

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-014-03
提出年月日	2022年9月12日

VI-3-別添 2-1-3 原子炉建物の強度計算の方針

2022年9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	5
4.1 荷重及び荷重の組合せ	5
4.2 許容限界	8
5. 強度評価条件及び強度評価方法	11
5.1 強度評価条件	11
5.2 強度評価方法	11
6. 適用規格・基準等	12

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」を踏まえた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」（以下「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」」という。）の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定している原子炉建物が、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」（以下「VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」」という。）に示す適用規格・基準等を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、原子炉建物の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-5「原子炉建物の強度計算書」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. 強度評価条件及び強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格・基準等」で示す適用規格・基準等を用いて確認する。

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、原子炉建物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」で設定している原子炉建物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、原子炉建物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

原子炉建物は、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、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、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄骨フレーム（以下「屋根トラス」という。）及び鉄筋コンクリート造の耐震壁等で支持し、支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。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。

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) 構造設計

原子炉建物は、屋根スラブを屋根トラス及び耐震壁等で支持し、支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。屋根スラブ、屋根トラス、耐震壁等は適切な強度を有する構造とする。

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屋根スラブに作用する構造とする。

原子炉建物の設置位置を図 3-1 に、構造計画を表 3-1 に示す。

(2) 評価方針

原子炉建物は、「(1) 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、原子炉建物の屋根スラブ、屋根トラス、耐震壁等が、「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、積雪及び風（台風）を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-5「原子炉建物の強度計算書」に示す。

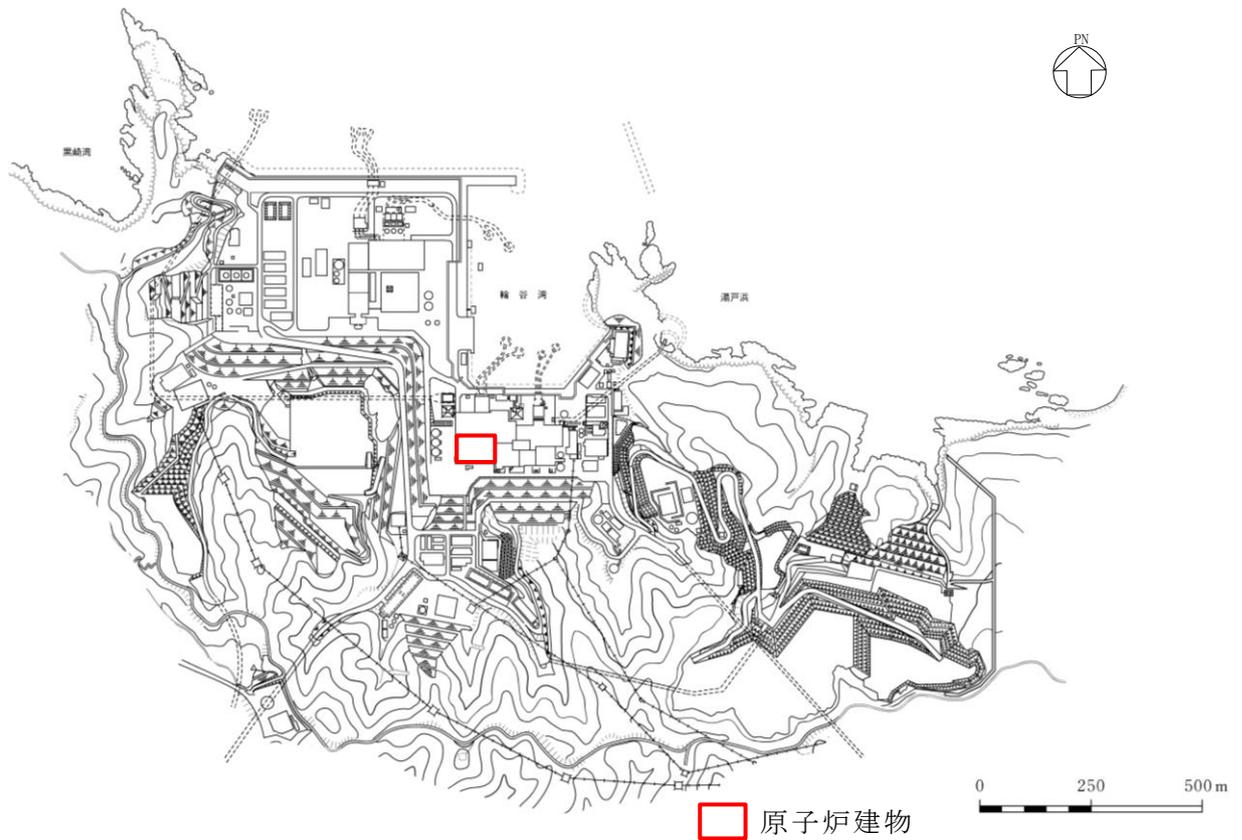


図 3-1 原子炉建物の設置位置

表 3-1 構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の主体構造及び鉄骨造の屋根トラスで構成する。</p>	<p>荷重は建物の外殻を構成する屋根，耐震壁等に作用し，耐震壁等を介し，基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	<p>原子炉建物 A-A 断面図（単位：m）</p> <p>原子炉建物 B-B 断面図（単位：m）</p>

S2 補 VI-3-別添 2-1-3 R0

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。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

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である固定荷重及び積載荷重とする。

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」（以下「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」」という。）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 20

N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

d. 風荷重 (W)

風速は、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」に示す組み合わせる風速を踏まえて、建築基準法施行令に基づく平成 12 年建設省告示第 1 4 5 4 号に定められた松江市の基準風速である 30m/s とする。風荷重については、施設の形状により風力係数等が異なるため、施設ごとに設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、積雪荷重及び風荷重については、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」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、建物の設置状況及び構造を考慮し設定する。原子炉建物における荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

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 降下火砕物による荷重 (F _a)	従荷重	
	固定荷重	積載荷重		積雪荷重 (F _s)	風荷重 (W)
ケース 1	○	○	○	○	○
ケース 2	○	○	○	○	—

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、積雪荷重及び風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 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	m^2	風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	風力係数
E'	—	建築基準法施行令第 87 条第 2 項に規定する数値
E_r	—	建設省告示第 1 4 5 4 号の規定によって算出した平均風速の高さ方向の分布を表す係数
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
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	—	ガスト影響係数
g	m/s^2	重力加速度
H	m	全高
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
q	N/m^2	設計用速度圧
V_D	m/s	基準風速
W	N	風荷重
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
Z_G	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
α	—	地表面粗度区分に応じて建設省告示第 1 4 5 4 号に掲げる数値
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 降下火砕物による荷重及び積雪荷重

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。

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

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 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (cm)	f'_s (N/(m ² ・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、 $F_v' = 8938\text{N/m}^2$ とする。

c. 水平荷重

水平荷重については、風（台風）を考慮する。風速を建築基準法施行令の基準風速に基づき 30m/s に設定し、風荷重については施設の形状により異なるため、施設ごとに算出する。

風荷重の算出式は、建築基準法施行令第 87 条に基づき、以下のとおりである。

$$W = q \cdot C \cdot A_1$$

ここで

$$q = 0.6 \cdot E' \cdot V_D^2$$

$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_G)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

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。

「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、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物、積雪及び風（台風）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。

(1) 屋根スラブ

屋根スラブは、構造健全性、遮蔽性能及び気密性能を維持することを性能目標としており、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(2) 主トラス及び二次部材

主トラス及び二次部材は、構造健全性を維持することを性能目標としており、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 改定）」（以下「S 規準」という。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(3) 耐震壁

耐震壁は、構造健全性、遮蔽性能及び気密性能を維持することを性能目標としており、「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）」に基づき最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-4 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		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	屋根	屋根スラブ	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	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度* ¹
			主トラス (上弦材 下弦材 斜材 束材) 二次部材 (もや つなぎばり サブビーム)		「S 規準」に基づく短期許容応力度* ¹
		耐震壁* ²		最大せん断ひずみ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	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度* ¹
		耐震壁* ² (二次遮蔽壁及び補助遮蔽)		最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度* ¹
		耐震壁* ³ (原子炉建物原子炉棟(二次格納施設))		最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}

注記*1: 許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することと

し、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

- *2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。
- *3：事故時に換気性能とあいまって気密性を有する設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、VI-2-9-3-1「原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 原子炉建物原子炉棟の気密性に関する計算書」に示す。

5. 強度評価条件及び強度評価方法

5.1 強度評価条件

原子炉建物の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (1) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- (2) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重として $F_v' = 8938 \text{N/m}^2$ 、風荷重については、基準風速 30m/s を考慮する。
- (3) 風荷重の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき実施し、受圧面積算定において、隣接する建物の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
- (4) 水平方向の風荷重が作用した場合、屋根に対し鉛直上向きの荷重が働き下向き荷重は低減されるため、屋根面の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。
- (5) 耐震壁の応力計算には、地震応答解析に用いた質点系モデルを用い、耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第 1 折れ点の増大が見込まれるため、耐震壁の評価においては、保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

5.2 強度評価方法

(1) 屋根スラブの応力計算

応力解析モデルを用いて、屋根スラブに作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

(2) 主トラスの応力計算

3次元フレームモデルによる応力解析により、主トラスに発生する応力を求める。

(3) 二次部材の応力計算

応力解析モデルを用いて、二次部材に作用する固定荷重、積載荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により、二次部材に発生する応力を求める。

(4) 耐震壁の応力計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた原子炉建物の質点系モデルを用いて、風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

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、原子炉建物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・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）
- ・ 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）
- ・ 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）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 改定）