

## 専門家ミーティング(第3回)

### 資料2 「建物の構造解析及び各種対策工法について」

2016年7月15日

# 1.大阪府咲洲庁舎の現状補強の概要

南海トラフを震源とする海洋型地震が発生した場合、建物建設時に想定した地震動よりも長周期成分が卓越する地震動が建物に作用する可能性が極めて大きい。



2011年度に、当時国交省から出されたパブリックコメントに示された長周期地震動に対する耐震補強設計を実施。  
2012年2月性能評価書取得、同年7月大臣認定書取得。



上記設計に基づき、咲洲庁舎に制震ダンパーを設置する耐震補強工事を実施(2014年1月完了)。

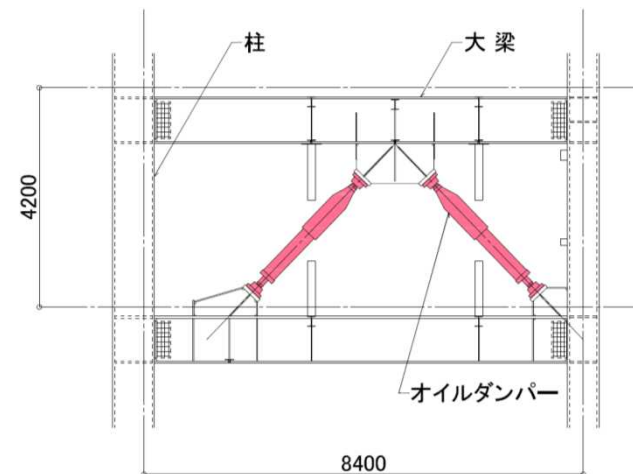
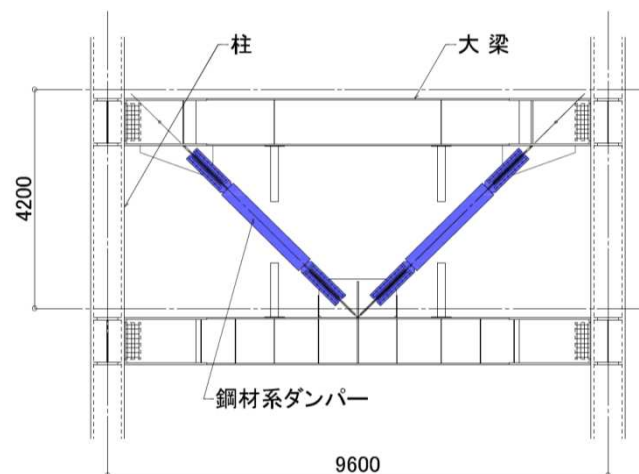
## ■ 長辺方向

建物の剛性・耐力を付加する鋼材系ダンパーを152台設置。

## ■ 短辺方向

揺れ幅と揺れの継続時間を低減し、室内の安全性向上と建物利用者の心理的負担を軽減するため、オイルダンパーを140台設置。

## 【制震ダンパー姿図】



### 鋼材系ダンパー

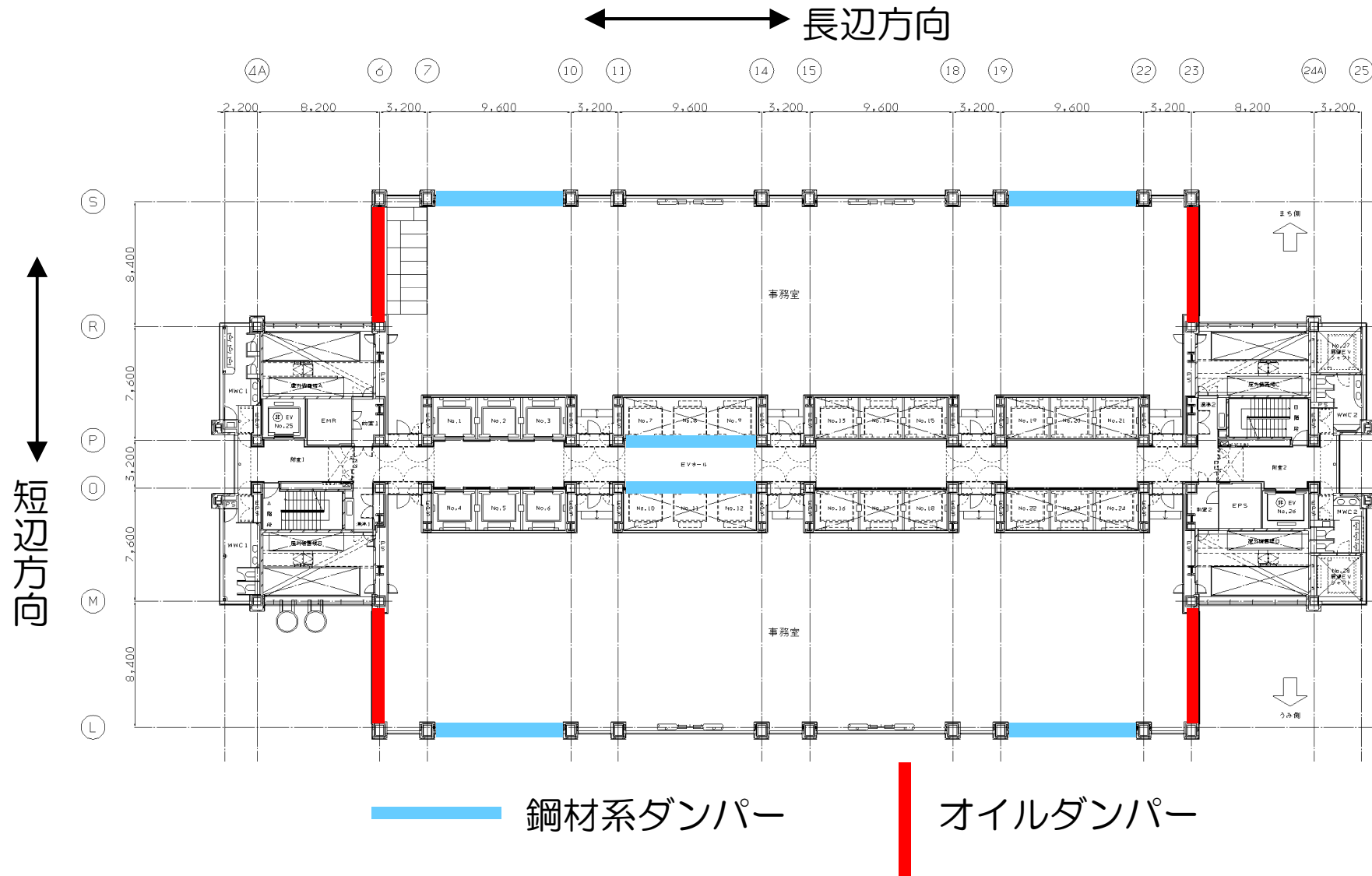
鋼材の塑性変形を利用して地震エネルギーを吸収し、建物の揺れや構造体に与える損傷を軽減する。



### オイルダンパー

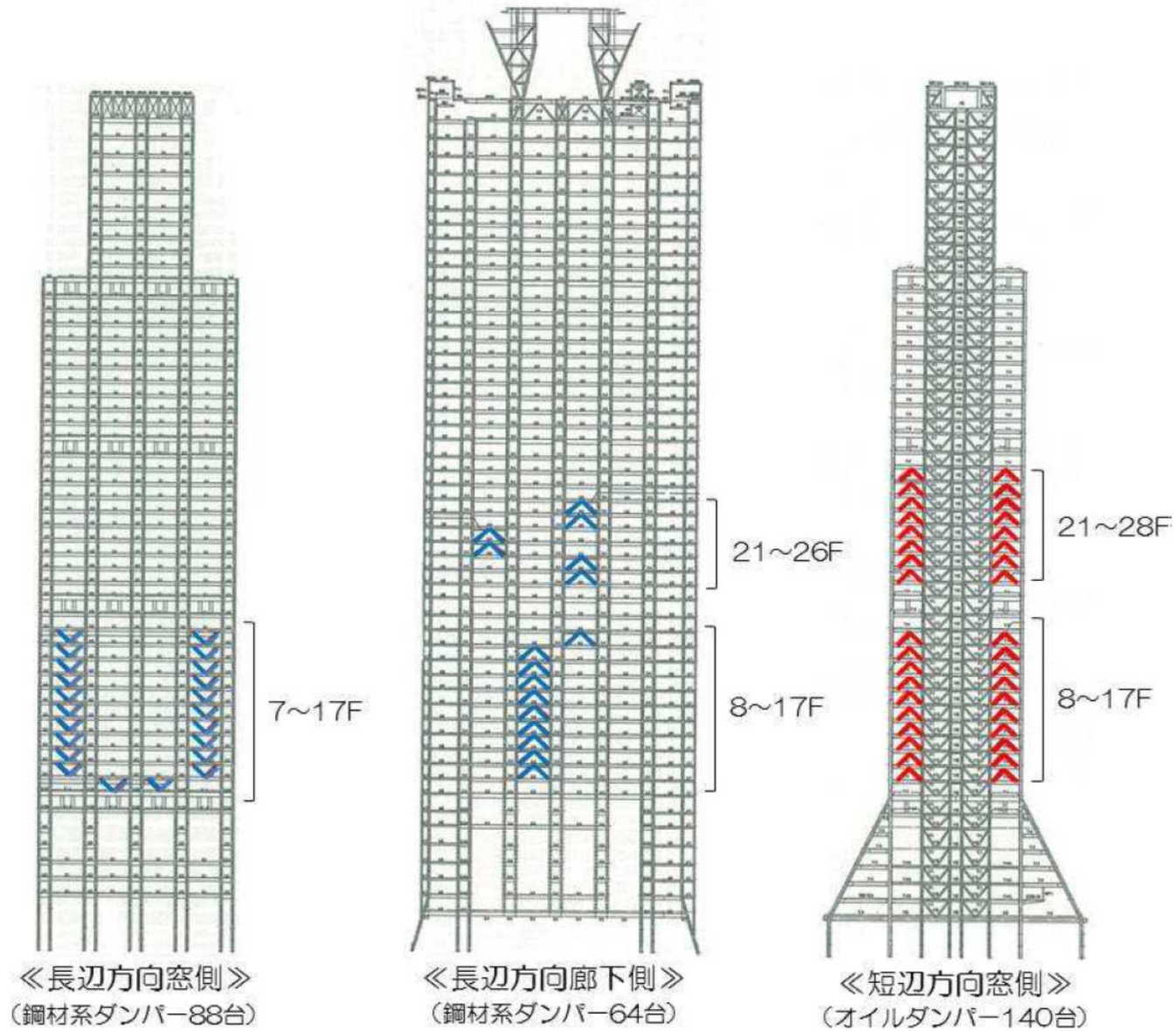
オイルの粘性を利用して地震エネルギーを吸収する。

# 【制震ダンパー設置場所(建物平面図)】



# 【制震ダンパー設置場所(建物断面図)】

【制震ダンパー設置場所(建物断面図)】

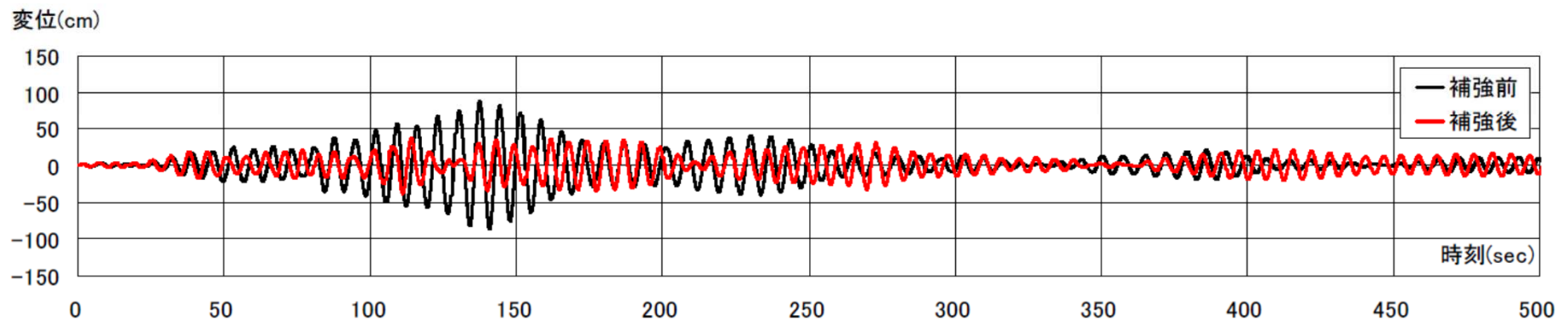


# 【現状補強の効果の検証】

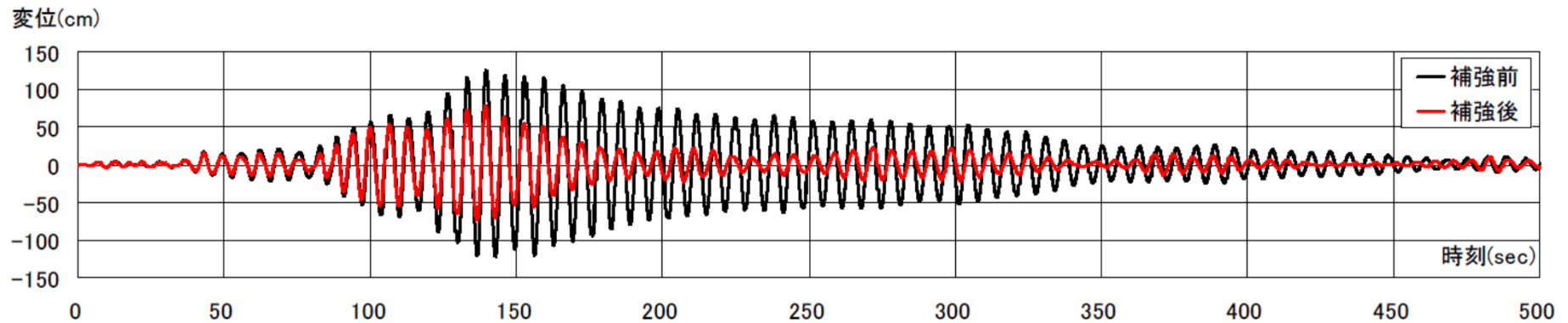
## 長周期改修工事の効果

—3.11 東北地方太平洋沖地震を入力したシュミレーション結果—

長辺方向 51階の揺れ

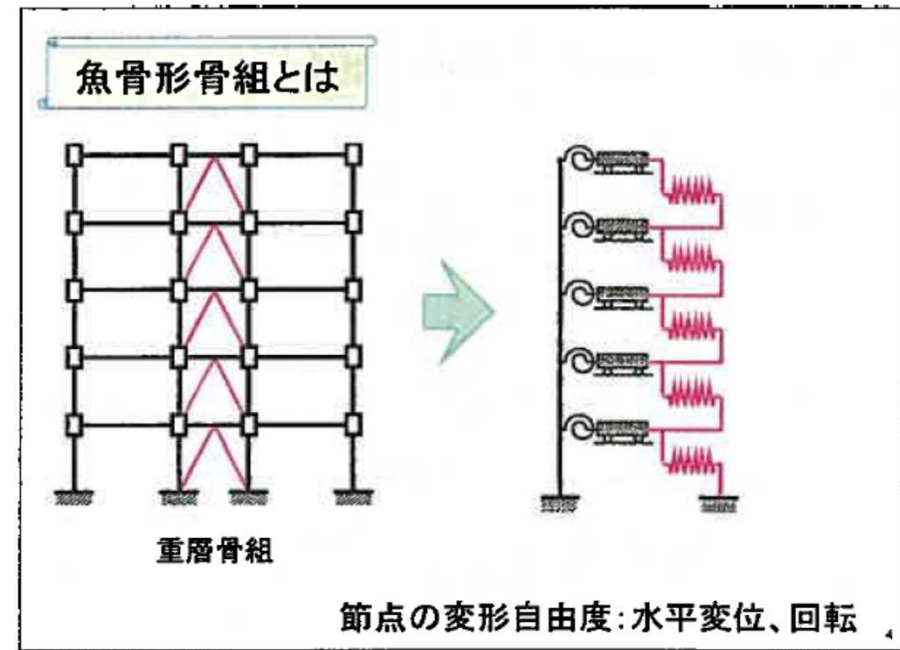
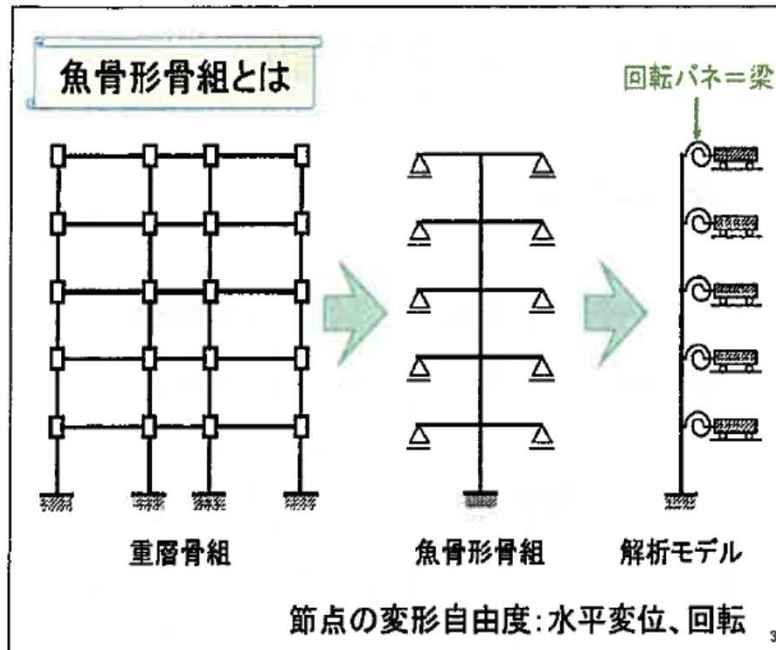


短辺方向 51階の揺れ



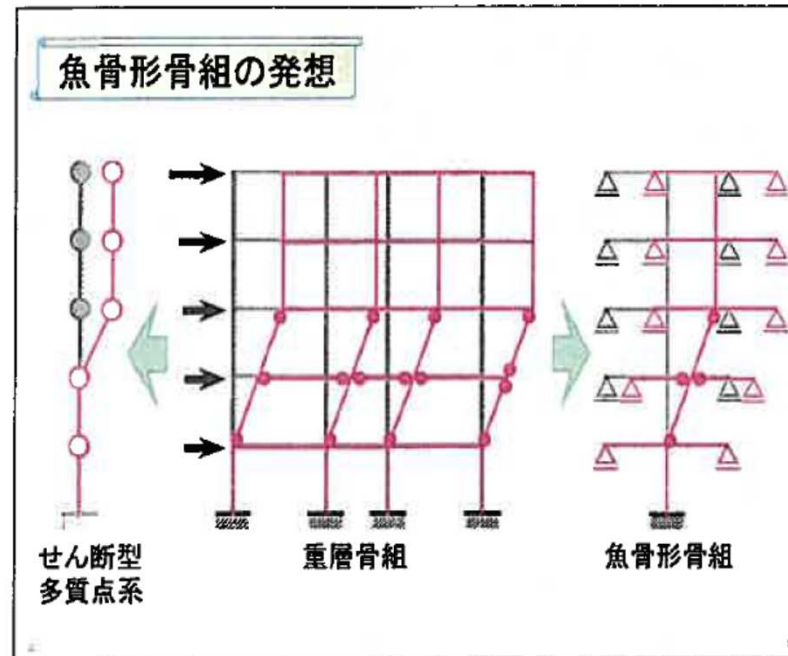
## 2.魚骨モデルの説明

### 2-1 一般的な概要説明



- ・各柱梁を集約し、魚骨形骨組に置換
- ・魚骨梁は各層位置で柱の回転を拘束するバネとする
- ・軸ブレース、粘性ダンパーは層間変形に依存するせん断バネとする

## 2-1 一般的な概要説明



### せん断型多質点系

- ・柱の反曲点の移動による崩壊機構が変化する挙動が表現できない  
→1層での層崩壊する倒壊形式しか扱うことができない

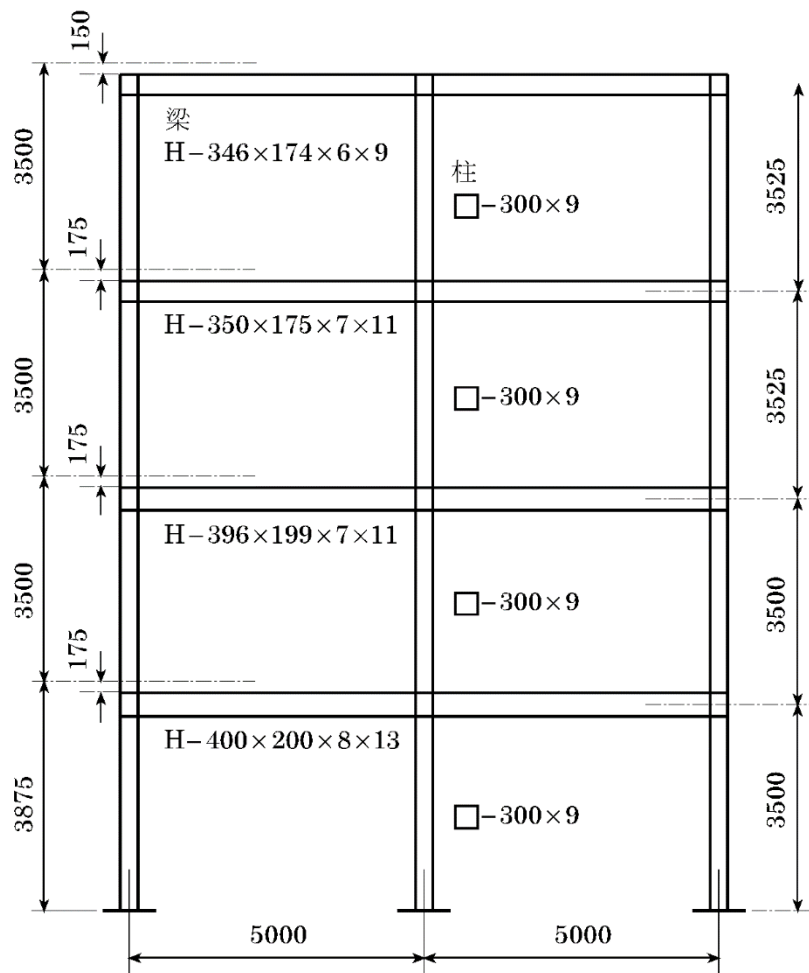
### 魚骨形骨組

- ・複数層に渡る層崩壊挙動を表現することができる



## 2-2 解析プログラムの妥当性確認

2007年、E-ディフェンスで実施された実大4層鉄骨造建物の倒壊実験による fish(本検討で用いる解析プログラム)とclubの比較



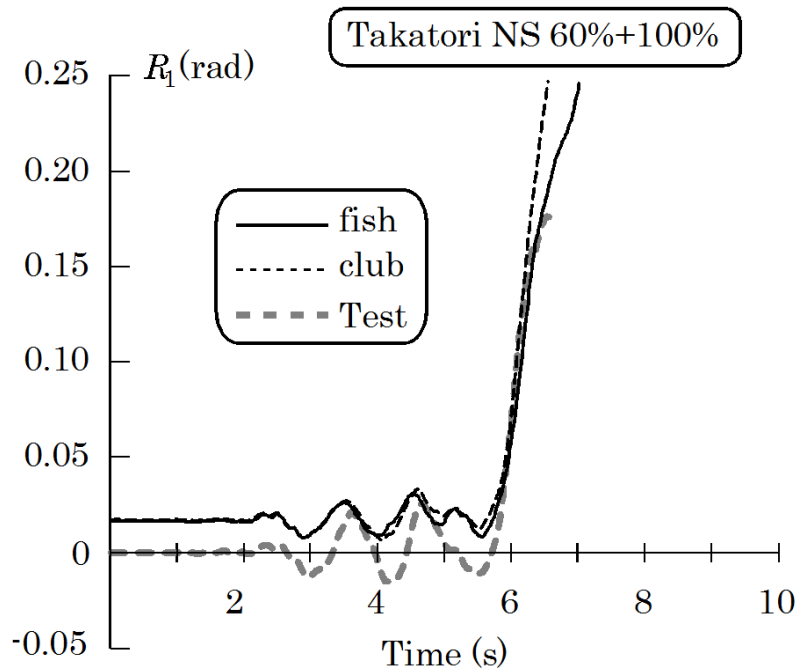
Y方向骨組の形状寸法と部材断面

固有周期

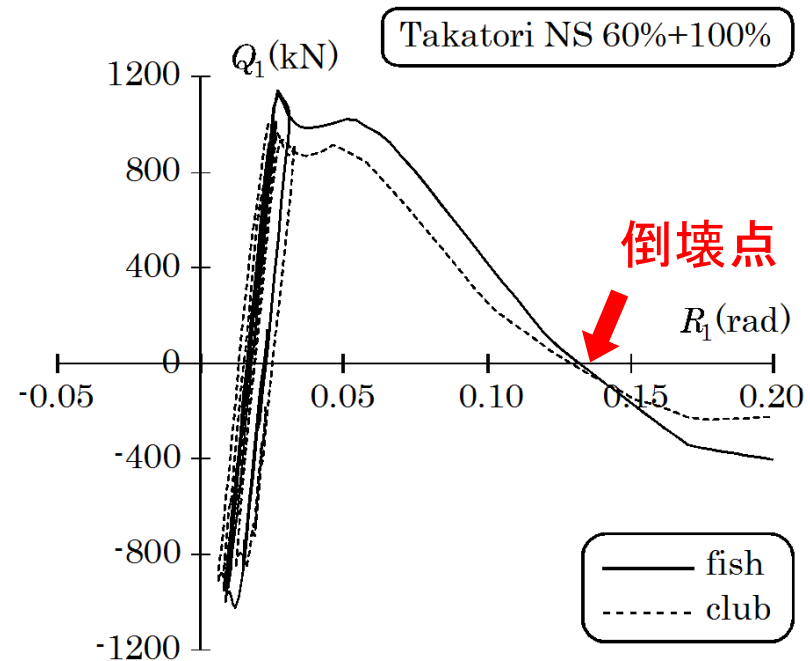
	1次	2次
club	0.813	0.257
fish	0.815	0.259

JR Takatori Ns 60%+100%を入力

## 2-2 解析プログラムの妥当性確認



(a) 第1層の層間変位角の時刻歴



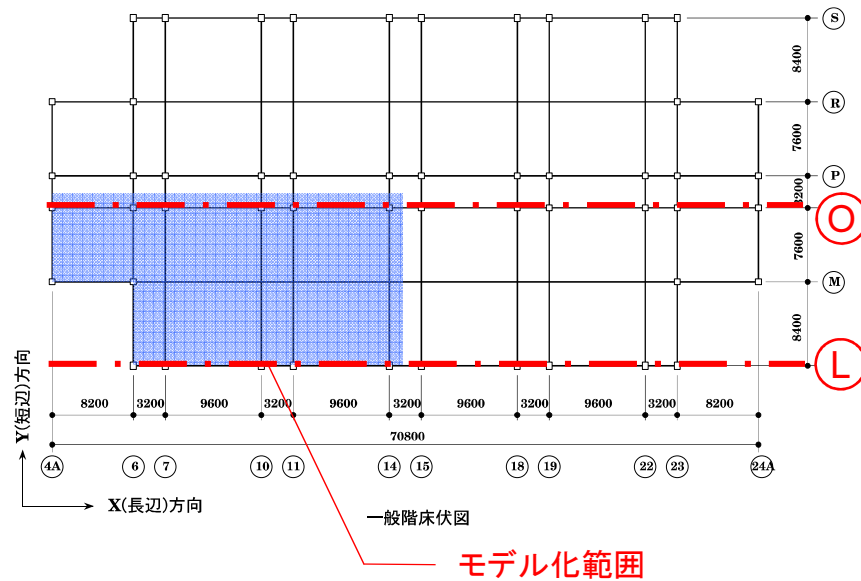
(b) 第1層の層せん断力-層間変位角関係

Takatori NSの60%波+100%波に対する応答(100%に対する応答のみ表示)

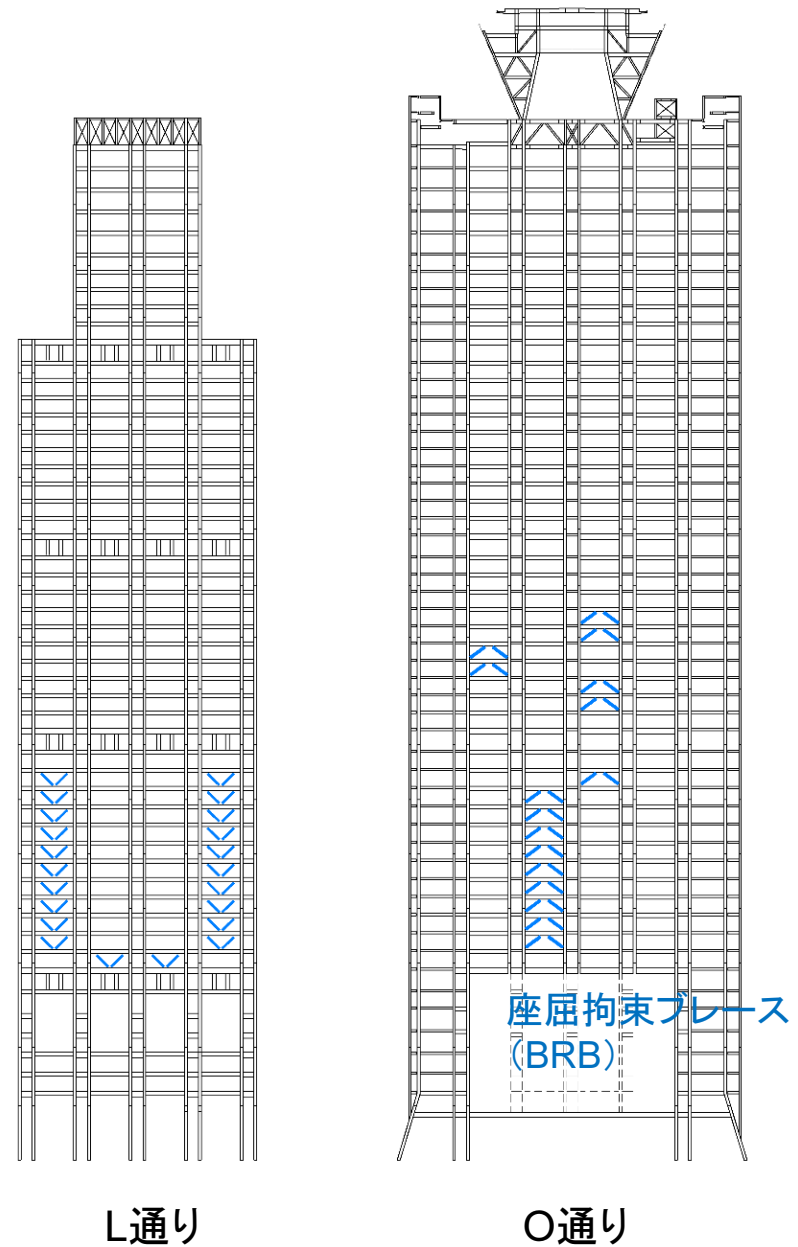
- ・倒壊に至るまでのclub, fishによる層間変位時刻歴の計算結果は、実験結果とほぼ一致する
- ・倒壊点における変位は第1層に集中し、この動的崩壊モードは実験結果と一致する

### 3. 咲洲庁舎の魚骨モデル

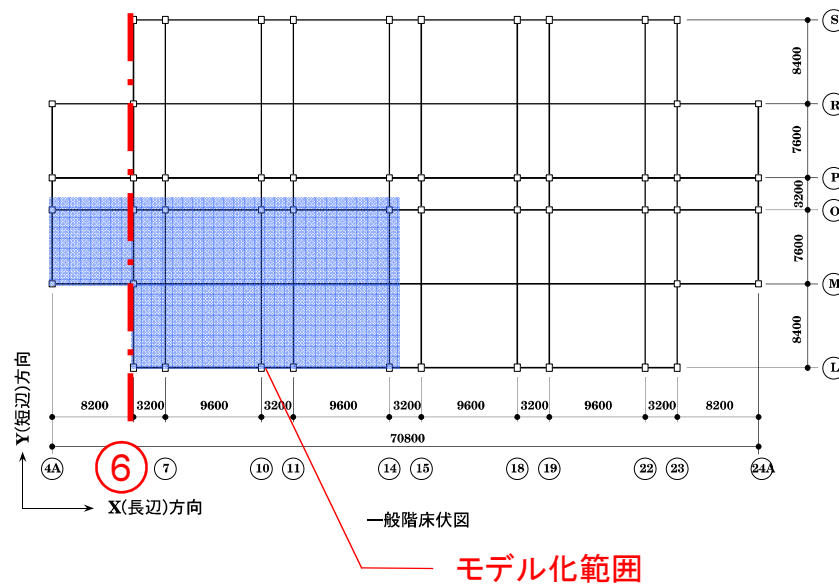
#### 3-1 長辺方向モデルの特徴



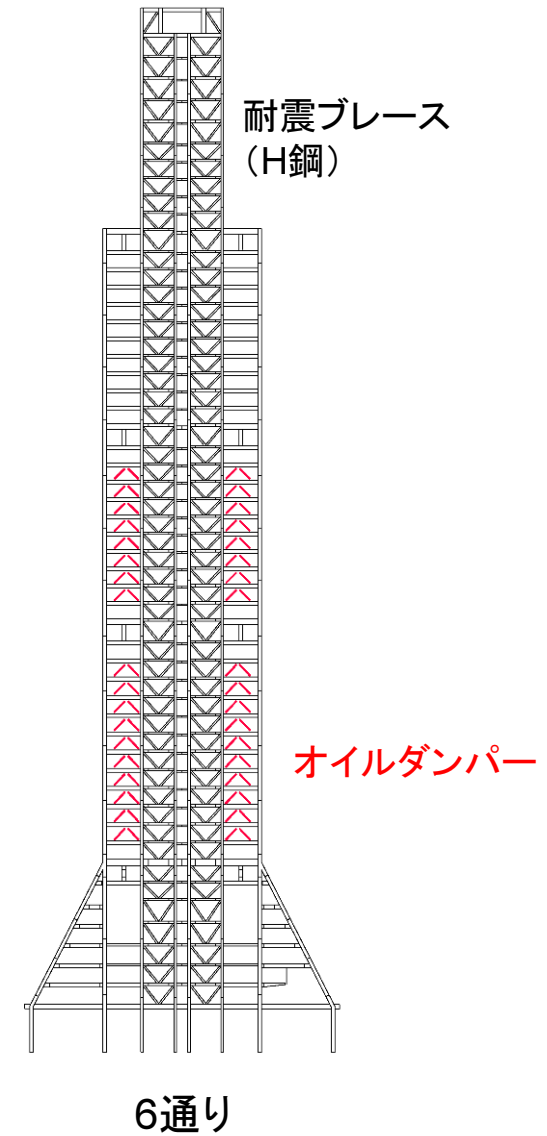
- ・形状の対称性より、L-O通りをモデル化
- ・各通り、短スパン梁と長スパン梁の性状を確認するため、別の魚骨梁群としてモデル化
- ・座屈拘束ブレース(BRB)はL通り、O通りごとにモデル化



## 3-2 短辺方向モデルの特徴

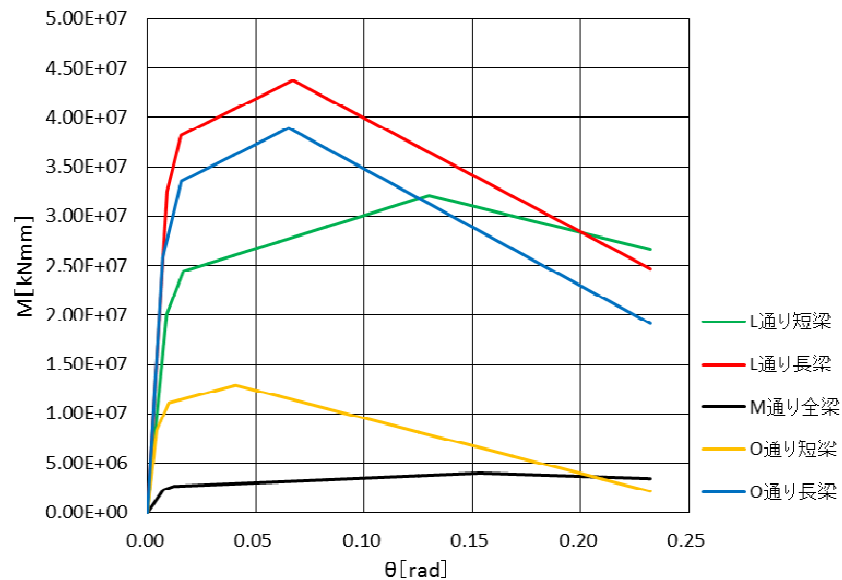


- ・形状の対称性より、4A-14通りをモデル化
- ・各通りごとに、別の魚骨梁群としてモデル化
- ・オイルダンパー、耐震ブレースはそれぞれ魚骨ブレース群としてモデル化

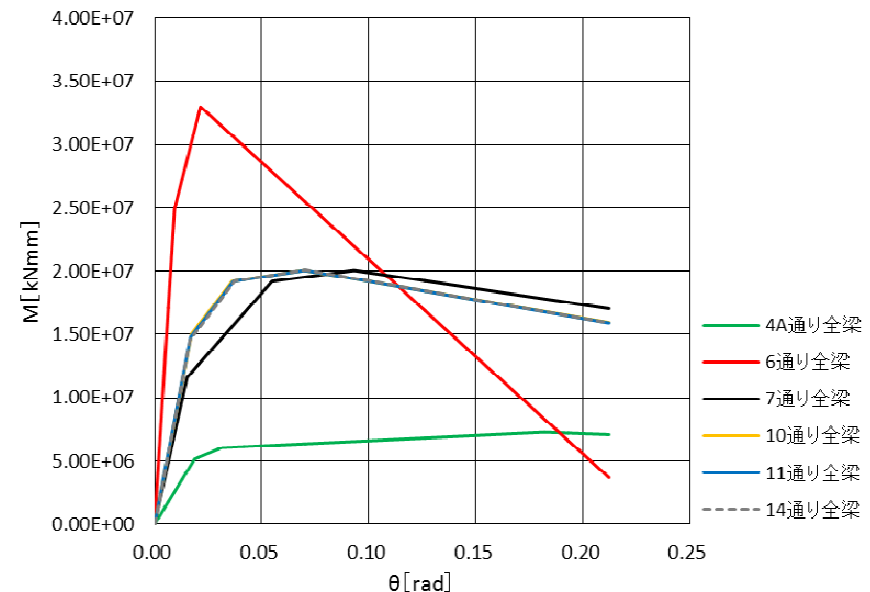


### 3-3 解析条件の説明

- ・魚骨梁のM- $\theta$ 関係はPoly Linear及びTri Linear型とし、弾性剛性は歪エネルギー等価の方向で算定する。
- ・魚骨梁のM- $\theta$ 関係の第1折曲り点は各層の梁の第一ヒンジ発生点とし、弾性解析結果を考慮して決定する。第1折曲り点後の第2勾配は初期剛性の1/4、第3勾配は歪み硬化による耐力上昇勾配、第4勾配は加藤・秋山モデルによる耐力劣化勾配とする。
- ・短辺方向の魚骨梁における歪み硬化による耐力上昇勾配と劣化勾配は、各々の梁の内、最も条件の厳しい値を採用する。



26階(27層)長辺方向魚骨梁のモデル化



32階(33層)短辺方向魚骨梁のモデル化

### 3-3 解析条件の説明

- ・P- $\Delta$ 効果を考慮する
- ・柱のM- $\theta$ 関係は完全弾塑性型とする。  
柱のMpnは常時荷重下の軸力で算定する。ただし、長辺方向M通り、短辺方向6通りの筋違支持柱はMpn=0とする。
- ・長辺方向の座屈拘束ブレース(BRB)は、降伏軸力Nyの完全弾塑性型復元力特性を有する軸力材とする。
- ・短辺方向6通りの耐震ブレースは、座屈後安定耐力Nuの完全弾塑性型復元力特性を有する軸力材とする。
- ・減衰特性は長辺方向2%、短辺方向1%の初期剛性比例型とする。
- ・長辺方向の解析では、まず予備応答解析を行い、損傷度 $D \geq 1$ となる○通り短梁を取り除いて、本解析を行う。  
(中央破壊解析時は23~25階、西破壊解析時は、21~27階を除去)
- ・短辺方向の解析においても予備応答解析を行い、オイルダンパーのストロークが可動限界100mmを超える箇所を取り除いて、本解析を行う。  
(西破壊解析時のみ、8~17階を除去)

## 4.魚骨モデルの解析結果

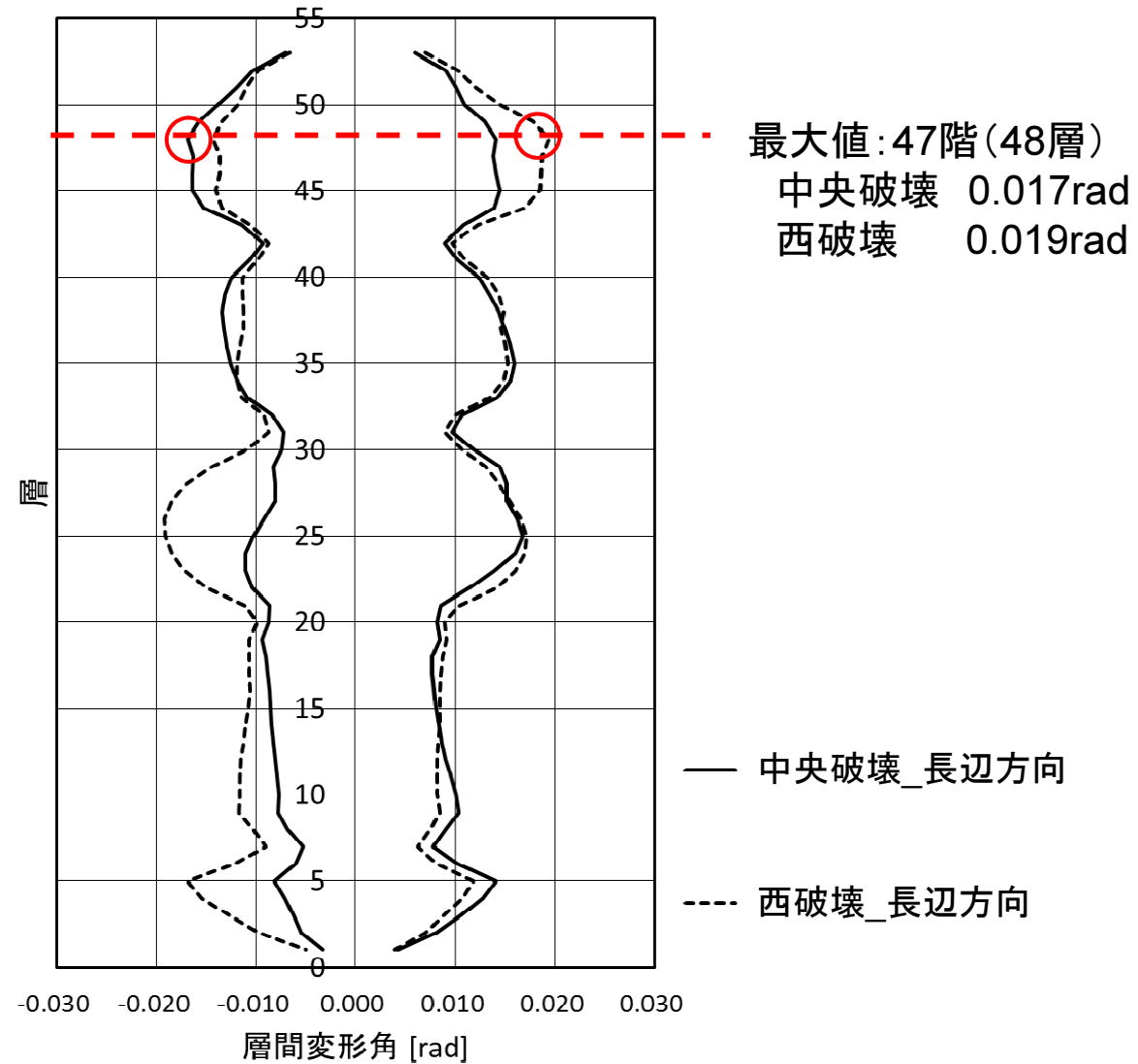
### 4-1 固有周期

計算値	対象骨組	長辺方向1次	長辺方向2次	短辺方向1次	短辺方向2次
等価せん断 モデル	原骨組	7.00		6.60	
	現状補強骨組	6.21	2.50	6.56	2.69
魚骨モデル	原骨組	7.04	2.60	6.58	2.71
	現状補強骨組	6.18	2.44	6.58	2.71

# 4.魚骨モデルの解析結果

## 4-2 長辺方向の解析結果

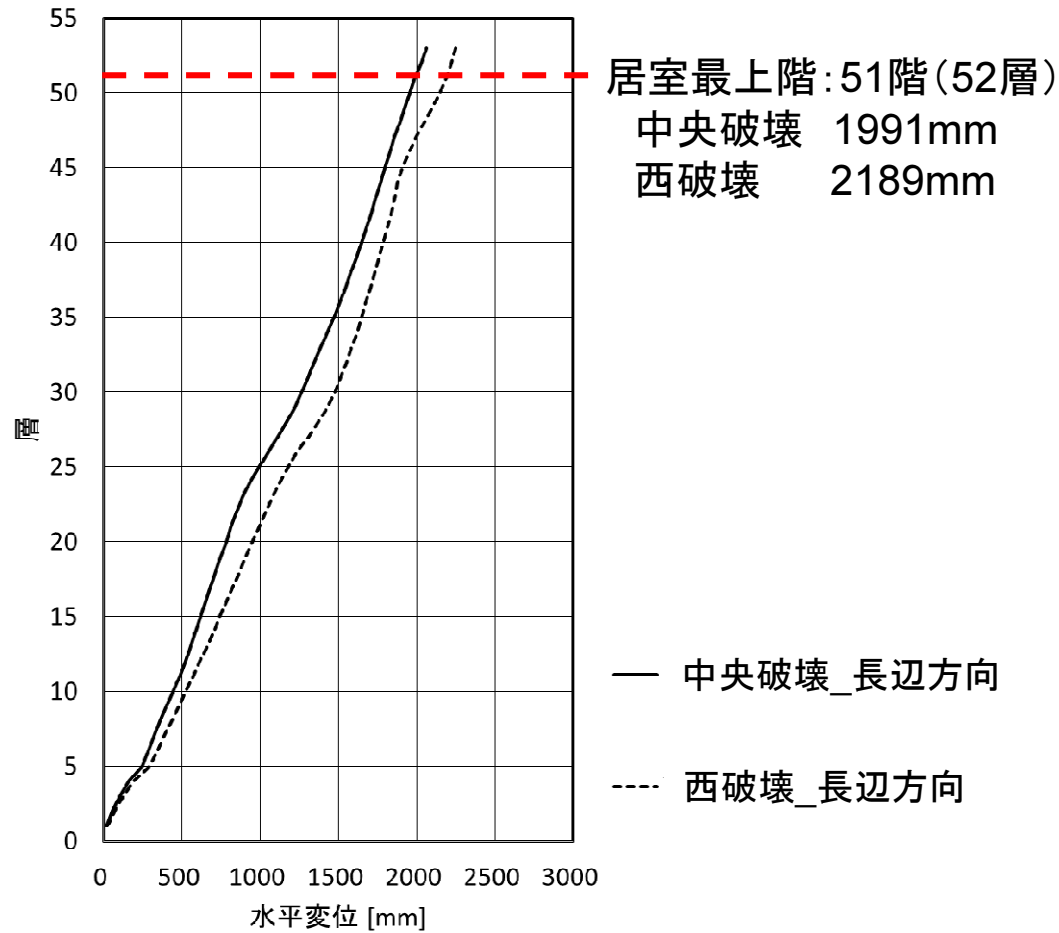
■ 層間変形角



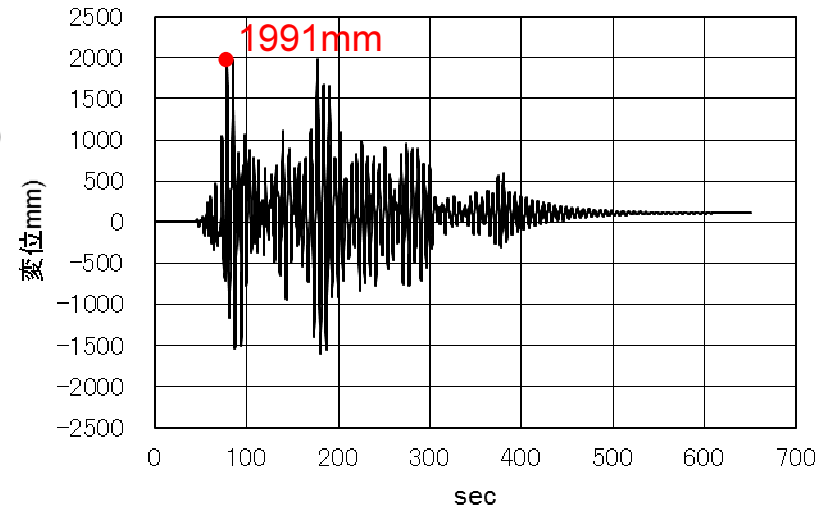


## 4-2 長辺方向の解析結果

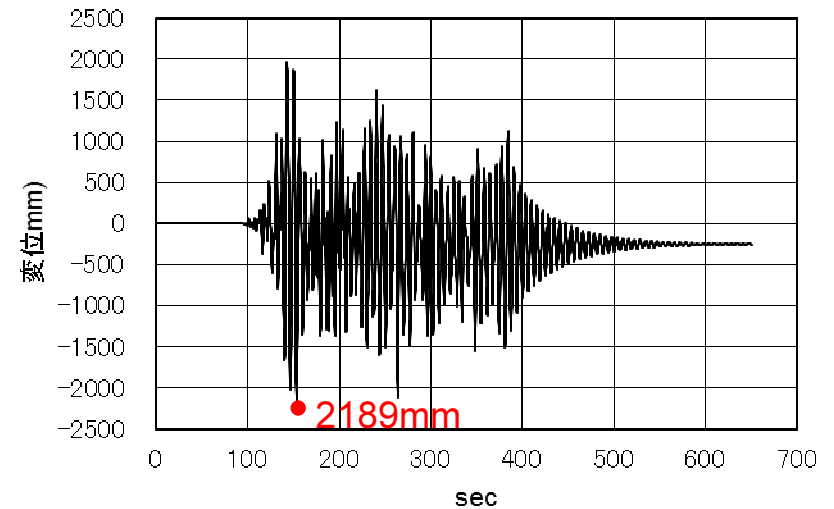
### ■ 相対変位(片振幅)



中央破壊(長辺方向) 51階変位時刻歴

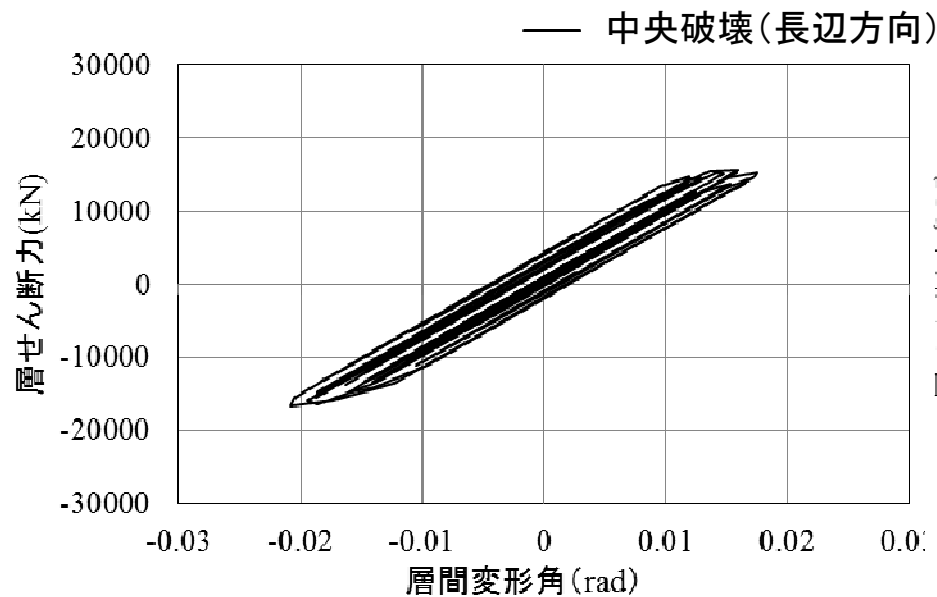


西破壊(長辺方向) 51階変位時刻歴

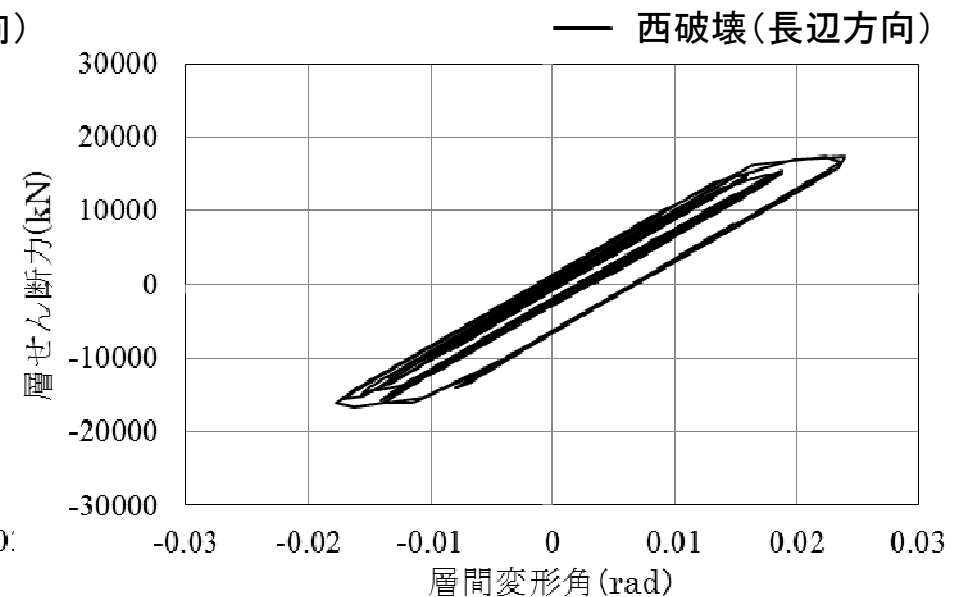


## 4-2 長辺方向の解析結果

### ■層の層せん断力(Q)-層間変位(r)関係図



中央破壊 47階(48層)



西破壊 47階(48層)

履歴曲線は安定した応答の範囲内にある

## 4-2 長辺方向の解析結果

### ■応答値(最大値)まとめ

<変形角、変位、柱>

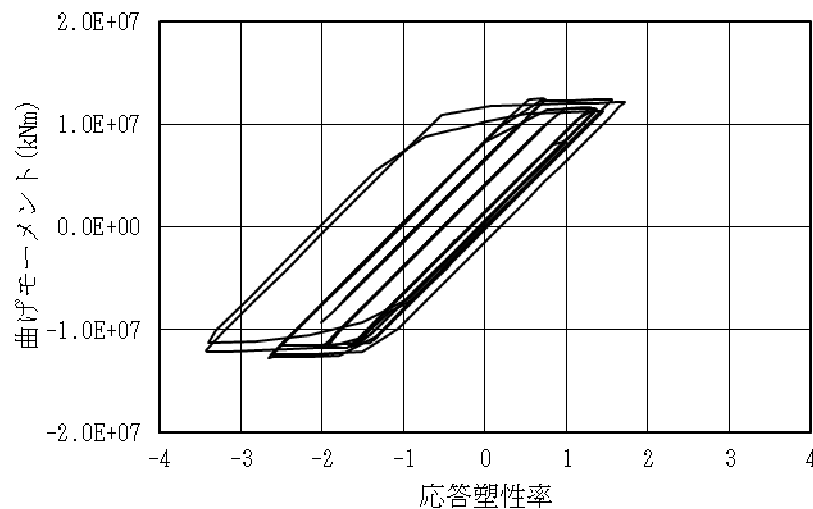
入力地震波	最大層間 変形角	居室最上階 の最大変位	柱の 塑性率	柱の 累積塑性 変形倍率
	rad	mm		
中央破壊	0.017 (47階)	1991	0	0
西破壊	0.019 (47階)	2189	0	0

## 4-2 長辺方向の解析結果

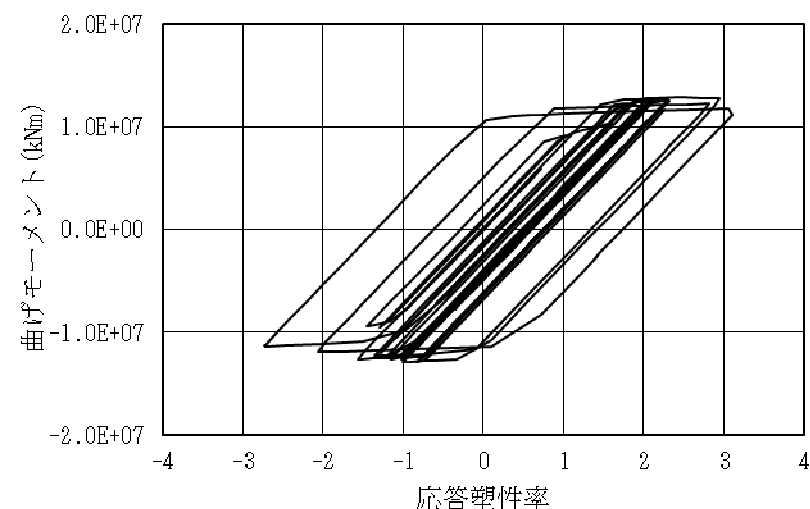
### ■応答値(最大値)まとめ

<梁>

入力地震波	梁の塑性率	梁の累積塑性 変形倍率	梁の損傷度
中央破壊	3.43 (26階O通短梁)	17.57 (22階O通短梁)	0.96 (26階O通短梁)
西破壊	2.93 (28階O通短梁)	15.73 (28階O通短梁)	0.80 (28階O通短梁)



26階O通り短梁 M- $\mu$ 曲線(中央破壊)



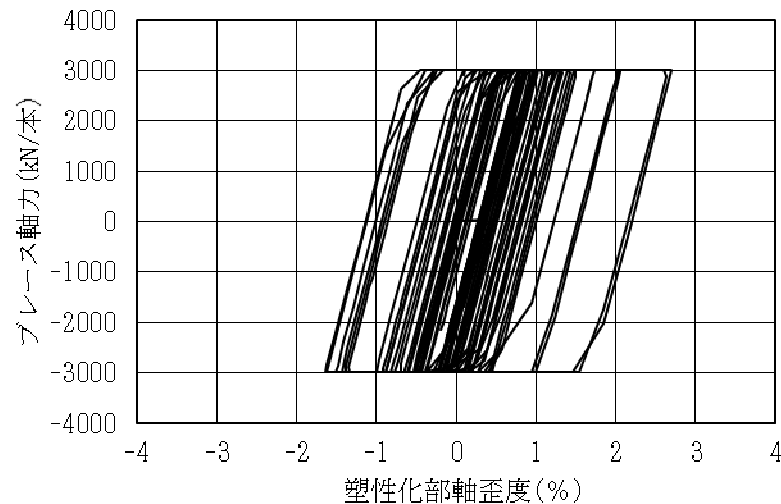
28階O通り短梁 M- $\mu$ 曲線(西破壊)

## 4-2 長辺方向の解析結果

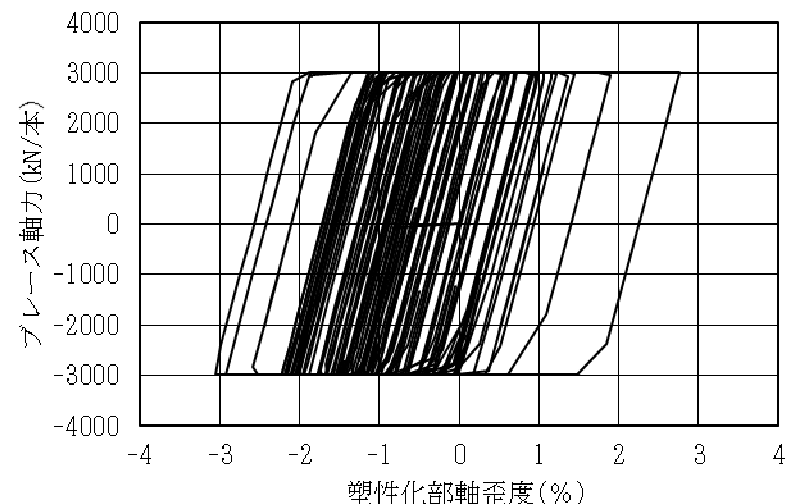
### ■応答値(最大値)まとめ

#### <座屈拘束ブレース(BRB)>

入力地震波	BRBの 累積塑性 変形倍率	BRBの 損傷度	最大軸変形	備考
			mm	
中央破壊	502 (7階L通)	0.57 (24階O通)	95 < 130 (24階O通)	
西破壊	805 (23階O通)	1.08 (24階O通)	109 < 130 (25階O通)	・BRBの損傷度が1以上であるのは3カ所 (24層O通り損傷度1.04) (26層O通り損傷度1.06)



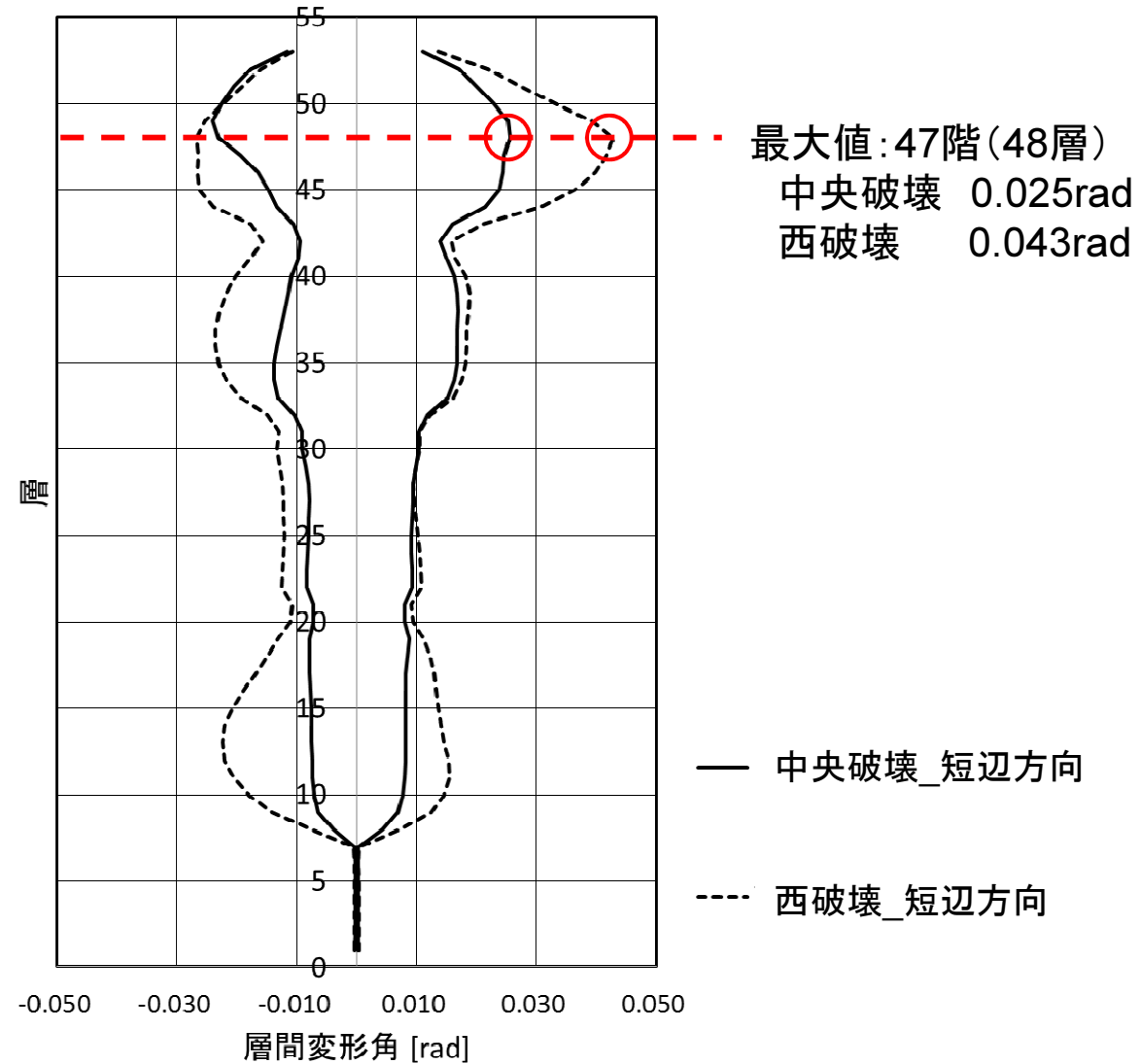
25階O通りBRB P-ε曲線(中央破壊)



25階O通りBRB P-ε曲線(西破壊)

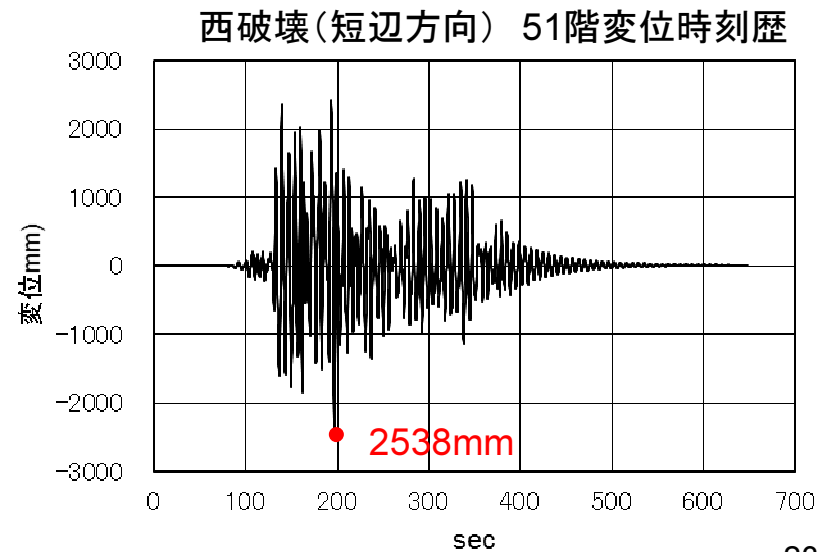
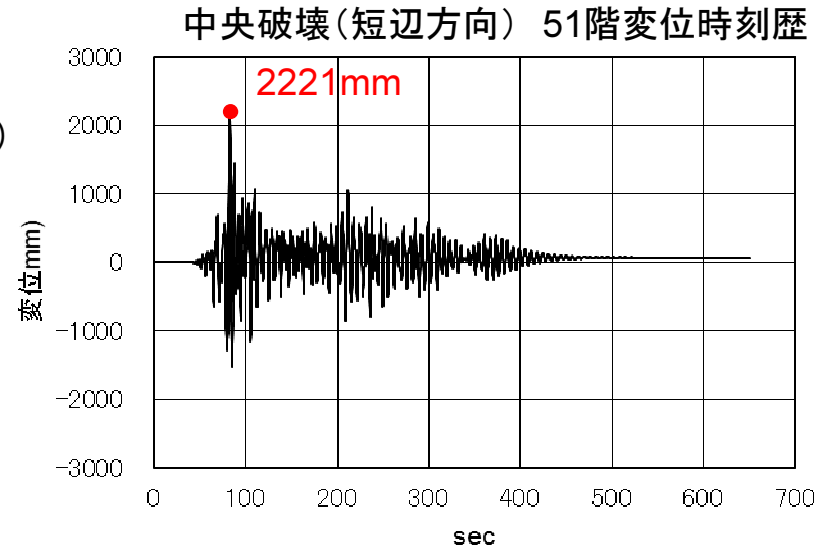
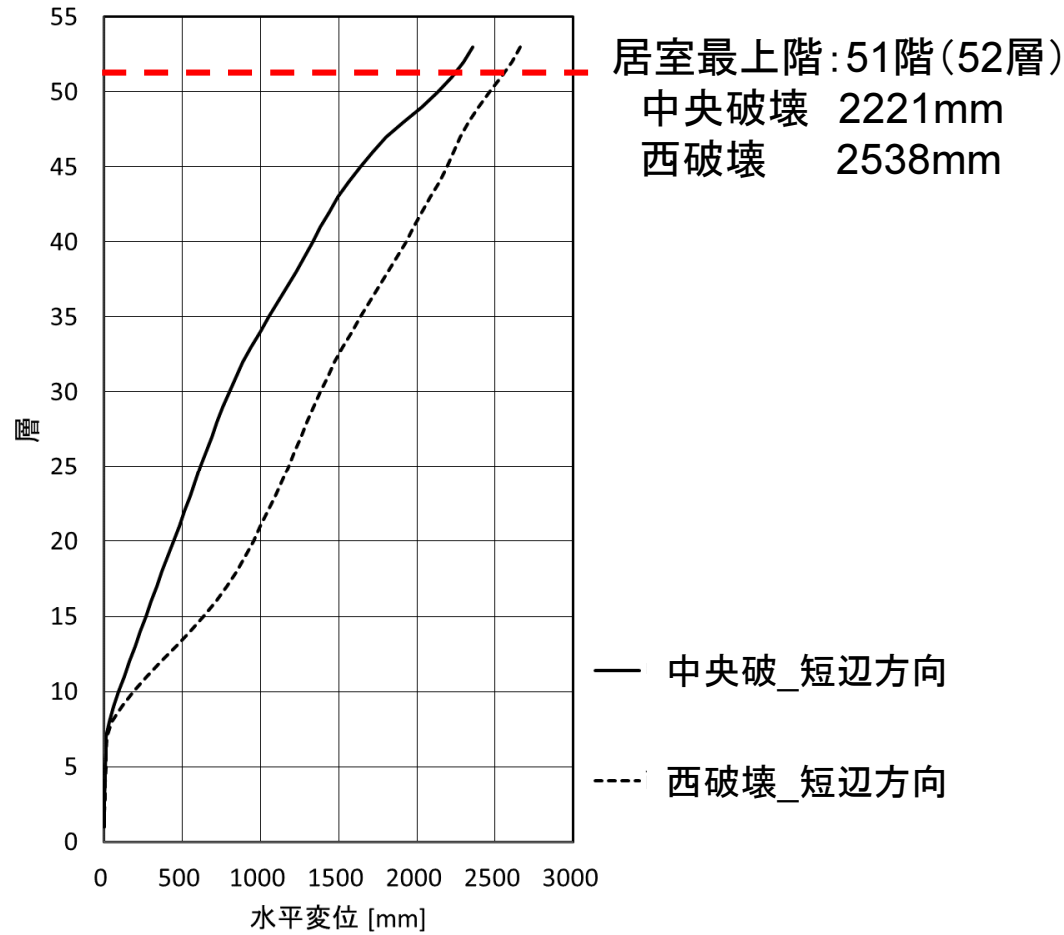
## 4-3 短辺方向の解析結果

### ■ 層間変形角



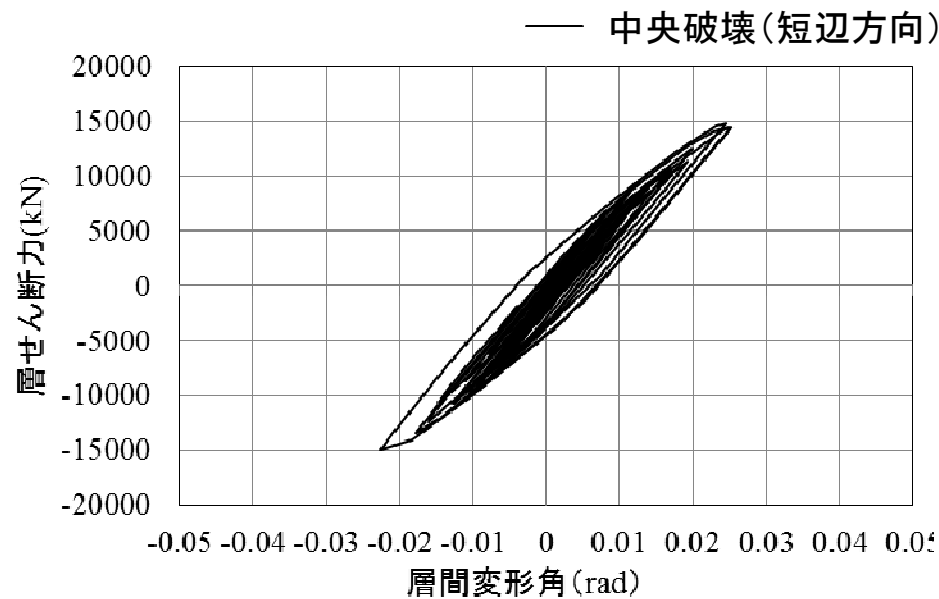
# 4-3 短辺方向の解析結果

## ■ 相对変位(片振幅)

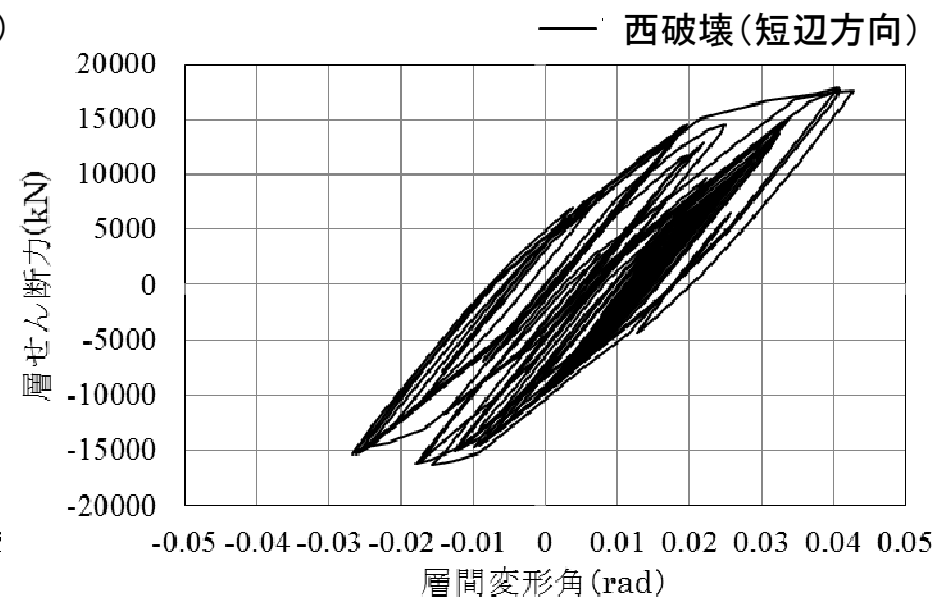


## 4-3 短辺方向の解析結果

### ■層の層せん断力(Q)-層間変位(r)関係図



中央破壊 47階(48層)



西破壊 47階(48層)

履歴曲線は安定した応答の範囲内にある



## 4-3 短辺方向の解析結果

### ■応答値(最大値)まとめ

<変形角、変位、柱>

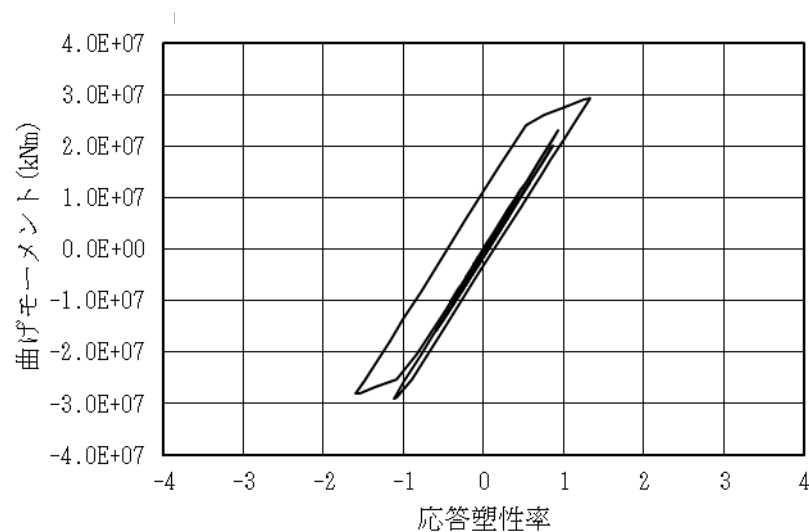
入力地震波	最大層間 変形角	居室最上階 の最大変位	柱の 塑性率	柱の 累積塑性 変形倍率
	rad	mm		
中央破壊	0.025 (47階)	2221	0	0
西破壊	0.043 (47階)	2538	1.03 (42階6通柱脚)	0.027 (42階6通柱脚)

## 4-3 短辺方向の解析結果

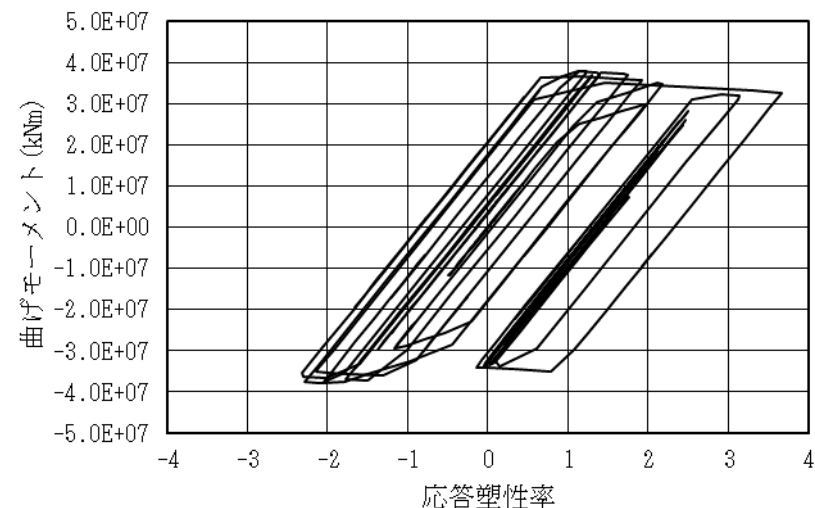
### ■応答値(最大値)まとめ

<梁>

入力地震波	梁の塑性率	梁の累積塑性 変形倍率	梁の損傷度
中央破壊	1.96 (7階11通梁)	0.69 (34階6通梁)	0.02 (34階6通梁)
西破壊	3.67 (12階6通梁)	8.07 (11階6通梁)	0.62 (12階6通梁)



34階6通り梁 M- $\mu$ 曲線(中央破壊)



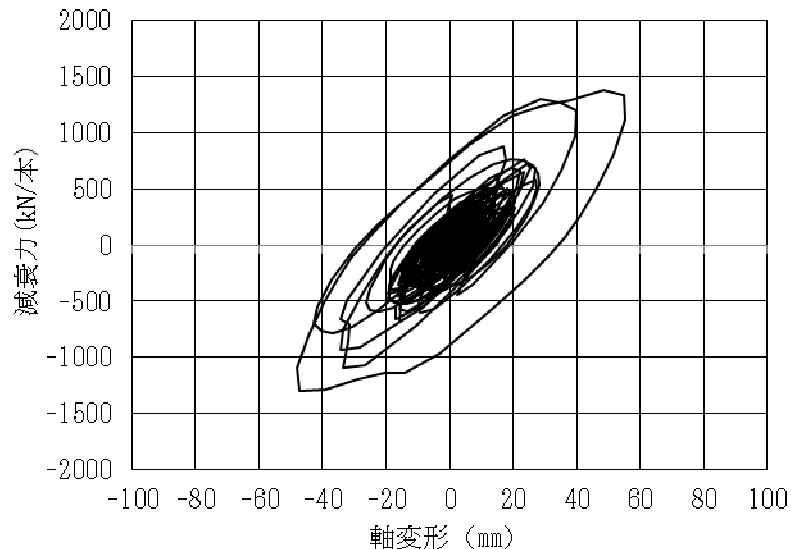
12階6通り梁 M- $\mu$ 曲線(西破壊)

## 4-3 短辺方向の解析結果

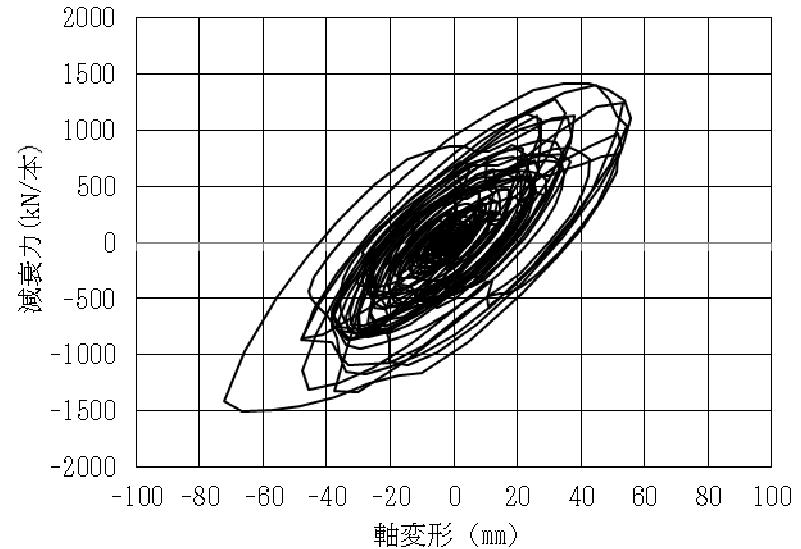
### ■応答値(最大値)まとめ

＜オイルダンパー＞

入力地震波	オイルダンパー 減衰力	オイルダンパー ストローク
	kN	mm
中央破壊	1678 < 2000 (21階)	55 < 100 (28階)
西破壊	1711 < 2000 (21階)	72 < 100 (28階)



28階オイルダンパー P-D曲線(中央破壊)



28階オイルダンパー P-D曲線(西破壊)

## 4-4 解析結果のまとめ

■最大クラスの南海トラフ巨大地震(平成27年12月内閣府)に対して、魚骨モデルを用いた地震応答解析を実施した。

その結果、咲洲庁舎の最上階では片側最大2~2.5m程度揺れる可能性があるが、構造解析の結果、各層、各部材の履歴曲線は安定した応答の範囲内にあり、建物は倒壊しないことが確認できた。

■一方、国土交通省が平成28年6月に公表した新基準『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への対策について』についても、要求性能を満たす必要があることから、次回の専門家ミーティングでは、同基準に基づく対策について、各種工法を検討する。

## 5. 各種対策工法について(次回の検討内容)

- 各種対策工法の検討は、国土交通省が平成28年6月に公表した新基準『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への対策について』に基づいて行う。
- 考えられる対策工法は、制震ダンパーの追加、免震構造、減築、制震用ダンパー(TMD)の設置等である。
- これらの対策工法について、その効果, コスト, 施工上の留意点等を整理する。

以上