

在来軸組構法におけるせん断パネルと軸材間の挙動に関する実験的研究

その2 弾塑性解析モデル用データの提示と垂木の転倒挙動を考慮した解析モデル

Experimental Study on Behaviour between Shearing Panel and Frame on Conventional Post and Beam Structure
Part 2 Analytical Data for Elasto-plastic Models and Analytical Model considering Rotation of Rafter

準会員 ○堀内 宏樹*3
正会員 井戸田秀樹*1
同 加藤 征宏*2

1. 序 論

在来軸組構法の建築物は施工者の経験的な判断によって安全性が決定されている場合が多い。しかし、比較的簡便な数値解析方法を提案し、それを普及させることにより、設計者あるいは施工者はさらに客観的な安全性の判断が可能になる。そのためには、実験結果に基づいた建物各部位の基礎的な力学的情報が汎用的な形でデータベース化される必要がある。

本報その2では、その1で述べた実験結果に基づき、せん断パネルと軸材間の挙動に関する完全弾塑性解析モデル用データを提示する。また、垂木の転倒に伴う破壊モードに対し、垂木の回転と釘の引き抜きを考慮した解析モデルを提示し、釘の引き抜き挙動と実験結果の対応を検討する。

形曲線の包絡線を作成し、単調載荷実験から目標降伏点を求めたのと同じ方法で点 (δ_y, P_y) を求め、この点と原点を結ぶ直線を初期剛性 K とする。また、 K の線分と X 軸と終局変位 δ_u ($0.8P_{max}$ まで耐力が低下した時点での変位、または最終載荷ループでの経験最大変位)時の線分および仮想降伏点荷重 P_u で囲まれた面積が、包絡線と X 軸と δ_u の線

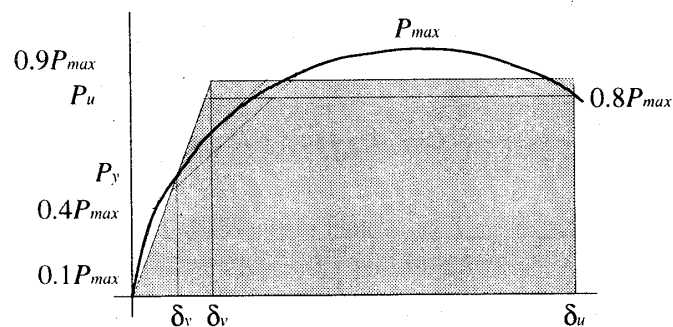


図1 完全弾塑性解析モデル置換法

2. 実験に基づく弾塑性解析モデルの提示

2-1 完全弾塑性モデル置換法

図1に示すように、繰り返し載荷実験結果から荷重-変

表1 完全弾塑性解析モデル用データ

| | Pmax(t) | Py(t) | delta y(mm) | K(t/mm) | Pu(t) | delta u(mm) | delta v(mm) | delta u/ delta v |
|---------|---------|-------|-------------|---------|-------|-------------|-------------|------------------|
| R45-0-s | 0.86 | 0.49 | 1.95 | 0.28 | 0.78 | 21.89 | 3.01 | 7.71 |
| R45-0-b | 1.27 | 0.72 | 2.95 | 0.25 | 1.16 | 21.73 | 4.73 | 4.59 |
| R45-1-s | 1.72 | 1.04 | 2.18 | 0.50 | 1.58 | 16.72 | 3.26 | 5.20 |
| R36-0-s | 0.47 | 0.27 | 4.14 | 0.07 | 0.44 | 40.39 | 6.82 | 5.98 |
| R36-0-b | 0.68 | 0.44 | 6.77 | 0.07 | 0.64 | 40.29 | 9.81 | 4.44 |
| R36-1-s | 1.49 | 0.85 | 3.77 | 0.23 | 1.36 | 26.11 | 5.99 | 4.36 |
| L45-0-s | 0.67 | 0.41 | 1.77 | 0.23 | 0.67 | 31.00 | 2.88 | 10.89 |
| L45-1-b | 1.36 | 0.74 | 1.91 | 0.39 | 1.25 | 17.88 | 3.22 | 5.55 |
| L45-1-s | 1.06 | 0.56 | 1.81 | 0.31 | 0.98 | 16.92 | 3.15 | 5.39 |
| L36-0-s | 0.62 | 0.30 | 6.43 | 0.05 | 0.47 | 37.14 | 10.10 | 3.73 |
| L36-1-b | 1.56 | 0.86 | 2.71 | 0.32 | 1.40 | 13.28 | 4.38 | 3.07 |
| L36-1-s | 1.03 | 0.54 | 2.19 | 0.24 | 0.93 | 16.88 | 3.81 | 4.41 |

*1 名古屋工業大学社会開発工学科建築系助教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Nagoya Inst. of Tech., Dr. Eng.

*2 愛知産業大学造形学部建築学科教授・工博

Prof., Dept of Architecture, Aichi Sangyo Univ., Dr. Eng.

*3 名古屋工業大学社会開発工学科建築系学部生

Student, Dept. of Architecture, Nagoya Inst. of Tech.

分に囲まれた面積と同じになるように P_u を設定した。なお、 P_u 到達時の変位を δ_v とした。

2-2 完全弾塑性モデルの考察

実験から得られた完全弾塑性解析モデルの各パラメータを表1に示す。

Rシリーズの耐力に関しては転び止めの効果が大きく現れており、すぎどうしで比較すると P_{max} , P_y , P_u ともにR45で約2倍、R36で約3倍の耐力上昇が確認できた。また、垂木せいによる影響も大きく、転倒モーメントの大きいR45の方が約2倍高い耐力を示した。なお、樹種ごとの比較では、全体的にすぎよりもべいまつの方が高い値を示した。初期剛性に関しては転び止めの影響は非常に大きく、R45で約2倍、垂木せいの高いR36では3倍の上昇が見られた。一方、変形に関しては δ_y , δ_u , δ_v に関しては垂木せいの高いR36シリーズが全般的に大きくなっているが、塑性率 δ_u/δ_v では、転び止めの有無や垂木せいによる有意な傾向は見られなかった。

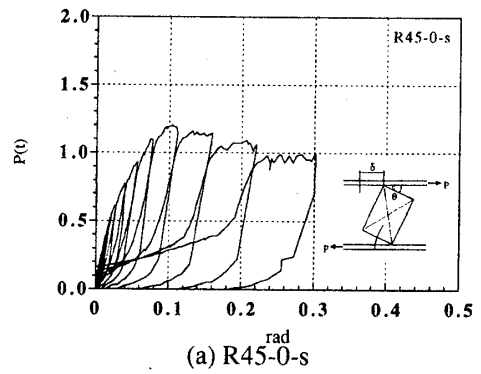
Lシリーズについては、荷重変形関係の考察で述べたとおり、下屋の破壊性状は基本的に屋根のRシリーズと同様であるため、各実験パラメータの影響もRシリーズとほぼ同様の傾向が見られた。 P_{max} , P_y , P_u に関しては、L45, L36シリーズともに転び止めによる上昇が約1.5倍、樹種による差もほぼ1.5倍となっている。

3. 垂木の回転と釘の引き抜きを考慮した解析モデル

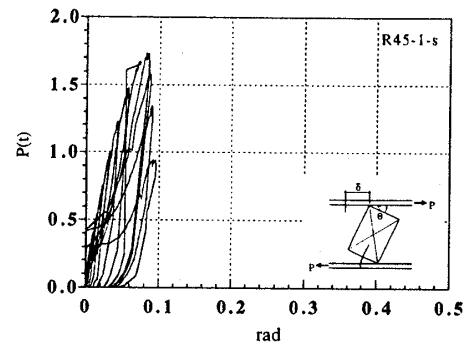
転び止めのある試験体では基本的に破壊性状が釘の一面せん断に伴う引き抜けのため、釘の一面せん断挙動でせん断パネルと軸材間の挙動も概ね説明できる。図1はR45シリーズの試験体において、転び止めがある場合とない場合の垂木の回転角を比較したものである。転び止めがない試験体R45-0-sでは垂木が大きく回転変形しているのに対し、転び止めを付けた試験体R45-1-sではいずれの荷重履歴でも垂木回転角は0.1rad以内に納まっている。したがって、転び止めのない部材では垂木の回転と、それに伴う釘の引き抜けが同時に発生するため、この2つの挙動を考え合わせる必要がある。本章では、この垂木の回転と釘の引き抜きを考慮した解析モデルを提示し、それに基づいた実験データの評価を試みる。

せん断パネルと軸材間に作用したせん断力 P によって垂木が θ 回転した状態を考えると、垂木の回転モーメントに関して次のつり合い式が成立する(図2参照)。

$$\begin{aligned}
 P \sin \theta \cdot \sqrt{b^2 + h^2} &= (T_1 + T_2) \cdot \frac{b}{2} & (\theta < 90^\circ) \\
 P \sin \theta &= \min(T_1, T_2) & (\theta > 90^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



(a) R45-0-s



(b) R45-1-s

図1 垂木の倒れ角と載荷荷重の関係

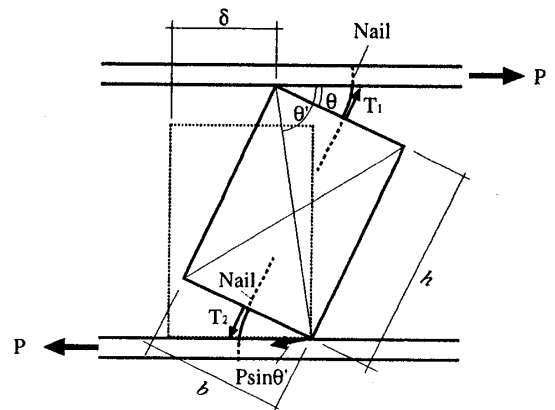


図2 垂木の回転と釘の引き抜きを考慮したモデル

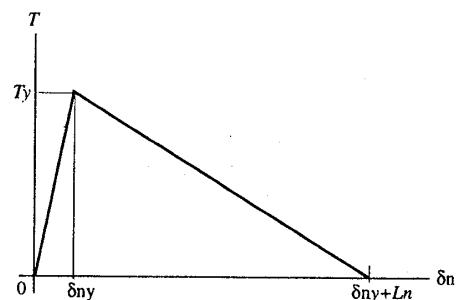


図3 釘の引き抜き挙動の解析モデル

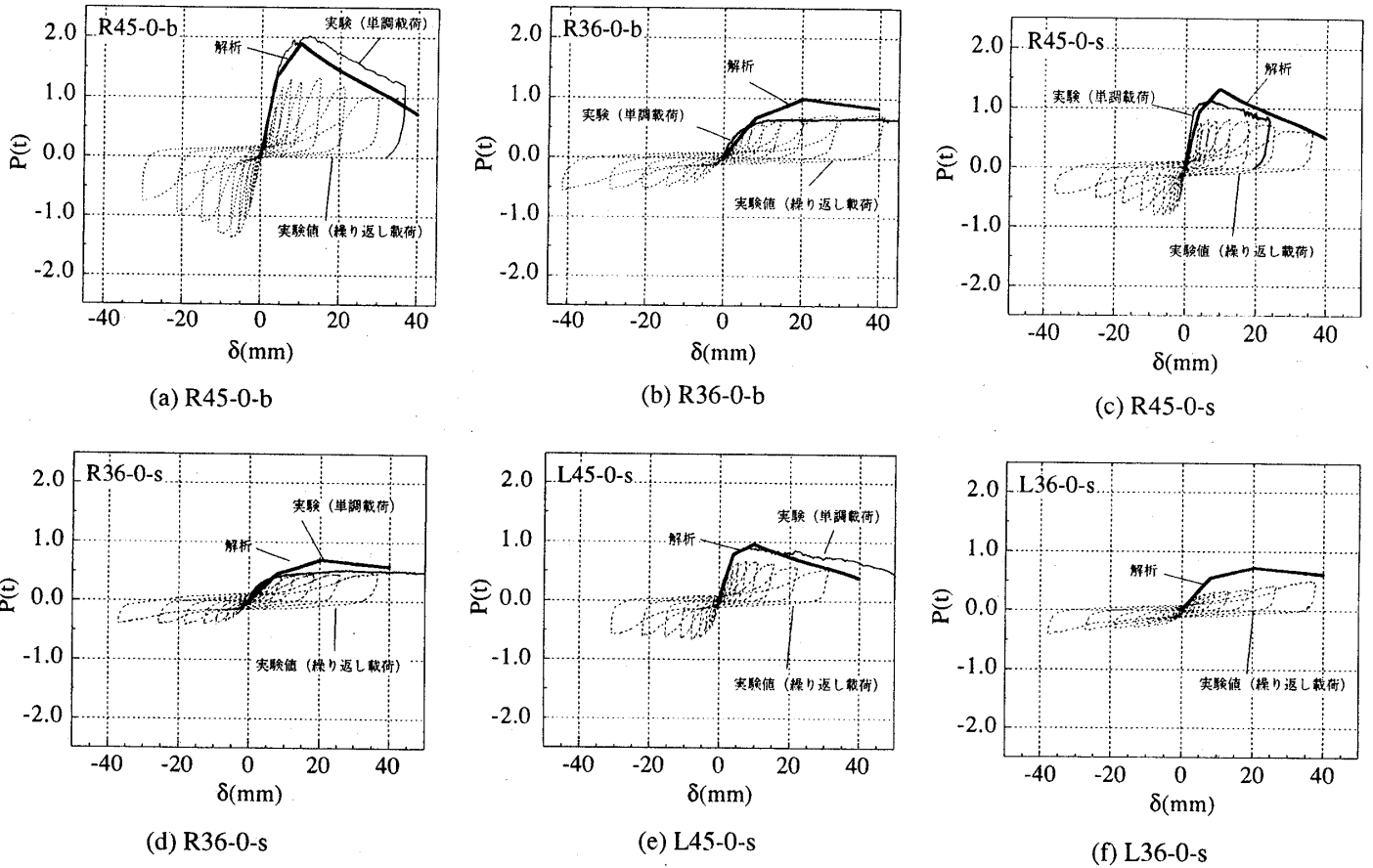


図4 解析結果と実験結果の対応

ここに

b : 垂木幅

h : 垂木せい

θ' : 垂木の対角線と屋根面のなす角度

T_1 : 垂木上面に打たれた釘の引き抜き力

T_2 : 垂木下面に打たれた釘の引き抜き力

である。釘の引き抜きに対する抵抗力については、釘が木材と接する面積にほぼ比例することが報告されており、これに基づき図3に示すような荷重変形関係で T_1 および T_2 をモデル化する。 T_1 および T_2 のモデル化にあたっては釘と木の接触面積と引き抜き力の関係をべいまつに対して 33.0kg/cm^2 、すぎに対して 23.1kg/cm^2 とした。図中 δ_y は釘接合部分の初期のがたを考慮した初期変形量、 L_n は釘の打ち込み長さである。 δ_y はCN45釘に対して5mm、CN90釘に対して2mmと設定した。釘の引き抜き長さ δ_n と、母屋に対する屋根面の相対変位 δ の間には変形の適合条件から

$$\delta_n = \sin^{-1} \frac{\delta}{h} \cdot \frac{b}{2} \quad (2)$$

の関係がある。

(1)(2)式より得られる P と δ の関係を、垂木の転倒で破壊が決まった試験体について実験結果とともに示したものが図4である。実験結果については、単調載荷と繰り返し載荷両方を併記した。R45-0-b,R45-0-s,L45-0-s に関しては初期剛性、最大耐力ともに単調載荷時の実験結果と解析結果は良い対応を示しており、垂木の回転とそれに伴う釘の引き抜きを考慮することで屋根面と軸材間のせん断挙動を概ね説明できている。また、R36-0-b,R36-0-s,L36-0-s に関しては、解析モデルによる最大耐力が実験値よりもやや高めに評価されている。これはR36シリーズの試験体は垂木の母屋への接合が釘の斜め打ちによっているためと考えられ、R36シリーズの結果をより厳密に評価するには斜めうちされた釘の挙動も考慮したモデル化が必要である。また、解析モデルと単調載荷実験結果は比較的良い対応を示しているが、繰り返し載荷実験結果は単調載荷による結果

より全般的に低くなっており、この評価には繰り返しによる最大耐力の低減を考慮する必要がある。

4. 垂木寸法が最大耐力に与える影響

2, 3章で提示した解析モデルに基づき、本章では垂木寸法がせん断パネルと軸材間の挙動に及ぼす影響に関してパラメトリックな考察を行う。

図5は解析で得られた最大耐力 P_{max} と垂木の幅 b とせい h の比 h/b の関係を示したものである。図中実線は $b=45\text{mm}$ の場合、点線は $b=36\text{mm}$ の場合を示す。また、図中に実験結果も併せてプロットしている。 h/b に対し P_{max} はほぼ反比例し、 $b=45\text{mm}$ と $b=36\text{mm}$ では顕著な差は見られなかった。なお、R45シリーズは解析結果と良い対応を示しているが、R36シリーズは全体的に解析結果よりも低い値となっており、前章で考察したように釘の詳細の違いが影響しているものと思われる、今後詳細な検討が必要である。

図6は下屋について屋根面と同様に最大耐力 P_{max} と垂木の幅 b とせい h の比 h/b の関係を示したものである。屋根面との解析モデルの違いは、野地板を接合している釘本数だけであるが、屋根同様に垂木幅が 45mm のものについては実験結果と良く対応している。

5. 結論

実大構造物の実験結果に基づき、せん断パネルと軸材間の挙動に関する完全弾塑性解析モデル用データを提示するとともに、垂木の転倒に伴う破壊モードに対し、垂木の回転と釘の引き抜きを考慮した解析モデルを提示して釘の引き抜き挙動と実験結果の対応を検討した。本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) 耐力に関しては転び止めの効果が大きく、すぎどうしと比較するとR45で約2倍、R36で約3倍、L45、L36で1.5倍の耐力上昇が確認できた。
- 2) 垂木せいによる影響も大きく、転び止めのない試験体では垂木せいが 45mm のシリーズは 36mm のものより約2倍高い耐力を示した。
- 3) 全体的にすぎよりもべいまつの方が高い値を示した。
- 4) 初期剛性に関しては転び止めによってR45で約2倍、垂木せいの高いR36では3倍の上昇が見られた。
- 5) 変形に関しては転び止めの有無や垂木せいによる有意な傾向は見られなかった。
- 6) 垂木の回転と釘の引き抜きを考慮することにより、転び止めのない試験体の挙動を概ね説明することができる。

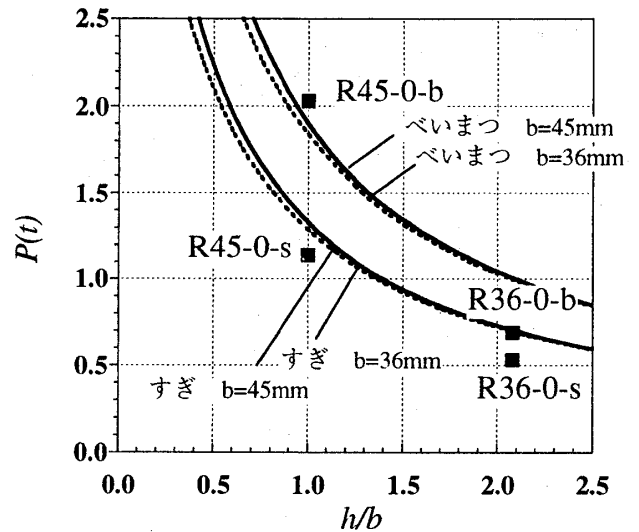


図5 屋根部の垂木寸法の比率と最大耐力の対応

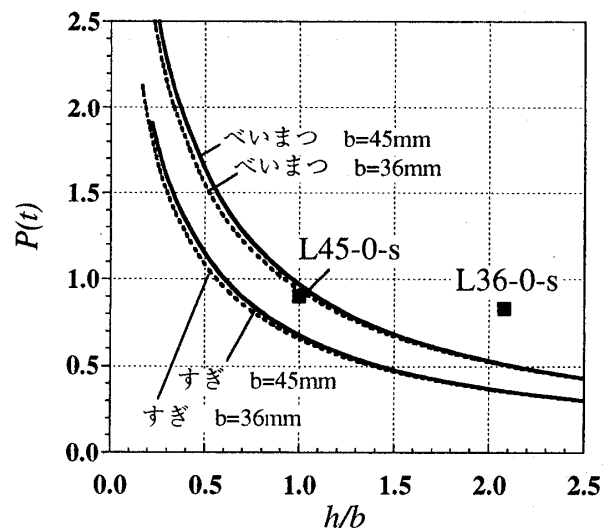


図6 下屋部の垂木寸法の比率と最大耐力の対応

今後、釘の斜めうちを含めた接合詳細の違いの影響を考慮する解析モデルを構築するとともに、繰り返し載荷時の耐力や変形に対する検討も行う必要がある。また、こうしたデータを系統的に蓄積し、木造建物の簡便な解析モデルを構築することが重要である。

参考文献

- 1) 有馬孝礼：ボード類の釘接合耐力—はく離抵抗—，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.341-344，1982