

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                        |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 制振建物を対象とした下層階へのエネルギー集中を保証するための高さ方向における主架構の耐力・剛性変化による検証                                                 |
| Title             |                                                                                                        |
| 著者(和文)            | 橋本 奨吾, 佐藤 大樹, 北村春幸, 長江拓也, 佐野剛志                                                                         |
| Authors           | daiki sato, Haruyuki Kitamura, TUYOSHI SANO                                                            |
| 出典 / Citation     | 日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 82, , 2003                                                                       |
| Citation(English) | , Vol. 82, , 2003                                                                                      |
| 発行日 / Pub. date   | 2012, 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/110009571489">http://ci.nii.ac.jp/naid/110009571489</a> |

# 制振建物を対象とした下層階へのエネルギー集中を保証するための 高さ方向における主架構の耐力・剛性変化による検証

構造—振動

超高層建物 制振構造 部分配置

剛性 耐力 エネルギー集中

準会員 ○ 橋本奨吾<sup>\*1</sup>  
 // 北村春幸<sup>\*1</sup>  
 // 佐野剛志<sup>\*3</sup>

正会員 佐藤大樹<sup>\*1</sup>  
 // 長江拓也<sup>\*2</sup>

## 1. はじめに

近年、技術の発達と都市の機密化によって、高層建物の在り方も異なり、多様な用途を持つ高層建物が増加している。中でも、下層に事務所や商業施設、上層に住居やホテルで構成される高層建物が多いのが現状である。このような高層建物は、高さ方向で用途が異なることで構造形式が異なり、高さ方向の耐力や剛性の変化が考えられる。商業施設や事務所は、長スパンで構成される場合が多く、ホテルや住居は、短スパンで構成される場合が多い。そのため上層のホテル・住居部分は下層の商業施設や事務所に比べて耐力・剛性が高くなることが予想される。本報では、上層の耐力・剛性を上げることによる応答値の変化、および下層に設置したダンパーの制振効果に及ぼす影響について検討することを目的とする。

## 2. 建物および入力概要

### 2.1 建物概要

図1に建物概要を示す。対象建物は、高さ80.5mの21層鋼構造建物とする<sup>1)</sup>。1F階高4.5m、2~21F階高3.8mである。解析では、X方向への1方向入力とした。建物は部材モデルでモデル化し、スラブの合成効果は、梁の曲げ剛性のみ考慮し耐力上昇は考慮していない。固有値解析の結果、フレーム状態における1次固有周期 $T_1$ は2.41秒である。減衰はフレームの $T_1$ に対して $h=2\%$ となる剛性比例型とした。

10~21Fの耐力・剛性を変化させたモデルをFB60モデルと呼ぶ。(図1(a))。本研究では、部材のF値を1.2倍、1.4倍し、耐力を上げることとする。主架構の剛性を上げるためには、部材のヤング係数を上げることとする。なお、剛性については、層剛性が1~1.4倍(0.2刻み)になるようにする。各倍率した際の1次固有周期とベースシア係数を表1に示す。なお、本報では1~9層に完全弾塑性型の復元力でモデル化された鋼製ダンパーを配置したモデルをDB60モデルと呼ぶ(図1(b))。

表1 FB60の固有周期とベースシア係数

| 剛性倍率            | 1.0  | 1.2  | 1.4  |
|-----------------|------|------|------|
| 1次固有周期(s)       | 2.67 | 2.58 | 2.52 |
| ベースシア係数         | 0.16 | 0.16 | 0.15 |
| $C_b \cdot T_1$ | 0.42 | 0.41 | 0.38 |

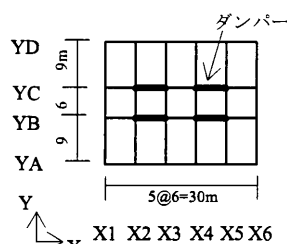


図1 建物概要

### 2.2 入力地震動

解析用入力地震動は、模擬波 ART-HACHI 波(位相特性: HACHINOHE1968EW)の $S_v=160(\text{cm/s})$ (以降 ART-HACHI2)を使用する。図2に加速度時刻歴を示す。また、図3(a),(b)に $S_v$ および $V_E$ のスペクトル図を示す。

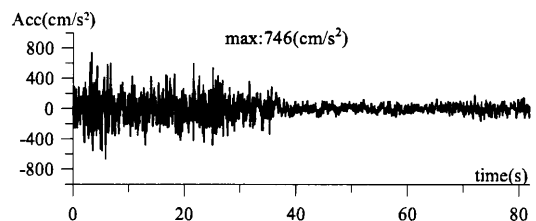
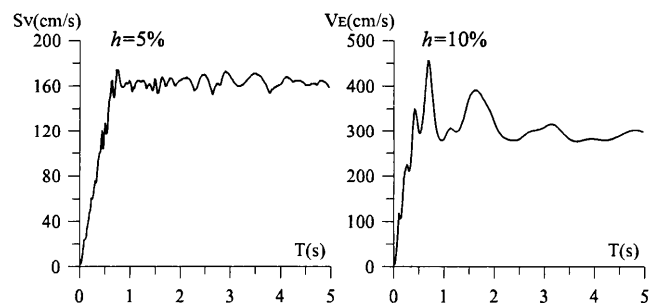
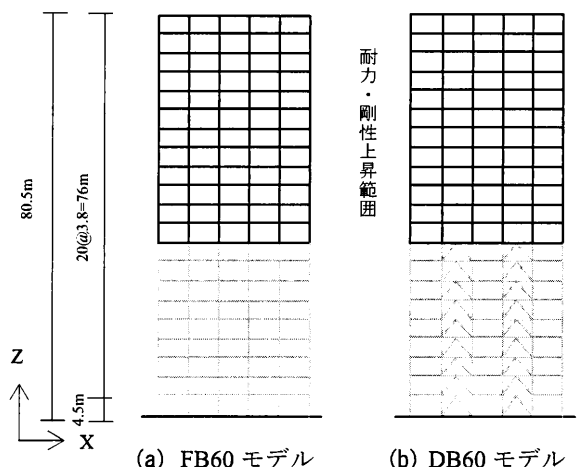


図2 加速度時刻歴波形



(a)速度応答スペクトル (b)エネルギースペクトル

図3 ART-HACHI2のスペクトル



(a) FB60 モデル

(b) DB60 モデル

### 3 非制振モデルの応答性状

#### 3.1 耐力変化による応答性状の検討

本節では、剛性倍率を1.0倍とし、耐力のみを増大させることで、応答値にどのような影響を与えるか確認する。図4(a)~(c)に層間変形角 $R$ 、梁の塑性率 $g\mu$ 、および梁の累積塑性変形倍率 $g\eta$ を示す。図4(a)より、上層の耐力を増加させることにより、上層の $R$ が減少するかわりに下層の $R$ が増大することが分かる。図4(b)より、上層の耐力を1.2倍することで、上層の塑性化は見られない。下層においては、上層の耐力の増加により $g\mu$ が15%ほど増大する。図4(c)より、上層の耐力の増加させることで、下層の $g\eta$ も増大することが確認できる。

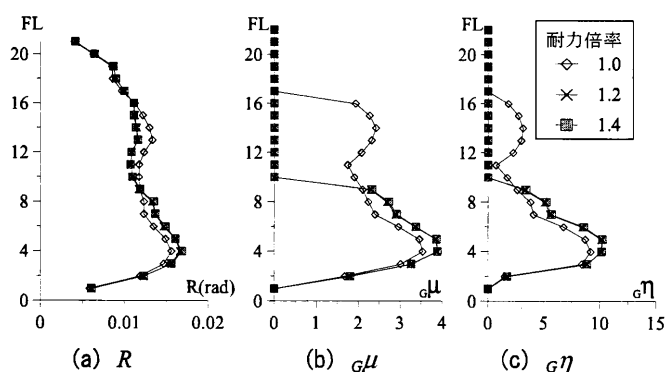


図4 耐力の増大による応答変化(剛性1.0倍)

#### 3.2 剛性変化による応答性状の検討

本節では、耐力を1.0倍とし、上層の剛性のみを増大させた場合に応答値に与える影響を確認する。図5(a)~(c)に上層の剛性を上げたFB60モデルの $R$ 、 $g\mu$ 、および $g\eta$ を示す。図5(a)より、上層の剛性を上げることで上層の $R$ は小さくなるものの、下層の $R$ は変化しないことが確認できる。図5(b)より、上層の耐力の増大による $g\mu$ の変化はあまり見られない。図5(c)より、上層の耐力の増加により、下層の $g\eta$ は増加する傾向にある。4層においては、上層の耐力を1.4倍することで $g\eta$ が40%ほど増加していることが確認できる。

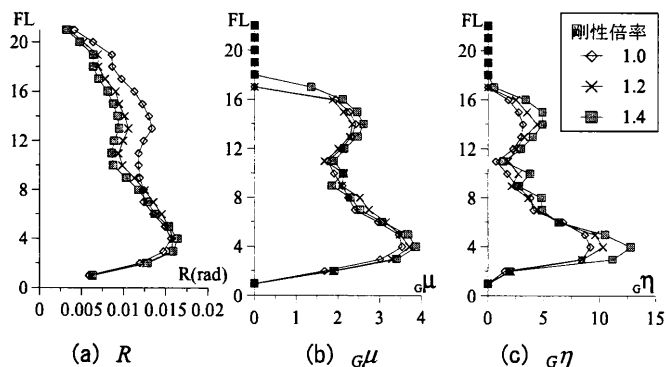


図5 剛性の増大による応答変化(耐力1.0倍)

### 4 制振モデルのダンパー量の変化に伴う応答性状

#### 4.1 耐力の増大による応答値の変化

耐力を上昇させたモデルにおいて、ダンパー量の変化による応答への影響の確認を行う。なお、剛性は1.0倍とする。なおダンパー耐力 ${}_sQ_{yi}$ については、以下の式にて算出する。

$${}_sQ_{yi} = {}_s\alpha_y \cdot \sum_{i=1}^N m_i \cdot g, \quad {}_sN_{yi} = \frac{{}_sQ_{yi}}{8 \cos \theta}, \quad A_c = \frac{{}_sN_{yi}}{{}_s\sigma_y} \quad (1a-c)$$

ここで、 ${}_sQ_{yi}$ :ダンパーの降伏せん断力、 ${}_s\alpha_y$ :ダンパー量、 $N$ :全層数、 $m_i$ : $i$ 層の質量、 $g$ :重力加速度、 $\theta$ :ダンパーの取り付け角度、 ${}_sN_{yi}$ :ダンパーの降伏軸力、 ${}_s\sigma_y$ :ダンパーの降伏応力度(=225N/mm<sup>2</sup>)とする。

図6(a)~(d)にダンパー量 ${}_s\alpha_y$ が0.02~0.1における、入力エネルギー $E$ 、最大層間変形角 $R$ 、1層の最大層せん断力 $Q_1$ 、および入力エネルギー $E$ に対するダンパーの累積塑性歪エネルギー ${}_dW_p$ の比( ${}_dW_p/E$ )について示す。図6より、ダンパー量 ${}_s\alpha_y$ が0.04~0.08の範囲では、上層の主架構の耐力を、増大させることによる応答値の違いは、ほとんど見られない。しかし、図6(b)より ${}_s\alpha_y$ が0.02の際は、耐力を1.2倍することで $R$ の増大が見られる。これは、上層の耐力を増大させることで、上層の変形が低下するかわりに、下層の変形が増大するためである(図4(a))。図6(d)より ${}_s\alpha_y=0.02$ の際に、耐力を1.2倍することで ${}_dW_p/E$ が約10%上昇することを確認した。

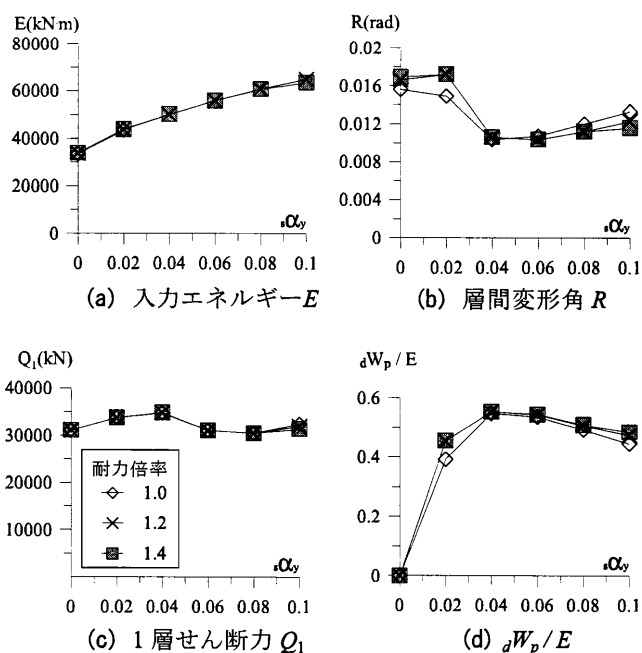


図6 耐力の増大による応答値の変化(剛性1.0倍)

#### 4.2 剛性の上昇による応答値の変化

剛性を増大させたモデルにおいて、ダンパー量の変化による応答への影響の確認を行う。なお、耐力は1.0倍とする。図7(a)~(d)にダンパー量 ${}_s\alpha_y=0.02$ ~0.1における、最大層間変形角 $R$ 、1層の最大層せん断力 $Q_1$ 、入力エネルギー $E$ 、および入力エネルギー $E$ に対するダンパーの累積塑性歪エネルギー ${}_dW_p$ の比( ${}_dW_p/E$ )について示す。図7(a)より、上層の

剛性が增大することで周期が変化するため(表1)、 $E$ は大きくなるのがわかる。図7(b)より、 $\alpha_y$ が0.06~0.1の範囲において、剛性の増大により、 $R$ は低減する傾向にあることが確認できる。図7(c)の、 $Q_1$ については、上層の剛性の増大による決まった傾向の変化が見られない。図7(d)より、上層の剛性の増大は、 $dW_p/E$ を増大させることが確認できる。なお、 $\alpha_y=0.06$ の場合は、上層の耐力を1.2倍することで、 $dW_p/E$ が5%ほど増大し、1.4倍することで10%ほど増大することが確認できる。

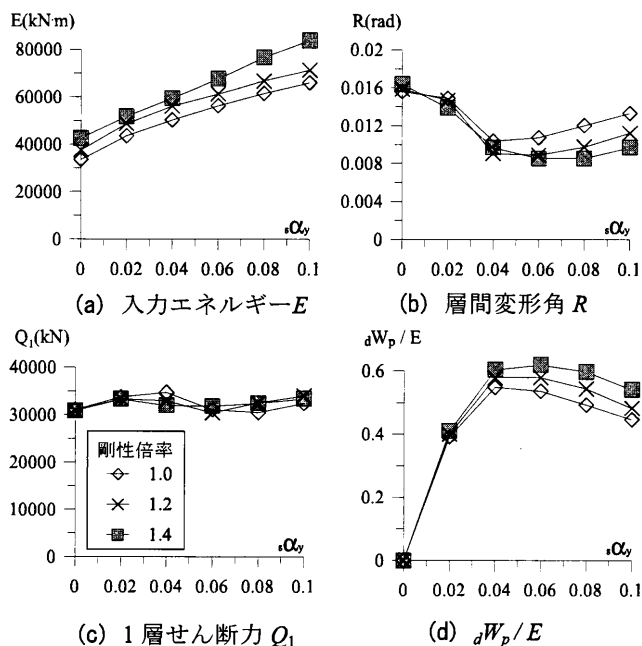


図7 剛性の増大による応答値の変化(耐力1.0倍)

## 5 制振モデルにおける高さ方向での応答分布

### 5.1 上層の耐力の増大による応答変化

本節では、高さ方向での損傷について着目する。なお、上層の耐力の増大により、下層の梁の塑性率 $g\mu$ が変化するかの確認するために、 $\alpha_y=0.02$ を採用するものとする。剛性については1.0倍とする。図8(a)~(f)に上層の耐力を増大させた際の、層間変形角 $R$ 、梁の塑性率 $g\mu$ 、ダンパーの塑性率 $d\mu$ 、ダンパーの累積塑性歪エネルギー $dW_p$ 、梁の累積塑性変形倍率 $g\eta$ 、およびダンパーの累積塑性変形倍率 $d\eta$ を示す。図8(a)より、上層の耐力を増加させることで、下層の $R$ が増大することを確認した。図8(b)より、上層の耐力を1.2倍することで、下層の $g\mu$ は30%ほど増加することが確認できる。また、図8(c)より、 $d\mu$ においても耐力を1.2倍することで約30%増加することが確認できる。図8(d)より、上層の耐力の増大による $dW_p$ の変化は見られない。図8(b)より、 $g\mu$ は上層の耐力を1.2倍することにより、30%ほどの増加が見られたが、図8(e)を見ると下層での $g\eta$ に大きな変化は見られない。図8(f)より、上層の耐力の増大による $d\eta$ の変化は見られない。以上より、上層の耐力を増加は、下層の塑性率 $\mu$ などの最大値を

増大させ、累積塑性変形倍率 $\eta$ などの累積値においては、ほとんど影響を及ぼさないとと言える。

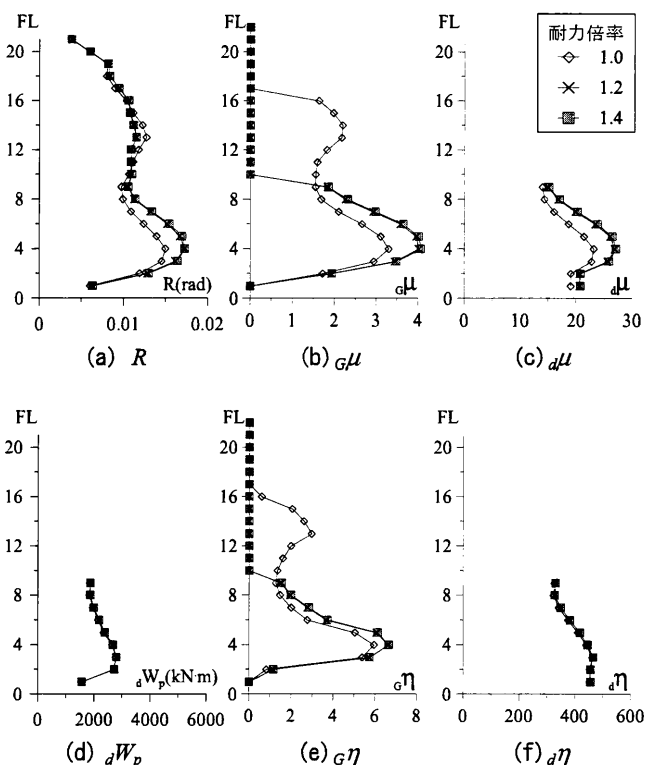


図8 耐力の増大による応答変化( $\alpha_y=0.02$ , 剛性1.0倍)

### 5.2 上層の剛性の増大による応答変化

図9(a)~(f)に剛性を増大させたモデルにダンパーを設置した際の高さ方向での層間変形角 $R$ 、梁の塑性率 $g\mu$ 、ダンパーの塑性率 $d\mu$ 、ダンパーの累積塑性歪エネルギー $dW_p$ 、梁の累積塑性変形倍率 $g\eta$ 、およびダンパーの累積塑性変形倍率 $d\eta$ について示す。なお、耐力は1.0倍、ダンパー量 $\alpha_y=0.02$ を採用するものとする。図9(a)より、上層の剛性の増大により、上層の $R$ は減少するものの下層の $R$ に変化はあまり見られない。図9(b),(c)より、上昇の剛性の増大による $g\mu$ 、 $d\mu$ の変化は、ほとんど見られない。図9(d),(e),(f)より、上層の剛性の増加により、 $dW_p$ 、 $g\eta$ 、 $d\eta$ は、増大する傾向にある。2~3層の $dW_p$ については、上層の耐力を1.2倍することで、約20%、1.4倍することで約35%増大している。また、 $d\eta$ についても、上層の耐力を1.2倍することで約20%、1.4倍することで約35%増大している。以上から、上層の剛性の増加は、下層の累積塑性変形倍率 $\eta$ や $dW_p$ などの累積値を増大させ、 $\mu$ など最大値においては、ほとんど影響を及ぼさないとと言える。

5.1節および本節より、上層の耐力の増加は、下層の $\mu$ を増大させ、上層の剛性の増加は、下層の $\eta$ および累積塑性歪エネルギーを増大させることを確認した。本報では、紙幅の都合上図示しないが、上層の耐力と剛性を同時に増大させることで、下層の塑性率 $\mu$ および $\eta$ がともに増大し、下層に損傷が集中する結果が得られている。そこで、下層のダンパー量 $\alpha_y$

を大きくし、ダンパーによるエネルギー吸収率の高い制振構造とすることで、下層のみのダンパー配置で主架構の損傷を防止できると考えられる。次章では、効率的なダンパー量を設置した際の高さ方向での損傷について着目する。

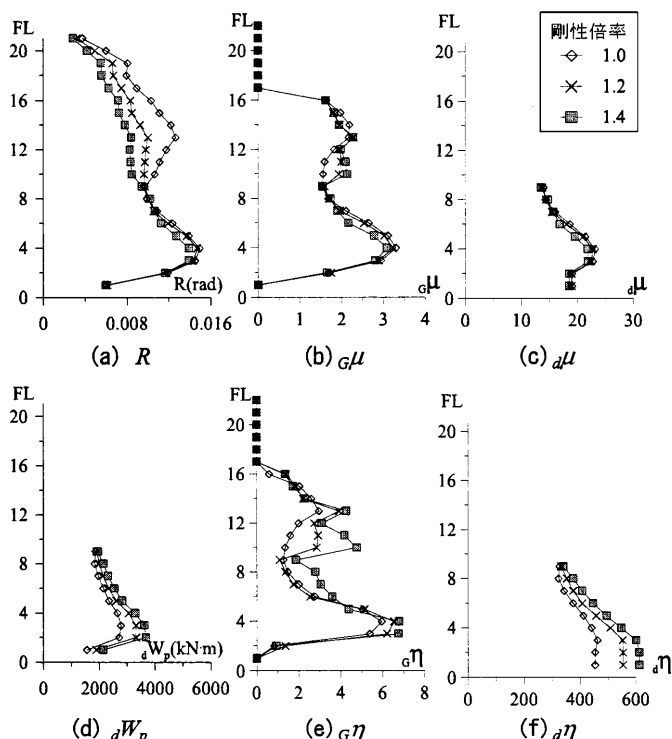


図9 剛性の増大による応答変化 ( $\alpha_y=0.02$ , 耐力 1.0 倍)

## 6. 上層の剛性・耐力を増大させたモデルにおける応答性状

前章までにおいて、上層の耐力を 1.2 倍以上に倍率を上げても応答に変化はほとんど無いと確認したため、本節では、上層の耐力を 1.2 倍とし、上層の剛性を増大させた際の応答値について着目する。なお  $\alpha_y=0.06$  とする。図 10(a)~(f) に層間変形角  $R$ 、梁の塑性率  $g_\mu$ 、ダンパーの塑性率  $d_\mu$ 、ダンパーの累積塑性歪エネルギー  $dW_p$ 、梁の累積塑性変形倍率  $g_\eta$ 、およびダンパーの累積塑性変形倍率  $d_\eta$  を示す。図 10(a) より、剛性の増大による、下層の  $R$  の増大が見られる。しかし図 10(b),(e) より、上層の剛性が 1.0 倍、1.2 倍の際に主架構の塑性化は見られない。上層の剛性が 1.4 倍の際には、塑性化が見られるが、 $g_\eta$  は 1 未満であり、微量であると言える。図 10(c),(e),(f) より、ダンパーの  $d_\mu$ 、 $dW_p$ 、および  $d_\eta$  は、上層の剛性の増加に伴い増大し、より制振効果が高いことが確認できる。これらから、上層の剛性と耐力が増大することで、損傷は下層に集中し、下層階のみにダンパーを配置することで建物の塑性化を大幅に低減できることを確認した。

## 7 まとめ

本報告では、21 層鋼構建造物を対象とし、その 10~21 層（以下、上層）の剛性・耐力を上げることによる応答値の変

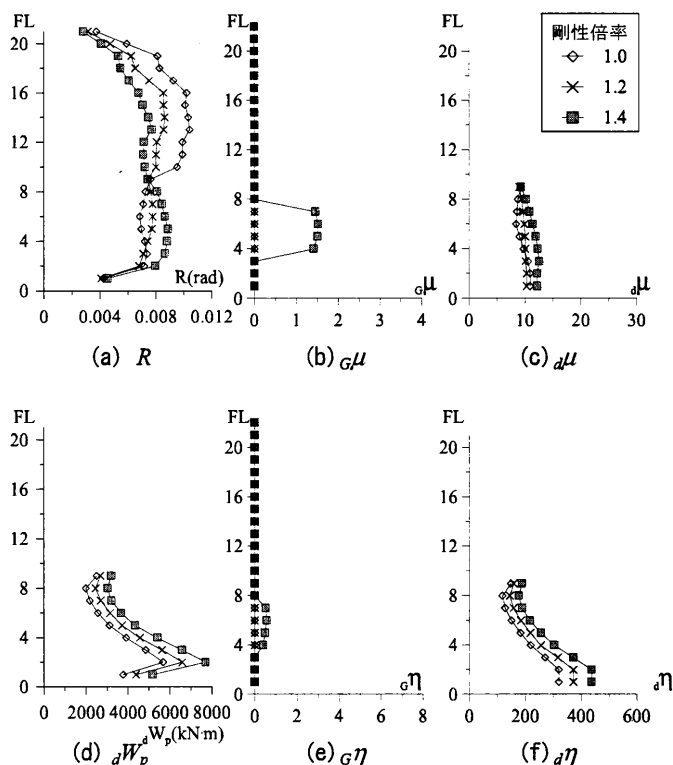


図10 剛性の増大による応答変化 ( $\alpha_y=0.06$ , 耐力 1.2 倍)

化、および 1~9 層（以下、下層）に設置した鋼製ダンパーの制振効果に及ぼす影響について確認した。

- (1)  $S_v=160\text{cm/s}$  とした、ART-HACHINOHE を入力した場合、非制振モデルにおいて、上層の耐力を増加させることで、下層の梁の塑性率  $g_\mu$  が増大することを確認した。上層の剛性を増加させることで、下層の梁の累積塑性変形倍率  $g_\eta$  が増大する傾向を確認した。
- (2) 下層にダンパーを設置した制振モデルにおいては、上層の剛性を増加させることで、入力エネルギー  $E$  に対するダンパーの累積塑性歪エネルギー  $dW_p$  の比は増大し、ダンパーがより効率的にエネルギーを吸収することが分かった。
- (3) 上層の剛性と耐力が増大することで、損傷は下層に集中し、下層階のみにダンパーを配置することで建物の塑性化を大幅に低減できることを示した。

## 謝辞

本研究は、社団法人日本鉄鋼連 2011 年度「鋼構造研究・教育助成事業」による「一般テーマ研究助成」によって実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- (1) 島田侑、佐藤大樹、長江拓也、北村春幸、福山國夫、梶原浩一、井上貴仁、中島正愛、斎藤大樹、福和伸夫、日高桃子：超高層建物の下層階に部分配置する履歴型ダンパーの効果と影響に関する検討-長周期地震動を想定した耐震改修-、日本建築学会構造系論文集、第 75 巻、第 649 号、pp549-557、2010.3

\*1 東京理科大学 理工学部 建築学科

\*2 独立行政法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター

\*3 株式会社 大林組