

火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目 次

頁

1. 概 要	03-別添1-1-1
2. 強度評価の基本方針	03-別添1-1-1
2.1 評価対象施設	03-別添1-1-1
3. 構造強度設計	03-別添1-1-3
3.1 構造強度の設計方針	03-別添1-1-3
3.2 機能維持の方針	03-別添1-1-4
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	03-別添1-1-10
4.1 荷重及び荷重の組合せ	03-別添1-1-10
4.2 許容限界	03-別添1-1-15
5. 強度評価方法	03-別添1-1-24
5.1 防護対象施設	03-別添1-1-25
5.2 建 屋	03-別添1-1-28
6. 適用規格	03-別添1-1-30

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、資料2「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」のうち資料2-2-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「資料2-2-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」」といふ。）にて設定している降下火砕物の影響を考慮する施設に対する構造強度の設計方針について説明するとともに、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、資料2「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」のうち資料2-2-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「資料2-2-1「火山への配慮に関する基本方針」」といふ。）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施設の具体的な計算の方法及び結果は、別添1-2「海水ポンプの強度計算書」から別添1-3「建屋の強度計算書」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」を対象として、「3. 構造強度設計」に従って、「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すべき他の荷重による組合せ荷重又は応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 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」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

評価対象施設は、資料2-2-3「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」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設を、以下のとおり強度評価の対象施設とし、第2-1表に示す。

(1) 防護対象施設

施設の安全機能を維持するため、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、構造健全性を維持することが要求される施設とする。

(2) 建 屋

降下火砕物より防護すべき施設を内包し、防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持するため、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、構造健全性を維持することが要求される建屋とする。

第2-1表 強度評価の対象施設

施設分類	強度評価の対象施設
防護対象施設	・海水ポンプ
建 屋	・原子炉格納容器 ・原子炉周辺建屋 ・制御建屋 ・廃棄物処理建屋 ・緊急時対策所建屋

3. 構造強度設計

資料2－2－1「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、資料2－2－3「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。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、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構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

資料2－2－3「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の設計方針を示す。

(1) 防護対象施設

a. 海水ポンプ

海水ポンプは、資料2－2－3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5.1 構造物への荷重を考慮する施設」の「(1)a. 海水ポンプの設計方針」で設定している機能設計の方針を踏まえ、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、冷却水として海水を取水し、原子炉補機冷却海水系統の各設備に送水する設計とする。また、資料2－2－3「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(1)c. 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、風（台風）及び積雪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、海水ポンプ室に設けた基礎にボルトで固定し、海水ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。30日を目処に速やかに降下火砕物の除去を行うこと、また降灰時には除雪もあわせて実施することを保安規定に定め、降下火砕物及び積雪による組合せ荷重を短期荷重とする。

(2) 建屋

建屋は、資料2－2－3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5.1 構造物への荷重を考慮する施設」の「(2) 建屋」で設定している機能設計の方針を踏まえ、想定する降下火砕物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、建屋が降下火砕物より防護すべき施設を内包し、建屋によって内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持する設計とする。上記に加え、原子炉周辺建屋のうちアニュラス区画構造物は放射性物質の閉じ込め機能を、原子炉格納容器、制御建屋のうち中央制御室遮蔽及び緊急時対策所建屋のうち緊急時対策所遮蔽は遮蔽機能を維持する設計とする。

また、資料2－2－3「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(2)c. 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、

想定する降下火碎物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、降下火碎物堆積時の機能維持を考慮して、部材又は建屋全体として構造健全性を維持する設計とし、鉄筋コンクリート造の屋根を、耐震壁又は鉄骨架構で支持し、基礎を介して支持性能を有する地盤に支持させる構造とする。30日を目処に速やかに降下火碎物の除去を行うこと、また降灰時には除雪もあわせて実施することを保安規定に定め、降下火碎物及び積雪による組合せ荷重を短期荷重とする。

3.2 機能維持の方針

資料2-2-3「降下火碎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、資料2-2-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 降下火碎物の影響に対する設計方針」で設定している荷重条件を考慮して、各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 防護対象施設

a. 海水ポンプ

(a) 構造設計

海水ポンプは、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針並びに資料2-2-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 降下火碎物の影響に対する設計方針」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

海水ポンプは立形ポンプの上に、ポンプモータを取り付ける構造とする。

海水ポンプは海水ポンプ室のコンクリートにアンカボルトで固定し、ポンプモータはポンプの上にボルトで結合する。

海水ポンプモータの形状は円筒形を基本としたフレーム、上部ブラケットに四角形の空気冷却器、外扇カバー等が付加された形態とする。作用する荷重については、モータ上部に最も多く降下火碎物が堆積し、モータ上部を介して支持している電動機フレーム下部に作用する構造とする。また、風荷重については、電動機フレーム下部に伝達する構造とする。さらに、ポンプのスラストはすべて電動機フレームに作用する構造とする。

海水ポンプの構造計画を第3-1表に示す。

(b) 評価方針

海水ポンプは、「(a) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

想定する降下火碎物、積雪及び風荷重に対し、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、海水ポンプを構成する電動機フレームが、概ね弾性状態にとどまるることを計算により確認する。

(2) 建屋

a. 構造設計

建屋は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針並びに資料2-2-1「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踏まえ、以下の構造とする。

建屋は、鉄筋コンクリート造の屋根を、耐震壁又は鉄骨架構で支持し、基礎を介して支持性能を有する地盤に支持させる構造とができる強度を有する構造とする。

また、作用する降下火碎物による荷重及びその他の荷重による鉛直荷重については、降下火碎物が堆積する鉄筋コンクリート造の屋根に作用する構造とする。また、風荷重については、耐震壁又は鉄骨架構に作用する構造とする。

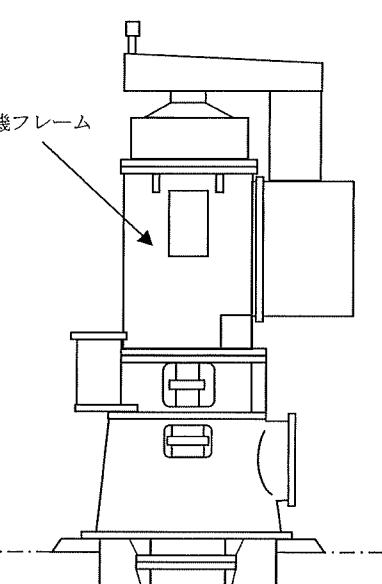
建屋の構造計画を第3-2表に示す。

b. 評価方針

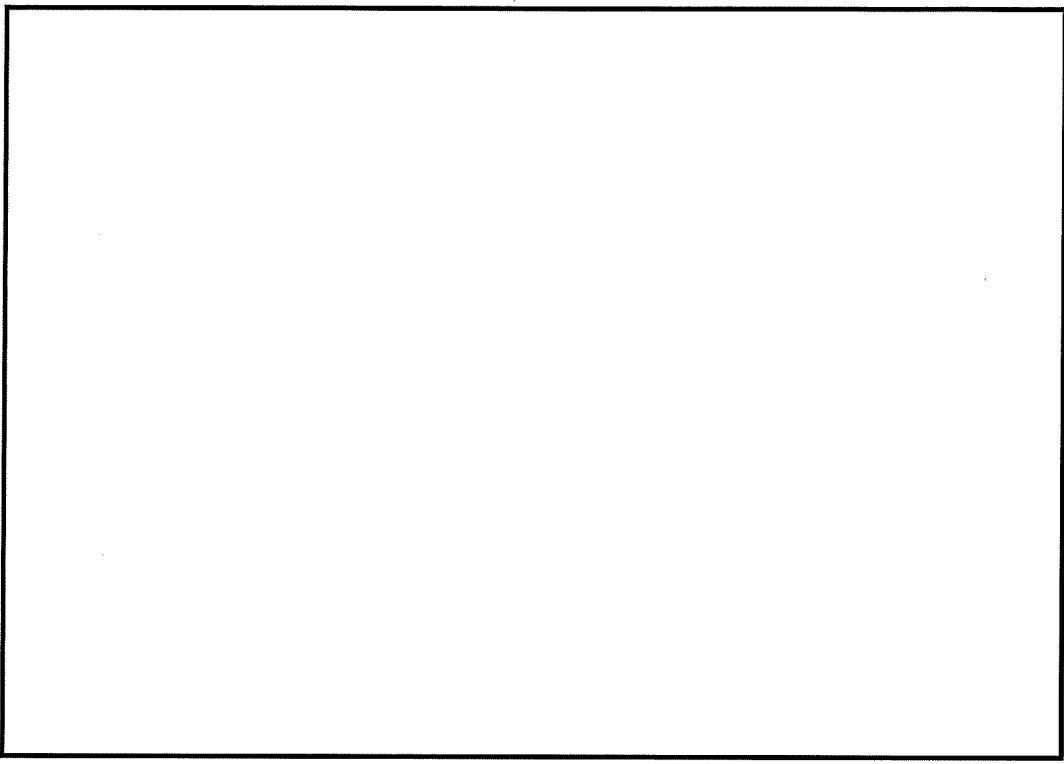
建屋は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

想定する降下火碎物、風（台風）及び積雪を考慮した荷重に対し、建屋の屋根、耐震壁及び鉄骨架構が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを計算により確認する。

第3-1表 防護対象施設の構造計画

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
【位置】 海水ポンプは、屋外の海水ポンプ室に設置する設計としている。				
防護対象施設	海水ポンプ	鋼製の立形ポンプ及び 鋼製の電動機フレーム で構成する。	コンクリートに アンカボルトで 固定する。 モータは立形ポンプの上にボルトで結合する。	

第3-2表 建屋の構造計画 (1/3)

施設 分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋	【位置】			

第3-2表 建屋の構造計画(2/3)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器 ・原子炉周辺建屋 ・制御建屋 ・廃棄物処理建屋 	屋根、耐震壁及び鉄骨架構で構成する。	直接基礎	

第3-2表 建屋の構造計画(3/3)

施設分類	施設名称	計画の概要		説明図
		主体構造	支持構造	
建屋	・緊急時対策所建屋	屋根及び耐震壁で構成する。	直接基礎	

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

対象施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを、以下の「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

対象施設の強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、資料2-2-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 降下火砕物の影響に対する設計方針」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、資料2-2-1「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自重、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、資料2-2-1「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」の降下火砕物特性及び「2.1.3 降下火砕物の影響に対する設計方針」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 25cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに 150N/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)

積雪深は、資料2-1-1「耐震設計上重要な設備を設置する施設に対する自然現象等への配慮に関する基本方針」の「4.組合せ」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、福井県建築基準法施行細則に定められた大飯郡の垂直積雪量 100cm に設定し、積雪量 1cm ごとに 30N/m^2 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、資料2-1-1「耐震設計上重要な設備を設置する施設に対する自然現象等への配慮に関する基本方針」の「4.組合せ」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1454号に定められた福井県大飯郡の基準風速である 32m/s に設定する。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。

e. 運転時の状態で作用する荷重(F_p)

海水ポンプについては運転時の状態で作用する荷重は、資料2-2-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3 降下火砕物の影響に対する設計方針」で設定している運転時の状態で作用する荷重に従って、ポンプのスラスト軸方向の運転時荷重とする。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火碎物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ

降下火碎物による荷重、積雪荷重及び風荷重については、それらの組合せを考慮し、短期荷重として扱う。

b. 対象施設の荷重の組合せ

対象施設の荷重の組合せについては、降下火碎物及び積雪（以下「降下火碎物等」という。）による鉛直荷重、風荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

ただし、対象施設のうち海水ポンプのみ動的機器であるため、運転時の状態で作用する荷重を考慮する。

なお、常時作用する荷重、積雪荷重、風荷重並びに運転時の状態で作用する荷重については、組み合わせることで降下火碎物による荷重の抗力となる場合には、評価結果が保守的となるように荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ、対象施設の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等を考慮し設定する。対象施設の荷重の組合せを考慮した結果を第4-1表に示す。

第4-1表 対象施設ごとの荷重の組合せ

施設分類	強度評価の 対象施設	荷 重				運転時の 状態で作用 する荷重 (F _p)
		降下火砕物 等堆積によ る鉛直荷重 (F _v)	風荷重 (W)	常時作用する 荷重 (F _d)		
				自 重	積 載 荷 重	
防護対象 施設	・海水ポンプ	○	○	○	—	○
建 屋	・原子炉格納容器 ・原子炉周辺建屋 ・制御建屋 ・廃棄物処理建屋 ・緊急時対策所建屋	○	○	○	○	—

(○ : 考慮する荷重を示す。)

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火碎物による荷重、積雪荷重及び風荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算定式を以下に示す。鉛直荷重については、別添1-2 「海水ポンプの強度計算書」から別添1-3 「建屋の強度計算書」の各計算書にて共通で使用するため算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の計算に使用する記号を第4-2表に示す。

第4-2表 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	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1454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わす係数
F _a	N/m ²	単位面積当たりの湿潤状態の降下火碎物による荷重
F _s	N/m ²	単位面積当たりの積雪荷重
F _{v'}	N/m ²	単位面積当たりの降下火碎物等堆積による鉛直荷重
F _v	N	降下火碎物等堆積による鉛直荷重
f _a	N/(m ² ・cm)	降下火碎物の湿潤密度 ρ (kg/m ³) より設定する降下火碎物の単位荷重
f _s	N/(m ² ・cm)	福井県建築基準法施行規則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	m	降下火碎物の層厚
H _s	cm	積雪深
q	N/m ²	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1454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1454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1454号に掲げる数値
ρ	kg/m ³	降下火碎物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、落下火碎物等を考慮する。

落下火碎物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = f_a \cdot H_a$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f_s \cdot H_s$$

落下火碎物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_v' = F_a + F_s$$

第4-3表に入力条件を示す。

第4-3表 入力条件

ρ (kg/m ³)	f_a (N/(m ² ·cm))	H_a (m)	f_s (N/(m ² ·cm))	H_s (cm)
1,500	150	0.25	30	100

以上を踏まえ、落下火碎物等堆積による鉛直荷重は、6,750N/m²とする。

c. 水平荷重

水平荷重については、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32m/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。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで、

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

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

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_6)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ を超える場合})$$

$$E_r = 1.7 \cdot (Z_b/Z_6)^\alpha \quad (H \text{ が } Z_b \text{ 以下の場合})$$

4.2 許容限界

許容限界は、資料2－2－3「降下火碎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」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設ごとの構造強度設計上の性能目標並びに「3.2 機能維持の方針」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設ごとの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含めた、評価対象部位ごとの許容限界を第4-4表及び第4-5表に示す。

対象施設ごとの許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の損傷モードを踏まえ評価項目を選定し定める。

(1) 防護対象施設

a. 海水ポンプ

海水ポンプの許容限界は、資料2－2－3「降下火碎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」にて設定している海水ポンプの構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」にて設定している海水ポンプの評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

(a) 電動機フレーム

海水ポンプは、構造強度設計上の性能目標として、降下火碎物による荷重並びに積雪及び風を考慮した荷重に対し、降下火碎物堆積時の機能維持を考慮して、海水ポンプ室に設けた基礎にボルトで固定し、海水ポンプの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

そのため、降下火碎物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びその他の荷重に対し、海水ポンプを構成する電動機フレームが、概ね弾性状態にとどまるる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、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601－1987（(社)日本電気協会、昭和62年8月）」（以下「JEAG4601」という。）に準じて許容応力状態Ⅲ_{AS}の許容応力を許容限界として設定する。

(2) 建屋

建屋の許容限界は、資料2－2－3「降下火碎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」にて設定している建屋の構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」にて設定している建屋の評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

a. 屋根

屋根は、構造健全性を維持することを目標としていることから、終局耐力を許容限界とする。また、原子炉周辺建屋のアニュラス区画構造物は気密性を維持することを目標

としていることから、「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)）」（以下「RC-N規準」という。）、又は「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会(2005)）」（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。原子炉格納容器は「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会(2003)）」（以下「CCV規格」という。）に基づく荷重状態IVの許容値を許容限界として設定する。

b. 耐震壁

耐震壁は、構造健全性を維持することを性能目標としていることから、JEAG4601に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。また、原子炉周辺建屋のアニュラス区画構造物は気密性を維持することを目標としていることから、概ね弾性にとどまることを耐震壁の許容限界として設定する。原子炉格納容器、制御建屋の中央制御室遮蔽及び緊急時対策所建屋の緊急時対策所遮蔽は遮蔽性を維持することを目標としていることから、JEAG4601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。

c. 鉄骨架構

鉄骨架構は、構造健全性を維持することを性能目標としていることから、「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」（財）日本建築防災協会(2015)」を参考に層間変形角1/30を許容限界として設定する。

第4-4 防護対象施設の許容限界

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
			応力等の状態	限界状態	
・海水ポンプ	$F_v + W + F_d + F_p$	電動機フレーム	圧縮・曲げ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	JEAG4601 に準じて許容応力状態ⅢAS の許容応力以下とする。 (注1)

F_v : 降下火砕物等堆積による鉛直荷重

F_d : 常時作用する荷重

W : 風荷重

F_p : 運転時の状態で作用する荷重

(注1) 第4-6表 その他の支持構造物(設計基準対象施設)の許容限界を準用する。

第4-5表 建屋の許容限界 (1/5)

(a) 原子炉格納容器

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持すること	ドーム	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	「CCV 規格」に基づく荷重状態IVの許容値(荷重状態IIIの許容値)※1
		耐震壁 (胴)	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	ドーム	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	「CCV 規格」に基づく荷重状態IVの許容値(荷重状態IIIの許容値)※1
		耐震壁 (胴)	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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※2

※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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して荷重状態IIIの許容値等とする。

※2：内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

第4-5表 建屋の許容限界(2/5)

(b) 原子炉周辺建屋

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持すること	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
			S梁	「RC-N規準」等における終局耐力(短期許容応力度)※2
		耐震壁		「S規準」等における終局耐力(短期許容応力度)※2
※1 気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること		鉄骨架構	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
			耐震壁	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※2
			鉄骨架構	最大層間変形角 1/30 (1/200)※2※3
※1 気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること		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
			耐震壁	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
			鉄骨架構	概ね弾性 (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※4

※1：原子炉周辺建屋の一部を構成しているアニュラス区画構造物を対象とする。

※2：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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度等とする。

※3：建築基準法施行令第82条の2に規定された値を採用する。

※4：内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

※5：内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持するための評価基準値が1/200であることから、評価基準値として1/200を適用する。

第4-5表 建屋の許容限界(3/5)

(c) 制御建屋

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持すること	屋根	屋根スラブ S梁	「RC-N 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ^{※3} 「S 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ^{※3}
			耐震壁	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
				最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ^{※3}
※ ₁ 遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	耐震壁	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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ^{※4}
※ ₂ 気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	耐震壁	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	概ね弾性 (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ^{※4}

※1：制御建屋の一部を構成している中央制御室遮蔽を対象とする。

※2：中央制御室は、居住性の評価を行っており、中央制御室換気設備の処理対象となるバウンダリを定めていることから、気密性の維持についても確認を行う。

※3：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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度等とする。

※4：内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

第4-5表 建屋の許容限界(4/5)

(d) 廃棄物処理建屋

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持すること	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」等における終局耐力 (短期許容応力度)※1
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※1

※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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度等とする。

第4-5表 建屋の許容限界(5/5)

(e) 緊急時対策所建屋

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)
一	内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持すること	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」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※3
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ※3
※1 遮 蔽 性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	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」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※3
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ※4
※2 気 密 性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	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
		耐震壁	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	概ね弾性 (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ※4

※1：緊急時対策所建屋の一部を構成している緊急時対策所遮蔽を対象とする。

※2：緊急時対策所は、居住性の評価を行っており、緊急時制御室換気設備の処理対象となるバウンダリを定めていることから、気密性の維持についても確認を行う。

※3：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等とする。

※4：内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

第4-6表 その他の支持構造物（設計基準対象施設）の許容限界

許容応力 状態	許容限界 ^(注1) (ボルト以外)				許容限界 ^(注1) (ボルト等)	
	一 次 応 力				一 次 応 力	
	圧 縮	曲 げ	引 張	せん断	引 張	せん断
III _{AS}	1.5f _c	1.5f _b	1.5f _t	1.5f _s	1.5f _t	1.5f _s

(注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。

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び規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等を用いた解析法
- ・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、JEAG4601を使用する。

風荷重による影響を考慮する施設については、建築基準法施行令等に基づき風荷重を考慮し、設備の受圧面に対して等分布荷重として扱って良いことから、評価上高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとしており、これはJEAG4601耐震評価における質点系モデルの荷重設定方法と同様であり、地震荷重を風荷重と置き換え JEAG4601に基づき評価を行う。

風荷重を考慮した、降下火砕物等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うち、防護対象施設及び建屋の強度評価方法を以下に示す。ただし、以下に示す評価方法が適用できない施設及び評価対象部位については、個別計算書にその強度評価方法を含めて記載する。

5.1 防護対象施設

5.1.1 ポンプ

5.1.1.1 立形ポンプ

(1) 評価条件

立形ポンプの強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- ポンプの強度計算モデルは1質点モデルとし、評価高さの1/2又は荷重作用点より高い重心位置に集中荷重として作用するものとする。計算モデルを第5-1図に示す。
- 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。計算は適切な裕度を持った許容値を使用することで実施しており、公称値を用いることで問題ない。
- 水平方向と鉛直方向のモーメントの組合せは、安全側に絶対和の評価とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を第5-1表に示す。

第5-1表 評価対象部位及び評価内容

評価部位	応力等の状態
電動機フレーム	圧縮、曲げ

(3) 強度評価方法

a. 記号の定義

立形ポンプの計算に使用する記号を第5-2表に示す。

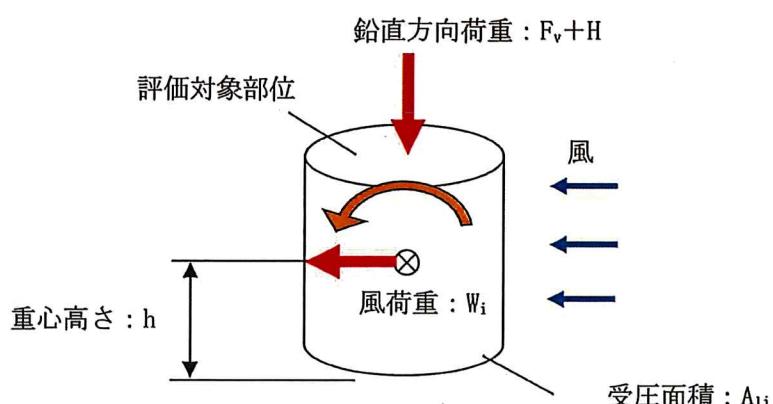
第5-2表 立形ポンプの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
D	mm	電動機フレーム外径
d	mm	電動機フレーム内径
F _v	N	降下火碎物等堆積による鉛直荷重
F _d	N	モータ自重による軸方向荷重
F _p	N	ポンプスラストによる軸方向荷重
H	N	電動機フレームに常時作用するモータ自重及びポンプスラストによる軸方向荷重
h	mm	降下火碎物等堆積を考慮した取付面からのモータ重心高さ
M	N·mm	電動機フレームに作用する曲げモーメント
M ₁	N·mm	風荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M ₂	N·mm	降下火碎物等堆積による鉛直荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント

第5-2表 立形ポンプの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
S	mm ²	電動機フレームの断面積
W	N	風荷重
Z	mm ³	断面係数
σ_b	MPa	電動機フレームに生じる曲げ応力
σ_c	MPa	電動機フレームに生じる圧縮応力

b. 計算モデル



第5-1図 電動機応力評価モデル図

c. 応力評価

(a) 電動機フレームに生じる曲げ応力

イ. 風荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント M_1

$$M_1 = W \cdot h$$

ロ. 鉛直荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント M_2

$$M_2 = \frac{(F_v + H) \cdot D}{2} \quad \text{ここで、} H = F_d + F_p$$

よって、電動機フレームに作用する曲げモーメントMは、

$$M = M_1 + M_2$$

以上より、電動機フレームに生じる曲げ応力 σ_b は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$$

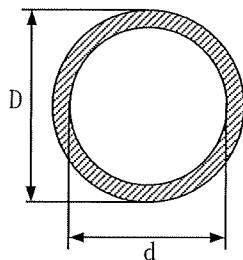
(b) 電動機フレームに生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

電動機フレームの断面図を第5-2図に示す。



第5-2図 電動機フレーム断面図

5.2 建屋

(1) 評価方針

- 建屋の強度評価を行う場合、以下の方針に従うものとする。
- 建屋の強度計算において、耐震壁及び鉄骨架構は、質点系モデルを用い評価する。
 - 建屋の強度計算において、屋根の評価は、降下火砕物等堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
 - 降下火砕物等堆積による鉛直荷重として $6,750\text{N}/\text{m}^2$ とする。
 - 風荷重の算出は、基準風速 $32\text{m}/\text{s}$ として、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受風面積に基づき実施し、受風面積算定において、隣接する建屋の遮断効果による面積の低減は考慮しない。
 - 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。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を第 5-3 表に示す。

第 5-3 表 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
屋根	曲げ及びせん断
耐震壁	変形
鉄骨架構	変形

(3) 強度評価方法

a. 屋根の応力等の算定

応力解析モデルを用いて、屋根に対する常時作用する荷重、積雪荷重及び降下火砕物堆積による鉛直荷重により発生する応力等を求める。

b. 耐震壁の変形量の算定

建屋の質点系モデルを用いて、設計風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

c. 鉄骨架構の変形量の算定

建屋の質点系モデルを用いて、設計風荷重により鉄骨架構に発生する層間変形角を求める。

6. 適用規格

資料2－2－1「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を示している。

これらのうち、各対象施設の強度評価に用いる規格、規準等を以下に示す。

- ・建築基準法（昭和25年5月24日法律第201号）
- ・建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- ・福井県建築基準法施行細則（昭和47年4月25日福井県規則第41号）
- ・「建築物荷重指針・同解説」（社）日本建築学会（2004）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601-1補 1984」
（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 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 JSME S NC1-2005/2007」
（社）日本機械学会
- ・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（社）日本建築学会（1999）
- ・「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）
- ・「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」（社）日本建築学会（2005）
- ・「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」（社）日本機械学会（2003）
- ・「各種合成構造設計指針・同解説」（社）日本建築学会（2010）

海水ポンプの強度計算書

目 次

頁

1. 概 要	03-別添1-2-1
2. 基本方針	03-別添1-2-2
2.1 位 置	03-別添1-2-2
2.2 構造概要	03-別添1-2-2
2.3 評価方針	03-別添1-2-5
2.4 適用規格	03-別添1-2-6
3. 強度評価方法	03-別添1-2-7
3.1 記号の定義	03-別添1-2-7
3.2 評価対象部位	03-別添1-2-8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	03-別添1-2-9
3.4 許容限界	03-別添1-2-12
3.5 評価方法	03-別添1-2-13
4. 評価条件	03-別添1-2-16
5. 強度評価結果	03-別添1-2-17

1. 概 要

本資料は、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、海水ポンプが降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積時においても、送水機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

海水ポンプは、別添 1－1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造設計を踏まえ、「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を設定している。

2.1 位 置

海水ポンプの設置位置は、別添 1－1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の海水ポンプ室に設置している。

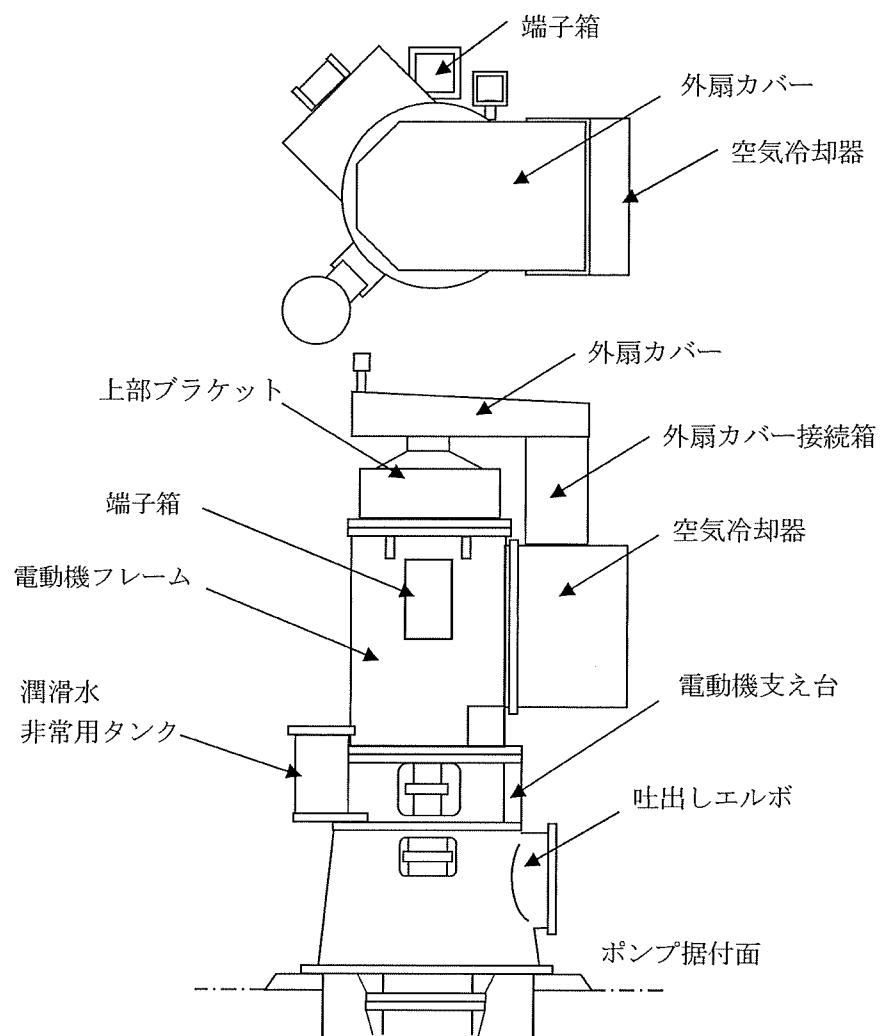
2.2 構造概要

海水ポンプの構造は、別添 1－1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」にて設定している構造設計を踏まえて、構造を設定している。

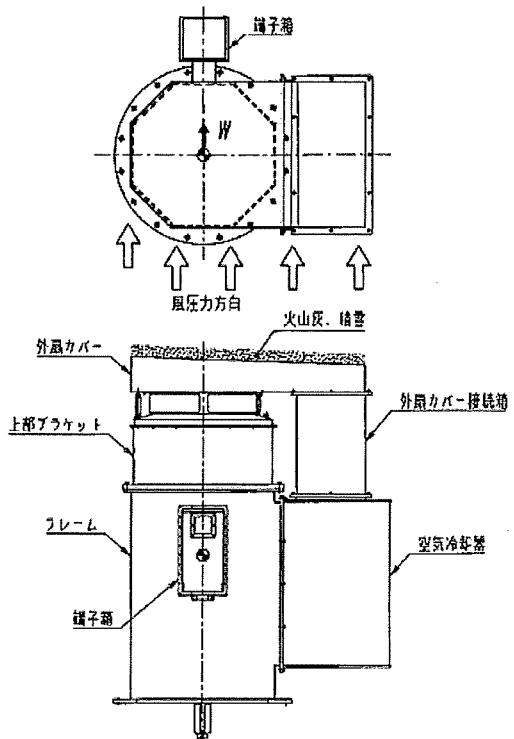
海水ポンプは、ポンプ据付面から電動機支え台までのポンプ部と、電動機支え台より上部のモータ部からなる立形ポンプであり、同一設計の海水ポンプを 3 台設置している。降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び風による水平荷重の影響を直接受ける据付位置より上部の海水ポンプの概要図を第 2-1 図に示す。

海水ポンプモータの形状は円筒形を基本としたフレーム、上部プラケットに四角形の空気冷却器、外扇カバー等が付加された形態とする。

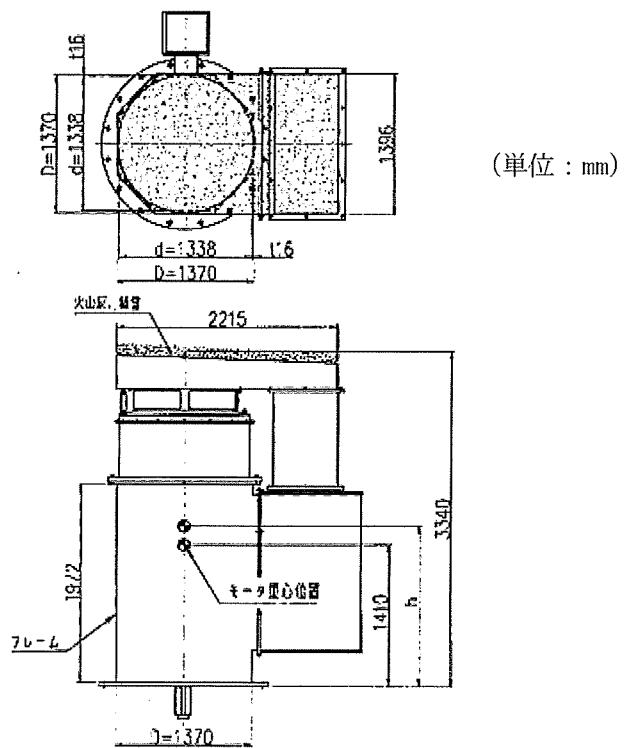
第 2-2 図に風圧力を最も多く受ける面の概要図を示し、第 2-3 図に降下火砕物等が海水ポンプに最も多く堆積することが想定される状態図を示す。



第2-1図 海水ポンプの概要図



第2-2図 風圧力を受ける面の概要図

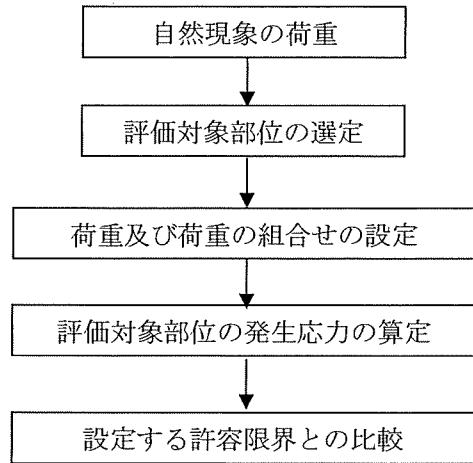


第2-3図 降下火碎物等の堆積状態図

2.3 評価方針

海水ポンプの強度評価は、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、海水ポンプ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。

海水ポンプの強度評価フローを第2-4図に示す。海水ポンプの強度評価においては、その構造を踏まえて、降下火砕物等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。強度評価では、風荷重は水平方向に作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、評価上高さの1/2より高い重心高さを風荷重の作用点として「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」（（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 JEAG4601-補 1984」（（社）日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」（（社）日本電気協会）（以下「JEAG4601」という。）における1質点系モデルによる評価方法を準用し、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す立形ポンプの評価式を用いる。海水ポンプの許容限界は、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG4601の許容応力状態III_{AS}とする。「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」（（社）日本機械学会）（以下「JSME」という。）付録材料図表Part5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JSME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。



第2-4図 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（昭和25年5月24日法律第201号）
- ・建築基準法施行令（昭和25年11月16日政令第338号）
- ・福井県建築基準法施行細則（昭和47年4月25日福井県規則第41号）
- ・「建築物荷重指針・同解説」（社）日本建築学会（2004）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（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JEAG 4601-補 1984」
（社）日本電気協会
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991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 JSME S NC1-2005/2007」
（社）日本機械学会

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

海水ポンプの強度評価に用いる記号を第3-1表に示す。

第3-1表 海水ポンプの強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A _{1i}	m ²	各部位の風の受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
A ₂	m ²	降下火砕物等の堆積面積
C _i	—	各部位の風力係数
D	mm	電動機フレーム外径
d	mm	電動機フレーム内径
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1454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わす係数
F _d	N	モータ自重による軸方向荷重
F _p	N	ポンプスラストによる軸方向荷重
F _v	N	降下火砕物等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	JSME S NC1-2005設計・建設規格SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容曲げ応力
f _c	MPa	JSME S NC1-2005設計・建設規格SSB-3121.1により規定される供用状態A及びBでの許容圧縮応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
H _T	m	ポンプ据付面からの全高
H	N	電動機フレームに常時作用するモータ自重及びポンプスラストによる軸方向荷重
h	mm	降下火砕物等堆積を考慮した取付面からのモータ重心高さ
M	N·mm	電動機フレームに作用する曲げモーメント
M ₁	N·mm	風荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
M ₂	N·mm	降下火砕物等堆積による鉛直荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント
m	kg	モータの質量
P	kg	ポンプスラスト
q	N/m ²	速度圧
S	mm ²	電動機フレームの断面積
V _D	m/s	基準風速
W	N	風荷重による複合荷重

第3-1表 海水ポンプの強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
W_i	N	各部位の風荷重
Z	mm ³	断面係数
Z_b	m	地表面粗度区分に応じて建設省告示第1454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1454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1454号に掲げる数値
σ_b	MPa	電動機フレームに生じる曲げ応力
σ_c	MPa	電動機フレームに生じる圧縮応力

3.2 評価対象部位

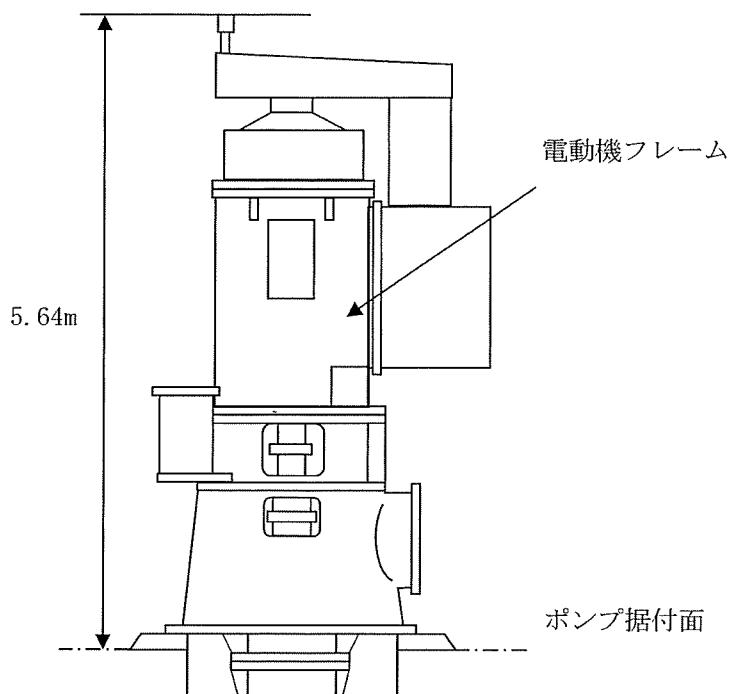
海水ポンプの評価対象部位は、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、電動機フレームとする。

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している。

降下火砕物等堆積による鉛直荷重は、最も多く降下火砕物が堆積するモータ上部を介して支持している電動機フレーム下部に作用する。また、風荷重は、電動機フレームを介して電動機支え台に固定されている電動機フレーム下部に作用する。さらに、ポンプのスラスト荷重はすべて電動機フレーム部に作用する。

このことから、電動機フレームを評価対象部位として選定している。

海水ポンプの強度評価における評価対象部位を、第3-1図に示す。



第3-1図 海水ポンプの評価対象部位

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、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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

海水ポンプ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、モータの自重を考慮する。

b. 降下火碎物等堆積による鉛直荷重(F_v)

降下火碎物等堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は、 $6,750\text{N/m}^2$ とする。建築基準法施行令第86条では、屋根部の勾配が60度以下の場合においては、その勾配に応じた屋根形状係数を乗じた数値とし、その勾配が60度を超える場合においては、零とすることができるとの記載があるが、保守的に屋根形状係数を1とする。

c. 風荷重(W)

風荷重は、基準風速 32m/s に基づき算定する。

風荷重 W は別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す式に従い、算出する。全高 H が 5m を超えるため、 H が Z_b を超える以下の場合の式を用いる。

評価に用いる風荷重による複合荷重は電動機フレーム($i=1$)、空気冷却器($i=2$)、外扇カバー($i=3$)、外扇カバー接続箱($i=4$)、上部ブラケット($i=5$)に風圧力を受けた際の風荷重とする。

それぞれの部位の風荷重 W_i と風荷重による複合荷重 W は以下のようにして求める。
各受圧部図を第3-2図から第3-6図に示す。

$$W_i = q \cdot C_i \cdot A_{1i}$$

ここで、

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

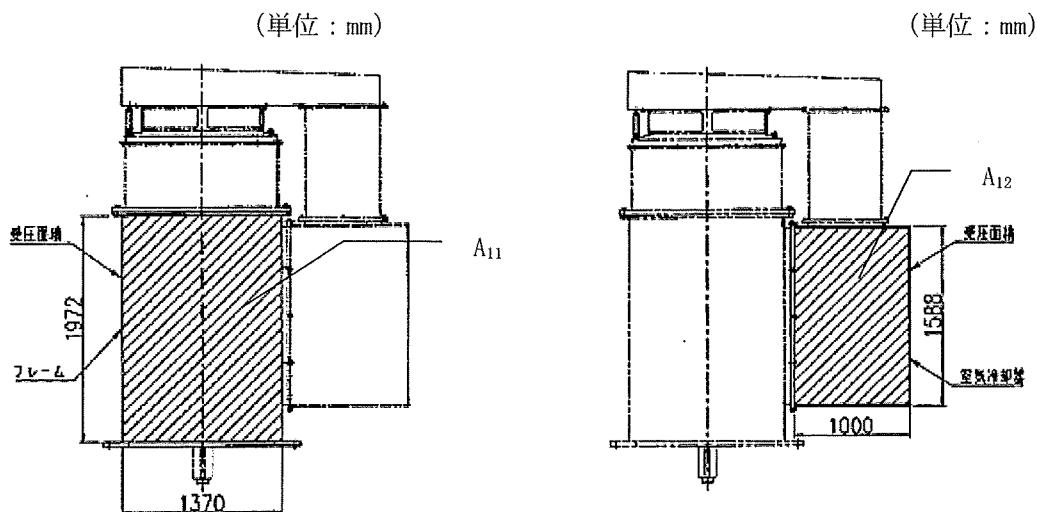
$$E' = E_r^2 \cdot G$$

$$E_r = 1.7 \cdot (H_T / Z_G)^\alpha$$

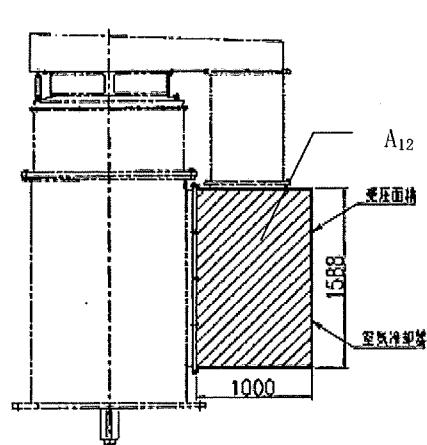
$$W = \sum_{i=1}^5 W_i$$

d. 運転時の状態で作用する荷重(F_p)

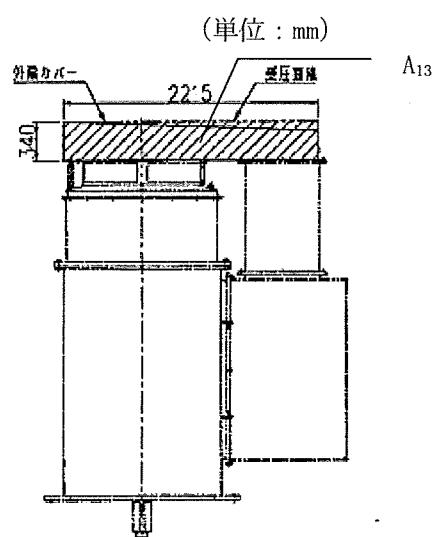
運転時の状態で作用する荷重は、鉛直下向きに働くポンプスラスト荷重を考慮する。



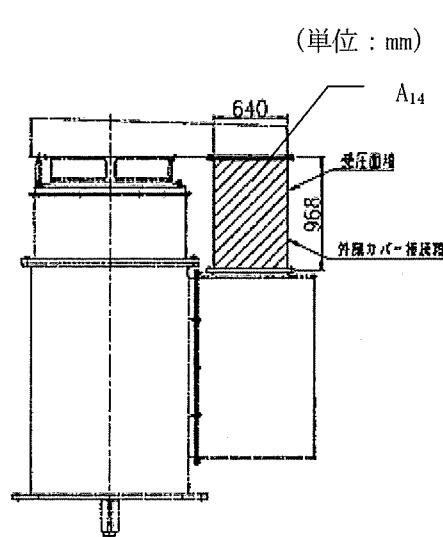
第3-2図 電動機フレーム受圧部図



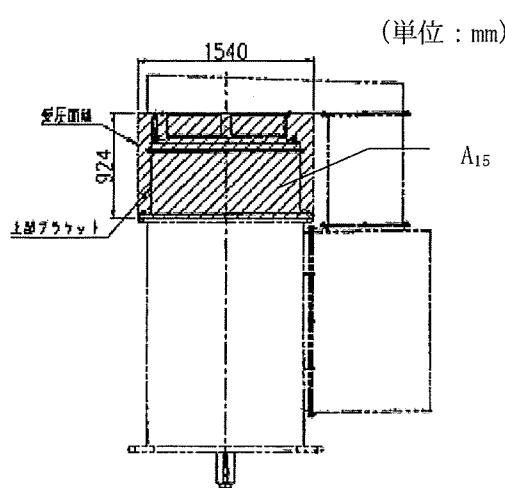
第3-3図 空気冷却器受圧部図



第3-4図 外扇カバー受圧部図



第3-5図 外扇カバー接続箱受圧部図



第3-6図 上部ブラケット受圧部図

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、海水ポンプの評価対象部位ごとに設定する。

海水ポンプの電動機フレームには、自重、降下火砕物等堆積による鉛直荷重、風荷重及びポンプスラスト荷重が作用する。

海水ポンプの強度評価にて考慮する荷重の組合せを第3-2表に示す。

第3-2表 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
防護対象施設	海水ポンプ	電動機フレーム	① 自重 ② 降下火砕物等堆積による鉛直荷重 ③ 風荷重 ④ ポンプスラスト荷重

3.4 許容限界

海水ポンプの許容限界値は、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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、JEAG4601に基づき許容応力状態III_{AS}の許容応力を用いる。

海水ポンプの許容限界値は、JEAG4601を準用し、支持構造物の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態III_{AS}から算出した以下の許容応力を許容限界値とする。

海水ポンプの許容限界を第3-3表に示す。

第3-3表 海水ポンプの許容限界

状態	温度条件 (°C)	許容限界	
		一次応力	
		曲げ	圧縮
許容応力 状態III _{AS}	40 ^(注)	1.5f _b	1.5f _c

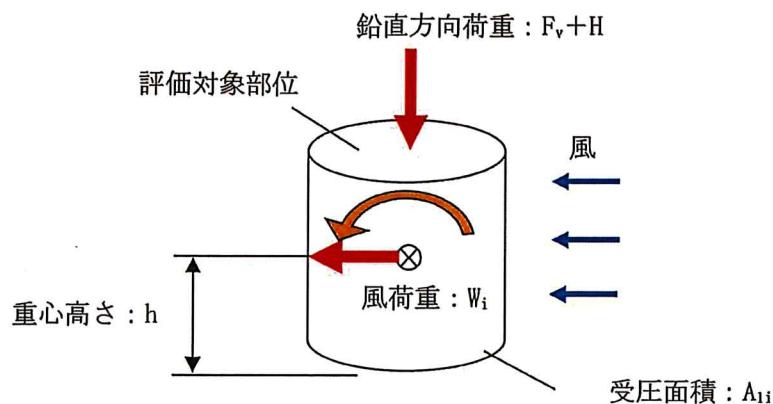
(注) 周囲環境温度

3.5 評価方法

海水ポンプの応力評価は、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」にて設定している立形ポンプの評価式を用いる。

(1) 評価モデル

応力評価において、風荷重は評価上高さの1/2より高いモータの重心位置に作用することとする。電動機フレームの応力評価モデル図を第3-7図に示す。



第3-7図 電動機応力評価モデル図

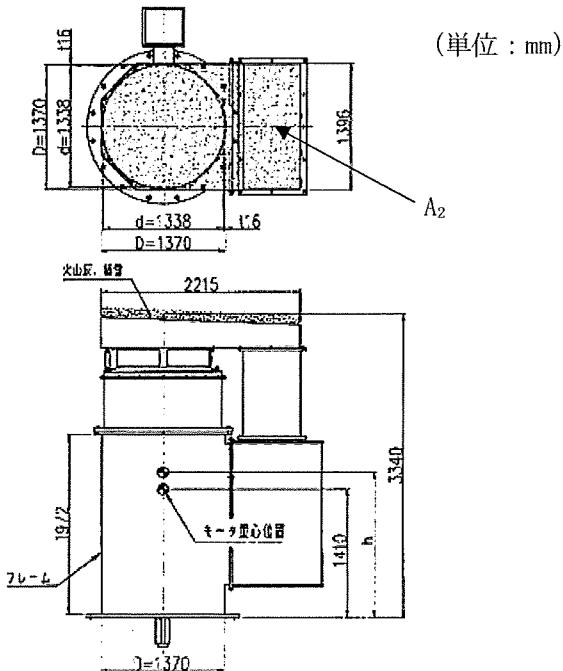
(2) 評価方法

a. 鉛直方向荷重

(a) 降下火碎物等堆積による鉛直荷重

$$F_v = F_v' \cdot A_2$$

降下火碎物等の堆積面積図を第3-8図に示す。



第3-8図 降下火碎物等の堆積面積図

(b) 電動機フレームに常時作用するモータ自重及びポンプスラストによる軸方向荷重

$$H = F_d + F_p$$

ここで、

$$F_d = m \cdot g$$

$$F_p = P \cdot g$$

b. 応力評価

(a) 電動機フレームに生じる曲げ応力

イ. 風荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント M_1

$$M_1 = W \cdot h$$

口. 鉛直荷重により電動機フレームに作用する曲げモーメント M_2

$$M_2 = \frac{(F_v + H) \cdot D}{2}$$

よって、電動機フレームに作用する曲げモーメントMは、

$$M = M_1 + M_2$$

以上より、電動機フレームに生じる曲げ応力 σ_b は次式より算出される。

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$$

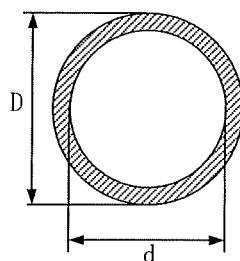
(b) 電動機フレームに生じる圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{F_v + H}{S}$$

ここで、

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

電動機フレーム断面図を第3-9 図に示す。



第3-9図 電動機フレーム断面図

4. 評価条件

強度評価に使用する入力条件を第4-1表に示す。

第4-1表 入力条件

評価部位	材質	温 度 (°C)	電動機フレームの風力係数 C_1 (-)	空気冷却器の風力係数 C_2 (-)	外扇カバーの風力俫数 C_3 (-)	外扇カバーリー接続箱の風力俫数 C_4 (-)	上部ブラケットの風力俫数 C_5 (-)
電動機フレーム	SS400 (t16)	40	1.2	2.1	2.4	2.4	1.2

G (-)	V_D (m/s)	H_T (m)	Z_b (m)	Z_G (m)	α (-)
2.2	32	5.64	5	350	0.15

h (mm)	g (m/s ²)	F_y' (N/m ²)	m (kg)	P (kg)
1,597	9.80665	6,750	13,000	23,000

電動機フレームの受圧面積 A_{11} (m ²)	空気冷却器の受圧面積 A_{12} (m ² /台)	外扇カバーの受圧面積 A_{13} (m ²)	外扇カバーリー接続箱の受圧面積 A_{14} (m ²)	上部ブラケットの受圧面積 A_{15} (m ²)	A_2 (m ²)
2.70	1.59	0.75	0.62	1.42	3.09

D (mm)	d (mm)
1,370	1,338

5. 強度評価結果

降下火碎物等堆積時の強度評価結果を第5-1表に示す。

電動機フレームに発生する応力は、許容応力以下である。

第5-1表 強度評価結果

損傷モード	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度
曲げ	13	282	21.69
圧縮	6	244	40.66

建屋の強度計算書

目 次

頁

1. 概要	03-別添1-3-1
2. 基本方針	03-別添1-3-2
2.1 位置	03-別添1-3-2
2.2 構造概要	03-別添1-3-3
2.3 評価方針	03-別添1-3-13
2.4 適用規格	03-別添1-3-15
3. 強度評価方法	03-別添1-3-16
3.1 評価対象部位	03-別添1-3-16
3.2 荷重及び荷重の組合せ	03-別添1-3-17
3.3 許容限界	03-別添1-3-28
3.4 評価方法	03-別添1-3-34
4. 強度評価結果	03-別添1-3-56
4.1 屋根	03-別添1-3-56
4.2 耐震壁	03-別添1-3-57
4.3 鉄骨架構	03-別添1-3-62

1. 概要

本資料は、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋が降下火砕物及び雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積時において、内包する防護すべき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、建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

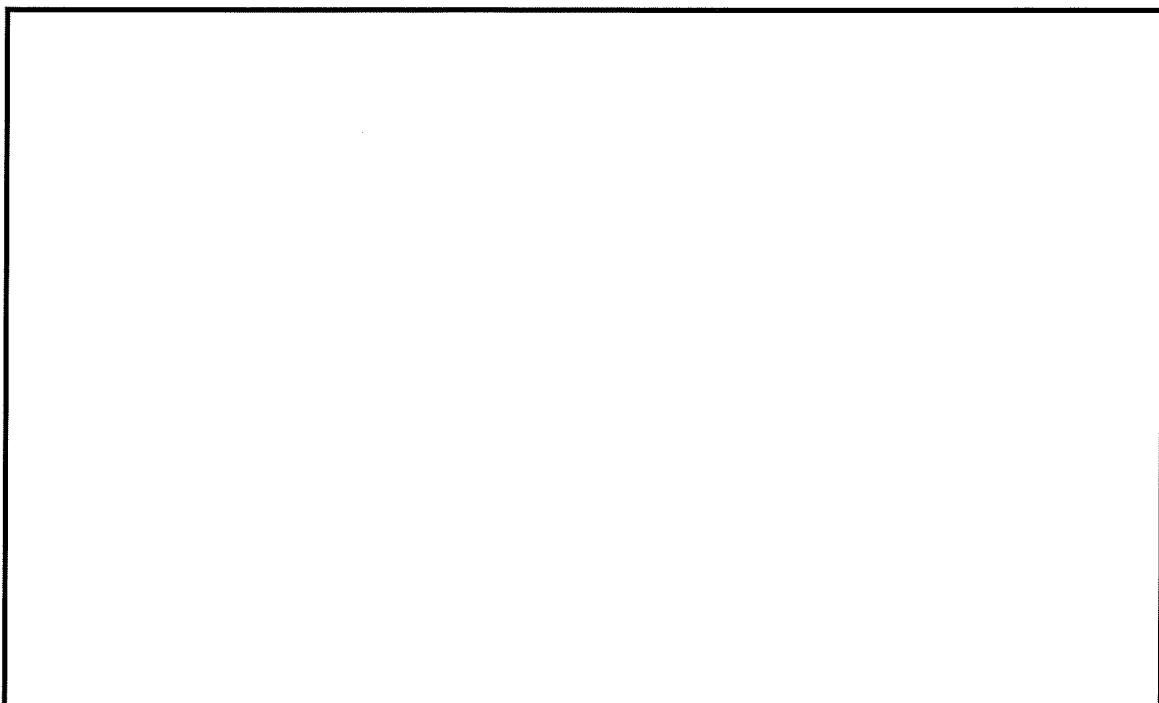
また、上記に加え、原子炉周辺建屋のうちアニュラス区画構造物については気密性の維持を、原子炉格納容器、制御建屋のうち中央制御室遮蔽及び緊急時対策所建屋のうち緊急時対策所遮蔽については遮蔽性の維持を考慮して、建屋全体又は建屋の主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

評価対象となる建屋の位置及び構造概要を、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」に示す。

2.1 位置

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋は、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋の配置を第2-1図に示す。



第2-1図 配置図

2.2 構造概要

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋は、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」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。

原子炉格納容器(プレストレストコンクリート製原子炉格納容器)(PCCV)は、上部シェルのプレストレストコンクリート部分及び底部の鉄筋コンクリート部分(以下「コンクリート部」という。)で構成する構造体であり、耐漏洩性を確保する目的でライナが内張りされている。プレストレストコンクリート部(以下「シェル部」という。)は、膜引張応力を低減する目的でプレストレスを与えた鉄筋コンクリート構造であり、内径約□m、厚さ約□mの半球形状のドーム及び底部とドームの間の内径約□m、厚さ約□mの円筒形状の胴で形成される。また、シェル部は外部遮蔽としての機能も有している。

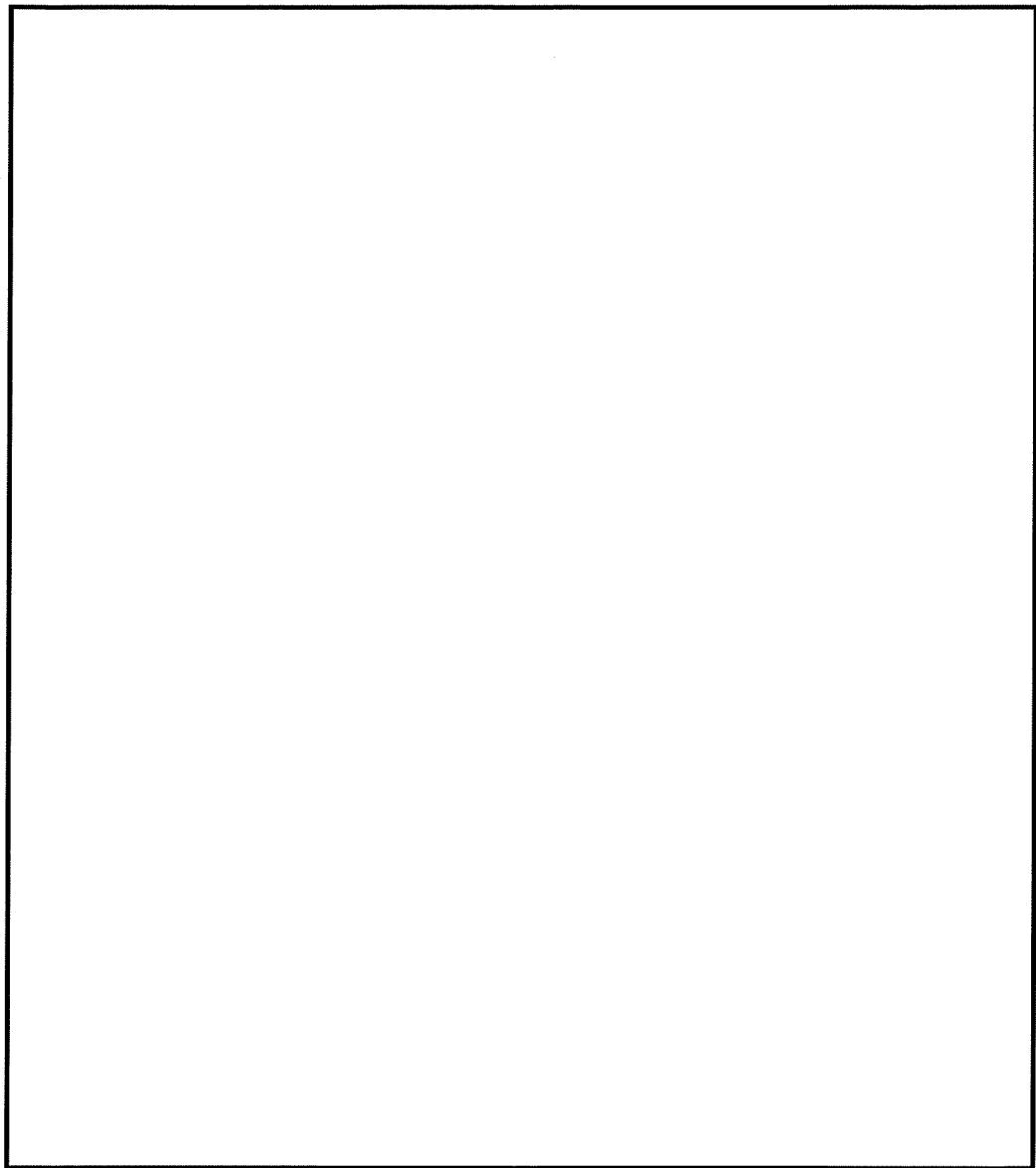
原子炉周辺建屋は、4層の主要床面を有しており、鉄筋コンクリート造の壁式構造を主体とし、一部を鉄骨造の骨組構造とした建物である。本建物の平面規模はNS方向で約□m、EW方向で約□mであり、主要屋根面の基礎底面からの高さは約□mである。

制御建屋は、5層の主要床面を有する、鉄筋コンクリート造の壁式構造を主体とした建物である。本建物の平面規模はNS方向約□m、EW方向約□mであり、主要屋根面の基礎底面からの高さは□mである。

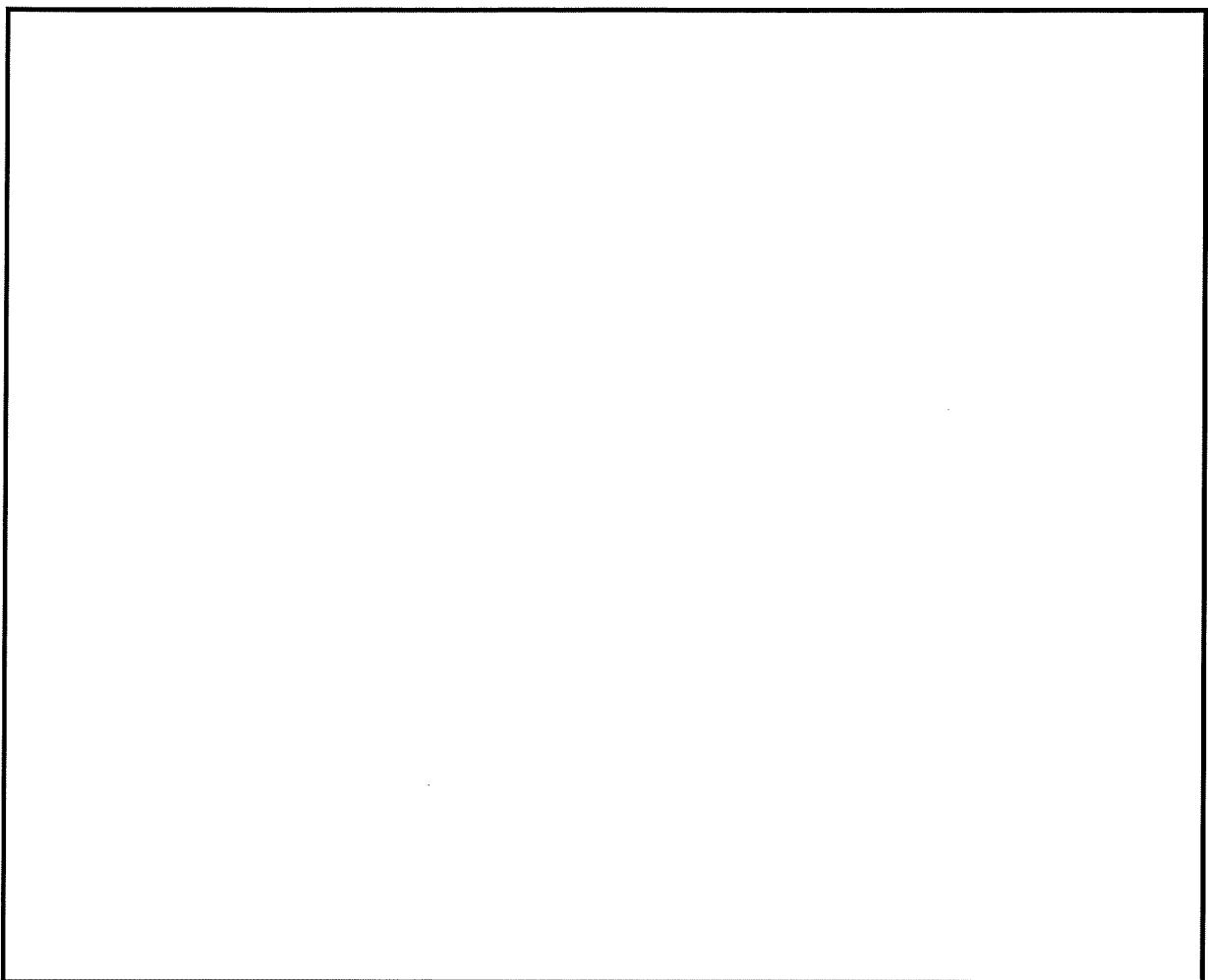
廃棄物処理建屋は、4層の床面を有する、鉄筋コンクリート造の壁式構造の建物である。本建物の平面規模はNS方向で約□m、EW方向で約□mであり、最高屋根面の基礎底面からの高さは□mである。

緊急時対策所建屋の2層の主要床面を有する、鉄筋コンクリート造の壁式構造の建物である。本建物の平面規模は、NS方向で約□m、EW方向で約□mであり、屋根面の基礎底面からの高さは約□mである。

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋の概略平面図及び概略断面図を第2-2図～第2-9図に示す。

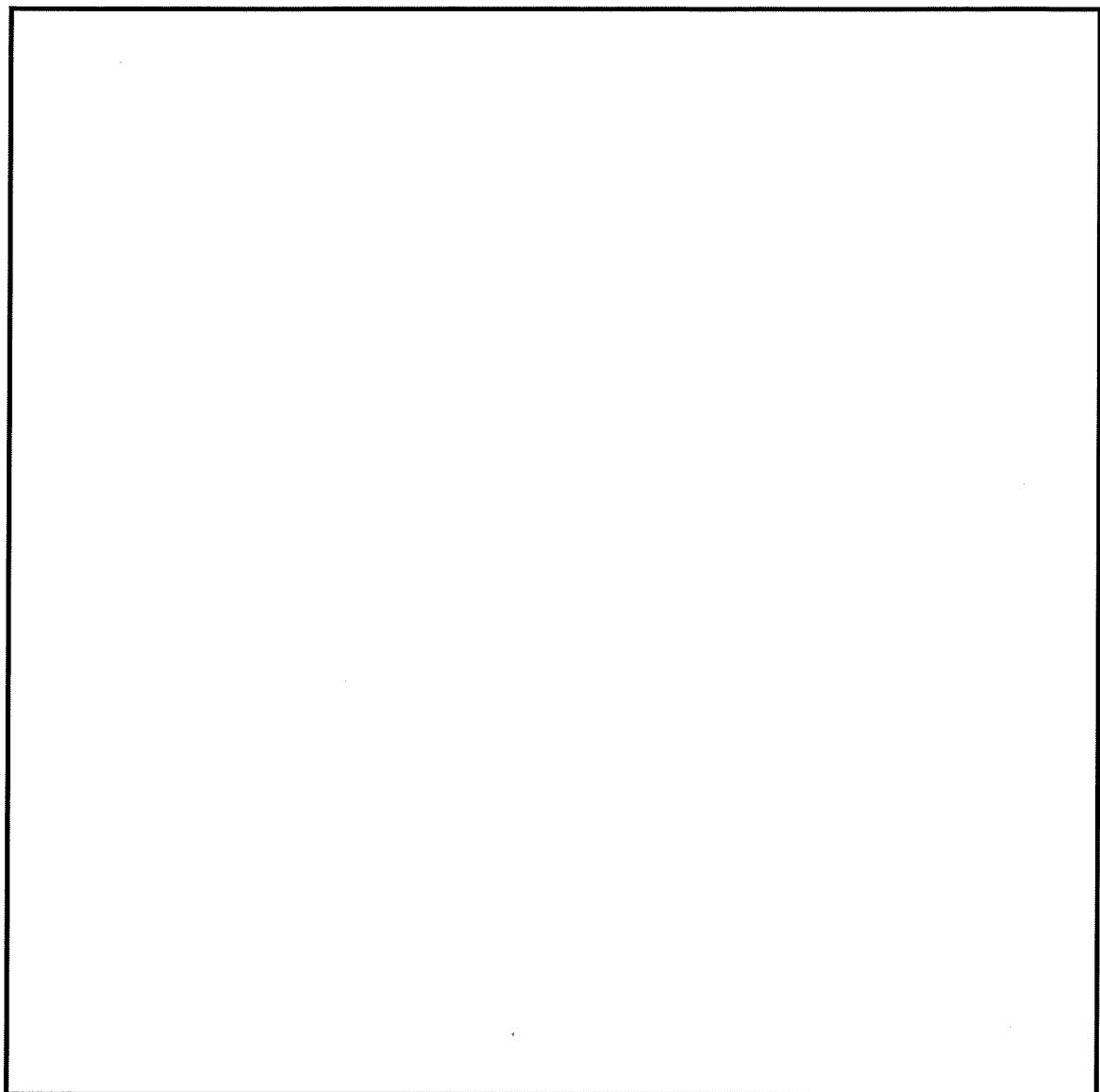


第2-2図 原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の概略平面図 (E. L. [] m)



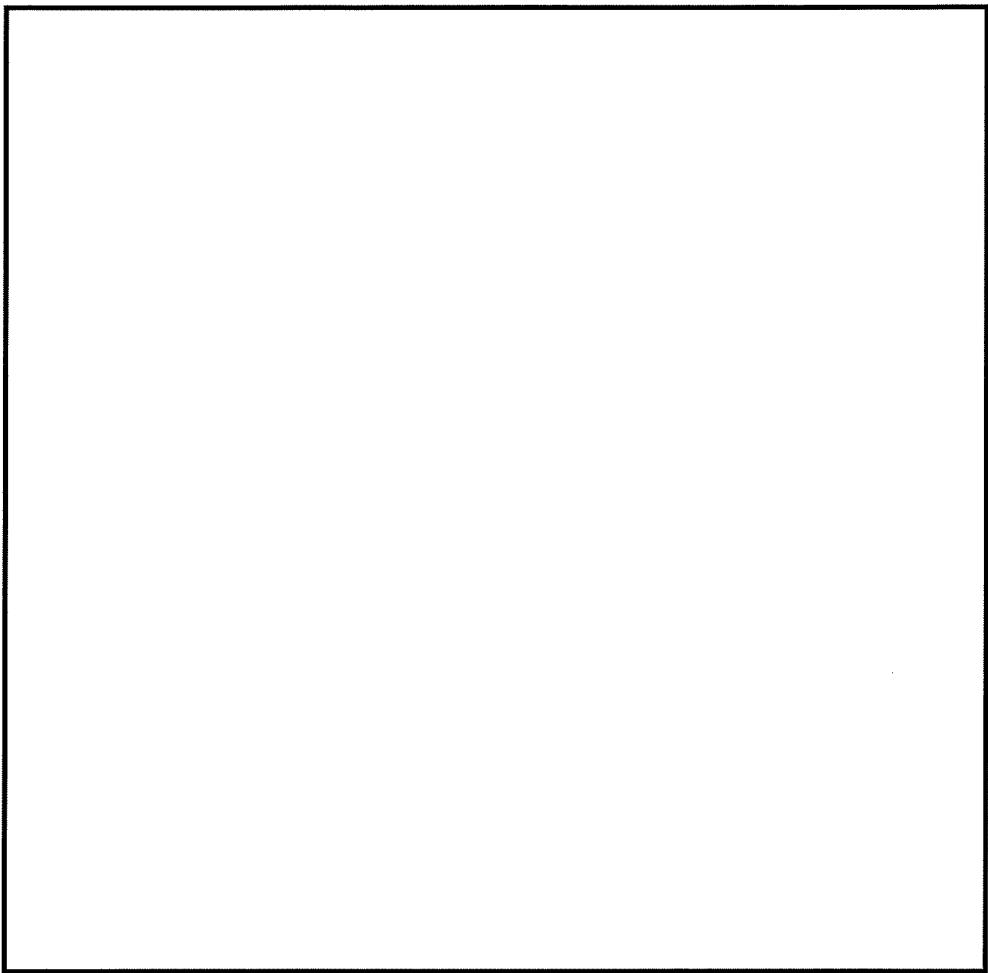
(a) A-A 断面

第 2-3 図 原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の概略断面図 (1/2)

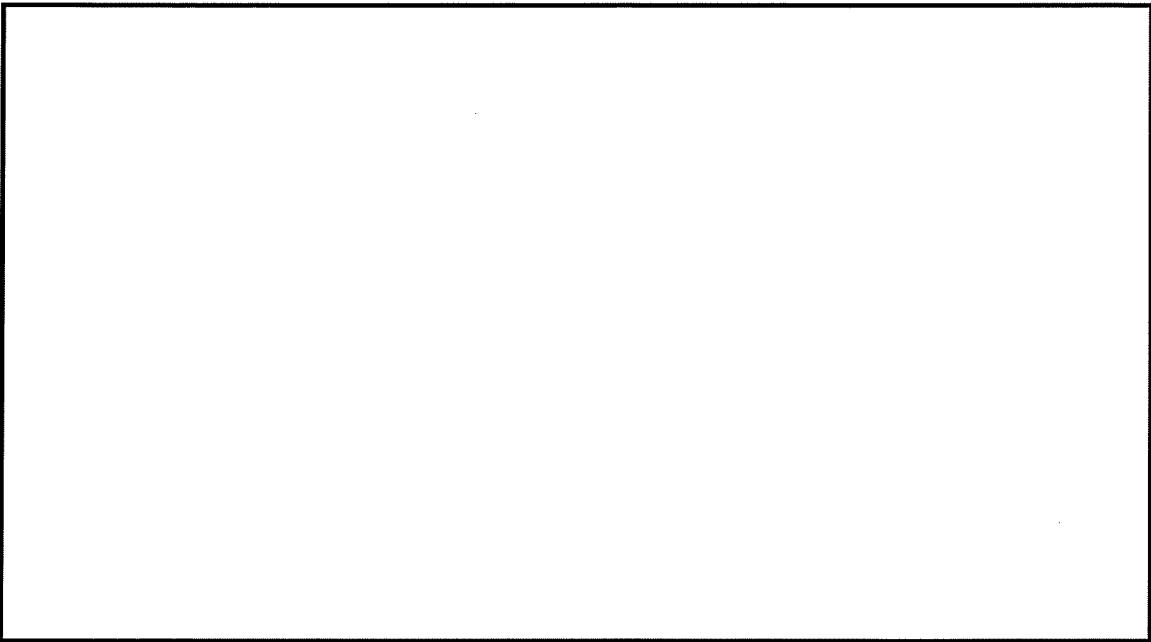


(b) B-B 断面

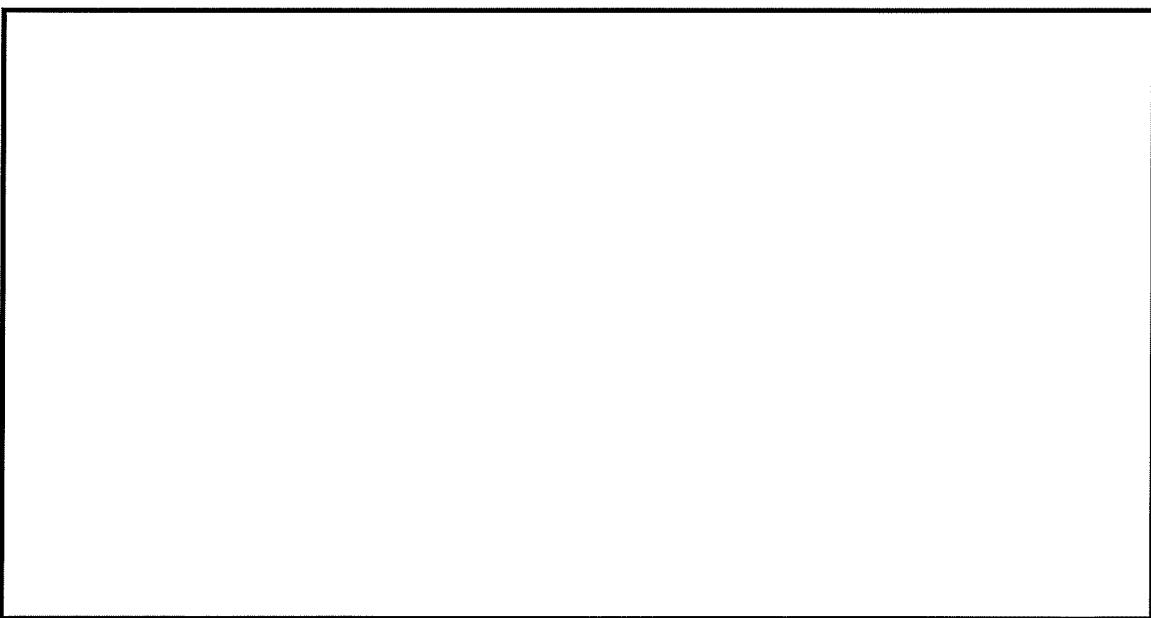
第 2-3 図 原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の概略断面図 (2/2)



第2-4図 制御建屋の概略平面図 (E.L. [] m)

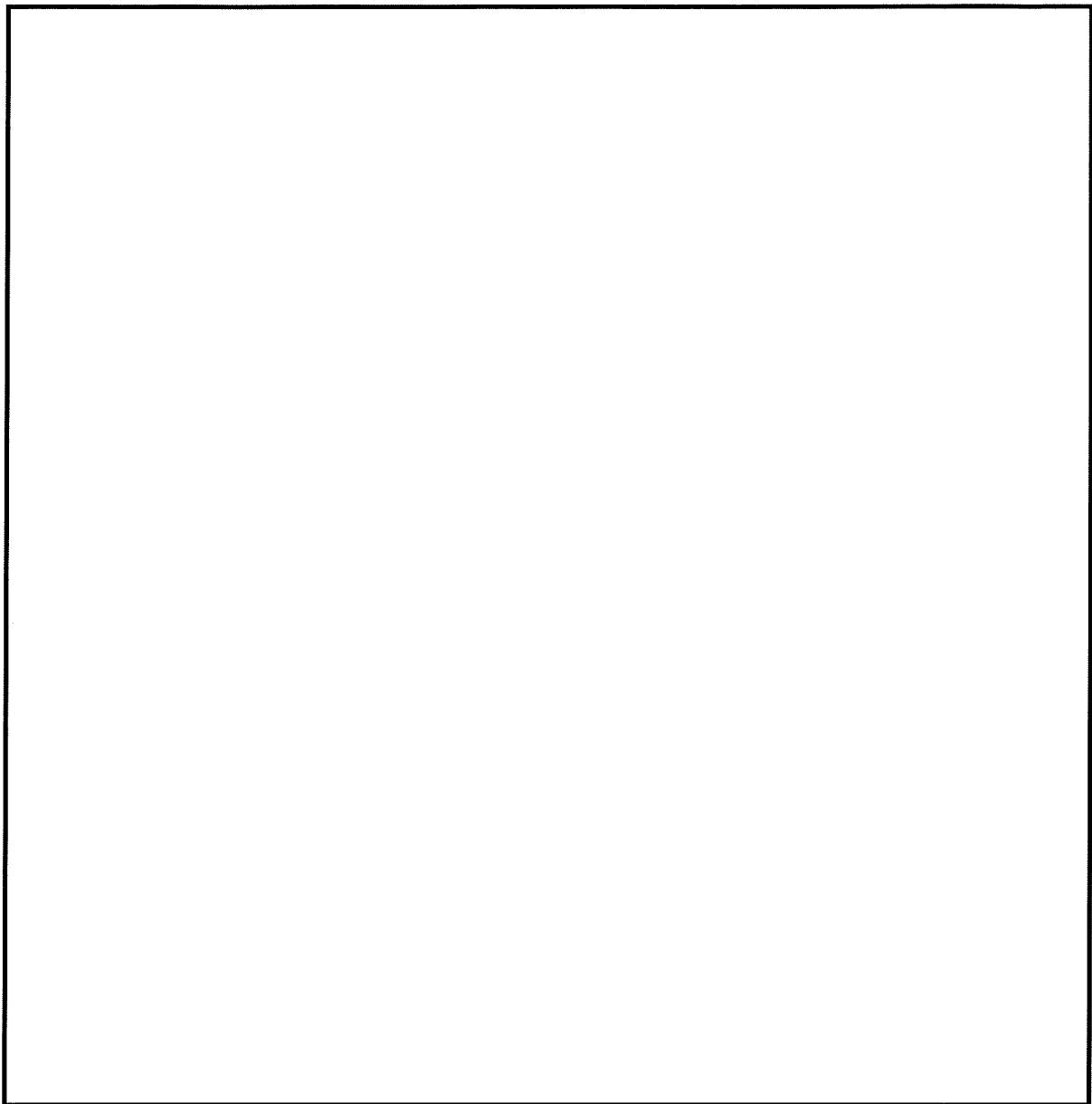


(a) A-A 断面

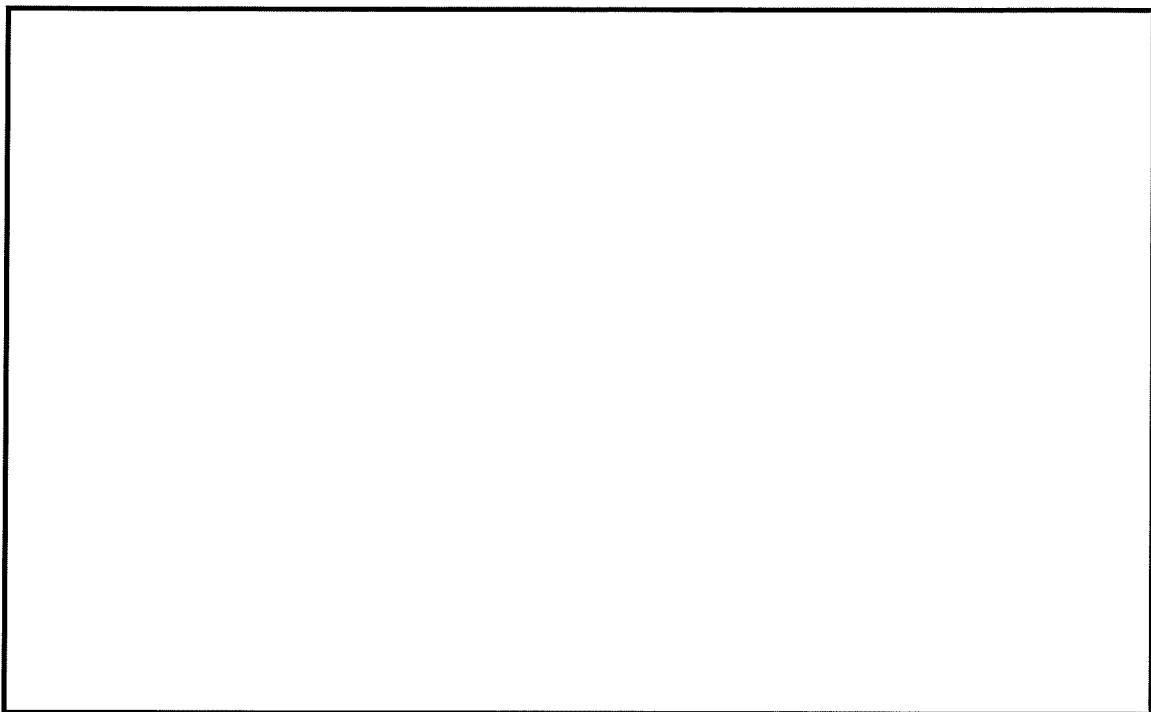


(b) B-B 断面

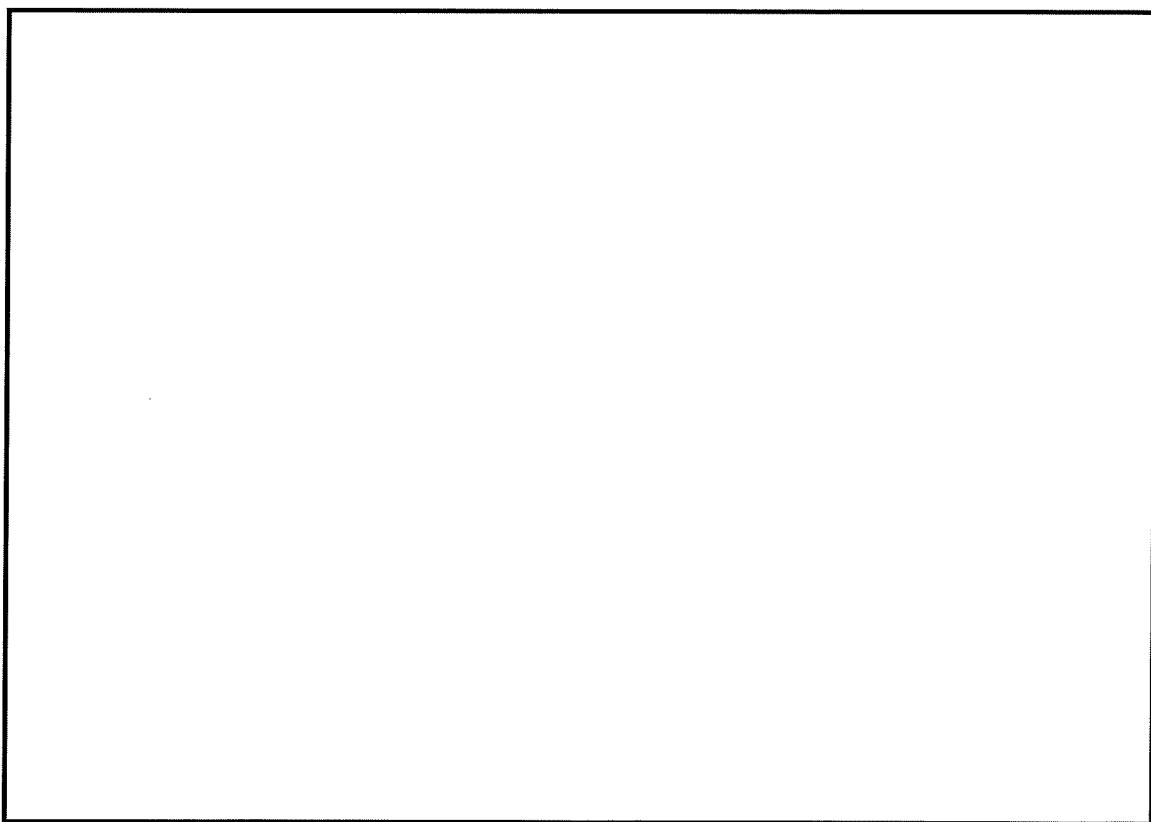
第 2-5 図 制御建屋の概略断面図



第2-6図 廃棄物処理建屋の概略平面図(E.L. [redacted] m付近)

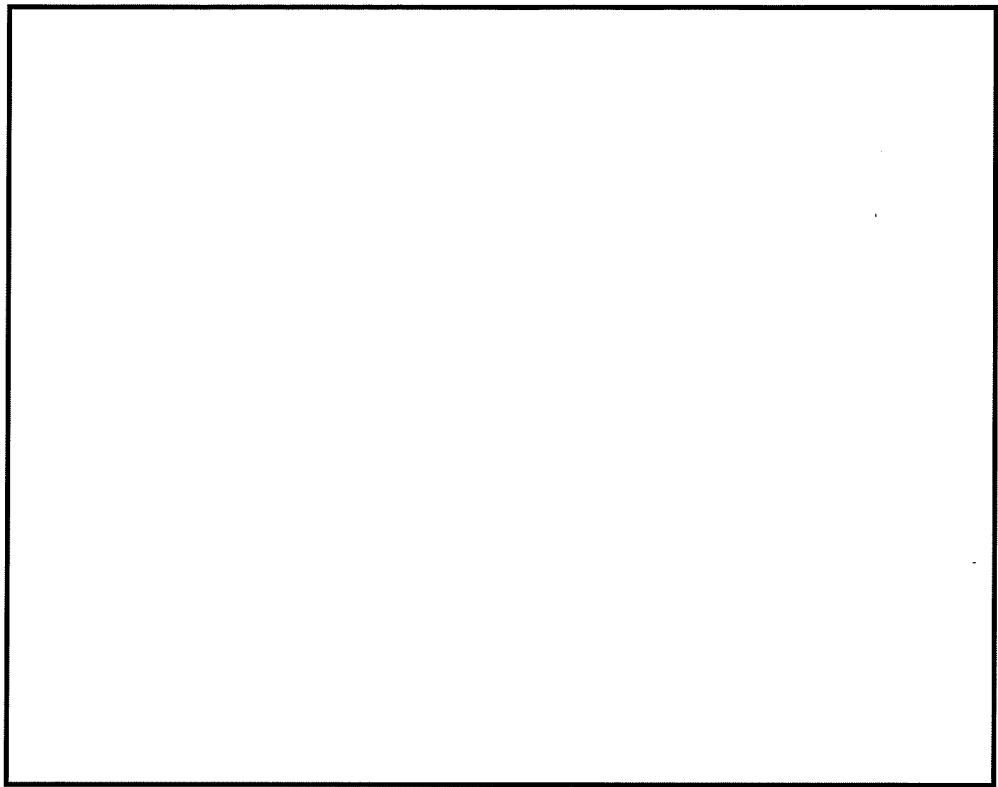


(a) A-A 断面

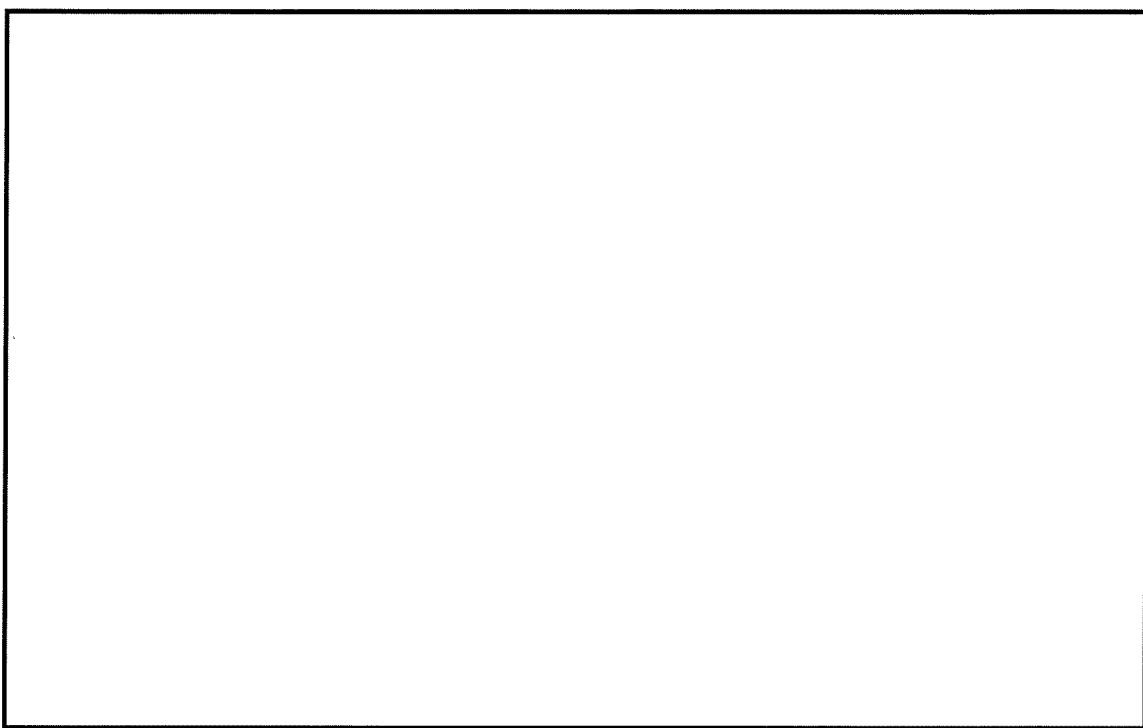


(b) B-B 断面

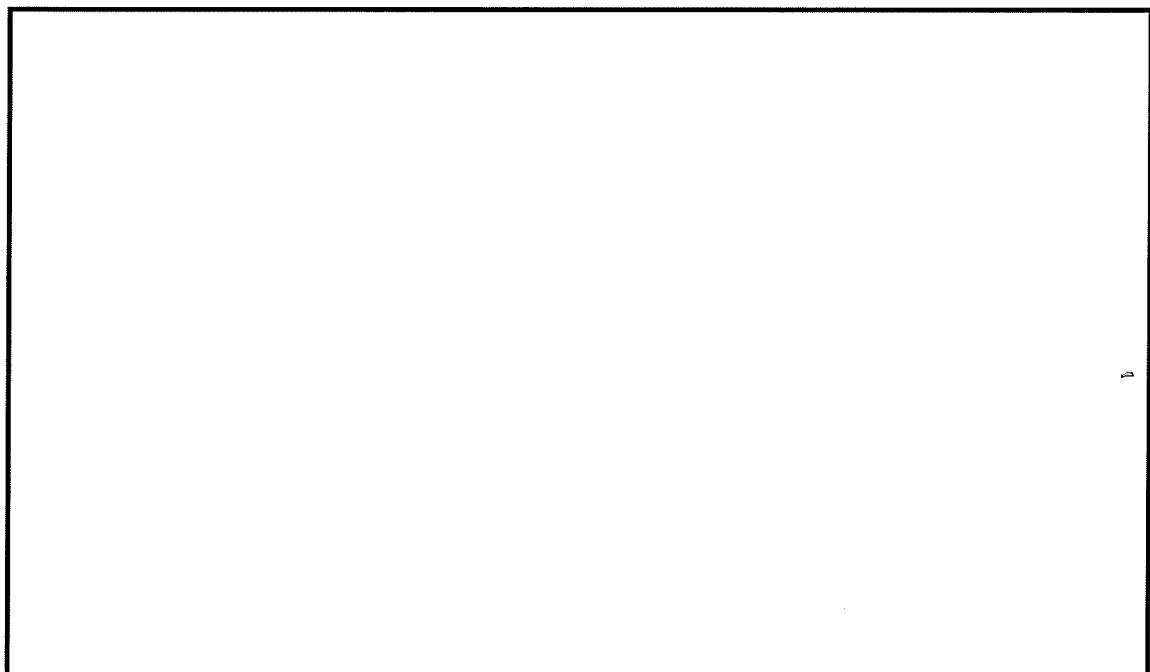
第 2-7 図 廃棄物処理建屋の概略断面図



第2-8図 緊急時対策所建屋の概略平面図 (E.L. [redacted] m)



(a) A-A 断面図



(b) B-B 断面図

第 2-9 図 緊急時対策所建屋の概略断面図

2.3 評価方針

建屋の強度評価は、別添 1－1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「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、建屋の評価対象部位に作用する応力等が、許容限界を超えないことを「3. 強度評価方法」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。

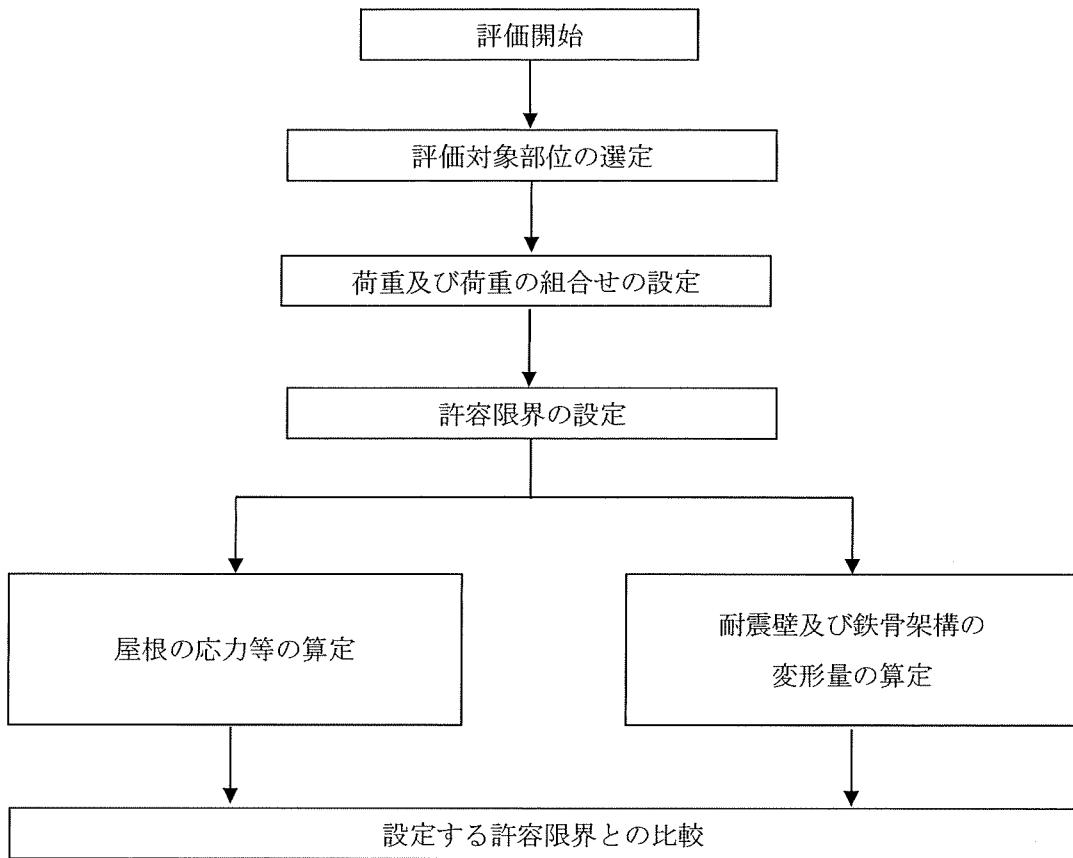
建屋の強度評価のフロー図を第 2-10 図に示す。

建屋の強度評価においては、その構造を踏まえ降下火砕物等堆積による鉛直荷重及び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。

設計荷重は、別添 1－1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

各建屋の設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根を、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁及び鉄骨構造を選定する。ここで、本資料では PCCV の胴を含めて「耐震壁」という。

許容限界は、別添 1－1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。



第2-10図 建屋の強度評価のフロー図

2.4 適用規格

適用する規格、標準、指針等を以下に示す。

- ・建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・福井県建築基準法施行細則（昭和 47 年 4 月 25 日福井県規則第 41 号）
- ・「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（社）日本建築学会（1999）
- ・「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）
(以下「RC-N 規準」という。)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（社）日本電気協会
(以下「JEAG4601-1987」という。)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（社）日本電気協会
(以下「JEAG4601-1991」追補版といふ。)
- ・「建築物荷重指針・同解説」（社）日本建築学会（2004）
- ・「鋼構造設計規準—許容応力度設計法一」（社）日本建築学会（2005）
(以下「S 規準」という。)
- ・「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」（社）日本機械学会（2003）
(以下「CCV 規格」という。)

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

建屋の評価対象部位は、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」に従って、屋根、耐震壁及び鉄骨架構とする。

各建屋において、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位を以下のとおり選定する。屋根は、屋根スラブ及びそれを受けける二次部材（以下「梁」という。）について評価する。

- ・原子炉格納容器 : 屋根（ドーム）
- ・原子炉周辺建屋 : 屋根（屋根スラブ・梁）
- ・制御建屋 : 屋根（屋根スラブ・梁）
- ・廃棄物処理建屋 : 屋根（屋根スラブ）
- ・緊急時対策所建屋 : 屋根（屋根スラブ）

また、各建屋において、水平荷重に抵抗する評価対象部位を以下のとおり選定する。

- ・原子炉格納容器 : 耐震壁（胴）
- ・原子炉周辺建屋 : 耐震壁・鉄骨架構
- ・制御建屋 : 耐震壁
- ・廃棄物処理建屋 : 耐震壁
- ・緊急時対策所建屋 : 耐震壁

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価においては、別添1－1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「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。

3.2.1 荷重の設定

(1) 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、自重及び積載荷重とする。各建屋に対する常時作用する荷重を第3-1表に示す。

第3-1表 常時作用する荷重

		常時作用する荷重(N/m^2)
原子炉格納容器	ドーム	
原子炉周辺建屋	屋根スラブ	
	梁	
制御建屋	屋根スラブ	
	梁	
廃棄物処理建屋	屋根スラブ	
緊急時対策所建屋	屋根スラブ	

(2) 積雪荷重(F_s)

積雪荷重は、福井県建築基準法等施行細則により定められた大飯郡の垂直積雪量 100cm として設定し、積雪量 1cm ごとに $30\text{N}/\text{m}^2$ の積雪荷重が作用することとし設定する。積雪荷重を第 3-2 表に示す。

第 3-2 表 積雪荷重

積雪荷重 F_s (N/m^2)
3,000

(3) 降下火碎物堆積による鉛直荷重 (F_v)

降下火碎物堆積による鉛直荷重は、別添 1-1 「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す降下火碎物による荷重を踏まえて、降下火碎物の堆積量を 25cm とし、堆積量 1cm ごとに $150\text{N}/\text{m}^2$ の鉛直荷重が作用することとし設定する。降下火碎物堆積による単位面積当たりの鉛直荷重を第 3-3 表に示す。

第 3-3 表 降下火碎物堆積による鉛直荷重

降下火碎物堆積による鉛直荷重 F_v (N/m^2)
3,750

(4) 風荷重 (W)

風荷重の算出に用いる記号を第3-4表のとおり定義する。基準風速は32m/sとする。

第3-4表 風荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	受風面積（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1454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わす係数
G	—	ガスト影響係数
H	m	全高
q	N/m ²	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1454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1454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1454号に掲げる数値

風荷重Wは、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. 水平荷重」に示す以下の式に従い算出する。全高HがZ_b(5m)を超えるため、HがZ_bを超えるの場合の式を用いる。風荷重Wの算出は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数C及び受風面積Aに基づき実施し、風荷重Wの算出に用いる受風面積算定において、隣接する建屋の遮断効果は保守的に考慮しない。

$$W = q \cdot C \cdot A$$

ここで、

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

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

$$E_r = 1.7 \cdot (H/Z_G)^\alpha$$

風荷重の算出条件を第3-5表に、各建屋の風力係数及び受風面積を第3-6表～第3-10表に示す。なお、同一方向でも風向によって各層の受風面積が異なる場合で、受風面積の大小関係によりいずれかの風向で代表できない場合は、両方向について風荷重の算出条件を設定する。

第3-5表 風荷重の算出条件

施設名称	基準風速 V_D (m/s)	全高 H (m)	Z_G (m)	α	ガスト 影響係数 G	設計用 速度圧 q (N/m ²)
・ 原子炉格納容器						
・ 原子炉周辺建屋	32	□ ^{*1}	350	0.15	2.20 ^{*2}	2,650
・ 制御建屋						
・ 廃棄物処理建屋						
・ 緊急時対策所建屋	32	□	450	0.20	2.50 ^{*3}	984

※1：保守的に、原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋及び廃棄物処理建屋のうち最も大きい原子炉格納容器の最高高さ (E.L. □ m) と地面の高さ (E.L. □ m) の差を、全建物に対する係数として採用（第2-3図参照）

※2：保守的に、建築基準法施行令第87条第4項の規定及び平成12年5月31日建設省告示第1454号第1第3項の表のうち、該当地表面粗度区分IIにおける最大値を採用

※3：保守的に、建築基準法施行令第87条第4項の規定及び平成12年5月31日建設省告示第1454号第1第3項の表のうち、該当地表面粗度区分IIIにおける最大値を採用

第3-6表 原子炉格納容器の風力係数及び受風面積

(NS方向、EW方向共通) ^{※1}

部材番号 ^{※2}	高さ E. L. (m)	位置	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
			風上	風下	風上	風下
10		球形	0.539	-	25.02	25.02
9		球形	0.539	-	166.68	166.68
8		球形	0.539	-	364.48	364.48
7		球形	0.539	-	359.12	359.12
6		円筒形	0.539	-	483.36	483.36
5		円筒形	0.539	-	456.00	456.00
4		円筒形	0.539	-	155.04	155.04
3		円筒形	0.539	-	0	0
2		円筒形	0.539	-	0	0
1		円筒形	0.539	-	0	0

※1：原子炉格納容器は受風面積及び復元力特性が NS 方向と EW 方向で同一である。

※2：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

第3-7表 原子炉周辺建屋の風力係数及び受風面積 (1/2)

(1) NS 方向 (N→S)

部材 番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
33		0.8	-0.4	0	163.02
32(S)		0.8	-0.4	430.36	281.15
31(S)		0.8	-0.4	0	202.97
30(S)		0.8	-0.4	409.12	409.12
29(S)		0.8	-0.4	586.91	0
28		0.8	-0.4	546.44	632.72
27		0.8	-0.4	639.91	639.91

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

(2) NS 方向 (S→N)

部材 番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
33		0.8	-0.4	163.02	0
32(S)		0.8	-0.4	281.15	430.36
31(S)		0.8	-0.4	202.97	0
30(S)		0.8	-0.4	409.12	409.12
29(S)		0.8	-0.4	0	586.91
28		0.8	-0.4	632.72	546.44
27		0.8	-0.4	639.91	639.91

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

第3-7表 原子炉周辺建屋の風力係数及び受風面積 (2/2)

(3) EW 方向 (E→W)

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
33		0.8	-0.4	195.82	195.82
32(S)		0.8	-0.4	284.19	604.58
31(S)		0.8	-0.4	0	331.50
30(S)		0.8	-0.4	205.71	205.71
29(S)		0.8	-0.4	295.10	0
28		0.8	-0.4	831.14	791.06
27		0.8	-0.4	890.00	890.00

※ : 「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

(4) EW 方向 (W→E)

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
33		0.8	-0.4	195.82	195.82
32(S)		0.8	-0.4	604.58	284.19
31(S)		0.8	-0.4	331.50	0
30(S)		0.8	-0.4	205.71	205.71
29(S)		0.8	-0.4	0	295.10
28		0.8	-0.4	791.06	831.14
27		0.8	-0.4	890.00	890.00

※ : 「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

第3-8表 制御建屋の風力係数及び受風面積

(1) NS 方向

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
5		0.8	-0.4	500.08	500.08
4		0.8	-0.4	268.80	268.80
3		0.8	-0.4	308.00	308.00
2		0.8	-0.4	240.80	240.80
1		0.8	-0.4	252.00	252.00

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

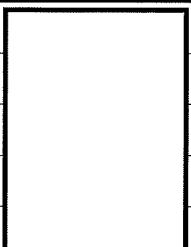
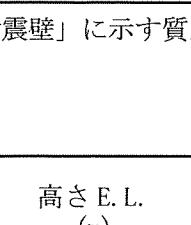
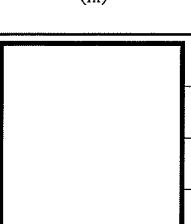
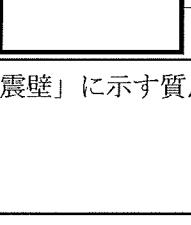
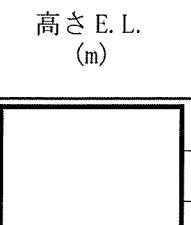
(2) EW 方向

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
5		0.8	-0.4	499.63	499.63
4		0.8	-0.4	268.56	268.56
3		0.8	-0.4	307.73	307.73
2		0.8	-0.4	240.59	240.59
1		0.8	-0.4	251.78	251.78

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

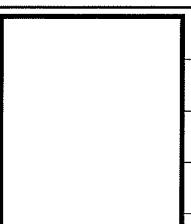
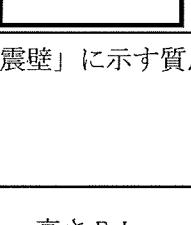
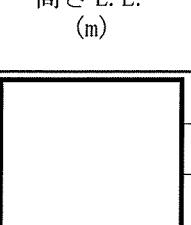
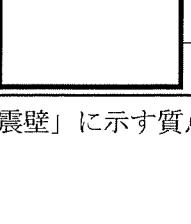
第3-9表 廃棄物処理建屋の風力係数及び受風面積

(1) NS 方向 (N→S)

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
8		0.8	-0.4	197.37	197.37
7		0.8	-0.4	461.15	477.92
6		0.8	-0.4	459.20	431.36
5		0.8	-0.4	476.00	476.00
4		0.8	-0.4	420.00	420.00

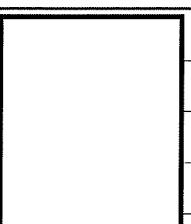
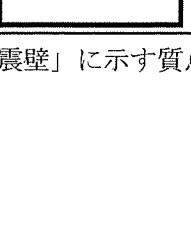
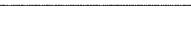
※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

(2) NS 方向 (S→N)

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
8		0.8	-0.4	197.37	197.37
7		0.8	-0.4	477.92	461.15
6		0.8	-0.4	431.36	459.20
5		0.8	-0.4	476.00	476.00
4		0.8	-0.4	420.00	420.00

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

(3) EW 方向

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
8		0.8	-0.4	396.27	396.27
7		0.8	-0.4	140.08	140.08
6		0.8	-0.4	520.34	453.19
5		0.8	-0.4	441.58	441.58
4		0.8	-0.4	389.63	389.63

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

第3-10表 緊急時対策所建屋の風力係数及び受風面積

(1) NS 方向

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
①		0.816	-0.4	123.2	123.2
②		0.816	-0.4	105.8	105.8

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

(2) EW 方向

部材番号※	高さ E. L. (m)	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
		風上	風下	風上	風下
①		0.816	-0.4	136.4	136.4
②		0.816	-0.4	112.0	112.0

※：「3.4.2 耐震壁」に示す質点系モデルの部材番号を示す。

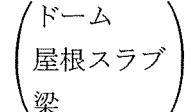
3.2.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、建屋の評価対象部位ごとに設定する。

建屋に水平方向の風荷重が作用すると、屋根に対し、鉛直上向きの荷重が働き、鉛直下向きの荷重が低減されるため、保守的に、風による鉛直方向の荷重は考慮しない。

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋の評価に用いる荷重の組合せを第3-11表に示す。

第3-11表 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
建屋	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器 ・原子炉周辺建屋 ・制御建屋 ・廃棄物処理建屋 ・緊急時対策所建屋 	屋根 	<ul style="list-style-type: none"> ・常時作用する荷重 F_d ・積雪荷重 F_s ・降下火砕物堆積による鉛直荷重 F_v
		耐震壁（胴を含む） 鉄骨架構	<ul style="list-style-type: none"> ・常時作用する荷重 F_d ・積雪荷重 F_s ・降下火砕物堆積による鉛直荷重 F_v ・風荷重 W

3.3 許容限界

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋の許容限界は、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建屋の評価対象部位ごとに設定する。

建屋の評価対象部位の許容限界及び評価基準値を第3-12表～第3-16表に、使用材料の許容応力度を第3-17表～第3-19表に示す。

第3-12表 原子炉格納容器の許容限界

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持すること	ドーム	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	「CCV規格」に基づく荷重状態IVの許容値(荷重状態IIIの許容値)※1
		耐震壁 (胴)	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※1
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	ドーム	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	「CCV規格」に基づく荷重状態IVの許容値(荷重状態IIIの許容値)※1
		耐震壁 (胴)	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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※2

※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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して荷重状態IIIの許容値等とする。

※2：内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

第3-13表 原子炉周辺建屋の許容限界

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)
-	内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持すること	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」等における終局耐力 (短期許容応力度) ^{※2}
			S梁	「S 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ^{※2}
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ^{※2}
		鉄骨架構	最大層間変形角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	最大層間変形角 1/30 (1/200) ^{※2※3}
※1 気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	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
		耐震壁	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	概ね弾性 (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ) ^{※4}
		鉄骨架構	最大層間変形角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	最大層間変形角 1/30 (1/200) ^{※5}

※1：原子炉周辺建屋の一部を構成しているアニュラス区画構造物を対象とする。

※2：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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度等とする。

※3：建築基準法施行令第82条の2に規定された値を採用する。

※4：内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

※5：内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持するための評価基準値が1/200であることから、評価基準値として1/200を適用する。

第3-14表 制御建屋の許容限界

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持すること	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」等における終局耐力(短期許容応力度)※3
			S梁	「S 規準」等における終局耐力(短期許容応力度)※3
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※3
※1 遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	耐震壁	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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※4
※2 気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	耐震壁	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	概ね弾性 (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※4

※1：制御建屋の一部を構成している中央制御室遮蔽を対象とする。

※2：中央制御室は、居住性の評価を行っており、中央制御室換気設備の処理対象となるバウンダリを定めていることから、気密性の維持についても確認を行う。

※3：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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度等とする。

※4：内包する防護すべき施設に降下火碎物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

第3-15表 廃棄物処理建屋の許容限界

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持すること	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」等における終局耐力 (短期許容応力度)※1
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※1

※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、評価基準値はさらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度等とする。

第3-16表 緊急時対策所建屋の許容限界

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)
—	内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持すること	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」等における終局耐力(短期許容応力度)※3
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※3
※1 遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	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」等における終局耐力(短期許容応力度)※3
		耐震壁	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	最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※4
※2 気密性	換気性能とあいまって気密性を維持すること	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
		耐震壁	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	概ね弾性 (せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ)※4

※1：緊急時対策所建屋の一部を構成している緊急時対策所遮蔽を対象とする。

※2：緊急時対策所は、居住性の評価を行っており、緊急時制御室換気設備の処理対象となるバウンダリを定めていることから、気密性の維持についても確認を行う。

※3：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等とする。

※4：内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能を維持するための評価基準値をせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみとすることから、評価基準値としてせん断スケルトンカーブの第1折点のひずみを適用する。

第3-17表 鋼材の許容応力

建屋	種類	F 値 (N/mm ²)	短期		
			引張 (N/mm ²)	圧縮・曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
原子炉周辺建屋	SS400	235	235	235	135
制御建屋	SS400	235	235	235	135

第3-18表 コンクリートの許容応力

建屋	設計基準強度 (N/mm ²)	短期	
		圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
原子炉格納容器	44.1	29.4	1.39
原子炉周辺建屋	29.4	19.6	1.17
制御建屋	29.4	19.6	1.17
廃棄物処理建屋	29.4	19.6	1.17
緊急時対策所建屋	30.0	20.0	1.18

第3-19表 鉄筋の許容応力

建屋	種類	短期	
		引張・圧縮 (N/mm ²)	面外せん断補強 (N/mm ²)
原子炉格納容器	SD390	390	390
原子炉周辺建屋	SD345	345	345
制御建屋	SD345	345	345
廃棄物処理建屋	SD345	345	345
緊急時対策所建屋	SD390	390	390

3.4 評価方法

3.4.1 屋根

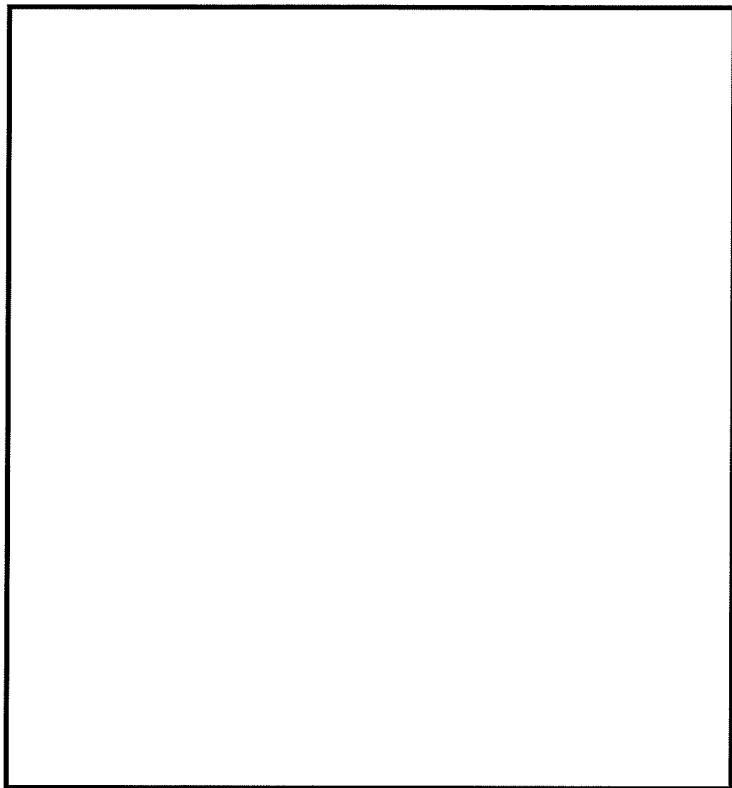
(1) ドーム

原子炉格納容器のドームの応力評価は、別添1-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価方法」に基づき、応力解析モデルを用いて弾性応力解析を実施する。

応力解析モデルについては、平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された大飯発電所第3号機工事計画の資料13-17-7-5-1「原子炉格納容器の耐震計算書（コンクリート部）」で用いた3次元FEMモデルと同一とする。応力解析モデルの概要図を第3-1図に示す。

原子炉格納容器のドームについては、膜力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度を算定し、「CCV規格」に基づき設定した各評価基準値を超えないことを確認する。

なお、ドームの応力評価には解析コード「MSC NASTRAN Ver. 2012r2」を、ドームの断面算定には解析コード「SCARC Ver. 2019」を用いる。また、解析コード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。



第3-1図 原子炉格納容器の応力解析モデルの概要図

イ. 膜力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、子午線方向及び円周方向各々について、膜力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。この場合、膜力は同時に作用する面内せん断力の影響を考慮して、「CCV 規格」の CVE-3511-1 及び CVE-3511-2 に示す等価膜力として評価する。

膜力と面内せん断力の関係図を第3-2図に示す。

等価膜力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度については、CVE-3413 及び CVE-3421 に示す各許容値を超えないことを確認する。

$$N_{\phi}^* = N_{\phi} \pm |N_{\phi\theta}| \quad \dots \dots \dots \quad (\text{CVE-3511-1})$$

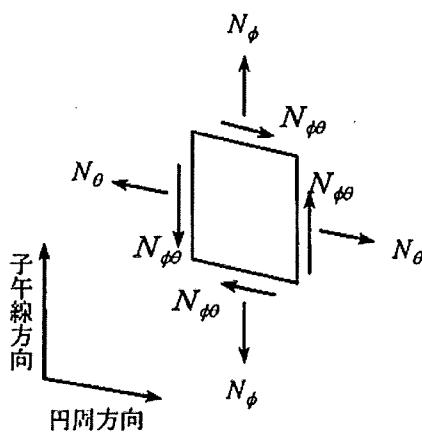
（アリ）

N_{ϕ}^* 、 N_{θ}^* : ϕ 、 θ 方向の等価膜力

N_ϕ, N_θ : ϕ, θ 方向の膜力

$N_{\phi\theta}$: 面内せん断力

(ϕ 方向は子午線方向、 θ 方向は円周方向とする)



第3-2図 膜力と面内せん断力の関係図

口. 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV 規格」の CVE-3512.1に基づいて行う。

荷重状態Ⅲにおいては、ドームに生じる面内せん断応力度が、CVE-3512.2-1 及び CVE-3512.2-2 より計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値の 0.75 倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_u = 0.5 \left\{ \left(p_{t\phi} \cdot f_y - \sigma_{p\phi} - \sigma_{0\phi} \right) + \left(p_{t\theta} \cdot f_y - \sigma_{p\theta} - \sigma_{0\theta} \right) \right\} \dots \quad (\text{CVE-3512.2-1})$$

ここで、

τ_u : 終局面内せん断応力度 (N/mm²)

$p_{t\phi}$: 子午線方向主筋の鉄筋比

$p_{t\theta}$: 円周方向主筋の鉄筋比

$\sigma_{p\phi}$: プレストレス荷重により生じる子午線方向の膜応力度 (N/mm^2) (引張の符号を正とする)

$\sigma_{p\theta}$: プレストレス荷重により生じる円周方向の膜応力度 (N/mm²) (引張の符号を正とする)

$\sigma_{0\phi}$: プレストレス荷重以外の外力により生じる子午線方向の膜応力度
 (N/mm^2) (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)

（）：プレストリス荷重以外の外力により生じる田園指向の瞬間荷重

(YU-3) (記述の場合は必ず考慮) (範囲を下げる)

（1）（引張の場合のみ）考慮し、荷重を正とする。

J_y . 脊肋の計谷引張心力度及び計谷圧縮心力度であり、第3-19表に示す値
 (N/mm^2)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

ハ. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV 規格」の CVE-3513. 1に基づいて行う。

荷重状態IIIにおいては、ドームに生じる面外せん断応力度が、CVE-3513. 2-1 及び CVE-3513. 2-2 より計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値の 0.75 倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_R = \Phi \{ 0.1(p_t \cdot f_y - \sigma_0) + 0.5p_w \cdot f_y + 0.235\sqrt{F_c} \} \dots \dots \dots \quad (\text{CVE-3513. 2-1})$$

$$\tau_R = 1.10\sqrt{F_c} \dots \dots \dots \quad (\text{CVE-3513. 2-2})$$

ここで、

τ_R : 終局面外せん断応力度 (N/mm^2)

p_t : 主筋の鉄筋比

σ_0 : 外力による膜応力度 (N/mm^2) (引張の符号を正とする)

p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であって、次の計算式により計算した値

$$p_w = a_w/(b \cdot x) \dots \dots \dots \quad (\text{CVE-3513. 2-3})$$

a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm^2)

b : 断面の幅 (mm)

x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

Φ : 低減係数であり、次の計算式により計算した値

(1 を超える場合は 1、0.58 未満の場合は 0.58 とする)

$$\Phi = 1/\sqrt{M/(Q \cdot d)} \dots \dots \dots \quad (\text{CVE-3513. 2-4})$$

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_y : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、第 3-19 表に示す値 (N/mm^2)

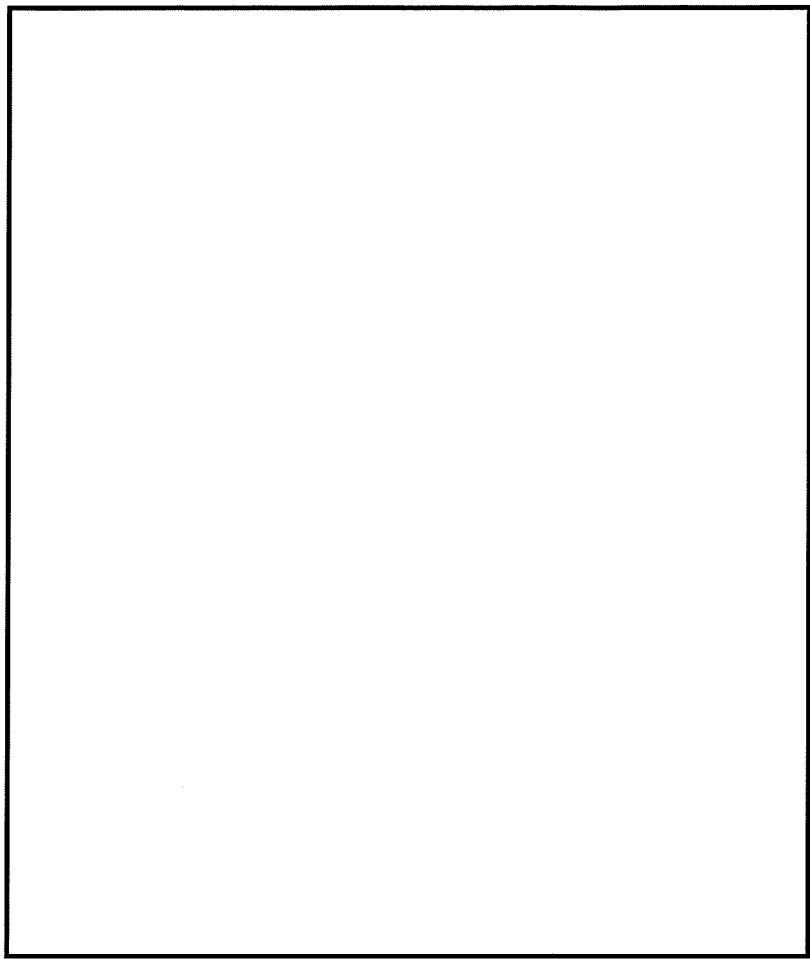
F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm^2)

(2) 屋根スラブ及び梁

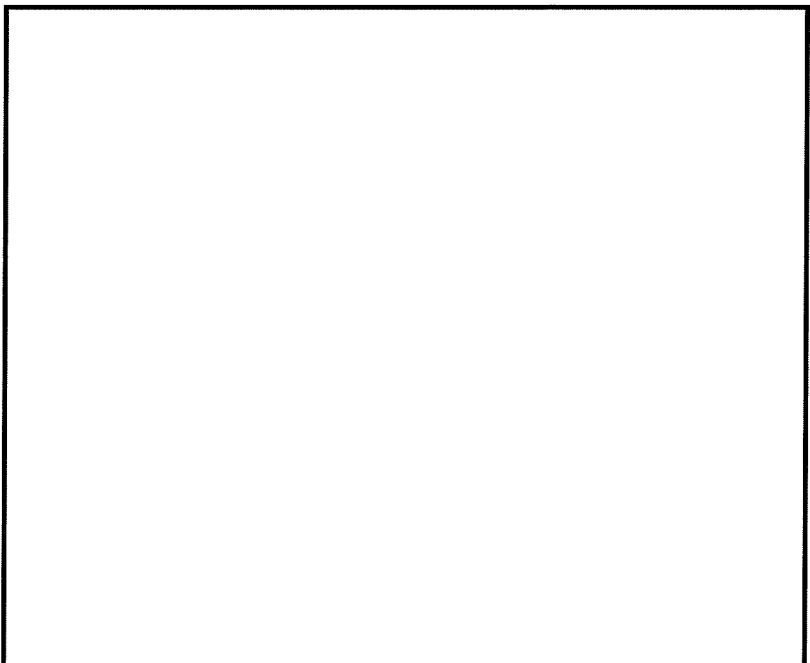
曲げモーメント及び面外せん断力を算定し、部材に生じる応力が第3-12表～第3-16表の評価基準値（短期許容応力度）を超えないことを確認する。

a. 評価部材

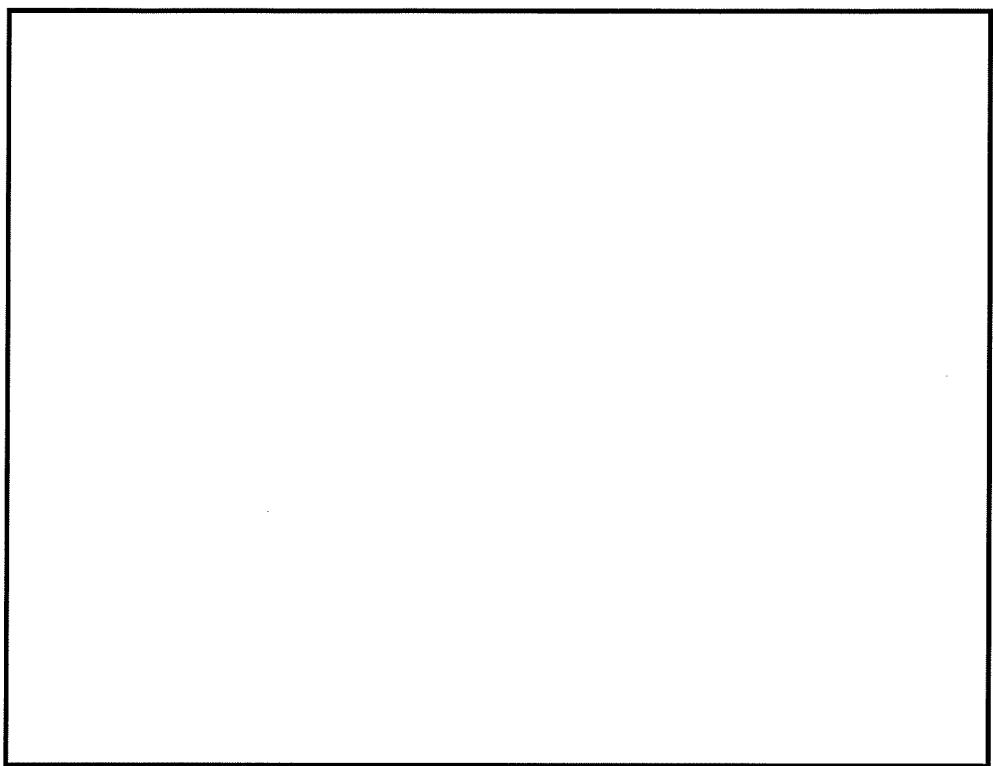
原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋の屋根の評価部材は屋根スラブ及び梁を対象とする。なお、評価結果については、降下火砕物等堆積時に発生する応力を考慮した際に、評価基準値に対して、発生する応力等の割合が最も大きくなる部材を選定して示す。選定した部材の位置を第3-3図～第3-8図に示す。



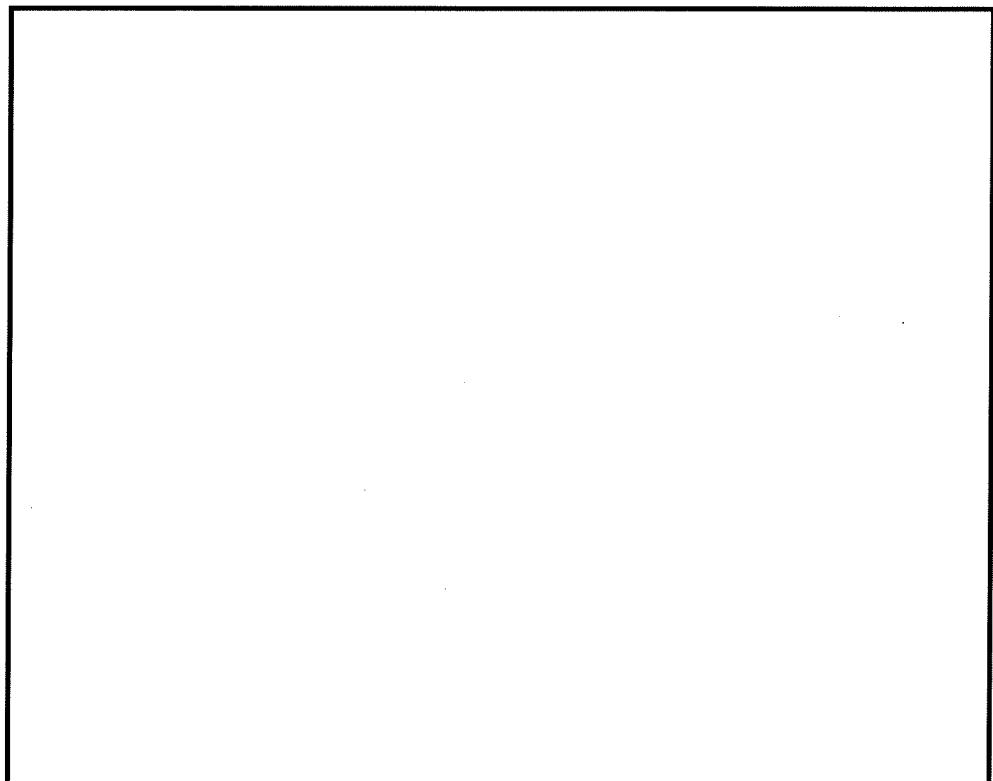
第3-3図 原子炉周辺建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



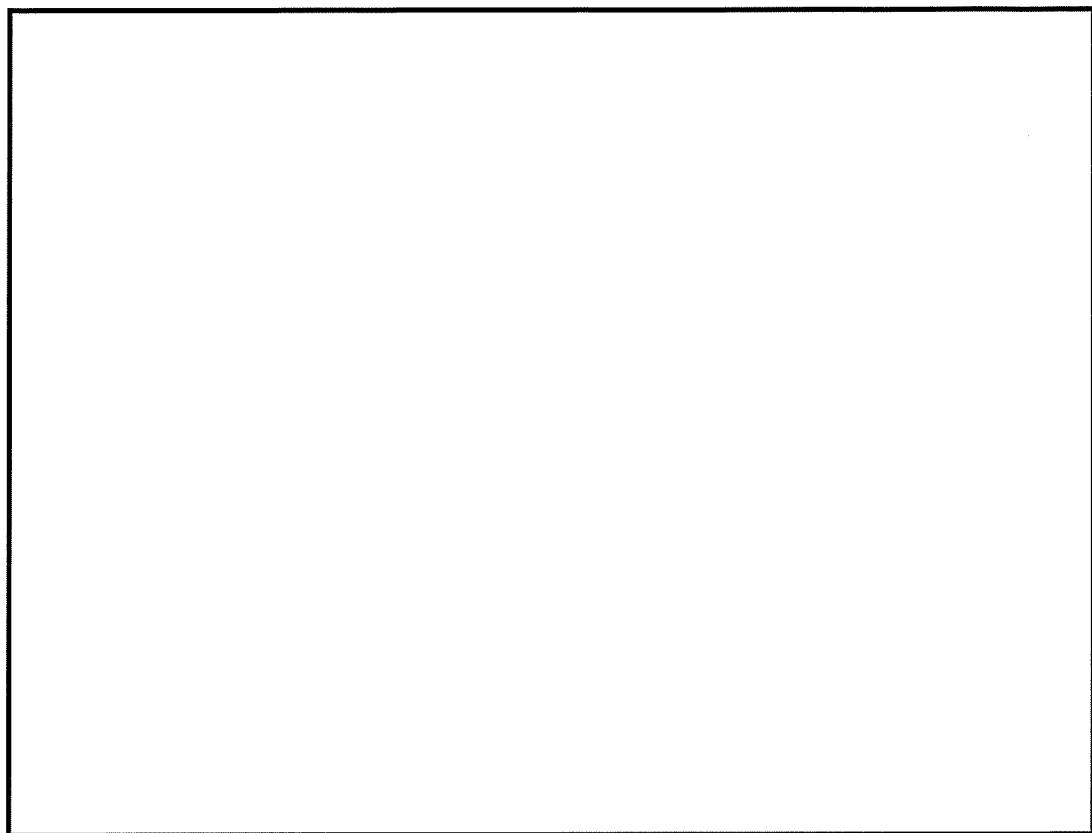
第3-4図 原子炉周辺建屋 梁の評価を記載する部材の位置



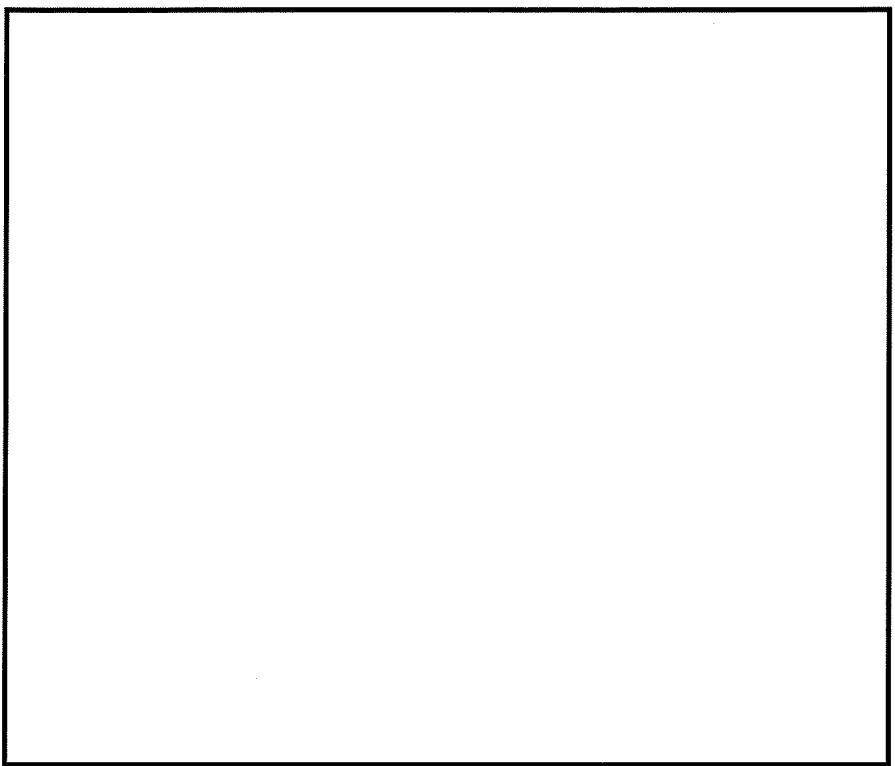
第3-5図 制御建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



第3-6図 制御建屋 梁の評価を記載する部材の位置



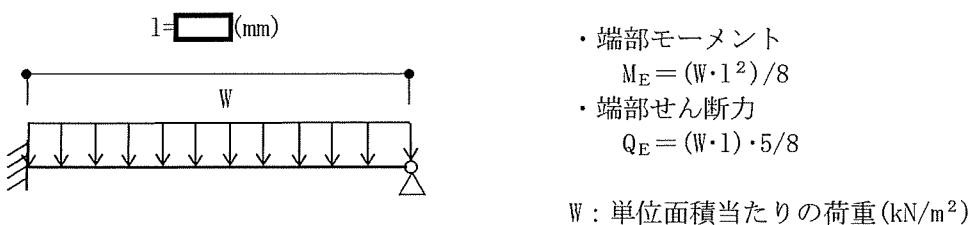
第3-7図 廃棄物処理建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



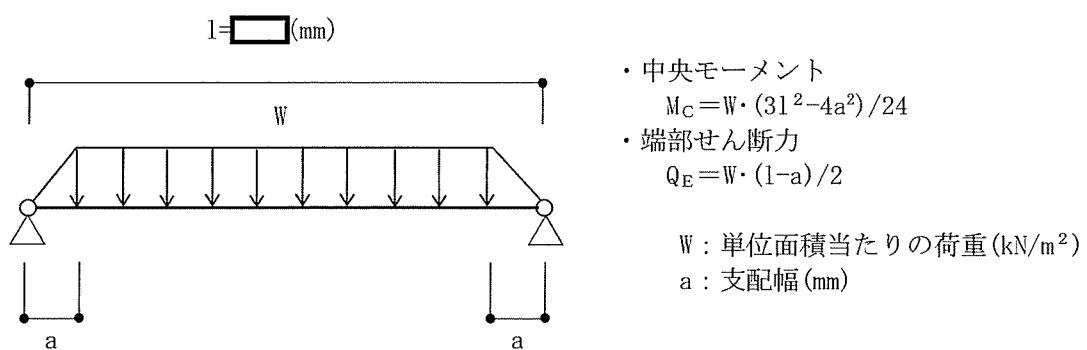
第3-8図 緊急時対策所建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置

b. 応力評価モデル

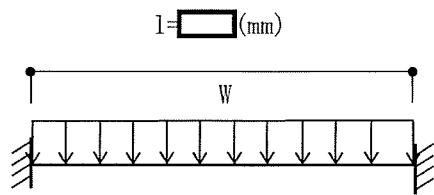
前項において、評価結果を記載する部材として選定した各建屋の屋根スラブ及び梁の応力評価モデル図を第3-9図～第3-14図に示す。また、部材の評価条件を第3-20表～第3-25表に示す。



第3-9図 原子炉周辺建屋 屋根スラブの評価モデル図



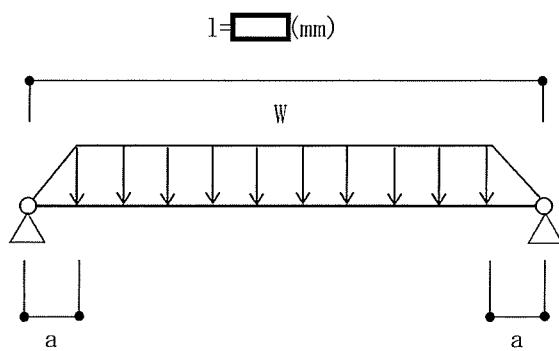
第3-10図 原子炉周辺建屋 梁の評価モデル図



- ・端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 12$
- ・端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot l) \cdot 1/2$

W : 単位面積当たりの荷重(kN/m²)

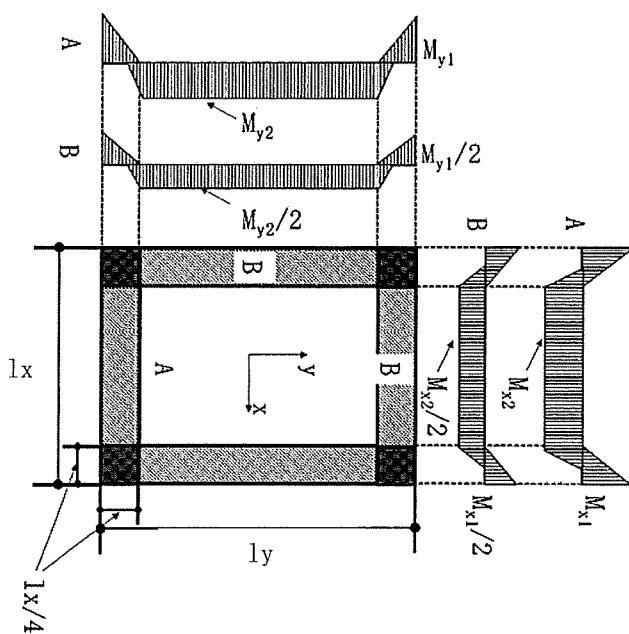
第3-11図 制御建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・中央モーメント
 $M_C = W \cdot (3l^2 - 4a^2) / 24$
- ・端部せん断力
 $Q_E = W \cdot (l-a) / 2$

W : 単位面積当たりの荷重(kN/m²)
a : 支配幅(mm)

第3-12図 制御建屋 梁の評価モデル図



・端部モーメント

$$M_{x1} = W \cdot l_x^2 / 12$$

$$M_{y1} = W \cdot l_x^2 / 24$$

・中央モーメント

$$M_{x2} = W \cdot l_x^2 / 18$$

$$M_{y2} = W \cdot l_x^2 / 36$$

・せん断力

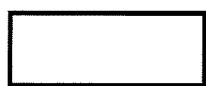
$$Q_{x1} = W \cdot l_x \cdot 0.52$$

$$Q_{y1} = W \cdot l_x \cdot 0.46$$

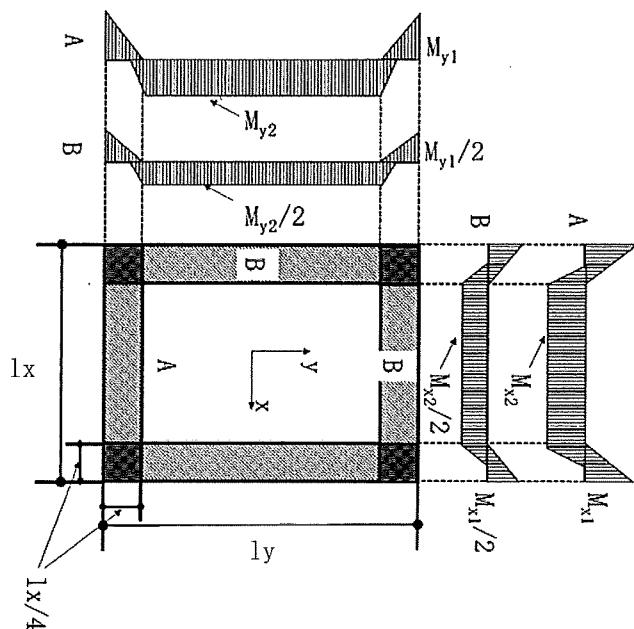
なお、

$$W_x = W \cdot l_y^4 / (l_x^4 + l_y^4)$$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)



第3-13図 廃棄物処理建屋 屋根スラブの評価モデル図



・端部モーメント

$$M_{x1} = W \cdot l_x^2 / 12$$

$$M_{y1} = W \cdot l_x^2 / 24$$

・中央モーメント

$$M_{x2} = W \cdot l_x^2 / 18$$

$$M_{y2} = W \cdot l_x^2 / 36$$

・せん断力

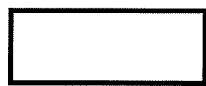
$$Q_{x1} = W \cdot l_x \cdot 0.52$$

$$Q_{y1} = W \cdot l_x \cdot 0.46$$

なお、

$$W_x = W \cdot l_y^4 / (l_x^4 + l_y^4)$$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)



第3-14図 緊急時対策所建屋 屋根スラブの評価モデル図

第3-20表 原子炉周辺建屋 屋根スラブ 評価条件

評価対象 部位	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量(片側) (mm ² /m)
E. L. [] m	[]	[]	[]	D13@200	635

第3-21表 原子炉周辺建屋 梁 評価条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. [] m	H-600×200×11×17	[]	[]	2,590	6,226

第3-22表 制御建屋 屋根スラブ 評価条件

評価対象 部位	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量(片側) (mm ² /m)
E. L. [] m	[]	[]	[]	D19@200	1,435

第3-23表 制御建屋 梁 評価条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. [] m	H-800×300×14×26	[]	[]	7,290	10,472

第3-24表 廃棄物処理建屋 屋根スラブ 評価条件

評価対象部位	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量(片側) (mm ² /m)
E. L. [] m	[]	[]	[]	D19、D22 交互@200 D19@200	1,685 1,435

第3-25表 緊急時対策所建屋 屋根スラブ 評価条件

評価対象部位	スラブ厚 (mm)	有効せい (mm)	支持スパン (m)	配筋	配筋量(片側) (mm ² /m)
E. L. [] m	[]	[]	[]	D29@200	3,210

c. 断面の評価

前項の応力評価モデルにより算出した曲げモーメント及びせん断力を用いて、以下のとおり断面を評価する。

(a) 曲げモーメントに対する屋根スラブ断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、次式を基に計算した評価対象部位に必要な引張鉄筋断面積が、配筋量を超えないことを確認する。

$$a_t = \frac{M}{\sigma_t \cdot j}$$

ここで、

a_t : 必要引張鉄筋断面積 (mm^2)

M : 曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

σ_t : 鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm^2)

j : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの $7/8$ 倍の値 (mm)

(b) 面外せん断力に対する屋根スラブ断面の評価方法

面外せん断に対する断面の評価は、「RC-N 規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断応力が次式を基に計算した評価基準値を超えないことを確認する。

$$Q_A = \alpha \cdot b \cdot j \cdot f_s$$

ただし、

$$\alpha = \frac{4}{\frac{M}{Qd} + 1} \quad \text{かつ} \quad 1.0 \leq \alpha \leq 2.0$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm) (1000mm とする。)

j : 断面の応力中心距離で、断面の有効せいの $7/8$ 倍の値 (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm^2)

α : せん断スパン比 $M/(Qd)$ による割増係数

d : 有効せい (mm)

M : 降下火碎物等堆積時の最大曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

Q : 降下火碎物等堆積時の最大せん断力 (N)

(c) 曲げモーメントに対する梁断面の評価方法

曲げモーメントに対する断面の評価は、評価対象部位に生じる曲げモーメントが次式を基に計算した評価基準値を超えないことを確認する。

$$M_s = \sigma_b \cdot Z$$

ここで、

M_s : 短期許容曲げモーメント (N·mm)

σ_b : 短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

Z : 断面係数 (mm³)

(d) せん断力に対する梁断面の評価方法

せん断力に対する断面の評価は、評価対象部位に生じるせん断力が次式を基に計算した評価基準値を超えないことを確認する。

$$Q_s = \tau_s \cdot A_s$$

ここで、

Q_s : 短期許容せん断力 (N)

τ_s : 短期許容せん断応力度 (N/mm²)

A_s : せん断断面積 (mm²)

3.4.2 耐震壁

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋について、建屋の質点系モデルを用いて、設計風荷重により耐震壁に発生するせん断ひずみを評価し、耐震壁のせん断ひずみの評価基準値（せん断スケルトンカーブの第1折点のひずみ）を超えないことを確認する。なお、各質点系モデルの復元力特性の設定においては、降下火砕物等堆積による軸力を考慮すると第1折点の増大が見込まれるため、本評価では保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重を考慮しない。

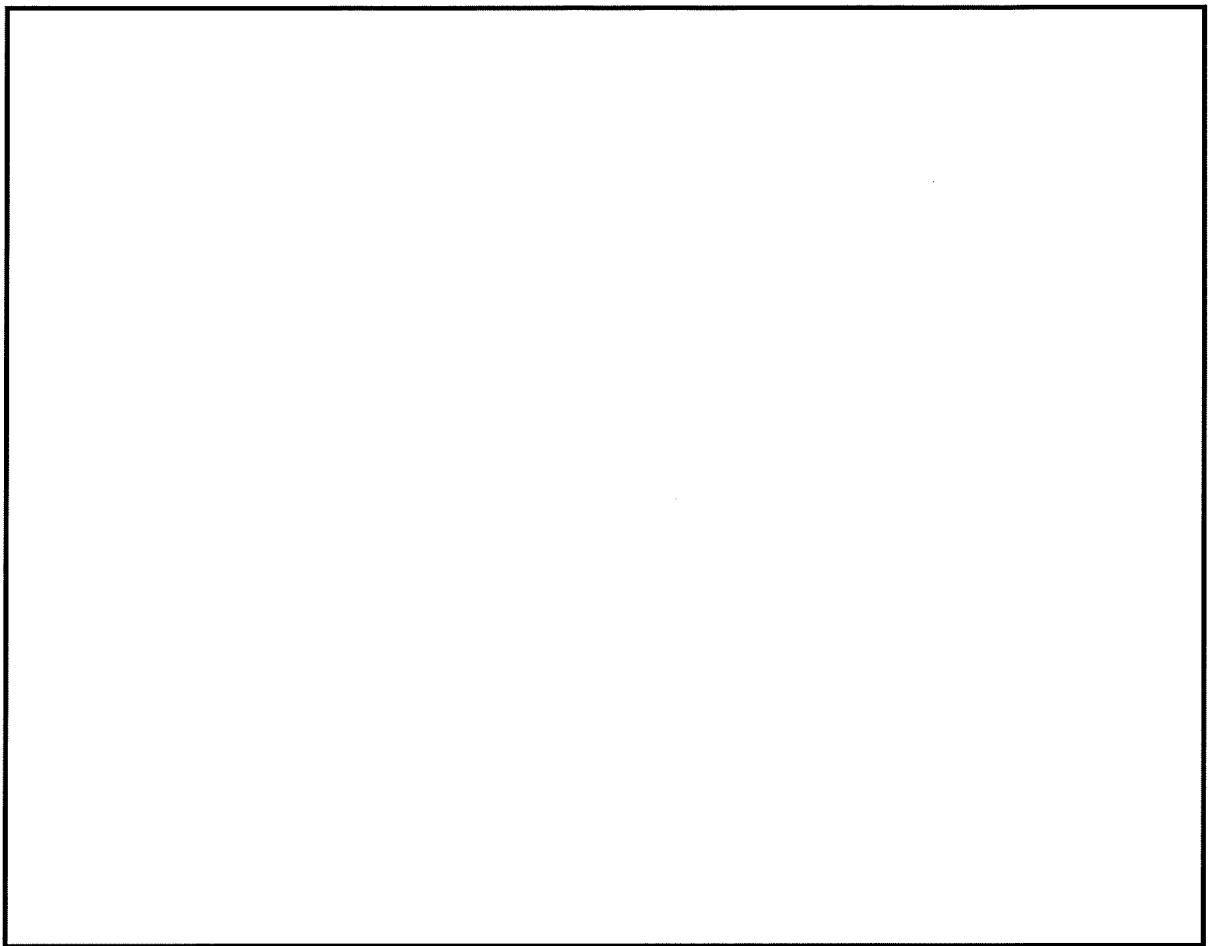
原子炉格納容器、原子炉周辺建屋の質点系モデル図は、原子炉格納施設として第3-15図に、制御建屋、廃棄物処理建屋及び緊急時対策所建屋の質点系モデル図は、それぞれ第3-16図～第3-18図に示す。質点系モデルの詳細は、それぞれ平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された大飯発電所第3号機工事計画の資料13-17-7-2「原子炉格納施設の地震応答解析」、資料13-16-5「制御建屋の地震応答解析」及び資料13-18-2-1「廃棄物処理建屋の耐震計算書」並びに令和2年5月14日付け原規規発第2005141号にて認可された大飯発電所第3号機の設計及び工事の計画の資料10-13-1「緊急時対策所建屋の地震応答解析」による。なお、評価条件及び評価方法については、平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された大飯発電所第3号機工事計画の資料14別添2-3「建屋の強度計算書」及び令和2年5月14日付け原規規発第2005141号にて認可された大飯発電所第3号機の設計及び工事の計画の資料11別添2-2「建屋の強度計算書」と同一である。

3.4.3 鉄骨架構

原子炉周辺建屋について、建屋の質点系モデルを用いて、設計風荷重により鉄骨架構に発生する層間変形角を評価し、鉄骨架構の最大層間変形角の評価基準値（1/200）を超えないことを確認する。

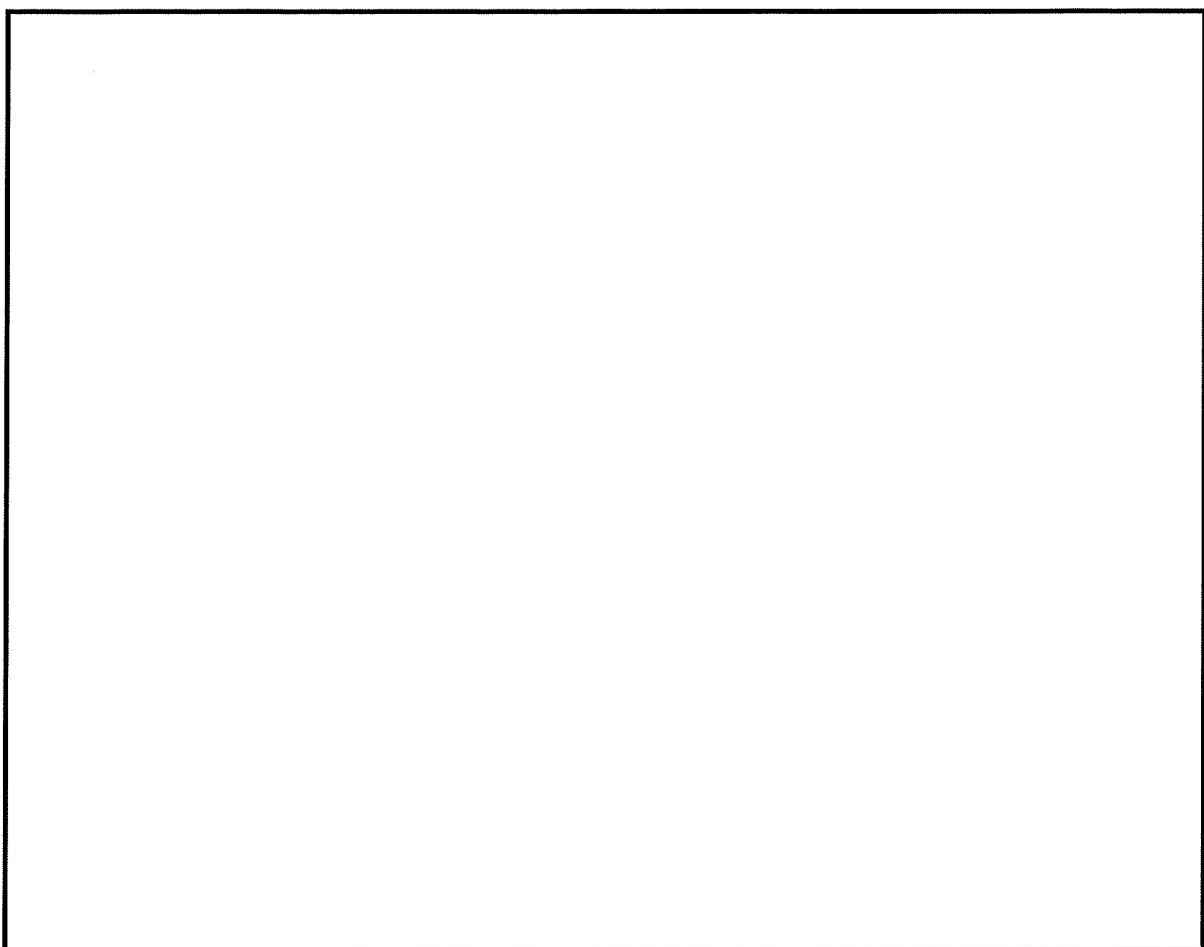
質点系モデルは「3.4.2 耐震壁」で用いるモデルと同一とする。なお、降下火砕物堆積による軸力を考慮すると各質点系モデルの復元力特性に差異が見込まれるが、評価結果に有意な差はないことから、本評価では降下火砕物堆積による鉛直荷重を考慮しない。

なお、評価条件及び評価方法については、平成29年8月25日付け原規規発第1708254号にて認可された大飯発電所第3号機工事計画の資料14別添2-3「建屋の強度計算書」と同一である。



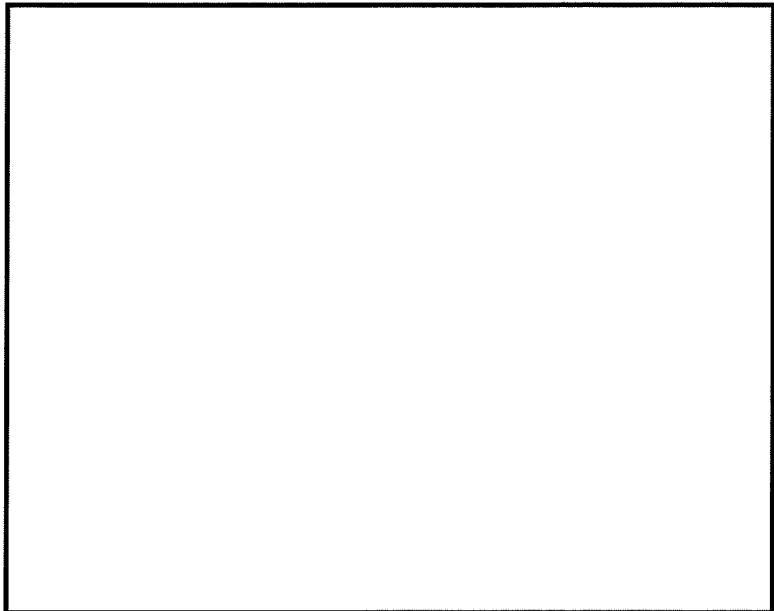
(a) NS 方向

第 3-15 図 原子炉格納施設の質点系モデル図 (1/2)

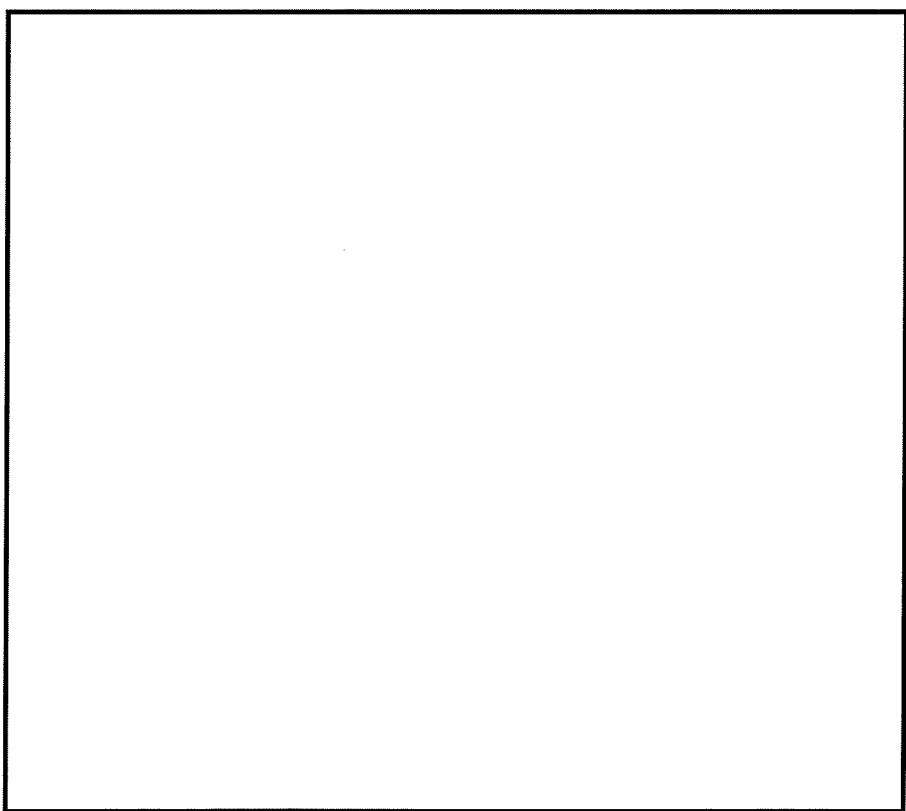


(b) EW 方向

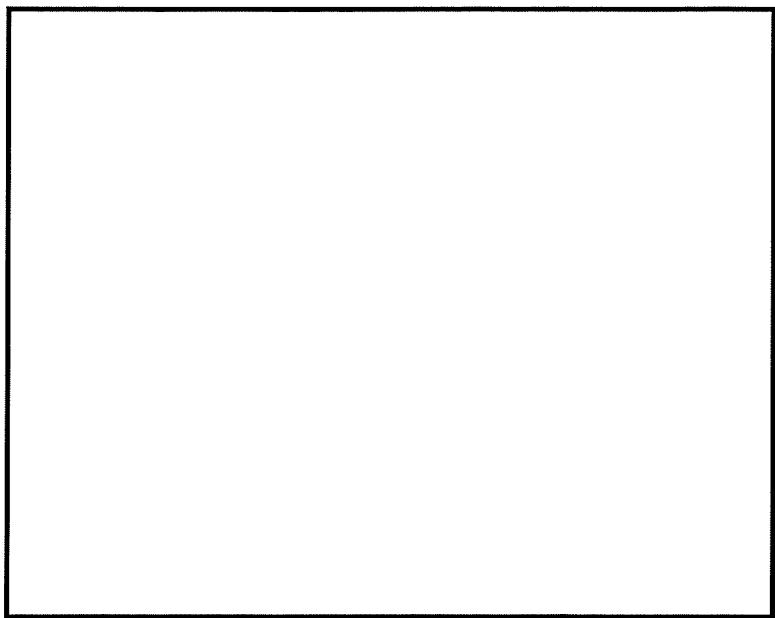
第 3-15 図 原子炉格納施設の質点系モデル図 (2/2)



第3-16図 制御建屋の質点系モデル図



第3-17図 廃棄物処理建屋の質点系モデル図



第3-18図 緊急時対策所建屋の質点系モデル図

4. 強度評価結果

4.1 屋根

降下火碎物等堆積時の屋根の強度評価結果を第4-1表に示す。

第4-1表より、降下火碎物等堆積による鉛直荷重を考慮した際に各部材に発生する応力等が評価基準値を超えないことを確認した。

第4-1表 屋根の評価結果

		検討項目		解析結果	評価基準値	検定比
原子炉 格納容器	ドーム	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート応力度 [N/mm ²]	8.81	29.4	0.300
			鉄筋応力度 [N/mm ²]	118	390	0.303
		面内せん断力	面内せん断応力度 [N/mm ²]	1.16	5.59	0.208
		面外せん断力	面外せん断応力度 [N/mm ²]	0.145	1.30	0.112
原子炉 周辺建屋	屋根 スラブ	曲げモーメント	鉄筋量 [mm ² /m] [*]	580	635	0.913
		面外せん断力	せん断力 [kN/m]	28.2	97.2	0.290
	S梁	曲げモーメント	曲げ応力 [N/mm ²]	153	235	0.651
		せん断力	せん断応力 [N/mm ²]	23.8	135	0.176
制御 建屋	屋根 スラブ	曲げモーメント	鉄筋量 [mm ² /m] [*]	540	1,435	0.376
		面外せん断力	せん断力 [kN/m]	32.6	127	0.257
	S梁	曲げモーメント	曲げ応力 [N/mm ²]	61.9	235	0.263
		せん断力	せん断応力 [N/mm ²]	18.9	135	0.140
廃棄物 処理建屋	屋根 スラブ	曲げモーメント	鉄筋量 [mm ² /m] [*]	557	1,685	0.331
		面外せん断力	せん断力 [kN/m]	63.1	357	0.177
緊急時 対策所建屋	屋根 スラブ	曲げモーメント	鉄筋量 [mm ² /m] [*]	281	3,210	0.0875
		面外せん断力	せん断力 [kN/m]	133	1,730	0.0769

*: 鉄筋量については、解析結果に必要鉄筋量、評価基準値に配筋量を示す。

4.2 耐震壁

降下火砕物等堆積時の耐震壁の強度評価結果を第4-2表～第4-6表に示す。第4-2表～第4-6表より、耐震壁に発生するせん断ひずみが、評価基準値を超えないことを確認した。

第4-2表 耐震壁の評価結果（原子炉格納容器）

(NS方向、EW方向共通)

部材番号	高さ E.L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
[10]		0.0001	0.2649	0.000378
[9]		0.0003	0.2361	0.00127
[8]		0.0009	0.2106	0.00427
[7]		0.0013	0.1911	0.00680
[6]		0.0018	0.3374	0.00533
[5]		0.0024	0.3442	0.00697
[4]		0.0026	0.3483	0.00746
[3]		0.0026	0.3506	0.00742
[2]		0.0026	0.3525	0.00738
[1]		0.0026	0.3545	0.00733

第4-3表 耐震壁の評価結果（原子炉周辺建屋）

(1) NS 方向 (N→S)

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
33		0.0004	0.1804	0.00222
28		0.0014	0.1866	0.00750
27		0.0016	0.2016	0.00794

(2) NS 方向 (S→N)

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
33		0.0009	0.1804	0.00499
28		0.0013	0.1866	0.00697
27		0.0015	0.2016	0.00744

(3) EW 方向 (E→W)

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
33		0.0021	0.1804	0.0116
28		0.0012	0.1866	0.00643
27		0.0015	0.2016	0.00744

(4) EW 方向 (W→E)

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
33		0.0021	0.1804	0.0116
28		0.0012	0.1866	0.00643
27		0.0016	0.2016	0.00794

第4-4表 耐震壁の評価結果（制御建屋）

(1) NS 方向

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
5		0.0012	0.1810	0.00663
4		0.0014	0.1920	0.00729
3		0.0016	0.2020	0.00792
2		0.0016	0.2080	0.00769
1		0.0019	0.2160	0.00880

(2) EW 方向

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
5		0.0010	0.1810	0.00552
4		0.0012	0.1920	0.00625
3		0.0017	0.2020	0.00842
2		0.0017	0.2080	0.00817
1		0.0020	0.2160	0.00926

第4-5表 耐震壁の評価結果（廃棄物処理建屋）

(1) NS 方向 (N→S)

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
8		0.0025	0.1860	0.0134
7		0.0059	0.1860	0.0317
6		0.0018	0.1940	0.00928
5		0.0023	0.2090	0.0110
4		0.0024	0.2150	0.0112

(2) NS 方向 (S→N)

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
8		0.0025	0.1860	0.0134
7		0.0059	0.1860	0.0317
6		0.0018	0.1940	0.00928
5		0.0023	0.2090	0.0110
4		0.0024	0.2150	0.0112

(3) EW 方向

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
8		0.0069	0.1860	0.0371
7		0.0015	0.1860	0.00806
6		0.0016	0.1940	0.00825
5		0.0020	0.2090	0.00957
4		0.0022	0.2150	0.0102

第4-6表 耐震壁の評価結果（緊急時対策所建屋）

(a) NS 方向

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
①	[Redacted]	0.000281	0.176	0.00160
②	[Redacted]	0.000375	0.181	0.00207

(b) EW 方向

部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
①	[Redacted]	0.000360	0.176	0.00205
②	[Redacted]	0.000470	0.181	0.00260

4.3 鉄骨架構

降下火碎物等堆積時の鉄骨架構の強度評価結果を第4-7表に示す。第4-7表より、鉄骨架構に発生する層間変形角が、評価基準値を超えないことを確認した。

第4-7表 鉄骨架構の評価結果（原子炉周辺建屋）

(1) NS方向 (N→S)

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
30(S)		1/ 1658	1/200	0.121
32(S)		1/ 5045		0.0396
29(S)		1/ 1274		0.157
31(S)		1/ 6233		0.0321

(2) NS方向 (S→N)

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
30(S)		1/ 1658	1/200	0.121
32(S)		1/ 5802		0.0345
29(S)		1/ 1686		0.119
31(S)		1/ 3123		0.0640

(3) EW方向 (E→W)

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
30(S)		1/ 5606	1/200	0.0357
32(S)		1/ 3656		0.0547
29(S)		1/ 2930		0.0683
31(S)		1/ 3725		0.0537

(4) EW方向 (W→E)

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
30(S)		1/ 5606	1/200	0.0357
32(S)		1/ 2873		0.0696
29(S)		1/ 3877		0.0516
31(S)		1/ 1865		0.107