

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-126 改 1
提出年月日	平成 30 年 2 月 26 日

V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針

目 次

1. 概 要	1
2. 床応答スペクトル解析	1
2.1 基本方針	1
2.2 解析方法	3
2.3 減衰定数	3
2.4 数値計算用諸元	3
2.5 応答スペクトル作成位置	4
2.6 応答スペクトル	4
3. 地震応答解析モデル	5
4. 設計用床応答曲線	36
4.1 弾性設計用地震動 S_d	36
4.2 基準地震動 S_s	36

下線部：ご提出範囲

1. 概 要

本資料は、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち「4. 設計用地震力」に基づき、機器・配管系の動的解析に用いる設計用床応答曲線の作成方針及びその方針に基づき作成した設計用床応答曲線に関して説明するものである。

2. 床応答スペクトル解析

2.1 基本方針

- (1) V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2. 地震応答解析の方針」に基づき策定した各原子炉施設の解析モデルに対して、入力地震動を用いた時刻歴応答解析を行い、各質点位置における加速度応答時刻歴を求める。入力地震動は、V-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に基づくものとして、表 2-1 に示す。
- (2) (1)で求めた各質点の加速度応答時刻歴を入力として、減衰付 1 自由度系の最大応答スペクトルに必要な減衰定数の値に対して求める。
- (3) (2)で求めた床応答スペクトルに対し、各原子炉施設の固有周期のシフトを考慮し、周期方向に $\pm 10\%$ の拡幅を行い、設計用床応答曲線とする。

表 2-1 入力地震動

種 類		地震動名	最大加速度 (cm/s ²)		
			N S 成分	E W 成分	U D 成分
基準地震動 S _s	応答スペクトルに基づく地震動	S _s -D 1	870		560
	断層モデルを用いた手法による地震動	S _s -1 1	717	619	579
		S _s -1 2	871	626	602
		S _s -1 3	903	617	599
		S _s -1 4	586	482	451
		S _s -2 1	901	887	620
		S _s -2 2	1009	874	736
	2004 年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	S _s -3 1	610		280
弾性設計用 地震動 S _d	応答スペクトルに基づく地震動	S _d -D 1	435		280
	断層モデルを用いた手法による地震動	S _d -1 1	359	309	290
		S _d -1 2	435	313	301
		S _d -1 3	452	309	300
		S _d -1 4	293	241	226
		S _d -2 1	451	443	310
		S _d -2 2	505	437	368
	2004 年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	S _d -3 1	305		140

2.2 解析方法

2.1(1)で述べた方針で動的解析を行い、各モデルの各質点における応答加速度の時刻歴を求める。この応答加速度の時刻歴を入力波として応答スペクトルを作成する。すなわち、入力波の絶対加速度を \ddot{Y}_n とおけば、質点系の振動方程式は、

$$\ddot{Z}_n + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{Z}_n + \omega^2 \cdot Z_n = -\ddot{Y}_n \cdots \cdots (2.1)$$

ただし、

ω : 質点系の固有円振動数

Z_n : n 質点上の質点の相対変位

h : 減衰定数

地震の間の $\ddot{Y}_n + \ddot{Z}_n$ の最大値を ω 及び h をパラメータとして求め、応答スペクトルを作成する。(図2-2参照)

2.3 減衰定数

応答スペクトルは、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」の機器・配管系の減衰定数を用いて作成する。

2.4 数値計算用諸元

固有周期作成幅	0.05～1.0 s
固有周期計算間隔	
0.05 ～ 0.1 s	$\Delta \omega = 4.0 \text{ rad/s}$
0.1 ～ 0.2 s	$\Delta \omega = 1.5 \text{ rad/s}$
0.2 ～ 0.39 s	$\Delta \omega = 1.0 \text{ rad/s}$
0.39 ～ 0.6 s	$\Delta \omega = 0.3 \text{ rad/s}$
0.6 ～ 1.0 s	$\Delta \omega = 0.5 \text{ rad/s}$

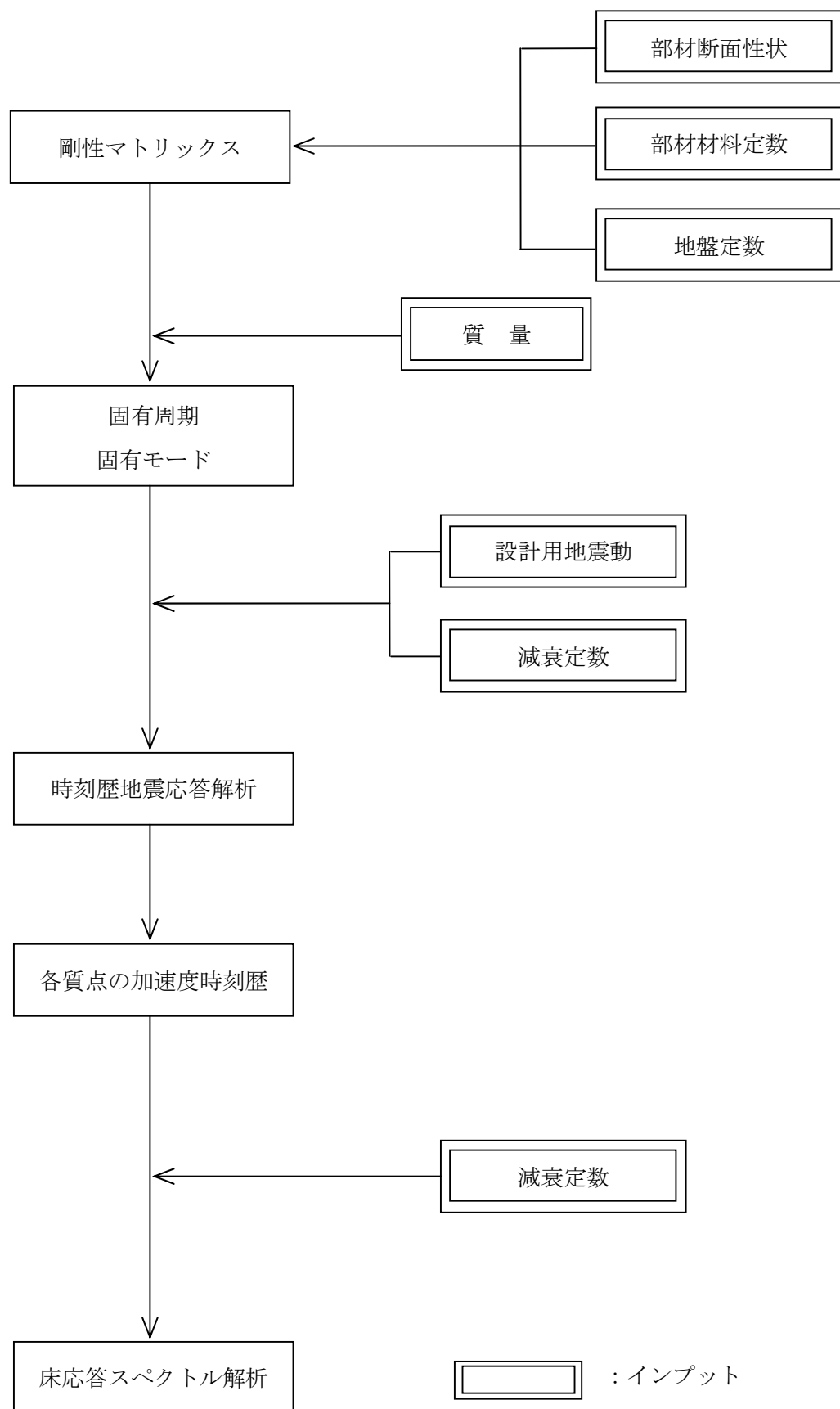


図 2-2 解析フロー図

2.5 応答スペクトル作成位置

図 3-1～図 3-22 に示す解析モデルについて応答スペクトルを作成する。

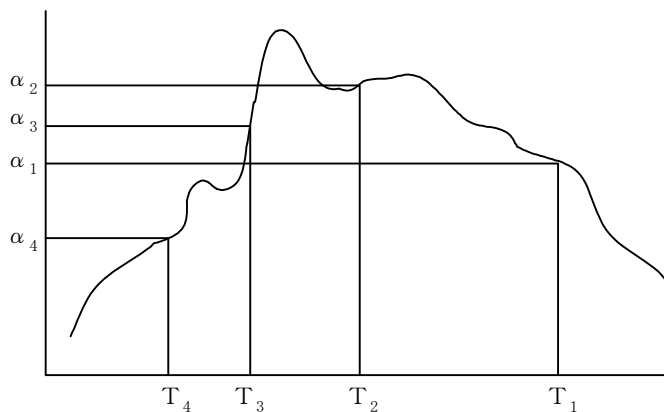
2.6 応答スペクトル

(1) 概 要

機器・配管系の設計用地震力を動的解析によって求める場合は、それぞれの据付位置における応答スペクトルを使用して設計震度を定める。この場合、以下のように応答スペクトルを修正して使用する。

(2) 運用方法

- a. 応答スペクトルは、基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析から得られる応答波を用いて作成した応答スペクトルを固有周期の多少のずれにより、応答に大幅な変化が生じないように周期軸方向に $\pm 10\%$ の拡幅を行ったものとする。また、評価対象設備にに応じて振動方向に合わせ、水平方向（NS，EW）及び鉛直方向（UD）の各方向の応答スペクトルを使用する。
- b. 建屋床より自立する機器・配管系については、設置階の応答スペクトルを用い、建屋壁より支持される機器・配管系及び建屋中間階に設置される機器・配管系については、上下階の応答スペクトルのうち安全側のものを用いるものとする。また、建屋上下階を貫通する配管系及び異なる建物、構築物等を渡る配管系については、それぞれの据付位置の応答スペクトルのうち安全側のものを用いるものとする。ただし、応答スペクトルの運用において合理性が示される場合には、その方法を採用できるものとする。
- c. 応答スペクトルを用いて動的解析を行う場合には、以下に示す方法によりモード合成を行うものとする。



T_i : i 次の固有周期

α_i : T_i に対応する応答加速度

ϕ_{in} : i 次の n 質点の固有モード

β_i : i 次の刺激係数

A_n : n 質点の応答加速度

$$A_n = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\beta_i \cdot \phi_{in} \cdot \alpha_i)^2}$$

3. 地震応答解析モデル

(1) 炉心，原子炉压力容器，原子炉格納容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1(1)に，鉛直方向の地震応答解析モデル図を 3-1(2)に示す。

水平方向の地震応答解析モデルは，原子炉建屋，原子炉格納容器，原子炉遮蔽，原子炉本体の基礎，原子炉压力容器，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等の各質点間を等価な曲げ，せん断剛性を有する無質量のはり又は無質量のばねにより結合する。

鉛直方向の地震応答解析モデルは，原子炉建屋，原子炉格納容器，原子炉遮蔽，原子炉本体の基礎，原子炉压力容器，炉心シュラウド，燃料集合体，制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等の各質点間を等価な軸剛性を有する無質量のばねにより結合する。また，屋根トラスは，各質点間を等価な曲げ及びせん断剛性を有する無質量のはりで結合し，支持端部の回転拘束と等価な回転ばねで結合する。

(2) 原子炉建屋

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-2(1)に，鉛直方向の地震応答解析モデル図を 3-2(2)に示す。

水平方向の地震応答解析モデルは，地盤との相互作用を考慮し，曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとして，EW方向及びNS方向についてそれぞれ設定する。

鉛直方向の地震応答解析モデルは，耐震壁の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を評価した質点系モデルとする。

(3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-3(1)及び図 3-3(2)に，鉛直方向の地震応答解析モデル図を図 3-3(3)に示す。

水平方向の地震応答解析モデルは，地盤との相互作用を考慮し，曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし，NS方向及びEW方向についてそれぞれ設定する。

鉛直方向の地震応答解析モデルは，耐震壁の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を評価した質点系モデルとする。

(4) 取水構造物

NS方向の地震応答解析モデルを図 3-4(1)及び図 3-4(2)に，EW方向の地震応答解析モデル図を図 3-4(3)に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には，2次元 FEM モデルを用いる。地盤は，マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し，地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。NS方向の地震応答解析モデルにおける構造部材は非線形はり要素によりモデル化する。EW方向の地震応答解析モデルにおける構造部材は非線形はり要素及び平面要素によりモデル化する。

(5) 屋外二重管

地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には，2次元 FEM モデルを用いる。地盤は，マルチスプ

リング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(6) 緊急時対策所建屋

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-6(1)に、鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-6(2)に示す。

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、N S 方向及びE W 方向についてそれぞれ設定する。

鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁及び柱の軸剛性を評価した質点系モデルとする。

(7) 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎

地震応答解析モデルを図 3-7 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(8) 主排気筒

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-8(1)に、鉛直方向の地震応答解析モデル図 3-8(2)に示す。

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、0° 方向及び 45° 方向についてそれぞれ設定する。

鉛直方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、軸剛性を評価した質点系モデルとする。

(9) 非常用ガス処理系配管支持架構

地震応答解析モデルを図 3-9 に示す。

水平方向、鉛直方向とも、地盤との相互作用を考慮し、鉄骨部材の軸、曲げ及びせん断剛性を考慮した要素と、軸剛性のみを考慮した要素による、剛基礎を有する 3 次元フレームモデルとする。

(10) 格納容器圧力逃がし装置格納槽

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-10(1)、図 3-10(2)及び図 3-10(3)に、鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-10(4)及び図 3-10(5)に示す。

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとして、N S 方向及びE W 方向についてそれぞれ設定する。地盤は 2 次元 FEM モデルとする。

鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁の軸剛性を評価した質点系モデルとする。地盤は 2 次元 FEM モデルとする。

(11) 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート

地震応答解析モデルを図 3-11 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(12) 常設代替高圧電源装置置場

N S 方向の地震応答解析モデルを図 3-12(1)に、E W 方向の地震応答解析モデルを図 3-12(2)に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。N S 方向の地震応答解析モデルにおける構造部材は線形はり要素によりモデル化する。E W 方向の地震応答解析モデルにおける構造部材は線形はり要素及び平面要素によりモデル化する。

(13) 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）

地震応答解析モデルを図 3-13 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(14) 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）

地震応答解析モデルを図 3-14 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、地盤要素のせん断剛性比と履歴減衰率のひずみ依存性に基づく修正 R-0 モデルにてモデル化し、地震時の非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素及び平面要素によりモデル化する。

(15) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）

N S 方向の地震応答解析モデルを図 3-15(1)に、E W 方向の地震応答解析モデルを図 3-15(2)に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素及び平面要素によりモデル化する。

(16) 可搬型設備用軽油タンク基礎

地震応答解析モデルを図 3-16 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(17) 常設低圧代替注水系ポンプ室

E W 方向の地震応答解析モデルを図 3-17(1)に、N S 方向の地震応答解析モデルを図 3-17(2)に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(18) 代替淡水貯槽

E W方向の地震応答解析モデルを図 3-18(1)に、N S方向の地震応答解析モデルを図 3-19(2)に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素、及び、質点と地盤間をつなぐ剛トラス要素によりモデル化する。

(19) 常設低圧代替注水系配管カルバート

地震応答解析モデルを図 3-19 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(20) S A用海水ピット

E W方向の地震応答解析モデルを図 3-20(1)に、N S方向の地震応答解析モデルを図 3-20(2)に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素、及び、質点と地盤間をつなぐ剛トラス要素によりモデル化する。

(21) 緊急用海水ポンプピット

E W方向の地震応答解析モデルを図 3-21(1)に、N S方向の地震応答解析モデルを図 3-21(2)に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

(22) 防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）

地震応答解析モデルを図 3-22 に示す。

地盤と構造物連成系の地震応答解析には、2 次元 FEM モデルを用いる。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。構造部材は、線形はり要素によりモデル化する。

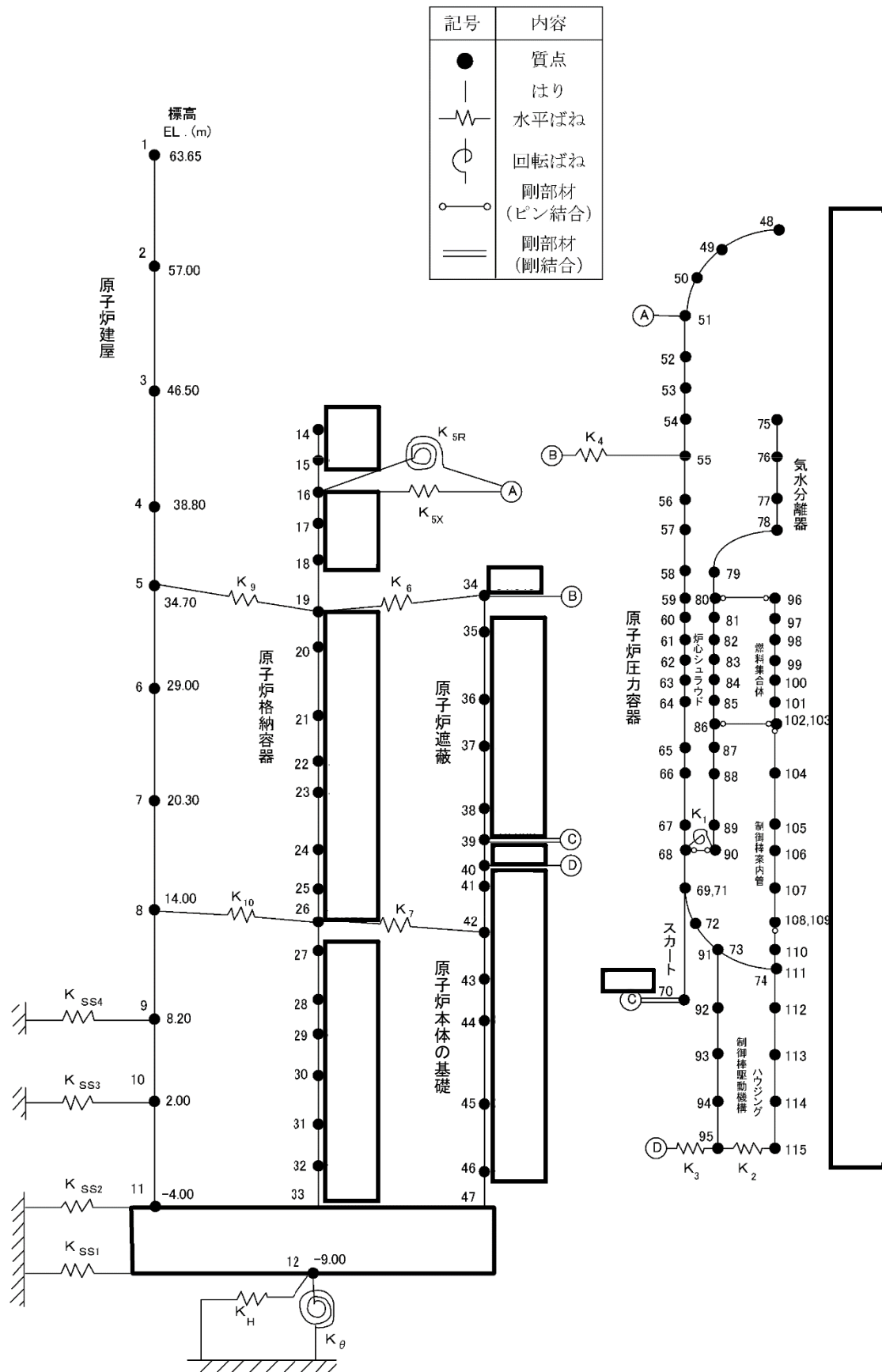


図 3-1(1) 原子炉本体地震応答解析モデル（水平方向）

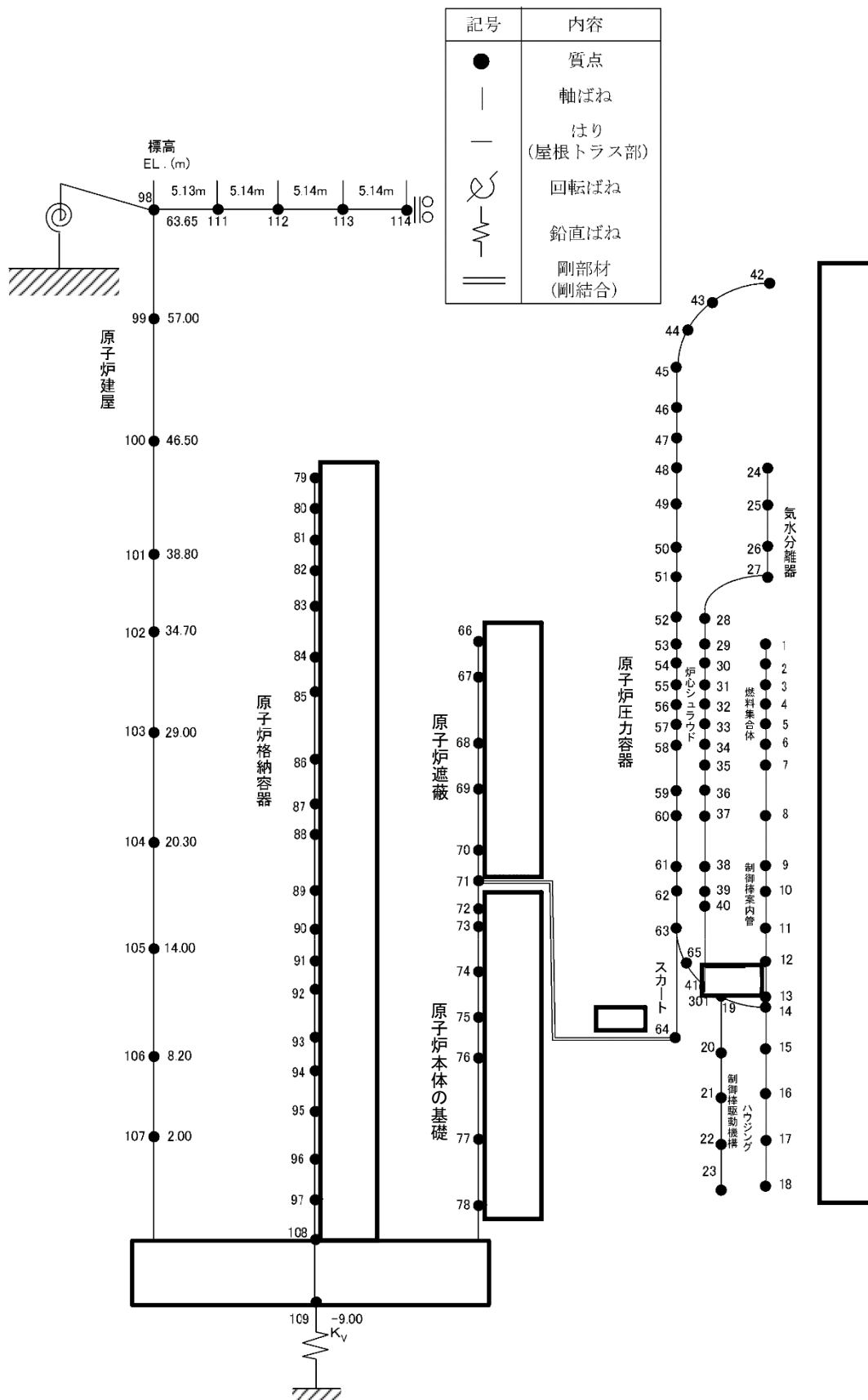


図 3-1 (2) 原子炉本体地震応答解析モデル (鉛直方向)

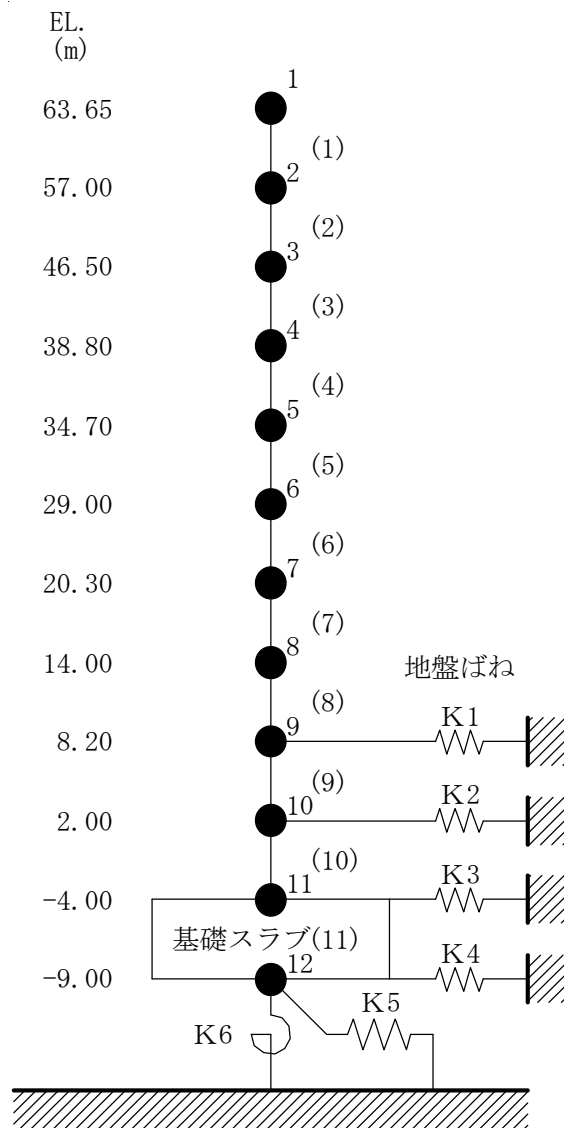
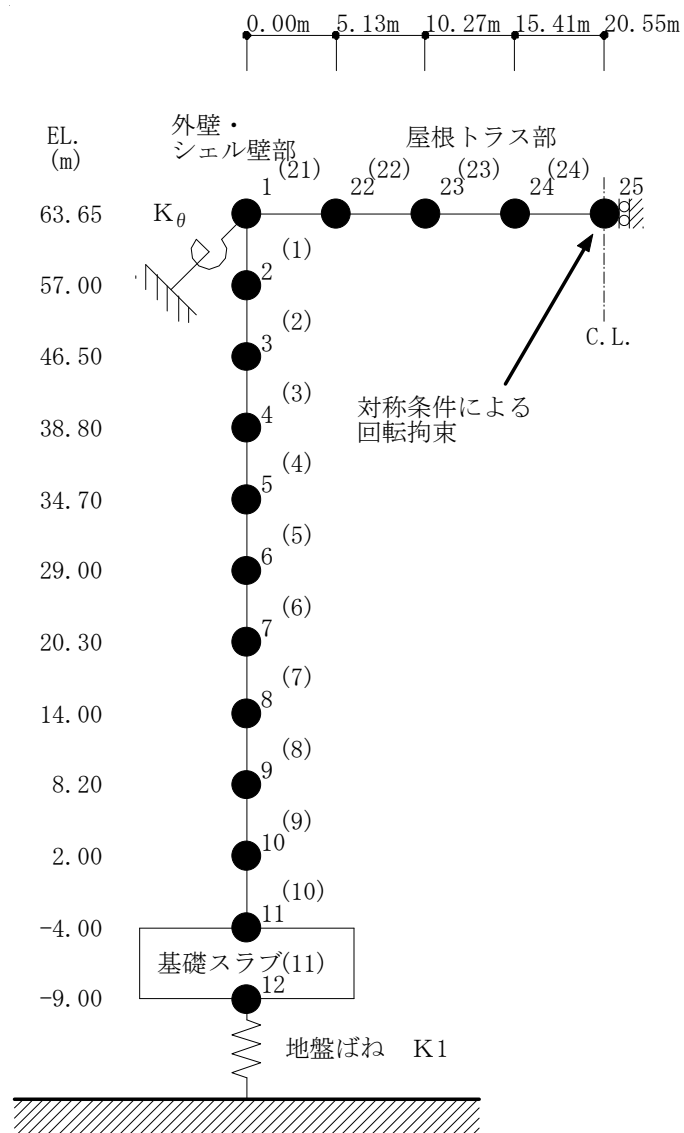


図 3-2(1) 原子炉建屋地震応答解析モデル（水平方向）



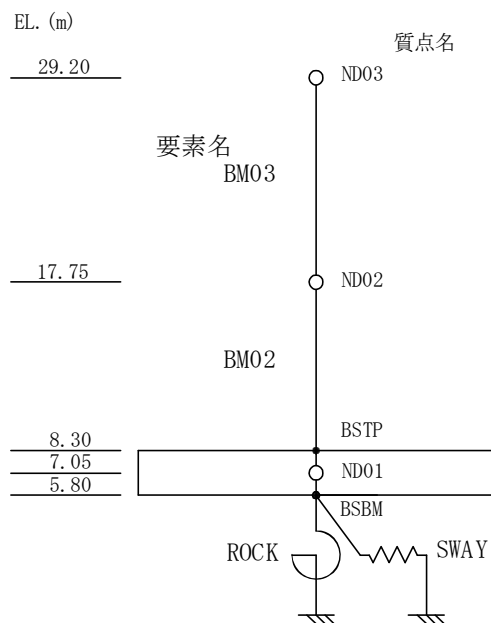


図 3-3(1) 使用済燃料乾式貯蔵建屋地震応答解析モデル (N S 方向)

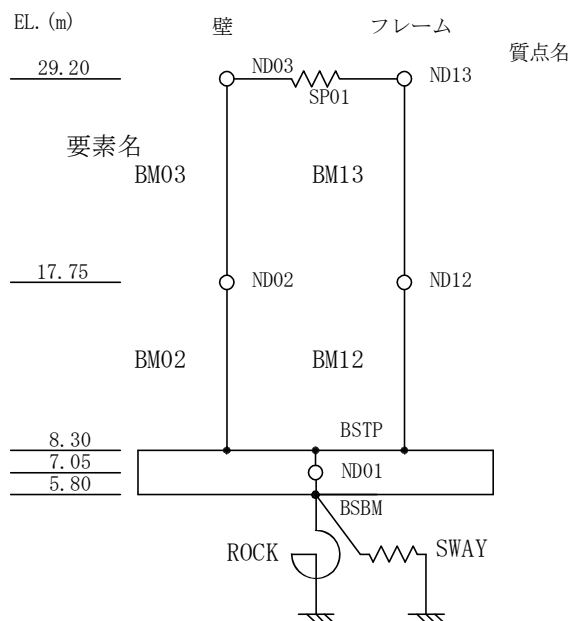


図 3-3(2) 使用済燃料乾式貯蔵建屋地震応答解析モデル (E W 方向)

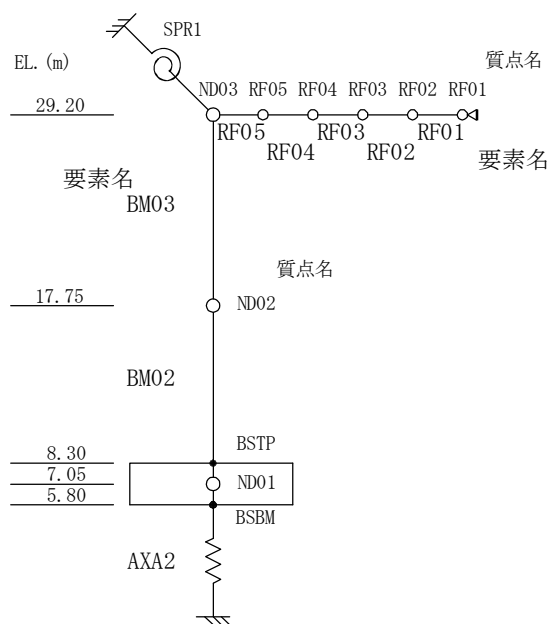


図 3-3(3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋地震応答解析モデル（鉛直方向）

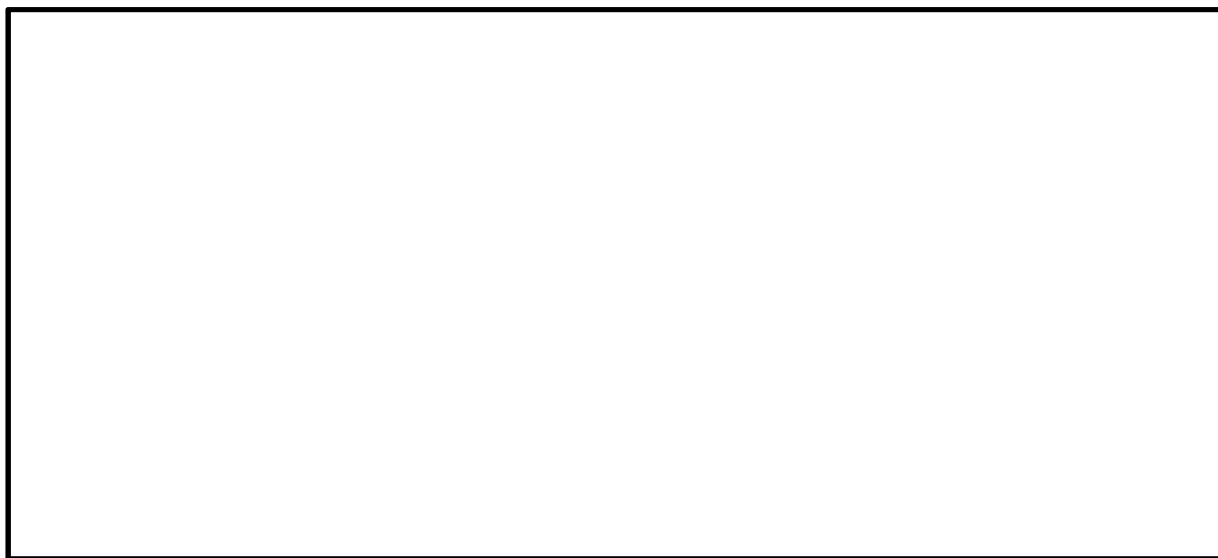


図 3-4(1) 取水構造物地震応答解析モデル（NS 方向その 1）

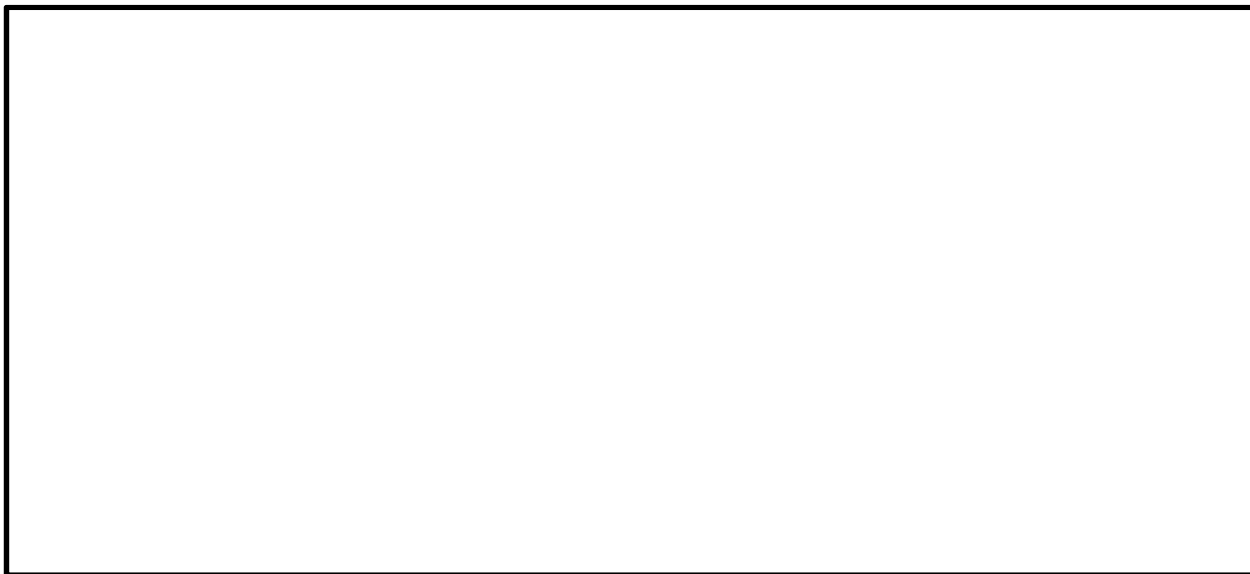


図 3-4(2) 取水構造物地震応答解析モデル (N S 方向その 2)

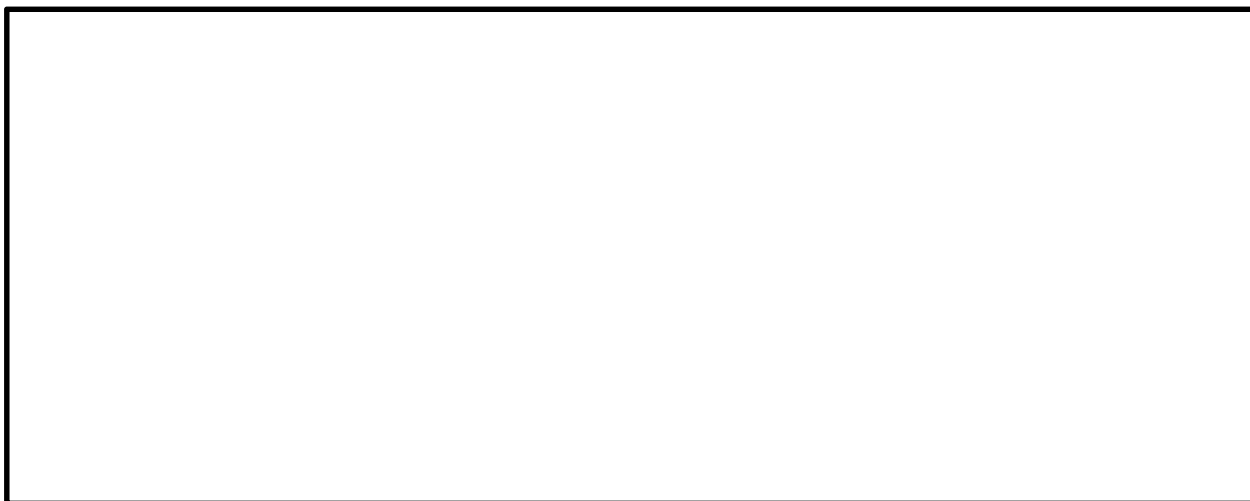


図 3-4(3) 取水構造物地震応答解析モデル (E W 方向)

追而

図 3-5 屋外二重管

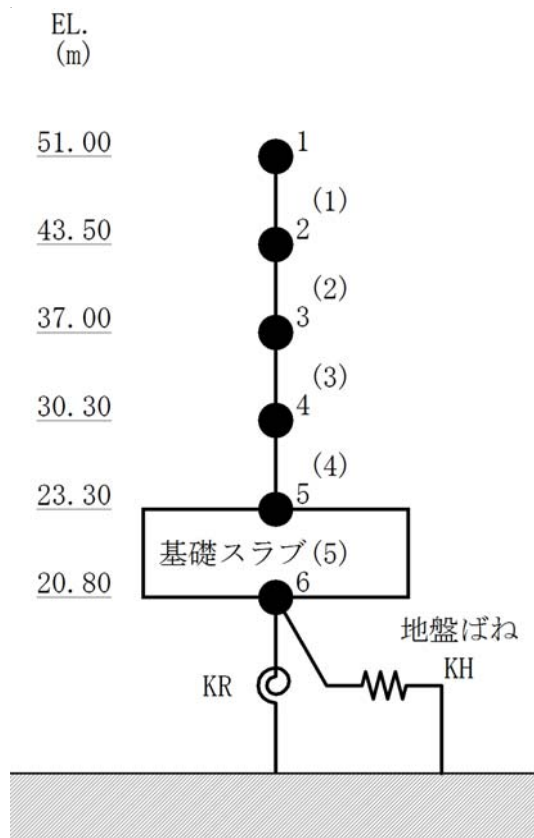


図 3-6(1) 緊急時対策所建屋地震応答解析モデル（水平方向）

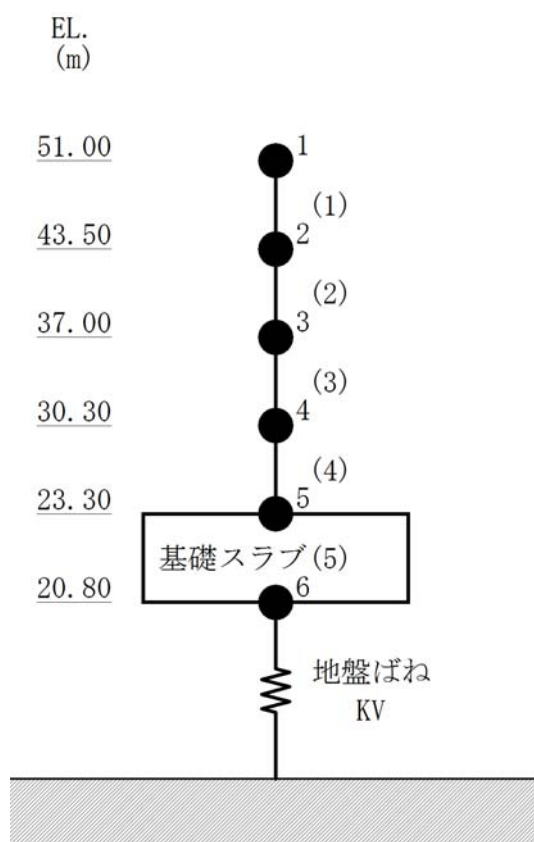


図 3-6(2) 緊急時対策所建屋地震応答解析モデル（鉛直方向）

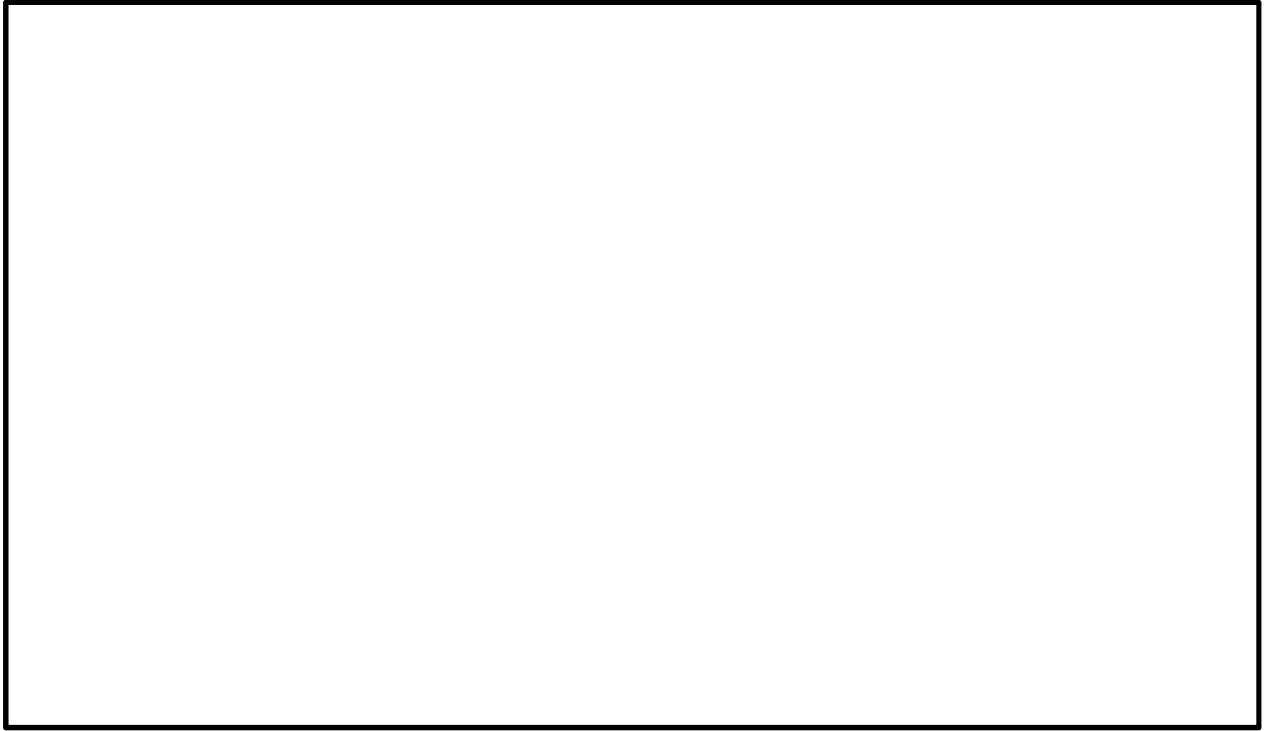


図 3-7 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎地震応答解析モデル

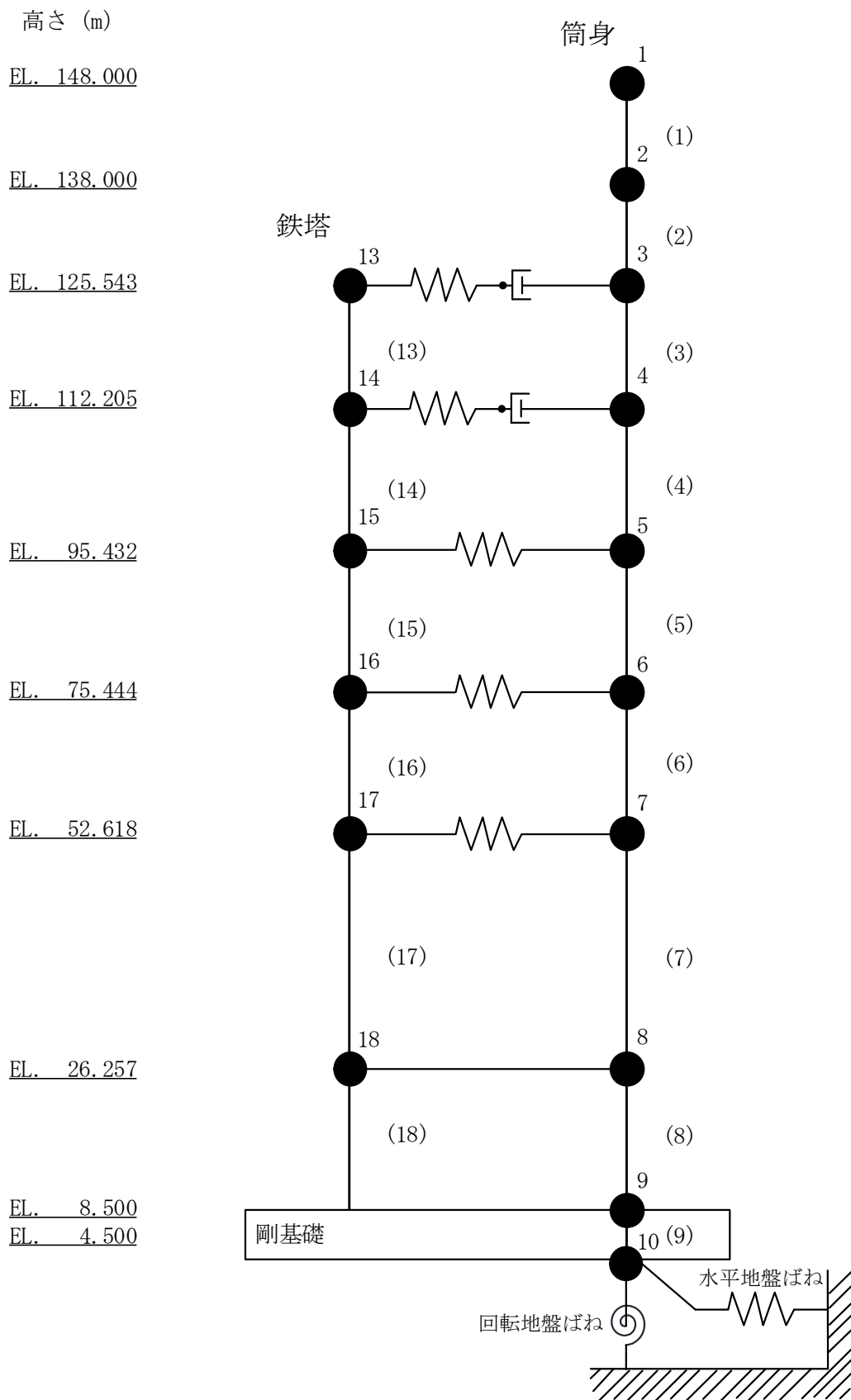


図 3-8(1) 主排気筒地震応答解析モデル (水平方向)

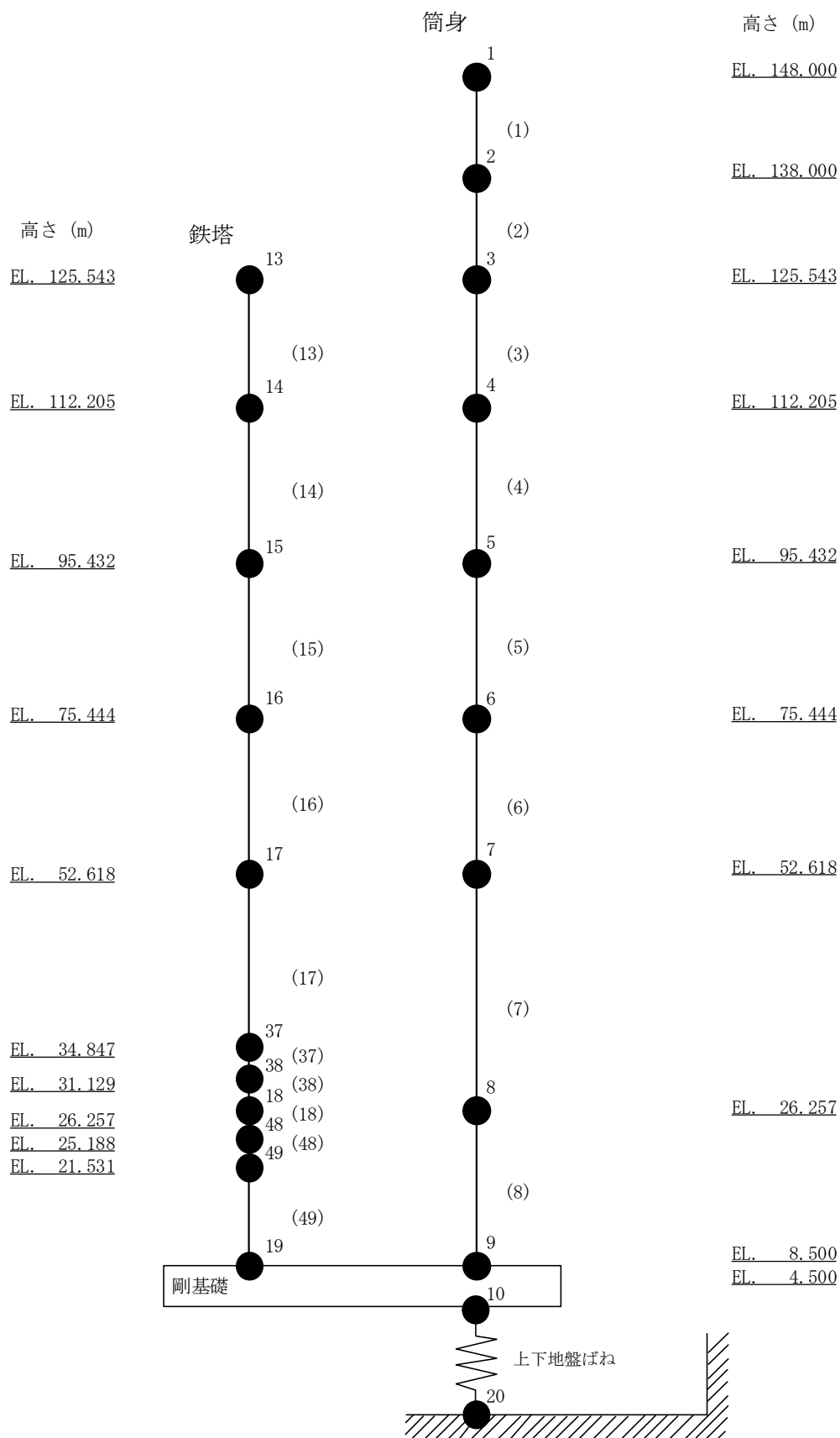


図 3-8(2) 主排気筒地震応答解析モデル (鉛直方向)

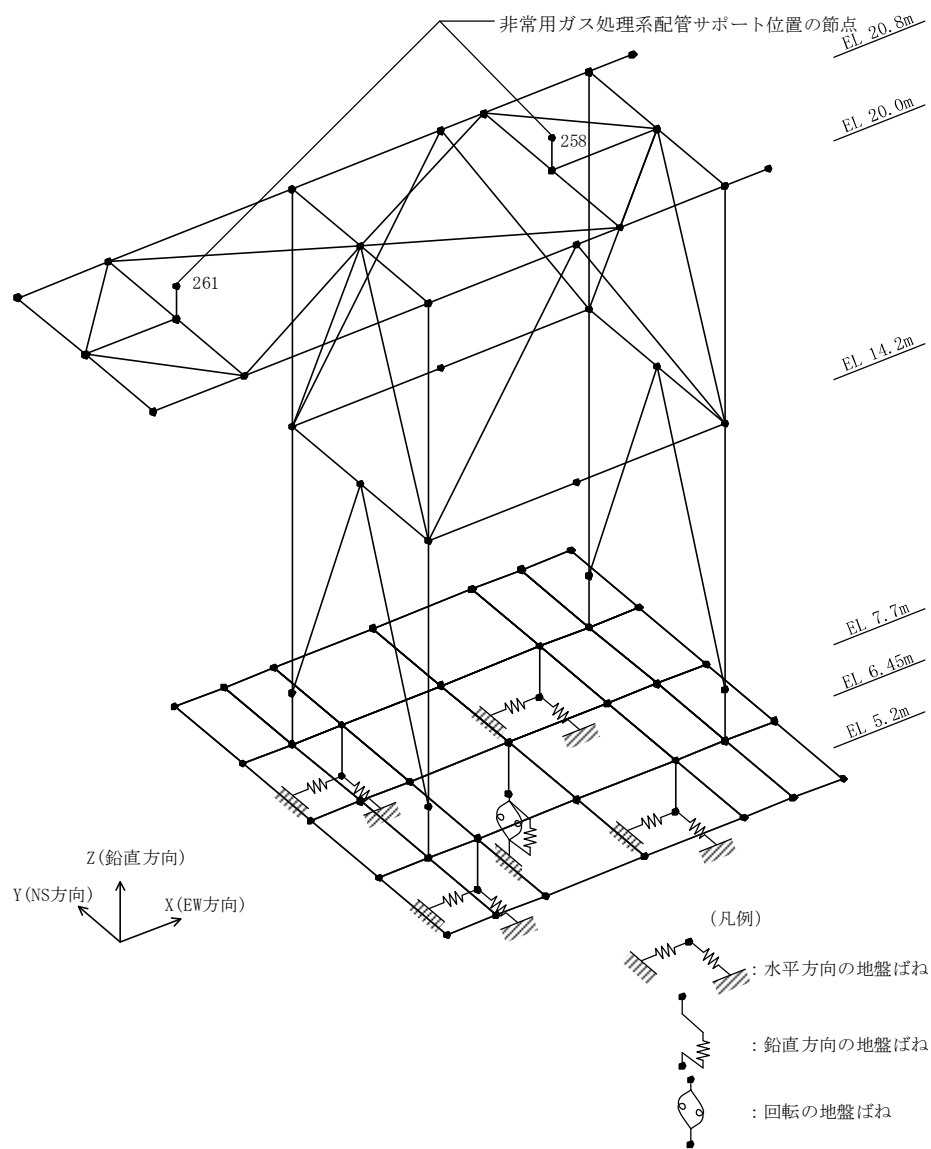


図 3-9 非常用ガス処理系配管支持架構地震応答解析モデル

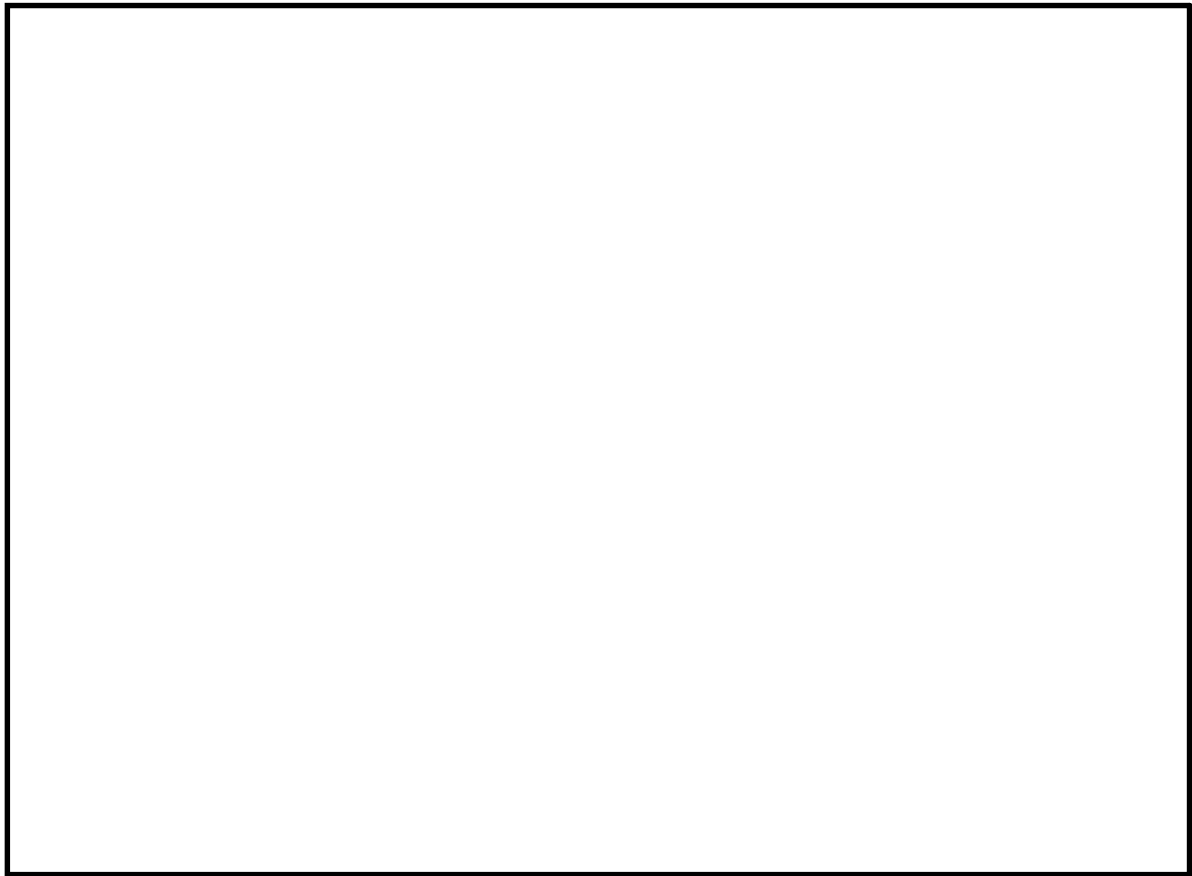


図 3-10(1) 格納容器圧力逃がし装置格納槽地震応答解析モデル（N S 方向）

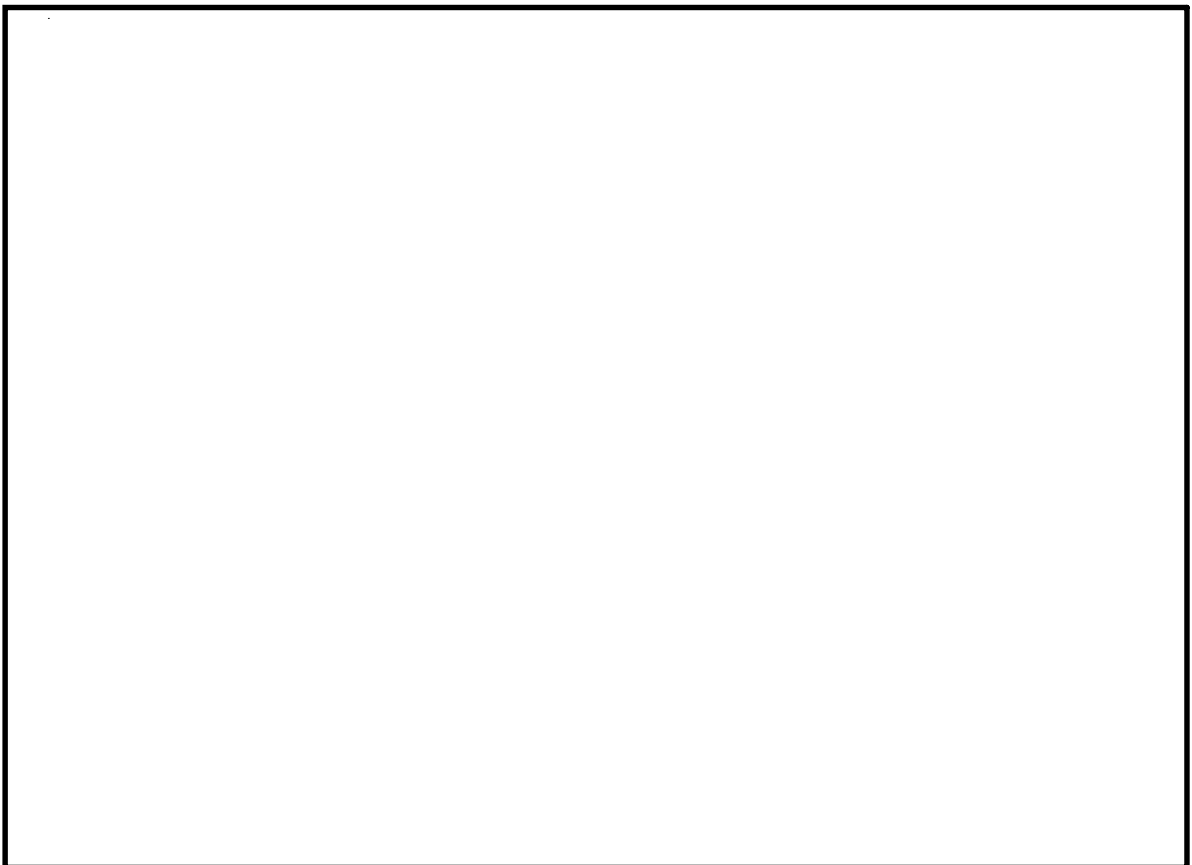


図 3-10(2) 格納容器圧力逃がし装置格納槽地震応答解析モデル（E W方向）

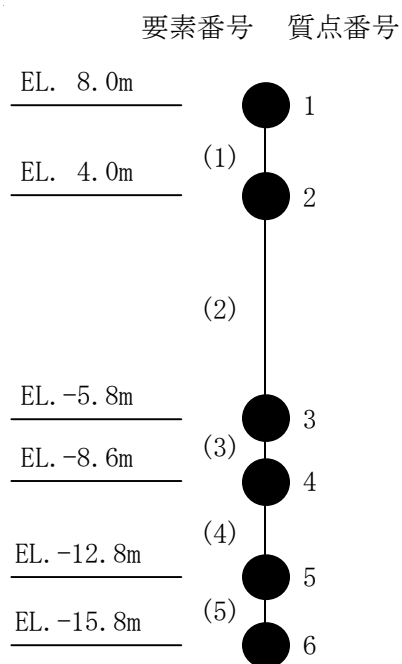


図 3-10(3) 格納容器圧力逃がし装置格納槽地震応答解析モデル（水平方向構造物）



図 3-10(4) 格納容器圧力逃がし装置格納槽地震応答解析モデル（鉛直方向）

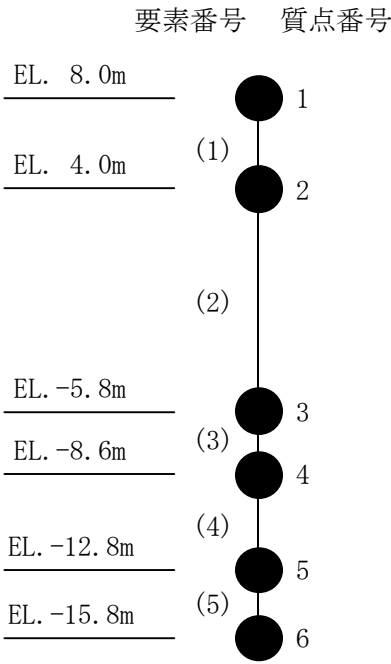


図 3-10(5) 格納容器圧力逃がし装置格納槽地震応答解析モデル（鉛直方向構造物）

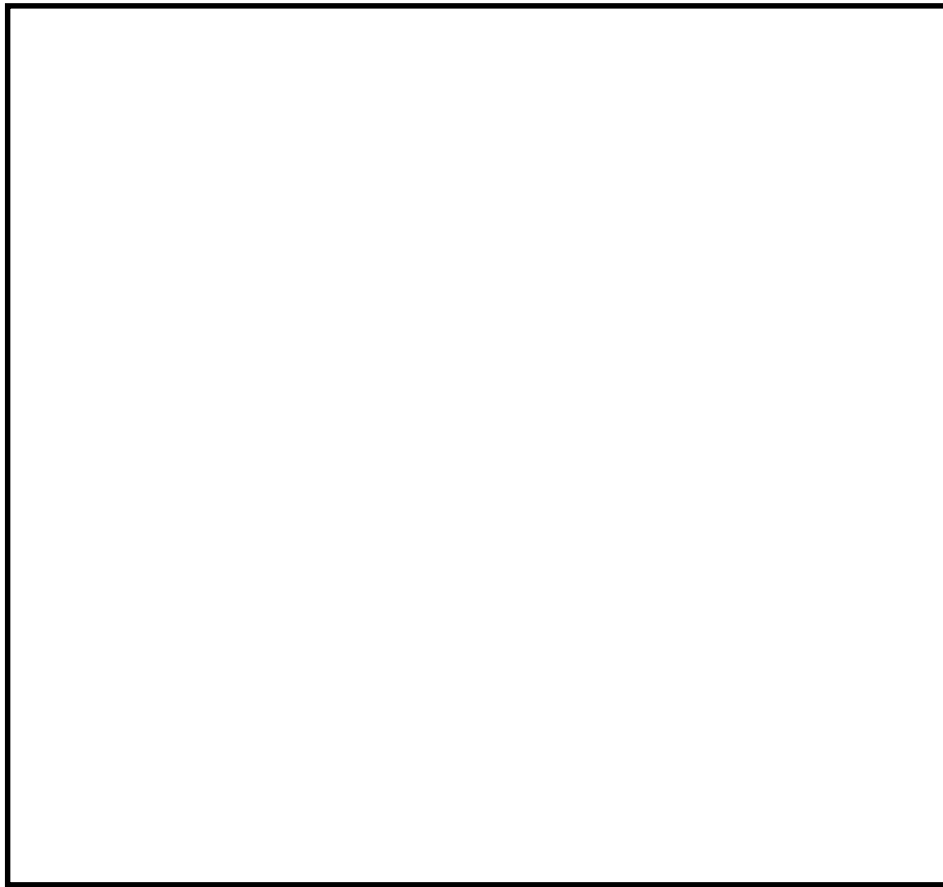


図 3-11 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート地震応答解析モデル

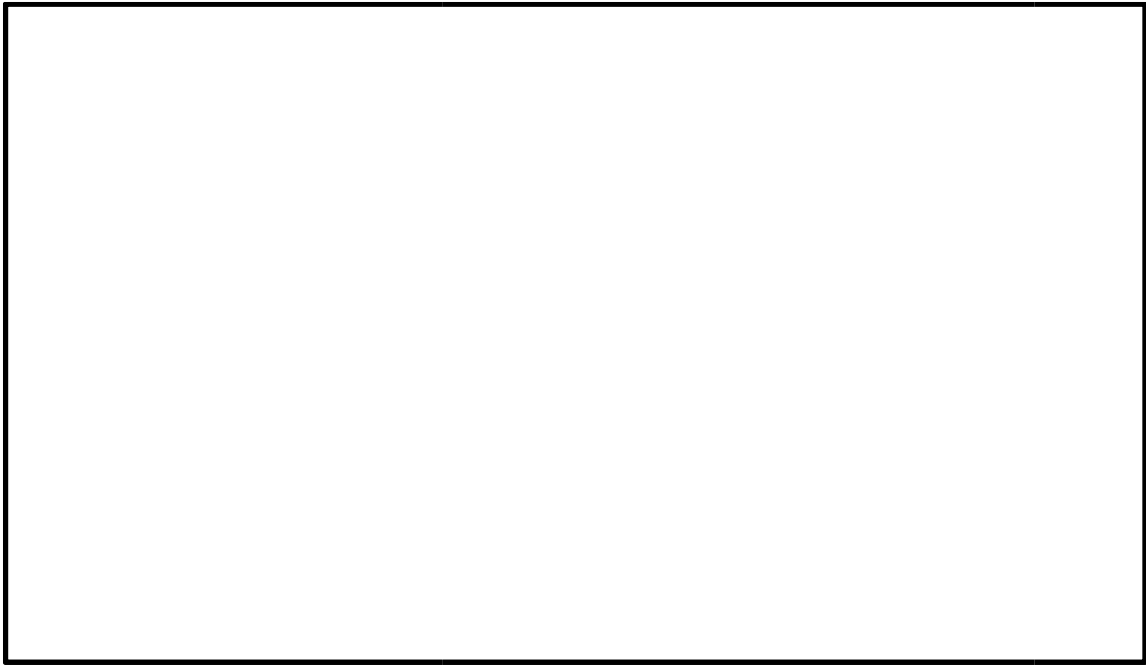


図 3-12(1) 常設代替高圧電源装置置場地震応答解析モデル (N S 方向)

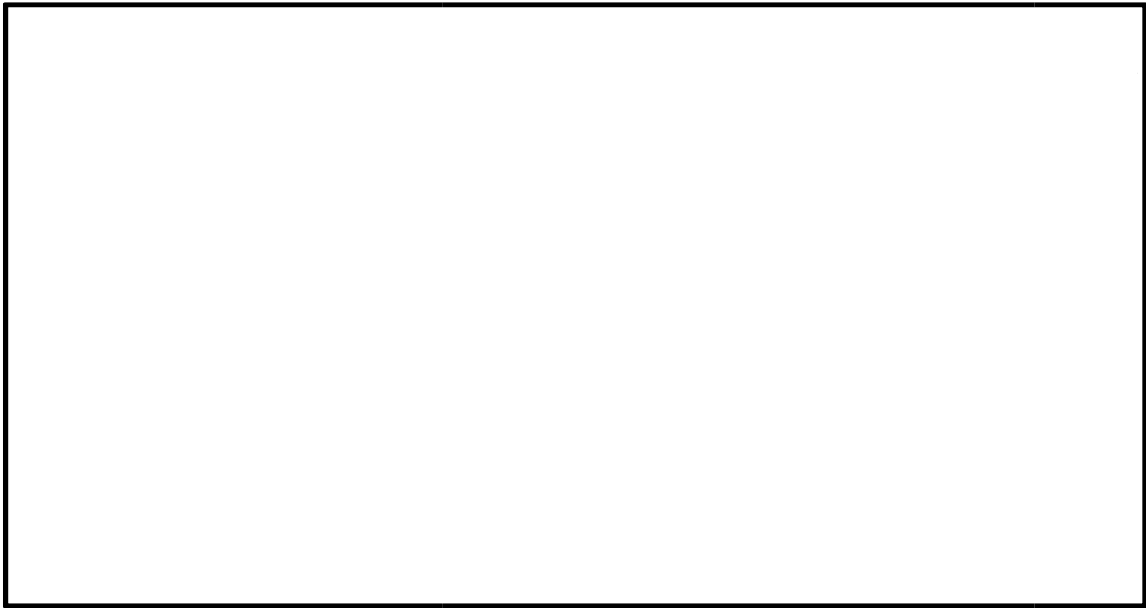


図 3-12(2) 常設代替高圧電源装置置場地震応答解析モデル (E W 方向)



図 3-13 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）地震応答解析モデル

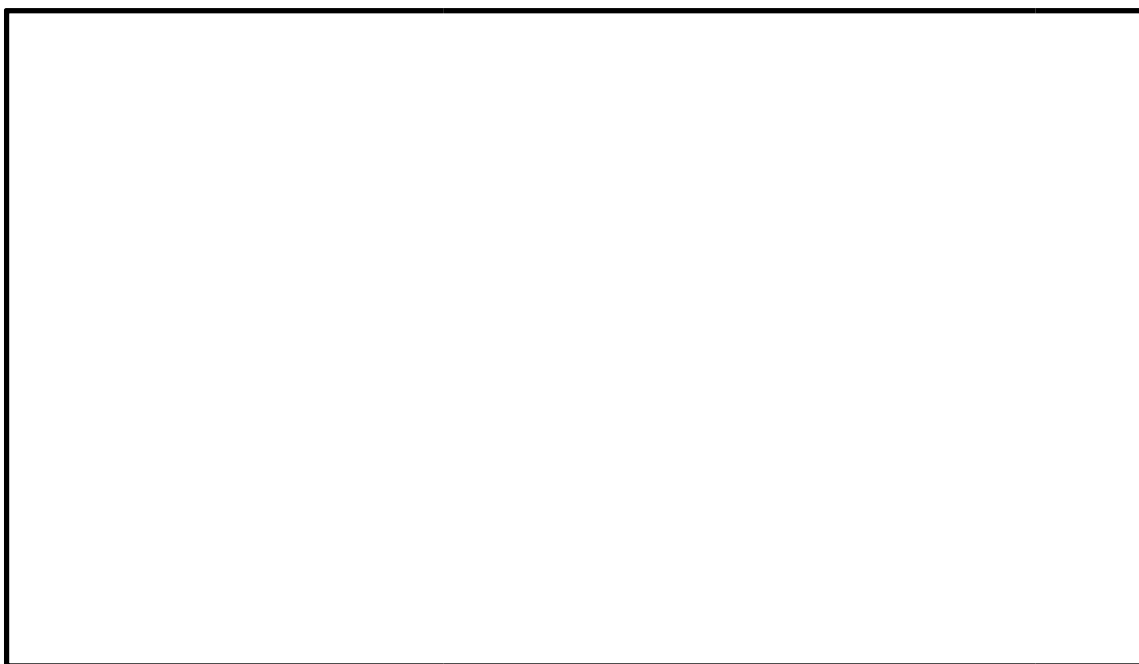


図 3-14 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）地震応答解析モデル



図 3-15 (1) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）地震応答解析モデル
（N S 方向）

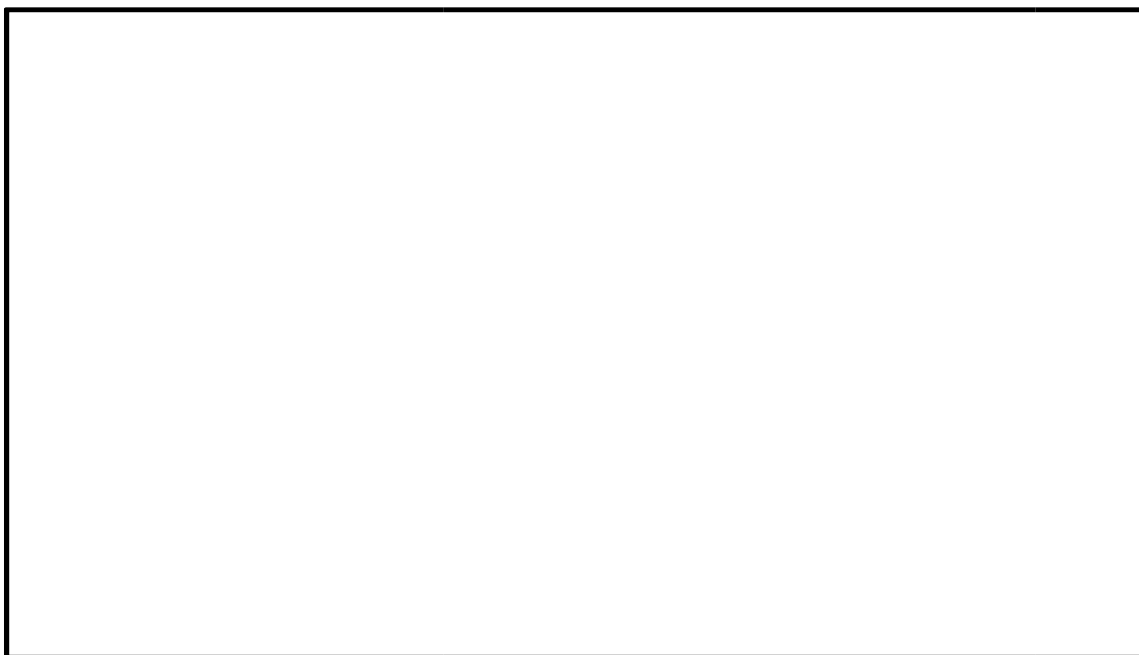


図 3-15 (2) 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）地震応答解析モデル
（E W 方向）



図 3-16 可搬型設備用軽油タンク基礎地震応答解析モデル

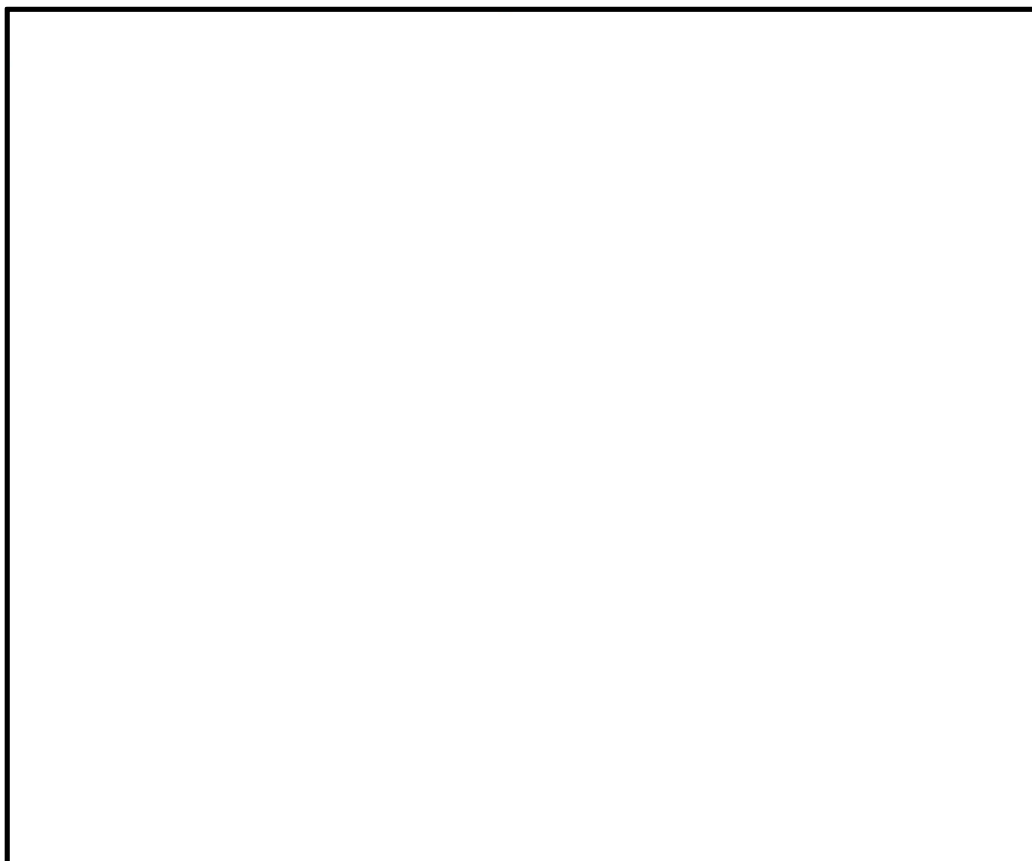


図 3-17(1) 常設低圧代替注水系ポンプ室地震応答解析モデル（E W方向）

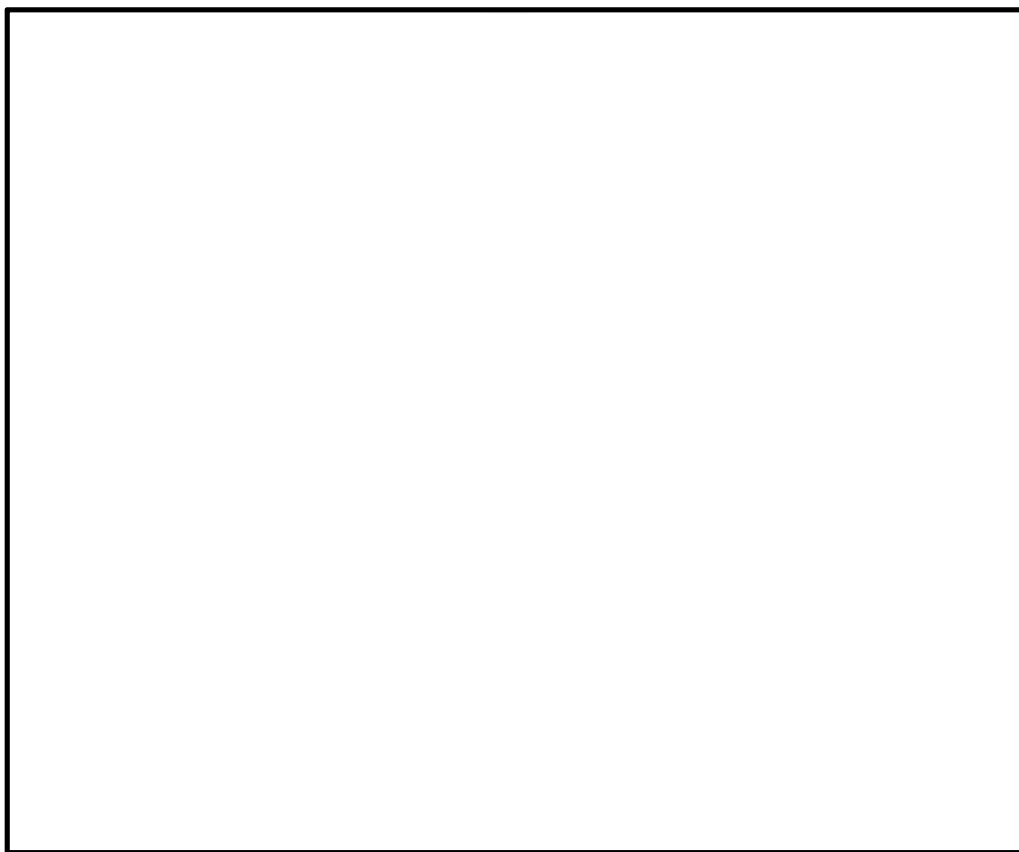


図 3-17(2) 常設低圧代替注水系ポンプ室地震応答解析モデル (N S 方向)



図 3-18(1) 代替淡水貯槽地震応答解析モデル (E W 方向)

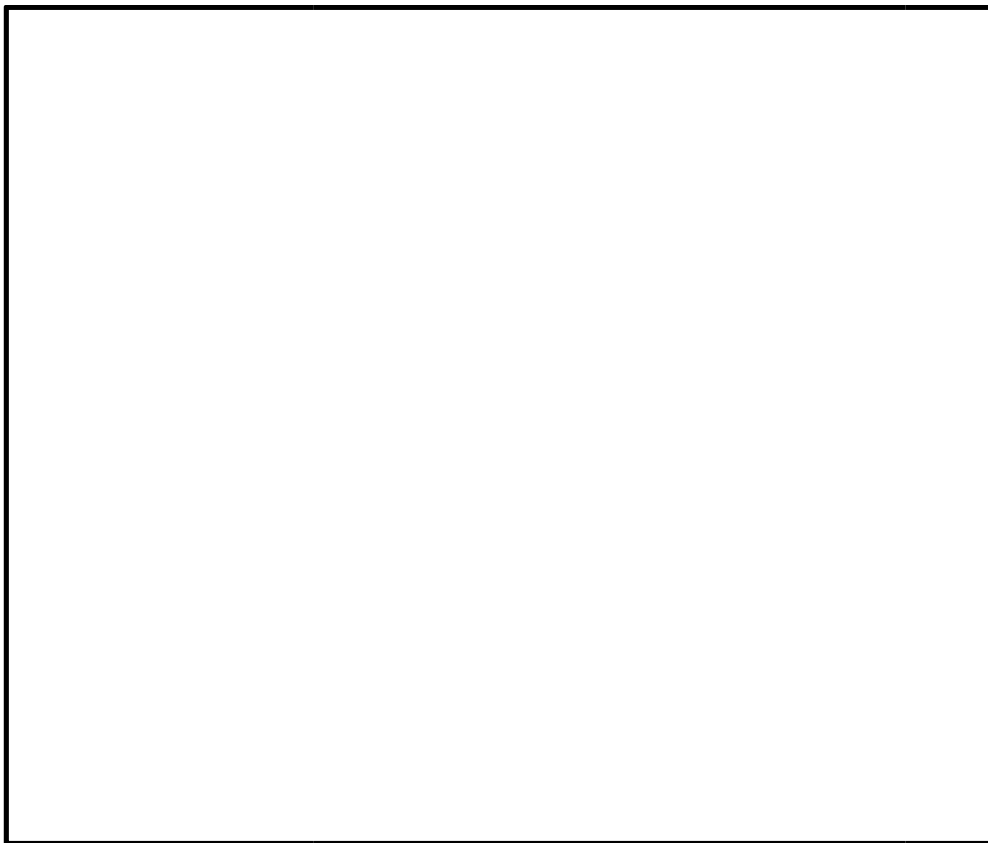


図 3-18(2) 代替淡水貯槽地震応答解析モデル（N S 方向）

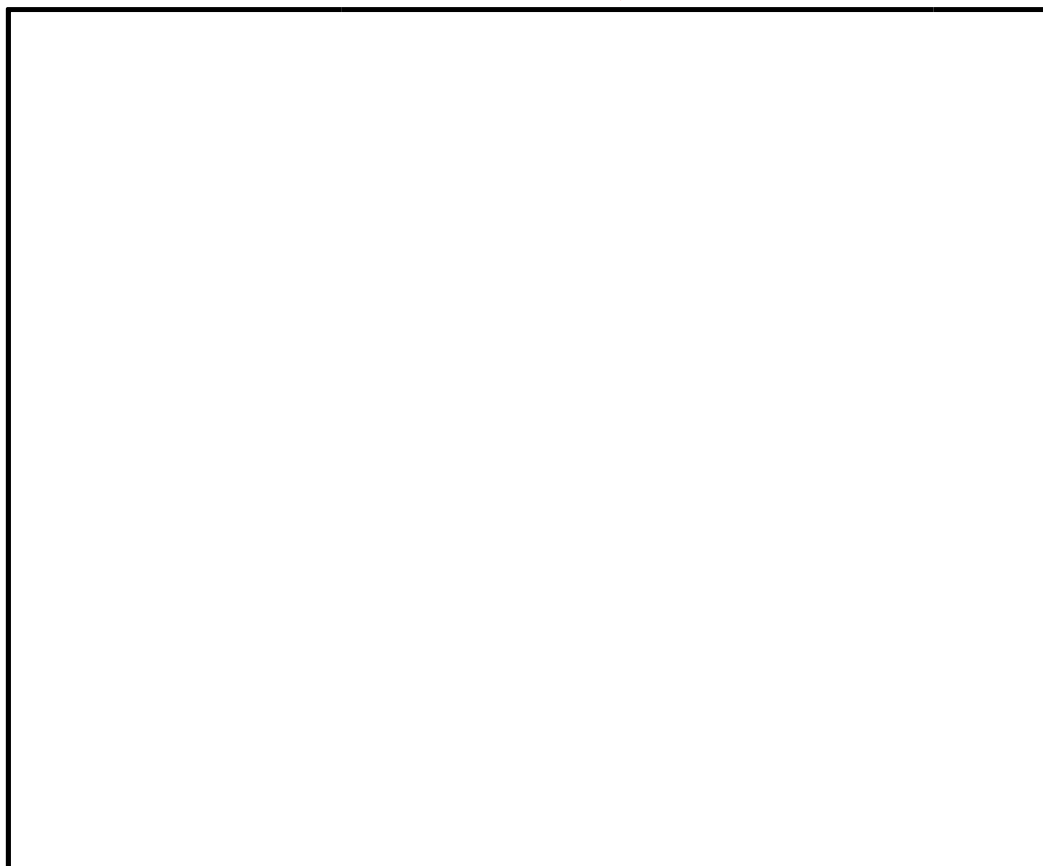


図 3-19 常設低圧代替注水系配管カルバート地震応答解析モデル

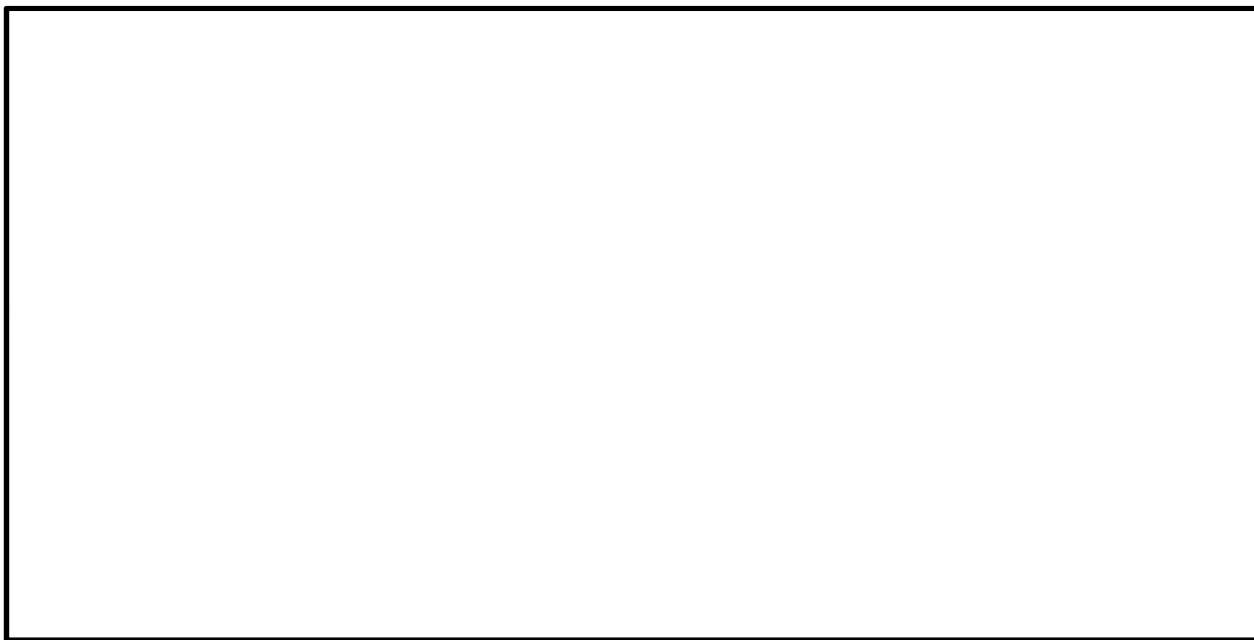


図 3-20 (1) S A用海水ピット地震応答解析モデル (E W方向)



図 3-20 (2) S A用海水ピット地震応答解析モデル (N S方向)

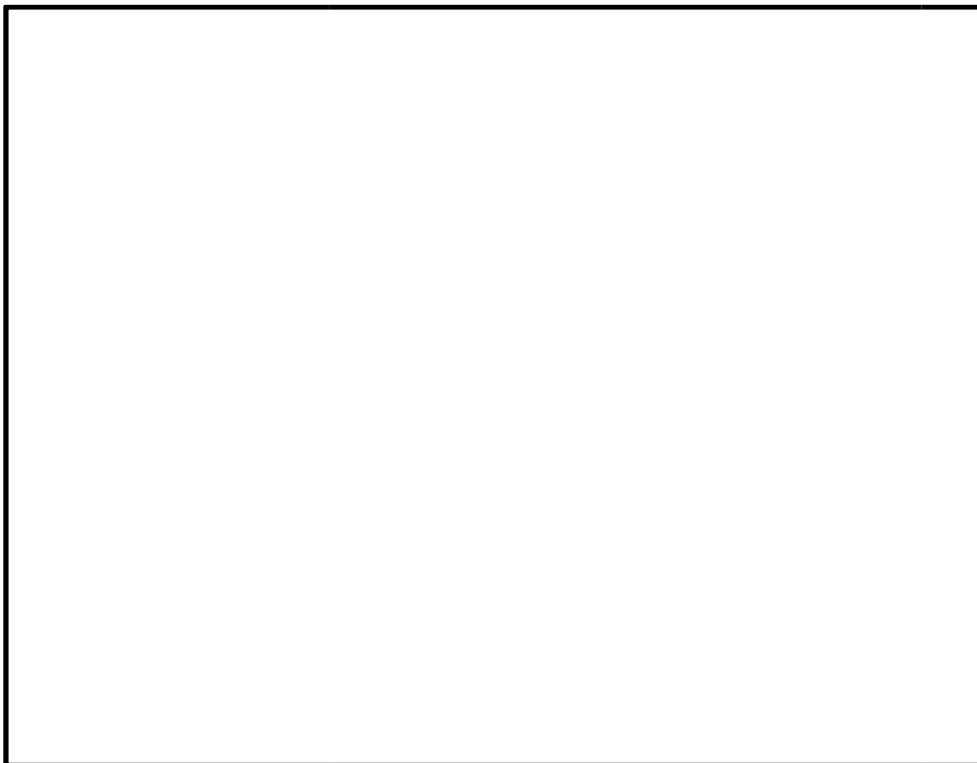


図 3-21 緊急用海水ポンプピット地震応答解析モデル（E W方向）



図 3-21 緊急用海水ポンプピット地震応答解析モデル（N S方向）

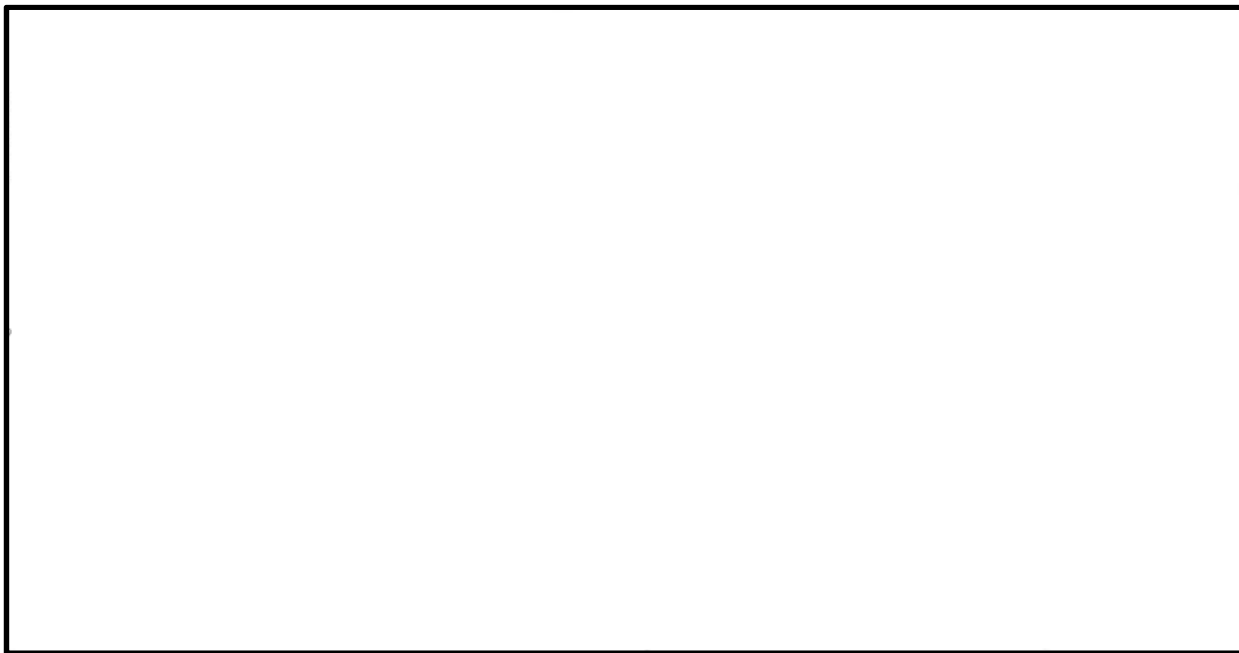


図 3-22(1) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁地震応答解析モデル（断面①）

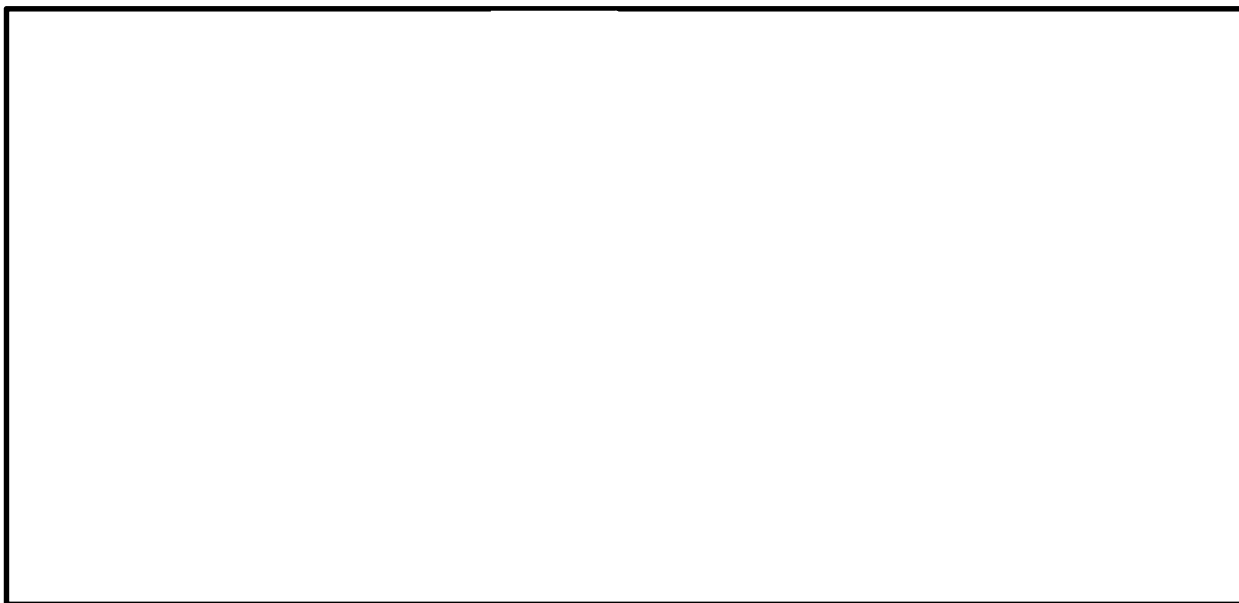


図 3-22(2) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁地震応答解析モデル（断面②）

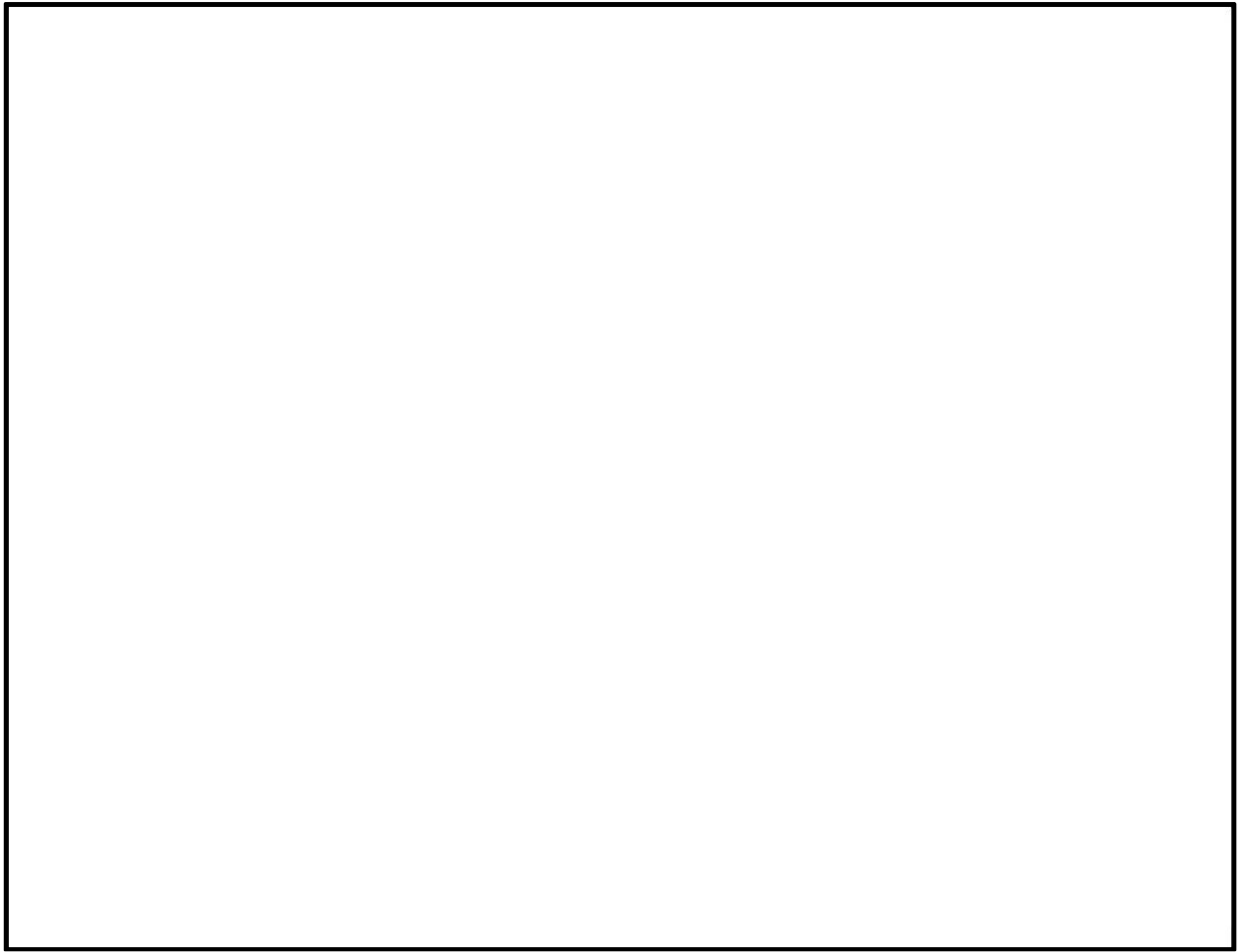


図 3-22(3) 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁地震応答解析モデル（断面③）