

## 専門家ミーティング(第4回)

咲洲庁舎で考えられる各種対策工法

2016年8月1日

## 1. 各種対策工法の設計方針

- 平成28年6月24日に発表された国土交通省の技術的助言『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』の考えに基づく設計を行う。
- 具体的には「基整促波※」に敷地地盤の表層地盤増幅を考慮した設計用地震動に対して、層の塑性率や層間変形角が、『時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書』の設計クライテリアを満足するように、各種対策工法の設計を行う。

### ※基整促波

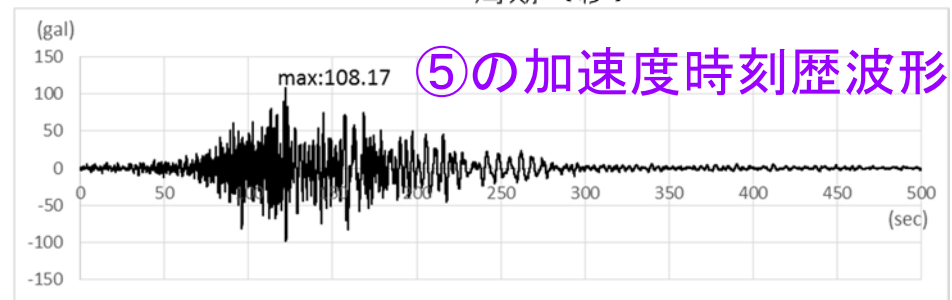
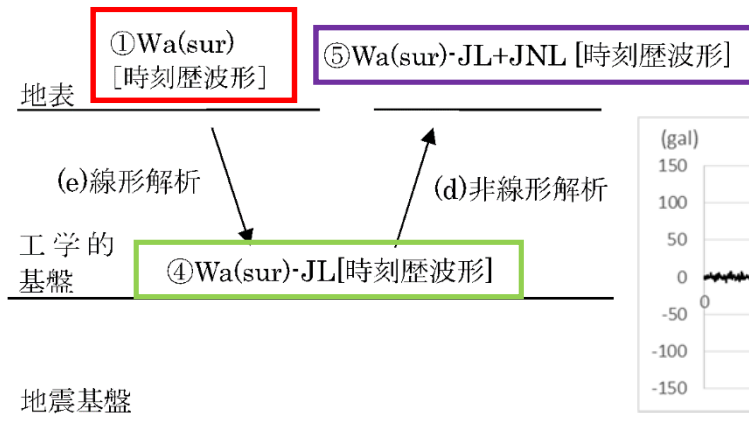
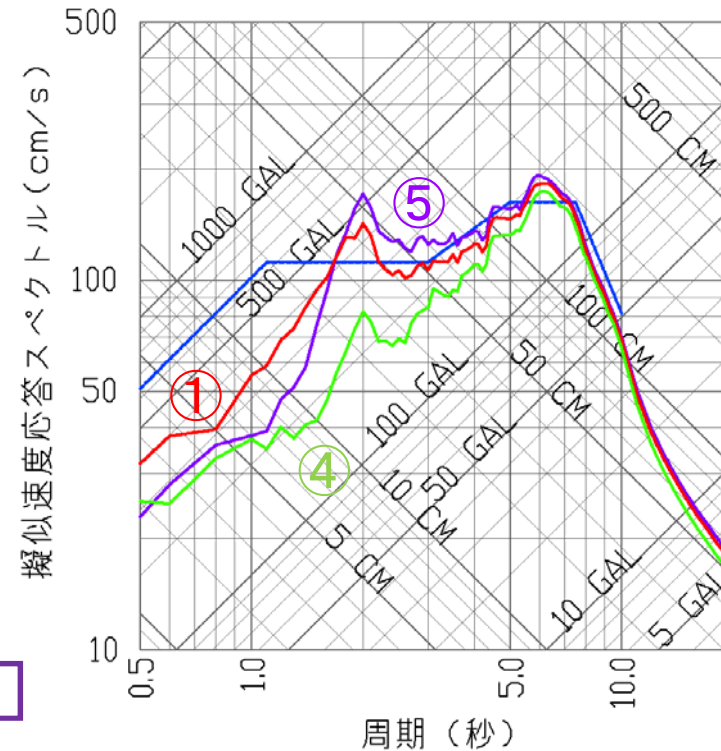
国土交通省住宅局が、国土技術政策総合研究所及び国立研究開発法人建築研究所の協力のもと、平成20年度より建築基準整備促進事業を活用して作成手法をまとめた、建築物に影響を与える0.1～10秒の幅広い周期成分を含む設計用長周期地震動のこと。

建築研究所より受領した基盤促波に対して、技術的助言の別紙4の2の考え方に従い、咲洲でのPS検層結果を用いて敷地地盤の表層地盤増幅を考慮した設計用地震動を作成する。

① 建築研究所より受領した基盤促波 (地表面での加速度波形)

④ 線形で下げた工学的基盤面での波形

⑤ 等価線形で上げた波形 (基礎底レベル)  
⇒これを設計用地震動とする

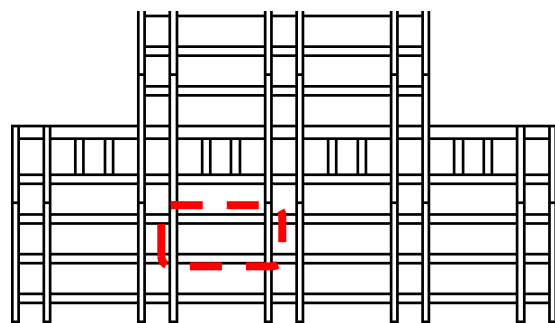


## ■各種対策工法の設計クライテリア

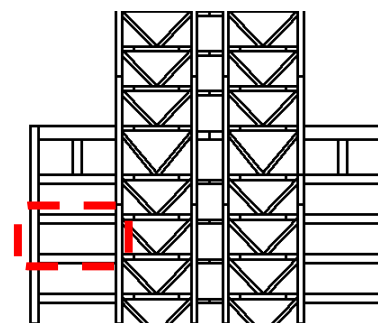
- 層の塑性率 : 2.0以下
- 局所層間せん断変形角 : 1/70以下

※層間変形角の一般的な設計クライテリアは1/100であるが、前回のダンパー設計時における性能評価・大臣認定と同様、業務方法書の特記に基づき、咲洲庁舎の外装材等の取り付けディテールを考慮して、1/70というクライテリアを設定。

局所せん断変形角は条件の厳しい下記の位置で算定。



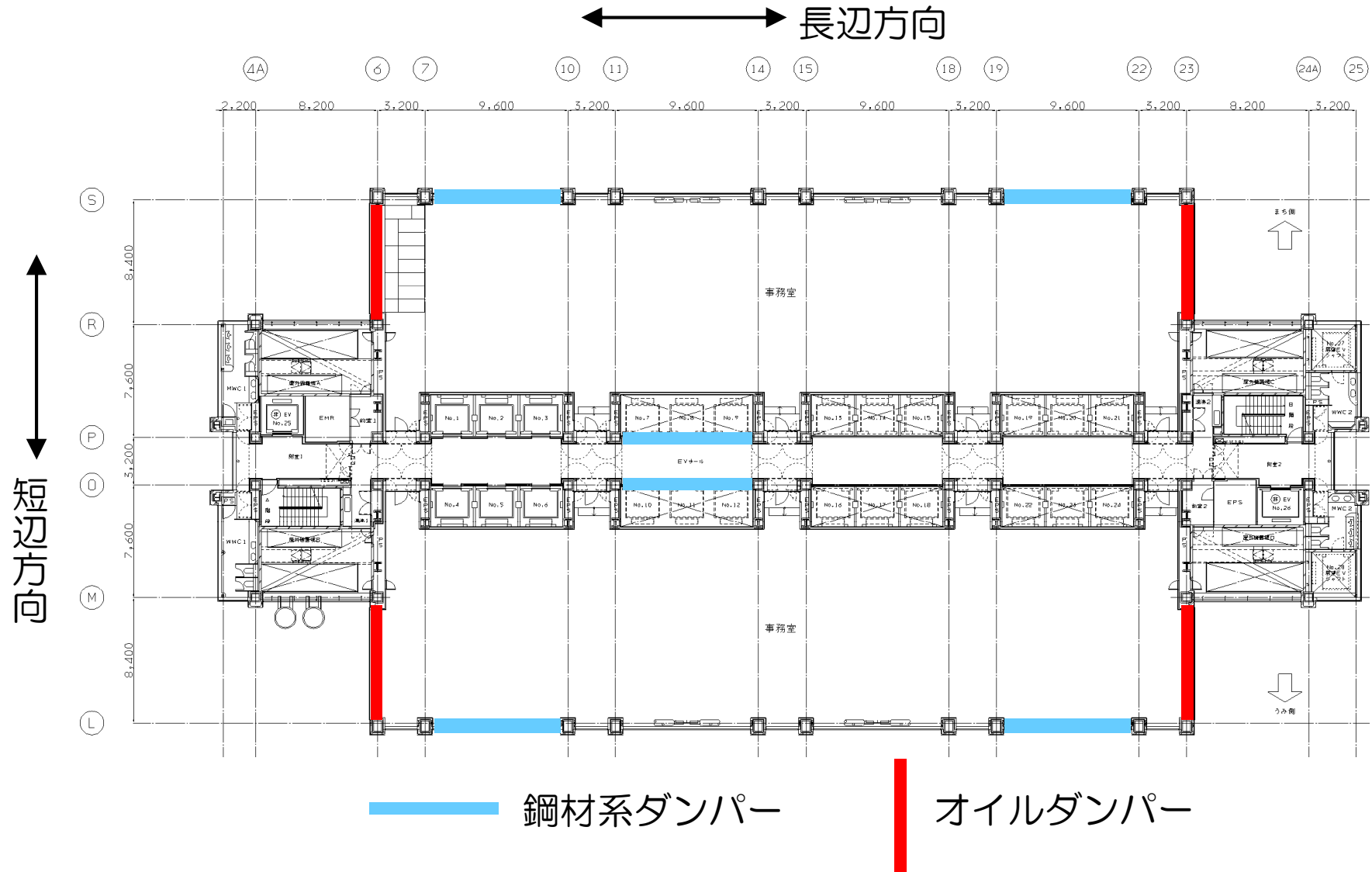
長辺方向



短辺方向

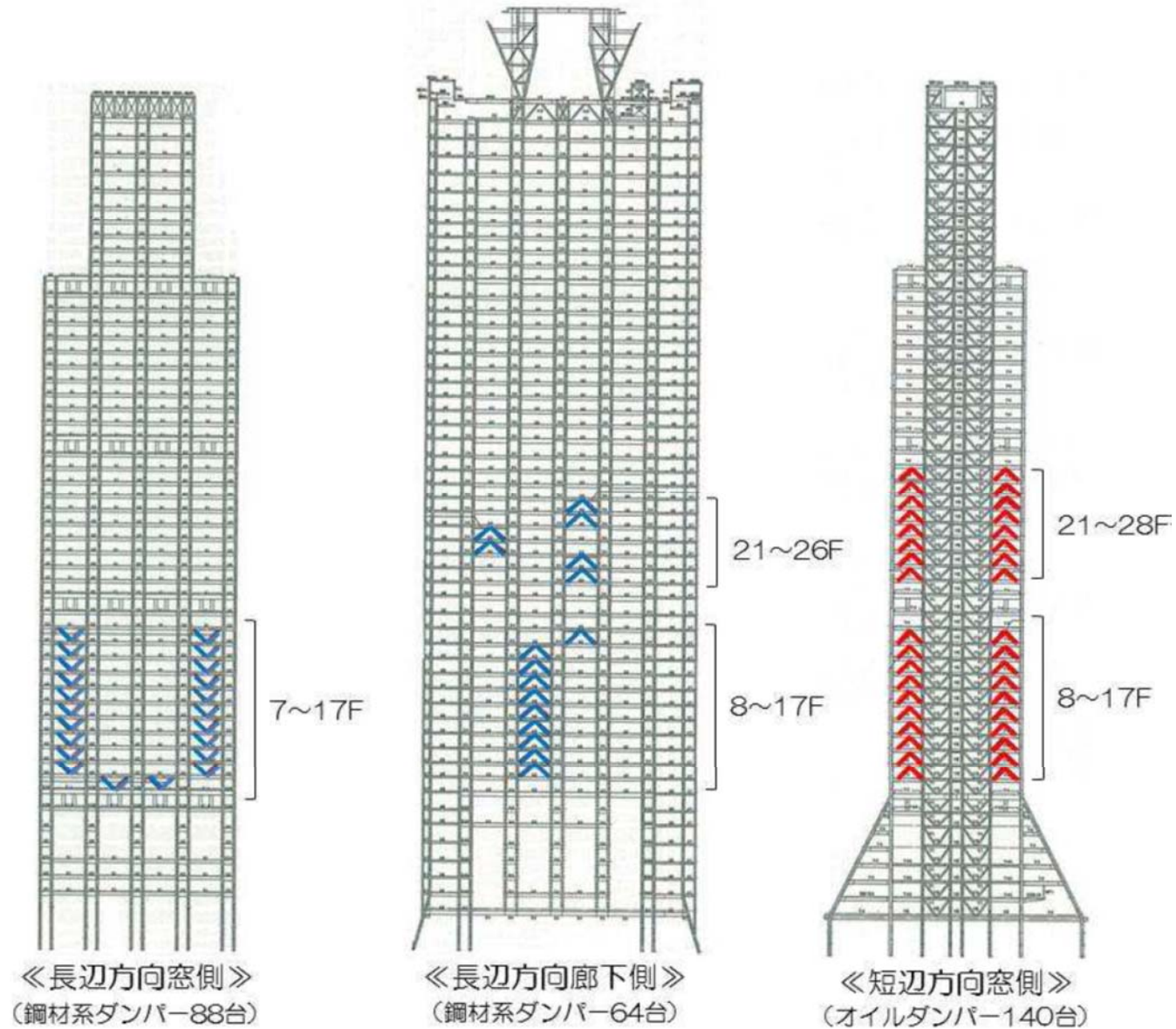
## 2. 現状建物の基整促波に対する検討

### ■現状の制震ダンパー設置場所(建物断面図)

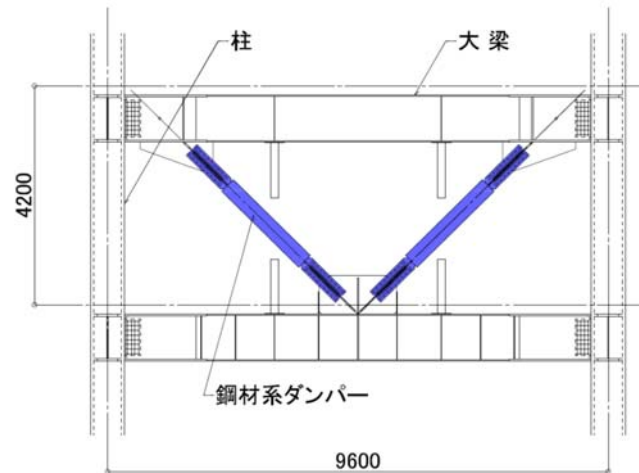


## ■現状の制震ダンパー設置場所(建物断面図)

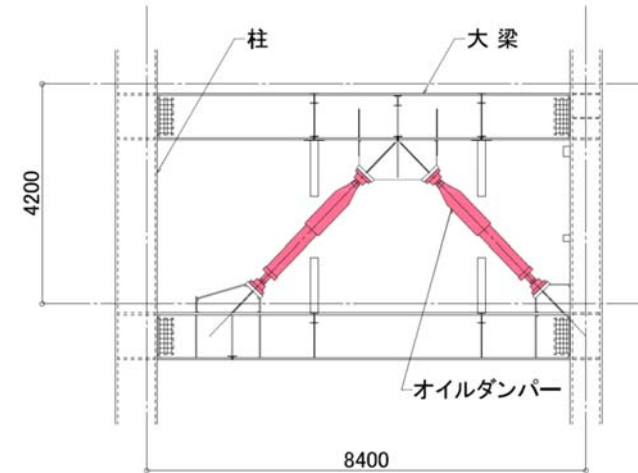
【制震ダンパー設置場所(建物断面図)】



## ■現状の制震ダンパー姿図



**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。

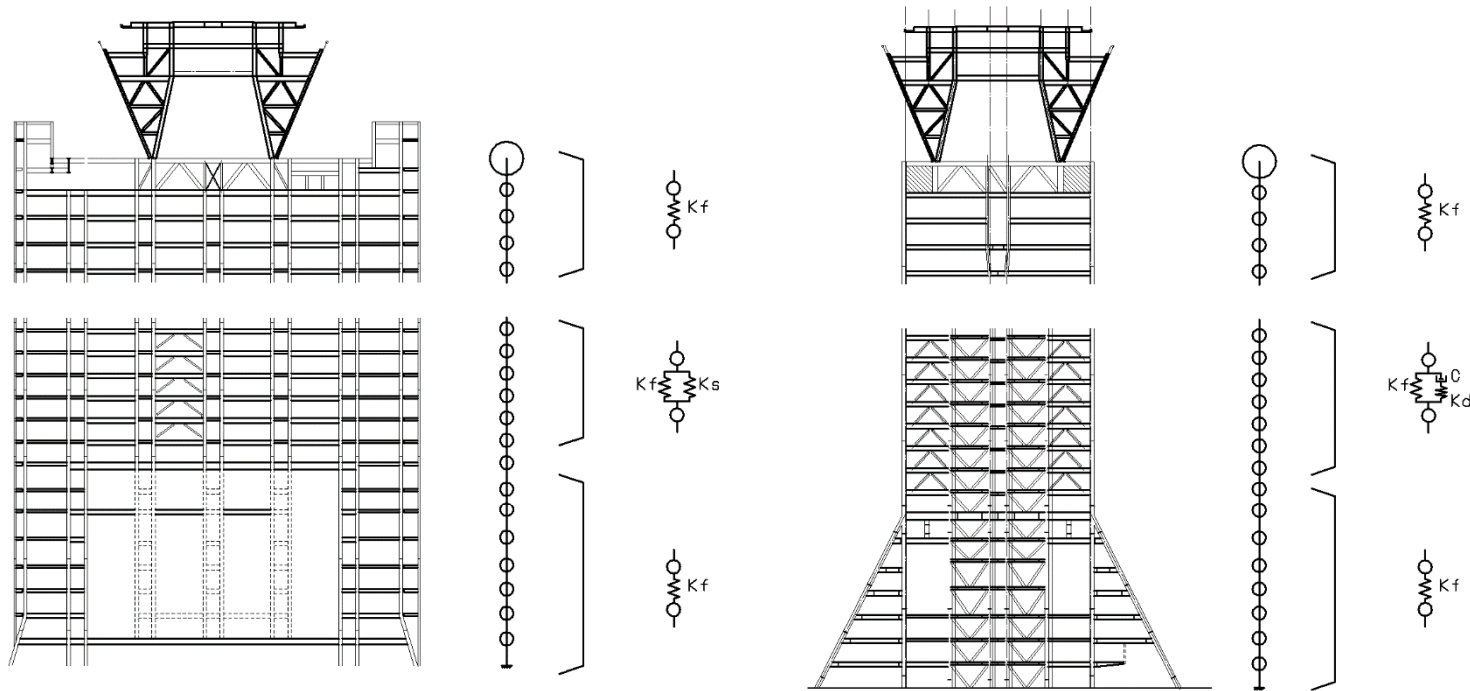


**オイルダンパー**  
オイルの粘性を利用して地震エネルギーを吸収する。

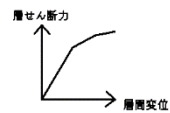
## ■ 基整促波に対する振動応答解析モデル

建物地上部をモデル化した53質点系等価せん断型モデル。

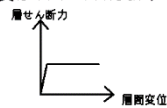
梁降伏先行型の構造特性を有するため、長辺、短辺方向を別々に解析。



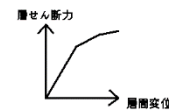
$K_f$ : フレームの復元力  
(Tri-Linear)



$K_s$ : 鋼材系ダンパーの復元力  
(normal Bilinear)  
又は Tri-linear



$K_f$ : フレームの復元力  
(Tri-Linear)



$C$ : オイルダンパー等価粘性減衰係数  
 $K_d$ : オイルダンパーの剛性

長辺方向: 1次減衰定数2%

短辺方向: 1次減衰定数1%



## ■現状建物の基整促波に対する応答解析結果

長辺方向	一次固有周期 6.2秒	層の塑性率	2.02	>	2.0
		層間変形角	1/62		
		局所層間せん断変形角	1/63	>	1/70
		最大変位	231cm		
短辺方向	一次固有周期 6.6秒	層の塑性率	1.5	<	2.0
		層間変形角	1/54		
		局所層間せん断変形角	1/69	>	1/70
		最大変位	264cm		

### ○長辺方向

層の塑性率が2.0を超え、かつ局所層間せん断変形角が1/70を超えるため、追加補強が必要。

### ○短辺方向

局所層間せん断変形角が1/70を超えるため、追加補強が必要。

### 3. 各種対策工法の例

A. ダンパー補強案

B. 減築案

C. 中間層免震案

D. 短辺方向トラス架構＋ダンパー補強案

E. 頂部TMD＋ダンパー補強案

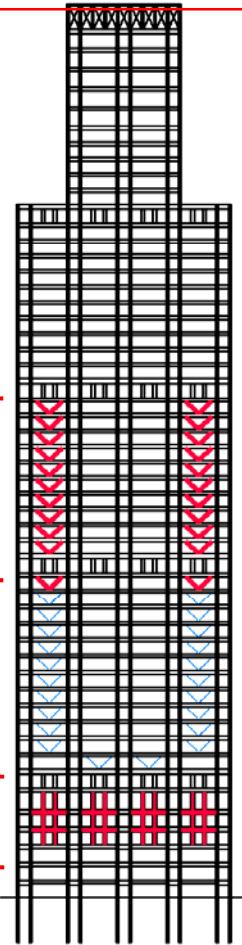
# A.ダンパー補強案

ダンパーを追加設置して、地震エネルギーを吸収することにより、建物の揺れ幅や揺れ時間を低減する

鋼材系ダンパー124台、  
オイルダンパー36台

18階、  
20～29階  
鋼材系  
ダンパー  
追加

低層部  
フレーム  
追加



外周架構

18階、  
27～28階  
鋼材系  
ダンパー  
追加

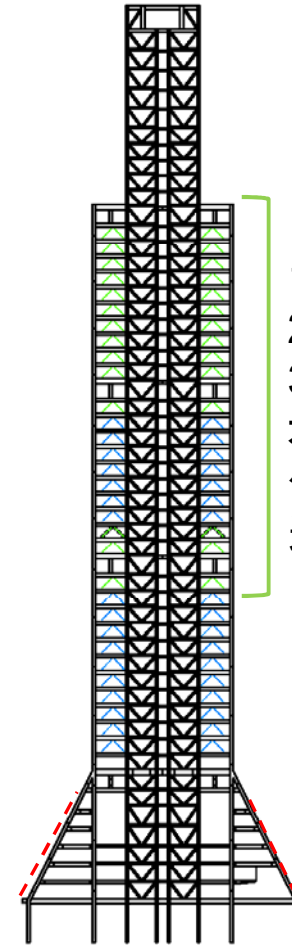


内部架構

オイルダンパー108台

18・20・  
21・29・  
31～40階  
オイル  
ダンパー  
追加

8～16階  
オイル  
ダンパー  
追加



外周架構

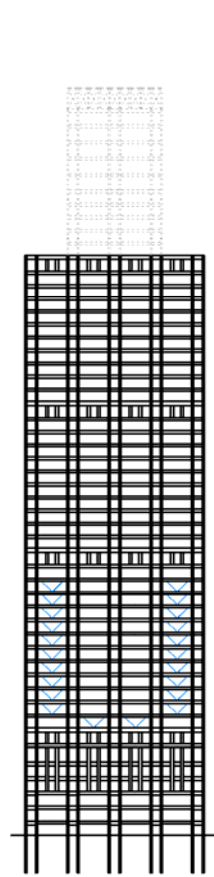
低層部  
斜め架構  
に鋼材系  
ダンパー  
追加

長辺方向 (T1=6.2→5.8秒)

短辺方向 (T1=6.6秒:不変) 11

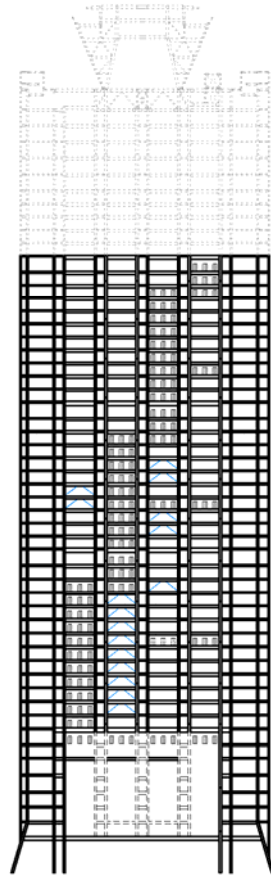
## B.減築案

建物42階より上部を撤去することにより、重量を減らし、建物剛性を高める。これにより建物の固有周期を短くして、建物と地盤の周期をずらすことによって、地震エネルギーの入力を低減し、建物の揺れを小さくする。

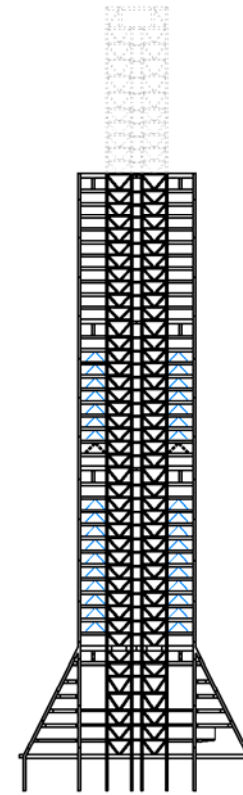


外周架構

長辺方向 (T1=6.2→4.3秒)



内部架構

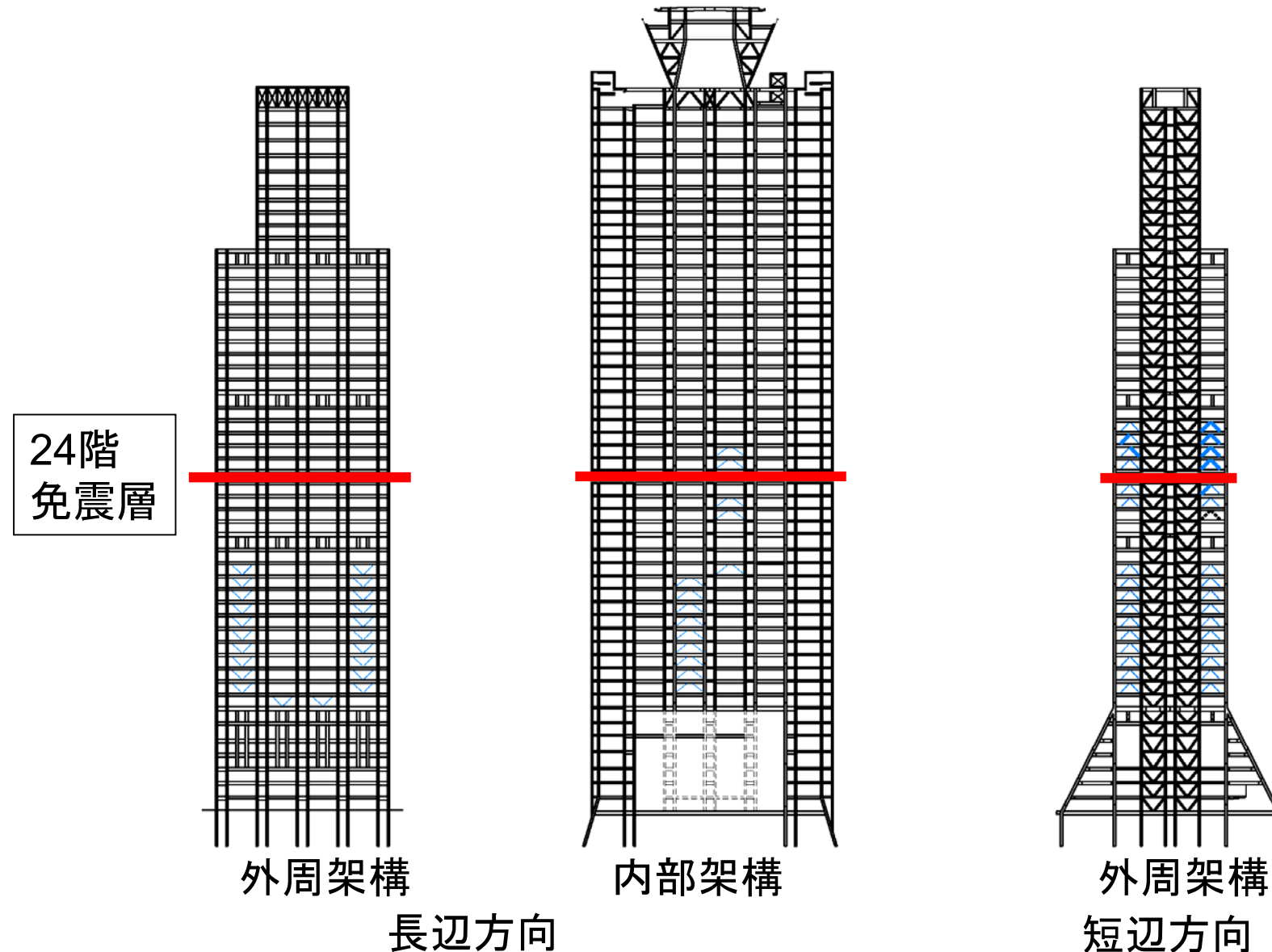


外周架構

短辺方向 (T1=6.6→4.2秒)

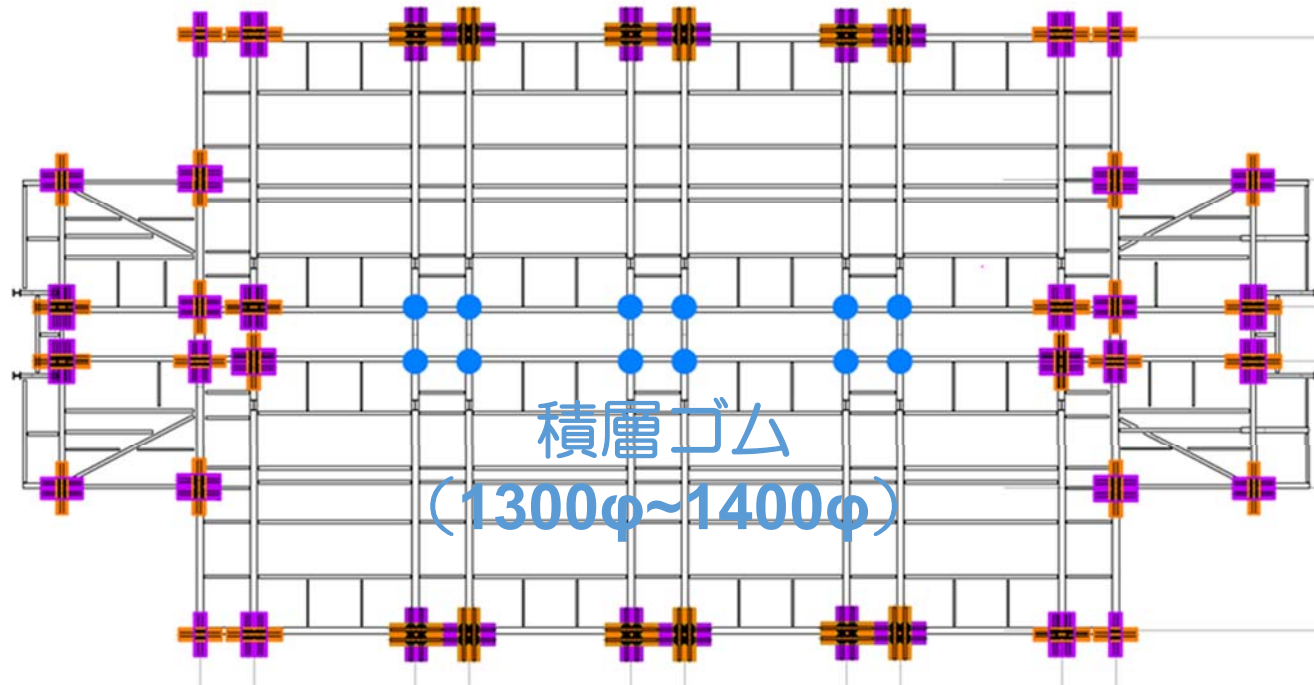
## C. 中間層免震案

建物の中間階(24階)を免震層とし、免震装置を設置する。固有周期を長くして、地震エネルギーの入力を低減し、建物の揺れを小さくする。



## C. 中間層免震案

地震時の引抜荷重の小さい建物内部には天然ゴム系積層ゴムを、また引抜荷重の大きい外周部には引張荷重に耐えられる直動転がり支承を設置する(免震層の安定限界変形65cm、終局限界変形90cm)。



その他、減衰を確保するため、免震層には鋼材系ダンパー20台、オイルダンパーを各方向20台設置する。

免震層(24階)の免震部材配置イメージ

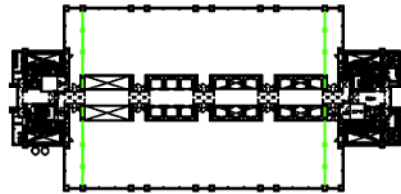
長辺方向:  $T1 = 6.2 \rightarrow 9.6$ 秒

短辺方向  $T1 = 6.6 \rightarrow 9.4$ 秒

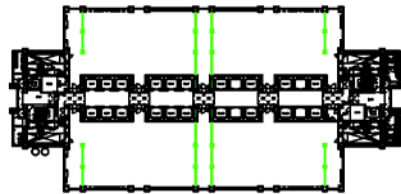
## D.短辺方向トラス架構+ダンパー補強案

Aのダンパー補強に加えて、短辺方向の低層階にトラス架構追加し、短辺方向の周期を短くして、建物の周期と地盤の周期をずらす。

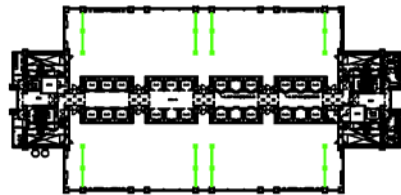
18~20階



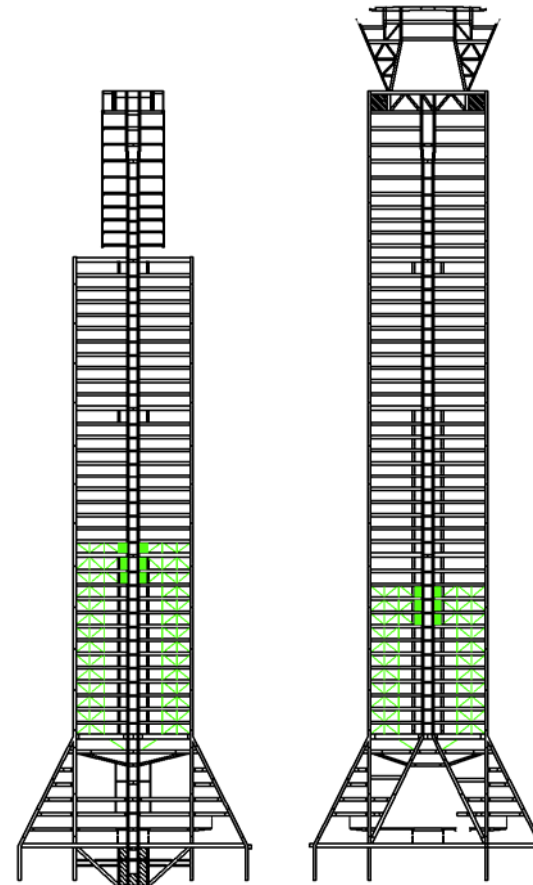
15~17階



7~14階



7通り 14・15通り 22通り



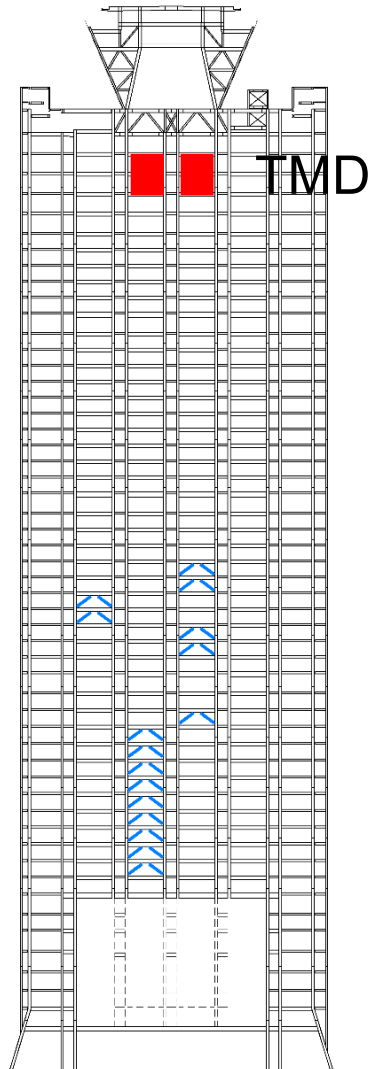
7・22通り 14・15通り

短辺方向

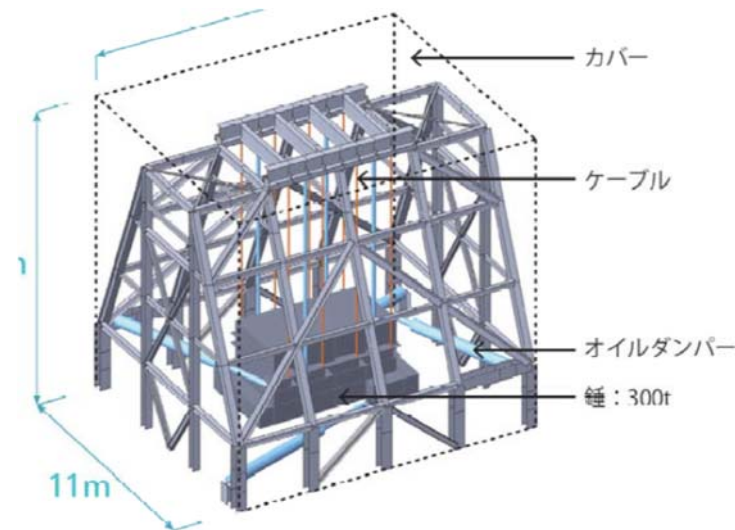
( $T_1 = 6.6 \rightarrow 5.8$ 秒)

## E. 頂部TMD+ダンパー補強案

Aのダンパー補強に加えて、建物頂部に制震用TMD(重り)を設置し、TMDが建物の揺れと反対方向に動くことによって揺れを低減する。



- ・TMDの重り重量は、250ton×4台  
(建物地上重量の約1.3%、1次モーダル質量の5%)
- ・TMDの周期は、短辺方向に同調するように6.9秒に設定。
- ・減衰はオイルダンパーで制御し、速度が小さい範囲は最適減衰定数に設定。速度が大きくなると減衰力を大きくする設定とし、ストッパーとして働かせる。

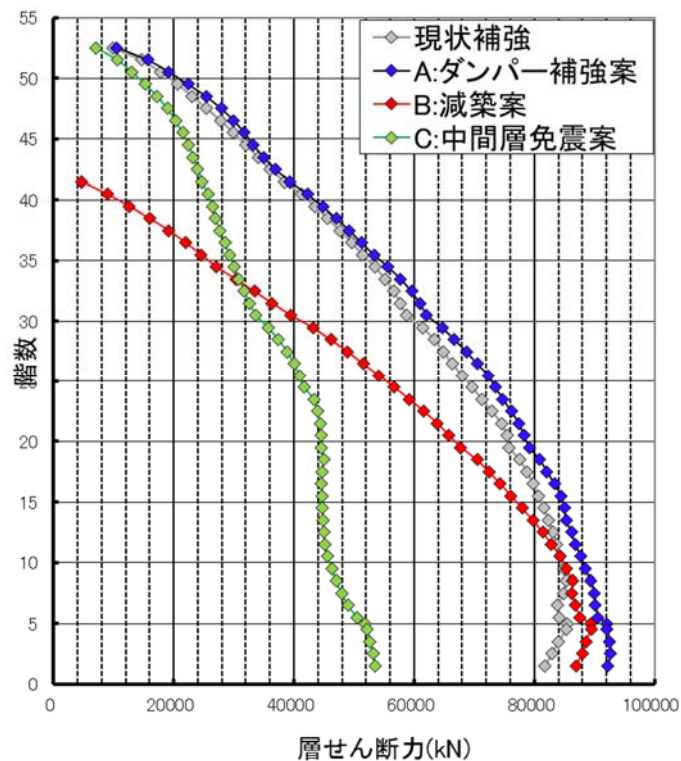


(イメージ) 新宿三井ビルに設置されたTMD

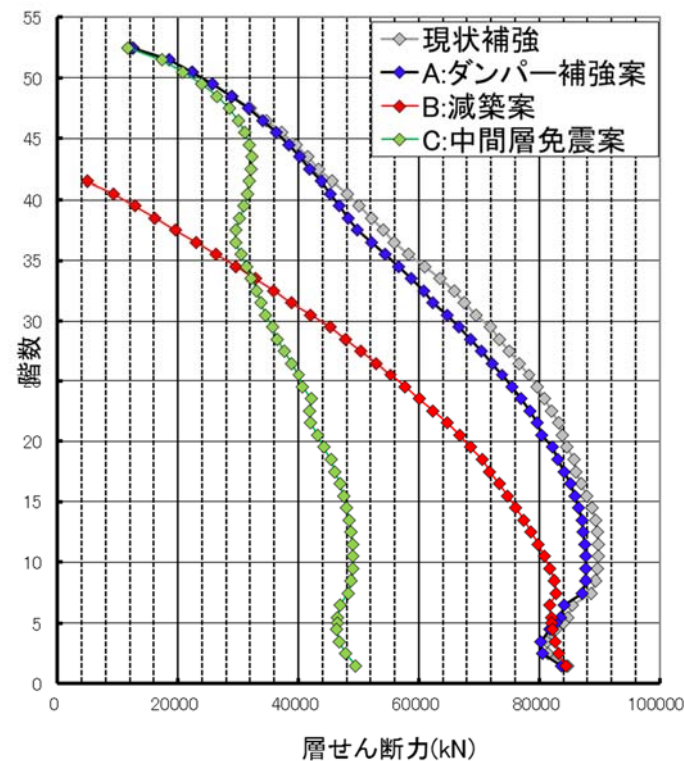


## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ A・B・C案の層せん断力



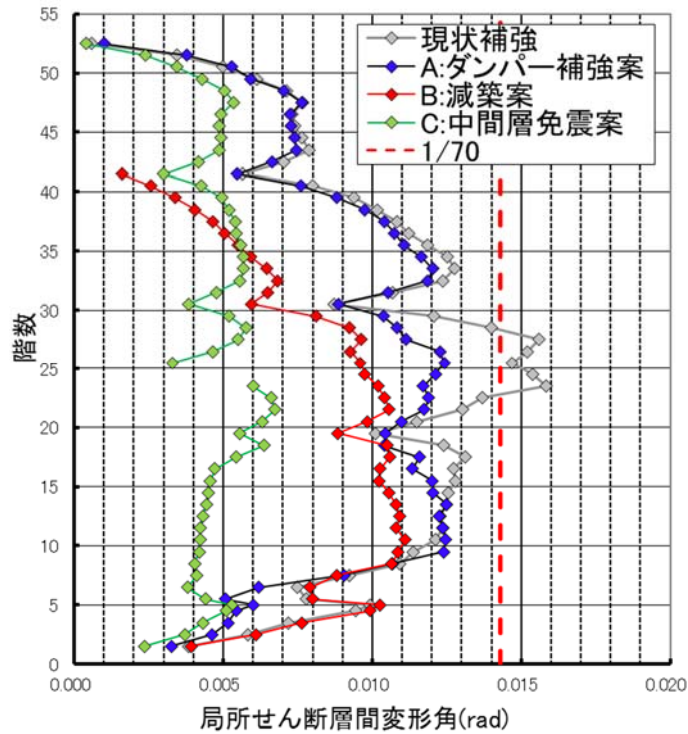
長辺方向



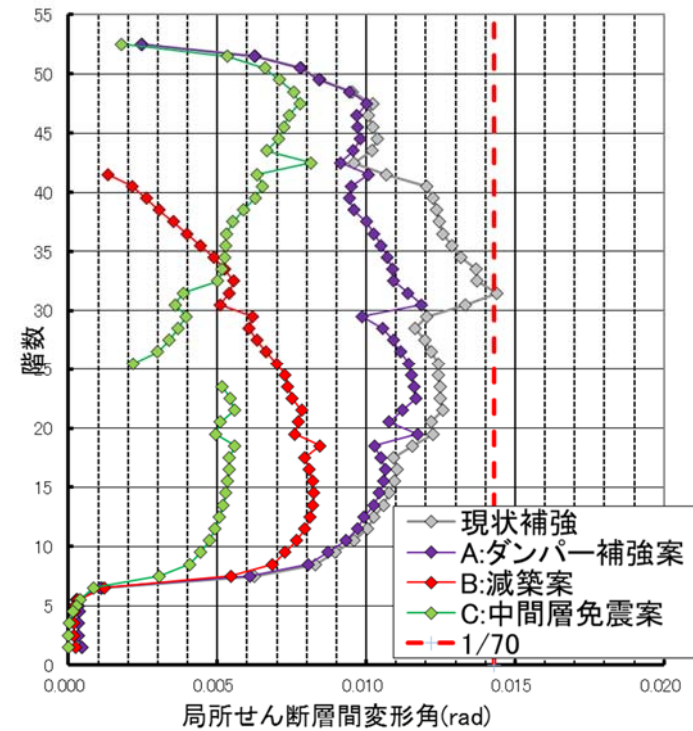
短辺方向

## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ A・B・C案の局所層間せん断変形角



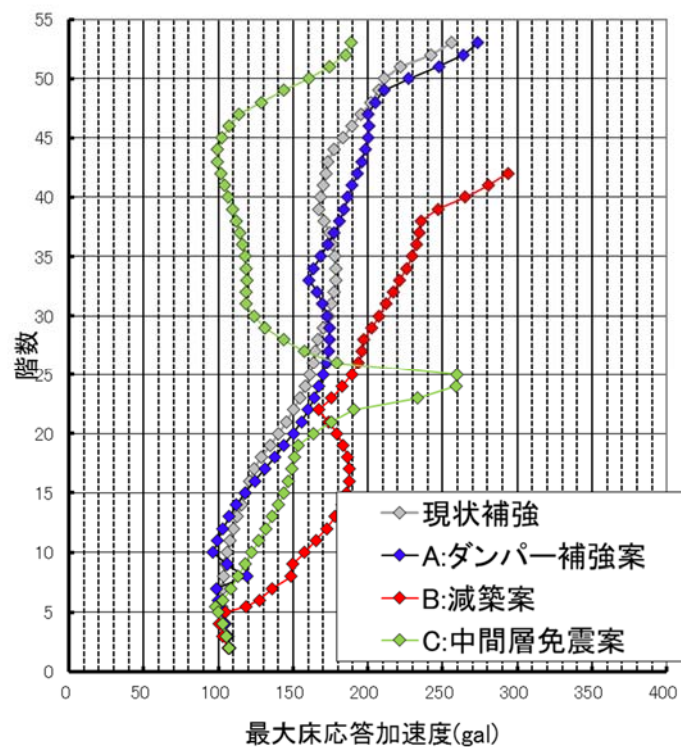
長辺方向



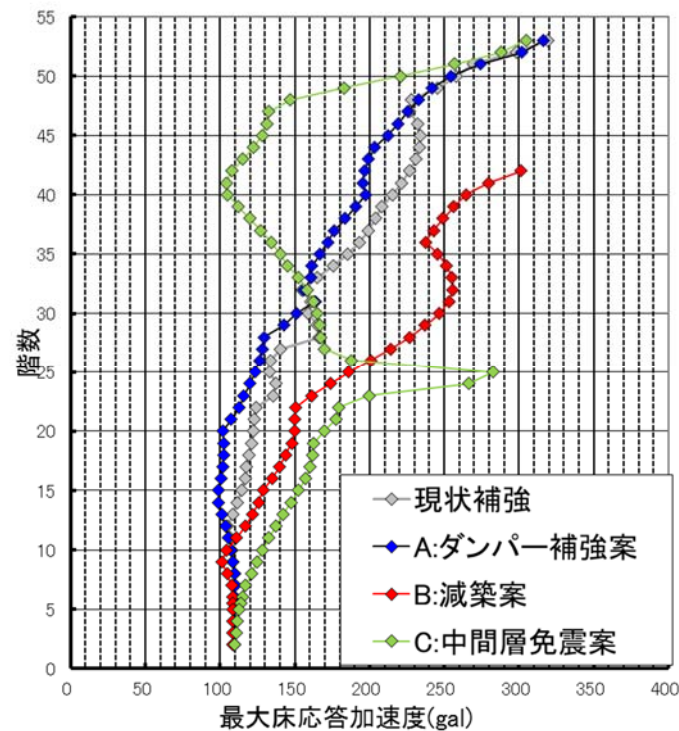
短辺方向

## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ A・B・C案の最大床応答加速度



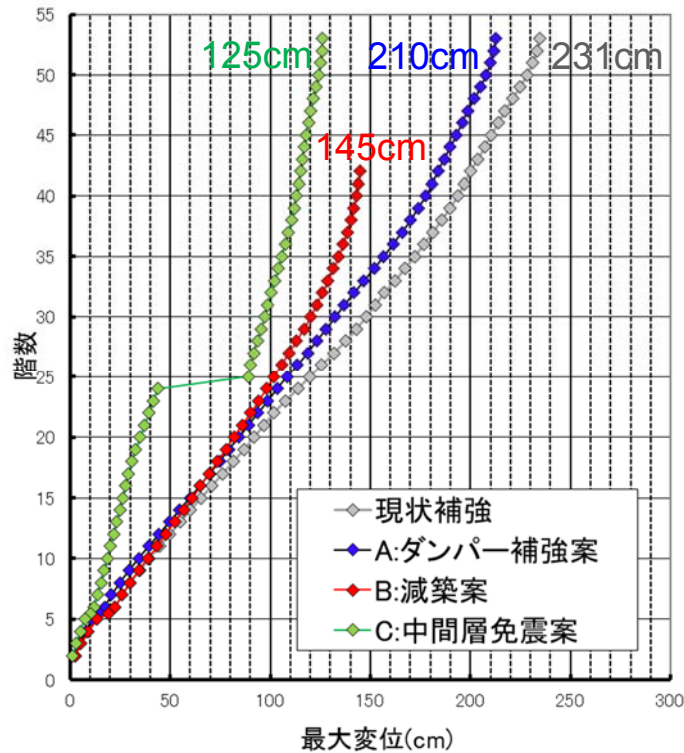
長辺方向



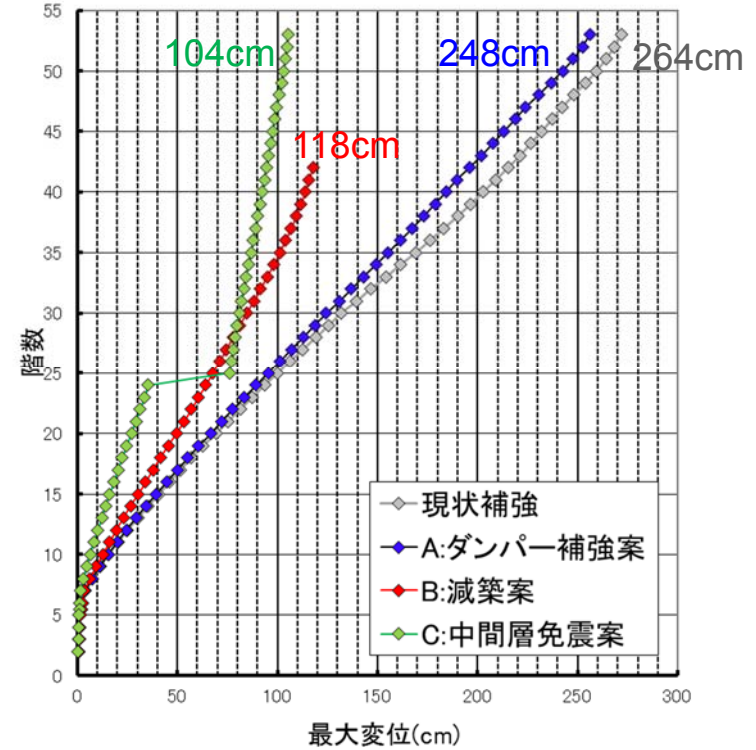
短辺方向

## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ A・B・C案の全体変位



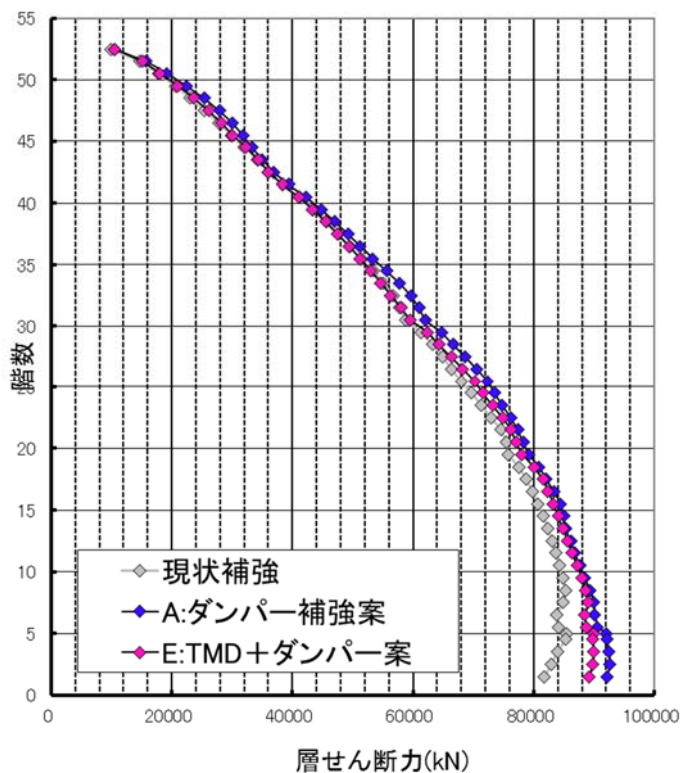
長辺方向



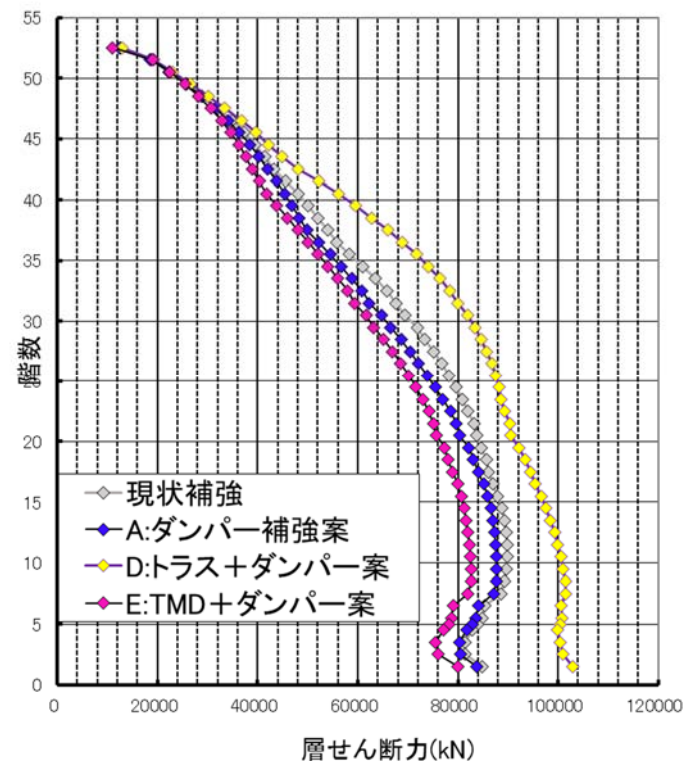
短辺方向

## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ D・E案の層せん断力



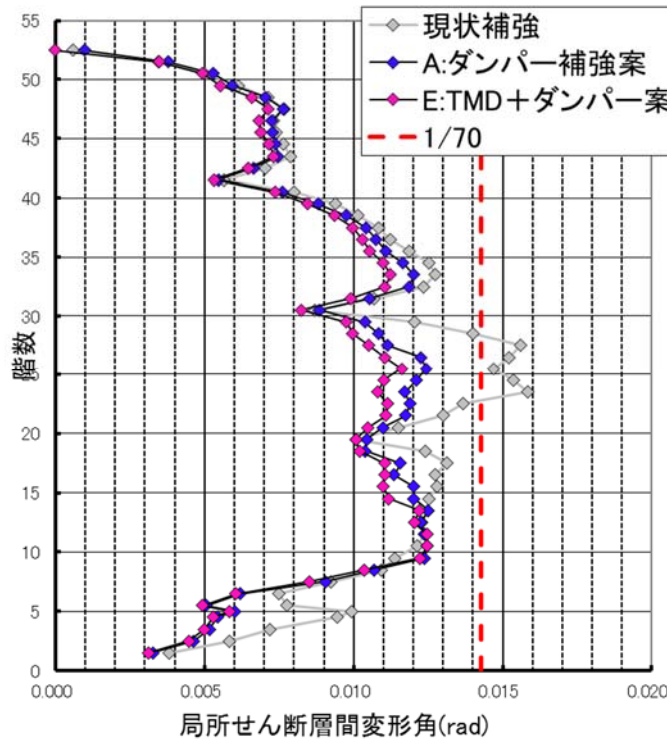
長辺方向



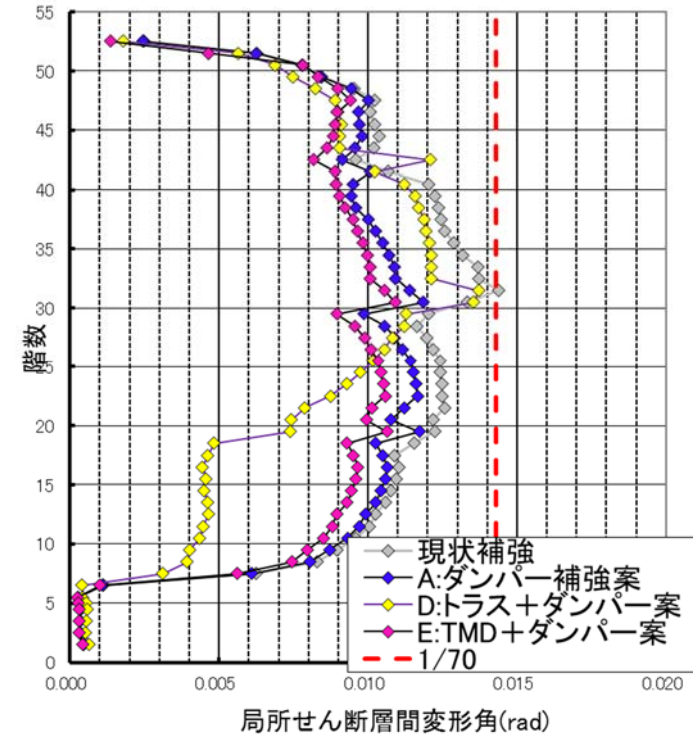
短辺方向

## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ D・E案の局所層間せん断変形角



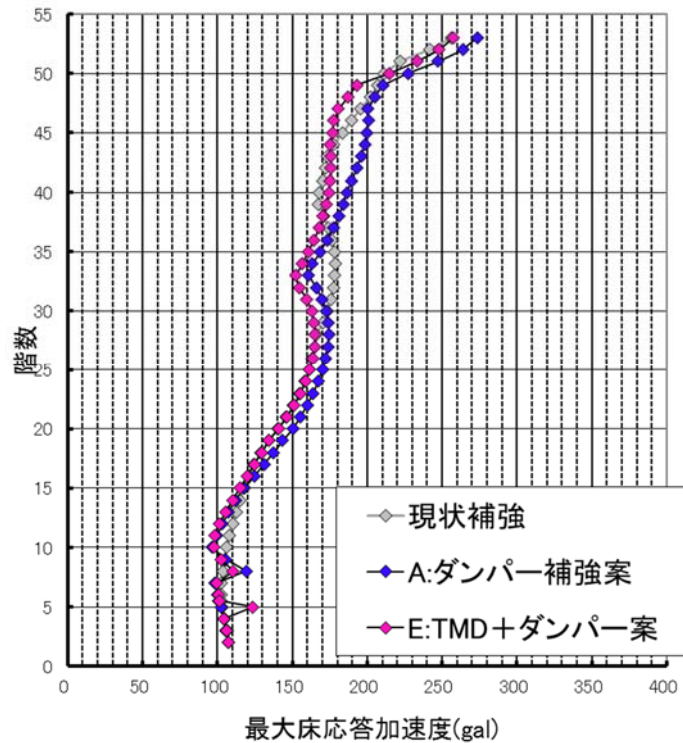
長辺方向



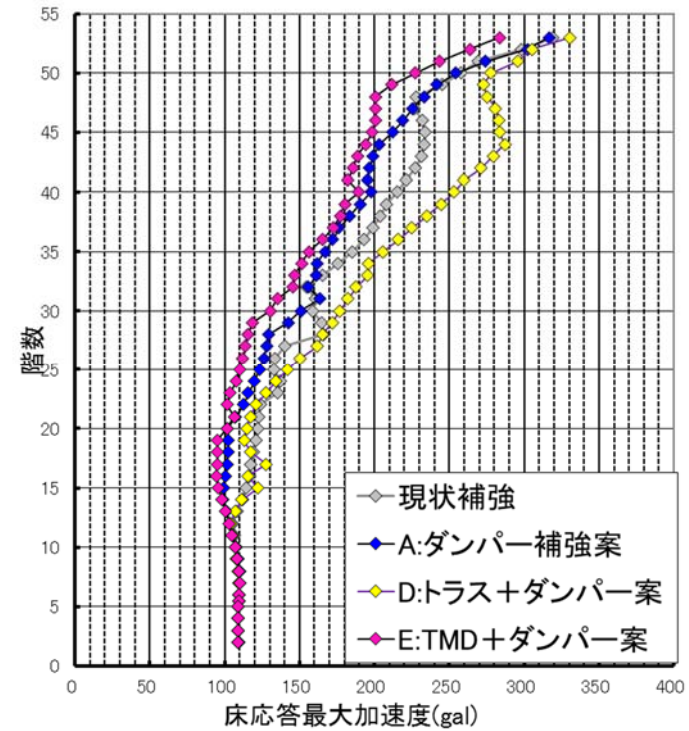
短辺方向

## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ D・E案の最大床応答加速度



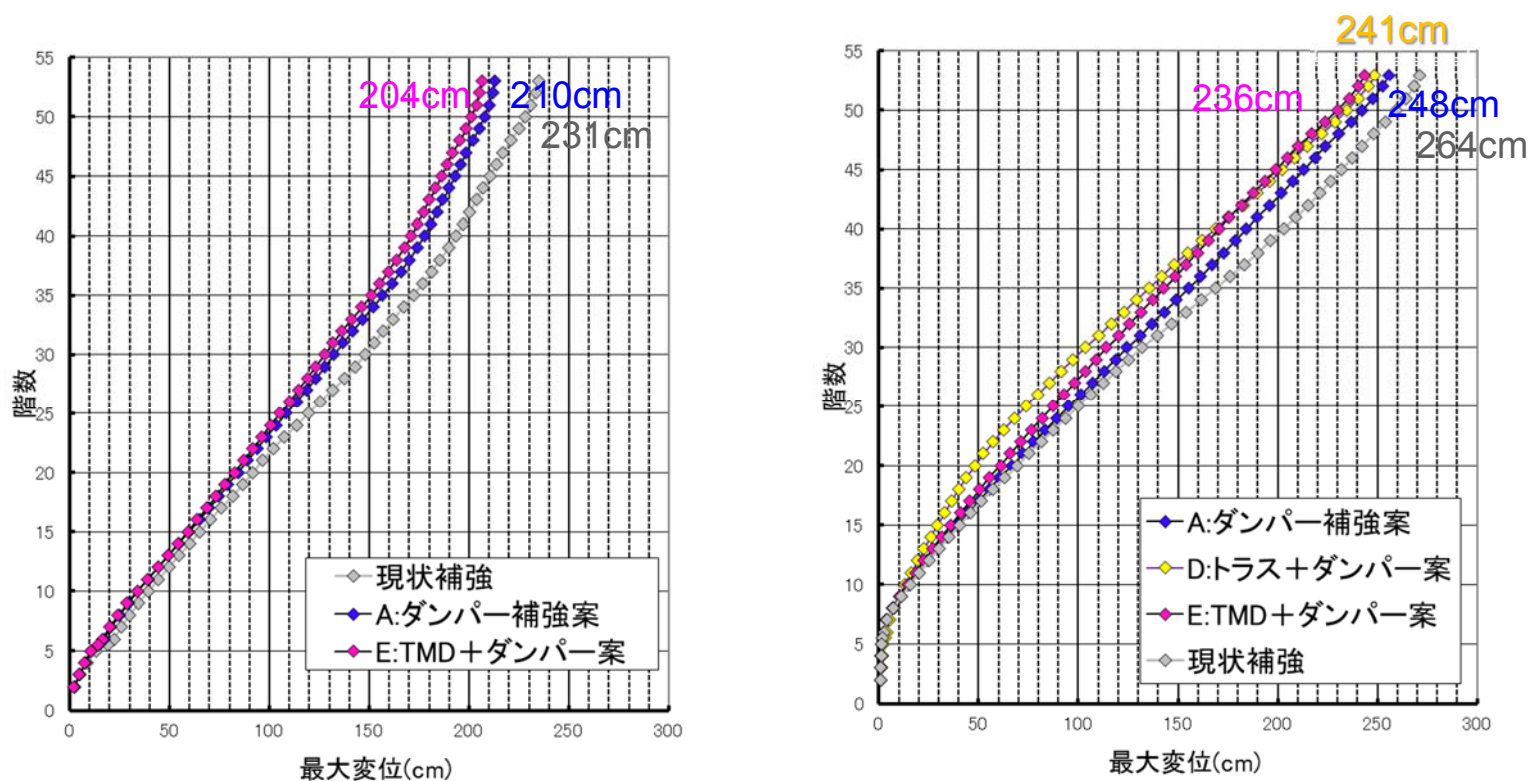
長辺方向



短辺方向

## 4. 各種対策工法の基整促波に対する検討

### ■ D・E案の全体変位



長辺方向

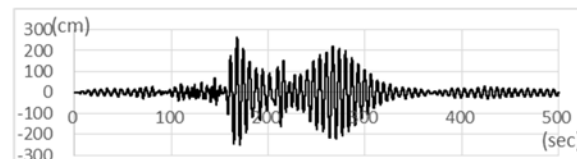
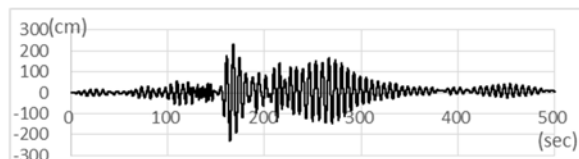
短辺方向

(長辺方向のD案はA案と同じ)

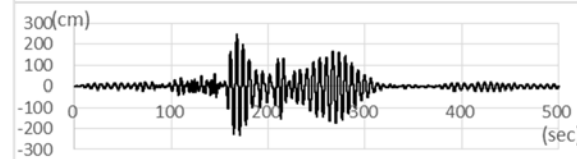
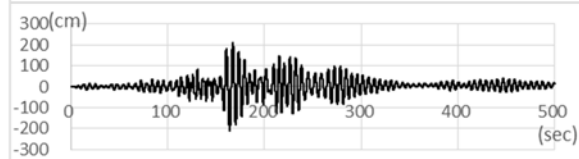


# ■ 基整促波に対する各種対策工法の 51階(42階)変位応答時刻歴波形

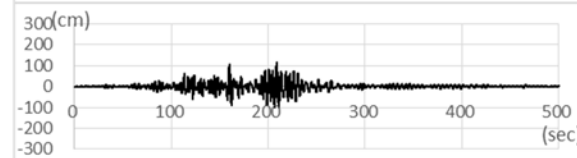
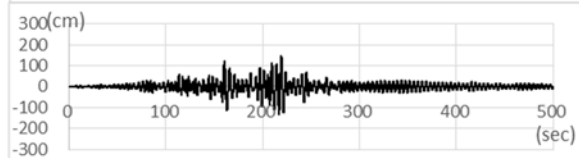
現状補強



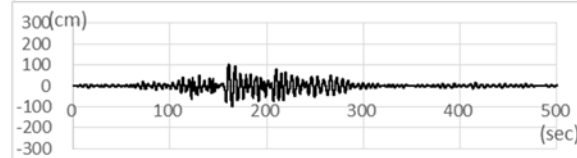
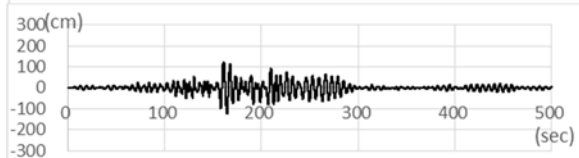
A:ダンパー補強案



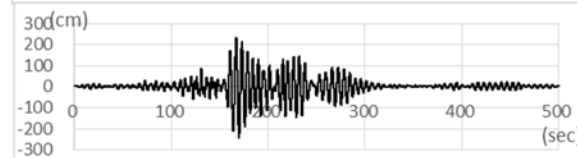
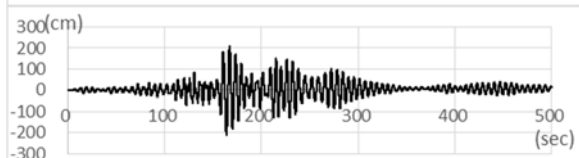
B:減築案  
(42階変位)



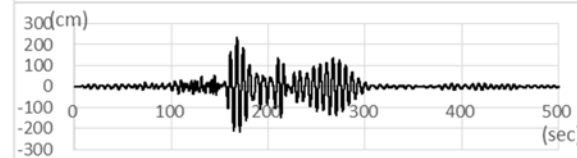
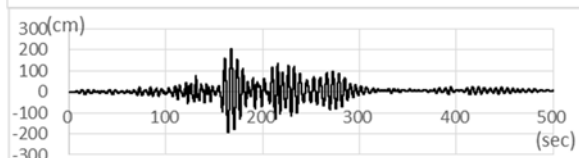
C:中間層免震案



D:トラス+ダンパー案



E:TMD+ダンパー案



長辺方向

短辺方向

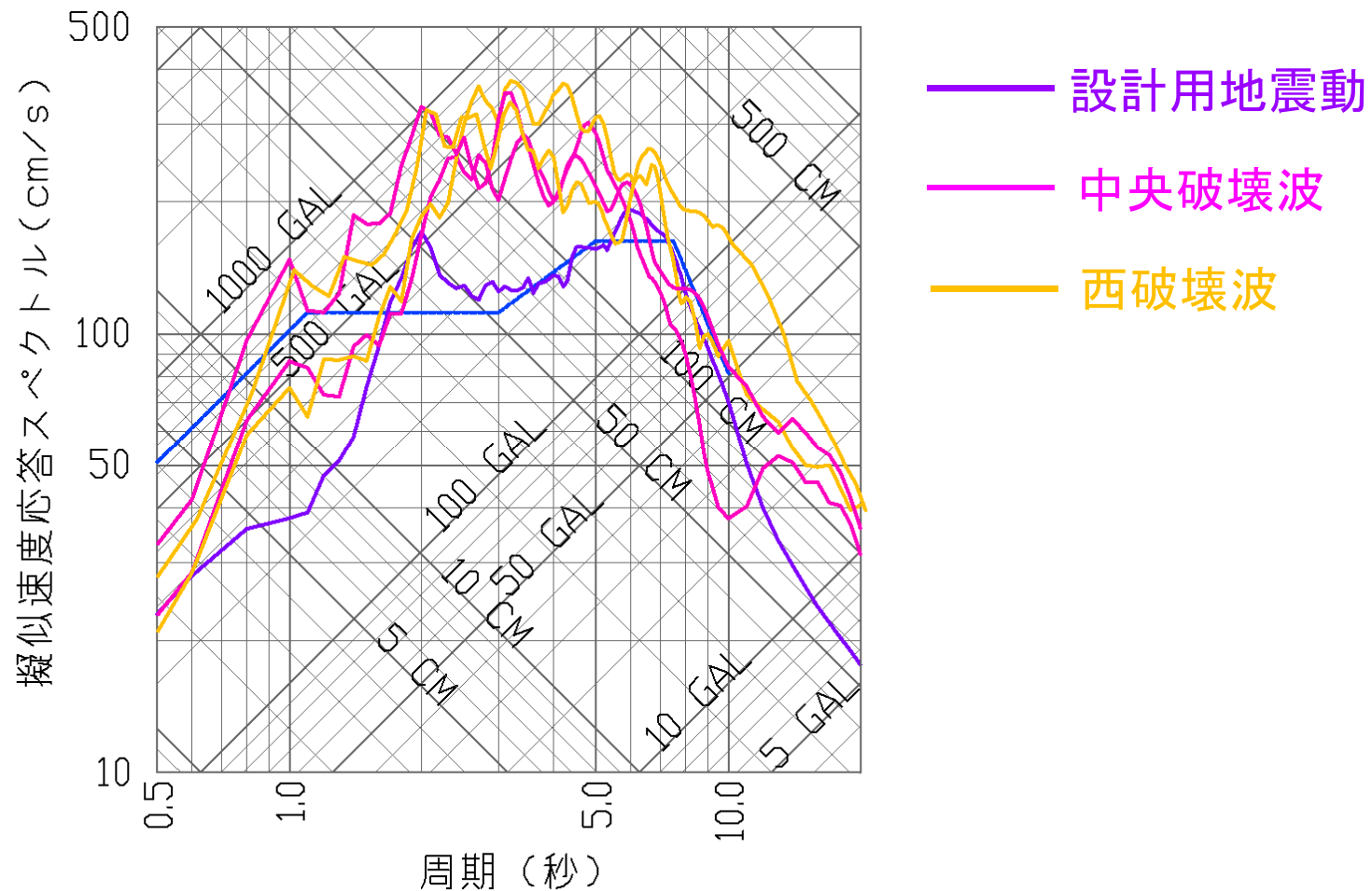
## ■ 基整促波に対する応答解析結果のまとめ

		A：ダンパー補強案		B：減築案		C：中間層免震案		D：トス+ダンパー案		E：TMD+ダンパー案	
一次固有周期		長辺：5.8秒 短辺：6.6秒		長辺：4.3秒 短辺：4.2秒		長辺：9.6秒 短辺：9.4秒		長辺：5.8秒 短辺：5.8秒		長辺：5.8秒 短辺：6.6秒	
長辺方向	層の塑性率	1.9	< 2.0	1.5	< 2.0	0.9	< 2.0	1.9	< 2.0	1.8	< 2.0
	層間変形角	1/76		1/92		1/164		1/76		1/76	
	局所層間せん断変形角	1/80	< 1/70	1/90	< 1/70	1/148	< 1/70	1/80	< 1/70	1/80	< 1/70
	最大変位	210cm		145cm	(最上階)	125cm		210cm		204cm	
	免震層又はTMDの変形	—		—		48cm	< 65cm	—		173cm	
短辺方向	層の塑性率	1.5	< 2.0	1.0	< 2.0	1.0	< 2.0	1.6	< 2.0	1.4	< 2.0
	層間変形角	1/57		1/106		1/111		1/54		1/60	
	局所層間せん断変形角	1/84	< 1/70	1/118	< 1/70	1/123	< 1/70	1/73	< 1/70	1/92	< 1/70
	最大変位	248cm		118cm	(最上階)	104cm		241cm		236cm	
	免震層又はTMDの変形	—		—		44cm	< 65cm	—		186cm	

各対策工法とも、設定した設計クライテリアを満足している。

# 5. 各種対策工法の中央破壊波・西破壊波 に対する検討

■ 第3回専門家ミーティングで提示した中央破壊波・西破壊波



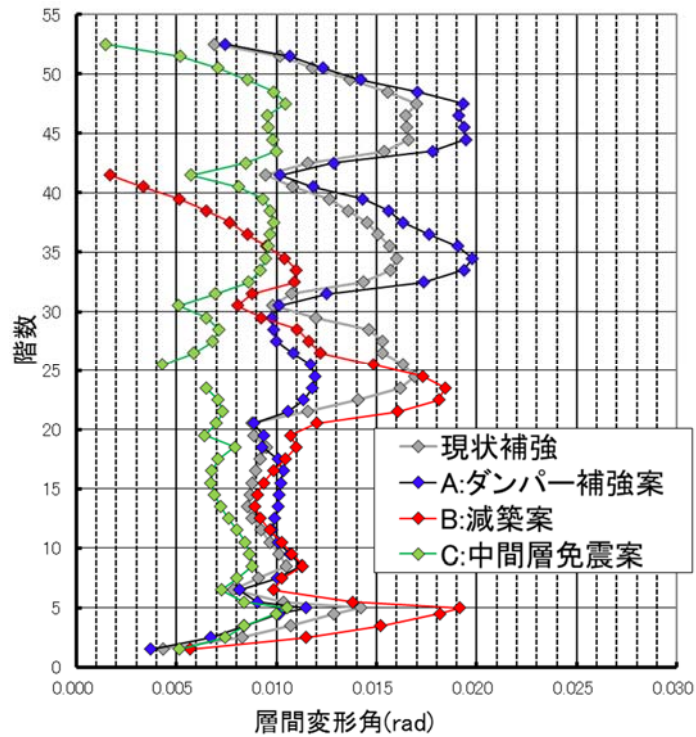
## 5. 各種対策工法の中央破壊波・西破壊波 に対する検討

■A・B・C案に対して検討する。

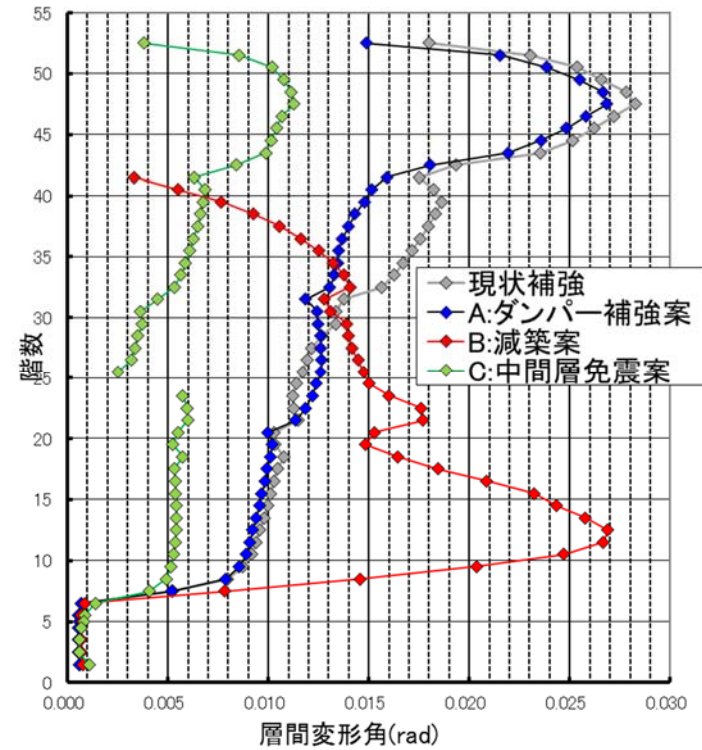
■A案(ダンパー補強案)とB案(減築案)については、層間変形角が等価せん断型モデルの適用範囲を超えるため、第3回専門家ミーティング時と同様に、魚骨モデルにて解析を行う。

■短辺方向の耐震ブレースの耐力は、引張耐力と座屈後安定耐力の平均値として評価して解析する。  
(前回は、引張側も座屈後安定耐力として解析)

# ■ 中央破壊波に対するA・B・C案の全体層間変形角



長辺方向

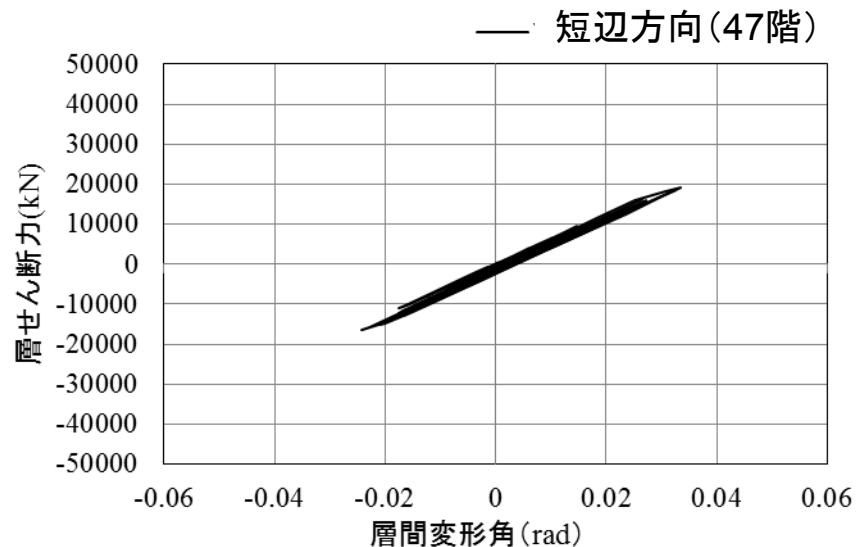
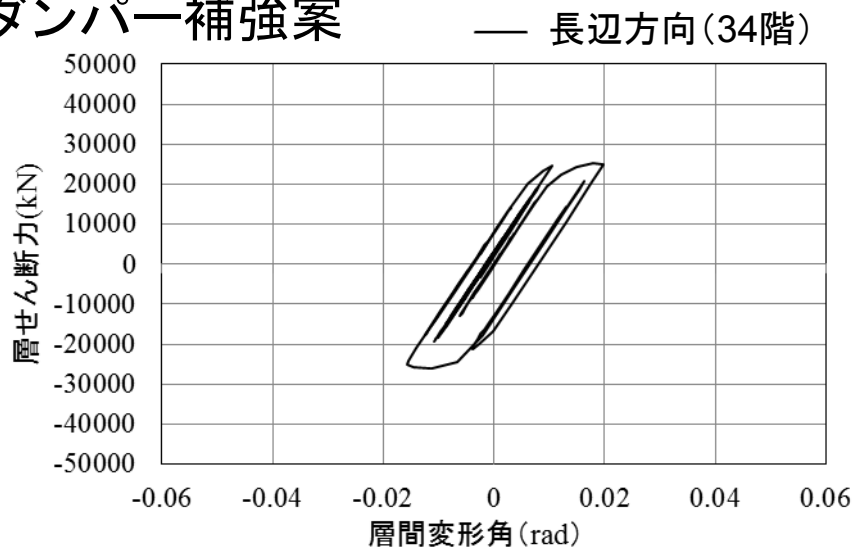


短辺方向

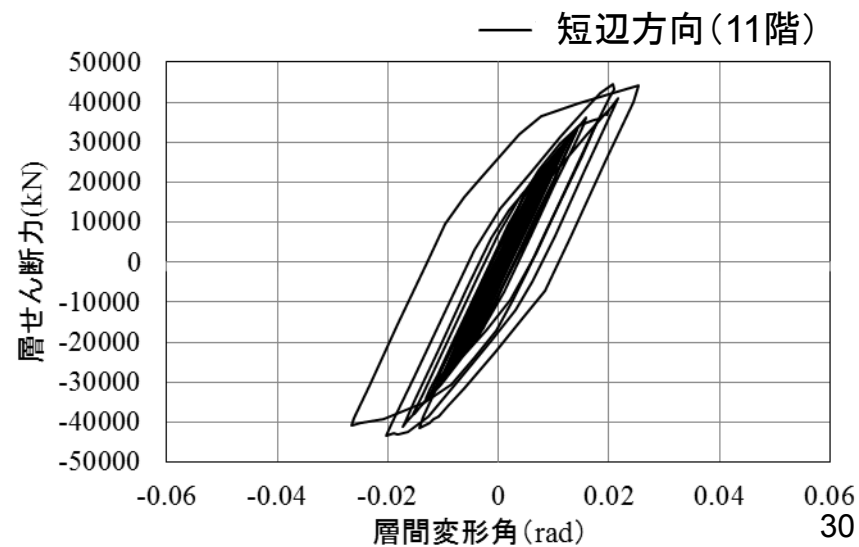
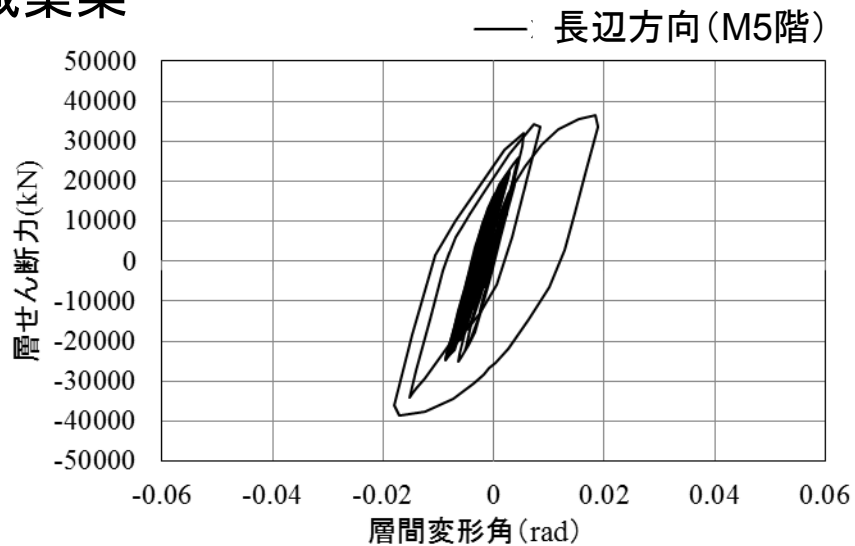
# ■ 中央破壊波に対するA・B案の履歴曲線

A,B案とも最大層間変形角が生じる階の履歴曲線は、安定した応答の範囲内にある。

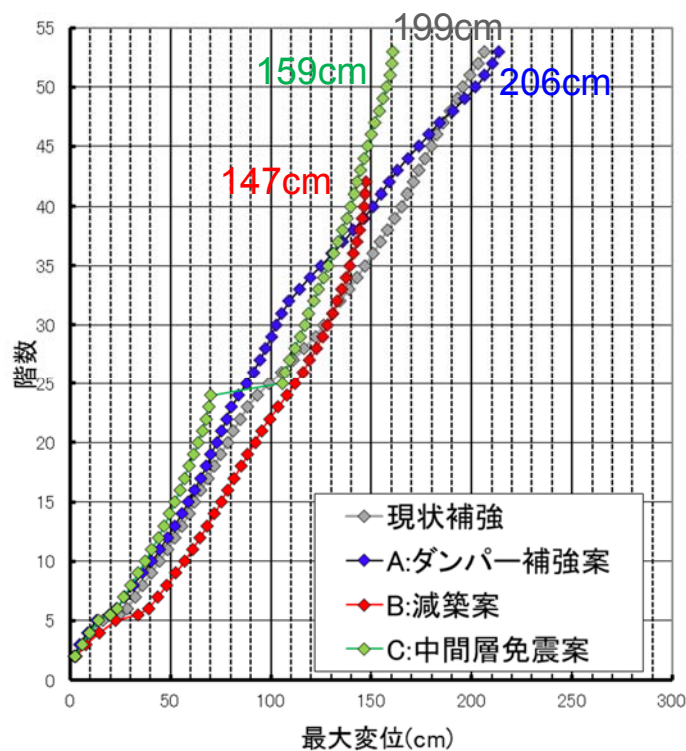
## A:ダンパー補強案



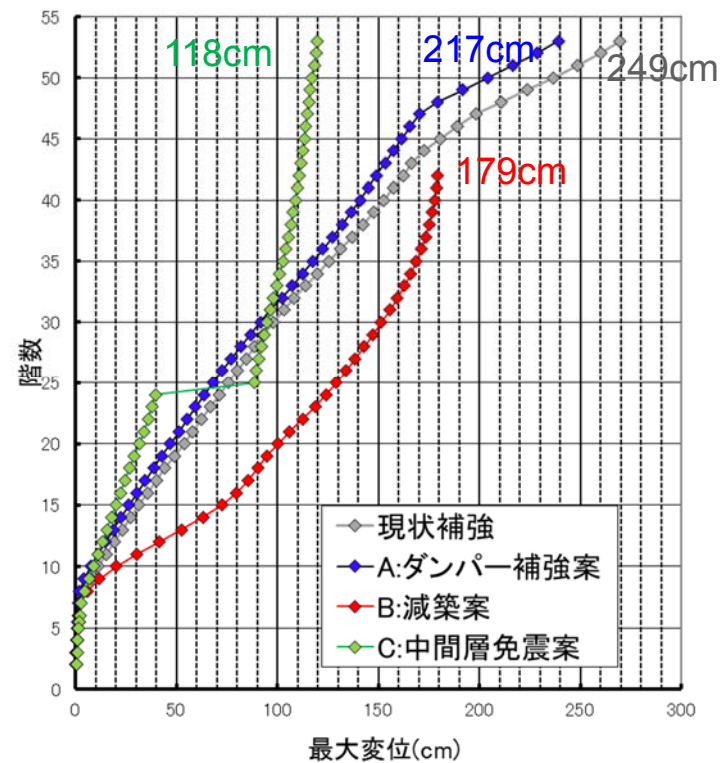
## B:減築案



## ■ 中央破壊波に対するA・B・C案の全体変位



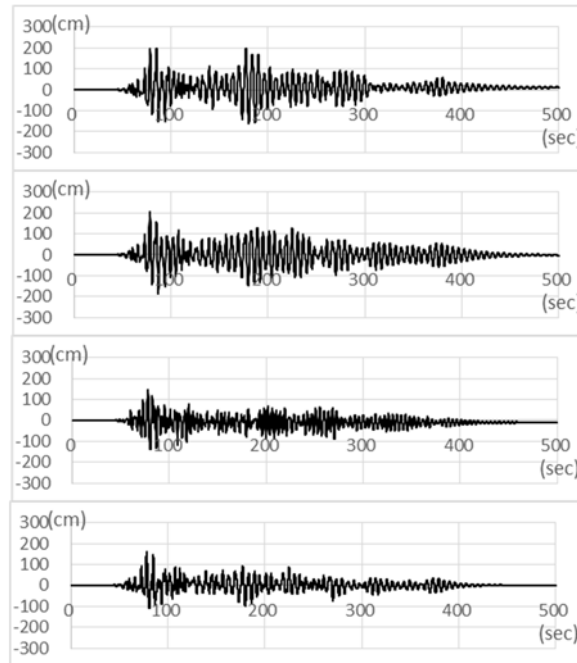
長辺方向



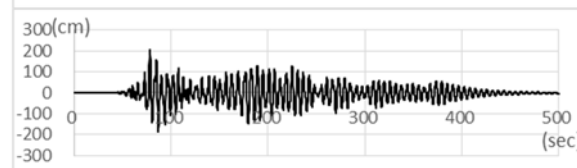
短辺方向

# ■ 中央破壊波に対するA・B・C案の 51階(42階)変位応答時刻歴波形

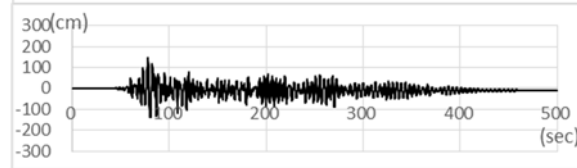
現状補強



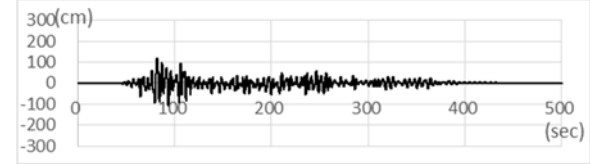
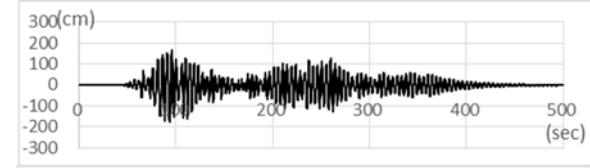
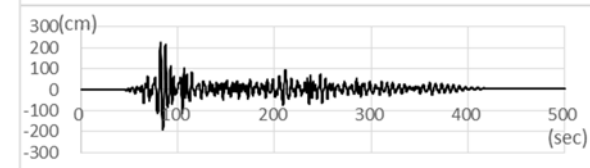
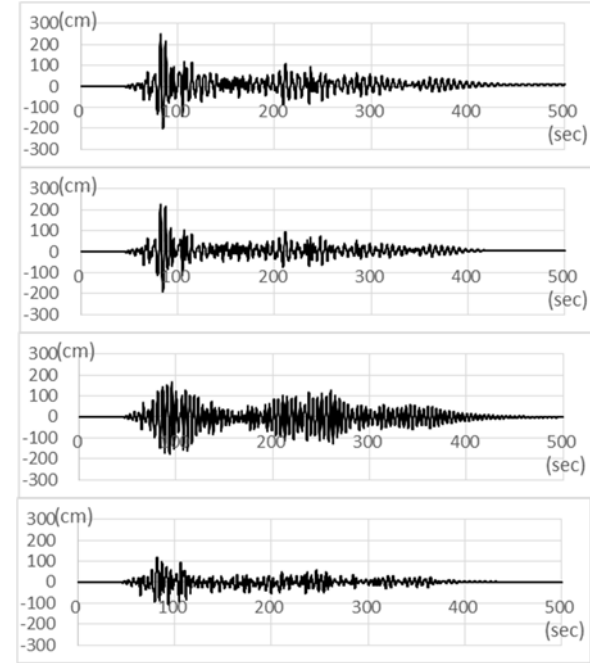
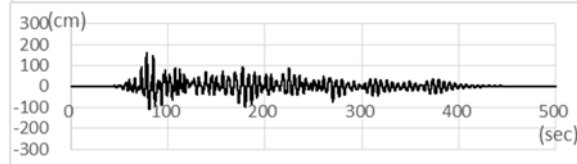
A:ダンパー補強案



B:減築案  
(42階変位)



C:中間層免震案



長辺方向

短辺方向

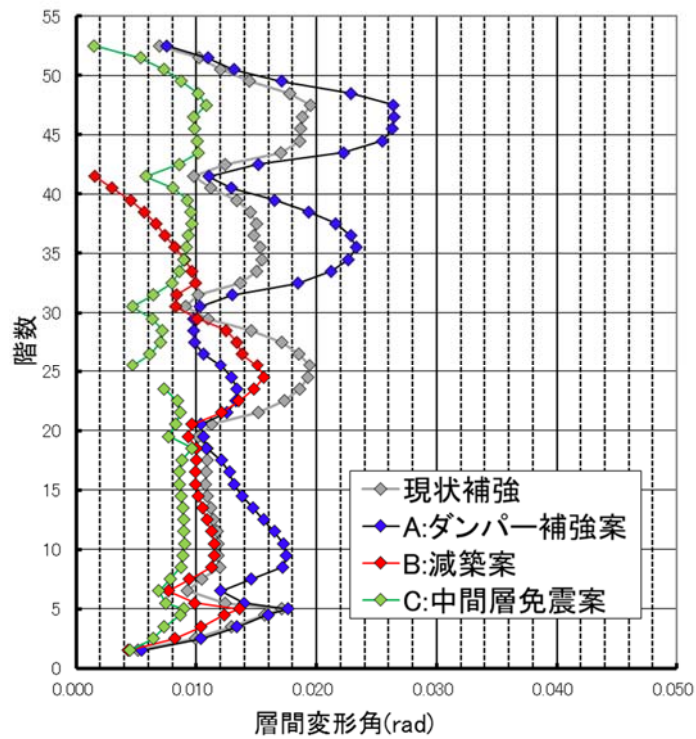


## ■ 中央破壊波に対する応答解析結果のまとめ

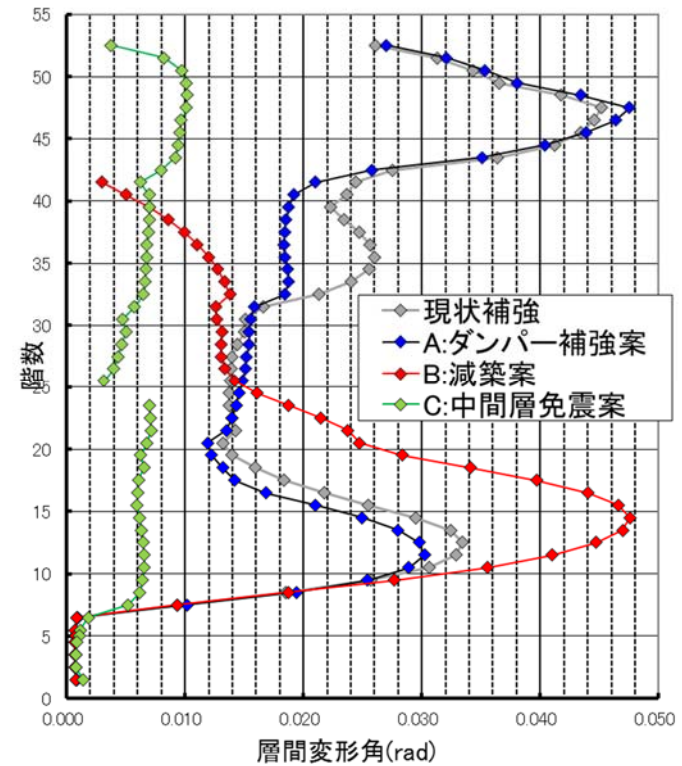
		A：ダンパー補強案	B：減築案	C：中間層免震案
	一次固有周期	長辺：5.9秒 短辺：6.6秒	長辺：4.3秒 短辺：4.4秒	長辺：9.6秒 短辺：9.4秒
長辺方向	全体層間変形角	1/51	1/52	1/95
	最大変位	206cm	147cm	159cm
	免震層変位	-	-	70cm
	層の塑性率	-	-	1.4
	梁塑性率（最大値）	2.64	3.52	-
短辺方向	全体層間変形角	1/37	1/37	1/89
	最大変位	228cm	179cm	118cm
	免震層変位	-	-	60cm
	層の塑性率	-	-	1.3
	梁塑性率（最大値）	2.11	3.34	-

A・B案とも中央破壊波に対して、非倒壊であることを確認。  
C案は免震層の変形が終局限界変形以下であることを確認。

# ■西破壊波に対するA・B・C案の層間変形角



長辺方向

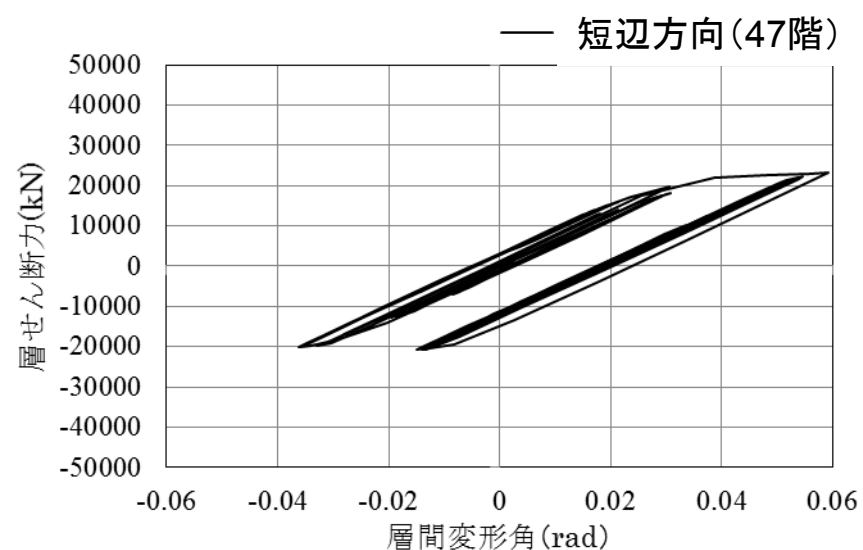
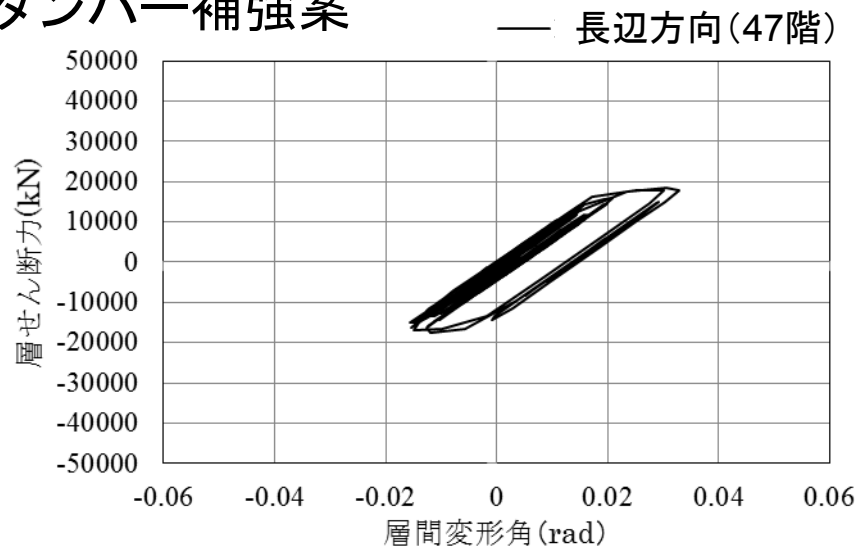


短辺方向

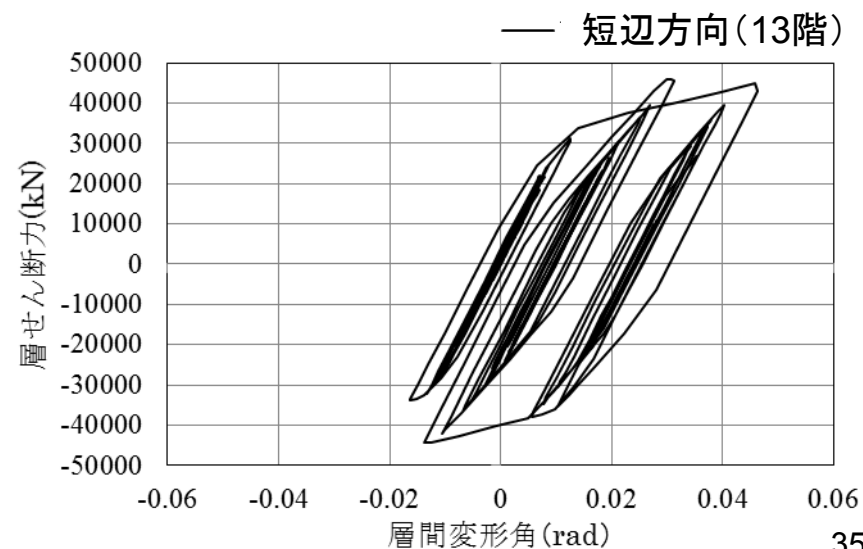
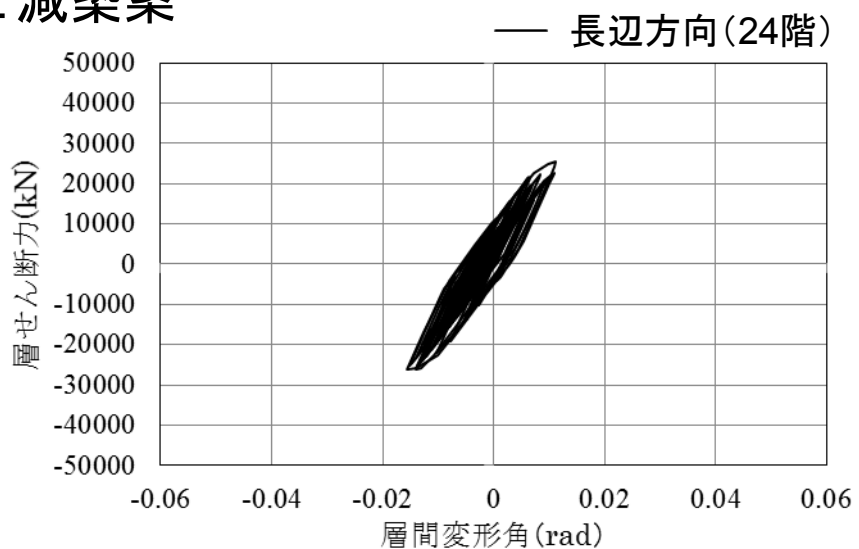
# ■西破壊波に対するA・B案の履歴曲線

A・B案とも最大層間変形角が生じる階の履歴曲線は、安定した応答の範囲内にある。

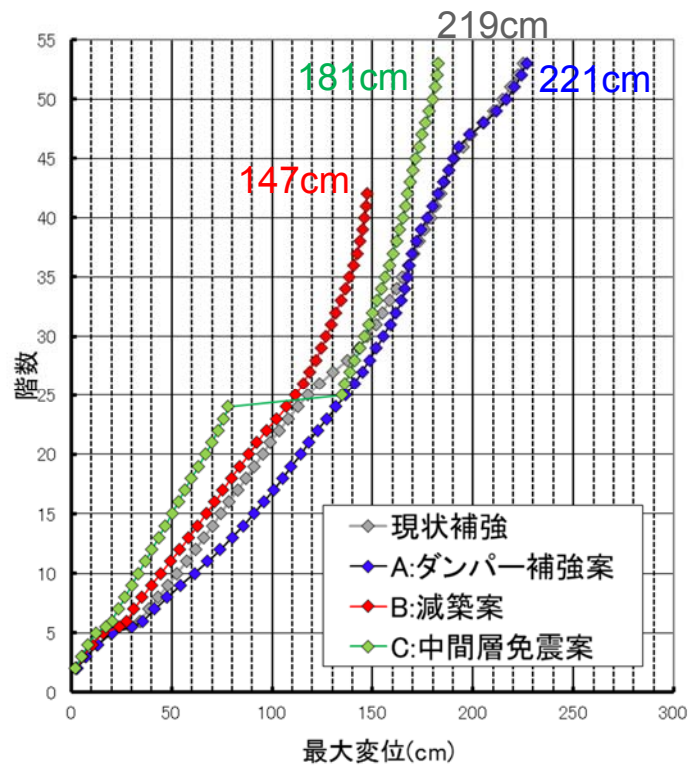
## A:ダンパー補強案



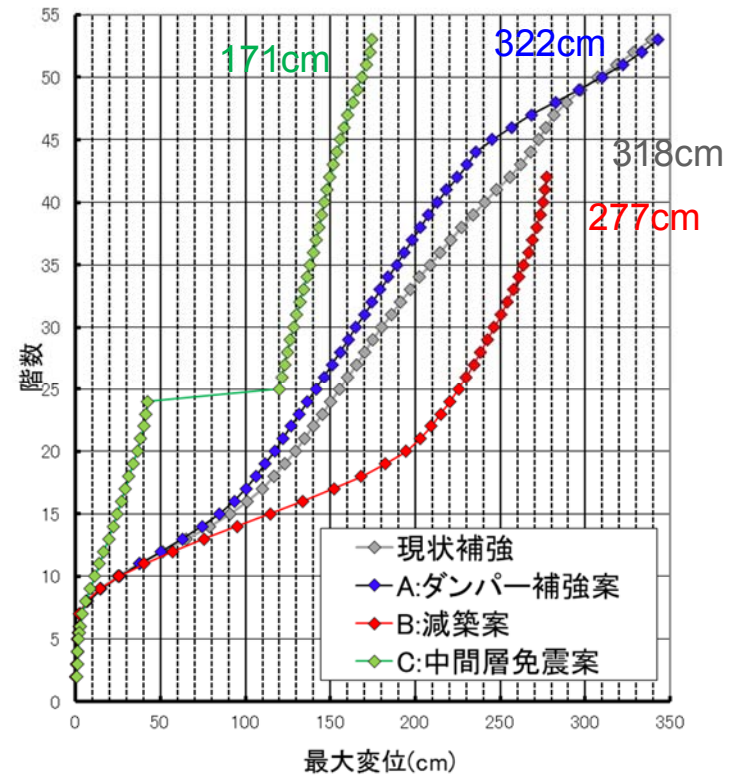
## B:減築案



## ■西破壊波に対するA・B・C案の全体変位



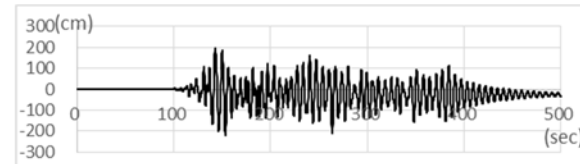
長辺方向



短辺方向

# ■西破壊波に対するA・B・C案の 51階(42階)変位応答時刻歴波形

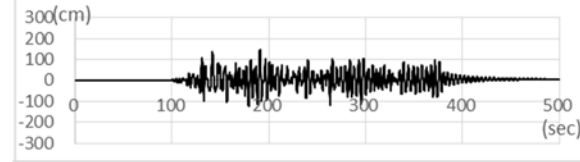
現状補強



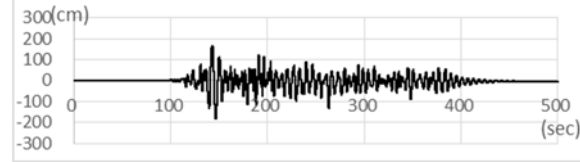
A:ダンパー補強案



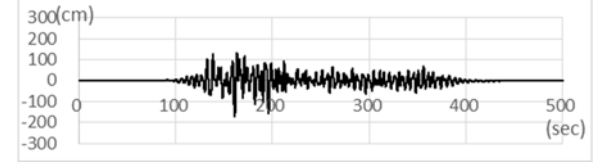
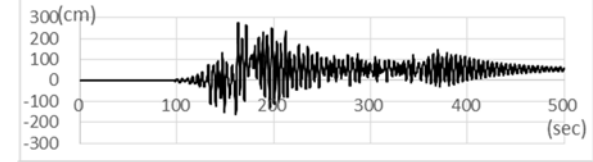
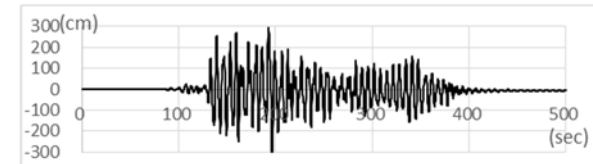
B:減築案  
(42階変位)



C:中間層免震案



長辺方向



短辺方向

## ■西破壊波に対する応答解析結果のまとめ

		A：ダンパー補強案	B：減築案	C：中間層免震案
	一次固有周期	長辺：5.9秒 短辺：6.6秒	長辺：4.3秒 短辺：4.4秒	長辺：9.6秒 短辺：9.4秒
長辺方向	全体層間変形角	1/38	1/64	1/93
	最大変位	221cm	147cm	181cm
	免震層変位	-	-	83cm
	層の塑性率	-	-	1.4
	梁塑性率（最大値）	3.95	3.13	-
短辺方向	全体層間変形角	1/21	1/21	1/98
	最大変位	322cm	277cm	171cm
	免震層変位	-	-	89cm
	層の塑性率	-	-	1.4
	梁塑性率（最大値）	3.11	4.17	-

A・B案とも西破壊波に対して、非倒壊であることを確認。  
C案は免震層の変形が終局限界変形以下であることを確認。

## 6. 各種対策工法のまとめ

- 各種対策工法とも揺れ幅が小さくなり、揺れが早く収まっている。
- 各対策工法とも、設定した設計クライテリアを満足している。
- 各種対策工法の効果・概算コスト・施工上の留意点は下表参照。

各種対策工法			A：ダンパー補強案	B：減築案	C：中間層免震案	D：トラス+ダウパ-案	E：TMD+ダウパ-案
各種対策工法の効果	層の塑性率 (2.0以下)	長辺方向	1.9	1.5	0.9	1.9	1.8
		短辺方向	1.5	1.0	1.0	1.6	1.4
	局所層間せん断変形角 (1/70以下)	長辺方向	1/80	1/90	1/148	1/80	1/80
		短辺方向	1/84	1/118	1/123	1/73	1/92
	基整促波に対する居室最上階の片側最大揺れ (参考)	長辺方向	210cm	145cm	125cm	210cm	204cm
		短辺方向	248cm	118cm	104cm	241cm	236cm
概算コスト	工事費		約18億円	約37億円	約130億円	約30億円	約25億円 +TMD製作費
	移転補償費		-	約19億円	約26億円	-	約4億円
	総費用		約18億円	約56億円	約156億円	約30億円	約29億円 +TMD製作費
施工上の留意点				<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事期間中の仮移転先の確保</li> <li>・ テナントの補償対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工事期間中の仮移転先の確保</li> <li>・ テナントの補償対応</li> <li>・ 工事期間中の風揺れ対策</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 咲洲庁舎用TMDの新規開発</li> <li>・ テナントの補償対応</li> </ul>

以上