

木造片流れ下屋の水平せん断挙動と最大耐力の評価

指導教官 井戸田秀樹

阿原 稔

1. 序論

木造在来軸組工法において2階外壁に取り付く下屋は、地震時に2階外壁から受けるせん断力を1階の耐力壁に伝達する水平構面として、耐震上重要な要素である。しかし下屋の力学的な性質については十分な研究が行われていないのが現状である。特に片流れ下屋は、屋根面でのせん断モードに加えて垂木の外壁からの引き抜けも生じるため、この破壊モードも含めた評価が不可欠である。

そこで本研究では、片流れ下屋についての水平構面としての力学的特性を把握するとともに、簡便な最大耐力の評価式を提案することを目的とする。

2. 片流れ下屋の水平せん断実験

2.1 実験概要

地震時を想定して、片流れ下屋に水平せん断力が作用した時の下屋の挙動を実験的に明らかにする。

在来軸組工法として一般的に使用されるディテールを考慮し、実大モデルの試験体を対象として実験を行った。試験体一覧、概要を表1、図1に示す。推奨タイプは端垂木と柱を山形プレートで接続し、柱からの垂木の引き抜けに対して考慮した。載荷は、下屋に水平せん断力を作用させるため、桁両端に2本のオイルジャッキで交互に桁行方向に押し引きすることで、桁に材軸方向の繰り返し荷重を与えた。

2.2 実験結果

図2は各試験体についての載荷点における桁行方向変位 δ と荷重 P の関係を表したものである。いずれの試験体もスリップ型の履歴特性を示し、推奨タイプの試験体の最大耐力は、他を大きく上回った。

3. 片流れ下屋の水平せん断挙動に対する解析

3.1 垂木の引き抜け試験

2章より端垂木の2階柱からの引き抜けが下屋耐力に大きな影響を及ぼしていたため、ここでは柱、垂木の間係を実験的に明らかにする。

垂木の引き抜け量と荷重の関係を得るため、2階柱と垂木の接合部分のみをモデル化し、垂木せい、端垂木の接合を変化させたJ75-N、J45-N、J75-Rの3体の試験体を用意し、図3に示すような実験装置を用いて垂木の引き抜け試験を行った。図4はJ75-N、J75-Rの試験体についての垂木の引き抜け量 d と荷重 P の関係を表したものであり、図中に示すトリリニア直線によってモデル化した。表2は各試験体のトリリニア直線のパラメータである。

3.2 垂木の引き抜けを考慮した解析

垂木の柱からの引き抜けのみを考慮すると図5(a)

表1 試験体一覧

試験体名	屋根	屋根止め方	垂木断面	垂木止め方	端垂木の接合
75-N-A	構造用合板 厚=9mm	N38釘 @150	40×75 @450	2-N75釘 斜め打ち	通常
75-N-B		N38釘 @450	40×75 @450	2-N75釘 斜め打ち	
45-N		N38釘 @150	45×45 @450	N90釘 端天	
75-R		N38釘 @150	40×75 @450	2-N75釘 斜め打ち	推奨

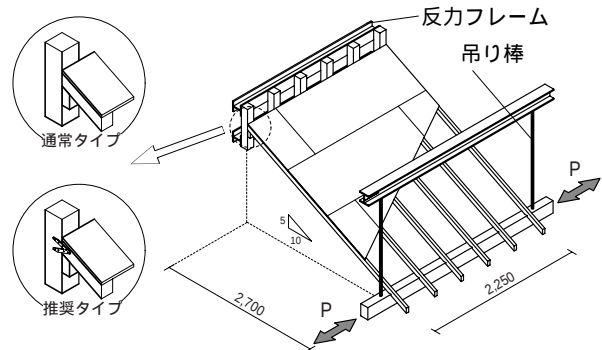


図1 片流れ下屋せん断実験実験概要図

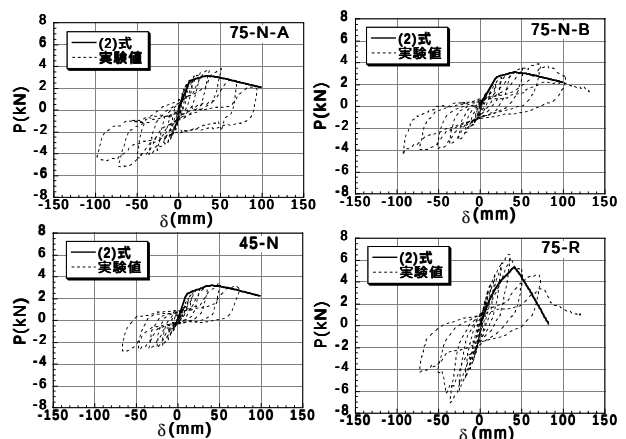


図2 片流れ下屋の荷重－桁行方向変位関係

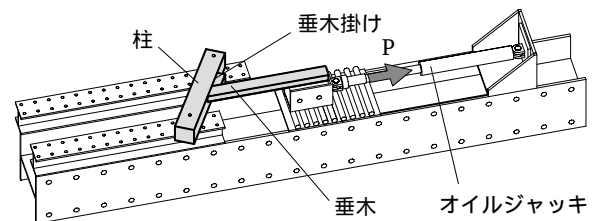


図3 垂木の引き抜け試験実験概要図

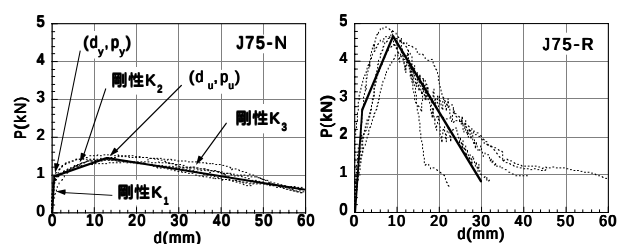


図4 垂木の荷重－抜け量関係

のような解析モデルとなる。 i 番目の垂木の引き抜け抵抗 p_i を、図4のトリリニアモデルを用いて $p_i=f(d_i)$ で表し、 d_i がA点からの距離に比例すると仮定すると、水平荷重 P と垂木の引き抜けによって生じる水平変位 δ_1 は、A点周りのモーメントのつりあい、および変形の適合条件より次式で表される。

$$P = \frac{d_1}{\delta_1} \sum_{i=1}^n f(d_i) \left\{ 1 - (i-1) \frac{l}{L} \right\} \quad (1)$$

n ：垂木の本数

3.3 屋根面の面内せん断挙動に基づく解析

屋根面の面内せん断のみを考慮すると図5(b)のような解析モデルとなる。 P と屋根面のせん断変形によって生じる水平変位 δ_2 の関係は任意釘配列の耐力壁について、一般的な形の定式化が既になされている¹⁾。

3.4 垂木のねじれを考慮した解析

垂木のねじれによって生じる下屋の水平変位 δ_3 について本研究では、既往の研究²⁾³⁾に基づいて評価する。

3.5 片流れ下屋全体の評価

以上3つの解析モデルより片流れ下屋の載荷点における桁行方向変位 δ は

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \quad (2)$$

と表される。(2)式によって計算された δ と P の関係を示したのが図2中の太線である。実験値と良く対応しており、この解析モデルの妥当性が証明されている。

4. 片流れ下屋の最大耐力評価法の提案

前章で示した解析モデルに基づき、本章では片流れ下屋の最大耐力について簡便な設計式の提案を行う。

2階柱からの垂木の引き抜けで決まる最大耐力 P_α は、ほぼ端垂木が最大耐力 p_u に達した時点で最大となることが2章の実験で確認されている。そこで(1)式において端垂木の変位 d_1 に垂木の引き抜け試験から求めた最大耐力時の変位 d_u を代入し、 i 番目の垂木の変位 $d_i(i=2, \dots, n)$ は最大耐力点(d_u, p_u)まで線形挙動をすると仮定する。このとき、 P_α は次式のように表される。

$$P_\alpha = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n f\left(\frac{n-i}{n-1} d_u\right) \{L - (i-1)l\} \quad (3)$$

また、屋根面の面内せん断で決まる最大耐力 P_β は既往の研究¹⁾によって表されている。片流れ下屋の最大耐力 P_{max} は P_α および P_β のうち小さい方で決定されることから、最終的に P_{max} は次式のように表される。

$$P_{max} = \min(P_\alpha, P_\beta) \quad (5)$$

実験で用いた片流れ下屋のディテールを基に、 L の値を変化させて P_{max} との関係を示したのが図6である。破壊形式が入れ替わる点で2本の曲線が交わり、 L が小さいとき $P_{max}=P_\alpha$ 、 L が大きくなると $P_{max}=P_\beta$ となる。

表3は、野地板厚さ、釘サイズ、端垂木の接合詳細、および垂木間隔ごとに、破壊形式が入れ替わる点の L/H を示したものである。設計においては、この表から最

表2 トリリニア直線パラメータ

	d_u (mm)	p_u (kN)	d_u (mm)	p_u (kN)	K_1 (kN/mm)	K_2 (kN/mm)	K_3 (kN/mm)
J75-N	0.617	0.957	13.10	1.432	1.551	0.038	-0.018
J45-N	0.946	0.872	16.86	1.508	0.922	0.040	-0.026
J75-R	1.799	2.713	9.084	4.650	1.508	0.266	-0.184

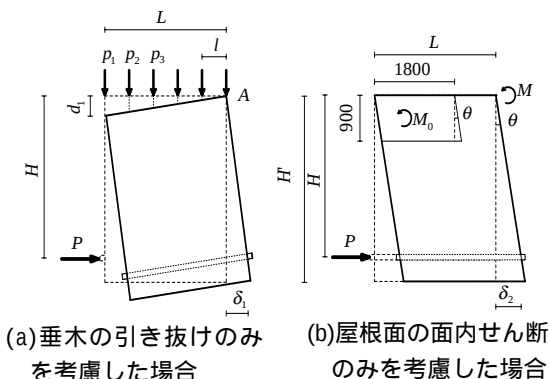


図5 解析モデル図

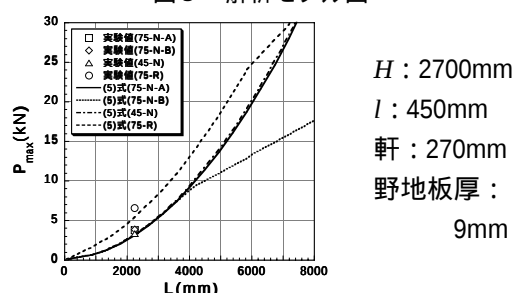


図6 片流れ下屋最大耐力とLとの関係

表3 片流れ下屋最大耐力の評価表

屋根	端垂木の接合	垂木の間隔	L/Hの値				
			2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
建築用合板 厚さ9mm N38くぎ	通常	300mm	$P_{max}=P_\alpha$	P_α	P_α	P_α	P_α
		450mm					
		600mm					
	推奨	300mm	$P_{max}=P_\beta$	P_β	P_β	P_β	P_β
		450mm					
		600mm					
建築用合板 厚さ12mm N50くぎ	通常	300mm	$P_{max}=P_\alpha$	P_α	P_α	P_α	P_α
		450mm					
		600mm					
	推奨	300mm	$P_{max}=P_\beta$	P_β	P_β	P_β	P_β
		450mm					
		600mm					

(垂木 40 × 75、釘間隔 150mm、軒 270mm)

大耐力を決定する評価式を決定することで、より簡便な評価が可能となる。

5. 結論

片流れ下屋の水平せん断による荷重変形は、垂木の引き抜け、屋根面の面内せん断、垂木のねじれによって概ね評価できる。また最大耐力は、垂木の引き抜け、屋根面の面内せん断の各最大耐力の小さい方で決まり、それをふまえた簡易的な最大耐力の評価式を提示した。

参考文献

- 1) 村上雅英、稲山正弘：任意の釘配列で打たれた面材壁の弾塑性挙動の予測式、日本建築学会構造論文集、第519号、87-93、1999年5月
- 2) 藤田晴子、稲山正弘、岩崎敏之、井戸田秀樹、村上雅英：在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発 その38 切妻屋根の水平面内剛性と終局耐力の簡易評価法の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年9月
- 3) 小島邦裕、井戸田秀樹、稲山正弘、岩崎敏之、村上雅英：在来軸組工法木造住宅の構造設計手法の開発 その42 釘の引き抜け抵抗を考慮した垂木の軒桁方向剛性、日本建築学会大会学術講演梗概集 2000年9月