



Title	木材と木質平面材料の釘接合における剪断耐力(第2報)
Author(s)	松尾, 博; MATSUO, Hiroshi; 澤田, 稔 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 38(1), 83-98
Issue Date	1981-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21051
Type	departmental bulletin paper
File Information	38(1)_P83-98.pdf



木材と木質平面材料の釘接合 における剪断耐力* (第2報)

松尾 博** 澤田 稔**

Lateral Resistance of Wood and Wood-based Sheet Material Joints with Nails* (2)

By

Hiroshi MATSUO** and Minoru SAWADA**

目 次

緒 言	83
1. 計 算 式	84
1.1 じり係数	84
1.2 短期許容剪断耐力	84
2. 実 験 方 法	85
2.1 試 料	85
2.2 一面剪断試験方法	85
3. 結 果 と 考 察	86
3.1 一面剪断試験におけるじり係数	86
3.2 一面剪断耐力	93
結 言	97
文 献	97
Summary	98

緒 言

釘着接合部の力学的性能を評価するさい、じり係数 (Slip modulus) が重要な意味を持つことは言うまでもない。前報¹⁾ではじり量 0.5 mm および 1.0 mm でそれぞれ 2 回ずつ繰り返して荷重を加えて一面剪断試験を行い、これから得られる実測じり係数と弾性床理論から求めら

1980年8月30日受理

* 本報の一部は第30回日本木材学会大会(京都)で発表した。

A part of this paper was presented at the 30th Annual Meeting of Japan Wood Research Society, Apr. 1980 (Kyoto).

** 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 Univ.

れる計算迂り係数とを比較検討したわけであるが、今回は繰り返し荷重を加える特定迂り量レベルならびに繰り返し荷重の回数による実測迂り係数の値の変化、およびこれらの値と計算迂り係数の値との関係を調べることを主たる目的として研究を進めた。また前報で行った一面剪断短期許容耐力計算法が適切なものであるかどうかについても、今回の実験値を基にして検討を加えてみた。本研究を行うにあたり、終始助力と協力を与えられた当教室の教官各位、ならびに実験に協力された渡辺哲哉氏(当時当教室専攻生)に対し、深く感謝の意を表する。

1. 計 算 式

1.1 迂り係数

i) 実測迂り係数 (K_s)

$$K_s = P/\delta \quad (1)$$

ここで P は実際に加えられた剪断荷重、 δ は剪断荷重 P が加わったさいに生じる二材間の相対変位(迂り)である。

ii) 計算迂り係数 (K'_s)

$$K'_s = \frac{4E_s I_s \mu_1^3}{(1+\omega^2)(\coth\mu_1 t_1 + \omega \coth\mu_2 t_2)} \quad (2)$$

ここで $E_s I_s$ = 釘の曲げ剛性

$$\mu_1 = (E_1 d / 4\alpha_1 E_s I_s)^{1/4}, \quad \mu_2 = (E_2 d / 4\alpha_2 E_s I_s)^{1/4}$$

E_1 = 側材のヤング係数、 E_2 = 中央材のヤング係数

d = 釘径、 t_1 = 側材厚、 t_2 = 釘の中央材への打ち込み深さ、 $\omega = \mu_1 / \mu_2$

この(2)式は弾性床理論より誘導された近似式であり、前報において計算迂り係数を算出したさいに使用したものと同形である。また面圧定数 α については、前報で与えられた回帰直線式(3)によって求めた。

$$\alpha = \beta \cdot d + r \quad (3)$$

ここで、 d は釘径、 β および r は面圧試験によって得られた定数で、材料ごとに一定の値を持つ。

1.2 短期許容剪断耐力

$$P_{s1} = P_{1.0} \times 3/4 \quad (4)$$

$$P_{s2} = P_{\max} \times 3/4 \times 1/2 \quad (5)$$

ここで $P_{1.0}$ = 迂り量 1.0 mm での釘一本あたりの荷重、 P_{\max} = 最大剪断耐力(降伏耐力)

この(4)および(5)式は釘設計施工マニュアル²⁾によれば、釘の短期一面剪断耐力を実験によって定める式で、この両式による値のうち小さい方を採用することとしている。また前報では、計算による一面剪断短期許容耐力算出法として以下に示す式(6)を用いた。

$$P'_{90} = K'_s \times \delta \quad (6)$$

ここで K'_s は式 (2) によって与えられる計算上係数, δ は許容耐力を算出するさい基準とした上り量で, 前報では $\delta = 0.38 \text{ mm}$ とした¹⁾。

2. 実験方法

2.1 試料

本研究では, 中央材にトドマツ (記号 A), 側材に 7.5 mm 構造用ラワン合板 (P1), 9 mm 構造用ラワン合板 (P2), パーティクルボード (PB), および木片セメント板 (CB) を用いた。トドマツ (*Abies sachalinensis*) は北海道大学雨竜地方演習林産の 204 気乾材を使用した。なおパーティクルボードは 3 層構成, 7.5 mm 合板は 1.5 mm 等厚 5 プライ, 9 mm 合板は 1.5+2.25+1.5+2.25+1.5 (mm) の 5 プライ構成であった。これらの材料の材厚 (t), ヤング係数 (E), 含水率 (u), および比重 (r_u) の平均値を表-1 に示す。ヤング係数はすべて曲げ試験 (中央集中荷重) によって求めたが, 合板の場合は圧縮条件でのヤング係数に換算した。

表-1 試験体の基礎材質
Table 1. Basic properties of test materials

Test materials	t (mm)	E (t/cm ²)	u (%)	r_u	Remarks
P 1	7.9	107.4*	10.8	0.88	Plywood (Lauan) (1.5+1.5+1.5+1.5+1.5)
P 2	9.5	64.9*	10.2	0.77	Plywood (Lauan) (1.5+2.25+1.5+2.25+1.5)
P B	12.2	27.1	7.6	0.70	Particle board
C B	13.3	31.1	10.9	1.15	Cemented wood chip board
A	39.0	99.7	10.3	0.40	Todo-matsu

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 一面剪断試験方法

各種木質平面材料およびトドマツ素材から試験体を採取し, 各種木質平面材料を側材, トドマツを中央材として, 図-1 に示すように組み立てた。組み立てにさいしては, 先孔を開けず, 直接釘 2 本を釘の頭部上表面が側材とほぼ同一平面になるようハンマーで打ち込んだ。側材が合板の場合, 荷重方向と表板の繊維方向とを平行にして組み立てた。釘は前報と同様に CN 50, SN 40, および N 38 の 3 種を使用したが, これらの寸法の測定平均値は表-2 に示すとおりである。この表において, 釘の長さ L がいずれの釘の場合も前報での値より若干大きくなっているが, これは今回釘の頭部が完全にめり込むまで打ち込んだため釘の長さを測定するさい, 頭部の厚さも含めたからである。一面剪断試験はすべて 5 ton オルゼン型材料試験機を用いて行い, 相対上り量 (δ) の測定には 10^{-3} mm 精度, 5 mm ストロークのデジタルダイヤルゲージを,

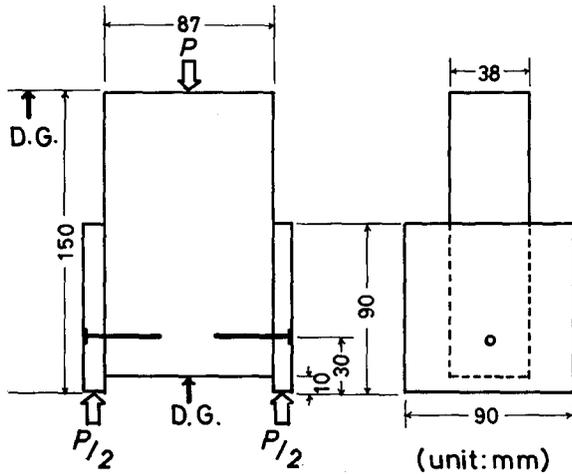


図-1 一面剪断試験法

Fig. 1. Method of single shear test.

表-2 使用釘の寸法

Table 2. Dimenons of nails

Nails	d (mm)	D (mm)	L (mm)
CN 50	2.9	7.0	52.6
SN 40	3.3	10.5	39.2
N 38	2.1	5.1	37.7

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

また全体たり量の測定には 10^{-2} mm 精度, 30 mm ストロークのダイヤルゲージを使用した。本研究では以下に示すように2通りの一面剪断試験を行った。

i) 一面剪断試験 A (Single shear test A)

一面剪断試験 (S.S.A) は繰り返し荷重を受けるたり量レベルを徐々に増大させることによって生じる実測たり係数の変化を調べるために行ったもので, たり量 0.2 mm から 0.2 mm おきに繰り返し荷重を1回ずつ加え, これをたり量 2.0 mm までの10段階にわたって行った。なお試験体数は各種木質平面材料, 釘の種類についてそれぞれ2体ずつ, 合計24体である。

ii) 一面剪断試験 B (Single shear test B)

一面剪断試験 (S.S.B) は特定たり量レベルで多数回繰り返し荷重を加えることによって実測たり係数がどのように変化するかを調べることを目的とした実験で, たり量 0.5 mm, 1.0 mm でそれぞれ5回, 10回の繰り返し荷重を加えた。試験体数は先の場合と同じく合計24体である。

3. 結果と考察

3.1 一面剪断試験におけるたり係数

3.1.1 一面剪断試験 (S.S.A) の実験結果

一面剪断試験 (S.S.A) における実測たり係数の決定を図-2の荷重-たり曲線に示した。すなわち, 繰り返しを行わない初期の直線領域から求められたたり係数を K_{s0} , たり量 0.2 mm での繰り返し荷重による直線領域から得られたたり係数を K_{s2} とし, 以下同様にして K_{s4} から K_{s20} までを決定した。すなわちこれらの実測たり係数の添字はたり量レベルを表したものである。なお実測たり係数は式(1)を使用して求めた。図-2における荷重-たり曲線は側材が9 mm 合

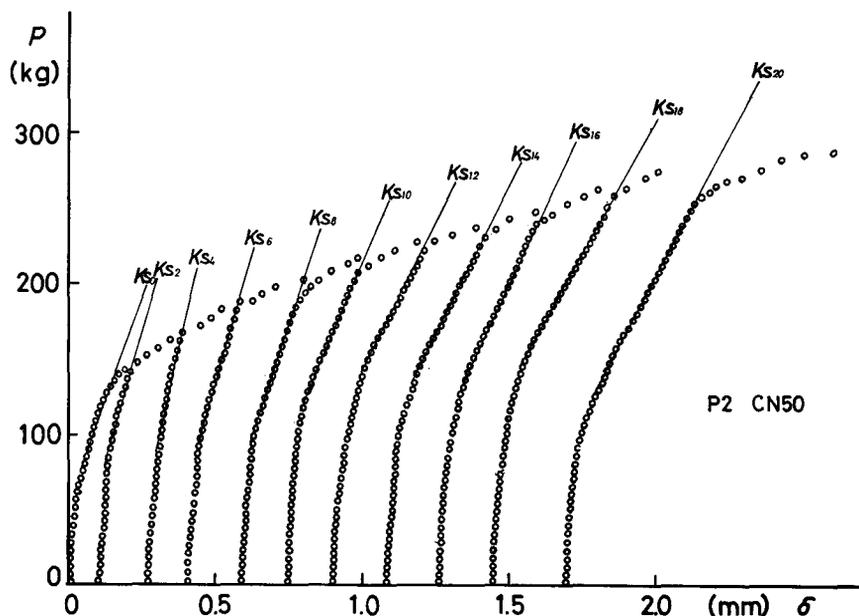


図-2 実測り係数 (S.S.A) の決定法

Fig. 2. Method of determining of observed slip moduli (S.S.A)

表-3 実測り係数 (S.S.A)

Table 3. Observed slip moduli (S.S.A)

Side member	Nail	K_{s0} (t/cm)	K_{s2} (t/cm)	K_{s4} (t/cm)	K_{s6} (t/cm)	K_{s8} (t/cm)	K_{s10} (t/cm)	K_{s12} (t/cm)	K_{s14} (t/cm)	K_{s16} (t/cm)	K_{s18} (t/cm)	K_{s20} (t/cm)
P 1	CN 50	6.67	5.68	4.17	3.05	2.98	2.94	2.70	2.71	2.58	2.47	2.48
		7.14	6.48	6.25	4.31	3.57	3.47	3.21	2.94	2.43	2.40	2.38
	SN 40	6.25	5.56	4.12	3.13	2.78	2.63	2.43	2.28	2.25	2.11	2.01
		5.88	5.35	2.91	2.32	2.08	1.99	1.74	1.61	1.66	1.52	1.53
	N 38	3.47	2.84	1.84	1.51	1.21	1.17	1.08	1.03	0.98	0.89	0.89
		2.19	2.63	2.12	1.72	1.34	1.14	1.03	0.99	0.94	0.89	0.83
P 2	CN 50	5.00	5.88	4.92	2.60	2.57	2.14	2.06	2.04	2.03	1.97	1.82
		5.88	5.68	4.17	2.73	2.72	2.25	1.84	1.92	1.90	1.74	1.72
	SN 40	6.25	4.81	3.03	2.78	2.54	2.35	1.99	1.90	1.79	1.72	1.72
		6.00	5.25	4.00	2.78	2.56	2.13	1.96	1.83	1.69	1.57	1.54
	N 38	1.36	2.38	1.30	1.04	1.02	0.86	0.88	0.85	0.88	0.86	0.87
		0.99	1.12	1.01	0.89	0.81	0.76	0.80	0.82	0.79	0.78	0.84
P B	CN 50	2.86	4.00	2.66	1.54	1.71	1.53	1.32	1.19	1.27	1.29	1.35
		3.23	3.00	2.78	1.79	1.69	1.58	1.51	1.56	1.59	1.45	1.39
	SN 40	2.33	3.08	1.96	1.82	1.67	1.62	1.62	1.51	1.47	1.43	1.32
		3.24	3.75	2.38	1.93	2.05	1.71	1.69	1.58	1.49	1.42	1.36
	N 38	1.08	1.45	1.30	0.94	0.77	0.73	0.71	0.63	0.65	0.60	0.66
		0.88	1.74	1.28	0.96	0.88	0.85	0.77	0.73	0.71	0.71	0.72
C B	CN 50	5.26	6.10	3.41	3.62	3.38	3.27	2.92	2.92	2.84	2.72	2.69
		3.95	5.00	4.08	3.19	3.08	2.72	2.64	2.45	2.37	2.26	2.13
	SN 40	2.33	4.17	3.60	2.78	2.61	2.54	2.46	2.39	2.44	2.35	2.33
		5.36	6.25	2.78	3.05	2.58	2.37	2.31	2.17	2.18	2.13	2.06
	N 38	2.20	1.98	1.67	1.34	1.16	1.02	0.95	0.94	0.92	0.95	0.95
		1.20	1.71	1.48	1.10	1.04	0.94	0.86	0.80	0.86	0.82	0.83

These values were obtained from lateral load test (S.S.A).

板、使用した釘がCN 50の場合であるが、各り量レベルの増加に伴って、繰り返し荷重を加えたときの直線領域がしだいに増大する傾向にあることが分かる。この傾向は他のすべての場合にも当てはまる。表-3にこれらの実測り係数の値を一括してかかげた。なお、これらの K_s 値は釘一本についての値である。この表によると、使用した側材、釘の種類を問わず、各り量レベルが増加するに従って K_s 値は急激に減少していくが、 K_{s10} 付近からは減少がゆるやかになり、ある程度値が一定化してくる傾向が認められる。すなわち、り量2mmまでの繰り返し領域において、り量レベルの増加に伴って釘着部のり挙動が安定するものと思われる。つぎに側材の種類について K_s を比較すると、パーティクルボードの場合が他の材料と比べ低い値を示した。また釘の種類では、CN 50, SN 40 と比べ N 38 がかなり低い値であった。

3.1.2 一面剪断試験 (S.S.B) の実験結果

一面剪断試験 (S.S.B) ではり量0.5mmおよび1.0mmでそれぞれ5回、10回の繰り返し荷重を加えたのであるが、この場合のり係数の取り方は図-3の荷重-り曲線に示したように、1回目の繰り返し荷重による直線領域から求められたり係数を K_{s1} 、10回目の繰り返し荷重によるものを K_{s10} とした。すなわち、この場合のり係数の添字は先の場合と異なり、繰り返しの回数を表わしている。これらのり係数の値を表-4に示す。この表によると、0.5mm、1.0mmの各り量レベルならびに側材、釘の種類によらず、5回程度の繰り返しからり係数はほぼ一定の値を持つ傾向にあると言える。すなわち、10回程度の繰り返し荷重によってり係数はあまり変化しないということである。またり量0.5mmでのり係数とり量1.0mmでのり係数のそれぞれの値を比較してみると前者のほうがすべての場合、大きい値を示しているが、これは先の一面剪断試験 (S.S.A) で述べた結果とも一致する。

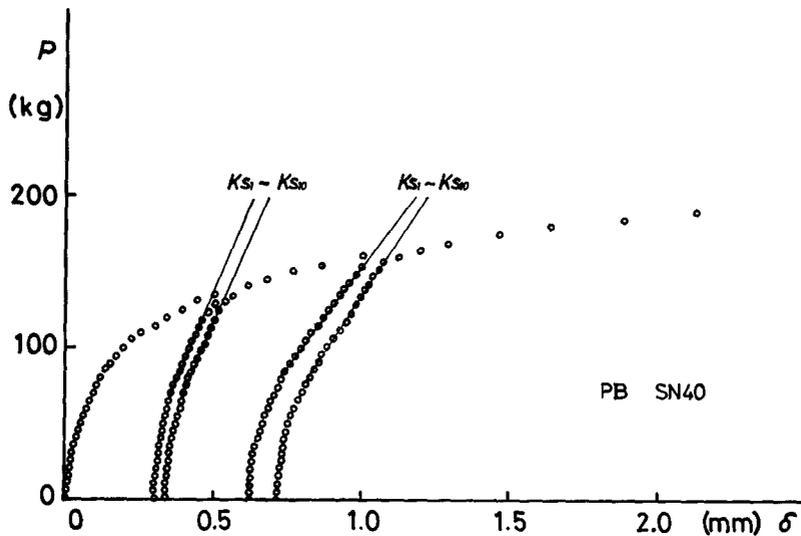


図-3 実測り係数 (S.S.B) の決定法

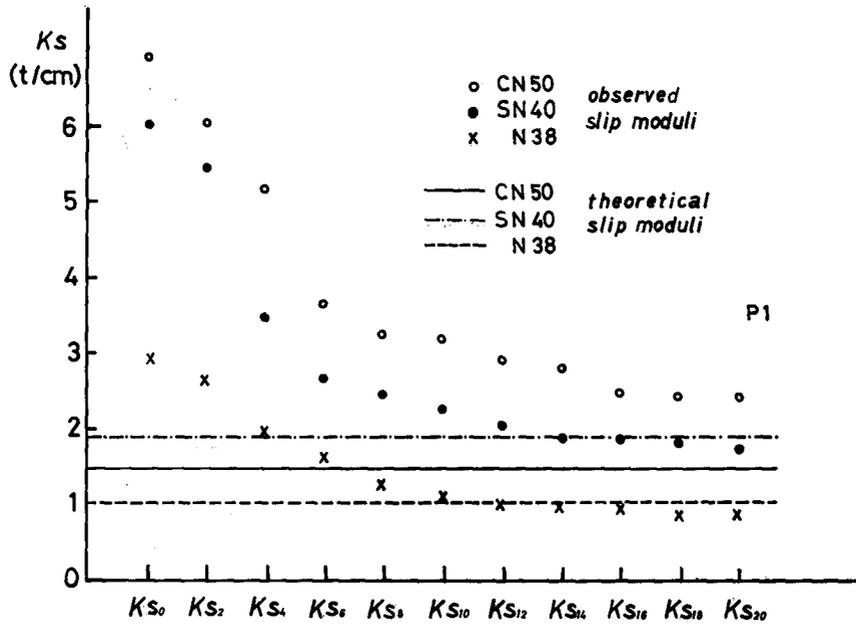
Fig. 3. Method of determining of observed slip moduli (S.S.B).

表-4 実測り係数 (S.S.B)

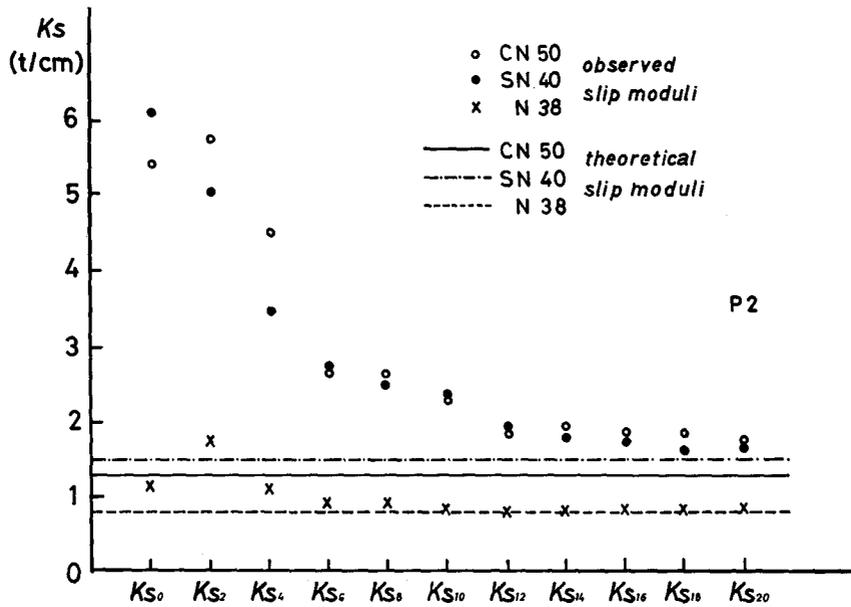
Table 4. Observed slip moduli (S.S.B)

Side material	Nail	Cycle (mm)	K_{s1} (t/cm)	K_{s2} (t/cm)	K_{s3} (t/cm)	K_{s4} (t/cm)	K_{s5} (t/cm)	K_{s6} (t/cm)	K_{s7} (t/cm)	K_{s8} (t/cm)	K_{s9} (t/cm)	K_{s10} (t/cm)
P 1	CN 50	0.5	2.38	3.06	3.47	3.80	3.89					
		1.0	2.50	2.78	2.92	3.03	3.17					
		0.5	3.03	3.68	3.91	4.29	4.69	4.69	5.00	5.00	5.00	5.00
		1.0	2.11	2.36	2.56	2.68	2.78	2.78	2.84	2.94	3.03	2.87
	SN 40	0.5	2.40	2.97	3.24	3.33	3.23					
		1.0	2.10	2.31	2.35	2.45	2.51					
		0.5	2.74	2.92	3.45	3.51	3.37	3.64	3.79	3.99	4.10	3.99
		1.0	2.11	2.35	2.34	2.53	2.56	2.62	2.67	2.74	2.81	2.61
	N 38	0.5	2.38	2.08	2.17	2.22	2.19					
		1.0	1.14	1.24	1.30	1.38	1.35					
		0.5	1.25	1.42	1.44	1.56	1.63	1.79	1.74	1.85	1.83	1.79
		1.0	0.84	0.93	0.95	0.99	1.03	1.03	1.06	1.06	1.12	1.11
P 2	CN 50	0.5	3.33	3.68	3.95	4.04	4.04					
		1.0	2.18	2.38	2.56	2.68	2.73					
		0.5	2.87	3.13	3.26	3.28	3.30	3.30	3.37	3.57	4.08	3.70
		1.0	2.21	2.36	2.36	2.48	2.52	2.61	2.59	2.56	2.62	2.66
	SN 40	0.5	3.23	3.51	3.65	3.75	4.09					
		1.0	2.51	2.73	2.88	2.97	2.94					
		0.5	2.57	2.92	3.07	3.33	3.41	3.43	3.38	3.36	3.43	3.63
		1.0	2.03	2.10	2.17	2.23	2.28	2.30	2.31	2.37	2.38	2.37
	N 38	0.5	1.41	1.67	1.41	1.54	1.44					
		1.0	0.91	0.97	0.99	0.99	1.02					
		0.5	2.11	2.36	2.43	2.34	2.43	2.54	2.50	2.61	2.60	2.62
		1.0	0.96	1.06	1.10	1.14	1.10	1.17	1.10	1.19	1.21	1.24
P B	CN 50	0.5	1.92	2.17	2.25	2.22	2.32					
		1.0	1.51	1.58	1.67	1.67	1.71					
		0.5	2.12	2.17	2.31	2.42	2.46	2.45	2.54	2.50	2.67	2.61
		1.0	1.43	1.60	1.71	1.76	1.77	1.53	1.80	1.82	1.84	1.85
	SN 40	0.5	2.24	2.59	2.92	3.00	2.88					
		1.0	1.68	1.92	1.97	2.14	1.92					
		0.5	1.49	1.99	1.92	2.13	2.17	2.22	2.27	2.32	2.30	2.35
		1.0	1.17	1.40	1.46	1.51	1.64	1.58	1.64	1.67	1.67	1.66
	N 38	0.5	1.12	1.14	1.19	1.16	1.25					
		1.0	0.81	0.85	0.88	0.93	0.96					
		0.5	1.09	1.06	1.10	1.17	1.17	1.21	1.19	1.25	1.35	1.32
		1.0	0.75	0.78	0.82	0.78	0.82	0.85	0.88	0.89	0.89	0.92
C B	CN 50	0.5	3.72	3.82	4.17	4.28	4.26					
		1.0	2.80	3.27	3.35	3.42	3.57					
		0.5	3.00	3.12	3.27	3.28	3.41	3.48	3.42	3.44	3.48	3.57
		1.0	2.35	2.43	2.50	2.52	2.60	2.60	2.59	2.52	2.54	2.59
	SN 40	0.5	3.48	3.82	3.92	3.99	4.17					
		1.0	2.67	2.90	2.97	2.97	3.04					
		0.5	3.02	3.25	3.26	3.41	3.45	3.54	3.61	3.64	3.57	3.77
		1.0	2.35	2.48	2.52	2.59	2.55	2.65	2.61	2.59	2.56	2.62
	N 38	0.5	1.24	1.26	1.26	1.28	1.26					
		1.0	0.86	0.87	0.83	0.80	0.82					
		0.5	1.16	1.20	1.21	1.23	1.30	1.25	1.27	1.30	1.30	1.34
		1.0	0.87	0.90	0.86	0.85	0.87	0.85	0.87	0.86	0.86	0.85

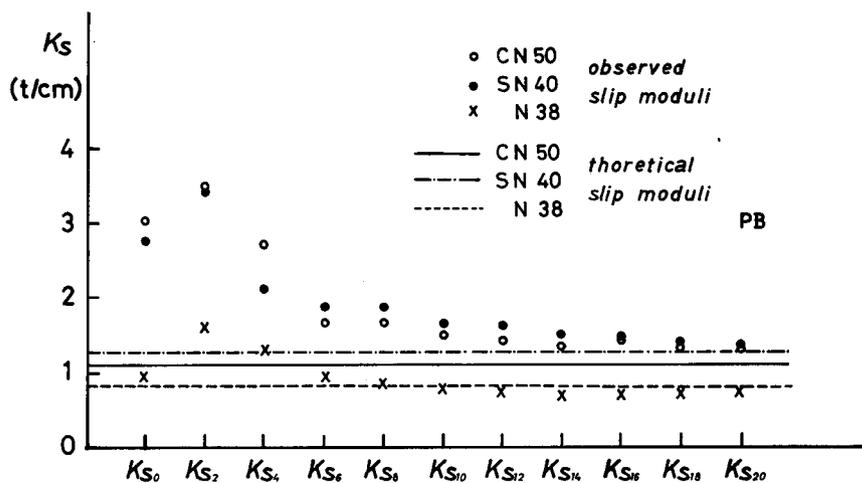
These values were obtained from lateral load test (S.S.B).



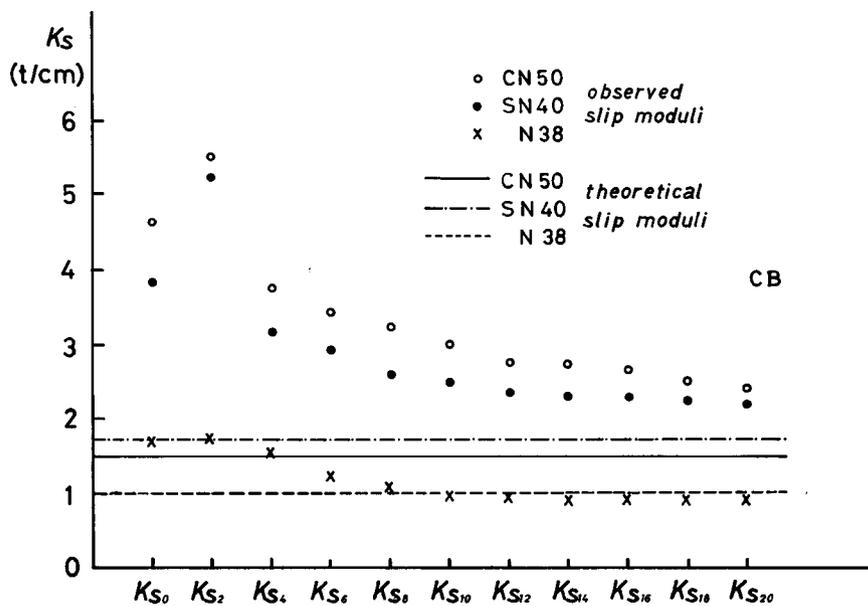
(a) P 1



(b) P 2



(c) PB



(d) CB

図-4 実測り係数 (S.S.A) と計算り係数 (K'_s) との比較

Fig. 4. Comparison of observed slip moduli (S.S.A) with calculated one (K'_s).

3.1.3 計算り係数 (K'_s)

前述した理論近似式(2)を使用して計算り係数 K'_s を求め、その値を表-5に一括してかかげた。この表で E_1 , E_2 はそれぞれ側材, 中央材のヤング係数, α_1 , α_2 はそれぞれ側材, 中央材の面圧定数である。 α 値は以下に示す式より, 使用した釘の径を代入して算出した。

表-5 計算り係数 (K'_s)
Table 5. Calculated slip moduli (K'_s)

Side member	Nail	E_1 (t/cm ²)	E_2 (t/cm ²)	α_1 (cm)	α_2 (cm)	K'_s (t/cm)
P 1	C N 50	110.6	97.7	3.39	3.39	1.482
	S N 40	110.6	97.7	3.65	3.65	1.696
	N 38	104.2	102.3	2.87	2.87	1.011
P 2	C N 50	70.6	97.7	3.39	3.39	1.266
	S N 40	70.6	97.7	3.65	3.65	1.450
	N 38	59.2	102.3	2.87	2.87	0.811
P B	C N 50	27.1	97.7	1.84	3.39	1.138
	S N 40	27.1	97.7	2.04	3.65	1.280
	N 38	27.1	102.3	1.36	2.87	0.827
C B	C N 50	28.4	97.7	1.13	3.39	1.470
	S N 40	28.4	97.7	1.21	3.65	1.714
	N 38	33.8	102.3	0.97	2.87	1.047

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.

$$\alpha = 6.5d + 1.50 \text{ (P1, P2, A)} \quad (3.1)$$

$$\alpha = 6.0d + 0.10 \text{ (PB)} \quad (3.2)$$

$$\alpha = 2.0d + 0.55 \text{ (CB)} \quad (3.3)$$

これらの式は前報¹⁾の面圧試験から得られた α 値を算出する簡略式で, 単位は釘径(d), 面圧定数(α)とも cm である。このようにして算出した計算り係数 (K'_s) と一面剪断試験 (S.S.A) から得られた実測り係数 ($K_{s0} \sim K_{s20}$) との関係を表わしたのが, 図-4(a)~図-4(d)である。これらの図中で, ○は CN 50, ●は SN 40, ×は N 38 の実測り係数の平均値を表わし, 横軸に平行な実線が CN 50, 一点鎖線が SN 40, 破線が N 38 の計算り係数をそれぞれ表わしている。先に述べたように, 実測の K_s 値はしだいに減少するものの, りり量レベルが 2 mm の範囲ではりり量レベルの増加とともにほぼ一定の値を持ち, この値が計算り係数の値に近いものであることをこれらの図は示している。また, これらの実測り係数の平均値と計算り係数値を比較したのが表-6である。この表から明らかなように, K_{s0} から K_{s4} 付近では実測値が

表-6 実測り係数 (S.S.A) と計算り係数との比較
 Table 6. Comparisons of observed slip moduli (S.S.A) with calculated ones

Side member	Nail	$\frac{K_{s0}}{K'_s}$	$\frac{K_{s2}}{K'_s}$	$\frac{K_{s4}}{K'_s}$	$\frac{K_{s6}}{K'_s}$	$\frac{K_{s8}}{K'_s}$	$\frac{K_{s10}}{K'_s}$	$\frac{K_{s12}}{K'_s}$	$\frac{K_{s14}}{K'_s}$	$\frac{K_{s16}}{K'_s}$	$\frac{K_{s18}}{K'_s}$	$\frac{K_{s20}}{K'_s}$
P 1	C N 50	4.659	4.103	3.516	2.483	2.210	2.163	1.994	1.906	1.690	1.643	1.640
	S N 40	3.576	3.216	2.073	1.607	1.433	1.362	1.229	1.147	1.153	1.070	1.044
	N 38	2.799	2.705	1.958	1.597	1.261	1.157	1.044	0.999	0.950	0.880	0.865
P 2	C N 50	4.297	4.566	3.590	2.105	2.089	1.734	1.540	1.564	1.552	1.465	1.398
	S N 40	4.224	3.469	2.424	1.917	1.759	1.545	1.362	1.286	1.200	1.344	1.124
	N 38	1.449	2.158	1.424	1.190	1.128	0.999	1.036	1.030	1.030	1.011	1.054
P B	C N 50	2.676	3.076	2.390	1.463	1.494	1.366	1.243	1.208	1.257	1.204	1.204
	S N 40	2.176	2.668	1.695	1.465	1.453	1.301	1.293	1.207	1.156	1.113	1.047
	N 38	1.185	1.929	1.560	1.149	0.998	0.955	0.895	0.822	0.822	0.792	0.834
C B	C N 50	3.133	3.776	2.548	2.316	2.197	2.037	1.891	1.827	1.772	1.694	1.639
	S N 40	2.243	3.040	1.861	1.701	1.514	1.432	1.391	1.330	1.348	1.307	1.281
	N 38	1.624	1.762	1.504	1.165	1.051	0.950	0.864	0.831	0.850	0.845	0.850

かなり計算値を上回っているが、りり量レベルが大きい K_{s14} から K_{s20} 付近ではほぼ実測値と計算値が一致してくる傾向が認められる。 K_{s20}/K'_s の平均値は 1.165 となり、多少値のばらつきはあるが、実用上、比較的良好な適合性を示していると言ってさしつかえなからう。以上のことにより、釘着接合部を弾性的に促え、その仮定の基に算出した計算りり係数と実際に繰り返し一面剪断試験を行い、りり挙動が安定してくると思われる領域から求めたりり係数値がほぼ一致する傾向を持つということは、計算によるりり係数予測の可能性を確かめたものと思われる。本研究では、りり量が 2.0 mm の領域までしか繰り返し試験を行わなかったのであるが、さらにりり量レベルを増加し、りり係数の安定領域を調べることは、今後の興味ある研究課題であると言えよう。

3.2 一面剪断耐力

3.2.1 実験結果

今回の一面剪断試験によって得られた剪断耐力を表-7に示した。表中 P_{s0} , P_{s01} , および P_{s02} はそれぞれりり量 0.38 mm, 0.5 mm, 1.0 mm での剪断耐力, P_{max} は見かけ上降伏したと思われる剪断耐力を表わし, P_1 および P_2 は式 (4), (5) で求められる短期許容剪断耐力である。なお、これらの値は 4 体の試験体の平均値である。また、 P'_{s0} , P'_{s01} はそれぞれ計算りり係数に $\delta=0.38$ mm および $\delta=0.5$ mm を乗じて算出した値である。表中、実測の剪断耐力 P_{s0} , P_{s01} , P_{s02} , および P_{max} で比較すると、材料別にみてパーティクルボード、釘別にみて N 38 が他より低い値を示したが、他の場合はいずれも類似した値となった。これらの実測剪断耐力と前報での同

表-7 剪断耐力

Table 7. Lateral loads

Side member	Nail	P_{s0} (kg)	P_{s01} (kg)	P_{s02} (kg)	P_{max} (kg)	P_{s1} (kg)	P_{s2} (kg)	P'_{s0} (kg)	P'_{s01} (kg)	n
P 1	C N 50	86	91	109	159	82	60	56	74	4
	S N 40	93	101	118	144	89	54	64	85	4
	N 38	31	34	41	64	30	24	38	51	4
P 2	C N 50	81	88	105	166	79	62	48	63	4
	S N 40	97	104	122	153	91	58	55	73	4
	N 38	30	33	40	57	30	21	31	41	4
P B	C N 50	68	75	89	136	67	51	43	57	4
	S N 40	71	77	93	126	70	47	49	64	4
	N 38	27	29	35	58	27	22	31	41	4
C B	C N 50	86	93	114	167	86	63	56	74	4
	S N 40	83	93	113	165	85	62	65	86	4
	N 38	28	31	38	74	28	28	40	52	4

P_{s0} =load at slip 0.38 mm, P_{s01} =load at slip 0.5 mm, P_{s02} =load at slip 1.0 mm, P_{max} =maximum load, $P_{s1}=P_{s02} \times \frac{3}{4}$, $P_{s2}=P_{max} \times \frac{3}{8}$, $P'_{s0}=K'_s \times 0.38$ mm, $P'_{s01}=K'_s \times 0.5$ mm, n =number of specimens.

条件の耐力値を比較してみると、CN 50, SN 40 の場合いずれも今回の耐力値がかなり上回っている。すなわち、前報では釘の頭部を打ち込まなかったのに対し、今回は完全に打ち込んだため釘頭部のめり込みによる変形拘束が、中央材と側材の境界面での摩擦力および釘の軸力などに影響をおよぼし、これによって釘着部の見かけの耐力を増大せしめたのではないかと思われる。また N 38 の場合は前報とほぼ同様な値となったが、これは N 38 の釘頭が CN 50, SN 40 と比べかなり小さいので、釘頭のめり込みによる影響があまりなかったためであろう。このように釘の頭部のめり込みによる耐力への影響は無視できないものであると考えられるが、この種の現象はかなり複雑であり、現段階では早急に結論づけられず、この点に関しさらに研究を進める必要があるものと考えられる。

表-8 には剪断耐力相互間の関係を表したが、 P_{s0}/P'_{s0} を見ると、いずれの場合も CN 50 および SN 40 を使用した試験体では、安全側に高い値を示している。すなわち、前報で示した短期許容剪断耐力算出法としての(6)式 $P'_{s0}=K'_s \times \delta_{0.38}$ (計算係数 $\times 0.38$ mm) は、今回必ずしも実測の剪断耐力 P_{s0} を適確に予測しえたとは言いが、実際の使用条件を考えれば、釘の頭部を完全に打ち込まない場合もあり、使用条件としての繰り返しによる釘頭の浮き上がりをも考慮すれば、接合部の許容耐力を計算するさい、安全側に評価している(6)式を使用しても実用上さしつかえないものと思われる。

P_{s0}/P_{s1} の値は平均で 0.983 となり変動係数も $\pm 4.3\%$ ときわめて小さいので $P_{s0} \doteq P_{s1}$ と

表-8 剪断耐力相互間の関係

Table 8. Relationships among the lateral loads

Side member	Nail	$\frac{P_{s0}}{P'_{s0}}$	$\frac{P_{s01}}{P'_{s01}}$	$\frac{P_{s0}}{P_{s1}}$	$\frac{P_{s2}}{P_{s1}}$
P 1	CN 50	1.536	1.230	0.948	0.756
	SN 40	1.453	1.188	0.957	0.607
	N 38	0.816	0.667	0.978	0.800
P 2	CN 50	1.688	1.397	0.976	0.788
	SN 40	1.764	1.425	0.943	0.637
	N 38	0.968	0.805	0.990	0.700
P B	CN 50	1.581	1.316	0.988	0.761
	SN 40	1.449	1.203	0.990	0.671
	N 38	0.871	0.707	0.995	0.815
C B	CN 50	1.536	1.257	0.993	0.733
	SN 40	1.277	1.081	1.023	0.729
	N 38	0.700	0.596	1.015	0.982
Av.		1.302	1.066	0.983	0.752
C. V. (%)		28.7	28.1	4.3	14.3

表-9 荷重-はり曲線式と剪断耐力

Table 9. Coefficients for load-slip curves and lateral loads

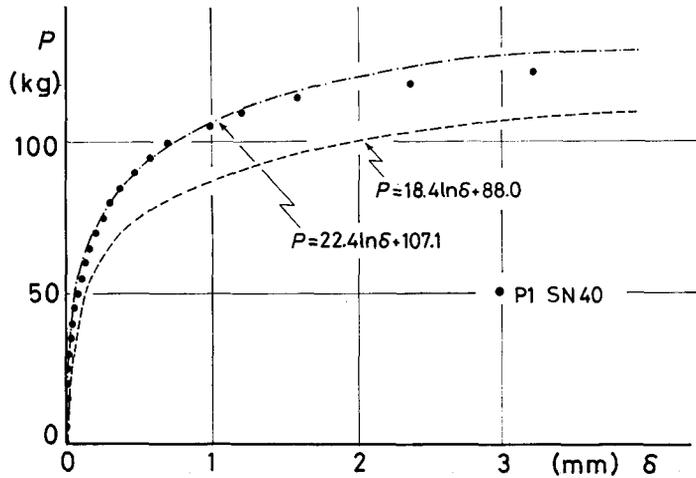
Side member	Nail	a b [$P=a \ln \delta + b$]		P'_{s0}	P'_{s01}	P'_{s02}	P'_{max}
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
P 1	CN 50	21.81	110.80	90	96	111	161
	SN 40	21.93	110.91	90	96	111	162
	N 38	9.48	42.55	34	36	43	64
P 2	CN 50	23.36	109.26	88	94	109	161
	SN 40	22.14	116.60	96	102	117	168
	N 38	10.27	40.92	31	34	41	65
P B	CN 50	18.38	91.08	73	78	91	134
	SN 40	20.26	89.72	70	76	90	137
	N 38	9.18	36.91	28	31	37	58
C B	CN 50	25.25	115.35	91	98	115	174
	SN 40	25.99	113.39	87	94	111	171
	N 38	12.11	42.18	30	34	42	70
Av.	CN 50 & SN 40	22.4	107.1				
	N 38	10.26	40.6				

a and b were coefficients for load-slip curve. P'_{s0} , P'_{s01} , P'_{s02} and P'_{max} were obtained by substituting $\delta=0.38$ mm, 0.5 mm, 1.0 mm, and 10 mm into [$P=a \ln \delta + b$], respectively. P =load, δ =slip.

することができ、前報でも平均値 1.039、変動係数±4.3%と同様な値を示していることから、 $P_{s0} \div P_{s1}$ という関係は釘の打ち込み状態、側材および釘の種類にかかわらず、この種の釘着接合の剪断耐力相互間の関係において、共通した特徴であると言えよう。

3.2.2 一面剪断荷重—はり曲線

今回の一面剪面試験から得られた繰り返し領域を含まないすべての荷重—はり曲線に対し



図—5 荷重—はり曲線に対する回帰曲線

Fig. 5. Regression curve for load-slip curve.

表—10 剪断耐力の比較

Table 10. Comparisons of lateral loads

Side member	Nail	$\frac{P_{s0}}{P''_{s0}}$	$\frac{P_{s01}}{P''_{s01}}$	$\frac{P_{s02}}{P''_{s02}}$	$\frac{P_{max}}{P''_{max}}$
P 1	C N 50	0.94	0.95	0.99	0.99
	S N 40	1.00	1.05	1.06	0.90
	N 38	0.92	0.94	0.95	1.01
P 2	C N 50	0.93	0.93	0.97	1.04
	S N 40	1.01	1.02	1.04	0.94
	N 38	0.98	0.98	0.98	0.88
P B	C N 50	0.93	0.96	0.97	1.02
	S N 40	1.01	1.01	1.04	0.93
	N 38	0.92	0.94	0.95	1.00
C B	C N 50	0.90	0.95	0.97	0.97
	S N 40	0.96	1.00	1.02	0.96
	N 38	0.95	0.92	0.91	1.05
Av.			0.97		
C. V.			4.34%		

The values of P_{s0} , P_{s01} , P_{s02} and P_{max} were shown in Table 7, respectively.

最小自乗法を適用して、対数型の回帰曲線式 $[P=a \ln \delta + b]$ を求めた。この係数 a, b の値を表-9 に示す。これらの係数と前報で与えられた同条件の係数を比較してみると、CN50 および SN 40 の場合、今回の値のほうがすべて上回っている。すなわち、曲線型が前回より全体的に大きいのであるが、これは前述したように釘の頭の打ち込みによる影響であろう。今回の CN50, SN 40 の場合の平均曲線 $P=22.4 \ln \delta + 107.1$ と前報での平均曲線 $P=18.4 \ln \delta + 88.0$ を図-5 に例示したが、この図に見られるように曲線自体にかなりの差が認められる。また図中●は側材が P1, 使用釘が SN 40 の場合の実測値を表わしており、対数型関数によってほぼ近似できることが示されている。表-9 中において $P'_{s0}, P'_{s01}, P'_{s02}$ はそれぞれ $\delta=0.38 \text{ mm}, 0.5 \text{ mm}, 1.0 \text{ mm}$ を回帰式に代入し算出した剪断耐力値であり、 P'_{\max} はり量が 10 mm の時点で降伏耐力に達すると仮定し、 $\delta=10 \text{ mm}$ を代入して求めた耐力値である。これらの値と実際の剪断耐力である P_{s0}, P_{s01}, P_{s02} および P_{\max} を比較したのが表-10 である。この表に見られるとおり、適合率の平均が 0.97 および変動係数が $\pm 4.34\%$ と良い値を示し、前回同様、釘着接合部の荷重-りり曲線を近似するさい、対数型の回帰式が適していることが認められよう。

結 言

前報に引き続き、側材に各種木質平面材料を、中央材にトドマツを使用し、繰り返しを含む一面剪断試験を行った。結果を要約すると以下ようになる。

① りり量が 2 mm までの範囲では、りり量レベルの増加に伴って、繰り返し荷重による直線領域の勾配に安定化が認められ、この領域から得られる実測のりり係数と弾性床理論より算出される計算りり係数は比較的良い適合を示す。

② 10 回程度の繰り返し荷重によっては、りり係数はあまり変化しない。

③ CN 50, SN 40 を使用した場合、釘の頭部を打ち込むことによって耐力がある程度増加する傾向が認められるが、許容耐力を算出するさい安全側に評価する式 $[P'_{s0}=K'_s \times \delta_{0.38}]$ を使用しても、実用上さしつかえないものと思われる。

④ 釘着接合の荷重-りり曲線は、対数型の回帰式によってほぼ近似することができる。

文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 日本建築学会編：木構造設計基準, 同解説, 1973.
- 4) WILKINSON, T. L.: Theoretical lateral resistance of nailed joints. J. of the Structural Div., ASCE 97 (ST 5) proc. paper 8/21, 1381-1398, 1971.
- 5) HILTON, C. K., A. PORENSEK and G. H. ATHERTON: Effect of nail spacing on rigidity of a plywood-wood joint. Wood Science, 8-4, 234-236 1976.

Summary

The slip modulus (K_s) is the important parameter that dominates the mechanical behavior of a nailed joint, and has been discussed by some researchers^{4,5)} up to the present. However, it may be said that the variance of this parameter depending on several factors (for example, nail diameter, mechanical properties of specimen, loading procedure, and so on) has not been investigated sufficiently.

In this paper, an experimental study was carried out on single shear specimens assembled from solid wood and wood-based materials which were applied cyclic loadings in order to verify the suitability of the theoretical analysis for describing the behavior of nailed joints. Especially, the effect of cycles and slip levels at which the load was cycled on the slip modulus was examined in detail.

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

- 1) 7.5 mm Lauan plywood (P1)
- 2) 9.0 mm Lauan plywood (P2)
- 3) particle board (PB)
- 4) cemented wood chip board (CB)

Basic properties of these materials are given in Table 1.

The experimental procedure and the results are summarized as follows:

Single shear tests were carried out using Todo-matsu solid wood as center member and wood-based materials as side members, and test method was illustrated in Fig. 1. Three kinds of nails (CN 50, SN 40, N 38) were hammer-driven until the tops of the nail heads were flush with covering surface. Single shear tests conducted in this paper consisted of the following two groups.

1) Group S. S. A: the load was cycled only once at ten slip levels (from approximately 0.2 mm to 2.0 mm, 0.2 mm interval).

2) Group S. S. B: the load was cycled 5 times for the half numbers of the specimen and 10 times for the others at 0.5 mm slip level, and were cycled in the same way at 1.0 mm level. A typical load-slip curve of group S. S. A was as shown in Fig. 2, and the slip moduli (S. S. A - $K_{s0} \sim K_{s20}$) were determined from the curve of each specimen. And for group S. S. B, the slip moduli (S. S. B - $K_{s1} \sim K_{s10}$) were determined in the same way from the result of each specimen of this group. A typical load-slip curve of group S. S. B is shown in Fig. 3.

Theoretical slip moduli (K'_s) were calculated by using eq. (2). In these calculations, the effective foundation depth (α) was determined from eq. (3.1)~eq. (3.3). These values are given in Table 5. The values of the observed slip moduli (S. S. A) are shown in Table 3, and the relationships between these observed slip moduli (S. S. A) and theoretical slip moduli (K'_s) are illustrated in Figs. 4(a)~(d). From these figures, it was found that the values of observed slip moduli (S. S. A) had a tendency to be constant on the higher slip levels, and these constant values showed relatively good agreement with theoretical values (K'_s).

The values of observed slip moduli (S. S. B) are as shown in Table 4, and seemed to be nearly constant by 5 and 10 times cyclic loadings.

The logarithmic curves developed in the previous paper¹⁾ [$P = a \ln \delta + b$] showed good fitting with load-slip curves obtained by single shear tests (S. S. A) and (S. S. B).