T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	エネルギーの釣合に基づく主架構の塑性化の程度を考慮した履歴ダンパーを有する制振構造の応答予測 その1 第1層の応答予測と時刻歴応答解析結果の比較
Title(English)	Evaluation Method of Response Prediction Accuracy for Passive Controlled Building with Hysteretic Dampers Part 1: Analysis of Influence due to Fluctuation of Degree of Freedom and Number of Equivalent Repetition
著者(和文)	岩森貴寿, 佐藤大樹, 北村春幸, 山口路夫, 脇田直弥
Authors(English)	Takatoshi Iwamori, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Michio Yamaguchi, Naoya Wakita
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 355-356
Citation(English)	Summaries of technical papers of annual meeting, , , pp. 355-356
発行日 / Pub. date	2018, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（東北） 2018 年 9 月

エネルギーの釣合に基づく主架構の塑性化の程度を考慮した履歴ダンパーを有する制振構造の応答予測
その 1　第 1 層の応答予測と時刻歴応答解析結果の比較

正会員　○岩森貴寿[*1]　同　佐藤大樹[*2]
同　北村春幸[*3]　同　山口路夫[*4]
同　脇田直弥[*4]

制振構造　履歴ダンパー　応答予測式
エネルギー法　鋼構造建物　主架構の塑性化

1. はじめに

制振構造建物の設計手法の 1 つに，エネルギーの釣合に基づく耐震設計法（以降，エネルギー法と呼ぶ）がある。

主架構が弾性に留まることを想定した制振構造のエネルギー法は秋山 [1]により提案され，北村ら [2]によって主架構が大きく塑性化する場合を考慮したエネルギー法に拡張された。そこでは，主架構が大きく塑性化した場合と考えているため，エネルギー配分を決定する重要な指標となる主架構と，主架構塑性化時における制振部材の等価繰返し数を耐震部材の等価繰返し数と同じ値とするとしている。そうすることで，主架構が大きく塑性化した制振構造は耐震構造と同様に評価している。しかし，制振部材のエネルギー吸収効率は主架構の塑性化の程度に応じて徐々に低下することが考えられるため [3]，主架構の塑性化の小さい範囲では，制振部材の等価繰返し数は耐震構造の等価繰返し数より大きくなることが考えられる。

本報その 1 では，エネルギー法による主架構の塑性化の程度を考慮した第 1 層の最大応答値の応答予測式を示し，時刻歴応答解析の結果と比較し，応答予測式の妥当性について検討を行う。

2. 解析モデルおよび入力地震動の概要

文献 2)，4)を参考に本報その 1 では，主架構の弾性 1 次固有周期 ${}_{f1}T$ を ${}_{f1}T$ = 1.0 s，質点数 N は 10 と設定し，10 層の鋼構造建物の剛性･耐力分布を単純化した多質点系等価せん断型モデル（以降，せん断モデルと呼ぶ）を用いる。

2.1 主架構と履歴ダンパーの諸元

図 1 に本報における解析モデルの概要を示す。質量分布は等分布（m_i = 9.8 kN･s²/cm），主架構の剛性分布 k_i と主架構の降伏せん断力分布 ${}_fQ_{yi}$ は台形分布（最上層が最下層の 1/2）とする。履歴ダンパー（以降，ダンパーと呼ぶ）は，LY225 級の低降伏点鋼製の座屈拘束ブレースを階高 4.2 m のスパン 6.4 m にハの字（角度 54°）で取り付けることを想定する。降伏層せん断力 ${}_dQ_{yi}$ は第 1 層のダンパーの降伏層せん断力 ${}_dQ_{y1}$ を基準とし，秋山が提案する $\bar{\alpha}_i$ 分布 [1]に基づく最適分布を 3 つのグループに分割した段階分布とする。ダンパーの初期剛性 ${}_dk_i$ は ${}_dQ_{yi}$ からダンパーの降伏層間変形 ${}_d\delta_{yi}$ で除して算出される。${}_d\delta_{yi}$ は全層で一定値とし，${}_d\delta_{yi}$ = 0.64 cm とする [4]。なお，ダンパーへの変形伝達の障害となる取り付け部材や建物全体の曲げ変形の影響はないものと仮定し，各層の層間変形は全てダンパーの変形に寄与するものとする [5]。構造減衰は主架構の弾性 1 次固有周期 ${}_{f1}T$ に対して ${}_{f1}h$ = 0.02 となる剛性比例型とする。

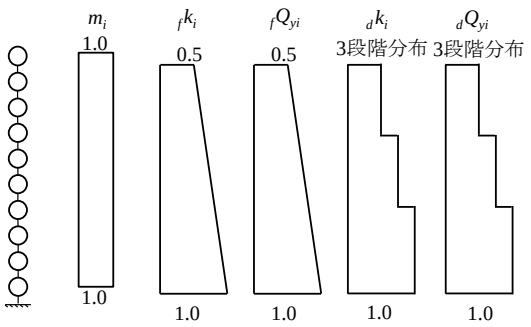


図 1　解析モデル概要

主架構を 1 質点系に置換した場合の等価剛性 k_{eq} を，各層の質量 m_i の総和である総質量 M と多質点系モデルの主架構弾性 1 次固有周期 ${}_{f1}T$ を用いて，次式のように設定する。

$$k_{eq} = \frac{4\pi^2 M}{{}_{f1}T^2} \tag{1}$$

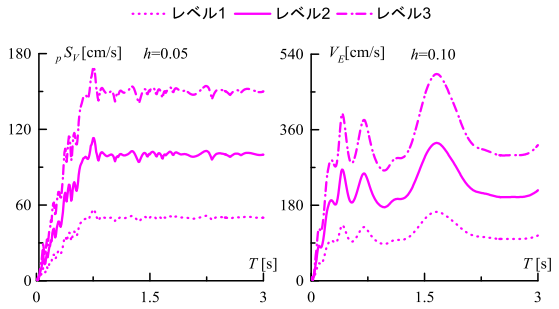
${}_fk_i$ は，k_{eq} を用いて次式で表される。

$$\kappa_i = \frac{{}_fk_i}{k_{eq}} \tag{2}$$

本報では，主架構が弾性である場合と塑性化する場合の復元力特性について考える。塑性化を考慮した主架構とダンパーの復元力特性は完全弾塑性型とする。本報では，主架構とダンパーを合わせたものを全体架構と呼ぶ。

2.2 入力地震動概要

検討用地震動は，コーナー周期 T_c = 0.64 s 以降の領域で，擬似速度応答スペクトル ${}_pS_V$ が一定となる模擬地震動波形 ART HACHI（位相特性：HACHINOHE 1968 EW）を用いる。本報その 1 では入力レベルを自由に変動させ，${}_pS_V$ = 50, 100, 150 cm/s の地震動をレベル 1，レベル 2，レベル 3 と位置付ける。全地震動ともに解析時間刻み Δt = 0.01 s とする。図 2 に擬似速度応答スペクトル ${}_pS_V$ とエネルギースペクトル V_E（固有周期 T = 0～3 s）を示す。図 2 より，固有周期 T = 2.0 s 程度でエネルギースペクトルが最大となることが確認できる。



(a) 擬似速度応答スペクトル　(b) エネルギースペクトル

図 2　応答スペクトルとエネルギースペクトル

Evaluation Method of Response Prediction Accuracy for Passive Controlled Building with Hysteretic Dampers
Part 1: Analysis of Influence due to Fluctuation of Degree of Freedom and Number of Equivalent Repetition

IWAMORI Takatoshi, SATO Daiki,
KITAMURA Haruyuki, YAMAGUCHI Michio,
WAKITA Naoya

3. 主架構の塑性化の程度を考慮した第 1 層の応答評価式

文献 2)より，主架構が弾性である場合の非制振構造モデルの最大値と本報で用いる制振構造モデルの比で表されるダンパーのせん断力係数比 ${}_d\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0$ と最大層間変形比 $\kappa_1\cdot\delta_{\max,1}/{}_f\delta_0$ の関係は式(3)で表される。

$$\left(\kappa_1\frac{\delta_{\max,1}}{{}_f\delta_0}\right)=-\frac{4_d n_{e1}\cdot{}_d\gamma_1}{\kappa_1}\left(\frac{{}_d\alpha_{y1}}{{}_f\alpha_0}\right)\pm\sqrt{\left(\frac{4_d n_{e1}\cdot{}_d\gamma_1}{\kappa_1}\right)^2\left(\frac{{}_d\alpha_{y1}}{{}_f\alpha_0}\right)^2+1} \quad (3)$$

ここで，非制振弾性モデルの最大せん断力係数 ${}_f\alpha_0$ と最大変形 ${}_f\delta_0$ は構造体の損傷に寄与するエネルギーの速度換算値 V_D と主架構弾性 1 次固有周期 ${}_{f1}T$ を用いて次式で表される [2]。

$${}_f\alpha_0=\frac{2\pi\cdot V_D}{{}_{f1}T\cdot g},\quad {}_f\delta_0=\frac{{}_{f1}T\cdot V_D}{2\pi} \quad (4,\ 5)$$

主架構の塑性化の程度を考慮した第 1 層の応答評価式を算出するには，主架構の塑性化に伴うダンパーの等価繰返し数の低下率 β_{ni} [3]を用いる（式(6)）。

$$\left.\begin{aligned}\beta_{ni}&=-0.2\cdot{}_f\mu_i'+1 &&{}_f\mu_i'<3 \quad (6a)\\ \beta_{ni}&=0.4 &&{}_f\mu_i'\geq 3 \quad (6b)\end{aligned}\right\}$$

ここで，主架構の塑性変形倍率 ${}_f\mu'_i$ は次式で表される。

$${}_f\mu_i'=\frac{\delta_{\max,i}}{{}_f\delta_{yi}}-1 \quad (7)$$

主架構の塑性化の程度を考慮した非制振弾性モデルの変形に対する第 1 層の最大層間変形の割合 $\kappa_1\cdot\delta_{\max1}/{}_f\delta_0$ の関係は次式で表すことができる [3]。

$$\left(\kappa_1\frac{\delta_{\max,1}}{{}_f\delta_0}\right)^{(j+1)}=\frac{\kappa_1\left(\frac{{}_f\alpha_0}{{}_f\alpha_{y1}}\right)-\kappa_1\left(\frac{{}_f\alpha_{y1}}{{}_f\alpha_0}\right)+8_f n_1\cdot{}_f\gamma_1\left(\frac{{}_f\alpha_{y1}}{{}_f\alpha_0}\right)}{8\cdot{}_d n_{e1}\cdot\beta_{n1}{}^{(j)}\cdot{}_d\gamma_1\left(\frac{{}_d\alpha_{y1}}{{}_f\alpha_0}\right)\left(\frac{{}_f\alpha_0}{{}_f\alpha_{y1}}\right)+8_f n_1\cdot{}_f\gamma_1} \quad (8)$$

ここで，括弧書きの添え字は反復操作回数である。右辺の $\beta_{n1}{}^{(j)}$ は $\delta_{\max,1}{}^{(j)}$ を含む項であるため，左辺の $\delta_{\max,1}{}^{(j+1)}$ と値を一致させる必要がある。そこで，はじめは $\beta_{n1}{}^{(1)}=1$ と仮定し $\delta_{\max,1}{}^{(2)}$ を求め，$\delta_{\max,1}{}^{(j+1)}$ が概ね一定値となるまで式(8)に代入する。筆者らはこの収斂計算を 5 回程度行うことで｜$\delta_{\max,1}{}^{(j)}/\delta_{\max,1}{}^{(j+1)}-1$｜が 0.1 以下なることを確認している。

4. 主架構の塑性化の程度を考慮した応答評価と解析結果

図 3 に全体架構のせん断力係数比 $\alpha_1/{}_f\alpha_0$ と最大層間変形比 $\kappa_1\cdot\delta_{\max,1}/{}_f\delta_0$ の関係を示す。ここで，エネルギー法の応答評価曲線を描く際に用いる主架構の損傷分散係数 ${}_f\gamma_1$ と等価繰返し数 ${}_f n_1$ は $\kappa_1\cdot\delta_{\max,1}/{}_f\delta_0=1.0$ のときに ${}_d\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0=0$ となるように ${}_f\gamma_1=4.0$，${}_f n_1=1.0$ に設定する。ダンパーの損傷分散係数 ${}_d\gamma_1$ と主架構弾性時のダンパー等価繰返し数 ${}_d n_{e1}$ は ${}_d\gamma_1=5.0$，${}_d n_{e1}=2.5$ に設定する。解析結果は 2 章で前述した，10 質点系等価せん断型モデルを採用し，ダンパー量 ${}_d\alpha_{y1}$ および入力レベルを自由に変動させ，解析結果が $1.0<{}_d n_{e1}<7.5$，$4.0<{}_d\gamma_1<8.0$ となる場合の結果を示している。また，主架構が塑性化する場合には $0.19<{}_f\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0<0.21$ となる解析結果を示す。${}_d n_{e1}$，${}_d\gamma_1$ および ${}_f\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0$ の値による影響については次章にて後述する。図 3 より，主架構弾性時と主架構弾塑性時の応答曲線は主架構が塑性化する範囲となる $\kappa_1\cdot\delta_{\max,1}/{}_f\delta_0$ が 0.2 以降で異なることがわかる。また，$\kappa_1\cdot\delta_{\max,1}/{}_f\delta_0=0.8$ で応答曲線に折れ点が確認できる。これは，${}_f\mu'_i=3$ にあたり式(8)の β_{ni} が式(6a)から式(6b)になるためである。主架構が弾性，塑性化にかかわらず解析結果より得られる $\alpha_1/{}_f\alpha_0$（×，◇）は応答曲線と良い対応を示すことがわかる。解析結果のバラつきは応答曲線が ${}_d n_{e1}$，${}_d\gamma_1$ などのパラメータに一定値を用いているのに対して，解析結果は上述した範囲でのバラつきを有するためである。主架構が塑性化する場合では層間変形比 $\kappa_1\cdot\delta_{\max,1}/{}_f\delta_0$ が大きくなり，$\kappa_1\cdot\delta_{\max,1}/{}_f\delta_0>1.0$ となるケースが確認できる。これは ${}_d\alpha_{y1}$ が非常に小さく，主架構が負担するせん断力に対してダンパーが負担するせん断力が非常に小さいため，変形が大きくなったと考えられる。

5. まとめ

本報その 1 では，エネルギー法による第 1 層の応答評価と時刻歴応答解析の結果を比較し，筆者らが提案する応答評価式の妥当性について検討を行った。

謝辞および参考文献はその 2 にまとめて示す

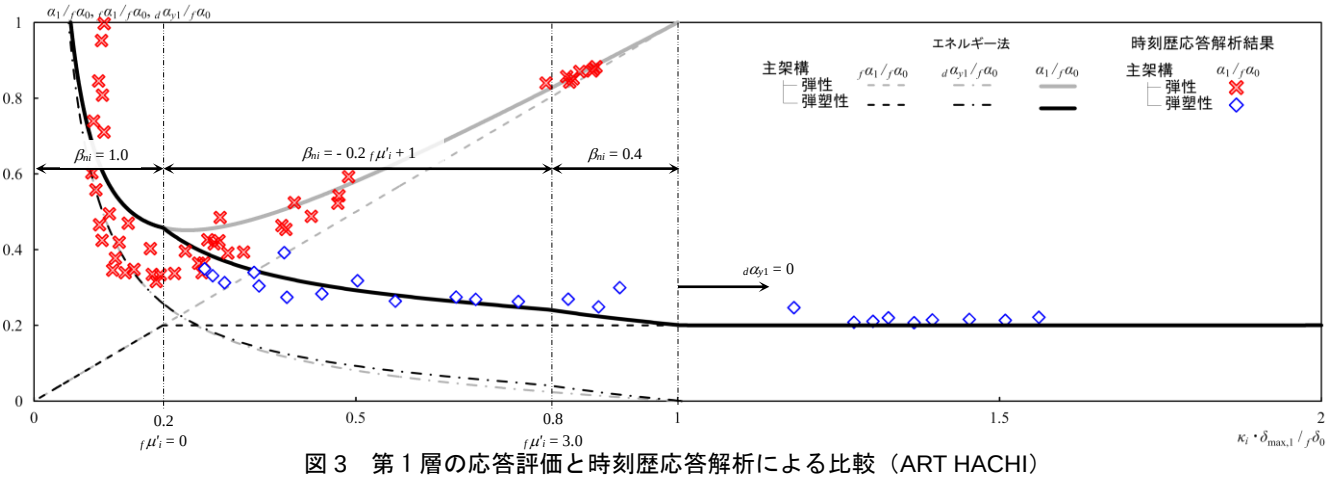


図 3　第 1 層の応答評価と時刻歴応答解析による比較（ART HACHI）

$N=10$，${}_{f1}T=1.0$，${}_f\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0=0.2$，${}_d n_1=2.5$，${}_d\gamma_1=5.0$，${}_f n_1=1.0$，${}_f\gamma_1=4.0$

*1 株式会社奥村組（元東京工業大学　大学院生）
*2 東京工業大学
*3 東京理科大学
*4 新日鉄住金エンジニアリング株式会社

*1 Okumuragumi Co.
*2 Tokyo Institute of Technology
*3 Tokyo University of Science
*4 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co., Ltd