

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	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
Title(English)	
著者(和文)	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
Authors(English)	Toshiaki Sato, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Michio Yamaguchi, Naoya WAKITA, Yuta WATANUKI
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 421-424
Citation(English)	, , , pp. 421-424
発行日 / Pub. date	2016, 3

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

構造—振動 準会員 ○木村真峻*1 正会員 有間雄太*1 同 佐藤玄太*1
 正会員 佐藤利昭*1 同 佐藤大樹*2 同 北村春幸*1
 鋼構造建物 鋼材ダンパー 摩擦ダンパー 正会員 山口路夫*3 同 脇田直弥*3 同 綿貫雄太*3
 降伏変形角 時刻歴応答解析

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震以降、事業継続性の向上を目的に高層建物だけでなく中低層建物にも制振構造を採用する事例が増加している。よって、大地震時に建物の倒壊を免れるだけでなく、中小地震時における建物応答および損傷の低減が求められる。中小地震時にも、より履歴型の制振ダンパーを効かせる方法の1つとして降伏変形角を小さくすることが考えられる。現在、履歴型の制振ダンパーには、鋼材ダンパーを用いることが一般的である。しかし、鋼材ダンパーの降伏変形角が小さくなると、小地震時もダンパーが降伏するため、疲労損傷の問題が発生する。

本研究では、繰り返し変形による終局限界が無く、滑り出し変位の小さな摩擦ダンパー²⁾に、中小地震等の入力エネルギーを負担させ、大地震時に降伏変形角を大きくした鋼材ダンパーに入力エネルギーを負担させる。すなわち、降伏変形角の異なる2種類のダンパーを併用し、外力の大きさに応じてダンパーがエネルギーを吸収することにより、問題の解決を考える。しかし、降伏変形角の異なる2種類の履歴型ダンパーを併用した際の建物応答および損傷への影響が不明確である。

本報は、ダンパーの降伏耐力を一定、降伏変形角をパラメータとし、2種類の履歴型ダンパーを併用することによる建物応答および損傷への影響を時刻歴応答解析により、地震動レベルごとに数理的に確認し報告することを目的とする。

2. 検討対象建物および制振部材の概要

2.1 検討対象建物の概要

検討対象建物は、北村らによる8階建て鋼構造建物³⁾を長辺方向に2スパン増やした建物とする。図1、2に建物伏図および軸組図を示す。建物高さ4.0m×8層=32.0m、長辺方向6.4m×7スパン=44.8m、短辺方向16.0m+8.0m=24.0mである。表1に部材断面一覧を示す。標準せん断力係数 $C_0=0.2$ 、せん断力係数分布には A_i 分布を用いた水平力に対し、許容応力度設計を行った。図3に建物重量 W_i を示す。本報では、長辺方向を検討対象とする。剛床を仮定する。床スラブによる大梁の剛性増大率は、片側、両側共に1.5倍とする。構造減衰は、主架構の1次固有周期 $T_1=1.44$ sに対して、減衰定数 $h=0.02$ となる剛性比例型とした。図4に静的増分解析による層せん断力 Q と層間変形角 R の関係を示す。図4より、1層で層間変形角 $R=$ 約1/150、上層で $R=$ 約1/100まで弾性であることがわかる。

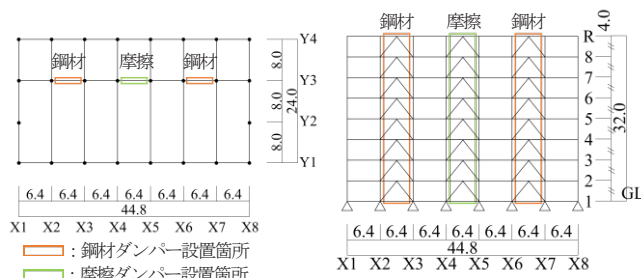


図1 伏図 (m)

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-600×200×12×25
梁(短辺方向)	H-600×200×12×14 ~ H-800×250×12×25
柱	□-400×400×16×16 ~ □-400×400×45×45

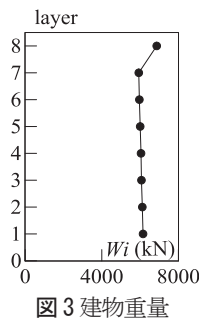


図3 建物重量

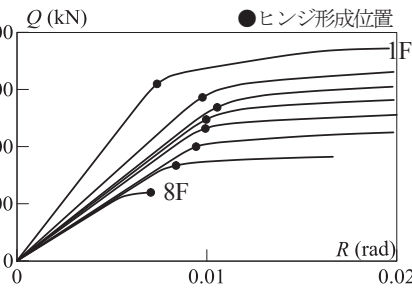


図4 層せん断力と層間変形角の関係

2.2 制振部材の概要

制振部材は、履歴型の鋼材ダンパーと摩擦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層のダンパー降伏層せん断力は、第1層におけるダンパーの降伏せん断力係数、建物の総重量 W を用い次式で求められる。

$$s_1 Q_{y1} = s_1 \alpha_{y1} \cdot W \tag{1}$$

$$s_2 Q_{y1} = s_2 \alpha_{y1} \cdot W \tag{2}$$

ここで、 $s_1 Q_{y1}$: 第1層の摩擦ダンパーの降伏層せん断力、 $s_2 Q_{y1}$: 第1層の鋼材ダンパーの降伏層せん断力、 $s_1 \alpha_{y1}$: 第1層の摩擦ダンパーの降伏層せん断力係数、 $s_2 \alpha_{y1}$: 第1層の鋼材ダンパーの降伏層せん断力係数である。本報では、 $s_1 \alpha_{y1}=0.02$ 、 $s_2 \alpha_{y1}=0.05$ を対象とする。上層部における各種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

ん断力比を乗じることで決定した。両ダンパーの2次勾配は0とする。全層で、摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_{s1}R_y$ は1/500, 1/750, 1/1000, 1/2000とし、鋼材ダンパーの降伏変形角 ${}_{s2}R_y$ は1/200, 1/300, 1/400, 1/500とした。図5に第1層における各ダンパーの復元力特性を示す。降伏変形角がそれぞれ最大と最小のものを示す。表2に、検討を行うダンパーの組み合わせを示す。下式の条件を用い、降伏変形角の差が少ない組み合わせにおいては、検討を行わない。

$${}_{s2}R_y - {}_{s1}R_y \geq \frac{1}{1000} \quad (3)$$

— ${}_{s1}R_y=1/500$ - - - ${}_{s1}R_y=1/2000$ - · - · ${}_{s2}R_y=1/200$ - · - · ${}_{s2}R_y=1/500$

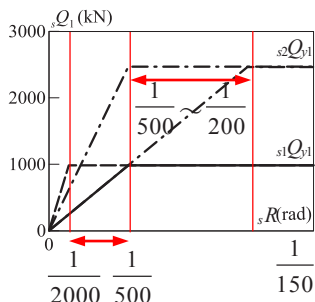


図5 ダンパーの復元力特性

表2 検討モデル

		${}_{s1}R_y$			
		1/500	1/750	1/1000	1/2000
${}_{s2}R_y$	1/200	○	○	○	○
	1/300	○	○	○	○
	1/400	-	○	○	○
	1/500	-	-	○	○

3. 時刻歴応答解析による高さ方向分布の検討

本章では、摩擦ダンパーの滑り出し変形角の変化、鋼材ダンパーの降伏変形角および入力地震動レベルの変化が、最大層せん断力、最大層間変形角および鋼材ダンパーの累積塑性変形倍率に与える影響を検討する。

3.1 入力地震動概要

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 $\rho S_v=80cm/s$ ($h=0.05$) 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6 (i)に ARTHACHI80 の擬似速度応答スペクトル ρS_v を、図6 (ii)に ARTHACHI80 の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 $\rho S_v=40, 120, 160cm/s$ ($h=0.05$) 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。

- - - 主架構の1次固有周期 - - - 全制振モデル中で最短の1次固有周期

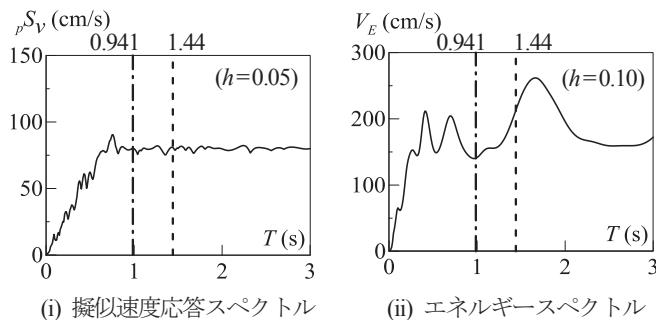


図6 入力地震動のスペクトル

3.2 応答の高さ方向分布に関する検討

図7に摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_{s1}R_y=1/2000$ で一定とした場合の、最大層間変形角と最大層せん断力の高さ方向分布の関係を示す。図8に鋼材ダンパーの降伏変形角 ${}_{s2}R_y=1/200$ で一定とした場合の、最大層間変形角と最大層せん断力の高さ方向分布の関係を示す。入力地震動は ARTHACHI80 を用いた。図7, 8より最大層間変形角は両方のダンパーの降伏変形角に関わらず、第3層付近で最大値を、最大層せん断力はダンパーの降伏変形角に関わらず、第1層で最大値をとり応答の高さ方向分布への影響は小さいと考えられる。よって以降の検討では、摩擦ダンパーの滑り出し変位を横軸とし、全層における最大値および地震終了時のエネルギーの分担率およびダンパーの累積塑性変形倍率について検討を行う。

△ ${}_{s2}R_y=1/500$ □ ${}_{s2}R_y=1/400$ ▽ ${}_{s2}R_y=1/300$ ◇ ${}_{s2}R_y=1/200$

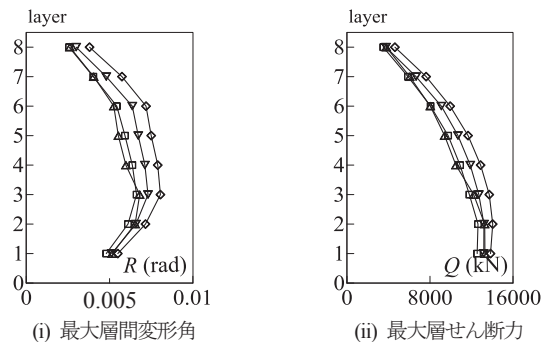


図7 最大応答の高さ方向分布 (${}_{s1}R_y=1/2000$ 一定)

△ ${}_{s1}R_y=1/2000$ □ ${}_{s1}R_y=1/1000$ ▽ ${}_{s1}R_y=1/750$ ◇ ${}_{s1}R_y=1/500$

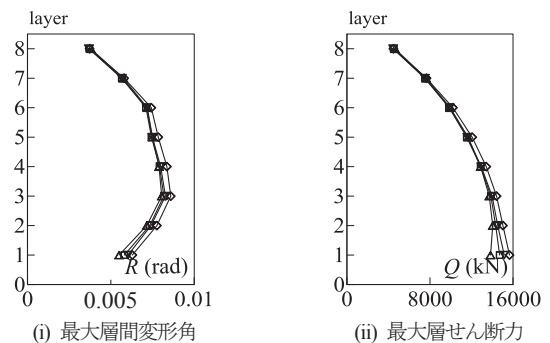


図8 最大応答の高さ方向分布 (${}_{s2}R_y=1/200$ 一定)

3.3 降伏変形角と最大応答の関係

図9に摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_{s1}R_y$ と最大層間変形角 R_{max} の関係を示す。図10に摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_{s1}R_y$ と最大層せん断力 Q_{max} の関係を示す。図9より、はじめに、摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_{s1}R_y$ の変化に着目する。入力レベルの小さい ARTHACHI40 では、摩擦ダンパーの滑り出し変形角を小さくするに伴い、応答が減少する。これは、摩擦ダンパーの滑り出し変形角の減少により、摩擦ダンパーのエネルギー吸収量が増加したためであると考えられる。一方で、地震動の入力レベルが大きくなるに伴い摩擦ダンパーの滑り出し変形角の変化による応答の変化は小さくなる。これは、地震動の入

力レベルが大きくなるに伴い、最大応答に対する降伏変形角の差異が小さくなったためであると考えられる。続いて、鋼材ダンパーの降伏変形角 ${}_2R_y$ の変化に着目すると、入力レベルの小さい ARTHACHI40 では、鋼材ダンパーの降伏変形角による差が小さくなった。これは、最大層間変形角に対する鋼材ダンパーの降伏変形角が大きく、エネルギー吸収が乏しく、概ね弾性であったためであると考えられる。一方、ARTHACHI80, 120, 160 では、入力レベルが大きいほど、降伏変形角が大きくなるに伴い最大応答が大きくなっている。理由として次の2点が考えられる。1点目は、鋼材ダンパーは、摩擦ダンパーに比べ、降伏せん断力、降伏変形角共に大きいため、最大応答に与える影響も大きくなったと考えられる。2点目は、鋼材ダンパーの降伏変形角の減少に伴い、鋼材ダンパーのエネルギー吸収効率が上昇し、主架構が損傷する入力レベル時に、主架構のエネルギーの吸収量が低減する。結果、主架構の周期が伸びるのを低減できたためであると考えられる。図10より、最大層せん断力は、最大層間変形と同様の傾向にあるが、制振ダンパーおよび主架構が塑性化しているため、最大層間変形角に比べ、差が小さい結果となった。

3.4 損傷に寄与するエネルギーの分担率に関する検討

図9, 10に摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_1R_y$ 、鋼材ダンパーの降伏変形角 ${}_2R_y$ と塑性歪エネルギーの分担率の関係を示す。なお、検討は、鋼材ダンパーの降伏変形角が最大と最小となる ${}_2R_y=1/200, 1/500$ で行う。主架構の塑性歪エネルギー W_p 、摩擦ダンパーの塑性歪エネルギー ${}_1W_p$ 、鋼材ダンパーの塑性歪エネルギー ${}_2W_p$ と損傷に寄与するエネルギー E_D の釣合式⁴⁾を式4に示す。

$$E_D = {}_f W_p + {}_1 W_p + {}_2 W_p \quad (4)$$

地震終了時における各部材の弾性歪エネルギーは、非常に小さいため無視した。図9より、ARTHACHI80, 120, 160において、摩擦ダンパーの降伏変形角を小さくしたとき、摩擦ダンパーの塑性歪エネルギーの分担率が増加し、鋼材ダンパーの塑性歪エネルギーの分担率が低減している事が分かる。これは、図10より、鋼材ダンパーの降伏変形角に関わらず同様の傾向であると考えられる。ARTHACHI40において、鋼材ダンパーの塑性歪エネルギーの分担率が0となった。これは、図8(i)に示すように最大層間変形角が、鋼材ダンパーの降伏変形角より小さいためである。また、入力レベルの大きな範囲では、鋼材ダンパーの降伏変形角が小さくなるに伴い主架構のエネルギー吸収率が低減していることが確認できる。

3.5 降伏変形角と累積塑性変形倍率の関係

図12に、摩擦ダンパーの滑り出し変形角 ${}_1R_y$ 、鋼材ダンパーの降伏変形角 ${}_2R_y$ と第1層における鋼材ダンパーの累積塑性変形倍率 ${}_2\eta_1$ の関係を示す。 ${}_2\eta_1$ は下式により求められる。

$${}_2\eta_1 = \frac{{}_2W_{p1}}{{}_2Q_{y1} \cdot {}_2\delta_{y1}} \quad (5)$$

ここで、 ${}_2W_{p1}$: 第1層における鋼材ダンパーの塑性歪エネルギー、 ${}_2\delta_{y1}$: 第1層における鋼材ダンパーの降伏変形を示す。図12より、全ての入力地震動レベルにおいて、摩擦ダンパーの滑り出し変形角の減少に伴い、鋼材ダンパーの累積塑性変形倍率が小さくなる傾向にあった。これは、図9, 10で示したように、摩擦ダンパーの降伏変形角が小さくなるに伴い、鋼材ダンパーのエネルギー吸収率が低減したためと考えられる。

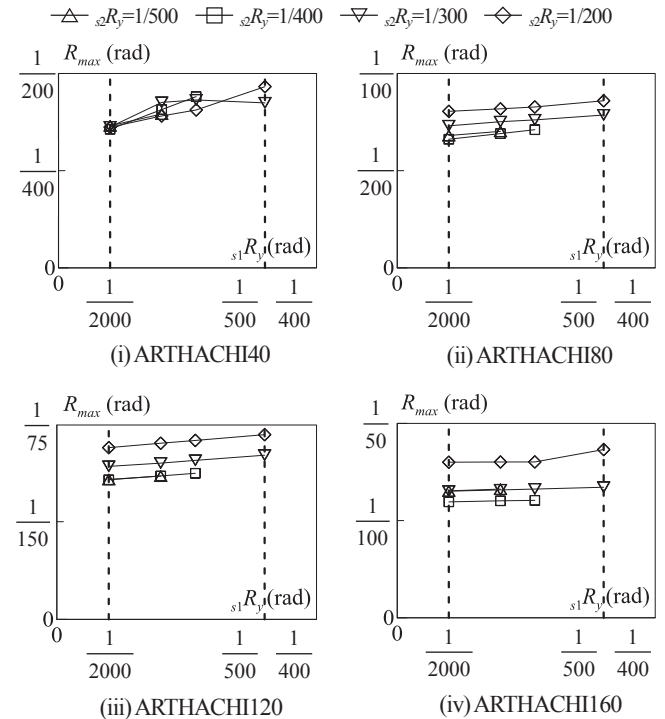


図9 ${}_1R_y$ と R_{max} の関係

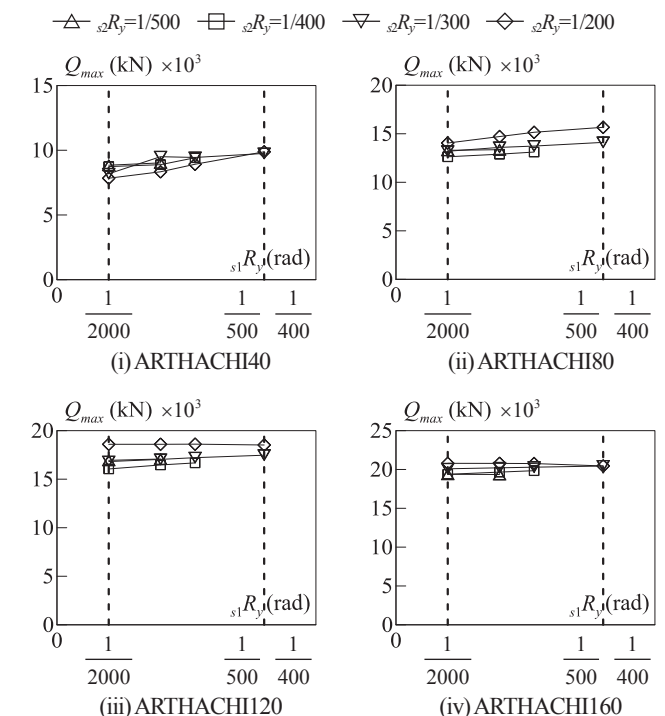


図10 ${}_1R_y$ と Q_{max} の関係

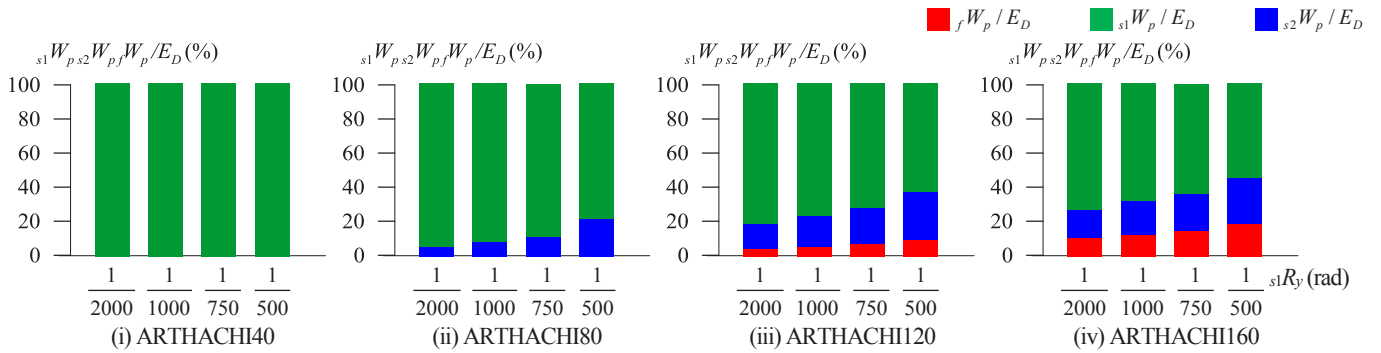


図 11 s_1R_y とエネルギー分担率の関係 ($s_2R_y=1/200$ 一定)

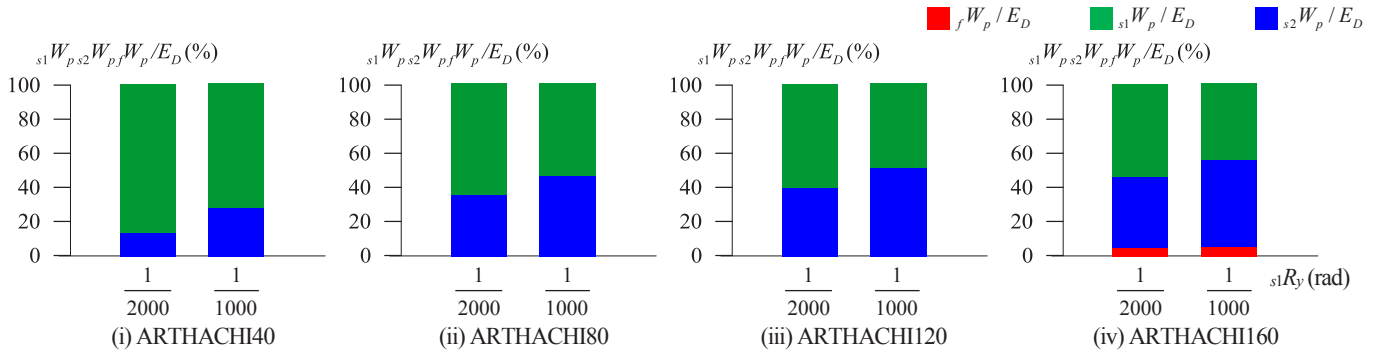


図 12 s_1R_y とエネルギー分担率の関係 ($s_2R_y=1/500$ 一定)

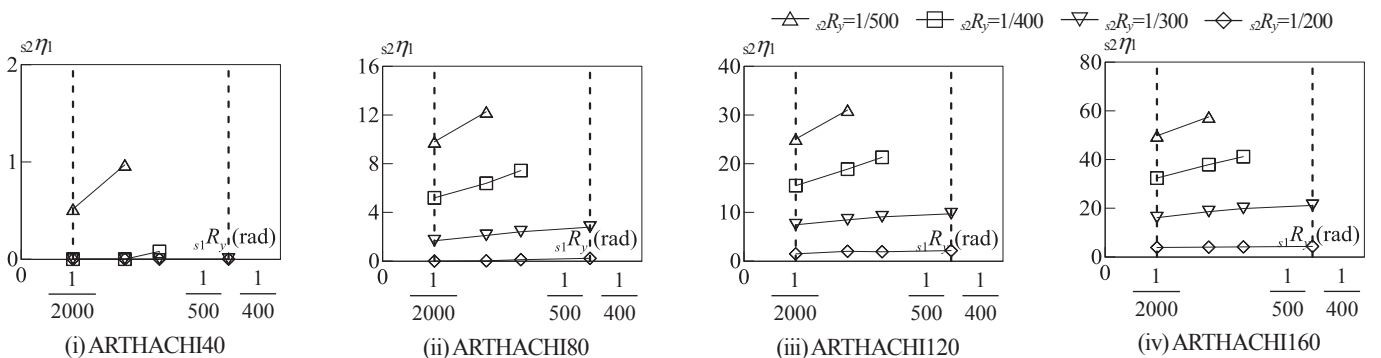


図 13 s_1R_y と $s_2\eta_1$ の関係

6. まとめ

2種類の履歴型ダンパーを併用することによる建物応答および損傷への影響を時刻歴応答解析により、地震動レベルごと確認した。ダンパーの降伏耐力や、地震動の位相特性など、限られた条件ではあるが、以下に得られた知見を示す。

- 1) 最大層せん断力と最大層間変形角の高さ方向分布は、ダンパーの降伏変形角の変化による影響が少ない。
- 2) 降伏変形角の変化が最大応答に対して小さい程、建物応答に与える影響は少ない
- 3) 最大層間変形角は、主架構の損傷する入力地震動レベルの時に、ダンパーの降伏変形角の変化による影響が大きくなる。
- 4) 鋼材ダンパーの累積塑性変形倍率は、鋼材ダンパーの降伏変形角が同じ場合、摩擦ダンパーの滑り出し変位角を小さくすることで摩擦ダンパーのエネルギー吸収率が上昇し、鋼材ダンパーの累積塑性変形倍率を小さくすることが可能であると考えられる。

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) 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
- 3) 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
- 4) 北村春幸: 性能設計のための建築振動解析入門 第二版, p.139, 2009.4

*1 東京理科大学 *2 東京工業大学

*3 新日鉄住金エンジニアリング株式会社