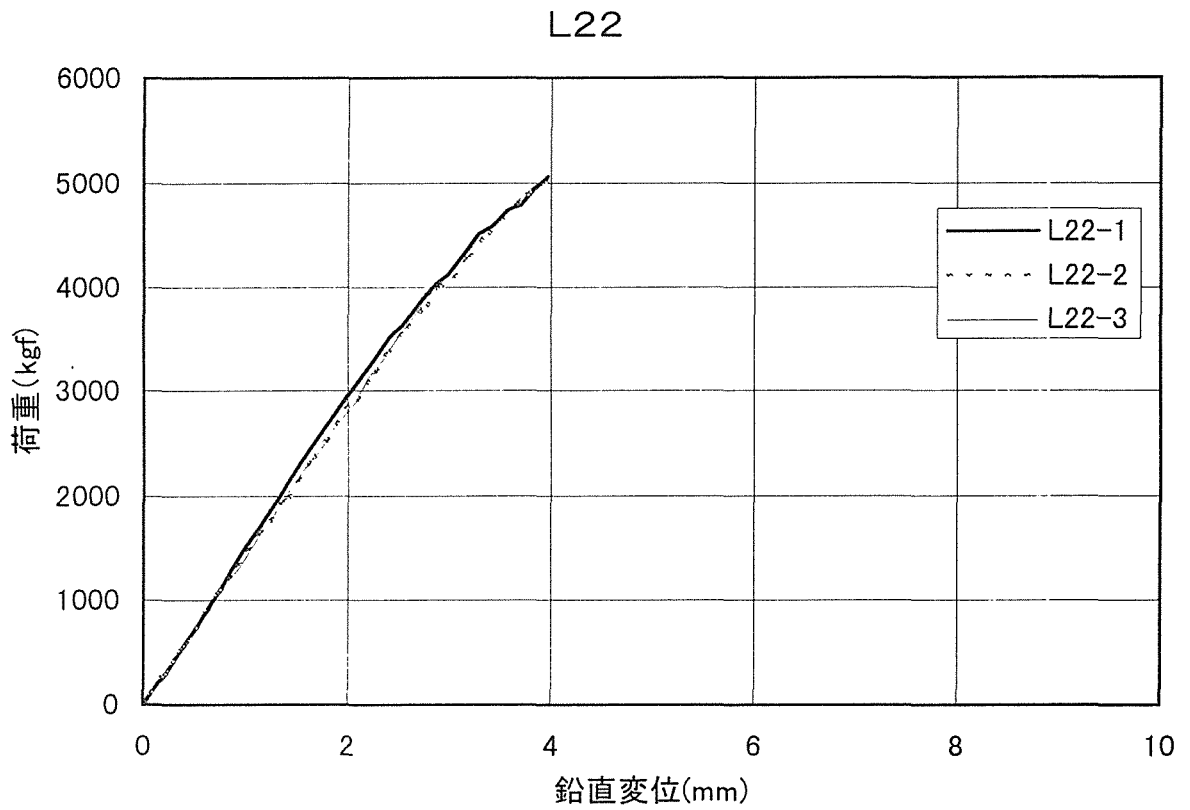


図3. 2(b) 荷重－変形曲線の包絡線と鉛直変位－水平変位曲線の包絡線(2)

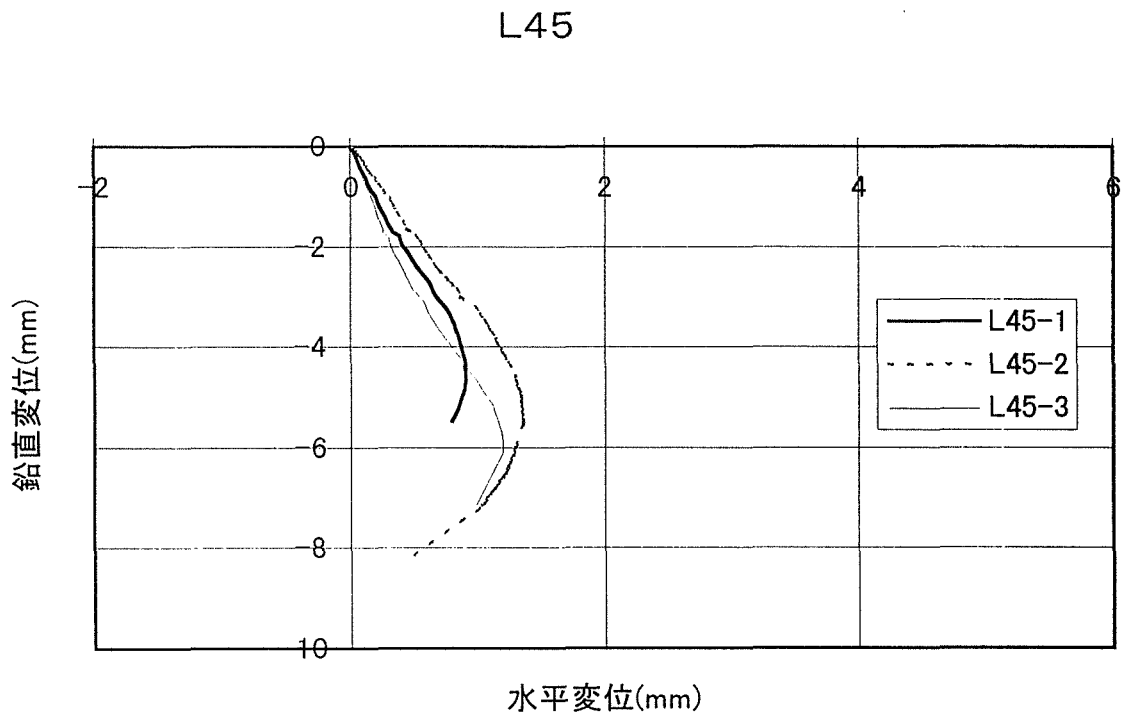
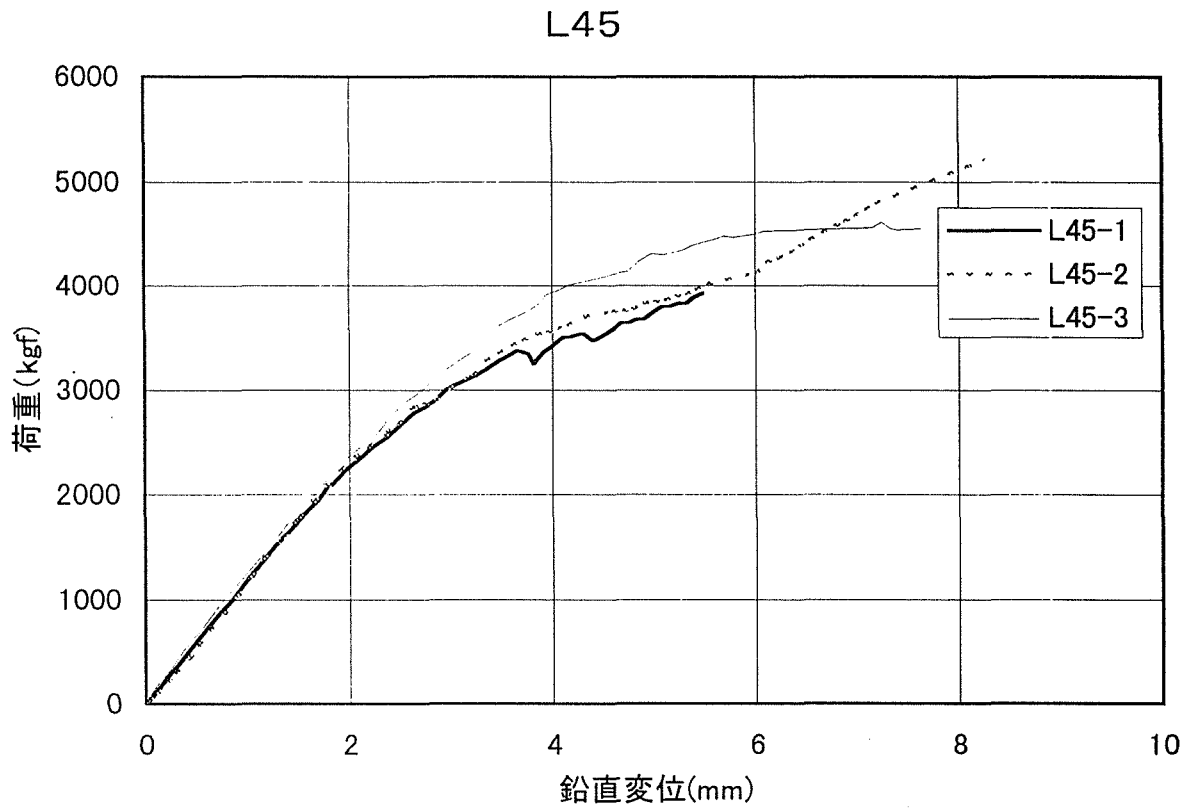


図3. 2(c) 荷重-変形曲線の包絡線と鉛直変位-水平変位曲線の包絡線(3)

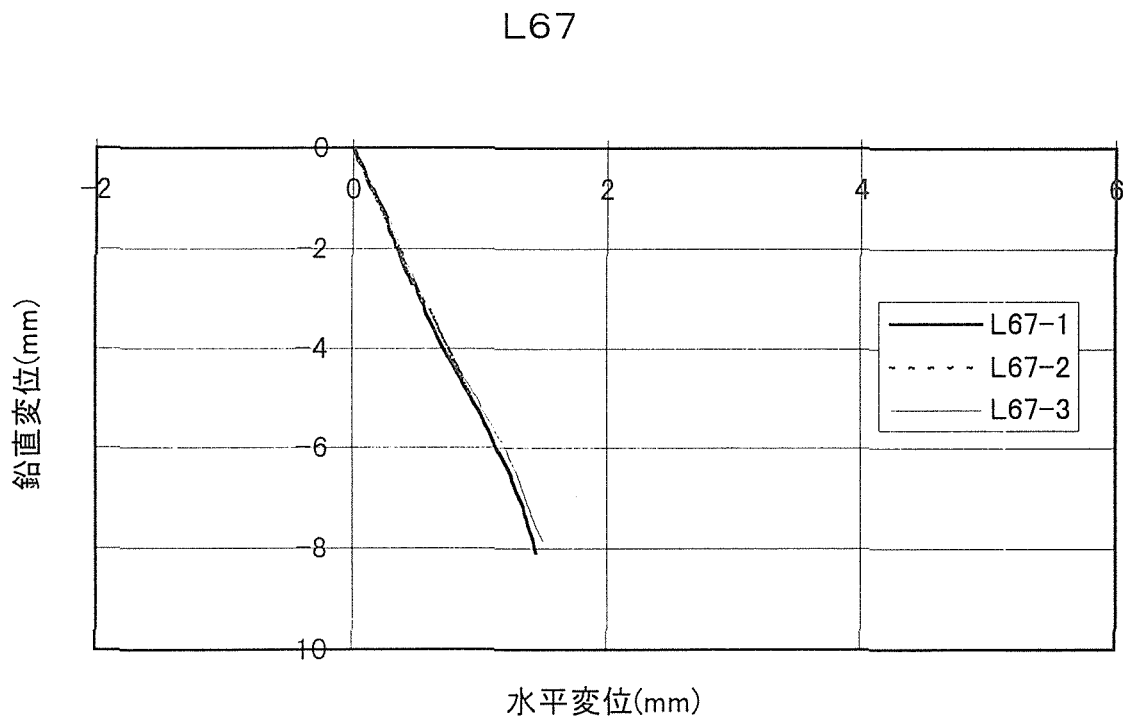
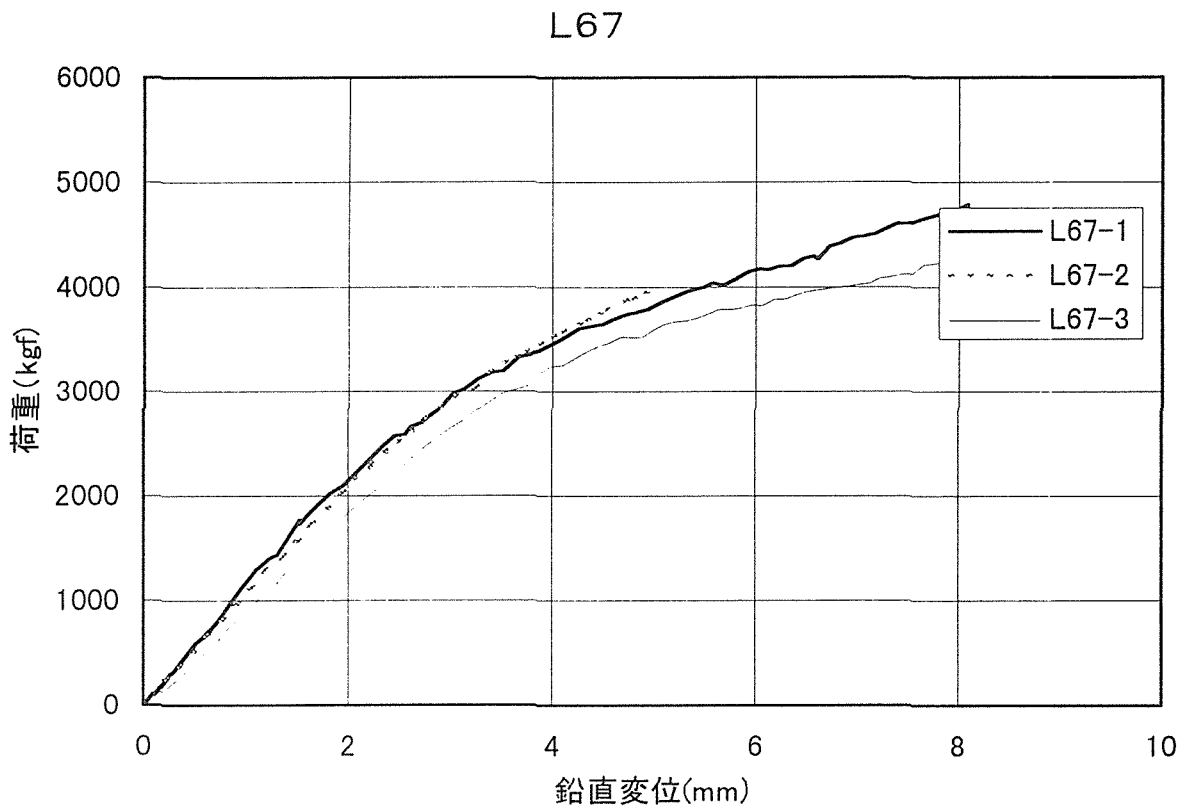


図3. 2(d) 荷重—変形曲線の包絡線と鉛直変位—水平変位曲線の包絡線(4)

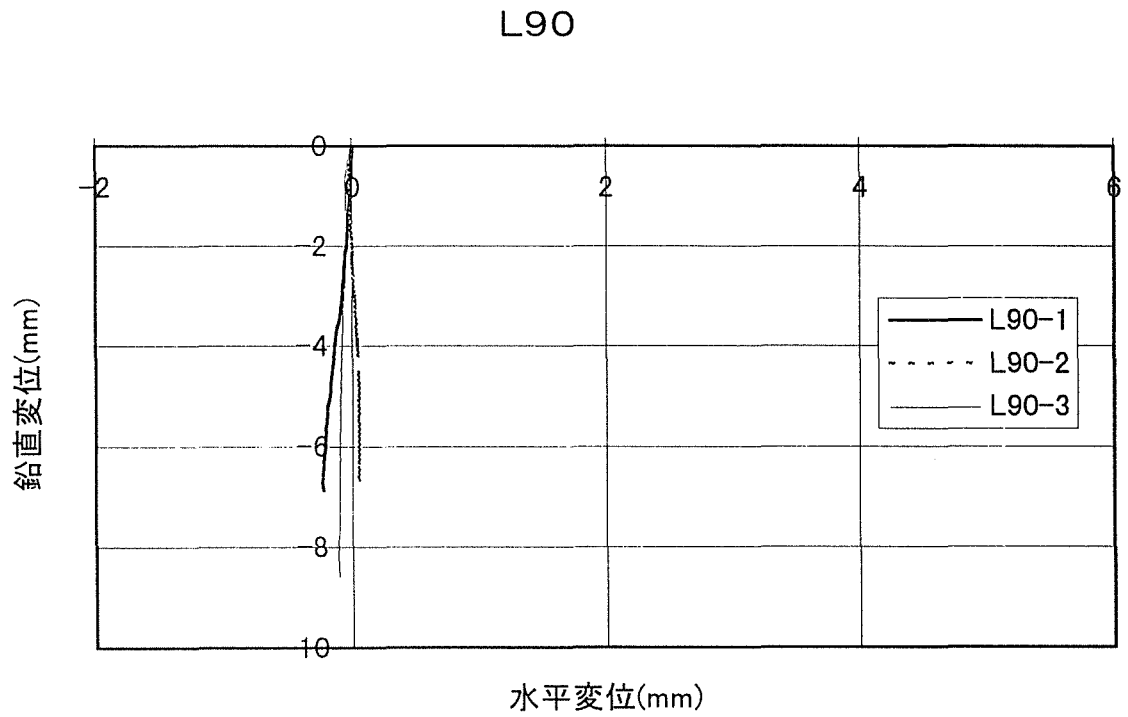
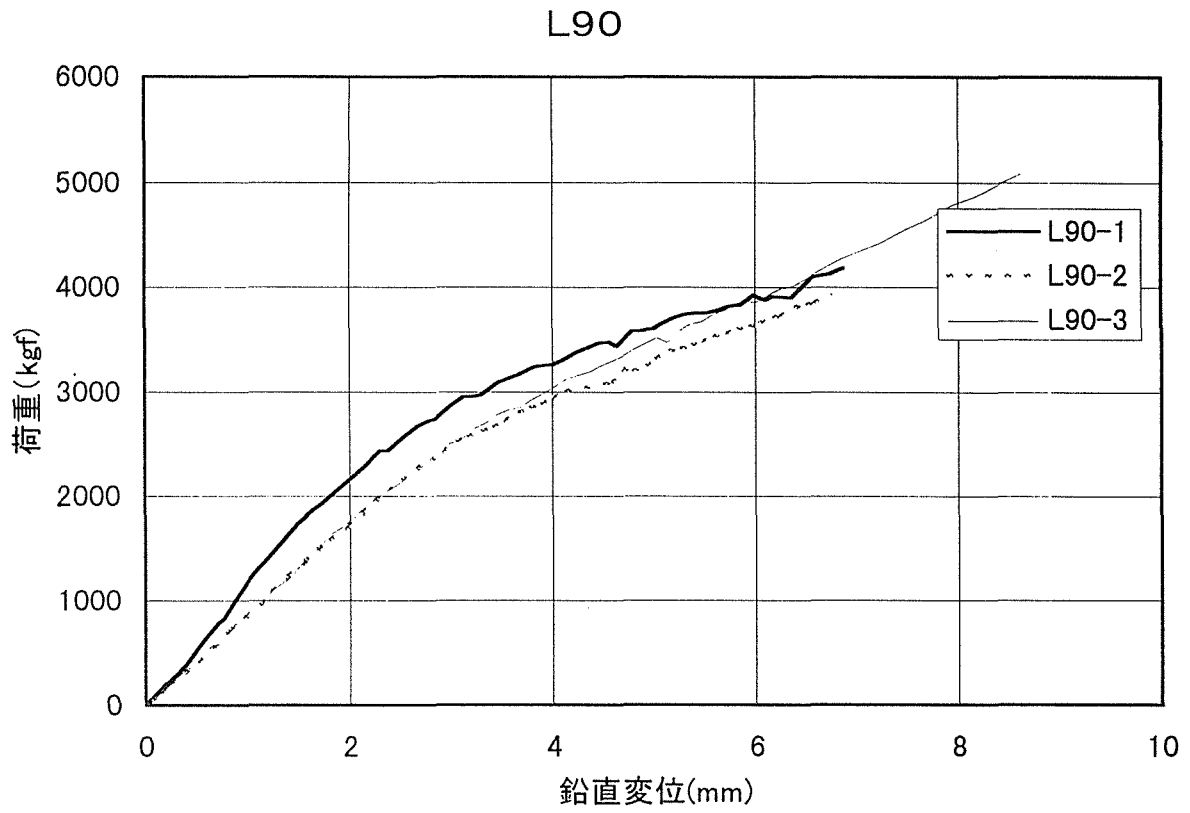


図3. 2(e) 荷重-変形曲線の包絡線と鉛直変位-水平変位曲線の包絡線(5)

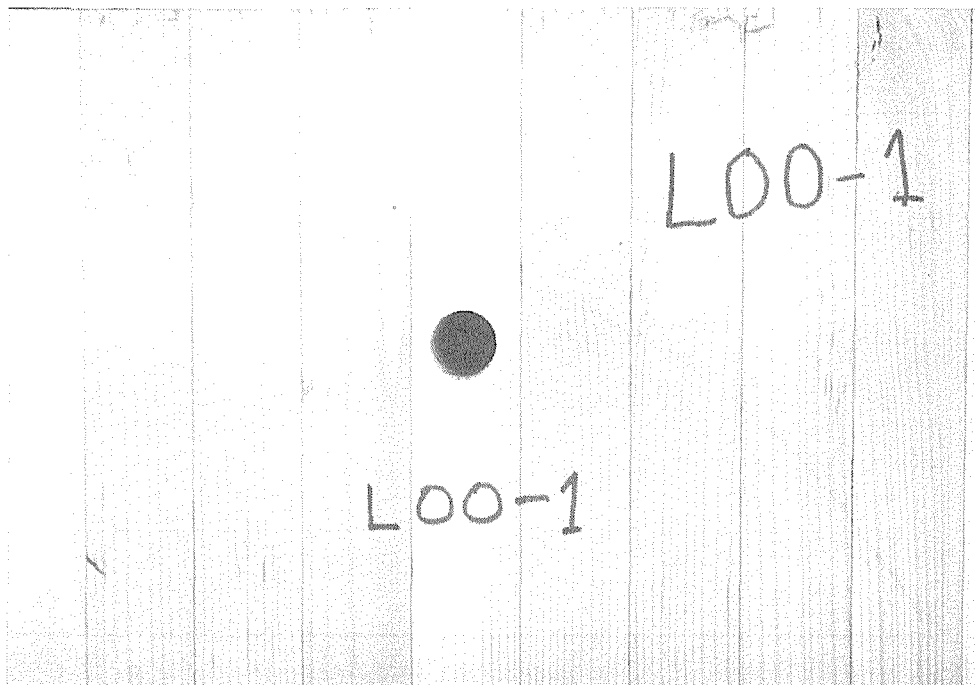


写真3. 1(a) L00(0度)の加力後

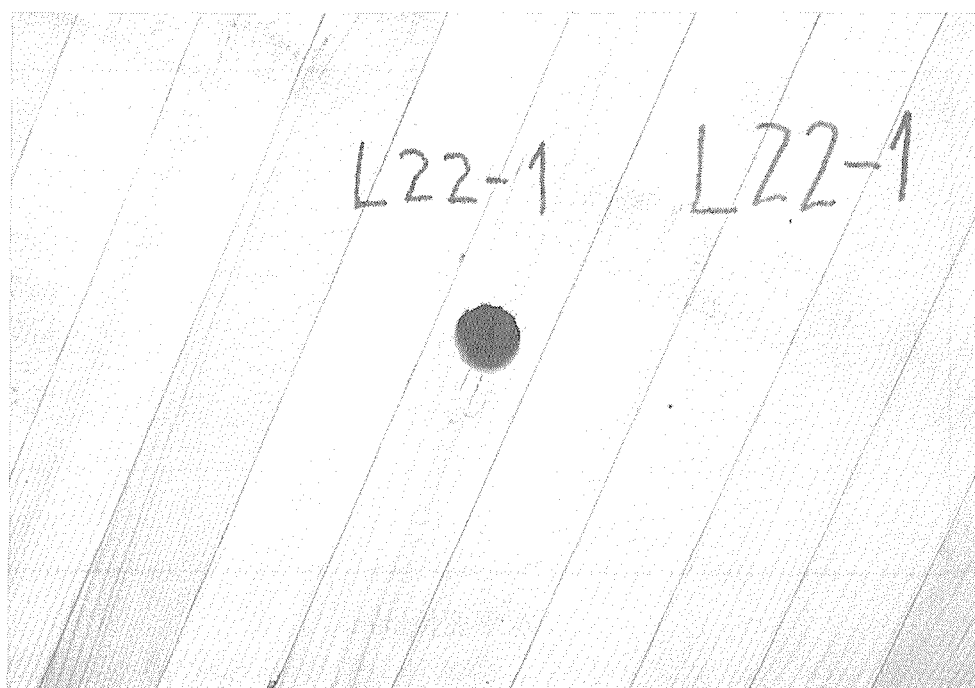


写真3. 1(b) L22(22.5度)の加力後

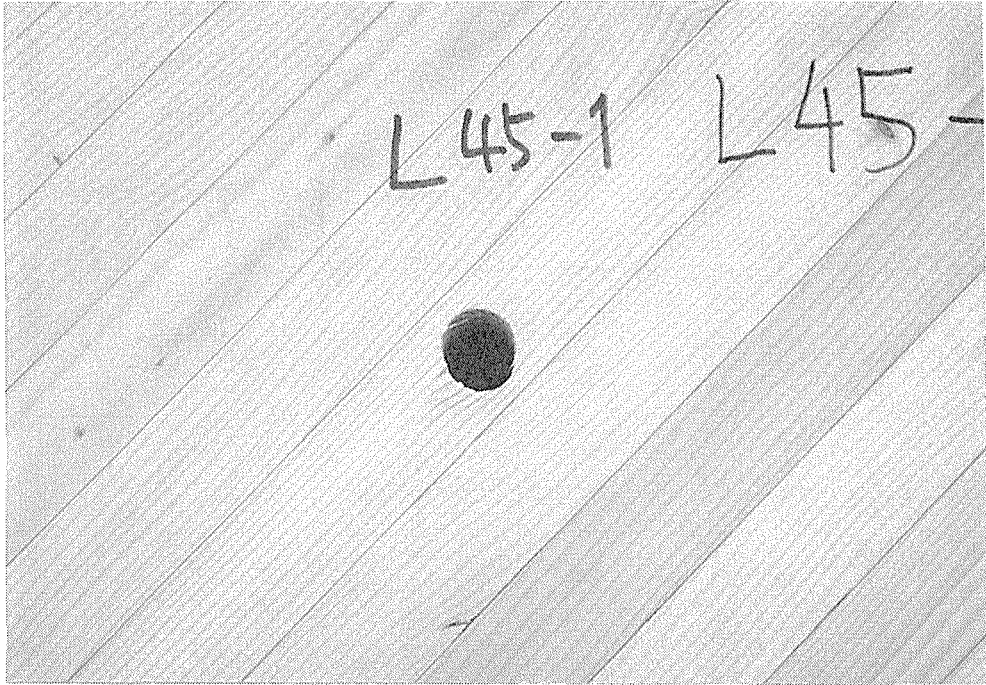


写真3. 1(c) L45(45度)の加力後

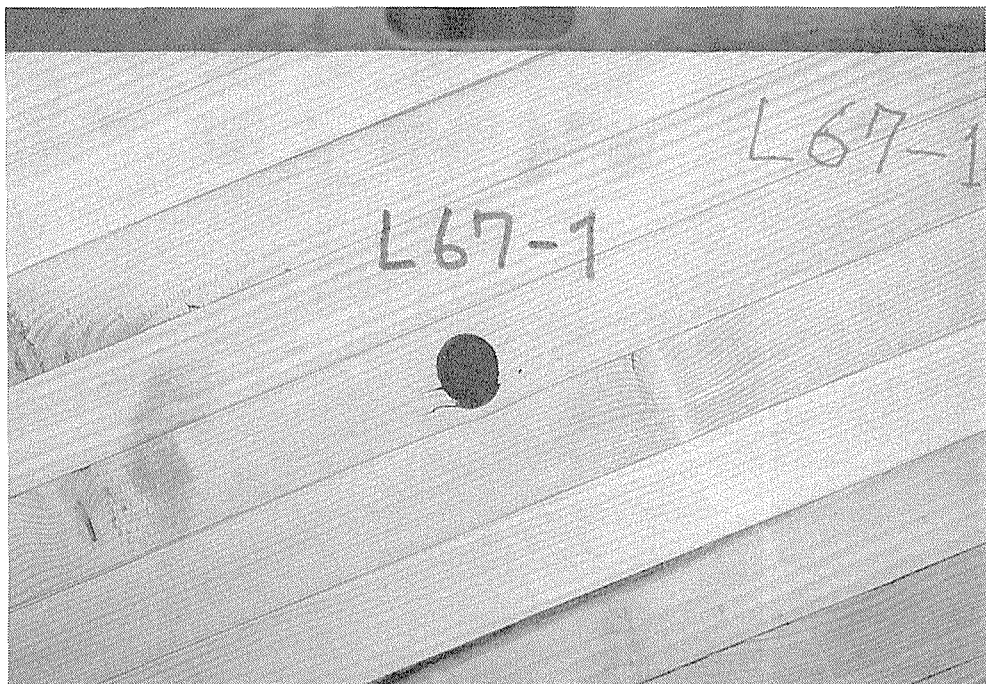


写真3. 1(d) L67(67.5度)の加力後

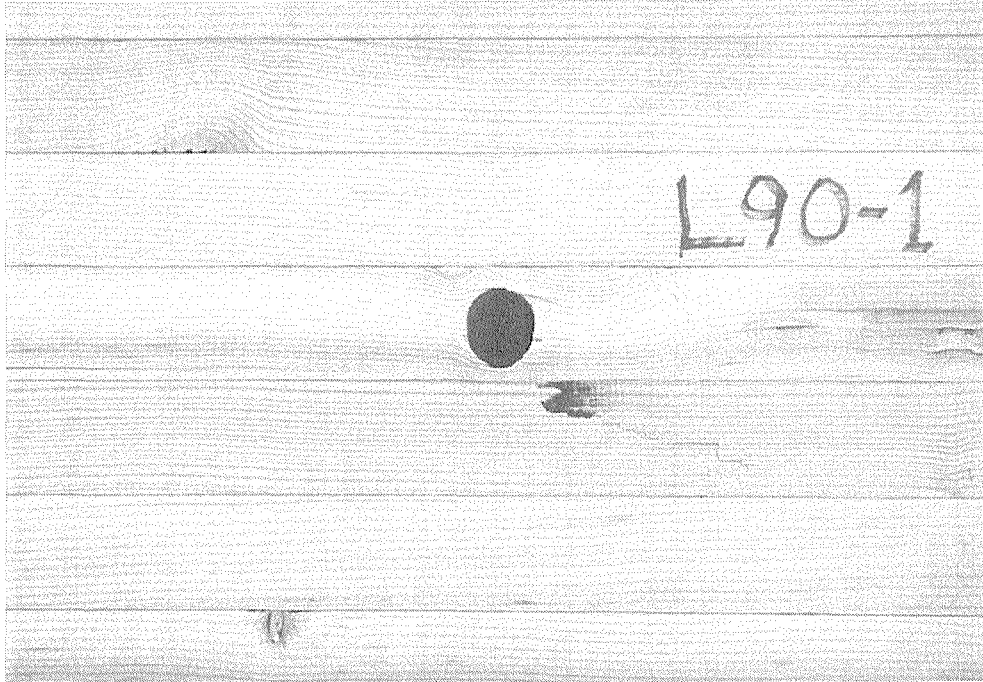


写真3. 1(e) L90(90度)の加力後

3.2 結果の検討

図3.3に、主な変位時の荷重をプロットした。また、図中の曲線は、L00とL90の試験体の剛性平均値を用いて、ハンキンソン式にあてはめた場合の、各角度における荷重の値を推定したものである。変形が小さい場合、および著しく大きい場合には、計算結果と実験値とのずれが大きいが、主要な変形時には概ね妥当な値を与えることがわかる。

ただし、ハンキンソン式で求められる荷重値は、各荷重角度においても、水平のずれを許さない、すなわち、強制的に鉛直に加力した場合の数値と考えられる。本実験では、水平ずれを許容した実験を行っているので、厳密には、異なった値を示すものと考えられる。ハンキンソン式で求まる値は、本実験での値よりもやや大き目の値を推定するはずである。

いずれにしても、試験体数が少ないので、断定的なことは言えないが、今回の実験の範囲では、ハンキンソン式が、主要な変形域における剛性を求める計算式としては、概ね妥当な値を示すことが示された。

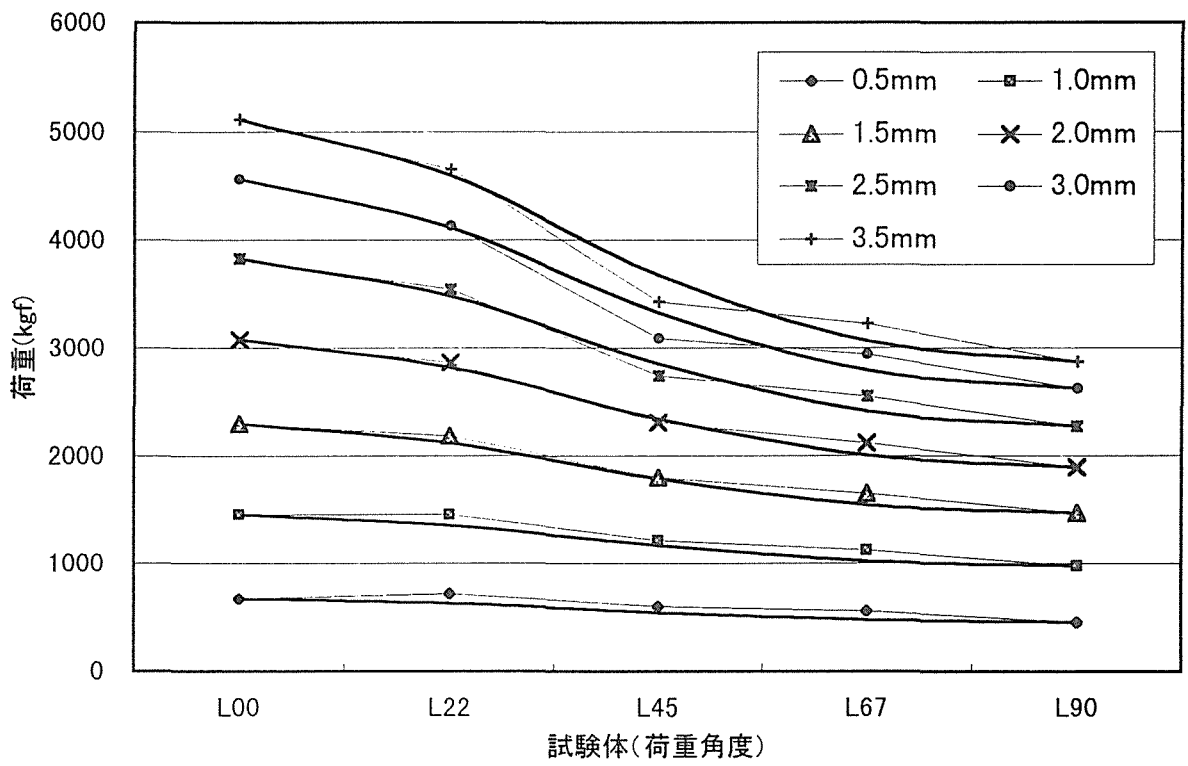


図3.3 実験とハンキンソン式

3.3 解析の方法

本研究で、想定している解析の方法を以下に示す*1)。

*1)日本建築学会大会学術講演梗概集「合わせ梁型接合部の非線形解析」大橋好光他、1993. 9、

はじめに

通直集成材を用いた接合部の一つとして、合わせ梁型の接合部が開発されている。このタイプの接合部については、実験例はいくつか見られるが、解析的研究は少ない。本報告は、シアプレート等（シアファスナーと呼ぶ）の単体の荷重-すべり曲線に基づいて、接合部全体の挙動を推定する方法を述べたものである⁽¹⁾。

1. 解析方法

過去の実験結果から、柱・梁部材は、接合部よりも十分に強度・剛性が高い。変形は、専ら接合部分に生じる回転変形とせん断力による鉛直方向の変位である。そこで、解析は、柱と梁が交差する場所（これをパネルゾーンと呼ぶ）でのシアファスナーの挙動について考える。解析に当たっては、以下の仮定をおいた。

- ①木材はパネルゾーンの内部でも変形しないものとする。変形は局所的でシアファスナーの近傍で生じる。
- ②繊維方向と繊維直角方向の荷重-変位関係は、独立して考えられる。

モーメントとせん断力の2つの力がパネルゾーンに加わっているとき、柱と梁の間の相対的な回転と移動は、図1のように示すことができる。梁上のあるシアファスナーは、柱の座標系でaからbに移動する。

一方、シアファスナーの引張試験の断面は、図2のように描くことができる。圧縮側でめり込みが生じ、反対側には隙間が生じている。もし、片方の材が繊維直交方向の場合には、シアファスナーは2材の真ん中ではなく、片方にずれる。その位置は両部材の応力がつり合うところである。これを模式的に図3に示す。

以上の関係を、パネルゾーン内の全てのファスナーに当てはめて考える。力のつり合いは、図4のように示される。ここで、シアファスナーまわりのつり合い方程式は、次のように表現される。

$$\begin{aligned} P_{//} (Xb) &= P_{\perp} (Xc) \\ P_{\perp} (Yb) &= P_{//} (Yc) \end{aligned} \quad (1)$$

$P_{//}$: 繊維平行方向のジベルの抵抗力

P_{\perp} : 繊維に直角方向のジベルの抵抗力

Xc, Xb, Yc, Yb : 柱c及び梁bに対するシアファスナーのX軸、及びY軸変位

ここで、シアファスナーの荷重-すべりの関係が線形の場合、式(1)は次のように表すことができる。

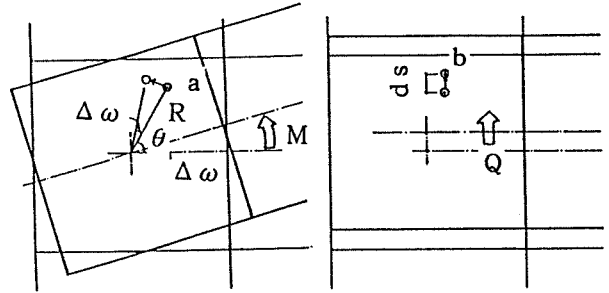


図1 接合部の変形

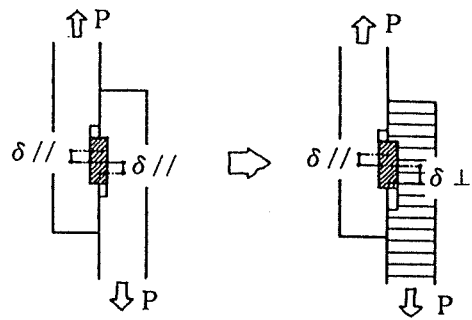


図2 シアファスナーの引っ張り試験

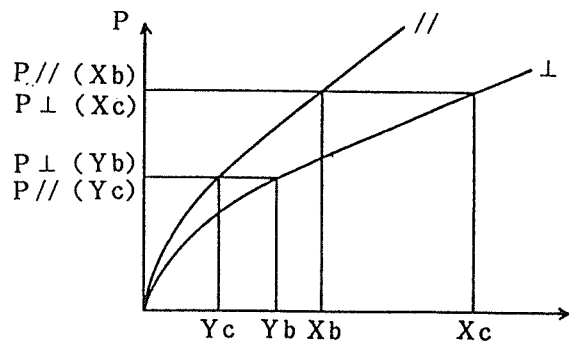


図3 シアファスナーの荷重-すべり曲線の模式図

$$\begin{aligned} Xb \cdot K_{//} &= Xc \cdot K_{\perp} \\ Yb \cdot K_{\perp} &= Yc \cdot K_{//} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $K_{//}$: 繊維に平行方向の弾性係数

K_{\perp} : 繊維に直角方向の弾性係数

変位のつり合い方程式は、次のようになる。

$$\begin{aligned} Xb + Xc &= R \cdot \Delta \omega \times \sin \theta \\ Yb + Yc &= R \cdot \Delta \omega \times \cos \theta + ds \end{aligned} \quad (3)$$

R : 柱の極座標におけるシアファスナー配置の半径

θ : 極座標におけるシアファスナーの角度

$\Delta\omega$: モーメントによる回転角
 ds : せん断力による移動変位
 したがって、パネルゾーン全体の応力は、次のように示される。

$$M = \sum m_i \quad (4.1)$$

$$= \sum (p_i \cdot X_{ci} + dy_i) + \sum (p_i \cdot Y_{ci} + dx_i)$$

$$Q = \sum p_i \cdot Y_{ci} \quad (4.2)$$

M : ジョイント部分の全体モーメント

m : 個々のジベルによるモーメント

p : 個々のジベルによるせん断力

dx, dy : 柱座標上のジベルの X 座標、Y 座標

Q : 全せん断力

一方、実験において試験体全体の荷重状態を考えると、次の式が満たされていなければならない。

$$M = P \times l \quad (5.1)$$

$$Q = P \quad (5.2)$$

ここで、 P : 荷重

l : 梁の長さ

これらの関係式を解くためには、反復計算法が用いられる。一例を挙げると、まず、回転角 $\Delta\omega$ を初めに設定する。これは、柱-梁接合部に強制的に回転が加わったことを意味している。次に、せん断力による変位 ds が仮定される。次に、式(2)、式(3)を解くことによって、変位 X_c, X_b, Y_c, Y_b が求められる。これを全てのシアファスナーについて順次行なう。すると、パネルゾーンに対する全モーメント M とせん断力 Q が、式(4)から求めることができる。

一方、パネルゾーンに生じている全モーメント M とせん断力 Q は、式(5.1)及び(5.2)が成り立たなければならない。そこで、式(4.1)の結果が、許容範囲内になるまで、仮定 ds を上下に修正し再度計算を繰り返す。

なお、式(2)は、線形の場合を示しているが、シアファスナーの荷重-すべり曲線は、図5のように、非線形性が強いので、解析では折れ線に置換して、非線形の解析を行った。

2. 結果と考察

解析結果と実験値⁽¹⁾との比較を行った。図5⁽²⁾に示すシアファスナーの荷重-すべり曲線は、前述のように、6本の折れ線に置換して適用した。

結果を図6に示す。解析値が実験値から次第に離れるような結果を示した。その理由としては、①複数個配置した場合には、単体データの重ね合わせにならない可能性がある。例えば、②試験体の破壊モードがシアファスナー単体の試験と異なっている可能性がある。③解析では材間の摩擦力は考慮されていない。などが考えられる。

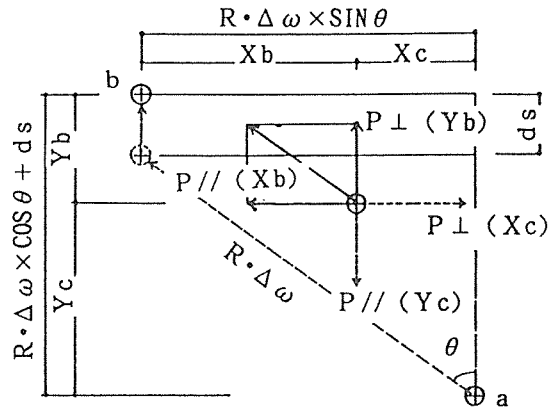


図4 力のつり合い

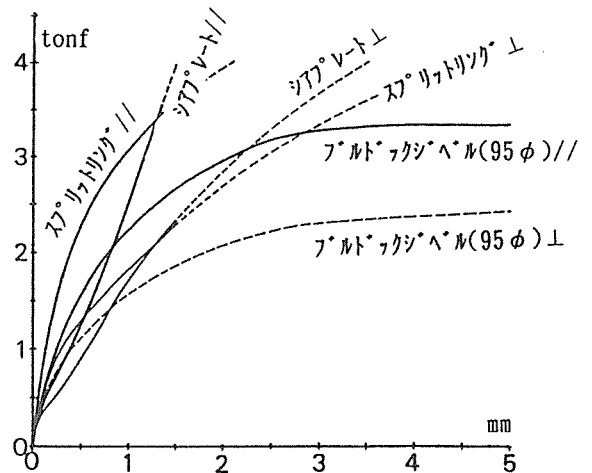


図5 シアファスナーの荷重-すべり曲線

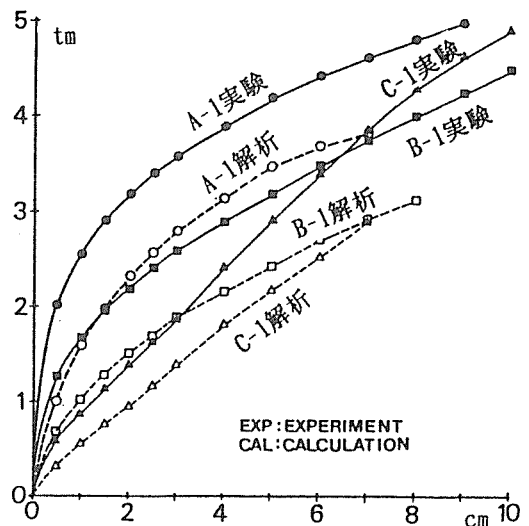


図6 解析結果

まとめ ここで示した解析法による結果は、実験値よりも小さな値を示した。しかしながら、全体の傾向はよく一致しており、特に変形の初期段階ではかなり有効であると言えよう。

(1)OHASHI, Yoshimitsu et. al "STUDY ON LAMINATED TIMBER MOMENT-RESISTING JOINT" 1989, 2nd PTEC (2)日本建築学会「木構造計算規準同解説」など

3.4 解析と実験

図3.4に、各試験体の加力履歴が、加力方向（鉛直方向）に対する水平ずれのなす角度を示した。

0度から90度まで、概ね円弧状に分布していることが分かる。興味深い結果で、中間の角度を充実させた、より詳細なデータの収集すると一層明らかになったと思われる。

また、図3.5は、3-3の解析方法によって、各加力角度の各鉛直変位における角度を推定したものである。概ね実験値に近い値を示していることが分かる。この解析においても、ハンキンソン式の場合と同様に、角度が0度と90度の場合のみの剛性から、各加力角度の場合を推定している。個々の角度によって、ラミナのヤング係数にばらつきがあることが予想されるため、細かい点まで一致しないことはやむを得ない。それを考慮すれば、概ね近い値を示していると言える。

また、図3.6は、同様の手法によって、各鉛直変位を推定したものである。それぞれ、0.5mmや1.0mmが推定されれば、解析が適合していることを示すが、結果は、やや異なった値を推定したものもあった。L67は、加力試験の結果そのものがやや剛性が高い数値を示しており、中でも解析と合わなかった。しかし、全体的にみれば、これも概ね実験値に近い値を示しているといえるだろう。

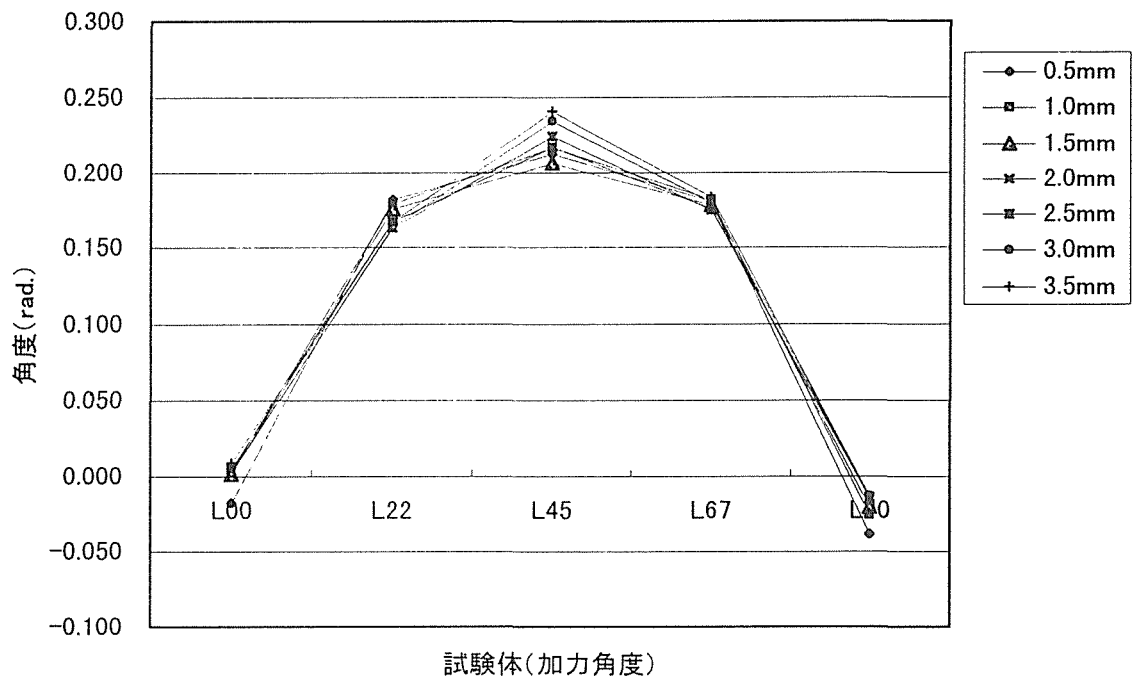


図3. 4 加力軌跡の鉛直となす角度

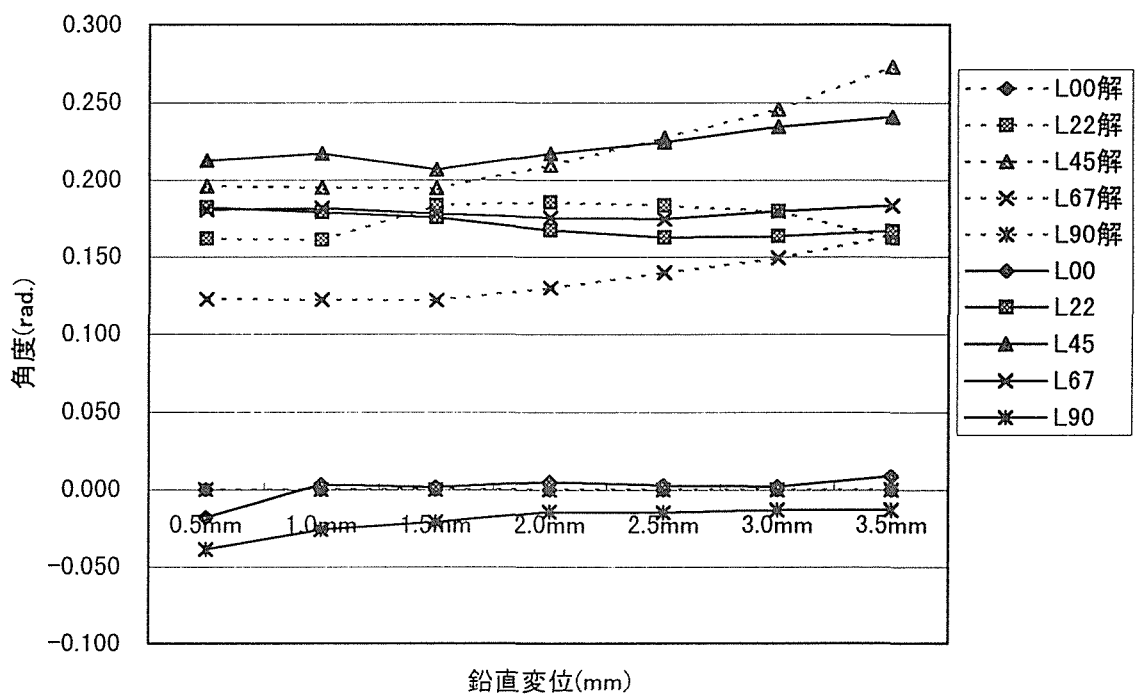


図3. 5 加力軌跡の鉛直となす角度

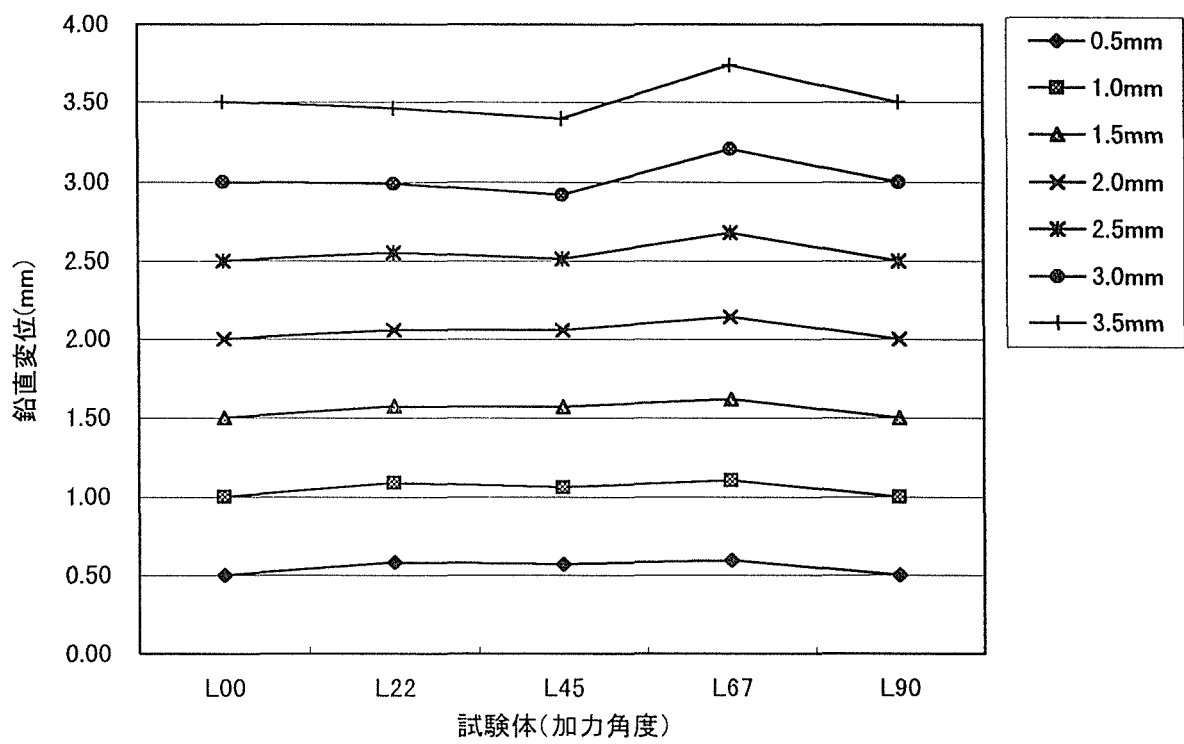


図3. 6 鉛直変位の解析結果

4. まとめ

3-3に示した解析法は、合わせ梁型モーメント抵抗接合の強度や剛性を推定する手法として有用であることが確認できた。ただし、今回の実験は、試験体数がやや少ないので、詳細な部分での適合度は、断定できない。より多くの試験体で、かつ荷重角度についても今回以外の角度について、収集する必要がある。また、今後は、実際の接合部において、接合具が想定通りに変位するのか、確認する必要がある。

第6章 接合部の標準試験法

1 接合部の試験法を定めた内外の規格類

せん断力を受けるボルト等の接合部に関連する試験法の内外の規格及び草案については、昨年度報告書で概要を述べた。その後、ISO/TC165/WG7において、接合部の繰返し試験に関するワーキングドラフトがとりまとめられた。これらを列記すれば以下の通りである。

①接合部の単調加力試験

日本建築学会「木質構造設計規準・同解説」付録1

ASTM D1761 Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood

EN26891 Timber structures - Joints made with mechanical fasteners - General principles for the determination of strength and deformation characteristics

EN28970 Timber structures - Testing of joints made with mechanical fasteners - requirements for wood density

ISO6891 (=EN26891)

ISO8970 (=EN28970)

②接合具の曲げ試験

ASTM F1575

EN409 Timber structures - Test methods - Determination of the yield moment of dowel type fasteners - Nails

ISO/DIS10984 (=EN409)

③めり込み試験

EN383 Timber structures - Test methods - Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners

ISO/CD10984-2 (=EN383)

④接合部の繰返し加力試験

日本建築学会「木質構造設計規準・同解説」付録1

ENTC124.117 Timber structures - Test methods - Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners

ASTM (案) Cyclic test standard, 3rd draft

ISO/WD Timber structures - Joint made with mechanical fasteners - Quasi-static reversed-cyclic test method

ここでは、①接合部の単調加力試験、②接合具の曲げ試験、③めり込み試験及び④接合部の繰返し試験について、これらの規格を参考としながら、標準的試験法の概要を提案するとともに、今後の検討課題について述べる。

単調加力試験は、原則として地震力を負担しない接合部の性能評価、または地震による繰返しを受ける接合部の降伏点以下における性能評価のための試験であり、繰返し加力試験は、地震力を負担する接合部の繰返し加力に対する性能を評価するための試験である。接合具の曲げ試験、材料のめり込み試験は、弾性床上の梁理論や、ヨーロッパ型降伏理論等によって剛性や荷重変形関係または降伏耐力を推定する基礎データを得るためのものである。しかしながら、一般にこれのみから大地震動時の終局性状を推定することは困難であり、単調加力試験に変わりうるものと位置づけられよう。

2 標準試験法の概要の提案

2.1 接合部の単調加力試験

2.1.1 試験方法概要案

試験体数：同一条件の試験体6体以上

試験体寸法等：実況による

木材比重は平均値が当該樹種の平均比重以下

調湿：20±2℃、65±5%

加力方法：変位速度がほぼ一定となるように単調載荷。

少なくとも最大荷重の80%に荷重が低下する点までは試験を行う

加力速度：最大荷重まで5分±2分

評価方法：全試験体について降伏耐力、最大耐力、剛性を求める。

剛性は、最大荷重の10%、40%を通る直線の傾きとする。ただし、地震力その他の繰返し加力を受ける接合部については、原点と降伏点を通る直線の傾きとする。全試験体の平均を求める。

降伏耐力は、

①最大荷重近傍までの荷重-変形関係が2直線で近似できる場合、その交点の荷重。

②それ以外の場合、最大荷重の10%、40%を通る直線と、最大荷重の40%、90%を通る直線と同一勾配の接線との交点の荷重とする。

降伏耐力、最大耐力について、全試験体の平均値及び標準偏差、75%信頼水準の95%下側許容限界を算出する。

2. 1. 2 解説及び検討課題

試験体数の6はさほど根拠のある数字ではない。統計的な処理が可能で、試験の実施にそれほど困難を伴わない値として提案している。

試験体の木材比重は、木質構造設計規準にならったが、同時にISO8970の考え方にも近いものである。ISO8970に定める木材比重の制限については、その根拠を調査する必要がある。

調湿は国際的傾向にならっている。実際には、含水率がほぼ一定になったことを、試験体重量の変化率等で確認する必要がある、試験方法の細則が必要である。また、使用環境が本条件と異なる場合の補正方法あるいは補正係数を求めるための試験方法は、別途検討を要する課題である。

加力方法は、ISO6891では、最大荷重予測値の40%から10%まで除荷するサイクルを含むが、目的が不明のため、本案では単調加力としている。ISO6891の根拠について調査する必要がある。

また、どこまで打ち切るかについては、繰返し加力試験のISO/WDにならったが、少なくとも破壊形態がわかることが望ましく、また本来、試験条件が許せば長く試験を続行するに越したことはない。木質構造設計基準では相対変形の絶対量でも規定しているが、試験を実施する際には便宜上必要としても、試験体の寸法や、当該接合部の使用箇所、設計条件等によるので、本来、変形の絶対量で規定することは困難である。

加力速度は、ISO6891での加力速度が最大荷重の10%あたり30秒であることから、最大荷重までその10倍で5分とした。最大荷重まで5分(±2分)という値は、ISOにおける木材の試験の標準的な値(とされる傾向のある値)であり、荷重継続時間等の影響を加味する前の標準的な破壊時間という認識である。また、変位制御で試験されることが多いので、変位速度をおおむね一定とするのが適当と思われる。

評価方法は、地震力による繰返しの影響を考慮しなくてもよい場合、すなわち鉛直荷重又は風荷重に対する弾性設計および終局設計に必要な特性値として、初期剛性、降伏耐力、最大耐力を求める必要がある。これらについて試験体ごとの値および95%下側許容限界を求めることとした。

初期剛性については、初期滑りをどのように考慮するかが問題となるが、接合部の使用箇所、主たる外力の種類、設計条件等により、初期滑りの扱いは本来変わるものである。本案では暫定的に、原点を考慮すべきことが明らかな、地震力を受ける接合部についてのみ、原点を通る直線の勾配をとることとしている。初期滑りの測定方法と併せて、今後の検討課題である。

降伏耐力について、②は枠組み壁構法に関して建設省が提案している方法であるが、ボルト等接合部に対しては、①の方法が適用される場合が多いであろう。なお、本方法はあくまでも試験によって降伏耐力を求める場合の方法であって、設計に際して計算等により求めた値を用い、その妥当性の確認等で本方法を用いるという場合もあり得よう。

2. 2 接合具の曲げ試験

2. 2. 1 試験方法概要案

試験体数：6 体以上

試験体寸法等：実況による。

加力方法：単調載荷

単純支持、中央集中荷重

スパン L は接合具径 d に対し、 $10d \leq L \leq 26d$

支点、加力点の円柱径 D は $0.1L \leq D \leq 0.25L$

加力速度：変位速度をほぼ一定とし、中央たわみが接合具径に等しくなるまで、1 分以上で加力。

評価方法：降伏（全塑性）モーメント＝最大荷重からモーメントを算出し、75%信頼水準の95%下側許容限界を求める。

最大荷重の10%、40%を通る直線の勾配から弾性係数を算出し、全試験体の平均をとる。

2. 2. 2 解説及び検討課題

試験体数6にはさしたる根拠はない。

単純梁形の加力方法及び接合具径とスパン、スパンと支点加力点の円柱の径の関係等は、ASTM F1575を参考とした。ASTM F1575は釘に対する試験方法であるが、単純梁形の試験なので、ボルト等にも適用が可能である。

これに対し、ISO/DIS10984 (EN409) は、釘用に考案されたと考えられる独特の方法で、ボルト等への適用は困難である。

通常、中央たわみが接合具径に至るまでに、全塑性モーメントに達するので、これを標準とし、木材のように加力速度の影響が大きいので、比較的早い荷重速度とした。

接合部剛性を求めるために、接合具の弾性係数が、また、接合部の降伏耐力を求めるために、全塑性モーメントが必要となる。ASTM F1575では、接合部径の5%オフセット値を降伏モーメントの算出に用いるが、ヨーロッパ形降伏理論では、全塑性モーメントを用いること、通常の荷重変形関係は、全塑性モーメントで荷重一定となり、それ以上の上昇が起こらないことから、最大耐力により直接的に全塑性モーメントを算出することとした。

材料の降伏強度が必要であれば、全塑性モーメントから算出することが可能である。

接合具の断面が正方形、長方形の場合にも、本試験法は適用可能である。また、ラグスクリューなど、接合具径が一定ではない場合にも適用可能ではあるが、接合部の降伏耐力を算出する際に、接合具径をどのようにとるかについて、検討が必要である。また、一般に繰返し加力を受ける接合部では、断面に変化のある接合具では、接合具の疲労破壊を生じて靱性を損なう恐れがある。本試験法の適用範囲及び本試験法に基づく接合部耐力算出結果の適用範囲については慎重な検討が必要である。

2. 3 むり込み試験

2. 3. 1 試験方法概要案

試験体数：同一条件に対して6体以上

試験体寸法等：

繊維方向圧縮、ボルト等	長14d、幅6d、端距離7d
繊維方向引張、ボルト等	長37d、幅6d、端距離7d
繊維直角方向圧縮、ボルト等	長14d、幅6d、端距離2d

厚さは1.5d～4d

調湿：20±2℃、65±5%

加力方法：杵材に接合具を挿入した形で、圧縮または引張り加力。

単調載荷。

加力速度：最大荷重まで5分±2分。

可能であれば最大荷重の80%に荷重が低下するまで試験を続行する。

評価方法：全試験体について終局耐力、剛性を求める。

剛性は、最大荷重の10%、40%を通る直線の傾きとする。

終局耐力は、最大荷重の10%、40%を通る直線と終局耐力を示す横軸に平行な直線の下側の面積が、最大荷重の80%に荷重が低下する変位までの間で、荷重変形曲線の下側の面積と等しくなるように定める。

2. 3. 2 解説及び検討事項

試験体数6にはさしたる根拠はない。

加力方法は、ISO/CD10984-2(EN383) にならい、ボルトを貫通させて治具により加力する方法とした。接合具を上に乗せて加力する方法に比べ、貫通させた方が木材側の周辺条件が実際に近いこと、ボルト等では、釘と違って貫通させて加力しても接合具が変形を起こしにくいことが、その理由である。試験体寸法も他の適当な規格がないことから、暫定的にISO/CD10984-2と同じにしてある。

ただし、この方法では繊維方向に対して圧縮型と引張型の双方があり、その適用に際して使い分けが不明である。また、繊維直角方向に対しては圧縮型のみであり、引張り試験がやや困難であることを考慮しても、全体の原則が不明である。

割裂やせん断等の、降伏理論では算出されない破壊モードについては別途計算を行うこととして、ヨーロッパ型降伏理論等に必要なら、むり込みの終局強度のみを求めるのであれば、ボルト貫通の圧縮型のみとする方針もあり得る。設計法とも関連して、基本的な考え方の整理が必要である。

終局耐力として、本案ではエネルギー等価な終局耐力を算出することとしている。最大

耐力を用いてもよいとする考え方もあるが、必ずしも最大荷重一定のまま変形が増大するような荷重変形関係にならない場合があることを考慮した。

2. 4 接合部の繰返し加力試験

2. 4. 1 試験方法概要案

試験体数：同一条件の試験体6体以上

試験体寸法等：実況による

木材比重は平均値が当該樹種の平均比重以下

調湿：20±2℃、65±5%

加力方法：降伏変位予測値の25%、50%で1回、75%、100%、200%、400%、600%、800%、1200%（以下400%ずつ増加）で3回ずつ正負繰返し。

少なくとも最大荷重の80%に荷重が低下する点までは試験を行う

加力速度：1サイクル1秒となる速度以下

評価方法：全試験体について降伏耐力、最大耐力、終局耐力、剛性、靱性を求める。

剛性は、（地震力その他の繰返し加力を受ける接合部については、）原点と降伏点を通る直線の傾きとする。

降伏耐力は、

①最大荷重近傍までの荷重－変形関係が2直線で近似できる場合、その交点の荷重。

②それ以外の場合、最大荷重の10%、40%を通る直線と、最大荷重の40%、90%を通る直線と同一勾配の接線との交点の荷重。

とする。

終局耐力は、原点と降伏点を通る直線と終局耐力を示す横軸に平行な直線の下側の面積が、最大荷重の80%に荷重が低下する変位（終局変位）までの間で、荷重変形曲線の下側の面積と等しくなるように定める。

終局変位は、原則として最大荷重の80%に荷重が低下する変位とする。

靱性は、原点と降伏点を通る直線と終局耐力を示す横軸に平行な直線の交点の変位（仮想降伏点変位）に対する、終局変位の比とする。

降伏耐力、最大耐力及び終局耐力については平均値と標準偏差及び75%信頼水準の95%下側許容限界を、剛性、靱性については全試験体の平均値を求める。

2. 4. 2 解説と検討課題

今年度の新たな動きとして、ISOのワーキングドラフト（WD）ができたことがある。

このISO/WDでは、降伏点の定め方について国際的なコンセンサスが得られないことから、

繰返しサイクルの振幅を終局変位に対する割合で規定したことが特徴として挙げられる。しかしながら一方で、試験の目的に合致すれば代替的な方法も可能とされている。従って、本案の方法（おおむねCEN TC124.117と同様）もISO/WDで読めると考えられるが、むしろ標準試験法案としてISO/WDをそのまま取入れることの是非も検討すべきであろう。

また、ISO/WDでは加力速度は、0.02mmから0.2mmの間の一定変位速度となっている。この点も検討が必要であろう。

終局変位の求め方は、おおむね、ISO/WDの終局変位を求める方法と同様である。

剛性の求め方は、地震時の繰返し加力を想定して、原点と降伏点を結ぶこととした。ISO/WDでは最大荷重の10%、40%を通る直線の傾きとしている。初期がたの扱いと併せて今後の検討課題である。

降伏耐力の求め方は、荷重変形の包絡線を用いて、2.1で述べた単調加力の場合と同一の方法とする。

終局耐力の求め方は、初期剛性に相当する直線の取り方を除き、ASTMの接合部繰返し試験のドラフトと同様である。荷重変形の包絡線に対して、終局変形までのエネルギー吸収量を等価とする方法である。

ちなみにISO/WDでは、降伏耐力、終局耐力の算出方法は各国の規準にまかせてあり、特定の方法の記述はない。

3. 今後の検討事項

個々の試験法に関連した検討事項は、既に2で述べた。これ以外に、試験方法に関する一般的な原則として、試験結果をどのように設計に持ち込むか、あるいは最低限必要な試験条件のバリエーションは何かについて、検討を加えておく必要がある。

試験は通常、限定された条件下でしか行われたい。それぞれの試験項目に関して、樹種や繊維傾斜の違い、また、含水率の影響、材料の経年劣化の影響、荷重継続時間と耐力の関係、クリープ性状などについて、材料特性からの推定で良しとするか、これらについても接合部レベルでの実験を必要とするか、必要という場合にどのような試験項目、条件の組み合わせが必要かなどの一般原則が必要である。これらは、特に木質系新材料を対象とする場合に重要と考えられる。

また、接合部では異種の材料が組み合わせられることから、場合によっては含水率の違いや、荷重継続時間の違いにより破壊モードが変化するという可能性もあり、特に終局性状については、一般に、材料特性値の変化から積み上げて接合部の特性の変化に結びつけることが容易でないと考えられる。

第7章 接合具荷重－変形関係のデータベース化

～ 接合部の荷重－変形曲線から推定される降伏荷重についての検討 ～

1. はじめに

本報告は、主に接合部の部分実験より得られる荷重－変形曲線のデータベース化に伴って生じてくる問題の一つである降伏荷重の推定法について、近年試みられているいくつかの方法を実際のデータに適用し、検討したものである。

降伏荷重は、接合部、ひいては構造物が弾性的性質を示す限界点であり、力学的挙動が大きく変化する点として、弾性設計や終局耐力設計、限界状態設計など、あらゆる設計法において重要な指標値である。

2. 研究方法

既存のデータ（ベイマツ集成材に対する種々の接合具に対するめり込み試験結果）に対して降伏荷重を推定する、下記の3つの方法を適用した。

2.1. 降伏荷重推定法

2.1.1. ヨーロッパ降伏理論に基づく方法（以下、E.Y.T法と呼ぶ）

主材、側材の厚さおよび強度を変数とし、下記の式（木質構造設計基準参照）を用いて求められる指標値。

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l$$

但し、

C ：接合形式とその破壊形式によって定まる係数（下式参照）

F_e ：主材の支圧強度（長期許容圧縮応力度の3倍）

d ：ボルト径

l ：主材厚

γ ：ボルトの鋼材の基準強度と主材の支圧強度の比
鋼板挿入式の場合（下記の内、最小値を採用する）

$$C = 1, \sqrt{2 + \frac{8}{3}\gamma\left(\frac{d}{l}\right)^2} - 1, \frac{d}{l}\sqrt{\frac{8}{3}\gamma}$$

鋼板添板式の場合（下記の内、最小値を採用する）

$$C = 1, \frac{d}{l}\sqrt{\frac{8}{3}\gamma}$$

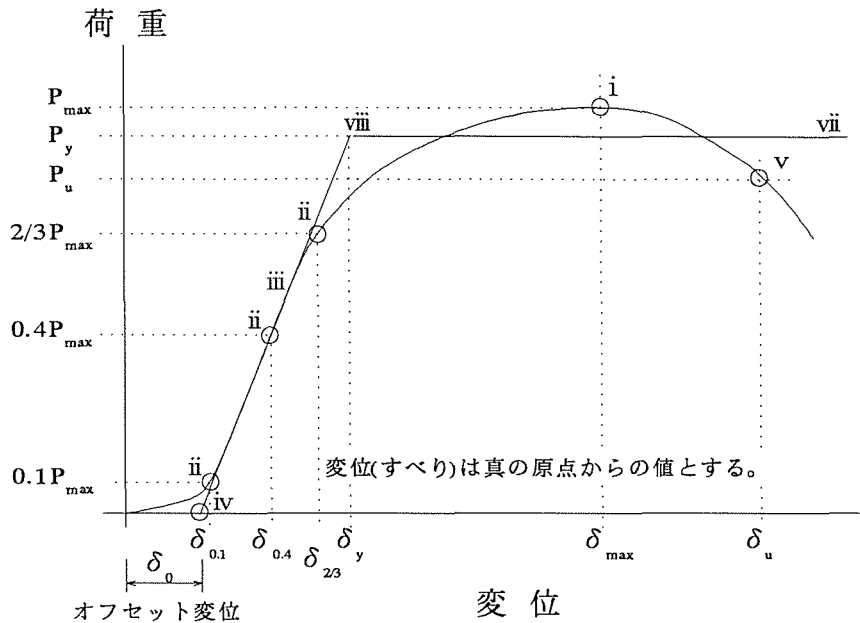
2.1.2. 比例限方式

最大強度の2/3をもって降伏荷重とする考え方。

これは降伏耐力とは性質を異にするものではあるが、直線域の限界点として従来から経験的に用いられてきたものなので、比較の対象とした。

2.1.3. 欧州規格方式

最大強度を変数として初期剛性を算出し、この剛性を持ち、原曲線と等価なエネルギーをもつ弾塑性曲線を再構成したときの塑性荷重をエネルギー等価仮想降伏荷重とするもの。下記にその算定法を記す。



- i) P_{max} を決定する。
- ii) $0.1P_{max}$ 、 $0.4P_{max}$ 、 $2/3P_{max}$ に対応するすべり量 $\delta_{0.1}$ 、 $\delta_{0.4}$ 、 $\delta_{2/3}$ を決定する。
- iii) $(\delta_{0.1}, 0.1P_{max})$ と $(\delta_{0.4}, 0.4P_{max})$ を直線で結び、勾配を初期剛性 K_0 とする。
- iv) iii) の直線と X 軸との交点を δ_0 とする。
- v) P_{max} 以降、最初に P_{max} の 80% に到達した荷重を終局荷重 P_u 、すべり量を δ_u とする。
- vi) 以上 6 点からなる多角形の面積 S を求める。
- vii) エネルギー等価仮想降伏荷重 P_y を下式により求める (近畿大学 村上)。

$$P_y = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad \text{ただし、} \quad a = \frac{\delta_{0.4}}{2 \times 0.4 \times P_{max}}, \quad b = \delta_u, \quad c = S$$

- viii) P_y と iii) の直線との交点を δ_y とする。

2.2. 適用データ

ベイマツ集成材を用いた種々の接合具に関する実験結果*1 (表 1 参照) について上記の推定方法を適用した。

*1 山吉栄作他：木材学会誌 Vol.41, No.2, p.132-142

表1 降伏荷重を算出した接合部の形式とデータ数

直径	荷重角度	材厚	鋼板挿入式 ボルト	鋼板添え板式 ボルト	鋼板挿入式 ドリフトピン
12	0	150	3	3	3
		75	3	3	3
	90	150	3	3	3
		75	2	3	4
16	0	150	3	3	3
		75	3	3	3
	90	150	3	3	3
		75	3	3	3
20	0	150	3	3	3
		75	2	3	3
	90	150	3	5	3
		75	4	3	3

3. 結果および考察

適用結果を、図2～図4に示す。図中の折れ線は、各条件における平均値を結んだものである。ここで、推定降伏応力とは、上記の方法で求めた降伏荷重を、見かけのめり込み面積、すなわち、接合部直径と材厚との積で除したものである。

3.1. 全体的な傾向

【鋼板挿入式ボルト接合部の場合】

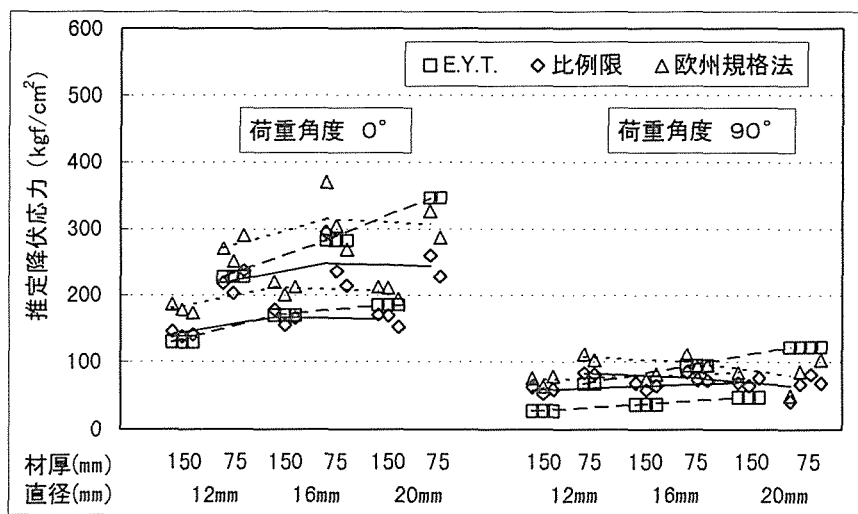


図2 鋼板挿入式ボルト接合部に対する適用結果

推定方法によらず、降伏応力は材厚の減少、直径の増加に伴って増加し、荷重角度の増加とともに減少した。

E.Y.T.方式は、その算出式から明らかなように、接合部のプロポーションに大きく影響されるのに対し、比例限および欧州規格法では実験値である最大荷重に依存する。したがって、E.Y.T.法での推定値が直線的に増加するのは当然である。

【鋼板添板式ボルト接合部の場合】

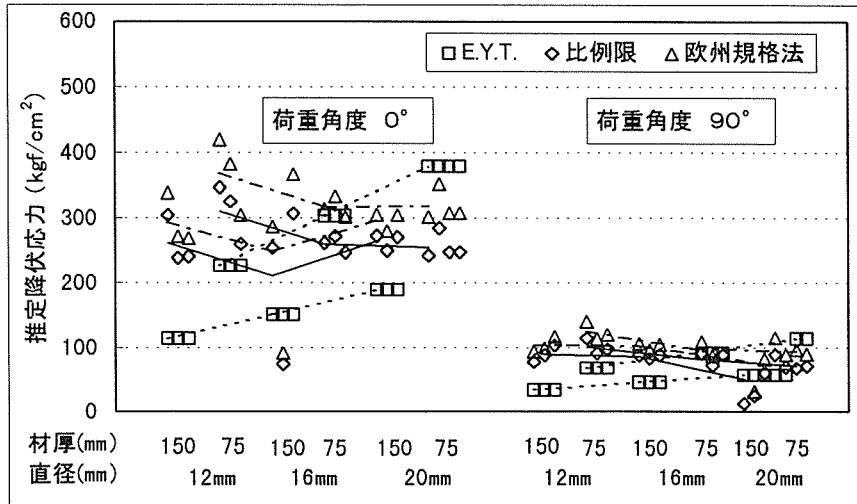


図3 鋼板添板式ボルト接合部に対する適用結果

材厚および荷重角度の影響は、鋼板挿入式の場合と同様の傾向を示すが、直径の影響は明らかではなかった。

鋼板挿入式の場合よりも傾向がばらついた。

【鋼板挿入式ドリフトピン接合部の場合】

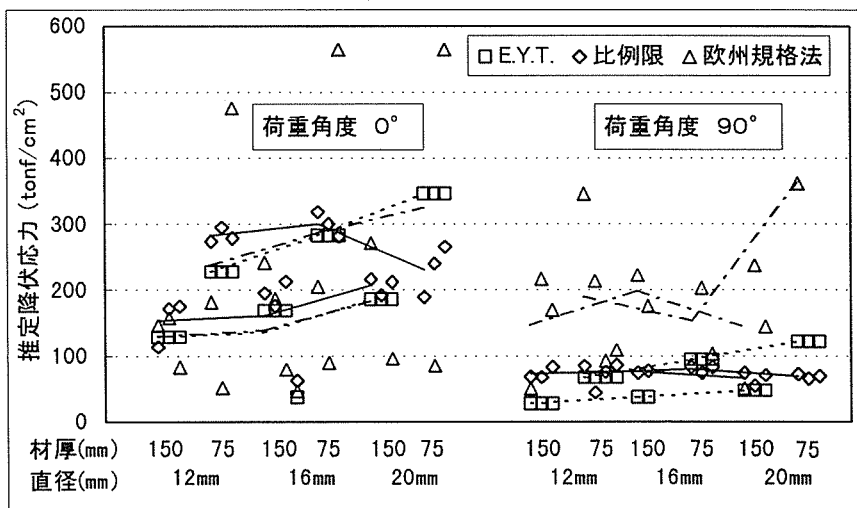


図4 鋼板挿入式ドリフトピン接合部に対する適用結果

材厚および荷重角度による影響はボルト接合と同様の傾向を示すが、直径の影響は明らかではなかった。

荷重角度によらず、E.Y.T.法による推定値が他の2方法による推定値よりも、かなり大きな値を示した。

3.2. 実際の応力—めり込み変形量曲線と推定値との関係

各接合形式において、各推定値の差（絶対値）が最も大きかったものについて、実際の応力—変形量曲線との関係を見たものが図5～図8である。

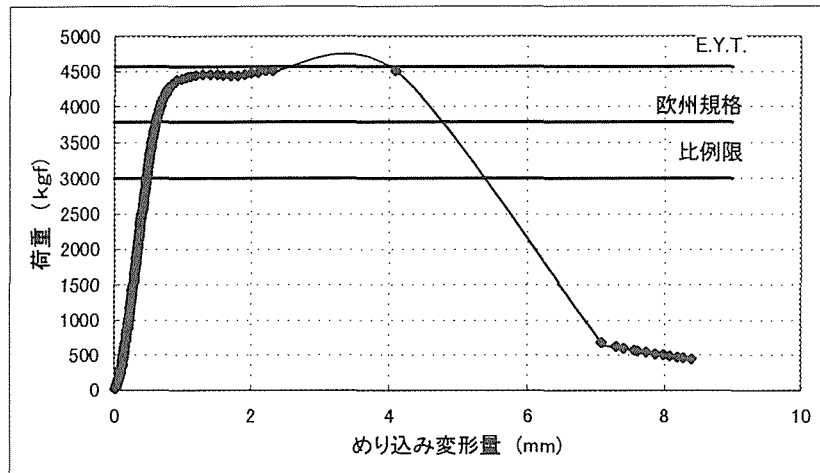


図5 鋼板挿入式ボルト接合部に対する適用結果

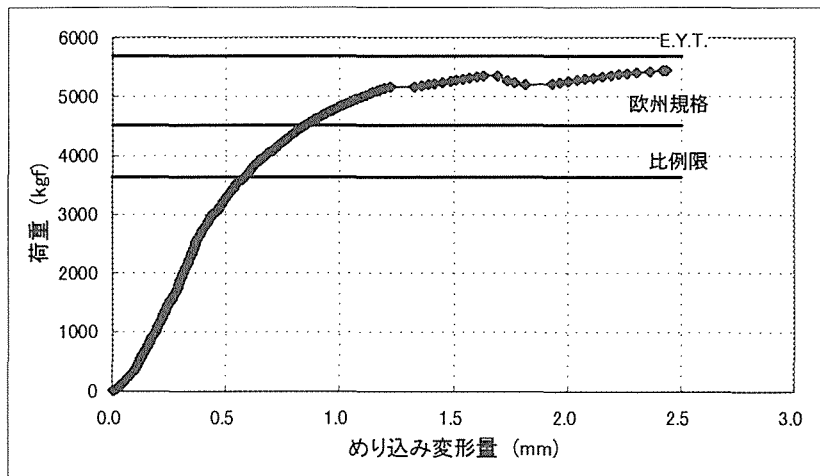


図6 鋼板添板式ボルト接合部に対する適用結果

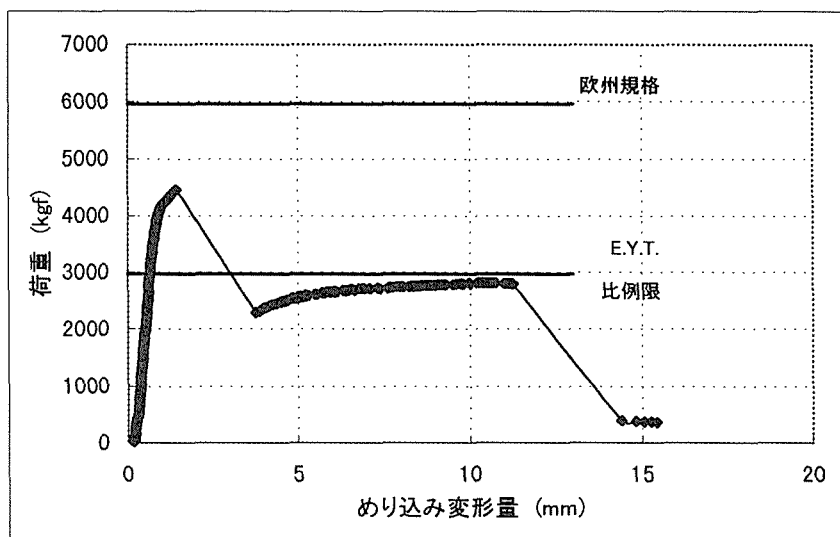


図7 鋼板挿入式ドリフトピン接合部の場合(1)

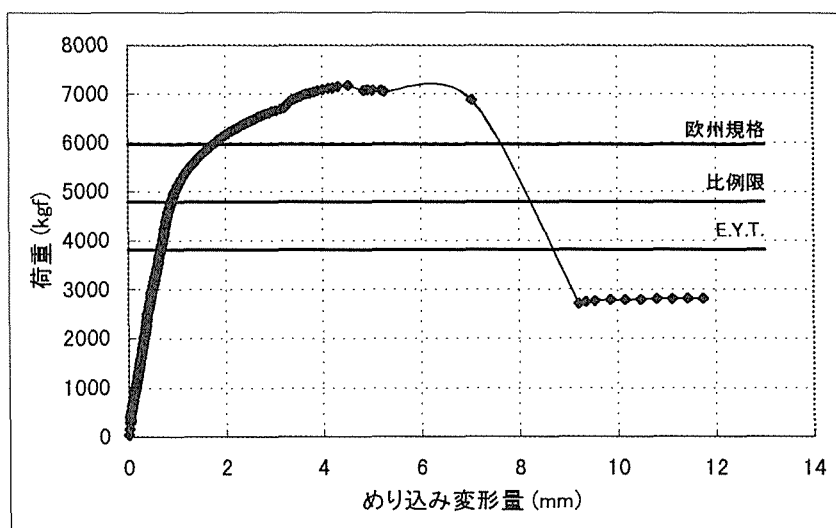


図8 鋼板挿入式ドリフトピン接合部の場合(2)

これらはいくまでも一例であり、今回適応したすべての例について同じ傾向が認められるものではないが、ボルト接合の場合、(目測で)欧州規格による推定値が妥当であると思われる。図7は、ドリフトピン接合部の例であるが、この例のようにいったん荷重が減少してその後「ねばり」をみせる曲線の場合、欧州規格の値がかなり高くなってしまった。こうした例は、ドリフトピン接合部に特に多く見られた。図8は、別のドリフトピン接合部に対する適用例であるが、この場合は、比例限による推定値が妥当と思われる。

このように実際の曲線に適応してみると、どの推定方法が最も妥当であるかを判断することは大変困難であると考えられる。

3. 3. 最大耐力に対する各推定値の比率

各推定値の、最大耐力に対する比率を各接合形式について求めたものが図9～図11である。

なお、比例限法については、その定義よりすべての場合において一定である。

【鋼板添板式ボルト接合部の場合】

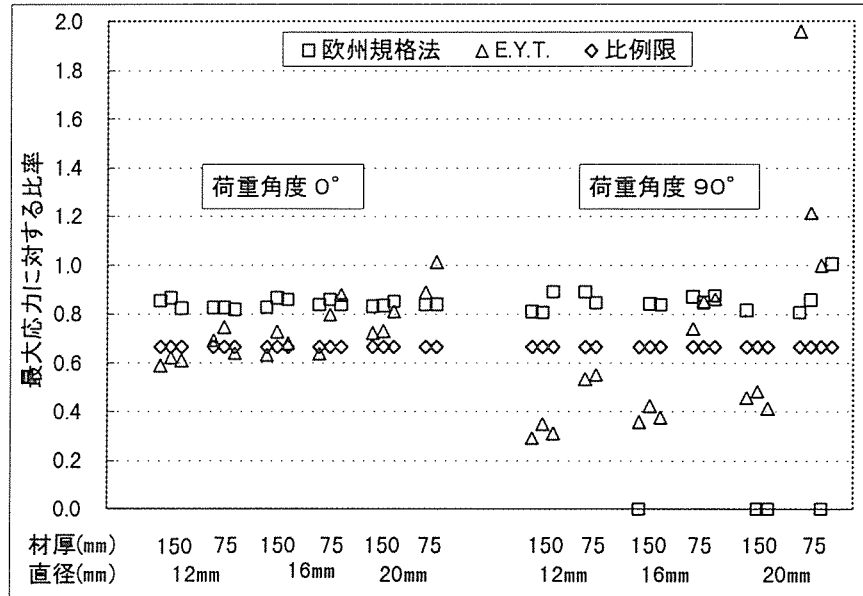


図9 鋼板挿入式ボルト接合部の場合

荷重角度が0度の場合にはばらつきが少なくなり、材厚や接合具直径の影響を受け難く、一定となる。

これに対し、90度の場合は、ばらつきが大きくなった。特に、E.Y.T.法による推定値の比率は、材厚の減少および直径の増加とともに値が増加する傾向が認められた

【鋼板添板式ボルト接合部の場合】

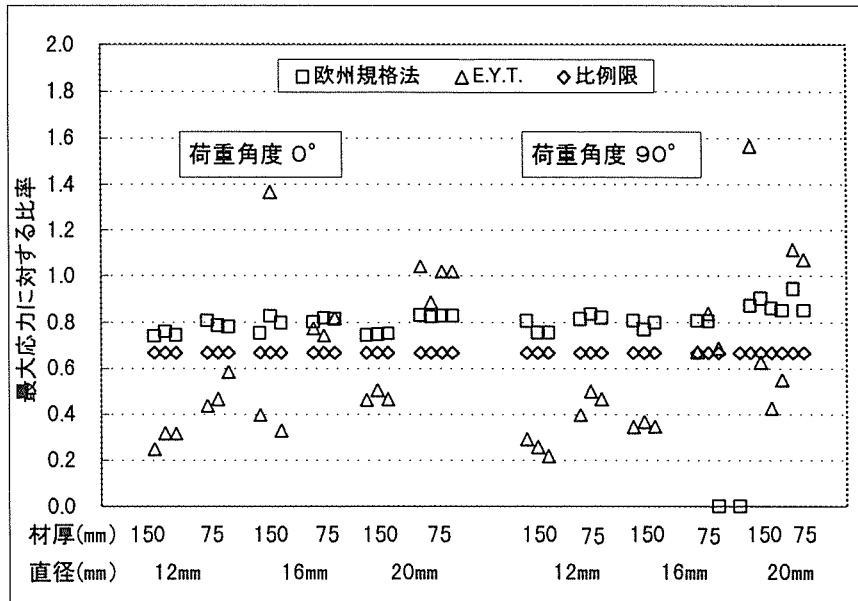


図 10 鋼板添板式ボルト接合部の場合

全体的に鋼板挿入式ボルト接合部と同様の傾向を示すが、荷重角度 0 度においても、E.Y.T.法における推定値の比率が、材厚の減少および直線の増加とともに増加する傾向が認められた。

【鋼板添板式ドリフトピン接合部の場合】

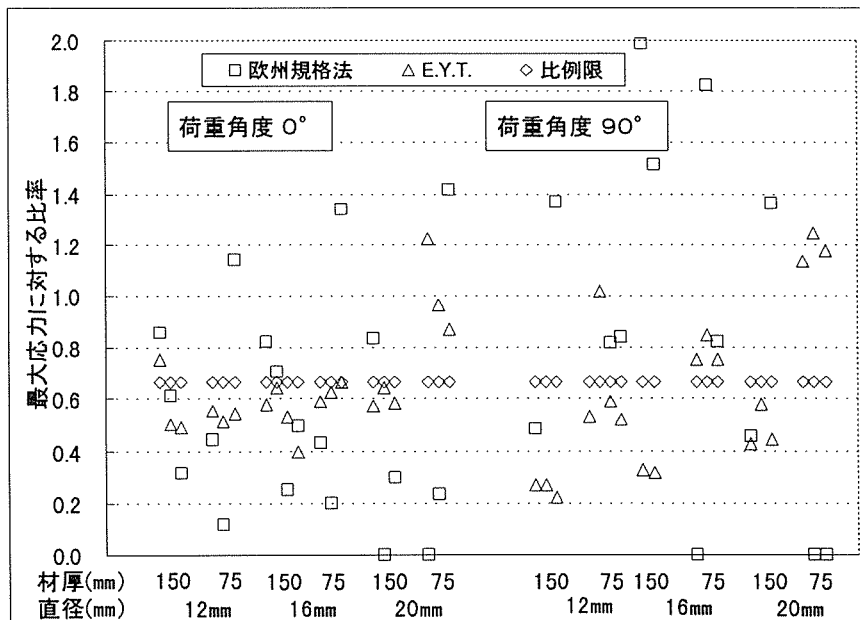


図 11 鋼板挿入式ドリフトピン接合部の場合

何れの推定方法による値についても、ボルト接合部よりも値がばらつき、材厚や直径、荷重角度による一定の傾向は認められなかった。

3.4. 径長比の影響

これまでの検討結果から、降伏応力が接合具直径および材厚に影響を受けることが明らかになったので、実用的に用いるためのアプローチとして、両者を含めた変数である径長比を導入する。これは、接合具の有効長さ（但し、本報告では材厚で置き換えている）を直径で除したもので、値が大きいほど細長いことを示す。この径長比と降伏応力との関係を見たものが図12～図14である。

【鋼板挿入式ボルト接合部の場合】

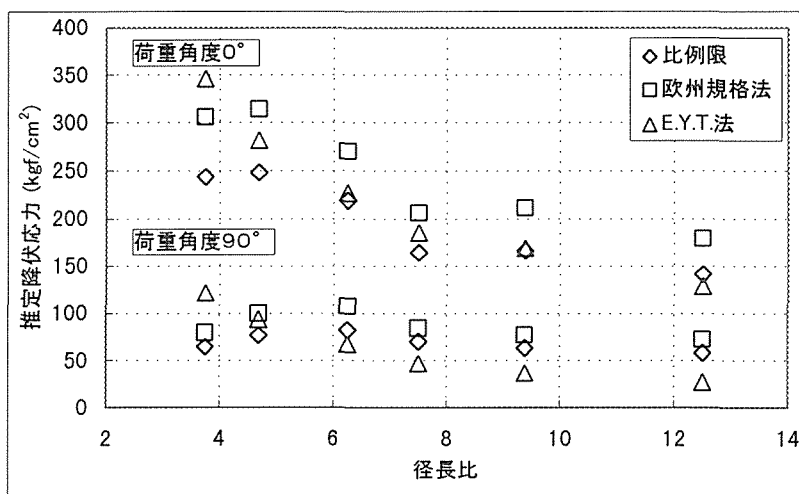


図12 鋼板挿入式ボルト接合部の場合

荷重角度が0度の場合は、何れの推定値についても、径長比の増加に伴ってわずかに減少する傾向が認められた。

荷重角度が90度の場合は、この減少傾向が弱くなり、直線的な現象というよりは、いったん増加してから減少するといった傾向を示した。

径長比最小時(=3.75)と最大時(=12.5)の応力値とを比較してみると、荷重角度0度するとき51%(内、比例限法58%、欧州規格法59%、E.Y.T.法37%)、0度の場合には68%(内、比例限法90%、欧州規格法92%、E.Y.T.法23%)であった。

【鋼板添板式ボルト接合部の場合】

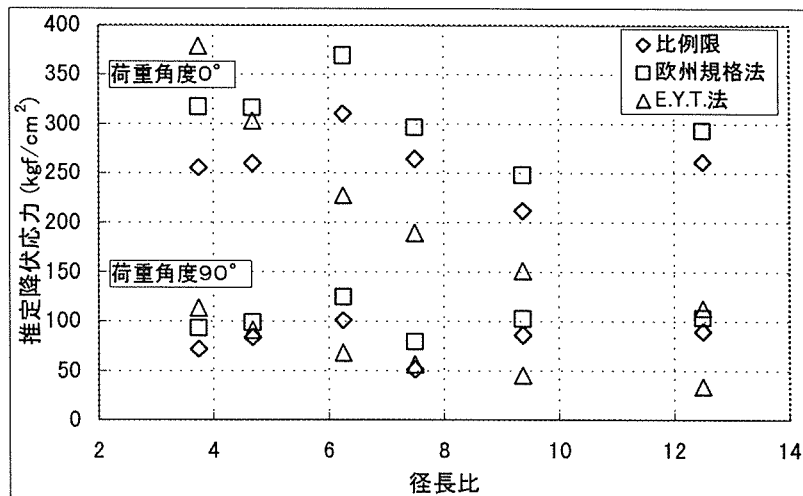


図 1 3 鋼板添板式ボルト接合部の場合

荷重角度が 0 度の場合、欧州規格法および E.Y.T.法による推定値は径長比の増加に伴ってわずかに減少するが、比例限による推定値には一定の傾向が認められなかった。

荷重角度 90 度の場合、鋼板挿入式ボルト接合部と同様の傾向を示した。

径長比最小時の応力値に対する最大時の応力値の比は、荷重角度 0 度るとき 75% (内、比例限法 102%、欧州規格法 92%、E.Y.T.法 30%)、90 度の場合には 89% (内、比例限法 125%、欧州規格法 111%、E.Y.T.法 30%) であった。

【鋼板挿入式ドリフトピン接合部の場合】

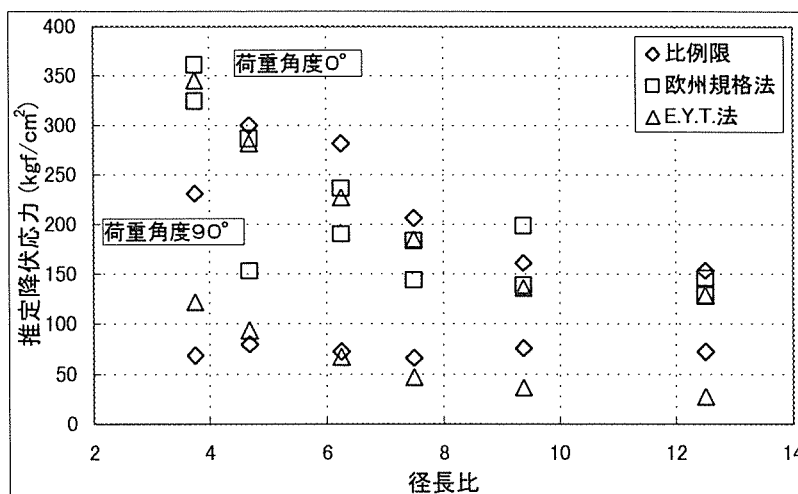


図 1 4 鋼板挿入式ドリフトピン接合部の場合

荷重角度が 0 度の場合、何れの推定値についても、径長比の増加に伴ってわずかに減少する傾向が認められた。

荷重角度 90 度の場合、鋼板挿入式ボルト接合部と同様の傾向を示した。

荷重角度径長比最小時の応力値に対する最大時の応力値の比は、荷重角度 0

度の場合、48%（内、比例限法 66%、欧州規格法 40%、E.Y.T.法 37%）、90 度の場合には 56%（内、比例限法 106%、欧州規格法 40%、E.Y.T.法 23%）であった。

4. まとめ

- ◆ 一般に、降伏応力は、材厚、接合具直径、荷重角度に影響を受ける。
- ◆ 径長比により応力値は影響を受け、径長比の増加とともに値は減少する傾向を示した。ただし、その傾向は鋼板の位置（挿入、添板）および荷重角度により若干変化した。
- ◆ 今回の結果から、荷重—めり込み変形量曲線の降伏応力を推定するための適切な方法を決定することは困難である。

第8章 まとめ及び今後の対応

集成材接合強度委員会は、前期2年間の研究が終了し、今回その間に各委員の方々に分担していただいた研究課題をとりまとめることとなった。

先の兵庫県南部地震以来、木質構造の研究の大勢は木造戸建て住宅の耐震性能評価並びにその向上という面に集中し、本委員会が受け持つべき中・大規模集成材構造に関する研究は、一時棚上げ的状态にあったと言えよう。このような木質構造をとりまく社会状況の変化もあって、当委員会の扱うべきテーマと期待される成果について、委員会発足当初は若干の不確定な部分が見受けられた。しかし、事務局並びに委員の方々の2年間に及ぶ努力によって、今回大きく分類して8課題に渡る研究テーマが無事完了し、それぞれ充実した内容で報告されるに至ったことは喜ぶべきことである。個々の研究テーマに関するとりまとめは原報告に譲るとして、ここで再度本委員会が目差すべき研究課題について考えてみたい。

中・大規模な集成材構造は本質的に全ての接合部を設計する必要がある。それは接合部の寸法が、現在そのデータベース化が住木センターで精力的に進められている戸建て木造住宅のそれらに比べて、格段に大きいため、多数の実大実験による接合部単体の性能をデータベース化することが物理的、経済的に困難であることが最大の理由である。もう一つの理由は、中・大規模な集成材構造における接合部は建物ごとに新規なものが多く、戸建て木造住宅のように標準化が難しいものが多いことによる。そのため、接合部をより細分化して構成要素に分解し、接合部の構造性能を設計して行く必要がある。具体的には、接合部を構成する最小単位である接合具の力学的性能に基づいて、接合部を一種の構造物と見立てて構造設計するという考え方が要求される。

本委員会の目差すべき研究課題は、上述したような接合部の構造設計をより正確に、かつ効率的に可能とするような各種パラメータを集積し、かつ具体的な接合部設計法を提案し、実大規模の実験によって提案された設計法の妥当性を検証することにあると考える。したがって、できる限り一般性の高い接合具を用いた接合部を対象とし、かつこれまでの研究でデータが充分集積されていないが今後重要となってくるであろうジャンルを視野に含んで、後期の2年間の研究を推進してゆく必要がある。