

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添2-002-36
提出年月日	2023年1月11日

VI-2-2-36 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の
耐震性についての計算書

2023年1月

中国電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	9
3. 耐震評価	10
3.1 地震時荷重算出断面	10
3.2 使用材料及び材料の物性値	11
3.3 許容限界	12
3.3.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性に対する許容限界	12
3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	12
3.4 評価方法	14
3.4.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性評価	14
3.4.2 基礎地盤の支持性能評価	17
4. ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震時応答	18
5. 耐震評価結果	21
5.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性に対する評価結果	21
5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	22

別紙 付帯設備の耐震評価

1. 概要

本資料は、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に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

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 に示す。

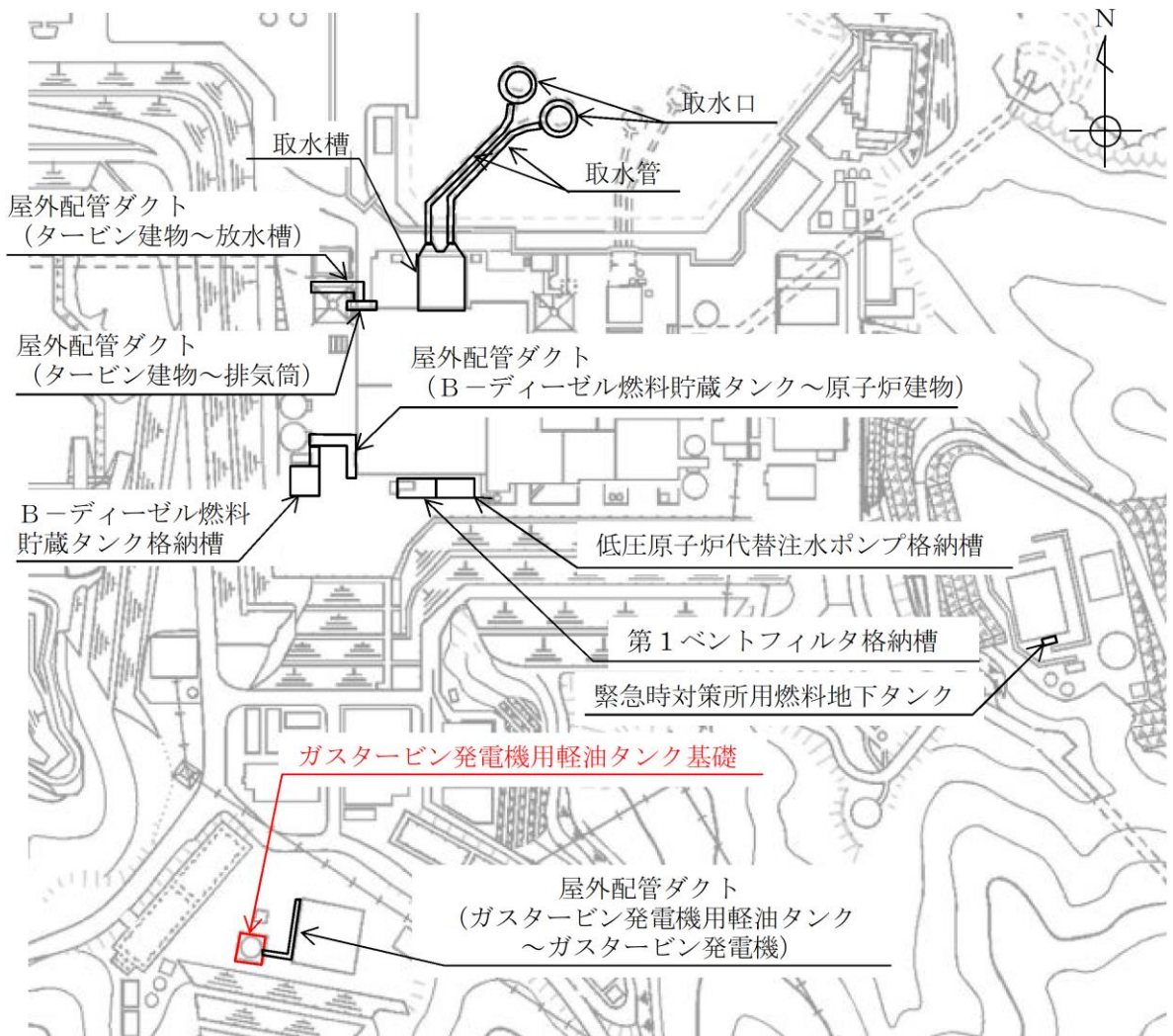


図 2-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 位置図

2.2 構造概要

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の平面図を図 2-2、断面図を図 2-3、概略配筋図を図 2-4 に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、内径 9.8m、容量 560m³のタンク 1 基を支持する平面寸法 18.0m×18.0m、厚さ 1.4m の鉄筋コンクリート造の構造物であり、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。

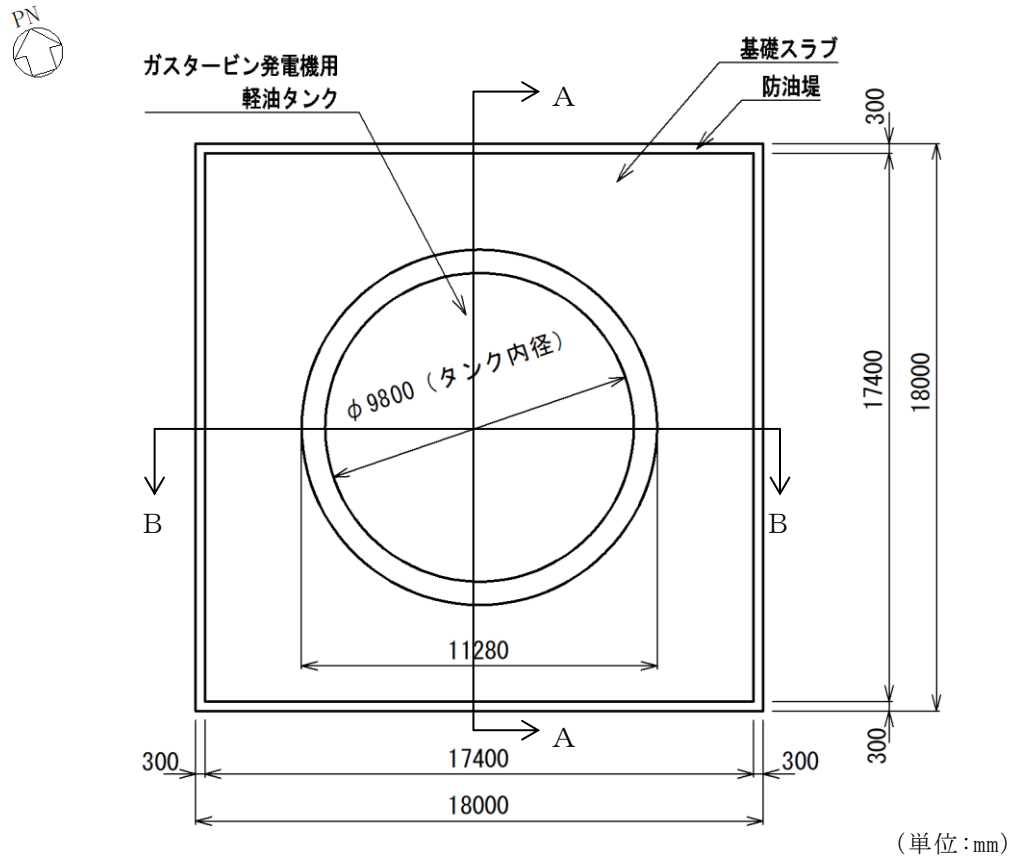
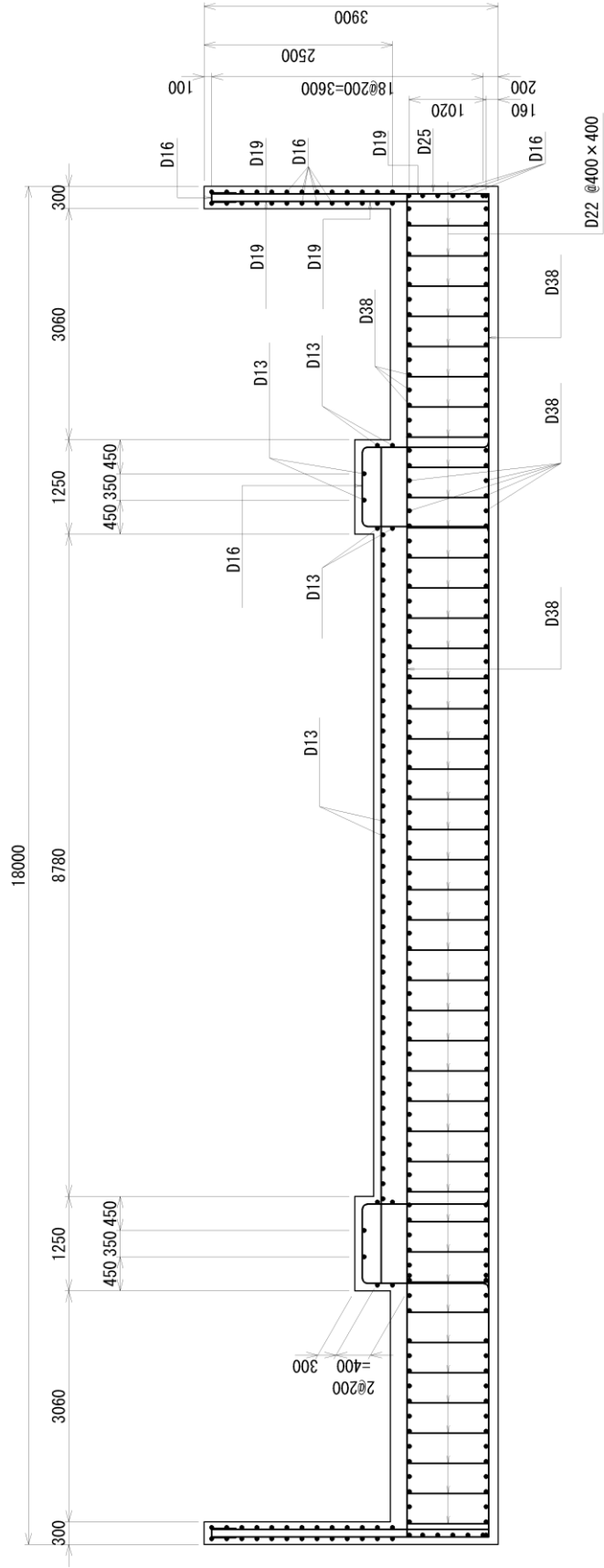


図 2-2 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図



[単位：mm]

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)

2.3 評価方針

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、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が設置される重大事故等対処施設に分類される。

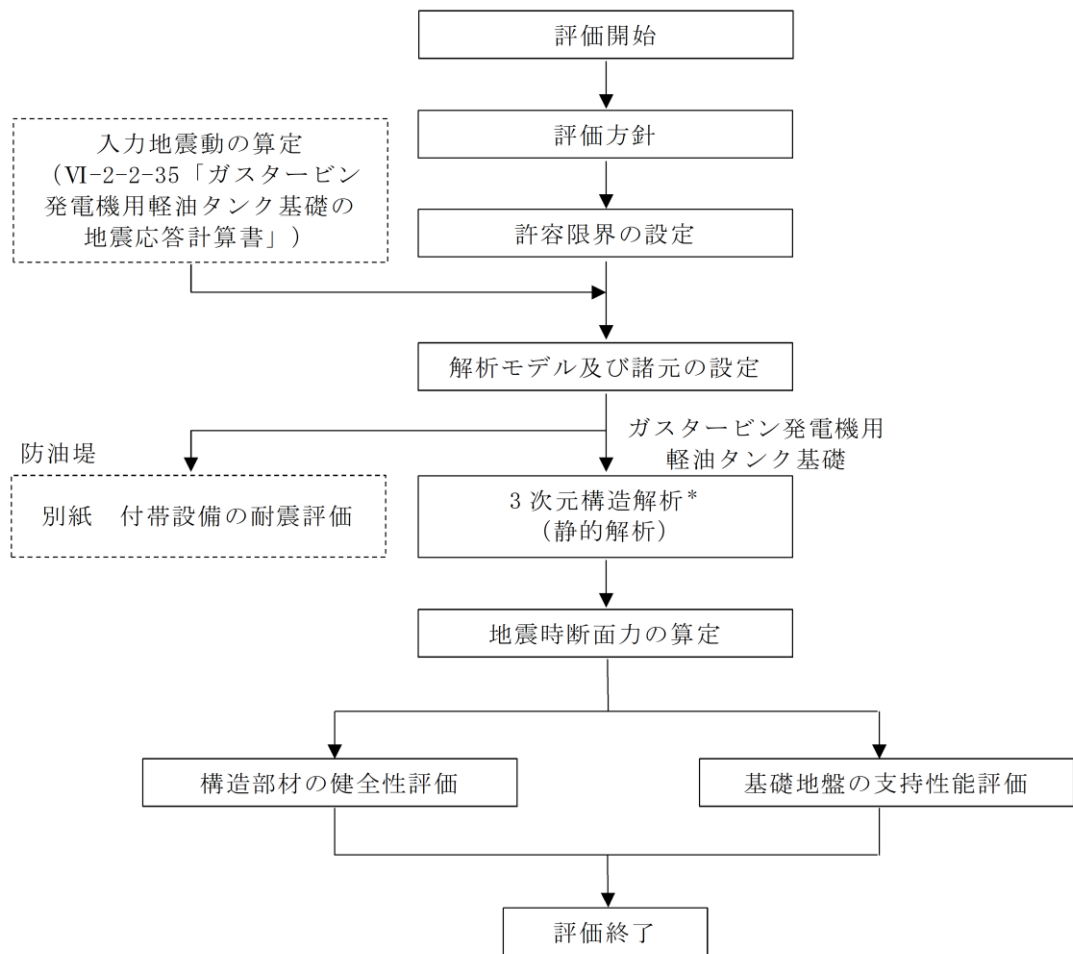
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、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」より得られた地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設の評価として、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。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要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備を支持する機能を維持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について、耐震評価を実施する。付帯設備（防油堤）の耐震評価については、別紙に示す。

構造部材の健全性評価については、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」より得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた 3 次元静的線形解析（線形シェル要素）により応答値を算定し、曲げ・軸力系の破壊に対しては照査用曲げモーメントが許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、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」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。



注記*：地盤物性のばらつきを考慮する。

図 2-5 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価フロー

表 2-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	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*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力度*	

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震性評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市観測第234号）
- ・Eの数値を算出する方法並びに V_0 及び風力係数の数値を定める件（平成12年5月31日建設省告示第1454号）

3. 耐震評価

3.1 地震時荷重算出断面

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震時荷重算定断面位置図を図3-1に示す。地震時荷重算出断面は、構造物の対称性からA-A断面とする。

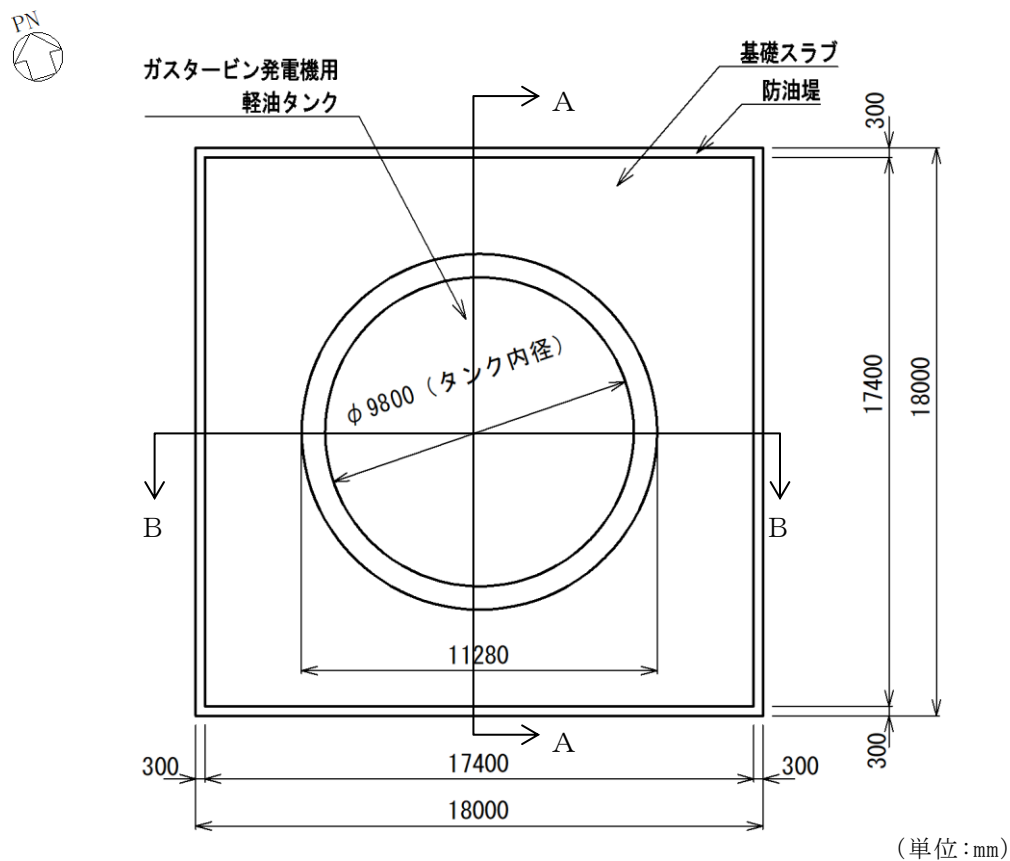


図3-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地震時荷重算出断面位置図

3.2 使用材料及び材料の物性値

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 24N/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)	2.50×10 ⁴
	ポアソン比	0.2

3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の曲げ・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〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）（以下「コンクリート標準示方書」という。）に基づき、**終局曲げモーメント**とする。

(2) せん断破壊に対する許容限界

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎のせん断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、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎周辺の岩級分布（A-A断面）を図3-2、基礎岩盤（C_L級）の極限支持力及びガスタービン発電機用軽油タンク基礎直下のMMRの支圧強度を表3-3に示す。

基礎岩盤（C_L級）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、基礎岩盤（C_L級）の極限支持力**度**とする。

また、MMRについては、接地圧に対する許容限界をコンクリート標準示方書に基づくコンクリートの支圧強度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界は、基礎岩盤（C_L級）とMMRの許容限界を比較し、小さい値の基礎岩盤（C_L級）の許容限界を使用する。

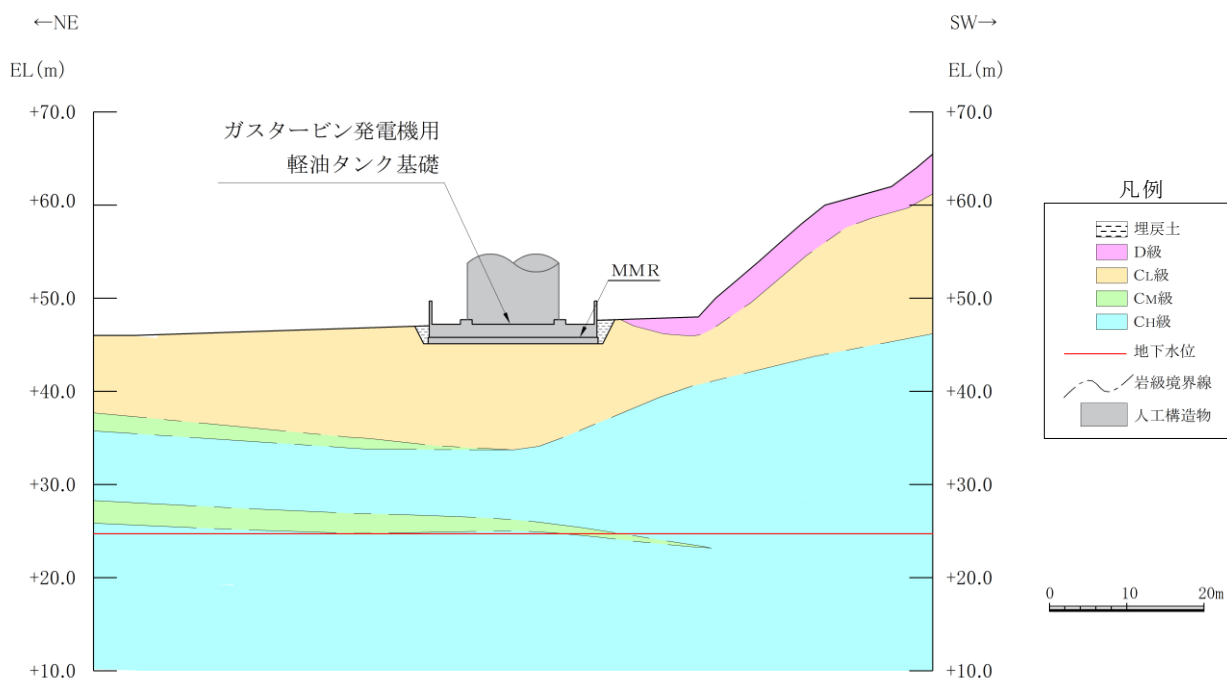


図 3-2 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎岩級分布図 (A-A断面)

表 3-3 基礎岩盤 (C_L級) の極限支持力及びMMRの支圧強度

評価項目	許容限界 (N/mm ²)	
	基礎岩盤 (C _L 級)	極限支持力
MMR	支圧強度	18.0

3.4 評価方法

3.4.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性評価

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性評価においては、鉄筋コンクリート部材を線形シェル要素でモデル化し、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。

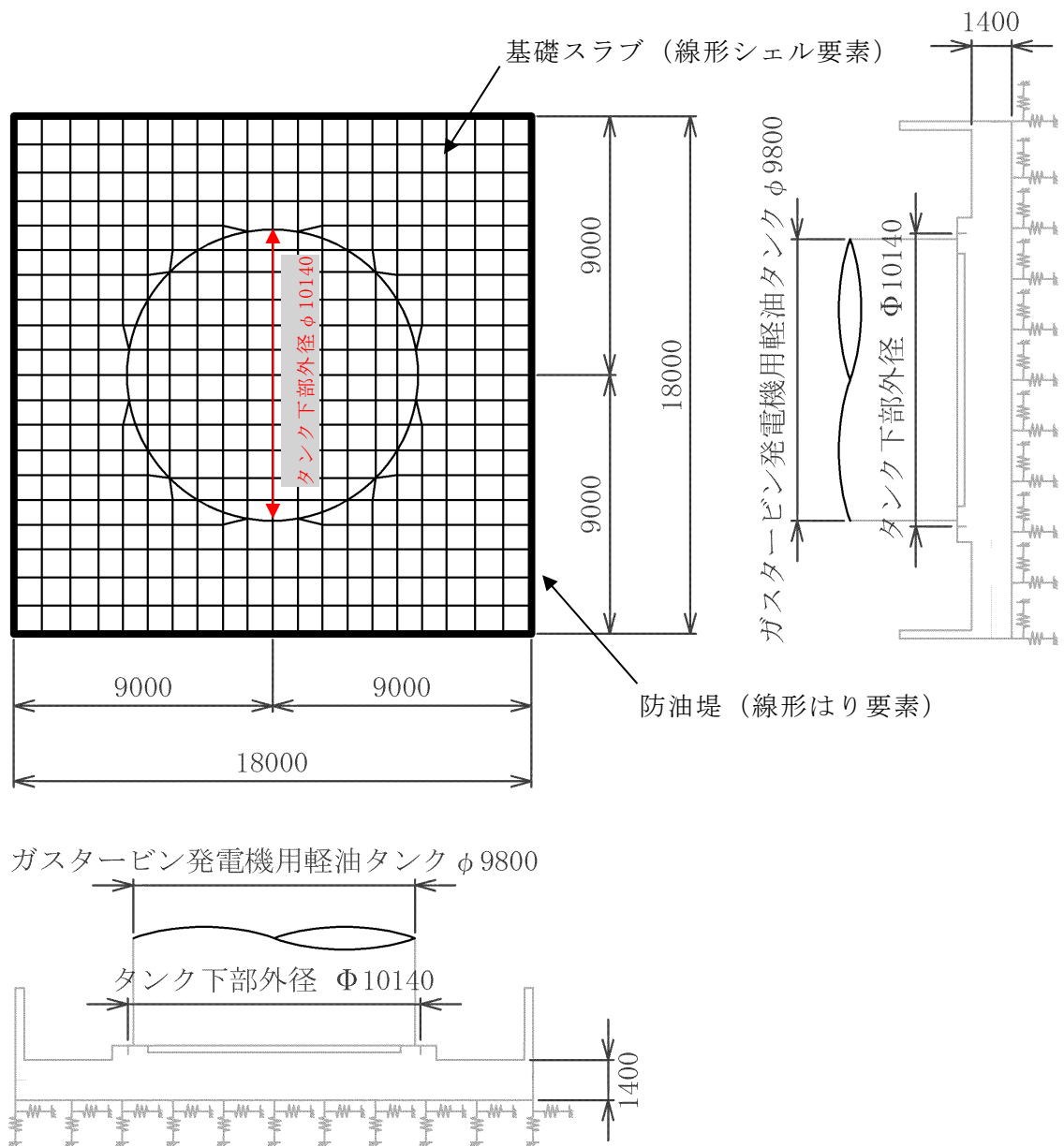
3次元構造解析の入力荷重は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」の地震応答解析において、鉄筋コンクリート部材の評価に支配的な荷重が最大となる時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から設定する。

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、「3.3 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

(1) 解析モデル

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、線形シェル要素でモデル化する。モデルの概念図を図3-3に示す。

構造物の底面には、地盤ばねを配置する。地震時解析においては、表3-4に示す振動アドミッタンス理論に基づき求めた水平ばね及び鉛直ばねの地盤反力係数を用いる。



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 3-3 3次元構造解析モデル概念図

表 3-4 地盤反力係数

物性のばらつき	地盤反力係数 (kN/m ³)	
	水平ばね	鉛直ばね
平均値	3.506×10^5	1.115×10^6
平均値 + σ	4.960×10^5	1.580×10^6
平均値 - σ	2.290×10^5	7.268×10^5

(2) 照査時刻

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎はガスタービン発電機用軽油タンクを間接支持する構造物であり，その耐震評価にはガスタービン発電機用軽油タンクからの外力が支配的である。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の照査時刻は，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）について，ガスタービン発電機用軽油タンク **下端**の曲げモーメントが最大となる時刻とする。

(3) 入力荷重

3次元構造解析の入力荷重は，設計値及び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」より得られた地震応答解析に基づく「(2) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 3-5 に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は平面形状が正方形のため，水平2方向及び鉛直方向の荷重を使用する。水平1方向目は，「(2) 照査時刻」で選定した照査時刻における地震動の応答値を使用する。水平2方向目は，水平1方向目の地震動と直交する地震動（直交する地震動を設定していない場合は同一の地震動）の同時刻における応答値を使用する。鉛直方向は，地震動（鉛直成分）の同時刻における応答値を使用する。

なお，方向性を持たない地震動を水平1方向目とする場合には，保守的に，水平2方向目に同一の地震動を使用する。

表 3-5 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価における入力荷重

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 ・ 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"> ・ 躯体に作用する慣性力 ・ タンク及び防油堤から受ける地震時荷重

3.4.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、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」に基づく地震応答解析により算定した基礎地盤に発生する接地圧が、「3.3 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

4. ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震時応答

水平2方向及び鉛直方向の荷重による3次元構造解析に基づくガスタービン発電機用軽油タンク基礎の曲げ・軸力照査における最大照査値での断面力分布を図4-1及び図4-2に、せん断力照査における最大照査値での断面力分布を図4-3に示す。

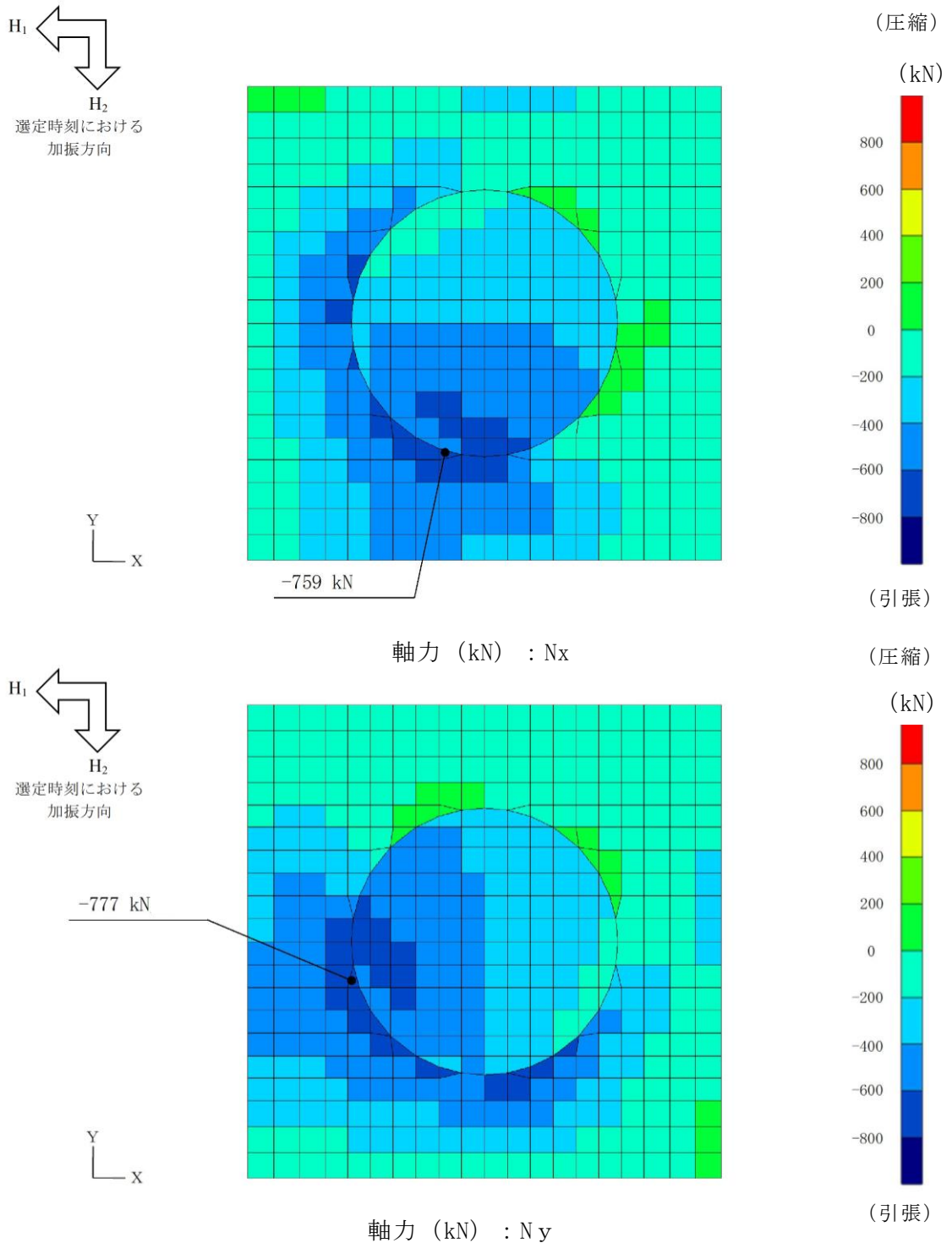
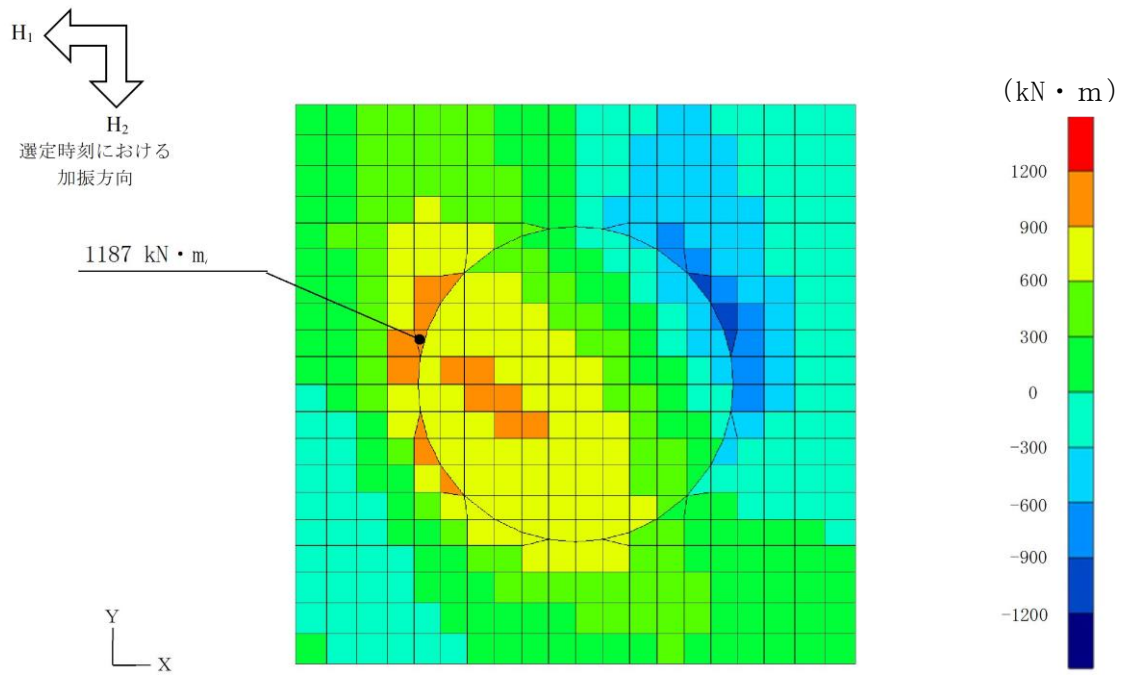
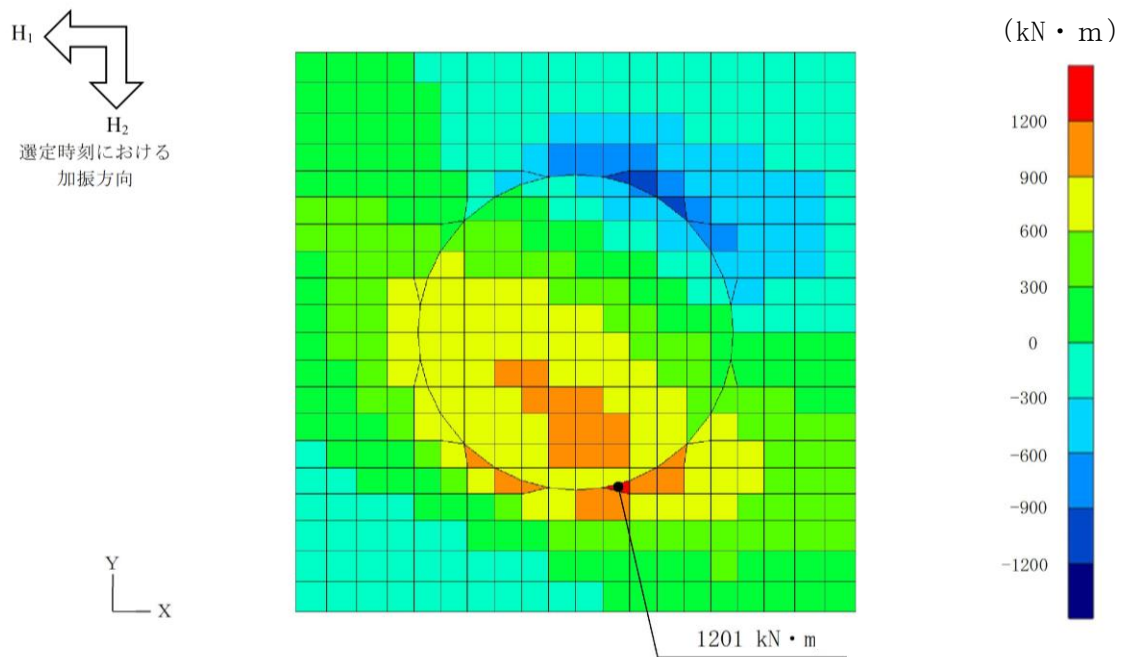


図4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する断面力分布図
 (解析ケース③, $S_s - D$, $t = 15.268s$)

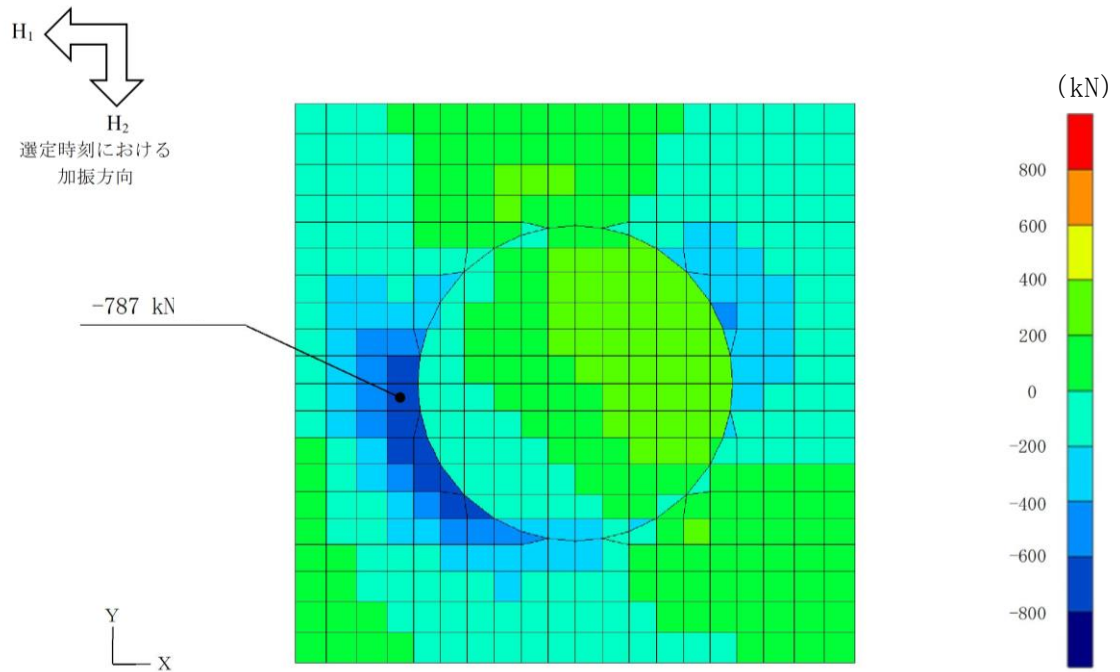


曲げモーメント (kN · m) : M_x

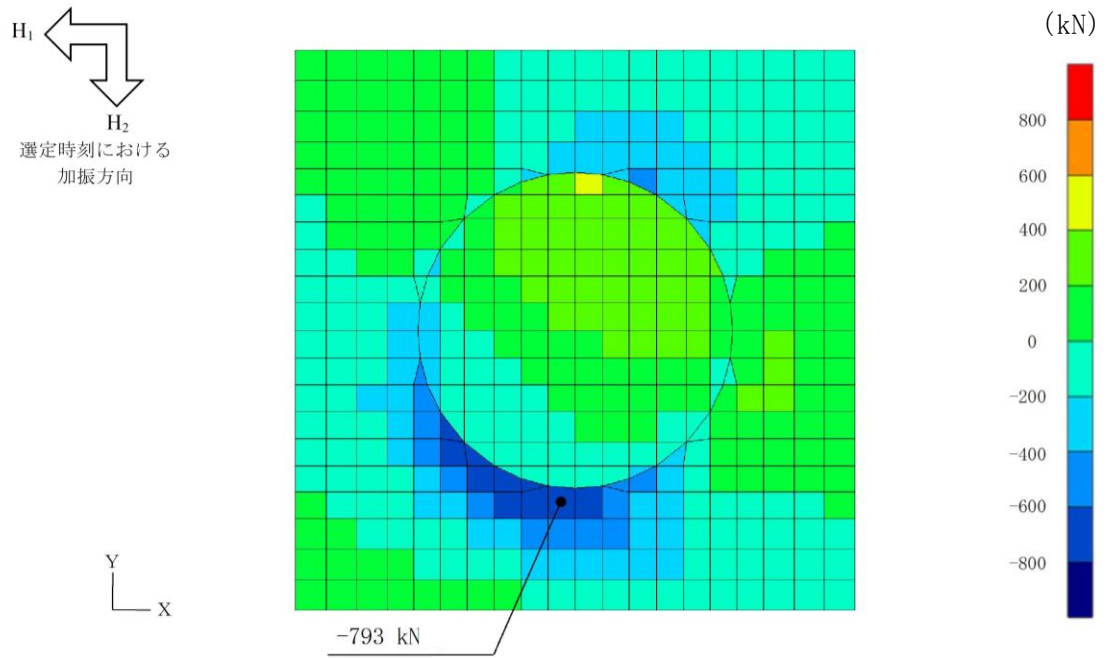


曲げモーメント (kN · m) : M_y

図 4-2 曲げ・軸力系の破壊に対する断面力分布図
 (解析ケース③, $S_s - D$, $t = 15.268s$)



せん断力 (kN) : Q_x



せん断力 (kN) : Q_y

図 4-3 せん断破壊に対するせん断力分布図
 (解析ケース③, $S_s - D$, $t = 15.268s$)

5. 耐震評価結果

5.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性に対する評価結果

水平2方向及び鉛直方向の荷重によるガスタービン発電機用軽油タンク基礎の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表5-1に、せん断破壊に対する最大照査値を表5-2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5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動*	時刻	照査用曲げモーメント M_d (kN・m)	終局曲げモーメント M_u (kN・m)	照査値 M_d/M_u
③	S s - D	15.268s	1201	2329	0.52

注記*：水平2方向目：S s - D，鉛直方向：S s - D (UD)

表5-2 せん断破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動*	時刻	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	15.268s	793	1245	0.64

注記*：水平2方向目：S s - D，鉛直方向：S s - D (UD)

5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

水平2方向及び鉛直方向の荷重による基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表5-3に示す。また、最大照査値発生位置を図5-1に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の基礎地盤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5-3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

解析 ケース	地震動*	時刻	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
③	S s - D	15.268s	0.42	3.9	0.11

注記*：水平2方向目：S s - D，鉛直方向：S s - D (UD)

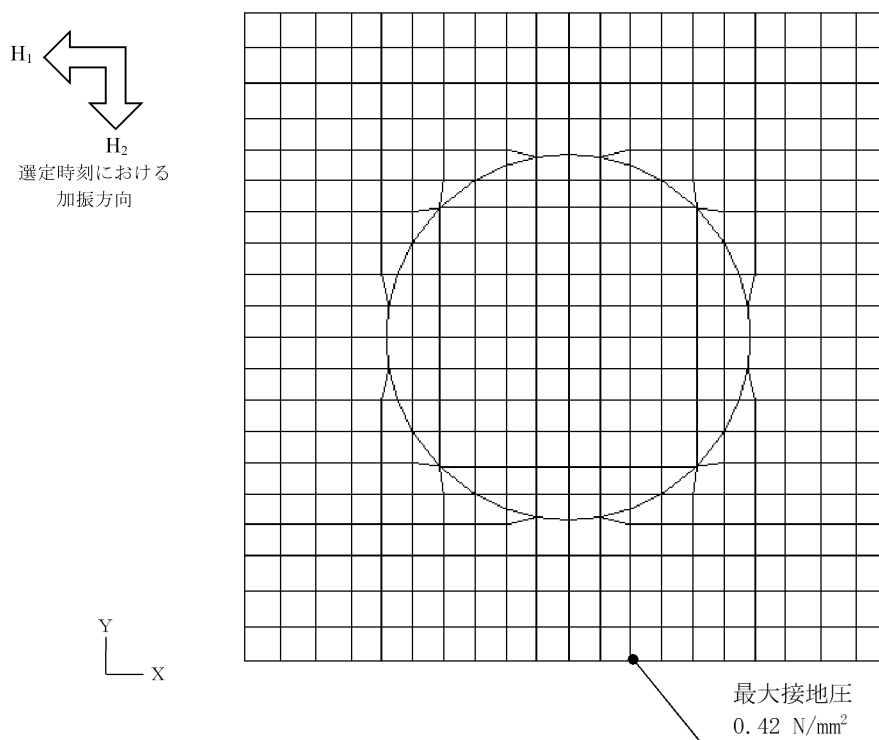


図5-1 最大照査値発生位置図（解析ケース③，S s - D， $t=15.268s$ ）

別紙 付帯設備の耐震評価

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造概要	1
2.2 評価方針	2
3. 耐震評価	4
3.1 評価対象断面	4
3.2 解析モデル	6
3.3 材料特性	7
3.4 照査用震度	8
3.5 入力荷重	8
3.6 許容限界	9
4. 耐震評価結果	10
4.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	10
4.2 せん断破壊に対する評価結果	10

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、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」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。

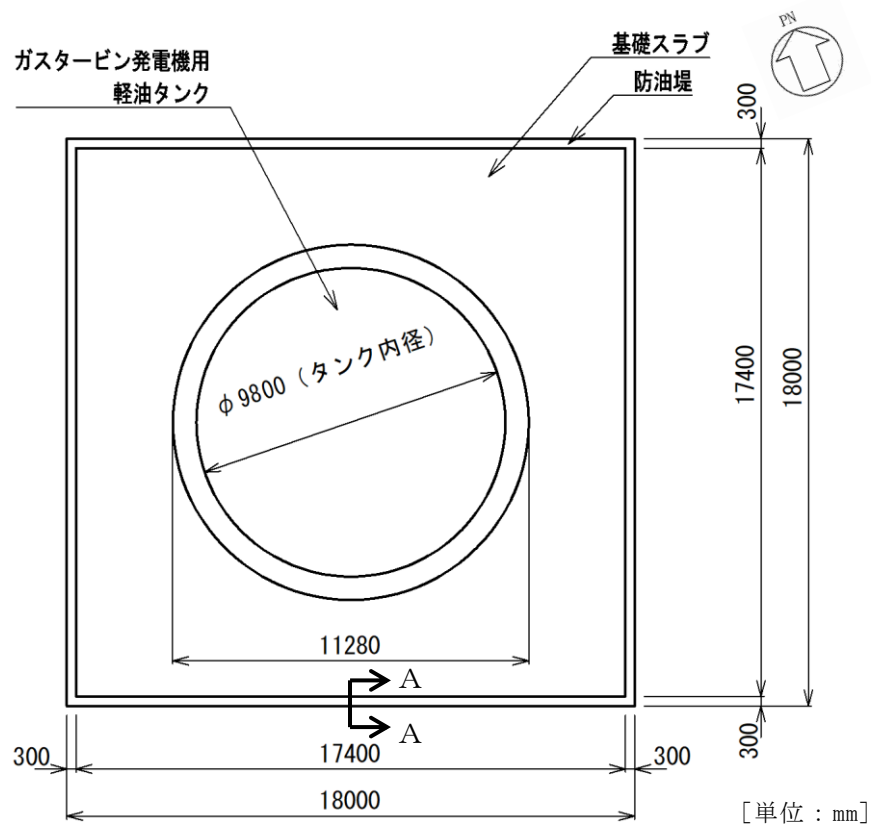


図2-1 防油堤 配置図

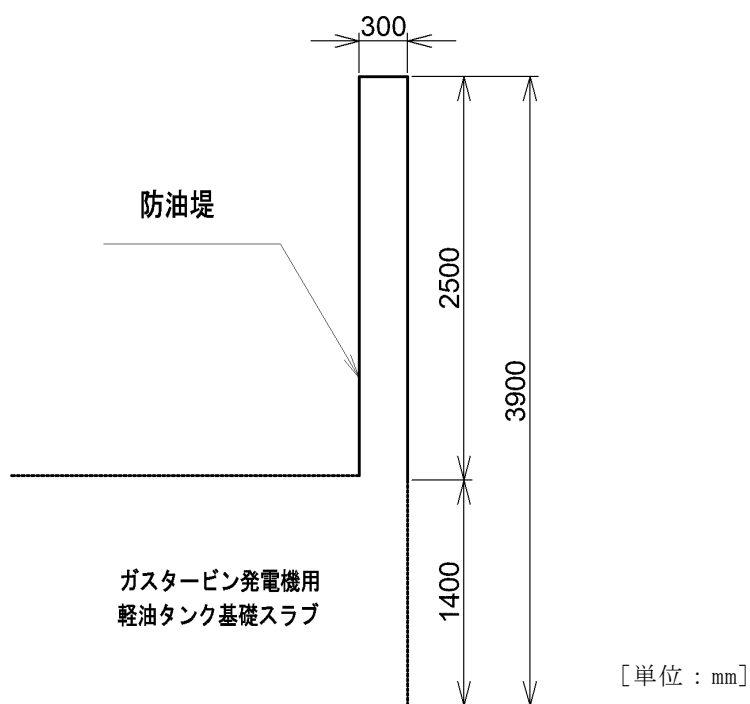


図 2-2 防油堤 断面図 (A-A 断面)

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、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」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。

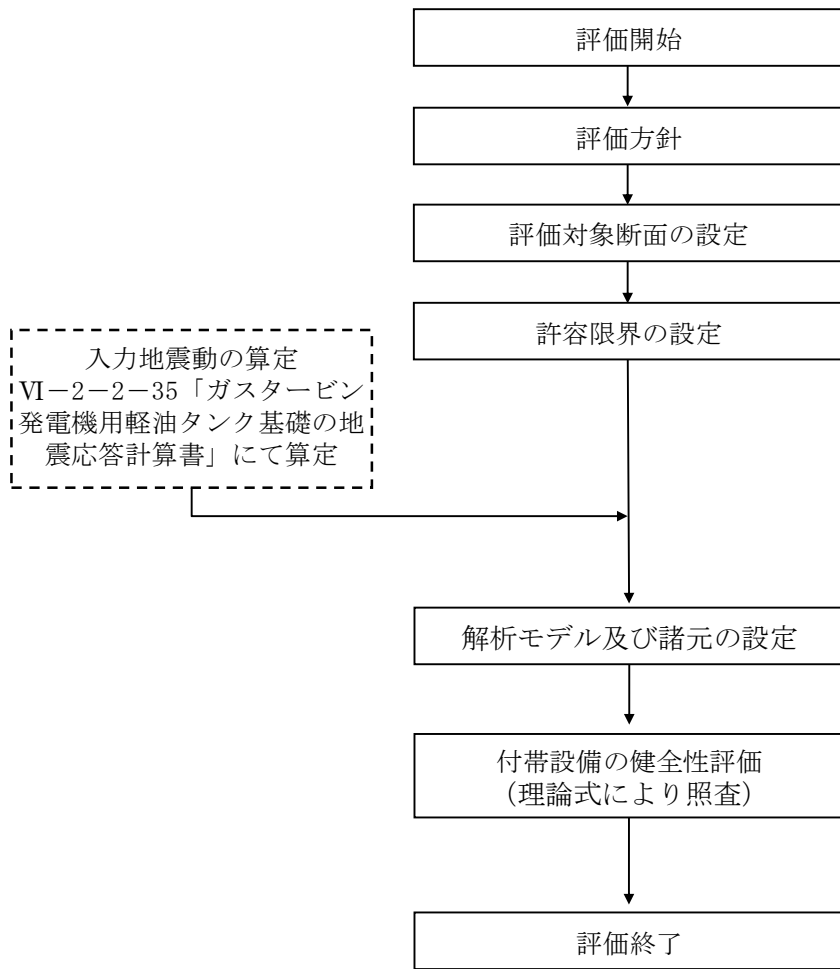


図 2-3 付帯設備の耐震評価フロー

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
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。

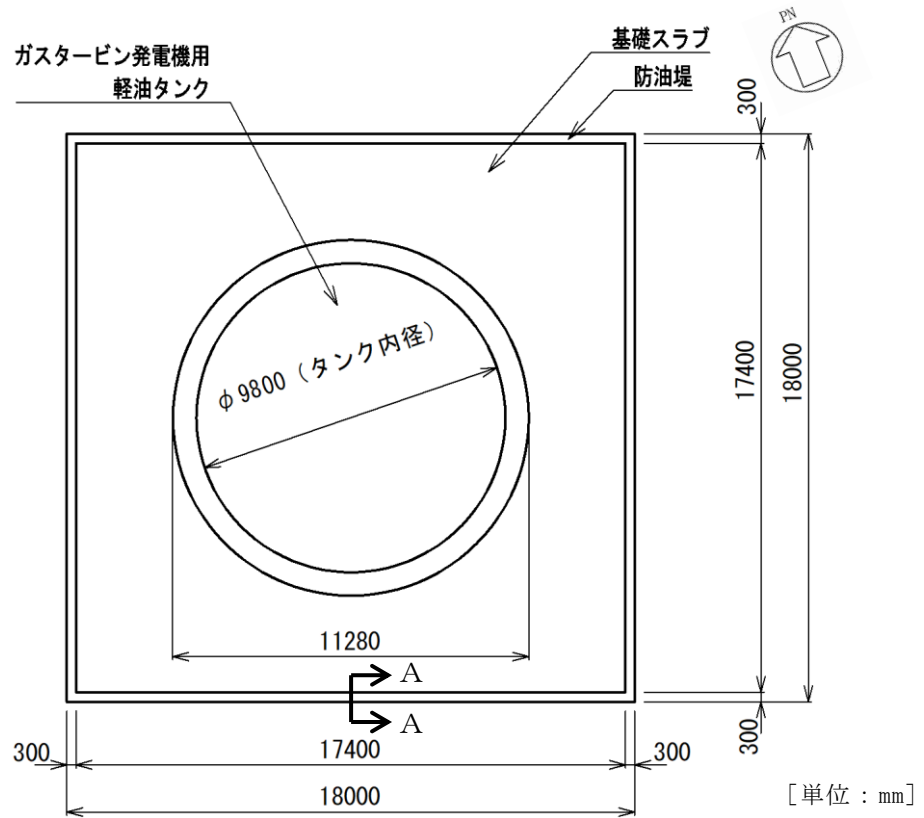
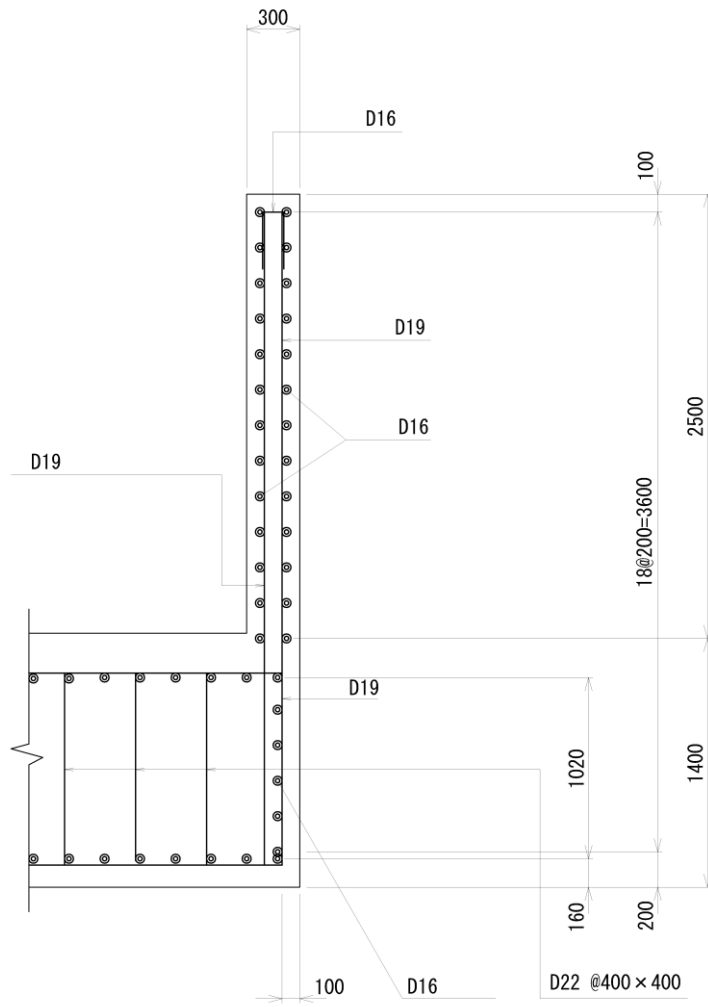


図 3-1 防油堤 評価断面位置図



[单位：mm]

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。

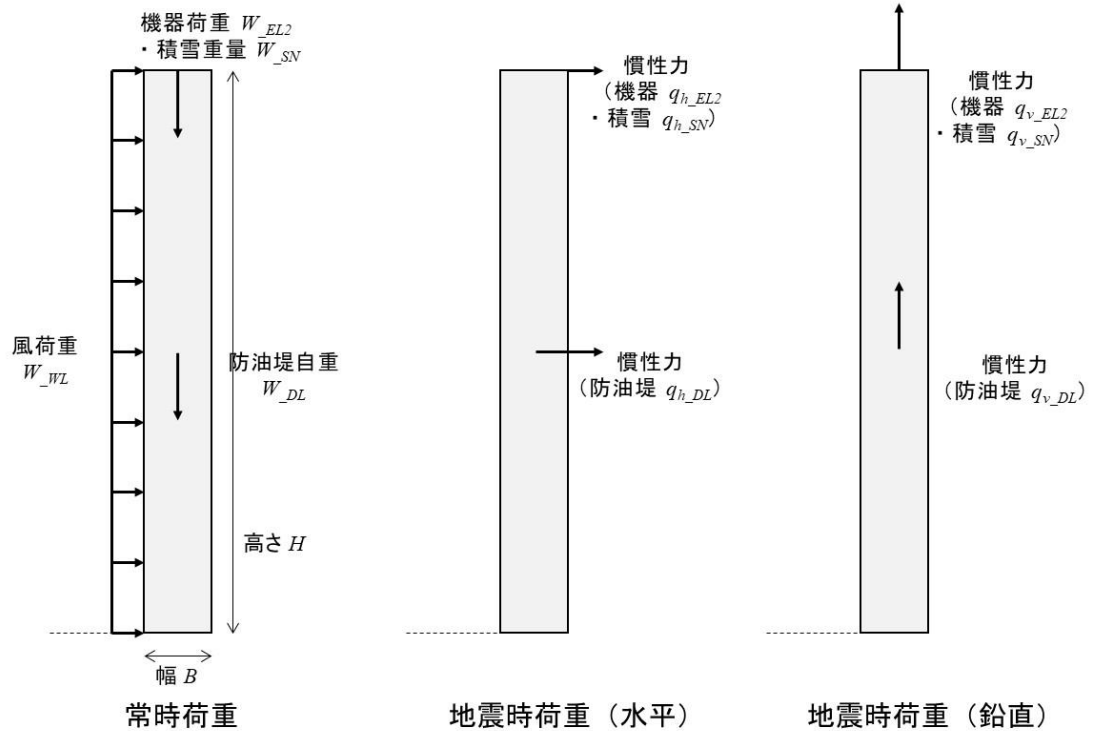


図 3-3 防油堤の解析モデル

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

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 24N/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)	2.50×10 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*1	時刻	照査用震度	
			水平震度 K_h	鉛直震度 K_v *2
③	S s - D	11.155s	2.40	-0.03

注記*1：鉛直方向：S s - D（UD）

*2：鉛直震度は正の値が鉛直上向き、負の値が鉛直下向きを表す。

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。

なお、積載荷重にはVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づく積雪荷重及び風荷重を考慮する。

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
常時 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	慣性力	防油堤に作用する慣性力

3.6 許容限界

(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。

(2) せん断破壊に対する許容限界

防油堤のせん断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、コンクリートのせん断耐力とする。

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

解析 ケース	地震動*	時刻	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)	照査値 M/M _u
③	S s - D	11.155s	58	99	0.59

注記*：鉛直方向：S s - D (UD)

4.2 せん断破壊に対する評価結果

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

解析 ケース	地震動*	時刻	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	11.155s	46	111	0.42

注記*：鉛直方向：S s - D (UD)