



Title	木材接合部の基礎性能 : 1. 木材と合板の1面剪断曲線(1)
Author(s)	平井, 卓郎; HIRAI, Takuro
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 44(4), 1307-1328
Issue Date	1987-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21251
Type	departmental bulletin paper
File Information	44(4)_P1307-1328.pdf



木材接合部の基礎性能

1. 木材と合板の1面剪断曲線(1)

平井卓郎*

Basic Properties of Mechanical Wood-Joints

1. Load-slip curves of Nailed Wood-Plywood Joints (1)

By

Takuro HIRAI*

要 旨

木材の釘接合部設計用の基礎資料として木材と構造用合板数種の組み合わせについて釘1面剪断試験を行った。材料として使用した木材は北海道産のエゾマツ・トドマツと北米産のヘム・ファーの2樹種群で、それぞれ構造用合板7種（南洋材合板JAS 1級2種、2級3種、北米産針葉樹合板2種）と組み合わせ、計14条件について枠組壁工法用CN 50釘を用いた1面剪断試験を行い、平均荷重—すべり曲線を求めた。

キーワード： 構造用合板，釘接合，1面剪断試験，荷重—すべり曲線。

はじめに

近年、木質構造の変形や耐力に対する考え方が初等構造力学から一步前進して、もう少し実際的な視点から論じられるようになって以降、各種の接合法を用いて組み立てられた木造の骨組みや壁体、床組み等に関し、接合部のすべりや回転を考慮した変形解析や耐力予測がさかんに試みられるようになって来ている。しかし現在に至って、これまでこの問題に取り組んで来た研究者の多くは、最近の理論や数値解析手法の進展に比べて、接合部の基礎性能に関するデータ蓄積が依然として不足しており、これがより実用的な構造解析を展開する妨げとなっていることを、それぞれに痛感しているように思われる。とは言え、一般に接合部の基礎性能試

1987年2月20日受理 Received February 20, 1987.

* 北海道大学農学部木材加工学講座

Laboratory of Wood Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

験は地味な割に時間と労力を要し、一人の研究者がそれだけに専念し続けることはなかなか難しい。この点を考えると、木材の接合性能に関心を持つ各研究者がそれぞれの研究活動の中で得ている個々の基礎データを、お互いに利用出来るように提供しあって行くことがまず必要になって来るように思われる。

たまたま著者は、以前に日本住宅・木材技術センター依頼による「構造用合板の釘接合に関する研究」(昭和59年度「日本木材学会が依頼を受け行う試験研究」)に携わり、木材と合板の釘1面剪断試験を実施する機会を得た。この報告では上のような視点からその試験結果を整理し、またその後行った追加試験の結果も併せて取りまとめておくことにした。

1. 予備試験

1.1 釘の打ち込み方の影響

本研究では、木材を主材、合板を側材として Fig. 1 に示すような一般的な方法で1面剪断試験^{1,2)}を行ったが、標準1面剪断曲線を求める前に、2, 3の試験条件設定に関して予備試験を行った。初めに、釘頭を十分に打ち込んだ時の主材と側材間の摩擦抵抗によるすべり性能の向上や、釘頭の回転拘束効果をみるために、釘頭を十分に打ち込んだ時(A)と約1mmのシムを用いて釘頭を浮かせた時(B)との荷重-すべり曲線を Fig. 2 のように比較してみた。試験材料は、エゾマツ・トドマツの204材とダグラスファー9mm合板、枠組壁工法用CN50釘である。試験体数は両条件に対し各3体ずつで、主材はそれぞれエンドマッチさせて振り分け、側材は同じ1枚の合板を用いた。この影響は図中の曲線(A), (B)が示すように明らかであるが、実際の木造建築物の設計に際してどの程度のすべり性能を想定しておくべきかについては、実際の建築物では釘接合部がどのような状態で使用されていると考えるのかによって異なって来る。すなわち、普通施工時には釘は十分打ち込まれるものと思われるが、その状態が長期にわたって維持されるなら、当然試験条件もそれに従うべきである。また、もし使用条件下における木材の乾燥や乾湿繰り返しによって、主材、側材間の摩擦抵抗が短期間にほとんど失われてしまうようなら、初めからこの効果は期待しない方がよい。この点に関しては現在も様々な議論があり簡単に結論は出せないが、少なくとも施工時の高い接合性能が、長期にわたって全く損なわれずに維持され続けると考えることにはやはり無理があるように思われる³⁾。将来的には、施工時の接合性能が経年的にどの程度低下して行くかを定量的に検討した上で、然るべき試験条件の設定や補正係数の提案がなされることが望まれるが、現時点では構造工学

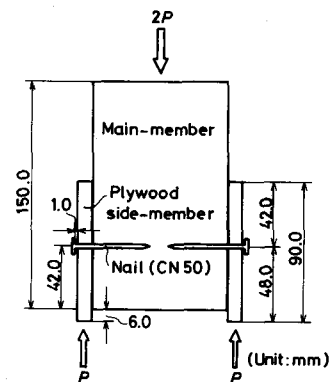


Fig. 1. Single shear test.

の常道に従い、安全側のデータが得られる試験条件を採用しておくのが無難であるように思う。なお、釘接合部の経年的な状態変化を考えると、本来は初期的な摩擦抵抗の低下に加え、主材、側材間にギャップが生じることの影響⁴⁾についても検討しておく方がより望ましいものと思われる。

1.2 木材の繊維方向の影響

次に主材である木材の繊維方向が荷重の加わる方向に平行な時(L)と垂直な時(T)とで、すべり性能にどの程度の差があるかを知るために、Fig. 3のような比較試験を行ってみた。試験材料は1.1と同様にエンドマッチさせて両条件に振り分けた各5体ずつのエゾマツ・トドマツ204材とダグラスファー9mm合板、CN50釘で、側材合板の表板の繊維方向は荷重方向に平行とした。図を見ると、荷重—すべり曲線の初めの部分では(L)が(T)よりも高いすべり性能を示しているが、途中からはむしろ逆転する傾向が認められ、また、途中で一旦除荷した時の残留すべり量の割合は(L)が約39%、(T)が約27%となっており、(T)が(L)よりも大きな回復を示している。ともあれ、図に見られるように、荷重方向によるこのようなすべり性能の差は定量的にはそれ程大きなものではないので、実用的な範囲で考える限りは、現行の木構造設計規準⁵⁾に書かれている通り、異方性影響を無視しても差し支えないように思われる。一般に木材の種々の力学的性質は顕著な異方性を示すのが普通であり、各種の金属接合具を用いた接合部のすべり性能もこの木材の強度異方性の影響を受ける。しかしいくつかの理由によって、接合部すべり性能の異方性は木材の基礎的強度の異方性に比べるとかなり小さく、特に釘のように大きな曲げ変形を伴う接合具では、上で示されたようにわずかな異方性しか現れないことになる^{6,7)}。ただし、ここで行っているような全面圧縮型の1面剪断試験では、特に(T)型の場合、最大耐力の評価がなかなか難しいため、それに及ぼす異方性の影響については不明である。したがって、上の結論はあくまでも接合部の剛性に限ったものであることを明記しておきたい。もちろん、建築構造物を設計するためには、接合部の剛性だけではなく最大耐力に関するデータも必要不可欠であることは言うまでもないが、釘接合部の最大耐力評価法に関しては、試験方法の適否を含めまだまだ検討して行かなければならない問題が多く残されているので、この点については今後の検討課題としたい。

1.3 合板の表板の繊維方向の影響

1.2と同様の試験方法で、今度は主材の繊維方向を一定としたまま、側材である合板の表板の繊維方向を荷重方向に対し平行(L)、垂直(T)としてその荷重—すべり曲線をFig. 4のように比較してみた。図に見られるように、(L)、(T)それぞれの曲線の特徴は1.2の結果と類似しており、またこの場合にも実用的にはその差を無視出来るものと思われる。

2. 本試験

2.1 試験方法

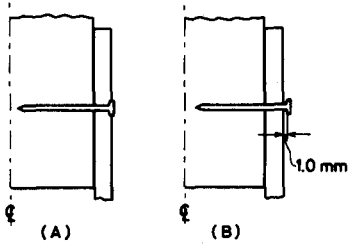
以上のような予備試験の結果を参考にして、本試験では主材及び側材合板の表板の繊維方

向をとともに荷重方向に平行とし、釘頭を浮かせる方式を採用して、Fig. 1のような方法で1面剪断試験を行った。主材用の木材としては、北海道産のエゾマツ・トドマツ及び北米産のヘム・ファー（ウエスタンヘムロック、アマビルスファアの2種を含む）の2樹種群を用いたが、前者はあわせてS-P-F群のスプルースとファーにほぼ相当するものと想定している。側材用合板としては、JAS 構造用合板2級の南洋材合板3種（カプール7.5 mm, 9 mm, ラワン12 mm）、同じく1級2種（ラワン9 mm, 12 mm）、JAS 構造用合板2級相当の北米産針葉樹合板2種（ダグラスファー9 mm, スプルース12 mm）の計7種の市販の合板を用いた。以上のような2種類の主材と7種類の側材を組み合わせ、計14種類の試験条件について各5体ずつの試験を行った。主材と側材の接合に用いた市販の枠組壁工法用CN 50釘はカラーコーティングされたもので、実測径約2.8 mm、長さ約50 mmである。試験にはオルゼン型万能試験機を用い、1/1000 mm精度、5 mmストロークの変位計で釘1本あたりの荷重2.5 kg毎に主材、側材間の相対すべり変位を測定しながら、クロスヘッドの変位速度約1 mm/分で負荷を続けたが、途中釘1本あたりの荷重30 kgと50 kgで、または30 kgと55 kgで各1回ずつ除荷した後再負荷した。いったん除荷した時の荷重に対応するすべり変位の大きさは荷重30 kgに対しては約0.23 mmから0.49 mm、荷重50ないし55 kgに対しては約0.86 mmから2.29 mmの範囲となっている。

2.2 試験結果と考察

Fig. 5. (1)–(14)に各試験条件における試験体5体の平均荷重一すべり曲線を示す。これら曲線の形状は主材、側材の基礎材質によって異なるものと考えられるので、各図には実際に試験に用いた材料の基礎材質を付記してある。主材に関しては、エゾマツ・トドマツ、ヘム・ファーともそれぞれの樹種グループとして標準的だと考えられる範囲の材料を選んでいるが、合板は市販品を購入しているため、予めその基礎材質をチェックすることが困難であった。その結果、南洋材合板のJAS 2級7.5 mm厚、9 mm厚のように標準的試験材料としては比重の高過ぎるものも含まれてしまっている。試験結果全体を概観してみると、一般的に言われているように、主材、側材の比重が高いほどすべり性能に優れているという傾向が認められるが、今回の試験だけでは試験条件数、試験体数ともに不足で、比重影響についての定量的な判断は出来ないものと思われる。一方合板厚さの影響については、今回の試験では残念ながら、比重が同程度で厚さの違う合板を揃えることが出来ず、検討不能であった。Fig. 5. (1)–(14)には各試験条件における平均荷重一すべり曲線を示しており、下限的すべり性能にはふれていない。これは、本研究で得られた釘接合部の荷重一すべり曲線は、釘接合によって組み立てられた構造物の変形計算を行うための基礎データで、その構造物の崩壊荷重を予測するためのものではないので、標準性能として必ずしも下限的性質を用いる必要はないものと考えたためである。また、実際の木質構造物における壁体や、トラス、ラーメン等の骨組みを想定すると、特別な場合を除いては多数の釘を用いて接合されるのが普通であるから、マルチプルメンバの考え方に従うと、

実際上は平均曲線を用いても大差ないものと思われる⁸⁾。



Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4")

r_u	E (t/cm ²)	r_u : Specific gravity, E : Young's modulus.
0.44 (0.43-0.46)	125.7 (91.4-144.5)	

Side-member : Douglas fir, 3-ply, nominal 9 mm thick

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
9.54	3.20	0.51	12.5	83.9	9.1	7.5

t : actual thickness, t_f : thickness of face veneer,
 E_1 : Young's modulus parallel to the face grain.
 E_2 : Young's modulus perpendicular to the face grain,
 G : Shear modulus of rigidity.

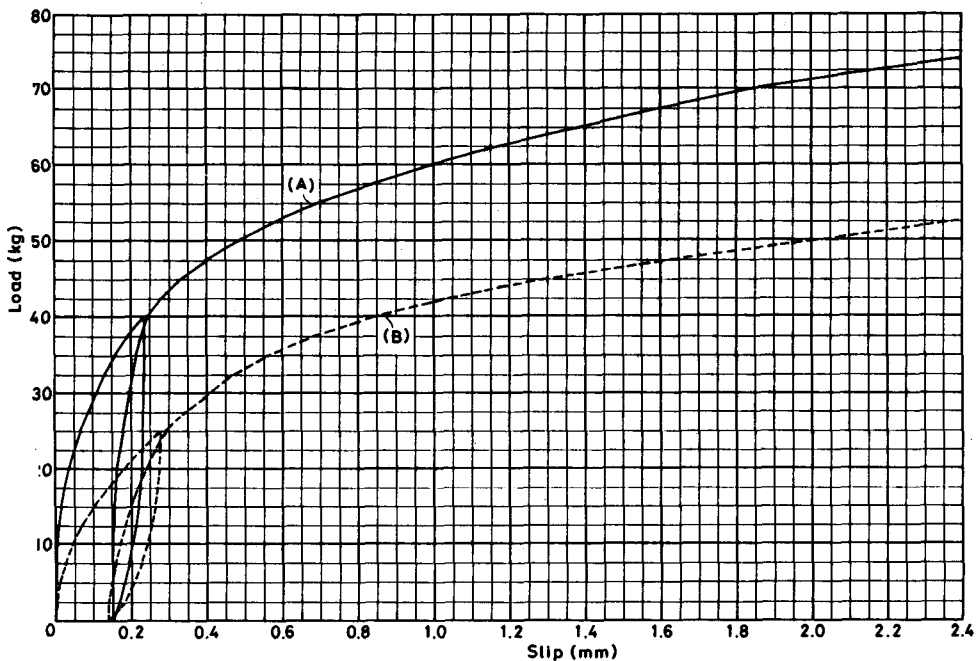
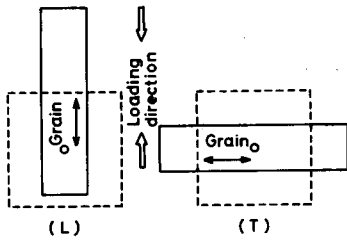


Fig. 2. Effect of nail head management.

Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4")

r_u	E (t/cm ²)
0.42 (0.40-0.45)	113.4 (90.9-145.5)



Side-member : Douglas fir, 3-ply, nominal 9 mm thick

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
9.54	3.20	0.51	12.5	83.9	9.1	7.5

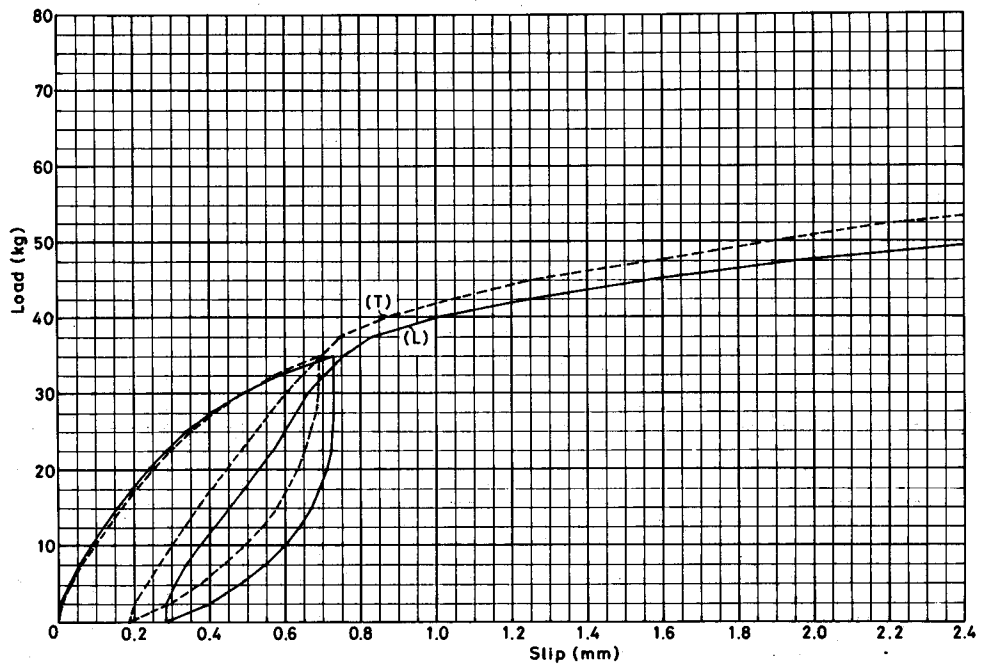
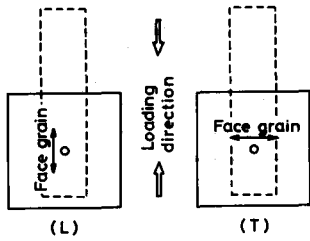


Fig. 3. Effect of the grain direction of main-member.



Main-member : Ezomatsu-todomatsu 204 (2"x4")

r_u	E (t/cm ²)
0.42 (0.37-0.44)	115.5 (81.6-156.5)

Side-member : Douglas fir, 3-ply, nominal 9 mm thick

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
9.54	3.20	0.51	12.5	83.9	9.1	7.5

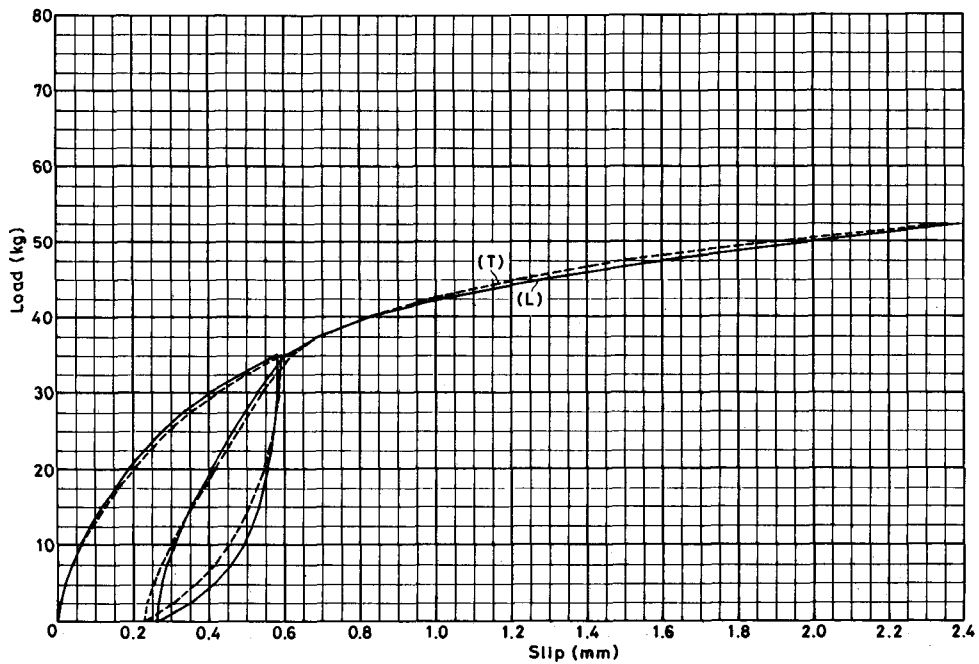
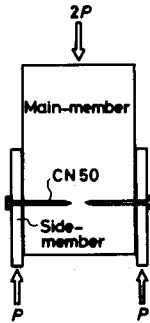


Fig. 4. Effect of the face grain direction of plywood side-member.



Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)	r_u : Specific gravity,
0.42 (0.37-0.48)	14.0 (13.8-14.3)	107.4 (87.2-143.6)	u : Moisture content,
			E : Young's modulus.

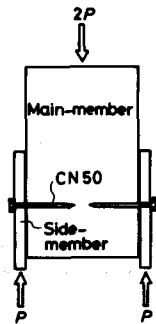
Side-member : Kapor, 3-ply, nominal 7.5 mm thick(JAS No. 2)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
7.56	2.05	0.78	9.2	134.2	17.4	7.4

t : actual thickness, t_f : thickness of face veneer,
 E_1 : Young's modulus pararell to the face grain,
 E_2 : Young's modulus perpendicular to the face grain,
 G : Shear modulus of rigidity.



Fig. 5. (1) Basic load-slip curve of a nailed wood-plywood joint with a CN50 nail. (Ezomatsu-todomatsu 204 and Kapor 7.5 mm plywood)



Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4)

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.42 (0.37-0.48)	14.0 (13.8-14.3)	107.4 (87.2-143.6)

Side-member : Kapor, 3-ply, nominal 9 mm thick(JAS No. 2)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
8.67	2.00	0.81	8.3	134.8	33.8	5.9

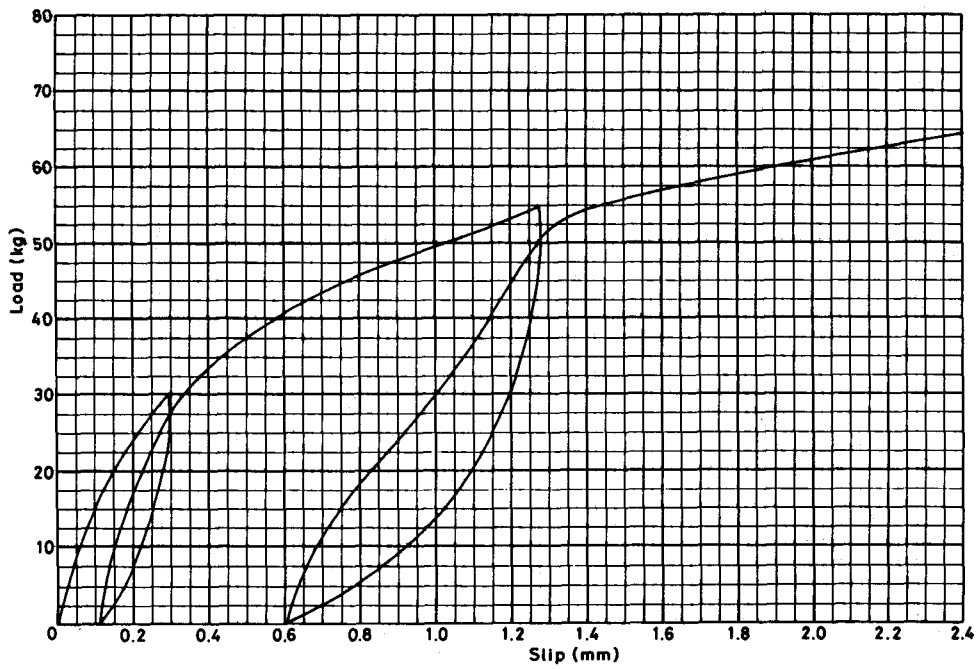
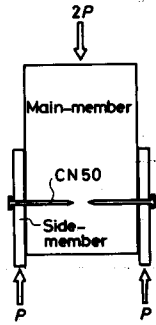


Fig. 5. (2) Continued. (Ezomatsu-todomatsu 204 and Kapor 9 mm plywood)



Main-member: Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.42	12.2	87.0
(0.40-0.44)	(10.8-12.7)	(82.8-89.7)

Side-member: Lauan, 5-ply, nominal 9 mm thick(JAS No. 1)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
8.87	1.00	0.52	12.1	59.0	36.0	3.8

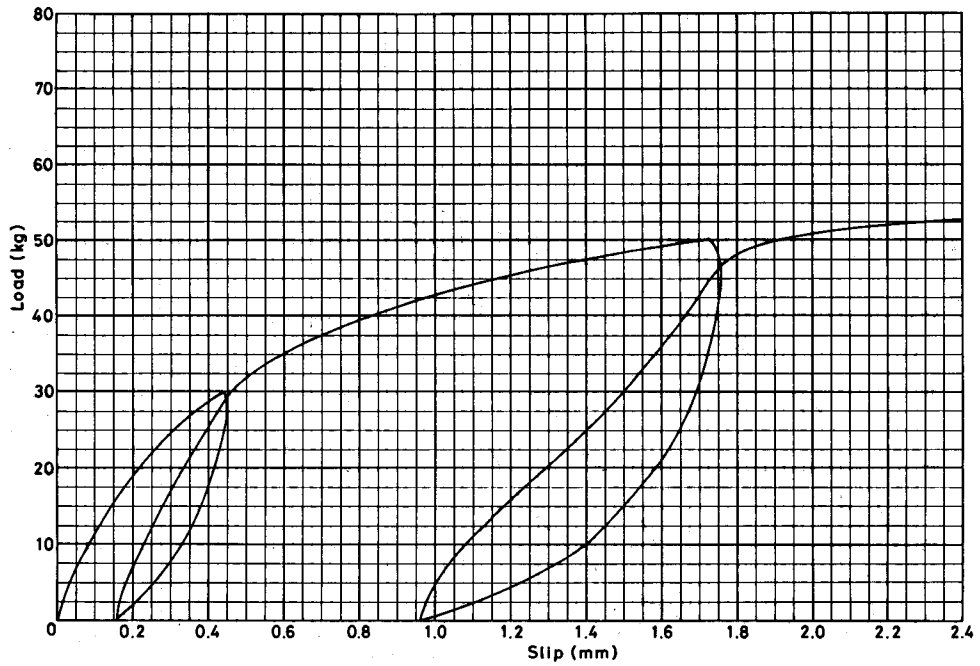
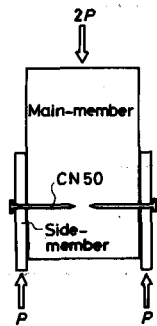


Fig. 5. (3) Continued. (Ezomatsu-todomatsu 204 and Lauan 9 mm plywood)



Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4)

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.42	14.0	107.4
(0.37-0.48)	(13.8-14.3)	(87.2-143.6)

Side-member : Lauan, 5-ply, nominal 12 mm thick (JAS No. 2)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
12.25	1.85	0.56	9.1	82.8	42.1	3.9

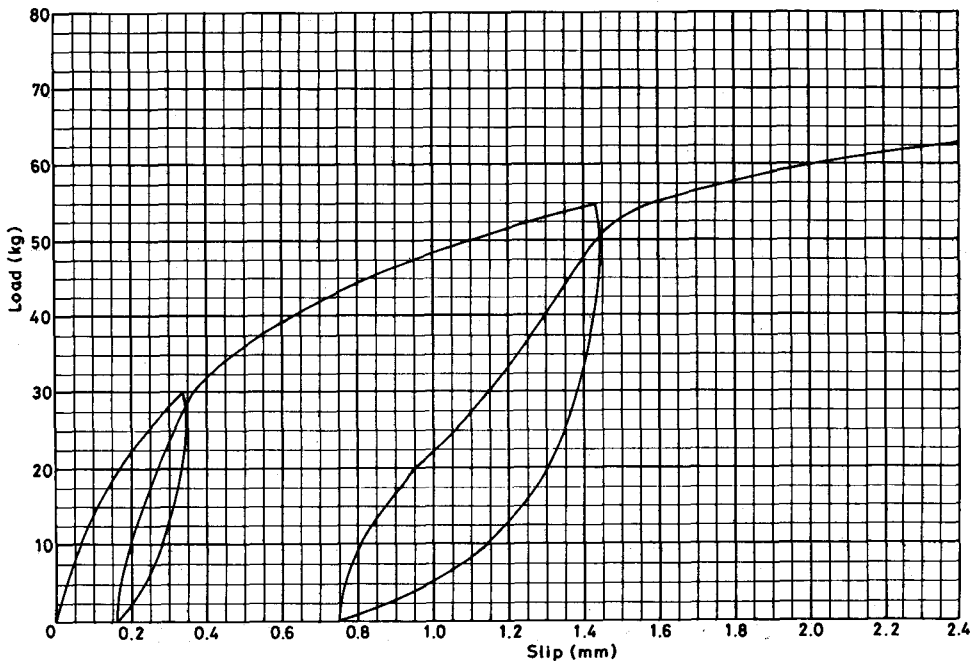
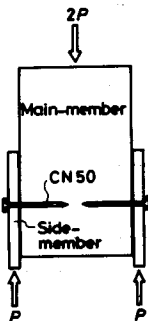


Fig. 5. (4) Continued. (Ezomatsu-todomatsu 204 and Lauan 12 mm plywood (JAS No. 2))



Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.42 (0.40-0.44)	12.2 (10.8-12.7)	87.0 (82.8-89.7)

Side-member : Lauan, 5-ply, nominal 12 mm thick (JAS No. 1)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
11.81	0.90	0.62	8.7	49.9	58.5	6.3

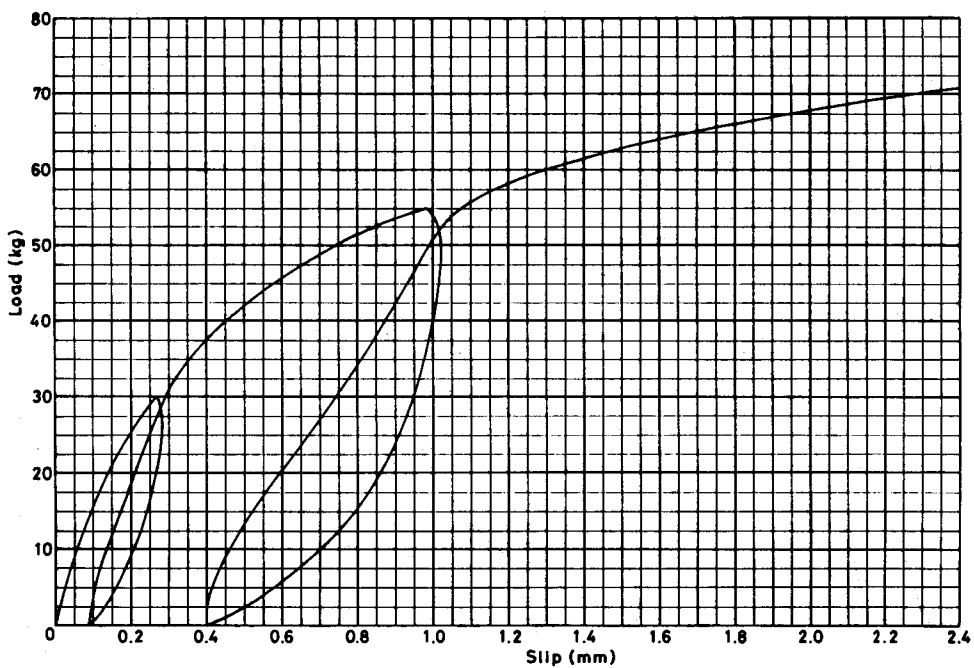


Fig. 5. (5) Continued. (Ezomatsu-todomatsu 204 and Lauan 12 mm plywood (JAS No. 1))

Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.42 (0.37-0.48)	14.0 (13.8-14.3)	107.4 (87.2-143.6)

Side-member : Douglas fir, 3-ply, nominal 9 mm thick

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
9.54	3.20	0.51	12.5	83.9	9.1	7.5

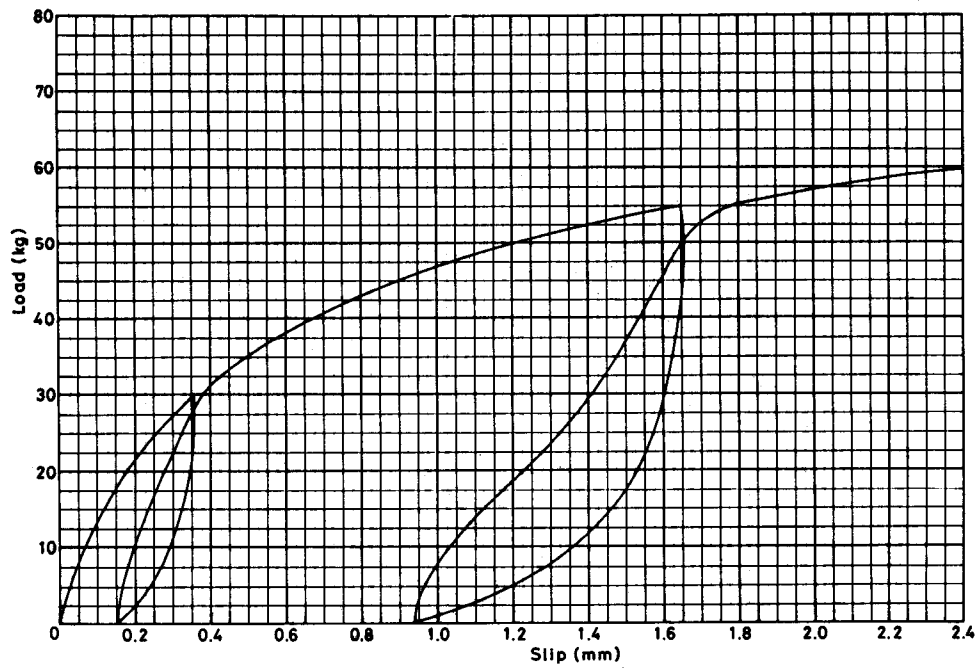
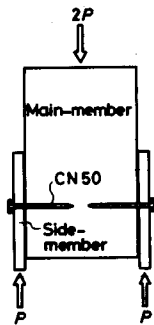
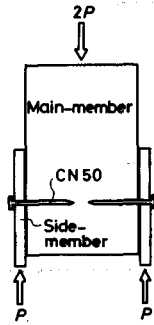


Fig. 5. (6) Continued. (Ezomatsu-todomatsu 204 and Douglas fir 9 mm plywood)

Main-member : Ezomatsu-todomatsu, 204 (2"x4")



r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.42 (0.37-0.48)	14.0 (13.8-14.3)	107.4 (87.2-143.6)

Side-member : Spruce, 5-ply, nominal 12 mm thick

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
12.58	2.50	0.46	13.0	62.5	20.5	4.1

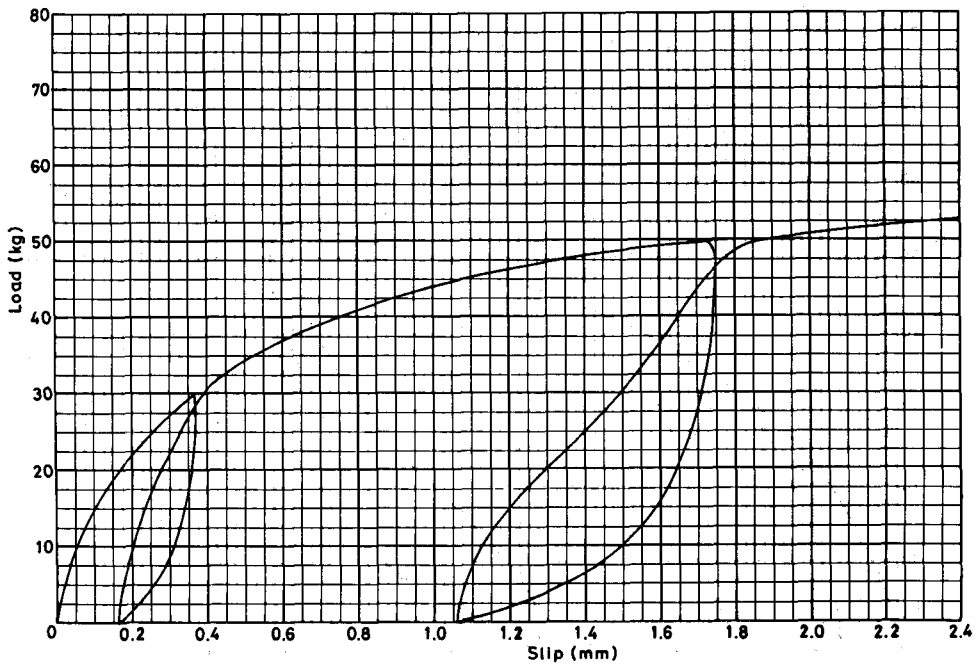
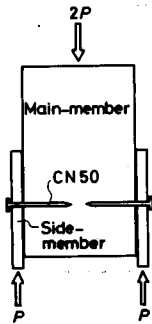


Fig. 5. (7) Continued. (Ezomatsu-todomatsu 204 and Spruce 12 mm plywood)

Main-member : Hem-fir, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.46 (0.42-0.50)	13.2 (12.3-14.0)	128.6 (116.1-147.3)



Side-member : Kapor, 3-ply, nominal 7.5 mm thick (JAS No. 2)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
7.56	2.05	0.78	9.2	134.2	17.4	7.4

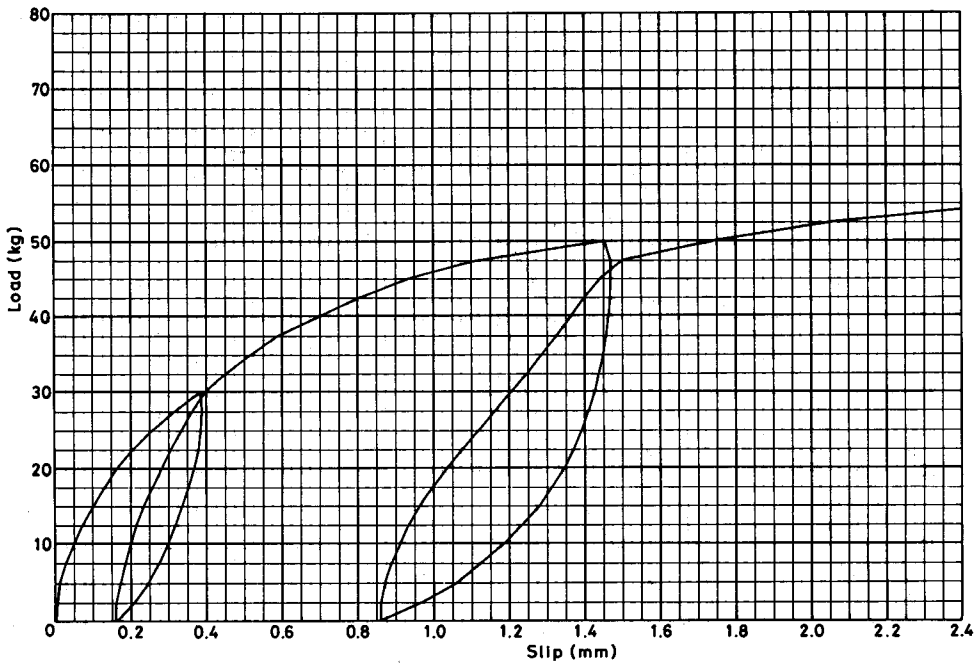
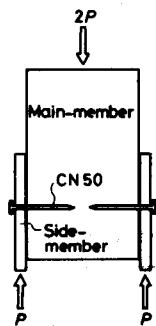


Fig. 5. (8) Continued. (Hem-fir 204 and Kapor 7.5 mm plywood)



Main-member : Hem-fir, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.46	13.2	128.6
(0.42-0.50)	(12.3-14.0)	(116.1-147.3)

Side-member : Kapor, 3-ply, nominal 9 mm thick (JAS No. 2)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
8.67	2.00	0.81	8.3	134.8	33.8	5.9

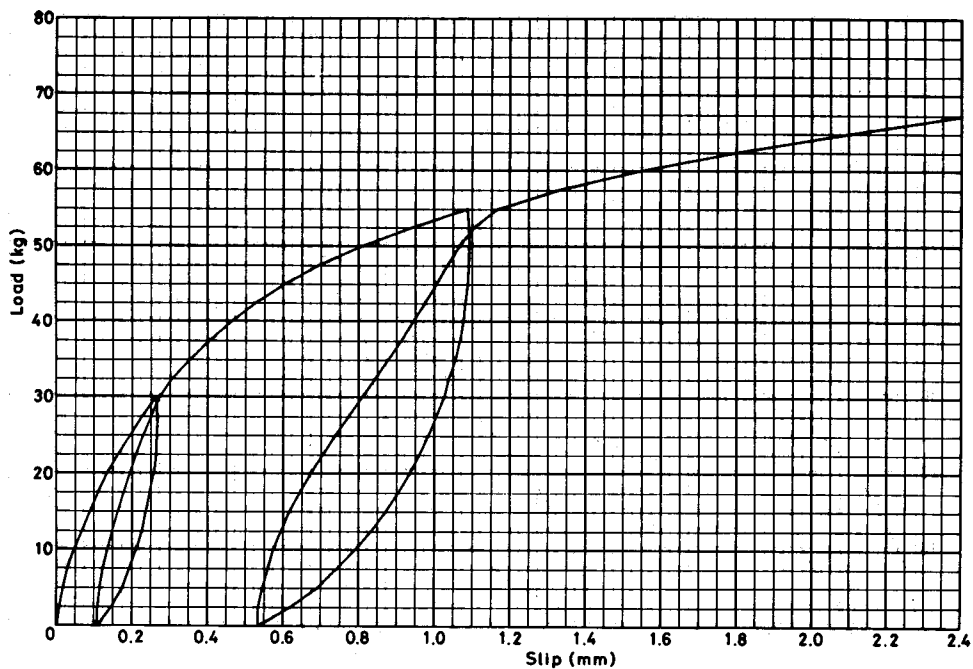


Fig. 5. (9) Continued. (Hem-fir 204 and Kapor 9 mm plywood)

Main-member : Hem-fir, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.46 (0.42-0.50)	13.2 (12.3-14.0)	128.6 (116.1-147.3)

Side-member : Lauan, 5-ply, nominal 9 mm thick (JAS No. 1)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
8.87	1.00	0.52	12.1	59.0	36.0	3.8

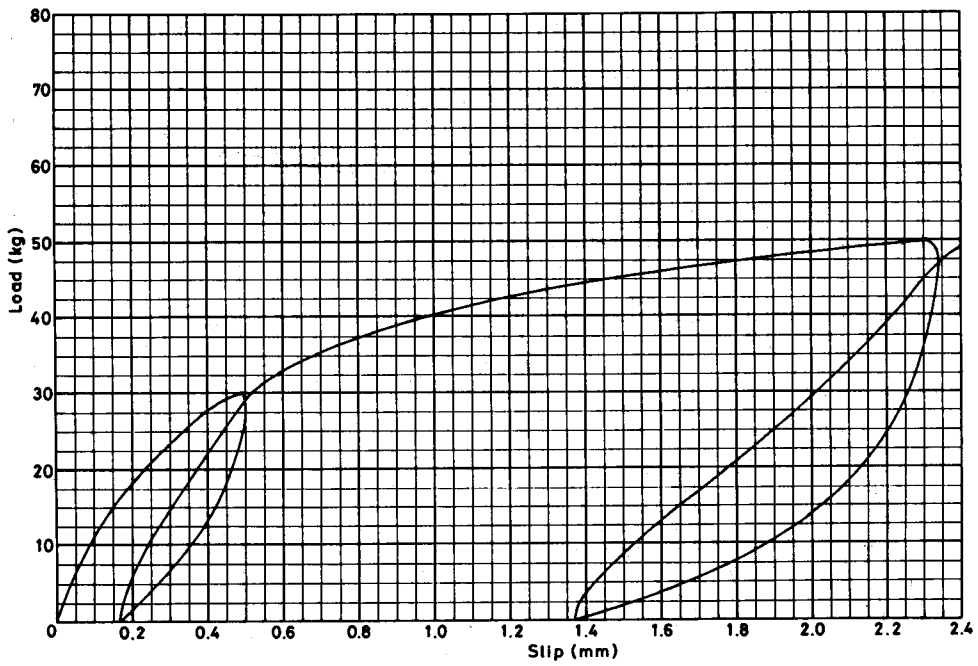
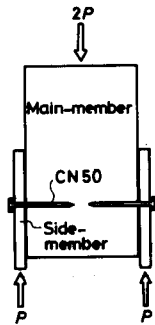
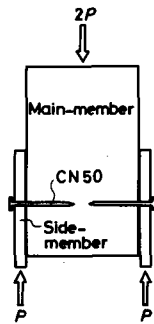


Fig. 5. (10) Continued. (Hem-fir 204 and Lauan 9 mm plywood)



Main-member : Hem-fir, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.46 (0.42-0.50)	13.2 (12.3-14.0)	128.6 (116.1-147.3)

Side-member : Lauan, 5-ply, nominal 12 mm thick (JAS No. 2)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
12.25	1.85	0.56	9.1	82.8	42.1	3.9

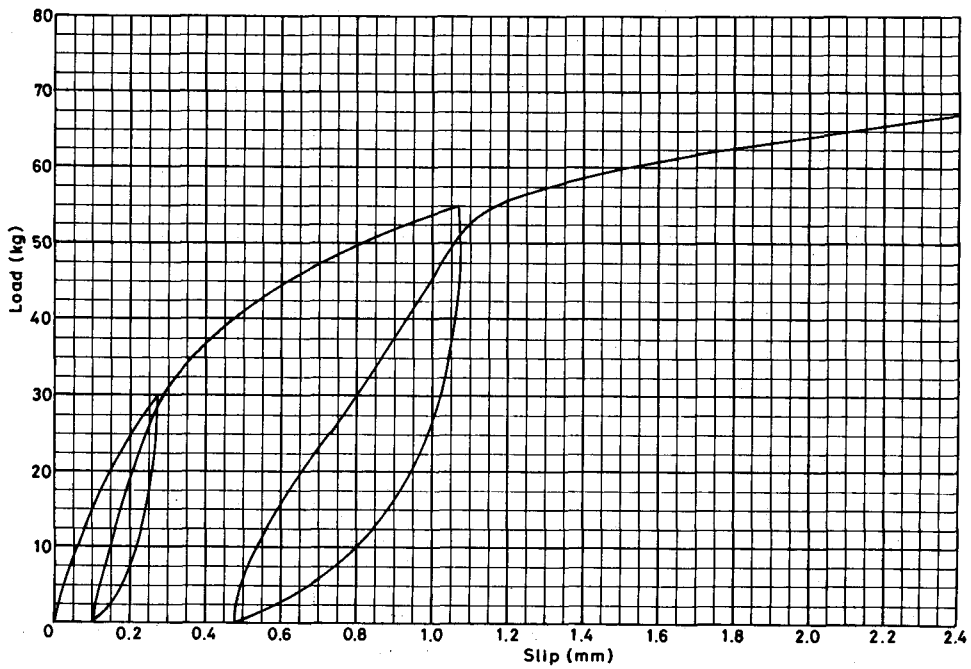
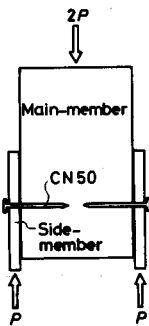


Fig. 5. (11) Continued. (Hem-fir 204 and Lauan 12 mm plywood (JAS No. 2))



Main-member : Hem-fir, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.46 (0.42-0.50)	13.2 (12.3-14.0)	128.6 (116.1-147.3)

Side-member : Lauan, 5-ply, nominal 12 mm thick (JAS No. 1)

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
11.81	0.90	0.62	8.7	49.9	58.5	6.3

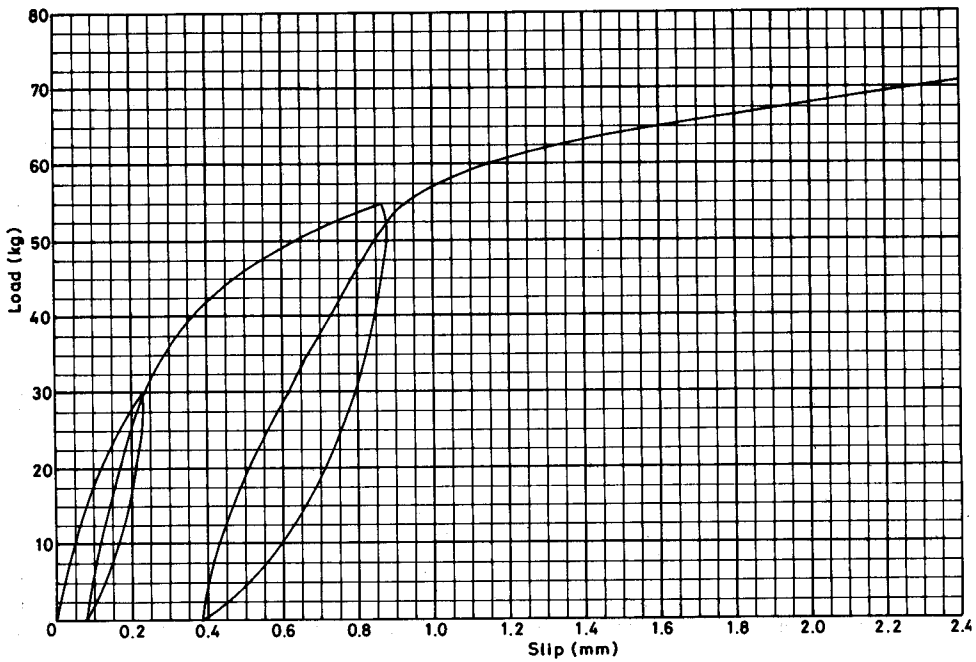


Fig. 5. (12) Continued. (Hem-fir 204 and Lauan 12 mm plywood (JAS No. 1))

Main-member : Hem-fir, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.46 (0.42-0.50)	13.2 (12.3-14.0)	128.6 (116.1-147.3)

Side-member : Douglas fir, 3-ply, nominal 9 mm thick

t (mm)	t_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
9.54	3.20	0.51	12.5	83.9	9.1	7.5

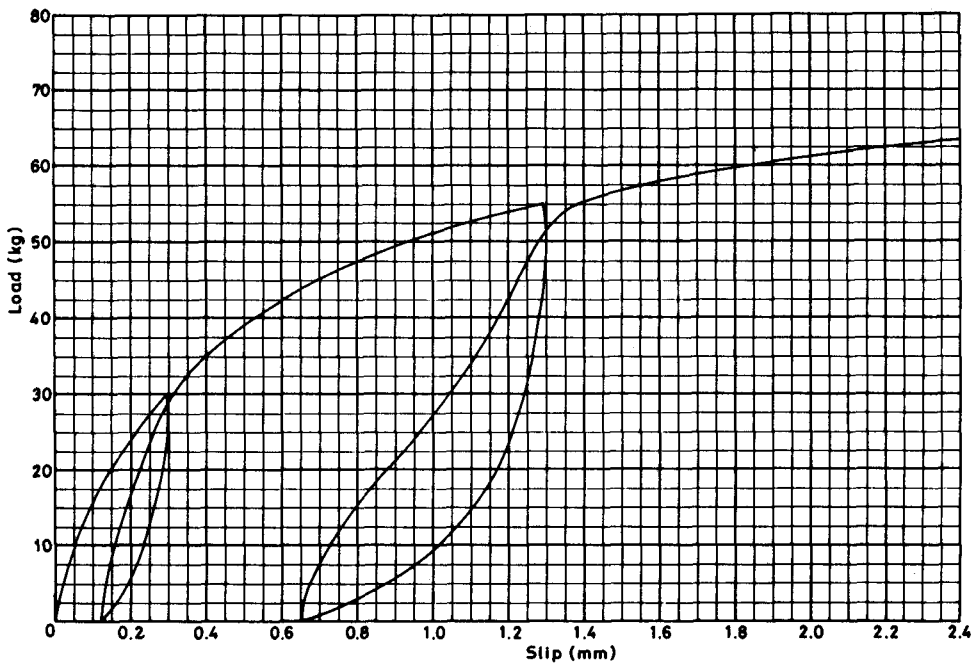
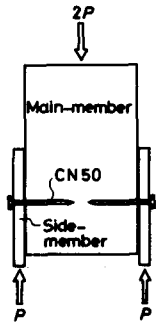
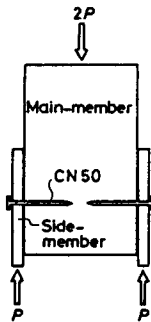


Fig. 5. (13) Continued. (Hem-fir 204 and Douglas fir 9 mm plywood)



Main-member : Hem-fir, 204 (2"x4")

r_u	u (%)	E (t/cm ²)
0.46	13.2	128.6
(0.42-0.50)	(12.3-14.0)	(116.1-147.3)

Side-member : Spruce, 5-ply, nominal 12 mm thick

t (mm)	l_f (mm)	r_u	u (%)	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	G (t/cm ²)
12.58	2.50	0.46	13.0	62.5	20.5	4.1

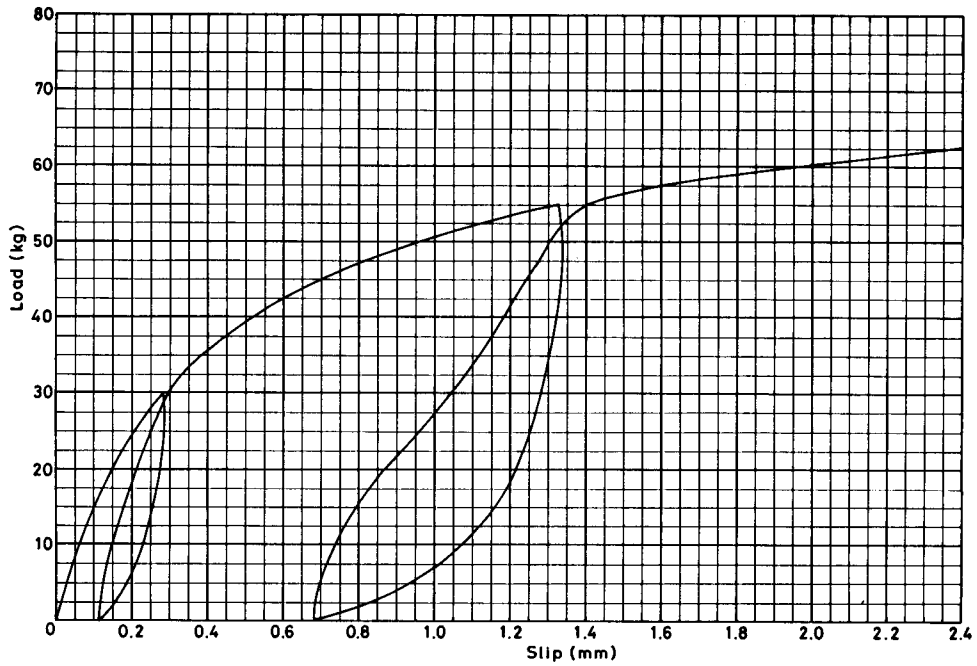


Fig. 5. (14) Continued. (Hem-fir 204 and Spruce 12 mm plywood)

文 献

- 1) 中谷浩, 沢田稔: 北大演研報, 37 (3), 687-720 (1980).
- 2) 松尾博, 沢田稔: 北大演研報, 37 (3), 721-746 (1980).
- 3) 神谷文夫他: 木材学会誌, 29(12), 925-929 (1983).
- 4) Antonides, C. E. et al.: *Wood Sci.*, 13 (1), 41-46 (1980)
- 5) 日本建築学会編: "木構造設計規準・同解説", 丸善, 1973
- 6) 平井卓郎: 木材学会誌, 30(12), 959-964 (1984).
- 7) 平井卓郎: 木材学会誌, 30(12), 965-972 (1984).
- 8) 神谷文夫他: 林試研報, No. 322, 73-94 (1983)

Summary

Basic load-slip curves were presented for some of the common-used nailed wood-plywood joints with a CN50 nail. Hem-fir and Ezomatsu-todomatsu (Ezo-spruce and Todo-fir) were used as the main-member of the single shear test specimen, and seven kinds of plywood were used as the side-member of it. Preceding the main test program, preliminary tests were conducted on the effect of the grain direction of the wood member and also on the effect of the face grain direction of the plywood member, which showed comparatively small effects of them on the load-slip curves of the nailed wood-plywood joints.