

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-014-09改01
提出年月日	2023年4月7日

VI-3-別添 2-2 火山防護対策設備の強度計算の方針

2023年4月

中国電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
3. 構造強度設計	2
3.1 構造強度の設計方針	2
3.2 機能維持の方針	2
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	7
4.1 荷重及び荷重の組合せ	7
4.2 許容限界	11
5. 強度評価方法	13
5.1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備	13
5.2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	19
6. 適用規格・基準等	24

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定している評価対象施設が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する各施設の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-11「取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度計算書」及びVI-3-別添 2-12「ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを、「5. 強度評価方法」で示す方法を使用し、「6. 適用規格・基準等」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備を強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を保持するよう機能維持の方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物の降灰から 30 日を目途に降下火砕物を適切に除去すること、また、降灰時には除雪も併せて実施することを保安規定に定める。

(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、主要な構造部材が十分な強度を有する構造とし、十分な支持性能を有する取水槽により支持する構造とする。

(2) ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

a. 構造設計

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、取水槽循環水ポンプエリアに降下

火砕物が堆積することを防止する鋼板、鋼板を支持する架構及び架構をコンクリートに固定するアンカーボルトから構成される。

想定する降下火砕物等の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する鋼板に作用し、架構に伝達する構造とする。

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の設置位置を図 3-1 に、構造計画を表 3-1 に示す。

b. 評価方針

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を構成する鋼板、架構及びアンカーボルトが、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。

降下火砕物等を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-11「取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度計算書」に示す。

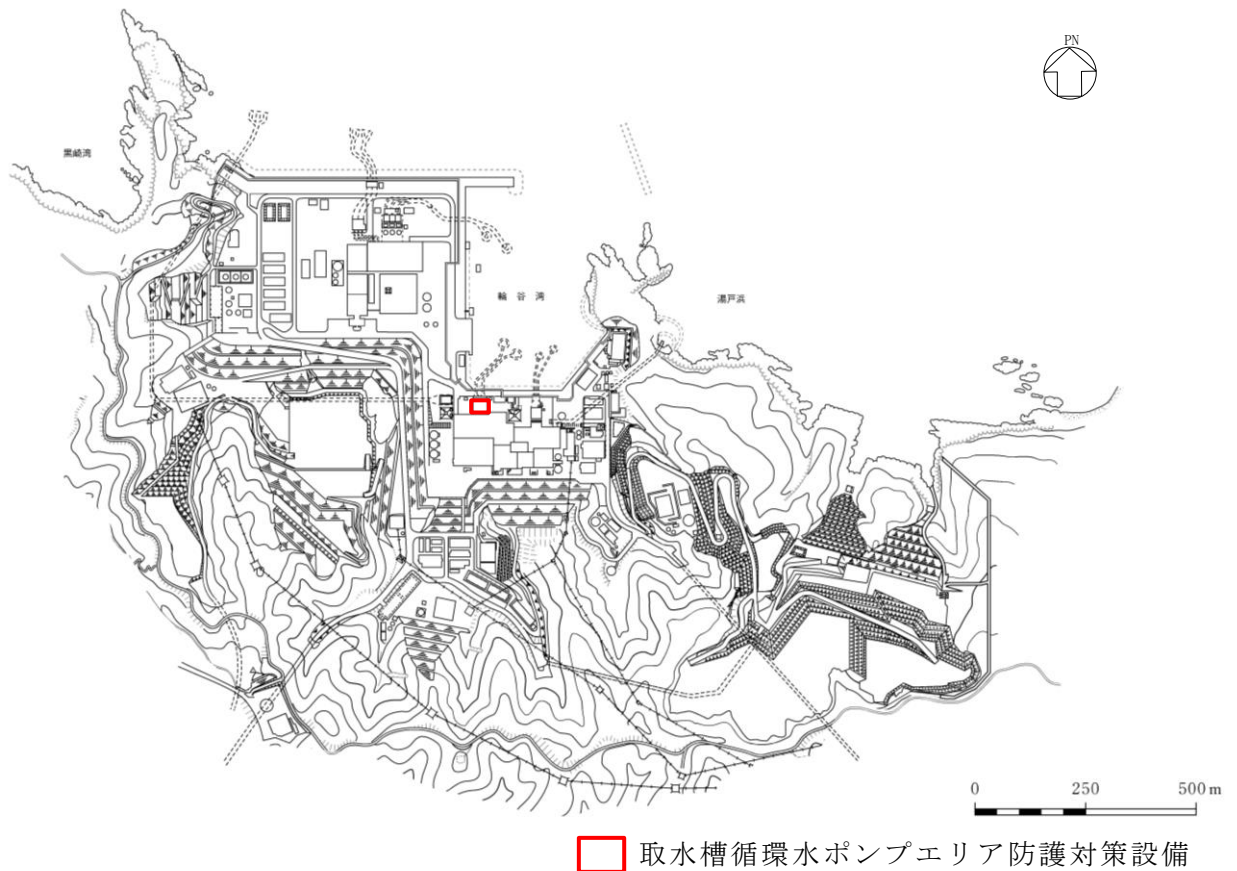


図 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の設置位置

表 3-1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
鋼板, 架構及びアンカーボルトにより構成する。	取水槽にアンカーボルトで固定する。	<p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 平面図 (単位: mm)</p> <p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 A-A 断面図 (単位: mm)</p> <p>取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 B-B 断面図 (単位: mm)</p>

(2) ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

a. 構造設計

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は、燃料移送ポンプエリアの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（以下「燃料移送ポンプ」という。）を覆う形で設置し、燃料移送ポンプに降下火砕物が堆積することを防止する鋼製のカバー本体及び点検用開口蓋（以下「カバー」という。）、カバーを支持するサポート及びそれらを固定する取付ボルトで構成される。

想定する降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、カバーに作用し、カバー取付

ボルト，サポート，サポート取付ボルト，基礎ボルトで固定されたポンプベースを介して基礎部に伝達する。

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の設置位置を図 3-2 に，構造計画を表 3-2 に示す。

b. 評価方針

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

想定する降下火砕物，積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対し，荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて，ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備を構成するカバー，サポート及び取付ボルトが弾性域に留まらず，塑性域に入る状態とならないことを「5. 強度評価方法」に示す FEM 解析及び計算により確認する。

降下火砕物等を考慮した荷重に対する強度評価を，VI-3-別添 2-12「ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度計算書」に示す。

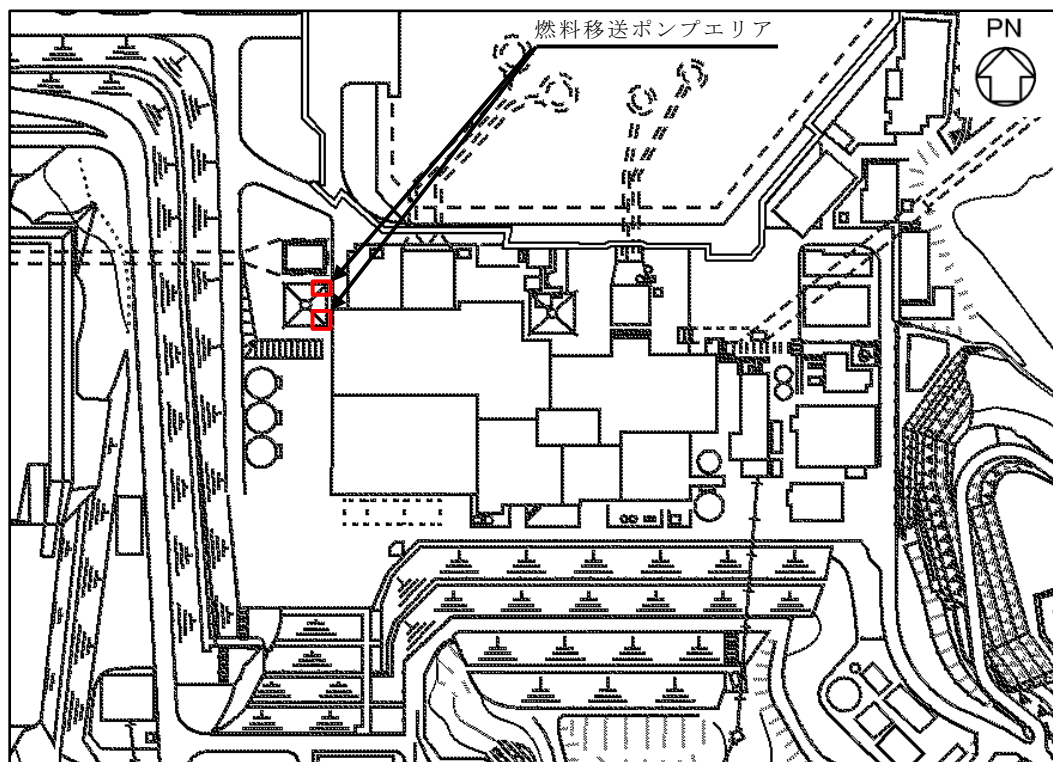


図 3-2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の設置位置

表 3-2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】</p> <p>ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は，燃料移送ポンプエリアに設置する。</p>			
ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	カバー，サポート及び取付ボルトで構成する。	基礎ボルトで固定されたポンプベースに，取付ボルトで固定する。	<p>(a) 上面図</p> <p>(b) 側面図 (A-A 断面)</p> <p>(c) 側面図 (B-B 断面)</p>

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重の種類，荷重の組合せ及び荷重の算定方法を「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。なお，取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は，近傍に2号タービン建物及び取水槽海水ポンプエリア防水壁が設置されていること，部材の受圧面積が小さいことから，風（台風）による荷重を考慮しない。また，ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は，周囲に設置されたディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備により防護されることから風（台風）による荷重は考慮しない。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_a)

常時作用する荷重は，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って，持続的に生じる荷重として，取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備は固定荷重及び積載荷重とし，ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備は自重とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_a)

降下火砕物による荷重は，VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち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」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，主荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 56cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに 147.1N/m^2 の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 積雪荷重 (F_s)

積雪荷重は，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」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，従荷重として扱うこととし，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」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて，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 35.0cm とする。

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 1cm 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。

(2) 荷重の組合せ

a. 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

(a) 降下火砕物による荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)b. 荷重の組合せ」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

(b) 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

上記を踏まえ、強度評価における荷重の組合せの設定については、施設の設置状況及び構造を考慮し設定する。取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備における荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

施設名称	考慮する荷重の組合せ	荷重			
		常時作用する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重
		固定荷重	積載荷重*	降下火砕物による荷重 (F_a)	積雪荷重 (F_s)
取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備	ケース 1	○	○	○	○

注記*：積載荷重は、除灰時の人員荷重 981N/m^2 を含む。

b. ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

(a) 降下火砕物による荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)b. 荷重の組合せ」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

(b) 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

上記を踏まえ、強度評価における荷重の組合せについては、施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備における荷重の組合せを表4-2に示す。

表4-2 荷重の組合せ

施設名称	考慮する荷重の組合せ	荷重*		
		常時作用する荷重(F_d)	降下火砕物による荷重(F_a)	積雪荷重(F_s)
ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	ケース1	○	○	○

注記*：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

降下火砕物による荷重及び積雪荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表4-3に示す。

表 4-3 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_d	N	常時作用する荷重
F_s	N/m^2	従荷重として組み合わせる積雪荷重
$F_{v'}$	N/m^2	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f'_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
g	m/s^2	重力加速度 (=9.80665)
H_a	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	組合せ荷重として考慮する積雪深
ρ_v	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度
P_1	N/m^2	除灰時の人員荷重

b. 鉛直荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho_v \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_{v'} = F_a + F_s$$

表 4-4 に入力条件を示す。

表 4-4 入力条件

ρ_v (kg/m^3)	g (m/s^2)	H_a (cm)	f'_s ($N/(m^2 \cdot cm)$)	H_s (cm)
1500	9.80665	56	20	35

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、 $8938N/m^2$ とする。

また、「建築構造設計規準の資料（国土交通省 平成 30 年版）」における「屋上（通常人が使用しない場合）」の床版計算用積載荷重を参考として、除灰時の人員荷重は、 $981N/m^2$ とする。

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

(1) 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた許容限界を表 4-5 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物及び積雪を考慮した荷重に対し、評価対象部位ごとに求められる機能が担保できる許容限界を設定する。

構造強度評価においては、降下火砕物の堆積による荷重及び積雪荷重に対し、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備を構成する鋼板、架構及びアンカーボルトが、許容限界を超えないことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、鋼板及び架構に対しては、「鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)」に基づき算出した許容荷重を許容限界として設定する。アンカーボルトに対しては、「各種合成構造設計指針・同解説((社) 日本建築学会, 2010 年改定)」に基づき算出した許容荷重を許容限界として設定する。

表 4-5 許容限界

機能設計上の性能目標	評価対象部位	応力等の状態	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
構造強度を有すること	鋼板	曲げ, せん断	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法に基づく短期許容応力度
	架構	曲げ, せん断		
	アンカーボルト	引張		各種合成構造設計指針・同解説に基づく短期許容荷重

(2) ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-6 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及びその他の荷重に対し、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備を構成するカバー、サポート及び

取付ボルトが弾性域に留まらず，塑性域に入る状態とならないことを FEM 解析及び計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，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）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に準じて許容応力状態IV_ASの許容応力を許容限界として設定する。許容応力状態IV_ASにおけ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 4-7 に示す。

表 4-6 評価対象部位ごとの許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力の状態	限界状態	
ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備	$F_d + F_a + F_s$	カバー	組合せ	部材が弾性域に留まらず，塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態IV _A Sの許容応力以下とする。
	$F_d + F_a + F_s$	サポート	曲げ，せん断，組合せ		
	$F_d + F_a + F_s$	取付ボルト	引張，せん断		

表 4-7 許容応力状態IV_ASにおけるディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の許容限界

許容応力状態	許容限界* (ボルト以外)			許容限界* (ボルト)	
	一次応力			一次応力	
	曲げ	せん断	引張	せん断	引張
IV _A S	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	f_{ts}^*

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。

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。

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

5. 強度評価方法

5.1 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備

評価手法は、以下に示すとおり、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いた解析法

具体的な評価においては、「鋼構造設計基準 - 許容応力度設計法 - ((社) 日本建築学会, 2005 年改定) 」及び「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 年改定) 」を準用する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価方法を以下に示す。

(1) 強度評価条件

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- 鉛直荷重によって一様な応力が発生する取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の鋼板及び架構は、機械工学便覧の計算方法を準用して評価を行う。
- アンカーボルトに考慮する荷重は、積載荷重による圧縮力及び架構端部で発生した曲げモーメントによる引張力を考慮し、「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 年改定) 」に基づき評価を行う。
- 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、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し入力荷重として設定する。

(2) 強度評価対象部位

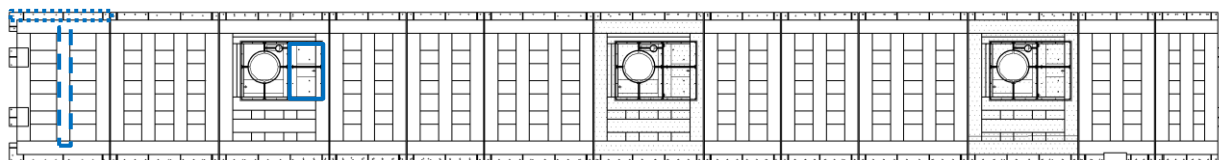
強度評価内容を表 5-1 に、評価対象部位を図 5-1 に示す。

なお、降下火砕物等の堆積を考慮する場合、鋼板及び架構の支持間隔が長いほど、発生する応力が大きくなる。このため、鋼板及び架構の支持間隔が最長となる箇所を、評価対象部位として選定する。なお、評価対象部位とした鋼板の中間部に位置する支持部材については、保守的な評価のため、考慮しない。また、アンカーボルトについては、評価対象の箇所とした架構で発生した応力が伝達される箇所を、評価対象として選定する。

降下火砕物等の堆積を考慮する範囲は、鋼板については、評価対象として選定した箇所と同様の範囲とする。また、架構については、評価対象として選定したものの上部の鋼板のうち、当該架構が荷重を分担する範囲とする。

表 5-1 強度評価内容

施設名称	評価対象部位	応力等の状態
取水槽循環水ポンプ エリア防護対策設備	鋼板	曲げ, せん断
	架構	曲げ, せん断
	アンカーボルト	引張






-  : 評価対象部位 (鋼板)
-  : 評価対象部位 (架構)
-  : 評価対象部位 (アンカーボルト)

図 5-1 評価対象部位

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	鋼板の短辺
a ₂	mm	架構が荷重を分担する鋼板の短辺
A	mm ²	鋼板の断面積
A _z	cm ²	架構の強軸方向のせん断断面積
b	mm	鋼板の長辺
b ₂	mm	架構の幅
T _a	N	アンカーボルトに生じる引張力
h	mm	鋼板の厚さ
L	mm	アンカーボルト間の距離
L ₂	mm	架構の長さ
M	N・mm	鋼板に作用する弱軸まわりの曲げモーメント
M ₂	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純支持梁(ピン結合)とした場合)
M ₃	N・mm	架構に作用する強軸まわりの曲げモーメント(単純固定梁とした場合)
n _a	-	架構 1 本当たりのアンカーボルトの本数
n ₂	-	評価対象とする架構に対し直交する架構の本数
p	N/mm	鋼板に作用する等分布荷重
p ₂	N/mm	架構に作用する等分布荷重
p ₃	N/mm	架構の単位長さあたりの自重
ρ	kN/m ³	鋼板の密度
Q	N	鋼板に作用する弱軸まわりのせん断力
Q ₂	N	架構に作用する強軸まわりのせん断力
Z	mm ³	鋼板の弱軸まわりの断面係数
Z ₂	mm ³	架構の強軸まわりの断面係数
σ	MPa	鋼板に生じる曲げ応力
σ ₂	MPa	架構に生じる曲げ応力
τ	MPa	鋼板に生じるせん断応力
τ ₂	MPa	架構に生じるせん断応力

b. 評価対象部位及び応力評価モデル図

評価対象部位及び応力評価モデル図を図 5-2～図 5-4 に示す。

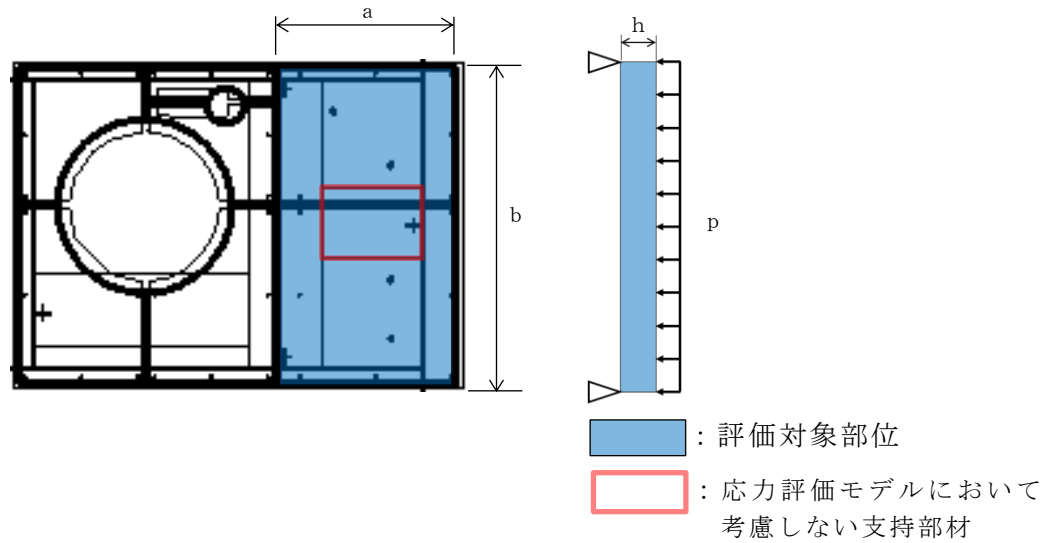


図 5-2 評価対象部位及び応力評価モデル図（鋼板）

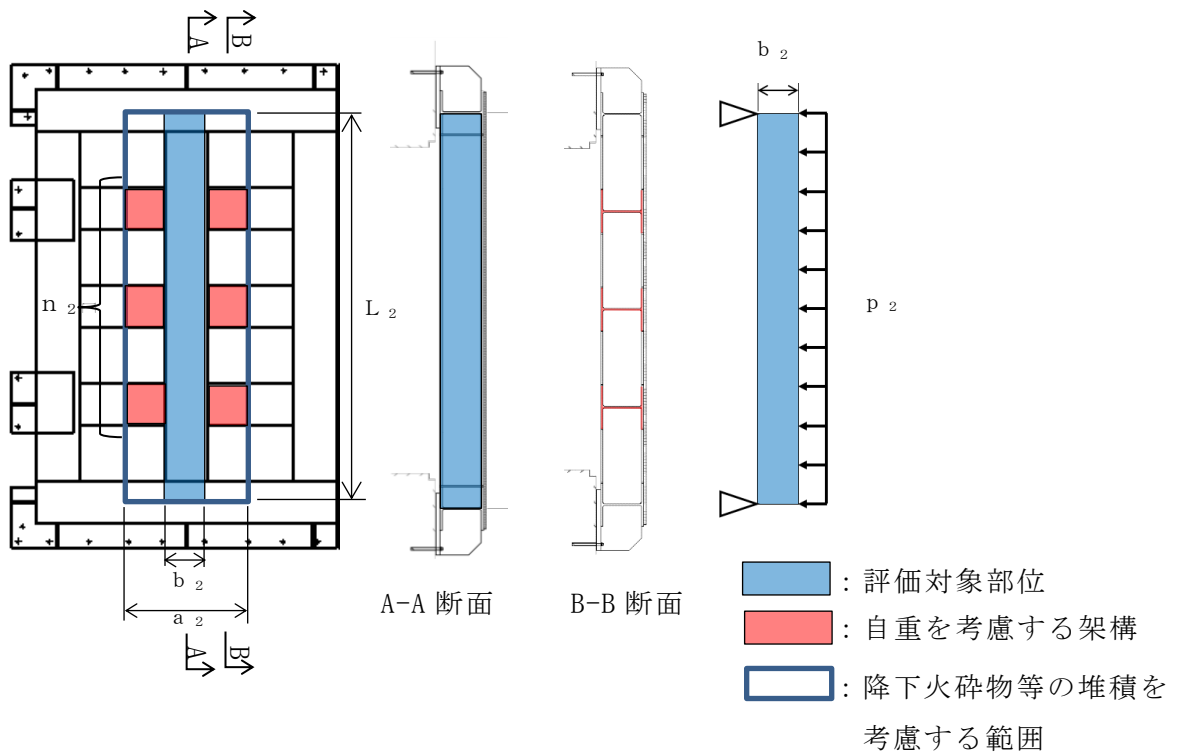


図 5-3 評価対象部位及び応力評価モデル図（架構）

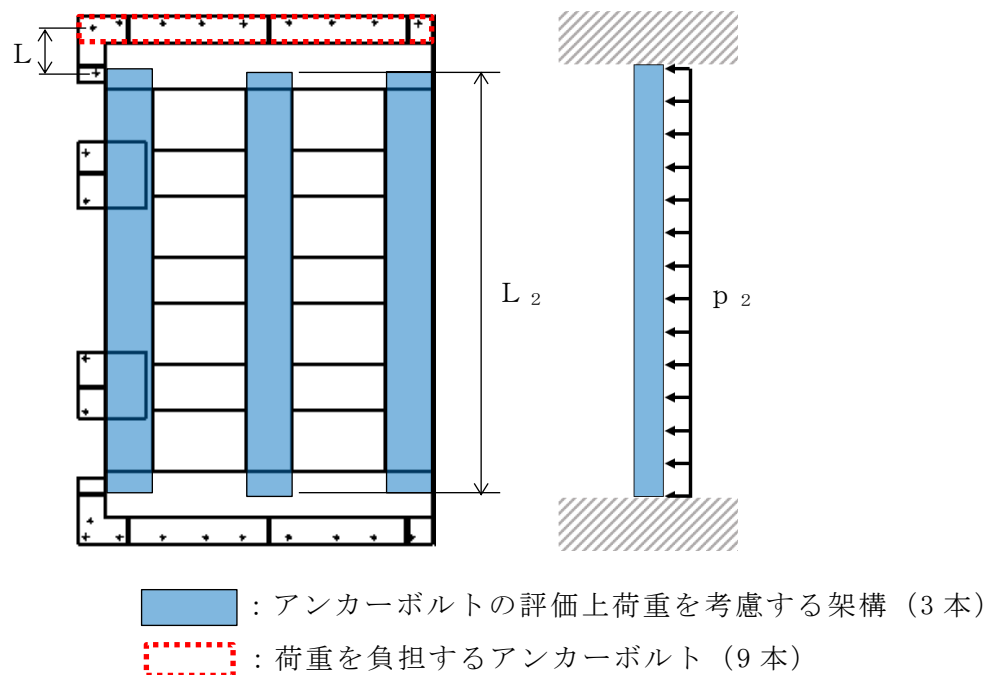


図 5-4 評価対象部位及び応力評価モデル図 (アンカーボルト)

c. 強度評価方法

(a) 鋼板に生じる応力

鋼板の計算モデルは、単純支持梁（ピン結合）とする。

イ. 曲げ応力

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^{-9}}{Z \cdot 10^{-9}}$$

ここで、

$$M = 1/8 \cdot p \cdot b^2$$

$$p = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a \cdot h$$

$$Z = 1/6 \cdot a \cdot h^2$$

ロ. せん断応力

$$\tau = \frac{Q \cdot 10^{-6}}{A \cdot 10^{-6}}$$

ここで、

$$Q = 1/2 \cdot p \cdot b$$

$$A = a \cdot h$$

(b) 架構に生じる応力

架構の計算モデルは、単純支持梁（ピン結合）とする。

イ. 曲げ応力

$$\sigma_2 = \frac{M_2 \cdot 10^{-9}}{Z_2 \cdot 10^{-9}}$$

ここで、

$$M_2 = 1/8 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$

$$p_2 = (F_v' \cdot 10^{-6} + P_1 \cdot 10^{-6}) \cdot a_2 + \rho \cdot 10^{-6} \cdot a_2 \cdot h + p_3 + \frac{n_2 \cdot (a_2 - b_2) \cdot p_3}{L_2}$$

ロ. せん断応力

$$\tau_2 = \frac{Q_2 \cdot 10^{-6}}{A_Z \cdot 10^{-4}}$$

ここで、

$$Q_2 = 1/2 \cdot p_2 \cdot L_2$$

(c) アンカーボルトに生じる応力

引張力

$$T_a = \frac{p_2 \cdot L_2}{n_a} - \frac{M_3}{L \cdot n_a}$$

ここで、

$$M_3 = 1/12 \cdot p_2 \cdot L_2^2$$

5.2 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備

評価手法は、以下に示すとおり、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ FEM 等による解析法
- ・ 定式化された評価式を用いて算出

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価方法を以下に示す。

(1) 評価条件

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価は、以下の条件に従うものとする。

- a. カバーは上部及び側面に開口を有する構造であり、定式化された評価式を用いた評価が困難なため、FEM 解析を用いて部材に発生する応力を算出し評価を行う。モデル図を図 5-5 に示す。
- b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、カバー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し、入力荷重として設定する。
- c. 鉛直荷重によって応力が発生するサポート及び取付ボルトは、機械工学便覧の計算方法を用いて評価を行う。評価に用いるモデル図を図 5-6 に示す。
- d. 計算に用いる寸法は、公称値又は実測値を使用する。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力の状態
カバー	組合せ
サポート	曲げ, せん断, 組合せ
カバー取付ボルト	せん断
サポート取付ボルト	引張, せん断

(3) 強度評価方法

a. 記号の説明

ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価に用いる記号を表 5-4 に示す。

表 5-4 ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	降下火砕物等の堆積面積
A _{b1}	mm ²	カバー取付ボルトの軸断面積
A _{b2}	mm ²	サポート取付ボルトの軸断面積
A _{s a}	cm ²	サポートの断面積
F*	MPa	J S M E SSB-3121.3 又は SSB-3133 により規定される値
F _d	N	自重による鉛直荷重
F _v	N	降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F _{v'}	N/m ²	単位面積当たりの降下火砕物等堆積による鉛直荷重
f _{b*}	MPa	F*により算出されるサポートの許容曲げ応力
f _{s*}	MPa	F*により算出されるサポート又はボルトの許容せん断応力
f _{t*}	MPa	F*により算出されるカバー又はサポートの許容引張応力
f _{t s*}	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 ²	重力加速度（=9.80665）
L ₁	mm	カバーの短辺側の長さ
L ₂	mm	カバーの長辺側の長さ
l ₁	mm	サポート取付面から荷重作用点までの距離
l ₂	mm	サポート取付ボルト間の距離
M	N・mm	サポートに作用する曲げモーメント
m	kg	カバー、サポート他の全質量
n ₁	—	カバー取付ボルトの本数
n ₂	—	サポート取付ボルトの本数
n _{f2}	—	評価上引張力を受けるとして期待するサポート取付ボルトの本数
N	—	サポートの本数
r	mm	カバーの端部の丸みの半径
S _u	MPa	J S M E 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 S M E 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
Z	cm ³	サポートの断面係数
π	—	円周率
σ	MPa	サポートに生じる組合せ応力
σ _b	MPa	サポートに生じる曲げ応力
σ _t	MPa	サポート取付ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	サポートに生じるせん断応力
τ ₁	MPa	カバー取付ボルトに生じるせん断応力
τ ₂	MPa	サポート取付ボルトに生じるせん断応力

b. 評価モデル

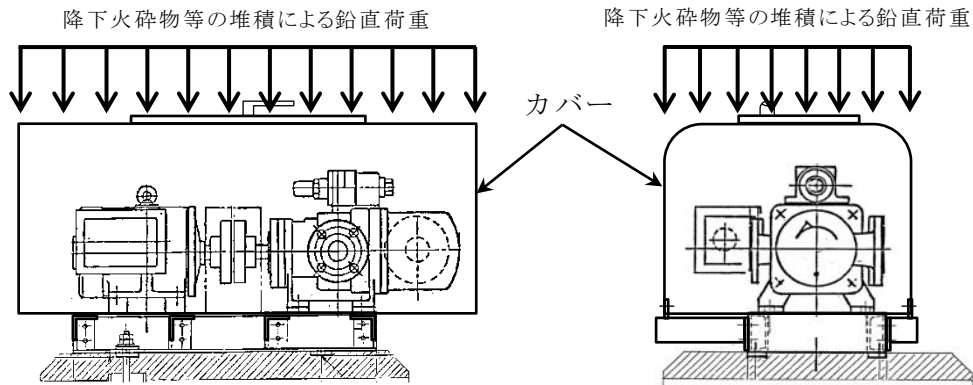


図 5-5 モデル図 (カバー)

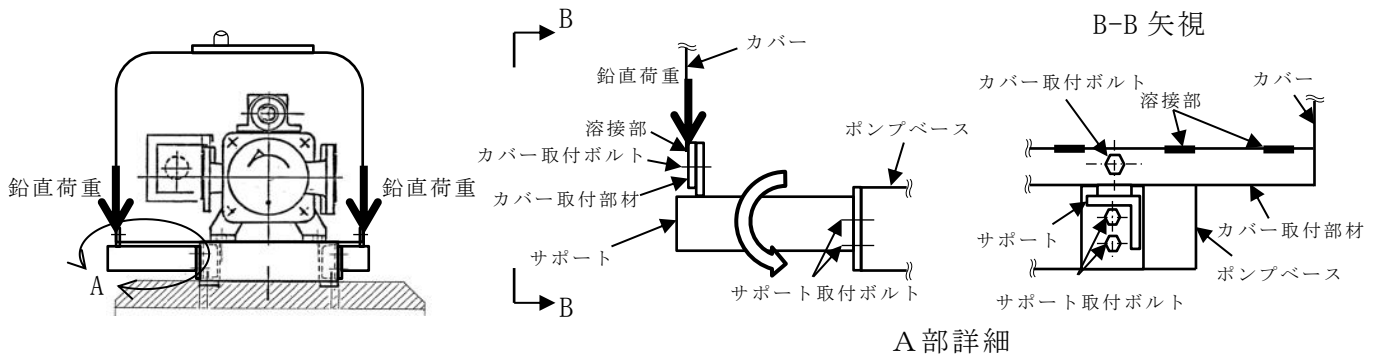


図 5-6 モデル図 (サポート, カバー取付ボルト及びサポート取付ボルト)

c. 強度評価方法

(a) 鉛直荷重

イ. 常時作用する荷重

常時作用する荷重は自重を考慮する。

$$F_d = m \cdot g$$

ロ. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

降下火砕物等の堆積によりカバーに作用する鉛直荷重はカバーの水平投影面積に降下火砕物等が堆積することを考慮する。なお、カバーの端部の丸みを持たせている部分についても降下火砕物等が堆積するものとする。

$$F_v = F_v' \cdot A$$

$$\text{ここで, } A = (L_1 - 2 \cdot r + \pi \cdot r) \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$$

(b) 応力評価

イ. サポートに生じる応力

(イ) 曲げ応力

サポートに生じる曲げ応力 σ_b は次式により算出される。

i. 降下火砕物等の鉛直荷重によりサポートに作用する曲げモーメント M

$$M = \frac{F_v + F_d}{N} \cdot l_1$$

ii. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z \cdot 10^3}$$

(ロ) せん断応力

サポートに生じるせん断応力 τ は次式より算出される。

$$\tau = \frac{F_v + F_d}{N \cdot A_{sa} \cdot 10^2}$$

(ハ) 組合せ応力

サポートの曲げ及びせん断による組合せ応力 σ は次式により算出される。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ロ. カバー取付ボルトに生じる応力

・せん断応力

カバー取付ボルトに生じるせん断応力 τ_1 は次式より算出される。

$$\tau_1 = \frac{F_v + F_d}{n_1 \cdot A_{b1}}$$

ハ. サポート取付ボルトに生じる応力

(イ) 引張応力

サポート取付ボルトに生じる引張応力 σ_t は次式により算出される。

$$\sigma_t = \frac{(F_v + F_d) \cdot l_1}{n_{f2} \cdot l_2 \cdot A_{b2}}$$

(ロ) せん断応力

サポート取付ボルトに生じるせん断応力 τ_2 は次式により算出される。

$$\tau_2 = \frac{F_v + F_d}{n_2 \cdot A_{b2}}$$

6. 適用規格・基準等

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格・基準等を示している。

これらのうち、評価対象施設の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日 松江市規則第 234 号）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）
- ・ 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 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（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）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））
（ J S M E S N C 1 -2005/2007）（（社）日本機械学会）
- ・ 新版機械工学便覧（（社）日本機械学会）
- ・ 日本産業規格（ J I S ）