

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-024-3 改10
提出年月日	2020年6月17日

下位クラス施設の波及的影響の検討について

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 波及的影響に関する評価方針	2
2.1 基本方針	2
2.2 下位クラス施設の抽出方法	4
2.3 影響評価方法	4
2.4 プラント運転状態による評価対象の考え方	4
3. 事象検討	6
3.1 別記 2 に記載された事項に基づく事象検討	6
3.2 地震被害事例に基づく事象の検討	7
3.2.1 被害事例とその要因の整理	7
3.2.2 追加考慮すべき事象の検討	7
3.3 津波，火災，溢水による影響評価	9
3.4 周辺斜面の崩壊による影響評価	9
4. 上位クラス施設の確認	10
5. 下位クラス施設の抽出及び影響評価方法	22
5.1 相対変位又は不等沈下による影響	22
5.2 接続部における相互影響	26
5.3 建屋内における損傷，転倒及び落下等による影響	34
5.4 建屋外における損傷，転倒及び落下等による影響	36
6. 下位クラス施設の検討結果	38
6.1 相対変位又は不等沈下による影響検討結果	38
6.1.1 抽出手順	38
6.1.2 下位クラス施設の抽出結果	38
6.1.3 影響評価結果	38
6.2 接続部における相互影響検討結果	49
6.2.1 抽出手順	49
6.2.2 接続部の抽出及び影響評価対象の選定結果	49
6.2.3 影響評価結果	49
6.3 建屋内における損傷，転倒及び落下等による影響検討結果	85
6.3.1 抽出手順	85
6.3.2 下位クラス施設の抽出結果	85
6.3.3 影響評価結果	85
6.4 建屋外における損傷，転倒及び落下等による影響検討結果	143
6.4.1 抽出手順	143
6.4.2 下位クラス施設の抽出結果	143
6.4.3 影響評価結果	143

添 付 資 料

- 添付資料 1-1 波及的影響評価に係る現地調査の実施要領
 - 添付資料 1-2 波及的影響評価に係る現地調査記録
 - 添付資料 2 海水ポンプ用天井クレーンの上位クラス施設への波及的影響評価について
 - 添付資料 3-1 原子力発電所における地震被害事例の要因整理
 - 添付資料 3-2 福島第二原子力発電所における地震被害事例の要因整理
 - 添付資料 4 周辺斜面の崩落等による施設への影響について
 - 添付資料 5 上位クラス施設に隣接する下位クラス施設の支持地盤について
 - 添付資料 6 設置予定施設に対する波及的影響評価手法について
 - 添付資料 7 5号機主排気筒の波及的影響について
 - 添付資料 8 5号機タービン建屋の波及的影響について
 - 添付資料 9 緊急時対策所に対する周辺建屋の波及的影響について
 - 添付資料 10 下位クラス施設の損傷等による機械的荷重の影響について
 - 添付資料 11 制御棒貯蔵ハンガ及びチャンネル着脱機の波及的影響について
-
- 参考資料 1-1 上位クラス電路に対する下位クラス施設からの波及的影響の検討について
 - 参考資料 1-2 上位クラス計装配管に対する下位クラス施設からの波及的影響（損傷・転倒・落下）の検討について
 - 参考資料 2 上位クラス施設と隔離されずに接続する下位クラスベント配管の閉塞影響について
 - 参考資料 3 設置変更許可時からの相違点について
 - 参考資料 4 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の抽出における先行 BWR プラントとの差異について

今回提出範囲

5号機主排気筒の波及的影響について

1. 概要

本資料はV-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、5号機主排気筒（以下「主排気筒」という。）が、その上位クラス施設である緊急時対策所（5号機原子炉建屋内緊急時対策所）、5号機原子炉建屋内緊急時対策所用無線連絡設備、5号機原子炉建屋内緊急時対策所用衛星電話設備、無線通信装置（5号機設置）、6号機非常用ディーゼル発電設備軽油タンク及びその基礎（以下「上位クラス施設」という。）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、上位クラス施設の有する機能が保持されることを確認するために、下位クラス施設である主排気筒を対象に、液状化に伴う地盤の不等沈下による影響を確認することで行う。

2. 基本方針

2.1 位置

主排気筒の設置位置を図2-1に示す。

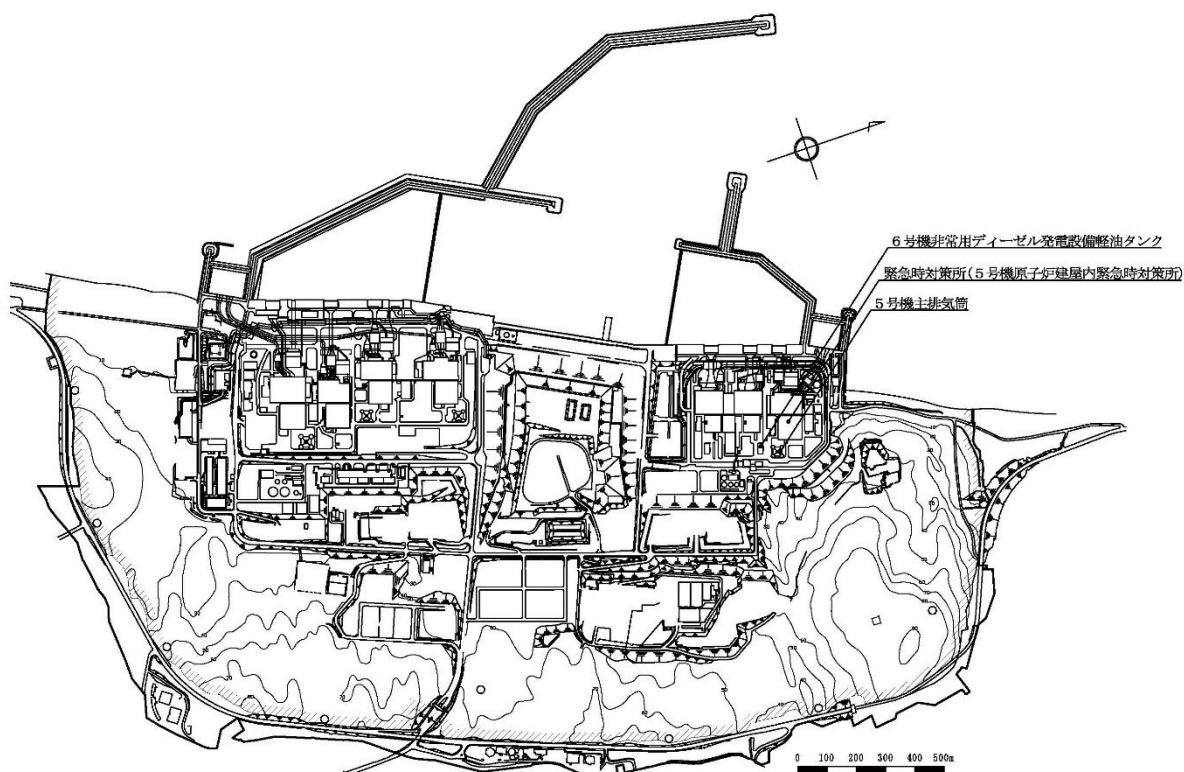


図2-1 主排気筒の設置位置

2.2 構造概要

主排気筒は、地上からの高さ 148.0m（内径 3.4m）の鋼製筒身で、高さ 140.0m（根開き 30.0m，頂部幅 7.5m）の鋼製鉄塔で支えられている鉄塔支持型排気筒である。また、基礎は、筒身部と 4 脚の鉄塔部を支える鉄筋コンクリート造の独立フーチング基礎で、相互に基礎ばりで連結されており、支持地盤である岩盤（西山層）上に、鉄筋コンクリート造の場所打ち杭（計 53 本）を介して設置されている。

なお、主排気筒基礎直下は、セメント系固化材による地盤改良が実施されており、この地盤改良土と支持層である西山層との間には古安田層が介在する。

主排気筒の概要図を図 2-2 に示す。

2.3 評価方針

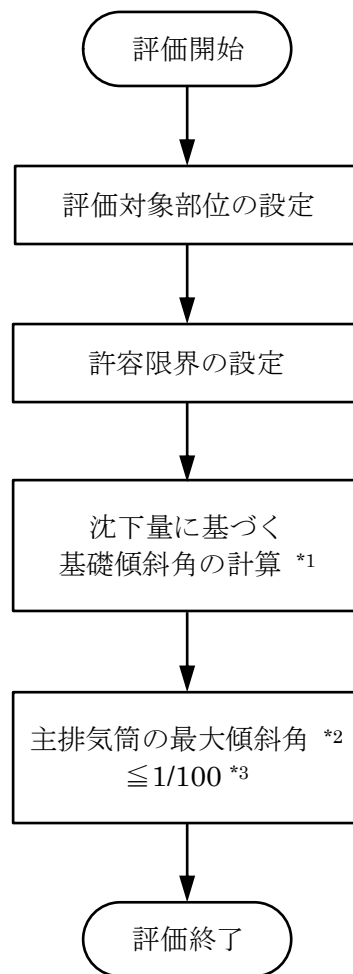
主排気筒は上位クラス施設と同じ運転状態を想定することから、重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

主排気筒の波及的影響の評価は、V-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、隣接する上位クラス施設への波及的影響の評価として行う。

具体的には、基準地震動 S_s に対して、液状化のおそれが否定できない古安田層に着目し、その液状化による沈下量を用いて求められる主排気筒の基礎傾斜角が、主排気筒の倒壊に到る傾斜角に達しないことを確認することで、波及的影響が生じないことを評価する。

この基礎傾斜角は、保守的な条件として、杭を無視し、かつ、古安田層の全層が液状化した状態の最大限の沈下量が、主排気筒基礎の一端にのみ生じたと仮定して評価する。

主排気筒の波及的影響の評価フローを図2-3に示す。



注記 *1 : 保守的な条件として、杭を無視し、かつ、古安田層の沈下量が主排気筒基礎の一端にのみに生じたと仮定した場合の基礎傾斜角。

*2 : 上記基礎傾斜角を上部構造の傾斜角と捉えて評価。

*3 : 表 3-2 による。

図 2-3 主排気筒の波及的影響の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

主排気筒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。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 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 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

主排気筒の波及的影響評価の対象部位は、主排気筒全体とする。

評価方針としては、まず地盤のせん断ひずみと液状化に伴う体積ひずみの関係*1（図 3-1）から、古安田層に相当する相対密度における最大限の体積ひずみを求め、次に古安田層の全層にその最大限の体積ひずみが生じたと仮定し沈下量を求める。更に、その沈下量が基礎の一端にのみ生じると仮定した場合に、主排気筒が倒壊に到るような基礎傾斜角となっていないことを確認する。

3.2 地盤条件

主排気筒が立地する地盤の地質構成を表 3-1 に示す。

この地質構成は、既に認可された工事計画の添付書類*2 で適用実績がある地盤構成であり、T. M. S. L. -134.0m の解放基盤表面以浅が西山層で、それ以浅が古安田層、更に、表層付近が埋戻し土（地盤改良土）となっている。

表 3-1 主排気筒が立地する地盤の地質構成

標高 T. M. S. L. (m)	地質	備考
12.0	—	
0.0	埋戻し土 (地盤改良土)	
-9.0	古安田層	古安田層全層を液状化層と仮定
-60.0	西山層	▼解放基盤表面
-100.0		
-134.0		
∞	椎谷層	

注記*1: Ishihara, K. and Yoshimine, M. 1992. " EVALUATION OF SETTLEMENTS IN SAND DEPOSITS FOLLOWING LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES" Soils and Foundations, Vol32, No.1, 173-188.

*2: 柏崎刈羽原子力発電所 5 号機『工事計画届出書』（総官発 20 第 331 号 平成 21 年 2 月 20 日）参照。

3.3 許容限界

主排気筒の傾斜角の許容限界は、建築基準法に対応した「評定・評価を踏まえた高層建築物の構造設計実務」（(財)日本建築センター，平成14年）を参考に設定する。

波及的影響の評価における許容限界を表3-2に示す。

表3-2 波及的影響の評価における許容限界

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
上位クラス施設に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	主排気筒全体	最大傾斜角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	最大傾斜角 1/100 *

注記 *：「評定・評価を踏まえた高層建築物の構造設計実務」（(財)日本建築センター，平成14年）を参考とする。

3.4 評価方法

主排気筒の波及的影響の評価方法は、地盤改良土と支持層である西山層との間に介在する古安田層の液状化による影響が否定できないことから、液状化に伴う古安田層の最大限の沈下量が、主排気筒基礎の一端にのみ生じたと仮定した場合の主排気筒の基礎傾斜角を用いて、主排気筒全体が倒壊に到らないことを確認することで行う。

最大限の沈下量については、図 3-1 に示す最大せん断ひずみと体積ひずみの関係を用いて設定する。具体的には、まず、古安田層の相対密度をその砂層の調査結果*から保守的に 80%と仮定し、次に、図 3-1 の 80%における砂質土の体積ひずみの最大値を踏まえ、古安田層の体積ひずみを 2.0%と設定した時の沈下量とする。

以上より、沈下量 u_z 並びにその沈下量 u_z に基づく基礎傾斜角 θ_z は、図 3-2 に示すとおり主排気筒基礎の根開きをLとすれば、下式で算定できる。

$$u_z = h_o \cdot \varepsilon_{\max} \quad \theta_z = \frac{u_z}{L}$$

- ここで、
- u_z : 沈下量 (mm)
 - h_o : 古安田層の全層厚 (=9.0m)
 - ε_{\max} : 相対密度 $Dr=80\%$ での最大限の体積ひずみ (=保守的に2.0%)
 - θ_z : 基礎傾斜角
 - L : 排気筒基礎の根開き (=30.0m)

注記 * : 発電用原子炉設置変更許可申請 (原管発官 25 第 192 号) に係る審査資料「KK67-0056 実用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準」への適合状況について」の「添付資料 1.0.2 可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートについて」のうち「別紙 34 揺すり込み沈下の影響評価」参照

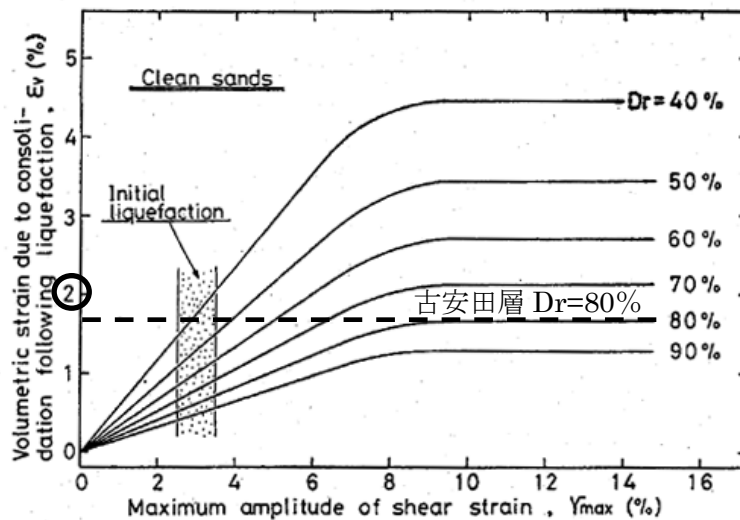
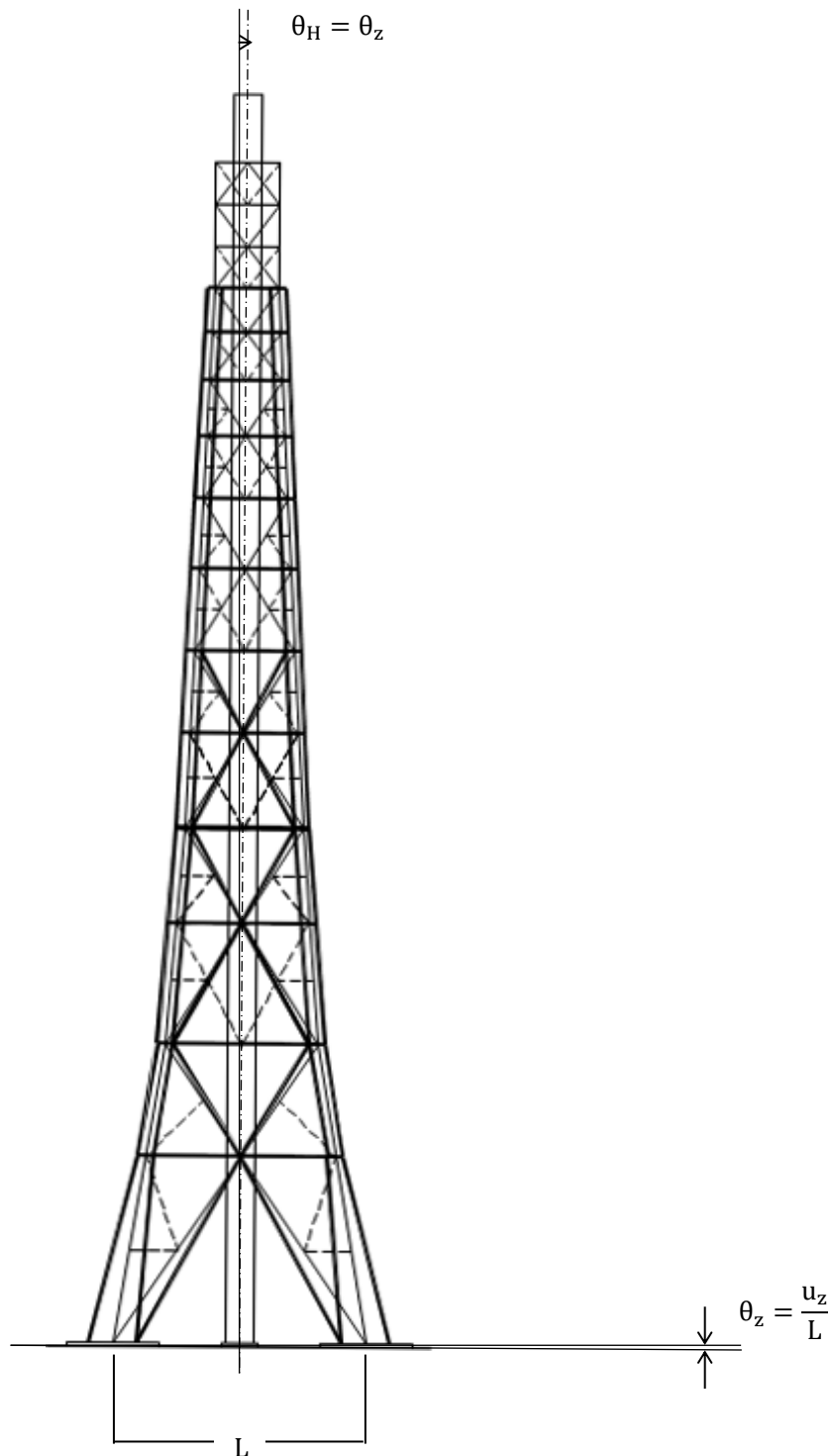


図 3-1 砂質土のせん断ひずみと液状化に伴う圧密による体積ひずみの関係 (Ishihara, K. and Yoshimine, M. の図に古安田層条件を加筆)



液状化層(古安田層)の最大限の沈下量が、主排気筒基礎の一端にのみ生じたと仮定した場合の主排気筒の基礎傾斜角 θ_z を上部構造の最大傾斜角 θ_H と捉えて評価する。

図 3-2 主排気筒の傾斜角の考え方

4. 評価結果

地盤改良土と支持層である西山層との間に介在する古安田層が液状化した状態における最大限の沈下量及びその沈下量から求めた最大傾斜角を表 4-1 に示す。

表 4-1 古安田層の液状化を考慮した沈下量及び最大傾斜角

	沈下量 (mm)	最大傾斜角	許容限界
最大値	180	1/166	1/100

5. まとめ

以上より、液状化により古安田層が最大限に沈下したと仮定しても、主排気筒は、倒壊に至ることはなく、上位クラス施設へ波及的影響を与えることはない。

別紙 1 5号機主排気筒の基準地震動 S_s による応答変位について

1. 概要

本資料は、5号機主排気筒（以下「主排気筒」という。）が、上位クラス施設に対して、波及的影響を及ぼさないことを確認するために、基準地震動 S_s による主排気筒の変形性能の評価を行う。

2. 構造概要

主排気筒は、地上からの高さ 148.0m（内径 3.4m）の鋼製筒身で、高さ 140.0m（根開き 30.0m、頂部幅 7.5m）の鋼製鉄塔で支えられている鉄塔支持型排気筒である。

主排気筒の概要図を図 2-1 に示す。

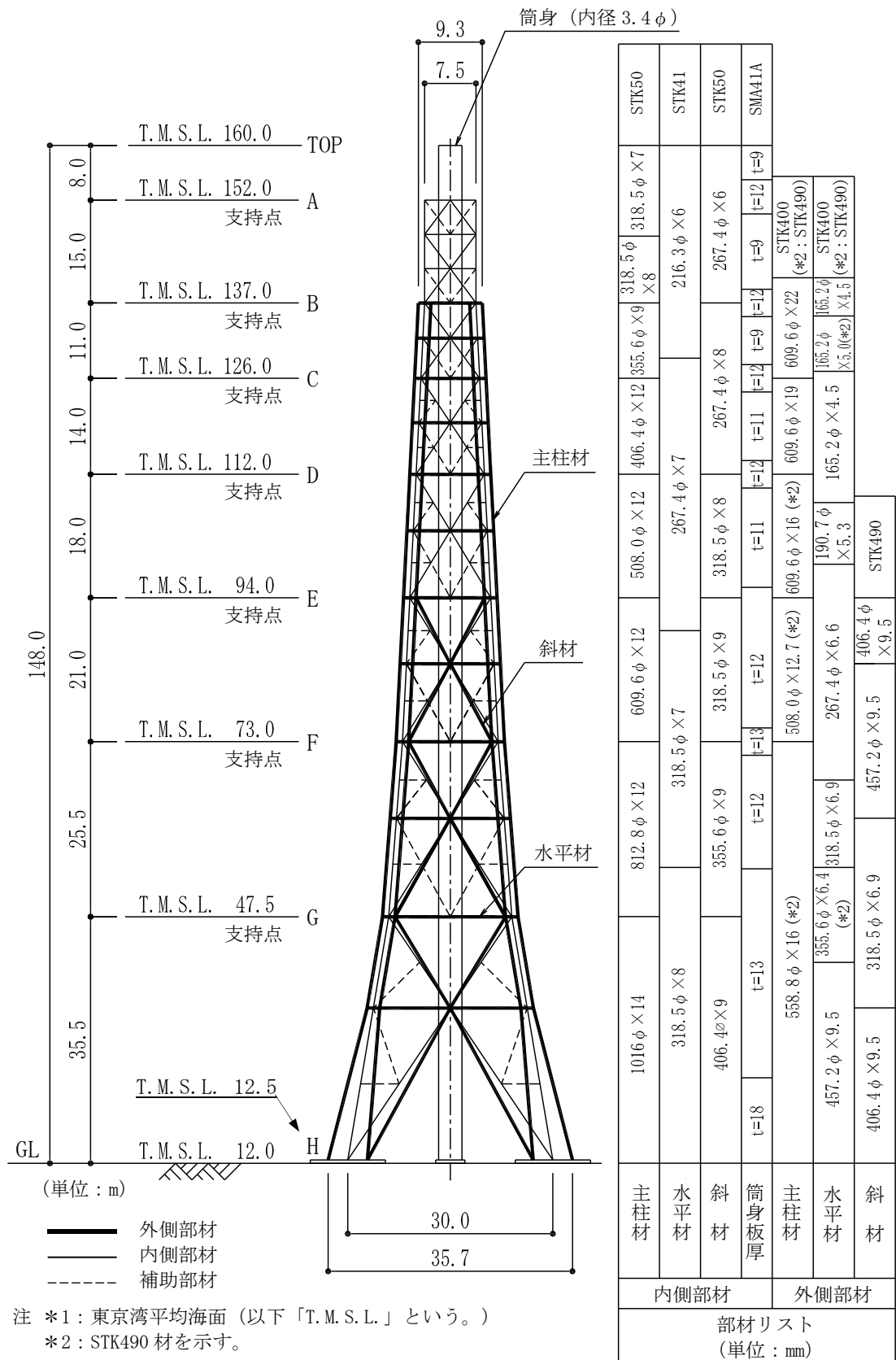


図 2-1 主排気筒の概要図

3. 評価方針

主排気筒の基準地震動 S_s （以下、「 S_s 地震時」という。）による地震応答解析を実施して、主排気筒が倒壊するような変形角に至らないことを確認する。

具体的には、「4.2 入力地震動」及び「4.3 地震応答解析モデル」に示すとおり、古安田層の液状化による影響を考慮した地盤の有効応力解析から求まる地盤応答波を入力地震動として、主排気筒を3次元フレームモデルとした地震応答解析モデルによる弾性時刻歴応答解析を行うこととする。その結果から得られた応答変位のうち、主排気筒の頂部の最大水平変位に基づき、主排気筒の全体変形角を求めて評価する。

主排気筒の S_s 地震に対する波及的影響の評価フローを図 3-1 に示す。

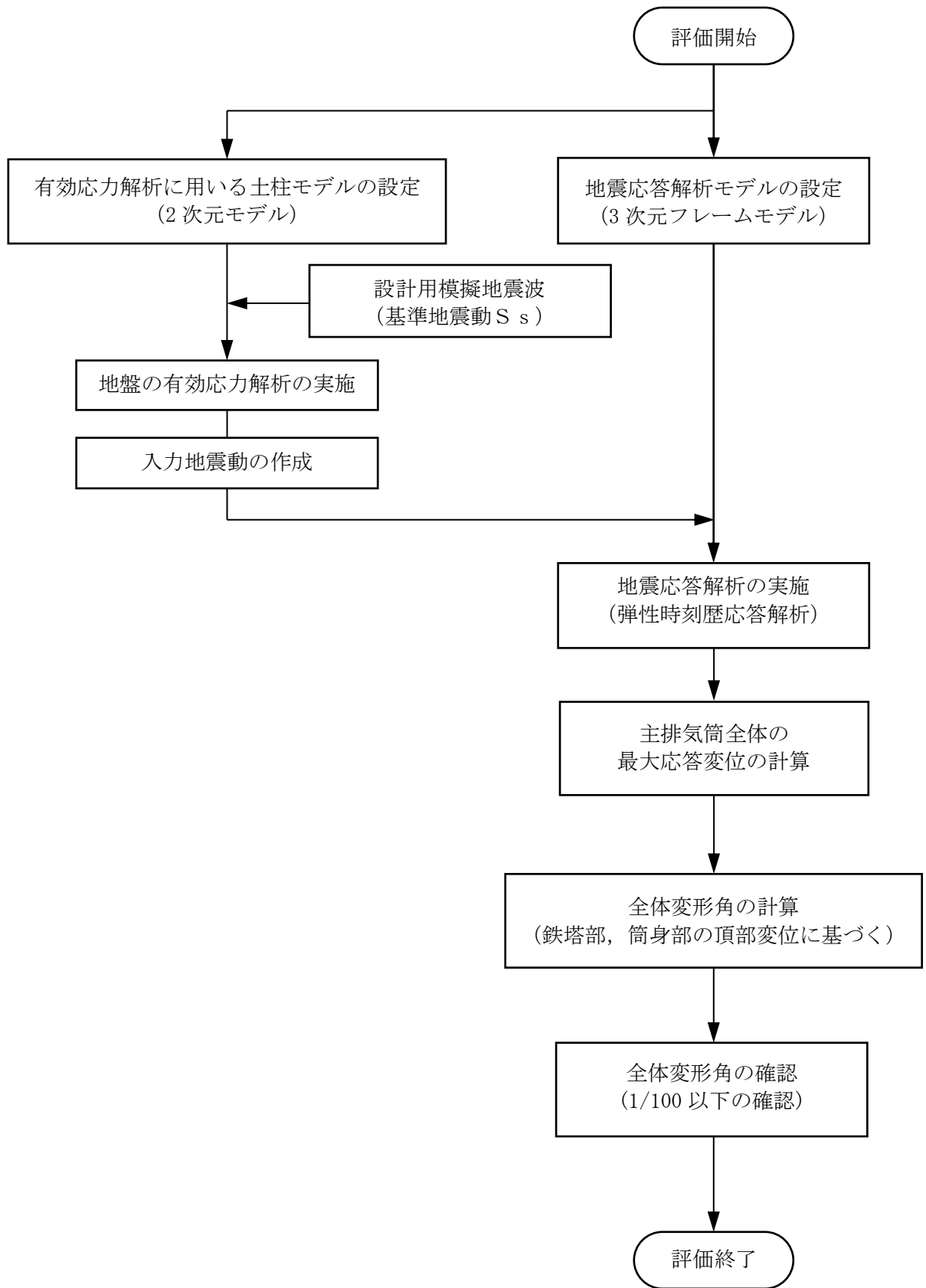


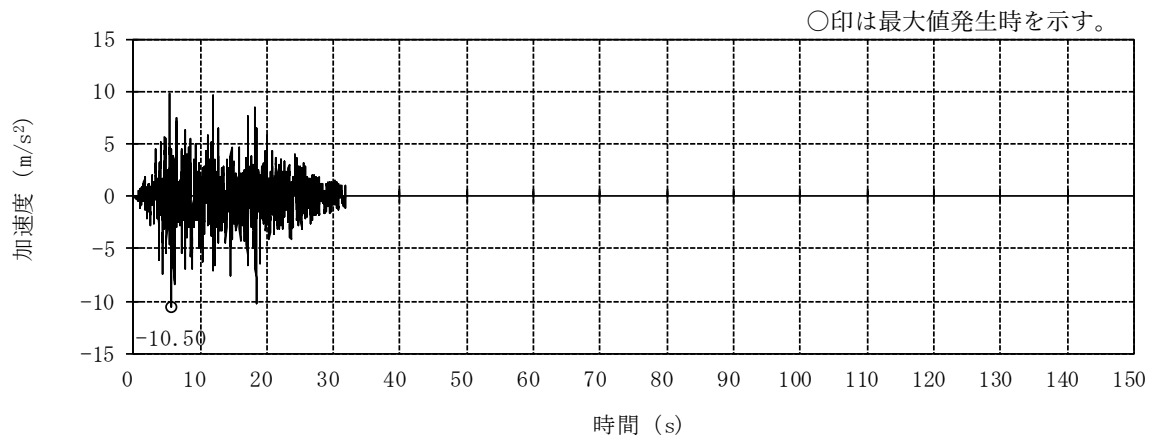
図 3-1 主排気筒の S_s 地震に対する波及的影響の評価フロー

4. 評価条件

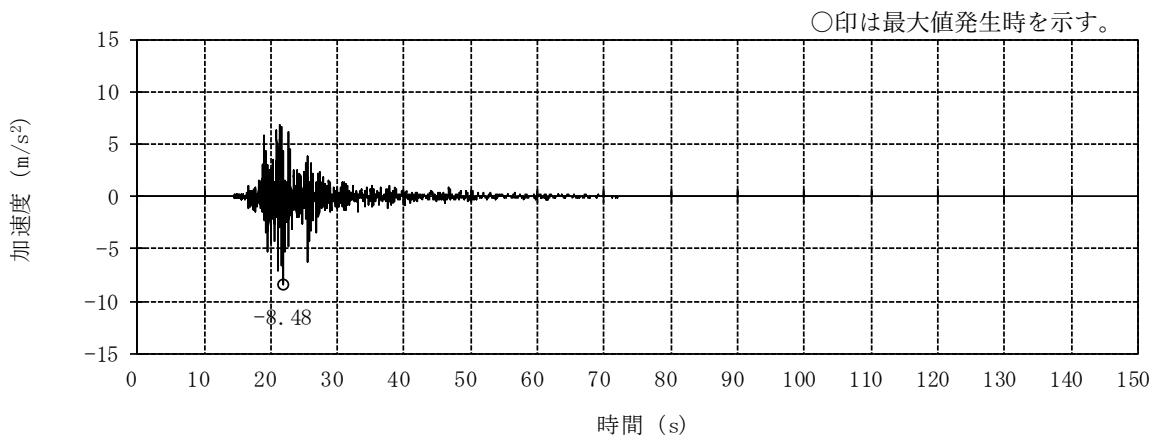
4.1 設計用模擬地震波

主排気筒の地震応答解析に用いる設計用模擬地震波は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」に示す解放基盤表面レベルに想定する設計用模擬地震波のうち、基準地震動 S_s として作成した設計用模擬地震波を用いる。

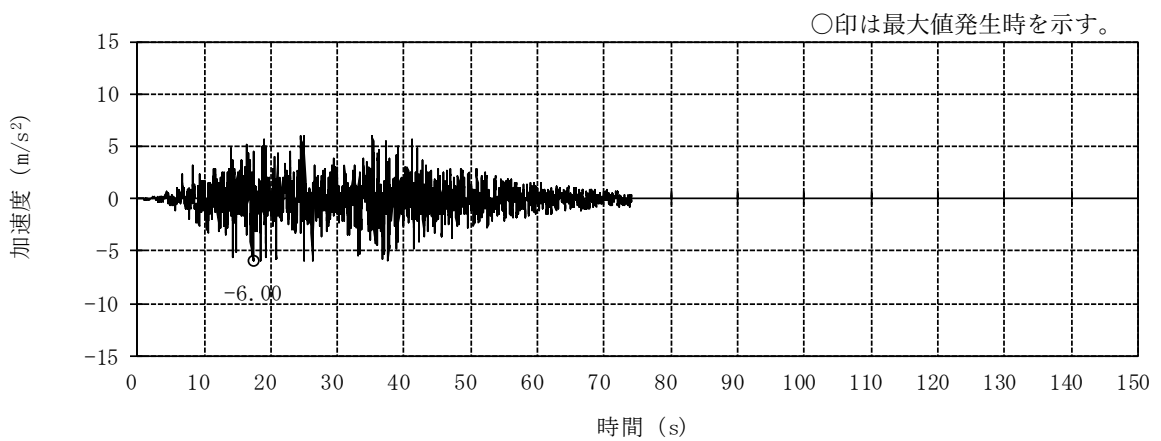
基準地震動 S_s として作成した設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図4-1～図4-4に示す。



(a) Ss-1H

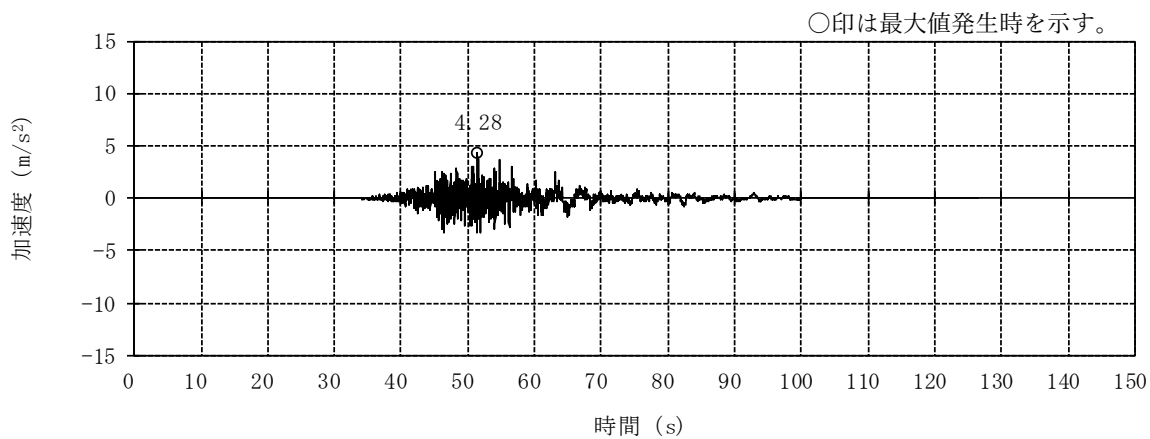


(b) Ss-2NS

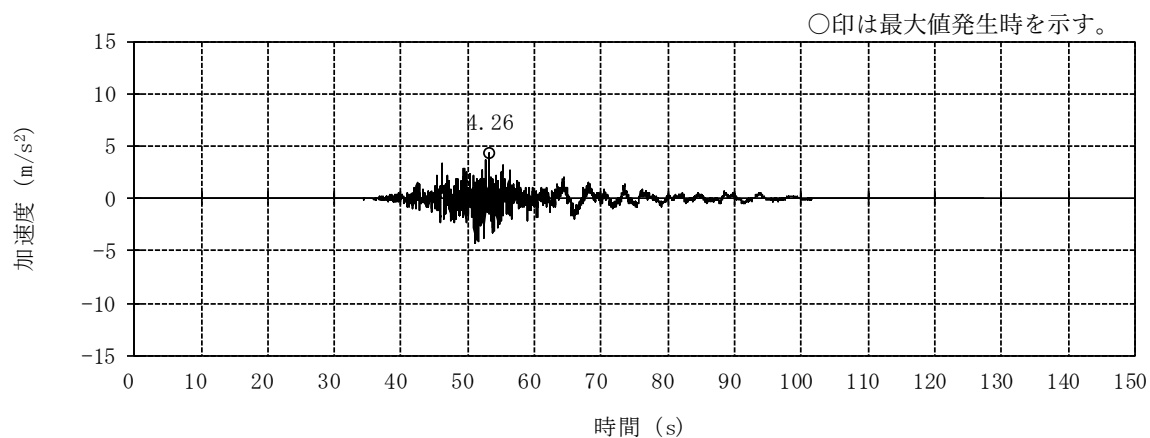


(c) Ss-3H

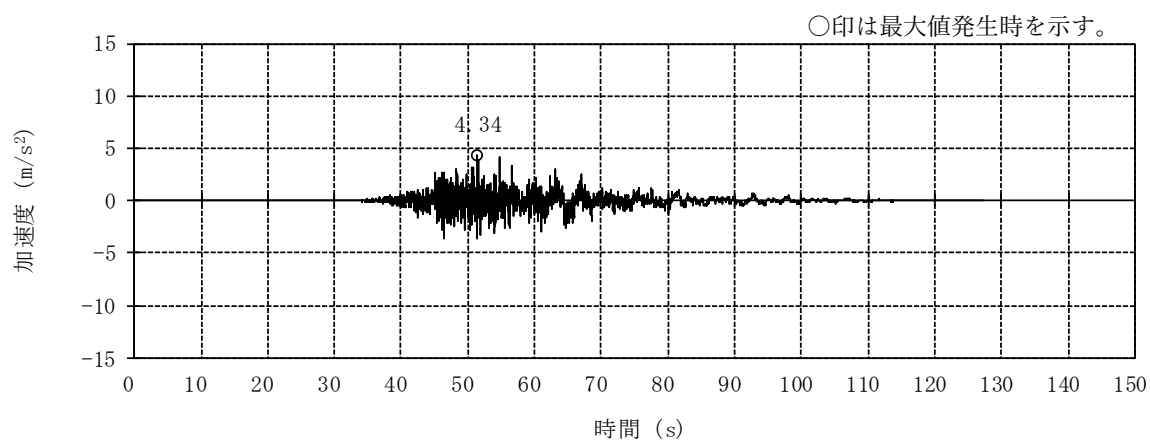
図 4-1 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向) (1/3)



(d) Ss-4NS

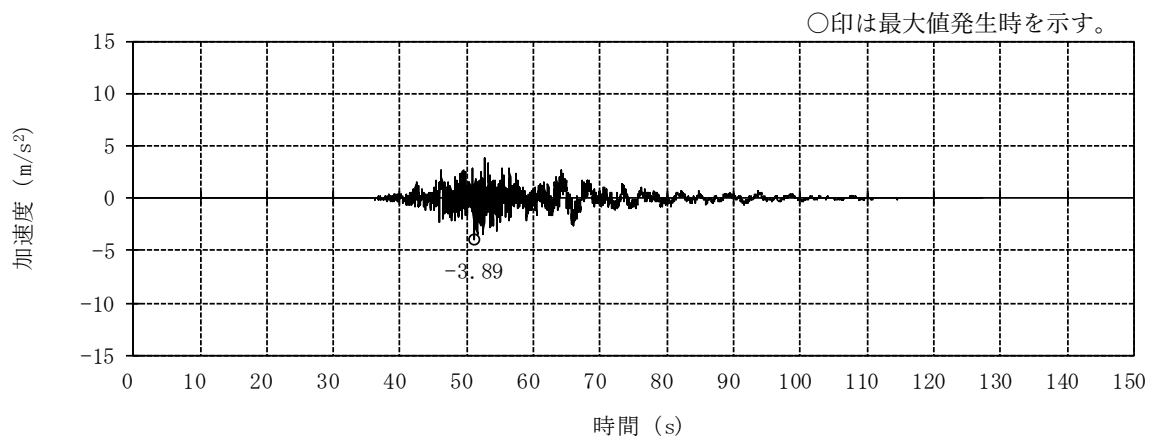


(e) Ss-5NS

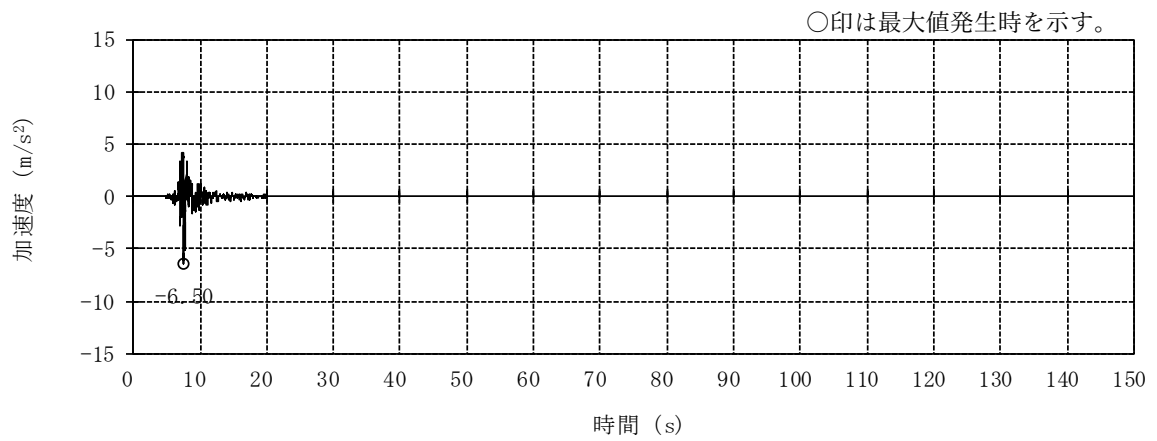


(f) Ss-6NS

図 4-1 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向) (2/3)

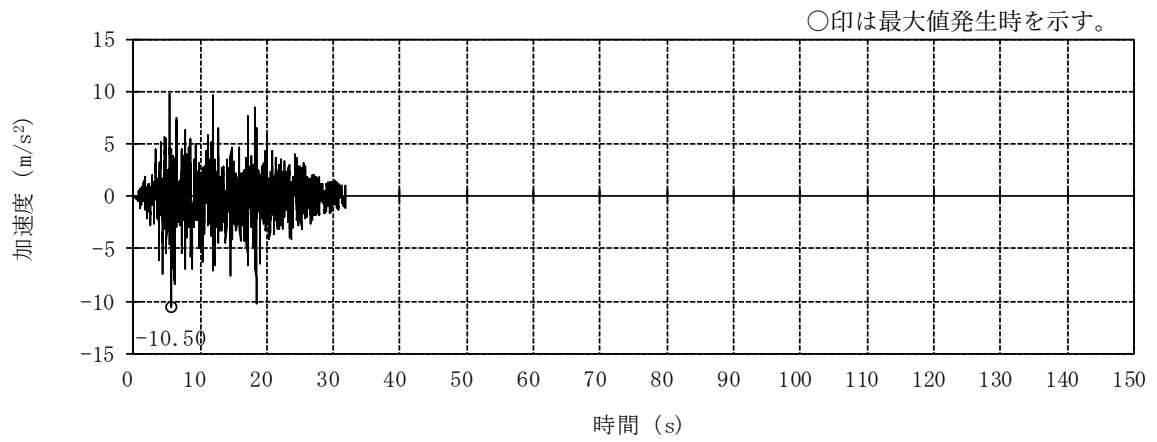


(g) S_s-7NS

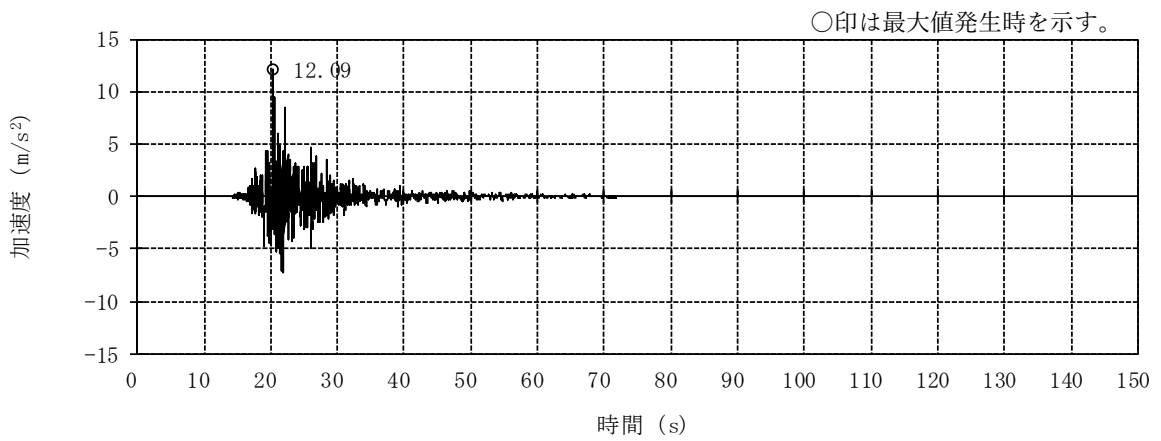


(h) S_s-8H

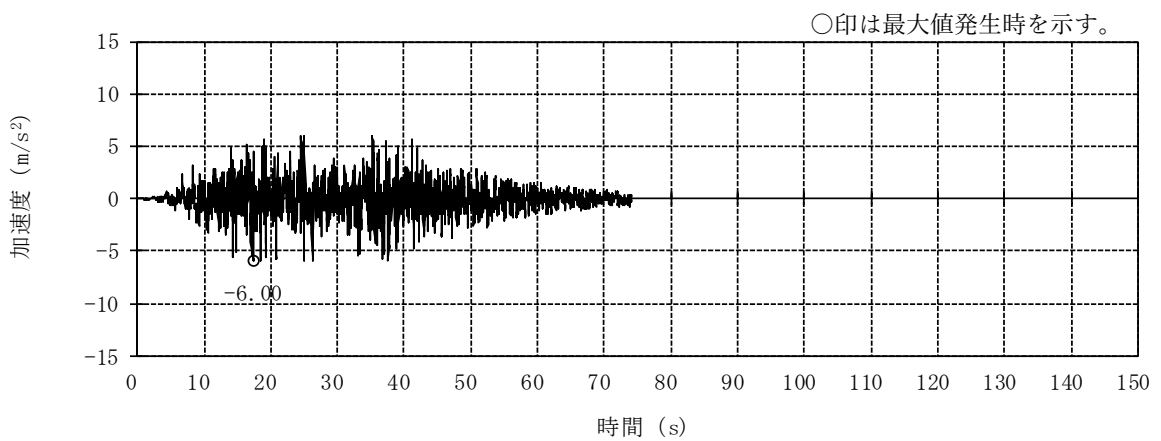
図 4-1 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向) (3/3)



(a) Ss-1H

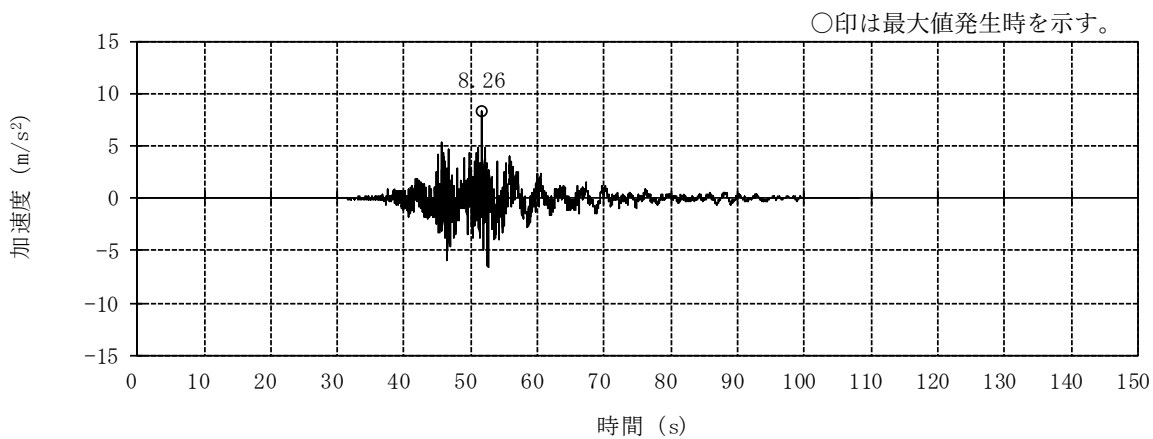


(b) Ss-2EW

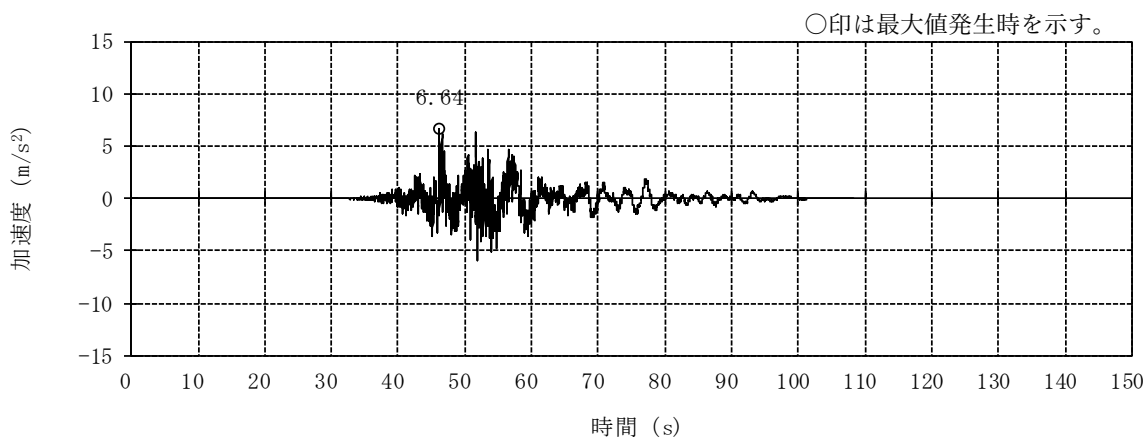


(c) Ss-3H

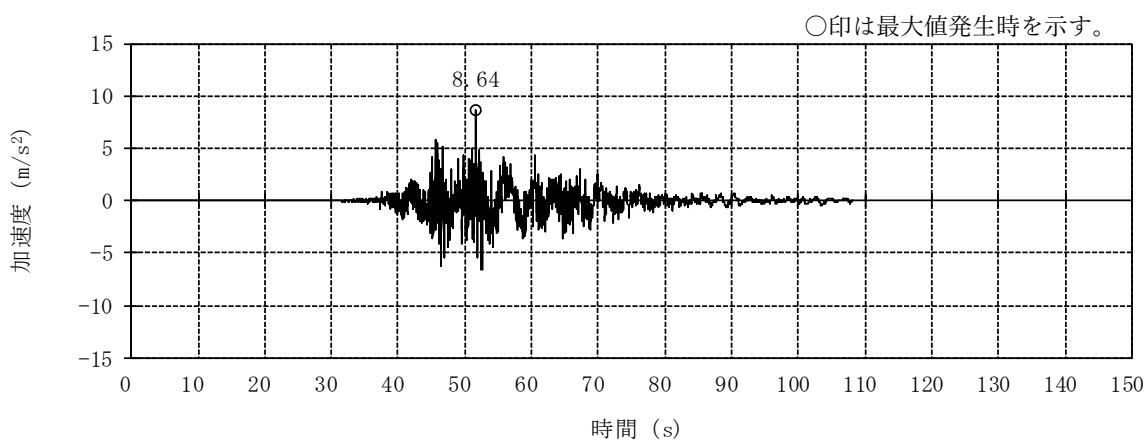
図 4-2 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s, EW 方向) (1/3)



(d) S_s-4EW

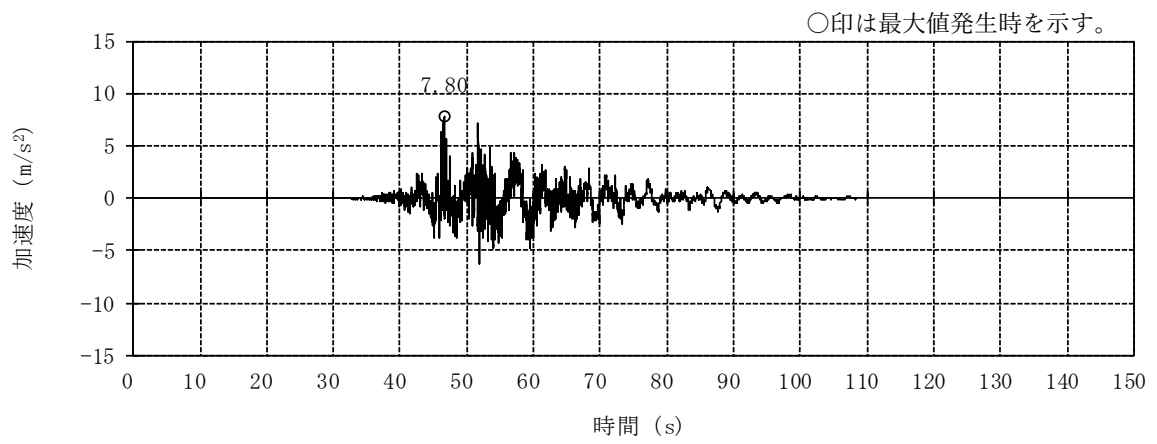


(e) S_s-5EW

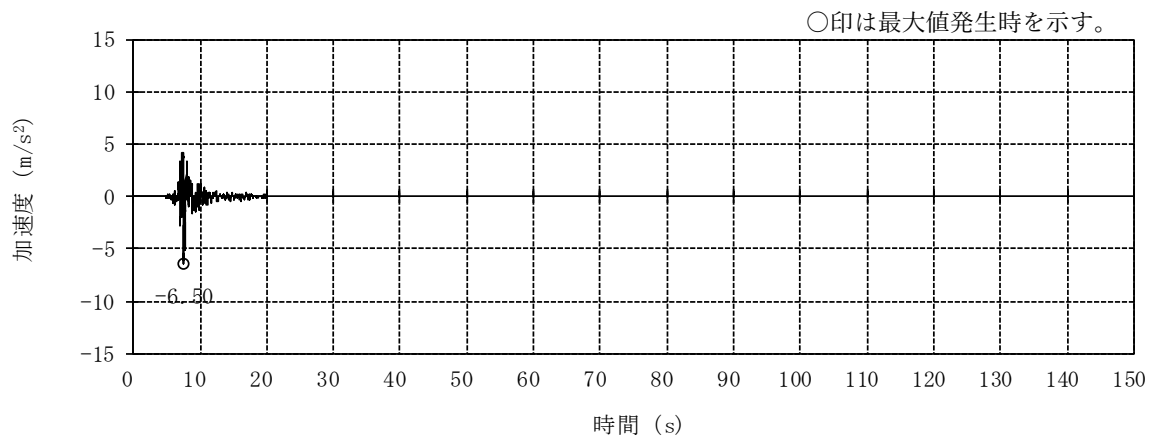


(f) S_s-6EW

図 4-2 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向) (2/3)

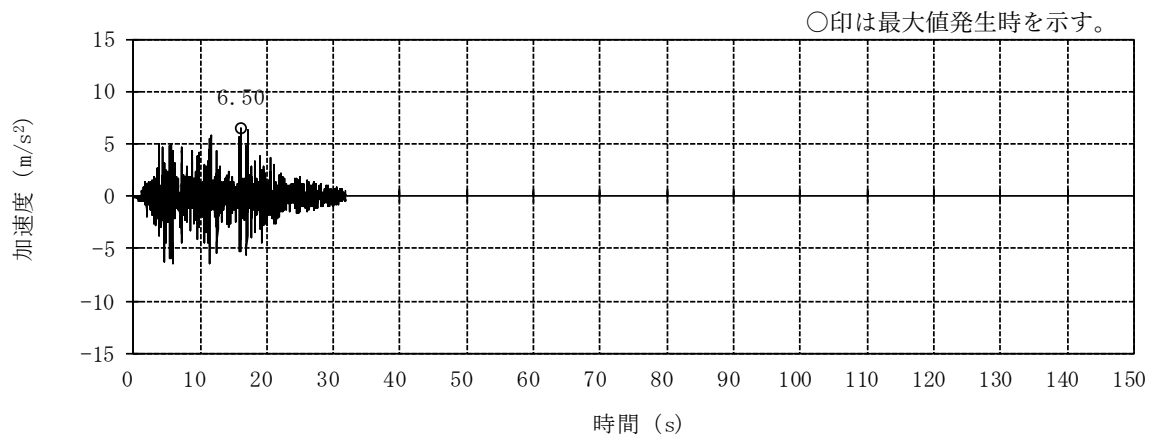


(g) S_s-7EW

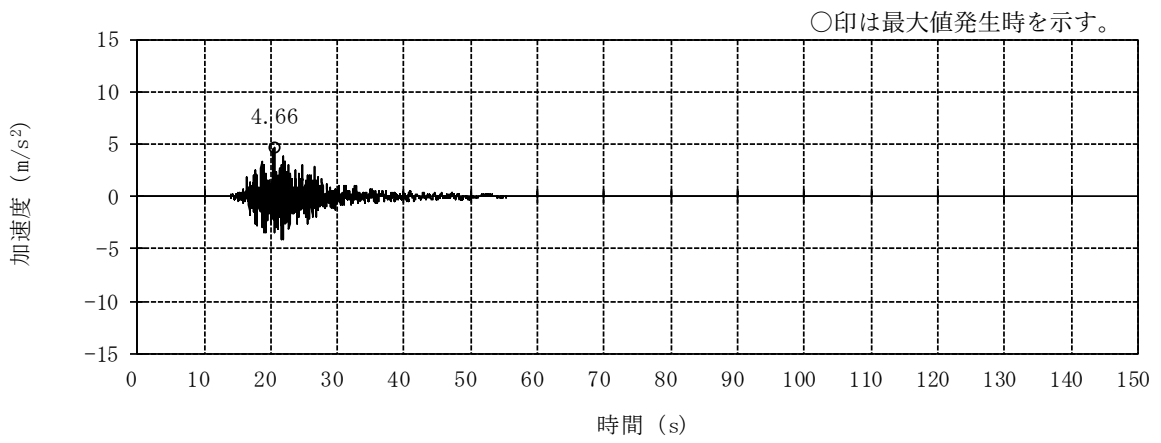


(h) S_s-8H

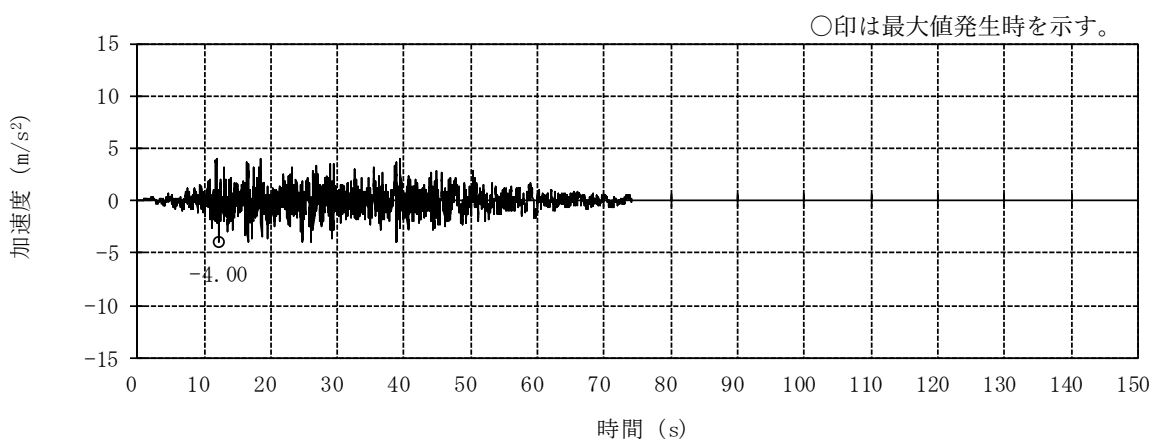
図 4-2 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向) (3/3)



(a) Ss-1V

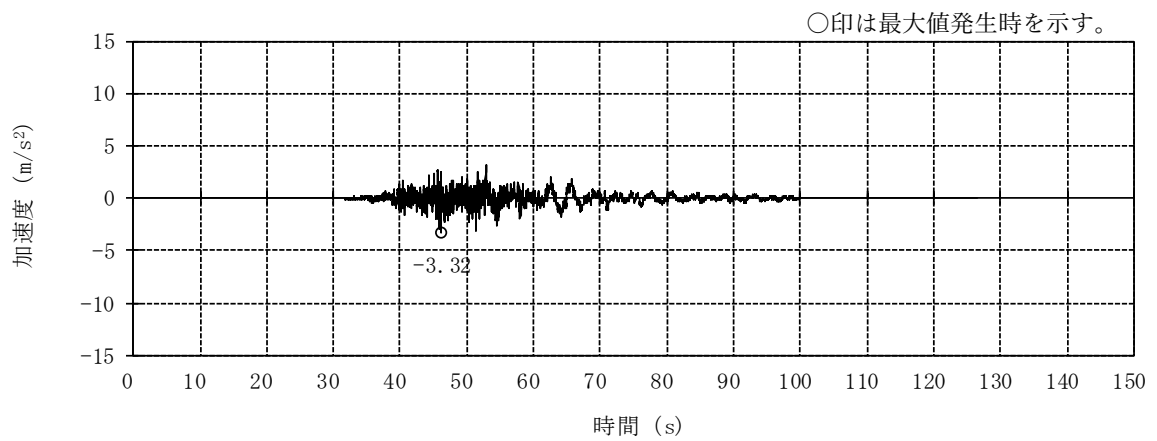


(b) Ss-2UD

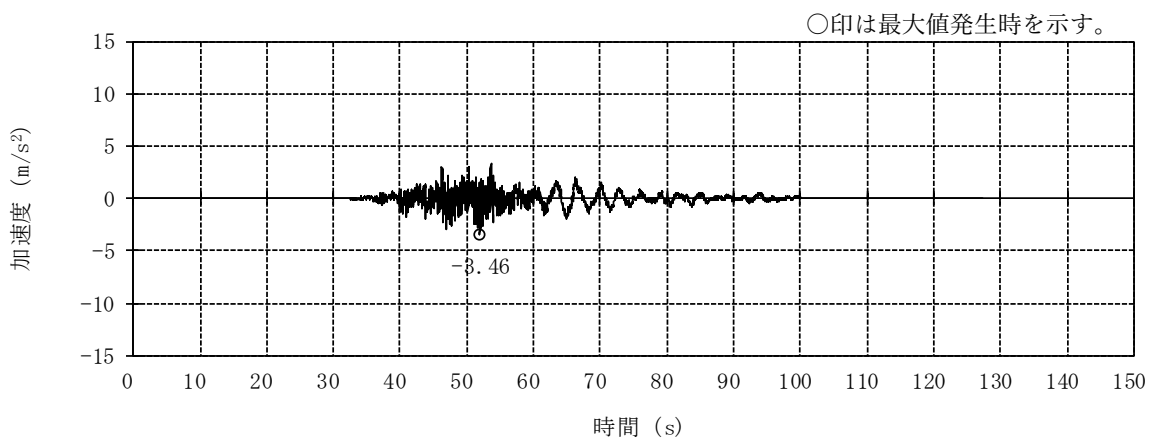


(c) Ss-3V

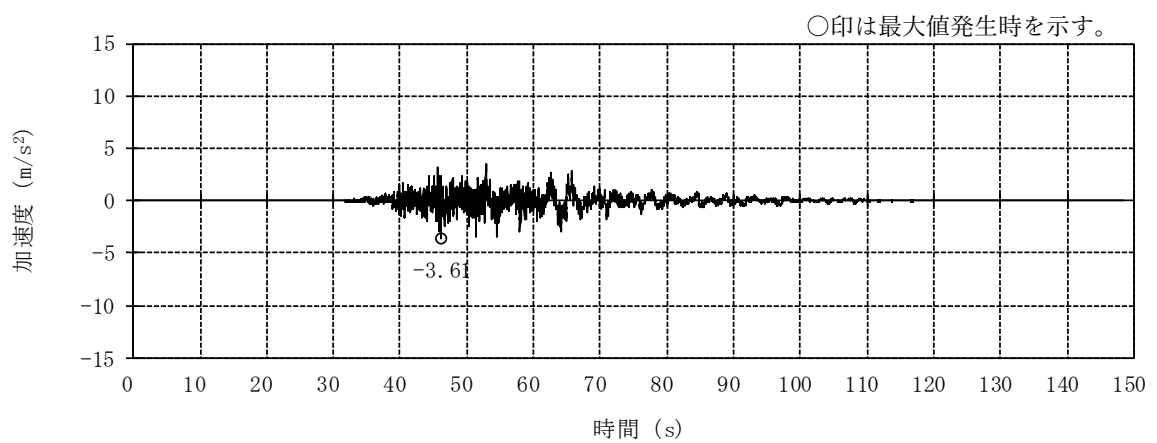
図 4-3 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (1/3)



(d) S_s-4UD

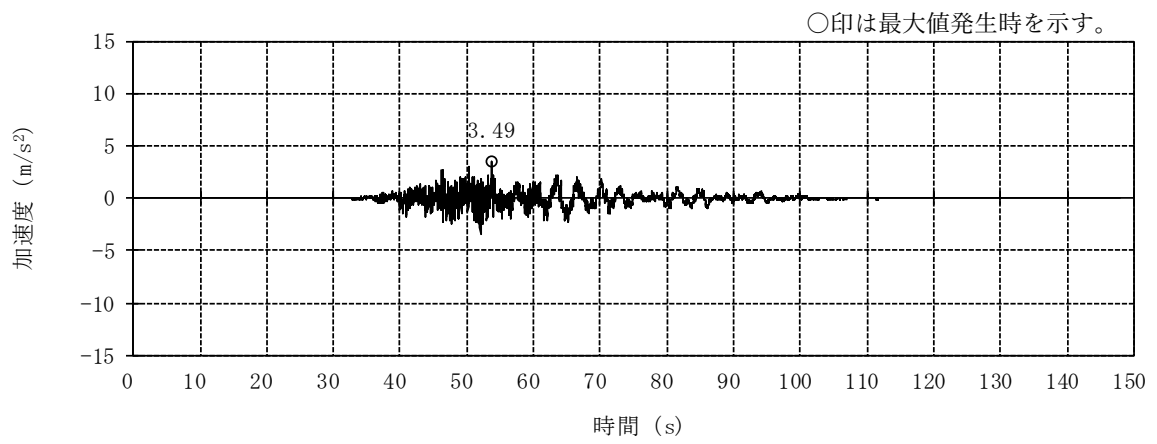


(e) S_s-5UD

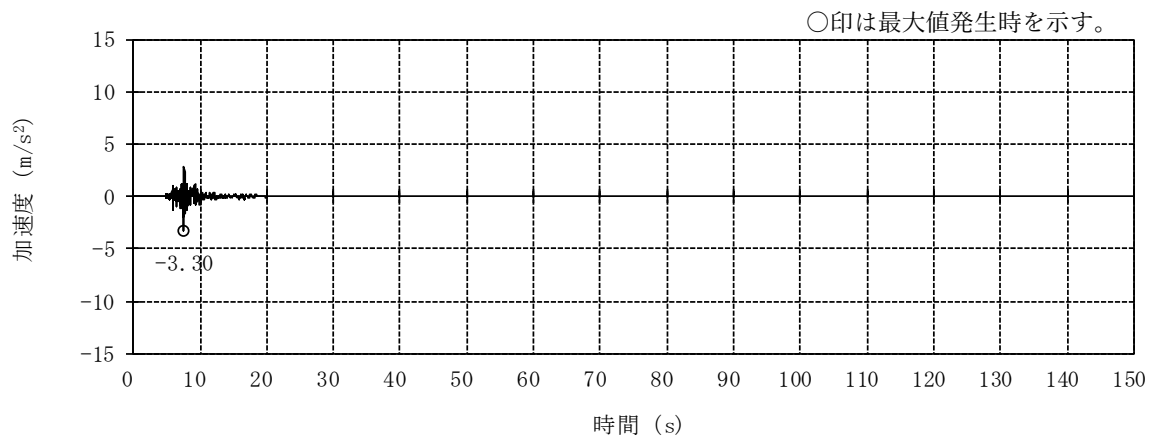


(f) S_s-6UD

図 4-3 加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (2/3)

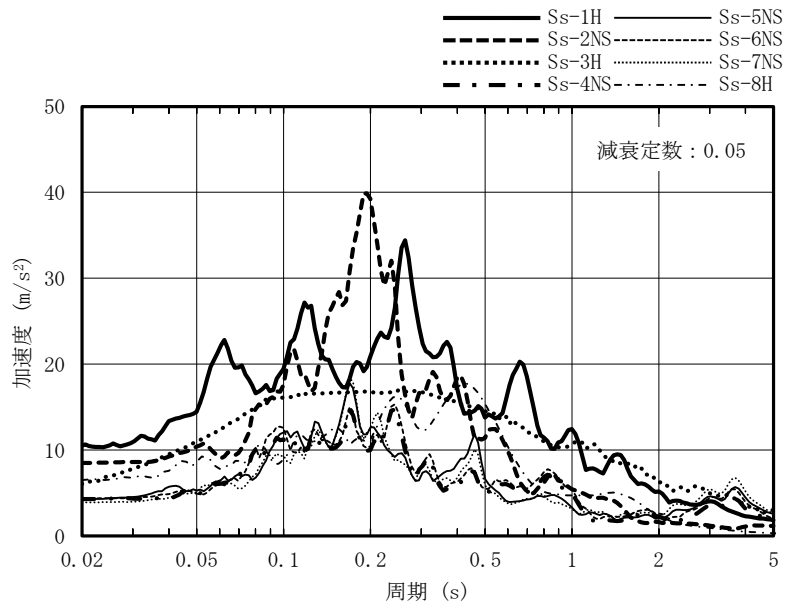


(g) Ss-7UD

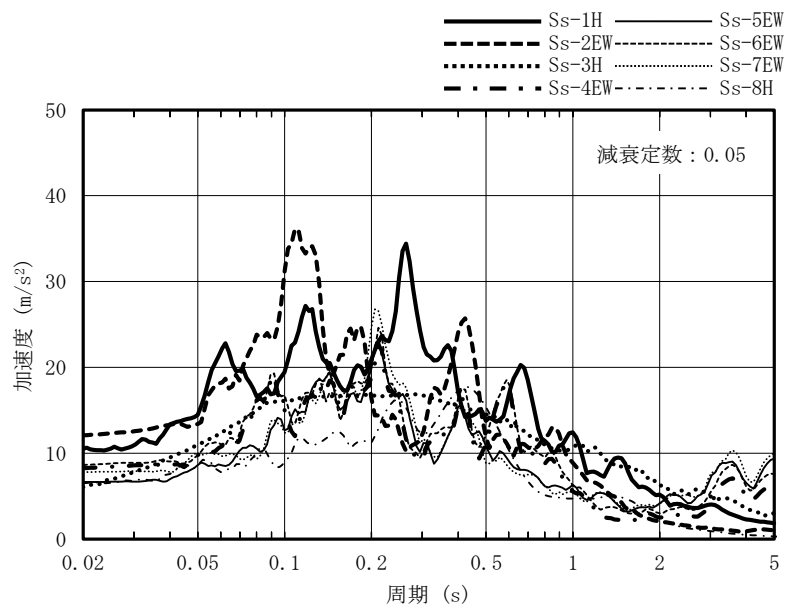


(h) Ss-8V

図 4-3 加速度時刻歴波形（基準地震動 S s，鉛直方向）（3/3）

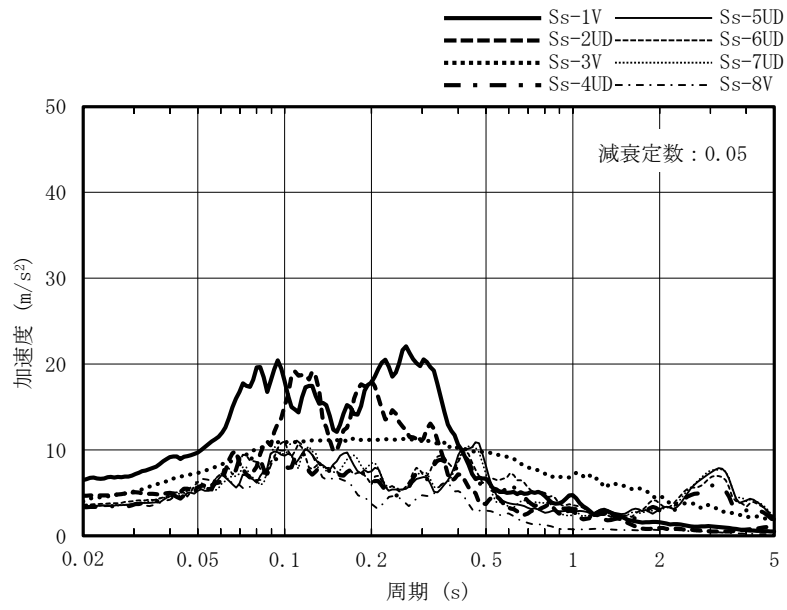


(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4-4 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s) (1/2)



(c) 鉛直方向

図 4-4 加速度応答スペクトル (基準地震動 S s) (2/2)

4.2 入力地震動

設計用模擬地震波（基準地震動 S_s ）を本敷地の T.M.S.L. -134.0m に想定した解放基盤表面の波として定義し、主排気筒基礎直下の古安田層の液状化による影響を考慮した表 4-1 に示す地盤モデル（土柱モデル）を用いた有効応力解析（逐次非線形解析）を実施し、主排気筒基礎下端（T.M.S.L. 7.0m）での地盤応答波を求め、これを入力地震動とする。入力地震動の作成方法を図 4-5 に示す。

この地盤の有効応力解析に用いる条件は V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」による。また、古安田層には、液状化が否定できない A2s 層又は A3s 層が介在することから、全層を液状化対象層と仮定し、表 4-2 に示す液状化パラメータを用いて設定した液状化抵抗曲線（図 4-6）を適用する。なお、地盤の有効応力解析には、解析コード「FLIP」を用いる。

以上の有効応力解析から求めた入力地震動の加速度応答スペクトルを比較し図 4-7 に示す。これによると、主排気筒の応答に支配的な 1 次固有周期帯（表 5-1 参照）で卓越している地震波は S_s-2 であり、以降の評価では、 S_s-2 で代表させることとする。その加速度波形を図 4-8 に、加速度応答スペクトルを図 4-9 に示す。

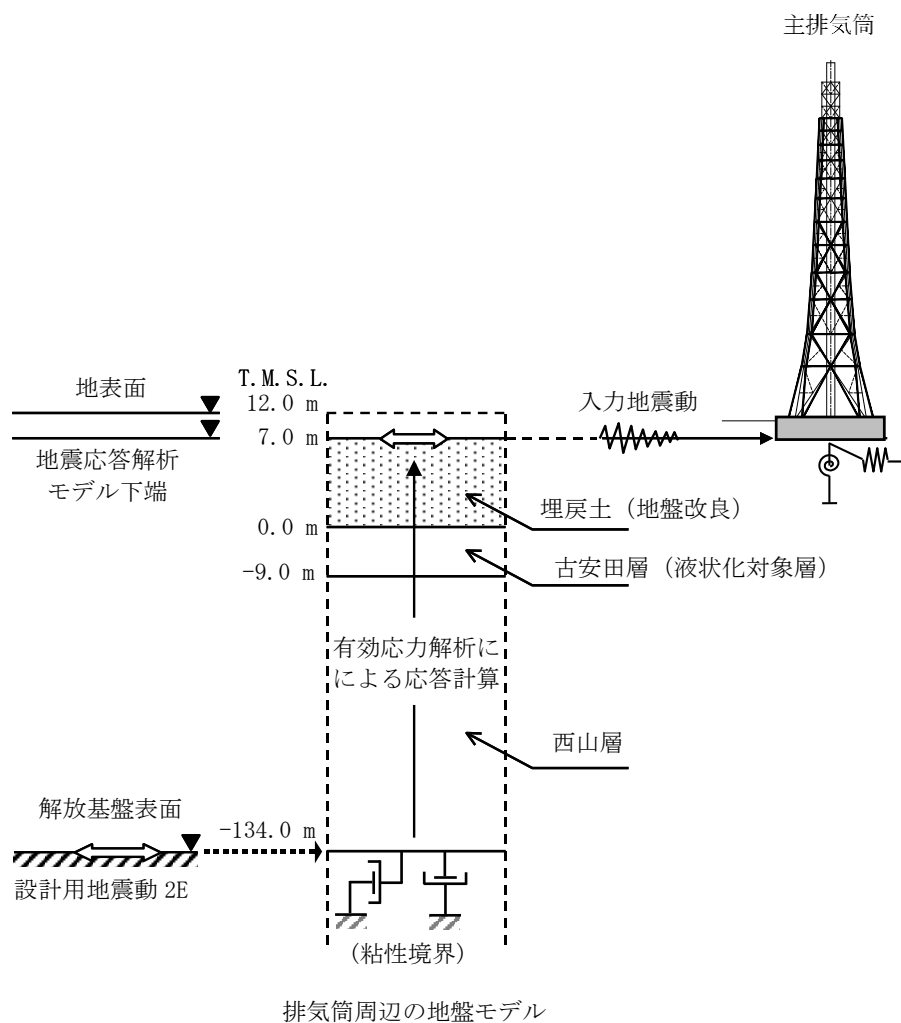


図 4-5 入力地震動の作成方法

表 4-1 地盤モデル (初期条件)

標高 T. M. S. L. (m)	地質	せん断波 速度 V _s (m/s)	単体体積 重量 γ _t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G _o (×10 ⁵ kN/m ²)	粘着力 ^{*3} C (×10 ³ kN/m ²)	内部摩擦角 ^{*3} φ (度)	減衰定数 ^{*3} (上限値) h _{max} (%)
+12.0	—	—	—	—	—	—	—	—
±0.0	埋戻土 (地盤改良)	800	17.9	0.31	11.68	4.30	0.01	20.0
-9.0	古安田層	310	17.5	0.33 ^{*1}	2.39 ^{*2}	0.00	36.6	15.7
-60.0	西山層	490	16.7	0.45	4.09	1.39	0.0	20.0
-100.0		560	17.2	0.44	5.50	1.87	0.0	20.0
-134.0		610	18.0	0.43	6.83	2.33	0.0	20.0
∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	—	—	—

注記 *1: 液状化対象層に適用される慣用値。

*2: 液状化対象層に適用される上載圧依存性を考慮した値。

*3: 強度特性 (C, φ) 及び減衰定数 (上限値) は, 動的変形特性に基づき設定した値。

表 4-2 液状化パラメータ*

(図 4-6 に示す液状化抵抗曲線を求めるための要素シミュレーションに用いた値)

σ _{ma'} (kN/m ²)	φ _p	S ₁	w ₁	p ₁	p ₂	c ₁
200	32.0	0.005	22.00	0.50	0.80	8.90

注記 *: V-2-1-3 「地盤の支持性能に係る基本方針」による。

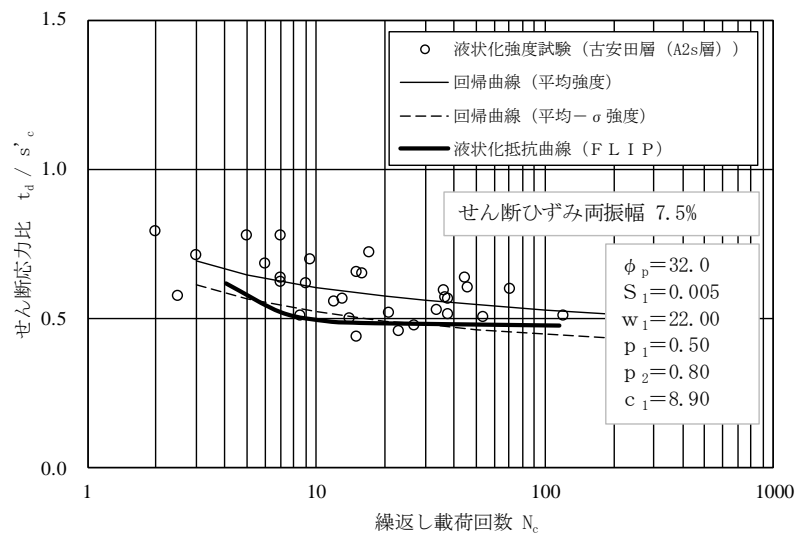
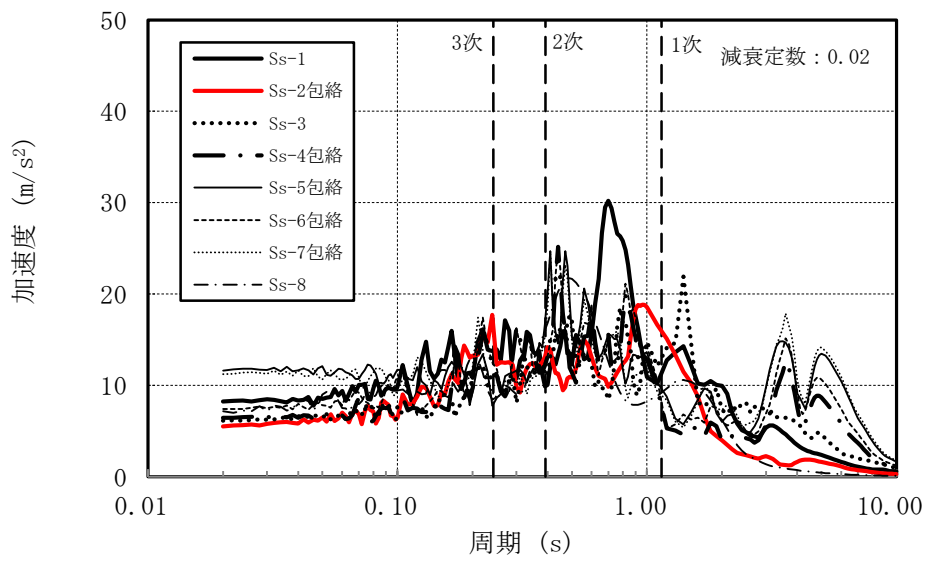
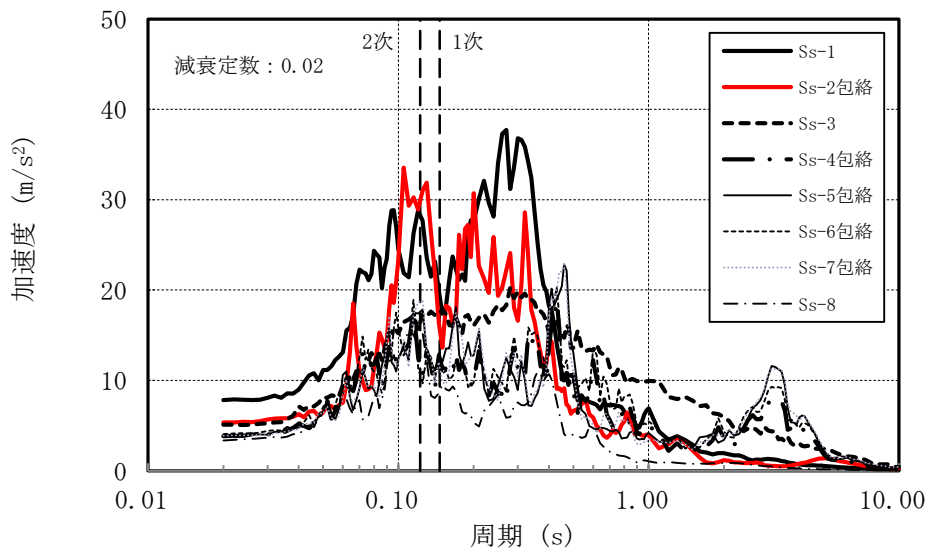


図 4-6 液状化抵抗曲線 (古安田層 A2s 層又は A3s 層: 平均値 - σ)
(V-2-1-3 「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき回帰した結果)

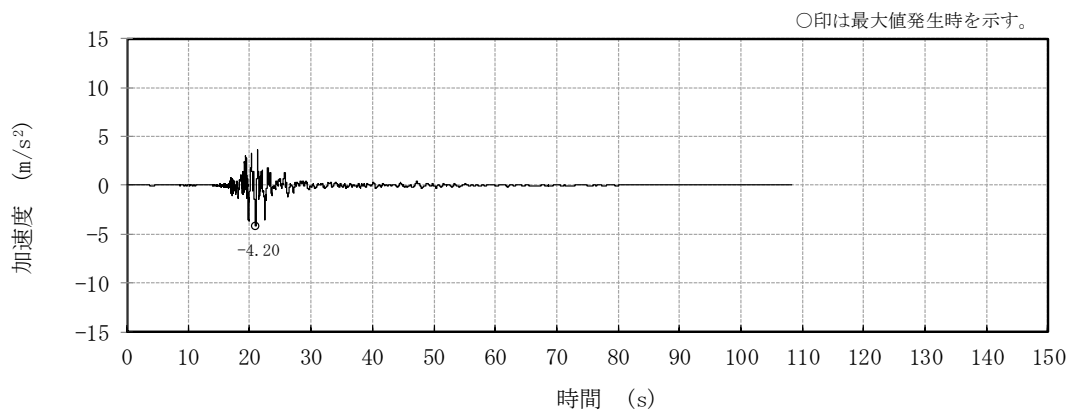


(a) 水平方向
(NS, EW 成分の包絡)

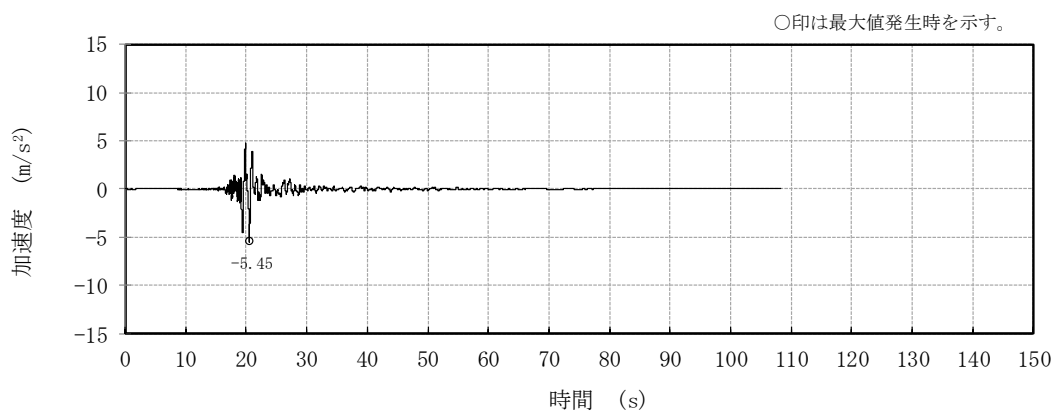


(b) 鉛直方向
(NS+UD, EW+UD の UD 成分の包絡)

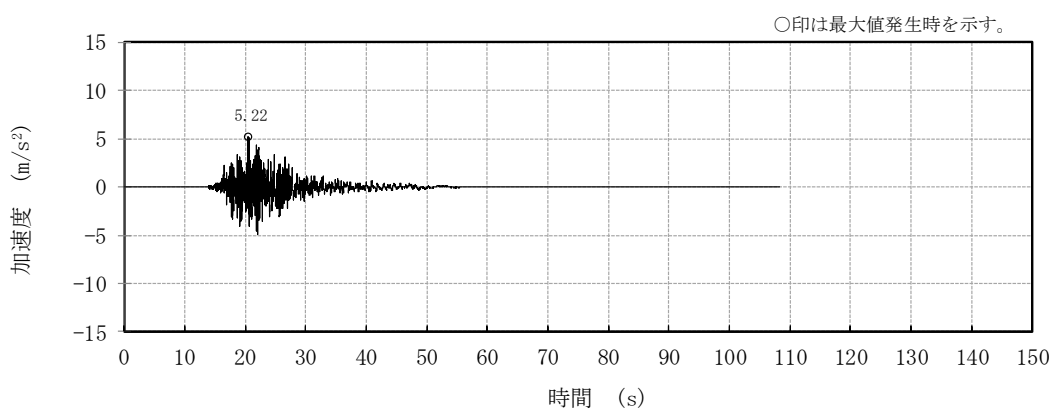
図 4-7 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(1 次, 2 次, 3 次は表 5-1 の固有周期に対応する。)



(a) NS 方向

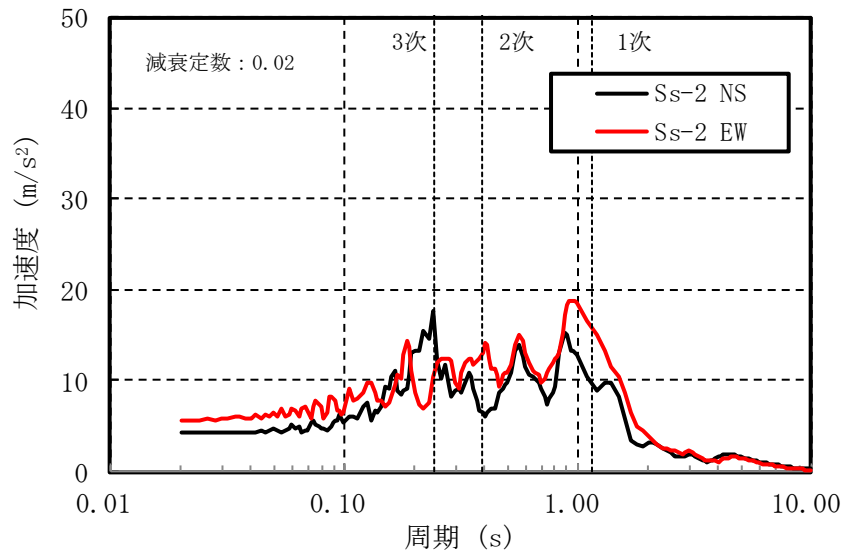


(b) EW 方向

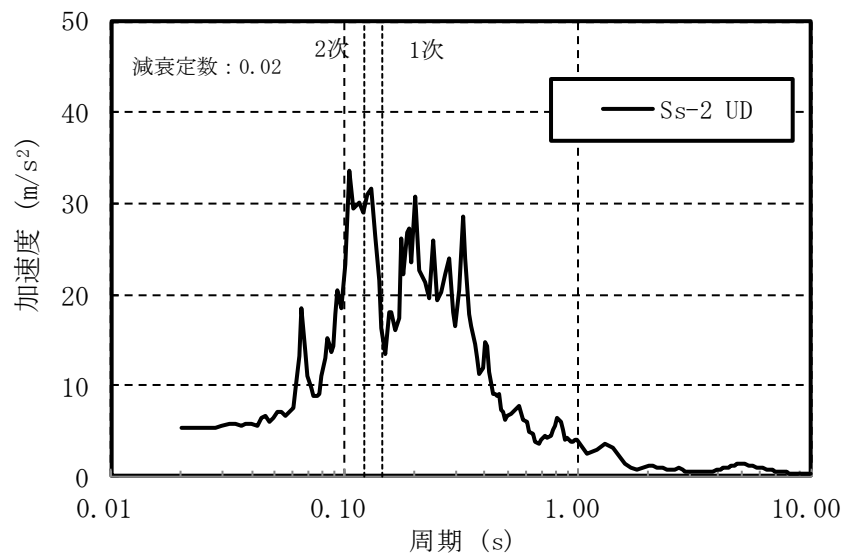


(c) 鉛直方向

図 4-8 入力地震動 (T. M. S. L. 7. 0m) の加速度波形 (Ss-2)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 4-9 入力地震動 (T. M. S. L. 7.0m) の加速度応答スペクトル (Ss-2)

4.3 地震応答解析モデル

主排気筒の地震応答解析モデルは、基礎上端 (T.M.S.L. 12.5 m) より上部のうち、鉄塔部は部材節点間を1要素とする柱材 (はり要素)・斜材 (トラス要素)・水平材 (トラス要素) とし、その中心にある筒身部は鉄塔部による水平支持フレーム (トラス要素) 位置間を1要素とするはり要素で構成され、剛体と仮定し基礎部には水平・回転・鉛直の5成分を持つ地盤-杭の動的相互作用を考慮した地盤ばねを付けた3次元フレームモデルとする。重量は、基礎部並びに地上部の頂部・脚部と筒身支持位置に相当するレベルの鉄塔部及び筒身部にそれぞれの支配高さに応じた集中質点として分布させる。そのモデルを用いた地震応答解析は、「4.2 入力地震動」に示す地盤応答波を用いた弾性時刻歴応答解析により行う。減衰は、剛性比例型減衰として評価している。

主排気筒の材料諸元を表4-3に、その解析モデルの質点重量分布を表4-4に、解析モデルの概要を図4-10に、地盤ばねを表4-5に、それぞれ示す。

なお、主排気筒の地震応答解析には、解析コード「Hyper Statics and Dynamics」を用いる。また、杭-地盤のばねの算定には、解析コード「Power-Pile」を用いる。

表4-3 主排気筒の材料諸元

部 位	材 料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (kN/m ³)	減衰定数 h (%)
鉄塔部 筒身部	鉄 骨	2.05×10 ⁵	0.3	77.0	2
基 礎* 杭 体	コンクリート	2.90×10 ⁴ 2.25×10 ⁴	0.2	24.5 24.0	5

注記 * : 解析モデルは剛体として扱う。

表4-4 地震応答解析モデルの質点重量分布

標高 T.M.S.L. (m)	位置	質 点 重 量			
		内側 鉄塔部 (kN)	外側 鉄塔部 (kN)	鉄塔部 (内側+外側) W _t (kN)	筒身部 W _c (kN)
160.0	TOP	—	—	—	75
152.0	A	247	—	247	121
137.0	B	401	158	559	149
126.0	C	522	328	850	144
112.0	D	476	365	841	195
94.0	E	629	452	1081	259
73.0	F	916	664	1580	293
47.5	G	1538	992	2530	398
12.5	H	653	540	1193	328
8.75*	基礎(0)	—	—	56593	7776
—	合計	—	—	65474	9738

注記 * : 基礎中央の位置に基礎質点を集約した。

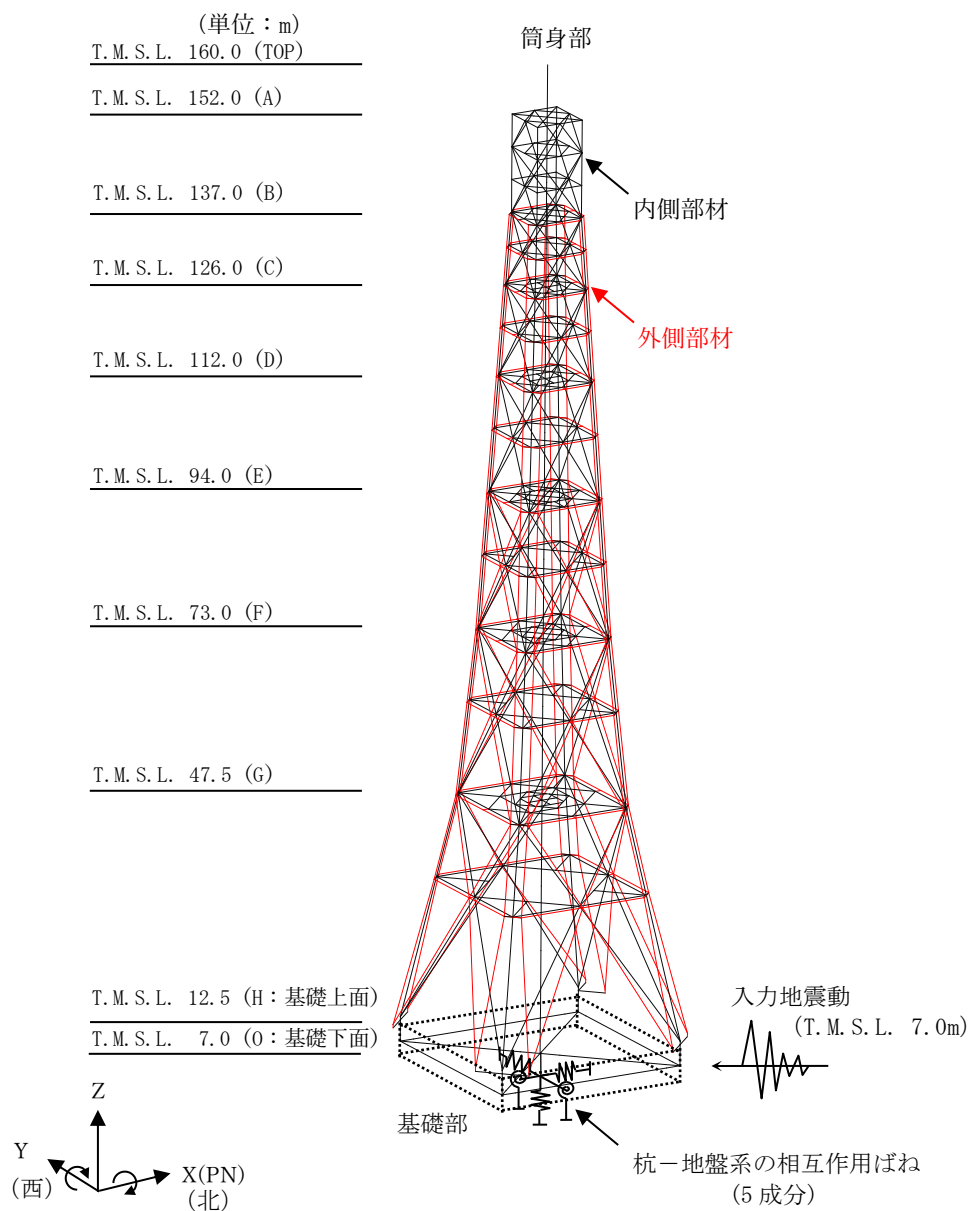


図 4-10 地震応答解析モデルの概要

表 4-5 杭-地盤のばね定数と減衰係数

成分	ばね定数	減衰係数
水平	4.93×10^7 (kN/m)	1.54×10^6 (kN·s/m)
回転	1.84×10^{10} (kN·m/rad)	2.18×10^8 (kN·m·s/rad)
鉛直	5.50×10^7 (kN/m)	3.41×10^6 (kN·s/m)

5. 固有値及び地震応答解析結果

5.1 固有値解析結果

地震応答解析モデルの固有値解析を行い、その結果として固有値（固有周期、固有振動数、刺激係数）を表5-1に示す。

表5-1 固有値（固有周期、固有振動数、刺激係数）(Ss-2)

次数	振動数 (Hz)	周 期 (s)	刺激係数 *			備 考
			X	Y	Z	
1	0.87	1.143	1.006	0.869	-0.002	NS 方向 1 次
2	0.88	1.137	-0.868	1.014	0.000	EW 方向 1 次
4	2.51	0.398	0.455	-1.447	0.007	EW 方向 2 次
5	2.55	0.392	-1.463	-0.456	-0.010	NS 方向 2 次
7	4.09	0.245	-0.454	1.323	-0.023	EW 方向 3 次
8	4.12	0.242	1.384	0.479	0.059	NS 方向 3 次
13	6.84	0.146	-0.012	0.005	1.854	鉛直方向 1 次
19	8.19	0.122	0.021	0.005	1.232	鉛直方向 2 次

注記 * : モードごとに固有ベクトルの最大値を1に基準化して得られる刺激係数を示す。

5.2 地震応答解析結果

基準地震動 Ss-2 による鉄塔部及び筒身部の最大応答加速度と最大応答変位を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

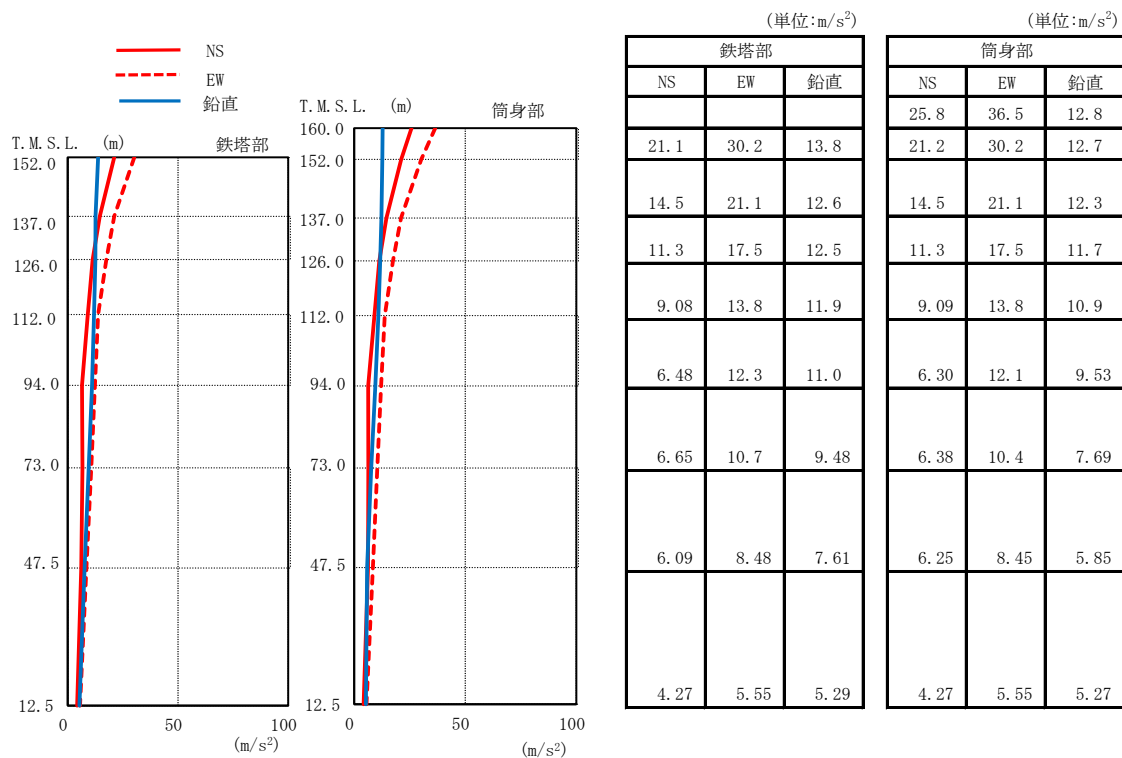


図 5-1 鉄塔部及び筒身部の最大応答加速度 (Ss-2) (1/2)

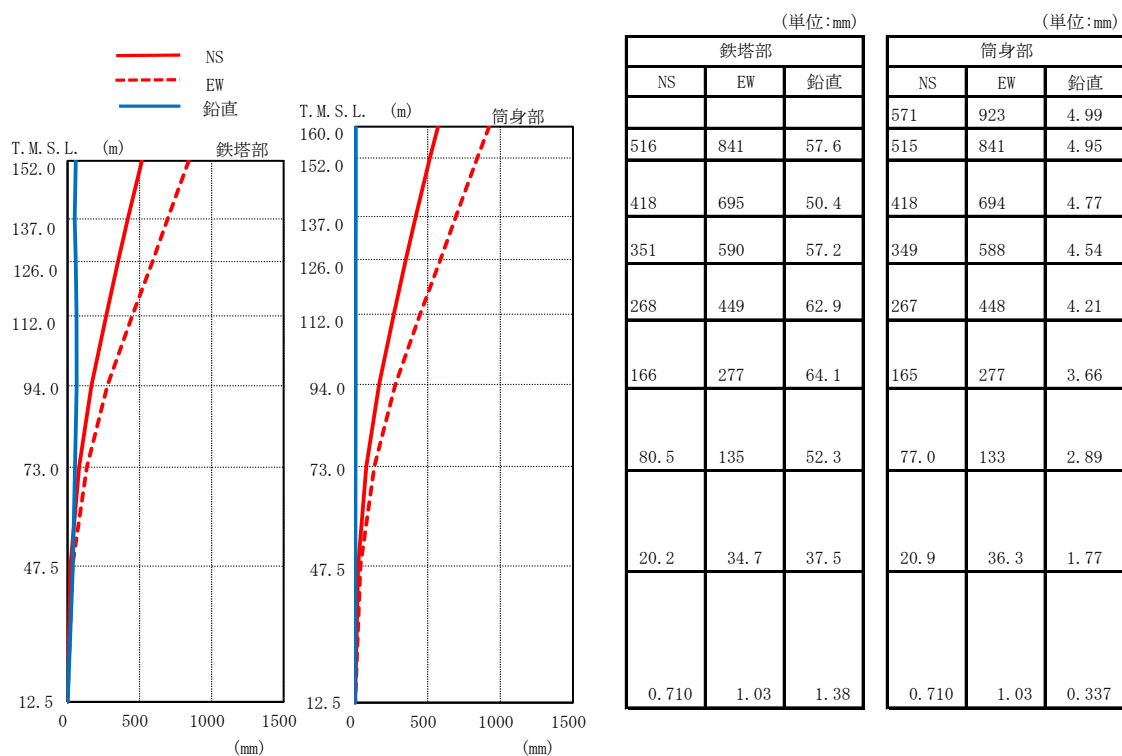


図 5-2 鉄塔部及び筒身部の最大応答変位 (Ss-2) (2/2)

6. 評価結果

主排気筒のS s地震時の変形性能の評価では、3次元フレームモデルによる地震応答解析結果のうち、鉄塔部と筒身部の頂部の水平応答変位を用いて、最大変形角の確認を行った。

その結果、最大応答変形角は、鉄塔部で1/165 (EW方向)、筒身部で1/159 (EW方向)であった。

表 6-1 全体変形角の確認結果
(S s地震時)

項目	部位	鉄塔部		筒身部	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
高さ (m) *		139.5	139.5	147.5	147.5
水平応答変位 (mm)		516	841	571	923
全体変形角		1/270	1/165	1/258	1/159

注記 * : 解析モデルの基点レベルの T. M. S. L. 12.5m からの高さ

7. まとめ

主排気筒の上位クラス施設に対する波及的影響評価のため、主排気筒の変形性能を確認した。

その結果、主排気筒の最大変形角は1/159（筒身頂部）であり、「添付資料7 5号機主排気筒の波及的影響について」に示す許容限界（1/100）以下であることから、主排気筒が倒壊しないことを確認した。

別紙 2 年超過確率 10^{-2} の風荷重に対する変位と基準地震動 S_s による変位応答との重畳について

1. 概要

主排気筒については、基準地震動 S_s による地震（以下「 S_s 地震時」という。）荷重に加えて、年超過確率 10^{-2} に相当する風（以下「風速 16.0m/s 時」という。）荷重の重畳を考慮する。

本資料は、主排気筒の風速 16.0m/s 時の水平変位の結果を示すものである。また、「別紙 1 5 号機主排気筒の基準地震動 S_s による応答変位について」に示す S_s 地震時の主排気筒の全体変形に、この風速 16.0m/s 時の変位を重畳させた場合の結果についても併せて示す。

2. 構造概要

主排気筒は、地上からの高さ 148.0m（内径 3.4m）の鋼製筒身で、高さ 140.0m（根開き 30.0m、頂部幅 7.5m）の鋼製鉄塔で支えられている鉄塔支持型排気筒である。

主排気筒の概要図を図 2-1 に示す。

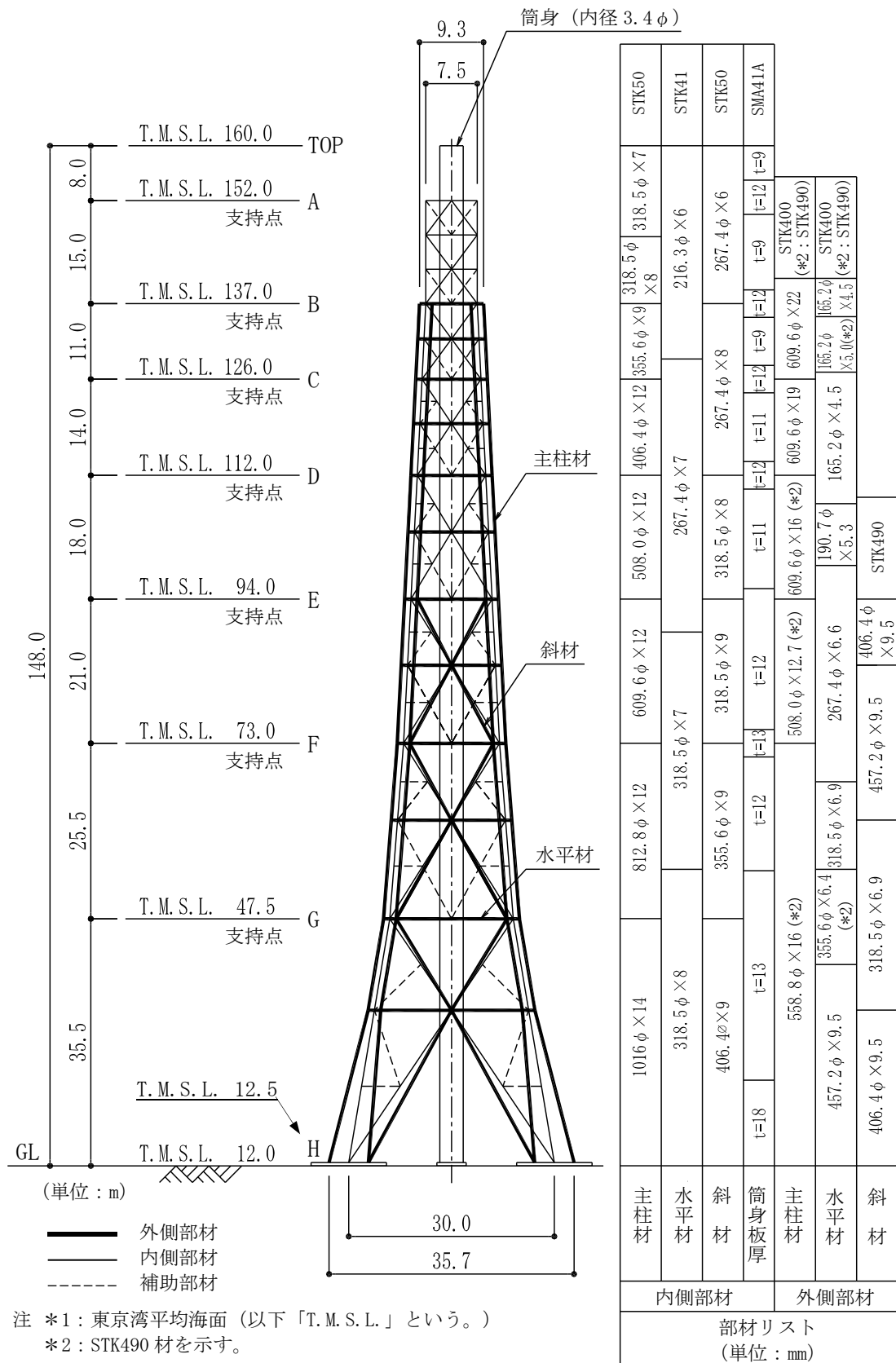


図 2-1 主排気筒の概要図

3. 風荷重

主排気筒に作用する風方向荷重は、次式によって算定する。

$$P = q \cdot C_f \cdot A$$

ここで、

P : 風荷重 (N)

q : 速度圧 (N/m^2) $= 0.6 \cdot E \cdot V_0^2$

V_0 : 国土交通大臣が定める基準風速 V_0 に風速 16.0m/s を適用

E : 国土交通大臣が定める方法により算出した数値

$$= E_r^2 \cdot G_f$$

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$= 1.7 \cdot (Z_b / Z_G)^\alpha \quad (H \leq Z_b)$$

$$= 1.7 \cdot (H / Z_G)^\alpha \quad (H > Z_b)$$

H : 建築物の高さ (m) (主排気筒の地上高: 鉄塔部 140m, 筒身部 148m を適用)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じて示される数値

(当該地の地表面粗度区分 II : $Z_b=5\text{m}, Z_G=350\text{m}, \alpha=0.15$)

G_f : ガスト影響係数 (=2.0)

C_f : 風力係数

A : 鉄塔及び筒身の見付面積 (m^2)

以上より、算定した風荷重を表 3-1 に示す。また、風荷重の方向の考え方を図 3-1 に示す。

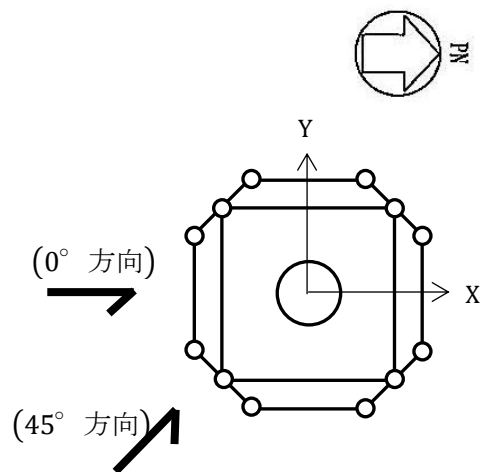


図 3-1 風荷重の方向の考え方

表 3-1 風荷重計算表 (風速 16.0m/s 時)

(a) 鉄塔部

位置	標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	0° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
			風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
TOP	—	—	—	—	—	—	—	—
A	152.0	0.68	1.98	15.2	21	1.55	24.6	26
B	137.0	0.68	1.83	37.2	47	1.44	54.5	54
C	126.0	0.68	1.64	59.3	67	1.30	80.7	72
D	112.0	0.68	1.61	80.0	88	1.29	107.2	95
E	94.0	0.68	1.52	111.0	115	1.21	155.0	128
F	73.0	0.68	1.39	153.7	146	1.10	224.3	168
G	47.5	0.68	1.20	470.4	384	0.98	628.8	419

(b) 筒身部

位置	標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	0° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
			風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
TOP	160.0	0.69	0.90	13.8	9	0° 方向風荷重に同じ		
A	152.0	0.69	0.89	39.6	25			
B	137.0	0.69	0.86	44.7	27			
C	126.0	0.69	0.84	43.0	25			
D	112.0	0.69	0.81	55.0	31			
E	94.0	0.69	0.76	67.1	36			
F	73.0	0.69	0.70	79.9	39			
G	47.5	0.69	0.59	164.1	67			

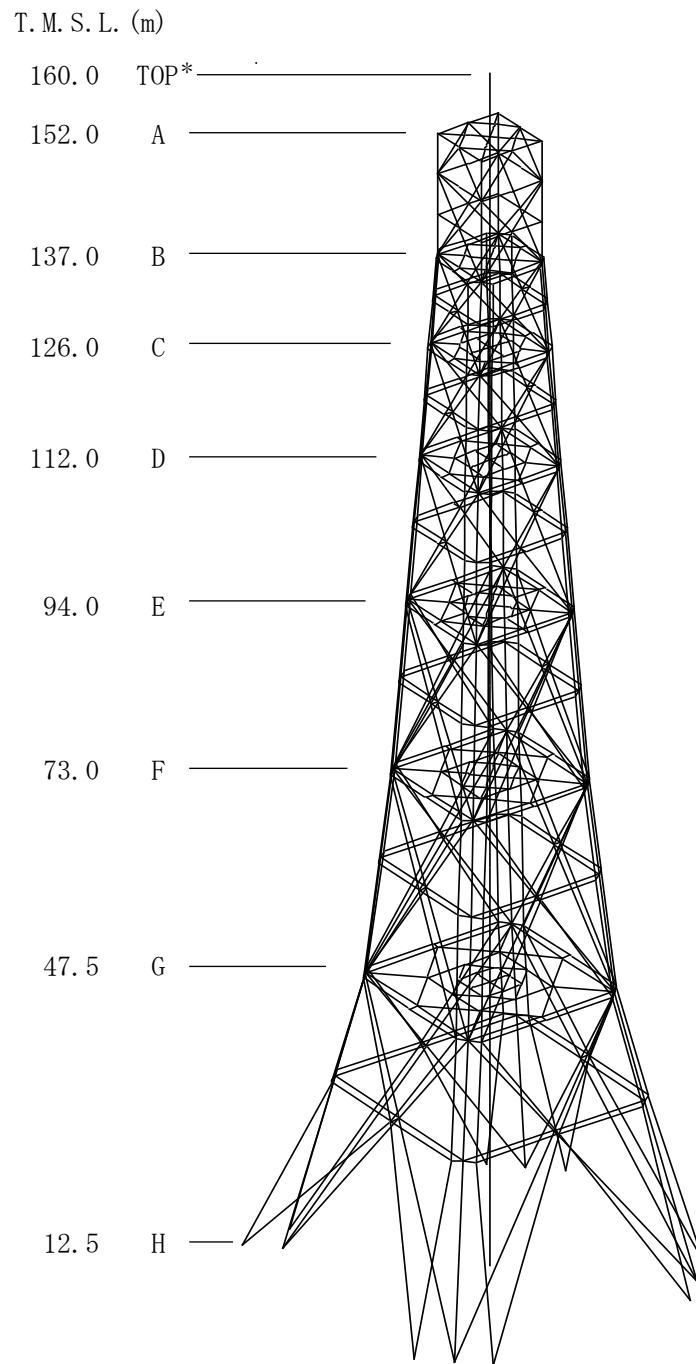
4. 風荷重時の解析結果

前述した主排気筒の風速 16.0m/s 時の風荷重に基づく高さ方向の変位分布を求めるために、図 4-1 に示す 3次元フレームでモデル化した静的解析モデルを用いる。この解析モデルは、基礎上端 (T.M.S.L. 12.5 m) を固定端として、鉄塔部は部材節点間を 1 要素とする柱材 (はり要素)・斜材 (トラス要素)・水平材 (トラス要素) とし、その中心にある筒身部は鉄塔部による水平支持フレーム (トラス要素) 位置間を 1 要素とするはり要素で構成されている。

この解析モデルの代表位置 (表 3-1 の TOP, A~G に対応) の各節点に、静的な水平方向の集中荷重として、表 3-1 で求めた風荷重 P を載荷して、高さ方向の水平変位分布を求める。

主排気筒の静的解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

以上の静的解析にて求めた主排気筒の高さ方向の最大水平変位の値を表 4-1 に、その分布図を図 4-2 に示す。



注記 * : 風荷重を載荷する節点位置の記号 (Hを除く。H部分の風荷重は保守的にGに載荷)

図 4-1 解析モデル (基部固定)

表 4-1 主排気筒の高さ方向の最大水平変位
(風速 16.0m/s 時)

(単位 : mm)

位置	標高 T. M. S. L. (m)	鉄塔部	筒身部
TOP	160.0	—	63.0
A	152.0	58.1	58.2
B	137.0	49.3	49.5
C	126.0	43.0	43.1
D	112.0	34.4	34.6
E	94.0	23.4	23.8
F	73.0	13.7	13.8
G	47.5	4.9	5.3
H	12.5	0.0	0.0

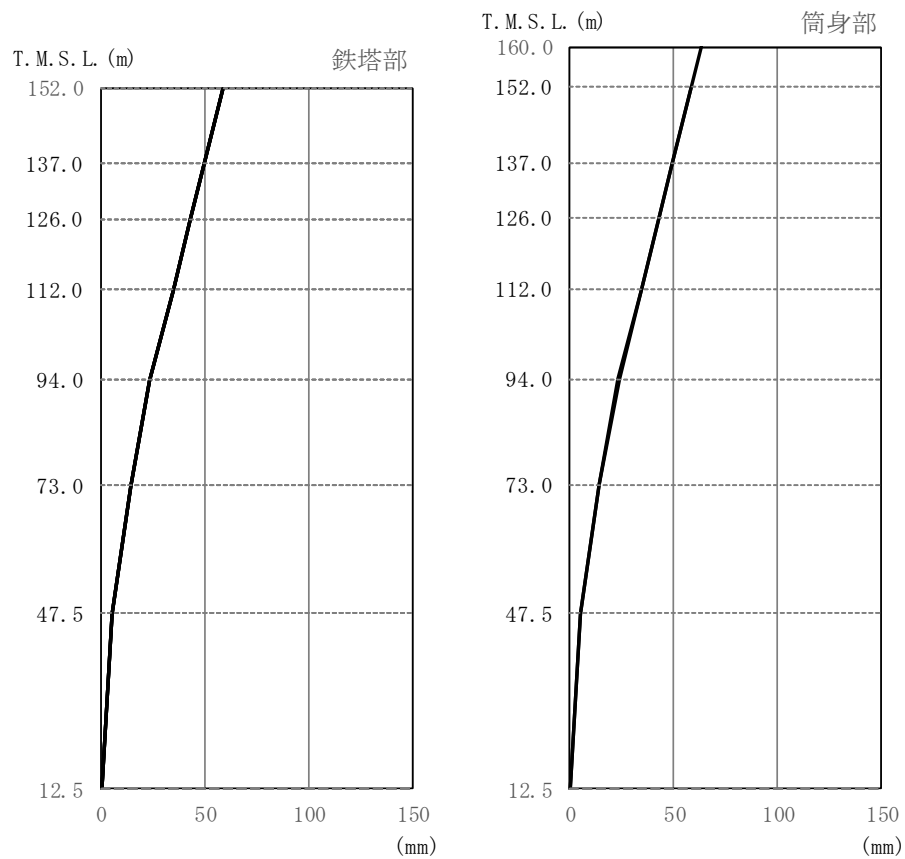


図 4-2 主排気筒の高さ方向の最大水平変位分布
(風速 16.0m/s 時)

5. 評価結果

主排気筒の風速 16.0m/s 時の変形性能の評価では、3次元フレームモデルによる静的解析結果のうち、鉄塔部と筒身部の頂部の最大水平変位を用いて、最大変形角の確認を行った。その結果、頂部変位に基づく全体変形角は、鉄塔部で 1/2400、筒身部で 1/2340 であった。

表 5-1 全体変形角の確認結果
(風速 16.0m/s 時)

項目 \ 部位	鉄塔部	筒身部
高さ (m) *	139.5	147.5
最大水平変位 (mm)	58.1	63.0
全体変形角	1/2400	1/2340

注記 * : 解析モデルの基点レベルの T. M. S. L. 12.5m からの高さ

また、「別紙 1 5号機主排気筒の基準地震動 S s による応答変位について」に示す S s 地震時の最大応答変位に、上記の風速 16.0m/s 時の風荷重に対する主排気筒頂部の最大水平変位を重畳させた場合の頂部の変位を用いて、最大変形角の確認を行った結果、鉄塔部で 1/155、筒身部で 1/149 であった。

表 5-2 全体変形角の確認結果
(S s 地震時と風速 16.0m/s 時の重畳)

項目 \ 部位	鉄塔部	筒身部
高さ (m) * ¹	139.5	147.5
最大水平変位 (mm)	S s 地震時* ²	923
	風速 16.0m/s 時	63.0
	重畳時	986.0
重畳時の全体変形角	1/155	1/149

注記 *¹ : 解析モデルの基点レベルの T. M. S. L. 12.5m からの高さ

*² : S s 地震時の頂部の水平変位のうち、大きい方 (EW 成分)

6. まとめ

主排気筒の上位クラス施設に対する波及的影響評価のため、主排気筒の風速 16.0m/s 時（年超過確率 10^{-2} ）の風荷重に対する変形性能及び S_s 地震時と重畳した場合の変形性能を確認した。

「添付資料7 5号機主排気筒の波及的影響について」に示す許容限界（1/100）以下であることから、主排気筒が倒壊しないことを確認した。