

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	変形増幅機構と耐震ブレースを併用した制振構造システムの応答評価
Title	
著者(和文)	細谷佳雅, 加藤翼, 後上和也, 石井正人, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 佐々木和彦, 岩崎雄一, 吉江慶祐
Authors	Masato Ishii, Toshiaki Sato, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Kazuhiko Sasaki, IWASAKI Yuichi, Keisuke Yoshie
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2015, 3
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: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110009947871">http://ci.nii.ac.jp/naid/110009947871</a>

## 変形増幅機構と耐震ブレースを併用した制振構造システムの応答評価

構造一振動	準会員	○ 細谷佳雅 <sup>*1</sup>	正会員	加藤 翼 <sup>*1</sup>	同	後上和也 <sup>*1</sup>
	同	石井正人 <sup>*2</sup>	同	佐藤利昭 <sup>*1</sup>	同	佐藤大樹 <sup>*3</sup>
実効変形 粘性制振壁 時刻歴解析	同	北村春幸 <sup>*1</sup>	同	佐々木和彦 <sup>*4</sup>	同	岩崎雄一 <sup>*4</sup>
鋼構造建物 立体部材モデル	同	吉江慶祐 <sup>*2</sup>				

## 1. はじめに

水平力により建物に生じる層間変形は、せん断変形と曲げ変形により構成される。一般の制振構造の場合、架構内に配置された制振部材は、せん断変形に対してのみ機能し、曲げ変形は制振性能の低下の要因となる<sup>1)</sup>。筆者らは、制振部材を設置する梁の中間にピン接合を設けることで、曲げ変形をせん断変形に転じ、層間変形を上回る実効変形を確保する変形増幅機構を提案しており、粘性制振壁を対象とした解析的・実験的検証を通してその有用性を確認している<sup>2), 3)</sup>。一方、ピン接合を設けることによる架構剛性の低下や過大なダンパー量の投入による実効変形の低下も報告している。

本報は、変形増幅機構をより有効に活用する構造形式を提案することを目的に、時刻歴応答解析結果を整理したものである。具体的には、架構剛性の確保と柱の軸伸縮による架構の全体曲げ変形の増幅を意図して、粘性制振壁設置箇所の両隣に耐震ブレースを配置した構造形式を提案し、構造形式による応答低減効果の差異を評価する。

## 2. 変形増幅機構概要

既報<sup>3)</sup>で提案している変形増幅機構は、ダンパーを設置する梁の左右にピン接合を設けることで、ピン間の梁を強制的に回転させ、実効変形の増幅を図る機構である。図1(a)に示

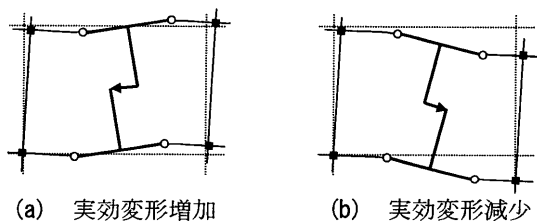


図1 柱の軸伸縮による変形図

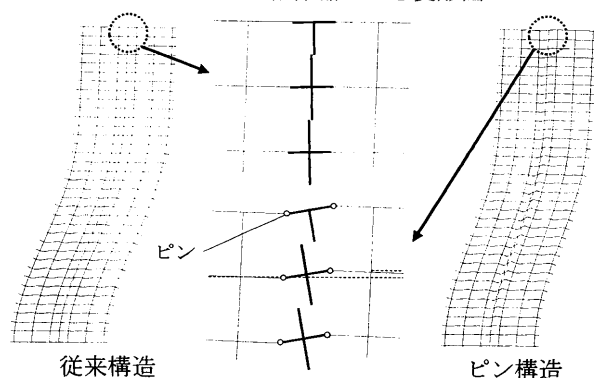


図2 静的加力時の変形図

す変形図のように、左側の柱の節点に対する右側の柱の節点が相対的に上方に移動することで、せん断変形と曲げ変形によりダンパーに生じる変形が同符号となり実効変形が増幅される。変形増幅機構を適用したピン構造は、ダンパー設置スパンを境に架構が分離され、図2に示す変形図のように、それぞれが別架構のように変形することで、図1(a)の変形状態となり、上記の実効変形の増幅効果が得られる。しかし、ダンパーに大きな抵抗力が発生した場合、図1(b)のように、右側の節点が相対的に下方に移動する変形が生じ、せん断変形と曲げ変形によるダンパー変形がそれぞれ逆符号となり相殺され、実効変形が減少する<sup>2)</sup>。

本報で提案する構造形式は、変形増幅機構を設けたスパンの両隣に耐震ブレースを配することで、柱の軸伸縮による架構の全体曲げ変形を引き起こし、図1(a)の変形を誘発するものである。

## 3. 時刻歴応答解析条件概要

## 3.1 検討対象建物概要

本報では、従来架構に粘性制振壁を適用した従来モデル、変形増幅機構を適用してピン接合を設けたピンモデルおよびピンモデルの粘性制振壁設置箇所の両隣に耐震ブレースを配置した提案モデルを対象に時刻歴応答解析を行い、比較検討を通して各構造形式における応答低減効果を評価する。なお、粘性制振壁の設置箇所は全てのモデルで同一とする。

検討対象建物は、全体曲げ変形が卓越しやすい超高層建物を想定し、地上35階、高さ141mの35層鋼構造建物とする。図3に軸組図・伏図と粘性制振壁および耐震ブレースの配置箇所を、表1に柱・梁の部材断面をそれぞれ示す。解析は、X方向を対象とし、剛床を仮定した立体部材モデルで行う。

変形増幅機構を導入した場合、梁にピン接合を設けるため、従来モデルに比べて層剛性が低下する。本報では、低下した層剛性を補うように耐震ブレースを設定する。耐震ブレースは、座屈拘束ブレースを採用し、弾性仮定とした。断面積は6200 m<sup>2</sup>とし(第1層は階高が異なるため7018 m<sup>2</sup>を採用)、各層のブレースの軸剛性  $K_{bi}$  は、第1層のブレースの軸剛性  $K_{b1}$  を基準として図4に示すように  $A_i$  分布に基づく設計用層せん断力分布をもとに5段階に分布した。従来モデル、ピンモデル、提案モデルの1次固有周期を表2に、各層の層剛性  $K_{fi}$  を図5にそれぞれ示す。構造減衰は主架構の1次固有周期に対して2%の剛性比例型とする。

### 3.2 粘性制振壁概要

粘性制振壁は、剛域で表現された付帯梁から伸ばした剛域の先端に非線形ダッシュポットのみを設定し、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する(図6)。設計用粘性抵抗力  $F_d$  は 1 次粘性係数  $C_{d1}$ , 2 次粘性係数  $C_{d2}$ , ダンパー速度  $V_d$ , せん断隙間  $d(=0.004 \text{ m})$  を用いて(1)式により算出される。

$$F_d = C_{d1}V_d^{0.59} \quad (|V_d| < 10d) \quad (1a)$$

$$F_d = C_{d2}V_d^{0.4} \quad (|V_d| \geq 10d) \quad (1b)$$

第1層の制振壁の粘性抵抗力  $F_{d1}$  は、第1層の層せん断係数  $\alpha_{d1}$  を用いて(2)式より算出される。本報では、 $\alpha_{d1}$  をダンパー量と称し、検討パラメータとする。

$$F_{d1} = \alpha_{d1} \sum_{i=1}^n m_i g \quad (2)$$

ここで、 $n$ : 層数、 $m_i$ :  $i$  層の質量、 $g$ : 重力加速度である。各層の粘性抵抗力  $F_{di}$  は、耐震ブレース同様、図4に示すように第1層の粘性抵抗力  $F_{d1}$  を基準に5段階に分布した。

### 3.3 入力地震動概要

時刻歴応答解析に用いる地震動には、入力レベルの差異によるダンパーの制振効果の変化を考察することを目的に、擬似速度応答スペクトル  $\rho S_V=0.8 \text{ m/s}$  および  $1.6 \text{ m/s} (h=5\%)$  を目標応答スペクトルとする模擬波 ART HACHI (位相特性: Hachinohe 1968EW) を用いる。図7に入力地震動の擬似速度応答スペクトル( $h=5\%$ )と、エネルギースペクトル( $h=10\%$ )を示す。図中には、従来モデルと提案モデルの1次固有周期を実線、ピンモデルの1次固有周期を破線で示す。

## 4. 時刻歴応答解析結果に基づく応答評価

### 4.1 ダンパー量に関する検討

本報では、 $\rho S_V=1.6 \text{ m/s}$  入力時の応答値に主眼を置き、考察することとする。図8に各モデルにおけるダンパー量  $\alpha_{d1}$  と入力エネルギー  $E$  に対する粘性制振壁のエネルギー吸収量  $dW_p$  の割合(エネルギー吸収率)  $dW_p/E$ , 実効変形比の全層の平均値  $\bar{\alpha}_e$ , 層間変形角および応答加速度の全層の最大値  $R_{max}$ ,  $A_{max}$  の関係を示す。ここで、実効変形比とは、最大層間変形に対するダンパーの最大変形の割合である。図中には、比較のため従来架構の非制振時の応答を実線で示す。図8(a)のエネルギー吸収率に着目すると、ピンモデルの場合、従来モデルとは異なり、極大値を示すダンパー量が存在し、それ以上のダンパー量においては、エネルギー吸収率が低減傾向を示した。これは、前述した通り、ダンパーの粘性抵抗力の増加に伴い、実効変形が低減したためであり、図8(b)の実効変形比からも、その様子が確認できる。本報で提案する提案モデルについても、同様の傾向を示しているが、エネルギー吸収率、実効変形比ともにピンモデルを上回る値を示した。図8(c)の層間変形角についても、ピンモデルに比べて提案モデルの応答低減効果が高くなっていることが確認できる。ただし、図8(d)の応答加速度は、変形増幅機構を適用した場合、ダンパー量の増加に伴い増大傾向を示しており、この傾向は、提案モデルの方が顕著であった。

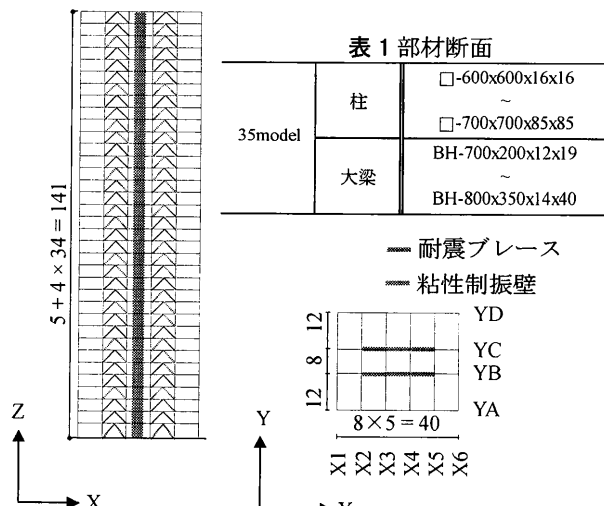


図3 検討建物概要(単位: m)

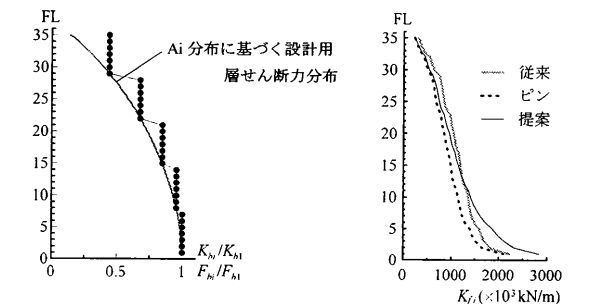


図4 ブレースの軸剛性・制振壁の粘性抵抗力の分布

図5 各モデルの層剛性

表2 架構の1次固有周期 (単位: s)

モデル名	1次固有周期
従来	4.077
ピン	4.450
提案	4.063

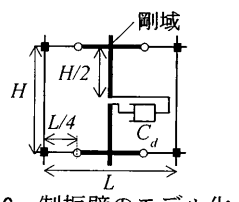
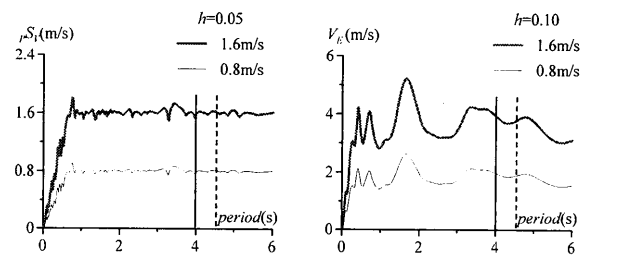


図6 制振壁のモデル化



(a) 擬似速度応答スペクトル (b) エネルギースペクトル

図7 入力地震動のスペクトル

なお、図8(ii)の  $\rho S_V=0.8 \text{ m/s}$  入力時の応答解析結果については、 $\rho S_V=1.6 \text{ m/s}$  入力時の応答と同様の傾向が認められる。ここから、ピンモデルおよび提案モデルは、入力レベルの差異によらず有効に機能すると考えられる。

続いて、図9に各ダンパー量における各層の粘性制振壁のエネルギー吸収率  $dW_i/E$ , 実効変形比  $\alpha_e$ , 最大層間変形角  $R_{max}$ , 最大応答加速度  $A_{max}$  の高さ方向分布を示し、ダンパー量の差異による各層の応答性状の変化を確認する。図9(a)の各層のダンパーのエネルギー吸収率に着目すると、ピンモデル、提案モデルともにダンパー量の増加に伴い、下層部では

増大傾向、上層部では減少傾向を示しているが、従来モデルと比べて増加している。図9(b)の実効変形比に着目すると、提案モデルでは、ピンモデルに比べて中層部から上層部にかけて応答値が向上している。ピンモデル、提案モデルの上層部において、ダンパー量の増加に伴ってダンパーのエネルギー吸収率が減少傾向を示すのは、実効変形比の低下が低層部に比べて上層部で顕著に生じているためであると考えられる。図9(c)の層間変形角について見ると、ピンモデル、提案モデル

ルともに一定以上のダンパー量において僅かではあるが変形が増大していることが分かる。また、提案モデルの最大変形層は、従来モデル、ピンモデルと異なり上層部となる結果を示した。これは、提案モデルは下層部の層剛性が高いことが要因の一つとして考えられる(図5)。提案モデルの実効変形比は、ピンモデルと比べて中層部から上層部で増大しているが、層間変形角では大きな差は見られない。これは、提案モデルの全体曲げ変形量が大きいためであると考えられる。図

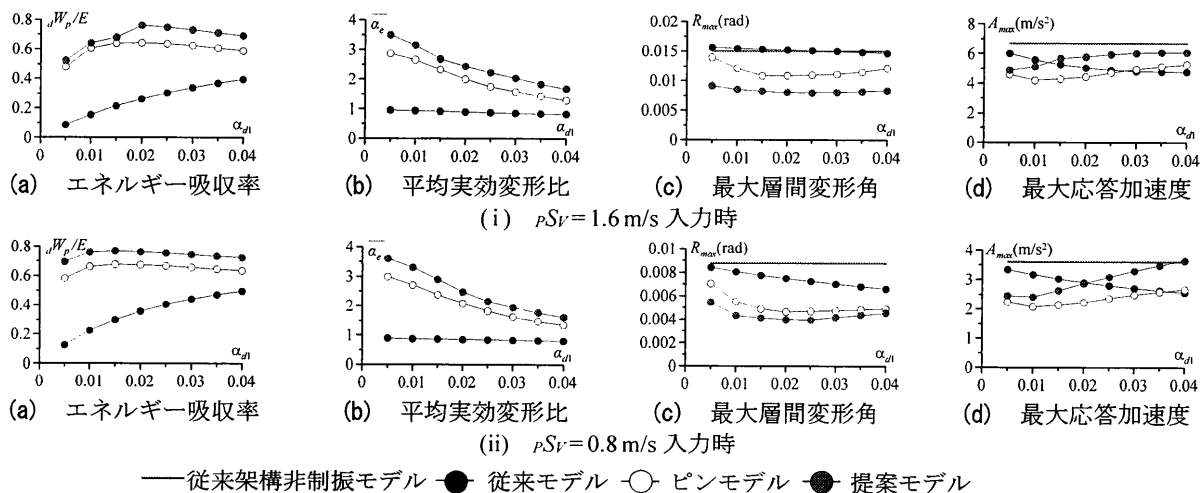


図8 各モデルにおける最大応答値の比較

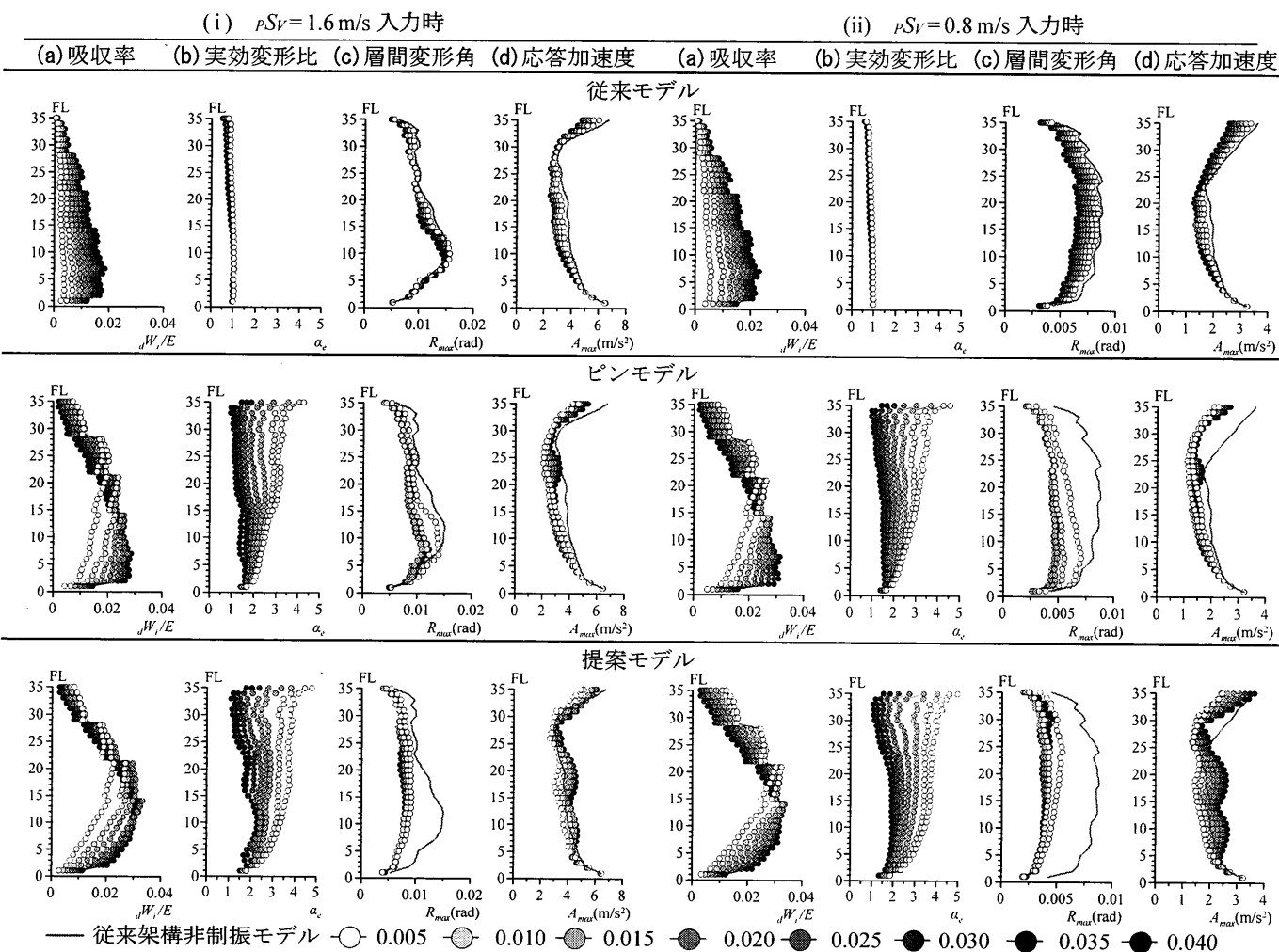


図9 各モデルにおける応答値の高さ方向分布

9 (d) の応答加速度は、提案モデルの場合、従来モデル、ピンモデルとは異なり、ダンパー量の増加に伴いほとんどの層が増大傾向を示し、ダンパー量によっては従来架構非制振時の応答値を上回る層も確認された。

以上より、変形増幅機構を採用する場合、一定のダンパー量でエネルギー吸収率が頭打ちとなることが避けられず、過大なダンパー量の投入は、ダンパーの稼働効率の低下と同時に応答加速度の増加の要因となることを確認した。そのため、想定する入力レベルに対する適切なダンパー量を選定することに加えて、提案モデルのようにダンパーの稼働効率が向上する架構計画における使用が望ましい。

#### 4.2 主架構の損傷に関する検討

最後に、 $P_{SV}=1.6$  m/s 入力時における各モデルの主架構の損傷状態を確認する。検討に使用するダンパー量は、図 8 (a) より、提案モデルのエネルギー吸収率が極大値を示した  $\alpha_{d1}=0.020$  を全モデルで採用する。図 10 に各モデルにおける梁の累積塑性変形倍率  $g\eta$  の架構内分布を示す。図中のプロットは、文献 4 で提案されている安全限界値を参照し、 $g\eta=13.5$  をクライテリアとして定めて区分した。図 10(a) の従来構造非制振モデルに着目すると、下層部の中央の梁を中心に損傷が広がっており、 $g\eta=13.5$  を上回る箇所が多く見られる。図 10 (b) の従来モデルについては、YB 通りの粘性制振壁設置箇所の梁端部に  $g\eta=13.5$  を超える大きな損傷が集中しているのが確認できる。これは、制振壁設置箇所の付帯梁を剛域に設定したことにより、当該箇所の梁端部に変形が集中したためであると考えられる。一方、図 10(c) のピンモデルに着目すると、制振壁設置箇所の梁端部に損傷は見られない。これは、ピン接合を設けたことにより、当該箇所の梁端部に発生する応力が低減したためである。また、それ以外の箇所の損傷についても、ダンパーのエネルギー吸収量が大きいため、従来モデルと比較して損傷が小さくなっていることが確認できる。図 10(d) の提案モデルでは、 $g\eta=1.0$  を超える損傷は確認されず、全層を無損傷に留めている。

以上より、変形増幅機構を適用することによって、粘性制振壁設置箇所の梁端部の損傷を低減し、それ以外の箇所の損

傷についても、高いエネルギー吸収能力によって抑制することが可能であることを確認した。

#### 5. まとめ

本報では、変形増幅機構をより有効に活用する構造形式の提案を目的に時刻歴応答解析に基づく応答評価を行った。得られた知見を以下に示す。

- ・耐震ブレースを配することにより、従来架構と同等の層剛性を確保したまま、変形増幅機構を採用することが出来た。
- ・提案モデルでは、架構の全体曲げ変形が誘発され、実効変形が増幅されるため、ピンモデルに比べてダンパーが高いエネルギー吸収率を示した。
- ・提案モデルにおいても、ピンモデルと同様に、一定のダンパー量でエネルギー吸収率が極大値を示し、それ以上の過大なダンパー量の投入によって、ダンパーの稼働効率が低下する結果を示した。
- ・変形増幅機構を導入することによって、従来モデルに比べて主架構の損傷を大幅に低減することができ、特に提案モデルを採用することによって、高い抑制効果が得られる事を確認した。

#### 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、東京工業大学佐藤研究室による共同研究の成果の一部を用いたものです。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- (1) 日本建築構造技術者協会：応答制御構造設計法，彰国社，2000.12
- (2) 戸張涼太，石井正人，佐藤利昭，北村春幸，吉江慶祐，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提案，日本建築学会構造系論文集，第 79 巻，第 706 号，1741-1750，2014.12
- (3) 戸張涼太，岩崎雄一，後上和也，石井正人，佐藤利昭，北村春幸，宮崎充，佐々木和彦，吉江慶祐：変形増幅機構を有する制振構造システムの提案（その 1），（その 2），（その 3），日本建築学会学術講演梗概集，2014.9
- (4) 北村春幸，宮内洋二，浦本弥樹：性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究—JSCA 耐震性能メニューの安全限界値と余裕度レベルの検討—，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，183-191，2006.6

\*1 東京理科大学 \*2 (株)日建設計 \*3 東京工業大学 \*4 オイレス工業 (株)

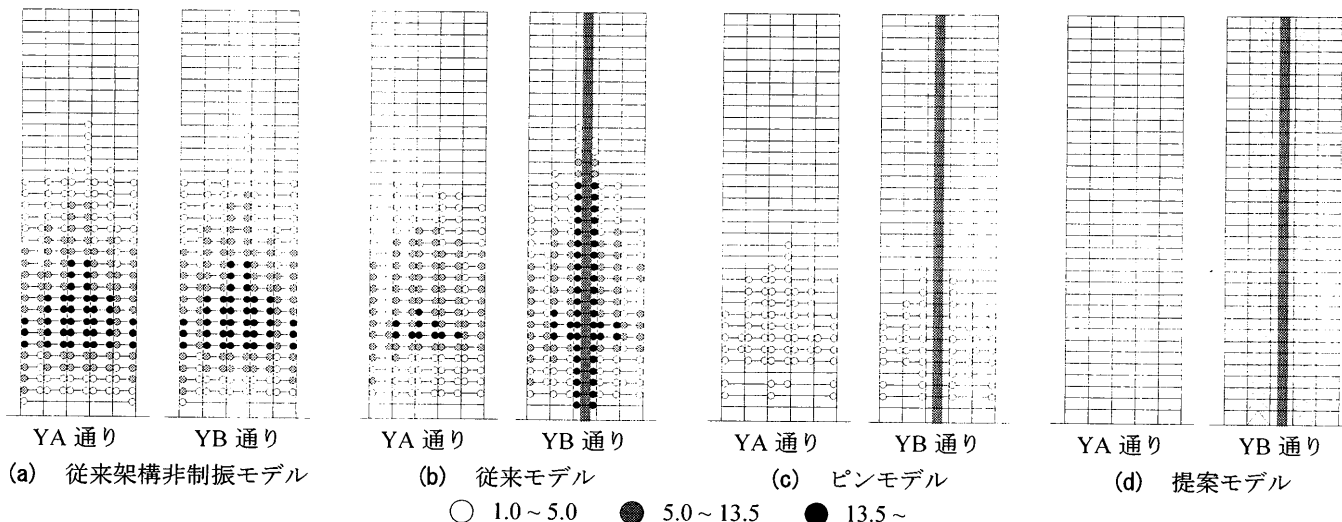


図 10 梁の累積塑性変形倍率  $g\eta$  の架構内分布 ( $\alpha_{d1}=0.020$ )