

免震構造設計手順

～静的設計(告示免震)及び動的設計について～

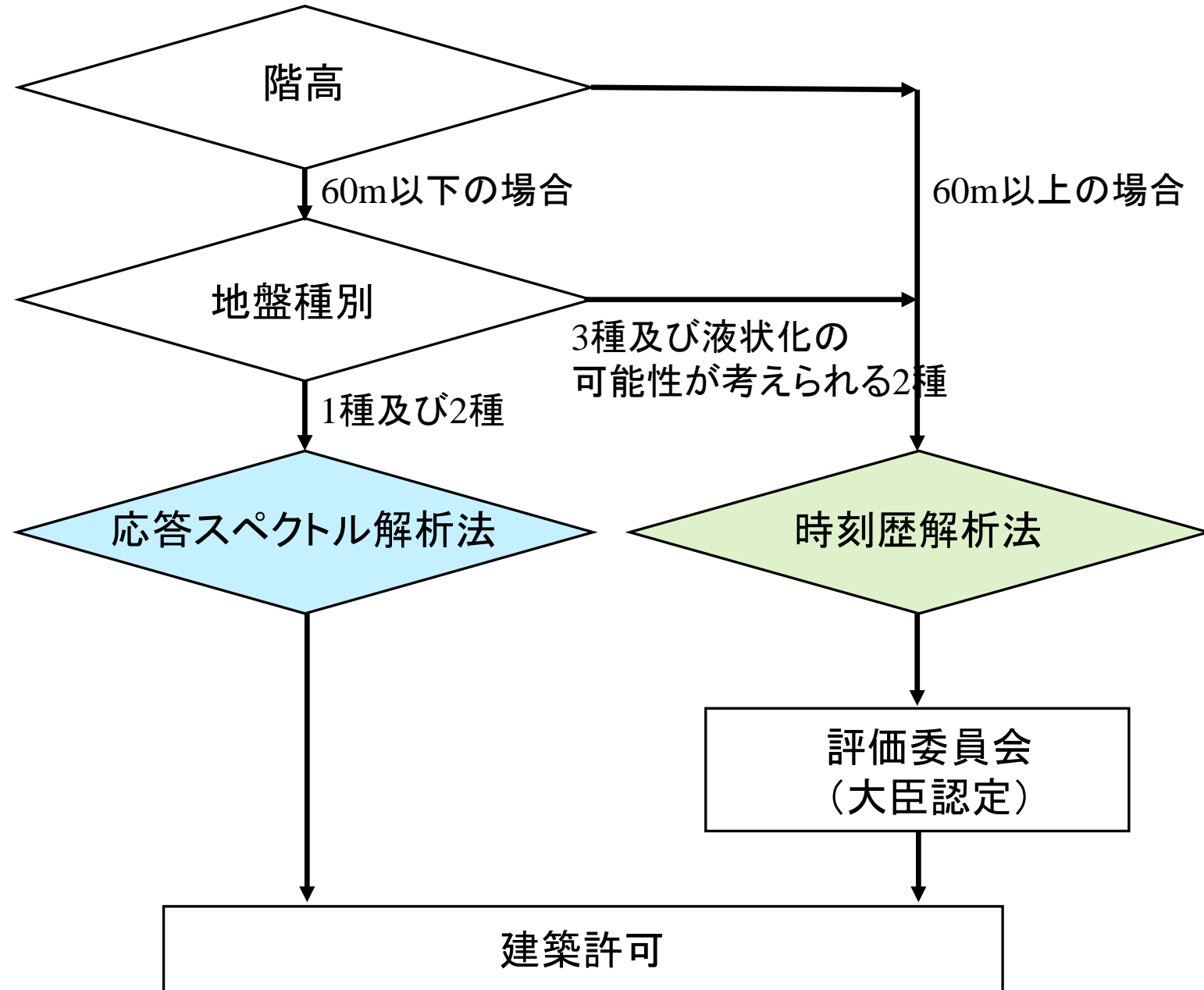
参考文献：国土交通省住宅局建築指導課他、編集「免震建築物の技術基準
解説及び計算例とその解説」工学図書株式会社、平成13年5月

齊藤大樹

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 教授

高野脩悟

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学専攻 修士2年



目次

1. 対象建物概要
2. 応答スペクトル解析法(RSM)
3. 時刻歴応答解析法(THA)

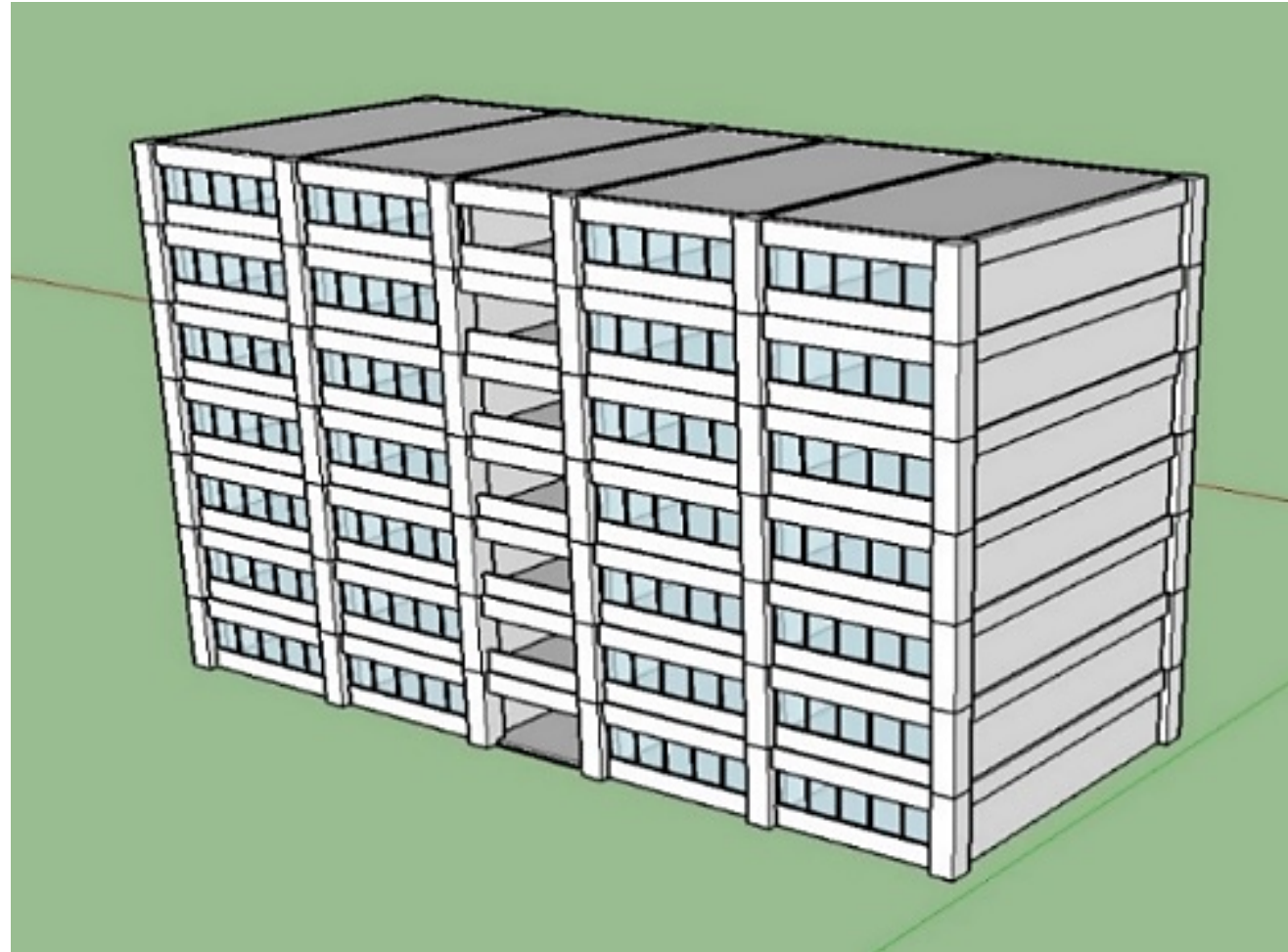


図1: 対象建物外観

対象建物概要 その2:設計条件詳細

表1: 建物詳細

建物種別	マンション	
総床面積(m ²)	1950	
最高高さ(m)	23.6	
構造分類	鉄筋コンクリート構造	
構造種別	X 方向	RC 枠
	Y 方向	RC 枠 + RC 壁
基礎	コンクリート杭基礎	

表2: 各階高さ及び重量

階	高さ(mm)	重量(kN)
7	3000	4410
6	3000	4165
5	3000	4165
4	3000	4165
3	3000	4214
2	3000	4214
1	3000	4214
i	1700	5292

表3: 各階方向剛性

階	高さ (mm)	水平剛性 (kN/mm)	
		X 軸	Y 軸
7	3000	951	3243
6	3000	2407	3553
5	3000	1242	5957
4	3000	1336	7950
3	3000	1457	10183
2	3000	1544	12966
1	3000	2005	12814

表4: 材料強度

材料	(N/mm ²)	
	鉄筋	主筋
せん断補強筋		295
コンクリート		24

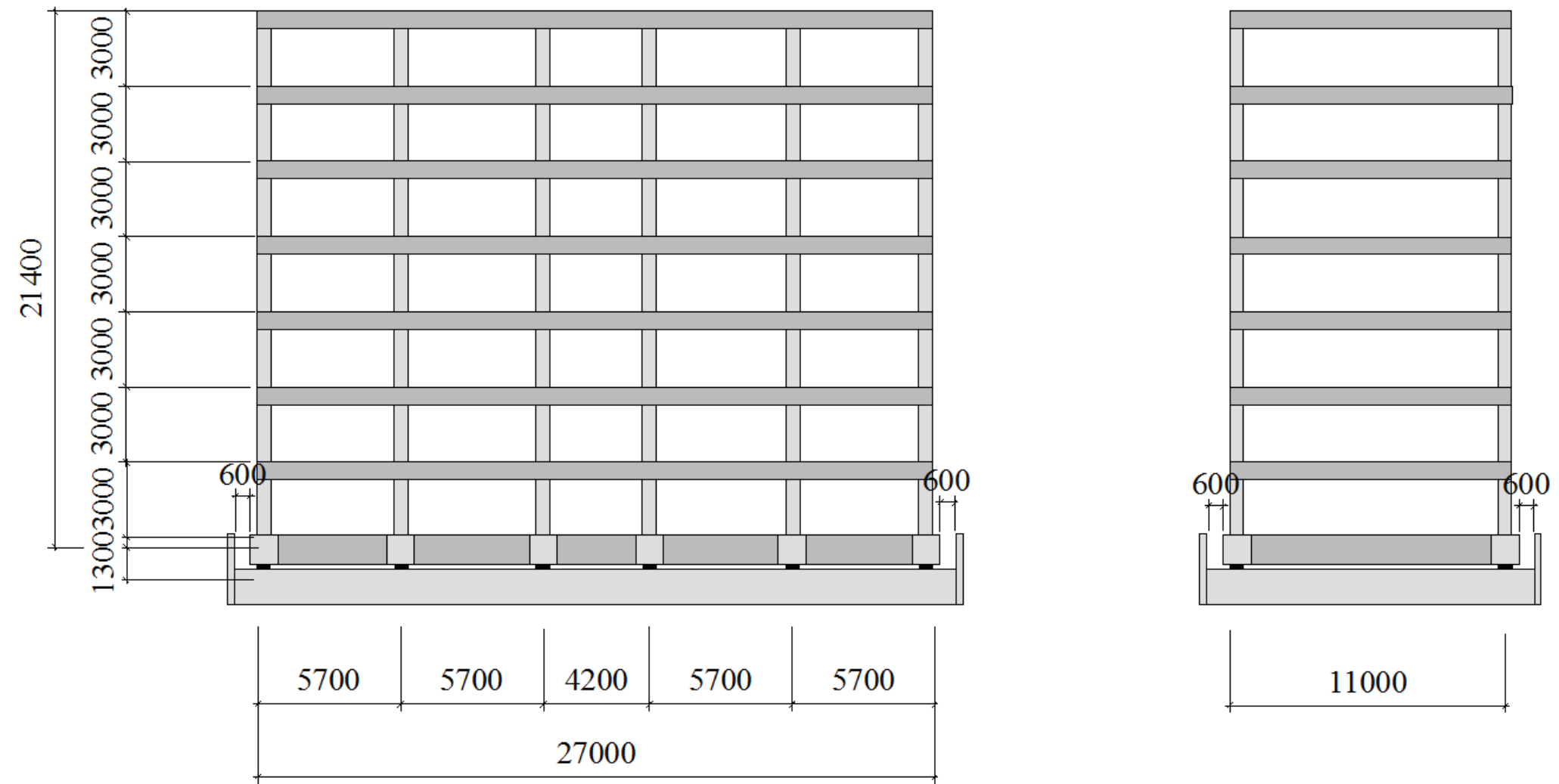


図2 対象建物立面図

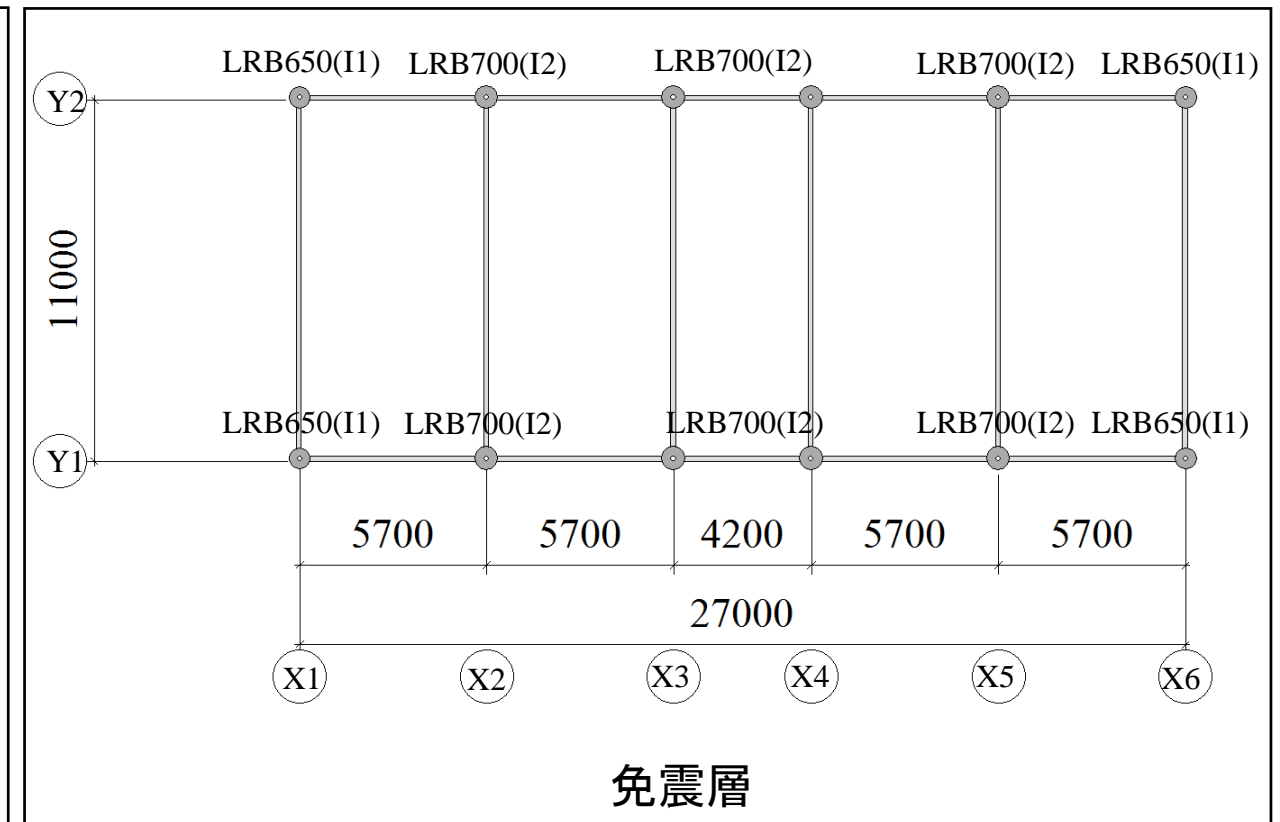
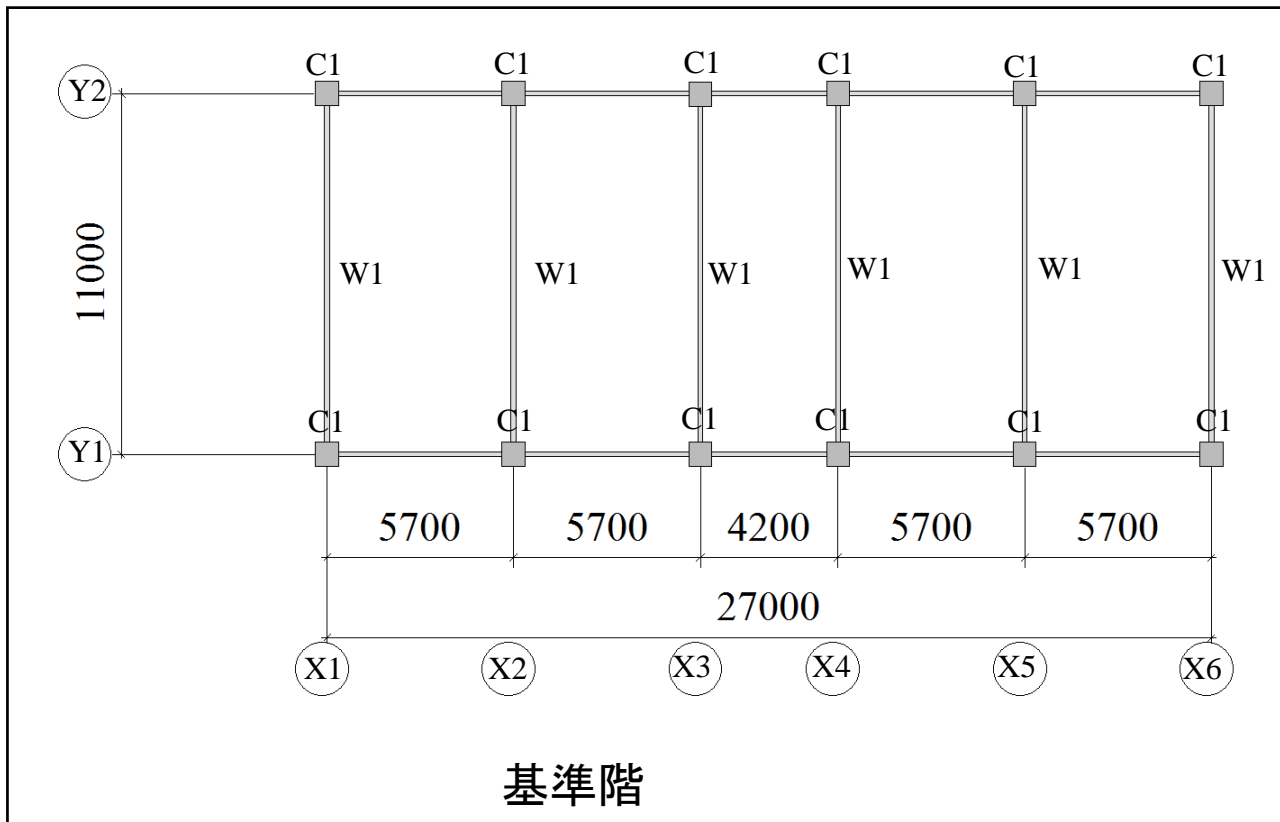
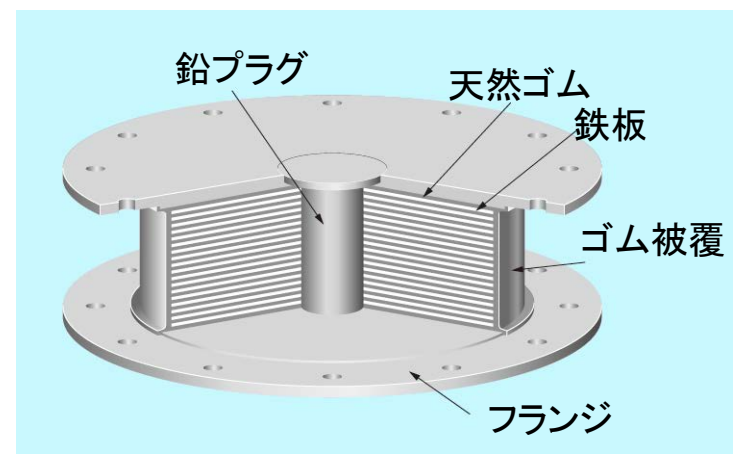


図3: 対象建物平面図

LRBφ650 4基

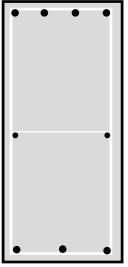
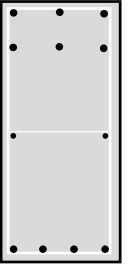
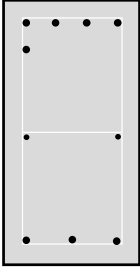
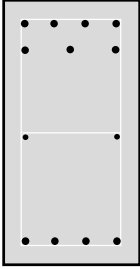
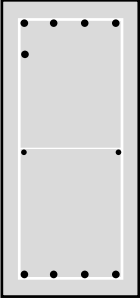
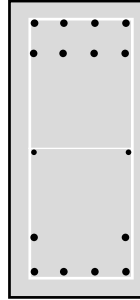
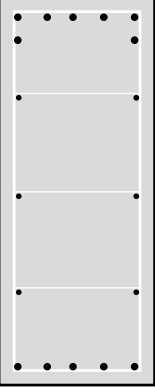
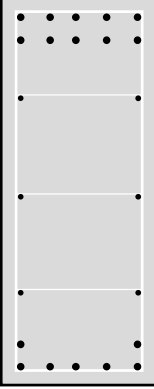
LRBφ700 8基



LRB

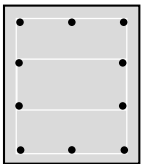
对象建物部材: 梁

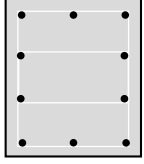
表5: 梁詳細

階	梁		
	記号	G1	G2
6,7	主筋(上)	4-D25	6-D25
	主筋(下)	3-D25	4-D25
	帯筋	D13-@200	D13-@200
		700*350	700*350
	h*b		
4,5	記号	G1	G2
	主筋(上)	5-D25	7-D25
	主筋(下)	3-D25	4-D25
	帯筋	D13-@200	D13-@200
		750*400	750*400
	h*b		
2,3	記号	G1	G2
	主筋(上)	5-D25	8-D25
	主筋(下)	4-D25	6-D25
	帯筋	D13-@200	D13-@200
		800*400	800*400
	h*b		
1	記号	G1	G2
	主筋(上)	7-D25	10-D25
	主筋(下)	5-D25	7-D25
	帯筋	D13-@200	D13-@200
		1300*500	1300*500
	h*b		

対象建物部材: 柱

表6: 柱詳細

階	柱	
5,6,7	記号	C1
	主筋	10-D25
	あばら筋	D13-@100
		700*750
	h*b	

3,4	記号	C1
	主筋	12-D25
	あばら筋	D13-@100
		700*750
	h*b	

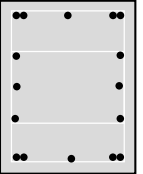
1,2	記号	C1
	主筋	12-D25
	あばら筋	D13-@100
		750*750
	h*b	

表7: 壁詳細

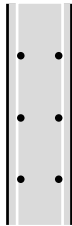
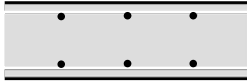
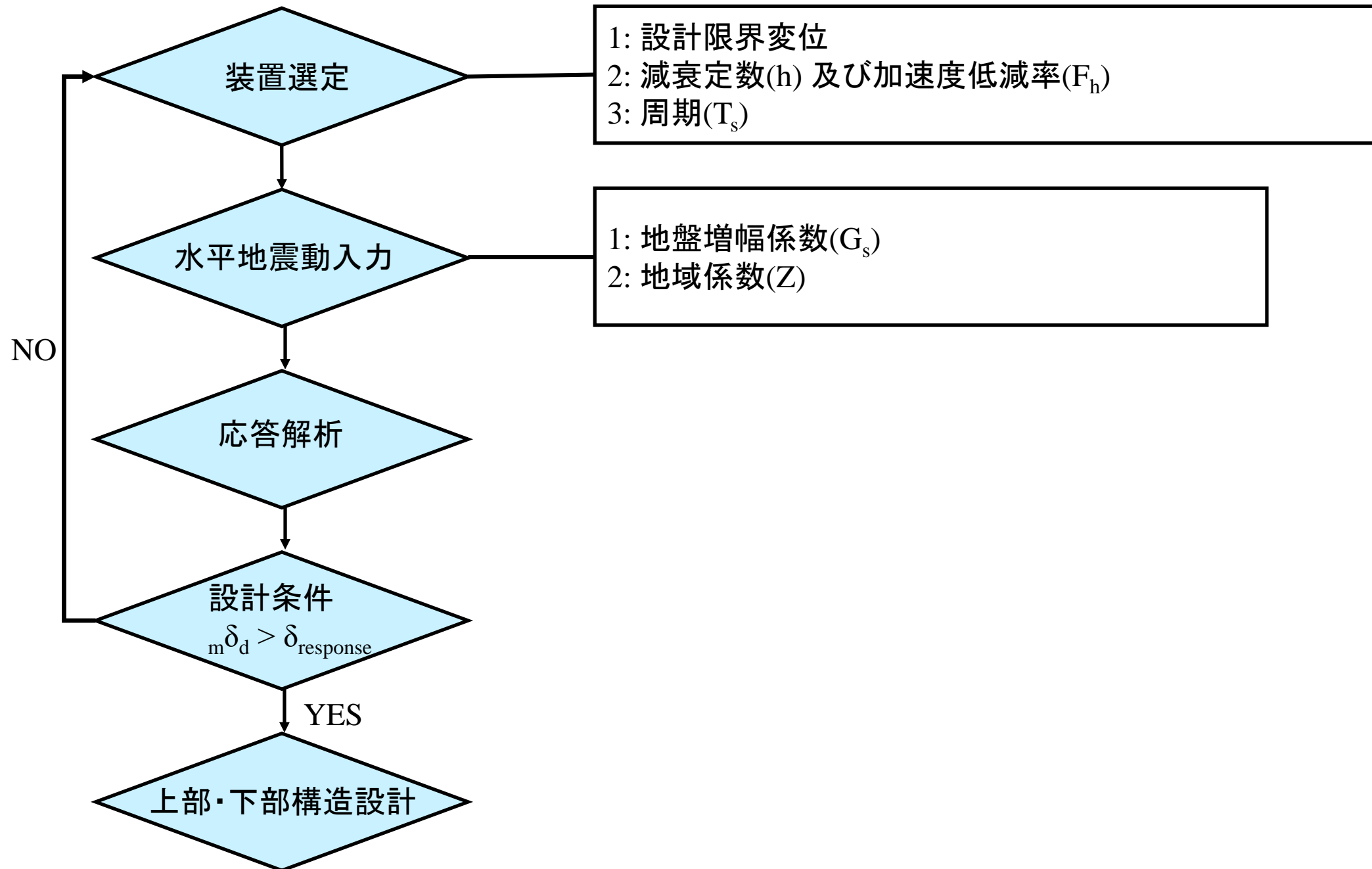
階	壁	W1
全階	壁厚(mm)	200
	せん断補強筋	2-D13@200
		

表8: スラブ詳細

階	スラブ	
全階	スラブ厚(mm)	220
	せん断補強筋	D13@100
		

目次

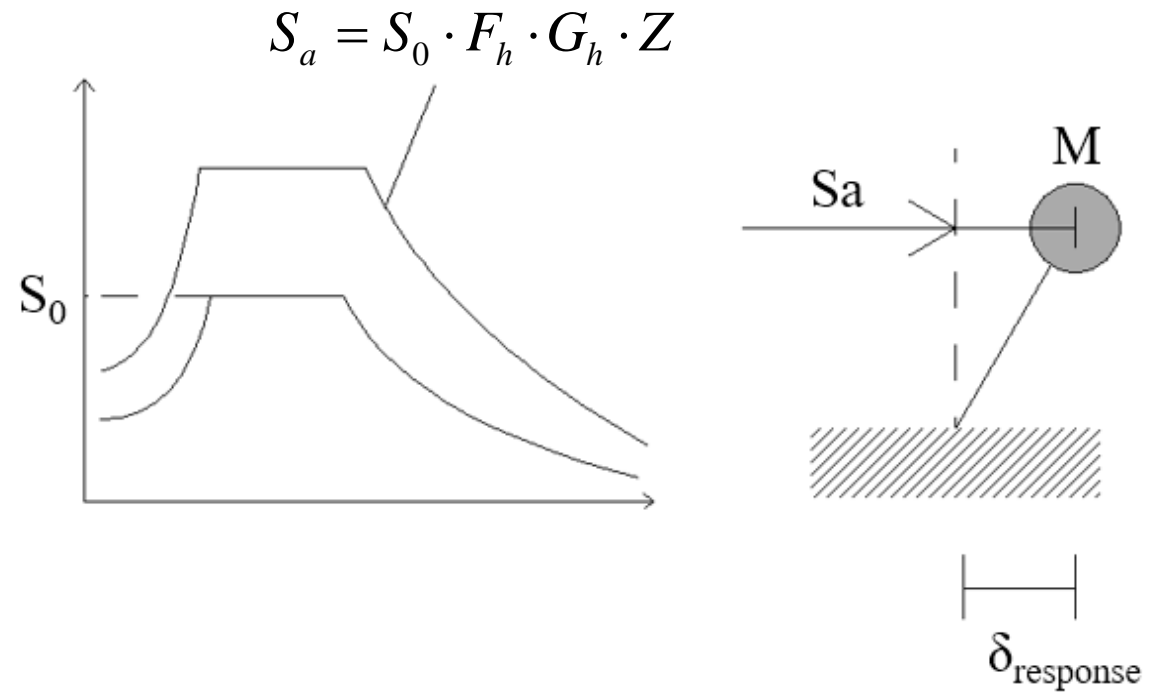
1. 対象建物概要
2. 応答スペクトル解析法 (RSM)
3. 時刻歴応答解析法 (THA)



(1) 式及び (2)式を用いて地震力を算定する

$$Q = S_a \cdot M$$

$$\delta_{response} = 1.1 \cdot \alpha \cdot \left(\frac{Q}{K} \right)$$



- S_0 : 工学的基盤での設計用加速度応答スペクトル (減衰定数5%)
- F_h : 加速度応答スペクトルの低減率
- G_s : 地盤増幅係数
- Z : 地震地域係数
- α : 製品のばらつき、環境及び経年劣化による係数 (1.2を下回る場合は1.2とする)

図4 水平力設計手法

表9-1: 免震装置詳細

免震装置詳細	LRBφ650(I1)	LRBφ700(I2)
ゴム外径(mm)	650	700
ゴム 1 層厚(mm)	4.2	4.5
Hr(mm): ゴム有効高	159.6 (4.2×38層)	162 (4.5×36層)
S1: 一次形状係数	38.7	38.9
S2: 二次形状係数	4.1	4.3
K1(kN/m): 初期剛性	10,695	12,217
K2(kN/m): 第2剛性	823	940
Qy(kN): 降伏荷重	122.7	140.9
δy(m): 降伏変形	0.0115	0.0115

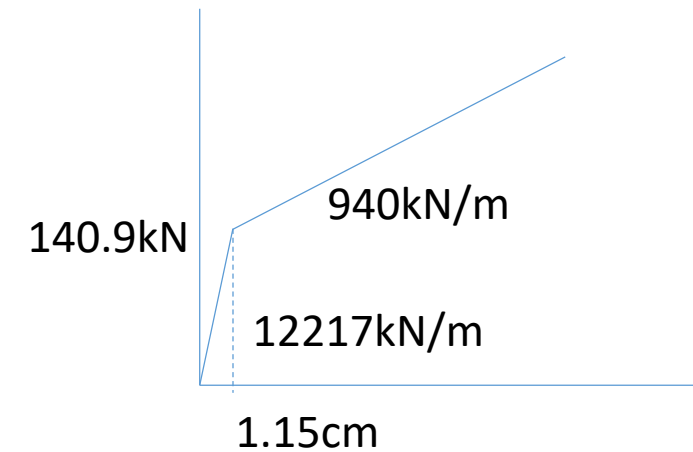
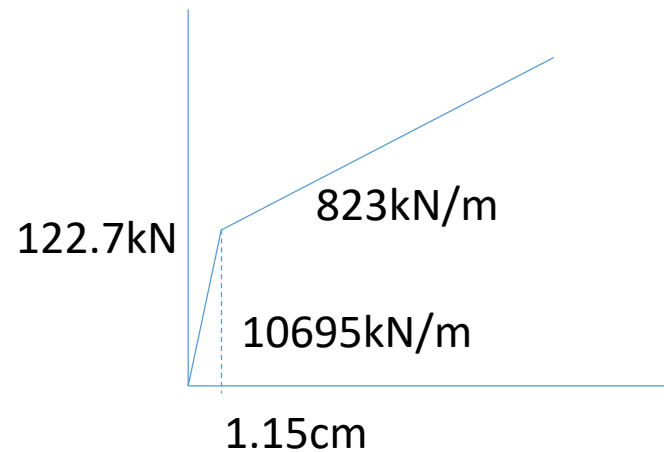
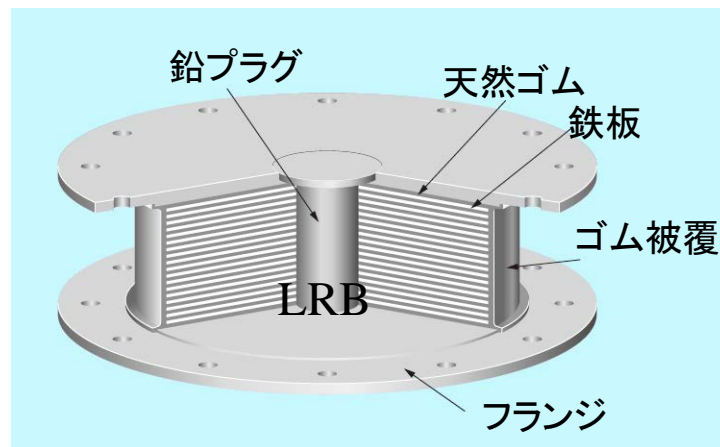


表9-2: 免震装置詳細

免震装置詳細	LRBφ650(I1)	LRBφ700(I2)
σ_0 (N/mm ²):鉛直基準強度	30	36
$1/3(\sigma_0)$ (N/mm ²)	10	12
γ (%): 水平限界ひずみ	342.27	353.62
δ_u (mm):水平限界変形	546	573
β :装置による係数	0.8	
$m\delta_d$ (mm):設計限界変形	437	459

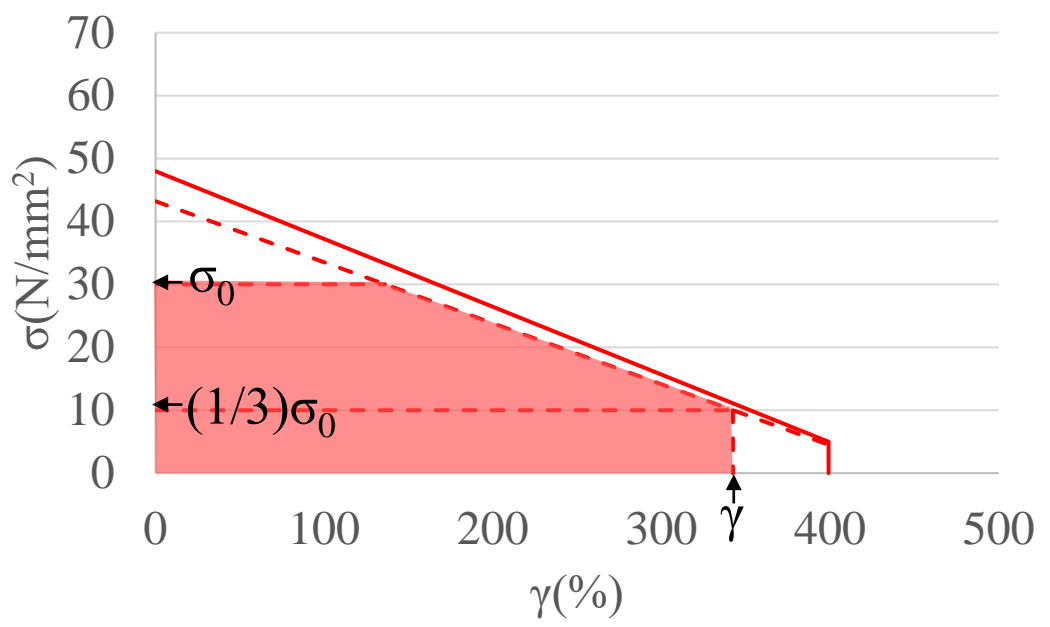


図5 LRBΦ650

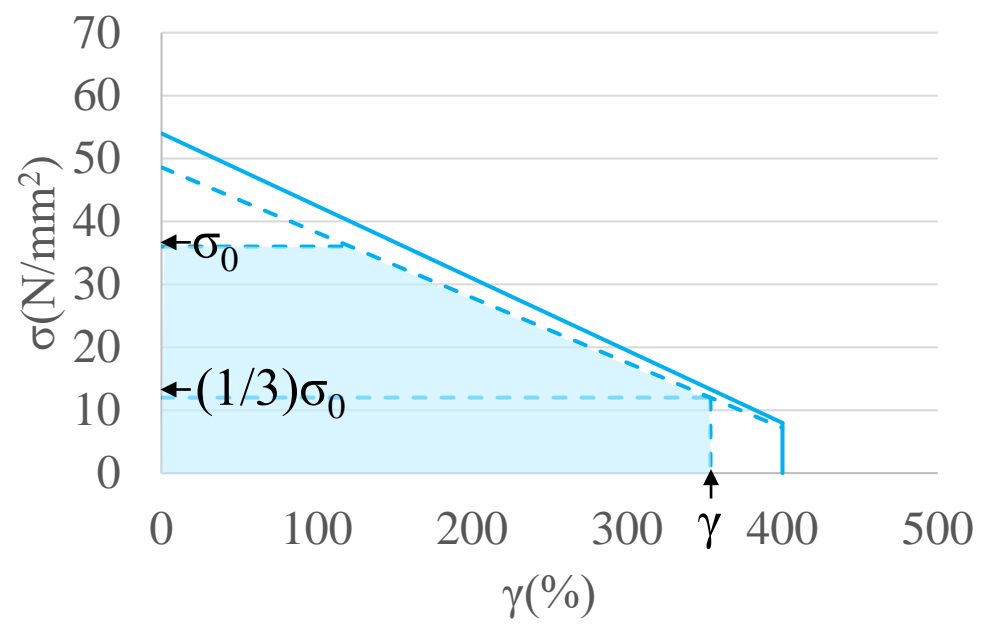


図6 LRBΦ700

RSM: 係数計算その①: 等価減衰定数

(3)式から(7)式を用いて減衰定数を求める

等価減衰定数

$$h = \frac{0.8}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W}$$

加速度応答スペクトルの低減係数

$$F_h = \frac{1.5}{1+10h}$$

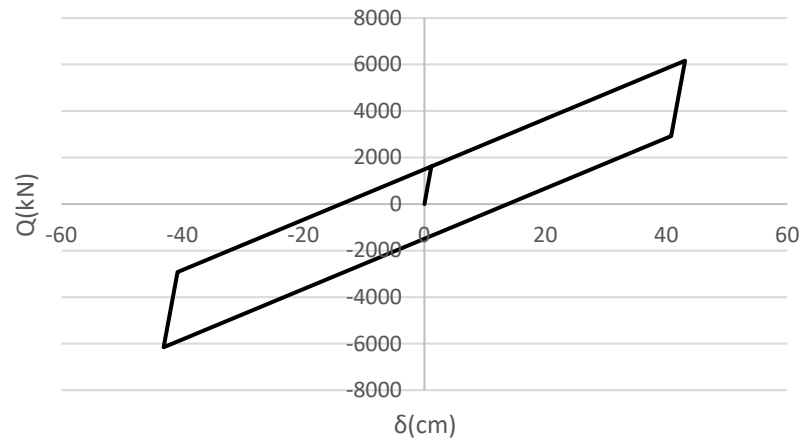
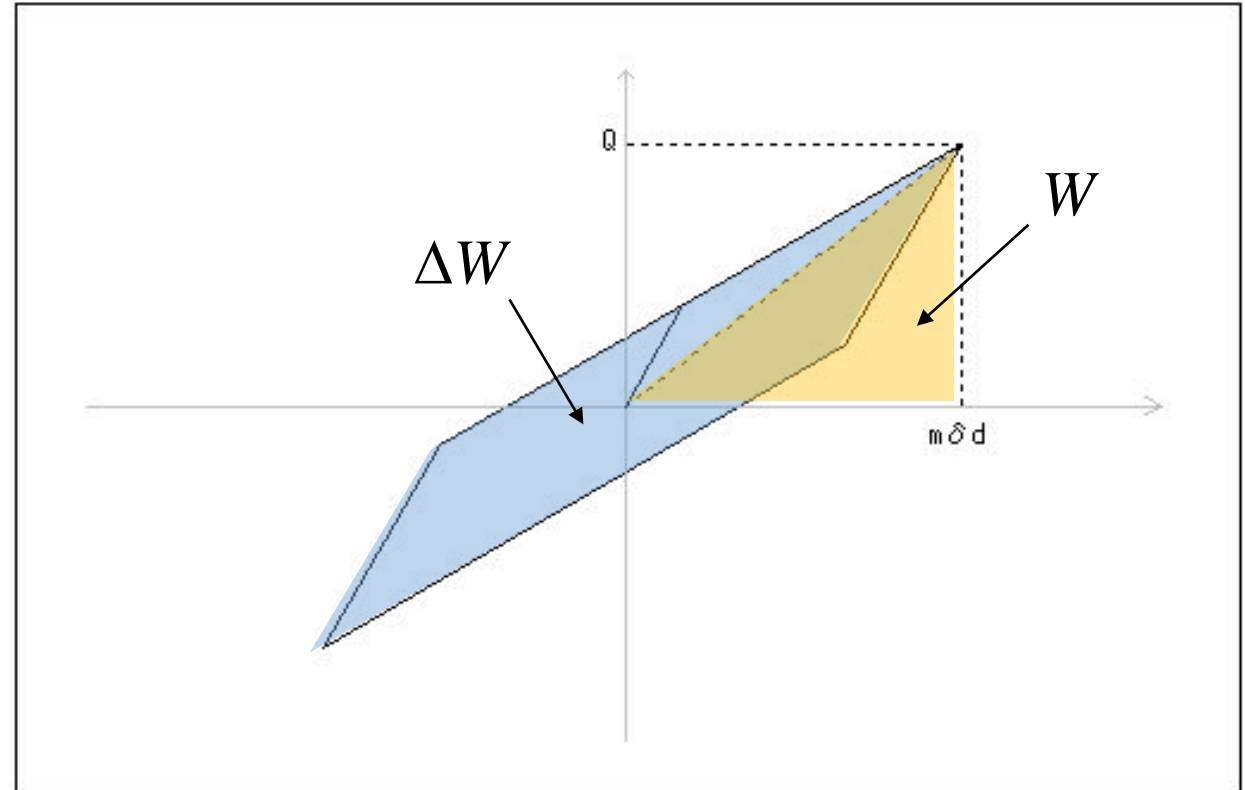
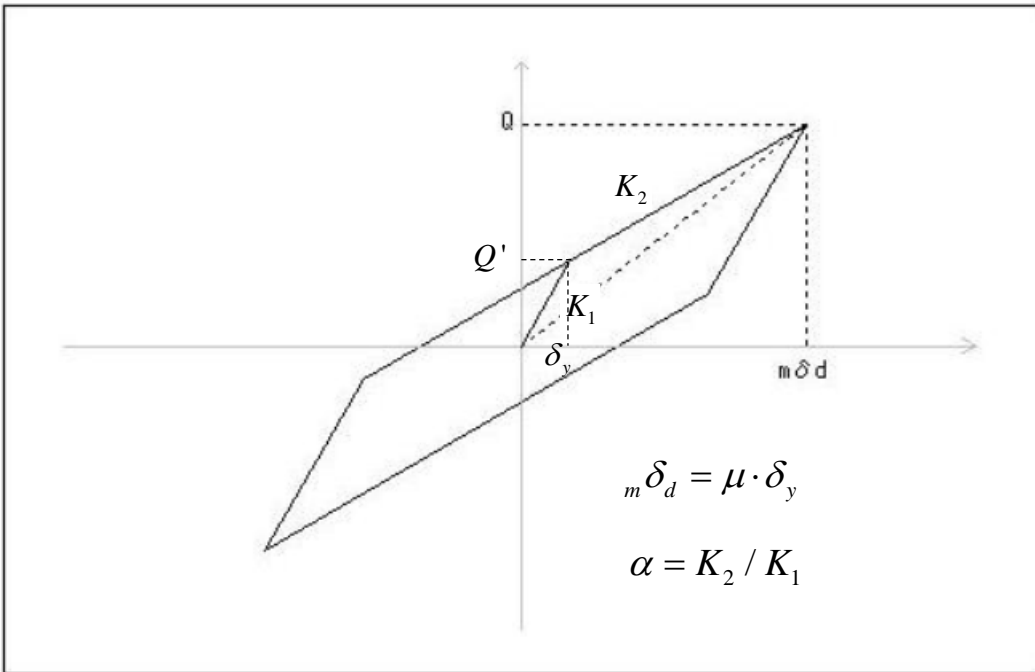
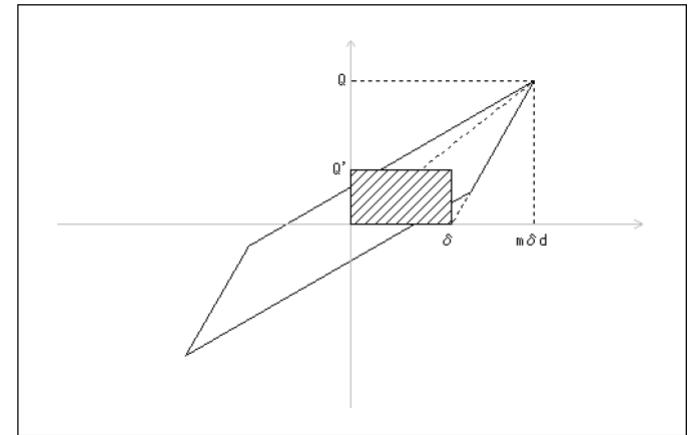
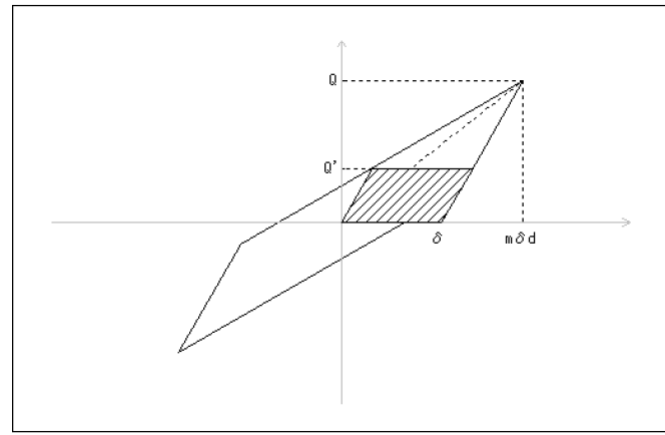
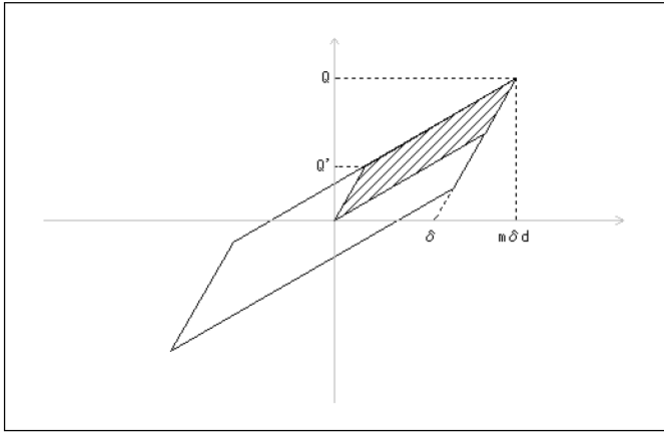


図7 対象建物の履歴ループ





$$h = \frac{0.8}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m\delta_d \cdot Q \quad \Delta W = 4 \cdot \delta \cdot Q'$$

$$Q = Q' \{1 + \alpha(\mu - 1)\}$$

$$\delta = m\delta_d - Q / K_1 = \mu\delta_y - Q / K_1$$

$$= \mu\delta_y - \delta_y \{1 + \alpha(\mu - 1)\} = \delta_y (\mu - 1)(1 - \alpha)$$

$$h = \frac{0.8}{4\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W} = 0.8 \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha(\mu - 1)}$$

下記に示す式を用いて加速度応答スペクトル(減衰定数 $h=0.05$)を求める

$$S_0 = \begin{cases} 320 + 30 \cdot T_s & T_s < 0.16 \\ 800 & 0.16 \leq T_s < 0.64 \\ 512 / T_s & 0.64 \leq T_s \end{cases} \quad (\text{cm/s}^2)$$

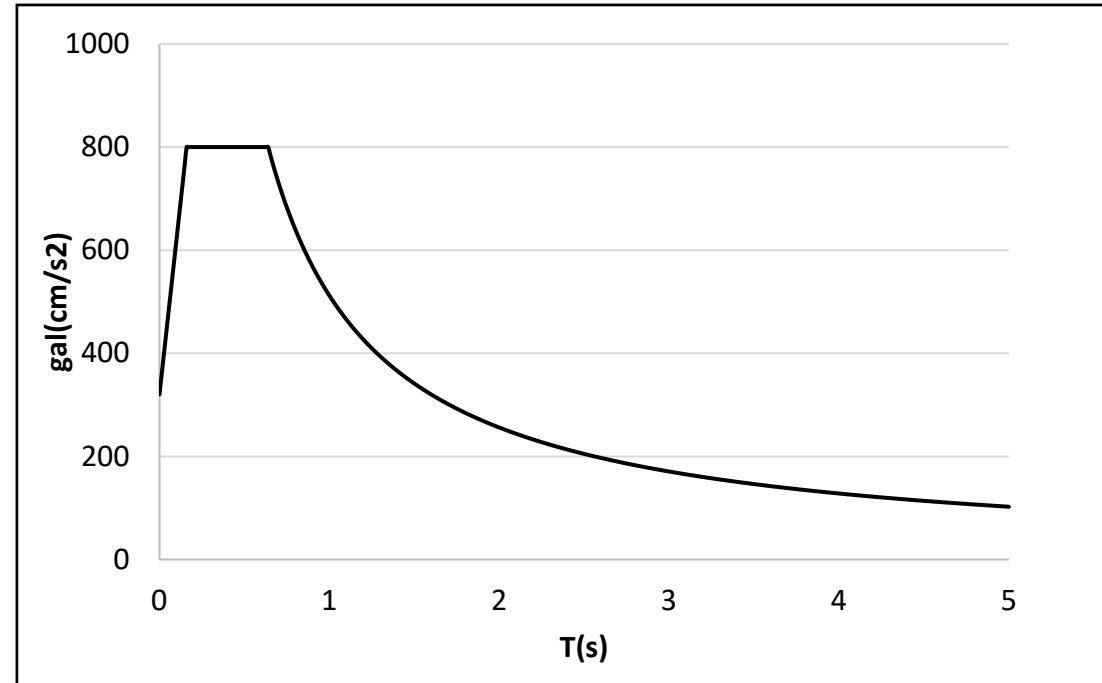


図8 加速度応答スペクトル

RSM: 係数計算その③: 周期

下記式を用いて建物の周期を求める

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}$$

$$M = \sum \text{上部構造の重量}$$

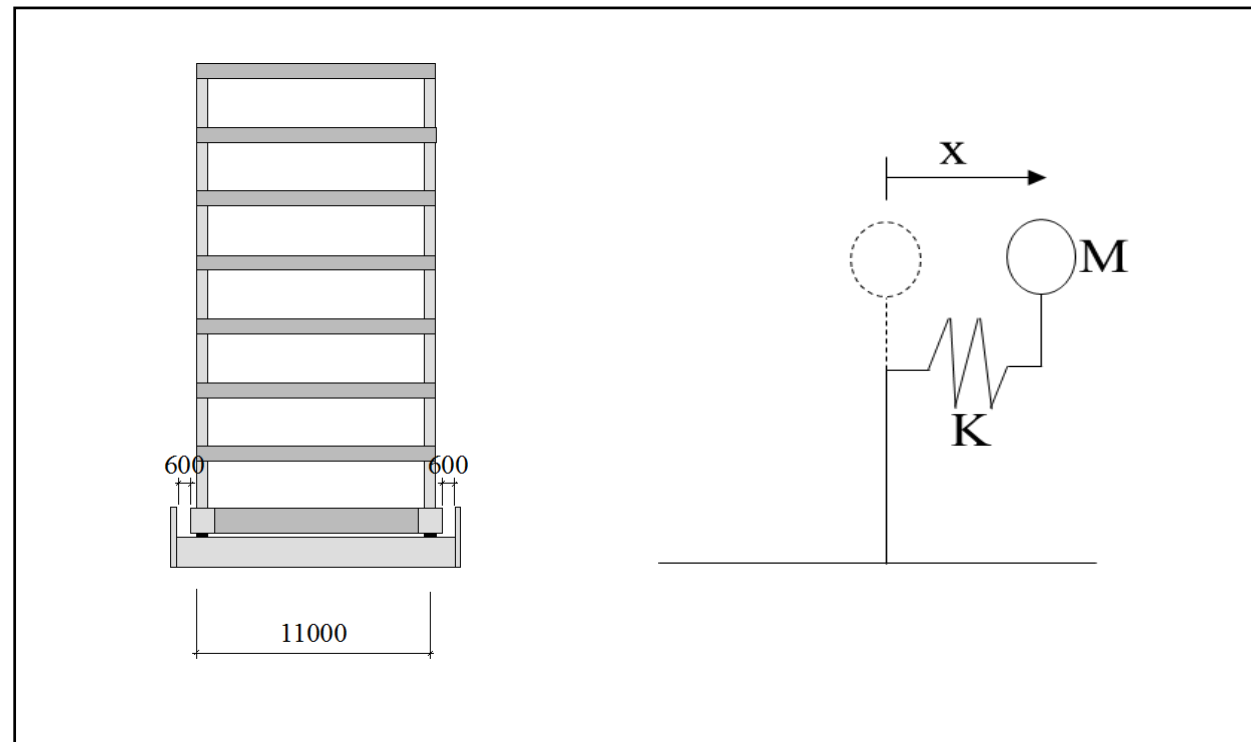
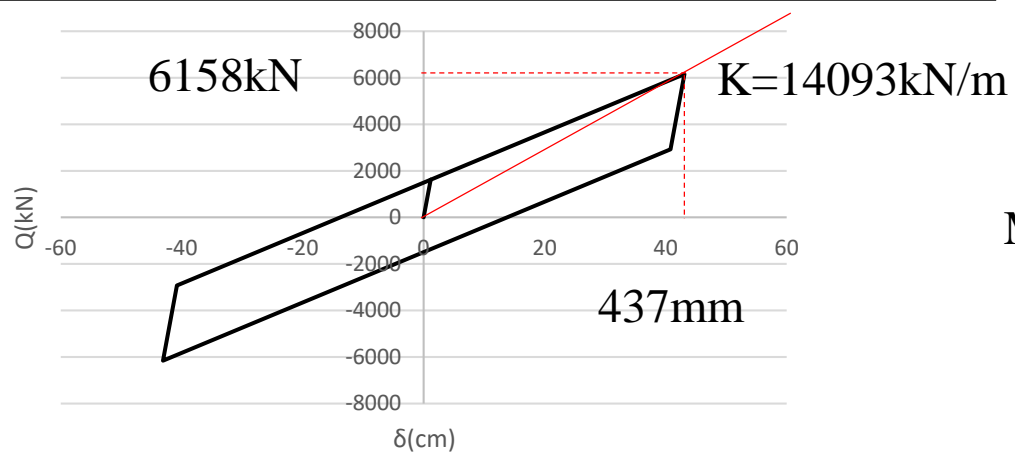


図9 建物重量



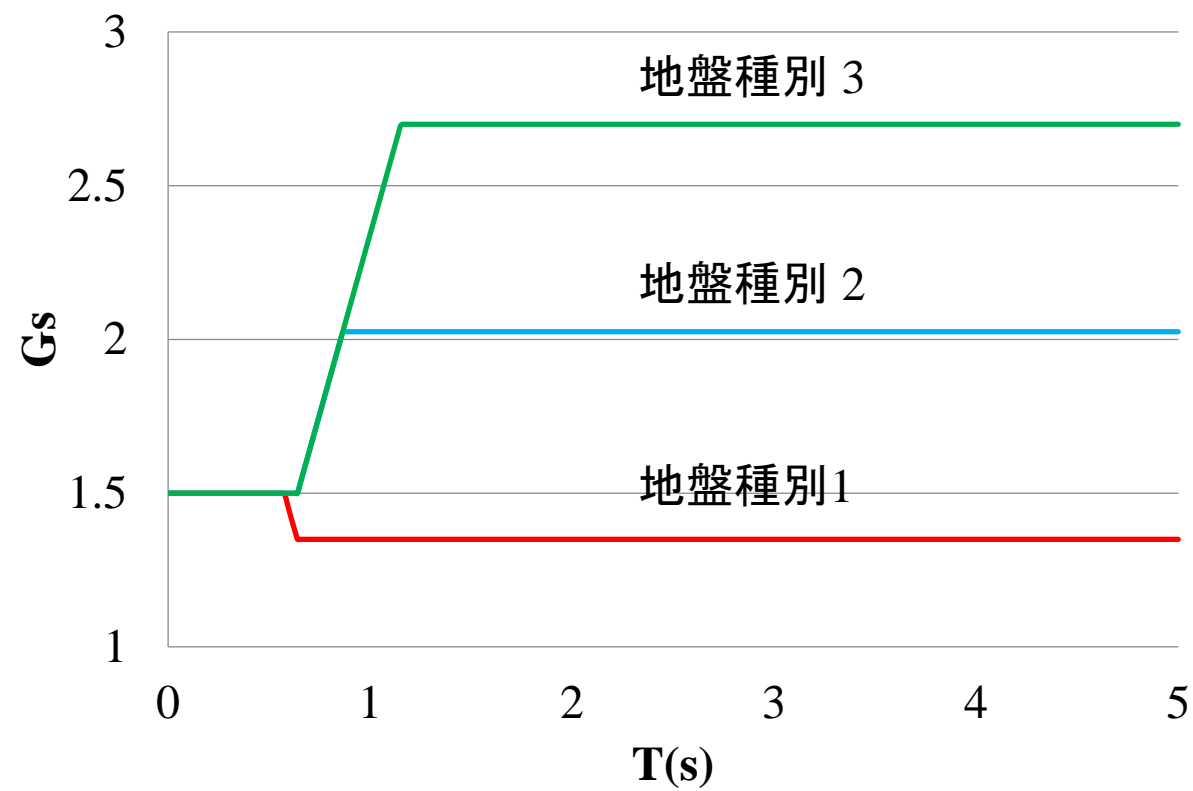
$$M=3555\text{kNs}^2/\text{m}$$



$$T_s = 3.16 \text{ s}$$

表10: 地盤種別定義

地盤種別 (G_s)	定義	分類
1	$T=0.4$	良質地盤
2	$T=0.6$	1と3以外
3	$T=0.8$	軟弱地盤



当該建物の建設される地盤

図10: 地盤種別分類

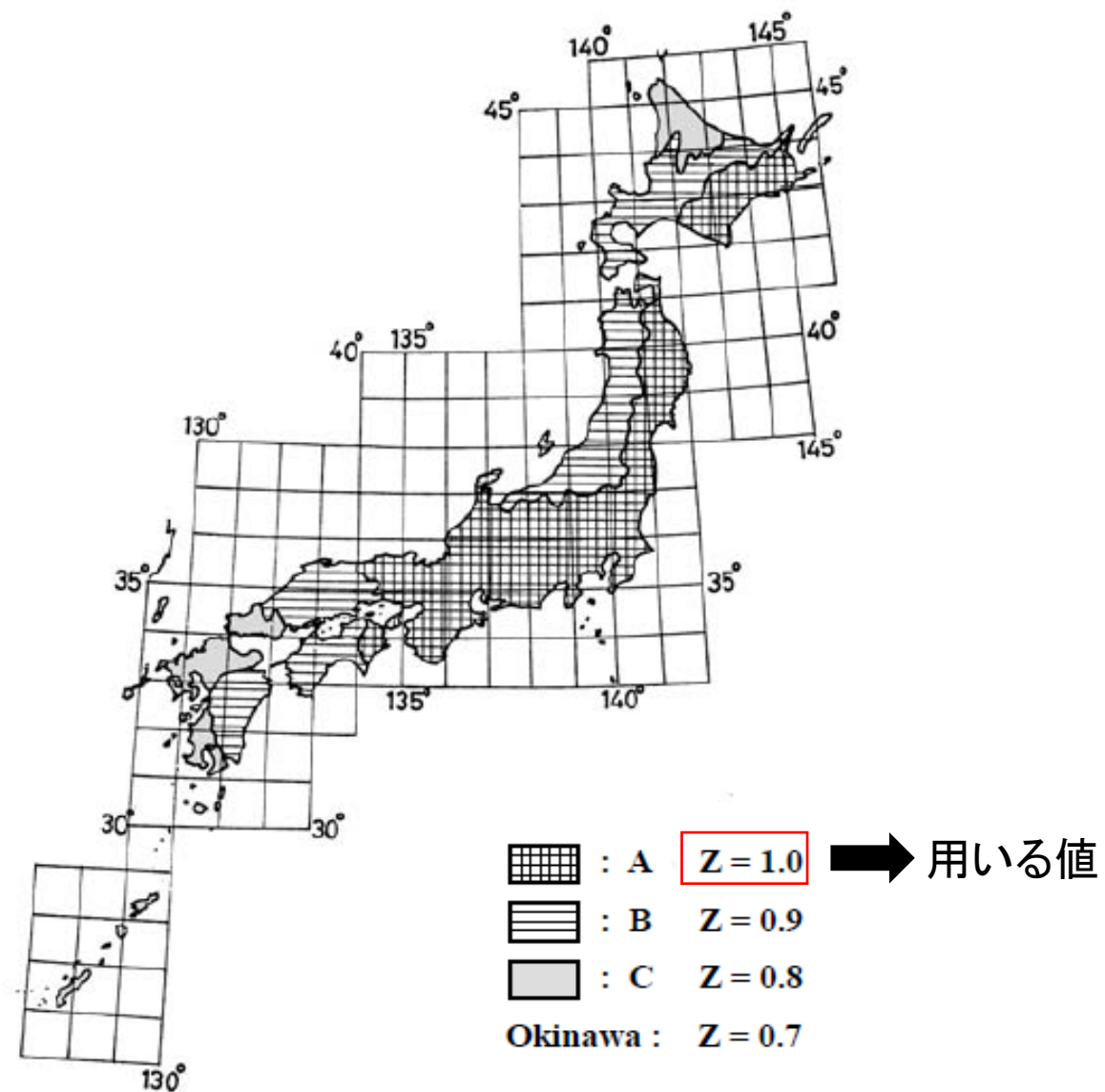


図11: 地震地域係数

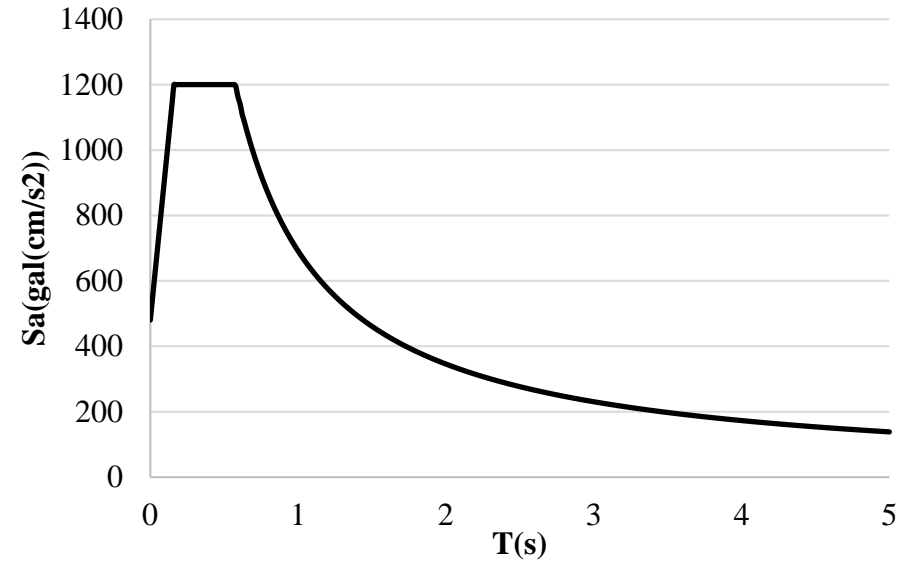


図12 S_a -T 曲線

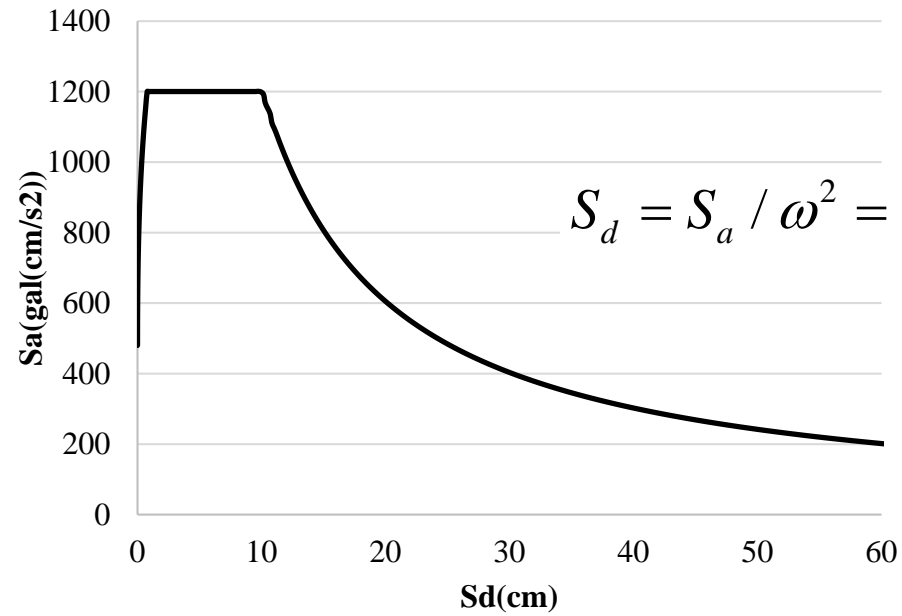


図13 S_a - S_d 曲線

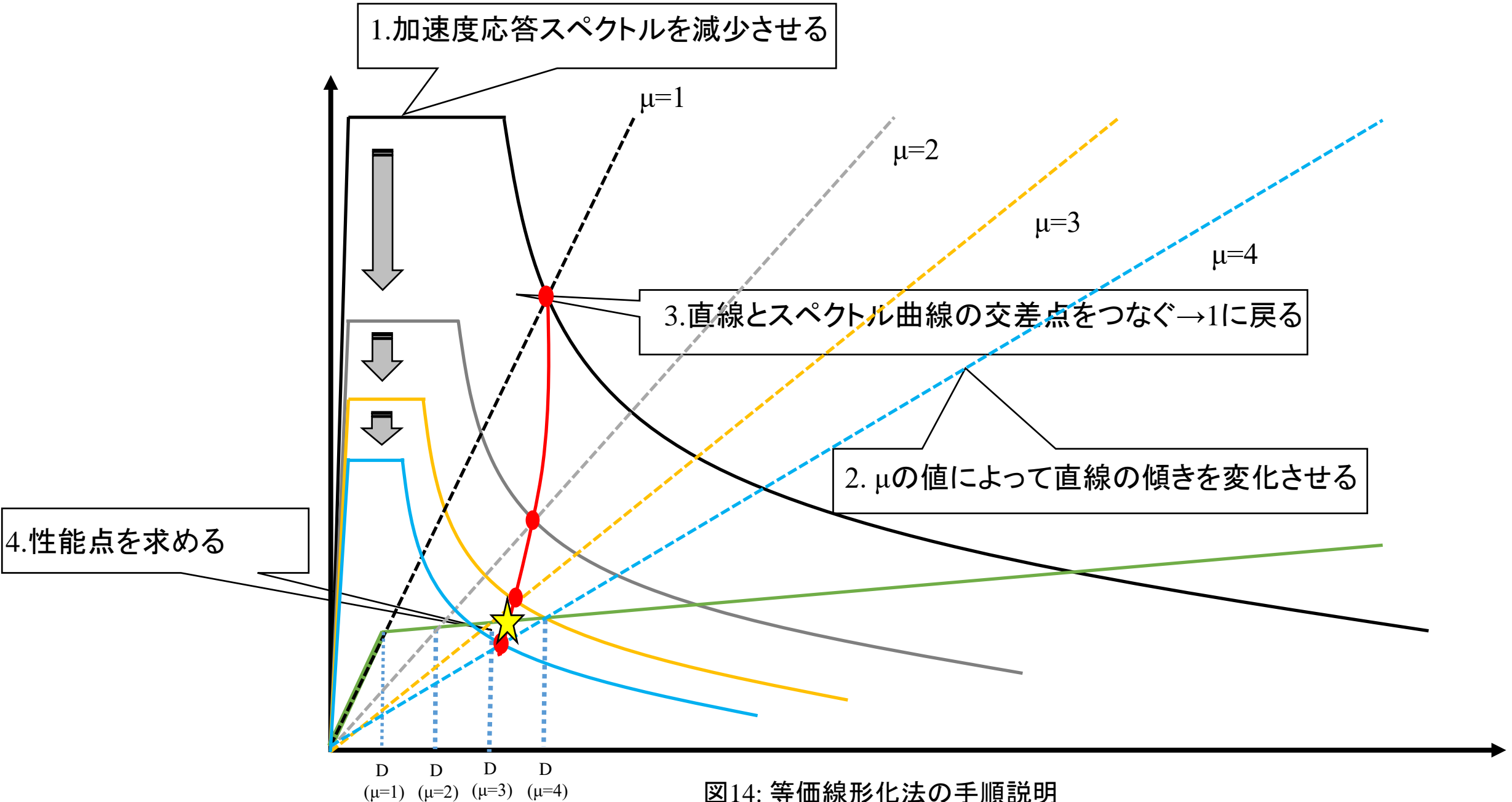
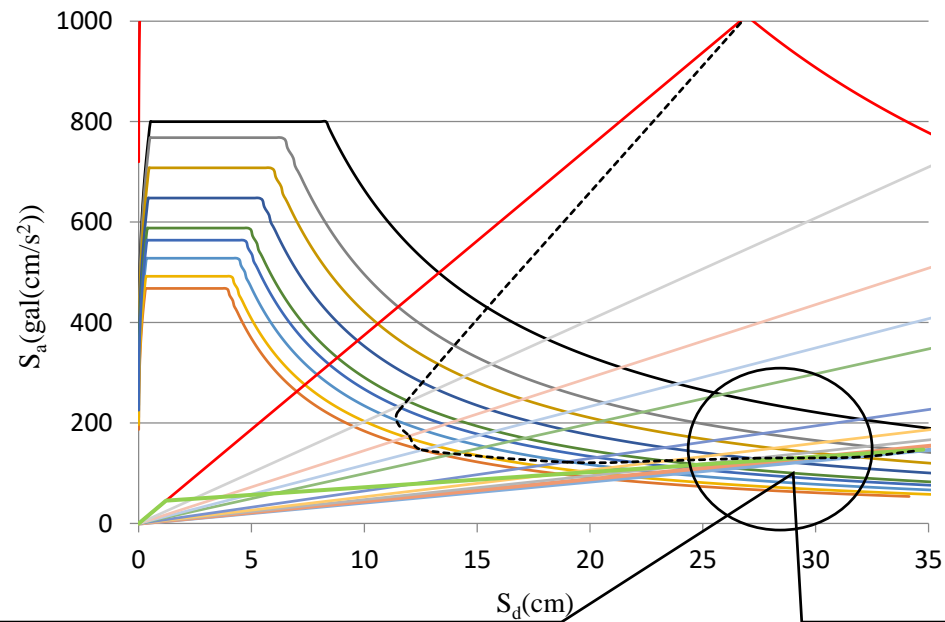


図14: 等価線形化法の手順説明

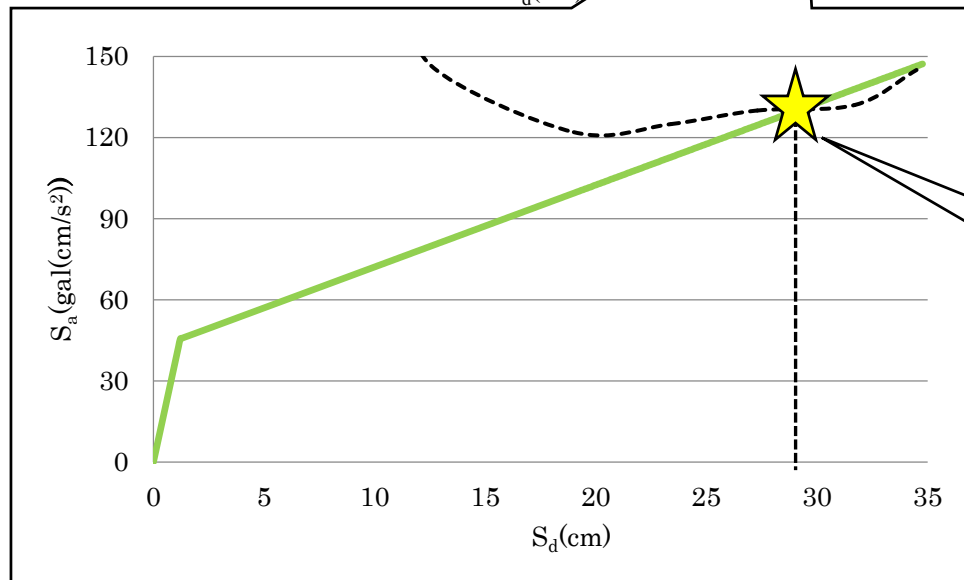
RSM: 等価線形化法 その②: 算定結果



必要条件: ${}_m \delta_d > \delta_{response}$
 結果: 437 > 291 (mm)
 判定: OK



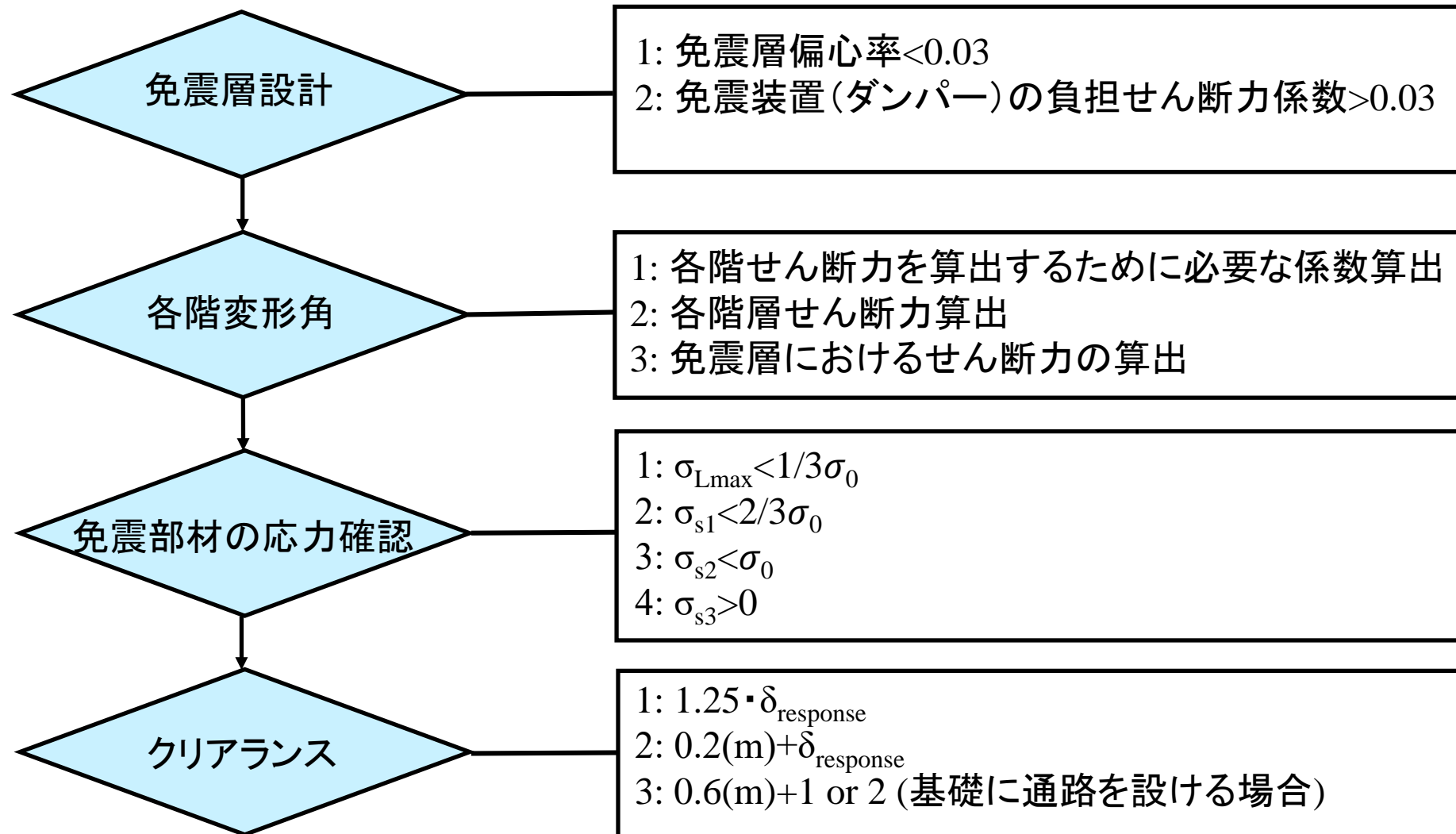
上部構造の設計に進む



性能点

$$\delta_{response} = 291mm$$

図15:等価線形化法結果



RSM: 免震層：偏心率 ($R_{ex,ey}$)

偏心率

$$R_{ex} = \frac{e_y}{r_{ex}}$$

$$R_{ey} = \frac{e_x}{r_{ey}}$$

$$R_{ex} = \frac{0.107}{10.41} = 0.01$$

$$R_{ey} = \frac{0.287}{10.41} = 0.027$$

0.03以下より→OK

1. 重心算出

$$X_g = \frac{\sum X_i \cdot N_i}{\sum N_i}$$

$$Y_g = \frac{\sum Y_i \cdot N_i}{\sum N_i}$$

2. 剛心算出

$$X_k = \frac{\sum X_i \cdot K_{yi}}{\sum K_{yi}}$$

$$Y_k = \frac{\sum Y_i \cdot K_{xi}}{\sum K_{xi}}$$

3. 偏心距離算出

$$e_x = |Y_g - Y_k|$$

$$e_y = |X_g - X_k|$$

4. ねじれ剛性算出

$$K_T = \sum \{K_{xi} \cdot (Y_i - Y_k)^2 + K_{yi} \cdot (X_i - X_k)^2\}$$

5. 弾性半径算出

$$r_{ex} = \sqrt{\frac{K_T}{\sum K_{xi}}}$$

$$r_{ey} = \sqrt{\frac{K_T}{\sum K_{yi}}}$$

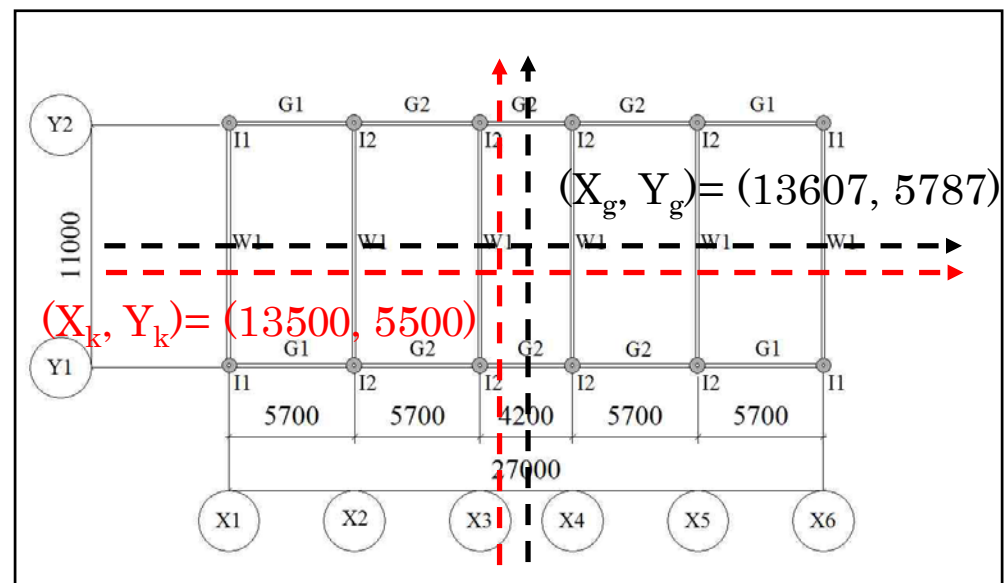
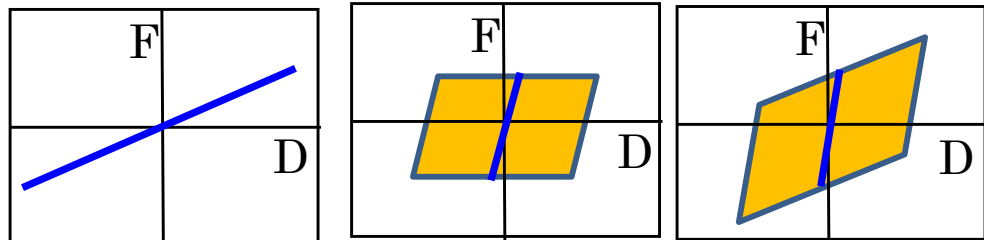


図16: 重心と剛心

RSM: 免震装置の負担せん断力

Lead鉛

 Q_e Q_h

LRBφ650

LRBφ700

$$Q_e = \sum K_1 \cdot \delta$$

 Q_e : 積層ゴムのせん断力

$$Q_e = 0.823 \left(\frac{kN}{mm} \right) \cdot 291(mm) \cdot 4基 + 0.94 \left(\frac{kN}{mm} \right) \cdot 291(mm) \cdot 8基 = 3146(kN)$$

$$Q_h = \sum yield\ load$$

 Q_h 鉛プラグのせん断力

$$Q_h = 122.7(kN) \cdot 4基 + 140.9(kN) \cdot 8基 = 1618(kN)$$

$$\mu = \frac{Q_h}{M \cdot g} = \frac{1618}{3555 \cdot 9.8} = 0.046 > 0.03$$

0.03以上→OK

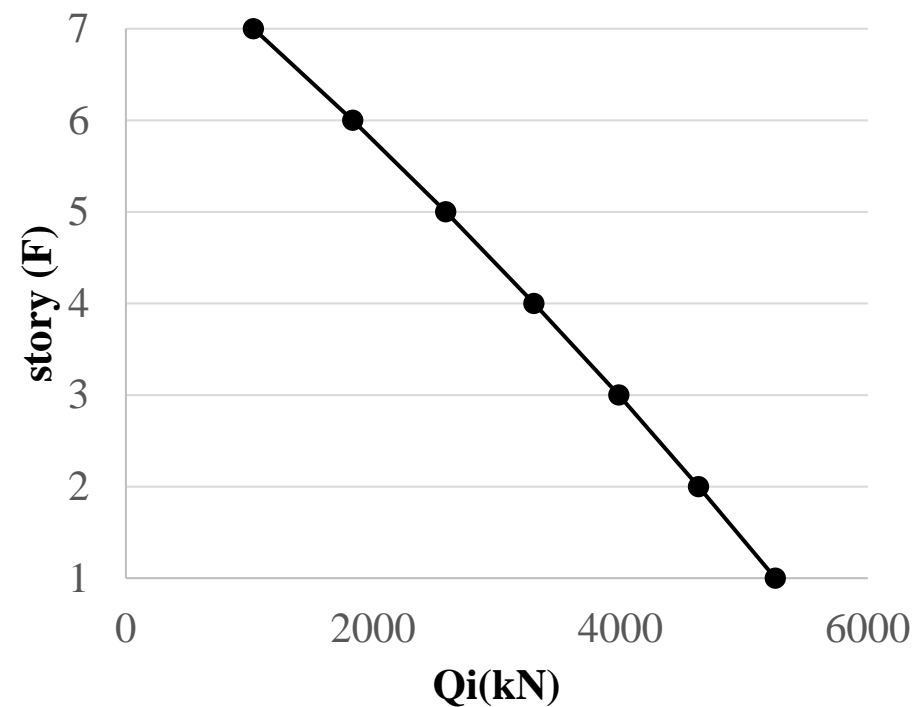
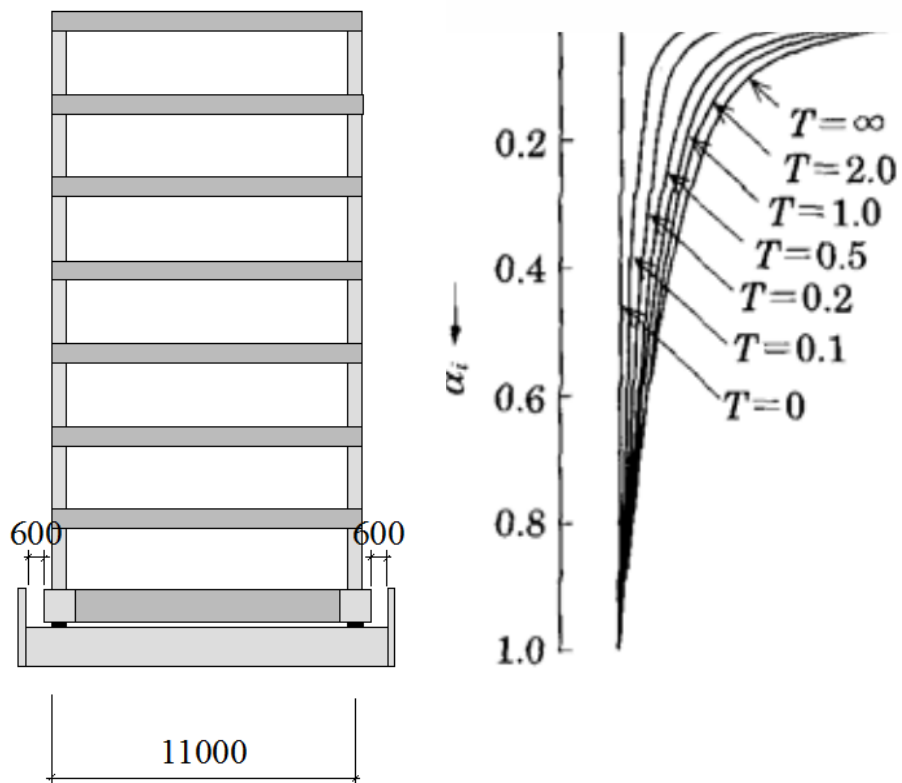
RSM: 各階変形角：上部構造のせん断力係数(C_{ri})

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1 + 3T}$$

$$C_{ri} = \gamma \frac{A_i \cdot Q_h + Q_e}{M \cdot g}$$

T: 免震層が固定されているものとして算出
($0.02 + 0.01\alpha$)H

γ : 製品のばらつき、環境及び経年劣化による係数
(1.3を下回る場合は1.3とする)



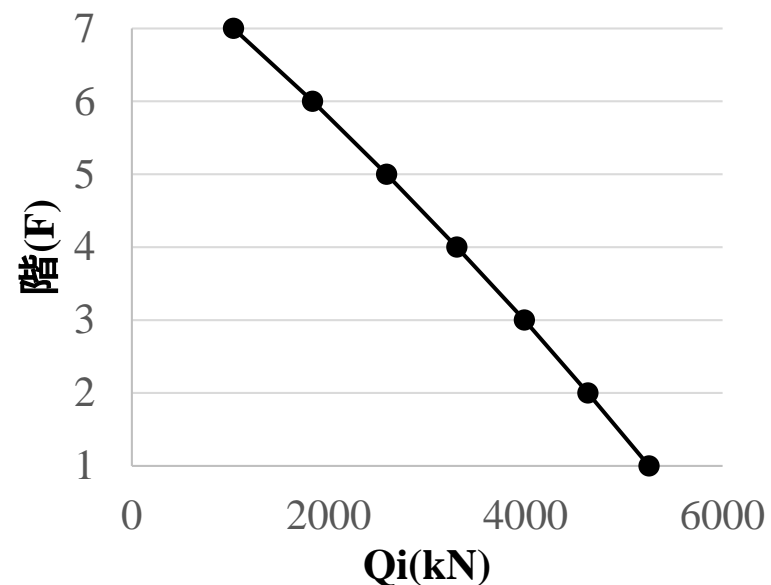
RSM: 各階変形角

手順その ①: C_{ri} によってせん断力を算出する

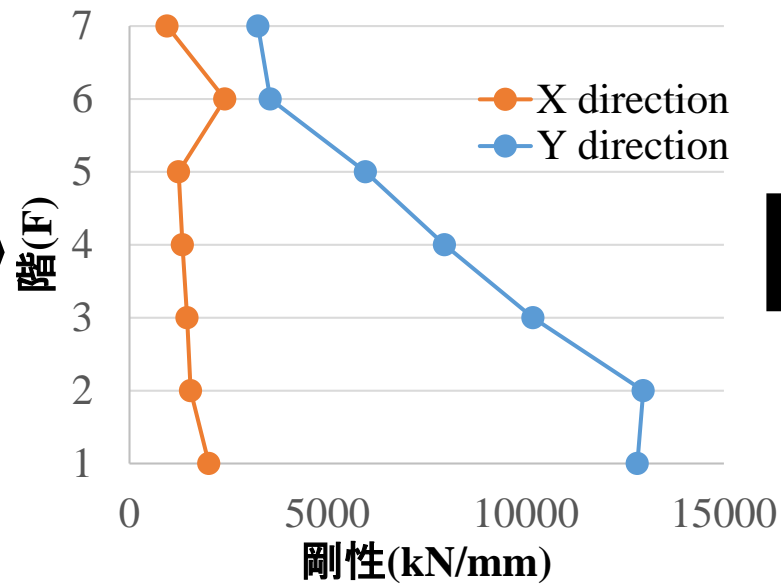
手順その ②: 建物の水平剛性を求める

手順その ③: せん断力を水平剛性で除する → 最大変形角

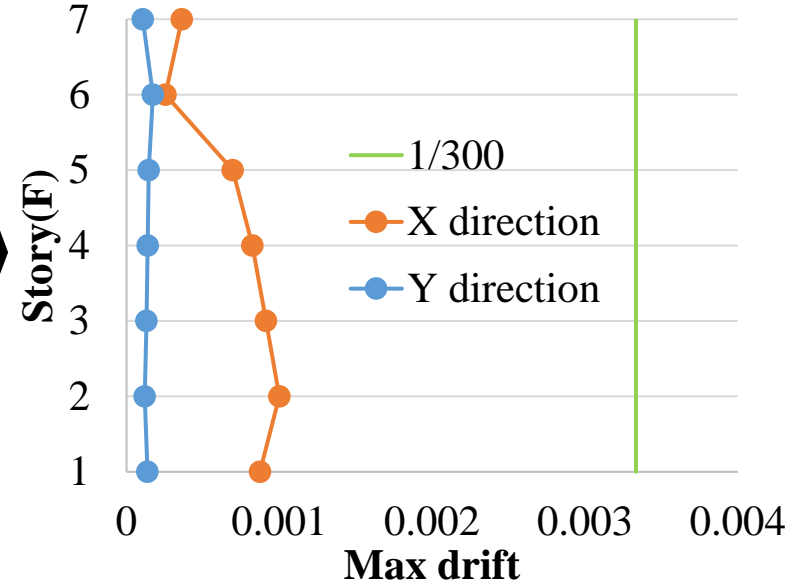
両方向とも 1/300以下 → OK



各階せん断力



両辺における水平剛性



両辺における最大変形角

図17: 各階変形角算出手順

1)及び2)を比較しより大きい値を用いる。免震層に通路を設ける場合は 0.6(m)をさらに加算する。

$$1) \quad 1.25 \cdot \delta_{response}$$

$$2) \quad 0.2(m) + \delta_{response}$$

$$3) \quad 0.6(m) + 1) \text{ or } 2)$$

通路を設ける場合



$$1) \quad 1.25 \cdot \delta_{response} = 1.25 * 0.291(m) = 0.364(m)$$

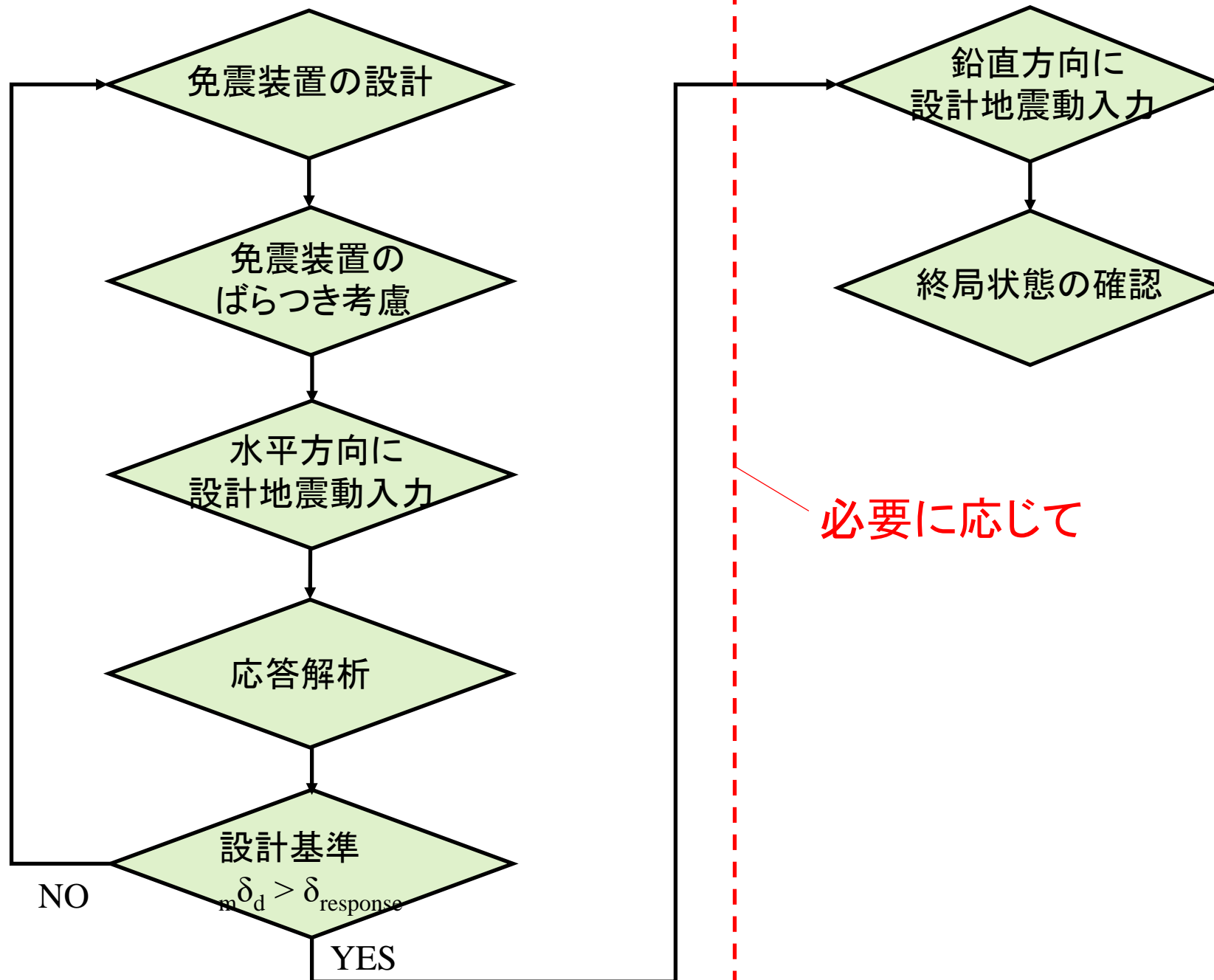
$$2) \quad 0.2(m) + \delta_{response} = 0.2(m) + 0.291(m) = 0.491(m)$$

算出結果よりクリアランスは 0.491(m)以上確保する必要がある。

目次

1. 対象建物概要
2. 応答スペクトル解析法 (RSM)
3. 時刻歴応答解析法 (THA)

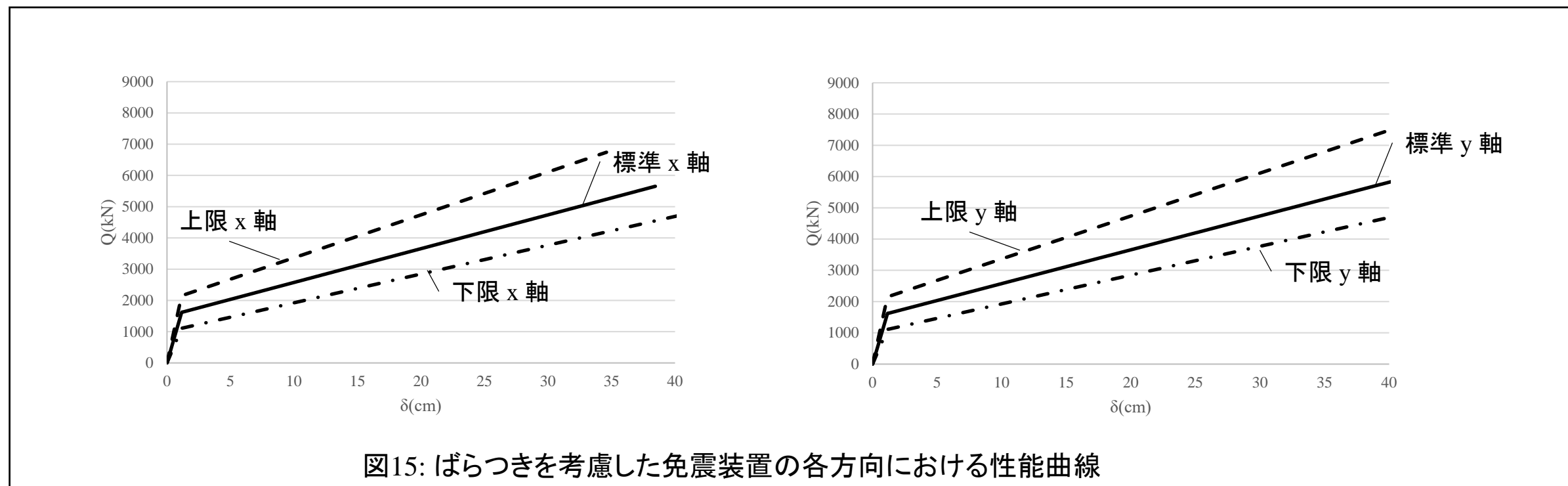
時刻歴応答解析手順



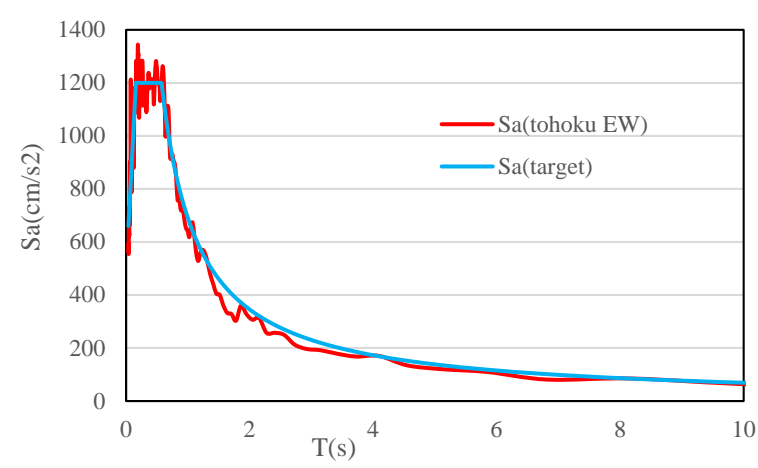
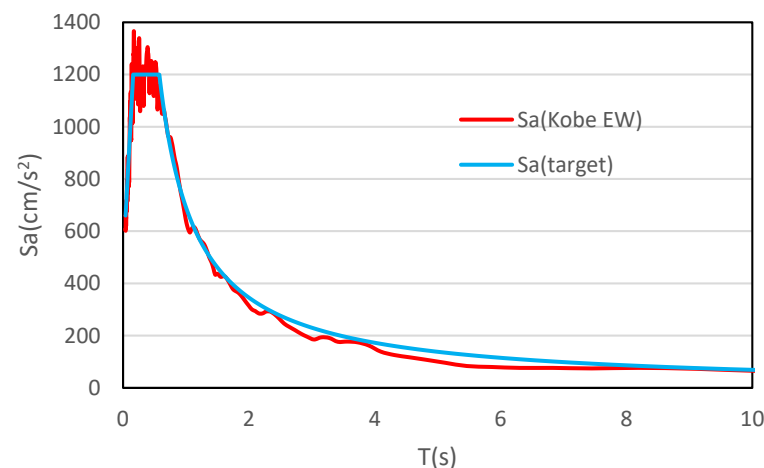
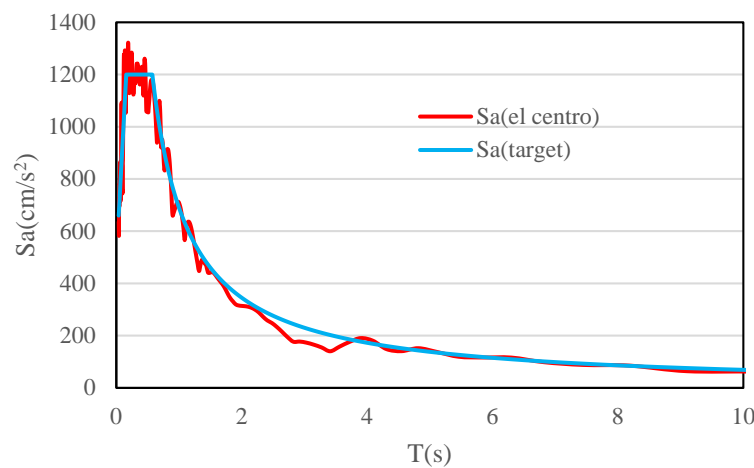
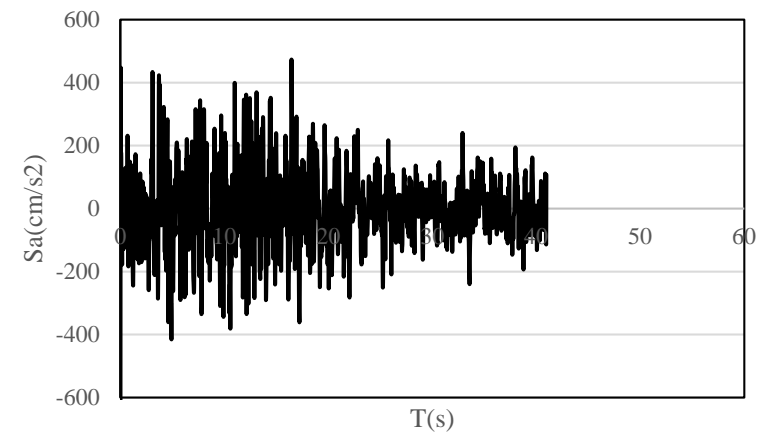
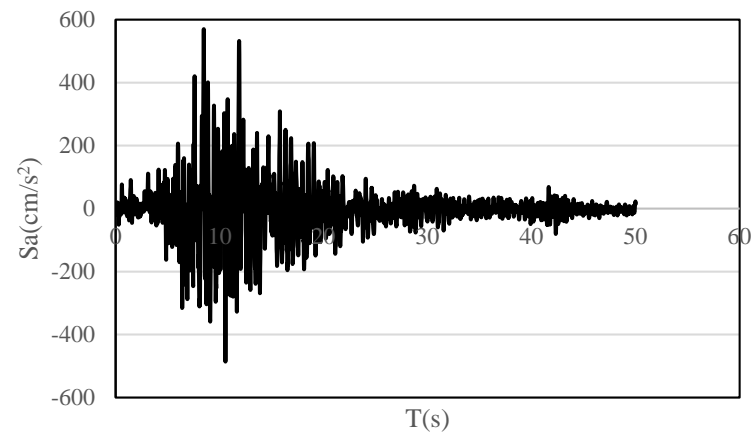
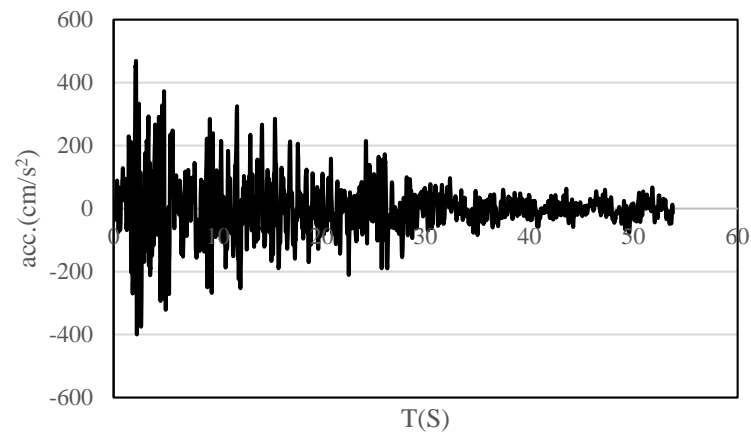
THA: 免震装置のばらつき

表16:免震装置のばらつき

免震装置種類	復元力特性	状態	ばらつき変数			ばらつき率
			製品ばらつき	温度依存	経年劣化	
LRB	2次剛性 K_2	上限	10%	6%	11%	27%
		下限	-10%	-5%	0%	-15%
	切片荷重 Q_d	上限	10%	23%	0%	33%
		下限	-10%	-21%	0%	-31%



THA: 水平方向設計入力地震動の選定



El centro NS

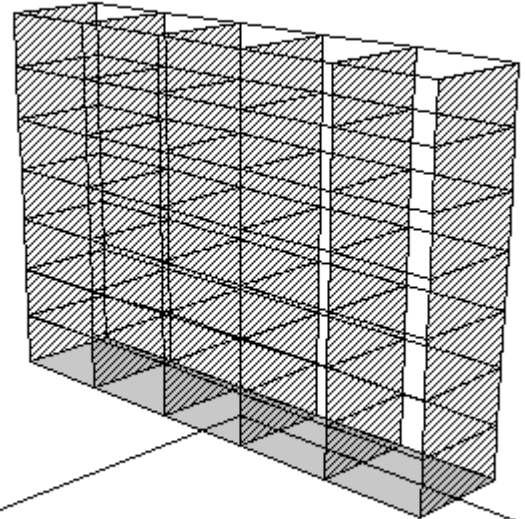
Kobe EW

Tohoku EW

↓
水平方向に入力

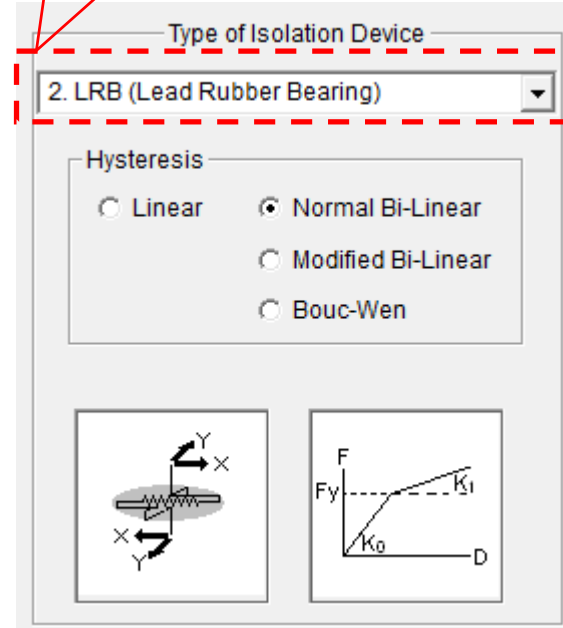
THA:建物モデルについて

① 部材情報等を元にモデルを作成



建物モデル作成
(STERA_3Dを使用)

② 免震装置の種類を選択
免震装置設定

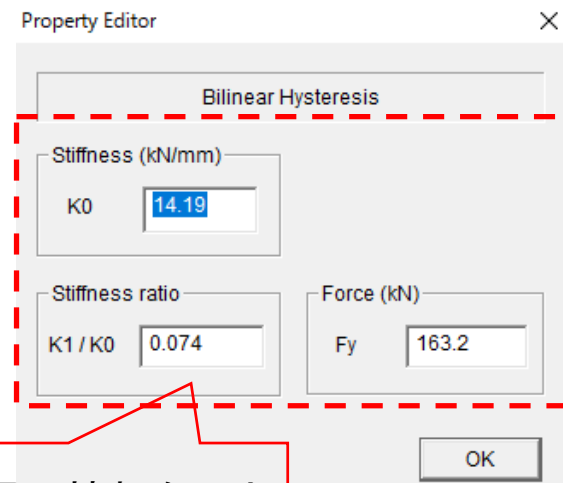


④ 各方向地震波入力

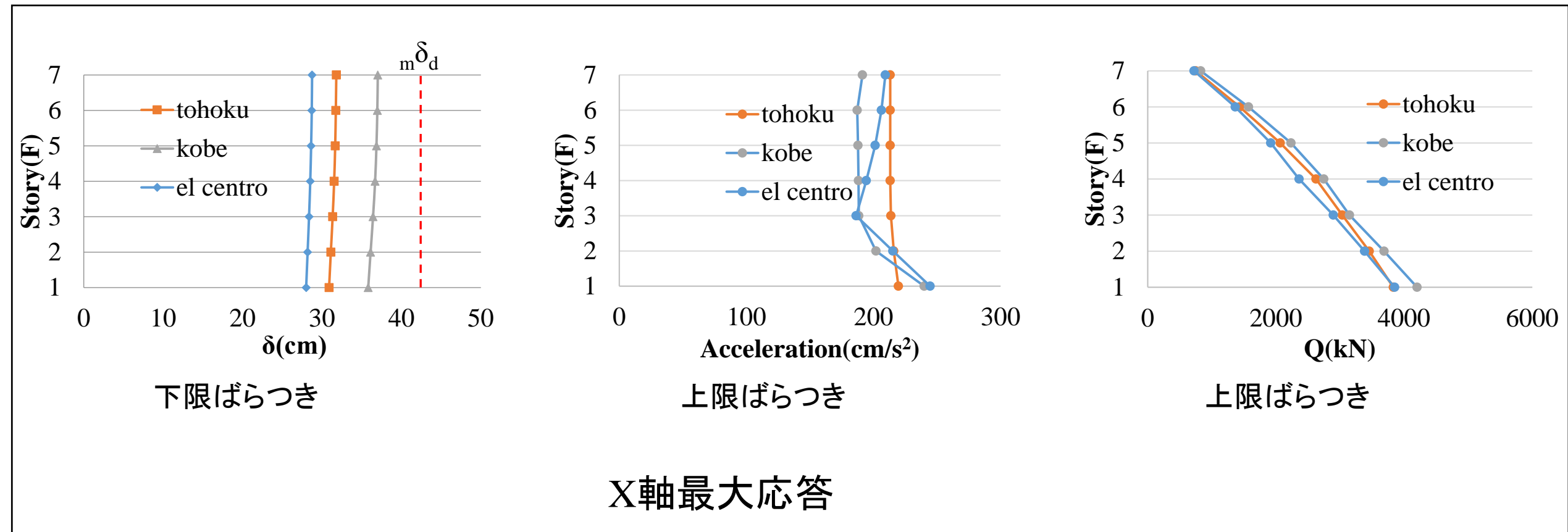
地震入力



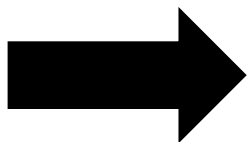
③ 免震装置の情報を入力



THA: X軸入力地震動(El Centro, Kobe, Tohoku)による最大変位



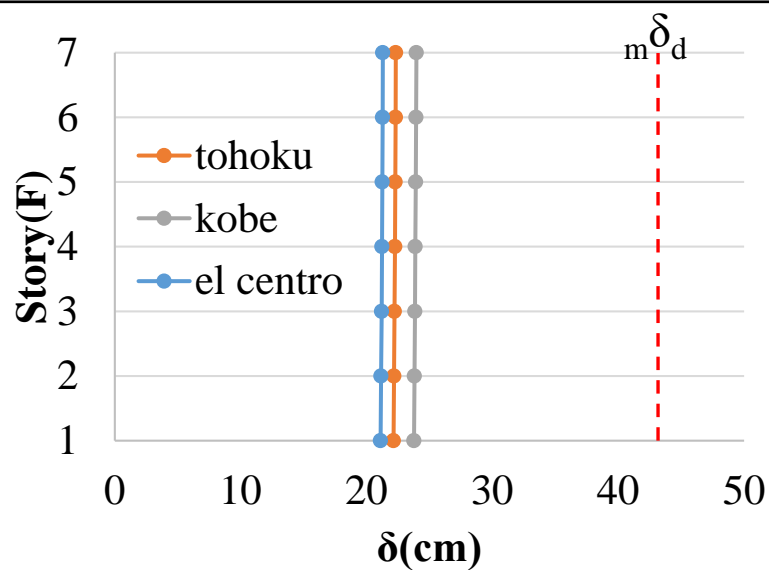
$$m\delta_d > \delta_{responce}$$



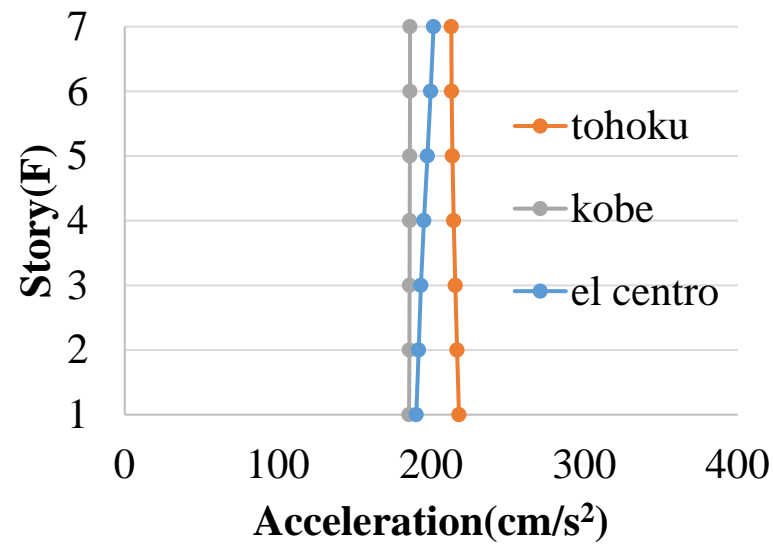
OK

$$m\delta_d = 437(\text{mm})$$

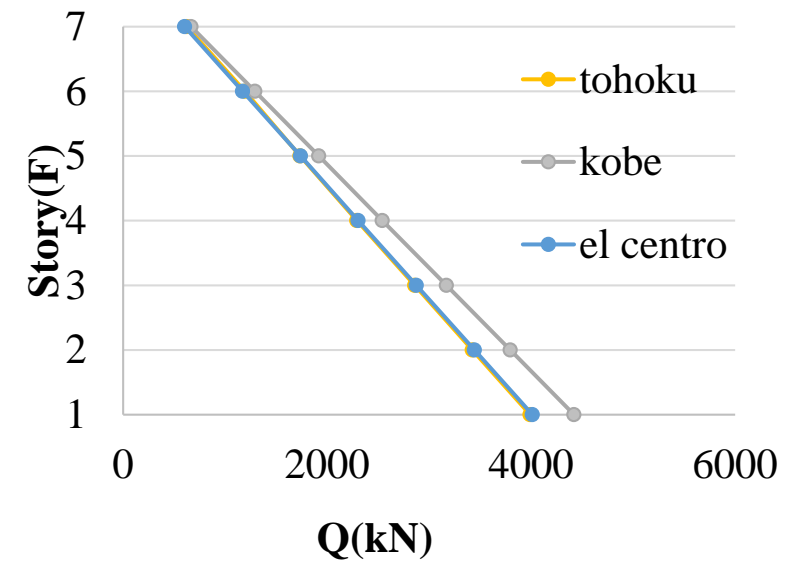
THA:Y軸入力設計地震動(El Centro, Kobe, Tohoku)による最大応答



下限ばらつき



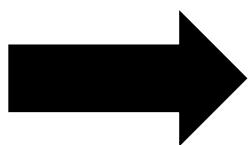
上限ばらつき



下限ばらつき

Y軸最大応答

$$m\delta_d > \delta_{\text{responce}}$$



OK

$$m\delta_d = 437(\text{mm})$$