

論文 一方向入力を受ける多層 1 軸偏心建物の非線形地震応答評価手法

藤井 賢志*1・中埜 良昭*2・真田 靖士*3

要旨: 一方向入力を受ける中低層の多層 1 軸偏心建物の非線形地震応答推定手法を提案する。本応答推定手法の特徴は(1)平面骨組の静的漸増載荷解析結果を用いる事により, 多層 1 軸偏心建物をまず等価な単層 1 軸偏心系に縮約してから等価 1 自由度系に縮約する, (2)等価単層 1 軸偏心系において 2 種類の異なる静的漸増載荷解析を行うことにより, 剛側および柔側構面ともに変形を概ね良好に推定できる, の 2 つである。

キーワード: 多層 1 軸偏心建物, 等価単層 1 軸偏心系, 等価 1 自由度系

1. はじめに

想定した地震動に対する建物の非線形応答の推定は, 近年に開発された性能評価型の建物の耐震設計法や既存建物の耐震診断手法の重要な項目である。このための実用的な非線形応答推定手法としては, 建物が強震時に代表的なモードで振動していると仮定して等価な 1 自由度系に縮約する方法が示されている¹⁾が, 平面的に不整形な偏心建物に対しては, この簡便な手法は適用の対象外とされてきた。しかしながら, 偏心建物に対しても上述の等価 1 自由度系を用いた手法により応答の推定が可能となれば, 偏心建物の耐震性能を整形な建物と統一的に議論することが可能となるため, 実用性は高いと思われる。そこで筆者らはこれまでの検討において, 等価 1 自由度系による簡便な非線形応答推定手法の単層および多層 1 軸偏心建物への適用性について検討してきた^{2), 3)}。

本論文では, これまでの検討結果を総合して, 各階重心が同一鉛直線上にあり, 剛性偏心距離・耐力偏心距離ならびに弾力半径比が全層で等しい中低層の多層 1 軸偏心建物が構面方向からの一方向入力を受ける場合を対象として, 各構面における最大応答変位の簡便な推定手法を提案する。

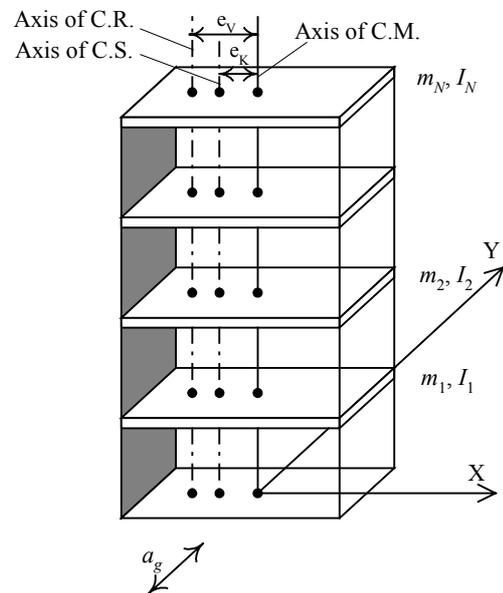


図-1 多層せん断型 1 軸偏心建物モデル

2. 応答推定手法の流れ

2.1. 本応答推定手法の適用対象

本検討で扱う多層 1 軸偏心建物を図-1 に示す。本論文で議論する非線形応答推定手法は, 以下の条件を満足する多層 1 軸偏心建物に適用するものとする。

- 1) 各階の平面形状が同一で回転半径が等しいと見なすことができる。
- 2) 各階の重心が同一鉛直線上にある。
- 3) 建物を構成する各構面が互いに直交する

*1 東京大学大学院工学系研究科 (正会員)

*2 東京大学生産技術研究所助教授 工博 (正会員)

*3 東京大学生産技術研究所助手 博士 (工学) (正会員)

方向に配置されている。

- 4) 各層の剛性偏心距離・耐力偏心距離および弾力半径比が等しく、互いに直交する方向の剛性および耐力の比が等しい。
- 5) 各層がほぼ一様に塑性化するような耐力分布を有する。
- 6) 式(1)で定義される1次等価質量比が十分に大きい。

$$m_1^* = \frac{M_1^*}{\sum m_i} \quad (1)$$

ここで、 M_1^* は1次等価質量であり、(2)式で定義される。また、 m_i は各階質量、 $\beta_1\{\phi_1\}$ は1次モードベクトル、 $[M]$ は質量マトリクスである。

$$M_1^* = \beta_1^2 \left(\{\phi_1\}^T [M] \{\phi_1\} \right) \quad (2)$$

本論文では入力地震動はY方向からの1方向入力とし、建物はY方向の軸に対してのみ偏心を有する多層せん断型1軸偏心建物を対象とする。

2.2. 応答推定手法の流れ

本論文で提案する応答推定手法の流れを以下に示す。

- STEP 1** 各構面の静的漸増載荷解析と等価単層1軸偏心系の作成
- STEP 2** 等価単層1軸偏心系の静的漸増載荷解析と等価1自由度系の作成
- STEP 3** 等価1自由度系の非線形応答解析
- STEP 4** 等価単層1軸偏心系の応答の推定
- STEP 5** 各構面の層間変位の推定

以下に、各ステップについて詳細に述べる。

2.2.1 各構面の静的漸増載荷解析と等価単層1軸偏心系の作成

各構面において、変位分布を仮定して静的漸増載荷解析を行う。ここで、仮定する変位分布を $\{\phi_{S1}\}$ とおく。この $\{\phi_{S1}\}$ は偏心がないと仮定した場合の1次モード形とし、最上階で1.0となるように基準化するものとする。なお、 $\{\phi_{S1}\}$ は線形・非線形領域を問わず一定であると仮定して弾性時のものを用いるものとし、全ての構面において同一であるとする。

次に静的漸増載荷解析の結果を用いて等価単層1軸偏心系を作成する。多層1軸偏心系およ

び等価単層1軸偏心系の非線形運動方程式は式(3)、(4)である。なお、式(3)から式(4)の誘導については文献3)を参照されたい。

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} [m] & [0] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{y}\} \\ \{\ddot{\theta}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C_{YY}] & [C_{Y\theta}] \\ [C_{\theta Y}] & [C_{\theta\theta}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\dot{y}\} \\ \{\dot{\theta}\} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \{R_Y\} \\ \{M_Z\} \end{Bmatrix} \\ & = - \begin{bmatrix} [m] & [0] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{1\} \\ \{0\} \end{Bmatrix} a_g \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{Y}_1^* \\ \ddot{\Theta}_1^* \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{YYT1}^* & C_{Y\theta T1}^* \\ C_{\theta Y T1}^* & C_{\theta\theta T1}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{Y}_1^* \\ \dot{\Theta}_1^* \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} Y_T^* \\ T_Z^* \end{Bmatrix} \\ & = - \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} a_g \end{aligned} \quad (4)$$

式(3)における変数は以下に示す通りである。

$$\{d\} = \left\{ \begin{matrix} \{y\}^T & \{\theta\}^T \end{matrix} \right\}^T : \text{重心変位ベクトル}$$

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

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & \ddots \\ & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_N \end{bmatrix}, [I] = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 \\ 0 & I_2 & \ddots \\ & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_N \end{bmatrix}$$

m_i : 各階質量, I_i : 各階回転慣性質量

$$[C] = \begin{bmatrix} [C_{YY}] & [C_{Y\theta}] \\ [C_{\theta Y}] & [C_{\theta\theta}] \end{bmatrix} : \text{減衰マトリクス}$$

$$\{R\} = \left\{ \begin{matrix} \{R_Y\}^T & \{M_Z\}^T \end{matrix} \right\}^T : \text{復元力ベクトル}$$

a_g : 地動加速度

また、式(4)における変数は以下の通りである。

$$M_{T1}^* = \beta_{S1} \{\phi_{S1}\}^T [m] \{1\} \quad (5)$$

: 等価単層1軸偏心系の等価質量

$$I_{T1}^* = \beta_{S1} \{\phi_{S1}\}^T [I] \{1\} \quad (6)$$

: 等価単層1軸偏心系の回転慣性質量

$$\begin{bmatrix} C_{YYT1}^* & C_{\theta Y T1}^* \\ C_{Y\theta T1}^* & C_{\theta\theta T1}^* \end{bmatrix} : \text{等価単層1軸偏心系の減衰マトリクス}$$

$$\{d_{T1}^*\} = \left\{ \begin{matrix} Y_1^* & \Theta_1^* \end{matrix} \right\}^T : \text{等価単層1軸偏心系の重心変位ベクトル}$$

$$\{R^*\} = \left\{ \begin{matrix} Y_T^* \\ T_Z^* \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} \beta_{S1} \{\phi_{S1}\}^T \cdot \{R_Y\} \\ \beta_{S1} \{\phi_{S1}\}^T \cdot \{M_Z\} \end{matrix} \right\} \quad (7)$$

: 等価単層1軸偏心系の等価復元力ベクトル

$$\beta_{S1} = \frac{\{\phi_{S1}\}^T [m] \{1\}}{\{\phi_{S1}\}^T [m] \{\phi_{S1}\}} \quad (8)$$

: 静的漸増載荷解析において仮定した変位分布による刺激係数

本論文で対象とする多層1軸偏心建物におい

ては各階の回転半径 r が等しいため、多層 1 軸偏心系での $[m]$ と $[I]$ および等価単層 1 軸偏心系における M_{T1}^* と I_{T1}^* は式(9), (10)の関係にある。

$$[I] = r^2 [m] \quad (9)$$

$$I_{T1}^* = r^2 \cdot M_{T1}^* \quad (10)$$

静的漸増載荷解析において仮定した変位分布 $\{\phi_{S1}\}$ を用いて式(5), (6)より等価単層 1 軸偏心系の等価質量および回転慣性質量が定まる。また、等価単層 1 軸偏心系における各構面要素の等価復元力—等価変位関係は式(11), (12)により得られる。

$$\begin{cases} V_{Xj}^* = \beta_{S1} \{\phi_{S1}\}^T \{R_{Xj}\} \\ V_{Yl}^* = \beta_{S1} \{\phi_{S1}\}^T \{R_{Yl}\} \end{cases} \quad (11)$$

$$d_{Xj}^* = \frac{1}{\beta_{S1}} \cdot d_{XNj}, d_{Yl}^* = \frac{1}{\beta_{S1}} \cdot d_{YNl} \quad (12)$$

ここで、

- V_{Xj}^* : X 方向構面 j の等価復元力
- V_{Yl}^* : Y 方向構面 l の等価復元力
- d_{Xj}^* : X 方向構面 j の等価変位
- d_{Yl}^* : Y 方向構面 l の等価変位
- $\{R_{Xj}\}$: X 方向構面 j の復元力ベクトル
- $\{R_{Yl}\}$: Y 方向構面 l の復元力ベクトル
- d_{XNj} : X 方向構面 j の最上階変位
- d_{YNl} : Y 方向構面 l の最上階変位

である。

2.2.2 等価単層 1 軸偏心系の静的漸増載荷解析と等価 1 自由度系の作成

等価単層 1 軸偏心系の静的漸増載荷解析を行い、この結果に基づいて等価 1 自由度系を作成する。ここでは、文献4)で示した 1 次モード形の変動を考慮した変位分布を強制させる手法により静的漸増載荷解析を行う。等価 1 自由度系の運動方程式は式(13)の形となる。

$$\ddot{D}_1^* + \frac{C_1^*}{M_1^*} \cdot \dot{D}_1^* + A_1^* = -a_g \quad (13)$$

式(13)中の変数は以下に示す通りである。

$$D_1^* = \frac{1}{\beta_{T1}} \cdot Y_1^* \quad (14)$$

: 等価 1 自由度系の等価変位

$$\beta_{T1} = \frac{\{\phi_{T1}\}^T \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}}{\{\phi_{T1}\}^T \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \{\phi_{T1}\}} \quad (15)$$

: 等価単層 1 軸偏心系の 1 次モードの刺激係数

$$\{\phi_{T1}\} = \{\phi_{TY1} \quad \phi_{T\theta1}\}^T \quad (16)$$

: 等価単層 1 軸偏心系の 1 次モードベクトル

$$C_1^* = \beta_{T1}^2 \left(\{\phi_{T1}\}^T \begin{bmatrix} C_{YYT1}^* & C_{Y\theta T1}^* \\ C_{Y\theta T1}^* & C_{\theta\theta T1}^* \end{bmatrix} \{\phi_{T1}\} \right) \quad (17)$$

: 等価 1 自由度系の等価減衰係数

$$M_1^* = \beta_{T1}^2 \left(\{\phi_{T1}\}^T \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \{\phi_{T1}\} \right) \quad (18)$$

: 等価 1 自由度系の等価質量

$$A_1^* = \frac{R_1^*}{M_1^*} = \frac{\beta_{T1} \{\phi_{T1}\}^T \{R^*\}}{M_1^*} \quad (19)$$

: 等価 1 自由度系の等価加速度

等価単層 1 軸偏心系の静的漸増載荷解析において、各ステップにおける変位分布が 1 次モード形と相似であるとする、等価 1 自由度系の等価加速度 A_1^* と等価変位 D_1^* は式(20), (21)により求めることができる。

$$A_1^* = \left\{ 1 + \left(\frac{\Theta_1^*}{Y_1^*} \right) \cdot \left(\frac{T_Z^*}{V_Y^*} \right) \right\} \frac{V_Y^*}{M_{T1}^*} \quad (20)$$

$$D_1^* = \left\{ 1 + \frac{I_{T1}^*}{M_{T1}^*} \left(\frac{\Theta_1^*}{Y_1^*} \right)^2 \right\} \cdot Y_1^* \quad (21)$$

次に式(20), (21)により得られた等価加速度—等価変位関係を 3 折れ線に近似する。この方法の詳細は文献2)を参照にされたい。

2.2.3 等価 1 自由度系の非線形応答解析

等価 1 自由度系の非線形応答解析を実施し、最大応答変位 $D_{1\text{MAX}}^*$ を求める。これは時刻歴応答解析による方法の他、弾性応答スペクトルを用いた等価線形化手法等によって求めてもよい。

2.2.4 等価単層 1 軸偏心系の応答の推定

等価単層 1 軸偏心系の非線形応答の推定を行い、各構面の最大等価変位 $d_{Xj\text{MAX}}^*$, $d_{Yl\text{MAX}}^*$ を求める。まず STEP 2 における静的漸増載荷解析の結果において、STEP 3 で得られた等価 1 自由度系の最大応答変位 $D_{1\text{MAX}}^*$ に最も近いステップ n を求める。このステップ n での変位 $\{n d_{T1}^* \text{First}\}$ を 1 次モード応答の推定値とする。また、ステップ n における 1 次モードベクトル ${}_n \beta_{T1} \{\phi_{T1}\}$ も静的漸増載荷解析の結果より求め

る。次に、文献5)において松森らが平面骨組に関して提案しているモード直和・差分外力を用いた手法に基づき、等価単層1軸偏心系に対してモード直和外力による静的漸増載荷解析を行う。文献5)によると、モード直和外力 $\{f_+\}$ は式(22)で与えられる。

$$\{f_+\} = [M] \{ \beta_1 \{\phi_1\} + \alpha_{2+} \beta_2 \{\phi_2\} \} \quad (22)$$

ここで、 $\beta_i \{\phi_i\}$ ($i=1, 2$) はモードベクトルである。また、 α_{2+} は2次モード比例分の1次モード成分に対する比であり、文献5)では式(23)で与えられるものとしている。

$$\alpha_{2+} = \gamma_+ \cdot \frac{S_{A2}}{S_{A1}} \quad (23)$$

ここで、 γ_+ は両モード応答の位相特性を考慮するための係数であるが文献5)では簡便に1.0としている。また、 S_{A2} / S_{A1} は両モードの加速度応答の比である。本応答推定手法では、モードベクトル $\beta_i \{\phi_i\}$ ($i=1, 2$) は弾性時から変動するため、式(22)を用いてモード直和外力を簡便に評価することはできない。そこで簡略化のために式(24)の仮定を導入する。

$$\alpha_{2+} = \frac{S_{A2}}{S_{A1}} = 1 \quad (24)$$

式(24)の仮定は、厳密には対象建物が短周期建物でその固有周期が加速度一定領域に入る場合のみ成立することに留意されたい。式(24)の仮定により、モード直和外力は最終的には式(25)のように簡略化できる。

$$\{f_+\} = \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (25)$$

モード直和外力による静的漸増載荷解析は、(26)式により定まる等価変位 D^* が $D_{1\text{MAX}}^*$ に等しくなる点まで解析を行う。解析結果において、 D^* が $D_{1\text{MAX}}^*$ に等しくなる点での変位 $\{n d_{T1\text{SUM}}^*\}$ をモード直和による変位とする。

$$D^* = \frac{{}_n \beta_{T1} \{ \phi_{T1} \}^T \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y_1^* \\ \Theta_1^* \end{Bmatrix}}{{}_n \beta_{T1} \{ \phi_{T1} \}^T \begin{bmatrix} M_{T1}^* & 0 \\ 0 & I_{T1}^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \end{Bmatrix}} \quad (26)$$

最後に、1次モード応答とモード直和とによりそれぞれ求めた各構面の等価変位で大きい方

を取り、これを各構面の最大等価変位 $d_{Xj\text{MAX}}^*$ 、 $d_{Yl\text{MAX}}^*$ の推定値とする。

2.2.5 各構面の層間変位の推定

最後に、STEP 1における各構面での静的漸増載荷解析の結果を参照して、各構面の最大等価変位 $d_{Xj\text{MAX}}^*$ 、 $d_{Yl\text{MAX}}^*$ に対応するステップを求め、このステップでの層間変位を最大層間変位の推定値とする。

3. 解析諸元

3.1. 解析建物モデル

解析対象は、図-2に示すX方向4m×6スパン、Y方向8m×1スパンの矩形平面を持つ4層建物モデルである。床の単位面積あたりの重量を11.8kN/m²、階高Hを各階ともに3.75mと仮定した。建物の降伏ベースシアアは、加振方向・直交方向とも0.5W (W: 建物総重量) とした。Y方向構面は、構面(1)では図-3(a)に示す耐震

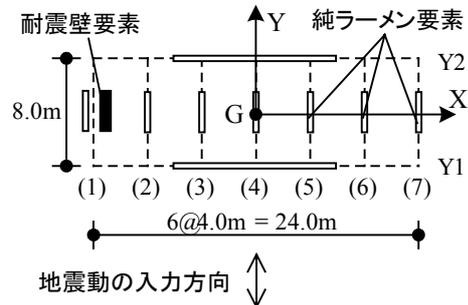


図-2 解析建物モデル

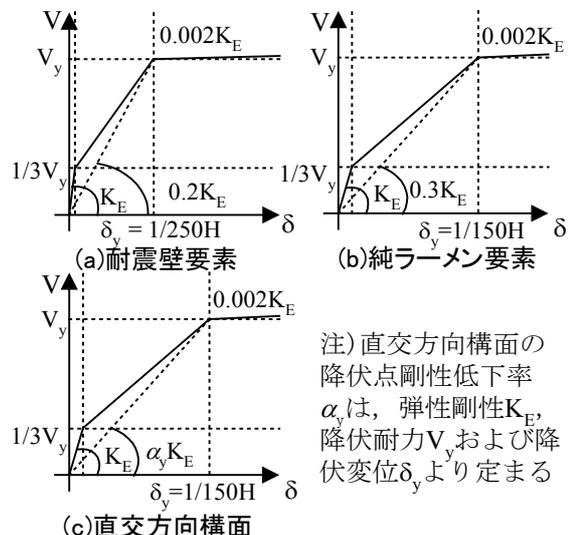


図-3 復元力特性

壁要素と図-3(b)に示す純ラーメン要素がそれぞれ配置され、構面(2)~(7)では純ラーメン要素のみが配置されているものと仮定した。直交方向であるX方向の構面は図-3(c)に示すように非線形挙動を仮定し、構面 Y1, Y2 ともその特性は等しく各層のX方向の弾性剛性がY方向の弾性剛性と等しいものと仮定した。各層の降伏耐力 V_i は式 (27) により定めた。

$$V_i = \frac{N+i}{N+1} \times 0.5 \times \left(\sum_{j=1}^N w \right) \quad (27)$$

各要素の降伏耐力は、Y方向にある耐震壁要素は $0.3V_i$ 、純ラーメン要素(7要素)は $0.1V_i$ とし、直交方向構面ではそれぞれ $0.5V_i$ とした。各要素の降伏変位は、全ての層において耐震壁要素の降伏変形を $1/250H$ 、純ラーメン要素と直交方向構面の降伏変形を $1/150H$ とした。各要素の復元力特性は曲げ破壊型のRC造建物を想定して Takeda モデル⁶⁾を用いた。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。

図-4に解析建物モデルの固有モードを示す。図-4より、解析建物モデルでは1次等価質量比が0.667と大きくなっていることがわかる。

3.2. 入力地震動

地震動はY方向からの1方向入力とした。入力地震動として、表-1に示す6記録(El Centro 1940NS(ELC), Taft 1952NS(TAF), Hachinohe 1968EW(HAC), Tohoku Univ. 1978NS(TOH), JMA Kobe 1995NS(JKB), Fukiai 1995NS(FKI))における最初の25秒間をそれぞれ使用した。入力の大きさは、図-2に示す解析建物モデルにおいて無偏心とした場合に最上階の変位が建物高さの1/100となるように設定した。

4. 応答推定結果と精算解との比較

以下に、本論文で提案する応答推定手法に従い推定した結果と、多自由度系モデルの非線形時刻歴応答解析により求めた精算解との比較を行い、本論文で提案する応答推定手法の推定精度について検討する。なお、ここでは本応答推

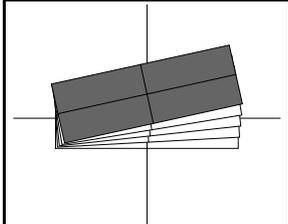
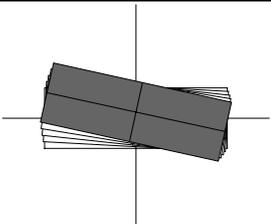
	
弾性1次モード $T_1=0.426s$ $m_1^*=0.667$	弾性2次モード $T_2=0.196s$ $m_2^*=0.167$

図-4 解析建物モデルの固有モード

表-1 入力地震動

地震波	原記録の最大加速度 (m/s^2)	原記録に対する加速度倍率
ELC	3.417	1.500
TAF	1.572	2.910
HAC	1.829	2.030
TOH	2.582	1.316
JKB	8.178	0.500
FKI	8.020	0.732

定手法でのSTEP3における等価1自由度系の最大応答は、非線形時刻歴応答解析により求めた。図-5に最上階における剛側の構面(1)、重心位置の構面(4)および柔側の構面(7)と直交方向構面 Y1 における最大変位を、本応答推定手法による結果と精算解を比較して示す。図-5より、本応答推定手法による結果は精算解の±20%以内に概ね収まっており、最上階における各構面の最大変位は本応答推定手法によって概ね良好に評価できている事がわかる。

図-6にTOH記録を入力したときの各層層間変形角を示す。図-6より、構面(1)と構面 Y1 では本応答推定手法による推定結果は精算解と良好に対応している一方、構面(4)と構面(7)では本推定評価手法による評価値は精算解と概ね対応するものとなっているものの、最下層で両者の差が顕著となっている。これは、本応答推定手法では各構面の変位分布は線形・非線形領域ともに変動しないと仮定しているために、特定層での変形の増大が評価できないためである。

各構面の最大層間変形角の推定精度として6波における精算解と本応答推定手法による推定値の比をとり、その平均および標準偏差を図-7

に示す。図-7 において、平均は各構面ともに概ね 1.0 近くとなっていることがわかる。しかし、ばらつきは各構面ともに層によって異なり、最上層および最下層でばらつきが大きくなった。これは、前述したように本応答推定手法では特定層への変形の集中は評価できないためであるが、別途検討したところによるとこのばらつきは偏心のない場合とほぼ同程度になっている。

5. まとめ

本論文では、これまでの検討結果を総合して、各階重心が同一鉛直線上にあり、剛性偏心距離・耐力偏心距離ならびに弾力半径比が全層で等しい多層 1 軸偏心建物が構面方向からの一方向入力を受ける場合を対象として、各構面における最大応答変位の簡便な推定手法を提案した。本論文で提案した応答推定手法により、各構面の最大層間変形角を大局的に推定することが可能である。ただし、地震波の特性等に基づく特定層への変形の集中による影響は評価できないため、これについては今後の課題である。

参考文献

- 1) 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: 単層 1 軸偏心建物の非線形応答評価法に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 48B, pp.173-182, 2002. 3
- 3) 藤井 賢志, 中埜 良昭, 真田 靖士: 多層 1 軸偏心建物の非線形応答評価法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 2, pp.173-182, 2002. 6
- 4) 藤井 賢志, 中埜 良昭: 単層 1 軸偏心建物の Pushover 解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), CD-ROM, 2001. 9
- 5) 松森泰造, 壁谷澤寿海, 小谷 俊介, 塩原 等: 2つの静的漸増载荷を用いた RC 造骨

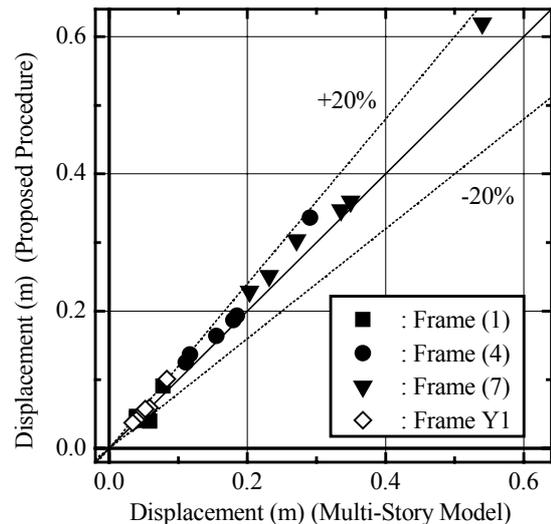


図-5 最上階の各構面最大変位

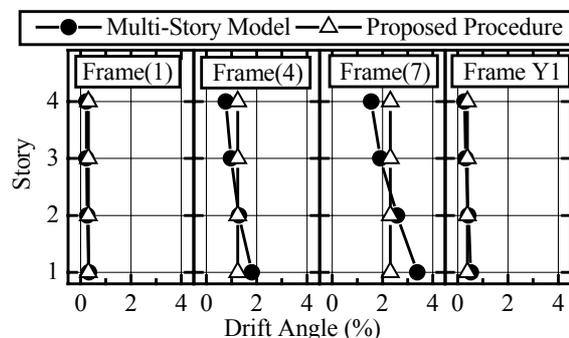


図-6 各層の最大層間変形角 (TOH)

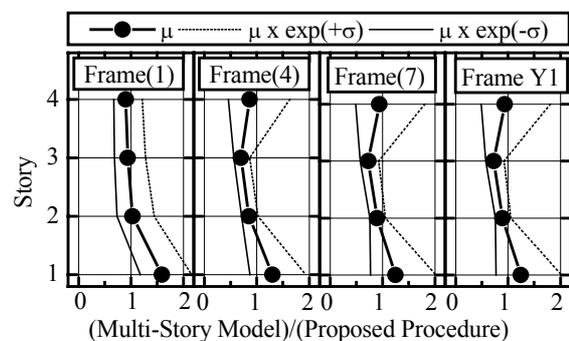


図-7 最大層間変形角の推定精度

組の地震時変形の評価方法, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 2 pp.19-24, 2002.6

- 6) 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