

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-026-12改01
提出年月日	2023年2月14日

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書
及び耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2023年2月

中国電力株式会社

目次

1.	評価方法	1
2.	評価条件	2
2.1	適用規格	2
2.2	構造概要	4
2.3	評価対象断面の選定	10
2.4	使用材料及び材料の物性値	11
2.5	地盤物性値	12
2.6	評価構造物諸元	13
2.7	地下水位	14
2.8	耐震評価フロー	15
3.	地震応答解析	16
3.1	地震応答解析手法	16
3.2	地震応答解析モデルの設定	17
3.2.1	構造物のモデル化	17
3.2.2	地盤のモデル化	19
3.2.3	地盤の回転ばねの復元力特性	21
3.2.4	地震応答解析モデル	24
3.3	固有値解析結果	31
3.4	荷重及び荷重の組合せ	38
3.4.1	機器・配管荷重	38
3.4.2	積雪荷重	38
3.5	地震応答解析の解析ケース	39
3.5.1	耐震評価における解析ケース	39
3.5.2	機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース	41
3.6	入力地震動の設定	43
3.7	地震応答解析結果	84
3.7.1	最大応答値一覧	84
3.7.2	3次元構造解析への入力荷重の時刻選定	107
4.	3次元構造解析	109
4.1	解析手法	109
4.2	解析モデルの設定	109
4.2.1	構造物のモデル化	109
4.2.2	境界条件及び地盤ばね要素	110
4.3	荷重及び荷重の組合せ	112
4.3.1	機器・配管荷重	112

4.3.2	積雪荷重	114
4.3.3	風荷重	114
4.3.4	上載物（タンク及び防油堤）から受ける地震時荷重	115
4.3.5	基礎スラブに作用する地震力	116
4.4	地震時荷重の作用方向	117
5.	評価内容	118
5.1	許容限界	118
5.1.1	曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界	118
5.1.2	せん断の破壊に対する許容限界	120
5.1.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	123
6	評価結果	124
6.1	構造部材の健全性に対する評価結果（水平2方向検討）	124
6.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	131
7.	まとめ	133

参考資料1 防油堤の耐震評価

参考資料2 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

参考資料3 漏油に対する補足確認について

参考資料4 入力地震動の妥当性について

1. 評価方法

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設耐震重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等を間接支持しており、支持機能が要求される。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認する。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎に要求される機能維持の確認においては、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認し、これにより常設耐震重大事故等対処設備を支持する機能を有することを確認する。

また、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の付帯設備のうち常設耐震重大事故等対処設備であるガスタービン発電機燃料配管を間接支持する防油堤についても耐震評価を実施する。防油堤の耐震評価については、参考資料 1 に示す。

2. 評価条件

2.1 適用規格

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価に当たっては、コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）（以下「コンクリート標準示方書」という。）及び原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（社団法人日本電気協会電気技術基準調査委員会）を適用するが、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の許容限界の一部については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会原子力土木委員会，2005年6月）（以下「土木学会マニュアル」という。）を適用する。

基礎地盤の許容限界については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）を適用する。

また、質点系モデルにおける地盤ばねの設定については、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（社団法人日本電気協会電気技術基準調査委員会）（以下「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」という。）及び原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 - 2008（社団法人日本電気協会原子力規格委員会）（以下「J E A C 4 6 0 1 - 2008」という。）を適用する。

表 2-1 に適用する規格・基準類を示す。

表 2-1 適用する規格・基準類

項目	適用する規格・基準類	備考
使用材料及び材料定数	・コンクリート標準示方書	・鉄筋コンクリートの材料諸元 (γ , E, ν)
	・J E A G 4 6 0 1 -1987	・軽油タンク (鋼材) 及び基礎スラブ (コンクリート) の減衰定数
荷重及び荷重の組合せ	・コンクリート標準示方書	・永久荷重, 偶発荷重等の適切な組合せを検討
許容限界	・土木学会マニュアル	・せん断破壊に対する照査は, 発生せん断力がせん断耐力を下回ることを確認
	・コンクリート標準示方書	・曲げ・軸力系の破壊に対する照査において, 発生曲げモーメントが終局曲げモーメントを下回ることを確認
	・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV 下部構造編) (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)	・基礎地盤の支持性能に対する照査は, 基礎地盤に発生する応力が極限支持力度を下回ることを確認
地震応答解析	・J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ・J E A C 4 6 0 1 -2008	・質点系モデルにおける地盤ばねの設定方法

2.2 構造概要

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の位置図を図 2-1 に、平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4 に、地質断面図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、基礎スラブ及び防油堤で構成される鉄筋コンクリート造の構造物である。

基礎スラブは平面寸法 18.0m×18.0m、厚さ 1.4m で、内径 9.8m、容量 560m³ のタンク 1 基を支持しており、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する C_L 級岩盤に支持される。

防油堤は幅 0.3m、高さ 2.5m で、基礎スラブを取り囲むように設置されている。

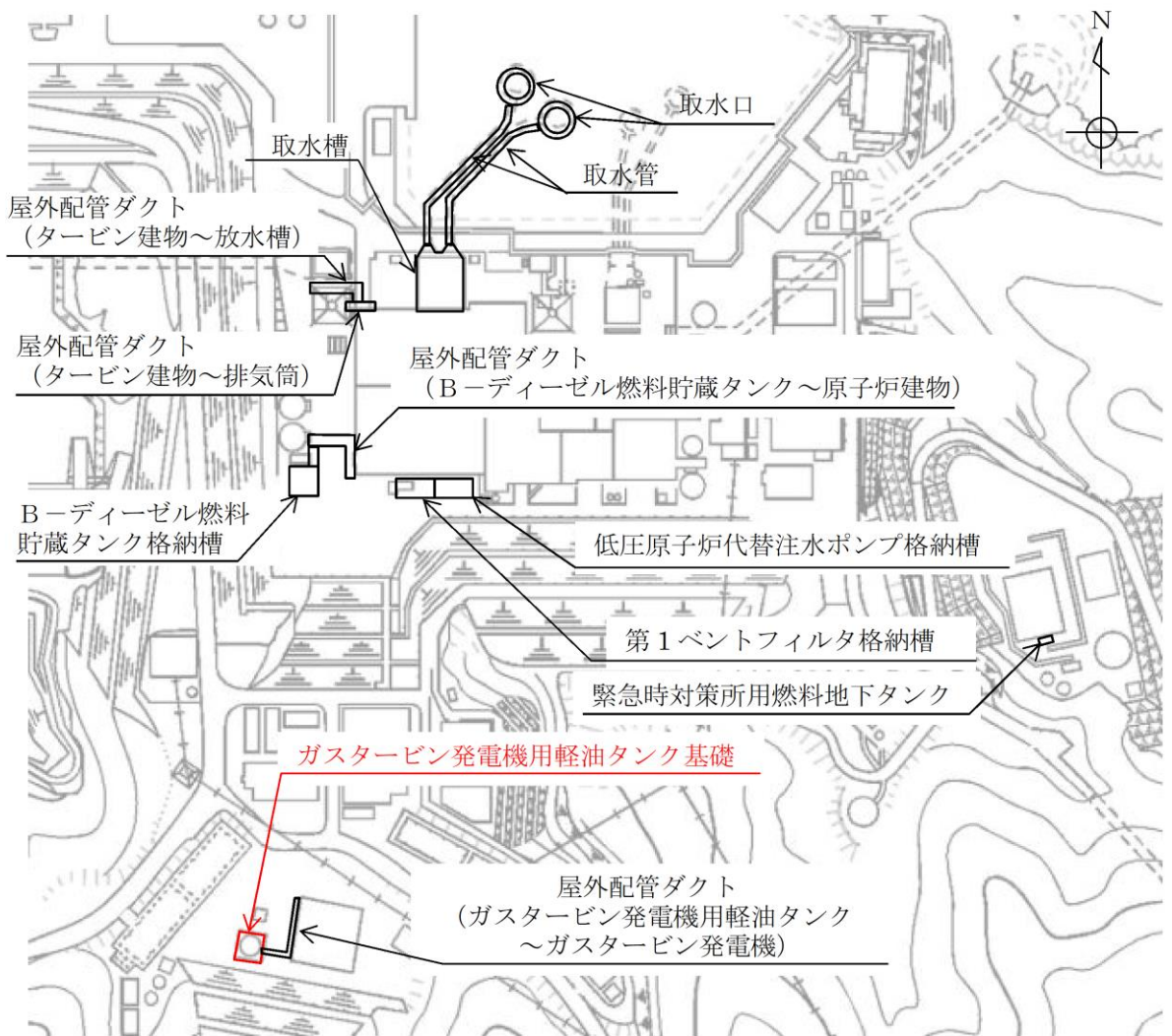


図 2-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 位置図

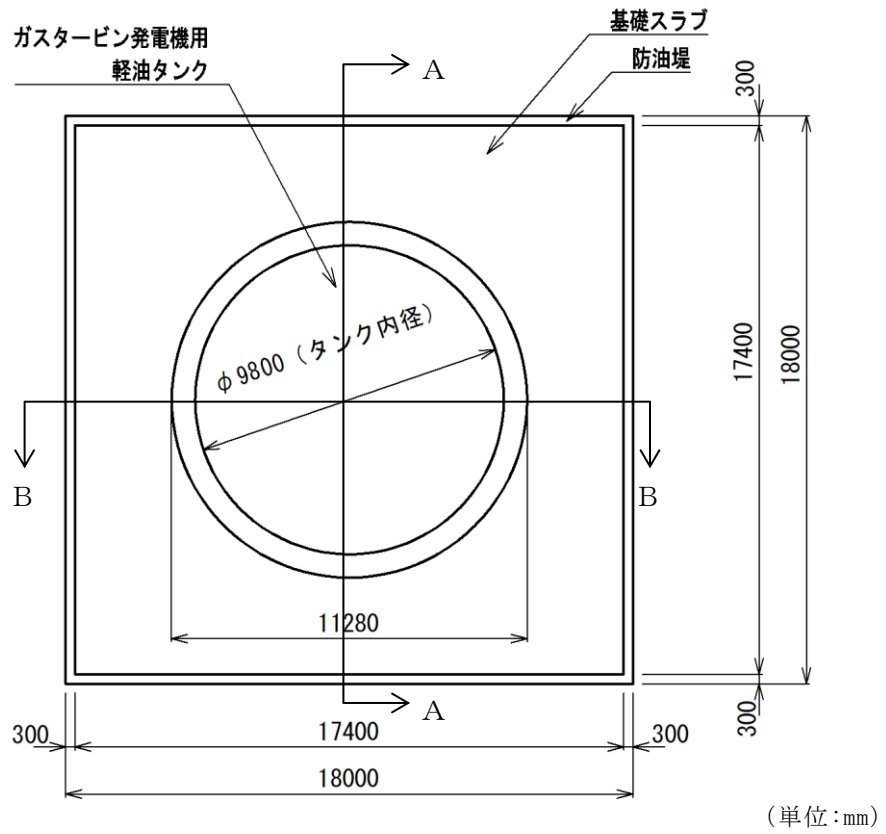


図 2-2 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図

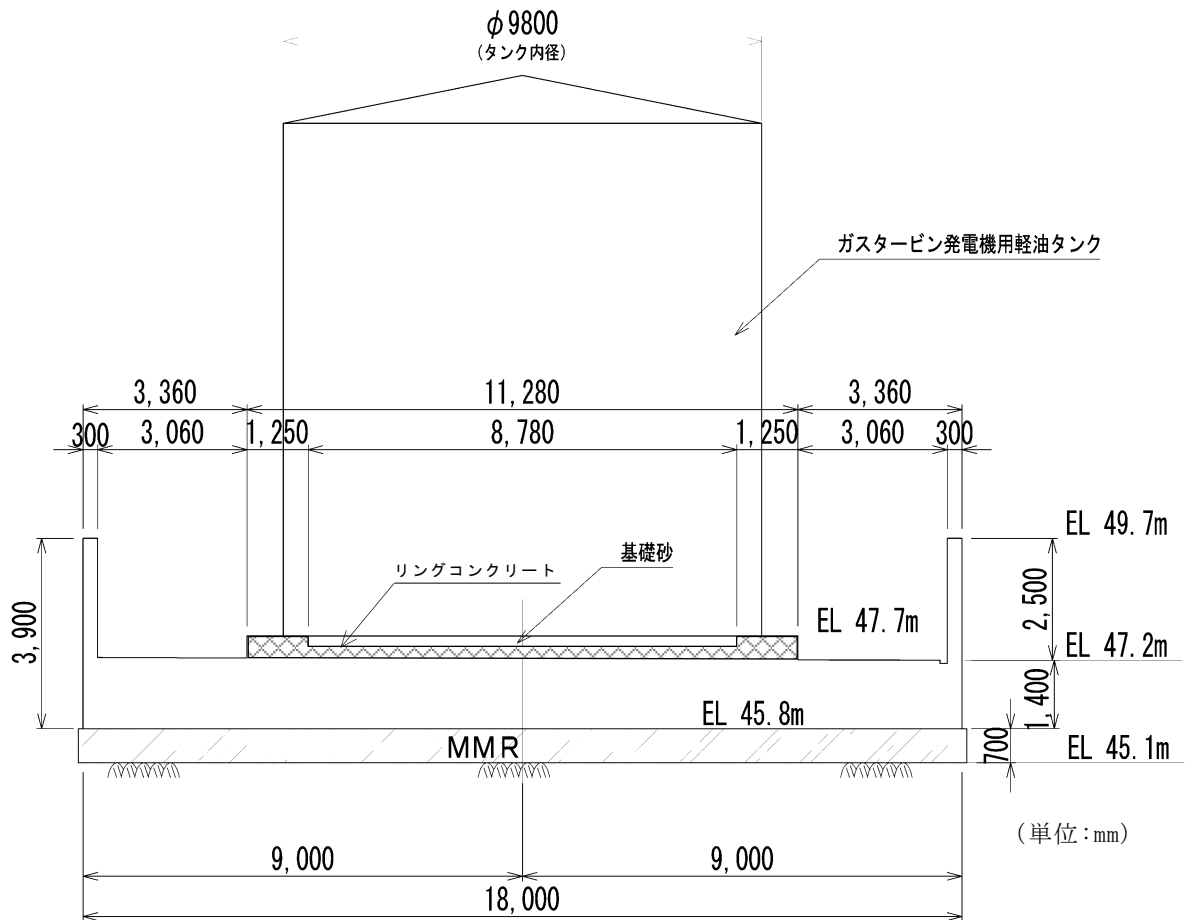


図 2-3 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (A-A断面及びB-B断面)

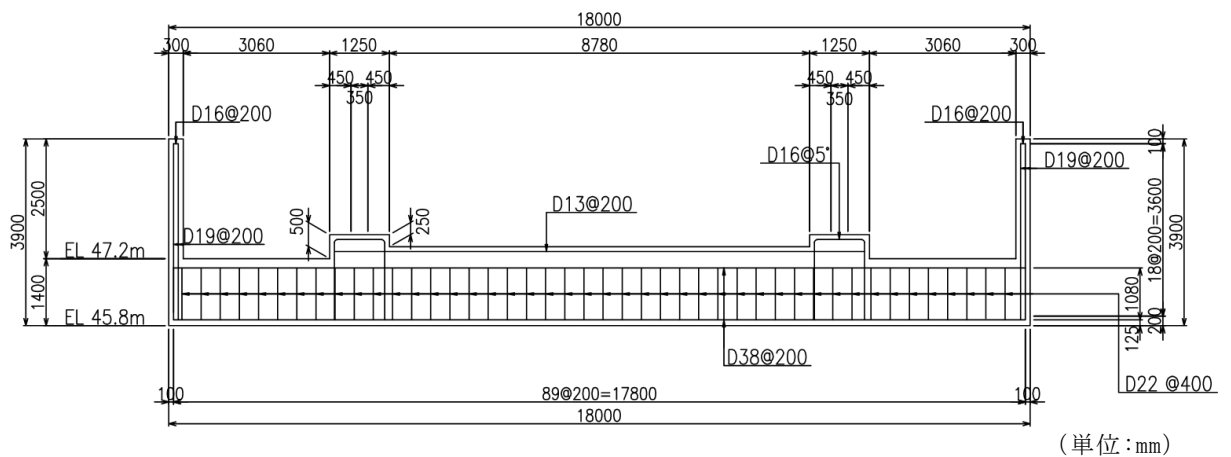
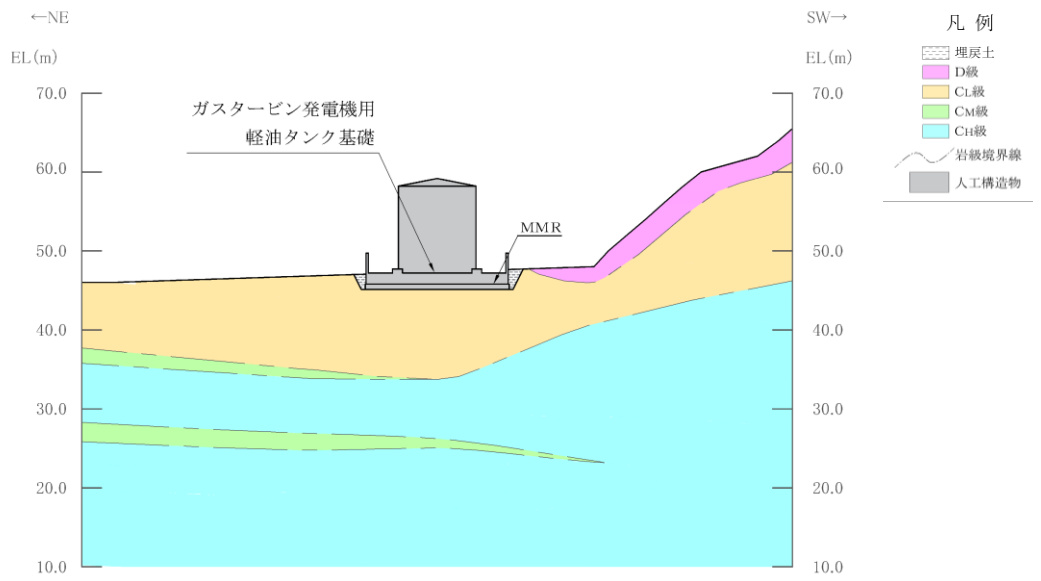
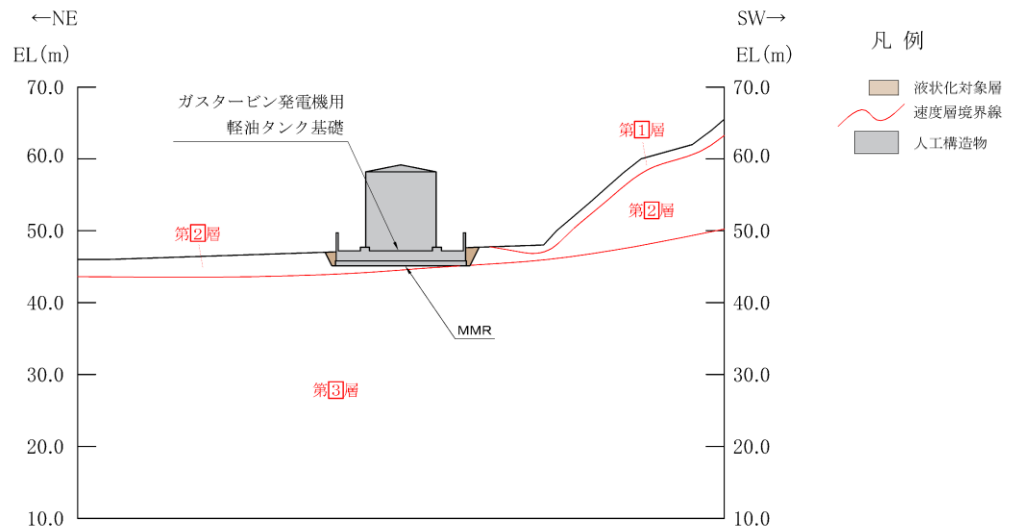


図 2-4 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 概略配筋図
(A-A断面及びB-B断面)



(岩級図)



(速度層図)

図 2-5 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地質断面図 (A-A断面)

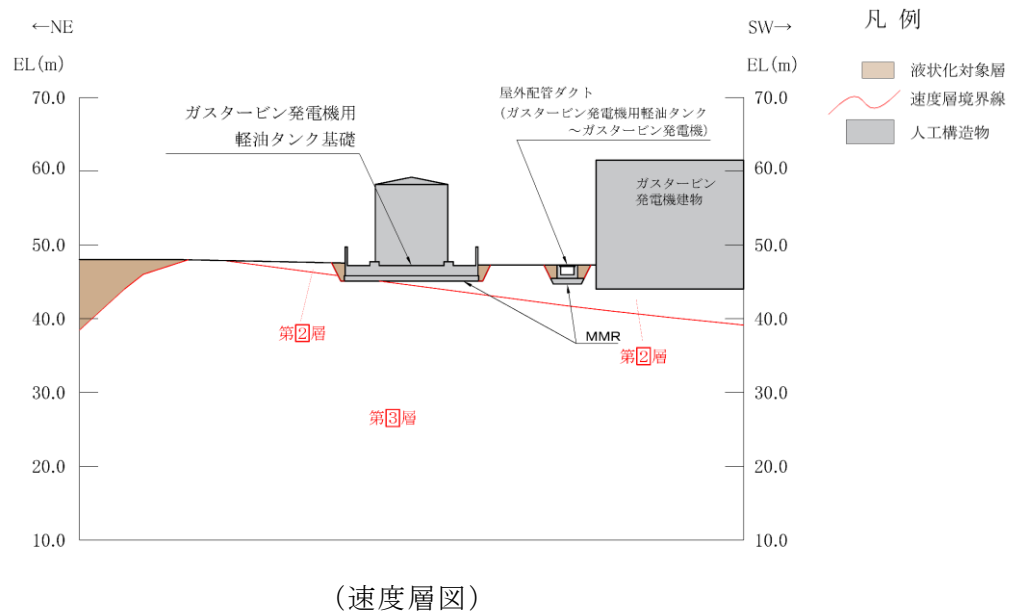
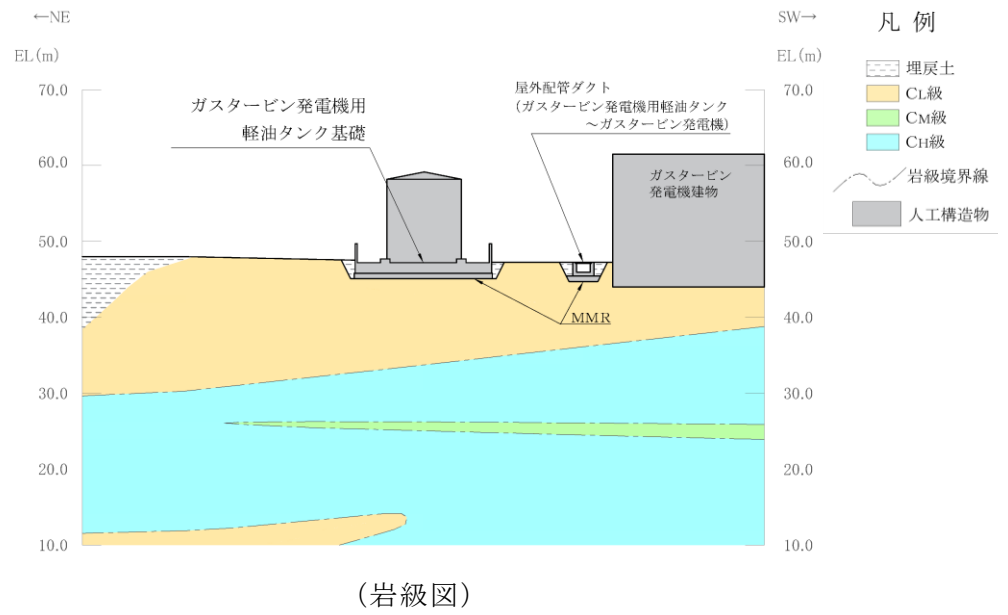


図 2-6 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地質断面図 (B-B断面)

2.3 評価対象断面の選定

評価対象断面は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に示すとおり、構造的特徴や周辺状況等を踏まえ選定する。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の構造はA-A断面及びB-B断面で同一であり、地表面付近の岩盤を掘り込んで設置している直接基礎であることを踏まえると、構造物の周辺状況が耐震評価に及ぼす影響は軽微である。また、構造物直下の速度層分布については、いずれの断面も薄い2層を介して3層が支配的であり、差異は軽微である。

以上を踏まえ、地震応答解析においては同一のモデルにおいて評価が可能であるが、A-A断面及びB-B断面の両断面に作用する地震動に対して網羅的に評価を実施する。

2.4 使用材料及び材料の物性値

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 2-2 に示す。

表 2-2 使用材料の物性値

使用材料	単位体積重量 (kN/m ³)	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
軽油タンク (SM400A, SM400C)	77.0	2.00×10^5	7.710×10^4	1	—
基礎スラブ・防油堤 (鉄筋コンクリート) コンクリート： Fc=24.0 (N/mm ²) 鉄筋：SD345	24.0	2.50×10^4	1.042×10^4	5	—

2.5 地盤物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤の解析用物性値を表2-3に示す。

表2-3 地盤の解析用物性値（岩盤）

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	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
2層	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
3層	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
4層	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
5層	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
6層	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

2.6 評価構造物諸元

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の断面諸元を表 2-4 及び表 2-5 に、概略配筋図を図 2-7 に示す。

表 2-4 断面諸元（軽油タンク基礎）

位置	部材厚 (mm)	主鉄筋		せん断 補強筋	かぶり（鉄筋中心位置）	
		上側鉄筋	下側鉄筋		上側鉄筋	下側鉄筋
南北方向	1400	D38@200	D38@200	D22@400 ×400	220mm	160mm
東西方向		D38@200	D38@200			

表 2-5 断面諸元（防油堤）

位置	部材厚 (mm)	主鉄筋		せん断 補強筋	かぶり（鉄筋中心位置）	
		上側鉄筋	下側鉄筋		上側鉄筋	下側鉄筋
鉛直方向	300	D19@200	D19@200	なし	100mm	100mm
水平方向		D16@200	D16@200			

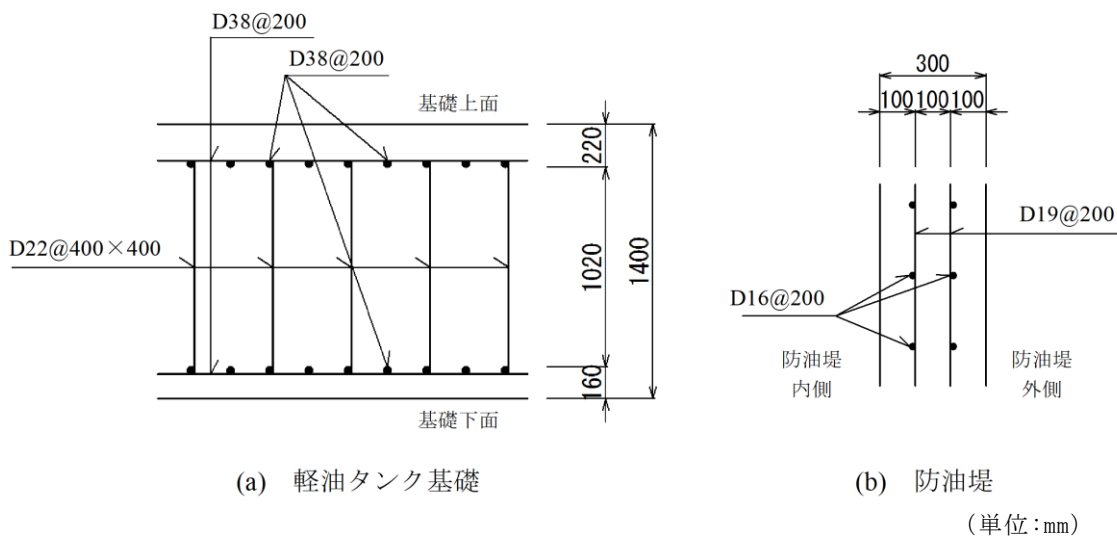


図 2-7 概略配筋図

2.7 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表2-6に示す。

なお、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎については、地下水位が構造物基礎下端より十分低いため、地下水を考慮しない。

表2-6 設計地下水位の一覧

施設名称	設計地下水位 (EL m)	備考
ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎	地下水位が構造物基礎下端 (EL 45.8m) より十分低いた め考慮しない。	三次元浸透流解析による 自然水位 : EL22.1m~24.2m

2.8 耐震評価フロー

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析及び耐震評価フローを図 2-8 に示す。ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は 2 次元地震応答解析より求まる応答値を用いた 3 次元構造解析により耐震評価を実施する。同様に、基礎地盤の支持性能評価についても 3 次元構造解析により行う。

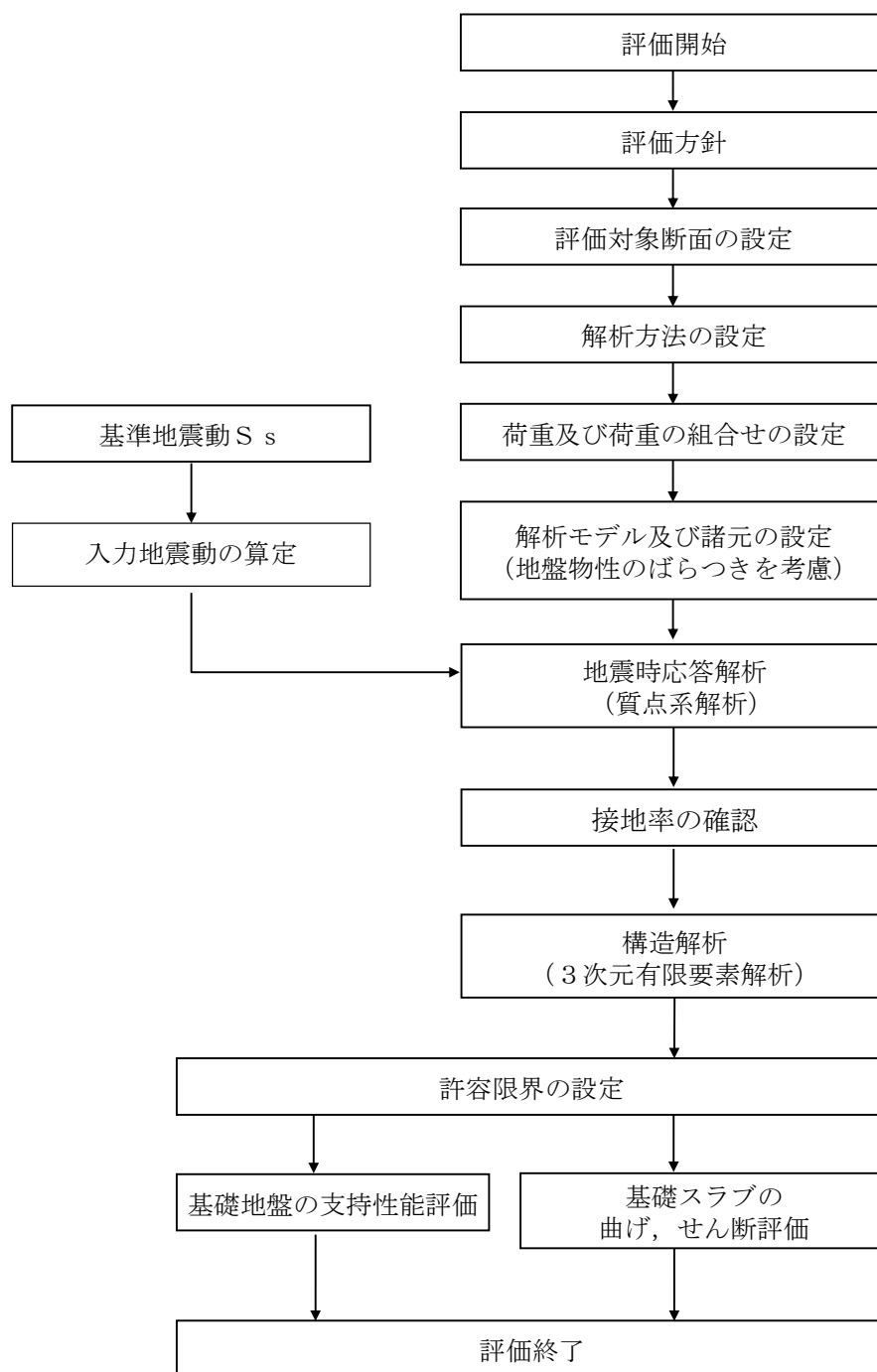


図 2-8 地震応答解析及び耐震評価フロー

3. 地震応答解析

3.1 地震応答解析手法

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、地表面付近の岩盤を掘り込んで設置している直接基礎であることを踏まえ、地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる質点系モデルにより、逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎周辺の地下水位は**構造物基礎下端**より低いいため、周辺地盤の液状化による影響を考慮する必要は無い。

地震応答解析については、解析コード「D Y N A 2 E」を使用する。なお、解析コードの検証及び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。

地震応答解析手法の選定フローを図 3-1 に示す。

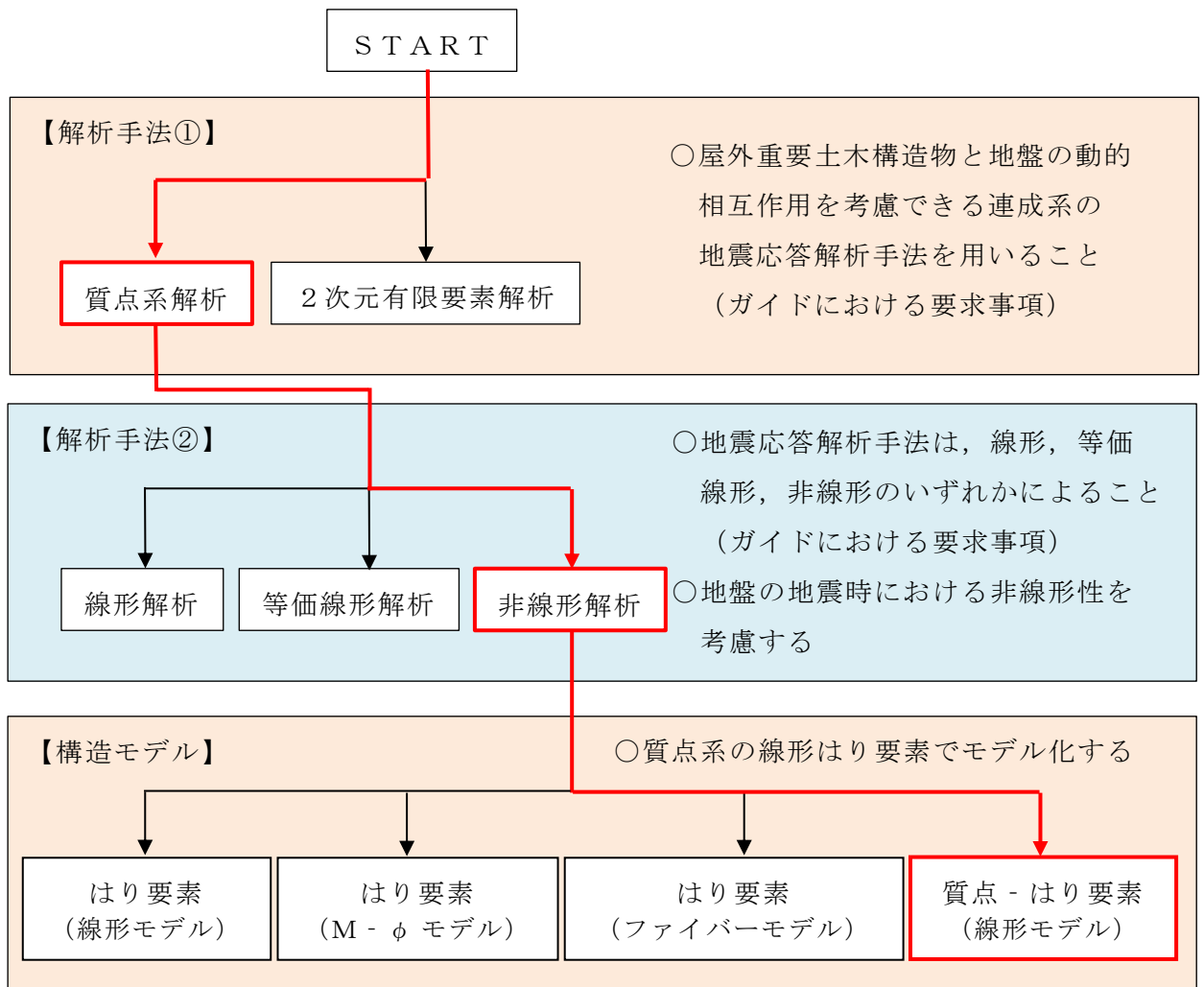


図 3-1 地震応答解析手法の選定フロー

3.2 地震応答解析モデルの設定

3.2.1 建造物のモデル化

地震応答解析モデル図を図 3-3 に示す。水平方向についてはタンク、基礎スラブ及び防油堤を集中質点と曲げせん断棒でモデル化し、基礎スラブと地盤の相互作用を水平ばねと回転ばねで考慮する。また、鉛直方向については、タンク、基礎スラブ及び防油堤を集中質点と軸ばねでモデル化し、基礎スラブと地盤の相互作用を鉛直ばねで考慮する。ここで、質点⑨～⑫については防油堤を模擬しており、防油堤下端の⑪、⑫については、同じ標高である、質点⑦と水平・鉛直・回転の自由度を拘束している。

なお、「補足 027-10-96 溢水源としない B, C クラス機器の内屋外タンクの耐震評価方法について」の「別紙 (1) スロッシングを考慮した場合の内包流体の挙動について」に示すとおり、内包流体にスロッシングによる揺動を考慮することでタンク本体及び基礎ボルトに作用する地震荷重が低減されるため、本モデルにおいては内包流体を固定水として取り扱う。スロッシングの考慮の有無についての概念図を図 3-2 に示す。

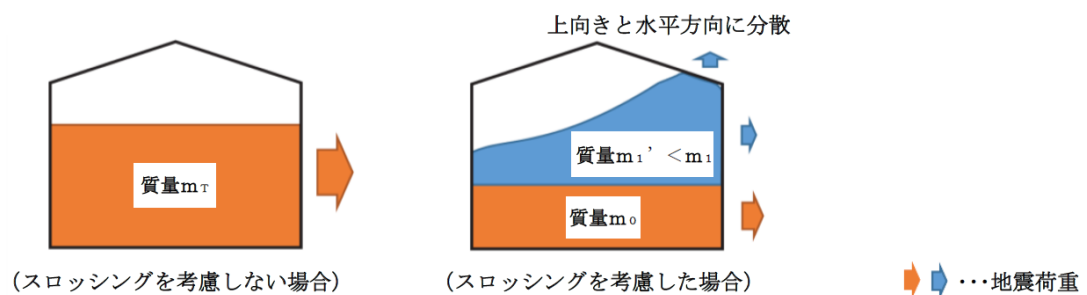
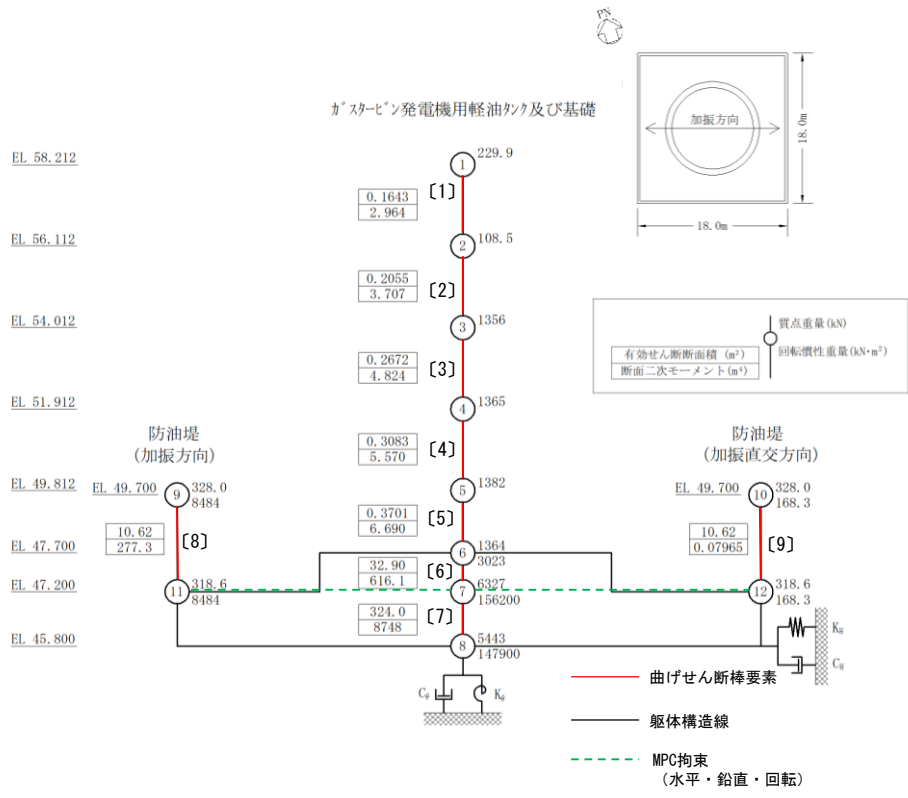
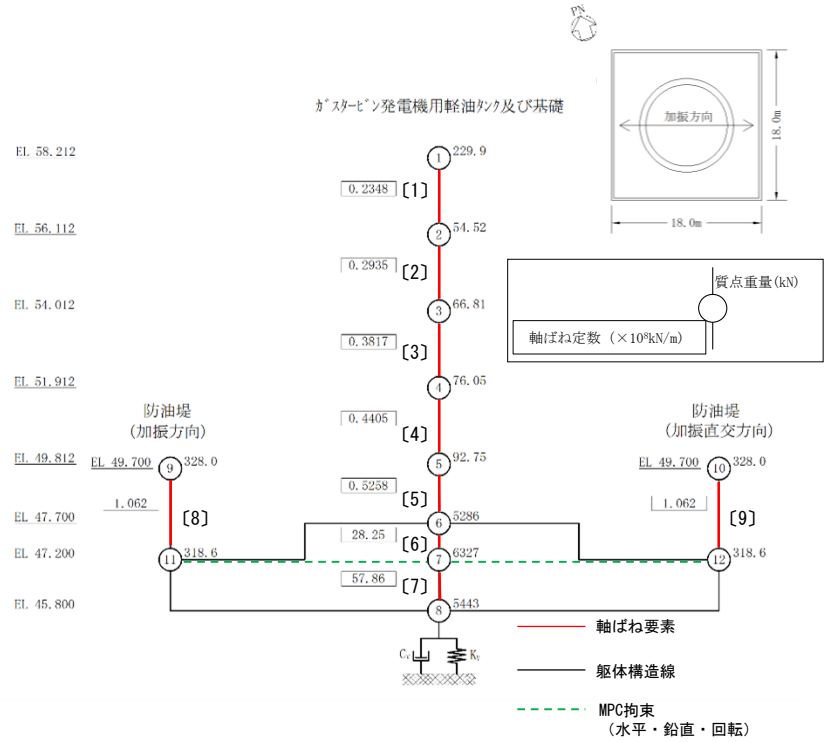


図 3-2 スロッシングの考慮の有無についての概念図



(水平モデル)

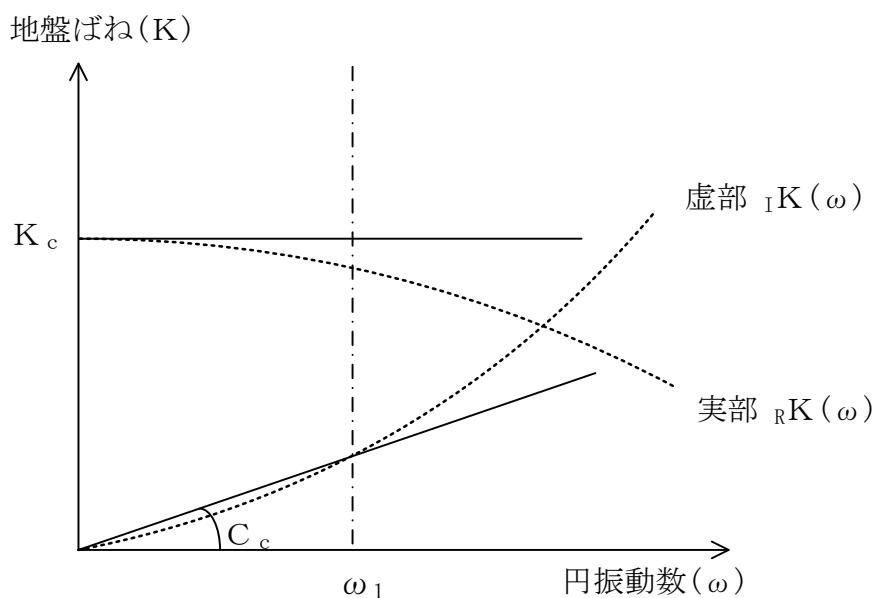


(鉛直モデル)

図 3-3 地震応答解析モデル

3.2.2 地盤のモデル化

基礎底面の地盤ばねについては，J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版により，成層補正を行ったのち，振動アドミ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3-4に示す。基礎底面ばねの評価には解析コード「d m a i n 2」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。



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3-4 地盤ばねの定数化の概要

水平方向の地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-1 に、鉛直方向の地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-2 に示す。

表 3-1 地盤ばね定数及び減衰係数（水平方向）

解析 ケース*	ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K c	減衰係数 C c
①	K _H , C _H	底面・水平	1.136×10 ⁸ (kN/m)	6.231×10 ⁵ (kN・s/m)
	K _θ , C _θ	底面・回転	9.754×10 ⁹ (kN・m/rad)	1.252×10 ⁷ (kN・m・s/rad)
②	K _H , C _H	底面・水平	1.607×10 ⁸ (kN/m)	7.367×10 ⁵ (kN・s/m)
	K _θ , C _θ	底面・回転	1.382×10 ¹⁰ (kN・m/rad)	1.204×10 ⁷ (kN・m・s/rad)
③	K _H , C _H	底面・水平	7.418×10 ⁷ (kN/m)	5.090×10 ⁵ (kN・s/m)
	K _θ , C _θ	底面・回転	6.358×10 ⁹ (kN・m/rad)	1.263×10 ⁷ (kN・m・s/rad)

注記*：解析ケースの詳細については「3.5 地震応答解析の解析ケース」参照

表 3-2 地盤ばね定数及び減衰係数（鉛直方向）

解析 ケース*	ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K c	減衰係数 C c
①	K _V , C _V	底面・鉛直	2.140×10 ⁸ (kN/m)	1.778×10 ⁶ (kN・s/m)
②	K _V , C _V	底面・鉛直	2.927×10 ⁸ (kN/m)	2.056×10 ⁶ (kN・s/m)
③	K _V , C _V	底面・鉛直	1.454×10 ⁸ (kN/m)	1.477×10 ⁶ (kN・s/m)

注記*：解析ケースの詳細については「3.5 地震応答解析の解析ケース」参照

3.2.3 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 追補版及び J E A C 4 6 0 1 -2008 に基づき、基礎の浮き上がりを考慮する非線形ばねとし、浮き上がり非線形地震応答解析（接地率に応じて誘発上下動を考慮）とする。基礎浮き上がり評価の手順を図 3-5 に、誘発上下動を考慮した多質点系モデルの概念図を図 3-6 に、基礎浮き上がり時の地盤ばね剛性と減衰を表 3-3 に示す。

また、誘発上下動を考慮した質点系解析の概念及び適用限界を図 3-7 に示す。地震応答解析結果より、接地率が 50%以上であることを確認することで、本モデルの適用性を確認する。加えて、接地率が 65%以下の場合については、誘発上下動の影響を無視できないことから、3次元構造解析において誘発上下動による応答値を考慮する。

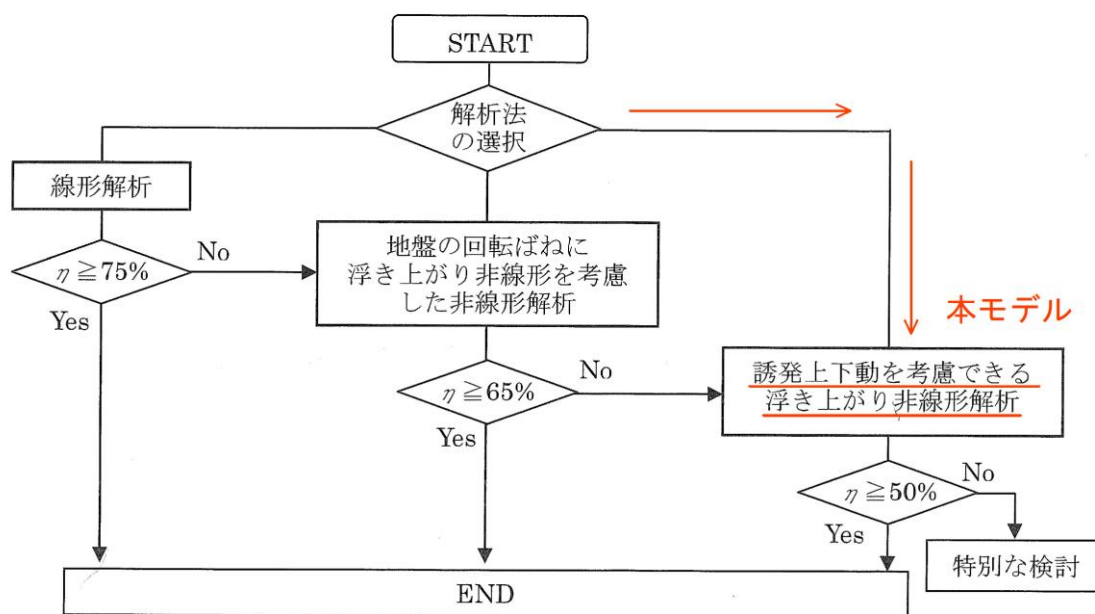


図 3-5 基礎浮き上がり評価の手順（J E A C 4 6 0 1 -2008 に追記）

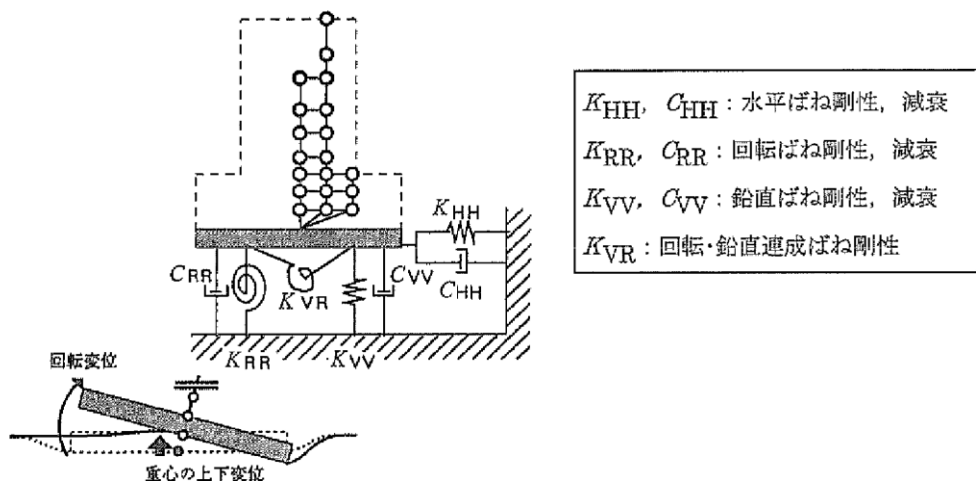


図 3-6 誘発上下動を考慮した多質点系モデルの概念図

(J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版)

表 3-3 誘発上下動モデルにおける基礎浮き上がり時の地盤ばね剛性と減衰

	水平ばね K_{HH}, C_{HH}	回転ばね K_{RR}, C_{RR}	回転・鉛直 連成ばね K_{VR}, C_{VR}	鉛直ばね K_{VV}, C_{VV}
地盤ばね の剛性 K	K_{H0}	$\frac{M - K_{VR} \cdot w_0}{\theta}$	$\frac{1 - \eta}{2} \cdot L \cdot K_{VV}$	$\eta^\beta \cdot K_{V0}$
地盤ばね の減衰 C	C_{H0}	$C_{R0} \cdot \eta^{\frac{\alpha}{2}}$	0	$C_{V0} \cdot \eta^{\frac{\alpha}{2}}$
$\eta = \left(\frac{\theta_0}{\theta}\right)^{\frac{2}{\alpha-2}}$	M : 転倒モーメント w_0 : 基礎版中心の鉛直変位 θ : 回転角 θ_0 : 浮き上がり限界回転角 L : 構造物の基礎幅 K_{H0} : 線形域の水平ばね剛性 K_{V0} : 線形域の鉛直ばね剛性		β : 0.46 α : 地反力分布に応じた値 (三角形分布 6.0) C_{H0} : 線形域の水平ばね減衰係数 C_{V0} : 線形域の鉛直ばね減衰係数 C_{R0} : 線形域の回転ばね減衰係数	

(4) 誘発上下動考慮の SR モデルについて (参考資料 3.5 (2)参照)

a. 浮き上がり時の地盤ばねと減衰係数について

接地率 η が 50% 以上の場合に適用できるこのモデルは、水平、回転の 2 自由度からなる通常の SR モデルに鉛直方向の自由度を加えたもので、地盤ばねは基礎底面中心の水平・鉛直・回転の各変位 (u_0, w_0, θ) に対して、式 (附 3.6-3) に示す剛性行列として設定する。基礎が浮き上がると回転自由度と鉛直自由度が連成することにより誘発上下動を評価するモデルである。

このモデルの地盤ばねと減衰係数を附表 3.6-1 に示す。各ばねの剛性の非線形特性については静的 Mindlin 解を用いた 3 次元静的漸増解析 (剛板分布) とジョイント要素を考慮した FEM により評価した。また減衰については、回転ばねの減衰は浮き上がりによって変化すること、水平ばねの減衰は回転のばねの減衰ほど浮き上がりによって影響を受けないこと等を考慮し、附表 3.6-1 に示すように定め、時間領域のグリーン関数法を用いた定常加振解析や建物・構築物の地震応答解析結果との比較からその妥当性を確認した。

b. 誘発上下動考慮の SR モデルの適用限界について

この誘発上下動考慮の SR モデルの適用範囲の検討として、時間領域のグリーン関数法を精算解と位置付け、時間領域のグリーン関数法と誘発上下動考慮の SR モデルの非線形地震応答解析を比較した結果、水平応答に関しては接地率 η にかかわらずよく対応するのに対し、誘発上下動については差が見られた。そこで誘発上下動の加速度に設計で考慮している鉛直動の影響を SRSS で考慮して比較した結果、接地率 η が 50% 以上の範囲では時間領域のグリーン関数との差は 10% 以下程度であった。また、誘発上下動の加速度を直接比較した場合の差は 20% 程度であった。このことから、誘発上下動考慮の SR モデルを接地率 η が 50% までの範囲で使用可能とした。なお、接地率 η が 65% 以下の場合にこのモデルを用いた場合には、浮き上がりによって生じる誘発上下動が無視できなくなるため、設計でこの影響を考慮する必要がある。

接地率 η が 50% を下回った場合には特別な検討を行う必要がある。その方法として参考資料 3.5 (1) に示す時間領域のグリーン関数法や参考資料 3.5 (3) に示すジョイント要素を考慮した 3 次元 FEM モデルを用いることが考えられる。

図 3-7 誘発上下動を考慮した質点系解析の概念及び適用限界
(J E A C 4 6 0 1 -2008 に追記)

3.2.4 地震応答解析モデル

(1) 水平モデル

水平方向の地震応答解析モデル図を図3-8に示す。図3-8における質点⑨～⑫については防油堤を模擬しており、防油堤下端の⑪、⑫については、同じ標高である、質点⑦と水平・鉛直・回転の自由度を拘束している。各質点及び曲げせん断棒要素に与える物性値の一覧を表3-4に示す。各質点及び曲げせん断棒要素における分担エリアの考え方の概念図を図3-9に示す。各質点の分担エリアは質点間中央で分割している。また、質点⑨～⑫、曲げせん断棒〔8〕～〔9〕については、防油堤を対象としており、質点⑨、⑪及び曲げせん断棒〔8〕については加振方向の防油堤を集約したもの、質点⑩、⑫及び曲げせん断棒〔9〕については加振直交方向の防油堤を集約したものとしている。

なお、ガスタービン発電機用軽油タンクの諸元については、VI-2-10-1-2-3-4「ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震性についての計算書」に準じる。

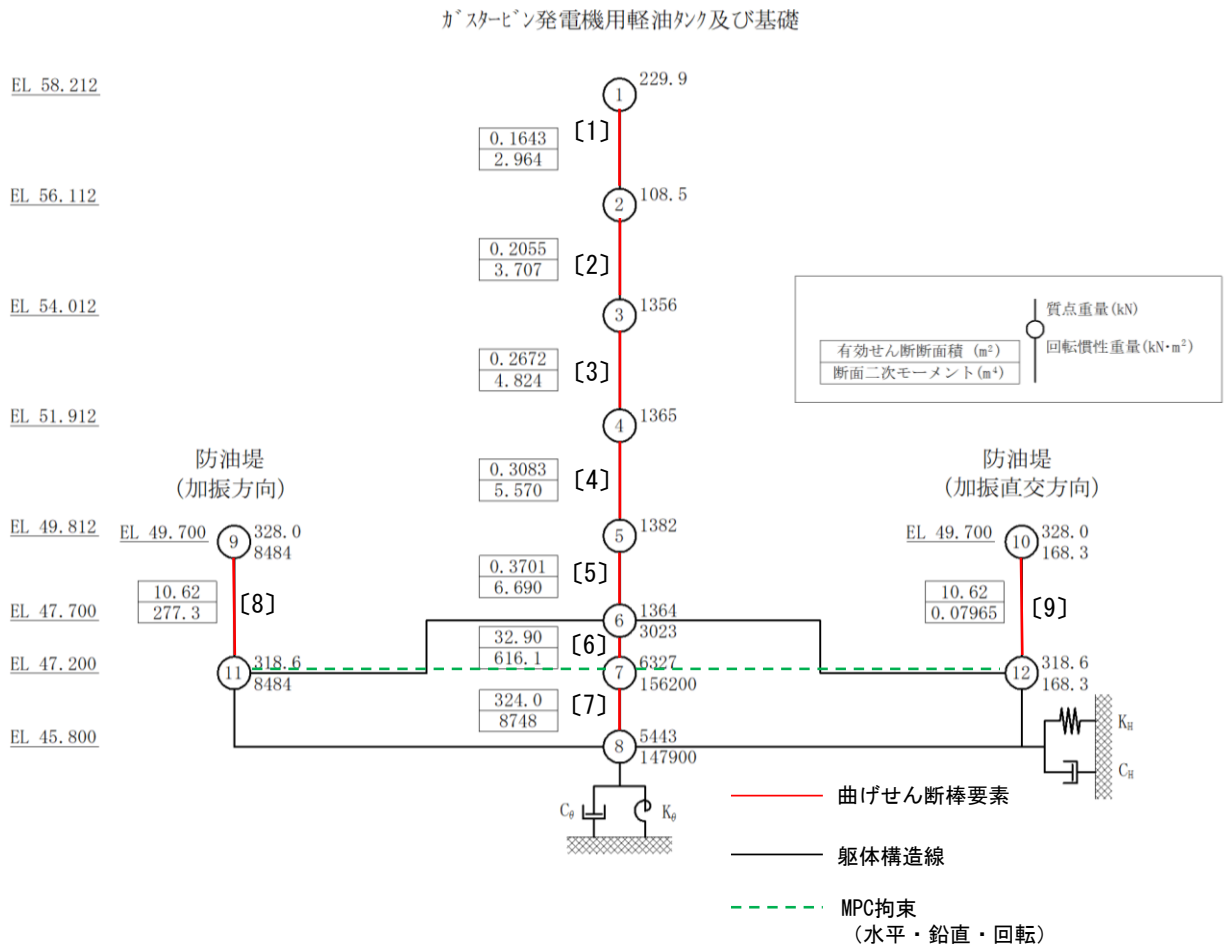


図3-8 地震応答解析モデル（水平方向）

表 3-4 各質点及び曲げせん断棒要素に与える物性値一覧表

質点No	高さ	質量(水平)	回転慣性重量	節点スパン	要素No	断面二次モーメント	有効せん断断面積
	EL m	kN	kN・m ²	m		m ⁴	m ²
①	58.212	229.9	-				
②	56.112	108.5	-	2.100	[1]	2.964	0.1643
③	54.012	1,356	-	2.100	[2]	3.707	0.2055
④	51.912	1,365	-	2.100	[3]	4.824	0.2672
⑤	49.812	1,382	-	2.100	[4]	5.570	0.3083
⑥	47.700	1,364	3,023	2.112	[5]	6.690	0.3701
⑦	47.200	6,327	156,200	0.500	[6]	616.1	32.90
⑧	45.800	5,443	147,900	1.400	[7]	8748	324.0
⑨	49.700	328.0	8,484				
⑩	47.200	318.6	8,484	2.500	[8]	277.3	10.62
⑪	49.700	328.0	168.3	-	-	-	-
⑫	47.200	318.6	168.3	2.500	[9]	0.07965	10.62

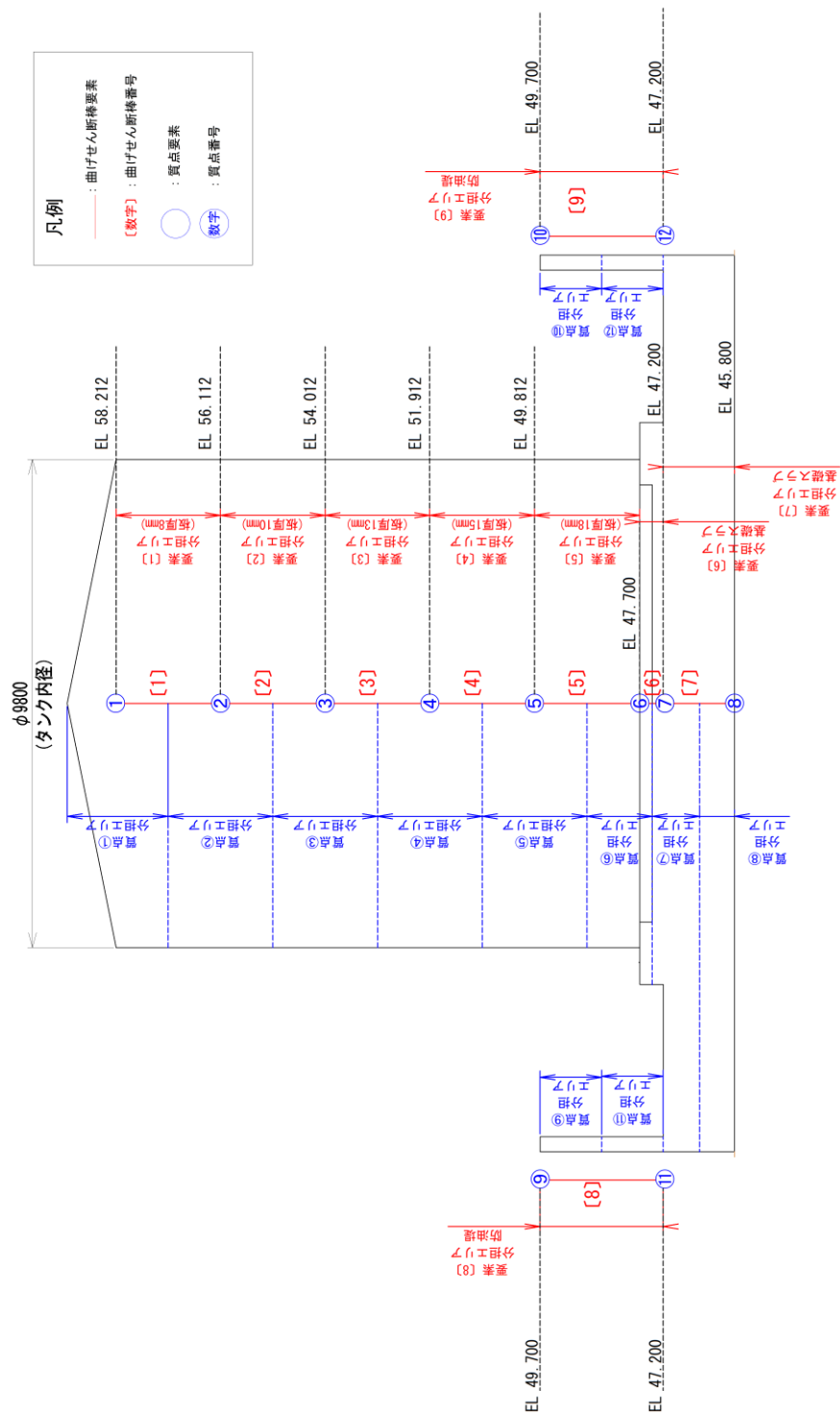
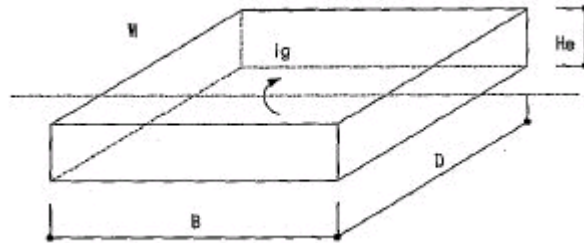


図 3-9 各要素における分担エリア概念図

タンク部分は基礎スラブ及び防油堤と比較して断面二次モーメントが十分小さく、それらから算定される回転慣性重量の影響が軽微であることから、回転慣性重量を考慮せず、重量のみを考慮したモデルとする。ここで、回転慣性重量の算定手法については図 3-10 に記載する。



$$I_g = \left\{ \frac{I}{A} + \frac{H_e^2}{12} \right\} \times W + W \times \left\{ \frac{H_e}{2} \right\}^2$$

$$= \left\{ I \times H_e + \frac{1}{12} \times A \times H_e^3 \right\} \times \gamma + W \times \left\{ \frac{H_e}{2} \right\}^2$$

ここで、 I_g : 回転慣性 ($\text{kN} \cdot \text{m}^2$)

A : 断面積(m^2)

I : 断面 2 次モーメント(m^4)

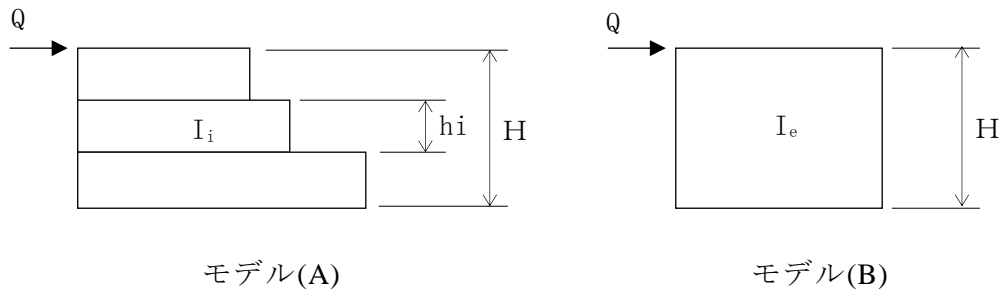
W : 構造物各質点の重量 (kN)

γ : 単位体積重量(kN/m^3)

H_e : 高さ

図 3-10 回転慣性重量算定手法

各質点をつなぐ、曲げせん断棒要素の断面二次モーメントの算定手法を図 3-11 に記載する。なお、断面二次モーメントは、基礎スラブ中央部のリングコンクリート部分のような変断面を有する場合には、頂部における回転角が等価となる断面二次モーメント I_e で評価する。また、曲げせん断棒要素のせん断弾性係数はガスタービン発電機用軽油タンクについては鋼材の物性値、基礎スラブ及び防油堤についてはコンクリートの物性値として設定する。



$$\theta_A = \int_0^{h_1} \frac{M}{E \cdot I_1} \cdot dh + \int_{h_1}^{h_1+h_2} \frac{M}{E \cdot I_2} \cdot dh + \dots + \int_{H-h_n}^H \frac{M}{E \cdot I_n} \cdot dh$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{M \cdot h_i}{E \cdot I_i}$$

$$\theta = \int_0^H \frac{M}{E \cdot I_e} \cdot dh = \frac{M \cdot H}{E \cdot I_e}$$

$\theta_A = \theta$ とすると、

$$I_e = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{I_i}}$$

ここで、 θ_A : モデル(A)の回転角 (rad)

θ : モデル(B)の回転角 (rad)

h_i : 要素内の各断面変化部分の高さ (m)

M : 曲げモーメント = $Q \cdot H$ (kN・m)

Q : 水平力 (kN)

E : 弾性係数 (kN/m²)

I_i : 要素内の各断面変化部分の断面二次モーメント (m⁴)

n : 要素内の断面変化部分の数

H : 要素全体の高さ (m)

I_e : 要素の等価断面二次モーメント (m⁴)

図 3-11 断面二次モーメント算定手法

(2) 鉛直モデル

鉛直方向の地震応答解析モデル図を図 3-12 に示す。各質点及び軸ばね要素に与える物性値の一覧を表 3-5 に示す。各質点及び軸ばね要素における分担エリアの考え方については、水平モデルと同様である。

各質点をつなぐ、軸ばね要素のばね定数については、縦弾性係数、有効断面積並びに節点スパンを使用して算定する。

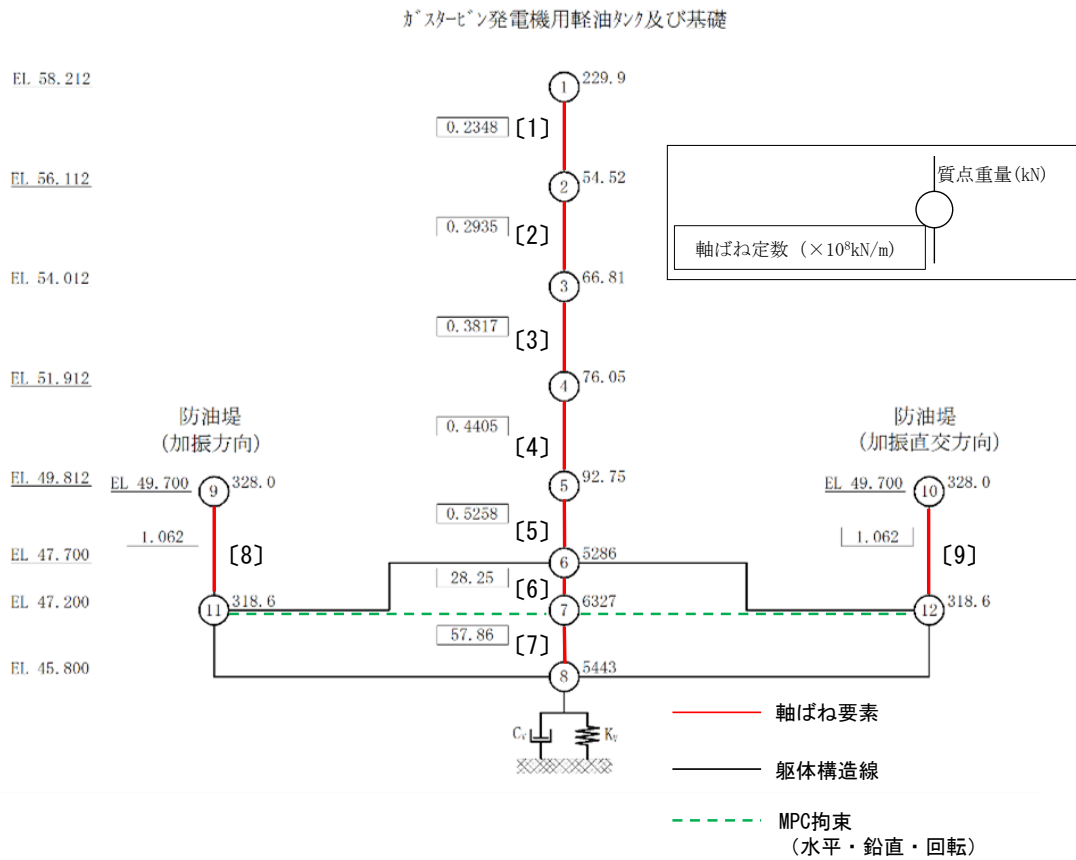


図 3-12 地震応答解析モデル (鉛直方向)

表 3-5 各質点及び軸ばね要素に与える物性値一覧表

質点No	高さ	質量(鉛直)	節点スパン	要素No	ばね定数
	EL m				kN
①	58.212	229.9			
			2.100	[1]	2.348×10^7
②	56.112	54.52			
			2.100	[2]	2.935×10^7
③	54.012	66.81			
			2.100	[3]	3.817×10^7
④	51.912	76.05			
			2.100	[4]	4.405×10^7
⑤	49.812	92.75			
			2.112	[5]	5.258×10^7
⑥	47.700	5,286			
			0.500	[6]	2.825×10^9
⑦	47.200	6,327			
			1.400	[7]	5.786×10^9
⑧	45.800	5,443			
⑨	49.700	328.0			
			2.500	[8]	1.062×10^8
⑪	47.200	318.6			
			-	-	-
⑩	49.700	328.0			
			2.500	[9]	1.062×10^8
⑫	47.200	318.6			

3.3 固有値解析結果

基本ケース（解析ケース①*）の地震応答解析モデルの固有値解析結果（固有周期、固有振動数及び刺激係数）を表3-6に示す。刺激関数図を図3-13及び図3-14に示す。

固有値解析結果は、地震応答解析における地盤ばねの設定に用いるが、1次固有円振動数 ω_1 については、保守的に固有振動数が最小となる防油堤（加振直交方向）の1次モードから算定する。

注記*：解析ケースの取り合いについては、「3.5 地震応答解析の解析ケース」において示す

表3-6 固有値解析結果（解析ケース①）

(a) 水平方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.065	15.48	1.359	防油堤（加振直交方向） 1次
2	0.061	16.51	1.779	軽油タンク及び基礎スラ ブ1次
3	0.025	40.34	-2.690	防油堤（加振方向）1次
4	0.020	48.96	2.223	
5	0.016	64.06	-0.448	
6	0.013	74.13	-0.109	

(b) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.019	51.87	1.933	軽油タンク及び基礎スラ ブ並びに防油堤1次
2	0.013	79.11	-0.950	
3	0.004	239.28	-0.049	
4	0.004	283.60	0.000	
5	0.003	287.10	-0.032	
6	0.002	407.28	0.075	

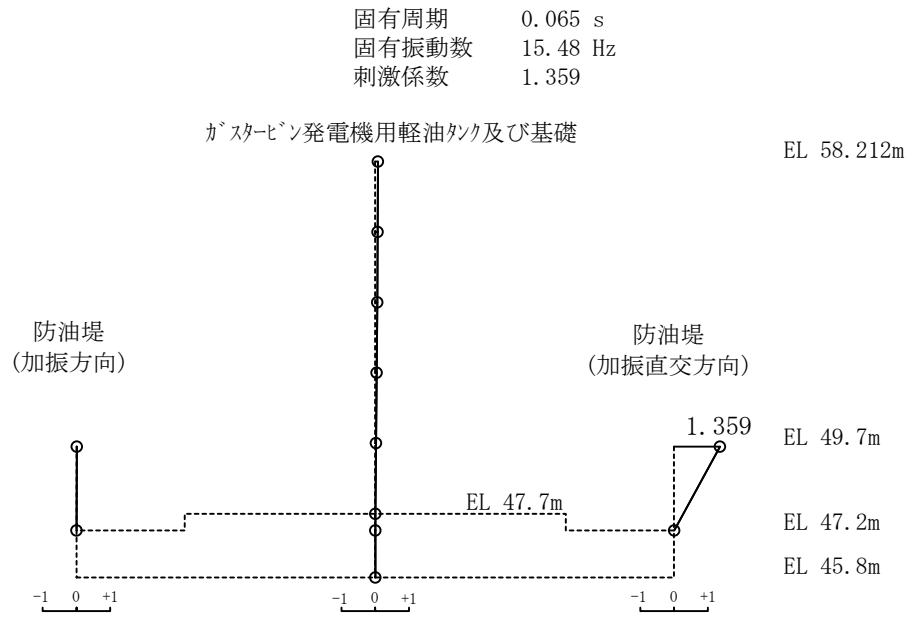


図 3-13(1) 刺激関数図 (解析ケース①, 水平方向, 1次モード)

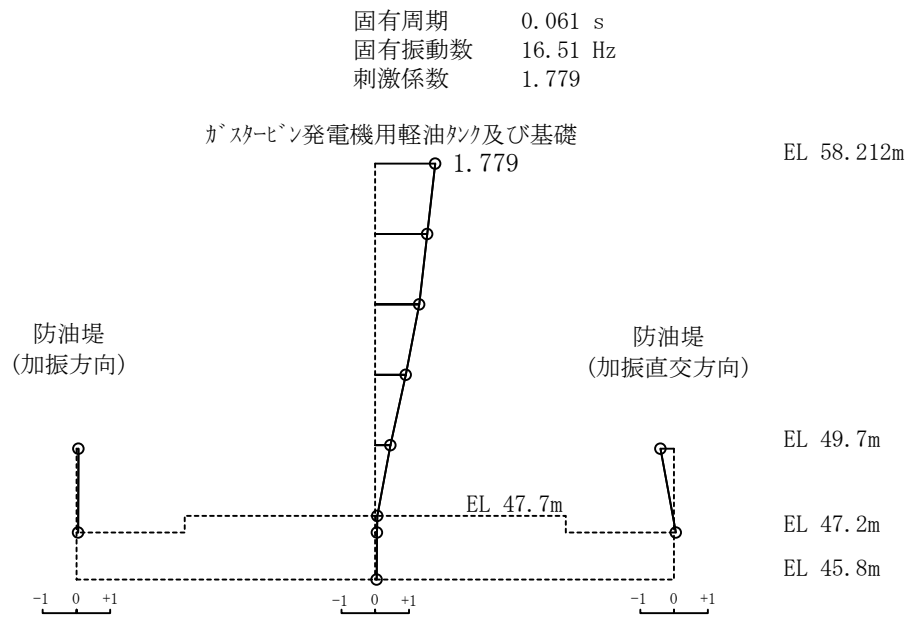


図 3-13(2) 刺激関数図 (解析ケース①, 水平方向, 2次モード)

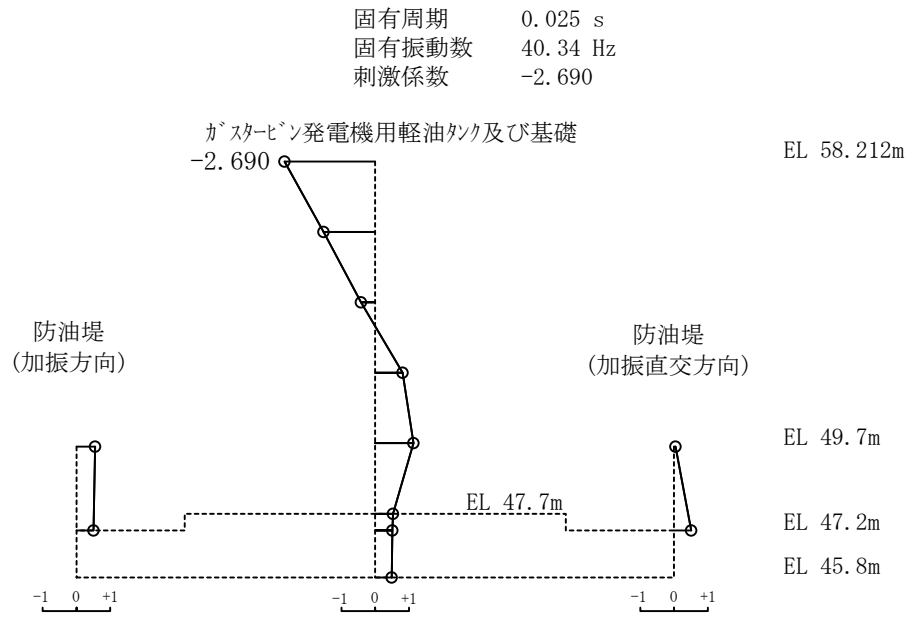


図 3-13(3) 刺激関数図 (解析ケース①, 水平方向, 3次モード)

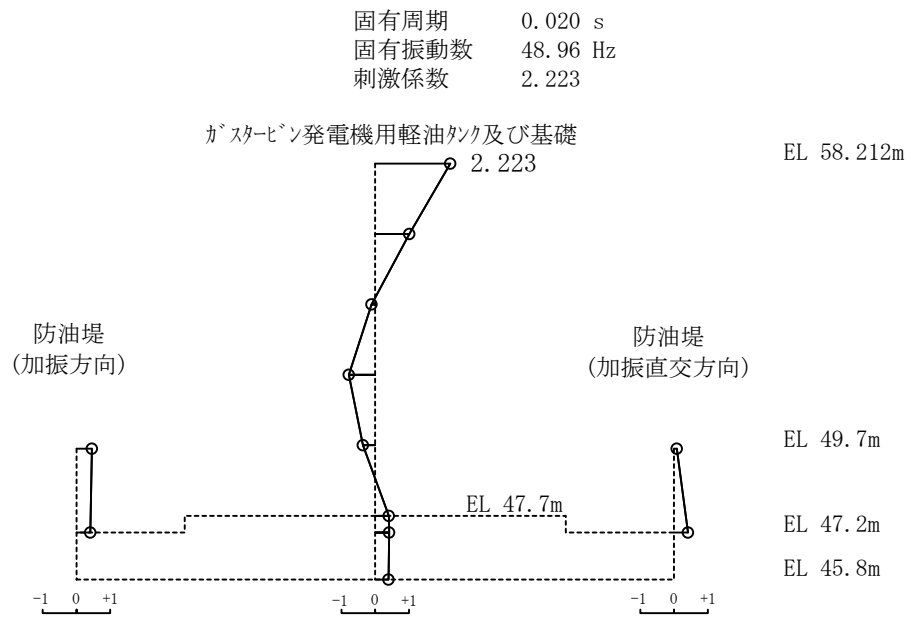


図 3-13(4) 刺激関数図 (解析ケース①, 水平方向, 4次モード)

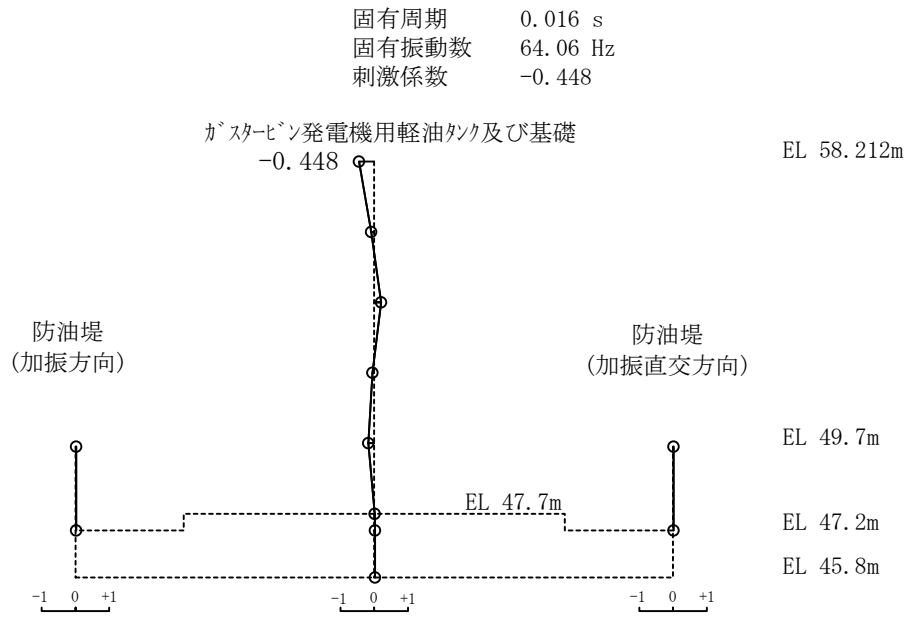


図 3-13(5) 刺激関数図 (解析ケース①, 水平方向, 5次モード)

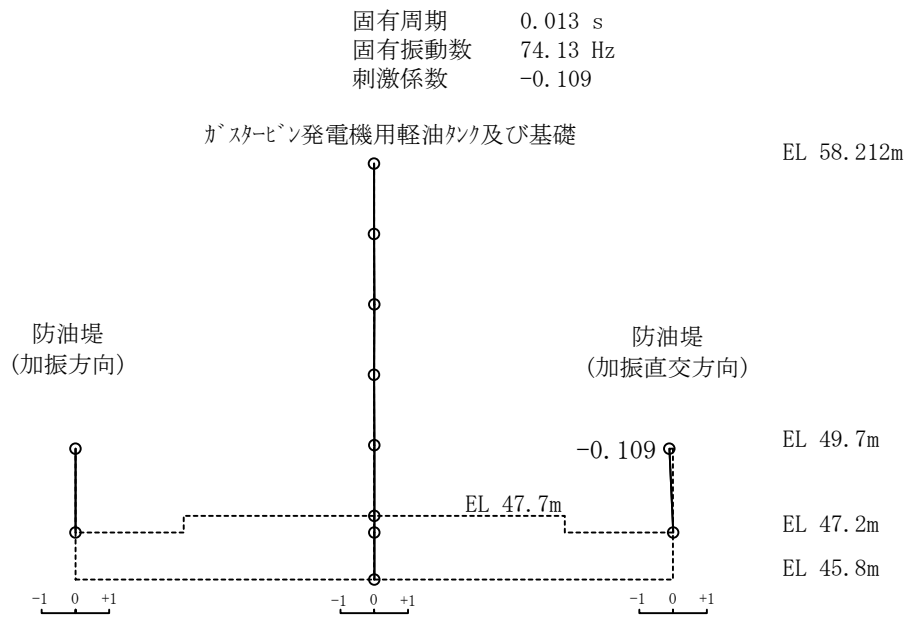


図 3-13(6) 刺激関数図 (解析ケース①, 水平方向, 6次モード)

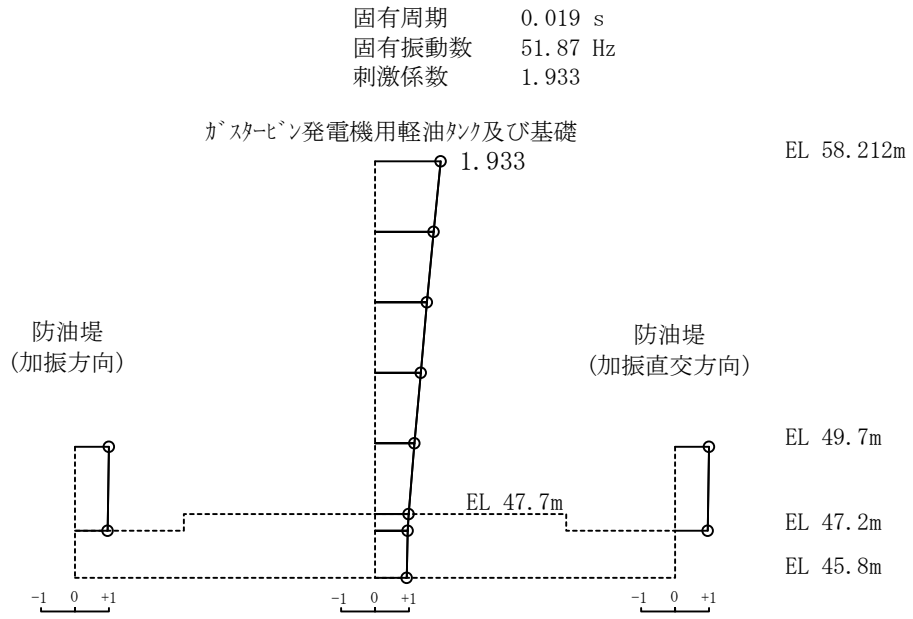


図 3-14(1) 刺激関数図 (解析ケース①, 鉛直方向, 1次モード)

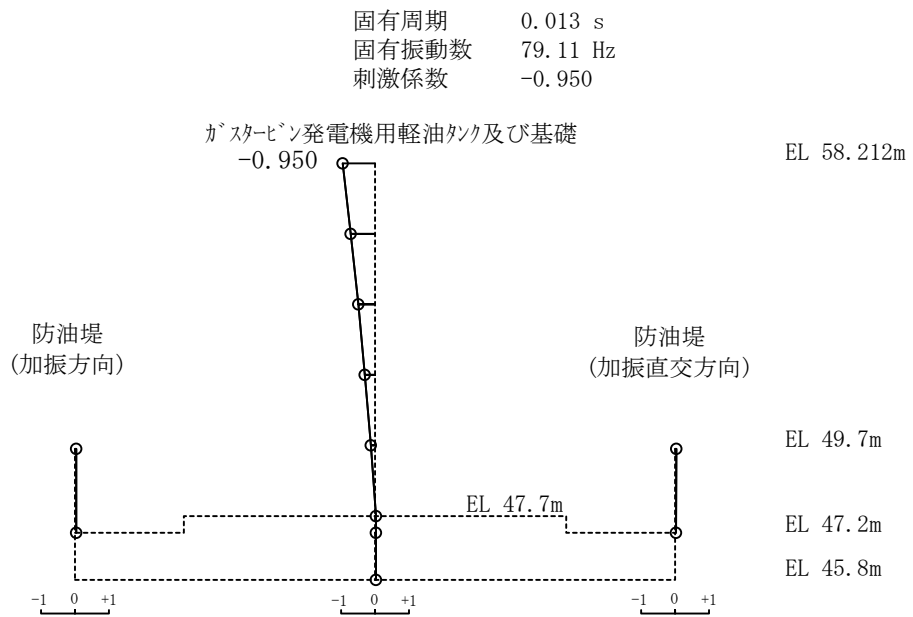


図 3-14(2) 刺激関数図 (解析ケース①, 鉛直方向, 2次モード)

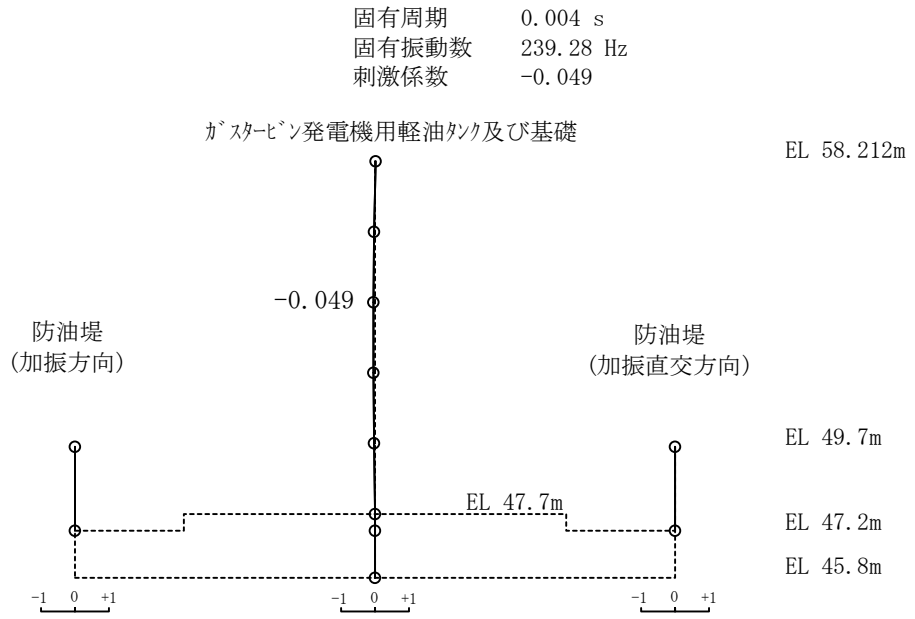


図 3-14(3) 刺激関数図 (解析ケース①, 鉛直方向, 3次モード)

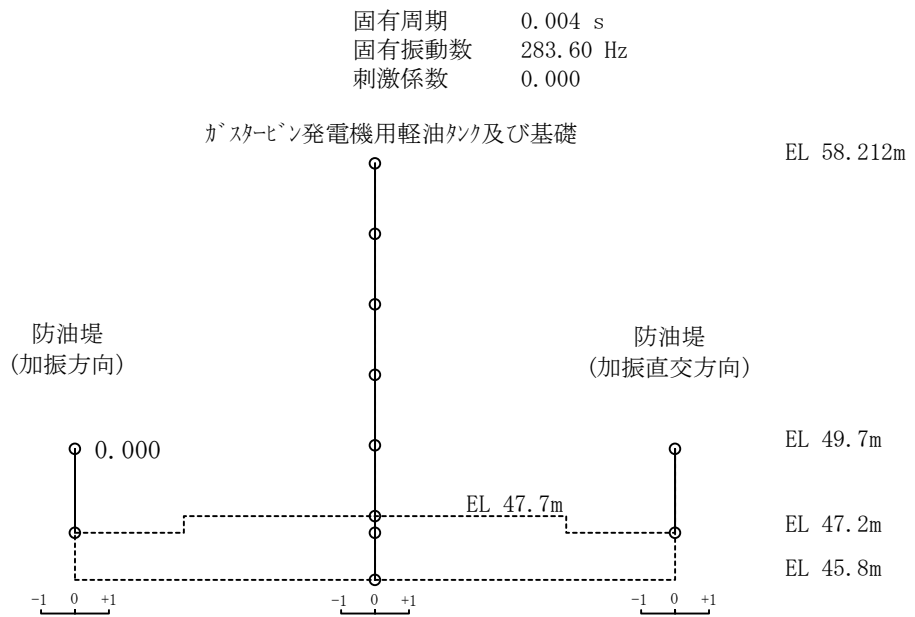


図 3-14(4) 刺激関数図 (解析ケース①, 鉛直方向, 4次モード)

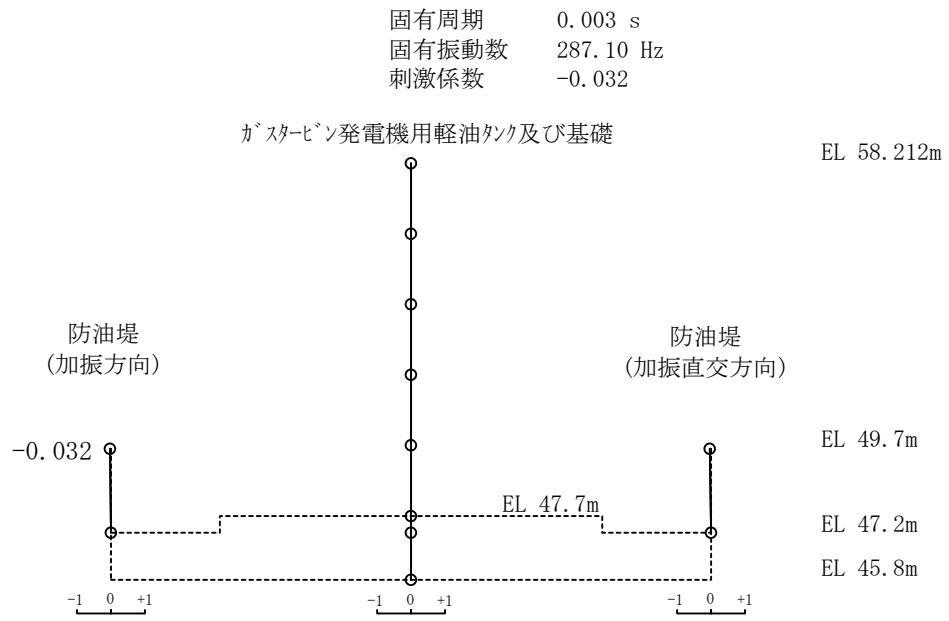


図 3-14(5) 刺激関数図 (解析ケース①, 鉛直方向, 5 次モード)

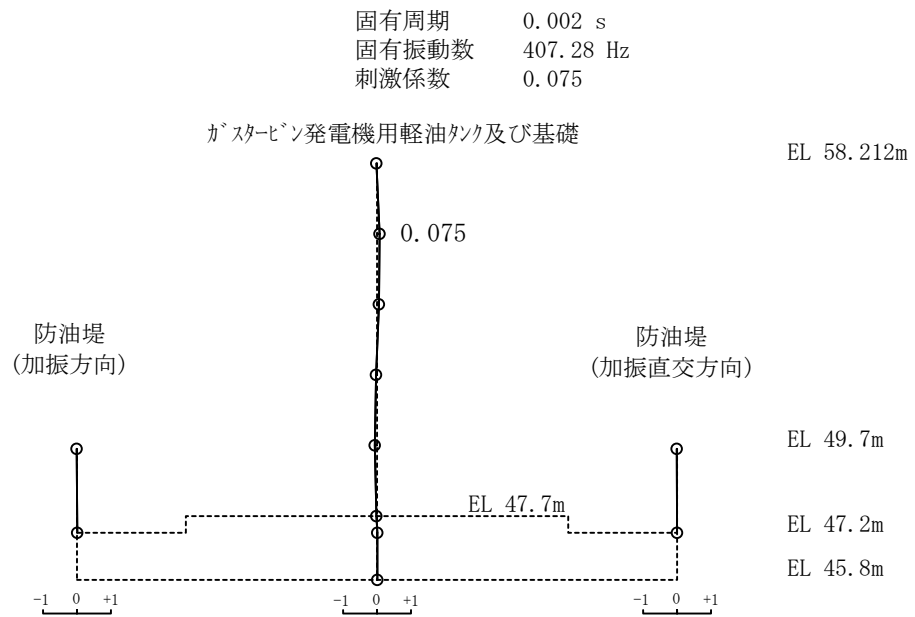


図 3-14(6) 刺激関数図 (解析ケース①, 鉛直方向, 6 次モード)

3.4 荷重及び荷重の組合せ

地震応答解析においては、躯体自重、機器・配管荷重及び積雪荷重を各質点に考慮する。

3.4.1 機器・配管荷重

(1) タンク関連の機器・配管荷重

タンク関連（タンク本体及び内容液）の機器・配管荷重については、図 3-9 に示す分担エリアに応じた重量を各質点に載荷する。

(2) ポンプ関連の機器・配管荷重

ポンプ関連の機器・配管荷重として、基礎スラブに 9.8kN、防油堤に 3.9kN の配管荷重を考慮する。防油堤については総重量を 2 分割し、加振方向及び加振直交方向の防油堤頂部の質点に載荷する。

3.4.2 積雪荷重

積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量 1 cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

積雪量は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等における損傷の防止に関する基本方針」に基づき、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm とする。

3.5 地震応答解析の解析ケース

3.5.1 耐震評価における解析ケース

(1) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-7 に示す解析ケースを設定する。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎周辺では、岩盤の分布が支配的であるため、これらの地盤が地震時に構造物の応答に影響を与えると判断されることから、岩盤のばらつきを考慮する。

ばらつきを考慮する物性値は地盤のせん断変形を定義するせん断弾性係数とし、平均値を基本ケース（表 3-7 に示すケース①）とした場合に加えて、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差 (σ) のケース（表 3-7 に示すケース②及び③）について確認を行う。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示す。

表 3-7 耐震評価における解析ケース

解析ケース	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + 1σ
ケース③	平均値 - 1σ

(2) 耐震評価における解析ケースの組合せ

基準地震動 S_s 全波（6波）に $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ の直交方向の成分（2波）を加えた全8波に対し、基本ケース（ケース①）を実施し、「3.7.2 3次元構造解析への入力荷重の時刻選定」に示す観点で選定された地震動に対して、解析ケース（ケース②及び③）を実施する。

表 3-8 耐震評価における解析ケースの組合せ

解析ケース		ケース①		ケース②	ケース③
		基本ケース		地盤物性のばらつき（ $+1\sigma$ ）を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき（ -1σ ）を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値		平均値 $+1\sigma$	平均値 -1σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++	○		
	$S_s - F1$ (NS)	++	○	基準地震動 S_s 全波（6波）に $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ の直交方向の成分（2波）を加えた全8波に対し、基本ケース（ケース①）を実施し、「3.7.2 3次元構造解析への入力荷重の時刻選定」に示す観点で選定された地震動に対して、解析ケース（ケース②及び③）を実施する。	
	$S_s - F1$ (EW)	++	○		
	$S_s - F2$ (NS)	++	○		
	$S_s - F2$ (EW)	++	○		
	$S_s - N1$	++	○		
	$S_s - N2$ (NS)	++	○		
	$S_s - N2$ (EW)	++	○		

注1：地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表す。

注2： $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ については、A-A断面及びB-B断面の両断面を評価するため、それぞれの断面の加振方向の成分として、NS方向及びEW方向の2方向を対象としている。

3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

(1) 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

「3.5.1 耐震評価における解析ケース」と同様に、地盤物性のばらつきを考慮する（表 3-9 に示すケース②及び③）。

表 3-9 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)	備考
ケース① (基本ケース)	平均値	
ケース②	平均値 + 1σ	
ケース③	平均値 - 1σ	
ケース④	平均値	材料物性のばらつき

(2) 材料物性のばらつきを考慮した解析ケース

材料物性のばらつきについては、剛性を定義するコンクリートのヤング係数が、コンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、コンクリートの設計基準強度を基本ケースとし、ヤング係数をコンクリートの実強度に対応して定めたケースについて確認を行う（表 3-9 に示すケース④）。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎におけるコンクリート実強度は、建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所における鉄筋コンクリート工事（日本建築学会，2013）及び日本原子力学会標準 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準（日本原子力学会，2015）より算定される圧縮強度のうち最大となるものを選択する。ヤング係数は実強度に対応するコンクリート標準示方書に基づき算出する。

設定した、圧縮強度及びヤング係数を表 3-10 に示す。

表 3-10 コンクリート実強度を考慮した物性値

圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
36.1	29.8

- (3) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケースの組合せ
 機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として基本ケースに加え、表 3-11 に示す解析ケース②～④を実施する。

表 3-11 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケースの組合せ

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) の実強度を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ	平均値	
地震動 (位相)	S _s -D	++	○	○	○	△*
	S _s -F1 (NS)	++	○	○	○	-
	S _s -F1 (EW)	++	○	○	○	-
	S _s -F2 (NS)	++	○	○	○	-
	S _s -F2 (EW)	++	○	○	○	-
	S _s -N1	++	○	○	○	-
	S _s -N2 (NS)	++	○	○	○	-
	S _s -N2 (EW)	++	○	○	○	-

注記* : 「△」は影響検討ケースを示す。影響検討ケースについては、S_s-D (++) により影響の程度を確認する。

注 1 : 地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表す。

注 2 : S_s-F1 及び S_s-F2 については、A-A 断面及び B-B 断面の両断面を評価するため、それぞれの断面の加振方向の成分として、NS 方向及び EW 方向の 2 方向を対象としている。

3.6 入力地震動の設定

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

なお、基準地震動 $S_s - F_1$ 及び $S_s - F_2$ に関しては、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の配置に応じて方位を補正した波形を用いる。

図 3-15 及び図 3-16 に入力地震動算定の概念図を、図 3-17～図 3-55 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

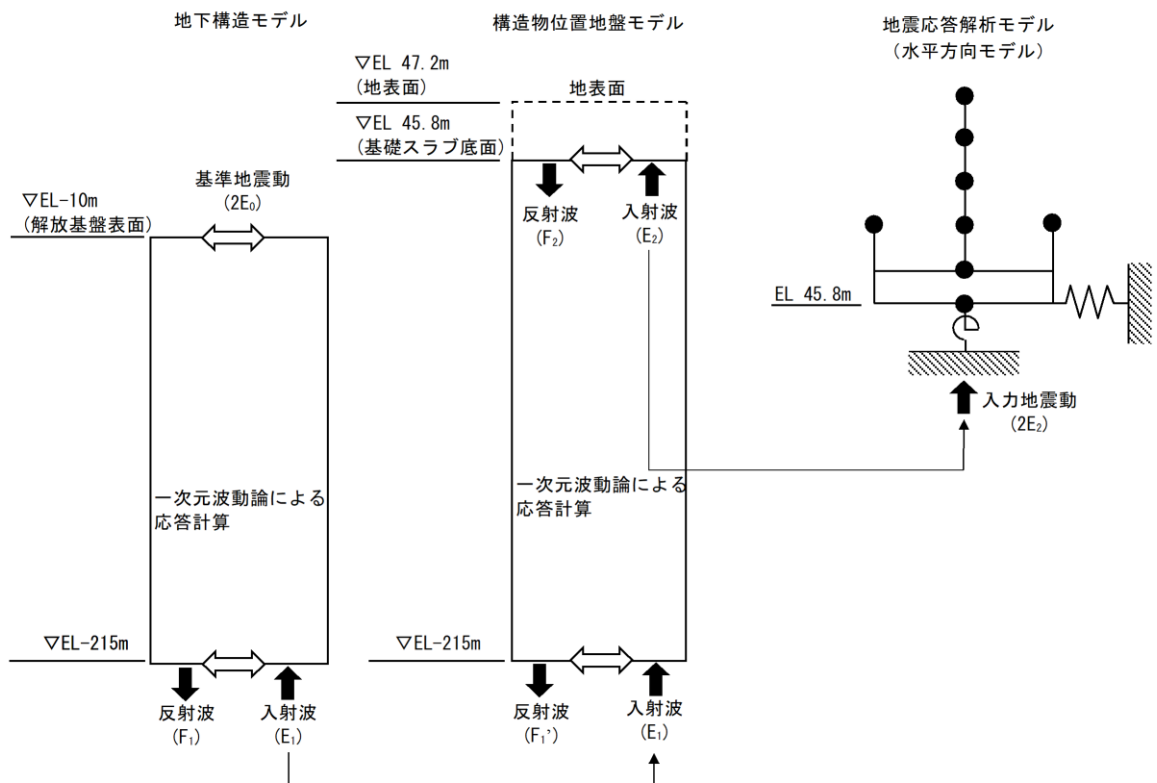


図 3-15 入力地震動算定の概念図（水平成分の場合）

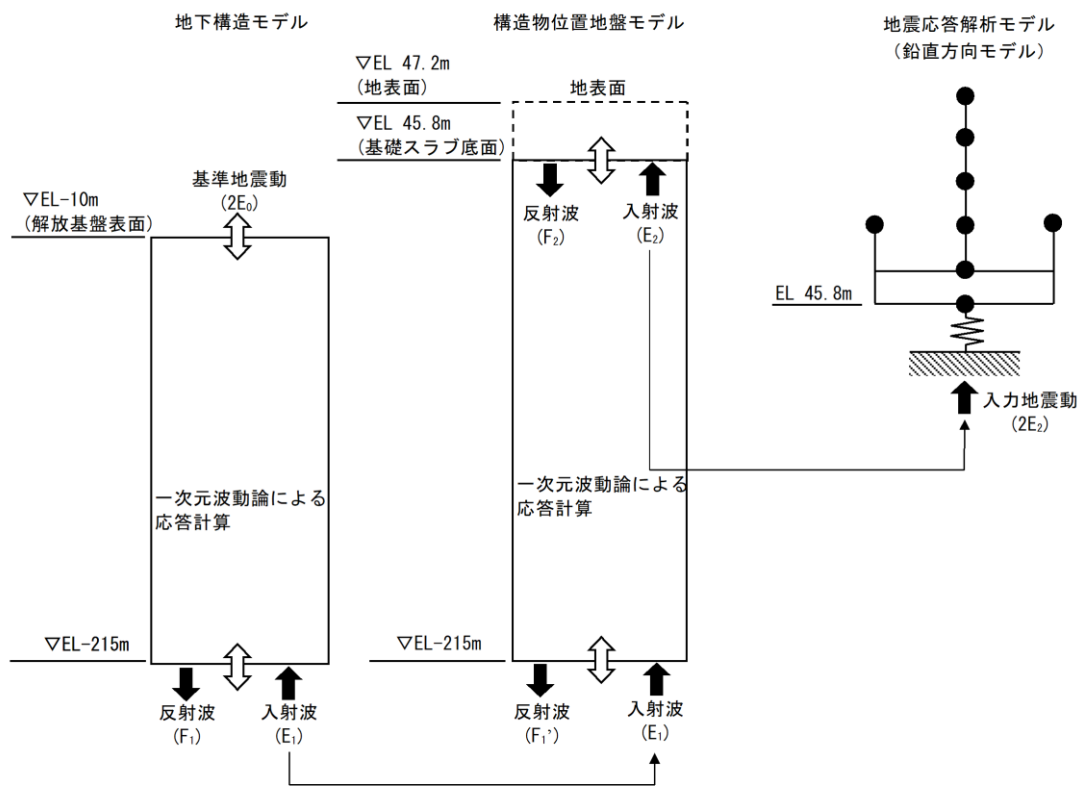
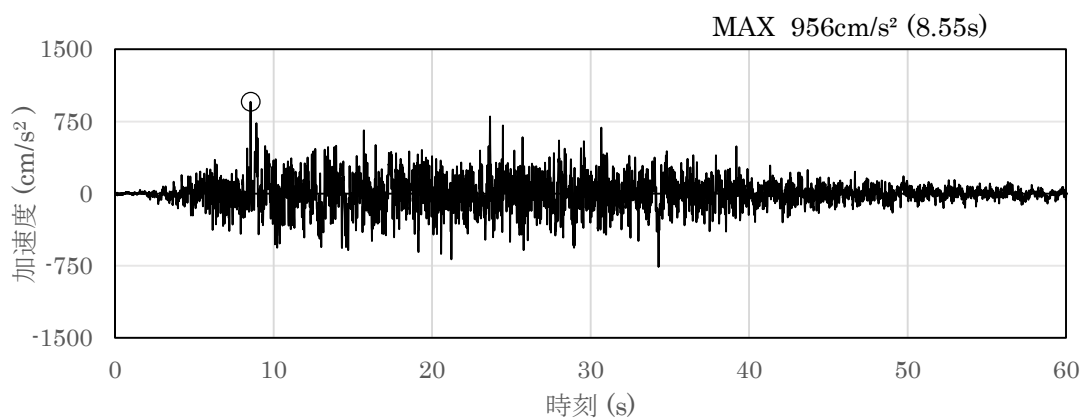
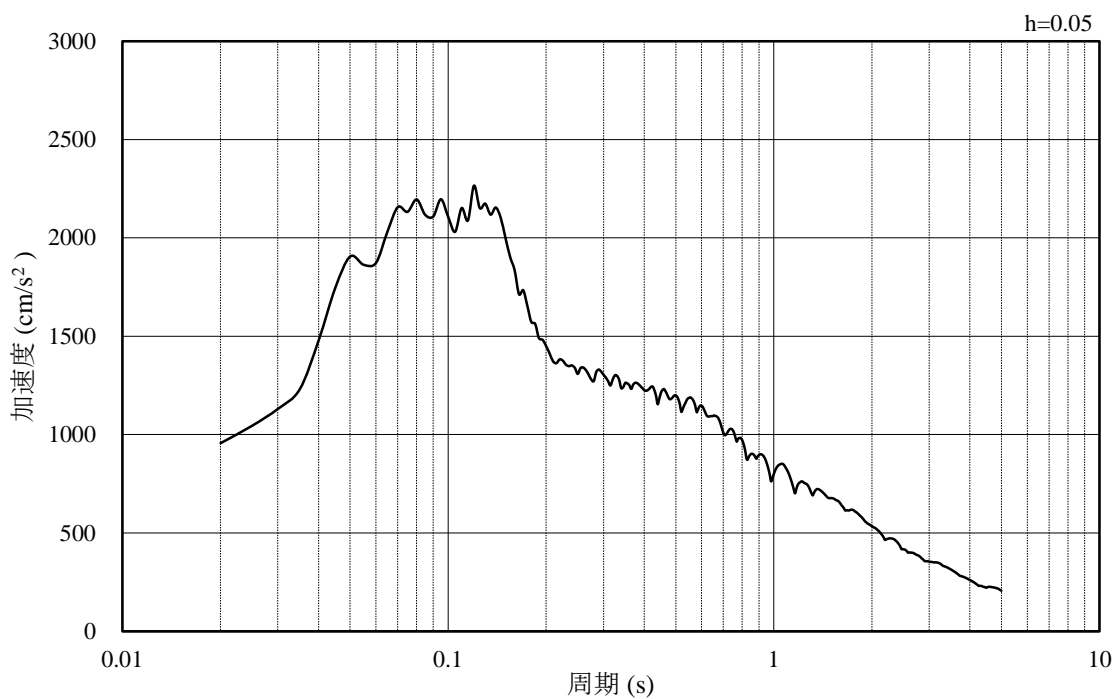


図 3-16 入力地震動算定の概念図 (鉛直成分の場合)

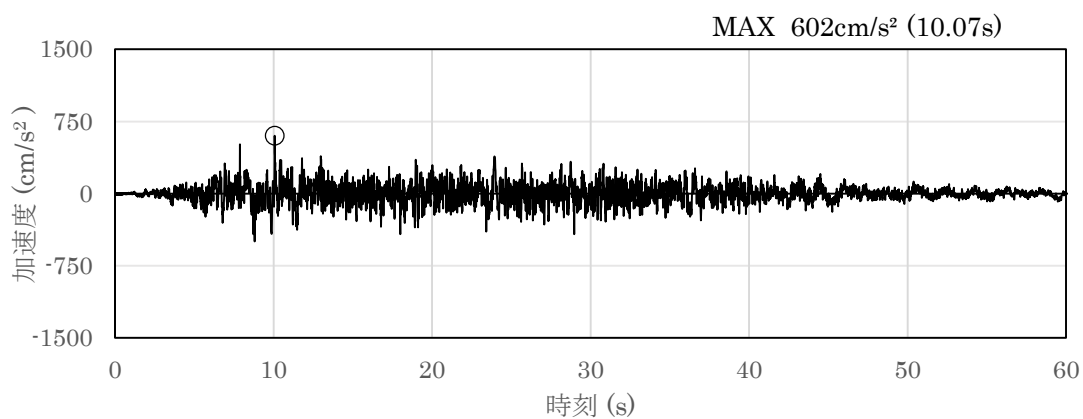


(a) 加速度時刻歴波形

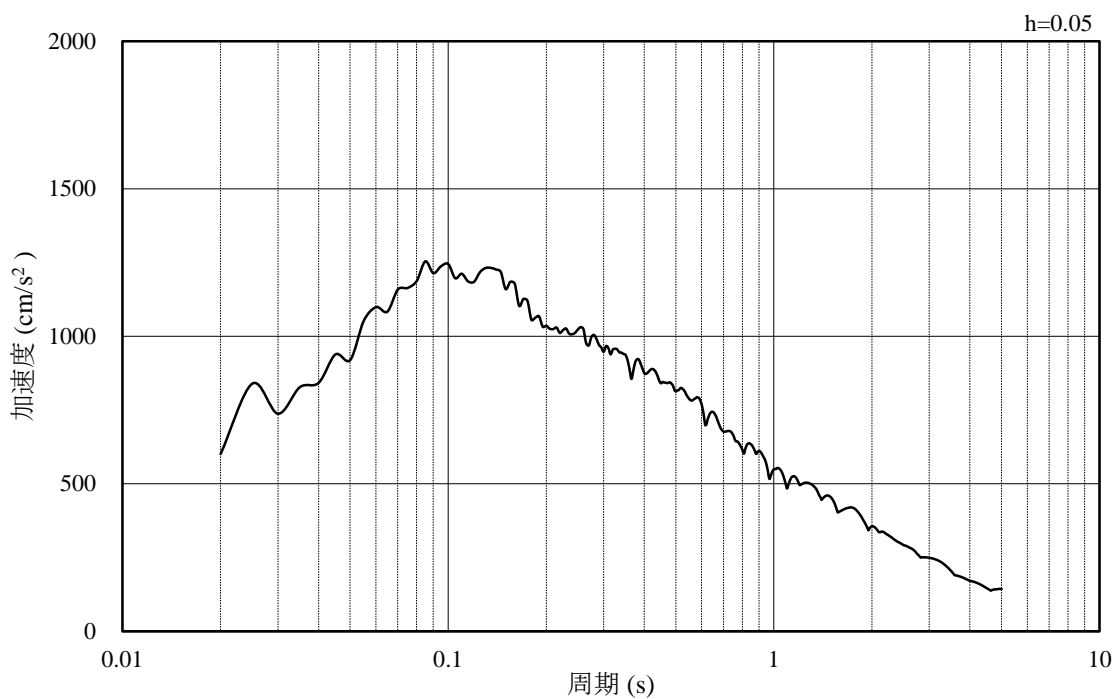


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - D)

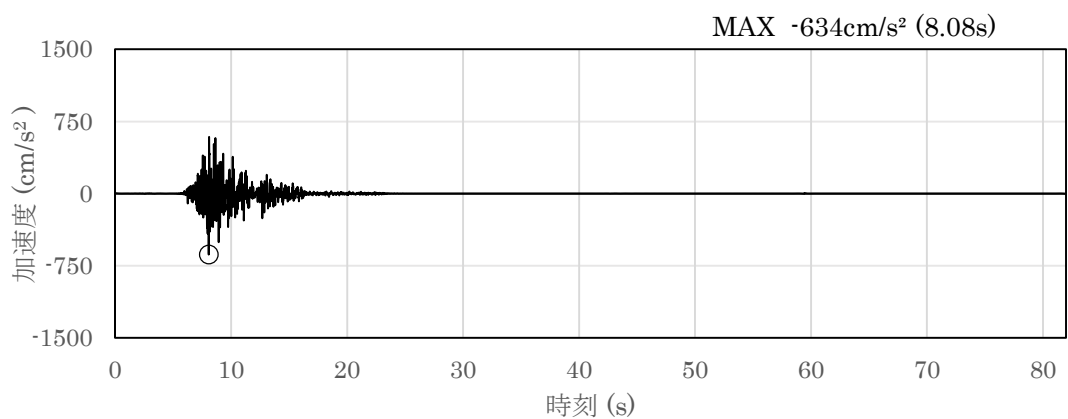


(a) 加速度時刻歴波形

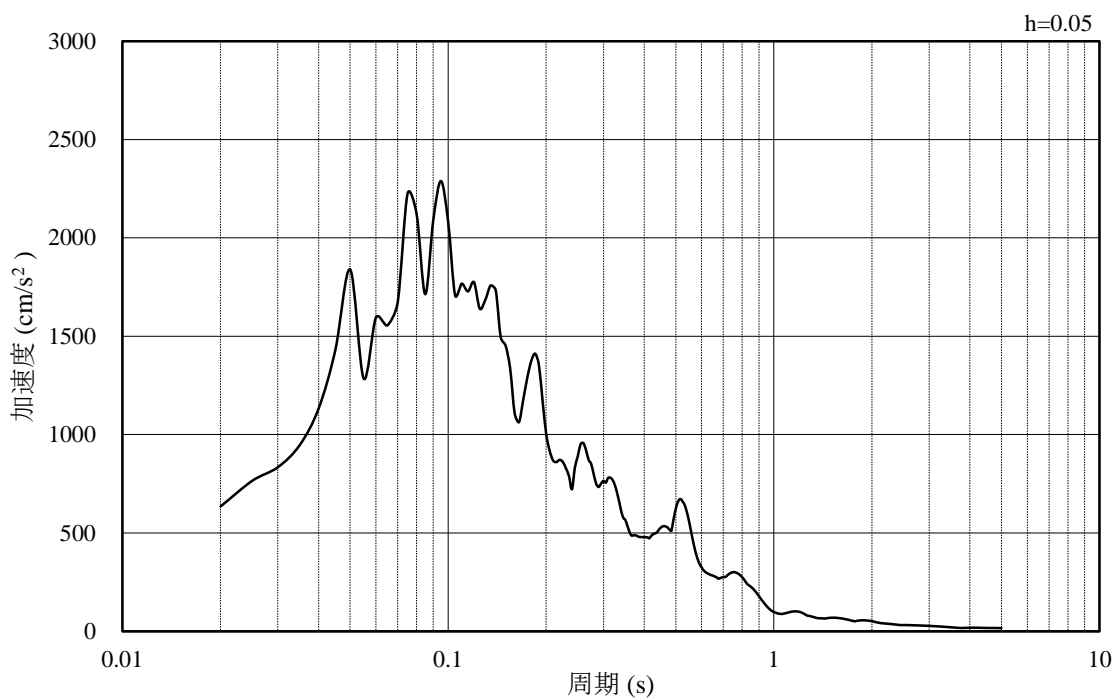


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (鉛直成分: S s - D)

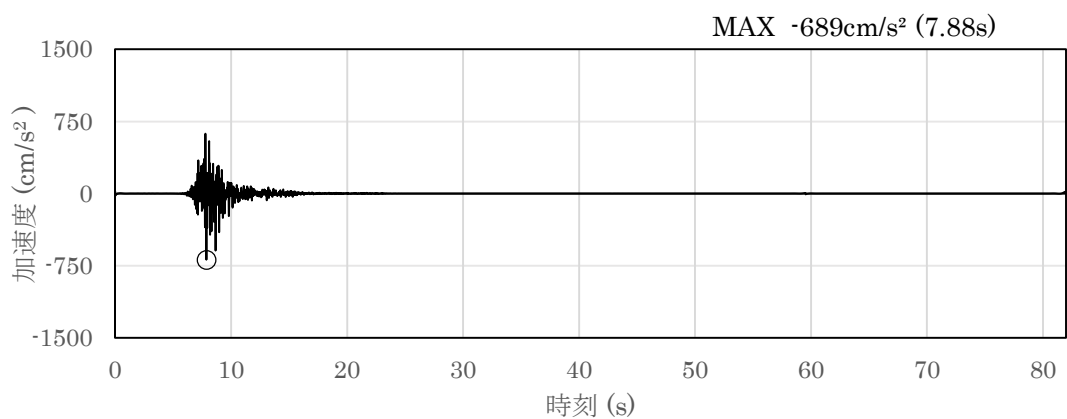


(a) 加速度時刻歴波形

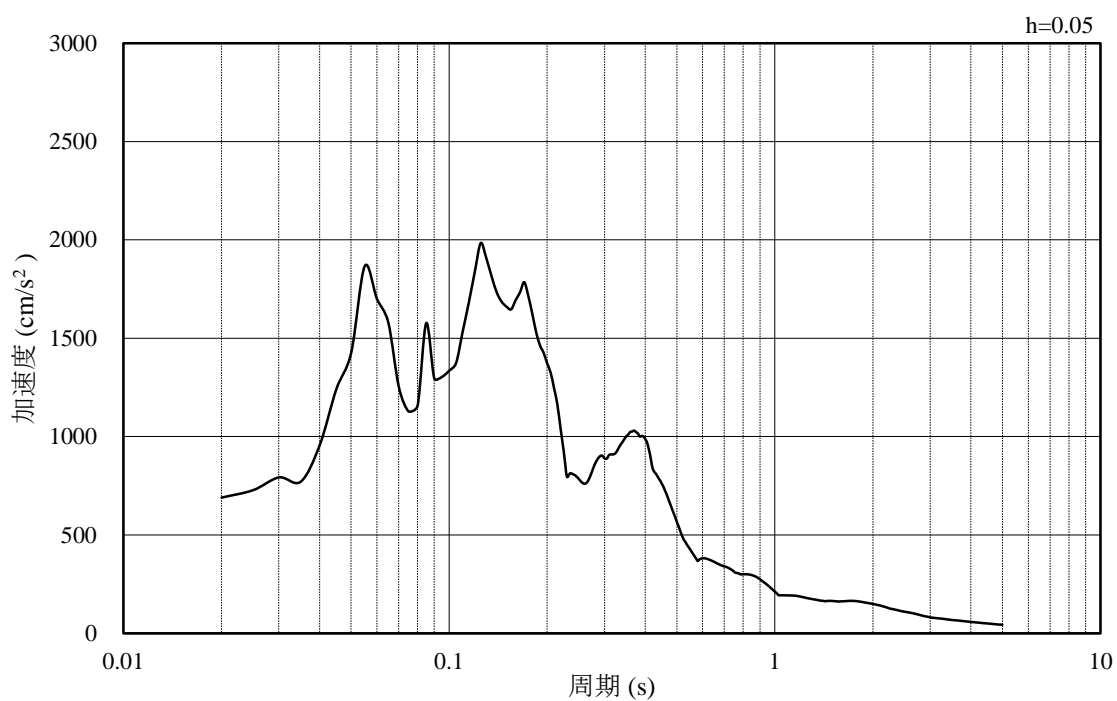


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - F 1, NS 方向)

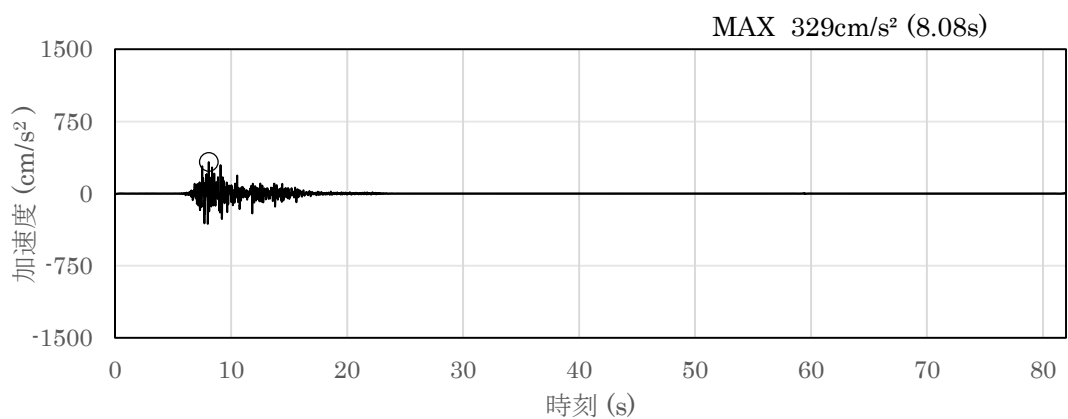


(a) 加速度時刻歴波形

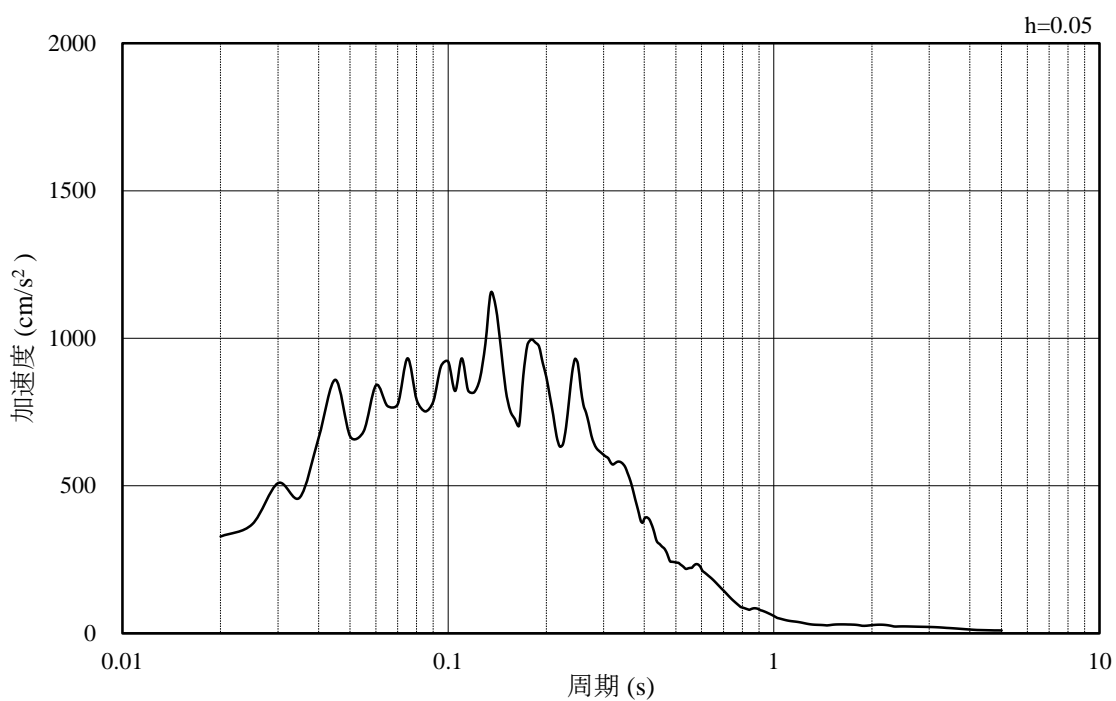


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - F 1, EW方向)

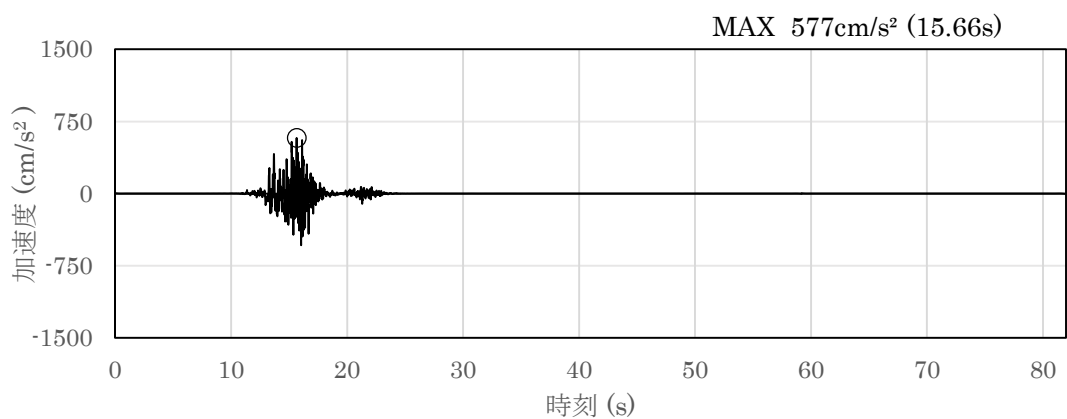


(a) 加速度時刻歴波形

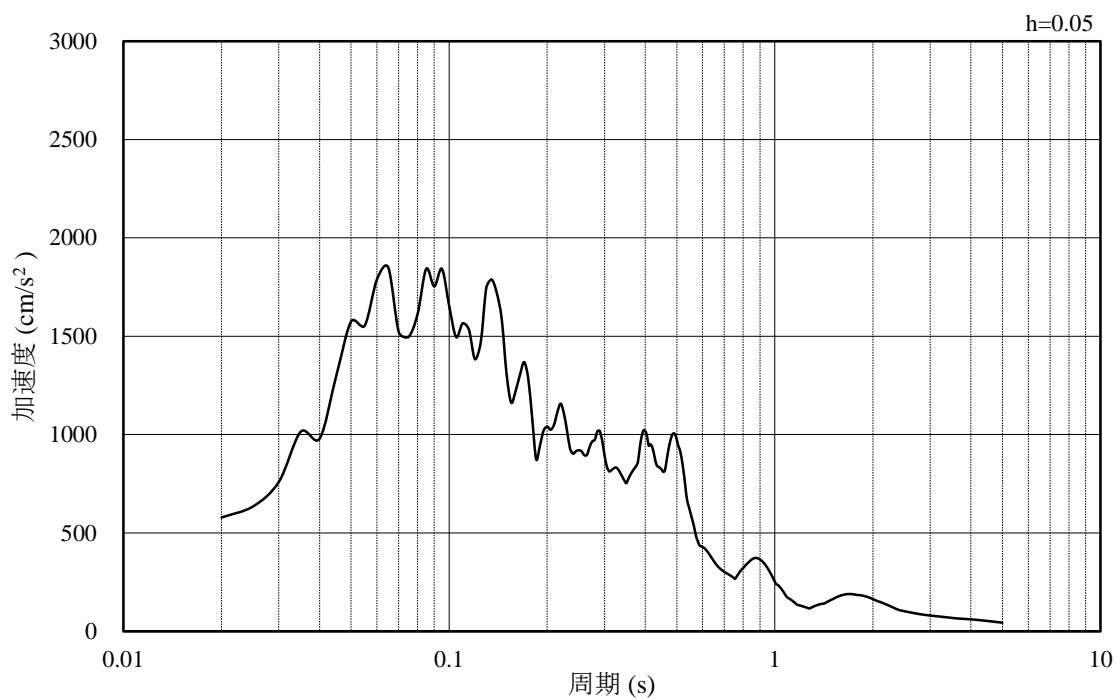


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (鉛直成分: S s - F 1)

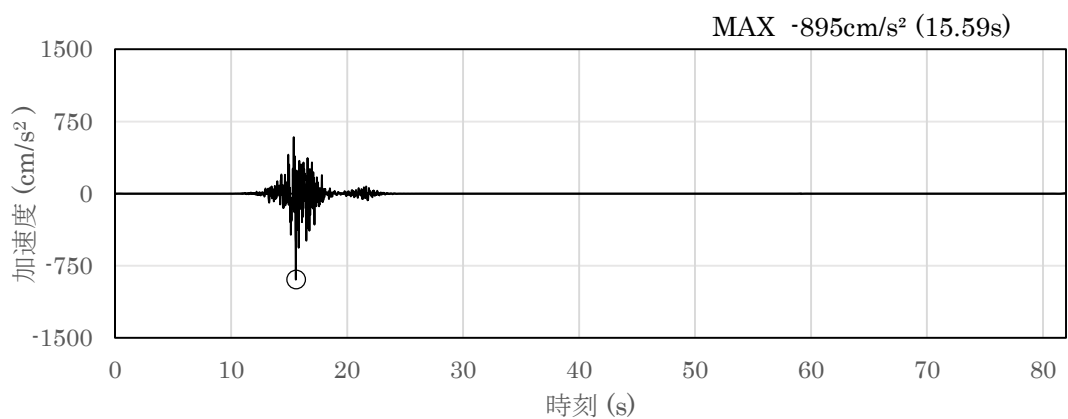


(a) 加速度時刻歴波形

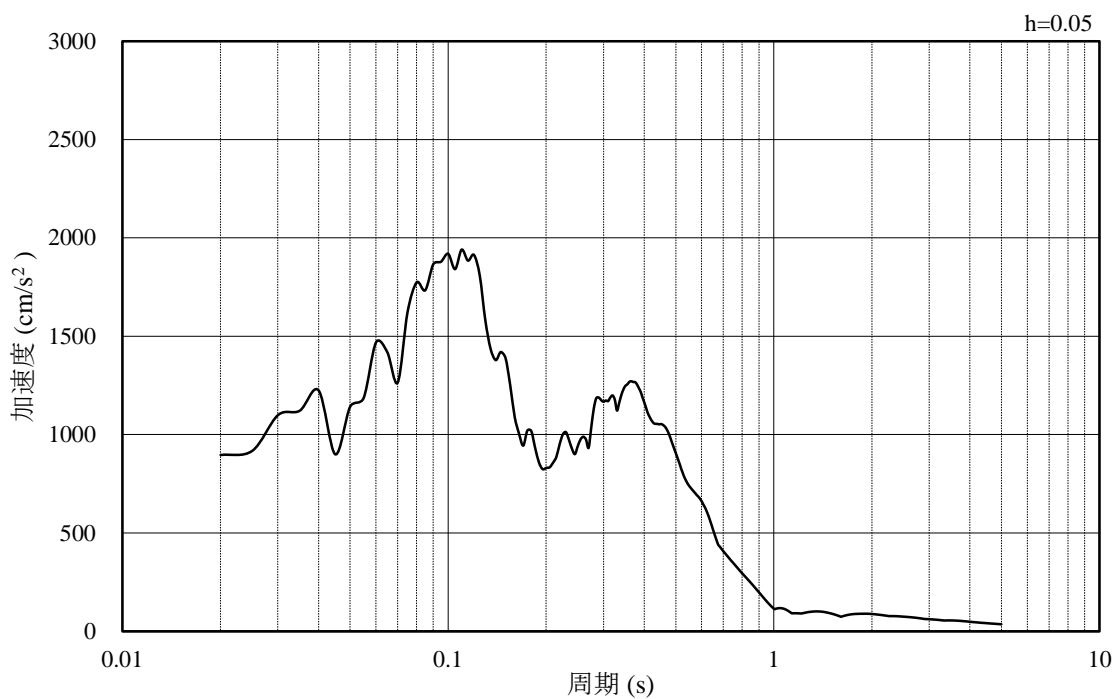


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - F 2, NS 方向)

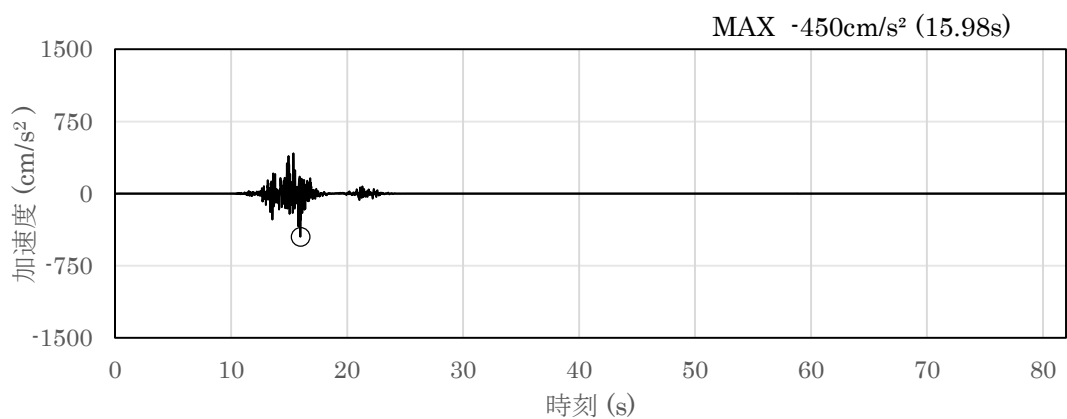


(a) 加速度時刻歴波形

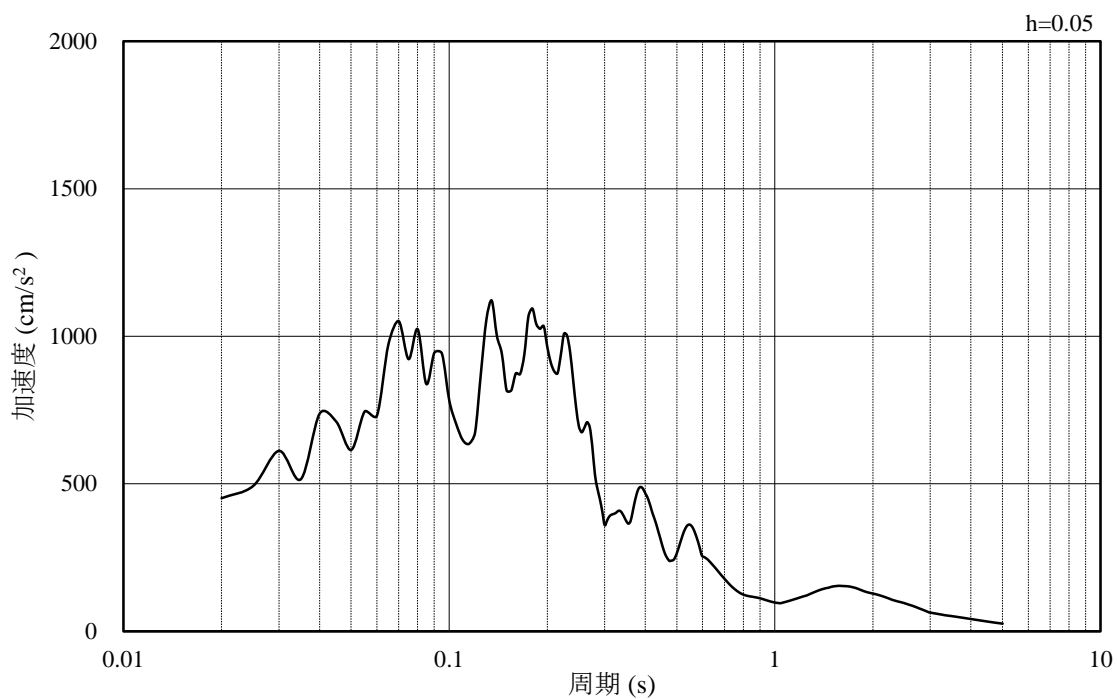


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - F 2, EW方向)

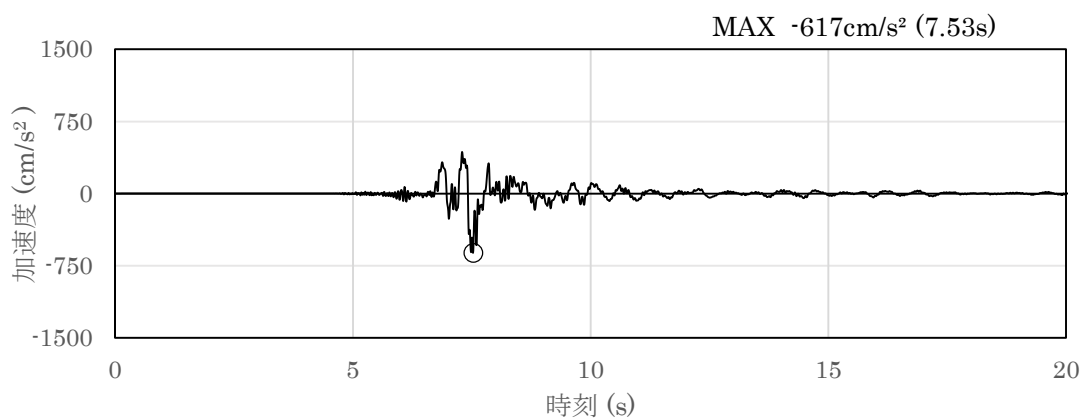


(a) 加速度時刻歴波形

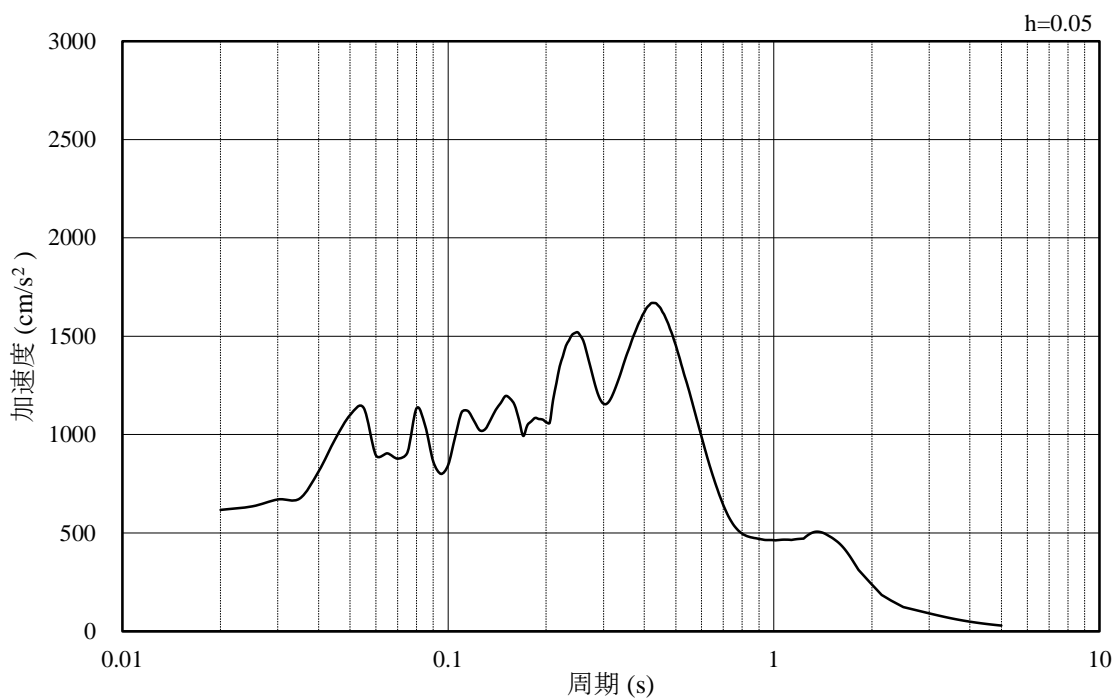


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (鉛直成分：S s - F 2)

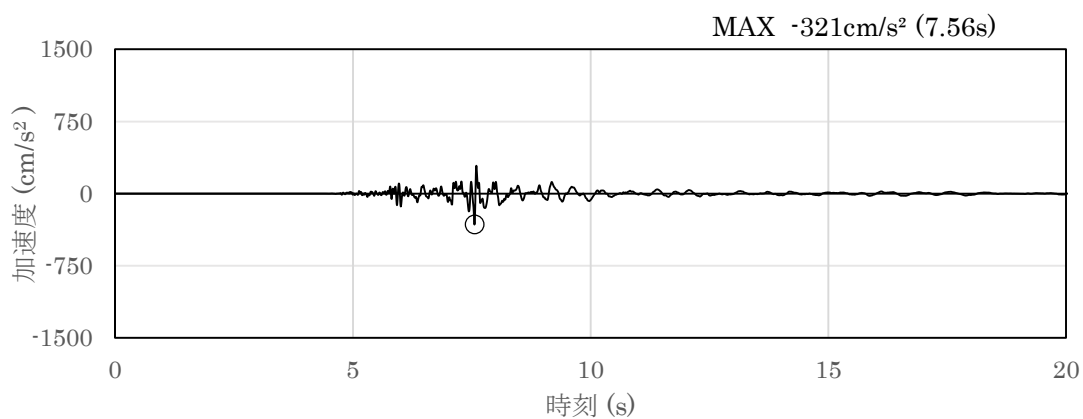


(a) 加速度時刻歴波形

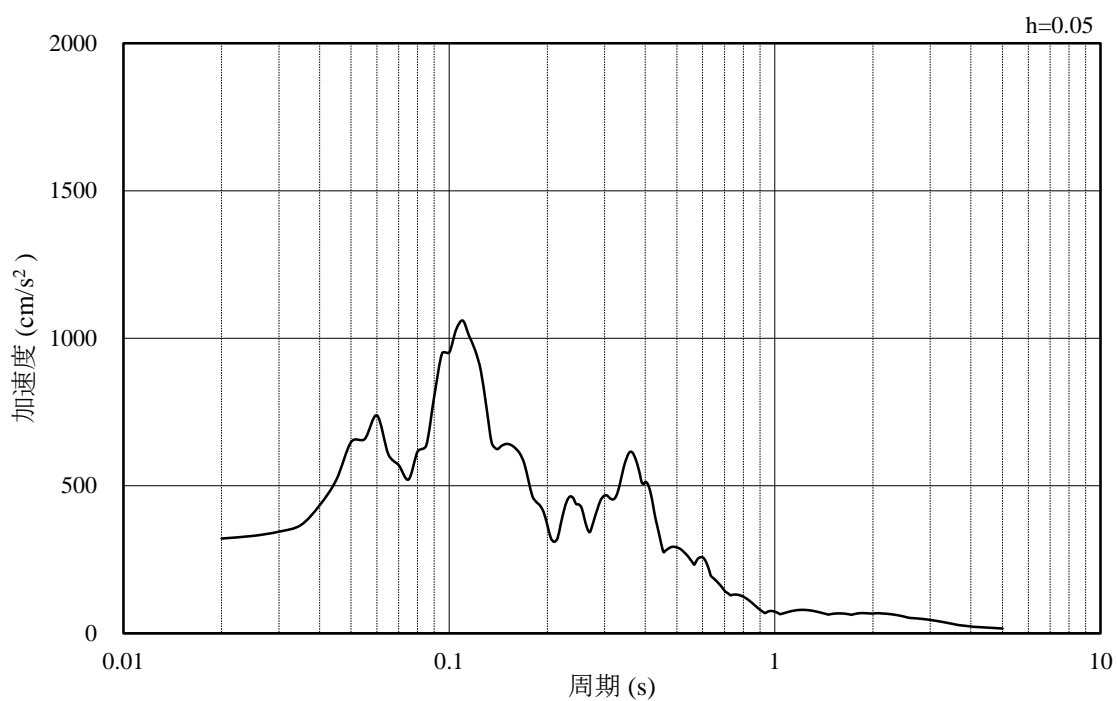


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - N 1)

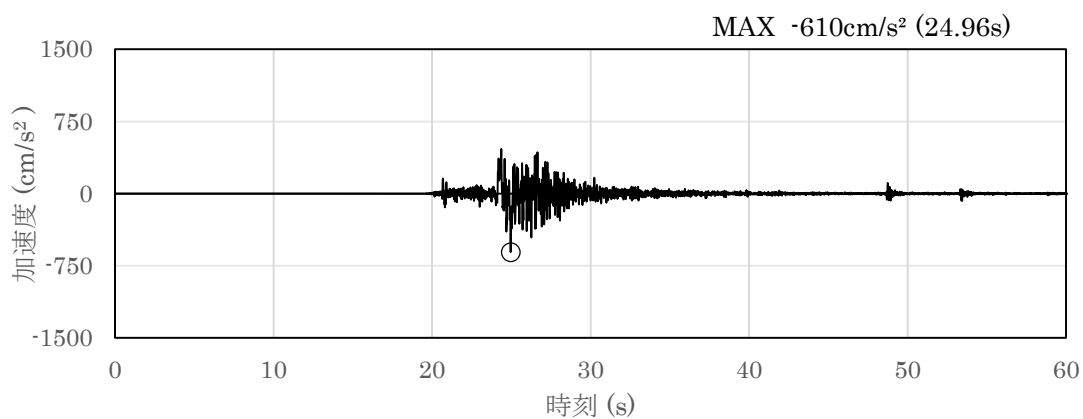


(a) 加速度時刻歴波形

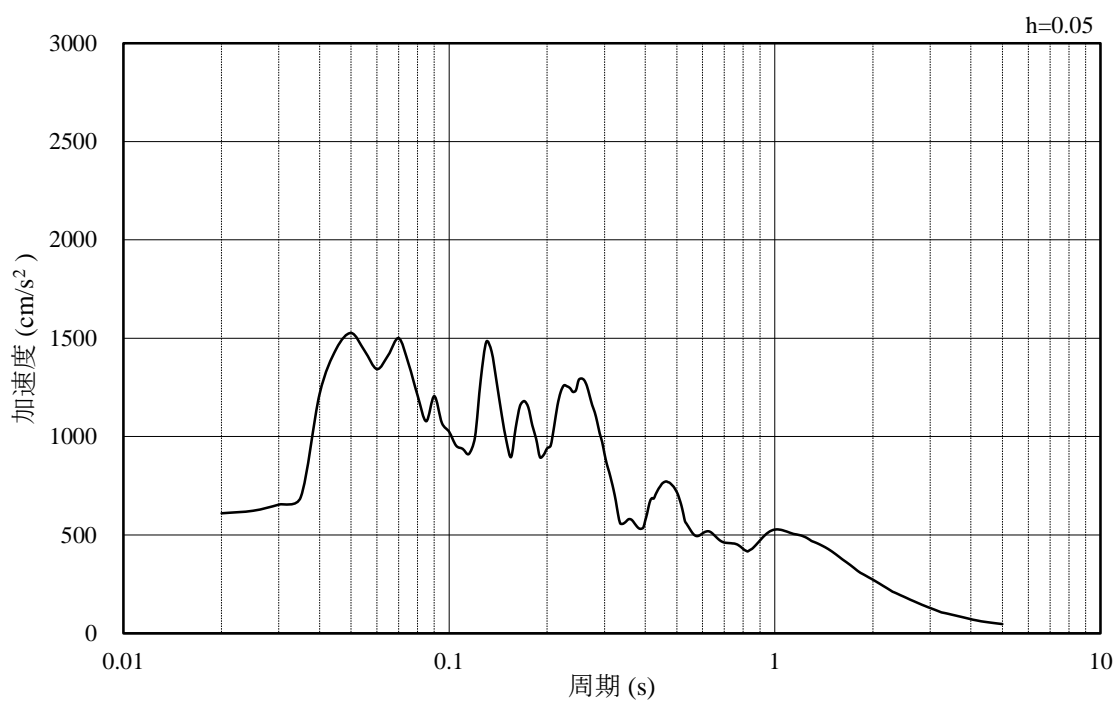


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (鉛直成分: S s - N 1)

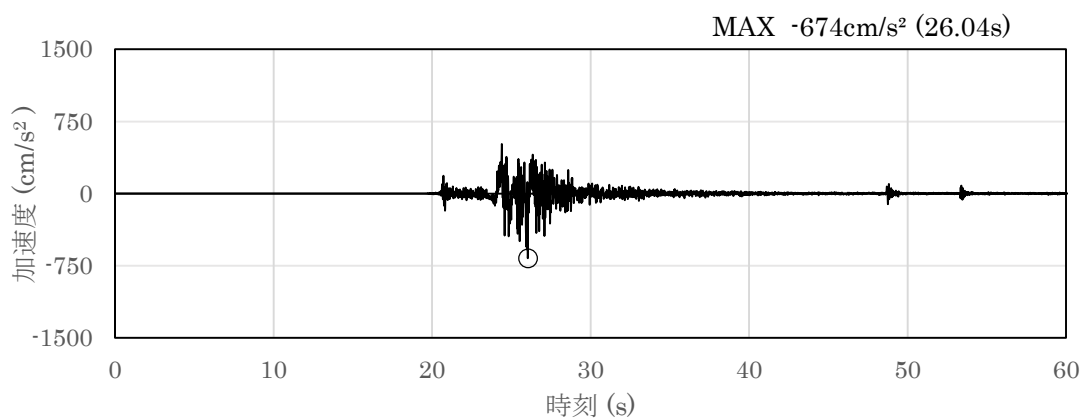


(a) 加速度時刻歴波形

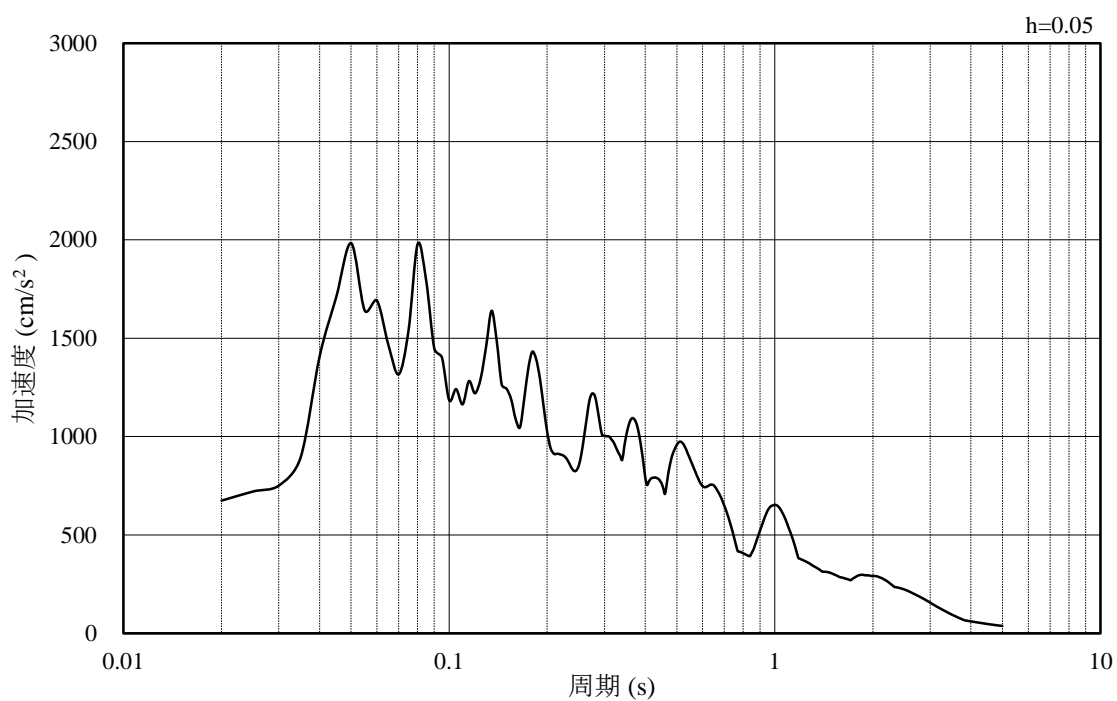


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - N 2, N S 方向)

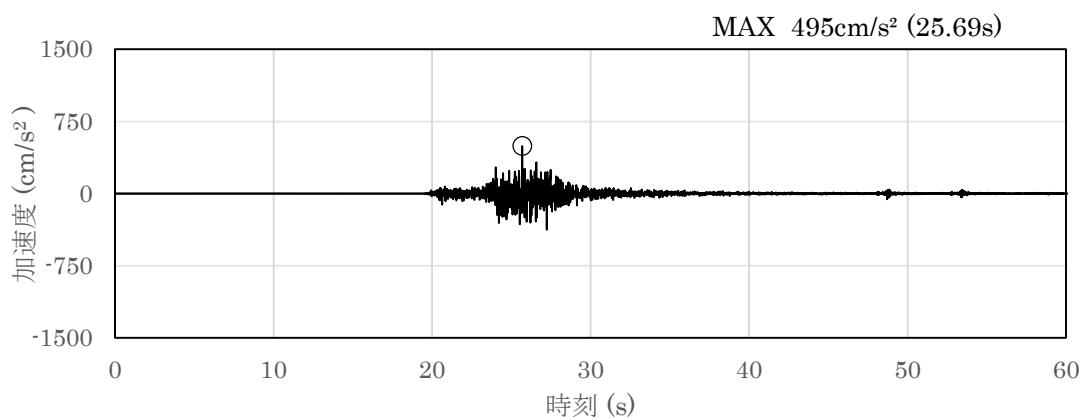


(a) 加速度時刻歴波形

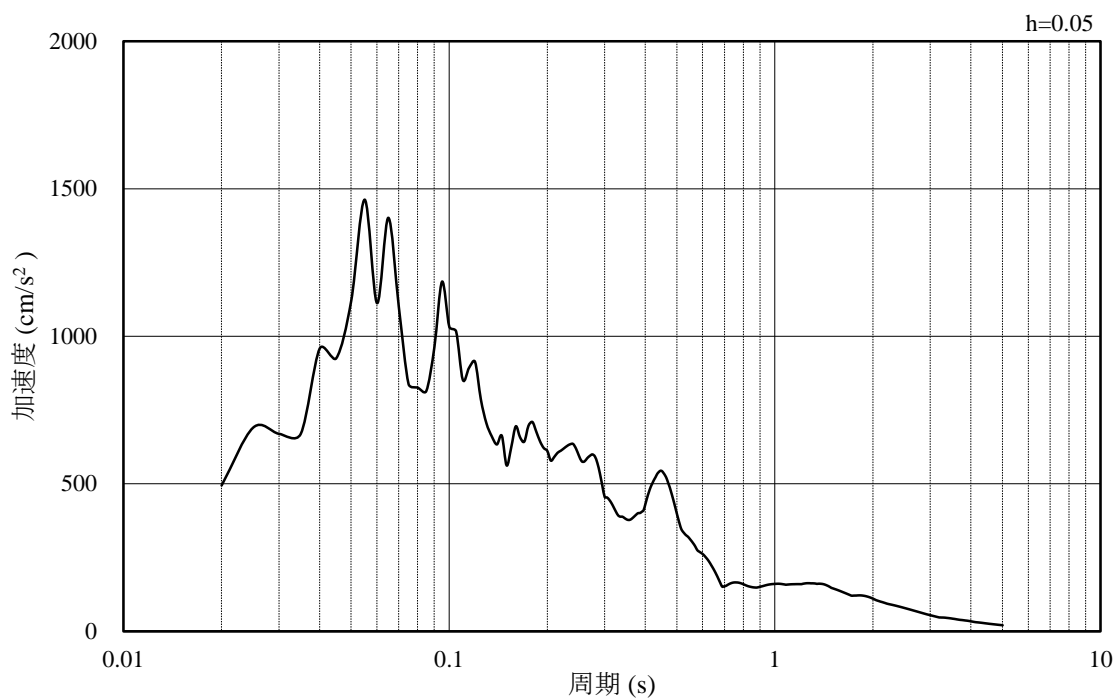


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (水平成分: S s - N 2, EW方向)

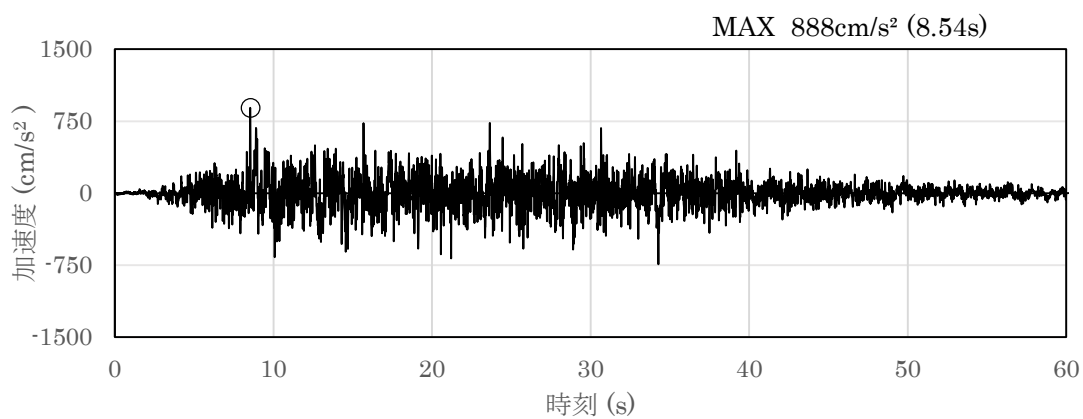


(a) 加速度時刻歴波形

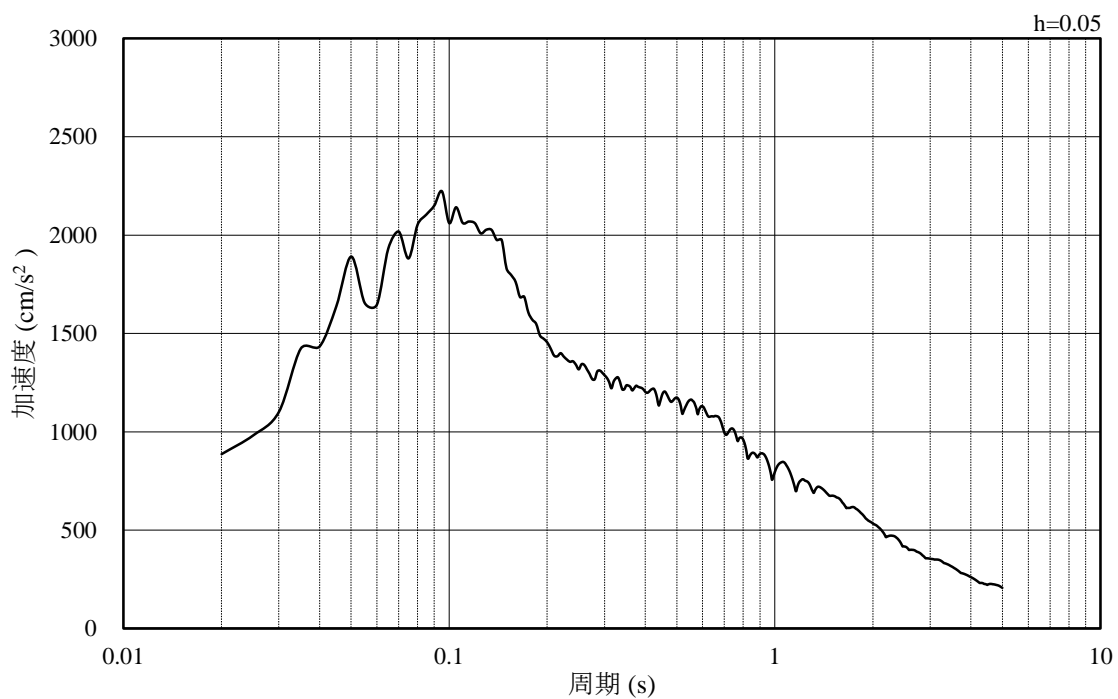


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース①) (鉛直成分: S s - N 2)

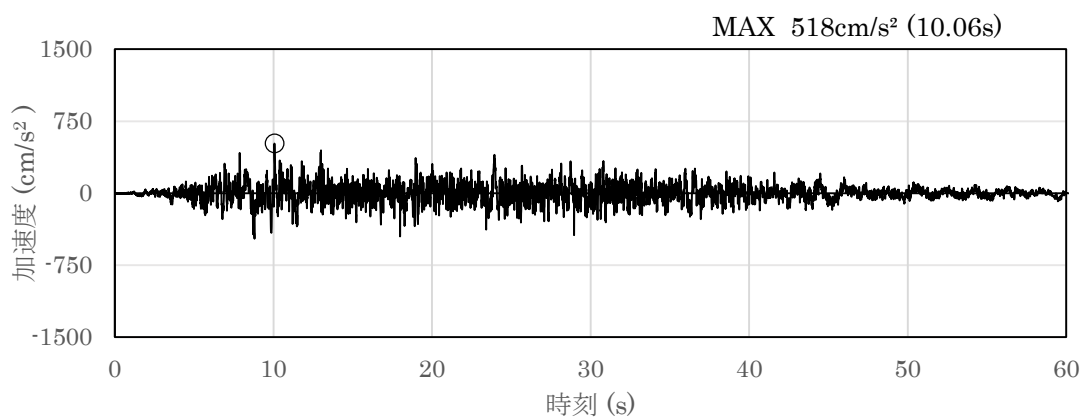


(a) 加速度時刻歴波形

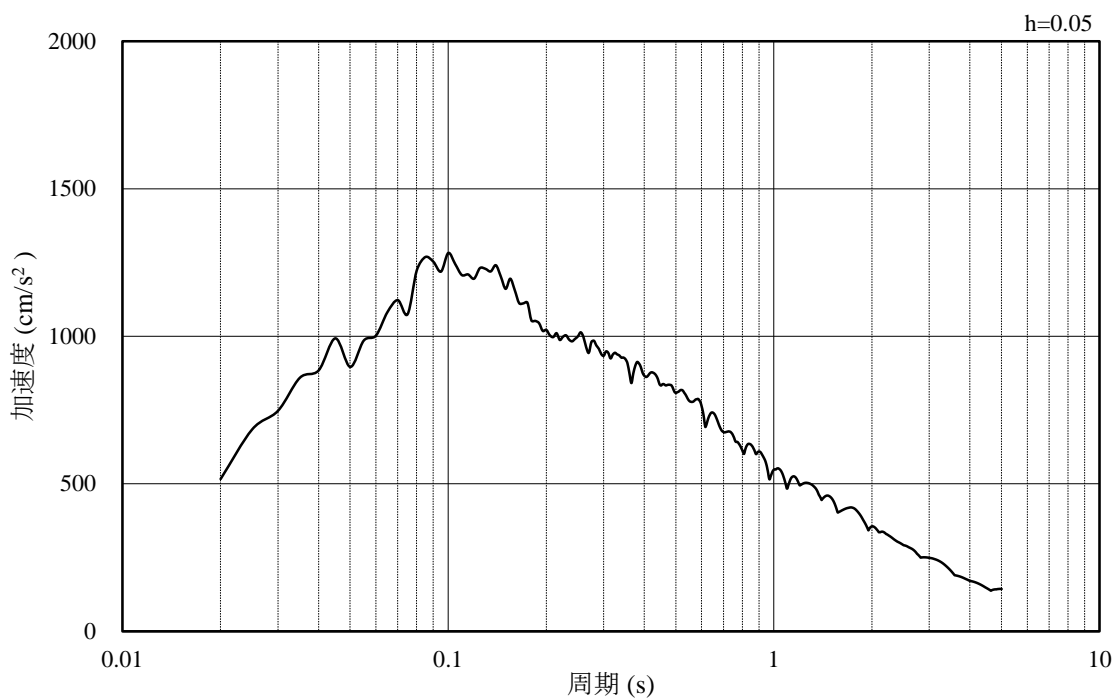


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (水平成分: S s - D)

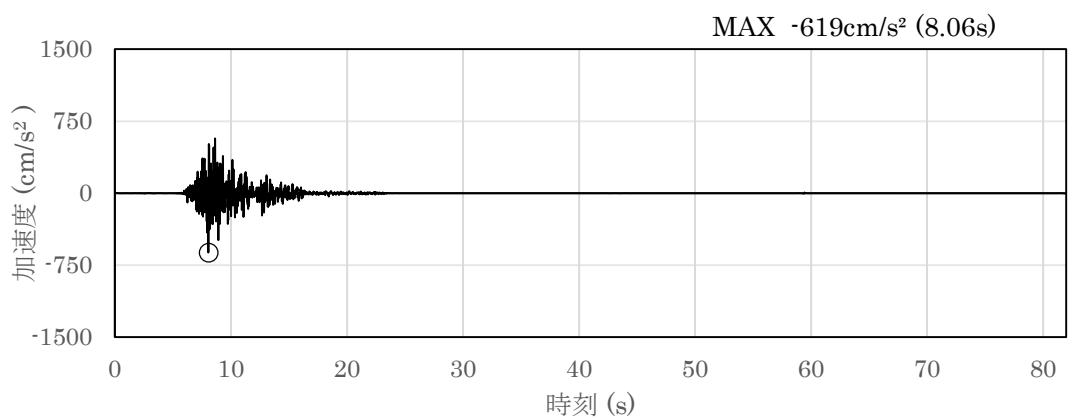


(a) 加速度時刻歴波形

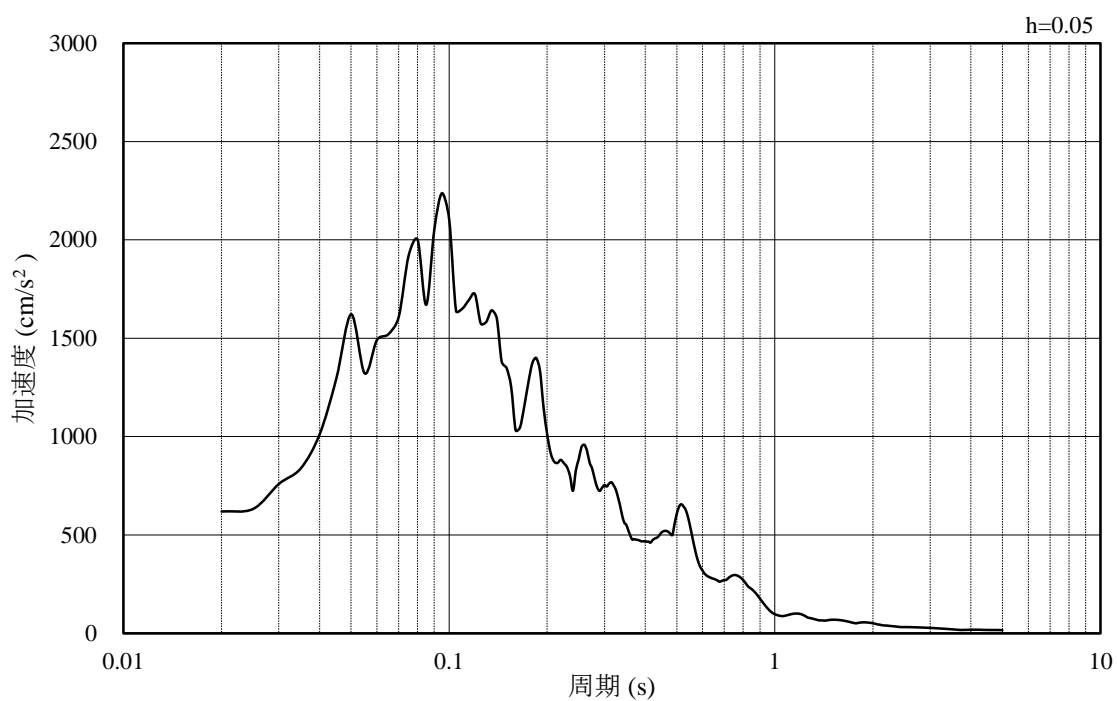


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (鉛直成分: S s - D)

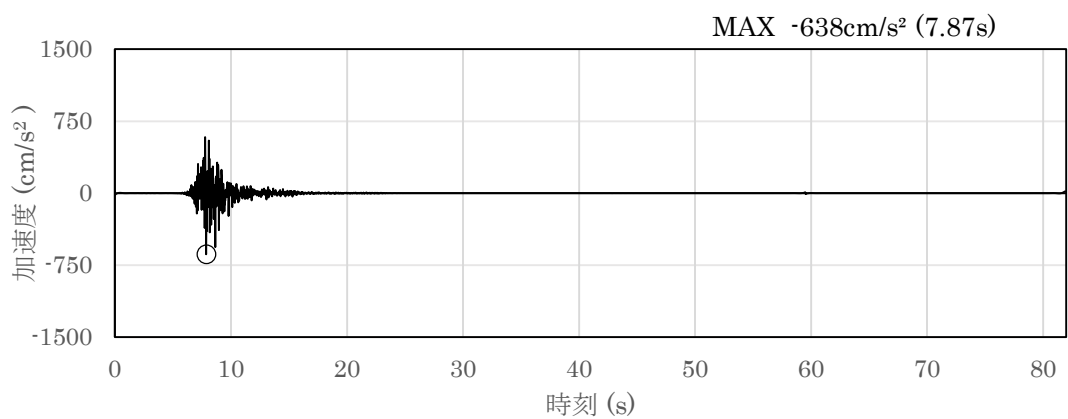


(a) 加速度時刻歴波形

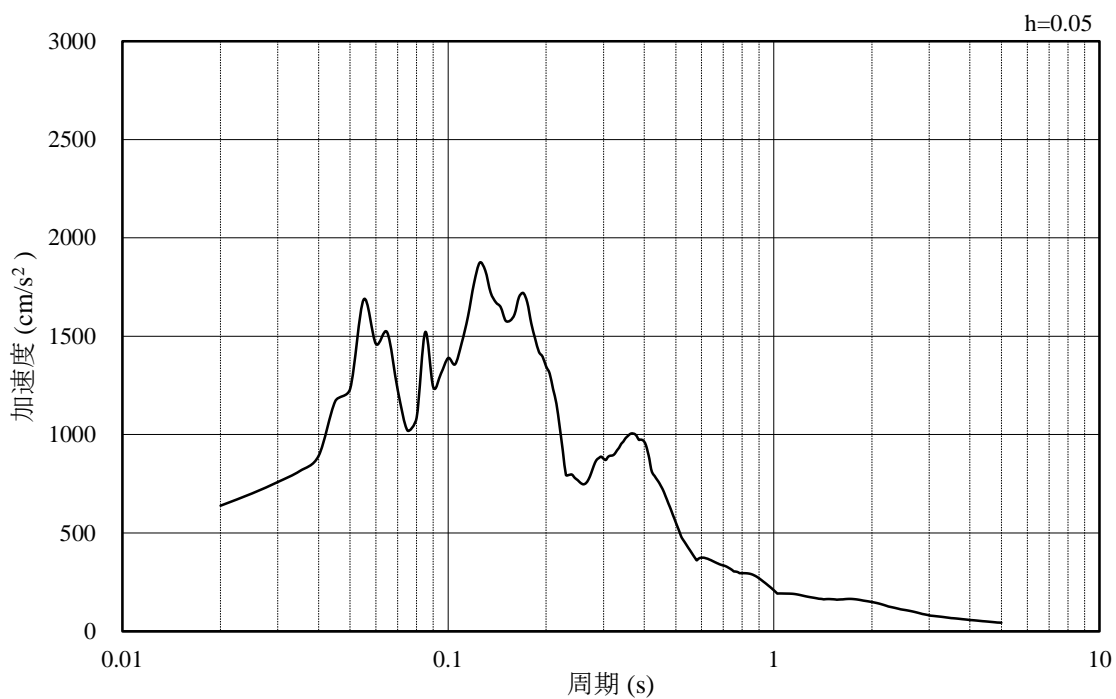


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (水平成分: S s - F 1, NS 方向)

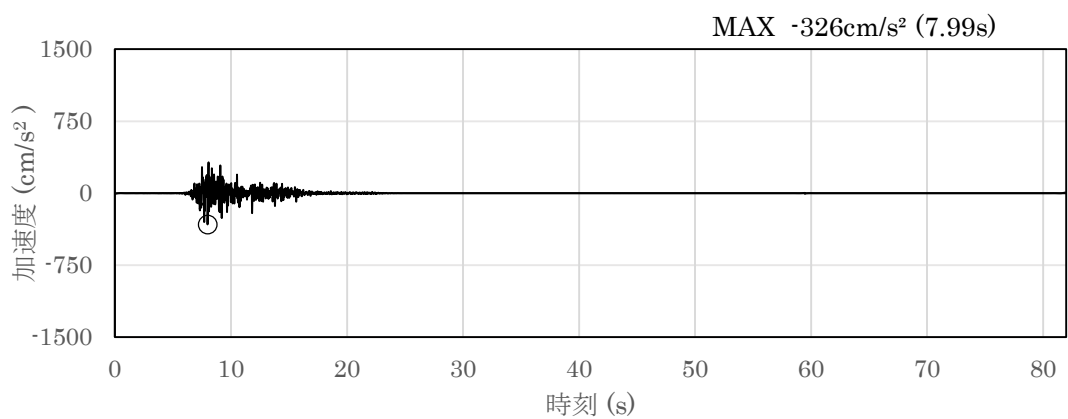


(a) 加速度時刻歴波形

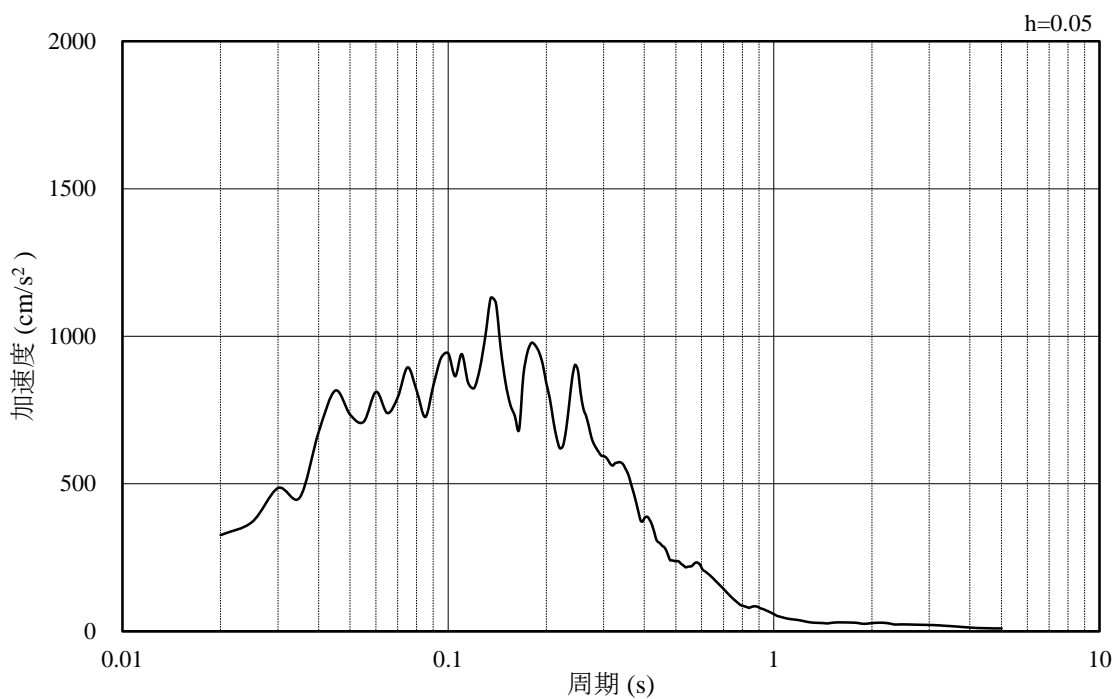


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
 (解析ケース②) (水平成分: S s - F 1, EW方向)

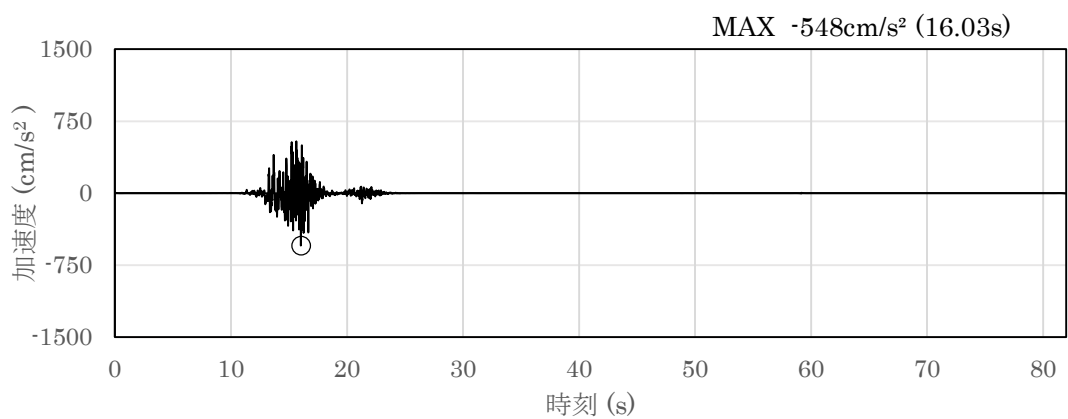


(a) 加速度時刻歴波形

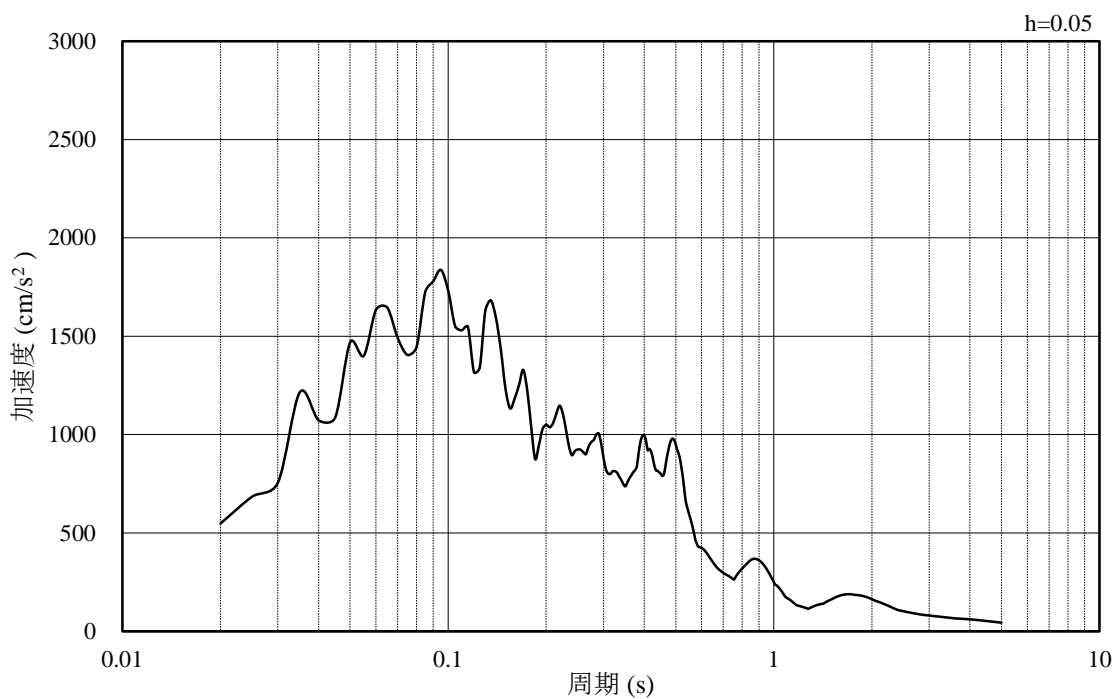


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (鉛直成分: S s - F 1)

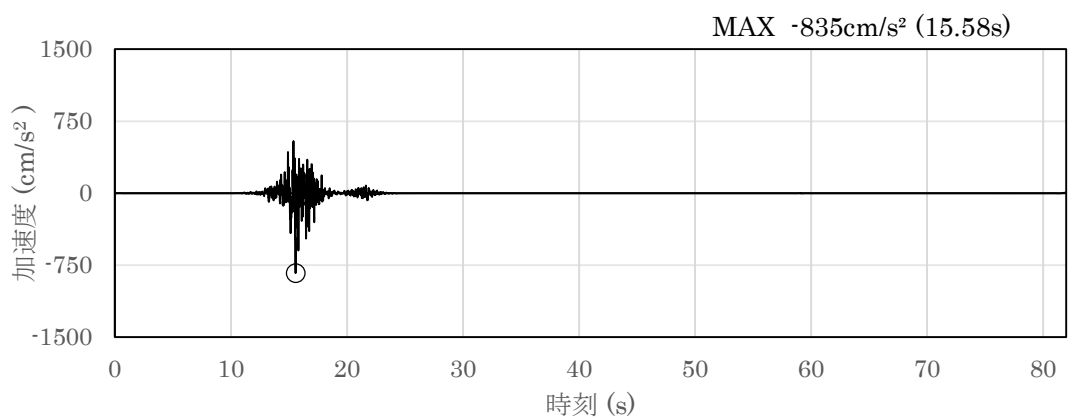


(a) 加速度時刻歴波形

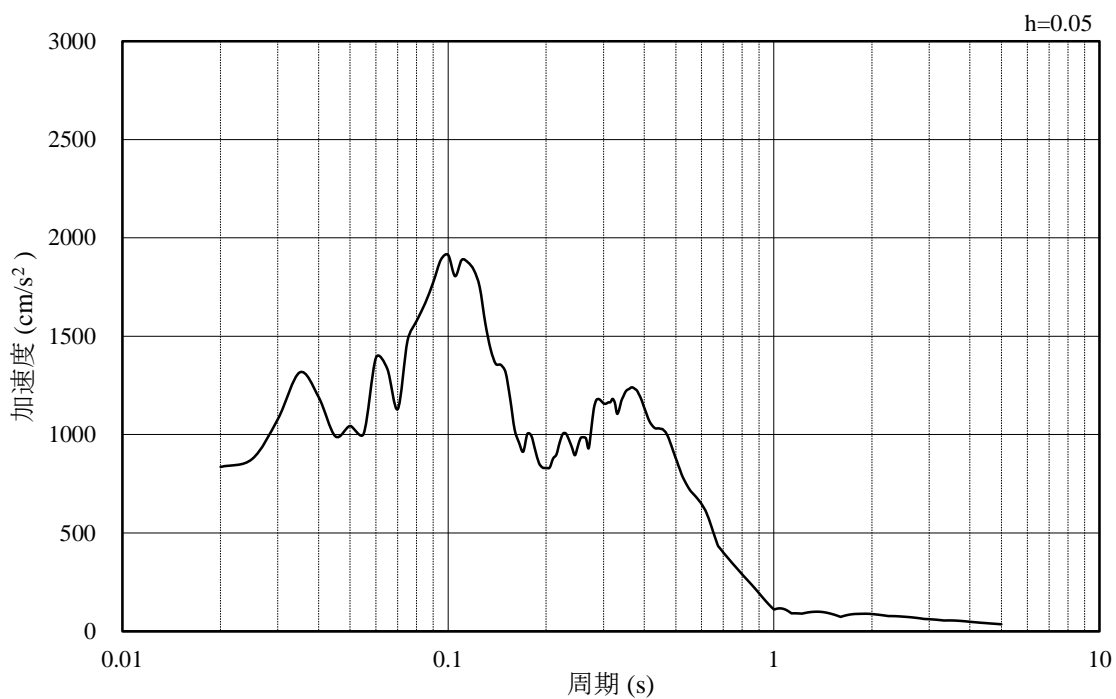


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-35 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (水平成分: S s - F 2, N S 方向)

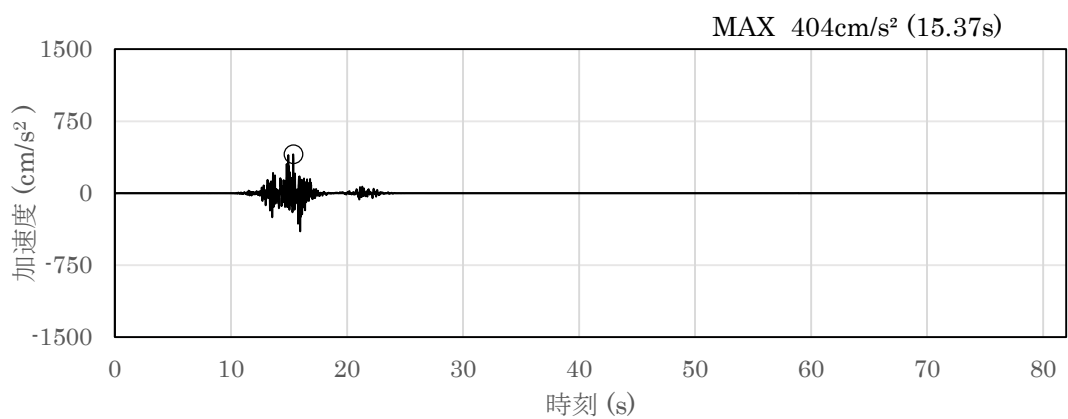


(a) 加速度時刻歴波形

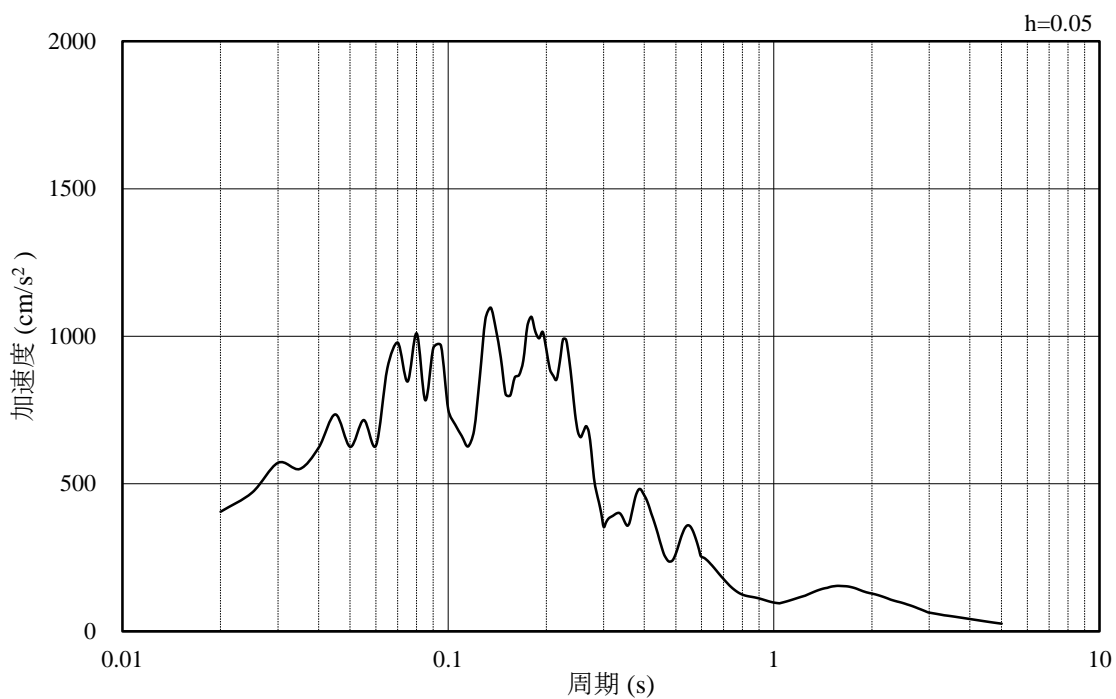


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-36 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (水平成分: S s - F 2, EW方向)

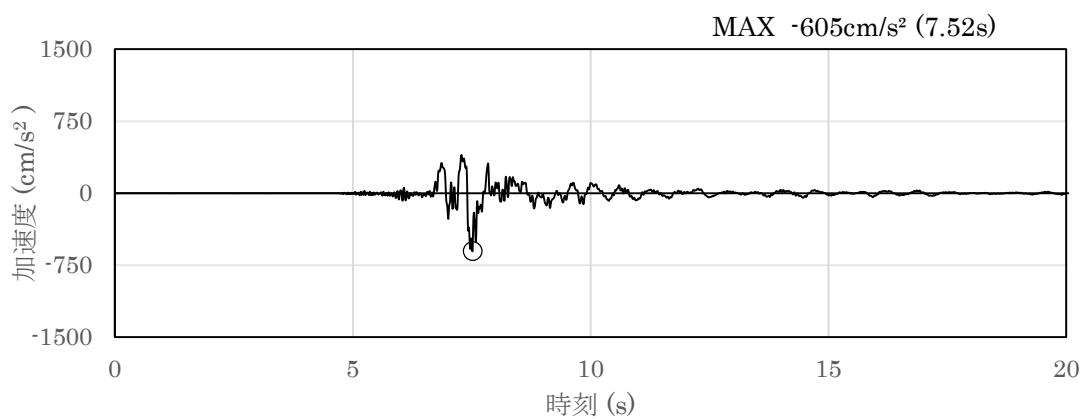


(a) 加速度時刻歴波形

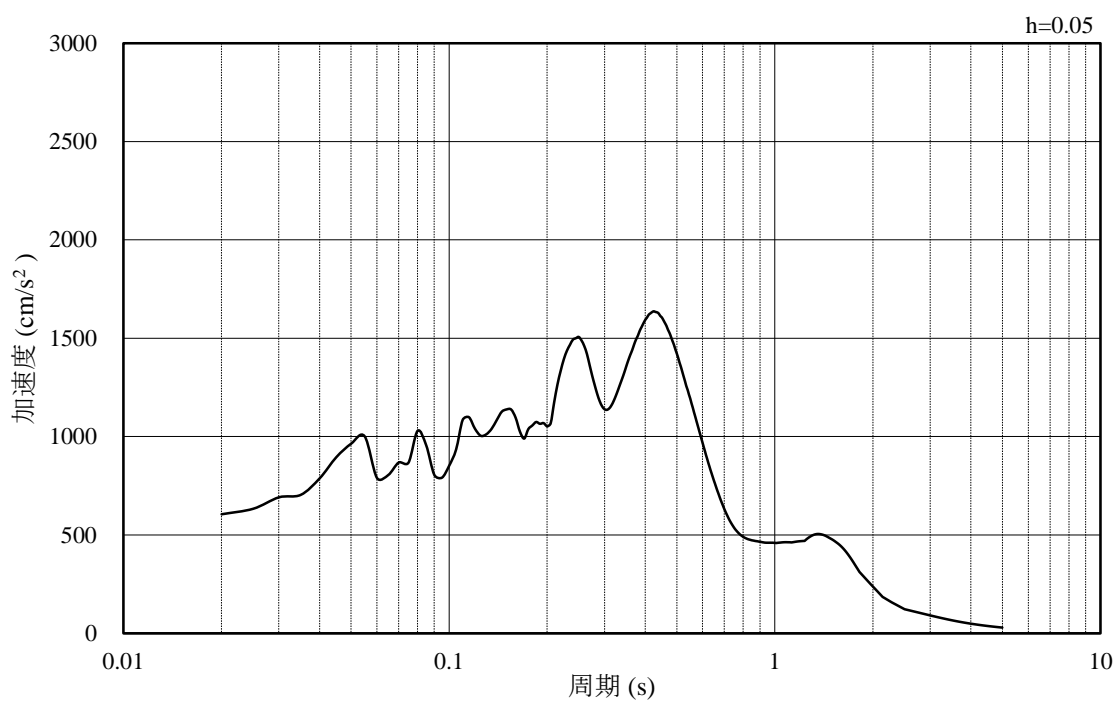


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-37 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (鉛直成分：S_s-F₂, UD方向)

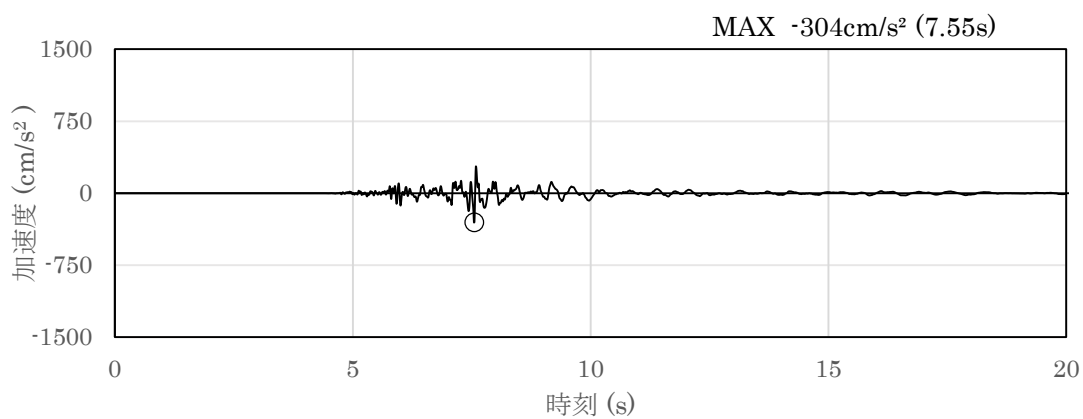


(a) 加速度時刻歴波形

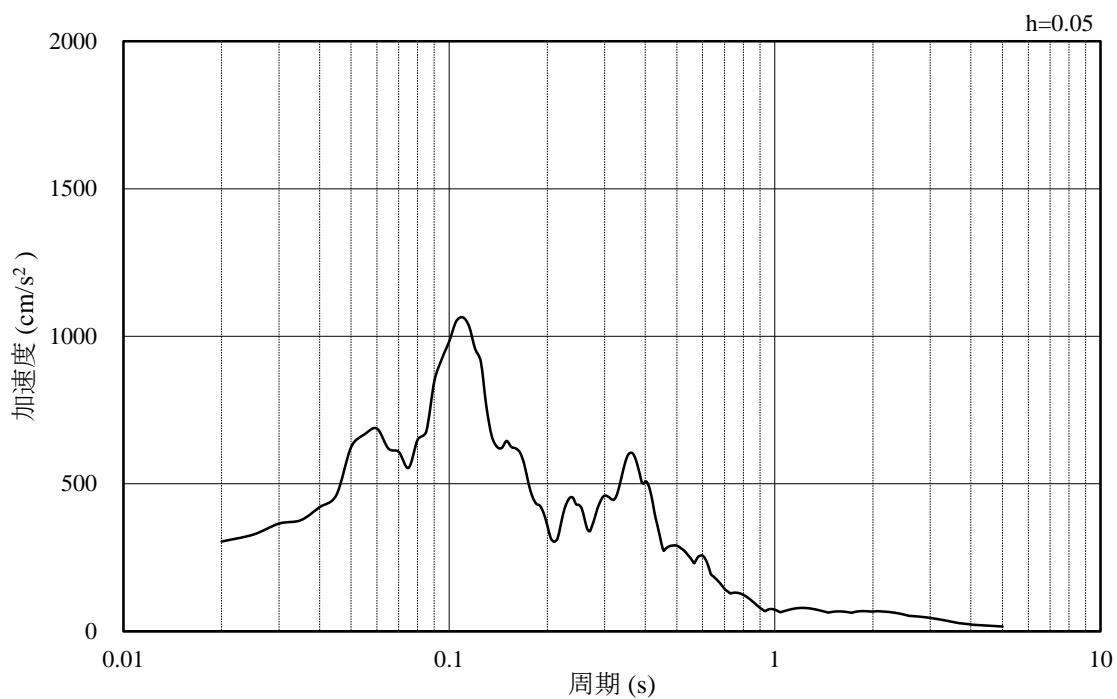


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-38 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (水平成分: S s - N 1)

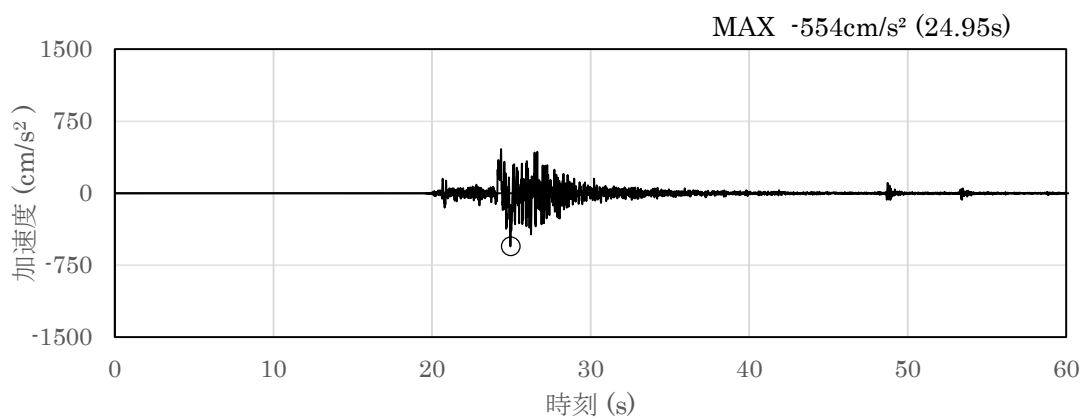


(a) 加速度時刻歴波形

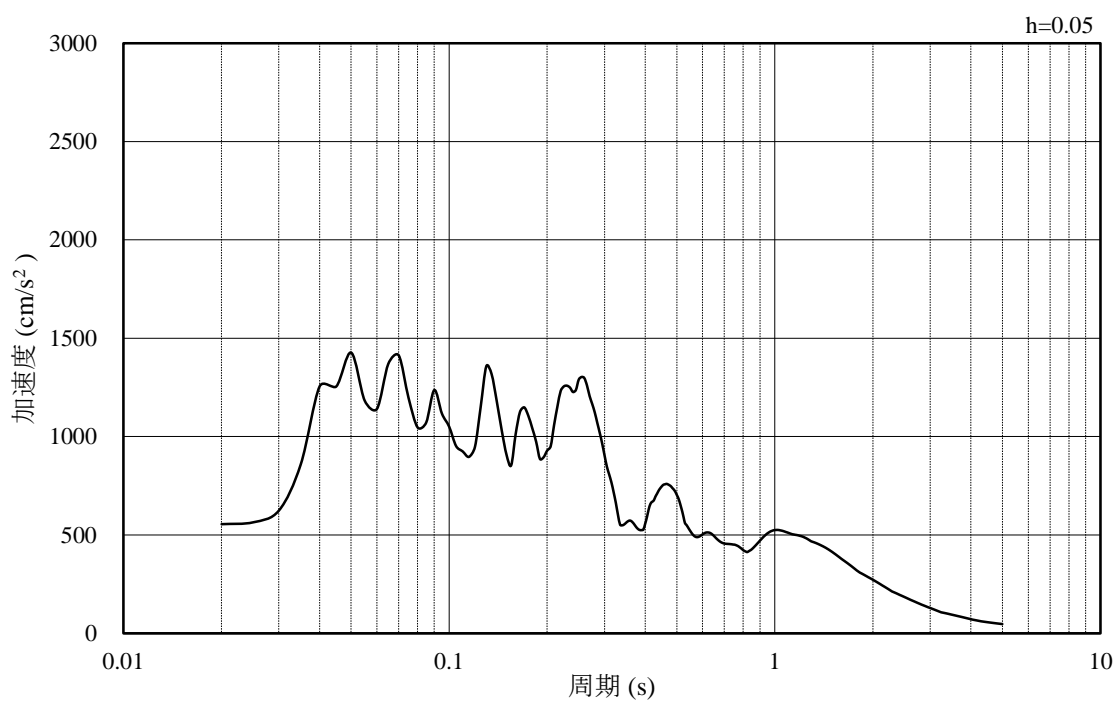


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-39 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (鉛直成分: S s - N 1)

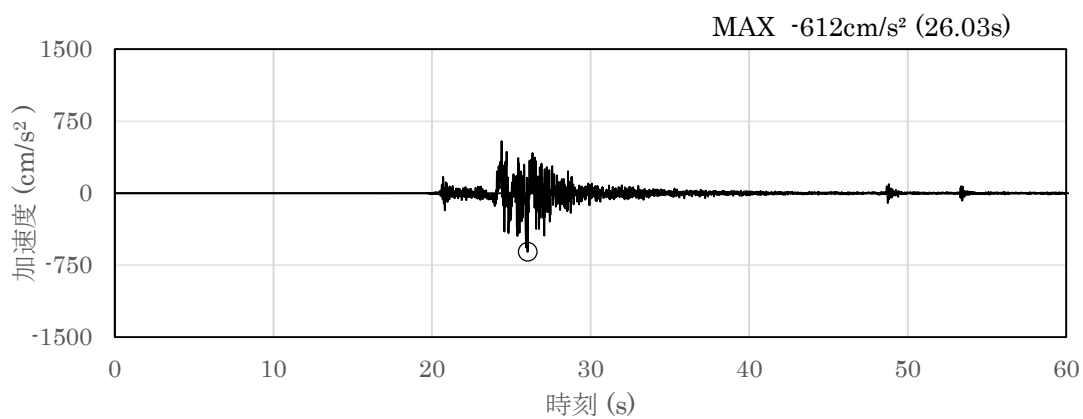


(a) 加速度時刻歴波形

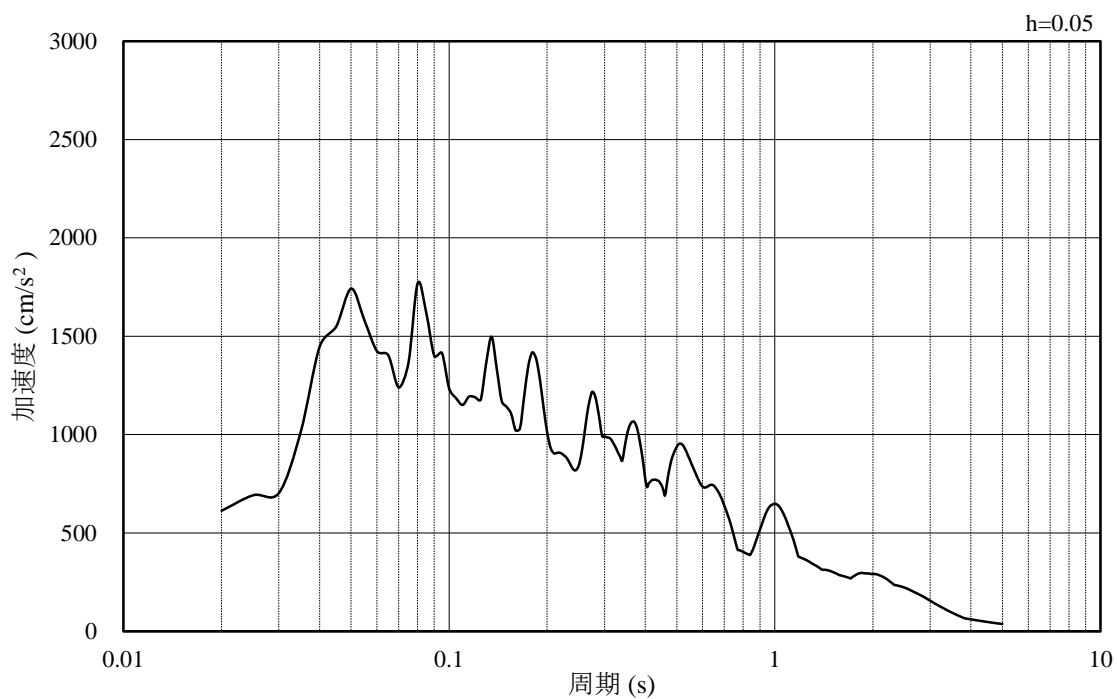


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-40 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (水平成分：S s - N 2, N S 方向)

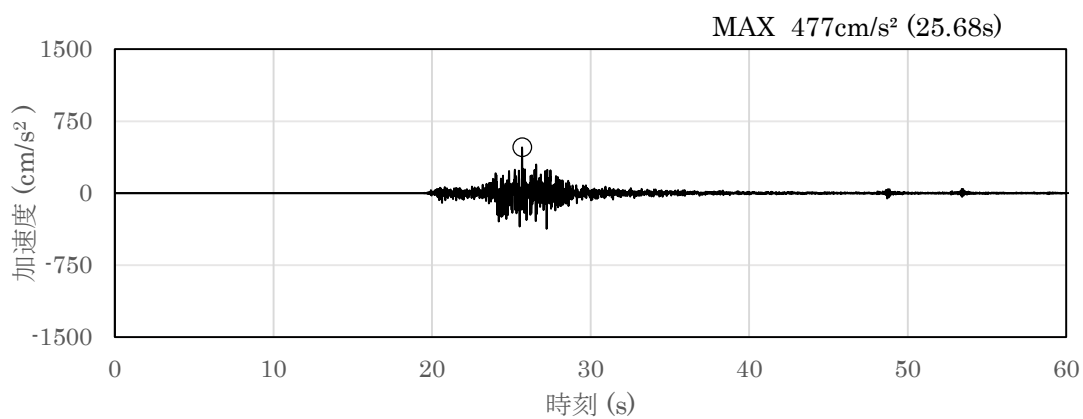


(a) 加速度時刻歴波形

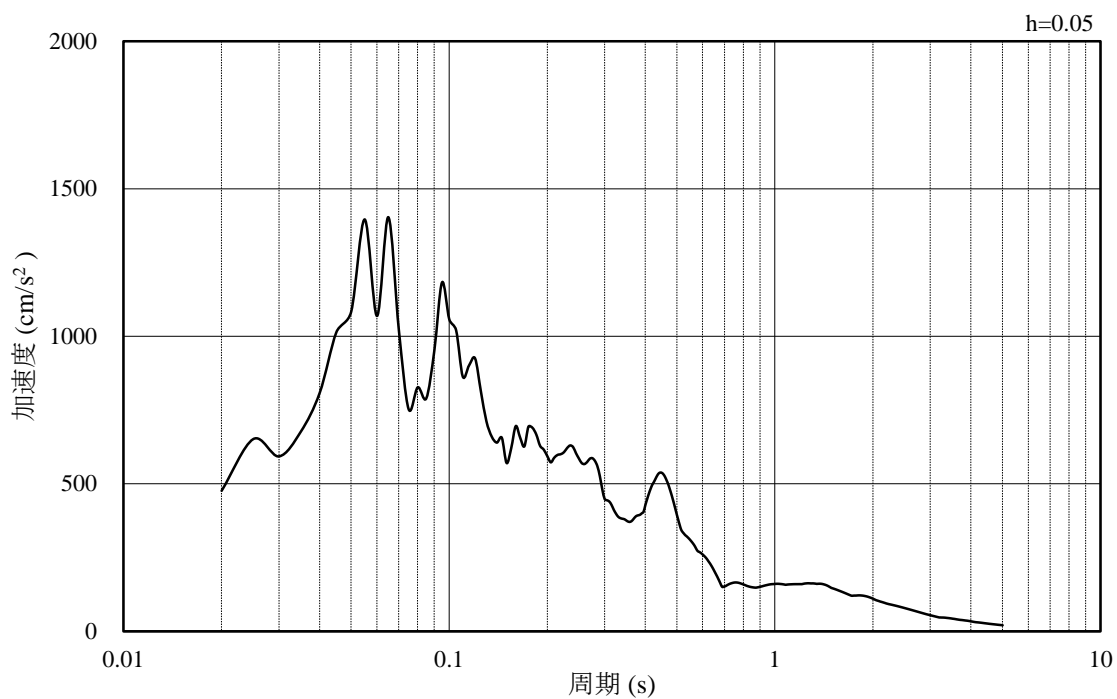


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-41 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (水平成分: S s - N 2, EW方向)

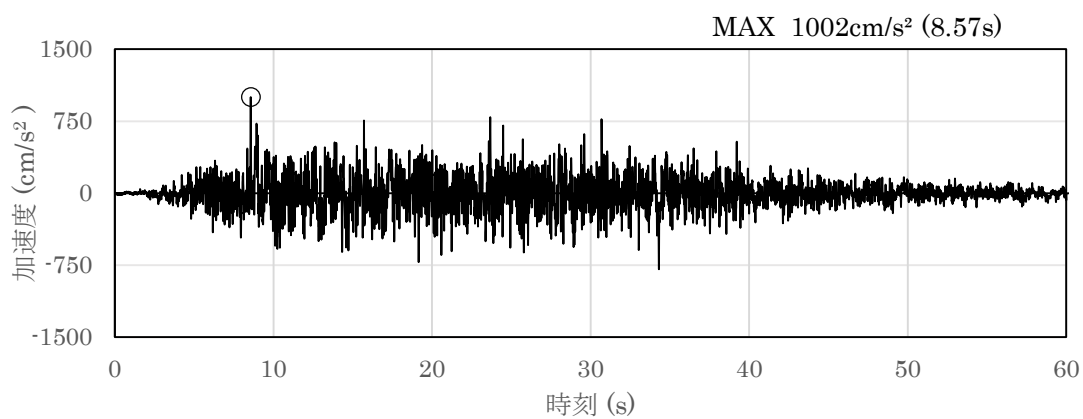


(a) 加速度時刻歴波形

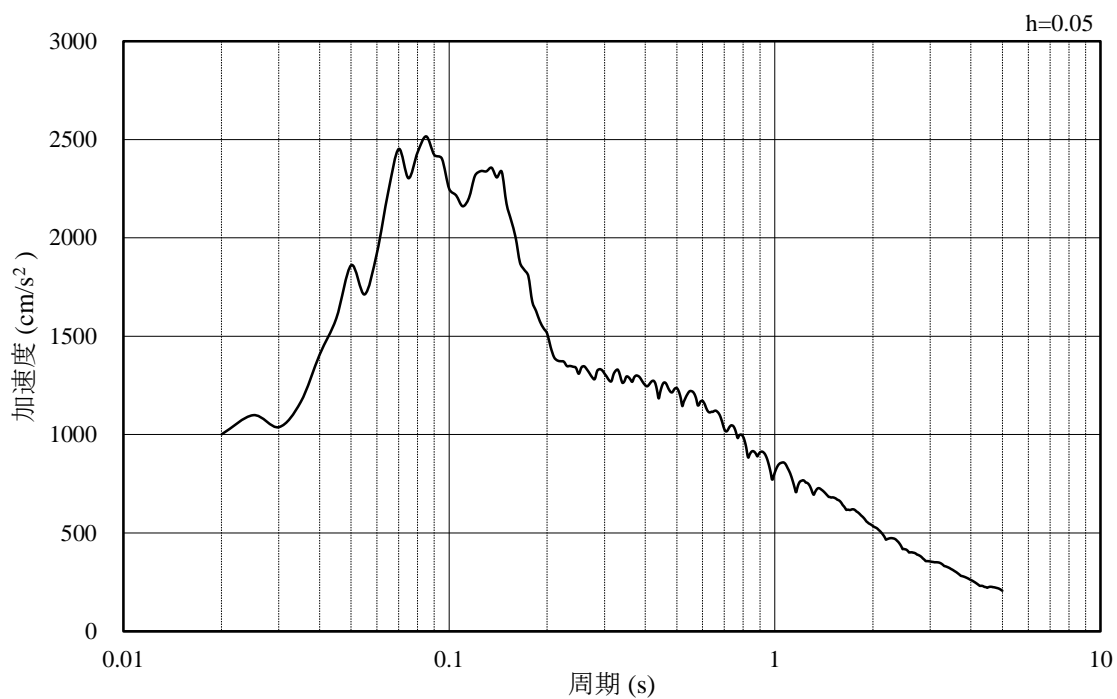


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-42 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース②) (鉛直成分: S_s-N2)

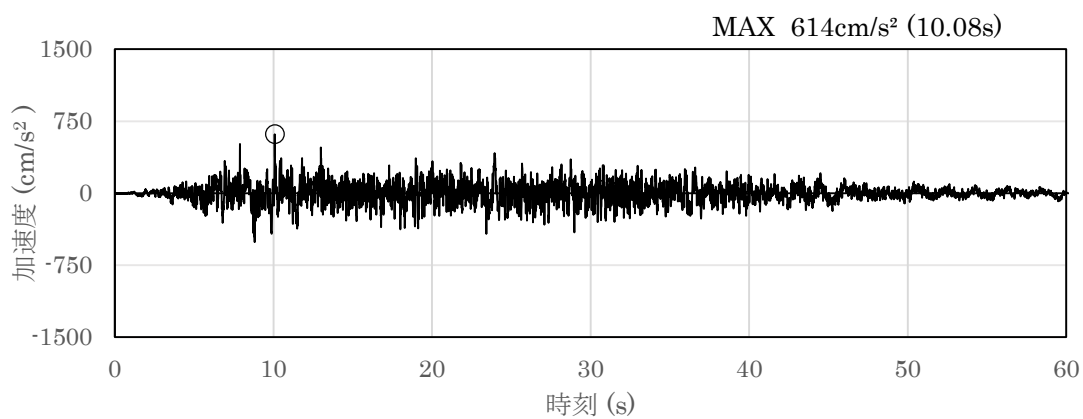


(a) 加速度時刻歴波形

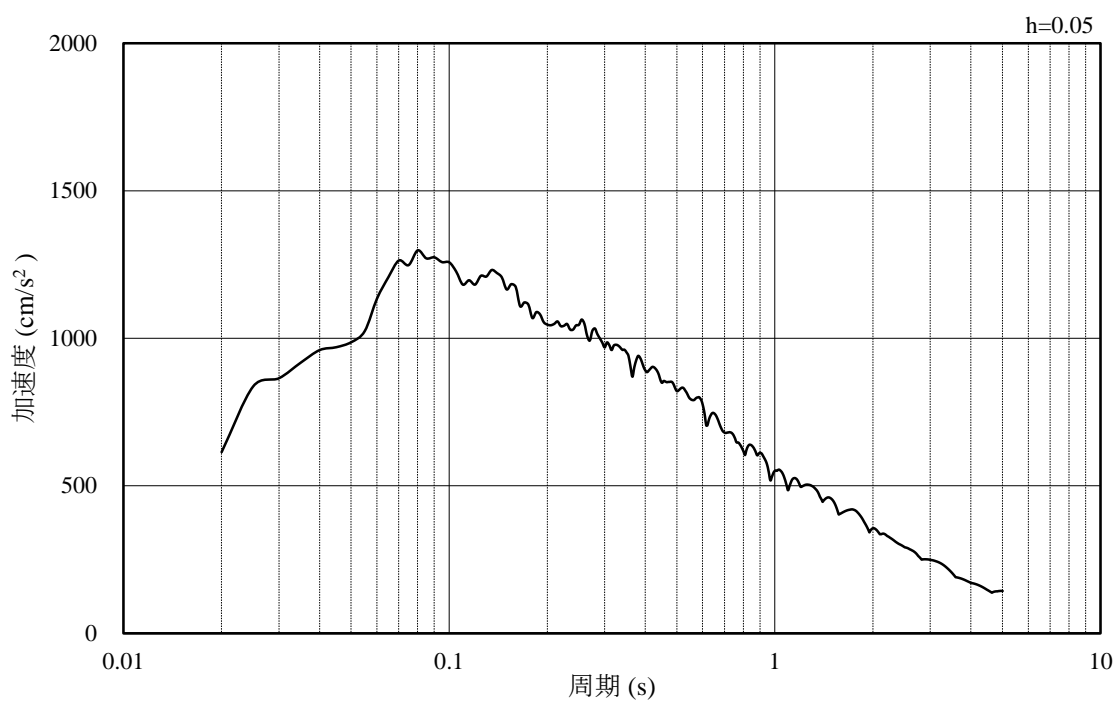


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-43 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (水平成分: S s - D)

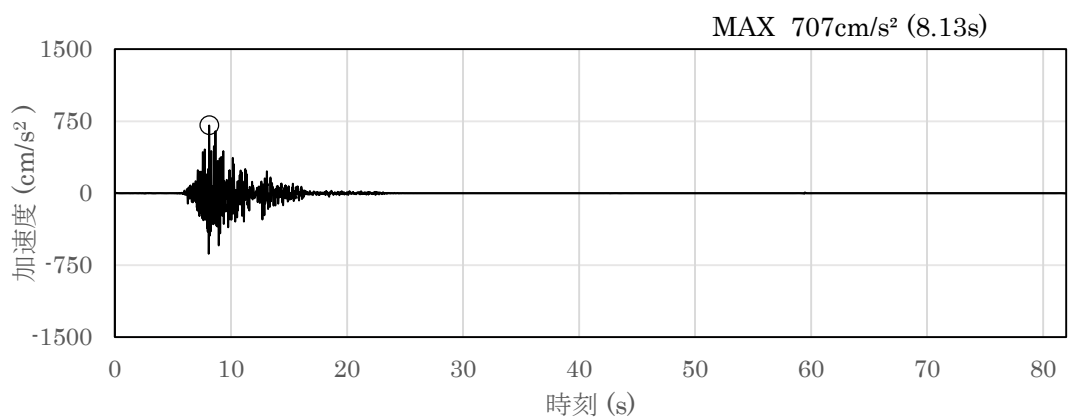


(a) 加速度時刻歴波形

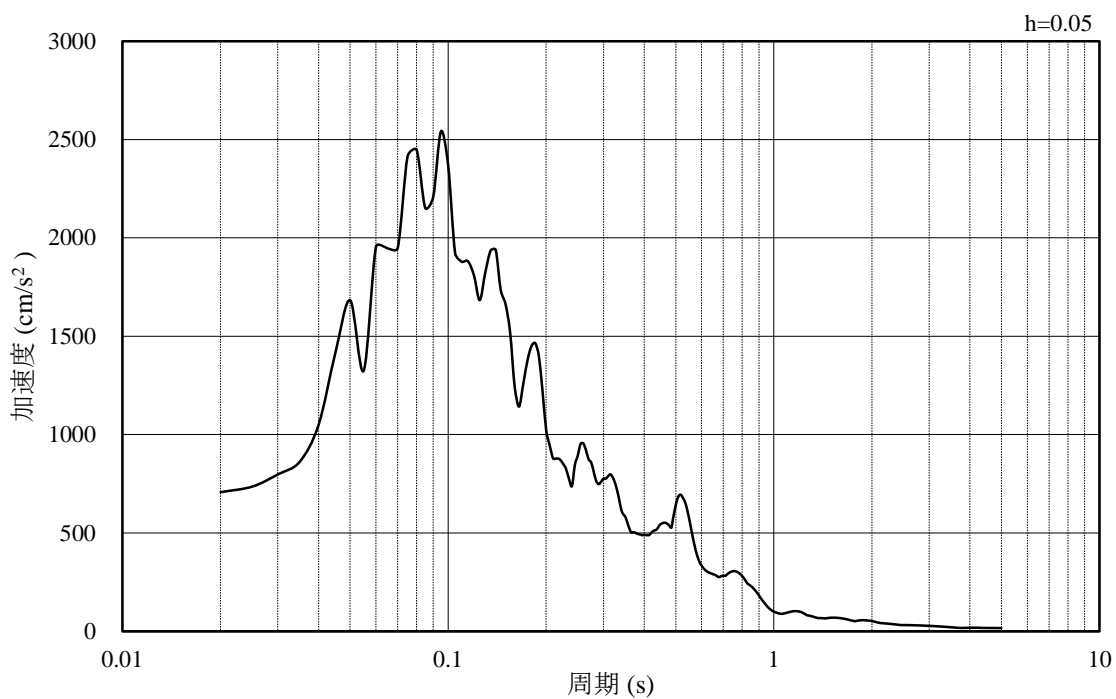


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-44 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (鉛直成分: S_s-D)

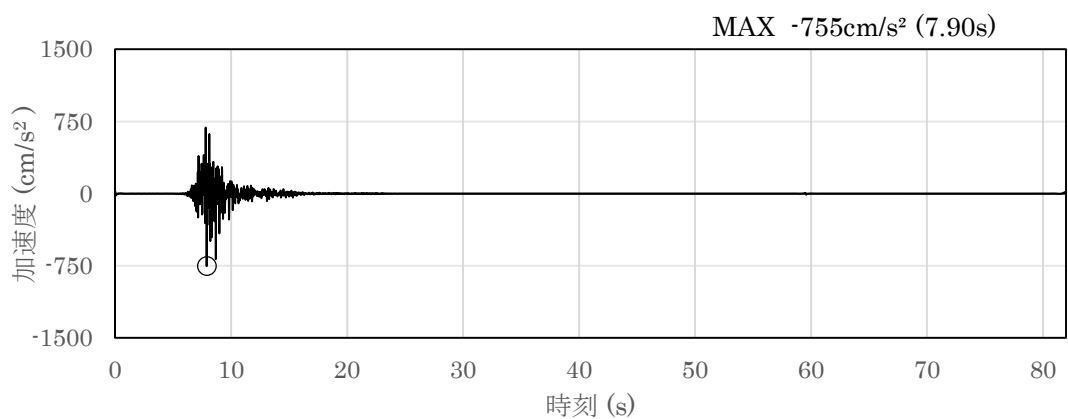


(a) 加速度時刻歴波形

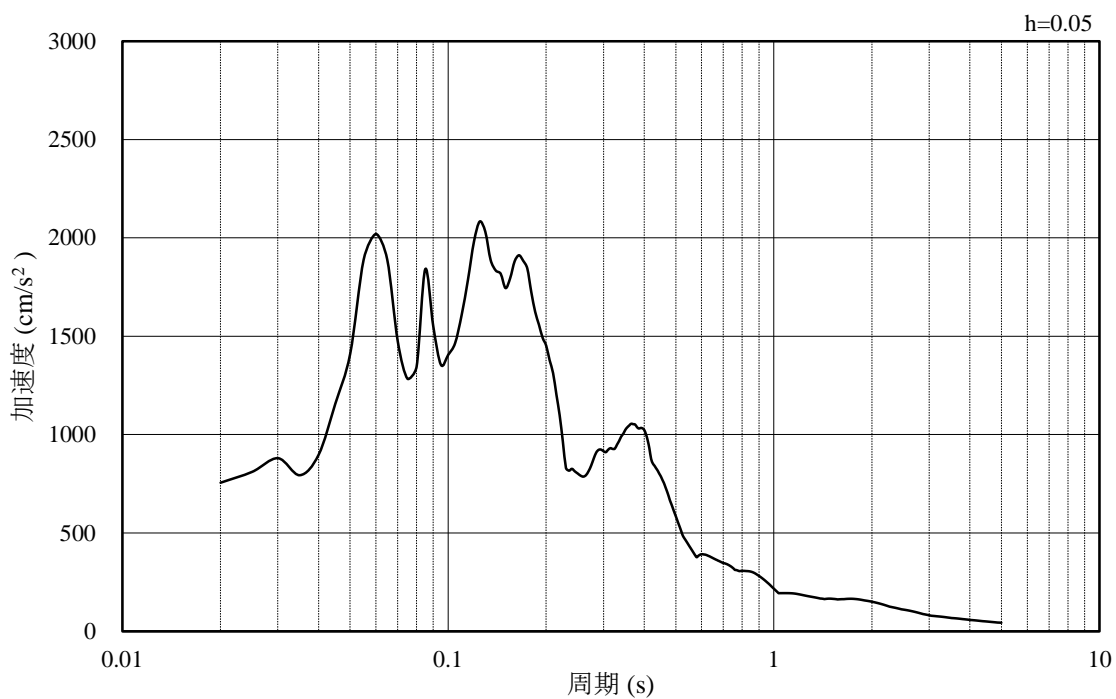


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-45 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
 (解析ケース③) (水平成分: S s - F 1, NS 方向)

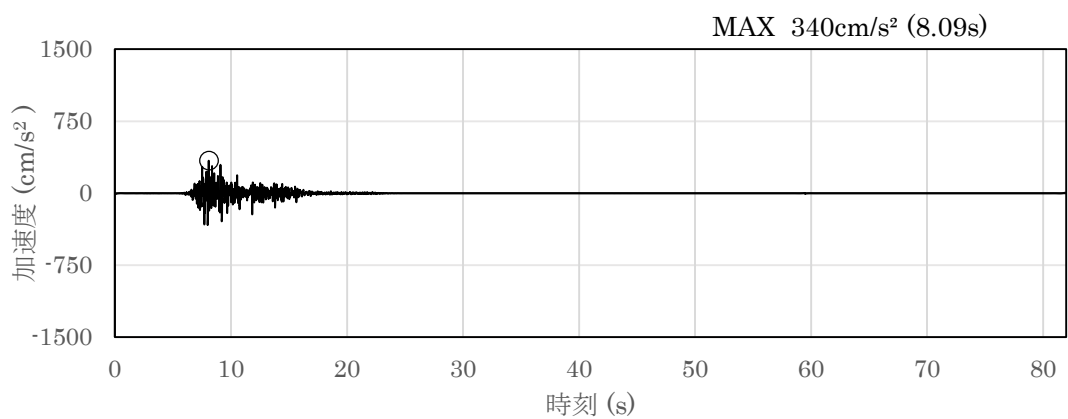


(a) 加速度時刻歴波形

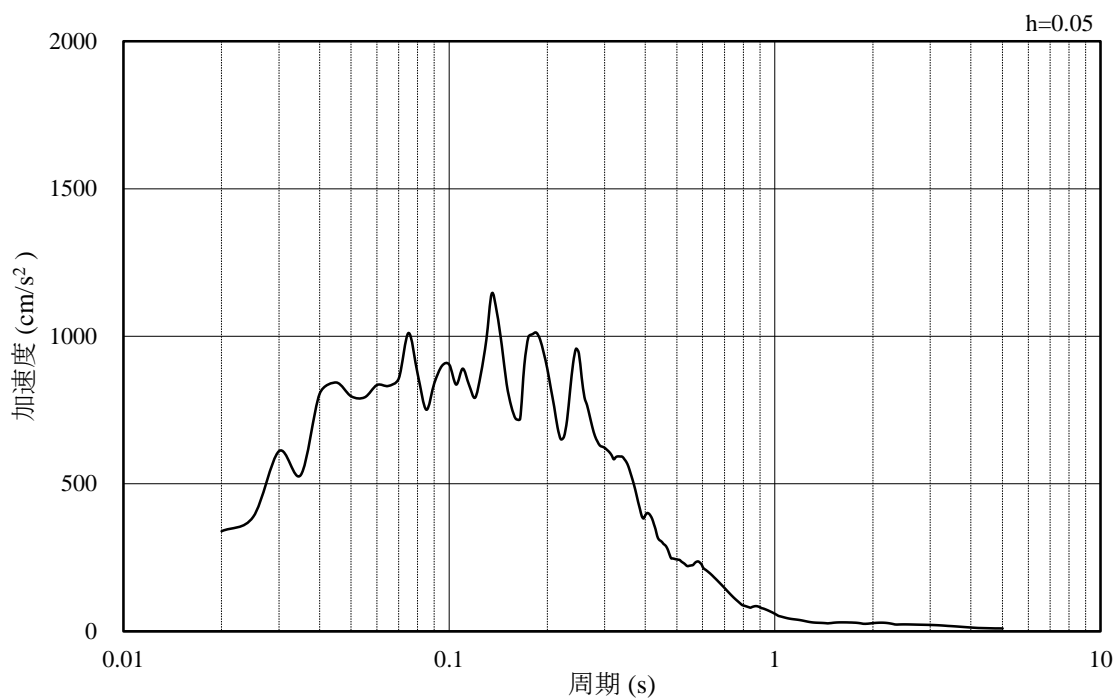


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-46 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (水平成分: S s - F 1, EW方向)

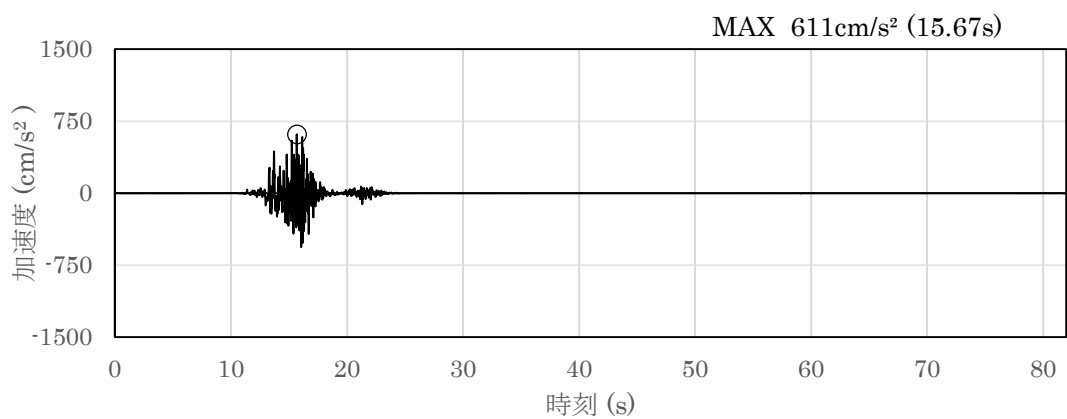


(a) 加速度時刻歴波形

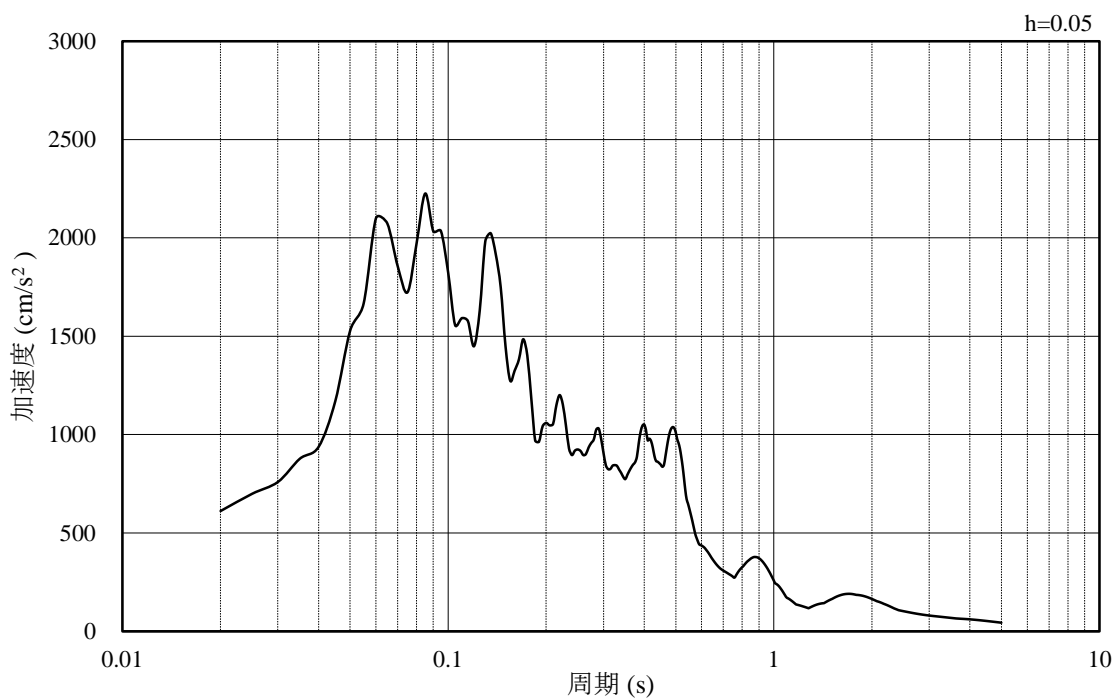


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (鉛直成分: S s - F 1)

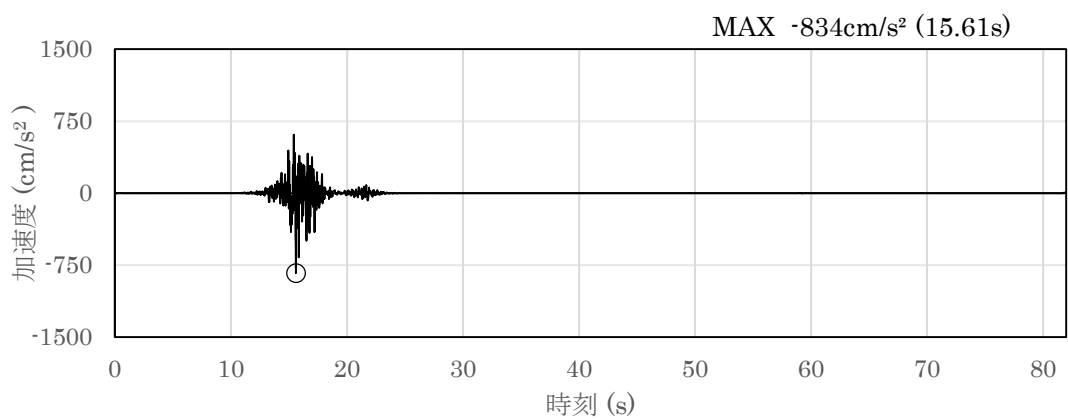


(a) 加速度時刻歴波形

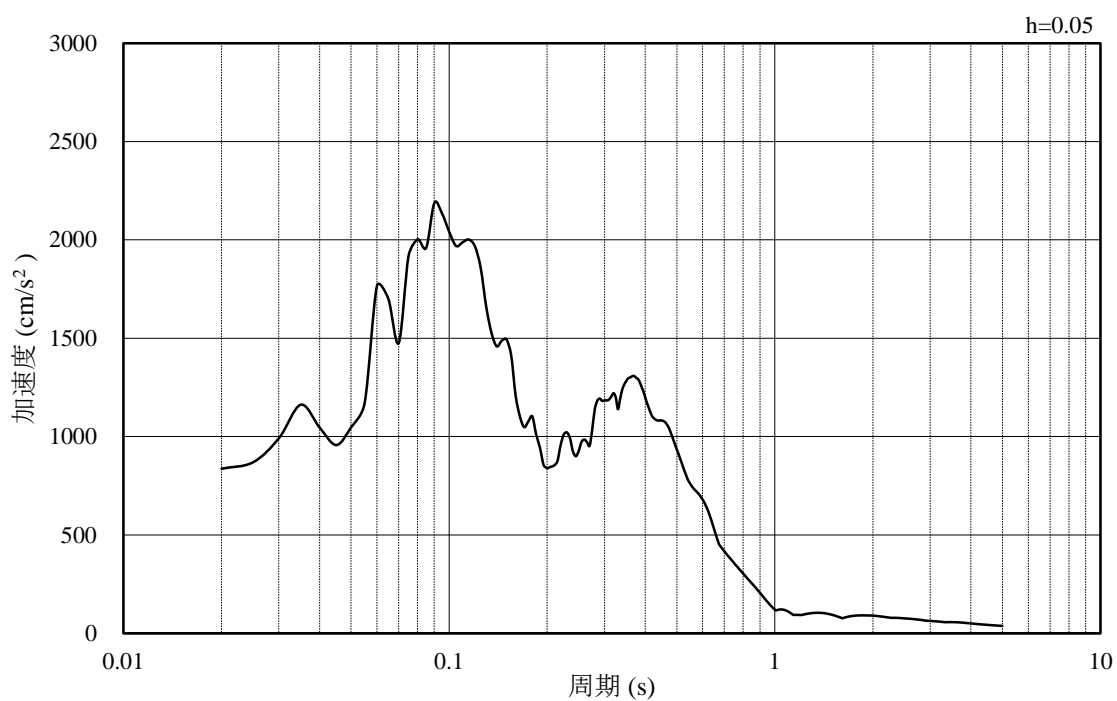


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (水平成分: S s - F 2, N S 方向)

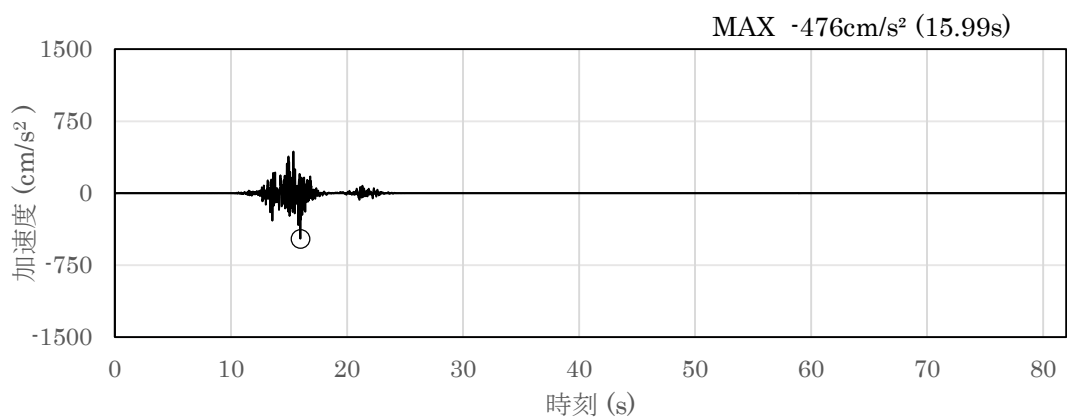


(a) 加速度時刻歴波形

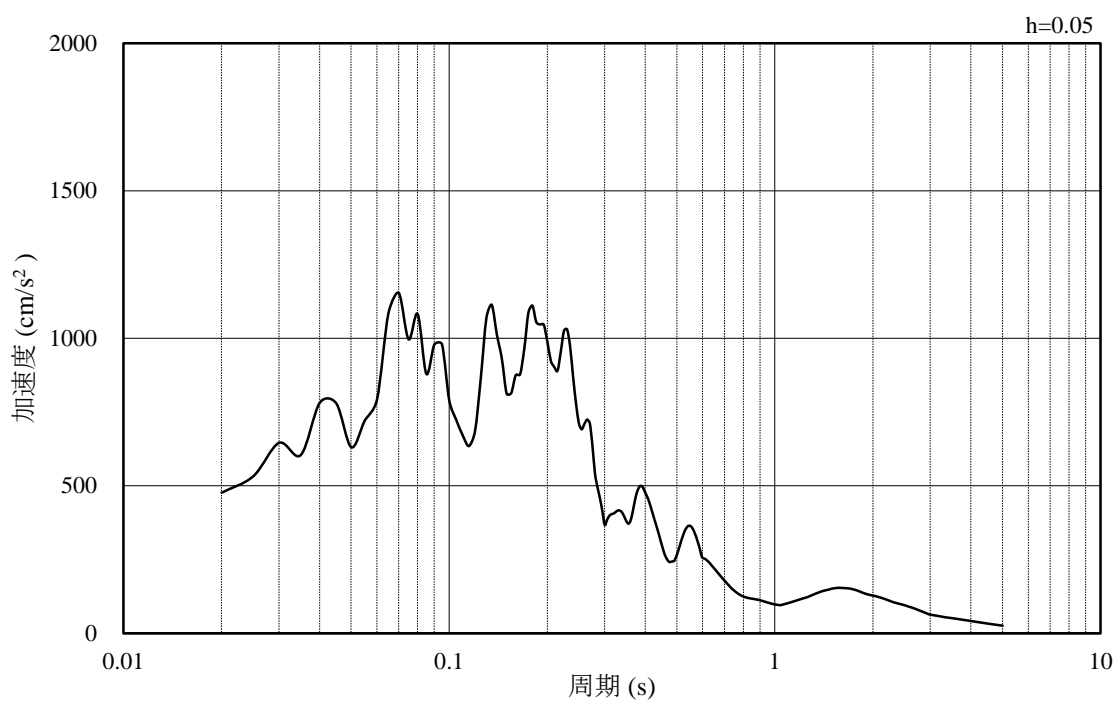


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (水平成分: S_s-F₂, EW方向)

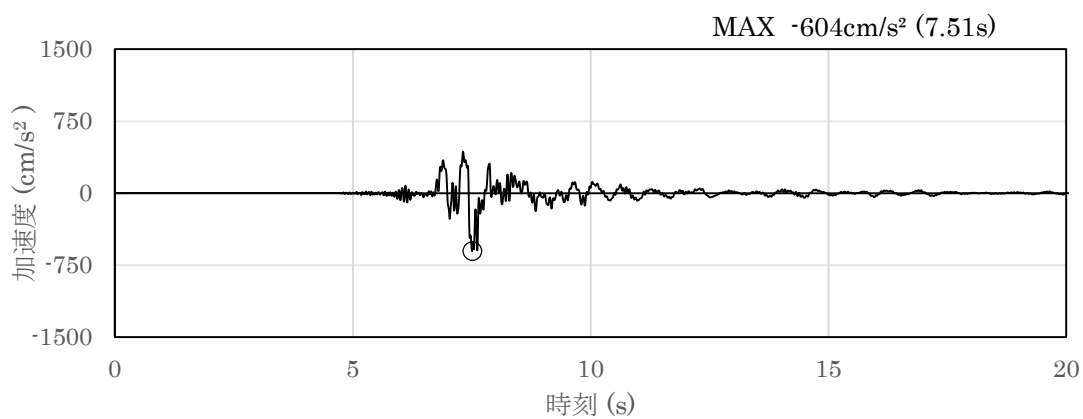


(a) 加速度時刻歴波形

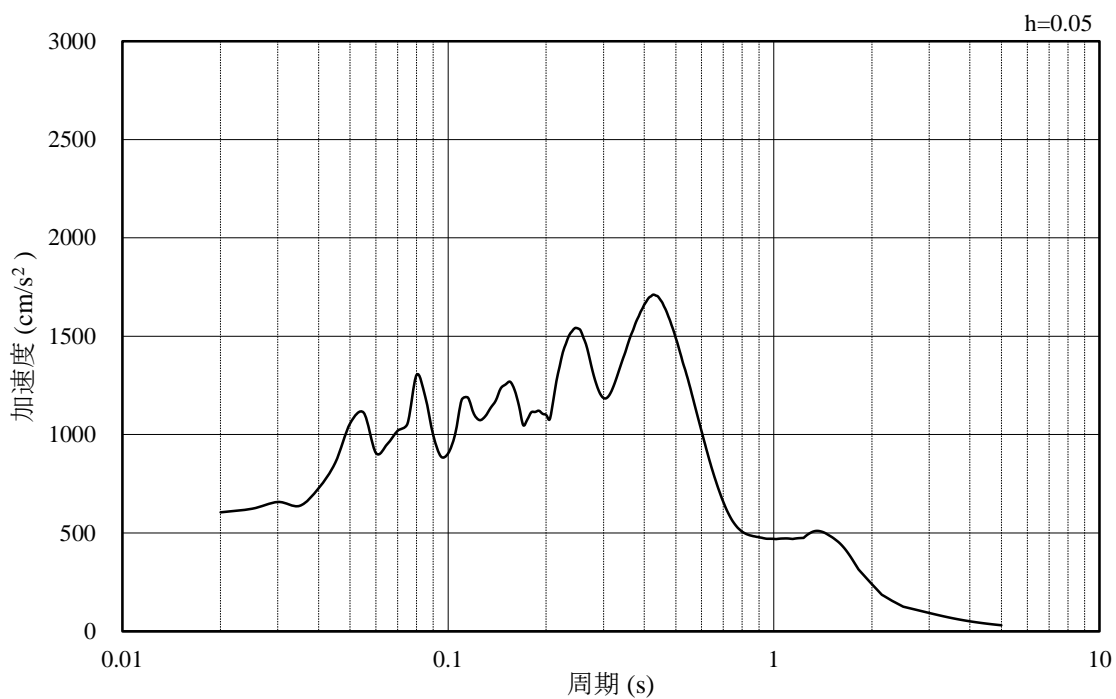


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-50 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (鉛直成分: S s - F 2)

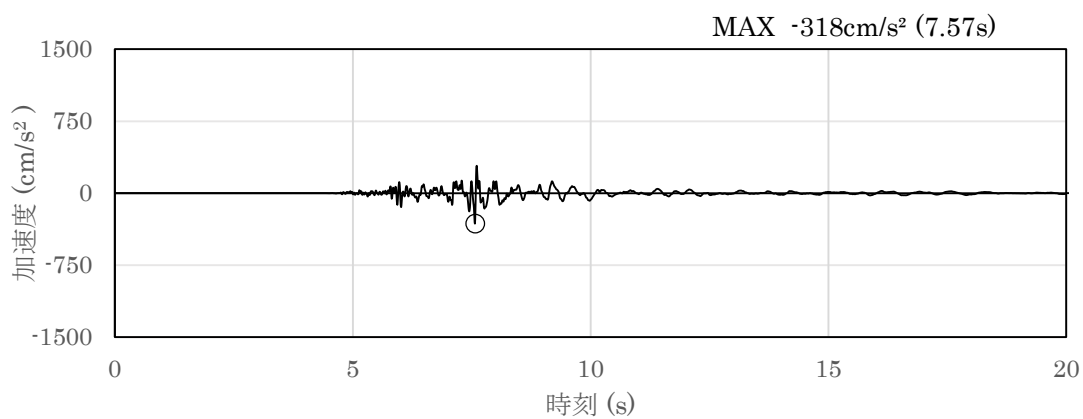


(a) 加速度時刻歴波形

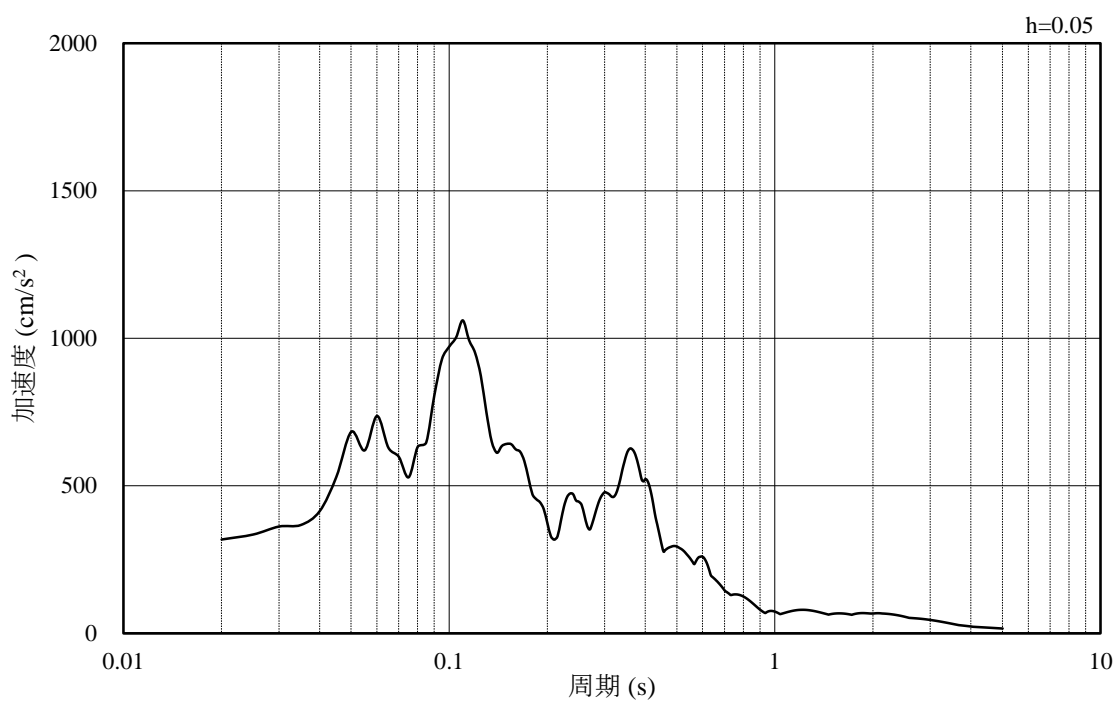


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-51 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (水平成分: S s - N 1)

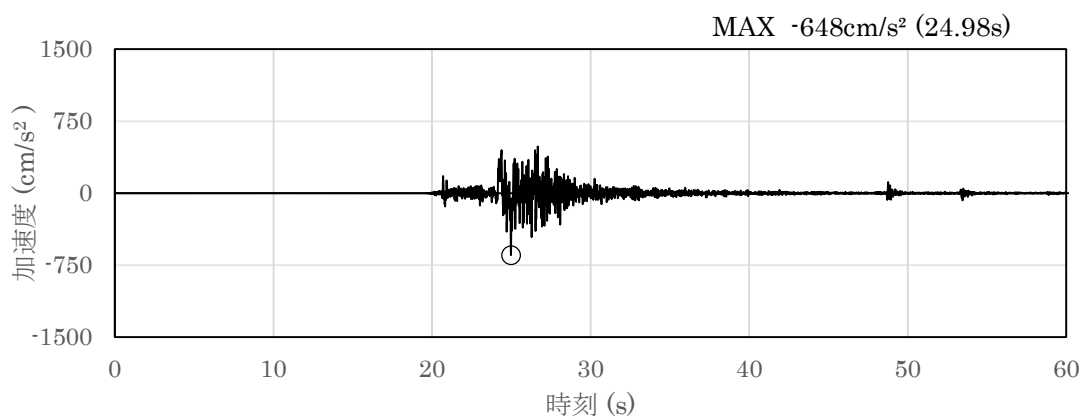


(a) 加速度時刻歴波形

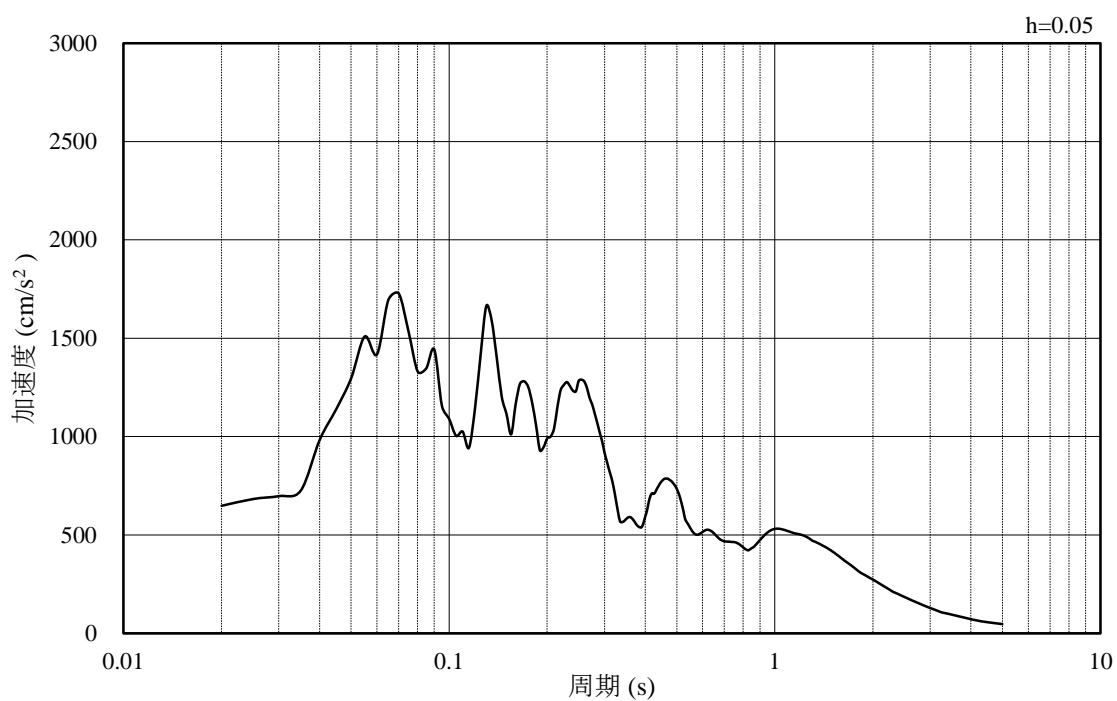


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (鉛直成分: S s - N 1)

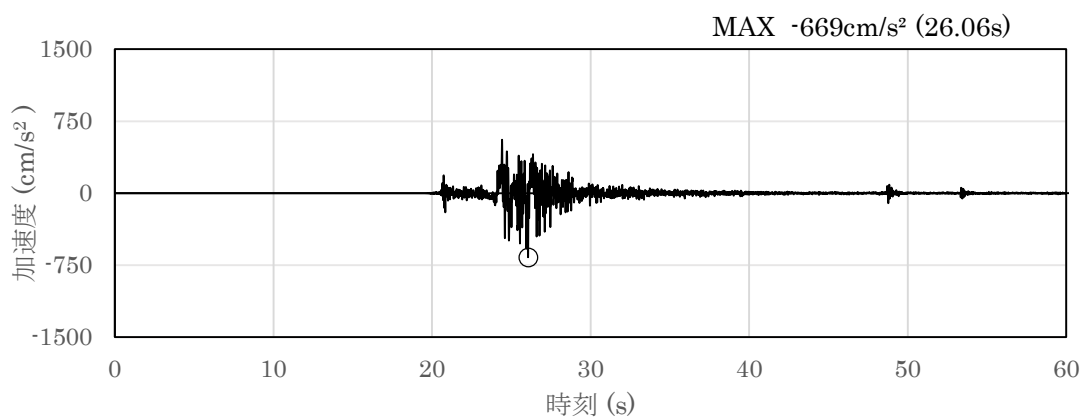


(a) 加速度時刻歴波形

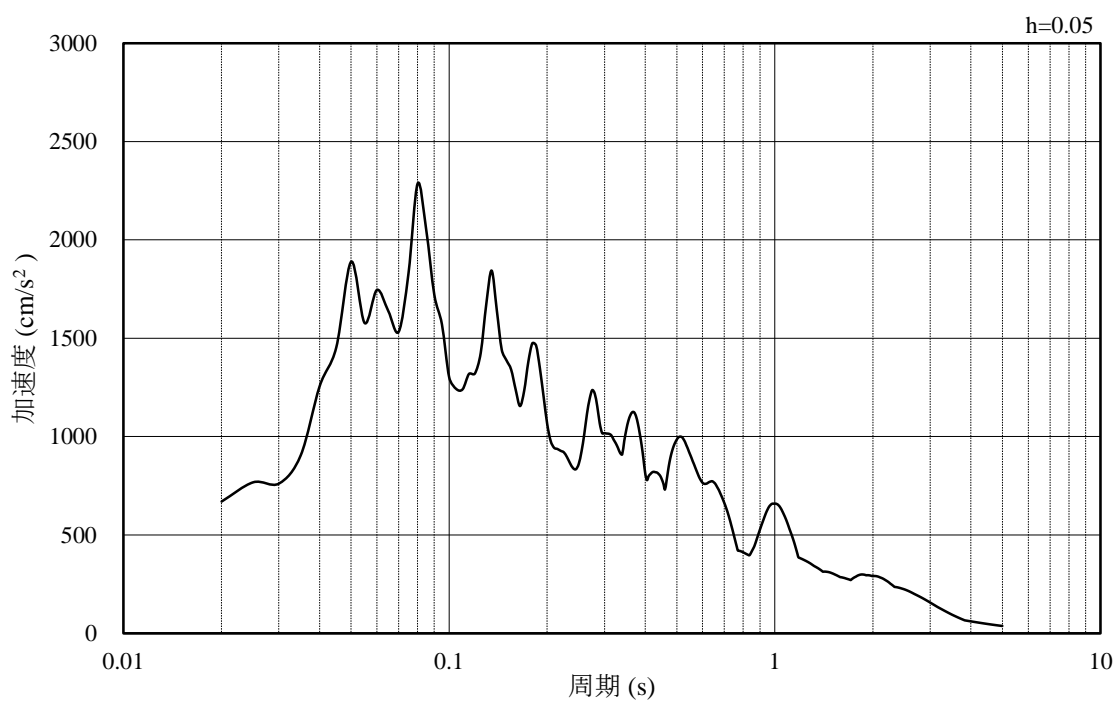


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-53 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (水平成分: S s - N 2, N S 方向)

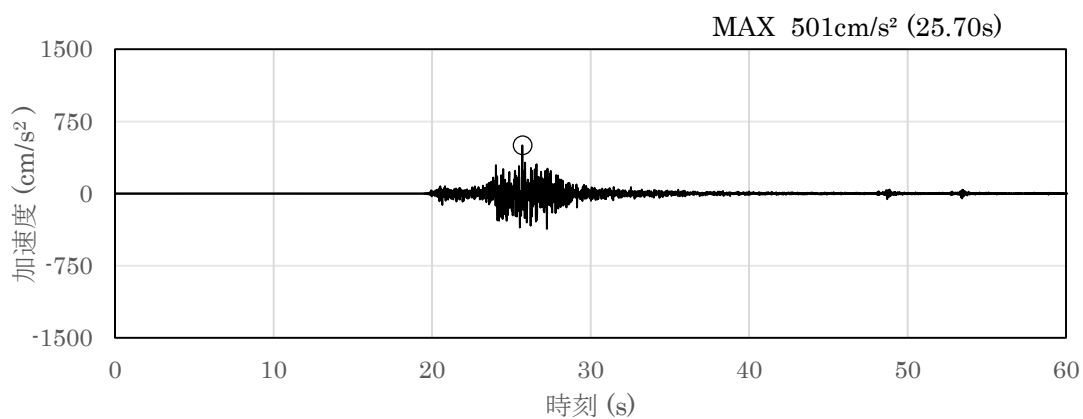


(a) 加速度時刻歴波形

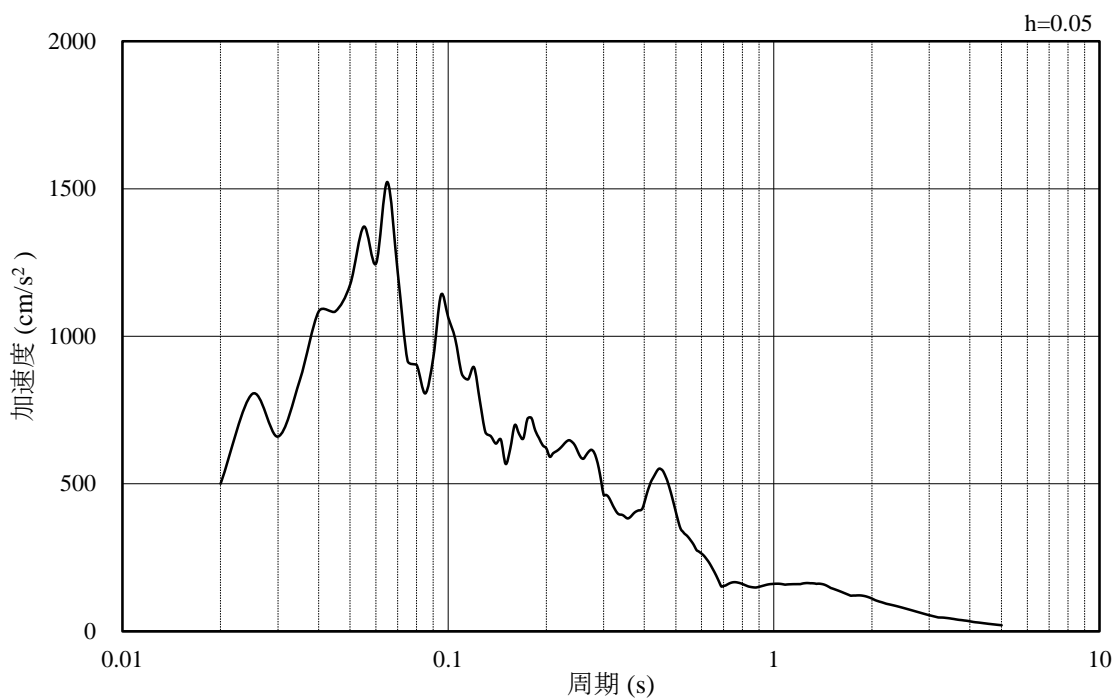


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-54 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (水平成分: S s - N 2, E W方向)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-55 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(解析ケース③) (鉛直成分: S s - N 2)

3.7 地震応答解析結果

3.7.1 最大応答値一覧

地震応答解析結果として、解析ケース①～③について、すべての基準地震動 S_s による全時刻の最大応答値を図 3-56～図 3-76 及び表 3-12～表 3-32 に示す。

また、地震応答解析の妥当性を確認するため、解析ケース①～③について、すべての基準地震動 S_s による接地率を表 3-33 に示す。接地率は、誘発上下動を考慮した地震応答解析を適用できる基準値（50%以上）を満足していることを確認した。

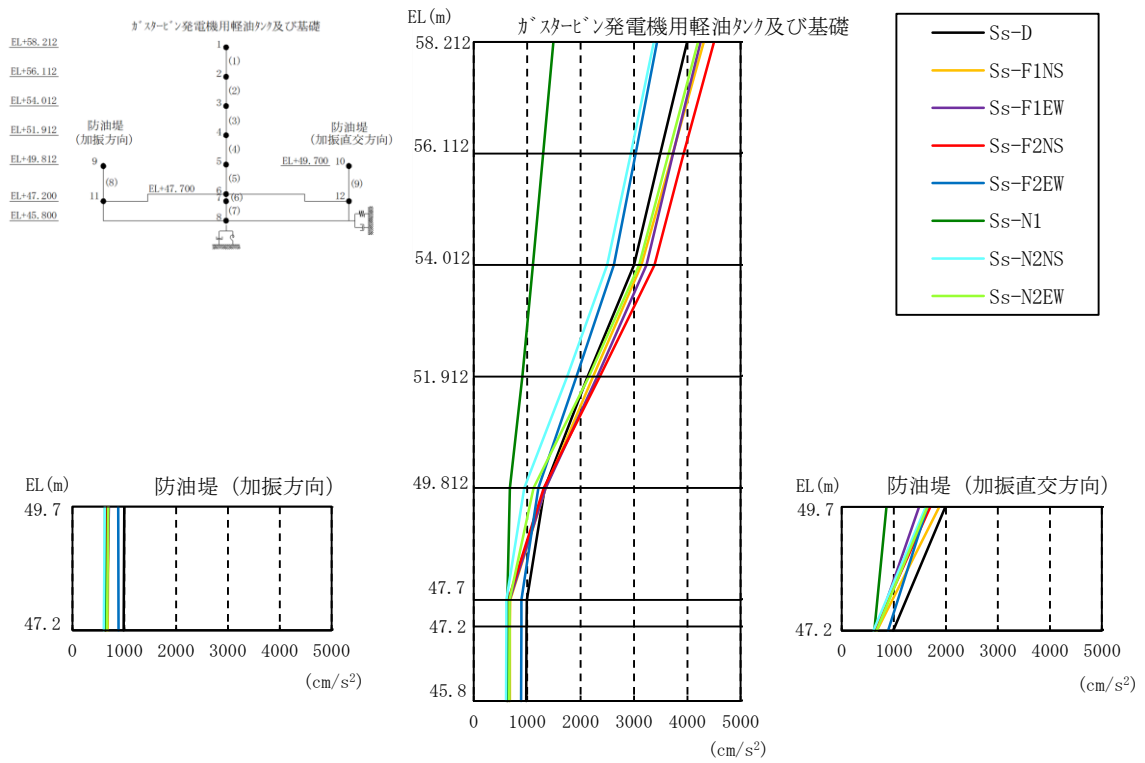


図 3-56 最大応答加速度（水平方向，解析ケース①）

表 3-12 最大応答加速度一覧（水平方向，解析ケース①）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)								
			Ss-D	Ss-F1NS	Ss-F1EW	Ss-F2NS	Ss-F2EW	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	最大値
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212	1	3994	4306	4246	4498	3433	1487	3375	4198	4498
	56.112	2	3495	3724	3730	3930	3031	1296	2939	3648	3930
	54.012	3	2999	3141	3236	3383	2621	1107	2498	3094	3383
	51.912	4	2130	2234	2311	2359	1923	910	1748	2156	2359
	49.812	5	1329	1344	1344	1313	1209	672	942	1117	1344
	47.7	6	991	681	667	644	890	628	611	667	991
基礎	47.2	7	985	676	659	633	888	627	608	666	985
	45.8	8	977	674	658	621	883	626	604	663	977
防油堤 (加振方向)	49.7	9	999	700	704	646	883	627	621	689	999
	47.2	11	985	676	659	633	888	627	608	666	985
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	1992	1871	1487	1698	1646	861	1617	1643	1992
	47.2	12	985	676	659	633	888	627	608	666	985

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

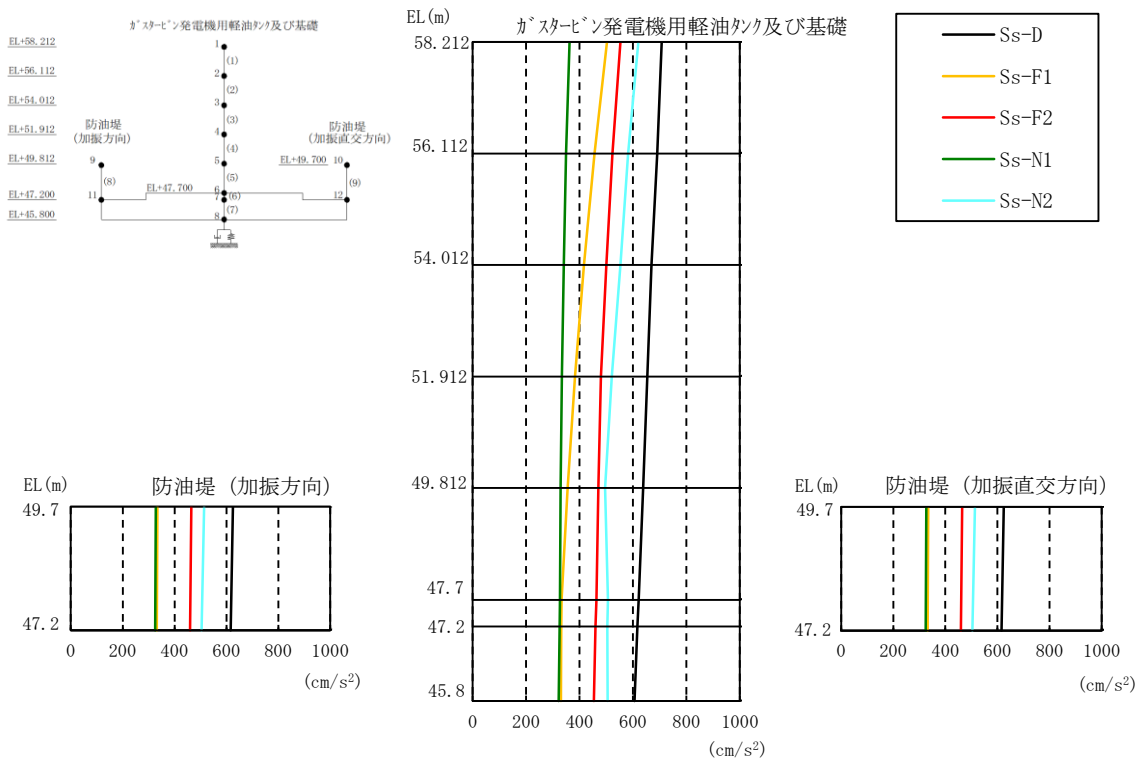


図 3-57 最大応答加速度（鉛直方向，解析ケース①）

表 3-13 最大応答加速度一覧（鉛直方向，解析ケース①）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	708	503	553	362	621	708
	56.112	2	691	456	522	350	582	691
	54.012	3	669	416	500	341	553	669
	51.912	4	653	382	480	333	521	653
	49.812	5	638	356	470	329	495	638
	47.7	6	621	333	463	327	506	621
基礎	47.2	7	616	332	459	325	504	616
	45.8	8	606	330	453	322	504	606
防油堤 (加振方向)	49.7	9	625	334	464	328	514	625
	47.2	11	616	332	459	325	504	616
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	625	334	464	328	514	625
	47.2	12	616	332	459	325	504	616

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

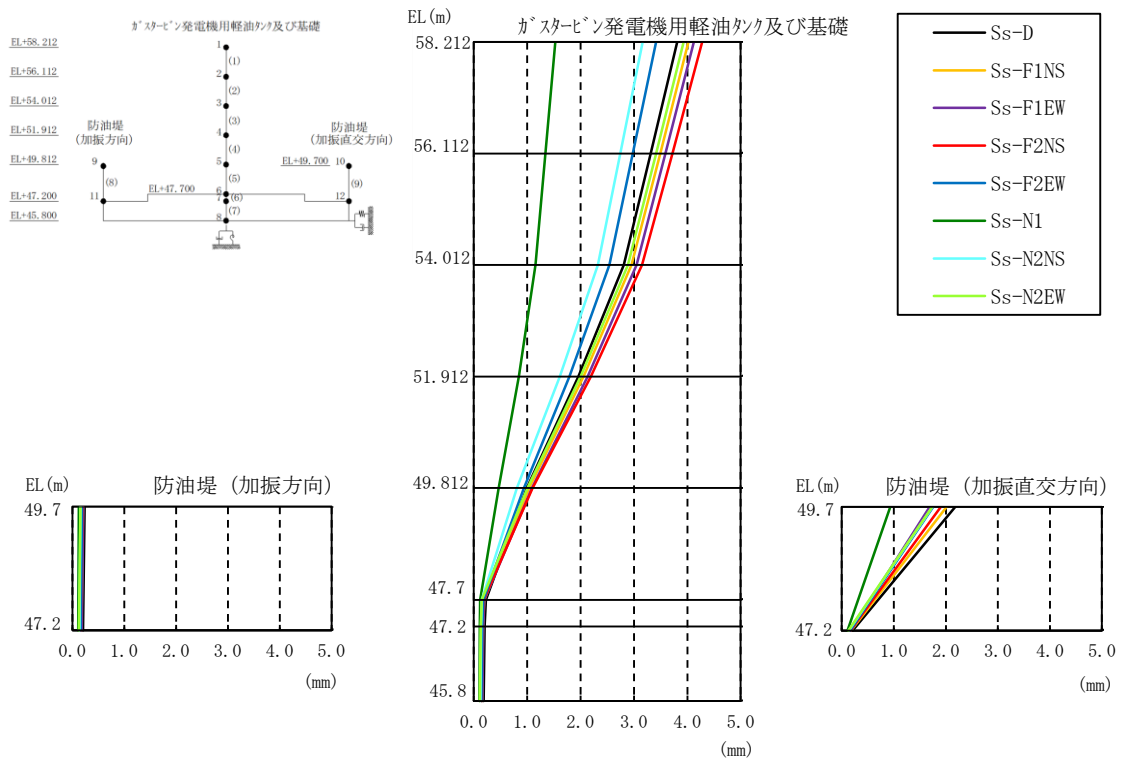


図 3-58 最大応答変位（水平方向，解析ケース①）

表 3-14 最大応答変位一覧（水平方向，解析ケース①）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)								
			Ss-D	Ss-F1NS	Ss-F1EW	Ss-F2NS	Ss-F2EW	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	最大値
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	3.81	4.02	4.12	4.28	3.41	1.52	3.16	3.93	4.28
	56.112	2	3.31	3.49	3.59	3.72	2.98	1.34	2.74	3.41	3.72
	54.012	3	2.81	2.96	3.05	3.15	2.54	1.16	2.32	2.89	3.15
	51.912	4	1.95	2.05	2.13	2.19	1.79	0.84	1.61	2.00	2.19
	49.812	5	0.99	1.03	1.09	1.10	0.94	0.47	0.81	1.00	1.10
	47.7	6	0.22	0.19	0.20	0.18	0.18	0.12	0.15	0.15	0.22
基礎	47.2	7	0.20	0.17	0.18	0.16	0.16	0.11	0.13	0.13	0.20
	45.8	8	0.19	0.15	0.16	0.14	0.14	0.10	0.12	0.11	0.19
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.23	0.20	0.21	0.19	0.19	0.12	0.15	0.15	0.23
	47.2	11	0.20	0.17	0.18	0.16	0.16	0.11	0.13	0.13	0.20
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	2.18	2.02	1.69	1.90	1.76	0.93	1.74	1.74	2.18
	47.2	12	0.20	0.17	0.18	0.16	0.16	0.11	0.13	0.13	0.20

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

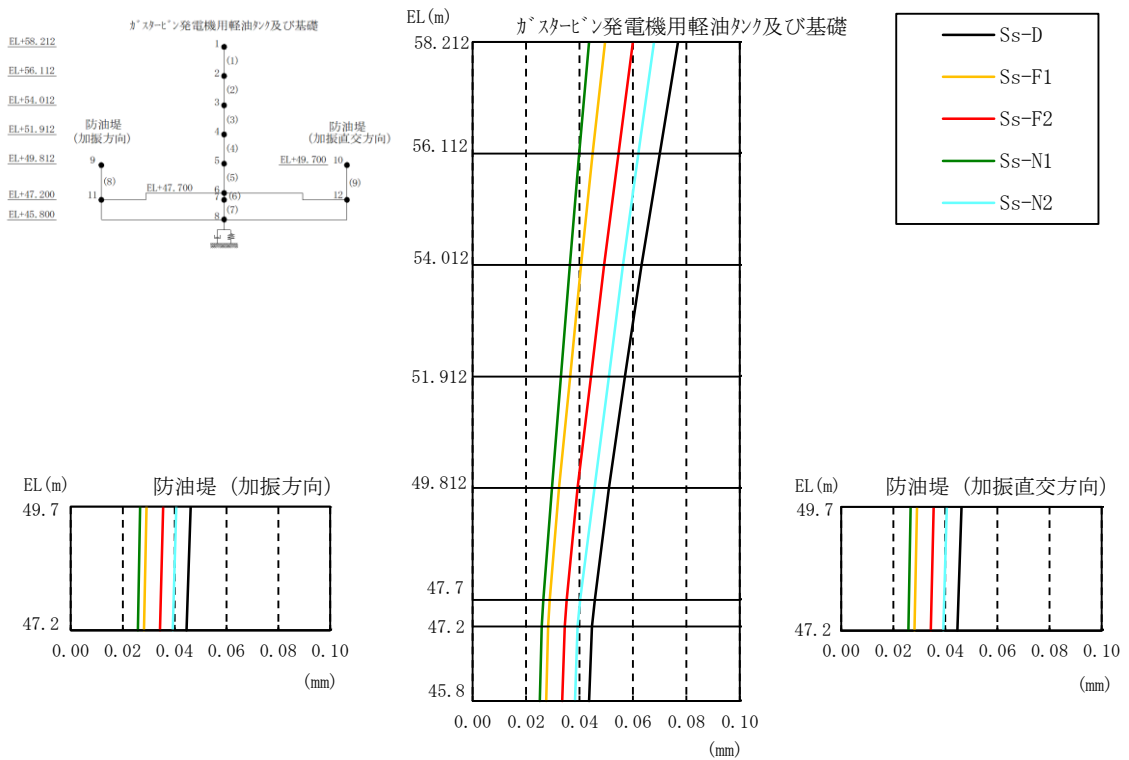


図 3-59 最大応答変位（鉛直方向，解析ケース①）

表 3-15 最大応答変位一覧（鉛直方向，解析ケース①）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)					
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	最大値
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	0.08	0.05	0.06	0.04	0.07	0.08
	56.112	2	0.07	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07
	54.012	3	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06
	51.912	4	0.06	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06
	49.812	5	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05	0.05
	47.7	6	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05
基礎	47.2	7	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
	45.8	8	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05
	47.2	11	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.05
	47.2	12	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

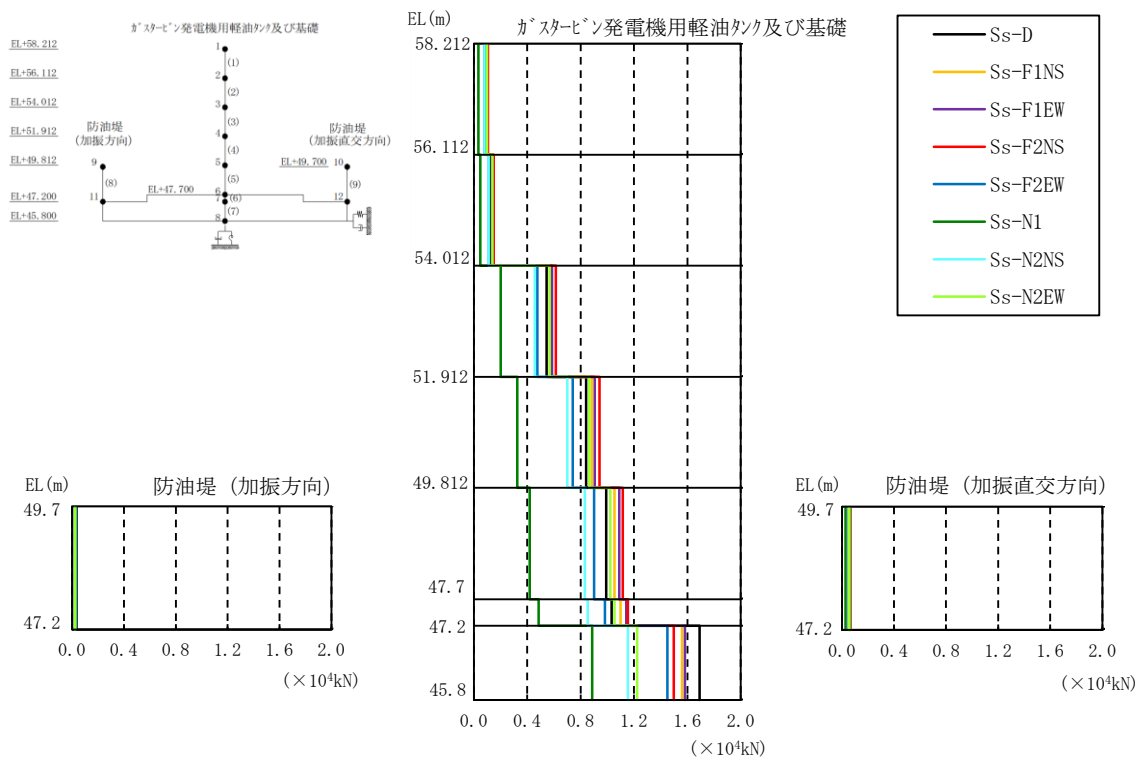


図 3-60 最大応答せん断力（解析ケース①）

表 3-16 最大応答せん断力一覧（解析ケース①）

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁴ kN)								最大値
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212～56.112	1	0.09	0.10	0.10	0.11	0.08	0.03	0.08	0.10	0.11
	56.112～54.012	2	0.13	0.14	0.14	0.15	0.11	0.05	0.11	0.14	0.15
	54.012～51.912	3	0.55	0.58	0.59	0.61	0.48	0.20	0.46	0.57	0.61
	51.912～49.812	4	0.84	0.89	0.90	0.94	0.74	0.33	0.70	0.87	0.94
基礎	49.812～47.7	5	0.99	1.05	1.09	1.12	0.90	0.42	0.83	1.02	1.12
	47.7～47.2	6	1.03	1.10	1.14	1.15	0.98	0.49	0.85	1.05	1.15
防油堤 (加振直交方向)	47.2～45.8	7	1.69	1.56	1.58	1.50	1.45	0.89	1.15	1.22	1.69
	49.7～47.2	8	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
防油堤 (加振方向)	49.7～47.2	9	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.03	0.05	0.06	0.07

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

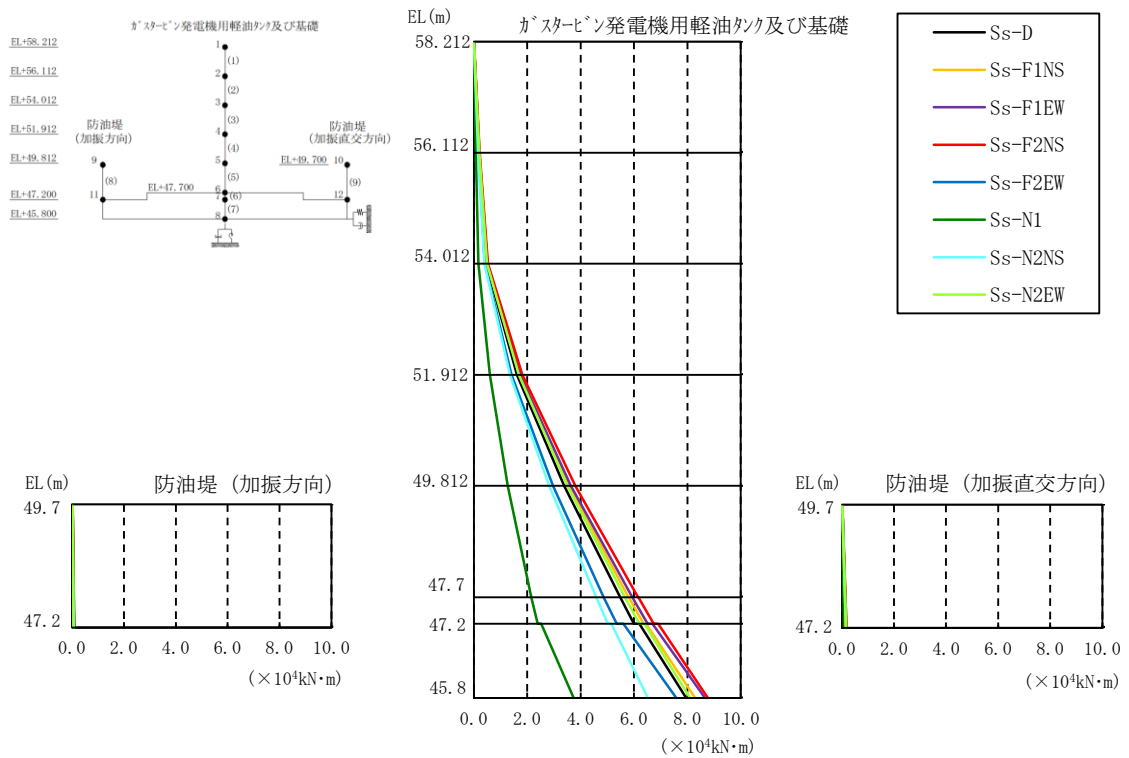


図 3-61 最大応答曲げモーメント (解析ケース①)

表 3-17 最大応答曲げモーメント一覧 (解析ケース①)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 ⁴ kN·m)								最大値
			Ss-D	Ss-F1NS	Ss-F1EW	Ss-F2NS	Ss-F2EW	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212~56.112	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
			0.20	0.21	0.21	0.22	0.17	0.07	0.17	0.21	0.22
	56.112~54.012	2	0.20	0.21	0.21	0.22	0.17	0.07	0.17	0.21	0.22
			0.47	0.51	0.50	0.53	0.41	0.18	0.40	0.50	0.53
	54.012~51.912	3	0.47	0.51	0.50	0.53	0.41	0.18	0.40	0.50	0.53
1.62			1.72	1.73	1.82	1.41	0.60	1.36	1.69	1.82	
51.912~49.812	4	1.62	1.72	1.73	1.82	1.41	0.60	1.36	1.69	1.82	
		3.38	3.58	3.63	3.80	2.96	1.27	2.83	3.51	3.80	
49.812~47.7	5	3.38	3.58	3.63	3.80	2.96	1.27	2.83	3.51	3.80	
		5.48	5.80	5.93	6.16	4.86	2.15	4.58	5.66	6.16	
基礎	47.7~47.2	6	5.48	5.80	5.94	6.16	4.87	2.15	4.59	5.67	6.16
			6.00	6.35	6.51	6.74	5.35	2.40	5.01	6.19	6.74
47.2~45.8	7	6.20	6.45	6.69	6.91	5.61	2.52	5.15	6.39	6.91	
		7.96	8.29	8.66	8.76	7.58	3.74	6.52	8.10	8.76	
防油堤 (加振方向)	49.7~47.2	8	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03
			0.08	0.07	0.07	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.08
防油堤 (加振直交方向)	49.7~47.2	9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
			0.18	0.18	0.14	0.16	0.15	0.08	0.15	0.15	0.18

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

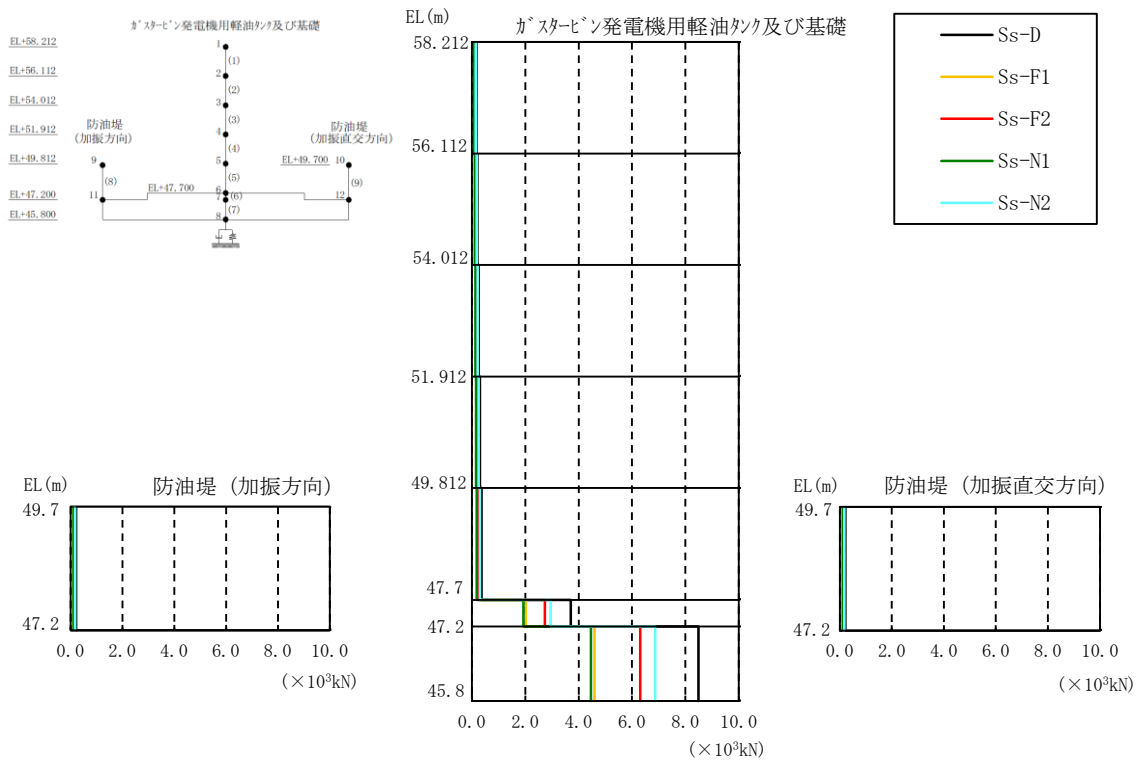


図 3-62 最大応答軸力（解析ケース①）

表 3-18 最大応答軸力一覧（解析ケース①）

部位	EL (m)	要素番号	最大応答軸力 (×10 ³ kN)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212～56.112	1	0.17	0.12	0.13	0.09	0.15	0.17
	56.112～54.012	2	0.20	0.14	0.16	0.10	0.18	0.20
	54.012～51.912	3	0.25	0.17	0.19	0.13	0.22	0.25
	51.912～49.812	4	0.30	0.20	0.23	0.15	0.26	0.30
	49.812～47.7	5	0.36	0.23	0.27	0.18	0.30	0.36
基礎	47.7～47.2	6	3.70	2.01	2.74	1.93	2.94	3.70
	47.2～45.8	7	8.49	4.59	6.31	4.46	6.87	8.49
防油堤 (加振方向)	49.7～47.2	8	0.21	0.11	0.16	0.11	0.17	0.21
防油堤 (加振直交方向)	49.7～47.2	9	0.21	0.11	0.16	0.11	0.17	0.21

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

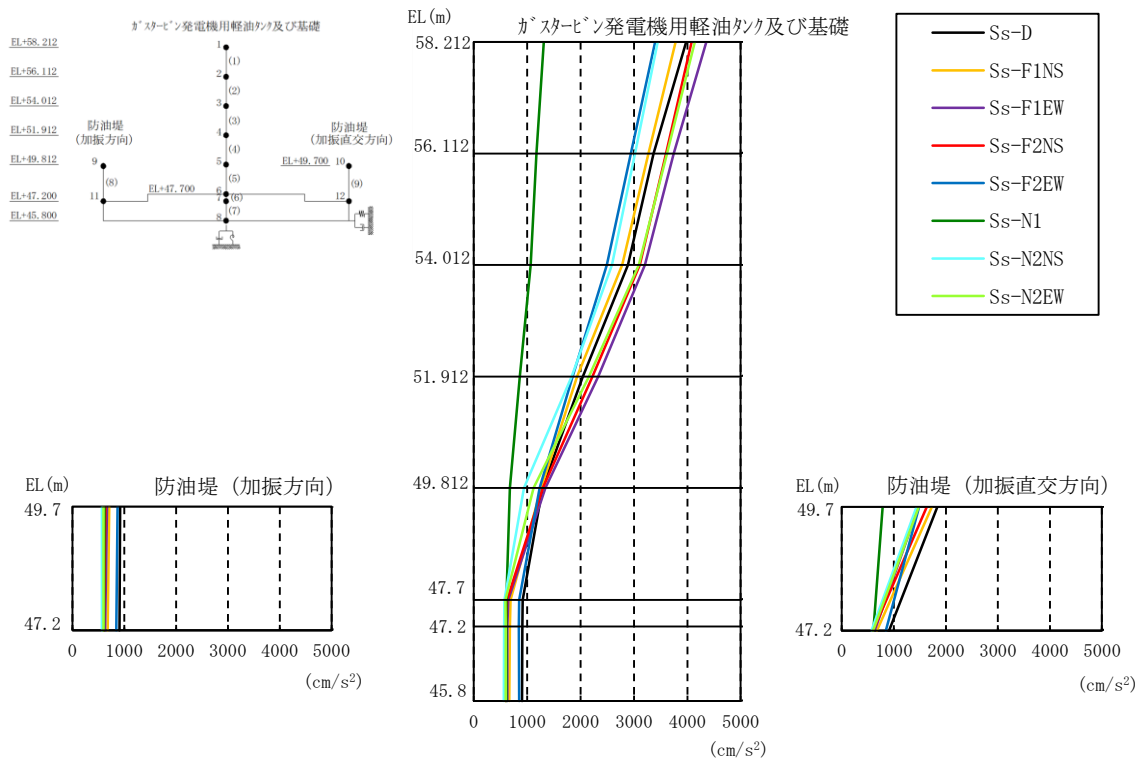


図 3-63 最大応答加速度（水平方向，解析ケース②）

表 3-19 最大応答加速度一覧（水平方向，解析ケース②）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)								
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	最大値
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	3980	3780	4353	4083	3399	1309	3446	4141	4353
	56.112	2	3369	3270	3747	3601	2943	1171	3019	3620	3747
	54.012	3	2888	2778	3205	3106	2490	1067	2585	3092	3205
	51.912	4	2043	1936	2328	2220	1847	862	1829	2154	2328
	49.812	5	1286	1265	1341	1294	1234	672	935	1116	1341
	47.7	6	916	689	645	618	849	608	571	593	916
基礎	47.2	7	908	677	629	603	845	607	566	598	908
	45.8	8	904	665	625	589	846	607	562	595	904
防油堤 (加振方向)	49.7	9	920	712	665	634	870	616	571	599	920
	47.2	11	908	677	629	603	845	607	566	598	908
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	1839	1731	1472	1636	1488	786	1439	1478	1839
	47.2	12	908	677	629	603	845	607	566	598	908

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

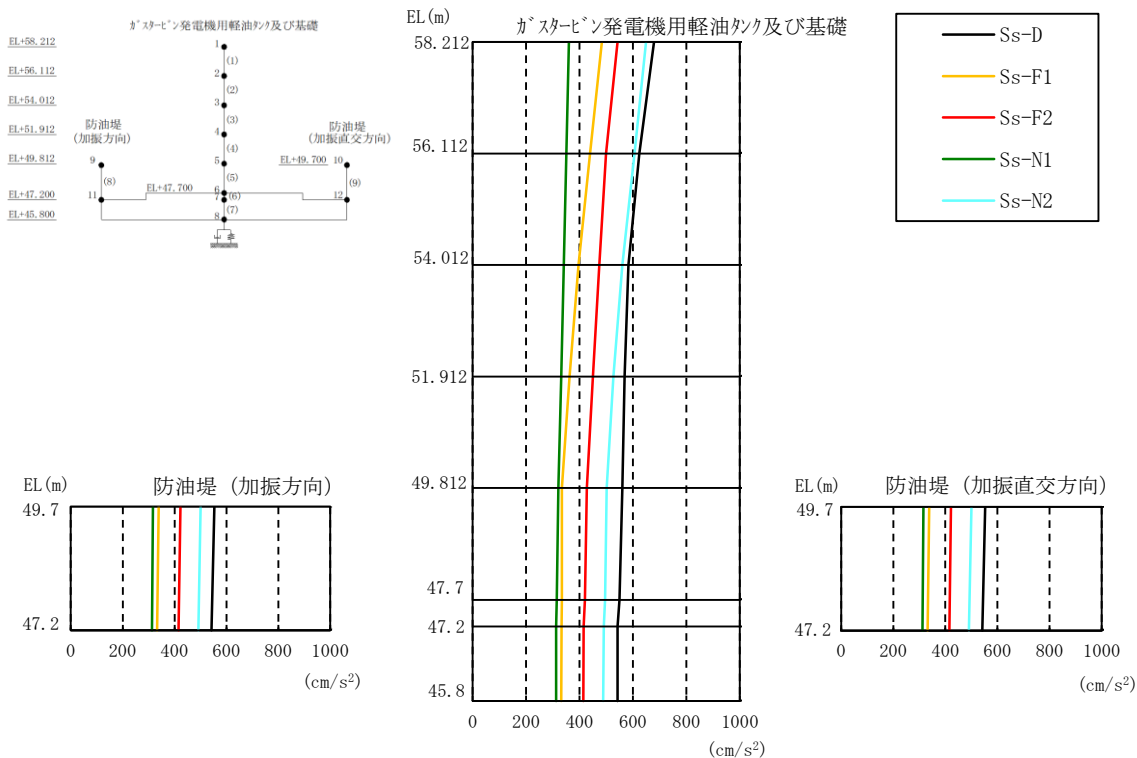


図 3-64 最大応答加速度（鉛直方向，解析ケース②）

表 3-20 最大応答加速度一覧（鉛直方向，解析ケース②）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	679	483	542	361	649	679
	56.112	2	624	440	498	350	605	624
	54.012	3	583	396	473	340	560	583
	51.912	4	569	362	449	331	527	569
	49.812	5	560	333	427	320	501	560
	47.7	6	550	334	420	315	495	550
基礎	47.2	7	542	332	416	312	491	542
	45.8	8	542	331	414	312	488	542
防油堤 (加振方向)	49.7	9	553	338	422	316	500	553
	47.2	11	542	332	416	312	491	542
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	553	338	422	316	500	553
	47.2	12	542	332	416	312	491	542

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

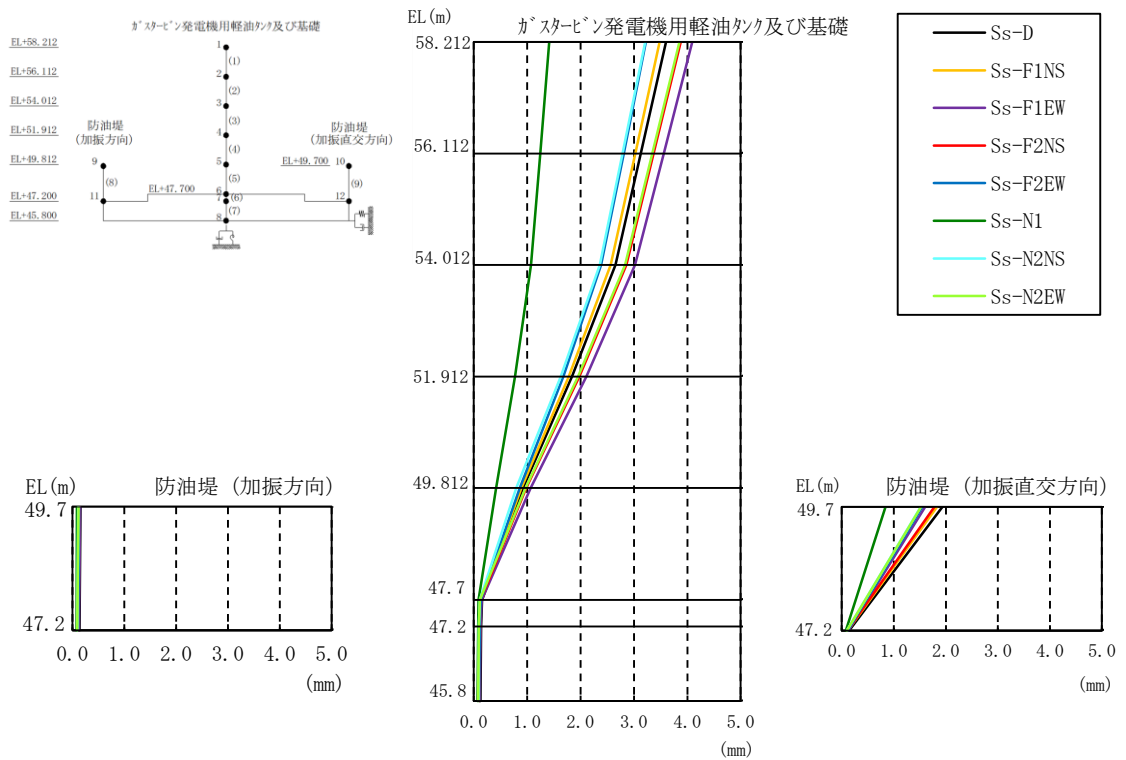


図 3-65 最大応答変位（水平方向，解析ケース②）

表 3-21 最大応答変位一覧（水平方向，解析ケース②）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)								
			Ss-D	Ss-F1NS	Ss-F1EW	Ss-F2NS	Ss-F2EW	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	最大値
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212	1	3.60	3.48	4.09	3.87	3.22	1.41	3.21	3.85	4.09
	56.112	2	3.13	3.02	3.56	3.37	2.81	1.24	2.79	3.35	3.56
	54.012	3	2.65	2.56	3.02	2.85	2.39	1.07	2.36	2.83	3.02
	51.912	4	1.84	1.78	2.11	1.98	1.67	0.77	1.63	1.95	2.11
	49.812	5	0.92	0.89	1.07	0.98	0.86	0.42	0.80	0.97	1.07
	47.7	6	0.15	0.13	0.15	0.13	0.13	0.09	0.11	0.11	0.15
基礎	47.2	7	0.14	0.12	0.13	0.11	0.11	0.08	0.10	0.09	0.14
	45.8	8	0.12	0.10	0.11	0.10	0.10	0.07	0.08	0.08	0.12
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.16	0.13	0.15	0.13	0.13	0.09	0.11	0.11	0.16
	47.2	11	0.14	0.12	0.13	0.11	0.11	0.08	0.10	0.09	0.14
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	1.94	1.83	1.60	1.78	1.55	0.84	1.52	1.52	1.94
	47.2	12	0.14	0.12	0.13	0.11	0.11	0.08	0.10	0.09	0.14

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

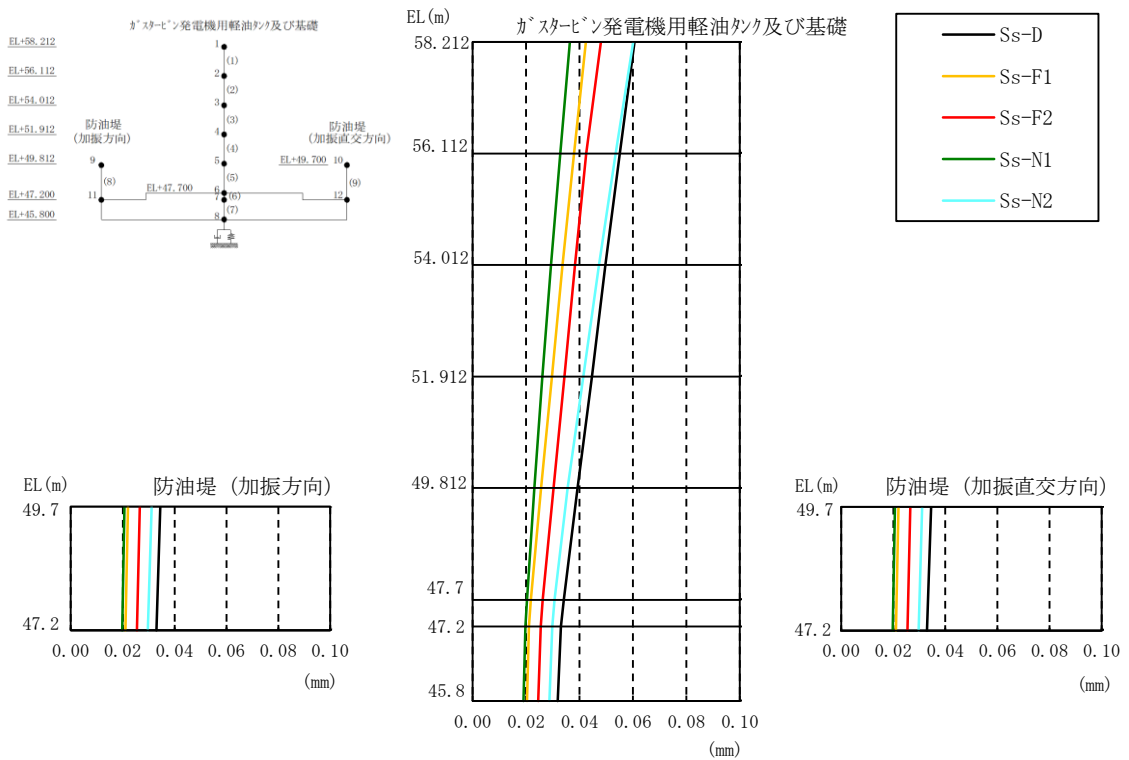


図 3-66 最大応答変位（鉛直方向，解析ケース②）

表 3-22 最大応答変位一覧（鉛直方向，解析ケース②）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06
	56.112	2	0.06	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06
	54.012	3	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05	0.05
	51.912	4	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
	49.812	5	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04
	47.7	6	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
基礎	47.2	7	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
	45.8	8	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
	47.2	11	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
	47.2	12	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

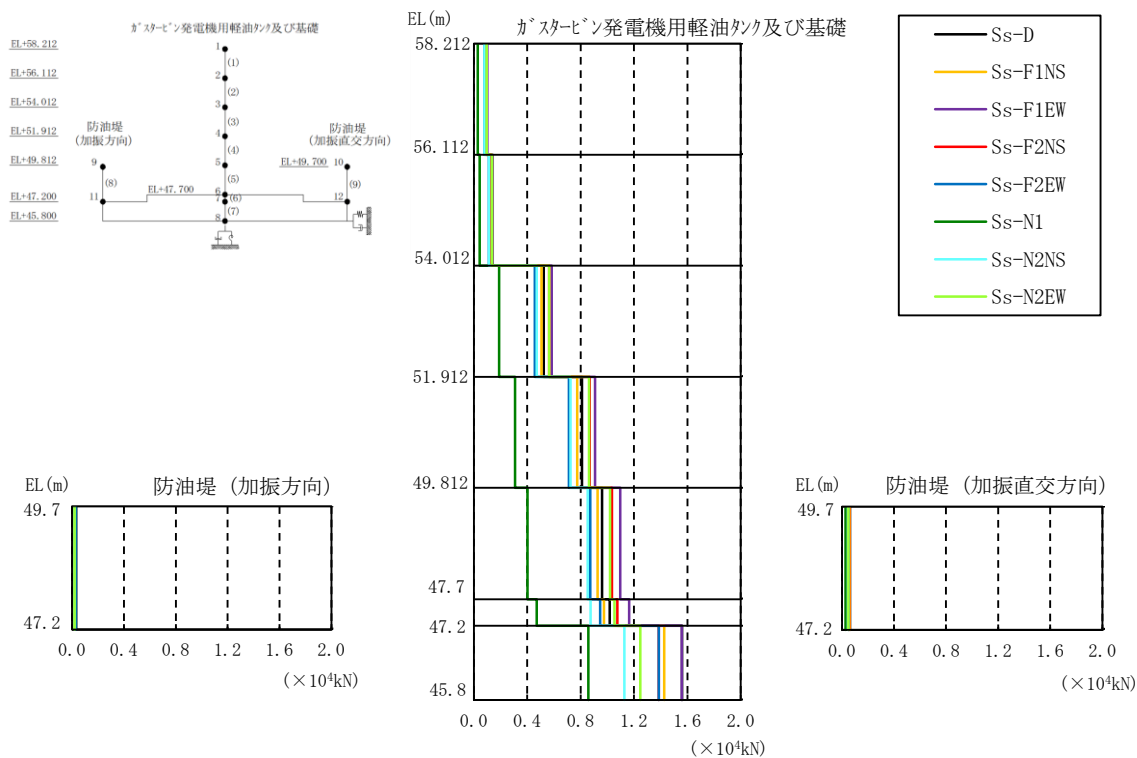


図 3-67 最大応答せん断力（解析ケース②）

表 3-23 最大応答せん断力一覧（解析ケース②）

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁴ kN)								最大値
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212～56.112	1	0.09	0.09	0.10	0.10	0.08	0.03	0.08	0.10	0.10
	56.112～54.012	2	0.13	0.12	0.14	0.14	0.11	0.04	0.11	0.14	0.14
	54.012～51.912	3	0.52	0.51	0.58	0.56	0.46	0.19	0.47	0.56	0.58
	51.912～49.812	4	0.81	0.78	0.91	0.87	0.71	0.31	0.73	0.86	0.91
基礎	49.812～47.7	5	0.96	0.93	1.10	1.04	0.87	0.40	0.85	1.02	1.10
	47.7～47.2	6	1.02	0.98	1.16	1.08	0.95	0.47	0.87	1.05	1.16
防油堤 (加振方向)	49.7～47.2	8	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03
	49.7～47.2	9	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.03	0.05	0.05	0.06

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

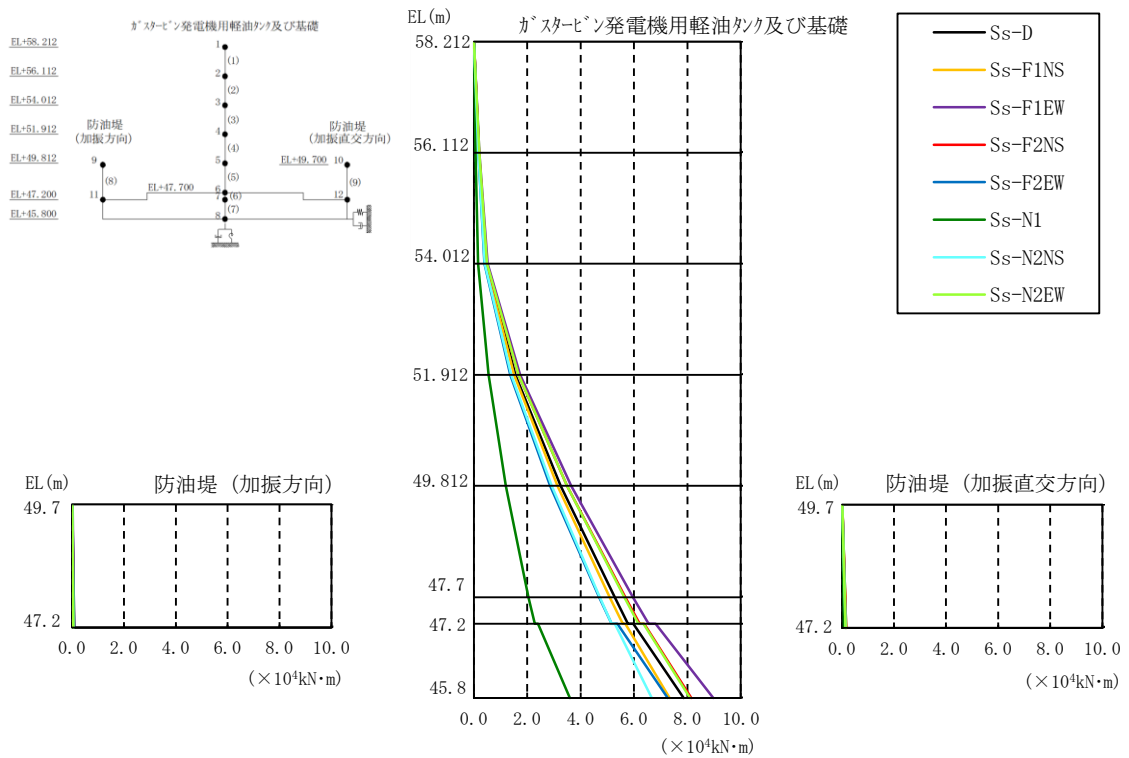


図 3-68 最大応答曲げモーメント（解析ケース②）

表 3-24 最大応答曲げモーメント一覧（解析ケース②）

部位	EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 ⁴ kN·m)									
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	最大値	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212～56.112	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
			0.20	0.19	0.21	0.20	0.17	0.06	0.17	0.20	0.21	
	56.112～54.012	2	0.20	0.19	0.21	0.20	0.17	0.06	0.17	0.20	0.21	
			0.47	0.45	0.51	0.49	0.40	0.16	0.41	0.49	0.51	
	54.012～51.912	3	0.47	0.45	0.51	0.49	0.40	0.16	0.41	0.49	0.51	
1.56			1.51	1.74	1.67	1.36	0.55	1.40	1.68	1.74		
51.912～49.812	4	1.56	1.51	1.74	1.67	1.36	0.55	1.40	1.68	1.74		
		3.25	3.14	3.65	3.49	2.86	1.20	2.92	3.49	3.65		
49.812～47.7	5	3.25	3.14	3.65	3.49	2.86	1.20	2.92	3.49	3.65		
		5.28	5.09	5.96	5.67	4.69	2.05	4.72	5.64	5.96		
基礎	47.7～47.2	6	5.28	5.10	5.96	5.68	4.70	2.05	4.72	5.64	5.96	
			5.78	5.58	6.55	6.21	5.17	2.29	5.16	6.17	6.55	
	47.2～45.8	7	5.97	5.67	6.81	6.38	5.37	2.41	5.28	6.35	6.81	
			7.86	7.33	8.97	8.14	7.26	3.60	6.67	8.10	8.97	
防油堤 (加振方向)	49.7～47.2	8	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
			0.08	0.06	0.07	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.08	
防油堤 (加振直交方向)	49.7～47.2	9	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
			0.16	0.16	0.14	0.15	0.13	0.07	0.13	0.13	0.16	

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

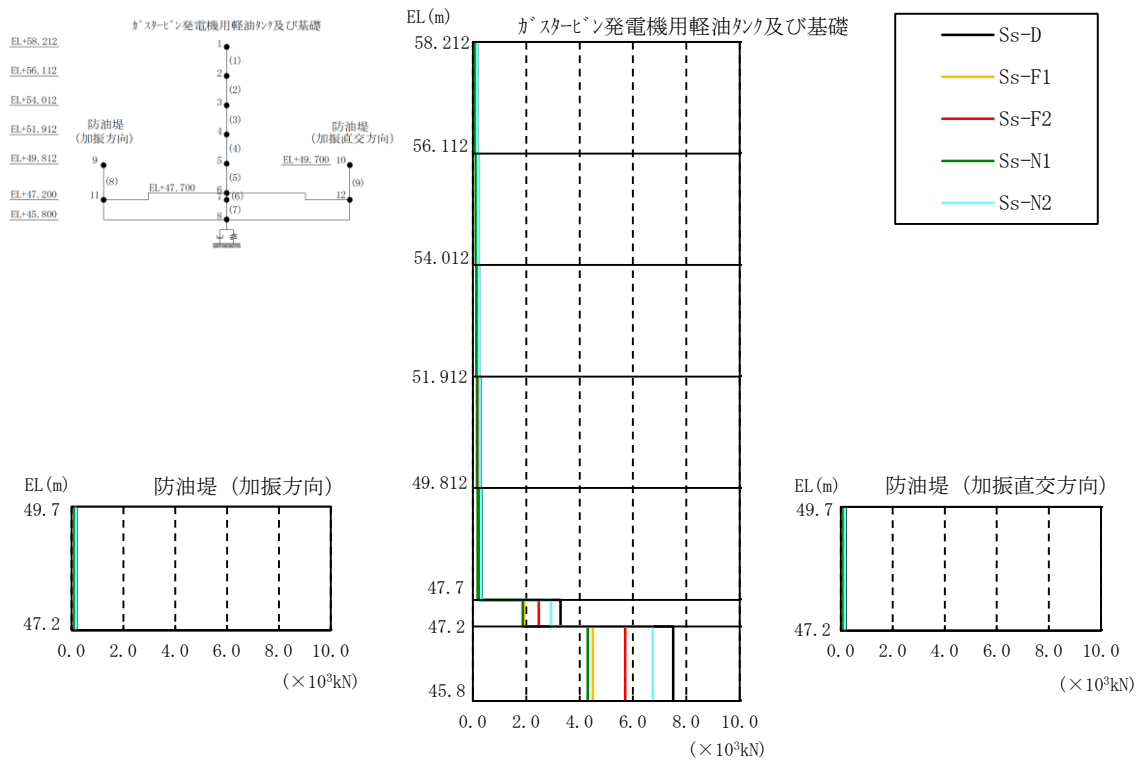


図 3-69 最大応答軸力（解析ケース②）

表 3-25 最大応答軸力一覧（解析ケース②）

部位	EL (m)	要素番号	最大応答軸力 (×10 ³ kN)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212~56.112	1	0.16	0.11	0.13	0.08	0.15	0.16
	56.112~54.012	2	0.19	0.14	0.15	0.10	0.19	0.19
	54.012~51.912	3	0.23	0.16	0.18	0.13	0.22	0.23
	51.912~49.812	4	0.27	0.19	0.22	0.15	0.26	0.27
	49.812~47.7	5	0.32	0.22	0.26	0.18	0.31	0.32
基礎	47.7~47.2	6	3.28	1.92	2.47	1.87	2.92	3.28
	47.2~45.8	7	7.50	4.50	5.71	4.30	6.74	7.50
防油堤 (加振方向)	49.7~47.2	8	0.19	0.11	0.14	0.11	0.17	0.19
防油堤 (加振直交方向)	49.7~47.2	9	0.19	0.11	0.14	0.11	0.17	0.19

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

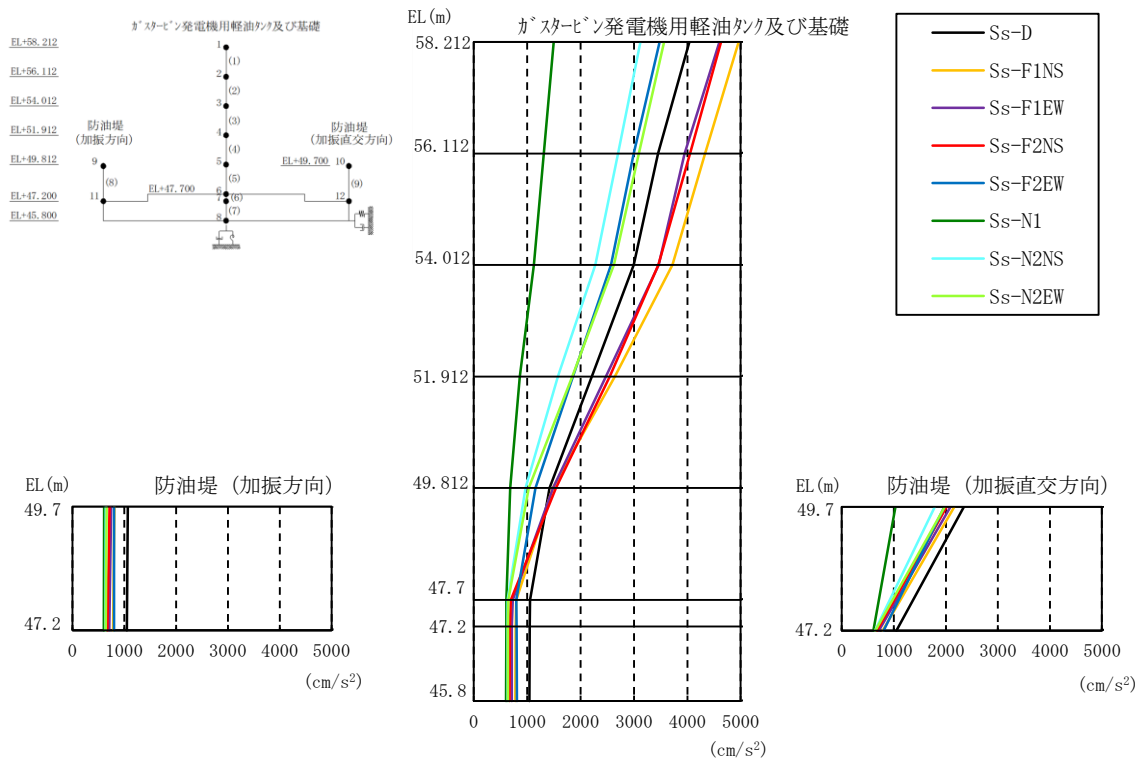


図 3-70 最大応答加速度（水平方向，解析ケース③）

表 3-26 最大応答加速度一覧（水平方向，解析ケース③）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)								
			Ss-D	Ss-F1NS	Ss-F1EW	Ss-F2NS	Ss-F2EW	Ss-N1	Ss-N2NS	Ss-N2EW	最大値
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	4038	4963	4604	4634	3482	1496	3121	3564	4963
	56.112	2	3450	4330	3950	4051	2995	1310	2699	3092	4330
	54.012	3	2997	3718	3465	3459	2569	1124	2274	2622	3718
	51.912	4	2207	2643	2475	2542	1854	860	1577	1846	2643
	49.812	5	1416	1479	1487	1539	1152	680	968	1027	1539
	47.7	6	1055	792	728	693	797	610	636	647	1055
基礎	47.2	7	1048	782	711	673	801	608	635	642	1048
	45.8	8	1039	776	709	667	807	604	634	636	1039
防油堤 (加振方向)	49.7	9	1066	811	747	714	803	613	639	660	1066
	47.2	11	1048	782	711	673	801	608	635	642	1048
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	2345	2164	2091	2015	1971	1029	1785	1977	2345
	47.2	12	1048	782	711	673	801	608	635	642	1048

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

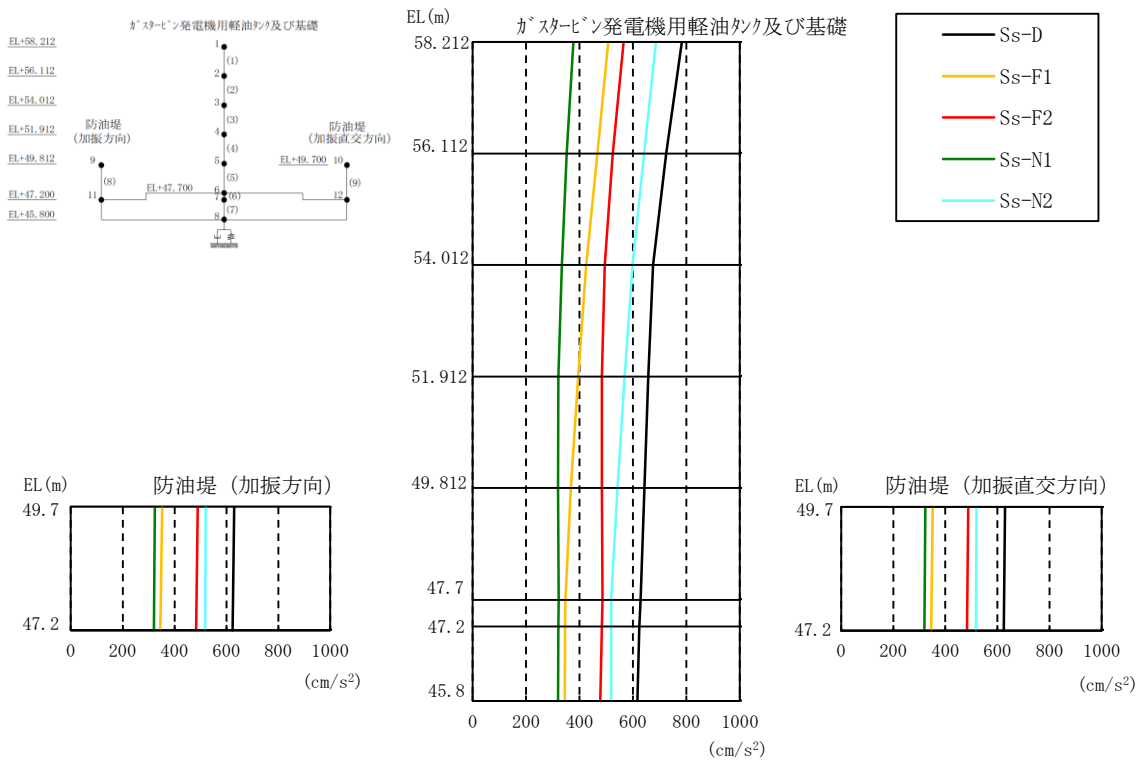


図 3-71 最大応答加速度（鉛直方向，解析ケース③）

表 3-27 最大応答加速度一覧（鉛直方向，解析ケース③）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	782	508	564	377	686	782
	56.112	2	724	467	524	352	641	724
	54.012	3	675	425	494	334	599	675
	51.912	4	657	394	483	320	569	657
	49.812	5	643	367	484	320	542	643
	47.7	6	629	347	486	322	518	629
基礎	47.2	7	624	345	483	320	518	624
	45.8	8	616	344	477	319	518	616
防油堤 (加振方向)	49.7	9	630	352	489	324	520	630
	47.2	11	624	345	483	320	518	624
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	630	352	489	324	520	630
	47.2	12	624	345	483	320	518	624

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

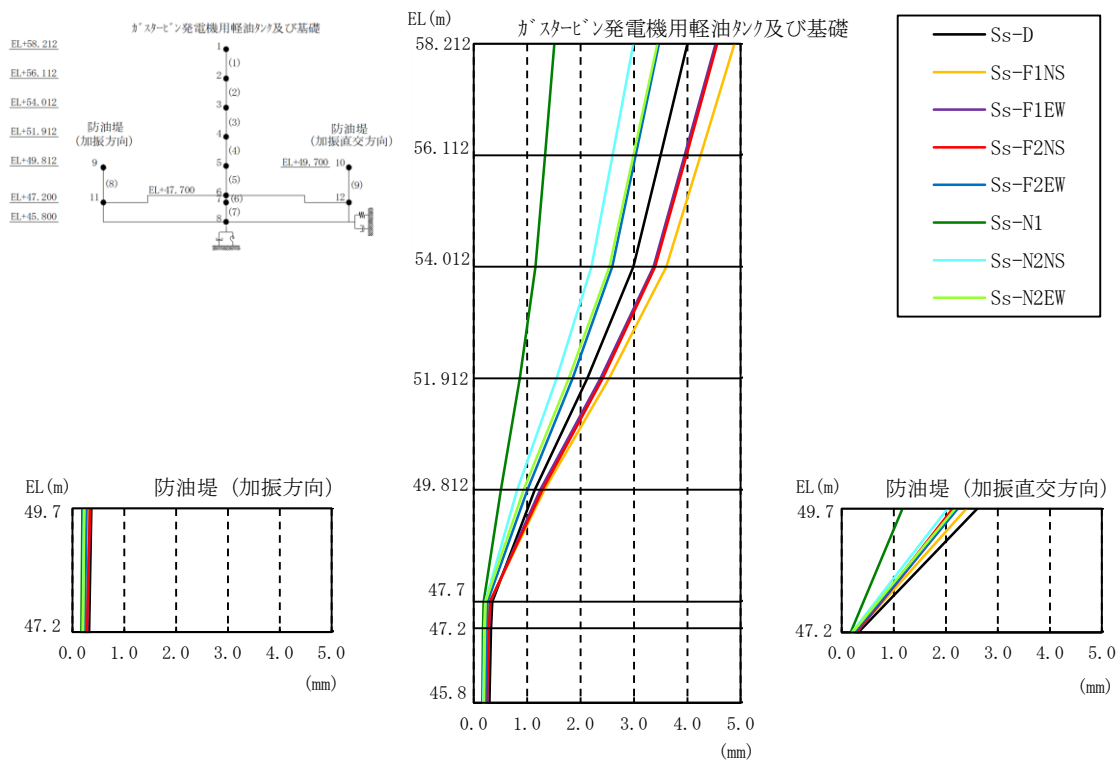


図 3-72 最大応答変位（水平方向，解析ケース③）

表 3-28 最大応答変位一覧（水平方向，解析ケース③）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)								最大値
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	4.00	4.88	4.53	4.56	3.47	1.51	2.99	3.44	4.88
	56.112	2	3.50	4.25	3.95	3.98	3.03	1.33	2.60	2.99	4.25
	54.012	3	2.99	3.61	3.37	3.40	2.59	1.16	2.21	2.54	3.61
	51.912	4	2.12	2.53	2.37	2.41	1.85	0.86	1.55	1.78	2.53
	49.812	5	1.14	1.32	1.25	1.29	1.01	0.51	0.81	0.93	1.32
	47.7	6	0.34	0.30	0.31	0.30	0.25	0.18	0.21	0.22	0.34
基礎	47.2	7	0.32	0.27	0.29	0.28	0.23	0.17	0.20	0.20	0.32
	45.8	8	0.29	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.18	0.19	0.29
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.36	0.32	0.34	0.34	0.27	0.19	0.22	0.23	0.36
	47.2	11	0.32	0.27	0.29	0.28	0.23	0.17	0.20	0.20	0.32
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	2.61	2.40	2.22	2.13	2.23	1.17	2.03	2.18	2.61
	47.2	12	0.32	0.27	0.29	0.28	0.23	0.17	0.20	0.20	0.32

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

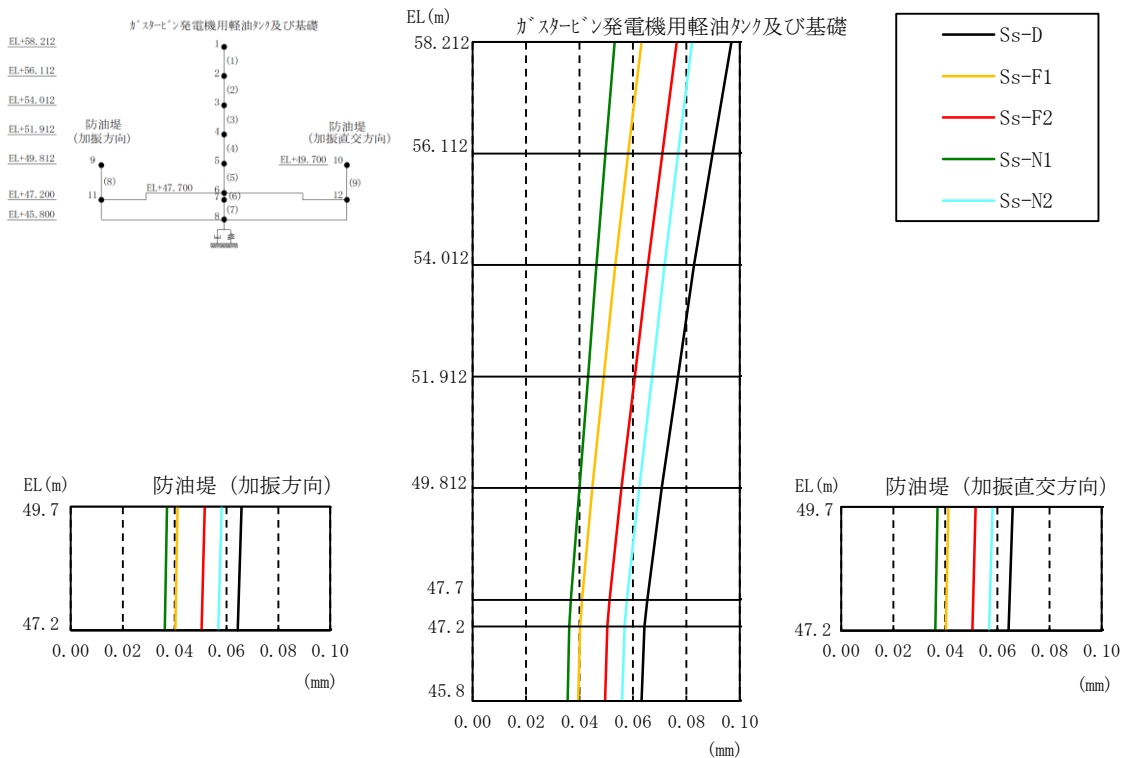


図 3-73 最大応答変位（鉛直方向，解析ケース③）

表 3-29 最大応答変位一覧（鉛直方向，解析ケース③）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	0.10	0.06	0.08	0.05	0.08	0.10
	56.112	2	0.09	0.06	0.07	0.05	0.08	0.09
	54.012	3	0.08	0.05	0.07	0.05	0.07	0.08
	51.912	4	0.08	0.05	0.06	0.04	0.07	0.08
	49.812	5	0.07	0.04	0.06	0.04	0.06	0.07
	47.7	6	0.07	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07
基礎	47.2	7	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06
	45.8	8	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.07	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07
	47.2	11	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	0.07	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07
	47.2	12	0.06	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

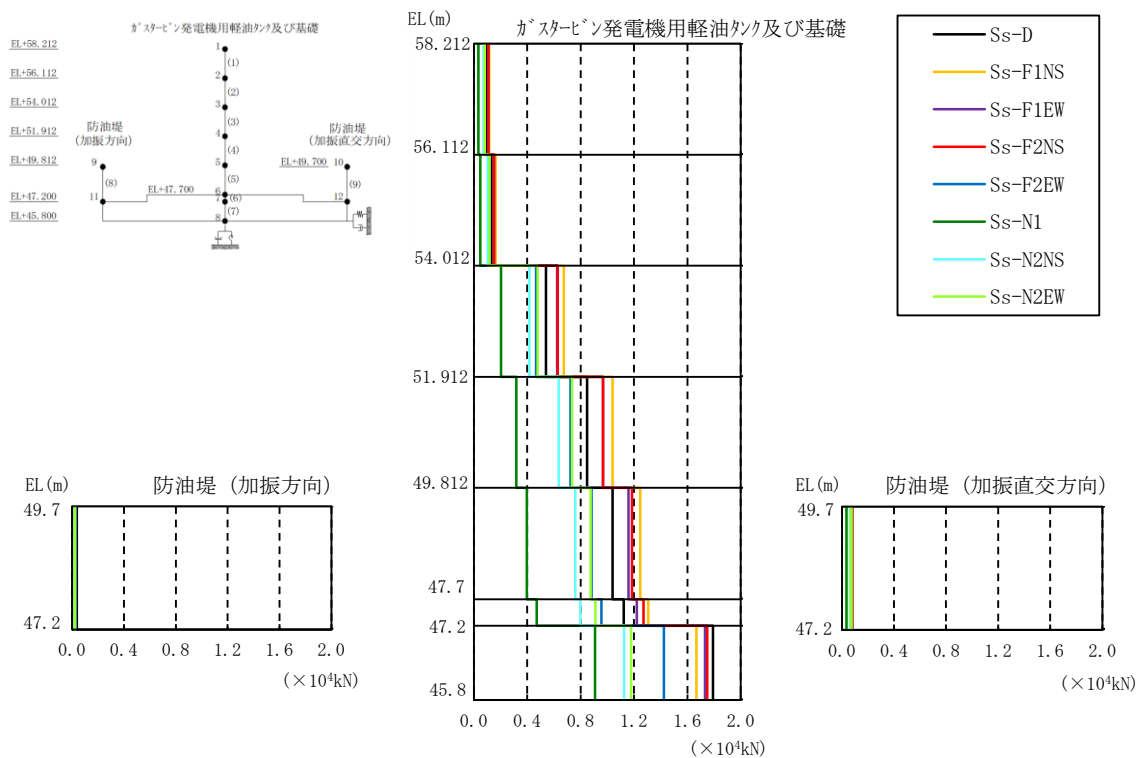


図 3-74 最大応答せん断力 (解析ケース③)

表 3-30 最大応答せん断力一覧 (解析ケース③)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 ($\times 10^4$ kN)								
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	最大値
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212~56.112	1	0.09	0.12	0.11	0.11	0.08	0.03	0.07	0.08	0.12
	56.112~54.012	2	0.13	0.16	0.15	0.15	0.11	0.05	0.10	0.12	0.16
	54.012~51.912	3	0.54	0.67	0.62	0.63	0.47	0.20	0.42	0.48	0.67
	51.912~49.812	4	0.85	1.04	0.97	0.97	0.73	0.32	0.64	0.74	1.04
基礎	49.812~47.7	5	1.04	1.25	1.16	1.18	0.88	0.40	0.76	0.87	1.25
	47.7~47.2	6	1.12	1.31	1.22	1.27	0.96	0.47	0.80	0.91	1.31
防油堤 (加振方向)	47.2~45.8	7	1.79	1.67	1.73	1.75	1.42	0.91	1.13	1.18	1.79
	49.7~47.2	8	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04
防油堤 (加振直交方向)	49.7~47.2	9	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.03	0.06	0.07	0.08

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

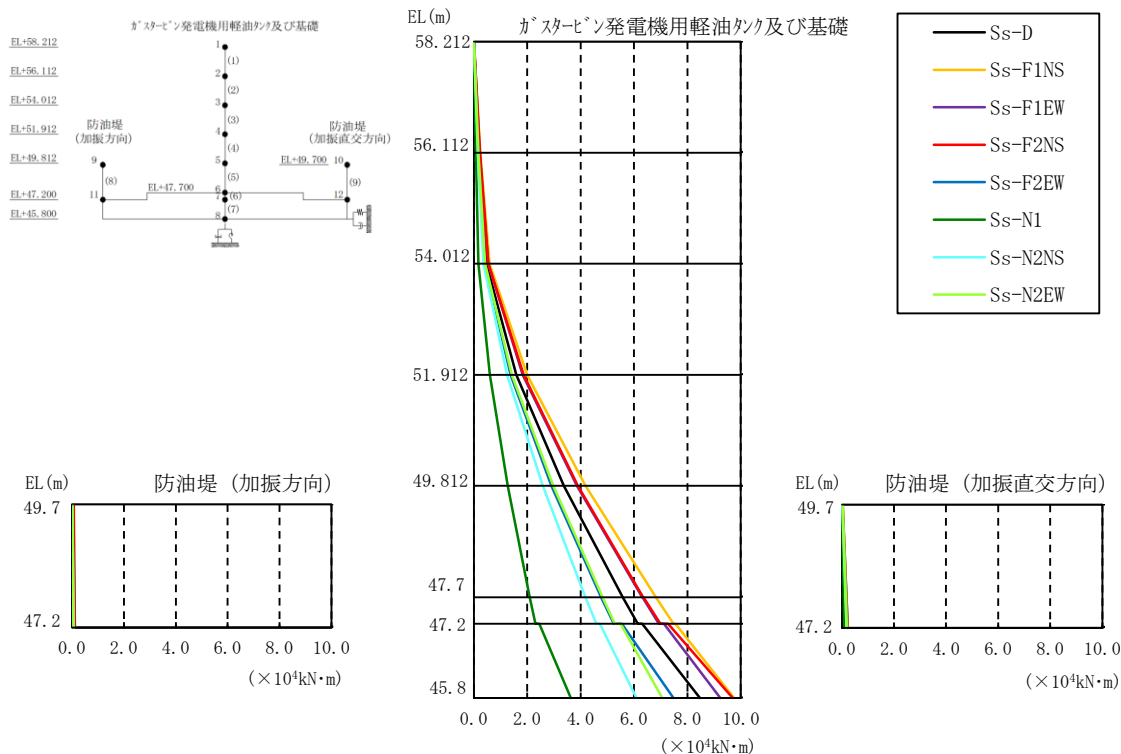


図 3-75 最大応答曲げモーメント (解析ケース③)

表 3-31 最大応答曲げモーメント一覧 (解析ケース③)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 ⁴ kN·m)								最大値	
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW		
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212~56.112	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
			0.20	0.24	0.23	0.23	0.17	0.07	0.15	0.18	0.24	
	56.112~54.012	2	0.20	0.24	0.23	0.23	0.17	0.07	0.15	0.18	0.24	
			0.48	0.59	0.54	0.55	0.41	0.18	0.37	0.42	0.59	
	54.012~51.912	3	0.48	0.59	0.54	0.55	0.41	0.18	0.37	0.42	0.59	
1.60			2.00	1.83	1.87	1.38	0.61	1.25	1.43	2.00		
51.912~49.812	4	1.60	2.00	1.83	1.87	1.38	0.61	1.25	1.43	2.00		
		3.38	4.19	3.86	3.89	2.91	1.28	2.58	2.98	4.19		
49.812~47.7	5	3.38	4.19	3.86	3.89	2.91	1.28	2.58	2.98	4.19		
		5.57	6.82	6.31	6.35	4.77	2.09	4.19	4.82	6.82		
基礎	47.7~47.2	6	5.58	6.83	6.32	6.35	4.77	2.10	4.19	4.83	6.83	
			6.14	7.48	6.93	6.99	5.25	2.30	4.59	5.28	7.48	
基礎	47.2~45.8	7	6.31	7.55	7.12	7.27	5.55	2.45	4.72	5.50	7.55	
			8.47	9.75	9.23	9.70	7.47	3.63	6.10	7.06	9.75	
防油堤 (加振方向)	49.7~47.2	8	0.03	0.07	0.04	0.06	0.02	0.00	0.01	0.01	0.07	
			0.09	0.09	0.09	0.10	0.07	0.05	0.05	0.06	0.10	
防油堤 (加振直交方向)	49.7~47.2	9	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	
			0.22	0.21	0.19	0.19	0.18	0.09	0.17	0.18	0.22	

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

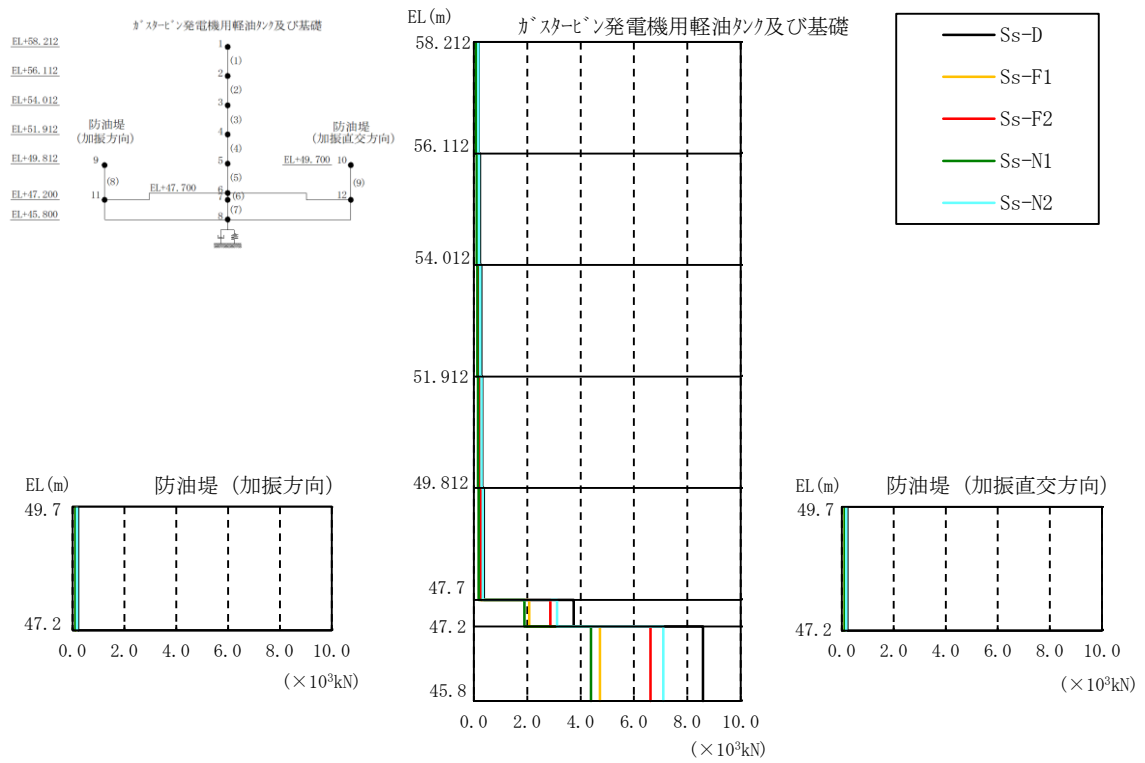


図 3-76 最大応答軸力 (解析ケース③)

表 3-32 最大応答軸力一覧 (解析ケース③)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答軸力 ($\times 10^3$ kN)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212~56.112	1	0.18	0.12	0.13	0.09	0.16	0.18
	56.112~54.012	2	0.22	0.15	0.16	0.11	0.20	0.22
	54.012~51.912	3	0.27	0.17	0.19	0.13	0.24	0.27
	51.912~49.812	4	0.32	0.20	0.23	0.15	0.28	0.32
	49.812~47.7	5	0.37	0.24	0.27	0.18	0.33	0.37
基礎	47.7~47.2	6	3.74	2.07	2.86	1.90	3.11	3.74
	47.2~45.8	7	8.59	4.72	6.62	4.39	7.10	8.59
防油堤 (加振方向)	49.7~47.2	8	0.21	0.12	0.16	0.11	0.17	0.21
防油堤 (加振直交方向)	49.7~47.2	9	0.21	0.12	0.16	0.11	0.17	0.21

注：ハッチングは最大応答値のうち全地震動の最大値を示す。

表 3-33 地震応答解析における接地率一覧

解析ケース	地震動	最大転倒モーメント ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$)	最小接地率 (%)
①	S _s -D	0.817	77.8
	S _s -F1 (NS)	0.852	74.7
	S _s -F1 (EW)	0.883	72.0
	S _s -F2 (NS)	0.905	70.1
	S _s -F2 (EW)	0.765	82.4
	S _s -N1	0.376	100.0
	S _s -N2 (NS)	0.660	91.7
	S _s -N2 (EW)	0.814	78.0
②	S _s -D	0.786	80.5
	S _s -F1 (NS)	0.741	84.5
	S _s -F1 (EW)	0.890	71.3
	S _s -F2 (NS)	0.820	77.5
	S _s -F2 (EW)	0.730	85.5
	S _s -N1	0.362	100.0
	S _s -N2 (NS)	0.673	90.5
	S _s -N2 (EW)	0.814	78.1
③	S _s -D	0.862	73.9
	S _s -F1 (NS)	1.020	59.8
	S _s -F1 (EW)	0.960	65.2
	S _s -F2 (NS)	0.972	64.1
	S _s -F2 (EW)	0.755	83.2
	S _s -N1	0.366	100.0
	S _s -N2 (NS)	0.620	95.2
	S _s -N2 (EW)	0.708	87.4

3.7.2 3次元構造解析への入力荷重の時刻選定

(1) 選定時刻の考え方

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は地震応答解析より求まる応答値を用いた3次元構造解析により耐震評価を実施する。ガスタービン発電機用軽油タンク基礎が支持する設備には、ガスタービン発電機用軽油タンク及び防油堤があり、地震時にはこれらの設備を介して基礎スラブに荷重が作用する。

表3-34に各設備の重量を示す。ガスタービン発電機用軽油タンクが最も重量が大きく、地上部に突出した設備であることから、基礎スラブの耐震評価における支配的な荷重はタンクを介して基礎スラブに作用する荷重であると考えられるため、タンク下端の曲げモーメントが最大となる時刻（時刻①）を選定する。なお、タンク下端の曲げモーメント以外の要因による照査値への影響を幅広く確認するために、時刻①の次点にタンク下端の曲げモーメントが大きい時刻（時刻②）についても確認する。

表3-34 各設備の重量一覧表

設備名称	重量
ガスタービン発電機用軽油タンク	約 5245kN
防油堤	約 637kN

(2) 時刻選定結果

基本ケース（解析ケース①）のうち、時刻①及び時刻②の観点で選定された地震動に対して解析ケース②及び③の応答値を確認する。それぞれの地震動において、解析ケース①～③のうち、タンク下端の曲げモーメントが最大となる地震動並びに時刻を選定して3次元構造解析を行う。

各地震動におけるタンク下端の曲げモーメント最大時刻の一覧を表3-35に示す。時刻①については、S_s-N2（EW）のうち解析ケース①を選定する。また、時刻②については、S_s-Dのうち解析ケース③を選定する。なお、選定された解析ケースにおいて、地震応答解析における最小接地率が65%を下回らないことを確認した。

表 3-35 タンク下端の曲げモーメント最大時刻一覧

解析 ケース	地震動	タンク下端の 曲げモーメント (kN・m)			時刻 (s)	最小接地率 (%)	備考
		主方向	従方向	合力			
①	S s - D	54810	—	77513	27.514	77.8	
	S s - F 1 (N S)	58000	2847	58070	9.373	74.7	
	S s - F 1 (E W)	59330	11810	60494	8.209	72.0	
	S s - F 2 (N S)	61570	8463	62149	16.300	70.1	
	S s - F 2 (E W)	48640	34640	59714	15.844	82.4	
	S s - N 1	21520	—	30434	7.514	100.0	
	S s - N 2 (N S)	45830	—	64813	26.969	91.7	
	S s - N 2 (E W)	56650	—	80115	26.780	78.0	時刻①として 選定
②	S s - D	52790	—	74656	35.142	80.5	
	S s - N 2 (E W)	56380	—	79733	26.765	78.1	
③	S s - D	55740	—	78828	15.268	73.9	時刻②として 選定
	S s - N 2 (E W)	48220	—	68193	26.802	87.4	

注1：ハッチングは3次元構造解析への入力荷重として選定した地震動を示す。

注2：タンク下端の曲げモーメントの合力は、以下のとおり算定している。

- ・地震動が方向性を持たない場合 (S s - D, N 1, N 2 (N S, E W))

主方向と従方向の合力として主方向の応答値に $\sqrt{2}$ を乗じた値を示す。

- ・地震動が方向性を持つ場合 (S s - F 1, F 2)

主方向と従方向（主方向と同時刻）の合力として、応答値を二乗和平方根した値を示す。

4. 3次元構造解析

4.1 解析手法

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価においては、基礎スラブを線形シェル要素、防油堤を線形はり要素でモデル化し、3次元構造解析により水平2方向及び鉛直方向の荷重に対する評価を行う。3次元構造解析には、解析コード「NX NASTRAN」を用いる。なお、解析コードの検証及び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次元構造解析の入力荷重は、「3.7.2 3次元構造解析への入力荷重の時刻選定」に示すとおり、地震応答解析においてタンク下端の曲げモーメントが最大となる時刻における荷重とする。

3次元構造解析により算定した鉄筋コンクリート部材の照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

4.2 解析モデルの設定

4.2.1 構造物のモデル化

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の基礎スラブは線形シェル要素、基礎スラブ外周に立ち上がる防油堤は線形はり要素でモデル化する。基礎スラブをモデル化したシェル要素と防油堤をモデル化したはり要素の境界条件は剛結とする。

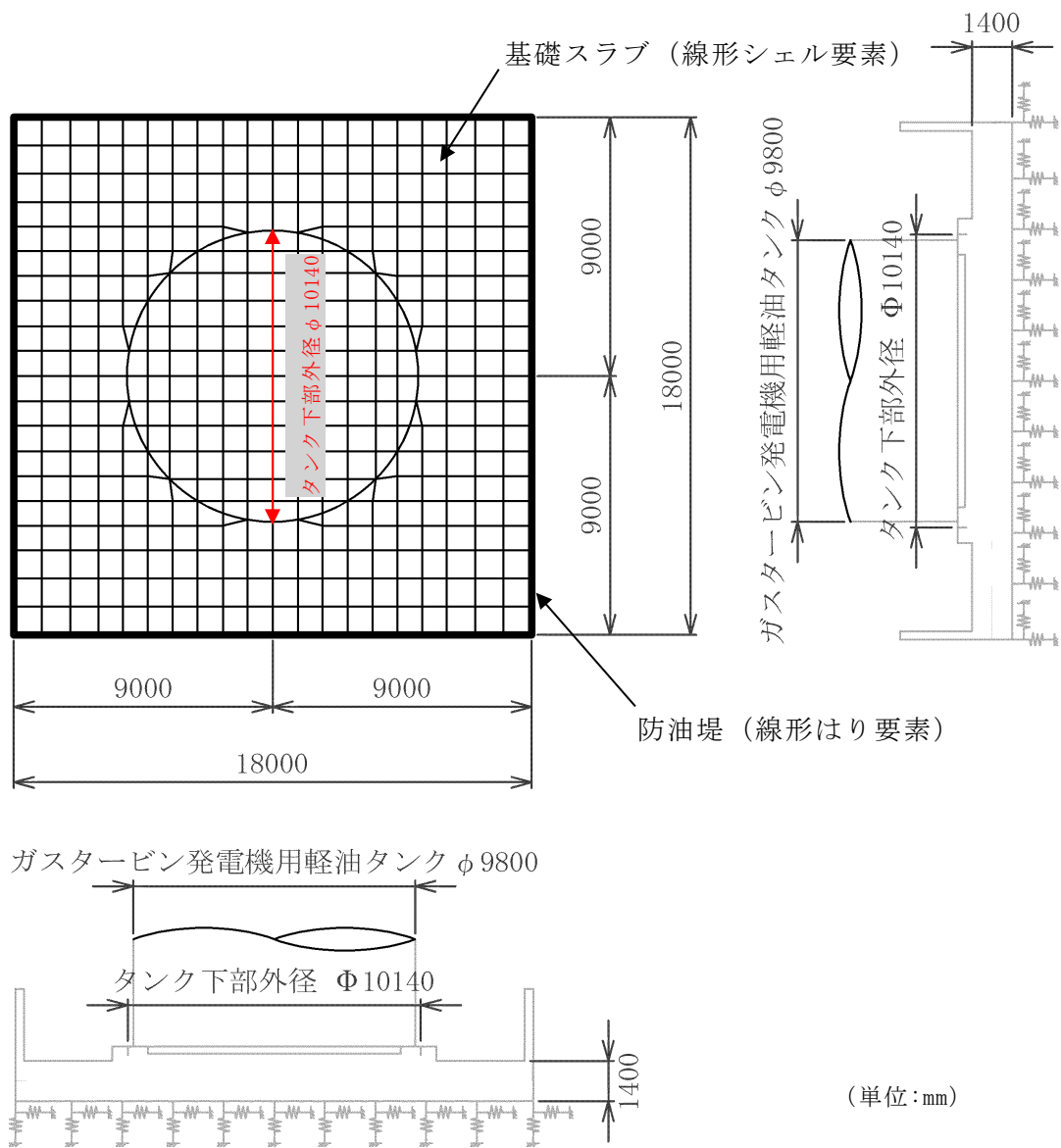
また、基礎スラブ（線形シェル要素）はスラブ中央高さにおいてフラットな版としてモデル化し、リングコンクリートは重量として考慮する。

4.2.2 境界条件及び地盤ばね要素

基礎スラブ構成節点には、水平2方向及び鉛直方向の計3成分の地盤ばねを設定する。構造物の底面には、「3.2.2 地盤のモデル化」にて振動アドミタンス理論に基づき算定した地盤ばねを節点ばねに置き換えてモデル化する。3次元構造解析モデル図を図4-1に、節点ばねの物性値を表4-1に示す。

水平方向の地盤ばねは、地盤応答解析における地盤ばね（水平方向）を基礎の面積で除することにより求める。なお、基礎スラブの形状は正方形のため、いずれの方向の地盤ばね定数も同様の値となる。

鉛直方向の地盤ばねは、水平力によるロッキングに伴う鉛直荷重が卓越することから、地震応答解析における回転ばねを断面2次モーメントで除することにより求める。また、鉛直地盤ばねはNo-tensionばねとし、地震作用時に浮き上がる箇所について引張力が作用しないようにする。



注：タンク下部外径はタンクと基礎スラブを結合しているボルトの位置を示す。

図 4-1 3次元構造解析モデル

表 4-1 3次元構造解析モデルにおける節点ばねの物性値

解析ケース	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m ³)
①	水平	3.506×10^5
	鉛直	1.115×10^6
②	水平	4.960×10^5
	鉛直	1.580×10^6
③	水平	2.290×10^5
	鉛直	7.268×10^5

4.3 荷重及び荷重の組合せ

3次元構造解析における入力荷重の一覧を表4-2に示す。

表4-2 3次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	<ul style="list-style-type: none"> ・ 躯体自重（防油堤を含む） ・ 機器・配管荷重
	積載荷重	<ul style="list-style-type: none"> ・ 積雪荷重 ・ 風荷重
地震荷重	地震時荷重	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上載物（タンク及び防油堤）から受ける地震時荷重 ・ 基礎スラブに作用する地震力

4.3.1 機器・配管荷重

(1) タンク関連の機器・配管荷重

タンク関連（タンク本体及び内溶液）の機器・配管荷重については、基礎ボルト内側に等分布荷重で与えるものとし、次式で算定する。荷重の載荷方法を図4-2に示す。

$$q_{ELID} = \frac{W_{ELID}}{A_T}$$

ここで、

q_{ELID} : 基礎スラブに作用する W_{ELID} による鉛直荷重 (kN/m²)

W_{ELID} : 基礎スラブ上面における機器荷重 (kN)

A_T : タンク底部面積 (m²) $A_T = \frac{\pi D_o^2}{4}$

D_o : タンク下部外径 (m)

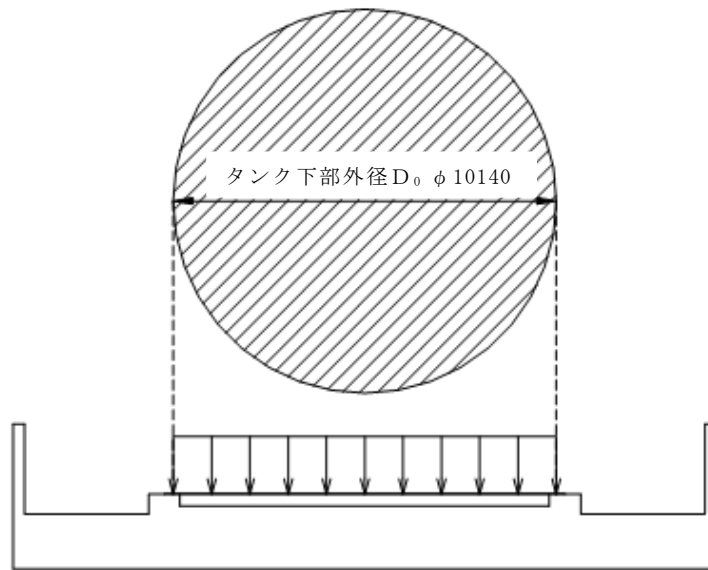


図 4-2 機器・配管荷重図

(2) ポンプ関連の機器・配管荷重

ポンプ関連の機器・配管荷重として，基礎スラブに 9.8kN，防油堤に 3.9kN の配管荷重を考慮する。

4.3.2 積雪荷重

「3.4.2 積雪荷重」と同様に，タンク，基礎スラブ及び防油堤上の積雪荷重を考慮する。荷重の載荷方法を図4-3に示す。

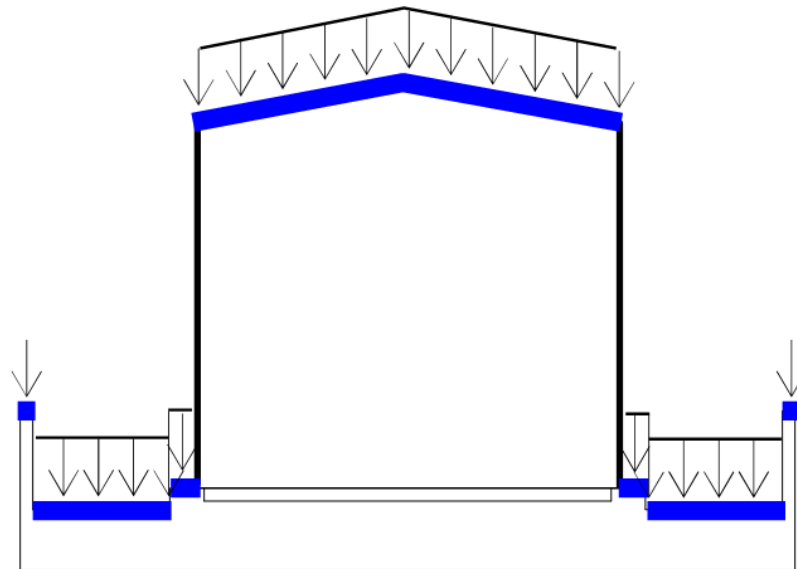


図4-3 積雪荷重の載荷方法

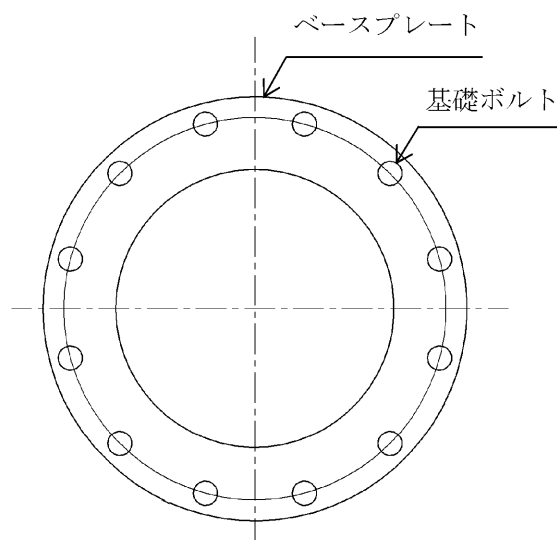
4.3.3 風荷重

風荷重については，タンク及び防油堤を介して基礎スラブに伝達されるため，その影響を考慮する。

4.3.4 上載物（タンク及び防油堤）から受ける地震時荷重

(1) タンクから受ける荷重

タンク下端に生じる水平力及び曲げモーメントは基礎ボルトを通じて基礎スラブに伝達するものと考え、それぞれ分布荷重又はモーメント荷重として基礎ボルト位置に作用させる。基礎ボルトの配置の概念図を図4-4に示す。また、タンク下端に生じる鉛直力については、図4-2と同様に基礎ボルト内側に等分布荷重で与える。



注：概要を示したものであり、ボルトの形状及び本数は実機とは異なる

図4-4 基礎ボルトの配置の概念図

(2) 防油堤から受ける荷重

防油堤下端に生じる水平力及び鉛直力は分布荷重、曲げモーメントはモーメント荷重として基礎スラブに作用させる。

4.3.5 基礎スラブに作用する地震力

地震応答解析より算定した基礎スラブの各質点に生じる応答加速度を用いて、水平及び鉛直方向の震度を求め、重量を乗じた分布荷重として作用させる。躯体に作用する慣性力の作用概念図を図4-5に示す。

また、基礎スラブ底面地盤ばねに生じる曲げモーメントから、上載物（タンク及び防油堤）から作用する曲げモーメントを差し引いた値と等価になる荷重（以下「付加曲げモーメント」という。）を基礎スラブの各節点に、節点の支配面積と中心位置からの距離に応じて偶力に置換して分配し、節点荷重として入力する。なお、付加曲げモーメントの偶力への置換については、基礎スラブ中心軸からの平面保持を仮定している。付加曲げモーメントの概念図を図4-6に示す。

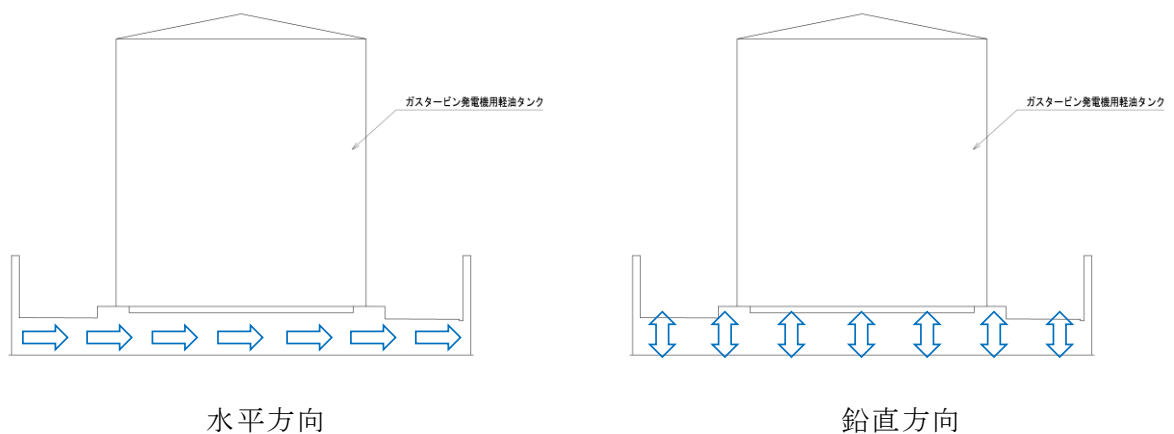


図4-5 躯体に作用する慣性力の作用概念図

■ 基礎スラブに作用させる付加曲げモーメント M_B の算出

$$M_B = M_R - M_S$$

M_B : 基礎スラブに入力する付加曲げモーメント

M_R : 地震応答解析より設定した地盤ばねに生じる曲げモーメント

M_S : 地震応答解析より設定した上載物（タンク及び防油堤）から基礎スラブに作用する曲げモーメント

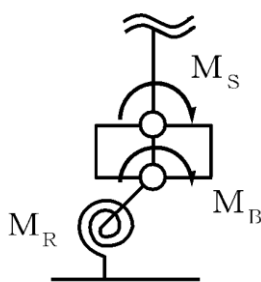


図4-6 付加曲げモーメントの概念図

4.4 地震時荷重の作用方向

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、平面的な形状が正方形の直接基礎であり、明確に強軸及び弱軸の区別ができないことから、応力解析を行う際の地震時荷重は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる検討を行う。

水平2方向の検討についてはVI-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせに関する影響評価方針」に基づいて行う。具体的には、「3.7.2 3次元構造解析への入力荷重の時刻選定」にて選定された地震動による荷重を主方向とし、主方向と同時刻の従方向及び鉛直方向荷重を水平2方向及び鉛直方向地震力として作用させる。

5. 評価内容

5.1 許容限界

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価は、「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「2. 屋外重要土木構造物の要求機能と要求機能に対する耐震評価内容」に示すとおり、各構造物の要求機能と要求機能に応じた許容限界を設定し照査を行う。

耐震安全性評価は、限界状態設計法を用いることとし、限界状態設計法については以下に詳述する。

5.1.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、終局曲げモーメントとする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 5-1 に示す。なお、曲げ・軸力系の破壊に対する照査において断面力による照査を実施する際には、表 5-2 に示す安全係数を見込むことで安全余裕を見込んだ評価を実施する。

表 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	曲げモーメント	終局曲げモーメント*

注記* : $\gamma_i \frac{M_d}{M_{u d}} < 1.0$

ここで、

γ_i : 構造物係数 ($\gamma_i = 1.0$)

$M_{u d}$: 終局曲げモーメント ($M_{u d} = M_u / \gamma_b$)

M_u : 断面終局に相当する曲げモーメント

M_d : 照査用曲げモーメント ($M_d = \gamma_a \cdot M$)

γ_a : 構造解析係数 ($\gamma_a = 1.0$)

γ_b : 部材係数 ($\gamma_b = 1.15$)

M : 発生曲げモーメント

表 5-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査（断面力）において考慮している安全係数

安全係数			曲げ・軸力系の破壊に対する照査		内容
			応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	$\gamma_{m c}$	1.0	1.3	コンクリートの特性値を低減
	鉄筋	$\gamma_{m s}$	1.0	1.0	—
部材係数		γ_b	—	1.15	断面終局に相当する曲げモーメントを低減

5.1.2 せん断の破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで、 $V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

$$f_{v c d} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{c d}} \quad \text{ただし, } f_{v c d} > 0.72 (\text{N/mm}^2) \quad \text{となる場合は}$$

$$f_{v c d} = 0.72 (\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d [\text{m}]) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \quad \text{となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \quad \text{となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d \quad (N_d \geq 0) \quad \text{ただし, } \beta_n > 2.0 \quad \text{となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_o / M_d \quad (N_d < 0) \quad \text{ただし, } \beta_n < 0 \quad \text{となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし, } \beta_a < 1.0 \quad \text{となる場合は } \beta_a = 1.0$$

ここで、 $f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm^2) で設計基準強度 $f'_{c k}$ を材料係数 $\gamma_{m c}$ 除したもの

$$p_v : \text{引張鉄筋比} \quad p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

M_o : M_d に対する引張縁において、軸力方向によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント) $M_o = N'_d \cdot D / 6$

- D : 断面高さ
 a/d : せん断スパン比
 γ_{bc} : 部材係数
 γ_{mc} : 材料係数

$$V_{sd} = \left\{ A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z / \gamma_{bs}$$

- ここで、 A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積
 f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度を γ_{ms} で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上のときは 800N/mm^2 以下とする。
 α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度
 s : せん断補強鉄筋の配置間隔
 z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。
 γ_{bs} : 部材係数

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式による評価においては、表 5-3 に示すとおり、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

表 5-3 せん断耐力式による評価において考慮している安全係数

安全係数			せん断照査		内容
			応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	$\gamma_{m c}$	1.0	1.3	コンクリートの特性値を低減
	鉄筋	$\gamma_{m s}$	1.0	1.0	—
部材係数*	コンクリート	$\gamma_{b c}$	—	1.3	せん断耐力（コンクリート負担分）を低減
	鉄筋	$\gamma_{b s}$	—	1.1	せん断耐力（鉄筋負担分）を低減
構造解析係数		γ_a	1.0	—	応答値（断面力）の割り増し

注記*：土木学会マニュアルでは、部材係数 $\gamma_b = \gamma_{b 1} \cdot \gamma_{b 2}$

$$\gamma_{b 1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

$$\gamma_{b 2} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.01) \\ \frac{100R + 2}{3} & (0.01 < R \leq 0.025) \\ 1.5 & (R > 0.025) \end{cases}$$

ここで、R：層間変形角とされている。

$\gamma_{b 2}$ は層間変形角の値によらず、部材が降伏していない状態であれば、 $\gamma_{b 2} = 1.0$ としてよいとされている。

5.1.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表5-4に示す。

なお、MMRについては岩盤面の不陸を調整する目的で設置されており、C_L級岩盤の許容限界と比較して強度十分が大きい（支圧強度 $f'_a = 18.0\text{N/mm}^2$ ）ことから、MMRの評価はC_L級岩盤の評価に包絡される。

表5-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _L 級岩盤	3.9

6 評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果（水平2方向検討）

水平2方向による構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表6-1に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表6-2に示す。また、照査時刻における断面力

図を：照査に用いた断面力

図6-1～：照査に用いた断面力

図6-6に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（水平2方向）

解析 ケース	地震動	照査用曲げ モーメント M_d (kN・m)	終局曲げ モーメント M_{ud}^{*1} (kN・m)	照査値 M_d/M_{ud}
①	S s - N 2 (E W)	1097	2289 ^{*2}	0.48
③	S s - D	1201	2329 ^{*3}	0.52

注記*1：終局曲げモーメント M_{ud} ＝断面終局に相当する曲げモーメント M_d ／部材係数 γ_b （＝1.15）

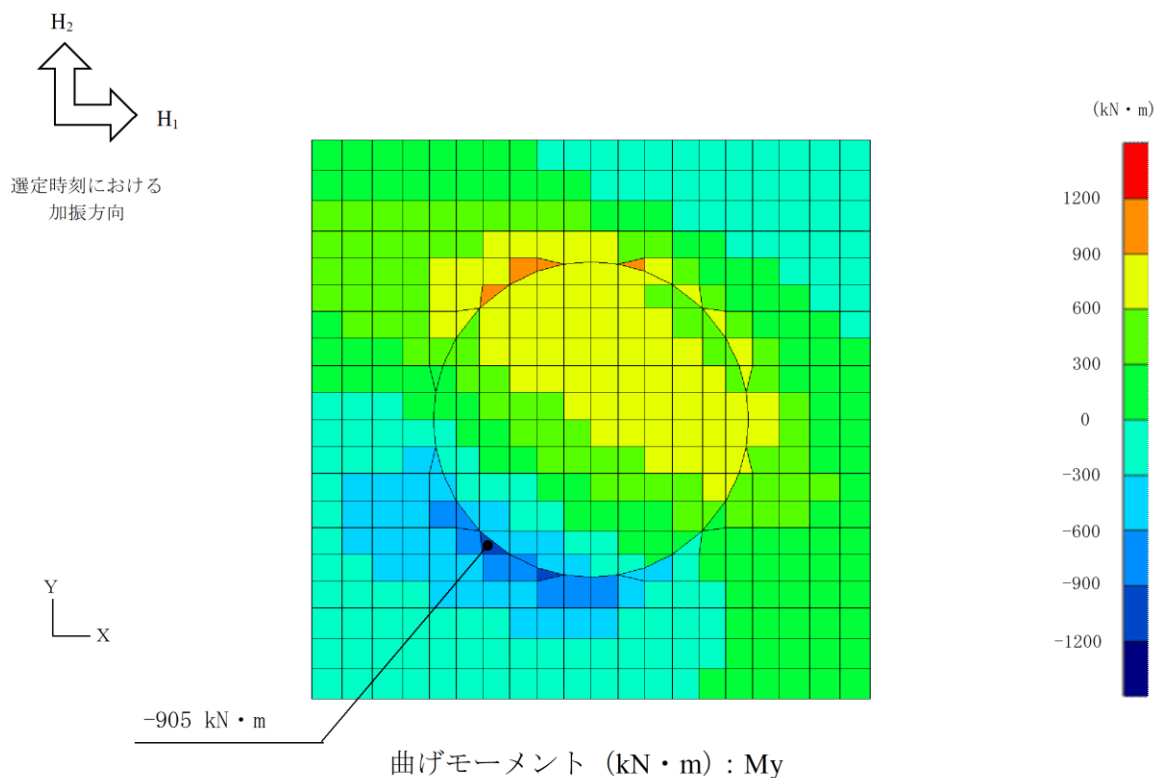
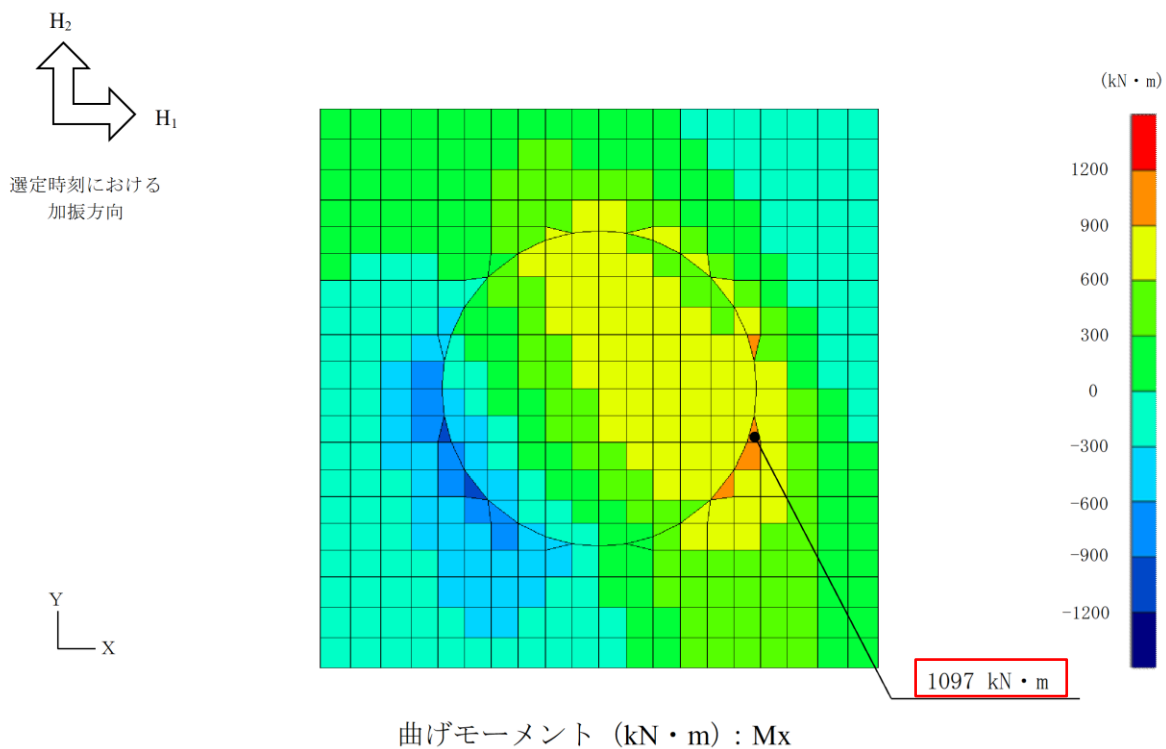
*2：同時刻に照査対象要素に発生する軸力-567kN（圧縮）を考慮

*3：同時刻に照査対象要素に発生する軸力-658kN（圧縮）を考慮

表6-2 せん断破壊に対する最大照査値（水平2方向）

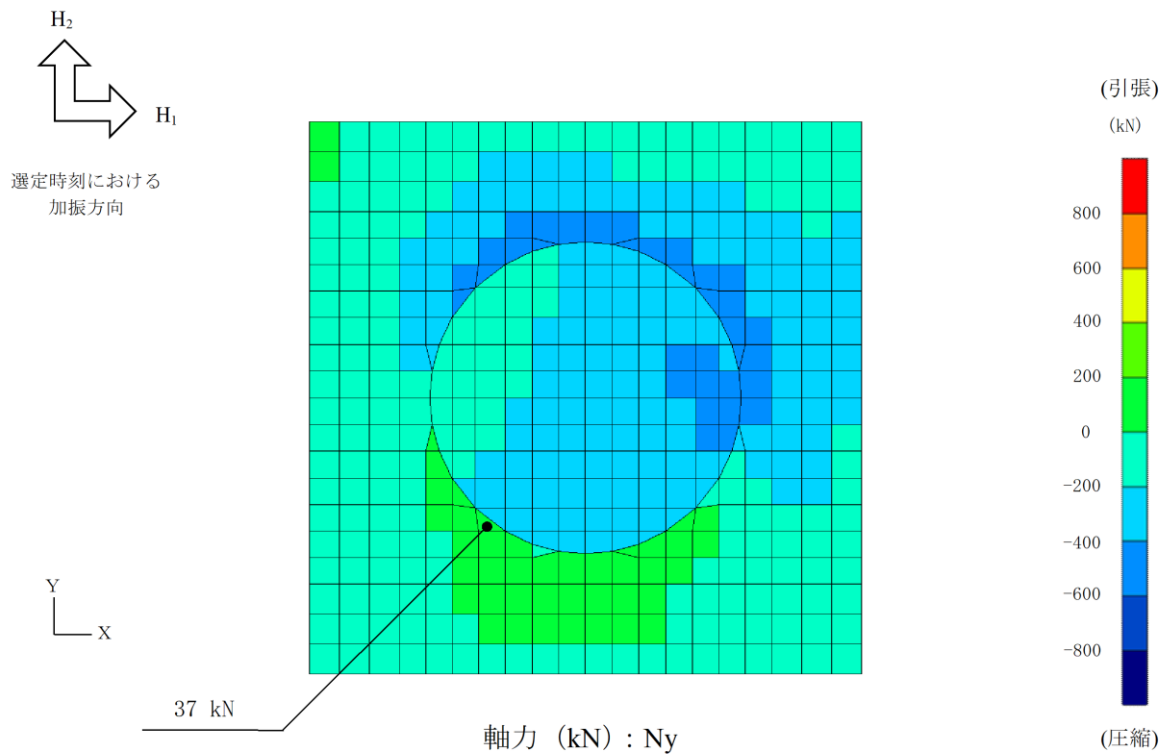
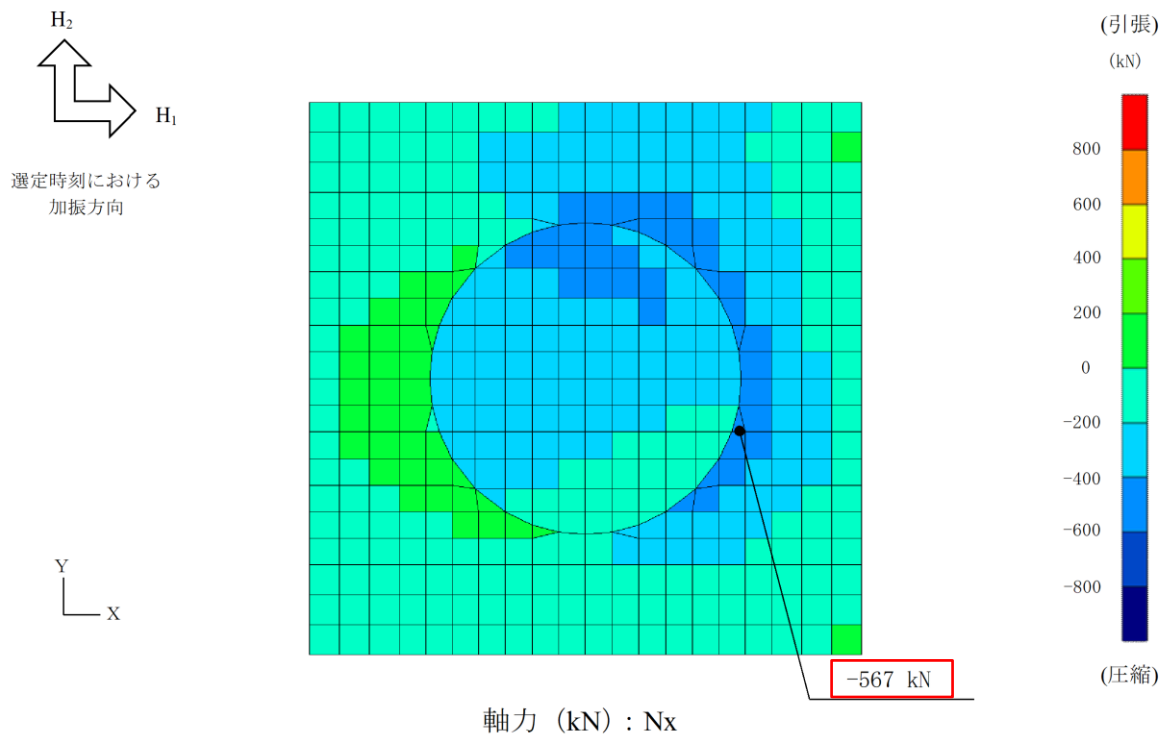
解析 ケース	地震動	照査用 せん断力 V_d^{*} (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
①	S s - N 2 (E W)	759	1239	0.62
③	S s - D	793	1245	0.64

注記*：照査用せん断力 V_d ＝発生せん断力 V ×構造解析係数 γ_a （＝1.0）



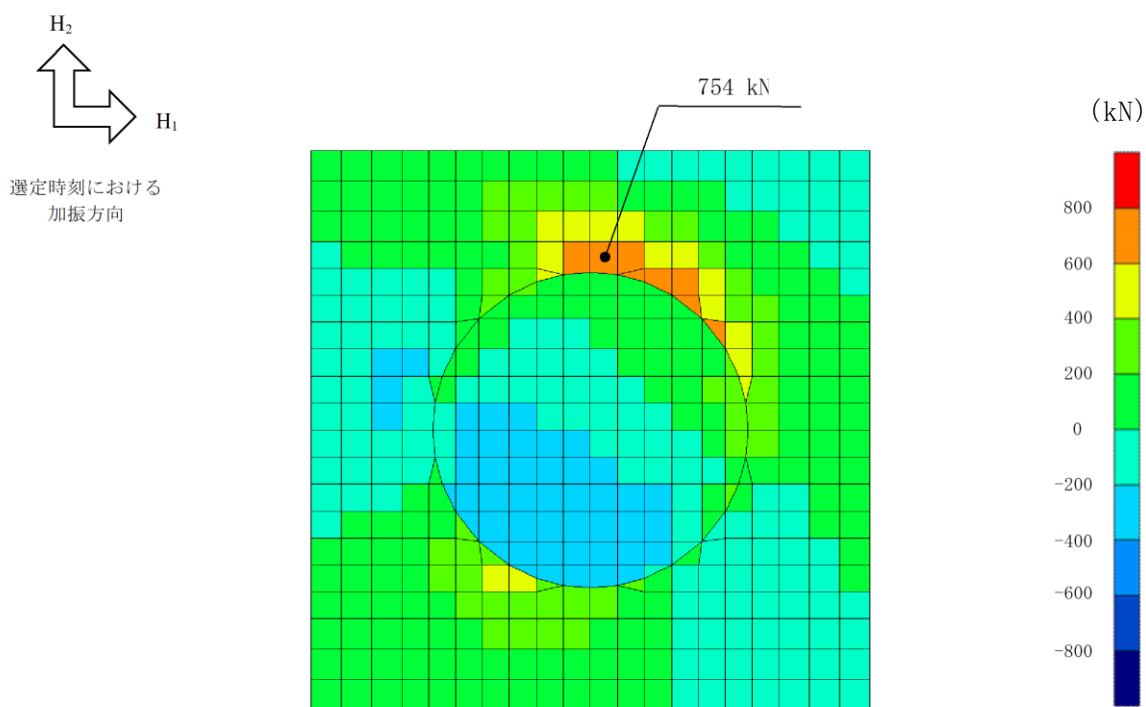
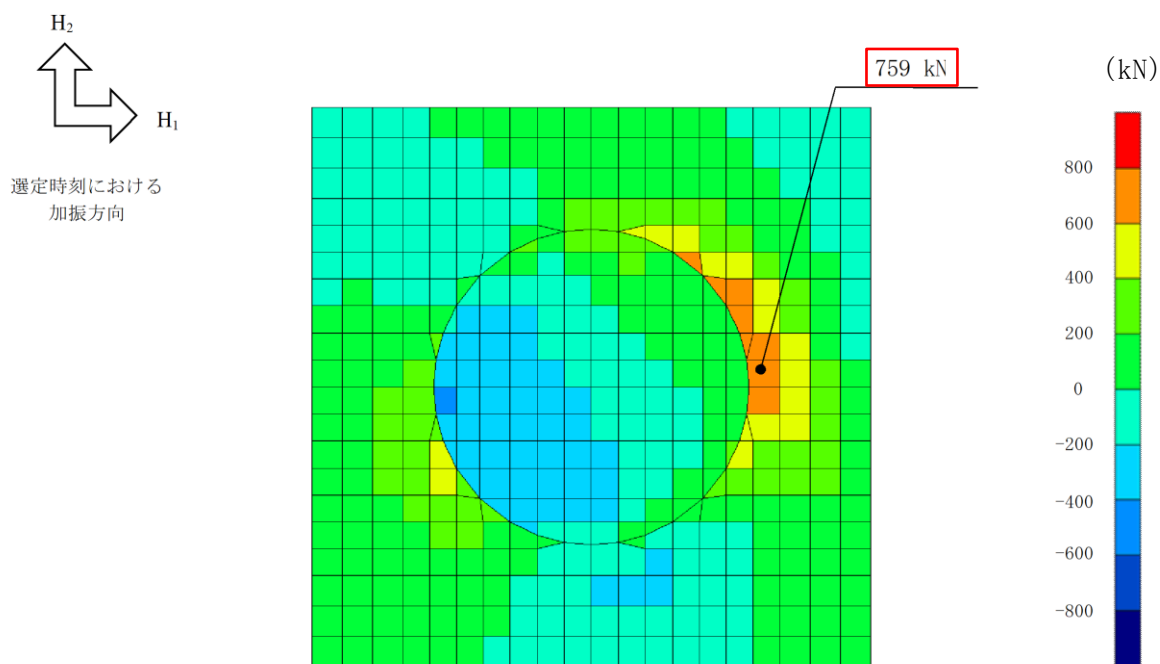
: 照査に用いた断面力

図 6-1 照査時刻における断面力図 (解析ケース①, S s - N 2 (EW), 26.780 秒)



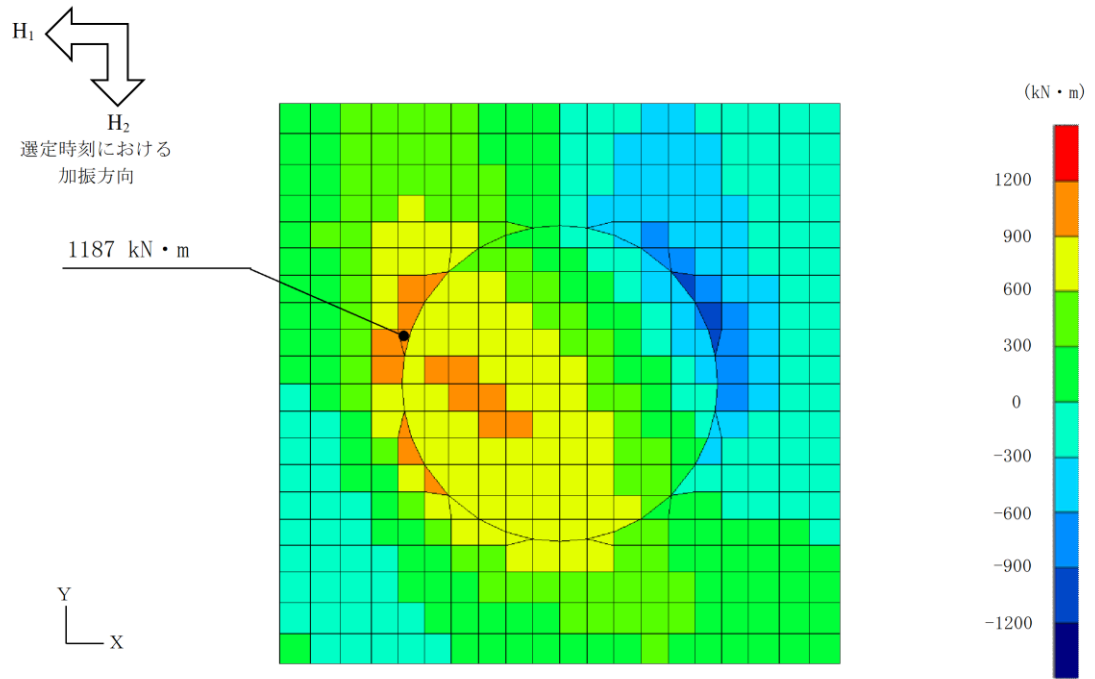
□ : 照査に用いた断面力

図 6-2 照査時刻における断面力図 (解析ケース①, S s - N 2 (E W), 26.780 秒)

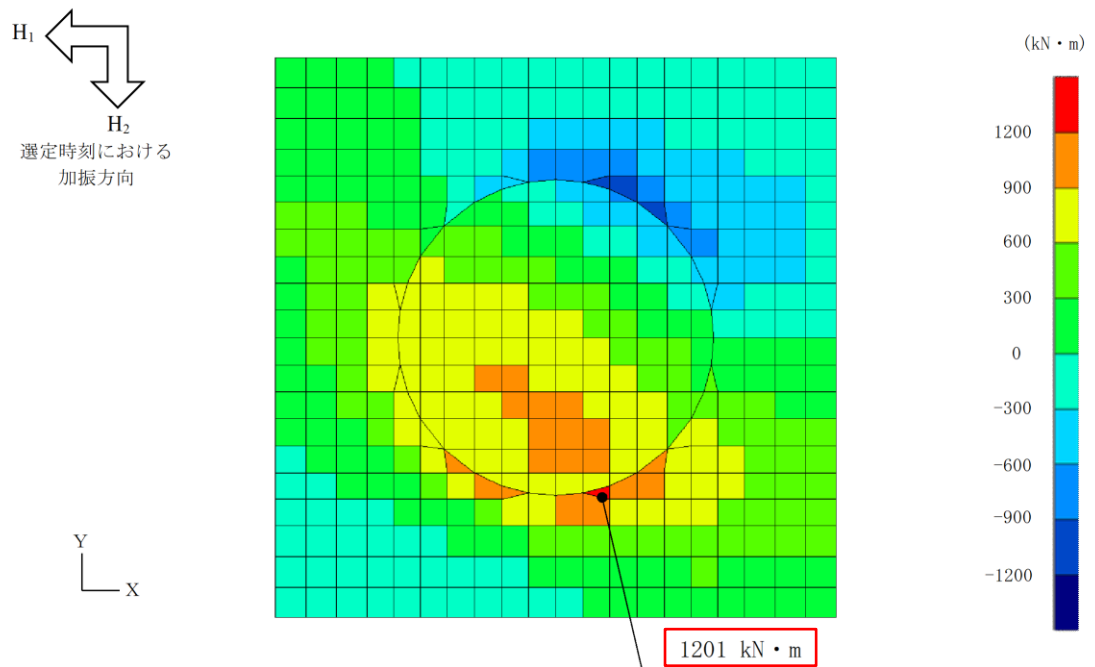


759 kN : 照査に用いた断面力

図 6-3 照査時刻における断面力図 (解析ケース①, $S_s - N_2$ (EW), 26.780 秒)



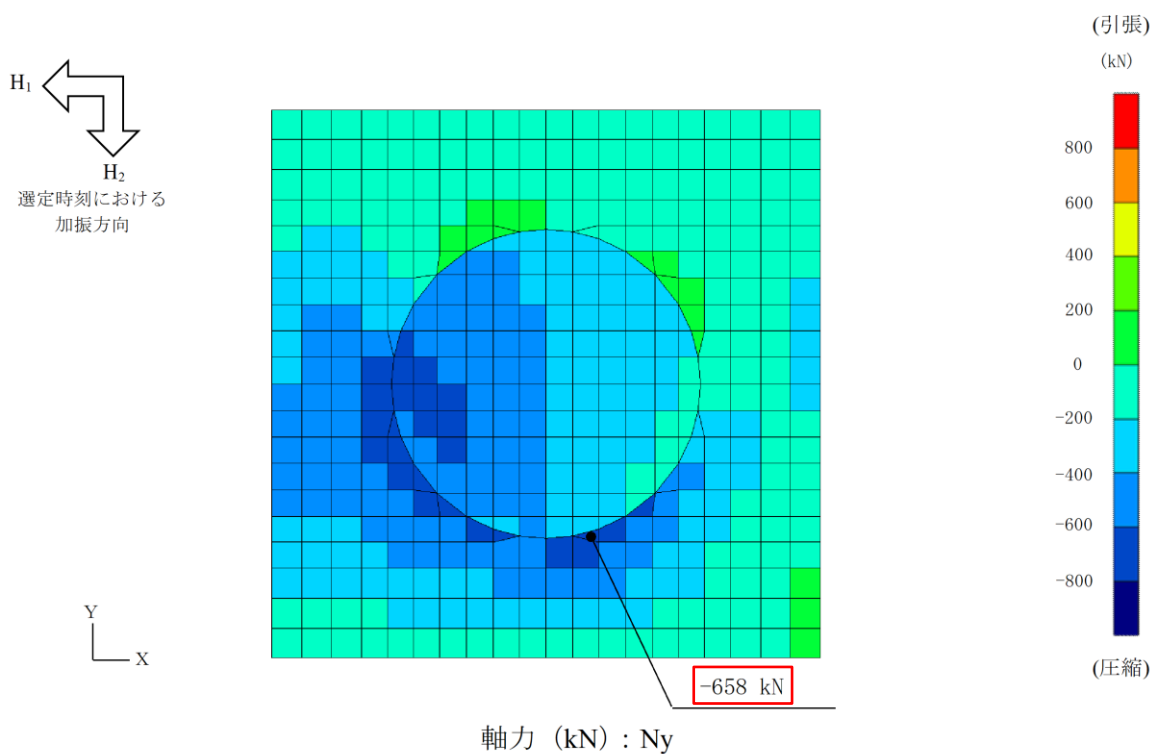
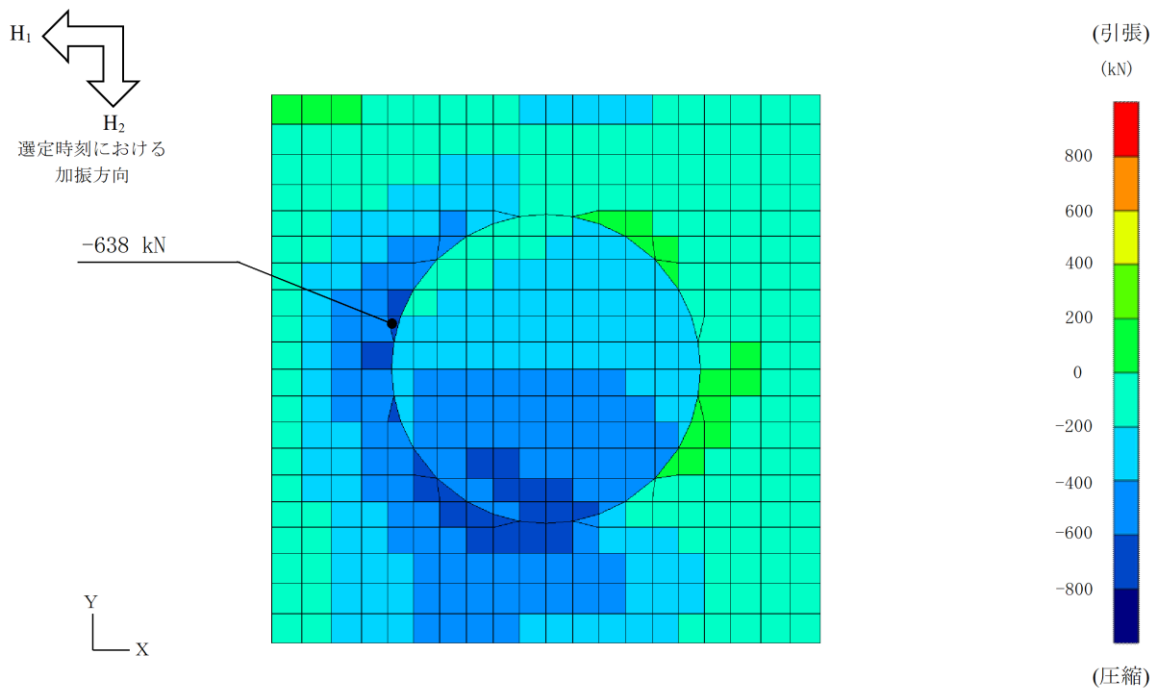
曲げモーメント (kN · m) : M_x



曲げモーメント (kN · m) : M_y

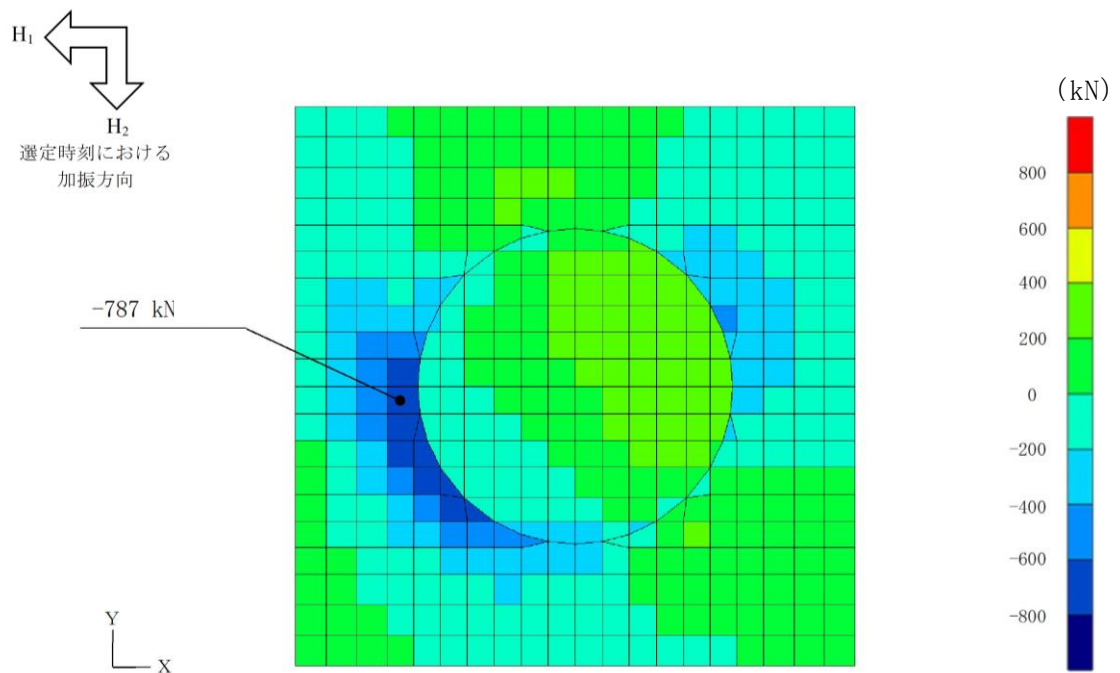
1201 kN · m : 照査に用いた断面力

図 6-4 照査時刻における断面力図 (解析ケース③, $S_s - D$, 15.268 秒)

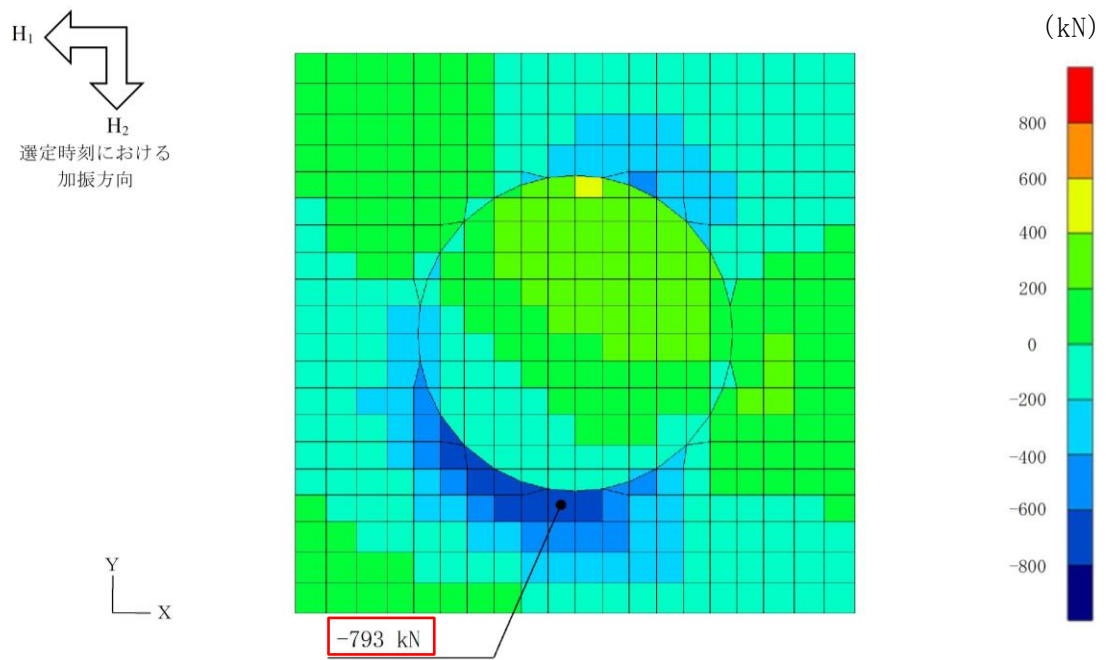


: 照査に用いた断面力

図 6-5 照査時刻における断面力図 (解析ケース③, $S_s - D$, 15.268 秒)



せん断力 (kN) : Q_x



せん断力 (kN) : Q_y

-793 kN : 照査に用いた断面力

図 6-6 照査時刻における断面力図 (解析ケース③, $S_s - D$, 15.268 秒)

6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査は鉛直力 N と転倒モーメント M_r のつり合い条件より最大接地圧 q_{max} を算出し、極限支持力度以下となることを確認する。

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表6-3に、最大照査値発生位置図を図6-7及び図6-8に示す。ガスタービン発電機用軽油タンク基礎に発生する最大接地圧が、極限支持力度を下回ることを確認した。

表6-3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果（水平2方向）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 q_{max} (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S _s -N2 (EW)	0.45	3.9	0.12
③	S _s -D	0.42	3.9	0.11

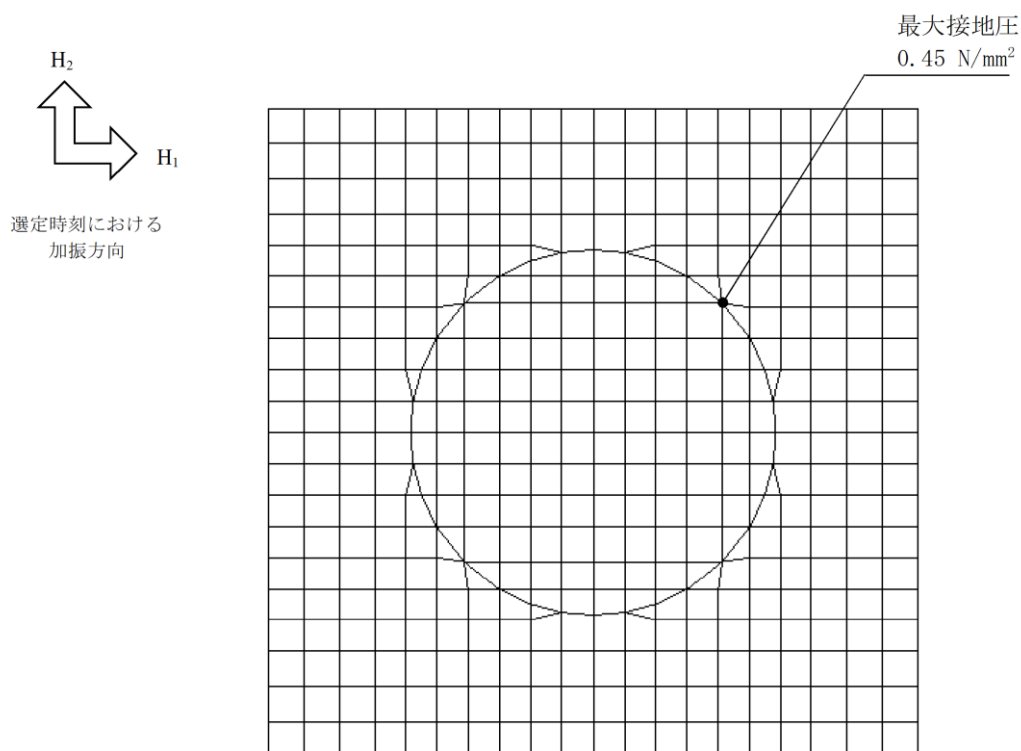


図6-7 最大照査値発生位置図（解析ケース①，S_s-N2 (EW)，26.780秒）

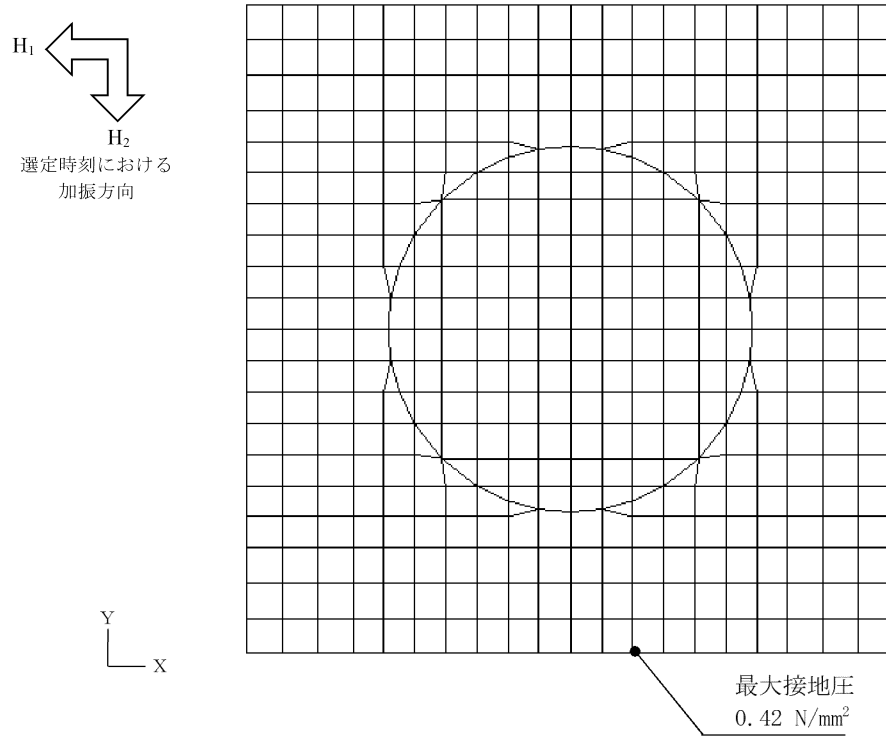


図 6-8 最大照査値発生位置図（解析ケース③，S s - D，t=15.268s）

7. まとめ

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎については、基準地震動 S_s による耐震評価として、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持性能に対する評価を実施した。

構造部材の健全性評価については、曲げモーメント及びせん断力が要求性能に応じた許容限界を下回ることを確認した。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に発生する応力（接地圧）が極限支持力度に基づく許容限界を下回ることを確認した。

以上から、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、基準地震動 S_s による地震力に対して、構造強度を有すること及び支持機能を有することを確認した。

参考資料 1 防油堤の耐震評価

1. 概要

本資料は、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の付帯設備のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備であるガスタービン発電機燃料配管等を間接支持する防油堤が、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の付帯設備に要求される機能の維持を確認するにあたっては、補足説明資料本文より得られた地震応答解析の結果に基づき、片持ち梁の理論式による構造部材の健全性評価を実施する。

2. 基本方針

2.1 構造概要

評価対象とする防油堤の配置図を図 2-1、断面図を図 2-2 に示す。

防油堤は幅 0.3m、高さ 2.5m の鉄筋コンクリート造で、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎を取り囲むように設置されている。

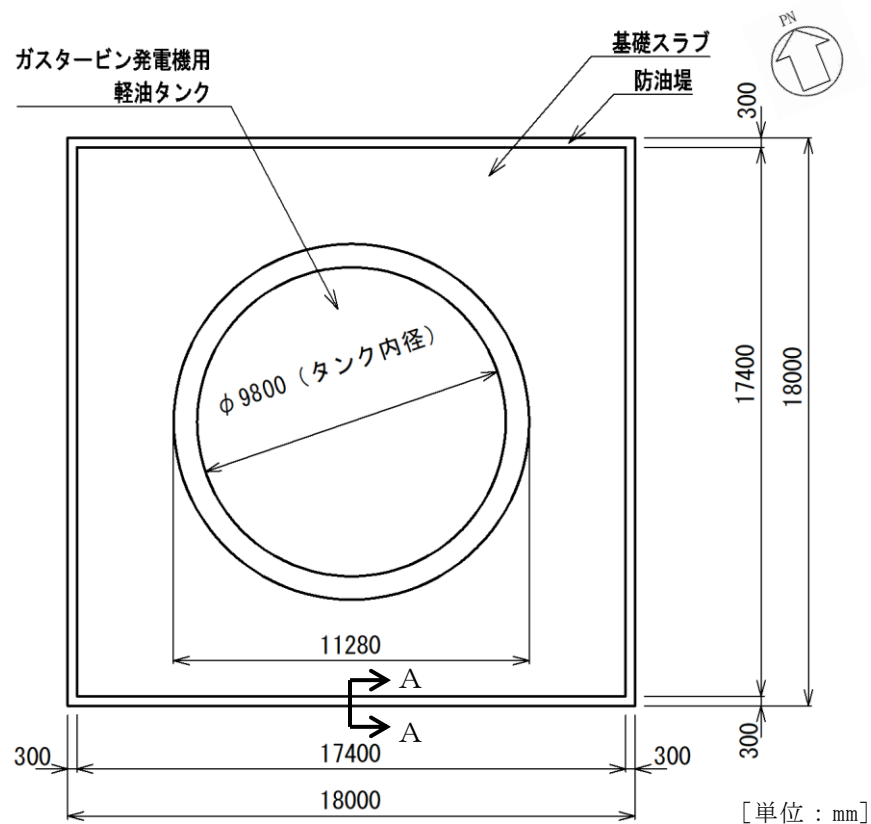


図 2-1 防油堤 配置図

参考 1-1

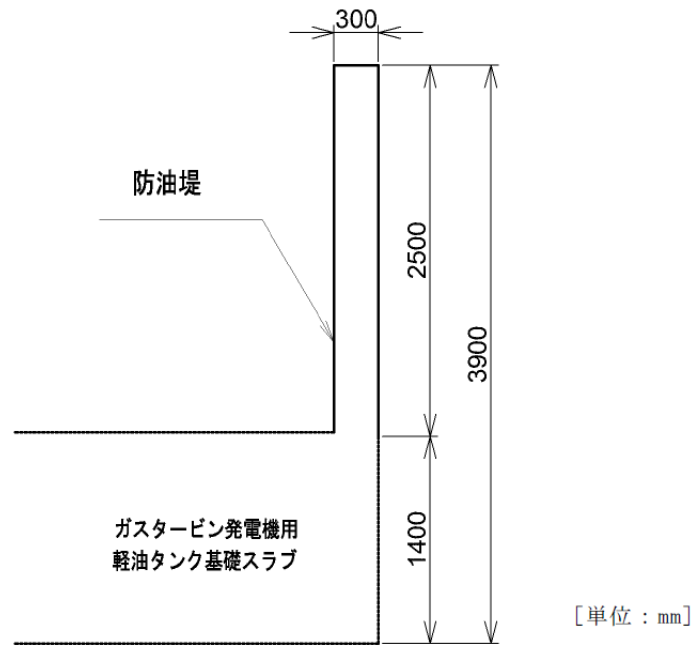


図 2-2 防油堤 断面図

2.2 評価方針

付帯設備の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

付帯設備の耐震評価は、補足説明資料本文より得られた地震応答解析の結果に基づき、片持ち梁の理論式により断面力を算定し、鉄筋コンクリート部材の照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が表 2-1 に示す許容限界以下であることを確認する。

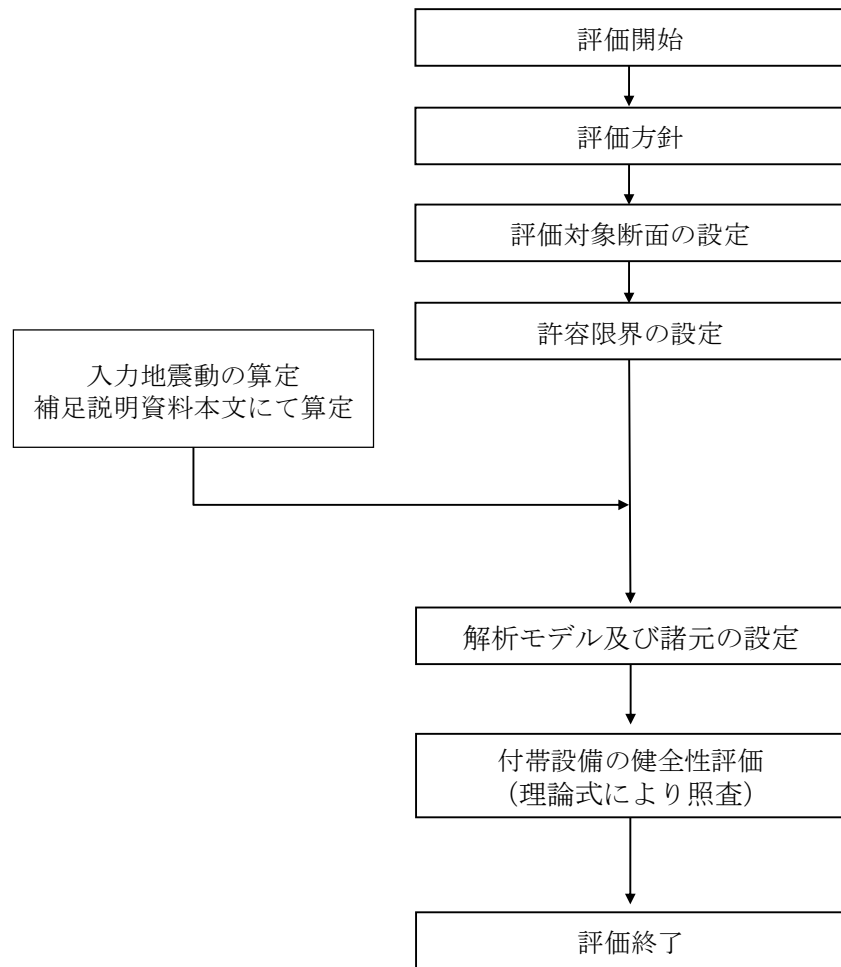


図 2-3 付帯設備の耐震評価フロー

表 2-1 付帯設備 評価項目

付帯設備	評価項目	評価方法	許容限界	
防油堤	構造部材の健全性	照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	終局曲げモーメント*
			せん断力	せん断耐力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

防油堤の評価対象断面位置図を図 3-1、概略配筋図を図 3-2 に示す。

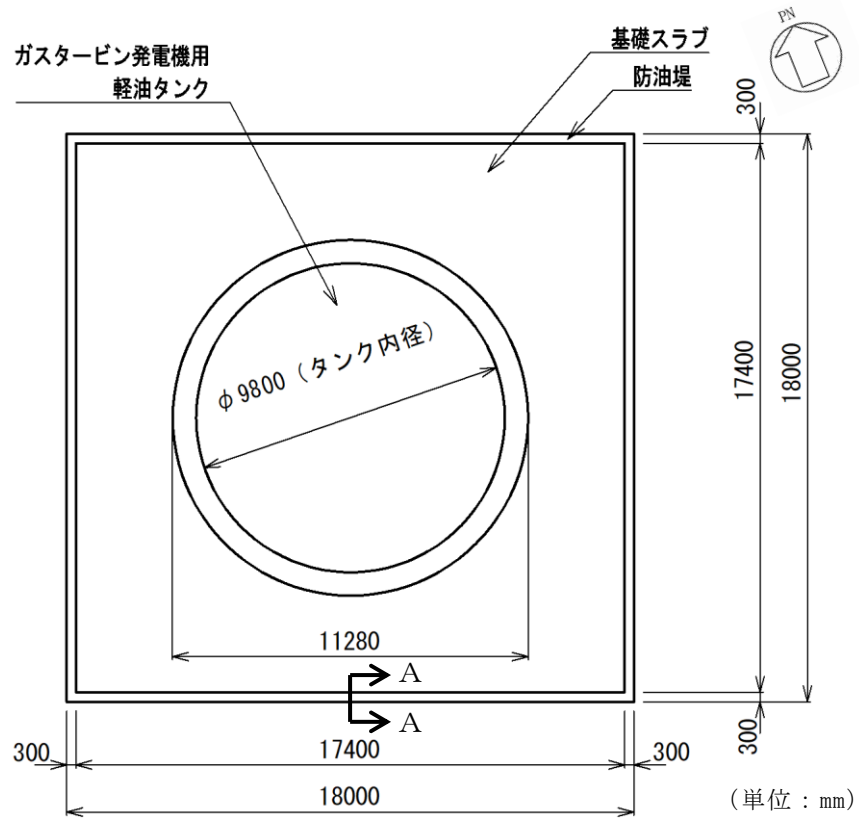


図 3-1 防油堤 評価対象断面位置図

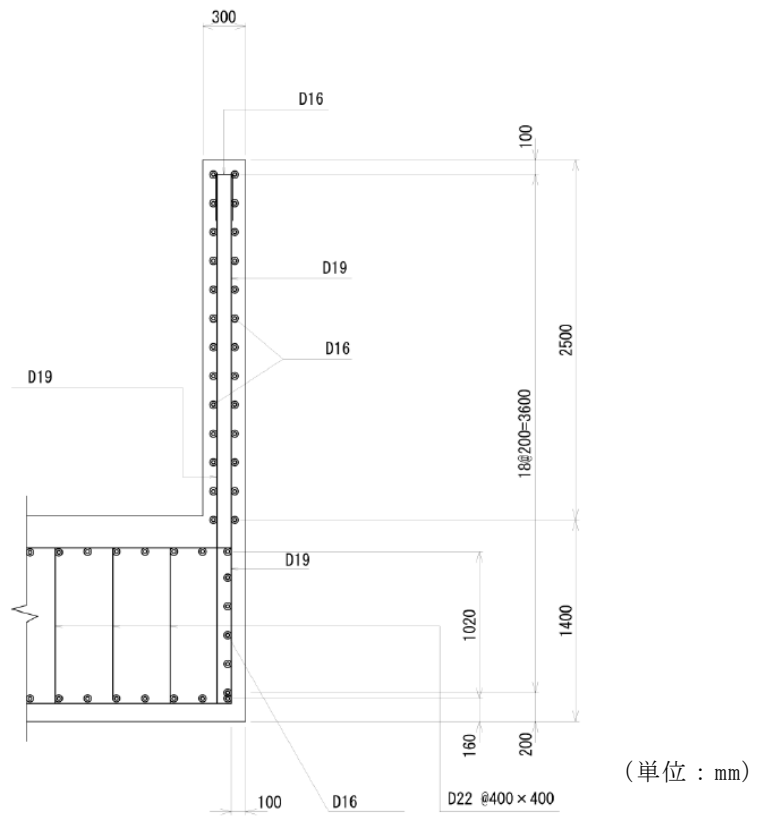


图 3-2 防油堤 概略配筋图 (A-A 断面)

3.2 解析モデル

防油堤の解析モデルを図 3-3 に示す。防油堤は片持ち梁でモデル化し、図 3-4 に示す理論式により断面力を算定する。

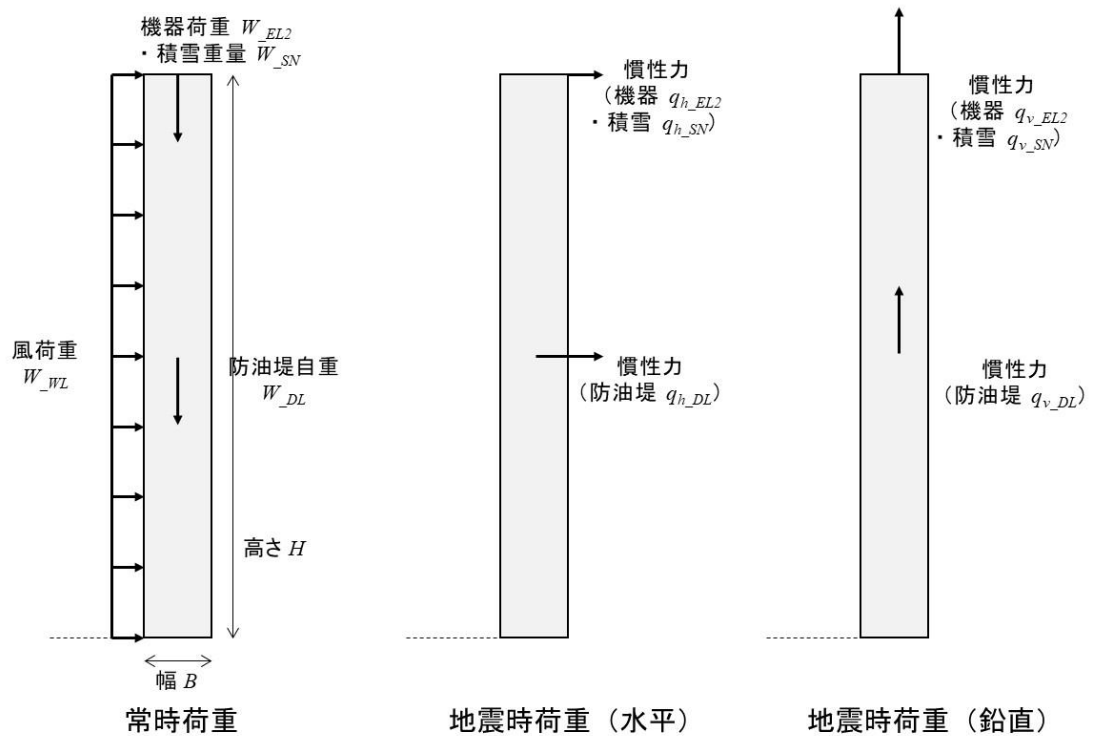


図 3-3 防油堤の解析モデル

曲げモーメント（地震時）

$$: M = q_{h_DL} \times 1/2 \times H + (q_{h_EL2} + q_{h_SN}) \times H + W_{WL} \times H^2 \times 1/2$$

せん断力（地震時）

$$: Q_E = q_{h_DL} + q_{h_EL2} + q_{h_SN} + W_{WL} \times H$$

軸力（地震時，鉛直震度 K_v ：上向き）

$$: N = (W_{DL} + W_{EL2} + W_{SN}) - (q_{v_DL} + q_{v_EL2} + q_{v_SN})$$

ただし，

$$q_{h_DL} = K_h \times W_{DL}$$

$$q_{h_EL2} = K_h \times W_{EL2}$$

$$q_{h_SN} = K_h \times W_{SN}$$

$$q_{v_DL} = K_v \times W_{DL}$$

$$q_{v_EL2} = K_v \times W_{EL2}$$

$$q_{v_SN} = K_v \times W_{SN}$$

図 3-4 断面力算定の理論式
参考 1-6

3.3 材料特性

構造物の使用材料を表 3-1, 材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-2 材料の物性値

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	2.5×10 ⁴
	ポアソン比	0.2

3.4 照査用震度

防油堤の照査用水平震度は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」における地震応答解析の全解析ケース（ケース①～ケース③）から、防油堤における最大応答加速度（水平方向）を用いて算定する。

照査用鉛直震度は、水平震度の算定に用いた最大応答加速度（水平方向）と同時刻の防油堤における最大応答加速度（鉛直方向）を用いて算定する。

照査用震度を表 3-3 に示す。

表 3-3 照査用震度の設定

解析 ケース	地震動	時刻	照査用震度	
			水平震度 K_h	鉛直震度 K_v
③	S s - D	11.155s	2.40	-0.03

3.5 入力荷重

防油堤の耐震評価における入力荷重を表 3-4 に示す。防油堤の入力荷重は、「3.4 照査用震度」で設定した照査用震度、固定荷重、積載荷重を用いて算定する。

積載荷重は補足説明資料に基づく積雪荷重及び風荷重とする。なお、基礎スラブ上の積雪が防油堤に及ぼす影響は軽微であることから考慮しない。

表 3-4 防油堤の耐震評価における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
主荷重	固定荷重	防油堤自重，機器荷重
	積載荷重	積雪荷重，風荷重
地震時 荷重	地震時荷重	防油堤に作用する慣性力

3.6 許容限界

3.6.1 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

防油堤の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、終局曲げモーメントとする。

3.6.2 せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

4. 耐震評価結果

4.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

防油堤の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-1 に示す。

防油堤の照査用曲げモーメントが許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (11.155 秒)

解析 ケース	地震動	照査用曲げモーメント M (kN・m)	終局曲げ モーメント M _u (kN・m) *1	照査値 M/M _u
③	S s - D	58	99*2	0.59

注記*1：終局曲げモーメントM_{u d}＝断面終局に相当する曲げモーメントM_d／部材係数γ_b(=1.15)

*2：同時刻に照査対象要素に発生する軸力-19kN(圧縮)を考慮

4.2 せん断力に対する評価結果

防油堤のせん断破壊に対する最大照査値を表 4-2 に示す。

防油堤の照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-2 せん断破壊に対する最大照査値 (11.155 秒)

解析 ケース	地震動	照査用せん断力 V _d * (kN)	せん断耐力 V _{y d} (kN)	照査値 V _d /V _{y d}
③	S s - D	46	111	0.42

注記*：照査用せん断力V_d＝発生せん断力V×構造解析係数γ_a(=1.0)

参考資料 2 機器・配管系の耐震評価に適用する影響検討ケース

1. コンクリート実強度を反映した解析ケース

1.1 はじめに

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎について、構造物の機器・配管系の耐震評価に適用する床応答への保守的な配慮として、コンクリートの物性値を実強度に変更し、ケース④の解析を実施している。

コンクリートの実強度の設定方法は、本文「3.5.2 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース」に示す。

1.2 解析方針

耐震評価は、本文「2. 評価条件」における評価条件に基づき実施する。変更した材料の物性値を表 1-1 に示す。影響検討ケースは位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 $S_s - D$ に対して実施することとする。

影響検討に用いる地震動は、本文で使用した基準地震動 $S_s - D$ (++) を使用する。

表 1-1 材料の物性値

材料		仕様	ヤング係数 (N/mm^2)
構造物	コンクリート	実強度 $36.1N/mm^2$	2.98×10^4

1.3 解析結果

ケース④に係る地震応答解析結果として、基準地震動 $S_s - D$ (++) に対する最大応答値を図 1-1~図 1-7 及び表 1-2~表 1-8 に示す。

また、その際の接地率を表 1-9 に示す。表 1-9 より接地率は、誘発上下動を考慮した地震応答解析を適用できる基準値 (50%以上) を満足していることを確認した。

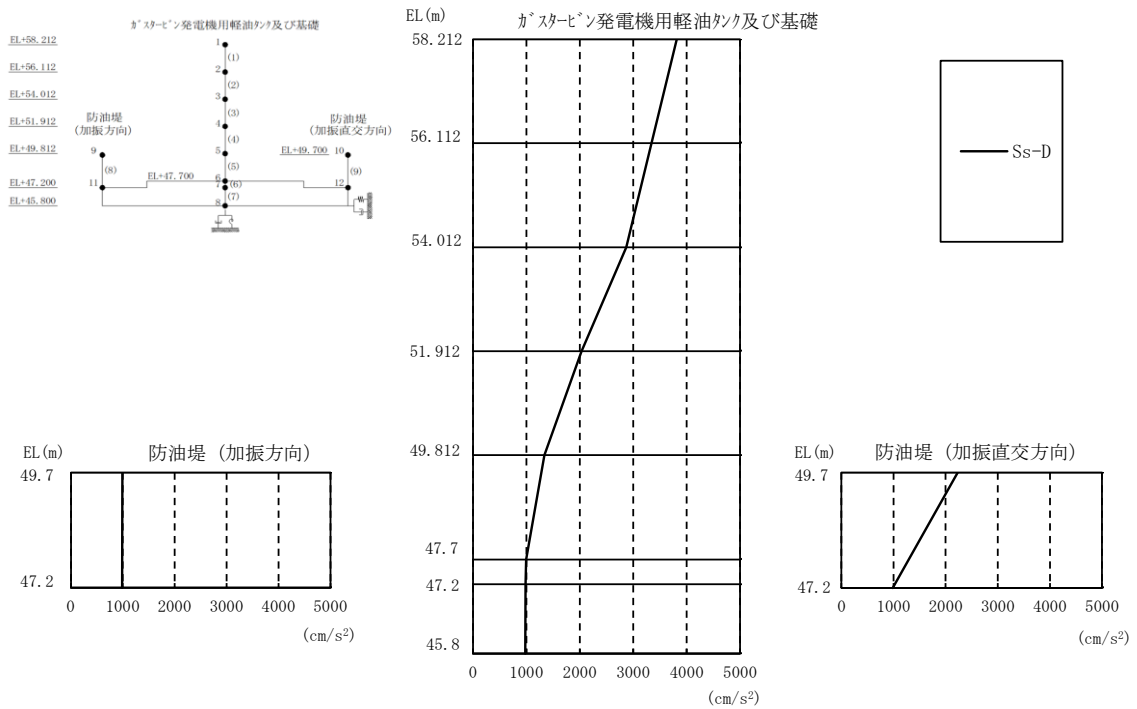


図 1-1 最大応答加速度（水平方向，解析ケース④）

表 1-2 最大応答加速度一覧（水平方向，解析ケース④）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)							最大値	
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS		Ss-N2 EW
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	3816	-	-	-	-	-	-	-	3816
	56.112	2	3342	-	-	-	-	-	-	-	3342
	54.012	3	2868	-	-	-	-	-	-	-	2868
	51.912	4	2032	-	-	-	-	-	-	-	2032
	49.812	5	1337	-	-	-	-	-	-	-	1337
	47.7	6	997	-	-	-	-	-	-	-	997
基礎	47.2	7	985	-	-	-	-	-	-	-	985
	45.8	8	980	-	-	-	-	-	-	-	980
防油堤 (加振方向)	49.7	9	993	-	-	-	-	-	-	-	993
	47.2	11	985	-	-	-	-	-	-	-	985
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	2233	-	-	-	-	-	-	-	2233
	47.2	12	985	-	-	-	-	-	-	-	985

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

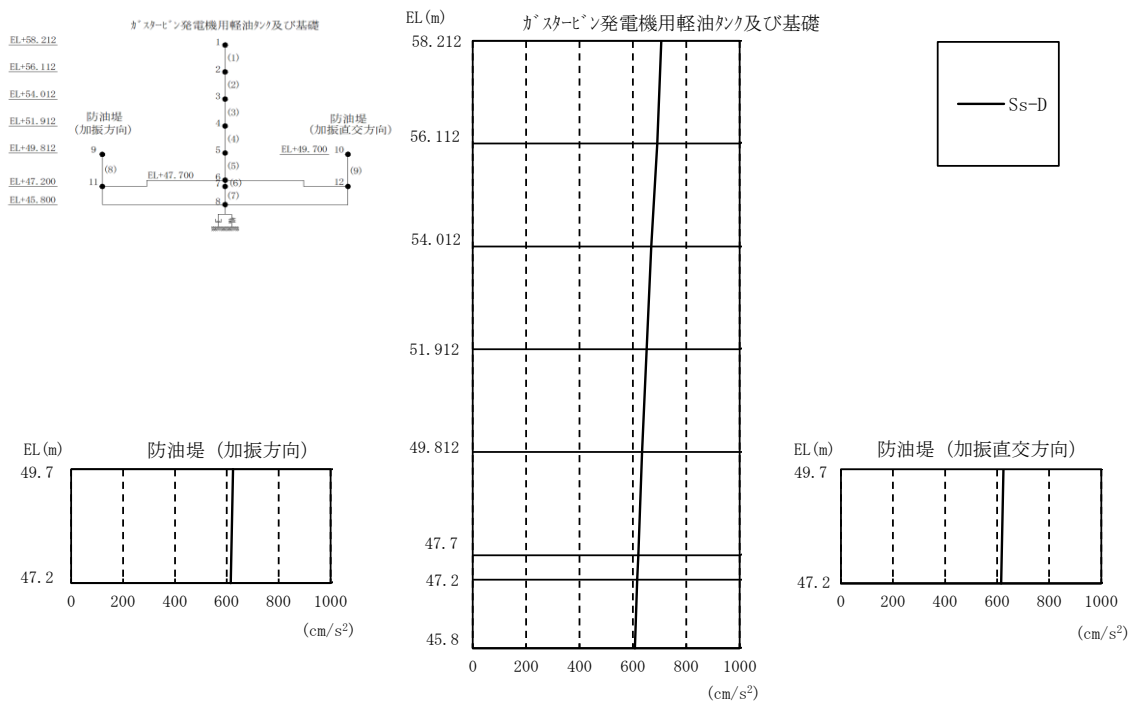


図 1-2 最大応答加速度（鉛直方向，解析ケース④）

表 1-3 最大応答加速度一覧（鉛直方向，解析ケース④）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212	1	706	-	-	-	-	706
	56.112	2	691	-	-	-	-	691
	54.012	3	669	-	-	-	-	669
	51.912	4	651	-	-	-	-	651
	49.812	5	634	-	-	-	-	634
	47.7	6	620	-	-	-	-	620
基礎	47.2	7	615	-	-	-	-	615
	45.8	8	607	-	-	-	-	607
防油堤 (加振方向)	49.7	9	624	-	-	-	-	624
	47.2	11	615	-	-	-	-	615
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	624	-	-	-	-	624
	47.2	12	615	-	-	-	-	615

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

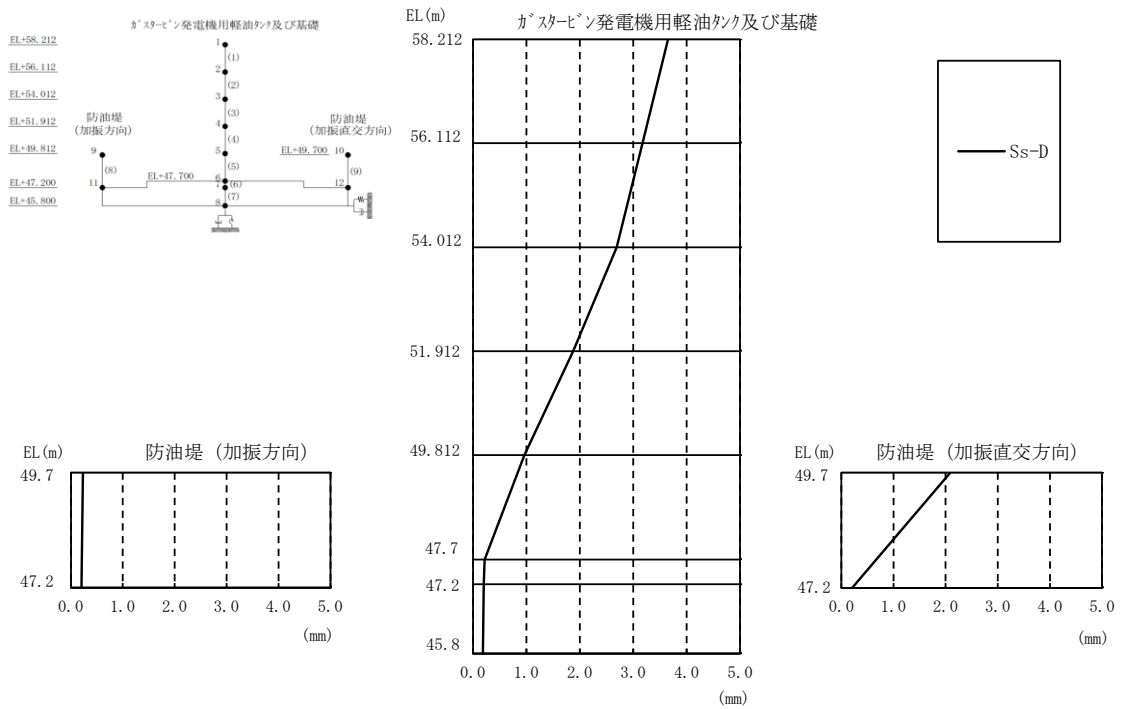


図 1-3 最大応答変位（水平方向，解析ケース④）

表 1-4 最大応答変位一覧（水平方向，解析ケース④）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)							最大値	
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS		Ss-N2 EW
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212	1	3.65	-	-	-	-	-	-	-	3.65
	56.112	2	3.17	-	-	-	-	-	-	-	3.17
	54.012	3	2.69	-	-	-	-	-	-	-	2.69
	51.912	4	1.87	-	-	-	-	-	-	-	1.87
	49.812	5	0.96	-	-	-	-	-	-	-	0.96
	47.7	6	0.22	-	-	-	-	-	-	-	0.22
基礎	47.2	7	0.20	-	-	-	-	-	-	-	0.20
	45.8	8	0.19	-	-	-	-	-	-	-	0.19
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.23	-	-	-	-	-	-	-	0.23
	47.2	11	0.20	-	-	-	-	-	-	-	0.20
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	2.09	-	-	-	-	-	-	-	2.09
	47.2	12	0.20	-	-	-	-	-	-	-	0.20

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

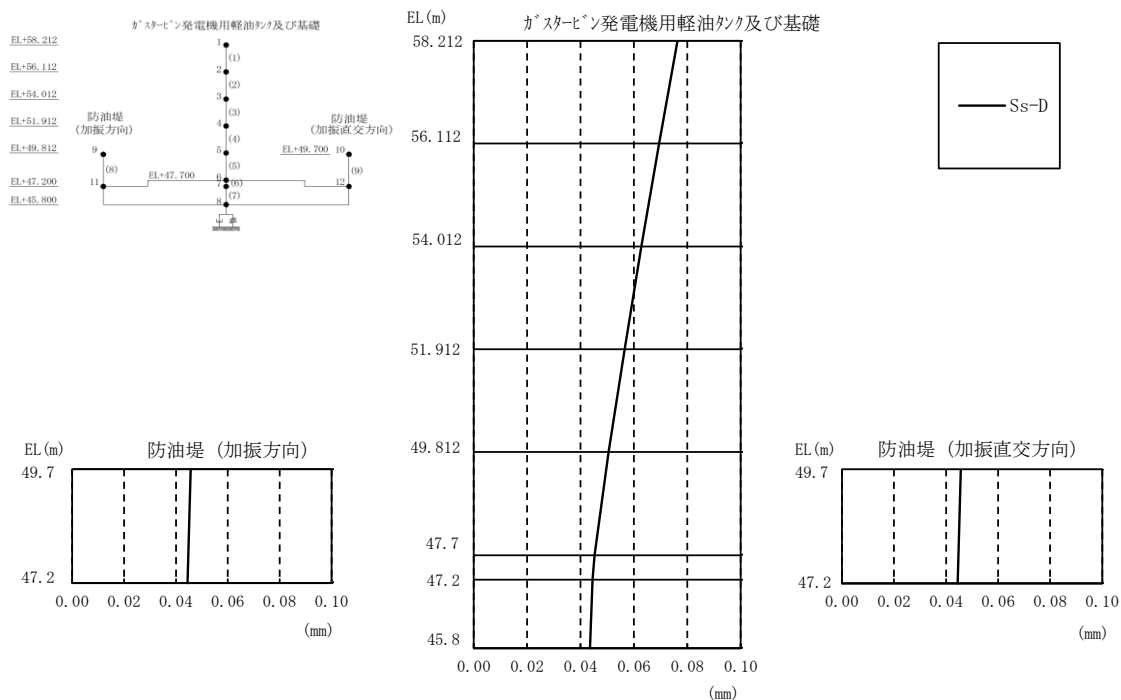


図 1-4 最大応答変位（鉛直方向，解析ケース④）

表 1-5 最大応答変位一覧（鉛直方向，解析ケース④）

部位	EL (m)	質点番号	最大応答変位 (mm)					最大値
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212	1	0.08	-	-	-	-	0.08
	56.112	2	0.07	-	-	-	-	0.07
	54.012	3	0.06	-	-	-	-	0.06
	51.912	4	0.06	-	-	-	-	0.06
	49.812	5	0.05	-	-	-	-	0.05
	47.7	6	0.05	-	-	-	-	0.05
基礎	47.2	7	0.04	-	-	-	-	0.04
	45.8	8	0.04	-	-	-	-	0.04
防油堤 (加振方向)	49.7	9	0.05	-	-	-	-	0.05
	47.2	11	0.04	-	-	-	-	0.04
防油堤 (加振直交方向)	49.7	10	0.05	-	-	-	-	0.05
	47.2	12	0.04	-	-	-	-	0.04

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

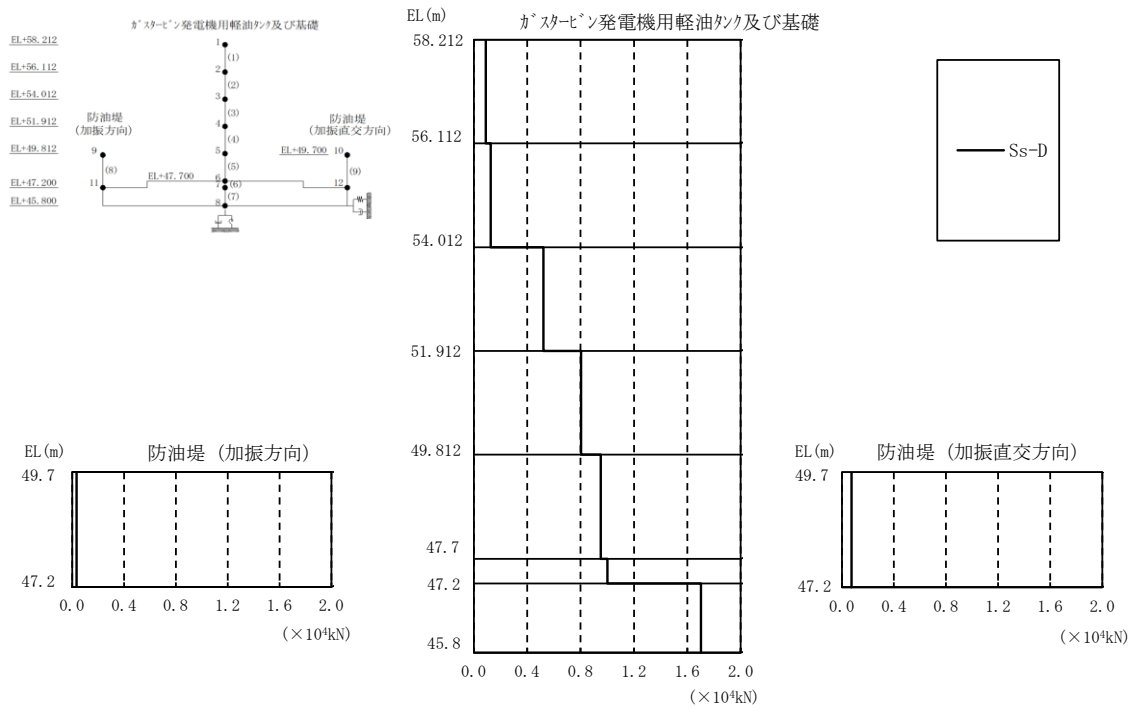


図 1-5 最大応答せん断力（解析ケース①）

表 1-6 最大応答せん断力一覧（解析ケース①）

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 ⁴ kN)								最大値
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212~56.112	1	0.09	-	-	-	-	-	-	-	0.09
	56.112~54.012	2	0.13	-	-	-	-	-	-	-	0.13
	54.012~51.912	3	0.52	-	-	-	-	-	-	-	0.52
	51.912~49.812	4	0.80	-	-	-	-	-	-	-	0.80
基礎	49.812~47.7	5	0.95	-	-	-	-	-	-	-	0.95
	47.7~47.2	6	1.00	-	-	-	-	-	-	-	1.00
防油堤 (加振方向)	47.2~45.8	7	1.70	-	-	-	-	-	-	-	1.70
	49.7~47.2	8	0.03	-	-	-	-	-	-	-	0.03
防油堤 (加振直交方向)	49.7~47.2	9	0.07	-	-	-	-	-	-	-	0.07

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

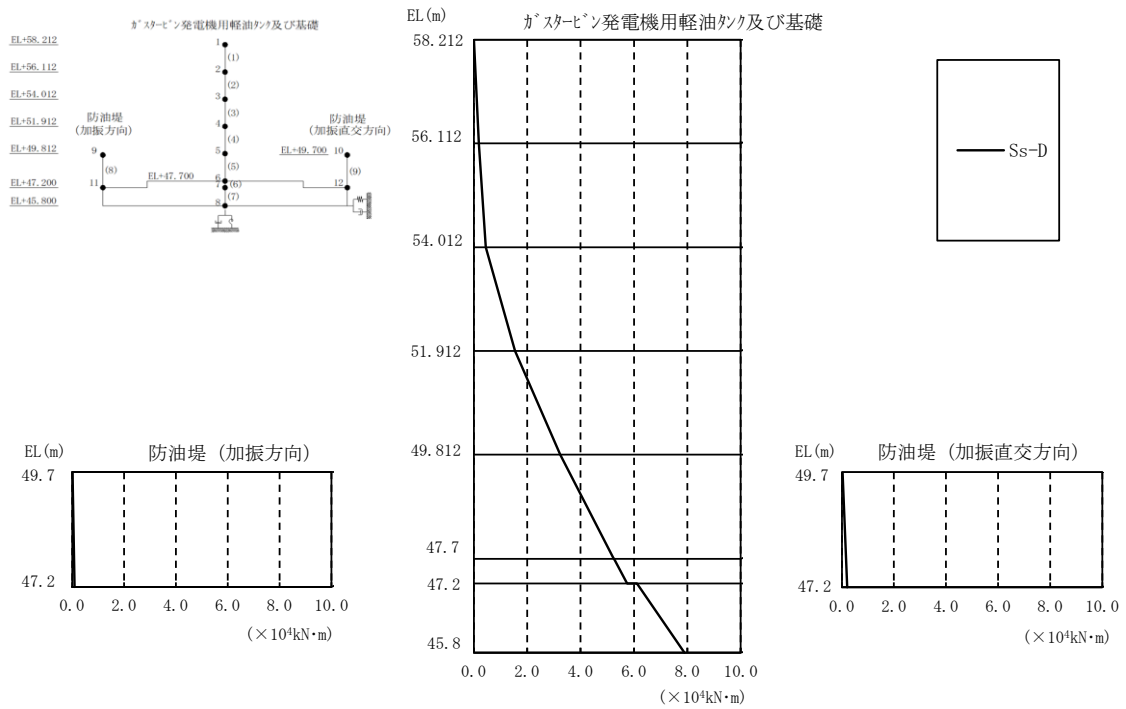


図 1-6 最大応答曲げモーメント (解析ケース④)

表 1-7 最大応答曲げモーメント一覧 (解析ケース④)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 ⁴ kN·m)									
			Ss-D	Ss-F1 NS	Ss-F1 EW	Ss-F2 NS	Ss-F2 EW	Ss-N1	Ss-N2 NS	Ss-N2 EW	最大値	
ガスタービン発電機用軽油タンク	58.212~56.112	1	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19
	56.112~54.012	2	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19
			0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45
	54.012~51.912	3	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	0.45
1.55			-	-	-	-	-	-	-	-	1.55	
51.912~49.812	4	1.55	-	-	-	-	-	-	-	-	1.55	
		3.24	-	-	-	-	-	-	-	-	3.24	
49.812~47.7	5	3.24	-	-	-	-	-	-	-	-	3.24	
		5.25	-	-	-	-	-	-	-	-	5.25	
基礎	47.7~47.2	6	5.25	-	-	-	-	-	-	-	-	5.25
			5.75	-	-	-	-	-	-	-	-	5.75
47.2~45.8	7	6.11	-	-	-	-	-	-	-	-	6.11	
		7.89	-	-	-	-	-	-	-	-	7.89	
防油堤 (加振方向)	49.7~47.2	8	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
			0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
防油堤 (加振直交方向)	49.7~47.2	9	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
			0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

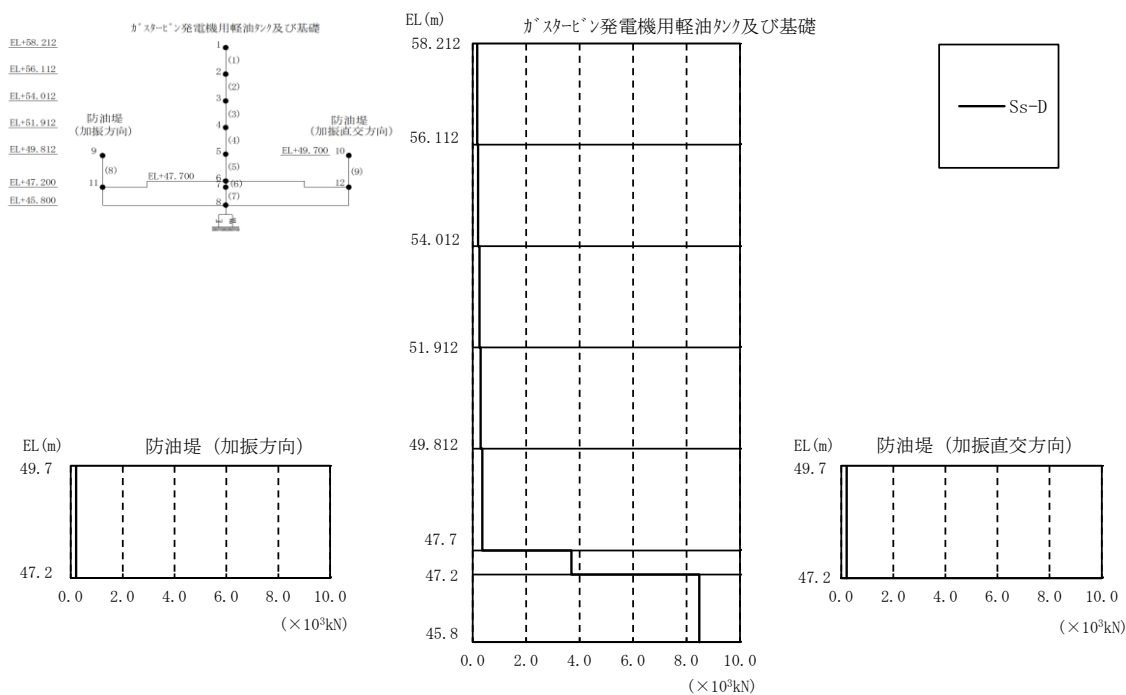


図 1-7 最大応答軸力（解析ケース①）

表 1-8 最大応答軸力一覧（解析ケース①）

部位	EL (m)	要素番号	最大応答軸力 (×10 ³ kN)					
			Ss-D	Ss-F1	Ss-F2	Ss-N1	Ss-N2	最大値
ガスタービン 発電機用 軽油タンク	58.212～56.112	1	0.17	-	-	-	-	0.17
	56.112～54.012	2	0.20	-	-	-	-	0.20
	54.012～51.912	3	0.25	-	-	-	-	0.25
	51.912～49.812	4	0.30	-	-	-	-	0.30
	49.812～47.7	5	0.36	-	-	-	-	0.36
基礎	47.7～47.2	6	3.70	-	-	-	-	3.70
	47.2～45.8	7	8.48	-	-	-	-	8.48
防油堤 (加振方向)	49.7～47.2	8	0.21	-	-	-	-	0.21
防油堤 (加振直交方向)	49.7～47.2	9	0.21	-	-	-	-	0.21

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

表 1-9 地震応答解析に基づく接地率（解析ケース④）

基準地震動 S _s	最大転倒モーメント (×10 ⁵ kN・m)	最小接地率 (%)
S _s -D	0.811	78.4
S _s -F1NS	—	—
S _s -F1EW	—	—
S _s -F2NS	—	—
S _s -F2EW	—	—
S _s -N1	—	—
S _s -N2NS	—	—
S _s -N2EW	—	—

注：ハッチングは影響検討ケースを実施する地震動を示す。

参考資料 3 漏油に対する補足確認について

1. はじめに

ガスタービン発電機用軽油タンクは、VI-2-10-1-2-3-4「ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震性についての計算書」において、基準地震動 S_s に対する耐震性を確認していることから、地震に起因するタンクからの漏油は想定されない。しかしながら、本資料では念のための検討として、他の要因によりタンクからの漏油を想定した場合においても、基準地震動 S_s に対して基礎スラブ及び防油堤が施設外部への漏油を抑制できることを確認する。

2. 許容限界

補足説明資料本文及び参考資料1では、曲げ・軸力系の破壊に対して終局曲げモーメントに対する評価を実施し、断面終局に至らないことを確認している。本資料では、短期許容応力度に対する評価を実施し、部材がおおむね弾性範囲に留まることで、基礎スラブ及び防油堤からの漏油が抑制されることを確認する。コンクリートの許容応力度を表2-1に、鉄筋の許容応力度を表2-2に示す。

なお、せん断破壊は脆性的な破壊形態を示すことから、せん断耐力に至るまでは部材を貫通するような顕著なひび割れは発生しないと判断されるため、補足説明資料本文及び参考資料1の結果をもって、基礎スラブ及び防油堤からの漏油が抑制されることを確認している。

表 2-1 コンクリートの許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
$f'_{c k} = 24.0$ (N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma'_{c a}$	9.0	13.5

表 2-2 鉄筋の許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
SD345	許容引張応力度 $\sigma_{s a}$	196	294

3. 評価結果

3.1 基礎スラブ

基礎スラブの短期許容応力度に対する評価結果を、表 3-1 及び表 3-2 に示す。また、照査時刻における断面力図を図 3-1～図 3-4 に示す。

表 3-1 短期許容応力度に対する評価結果（基礎スラブ，コンクリート）

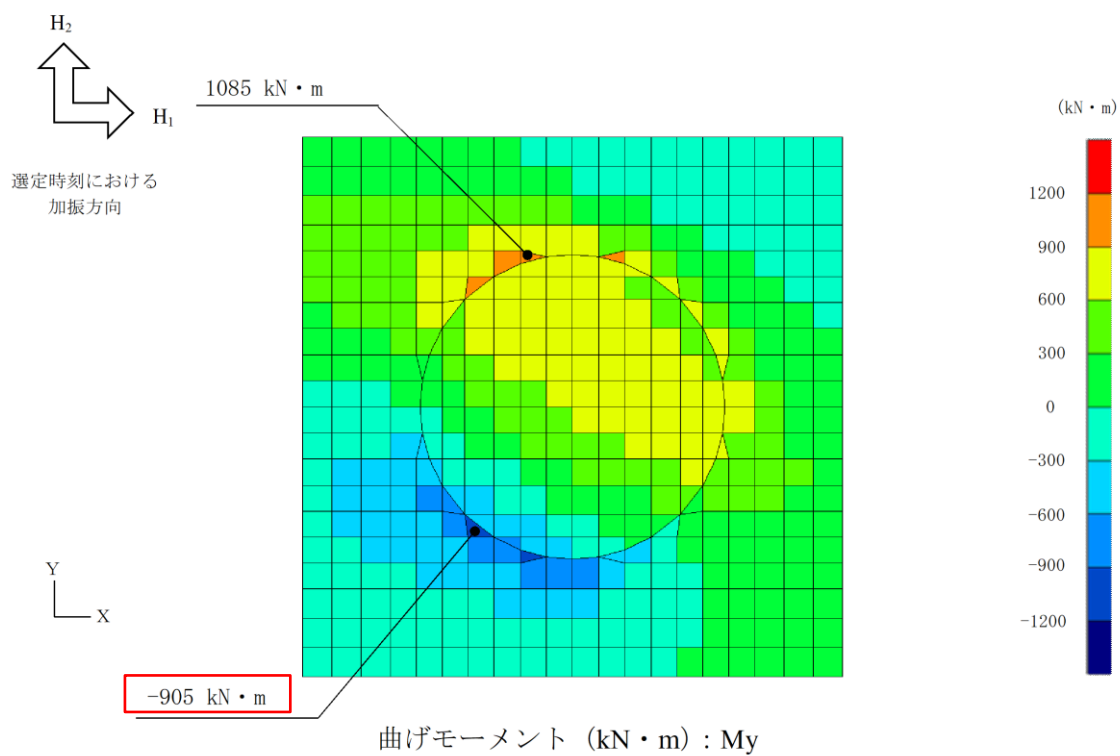
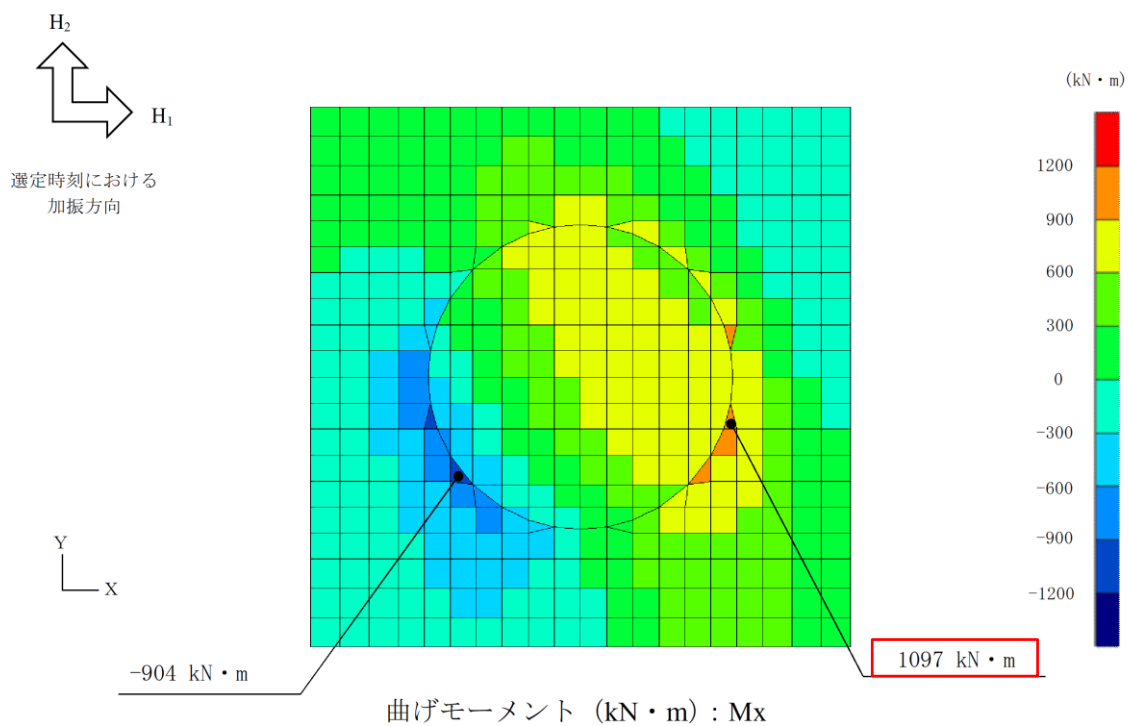
解析 ケース	地震動	照査用曲げ モーメント M_d (kN・m)	軸力* N_d (kN)	発生応力度 σ'_c (N/mm ²)	許容応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
①	S s - N 2 (E W)	1097	-567	4.9	13.5	0.37
③	S s - D	1201	-658	5.4	13.5	0.40

注記*：軸力は正の値が引張を示す。

表 3-2 短期許容応力度に対する評価結果（基礎スラブ，鉄筋）

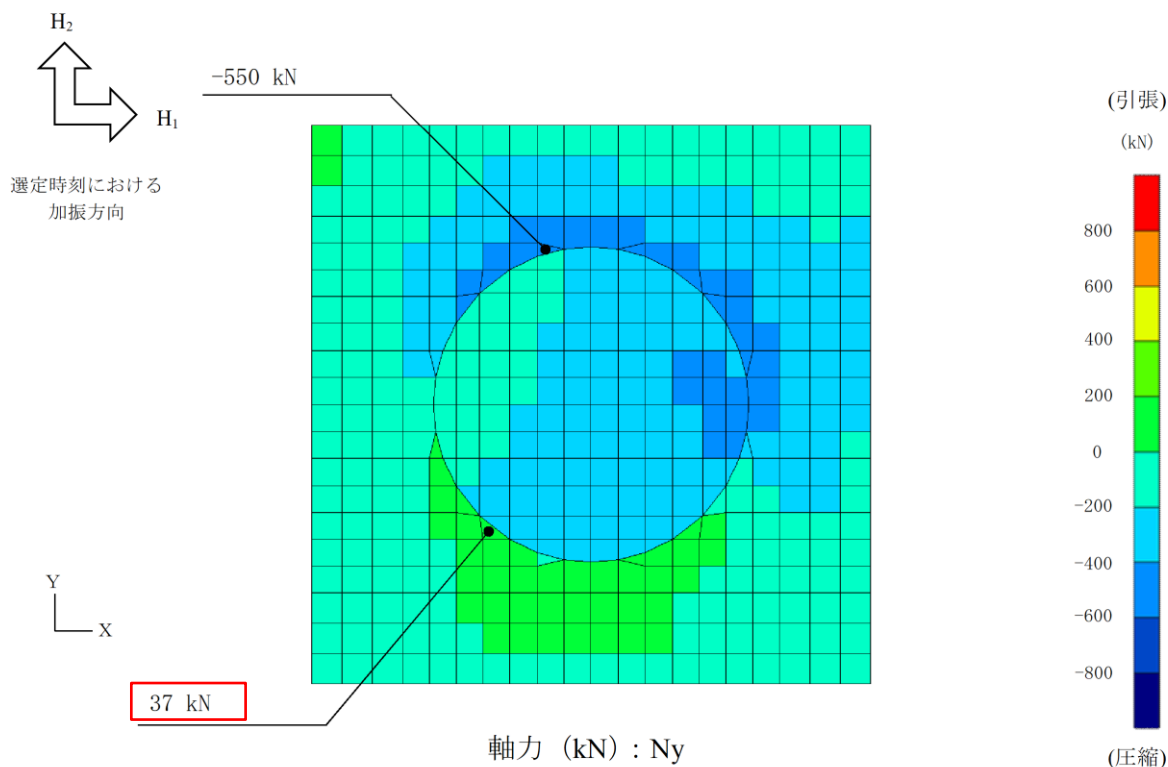
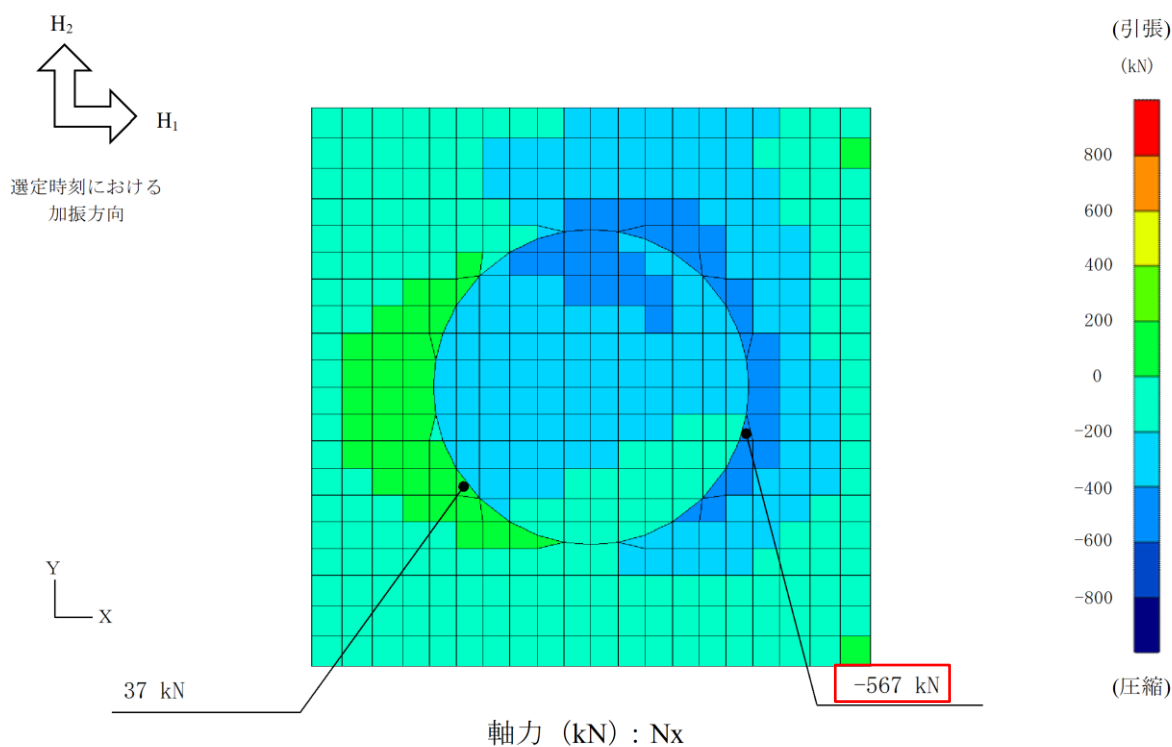
解析 ケース	地震動	照査用曲げ モーメント M_d (kN・m)	軸力* N_d (kN)	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
①	S s - N 2 (E W)	-905	37	153	294	0.53
③	S s - D	-910	8	152	294	0.52

注記*：軸力は正の値が引張を示す。



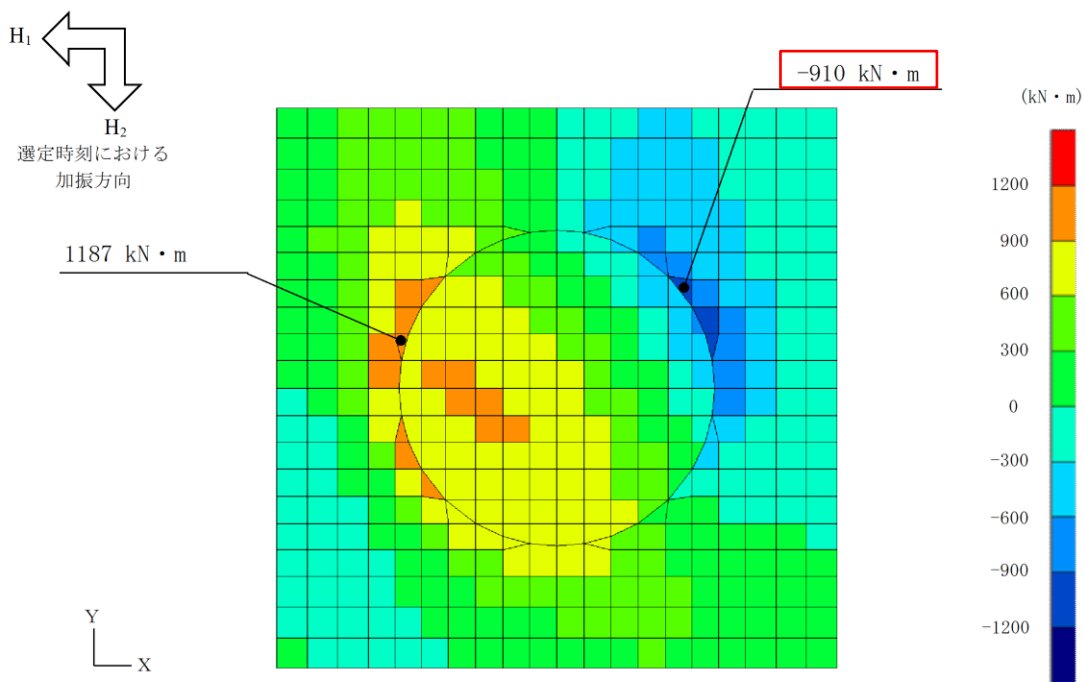
 : 照査に用いた断面力

図 3-1 照査時刻における断面力図 (解析ケース①, S s - N 2 (E W), 26.780 秒)

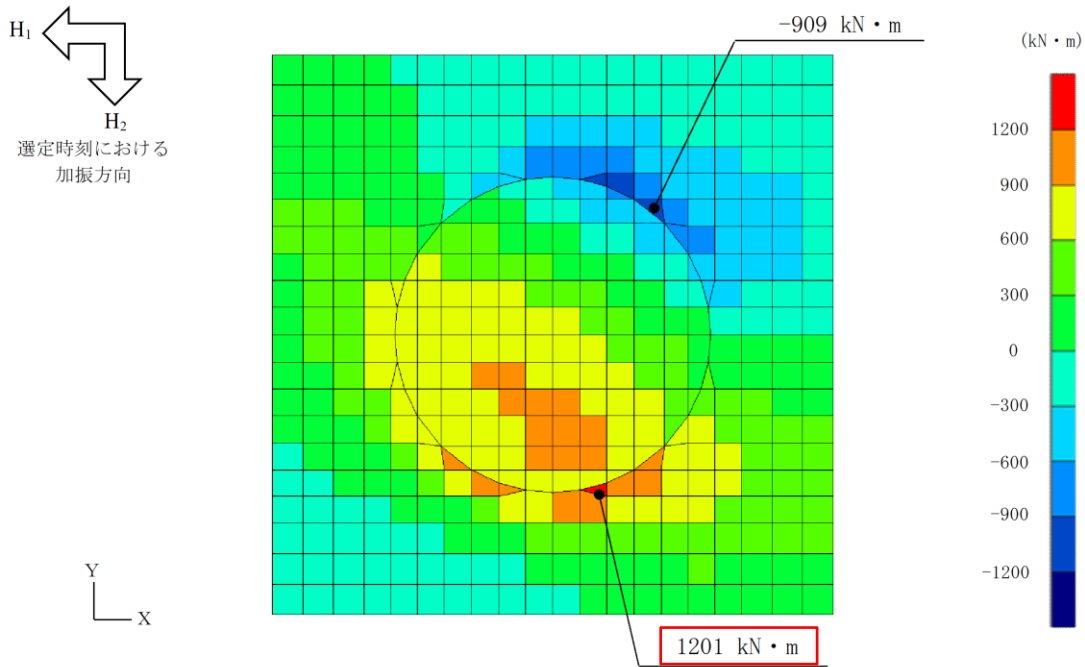


: 照査に用いた断面力

図 3-2 照査時刻における断面力図 (解析ケース①, S s - N 2 (E W), 26.780 秒)



曲げモーメント (kN · m) : M_x

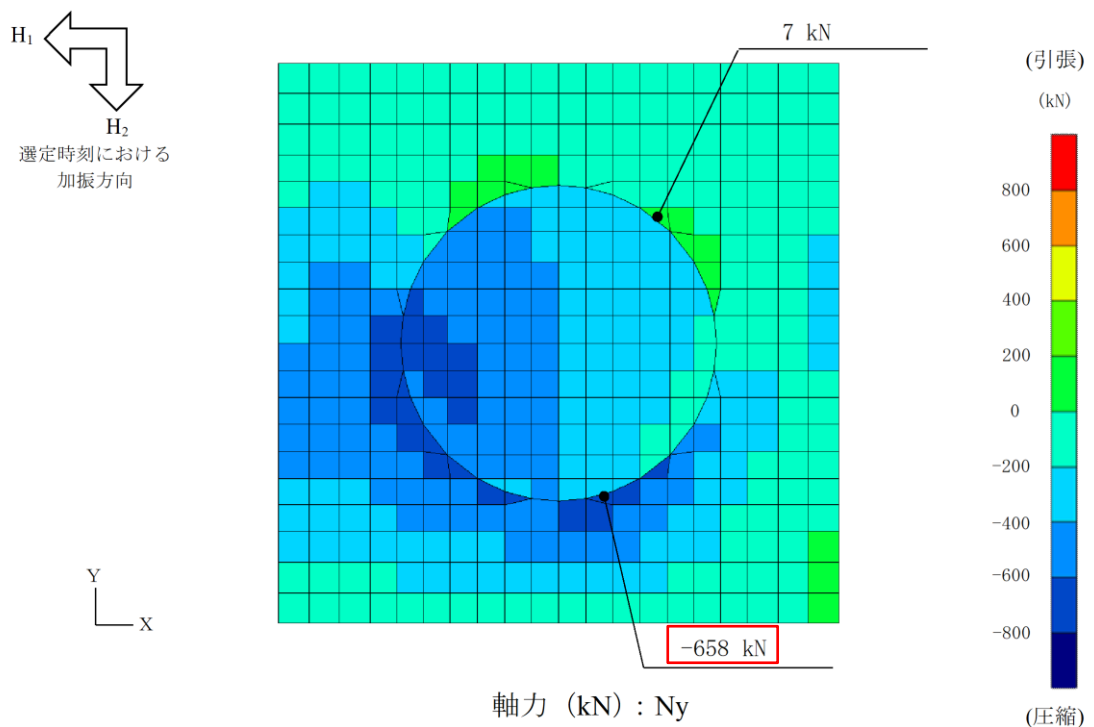
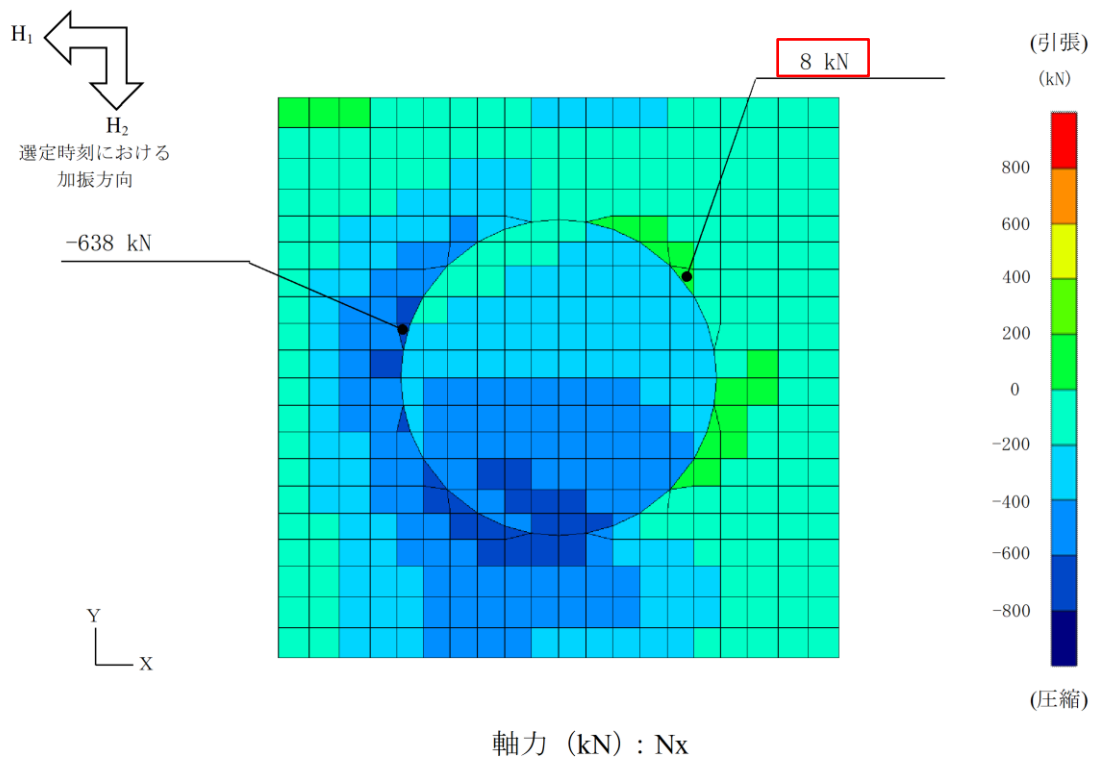


曲げモーメント (kN · m) : M_y

 : 照査に用いた断面力

図 3-3 照査時刻における断面力図 (解析ケース③, $S_s - D$, 15.268 秒)

参考 3-5



 : 照査に用いた断面力

図 3-4 照査時刻における断面力図 (解析ケース③, $S_s - D$, 15.268 秒)

3.2 防油堤

防油堤の短期許容応力度に対する評価結果を、表 3-3 及び表 3-4 に示す。

表 3-3 短期許容応力度に対する評価結果（防油堤，コンクリート）

解析 ケース	地震動	照査用曲げ モーメント M_d (kN・m)	軸力* N_d (kN)	発生応力度 σ'_c (N/mm ²)	許容応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
③	S s - D	58	-19	9.3	13.5	0.69

注記*：軸力は正の値が引張を示す。

表 3-4 短期許容応力度に対する評価結果（防油堤，鉄筋）

解析 ケース	地震動	照査用曲げ モーメント M_d (kN・m)	軸力* N_d (kN)	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
③	S s - D	58	-19	209	294	0.72

注記*：軸力は正の値が引張を示す。

4. まとめ

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の基礎スラブ及び防油堤について、短期許容応力度に対する評価を実施し、部材がおおむね弾性範囲に留まることを確認した。よって、基準地震動 S_s 以外の要因によりタンクからの漏油を想定した場合においても、基礎スラブ及び防油堤により漏油が抑制されることから、施設外部への漏油は発生しない。

参考資料 4 入力地震動の妥当性について

1. はじめに

ガスタービン発電機用軽油タンクの地震応答解析における入力地震動については、構造物の周辺状況が耐震評価に及ぼす影響は軽微であると判断し、1次元地震応答解析にて算定している。本資料では、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の南側に位置する斜面をモデル化せず、水平成層として入力地震動を算定していることの妥当性を確認する。

2. 周辺状況の整理

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の南側には、図2-1に示すとおり背後斜面が位置する。当該斜面(⑫-⑫'断面)については、「補足020-2 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルートに係る補足説明資料」において、図2-2に示す解析モデルを用いて2次元地震応答解析を実施し、斜面の安定性評価を実施している。

⑫-⑫'断面は重大事故等対処施設であるガスタービン発電機建物位置を対象としているが、⑫-⑫'断面とガスタービン発電機用軽油タンク基礎の離隔が小さいことから、⑫-⑫'断面の地震応答解析結果を参照する。

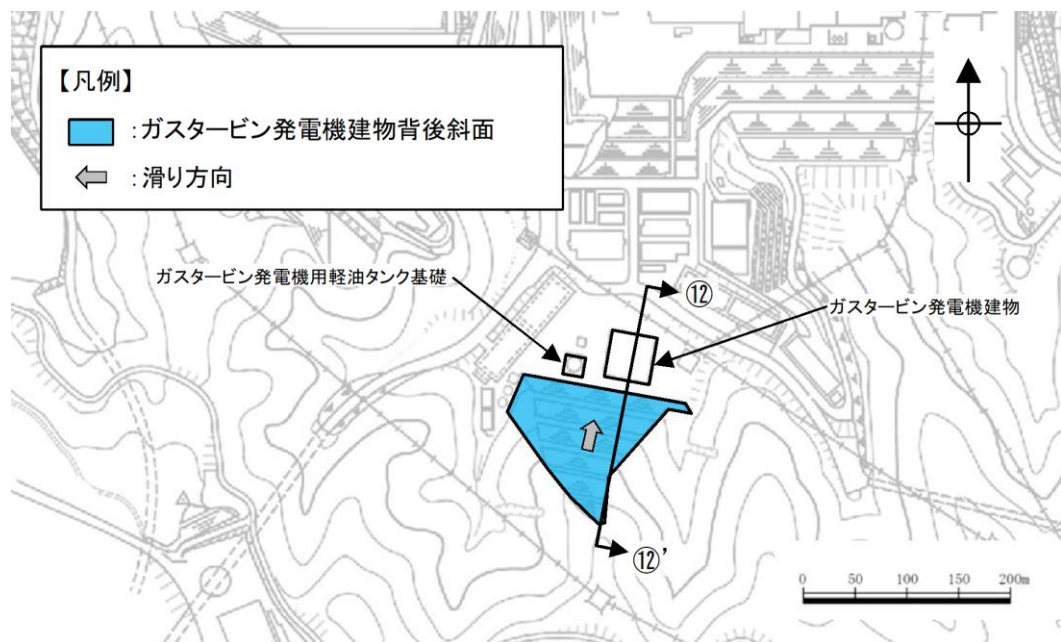
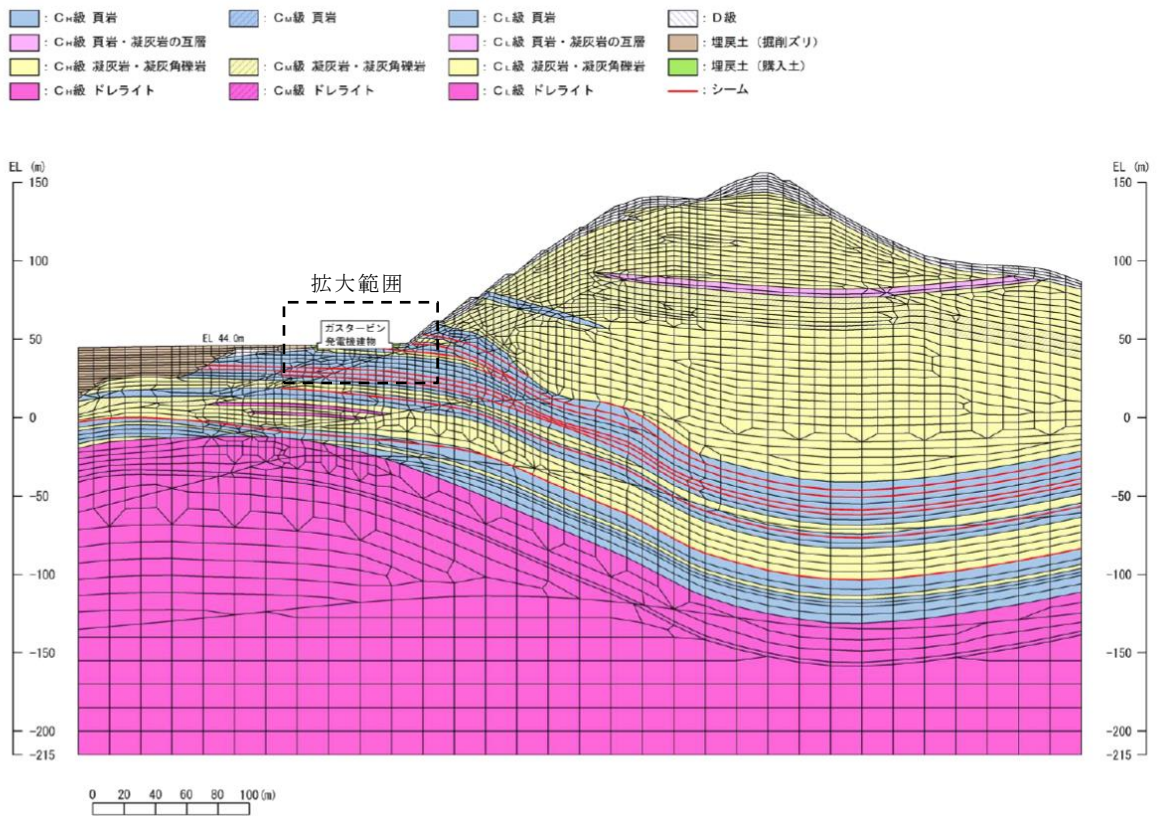
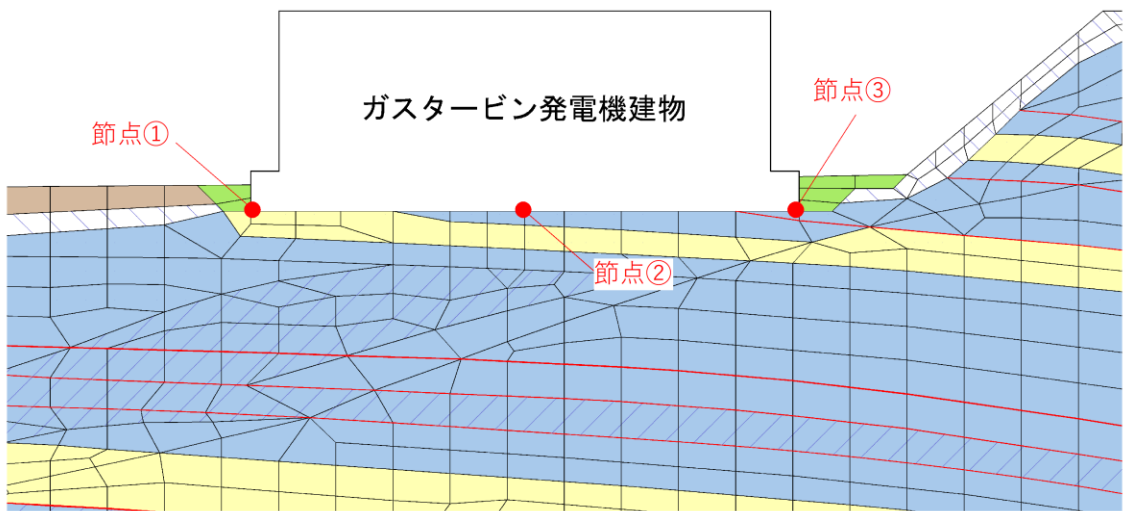


図2-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の背後斜面
(補足020-2にて示す図を一部加工)



(全体図)



(拡大図)

図 2-2 斜面の安定性評価における解析モデル図 (⑫-⑫' 断面)

3. 斜面の安定性評価における応答加速度の確認結果

斜面の安定性評価における地表面の応答加速度を表 3-1 に示す。最大水平加速度は節点①～③でおおむね同等，最大鉛直加速度は斜面の法尻に近づくほど（節点①→②→③）小さくなる傾向が見られることから，斜面をモデル化せず水平成層として入力地震動を算定していることの妥当性を確認した。

表 3-1 斜面の安定性評価における地表面の応答加速度（S_s-D（++））

	抽出高さ (EL m)	抽出位置	最大水平加速度 (cm/s ²)	最大鉛直加速度 (cm/s ²)
斜面の安定性評価 (2次元地震応答解析)	44.0	節点①	742	585
		節点②	740	-463
		節点③	731	447

注：最大加速度は，加速度の方向を問わず抽出