

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	変形増幅機構を有する粘性制振壁を設置した鋼構造物の地震応答－跳ね出し梁の部材性能が制振効果に及ぼす影響－
Title(English)	
著者(和文)	菅原 惇, 佐藤大樹, 北村春幸, 小川晋平, 松田頼征, 石井正人, 吉江慶祐
Authors(English)	Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Yoriyuki MATSUDA, Masato Ishii, Keisuke Yoshie
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, 1, , pp. 289-292
Citation(English)	, 1, , pp. 289-292
発行日 / Pub. date	2018, 3

変形増幅機構を有する粘性制振壁を設置した鋼構造物の地震応答 -跳ね出し梁の部材性能が制振効果に及ぼす影響-

構造-振動

実効変形 粘性制振壁 時刻歴応答解析

鋼構造物 立体部材モデル

準会員 ○ 菅原惇^{*1}〃 北村春幸^{*1}〃 松田頼征^{*1}〃 吉江慶祐^{*3}正会員 佐藤大樹^{*2}〃 小川晋平^{*1}〃 石井正人^{*3}

1. はじめに

現代に至るまでに建物の耐震性能に対しての要求が高まり、ダンパーを用いたエネルギー吸収機構による制振構造が普及している。制振部材に作用する変形に応じたエネルギーを吸収するため、その有効な変形を示す実効変形を増やすことで耐震性能の向上に結びつく。戸張らは、ダンパーを設置する左右の梁にピン接合を儲け、実効変形を増幅させる変形増幅機構を提案している¹⁾。変形増幅機構は、跳ね出し梁の長さを長くすると幾何学的関係から、実効変形比は理論上増幅される。しかし、小川らは上記の機構の動的加振試験を行い、ピン接合の左右の跳ね出し梁の長さが長くなることで、梁の変形によって実効変形比（層間変形に対する実効変形の比）が低減することを報告している²⁾。これらのことより本報では、文献¹⁾で提案された変形増幅機構を有する鋼構造物の地震応答に、跳ね出し梁の長さや断面性能が及ぼす影響を時刻歴応答解析によって確認する。

2. 変形増幅機構概要

既報¹⁾で提案している変形増幅機構は、ダンパーを設置する中央梁の左右にピン接合を設けることで、中央梁を強制的に回転させ、ダンパーの実効変形を増幅させる機構である。図1(a)に変形増幅機構の変形図を示す。また、ピン位置と実効変形比 α_e の関係は幾何学的に下式により表わされる。

$$\alpha_e = \frac{\delta_d}{\delta_A} = h \cdot \theta_A \frac{L}{l_c} \times \frac{1}{h \cdot \theta_A} = \frac{L}{l_c} \quad (1)$$

ここで h : 階高, θ_A : 層間変形角, L : スパン長さ, l : 梁端からピン位置までの距離である。(1)式による実効変形比 α_e とピン位置の関係を図1(b)に示す。図1(b)には、3.1節で

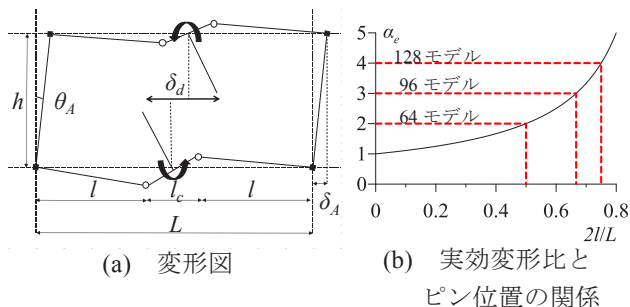


図1 変形増幅機構概要

後述する建物モデルでの理論的な実効変形比を破線で示す。ピン位置が中央に近づくほど、跳ね出し梁が長くなるということを指し、 α_e は増大する。

3. 検討対象建物概要

3.1 建物モデル概要

図2に検討建物モデルの伏図、軸組図を示す。建物モデルは、地上5階、高さ33.5mの5層鋼構造建物とする。建物モデルは、剛床を仮定した立体部材モデルで、全部材を弾性とする。本報では、跳ね出し梁の長さをパラメータとするため、跳ね出し梁の長さ毎にモデル名をつける。表1にX3-X4 スパン長さ L とそれぞれのモデル名の関係を表わす。ここで、 l_c : 中央梁長さ, l : 跳ね出し梁長さである。表1に示すように L の長さが6.4mのモデルを基準とし、64モデルとする。 L が9.6mのモデルを96モデル、12.8mのモデルを128モデルとする。各モデルの l の長さは、(1)

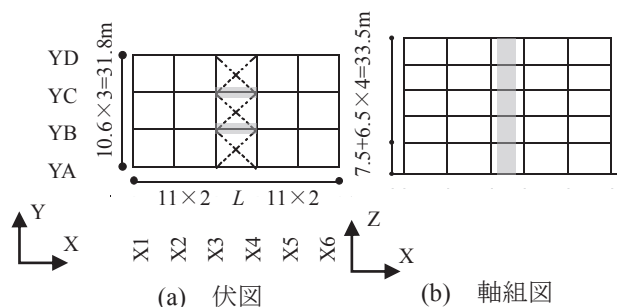


図2 建物モデルの伏図・軸組図

表1 跳ね出し梁長さと各モデル名

モデル名	中央梁長さ l_c [m]	跳ね出し梁長さ l [m]	ダンパー設置部スパン長さ L [m]
64	3.2	1.6	6.4
96	3.2	3.2	9.6
128	3.2	4.8	12.8

表2 64-1モデルの部材

	断面 (mm)
内柱	□-500×500×19~ □-600×600×32
外柱	□-500×500×19~ □-600×600×28
大梁	H-588×300×12×25~ H-750×350×14×28

表3 64-1モデルの層重量

層	fW_i (kN)
5	14816
4	15516
3	15632
2	18187
1	18376

式に代入した際に、実効変形比がそれぞれ 2 倍、3 倍、4 倍となる値となるように決定した。96 モデルと 128 モデルは、64 モデルと固有周期を同一にするために吹き抜けを設けて重量を調整した。表 2 にモデルの部材断面を示し、表 3 に基準である 64 モデルの層重量を示す。

3.2 各モデルの部材断面

本報では、跳ね出し梁を長くした際に起こる梁の変形を考慮するため、梁の部材断面もパラメータとする。表 1 に示した 96、128 モデルにおいて、 L の X 方向のスパンの部材断面性能を変更し、それぞれに新たにモデル名をつけ解析を行う。表 4 に各モデル名とそれぞれの部材断面を示す。部材断面は主に断面 2 次モーメントの値が 64 モデルの跳ね出し梁の曲げ剛性に対して約 1.5 倍、2 倍、3 倍の値を持つ部材という基準で部材断面を選択した。

表 5 に各モデルの固有周期と弾性 1 次固有円振動数を示す。表 5 より、それぞれのモデルの固有周期に大きな変化はなく、比較検討に問題はないと考える。

表 4 各モデル名と部材断面

モデル名	層	部材断面	剛比 $\times 10^5 \quad 3EI/I^3 \text{ [kN/m]}$		
			64モデル	96モデル	128モデル
64-1 96-1 128-1	R	H-600×300×16×28	2.40	0.300	0.178
	5	H-750×300×14×28	3.92	0.490	0.290
	4				
	3	H-750×350×14×28	4.47	0.559	0.331
64-2 96-2 128-2	2				
	R	H-750×300×14×25	3.62	0.452	0.268
	5	H-850×350×16×28	6.04	0.754	0.447
	4				
64-3 96-3 128-3	3	H-850×350×19×32	6.85	0.856	0.507
	2				
	R	H-750×350×14×32	4.95	0.619	0.367
	5	H-900×400×19×28	7.90	0.987	0.585
64-4 96-4 128-4	4				
	3	H-900×400×19×36	9.49	1.186	0.703
	2				
	R	H-850×350×19×36	6.85	0.856	0.507
	5	H-1000×400×19×36	12.0	1.51	0.892
	4				
	3				
	2	H-1000×400×19×36	12.0	1.51	0.892

表 5 各モデルの固有周期と固有円振動数

モデル名		固有周期(s)			$\omega_{fl} \text{ [rad/s]}$
		1次	2次	3次	
64	-1	1.93	0.685	0.403	3.26
	-2	1.90	0.676	0.399	3.31
	-3	1.87	0.668	0.397	3.35
	-4	1.86	0.664	0.395	3.37
96	-1	1.97	0.697	0.408	3.20
	-2	1.93	0.688	0.404	3.25
	-3	1.92	0.683	0.403	3.28
	-4	1.90	0.675	0.400	3.32
128	-1	2.00	0.711	0.413	3.14
	-2	1.96	0.696	0.407	3.21
	-3	1.94	0.691	0.406	3.23
	-4	1.93	0.686	0.405	3.25

3.3 粘性制振壁概要

本報では、鋼板と粘性体により構成される壁型の粘性ダンパー（以下、制振壁）を対象とする。図 3 に制振壁概要を示しており、図 3(a)に制振壁のモデル概要を示す。制振壁は、図 3(a)に示すように制振壁を設置する中央梁から階高の半分まで剛域を伸ばし、その先端にダッシュポットを設け、減衰力の発生位置が各層の中央位置になるようにモデル化した。中央梁は、制振壁の取り付けに伴う高力ボルト摩擦接合による継手により断面性能が向上していること、ピン接合によって梁に作用する応力が小さくなり周辺の部材と比較して相対的に変形が小さいことから剛域と設定した。制振壁の粘性係数の算出方法は、以下の(2)、(3)式より、第 1 層の 1 基あたりダンパーの粘性係数 C_{d1} を算出する。

$$C_f = \frac{2h_d}{\omega_f} K_f \quad (2)$$

$$C_{d1} = \frac{C_f}{N} \quad (3)$$

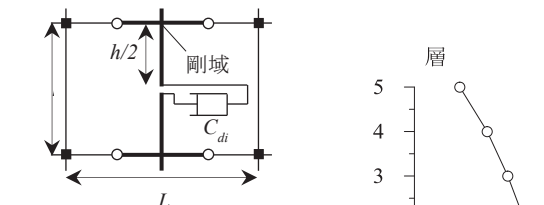
ここで C_f : 第 1 層の粘性係数, N_i : i 層のダンパー基数, h_d : 付加粘性減衰定数, ω_f : 主架構の弾性 1 次固有円振動数, K_f : 第 1 層の主架構の水平剛性であり、本論文では h_d をダンパー量と称する。

図 3(b)に制振壁の粘性係数比を示す。各層の付加粘性減衰量 C_{di} は、 A_i 分布に基づく設計用層せん断力より算出される地震力の係数比に沿うように分布させる。

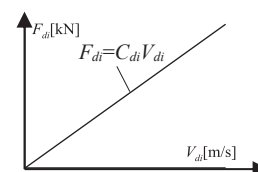
本報では、第 i 層における粘性減衰力 F_{di} は、ダッシュポットの速度 V_{di} に比例するものとし、(4)式に示す。

$$F_{di} = C_{di} V_{di} \quad (4)$$

図 3(c)に本報で用いる制振壁の粘性抵抗力を示す。本報で用いるダンパーは、単純化するため、試験的に線形粘性をもつダンパーとして扱う。



(a) 制振壁のモデル概要



(b) 制振壁の粘性係数比

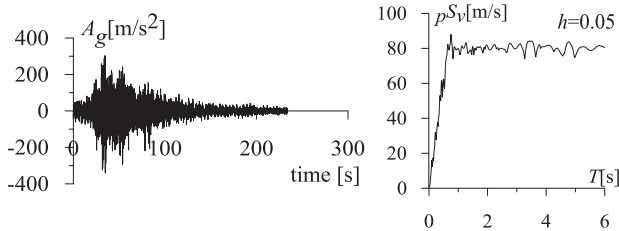
(c) 制振壁の粘性減衰力

図 3 制振壁概要

4. 時刻歴応答解析による応答結果

4.1 入力地震動概要

時刻歴応答解析による検討に用いる地震波は、擬似速度応答スペクトル $pS_v=0.8\text{m/s}(h=0.05)$ を目標応答スペクトルとする告示波とした。位相特性は、観測地震動 Hachinohe(1968 年十勝沖地震)の EW 成分としている。図 4 に入力地震動の加速度時刻歴波形と、擬似速度応答スペクトルを示す。



(a) 時刻歴加速度波形 (b) 擬似速度応答スペクトル

図 4 入力地震動の加速度波形と
擬似速度応答スペクトル

4.2 スパン長さに関する検討

図 5 に基準となる 64-1 モデルの高さ方向の層間変形角 R 、応答加速度 A 、層せん断力 Q 、実効変形比 α_e を各層の最大値として示す。図 5 より、ダンパー量を増やすほどに α_e は低下するが R 、 A 、 Q は低減している。ダンパー量を増やすことで、ダンパーの粘性抵抗力 F_{di} が増大し、跳ね出し梁にかかる力が大きくなり、梁の変形が大きくなることで、実効変形比が低下したと考えられる。

図 6 に 64-1、96-1、128-1 モデルのダンパー量ごとの最大層間変形角 R_{max} 、最大応答加速度 A_{max} 、最大層せん断力 Q_{max} 、実効変形比 α_e を示す。図 6(a~c)より、64-1 モデルの R_{max} 、 A_{max} 、 Q_{max} は比較的滑らかに低減しているのに対し、96-1、128-1 モデルはダンパー量 1%を超えると、 R_{max} 、 A_{max} 、 Q_{max} が少しずつ増加していく。これは h_d が大きいほど F_{di} 及び梁の変形が大きくなり、ひいては実効変形比も小さくなったためと考えられる。96-1 と 128-1 モデルの α_e は 1 フレーム 1 スパン時の理論的な実効変形比より大きく低下している。跳ね出し梁の長さは変形に大きく影響するので、大きく曲げ変形することによって、ダンパーの実効変形が著しく損なわれ、実効変形比が低下すると考えられる。

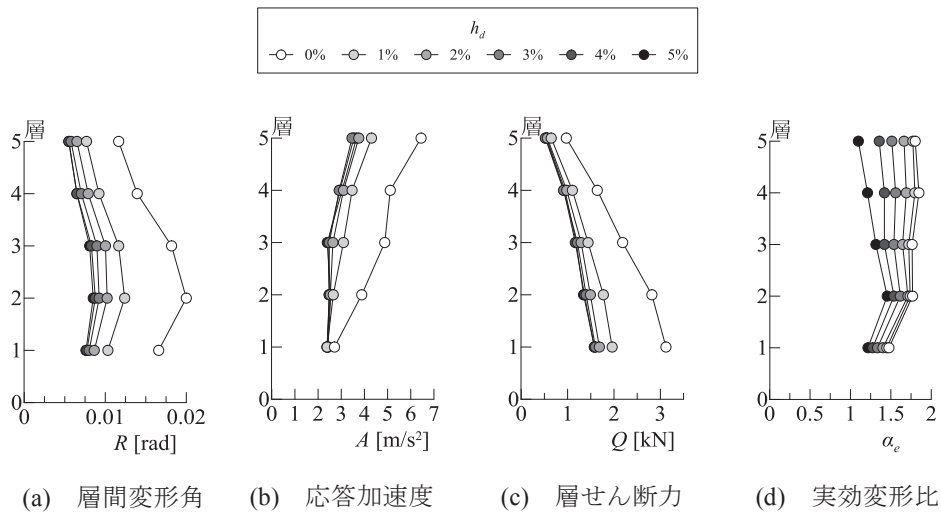


図 5 64-1 モデルの高さ方向の応答値

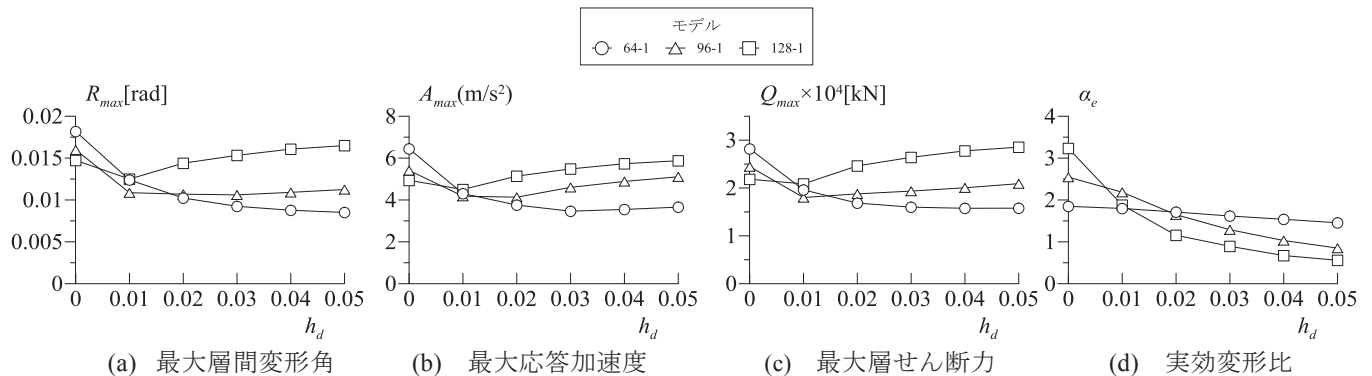


図 6 各モデルのダンパー量ごとの応答値

4.3 断面性能に関する検討

図7に各モデルにおける断面性能に関するダンパー量毎の最大層間変形角 R_{max} 、最大応答加速度 A_{max} 、最大層せん断力 Q_{max} 、実効変形比 α_e を示し、1 フレーム 1 スパン時の (1) 式から算出される理論的な実効変形比を破線で示す。図 7(a) より、64 モデルにおいて、 A_{max} と Q_{max} は $h_d=0.02$ 以上では部材断面に関わらずほぼ一定の値である。64-1 モデルと 64-4 モデルで応答が変わらないのは、固有周期 (表 5) に差がなく層間変形が同等であるため、ダンパー減衰力も同等になったためと考えられる。図 7(b) より 96 モデルにおいて、96-1 から 96-4 にかけて α_e が増大し、いずれの h_d でも部材断面が大きいほど R_{max} 、 A_{max} 、 Q_{max} が低減していることが確認される。ただし、96-3 モデル以降部材断面を大きくしても変化量が小さくなる。 α_e は増加しているのに、部材断面を大きくすることによる効果は確認できる。図 7(c) より 128 モデルにおいて、96 モデルと同様に実効変形比は徐々に増加し、 R_{max} 、 A_{max} 、 Q_{max} の低減が確認できる。また、96 モデルより断面の変化による応答値の変化が大きいことが確認される。

以上より、部材断面を大きくしたとしても、実効変形比がほぼ一定となる上限があると考えられる。

5 まとめ

本報では、変形増幅機構を有する鋼構造物の制振性能を跳ね出し梁長さと部材断面性能を変化させ、時刻歴応答解析を行い、以下の知見を得られた。

- (1) ダンパー量を増やすほどに実効変形比は小さくなり、層間変形角、加速度、層せん断力の最大値は一定となるが、梁スパンの長い建物では徐々に増加する。
- (2) 跳ね出し梁長さを長くすることで実効変形比は増大するが、長くするほどに跳ね出し梁の変形により理論的な実効変形比より低減する。
- (3) 跳ね出し梁の部材断面性能を変化させることで、梁の変形を抑えることができるが、性能を上げたとしても増加する実効変形比に上限がある。

謝辞

本研究は、日建設計、オイレス工業、東京理科大学北村研究室による共同研究の成果の一部である。

参考文献

- 1) 戸張涼太, 石井正人, 佐藤利昭, 北村春幸, 吉江啓祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 変形増幅機構を有する粘性制振壁を設置した制振システムの考案, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 巻, 第 706 号, pp.1741-1750, 2014.2
- 2) 小川晋平, 岩崎雄一, 石井正人, 佐々木和彦, 佐藤大樹, 北村春幸, 佐藤利昭, 松田頼征, 吉江慶祐: 変形増幅機構を有する制振フレーム試験体の動的加振試験, 構造工学論文集, Vol.63B, pp.285-293, 2017, 3
- 3) 日本免震構造協会: パッシブ制振構造設計・施工マニュアル, 2003.10

*1 東京理科大学 *2 東京工業大学 *3 (株) 日建設計

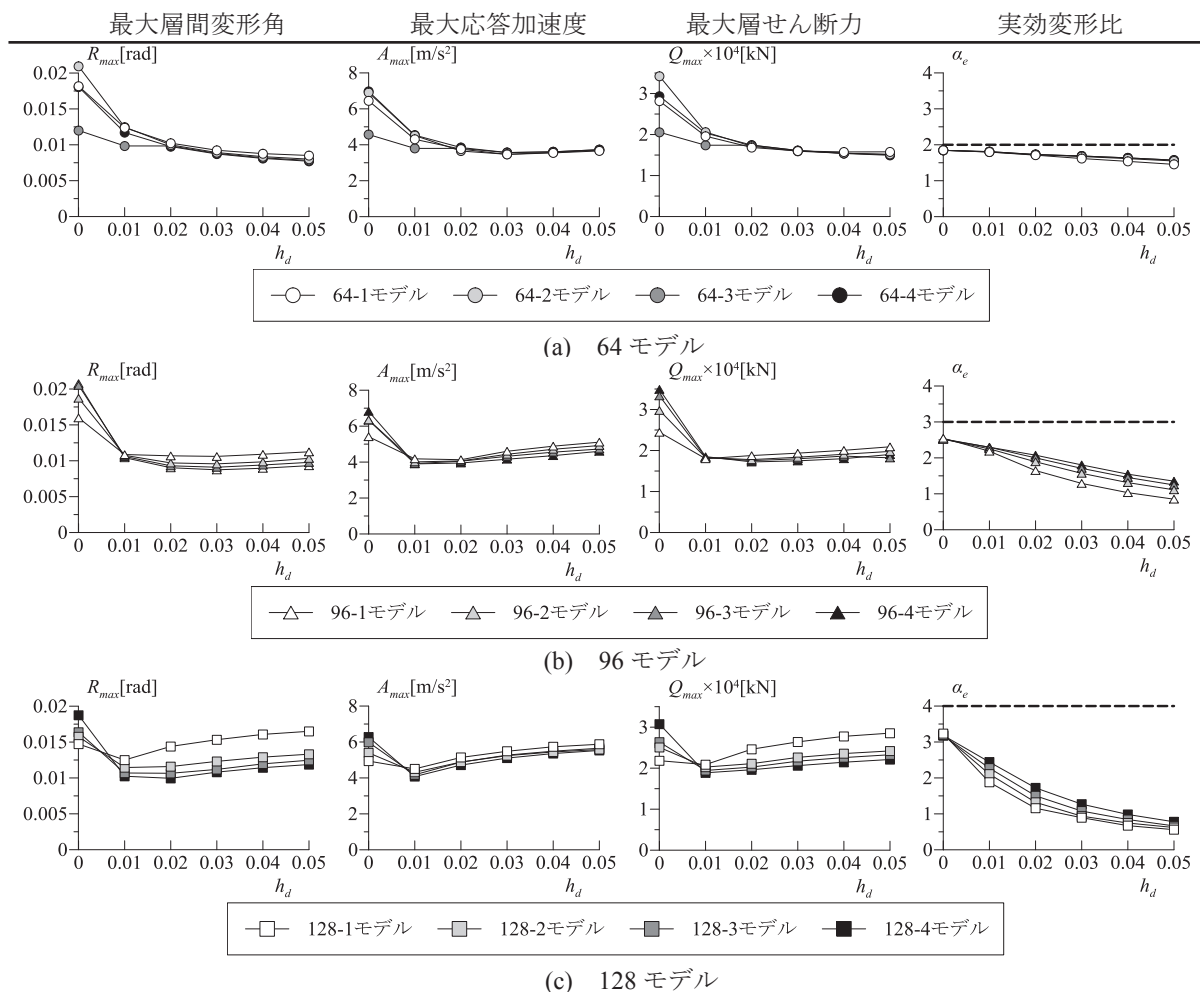


図7 各モデルの時刻歴解析応答値