

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	耐力偏心した1層木質壁式構造物の終局変位モード予測法
Title(English)	
著者(和文)	山崎義弘, 坂田弘安, 笠井和彦
Authors(English)	Yoshihiro Yamazaki, HIROYASU SAKATA, KAZUHIKO KASAI
出典(和文)	日本地震工学会大会2012梗概集, Vol. , No. , pp. 250-251
Citation(English)	, Vol. , No. , pp. 250-251
発行日 / Pub. date	2012, 11

耐力偏心した1層木質壁式構造物の終局変位モード予測法

山崎義弘¹⁾・坂田弘安²⁾・笠井和彦³⁾

- 1) 正会員 東京工業大学 建築物理研究センター, 横浜市緑区長津田町4259, yamazaki.y.ai@m.titech.ac.jp
- 2) 正会員 東京工業大学 建築物理研究センター, 横浜市緑区長津田町 4259, hsakata@serc.titech.ac.jp
- 3) 正会員 東京工業大学 建築物理研究センター, 横浜市緑区長津田町 4259, kasai@serc.titech.ac.jp

1. はじめに

弾性剛性に基づく偏心率の検討では、塑性化を許容した終局状態における捩れ振動の影響を考慮できない可能性がある。しかし、弾塑性構造の変位モード予測には、一般に収斂計算などが必要とされ、木造住宅のように母数が多く、迅速な耐震診断・補強計画などの対応が望まれる場合には、簡便な評価法が必要と考えられる。本論では、終局状態における捩れを含む変位モードの簡易予測法を提案し、耐力壁のアンバランスな配置による耐力偏心の影響を考察する。

2. 考慮する構造モデルと終局状態の定義

図1のような疑似立体振動解析モデルで表される構造を対象とする。x方向への一方向地震入力を考慮し、水平構面は剛床と仮定する。

ここで、最も変形が大きい耐力壁が終局変形に達した時点、構造物の終局状態と定義する。また、そのときに、地震力が作用する方向の耐力壁は全て塑性状態、直交する耐力壁は全て弾性と仮定する(図2)。

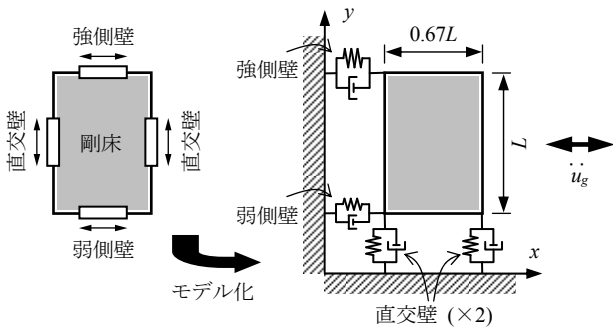


図1 考慮する壁式構造物と疑似立体振動解析モデル

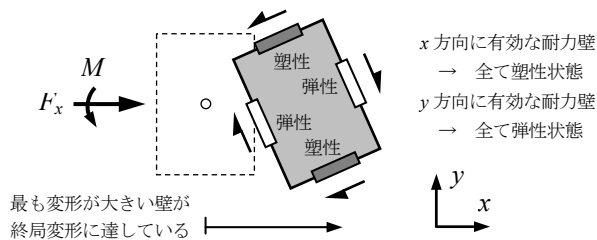


図2 仮定する崩壊型と外力分布

3. 解析モデルと入力地震動

耐力壁の復元力特性として、本論ではバイリニア+スリップ型モデル¹⁾を用いるが、包絡線を概ね完全弾塑性型とするため、図3のように降伏耐力 F_{xi} 、降伏変形 δ_{xvi} で概ね完全弾塑性型となるモデルとした。終局

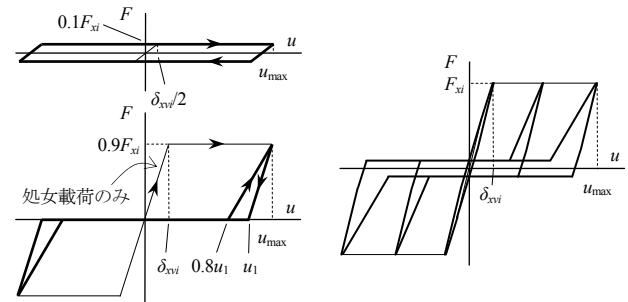
変形は全ての耐力壁に共通で δ_u とする。

主要な変動要因は弱側壁と強側壁の耐力バランスであり、耐力偏心距離 e_{fi} を質量回転半径 r_m で除して無次元化した耐力偏心比 \bar{e}_{fi} を用いて議論する。ここに、 $r_m = \sqrt{I/m}$ で、 m は質量、 I は回転慣性である。

耐力壁の終局変形角は全て $1/30\text{rad}$ (階高 2730mm のとき変形 91mm) とし、降伏変形角の与え方は、①全ての壁が $1/120\text{rad}$ (Case 1), ②弱側壁が $1/90\text{rad}$, 強側壁が $1/150\text{rad}$, 直交壁が $1/120\text{rad}$ (Case 2), ③弱側壁が $1/150\text{rad}$, 強側壁が $1/90\text{rad}$, 直交壁が $1/120\text{rad}$ (Case 3) の3ケースを考慮した。

層の降伏変形角が $1/120\text{rad}$, 終局変形角が $1/30\text{rad}$ の場合の構造特性係数 D_s から、ベースシア係数が 0.38 となるように質量を決定し、床面内に均等に質量を分布させる。粘性減衰は初期剛性比例型で捩れを拘束した場合に 5% の減衰定数となるように与えた。

入力地震動は、文献2に示した33波である。入力倍率は、最も変形が大きい壁の最大変形が終局変形に達するときの倍率とし、試行錯誤的に求めている。



(a) バイリニア要素 (上段) (b) バイリニア+スリップ要素 (下段)

図3 バネの復元力特性

4. 終局変位モードの予測法

図2に示した崩壊型の仮定より、層せん断力 F_x はx方向の耐力壁の降伏耐力の総和に等しく、 $\sum F_{xi} = F_{x0}$ とする。また、モーメント M は層の捩れ角を θ として次式のように表される。

$$M = -F_{x0}e_{fj} + K_{\theta}^{(y)}\theta, \quad K_{\theta}^{(y)} = \sum k_{yi}x_i^2 \quad (1a,b)$$

ここに、 k_{yi} はy方向の耐力壁の弾性剛性、 x_i は耐力壁のx座標であり、質量中心を原点とする。

終局状態における外力モードを $\mathbf{f}_{u1} = \{F_{x0}, M\}^T$ 、並進と回転からなる変位モードを $\boldsymbol{\phi}_{u1} = \{\phi_{u11}, \phi_{u21}\}^T$ (終局

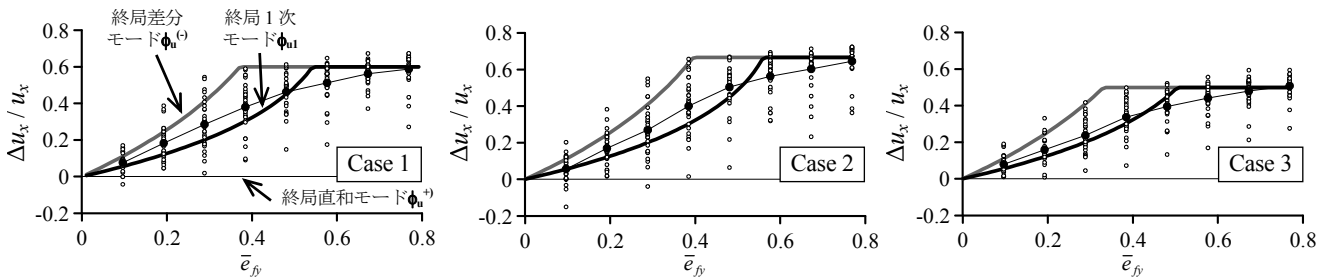


図4 時刻歴解析から得た振れ応答率と予測法から得た振れ応答率の比較
(灰丸は33地震波の解析、黒丸は解析の平均値、太実線は予測法から求める値)

1次モードと呼ぶ)として、質量マトリクス \mathbf{m} を用いて次式の関係にあるとする。

$$\omega_{u1}^2 \mathbf{m} \phi_{u1} = \mathbf{f}_{u1}, \quad \mathbf{m} = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \quad (2a, b)$$

ϕ_{u1} を求めるには振れ角 θ が含まれており、これを質量中心の並進変位 u_x を用いて $\theta = u_x \phi_{u21} / \phi_{u11}$ と表せば、

$$\frac{\phi_{u21}}{\phi_{u11}} = \frac{F_{x0} e_{fy}}{K_{\theta}^{(y)} u_x - F_{x0} r_m^2} \quad (3)$$

また、本論で考慮するのは終局状態のみであり、 u_x は2次方程式の解として陽に得られる。つまり、

$$u_x = \frac{F_{x0}(r_m^2 - e_{fy} l_y) + K_{\theta}^{(y)} \delta_u + \sqrt{[F_{x0}(r_m^2 - e_{fy} l_y) + K_{\theta}^{(y)} \delta_u]^2 - 4K_{\theta}^{(y)} F_{x0} r_m^2 \delta_u}}{2K_{\theta}^{(y)}} \quad (4)$$

ここに、 l_y は質量中心から終局変形に達した耐力壁までの y 方向距離である。式(4)を式(3)の u_x に代入すれば、終局状態における並進と回転の比が得られる。

また、 ϕ_{u1} と質量マトリクスを介して直交するように終局2次モード ϕ_{u2} を考え、 ϕ_{ui} を固有ベクトルと考えた場合の刺激関数 $\beta_{ui} \phi_{ui}$ を定義する。さらに、地震動による応答のばらつきを考慮するため、文献3の考え方を導入し、1次と2次の刺激関数による、直和モード $\phi_{u1}^{(+)}$ と差分モード $\phi_{u1}^{(-)}$ を定義する。ここで、 $\beta_{u1} \phi_{u1}$ と $\beta_{u2} \phi_{u2}$ の混合比とされる、1次モードに対する2次モードの疑似加速度応答スペクトルの比は1とする。

5 時刻歴解析による予測法の精度検証

並進に対する振れの相対的な大きさを表す振れ応答率 $\Delta u_x / u_x$ を定義する。 u_x はモデルの質量中心位置での最大変位を、 Δu_x は振れによって端部に生じる応答増分である。時刻歴解析から得る場合は、弱側壁と強側壁それぞれの最大変形の平均と差分から求める。

耐力偏心比 \bar{e}_{fy} と振れ応答率の関係を図4に示す。終局1次モード(黒線)は解析の平均値を概ね捉えている。終局差分モードと終局直和モードは、それぞれ解析の平均値±標準偏差程度を示している。また、解析結果はある程度 \bar{e}_{fy} が大きいと $\Delta u_x / u_x$ の増加がやや緩やかになることから、予測法では仮定した崩壊型が得られる最大の $\Delta u_x / u_x$ 値で頭打ちにしており、解析結果の傾向を概ね捉えている。

6. 既往の振動台実験に対する適用性の検証

試験体は1層1×1スパンの木質耐力壁構造であり、天井面には12kNの錘が積載され、振動台により一方

向に地震入力を与える⁴⁾。図5にJMA神戸NS波を入力したときの各壁の荷重-変形関係と、弱側壁と強側壁の完全弾塑性型モデル、直交壁の最大変形時の割線剛性を描いている。X1通り(弱側壁)が垂れ壁で、剛性と耐力が低い。また、弱側壁の最大変形(=135mm)を終局変形とし、終局1次モードを用いれば、各壁の最大変形を良好な精度で予測できている。比較のため弾性1次モードによる予測を示したが、精度が悪く、弾性剛性による評価は不適當と言える。

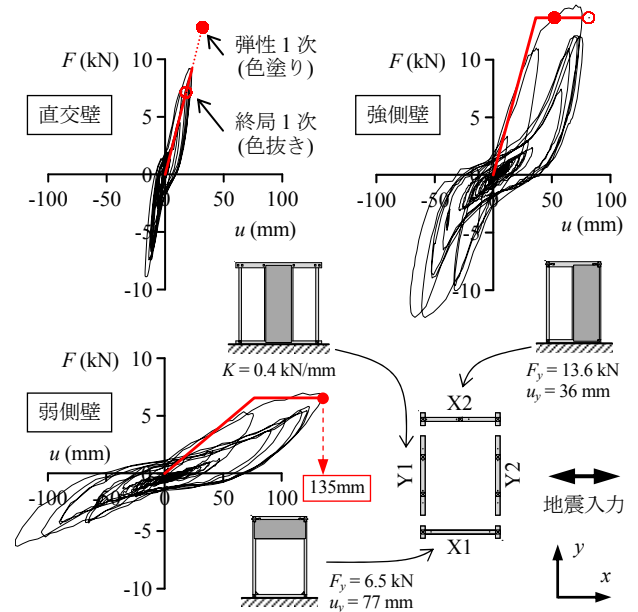


図5 JMA神戸NS波入力時の各壁の荷重-変形関係と終局状態での変位モード予測結果

7. おわりに

耐力偏心が生じた木質構造物の振れを含む終局変位モード予測法を提案した。

参考文献

- 五十田博, 河合直人: 木造軸組構造住宅に用いる壁の復元力特性モデル 木造建物の地震時挙動に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第616号, pp.157-163, 2007.6
- 笠井和彦, 伊藤浩資, 渡辺厚: 等価線形化手法による一質点弾塑性構造の最大応答予測法, 日本建築学会構造系論文集, 第571号, pp.53-62, 2003.9
- 松森泰造, 小谷俊介, 塩原等, 壁谷澤寿海: 鉄筋コンクリート建造物の地震最大応答の推定方法: 漸増載荷解析による最大応答の分布の評価方法, 日本建築学会構造系論文集, 第576号, pp.119-123, 2004.2
- 山崎義弘, 笠井和彦, 坂田弘安, 大木洋司: 剛性偏心した木質立体架構の粘弾性ダンパーによる振れ応答制御, 日本建築学会構造系論文集, 第655号, pp.1691-1700, 2010.9