各種環境条件下における釘接合部及びメタルプレート・コネクター接合部の力学的性質

Mechanical Properties of Nailed Joints and Metal-Plate Connected Joints under Various Environmental Conditions

徳田　迪夫*

Michio TOKUDA*

目　　次

1．序 ……315
2．各種環境条件下における釘接合部の引抜き抵抗力 ……316
2.1　緒　　言 ……316
2.2　実験材料及び実験方法 ……317
2.2.1　実験1：含水率サイクル試験 …317
2.2.2　実験2：気乾継続及び乾燥過程における引抜き抵抗力の変化 …318
2.3　結果及び考察 ……319
2.3.1　実験1 ……319
2.3.2　実験2 ……320
2.4　結　　論 ……323
3．各種環境条件下における釘接合部の両振れ繰返しせん断力に対する性質 ……323
3.1　緒　　言 ……323
3.2　実験材料及び実験方法 ……324
3.3　結果及び考察 ……328
3.3.1　静的荷重試験 ……328
3.3.2　両振れ繰返し試験 ……329
3.4　結　　論 ……333
4．各種環境条件下におけるメタルプレート・コネクター接合部の力学的性質 ……334
4.1　緒　　言 ……334
4.2　実験材料及び実験方法 ……334
4.2.1　静的引張試験 ……336
4.2.2　引張片振れ繰返し試験 ……336
4.2.3　環境変動下の試験 ……336
4.3　結果及び考察 ……338
4.3.1　静的荷重試験 ……338
4.2.2　引張片振れ繰返し試験 ……340
4.3.3　許容応力度の提案 ……345
4.4　結　　論 ……348
引用文献 ……348
要　　旨 ……349
Summary ……350

1．序

わが国の木質構造住宅には，在来の軸組構法の他にパネル構法や枠組壁工法等があり，その種類は多い。構法の違いはあっても，釘や金物が構造耐力に及ぼす役割は極めて大きい。特に

*東京大学農学部林産学科
Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

枠組壁工法は，部材相互を釘で結合していく構法であるので，釘の用い方一つが構造耐力を支配するといっても過言ではない。

わが国で釘接合やメタルプレート・コネクター接合の重要性が認識されだしたのは，1970年代後半の枠組壁工法の導入時であった。それまでは，釘をなるべく用いず，複雑な仕口や継手を用いる風習があったため，欧米に比べると，研究面でも，また実用面でも遅れていた。釘接合部の許容耐力も，欧米の方式を踏襲している感がある。しかしながら，わが国は地震国で，風圧力も強く，温湿度の変化も，世界の他の国々と比べて大きい方なので，この独得の風土に鑑みた設計方式を確立して行く必要があろう。

そこで本研究は，釘接合部の引抜抵抗力，せん断耐力，及びメタルプレート・コネクター接合部の耐力を，特に木材の含水率が変化した場合について実験的に調べ，許容耐力設定上の基礎データの提供を目的とした。

本研究を行うに当り，御指導いただいた杉山英男教授と大熊幹章助教授に深謝いたします。また，試験体作製の労を賜った，会田武郎，土屋欣也両氏に，また木質材料学教室の皆様の御助力に厚く謝意を表します。

2．各種環境条件下における釘接合部の引抜き抵抗力

2.1　緒　　言

わが国には，各種使用条件に応じた釘の引抜き抵抗力の緻密な取り決めがない。引抜き抵抗力は，場合によっては，せん断耐力とも関係してくるので今後はせん断力に対すると同様に，釘の引抜抵抗力を正当に評価していく必要があろう。本研究では，釘打ち込み後の時間経過と含水率変化の影響を調べてみた。

Stern (1)は Southern pine に CN65（長さ63.5mm，直径3.33mm）を打ち込み，含水率を15%と30%の間で3サイクル繰返した後，10%まで乾燥させた結果，引抜き抵抗力は木材の吸脱湿に伴って増減しながら徐々に増加した後，ほぼ打込み直後の値にまで漸減すると述べている。

Senft (2)は，木材として Douglas-fir と Red-oak を，また釘として 6 d（長さ50.8mm，直径2.87mm），8 d（長さ63.5mm，直径3.33mm），10 d（長さ76.2mm，直径3.76mm）の3種類を使って，周期的な含水率変化，及びメッキの影響を実験によって調べた。含水率のサイクルは5%と20%の間を10回繰返した。その結果，打込み時の木材の含水率によって引抜き抵抗力の値に差は見られたが，全体の傾向としては，第1回目から第2回目までのサイクルでは，サビの発生によって，引抜き抵抗力は初期の値の2.5～5倍にまで増加し，その後は徐々に低下した。10サイクル目の値は打込み直後の値より下回らなかったと述べている。

金森は（3，4）木材としてエゾマツ，カラマツ，ミズナラを，釘として鉄丸釘N50（長さ50mm，直径2.77mm）と長さ50mmの逆目釘及びらせん釘を用いて，木材の乾燥過程及び，含水率

が周期的に変化する場合について引抜き抵抗力の変化を調べた。含水率変化試験では，含水率5％と18％の間を1サイクル（2ケ月間）として5サイクル繰返した。その結果，木材の乾燥によって鉄丸釘の引抜き抵抗力は低下したが，逆目釘とらせん釘の場合は逆にわずかに上昇した。周期的な含水率変化を受けた場合は，鉄丸釘は抵抗力は徐々に低下し，この割合は，木口面に打った時より，板目面や柾目面に打った時の方が大きかった。5サイクル目の値は，初期の引抜き抵抗力の値の50～60％であった。一方，逆目釘とらせん釘は，吸脱湿サイクルを受けても抵抗力は低下しなかった。生材に釘を打って6ケ月乾燥させた後の引抜き抵抗力は，樹種によって多少差があったが，初期の値の30％～50％になり，大きく変化をしたと報告している。

Perkins (5)は，インド産のRed-pineを用いた釘接合部を屋外に暴露した時の引抜き抵抗力の変化を調べた。試験体をシェルターの下に48週間暴露した場合，CN50では初期の値の約10％，CN65では約25％低下した。48週間雨ざらしにした場合は，CN50で約58％，CN65で約68％低下した。

2.2　実験材料及び実験方法

2.2.1　実験1：含水率サイクル試験

木材はHem-firで，釘打込み時の含水率は約13％，気乾比重0.51～0.55であった。釘はCN90（長さ88mm，直径4.1mm），CN75（長さ76.2mm，直径3.76mm），CN65（長さ63.5mm，直径3.33mm），N90（長さ90mm，直径3.8mm），N75（長さ75mm，直径3.4mm）の5種類を用いた。

接合部の図と寸法をそれぞれFig. 2－1とTable 2－1に示した。スタッドと下枠は2本の釘で接合し，下枠の厚さは，スタッド内の釘長さが，釘全長の約60％となるようにした。

釘の表面には油や小さなゴミがついており，これによって引抜き抵抗力にバラツキが生じやすいので，本実験では，釘を予めアセトンで清浄にした。

試験機は島津オートグラフIS-5000で，クロスヘッドのスピードは1.5mm/min.であった。試験は，下枠を2本のボルトで押え，矢印の方向に加力した。

試験はまず，すべての試験体を気乾状態の木材を使って作製し，組み立ててから2日後に引抜き試験（コントロール試験）を行った。その値をそれぞれの試験体の標準値とした。2日後に行ったのは，打込み直後よりも，引抜き抵抗力の値が安定期に入る時の方が標準値として適当と考えたからであった。

コントロール試験後，スタッドの釘のはいり込んだ部分を切除し，残った部分と下枠とを再び2本の釘で接合した。そしてこの試験体に含水率変化を与えた。

木材の含水率（釘周辺部）を15％→50％→25％→15％と変化させ，これを1サイクルとして3サイクル繰返した。この間，適宜引抜き試験を行い，その後8ケ月間，恒温室（20°C，65％RH）に試験体を放置した後，最後の試験を行った。

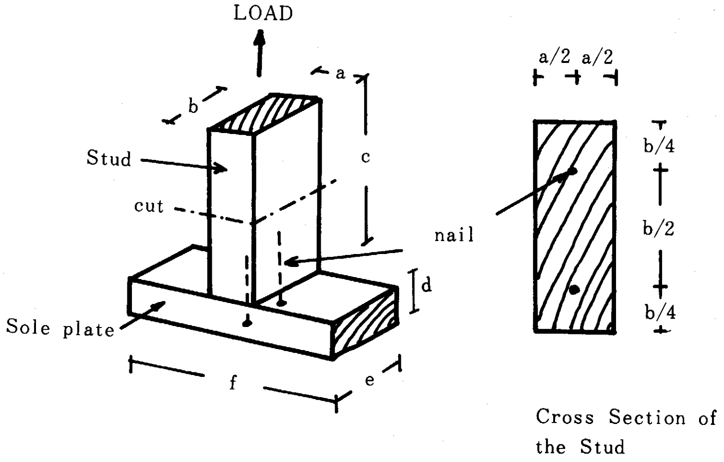

Fig. 2-1 Specimen for withdrawal test (Experiment 1).
Letters a through f correspond to those in Table 2-1.

Table 2-1 Specimen size and length of nails in the studs

Nail	Specimen size		Length of nails in the studs (mm)
	Stud(mm) a×b×c	Sole plate(mm) d×e×f	
CN90	40×90× 180	35×90× 250	53
CN75	40×90× 180	30×90× 250	45
CN65	40×90× 180	20×90× 250	42
N90	40×90× 180	35×90× 250	55
N75	40×90× 180	30×90× 250	45

含水率の変化を Fig. 2 — 2 に示した。各時点での試験を順に，Test 1，Test 2，……，Test10 と呼ぶ。なお，含水率を上げる時は水につけ，乾燥させる時は恒温室内に放置した。ここで言う含水率は，釘引抜き後に，周辺から 1 cm× 1 cmの角柱を切り出して測定した値で，平均含水率ではない。試験体数は 1 条件につき 4 体であった。

2.2.2 実験 2 ：気乾継続及び乾燥過程における引抜き抵抗力の変化

小型の木材ブロックに釘を打ち，釘の打ち込み面，釘の種類，メッキの有無，環境条件をパラメータとして引抜き抵抗力の変化を調べた。

Fig. 2 — 3 に試験体の形状を示した。釘の打込み面は板目と木口の 2 種類で，一つの試験体には，クロムメッキした釘 2 本（1Mと 2M）と，メッキしていない釘（1Nと 2N）の計 4

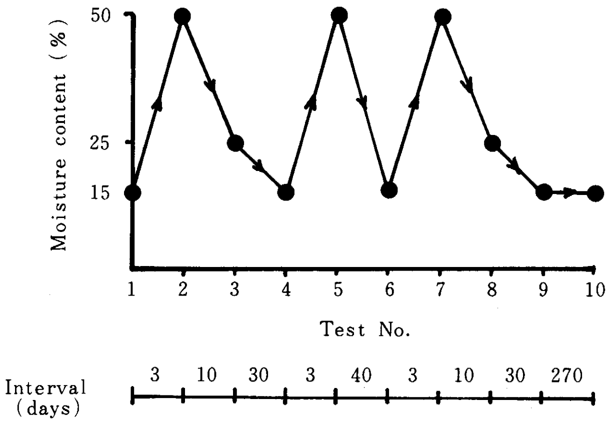

Fig. 2-2 Schedule of moisture change.

本を打った。試験体の寸法は，板目打ちでは，300mm(L)×60mm(T)×90mm(R)で，木口打ちでは60mm(L)×90mm(T)×90mm(R)であった。木材はベイツガで，気乾比重0.42～0.50，含水率は，気乾のものは約13%，生材は60%以上であった。釘はCN50とCN75，およびこれらにクロムメッキしたものを用いた。

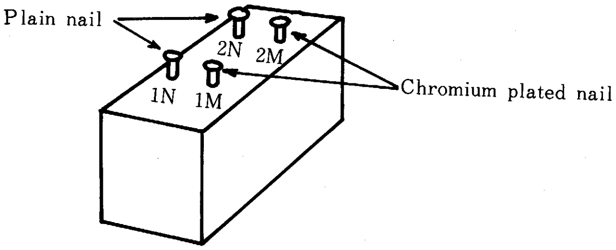

Fig. 2-3 Specimen for withdrawal test (Experiment 2).

試験は釘頭を治具でつかみ，1.5mm/minのクロスヘッドスピードで引抜き，最大荷重を読み取った。まず打込み直後に1Nと1Mの試験を行い，これを標準値とした。実験1では2日後の値を標準値としたので多少異なる。次に，条件1と条件2の試験を行った。

条件1：気乾のベイツガ材に釘を打ち，その後，気乾状態を維持し，3日，10日，30日，180日後に3体ずつの引抜き試験を行う。

条件2：生材に釘を打ち，その後，20°C，65%RHの室に放置し，3日，10日，30日，180日後に3体ずつ取り出して試験を行う。

2.3 結果及び考察

2.3.1 実験1.

コントロール試験（Test 1）における釘1本，釘長さ1cm当りの引抜き抵抗力（標準値）の分布をFig. 2－4に示した。引抜き抵抗力は，ほぼ釘径に比例している。

Fig. 2－5に含水率変化を受けた時の引抜き抵抗力の変化を標準値との比で示した。横軸は日数の対数でとった。CN90, CN75, CN65の3つを眺めると，同じ傾向が認められる。すなわち，初期の含水率変化では，吸水過程で低下し，脱水過程で上昇するが，含水率のサイクル数の増加と共に吸脱湿による変化巾は小さくなり，最終的には，ほぼ標準値の値に収束する傾向にある。N90とN75は途中までしか試験を行っていないが，傾向はほぼ同じである。なお，Test 4，5あたりから，釘のサビが顕著になり，引抜き後の釘身を観察したところ，細かな木片が付着していた。

本実験の結果は，文献(1), (2), (5)とほぼ一致した。

2.3.2　実験2.

Table 2－2に釘打ち込み直後の引抜き抵抗値の値を示した。すべて，1条件につき30体の値である。

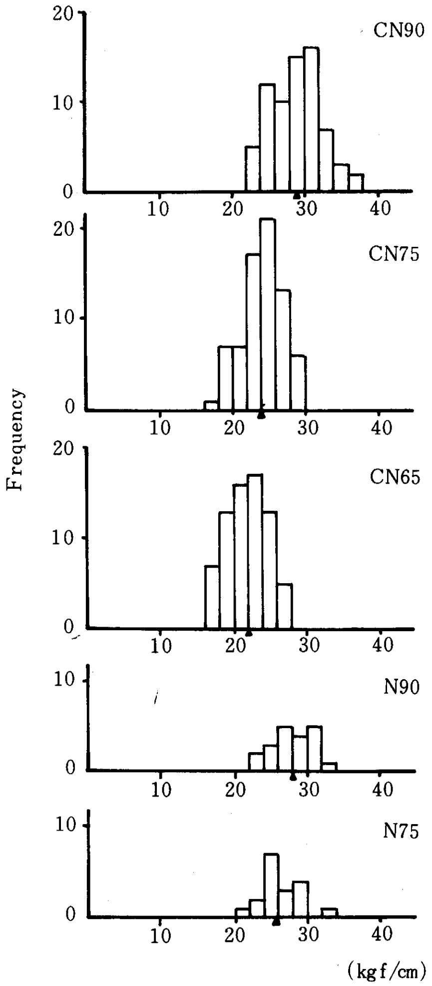

Fig. 2-4　Withdrawal distribution chart of standard value (Experiment 1).
Note : Symbol ▲ indicates the mean value.

板目打ちのWet，及び木口打ちでは，引抜き抵抗値は，ほぼ釘径に比例しているが，CN75の板目打ちの場合はCN50とあまり差が認められない。これは，木材の割れによるものと推測できる。Wet と Dry の値の比は，木口打ちの場合は0.45～0.55であるが，板目打ちでは，Dry と Wet の差が小さい。これも割れによるものと考えられる。なお，超小型のロードセルを内蔵した模型釘を，バルサの木口に打った試験でも，木材から釘に加わる側圧は，Wet 材では Dry 材の½の値であった。(6)

また，Wet 材の場合には，板目打ちと木口打ちの比は約3であるが，Dry 材の場合にはずっと小さくなっている。

Fig. 2－6に条件1の，また Fig. 2－7に条件2の引抜き抵抗力の変化の様子を示した。条件1の場合，CN75はほぼ直線的に低下したが，CN50は釘による木材の割れが少いためか，低

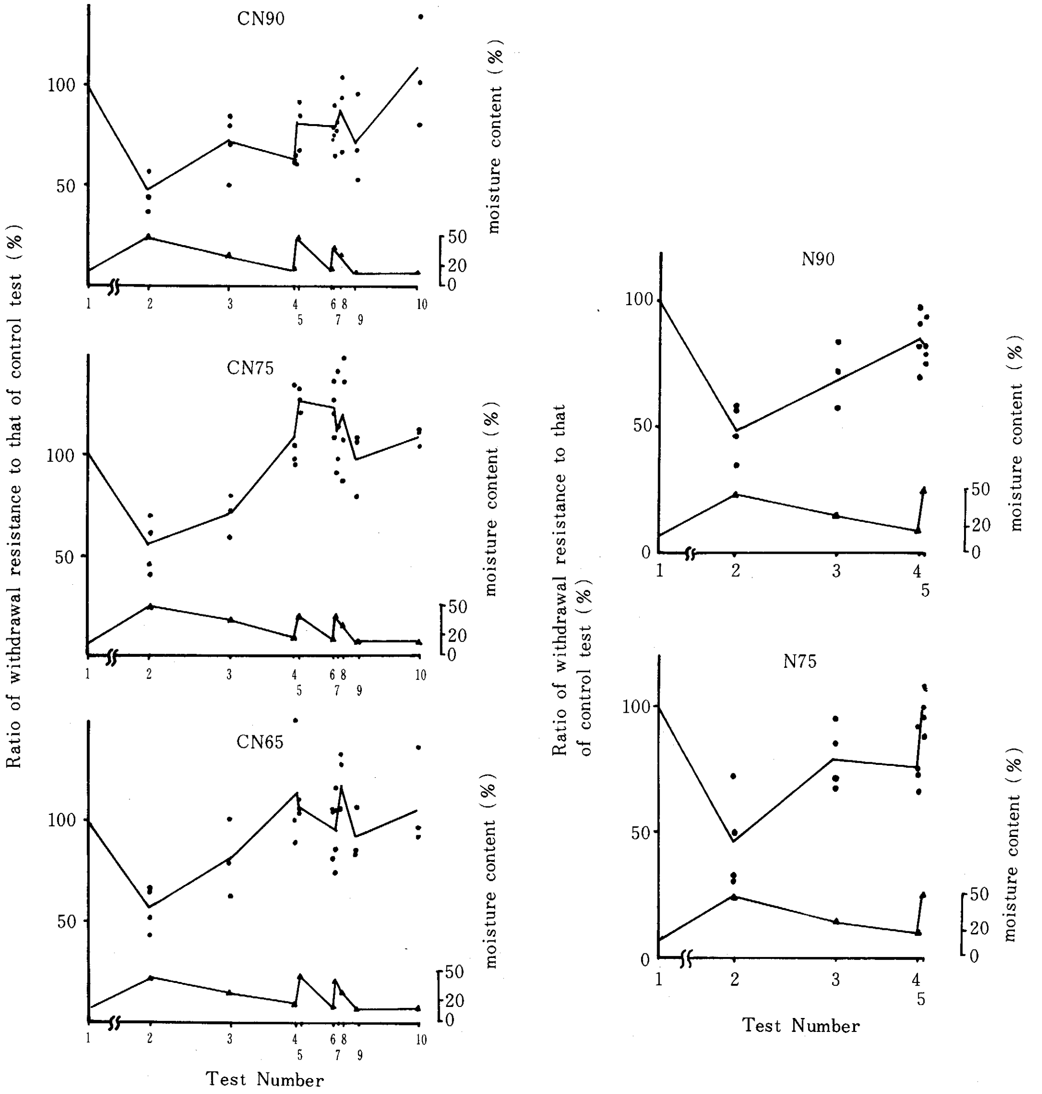

Fig. 2-5　Change of withdrawal resistance under various moisture conditions.
Note : Straight lines connect the mean value.

下が少なく，逆に増加した。傾向としては，径の大きな釘程，抵抗力の低下割合が大きいと言える。

一方，条件 2 では，一担上昇の気配が見られるが，3 ケ月後には，CN75では初期の値の40〜50％に，CN50では60〜70％に落ちついた。先に述べた実験 1 の場合は，乾燥材に打って，含水率変化を与えているので，長期的な引抜き抵抗力は打込み 2 日後の抵抗値を維持したが，生材に打って，乾燥させた場合には，抵抗力が半分近くに落ちる。しかも，打込み直後の引抜き抵抗力は，生材に打った時は，乾燥材より小さいので，生材に打って乾燥させた場合には，引抜き抵抗値は極めて小さいものとなってしまう。パレットの製造の際は，生材に釘を打つの

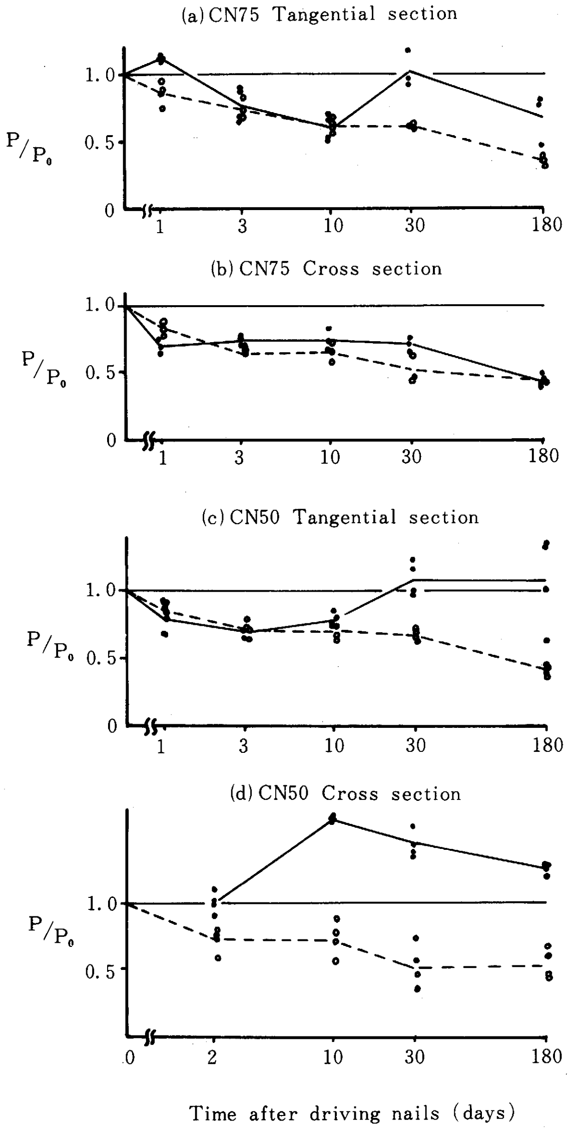

Fig. 2-6 Change of withdrawal resistance under 20°C,65% (Condition 1).

Notes: P_0 : withdrawal resistance short after driving.
P : withdrawal resistance after driving.
● : Plain nails
○ : Chromium plated nails
Straight lines connect the mean value.

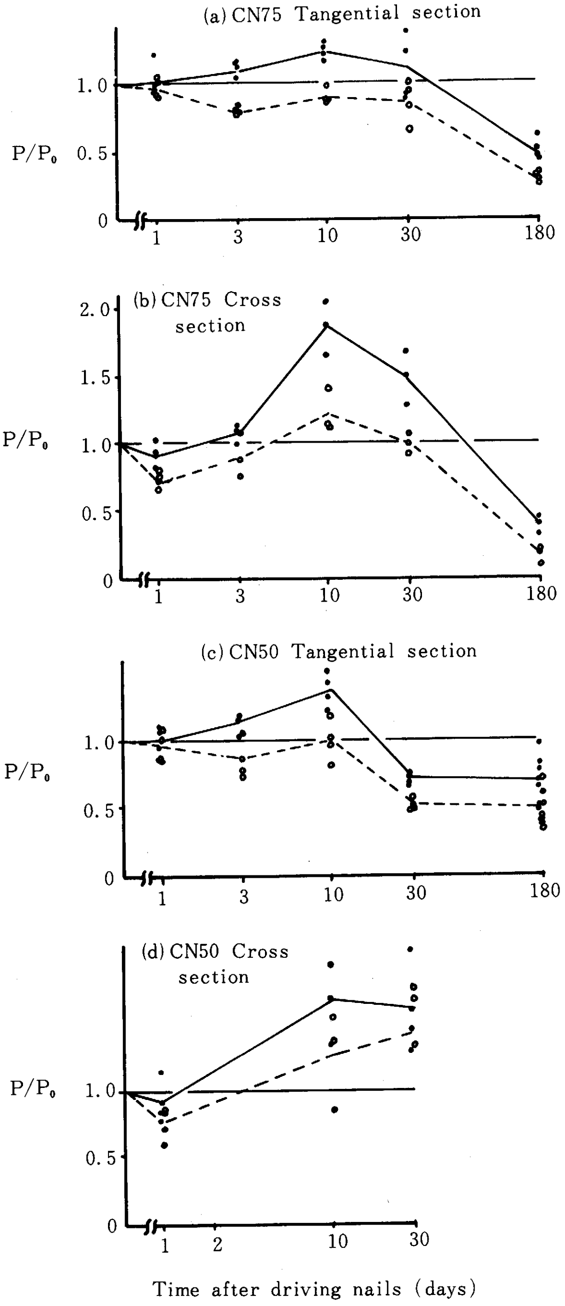

Fig. 2-7 Change of withdrawal resistance under drying condition (Condition 2).

で，スクリュー釘を用いる習慣がある。建築の場合にも，生材に打つ場合で，特に引抜き抵抗力を必要とする箇所には，スクリュー釘を打つ等の配慮が必要であろう。また，せん断力が主で，引抜き力が直接加わらない所でも，引抜き力が極端に弱いと，せん断耐力が引抜き力によっ

Table 2-2 Withdrawal resistance short after driving (Experiment 2).

(kgf／cm)

Surface of driving	Wood moisture condition \ Nail	CN75 No plated nail	CN75 Chromium plated nail	CN50 No plated nail	CN50 Chromium plated nail
Tangential section	dry *	36.7	35.6	34.7	33.0
		14.9	10.1	10.7	12.5
	wet **	36.4	29.8	25.3	21.7
		17.7	12.0	15.2	18.2
Cross section	dry*	25.4	25.0	19.2	18.5
		19.3	19.7	6.9	5.5
	wet**	13.9	11.7	9.7	8.4
		14.7	13.1	11.8	9.0

Top value indicates mean value. (kgf/cm)
Bottom value indicates the coefficient of variance.(%)
＊：Moisture content of wood was about 13%.
＊＊：Moisture content of wood was above 60%.

て決ってしまう恐れがある。神谷(7)は，生材に釘を打って，6ケ月間乾燥させた時のせん断耐力は，スリップ量5㎜の時約50%，100㎜のとき約20%低下したと述べている。釘保持力の急速な低下が，せん断力低下に多少関与しているものと考えられる。

2.4 結　論

得られた主な結論を列挙する。

(1) 気乾の木材に釘を打ち，これに含水率変化を繰返し与えた場合，引抜き抵抗力は釘の種類によらず，ほぼ打ち込み2日後の値に収束した。このことから，木材に腐朽が生じない限り，長期的な引抜き抵抗力の値は，短期の値とほぼ同等と見積もることができよう。

(2) 生材に釘を打ち，これが乾燥した場合には，引抜き抵抗力は3ケ月間に50%近く低下した。従って，釘を生材に打つ場合で，しかも引抜き抵抗力を必要とする箇所にはスクリュー釘を打つ等の配慮が必要となろう。

3．各種環境条件下における釘接合部の両振れ繰返しせん断力に対する性質

3.1 緒　言

釘接合部の両振れ繰返し荷重に対する性質を調べたものは静的荷重，一定載荷荷重及び片振れの繰返し荷重に対する研究に比べその数が少い。面材が釘打ちされた耐力壁や床の動的特性を把握するには，釘接合部の両振れ繰返し荷重下でのスリップ特性を精密に知っておく必要がある。本研究は，含水率変化を受けた釘接合部が両振れの力を受けた場合，接合部のスリップ

量はどのように変化するのかを実験によって調べた。釘接合部の側材としては針葉樹合板と，近年，北米で合板に代わる材料として需要が急速に伸びているウェファーボードを取り上げ，両者の比較を行って，設計上の問題点を究明した。

繰返し荷重下及び含水率変化を受けた時の性質を調べた既存の研究を見ると，Mack (8)は，Radiata pine 他数種の木材を使って，片振れの繰返しせん断試験を行った。周期は１秒で，繰返し回数は1000回と10000回であった。繰返しによる相対変位の増加量と残留変位の増加量を測定した結果，低荷重では，繰返しによる変位量の増加は極めて少く，初期スリップ1.5㎜(0.06″)を与える荷重で10000回繰返した場合は，第１回目の繰返しによるスリップの1.5～3.75倍になった。また湿潤材は乾燥材の約２倍のスリップを生じた。

Wilkinson (9)は，振動を受ける釘接合部のごく初期のスリップ特性を実験によって調べ、静的試験の場合と比較した。釘一本で構成された一面せん断試験体に，一定量の死荷重を加え，そこに５～20Hz のサイン波で，0.2～0.8G の加速度を与えた時の最大スリップ量を測定した。試験体としては，素材同士を CN50あるいは CN75で接合したものと，素材と合板を CN50で接合したものを用いた。動的な力に対するスリップ量と，静的な力に対するスリップ量の比は，たとえばダグラスファーと合板の場合は1.23～1.87で，死荷重が大きくなる程、値は小さくなり，同じ死荷重の場合には，周波数が大きくなる程，値は大きくなった。

Atherton (10)は，合板および石膏ボードを側材とした釘接合部の両振れ繰返し試験を行い，減衰特性を調べた。その結果，比重と周期の減衰特性への影響は少なく，荷重レベルの影響が大きかったと述べている。

有馬と佐藤(11)は，合板とパーティクルボードを側材に使って，片振れの繰返し試験を20°C，65％RH の条件下で行い，主材と側材の厚さ，及び釘の種類による影響を調べた。繰返し100回までの変形が大きく，その後の増加は極めて少なかった。荷重比30％を境にスリップ量の増加割合が顕著になった。一度大きな荷重を受けた後に，それより小さな荷重が作用した場合，釘接合部の変形はほとんど回復することなく，作用期間中の最大荷重に支配された。

神谷(7)は，９㎜厚のラワン合板と Hem - fir を用いた釘接合部で，主材 Hem - fir が乾燥する過程での接合部の剛性と強度の低減を実験的に調べた。その結果，未乾燥材に釘を打ち，６ヶ月間室内に放置後に試験を行った場合，初期のスリップに対するせん断力の低下が著しく，乾燥材で，釘打ち直後のせん断力に対する比は，スリップ0.5cmでは約0.5，１cmで約0.6，10cmで約0.8であった。この傾向は，実存する建物から取り出した接合部でも同様であったと報告している。

3.2　実験材料及び実験方法

釘接合部の主材としては人工乾燥した Douglas - fir のツーバイフォー材（断面38㎜×88㎜，

気乾比重0.41〜0.62(比重の影響を見るため意識的に巾広くとった)，含水率約12%を，側材として15㎜厚3プライのDouglas - fir合板とウェファーボード（厚さ16.6㎜，Aspen）を用いた。

主材に用いたDouglas - firは長さ305㎜に，ボードは102㎜×305㎜に切断し，2本の釘を釘頭がボード表面と一致する所までハンマーで打込んだ。釘はCN65を用い，暴露試験用にはCN65とCN50の両方を用いた。試験体の形状と寸法をFig 3－1に示した。主材と側材には直径16㎜の穴があけてあり，ここにピンを通して荷重を加えた。

試験の種類は，静的荷重に対する剛性と強度を調べる静的荷重試験，標準環境条件下での繰返し荷重に対する性質を見たコントロール試験，乾湿繰返し試験，それと屋外暴露試験の4種類であった（Table 3－1）。

試験機はMTS繰返し試験機を用いた。主材と側材間のスリップを電気式変位計で測定し，荷重とスリップの関係をX－Yレコーダに記録した。

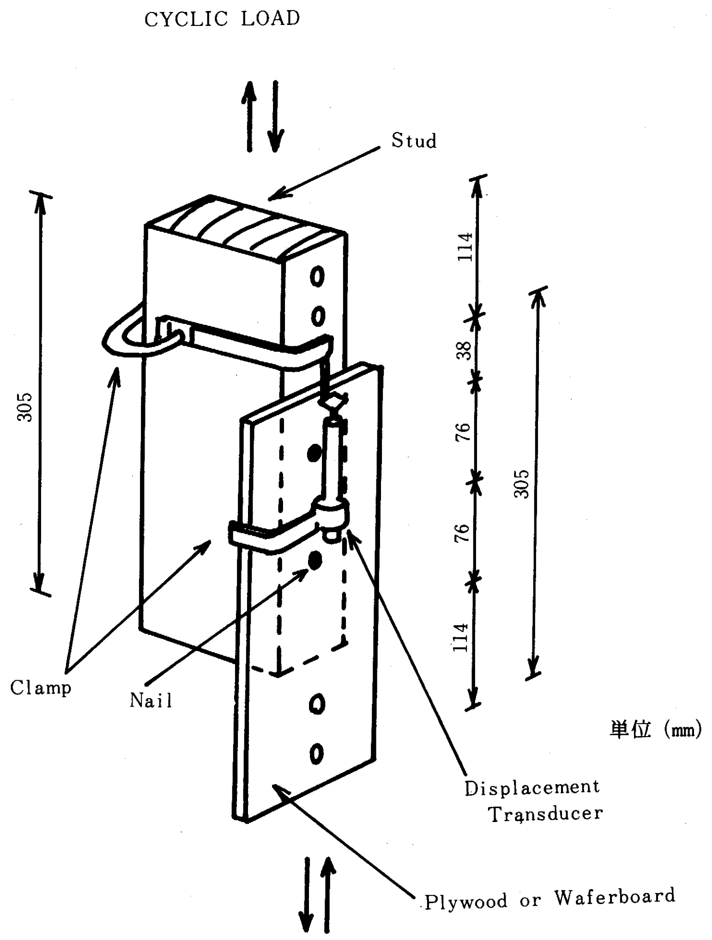

Fig. 3-1 Specimen for shear test

Table 3-1 Variation of test and the number of specimens.

Test type	Loading type	Number of specimens	
		Plywood	Waferboard
Static test	Static tension	10	10
Control test	Reversed cyclic	10	10
Moisture cycle test	Reversed cyclic	15	14
Exposed test	Reversed cyclic	6	6

静的荷重試験は荷重速度22.7kg/min. の割合で引張力を加えて行った。両振れ荷重は，引張側と圧縮側の荷重の最大値が等しいサイン波で，荷重レベルは，釘が塑性変形を起さない範囲ということて，91kgf(200lb)，113kgf(250lb)，136kgf(300lb)の３つを選んだ。それぞれ順番に荷重レベル１，２，３と呼ぶ。

繰返し試験はまず荷重レベル１で50回繰返した後，荷重レベルを２に上げて50回繰返した。最後に荷重レベル３に上げて50回繰返して試験を終了した。

繰返しの周期は各荷重レベルで多少異なった。これは荷重速度をほぼ一定に保つためであった。荷重レベル１は周期15秒，荷重レベル２は19秒，荷重レベル３は22.4秒であった（Fig 3－2)。

コントロール試験は20°C, 65%RH の環境下で上述した両振れ繰返し荷重を加えた。乾湿繰返し試験は，試験体を高温高湿室（32°C，89%RH）と高温低湿室（32°C，30%RH）との間を交互に移し変えた後に行った。含水率変化のスケジュールを Fig3-3に示す。

試験は初め標準環境状態（20°C，65%RH）にあったすべての試験体に，91kg f の荷重を加え，初期剛性をチェックし，次にこの試験体を高温高湿室に３日間放置した。その後３日間，

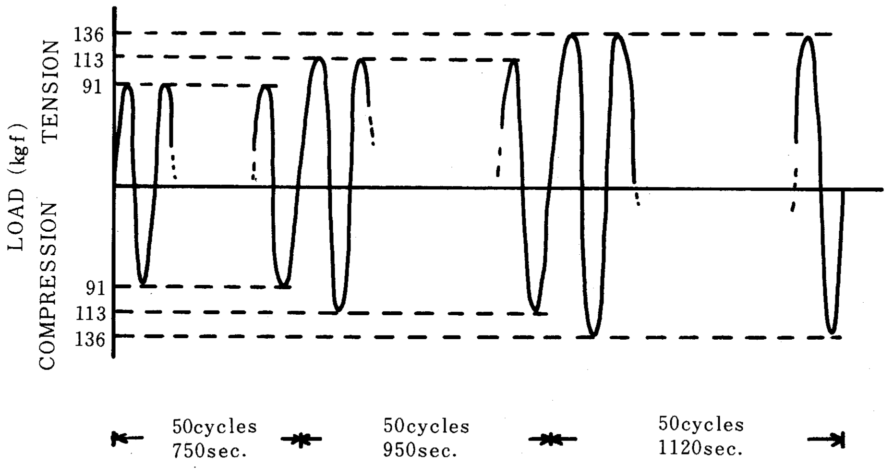

Fig. 3-2 Loading pattern of reversed cyclic test.

高温低湿室に3日間放置した。この様な操作を45日間にわたって行い、最後に，高温高湿室から取り出した試験体を20°C，65%RH の室に40日間放置した。

乾湿繰返しサイクル中，5つの時点で，試験体を3体ずつ取り出し，両振れ繰返し試験を行った。コントロール試験を含めると6回行ったことになる（図中の Test 0～Test 5）。

暴露試験は3ヶ月間，雨の直接かからない屋外のシェルターの下で行った。気温及び湿度は Table 3－2 に示した。先の促進試験に比べると，条件がかなりゆるく，従って試験体の含水率変化幅も小さいと考えられる。試験体は合板側材とウェファーボード側材の2種類で釘は CN65と CN50を用いた。試験体数は1条件3体ずつ計12体であった。

乾湿繰返し実験同様，まず全試験体に予め低い荷重を加えて剛性をチエックした後，暴露をし，暴露終了後両振れの繰返し荷重試験を行った。

Table 3-2　Averaged temperature and humidity during the exposed test.

	Temperarure (°C)		Relative humidity (%)	
	Max.	Min.	4am	4pm
First month	27.1	11.5	93	29
Second month	26.7	11.7	93	33
Third month	21.1	9.8	96	46

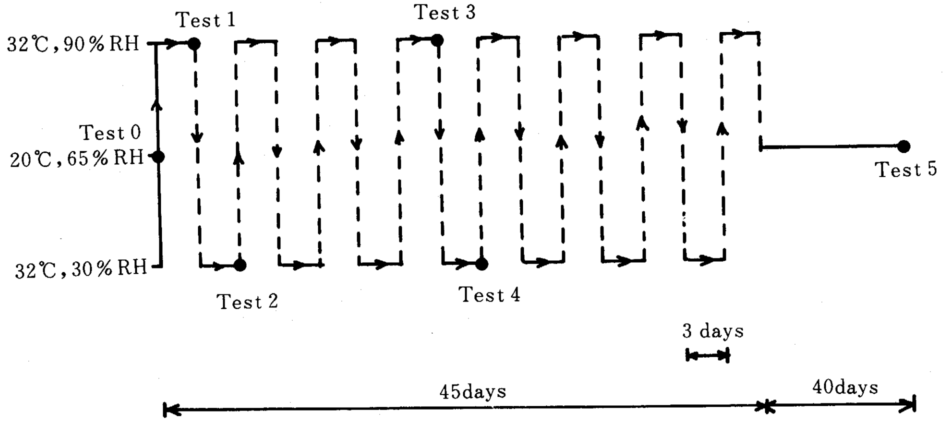

Fig. 3-3　Schedule for the change of moisture content.

3.3 結果及び考察

3.3.1 静的荷重試験

Table 3－3に結果を示した。$P_{0.38}$, $P_{1.00}$, $P_{2.00}$はそれぞれ，主材と側材間のスリップ量が0.38㎜，1㎜，2㎜時の荷重で，P_Lは荷重・スリップ曲線が見かけ上直線域に入る境界点の荷重である（Fig 3－4)。SlopeはP_L以降の直線部分の傾きを示す。

これを眺めると，ウェファーボードの方が初期剛性及びSlope共に小さく，しかもばらつきが少ない。このことからウェファーボードの方が固くて均質な材料と言えよう。なお初期剛性とSlopeの値の間には負の相関があった。

Table 3-3 Results of static test of nailed joints.

	NO.	Slip at 90.7 kgf (㎜)	$P_{0.38}$ (kgf)	$P_{1.00}$ (kgf)	$P_{2.00}$ (kgf)	P_L (kgf)	Slope (kgf/㎜)
Plywood CN65	1	0.112	75.0	105.5	115.5	105.5	0.282
	2	0.475	41.0	65.5	86.5	88.0	0.250
	3	0.378	45.5	68.0	85.0	92.0	0.170
	4	0.130	68.0	88.5	108.0	95.5	0.341
	5	0.122	73.0	95.5	113.5	102.0	0.275
	6	0.175	66.5	93.0	111.5	108.0	0.232
	7	0.155	67.0	89.5	108.0	99.0	0.316
	8	0.180	63.5	87.5	82.0	97.5	0.352
	9	0.198	59.0	84.0	103.0	97.5	0.331
	10	0.127	73.0	99.0	120.5	117.5	0.352
	Mean	0.205	63.0	87.5	103.5	100.5	0.290
	S.D.	0.011	11.0	12.0	13.0	8.0	0.060
Waferboard CN65	1	0.201	63.5	87.0	100.5	93.5	0.223
	2	0.277	52.5	75.0	89.5	84.0	0.197
	3	0.290	52.5	74.5	88.5	87.0	0.245
	4	0.249	55.5	77.0	94.5	90.0	0.247
	5	0.244	57.5	82.0	101.0	93.5	0.253
	6	0.318	48.5	69.0	82.0	75.0	0.209
	7	0.224	58.0	77.0	90.0	86.0	0.211
	8	0.244	56.5	78.5	95.5	94.5	0.214
	9	0.191	61.0	82.5	99.5	97.5	0.204
	10	0.279	52.0	75.0	92.0	86.0	0.229
	Mean	0.252	56.0	77.5	93.5	88.5	0.223
	S.D.	0.004	4.5	5.0	6.0	6.0	0.019

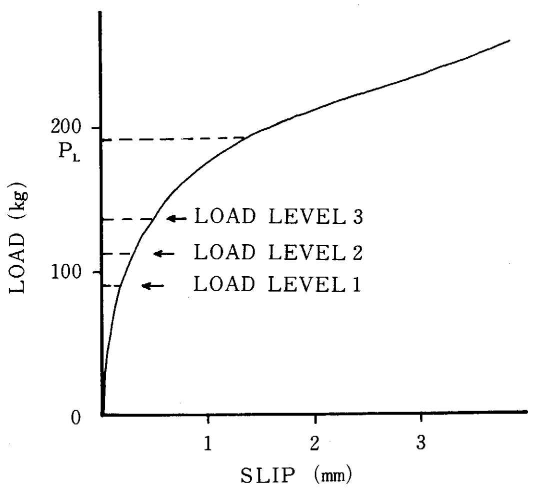

Fig. 3-4　Typical load-slip curve of static tention test.
Plywood sheathing. Nail : Two-CN65.

3.3.2　両振れ繰返し試験

これから述べるスリップ量は，引張時と圧縮時の平均値である。

(1)　コントロール試験

Fig 3－5は荷重レベル1における繰返し第1回目のスリップと，荷重レベル1，2および3に時の繰返し50回目の時のスリップ量の関係を示したものである。この図を眺めると，荷重レベルが上がると相関が低くなるものの，両者の間にはかなりの相関（指数関数）が見られた。このことから，荷重レベル1における繰返し1回目のスリップ量がわかると，回帰式を使って，両振れ繰返しを受けた後のスリップ量が推定できる。

Fig 3－6には両振れ繰返し力を受けた時の荷重•スリップ曲線の例を示した。荷重レベル2以上になると，ひずみ硬化が顕著になっている。これはFig.3-4で，曲線の傾きがゆるやかになり始める点とほぼ一致している。

(2)　乾湿繰返し試験

予めチェックしておいた初期剛性(荷重91kg f時のスリップ量)を，先に求めた回帰式に代入して，標準環境条件下（20°C，65%RH）下において荷重レベル1，2および3で50回繰返した時のスリップ量を推定した。Test 1からTest 5までのスリップ量の実測値と推定値の比をとり，乾湿繰返しによりスリップ量がどの様に増減するかを検討した。

Fig. 3－7にその変化を示した。合板側材とウェファーボード側材とで違いが認められる。すなわち，合板は，初め吸脱湿に伴って，スリップ量は増減を繰返すが，吸脱湿のサイクルが数が増えるにつれてその変動幅は小さくなり，比は1.5～2.0に収束している。一方ウェファー

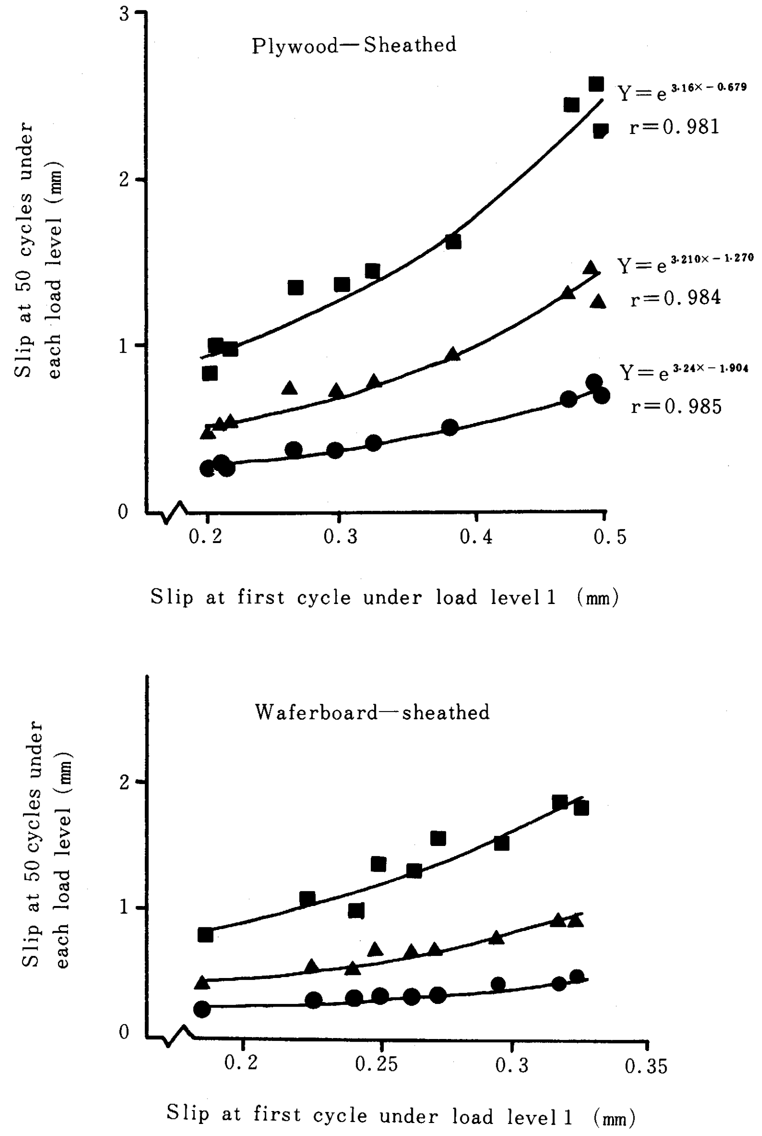

Fig. 3-5 Relationships between slip at 50 cycles and slip at first cycle (Lood level 1).

ボードは，吸脱湿に拘らず，スリップ量は漸増する傾向にある。最後の Test 5 では，合板同様，比が1.2～2.0になっているものの，含水率変化のサイクル数がさらに増えた場合，スリップ量が増えていく危険性がある。

なお乾湿繰返しによるボードの厚さの変化の範囲は，合板で元に厚さの＋1～＋2％，ウェファーボードで＋2～＋6％の間であった。ボードの含水率変化は合板が7～13％の間で，ウェファーボードは7～12％の間であった。主材の Douglas - fir は平均含水率にするとほとんど変

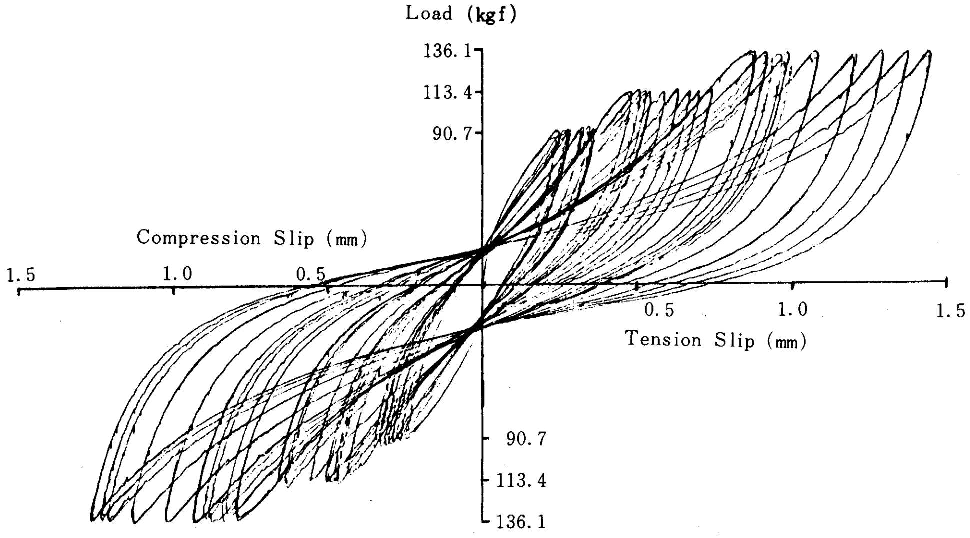

Fig. 3-6　Typical load-slip curve under reverced cyclic load.

動がなく，約12%であった。

ここで履歴減衰について簡単にふれてみる。履歴減衰は，構造材料や接合部の塑性的な変形によって生じる減衰で，塑性の程度が小さく，復元力特性もほぼ直線とみなしうる場合には，振動方程式の上で，線型の復元力を用い，減衰の項に履歴減衰を等価的に粘性減衰で表わしたものをあてるという便法がある。このとき，等価粘性減衰hは，$h=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{\Delta W}{W}$と表わせる。ここでWは線型仕事量，ΔWは消失エネルギーである。いずれも履歴のカーブから求まる。hは繰返しの荷重，繰返し回数，環境条件で，多少変動はあるが，合板側材，ウェファーボード側材とも約0.1という結果になった。

(3)　暴露試験

Table 3－4に3ヶ月暴露後のスリップ量を，コントロール試験体の推定スリップ量との比で示した。合板はCN65，CN50とも1.5前後で，先に乾湿繰返し試験の収束値とほぼ一致した。暴露試験の含水率変化幅は乾湿繰返し試験より小さいと考えられるが，その場合でも，比がほぼ同じということは注目される。すなわち，含水率変化幅がどうであれ，合板側材の場合は1.5～2.0と見積もることができよう。神谷(7)の報告によれば，生材に釘を打って，乾燥させた場合の本実験に相当する初期のスリップ量は，乾燥材に打った場合の3倍以上に達している。本実験では乾燥材に打って，その後に含水率変化を受けるので，神谷の場合と条件は全く異なっている。釘は乾燥材に打つことが大切である。そうすれば，多少の含水率変化を受けても，スリップ量はある限度内に納まることになる。

一方，ウェファーボードでは，含水率変化幅が小さかったので，暴露しても，スリップ量の

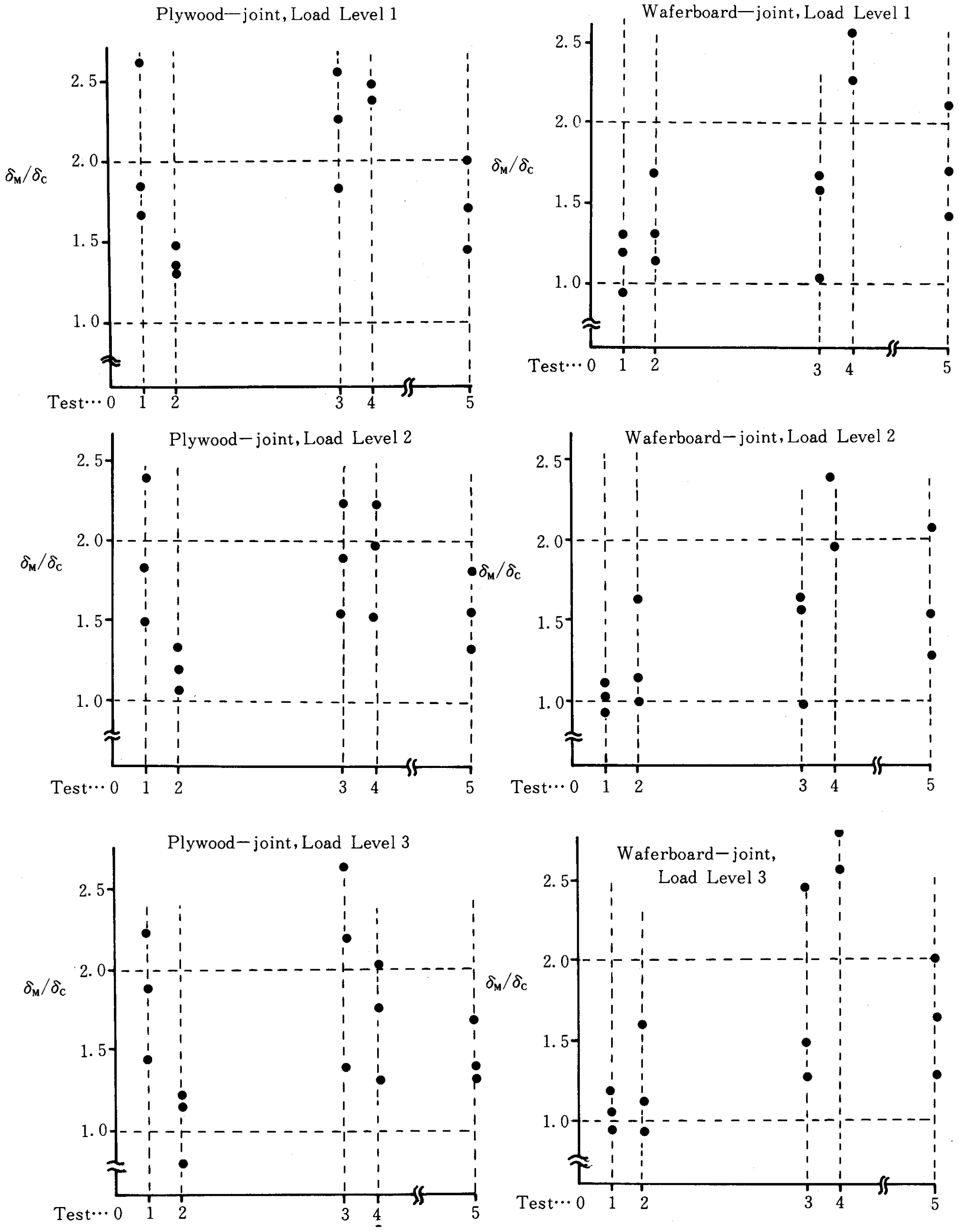

Fig. 3-7 The ratio of slip of moisture cycled specimens (δ_M) to that of control specimens (δ_C).

変化は小さかった。性能評価を下すにはさらに長期間で，厳しい条件下での暴露が必要であろう。しかし，ウェファーボードの場合には，少なくとも室内環境下で使う限りは，合板よりむしろスリップ量の絶対値が小さく，安定していると言える。設計の際は，それぞれのボードの特徴を生かした使い方が必要となろう。

Table 3-4 Ratio of slip of exposed specimens after 50 cycles to that of control specimens.

Load Level	Specimen No.	Plywood CN65	Plywood CN50	Waferboard CN65	Waferboard CN50
1	1	1.05	1.52	0.90	1.31
	2	1.35	1.42	1.00	1.89
	3	1.66	1.50	1.02	0.70
	平　均	1.35	1.48	0.97	0.97
2	1	1.03	1.37	0.90	1.61
	2	1.33	1.51	0.95	0.87
	3	1.87	1.49	1.08	0.74
	平　均	1.41	1.46	0.98	1.07
3	1	1.04	1.73	0.92	1.73
	2	1.38	1.32	1.04	0.73
	3	1.98	1.49	1.06	0.70
	平　均	1.47	1.51	1.01	1.05

3.4 結　　論

(1) 合板側材とウェファーボード側材とで，釘接合部の静的荷重に対する性質を比較すると，ウェファーボードの方が剛性が大きく，しかもばらつきが少なかった。

(2) 合板側材の釘接合部が，乾湿繰返しを何回も受けた場合，木材として乾燥材を用いる限り，接合部のスリップ量は，コントロール試験体のスリップ量の1.5～2倍に収束した。収束値は，含水率の変化幅にあまり影響されないと考えられる。既存のデータによれば，生材に釘を打って乾燥した場合には，3倍以上にも達するので，前節の引抜き抵抗力の問題も含め，釘を生材に打つことは避けるべきである。

(3) ウェファーボード側材の釘接合部が乾湿繰返しを受けると，スリップ量は，乾湿のサイクル数の増加と共に漸増した。大きな含水率変化を長期間受ける箇所へのウェファーボードの使用は問題がある。しかし，室内環境条件下での使用する限りは，むしろ合板よりすぐれた面も持ち合わせている。

4．各種環境条件下におけるメタルプレート・コネクター接合部の力学的性質

4.1　緒　　言

本研究の第一の目的は，地震国であり，また気温や湿度の変動が激しいわが国の特殊事情に鑑み，メタルプレート・コネクター接合部の繰返し力に対する力学的性質と，乾湿繰返しによる強度の変化を調べ，設計基準の基礎となるデーターを得ることにある。

第二の目的は，近年構造用部材として利用されつつあるLVL(Laminated Veneer Lumber)がメタルプレートで接合されたトラス部材として素材に代って利用できるかどうかを，各種の実験を通して検討することである。

メタルプレートは釘と異なり，打込み深さが浅いので，繰返し力や含水率変化による木材の収縮，膨潤が剛性や強度に及ぼす影響は釘接合の場合に比べると大きいと予想される。

FriedrichenとPnewman(12)は，メタルプレートで接合されたLVL部材の強度を実験によって調べた。21°C，65%RHの条件下で試験体を組み立て，1つのグループは同条件下で，他のグループは21°C，90%RHに2週間放置した後に引張試験を行なった。LVLとの比較のためにDouglas - firの試験も行なった。その結果，Douglas - firを用いた方が，LVLより約10%強度が大きかった。この理由として，Douglas - firが高品質のものであったためと述べている。

MakennaとSmith(13)はニューヨーク州で植栽された樹種で製造したLVLをメタルプレート接合部に用い引張試験を行った。樹種は，Eastern white pine（*Pinus strobus* L.）Red pine（*P.resinosa* Ait)，Red spruce（*Picea rubens* Sarg.）とEuropean larch（*Larix decidua* Mill.）であった。これらの樹種を用いた接合部の力学的性質をSouthern pineと比較したところ，European larchとRed pineは十分使えたが，Spruceはメタルプレートによる最外層単板の割れのため，十分な強度が得られなかったと報告している。

Wilkinson(14)は，Douglas - firを用いたメタルプレート接合部に32°C，95%RHと71°C，45%RHの間で3回乾湿繰返しを与えた後に静的引張荷重試験を行った。その結果，最大荷重は，コントロール試験体と比べ，0～9％低下した。

林(15)はメタルプレート接合部に，引張と圧縮の繰返し力を加え，疲労限度を推定した。片振れの場合は荷重比にして20～25%で，両振れの場合は17～20%と報告している。

4.2　実験材料及び実験方法

Douglas - fir及びLVLを用いてメタルプレート接合部を作製し，標準環境条件(20°C，65%RH）下と，環境変動条件下における接合部の力学的特性を調べた。荷重としては静的引張力と，片振れ繰返し引張力を取り上げた。標準環境条件での試験をグループ1，環境変化を伴う試験をグループ2と呼ぶことにする。

実験に用いたLVLは，13枚のダグラスファー単板にフェノール・レゾルシノール樹脂で塗

付し，各単板の繊維方向を一方向にそろえて熱圧締したものである。LVL のヤング係数は平均 1.55×10⁵kg f/cm²，標準偏差0.12×10⁵kg f/cm²であった。

素材は人工乾燥した Douglas - fir204材（断面38mm×89mm長さ2.44m）を用いた。メタルプレートが圧入されるジョイント部付近に，欠点のない材を選んだ。曲げヤング係数は平均1.73×10⁵kg f/cm²，標準偏差0.21×10⁵kg f/cm²で，上級のグレードに属する材であった。

メタルプレートは合衆国 ABC 社製のギャングネイルで，静的引張荷重を与えた際，破壊が木部破断からメタルプレートの破断に移行する臨界点付近のサイズのものを選択した。20番ゲージ（厚さ1.0mm），幅77mm，長さ114mm，総歯数は96，有効歯数は84であった。

LVL，Douglas - fir とも長さ2.44m の材の中央で切断した後，鋸断面を突き付けて，部材の幅広面の内面にメタルプレートを片面ずつ圧入した。プレートの軸と木材の繊維方向は一致させた（Fig 4－1）。

試験はディメンジョンランバー用の大型引張試験機を用い，繰返し荷重発生装置を連結させて，片振りの三角波荷重を試験体に加えた。試験体をセットした状態を Fig 4－2 に示した。部材間の変位（ギャップ）を，電気式変位計を用いて測定し，X－Y レコーダに記録した。

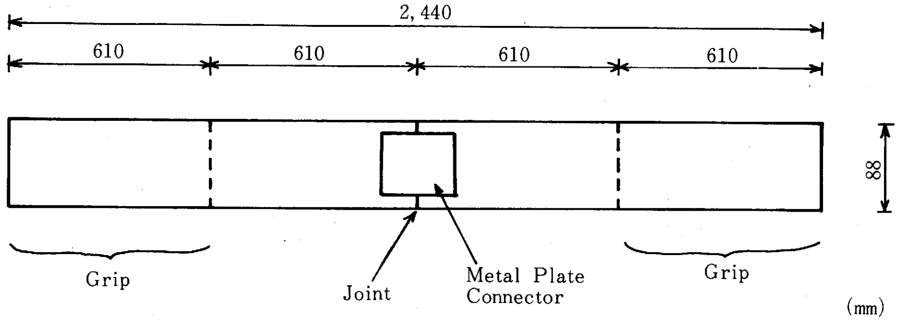

Fig. 4-1 Test specimen.
Note : Cross section of wood was 38mm×88mm

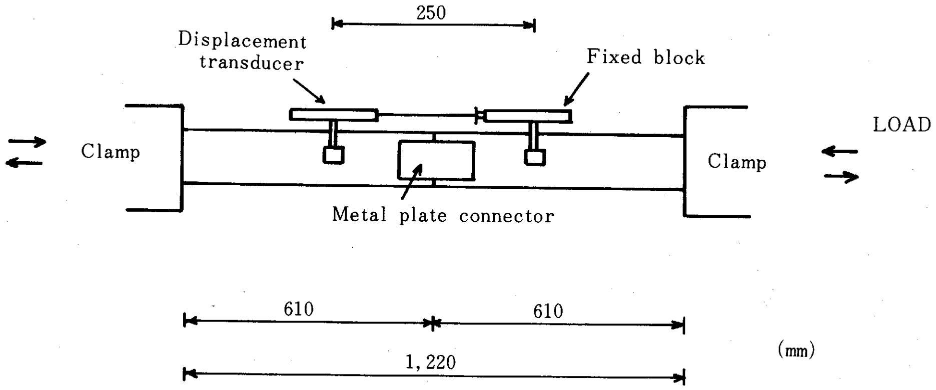

Fig. 4-2 Assembled test specimen ready for testing.

4.2.1　静的引張試験

荷重速度は907kg f/min.（2000lb/min.）で，破壊に達するまでの時間は3～4分であった。これは合衆国の種々の規定より速いが，荷重速度の剛性及び強度に及ぼす影響を調べた別の実験で，両者の間に剛性，強度に差がないことを確認した。

4.2.2　引張片振れ繰返し試験

まず第一にメタルプレート接合部の設計荷重をどう決めたかを述べる。合衆国で最も信頼のおけるTPI（Truss Plate Institute）(16)は，長期設計荷重を次のうち最小の荷重と定めている。

(a)　コントロール試験体で，ギャップ0.76㎜（0.03″）の時の荷重の平均値の1/1.66倍

(b)　含水率試験体で，ギャップ0.76㎜の時の荷重の平均値の1/1.33倍

(c)　コントロール試験体で，最大荷重の平均値の⅓倍

(d)　含水率試験体で，最大荷重の平均値の1/2.5倍。

ここで，コントロール試験体とは，含水率15±4％でプレートを圧入し，試験を行ったもので，含水率試験体とは，含水率15％以上でプレートを圧入し，5日以内に一たん含水率を5％に落とし，最後に10％以上にして試験を行うものである。

本実験における設計荷重を決定する際は，コントロール試験体の場合だけを考慮した。Table 4－3の静的加力試験結果を用いて設計荷重を求めた。$P_{0.76}$によって決まる荷重はDouglas－firで1380kg f，LVLで1280kg fであった。一方，P_{max}によって決まる荷重はDouglas—firで1140kg f，LVLで1090kg fであった。従って設計荷重はP_{max}によって決まるが，本実験では，より厳しい条件を試験体に与えるために，Douglas—fir，LVLともに一律，1361kg f（3000lb）を設計荷重とした。

繰返し試験は，設計荷重の¾，1.0，1⅓，1⅔倍の荷重を順次連続して加えた。各荷重レベルでの繰返し回数は30回であった。なお，試験機の都合上，荷重をゼロに戻すことができなかったので，下限荷重を227lgf（500lb）とした。

以上をまとめるとTable 4－1の様になる。

波形は三角波で，繰返しの周期は30秒であった。Fig. 4－3に繰返し荷重のパターンを図式化して示した。荷重レベル4が終了後，残存耐力を調べるために，静的引張試験を行なった。

4.2.3　環境変動下の試験

21℃，65％R.H.の部屋に，1ケ月間放置した試験体に環境変化を与え，その後，静的荷重試験及び片振れ引張繰返し試験を行なった。

乾湿繰返しは，Dry room（21℃，20％R.H.）と，Wet room（21℃，90％R.H.）の間を交互に移し変えて行なった。

環境条件により，次の4種類の実験を行なった。

1．シリーズ1

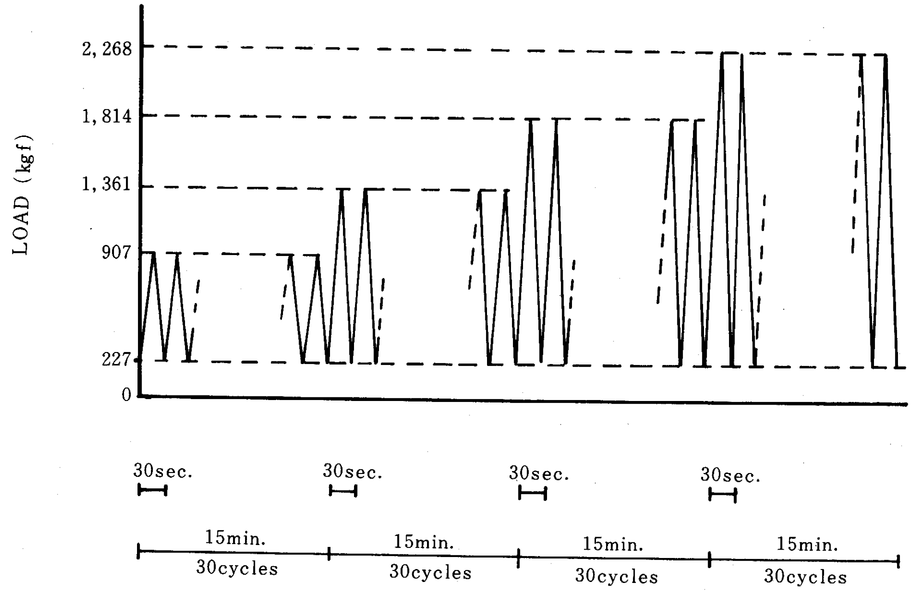

Fig. 4-3 Loading pattern of tension cyclic test.

Table 4-1 Loading pattern

Load level	Load		Number of cycles
	Lower limit	Upper limit	
1	227kgf(500lb)	907kgf(2000lb)	30
2	227kgf(500lb)	1361kgf(3000lb)	30
3	227kgf(500lb)	1814kgf(4000lb)	30
4	227kgf(500lb)	2268kgf(5000lb)	30

Wet room（2 weeks）→ Dry room（2 weeks）→ Wet room（2 weeks）→ Dry room（3 weeks）と変化させた後に試験。

2．シリーズ2

Dry room（2 weeks）→ Wet room（2 weeks）→ Dry room（2 weeks）→ Wet room（3 weeks）と変化させた後に試験。

3．シリーズ3

Dry room に9週間放置し，乾燥状態で試験

4．シリーズ4

Wet room に9週間放置し，湿潤状態で試験

以上4つの条件下で，静的試験，および繰返し試験を行った。一条件の試験体数は3体であっ

た。試験の種類と試験体数を Table 4－2 に示した。

乾湿繰返し用試験体の標準条件下での変異特性を予測することは容易ではないが，本研究では，予め907kg f（2000lb）の荷重を加えて初期剛性をチェックし，回帰式によって推定した。

Table 4-2　Type of tests and the number of specimens for each group.

Enviromental Condition	Loading Type	Number of Specimens	
		Douglas-fir	LVL
GROUP 1	Static	18	10
	Tension cyclic	8	11
GROUP 2	Static	12	12
	Tension cyclic	12	12

Notes : GROUP 1 : 21°C, 65%RH.
GROUP 2 : Moisteure cyclic condition.

4.3　結果および考察

4.3.1　静的荷重試験

4.3.1.1　グループ1

接合部の破壊には 4 つの特徴的なタイプがあった。

1. 歯の引抜け
2. 木材（単板）の破壊
3. 歯の引抜けと木材の破壊の組合わせ
4. メタルプレートの破断

10体の LVL ジョイントのうち50%は 3 のタイプ，20%が 2 のタイプ，30%が 4 のタイプであった。18体の Douglas—fir ジョイントのうち50%が 1 のタイプ，約15%が 3 のタイプ，残り約35%が 4 のタイプであった。Table 4－3 に，変位0.3㎜と0.76㎜のときの荷重（$P_{0.3}$，$P_{0.76}$），最大荷重（P_{max}）および歯一本当りの最大荷重（P_{max}/TN，TN：総歯数）の破壊タイプ別の平均値及び標準偏差を示した。この表で，破壊荷重について眺めると，プレート破断した場合には当然のことながら，Douglas—fir と LVL の間に差は見られず，3500kg f～3600kg f であった。一方，歯の引抜け及び木材の破壊による場合は LVL の方がやや低かった。両者の比重はほぼ同じだったので，LVL は歯による単板の破壊を含む分だけ破壊荷重がやや低くなったと言えよう。しかし統計的な検定では，95%の信頼限界で両者に有意差は認められなかった。

歯が引抜けた場合で破壊時の変位量を比較してみると，Douglas—fir ジョイントは平均3.73㎜，LVL 試験体は平均3.81㎜でほとんど差がなかった。プレート破断した場合は，両者とも破壊時の変位は歯が引抜けた場合よりやや小さかった。LVL 試験体で木材破壊をした場合は，さ

Table 4-3 Static-loading test results of Group 1 specimens.

		Number of specimens		$P_{0.3}$ (kgf)	$P_{0.76}$ (kgf)	P_{max} (kgf)	$P_{max/TN}$ (kgf)	SG
(1) LVL joints								
(a)		10	Mean	1404	2120	3260	34.0	0.57
			SD	101	135	225	2.4	0.02
(b)	W or WF	7	Mean	1369	2077	3163	32.9	0.57
			SD	78	135	198	2.1	0.02
	MF	3	Mean	1485	2218	3485	36.3	0.57
			SD	110	56	69	0.7	0.03
(2) Lumber joints								
(a)		18	Mean	1470	2287	3423	35.7	0.57
			SD	161	207	236	2.5	0.04
(b)	W or WF	13	Mean	1461	2289	3363	35.0	0.57
			SD	158	236	250	2.6	0.04
	MF	5	Mean	1485	2280	3580	37.3	0.57
			SD	169	94	74	0.8	0.04

Notes : (a) : Mean and standard deviation of all specimens.
(b) : Mean and standard deviation classified by failure mode.
W : Nail withdrawal.
WF : Wood failure.
MF : Failure of metal plate.
$P_{0.3}$: Load at 0.3mm joint gap.
$P_{0.76}$: Load at 0.76mm(0.03in.) joint gap.
TN : Total nails of metal plate.
SG : Specific gravity.
SD : Standard deviation.

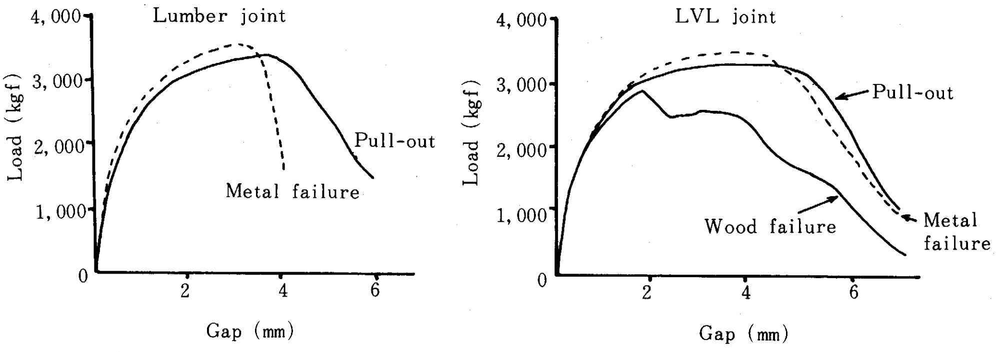

Fig. 4-4 Various types of load-gap curves.

らに小さく，約2㎜であった（Fig. 4－4）。

4.3.1.2　グループ2

釘接合の場合と同様に，ここでも，コントロール試験体の変位量を推定するのに，試験体の初期剛性を用いた。

Fig. 4－5 は静的引張試験の荷重・変位曲線である。一たん907kg f（荷重レベル1に相当）で除荷し，再び加力して破壊させた。曲線ABは，A点で繰返しを行なっても，行なわなくても同じ軌跡を描くと考えられる。コントロール試験体の変位を推定するには，まず予め907kg f における変位を求めておき，これを標準環境下における907kg f のときの変位と，$P_{0.3}$, $P_{0.76}$, P_{max} 間の回帰式に代入して行なった。Fig. 4－6 はグループ1の静的引張試験体の初期剛性と，$P_{0.3}$，$P_{0.76}$，P_{max}の関係をプロットしたものである。直線に近い指数関係があったが，P_{max}との相関係数は低いので推定は困難であった。すなわち，メタルプレート接合部の場合，破壊のタイプが様々なので，初期剛性だけでは最大荷重の推定は困難ということになる。

Table 4－4 はグループ2の試験体の接合部の変位（$P_{0.3}$と$P_{0.76}$）とグループ1の試験体の推定変位との比である。Douglas—fir 素材はLVLより$P_{0.3}$，$P_{0.76}$の値が小さい。特にシリーズ1と2で顕著である。すなわち，LVL接合部は素材接合部より，含水率が変化した時の剛性変化が少ないと言えよう。

含水率変化によって，両試験体とも最大荷重は約5％低下した（Fig. 4－12）。しかしながら，統計的検定では5％の危険率で，グループ1とグループ2の間に最大荷重の有意差は認められなかった。Wilkinson (14)の場合，本実験の条件よりやや厳しかったために，一部最大荷重が9％近く低下したものと考えられる。

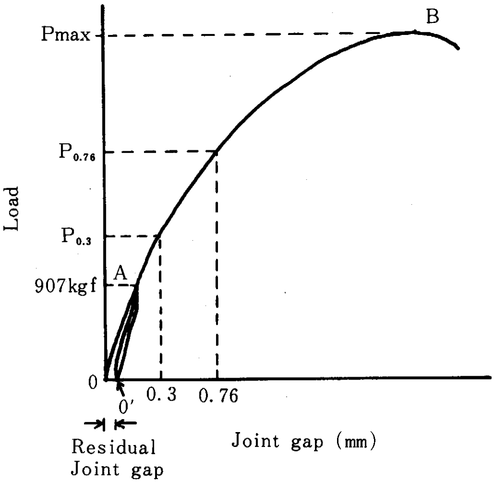

Fig. 4-5　Schematic of load-gap diagram (Static test).
Note : Unloaded at point A.

4.3.2　引張片振れ繰返し試験

4.3.2.1　グループ1

繰返し力による変位の増加のパターンは，素材とLVLとでほとんど差がなかった。Fig. 4－7 に例としてLVL試験体の変位の増加と，残留変位の増加の様子を示した。変位の増加は初

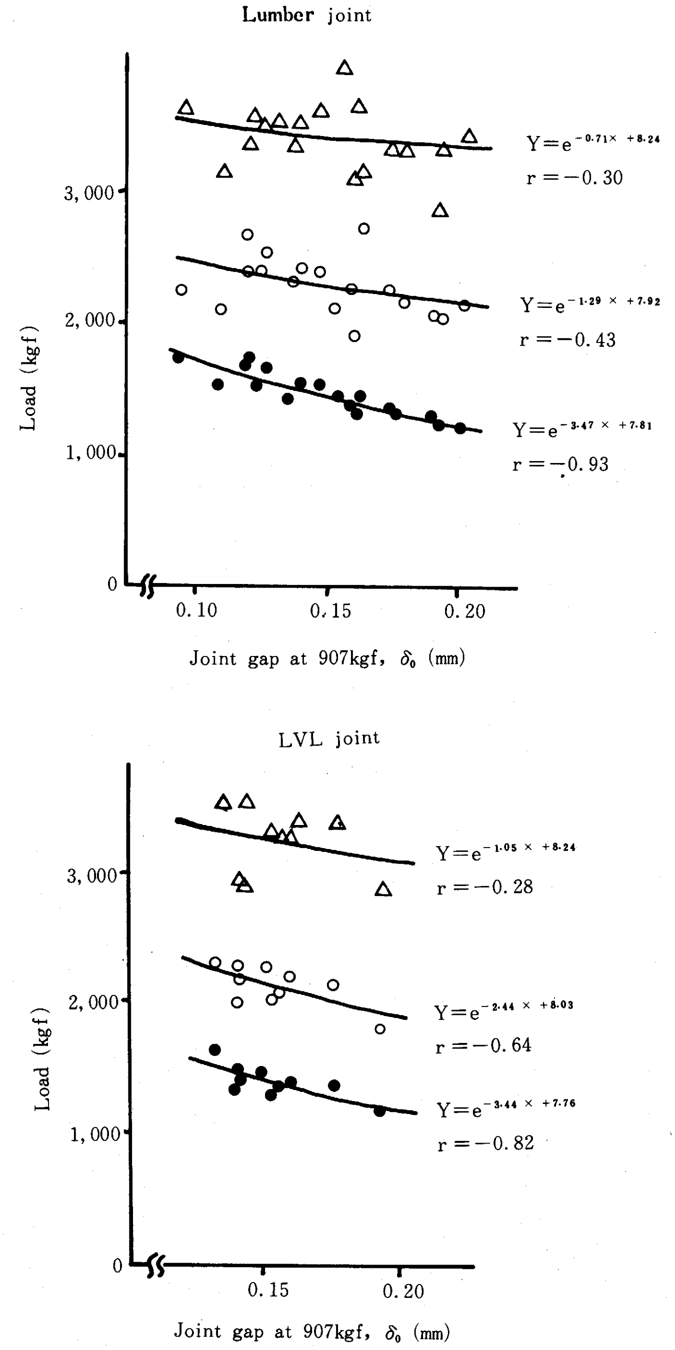

Fig. 4-6 Relationships between joint gap at 907kg and $P_{0.3}$, $P_{0.76}$, and P_{max}.
●$P_{0.3}$: Load at 0.3mm joint gap.
○$P_{0.76}$: Load at 0.76mm joint gap.
△P_{max} : Maximum load.

Table 4-4 The ratio of the joint gap of Group 2 specimens to that of group 1 specimens. (%)

	Series	$P_{0.3}$ *1	$P_{0.76}$ *2	MC (%) *3
LVL	1	81	104	8.2
	2	93	107	11.7
	3	83	104	7.7
	4	87	92	14.4
Lumber	1	63	87	9.7
	2	69	85	16.4
	3	82	103	8.7
	4	73	93	16.5

Notes : *1 Load at 0.3mm gap
*2 Load at 0.76mm gap
*3 Moisture content at test
Mean Value of three samples

めの10回の間で大きく，その後は変化が少なくなり，しかも直線的になった。また，残留変位の曲線は，平行移動すると，ほぼ変位曲線に重なることが読み取れる。

Fig. 4－8 は各荷重レベルにおける$(\delta_{30}-\delta_1)/\delta_1$の値をプロットしたものである。ここで$\delta_{30}$は，繰返し30回目の変位で，$\delta_1$は繰返し第１回目の変位である。直線は平均値を結んだものである。素材試験体，LVL 試験体とも，荷重レベル１と２の間では結んだ直線は，ほぼフラットで，荷重レベル２以降で傾きが大きくなっている。Fig. 4－9 は，繰返し10回目から30回目までの間の，繰返し１回当りの変位増加量を，各荷重レベルごとにプロットした図である。これを眺めると，やはり同様に，荷重レベル２以降の急激な変化が読みとれる。

以上，Fig. 4－8 と Fig. 4－9 から総合判断すると，メタルプレート接合部の場合，素材か LVL かを問はず，クリープ限度に相当する実用的な繰返し荷重限度（限度以下の繰返し力が多数回加わっても，変位の増加が極めて少く，すなわち破壊に至らないと考えられる荷重限度）は，荷重レベル２付近，すなわち荷重比にして約40％と考え

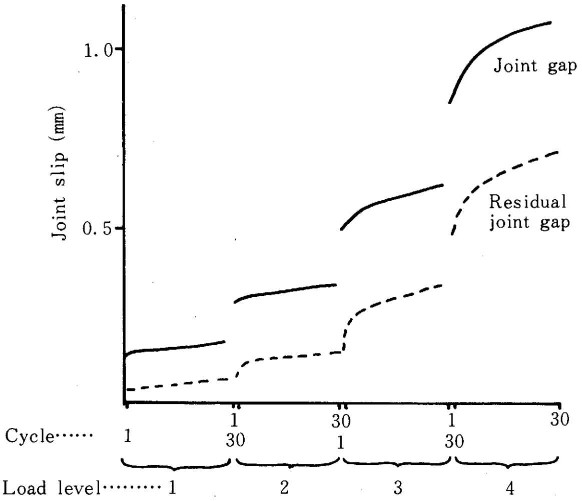

Fig. 4-7 Typical increase of maximum joint-gap and residual joint-gap versus the number of cycles for LVL Group I specimens.

られる。林は20～25％と推定しているが，荷重が1000cycles/min.とスピードが速いことと，現実には機械振動を受ける様な所以外は，5×10^6もの回数，大きな繰返し力を受けることは考えられないので40％前後と考えてよかろう。

Fig. 4－12のグループ1を見ると，繰返し荷重を受けた試験体の残存耐力は，繰返しを受けてない試験体と，ほとんど差のないことがわかる。

4.3.2.2　グループ2

Fig. 4－10を見ると，初期剛性と，各荷重レベルにおける繰返し30回目の変位との間には，かなりの相関があることが読み取れる。これを使って，含水率変化を行なう前の試験体（コントロール）の，繰返し荷重を受けた時の変位を推定した。

Fig. 4－11はグループ2試験体の繰返し30回目の変位とコントロール試験体の繰返し30回目の変位の比を4つの含水率変化シリーズについて示したものである。概観すると，すべてのシリーズで，素材試験体の方がLVL試験体よりδ_{G2}/δ_{G1}の値が大きいことがわかる。荷重レベル4で見ると，グループ2の試験体の変化量はグループ1よりLVL試験体で20～80％，素材試験体で30～120％大きくなっていることが看取できる。

Fig. 4－12で繰返し試験後に静的荷重試験を行って求めた残存耐力を見ると，グループ2の繰返し力を受けた試験体の残存耐力はグループ1の静的荷重試験の値と比べると，LVL試験体で約5％，素材試験体で約8％低下している。

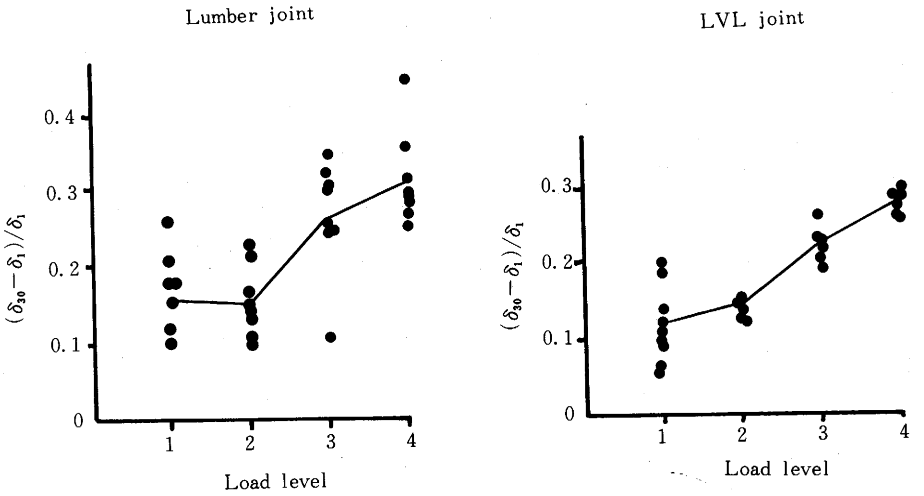

Fig. 4-8　The value of $(\delta_{30}-\delta_1)/\delta_1$ under various load levels.
Notes : δ_{30} : Joint gap at 30 cycles.
δ_1 : Joint gap at the first cycle.
Mean values are connected by straight lines

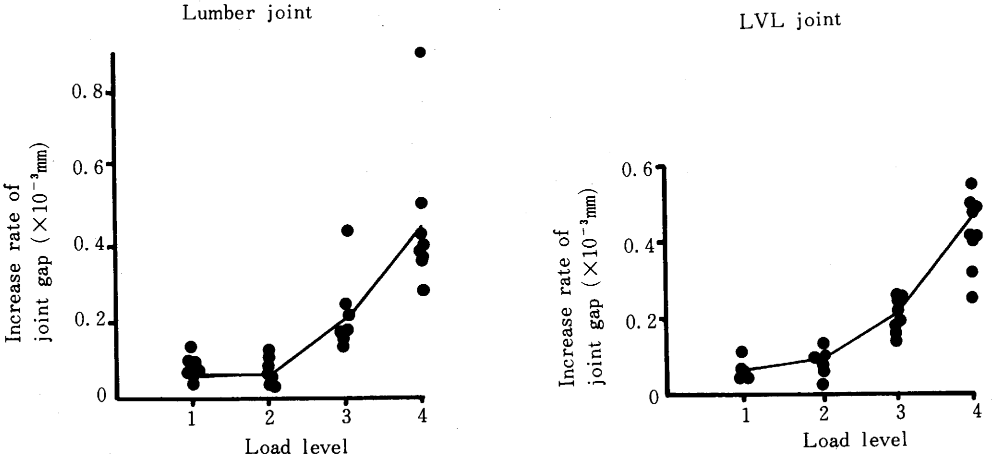

Fig. 4-9 Increase rate of joint gap per cycle between 10 and 30 cycles under various load levels.
Notes : Mean values are connected by straight lines

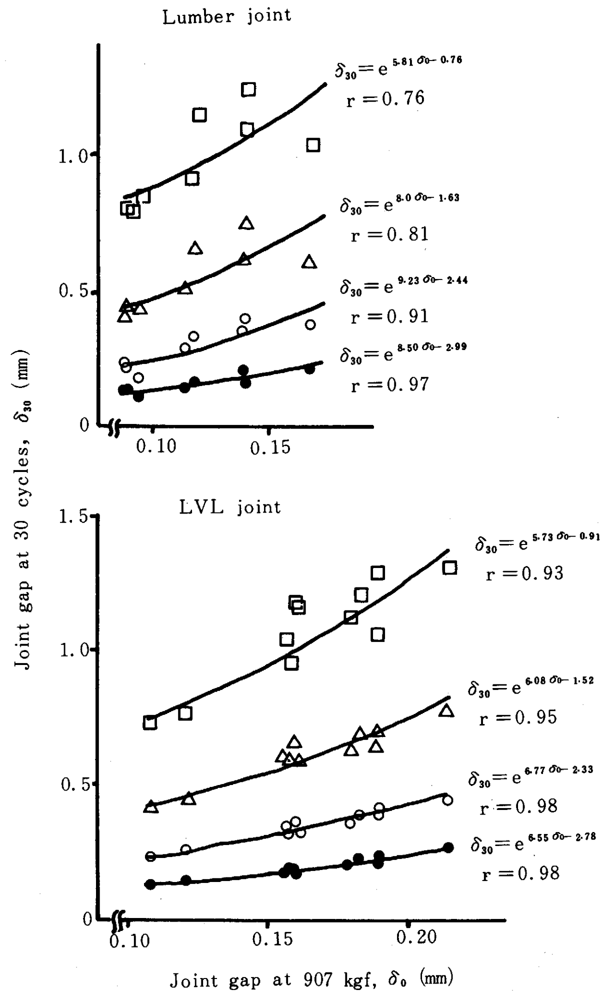

Fig. 4-10 Relationship between initial joint gap at 907kgf (δ_0) and the joint gap after 30 cycles.
●Load level 1 ○Load level 2
△Load level 3 □Load level 4

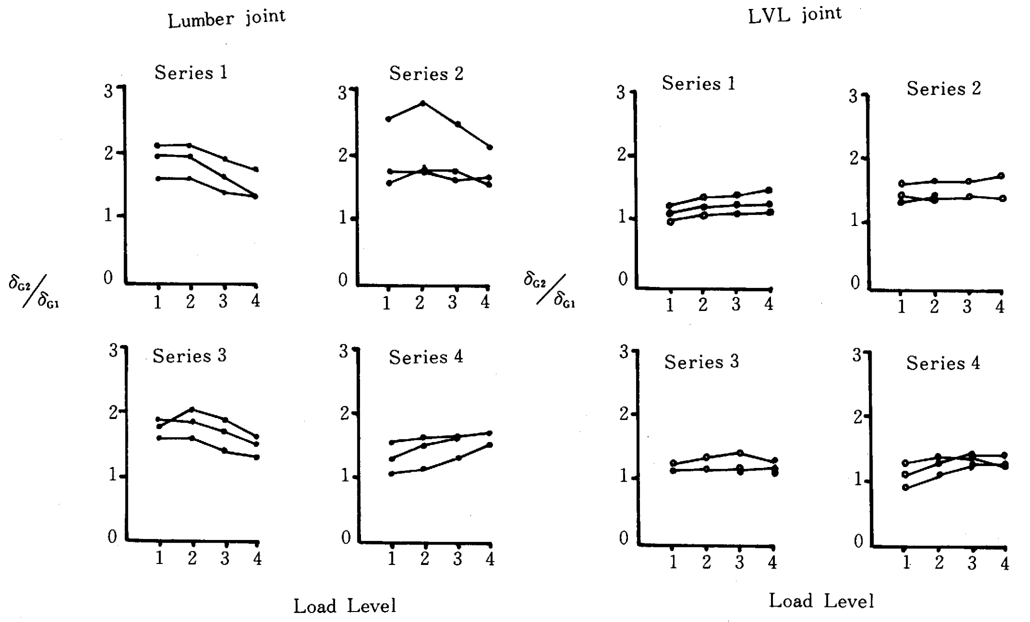

Fig. 4-11 Joint gap after moisture change represented by the ratio of the joint-gaps of Group 2 to the estimated joint-gaps of Group 1 specimens.
δ_{G2} : Joint-gap of Group 2 specimens after 30 cycles
δ_{G1} : Estimated joint-gap of Group 1 specimens after 30 cycles

4.3.3 許容応力度の提案

アメリカ合衆国の Truss Plate Institute (TPI) は Normal Loading (10年間) 使用に対する許容応力度として，前述した(a)〜(d)の4つの値のうちの最小の値を採用している。短期使用に対しては特別な定めはないが，必要な時には調整係数 (Design Value Adjustment For Duration of Load) を用いればよい。

本実験及び，筆者の行なった過去の実験を総合して，許容応力度の提案を行ってみる。

まず TPI の規定にふれてみると，素材試験体の場合，(a)では

$$P_{0.76}\times\frac{1}{1.6}=0.625P_{0.76}$$

で(b)では Table 4 — 4 から含水率試験体の $P_{0.76}$ は，コントロール試験体の最小約85%であったから，コントロール試験体の $P_{0.76}$ に換算して計算すると，

$$P_{0.76}\times 0.85\times\frac{1}{1.33}=0.64P_{0.76}$$

となり，(a)及び(b)で決まる設計荷重はほとんど同じとなる。LVL 試験体の場合は，含水率変化を受けにくいので，(a)で決ってくる。

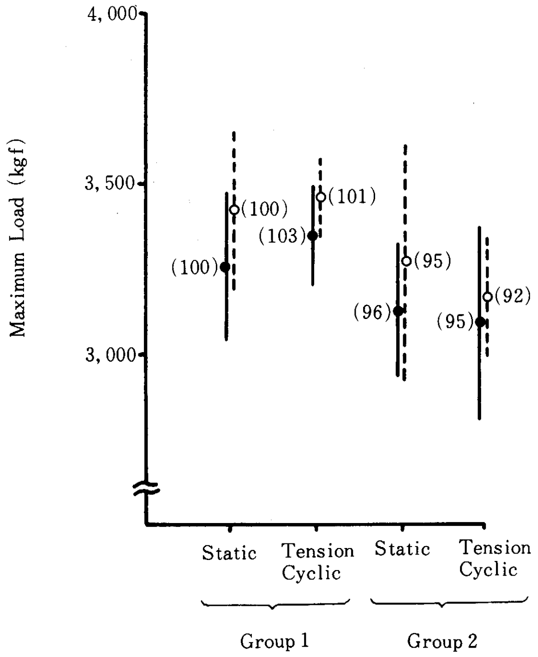

Fig. 4-12 Maximum load under various loading and environmental conditions.
Notes : ●Mean value of LVL joints
○Mean value of lumber joints
Straight lines and broken lines indic
standard deviation.
Numbers in the parentheses indicate pecentage of mean values to those of Group 1, static.

一方，最大荷重に関連する(c)と(d)をみると，本実験では，Douglas-fir, LVL とも，含水率変化による最大荷重の低下は高々10%であったので，(c)，(d)それぞれで決まる荷重はほぼ等しくなる。(c)は係数⅓をかけているが，本実験結果から，繰返し荷重限度は荷重比にして約40%であり，クリープ限度は筆者(17)や金谷(18)の研究によると荷重比にして40〜50%であったので，⅓はやや安全側である。係数は0.4でよかろう。

次に，設計荷重が変位で決まるか((a)または(b))，最大荷重で決まるか((c)または(d))についてみると，本実験結果からは，素材試験体，LVL 試験体とも最大荷重によって決まった。しかし，(a)〜(d)で求まる値が拮抗していたので，設計基準としての TPI の規定は，ほぼバランスのとれたものである。ただし TPI は実験値として平均値のみを考え，ばらつきを考慮していない点は改良の余地があろう。

ここで，ばらつき係数Kについて考えてみる。下限１%値を基準とする。Table 4－5 に静的

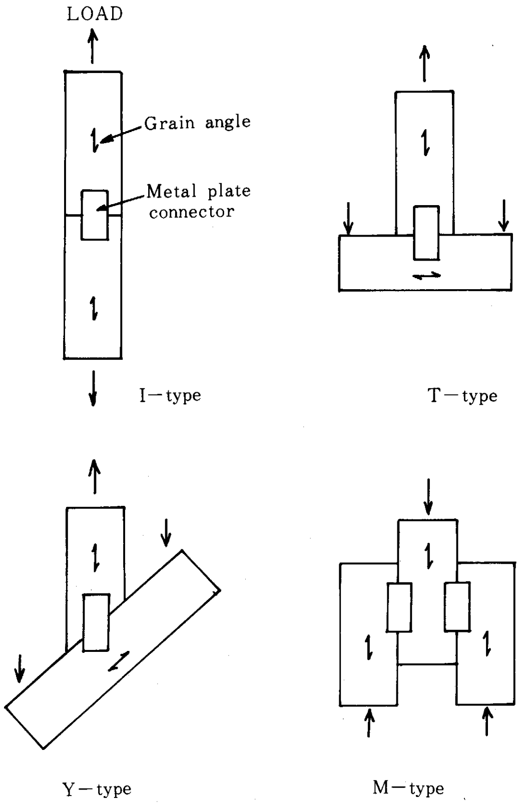

Fig. 4-13 Four types of test specimens showing direction of applied load

Table 4-5 Ratio of the 1% lower value to the mean value

Specimen		$P_{0.76}$	P_{max}
D-fir or Hem-fir	I-type	0.82	0.86
	T or Y-type	0.54	0.59
	M-type	0.85	0.89
LVL	I-type	0.90	0.89

荷重試験における下限１％の値と平均値との比を，各種試験体タイプ別に示した。試験体数はＩタイプ約70体，ＴまたはＹタイプ約45体,Ｍタイプ約50体であった。これを眺めると，Ｔ，Ｙタイプは木材の割裂で破壊するため値が低いので，各種タイプを総合して考えた場合には，ばらつき係数は¾が妥当であろう。これを使ってTPIの基準を書き直すと，

(a)′ $P_{0.76}\times\frac{1}{1.6}\times\frac{3}{4}=0.47P_{0.76}$

(b)′ $P_{max} \times 0.4 \times \frac{3}{4} = 0.3P_{max}$

となる。筆者は現在のところ，安全を考えてTPIの規定にばらつき係数をかけたものが適当と考えていてるが，さらに数多くのデータの積み重ね，特に長期載荷や耐久性に関しての研究の積み重ねが必要であろう。

4.4 結　　論

(1) クリープ限度に相当する繰返し荷重限度はLVL試験体，素材試験体とも荷重比にして約40%であった。

(2) 含水率変化を経験した試験体が，繰返し荷重を受けた場合の残存耐力は，コントロール試験体と比べると，LVL試験体で約5%，素材試験体で約8%低下した。

(3) メタルプレート接合部の破壊のパターンは様々であったが，材料の比重またはヤング係数がほぼ等しい場合には，LVL試験体と素材試験体の間で，剛性及び強度の有意差は見られなかった。しかもLVLは素材に比べると乾湿繰返しの影響を受けにくい材料であった。従って，実際の住宅のトラス部材としてのLVLの性能は，素材と同等以上と考えることができよう。

(4) メタルプレート接合部の設計応力の基準としては，TPIの基準でばらつきを考慮したものが現在の所適当と考えられる。

引　用　文　献

1) Stern, E. G.: Va. Polytech. Inst. Wood Res. Lab. Bull. **31** (1957)

2) Senft, J. F.: Withdrawal resistance of plain and galvanized steel nails during changing moisture content conditions. Forest Products Journal **21** (4): 19—24 (1971)

3) 金森勝義他：木材の乾燥に伴う釘の引抜き抵抗，北海道林産試験場報告 (1976)

4) 金森勝義他：木材の吸脱湿サイクルに伴う引抜き抵抗，北海道林産試験場報告 (1978)

5) Perkins, R. H,: Nail withdrawal resistance in plantation red pine grown in India. Forest Products Journal **21** (6): 29—32 (1971)

6) 徳田迪夫：釘の引抜き抵抗力の発生機構Ⅰ. 木材学会誌　**29** (9) (1983)

7) 神谷文夫：乾燥を伴う時間経過が接合部の剪断性能に与える影響，木材学会誌，**29**(12) (1983)

8) Mark, J. J.: Repetitive Loading of Nailed Timber Joints. CSIRO Paper No. 10. Melbourne (1960)

9) Wilkinson, T. L.: Theoretical Lateral Resistance of Nailed Joints ASCE Journal of the Structural Division **97**: 1381～1398(1971)

10) Atherton, G. H.: Damping and Slip of Nailed Joints, Wood Science (1980)

11) 有馬孝禮，佐藤雅俊，益田恵吾：木質材料及び部材の長期耐力評価に関する研究，建築研究所報告 No. **95** (1981)

12) Friederichsen, J. R. and Pnewman, F.: Unpubished. Laminated Venner Lumber/GN20 Truss Plate

Test.
13) Makenna, J. P. and Smith, L. A.: Unpublished. Evaluation of Laminated Veneer Joined with Metal Plate Connectors.
14) Wilkinson, T. L.: Moisture Cycling of Trussed Rafter Joints, U.S.F.P.L. Report No. FPL67. (1966)
15) Hayashi, T., Sasaki, H., Masuda, M.: Fatigue Properties of Wood Butt Joints With Metal Plate Connectors, Forest Products Journal **30**(2) (1980)
16) Truss Plate Institute, TPI-74,: Design specification for light matal plate connected wood trusses. Truss Plate Institute, College Park, Maryland. (1974)
17) 徳田迪夫，竹下昌彦，杉山英男：メタルプレートコネクター接合部の引張クリープ性状，木材学会誌 **25**(6) (1979)
18) 金谷紀行：ネイルプレートを用いた接合部の強度性能，材料 **32**，359 (1983)
19) 徳田迪夫，1983：木質構造における釘接合部およびメタルプレート・コネクター接合部の力学的性質に関する研究，東京大学学位論文，(1983)

(1985年5月31日受理)

要　　旨

含水率変化を受けた釘接合部の引抜き抵抗力及びせん断耐力の変化，それにメタルプレート・コネクター接合部の引張強度の変化を実験によって調べた。釘接合部のせん断試験及びメタルプレート接合部の引張試験では繰返し荷重を加えた。得られた主な結論は次の通りである。

(1) 釘の引抜き抵抗力は，木材に腐朽が生じない限り，長期的な値は，ほぼ短期の値と同等である。

(2) 気乾の木材と合板とで構成された釘接合部が乾湿繰返しを何回か経験した後に，両振れ繰返し力を受けた場合，接合部のスリップ量とコントロール試験体のスリップ量の比は1.5〜2.0に収束した。神谷の報告によれば，生材と合板で構成された釘接合部の場合には，その比が3以上にも達するので，釘を生材に打つことき避けるべきである。

一方，ウェファーボードを側材とした釘接合部では，スリップ量は乾湿繰返しのサイクル数の増加とともに漸増した。このことから，大きな含水率変化を受ける箇所へのウエファーボードの使用は疑問がある。しかし，室内環境条件下で用いる場合には，合板よりもすぐれた面を持ち合わせているので，両者の適切な使い分けが必要であろう。

(3) メタルプレート接合部の剛性及び強度を，素材とLVLとで比較すると，破壊のパターンは異なったが，剛性及び強度に関しては，両者の間に有意差はなかった。しかも，LVLは素材に比べると，乾湿繰返しの影響を受けにくい材料であった。従って，実際の住宅で長期使用する場合，LVLのトラス部材としての性能は，素材と同等以上と考えられる。

Summary

Withdrawal resistance of nailed joints and lateral strength of nailed joints subjected to reversed cyclic loading under moisture variable conditions were investigated. And the feasibility of laminated veneer lumber (LVL) for metal-plate connected joints was studied. The following results were obtained.

(1) Withdrawal resistance of nailed joints in the long duration was almost the same as that evaluated two days after driving nails as long as the wood was sound.

(2) After plywood-sheathed nailed joints were subjected to repetitive moisture cycle, the ratio of the slip to that of control specimens converged to 1.5-2.0 under fully reversed cyclic loading.

However, according to Kamiya's report, when driving into wet wood, the ratio was over 3. Nails should be driven into air-dried wood. On the other hand, the joint slip of waferbord-sheathed nailed joints increased gradually as increase of the number of moisture cycle. Waferboard is recommended to be used under the room conditions.

(3) In spite of the different failure modes, there wes little difference of stiffness and strength between lumber and LVL metal-plate connected joints as long as the specific gravity or the modulus of elasticity were close. Mechanical properties of LVL joints were affeced less by specific changes of environmental conditions than those of lumber -joints. Since there is wide range of temperature and humidity condition in Japan, this characteristic is advantageous. Therefore, LVL can be used in structural components assembled with metal-plate connectors when economically feasible.