

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料 |                   |
| 資料番号                  | 02-工-B-19-0019_改4 |
| 提出年月日                 | 2021年11月8日        |

### VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書

2021年11月  
東北電力株式会社

## 目 次

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 1. 概要.....                            | 1   |
| 2. 基本方針.....                          | 2   |
| 2.1 位置.....                           | 2   |
| 2.2 構造概要.....                         | 3   |
| 2.3 解析方針.....                         | 10  |
| 2.4 適用規格・基準等.....                     | 12  |
| 3. 解析方法.....                          | 13  |
| 3.1 設計に用いる地震波.....                    | 13  |
| 3.2 地震応答解析モデル.....                    | 28  |
| 3.3 解析方法.....                         | 39  |
| 3.4 解析条件.....                         | 42  |
| 4. 解析結果.....                          | 58  |
| 4.1 動的解析.....                         | 58  |
| 4.1.1 基本ケースの地震応答解析結果.....             | 58  |
| 4.1.2 材料物性の不確かさを考慮したケースの地震応答解析結果..... | 101 |
| 4.2 静的解析.....                         | 162 |
| 4.3 必要保有水平耐力.....                     | 164 |

 本日の説明範囲

### 3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析モデルの設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-2 使用材料の物性値

| 使用材料  | ヤング係数<br>E<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数<br>G<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 減衰定数<br>h<br>(%) |
|---|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| 鉄筋コンクリート<br>コンクリート：<br>Fc=32.4(N/mm <sup>2</sup> )<br>(Fc=330(kgf/cm <sup>2</sup> ))<br>鉄筋：SD35<br>(SD345 相当) | 2.65×10 <sup>4</sup>               | 1.14×10 <sup>4</sup>                 | 5                |

### 3.2.1 水平方向

#### (1) 地震応答解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部及び面内せん断変形をする床スラブ部からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。

水平方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-5 に示す。図 3-5(3)及び図 3-5(4)に示す誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析モデルについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A C 4 6 0 1-2015 ((社)日本電気協会)」を参考に、水平加振により励起される上下応答を評価するために、後述の鉛直方向の地震応答解析モデルの諸元(図 3-8)及び接地率に応じて変化する回転・鉛直連成ばねについても考慮している。なお、平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下について、観測記録を用いた検討により確認したことから解析モデルに考慮する。復元力特性の設定にあたっては、地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等の要因は初期剛性及びその後の剛性を低下させるが、機能維持限界耐力及び終局耐力は既工認の復元力特性の各耐力を上回っていることを試験等により確認したことから、この復元力特性に初期剛性低下を反映して適用する。耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数を表 3-3 に示す。

#### (2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、水平方向の地震応答解析モデルにおいては水平ばね及び回転ばねで置換している。この水平ばね及び回転ばねは、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミッタンス理論に基づいて評価している。いずれのばねも振動数に依存した複素剛性として表現されるが、図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値( $K_0$ )を、また、減衰係数( $C_0$ )として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数( $\omega_1$ )に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。このうち、回転ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-4 に、地盤モデルの等価地盤物性値を表 3-5 に示す。

#### (3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、「3.1 設計に用いる地震波」に示す基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  とし、建屋基礎底面に直接入力する。図 3-7 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。

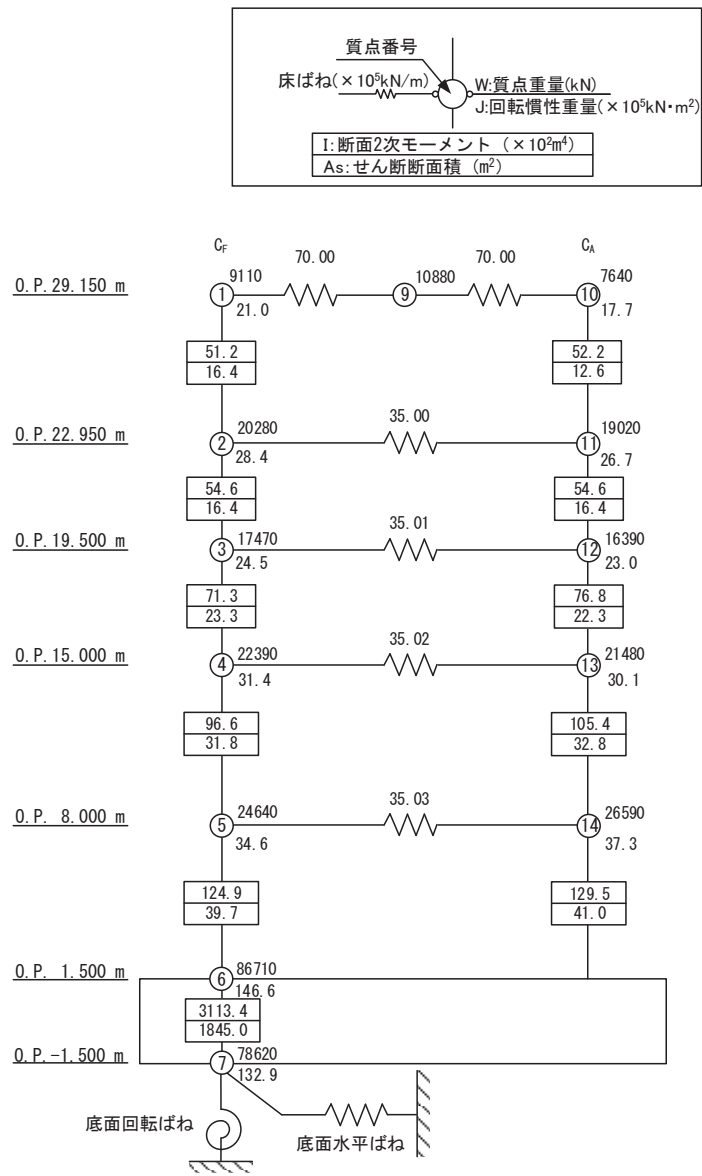


図 3-5(1) 地震応答解析モデル及び諸元 (NS 方向)

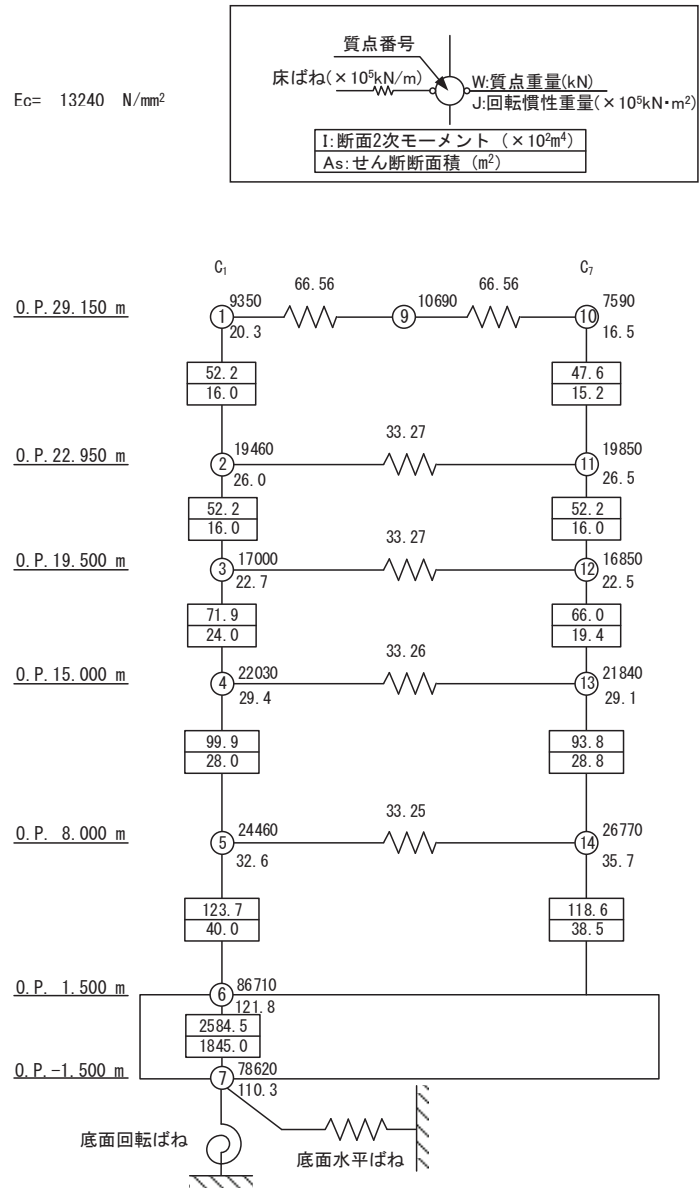


図 3-5(2) 地震応答解析モデル及び諸元 (EW 方向)



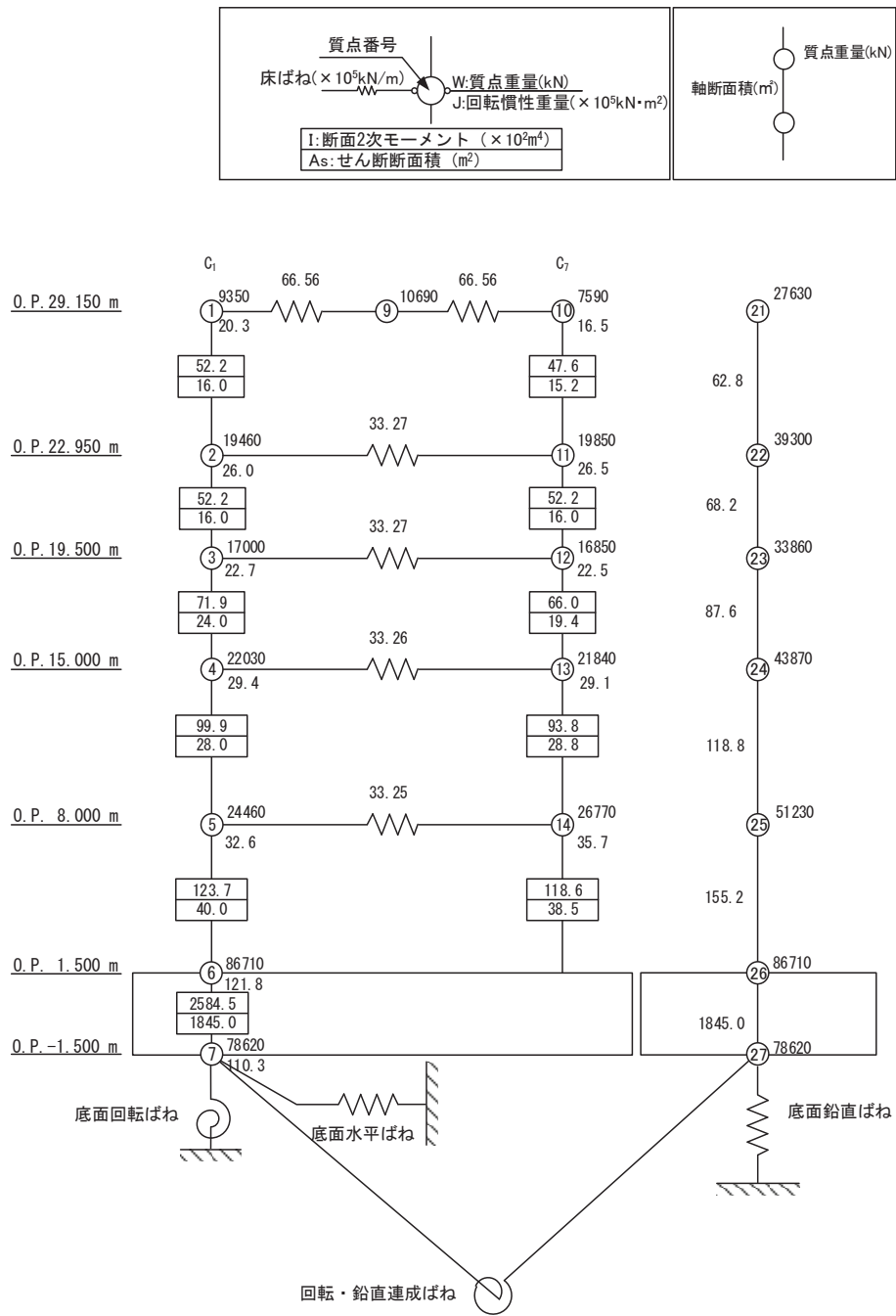
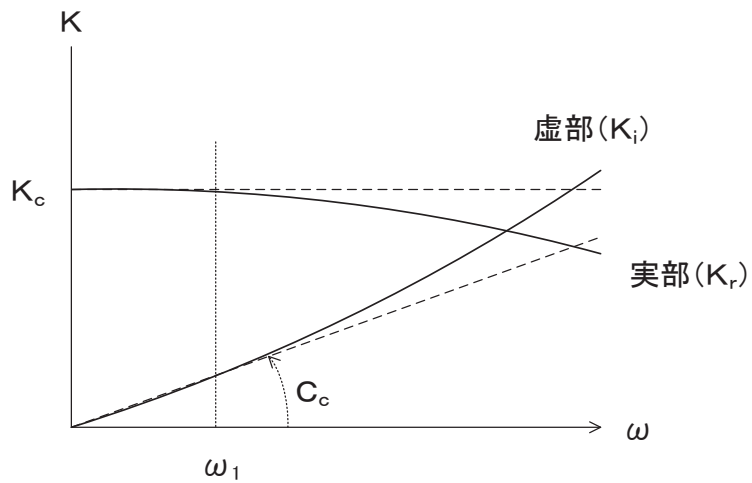


図 3-5(4) 地震応答解析モデル及び諸元 (誘発上下動考慮, EW 方向)



表 3-3 耐震壁の初期剛性の設計値に対する補正係数

| 方向 | 建屋全体 |
|----|------|
| NS | 0.40 |
| EW | 0.50 |



ばね定数：底面ばねは 0Hz のばね定数  $K_c$  で定数化

減衰係数：建屋—地盤連成系の 1 次固有円振動数  $\omega_1$  に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き  $C_c$  で定数化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

表 3-4 地盤ばね定数と減衰係数

(a)NS 方向

| 地盤ばね<br>成分 | ばね定数<br>$K_c$                     | 減衰係数<br>$C_c$                    |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 底面・水平      | $9.226 \times 10^8$ (kN/m)        | $6.550 \times 10^6$ (kN・s/m)     |
| 底面・回転      | $5.145 \times 10^{11}$ (kN・m/rad) | $2.154 \times 10^8$ (kN・m・s/rad) |

(b)EW 方向

| 地盤ばね<br>成分 | ばね定数<br>$K_c$                     | 減衰係数<br>$C_c$                    |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 底面・水平      | $9.303 \times 10^8$ (kN/m)        | $6.664 \times 10^6$ (kN・s/m)     |
| 底面・回転      | $4.511 \times 10^{11}$ (kN・m/rad) | $1.923 \times 10^8$ (kN・m・s/rad) |

表 3-5 地盤モデルの等価地盤物性値

| せん断波速度<br>$V_s$ (m/s) | ポアソン比<br>$\nu$ | せん断弾性係数<br>$G$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|----------------|-------------------------------------|
| 1820                  | 0.415          | $8.05 \times 10^3$                  |

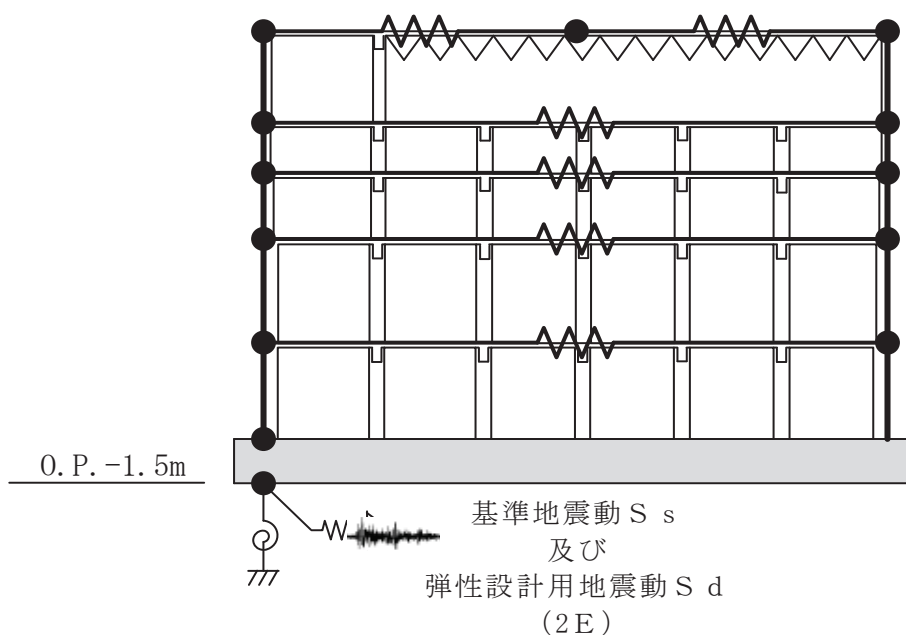


図 3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

### 3.2.2 鉛直方向

#### (1) 地震応答解析モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁部の軸剛性を評価した質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとする。

鉛直方向の地震応答解析モデル及び諸元を図 3-8 に示す。なお、鉛直方向の軸剛性に関しては、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下の影響が確認されなかったことから、設計剛性とする。

#### (2) 地盤ばね

基礎版底面下の地盤は、鉛直方向の地震応答解析モデルにおいては鉛直ばねで置換している。この鉛直ばねは、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」により、基礎版底面下の地盤を等価な半無限地盤と見なして、振動アドミタンス理論に基づいて評価しており、振動数に依存した複素剛性として表現される。図 3-6 に示すようにばね定数として、実部の静的な値( $K_0$ )を、また、減衰係数( $C_0$ )として、建屋－地盤連成モデルの 1 次固有円振動数( $\omega_1$ )に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。基礎底面ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-6 に、地盤モデルの等価地盤物性値を表 3-7 に示す。

#### (3) 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は、「3.1 設計に用いる地震波」に示す基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  とし、基礎底面レベルに直接入力する。

図 3-9 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。

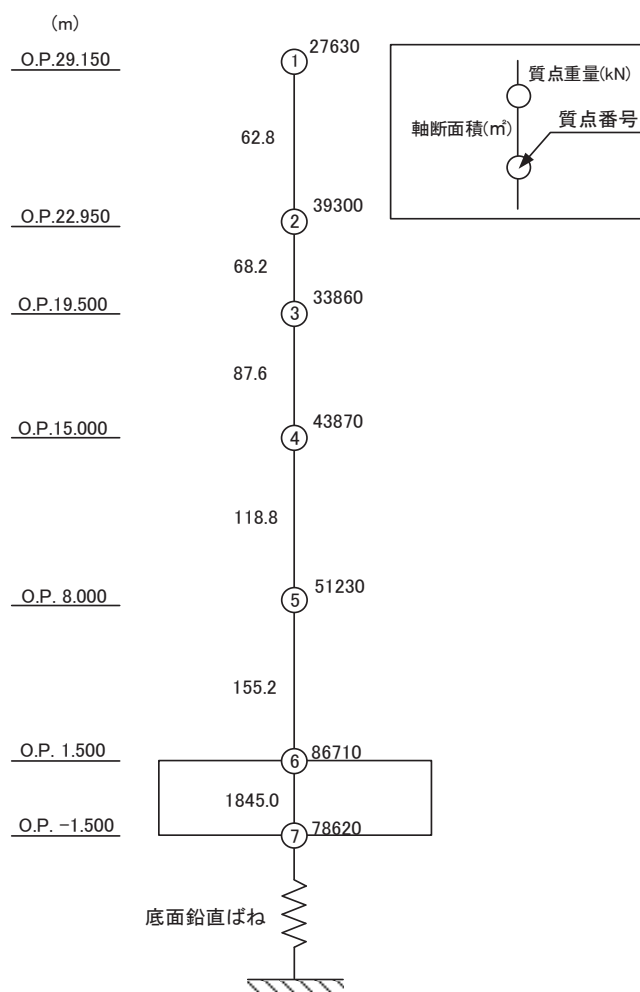


図 3-8 地震応答解析モデル及び諸元 (鉛直方向)

表 3-6 地盤ばね定数と減衰係数（鉛直方向）

| 地盤ばね<br>成分 | ばね定数<br>$K_c$              | 減衰係数<br>$C_c$                |
|------------|----------------------------|------------------------------|
| 底面・鉛直      | $1.255 \times 10^9$ (kN/m) | $1.292 \times 10^7$ (kN·s/m) |

表 3-7 地盤モデルの等価地盤物性値

| せん断波速度<br>$V_s$ (m/s) | ポアソン比<br>$\nu$ | せん断弾性係数<br>$G$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|----------------|-------------------------------------|
| 1820                  | 0.415          | $8.05 \times 10^3$                  |

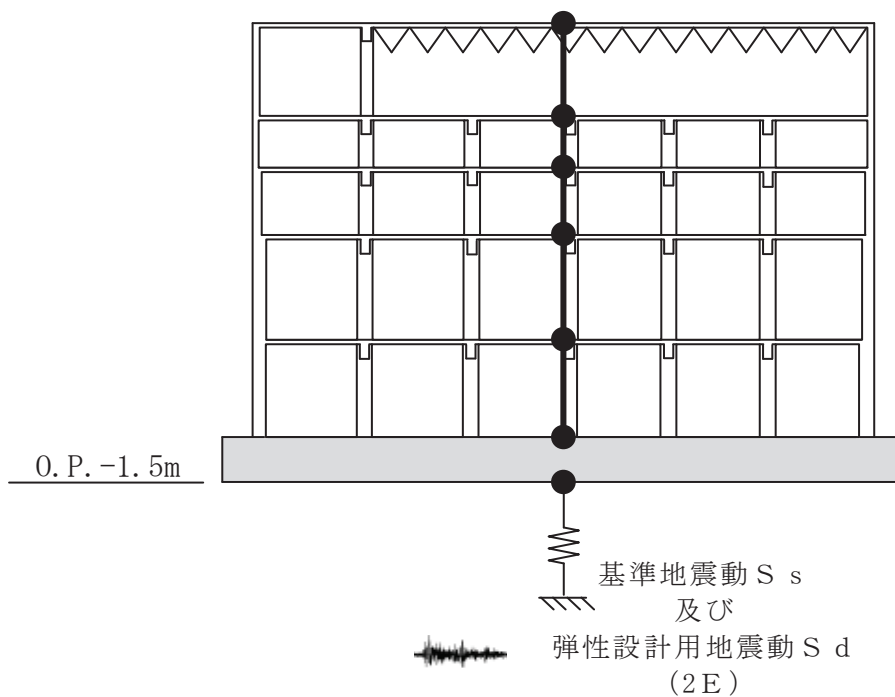


図 3-9 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（鉛直方向）