

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

○藤井 賢志¹⁾・中埜 良昭²⁾・真田 靖士³⁾

- 1) 正会員 東京大学生産技術研究所 研究機関研究員 (東京都目黒区駒場 4-6-1), kfujii@iis.u-tokyo.ac.jp
 2) 正会員 東京大学生産技術研究所 助教授 (同上), iisnak@iis.u-tokyo.ac.jp
 3) 正会員 東京大学生産技術研究所 助手 (同上), sanada@iis.u-tokyo.ac.jp

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。筆者らは文献【1】において、1 方向入力を受ける多層 1 軸偏心建物の非線形地震応答推定手法の提案を行った。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を受ける場合の非線形応答の推定は重大な課題である。本検討では文献【1】の手法の拡張を目的とし、単層 1 軸偏心建物が水平 2 方向地震入力を受ける場合についてその非線形応答推定手法に関する検討を行う。

2. 解析諸元

2.1 解析建物モデル

解析対象は、図 1 に示す X 方向 $6\text{m} \times 5$ スパン、Y 方向が $6\text{m} \times 3$ スパンの矩形平面を持つ単層建物モデルである。床の単位面積あたり重量は 11.8kN/m^2 、高さ H は 4 層建物を想定して、その等価高さ 10.8m とした。建物のベースシアは、X、Y 方向ともに $0.6W$ (W : 建物重量) とした。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 $0.4W$ (X 方向各構面で $0.1W$ 、Y 方向各構面で $0.067W$)、耐震壁要素では合計で $0.2W$ (X、Y 方向ともに各々 $0.1W$) とした。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^[2]を用いた。各構面での部材のねじり剛性と 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。なお、この建物モデルの建築基準法における偏心率は 0.259 である。各次モードの固有周期と固有モードは、1 次が 0.328 秒で 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、2 次が 0.307 秒で X 方向の純並進振動となるモード、3 次が 0.225 秒で回転振動が支配的なモードである。減衰は瞬間剛性比例型とし、減衰定数は弾性 1 次モードに対して 3% と仮定した。

2.2 入力地震動

地震動は X、Y 方向からの 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。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, Tohoku Univ. 1978, JMA Kobe 1995 の

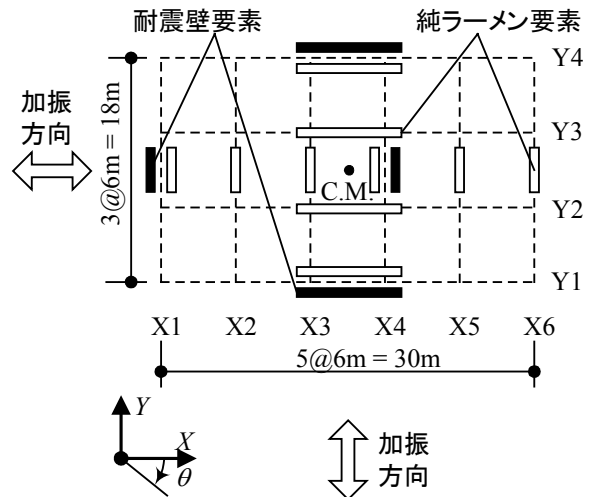


図 1 解析建物モデル

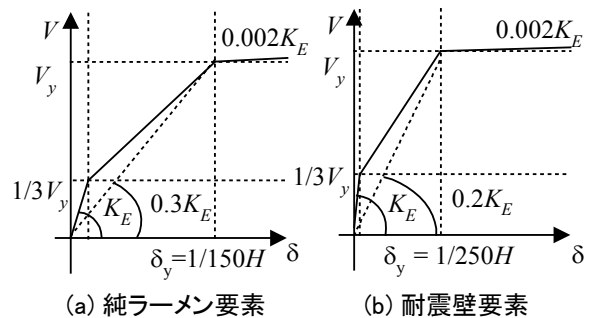


図 2 復元力特性

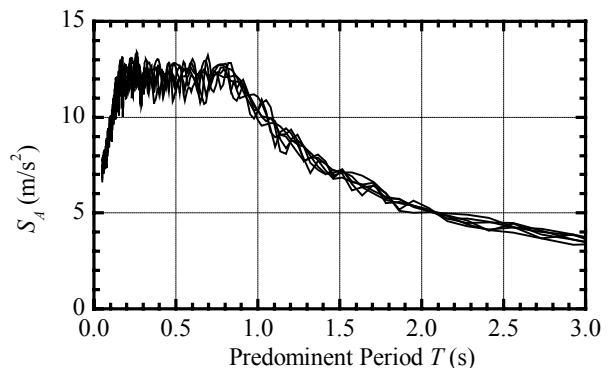


図 3 入力地震動の加速度応答スペクトル

位相特性を用い、X 方向成分では各々の EW 成分の位相特性を、Y 方向成分では各々の NS 成分の位相特性を用いた。図 3 に各模擬地震動の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

つては、作成した模擬地震動を X,Y 両方向とも 0.7 倍に係数倍して入力したケースと、1.0 倍で入力したケースの 2 つを設定した。

3. 静的漸増載荷解析による 2 方向地震入力下の非線形応答の推定

ここでは、文献【3】で示した静的漸増載荷解析を用いる手法を 2 方向地震入力の場合に拡張して、単層 1 軸偏心建物の非線形応答の推定を試みる。なお、Y 方向からの 1 方向入力では 1 次モード応答が常に卓越し、X 方向からの 1 方向入力では 2 次モード応答が常に卓越して振動するものとする。

STEP 1 X, Y 方向について独立に単層 1 軸偏心建物の静的漸増載荷解析を行い、その結果に基づいて等価 1 自由度系を作成する。

STEP 2 各方向で等価 1 自由度系の最大等価変位 D_{1Y}^* , D_{2X}^* と最大等価加速度を A_{1Y}^* , A_{2X}^* を求める。

STEP 3 STEP 1 と STEP 2 の結果より D_{1Y}^* , D_{2X}^* におけるモード形 $\beta_{1Y}\{\phi_1\}$, $\beta_{2X}\{\phi_2\}$ を求める。

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

$$\{P_{1X}\} = [M]\{\beta_{2X}\{\phi_2\} \cdot A_2^* + \gamma \cdot \{\alpha_Y\} \cdot A_1^*\} \quad (1)$$

$$\{P_{1Y}\} = [M]\{\{\alpha_X\} \cdot A_2^* + \gamma \cdot \{\alpha_Y\} \cdot A_1^*\} \quad (2)$$

$$\{P_{2Y}\} = [M]\{\gamma \cdot \{\alpha_X\} \cdot A_2^* + \beta_{1Y}\{\phi_1\} \cdot A_1^*\} \quad (3)$$

$$\{P_{2X}\} = [M]\{\gamma \cdot \{\alpha_X\} \cdot A_2^* + \{\alpha_Y\} \cdot A_1^*\} \quad (4)$$

ここで、

γ : 2 方向入力による応答の同時性を考慮する係数、

$$[M] = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \quad : \text{質量マトリクス}$$

$$\{\alpha_X\} = \{1 \ 0 \ 0\}^T, \{\alpha_Y\} = \{0 \ 1 \ 0\}^T \quad (5)$$

m : 建物質量, I : 回転慣性質量である。

STEP 5 STEP 4 で求めた外力分布を用いて単層 1 軸偏心建物の静的漸増載荷解析を行う。ここで、静的漸増載荷解析は、 $\{P_{1X}\}$, $\{P_{2X}\}$ では(6)式による D_X^* が D_{2X}^* に達する点まで、 $\{P_{1Y}\}$, $\{P_{2Y}\}$ では(7)式による D_Y^* が D_{1Y}^* に達する点まで解析を行う。

$$D_X^* = \frac{\beta_{2X}\{\phi_2\}^T [M]\{d\}}{\beta_{2X}^2\{\{\phi_2\}^T [M]\{\phi_2\}} \quad (6)$$

$$D_Y^* = \frac{\beta_{1Y}\{\phi_1\}^T [M]\{d\}}{\beta_{1Y}^2\{\{\phi_1\}^T [M]\{\phi_1\}} \quad (7)$$

ここで、 $\{d\}$ は変位ベクトルである。最後に、4 種類の静的漸増載荷解析により求めた各構面変位で最も大きいものを推定結果とする。

4. 応答推定結果

図 4 に、係数 γ を 0.7 とした場合における各構面の最大応答変位の推定結果を示す。図 4 より、本手法により最大応答変位を概ね良好に推定できていることがわかる。なお別途係数 γ を変化させて行った検討においては、本解析建物モデルでは γ を 0.7 とした時

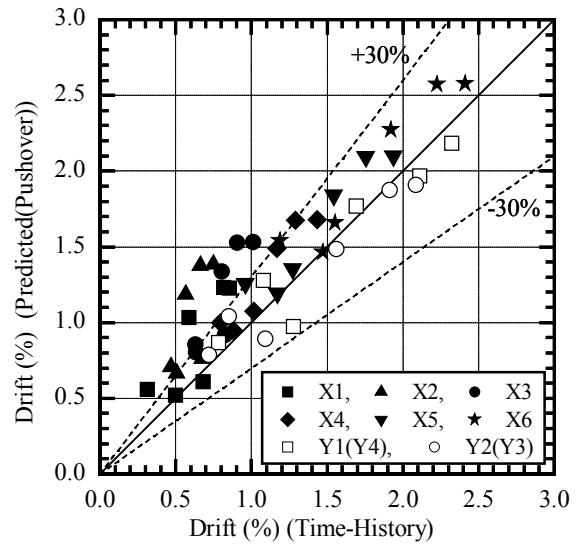


図 4 応答推定結果 (静的漸増載荷解析)

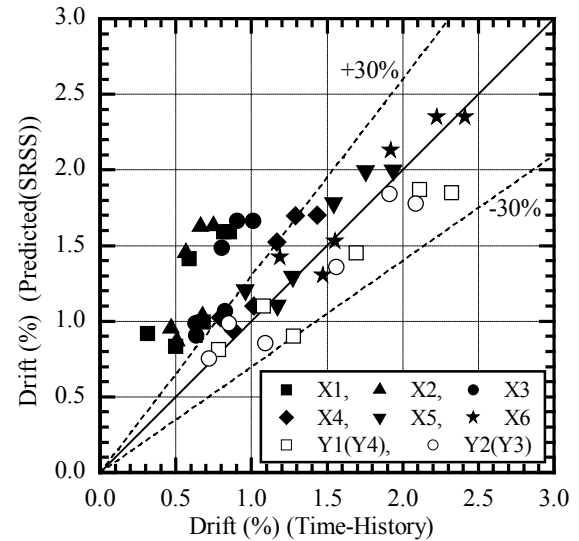


図 5 応答推定結果 (SRSS 合成)

が最も対応が良好となった。一方、1 方向入力における応答推定結果の SRSS 合成 (図 5) では大局的には対応しているもののばらつきが大きくなっており、特に構面 X1, X2 では応答が過大評価となった。

5. まとめ

本検討では、水平 2 方向地震入力を受ける単層 1 軸偏心建物の非線形地震応答の推定を試みた。その結果として、静的漸増載荷解析によってその応答を推定できる可能性があることを示した。

参考文献

- 【1】藤井 賢志, 中埜 良昭, 真田 靖士: 一方向入力を受ける多層 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 年 7 月, 【2】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, 【3】藤井 賢志, 中埜 良昭, 真田 靖士: 単層 1 軸偏心建物の非線形応答評価における直交方向構面の剛性低下の影響, 構造工学論文集, Vol.49B, pp.221-234, 2003 年 3 月