

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	弾塑性ダンパーを有する多質点系モデルの風応答時におけるエネルギー特性
Title(English)	ENERGY RESPONSE CHARACTERISTIC FOR MULTI-DEGREES OF FREEDOM MODEL WITH HYSTEREIC DAMPER UNDER FLUCTUATING WIND FORCE
著者(和文)	池上昌志, 吉江慶祐, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 北村春幸
Authors(English)	Keisuke Yoshie, Daiki Sato, Toshiaki Sato, Haruyuki Kitamura
出典(和文)	第23回風工学シンポジウム論文集, Vol. 23, , pp. 415-420
Citation(English)	PROCEEDINGS OF THE 23th NATIONAL SYMPOSIUM ON WIND ENGINEERING, Vol. 23, , pp. 415-420
発行日 / Pub. date	2014, 12

弾塑性ダンパーを有する多質点系モデルの風応答時におけるエネルギー特性
 ENERGY RESPONSE CHARACTERISTIC FOR MULTI-DEGREES OF FREEDOM MODEL
 WITH HYSTEREIC DAMPER UNDER FLUCTUATING WIND FORCE

池上昌志¹⁾ 吉江慶祐²⁾ 佐藤大樹³⁾ 佐藤利昭⁴⁾ 北村春幸⁵⁾

Masashi IKEGAMI¹⁾, Keisuke YOSHIE²⁾, Daiki SATO³⁾, Toshiaki SATO⁴⁾ and Haruyuki KITAMURA⁵⁾

ABSTRACT

The number of the high-rise buildings with hysteretic dampers are increasing in Japan. When the hysteretic damper is yielded against the wind force, the consideration based on energy is useful. In that case, it is important to examine the energy absorption caused by structural damping as well as hysteretic damping. In this paper, the energy absorption characteristic of the structural damping is discussed based on the time history analytical results that use the multi-degrees of freedom models with the hysteretic damper models.

Key Words : Multi-degree of freedom models, Fluctuating wind force, Structural damping

1. はじめに

秋山らは、総エネルギー入力が安定した量であることから、耐震設計の分野では、エネルギーの釣合に基づくダンパーの疲労評価¹⁾を提案しており、既に実用化されている。この手法は、変形や塑性化の度合いと履歴吸収エネルギーを対応づけることで、弾塑性ダンパーを有する制震建物の応答を予測でき、弾塑性ダンパーの疲労を評価する上で大変有用である。一方、エネルギーの釣合を利用した弾塑性風応答予測に関して、吉江ら²⁾は、風応答は1次モードが支配的として、1質点系の風応答予測手法を研究しており、その有効性を示している。さらに平井ら³⁾は、吉江らの手法を多質点系へ拡張するために、多質点系での風外力に対して、損傷に寄与するエネルギー E_D ¹⁾が既知である場合における、風応答時のダンパーの疲労評価手法を示した。 E_D は入力エネルギー E から建物の構造減衰による吸収エネルギー fW_h を除いた値である。しかし、風荷重によるダンパーの塑性化の程度は地震荷重に比べて小さく、 E に占める fW_h の割合は大きくなるため、 fW_h を過大に評価しないためには、風応答時の fW_h の特性を把握することが重要となる。弾塑性地震応答時における構造減衰による吸収エネルギーに関する研究¹⁾はなされているが、弾塑性風応答時の構造減衰による吸収エネルギーに関する研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、多質点系でのエネルギーの釣合に基づく弾塑性風応答予測手法を構築するための基礎研究として、風方向、風直交方向(以降、風力入力方向)、第1層の弾塑性ダンパー降伏せん断力係数 $d\alpha_{y1}$ 、ダンパーの降伏層せん断力比分布 dQ_{yi}/dQ_{y1} 、辺長比 D/B (B (幅) $\times D$ (奥行き))、減衰定数 $1h$ および減衰の設定方法を解析パラメータとし、10質点せん断モデルを用いた時刻歴応答解析結果より風応答時における構造減衰による吸収エネルギーの分担率について検討する。

1) 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻 大学院生 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
 2) (株)日建設計 構造設計部長・博士(工学)
 3) 東京工業大学建築物理研究センター 准教授・博士(工学) (〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259)
 4) 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学) (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)
 5) 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士(工学) (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

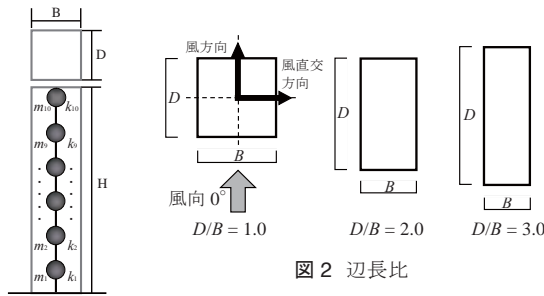


図2 辺長比

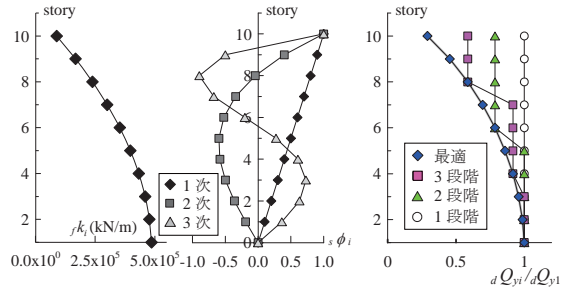
図1 弾塑性解析モデル概要

表1 各辺長比值

D/B	B (m)	D (m)
1.0	40.0	40.0
2.0	28.3	56.6
3.0	23.1	69.3

表2 解析パラメータ

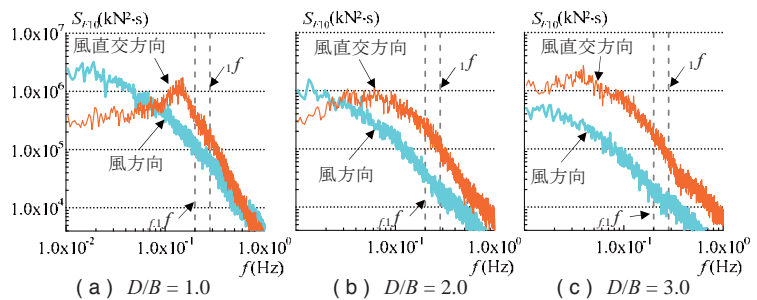
辺長比D/B	1.0, 2.0, 3.0
減衰定数	剛性比例型, h レーリー減衰型, h
$d\alpha_{y1}$	0, 0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.025 0.03, 0.035, 0.04, 0.045, 0.05, ∞
$d k_i / f k_i$	1.0
層せん断力比分布	最適, 3段階, 2段階, 1段階
風力入力方向	風方向, 風直交方向



(a) 剛性分布 (b) 振動モード形

図4 ダンパーの降伏層せん断力比分布

図3 フレームの概要



(a) D/B = 1.0 (b) D/B = 2.0 (c) D/B = 3.0

図5 風外力パワースペクトル密度

2. 解析対象モデルと風外力の概要

検討対象建物の解析モデルを図1および表1に示す。解析パラメータを表2に示す。解析モデルは、超高層制振建物を対象とした高さ $H = 200$ m の10質点せん断型モデルとした。フレームは、1次固有周期 $f_1 T = 5.0$ s (1次固有振動数 $f_1 f = 0.2$ Hz)、建物密度 $f \rho = 1715$ N/m³ の総重量 548800 N とし、重量は高さ方向に一樣であると想定した。辺長比 D/B は、図2に示すような $D/B = 1.0, 2.0, 3.0$ の3通りとする。なお、全ての D/B に対して平面積を 1600 m² としたため、 D/B ごとにそれぞれ B, D が異なる(表1)。構造減衰は、フレームのみの $f_1 T$ に対して、減衰定数 $h = 0.01, 0.02, 0.05$ の剛性比例型と、フレームのみの $f_1 T$ と2次固有周期 $f_2 T$ に対して、減衰定数 $h' = 2h' = 0.02$ のレーリー減衰型の4通りとした。各層のフレーム剛性 $f k_i$ は、建物の1次固有モードが直線となるように決定した⁴⁾(図3)。本報では弾塑性ダンパーを完全弾塑性としてモデル化し、全層で用いている。第1層の弾塑性ダンパー降伏せん断力係数 $d\alpha_{y1}$ (=第1層のダンパーの降伏耐力 / 全重量) は、0から0.005刻みの11通りとダンパー弾性状態 ($d\alpha_{y1} = \infty$) の計12通りとした。なお、 $d\alpha_{y1} = 0$ はダンパーなしを意味する。各層のダンパー剛性 $d k_i$ とフレーム剛性 $f k_i$ の比率を、いずれの $d\alpha_{y1}$ においても各層一定で、 $d k_i / f k_i = 1.0$ とした。フレームとダンパーを合わせた状態をシステムとすると、システムの弾性固有周期 $1 T = 3.54$ s (1次弾性固有振動数 $1 f = 0.283$ Hz) となる。ダンパーの降伏層せん断力比分布 $d Q_{yi} / d Q_{y1}$ は、図4に示すように、最適降伏層せん断力比分布³⁾(◆印) (以降、最適分布)、またそれを3つのグループに分割(■印 1~3層, 4~7層, 8~10層)した3段階分布、2つのグループに分割(▲印 1~5層, 6~10層)した2段階分布、1つに統一した1段階分布(○印)の4通りとした。なお、最適分布とは、全層のダンパーの損傷を一応にするダンパー配置であり、ダンパー弾性時における応答せん断力分布で示される¹⁾。

構造物に作用する風外力は風洞実験結果⁵⁾を用いた。実験気流は「建築物荷重指針・同解説」⁶⁾の地表面粗度区分Ⅲの気流を目標に作成し、層風力は10層分測定した。風速は再現期間500年相当の頂部風速 $U_H = 63.8$ m/s とした。基本風速は $U_0 = 38.0$ m/s である。検討用風力波形は、文献3)と同様のものを用いた。検討用風向は平均成分を含まない変動成分のみの風方向風力と風直交方向風力とする。図5に風方向、風直交方向の頂部風力 F_{10} のパワースペクトル密度 S_{F10} を辺長比 D/B ごとに示す。

3. 時刻歴応答解析を用いた最大値応答評価

3.1 最大応答変位

$d\alpha_{y1}, d Q_{yi} / d Q_{y1}, D/B, h$ および減衰定数の設定方法の違いによる、第10層応答変位の最大値 $x_{max,10}$ および標準偏差 σ_{x10} を検討する。なお、本研究では、30組の応答のアンサンブル平均結果により応答を評価した⁷⁾。図6に、横軸を $d\alpha_{y1}$ 、縦軸を $x_{max,10}$ および σ_{x10} として図示する。なお、図6は、 $h = 0.02$ (剛性比例型)、 $D/B = 1.0, d Q_{yi} / d Q_{y1}$

は最適分布での結果である。図 6 の風方向 $x_{max,10}$ (●印)に着目すると、 $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて応答が小さくなり、 $d\alpha_{y1} = 0.01$ 以降、応答は一定になった。この傾向は、風方向 σ_{x10} (▲印)でも確認できた。図 6 の風直交方向 $x_{max,10}$ (○印)および σ_{x10} (△印)に着目すると、両応答とも $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて応答は小さくなり、 $d\alpha_{y1} = 0.02$ 以降ではダンパー弾性状態 ($d\alpha_{y1} = \infty$)での応答に収束した。風力入力方向の違いに着目すると、 $x_{max,10}$ 、 σ_{x10} ともに風直交方向の方が3倍ほど大きい値となっている。これは $D/B = 1.0$ において、風直交方向風力の方が風方向風力より大きい風力となっているためである。

3. 2 ダンパー最大塑性率

$d\alpha_{y1}$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} 、 D/B 、 ${}_1h$ および減衰の設定方法の違いによる、各層におけるダンパー最大塑性率 $d\mu_{max,i}$ を確認する。 $d\mu_{max,i}$ は式(1)より算出される。

$$d\mu_{max,i} = \frac{d\delta_{max,i}}{d\delta_{yi}} \quad (1)$$

ここで、 $d\delta_{max,i}$: i 層のダンパーの最大層間変形、 $d\delta_{yi}$: i 層のダンパー降伏変形である。図 7 (a)は、 ${}_1h = 0.02$ (剛性比例減衰型)、 $D/B = 1.0$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} を最適分布とした $d\alpha_{y1}$ 別の結果を、図 7 (b)は、 ${}_1h = 0.02$ (剛性比例減衰型)、 $D/B = 1.0$ とした dQ_{yi}/dQ_{y1} 別の結果を、図 7 (c)は、 ${}_1h = 0.02$ (剛性比例減衰型)、 dQ_{yi}/dQ_{y1} を最適分布とした D/B 別の結果を、図 7 (d)は、 $D/B = 1.0$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} を最適分布とした ${}_1h$ 別および減衰の設定方法別 (${}_1h$: 剛性比例減衰型、 ${}_1h'$: レーリー減衰型)の結果である。なお、風方向および風直交方向が示す傾向は概ね同様であることから、図 7 では、応答が大きい風直交方向のみ結果を示す。図 7 (b)、(c)、(d)においては、 $d\alpha_{y1} = 0.01$ のみ示す。図 7 (a)に着目すると、 $d\mu_{max,i}$ は $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて小さくなることが確認できる。図 7 (b)に着目すると、 $d\mu_{max,i}$ は dQ_{yi}/dQ_{y1} が最適分布 (◆印)からずれるほど、高層になるに従い減少した。これはグループに分割した dQ_{yi}/dQ_{y1} (■、▲、○印)が最適分布 (◆印)からずれるほど dQ_{yi} を大きく設定しているためである。図 7 (c)に着目すると、 $d\mu_{max,i}$ は D/B が大きくなるほど小さくなることが確認できた。これは D/B が大きいほど、入力風力は小さくなるためである(図 5 参照)。図 7 (d)の剛性比例減衰型 (◆、■、▲印)に着目すると、僅かではあるが、 ${}_1h$ の増大により $d\mu_{max,i}$ が減少していることが確認できる。一方で、減衰の設定方法 (■、□印)が $d\mu_{max,i}$ に与える影響は小さかった。剛性比例減衰型とレーリー減衰型では高次モードの減衰性能が異なるが、風応答では 1 次モード応答が卓越しているため⁸⁾、応答の違いが見られなかったのだと考えられる。

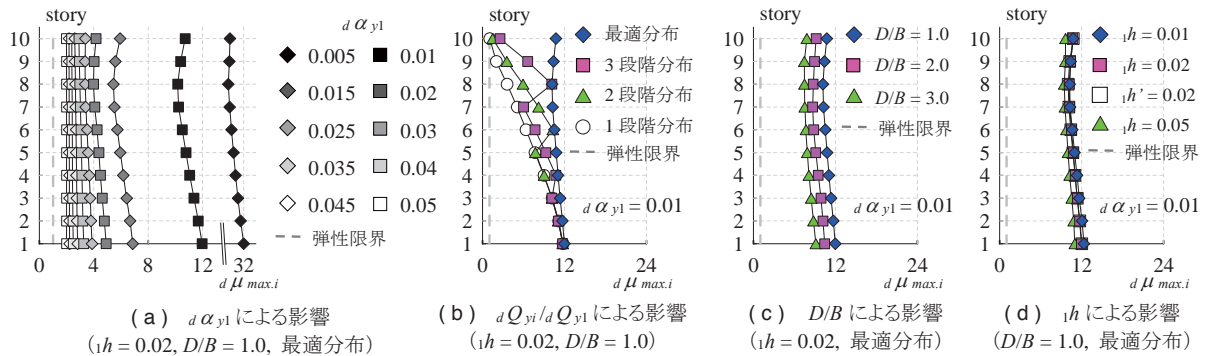


図 7 ダンパー最大塑性率(風直交方向)

4. エネルギー吸収負担の検討

4. 1 各吸収エネルギー

本章では、剛性比例減衰型のみを用いる。 i 層のダンパーが吸収したエネルギーを $dW_{p,i}$ とし、 $dW_{p,i}$ の全層での総和を dW_p とする。同様に、 i 層の構造減衰による吸収エネルギーを $fW_{h,i}$ とし、 $fW_{h,i}$ の全層での総和を fW_h とする。 i 層の入力エネルギーを E_i とし、 $dW_{p,i}$ と $fW_{h,i}$ の足し合わせにより E_i を算出する。また、 E_i の全層での総和を E とする。 $d\alpha_{y1}$ の違いによる dW_p 、 fW_h および E の傾向を確認する。なお、以降の検討には剛性比例減衰型の結果のみを用いる

ので、 fW_h を粘性力一層間変位の履歴面積から台形積分により算出する。図8に、横軸を $d\alpha_{y1}$ 、縦軸の左軸を各エネルギー、右軸を E に占める fW_h の割合 α_h の2軸として結果を示す。なお、図8は風直交方向における ${}_1h = 0.02$ (剛性比例減衰型)、 $D/B = 1.0$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} は最適分布における結果である。図8に着目すると、 $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて E は減少している。 $d\alpha_{y1}$ が0.005から0.01への増加では α_h は減少しているが、その後は $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて増大していることがわかった。風方向でも概ね同様の傾向を確認したが、 $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて α_h は増大した。図示していないが、減衰の設定方法をレーリー減衰型としても、示す傾向は概ね同様であることを確認している。

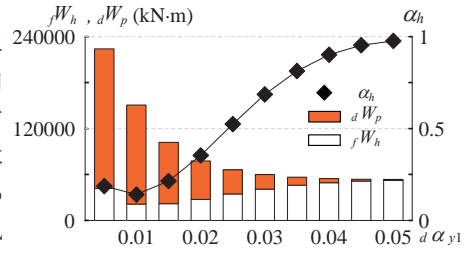


図8 $d\alpha_{y1}$ 別エネルギー吸収分担 (${}_1h = 0.02, D/B = 1.0$, 最適分布, 風直交方向)

4.2 構造減衰による吸収エネルギーの割合とダンパー最大塑性率の関係

各層における入力エネルギーに占める各層での構造減衰による吸収エネルギーの割合 α_{hi} (式(2))を用いて、風力入力方向および $d\alpha_{y1}$ が各層における構造減衰による吸収エネルギー fW_{hi} に与える影響を検討する。

$$\alpha_{hi} = \frac{fW_{hi}}{E_i} \quad (2)$$

図9に、横軸を各層におけるダンパー最大塑性率 $d\mu_{max,i}$ 、縦軸に各層における構造減衰による吸収エネルギーの割合 α_{hi} として結果を示す。なお、図9は、 ${}_1h = 0.02$ (剛性比例減衰型)、 $D/B = 1.0$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} は最適分布とした $d\alpha_{y1}$ 別の結果である。図9より、風力入力方向に関わらず、 $d\mu_{max,i}$ が大きくなるにつれて、 α_{hi} が減少していることがわかる。

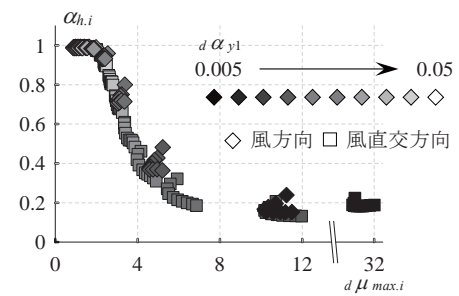
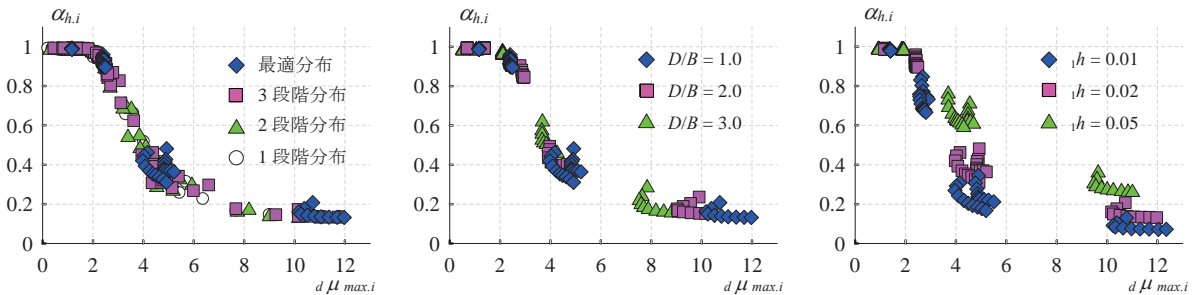


図9 α_{hi} の風力入力方向及び $d\alpha_{y1}$ による影響 (${}_1h = 0.02, D/B = 1.0$, 最適分布)

よって α_{hi} は、風力入力方向および $d\alpha_{y1}$ の違いによる影響は小さいが、 $d\mu_{max,i}$ の影響を大きく受けることがわかった。ただし、 $d\mu_{max,i}$ がある程度大きくなると、 α_{hi} は0.2程度の値となり、下限値を有することがわかる。

α_{hi} に与える影響が大きい条件を検討するため、図10に各パラメータ別の結果を示す。図10(a)はダンパーの降伏層せん断力比分布 dQ_{yi}/dQ_{y1} 別の結果を、図10(b)は ${}_1h = 0.02$ (剛性比例減衰型)、 dQ_{yi}/dQ_{y1} を最適分布とした D/B 別の結果を、図10(c)は $D/B = 1.0$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} を最適分布とした ${}_1h$ 別の結果である。なお、ここでは例とし、風方向および風直交方向風力入力時における、 $d\alpha_{y1} = 0.01, 0.02, 0.04$ での結果を示している。図10(a),(b)に着目すると、図9と同様に、 dQ_{yi}/dQ_{y1} および D/B の違いに関係なく、 $d\mu_{max,i}$ が大きくなるにつれて α_{hi} は減少していることが確認できる。よって、 dQ_{yi}/dQ_{y1} および D/B が α_{hi} に与える影響は小さいことがわかった。図10(c)より、 $d\mu_{max,i}$ が同程度であっても、 ${}_1h$ が増加すると α_{hi} は大きくなっていることが確認できる。よって、 ${}_1h$ が α_{hi} に及ぼす影響は大きいことがわかった。以上により、各層における入力エネルギーに占める各層における構造減衰による吸収エネルギーの割合 α_{hi} は、風力入力方向、第1層の弾塑性ダンパー降伏せん断力係数 $d\alpha_{y1}$ 、ダンパーの降伏層せん断力比分布 dQ_{yi}/dQ_{y1} および辺長比 D/B の違いによる変化は小さいが、ダンパー最大塑性率 $d\mu_{max,i}$ および減衰定数 ${}_1h$ に依存した特性を示すことが確認された。



(a) 層せん断力比分布による影響 (${}_1h = 0.02, D/B = 1.0$)

(b) 辺長比による影響 (${}_1h = 0.02$, 最適分布)

(c) 減衰定数による影響 ($D/B = 1.0$, 最適分布)

図10 α_{hi} と $d\mu_{max,i}$ の関係

4. 3 吸収エネルギーの高さ方向分布

図 11, 12 に、各層におけるダンパーが吸収したエネルギー $dW_{p,i}$ および各層における構造減衰によるエネルギー $fW_{h,i}$ の高さ方向分布をそれぞれ示す。本節では、風方向、風直交方向が示す傾向は概ね同様であることから、応答が大きい風直交方向のみの結果を示す。ここで、それぞれの図において、(a)は $d\alpha_{y1}$ 別の結果を、(b)は dQ_{yi}/dQ_{y1} 別の結果を、(c)は D/B 別の結果を、(d)は ${}_1h$ 別の結果をそれぞれ示している。また、図 11, 12 (b), (c), (d)においては、 $d\alpha_{y1} = 0.01$ のみ示す。図 11 (a)より、 $dW_{p,i}$ は、下層で大きく、上層ほど次第に小さくなっていることが確認できる。図 12 (a)の $fW_{h,i}$ も、 $dW_{p,i}$ と同様の傾向を示した。図 11 (b)に着目すると、 $dW_{p,i}$ は、下層ではグループに分割した dQ_{yi}/dQ_{y1} が最適分布からずれるほど大きくなり、中層から上層ではグループに分割した dQ_{yi}/dQ_{y1} が最適分布からずれるほど小さくなっていることが確認できた。一方、図 12 (b)の $fW_{h,i}$ は、グループに分割した dQ_{yi}/dQ_{y1} によらず最適分布に概ね一致していた。図 11 (c)より、 D/B が大きくなるほど $dW_{p,i}$ は小さくなることがわかった。これは D/B が大きいほど、入力風力は小さくなるためである(図 5 参照)。図 12 (c)の $fW_{h,i}$ も、 $dW_{p,i}$ と同様の傾向を示した。この傾向は $dW_{p,i}$ の方が $fW_{h,i}$ より顕著であった。図 11 (d)に着目すると、 ${}_1h$ が大きくなるにつれて $dW_{p,i}$ は減少していることがわかった。一方、図 12 (d)に着目すると、 ${}_1h$ が大きくなるにつれて $fW_{h,i}$ は増加していることが確認できる。

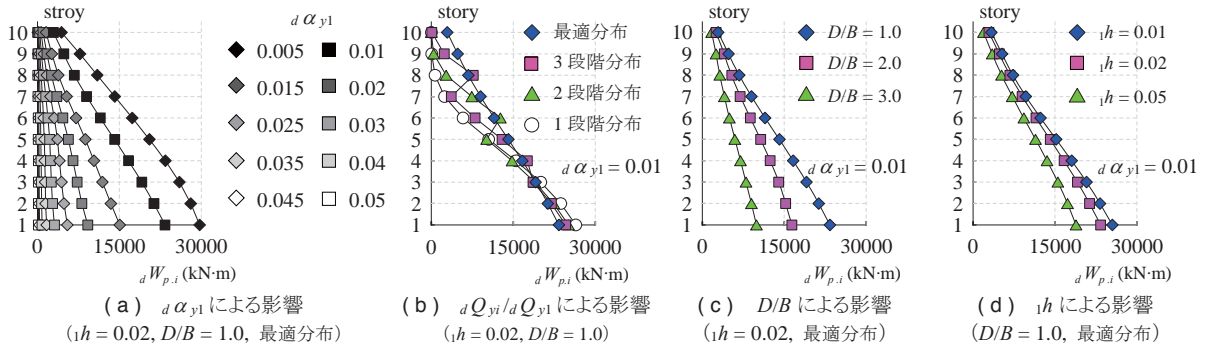


図 11 ダンパーが吸収したエネルギー(風直交方向)

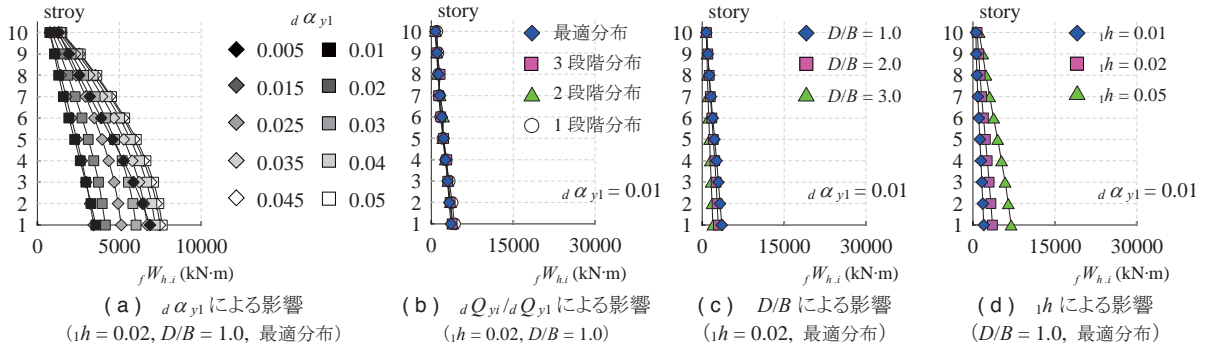


図 12 構造減衰による吸収エネルギー(風直交方向)

4. 4 構造減衰による吸収エネルギーの割合 $\beta_{h,i}$ の高さ方向分布

本節では、構造減衰による吸収エネルギーの全層の総和 fW_h に占める、各層における構造減衰による吸収エネルギー $fW_{h,i}$ の割合 $\beta_{h,i}$ (式(3))を調べる。

$$\beta_{h,i} = \frac{fW_{h,i}}{\sum fW_{h,i}} = \frac{fW_{h,i}}{fW_h} \quad (3)$$

図 13 (a)は、 $\beta_{h,i}$ の $d\alpha_{y1}$ 別の結果を、図 13 (b)は、 dQ_{yi}/dQ_{y1} 別の結果を、図 13 (c)は、 D/B 別の結果を、図 13 (d)は、 ${}_1h$ 別の結果である。なお、図 13 (b), (c), (d)において、風方向、風直交方向が示す傾向は概ね同様であったことから、応答が大きい風直交方向のみの結果を示す。図 13 (a)~(d)に着目すると、 $\beta_{h,i}$ は、風力入力方向、ダンパーの降伏層せん断力分布 dQ_{yi}/dQ_{y1} 、辺長比 D/B 、減衰定数 ${}_1h$ の違いによる影響は小さいことがわかった。さらに、図 13 の $\beta_{h,i}$ が示す分布は、剛性分布(図 3 (a))の相似形となっていることが確認できた。これは、各層の減衰が剛性分布に比例する剛性比例減衰型であり、かつ風応答は 1 次モードが支配的⁸⁾であるためと考えられる。

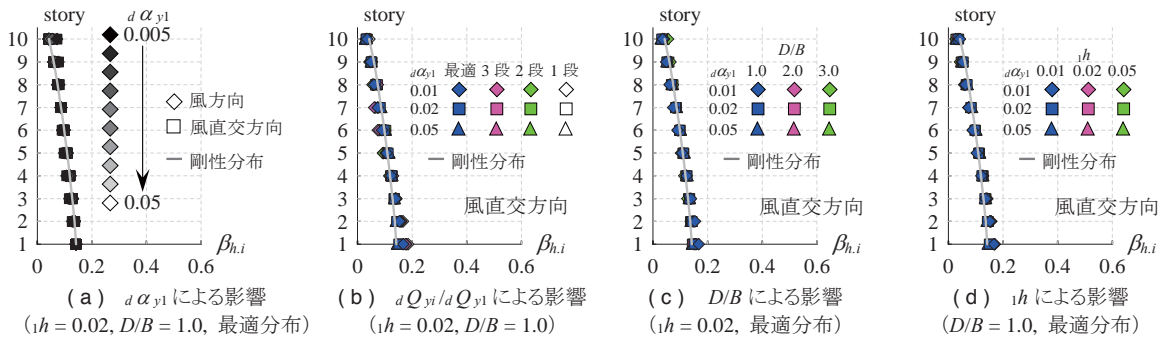


図 13 構造減衰による吸収エネルギーの割合 $\beta_{h,i}$

5. まとめ

本報では、多質点系でのエネルギーの釣合に基づく弾塑性風応答予測手法を構築するための基礎研究として、風方向、風直交方向(風力入力方向)、第1層の弾塑性ダンパー降伏せん断力係数 $d\alpha_{y1}$ 、ダンパーの降伏層せん断力比分布 dQ_{yi}/dQ_{y1} 、辺長比 D/B 、減衰定数 ih および減衰の設定方法を解析パラメータとし、10 質点せん断モデルを用いた時刻歴応答解析結果より風応答時における構造減衰による吸収エネルギーの分担率について検討した。以下に得られた知見を示す。

- (1) ダンパー最大塑性率 $d\mu_{max,i}$ は、風力入力方向に関わらず、 $d\alpha_{y1}$ が増加または、 D/B および ih が大きくなるにつれて減少していることが確認できた。また、 dQ_{yi}/dQ_{y1} が最適分布より大きい場合、上層で $d\mu_{max,i}$ は小さくなった。
- (2) 風力入力方向に関わらず、入力エネルギーの全層の総和 E は、 $d\alpha_{y1}$ が増大すると次第に減少し、その後一定になった。これは $d\alpha_{y1}$ の増大によって、ダンパーが塑性しなかったためである。
- (3) E に占める構造減衰による吸収エネルギーの全層の総和 fW_h の割合 α_h は、風力入力方向に関わらず、 $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて増加することがわかった。これは $d\alpha_{y1}$ が増加するにつれて $d\mu_{max,i}$ が減少したためである。
- (4) 各層での入力エネルギー E_i に占める各層での構造減衰による吸収エネルギー $fW_{h,i}$ の割合 $\alpha_{h,i}$ は、風力入力方向、 $d\alpha_{y1}$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} および D/B の違いによる影響は小さく、逆に、 $d\mu_{max,i}$ 、 ih による影響は大きいことがわかった。ただし、 $d\mu_{max,i}$ がある程度大きくなると $\alpha_{h,i}$ は一定値となり、下限値を有することがわかった。
- (5) dQ_{yi}/dQ_{y1} の違いが、各層でのダンパーが吸収したエネルギー $dW_{p,i}$ に与える影響は大きいですが、 $fW_{h,i}$ への影響は小さいことが確認された。
- (6) $fW_{h,i}$ は、風力入力方向、 $d\alpha_{y1}$ 、 D/B 、 ih の違いによる影響は大きいですが、 fW_h に占める $fW_{h,i}$ の割合 $\beta_{h,i}$ は、風力入力方向、 $d\alpha_{y1}$ 、 dQ_{yi}/dQ_{y1} 、 D/B 、 ih による影響は小さいことがわかった。さらに、減衰の設定方法は剛性比例減衰型で、かつ風応答は1次モードが支配的であるため、 $\beta_{h,i}$ が示す分布は剛性分布に相似形となることも確認された。

謝辞

本研究は、神奈川大学大熊武司教授、(株)泉創建エンジニアリング、(株)日建設計、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新耐風設計法研究会の成果の一部です。特に、本研究を進めるにあたり、大熊武司教授、(株)泉創建エンジニアリングの丸川比佐夫博士、片桐純治博士、鶴見俊雄氏からご指導を賜りました。ここに記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計、技報堂出版、1997
- 2) 吉江慶祐、北村春幸、大熊武司、和田章：エネルギーの釣合に基づく平均成分を有する広帯域性変動風力を受ける弾塑性構造物の応答予測手法、日本建築学会構造系論文集、第608号、pp.21-28、2006.10
- 3) 平井宏幸、吉江慶祐、佐藤大樹、北村春幸：エネルギーの釣合に基づく変動風力を受ける超高層制振建築物の損傷分配評価、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.233-236、2012.3
- 4) 佐藤大樹、笠井和彦、田村哲朗：粘弾性ダンパーの振動数依存性が風応答に与える影響、日本建築学会構造系論文集、第635号、pp.75-82、2009.1
- 5) 片桐純治、大熊武司、鶴見俊雄：高層免震建築物の一般化風力特性、日本建築学会学術講演梗概、B-2、pp.139-140、2010.9
- 6) 日本建築学会：建物荷重指針・同解説、2004
- 7) 平井宏幸、吉江慶祐、佐藤大樹、片桐純治、鶴見俊雄、北村春幸、大熊武司：風洞実験より得られた層風力のサンプル数が高層建築物の時刻歴風応答評価に及ぼす影響、日本建築学会技術報告集、第18巻、第39号、pp.489-494、2012.6
- 8) 平井宏幸、吉江慶祐、佐藤大樹、鈴木悠也、北村春幸：変動風力を受ける超高層建築物の高次モード応答特性、日本建築学会技術報告集、第18巻、第38号、pp.79-84、2012.2