HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	木材と木質平面材料の釘接合における剪断耐力(第3報)
Author(s)	松尾, 博; 沢田, 稔
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 38(2), 285-304
Issue Date	1981-09
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21061
Type	bulletin (article)
File Information	38(2)_P285-304.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

木材と木質平面材料の釘接合における剪断耐力 (第3報)*

松尾 博** 沢田 稔**

Lateral Resistance of Wood and Wood-based Sheet Material Joints with Nails (3)

By

Hiroshi MATSUO and Minoru SAWADA

目次

緒言 …… 285
1. 計算式 …… 286
1-1 釘の理論撓み曲線とこり係数 …… 286
1-2 短期許容剪断耐力 …… 287
1-3 一面剪断荷重—こり曲線の予測式 …… 287
2. 試料および実験方法 …… 287
2-1 試料と基礎材質 …… 287
2-2 実験方法 …… 288
3. 結果と考察 …… 289
3-1 こり係数 …… 289
3-2 釘の撓み曲線 …… 293
3-3 一面剪断耐力 …… 298
3-4 一面剪断荷重—こり曲線の予測 …… 300
結言 …… 302
文献 …… 302
Summary …… 302

緒言

釘着接合の剪断性能を評価する場合，荷重を加えたさいに発生する中央材と側材との境界での相対変位（こり）を知ることは，きわめて重要であるが，一方この種の接合において，材中での釘の全体的な変形挙動を捉えることも興味ある研究対象であり，耐力評価のひとつの手

* 1981年2月28日受理

** 北海道大学農学部林産学科木材加工学教室
Laboratory of Wood and Wood Products Engineering, Dept. of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

掛りになるものと思われる。また，剪断荷重を受ける材中での釘の変形挙動に対して，中谷[1]らや徳田[2]らの報告もあるが，これらはいずれも木材素材中の釘変形を取り扱ったものであり，比較的薄い木質平面材料を使用した場合の釘変形に関する研究は，これまでのところあまり見当らない。したがって，本研究では，側材に各種木質平面材料を用いて繰り返し一面剪断試験を行ない，そのさい生ずる釘の変形挙動を軟X線を使用した写真撮影によって観察することを目的とした。あわせて，弾性床理論から得られた釘の理論的な変形と実際の変形挙動を比較検討してみた。また，既報[3),4)]では，実際の荷重一辷り曲線に対し，直接実験値を基にして，対数型の回帰曲線式を求めたのであるが，本研究では，この種の釘着接合について，おおむね成立すると思われる実験結果に基づき，荷重一辷り曲線を予測する実験式を求めた。

本研究を進めるにあたって，終始助言と協力を与えられた当教室の教官の方々に深く謝意を表する次第である。

1. 計　算　式

1-1　釘の理論撓み曲線と辷り係数

釘着接合において，辷りの発生は，主として，釘の材面へのめり込みと，これと対応して発生する釘自体の曲げ変形から起るものと考えられる。原田[5]は，木材を弾性床，木材中に打ち込まれた釘を弾性床上の梁と仮定し，その一面剪断における変形機構を解析している。この仮定により，次式の微分方程式が成立する。

$$E_sI_s\frac{d^4y}{dx^4}+Ky=0 \qquad (1)$$

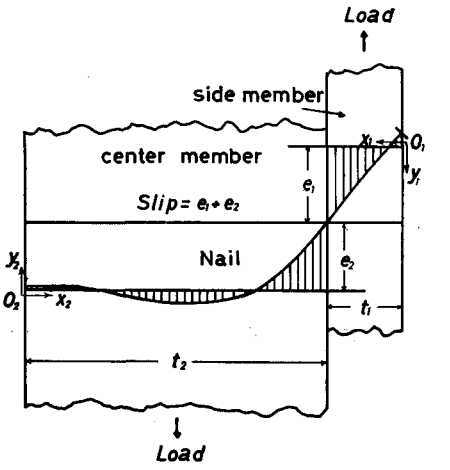
ここで，E_sI_s＝釘の曲げ剛性，$K=E\cdot d/\alpha$，E＝材のヤング係数，d＝釘径，α＝面圧定数，x＝釘軸方向の座標，y＝釘のめり込み量（図-1参照）

そして $\mu=\sqrt[4]{\dfrac{Ed}{4E_sI_s\alpha}}$ とおき，釘の両端末を自由端条件とみて，(1)式を解けば，

$$y_1=\frac{\alpha_1}{E_1}\sigma_m\Big(a_1A(x)+b_1B(x)\Big) \qquad (2)$$

$$y_2=\frac{\alpha_2}{E_2}\sigma_m\Big(a_2A(x)+b_2B(x)\Big) \qquad (3)$$

ここで，y_1＝側材中の釘の撓み曲線，y_2＝中央材中の釘の撓み曲線，E_1＝側材のヤング係数，E_2＝中央材のヤング係数，α_1＝側材の面圧定数，α_2＝中央材の面圧定数，$\sigma_m=\dfrac{P}{t_1d}$，



図—1　弾性床理論による釘の撓み曲線

Fig. 1. Deflection curve of the nail computed from the beam-on-elastic foundation theory.

P=荷重, t_1=側材の厚さ, $A(x)=\cosh \mu x \cos \mu x$, $B(x)=\frac{1}{2}\left(\cosh \mu x \sin \mu x+\sinh \mu x \cos \mu x\right)$ a_1, a_2, b_1, b_2=積分定数。

計算辷り係数 (K'_s) については, 既報で使用したものと同形の次式を用いた。

$$K'_s = \frac{4E_sI_s\,\mu_1^3}{(1+\omega^2)(\coth \mu_1 t_1+\omega \coth \mu_2 t_2)} \tag{4}$$

ここで　$\omega=\mu_1/\mu_2$

1-2 短期許容剪断耐力

本研究では, 以下の3種の式によって, 短期許容剪断耐力を算出した。

$$P'_{s0} = K'_s \times 0.38\ \mathrm{mm} \tag{5}$$

$$P'_{s1} = P_{s1.0} \times 3/4 \tag{6}$$

$$P'_{s2} = P_{\max} \times 3/8 \tag{7}$$

ここで,　$P_{s1.0}$=辷り量 1.0 mm での剪断耐力, $P_{\max}$=降伏耐力

1-3 一面剪断荷重—辷り曲線の予測式

既報[3),4)] で行なった一面剪断試験によって得られた荷重—辷り曲線に対して, 検討を加えた結果, 側材に合板, その他の各種木質平面材料を, また中央材にトドマツ材を使用した釘着接合の場合, 以下の仮定がおおむね成立しうるものと思われる。

① 荷重—辷り曲線は, 対数型の曲線式 [$P=A \ln \delta+B$] によってほぼ近似できる。

② $P_{s0.38} \doteqdot 3/4 P_{s1.0}$ (8)

③ $P_{s0.38} \doteqdot K'_s \times 0.38\ \mathrm{mm}$ (9)

ここで,　$P_{s0.38}$=辷り量 0.38 mm での剪断耐力

すなわち, [$P=A \ln \delta+B$] に, (8), (9) 式を代入して, 次のような実験式を求めた。

$$P = K'_s(13.09 \ln \delta+50.67) \tag{10}$$

ここで　P=剪断耐力 (kg), δ=相対辷り量 (mm), K'_s=計算辷り係数 (t/cm=10^2 kg/mm), $(13.09 \ln \delta+50.67)$ の単位は 10^{-2} mm

また, この式が, 実用上安全側の評価を与えるように, 係数を次式の通りまるめた。

$$P = K'_s(13 \ln \delta+50) \tag{11}$$

2. 試料および実験方法

2-1 試料と基礎材質

本実験では, 中央材に気乾の 204 トドマツ材 (*Abies sachalinensis*, 北海道大学雨竜地方演習林産, 記号 A), 側材に公称 7.5 mm 厚構造用ラワン合板 (記号 P1), 9 mm 厚構造用ラワン合

板 (記号 P2), パーティクルボード (記号 PB), ハードボード (記号 HB), 木片セメント板 (記号 CB) を使用した。これらの材料の基礎材質 (平均値) を表-1 に示す。ヤング係数は，すべて中央集中荷重方式による曲げ試験によって求めたが，合板の場合は圧縮条件のヤング係数に換算した。

表—1　試料の基礎材質

Table 1. Basic properties of test materials

Test materials	t (mm)	E (t/cm²)	u (%)	r_u	Remarks
P1	7.9	92.6*	10.6	0.75	plywood (Lauan) (1.5+1.5+1.5+1.5+1.5)
P2	9.4	78.6*	9.6	0.76	plywood (Lauan) (1.5+2.25+1.5+2.25+1.5)
PB	12.2	24.3	8.4	0.69	particle board
HB	5.3	32.7	6.5	0.96	fiber board
CB	13.4	33.1	8.7	1.14	cemented wood tip board
A	38.0	110.7	9.4	0.40	Todo-matsu (*Abies sachalinensis*)

t=thickness of materials, E=Young's modulus by bending test, u=moisture content, r_u=specific gravity.

* Each value was compression Young's modulus calculated from bending Young's modulus.

2-2 実験方法

2-2-1 一面剪断試験

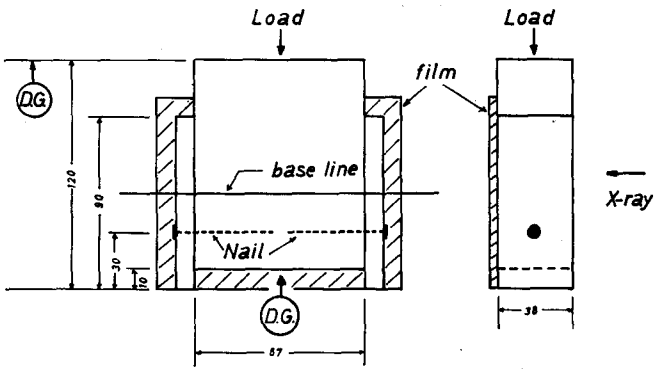
既報と同じく，CN 50, SN 40 および N 38 の 3 種の釘を使用し，一面剪断試験体を組み立てた。組み立てにさいし，釘をできるだけ真直ぐに打ち込むため，最大径約 2.2 mm の錐で，側材ならびに中央材に先孔をあけた。CN 50, SN 40 の場合，釘頭部の下面が側材に接触する程度までしか釘を打ち込まなかったが，N 38 の場合は，釘頭部上面が，側材表面と同一平面になるまで打ち込んだ。これら使用釘の寸法は，表-2 に見られる通りである。一面剪断試験体において，側材に合板を使用したさい，荷重方向と表板の繊維方向が平行になるように組み立てた。そして図-2 に示すように，5 ton オルゼン型材料試験機を用いて荷重を加えた。中央材と側材の境界での相対辷り量 (δ) は，中央材下面の変位量を直接 10^{-3} mm 精度，5 mm ストロークのデジタルダイヤルゲージで測定したが，この測定には，ある程度，負荷による材自体の縮みが含まれている。また全体辷り量の測定には，10^{-2} mm 精度，30 mm ストロークのデジタルダイヤルゲージを用いた。本研究では，実測辷り係数を得るため，相対辷り量が 1 mm と 2 mm の時点で 1 回ずつ繰り返し荷重を加え，さらに相対辷り量が 10 mm に至るまで負荷した。

表—2　使用釘の寸法

Table 2. Dimensions of nails

Nail	d (mm)	D (mm)	L (mm)
CN50	2.9	7.0	51.4
SN40	3.3	10.5	38.8
N38	2.1	5.1	37.4

d=diameter of nail shank
D=diameter of nail head
L=length of nail



図—2 一面剪断試験法

Fig. 2. Method of single shear test.

2-2-2 軟X線照射法

フィルムを黒い袋に入れ，一面剪断試験体の後方に密着固定し，荷重50kgおき（したがって釘1本に換算して25kgおき）で試験機を停止し，軟X線を照射して写真撮影を行なった(図-2参照)。使用した軟X線発生器は，ガス絶縁携帯式工業用軟X線装置，RADIOFLEX-100GSであり，撮影のさい，管電圧100kV，管電流5mmAで10秒間照射し，X線管球とフィルムとの距離は約60cmとした。釘の変形量を測定するさい，何らかの基準線が必要であるが，本研究では，直径約0.4mmの鉄線を試験装置に固定して張り，これを基準線とした。このようにして得られたネガフィルムを万能投影機を用いて拡大し，釘の変形量を直接測定した。なお試験体数は，各側材，釘の種類について2体ずつ，計30体であった。

3. 結果と考察

3-1 辷り係数

本研究では，図-3に例示したように，3種の実測辷り係数を測定した。すなわち，

a) K_{s0}: 相対辷り量0.38mmにおける荷重と原点を結ぶ直線勾配としての辷り係数。

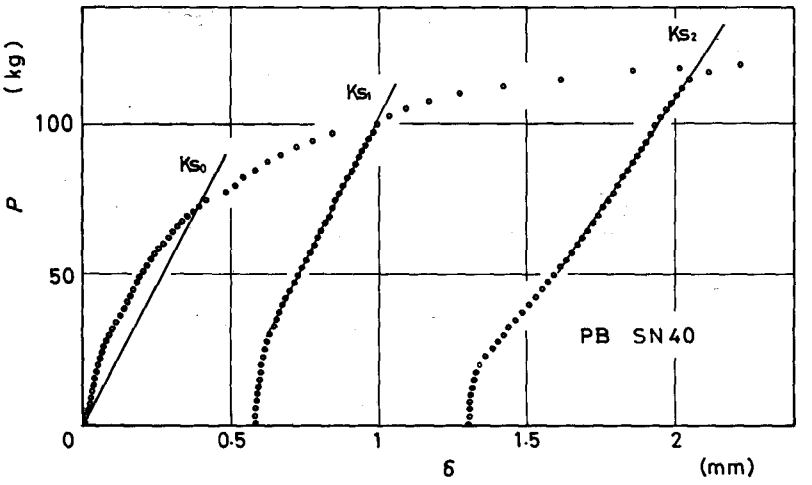
b) K_{s1}: 相対辷り量1mmでの繰り返し荷重による直線領域での辷り係数。

c) K_{s2}: 相対辷り量2mmでの繰り返し荷重による直線領域での辷り係数。

図-3に例示した荷重—辷り曲線は，側材がパーティクルボード，釘がSN40の場合であり，この図は，釘1本あたりに換算したものである。このようにして求められた実測辷り係数の平均値を表-3に一括表示した。また，これらの実測辷り係数(K_s)と弾性床理論から得られる計算辷り係数(K_s')とを比較するため，(4)式を使用して，計算辷り係数を算出した。これらの値を表-4に示す。K_s'算出のさい。以下の回帰直線式を用いてα値を求めた。

$$\alpha = 6.5d + 1.50 \quad \text{(P1, P2, A)} \tag{12.1}$$

$$\alpha = 6.0d + 0.10 \quad \text{(PB)} \tag{12.2}$$



図—3 実測辷り係数の決定法

Fig. 3. Method of determining of observed slip modulus.

表—3 実測辷り係数

Table 3. Observed slip moduli

Side member	Nail	K_{s0} (t/cm)	K_{s1} (t/cm)	K_{s2} (t/cm)
P 1	CN 50	1.86	2.77	1.89
	SN 40	2.23	2.11	1.44
	N 38	0.97	1.36	1.19
P 2	CN 50	1.28	1.53	1.28
	SN 40	2.11	1.85	1.46
	N 38	1.04	1.18	1.11
PB	CN 50	1.61	1.56	1.17
	SN 40	1.61	1.66	1.24
	N 38	1.10	1.14	0.90
HB	CN 50	1.44	1.79	1.44
	SN 40	1.61	1.93	1.56
	N 38	1.51	1.60	1.27
CB	CN 50	1.27	1.98	1.78
	SN 40	1.29	1.86	1.70
	N 38	0.99	1.53	1.44

These values were determined as shown in Fig. 3.

$$\alpha = 3.5d + 0.10 \quad \text{(HB)} \tag{12.3}$$

$$\alpha = 2.0d + 0.55 \quad \text{(CB)} \tag{12.4}$$

式中，面圧定数 (α) および釘径 (d) は，それぞれ単位が cm であり，これらの式は，既報[3)]

表—4 計算辷り係数 (K_s')

Table 4. Calculated slip moduli (K_s')

Side member	Nail	E_1 (t/cm²)	E_2 (t/cm²)	α_1 (cm)	α_2 (cm)	K_s' (t/cm)
P 1	CN 50	92.6	103.0	3.39	3.39	1.39
	SN 40	92.6	115.8	3.65	3.65	1.65
	N 38	92.6	113.4	2.87	2.87	1.00
P 2	CN 50	78.6	103.0	3.39	3.39	1.36
	SN 40	78.6	115.8	3.65	3.65	1.62
	N 38	78.6	113.4	2.87	2.87	0.96
PB	CN 50	24.3	103.0	1.84	3.39	1.10
	SN 40	24.3	115.8	2.04	3.65	1.29
	N 38	24.3	113.4	1.36	2.87	0.81
HB	CN 50	37.7	103.0	1.12	3.39	1.34
	SN 40	37.7	115.8	1.26	3.65	1.53
	N 38	37.7	113.4	0.84	2.87	1.05
CB	CN 50	33.1	103.0	1.13	3.39	1.60
	SN 40	33.1	115.8	1.21	3.65	1.95
	N 38	33.1	113.4	0.97	2.87	1.08

E_1=Young's modulus of side member, E_2=Young's modulus of center member, α_1=effective foundation depth of side member, α_2=effective foundation depth of center member.

表—5 実測辷り係数と計算辷り係数の比較

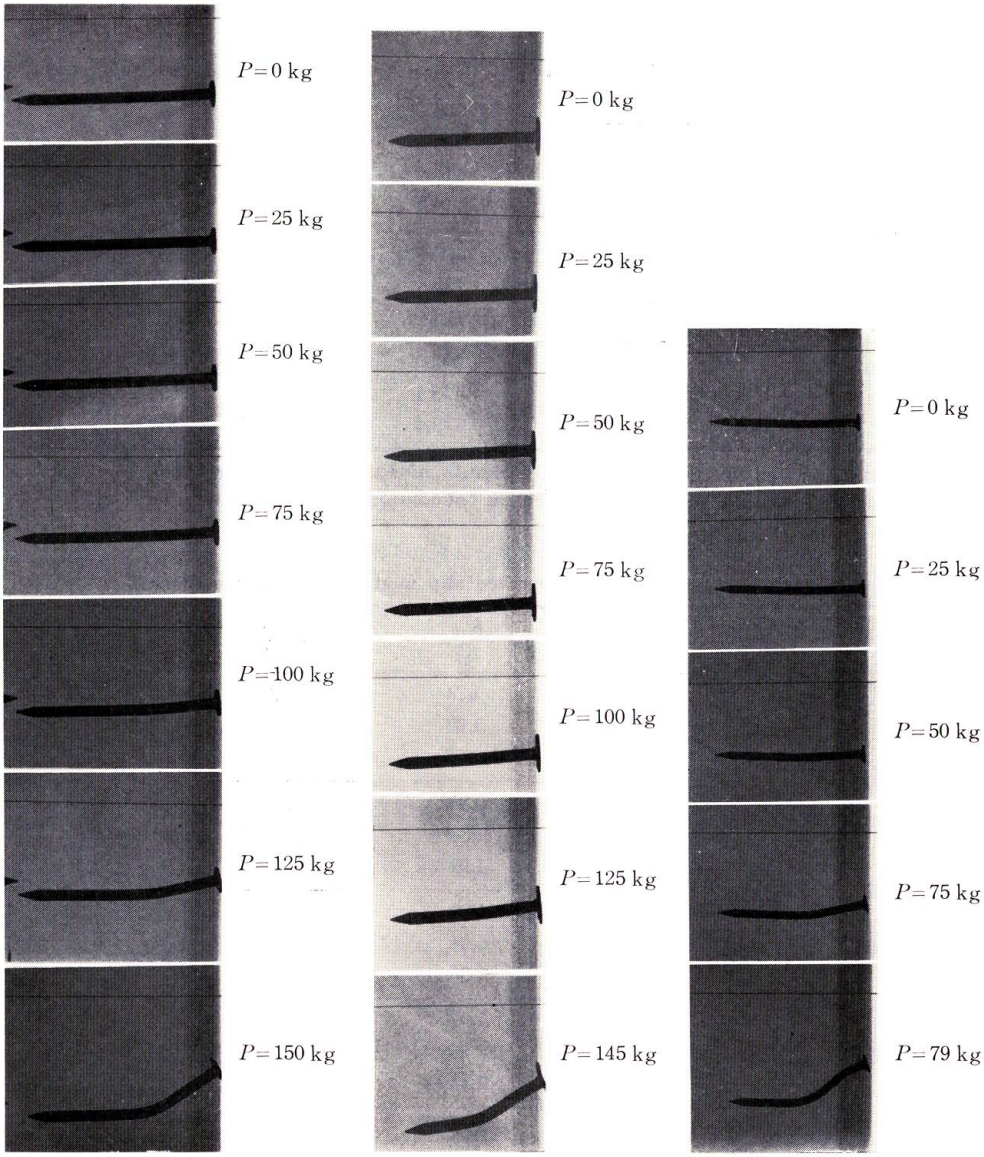
Table 5. Comparisons of observed slip moduli with calculated ones

Side member	Nail	$\frac{K_{s0}}{K_s'}$	$\frac{K_{s1}}{K_s'}$	$\frac{K_{s2}}{K_s'}$
P 1	CN 50	1.34	2.00	1.36
	SN 40	1.33	1.28	0.87
	N 38	0.97	1.36	1.19
P 2	CN 50	0.94	1.13	0.94
	SN 40	1.30	1.14	0.91
	N 38	1.09	1.23	1.15
PB	CN 50	1.39	1.42	1.06
	SN 40	1.24	1.29	0.96
	N 38	1.35	1.41	1.10
HB	CN 50	1.07	1.33	1.07
	SN 40	1.05	1.26	1.01
	N 38	1.44	1.52	1.21
CB	CN 50	0.83	1.24	1.11
	SN 40	0.67	0.96	0.87
	N 38	0.92	1.42	1.33
	Av.	1.13	1.33	1.08
	C.V.	20.59	17.35	14.32

において行なった面圧試験から得られた面圧定数算定式である。さて，表-5において，実測辷り係数と計算辷り係数を比較したが，これによると，次のような関係がほぼ成立するものと思われる。

$$K_{s0} \doteqdot K'_s \tag{13.1}$$

$$K_{s2} \doteqdot K'_s \tag{13.2}$$



(a) Side member = P 1, Nail = CN 50　　(b) Side member = P 1, Nail = SN 40　　(c) Side member = P 1, Nail = N 38

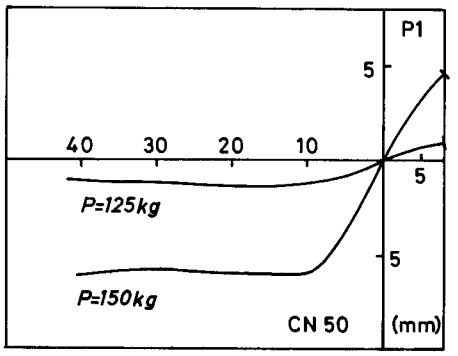
図—4　剪断荷重を受ける釘の変形

Fig. 4.　Deformation of the nail under lateral load.

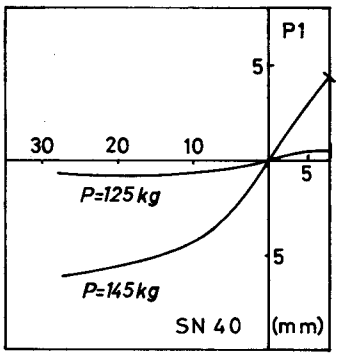
これらは既報で得られた実験結果と一致する傾向を示し，この種の釘着接合において，おおむね共通した関係であると考えてもさしつかえなかろう。

3-2 釘の撓み曲線

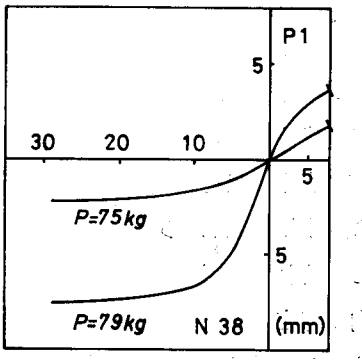
図-4に側材に7.5 mm構造用合板を使用した場合の釘 (CN 50, SN 40, N 38) の変形状態を写した写真を示す。これらは，釘1本につき，無荷重時から25 kgおきに，相対辷り量 (δ) が10 mmに達するまでの変形を写したものである。また図-5から図-9までは，それぞれ側材に7.5 mm構造用合板 (P 1)，9 mm構造用合板 (P 2)，パーティクルボード (PB)，ハードボード (HB)，木片セメント板 (CB) を使用したさいの釘CN 50，SN 40，N 38の撓み曲線を表したものである。図-(a) は，比較的高荷重レベルでの釘の変形挙動をネガフィルムを用いて実測した図であり，図-(b) は，弾性床理論より (2), (3) 式を使用して算出される理論撓み曲線である。なお，これらの式の定数 a_1, b_1, a_2, b_2 の値は，表-6に示す通りである。以下，得られた結果について述べる。



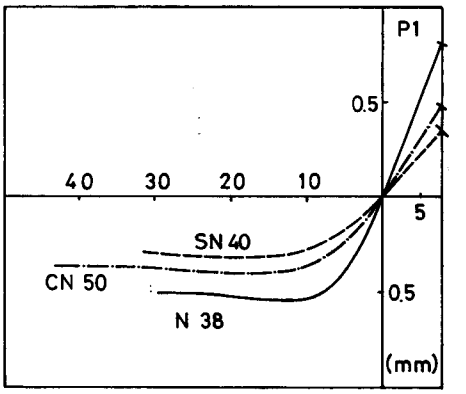
(a)-1, Observed deflection curve. Nail=CN 50



(a)-2, Observed deflection curve. Nail=SN 40



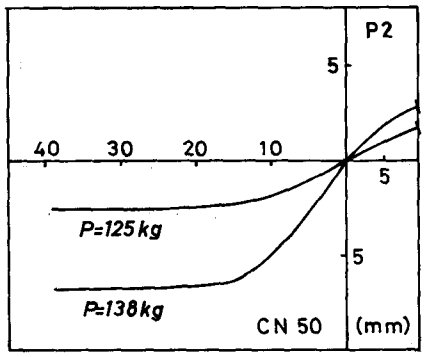
(a)-3, Observed deflection curve. Nail=N 38



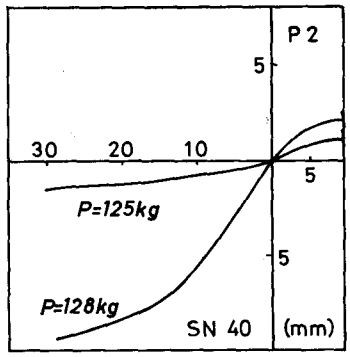
(b) Theoretical deflection curve.

図—5 側材にP 1を使用した場合の釘の撓み曲線

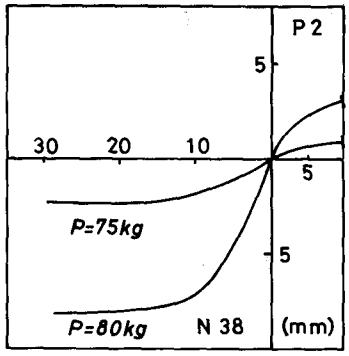
Fig. 5. Deflection curve of the nail (Side member=P 1)



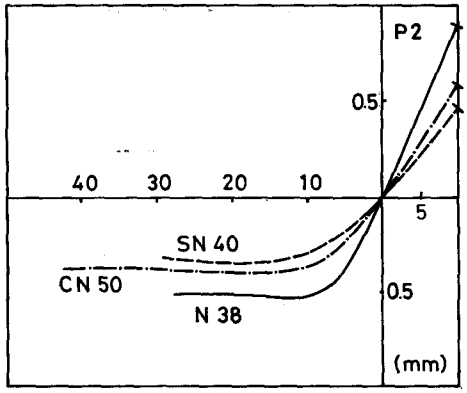
(a)-1, Observed deflection curve. Nail=CN 50



(a)-2, Observed deflection curve. Nail=SN 40



(a)-3, Observed deflection curve. Nail=N 38



(b) Theoretical deflection curve.

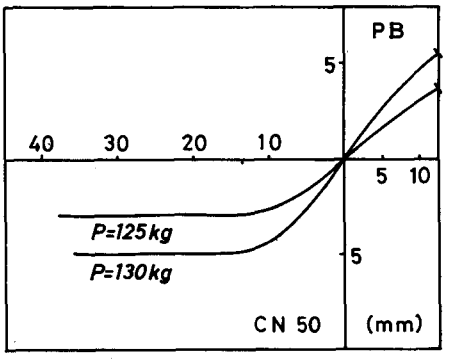
図—6　側材にP2を使用した場合の釘の撓み曲線

Fig. 6.　Deflection curve of the nail (Side member=P2)

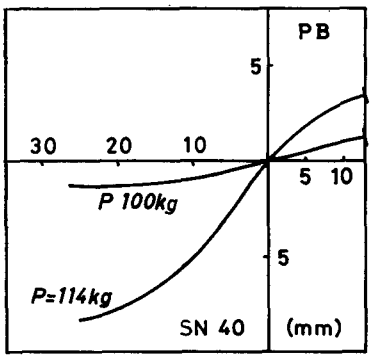
3-2-1　釘の実測撓み曲線

(1)　中央材中での釘の変形挙動

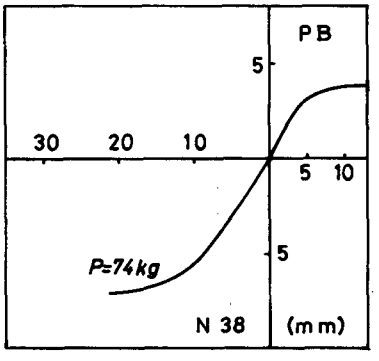
図-5から図-9の各図中，(a)図において最終的な釘の変形曲線は，相対辷り量(δ)が10 mmの場合のものであり，荷重Pは降伏耐力を表している。本実験では，$\delta=10$ mmに達する以前に降伏荷重に至った場合が多く，$\delta=10$ mmでの実際の荷重は，これらの図に示したものより若干小さい。さて$\delta=10$ mmの場合での中央材中の釘の変形曲線を見ると，使用釘の種類により，明らかな傾向が認められる。すなわち，CN 50は側材との境界から中央材中に10～15 mm程度入り込んだ部位で，急に折れ曲がるように変形し，それより深い部分では，あまり変形していない。それに対し，SN 40では，ほぼ同様な傾向が存在するものの，釘軸全体について，ゆるやかなわん曲変形が認められる。またN 38の場合は，両者の中間的な変形とみて良い。材中での釘の変形挙動に対し，種々の要因が関与していると思われるが，特に，材のめり込み抵抗，荷重レベル，釘の曲げ剛性，および釘の打ち込み深さなどが密接な関係を持つようである。他の報告[1),2)]によっても明らかなように，釘の打ち込み深さが浅いと，釘は材中で回転す



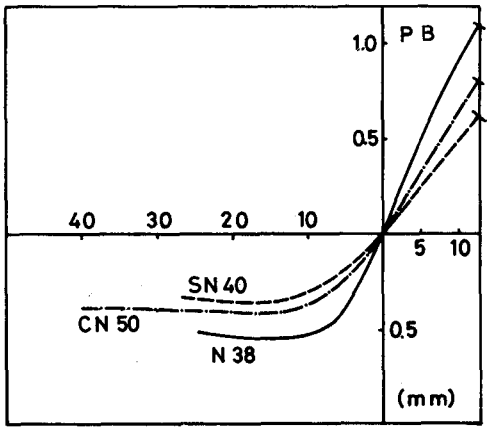
(a)-1, Observed deflection curve. Nail=CN 50



(a)-2, Observed deflection curve. Nail=SN 40



(a)-3, Observed deflection curve. Nail=N 38

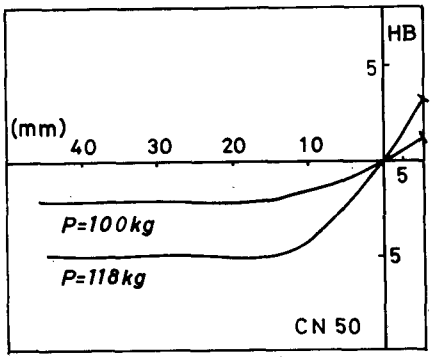


(b) Theoretical deflection curve.

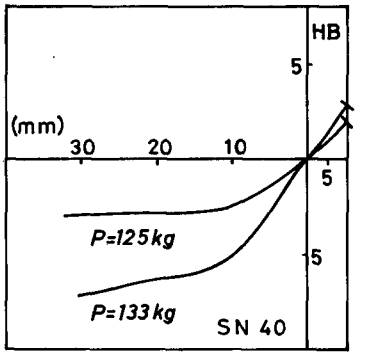
図—7 側材に PB を使用した場合の釘の撓み曲線

Fig. 7. Deflection curve of the nail (Side member=PB)

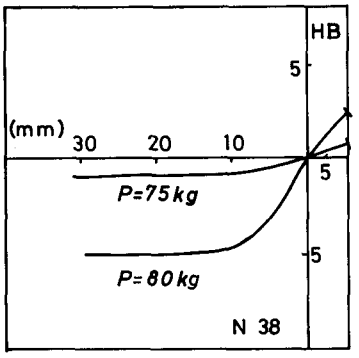
るような変形を示す。また釘の曲げ剛性が大きい場合には，その降伏耐力付近では，材中へのめり込みが著しく，釘自体は変形しにくいものと思われる。CN 50 の場合，他の釘に比べて，中央材中への打ち込み深さはかなり深く，このため折れ曲がり的な変形を示したのであろう。したがって，この場合の釘の回転拘束は，ほぼ充分とみて良く，有効な拘束条件が発生していると考えられる。SN 40 の場合，釘の曲げ剛性が比較的大きく，打ち込み深さもあまり深くないため，やや不充分な回転拘束が多く見受けられたのであろう。N 38 の場合は，釘の曲げ剛性が他と比べて最も小さく，このため，打ち込み深さが，CN 50 よりもかなり浅いのにもかかわらず，釘軸自体の曲げ変形が発生したものと考えられる。降伏耐力に達していない荷重レベルでは，釘の変形状態について，先に述べた傾向がいくぶん存在するものの，明らかな差は観察されなかった。すなわち，どの種類の釘についても，中央材中の境界に近い部位でわん曲し，より深い部分では，ほとんど変形していないと言える。また釘の先端部は，荷重レベルが上昇するにつれて，境界方向へ引っ張られる引き抜き現象が認められた。



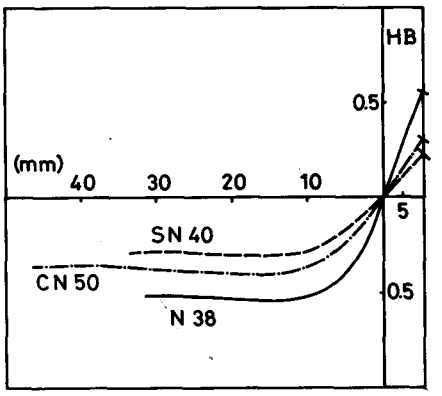
(a)-1, Observed deflection curve. Nail=CN 50



(a)-2, Observed deflection curve. Nail=SN 40



(a)-3, Observed deflection curve. Nail=N 38



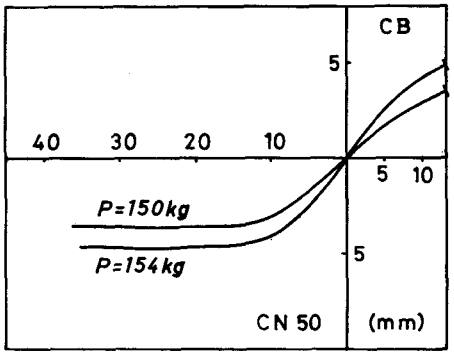
(b) Theoretical deflection curve.

図—8　側材にHBを使用した場合の釘の撓み曲線

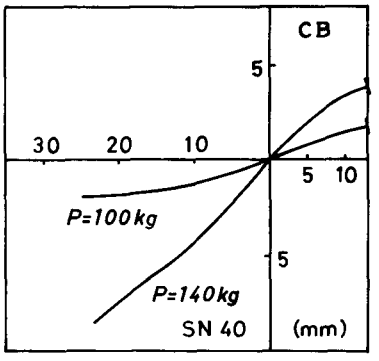
Fig. 8. Deflection curve of the nail (Side member=HB)

(2) 側材中での釘の変形挙動

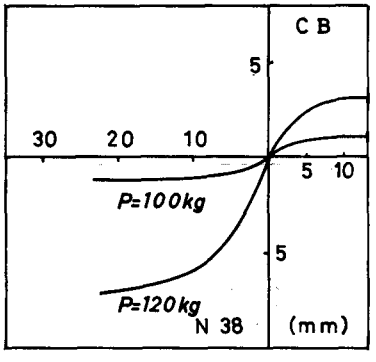
$\delta=10$ mm レベルでの側材中の釘の変形は，曲げを伴わない単純な回転変形，わん曲変形，およびそれらの中間的な変形に大別されるようである。CN 50，SN 40の場合は，単純な回転変形，N 38の場合は，わん曲変形を呈することが多かった。本研究では，木質平面材料という，比較的薄い材料を側材に使用しているため，CN 50およびSN 40の場合，主として回転変形が発生したものと思われる。N 38の場合は，他の釘に比べ，曲げ剛性が小さいため側材中でわん曲変形を示したのであろう。この傾向は，他よりいくぶん厚い材料 (PB, CB) を使用した場合に顕著である。しかしながら，最も薄いハードボードを側材に使用したさいには，CN 50，SN 40はもとより，N 38でも単純な回転変形が認められる。したがって，これらのことより，釘の打ち込み深さならびに剛性は，釘の変形挙動に対し大きな影響を持つと考えてもさしつかえなかろう。一方，荷重が降伏耐力に至っていないレベルでは，多くの場合，ほぼ単純な回転変形を示している。



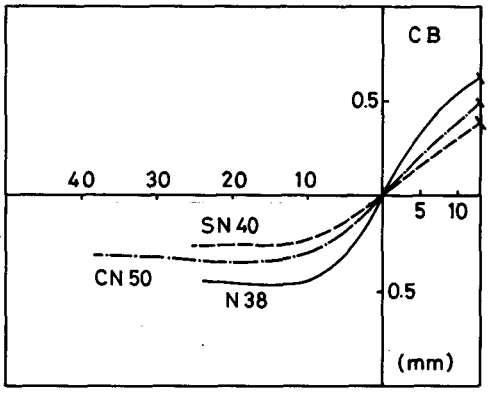
(a)-1, Observed deflection curve. Nail=CN 50



(a)-2, Observed deflection curve. Nail=SN 40



(a)-3, Observed deflection curve. Nail=N 38



(b) Theoretical deflection curve.

図—9 側材に CB を使用した場合の釘の撓み曲線

Fig. 9. Deflection curve of the nail (Side member=CB)

3-2-2 釘の理論撓み曲線

図(b)における釘の理論撓み曲線は，すべての場合，荷重レベルが 100 kg として計算されたものである。図中 y 軸における撓み量の単位が，実測図と比べ 1/10 になっている点に注意を要する。さて，これらの図を見ると，どの釘を使用した場合にも，境界から約 10 mm 程度中央材中へ入り込んだ部位で，釘が折れ曲がるようにわん曲し，それよりさらに深い部分ではほとんど変形せず，また側材中では単純な回転変形を示していることがわかる。

これらの図と降伏耐力付近 ($\delta=10$ mm) での実測図を比較してみると，CN 50 を使用した場合の変形曲線において，両者にある程度類似性が認められる。相対辷り量が 10 mm 付近に達する荷重レベルでは，材の釘受圧面で連続的な局部圧縮破壊を伴う現象が進行するものと想像され，この段階では，釘ならびに木材を弾性体として捉えている弾性床理論を実際の釘変形挙動に対し，単純には適用できない。事実，撓み量は，理論値を大幅に上回っている。しかしながら，CN 50 の場合，その曲線形状にある程度の類似性が認められるのは，低荷重レベルでの理論曲線の適合を示唆するものとして興味深い。低荷重レベルにおいて，実際の変形曲線に

表—6　釘の理論撓み曲線式における係数

Table 6. Coefficients of theoretical equations in nail deflection curves

Side member	Nail	a_1	b_1	a_2	b_2
P 1	CN 50	−0.5482	3.0509	0.0220	−0.0118
	SN 40	−0.2280	2.7269	0.0048	−0.1740
	N 38	−1.1796	3.1604	0.0483	−0.0509
P 2	CN 50	−0.8622	3.1213	0.0357	−0.0284
	SN 40	−0.5347	2.9103	0.0445	−0.2045
	N 38	−1.3633	2.8511	0.0720	−0.1007
PB	CN 50	−0.9086	2.8320	0.0710	−0.0806
	SN 40	−0.5822	2.6891	−0.2244	−0.2094
	N 38	−1.3426	2.3162	0.1089	−0.2374
HB	CN 50	0.1081	2.4527	0.0086	−0.0003
	SN 40	0.3544	2.0159	0.0259	−0.1052
	N 38	−0.6106	3.2168	0.0200	−0.0110
CB	CN 50	−1.5574	2.6457	0.0652	−0.0945
	SN 40	−1.4377	2.9534	−0.3261	−0.0269
	N 38	−1.3064	1.3809	0.0748	−0.2487

These values were coefficients of theoretical equations (2) and (3).

対する理論曲線の適合性を調べることは重要であるが，本研究の場合，比較的大きな変形の測定に限定され，低荷重レベルでの比較を行なうことはできなかった。しかし，先に述べたように，降伏耐力に達する以前の荷重レベルでは，実際の釘変形は多くの場合，中央材中の境界近くでわん曲変形し，中央材深部では，あまり変形せず，側材中で単純な回転変形を呈する傾向にあり，実際の荷重—辷り曲線と辷り係数をグラフに描いたさい，その交点となるような低い荷重レベルでは，理論曲線とある程度適合性を示すものと考えられる。

3-3　一面剪断耐力

本実験で得られた一面剪断耐力について，その実測平均値，ならびに許容剪断耐力値を表-7に掲げた。表中，$P_{s0.38}$, $P_{s0.5}$, $P_{s1.0}$, および $P_{s2.0}$ はそれぞれ辷り量 0.38 mm, 0.5 mm, 1.0 mm および 2.0 mm での実測剪断耐力，P_{max} は実測降伏耐力，P'_{s0}, P'_{s1}, P'_{s2} はそれぞれ (5), (6), (7) 式を使用して算出した許容剪断耐力値である。この表において，側材に木片セメント板を用い，釘に CN 50, SN 40 を使用した場合の試験体について，$P_{s0.38}$ および $P_{s0.5}$ の値が既報[3),4)] での同条件のものより低くなっているのが目立つ。次に $P_{s0.38}$ と P'_{s0}, P'_{s1} を比較した値を表-8に示したが，表中，$P_{s0.38}/P'_{s0}$ の値は若干ばらつきがあるものの，平均で 1.13 と比較的良好な安全側の評価を与えている。既報[3),4)] では，この値が，1.078 および 1.302 となり，この種の接合において，$P_{s0.38} \fallingdotseq P'_{s0}$ という関係が成立するものと考えて実用上支障はないものと思

表—7 剪 断 耐 力

Table 7. Lateral loads

Side member	Nail	$P_{s0.38}$ (kg)	$P_{s0.5}$ (kg)	$P_{s1.0}$ (kg)	$P_{s2.0}$ (kg)	P_{max} (kg)	P'_{s0} (kg)	P'_{s1} (kg)	P'_{s2} (kg)
P 1	CN 50	71	80	101	119	144	53	76	54
	SN 40	85	95	112	126	140	63	84	53
	N 38	37	44	57	71	84	38	43	32
P 2	CN 50	53	60	85	105	142	52	64	53
	SN 40	80	87	105	120	127	62	79	48
	N 38	40	46	61	71	83	36	46	31
PB	CN 50	58	66	84	100	125	42	63	47
	SN 40	61	71	89	101	115	49	67	43
	N 38	42	47	59	70	75	31	45	28
HB	CN 50	55	63	80	98	117	51	61	44
	SN 40	61	70	95	108	132	58	71	50
	N 38	58	64	77	83	88	40	58	33
CB	CN 50	48	56	83	111	152	61	62	57
	SN 40	49	60	87	116	145	74	65	54
	N 38	38	45	66	86	125	41	50	47

$P_{s0.38}$=observed load at slip 0.38 mm, $P_{s0.5}$=observed load at slip 0.5 mm, $P_{s1.0}$=observed load at slip 1.0 mm, $P_{s2.0}$=observed load at slip 2.0 mm, P_{max}=observed maximum load, $P'_{s0}=K'_s\times 0.38$ mm, $P'_{s1}=P_{s1.0}\times 3/4$, $P'_{s2}=P_{max}\times 3/8$.

表—8 剪断耐力相互間の関係

Table 8. Relationships among lateral loads

Side member	Nail	$\frac{P_{s0.38}}{P'_{s0}}$	$\frac{P_{s0.38}}{P'_{s1}}$
P 1	CN 50	1.33	0.93
	SN 40	1.34	1.01
	N 38	0.97	0.86
P 2	CN 50	1.02	0.83
	SN 40	1.29	1.01
	N 38	1.10	0.87
PB	CN 50	1.38	0.92
	SN 40	1.24	0.91
	N 38	1.35	0.93
HB	CN 50	1.07	0.96
	SN 40	1.05	0.86
	N 38	1.44	1.00
CB	CN 50	0.79	0.80
	SN 40	0.66	0.75
	N 38	0.93	0.76
	Av.	1.13	0.89
	C.V. (%)	20.52	9.49

われる。また $P_{s0.38}/P'_{s1}$ の値は，今回平均で0.89となり，既報[3),4)]での1.039および0.983と比べ多少低い値ではあるが，この場合も $P_{s0.38} \doteqdot P'_{s1}$ としてさしつかえなかろう。したがって，今回も**1-3**で述べた②と③の仮定がほぼ成立するものとして，大きな差はないように思われる。

3-4　一面剪断荷重—辷り曲線の予測

既報[3),4)]では，荷重—辷り曲線を近似するさい，実験値に直接最小自乗法を適用して，対数型の回帰直線式を求めたのであるが，今回は，**1-3**で示したように対数型の実験式(11)を誘導し，この式を使用して，計算による荷重—辷り曲線の予測を試みた。表-9に(11)式から算出した計算剪断耐力を一括表示したが，表中 $P''_{s0.38}$, $P''_{s0.5}$, $P''_{s1.0}$, $P''_{s2.0}$ および P_{max} はそれぞれ(11)式に $\delta=0.38$, 0.5, 1.0, 2.0 mm および 10 mm を代入して得た値である。これらの値と実測剪断耐力の値を比較したものが，表-10であるが，この表に見られる通り，多少値のばらつきはあるものの，許容耐力と考えられる $P_{s0.38}$ から降伏耐力と思われる P_{max} まで，比較的良好な適合性を示した。また若干の例外を除き，多くの場合，安全側の評価を与えていることは，実用上の有効性を示すものと言って良い。

図-10に，側材にハードボード，釘にCN 50を使用した試験体の実測荷重—辷り曲線を示

表—9　計算剪断耐力
Table 9.　Calculated lateral loads

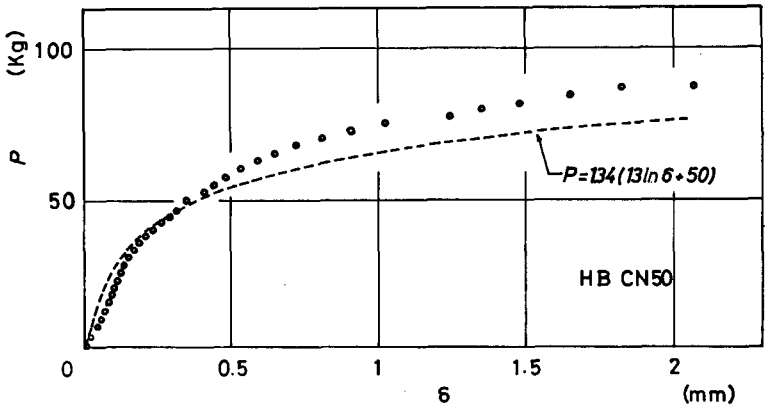
Side member	Nail	$P''_{0.38}$ (kg)	$P''_{s0.5}$ (kg)	$P''_{s1.0}$ (kg)	$P''_{s2.0}$ (kg)	P''_{max} (kg)
P 1	CN 50	52	57	70	82	111
	SN 40	62	68	83	97	132
	N 38	37	41	50	59	80
P 2	CN 50	51	56	68	80	108
	SN 40	61	66	81	96	129
	N 38	36	39	48	57	77
PB	CN 50	41	45	55	65	88
	SN 40	48	53	65	76	103
	N 38	30	33	41	48	65
HB	CN 50	50	55	67	79	107
	SN 40	57	63	77	90	122
	N 38	39	43	53	62	84
CB	CN 50	60	66	80	94	128
	SN 40	73	80	98	115	156
	N 38	40	44	54	64	86

$P''_{s0.38}$, $P''_{s0.5}$, $P''_{s1.0}$, $P''_{s2.0}$ and P_{max} were calculated by substituting $\delta=0.38$, 0.5, 1.0, 2.0 and 10 into $P=K'_s(13\delta+50)$, respectively. P=calculated lateral load (kg), K'_s=calculated slip modulus (t/cm), δ=slip (mm).

表—10 実測剪断耐力と計算剪断耐力の比較

Table 10. Comparisons of observed lateral loads with calculated ones

Side member	Nail	$\frac{P_{s0.38}}{P''_{s0.38}}$	$\frac{P_{s0.5}}{P''_{s0.5}}$	$\frac{P_{s1.0}}{P''_{s1.0}}$	$\frac{P_{s2.0}}{P''_{s2.0}}$	$\frac{P_{max}}{P''_{max}}$
P 1	CN 50	1.37	1.40	1.44	1.45	1.30
	SN 40	1.32	1.40	1.35	1.30	1.06
	N 38	1.00	1.07	1.14	1.20	1.05
P 2	CN 50	1.04	1.07	1.25	1.31	1.18
	SN 40	1.31	1.32	1.30	1.25	0.98
	N 38	1.11	1.05	1.27	1.25	1.08
PB	CN 50	1.41	1.47	1.53	1.54	1.42
	SN 40	1.27	1.34	1.37	1.33	1.12
	N 38	1.40	1.42	1.44	1.46	1.15
HB	CN 50	1.10	1.15	1.19	1.24	1.09
	SN 40	1.07	1.11	1.23	1.20	1.08
	N 38	1.49	1.49	1.45	1.34	1.05
CB	CN 50	0.80	0.85	1.04	1.18	1.19
	SN 40	0.67	0.75	0.89	1.01	0.93
	N 38	0.95	1.02	1.22	1.34	1.45
	Av.	1.15	1.19	1.27	1.29	1.14
	C.V. (%)	20.72	19.30	13.27	10.05	12.96



図—10 実測荷重—辷り曲線と実験式

Fig. 10. Observed load-slip curve and empirical equation.

したが，この図からも $P=K'_s(13\ln\delta+50)$ という実験曲線は，実測曲線にほぼ近似していることがわかる。したがって，この種の接合においては，対数型の実験曲線 (11) 式を使用しても，実用上さしつかえないものと思われる。

結　　言

側材に合板，その他の各種木質平面材料を，中央材にトドマツ材を使用して，繰り返し一面剪断試験を行ない，同時に軟X線を試験体に照射して，各荷重レベルでの写真撮影により，釘の変形挙動を観察した。以下にその結果を要約する。

1) 相対辷り量10 mm レベルでの釘の変形挙動において，CN 50の場合，側材中では単純な回転変形，中央材中で折れ曲がるようなわん曲変形を生じ，中央材中の釘の変形拘束は，ほぼ充分であると思われる。SN 40の場合，側材中では単純な回転変形，中央材中ではやや不充分な釘の回転拘束が多く見受けられた。またN 38の場合は，側材中でわん曲変形，中央材中でCN 50, SN 40の場合の中間的な変形を示した。

2) 弾性床理論から得られた釘の変形曲線は，$\delta=10$ mm での実測変形曲線と比較して，CN 50の場合が，その形状において類似したものであることが認められた。低荷重レベルでは，CN 50の他，SN 40, N 38の場合も，理論曲線と比較的良好な適合を示すものと予想されるが，現段階では，明白な結論は得られていない。

3) 既報[3),4)]に引き続き，辷り量2.0 mm での繰り返し荷重—辷り曲線における直線領域から得られる実測辷り係数 (K_{s2}) と計算辷り係数 (K'_s) との適合性，および辷り量0.38 mm での実測剪断耐力 ($P_{s0.38}$) と計算許容剪断耐力 ($K'_s\times0.38$ mm) との適合性が確かめられた。

4) この種の釘着接合における実測荷重—辷り曲線は，対数型の曲線 [$P=K'_s(13\delta+50)$] 表示が可能であり，この式によって実用上安全側に近似できることが確かめられた。

文　　献

1) 中谷　浩・沢田　稔：釘着材の剪断性能．北大演報，37-3, 687-719, 1980.
2) 徳田迪夫：木材の釘接合に関する研究（第1報）．木材学会誌，23-1, 1977.
3) 松尾　博・沢田　稔：木材と木質平面材料の釘接合における剪断耐力（第1報）．北大演報，37-3, 721-746, 1980.
4) 松尾　博・沢田　稔：木材と木質平面材料の釘接合における剪断耐力（第2報）．北大演報，38-1, 83-98, 1981.
5) 原田正道：木船の縦強度．東京大学生産技術研究所報告，2-3, 1951.
6) 線材製品協会，釘マニュアル作成委員会編：釘設計施工マニュアル，1979.
7) 日本建築学会編：木構造設計規準．同解説，1973.

Summary

In the study of the nailed joints, it is important to know the behavior of the nail driven into wood member under lateral load. However, only a few reseachers have investigated the nail deformation, and these studies were limited on the nail driven into solid wood. In this paper, an experimental study was carried out on single shear specimens assembled from solid wood and wood-based materials in order to observe the nail deformation over its length by using soft X-ray.

For this experiment, Todo-matsu (*Abies sachalinensis*) dimension lumber and the following materials were used.

1) 7.5 mm Lauan plywood (P 1)
2) 9 mm Lauan plywood (P 2)
3) particle board (PB)
4) hard board (HB)
5) cemented wood chip board (CB)

Basic properties of these materials are given in Table 1.

Single shear specimens were assembled using Todo-matsu as center member and wood-based materials as side member, and three kinds of nails were used in these assemblies. The dimensions of the nails (CN 50, SN 40 and N 38) are given in Table 2. In single shear tests, soft X-ray was used to observe nail deformation at some load levels as shown in Fig. 2.

The test results are summarised as follows:

1. Nail deflection curve

The behaviors of the nails under lateral loads seemed to be influenced by the stiffness and the length of the nail. Such behaviors are shown in Figs. 5 (a)–9 (a). In these figures, we could see that the slenderest nail N 38 used in this experiment was bent in the side member except the case of hard board. While the other nails (CN 50 and SN 40) were hardly bent, and these nails showed a rotating deformation in the side member. All nails were bent at some point in the center member, and CN 50 (the longest nail in this paper) showed no deformation at deep part from the bending point.

2. Slip modulus

In this experiment, cycle load was applied once at 1.0 mm and 2.0 mm slip levels, respectively, and three kinds of slip moduli were obtained as shown in Fig. 3. K_{s0} was determined from the straight line secant at 0.38 mm slip level, K_{s1} and K_{s2} were obtained from the cycle sections at 1.0 mm and 2.0 mm slip levels, respectively. These values are given in Table 3. Theoretical slip moduli (K'_s) calculated by eq. (4) are shown in Table 4. Observed slip moduli (K_{s0}, K_{s1} and K_{s2}) are compared with calculated ones (K'_s) in Table 5, and it could be said that there was a relatively good agreement among these slip moduli.

3. An approximated estimation of load slip curve

To estimate a load-slip curve, a logarithmic expression [$P = A\ln\delta + B$] was assumed. Using the following relationships (8) and (9) (these trends had been found in previous data[3,4]), an empirical expression (11) was obtained.

$$P_{s0.38} = 3/4 \times P_{s1.0} \tag{8}$$

$$P_{s0.38} = K'_s \times 0.38\ \text{mm} \tag{9}$$

$$P = K'_s(13\ln\delta + 50) \tag{11}$$

where; $P_{s0.38}$ = lateral load at 0.38 mm slip,

$P_{s1.0}$ = lateral load at 1.0 mm slip,

P = load (kg), δ = slip (mm), K'_s = calculated slip modulus (t/cm)

This empirical equation was applied to the results of this single shear tests, and the comparisons of the observed lateral loads with calculated ones are given in Table 10. As shown in this table, the expression might be applicable to predict the load-slip curve.