

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-014-03改01
提出年月日	2023年5月31日

VI-2-11-2-1-2 1号機タービン建物の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-1-2 R0

2023年5月

中国電力株式会社

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	位置	1
2.2	構造概要	2
2.3	評価方針	9
2.4	適用規格・基準等	11
3.	評価方法	12
3.1	評価対象部位及び評価方針	12
3.2	設計に用いる地震波	12
3.3	荷重及び荷重の組合せ	18
3.4	許容限界	19
3.5	解析方法	21
3.5.1	地震応答解析モデル	21
3.5.2	解析方法	30
3.5.3	建物・構築物の復元力特性	31
3.5.4	地盤の回転ばねの復元力特性	42
3.5.5	材料物性の不確かさ等	43
3.6	評価方法	45
3.6.1	構造物全体としての変形性能の評価方法	45
3.6.2	相対変位による評価方法	45
4.	評価結果	46
4.1	構造物全体としての変形性能の評価結果	46
4.2	相対変位による評価結果	47

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、1号機タービン建物が制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、1号機タービン建物の構造物全体としての変形性能の評価を、建物間の相対変位による影響では、制御室建物及びタービン建物への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

1号機タービン建物の設置位置を図2-1に示す。

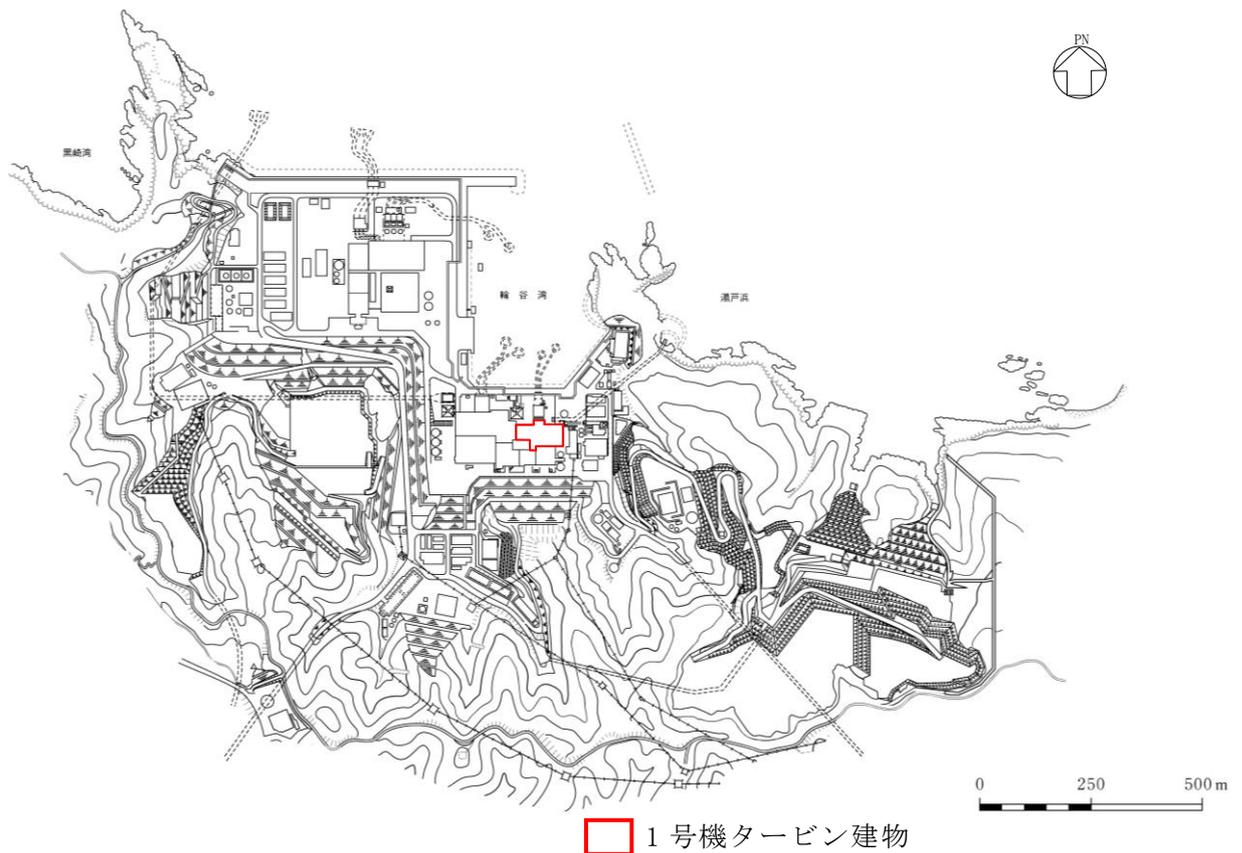


図2-1 1号機タービン建物の設置位置

2.2 構造概要

1号機タービン建物は、地上1階（一部地上2階）、地下2階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物であり、隣接する制御室建物及びタービン建物と構造的に分離している。1号機タービン建物の概略平面図を図2-2に、概略断面図を図2-3に、建物配置図を図2-4に、1号機タービン建物と制御室建物のクリアランスを図2-5に、1号機タービン建物とタービン建物のクリアランスを図2-6に示す。

1号機タービン建物の平面は、64.75m（一部47.0m）*（NS）×104.0m*（EW）であり、基礎スラブ底面からの高さは34.0mである。

1号機タービン建物の基礎は厚さ1.7m～2.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

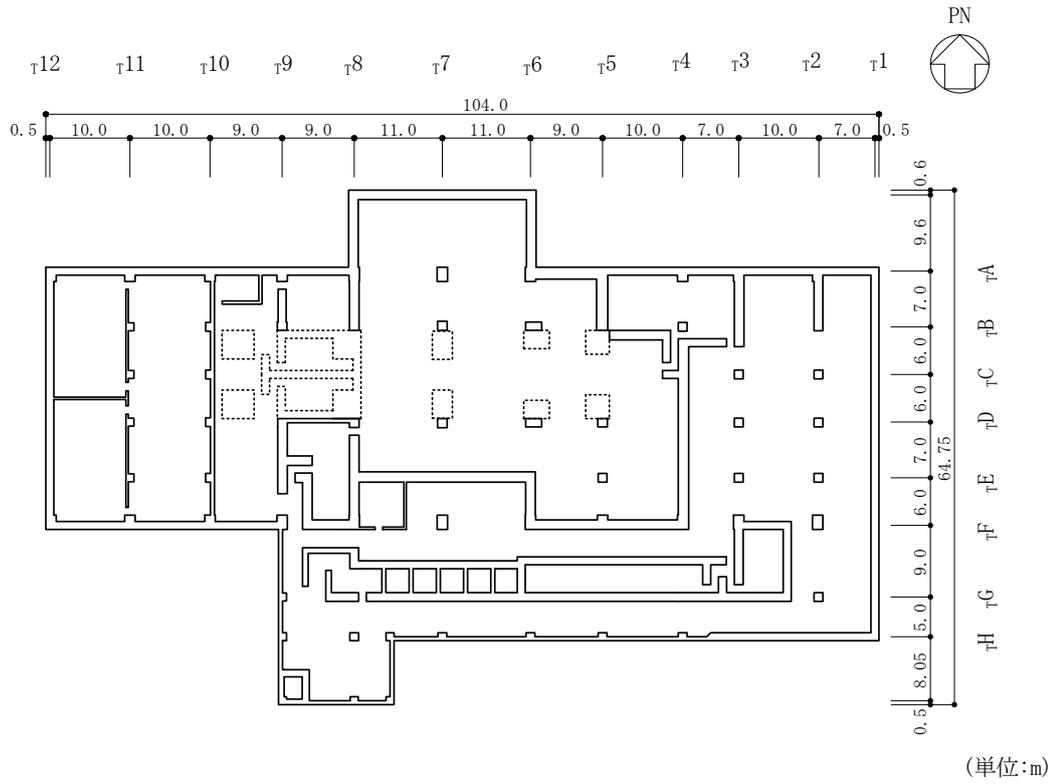


図 2-2 1号機タービン建物の概略平面図 (EL 1.8m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

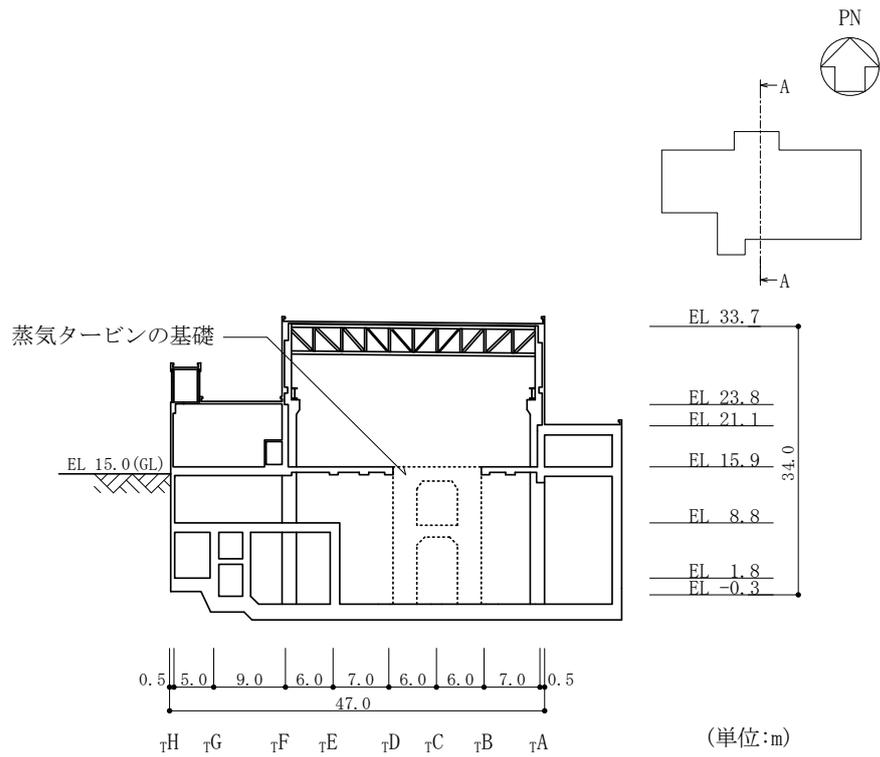


図 2-3(1) 1号機タービン建物の概略断面図 (A-A断面, N S方向)

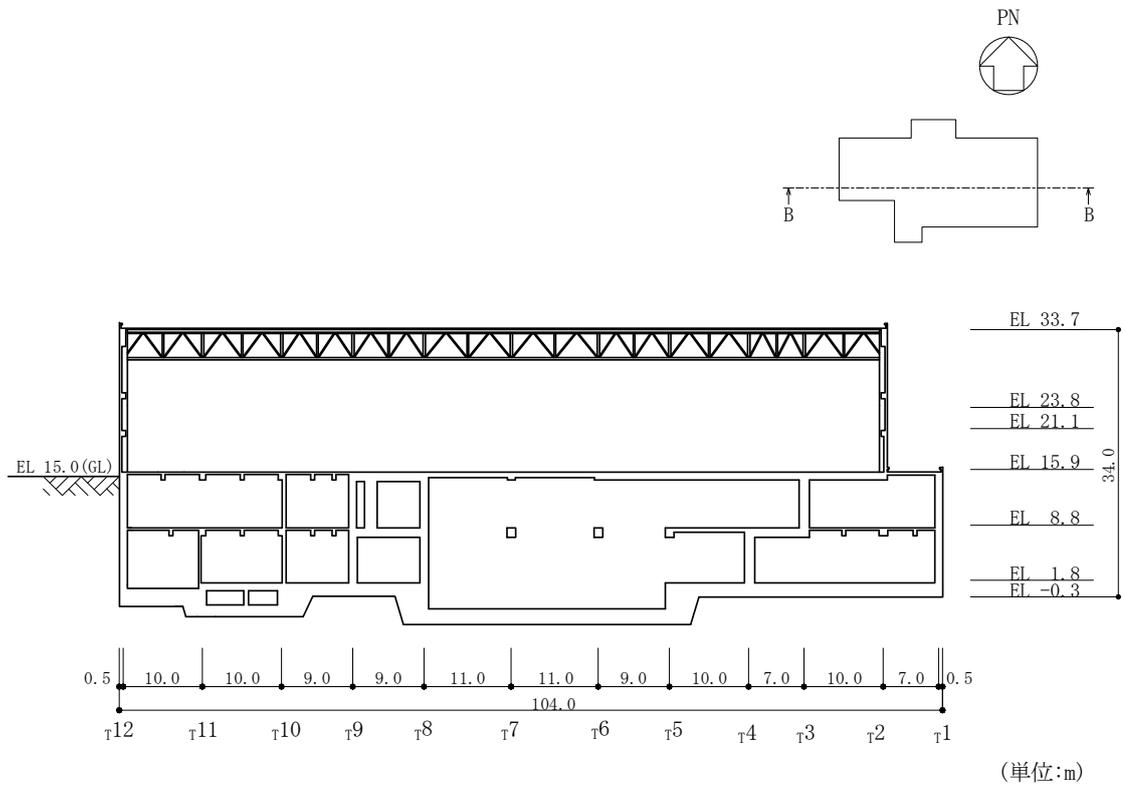


図 2-3(2) 1号機タービン建物の概略断面図 (B-B断面, E W方向)

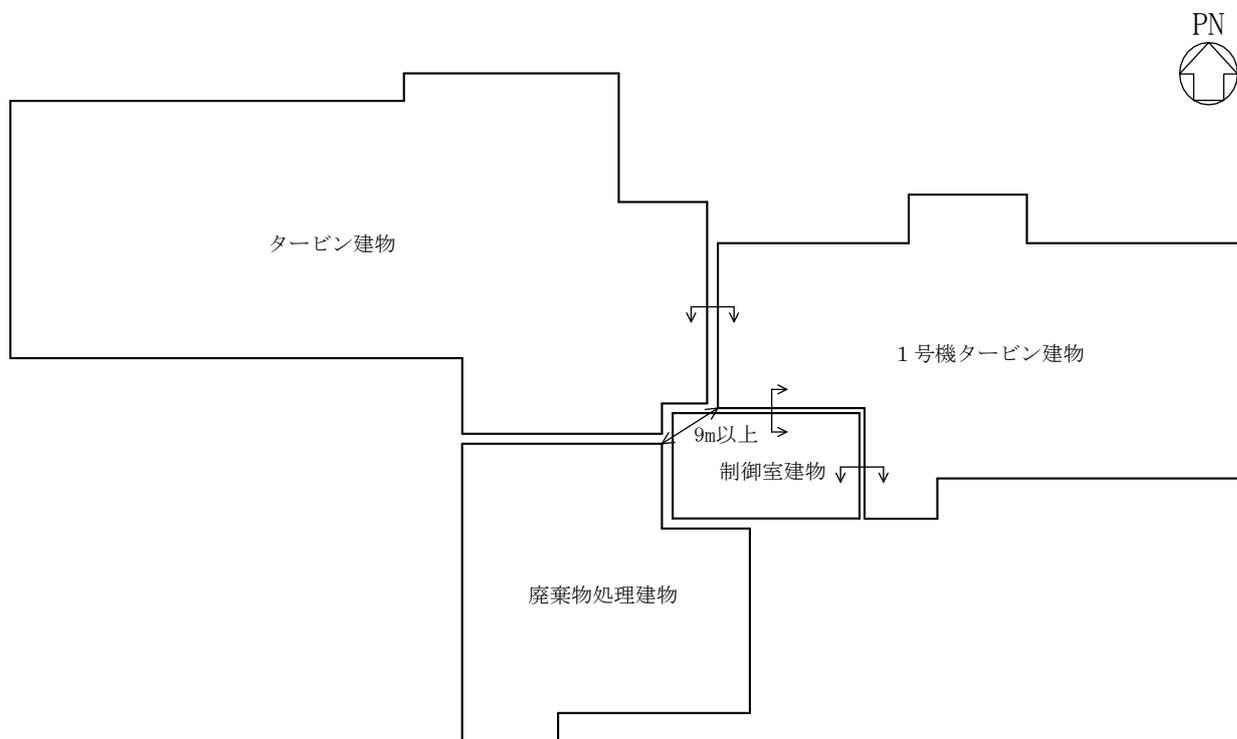


図 2-4 建物配置図

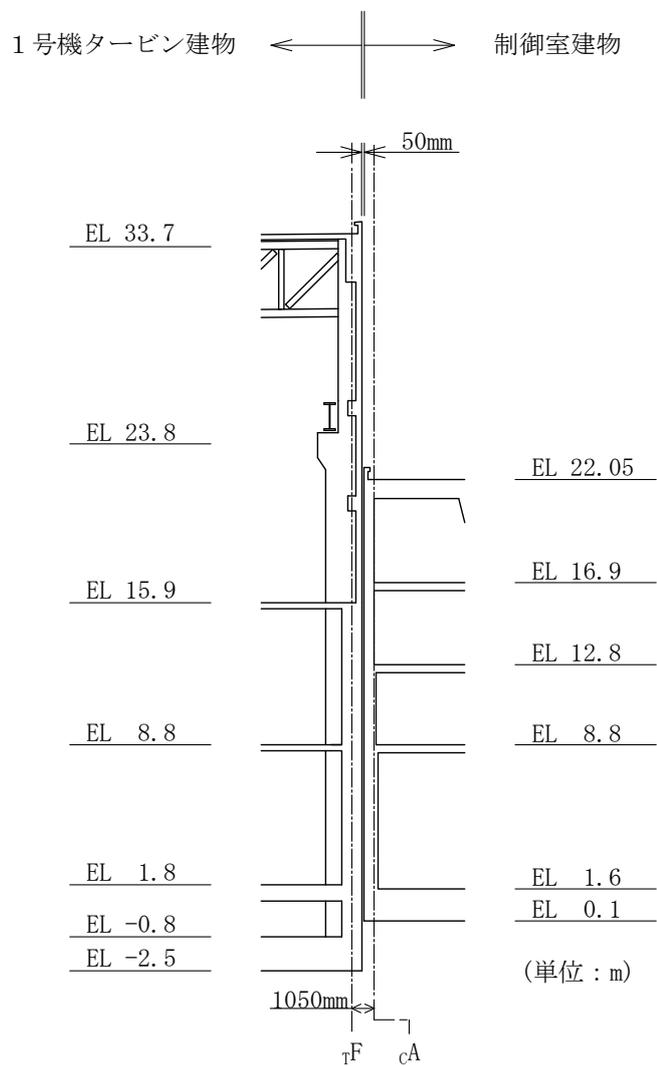


図 2-5(1) 1号機タービン建物と制御室建物のクリアランス
(NS方向)

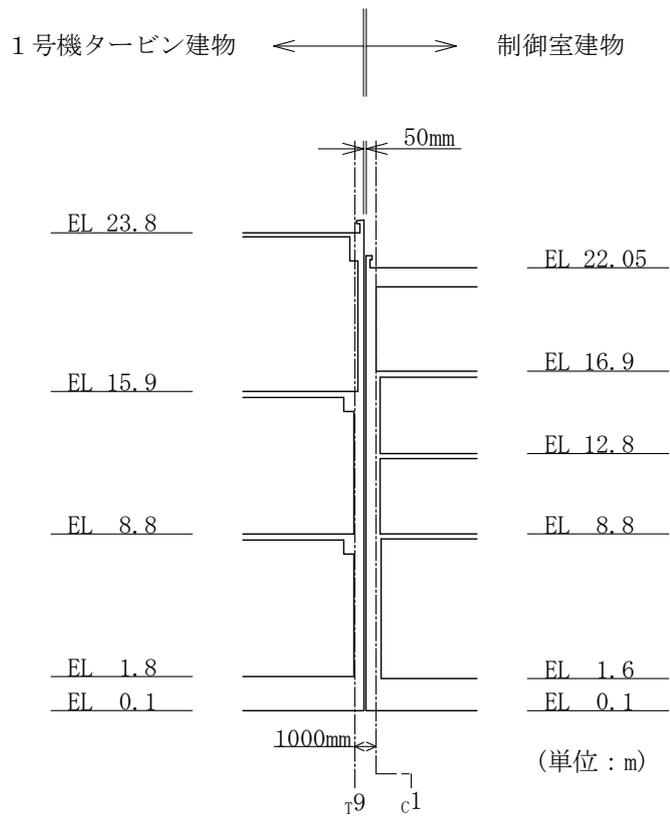


図 2-5(2) 1号機タービン建物と制御室建物のクリアランス (EW方向)

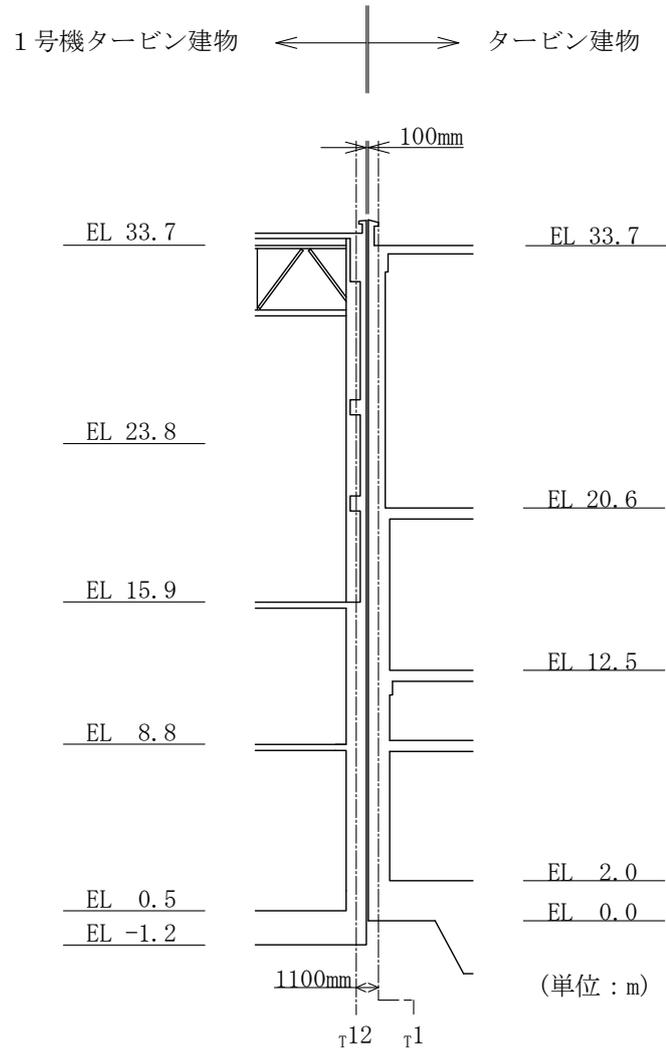


図 2-6 1号機タービン建物とタービン建物のクリアランス
(E W方向)

2.3 評価方針

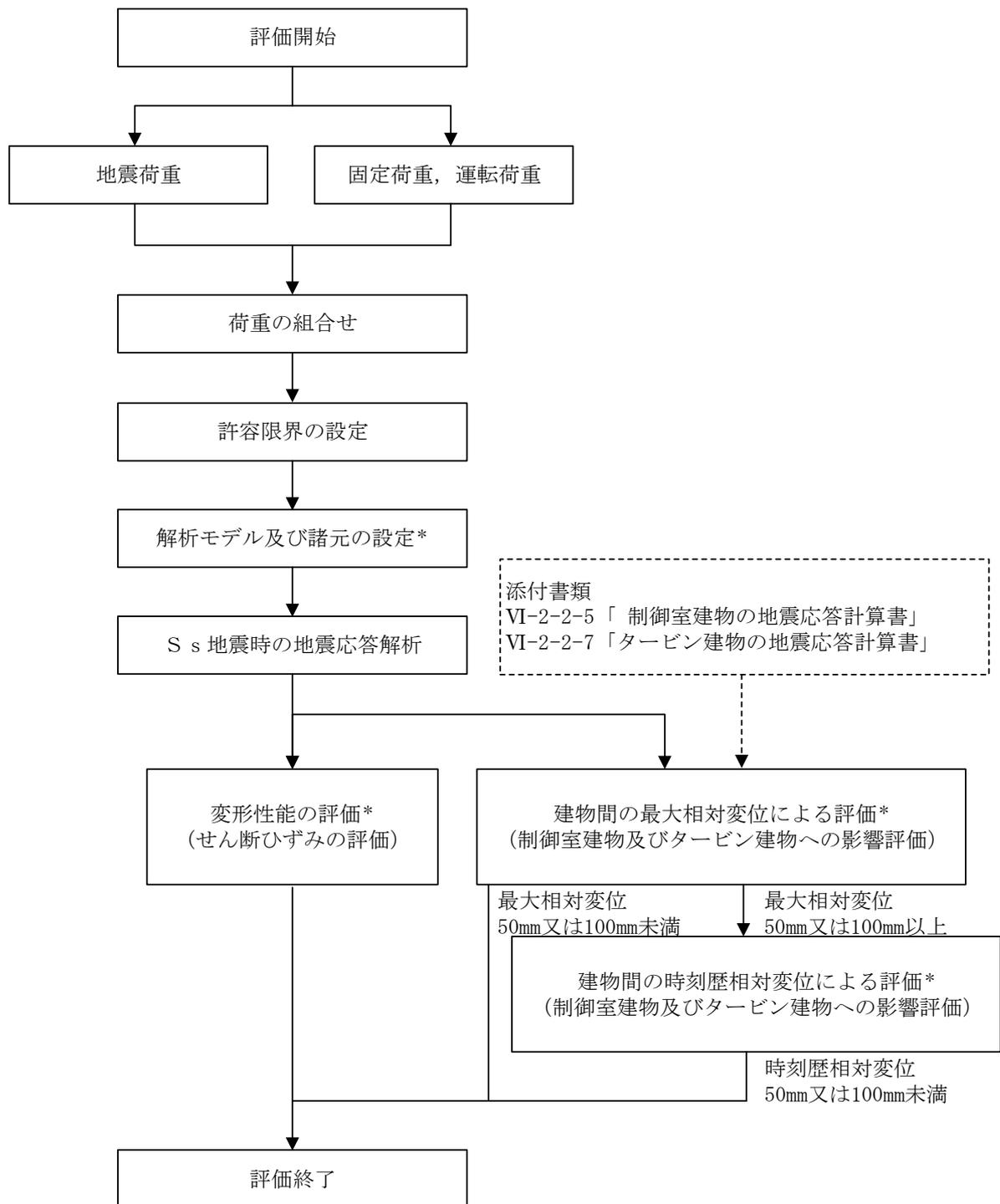
1号機タービン建物は、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物と同じ運転状態を想定することから、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

1号機タービン建物の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。1号機タービン建物の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、構造物全体としての変形性能の評価を行う。建物間の相対変位による影響では、制御室建物及びタービン建物との相対変位による評価を行うことで、制御室建物及びタービン建物への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では、1号機タービン建物の最大応答変位に加えて、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。1号機タービン建物は廃棄物処理建物と9m以上離れており、1号機タービン建物が倒壊しない限り衝突・接触することはない。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。

なお、1号機タービン建物は、その配置上、制御室建物と接触する可能性が高いN-S方向及びE-W方向並びにタービン建物と接触する可能性が高いE-W方向に対して波及的影響の評価を行う。

また、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行う。ここで、1号機タービン建物では、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等の条件に有意な差異がないことから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は、設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図2-7に波及的影響の評価フローを示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 2-7 1号機タービン建物の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

1号機タービン建物の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

1号機タービン建物の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造物全体としての変形性能の評価では、質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる耐震壁の最大応答せん断ひずみが、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社）日本電気協会」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

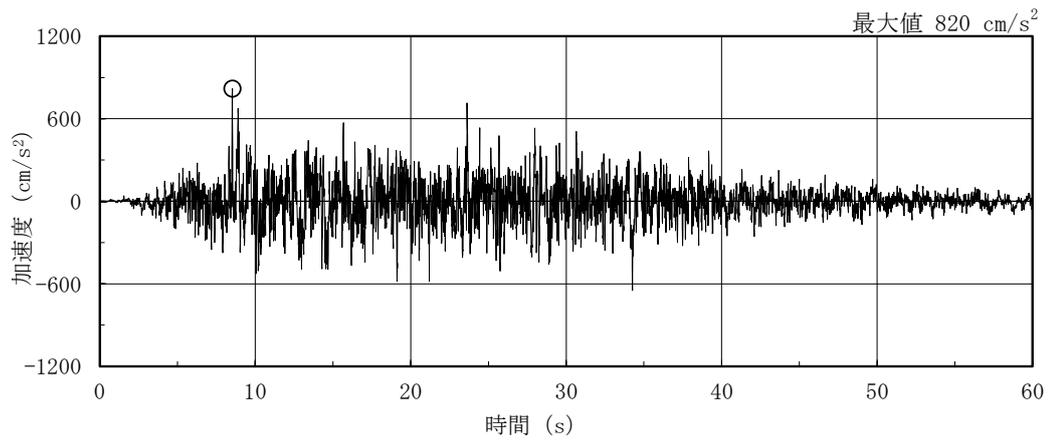
制御室建物及びタービン建物との相対変位による評価では、1号機タービン建物とそれぞれの建物の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建物間のクリアランスの大小関係により、隣接する制御室建物及びタービン建物への衝突の有無を確認する。なお、最大相対変位が許容限界を超過する場合には、1号機タービン建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では、材料物性の不確かさを考慮する。

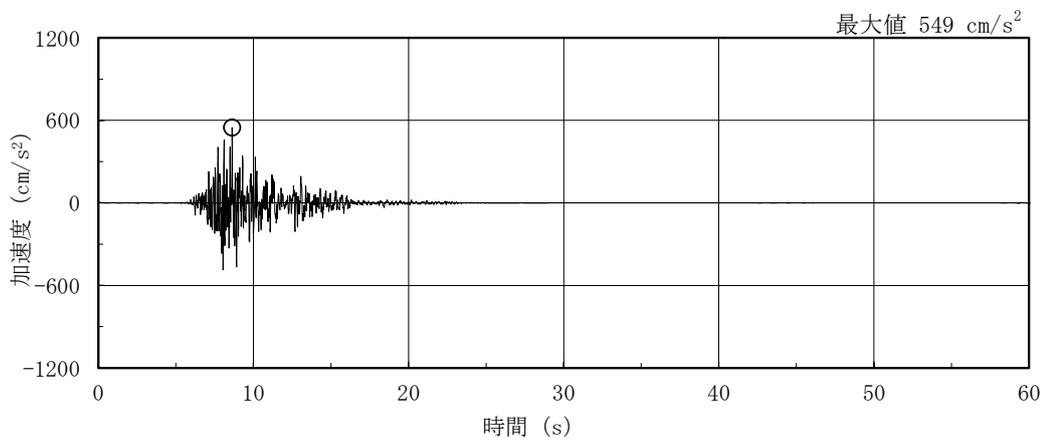
3.2 設計に用いる地震波

1号機タービン建物の地震応答解析に用いる地震波は、上位クラス施設である制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物の評価に適用したVI-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」に示す解放基盤表面レベルに想定する地震波のうち、基準地震動 S_s を用いることとする。

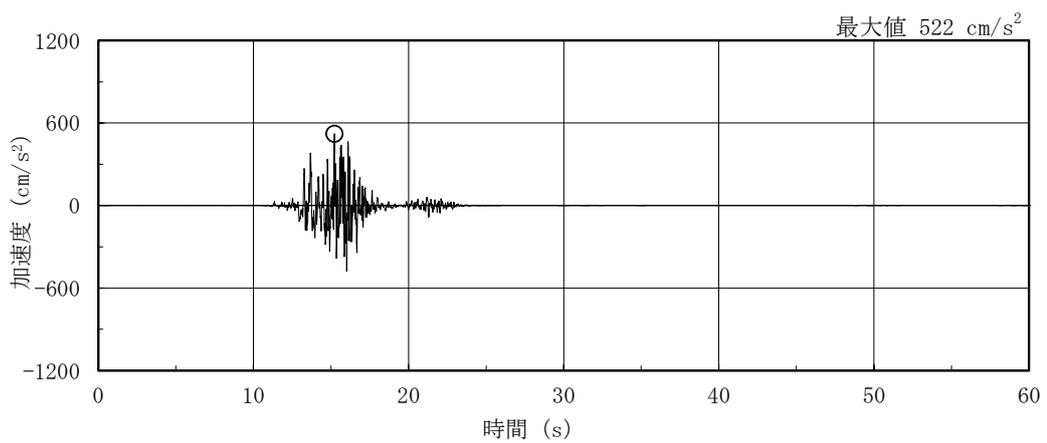
地震応答解析に用いる地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図3-1～図3-3に示す。



(a) S s - D

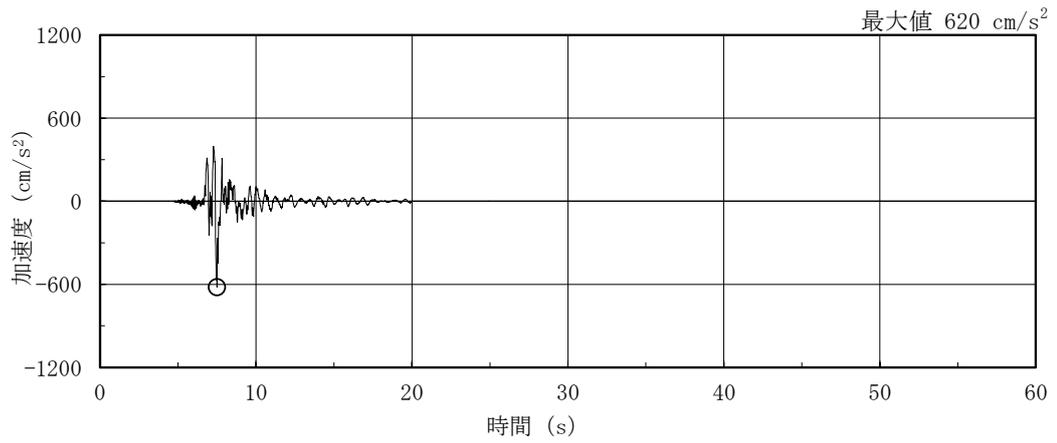


(b) S s - F 1

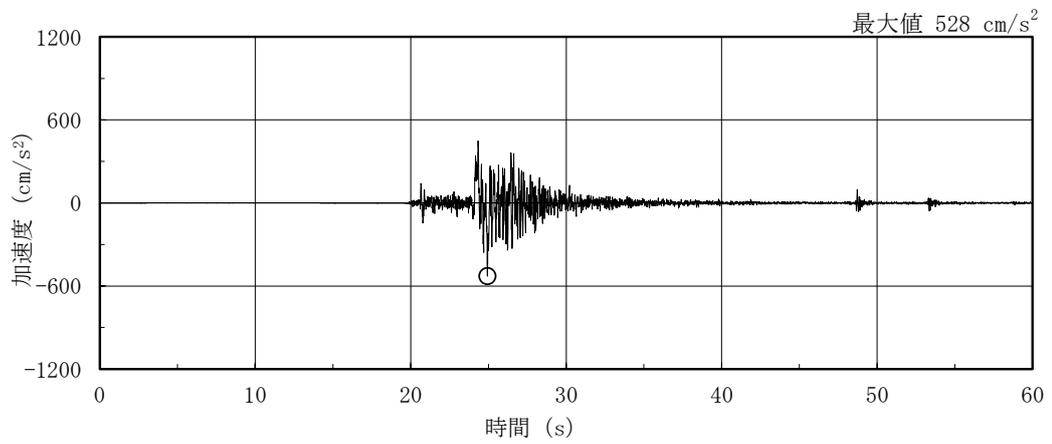


(c) S s - F 2

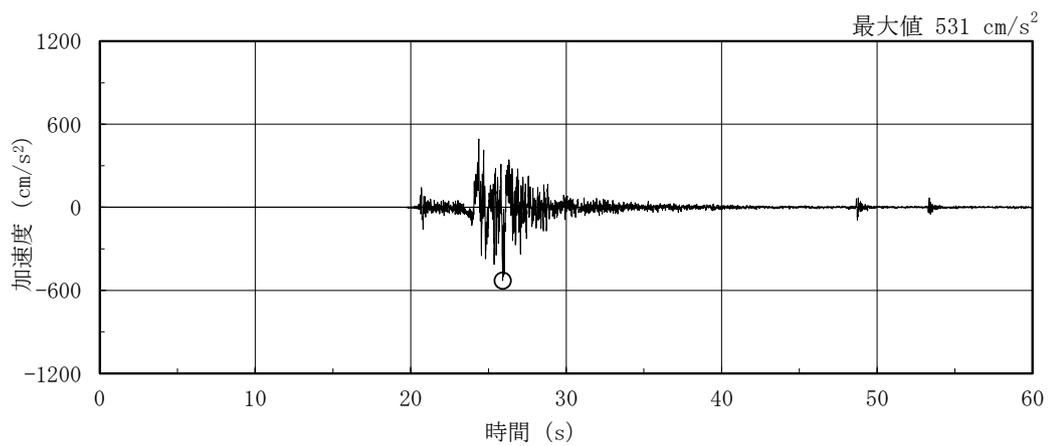
図 3-1(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, NS 方向)



(d) S s - N 1

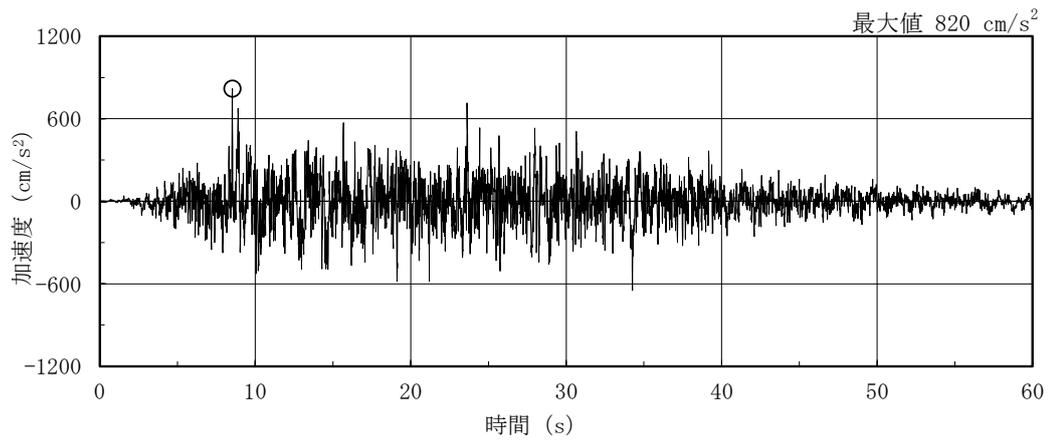


(e) S s - N 2 N S

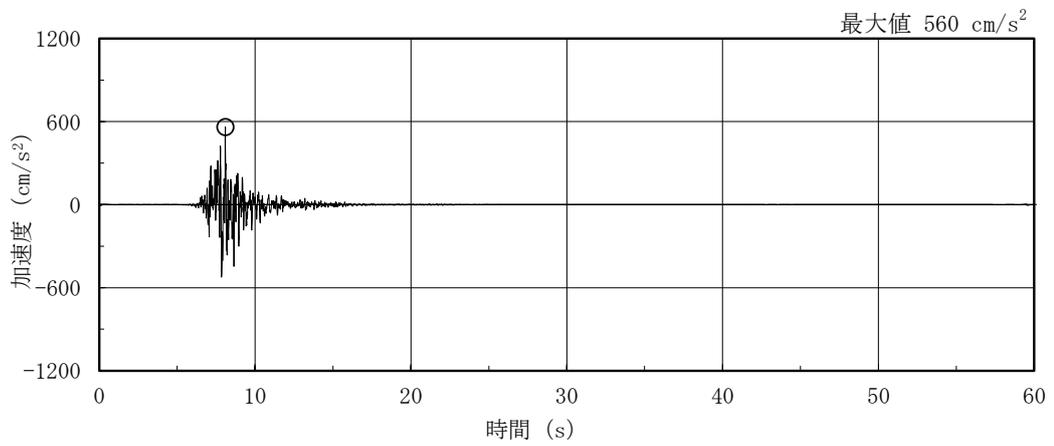


(f) S s - N 2 E W

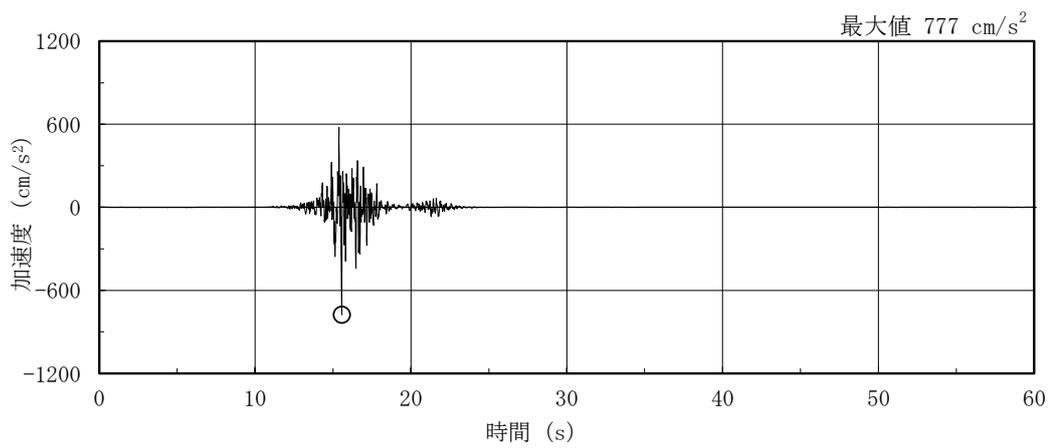
図 3-1(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , N S 方向)



(a) S s - D

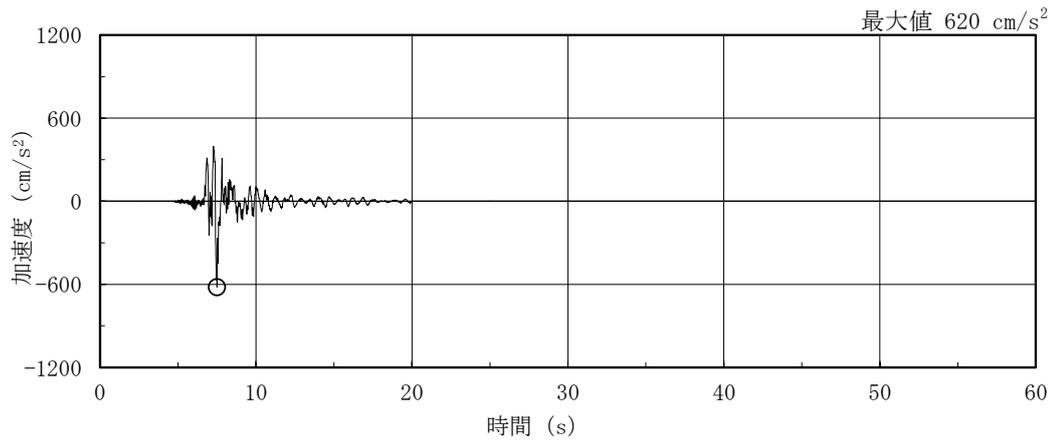


(b) S s - F 1

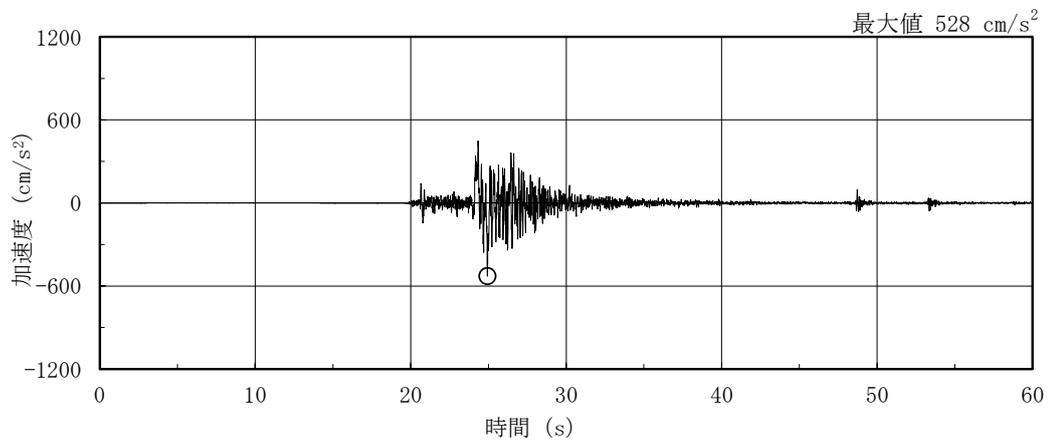


(c) S s - F 2

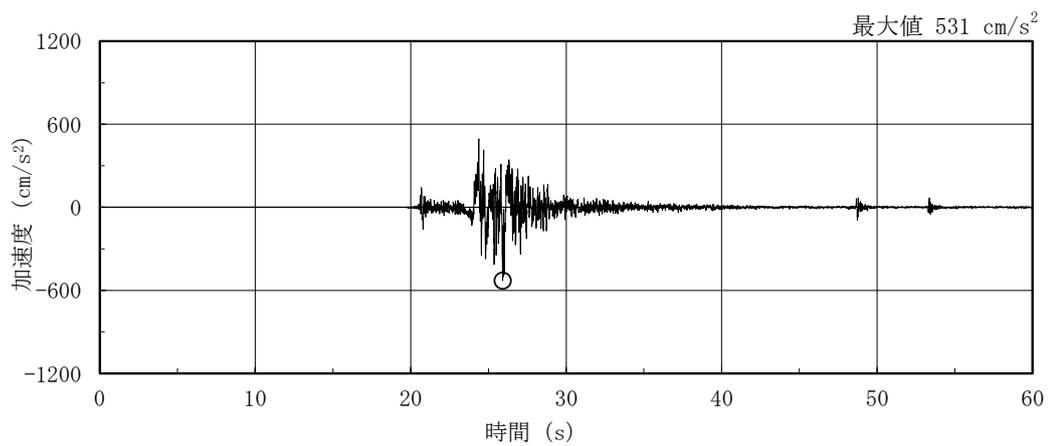
図 3-2(1) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, E W 方向)



(d) S s - N 1



(e) S s - N 2 N S



(f) S s - N 2 E W

図 3-2(2) 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , E W 方向)

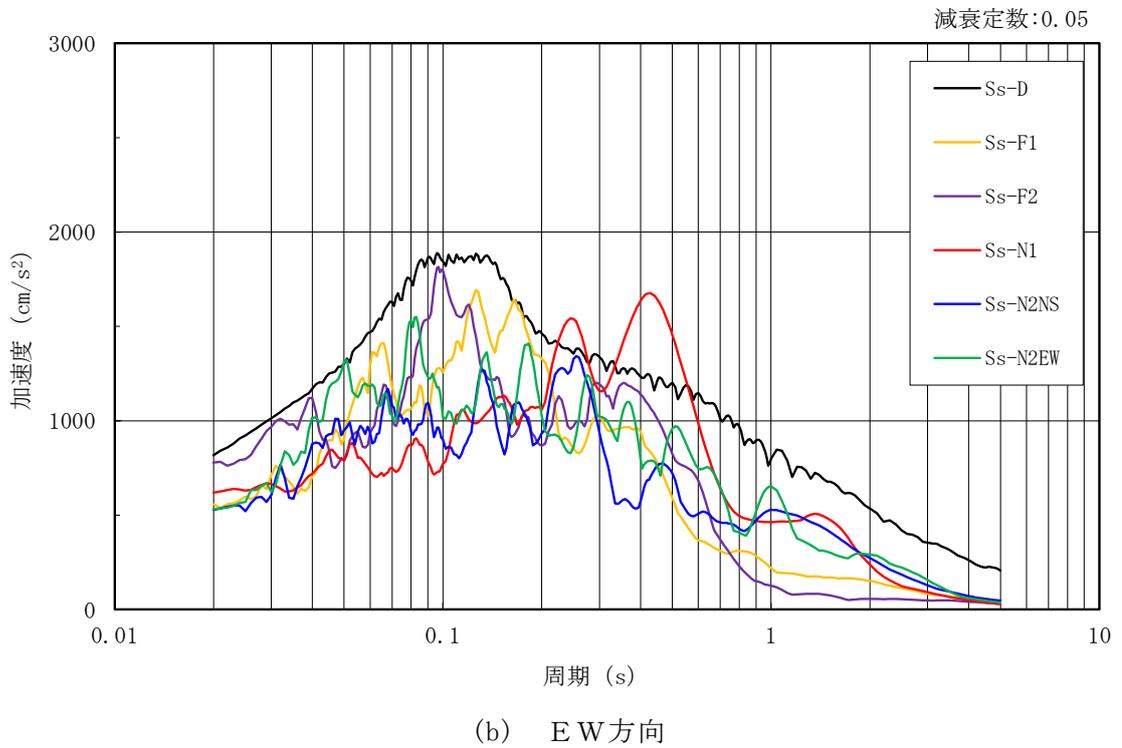
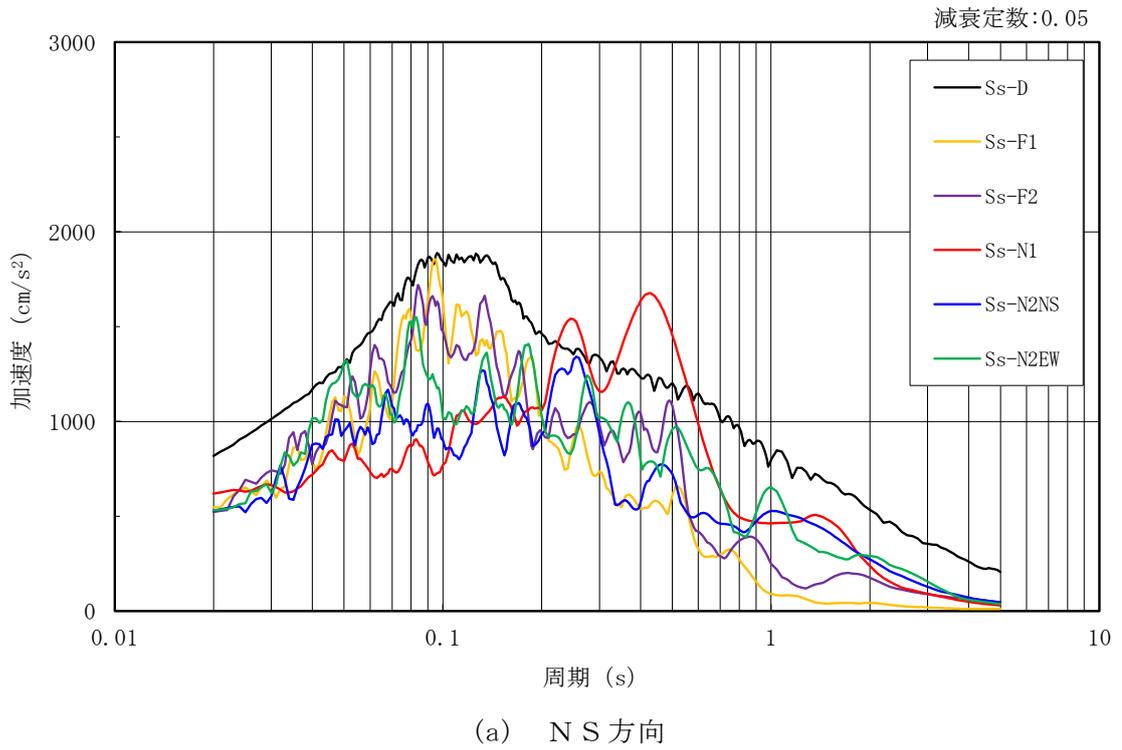


図 3-3 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。荷重の組合せを表3-1に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

[記号の説明]

G : 固定荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態における運転荷重

S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

3.4 許容限界

1号機タービン建物の制御室建物，タービン建物及び廃棄物処理建物に対する波及的影響の評価における許容限界は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき，表3-2及び表3-3のとおり設定する。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界

(設計基準対象施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物，タービン建物及び廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		1号機タービン建物及び制御室建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 50mm
		1号機タービン建物及びタービン建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 100mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には，1号機タービン建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

表 3-3 波及的影響の評価における許容限界
(重大事故等対処施設に対する評価)

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S s	耐震壁	最大応答せん断ひずみが構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		1号機タービン建物及び制御室建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 50mm
		1号機タービン建物及びタービン建物	建物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認*	相対変位 100mm

注記*：最大相対変位が許容限界を超過する場合には、1号機タービン建物とそれぞれの建物の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

3.5 解析方法

3.5.1 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、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、水平方向について設定する。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3-4に示す。

表3-4 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.20×10 ⁴	9.18×10 ³	5	—

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、弾塑性時刻歴応答解析を行う。建物のモデル化は、N S方向及びE W方向それぞれについて行っている。

地震応答解析モデルを図 3-4 に示す。

基礎底面の地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）により、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。このうち、基礎底面のロッキング地盤ばねには、基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤ばねの定数化の概要を図 3-5 に、地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-5 に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「A D M I T H F」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s から以下の手順で算定する。まず、解放基盤表面以深の地盤を 1 次元地盤としてモデル化し、一次元波動論に基づく評価により、EL-215m の入射波を算定する。算定した EL-215m の入射波を建物位置での地盤をモデル化した 1 次元地盤に入力して一次元波動論に基づく評価を行い、建物基礎底面での地盤応答を評価して入力地震動とする。地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値を表 3-6 に示す。表 3-6 に示す地盤物性値のうち、表層①-1 については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値とする。また、建物基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）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。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 3-6 に、1 次元地盤モデルを図 3-7 に、基礎底面位置（EL-0.3m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-8 に示す。入力地震動の算定には、解析コード「S H A K E」を用いる。評価に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

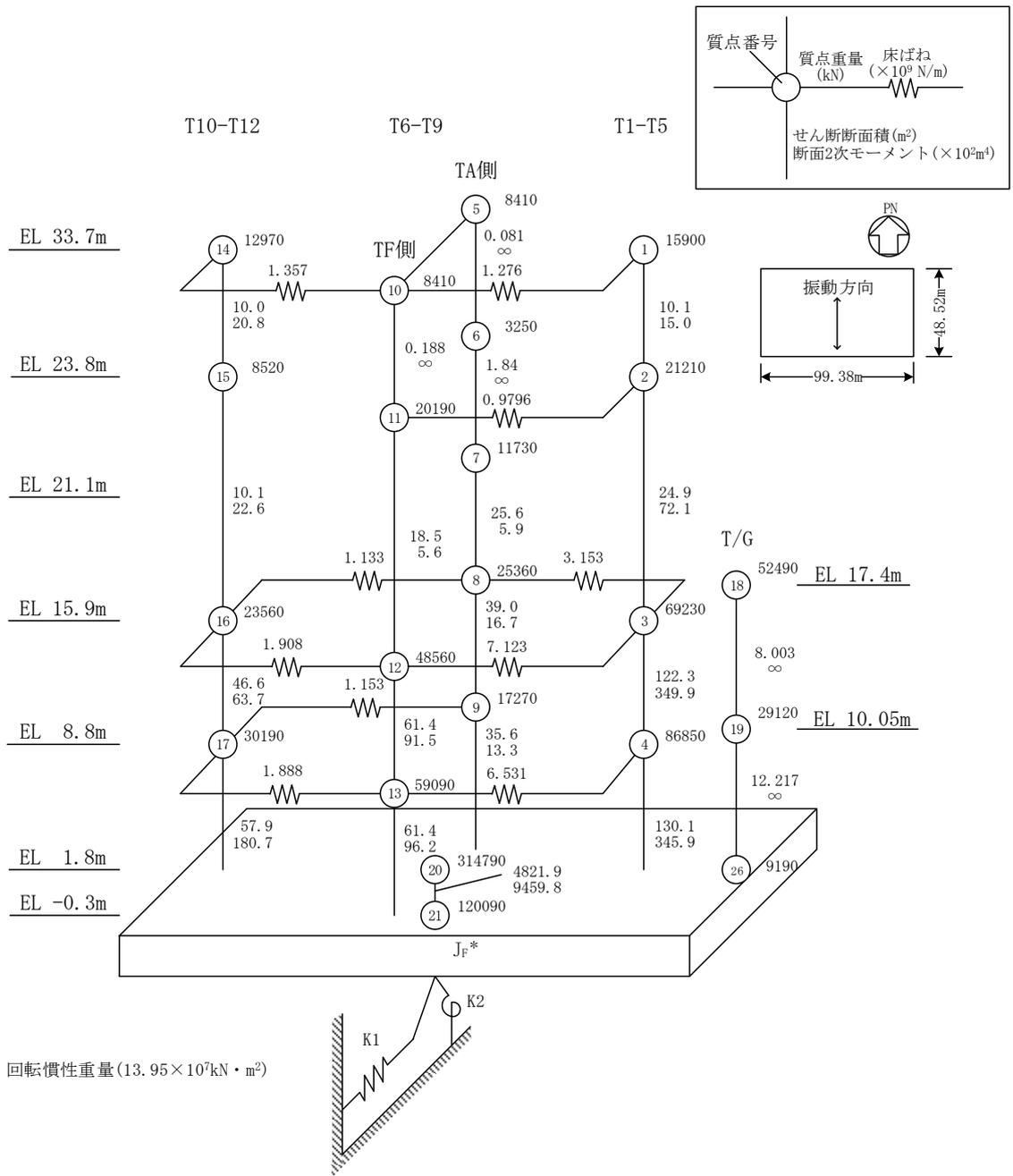
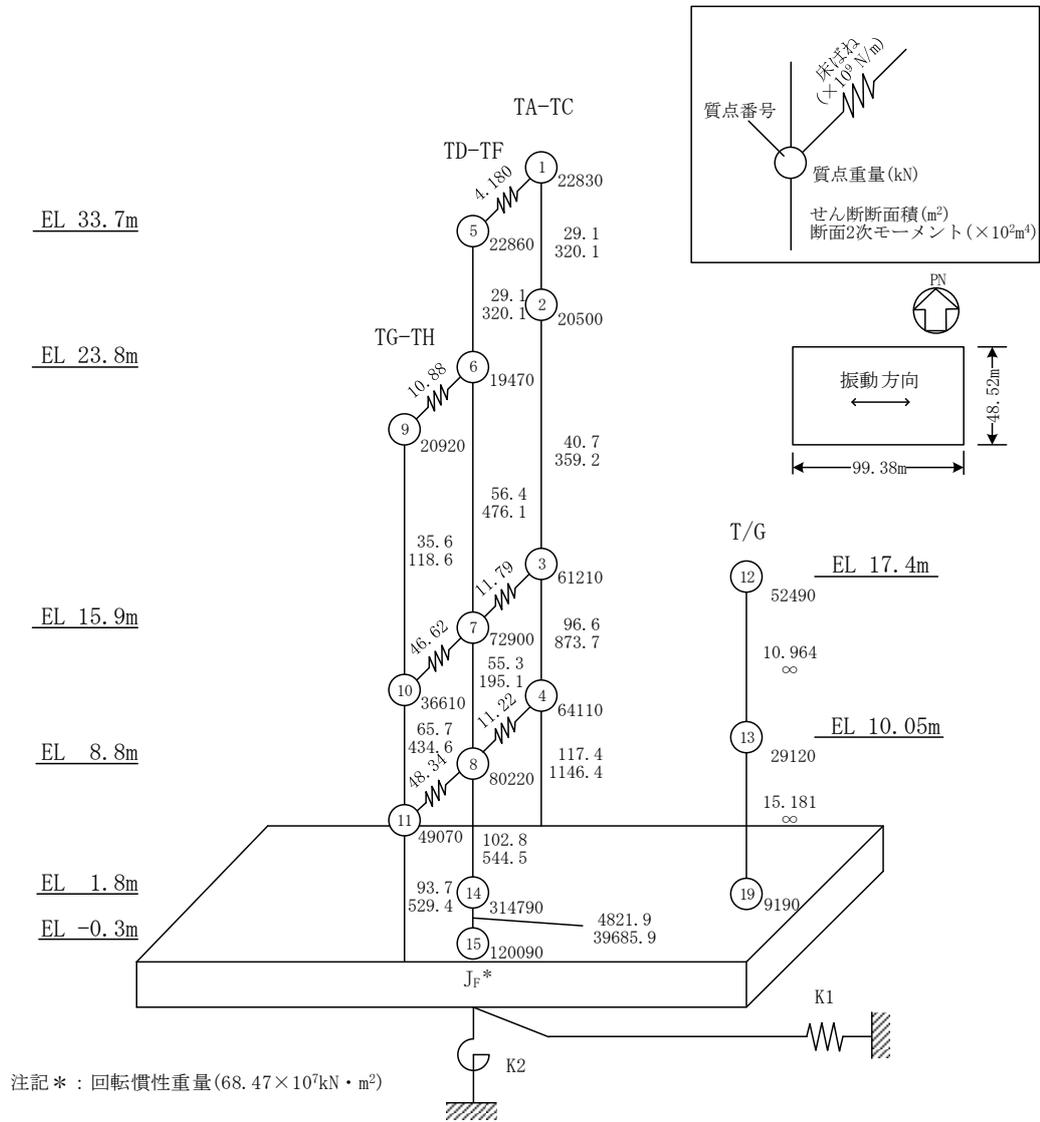
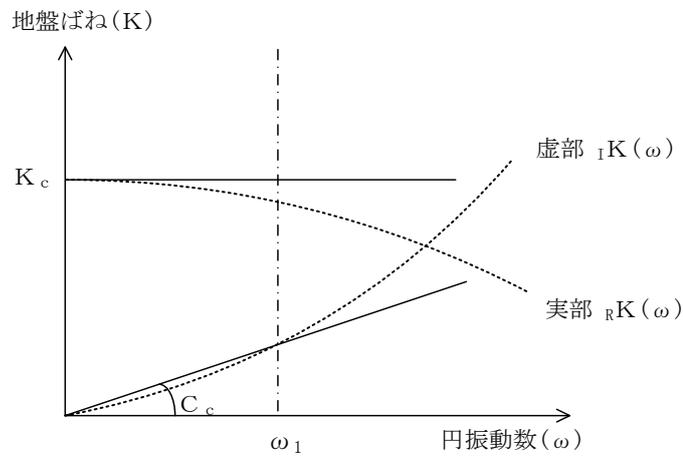


図 3-4(1) 地震応答解析モデル (NS 方向)



注記* : 回転慣性重量 (68.47 × 10⁷ kN · m²)

図 3-4(2) 地震応答解析モデル (EW方向)



ばね定数 : 0Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数 : 地盤－建物連成系の 1 次固有円振動数 ω_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 3-5 地盤ばねの定数化の概要

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数

(a) NS 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	1.30×10^9 (kN/m)	1.85×10^7 (kN・s/m)
K2	底面・回転	9.51×10^{11} (kN・m/rad)	2.71×10^9 (kN・m・s/rad)

(b) EW 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・水平	1.23×10^9 (kN/m)	1.60×10^7 (kN・s/m)
K2	底面・回転	2.67×10^{12} (kN・m/rad)	1.54×10^{10} (kN・m・s/rad)

表 3-6 1号機タービン建物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

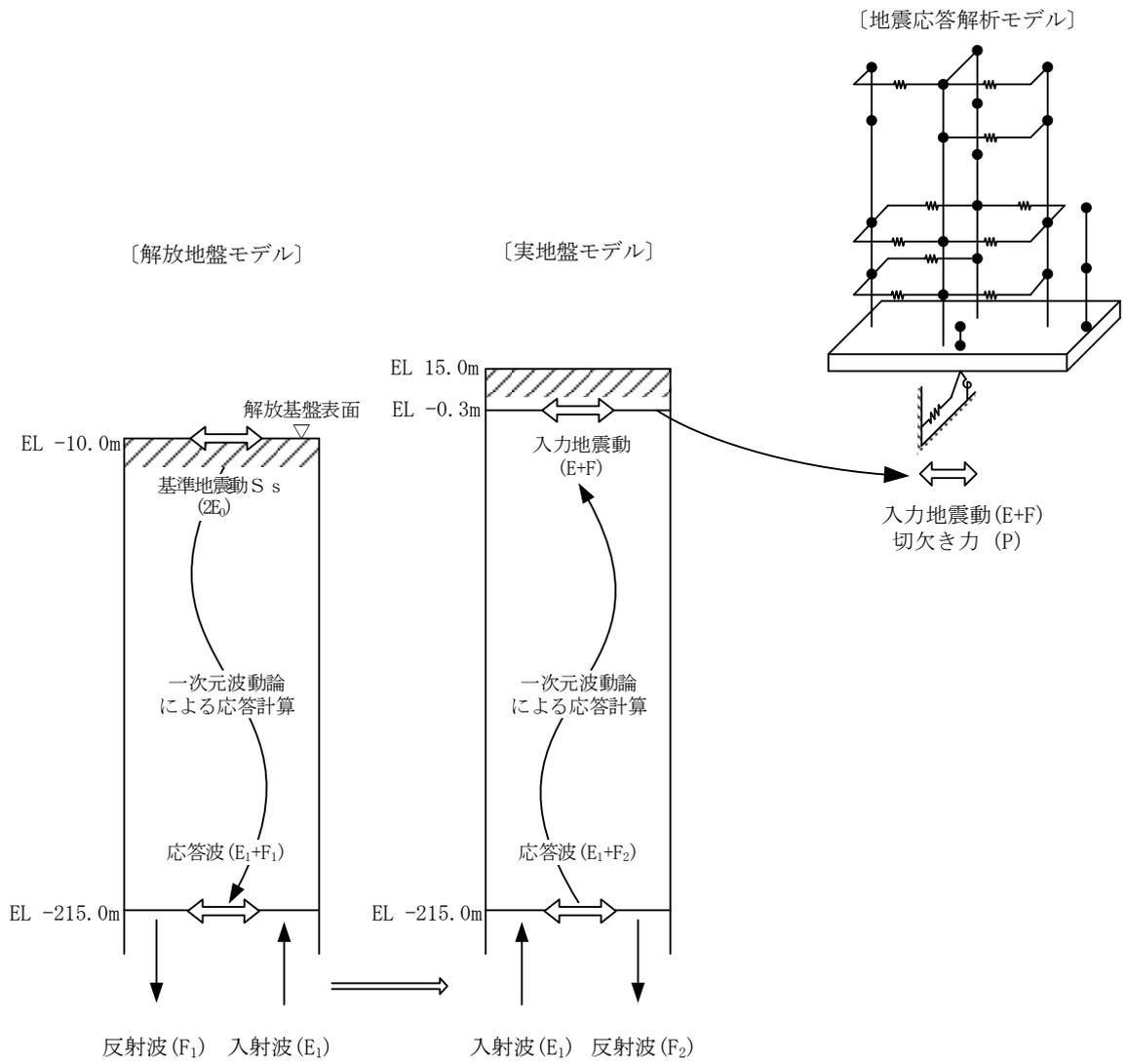


図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

[解放地盤モデル]

[実地盤モデル]

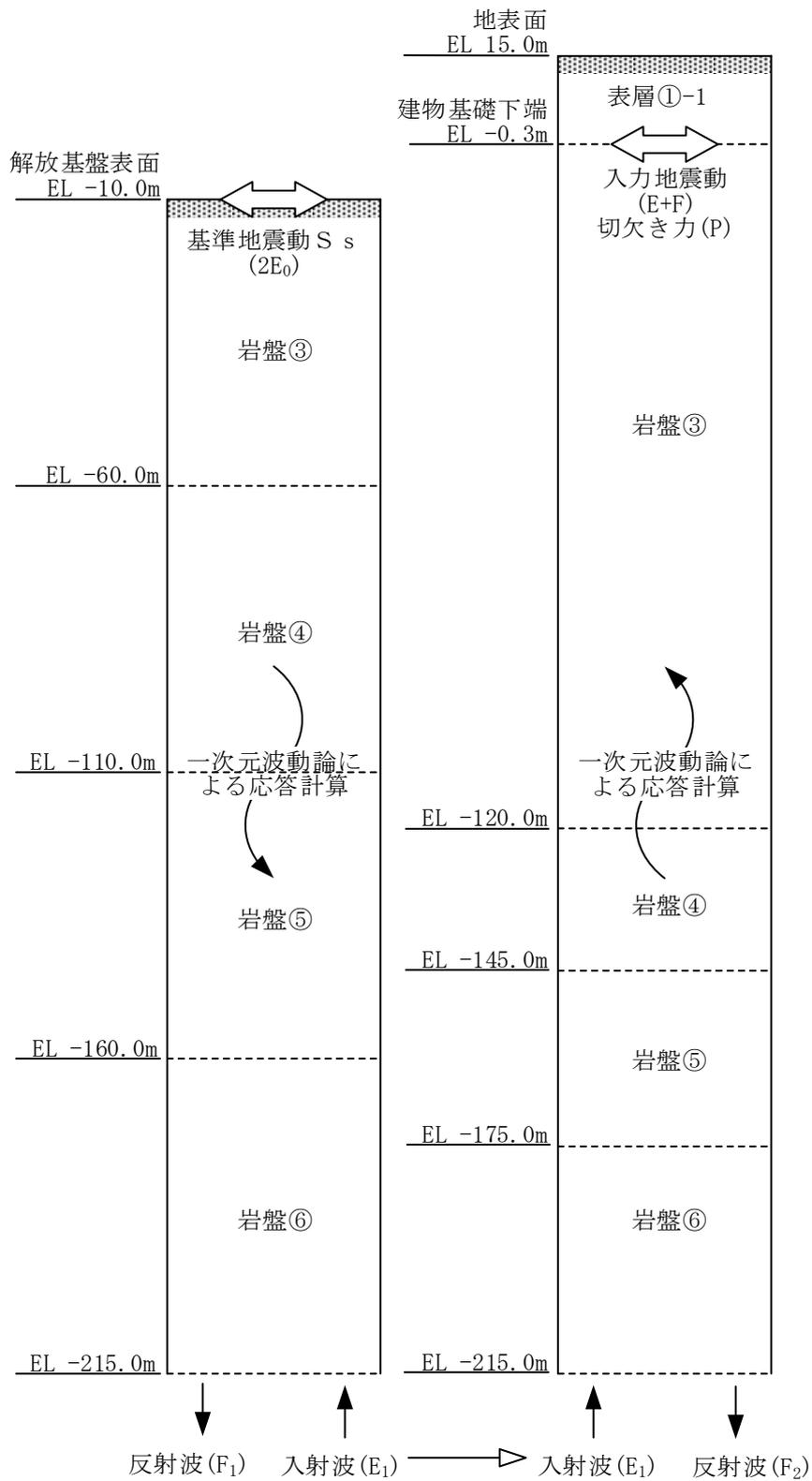
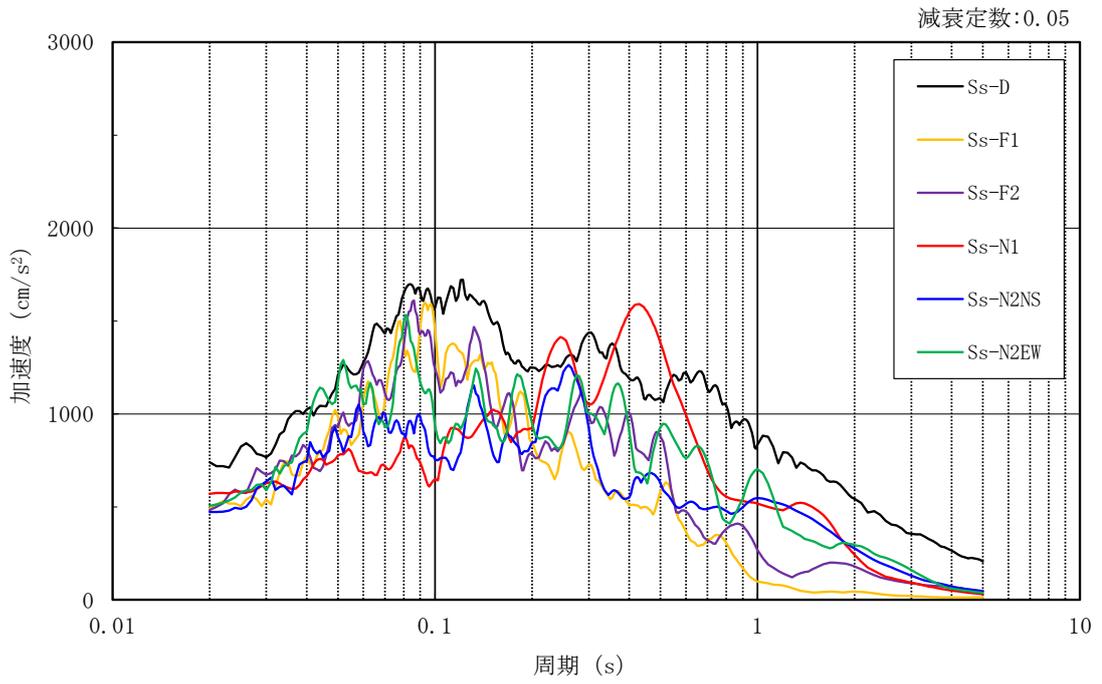
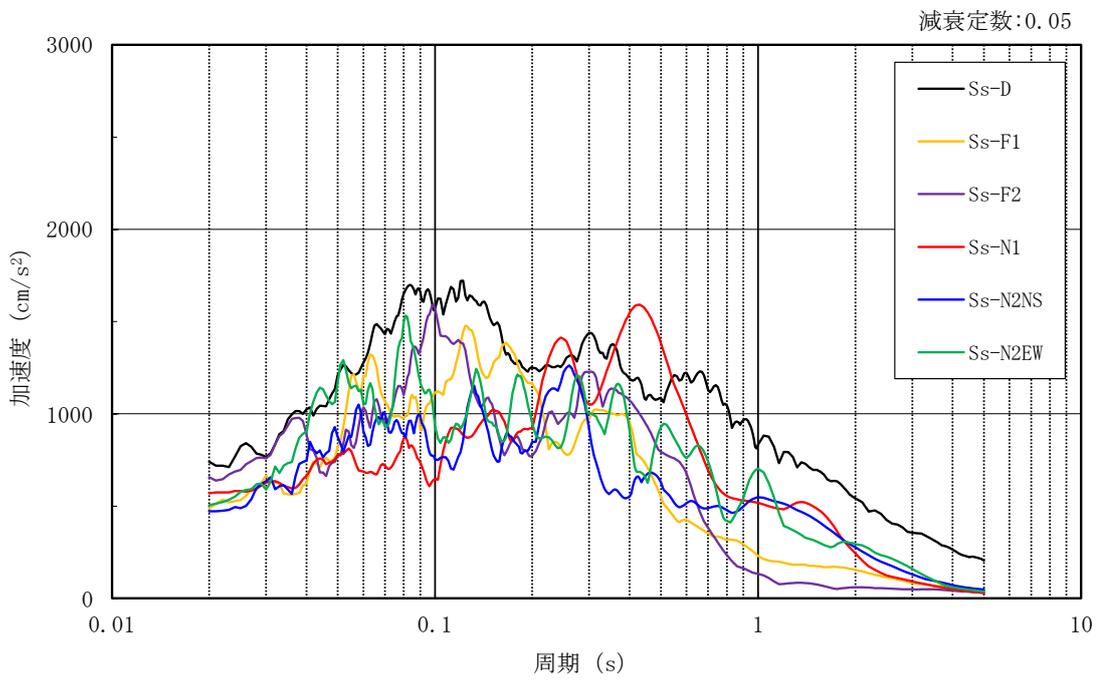


図 3-7 1次元地盤モデル



(a) N S 方向



(b) E W 方向

図 3-8 入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s , EL-0.3m)

3.5.2 解析方法

1号機タービン建物の地震応答解析には、解析コード「NUPP 4」を用いる。

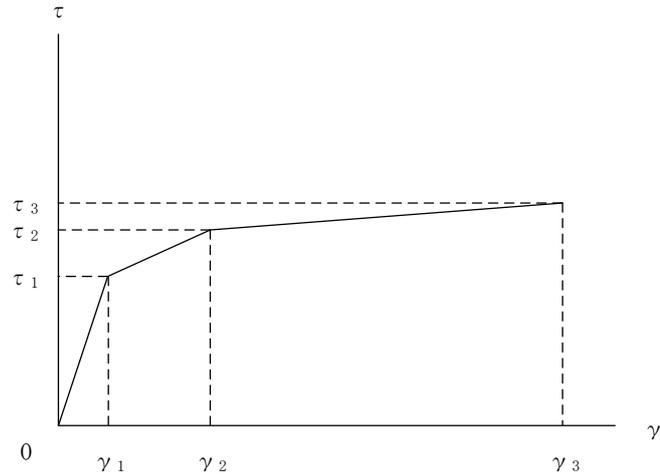
建物・構築物の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、地震応答解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3 建物・構築物の復元力特性

(1) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係（ $\tau - \gamma$ 関係）は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係を図 3-9 に示す。

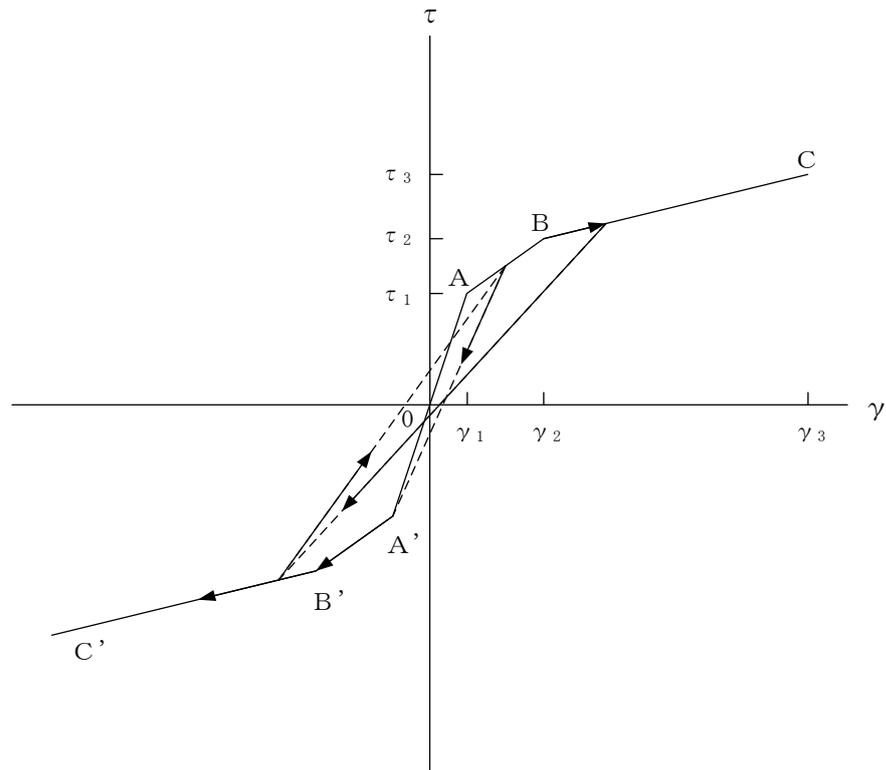


- τ_1 : 第 1 折点のせん断応力度
- τ_2 : 第 2 折点のせん断応力度
- τ_3 : 終局点のせん断応力度
- γ_1 : 第 1 折点のせん断ひずみ
- γ_2 : 第 2 折点のせん断ひずみ
- γ_3 : 終局点のせん断ひずみ (4.0×10^{-3})

図 3-9 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係

(2) 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、最大点指向型モデルとする。耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3-10 に示す。

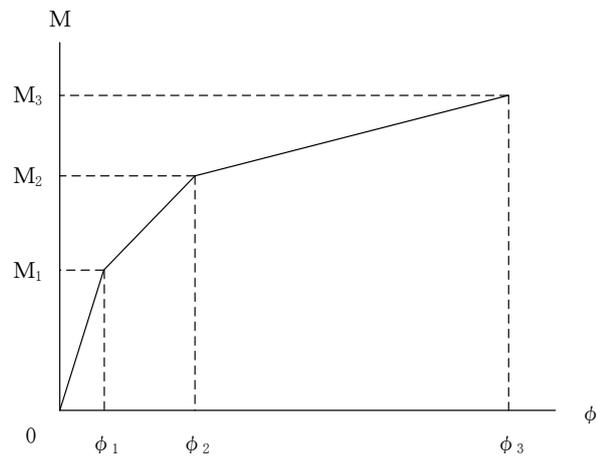


- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を越えていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。
- e. 安定ループは面積を持たない。

図 3-10 耐震壁のせん断応力度－せん断ひずみ関係の履歴特性

(3) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係)

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係 (M- ϕ 関係) は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、トリリニア型スケルトン曲線とする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係を図 3-11 に示す。

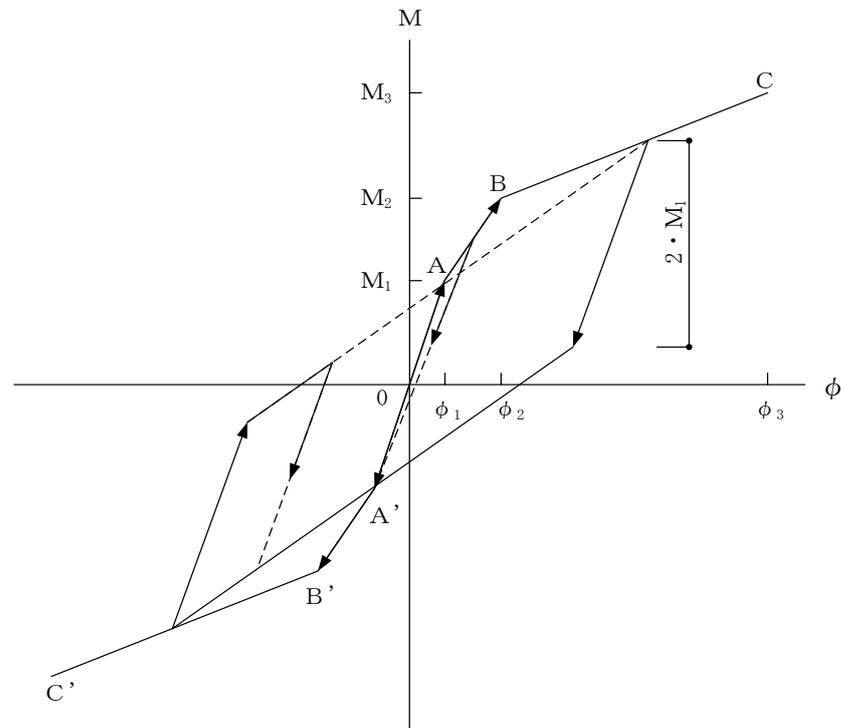


- M_1 : 第 1 折点の曲げモーメント
 M_2 : 第 2 折点の曲げモーメント
 M_3 : 終局点の曲げモーメント
 ϕ_1 : 第 1 折点の曲率
 ϕ_2 : 第 2 折点の曲率
 ϕ_3 : 終局点の曲率

図 3-11 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係

(4) 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、ディグレイディングトリリニア型モデルとする。耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性を図 3-12 に示す。



- a. 0-A 間 : 弾性範囲
- b. A-B 間 : 負側スケルトンが経験した最大点に向かう。ただし、負側最大点が第1折点を過ぎていなければ、負側第1折点に向かう。
- c. B-C 間 : 負側最大点指向型で、安定ループは最大曲率に応じた等価粘性減衰を与える平行四辺形をしたディグレイディングトリリニア型とする。平行四辺形の折点は、最大値から $2 \cdot M_1$ を減じた点とする。ただし、負側最大点が第2折点を過ぎていなければ、負側第2折点を最大点とする安定ループを形成する。また、安定ループ内部での繰り返しに用いる剛性は安定ループの戻り剛性に同じとする。
- d. 各最大点は、スケルトン上を移動することにより更新される。

図 3-12 耐震壁の曲げモーメントー曲率関係の履歴特性

(5) スケルトン曲線の諸数値

1号機タービン建物の各耐震壁について算定したせん断及び曲げスケルトン曲線の諸数値を表3-7～表3-10に示す。

表 3-7(1) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

T1-T5

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.65	2.23	4.14	0.180	0.540	4.00
23.8~15.9	1.68	2.27	4.22	0.183	0.550	4.00
15.9~8.8	1.63	2.20	3.15	0.177	0.532	4.00
8.8~1.8	1.73	2.34	3.72	0.189	0.566	4.00

T6-T9(TA側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	—*					
23.8~21.1	—*					
21.1~15.9	1.62	2.18	3.53	0.176	0.529	4.00
15.9~8.8	1.70	2.30	3.20	0.185	0.556	4.00
8.8~1.8	1.78	2.40	2.98	0.194	0.581	4.00

T6-T9(TF側)

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	—*					
23.8~15.9	1.61	2.17	3.86	0.175	0.526	4.00
15.9~8.8	1.66	2.25	4.23	0.181	0.544	4.00
8.8~1.8	1.82	2.46	4.11	0.199	0.596	4.00

注記* : 線形部材

表 3-7(2) せん断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

T10-T12

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.63	2.19	4.14	0.177	0.531	4.00
23.8~15.9	1.74	2.35	3.99	0.190	0.569	4.00
15.9~8.8	1.68	2.26	3.80	0.183	0.548	4.00
8.8~1.8	1.78	2.40	3.99	0.193	0.580	4.00

表 3-8 セン断スケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (E W方向)

TA-TC

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.97	2.66	4.65	0.215	0.645	4.00
23.8~15.9	2.06	2.78	4.61	0.224	0.671	4.00
15.9~8.8	1.83	2.46	4.41	0.199	0.596	4.00
8.8~1.8	1.85	2.50	4.39	0.201	0.604	4.00

TD-TF

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
33.7~23.8	1.98	2.68	4.66	0.216	0.648	4.00
23.8~15.9	1.98	2.67	4.48	0.216	0.647	4.00
15.9~8.8	1.90	2.57	4.39	0.207	0.622	4.00
8.8~1.8	1.97	2.66	4.49	0.215	0.644	4.00

TG-TH

EL (m)	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
23.8~15.9	1.84	2.48	4.47	0.200	0.601	4.00
15.9~8.8	1.80	2.43	4.43	0.196	0.588	4.00
8.8~1.8	1.92	2.59	4.50	0.209	0.626	4.00

表 3-9(1) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (NS 方向)

T1-T5

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	0.203	0.328	0.425	6.16	62.0	1240
23.8~15.9	0.620	0.801	1.08	3.90	41.4	829
15.9~8.8	3.15	3.59	4.93	4.08	41.9	838
8.8~1.8	2.76	3.47	4.85	3.62	40.1	802

T6-T9 (TA側)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	—*					
23.8~21.1	—*					
21.1~15.9	0.183	0.272	0.344	14.1	179	3570
15.9~8.8	0.376	0.601	0.855	10.2	112	2250
8.8~1.8	0.296	0.447	0.636	10.1	111	2220

T6-T9 (TF側)

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	—*					
23.8~15.9	0.110	0.208	0.356	8.87	101	2020
15.9~8.8	0.904	1.27	1.92	4.48	52.6	1050
8.8~1.8	1.20	2.05	3.13	5.65	58.8	1180

注記* : 線形部材

表 3-9(2) 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (N S 方向)

T10-T12

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	0.254	0.357	0.457	5.56	57.6	1150
23.8~15.9	0.322	0.476	0.587	6.47	59.3	1190
15.9~8.8	0.741	0.993	1.36	5.28	57.5	1150
8.8~1.8	2.75	3.03	3.54	6.92	59.0	1180

表 3-10 曲げスケルトン曲線 (M-φ 関係) (E W 方向)

TA-TC

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	2.01	3.25	4.24	2.86	22.4	448
23.8~15.9	2.41	4.56	5.98	3.04	23.5	375
15.9~8.8	4.16	8.52	12.6	2.16	21.5	195
8.8~1.8	5.92	9.66	13.7	2.34	21.2	387

TD-TF

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
33.7~23.8	2.03	3.28	4.27	2.88	22.4	449
23.8~15.9	2.68	4.60	6.08	2.55	22.2	445
15.9~8.8	1.53	2.43	3.35	3.55	34.1	663
8.8~1.8	4.03	6.60	9.06	3.35	28.1	423

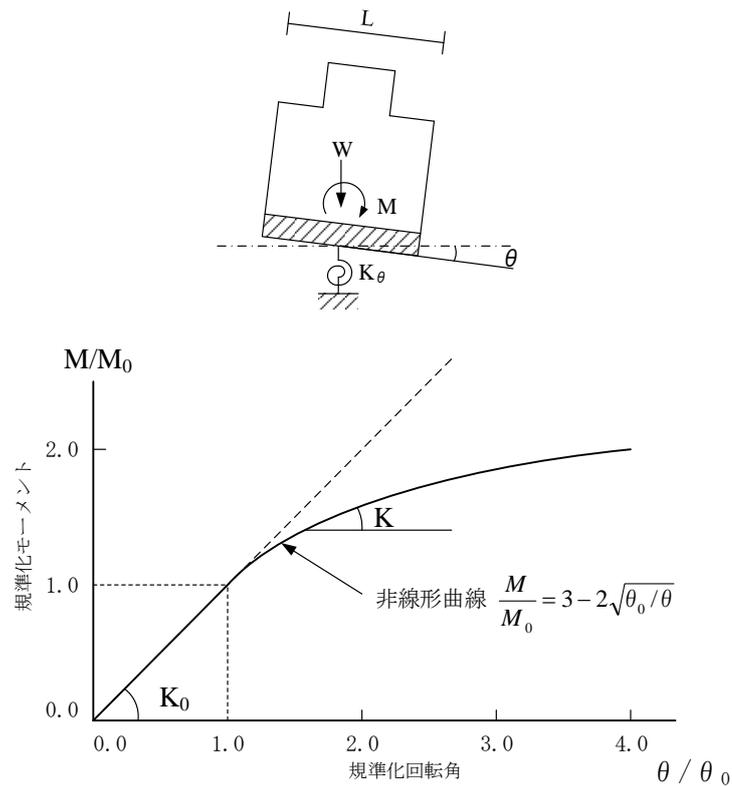
TG-TH

EL (m)	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
23.8~15.9	0.897	1.91	2.88	3.43	32.8	445
15.9~8.8	2.86	3.19	4.27	2.99	27.6	553
8.8~1.8	3.96	5.44	7.42	3.39	29.4	446

3.5.4 地盤の回転ばねの復元力特性

地盤の回転ばねに関する曲げモーメントー回転角の関係は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき，浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角の関係を図 3-13 に示す。

浮上り時の地盤の回転ばねの剛性は，図 3-13 の曲線で表され，減衰係数は，回転ばねの接線剛性に比例するものとして考慮する。



M : 転倒モーメント

M_0 : 浮上り限界転倒モーメント ($=W \cdot L / 6$)

θ : 回転角

θ_0 : 浮上り限界回転角

K_0 : 地盤の回転ばね定数 (浮上り前)

K : 地盤の回転ばね定数 (浮上り後)

W : 建物総重量

L : 建物基礎幅

図 3-13 地盤の回転ばねの曲げモーメントー回転角関係

3.5.5 材料物性の不確かさ等

解析においては、「3.5.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし、材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、建物応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち、地盤物性については、地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさ検討にあたっては、S波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）を考慮する。なお、建物剛性の不確かさについては、コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなること及び建物剛性として考慮していない壁の建物剛性への寄与については構造耐力の向上が見られることから、保守的に考慮しない。

材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケースを表3-11に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表3-12に示す。

表3-11 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース2 (地盤物性 $+\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $+\sigma$ (+10%, +20%) *	
ケース3 (地盤物性 $-\sigma$)	設計基準強度	標準地盤 $-\sigma$ (-10%, -20%) *	
ケース4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

注記*：VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤のS波速度 V_s の不確かさを設定する。

表 3-12 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

層番号	地盤の S 波速度 V_s (m/s)		
	基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	127	153	102
岩盤③	1600	1760	1440
岩盤④	1950	2145	1755
岩盤⑤	2000	2200	1800
岩盤⑥	2350	2585	2115

3.6 評価方法

1号機タービン建物の波及的影響の評価は、基準地震動 S_s における質点系モデルの地震応答解析結果を用い、以下のとおり評価する。

なお、以下の評価には、材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1 構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は、質点系モデルによる地震応答解析を行い、応答せん断ひずみを算定し、最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

3.6.2 相対変位による評価方法

相対変位による評価は、「3.5 解析方法」に示す1号機タービン建物の地震応答解析モデルによる解析結果とVI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」における地震応答解析結果から、地震動毎に最大応答変位の和を算定し、その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算定する際の基準点は、各建物の基礎底面レベルの地盤面とする。

また、衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には、当該床レベルの上下質点の応答変位を用いた線形補間により、当該床レベルの変位を算定する。

さらに、上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には、各建物の時刻歴応答変位による相対変位が、許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動 S_s に対する建物の最大応答せん断ひずみを表 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大応答せん断ひずみは、 1.54×10^{-3} (T10-T12 軸, EL 23.8m~EL 15.9m, NS 方向, S_s-D) である。また、材料物性の不確かさを考慮した場合の最大応答せん断ひずみは、最大で 1.73×10^{-3} (T10-T12 軸, EL 23.8m~EL 15.9m, NS 方向, ケース 2, S_s-D) であり、いずれの場合においても許容限界 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

表 4-1 建物の最大応答せん断ひずみ

(単位: $\times 10^{-3}$)

ケース 方向	ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容限界
NS	1.54 (S_s-D)	1.73 (S_s-D)	1.36 (S_s-D)	1.63 (S_s-D)	4.0
EW	0.33 (S_s-D)	0.36 (S_s-D)	0.29 (S_s-F2)	0.34 (S_s-D)	4.0

注: () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 S_s-D , S_s-F1 , S_s-F2 , S_s-N1 , S_s-N2 NS 及び S_s-N2 EW に対して実施。

4.2 相対変位による評価結果

基準地震動 S_s に対する 1 号機タービン建物及び制御室建物間の NS 方向の最大相対変位を表 4-2 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-1 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大相対変位は、EL 22.05m で 23.41mm ($S_s - D$) である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、24.48mm (ケース 2, $S_s - D$) であり、許容限界 (50mm) を超えないことを確認した。

表 4-2 1 号機タービン建物と制御室建物の最大相対変位
(NS 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

1 号機タービン建物		制御室建物		ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
*	22.05	①	22.05	23.41 ($S_s - D$)	24.48 ($S_s - D$)	21.15 ($S_s - D$)	24.19 ($S_s - D$)	50

注 : () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2NS$ 及び $S_s - N2EW$ に対して実施。

注記* : 制御室建物の質点① (EL 22.05m) の応答変位に加算する 1 号機タービン建物の応答変位は、1 号機タービン建物の上下質点間 (EL 23.8m~EL 15.9m) で線形補間して算定。

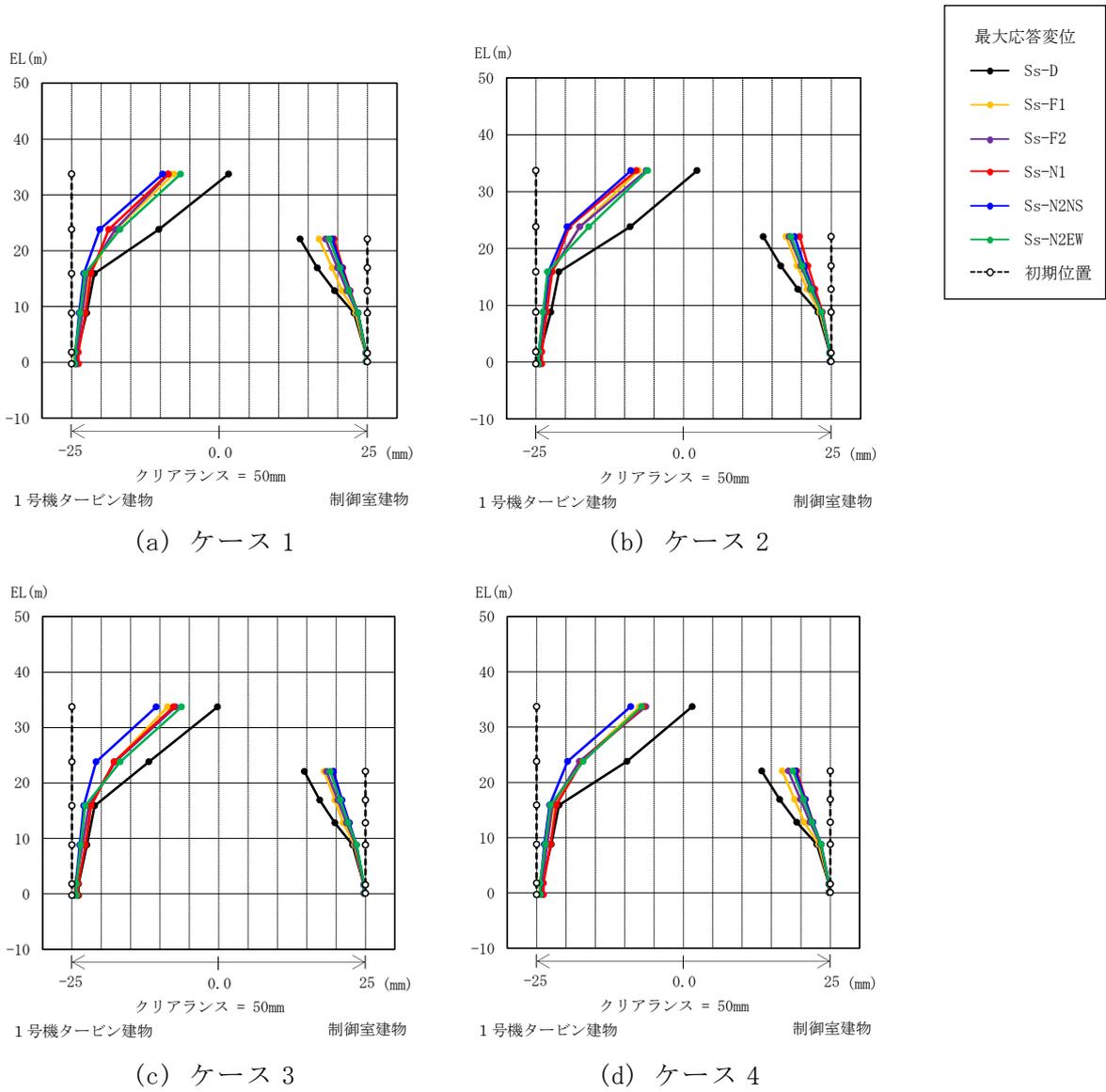


図 4-1 1号機タービン建物と制御室建物の最大応答変位とクリアランス
(NS方向)

基準地震動 S_s に対する 1 号機タービン建物及び制御室建物間の E W 方向の最大相対変位を表 4-3 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-2 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大相対変位は、EL 22.05m で 15.34mm ($S_s - D$) である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、15.51mm (ケース 4, $S_s - D$) であり、許容限界 (50mm) を超えないことを確認した。

表 4-3 1 号機タービン建物と制御室建物の最大相対変位
(E W 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

1 号機タービン建物		制御室建物		ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
*	22.05	①	22.05	15.34 ($S_s - D$)	15.43 ($S_s - D$)	14.60 ($S_s - D$)	15.51 ($S_s - D$)	50

注 : () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F 1$, $S_s - F 2$, $S_s - N 1$, $S_s - N 2 N S$ 及び $S_s - N 2 E W$ に対して実施。

注記* : 制御室建物の質点① (EL 22.05m) の応答変位に加算する 1 号機タービン建物の応答変位は、1 号機タービン建物の上下質点間 (EL 23.8m~EL 15.9m) で線形補間して算定。

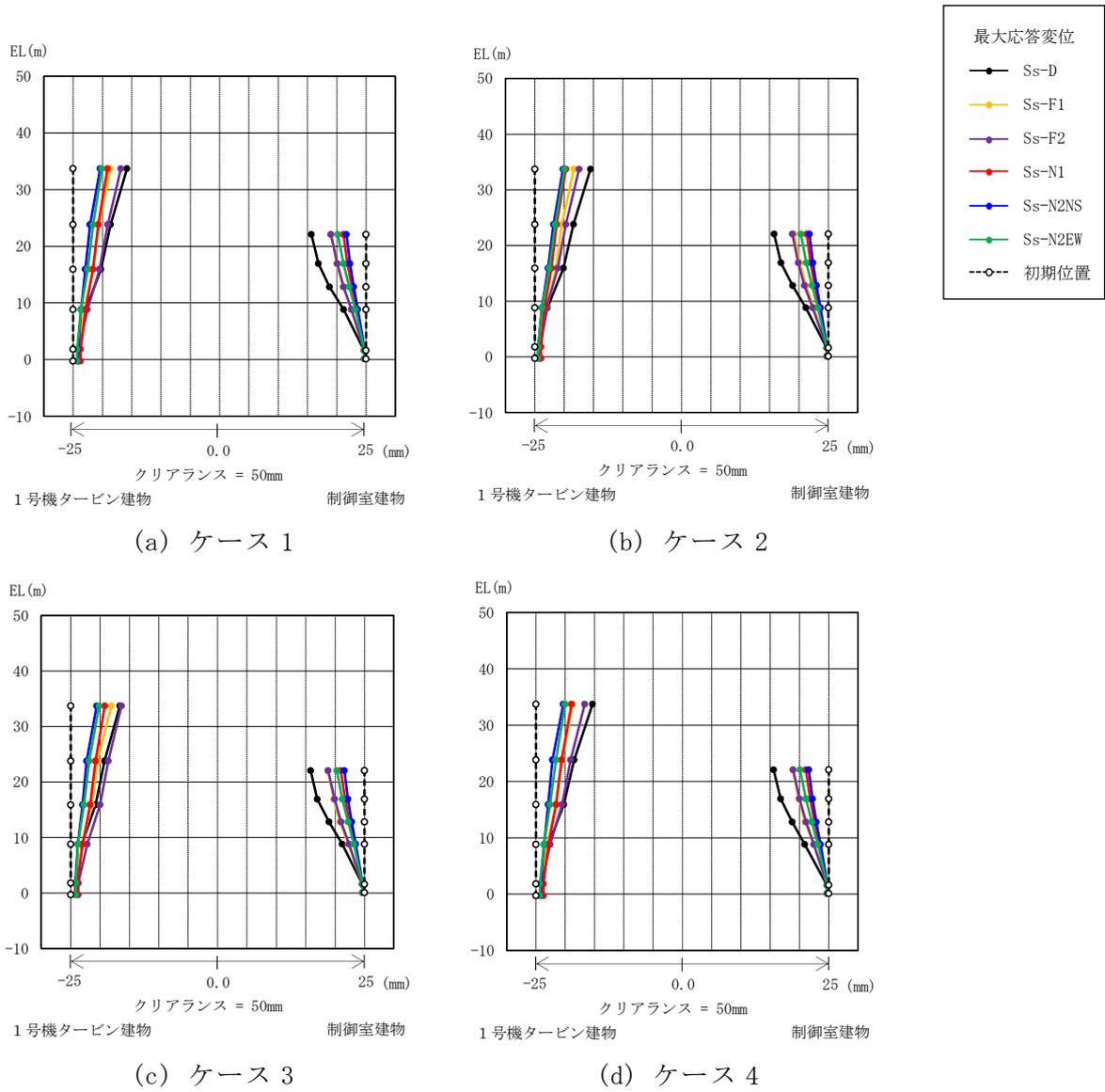


図 4-2 1号機タービン建物と制御室建物の最大応答変位とクリアランス (E W方向)

基準地震動 S_s に対する 1 号機タービン建物及びタービン建物間の EW 方向の最大相対変位を表 4-4 に示す。また、各建物の最大応答変位とクリアランスを図 4-3 に示す。

その結果、ケース 1 (工認モデル) の最大相対変位は、EL 33.7m で 23.20mm ($S_s - D$) である。

材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は、ケース 1 と同一のレベルで、23.90mm (ケース 4, $S_s - D$) であり、許容限界 (100mm) を超えないことを確認した。

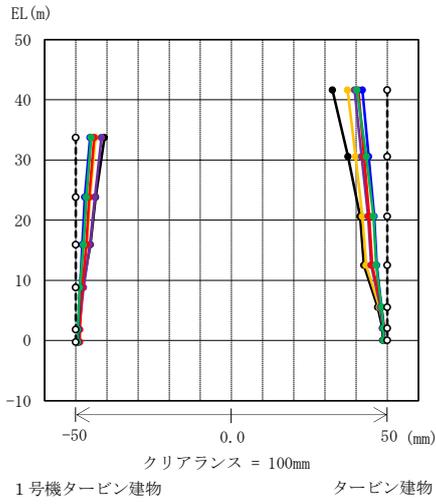
表 4-4 1 号機タービン建物とタービン建物の最大相対変位
(EW 方向, 絶対値和)

(単位 : mm)

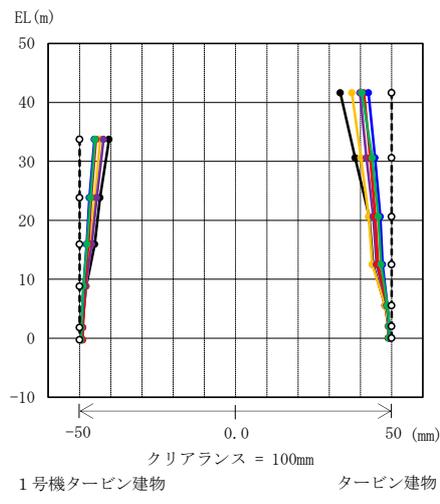
1 号機タービン建物		タービン建物		ケース 1 (工認モデル)	ケース 2	ケース 3	ケース 4	許容 限界
質点 番号	EL (m)	質点 番号	EL (m)					
①, ⑤	33.7	*	33.7	23.20 ($S_s - D$)	22.51 ($S_s - D$)	23.04 ($S_s - D$)	23.90 ($S_s - D$)	100

注 : () 内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は、基準地震動 $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$, $S_s - N1$, $S_s - N2NS$ 及び $S_s - N2EW$ に対して実施。

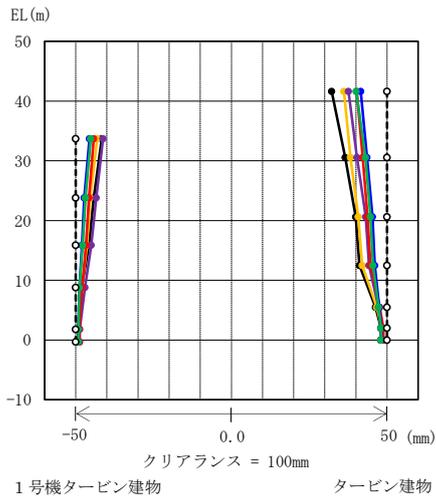
注記* : 1 号機タービン建物の質点①及び⑤ (EL 33.7m) の応答変位に加算するタービン建物の応答変位は、タービン建物の上下質点間 (EL 41.6m~EL 30.55m) で線形補間して算定。



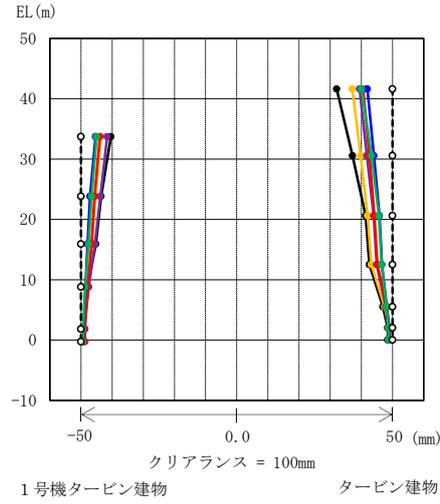
(a) ケース 1



(b) ケース 2



(c) ケース 3



(d) ケース 4

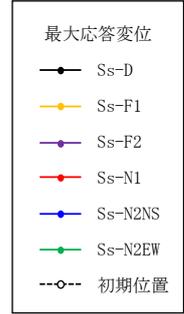


図 4-3 1号機タービン建物とタービン建物の最大応答変位とクリアランス (EW方向)