

福島第一原子力発電所
福島第二原子力発電所
新耐震指針に照らした耐震安全性評価
(中間報告)に関する補足説明資料

平成 20 年 6 月 4 日
東京電力株式会社

目 次

1 . 中間報告における評価内容	.....	1
2 . 評価対象設備と基準地震動	.....	2
2 . 1 福島第一原子力発電所	.....	2
2 . 2 福島第二原子力発電所	.....	1 0
3 . 入力地震動の算定	.....	1 8
3 . 1 福島第一原子力発電所	.....	1 8
3 . 2 福島第二原子力発電所	.....	2 8

1. 中間報告における評価内容

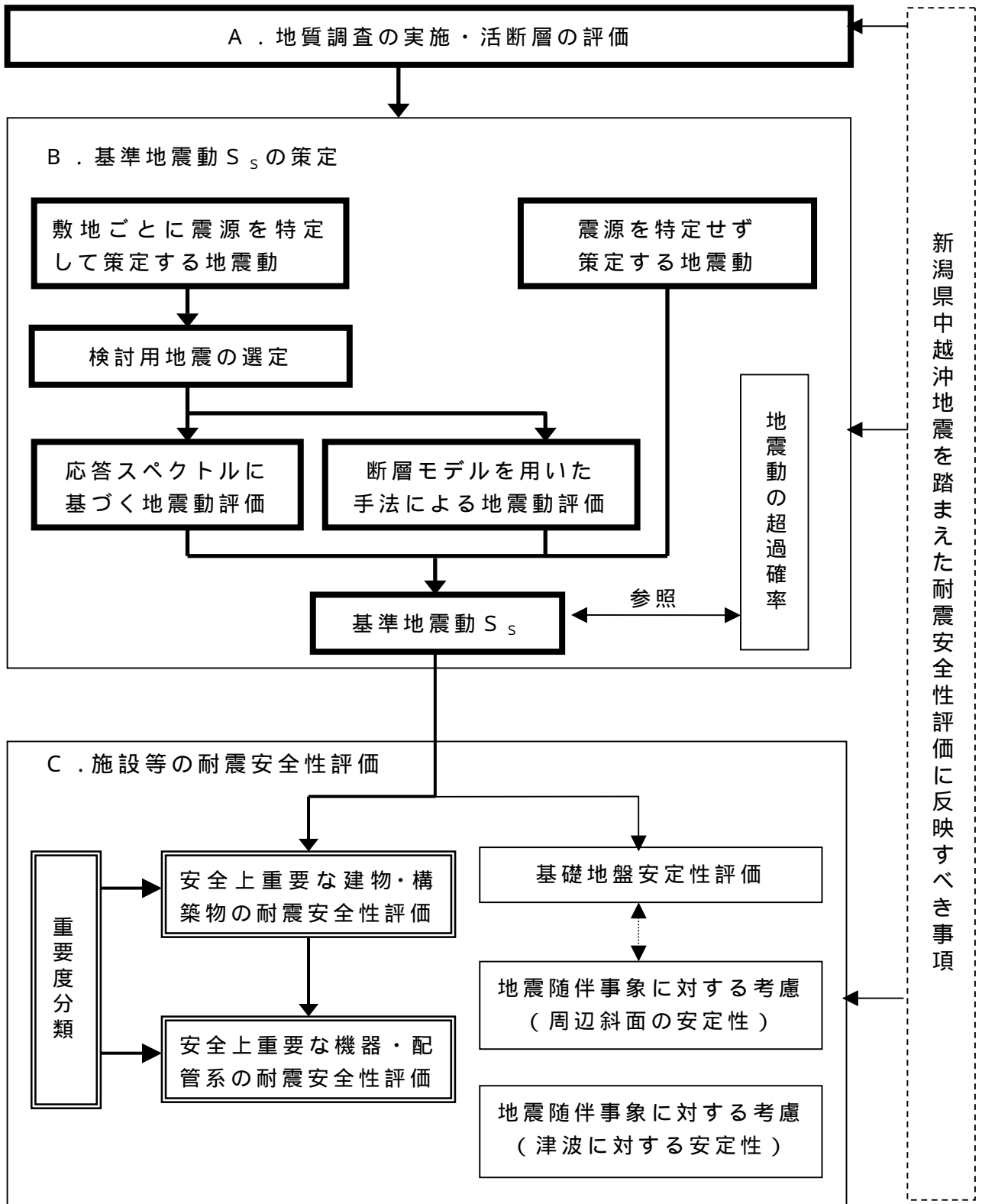
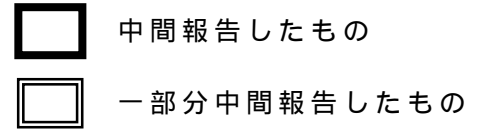


図 1 - 1 新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ

2. 評価対象設備と基準地震動

2.1 福島第一原子力発電所

福島第一原子力発電所5号機の建物・構築物、機器・配管系の安全性評価における評価対象設備とその固有周期、及び評価において支配的な基準地震動とその基準地震動を策定する際に支配的な検討用地震の一覧を表2-1に示す。また、基準地震動と検討用地震の応答スペクトル、基準地震動の応答スペクトルと評価対象設備の固有周期、原子炉建屋基礎版上での応答スペクトルと評価対象設備の固有周期を図2-1-1～図2-1-7に示す。

表2-1 評価対象設備の評価において支配的な基準地震動等(福島第一原子力発電所5号機)

評価対象設備	固有周期(*1) (秒) (上段:水平,下段:鉛直)	支配的な 基準地震動(*2)	支配的な 検討用地震
原子炉压力容器	0.122	S s - 2	想定敷地下方の地震
	0.05以下		
原子炉格納容器	0.05以下	S s - 1	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震
	0.05以下		
炉心支持構造物	0.151	S s - 1	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震
	0.05以下		
残留熱除去系ポンプ	0.061	S s - 2	想定敷地下方の地震
	0.05以下		
残留熱除去系配管	0.218	S s - 1 (1次固有周期(*4))	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震
主蒸気系配管	0.156	S s - 1 (1次固有周期(*4))	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震
制御棒(挿入性)	0.256 (*3)	S s - 1	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震
原子炉建屋	0.407(NS) 0.392(EW)	S s - 1 (1次固有周期(*5))	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震
	0.238(UD)	S s - 1 (1次固有周期(*5))	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震

(*1) 1次固有周期を記載

(*2) 設備の評価において全般的に概ね厳しくなっている地震動を記載

(*3) 燃料集合体の固有周期を記載、水平方向のみ評価

(*4) 配管評価においては振動モードが多岐にわたるため、1次固有周期における支配的な基準地震動を記載

(*5) 地盤建屋連成系の一次固有周期

- 基準地震動 Ss-1H
- 双葉断層（内陸地殻内地震 - 応答スペクトル）
- - - 双葉断層（内陸地殻内地震 - 断層モデル NS 方向）
- · - 双葉断層（内陸地殻内地震 - 断層モデル EW 方向）
- 仮想塩屋崎沖の地震（プレート間地震 - 応答スペクトル）
- - - 仮想塩屋崎沖の地震（プレート間地震 - 断層モデル NS 方向）
- · - 仮想塩屋崎沖の地震（プレート間地震 - 断層モデル EW 方向）

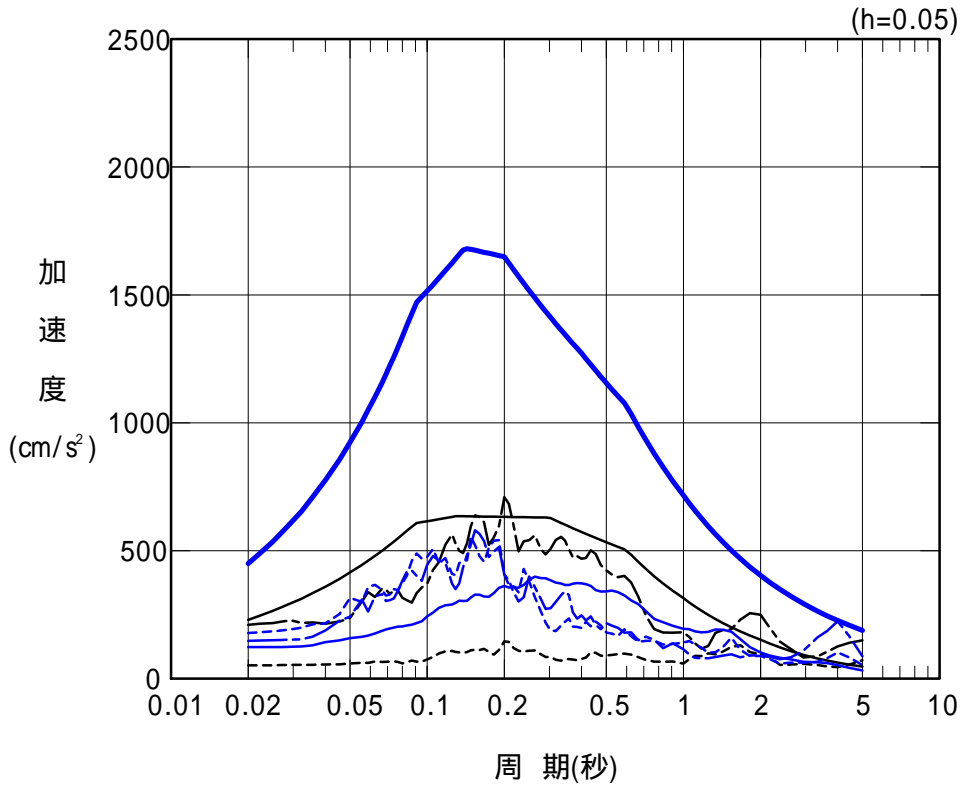


図 2 - 1 - 1 基準地震動 (S s - 1 H) の応答スペクトルと
その支配的な検討用地震の応答スペクトル

- 基準地震動 Ss-2H
- 想定敷地下方の地震（海洋プレート内地震 - 応答スペクトル）
- - - 想定敷地下方の地震（海洋プレート内地震 - 断層モデル NS 方向）
- - - 想定敷地下方の地震（海洋プレート内地震 - 断層モデル EW 方向）

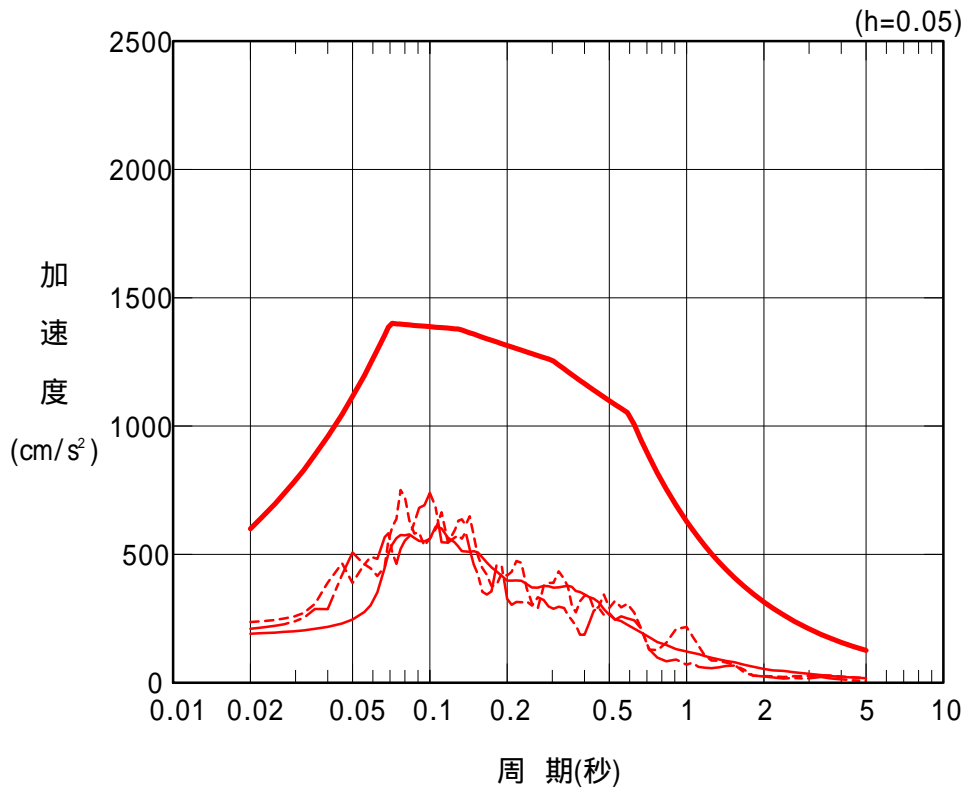


図 2 - 1 - 2 基準地震動 (S s - 2 H) の応答スペクトルと
その支配的な検討用地震の応答スペクトル

—— 基準地震動 Ss-3H (震源を特定せず策定する地震動)

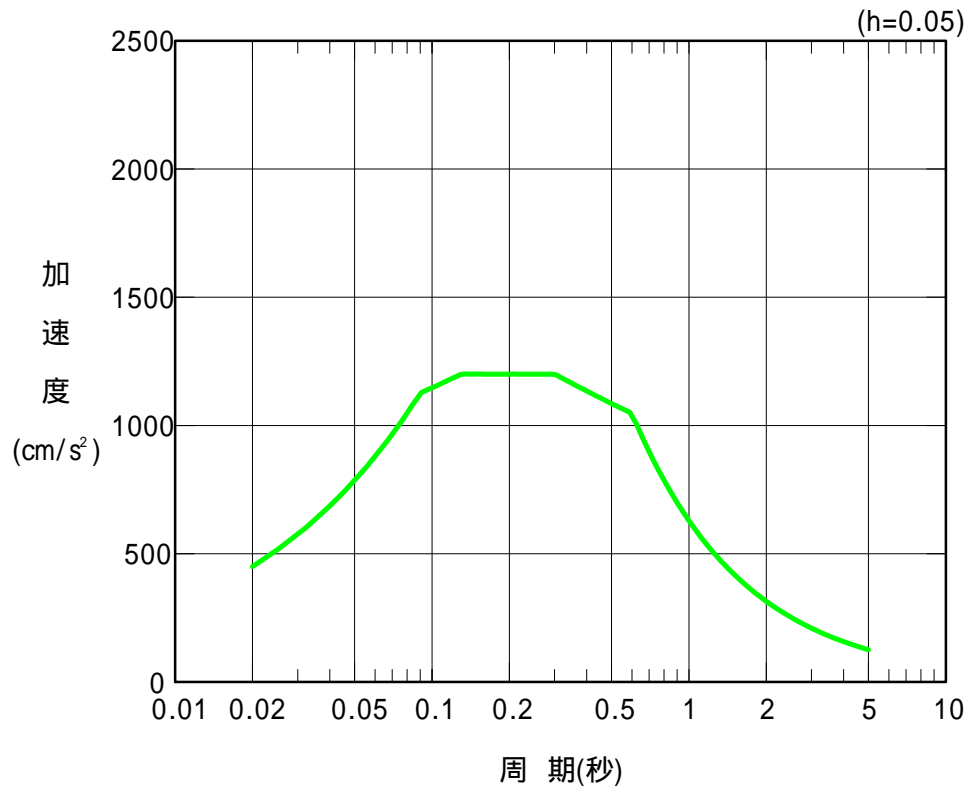


図2 - 1 - 3 基準地震動 (S s - 3 H) の応答スペクトル

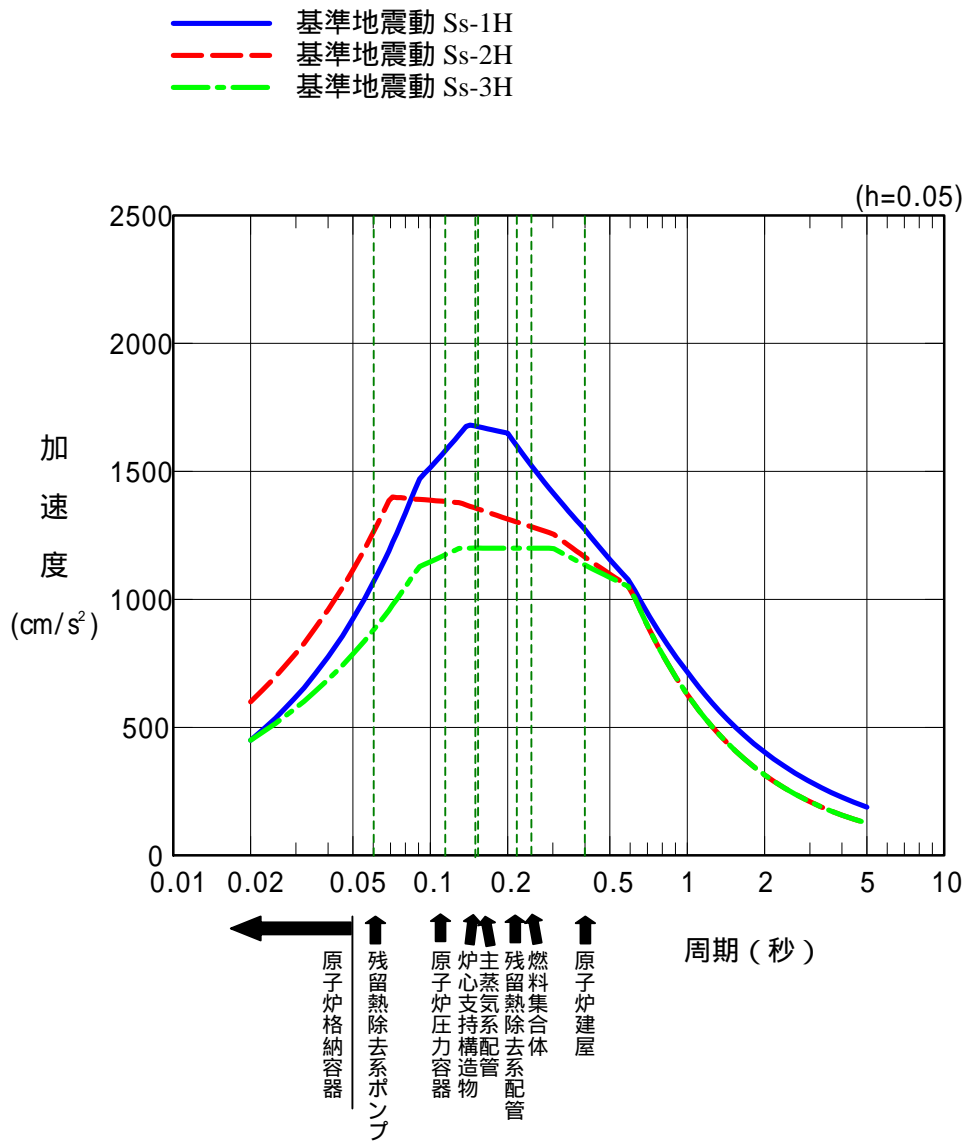


図 2 - 1 - 4 基準地震動の応答スペクトルと評価対象設備の固有周期 (水平方向)

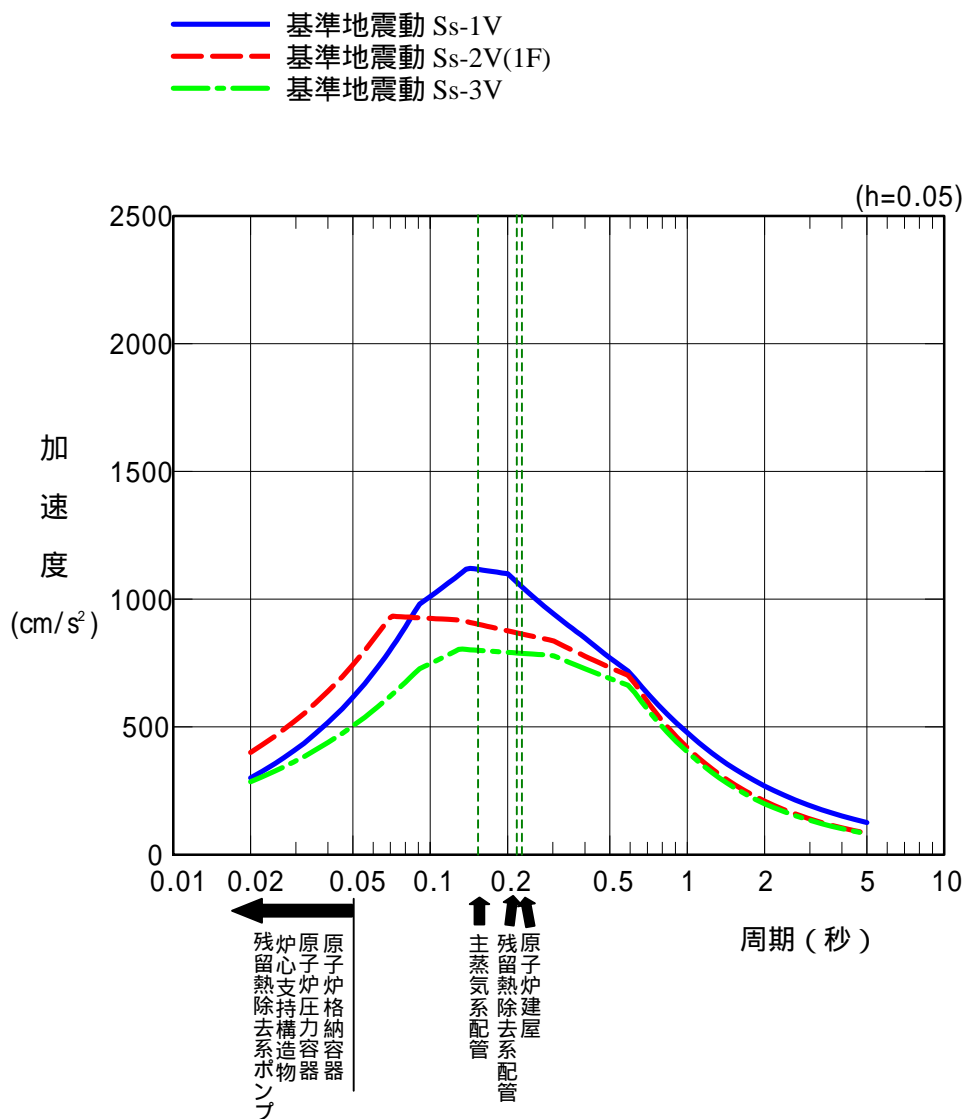


図 2 - 1 - 5 基準地震動の応答スペクトルと評価対象設備の固有周期 (鉛直方向)

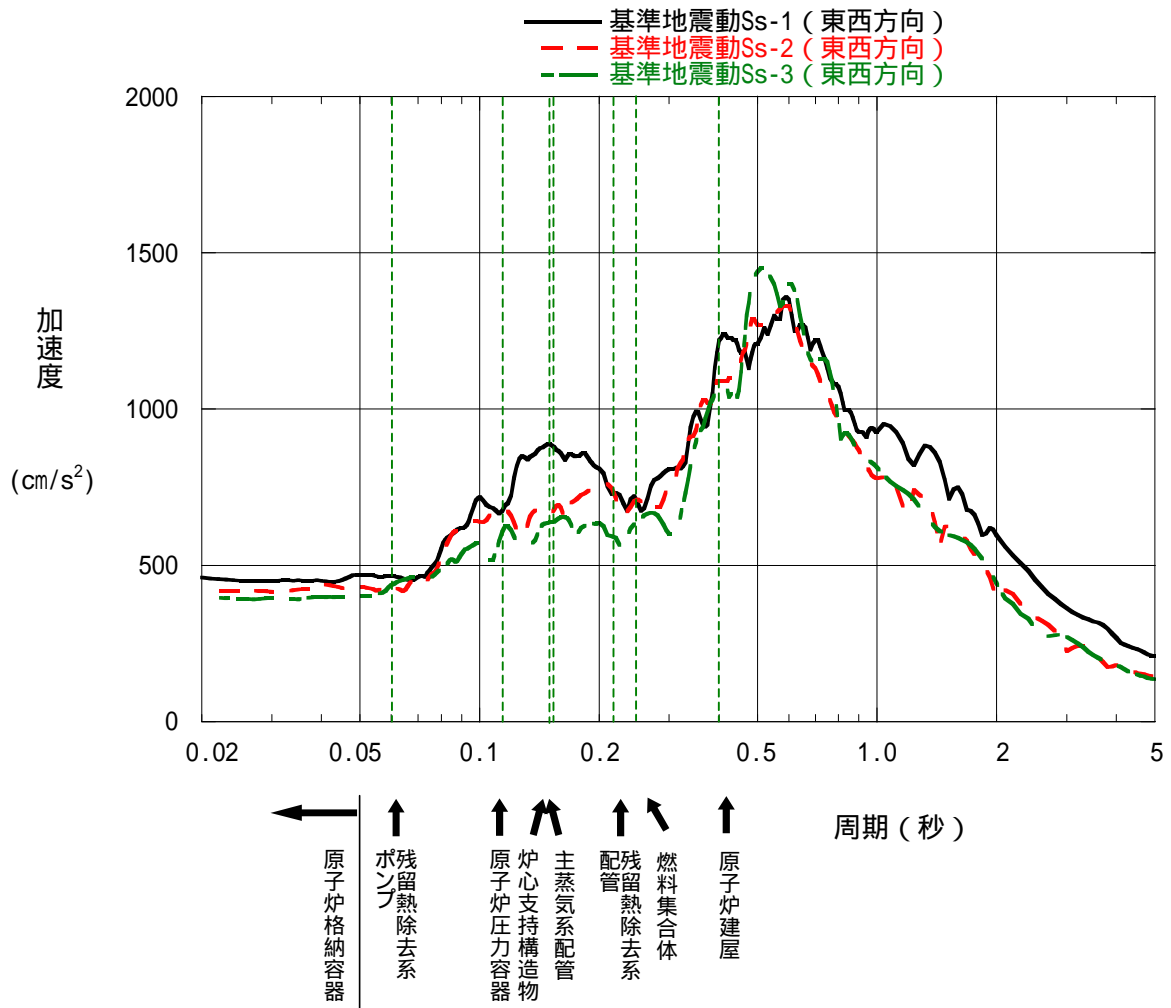


図 2 - 1 - 6 基準地震動による原子炉建屋基礎版上での応答スペクトルと
 評価対象設備の固有周期 (水平方向)

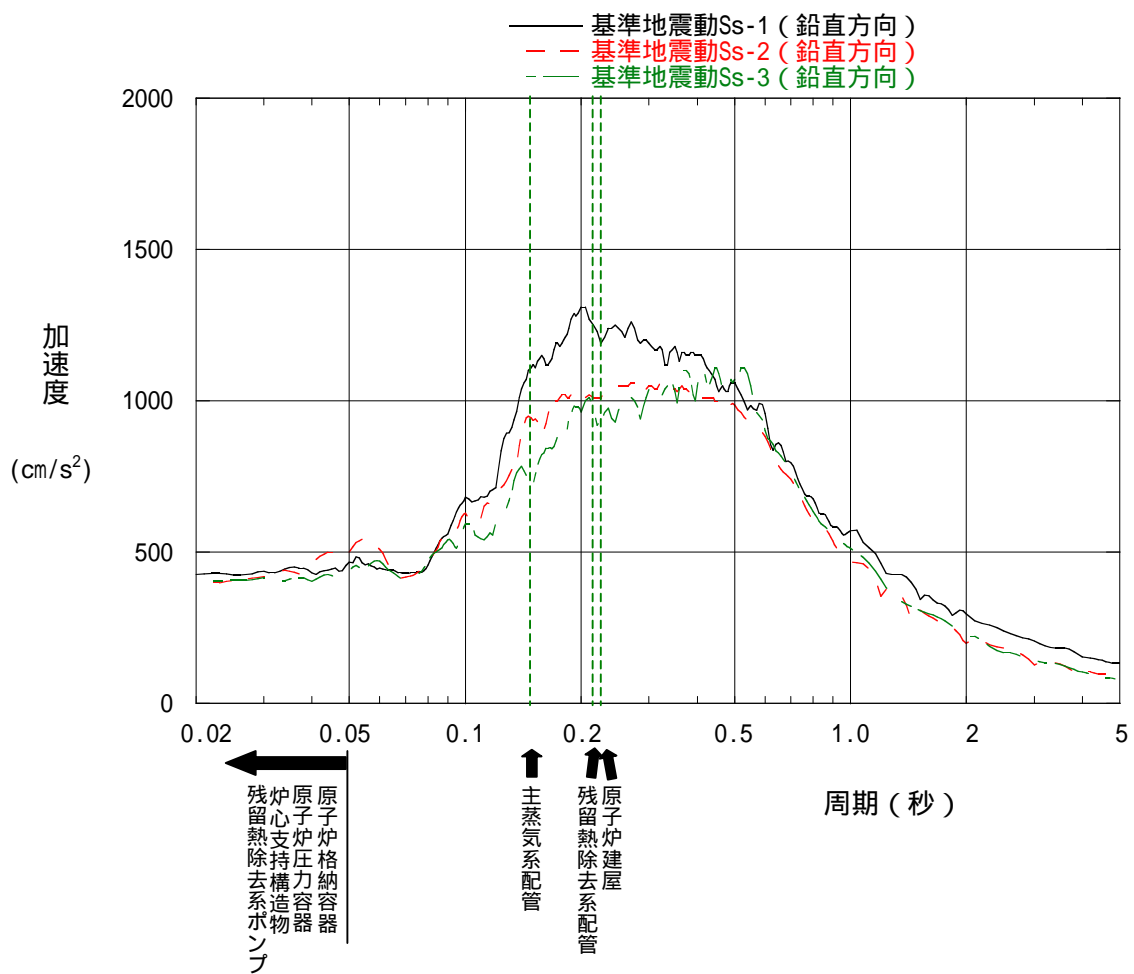


図 2 - 1 - 7 基準地震動による原子炉建屋基礎版上での応答スペクトルと
 評価対象設備の固有周期 (鉛直方向)

2.2 福島第二原子力発電所

福島第二原子力発電所4号機の建物・構築物、機器・配管系の安全性評価における評価対象設備とその固有周期、及び評価において支配的な基準地震動とその基準地震動を策定する際に支配的な検討用地震の一覧を表2-2に示す。また、基準地震動と検討用地震の応答スペクトル、基準地震動の応答スペクトルと評価対象設備の固有周期、原子炉建屋基礎版上での応答スペクトルと評価対象設備の固有周期を図2-2-1～図2-2-7に示す。

表2-2 評価対象設備の評価において支配的な基準地震動等(福島第二原子力発電所4号機)

評価対象設備	固有周期(*1) (秒) (上段:水平,下段:鉛直)	支配的な 基準地震動(*2)	支配的な 検討用地震
原子炉压力容器	0.135	S s - 2	想定敷地下方の地震
	0.05以下		
原子炉格納容器	0.05以下	S s - 2	想定敷地下方の地震
	0.05以下		
炉心支持構造物	0.119	S s - 2	想定敷地下方の地震
	0.05以下		
残留熱除去系ポンプ	0.05以下	S s - 2	想定敷地下方の地震
	0.05以下		
残留熱除去系配管	0.182	S s - 2 (1次固有周期(*4))	想定敷地下方の地震
主蒸気系配管	0.144	S s - 2 (1次固有周期(*4))	想定敷地下方の地震
制御棒(挿入性)	0.214 (*3)	S s - 2	想定敷地下方の地震
原子炉建屋	0.473(NS) 0.475(EW)	S s - 1 (1次固有周期(*5))	双葉断層による地震 塩屋崎沖の地震
	0.305(UD)	S s - 2 (1次固有周期(*5))	想定敷地下方の地震

(*1) 1次固有周期を記載

(*2) 設備の評価において全般的に概ね厳しくなっている地震動を記載

(*3) 燃料集合体の固有周期を記載、水平方向のみ評価

(*4) 配管評価においては振動モードが多岐にわたるため、1次固有周期における支配的な基準地震動を記載

(*5) 地盤建屋連成系の一次固有周期

- 基準地震動 Ss-1H
- 双葉断層（内陸地殻内地震 - 応答スペクトル）
- - - 双葉断層（内陸地殻内地震 - 断層モデル NS 方向）
- · - 双葉断層（内陸地殻内地震 - 断層モデル EW 方向）
- 仮想塩屋崎沖の地震（プレート間地震 - 応答スペクトル）
- - - 仮想塩屋崎沖の地震（プレート間地震 - 断層モデル NS 方向）
- · - 仮想塩屋崎沖の地震（プレート間地震 - 断層モデル EW 方向）

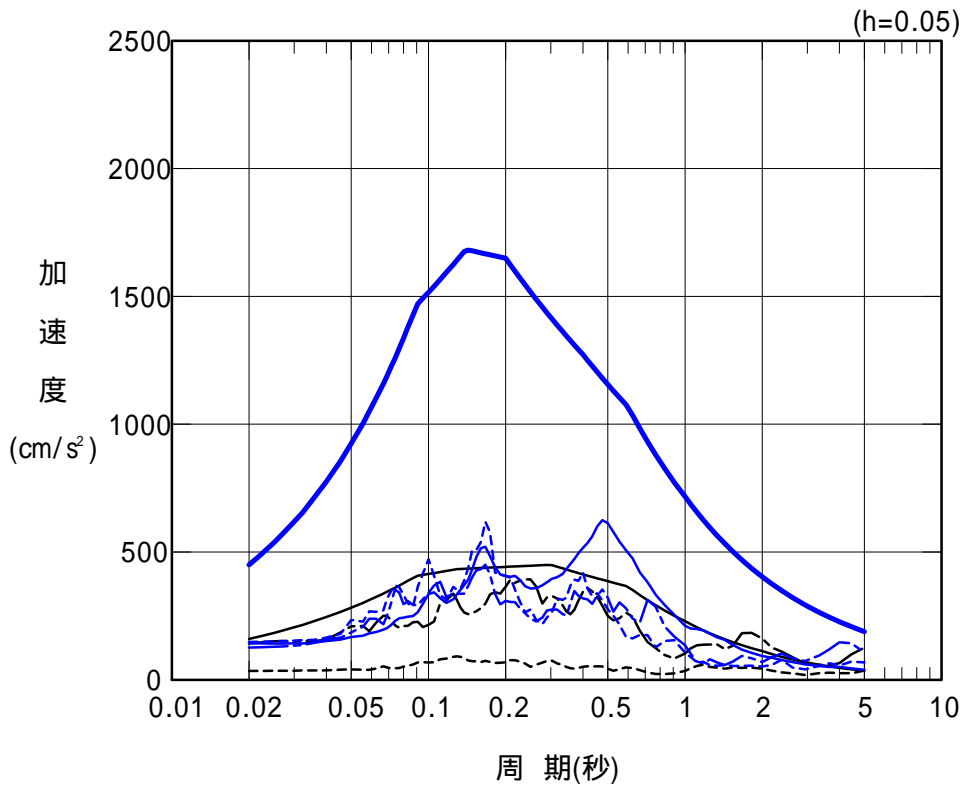


図 2 - 2 - 1 基準地震動 (S s - 1 H) の応答スペクトルと
その支配的な検討用地震の応答スペクトル

- 基準地震動 Ss-2H
- 想定敷地下方の地震（海洋プレート内地震 - 応答スペクトル）
- - - 想定敷地下方の地震（海洋プレート内地震 - 断層モデル NS 方向）
- - - 想定敷地下方の地震（海洋プレート内地震 - 断層モデル EW 方向）

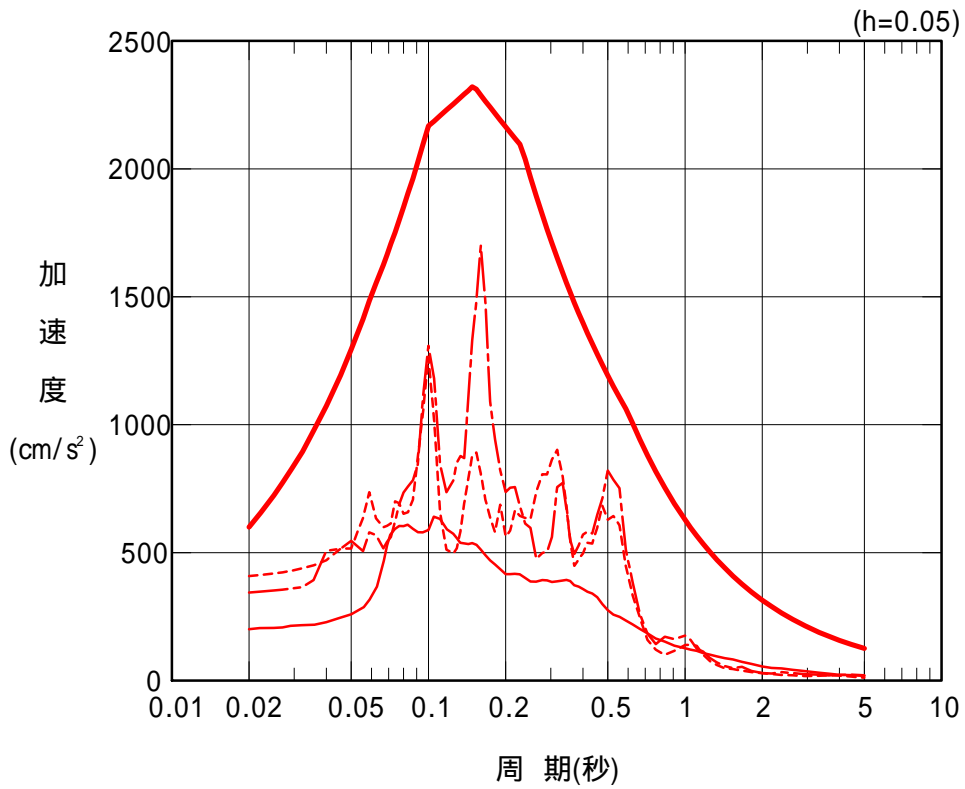


図 2 - 2 - 2 基準地震動 (S s - 2 H) の応答スペクトルと
その支配的な検討用地震の応答スペクトル

—— 基準地震動 S_s-3H (震源を特定せず策定する地震動)

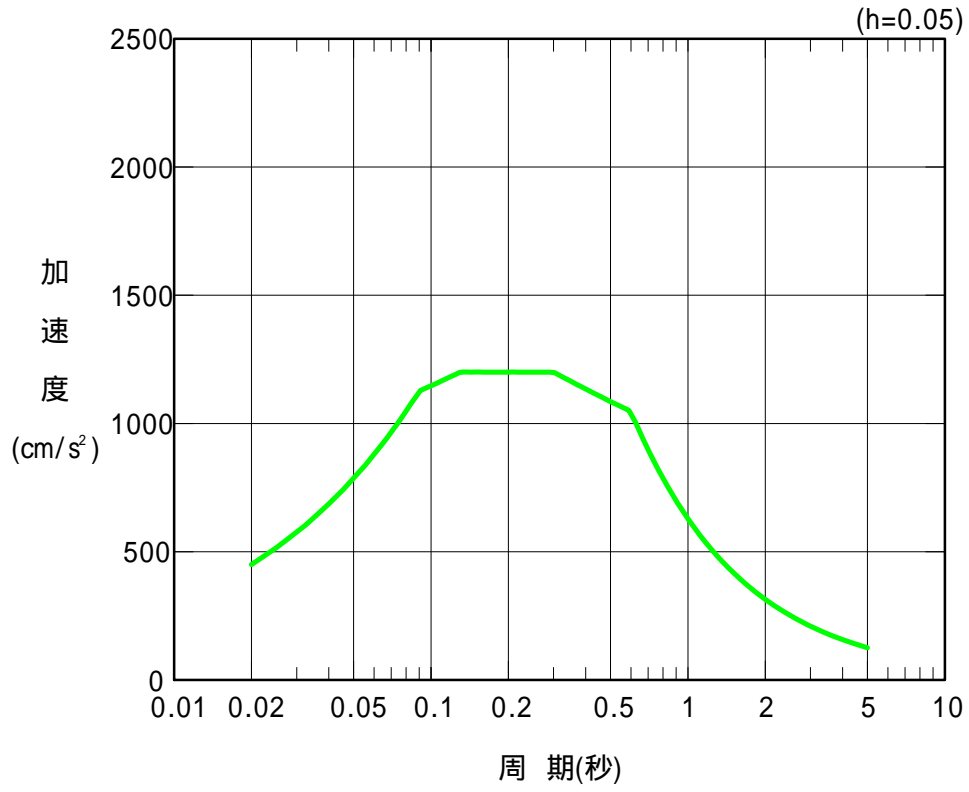


図 2 - 2 - 3 基準地震動 (S_s - 3 H) の応答スペクトル

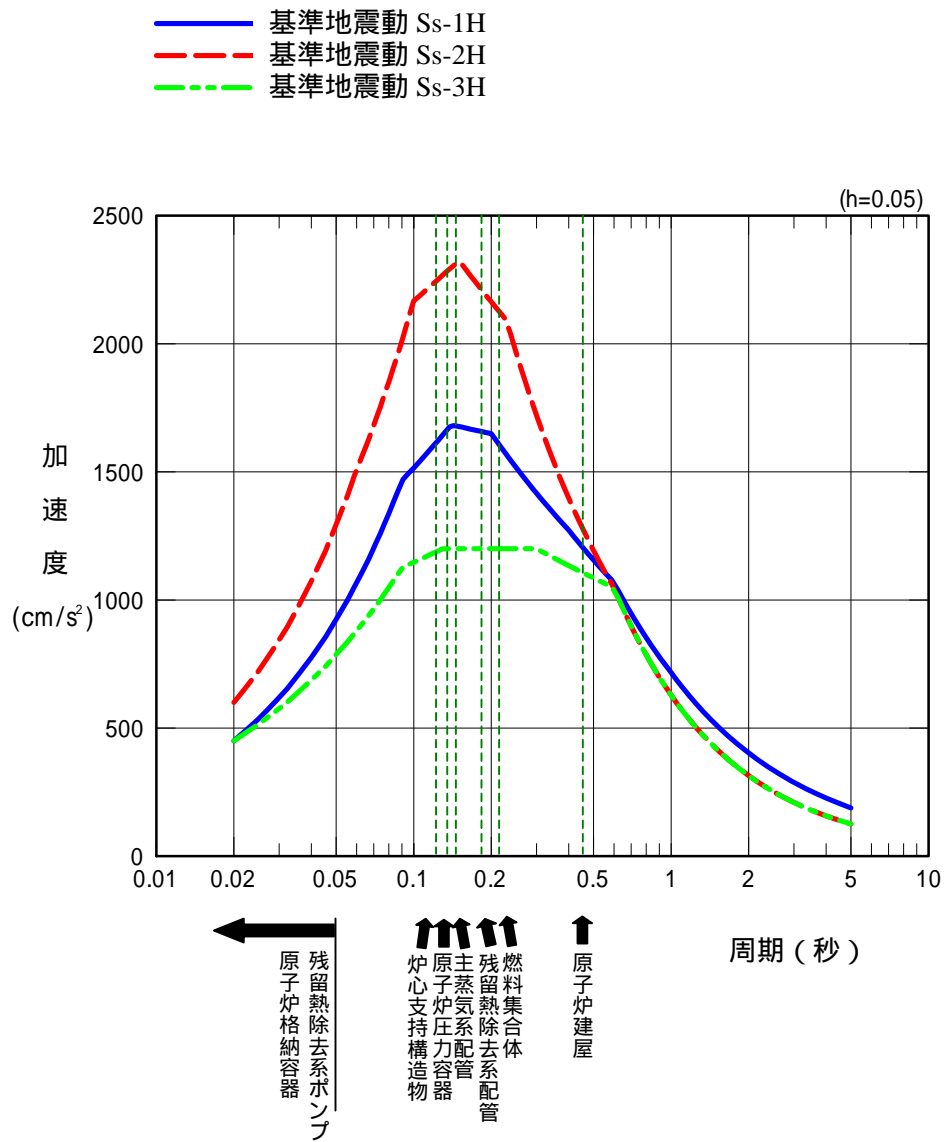


図 2 - 2 - 4 基準地震動の応答スペクトルと評価対象設備の固有周期 (水平方向)

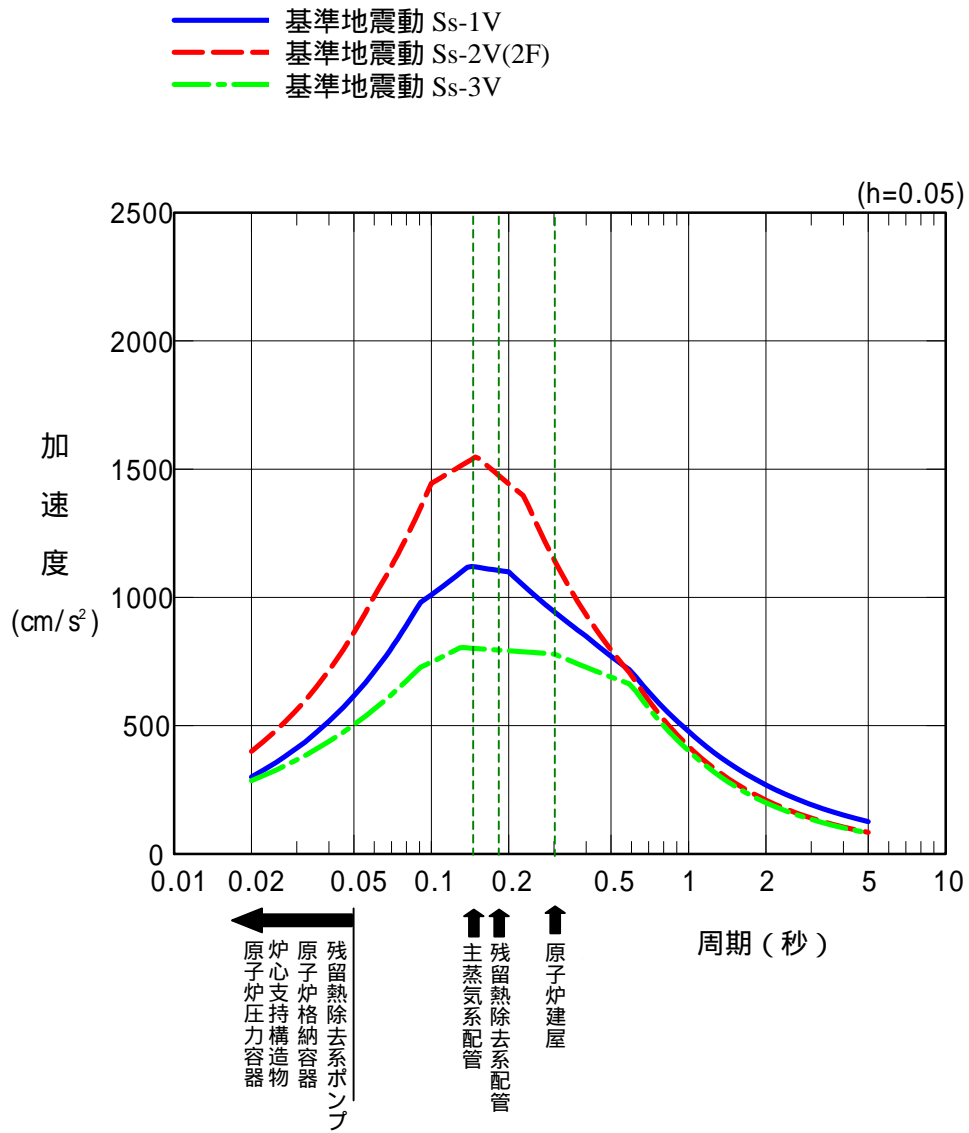


図 2 - 2 - 5 基準地震動の応答スペクトルと評価対象設備の固有周期 (鉛直方向)

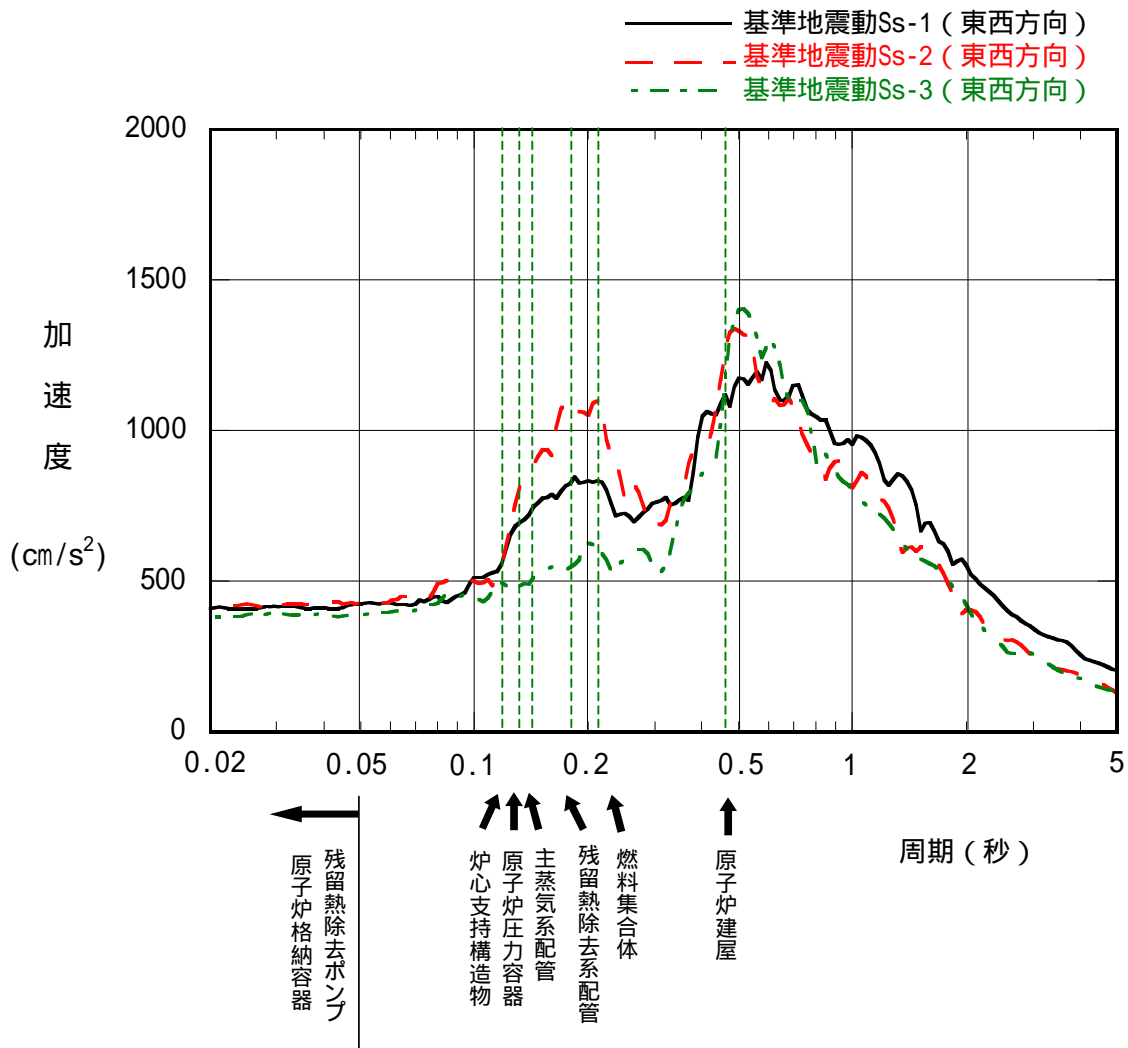


図 2 - 2 - 6 基準地震動による原子炉建屋基礎版上での応答スペクトルと
 評価対象設備の固有周期 (水平方向)

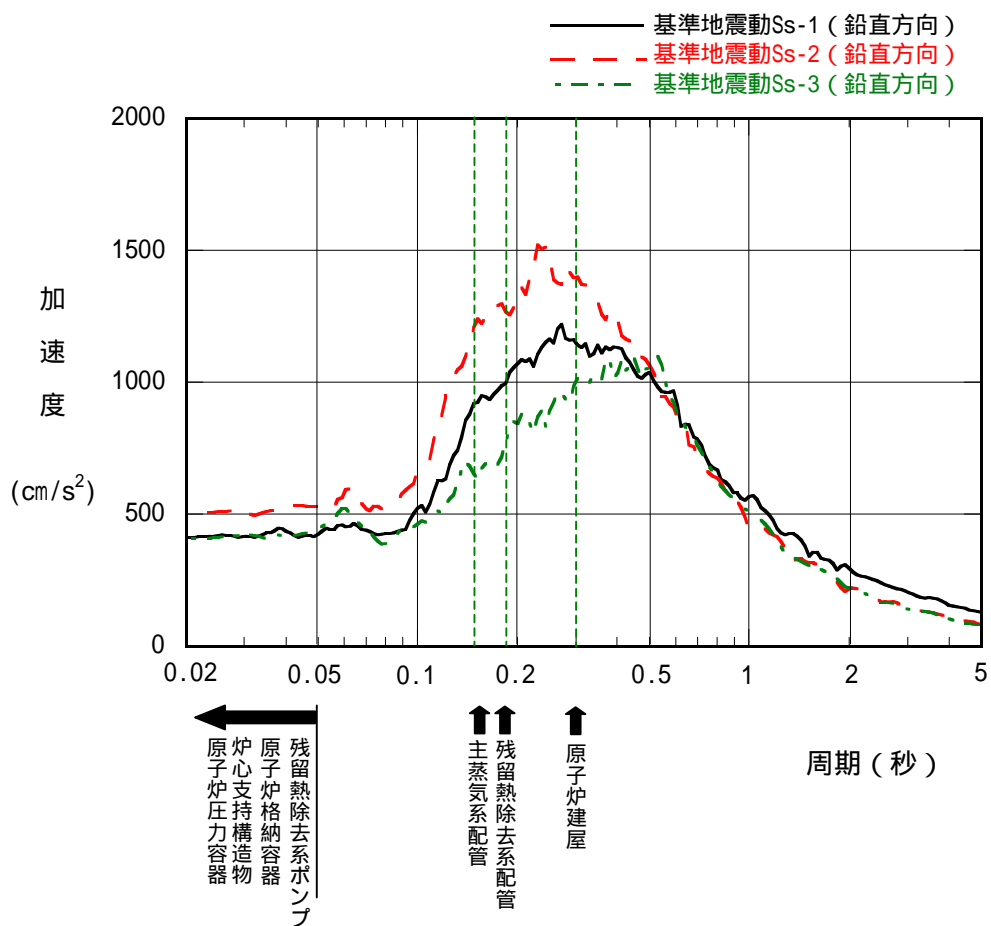


図 2 - 2 - 7 基準地震動による原子炉建屋基礎版上での応答スペクトルと
 評価対象設備の固有周期 (鉛直方向)

3. 入力地震動の算定

3.1 福島第一原子力発電所

入力地震動評価の概要

(a) 水平方向

水平方向の地震応答解析モデルは埋め込みを考慮したスウェイ・ロッキングモデル（埋め込みSRモデル）であるため、モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力（切欠き力）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。図3-1-1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。

(b) 鉛直方向

鉛直方向の入力地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価し、基礎底面レベルに直接入力する。図3-1-2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。

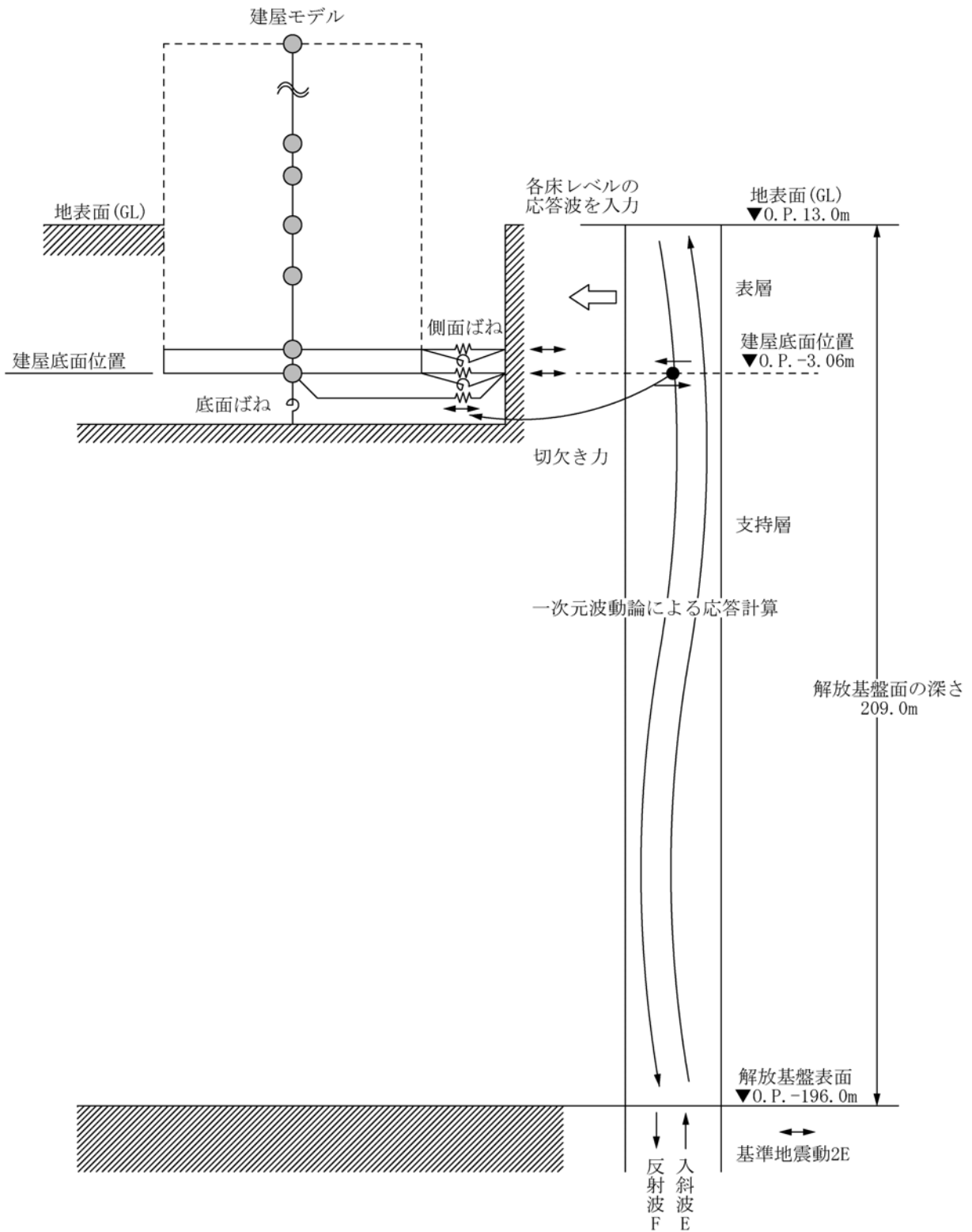


図 3 - 1 - 1 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

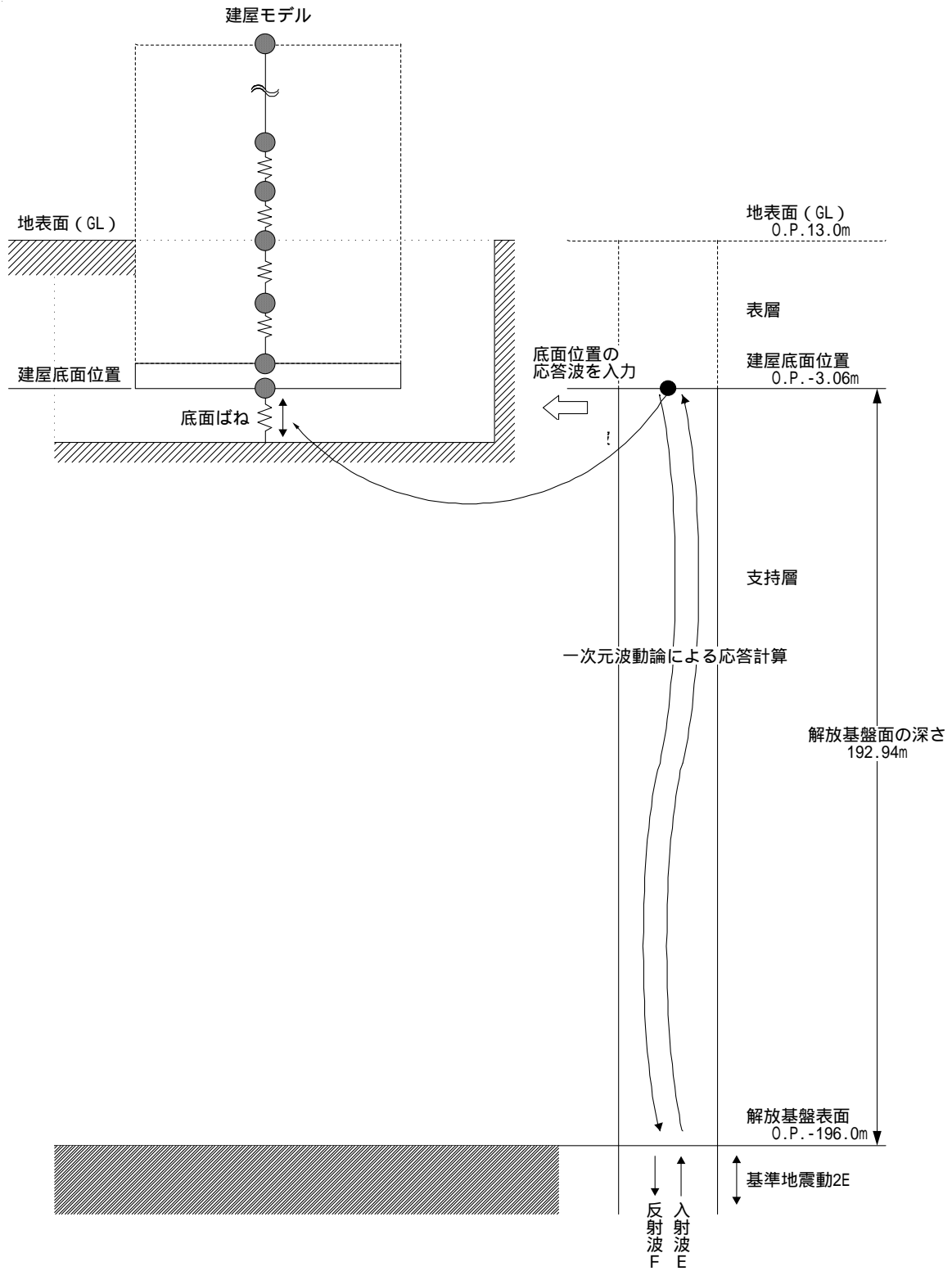


図 3 - 1 - 2 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (鉛直方向)

適用する入力地震動評価手法を選定した考え方

(a) 水平方向

原設計時は、地震応答解析モデルとして、静的な地盤ばねを用いた質点系モデルを用いており、既往の地震波（El Centro 波、Taft 波、福島 AH-10 波）を基礎底面レベルに直接入力していたが、最新の知見を積極的に取り込む目的で、直近の東京電力の許認可モデルである埋め込みSRモデルを採用している。福島第一原子力発電所における解放基盤表面より上部の地質構造は、ほぼ水平な成層構造とみなせるため、図3-1-1に示すとおり、地震応答解析モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価し、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力（切欠き力）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮している。図3-1-3に原設計時のモデルおよび本評価に用いた地震応答解析モデルを示す。また、図3-1-5～図3-1-7に敷地内地質位置図および敷地内地質断面図を示す。

(b) 鉛直方向

原設計時は、鉛直方向地震力は静的震度に基づくため、地震応答解析を実施していないが、新耐震設計審査指針に従い、鉛直動の応答解析を実施するため、上下質点系モデルを採用している。このため、モデルに入力する地震動は、図3-1-2に示すとおり、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価し、基礎底面レベルに直接入力している。図3-1-4に本評価に用いた地震応答解析モデルを示す。

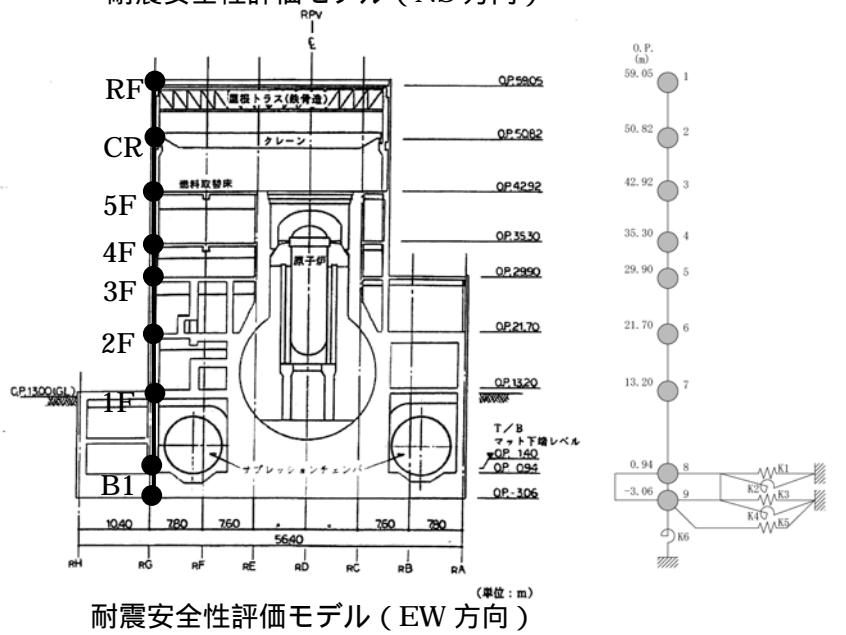
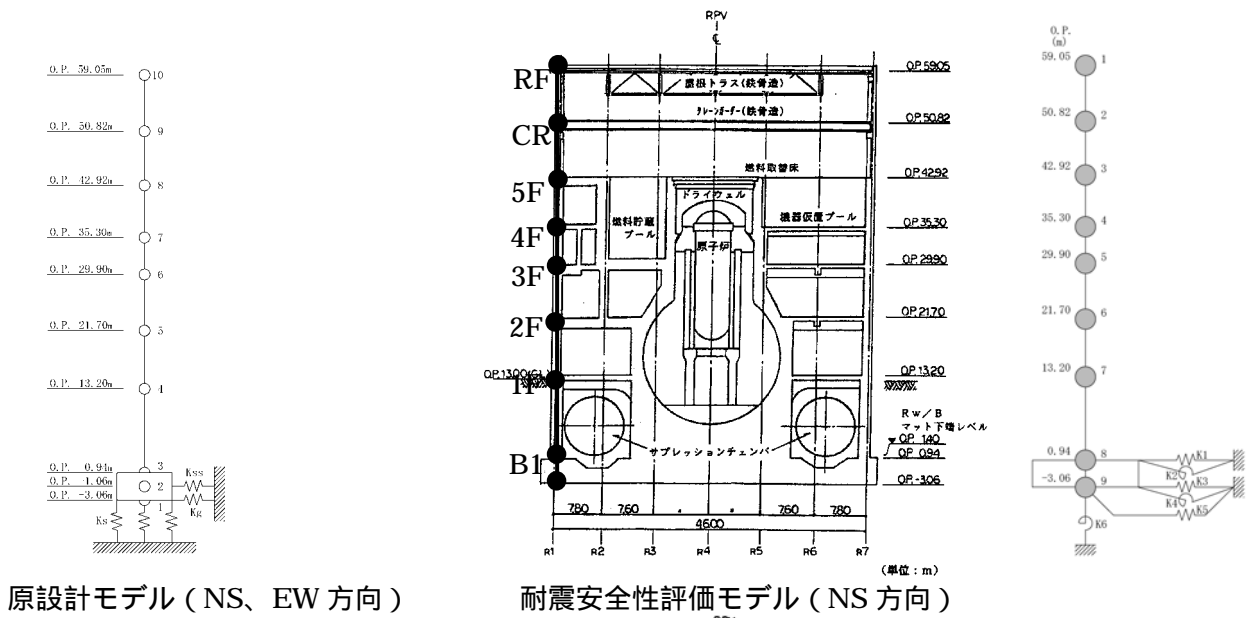


図 3 - 1 - 3 原設計時のモデルと耐震安全性評価モデル (水平方向)

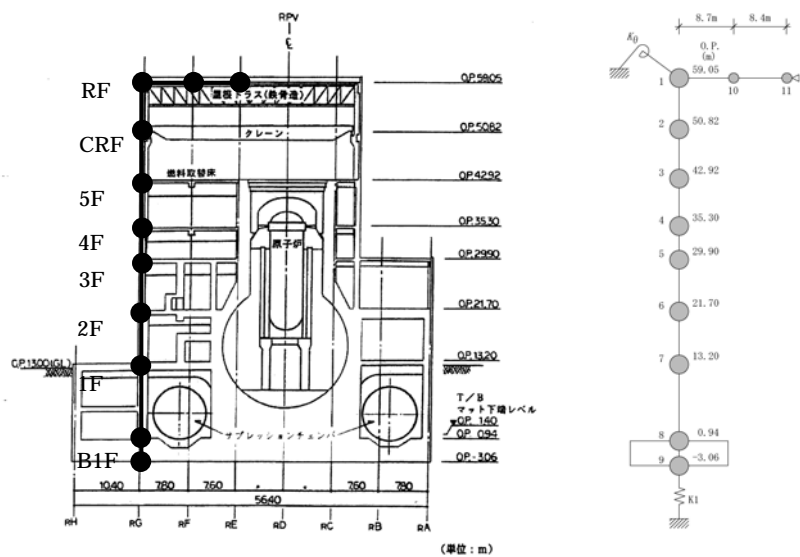


図 3 - 1 - 4 耐震安全性評価モデル (鉛直方向)

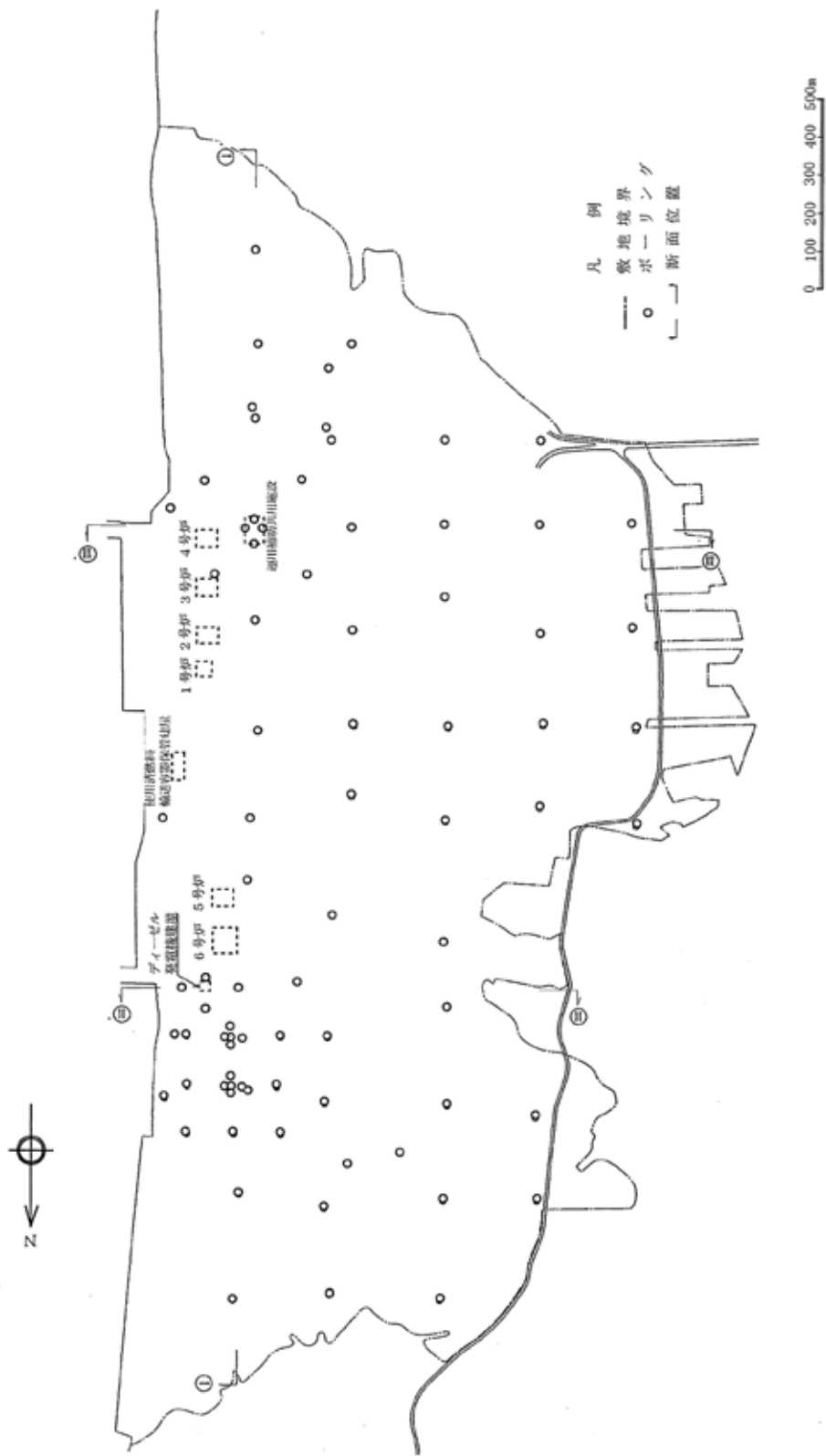
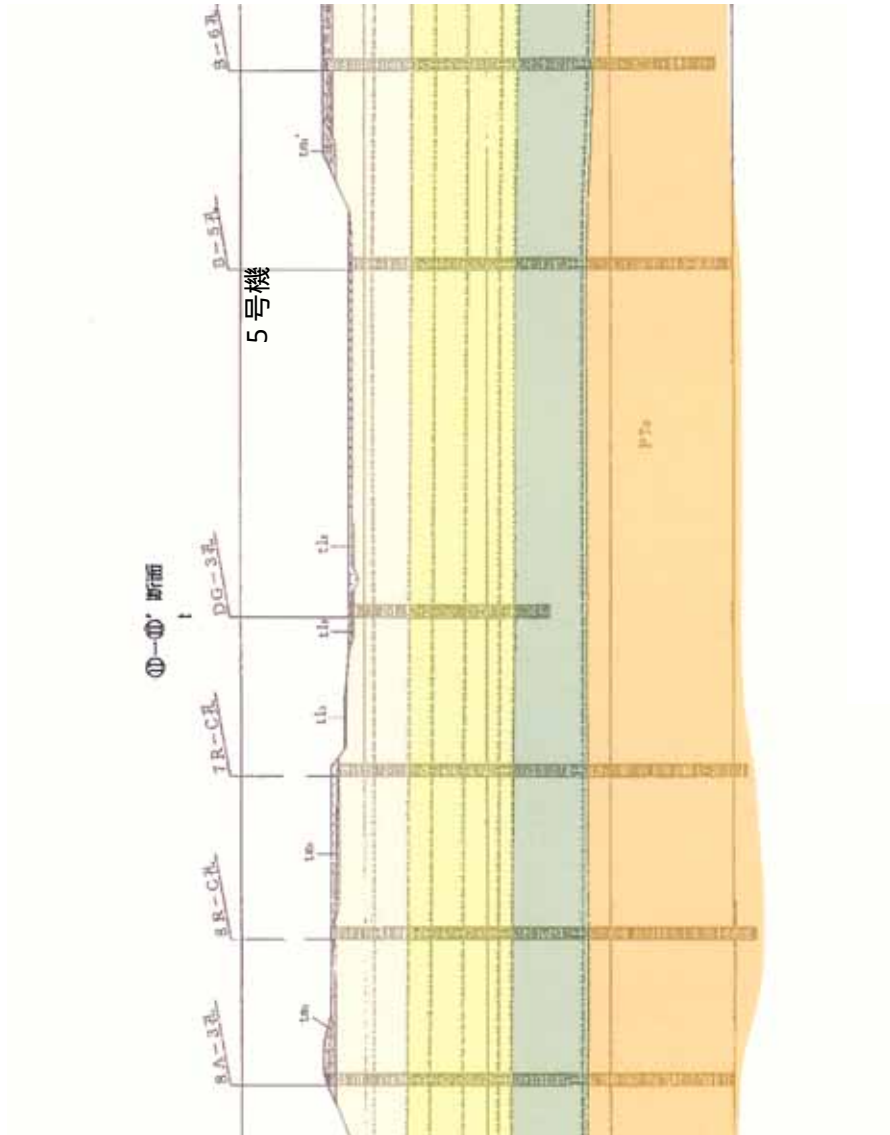


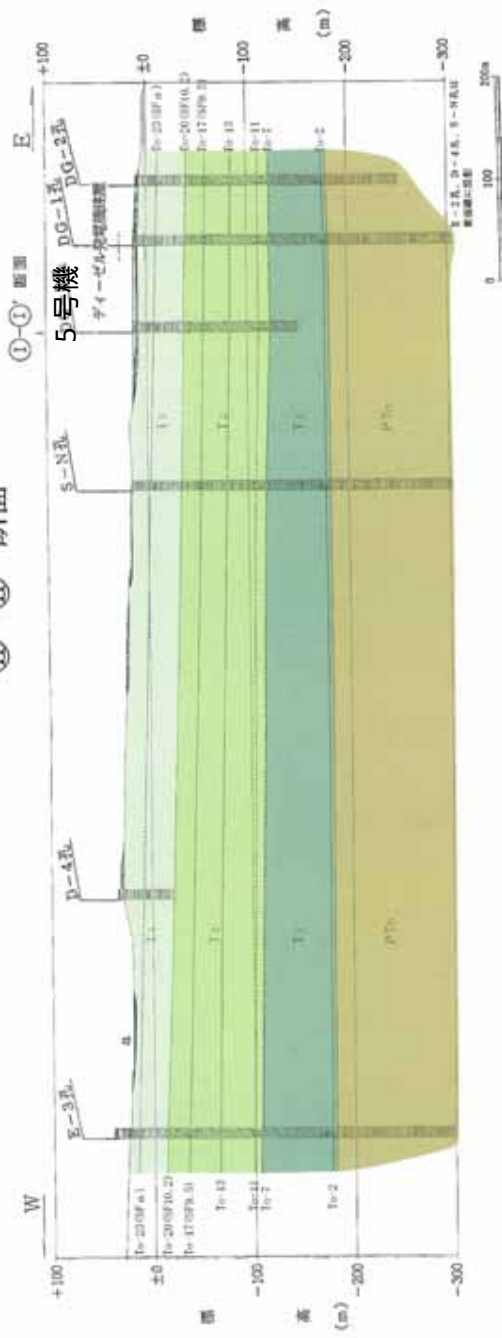
図 3 - 1 - 5 敷地内地質調査位置図



- | | |
|---|--|
| <p>柱状図凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 盛土・埋め戻し土 粘土・シルト 砂 砂 泥 砂質泥岩 泥質砂岩 砂 無粒凝灰岩 礫石質凝灰岩 (スコリアを含む) 礫石 (スコリアを含む) | <p>地質凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 盛土・埋め戻し土 沖積層 (s) L面段丘堆積物 (tl, tlb) M面段丘堆積物 (tm, tm', tm'') 高岡層T-上部 (T) 高岡層T-下部 (T) 高岡層T-下部 (T) 先常陸層 (DTn) 礫 (礫状岩層, 礫石層) |
|---|--|

図3-1-6 敷地内地質断面図 (- '断面)

II-III' 断面



- 柱状図凡例
- ☒ 硬土・埋め戻し土
 - 粘土・シルト
 - 砂
 - 礫
 - 砂層
 - 泥層
 - 砂質泥岩
 - 泥質砂岩
 - 砂層
 - 埋戻し土
 - 埋戻し土(スクリューを含む)
 - 埋戻し土(スクリューを含む)
 - (スクリューを含む)

- 地質凡例
- 硬土・埋め戻し土
 - 沖積層(s)
 - L相成土層(0L, 4L)
 - M相成土層(5M, 6M, 7M)
 - 第四紀土層(T1)
 - 第四紀土層(T2)
 - 第四紀土層(T3)
 - 第四紀土層(T4)
 - 先富岡層(P1)
 - 埋戻し土
 - 埋戻し土(埋戻し)

図3-1-7 敷地内地質断面図(- 断面)

地盤の応答解析の条件

表3 - 1 - 1 ~ 表3 - 1 - 3 に地盤調査に基づく地盤定数を示す。

表3 - 1 - 1 地盤定数 (S s - 1)

標高 O.P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断弾 性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
13.0										
4.5	砂岩	380	17.8	0.473	2.20	2.62	0.84	6.48	3	8.5
-73.0	泥岩	470	17.0	0.459	2.95	3.83	0.77	8.61	3	77.5
-99.0	泥岩	530	17.4	0.447	3.83	4.98	0.77	11.08	3	26.0
-181.0	泥岩	580	17.4	0.443	4.60	5.97	0.77	13.28	3	82.0
-196.0	泥岩	750	17.6	0.410	7.78	10.10	0.77	21.94	3	15.0
	解放 基盤	750	17.6	0.410	10.10	10.10	1.00	28.48	-	-

表3 - 1 - 2 地盤定数 (S s - 2)

標高 O.P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断弾 性係数 G ₀ ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
13.0										
4.5	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.5
-73.0	泥岩	470	17.0	0.459	3.06	3.83	0.80	8.93	3	77.5
-99.0	泥岩	530	17.4	0.447	3.98	4.98	0.80	11.52	3	26.0
-181.0	泥岩	580	17.4	0.443	4.78	5.97	0.80	13.80	3	82.0
-196.0	泥岩	750	17.6	0.410	8.08	10.10	0.80	22.79	3	15.0
	解放 基盤	750	17.6	0.410	10.10	10.10	1.00	28.48	-	-

表3 - 1 - 3 地盤定数 (S s - 3)

標高 O.P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (× 10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断弾 性係数 G ₀ (× 10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (× 10 ⁵ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
13.0										
4.5	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.5
-73.0	泥岩	470	17.0	0.459	2.95	3.83	0.77	8.61	3	77.5
-99.0	泥岩	530	17.4	0.447	3.83	4.98	0.77	11.08	3	26.0
-181.0	泥岩	580	17.4	0.443	4.60	5.97	0.77	13.28	3	82.0
-196.0	泥岩	750	17.6	0.410	7.78	10.10	0.77	21.94	3	15.0
	解放 基盤	750	17.6	0.410	10.10	10.10	1.00	28.48	-	-

3.2 福島第二原子力発電所

入力地震動評価の概要

(a) 水平方向

水平方向の地震応答解析モデルは埋め込みを考慮したスウェイ・ロッキングモデル（埋め込みSRモデル）であるため、モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力（切欠き力）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。図3-2-1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。

(b) 鉛直方向

鉛直方向の入力地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価し、基礎底面レベルに直接入力する。図3-2-2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。

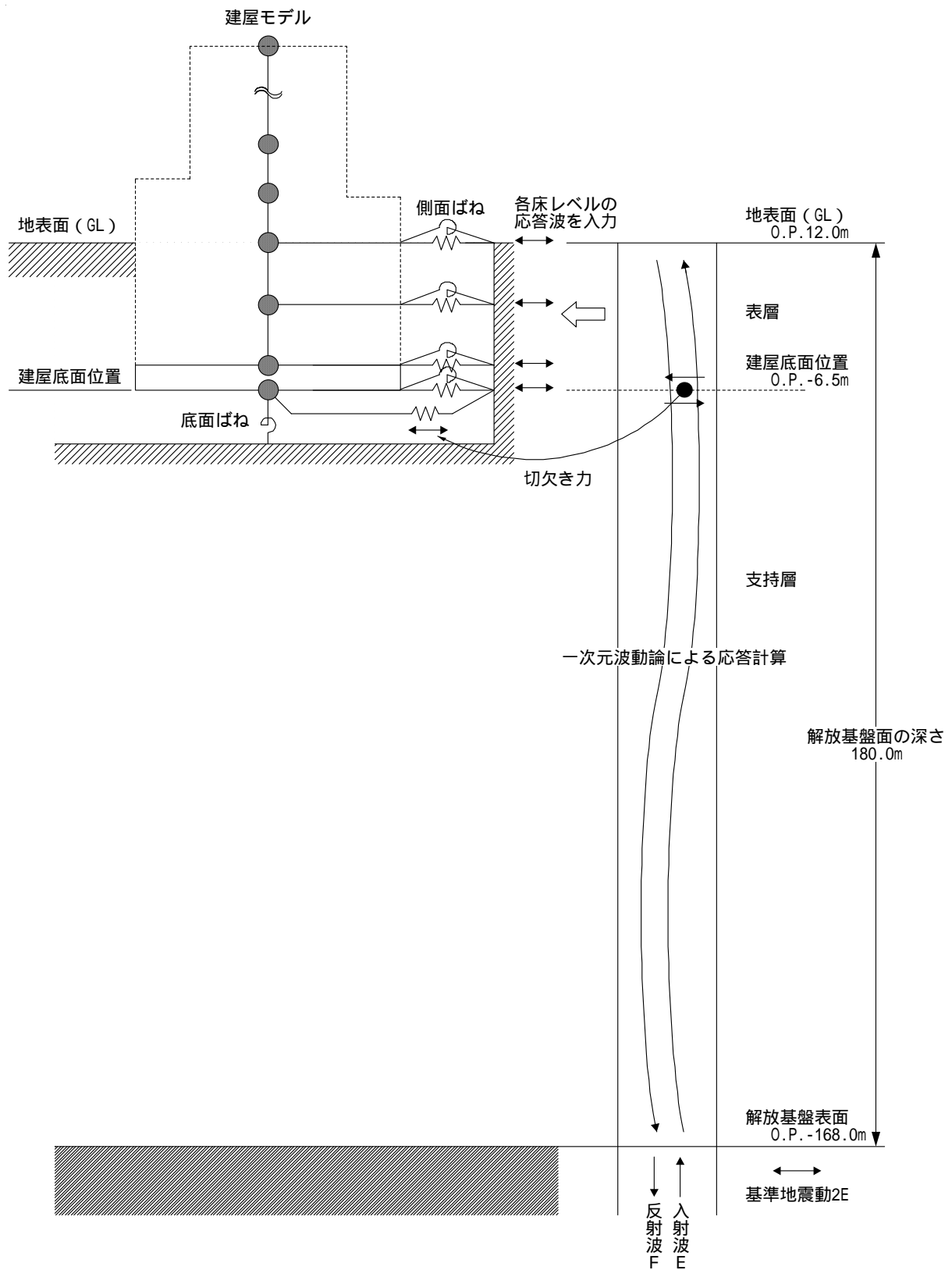


図3 - 2 - 1 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

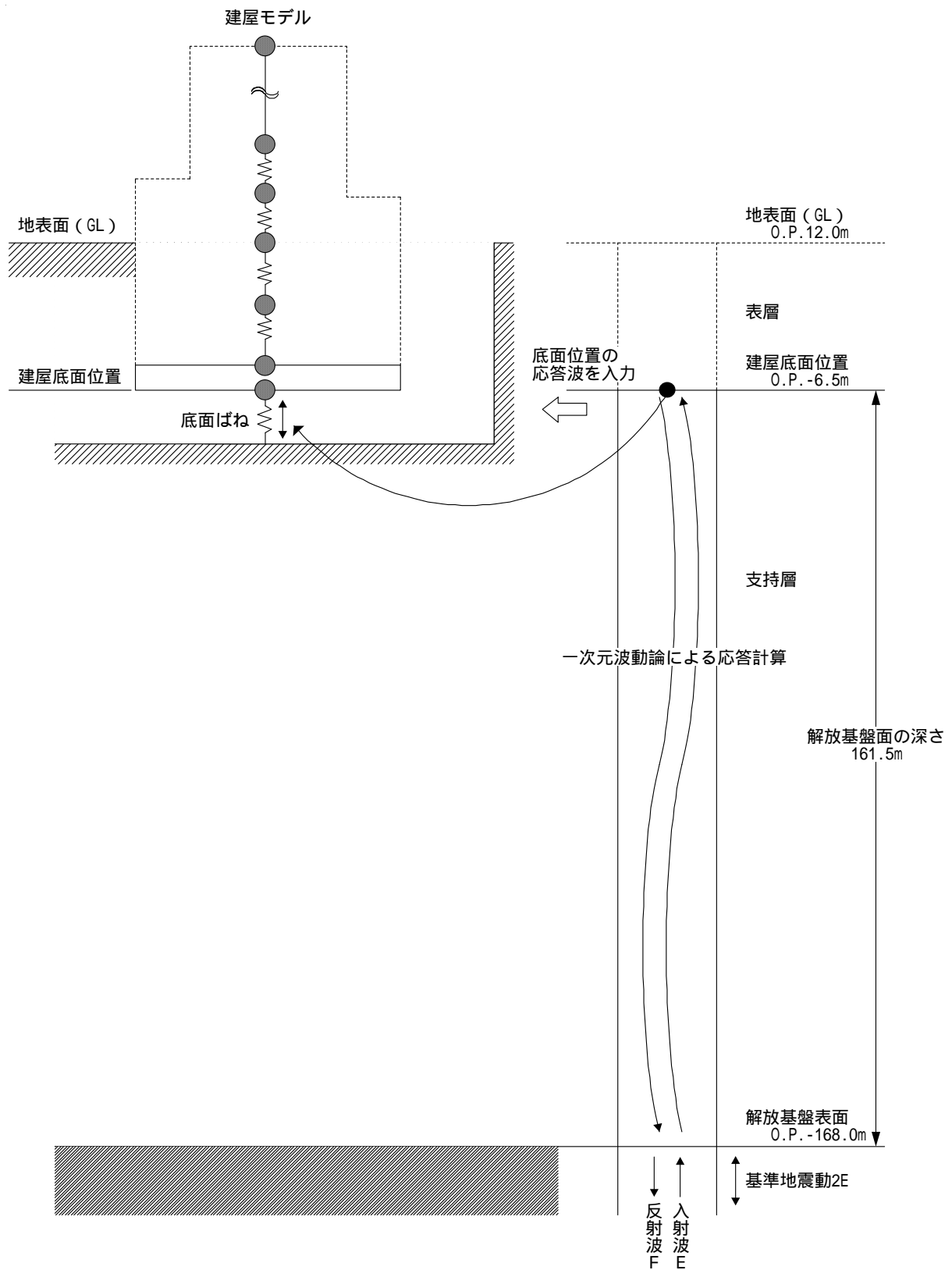


図 3 - 2 - 2 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (鉛直方向)

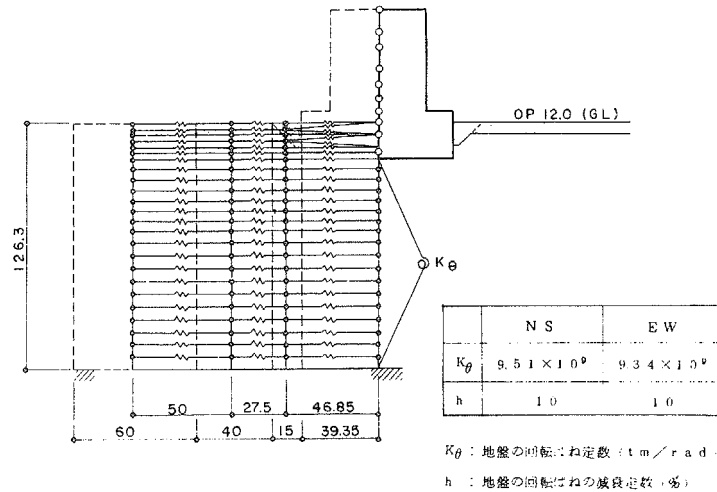
適用する入力地震動評価手法を選定した考え方

(a) 水平方向

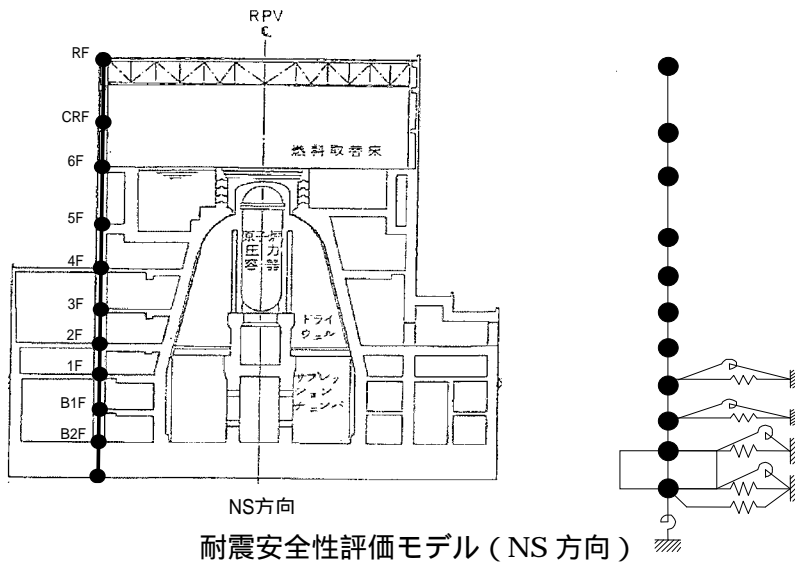
原設計時は、地震応答解析モデルとして、格子型モデルを用いていたが、最新の知見を積極的に取り込む目的で、直近の東京電力の許認可モデルである埋め込みSRモデルを採用している。福島第二原子力発電所における解放基盤表面より上部の地質構造は、ほぼ水平な成層構造とみなせるため、図3-2-1に示すとおり、地震応答解析モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価し、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力（切欠き力）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮している。図3-2-3に原設計時のモデルおよび本評価に用いた地震応答解析モデルを示す。また、図3-2-5～図3-2-7に敷地内地質調査位置図および敷地内地質断面図を示す。

(b) 鉛直方向

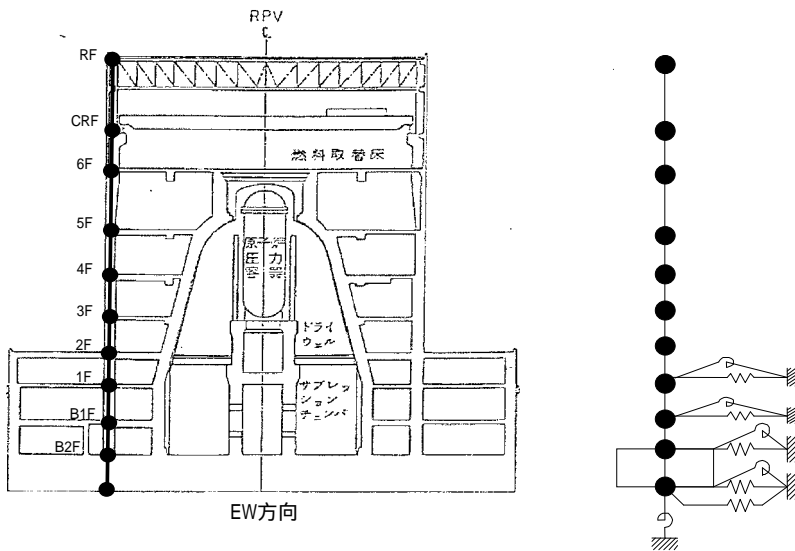
原設計時は、鉛直方向地震力は静的震度に基づくため、地震応答解析を実施していないが、新耐震設計審査指針に従い、鉛直動の応答解析を実施するため、上下質点系モデルを採用している。このため、モデルに入力する地震動は、図3-2-2に示すとおり、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する地盤の応答として評価し、基礎底面レベルに直接入力している。図3-2-4に本評価に用いた地震応答解析モデルを示す。



原設計モデル (NS、EW 方向)



耐震安全性評価モデル (NS 方向)



耐震安全性評価モデル (EW 方向)

図 3 - 2 - 3 原設計時のモデルと耐震安全性評価モデル (水平方向)

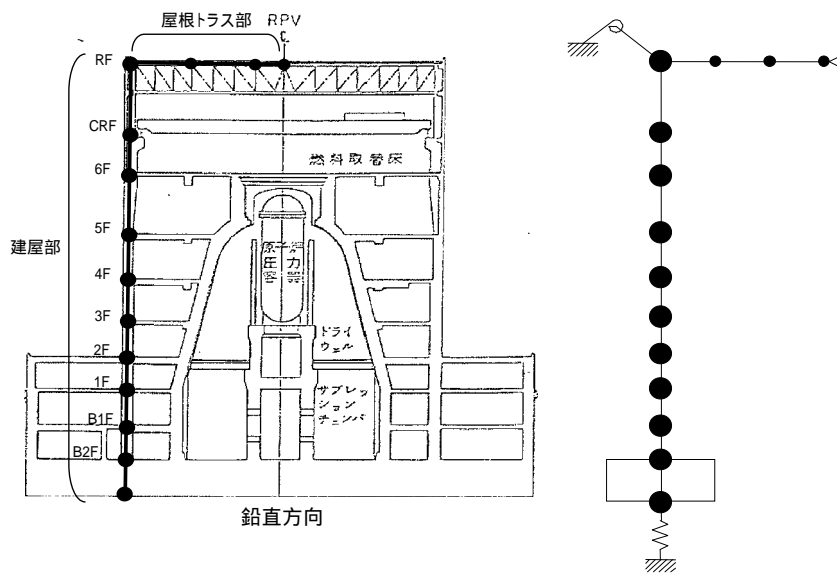


図 3 - 2 - 4 耐震安全性評価モデル (鉛直方向)

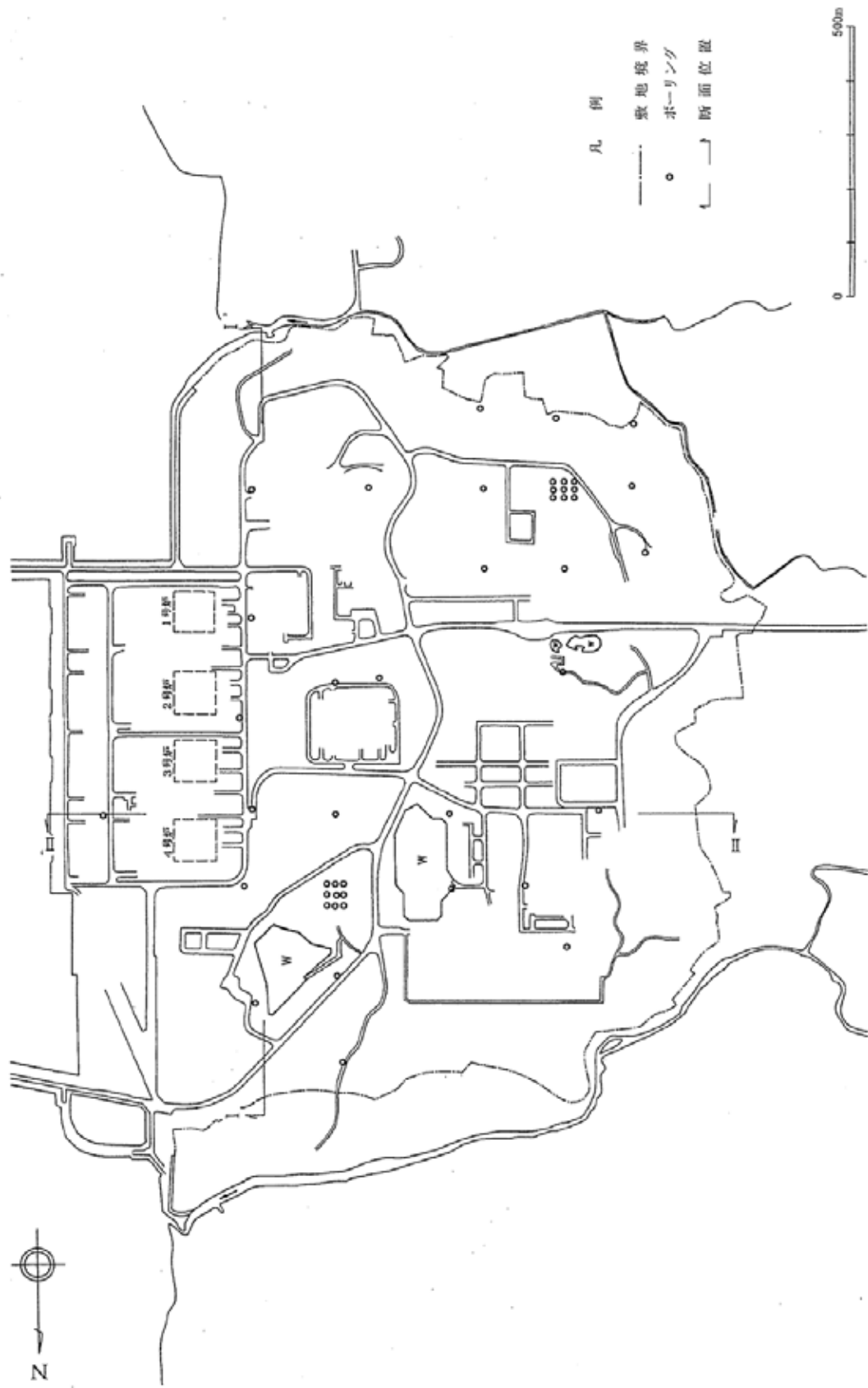


図 3 - 2 - 5 敷地内地質調査位置図

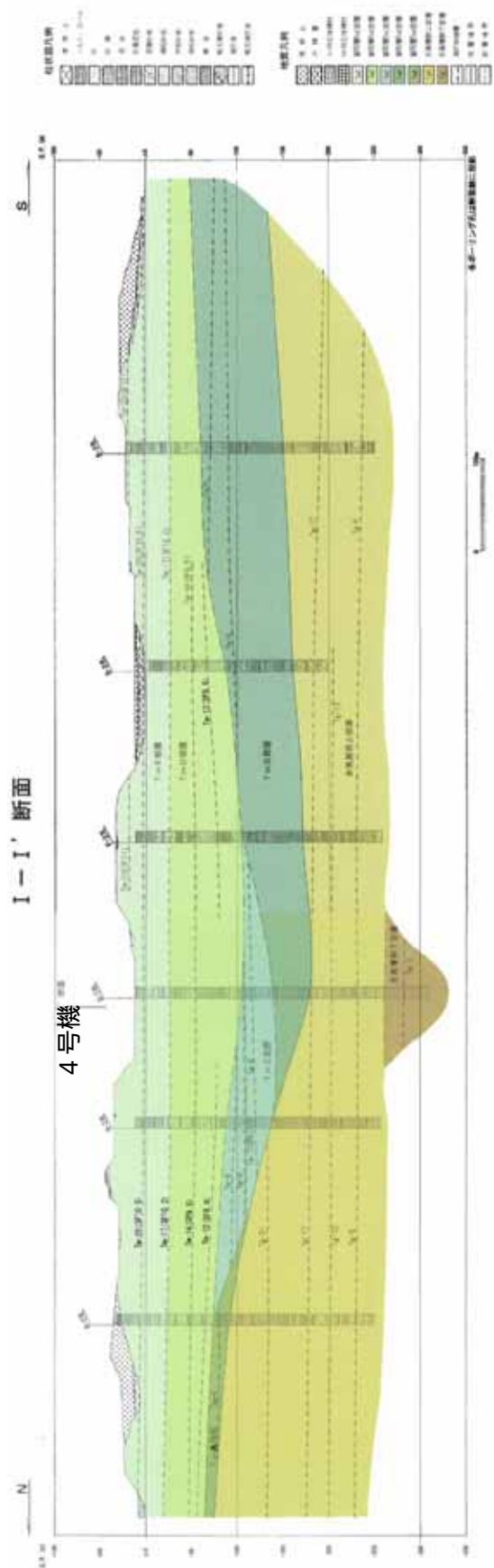


图 3 - 2 - 6 敷地内地質断面图 (- '断面)

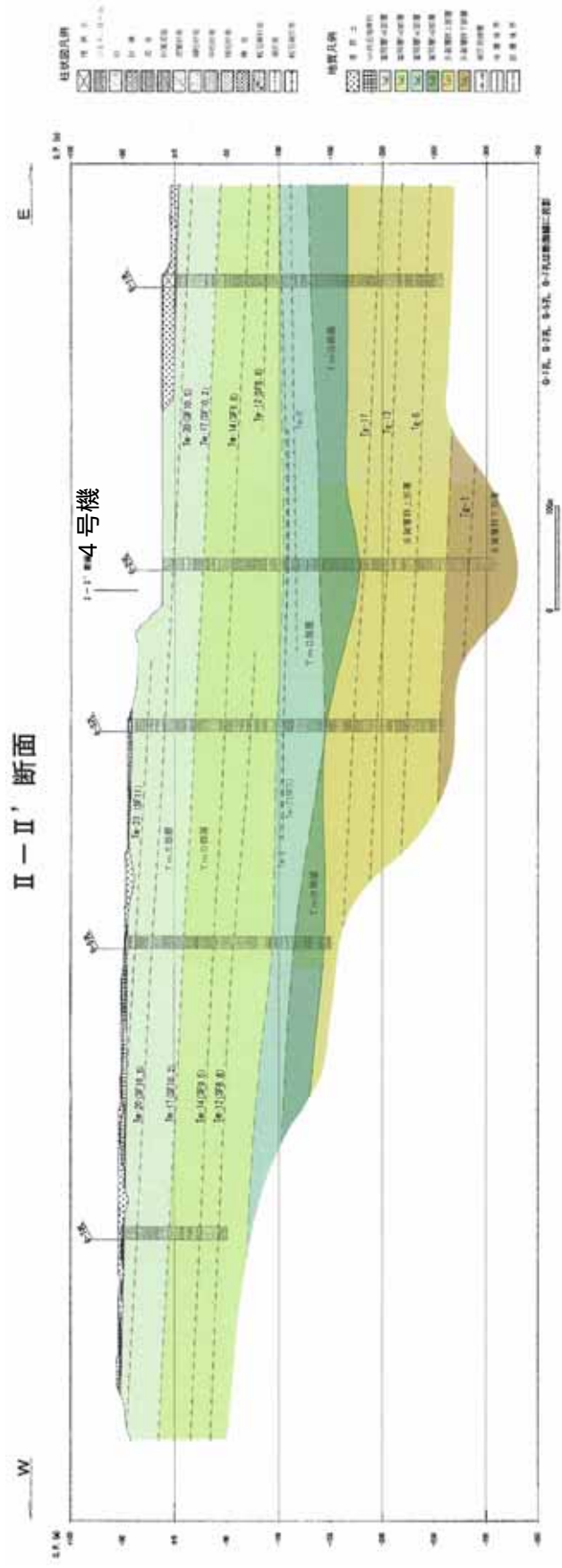


图 3 - 2 - 7 敷地内地質断面图 (- '断面)

地盤の応答解析の条件

表3 - 2 - 1 ~ 表3 - 2 - 3 に地盤調査に基づく地盤定数を示す。

表3 - 2 - 1 地盤定数 (S s - 1)

標高 O.P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (× 10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断弾 性係数 G ₀ (× 10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (× 10 ⁵ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
9.0	表層	192	17.7	0.33	0.39	0.67	0.59	1.05	8	12.0
6.0		236			0.59	1.00		1.57		
3.0		259			0.71	1.21		1.90		
0.0		275			0.80	1.36		2.13		
-6.5	泥岩	390	16.3	0.46	2.00	2.53	0.79	5.84	4	114.3
-49.3		452	16.7	0.46	2.74	3.47		8.00		
-114.3		528	17.2	0.45	3.86	4.88		11.18		
-168.0	細粒 砂岩	612	17.3	0.44	5.29	6.61	0.80	15.23	4	53.7
	解放 基盤	714	17.4	0.42	9.05	9.05	1.00	25.70	-	-

表3 - 2 - 2 地盤定数 (S s - 2)

標高 O.P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (× 10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断弾 性係数 G ₀ (× 10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (× 10 ⁵ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
9.0	表層	192	17.7	0.33	0.37	0.67	0.55	0.98	9	12.0
6.0		236			0.55	1.00		1.46		
3.0		259			0.67	1.21		1.77		
0.0		275			0.75	1.36		1.99		
-6.5	泥岩	390	16.3	0.46	2.02	2.53	0.80	5.91	4	114.3
-49.3		452	16.7	0.46	2.78	3.47		8.11		
-114.3		528	17.2	0.45	3.90	4.88		11.32		
-168.0	細粒 砂岩	612	17.3	0.44	5.29	6.61	0.80	15.23	4	53.7
	解放 基盤	714	17.4	0.42	9.05	9.05	1.00	25.70	-	-

表 3 - 2 - 3 地盤定数 (S s - 3)

標高 O.P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断 弾性係数 G (× 10 ⁵ kN/m ²)	初期せん断弾 性係数 G ₀ (× 10 ⁵ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E (× 10 ⁵ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
12.0										
9.0	表層	192	17.7	0.33	0.43	0.67	0.65	1.15	7	12.0
6.0		236			0.65	1.00		1.73		
3.0		259			0.79	1.21		2.09		
0.0		275			0.88	1.36		2.35		
-6.5	泥岩	390	16.3	0.46	2.00	2.53	0.79	5.84	4	114.3
-49.3		452	16.7	0.46	2.74	3.47		8.00		
-114.3		528	17.2	0.45	3.86	4.88		11.18		
-168.0	細粒 砂岩	612	17.3	0.44	4.96	6.61	0.75	14.28	4	53.7
	解放 基盤	714	17.4	0.42	9.05	9.05	1.00	25.70	-	-