T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造のエネルギーの釣合いに基づく応答評価法
Title(English)	Energy Balance-Based Seismic Response Prediction Method of Vibration Control Building with Hysteretic Dampers of two types of yield displacement
著者(和文)	木村真峻, 北村春幸, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 有間雄太, 佐藤弦太, 山口路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太
Authors(English)	Masatoshi KIMURA, Haruyuki Kitamura, Daiki Sato, Toshiaki Sato, Yuta ARIMA, Genta SATO, Michio Yamaguchi, Naoya WAKITA, Yuta WATANUKI
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 743-744
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 743-744
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（九州） 2016 年 8 月

降伏変位の異なる二種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造のエネルギーの釣合いに基づく応答評価法

正会員○ 木村 真峻[*1] 同 北村 春幸[*1] 同 佐藤 大樹[*2]
同 佐藤 利昭[*3] 同 有間 雄太[*4] 同 佐藤 弦太[*1]
同 山口 路夫[*5] 同 脇田 直弥[*5] 同 綿貫 雄太[*5]

制振構造 鋼構造建物 履歴減衰型ダンパー
時刻歴応答解析 エネルギーの釣合

1. はじめに

近年，構造物の耐震性能には，人的被害に対する安全性の確保のみならず，事業継続性を目的とした損傷の抑制が求められている [1]。制振構造は，構造物への入力エネルギーを効率的に吸収するため，これらを達成する有効な手段と言える。しかし，従来の想定を上回る大地震に対する安全性を確保し，かつ頻繁に発生する中小地震による損傷の抑制をする方法が確立されているわけではなく，個別の建物毎に試行錯誤が必要となる。

既報 [2] では，大地震に対する安全性の確保のみならず，中小地震による主架構の損傷を軽減することのできる制振構造として，鋼材ダンパーと滑り出し変位の小さい摩擦ダンパー [3] を併用した場合に着目しその有効性を示した。本報では，その応答評価を目的とした，エネルギーの釣合いに基づく応答評価法 [4]（以降，エネルギー法）の適用方法を検討した。複数の履歴型ダンパーを組み合わせた場合のエネルギー法は，現在確立されていない。以降では，降伏変位の異なる２種類の履歴型ダンパー併用時のエネルギー法を提案し，その妥当性を検証した結果を示す。

2. 応答評価式

構造骨組みが弾性挙動する制振構造のエネルギーの釣合式 [5] に，更に剛要素を加え，式(1) を得る。ここで，両ダンパーの弾性歪エネルギーは小さいため考慮しない。式(1) を用い，第１層を代表層とし，層せん断力の応答評価式である式(2) を得る。

$$E_D = {}_f W_e + {}_{s1} W_p + {}_{s2} W_p \tag{1}$$

$$\frac{\alpha_1}{{}_f\alpha_0} = -\left(\frac{4n_1 \cdot {}_{s1}\gamma_1 + 4n_2 \cdot {}_{s2}\gamma_1 \cdot r_\alpha}{\kappa_1} - 1 - r_\alpha\right)\left(\frac{{}_{s1}\alpha_{y1}}{{}_f\alpha_0}\right) + \sqrt{\left(\frac{4n_1 \cdot {}_{s1}\gamma_1 + 4n_2 \cdot {}_{s2}\gamma_1 \cdot r_\alpha}{\kappa_1}\right)^2 \left(\frac{{}_{s1}\alpha_{y1}}{{}_f\alpha_0}\right)^2 + 1} \tag{2}$$

ここで，E_D：損傷に寄与する入力エネルギー [5]，${}_f W_e$：主架構の弾性歪エネルギー，${}_{s1} W_p$：摩擦ダンパーの塑性歪エネルギー，${}_{s2} W_p$：鋼材ダンパーの塑性歪エネルギー，α_1：第１層の層せん断力係数，${}_{s1}\alpha_{y1}$：第１層の摩擦ダンパーの降伏層せん断力係数，${}_{s2}\alpha_{y1}$：第１層の鋼材ダンパーの降伏層せん断力係数，n_1：第１層の摩擦ダンパーの等価繰返し数 [5]，n_2：第１層の鋼材ダンパーの等価繰返し数，${}_f\alpha_0$：無減衰時の主架構の応答せん断力係数，${}_{s1}\gamma_1$：第１層の摩擦ダンパーの損傷分散係数，${}_{s2}\gamma_1$：第１層の鋼材ダンパーの損傷分散係数，r_α：${}_{s1}\alpha_{yi}$ に対する ${}_{s2}\alpha_{yi}$ の割合，κ_i：建物を１質点系に置換した場合の等価なばね定数に対する第 i 層の主架構の剛性の割合 [5]，r_{k2}：主架構に対する鋼材ダンパーの剛性の割合を示す。本報では，r_{k2} は全層で一定とする。α_1 は第１層の層せん断力から建物総重量を除し定める。

3. 時刻歴応答解析による検証

3.1 検討対象建物の概要

検討対象建物は，北村ら [6] による８階建て鋼構造建物を長辺方向に２スパン増やした建物とする [2]。図１，２に基準階伏図および軸組図を示す。建物高さ 4.0 m × 8 層 = 32.0 m，長辺方向 6.4 m × 7 スパン = 44.8 m，短辺方向 16.0 m + 8.0 m = 24.0 m である。表１に部材断面一覧を示す。標準せん断力係数 $C_0 = 0.2$ に対し，許容応力度設計を行った。本報の解析では，長辺方向を検討対象とし，剛床を仮定する。構造減衰は，主架構の１次固有周期 ${}_f T_1 = 1.44$ s に対し，減衰定数 $h = 0.02$ となる剛性比例型とした。

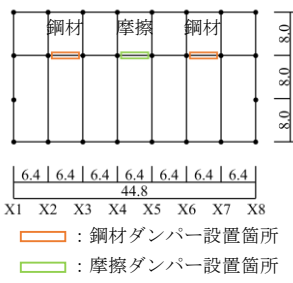


図１ 基準階伏図 (m)

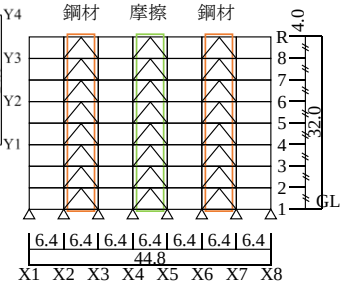


図２ Y3 通り軸組図 (m)

表１ 部材断面一覧

梁（長辺方向）	H - 600 × 200 × 12 × 14	~	H - 600 × 200 × 12 × 14
梁（短辺方向）	H - 600 × 200 × 12 × 14	~	H - 600 × 200 × 12 × 14
柱	□ - 400 × 400 × 16	~	□ - 400 × 400 × 16

3.2 制振部材の概要

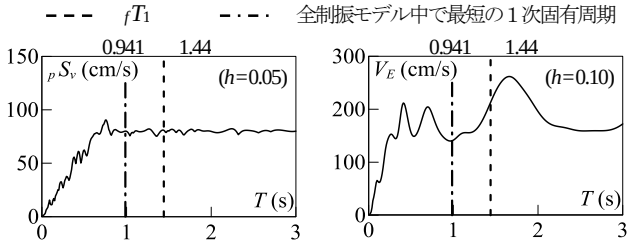
制振部材は，履歴型の摩擦ダンパーと鋼材ダンパーを対象とする。鋼材ダンパーは，Y3 通りの X2～X3 間と X6～X7 間に，２基ずつの計４基を全層に配置する。摩擦ダンパーは Y3 通りの X4～X5 間に，各層で２基配置する。第１層の両ダンパーの降伏層せん断力は，建物の総重量 W に第１層の両ダンパーの降伏せん断力係数を乗じ定める。本報では，${}_{s1}\alpha_{y1} = 0.02$，${}_{s2}\alpha_{y1} = 0.05$ を対象とする。上層部における両ダンパーの降伏層せん断力は，第１層のダンパーの降伏層せん断力に，A_i 分布に基づくせん断力比を乗じることで決定した。全層で，摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_{s1}R_y$ は 1/2000，1/1000，1/750，1/500 とし，鋼材ダンパーの降伏変形角 ${}_{s2}R_y$ は 1/500，1/400，1/300，1/200 とした。最も降伏変形角の差が少ない３通りのダンパーの組み合わせは検討を行わない。

Energy Balance-Based Seismic Response Prediction Method of Vibration Control Building with Hysteretic Dampers of two types of yield displacement

Masatoshi KIMURA, Haruyuki KITAMURA, Daiki SATO
Toshiaki SATO ,Yuta ARIMA, Genta SATO
Michio YAMAGUCHI, Naoya WAKITA, Yuta WATANUKI

3.3 入力地震動の概要

時刻歴応答解析に用いる入力地震動はレベル２を想定し，コーナー周期 T_c=0.64s 以降の領域で擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v$=80 cm/s（h=0.05）が一定となる，位相特性が HACHINOHE 1968 EW の模擬地震動を用いる。以降，ARTHACHI80 と呼ぶ。図３(a), (b)に ARTHACHI80 の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 をそれぞれ示す。また，地震動レベルのパラメータとして，同じ位相特性で，擬似速度応答スペクトル ${}_pS_v$=40, 120，160 cm/s（h=0.05）となる地震動を採用し，検討を行う。それぞれ，ARTHACHI40, ARTHACHI120, ARTHACHI160 と呼ぶ。



(a) 擬似速度応答スペクトル　(b) エネルギースペクトル

図３ 入力地震動のスペクトル (ARTHACHI80)

3.4 ダンパーの塑性歪エネルギーの評価について

両ダンパーの塑性歪エネルギーを，等価繰返し数 n_1, n_2 により評価する。せん断力比 r_q を第１層の主架構の最大層せん断力から，第１層のダンパーの降伏層せん断力を除して定める。図４，５に r_q と n_1, n_2 の関係を示す。ダンパーの塑性歪エネルギーが小さく，最大変形時の履歴ループが小さい時，弾性歪エネルギーなどの影響が相対的に大きくなる。そのため，等価繰返し数の評価において，降伏変形角の大きいモデルは傾向から除外した。等価繰返し数に上限値に n_1=4, n_2=2 を定め，安全側の評価を行った。

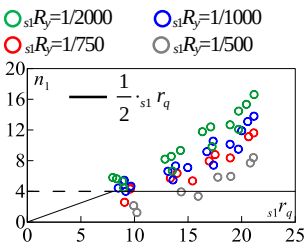


図４ ${}_{s1}r_q$ と n_1 の関係

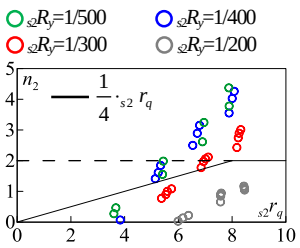
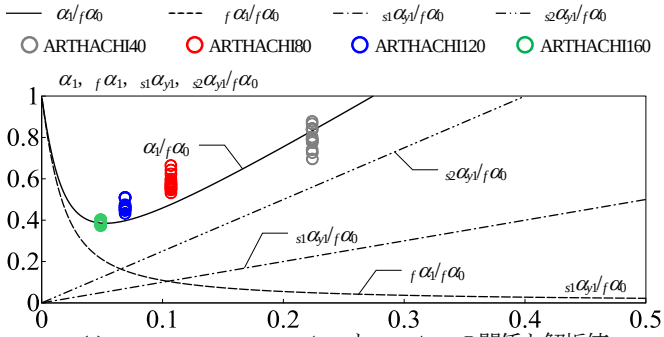


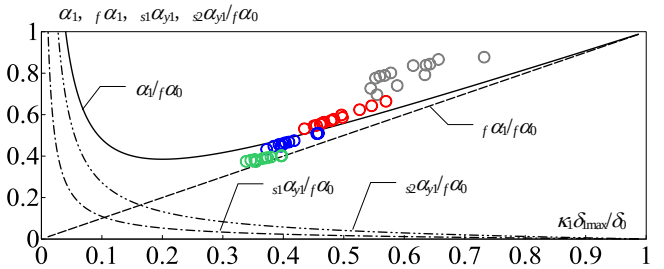
図５ ${}_{s2}r_q$ と n_2 の関係

3.5 算出式の精度検証

応答評価式の評価精度の検証に用いる定数は，${}_{s1}\gamma_1$ = ${}_{s2}\gamma_1$ = 7.1, r_α=2.5, n_1=4, n_2=2 で一定とする。損傷分散係数は C_0=0.2 時の弾性歪エネルギーの高さ方向分布に近似し定めた。図６(a)に，各部材の層せん断力と摩擦ダンパーの層せん断力の関係と解析値を示す。図６(b)に，各部材の層せん断力と主架構の層せん断力の関係と解析値を示す。ここで，${}_f\alpha_1$：第１層の主架構の層せん断力係数，δ_{1max}：第１層の最大層間変位，δ_0：無減衰時の主架構の層間変位である。${}_f\alpha_1$ は第１層の主架構の層せん断力から建物総重量を除し求められる。解析値は第１層の最大層間変位 δ_{1max} と第



(a) α_1, ${}_f\alpha_1$, ${}_{s1}\alpha_{y1}$, ${}_{s2}\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0$ と ${}_{s1}\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0$ の関係と解析値



(b) α_1, ${}_f\alpha_1$, ${}_{s1}\alpha_{y1}$, ${}_{s2}\alpha_{y1}/{}_f\alpha_0$ と $\kappa_1\delta_{1max}/\delta_0$ の関係と解析値

図６ 応答評価式と解析値

１層の最大層せん断力を用いた。図６(a), (b)より，評価式は解析値と同程度の値となった。ARTHACHI40 において鋼材ダンパーは十分な塑性化をしていない。評価式は両ダンパーの十分な塑性化を想定しているため，ARTHACHI40 において評価式との差異は広がったと考えられる。図６(a)より，$\alpha_1/{}_f\alpha_0$ は両ダンパーの降伏変形角の影響によりばらつきがある。図６(b)では，降伏変形角の影響が少なくなり，解析値は評価式と同程度の値となる。これは，δ_{1max} が両ダンパーの降伏変形角の影響を受けるためである。

4. まとめ

これまで柔剛混合構造として導出されてきた制振構造の応答評価に，更に剛要素を加えることで降伏変位の異なる２種類の履歴型ダンパーを組合せた制振構造の場合にまで拡張した。時刻歴応答解析による精度検証により，概ね表現できることを確認した。

謝辞

本研究は，新日鉄住金エンジニアリング株式会社・東京理科大学北村研究室・東京工業大学佐藤研究室によるエネルギー法研究会の成果の一部である。ここに記して感謝致します。

参考文献

1) 脇田直弥，松蔭知明，樋口公平，中村秀司：エネルギー法による建物の構造設計～優れた耐震性と経済性を両立した設計手法の確立～，新日鉄エンジニアリング技報，第３号，pp.48-56，2012.1
2) 木村真峻，有間雄太，佐藤弦太，佐藤利昭，佐藤大樹，北村春幸，山口路夫，脇田直弥，綿貫雄太：降伏変形角の異なる履歴型制振ダンパーが鋼構造建造物に与える影響，日本建築学会関東支部研究報告集，2016.3
3) 日本免震構造協会（JSSI）：パッシブ制振構造設計・施工マニュアル，第３版，pp.227-241，2013.11
4) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計，技法堂出版，1999.11
5) 北村春幸：性能設計のための建築振動解析入門 第二版，2009.4
6) 北村春幸，宮内洋二，福島順一，深田良雄，森伸之：性能設計における性能判断基準値に関する研究-時刻歴応答解析による JSCA 耐震性能メニューの検証-，日本建築学会構造論文集，第 576 号，pp.47-54，2004.2

*1 東京理科大学　*2 東京工業大学
*3 九州大学大学院
*4 安藤ハザマ（元 東京理科大学）
*5 新日鉄住金エンジニアリング

*1 Tokyo University of Science　*2 Tokyo Institute of Technology
*3 Graduate School of Kyushu University
*4 HAZAMA ANDO CORPORATION
*5 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co, Ltd