木造住宅の保有水平耐力分布とその推定法

ULTIMATE HORIZONTAL RESISTANT FORCE DISTRIBUTION OF JAPANESE WOODEN HOUSES AND THEIR ESTIMATION METHOD

山田耕司 — * 1

Koji YAMADA — * 1

キーワード:

軸組木造住宅, 雑壁, 保有水平耐力, 柔床, 壁量

Keywords:

Japanese wooden house, Non-structural wall, Ultimate horizontal resistant force, Flexible horizontal diaphragm, Wall-length ratio

In this paper, the ultimate horizontal resistant force of Japanese wooden houses considering the stiffness of both floor and non-structural walls is discussed. The analytical model has the restoring force characteristic composed of the floor, bracing bearing walls and non-structural plaster board walls. The results may be summarized as follows: The increase of floor stiffness does not make the ultimate horizontal resistant force increased efficiently. The easy calculation method gives the lower limit of the ultimate horizontal resistant force.

1. 序

2階建軸組木造住宅の耐震安全性は、一般には壁量により判断される。一方、軸組木造住宅は、不整形な平面・立面形状の建物が多く、RC造や鉄骨造と違い剛接合・剛床を作成し難いことも知られている。また、木造住宅の耐震性能分布に関する資料は少ない。軸組木造住宅の保有水平耐力や床剛性に関する近年の報告として、柴田らが18棟の戸建て住宅の資料を基に木造住宅の保有水平耐力と必要保有水平耐力について論じている¹⁾。また、村上らは水平構面の剛性を考慮した設計法を提案し、ねじれ応答に対する変位の補正方法を提起している²⁾。

著者も床剛性と保有水平耐力関係に注目し既存建物をモデル化して保有水平耐力を求め、その分布傾向を明らかにした³⁾。しかし既報³⁾では、床剛性と雑壁を考慮した木造住宅の保有水平耐力を計算上の都合から、加力直交方向壁の耐震性能と建物のねじれを無視した簡易法で計算していた。そのため、既報で無視した事項を考慮した保有水平耐力を求め、その分布を明らかにし、簡易法の有用性を明らかにする必要が取り残されていた。そこで本報では、保有水平耐力を再度計算し、壁量充足率、既報の簡易法による保有水平耐力と比較し、簡易な保有水平耐力推測法を検討する。

2. 各種仮定・使用する既存建物の壁量

2. 1 建物モデルの仮定

解析モデルは、図1に示すように矩形の壁要素・床要素・屋根要素

から成る。

壁要素のモデル化は、図2に示すように、壁を水平抵抗要素と考え、その壁長と単位長さ当たりの耐力特性の積で表されるせん断バネと仮定し、壁の両端に壁耐力と等価なバネ要素を2分して配置した。壁要素の復元力特性は、耐力壁と雑壁から成る。耐力壁量は設計図書に示されている耐力壁種類に応じた壁倍率と耐力壁長さを乗じて計算した。なお、今回用いた資料の耐力壁は、筋かい耐力壁のみであった。雑壁量は無開口壁のみを算定対象とし、垂壁、腰壁は雑壁量に算

図1 建物解析モデル例

*1 豊田工業高等専門学校建築学科 助教授・博士(工学)
(〒471-8525 豊田市栄生町2-1)

*1 Assoc. Prof., Toyota National College of Technology, Dr. Eng.

入しない。また、雑壁は大壁形式、外周壁においては片面貼り、内壁においては両面貼りと仮定した。また、質量は表1の値から計算した質量を、集中質量として、壁要素の各節点に等分して配置した。

床要素と屋根要素のモデル化は、図3に示すように、せん断変形・剛体変位・剛体回転を表現する矩形要素とした。この要素では、要素内節点間に設定した仮想梁要素の引張り剛性を十分に剛（10cm×30cm断面のスギ相当）としているため、せん断変形が卓越する。そこで、せん断変形角をパラメータとする復元力特性を与えている。ただし、床および屋根は同じ復元力特性とした。また、質量は表1の値から計算した質量を、集中質量として、床要素・屋根要素の各節点に等分して配置した。

本法では既報³⁾の加力直交方向壁の耐震性能と建物のねじれを無視した保有水平耐力計算法を簡易法と位置づける。簡易法の建物モデルでは図4のように加力方向に質量と水平力抵抗要素を縮約したモデルとする。縮約に際しては、耐力壁もしくは雑壁の存在する通り芯を壁線と設定し、その壁線毎に質量・水平力抵抗要素をまとめる。壁線毎の水平力抵抗要素は耐力壁および雑壁の壁長と各々の耐力特性を乗じて得られるせん断パネの和とし、床の荷重伝達特性も床の加力方向長さを乗じ、壁線間距離で除したせん断パネと仮定した。従って、床の剛体回転成分は拘束されている。また、加力直交方向の壁の剛性は無視し、質量のみ算定している。

2.2 壁および床・屋根の骨格曲線と復元力特性

図5に文献4)に基づく壁1m当たりの骨格曲線を示す。なお、二割筋かいの骨格曲線は、最大耐力が6kN/m程度が壁倍率からして妥当である（ $2\text{kN/m} \times \text{壁倍率}2.0 \times 1.5 = 6\text{kN}$ ）と判断したので、最大耐力が6kNに

図2 壁のモデル化

0.25*屋根質量 or 0.25*(床質量+積載物)

a) 床（屋根）モデルの構成

b) 床（屋根）構面の水平変位

図3 床のモデル化

なるように剛性を低減した。また、石膏ボード雑壁の最大耐力を1kN/m程度と考え、石膏ボード雑壁の骨格曲線は石膏ボードの骨格曲線の0.33倍と仮定している。なお、骨格曲線は、文献4)のBi-linear + Slip型の履歴モデルより作成している。

床および屋根の復元力特性は、文献5), 6)を参考に図6の“合板床”と“4隅火打ち”とした。“合板床”は河合の文献6)を採用し、“4

表1 建物質量の仮定

項目	質量	備考
重い屋根	90 kg/m ²	施行令を参考（軒の深さは0.75mとする）
軽い屋根	60 kg/m ²	施行令を参考（軒の深さは0.75mとする）
外壁	190 kg/m	サイディング+軸組+ボード内壁
内壁	95 kg/m	ボード内壁+軸組+ボード内壁 （雑壁長は壁実長の2倍になる）
床	50 kg/m ²	施行令を参考
積載物	60 kg/m ²	施行令を参考

外壁・内壁は壁1mあたりの質量、その他は床面積1m²あたりの質量

図4 壁線に基づくモデル化

図5 壁1m当たりの骨格曲線

図6 床加力方向長さ1cm当たりの骨格曲線

隅火打ち”は文献5)骨格曲線の1/100rad時の耐力と同じになるように“合板床”の復元力特性を低減したものである。計算時には図3の特性に加力方向の床の長さ乗じて剛性・耐力を算定している。

2. 3 保有水平耐力の計算法

保有水平耐力は変位増分法で計算した場合のベースシア係数の最大値(以下、保有水平耐力と称す)および、1階の最大層間変位が55mm(耐力壁の最大耐力時の層間変位)時のベースシア係数(以下、55mm時耐力と称す)を計算した。変位増分法は、ベースシア係数にして0.01の初期載荷により最大変位節点を確定した後、その最大変位節点を参照点として、2mm単位で変位増分を行っている。

各階における水平力分布は、2階建ての建物では2階が破壊する事例が少ないこと、 A_i 分布による水平力の仮定が剛床モデル以外では難しいことより、今回の解析では各階の質量に比例した水平荷重を各節점에載荷している。

また、上記以外に、簡易法として、図4に示すモデル化を行った場合の耐力も求めた(以下、簡易法保有水平耐力および簡易法55mm時耐力と称す)。なお、簡易法で計算する場合は、各壁線が負担する質量の範囲は各壁線間の2等分点を境界として設定している。

2. 4 充足率の定義

建物内に存在する水平抵抗部材量の自重に対する比率を表す値として以下の充足率を定義する。

$$\text{充足率} = \text{耐力壁量} / \text{所有有効壁長} \quad (1)$$

表2 所有有効壁長(m)

	1階	2階
軽い屋根	$0.11 A_1 + 0.18 A_2$	$0.15 A_2$
重い屋根	$0.15 A_1 + 0.18 A_2$	$0.21 A_2$

A_1 , A_2 : それぞれ1階, 2階の床面積(m^2)

図7 使用した建物の充足率の分布

図8 使用した建物の1階充足率と偏心率の関係

ここで、耐力壁量は“耐力壁長×壁倍率”で計算する。所有有効壁長は文献7)に基づき、表2により算出した。また、雑壁長を考慮した雑壁込充足率を次式で定義する。

$$\text{雑壁込充足率} = (\text{耐力壁量} + 0.5 \times \text{雑壁長}) / (1.5 \times \text{所有有効壁長}) \quad (2)$$

2. 5 使用する既存建物の充足率

本報で使用した建物群は既報⁸⁾で用いた平成8年度に愛知県内で建設された2階建て在来軸組構法木造住宅の内の208棟である。充足率の分布を図7に、1階偏心率の分布を図8、延床面積の頻度分布を図9に示す。なお当該建物の床の種類は不明である。本報では建物の梁間・桁行を考慮せずに各方向とも計算時のサンプルとする。従って、計算のサンプル数は416となる。1階耐力壁充足率の平均は1.67、2階耐力壁充足率の平均1.90、1階偏心率の平均は0.16である。また、図より1階充足率より2階充足率が高いこと、1階偏心率と1階充足率に相関が低いことが分かる。延床面積は120 m^2 を中心として、大半の建物は100~160 m^2 の範囲にある。

なお、本報で使用した建物データの中には、二割筋かい以外に一部三割筋かい耐力壁が含まれているが、耐力壁量が同量になるように二割筋かいに換算した。

3. 結果

3. 1 保有水平耐力の分布傾向

本節では、1階充足率と保有水平耐力の関係、床剛性増加の保有水平耐力への影響を考察する。55mm時耐力と保有水平耐力の関係を検討する。

図10に1階充足率と保有水平耐力の関係、図11に1階雑壁込充足率と保有水平耐力の関係を示す。図より、1階充足率、1階雑壁込充足率と保有水平耐力の間には良い相関があること、偏心率が0.3を越える場合には偏心率が0.3以下の場合と比較して保有水平耐力が低い事例が見られること、床剛性が向上しても充足率と保有水平耐力の線形性が際だって向上しないこと、が分かる。

1階充足率、1階偏心率をパラメータとした保有水平耐力の回帰式を表3に、1階雑壁込充足率、1階偏心率をパラメータとした保有水平耐力の回帰式を表4に示す。雑壁込充足率を用いた場合は、床種類の違いにより係数の変動が多少見受けられる。また、偏心率・雑壁を考慮した場合ほど、 R^2 値および標準誤差は向上するが、その絶対値は小さい。

図9 延床面積の頻度分布

図12に4隅火打ち時の保有水平耐力と合板床時の保有水平耐力の関係、図13に床を4隅火打ちから合板床に変更したときの保有水平耐力の増分を示す。図12より、4隅火打ち時の保有水平耐力と合板床時の保有水平耐力がほぼ同じであること、図13よりその差が非常に小さく、偏心率の大小は保有水平耐力の増減にあまり関係しないことが分かる。

以上の結果より、本報では、耐力壁、雑壁、床を簡単な骨格曲線で仮定するなどの問題はあがるが、1階充足率および1階雑壁込充足率による保有水平耐力の推定式として次式を提案する。

$$\text{保有水平耐力} = 0.22 + 0.27 * 1 \text{階充足率} \quad (3)$$

$$\text{保有水平耐力} = 0.08 + 0.35 * 1 \text{階雑壁込充足率} \quad (4)$$

図14に55mm時耐力と保有水平耐力の関係を示す。今回の耐力壁および雑壁の復元力特性は層間変位55mmでほぼ最大耐力を示すため、床の種類を問わず、保有水平耐力と55mm時耐力は、ほぼ同じ値であ

ることが分かる。従って、本報の仮定範囲内では、55mm時耐力で保有水平耐力を推定すればよい。

3.2 簡易法による計算結果の有効性

本節では、簡易解析法による保有水平耐力の推定を検討する。

簡易法保有水平耐力と保有水平耐力の関係を図15に、簡易法55mm時耐力と保有水平耐力の関係を図16に示す。図より、簡易法保有水平耐力は保有水平耐力の下限を示さないが、簡易法55mm時耐力は保有水平耐力の下限を示すことが分かる。これは、変位増分解析により得られる簡易法保有水平耐力は、図3中の剛体回転を無視しているため、水平力の再配分が発生し、簡易法55mm時耐力よりも耐力が増大したためと考えられる。なお図16より、簡易法55mm時耐力の精度は、床剛性が大きいほど向上することも分かる。

4隅火打ち

合板床

図10 1階充足率と保有水平耐力の関係

4隅火打ち

合板床

図11 1階雑壁込充足率と保有水平耐力の関係

表3 1階充足率・偏心率と保有水平耐力の回帰式の係数

床の種類	回帰式の係数			R ² 値 (標準誤差)
	A	B	C	
4隅火打ち	0.275173	-0.15365	0.226778	0.805044 (0.053568)
合板床	0.277203	-0.15369	0.229242	0.806408 (0.053735)
4隅火打ち	0.267502	/	0.215536	0.773167 (0.057712)
合板床	0.269369		0.217800	0.773819 (0.058012)

$$(\text{保有水平耐力} = A * 1 \text{階充足率} + B * 1 \text{階偏心率} + C)$$

表4 1階雑壁込充足率・偏心率と保有水平耐力の回帰式の係数

床の種類	回帰式の係数			R ² 値 (標準誤差)
	A	B	C	
4隅火打ち	0.354343	-0.12388	0.093329	0.847138 (0.047434)
合板床	0.357529	-0.12659	0.093395	0.852695 (0.046873)
4隅火打ち	0.348812	/	0.083130	0.826209 (0.050515)
合板床	0.352177		0.082972	0.831129 (0.050127)

$$(\text{保有水平耐力} = A * 1 \text{階雑壁込充足率} + B * 1 \text{階偏心率} + C)$$

図 1.2 床種類による保有水平耐力の相関

図 1.3 床の変更による保有水平耐力の増分

図 1.5 簡易法保有水平耐力と保有水平耐力の関係

図 1.4 55mm 時耐力と保有水平耐力の比較

図 1.6 簡易法 55mm 時耐力と保有水平耐力の関係

4. 結語

本報では、床構面と雑壁の剛性・耐力を仮定した上で、既存軸組木造建物の保有水平耐力解析を行い、保有水平耐力への床種類の影響、充足率や簡易解析法による保有水平耐力の推定法を考察した。その結果、本報では耐力壁、雑壁、床を簡単な骨格曲線で仮定するなどの問題はあがあるが、以下の知見が得られた。

- ・床剛性を向上しても、建物の保有水平耐力の増分はわずかである。従って、1つの床種類に対して保有水平耐力を計算すればよい。
- ・今回の解析仮定の下では、建物の1階の最大層間変位が耐力壁の最大耐力を生じる層間変位時の耐力を算定すれば、建物の保有水平耐力にほぼ等しい。
- ・既報で示した簡易法で保有水平耐力を計算する場合には、簡易法により、建物の1階の最大層間変位が耐力壁の最大耐力を生じる層間変位時の耐力を計算すれば、保有水平耐力の下限となる。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究補助金・基盤研究(A)(1)「木造建物の構造力学的解明と静的・動的性能評価に関する研究」(課題番号:13305036)によって実施したものであることを付記する。

参考文献

- 1) 武田 寛, 柴田 拓二: 木造住宅の保有耐力と壁量に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), C-1, pp. 207-208, 1996
- 2) 村上雅英, 稲山正弘: 偏心を有する柔床壁式構造物の靱性設計法, 日本建築学会構造系論文集, No. 530, pp. 93-96, 2000
- 3) 山田耕司: 床剛性と耐力壁線を考慮した在来軸組木造構法住宅の耐震性能評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第525号, pp. 79-84, 1999
- 4) 河合直人, 岡部実, 渡辺一正: 在来軸組構法耐力壁の耐震性能 その2 仮動的試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp. 135-136, 1998
- 5) 飯塚五郎蔵: 木構造における水平構面のせん断耐力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp. 1997-1998, 1980
- 6) 河合直人: 水平構面のせん断変形を考慮した等価線形化法の適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp. 203-204, 2000
- 7) 建設省住宅局: 木造住宅の耐震精密診断と補強方法, 1985
- 8) 山田耕司: 愛知県のある在来軸組木造住宅の壁量に関する調査研究, 構造工学論文集 Vol. 46, B, pp. 181-188, 2000

[2003年1月30日原稿受理 2003年7月29日採用決定]