

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	主架構の塑性化の程度を考慮したエネルギーの釣合に基づく第一層の評価
Title	
著者(和文)	松澤祐介, 佐藤大樹, 北村春幸, 山口路夫, 脇田直弥, 松蔭知明
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura, Michio Yamaguchi, Naoya WAKITA
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 1041-1042
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 1041-1042
発行日 / Pub. date	2013, 8
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/110009682887

主架構の塑性化の程度を考慮したエネルギーの釣合に基づく第1層の応答評価法

エネルギーの釣合式 鋼構造建物 履歴型ダンパー
等価繰返し数 せん断モデル 時刻歴応答解析

正会員 ○松澤祐介*1 同 佐藤大樹*2 同 北村春幸*2
同 山口路夫*3 同 脇田直弥*3 同 松蔭知明*3

1. はじめに

現行の耐震計算法として構造骨組のエネルギー吸収能力により建物の耐震安全性を確保す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)が規定されている。

制振構造における主架構が弾性でのエネルギー法は、秋山ら¹⁾により提案され、北村ら²⁾により主架構の塑性化を考慮したエネルギー法へ拡張された。北村らによる方法では、主架構が大きく塑性化することを想定しているため、主架構が塑性化するときのダンパーの等価繰返し数を耐震構造と同じ1.0と設定している。しかし、ダンパーの等価繰返し数は主架構の塑性化の程度に応じて徐々に低下するため³⁾、主架構がわずかに塑性化する程度の建物応答では、ダンパーの等価繰返し数は1.0より大きくなることが予想される。そこで、本報ではわずかに塑性化するような建物応答を想定し、そのような建物応答の場合により適したエネルギー配分が可能となるよう式を拡張する。

2. ダンパーの等価繰返し数の検討

2.1 検討対象建物、及び入力地震動の概要

検討対象建物は、5階建て、8階建て、10階建ての鋼構造建物とする。各建物の基準階伏図と軸組図を図1(a)~(c)に示す。制振建物は、ダンパーを図1(a)~(c)の示す位置に付与したモデルとする。せん断モデルの作成にあたっては、主架構のみの履歴曲線を完全バイリニア置換して降伏点を求めている⁴⁾。ダンパーには座屈拘束ブレースLY225を使用し、第1層のダンパーの降伏層せん断力係数 α_{y1} をパラメータとしている。本報では $\alpha_{y1} = 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.15, 0.18, 0.20, 0.25$ の10種類を用いる。

解析に用いる入力地震動は、 $S_v = 100 \text{ cm/s}$ ($h = 5\%$)となる位相特性HACHINOHE 1968 EW(以後、ART HACHI), JMA KOBE 1995 NS(以後、ART KOBE)の模擬波と、最大速度を50cm/sに基準化したEl Centro 1940NS(以後、El Centro)の観測波を採用する。入力加速度倍率は1.0, 2.0, 4.0倍を用いて検討を行う。図2(a), (b)にそれぞれ入力加速度倍率1.0倍の速度応答スペクトルとエネルギースペクトルを示す。

2.2 ダンパーの等価繰返し数の低下率と $f\mu_i$ の関係

ダンパーの等価繰返し数 $s n_i$ は次式で算出される¹⁾。

$$s n_i = \frac{s W_{pi}}{4_s Q_{yi} (\delta_{\max i} - s \delta_{yi})} \quad (1)$$

ここに、 $s W_{pi}$: ダンパーのエネルギー吸収量、 $s \delta_{yi}$: ダンパーの降伏変形、 $\delta_{\max i}$: 最大層間変形である。

主架構の塑性変形倍率 $f\mu_i$ は次式で算出される¹⁾。

$$f\mu_i = \frac{\delta_{\max i}}{f \delta_{yi}} - 1 \quad (2)$$

ここに、 $f \delta_{yi}$: 主架構の降伏変形である。

Energy Balance-Based Seismic Response Evaluation Method for Passive Control System, Considering the Extent of Plastic Deformation in Mainframe

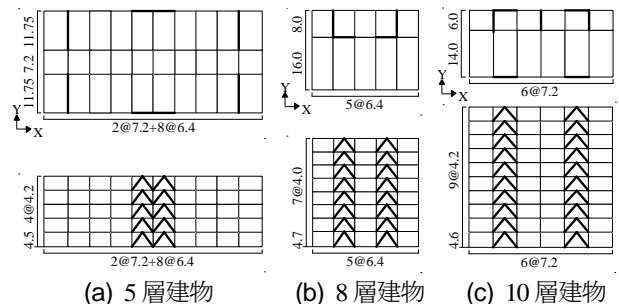


図1 基準階伏図と軸組図 (単位: m) — ダンパー設置位置

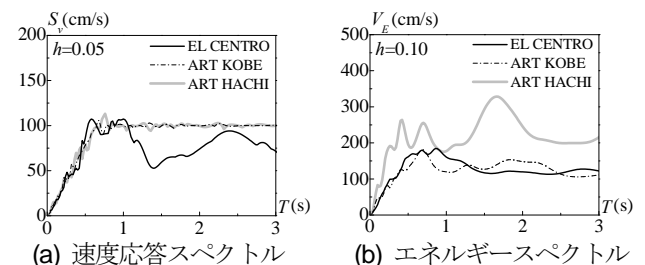


図2 各入力地震動のスペクトル(入力加速度倍率1.0倍)

○ ART HACHI △ ART KOBE □ El Centro

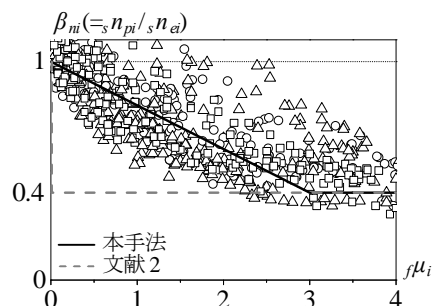


図3 ダンパーの等価繰返し数の低下率と $f\mu_i$ の関係

図3に、主架構の塑性化にともなうダンパーの等価繰返し数の低下率 $\beta_{mi} = s n_{pi} / s n_{ei}$ を縦軸とし、横軸を $f\mu_i$ としたときの時刻歴応答解析結果を示す。ここで、 $s n_{ei}$ は主架構を弾性設定した場合のダンパーの等価繰返し数、 $s n_{pi}$ は主架構が弾塑性設定した場合のダンパーの等価繰返し数である。これまでの方法(文献2)では、ダンパーの等価繰返し数に主架構が弾性のときは2.5、主架構が塑性化するときは耐震構造の等価繰返し数と同じ1.0を使用している。これを β_{mi} で表すと、いずれの $f\mu_i$ においても0.4であることを意味する(図3参照)。図3より、 $f\mu_i$ が大きくなると建物モデル、地震動の種類に関わらず β_{mi} は低下し、 $f\mu_i = 3$ 程度から0.4となる傾向にある。 β_{mi} は $f\mu_i$ と係数 a, b を用いて、次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \beta_{mi} &= a \cdot f\mu_i + b & 0 \leq f\mu_i \leq 3 \\ \beta_{mi} &= 0.4 & f\mu_i > 3 \end{aligned} \right\} \quad (3a,b)$$

Yusuke Matsuzawa, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura
Michio Yamaguchi, Naoya Wakita, Tomoaki Matsukage

本報では、 β_{ni} が0.4となる $f\mu_i$ を時刻歴応答解析果より3と定め、 a に-0.2, b に1.0を用いる。

3. 主架構の塑性化の程度を考慮したエネルギー法

3.1 エネルギーの釣合式

最大層間変形 δ_{max} などの最大値を算出するときは最大応答発生時刻 t_m における釣合式²⁾ (4)式から、主架構の累積塑性変形倍率 $f\eta_i$ などの累積値を算出するときは地震終了時刻 t_0 における釣合式²⁾ (5)式から求める。

$$fW_e(t_m) + sW_e(t_m) + fW_p(t_m) + sW_p(t_m) = E_D(t_0) \quad (4)$$

$$fW_p(t_0) + sW_p(t_0) = E_D(t_0) \quad (5)$$

ここに、 E_D : 損傷に寄与する入力エネルギー¹⁾, fW_e : 主架構の弾性振動エネルギー, sW_e : ダンパーの弾性振動エネルギー, fW_p : 主架構のエネルギー吸収量, sW_p : ダンパーのエネルギー吸収量である。なお, (4), (5)式で用いる各緒元については文献4を参照されたい。

3.2 第1層の応答評価式の導出

文献2より、主架構が弾性である場合の非制振弾性モデルの層せん断力係数に対する第1層の主架構、ダンパーの層せん断力係数の割合 $f\alpha_1/f\alpha_0$, $s\alpha_{y1}/f\alpha_0$ と、非制振弾性モデルの応答変形に対する第1層の最大層間変形の割合 $\kappa_1 \cdot \delta_{max1}/f\delta_0$ の関係はそれぞれ(6),(7)式で表され、全体架構(主架構+ダンパー)の層せん断力係数は(8)式で表される。

$$\left(\kappa_1 \frac{\delta_{max1}}{f\delta_0} \right) = \left(\frac{f\alpha_1}{f\alpha_0} \right) \quad (6)$$

$$\left(\kappa_1 \frac{\delta_{max1}}{f\delta_0} \right) = -\frac{4_s n_{ei} \cdot \gamma_1}{\kappa_1} \left(\frac{s\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{4_s n_{ei} \cdot \gamma_1}{\kappa_1} \right)^2 \left(\frac{s\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right)^2 + 1} \quad (7)$$

$$\left(\frac{\alpha_1}{f\alpha_0} \right) = \left(\frac{s\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right) + \left(\frac{f\alpha_1}{f\alpha_0} \right) \quad (8)$$

ここに、 $s\gamma_1$: ダンパーの損傷分散係数⁴⁾である。 κ_1 は第1層の主架構の剛性を1質点モデルの等価剛性で除した値である。

主架構の塑性化の程度を考慮した場合には、各緒元を(4), (5)式に代入し、式変形することで、 $f\alpha_{y1}/f\alpha_0$, $s\alpha_{y1}/f\alpha_0$ と $\kappa_1 \cdot \delta_{max1}/f\delta_0$ の関係を(9)式で表すことができる。また、全体架構の層せん断力係数は(10)式で表される。

$$\left(\kappa_1 \frac{\delta_{max1}}{f\delta_0} \right)^{(j+1)} = \frac{\kappa_1 \left(\frac{f\alpha_0}{f\alpha_{y1}} \right) - \kappa_1 \left(\frac{f\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right) + 8_f n_1 \cdot \gamma_1 \left(\frac{f\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right)}{8_s n_{ei} \cdot \beta_{ni}^{(j)} \cdot \gamma_1 \left(\frac{s\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right) \left(\frac{f\alpha_0}{f\alpha_{y1}} \right) + 8_f n_1 \cdot \gamma_1} \quad (9)$$

$$\left(\frac{\alpha_1}{f\alpha_0} \right) = \left(\frac{s\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right) + \left(\frac{f\alpha_{y1}}{f\alpha_0} \right) \quad (10)$$

ここに、 $f\gamma_1$: 主架構の損傷分散係数⁴⁾, $f n_1$: 主架構の等価繰返し数²⁾である。ここで、括弧書きの添え字は反復操作回数である。右辺の $\beta_{ni}^{(j)}$ は $\delta_{max1}^{(j)}$ を含む項であるため、左辺の $\delta_{max1}^{(j+1)}$ と値を一致させる必要がある。そこで、はじめは $\beta_{ni}^{(1)} = 1$ と仮定し $\delta_{max1}^{(2)}$ を求め、 $\delta_{max1}^{(j+1)}$ が概ね一定値となるまで(9)式に代入する。なお、収れん計算はいずれのケースにおいても2~3回で解が得られることを確認している。

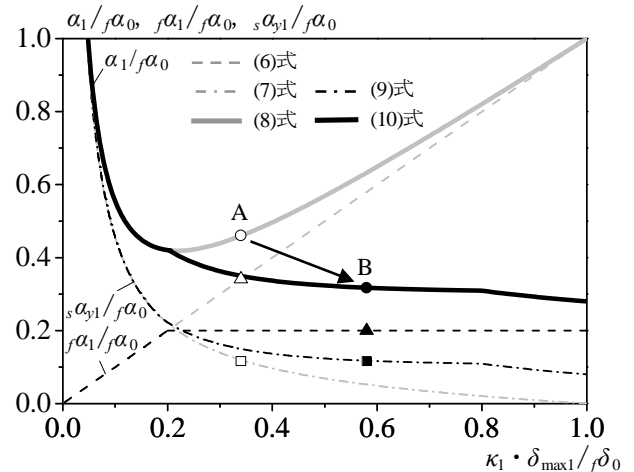


図4 第1層の層せん断力係数と最大層間変形の関係

図4に、5層モデルの $V_D=300$ (cm/s), $s n_{ei}=2.5$ とした場合の全体架構の層せん断力係数 $\alpha_1/f\alpha_0$ 、主架構の層せん断力係数 $f\alpha_1/f\alpha_0$ 、ダンパーの層せん断力係数 $s\alpha_{y1}/f\alpha_0$ と最大層間変形 $\kappa_1 \cdot \delta_{max1}/f\delta_0$ の関係を示す。主架構が弾性である場合の線を灰色で、主架構が塑性化する場合を黒で示しており、(9)式、(10)式の線は $f\alpha_{y1}/f\alpha_0=0.2$ として算出している。なお、図中では主架構が弾性である場合で $s\alpha_{y1}=0.2$ の時の $\alpha_1/f\alpha_0$ のプロットをA、主架構が塑性化する場合をBとしている。図4より、主架構が弾性である場合の $\alpha_1/f\alpha_0$ に着目すると、 $s\alpha_{y1}/f\alpha_0$ を大きくすると $\kappa_1 \cdot \delta_{max1}/f\delta_0$ は低減し、 $\alpha_1/f\alpha_0$ は極値となり、その後再び増大する。次に、主架構が塑性化する場合に着目すると、 $s\alpha_{y1}/f\alpha_0$ はダンパーの等価繰返し数が低下するため(図3参照)、 $\kappa_1 \cdot \delta_{max1}/f\delta_0$ は増大する(図中□→■)。 $f\alpha_1/f\alpha_0$ は0.2を超えると主架構が塑性化し、一定値となり、弾性である場合と比較して $f\alpha_1/f\alpha_0$ は減少する(図中△→▲)。以上より、 $\alpha_1/f\alpha_0$ (B)は弾性である場合(A)と比較して、 $\alpha_1/f\alpha_0$ は減少するが、 $\kappa_1 \cdot \delta_{max1}/f\delta_0$ は増大する結果となる。

4. まとめ

主架構の塑性化の程度を考慮したエネルギーの釣合に基づく応答評価法を提案した。この方法を用いることで、弾性である層と塑性化する層が混在するようにならずに塑性化する程度の建物応答において、より適したエネルギー配分が可能となる。

謝辞

本研究は、新日鉄住金エンジニアリング株式会社、東京理科大学によるエネルギー法研究会の成果の一部を用いたものです。

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, 技術堂出版, 1999.11
- 2) 北村春幸, 財津和廉, 馬谷原洋恵: 主架構の塑性化を考慮した制振構造物のエネルギーの釣合に基づく応答評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2006.1, pp.341-344, 2010年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.341-344
- 3) 松澤祐介, 佐藤大輔, 佐藤大樹, 北村春幸, 山小路夫, 脇田直弥, 松蔭知明: 制振構造における主架構の塑性化がダンパー吸収効率に与える影響-その2- 等価繰返し数の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.963-964, 2012.9
- 4) 松澤祐介, 佐藤大樹, 北村春幸, 山小路夫, 脇田直弥, 松蔭知明: 制振構造物の主架構の塑性化の程度に応じたエネルギーの釣合に基づく応答評価法, 日本建築学会関東支部, 2013.3

*1 株式会社山下設計

*2 東京理科大学

*3 新日鉄住金エンジニアリング株式会社

*1 YAMASHITA SEKKEI INC.

*2 Tokyo University of Science

*3 NIPPON STEEL SUMIKIN ENGINEERING CO., LTD.