

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-103
提出年月日	2023年2月14日

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の  
耐震評価について

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 目次

1.	概要	1
2.	構造概要	1
3.	耐震評価方法	2
3.1	記号の定義	2
3.2	評価対象部位	3
4.	固有周期	3
4.1	解析モデル	3
4.2	固有値解析結果	4
5.	構造強度評価	5
5.1	荷重及び荷重の組合せ	5
5.2	許容限界	5
5.3	評価方法	6
6.	評価条件	8
7.	評価結果	9

## 1. 概要

本資料は、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備が設計用地震力に対して構造健全性を維持することを確認するものである。なお、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプに設置されるが、本資料では保守的な評価を目的として寸法・質量ともに大きい非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ（以下「燃料移送ポンプ」という。）に設置される防護対策設備を対象に評価を行う。

## 2. 構造概要

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の概要図を図 2-1 に示す。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、上部の端部に丸みを持たせた鋼製のカバー及び点検用開口蓋（以下「カバー」という。）で燃料移送ポンプを覆う構造となっており、基礎ボルトで固定されたポンプ台に固定されている。

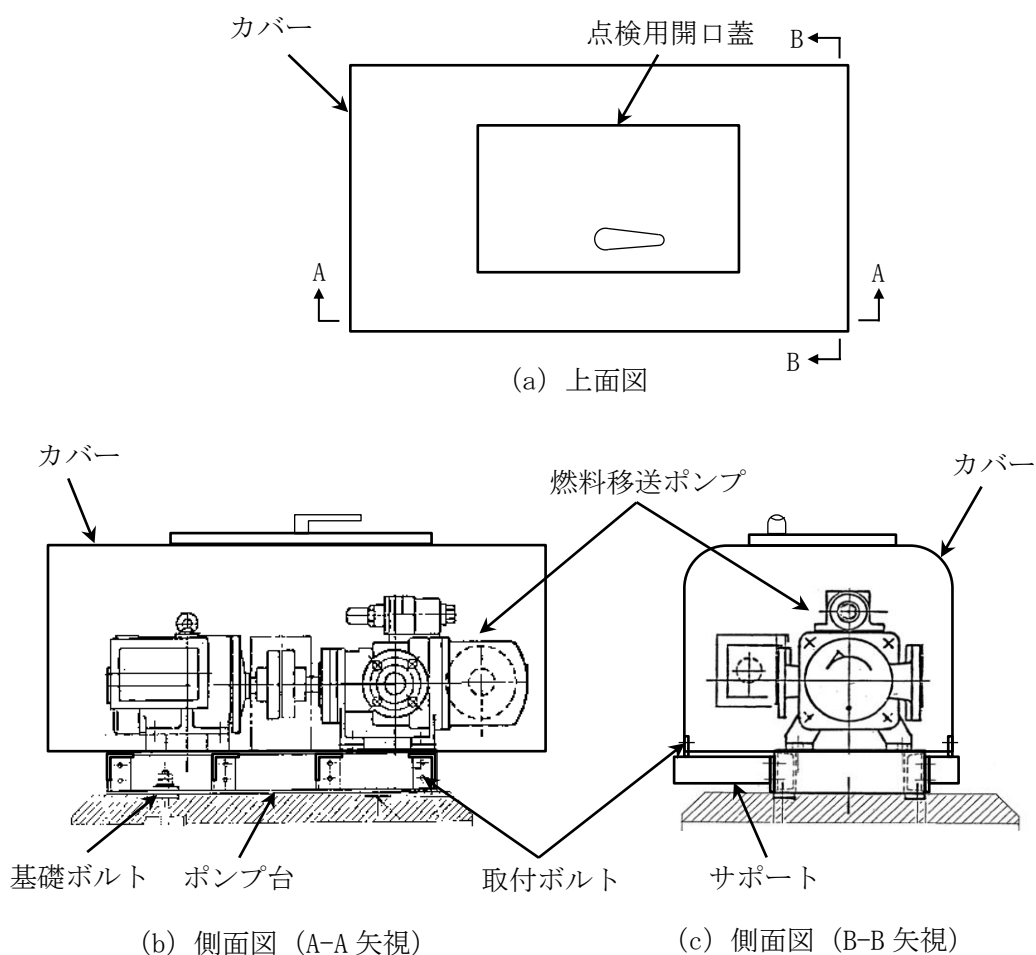


図 2-1 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の概要図

### 3. 耐震評価方法

#### 3.1 記号の定義

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の耐震評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
$A_{bi}$	mm <sup>2</sup>	ボルト断面積*
$F^*$	MPa	J SME SSB-3121.3 又は SSB-3133 により規定される値
$C_P$	—	ポンプによる震度
$C_H$	—	設計用地震力による水平方向震度
$C_V$	—	設計用地震力による鉛直方向震度
$f_s^*$	MPa	ボルトの許容せん断応力
$f_t^*$	MPa	ボルトの許容引張応力
$f_{ts}^*$	MPa	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）
$g$	m/s <sup>2</sup>	重力加速度（=9.80665）
$F_H$	N	水平方向荷重
$F_V$	N	鉛直方向荷重
$M$	N・mm	ボルト軸周りの転倒モーメント
$h$	mm	カバー頂点からポンプ台までの長さ
$l_b$	mm	カバー取付ボルト間距離
$l_{i1}$	mm	カバー取付ボルト～サポート取付ボルト間距離*
$l_{i2}$	mm	サポート支点間距離*
$l_{i3}$	mm	定着部ボルト間距離*
$m$	kg	カバー，サポート他の全質量
$n_i$	—	ボルトの本数*
$n_{si}$	—	評価上せん断力を受けるとして期待するボルトの本数*
$S_u$	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計引張強さ
$S_y$	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
$F_i$	N	ボルトに作用する引張力*
$Q_i$	N	ボルトに作用するせん断力*
$\sigma_{ti}$	MPa	ボルトに生じる引張応力*
$\tau_i$	MPa	ボルトに生じるせん断応力*

注記\*：添字  $i$  の意味は，以下のとおりとする。

$i = 1$ ：カバー取付ボルト

$i = 2$ ：サポート取付ボルト

### 3.2 評価対象部位

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の耐震評価は、評価上厳しくなるカバー取付ボルト及びサポート取付ボルトについて実施する。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の耐震評価における評価対象部位を、図3-1に示す。

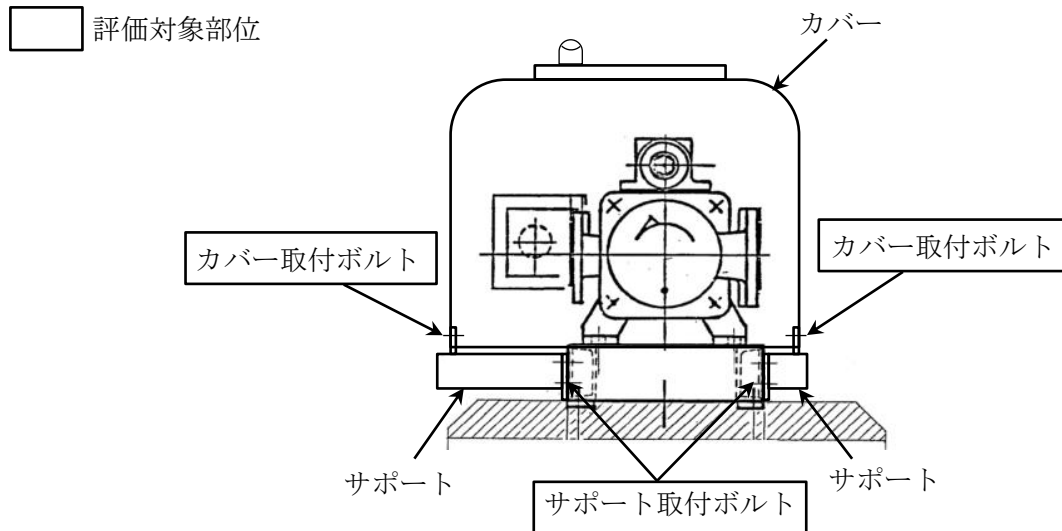


図3-1 評価対象部位（ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備）

## 4. 固有周期

### 4.1 解析モデル

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の解析条件を以下に示す。

#### (1) モデル化方針

- モデル範囲は、カバー（蓋含む）、サポート（ベースプレート含む）及びカバー取付部材とする。
- カバー、サポートは板厚中心位置において、板要素でモデル化する。
- カバー取付ボルト位置でボルト締結範囲を剛体要素で接続する。
- サポート取付ボルト位置を完全拘束とする。
- 解析条件を表4-1に示す。

表4-1 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の解析条件

部材	材料	評価温度 (°C)	縦弾性係数E (MPa)	ポアソン比ν (-)
カバー	SS41	40	$2.02 \times 10^5$	0.3
サポート	SS41	40	$2.02 \times 10^5$	0.3

#### 4.2 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-2 に示す。解析の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。振動モード図を図 4-1 に示す。

表 4-2 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)
1 次	水平	<input type="text"/>

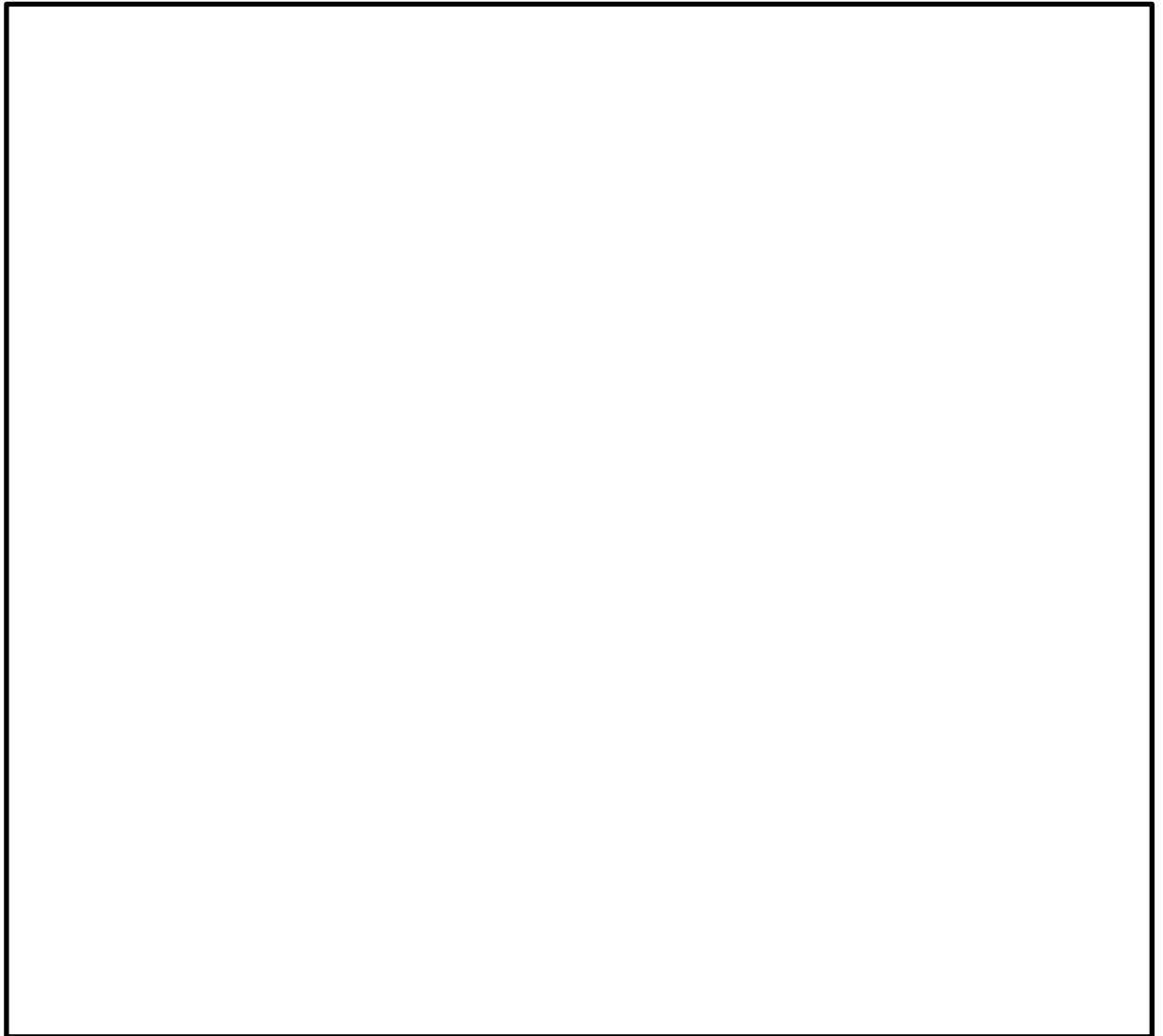


図 4-1 振動モード(1 次モード 水平方向  s)

## 5. 構造強度評価

### 5.1 荷重及び荷重の組合せ

#### (1) 荷重の選定

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

- a. 自重 ( $m \cdot g$ )
- b. 水平方向荷重 ( $F_H$ )  

$$F_H = (C_P + C_H) \cdot m \cdot g$$
- c. 鉛直方向荷重 ( $F_V$ )  

$$F_V = (C_P + C_V + 1) \cdot m \cdot g$$
- d. ボルト軸周りの転倒モーメント ( $M$ )  

$$M = F_H \times h + F_V \cdot \ell_b$$

#### (2) 荷重の組合せ

応力評価に用いる荷重の組合せは、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の評価対象部位ごとに設定する。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備には、自重、設計用地震力による水平・鉛直荷重が作用する。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の耐震評価にて考慮する荷重の組合せを表 5-1 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重の組合せ*
ディーゼル燃料移送 ポンプ防護対策設備	カバー取付ボルト	D + S <sub>s</sub>
	サポート取付ボルト	

注記\* : Dは自重, S<sub>s</sub>は基準地震動による地震荷重を示す。

### 5.2 許容限界

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界値は、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づき許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力を用いる。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界を表 5-2、許容応力を表 5-3 に示す。

表 5-2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
カバー取付ボルト, サポート取付ボルト	IV <sub>A</sub> S	一次応力	引張	$f_{ts}^*$
			せん断	$1.5 \cdot f_s^*$

引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力） $f_{ts}^*$ は以下のとおり。

$$f_{ts}^* = \text{Min} \{ 1.4 \cdot (1.5 \cdot f_t^*) - 1.6 \cdot \tau, 1.5 \cdot f_t^* \}$$

表 5-3 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容応力

評価対象部位	材料*1	温度条件*2 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)	$1.5 \cdot f_t^*$ (MPa)	$1.5 \cdot f_s^*$ (MPa)
カバー取付ボルト	SS41	40	245	400	280	210	161
サポート取付ボルト	SS41	40	245	400	280	210	161

注記：\*1：SS400 相当

\*2：周囲環境温度

### 5.3 評価方法

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の応力評価は評価式による評価を行う。

#### (1) 評価式による評価

カバー取付ボルト及びサポート取付ボルトの評価は、以下に示す評価式を用いて行う。

##### a. 計算モデル

設計用地震力、ポンプ振動による鉛直荷重及び自重により作用する鉛直荷重及びモーメントに対して構造健全性を評価するための計算モデルを図 5-1 に示す。

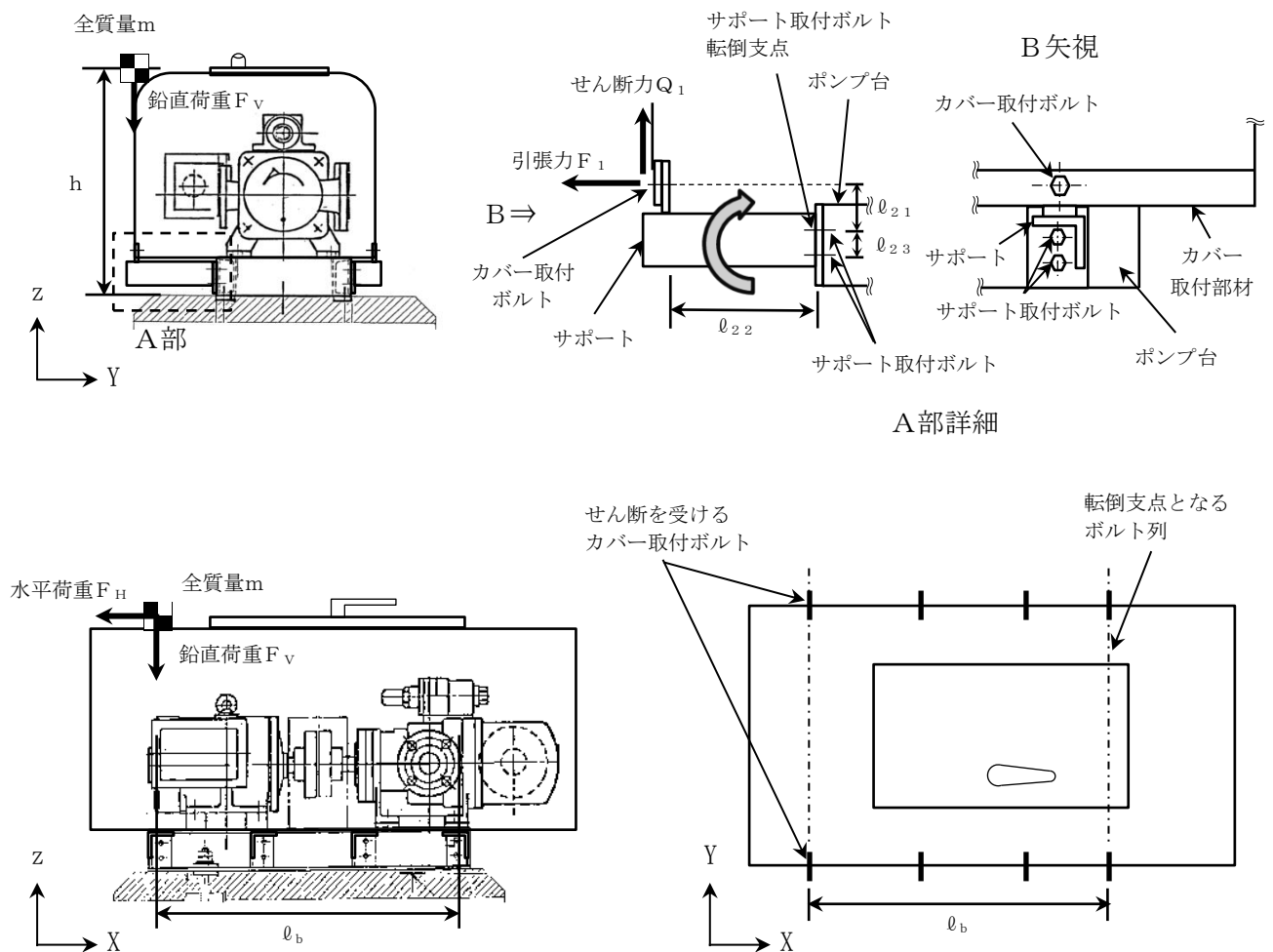


図 5-1 計算モデル



b. 応力評価

(a) カバー取付ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

引張力

$$F_1 = \frac{F_H}{n_1}$$

引張応力

$$\sigma_{t1} = \frac{F_1}{A_{b1}}$$

ロ. せん断応力

カバー取付ボルトに対するせん断力は、最も厳しい条件として、図 5-1 でカバー取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列のカバー取付ボルトで受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_1 = \frac{M}{l_b \times n_{s1}}$$

せん断応力

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_{b1}}$$

(b) サポート取付ボルトに生じる応力

イ. 引張応力

引張力

$$F_2 = \frac{Q_1 \times l_{22} + F_1 \times l_{21}}{l_{23}}$$

引張応力

$$\sigma_{t2} = \frac{F_2}{A_{b2}}$$

ロ. せん断応力

せん断力

$$Q_2 = \frac{Q_1}{n_{s2}}$$

せん断応力

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_{b2}}$$

6. 評価条件

「5. 構造強度評価」に用いる評価条件を表 6-1 から表 6-4 に示す。

表 6-1 評価条件 (震度)

$C_P$ (-)	$C_H$ (-)	$C_V$ (-)
	2.96*	1.33*

注記\* : 設計用震度 II (基準地震動  $S_s$ ) を上回る設計震度

表 6-2 評価条件 (許容値)

材料	温度 (°C)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
SS41	40	245	400	280

表 6-3 評価条件 (サイズ, 本数)

部材	ボルト径 (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$ (-)	$n_{si}$ (-)
カバー取付ボルト ( $i = 1$ )	M16	201.1	8	2
サポート取付ボルト ( $i = 2$ )	M10	78.54	16	2

表 6-4 評価条件 (全質量, 寸法)

部材	$m$ (kg)	$h$ (mm)	$l_b$ (mm)	$l_{i1}$ (mm)	$l_{i2}$ (mm)	$l_{i3}$ (mm)
カバー取付ボルト ( $i = 1$ )	55	485.6	650	—	—	—
サポート取付ボルト ( $i = 2$ )	55	—	—	42.5	158	25

7. 評価結果

評価結果を表 7-1 に示す。

カバー取付ボルト及びサポート取付ボルトに発生する応力は、許容応力以下であり、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 7-1 評価結果 (ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備)

評価対象部位	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
カバー取付ボルト	SS41	引張	2	210*
		せん断	7	161
サポート取付ボルト	SS41	引張	108	210*
		せん断	9	161

注記\* :  $f_{ts}^* = \text{Min} \{1.4 \cdot (1.5 \cdot f_t^*) - 1.6 \cdot \tau, 1.5 \cdot f_t^*\}$