

水平 2 方向地震入力を受ける多層 1 軸偏心建物の各構面最大応答変位推定手法

正会員 ○藤井 賢志*
中塾 良昭**
真田 靖士***

多層 1 軸偏心建物 等価単層偏心系モデル 等価 1 自由度系モデル
静的漸増載荷解析 水平 2 方向地震入力

1. はじめに

想定された地震動に対する建物の非線形応答の推定は、性能評価型耐震設計法における重要な項目である^[1]。筆者らは文献【2】において、水平 1 方向地震入力を受ける主としてせん断変形の卓越する中低層の多層 1 軸偏心建物を対象としてその非線形地震応答推定手法を提案した。しかしながら、偏心建物の応答は立体振動であるため、多方向からの地震入力の影響を考慮する必要がある。そこで本報告では、文献【2】の手法の拡張し、多層 1 軸偏心建物が水平 2 方向地震入力を受ける場合を対象としてその各構面最大応答変位の推定手法を示し、その妥当性を検証する。

2. 非線形地震応答推定手法の概要

本報告で議論の対象とする多層 1 軸偏心建物は文献【2】と同じ条件を満足しているものとする。ここでは、文献【3】と同様に Y 方向からの 1 方向地震入力に対しては 1 次モード応答が常に卓越し、X 方向からの 1 方向地震入力に対しては 2 次モード応答が常に卓越して振動しているものとする。

STEP 1 文献【2】と同様、多層 1 軸偏心建物の各構面に関して変位分布を仮定して平面骨組の静的漸増載荷解析を独立に行い、等価単層系モデルを作成する。

STEP 2 X, Y 方向について独立に等価単層偏心系モデルの静的漸増載荷解析を行い、その結果に基づき等価 1 自由度系モデル作成する。

STEP 3 X, Y 方向について等価 1 自由度系モデルの最大応答を推定する。本報告では、文献【4】に示されている等価線形化法により推定した。

STEP 4 STEP 2 と STEP 3 の結果に基づき、以下の 4 種類の外力分布 $\{P_{1X}\}, \{P_{2X}\}, \{P_{1Y}\}, \{P_{2Y}\}$ を求める。

$$\begin{cases} \{P_{1X}\} = [M_T^*] \left[\beta_{T2Xie} \{\phi_{T2ie}\} \cdot A_{2X}^* + \gamma \cdot \beta_{T1Yie} \{\phi_{T1ie}\} \cdot A_{1Y}^* \right] \\ \{P_{2X}\} = [M_T^*] \left[\{\alpha_X\} \cdot A_{2X}^* + \gamma \cdot \beta_{T1Yie} \{\phi_{T1ie}\} \cdot A_{1Y}^* \right] \\ \{P_{1Y}\} = [M_T^*] \left[\gamma \cdot \beta_{T2Xie} \{\phi_{T2ie}\} \cdot A_{2X}^* + \beta_{T1Yie} \{\phi_{T1ie}\} \cdot A_{1Y}^* \right] \\ \{P_{2Y}\} = [M_T^*] \left[\gamma \cdot \beta_{T2Xie} \{\phi_{T2ie}\} \cdot A_{2X}^* + \{\alpha_Y\} \cdot A_{1Y}^* \right] \end{cases} \quad (1)$$

ここで、

$[M_T^*]$: 等価単層偏心系モデルの質量マトリクス

$\{\alpha_X\} = \{1, 0, 0\}^T, \{\alpha_Y\} = \{0, 1, 0\}^T$

D_{1Y}^*, D_{2X}^* : 等価 1 自由度系モデルの最大等価変位

A_{1Y}^*, A_{2X}^* : 等価 1 自由度系モデルの最大等価加速度

$\beta_{T1Yie} \{\phi_{T1ie}\}, \beta_{T2Xie} \{\phi_{T2ie}\}$

: D_{1Y}^*, D_{2X}^* における等価単層系モデルのモード形

γ : 2 方向入力による応答の同時性を考慮する係数で 0.5 と仮定する。静的漸増載荷解析は、 $\{P_{1X}\}, \{P_{2X}\}$ では D_X^* が D_{2X}^* に達する点まで、 $\{P_{1Y}\}, \{P_{2Y}\}$ では D_Y^* が D_{1Y}^* に達する点まで解析を行う。

$$D_X^* = \frac{\beta_{T2Xie} \{\phi_{T2ie}\}^T [M_T^*] \{d_T^*\}}{\beta_{T2Xie} \{\phi_{T2ie}\}^T [M_T^*] \{\alpha_X\}}, D_Y^* = \frac{\beta_{T1Yie} \{\phi_{T1ie}\}^T [M_T^*] \{d_T^*\}}{\beta_{T1Yie} \{\phi_{T1ie}\}^T [M_T^*] \{\alpha_Y\}} \quad (2)$$

ここで、 $\{d_T^*\}$ は等価単層偏心系モデルの変位ベクトルである。最後に、4 種類の静的漸増載荷解析結果の包絡より、各構面の等価変位（各構面の等価高さにおける変位）の推定値とする。

STEP 5 STEP 1 と STEP 4 での結果より、各構面での各層での層間変形角を推定する。

3. 解析諸元

3.1. 解析建物モデル

解析対象は、図 1 に示す X 方向 6m×5 スパン、Y 方向 6m×3 スパンの矩形平面を持つせん断型 4 層建物モデルである。床の単位面積あたり重量を 11.8kN/m²、階高 H を 3.60m と仮定した。解析建物モデルの降伏ベースシアは、

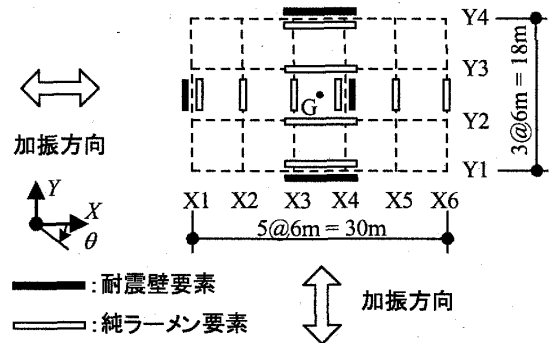


図 1 解析建物モデルの平面図

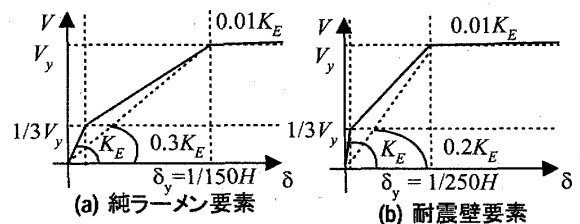


図 2 復元力特性

X・Y 両方向とも $0.6W$ (W :建物全重量) とし、各層の降伏耐力 V_i を(3)式により定めた。

$$V_i = \frac{N+i}{N+1} \times 0.6 \times \left(\sum_{j=1}^N w_j \right) \quad (3)$$

ここで、 N は層数 (=4)、 w は各階の重量である。各要素の降伏耐力は X、Y 方向ともに純ラーメン要素では合計で $2/3V_i$ (X、Y 方向で各々 $1/18 V_i$ 、 $1/12 V_i$)、耐震壁要素では合計で $1/3V_i$ (X、Y 方向ともに $1/6 V_i$) である。各要素の復元力特性は図 2 のように仮定し、履歴特性としては曲げ破壊型の RC 造建物を想定して Takeda モデル^[5]を用いた。なお、各構面での部材のねじり剛性および 2 方向応力の相互作用の影響は解析等の簡略化のため無視した。この建物モデルの建築基準法における偏心率は全ての層で 0.389 である。建物モデルの弾性 1 次固有周期は 0.279s でモード形は Y 方向の振動と回転振動が連成して Y 方向の振動が支配的なモード、弾性 2 次固有周期は 0.245s で X 方向への純並進振動モード、弾性 3 次固有周期は 0.170s で回転周期が支配的なモードである。

3.2. 入力地震動

入力地震動は X、Y 方向からの水平 2 方向入力とした。入力地震動は告示で規定された設計用応答スペクトルに適合するように作成した模擬地震動とした^[4]。入力レベルは極めて稀に生じる地震動とし、告示に示す地盤増幅を考慮した。模擬地震動の位相特性は El Centro 1940, Taft 1952, Hachinohe 1968, Tohoku Univ. 1978, JMA Kobe 1995, Fukiai 1995 の EW, NS 成分の位相特性を用いるものとし、継続時間は 40.96 秒とした。図 3 に模擬地震動の弾性加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)を示す。なお、解析にあたっては各模擬地震動の NS 成分を X 方向、EW 成分を Y 方向に入力した場合と各々の EW 成分を X 方向、NS 成分を Y 方向に入力した場合の全 12 ケースの解析を行った。

3.3. 数値積分法

数値積分法は Newmark- β 法 ($\beta = 1/4$) を用い、積分時間刻みは 0.005 秒とした。減衰は瞬間剛性比例型とし、弾性 1 次モードに対して 3% と仮定した。

4. 応答推定結果と時刻歴応答解析結果との比較

図 4 に各構面最上階の最大応答変位の推定結果を、図 5 に構面の層間変形角の推定結果を時刻歴応答解析結果と比較して示す。これらの図より、本報告で検討対象とした建物モデルに関しては本応答推定手法と時刻歴応答解析結果の対応が概ね良好であることがわかる。

5. まとめ

本報告では、文献【2】の手法を拡張して水平 2 方向地震入力を受ける多層 1 軸偏心建物の各構面における最大応答変位の推定手法を示し、その妥当性を検討した。そ

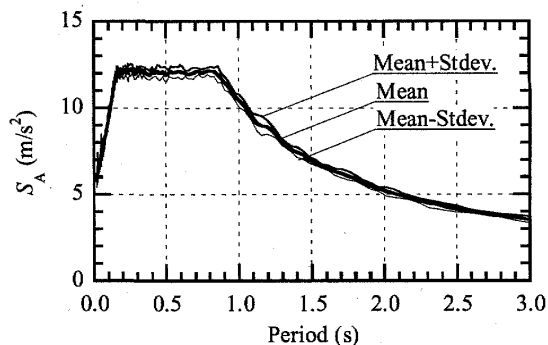


図 3 弾性加速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

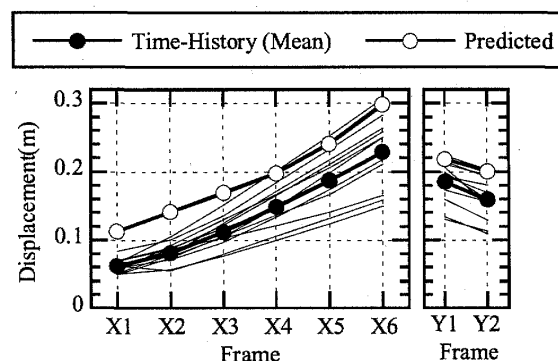


図 4 最上階各構面の最大応答変位の推定結果

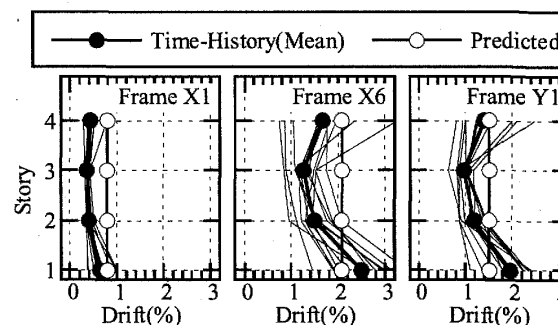


図 5 各構面の最大層間変形角の推定結果

の結果、本報告で用いた解析建物モデルの応答を概ね良好に推定することができた。

参考文献

- 【1】例えば Applied Technology Council : Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40), Report No. SCC96-01, 1996
- 【2】藤井賢志, 中埜良昭, 真田靖士: 一方入力を受ける多層 1 軸偏心建物の非線形応答評価手法, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, pp.7-12, 2003.
- 【3】藤井賢志, 中埜良昭, 真田靖士: 2 方向地震入力を受ける単層 1 軸偏心建物の非線形応答の推定に関する検討, 日本地震工学会・大会 - 2003 梗概集, pp. 302-303, 2003.11
- 【4】国土交通省住宅局建築指導課: 2001 年度限界耐力計算法の計算例とその解説, 2001 年 3 月
- 【5】Takeda, T., Sozen, M. P. and Nielsen, N. N.: Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of Structural Division, Proceedings of the ASCE, pp. 2557-2573, 1970.12

*東京工業大学 21 世紀 COE 研究員 博士 (工学)

**東京大学生産技術研究所 助教授 工博

***東京大学地震研究所 助手 博士 (工学)

*Post-Doctoral Research Fellow, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

**Associate Professor, I. I. S., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

***Research Associate, E.R.I., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.