

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

| | |
|-------------------------|------------------|
| 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | KK7添-3-014-14 改1 |
| 提出年月日 | 2020年 6月11日 |

V-3-別添 2-9 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の
強度計算書

K7 ① V-3-別添 2-9 R0

2020年 6月
東京電力ホールディングス株式会社

目 次

| | |
|----------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 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 | 7 |
| 3. 強度評価方法 | 8 |
| 3.1 記号の定義 | 8 |
| 3.2 評価対象部位 | 11 |
| 3.3 荷重及び荷重の組合せ | 12 |
| 3.4 許容限界 | 13 |
| 3.5 評価方法 | 15 |
| 4. 評価条件 | 22 |
| 5. 強度評価結果 | 27 |

1. 概要

本資料は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板が降下火砕物等の堆積時においても、外部事象防護対象施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認するものである。

2. 基本方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の軽油タンクエリアに設置する。軽油タンクエリアの位置図を図 2-1 に示す。

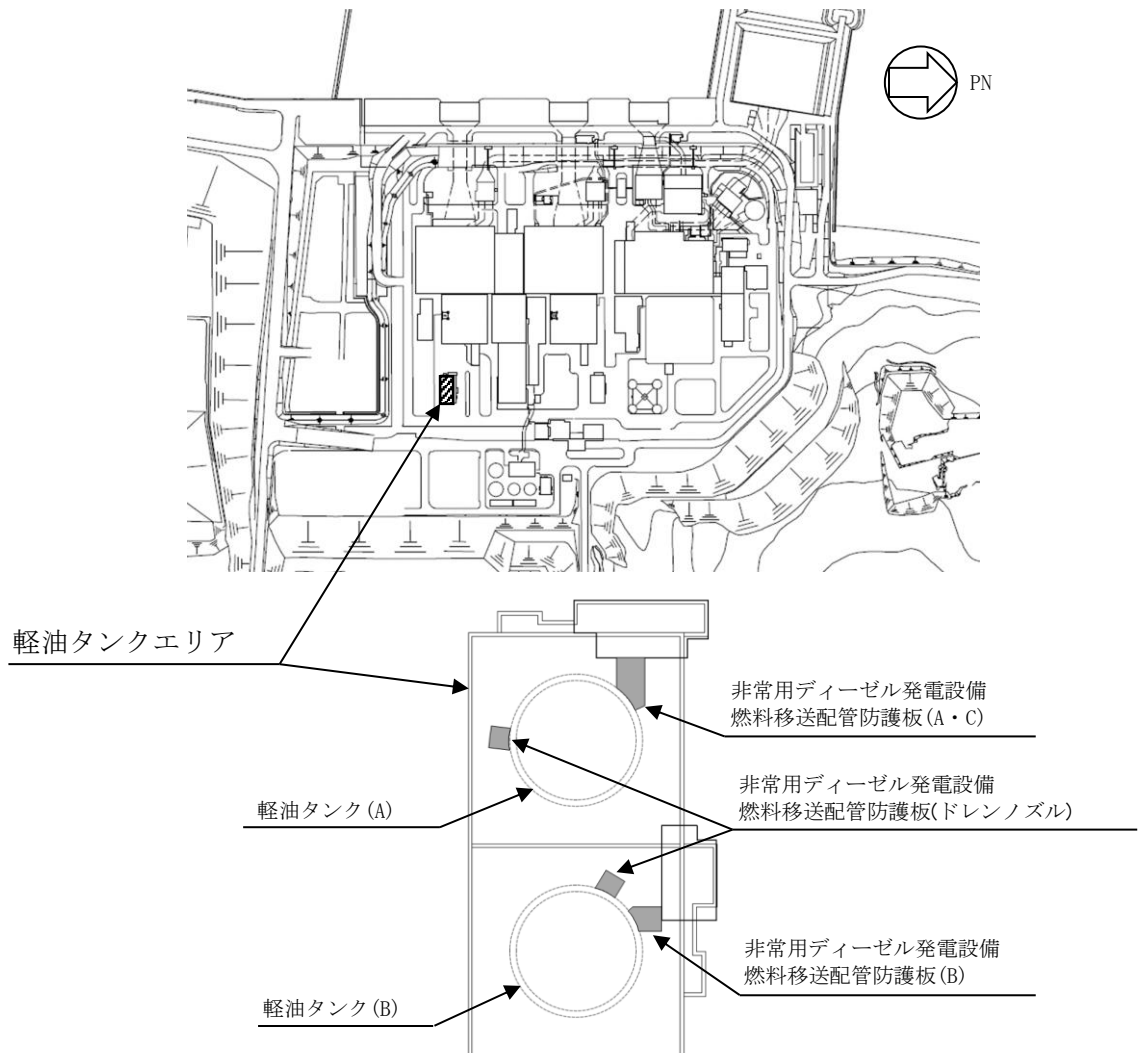


図 2-1 軽油タンクエリアの位置図

2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管に降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板、防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する基礎ボルトから構成される。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の概要図を図 2-2 から図 2-4 に示す。

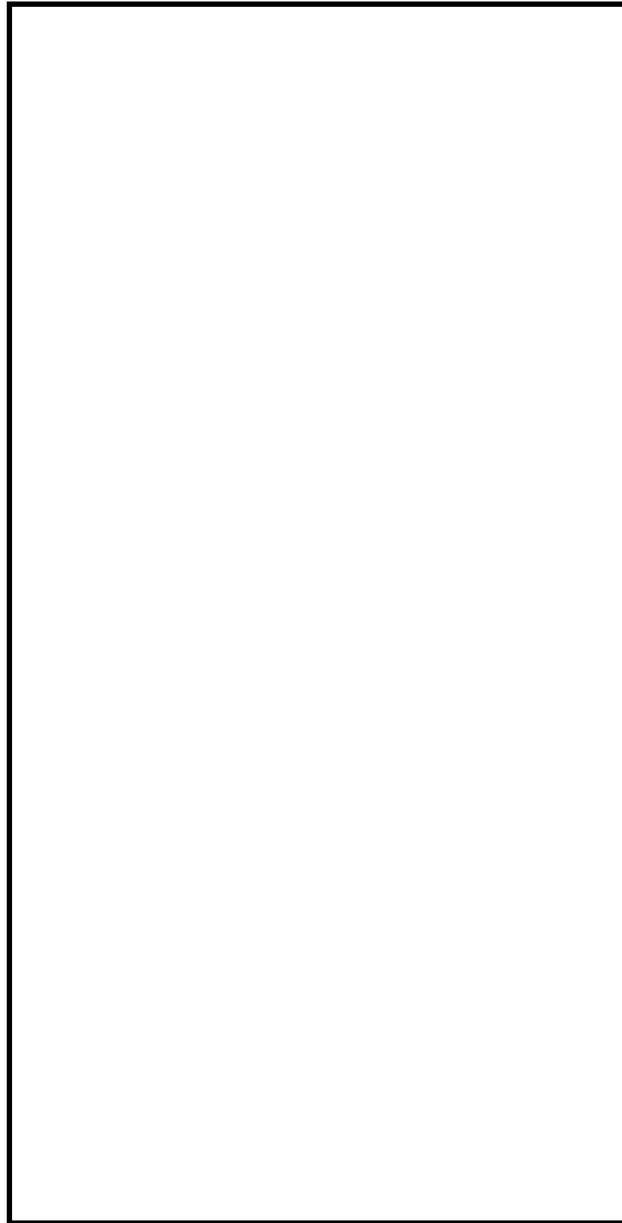


図 2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (A・C) の概要図

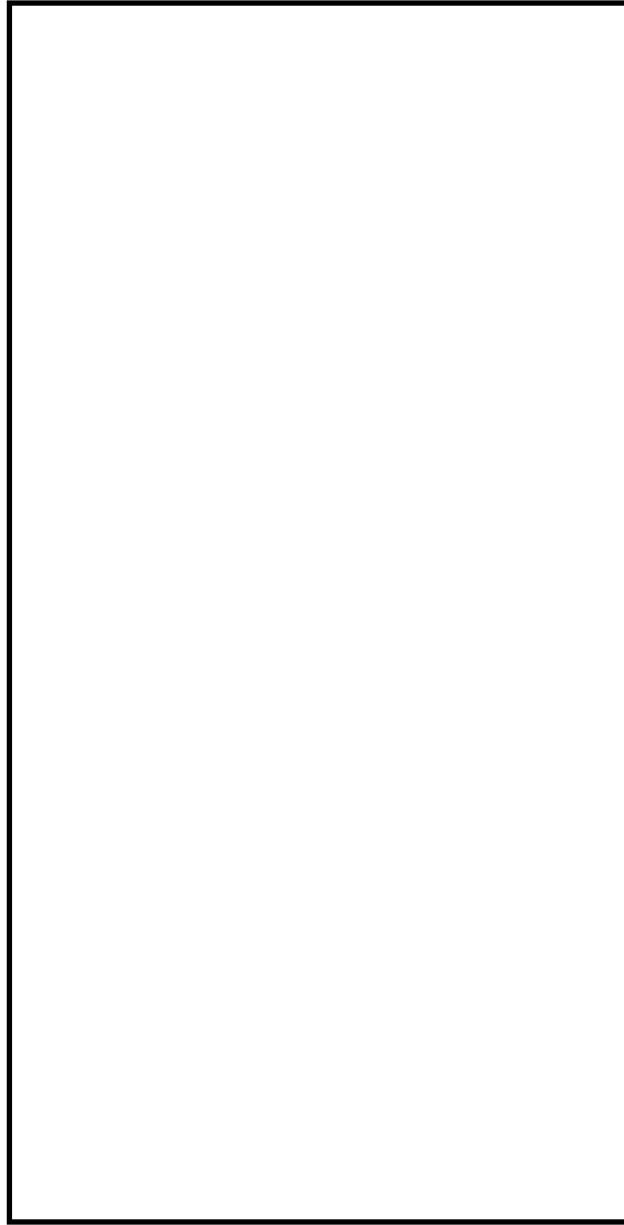


図 2-3 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (B) の概要図

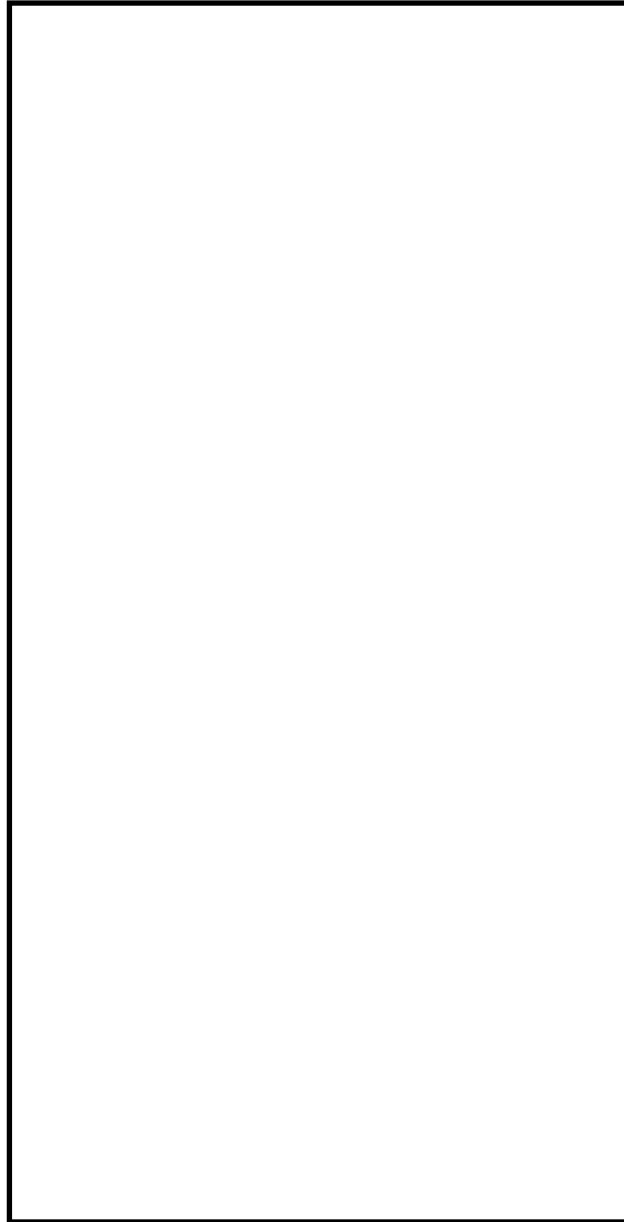


図 2-4 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル）の概要図

2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価フローを図 2-5 に示す。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、建築基準法施行令第 86 条に基づき、防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出する。強度評価においては、FEMによる応力解析を用いる。また、基礎ボルトに対して、「各種合成構造設計指針・同解説 2010 年改定」（日本建築学会）の評価方法を準用し、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態 $IV_A S$ とする。

「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「J S M E」という。）付録材料図表 part5, 6 の表にて許容応力を計算する際は、周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

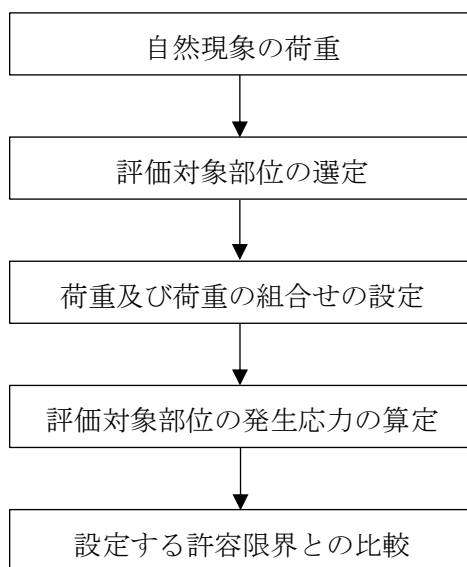


図 2-5 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007（日本機械学会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984（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 1-1987（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（日本電気協会）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年改定）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (1/3)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|------------------|------------------|--------------------------------------|
| A | mm ² | 架構の断面積 |
| A _{qc} | mm ² | せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 |
| A _s | mm ² | 鋼板の単位長さ当たりの断面積 |
| A _{sy} | mm ² | 架構のせん断断面積 (y 軸) |
| A _{sz} | mm ² | 架構のせん断断面積 (x 軸) |
| sca | mm ² | 基礎ボルトの断面積 |
| C _H | — | 弾性設計用地震動 S d による水平方向設計震度 |
| C _V | — | 弾性設計用地震動 S d による鉛直方向設計震度 |
| d | mm | 基礎ボルトの径 |
| E | MPa | 縦弾性係数 |
| F | MPa | J S M E SSB-3121.1(1)に定める値 |
| F* | MPa | J S M E SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値 |
| F _{sx} | N | 防護鋼板の膜力 (x 軸) |
| F _{sy} | N | 防護鋼板の膜力 (y 軸) |
| F _{sxy} | N | 防護鋼板のせん断力 |
| F _{Vk} | N | 従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 |
| F _{Vs} | N | 従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 |
| f _b * | MPa | 架構の許容曲げ応力 |
| f _c * | MPa | 架構の許容圧縮応力 |
| f _s * | MPa | 架構の許容せん断応力 |
| f _t * | MPa | 架構又は防護鋼板の許容引張応力 |
| g | m/s ² | 重力加速度 |
| i | mm | 断面二次半径 |
| L _{ce} | mm | 基礎ボルトの強度算定用埋込み長さ |
| L _e | mm | 基礎ボルトの有効埋込み長さ |
| ℓ _k | mm | 座屈長さ |

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (2/3)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|--------------|------|---|
| M_y | N・mm | 架構の曲げモーメント (y 軸) |
| M_z | N・mm | 架構の曲げモーメント (z 軸) |
| M_{s_x} | N・mm | 防護鋼板の曲げモーメント (x 軸) |
| M_{s_y} | N・mm | 防護鋼板の曲げモーメント (y 軸) |
| $M_{s_{xy}}$ | N・mm | 防護鋼板のねじりモーメント |
| m | kg | 解析モデル各節点の付加質量の合計 |
| N_c | N | 架構の軸力 (圧縮) |
| N_t | N | 架構の軸力 (引張) |
| n | — | 架構と壁及び床の取付部1箇所当たりの基礎ボルトの本数 |
| n_f | — | 評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数 |
| p | N | ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトの引張力 |
| p_a | N | ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトの許容引張力 |
| p_{a1} | N | 基礎ボルトの降伏により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張応力 |
| p_{a3} | N | 基礎ボルトの付着力により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容引張応力 |
| Q_y | N | 架構のせん断力 (y 軸) |
| Q_z | N | 架構のせん断力 (z 軸) |
| q | N | ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトのせん断力 |
| q_a | N | ベースプレート1枚当たりの基礎ボルトの許容せん断力 |
| q_{a1} | N | 基礎ボルトのせん断強度により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断力 |
| q_{a2} | N | 定着した躯体の支圧強度により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断力 |
| q_{a3} | N | 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の基礎ボルト1本当たりの許容せん断力 |
| R_x | N | ベースプレート部の反力 (x 軸) |
| R_y | N | ベースプレート部の反力 (y 軸) |
| R_z | N | ベースプレート部の反力 (z 軸) |
| S | MPa | J SME 付録材料図表 Part5 表 5 に定める許容引張応力 |
| S_u | MPa | J SME 付録材料図表 Part5 表 9 に定める設計引張強さ |
| S_y | MPa | J SME 付録材料図表 Part5 表 8 に定める設計降伏点 |

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (3/3)

| 記号 | 単位 | 定義 |
|----------------------|-----------------|--|
| $S_y (RT)$ | MPa | J SME 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける設計降伏点 |
| X, Y, Z | — | 絶対 (節点) 座標軸 |
| x, y, z | — | 局所 (要素) 座標軸 |
| Z_b | mm ³ | 鋼板の断面係数 |
| Z_y | mm ³ | 架構の断面係数 (y 軸) |
| Z_z | mm ³ | 架構の断面係数 (z 軸) |
| Z_t | mm ³ | 鋼板のねじり断面係数 |
| Λ | — | 架構の限界細長比 |
| λ | — | 架構の有効細長比 |
| ν | — | ポアソン比 |
| ν' | — | 座屈に対する安全率 |
| π | — | 円周率 |
| σ | MPa | 防護鋼板の組合せ応力 |
| σ_x, σ_y | MPa | 互いに直交する垂直応力 |
| ${}_c \sigma_{qa}$ | MPa | コンクリートの支圧強度 |
| ${}_c \sigma_t$ | MPa | コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 |
| ${}_s \sigma_{pa}$ | MPa | 基礎ボルトの引張強度 |
| ${}_s \sigma_{qa}$ | MPa | 基礎ボルトのせん断強度 |
| σ_{by} | MPa | 架構に生じる曲げ応力 (y 軸) |
| σ_{bz} | MPa | 架構に生じる曲げ応力 (z 軸) |
| σ_c | MPa | 架構に生じる圧縮応力 |
| σ_t | MPa | 架構に生じる引張応力 |
| τ | MPa | 防護鋼板に生じるせん断応力 |
| τ_a | MPa | へりあき及び基礎ボルトのピッチを考慮した基礎ボルトの引張力に対する付着力 |
| τ_y | MPa | 架構に生じるせん断応力 (y 軸) |
| τ_z | MPa | 架構に生じるせん断応力 (z 軸) |
| ϕ_1 | — | 低減係数 長期 : 2/3 短期 : 1.0 |
| ϕ_2 | — | 低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3 |
| ϕ_3 | — | 低減係数 長期 : 1/3 短期 : 2/3 |

3.2 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、防護鋼板、架構及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物が堆積する防護鋼板及び防護鋼板と接続する架構に作用する。また、地震荷重は、架構を介して基礎ボルトに作用する。

このことから、防護鋼板、架構及び基礎ボルトを評価対象部位として設定している。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

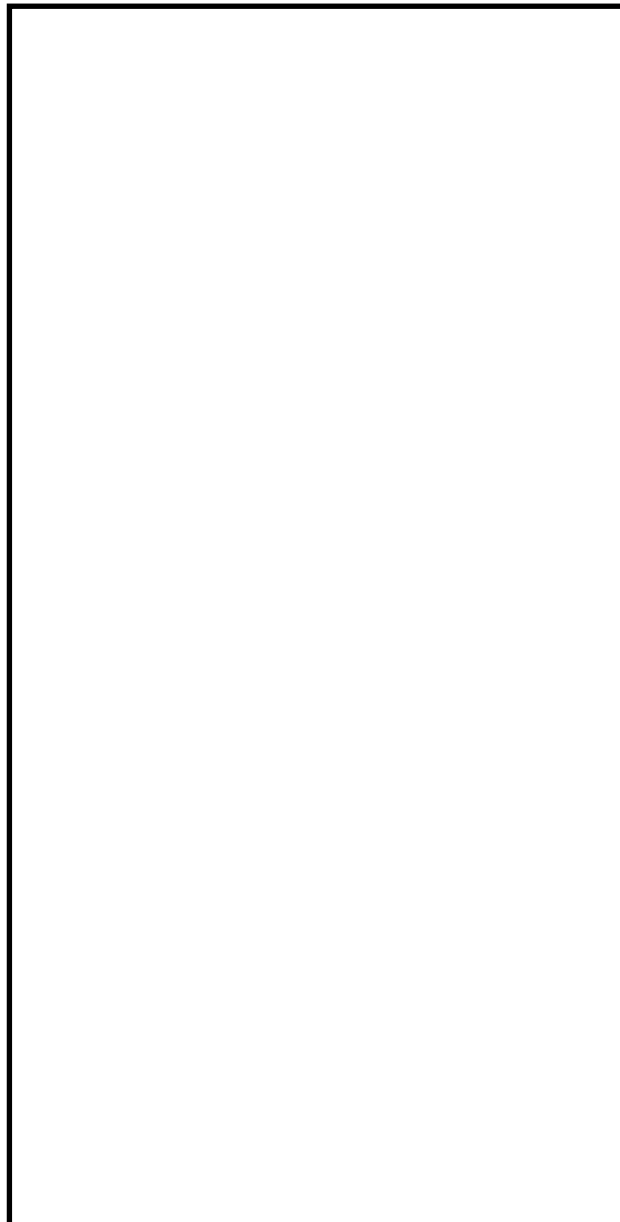


図 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、自重及び積載荷重を考慮する。

b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 (F_{vk} , F_{vs})

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は、 $F_{vk} = 6063\text{N/m}^2$, $F_{vs} = 8542\text{N/m}^2$ とする。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は、弾性設計用地震動 S_d による地震力を考慮することを踏まえて、3次元 FEM による固有値解析に基づき得られた固有周期に対応した設計震度 ($C_H = 0.89$, $C_V = 0.65$) によって発生する水平荷重及び鉛直荷重を算出する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位ごとに設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の防護鋼板には、積載荷重、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の架構及び基礎ボルトには、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

| 施設名称 | 評価対象部位 | 荷重 |
|-------------------------------|--------|--|
| 非常用ディーゼル 発電設備燃料移送 配管防護板 | 防護鋼板 | ①自重，積載荷重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重 |
| | 架構 | ①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重 |
| | 基礎ボルト | ①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重 |

3.4 許容限界

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界値は、V-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づく許容応力状態IV_ASの許容応力及び「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010年改定）」に基づく短期荷重を用いる。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する防護鋼板及び架構の許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他支持構造物」の許容応力を適用する。基礎ボルトの許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会 2010年改定）」に基づき算出した短期荷重を許容限界として適用する。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界について、防護鋼板及び架構の許容限界を表 3-3、基礎ボルトの許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-3 防護鋼板及び架構の許容限界

| 状態 | 温度 条件 (°C) | 許容限界*1, *2 (ボルト以外) | | | |
|-----------------------------|------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
| | | 一次応力 | | | |
| | | 引張 | せん断 | 圧縮 | 曲げ |
| 許容応力 状態IV _A S | 40 | $1.5f_t^*$ | $1.5f_s^*$ | $1.5f_c^*$ | $1.5f_b^*$ |

注記*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 基礎ボルトの許容限界

| 区分 | 温度 条件 (°C) | 許容限界* | |
|----|------------------|-------|-------|
| | | 1次応力 | |
| | | 引張 | せん断 |
| 短期 | 40 | p_a | q_a |

注記* : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

3.5 評価方法

防護鋼板、架構及び基礎ボルトはFEM解析にて評価を行う。

FEM解析に使用する解析コードは「NX NASTRAN」である。

なお、評価に用いる解析コードNX NASTRANの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(1) 荷重条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重条件を表3-5に示す。

表3-5 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重条件

| 荷重条件 | 入力荷重 (N/m ²) |
|--|-----------------------------|
| 従荷重として地震荷重を組み合わせるときの の降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F_{vk} | 6063 |
| 従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの の降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F_{vs} | 8542 |

(2) 計算モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は防護鋼板及び架構から構成されることから、防護鋼板はシェル要素、架構は梁要素でモデル化して評価を行う。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板のFEM解析に用いるモデル図を図3-2から図3-4に、諸元を表3-6に示す。

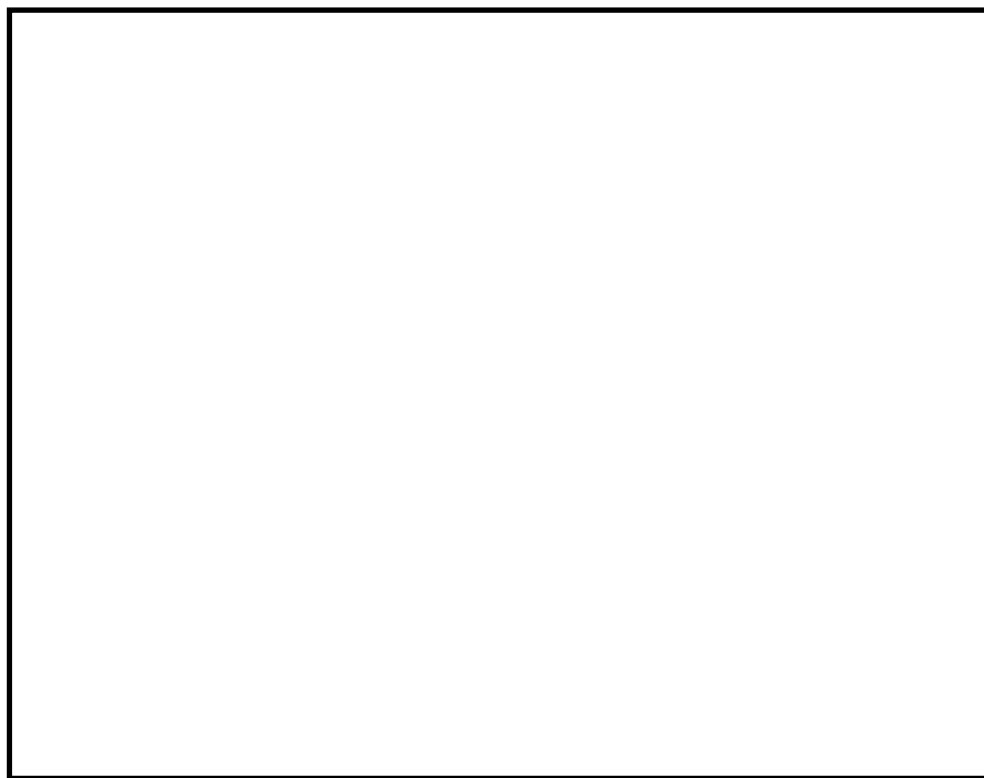


図 3-2 FEM解析に用いるモデル図（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（A・C））

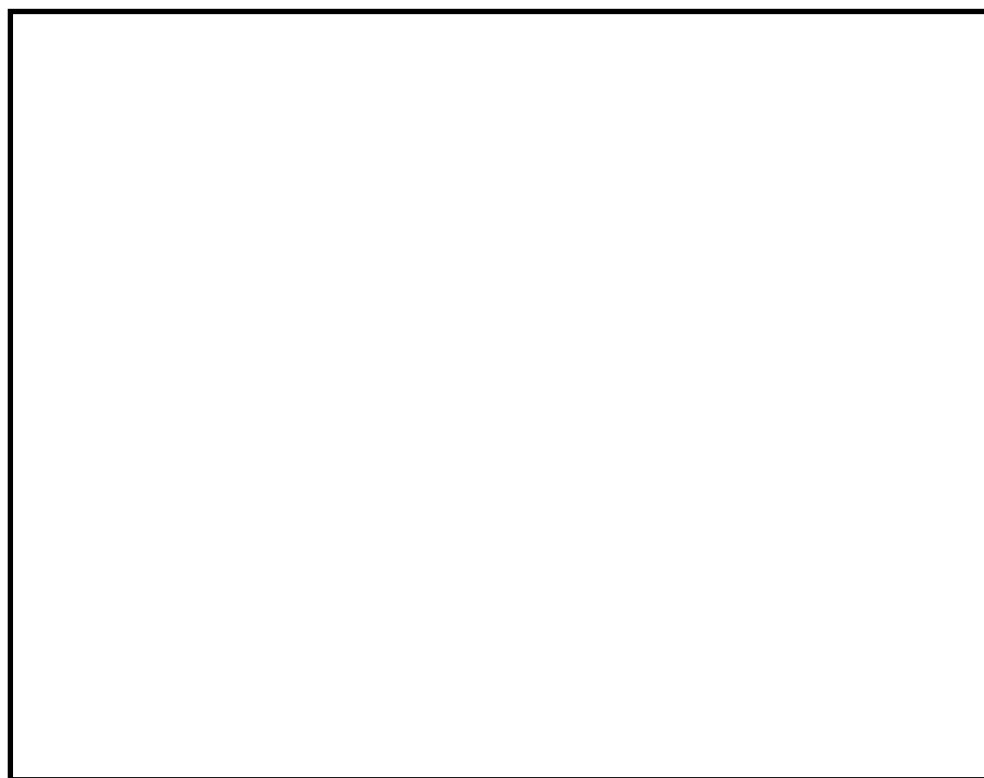


図 3-3 FEM解析に用いるモデル図（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)）



図 3-4 FEM解析に用いるモデル図

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル))

表 3-6 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の諸元

| 部材 | 材料 | 周囲環境温度 (°C) | 縦弾性係数 E (MPa) | ポアソン比 ν (—) |
|------|---------|----------------|---------------------|-----------------------|
| 防護鋼板 | SS400 | 40 | 2.02×10^5 | 0.3 |
| 架構 | STKR400 | 40 | 2.02×10^5 | 0.3 |

(3) 応力の計算方法

a. 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素での膜力 F_{s_x} , F_{s_y} , せん断力 $F_{s_{xy}}$, 曲げモーメント M_{s_x} , M_{s_y} 及びねじりモーメント $M_{s_{xy}}$ により組合せ応力を次のように求める。

(a) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2}$$

ここで,

$$\sigma_x = \frac{F_{s_x}}{A_s} \pm \frac{M_{s_x}}{Z_b}, \quad \sigma_y = \frac{F_{s_y}}{A_s} \pm \frac{M_{s_y}}{Z_b}$$

$$\tau = \frac{F_{s_{xy}}}{A_s} \pm \frac{M_{s_{xy}}}{Z_t}$$

b. 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 N_t , N_c , せん断力 Q_y , Q_z 及び曲げモーメント M_y , M_z により各応力を次のように求める。

(a) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

(b) せん断応力

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{s_y}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{s_z}}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_{b_y} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{b_z} = \frac{M_z}{Z_z}$$

(d) 組合せ応力

イ. 圧縮+曲げ

$$\max \left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y}}{1.5f_b^*}, \frac{\sigma_{b_z} + \sigma_{b_y} - \sigma_c}{1.5f_t^*} \right)$$

ロ. 引張+曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5f_t^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5f_b^*}\right)$$

ハ. 曲げ+せん断

$$\max\left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_z^2}}{1.5f_t^*}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_y^2}}{1.5f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合は σ_c を σ_t とする。

c. 基礎ボルトの荷重

基礎ボルトの荷重は、解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端の反力 R_x 、 R_y 及び R_z により各荷重を次のように求める。

(a) 引張荷重

$$p = R_x$$

(b) せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_z^2}$$

(4) 強度評価方法

a. 防護鋼板の応力評価

「(3)a. 防護鋼板の応力」で定めた組合せ応力が許容引張応力 $1.5f_t^*$ 以下であること。

| | 許容応力状態IV _A S |
|----------------------|-----------------------------|
| 許容引張応力 $1.5f_t^*$ | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |

b. 架構の応力評価

「(3)b. 架構の応力」で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は1以下であること。

| | 許容応力状態IV _A S |
|-----------------------|--|
| 許容引張応力 $1.5f_t^*$ | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |
| 許容圧縮応力 $1.5f_c^*$ | $\left\{1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{v'} \cdot 1.5$ |
| 許容せん断応力 $1.5f_s^*$ | $\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |
| 許容曲げ応力 $1.5f_b^*$ | $\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$ |

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2$$

c. 基礎ボルトの評価

「(3)c. 基礎ボルトの荷重」で求めた基礎ボルトの引張荷重 p 及びせん断荷重 q が許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が 1 以下であること。

| | 短期荷重 |
|-----------------|--|
| 許容引張力 p_a | $\min[p_{a1}, p_{a3}] \cdot n_f$ |
| 許容せん断力 q_a | $\min[q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}] \cdot n$ |
| 組合せ | $\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$ |

ただし，

$$p_{a1} = \phi_1 \cdot \sigma_{pa} \cdot s_c \cdot a$$

$$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{ce}$$

$$q_{a1} = \phi_1 \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c \cdot a$$

$$q_{a2} = \phi_2 \cdot \sigma_{qa} \cdot s_c \cdot a$$

$$q_{a3} = \phi_2 \cdot \sigma_t \cdot A_{qc}$$

短期許容せん断力を確保するための基礎ボルトの有効埋め込み長さ L_e は以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geq \frac{\sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 及び表 4-2 示す。

表 4-1 許容応力評価に用いる条件 (1/3)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (A・C))

| 材料 | 温度 (°C) | S_y (MPa) | S_u (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | p_a (N) | q_a (N) |
|------------------|------------|----------------|----------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| SS400 (防護鋼板) | 40 | | | | | — | — |
| STKR400 (架構) | 40 | | | | | — | — |
| SS400 (基礎ボルト) | 40 | | | — | — | | |

| 材料 | E (MPa) | ν' (—) | ϱ_k (mm) | i (mm) | λ (—) |
|----------------|--------------------|---------------|---------------------|-----------|------------------|
| STKR400 [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |
| STKR400 [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |
| | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |

| 材料 | STKR400 | STKR400 | STKR400 |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| A (mm ²) | [] | [] | [] |
| Z_y (mm ³) | [] | | |
| Z_z (mm ³) | | | |

K7 ① V-3-別添 2-9 R0

表 4-1 許容応力評価に用いる条件 (2/3)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B))

| 材料 | 温度 (°C) | S_y (MPa) | S_u (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | p_a (N) | q_a (N) |
|------------------|------------|----------------|----------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| SS400 (防護鋼板) | 40 | | | | | — | — |
| STKR400 (架構) | 40 | | | | | — | — |
| SS400 (基礎ボルト) | 40 | | | — | — | | |

| 材料 | E (MPa) | ν' (—) | ρ_k (mm) | i (mm) | λ (—) |
|----------------|--------------------|---------------|------------------|-----------|------------------|
| STKR400 [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |
| STKR400 [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |
| STKR400 [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |

| 材料 | STKR400 [] | STKR400 [] |
|--------------------------|----------------|----------------|
| A (mm ²) | | |
| Z_y (mm ³) | | |
| Z_z (mm ³) | | |

表 4-1 許容応力評価に用いる条件 (3/3)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル))

| 材料 | 温度 (°C) | S_y (MPa) | S_u (MPa) | F (MPa) | F* (MPa) | p_a (N) | q_a (N) |
|------------------|------------|----------------|----------------|------------|-------------|--------------|--------------|
| SS400 (防護鋼板) | 40 | | | | | — | — |
| STKR400 (架構) | 40 | | | | | — | — |
| SS400 (基礎ボルト) | 40 | | | — | — | | |

| 材料 | E (MPa) | ν' (—) | ρ_k (mm) | i (mm) | λ (—) |
|----------------|--------------------|---------------|------------------|-----------|------------------|
| STKR400 [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |
| [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |
| STKR400 [] | 2.02×10^5 | 0.3 | | | |

| 材料 | STKR400 [] | STKR400 [] |
|--------------------------|----------------|----------------|
| A (mm ²) | | |
| Z_y (mm ³) | | |
| Z_z (mm ³) | | |

K7 ① V-3-別添 2-9 R0

表 4-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件 (1/3)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (A・C))

| 据付場所 及び 床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動 S d (—) | | 最高使用 温度 (°C) | 周囲環境 温度 (°C) |
|---------------------------------|---------|--------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | | |
| 7号機軽油タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0 | 0. 042 | 0. 015 | $C_H=0. 89$ | $C_V=0. 65$ | — | 40 |

| m (kg) | d (mm) | s c a (mm ²) | n (—) | n _f (—) | g (m/s ²) |
|-----------|-----------|-----------------------------|----------|-----------------------|--------------------------|
| | | | | | 9. 80665 |

表 4-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件 (2/3)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (B))

| 据付場所 及び 床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動 S d (—) | | 最高使用 温度 (°C) | 周囲環境 温度 (°C) |
|---------------------------------|---------|--------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | | |
| 7号機軽油タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0 | 0. 038 | 0. 020 | $C_H=0. 89$ | $C_V=0. 65$ | — | 40 |

| m (kg) | d (mm) | s c a (mm ²) | n (—) | n _f (—) | g (m/s ²) |
|-----------|-----------|-----------------------------|----------|-----------------------|--------------------------|
| | | | | | 9. 80665 |

表 4-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件 (3/3)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル))

| 据付場所 及び 床面高さ (m) | 固有周期(s) | | 弾性設計用地震動 S d (—) | | 最高使用 温度 (°C) | 周囲環境 温度 (°C) |
|----------------------------|---------|-------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|
| | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | | |
| 7号機軽油タンク基礎 T.M.S.L.12.0 | 0.044 | 0.015 | $C_H=0.89$ | $C_V=0.65$ | — | 40 |

| m (kg) | d (mm) | s c a (mm ²) | n (—) | n f (—) | g (m/s ²) |
|-----------|-----------|-----------------------------|----------|------------|--------------------------|
| | | | | | 9.80665 |

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5-1, 表 5-2 に示す。

防護鋼板, 架構及び基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果

(ケース 1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (1/3)

| 施設名称 (系統名) | 評価部位 | 材料 | 応力又は荷重 | 発生応力又は 発生荷重 | 許容限界 |
|-----------------------------|-------|---------|------------------|----------------|------|
| 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (A・C) | 防護鋼板 | SS400 | 組合せ | | |
| | 架構 | STKR400 | 引張 | | |
| | | | 圧縮 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 曲げ | | |
| | | | 組合せ* (圧縮+曲げ) | | |
| | | | 組合せ* (引張+曲げ) | | |
| | | | 組合せ* (曲げ+せん断) | | |
| | 基礎ボルト | SS400 | 引張 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 組合せ* (引張+せん断) | | |

注記*: 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果

(ケース 1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (2/3)

| 施設名称 (系統名) | 評価部位 | 材料 | 応力又は荷重 | 発生応力又は 発生荷重 | 許容限界 |
|--------------------------|-----------|---------|------------------|----------------|------|
| 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B) | 防護鋼板 | SS400 | 組合せ | | |
| | 架構 | STKR400 | 引張 | | |
| | | | 圧縮 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 曲げ | | |
| | | | 組合せ* (圧縮+曲げ) | | |
| | | | 組合せ* (引張+曲げ) | | |
| | 基礎 ボルト | SS400 | 組合せ* (曲げ+せん断) | | |
| | | | 引張 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 組合せ* (引張+せん断) | | |

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果

(ケース 1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (3/3)

| 施設名称 (系統名) | 評価部位 | 材料 | 応力又は荷重 | 発生応力又は 発生荷重 | 許容限界 |
|--------------------------------|-----------|---------|------------------|----------------|------|
| 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル) | 防護鋼板 | SS400 | 組合せ | | |
| | 架構 | STKR400 | 引張 | | |
| | | | 圧縮 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 曲げ | | |
| | | | 組合せ* (圧縮+曲げ) | | |
| | | | 組合せ* (引張+曲げ) | | |
| | 基礎 ボルト | SS400 | 組合せ* (曲げ+せん断) | | |
| | | | 引張 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 組合せ* (引張+せん断) | | |

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果

(ケース 2: 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (1/3)

| 施設名称 (系統名) | 評価部位 | 材料 | 応力又は荷重 | 発生応力又は 発生荷重 | 許容限界 |
|-----------------------------|-----------|---------|------------------|----------------|------|
| 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (A・C) | 防護鋼板 | SS400 | 組合せ | | |
| | 架構 | STKR400 | 引張 | | |
| | | | 圧縮 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 曲げ | | |
| | | | 組合せ* (圧縮+曲げ) | | |
| | | | 組合せ* (引張+曲げ) | | |
| | 基礎 ボルト | SS400 | 組合せ* (曲げ+せん断) | | |
| | | | 引張 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 組合せ* (引張+せん断) | | |

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果

(ケース 2 : 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (2/3)

| 施設名称 (系統名) | 評価部位 | 材料 | 応力又は荷重 | 発生応力又は 発生荷重 | 許容限界 |
|--------------------------|-----------|---------|------------------|----------------|------|
| 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B) | 防護鋼板 | SS400 | 組合せ | | |
| | 架構 | STKR400 | 引張 | | |
| | | | 圧縮 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 曲げ | | |
| | | | 組合せ* (圧縮+曲げ) | | |
| | | | 組合せ* (引張+曲げ) | | |
| | 基礎 ボルト | SS400 | 組合せ* (曲げ+せん断) | | |
| | | | 引張 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 組合せ* (引張+せん断) | | |

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果

(ケース 2 : 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (3/3)

| 施設名称 (系統名) | 評価部位 | 材料 | 応力又は荷重 | 発生応力又は 発生荷重 | 許容限界 |
|--------------------------------|-----------|---------|------------------|----------------|------|
| 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル) | 防護鋼板 | SS400 | 組合せ | | |
| | 架構 | STKR400 | 引張 | | |
| | | | 圧縮 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 曲げ | | |
| | | | 組合せ* (圧縮+曲げ) | | |
| | | | 組合せ* (引張+曲げ) | | |
| | 基礎 ボルト | SS400 | 組合せ* (曲げ+せん断) | | |
| | | | 引張 | | |
| | | | せん断 | | |
| | | | 組合せ* (引張+せん断) | | |

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。