

# 論文 鋼材系制震部材を設置した単層 RC 造偏心建物の地震時最大応答と累積応答の推定

藤井 賢志\*1

**要旨:** 近年, 地震時のエネルギー吸収を意図として広く用いられている低降伏点鋼を用いた鋼材系制震部材では, 部材の最大変形に加えて累積塑性変形の評価が必要となる。従ってこれらを設置した RC 造建物の耐震性能評価では最大応答と累積応答の両者の推定が重要な課題となる。本論文では 1 質点 3 自由度系にモデル化した鋼材系制震部材付き RC 造偏心建物を対象として, 等価 1 自由度系モデルによる最大応答と累積応答の推定を試みた。

**キーワード:** 単層偏心建物, 等価 1 自由度系モデル, 最大応答, 累積応答, 鋼材系制震部材

## 1. はじめに

近年, 鋼材系制震ブレースや摩擦ダンパー等の制震部材が新築の RC 造建物の設計および既存 RC 造建物の耐震改修に積極的に用いられている<sup>1)</sup>。低降伏点鋼を用いた鋼材系制震ブレース等の性能確認においては, 地震時に生じる最大変形に加えて累積ひずみエネルギーの評価が必要となる。従って, 鋼材系制震部材を RC 造建物に設置する場合には, RC 造部材の最大変形に加えて制震部材の累積塑性ひずみエネルギーの評価が重要な課題である。

一方, 著者らは等価 1 自由度系モデルを用いた RC 造偏心骨組の最大応答変位の推定手法の展開を行ってきた<sup>2)~4)</sup>。従来, 等価 1 自由度系モデルを用いた推定手法では, 骨組各部の最大応答変形を推定するのが一般的である<sup>2)~5)</sup>が, 等価 1 自由度系モデルより代表モードの累積応答が併せて推定可能であるならば, 制震部材を設置した偏心建物の非線形地震応答を理論的に把握する上で極めて有用であると考えられる。

本論文では, 最も基本的なケースの一つである, 1 質点 3 自由度系にモデル化した鋼材系制震部材付き RC 造偏心建物が 1 次モード応答の主軸方向<sup>3), 4)</sup>からの水平 1 方向地震入力を受ける場合を対象として, 等価 1 自由度系モデルを用いて各構面最大応答変位と制震部材の累積応答の推定を試みる。

## 2. 1 次モード応答に関するエネルギーの釣合

文献3)に示すように, 単層偏心系モデルにおける 1 次モード応答の主軸方向を式(1)で定義される 1 次等価質量  $M_{1U}^*$  が最大となる方向と定義すると, 1 次モード応答の主軸方向と X 軸の成す角  $\psi_1$  (図-1) は式(6)で表される。

$$M_{1U}^* = \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \boldsymbol{\alpha}_U = \beta_{1U}^2 (\boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \boldsymbol{\phi}_1) \quad (1)$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\beta_{1U} = \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \boldsymbol{\alpha}_U / \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \boldsymbol{\phi}_1 \quad (3)$$

$$\boldsymbol{\alpha}_U = \{\cos \psi_1 \quad -\sin \psi_1 \quad 0\}^T \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\phi}_1 = \{\phi_{X1} \quad \phi_{Y1} \quad \phi_{\theta 1}\}^T \quad (5)$$

$$\psi_1 = -\phi_{Y1} / \phi_{X1} \quad (6)$$

ここで,  $\mathbf{M}$ : 単層偏心系モデルの質量マトリクス,  $m, I$ : 単層偏心系モデルの慣性質量および回転慣性質量,  $\boldsymbol{\alpha}_U$  は地震動の入力方向を表すベクトル,  $\boldsymbol{\phi}_1$  は単層偏心系モデルの 1 次モード

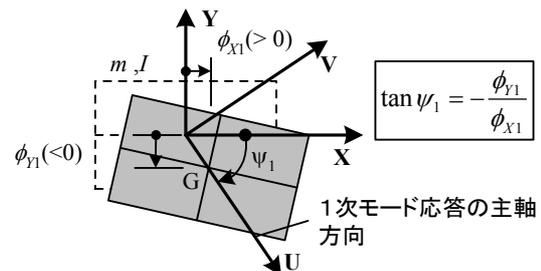


図-1 1 次モード応答の主軸方向(平面図)

\*1 千葉工業大学助教 工学部建築都市環境学科 博士(工学) (正会員)

ベクトルである。本論文では、図-1 に示すように弾性時における 1 次モード応答の主軸方向を U 方向、これに直交する方向を V 方向と表記する。地震動を U 方向からの 1 方向入力とする場合、制震部材付き単層偏心系モデルの非線形運動方程式は式(7)で表される。

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{d}} + \mathbf{f}_R = -\mathbf{M}\mathbf{a}_U \cdot a_{gU} \quad (7)$$

$$\mathbf{d} = \{x \quad y \quad \theta\}^T \quad (8)$$

$$\mathbf{f}_R = \mathbf{f}_{Rf} + \mathbf{f}_{Rd} = \{R_x \quad R_y \quad M_z\}^T \quad (9)$$

ここで、 $\mathbf{d}$ ,  $\mathbf{f}_R$  : 単層偏心系モデルの重心での変位ベクトルおよび復元力ベクトル、 $\mathbf{C}$  : 単層偏心系モデルの減衰マトリクス、 $a_{gU}$  は地動加速度の U 成分である。また、 $\mathbf{f}_{Rf}$ ,  $\mathbf{f}_{Rd}$  : 復元力ベクトル  $\mathbf{f}_R$  における RC 骨組と制震部材の寄与分とする。ここで、非線形領域においても変位ベクトルが式(10)で表されると仮定する。

$$\mathbf{d} = \sum_{i=1}^3 \beta_{iU} \boldsymbol{\phi}_i D_{iU}^* \quad (10)$$

ここで、1 次モード応答に着目し、1 次モード応答の等価変位  $D_{1U}^*$ 、等価加速度  $A_{1U}^*$ 、等価減衰係数  $C_{1U}^*$  を式(11)~(13)で定義する。

$$D_{1U}^* = \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \mathbf{d} / M_{1U}^* \quad (11)$$

$$A_{1U}^* = \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{f}_R / M_{1U}^* \quad (12)$$

$$C_{1U}^* = \beta_{1U}^2 (\boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{C} \boldsymbol{\phi}_1) \quad (13)$$

式(7)に  $\beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \dot{D}_{1U}^* dt$  を掛けて地震終了時刻  $t_d$  まで積分し、質量マトリクスに対する直交性(式(14))を考慮して式(15)~式(18)で定義される 1 次モード応答に関する運動エネルギー  $W_{k1}^*$ 、減衰による吸収エネルギー  $W_{h1}^*$ 、累積ひずみエネルギー  $W_{s1}^*$ 、地震動による入力エネルギー  $E_{I1}^*$  を用いると、1 次モード応答に関するエネルギーの釣合式が式(19)で表される。

$$\boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \boldsymbol{\phi}_k = 0 : k \neq 1 \quad (14)$$

$$W_{k1}^* = \int_0^{t_d} \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{d}} \dot{D}_{1U}^* dt = \int_0^{t_d} M_{1U}^* \ddot{D}_{1U}^* \dot{D}_{1U}^* dt \quad (15)$$

$$W_{h1}^* = \int_0^{t_d} \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{C} \dot{\mathbf{d}} \dot{D}_{1U}^* dt \approx \int_0^{t_d} C_{1U}^* (\dot{D}_{1U}^*)^2 dt \quad (16)$$

$$W_{s1}^* = \int_0^{t_d} \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{f}_R \dot{D}_{1U}^* dt = \int_0^{t_d} M_{1U}^* A_{1U}^* \dot{D}_{1U}^* dt \quad (17)$$

$$E_{I1}^* = -\int_0^{t_d} (\beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{M} \mathbf{a}_U) a_{gU} \dot{D}_{1U}^* dt \\ = -\int_0^{t_d} M_{1U}^* a_{gU} \dot{D}_{1U}^* dt \quad (18)$$

$$W_{k1}^* + W_{h1}^* + W_{s1}^* = E_{I1}^* \quad (19)$$

RC 骨組と制震部材の等価加速度  $A_{1Uf}^*$ ,  $A_{1Ud}^*$  を式(20)で定義し、1 次モード応答に関する RC 骨組と制震部材の累積ひずみエネルギー  $W_{s1f}^*$ ,  $W_{s1d}^*$  はそれぞれ式(21)と式(22)で定義する。

$$A_{1Uf}^* = \frac{\beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{f}_{Rf}}{M_{1U}^*}, A_{1Ud}^* = \frac{\beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{f}_{Rd}}{M_{1U}^*} \quad (20)$$

$$W_{s1f}^* = \int_0^{t_d} \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{f}_{Rf} \dot{D}_{1U}^* dt = \int_0^{t_d} M_{1U}^* A_{1Uf}^* \dot{D}_{1U}^* dt \quad (21)$$

$$W_{s1d}^* = \int_0^{t_d} \beta_{1U} \boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{f}_{Rd} \dot{D}_{1U}^* dt = \int_0^{t_d} M_{1U}^* A_{1Ud}^* \dot{D}_{1U}^* dt \quad (22)$$

### 3. 解析諸元

#### 3.1. 解析建物モデル

解析対象は、図-2 に示す矩形平面を有する 4 層建物を想定した 1 質点 3 自由度の単層偏心系モデルとし、制震部材のない Model-O に加えて、鋼材系制震部材を構面 X6 に設置したモデル (Model-S-02, Model-S-04, Model-S-06) の計 4 種類のモデルを設定した。解析建物モデルの慣性質量  $m$  は 1524ton, 回転慣性質量  $I$  は  $1.075 \times 10^5 \text{ tonm}^2$ , 等価高さ  $H_1^*$  は 11.16m である。RC 骨組の復元力特性は Tri-linear 型とし、制震部材の設置による RC 骨組の復元力特性の違いは無視して、全モデルで共通とした。制震部材の復元力特性は Bi-Linear 型とした。図-3 に各構面の RC 骨組および制震部材の履歴モデルを、表-1 に各構面の RC 骨組の特性、表-2 に各モデルでの制震部材の特性を示す。RC 骨組部分の降伏層せん断力係数は、X 方向で 0.691, Y 方

向で 0.522 である。一方、制震部材の降伏せん断力係数は 0.022~0.071 である。RC 骨組の履歴モデルは、武藤モデル<sup>6)</sup>において降伏後の除荷剛性を修正したモデル (図-3(a)) とし、一方の制震部材の履歴モデルは、繰返しによる耐力上昇の小さい降伏点強度  $\sigma_y = 225\text{N/mm}^2$  の低降伏点鋼の制震ブレースを用いた場合を想定して Normal Bi-Linear モデルとした。表-3 に各モデルの弾性時の固有周期  $T_i(\text{s})$ 、モード応答の主軸方向と X 軸のなす角  $\psi_i(\text{Deg.})$ 、および U 方向を Model-O の弾性 1 次モード応答の主軸方向 ( $\psi_1 = 70.7\text{Deg.}$ ) と一致させたときの等価質量比  $m_{iU}^* (= M_{iU}^* / m)$  を示す。表-3 より、全てのモデルでの弾性 1 次モード応答の主軸方向が  $\psi_1 = 69.7\sim 70.7$  度とモデル間の差異が非常に小さく、かつ 1 次等価質量比  $m_{1U}^*$  が 0.782~0.803 と大きくなっている事が確認できる。

### 3.2. 入力地震動

本論文では地震動は水平 1 方向入力とした。入力地震動は模擬地震動 3 波とし、極めて稀に生じる地震動 (第 1 種地盤) の設計用応答スペクトルに適合するように作成した<sup>5)</sup>。模擬地震動の位相特性は観測記録 (El Centro 1940(ELC), Tohoku Univ. 1978(TOH), JMA Kobe 1995(JKB)) の主軸成分を用いた。図-4 に模擬地震動の弾性加速度応答スペクトルとエネルギースペクトル<sup>7)</sup>をそれぞれ示す。模擬地震動の継続時間は 3

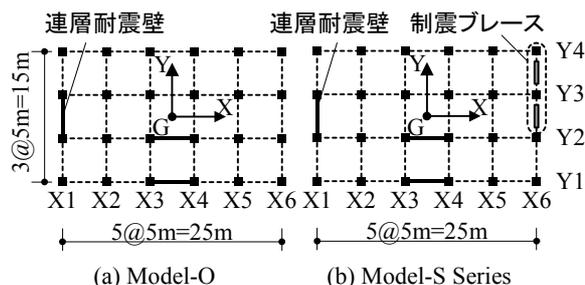


図-2 解析建物モデルの平面図

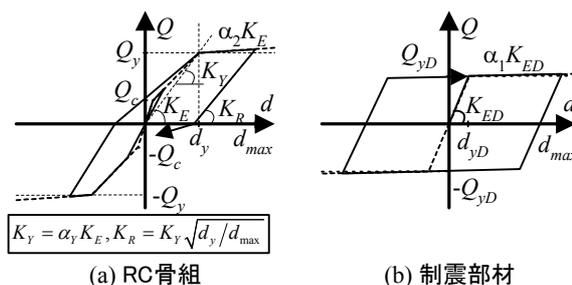


図-3 各構面の復元力特性

波とも 60 秒とした。入力方向は、制震部材のない Model-O における弾性 1 次モード応答の主軸方向に一致させることを意図して、X 軸から時計回りに 70.7 度の方向に入力した。入力の大きさは、作成した模擬地震動の 0.5 倍、1.0 倍の 2 段階を設定した。数値積分法は Newmark- $\beta$  ( $\beta = 1/4$ ) 法とし、積分時間刻みは 0.002 秒とした。減衰は RC 骨組の瞬間剛性に比例させ、RC 骨組のみの弾性 1 次モードに対して 3% と仮定した。

表-1 構面の RC 骨組の復元力特性

	$K_E$ (MN/m)	$Q_c$ (kN)	$Q_y$ (kN)	$\alpha_y$	$\alpha_2$
構面 X1	539.9	1165	3493	0.1811	0.006
構面 X2	569.6	1253	3760	0.2306	0.007
構面 X3	129.5	530	1591	0.2921	0.022
構面 X4	114.1	491	1472	0.2800	0.023
構面 Y1	491.5	955	2864	0.1926	0.006
構面 Y2~Y5	80.5	334	1001	0.2874	0.024
構面 Y6	70.7	314	942	0.2609	0.024

表-2 制震部材の復元力特性

	$K_{ED}$ (MN/m)	$Q_{yD}$ (kN)	$\alpha_1$	$Q_{yD}/W$
Model-O	—	—	—	0.000
Model-S-02	13.05	341	0.011	0.023
Model-S-04	25.96	683	0.010	0.046
Model-S-06	38.76	1064	0.011	0.071

注) ここで、 $W = m \times g$  : 建物重量 (= 14935kN)  
 $g$  : 重力加速度 (= 9.8m/s<sup>2</sup>)

表-3 各モデルの弾性固有周期  $T_i$ 、各モード応答の主軸方向の角度  $\psi_i$ 、等価質量比  $m_{iU}^*$

	1 次モード			2 次モード			3 次モード		
	$T_1(\text{s})$	$\psi_1(\text{Deg.})$	$m_{1U}^*$	$T_2(\text{s})$	$\psi_2(\text{Deg.})$	$m_{2U}^*$	$T_3(\text{s})$	$\psi_3(\text{Deg.})$	$m_{3U}^*$
Model-O	0.336	70.7	0.782	0.222	-26.4	0.014	0.157	40.7	0.204
Model-S-02	0.327	70.4	0.789	0.222	-26.6	0.015	0.156	40.1	0.196
Model-S-04	0.318	70.1	0.796	0.222	-26.8	0.016	0.156	39.5	0.188
Model-S-06	0.311	69.7	0.803	0.222	-27.0	0.017	0.155	38.9	0.180

#### 4. 単層偏心系モデルの時刻歴応答解析結果

##### 4.1. 制震部材による最大変形の低減効果

図-5 に模擬地震動（位相：TOH）を 1.0 倍で入力した時の各構面最大変形角の分布を示す。図-5 より、制震部材の設置により最大応答変位が低減されている事が確認できる。

##### 4.2. 単層偏心系モデルにおける 1 次モード応答に関する累積ひずみエネルギー

ここでは、単層偏心系モデルにおける 1 次モード応答に関する入力エネルギー  $E_{I1}^*$  および累積ひずみエネルギー  $W_{S1}^*$  について検討を行う。本論文では、文献3)と同様に文献8)での倉本の手法により単層偏心系モデルの応答時刻歴より 1 次モード成分を抽出して  $E_{I1}^*$ ,  $W_{S1}^*$  を算定する。抽出手順を以下に示す。

- 1) 単層偏心系モデルを用いて、文献2)に示す 1 次モード形の変動を考慮した静的漸増載荷解析を実施する。
- 2) 単層偏心系モデルの 1 次モード形を  $\beta_{1U}\phi_1$  と仮定し、式(11)を用いて 1 次モード応答に関する等価変位  $D_{1U}^*$  を求める。
- 3) 等価変位の最大値  $D_{1U}^*_{max}$  に対応するステップを 1) の静的漸増載荷解析結果より定め、当該ステップにおける変位分布を用いて新たなモード形  $\beta_{1U}\phi_1$  を仮定する。
- 4) 2) に戻って再び等価変位の最大値  $D_{1U}^*_{max}$  を求め、仮定したモード形が静的漸増載荷解析結果において  $D_{1U}^*_{max}$  と対応するモード形と等しくなるまで繰り返す。
- 5) 1 次モード応答における等価加速度  $A_{1U}^*$  と RC 骨組および制震部材の寄与分  $A_{1Uf}^*$ ,  $A_{1Ud}^*$  は、4) にて得られたモード形を用いて式(12)と式(20)より得られる。次いで 1 次モード応答における入力エネルギー  $E_{I1}^*$  と累積ひずみエネルギー  $W_{S1}^*$ ,  $W_{S1f}^*$ ,  $W_{S1d}^*$  は式(17), (18)と式(21), (22)より得られる。

図-6 に、Model-S-04 に模擬地震動（位相：TOH）を 1.0 倍で入力した時の応答から前述の手順により抽出した 1 次モード応答の等価加速度  $A_{1U}^*$  - 等価変位  $D_{1U}^*$  関係、およびこれの RC

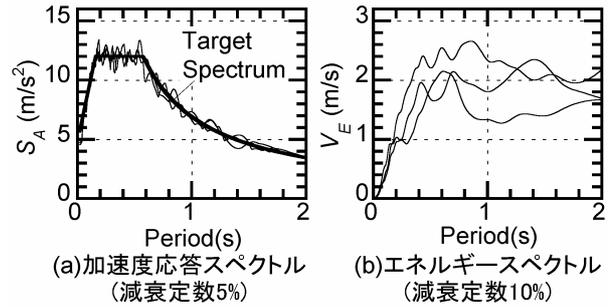


図-4 模擬地震動の弾性応答スペクトル

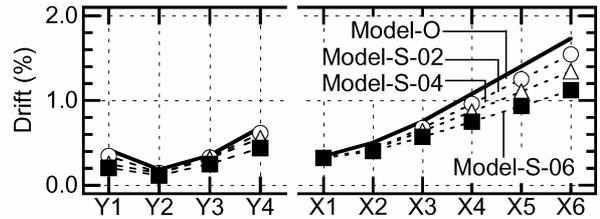


図-5 構面の最大変形角の分布

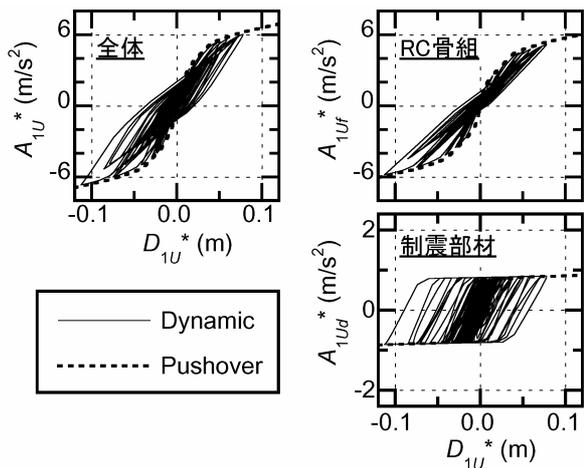


図-6 1 次モードの等価加速度 - 等価変位関係

骨組の寄与分  $A_{1Uf}^*$  と制震部材の寄与分  $A_{1Ud}^*$  を示す。図-6 より、等価加速度 - 等価変位関係は RC 骨組および制震部材の寄与分ともに規則的な履歴を描いていることが確認できる。そこで、式(17), (18)と式(21), (22)より得られる 1 次モード応答における入力エネルギー  $E_{I1}^*$  と累積ひずみエネルギー  $W_{S1}^*$ , および RC 骨組と制震部材の累積ひずみエネルギー  $W_{S1f}^*$ ,  $W_{S1d}^*$  の時刻歴を図-7 に示す。ここで、図-7 中の総入力エネルギー  $E_I$  は式(23)より得られる。

$$E_I = -\int_0^{t_d} \mathbf{d}^T \mathbf{M} \mathbf{a}_U a_{gU} dt \quad (23)$$

図-7より、1次モード応答の入力エネルギー  $E_{11}^*$  は総入力エネルギー  $E_I$  の約 83% となっている事がわかる。この事は、このモデルの最大応答における1次等価質量比  $m_{1U}^*$  の値が 0.72 となっている事から、 $m_{1U}^*$  が大きい場合には1次モード応答が支配的となることと対応する。すなわち、 $m_{1U}^*$  が大きい場合には、総入力エネルギー  $E_I$  の大半が1次モード応答に寄与するため、1次モード応答が支配的となると解釈することができる。なお、1次モード応答の累積ひずみエネルギー  $W_{S1}^*$  が  $E_{11}^*$  の約 85% となり、制震部材の累積ひずみエネルギー  $W_{S1d}^*$  は  $W_{S1}^*$  の約 66% となっている。

### 5. 等価1自由度系モデルによる最大応答・累積応答の推定

本章では、単層偏心系モデルの静的漸増載荷解析に基づき等価1自由度系モデルを設定し、その非線形時刻歴応答解析により各構面最大変位および制震部材の累積吸収エネルギーの推定を試みる。本研究での等価1自由度系モデルの復元力特性は、それぞれ図-3(a), (b)に示すRC骨組と制震部材の復元力特性の和で表す。ここで、各々の復元力特性は、静的漸増載荷解析より得られる  $A_{1Uf}^* - D_{1U}^*$  関係および  $A_{1Ud}^* - D_{1U}^*$  関係をそれぞれ独立に3折れ線および2折れ線に近似して定めた。

図-8に等価1自由度系モデルによる1次モード応答に関する入力エネルギー  $E_{11}^*$  と累積ひずみエネルギー  $W_{S1}^*$ 、およびRC骨組と制震部材の累積ひずみエネルギー  $W_{S1f}^*$ 、 $W_{S1d}^*$  の推定結果を示す。ここで、等価1自由度系モデルによる  $E_{11}^*$  と  $W_{S1}^*$ 、 $W_{S1f}^*$ 、 $W_{S1d}^*$  の推定において、等価1自由度系モデルの1次等価質量  $M_{1U}^*$  は、最大等価変位  $D_{1U}^*_{max}$  と対応する静的漸増載荷解析結果に基づきモード形を仮定して算定した。図-8より明らかなように、等価1自由度系モデルにより  $E_{11}^*$ 、 $W_{S1}^*$ 、および  $W_{S1f}^*$ 、 $W_{S1d}^*$  を良好に推定可能であることがわかる。

次いで図-9に各構面の最大変形角の推定結

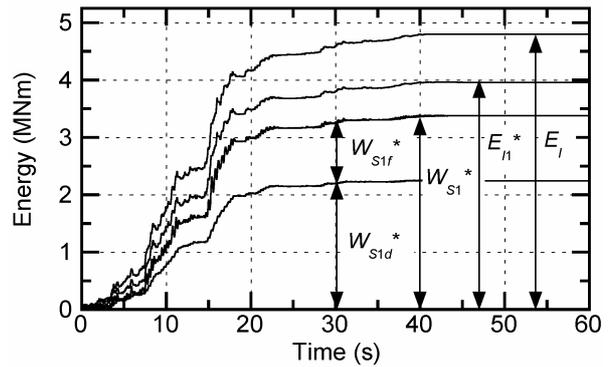


図-7 エネルギーの応答時刻歴

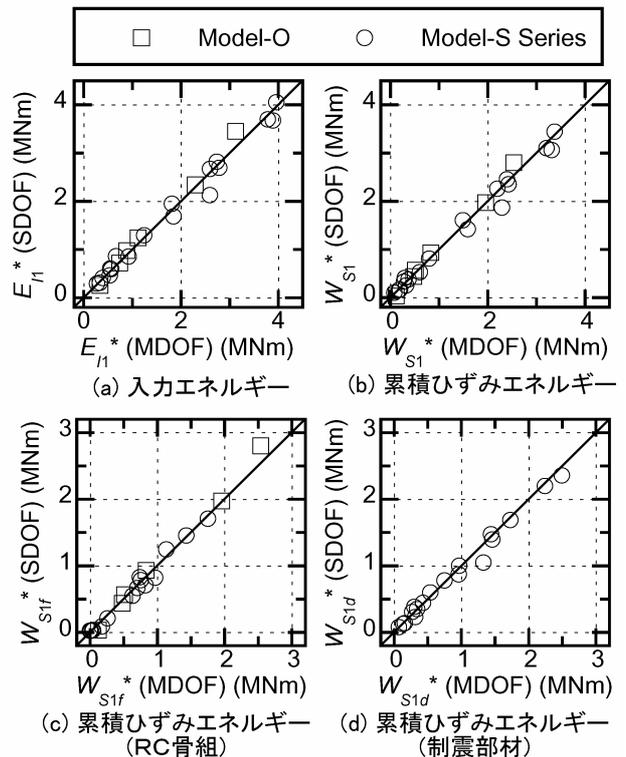


図-8 1次モード応答に関する入力エネルギー・累積ひずみエネルギーの推定

果と制震部材の累積塑性変形倍率  $\eta^7$  の推定結果を示す。ここで、各構面の最大変形角の推定値は、文献2)と同様に1次モード形の変動を考慮した静的漸増載荷解析において最大等価変位  $D_{1U}^*_{max}$  と対応するステップでの値と式(24)による一定の外力分布  $\mathbf{P}_{U+}$  での静的漸増載荷解析において  $D_{1U}^*_{max}$  と対応するステップでの値の大きい側の値とする。また、制震部材の累積塑性変形倍率  $\eta$  の推定値は、本研究での解析モデルでは制震部材を構面 X6 にのみ設置している事から、 $W_{S1d}^*$  が全て単一の制震部材により吸収さ

れるものとして式(25)により算定した。

$$\mathbf{P}_{U+} = \mathbf{M}\mathbf{a}_U \quad (24)$$

$$\eta = W_{slid}^* / (Q_{yD} \cdot d_{yD}) \quad (25)$$

ここで、 $Q_{yD}$ は制震部材の降伏耐力、 $d_{yD}$ は制震部材の降伏変形である。図-9より、各構面の最大変形角と制震部材の累積塑性変形倍率がともに概ね良好に推定できていることがわかる。従って、等価1自由度系モデルを用いて、単層偏心系モデルの各構面最大変位および制震部材の累積吸収エネルギーが推定できる可能性があると考えられる。

## 6. まとめ

本論文では、1質点3自由度系にモデル化した鋼材系制震部材付きRC造偏心建物が、1次モード応答の主軸方向からの水平1方向地震入力を受ける場合を対象として、等価1自由度系モデルを用いて各構面最大応答変位と制震部材の累積応答の推定を試みた。その結果、等価1自由度系モデルの時刻歴応答解析と単層偏心系モデルの静的漸増載荷を併用して各構面最大応答変位と制震部材の累積応答が推定できる可能性のあることを示した。

なお、制震部材が複数配置されている場合での累積ひずみエネルギーの配分、および累積応答における高次モードの寄与分の扱い等に関しては今後の検討課題である。

## 謝辞

本論文は、平成18年度文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B))「多次元入力地震動を受ける偏心建物の損傷制御に関する基礎的研究」、課題番号:18760426、研究代表者:藤井 賢志)として実施された成果の一部をまとめたものである。ここに謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 例えばコンクリート工学協会:コンクリート構造物の応答制御技術研究委員会報告書・論文集,コンクリート工学協会,2002.6

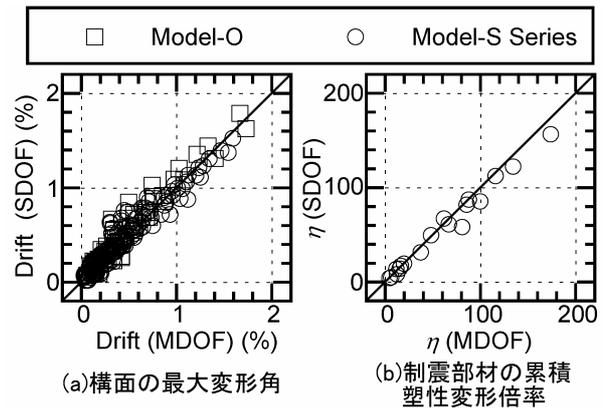


図-9 構面の最大変形角と制震部材の累積塑性変形倍率の推定結果

- 2) 藤井 賢志:多層1軸偏心建物の非線形地震応答評価手法に関する研究,東京大学博士論文,2002.12
- 3) 藤井 賢志,中埜 良昭,真田 靖士:水平2方向地震入力を受ける単層偏心建物における等価1自由度系モデル,コンクリート工学論文集,Vol.16, No.2, pp.37-47, 2005.5
- 4) 藤井 賢志,中埜 良昭:全体崩壊型フレームにより構成された多層偏心骨組の最大応答変位推定手法に関する研究,日本建築学会構造系論文集,第607号, pp.149-156, 2006.9
- 5) 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,2001.3
- 6) Muto, K., Hisada, T., Tsugawa, T., and Bessho S.: Earthquake Resistant Design of a 20 Story Reinforced Concrete Buildings, Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering, 1960-1969, 1973
- 7) 秋山 宏:エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計,技報堂出版,1999
- 8) 倉本 洋:多層建築物における等価1自由度系の地震応答特性と高次モード応答の予測,日本建築学会構造系論文集,第580号, pp.61-68, 2004.6