

組立柱を用いた壁体のせん断耐力

工 藤 修

On the Racking Resistance of a Wall with Spaced Columns

Osamu KUDO

Racking tests were performed on traditional Japanese post-and-beam constructions in which spaced columns with horizontal braces for posts were used, and their resistance to racking was examined. The test results are summarized as follows:

- 1) When bracings 3 by 10.5cm were used as tensile braces, more than two nails had to be driven to connect a beam or sill and a bracing.
- 2) When a column was connected with the end of a beam or sill, the connecting part had to be reinforced with a stirrup.
- 3) When bracing plates were nailed to the wall, it had to be performed carefully with the arrangement of nails and bolts taken into consideration.
- 4) When frames built of bracing 3 by 10.5cm were used for compressive braces, the shear load factor K was recognized to be approximately 2.0.
- 5) When bracings were connected with bracing plates, the shear load factor was found to be approximately 1.5 in tensile to 2.5 in compressive.
- 6) Frames with steel rods 9mm in diameter used as braces had a shear load factor of about 3.0.
- 7) The wall covered with structural plywood 7.5mm thick had a shear load factor of about 3.5.

在来軸組工法の柱として添え板式すじかい柱を用いた壁体の水平せん断耐力試験を行い、組立柱を含む壁体の耐力について検討した。

試験結果を以下に要約する。

- 1) 断面 3cm × 10.5cm の木製すじかいを引張りにきかせるには、横架材へのくぎ打ち本数2本では不足である。
- 2) 横架材端部へ柱をとりつける場合、箱金物などで補強する必要がある。
- 3) すじかいプレートのとりつけにあたっては、くぎ、ボルトの位置を考え、慎重に行うことが大切である。
- 4) 断面 3cm × 10.5cm の木製すじかいを圧縮に用いた場合、壁倍率 K は約 2.0 となった。
- 5) 木製すじかいをすじかいプレートでとりつけた場合、壁倍率は 1.5 (引張り) ~ 2.5 (圧縮) であった。
- 6) 9mm 丸鋼を引張りすじかいとして用いた場合の壁倍率は 3.0 程度であった。
- 7) 片面に 7.5mm 厚構造用合板をくぎ打ちした壁体の壁倍率はほぼ 3.5 であった。

1. はじめに

先に、3種類のくぎ打ち組立柱の座屈試験を行い、各種計算式との比較、検討を行った¹⁾。

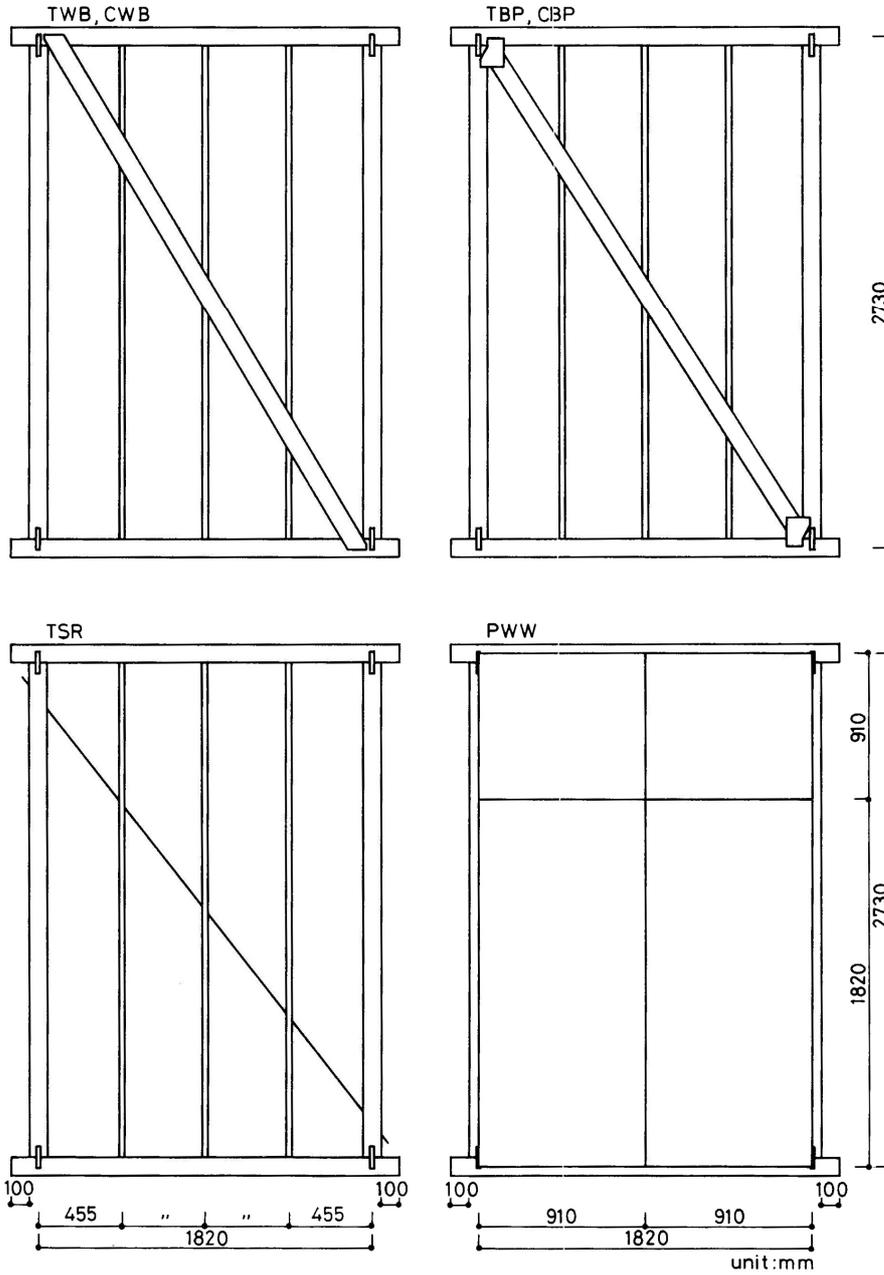
今回は、組立柱を含む壁体としての挙動を見るため、在来軸組工法の柱として添え板式すかし柱を用いた壁体の水平せん断耐力試験を実施し、組立柱と横架

材、組立柱とすじかいのとりあい、及び、壁体としての水平せん断耐力について検討した。

2. 試験方法

2.1. 試験体

試験体は第1図に示すように、幅1820mm、高さ



第1図 試験体の種類

2730mmの軸組で、柱と間柱の間隔は455mmである。柱としては断面45mm×105mmのエゾマツ平割材2枚を組み合わせた添え板式すじかき柱を用いた。添え板はエゾマツ18mm厚、幅10.5cmの小幅板で、長さ10.5cmに切断し、柱の5分点に配置し、くぎ打ちした。間柱の断面寸法は30mm×105mmであるが、合板張り壁体の合板継ぎ目にあたる部分のみ45mm×105mmとした。

使用したエゾマツ材の比重は0.336～0.483（平均0.406）、含水率は5.5～9.9%（平均6.9%）であった。

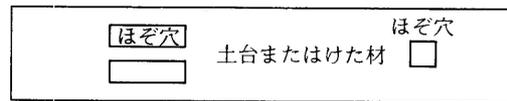
試験体はすじかき、荷重方向のちがいなどによる6種類（TWB、CWB、TBP、CBP、TSR、PWW）である。柱と横架材の接合は短ほぞ差し、両面ひら金物（SM-12）あて、ZN65くぎ4本打ち、間柱と横架材は短ほぞ差しのみとした。ほぞの形状を第2図に示す。各試験体の構成、荷重条件等について以下に記す。

TWB、CWB試験体：断面30mm×105mmのエゾマツ材をすじかきとして使い、横架材を欠きこみ、間柱を切り欠き、それぞれN75くぎ2本で打ちつけた。TWBは引張りすじかき、CWBは圧縮すじかきとなるように荷重した。

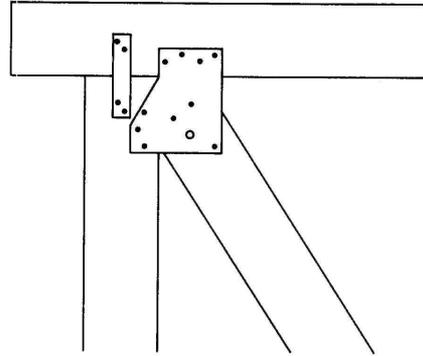
TBP、CBP試験体：断面30mm×105mmのエゾマツ材をすじかきとして使い、柱、横架材につきつけとし、すじかきプレートどめ、間柱は切り欠き、N75くぎ2本打ちとした。すじかきプレートはZN65くぎ10本及び角根平頭ボルト（M12）1本でとめつけた（第3図参照）。TBPは引張りすじかき、CBPは圧縮すじかきとなるように荷重した。

TSR試験体：すじかきとして9mm丸鋼を用い、間柱に穴あけ差し通し、柱に座金ぼりねじどめとした。荷重は引張りすじかきとなるように加えた。

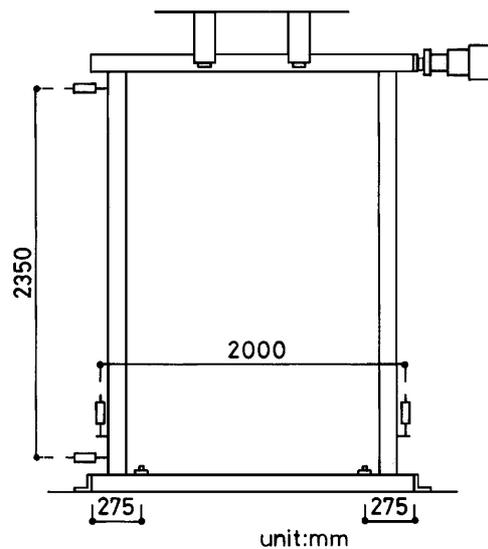
PWW試験体：7.5mm厚構造用合板をCN50くぎで外周100mm間隔、内部200mm間隔で打ちつけた。合板のたて方向継ぎ目には厚さ45mmの受け材をN75くぎ2本で取り付けた。



第2図 ほぞの形状



第3図 すじかきプレートのとりつけ



第4図 水平せん断試験装置

2.2. 実験方法

水平せん断耐力試験は第4図に示すように、JIS A 1414面内せん断試験（B）によって行った。

試験体は各条件4体ずつとし、1体は単調増大で最

大荷重まで、他の3体は、最大荷重の約1/4, 2/4, 3/4の各荷重段階で除荷し再負荷を行う一方向繰り返し荷重とし、最後に最大荷重まで負荷した。

変位は水平方向について壁体の上下1カ所、垂直方向については壁体の左右1カ所に変位計をとりつけ測定した(第4図参照)。これから、見かけのせん断変形 γ_1 、回転による変形 γ_2 はそれぞれ次式のようになる。

$$\gamma_1 = \frac{H_{上} - H_{下}}{2350} \dots\dots\dots (1)$$

$$\gamma_2 = \frac{V_{左} + V_{右}}{2000} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $H_{上}$: 上部変位形による水平変位 (mm)
 $H_{下}$: 下部変位形による水平変位 (mm)
 $V_{左}$: 左側変位形による垂直変位 (mm)
 $V_{右}$: 右側変位形による垂直変位 (mm)

また、真のせん断変形 γ_3 は
 $\gamma_3 = \gamma_1 - \gamma_2 \dots\dots\dots (3)$

で求められる。

3. 結果及び考察

水平せん断試験結果を第1~2表に、破壊形態を第3表に、壁倍率計算値を第4表に示す。また、各試験体ごとに、代表的なP- γ_1 曲線を第5~10図に示す。

水平せん断試験結果を見ると、一部にせん断変形の極端に小さなものが見うけられるが、その理由については明らかではない。また、CWB4は一部ひら金物の打ち忘れにより、柱の引き抜けが生じ小さな荷重で破壊してしまった。それがなければ他の試験体と同様な値が得られたものと思う。TSR4もすじかいボルトをとりつけるための柱への欠きこみ角度が不適切であったため、途中でボルトがはずれてしまい試験を中断した。すじかいボルトのとりつけが適切であれば、最大荷重は1000kgを超えたものと考えられる。

真のせん断変形 γ_3 について見ると、回転による変形が大きく、荷重の増大に対し途中から減少したりマ

第1表 水平せん断試験結果 (γ_1)

試験体 No.	せん断変形 γ_1 に対応する荷重 P (kg)							P_{max} (kg)	$\frac{2}{3} P_{max}$ (kg)	$P_{\frac{1}{2}\gamma_{max}}$ (kg)
	$\frac{1}{600}rad$	$\frac{1}{300}rad$	$\frac{1}{200}rad$	$\frac{1}{150}rad$	$\frac{1}{120}rad$	$\frac{1}{100}rad$	$\frac{1}{60}rad$			
TWB 1	330							407	271	318
2	134	198	240	281	290	336		394	263	285
3	158	246	275	352				393	262	260
4	199	283	330	346				347	231	285
CWB 1	127	327	493	594	664	699		730	487	554
2	230	511	684	777				797	531	607
3	246	384	488	580	654	715		730	487	435
4	160	208	220					256	171	198
TBP 1	160	268	366	439	500	536		556	371	451
2	157	275	381	447	526	565	610	662	441	603
3	536	732						737	491	541
4	122	216	295	362	420	463	621	683	455	484
CBP 1	525	779						791	527	534
2	407	912						995	663	355
3	161	302	502	673	784	861		899	599	540
4	268	572	792	930				975	650	675
TSR 1	156	363	628	862	954	1044		1176	784	837
2	112	280	586	778	937	1008	1260	1327	885	742
3	650							1050	700	270
4	132	281	426	520	603	676	880	883	589	604
PWW 1	442	779	1054	1210	1224	1336		1356	904	1074
2	464	705	869	1008				1090	727	774
3	428	719	926	1087	1165	1306		1558	1039	1170
4	346	614	800	966	1097	1156	1430	1531	1021	1175

注) P_{max} : 最大せん断荷重 $P_{\frac{1}{2}\gamma_{max}}$: 最大せん断荷重時変形の1/2に対応するせん断荷重

第2表 水平せん断試験結果 (3)

試験体 No.	せん断変形 γ_3 に対応する荷重 P (kg)						P_{max} (kg)	$\frac{2}{3} P_{max}$ (kg)	$P_{\frac{1}{2}\gamma_{max}}$ (kg)
	$\frac{1}{600}$ rad	$\frac{1}{300}$ rad	$\frac{1}{200}$ rad	$\frac{1}{150}$ rad	$\frac{1}{120}$ rad	$\frac{1}{100}$ rad			
TWB 1							407	271	
2	207	276	304	357			394	263	297
3	243						393	262	201
4	262						347	231	280
CWB 1	207	499	636	700			730	487	567
2	344						797	531	322
3	390						730	487	191
4	201	230					256	171	194
TBP 1	196	328	431	506	530	543	556	371	462
2	193	345	432	532	581	618	638	441	609
3							737	491	
4	142	261	358	440	502	558	683	455	487
CBP 1							791	527	
2							995	663	
3	183	399	755				899	599	302
4	435						975	650	75
TSR 1	571						1176	784	239
2	200	899	1078	1220	1280	1295	1327	885	969
3							1050	700	
4	180	398	568	694	824		883	589	567
PWW 1	713	1131	1322				1356	904	1011
2	749						1090	727	732
3	680	1033	1237	1405	1536		1558	1039	1173
4	673	994	1170	1376	1503		1531	1021	1124

注) P_{max} : 最大せん断荷重 $P_{\frac{1}{2}\gamma_{max}}$: 最大せん断荷重時変形の 1/2 に対応するせん断荷重

第3表 破壊形態

試験体 No.	破壊形態
TWB 1	すじかい上部のくぎ引き抜け
2	すじかい上・下部のくぎ引き抜け
3	同 上
4	同 上
CWB 1	上部横架材のすじかい取り付け部より割裂
2	同 上
3	同 上
4	ひら金物打ち忘れ, 柱の引き抜け
TBP 1	すじかいプレート取り付け部より柱の割裂
2	同 上
3	すじかい下部のボルト穴より割裂
4	すじかい上部のボルト穴より割裂
CBP 1	引張り側柱下部のひら金物くぎ打ち部より土台の割裂
2	同 上
3	同 上
4	同 上
TSR 1	引張り側柱下部のひら金物くぎ打ち部より土台の割裂
2	同 上
3	同 上
4	すじかいボルトのはずれ
PWW 1	引張り側柱下部のひら金物くぎ打ち部より土台の割裂
2	同 上
3	同 上
4	同 上

イナスになるものもあった。その理由としては、アンカーボルトの伸びや座金のめりこみ、土台の割裂などによって、浮き上がり変形が大きく出たことが考えられる。したがって、測定値としては不十分であるので、第2表に示す数値は参考値にとどめる。

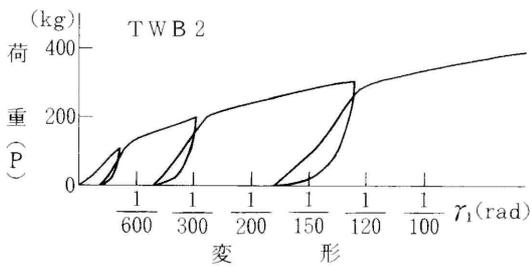
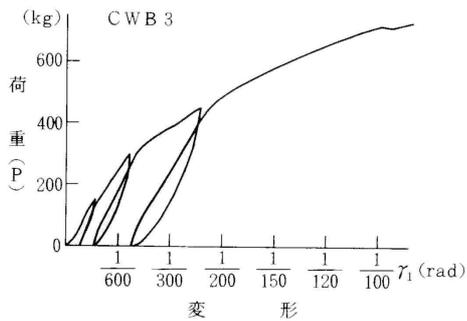
破壊形態を見ると、TWB試験体はすじかいの横架材へのとめつけ部でくぎの引き抜けにより破壊している。くぎ打ち本数をふやすことで改善する必要がある。CWB試験体は上部横架材の割裂で、CBP、TSR及びPWW試験体は土台の割裂により破壊している。このように、横架材の端部ではすじかいや、ひら金物と取り付け部より割裂が生じやすいので、横架材端部へ柱をとりつける場合には、箱金物などで補強する必要がある。TBP試験体はすじかいプレートをとりつけたくぎまたはボルト穴から柱、すじかいの割裂を生じている。すじかいプレートのとりつけにあたっては、くぎ、ボルトの位置を考え慎重に行うことが大切である。

軸組の耐力を表すために壁倍率が用いられる。壁倍率は大ぬき片すじかいの場合を標準(1.0)とし、他

第4表 壁倍率

試験体 No.	γ_1 に対応する壁倍率				γ_3 に対応する壁倍率			
	$K_{\frac{1}{200}}$	$K_{\frac{1}{120}}$	$K_{\frac{1}{60}}$	K'	$K_{\frac{1}{200}}$	$K_{\frac{1}{120}}$	$K_{\frac{1}{60}}$	K'
TWB 1				0.86				0.94
2	0.76	0.92		0.76	0.96			0.83
3	0.87			0.82				0.64
4	1.05			0.73				0.73
CWB 1	1.56	2.10		1.54	2.02			1.54
2	2.17			1.68				1.02
3	1.55	2.07		1.38				0.60
4	0.70			0.54				0.54
TBP 1	1.16	1.58		1.16	1.37	1.68		1.18
2	1.21	1.67	1.93	1.21	1.37	1.84	2.02	1.37
3				1.56				1.56
4	0.94	1.33	1.97	0.94	1.13	1.59		1.13
CBP 1				1.67				1.67
2				1.12				2.10
3	1.59	2.48		1.59	2.39			0.96
4	2.51			2.06				0.24
TSR 1	1.99	3.02		1.99				0.76
2	1.86	2.97	3.99	1.86	3.42	4.06		2.80
3				0.86				2.22
4	1.35	1.91	2.79	1.87	1.80	2.61		1.80
PWW 1	3.34	3.88		2.87	4.19			2.87
2	2.75			2.30				2.30
3	2.94	3.69		2.94	3.92	4.87		3.29
4	2.54	3.48	4.53	2.54	3.71	4.76		3.24

注) $K_{\frac{1}{200}}$, $K_{\frac{1}{120}}$, $K_{\frac{1}{60}}$: それぞれ, せん断変形 $1/200\text{rad}$, $1/120\text{rad}$, $1/60\text{rad}$ に対応する壁倍率
 K' : 杉山³⁾の提案する許容せん断荷重に対応する壁倍率

第5図 P - γ_1 曲線 (TWB 2 試験体)第6図 P - γ_1 曲線 (CWB 3 試験体)

のものはそれに対する倍率をもって表される²⁾。
 壁倍率 K は次式で計算される。

$$K = P_{\frac{1}{200}} \text{ (または } P_{\frac{1}{120}}, P_{\frac{1}{60}}) \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{1.82} \times \frac{1}{130} \dots\dots\dots(4)$$

ここで, $P_{1/200}$, $P_{1/120}$, $P_{1/60}$ は壁体の変形がそれぞれ $1/200\text{rad}$, $1/120\text{rad}$, $1/60\text{rad}$ 時の荷重, $3/4$ はバラツキによる低減, 1.82 は壁長, 130 は基準せん断力を表す。

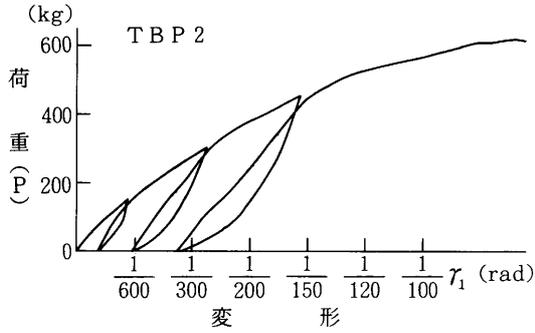
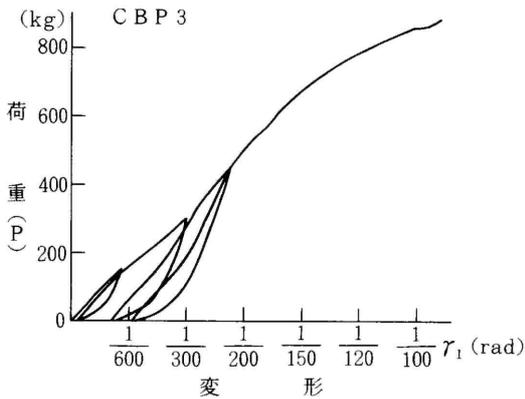
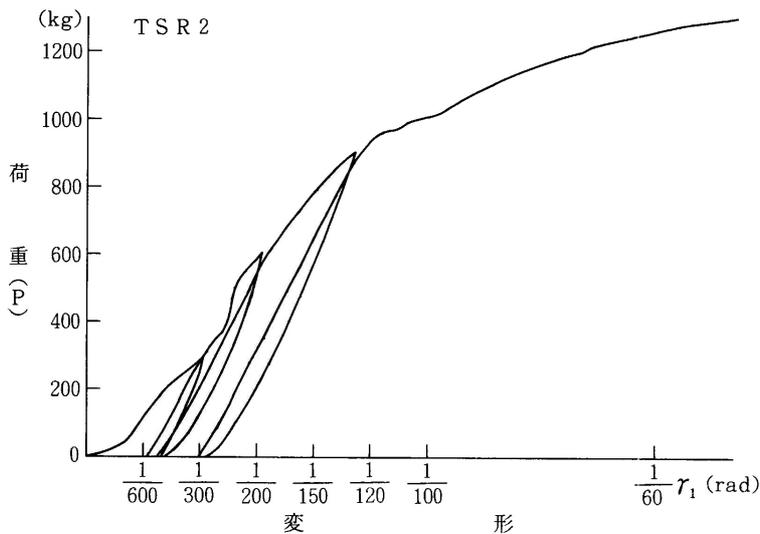
杉山³⁾は軸組壁の耐力について

$$= 1/200 \text{ に対応するせん断荷重}$$

$$\text{最大せん断荷重の } 2/3$$

$$\text{最大せん断荷重時せん断ひずみの } 1/2 \text{ に対応するせん断荷重}$$

のうち最小値を許容せん断荷重とすることを提案している。この許容せん断荷重の値を用いて算出した壁倍率 K' を第4表に示す。

第7図 P- γ_1 曲線 (TBP 2試験体)第8図 P- γ_1 曲線 (CBP 3試験体)第9図 P- γ_1 曲線 (TSR 2試験体)

第1表及び第4表から、水平せん断耐力について考察してみる。なお、変形の極端に小さかったもの (TWB1, TBP3, CBP1, CBP2, TSR3) 及びCWB4 (ひら金物打ち忘れ), TSR4 (すじかいボルトのはずれ) は除外することとする。また、在来軸組工法で同様な実験^{*}を行った平嶋ら⁴⁾⁵⁾及び杉山ら⁶⁾の壁倍率K, さらに建築基準法施行令 (以下, 施行令という), 建設省告示1100号 (以下, 告示という) の値とも比較してみる。

ここで、現行の許容せん断耐力決定の基準変位は $\gamma_1 = 1/120\text{rad}$ または $\gamma_3 = 1/300\text{rad}$ となっている⁷⁾ので、壁倍率 $K_{1/120}$ を中心に比較, 検討する。

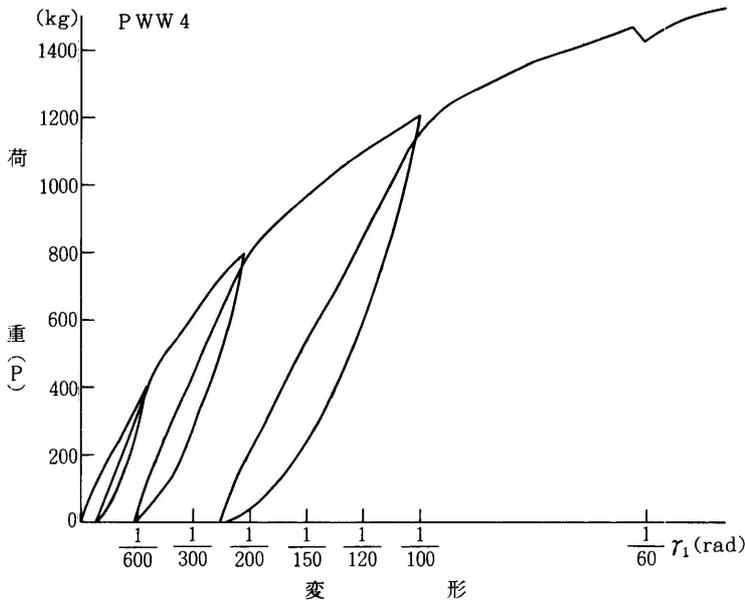
TWBは $K_{1/120} = 0.92, K' = 0.77$, CWBは $K = 2.08, K' = 1.53$ である。このすじかいIIは三ッ割材に相当するが、それに対応する平嶋の結果は $K_{1/120} = 1.51$, 杉山の結果は $K_{1/150} = 1.60$ である。また、施行令では $K = 1.5$ となっている。TWBは前述のように、くぎ打ち本数が少なかったために小さな値となったものであるが、TWB, CWBを総合的にみると、

従来の結果とほぼ同等であるといえる。

TBPは $K_{1/120} = 1.53, K' = 1.10$, CBPは $K_{1/120} = 2.48, K' = 1.82$ である。平嶋の結果では $K_{1/120} = 1.64$, 施行令では $K_{1/120} = 1.5$ となり、これも同等以上の値を示している。

TSRは $K_{1/120} = 3.00, K' = 1.92$ である。平嶋の結果では $K_{1/120} = 2.92$, 施行令では $K = 1.0$ であり、平嶋の結果と同等, 施行令の値よりは相当大となっている。

* 柱としては正角材を用いており、すじかいIIは引張り、圧縮両方向に入っている。試験方法は載荷式で、正負の交番荷重方法である。

第10図 P- δ 曲線 (PWW4試験体)

PWWは $K_{1/120}$ 3.68, K' 2.66である。平嶋の結果は $K_{1/120}$ 3.44, 杉山の結果は $K_{1/150}$ 4.12, また, 告示では $K=2.5$ となっており, 今回の試験結果は平嶋の結果と同等, 杉山の結果よりはやや小, 告示の値を若干上回っている。

以上の結果から, 組立柱を含む壁体についても, ソリッド材柱を用いた在来軸組工法と同等の水平せん断耐力を期待することができると思われる。

なお, 杉山³⁾の提案についてみると, 今回の実験結果では $1/120$ 時の荷重で規制されるものが約半数であったこと, 最大変形がやや小さ目であったこと, 前述のように現行の許容せん断耐力決定の基準変位が $\delta_1 = 1/120$ radであることなどから, 厳しい評価となっている。

4. まとめ

在来軸組工法の柱として添え板式すかし柱を用いた壁体の水平せん断耐力試験を行い, 組立柱を含む壁体の耐力について検討した。その結果, 以下のことが明らかとなった。

1) 断面 $3\text{cm} \times 10.5\text{cm}$ の木製すじかいを引張りにきかせるためには, 横架材へのくぎ打ち本数2本では不

足であり, 本数をふやす必要がある。

2) 横架材端部へ柱をとりつける場合, 割裂をおさえるために, 箱金物などによる補強が必要である。

3) すじかいプレートのとりにけにあたっては, 柱及びすじかいの割裂防止のため, くぎ, ボルトの位置を考え, 慎重にとりつけることが必要である。

4) 断面 $3\text{cm} \times 10.5\text{cm}$ の木製すじかいを圧縮に用いた場合の壁倍率は $K=2.0$ となり, 従来の試験結果とほぼ同

等であった。

5) 木製すじかいをすじかいプレートでとりつけた場合, 壁倍率 $K=1.5$ (引張り)~ 2.5 (圧縮)で, これも従来の値とほぼ同等である。

6) 9mm丸鋼を引張りすじかいとした場合の壁倍率 $K=3.0$ も平嶋の結果と同等, 施行令の値よりは相当大であった。

7) 片面に 7.5mm 厚構造用合板をくぎ打ちした壁体の壁倍率 $K=3.5$ は従来の試験結果にほぼ等しく, 告示の値を若干上回っている。

8) 全体として, 組立柱を含む壁体についても, ソリッド材柱を用いた在来軸組工法と同等の水平せん断耐力を期待することができると思われる。

9) 杉山の提案した水平せん断耐力評価法は, やや厳しい評価となる。

文献

- 1) 工藤 修: 林産試月報, 400, 6 (1985)
- 2) 建築基準法施行令, 第3章, 第3節, 第46条
- 3) 杉山英男: 日本建築学会論文報告集, 186, 14 (1971)
- 4) 平嶋義彦ほか3名: 木材学会誌, Vol. 27, No. 12

845~854 (1981)

5) 平嶋義彦ほか3名: 木材学会誌, Vol. 28, No. 2
97~106 (1982)

6) 杉山英男ほか2名: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1979~1980 (1977)

7) 有馬孝礼: ビルディングレター, No. 148, 4~6
(1981)

- 試験部 複合材試験科 -
(原稿受理 昭61.2.27)