

接着剤による木造仕口の補強効果（梗概） —美しく強い木造住宅への指標—

1. 研究の目的

〔仕口剛性の意義〕

本来、木造仕口は、構造計算上すべて滑節と見なされており、水平力に対する抵抗は筋違い等を含む耐力壁が負担することとなっている。当研究室では、耐力壁以外の架構についても水平力に対して抵抗力をもつのではないかという考えから、昭和59年度から2年間にわたり各種仕口について「木造仕口の剛節度の実験」として(1)伝統構法^{文-1)}、(2)現代構法^{文-2)}、(3)L形金物接合^{文-3)}、等の実験を行ってきた。

〔接着仕口の提案〕

以上の実験をふまえたうえで、以下に述べる理由により、柄差しに接着剤を使用した仕口を新たに提案することとした。

(1)伝統的な仕口は、形状が複雑であるために、その加工、施工に問題がある。

(2)在来構法では、金物による仕口の補強が一般的であるが、真壁造や伝統木造のように軸組や小屋組を意匠デザインとして扱う場合には無神経な接合金物の露出が問題になることが多い。

(3)また、木材に金物を使うことは本来なじまないという説もあり、骨太の木造接合法で栓や楔がかなりの接合耐力をもつことが上記の既往研究でも明らかとなっている。

(4)在来構法の「柄差し」に接着剤を使用し、終局耐力を確保するためにL形金物を釘打ちすることによって、構造全体の剛性、耐力を向上し筋違いなどの耐力壁には頼らずに、開放的な木造建築が安全に造れることを期待するものである。

〔研究の特色〕

(1) 美しい木造仕口

外見から全くみえない仕口は、従来の地獄楔や寄せ蟻のような複雑なものであったが、接着剤を使えば簡単に実現できる。これは軸組に限らず、小屋組、床組などを化粧に見せる設計ではすべての部材に適用される。

(2) 現場接着の可能性

従来の建築工事でも内装、造作などの接着は現場で行なわれており、その経験と知見を構造体に適用しようと

するものである。しかし、ここでは柄に塗布して仕口剛性を高めるのが主目的で、多少の欠膠は致命的の影響を与えるものではない。全体的にみて多少の施工不良があっても構造体の剛性向上には十分に役立つものである。もちろん、現場接着に適する接着剤、すなわちある程度の低温、多湿の条件下でも使用でき、大きい圧縮力も要しないものも存在しており、さらに、柄穴への適用は保温、防水上も有利である。

(3) 接着部への要求性能と対策

構造体の建て上げ後に垂直補正を行なう必要があるので、接着剤の可使時間はなるべく長いものを選び、また硬化後もある程度の弾力性を残し、木部とともに多少の変形追従性をもつものを用いる。

(4) 金物との相補関係

接着補強により初期剛性を高め、L形金物によって終局耐力を確保することは前述のとおりであるが、将来この接着剤の耐久性が証明され、設計耐力を低く決めることができれば、金物も省略できるものと思われる。

(5) 木構造のカーテンウォール化への指標

このような木構造のラーメン化は、真壁構法をカーテンウォール化し、水平力に対して僅かな層間変位を許しながら、パネル化した塗壁部分の亀裂や剥落を防止する構法に発展できよう。

2. 系列実験の紹介

ここで、昭和59,60年度に実施された系列実験、「木造仕口の剛節度試験」(1)~(3)を紹介する。

(1) 伝統構法

仕口は打抜き柄割楔締め、同込栓打ちの2種類とし、樹種はベイツガ及びヒノキを用い、それぞれ10.5cm角、12cm角のものを用いた。楔はヒノキ材を用い、栓はナラ材を用いたが、それらに鋼材を使ったものも試験し、試験体は全10種類とした。

試験体はそれぞれにつき5体作成した。試験方法は図2-1に示すとおりである。加力速度は平均90kg/minとした。(2)、(3)も同様である。

試験結果を表2-1及び図2-2に示す。

これによると、最大抵抗モーメントは楔締めが栓より大きい、ベイツガにくらべてヒノキの場合はその差は

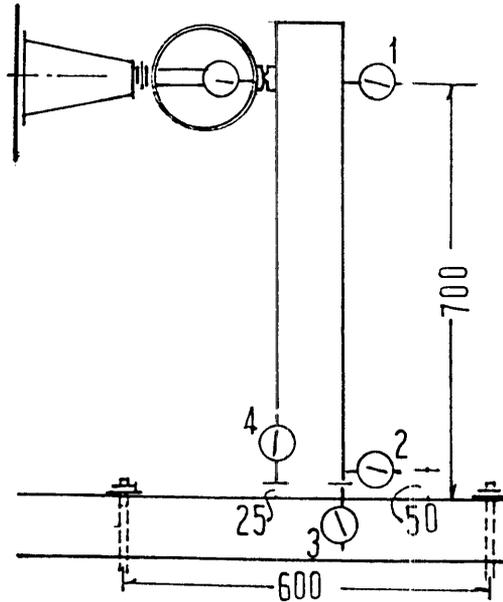


図 2-1 試験装置

表 2-1 伝統構法 試験結果

試験体	抵抗モーメント kg·m			Max・時の 変形角 $\times 10^{-3}$ rad	1/8 rad 時 エネルギー吸収量 $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}$
	1/120 rad	1/60 rad	MAX		
KBW-105	41.5(13)	56.1(15)	125.7(8)	236.10(13)	10.41(7)
KBW-120	57.7(32)	86.7(33)	179.6(14)	185.27(40)	14.58(15)
KHW-105	53.9(7)	77.1(18)	152.3(3)	122.26(43)	14.02(7)
KHW-120	97.1(6)	149.0(14)	288.4(10)	187.10(29)	27.83(7)
KHM-120	87.2(22)	138.1(22)	299.6(12)	205.50(32)	26.21(15)
SBW-105	30.2(31)	44.8(31)	102.2(15)	135.25(21)	9.15(19)
SBM-105	20.7(40)	29.1(49)	120.8(12)	168.80(15)	9.19(19)
SHW-105	34.7(29)	57.2(21)	151.2(26)	98.39(42)	12.96(23)
SHW-120	65.2(30)	104.1(31)	278.6(9)	126.50(45)	24.42(12)
SHM-120	58.7(31)	94.2(29)	303.8(12)	108.55(44)	25.13(5)

* 5体平均値 () 変動係数 $\times 10^2$.

K : 割楔 (打抜柄) S : 込栓 (打抜柄) H : ヒノキ
 B : ベイツガ W : ナラ (込栓), ヒノキ (割楔)
 M : 鋼 105 : 10.5 cm角 120 : 12 cm角

表 2-2 現代構法 試験結果

試験体	抵抗モーメント kg·m			Max・時の 変形角 $\times 10^{-3}$ rad	1/8 rad 時 エネルギー吸収量 $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}$
	1/120 rad	1/60 rad	MAX		
OBL-105	35.1(28)	51.7(30)	129.0(15)	218.12(11)	10.62(21)
OBL-120	52.1(14)	78.9(9)	169.1(5)	136.79(38)	16.27(9)
OHL-105	40.2(29)	59.0(24)	152.3(11)	186.60(22)	12.52(17)
OBC-105	30.8(38)	46.4(32)	84.4(18)	136.67(16)	8.39(24)
OBC-120	36.6(33)	52.5(24)	110.6(7)	123.63(36)	9.30(20)
OHC-105	33.9(16)	48.5(14)	97.0(17)	73.08(38)	9.03(8)
OBT-105	21.3(37)	30.4(36)	78.1(7)	226.36(29)	6.65(18)
OBT-120	21.8(46)	29.0(39)	99.4(8)	158.81(29)	7.52(12)
OHT-105	25.3(45)	36.9(52)	108.9(9)	148.12(34)	8.75(18)

* 5体平均値 () 変動係数 $\times 10^2$.

O : 短柄差し H : ヒノキ B : ベイツガ
 C : かすがい T : T形金物 L : L形金物
 105 : 10.5 cm角 120 : 12 cm角

明らかでない。ただ、バラツキは楔締めの方が栓よりも幾分少ないようである。

(2) 現代構法

仕口は短柄差しとし、かすがい両面打ち、T形金物片面打ち(以上Zマーク表示)、及びこの実験のために試作したL形金物を用いる方法の3種類とした。樹種、断面

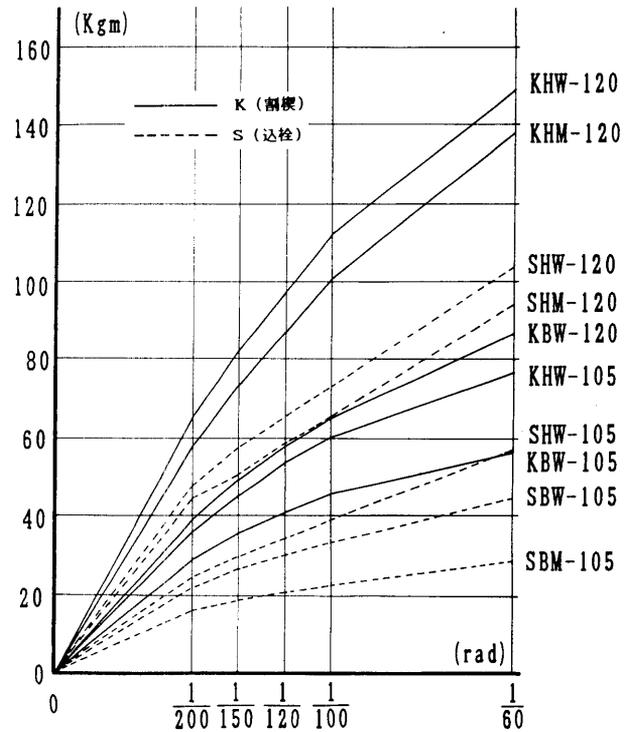


図 2-2 伝統構法の抵抗モーメントー変形角

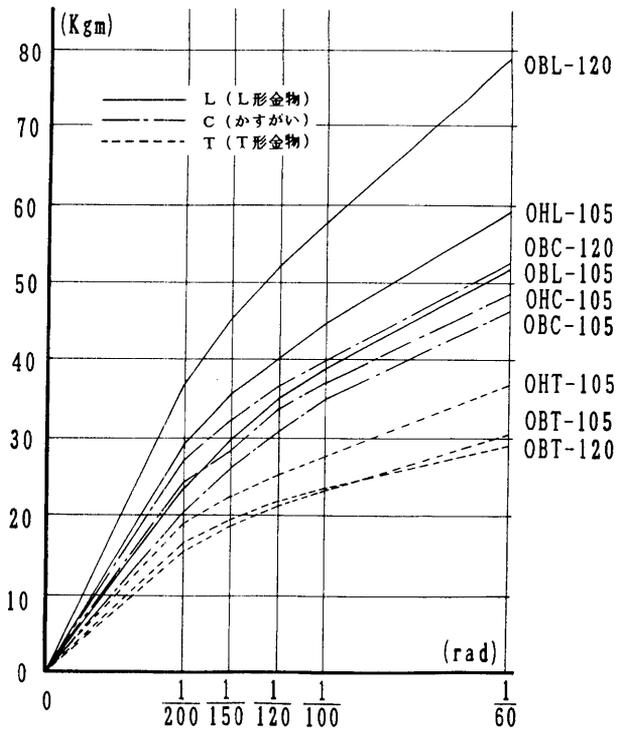


図 2-3 現代構法の抵抗モーメントー変形角

寸法は前述した伝統構法と同一とし、試験体は全9種類とした。

試験結果を表2-2及び図2-3に示す。

1/60rad変形までの抵抗モーメントは、総じてL形金物によるものが大きく、かすがい4本打がこれにつき、T形金物は低位にある。このことはL形金物は剛性を高めるうえで有効であるといえる。

表3-1 試験体

樹種	ヒノキ				スギ		ベイツガ			
断面寸法 (cm角)	12.0		13.5		12.0		10.5		12.0	
柄種別	短	長	短	長	短	長	短	長	短	長
長面接着	H20S-A	H20L-A								
全面接着	H20S-B	H20L-B	H35S-B	H35L-B	S20S-B	S20L-B	B05S-B	B05L-B	B20S-B	B20L-B
L形金物補強のみ	H20S-C	H20L-C					B05S-C	B05L-C	B20S-C	B20L-C
接着・L形金物補強	H20S-D	H20L-D			S20S-D	S20L-D			B20S-D	B20L-D
接着・釘打併用		H20L-E				S20L-E				B20L-E

表3-2 母材の性質

	含水率 %	比重	平均年輪幅 mm
ヒノキ	11~14	0.48	1.5~4.6
スギ	14~20	0.42	2.8~8.5
ベイツガ	14~18	0.52	1.0~3.7

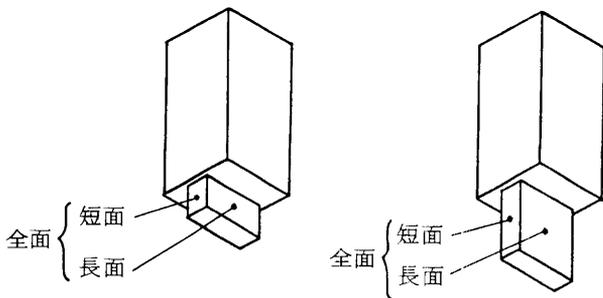


図3-1 試験体の接着面

を、H35L-Bはヒノキ13.5cm角長柄全面接着を示す。

表3-2にそれぞれの樹種の含水率、比重、平均年輪幅を示す。

前記の柄長面及び全面とは、図3-1に示す面のことを言う。

なお、Cタイプは比較のための、L形金物補強のみで接着しないタイプである。

柄の寸法を図3-2、図3-3に、L形金物の寸法詳細図を図3-4に示す。このL形金物は、系列実験(3)で使ったもののうちの成績のよかったものである。

接着剤は柄、柄穴の両面塗布とし、塗布量は片面約600g/m²とした。

試験体は1種類につき5体を用意し、全部で27種類、全135体を実験に供した。

接合タイプは、短柄差しでA~Dタイプの4種類、長柄差しではA~Eタイプの5種類の計9種類となる。図3-5、図3-6にそれぞれの接合タイプの図を示す。

3-2 接着剤の選定

接着剤は一液型のポリウレタン系樹脂接着剤を使用し

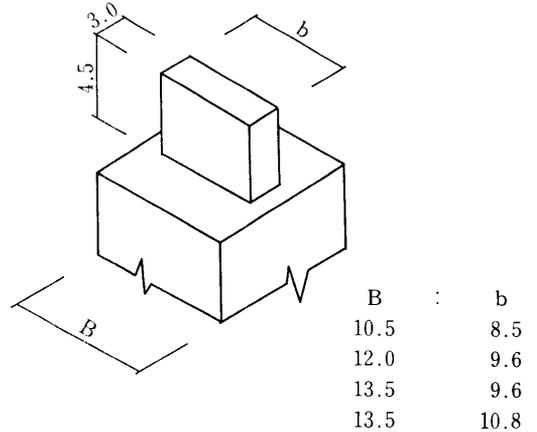


図3-2 短柄の寸法詳細 (単位 mm)

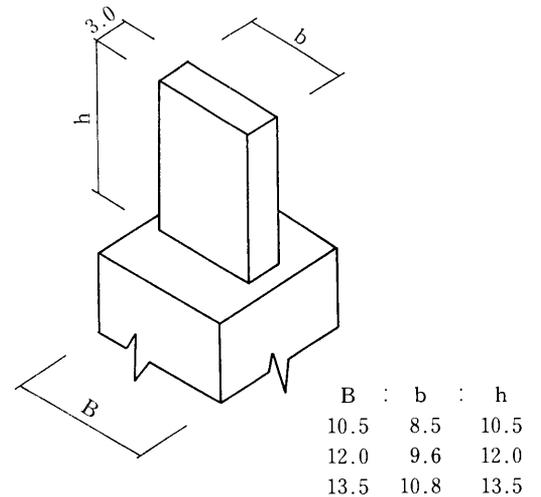


図3-3 長柄の寸法詳細 (単位 mm)

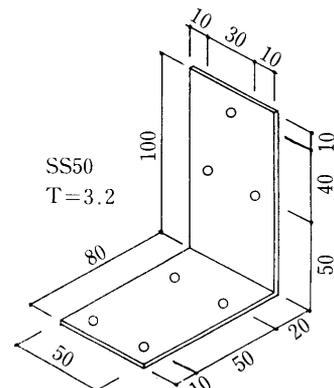
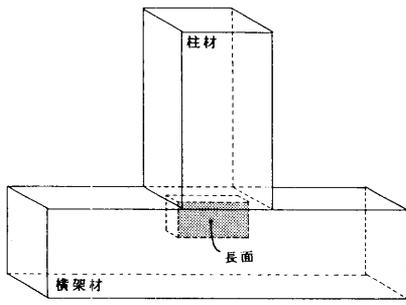
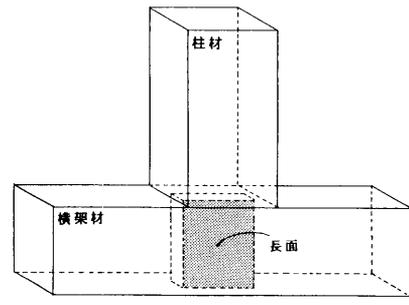


図3-4 本実験に用いたL形金物の寸法詳細 (単位 mm)



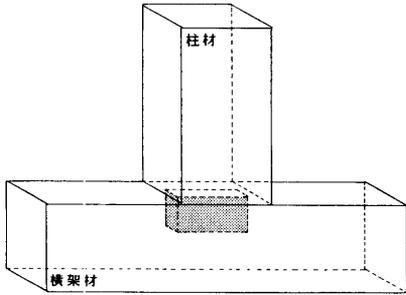
Aタイプ(長面接着)

..... 接着面

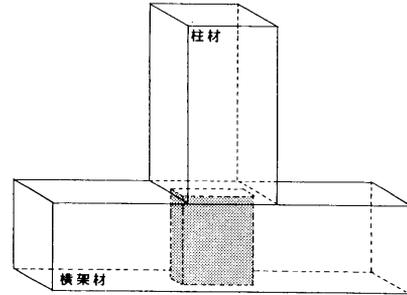


Aタイプ(長面接着)

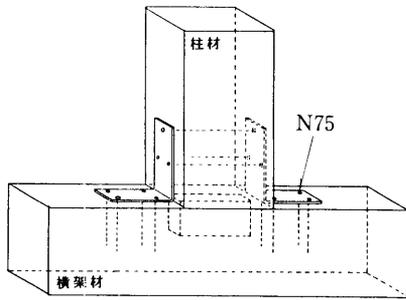
..... 接着面



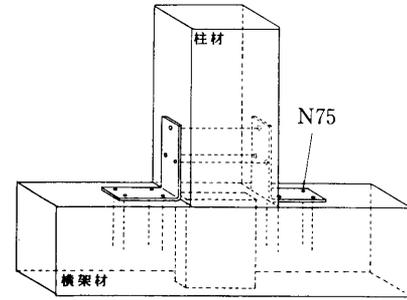
Bタイプ(全面接着)



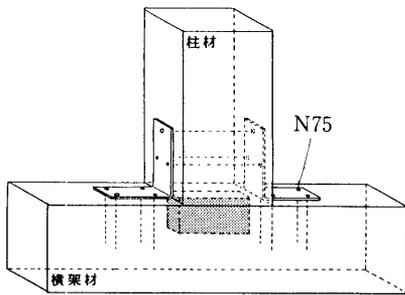
Bタイプ(全面接着)



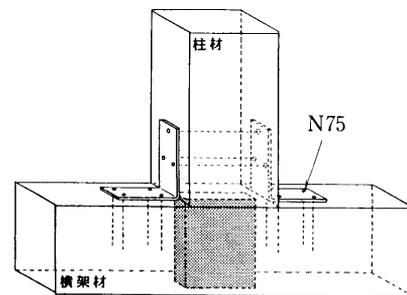
Cタイプ(L形金物補強)



Cタイプ(L形金物補強)

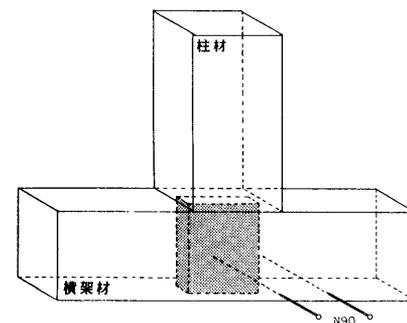


Dタイプ(接着・L形金物併用)



Dタイプ(接着・L形金物併用)

図3-5 短柄差しの固定方法



Eタイプ(接着・釘打併用)

図3-6 長柄差し固定方法

た。

この選定にあたっては、レゾルシノール系、エポキシ型、ポリウレタン系の比較実験を行なった。ポリウレタン系が最も優秀な結果を示したのでこれを採用した。

また、この接着剤は専用器具を用いて誰でも簡単に塗布作業ができるという利点を持っている。ここに、ポリウレタン系樹脂接着剤の性状および性能を示す。

樹脂成分 — 湿気硬化型ポリウレタン樹脂
 性状 — 茶色・マスチック状
 比重 — 1.35
 不揮発分 — 85%以上
 溶剤 — トルエン
 タックフリータイム — 約45分 (25℃)

3-3 試験方法

[加力方法]

加力には2t容量ジャッキを使用し、一方向漸増変位振幅繰り返し載荷で、変形角が1/120、1/60radで繰り返し、その後1/8radに達するまで載荷を続けた。

[測定方法]

荷重は容量1tのロードセルで、変位は高感度型歪計を用い、アナログで送られてくる電気信号を自動デジタル歪測定器で読み取り、パーソナルコンピュータで処理した。測定点は、横架材の上面より150mm、700mmのところそれぞれ高感度型歪計を柱材に対して垂直方向に設置した。加力点、測定点の詳細を図3-7に示す。

なお、抵抗モーメント M 、変形角 θ は次の式で求める。

$$M(\text{kg} \cdot \text{m}) = P \times 0.7 \quad P = \text{荷重}$$

$$\theta(\text{rad}) = \frac{X_1 - X_2}{550} \quad \begin{array}{l} X_1 = \text{変位計1で測定した変位(mm)} \\ X_2 = \text{変位計2で測定した変位(mm)} \end{array}$$

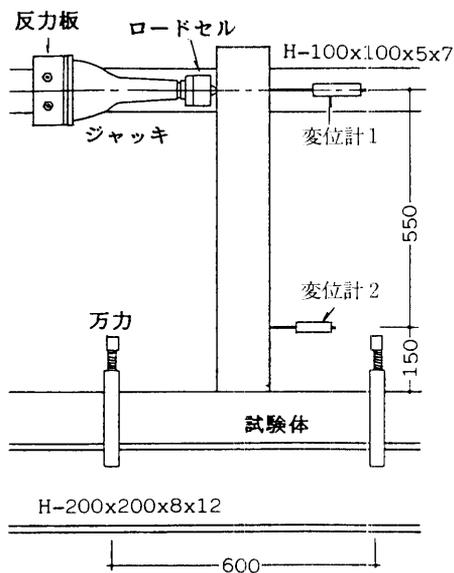


図3-7 試験装置 (単位 mm)

4. 実験結果

図4-1、4-2は各試験体の1/60radまでの抵抗モーメントと変形角との関係を単純化して示したものである。

表4-1、4-2は各試験体の抵抗モーメント、変形

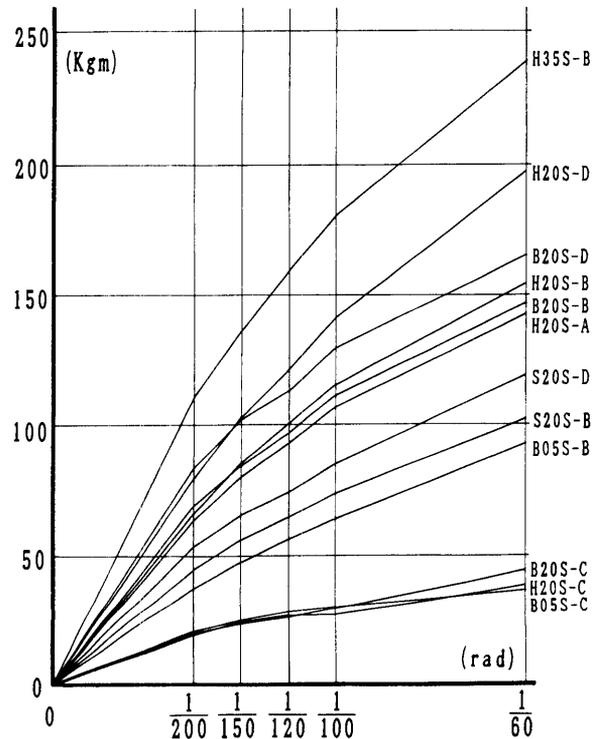


図4-1 短柄差しの抵抗モーメント-変形角 (5体平均値)

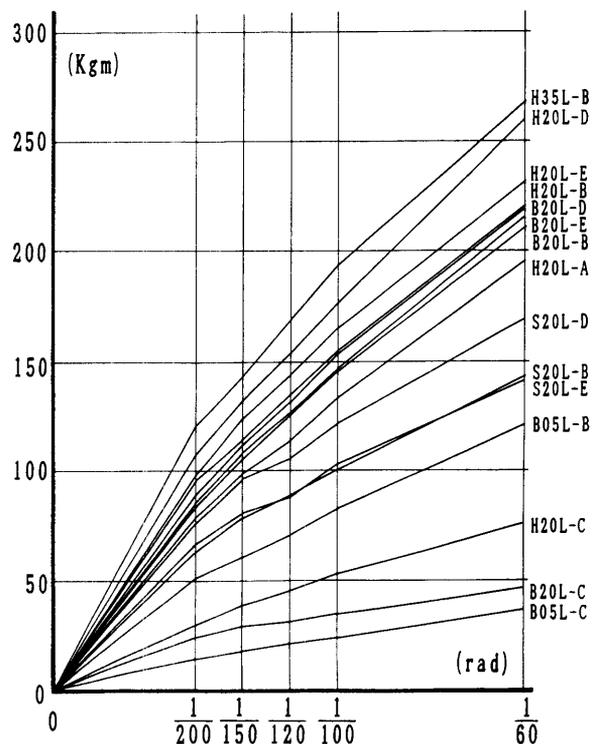


図4-2 長柄差しの抵抗モーメント-変形角 (5体平均値)

表 4-1 短柄差しの試験結果 (5体平均値)

試験体	抵抗モーメント (kg·m)			Max. 時の 変形角 (10 ⁻³ rad)	残留変形角 (10 ⁻³ rad)		エネルギー吸収量 (kg·m·rad)			
	1/120	1/60	MAX		θ_1	θ_2	1/120	1/60	1/8	
A	H20S-A	925 (0.09)	1421 (0.08)	1519 (0.14)	2165 (0.31)	0.93 (0.11)	2.91 (0.14)	0.43 (0.08)	1.45 (0.08)	10.04 (0.31)
	H20S-B	100.1 (0.08)	153.9 (0.09)	191.9 (0.11)	270.6 (0.10)	0.63 (0.00)	2.19 (0.08)	0.45 (0.09)	1.56 (0.08)	14.88 (0.13)
	H35S-B	159.1 (0.07)	238.9 (0.05)	286.6 (0.09)	244.6 (0.15)	0.84 (0.26)	2.27 (0.14)	0.74 (0.06)	2.46 (0.03)	22.85 (0.12)
B	S20S-B	64.5 (0.22)	101.8 (0.21)	132.1 (0.19)	294.0 (0.25)	0.82 (0.60)	2.64 (0.24)	0.31 (0.25)	1.02 (0.23)	9.53 (0.14)
	B05S-B	56.3 (0.12)	92.6 (0.10)	127.2 (0.14)	296.4 (0.10)	0.60 (0.38)	1.58 (0.21)	0.26 (0.12)	0.88 (0.10)	7.96 (0.27)
	B20S-B	97.0 (0.07)	146.3 (0.11)	172.3 (0.14)	255.7 (0.07)	1.01 (0.22)	2.57 (0.19)	0.47 (0.07)	1.52 (0.08)	14.39 (0.21)
	H20S-C	26.4 (0.32)	38.6 (0.31)	65.5 (0.34)	1250.8 (0.15)	5.78 (0.10)	13.18 (0.01)	0.14 (0.33)	0.41 (0.33)	5.24 (0.31)
C	B05S-C	27.2 (0.28)	36.4 (0.32)	112.5 (0.09)	1293.3 (0.06)	4.19 (0.30)	10.91 (0.18)	0.14 (0.32)	0.41 (0.30)	9.65 (0.21)
	B20S-C	26.2 (0.11)	44.0 (0.14)	133.9 (0.07)	1326.0 (0.05)	5.21 (0.08)	11.25 (0.10)	0.14 (0.09)	0.43 (0.13)	11.97 (0.08)
	H20S-D	121.2 (0.13)	196.6 (0.14)	243.6 (0.08)	301.4 (0.09)	0.88 (0.12)	2.21 (0.08)	0.55 (0.13)	1.89 (0.13)	21.65 (0.14)
D	S20S-D	73.5 (0.15)	119.4 (0.13)	153.4 (0.07)	311.4 (0.41)	1.34 (0.15)	2.90 (0.22)	0.36 (0.16)	1.18 (0.15)	13.98 (0.11)
	B20S-D	112.3 (0.17)	165.0 (0.17)	206.4 (0.24)	286.6 (0.18)	1.39 (0.31)	3.82 (0.28)	0.57 (0.17)	1.78 (0.17)	20.21 (0.17)

()変動係数

表 4-2 長柄差しの試験結果 (5体平均値)

試験体	抵抗モーメント (kg·m)			Max. 時の 変形角 (10 ⁻³ rad)	残留変形角 (10 ⁻³ rad)		エネルギー吸収量 (kg·m·rad)			
	1/120	1/60	MAX		θ_1	θ_2	1/120	1/60	1/8	
A	H20L-A	113.7 (0.18)	196.0 (0.17)	309.0 (0.23)	48.23 (0.28)	0.70 (0.22)	1.61 (0.17)	0.54 (0.16)	1.85 (0.17)	27.80 (0.34)
	H20L-B	134.4 (0.20)	220.9 (0.20)	353.1 (0.28)	475.0 (0.32)	1.03 (0.01)	2.35 (0.75)	0.64 (0.19)	2.15 (0.20)	29.10 (0.52)
	H35L-B	168.7 (0.18)	268.9 (0.20)	425.9 (0.20)	507.1 (0.19)	0.85 (0.26)	2.01 (0.23)	0.79 (0.17)	2.66 (0.19)	37.72 (0.35)
B	S20L-B	98.4 (0.10)	142.2 (0.11)	200.7 (0.11)	396.9 (0.28)	0.74 (0.23)	1.79 (0.25)	0.42 (0.12)	1.40 (0.11)	13.47 (0.51)
	B05L-B	70.5 (0.08)	120.9 (0.07)	199.7 (0.11)	457.8 (0.09)	0.87 (0.49)	1.86 (0.38)	0.33 (0.16)	1.15 (0.09)	13.23 (0.26)
	B20L-B	125.0 (0.08)	210.7 (0.08)	312.1 (0.16)	406.9 (0.29)	0.56 (0.37)	1.51 (0.25)	0.57 (0.09)	2.01 (0.09)	28.60 (0.21)
	H20L-C	45.5 (0.46)	76.0 (0.64)	244.0 (0.16)	1241.4 (0.10)	4.98 (0.15)	10.81 (0.17)	0.21 (0.40)	0.72 (0.52)	18.43 (0.20)
C	B05L-C	21.2 (0.32)	36.8 (0.30)	168.3 (0.16)	1316.4 (0.08)	4.55 (0.33)	9.67 (0.21)	0.10 (0.36)	0.34 (0.33)	13.07 (0.16)
	B20L-C	31.5 (0.31)	46.8 (0.25)	246.4 (0.13)	1361.9 (0.04)	5.61 (0.11)	11.70 (0.10)	0.17 (0.34)	0.50 (0.28)	18.61 (0.15)
	H20L-D	153.8 (0.12)	260.1 (0.10)	429.3 (0.15)	420.6 (0.12)	1.07 (0.36)	2.31 (0.31)	0.72 (0.11)	2.47 (0.11)	38.02 (0.18)
D	S20L-D	105.6 (0.13)	169.9 (0.12)	253.7 (0.22)	437.2 (0.40)	1.17 (0.29)	2.39 (0.27)	0.51 (0.11)	1.69 (0.12)	17.84 (0.44)
	B20L-D	131.4 (0.06)	219.7 (0.06)	344.4 (0.10)	434.4 (0.11)	0.86 (0.15)	1.90 (0.06)	0.61 (0.07)	2.11 (0.06)	33.91 (0.09)
	H20L-E	144.5 (0.09)	232.3 (0.10)	359.3 (0.08)	449.5 (0.16)	0.75 (0.42)	1.57 (0.23)	0.66 (0.11)	2.26 (0.10)	32.19 (0.22)
E	S20L-E	88.3 (0.08)	141.3 (0.08)	212.7 (0.15)	447.9 (0.46)	0.74 (0.24)	1.69 (0.12)	0.44 (0.11)	1.43 (0.08)	15.14 (0.45)
	B20L-E	125.7 (0.06)	216.3 (0.08)	322.2 (0.13)	393.5 (0.15)	0.58 (0.24)	1.48 (0.17)	0.58 (0.06)	2.04 (0.06)	31.01 (0.16)

()変動係数

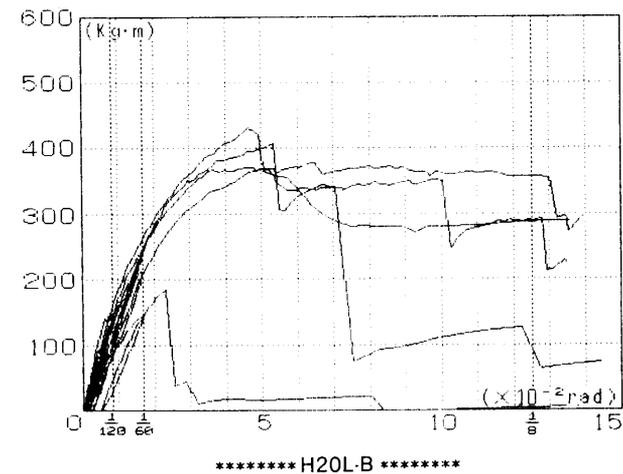
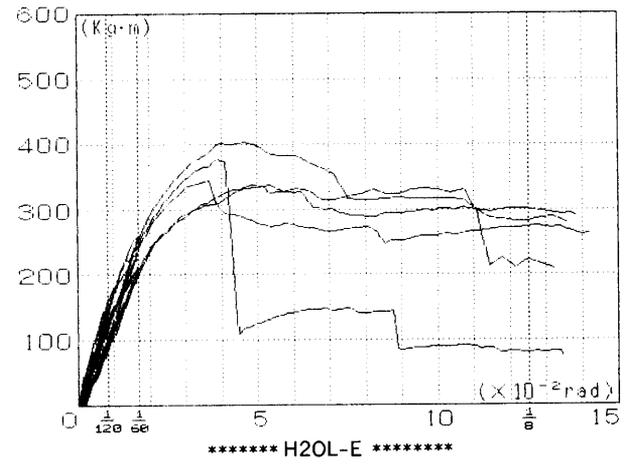
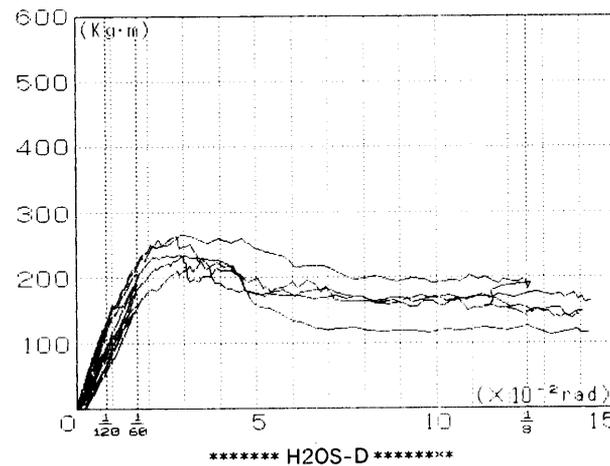
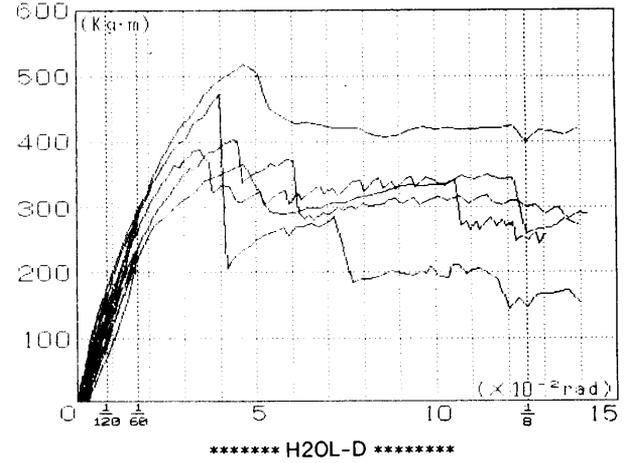
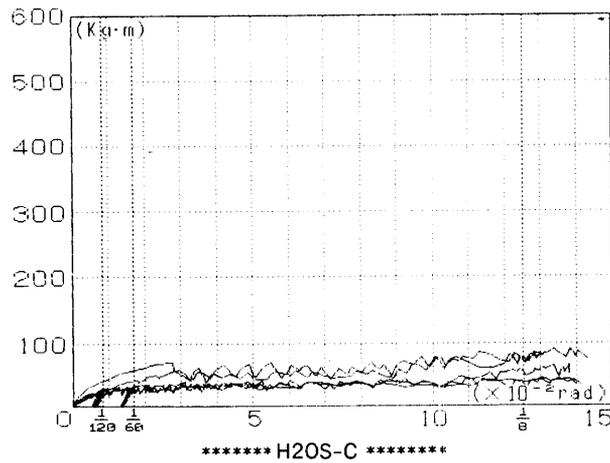
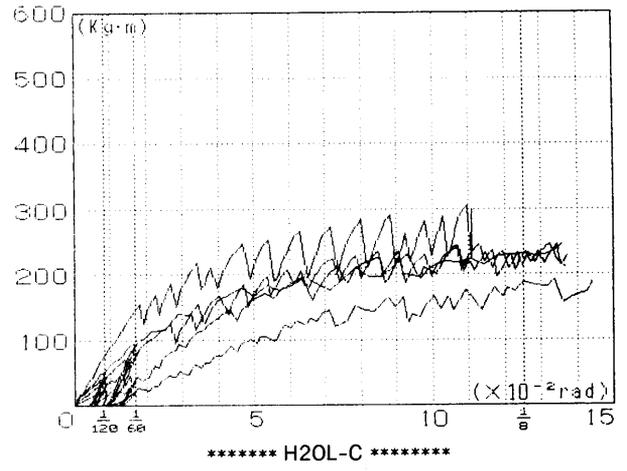
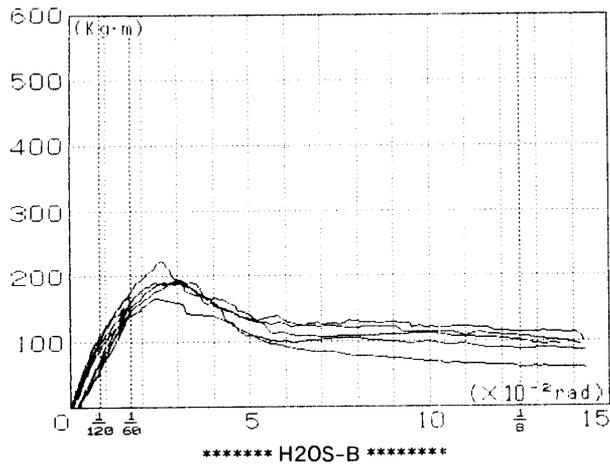


図4-3 M-θ曲線

〈註〉 図の縦軸に抵抗モーメント(M)
横軸に変形角(θ)をとる。

角, エネルギー吸収量, 等の一覧表である。表中の残留変形角 θ_1 は $1/120\text{rad}$ 往復, θ_2 は $1/60\text{rad}$ 往復時の値である。

また, 図 4-3 は主な試験体についてのモーメント・変形角関係を示したものである。

5. 考 察

5-1 初期剛性

各樹種の B タイプ(全面接着)とヒノキ12cm 角シリーズの $1/60\text{rad}$ までにおける抵抗モーメント-変形角関係を図 5-1 から 4 に示す。参考として, 図 5-2, 図 5-4 に系列実験で行なった KHW-120 (ヒノキ12cm 角打抜き柄割楔締め) を示した。

1) 楔締め (KHW-120) と長柄接着仕口を比べた場合, 接着仕口のほうが優秀な剛性を示している。

2) 長柄差し, 短柄差し共に D タイプ(全面接着・L 形金物併用)は B タイプ(全面接着)を上回っている。従って, 接着と L 形金物を併用することにより剛性の向上も期待できると思われる。

3) 長柄差し E タイプは, 柄を貫通する形で横架材の側面から釘 (N90) を 2 本打ち, 柄の動きを拘束するとともに, その釘が接着面の圧縮作用としても働くので初期剛性の面では最も有効であると思われた。しかし, D タイプと比較して多少劣っている。よって, 柄差し仕口において, 柄を傷つけることはなるべく避けるべきであると思われる。

4) ヒノキ, ベイツカ, スギの12cm 角に注目すると, 短柄差し, 長柄差し共に木材強度の順となっている。しかし, ヒノキとベイツカとはよく似た履歴をたどっており, ベイツカが意外に強いことがわかる。

5) 短柄 B タイプ(全面接着)では, H35S-B (ヒノキ13.5cm 角)が特に秀でているのがわかる。これは, 母材断面積, 柄の断面積, 及び接着面積などの増加によるものと思われる。

6) 接着面のみに差がある A タイプ(長面接着)と B タイプ(全面接着)ではそれほど大きな差は見られないことより, 変形初期においては柄長面に剪断抵抗力を持たせることが有効であるといえる。

7) 短柄差しと長柄差しの比較では, 言うまでもなく長柄差しのほうが初期剛性は優れている。短柄差しの場合は柄の拘束力が弱く柄が回転してしまうのに対し, 長柄差しの場合は柄が長いだけ拘束力が強い。また, 接着面積も長柄差しのほうが大きい。

5-2 最大耐力

1) ヒノキ短柄差しシリーズ (H20S, H35S) に注目すると母材の太い H35S-B (全面接着) タイプは同タイプの H20S-B に比べて約49%の強度増加を示している。こ

れは, 母材断面積, 柄断面積, 接着面積の増加の相乗効果であると思われる。

2) 樹種別に比較した場合は, 各樹種強度の順と一致する。

ヒノキの値を100とした比では, B タイプ(全面接着)の場合,

ヒノキ:ベイツカ:スギ=100:90:70 (短柄差し)

ヒノキ:ベイツカ:スギ=100:88:57 (長柄差し)

となることより, 接着剤のみで補強した B タイプの場合でも最大耐力は各樹種間の強度比に大きな相関があるといえる。

3) 現代構法と本実験中の短柄接着仕口との比較では OBL-120 (ベイツカ12cm 角短柄, L 形金物) は B20S-B (接着) とほぼ同じ値を示している。しかも最大耐力時の変形角が B20S-B に比べてかなり大きく, 粘り強い仕口であると思われる。このことから短柄差しの場合に接着剤補強は粘り強さの点であまり有効でないといえる。

4) 長柄差しシリーズに目を向けると, 各タイプの最大耐力は短柄差しシリーズの各タイプにくらべて1.5倍以上の値を示しており, 変形角についても短柄差しシリーズと比較して平均で約1.7倍程度変形が進んだ点で最大耐力をむかえていることから, 接着剤で補強された長柄差しの粘り強さが立証される。

5) 伝統構法の中で KHM-120 (ヒノキ12cm 角, 打抜柄, 鋼製割楔締め) が最も大きい値を示しているが, H20L-B (ヒノキ12cm 角長柄, 全面接着) との比較では後者の方が約18%前者を上回っている。しかし, 変形角は前者が $47.50 \times 10^{-3}\text{rad}$ なのに対し, 後者は $205.50 \times 10^{-3}\text{rad}$ であり, 粘り強さの点では KHM-120 のほうが優れている。

5-3 エネルギー吸収量

ここでは試験体の変形角が $1/8\text{rad}$ に達するまでに仕口が吸収したエネルギー量について述べる。

(1) 短柄差し

1) B タイプ(全面接着), C タイプ(L 形金物補強)のエネルギー吸収量については, B05S タイプ以外は B タイプの方が優れていることがわかる。

2) H20S シリーズでは

$$D > B + C$$

となり, また B20S シリーズでは

$$D < B + C$$

となることから, L 形金物のみで補強したタイプと接着補強のみのタイプを加えあわせたものは必ずしも両方で補強したタイプと等しい関係になく, ヒノキの場合が有効であると考えられる。

(2) 長柄差し

1) 接着仕口と伝統構法との比較では, 接着仕口のは

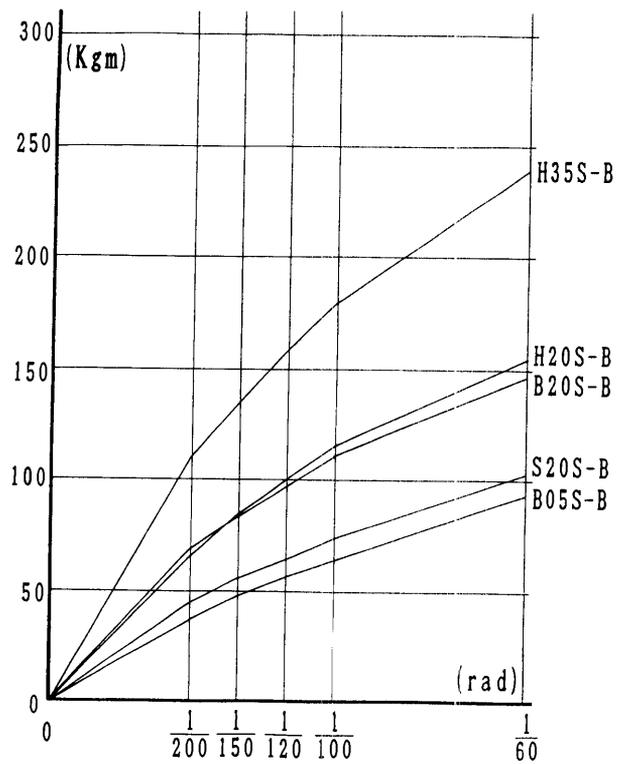


図5-1 短柄Bタイプ(全面接着)の抵抗モーメント—変形角

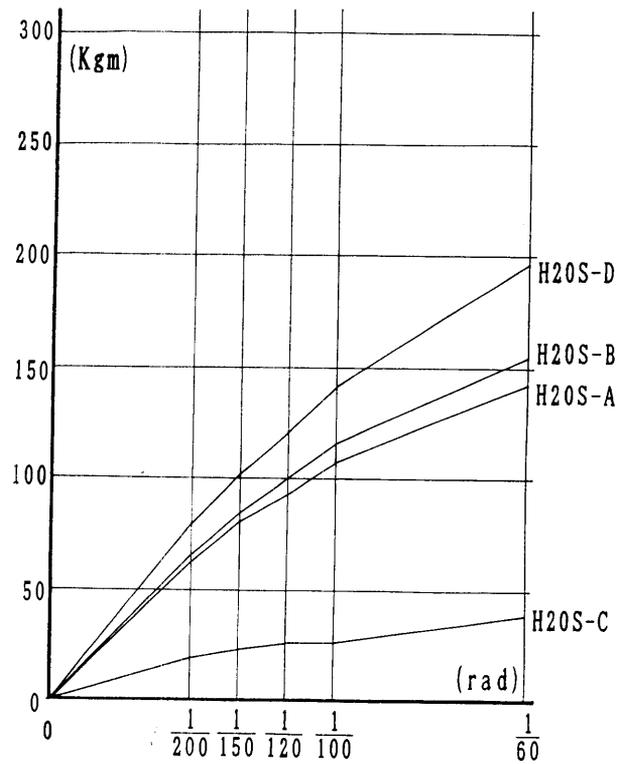


図5-3 ヒノキ12cm角短柄差しシリーズの抵抗モーメント—変形角

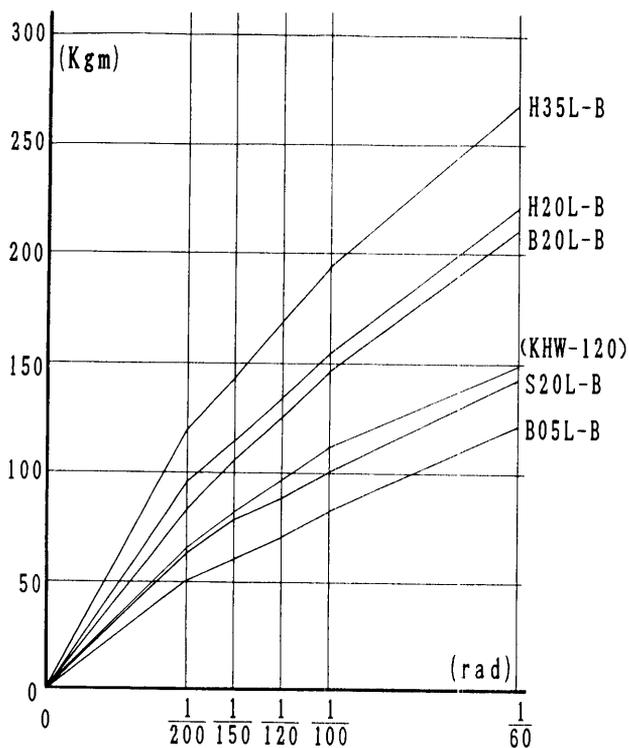


図5-2 長柄Bタイプ(全面接着)の抵抗モーメント—変形角

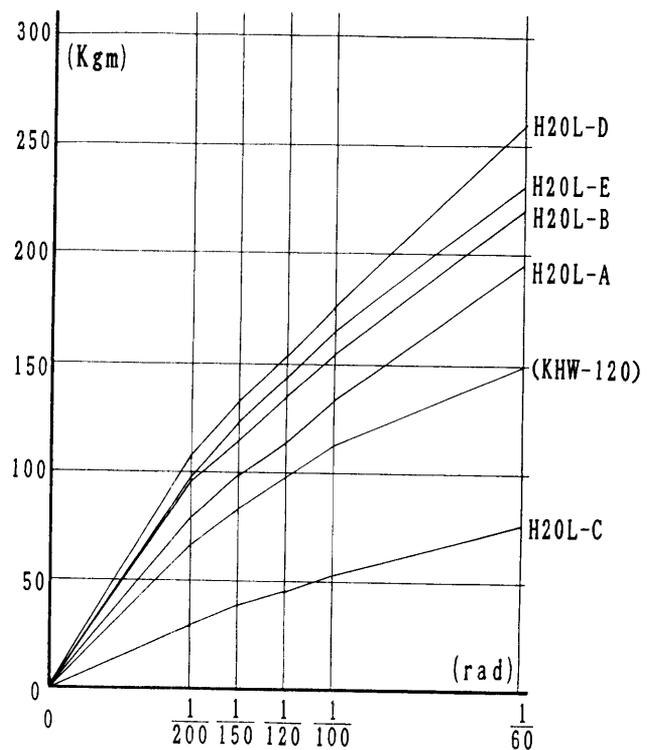


図5-4 ヒノキ12cm角長柄差しシリーズの抵抗モーメント—変形角

うがやや優位であると言える。

2) Dタイプ(接着・L形金物併用)とEタイプ(接着・釘打併用)の比較ではDタイプの方がヒノキとスギでは15%程度、ベイツガでは9%程度Eタイプを上回っている。よって接着剤と併用して仕口を補強する手段としてはL形金物のほうが優れている。

これについては釘による補強が、直接応力を負担する柄を傷つけてしまうこと、釘が柄の動きを拘束することから、柄が引張側で破断して、回転モーメントに対する抵抗力が急激に低下することなどが考えられる。

3) スギ20Lについては、B, D, Eタイプの間には大きな差異は見られないが、これはスギの強度自体が3樹種中一番弱く、ほとんどの試験体の柄が折損したためである。

5-4 破壊状態

短柄と長柄の接合部では別々の破壊状態を示している。

(1) 短柄差し

短柄差しBタイプ(全面接着)の一般的な破壊状態を図5-5に示す。

短柄周辺の破壊は大別して

As: 木材の横圧縮

Bs: 木材繊維方向の割れ

Cs: 柄穴短辺の木材繊維方向の割れ

Ds: 接着面の剥離

の4つに分類され、次の過程をたどると考えられる。

まずDs部において接着面が剪断力によって破壊し、柄の回転に伴ってAs部に横圧縮破壊が始まるとともに、Bs部側の柄短面の接着結合力に木材繊維間の結合力が負けて繊維方向に割れが走る。最大抵抗モーメント(最大耐力)の発現はこの直前である。さらに柄の回転が進行するにつれてCs部の横架材側木材繊維に割裂が生じ、柄の浮き上がりとともに剥離が進む。この状態では

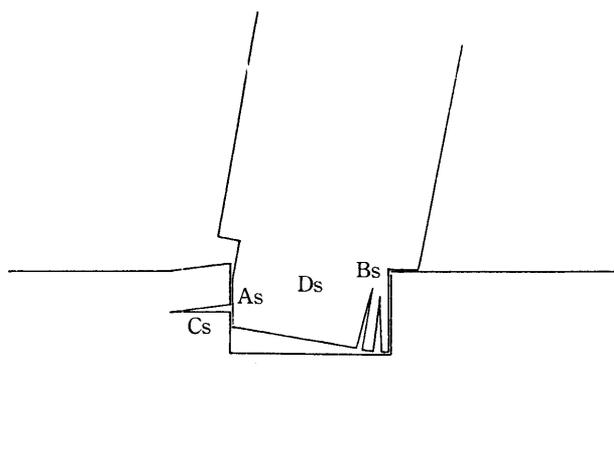


図5-5 短柄差しの破壊状態

荷重は上がらず、変形のみが急激に進行する。

(2) 長柄差し

長柄差しタイプ(全面接着)の一般的な破壊状態を図5-6に示す。

長柄の破壊は大別して

A_l: 木材繊維方向に割れた後、割れにそって

剪断ずれ変形

B_l: 柄の折損

の2つに分類することができる。

まずA_l部において長柄の木材繊維方向にそって割れが生じ、割れた外側の部分から接着面に剪断破壊が起こり柄穴から引抜け始める。この直前に試験体は最大抵抗モーメントを発現しているものと思われる。

長柄の割れと引抜けは、段階的に連続するのでこの時点での柄と柄穴間の摩擦抵抗はかなり大きいものと思われる。最終的にはB_l部において柄が折損するものが全体の約4割で、特にスギにこの傾向が見られた。また折れずに1/8radまでかなり高い抵抗力を維持し続けたものもあった。

このような差が生じるのは、柄の割れや節などが大きく影響しているためと思われる。

5-5 許容抵抗モーメントの実用性

(1) 許容抵抗モーメント

この実験によって明らかにされた各仕口による1/120rad及び1/60rad時の抵抗モーメントに、統計処理として正規分布の5%除外値を求める。すなわち平均値の3/4をとり、表5-1のようになる。

(2) 柱1本の許容水平耐力

上下に横架材をもつ柱1本の許容水平耐力は、図5-7に示すように柱頭、柱脚のモーメントの和を横架材間隔で除し、表5-1に示すとおりとなる。柱頭は短柄差し、柱脚は長柄差しとする。1/60rad時の耐力は復元性の良い伝統型日本住宅に適用しても良いと思う値であ

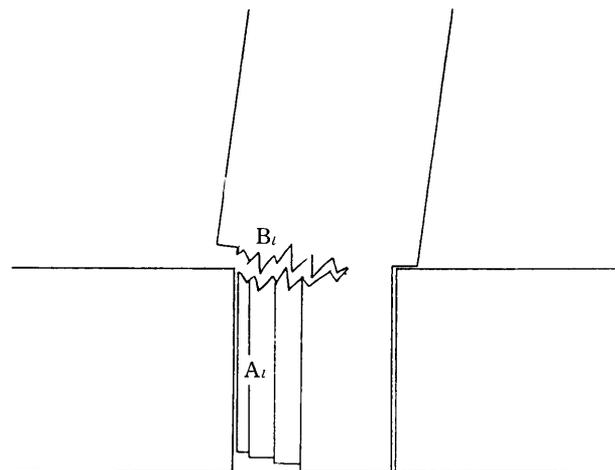


図5-6 長柄差しの破壊状態

る。

(3) 住宅等小規模木造の地震力の想定

建築基準法施工例第46条の耐震壁量の根拠は表5-2によるものとされる(参考文献8, P.149)。柱が1㎡に1本存在すれば、この表の値と(2)の表を直接参照すればよい。

(4) 住宅の1㎡当り柱本数

統計によると、農家を含めて日本の現代住宅の1㎡当りの柱本数は0.5~1.0本の間にほぼ分布する(日本住宅公団「木造建物の移転補償額の積算」より)。

(5) 耐震充足度

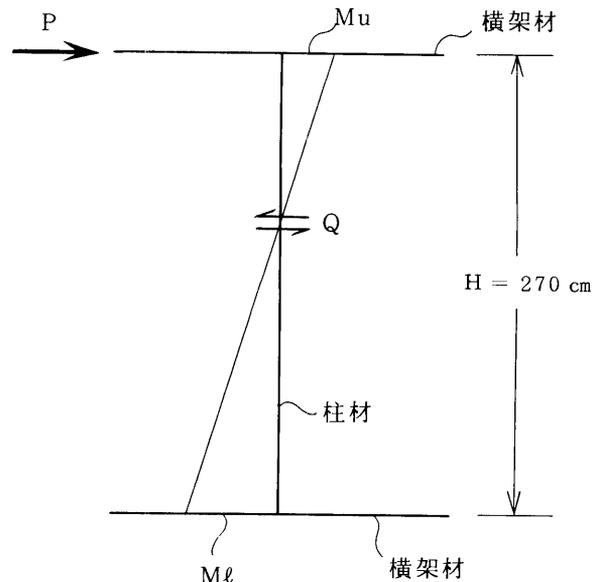
表5-1 柱1本当りの許容水平耐力(案)
(横架材間=270cmの場合)

柱頭 & 柱脚	1/120rad 変形時		1/60 rad 変形時		
	許容抵抗 モーメント (k・m)	許容水平 耐力 (kg)	許容抵抗 モーメント (kg・m)	許容水平 耐力 (kg)	
全 面 接 着	H20S-B & H20L-B	75	65	115	104
	H35S-B & H35L-B	119	91	176	141
	S20S-B & S20L-B	48	42	76	67
	B20S-B & B20L-B	73	62	110	100
	B05S-B & B05L-B	42	35	69	59
	接 着 ・ L 形 金 物 併 用	H20S-D & H20L-D	91	76	147
S20S-D & S20L-D		55	50	90	81
B20S-D & B20L-D		84	68	124	107
B20S-D & B20L-D		99	68	165	107

上記を総合すれば、壁の少ない木造住宅の耐震性を判定できる。1例として、ヒノキ12cm角接着仕口について判定表を示せば表5-3のようになる。基準法による壁量規定の根拠は小壁、腰壁の抵抗力を加えて1.5倍をみているので、これに準じて計算すればこの表の結果はすべてOKとなる。したがって一般の2階建住宅にこの仕口を適用して筋違い耐力壁を省略することができよう。ベイツ材についても同様な結果となる。また風圧力についても同様なチェックができる。

6. 結 論

以上の実験結果を総合して、母材の樹種、断面、柄の長短、隅角固定方法の相違により、初期剛性、許容耐力、最大耐力、粘り強さ、破壊状況がどのようになるかを述



Mu : 柱頭のモーメント(短柄差し)
Ml : 柱脚のモーメント(長柄差し)
いずれも1/120 rad, 1/60 rad変形時の許容抵抗モーメント

図5-7 上下に横架材をもつ柱のモデル

表5-2 基準法による耐震壁量の根拠

屋根重量別	単位床面積当り鉛直荷重 (kg/m²)				備 考
	瓦屋根の場合		スレート等の軽い屋根		
屋根自重	1.3 × 90 = 117		1.3 × 60 = 78		1.3は軒の出による割増し 内外壁体平均(床面積当り) たたみ 基準法施行令85条
壁自重	60"		60"		
床自重	50" 170		50" 170		
積載荷重	60"		60"		
	単位床面積当り地震力 (kg/m²)と必要壁量* (cm/m²)				
1階建	0.2(117+60/2) = 29.4	15	0.2(78+60/2) = 21.6	11	壁の上半分と屋根重量による
2階建	0.28(117+60/2) = 41.2	21	0.28(78+60/2) = 30.2	15	2階建2階のk = 0.28
	0.2(117+30+170) = 63.4	33	0.2(78+30+170) = 55.6	29	
3階建	0.32(117+60/2) = 47.0	24	0.32(78+60/2) = 34.6	18	3階建の2階のk = 0.32
	0.24(117+30+170) = 76.1	39	0.24(78+30+170) = 66.7	34	3階建の2階のk = 0.24
	0.2(117+30+2×170) = 97.4	50	0.2(78+30+2×170) = 89.6	46	

* 単位地震力を130 kg/mで除し、2/3倍したものが壁量となる。

表5-3 ヒノキ12cm角接着仕口による柱の抵抗力と地震力の比較

	瓦		葺		スレート、金属板屋根葺	
	0.5本/m ² 震力/m ²	1本/m ² 31(50)	1本/m ² 62(100)	0.5本/m ² 震力/m ²	1本/m ² 31(50)	1本/m ² 62(100)
1階建	2.94	OK(OK)	OK(OK)	2.16	OK(OK)	OK(OK)
2階建の1階	4.12	NG(OK)	OK(OK)	3.02	OK(OK)	OK(OK)
2階	6.34	NG(NG)	NG(OK)	5.56	NG(NG)	OK(OK)
3階建の1階	4.70	NG(OK)	OK(OK)	3.46	NG(OK)	OK(OK)
2階	7.61	NG(NG)	NG(OK)	6.67	NG(NG)	NG(OK)
3階	9.74	NG(NG)	NG(OK)	8.96	NG(NG)	NG(OK)

()内は1/60rad値の場合

べる。これらは4章の表4-1、2及び図4-1、2を詳しく眺めることによって明らかとなる。また、これにより耐力壁と「目立つ接合金物」から開放された美しい木造骨組みの可能性を論じる。

[初期剛性]

(1) 母材の樹種

本実験でもに用いられた12cm角について言えば柄の長さ、固定方法にかかわらずヒノキがまさり、ベイツガはほとんど同等かやや劣る。スギ材はこれにくらべて70~80%の剛性となる。

(2) 母材の断面

短柄接着仕口の場合はヒノキ、ベイツガともに断面増加による剛性の向上は顕著で、一辺の長さよりも断面積に比例している。

長柄差しでもそれに近い傾向だが、ヒノキ13.5cm角と12cm角の比較では上述より差が小さい。

L形金物のみの場合は、ベイツガについて短柄差しでは差がないが長柄差しでは断面積にほぼ比例して増加している。

(3) 柄の種類

ヒノキとベイツガの接着仕口では、長柄差しのほうが短柄差しより高い剛性を示すが、柄の長さに比例するほどではない。L形金物併用の場合でも同様である。

L形金物補強のみの場合も、長柄差しと短柄差しの差はヒノキでは若干見られるがベイツガ、スギではほとんど見られない。

(4) 接着方法

ヒノキについて長面のみに接着剤を施したものは、全面に塗った場合よりもやや剛性が低下するようであり、全面接着が好ましい。

(5) 接着とL形金物の併用効果

いずれの樹種についても、短柄差し、長柄差しともに剛性向上の効果が認められる。

(6) L形金物のみの補強

ヒノキ、ベイツガ共に接着仕口にくらべて剛性はかなり低い。

なお、初期ループ加力後の残留変形については、樹種、断面寸法による影響は少なく、すべての接着仕口はL形

金物補強のみの仕口に比較して1/5以下である。これは接着仕口の有用性を実証している。

[許容耐力]

変形角1/120radまたは1/60rad時の抵抗モーメントは、許容耐力または「使用耐力」の算定基礎となる。各種試験体の初期剛性(1/200rad時まで)の傾向は1/60rad時までほぼ同様な傾向で進行するので、その優劣比較は前項と同様となる。

[最大耐力]

(1) 母材の樹種

ヒノキ、ベイツガ、スギの順位であり、12cm角の短柄全面接着のものについては、100:90:69となる。長柄差しでは100:88:57となっている。

L形金物補強の場合ヒノキとベイツガの差は顕著でなく、短柄差しではヒノキのほうがむしろ弱いのが、この原因は明らかでない。

(2) 母材の断面

接着仕口のヒノキ母材の場合、13.5cm角と12cm角との耐力比は、短柄差しでは100:67、長柄差しでは100:83となっている。断面積の比は100:79である。ベイツガ母材の12cm角と10.5cm角の比較では、短柄差しで100:74、長柄差しでは100:64であった。断面積比は100:77であり、短柄差しではよく対応する。

(3) 柄の種類

接合金物にかかわらず、長柄差しの接着効果は顕著である。長柄接着仕口は、同条件の短柄差しにくらべて1.5倍から約2倍の最大耐力を示している。

(4) 接着方法

ヒノキ12cm角について、長面のみに接着したものは全面接着にくらべて短柄差しでは79%、長柄差しでは88%の耐力比である。接着面の影響は、短柄差しのほうが大きいと言える。

(5) 接着とL形金物の併用効果

12cm角の短柄差しについて、ヒノキでは27%、ベイツガでは20%、スギでは16%の併用効果が認められた。長柄差しの場合はそれぞれ22%、10%、26%であり、これらを通観して母材樹種による差異はあまりないと思われる。

いずれの場合も接着と金物の単独耐力の加算値には及ばないが相応の効果はある。

(6) 長柄差しへの釘打効果

長柄接着仕口にN90釘を打ったものは僅か数%の向上がみられたが打込んだ釘が変形時に長柄を割る傾向があり、大きな効果は認められない。

[粘り強さ(エネルギー吸収量)]

本実験では1/8radという大変形まで加力したが、そこまでのエネルギー吸収量を粘り強さの一つの指標とし、一応の評価ができる。これにより、接着仕口が一

の常識よりもかなり高い粘り強さをもっていると言うこともできるが、 $1/8$ rad 変形までに、接着面の破壊でなく柄の折損により急激な荷重低下を起すものも多くみられる。しかし、木造住宅において粘り強さを論じる場合は $1/60$ rad 程度の変形を考慮すれば十分であると思われる、その時点では著しい荷重低下はほとんどみられない。したがって、エネルギー吸収量を用いた粘り強さの評価は妥当であると判断した。

(1) 母材の樹種

接合方法を問わずヒノキとベイツガでは粘り強さの点ではほぼ同等だが、スギはほとんどの試験体で柄が折損したためかなり低い値となった。

(2) 母材の断面

断面の大きさに準じて粘り強さも高まる。それは断面積比またはそれ以上の割合であり、仕口の靱性には断面寸法が大きく影響することがわかる。

(3) 仕口の種類

ヒノキ、ベイツガの接着仕口では、長柄差しは短柄差しの約2倍の粘り強さをもつ。

(4) 接着方法

長面のみの場合と全面接着との粘り強さの比較は短柄差しでは顕著で約1.5倍だが、長柄差しではあまり差異がない。

(5) 接着とL形金物の併用効果

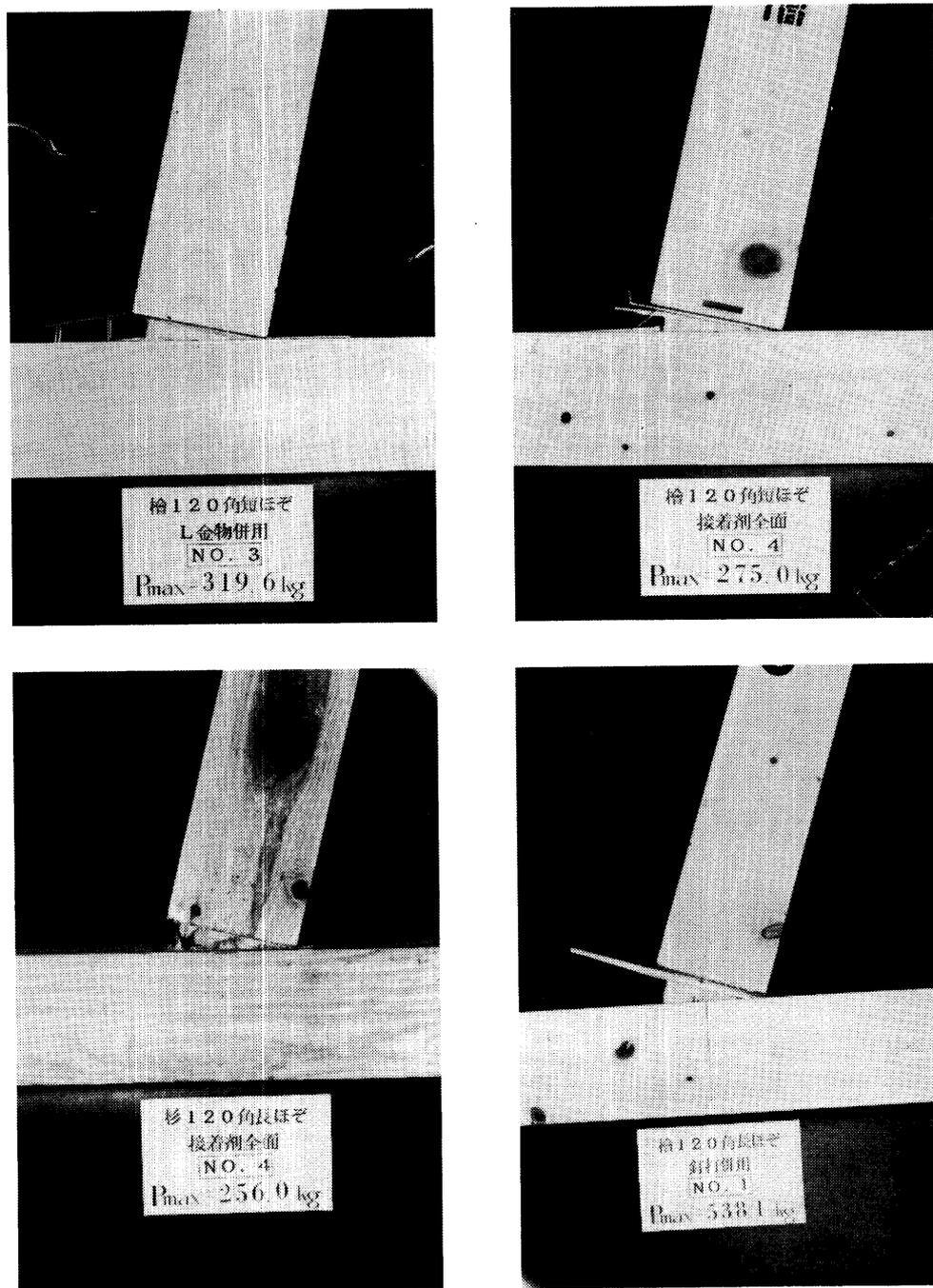


写真5-1 試験体破壊状態

短柄差しでは1.5倍程度に向上するが、長柄差しでは1.2～1.3倍程度の増加にとどまる。

(6) 長柄差しへの釘打効果

最大耐力と同様にいくらかの向上がみられる程度である。

[破壊状態]

(1) 母材の樹種

長柄差しでは1/8 rad 変形までにスギ母材の多くは柄が折損するが、ヒノキ、ベイツガでは折れずに引張側から抜ける場合も多い。

(2) 母材の断面

断面の小さいものほど折損率は高い。

(3) 柄の種類

短柄差しでは柄が抜ける傾向があり、長柄差しではスギの多くとヒノキ、ベイツガの約半数で1/8 rad 変形時までに折損する傾向がみられた。

(4) L形金物のみの補強

例外なく土台側の接合釘が抜け、柄の抜けと連動して金物の角度が開いて破壊に至る。ヒノキでは釘が抜けるときに段階的に抵抗が止まるのでM- θ 曲線では鋸歯状の形を見せる。

(5) 接着仕口

接着された柄が引抜きに対して烈しく抵抗して柄穴の加力側を引っ張り、押し上げるために、この部分が割裂して破壊に至るものがある(短柄差し)。柄の接着が極めて強固な場合は柄が折れるわけだが(長柄差し)、スギのように曲げ強さの比較的小さいものにこの現象が起りやすい。このようにして多くの試験体は柄の引抜けと折損のいずれかが起こることによって終息する。

(6) L形金物の併用効果

柄が抜けても折れてもL形金物の接合でバックアップされて1/8 rad 以上に至るまで隅角はかなりの抵抗力をもつ。なお水平耐力に貢献することは、これがない場合と比較しても明らかである。

[許容耐力の試算]

考察5-5にあったように、本実験の結果から1/120 rad 及び1/60rad 時の抵抗モーメントにバラツキ係数を乗じることにより、接着仕口の許容抵抗モーメント、及び上下に横架材をもつ柱1本の許容水平耐力が試算された。

これを利用することにより、木造住宅において筋違い耐力壁を省略した構造の可能性が十分に認められる。

これらのデータを基礎として、接着剤を利用した「美しい木造住宅」の実現にむけて、さらに研究が進められていくことを望むものである。

<参考文献>

- 1) 飯塚五郎蔵, 高橋喜代志: 木造仕口の剛節度の実験(1)伝統構法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和60年11月
- 2) 飯塚五郎蔵, 高橋喜代志: 木造仕口の剛節度の実験(2)現代構法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和60年11月
- 3) 飯塚五郎蔵, 立花正敏: 木造仕口の剛節度の実験(3) L形金物接合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和61年8月
- 4) 佐藤日出男: 大作業の実技, 理工学社
- 5) 住宅金融公庫監修: 木造住宅の施工一公庫仕様書サブノート, 住宅金融普及協会, 昭和61年6月
- 6) 高分子学会接着科学委員会: 接着理論と応用, 丸善, 昭和60年9月
- 7) 田中克章: 木構造接合部の剛節度, 昭和55年度横浜国立大学工学部修士論文
- 8) 飯塚五郎蔵: 住宅デザインと木構造, 丸善, 昭和57年10月
- 9) 佐久間田之助: 日本建築工作法, 吉田工務所出版部, 昭和59年9月
- 10) 中善寺登喜次: 図解木造の骨組みと仕上げ, 近代建築工房, 昭和54年

<研究組織>

主査	飯塚五郎蔵	横浜国立大学名誉教授 昭和女子大学教授
委員	安宅信行	横浜国立大学助手
	高橋茂男	浅野工学専門学校助教授
	立花正敏	横浜国立大学大学院生
	榎本裕久	横浜国立大学大学院生
	高橋喜代志	横浜国立大学大学院研究生