

連結制振構造を利用した超高層RC造建物の構造設計

Structural Design of High-Rise RC Buildings using Coupled Vibration Control System

福本 義之*1、西村 勝尚*2、笹元 克紀*3、片岡 大*4

1. はじめに

我が国は地震頻発国であり、1995年の兵庫県南部地震、2011年の東北地方太平洋沖地震、2016年の熊本地震など、多大な被害を与える大地震が多数発生している。これらの地震に対し、特に1995年の兵庫県南部地震以降、建物に高い耐震性能を与えることの必要性が大いに注目され、免震構造や制振構造を採用する事例が増え始めた。ただし、免震構造は、長周期長時間継続地震動を有する地震動に対しては、共振し揺れを増幅させ、かつ繰り返し振動により免震装置の劣化などが生じる可能性が示唆されている。また、制振構造においては極大地震におけるエネルギーを消費するためには、多くの制振装置が必要となり、建物の計画上制振装置の配置が困難であるという弱点も持っている。

筆者らは、これらの弱点を克服する、より安全性の高い構造システムとして、大きな制振効果を付与することが可能な連結制振構造に着目した構造システムを提案し設計してきた¹⁾ (図-1)。この構造システムは、一つの建物の中に、固有周期差の大きい独立した二つのストラクチャーを構成する構造形式とし、二つの構造体の間に制振装置を設置することにより、両者の相対変形により制振装置に大きな変形を与え、高い制振効果を発揮する制振構造システムである。

この構造システムを提案して以来、本システムによる超高層集合住宅を10棟以上設計してきたが、その中には、近年発生する可能性が高まってきている極大地震に対応した事例や、狭小で扁平な敷地形状に対応させるために

制振装置の配置などを工夫した事例などが含まれる。ここでは、それらの代表的な事例を紹介する。

また、さらなる新しい構造システムとして、より幅広い周期帯を持ち、かつより大きな地震動レベルに対して、ロバスト性や冗長性のある耐震性の非常に高いシステムとして、連結制振構造と免震構造を組み合わせたハイブリッドシステムの紹介も行う。

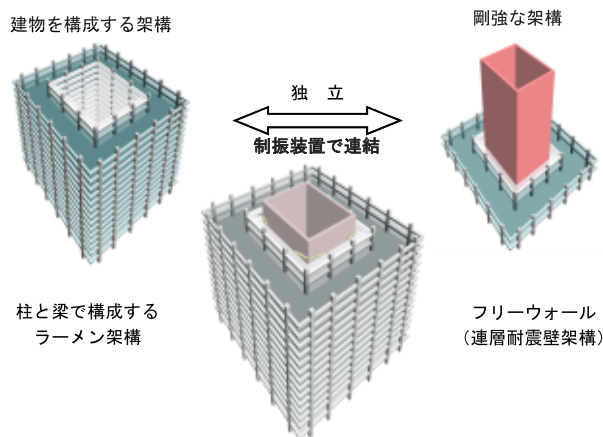


図-1 連結制振構造システムの概要

2. 極大地震に対応した設計例

2.1 建物概要

極大地震に対応した実施例として、地上53階、地下1階、塔屋3階、軒高 設計GL+184.75m、最高部高さ 設計GL+189.55mの鉄筋コンクリート造の集合住宅を紹介

*1 FUKUMOTO Yoshiyuki：株式会社大林組 大阪本店 建築事業部構造設計部 副部長

*2 NISHIMURA Katsuhisa：株式会社大林組 大阪本店 建築事業部 統括部長

*3 SASAMOTO Katsunori：株式会社大林組 大阪本店 建築事業部構造設計部 担当課長

*4 KATAOKA Masaru：株式会社大林組 大阪本店 建築事業部構造設計部 主任

介する。以下に、主な建物概要を示す。

- ・ 建築場所：大阪府大阪市
- ・ 主要用途：共同住宅（分譲）
- ・ 建築面積：2,676.83 m²
- ・ 延床面積：99,914.42 m²
- ・ 階 数：地上53階，塔屋3階，地下1階
- ・ 建物高さ：軒高 設計GL+184.75m
最高部高さ 設計GL+189.55m
- ・ 基準階階高：3.28m
- ・ 構造種別：鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）
- ・ 基礎種別：杭基礎（場所打ち鉄筋コンクリート拡底杭，節付き拡底杭）
- ・ 基礎深さ：設計GL -7.45～-9.45m

本建物の基準階伏図を図-2に、代表軸組図を図-3に示す。建物は、内部にボイド空間を有し主に住宅部を構成する主体架構と、そのボイド空間に独立に配置された立体駐車場を内蔵する30階床レベルまでのフリーウォールと称する連層耐震壁架構とに分離されている。主体架構と、連層耐震壁架構との間には、速度依存型の制振装置（オイルダンパー）を配置し、二つの架構間の大きな速度差および変形差を利用している。

上部構造は、吹抜部に設置した立体駐車場を内蔵する箱形の連層耐震壁架構（平面形状が約21.42m × 15.88m，高さは，設計GL + 97.9m）と住宅部を構成する主体架構により構成し、4階床位置より下部では両者を一体とし4階柱より上部で分離した計画としている。一体化した4階床より下層は、耐震壁をバランスよく配

置した鉄筋コンクリート造耐震壁付ラーメン架構とし、分離した4階柱より上部の主体架構は長周期化を図るためラーメン架構とした。連層耐震壁架構の最上層は主体架構の30階床レベルと同一の高さとした。制振装置は、分離した2つの架構間の相対変形が大きくなる上層部に多く配置する計画とし、連層耐震壁架構の最上層である30階から24階床レベル位置までは1層おき、24階から14階床レベル位置までは2層おきとした。

連結制振ダンパーとしては速度依存型の制振装置（オイルダンパー）を用いる。架構間の相対変形量は、層間変形よりも10倍～20倍程度大きくなるため、オイルダンパーのストロークは、最大で850mmのものを使用する。固有値解析により得られた固有周期を表-1に示す。オイルダンパーの最適減衰量は、定点理論に基づいて求める。

図-4に主体架構と連層耐震壁架構をそれぞれ1質点系に置換した基本モデルを示す。各質点の質量は1次の有効質量として、主体架構で87500 ton、連層耐震壁架構

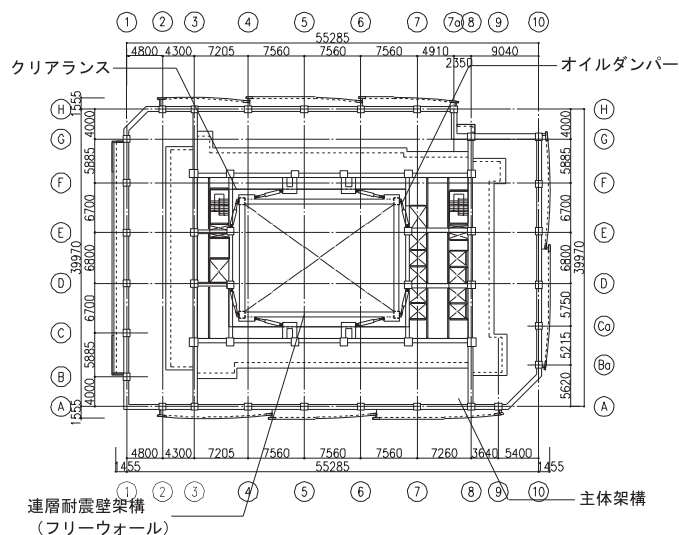


図-2 基準階伏図

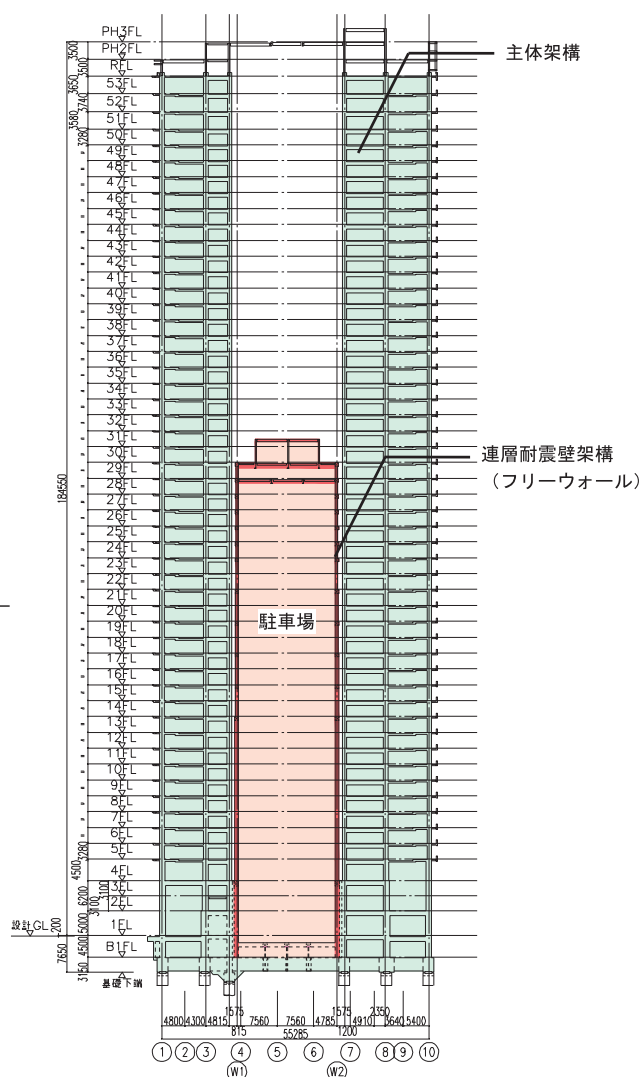


図-3 代表軸組図

で8400 tonとする。図-5に二つの架構を独立とした場合、剛結とした場合、及びダンパーにより連結した場合の伝達関数（振幅成分）を示す。定点理論では二つの架構をダンパーにより連結したとき、特定の振動数でその伝達率の値が常に同じになる伝達関数の定点（図-5の定点A、定点B）が必ず存在し、双方の質量比と剛性比が反比例する場合が、理想的な関係となる。すなわち、最適減衰量を与えた時に、二つの架構の伝達関数のピークを同時に最も小さく設定できる。本建物においては、理想的な関係からは少し外れるが、二つの定点のうち、定点Aにおいて主体架構の伝達関数が概ね最大となるように、付加減衰量を120 MNsec/mとする。使用したオイルダンパー1台当たりの初期減衰係数は2.50 MNsec/mであるので、建物全数で方向ごとに48台必要となる。このオイルダンパーを、基本的には相対変形量が大い、建物上層部に密に配置する。以上より求めたオイルダン

パーの概要を表-2に示す。なお、オイルダンパーのリリーフ荷重は、過度の減衰力がオイルダンパーに入力されないよう応答に応じて適切に設定している。

以上によりオイルダンパーの設置台数、設置階、仕様を決定し、複素固有値解析を行った結果、等価粘性減衰定数は18%程度と大きな減衰性能を有している。

2.2 上町断層帯地震動に対する地震応答解析

本建物は、レベル2を超え、レベル3相当の極大地震として上町断層帯地震動に対する検討を行っている。検討は、(社)日本建築構造技術者協会関西支部が主催となり構成された「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動及び設計法に関する研究会」により公開された「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および耐震設計指針（その1上町断層帯地震に対する大阪府域編）」²⁾（以下、「上町地震動耐震設計指針」）に基づき行った。本建物においては、レベル2を超える極大地震に

表-1 固有周期(sec)

	主体架構			連層耐震壁（フリーウォール）		
	X 方向	Y 方向	45 度方向	X 方向	Y 方向	45 度方向
1 次	4.68	4.95	4.84	0.47	0.59	0.52
2 次	1.56	1.61	1.59	0.12	0.13	0.13
3 次	0.92	0.92	0.92	0.06	0.06	0.06

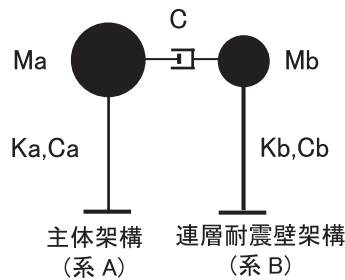


図-4 等価1質点系モデル

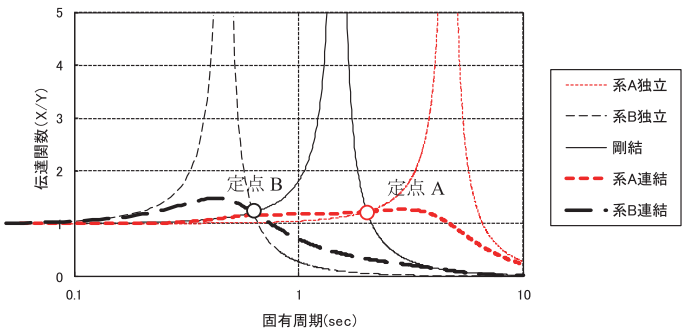


図-5 伝達関数(付加減衰量120MNsec/m)

表-2 オイルダンパーの概要

方向	X, Y	X	Y	X	Y	X	Y
最大減衰力 Fmax	1000kN	1000kN	1000kN	1000kN	1000kN	1000kN	1000kN
リリーフ荷重 Fr	800kN	750kN	800kN	630kN	750kN	550kN	750kN
減衰係数	初期値 C1	2.50MNsec/m		2.50MNsec/m		2.50MNsec/m	
	リリーフ後 C2	0.1695MNsec/m		0.1695MNsec/m		0.1695MNsec/m	
ストローク	±750mm 以上	±750mm 以上	±750mm 以上	±750mm 以上	±800mm 以上	±750mm 以上	±850mm 以上
台数（合計 96 台） （X方向 4 台 x 12 層） （Y方向 4 台 x 12 層）	48 台 （X方向 4 台 x 6 層） （Y方向 4 台 x 6 層）	8 台 （4 台 x 2 層）	8 台 （4 台 x 2 層）	8 台 （4 台 x 2 層）	8 台 （4 台 x 2 層）	8 台 （4 台 x 2 層）	8 台 （4 台 x 2 層）
設置階	14, 16, 18, 20, 22, 24	25, 26		27, 28		29, 30	

対して、人命保護を目標とし、建物の水平耐力および軸力支持能力を一定以下に低下させないことを目標とした。

以下に、本建物に用いた設計用地震動、および地震応答解析結果を示す。

(1) 設計用地震動

「上町地震動耐震設計指針」においては、大阪市域を6ゾーンに区分し、ゾーンごとに設計用地震動を設定している。任意地点での地震動は、発生メカニズムに応じて大きくばらつくことが想定されるが、その想定される幅の中で3段階（レベル3A・3B・3C）の設計用地震動を設定している。

本建物においては、本建物が位置するA3ゾーンにおけるレベル3B地震動（計6波）を用いて検討した。図-6に、設計用地震動の速度応答スペクトルを示す。設計用地震動は、告示スペクトル適合波に対して、おおむね1.5倍程度の大きさとなっている。

(2) 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、基礎梁から上部の架構をモデル化する。主体架構は柱・梁・耐震壁からなる立体フレームモデルとする。主体架構と連層耐震壁架構間に設置するオイルダンパーはMaxwell型要素にてモデル化する。

材料特性は平均値を採用する。減衰は瞬間剛性比例型

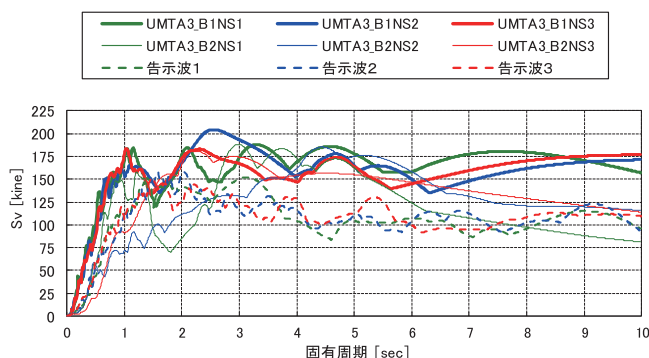


図-6 設計用地震動 速度応答スペクトル(H=5%)

の減衰とし、減衰定数はRC部材に対して3%、塔屋鉄骨部に対して2%とする。また、P-Δ効果を考慮して解析を行う。

(3) 地震応答解析結果

地震応答解析結果のうち、Y方向の最大応答層せん断力係数および最大応答層間変形角を図-7、図-8に示す。分離して計画した部分の最下階（4階）の最大応答層せん断力係数は0.077、最大応答層間変形角は1/51radである。また、各部材が耐力劣化を生じないことを検証している。このことより、倒壊に至るまでには余裕があり、さらに余震等に対する安全性は確保できていると判断している。

図-9にY方向の最大応答棟間変位を示す。最大応答棟間変位は829 mmであり、クリアランスの850 mm以下である。

また、Y方向の地震応答解析終了時のエネルギー吸収量の比率を図-10に示す。図-10より、上町断層帯地震動のように、パルス性の強い直下型地震に対しても、オイルダンパーの吸収エネルギーの割合は50～60%程度であり、大きな制振効果を発揮していることが確認できる。

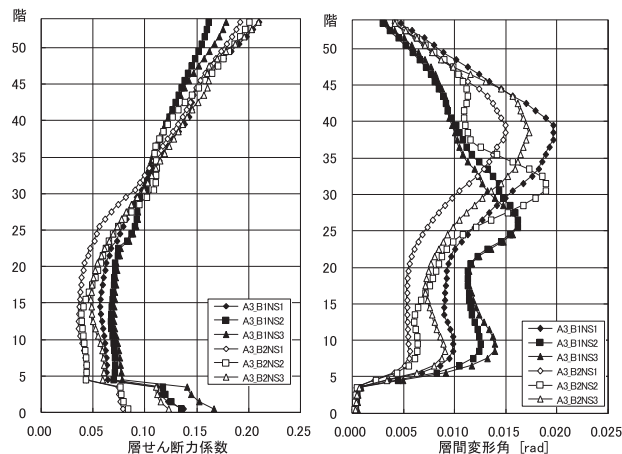


図-7 最大応答層せん断力係数

図-8 最大応答層間変形角

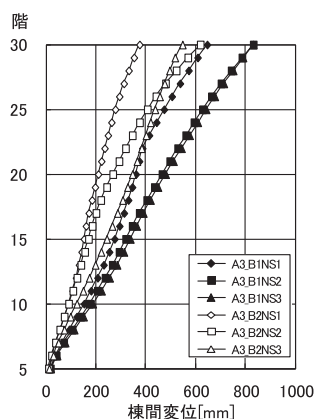


図-9 最大応答棟間変位

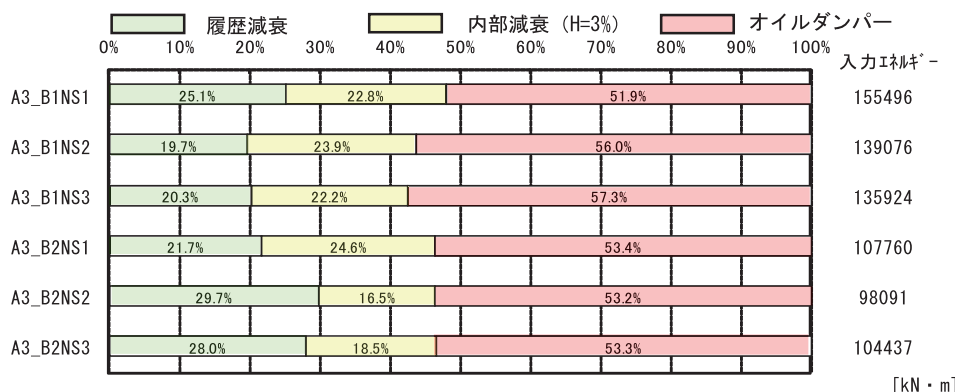


図-10 エネルギー吸収分担率

3. 扁平な建物形状に対応させた設計例

近年、都心において、扁平な形状や狭小な敷地に対しても超高層集合住宅が建設されることが多くなっている。このような敷地に対しては、敷地を効率的に利用するために建物自体の平面形状も扁平となる事が多い。本章では、このような扁平な建物における試設計例を紹介する。

3.1 試設計例の概要

試設計例は、地上50階・地下1階の高さ約170mの扁平な平面形状を持つ建物とする。試設計例の略伏図を図-11に、略断面図を図-12に示す。図-11に示すように、本建物の主体架構は、重心位置と剛心位置が大きく離れている。一般的に、このような建物の場合、重心位置と剛心位置の偏心により慣性力による剛心廻りに振れモーメントが発生し、耐震安全上問題となることが多い。しかし、今回の連結制振構造においては、連層耐震壁架構とオイルダンパーを介して連結しており、オイルダンパーにより発生する反力による剛心まわりの抵抗モーメントにより、重心位置と剛心位置が離れていることにより生じる剛心周りの振れモーメントを低減させることが可能である。本建物においては、偏心を考慮できる振動解析モデルを用いて検討を行い、最適に振れモーメントを打ち消すことが出来るオイルダンパーの配置の工夫を行う。

3.2 偏心を考慮した振動解析モデル

本建物の地震応答解析においては、偏心の影響を考慮できるように図-13に示す振動解析モデルを用いた。主体架構は、曲げ変形成分を弾性とし、せん断変形成分に弾塑性挙動を負わせた曲げせん断棒モデルとする。剛性および復元力特性は、立体静的弾塑性解析より求めた各層の剛心位置での荷重-変形関係に基づき設定する。また、偏心の影響を考慮するため、曲げせん断棒を各階の剛心に配置し、振れ剛性を考慮する。質量は各階の重心位置に設けるものとし、重心と剛心は剛棒で連結したモデルとする。また、振れ変形が層間変形に与える影響を評価す

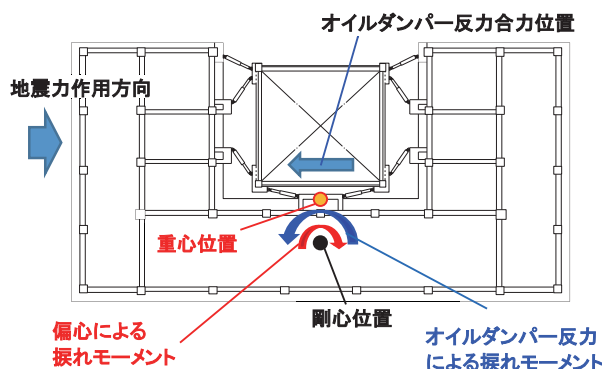


図-11 略伏図

るため、主体架構の外周4点に変位測定用の節点を設ける。連層耐震壁架構は、せん断変形成分を弾性とし、曲げ変形成分に弾塑性挙動を負わせた3階床から36階床までの振動モデルとし、以下に示す要素によりモデル化する。

- ・壁断面を軸方向に分割し、各軸断面に含まれるコンクリートと鉄筋を置換した単軸ばね要素
- ・階レベルと階の中間高さレベルに仮想に設けた剛梁（面外は壁剛性）
- ・曲げ剛性（剛）、せん断剛性を有する壁中央に設けた柱要素（軸剛性=0）
- ・壁上下の剛梁をつなぐ回転ばね要素

本モデルでは、連層耐震壁に作用する水平外力は、壁中央に設けた柱要素に中間高さレベルで曲げを発生させる。この曲げによって中間高さレベルの剛梁が回転し、単軸ばね要素に軸方向変形を発生させることで、連層耐震壁全体の曲げ性状を模擬する。本モデルによる連層耐震壁の曲げモーメント分布は、階の中間で階段状に変化する曲げモーメントとなり、連層耐震壁の三角形分布の曲げモーメントによる回転角と等価な回転角が生じる。

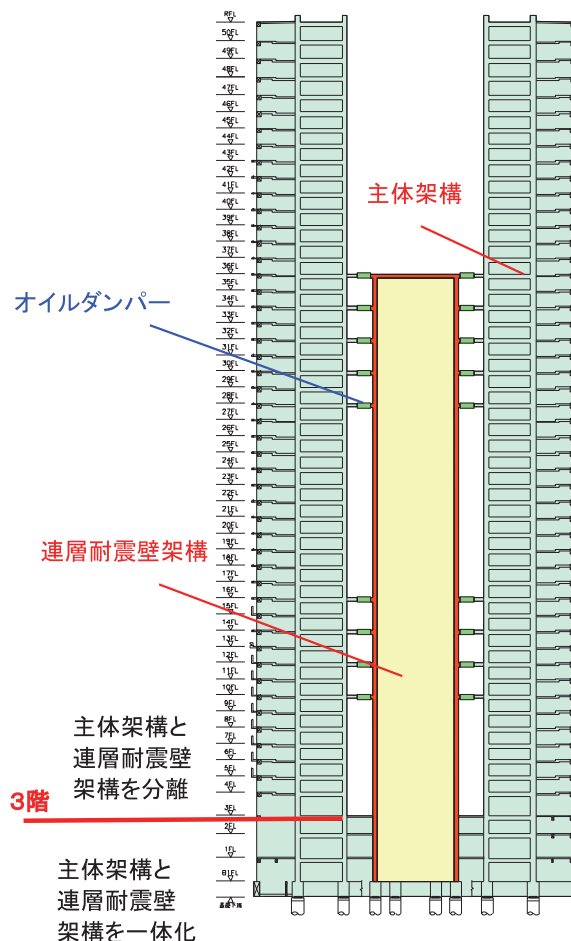


図-12 略断面図

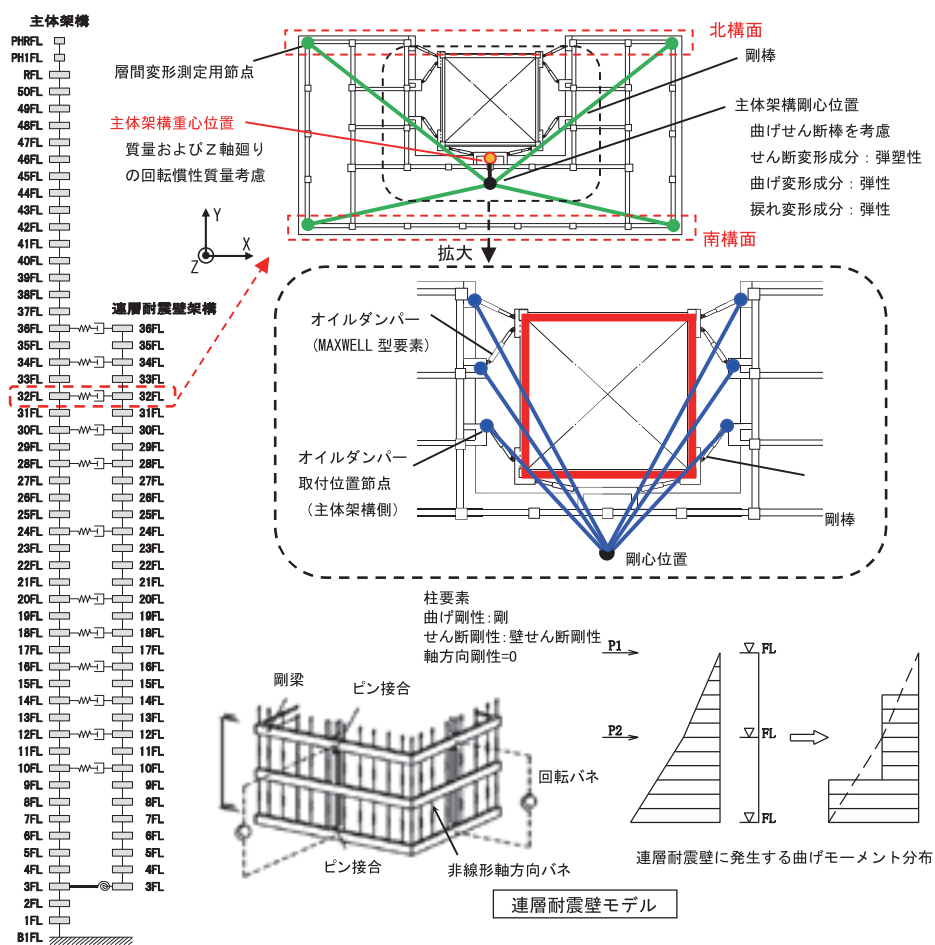


図-13 振動解析モデル

オイルダンパーは、主体架構、連層耐震壁架構の解析モデル間にMaxwell要素でモデル化するが、オイルダンパーの取付位置節点の座標を解析モデルに反映させ、主体架構剛心位置と剛棒で結ぶことにより、主体架構の振れ変形および連層耐震壁架構の壁板毎の変形と応力の評価を可能とする。

3.3 解析結果

上記の解析モデルを用いた地震応答解析を行い、パラメトリックスタディにより、オイルダンパーの配置を計画した。検討の結果となるオイルダンパーの配置を表-3に示す。具体的には、X方向のオイルダンパーは、主に南側(①)に配置し、32,34,36階のみ、北側(③)にも配置する計画とした。

図-14に、L2レベルの告示波の速度スペクトルを、図-15に告示波による応答解析結果となる南構面、北構面各々の応答層間変形角を示す。解析結果より、南構面・北構面の層間変形角に大差は無く、オイルダンパー配置により、振れ変形が低減されていることが確認できる。

表-3 オイルダンパー設置概要

階	X方向			Y方向
	①	②	③	
36	○	○	○	
35	—	—	—	
34	○	○	○	
33	—	—	—	
32	○	○	○	
31	—	—	—	
30	○	—	○	
29	—	—	—	
28	○	—	○	
27	—	—	—	
26	—	—	—	
25	—	—	—	
24	○	—	—	
23	—	—	—	
22	—	—	—	
21	—	—	—	
20	○	—	—	
19	—	—	—	
18	○	—	—	
17	—	—	—	
16	○	—	○	
15	—	—	—	
14	○	—	○	
13	—	—	—	
12	○	—	○	
11	—	—	—	
10	○	—	○	

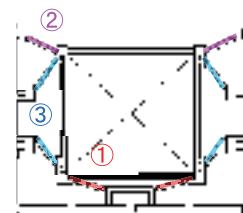


図-14 速度応答スペクトル

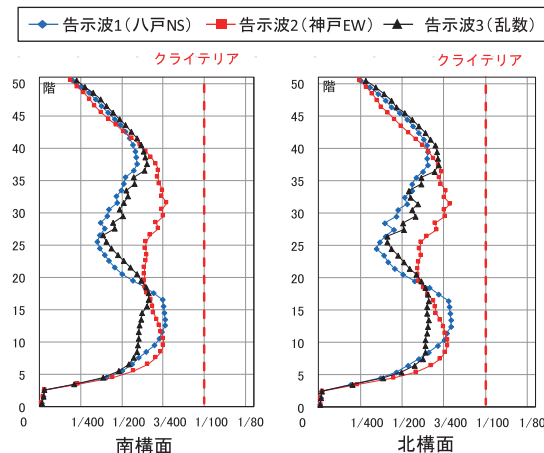


図-15 最大層間変形角

4. 免震・連結制振ハイブリッド構造の紹介

連結制振構造は、2つの構造体の固有周期差を利用する構造形式であるが、より幅広い周期帯を持ち、かつより大きな地震動レベルに対して、ロバスト性や冗長性のある耐震性の非常に高いシステムとして、連結制振構造と免震構造を組み合わせたハイブリッドシステムを紹介する。

免震・連結制振ハイブリッド構造の概念図を図-16に示す。以下に、免震・連結制振ハイブリッド構造の概要と、試設計建物を用いた地震応答解析について記述する。

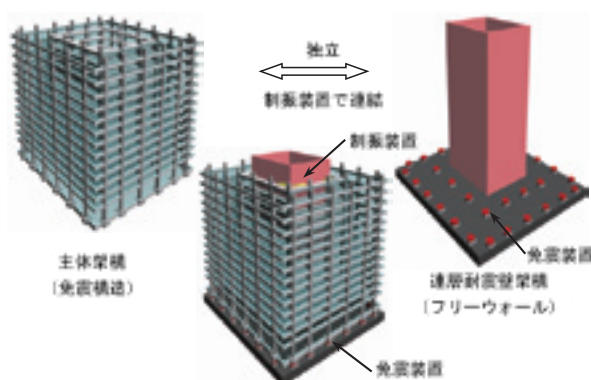


図-16 免震・連結制振ハイブリッドシステムの概要

4.1 免震・連結制振ハイブリッド構造の概要

免震・連結制振ハイブリッド構造は、前述した連結制振構造よりも制振効果が高く、かつ免震構造よりも不確実な外乱に対して耐震性が高くかつ長周期地震動に対して非常に効果的な構造である。以下に免震・連結制振ハイブリッド構造の特徴を示す。

免震・連結制振ハイブリッド構造は、固有周期の大きく異なる2つの構造体を制振装置で連結することにより、地震波の幅広い卓越周期領域に対して制振装置が効率的にエネルギーを吸収して、大きな制振効果を得ることが

できる。図-17により、短周期領域から長周期領域まで応答値を低減することが可能である。また、連結制振構造の一要素である連層耐震壁架構間との衝突を先行させることによるフェイルセーフ機構を設けることにより冗長性の向上を図る。このような機構により、特定層だけが衝突することによる衝突エネルギーの集中や外周擁壁の剛性低下、破壊による免震層の変形増大による積層ゴムの破断の懸念がある一般の免震構造と異なり、衝突が生じても連結制振ダンパーがショックアブソーバーとして機能し、衝突エネルギーの集中を緩和する効果がある。ただし、冗長性の向上を図る上での重要な要素であるフリーウォールは衝突に際し、十分な安全性を確保するとともに、衝突後も連結制振ダンパーが有効に機能を発揮するように許容ストローク長を設定する。図-18にロバスト性あるいは冗長性に関する機構の概念図を示す。

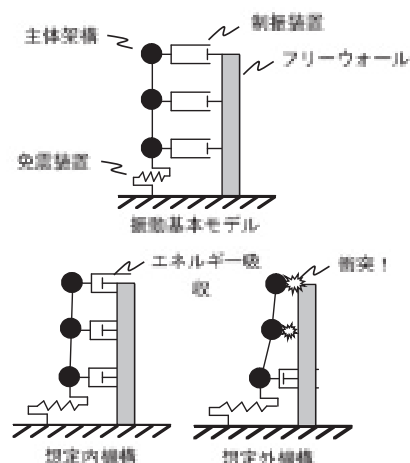


図-18 ロバスト性に関する機構概念図

4.2 試設計建物

主体架構を免震構造建物とし、その中央吹抜部に剛強な心棒（連層耐震壁架構）を設けて制振装置（オイルダンパー）により連結する構造システムを検討する。

外周部のRC造純ラーメン架構を免震構造とし、架構間の固有周期差を大きくすることで、連結制振構造よりもさらに制振効果を高めている。

具体的には、免震構造の超高層RC造純ラーメン架構（主体架構）と立体駐車場内蔵型のRC造連層耐震壁架構からなる41階建ての建物を設定する。連層耐震壁架構の総高さは主体架構の2/3程度とする。主体架構と連層耐震壁架構間のクリアランスは、750mmとする。

外周部の主体架構の1次固有周期は6.85秒（免震層；微小変形時）、連層耐震壁架構の1次固有周期は0.60秒である。

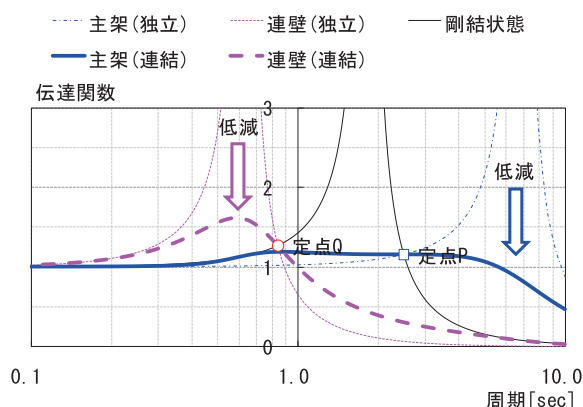


図-17 卓越周期と伝達関数の関係

構造計画の基準階伏図と軸組図を図-19に、免震装置、制振装置の詳細を表-4、表-5に示す。

4.3 地震応答解析

(1) 地震応答解析概要

地震応答解析は、立体フレームモデルによるP- Δ 効果を考慮した弾塑性地震応答解析とし、減衰は瞬間剛性比例型(減衰定数3%)とした。

検討において、連層耐震壁構造の無い外周免震構造架構だけの場合(以下:免震構造)と、外周架構が耐震構造である連結制振構造の場合(以下:連結制振)

との比較検討を行う。免震構造は、上部架構および免震装置は免震・連結制振ハイブリッドモデルと同様で、免震層に減衰装置としてオイルダンパー4台(1台の初期減衰係数2.5MNsec/m、

免震層としての減衰係数10MNsec/m)と鋼棒ダンパー(降伏強度12,000kN)を設けた。鋼棒ダンパーの降伏荷重はレベル1の風荷重で降伏に至らないよう降伏強度を設定した。免震層が微小変形時の1次固有周期は4.50秒である。告示波での免震構造の応答値が一般的な免震構造建物のクライテリアを超えているが、免震構造・連結制振ハイブリッド構造との比較検証が目的であるため、敢えて免震・連結制振ハイブリッドモデルの外周架構と同一の構造性能を有する架構を選択した。また、解析においては、長継続時間地震動の影響によるダンパーの耐力劣化などは考慮しないこととした。

連結制振構造は免震・連結制振ハイブリッドモデルの免震装置を設けないモデルであり、主体架構の1次固有周期は3.82秒である。

(2) 採用地震動

採用した地震動は、海溝型地震と内陸直下型地震を想定し、①南海トラフ地震動、②上町断層帯地震動を採用する。図-20に採用地震動および告示波の速度応答スペ

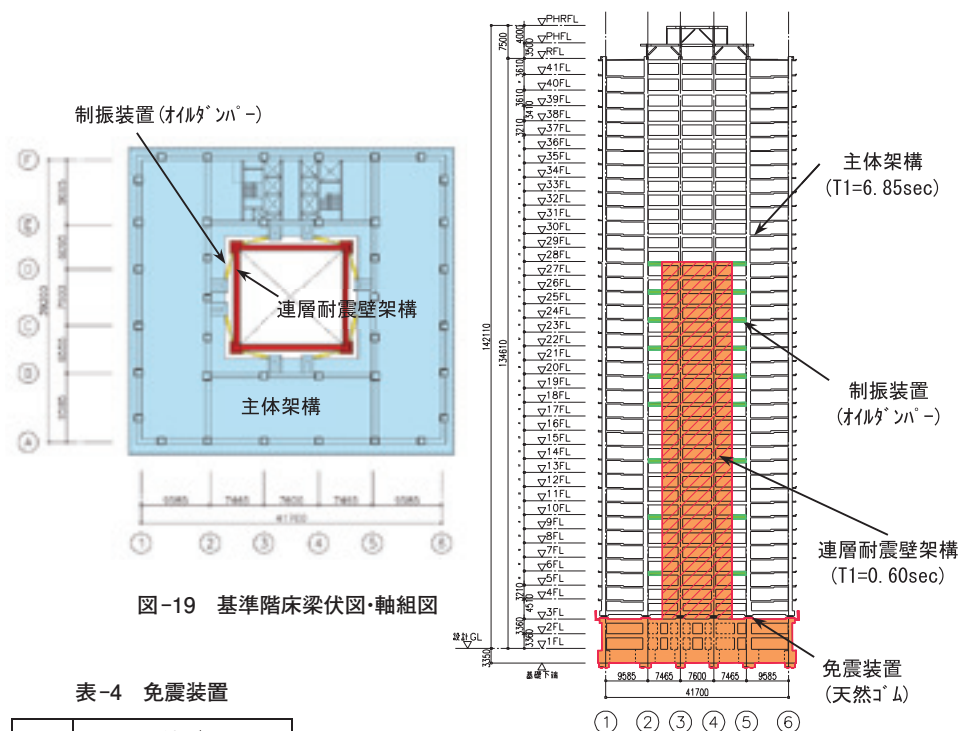


図-19 基準階床梁伏図・軸組図

表-4 免震装置

免震層	天然ゴム	
	外径 (mm)	設置台数
	1000	4
	1300	4
	1400	14
	1500	16

表-5 制振装置(オイルダンパー)

設置階	初期減衰係数	リリース減衰力	リリース後減衰係数	最大減衰力
28, 26, 24, 22, 20, 18, 14, 10, 6 階	2.5 MNsec/m	800 kN	0.1695 MNsec/m	1000 kN

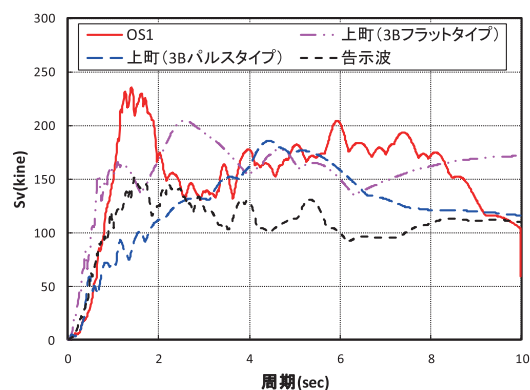


図-20 採用地震動 速度応答スペクトル(H=5%)

クトル (H=5%) を示す。

①南海トラフ地震動は、国土交通省「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策案について」³⁾において、近畿圏の地震動として公表された「OS1地震動」を、大阪市内某所での表層地盤を基に作成した地表面波を採用する。「OS1地震動」は、告示波を大きく上回り、かつ継続時間600秒

以上の地震波であるため、告示波で設計された長周期の超高層建物あるいは免震構造物の応答結果が増大することが想定される地震動である。

②上町断層帯地震動は、「上町地震動耐震設計指針」におけるA3ゾーンでのレベル3B地震動（フラットタイプ、パルスタイプ各1波）とする。継続時間は短い、直下型地震動の特徴であるパルス性を有する地震動である。速度応答スペクトルより、告示波に比べ全周期帯にわたり大きなパワーを有し、建物の倒壊・崩壊を引き起す可能性がある地震動である。特に、周期2秒以降に大きなパワーを有し、長周期である超高層建物あるいは免震構造物に与える影響が大きい。また、パルス性を有することより、応答結果が一方向に水平変形を与えた状態になることが想定され、柔らかい層（例えば、免震層）あるいは弱い層に集中することが推察される。

(3) 解析結果

地震応答解析における最大応答層間変形角、最大応答変形、最大応答層せん断力係数を図-21に示す。

①告示波、OS1波（南海トラフ地震動）

最大応答層間変形角は、免震・連結制振ハイブリッドモデルでは、告示波で1/204、OS1波で1/162となり、一般的な耐震構造でのクライテリアである1/100に比べ非常に小さい。連結制振構造では、告示波で1/138、OS1波で1/70、免震構造では、告示波で1/82、OS1波で1/42となり、上部架構が一部塑性化していると考えられる。

②上町断層帯地震動

最大応答層間変形角は、免震・連結制振ハイブリッドモデルでは3Bフラットタイプ地震動で1/108、3Bパルスタイプ地震動で1/107、連結制振構造では3Bフラットタイプ地震動で1/68、3Bパルスタイプ地震動で1/71、免震構造では3Bフラットタイプ地震動で1/49、3Bパルスタイプ地震動で1/65となる。

以上より、いずれの地震動においても免震・連結制振ハイブリッドモデルの応答値が最も小さいことが示される。特に、OS1波における低減率が大きくなるが、図-22のエネルギー消費量に示すように、オイルダンパーの消費エネルギーが入力エネルギーの90%以上を消費しているためである。これは、本構造システムが、特に長周期長継続地震動に対して非常に大きい減衰性能を有していることを示しており、最近、特に発生が懸念されている南海トラフ沖地震などの海溝型地震動に対しても非常に有効な構造システムであるといえる。

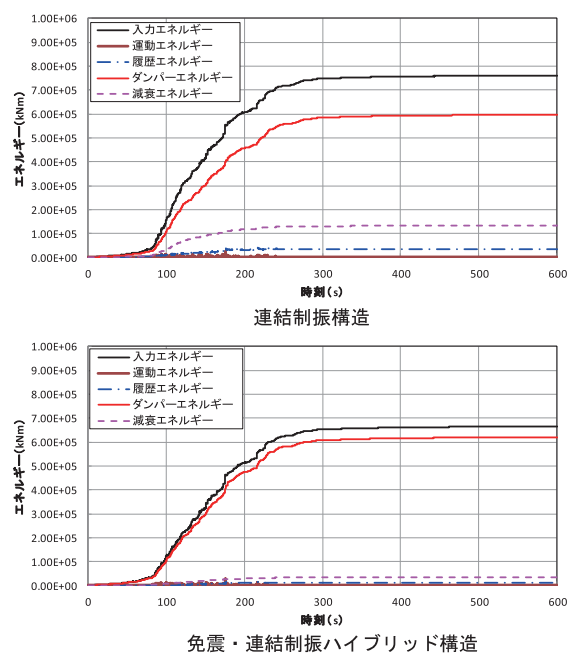


図-22 エネルギー応答結果(OS1波)

5. まとめ

連結制振構造を利用した超高層RC造建物の構造設計における、様々な事例について紹介した。今後とも、本システムを有効に利用し、安全と安心を提供できる建物を提案していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 西村勝尚, 福本義之, 和田祐介: 連結制振構造を適用した超高層RC造建物の制振効果、日本建築学会技術報告集、Vol.14, No.28, pp.417-422, 2008.
- 2) 大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動及び設計法に関する研究会: 大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および耐震設計指針, 2015.
- 3) 国土交通省: 超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策案について, 2017

【執筆者】



*1 福本 義之
(FUKUMOTO Yoshiyuki)



*2 西村 勝尚
(NISHIMURA Katsuhisa)



*3 笹元 克紀
(SASAMOTO Katsunori)



*4 片岡 大
(KATAOKA Masaru)

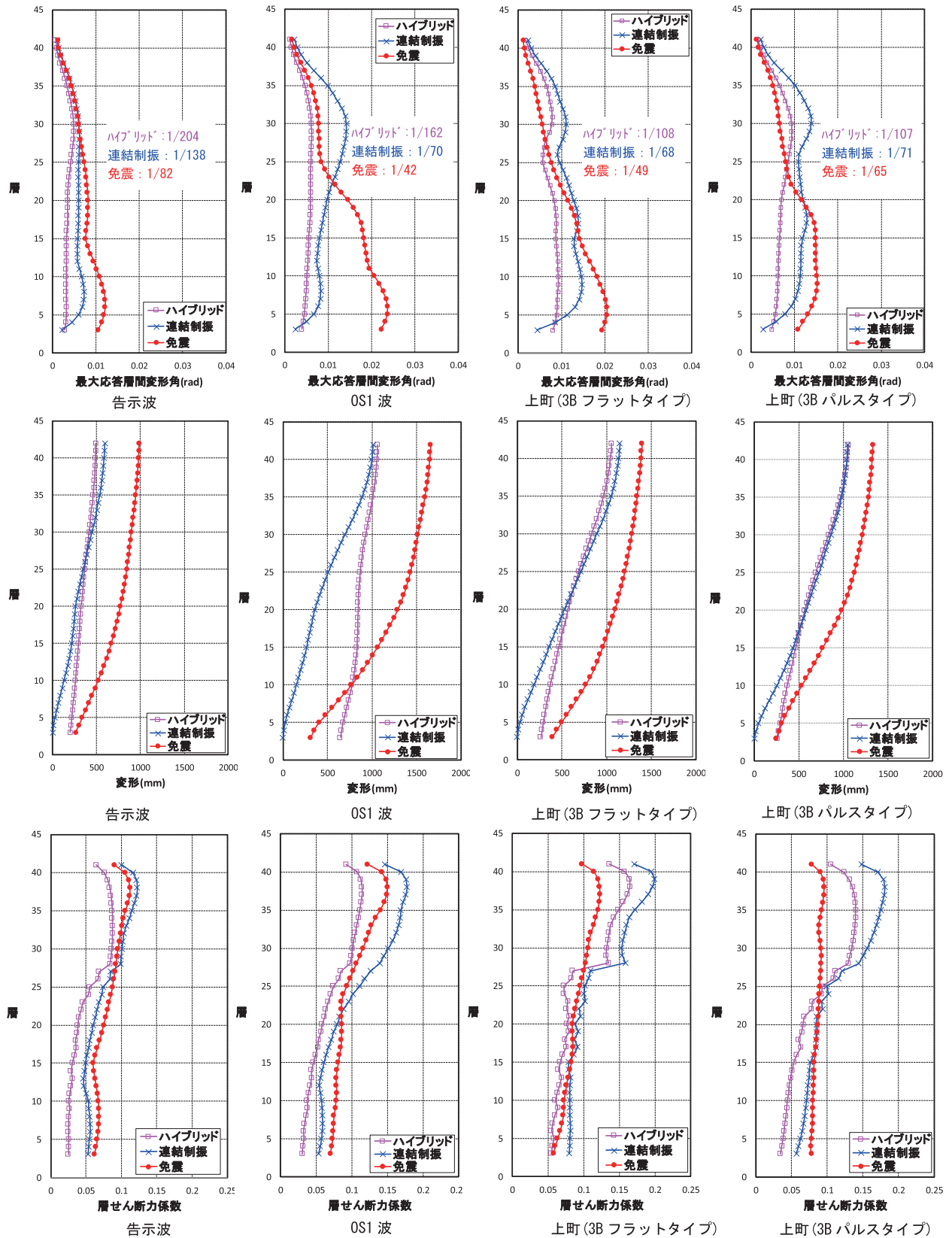


図-21 地震応答解析結果

(上段：最大応答層間変形角，中段：最大応答変形，下段：最大応答層せん断力係数)