

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	履歴減衰型制振部材を下層に部分配置した鋼構造建物のエネルギーの釣合に基づく応答予測法(構造)
Title	
著者(和文)	栗林 晃司, 佐藤 大樹, 北村春幸
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 80, , pp. 273-276
Citation(English)	, Vol. 80, , pp. 273-276
発行日 / Pub. date	2010, 2
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110008729952

履歴減衰型制振部材を下層に部分配置した鋼構造建物のエネルギーの釣合に基づく応答予測法

正会員 ○ 栗林晃司^{*1} // 佐藤大樹^{*2}
// 北村春幸^{*3}

構造—振動

鋼構造建物 履歴減衰型制振部材 部分配置

実効変形 時刻歴応答解析 エネルギー法

1. はじめに

建物の耐震性能は、終局耐力と塑性変形能力（塑性エネルギー吸収量）の積により判定される。現在、このことを重点においた耐震計算法である、エネルギーの釣合に基づく応答予測法¹⁾（以後、エネルギー法と呼ぶ）が確立されている。

エネルギー法は、簡便なせん断型モデルを基本としている。しかし、制振構造を考えた場合、せん断型モデルでは、曲げ変形によって生じるダンパーに有効に働く変形（以後、実効変形と呼ぶ）の低下を考慮していないため、ダンパーによる制振効果を過大に評価することとなり危険側の評価となる。この問題を解決するため、筆者らは、ダンパーの実効変形を考慮したエネルギー法を提案した²⁾。

また、エネルギー法は、全層にダンパーを配置することを前提に考えられている。しかし、上層部のダンパーは、実効変形比（層間変形に対するダンパー変形の水平方向成分の比）が小さくなるため、付与しない場合も考えられる³⁾。よって、本報では、建物の高さ方向に対してダンパーを下層に部分的に配置した時（図1(b)）における、エネルギー法を提案することを目的とする。

2. 検討建物・入力地震動の概要およびダンパーの耐力比分布

2.1 検討対象建物概要

検討対象建物の基準階伏図と軸組図を図1に示す。検討対象建物は、地上8階、高さ32.7(m)の鋼構造建物とする。なお、解析対象は、X方向とする。

基準とする純ラーメン構造（以後、A1モデルと呼ぶ）は、SN490材を使用して、 $C_0 = 0.2$ の水平地震力に対して許容応力度設計（1次設計）、 $D_s = 0.25$ に対して保有水平耐力検討（2次設計）を行う。A1モデルの1次固有周期 $f_1 T_1$ は1.36(sec)である。また、柱と梁の代表部材断面を表1に示す。減衰定数は、A1モデルの $f_1 T_1$ に対して、 $h = 2\%$ となる剛性比例型とした。このA1モデルに、ダンパーを図1(a)に示す位置に付与したモデルをB1モデルとする。本報では、ダンパーとしてLYP225材の座屈拘束ブレースを用いる。

2.2 解析用入力地震動

解析に用いる入力地震動は、いずれの解析ケースにおいても1次

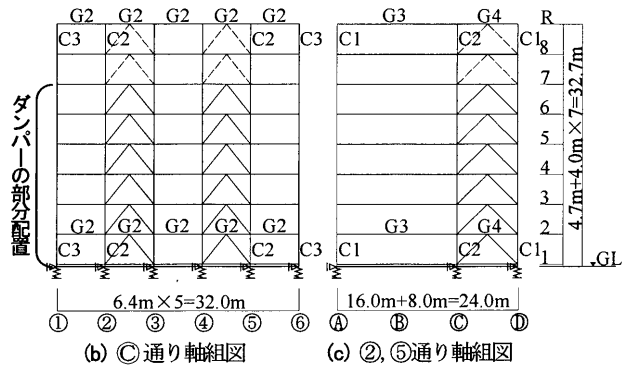
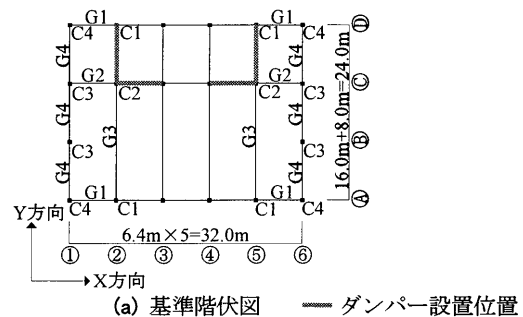


図1 対象建物の基準階伏図と軸組図

表1 対象建物の代表部材断面

	符号		鋼材種類	A1,B1モデル
柱	C2	上層	SN490級	□-400×400×28
		下層	SN490級	□-400×400×45
梁	G2	上層	SN490級	H-600×200×12×14
		下層	SN490級	H-600×200×12×25
	G3	上層	SN490級	H-800×250×14×16
		下層	SN490級	H-800×250×14×25

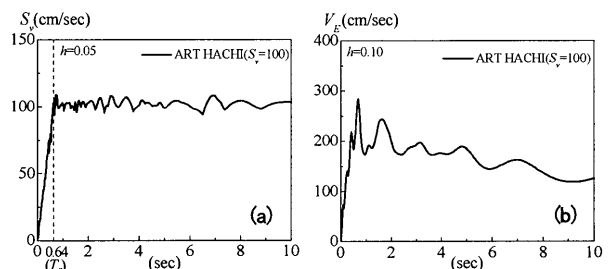


図2 (a) 速度応答スペクトル, (b) エネルギースペクトル

固有周期 T_1 が速度応答スペクトルの一定の領域に入るように、コーナー周期 $T_c = 0.64$ (sec)以降の領域で、 $S_v = 100$ (cm/sec)($h = 5\%$)となる模擬地震動波形をX方向から入力したものをを用いる。採用した位相特性は、HACHINOHE 1968 EWであり、ART HACHI($S_v = 100$)と呼ぶ。図2に、速度応答スペクトルとエネルギースペクトルを示す。

2.3 ダンパーの等価剛性及び等価断面面積の算定

本報で用いる屈曲拘束ブレースは、図3で示すように塑性化部と弾性部で構成される。解析で1本の部材としてモデル化⁴⁾する場合、ダンパーの等価剛性 s_k 及び等価断面面積 A はそれぞれ次式で表される。

$$s_k = \frac{E \cdot sA}{L} \cdot \frac{1}{\alpha + 2\beta \frac{sA}{A_1} + (1 - \alpha - 2\beta) \frac{sA}{A_2}} \quad (1)$$

$$A = sA \cdot \frac{1}{\alpha + 2\beta \frac{sA}{A_1} + (1 - \alpha - 2\beta) \frac{sA}{A_2}} \quad (2)$$

ここで、 L ：柱・梁芯間長さ、 E ：鋼管の弾性係数、 sA ：塑性化部断面面積、 A_1 ：弾性部断面面積、 A_2 ：パネルゾーン断面面積、 α ：塑性化部長さの柱・梁芯間の長さに対する比、 β ：弾性部長さの柱・梁芯間の長さに対する比である。

本報では、 $\alpha=0.25$ 、 $\beta=0.325$ 、 $L_2=0.05L$ 、 $A_1=2A_c$ 、 $A_1=A_2$ とし、等価剛性 s_k 及び等価断面面積 A を算出する。

2.4 ダンパーの耐力比分布

各層のダンパー降伏層せん断力 sQ_{yi} は、第1層のダンパーの降伏層せん断力 sQ_{y1} を基準とし、 A_i 分布に基づいた降伏層せん断力分布 Q_i に従って決定した。図4に、ダンパーの耐力比分布(sQ_{yi}/sQ_{y1})を示す。ここで、全層にダンパーを設置した場合を type01 とし、type01 から7,8層のダンパーを除いた場合を type02、4~8層のダンパーを除いた場合を type03 とする。なお、ダンパー量は、type01 において第1層のダンパーの降伏層せん断力係数 $s\alpha_{y1}$ を変えたパラメータスタディにより応答値が最も低減した $s\alpha_{y1}=0.07$ を、全てのtypeにおいて使用することとする。各typeの1次固有周期 T_1 は、type01が1.045(sec)、type02が1.050(sec)、type03が1.164(sec)である。

3. 制振構造におけるエネルギーの釣合に基づく応答予測法

3.1 ダンパーを部分配置した時のエネルギー法の応答予測式

秋山により、第1層の最大層間変形 δ_{1max} の算出式が提案され¹⁾、北村により、 δ_{1max} を i 層の δ_{imax} に拡張する式が提案されている⁵⁾。本報では、 δ_{1max} を算出せずに i 層の δ_{imax} を算出し、ダンパーを部分配置する時におけるエネルギー法の応答予測式を提案する。

ダンパーを部分配置する時の i 層のダンパーの累積塑性変形倍率 η_i と最大層間変形 δ_{imax} の算出式を示す。なお、本報ではフレームは弾性とする。

$$fW_e + W_e + W_p = E_D \quad (3)$$

ここで、 fW_e ：主架構の弾性振動エネルギー、 W_e ：ダンパーの弾性

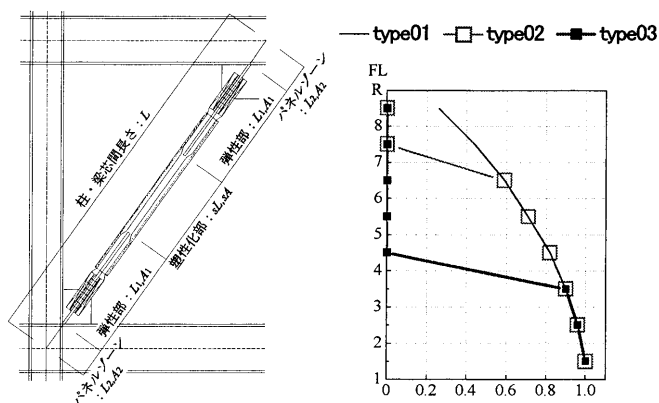


図3 ダンパー配置図 図4 ダンパーの耐力比分布(sQ_{yi}/sQ_{y1})

振動エネルギー、 W_p ：ダンパーのエネルギー吸収量、 E_D ：損傷に寄与する入力エネルギーである。

全層のダンパーのエネルギー吸収量 W_p は、 i 層のダンパーのエネルギー吸収量 W_{pi} と損傷分散係数 γ_{si} を用いて表す。また、地震動終了時では、ダンパーの累積塑性変形倍率 η_i を用いて表される。

$$sW_p = \gamma_{si} \cdot W_{pi} = \gamma_{si} \cdot Q_{yi} \cdot \delta_{yi} \cdot \eta_i \quad (4)$$

ここで、 $s\delta_{yi}$ ： i 層のダンパーの降伏層間変形である。

地震動終了時では、 $fW_e=0$ 、 $W_e=0$ となるため、式(3)(4)より、 η_i は次式で表わされる。

$$\eta_i = \frac{E_D}{\gamma_{si} \cdot Q_{yi} \cdot \delta_{yi}} = \frac{1}{2\gamma_{si} \cdot c_i} \left(\frac{s k_i}{f k_i} \right) \left(\frac{\alpha_0}{s \alpha_{yi}} \right)^2 \quad (5)$$

ここで、 $c_i = \left(\sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M} \right)^2 \cdot \frac{1}{\kappa_i}$ 、 $\kappa_i = \frac{f k_i}{k_{eq}}$ 、 $k_{eq} = \frac{4\pi^2 M}{f T_1^2}$ 、 N ：ダンパー設置層数、 m_i ： i 層の質量、 M ：総質量、 $f k_i$ ： i 層のフレームの初期剛性、 $s\alpha_{yi}$ ： i 層のダンパーの降伏層せん断力係数、 α_0 ：フレームの無減衰時の応答せん断力係数である。

最大値である最大層間変形 δ_{imax} は、弾性振動エネルギーを考慮して、エネルギーの釣合式より求める。

フレームの弾性振動エネルギー fW_e は、以下の式で表される。

$$\begin{aligned} fW_e &= \sum_{j=1}^N fW_{ej} = \sum_{j=1}^N \frac{f Q_{jmax} \cdot \delta_{jmax}}{2} \\ &\equiv \frac{1}{2} \cdot \kappa_i \cdot \frac{f Q_{imax}^2}{f k_i} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(f \alpha_i \cdot Mg)^2}{k_{eq}} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \kappa_i \cdot \frac{f Q_{imax}^2}{f k_i \cdot \left(\frac{\bar{\alpha}_i \cdot \sum_{j=1}^N m_j}{M} \right)^2} = \frac{MV_D^2}{2} \cdot \frac{1}{\bar{\alpha}_i^2} \cdot \left(\frac{f \alpha_i}{\alpha_0} \right)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 $\alpha_0 = \frac{2\pi \cdot V_D}{f T_1 \cdot g}$ 、 $V_D = \sqrt{\frac{2E_D}{M}}$ 、 $f \alpha_i = \frac{f Q_{imax}}{\sum_{j=1}^N m_j g}$ 、 $\bar{\alpha}_i$ ：最適降伏層せん断力係数¹⁾、 $f Q_{imax}$ ： i 層のフレームの最大層せん断力である。

ダンパーの弾性振動エネルギー W_e は、次式で表される。

$$W_e = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} \cdot s Q_{yi} \cdot \delta_{yi} \cdot \eta_i$$

$${}_s W_e = \sum_{j=1}^N {}_s W_{ej} = \sum_{j=1}^N \frac{{}_s Q_{yj} \cdot \delta_{yj}}{2} \quad (7)$$

ダンパーのエネルギー吸収量 ${}_s W_p$ は、建物の最大応答発生時にあっては、次式で表される。

$${}_s W_p = 4m_1 \cdot \gamma_{si} \cdot Q_{yi} \cdot \delta_{i\max} = \frac{MV_D^2}{2} (8m_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si}) \left(\frac{{}_s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right) \left(\frac{{}_f \alpha_i}{\alpha_0} \right) \quad (8)$$

式(5),(7),(8)を、式(3)に代入することで、次式が得られる。

$$\frac{1}{\alpha_i^2} \left(\frac{{}_f \alpha_i}{\alpha_0} \right)^2 + \frac{1}{MV_D^2} \sum_{j=1}^N {}_s Q_{yj} \cdot \delta_{yj} + 8m_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \left(\frac{{}_s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right) \left(\frac{{}_f \alpha_i}{\alpha_0} \right) = 1 \quad (9)$$

式(9)を解くと、 ${}_f \alpha_i$ は次のように求まる。

$$\left(\frac{{}_f \alpha_i}{\alpha_0} \right) = -4m_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \alpha_i^{-2} \cdot \left(\frac{{}_s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right) + \alpha_i \sqrt{\left(4m_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \alpha_i \cdot \frac{{}_s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right)^2 + 1 - \frac{1}{MV_D^2} \sum_{j=1}^N {}_s Q_{yj} \cdot \delta_{yj}} \quad (10)$$

また、 $\delta_{i\max}$ は以下の式となる。

$$\delta_{i\max} = \frac{{}_f Q_{i\max}}{{}_f k_i} = \frac{\delta_0 \cdot \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M}}{\kappa_i} \left(\frac{{}_f \alpha_i}{\alpha_0} \right) \quad (11)$$

式(11)に式(10)を代入すると、 $\delta_{i\max}$ は次式で表される。

$$\delta_{i\max} = \frac{\delta_0 \cdot \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{M}}{\kappa_i} \left\{ -4m_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \alpha_i^{-2} \cdot \left(\frac{{}_s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right) + \alpha_i \sqrt{\left(4m_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \alpha_i \cdot \frac{{}_s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right)^2 + 1 - \frac{1}{MV_D^2} \sum_{j=1}^N {}_s Q_{yj} \cdot \delta_{yj}} \right\} \quad (12)$$

上層のダンパーが設置されていない type02, type03 (図4) においては、ダンパーを配置していない層の最大層間変形 $\delta_{i\max}$ が、式(12)から算出することができない。よって、ダンパーを配置していない層の最大層間変形 $\delta_{i\max}$ は、AIモデルのAi分布に基づいた Q_i 分布から算出した層間変形の分布 $\bar{\delta}_i$ を用いて算出する。例えば type02 の場合、 Q_i をフレームの初期剛性 ${}_f k_i$ で除すことにより、層間変形の分布 $\bar{\delta}_i$ を算出し、6層の $\bar{\delta}_6$ を基準とした時の7,8層の $\bar{\delta}_7, \bar{\delta}_8$ との比を求め、その比を6層の最大層間変形 $\delta_{6\max}$ に乗ずることで、7,8層の最大層間変形 $\delta_{7\max}, \delta_{8\max}$ を算出する。

また、以上のエネルギー法の応答予測式のダンパー設置層数 N を全層数 N に置き換えることで、全層にダンパーを配置した type01 (図4) における応答予測値も算出することができる。

3.2 ダンパーの実効変形を考慮した応答予測式

筆者らが提案したダンパーの実効変形を考慮したエネルギー法は、ダンパーに直列バネを付与することで、ダンパーの実効変形の低下を表現した²⁾。ダンパーを部分配置し、かつダンパーの実効変形を考慮したエネルギー法の応答予測式について以下に述べる。

ダンパーを部分配置して、かつダンパーの実効変形を考慮したエ

ネルギー法のエネルギーの釣合式は次式で表される。

$${}_f W_e + {}_a W_e + {}_a W_p = E_D \quad (13)$$

ここで、 ${}_a W_e$: ダンパー+直列バネの弾性振動エネルギー、 ${}_a W_p$: ダンパー+直列バネのエネルギー吸収量である。

全層のダンパー+直列バネのエネルギー吸収量 ${}_a W_p$ は、 i 層のダンパー+直列バネのエネルギー吸収量 ${}_a W_{pi}$ と損傷分散係数 γ_{ai} を用いて表す。また、地震動終了時では、ダンパー+直列バネの累積塑性変形倍率 ${}_a \eta_i$ を用いて表す。

$${}_a W_p = \gamma_{ai} \cdot {}_a W_{pi} = \gamma_{ai} \cdot {}_a Q_{yi} \cdot {}_a \delta_{yi} \cdot {}_a \eta_i \quad (14)$$

ここで、 ${}_a Q_{yi}$: i 層のダンパー+直列バネの降伏層せん断力、 ${}_a \delta_{yi}$: i 層のダンパー+直列バネの降伏層間変形である。

地震動終了時では、 ${}_f W_e = 0, {}_a W_e = 0$ となるため、式(13),(14)より、 ${}_a \eta_i$ は次式で表わされる。

$${}_a \eta_i = \frac{E_D}{\gamma_{ai} \cdot {}_a Q_{yi} \cdot {}_a \delta_{yi}} = \frac{1}{2\gamma_{ai} \cdot c_i} \left(\frac{{}_a k_i}{{}_f k_i} \right) \left(\frac{\alpha_0}{{}_a \alpha_{yi}} \right)^2 \quad (15)$$

ここで、 ${}_a \alpha_{yi}$: i 層のダンパー+直列バネの降伏層せん断力係数である。

前節までの算出式において、ダンパーをダンパー+直列バネに置き換えると、 δ_{yi} はダンパー+直列バネの降伏変形 ${}_a \delta_{yi}$ と置き換わる。だが、直列バネは、弾性範囲のバネであるため、降伏層せん断力、エネルギー吸収量は変わらない。すなわち、 ${}_a Q_{yi} = {}_s Q_{yi}$ 、 ${}_a \alpha_{yi} = {}_s \alpha_{yi}$ 、 ${}_a W_p = {}_s W_p$ 、 $\gamma_{ai} = \gamma_{si}$ となる。したがって、ダンパーの累積塑性変形倍率 ${}_s \eta_i$ は、ダンパーの剛性 ${}_s k_i$ に対するダンパー+直列バネの剛性 ${}_a k_i$ の比 β_{ki} を用いて次式で表される。

$${}_s \eta_i = \frac{{}_s W_{pi}}{{}_s Q_{yi} \cdot \delta_{yi}} = \frac{{}_a W_{pi}}{{}_a Q_{yi} \cdot {}_a \delta_{yi}} \cdot \frac{{}_a \delta_{yi}}{\delta_{yi}} = {}_a \eta_i \cdot \frac{{}_s k_i}{{}_a k_i} = \frac{{}_a \eta_i}{\beta_{ki}} \quad (16)$$

前節までの最大応答発生時のダンパーのエネルギー吸収量 ${}_s W_p$ (式(8)) は、最大層間変形 $\delta_{i\max}$ とダンパーの最大変形 $\delta_{i\max}$ が同値であったため ($\delta_{i\max} = \delta_{i\max}$)、式(8)のように $\delta_{i\max}$ を含んだ式で表された。だが、ダンパーに直列バネを付与することで、エネルギー吸収量は変わらないが、 $\delta_{i\max} \neq \delta_{i\max}$ となる。したがって、最大応答発生時のダンパー+直列バネのエネルギー吸収量 ${}_a W_p$ を $\delta_{i\max}$ を含んだ式で表すために、 β_{ki} を用いて以下の式で表す。

$$\begin{aligned} {}_a W_p &= {}_s W_p = 4m_1 \cdot \gamma_{si} \cdot Q_{yi} \cdot \delta_{i\max} \\ &= 4m_1 \cdot \gamma_{si} \cdot Q_{yi} \cdot \delta_{i\max} \cdot \frac{{}_a k_i}{{}_s k_i} = 4m_1 \cdot \gamma_{si} \cdot Q_{yi} \cdot \delta_{i\max} \cdot \beta_{ki} \quad (17) \\ &= \frac{MV_D^2}{2} \cdot (8m_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \beta_{ki}) \cdot \left(\frac{{}_s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right) \cdot \left(\frac{{}_f \alpha_i}{\alpha_0} \right) \end{aligned}$$

ここで、 $\delta_{i\max} = {}_a \delta_{i\max}$ 、 ${}_a \delta_{i\max}$: i 層のダンパー+直列バネの最大変形である。

ダンパー+直列バネの弾性振動エネルギー ${}_a W_e$ は、次の式で表さ

れる。

$${}^a W_e = \sum_{j=1}^{N'} {}^a W_{ej} = \sum_{j=1}^{N'} \frac{{}^a Q_{yj} \cdot {}^a \delta_{yj}}{2} = \sum_{j=1}^{N'} \frac{s Q_{yj} \cdot {}^a \delta_{yj}}{2} \quad (18)$$

式(6),(17),(18)を、式(13)に代入すると、 $f_i \alpha_i$ は次のように求まる。

$$\left(\frac{f_i \alpha_i}{\alpha_0} \right) = -4n_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \beta_{ki} \cdot \alpha_i^{-2} \cdot \left(\frac{s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right) + \alpha_i \sqrt{\left(4n_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \beta_{ki} \cdot \alpha_i^{-2} \cdot \frac{s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right)^2 + 1 - \frac{1}{MV_D^2} \sum_{j=1}^{N'} s Q_{yj} \cdot {}^a \delta_{yj}} \quad (19)$$

式(11)に式(19)を代入すると、 $\delta_{i \max}$ は次式で表される。

$$\delta_{i \max} = \frac{\delta_0 \cdot \sum_{j=1}^{N'} \frac{m_j}{M}}{\kappa_i} \left\{ -4n_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \beta_{ki} \cdot \alpha_i^{-2} \cdot \left(\frac{s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right) + \alpha_i \sqrt{\left(4n_1 \cdot c_i \cdot \gamma_{si} \cdot \beta_{ki} \cdot \alpha_i^{-2} \cdot \frac{s \alpha_{yi}}{\alpha_0} \right)^2 + 1 - \frac{1}{MV_D^2} \sum_{j=1}^{N'} s Q_{yj} \cdot {}^a \delta_{yj}} \right\} \quad (20)$$

4. ダンパーを部分配置した時のエネルギー法の検討

前章のダンパーの実効変形を考慮したエネルギー法の応答予測式から算出した応答値と、部材レベルモデルの時刻歴応答解析の結果の比較を各 type で行うことで、ダンパーが部分配置の時に於ける、エネルギー法の検討を行う。ダンパーの累積塑性変形倍率 $s \eta_i$ と最大層間変形角 R_i の応答値を図5に示す。なお、解析に用いる地震動はARTHACHI ($S_v=100$)とし、ダンパー量は $s \alpha_{yi}=0.07$ とする。また、本報では、エネルギー法に用いる E_D は、部材レベルモデルの時刻歴応答解析から得られた値を用いて、ダンパーの等価繰返し数 n_1 は、エネルギー法告示で定められている $n_1=2.5$ を用いることとする。

図5より、type01, type02 のダンパーの実効変形を考慮したエネルギー法の最大層間変形角 R_i は、部材レベルモデルの最大層間変形角 R_i と、同等以上の値となっているため、安全側の評価となっていることがわかる。type03 のダンパーの実効変形を考慮したエネルギー法は、部材レベルモデルの最大層間変形角 R_i より低い値となっており、危険側の評価となっている。このことより、type03 のように

極端なダンパー配置の場合は、注意が必要である。type01 のダンパーの累積塑性変形倍率 $s \eta_i$ は、エネルギー法と解析結果で、上層においてズレが生じていることがわかる。これは、解析結果では、上層のダンパーは塑性化していないのに対して、エネルギー法では、全層で塑性化すると仮定しているためである。

5. まとめ

本報では、8層建物の高さ方向に対してダンパーを下層に部分配置する時のエネルギー法の応答予測式を提案し、部材レベルモデルの時刻歴応答解析の結果と比較検討を行った。

6層までのダンパー配置の時は、安全側の評価となるため、エネルギー法は適用できることを確認した。また、3層までダンパー配置するような極端なダンパー配置の時は、今のままのエネルギー法では適用できないため、改善する必要があると考えられる。

全層にダンパー配置する時に、ダンパーの累積塑性変形倍率 $s \eta_i$ で見られた上層のズレを改善する方法については、今後の研究で検討を行っていく。

参考文献

- 1) 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，1999.11
- 2) 栗林晃司，佐藤大樹，北村春幸，山口路夫，西本晃治：履歴減衰型制振部材の実効変形を考慮した鋼構造建物のエネルギーの釣合に基づく応答予測法（その1,その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，pp.493-496，2009.8
- 3) 島田侑，佐藤大樹，長江拓也，北村春幸，福山國夫，梶原浩一，井上貴仁，中島正愛，斉藤大樹，福和伸夫，日高桃子：超高層建物の下層階に部分配置する履歴型ダンパーの効果と影響に関する検討—長周期地震動を想定した耐震改修—，日本建築学会構造系論文集，第649号，2010.3（掲載予定）
- 4) 佐伯英一郎，前田泰史，中村秀司，緑川光正，和田章：実大アンボンドブレースに関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第476号，149-158，1995.10
- 5) 北村春幸：性能設計のための建築振動解析入門 第二版，朝国社，2002.9

*1 東京理科大学大学院理工学研究科 大学院生
 *2 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士（工学）
 *3 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士（工学）

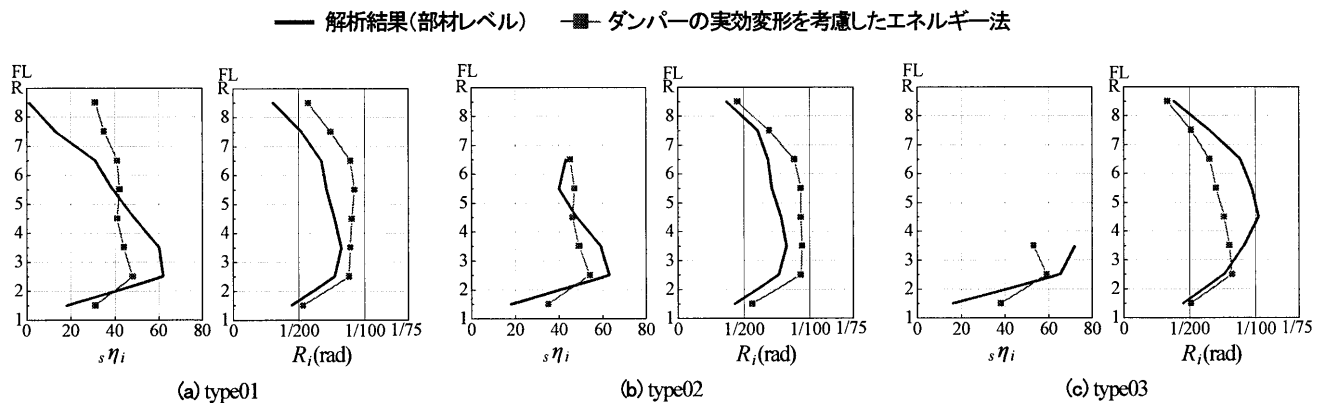


図5 エネルギー法と解析結果（部材レベル）の比較