

DNP 設工認審査資料	
—	参考
2021年12月16日	

高浜1, 2号機
技術基準等への適合状況について
(大山生竹テフラ噴出規模見直しに係る対応)

参考資料

<建屋の強度計算に係る参考資料>

2021年12月

関西電力株式会社

<DNPヒアリング 自主的対応事項 No. 117>

建屋の評価対象部位の考え方を変更することに伴い、現状申請資料のどの箇所に影響するかを説明する。(DB施設及びSA施設の建屋関係)

2021年11月25日の審査会合^{※1}で示したとおり、建屋の評価対象部位にトラス及び一次部材の梁を含める方針に変更したことから、DB施設及びSA施設の建屋の強度計算書については、下記に示す資料に影響がある。

また、評価対象部位にトラス及び一次部材の梁を含めた場合について、DB施設及びSA施設の建屋の検討結果を高浜1号機は別紙1に、高浜2号機は別紙2に示す。

(影響のある資料)

○高浜1号機

- ・資料14 別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」(建屋の許容限界にトラス・一次部材の梁を含める。記載に影響のある建屋の許容限界を第1表及び第2表に示す。)
- ・資料14 別添2-4「建屋の強度計算書」(トラス・一次部材の梁の評価結果を含める。)

○高浜2号機

- ・資料14 別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」(建屋の許容限界にトラス・一次部材の梁を含める。記載に影響のある建屋の許容限界を第3表に示す。)
- ・資料14 別添2-4「建屋の強度計算書」(トラス・一次部材の梁の評価結果を含める。)

※1：第1016回 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(2021年11月25日)の資料1-1「高浜発電所3,4号機 設計及び工事計画認可申請に係る審査会合における指摘事項への回答について【大山生竹テフラ噴出規模見直しに係る対応】参照

第1表 高浜1号機 燃料取扱建屋の許容限界

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	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
			梁(トラス)		「S 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※1
		鉄骨架構		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) ※1※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短期許容応力度等とする。

※2：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。

第1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	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
			RC 梁		「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、緊急時対策所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3表 高浜2号機 燃料取扱建屋の許容限界

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	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
			梁(トラス)		「S 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※1
		鉄骨架構		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) ※1※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。

※2：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。

D B 施設及び S A 施設の建屋の検討結果（高浜 1 号機）

（目次）

	頁
1. 概要	別1-1
2. 基本方針	別1-2
2.1 位置	別1-2
2.2 構造概要	別1-3
2.3 評価方針	別1-14
2.4 適用規格	別1-16
3. 強度評価方法	別1-17
3.1 評価対象部位	別1-17
3.2 荷重及び荷重の組合せ	別1-18
3.3 許容限界	別1-28
3.4 評価方法	別1-35
4. 強度評価結果	別1-61
4.1 屋根	別1-61
4.2 耐震壁	別1-63
4.3 鉄骨架構	別1-67

1. 概要

本資料は、別添 2 - 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、外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御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、外部しゃへい建屋については放射性物質の閉じ込め機能（以下、「気密性」という。）及び放射線の遮蔽機能（以下、「遮蔽性」という。）の維持を、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。

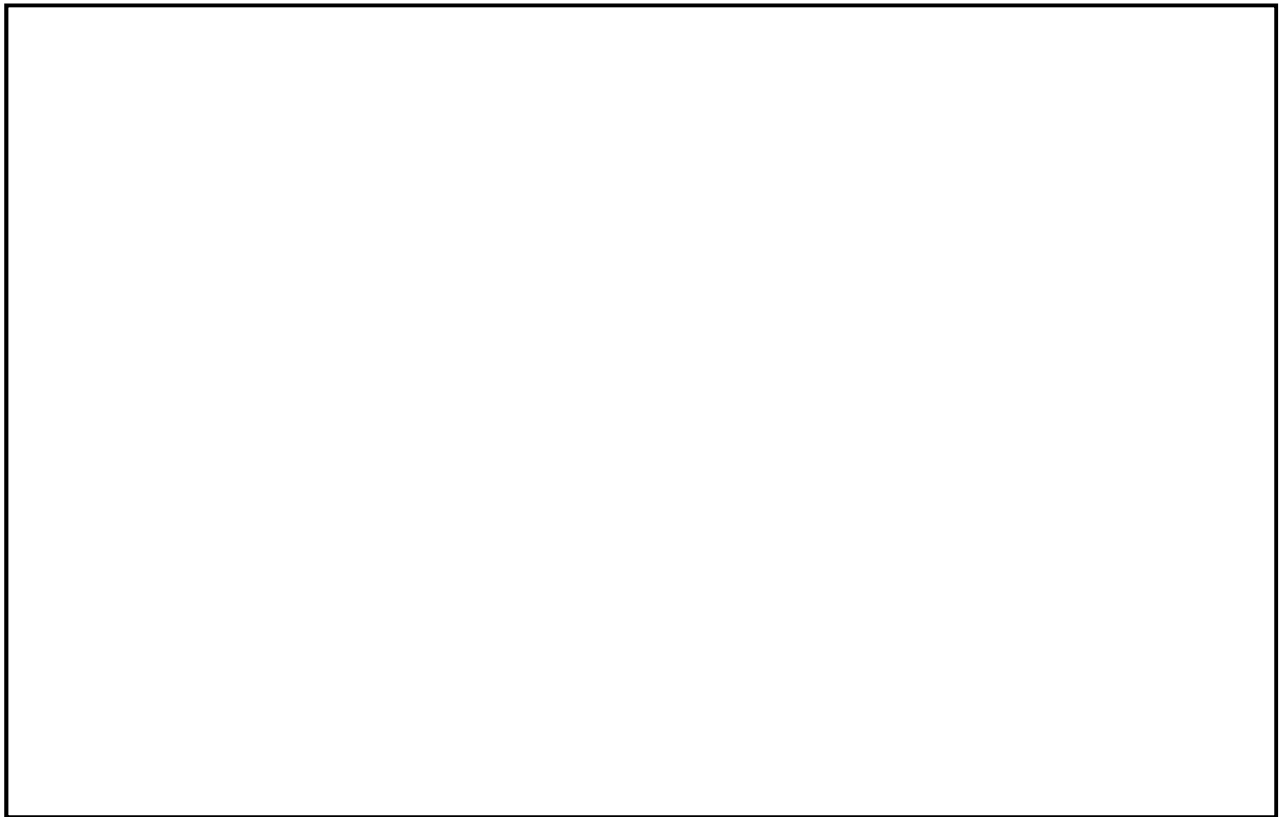
本申請における既認可からの変更は、「2. 基本方針」以降の記載である。

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 2-1 「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

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御建屋及び緊急時対策所建屋は、別添 2-1 「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。外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御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

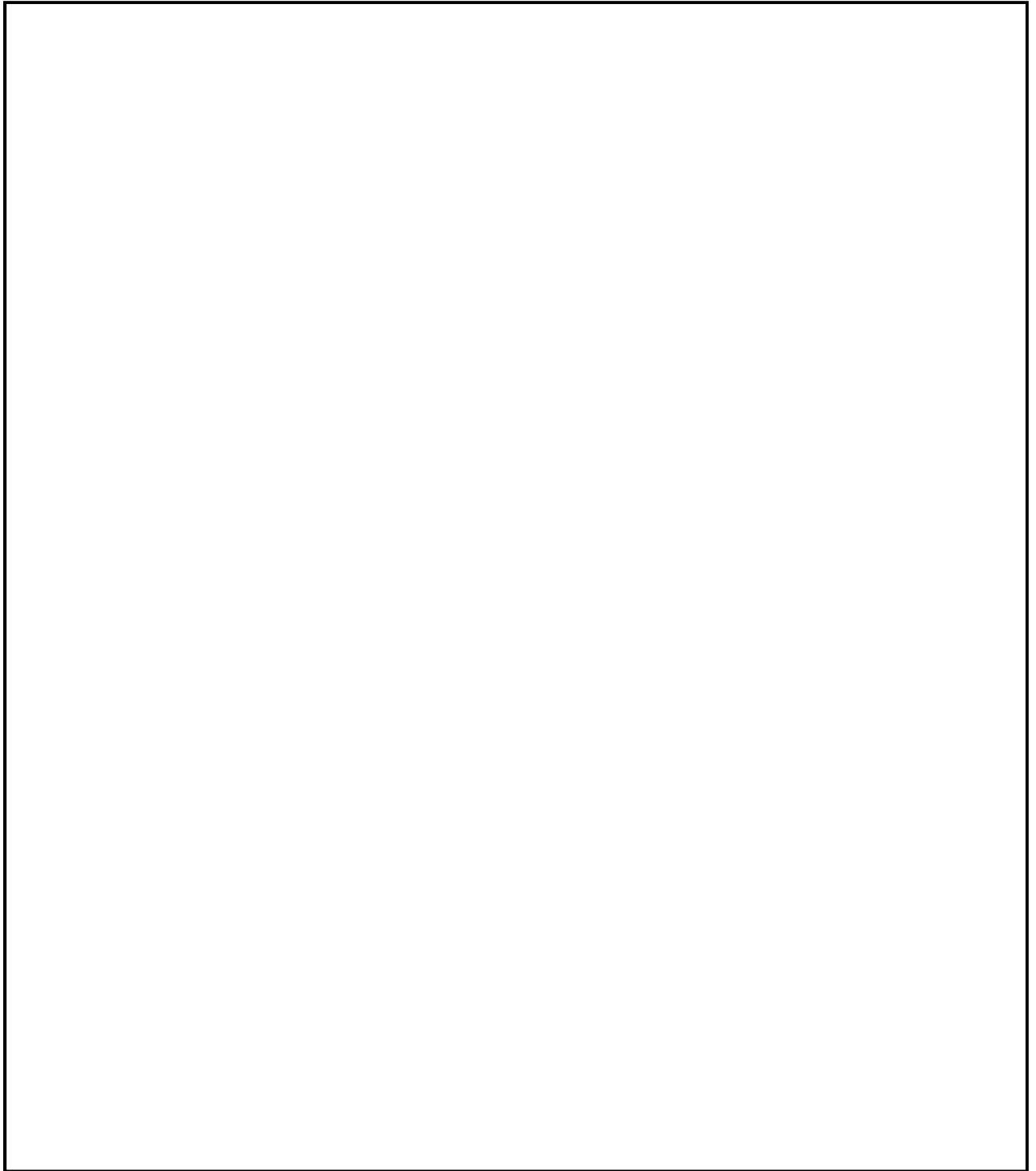
外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御建屋及び緊急時対策所建屋は、別添2-1「火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

外部しゃへい建屋は、鉄筋コンクリート造の上部遮蔽及び鉄骨梁の複合構造の扁平ドーム状の屋根（以下「ドーム部」という。）、並びに外径約□mの円筒形の鉄筋コンクリート造の壁（以下「シリンダー部」という。）を有する構造物である。基礎底面から最高部の高さは約□mである。ドーム部の厚さは約□cm、シリンダー部の厚さは約□～約□cmである。

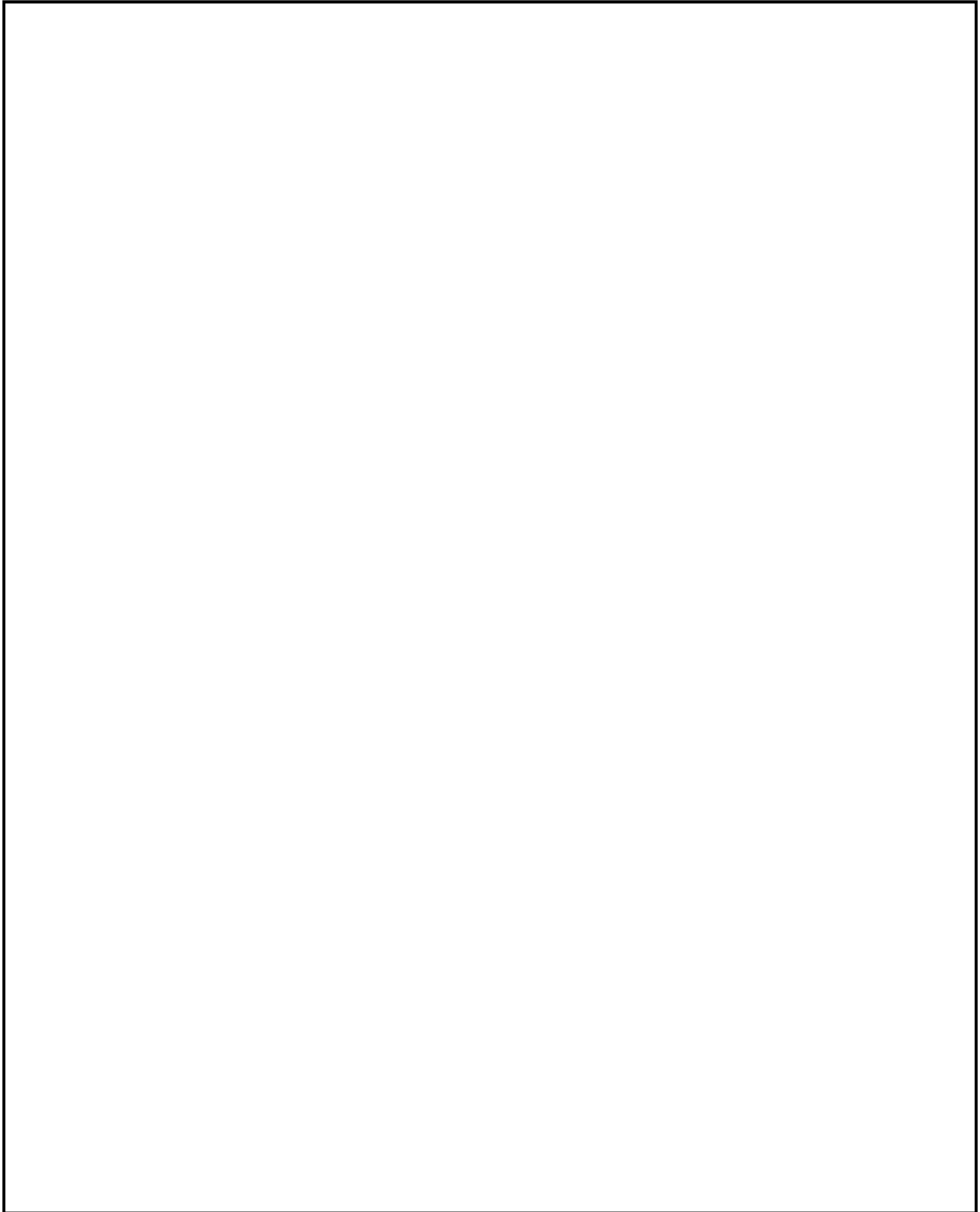
補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋から構成される原子炉補助建屋は、鉄筋コンクリート造の壁式構造を主体とし、上部の一部を鉄骨造の骨組構造とした建物である。本建屋の平面規模はNS方向で約□m、EW方向で約□mであり、E.L.□mからE.L.□mにわたって階段状に設けられている。

緊急時対策所建屋は、2層の主要床面を有する鉄筋コンクリート造壁式構造である。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。

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御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2-7図に示す。

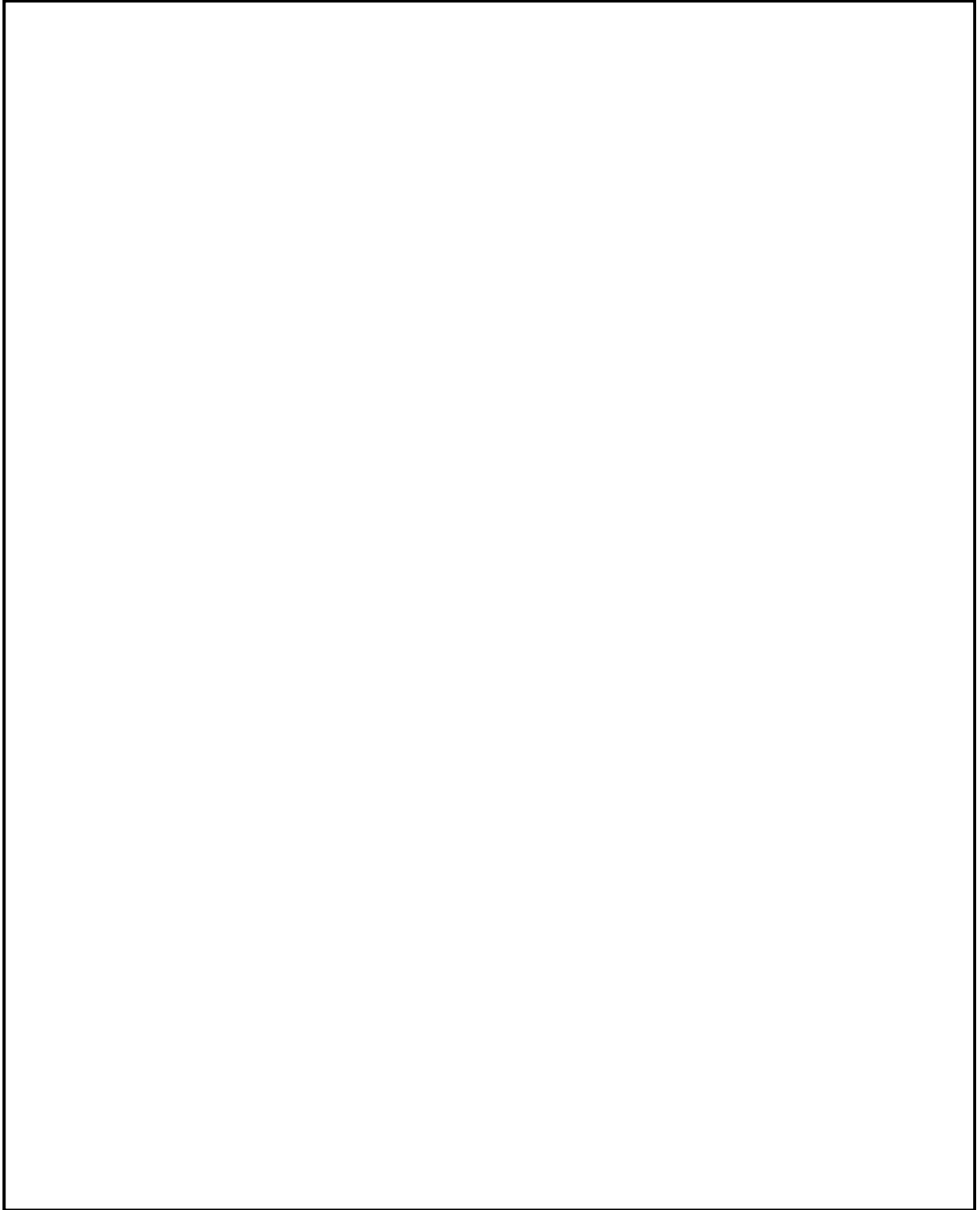


第2-2図 外部しゃへい建屋の概略平面図 (E. L. m付近)



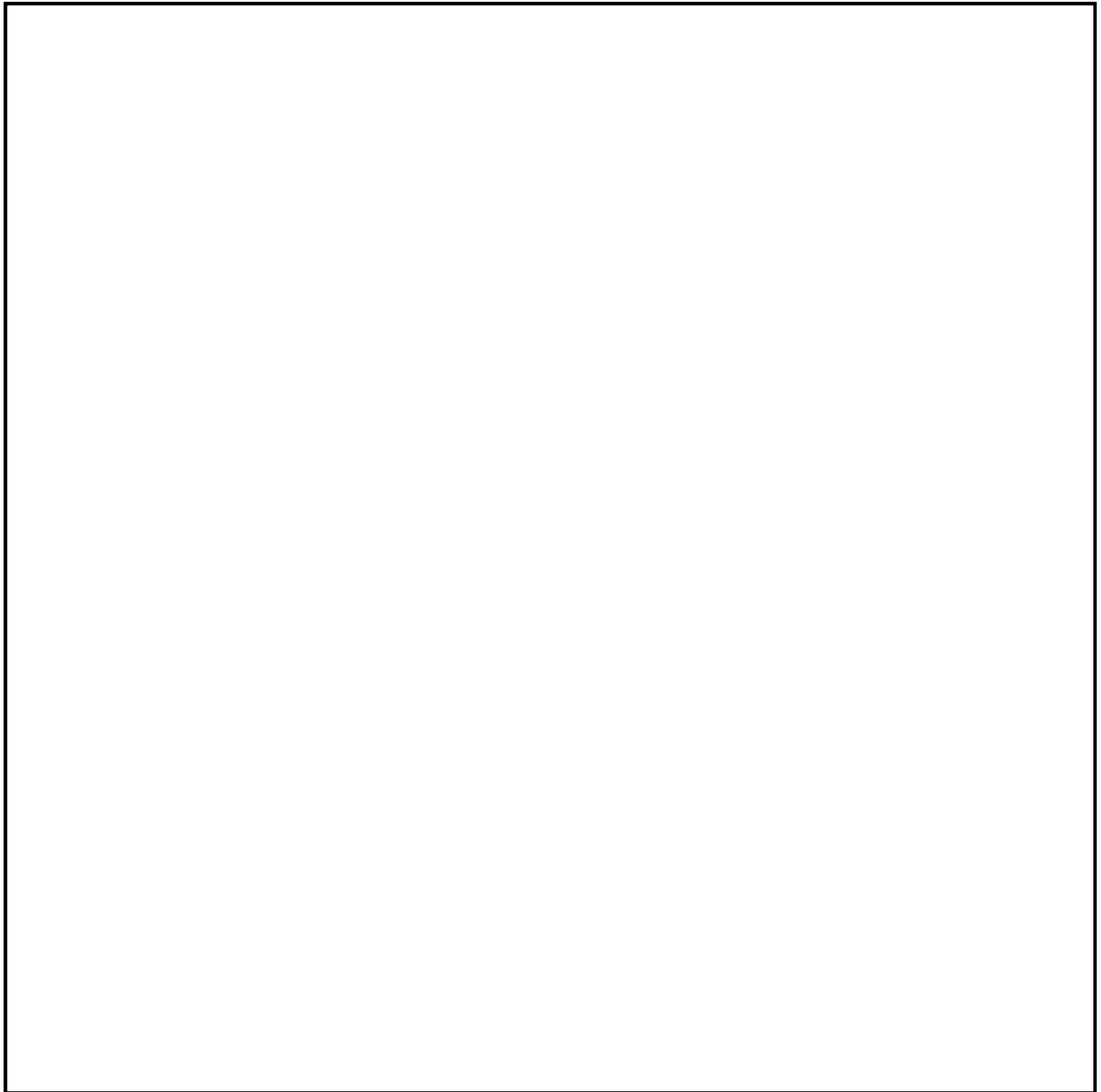
(a) A-A 断面

第 2-3 図 外部しゃへい建屋の概略断面図 (1/2)



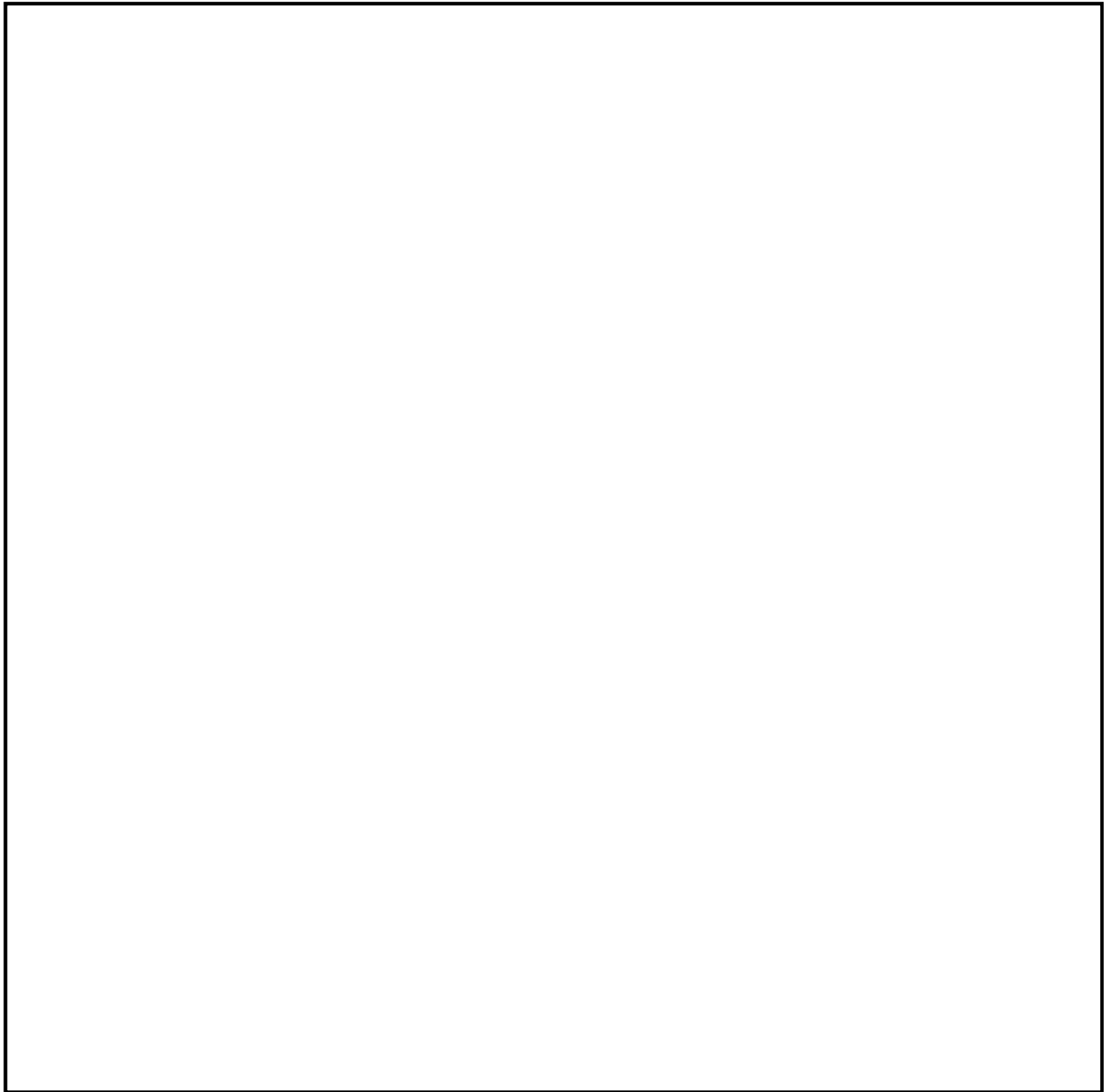
(b) B-B 断面

第 2-3 図 外部しゃへい建屋の概略断面図 (2/2)



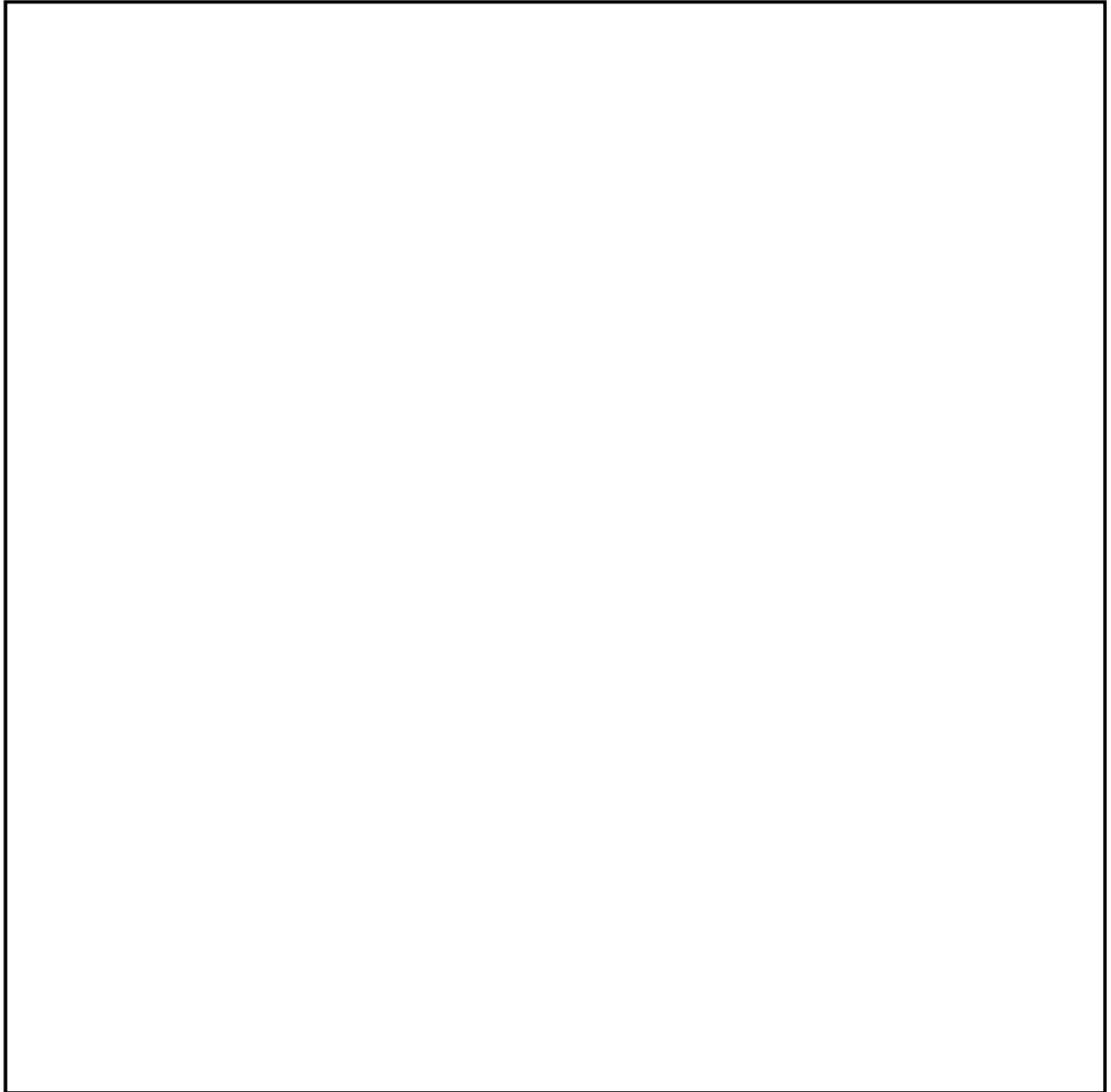
(a) E. L. m付近

第 2-4 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋の概略平面図 (1/2)



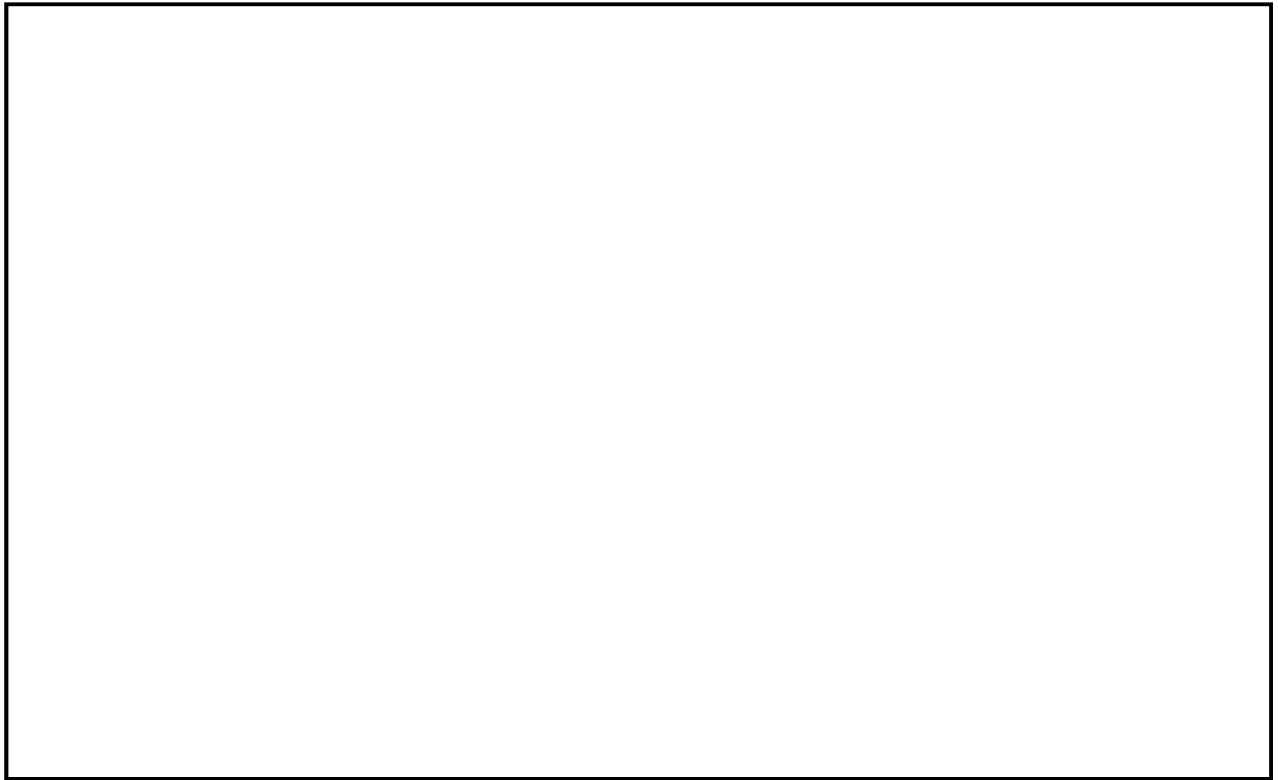
(b) E. L. m付近

第 2-4 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋の概略平面図 (2/2)



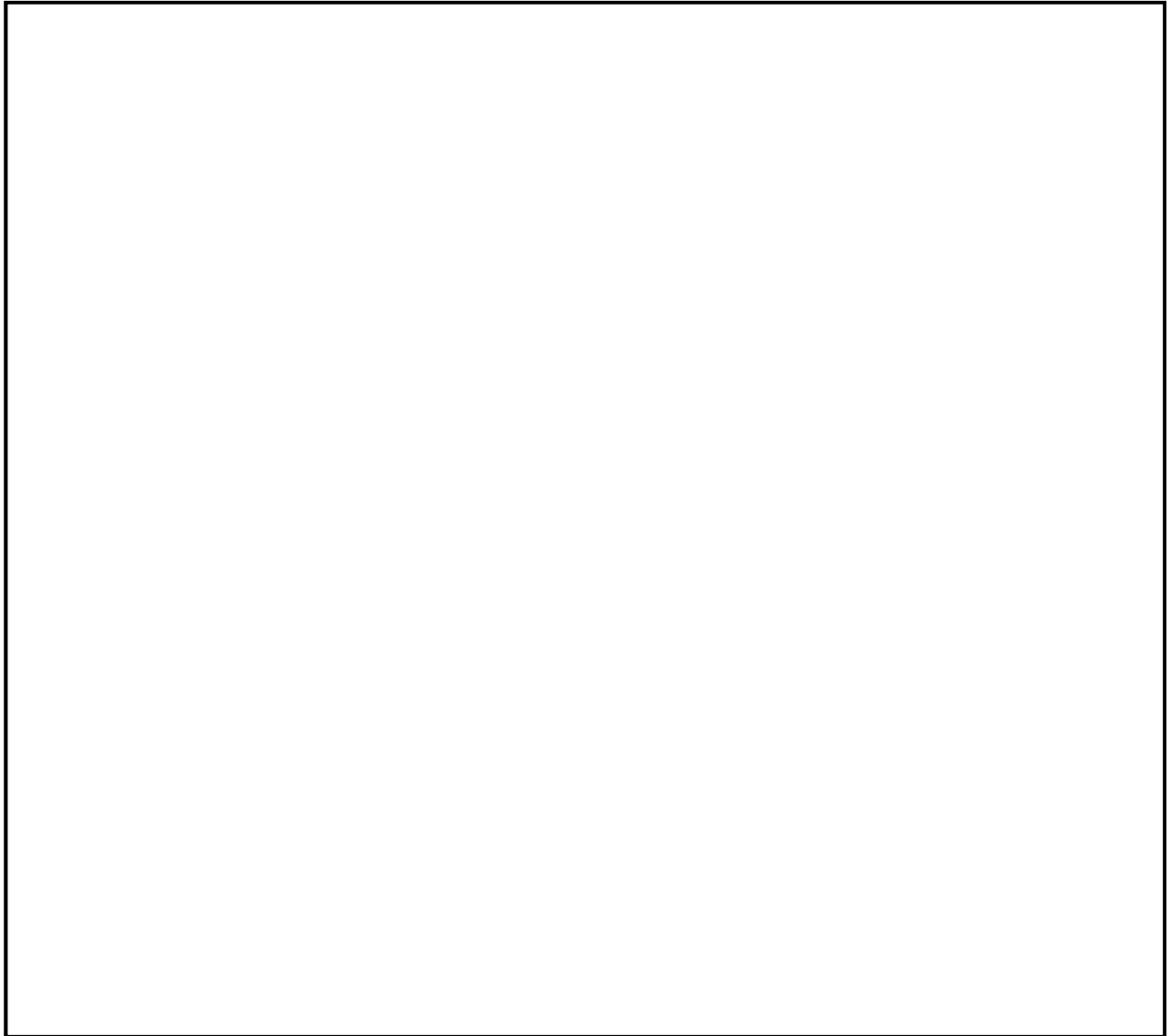
(a) A-A 断面

第 2-5 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋の概略断面図 (1/3)



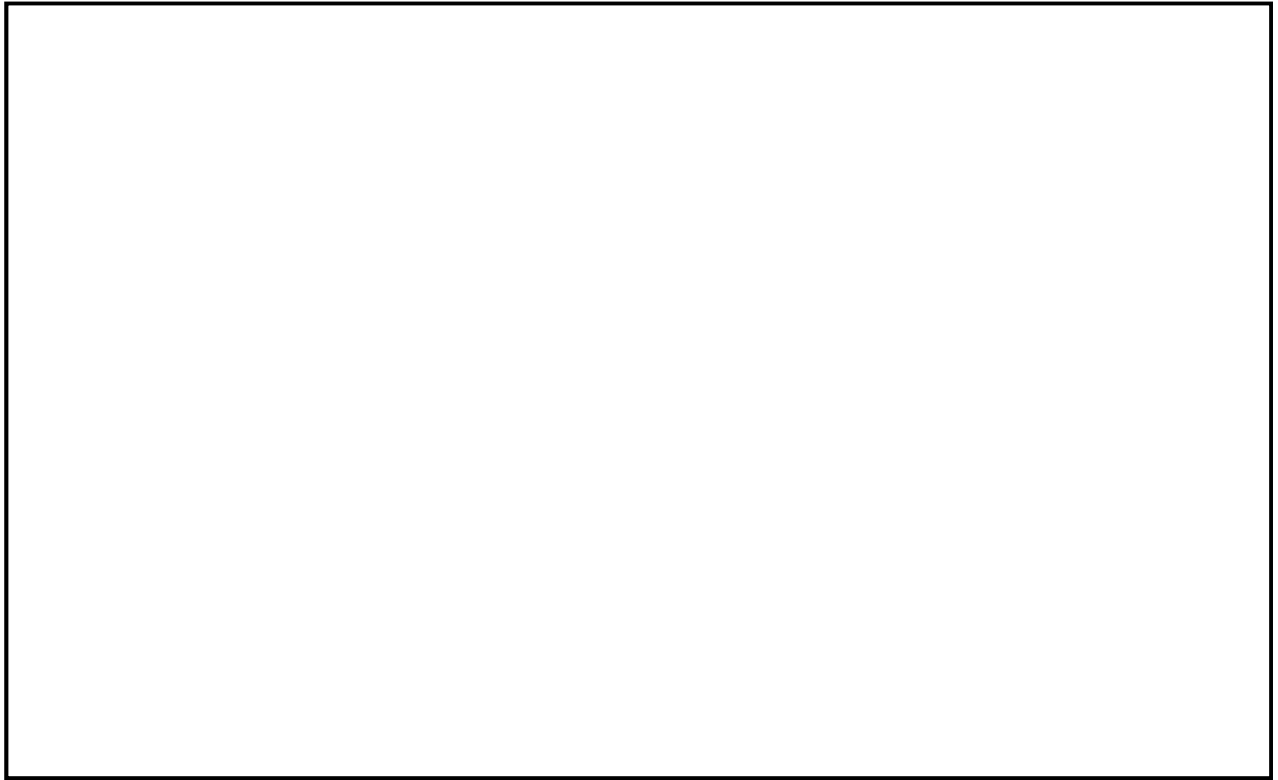
(b) B-B 断面

第 2-5 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋の概略断面図 (2/3)

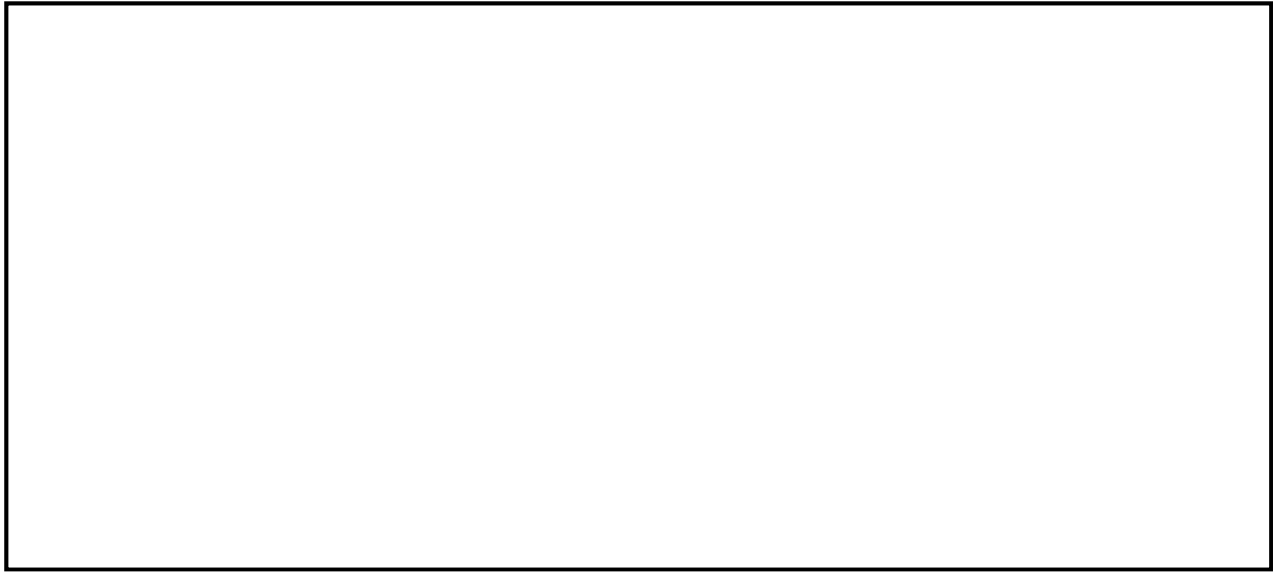


(c) C-C 断面

第 2-5 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋の概略断面図 (3/3)



第2-6図 緊急時対策所建屋の概略平面図 (E. L. m)



(a) A-A 断面図



(b) B-B 断面図

第 2-7 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 2-1「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。

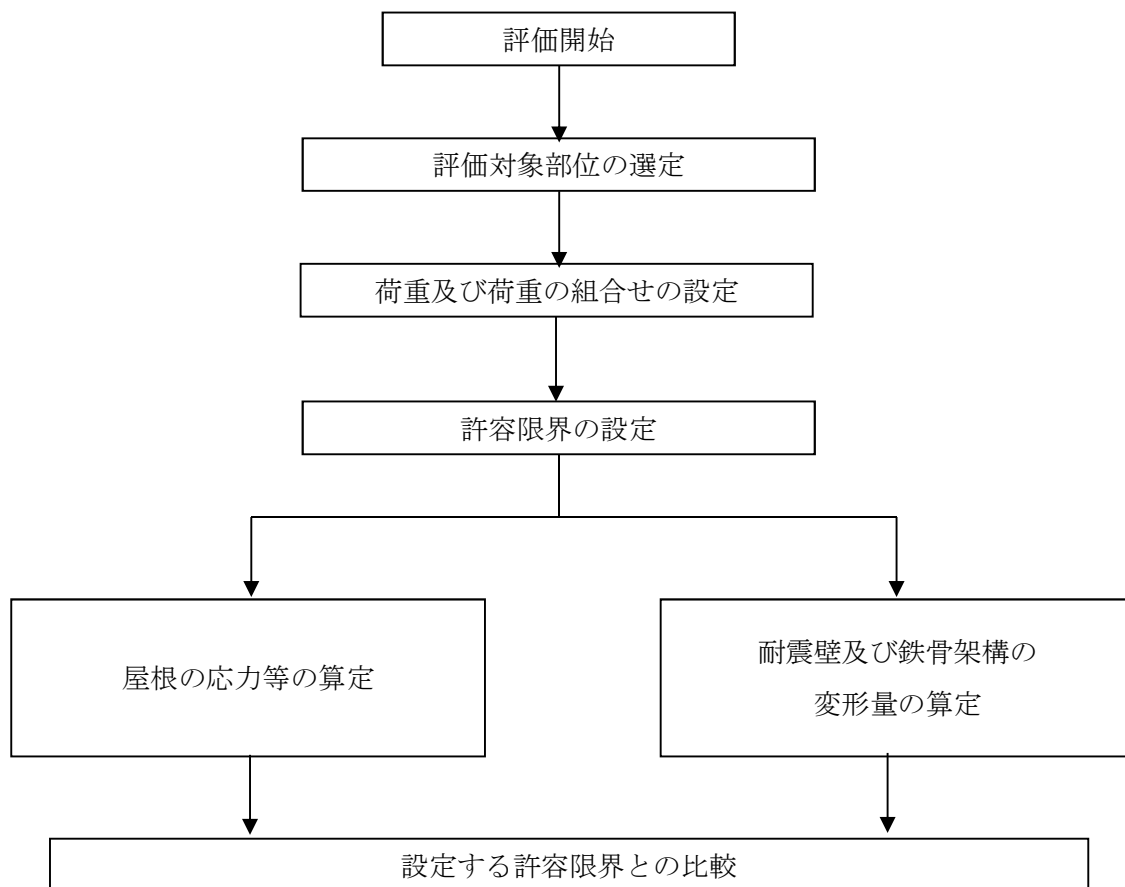
建屋の強度評価のフローを第 2-8 図に示す。

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 2-1「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架構を選定する。ここで、本資料では外部しゃへい建屋のシリンダー部を含めて「耐震壁」という。

許容限界は、別添 2-1「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2-8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、規準、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」追補版という）
- 「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—」（社）日本建築学会(2005)
（以下「S 規準」という）
- 「各種合成構造設計指針・同解説」（社）日本建築学会(2010)

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2-1「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る梁(トラスを含む)について評価する。

- ・外部しゃへい建屋 : 屋根 (ドーム部)
- ・補助建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁)
- ・燃料取扱建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁(トラスを含む))
- ・中間建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁)
- ・ディーゼル建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁)
- ・制御建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁)
- ・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。

- ・外部しゃへい建屋 : 耐震壁 (シリンダー部)
- ・補助建屋 : 耐震壁・鉄骨架構
- ・燃料取扱建屋 : 鉄骨架構
- ・中間建屋 : 耐震壁
- ・ディーゼル建屋 : 耐震壁・鉄骨架構
- ・制御建屋 : 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 2-1「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 F_d (N/m ²)
外部しゃへい建屋	ドーム部	[Blank Box]
補助建屋	屋根スラブ	
	梁	
燃料取扱建屋	屋根スラブ	
	梁(トラス)	
中間建屋	屋根スラブ	
	梁	
ディーゼル建屋	屋根スラブ	
	梁	
制御建屋	屋根スラブ	
	梁	
緊急時対策所建屋	屋根スラブ	
	梁	

(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 30N/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) 降下火砕物堆積による鉛直荷重 (F_v)

降下火砕物堆積による鉛直荷重は、別添 2-1 「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」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、降下火砕物の堆積量を 27cm とし、堆積量 1cm ごとに 150N/m^2 の鉛直荷重が作用することとし設定する。降下火砕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 降下火砕物堆積による鉛直荷重

降下火砕物堆積による鉛直荷重 F_v (N/m^2)
4,050

(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 2-1 「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、各建屋の風力係数と受風面積を第3-6表～第3-10表に示す。

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)
外部しゃへい建屋	32		350	0.15	2.00	2,316
補助建屋					2.02	1,830
燃料取扱建屋					2.00	1,978
中間建屋 ディーゼル建屋 制御建屋					2.07	1,741
緊急時対策所建屋	32		450	0.20	2.50	840

第3-6表 外部しゃへい建屋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)	形状	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
			風 上	風 下	風 上	風 下
36		扁平ドーム形	0.56	-	9	9
35		扁平ドーム形	0.56	-	63	63
34		扁平ドーム形	0.56	-	299	299
9		円筒形	0.56	-	76	76
8		円筒形	0.56	-	354	354
7		円筒形	0.55	-	377	377
6		円筒形	0.53	-	377	377
5		円筒形	0.50	-	377	377
4		円筒形	0.47	-	377	377
3		円筒形	0.44	-	377	377
2		円筒形	0.40	-	377	377
1		円筒形	0.35	-	328	328

※1：外部しゃへい建屋は受風面積及び復元力特性共に 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 補助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
4		0.80	-0.40	114	114
3(S)		0.80	-0.40	355	355
2		0.74	-0.40	296	296
1		0.67	-0.40	250	250

※：「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
4		0.80	-0.40	173	173
3(S)		0.80	-0.40	528	528
2		0.74	-0.40	440	440
1		0.67	-0.40	371	371

※：「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 燃料取扱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
14(S)		0.80	-0.40	310	310
13(S)		0.76	-0.40	130	130
12(S)		0.73	-0.40	356	356
3(S)		0.73	-0.40	355	355

※：「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
14(S)		0.80	-0.40	212	212
13(S)		0.76	-0.40	89	89
12(S)		0.73	-0.40	266	266
3(S)		0.73	-0.40	528	528

※：「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 中間建屋、ディーゼル建屋及び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
8		0.80	-0.40	874	874
7		0.72	-0.40	268	268
15		0.72	-0.40	405	405
6		0.64	-0.40	226	226
10		0.64	-0.40	316	316
11(S)		0.64	-0.40	153	153
5		0.54	-0.40	272	272
9		0.54	-0.40	534	534

※：「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
8		0.80	-0.40	385	385
7		0.72	-0.40	147	147
15		0.72	-0.40	153	153
6		0.64	-0.40	124	124
10		0.64	-0.40	124	124
11		0.64	-0.40	148	148
5		0.54	-0.40	149	149
9		0.54	-0.40	298	298

※：「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
4		0.800	-0.400	147	147
3		0.699	-0.400	62.1	8.10

※：「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
4		0.800	-0.400	139	139
3		0.699	-0.400	31.1	8.10

※：「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。

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御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"> ・ 外部しゃへい建屋 ・ 補助建屋 ・ 燃料取扱建屋 ・ 中間建屋 ・ ディーゼル建屋 ・ 制御建屋 ・ 緊急時対策所建屋 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋根 <div style="text-align: center;"> $\left(\begin{array}{c} \text{ドーム部} \\ \text{屋根スラブ} \\ \text{梁(トラスを含む)} \end{array} \right)$ </div>	<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
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐震壁（シリンダー部を含む） ・ 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

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御建屋及び緊急時対策所建屋の許容限界は、別添 2-1 「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、「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 3-18 表に、使用材料の許容応力度を第 3-19 表～第 3-21 表に示す。

第3-12表 外部しゃへい建屋の許容限界

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	ドーム部	RC部	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
			鉄骨部	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 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※1
		耐震壁 (シリンダー部)		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	RC部	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 (シリンダー部)		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
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 (シリンダー部)		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) ※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。

※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 補助建屋の許容限界

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	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
			S 梁		「S 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
		鉄骨架構		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) ※1※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の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。

※2：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。

第 3-14 表 燃料取扱建屋の許容限界

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	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
			梁(トラス)		「S 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※1
		鉄骨架構		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) ※1※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の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。

※2：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。

第3-15表 中間建屋の許容限界

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	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
			S 梁		「S 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 ディーゼル建屋の許容限界

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	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
			S 梁		「S 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
		鉄骨架構		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 $1/30$ ($1/200$) ※1※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。

※2：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。

第3-17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	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	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：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3-18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	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
			RC 梁		「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、緊急時対策所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3-19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)
外部しゃへい建屋	SS400	235	235	235	135
	SN490B, SM490A	325	325	325	187
補助建屋	SS400	235	235	235	135
燃料取扱建屋	SS400	235	235	235	135
中間建屋	SS400	235	235	235	135
ディーゼル建屋	SS400	235	235	235	135
制御建屋	SS400	235	235	235	135

第3-20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)
外部しゃへい建屋	30.0	20.0	1.18
補助建屋	17.7	11.8	0.885
燃料取扱建屋	17.7	11.8	0.885
中間建屋	17.7	11.8	0.885
ディーゼル建屋	17.7	11.8	0.885
制御建屋	17.7	11.8	0.885
緊急時対策所建屋	30.0	20.0	1.18

第3-21表 鉄筋の許容応力

建屋	種類	短期
		引張・圧縮 (N/mm ²)
外部しゃへい建屋	SD345	345
補助建屋	SD35 (SD345 相当)	345
燃料取扱建屋	SD35 (SD345 相当)	345
中間建屋	SD35 (SD345 相当)	345
ディーゼル建屋	SD35 (SD345 相当)	345
制御建屋	SD35 (SD345 相当)	345
緊急時対策所建屋	SD295A	295
	SD345	345
	SD390	390

3.4 評価方法

3.4.1 屋根

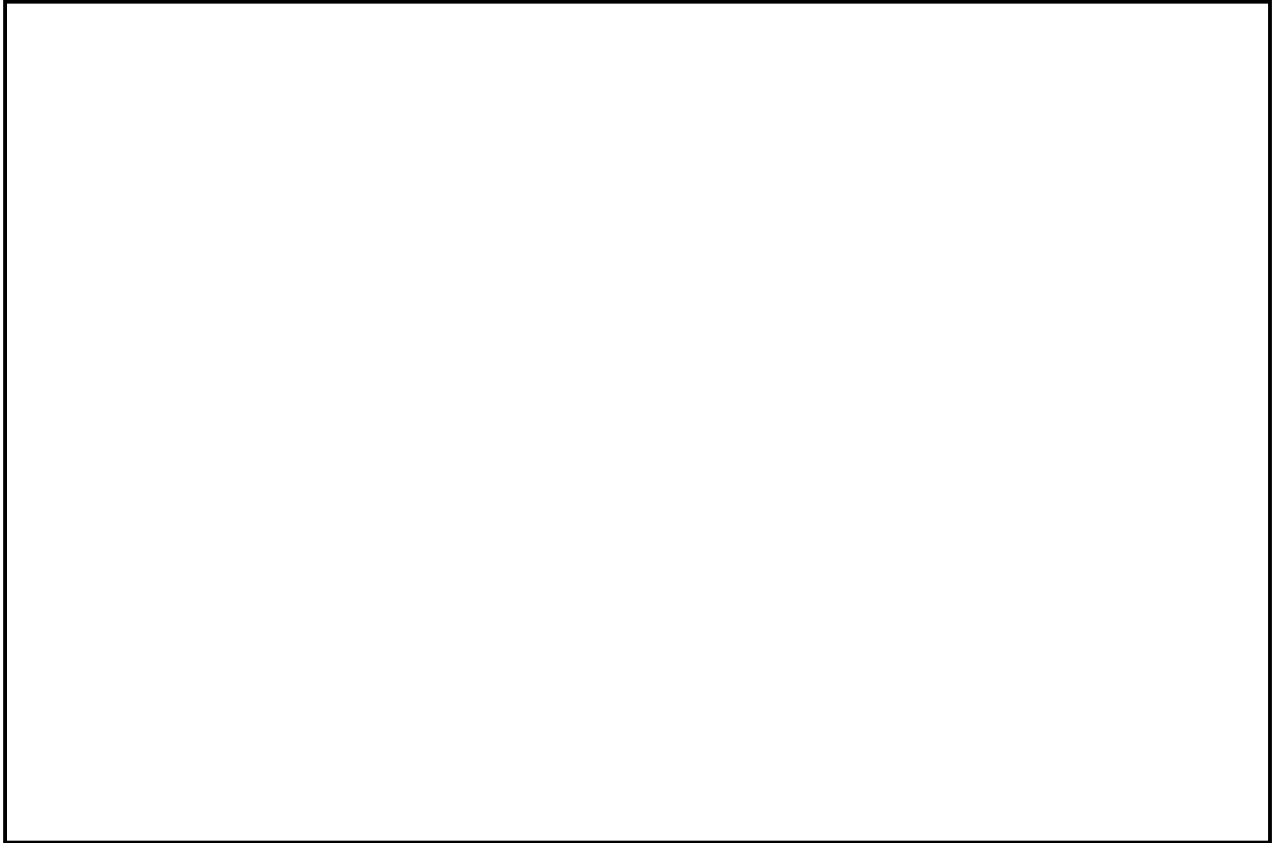
(1) ドーム部

外部しゃへい建屋のドーム部の応力評価は、別添 2-1 「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。

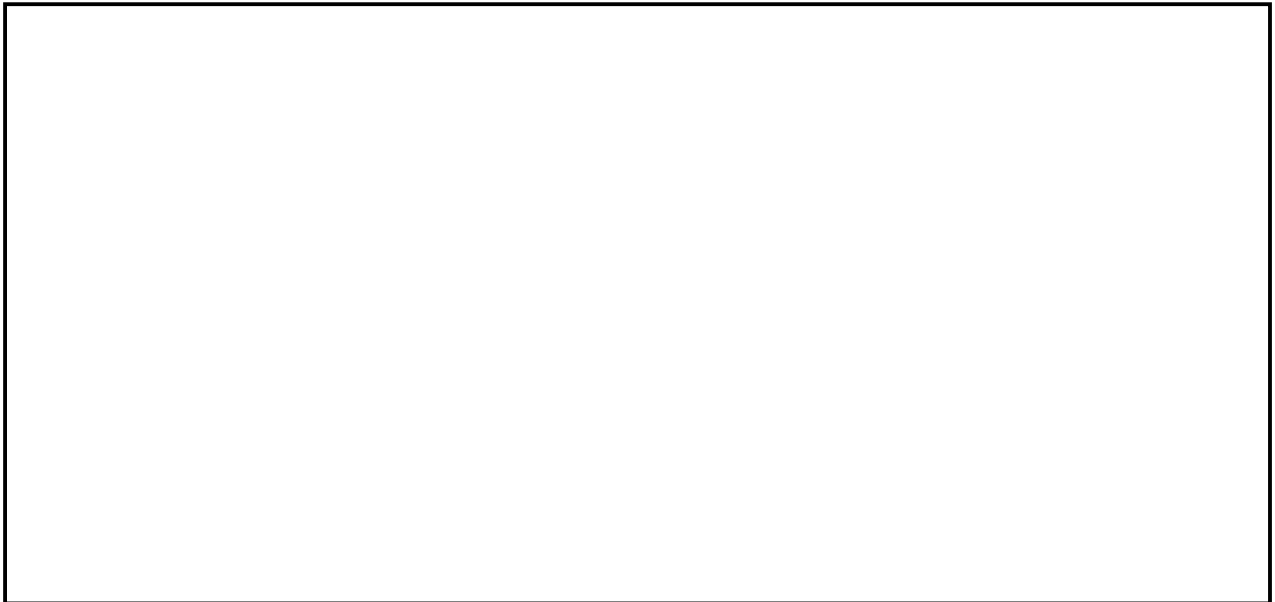
応力解析モデルについては、資料 1 3-1 7-7-5 「外部しゃへい建屋の耐震計算書」で用いた 3 次元 FEM モデルと同一とする。応力解析モデルの概要図を第 3-1 図に示す。

降下火砕物等堆積時の鉛直荷重に対する評価は、ドーム部について、発生する応力が、「RC-N 規準」及び「S 規準」に基づき設定した評価基準値を超えないことを確認する。

なお、ドーム部の応力評価には、解析コード「NX NASTRAN Ver. 12.0.2」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。



(a) 全体鳥瞰図



(b) ドーム部（鉄骨部）詳細(RC 部非表示)

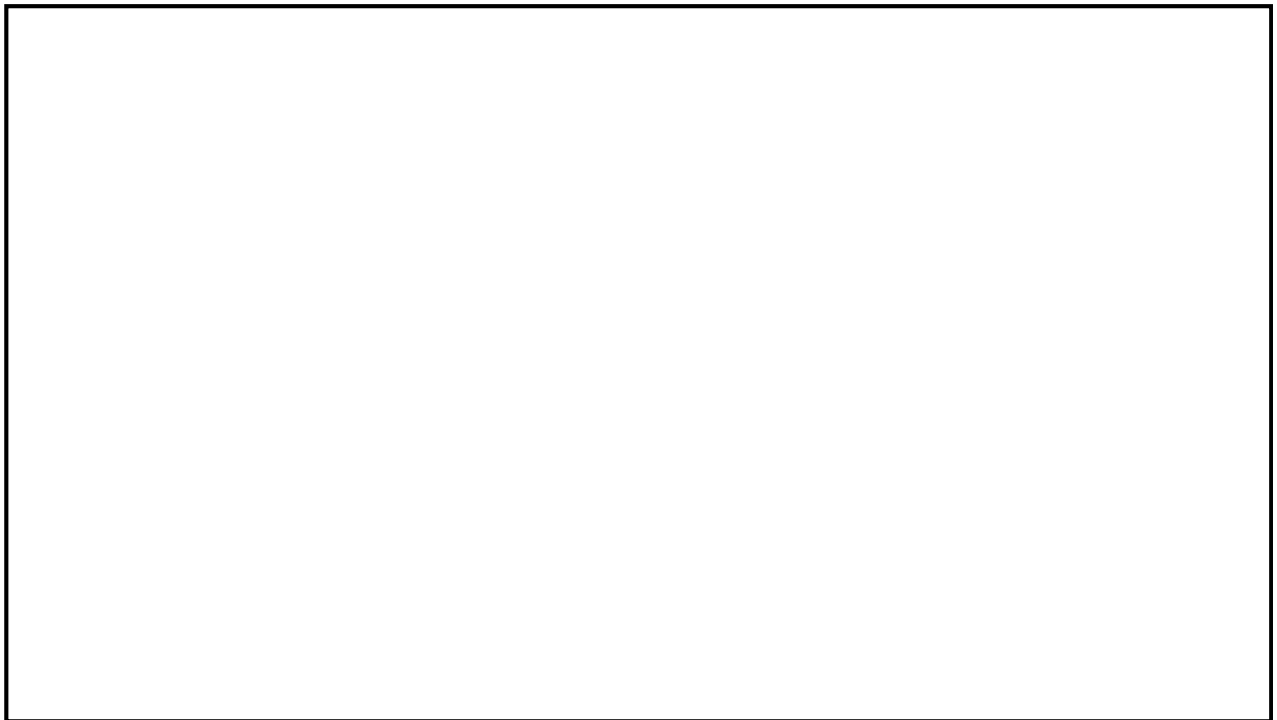
第3-1図 外部しゃへい建屋の応力解析モデルの概要図

a. RC 部

曲げモーメントについては、必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量は、「RC-N 規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量を算定する。

面外せん断力については、「RC-N 規準」に基づいて求めた短期許容せん断力を超えないことを確認する。

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 3-2 図に示す。

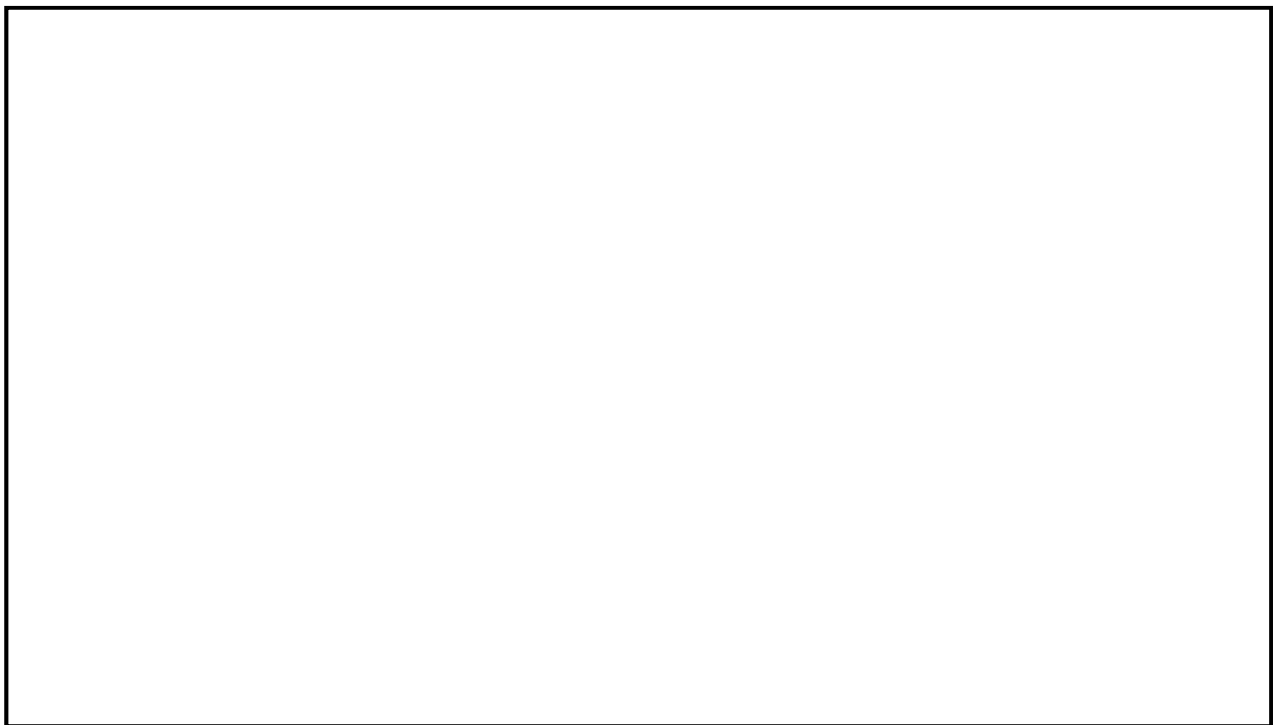


第 3-2 図 ドーム部 RC 部の評価を記載する部材の位置

b. 鉄骨部

「S 規準」に基づき、各部材に生じる応力が評価基準値を超えないことを確認する。

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 図に示す。



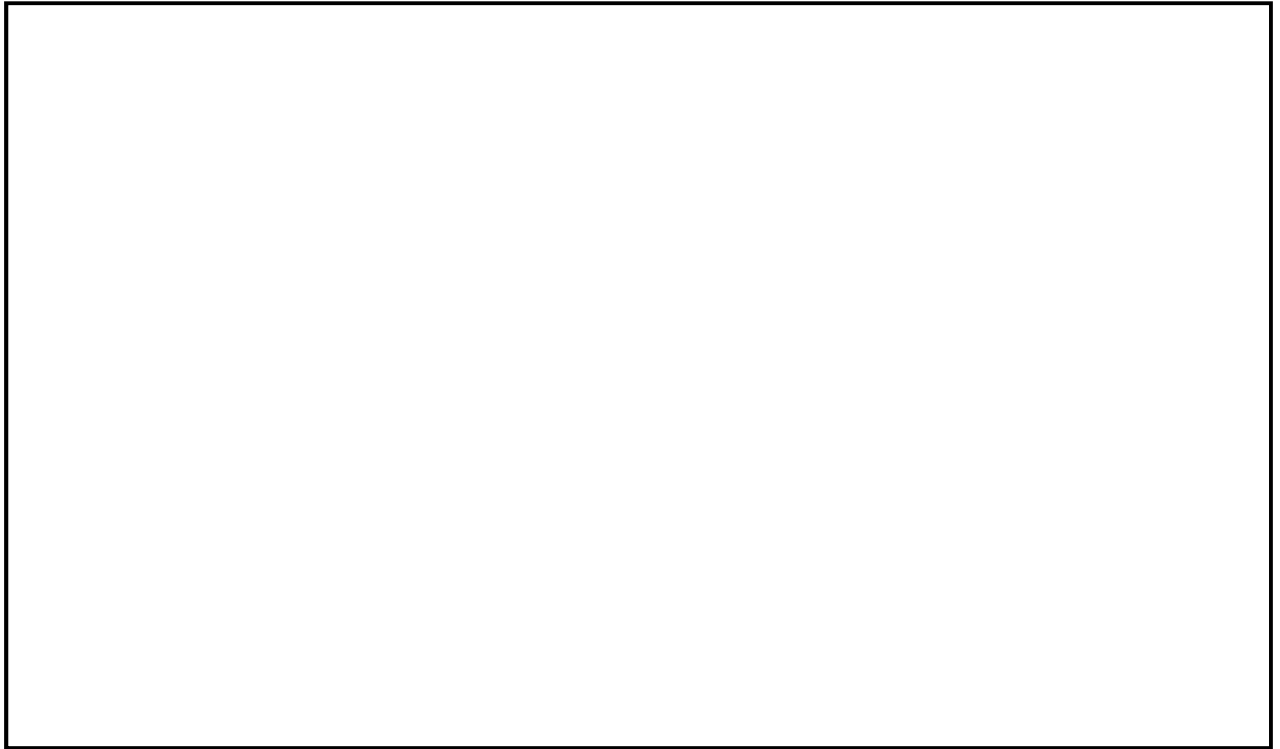
第 3-3 図 ドーム部 鉄骨部の評価を記載する部材の位置

(2) 屋根スラブ及び梁（トラスを含む）

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3-13表～第3-18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

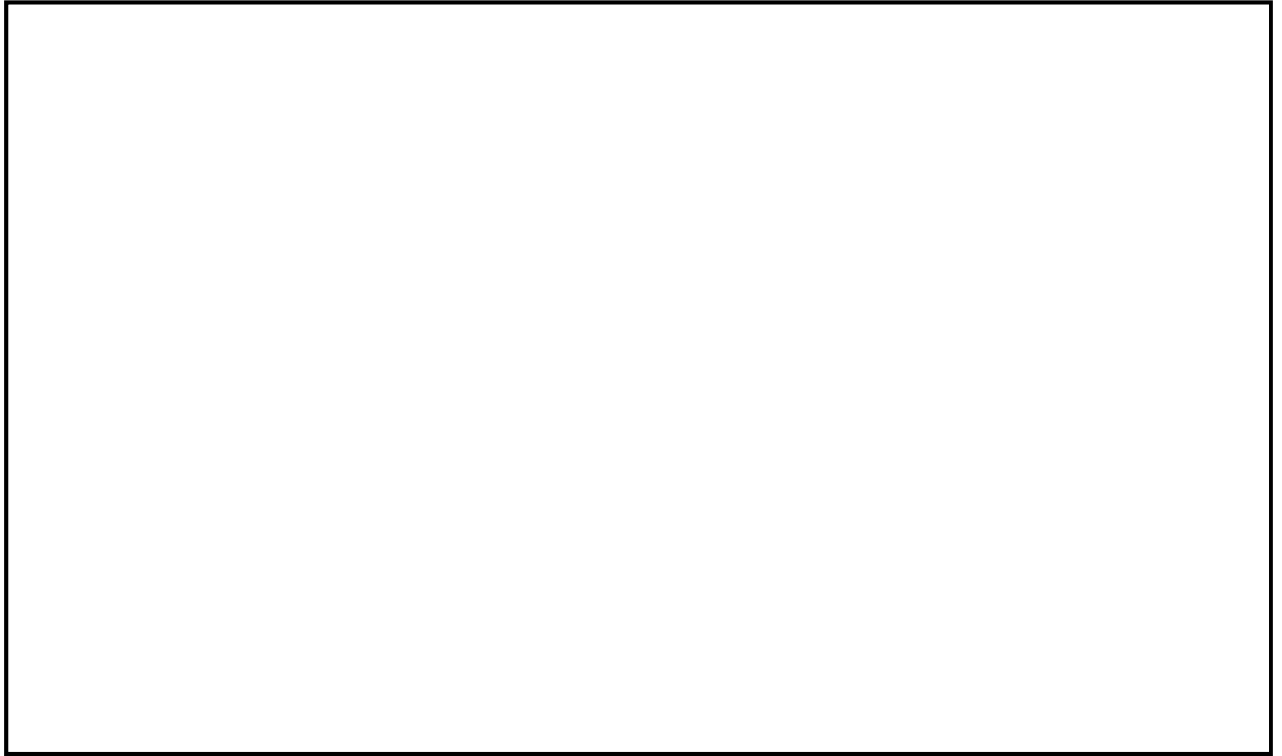
補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御建屋及び緊急時対策所建屋の屋根の評価結果については、降下火砕物等堆積時に発生する応力を考慮した際に、評価基準値に対して、発生する応力等の割合が最も大きくなる部材を選定して示す。選定した部材の位置を第3-4図～第3-15図に示す。



第3-4図 補助建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



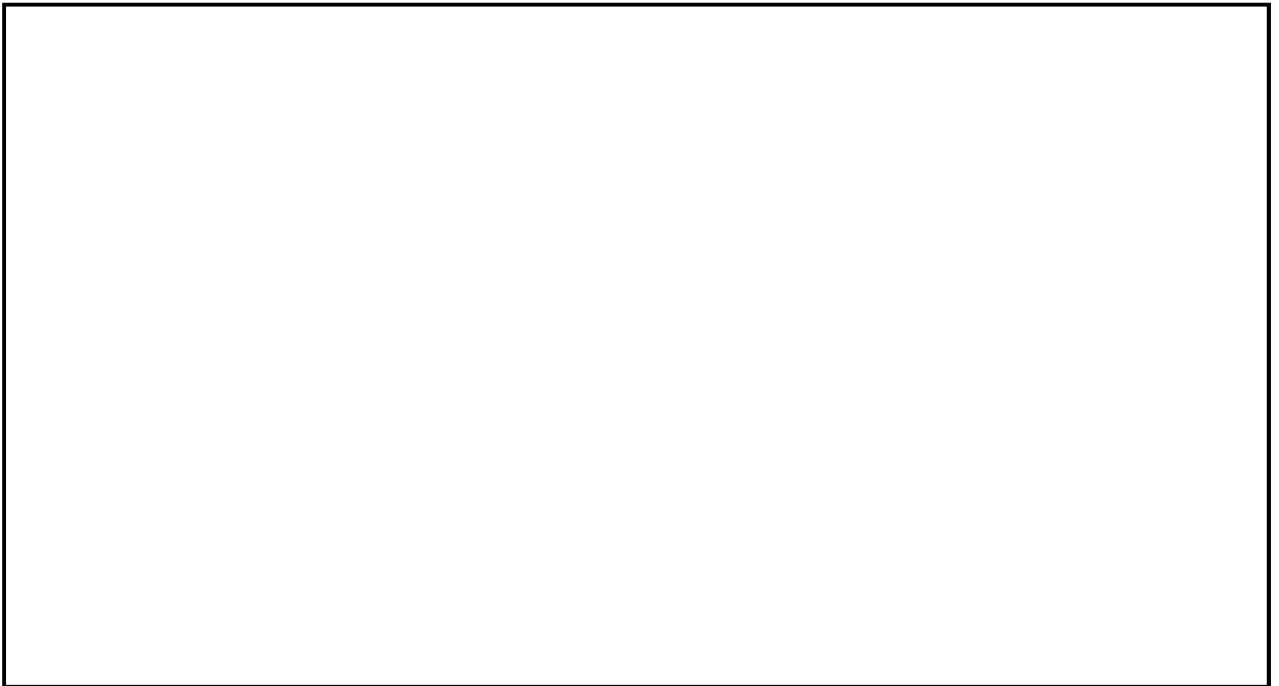
第3-5図 補助建屋 梁の評価を記載する部材の位置



第3-6図 燃料取扱建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置

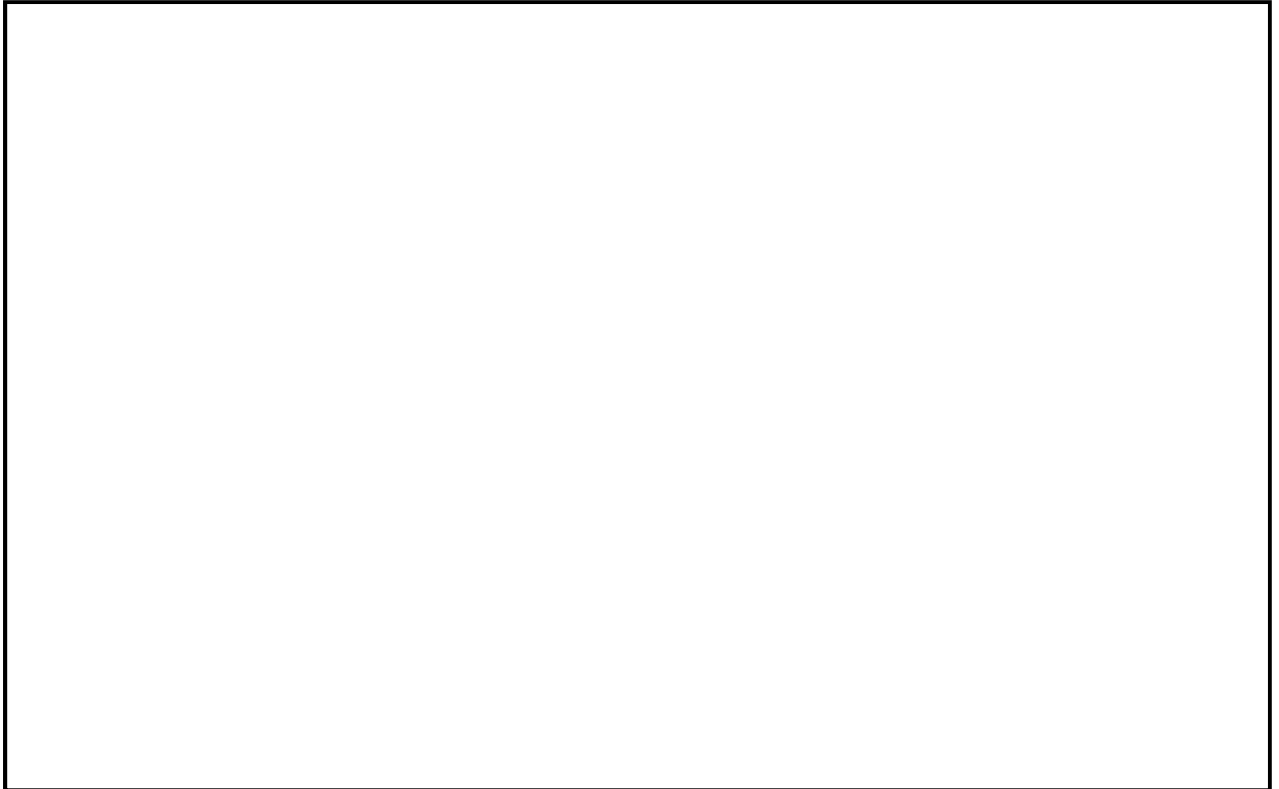


(a) 評価を記載する梁(トラス)位置

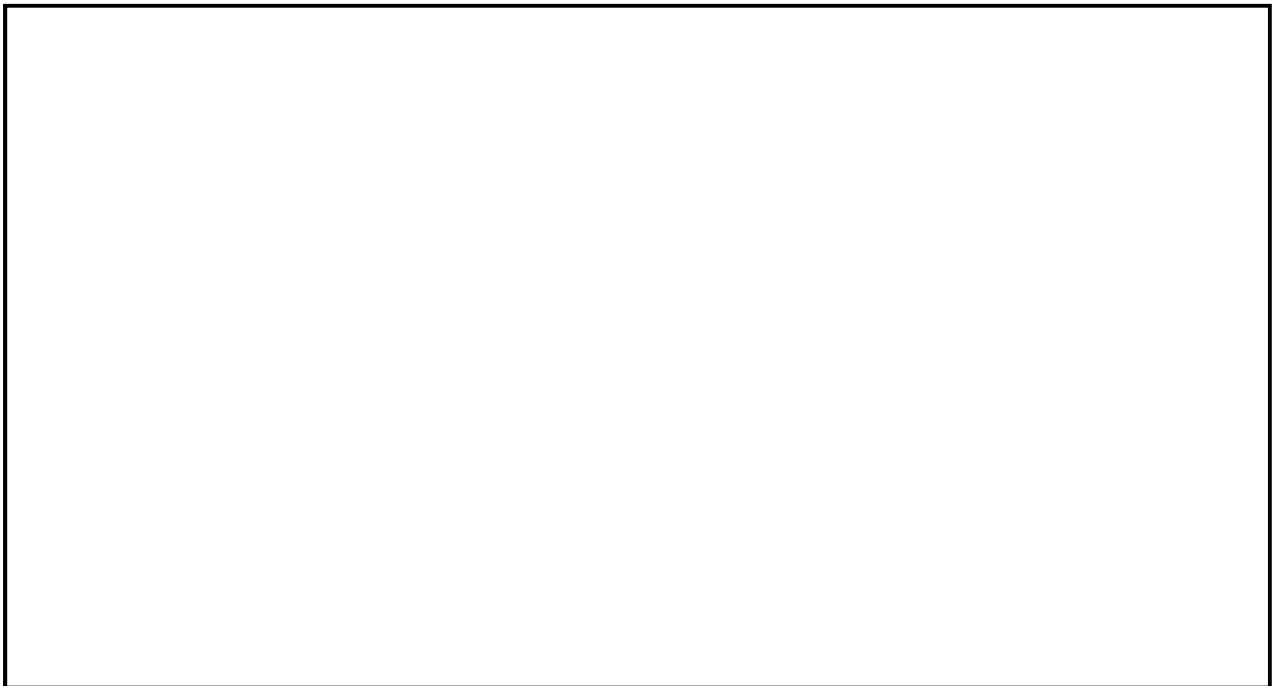


(b) 評価を記載する部材位置

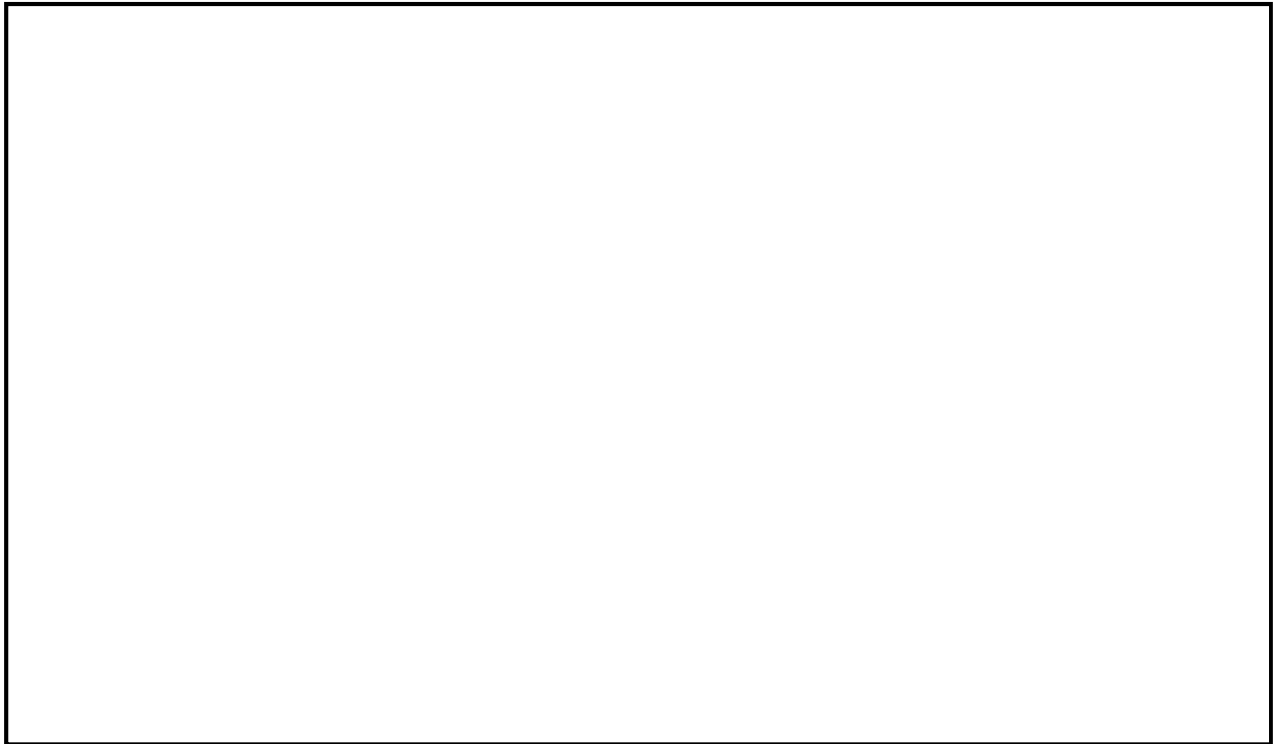
第3-7図 燃料取扱建屋 梁(トラス)の評価を記載する部材の位置



第 3-8 図 中間建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



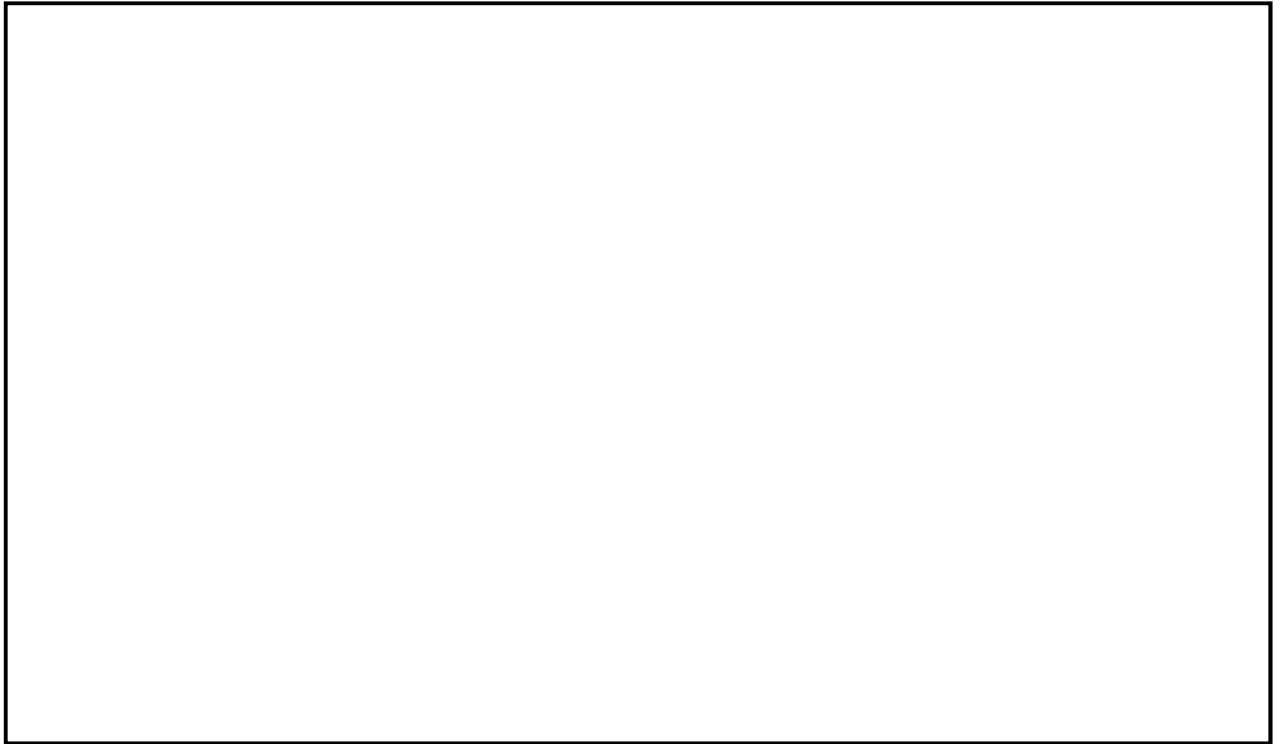
第 3-9 図 中間建屋 梁の評価を記載する部材の位置



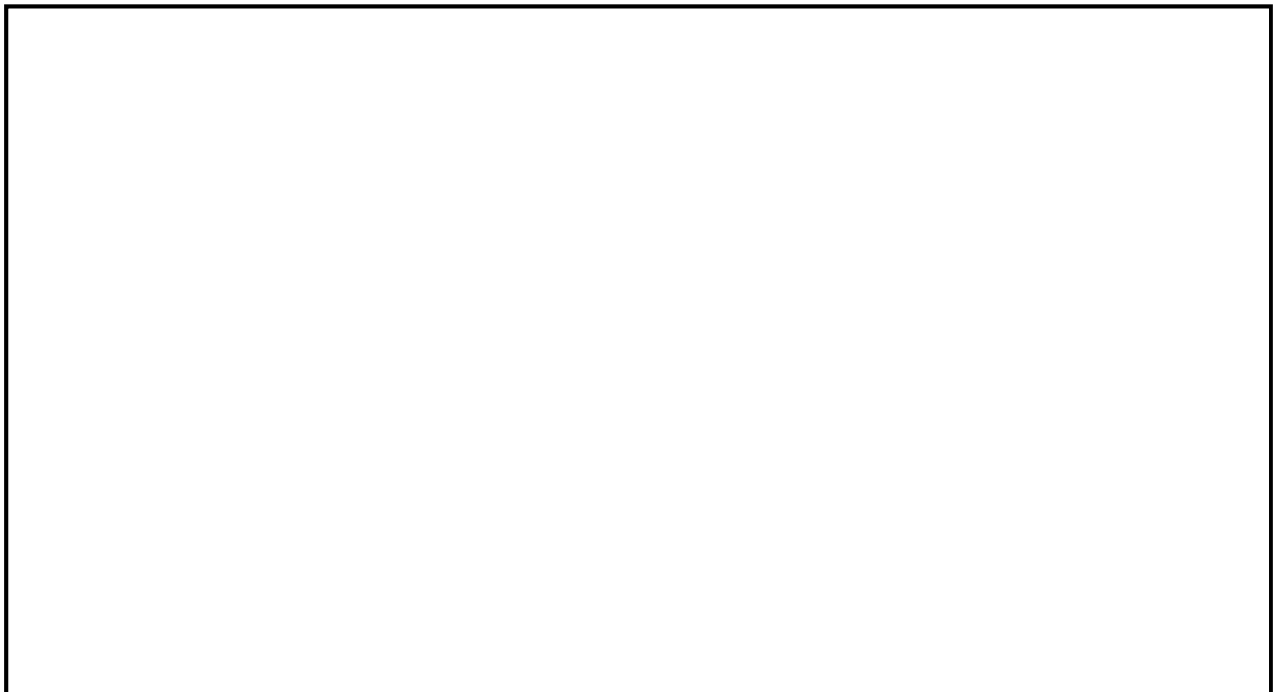
第3-10図 ディーゼル建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



第3-11図 ディーゼル建屋 梁の評価を記載する部材の位置



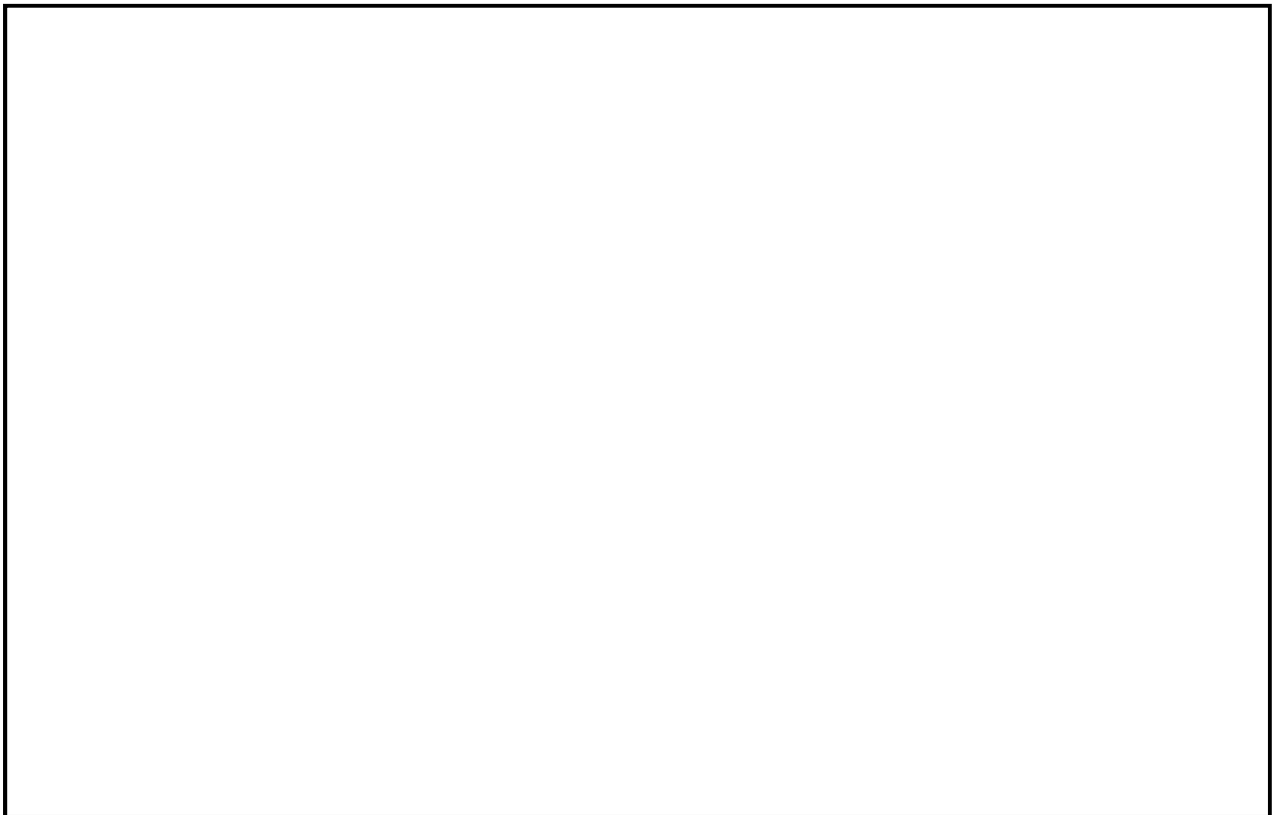
第3-12図 制御建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



第3-13図 制御建屋 梁の評価を記載する部材の位置



第3-14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



第3-15図 緊急時対策所建屋 梁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（トラスを含む）の応力評価モデル図を第3-16図～第3-27図に示す。また、部材の評価条件を第3-22表～第3-33表に示す。

また、トラス部材に発生する応力度は、下式により、設計時長期荷重により部材に生じる応力度に、設計時長期荷重に対する降下火砕物堆積時の鉛直荷重の比を乗じることで算出する。

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \alpha$$

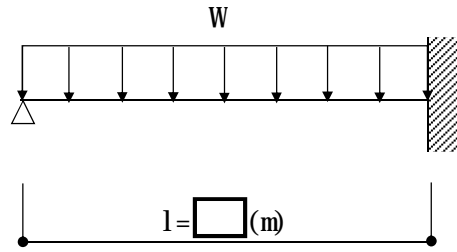
ここで、

σ : 降下火砕物等堆積時の荷重により発生する応力度(N/mm²)

σ_0 : 設計時長期荷重により発生する応力度(N/mm²)

α : 設計時長期荷重に対する降下火砕物等堆積時の鉛直荷重の比

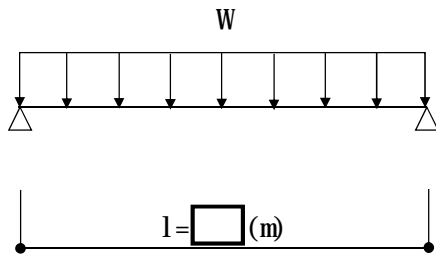
($\alpha = \square$)



- ・端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 8$
- ・端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot l) \cdot 5/8$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)

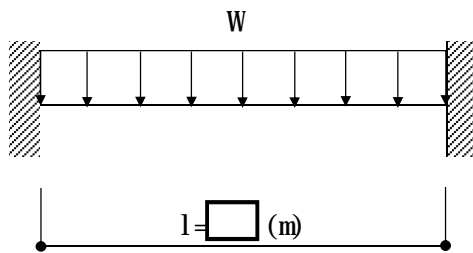
第3-16図 補助建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・中央モーメント
 $M_C = (W \cdot a \cdot l^2) / 8$
- ・端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot a \cdot l) / 2$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)
 a: 支配幅(m)

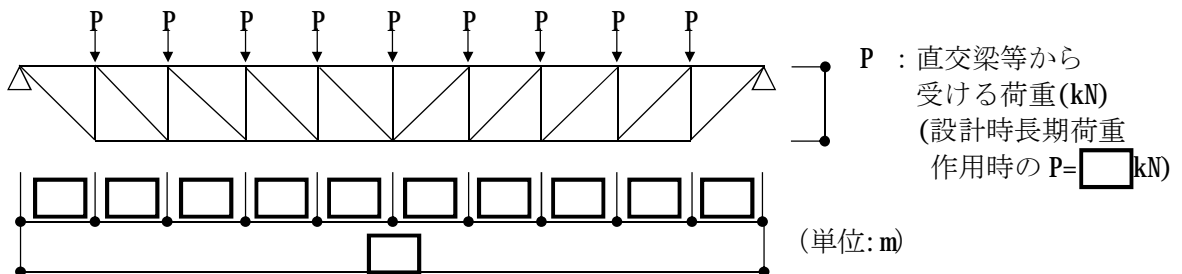
第3-17図 補助建屋 梁の評価モデル図



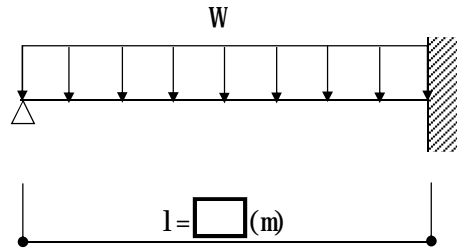
- ・端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 12$
- ・端部せん断力
 $Q_E = 0.52 \cdot (W \cdot l)$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)

第3-18図 燃料取扱建屋 屋根スラブの評価モデル図



第3-19図 燃料取扱建屋 梁(トラス)の評価モデル図



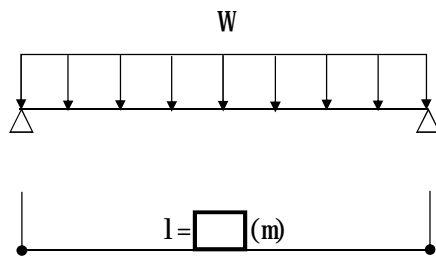
- ・ 端部モーメント

$$M_E = (W \cdot l^2) / 8$$
- ・ 端部せん断力

$$Q_E = (W \cdot l) \cdot 5/8$$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)

第 3-20 図 中間建屋 屋根スラブの評価モデル図



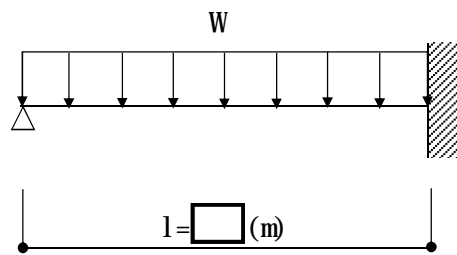
- ・ 中央モーメント

$$M_C = (W \cdot a \cdot l^2) / 8$$
- ・ 端部せん断力

$$Q_E = (W \cdot a \cdot l) / 2$$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)
a: 支配幅(m)

第 3-21 図 中間建屋 梁の評価モデル図



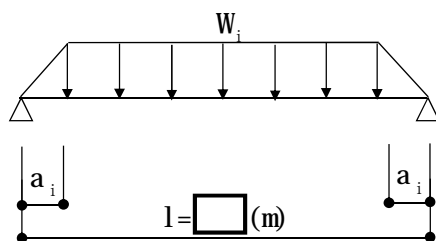
- ・ 端部モーメント

$$M_E = (W \cdot l^2) / 8$$
- ・ 端部せん断力

$$Q_E = (W \cdot l) \cdot 5/8$$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)

第 3-22 図 ディーゼル建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・ 中央モーメント

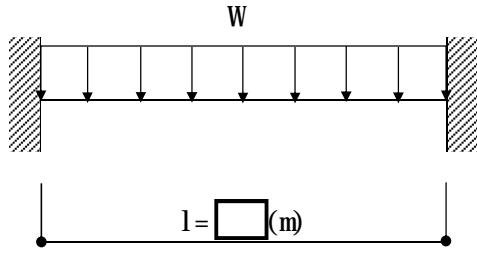
$$M_C = \sum_{i=1}^2 \{W_i \cdot a_i \cdot (3l^2 - 4a_i^2) / 24\}$$
- ・ 端部せん断力

$$Q_E = \sum_{i=1}^2 \{W_i \cdot a_i \cdot (l - a_i) / 2\}$$

W_i: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)
a_i: 片側支配幅(m)

i: 梁に隣接する部材の番号(i=1, 2)

第 3-23 図 ディーゼル建屋 梁の評価モデル図



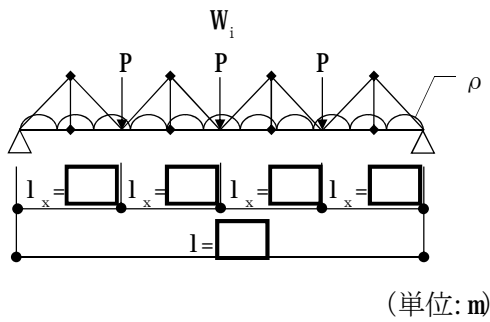
- ・端部モーメント

$$M_E = (W \cdot l^2) / 12$$
- ・端部せん断力

$$Q_E = 0.52 \cdot (W \cdot l)$$

W: 単位面積当たりの荷重 (kN/m²)

第 3-24 図 制御建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・端部モーメント

$$M_E = \sum_{i=1}^2 (\lambda_i \cdot W_i \cdot l_x^3) + P \cdot l / 2 + \rho \cdot l^2 / 8$$
- ・端部せん断力

$$Q_E = \sum_{i=1}^2 \{ (3 \cdot \lambda_i / 4 + 1 / 8) \cdot W_i \cdot l_x^2 \} + 3 \cdot P / 2 + \rho \cdot l / 2$$

W_i : 単位面積当たりの荷重 (kN/m²)

P : 直交梁の自重による荷重 (kN) (P = kN)

ρ : 自重等による荷重 (kN/m) ($\rho =$ kN/m)

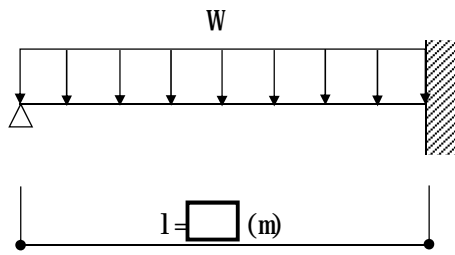
λ_i : $l_{y i} / l_x$

l_x : 梁間寸法 (二次部材の梁) (m)

$l_{y i}$: 梁間寸法 (一次部材の梁) (m)

i : 梁に隣接する部材の番号 (i=1, 2)

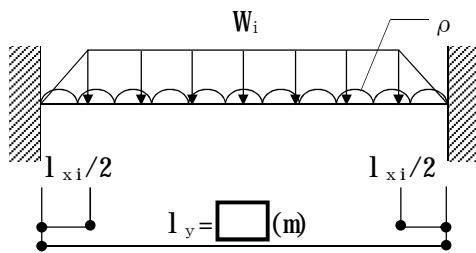
第 3-25 図 制御建屋 梁の評価モデル図



- ・ 端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 8$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot l) \cdot 5/8$

W: 単位面積当たりの荷重(kN/m²)

第 3-26 図 緊急時対策所建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・ 端部モーメント
 $M_E = \sum_{i=1}^2 [\{ \lambda_i^2 / 24 - 1/48 + 1 / (192 \cdot \lambda_i) \} \cdot W_i \cdot l_{xi}^3] + \rho \cdot b \cdot l_y^2 / 12$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = \sum_{i=1}^2 \{ (\lambda_i / 4 - 1/8) \cdot W_i \cdot l_{xi}^2 \} + \rho \cdot b \cdot l_y / 2$

W_i : 単位面積当たりの荷重(kN/m²)

ρ : 自重等による荷重(kN/m²) (ρ = kN/m²)

λ_i : l_y / l_{xi}

l_{xi} : 梁間寸法(m) (l_{x1} = m, l_{x2} = m)

l_y : 支持スパン(m)

b : 梁幅(m) (b = m)

i : 梁に隣接する部材の番号(i=1, 2)

第 3-27 図 緊急時対策所建屋 梁の評価モデル図

第3-22表 補助建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-23表 補助建屋 梁 評価条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	合成梁としての断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-350x175x7x11	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1,292	1,834
スラブ協力幅 (m)		スラブ有効長さ (m)	スラブ厚さ (mm)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-24表 燃料取扱建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-25表 燃料取扱建屋 梁(トラス) 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)	軸断面積 (cm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-344x354x16x16	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2,030	167

第3-26表 中間建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D16@200	995

第3-27表 中間建屋 梁 評価条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	合成梁としての 断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-582x300x12x17	<input type="text"/>	<input type="text"/>	4,461	4,460
スラブ協力幅 (m)		スラブ 有効長さ (m)	スラブ厚さ (mm)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	D16@200	995

第3-28表 ディーゼル建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-29表 ディーゼル建屋 梁 評価条件

評価対象部位		片側支配幅 (m)	支持スパン (m)	合成梁としての 断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-354x176x8x13	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1,497	2,096
スラブ協力幅 (m)		スラブ 有効長さ (m)	スラブ厚さ (mm)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-30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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-31表 制御建屋 梁 評価条件

評価対象部位		梁間寸法 (一次部材の梁) (m)	支持スパン (m)	合成梁としての断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-582x300x12x17	<input type="text"/>	<input type="text"/>	4,860	4,560
スラブ協力幅 (m)		スラブ有効長さ (m)	スラブ厚さ (mm)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-32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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D29@200	3,210

第3-33表 緊急時対策所建屋 梁 評価条件

評価対象部位	梁せい (mm)	有効せい (mm)	梁間寸法 (m)	支持スパン (m)	配筋	配筋量 (片側) (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	7.55	6-D25	3,040

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。

なお、梁については、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会(2010)）」に基づき、スラブと一体となって曲げに抵抗する合成梁として評価する。

(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 (mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

σ_t : 鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

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。

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

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/mm²)

(c) 曲げモーメントに対する S 梁断面の評価方法

曲げモーメントに対する S 梁断面の評価は、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。

$$M_s = \sigma_b \cdot Z_c$$

ここで、

M_s : 短期許容曲げモーメント (N・mm)

σ_b : 鋼材の短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

Z_c : 合成梁としての断面係数(mm³)

(d) せん断力に対する S 梁断面の評価方法

せん断力に対する S 梁断面の評価は、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 : 鋼材の短期許容せん断応力度 (N/mm²)

A_s : せん断断面積 (mm²)

(e) 曲げモーメントに対する RC 梁断面の評価方法

曲げモーメントに対する RC 梁断面の評価は、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。

$$M_s = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

M_s : 短期許容曲げモーメント (N・mm)

a_t : 片側引張鉄筋の断面積 (mm²)

f_t : 鉄筋の短期引張許容応力度 (N/mm²)

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) せん断力に対する RC 梁断面の評価方法

せん断力に対する RC 梁断面の評価は、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。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5_w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ただし、 $\alpha = 4 / (M / (Q \cdot d) + 1)$ かつ $1.0 \leq \alpha \leq 2.0$

ここで、

Q_A : 短期許容せん断力 (N)

b : 梁幅

j : 応力中心間距離で有効せい d の (7/8) 倍

d : 有効せい

p_w : せん断補強筋比 (p_w が 1.2% を超える場合は、1.2% とする)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

$w f_t$: せん断補強筋用の短期許容引張応力度

α : せん断スパン比 $M / (Q \cdot d)$ による割増係数

M : 降下火碎物等堆積時の最大曲げモーメント

Q : 降下火碎物等堆積時の最大せん断力

(g) トラス断面の評価方法

トラス断面の評価は、軸力により評価対象部位に生じる軸応力度が評価基準値を超えないことを確認する。評価基準値は、圧縮軸応力を受ける部材は短期許容圧縮応力度、引張軸応力を受ける部材は短期許容引張応力度とする。

3.4.2 耐震壁

外部しゃへい建屋、補助建屋、中間建屋、ディーゼル建屋、制御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。

外部しゃへい建屋の質点系モデル図を第3-28図に、補助建屋、中間建屋、燃料取扱建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋の質点系モデル図を第3-29図に、緊急時対策所建屋の質点系モデル図を第3-30図に示す。質点系モデルの詳細は、それぞれ資料13-17-7-2「原子炉格納施設の地震応答解析」、資料13-16-4「原子炉補助建屋の地震応答解析」及び資料13-16-6「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28年6月10日付け原規規発第1606104号にて認可された工事計画認可申請書の記載に変更はない。

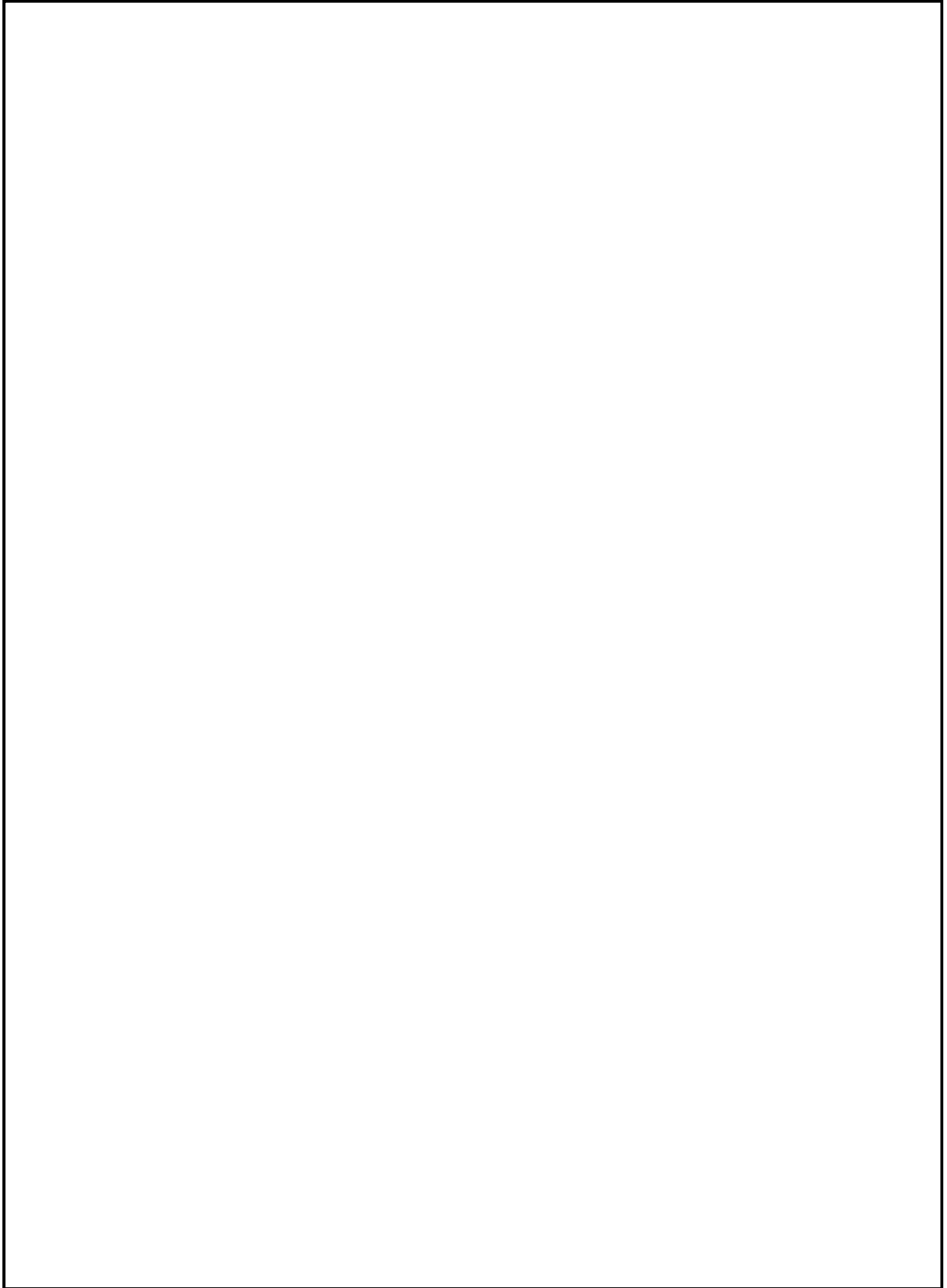
3.4.3 鉄骨架構

補助建屋、燃料取扱建屋及びディーゼル建屋について、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。

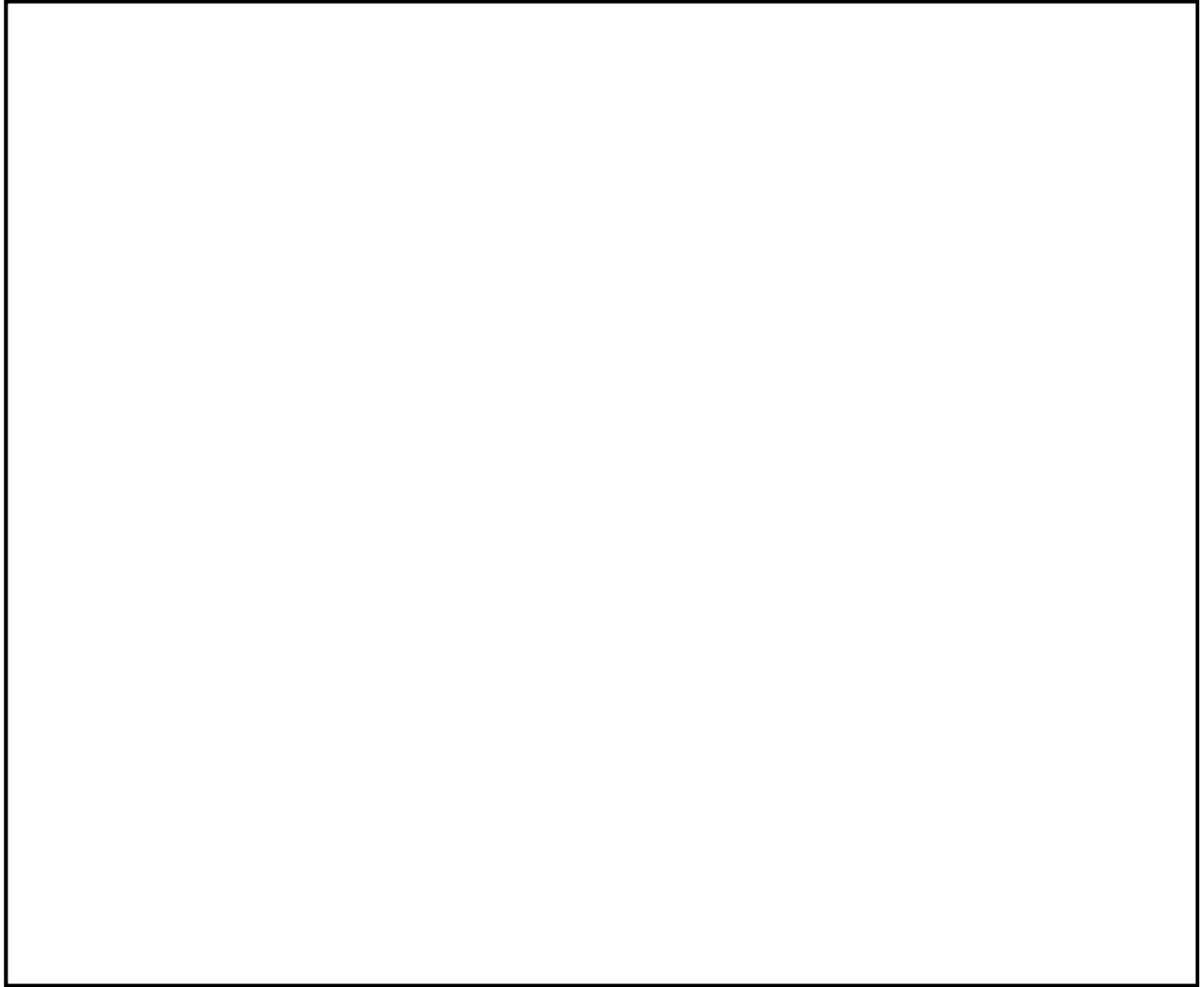
質点系モデルは「3.4.2 耐震壁」で用いるモデルと同一とする。

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28年6月10日付け原規規発第1606104号にて認可された工事計画認可申請書の記載に変更はない。



第 3-28 図 外部しゃへい建屋の質点系モデル図



第3-29 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋、ディーゼル建屋及び制御建屋の
質点系モデル図



第3-30 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

降下火砕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、降下火砕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(1/2)

建屋	部位	検討項目		解析結果	評価基準値	検定比	
外部 しゃへい 建屋	ドーム 部	RC 部	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	415	2,870	0.145
			せん断力 [kN/m]		56.7	242	0.234
		鉄 骨 部	軸力+	発生応力度/ 許容応力度 ^{※2}	0.133	1.00	0.133
			曲げモーメント				
		せん断力 [kN]		13.8	1,850	0.00746	
補助建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	536	619	0.866	
		せん断力 [kN/m]		18.4	38.7	0.475	
	S 梁	曲げモーメント [kN・m]		261	303	0.752	
		せん断力 [kN]		124	248	0.500	
燃料取扱 建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	354	619	0.572	
		せん断力 [kN/m]		15.3	38.7	0.395	
	梁(トラス)	圧縮応力度[N/mm ²]		180	226	0.796	
中間建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	584	995	0.587	
		せん断力 [kN/m]		49.3	201	0.245	
	S 梁	曲げモーメント [kN・m]		481	1,040	0.463	
		せん断力 [kN]		275	605	0.455	
ディーゼル 建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	571	619	0.922	
		せん断力 [kN/m]		19.1	38.7	0.494	
	S 梁	曲げモーメント [kN・m]		210	351	0.598	
		せん断力 [kN]		98.4	282	0.349	

※1：鉄筋量については、解析結果に必要な鉄筋量、評価基準値に配筋量を示す。

※2：軸力+曲げモーメントの解析結果は、検定比（発生軸応力度/許容軸応力度+発生曲げ応力度/許容曲げ応力度）を記載している。

第4-1表 屋根の評価結果(2/2)

建屋	部位	検討項目		解析結果	評価基準値	検定比
制御建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m]	376	619	0.607
		せん断力 [kN/m]		15.8	38.7	0.408
	S梁	曲げモーメント[kN・m]		1,050	1,140	0.921
		せん断力 [kN]		382	618	0.618
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]	1,030	3,210	0.321
		せん断力[kN/m]		184	822	0.224
	RC梁	曲げモーメント[kN・m]		565	1,390	0.406
		せん断力 [kN]		660	1,120	0.589

※：鉄筋量については、解析結果に必要な鉄筋量、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評価結果を第4-2表～第4-5表に示す。第4-2表～第4-5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（外部しゃへい建屋）

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
36		0.0031	0.1757	0.0176
35		0.0040	0.1757	0.0228
34		0.0108	0.1757	0.0615
9		0.0009	0.1757	0.00512
8		0.0019	0.1735	0.0110
7		0.0028	0.1830	0.0153
6		0.0036	0.1924	0.0187
5		0.0036	0.1950	0.0185
4		0.0042	0.2038	0.0206
3		0.0048	0.2123	0.0226
2		0.0053	0.2205	0.0240
1		0.0022	0.1916	0.0115

第4-3表 耐震壁の評価結果（補助建屋）

(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
4		0.0028	0.1649	0.0170
2		0.0007	0.1664	0.00421
1		0.0010	0.1828	0.00547

(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
4		0.0025	0.1649	0.0152
2		0.0012	0.1664	0.00721
1		0.0016	0.1828	0.00875

第4-4表 耐震壁の評価結果（中間建屋、ディーゼル建屋、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
8		0.0090	0.1693	0.0532
7		0.0049	0.1741	0.0281
15		0.0046	0.1831	0.0251
6		0.0071	0.1850	0.0384
10		0.0053	0.2001	0.0265
5		0.0093	0.1920	0.0484
9		0.0073	0.2006	0.0364

(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
8		0.0012	0.1693	0.00709
7		0.0016	0.1741	0.00919
15		0.0013	0.1831	0.00710
6		0.0020	0.1850	0.0108
10		0.0021	0.2001	0.0105
11		0.0011	0.2220	0.00495
5		0.0015	0.1920	0.00781
9		0.0020	0.2006	0.00997

第4-5表 耐震壁の評価結果（緊急時対策所建屋）

(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
4		0.000337	0.178	0.00189
3		0.000220	0.181	0.00122

(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
4		0.000237	0.178	0.00133
3		0.000192	0.181	0.00106

4.3 鉄骨架構

降下火砕物等堆積時の鉄骨架構の評価結果を第4-6表及び第4-7表に示す。第4-6表及び第4-7表により、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4-6表 鉄骨架構の評価結果（補助建屋、燃料取扱建屋）

(1) NS方向

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
14(S)		1/17722	1/200	0.0113
13(S)		1/13310		0.0150
12(S)		1/8438		0.0237
3(S)		1/19262		0.0104

(2) EW方向

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
14(S)		1/33846	1/200	0.00591
13(S)		1/24654		0.00811
12(S)		1/20674		0.00967
3(S)		1/12551		0.0159

第4-7表 鉄骨架構の評価結果（ディーゼル建屋）（NS方向）

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
11(S)		1/76140	1/200	0.00263

D B 施設及び S A 施設の建屋の検討結果（高浜 2 号機）

（目次）

	頁
1. 概要	別2-1
2. 基本方針	別2-2
2.1 位置	別2-2
2.2 構造概要	別2-3
2.3 評価方針	別2-11
2.4 適用規格	別2-13
3. 強度評価方法	別2-14
3.1 評価対象部位	別2-14
3.2 荷重及び荷重の組合せ	別2-15
3.3 許容限界	別2-24
3.4 評価方法	別2-29
4. 強度評価結果	別2-49
4.1 屋根	別2-49
4.2 耐震壁	別2-50
4.3 鉄骨架構	別2-52

1. 概要

本資料は、別添2-1「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、外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル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、外部しゃへい建屋については放射性物質の閉じ込め機能（以下、「気密性」という。）及び放射線の遮蔽機能（以下、「遮蔽性」という。）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。

なお、制御建屋は1号機及び2号機共用、緊急時対策所建屋は1号機、2号機、3号機及び4号機共用であり、強度評価については、同日付けで申請の高浜発電所1号機の強度に関する説明書のうち別添2-4「建屋の強度計算書」による。

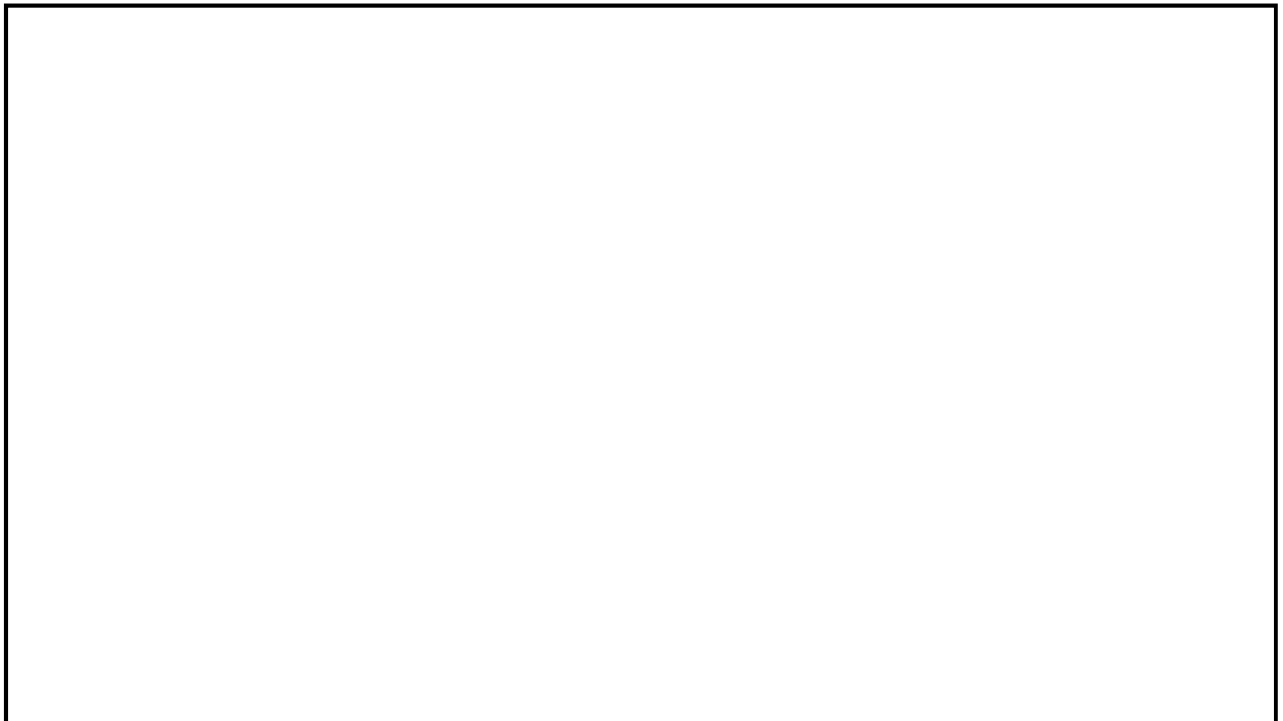
本申請における既認可からの変更は、「2. 基本方針」以降の記載である。

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 2-1 「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

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋を、別添 2-1 「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。外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の配置を第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 配置図

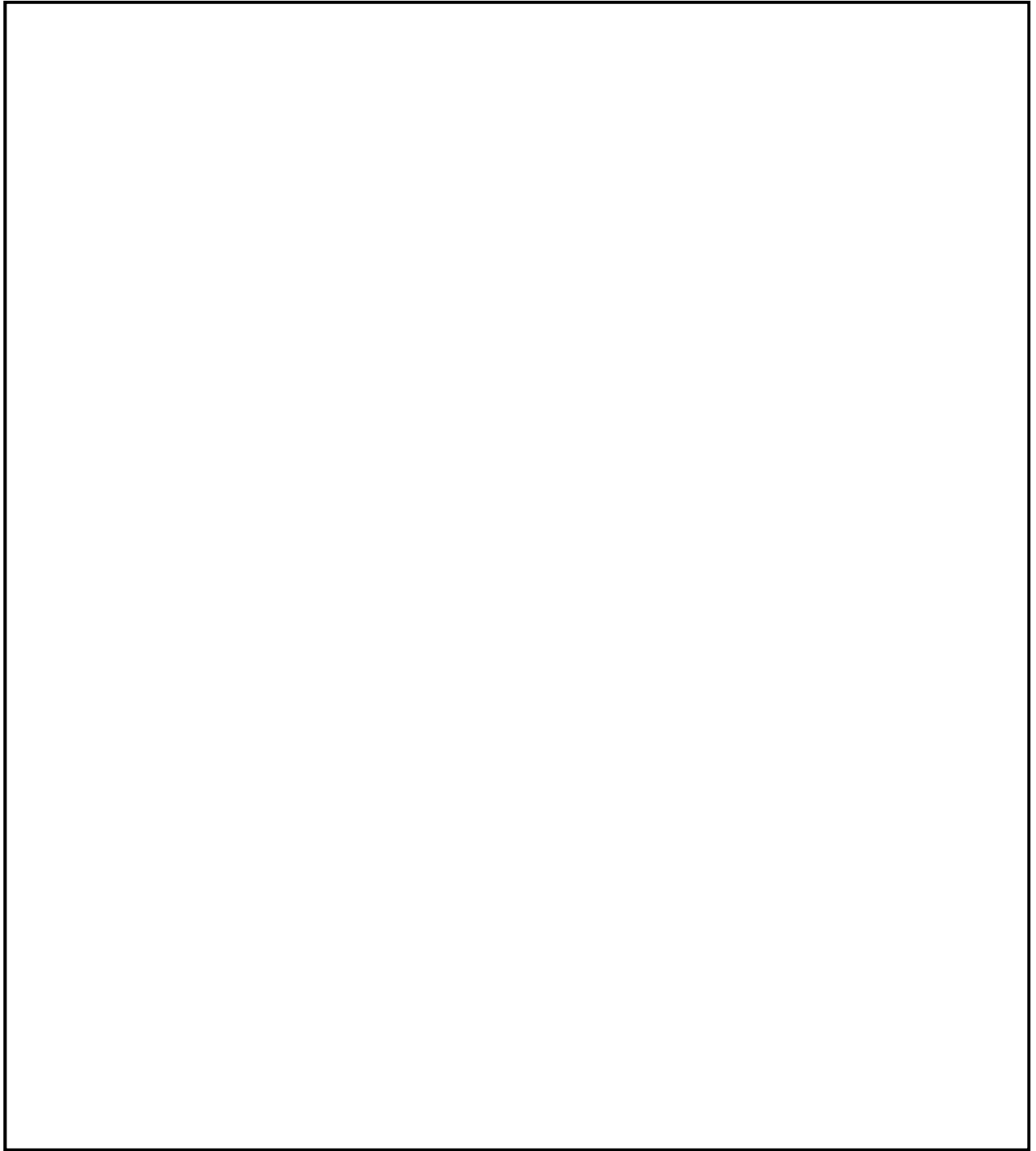
2.2 構造概要

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋は、別添2-1「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。

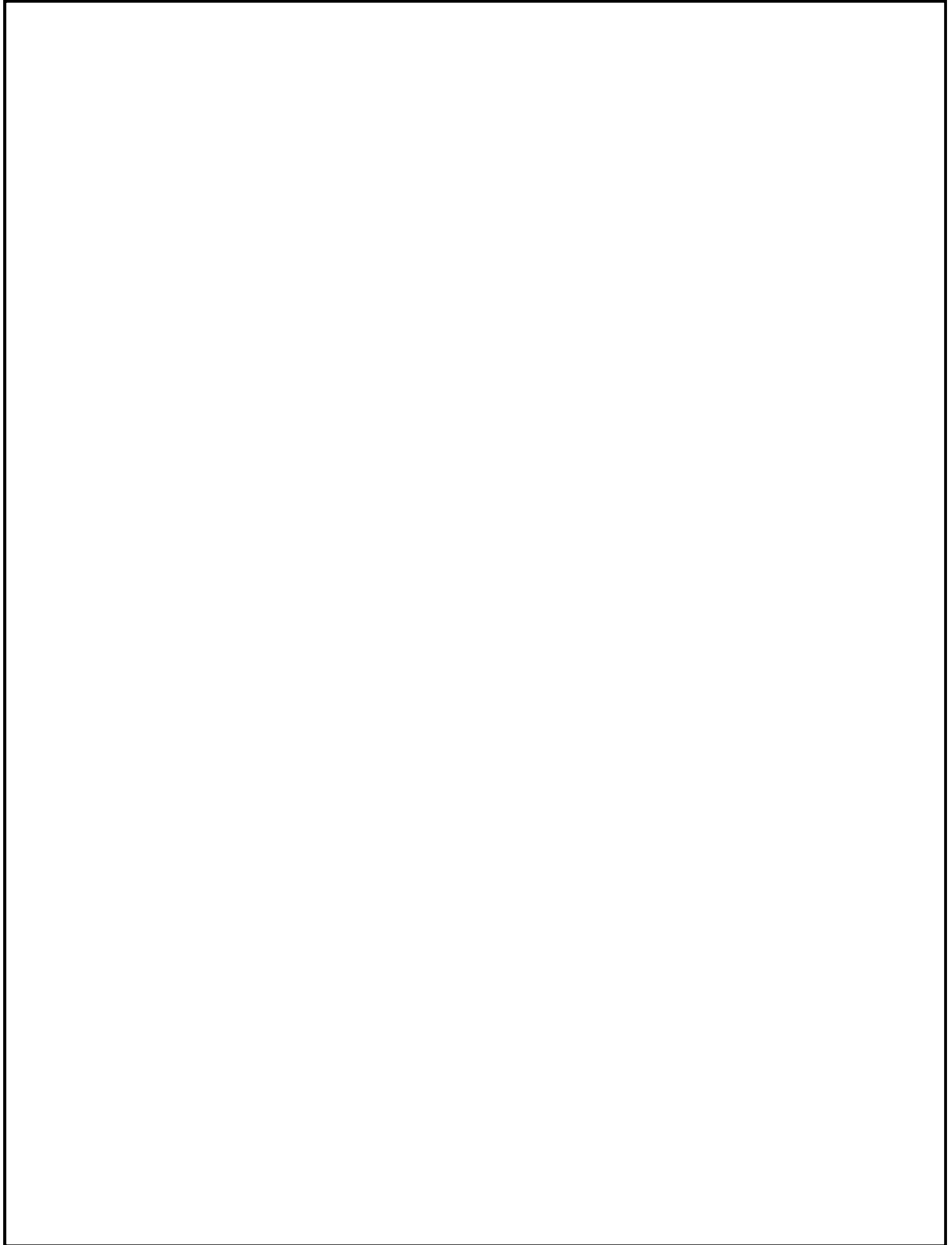
外部しゃへい建屋は、鉄筋コンクリート造の上部遮蔽及び鉄骨梁の複合構造の扁平ドーム状の屋根（以下「ドーム部」という。）、並びに外径約 m の円筒形の鉄筋コンクリート造の壁（以下「シリンダー部」という。）を有する構造物であり、基礎底面から最高部の高さは約 m である。ドーム部の厚さは約 cm 、シリンダー部の厚さは約 cm ～約 cm である。

補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋から構成される原子炉補助建屋は、鉄筋コンクリート造の壁式構造を主体とし、上部の一部を鉄骨造の骨組構造とした建物である。本建屋の平面規模は NS 方向で約 m 、EW 方向で約 m であり、E. L. m から E. L. m にわたって階段状に設けられている。

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の概略平面図及び概略断面図を第 2-2 図～第 2-5 図に示す。

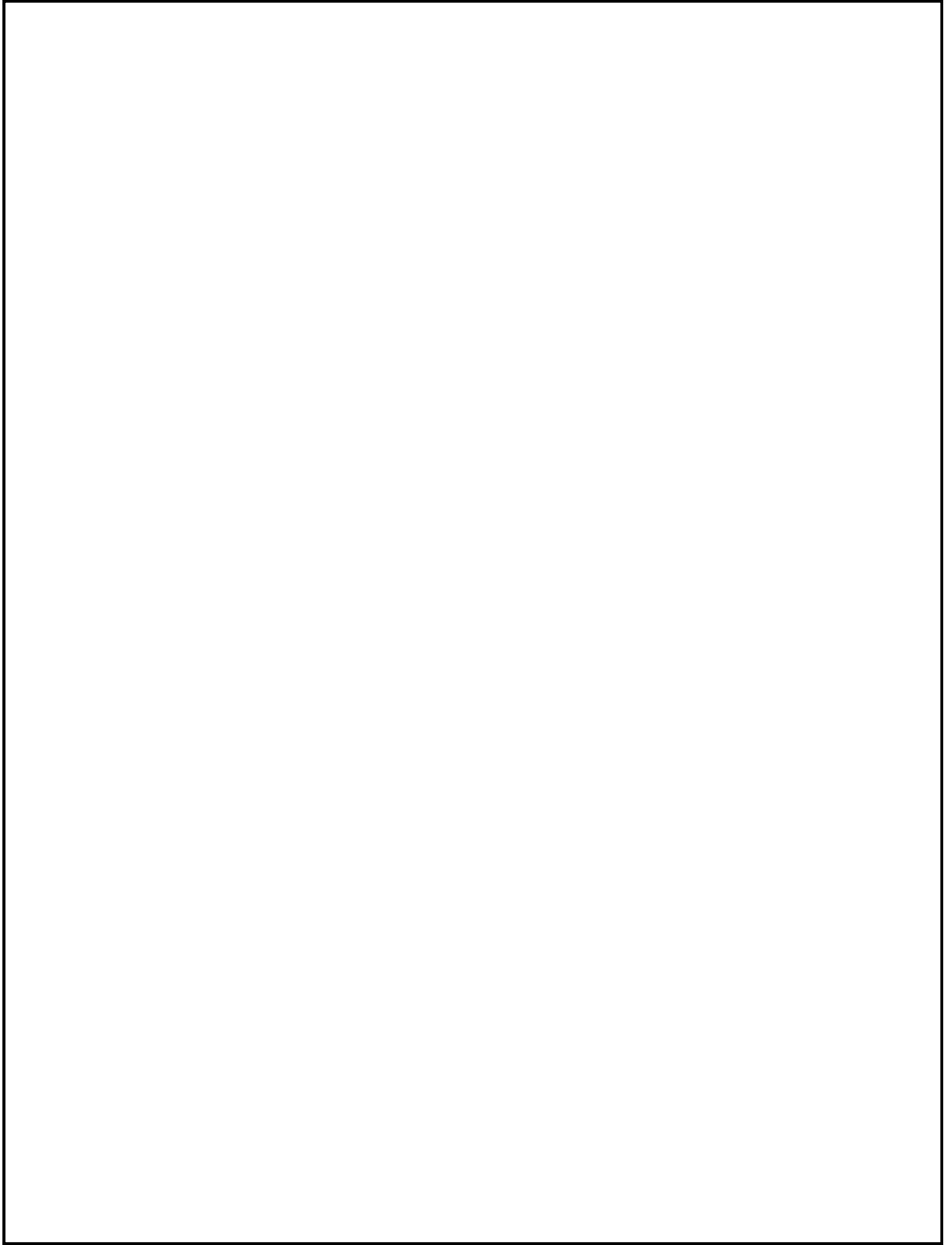


第2-2図 外部しゃへい建屋の概略平面図 (E. L. m付近)



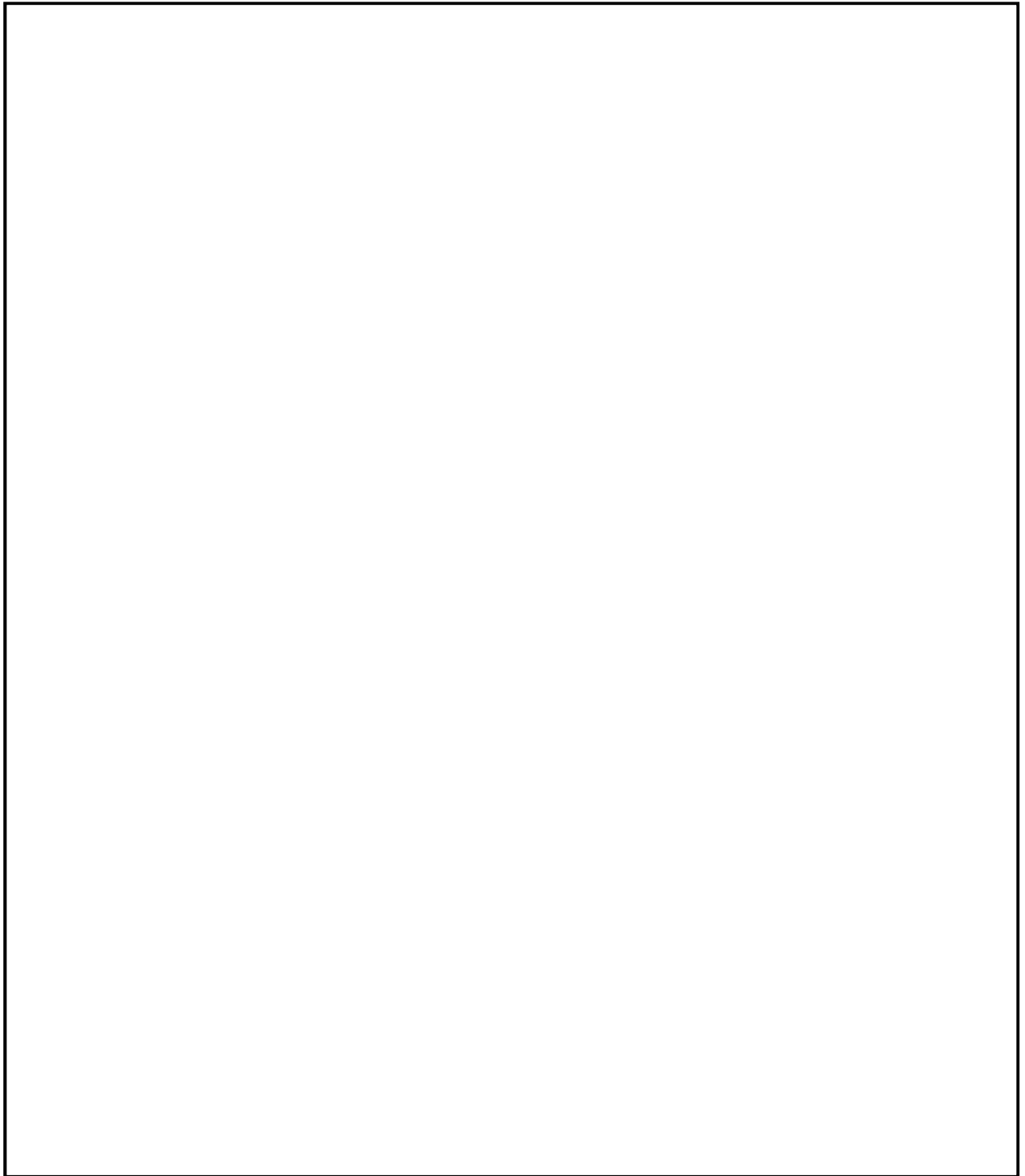
(a) A-A 断面

第 2-3 図 外部しゃへい建屋の概略断面図 (1/2)

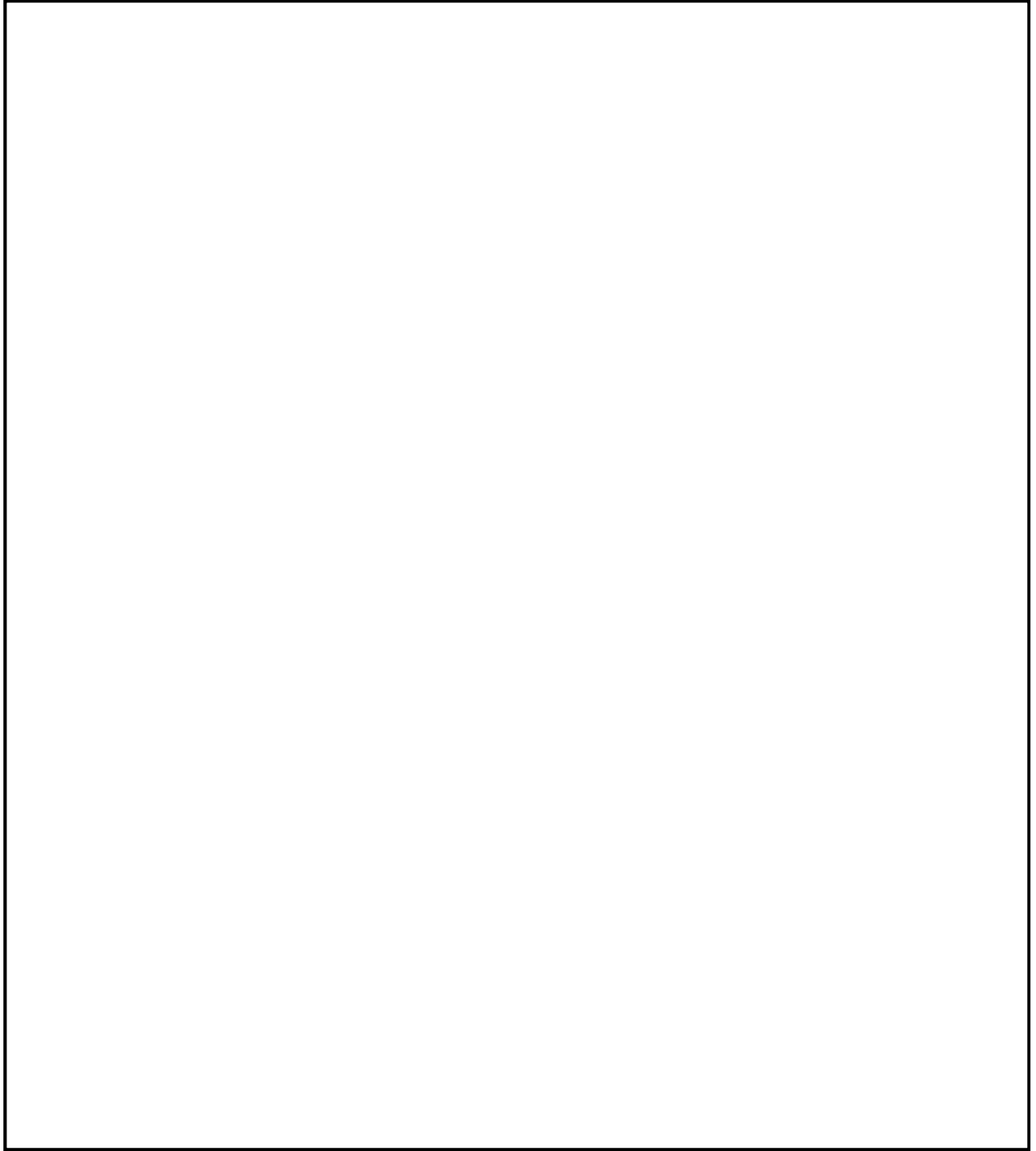


(b) B-B 断面

第 2-3 図 外部しゃへい建屋の概略断面図 (2/2)

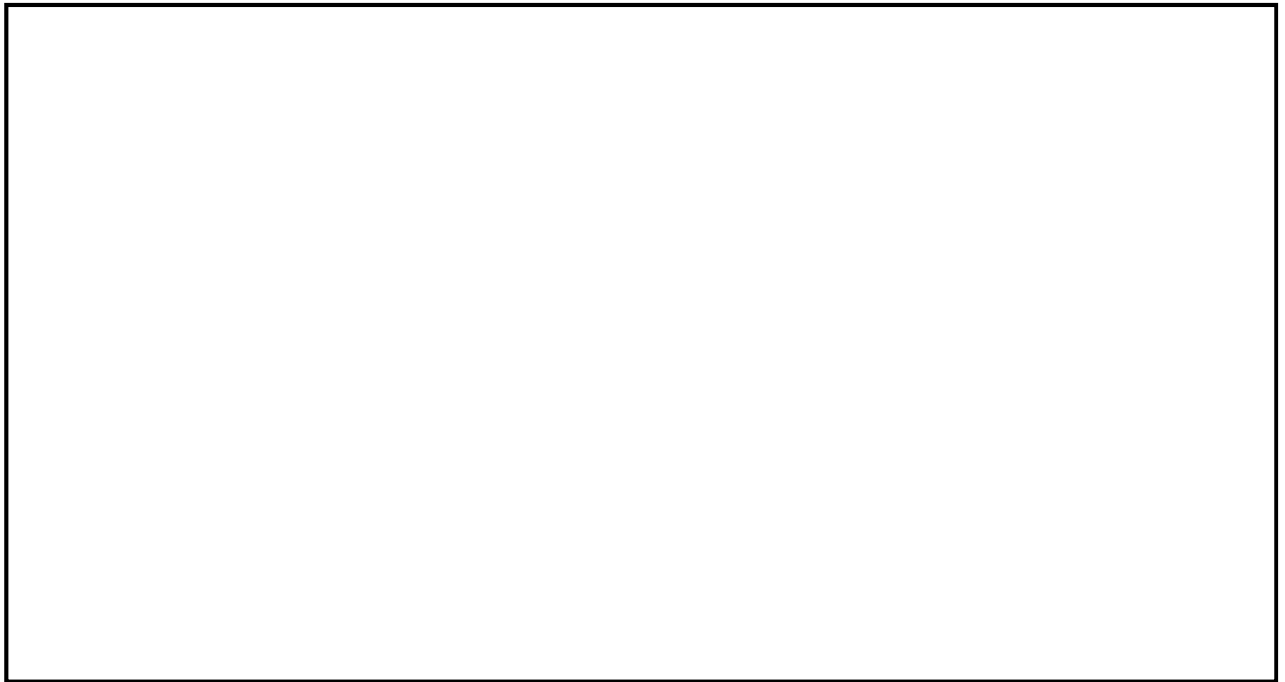


第 2-4 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の概略平面図(E. L. m 付近)



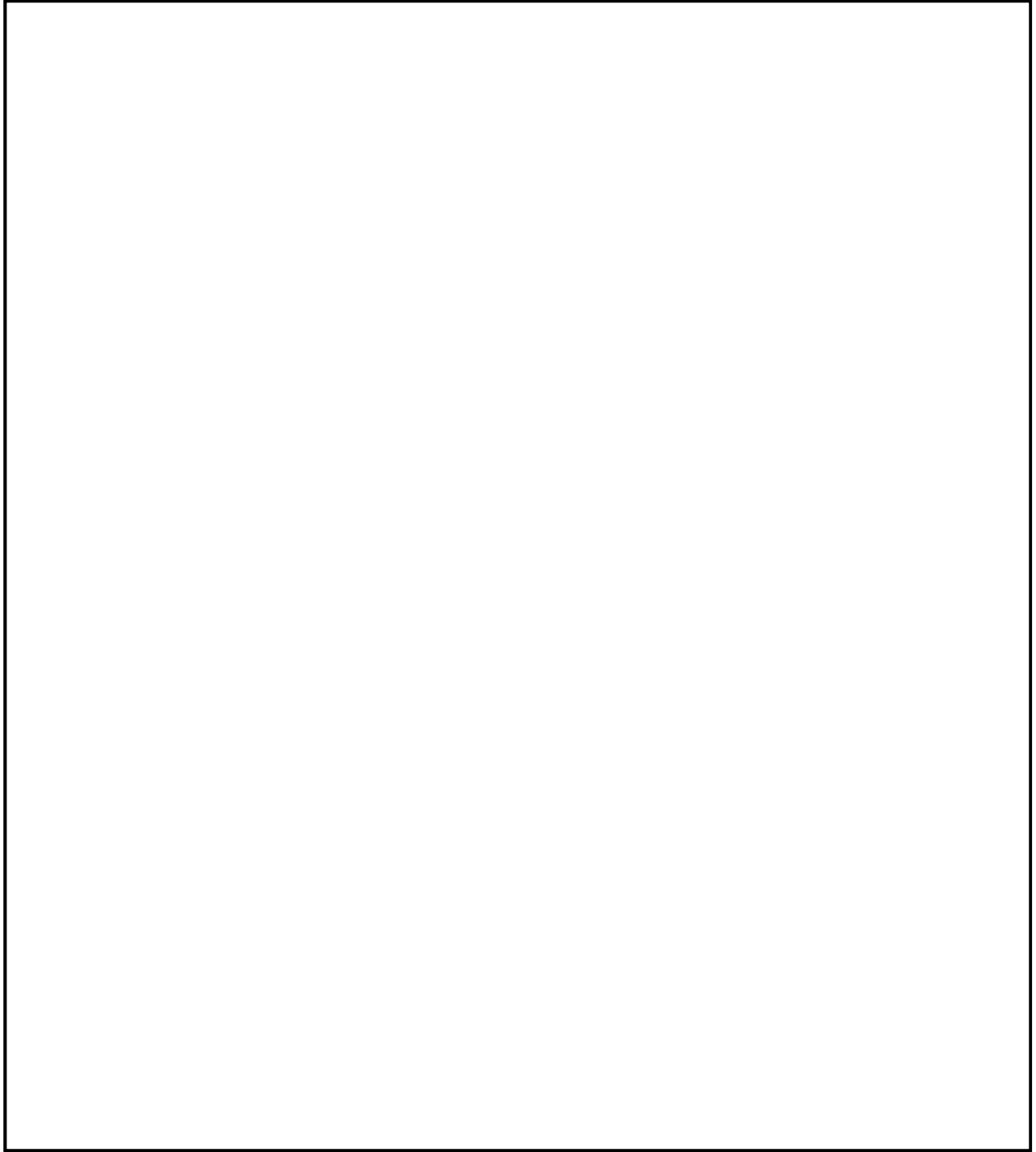
(a) A-A 断面

第 2-5 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の概略断面図 (1/3)



(b) B-B 断面

第 2-5 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の概略断面図 (2/3)



(c) C-C 断面

第 2-5 図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の概略断面図 (3/3)

2.3 評価方針

建屋の強度評価は、別添 2-1「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。

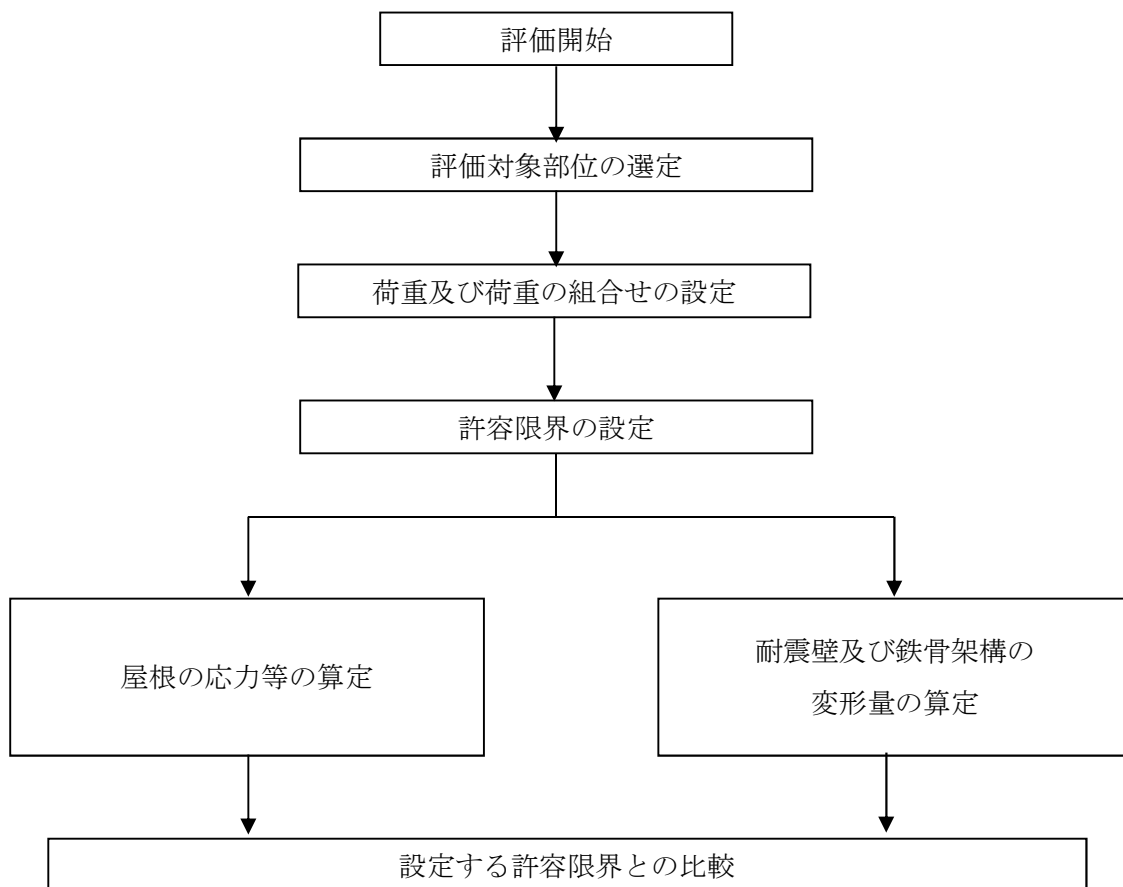
建屋の強度評価のフローを第 2-6 図に示す。

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 2-1「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架構を選定する。ここで、本資料では外部しゃへい建屋のシリンダー部を含めて「耐震壁」という。

許容限界は、別添 2-1「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2-6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、規準、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」追補版という）
- ・ 「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—」（社）日本建築学会(2005)
（以下「S 規準」という）
- ・ 「各種合成構造設計指針・同解説」（社）日本建築学会(2010)

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2-1「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る梁(トラスを含む)について評価する。

- ・外部しゃへい建屋 : 屋根 (ドーム部)
- ・補助建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁)
- ・燃料取扱建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁(トラスを含む))
- ・中間建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁)
- ・ディーゼル建屋 : 屋根 (屋根スラブ・梁)

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。

- ・外部しゃへい建屋 : 耐震壁 (シリンダー部)
- ・補助建屋 : 耐震壁・鉄骨架構
- ・燃料取扱建屋 : 鉄骨架構
- ・中間建屋 : 耐震壁
- ・ディーゼル建屋 : 耐震壁・鉄骨架構

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価においては、別添 2-1「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)
外部しゃへい建屋	ドーム部	
補助建屋	屋根スラブ	
	梁	
燃料取扱建屋	屋根スラブ	
	梁(トラス)	
中間建屋	屋根スラブ	
	梁	
ディーゼル建屋	屋根スラブ	
	梁	

(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 30N/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) 降下火砕物堆積による鉛直荷重 (F_v)

降下火砕物堆積による鉛直荷重は、別添 2-1 「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」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、降下火砕物の堆積量を 27cm とし、堆積量 1cm ごとに 150N/m^2 の鉛直荷重が作用することとし設定する。降下火砕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 降下火砕物堆積による鉛直荷重

降下火砕物堆積による鉛直荷重 F_v (N/m^2)
4,050

(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 2-1 「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、各建屋の風力係数と受風面積を第3-6表～第3-9表に示す。

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)
外部しゃへい建屋	32		350	0.15	2.00	2,316
補助建屋					2.02	1,830
燃料取扱建屋					2.00	1,978
中間建屋 ディーゼル建屋					2.07	1,741

第3-6表 外部しゃへい建屋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)	形状	風力係数 C		受風面積 A (m ²)	
			風上	風下	風上	風下
36		扁平ドーム形	0.56	-	9	9
35		扁平ドーム形	0.56	-	63	63
34		扁平ドーム形	0.56	-	299	299
9		円筒形	0.56	-	76	76
8		円筒形	0.56	-	354	354
7		円筒形	0.55	-	377	377
6		円筒形	0.53	-	377	377
5		円筒形	0.50	-	377	377
4		円筒形	0.47	-	377	377
3		円筒形	0.44	-	377	377
2		円筒形	0.40	-	377	377
1		円筒形	0.35	-	328	328

※1：外部しゃへい建屋は受風面積及び復元力特性共に 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 補助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
4		0.80	-0.40	114	114
3(S)		0.80	-0.40	355	355
2		0.74	-0.40	296	296
1		0.67	-0.40	250	250

※：「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
4		0.80	-0.40	243	243
3(S)		0.80	-0.40	528	528
2		0.74	-0.40	440	440
1		0.67	-0.40	371	371

※：「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 燃料取扱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
12(S)		0.80	-0.40	311	311
11(S)		0.76	-0.40	131	131
10(S)		0.73	-0.40	358	358
3(S)		0.73	-0.40	355	355

※：「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
12(S)		0.80	-0.40	212	212
11(S)		0.76	-0.40	126	126
10(S)		0.73	-0.40	246	246
3(S)		0.73	-0.40	528	528

※：「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 中間建屋及びディーゼル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
9		0.80	-0.40	673	673
8		0.72	-0.40	461	461
7(S)		0.64	-0.40	145	145
6		0.64	-0.40	335	335
5		0.54	-0.40	557	557

※：「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
9		0.80	-0.40	233	233
8		0.72	-0.40	159	159
7		0.64	-0.40	141	141
6		0.64	-0.40	124	124
5		0.54	-0.40	298	298

※：「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、風による鉛直方向の荷重は考慮しない。

外部しゃへい建屋、補助建屋、中間建屋、燃料取扱建屋及びディーゼル建屋の評価に用いる荷重の組合せを第3-10表に示す。

第3-10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"> ・ 外部しゃへい建屋 ・ 補助建屋 ・ 燃料取扱建屋 ・ 中間建屋 ・ ディーゼル建屋 	屋根 (ドーム部 屋根スラブ 梁(トラスを含む))	<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
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐震壁 (シリンドー部を含む) ・ 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

外部しゃへい建屋、補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の許容限界は、別添 2 - 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、「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 3-11 表～第 3-15 表に、使用材料の許容応力度を第 3-16 表～第 3-18 表に示す。

第3-11表 外部しゃへい建屋の許容限界

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	ドーム部	RC部	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
			鉄骨部	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 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※1
		耐震壁 (シリンダー部)		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	RC部	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 (シリンダー部)		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
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 (シリンダー部)		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) ※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短期許容応力度等とする。

※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3-12表 補助建屋の許容限界

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	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
			S 梁		「S 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
		鉄骨架構		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) ※1※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。

※2：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。

第3-13表 燃料取扱建屋の許容限界

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	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
			梁(トラス)		「S 規準」等における終局耐力 (短期許容応力度) ※1
		鉄骨架構		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) ※1※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。

※2：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。

第3-14表 中間建屋の許容限界

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	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
			S 梁		「S 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3-15表 ディーゼル建屋の許容限界

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	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
			S 梁		「S 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
		鉄骨架構		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 $1/30$ ($1/200$) ※1※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。

※2：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。

第3-16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)
外部しゃへい建屋	SS400	235	235	235	135
	SN490B, SM490A	325	325	325	187
補助建屋	SS400	235	235	235	135
燃料取扱建屋	SS400	235	235	235	135
中間建屋	SS400	235	235	235	135
ディーゼル建屋	SS400	235	235	235	135

第3-17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)
外部しゃへい建屋	30.0	20.0	1.18
補助建屋	17.7	11.8	0.885
燃料取扱建屋	17.7	11.8	0.885
中間建屋	17.7	11.8	0.885
ディーゼル建屋	17.7	11.8	0.885

第3-18表 鉄筋の許容応力

建屋	種類	短期
		引張・圧縮 (N/mm ²)
外部しゃへい建屋	SD345	345
補助建屋	SD35(SD345 相当)	345
燃料取扱建屋	SD35(SD345 相当)	345
中間建屋	SD35(SD345 相当)	345
ディーゼル建屋	SD35(SD345 相当)	345

3.4 評価方法

3.4.1 屋根

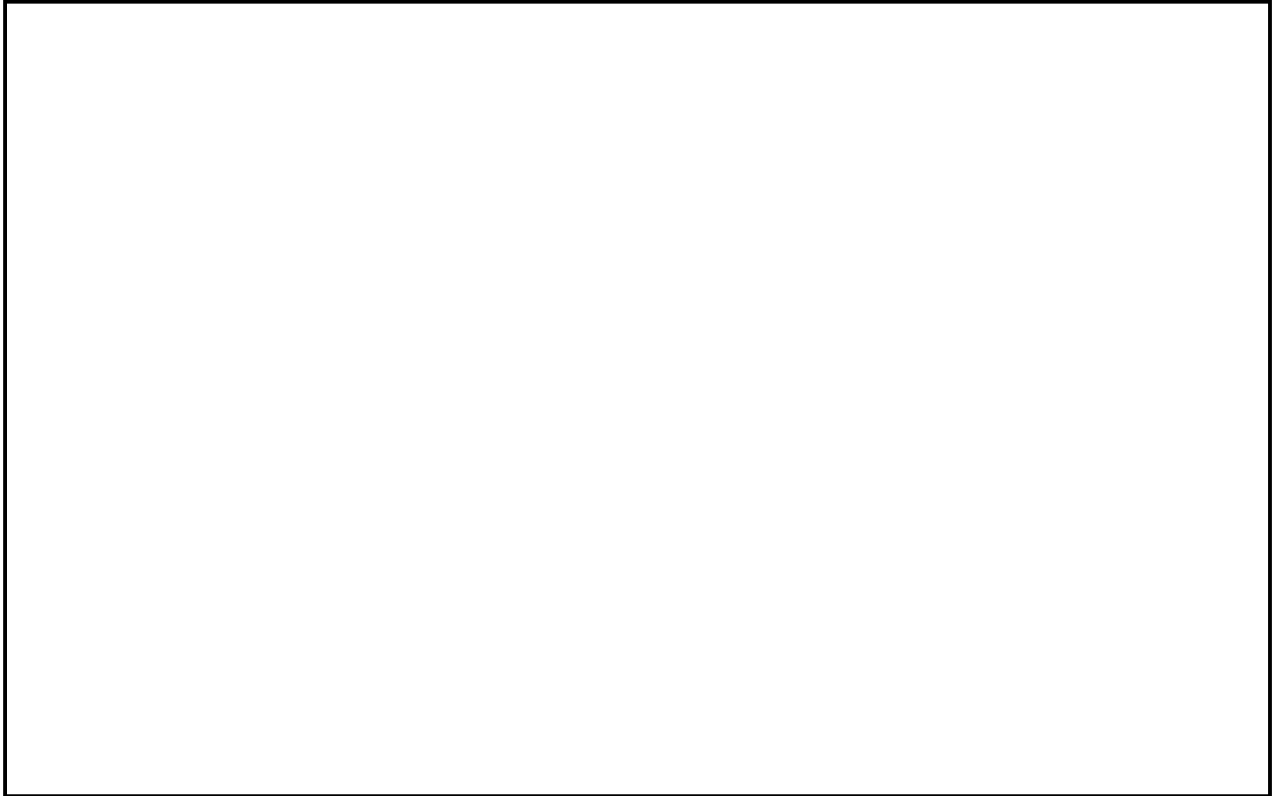
(1) ドーム部

外部しゃへい建屋のドーム部の応力評価は、別添 2-1 「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。

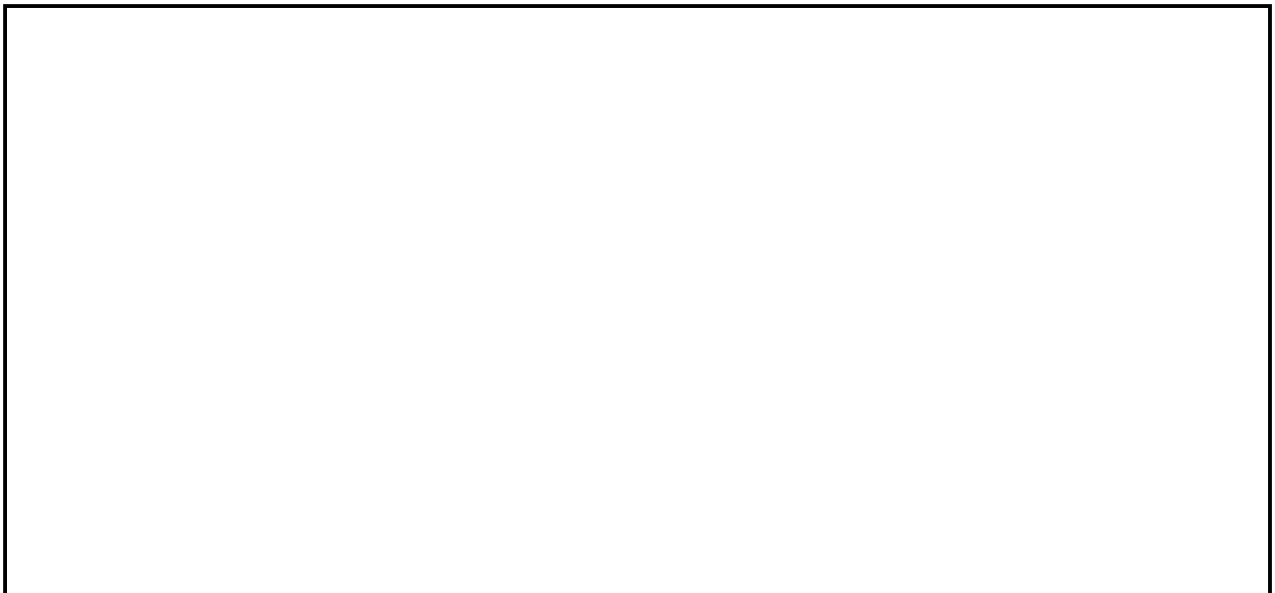
応力解析モデルについては、資料 1 3-1 7-7-5 「外部しゃへい建屋の耐震計算書」で用いた 3 次元 FEM モデルと同一とする。応力解析モデルの概要図を第 3-1 図に示す。

降下火砕物等堆積時の鉛直荷重に対する評価は、ドーム部について、発生する応力が、「RC-N 規準」及び「S 規準」に基づき設定した評価基準値を超えないことを確認する。

なお、ドーム部の応力評価には、解析コード「NX NASTRAN Ver. 12.0.2」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。



(a) 全体鳥瞰図



(b) ドーム部（鉄骨部）詳細(RC 部非表示)

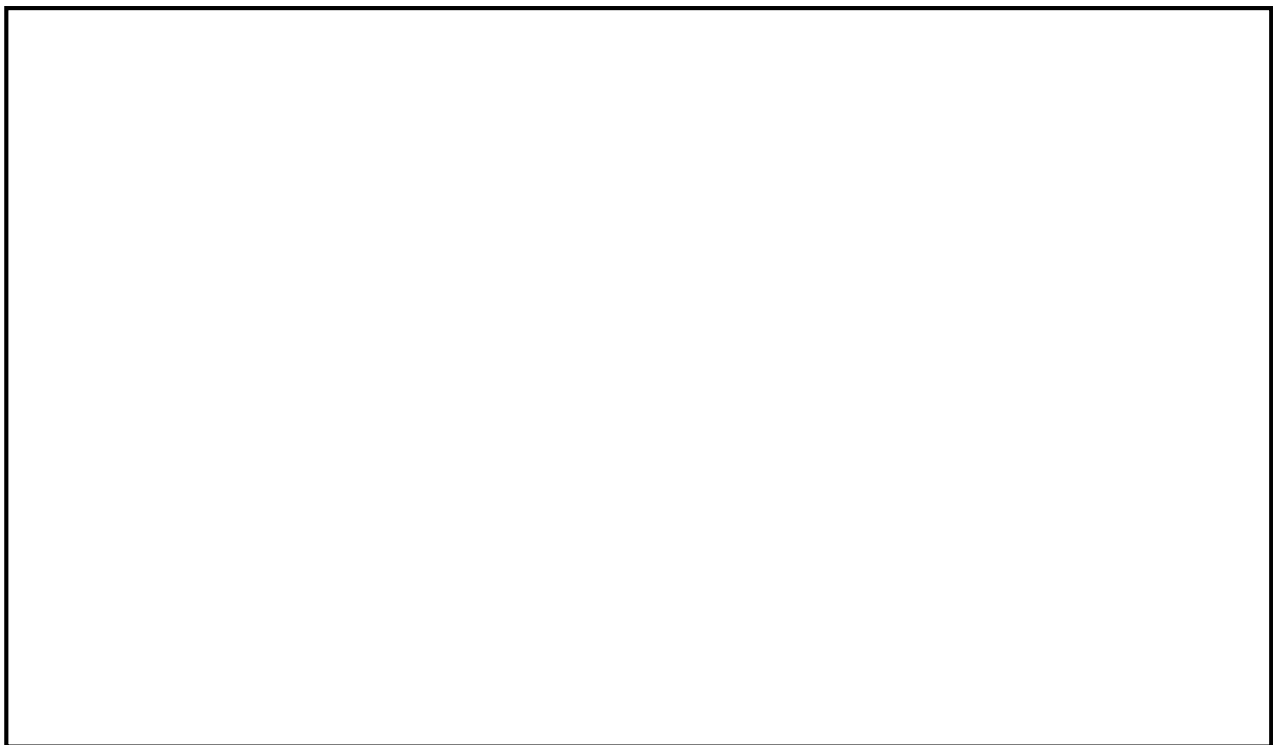
第3-1図 外部しゃへい建屋の応力解析モデルの概要図

a. RC 部

曲げモーメントについては、必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量は、「RC-N 規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量を算定する。

面外せん断力については、「RC-N 規準」に基づいて求めた短期許容せん断力を超えないことを確認する。

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 3-2 図に示す。

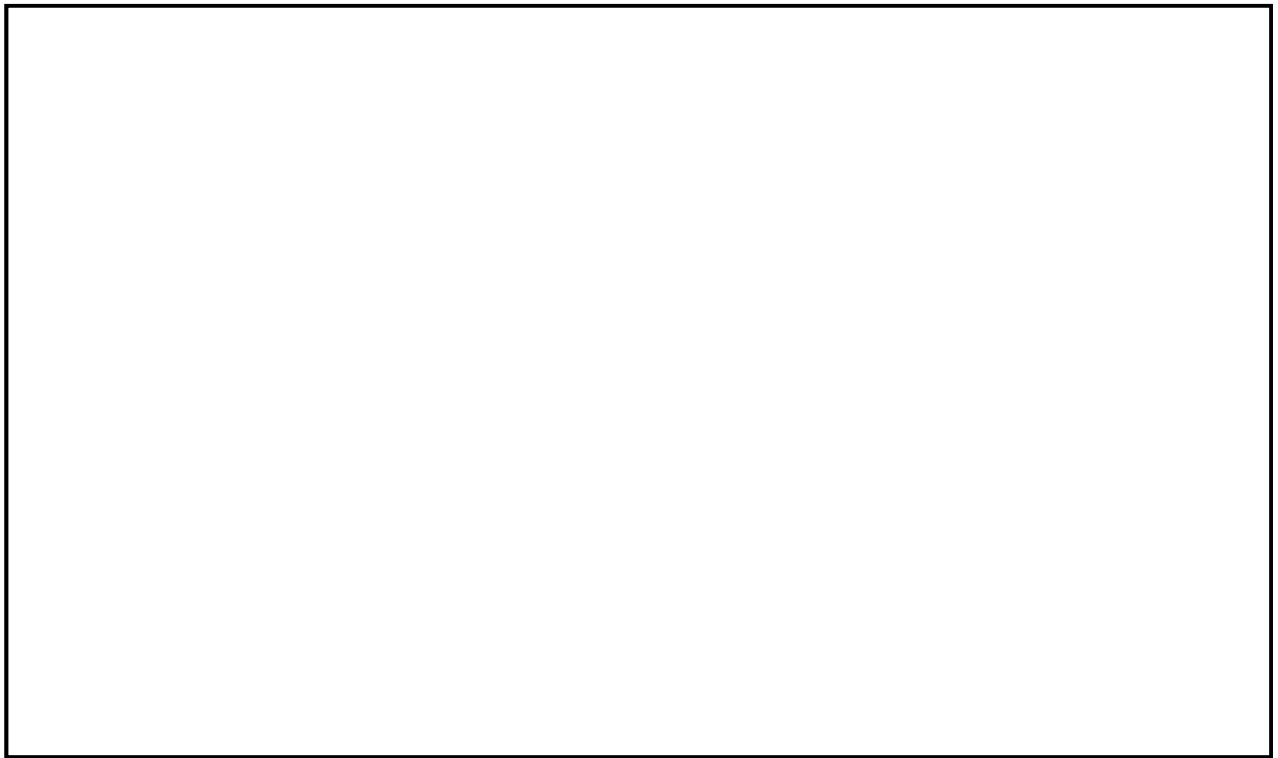


第 3-2 図 ドーム部 RC 部の評価を記載する部材の位置

b. 鉄骨部

「S 規準」に基づき、各部材に生じる応力が評価基準値を超えないことを確認する。

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 図に示す。



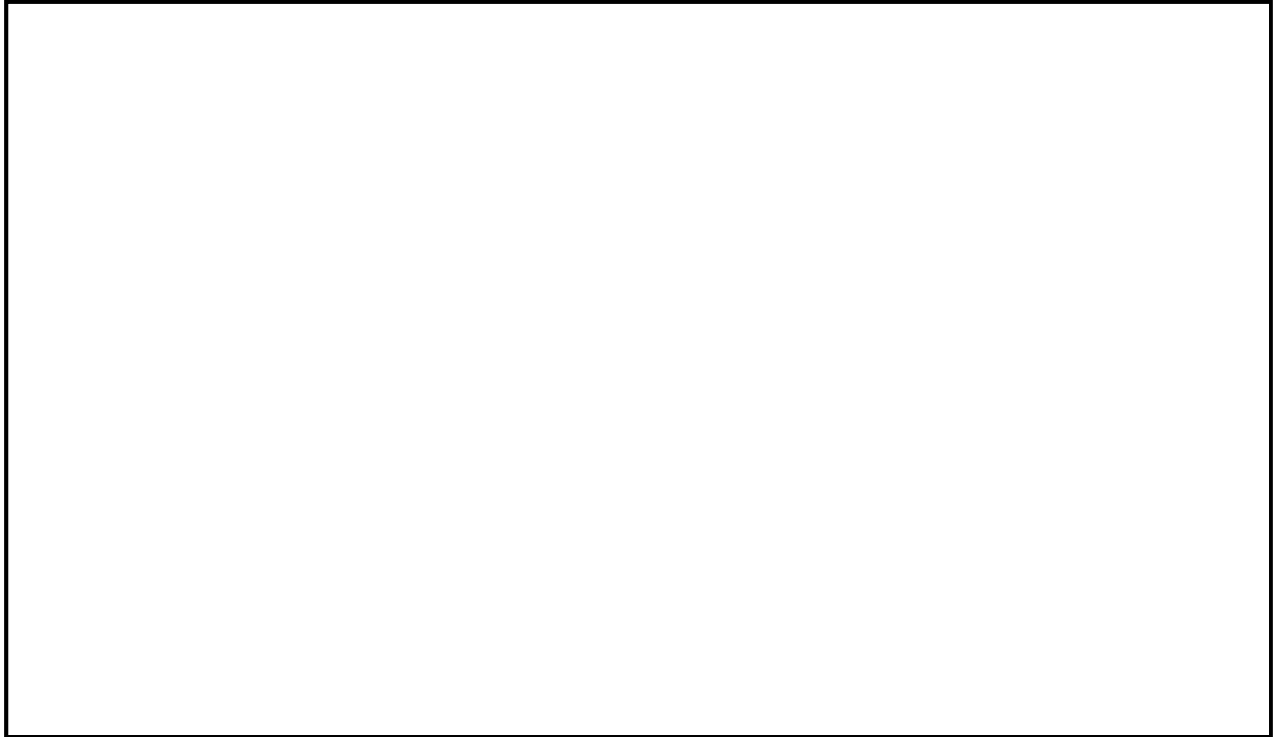
第 3-3 図 ドーム部 鉄骨部の評価を記載する部材の位置

(2) 屋根スラブ及び梁（トラスを含む）

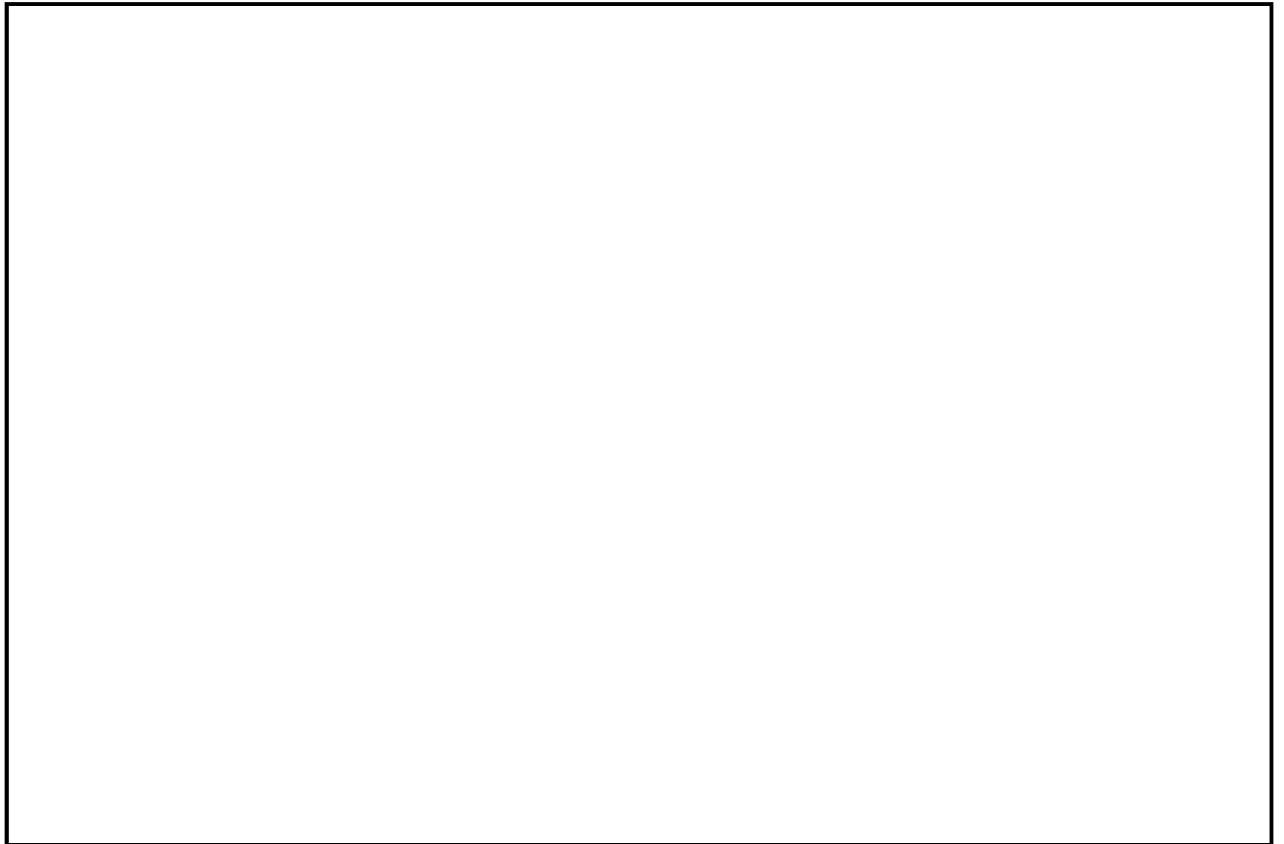
曲げモーメント及び面外せん断力を算定し、部材に生じる応力が第3-12表～第3-15表の評価基準値（短期許容応力度）を超えないことを確認する。

a. 評価部材

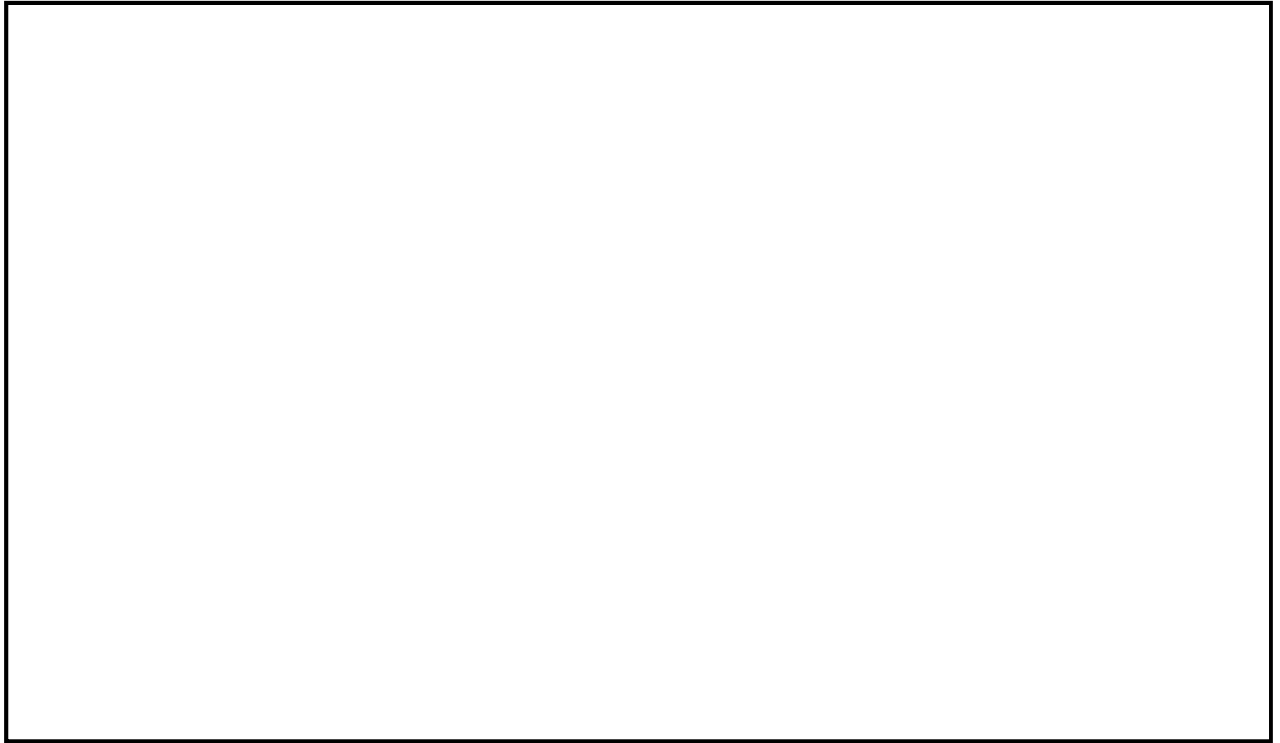
補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の屋根の評価部材は屋根スラブ及び梁とする。なお、評価結果については、降下火砕物等堆積時に発生する応力を考慮した際に、評価基準値に対して、発生する応力等の割合が最も大きくなる部材を選定して示す。選定した部材の位置を第3-4図～第3-11図に示す。



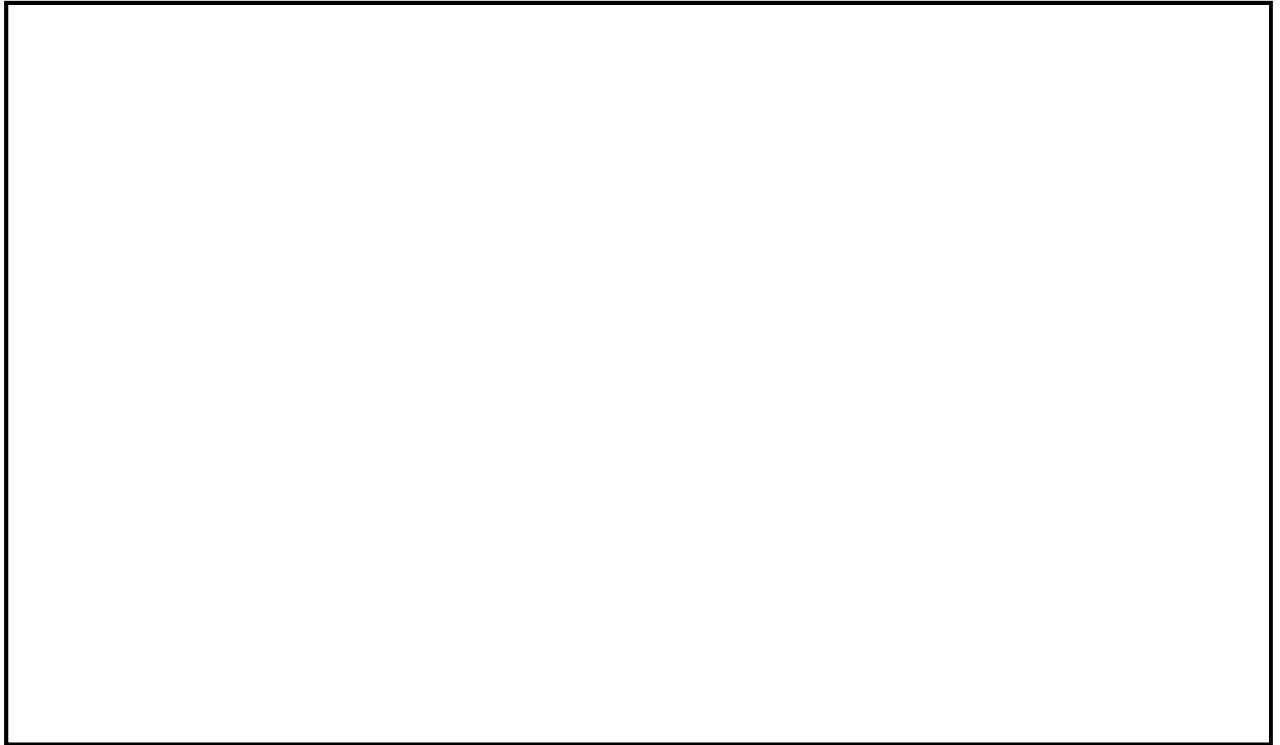
第3-4図 補助建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



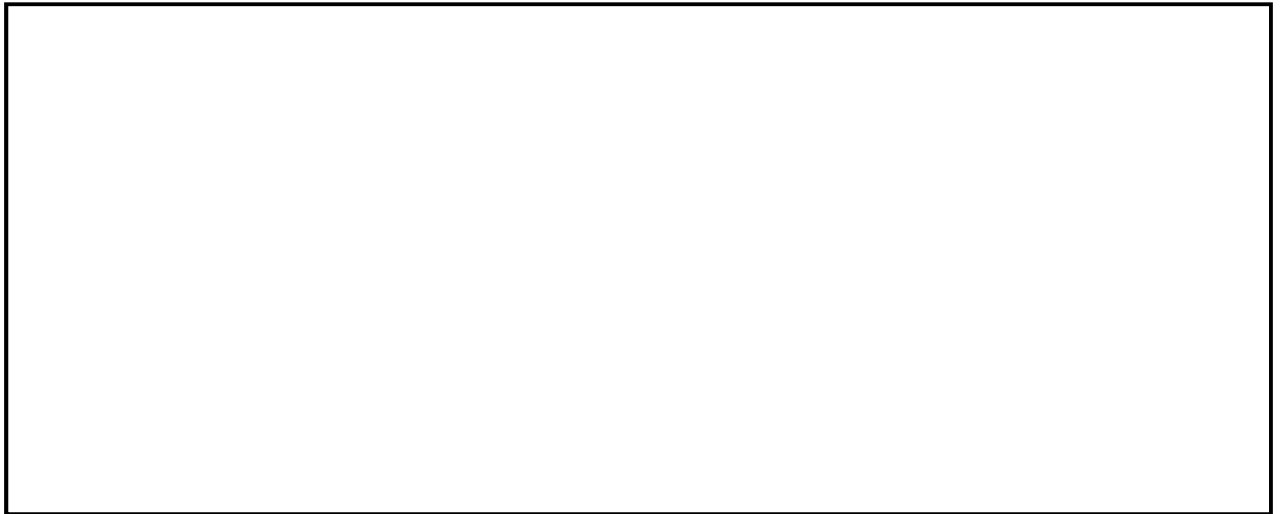
第3-5図 補助建屋 梁の評価を記載する部材の位置



第3-6図 燃料取扱建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置

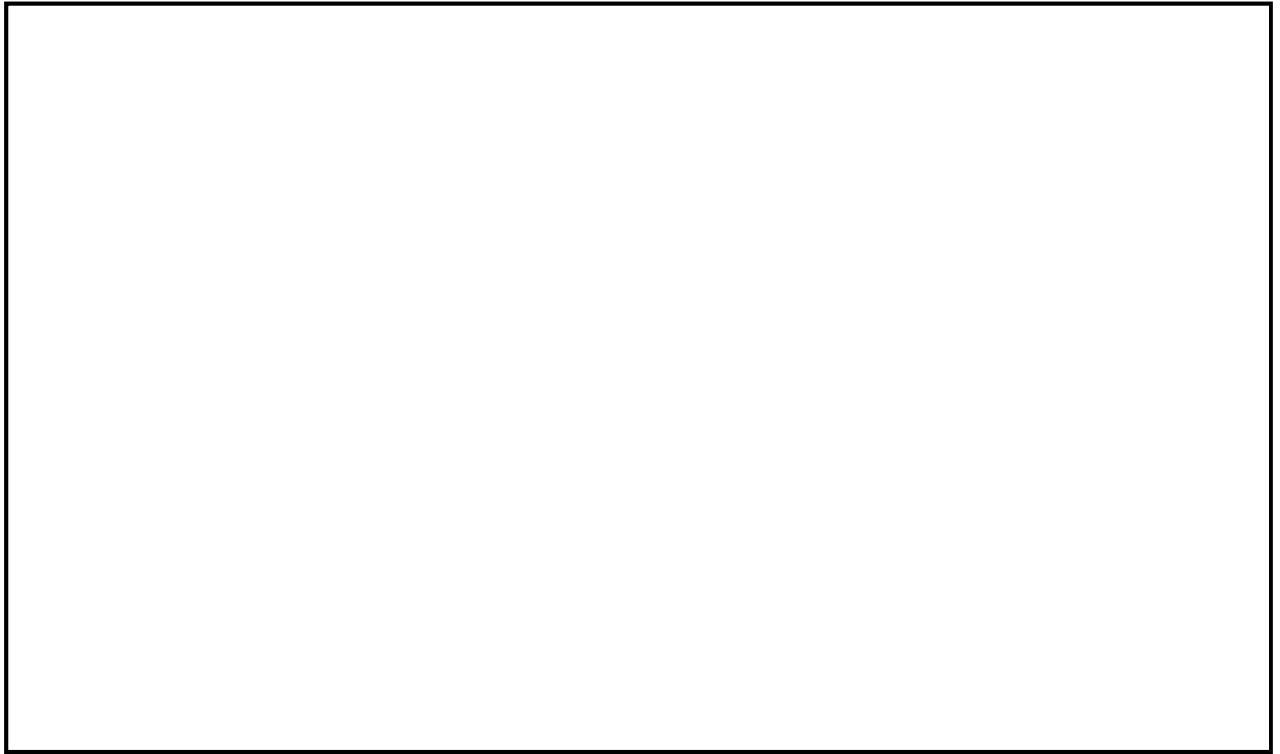


(a) 評価を記載する梁(トラス)位置

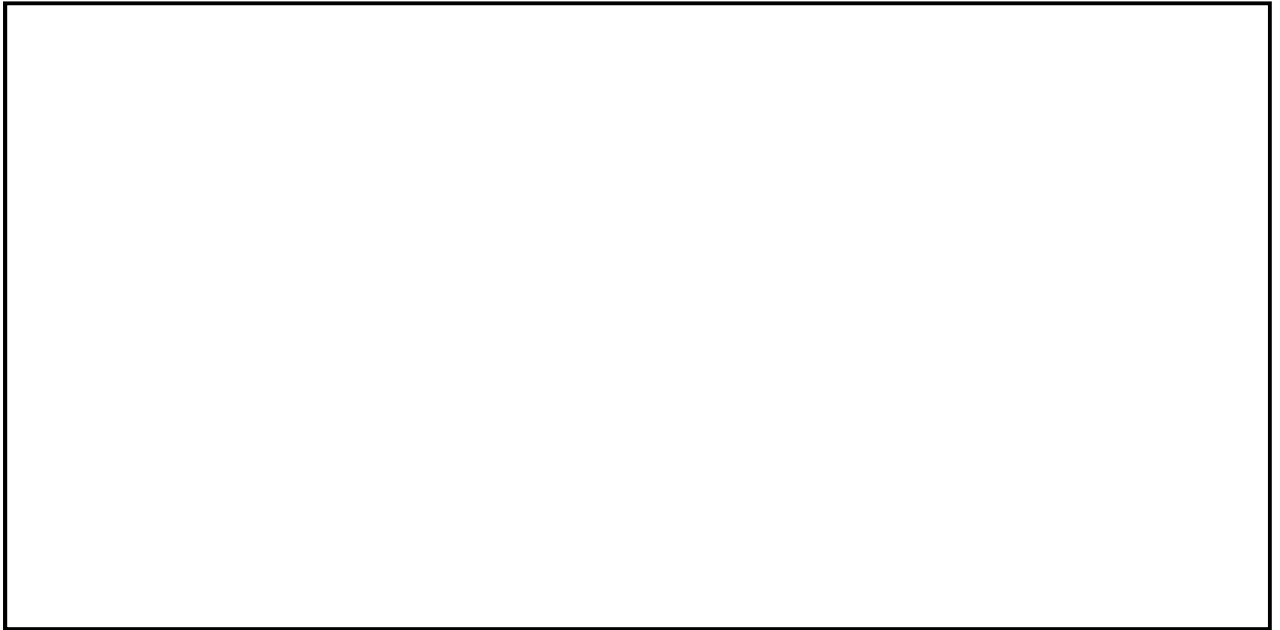


(b) 評価を記載する部材位置

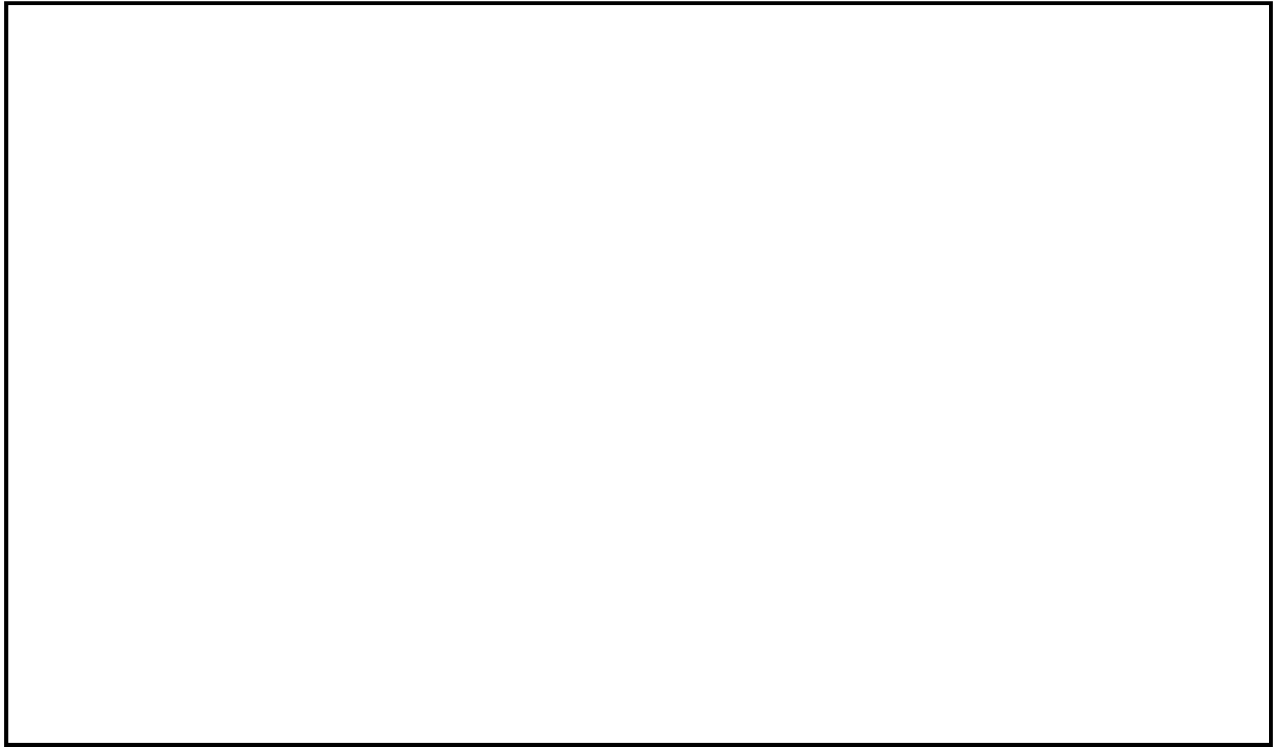
第3-7図 燃料取扱建屋 梁(トラス)の評価を記載する部材の位置



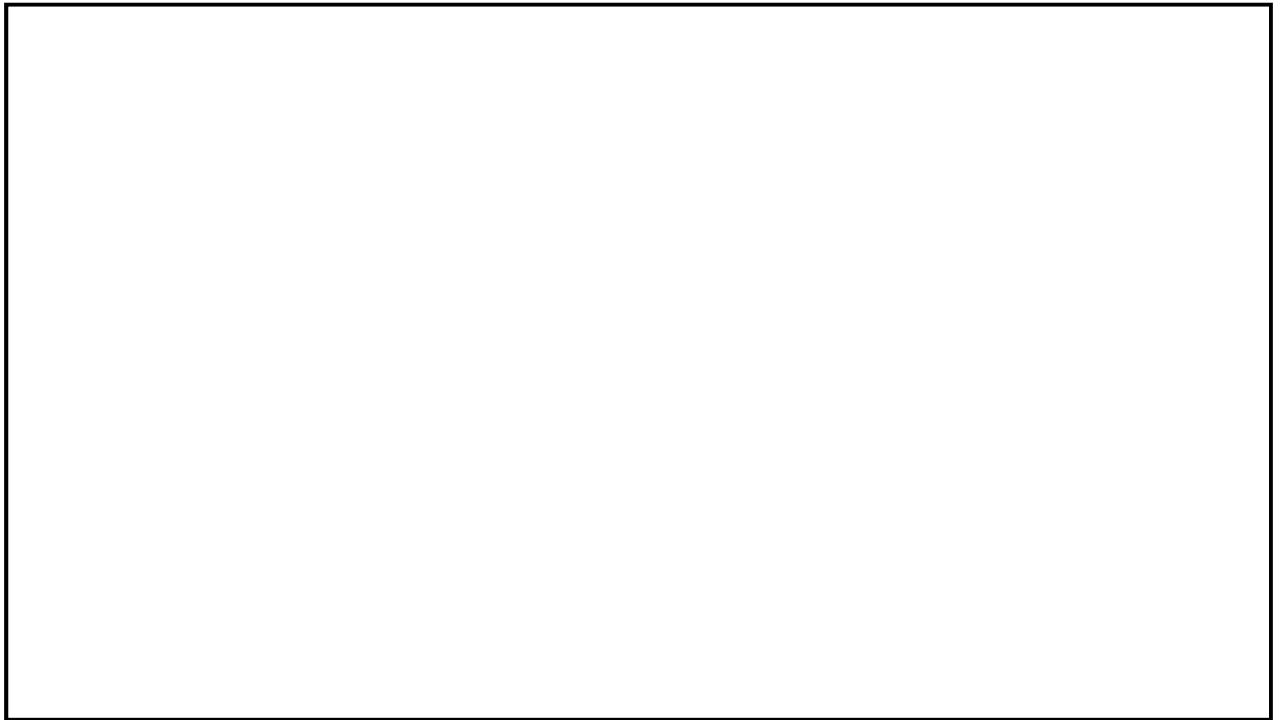
第3-8図 中間建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



第3-9図 中間建屋 梁の評価を記載する部材の位置



第3-10図 ディーゼル建屋 屋根スラブの評価を記載する部材の位置



第3-11図 ディーゼル建屋 梁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（トラスを含む）の応力評価モデル図を第3-12図～第3-19図に示す。また、部材の評価条件を第3-19表～第3-26表に示す。

また、トラス部材に発生する応力度は、下式により、設計時長期荷重により部材に生じる応力度に、設計時長期荷重に対する降下火砕物堆積時の鉛直荷重の比を乗じることで算出する。

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \alpha$$

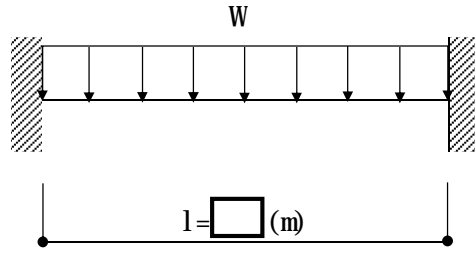
ここで、

σ : 降下火砕物等堆積時の荷重により発生する応力度(N/mm²)

σ_0 : 設計時長期荷重により発生する応力度(N/mm²)

α : 設計時長期荷重に対する降下火砕物等堆積時の鉛直荷重の比

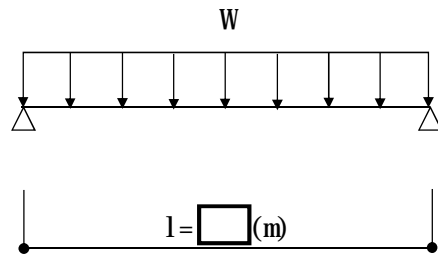
($\alpha = \square$)



- ・ 端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 12$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = 0.52 \cdot (W \cdot l)$

W: 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)

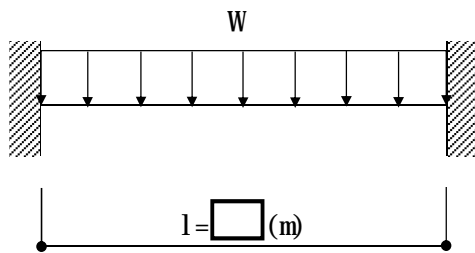
第 3-12 図 補助建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・ 中央モーメント
 $M_C = (W \cdot a \cdot l^2) / 8$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot a \cdot l) / 2$

W: 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)
a: 支配幅 (m)

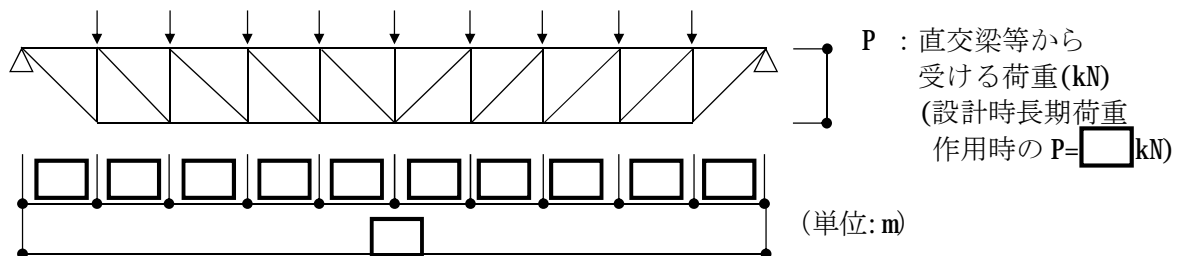
第 3-13 図 補助建屋 梁の評価モデル図



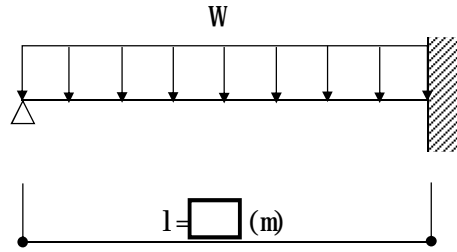
- ・ 端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 12$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = 0.52 \cdot (W \cdot l)$

W: 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)

第 3-14 図 燃料取扱建屋 屋根スラブの評価モデル図



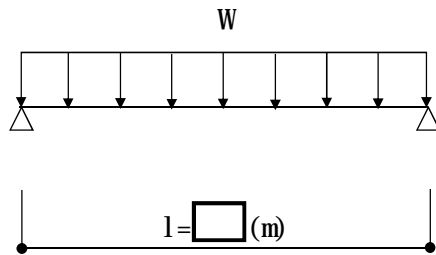
第 3-15 図 燃料取扱建屋 梁の評価モデル図



- ・ 端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 8$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot l) \cdot 5/8$

W : 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)

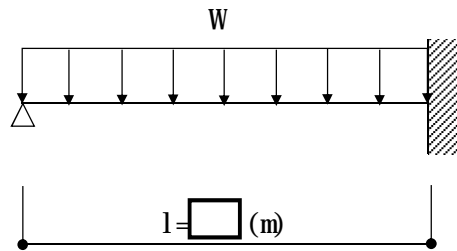
第 3-16 図 中間建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・ 中央モーメント
 $M_C = (W \cdot a \cdot l^2) / 8$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot a \cdot l) / 2$

W : 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)
 a : 支配幅 (m)

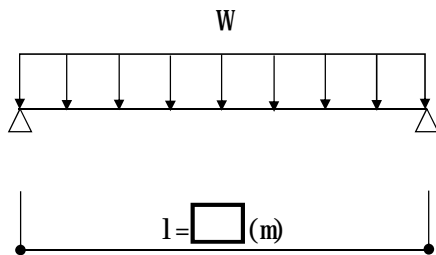
第 3-17 図 中間建屋 梁の評価モデル図



- ・ 端部モーメント
 $M_E = (W \cdot l^2) / 8$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot l) \cdot 5/8$

W : 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)

第 3-18 図 ディーゼル建屋 屋根スラブの評価モデル図



- ・ 中央モーメント
 $M_C = (W \cdot a \cdot l^2) / 8$
- ・ 端部せん断力
 $Q_E = (W \cdot a \cdot l) / 2$

W : 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)
 a : 支配幅 (m)

第 3-19 図 ディーゼル建屋 梁の評価モデル図

第3-19表 補助建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-20表 補助建屋 梁 評価条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	合成梁としての 断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-440x300x11x18	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3,688	3,388
スラブ協力幅 (m)		スラブ 有効長さ (m)	スラブ厚さ (mm)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-21表 燃料取扱建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-22表 燃料取扱建屋 梁(トラス) 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)	軸断面積 (cm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-250x250x9x14	<input type="text"/>	<input type="text"/>	860	92

第3-23表 中間建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D19@200	1,435

第3-24表 中間建屋 梁 評価条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	合成梁としての断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-346x174x6x9	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1,595	1,572
スラブ協力幅 (m)		スラブ有効長さ (m)	スラブ厚さ (mm)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	D19@200	1,435

第3-25表 ディーゼル建屋 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. <input type="text"/> m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

第3-26表 ディーゼル建屋 梁 評価条件

評価対象部位		支配幅 (m)	支持スパン (m)	合成梁としての断面係数 (cm ³)	せん断断面積 (mm ²)
E. L. <input type="text"/> m	H-588x300x12x20	<input type="text"/>	<input type="text"/>	5,279	4,560
スラブ協力幅 (m)		スラブ有効長さ (m)	スラブ厚さ (mm)	配筋	配筋量 (片側) (mm ² /m)
<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	D13@205	619

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。

なお、梁については、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会(2010)）」に基づき、スラブと一体となって曲げに抵抗する合成梁として評価する。

(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 (mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

σ_t : 鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)

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。

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

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/mm²)

(c) 曲げモーメントに対する S 梁断面の評価方法

曲げモーメントに対する S 梁断面の評価は、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。

$$M_s = \sigma_b \cdot Z_c$$

ここで、

M_s : 短期許容曲げモーメント (N・mm)

σ_b : 鋼材の短期許容曲げ応力度 (N/mm²)

Z_c : 合成梁としての断面係数(mm³)

(d) せん断力に対する S 梁断面の評価方法

せん断力に対する S 梁断面の評価は、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 : 鋼材の短期許容せん断応力度 (N/mm²)

A_s : せん断断面積 (mm²)

(e) トラス断面の評価方法

トラス断面の評価は、軸力により評価対象部位に生じる軸応力度が評価基準値を超えないことを確認する。評価基準値は、圧縮軸応力を受ける部材は短期許容圧縮応力度、引張軸応力を受ける部材は短期許容引張応力度とする。

3.4.2 耐震壁

外部しゃへい建屋、補助建屋、中間建屋及びディーゼル建屋について、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。

外部しゃへい建屋の質点系モデル図を第 3-20 図に、補助建屋、中間建屋、燃料取扱建屋及びディーゼル建屋の質点系モデル図を第 3-21 図に示す。質点系モデルの詳細は、それぞれ資料 13-17-7-2「原子炉格納施設の地震応答解析」及び資料 13-16-4「原子炉補助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 28 年 6 月 10 日付け原規規発第 1606105 号にて認可された工事計画認可申請書の記載に変更はない。

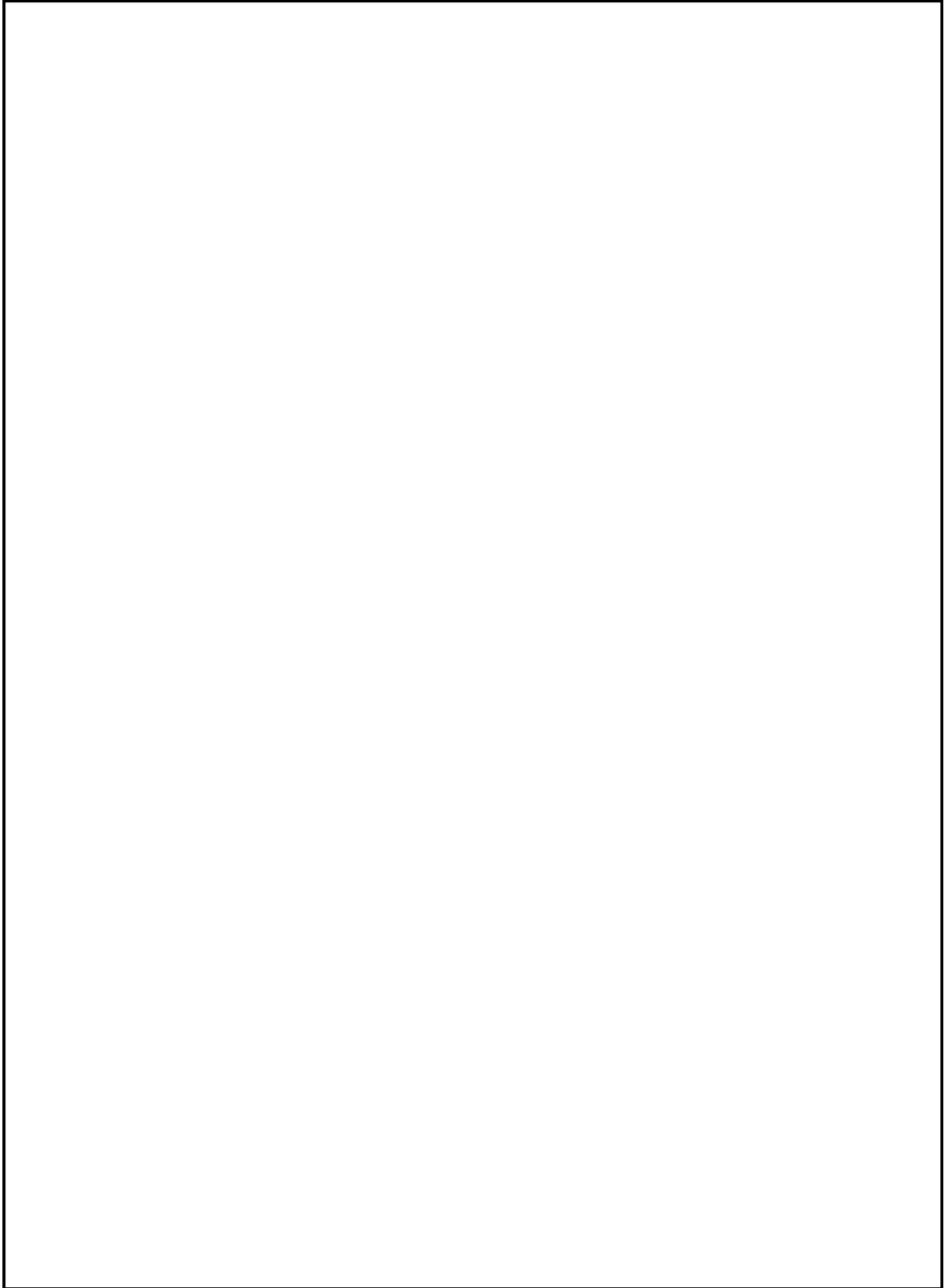
3.4.3 鉄骨架構

補助建屋、燃料取扱建屋及びディーゼル建屋について、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。

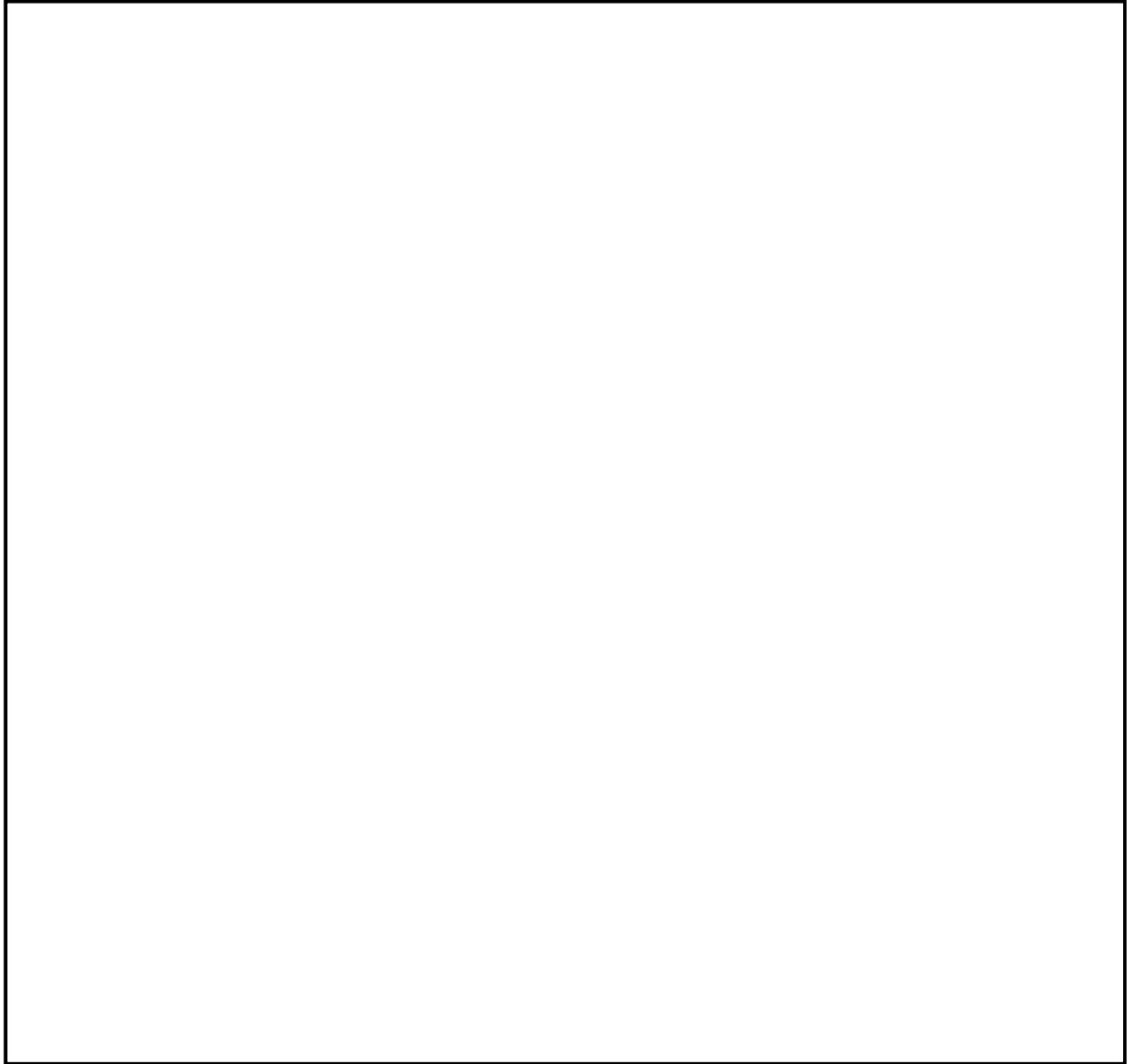
質点系モデルは「3.4.2 耐震壁」で用いるモデルと同一とする。

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 28 年 6 月 10 日付け原規規発第 1606105 号にて認可された工事計画認可申請書の記載に変更はない。



第3-20図 外部しゃへい建屋の質点系モデル図



第3-21図 補助建屋、燃料取扱建屋、中間建屋及びディーゼル建屋の質点系モデル図

4. 強度評価結果

4.1 屋根

降下火砕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、降下火砕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

建屋	部位		検討項目		解析結果	評価基準値	検定比
外部 しゃへい 建屋	ドーム 部	RC 部	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	415	2,870	0.145
			せん断力 [kN/m]		56.7	242	0.234
		鉄 骨 部	軸力+	発生応力度/ 許容応力度 ^{※2}	0.133	1.00	0.133
			曲げモーメント				
			せん断力 [kN]	13.8	1,850	0.00746	
補助建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	542	619	0.876	
		せん断力 [kN/m]		18.9	38.7	0.488	
	S梁	曲げモーメント[kN・m]		787	866	0.909	
		せん断力 [kN]		361	459	0.786	
燃料取扱 建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	358	619	0.578	
		せん断力 [kN/m]		15.6	38.7	0.403	
	梁(トラス)	引張応力度[N/mm ²]		188	235	0.800	
中間建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	341	1,430	0.238	
		せん断力 [kN/m]		38.2	201	0.190	
	S梁	曲げモーメント[kN・m]		114	374	0.305	
		せん断力 [kN]		167	213	0.784	
ディーゼル 建屋	屋根スラブ	曲げモーメント	鉄筋量[mm ² /m] ^{※1}	554	619	0.895	
		せん断力 [kN/m]		18.8	38.7	0.486	
	S梁	曲げモーメント[kN・m]		594	1,240	0.479	
		せん断力 [kN]		339	618	0.549	

※1：鉄筋量については、解析結果に必要な鉄筋量、評価基準値に配筋量を示す。

※2：軸力+曲げモーメントの解析結果は、検定比（発生軸応力度/許容軸応力度+発生曲げ応力度/許容曲げ応力度）を記載している。

4.2 耐震壁


降下火砕物等堆積時の耐震壁の評価結果を第4-2表～第4-4表に示す。第4-2表～第4-4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（外部しゃへい建屋）

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
36		0.0031	0.1757	0.0176
35		0.0040	0.1757	0.0228
34		0.0108	0.1757	0.0615
9		0.0009	0.1757	0.00512
8		0.0019	0.1735	0.0110
7		0.0028	0.1830	0.0153
6		0.0036	0.1924	0.0187
5		0.0036	0.1950	0.0185
4		0.0042	0.2038	0.0206
3		0.0048	0.2123	0.0226
2		0.0053	0.2205	0.0240
1		0.0022	0.1916	0.0115

第 4-3 表 耐震壁の評価結果 (補助建屋)

(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
4		0.0015	0.1635	0.00917
2		0.0007	0.1660	0.00422
1		0.0010	0.1817	0.00550

(2) EW 方向

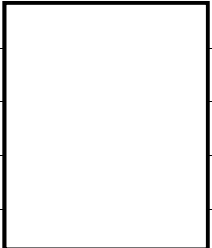
部材番号	高さ E. L. (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	評価基準値 ($\times 10^{-3}$)	検定比
4		0.0029	0.1635	0.0177
2		0.0012	0.1660	0.00723
1		0.0017	0.1817	0.00936

第 4-4 表 耐震壁の評価結果 (中間建屋、ディーゼル建屋)

(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
9		0.0121	0.1740	0.0695
8		0.0065	0.1802	0.0361
6		0.0081	0.1934	0.0419
5		0.0102	0.1965	0.0519

(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
9		0.0019	0.1740	0.0109
8		0.0022	0.1802	0.0122
7		0.0033	0.2136	0.0154
6		0.0025	0.1934	0.0129
5		0.0020	0.1965	0.0102

4.3 鉄骨架構

降下火砕物等堆積時の鉄骨架構の評価結果を第4-5表及び第4-6表に示す。第4-5表及び第4-6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4-5表 鉄骨架構の評価結果（補助建屋、燃料取扱建屋）

(1) NS方向

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
12(S)		1/14305	1/200	0.0140
11(S)		1/10766		0.0186
10(S)		1/5456		0.0367
3(S)		1/18713		0.0107

(2) EW方向

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
12(S)		1/26940	1/200	0.00742
11(S)		1/18476		0.0108
10(S)		1/17875		0.0112
3(S)		1/11255		0.0178

第4-6表 鉄骨架構の評価結果（ディーゼル建屋）（NS方向）

部材番号	高さ E. L. (m)	層間変形角	評価基準値	検定比
7(S)		1/69975	1/200	0.00286