

# 高減衰層をもつ超高層建物の振動特性

## Vibration Characteristics of High-rise Buildings with High-damping Stories

鈴木 利哉 TOSHIYA SUZUKI  
 新上 浩 HIROSHI SHINJO  
 山中 久幸 HISAYUKI YAMANAKA  
 鈴木 亨 TORU SUZUKI  
 小坂 英之 HIDEYUKI KOSAKA  
 江頭 寛 HIROSHI EGASHIRA

アスペクト比の大きい超高層建物は、曲げ変形が卓越し、各層にダンパーを配置しても十分な減衰性が得られにくいことが知られている。そこで、本研究では、超高層建物においてもダンパーの減衰性能を發揮させるため、剛性が低く減衰性の高い層と、剛性の高い層を組み合わせる制震架構を提案した。検討の結果、本架構は、曲げ変形が抑制されること、高減衰層に変形が集中し、振動性状の制御が可能となることが明らかとなった。

キーワード：超高層建物，制震構造，アスペクト比，固有値解析，モード減衰，地震応答解析

It is difficult for high-rise buildings with large aspect ratios to obtain sufficient damping performance even if the dampers are arranged on each story. This proposal contends that building structures which combine low rigidity and high damping stories together with high rigidity stories obtain sufficient damping performance. From the results of various response analysis, it is clarified that the flexural deformation and the vibration properties of this framework is controlled by concentrating deformation on the high damping stories.

**Key Words:** High-rise Building, Damped Structure, Aspect Ratio, Eigenvalue Analysis, Modal Damping, Earthquake Response Analysis

### 1. はじめに

アスペクト比（建物高さ／建物幅）の大きい超高層建物などでは、地震時にせん断変形に比べて曲げ変形が卓越し、各層にダンパーを配置しても十分な減衰性が得られにくいことが知られている。

このような建物の制震方式としては、建物最上層の大梁と外柱の頂部の間に制震ダンパーを鉛直方向に設置するもの<sup>1)</sup>、隣り合う連層耐震壁の間を鋼材ダンパーで連結するもの<sup>2) 3)</sup>、コア部と住戸部の振動特性の違いを利用して連結制震を行うもの<sup>4)</sup>などが提案されている。

本研究では、そのような建物の制震効果を向上させる一つの方法として、剛性が低く減衰性の高い層と、剛性の高い層を組み合わせる制震構造の架構について、固有値解析、複素固有値解析および地震応答解析を行い、提案架構の振動特性を検討した。

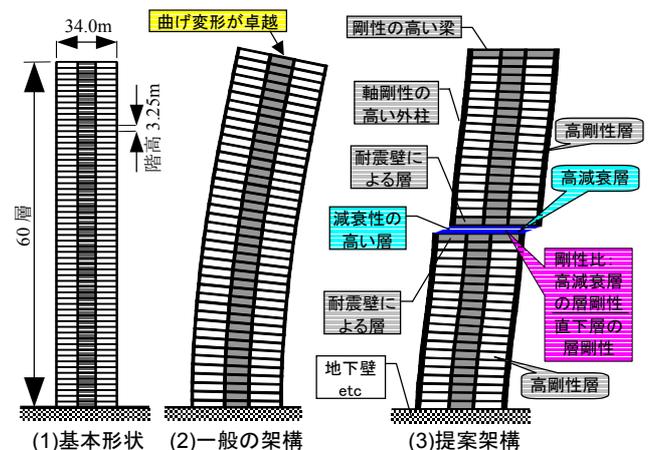


図-1 架構の概要

## 2. 解析概要

### (1) 架構の概要

図-1 に提案架構の概要を一般の架構と比較して示す。本架構の基本形状は、各層高さが 3.25m で地上 60 層 (200m 級) のアスペクト比 5.8 の超高層建物を想定したものである。架構の中央スパン部は連層耐震壁からなるコア部とし、その両側は柱スパン 12m の柱梁架構とした。

提案架構は、剛性の高い層(以下、高剛性層)と剛性が相対的に小さく減衰の大きな層(以下、高減衰層)とを交互に配置して架構を構成するものである。

高剛性層は、軸剛性の高い外柱とコア部の連層耐震壁および両者を結ぶ剛性の高い梁、耐震壁からなり、高減衰層はその上下の層の連層耐震壁、梁を反力部としてダンパーを配置する層である。

提案架構は、固有周期の長い超高層建物であるため、適切な固有周期と減衰を設定し、応答変位の低減を図る必要がある。

### (2) 架構モデル

図-2 に架構モデルを示す。架構モデルは、つぎの 4 タイプである。SC モデルは、高剛性層と高剛性層の間に単層の高減衰層を 1 カ所設けたもので、SD モデルは、単層の高減衰層を 2 カ所設けたものである。PC モデル、PD モデルは、各々 SC モデル、SD モデルの高減衰層を複数層としたものである。

SC, SD モデルは、高減衰層が単層のため、その層の用途は限定されるが、ダンパーを配置しやすいという利点がある。一方、PC, PD モデルは、ダンパーの設置位置はコア部に限定される反面、高減衰層を複数層とし、所要変形量を各層の層間変形として分散させるため、高減衰層も通常の居室として利用できるという利点がある。

## 3. 固有値解析

### (1) 解析方法

解析モデルは、外力分布を  $A_i$  分布とした架構モデルの静的弾性解析結果に基づく、60 質点系弾性等価せん断型モデルとした。

建物の重量は、各モデルとも各階共通で 8,200kN とした。各層の剛性は、解析パラメータごとに静的弾性解析を行い設定した。ただし、SC, SD モデルの場合は、高減衰層に上下層と同じ断面の仮想柱を設けて算出した。

解析パラメータは、各架構モデルの高減衰層の位置  $d_z$ 、SC, SD モデルの高減衰層の剛性および PC, PD モデルの高減衰層の層数とした。SC, SD モデルの高減衰層の

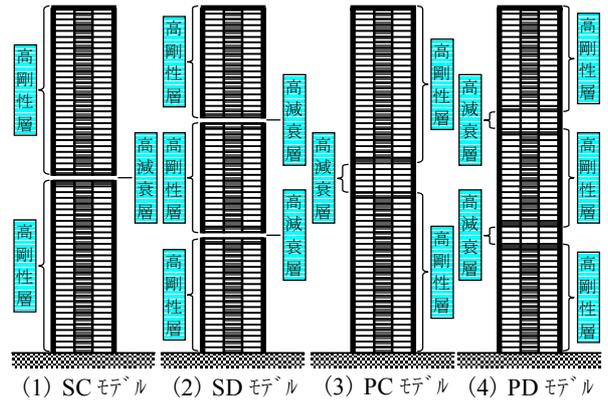


図-2 架構モデル

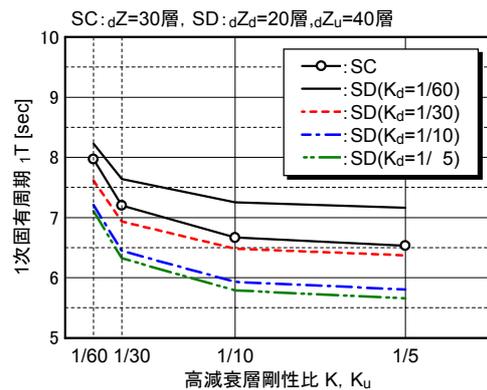


図-3 高減衰層剛性比と 1 次固有周期 (SC, SD)

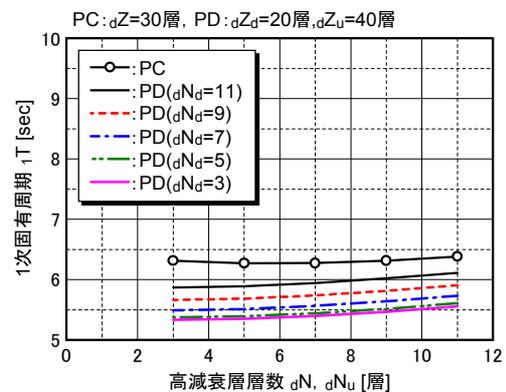


図-4 高減衰層層数と 1 次固有周期 (PC, PD)

剛性は、直下層の剛性との比率(以下、高減衰層剛性比  $K$ )で  $K=1/60, 1/30, 1/10, 1/5$  とし、PC, PD モデルの高減衰層の層数は、 $d_n=3, 5, 7, 9, 11$  層とした。

### (2) 解析結果および考察

#### a) 高減衰層剛性比と 1 次固有周期の関係

図-3 に SC, SD モデルの高減衰層剛性比  $K$  と 1 次固有周期  $1T$  の関係を、図-4 に PC, PD モデルの高減衰層の層数  $d_n$  と 1 次固有周期  $1T$  の関係を示す。ここで、高減衰層位置、高減衰層中心位置  $d_z$  は、高減衰層が 1 カ所の SC, PC モデルでは架構高さの  $1/2$  ( $d_z=30$  層) に、高減衰層が 2 カ所の SD, PD モデルでは架構高さの  $1/3$  ( $d_z=20$

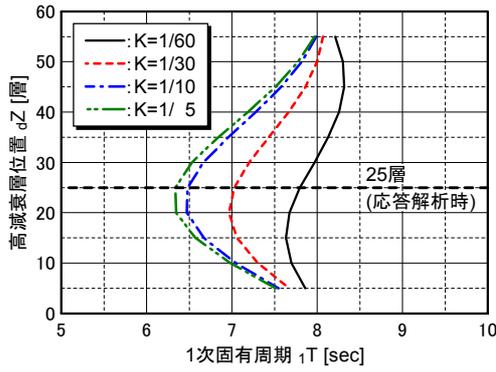


図-5 高減衰層位置と1次固有周期(SC)

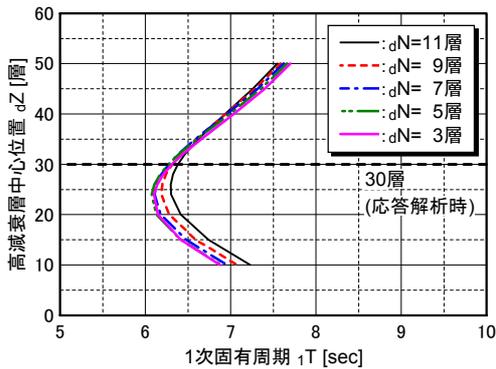


図-6 高減衰層中心位置と1次固有周期(PC)

層)と  $2/3(dZ_u=40$  層)に固定した。

SC, SD モデルの  $1T$  は、高減衰層剛性比に対して双方同様の傾向を示し、 $K=1/30$  以下とすると急激に長くなり、逆に  $K=1/10$  以上ではあまり変化しないことが分かる。

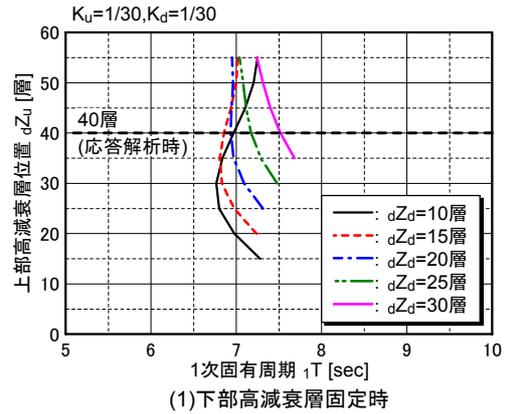
PC, PD モデルにおいては、高減衰層層数  $dN$  を変化させても大きな違いは見られない。

b) 高減衰層位置と1次固有周期の関係

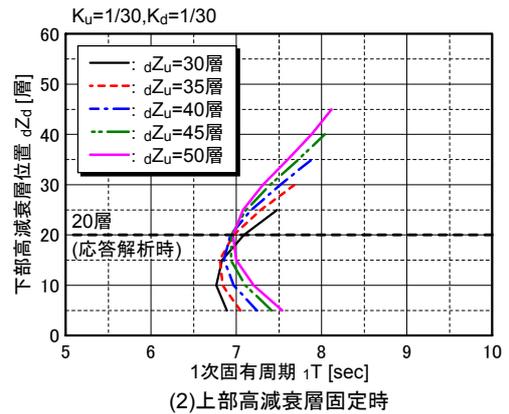
図-5にSCモデルの各高減衰層剛性比  $K$  における高減衰層位置  $dZ$  と1次固有周期  $1T$  の関係を、図-6にPCモデルの各高減衰層層数  $dN$  における高減衰層中心位置  $dZ$  と1次固有周期  $1T$  の関係を示す。

SC, PC モデルともに、1次固有周期  $1T$  は、高減衰層の位置  $dZ$  によって変化し、 $1T$  が最も短くなる極値が存在している。SCモデルの  $1T$  が最小となる位置は、高減衰層剛性比  $K$  が小さいほど下層にあり、 $K$  が大きくなるにつれて25層付近に収束する傾向が認められる。PCモデルにおける高減衰層中心位置  $dZ$  と  $1T$  の関係では、高減衰層層数  $dN$  の影響は小さく、各ケースとも  $dZ$  が25層で  $1T$  が最も短くなっている。

図-7にSDモデルの代表例として、上下2カ所の高減衰層のうち、下部高減衰層剛性比を  $K_d=1/30$ 、上部高減衰層剛性比を  $K_u=1/30$  とした場合の、高減衰層位置  $dZ$  と1次固有周期  $1T$  の関係を示す。また、図-8にPDモデルの

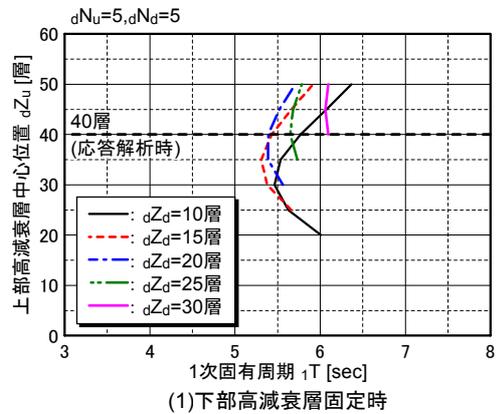


(1)下部高減衰層固定時

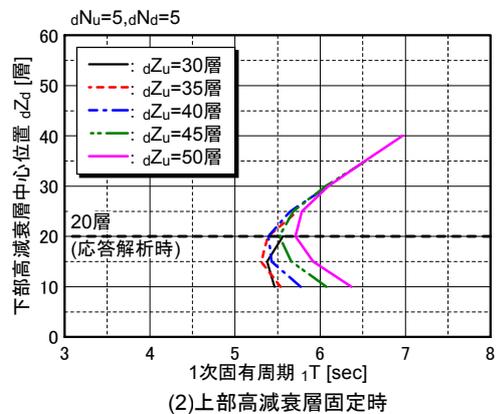


(2)上部高減衰層固定時

図-7 高減衰層位置と1次固有周期(SD)



(1)下部高減衰層固定時



(2)上部高減衰層固定時

図-8 高減衰層中心位置と1次固有周期(PD)

代表例として、上下2カ所の高減衰層のうち、下部高減衰層層数を  ${}_dN_d=5$  層、上部高減衰層層数を  ${}_dN_u=5$  層とした場合の、高減衰層中心位置  ${}_dZ$  と1次固有周期  ${}_1T$  の関係を示す。なお、「 $K_d=K_u=1/30$ 」は、 ${}_1T$  が長くなりすぎない範囲で剛性比を小さくし、高減衰層に変形を集中させることを意図して設定したものである。また、「 ${}_dN_d={}_dN_u=5$  層」は、PCモデルの複数の高減衰層を直列ばねとして評価した時、 $K=1/30$  に相当する高減衰層層数  ${}_dN$  が9層であるため、これを参考に高減衰層の総層数が同程度になるように設定したものである。

SD, PDモデルとも  ${}_1T$  は、上部の高減衰層位置  ${}_dZ_u$  が30~40層(図-7(1), 図-8(1)), 下部の高減衰層位置  ${}_dZ_d$  が15~20層程度とした場合(図-7(2), 図-8(2))に最も短くなるのが分かる。また、 ${}_1T$  の変化の割合は、上部高減衰層位置  ${}_dZ_u$  に比べて下部高減衰層位置  ${}_dZ_d$  の変化に敏感になっている。

c) 高減衰層位置と高減衰層の変形の関係

高減衰層にどの程度変形が集中するかの目安を得るために、1~3次モードの固有ベクトルに基づく式(1)の指標(等価変形割合)を用いて検討した。

$$\alpha = \frac{\sum_k |u_k - u_{k-1}|}{\sum_{i=1}^{60} |u_i - u_{i-1}|} \quad (1)$$

$\alpha$ : 等価変形割合

$u_k, u_i$ : k層・i層の固有ベクトル

式(1)は、架構全層での固有ベクトル  $u_i$  の差の絶対値和に対する高減衰層での固有ベクトル  $u_k$  (k: 高減衰層位置)の差の絶対値和の比を示すものである。

図-9にSCモデルの各高減衰層剛性比  $K$  における高減衰層位置  ${}_dZ$  と高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  の関係を、図-10にPCモデルの各高減衰層層数  ${}_dN$  における高減衰層位置  ${}_dZ$  と高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  の関係を示す。

高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  は、SC, PCモデルともに同様の形状をしており、高減衰層の位置に対して大きく変化している。また、SCモデルは高減衰層剛性比  $K$  が小さいほど、PCモデルは高減衰層層数  ${}_dN$  が多いほど大きな値を示している。

等価変形割合  $\alpha$  が大きくなる高減衰層位置  ${}_dZ$  は、1次モードでは30層付近、2次モードでは15, 45層付近、3次モードでは10, 30, 50層付近となっており、架構高さの1/2付近に高減衰層を配置した場合、高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  は、1次モードと3次モードに対して大きな値を示している。

図-11にSDモデルの代表例として、下部、上部の高減衰層剛性比  $K_d=K_u=1/30$  とした場合の、高減衰層位置  ${}_dZ$  と高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  の関係を示す。また、図-12にPDモデルの代表例として、下部、上部の高減衰

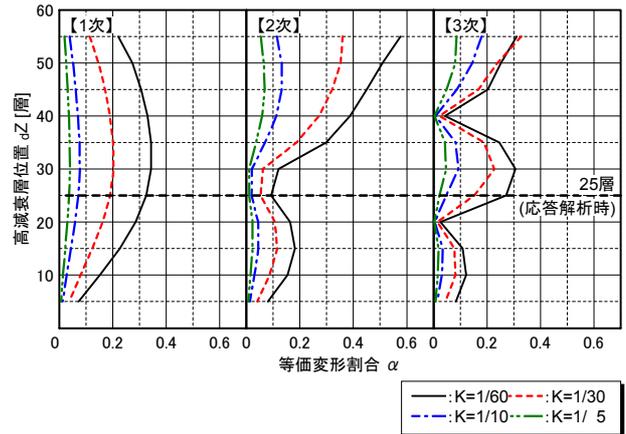


図-9 高減衰層位置と等価変形割合 (SC)

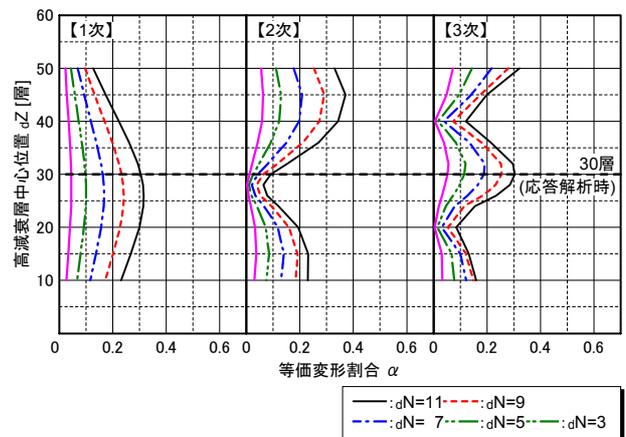


図-10 高減衰層中心位置と等価変形割合 (PC)

層層数  ${}_dN_d={}_dN_u=5$  層とした場合の、高減衰層中心位置  ${}_dZ$  と高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  の関係を示す。

SD, PDモデルともに同様の形状をしており、高減衰層位置  ${}_dZ$  に対する高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  は、3次モードの場合はばらつきが大きいものの、SC, PCモデルとほぼ同様の傾向を示している。

1次モードの等価変形割合  $\alpha$  は、上下2カ所の高減衰層のうち、下部の高減衰層位置  ${}_dZ_d$  を固定した場合(図-11(1), 図-12(1))は、上部の高減衰層位置  ${}_dZ_u$  が30~40層、上部の高減衰層位置  ${}_dZ_u$  を固定した場合(図-11(2), 図-12(2))は、下部の高減衰層位置  ${}_dZ_d$  が15~25層程度とした場合に最も大きくなるのが分かる。図-11および図-12全図中のX軸に平行な破線で示すように、架構高さの1/3(20層)と2/3(40層)付近の2カ所に高減衰層を配置した場合、等価変形割合  $\alpha$  は、1~3次モードに対して比較的大きな値を示している。

等価変形割合  $\alpha$  は、高減衰層が1カ所のSC, PCモデルでは1次モードと3次モードに対して、高減衰層が2カ所のSD, PDモデルでは、1~3次モードに対して大き

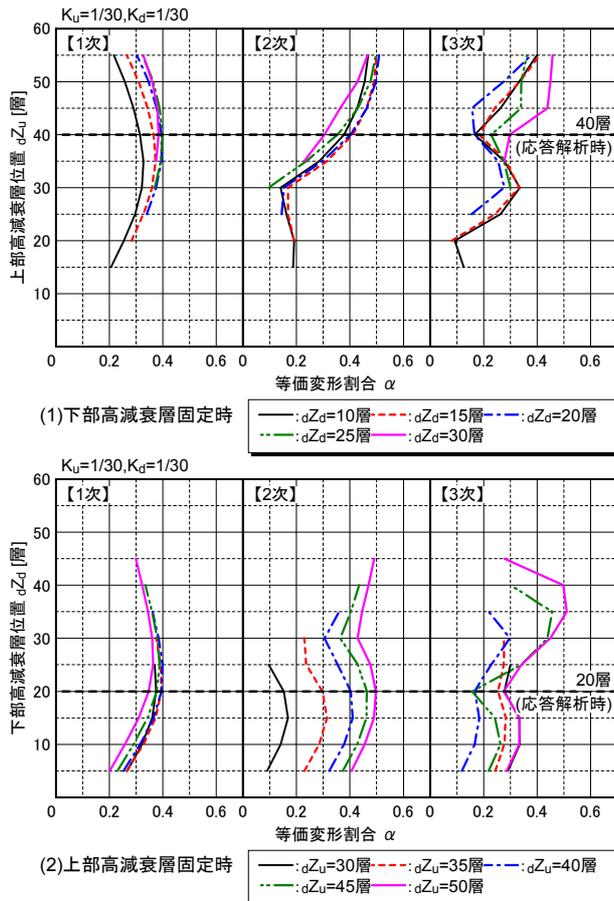


図-11 高減衰層位置と等価変形割合 (SD)

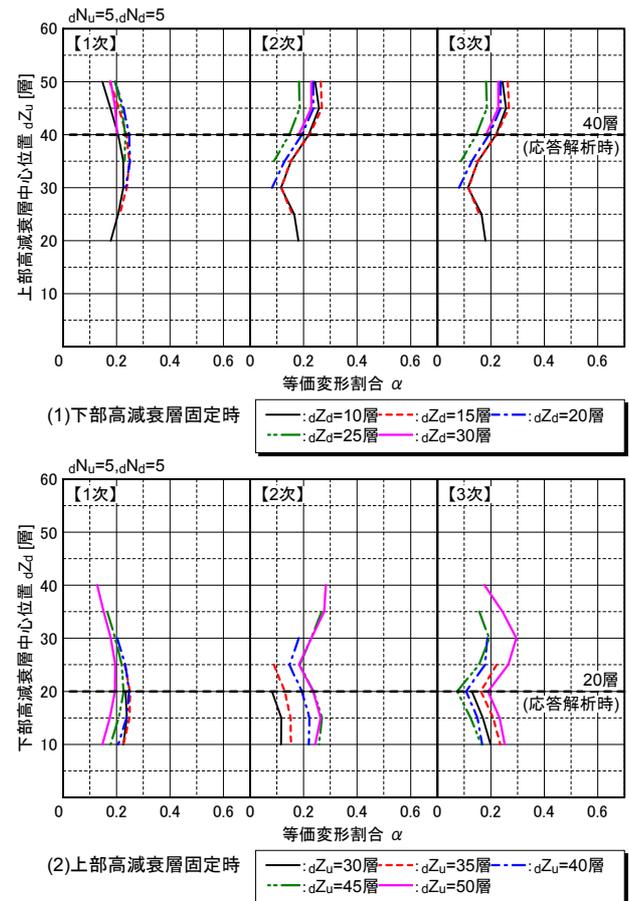


図-12 高減衰層中心位置と等価変形割合 (PD)

な値を示す高減衰層位置  $dZ$  が存在することが分かる。

#### 4. 複素固有値解析

本章では、3章の等価変形割合(式(1))とモード減衰の関係性を把握するため、複素固有値解析を行った。

##### (1) 解析方法

解析モデルは、3章と同じ60質点系等価せん断型モデルとし、構造体部分の減衰は、1次振動に対して  $h=3.0\%$  の剛性比例型の内部粘性減衰とした。ただし、SC、SDモデルの高減衰層の減衰は  $h=0\%$  とした。高減衰層に設置するダンパーによる付加減衰は、高減衰層各層に対して減衰係数  $C=1,000\text{kN}\cdot\text{s}/\text{cm}$  とした。解析パラメータは、3章と同じである。

##### (2) モード減衰および考察

図-13にSCモデルの各高減衰層剛性比  $K$  における高減衰層位置  $dZ$  と1~3次のモード減衰の関係を、図-14にPCモデルの各高減衰層層数  $dN$  における高減衰層中心位置  $dZ$  と1~3次のモード減衰の関係を示す。

SC、PCモデルともに、モード減衰は、高減衰層の剛性が小さいほど大きな値を示している。SCモデルでは、高減衰層剛性比  $K=1/10$  以上においては、ダンパーによる付加減衰の効果があまりみられないが、 $K=1/30$  以下では各次のモード減衰が大きくなっている。一方、PCモデルでは、高減衰層層数  $dN$  の多いものほどモード減衰が大きくなっているが、1次モードに対する効果は小さいことが分かる。

1~3次のモード減衰をある程度大きくするためには、高減衰層の剛性を小さくし、高減衰層位置  $dZ$  を10~15層または35~40層に設定することが有効であることが分かる。本架構の場合、その設定では固有周期がやや長くなる(図-5、図-6参照)が、建物によっては適切な選択となり得るものと思われる。

また、高減衰層位置  $dZ$  とモード減衰の関係は、最上層付近を除き、図-9、図-10の高減衰層位置  $dZ$  と高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  の関係とおおむね一致しており、高減衰層のダンパーが有効に作用する高減衰層位置を等価変形割合で評価できることが分かる。

図-15にSDモデルの代表例として、下部、上部の高減衰層剛性比  $K_d=K_u=1/30$  とした場合の、高減衰層位置

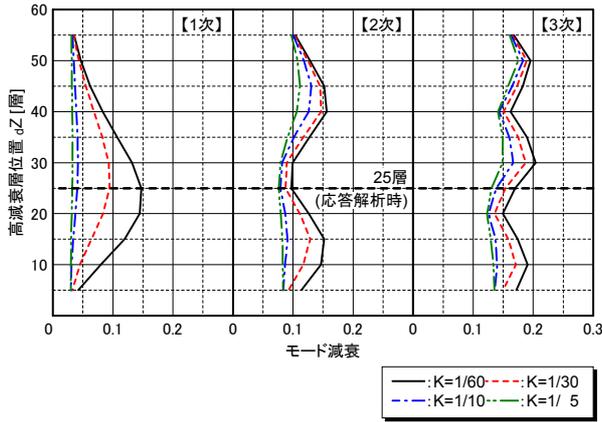


図-13 高減衰層位置とモード減衰 (SC)

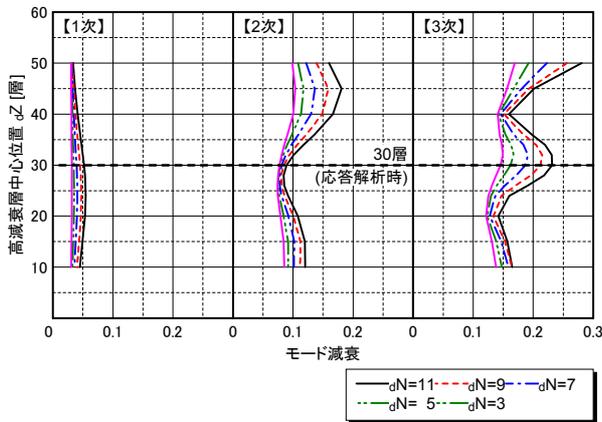


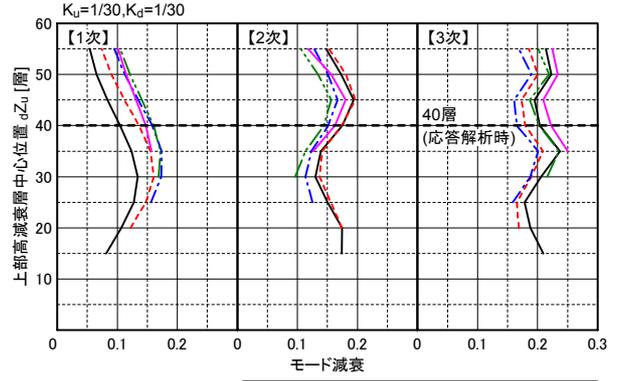
図-14 高減衰層中心位置とモード減衰 (PC)

$dZ$  と 1~3 次のモード減衰の関係を示す。また、図-16 に PD モデルの代表例として、下部、上部の高減衰層層数  $dN_d=dN_u=5$  層とした場合の、高減衰層中心位置  $dZ$  と 1~3 次のモード減衰の関係を示す。

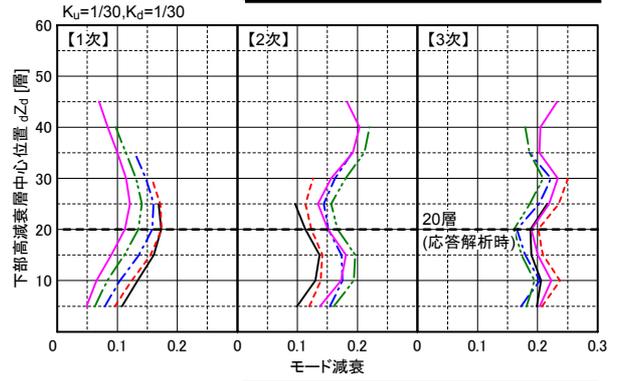
モード減衰は、SD、PD モデルともに同様の形状をしており、高減衰層位置  $dZ$  に対する高減衰層のモード減衰は、SC、PC モデルとほぼ同様の傾向を示している。

1 次のモード減衰は、上下 2 カ所の高減衰層のうち、下部の高減衰層位置  $dZ_d$  を固定した場合(図-15(1)、図-16(1))は、上部の高減衰層位置  $dZ_u$  が 30~40 層、上部の高減衰層位置  $dZ_u$  を固定した場合(図-15(2)、図-16(2))は、下部の高減衰層位置  $dZ_d$  が 15~25 層程度とした場合に最も大きくなる事が分かる。PD モデルでは、1 次モードと 2 次モードにおいて、SD モデルに比べて小さな値となっているが、3 次モードでは、おおむね同等の値をとっている。

また、高減衰層位置  $dZ$  とモード減衰の関係は、最上層付近を除き、図-11、図-12 の高減衰層位置  $dZ$  と高減衰層の等価変形割合  $\alpha$  の関係とおおむね一致しており、SD、PD モデルにおいても、高減衰層のダンパーが有効に作用する高減衰層位置を、等価変形割合で評価できること

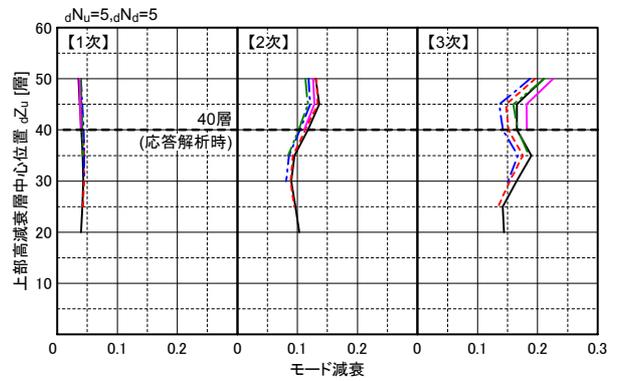


(1)下部高減衰層固定時

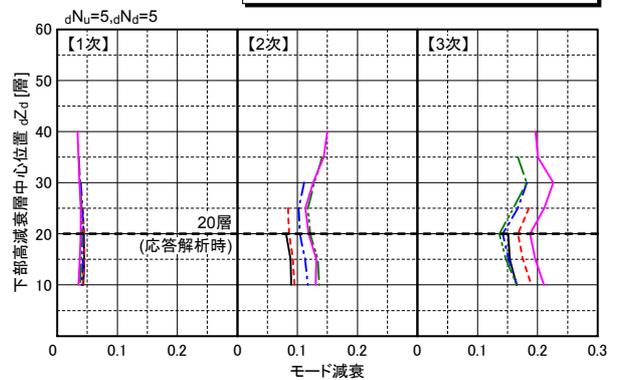


(2)上部高減衰層固定時

図-15 高減衰層位置とモード減衰 (SD)



(1)下部高減衰層固定時



(2)上部高減衰層固定時

図-16 高減衰層中心位置とモード減衰 (PD)

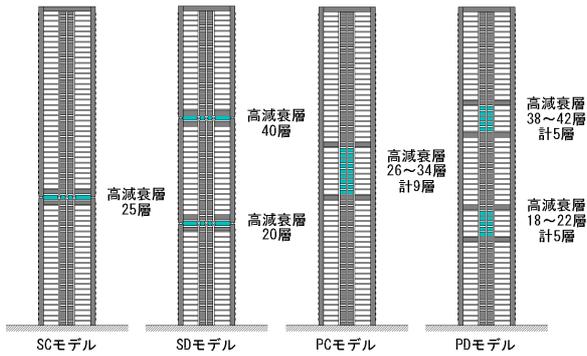


図-17 地震応答解析の解析ケース

が分かる。

### 5. 地震応答解析

3章および4章から得た知見を基に、各架構モデルの高減衰層の位置、剛性および層数を設定し、本架構の地震応答特性について検討した。

#### (1) 解析ケースおよび解析条件

図-17に各モデルの解析ケースを、表-1に各ケースの層剛性を示す。高減衰層(中心)位置 $d_z$ は、SCモデルでは、1次固有周期が短く1次と3次の等価変形割合とモード減衰の大きな25層とし、PCモデルでは、1次固有周期が短く1次と3次の等価変形割合とモード減衰の大きな30層とした。SD、PDモデルでは、1次固有周期が短く1~3次の等価変形割合とモード減衰の大きな20層と40層とした。

また、SC、SDモデルの高減衰層剛性比 $K$ は、1次固有周期が長くなりすぎず、等価変形割合とモード減衰の大きな $K=1/30$ とした。PC、PDモデルの高減衰層層数 $d_N$ は、PCモデルでは、1次固有周期が長くなりすぎず、1次と3次の等価変形割合とモード減衰の大きな26~34層の計9層とし、PDモデルでは、18~22層と38~42層の計10層とした。

高減衰層の減衰力は、図-18に示すように、初期減衰係数を $C=1,000\text{kN}\cdot\text{s}/\text{cm}$ とし、減衰力が速度に対して非線形性をもつモデルとした。その他の解析条件は4章と同じである。

#### (2) 入力地震動

図-19に減衰定数 $h=0.05$ 時の入力波の変位応答スペクトルを示す。入力波は、BCJ-L2<sup>5)</sup>および建設省告示第1461号に基づく東京の代表的な2種地盤における模擬地震波(以下、告示波)の2波とした。

表-1 各ケースの層剛性

層	層剛性 [kN/mm]				層	層剛性 [kN/mm]			
	SC	SD	PC	PD		SC	SD	PC	PD
60	197.1	210.4	204.3	213.1	30	1118.0	1113.1	702.1	1315.1
59	261.5	291.6	276.8	298.1	29	1239.6	1142.5	724.3	1354.3
58	310.6	355.4	332.9	365.2	28	1404.3	1183.7	775.7	1413.1
57	349.4	408.6	378.7	422.2	27	1656.3	1239.6	871.3	1496.5
56	380.1	453.9	416.1	471.3	26	2696.8	1314.1	1094.4	1612.2
55	405.7	494.5	448.6	516.2	25	97.4	1413.1	2809.6	1772.1
54	427.6	532.1	477.5	558.0	24	2921.4	1547.5	1746.6	2022.1
53	446.4	567.9	503.6	598.8	23	1793.6	1731.9	1526.9	2993.0
52	463.7	603.3	528.5	640.1	22	1570.0	2024.1	1396.5	1346.5
51	479.2	638.4	552.0	681.7	21	1438.6	3263.7	1304.3	1146.4
50	494.1	675.7	576.0	726.9	20	1345.5	119.8	1237.6	1116.0
49	508.0	714.8	600.0	775.0	19	1280.7	3595.1	1190.5	1180.7
48	521.6	757.8	624.5	829.2	18	1233.7	2190.8	1158.2	1439.6
47	535.2	805.3	650.6	890.9	17	1203.3	1922.1	1137.6	3954.0
46	549.3	860.1	678.7	964.1	16	1185.6	1777.0	1127.8	2448.7
45	563.2	922.4	709.1	1050.3	15	1178.8	1680.9	1127.8	2158.4
44	578.3	998.3	743.7	1168.0	14	1183.7	1619.1	1136.6	2002.5
43	593.7	1090.5	781.7	1475.9	13	1198.4	1585.7	1154.2	1905.4
42	610.6	1218.0	825.9	915.6	12	1224.9	1576.9	1183.7	1851.5
41	628.9	1597.5	877.1	831.3	11	1263.1	1588.7	1224.9	1830.9
40	648.5	57.4	938.2	828.2	10	1318.0	1623.0	1280.7	1843.7
39	670.7	1722.0	1013.0	876.4	9	1391.6	1683.8	1354.3	1888.8
38	695.6	1315.1	1104.2	1024.8	8	1489.6	1774.0	1453.3	1968.2
37	723.8	1219.9	1221.9	1840.7	7	1623.0	1907.4	1586.7	2096.7
36	755.3	1162.1	1393.5	1454.3	6	1809.3	2098.6	1771.1	2287.9
35	792.2	1123.8	1980.9	1366.1	5	2080.0	2384.0	2038.8	2579.1
34	834.8	1100.3	939.8	1319.0	4	2496.8	2833.1	2453.6	3045.0
33	885.9	1088.5	788.3	1293.5	3	3233.3	3622.6	3177.4	3867.7
32	947.0	1086.6	728.2	1284.7	2	4877.8	5390.7	4799.4	5696.7
31	1021.9	1094.4	702.5	1292.5	1	11493.4	12444.6	11385.5	13042.8

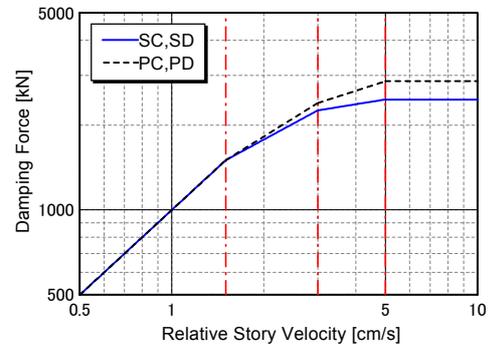


図-18 高減衰層の減衰特性

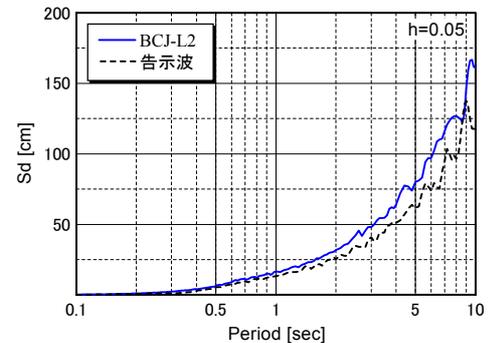


図-19 入力波の変位応答スペクトル

#### (3) 解析結果および考察

図-20に各モデルの地震応答解析より得られた水平変位と層間変形角の最大応答値を示す。図中の「 $s_T$ 」および「 $s_h$ 」は、S次の固有周期およびモード減衰を示し、SC、SDモデルにおける括弧内の数値は高減衰層の層間変位を示す。

すべてのモデルにおいて、高減衰層上下に配置した耐震壁および剛性の高い梁(図-1参照)により、曲げ変形を抑制しており、高剛性層と高減衰層を組み合わせること

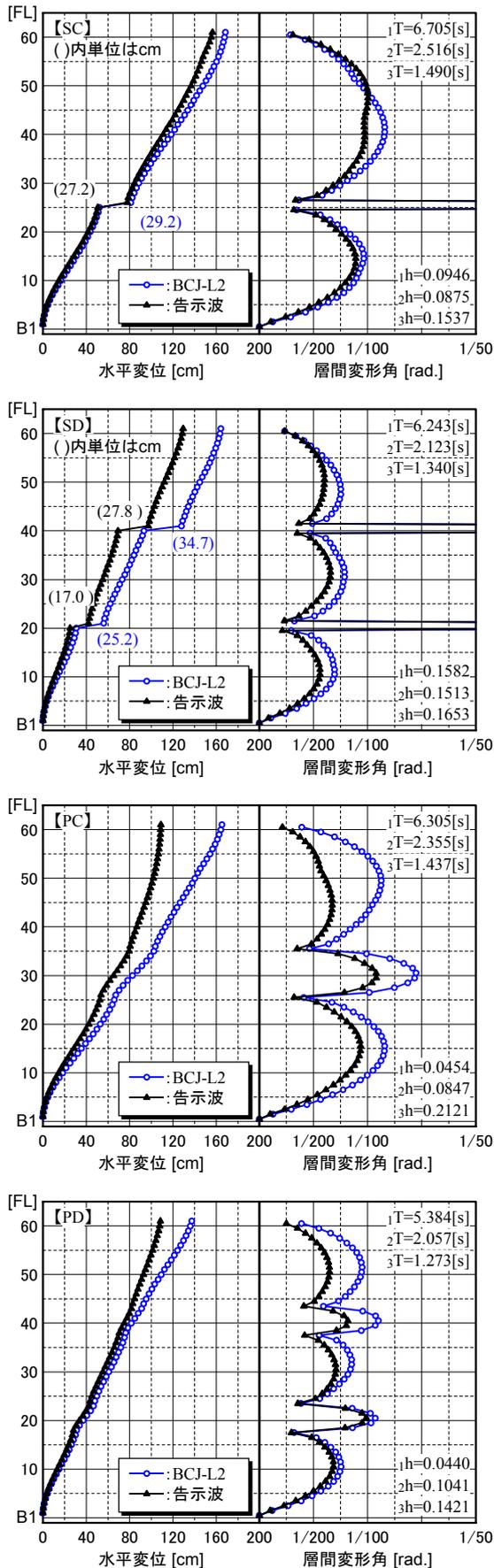


図-20 地震応答解析の最大応答値

により、層間変形は高減衰層に集中し、ダンパーが有効に作用していることが分かる。

SCモデルの高減衰層の最大応答層間変形角は、おおむね  $1/100\text{rad}$  であり、高減衰層の層間変位は、 $25\sim 30\text{cm}$  程度であった。SDモデルの高剛性層の最大応答層間変形角は、 $1/130\text{rad}$  程度で、高減衰層の層間変位は、 $15\sim 35\text{cm}$  程度であった。

PCモデルの高減衰層、高剛性層の最大応答層間変形角は、 $1/67\text{rad}$  程度であり、PDモデルの高減衰層、高剛性層の最大応答層間変形角は、 $1/100\text{rad}$  程度であった。

高減衰層が1ヶ所のSC、PCモデルに比べて、高減衰層が2ヶ所のSD、PDモデルでは、各次数における固有周期 $sT$ が短く、高剛性層の最大応答層間変形角が小さくなっていることが分かる。

## 6. まとめ

剛性の高い「高剛性層」と、剛性が低く減衰性の高い「高減衰層」からなる超高層制震構造の架構を提案し、固有値解析、複素固有値解析および地震応答解析を行い、その振動特性を検討した。検討の結果、以下のことが判明した。

- ①高剛性層と高減衰層を組み合わせ、高減衰層の位置および剛性を変化させることにより、固有周期およびモード減衰の調整が可能となる。
- ②本架構では曲げ変形が抑制され、高減衰層に変形が集中することによって制震効果が向上する。
- ③高減衰層を2カ所に設けることで、最大層間変形角を小さく抑えることができる。

## 参考文献

- 1) 丹羽, 小堀, 畑田: 曲げ卓越型構造物の制震に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.781-782, 1995.8
- 2) 戸沢, 原田, 黒瀬, 熊谷: 超高強度 RC コアウォールと境界梁型制震ダンパーを用いた超高層 RC 造建築物の設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.863-864, 2003.9
- 3) 佐藤, 前川, 濱田, 吉松: 連層耐震壁を用いた 32 階建て超高層 RC 住宅の耐震設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.879-880, 2003.9
- 4) 中根, 加藤, 野尻, 寺岡, 内田, 佐々木: 60 階 200m 級超高層 RC 造住宅の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.865-866, 2003.9
- 5) 設計入力地震動作成手法技術指針(案), 建設省建築研究所, 日本建築センター, 1992