

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-014-13
提出年月日	2022年9月12日

VI-3-別添 2-5 原子炉建物の強度計算書

2022年9月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 強度評価方法及び評価条件	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1 荷重	9
3.2.2 荷重の組合せ	14
3.3 許容限界	15
3.4 解析モデル及び諸元	18
3.4.1 モデル化の基本方針	18
3.4.2 解析諸元	26
3.5 評価方法	27
3.5.1 屋根スラブの評価方法	27
3.5.2 主トラスの評価方法	30
3.5.3 二次部材の評価方法	32
3.5.4 耐震壁の評価方法	35
4. 強度評価結果	36
4.1 屋根スラブの評価結果	36
4.2 主トラスの評価結果	49
4.3 二次部材の評価結果	50
4.4 耐震壁の評価結果	52

1. 概要

本資料は，VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」に示すとおり，原子炉建物が降下火砕物及び積雪の堆積時においても，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，放射線の遮蔽機能（以下「遮蔽性」という。）及び放射性物質の閉じ込め機能（以下「気密性」という。）の維持を考慮して，建物全体及び建物の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

原子炉建物は，VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ，本資料では，「2.1 位置」，「2.2 構造概要」，「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

2.1 位置

原子炉建物は，VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。原子炉建物の配置を図 2-1 に示す。

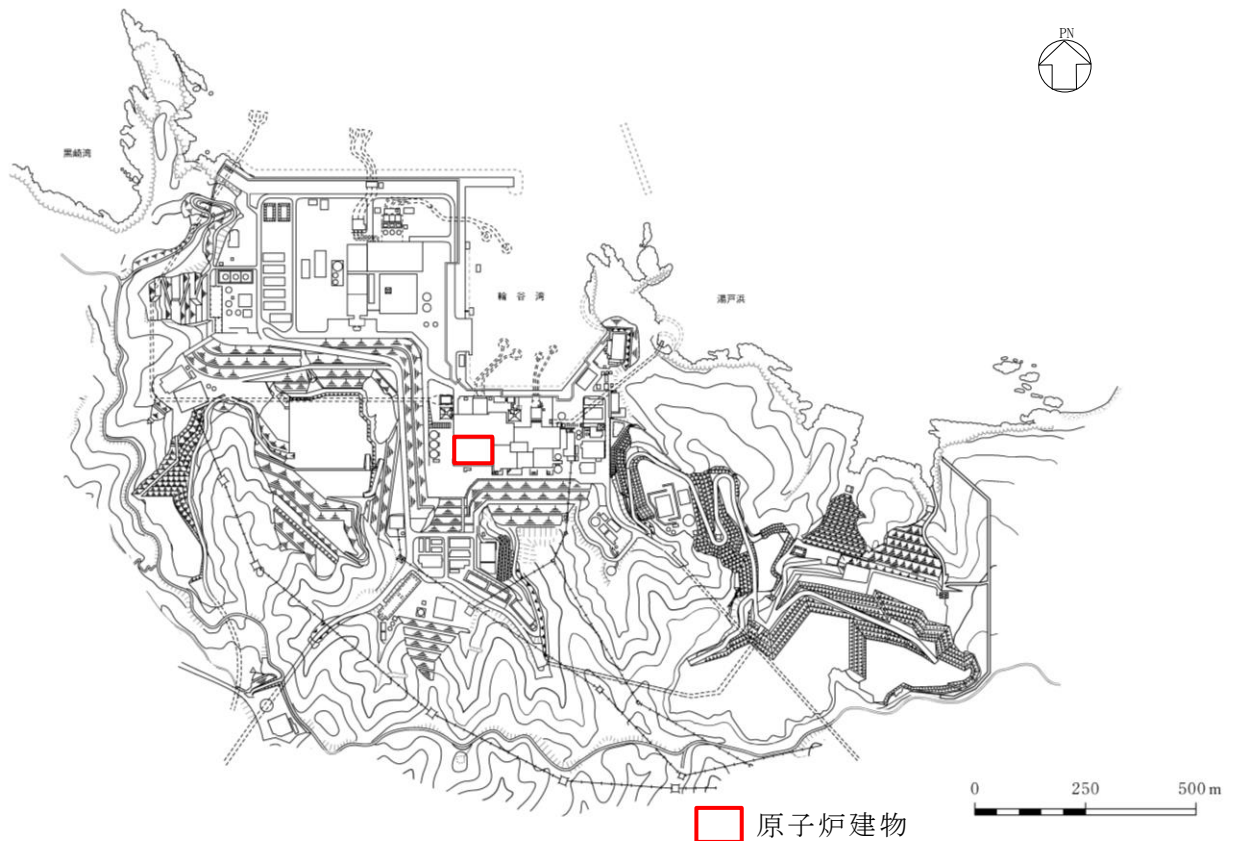


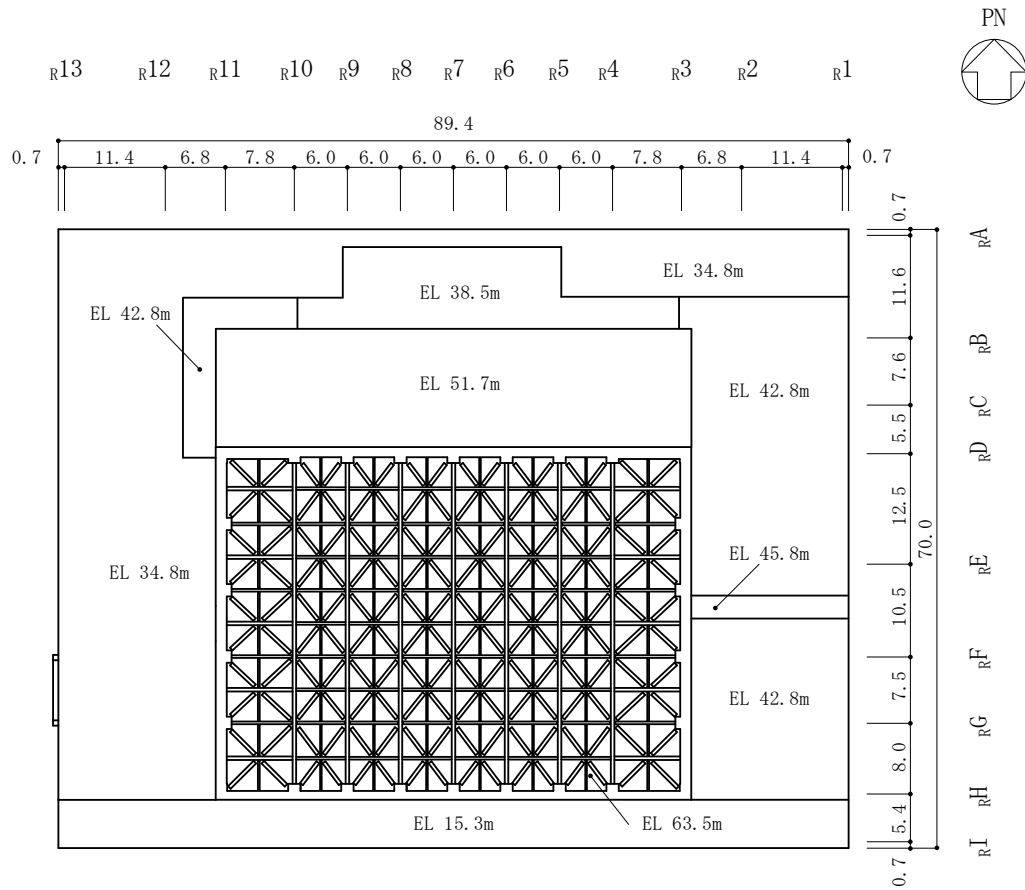
図 2-1 原子炉建物の配置図

2.2 構造概要

原子炉建物は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」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。

原子炉建物は、中央部に地上 4 階、地下 2 階で平面が 53.8m（東西方向）×53.3m（南北方向）（2 階面）の原子炉建物原子炉棟があり、その周囲に地上 2 階（一部 3 階）、地下 2 階の原子炉建物付属棟を配置した鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。屋根スラブを支える屋根トラスの平面形状は 51.6m（東西方向）×38.5m（南北方向）の長方形であり、4 階面 (EL 42.8m) からの高さは 20.7m である。

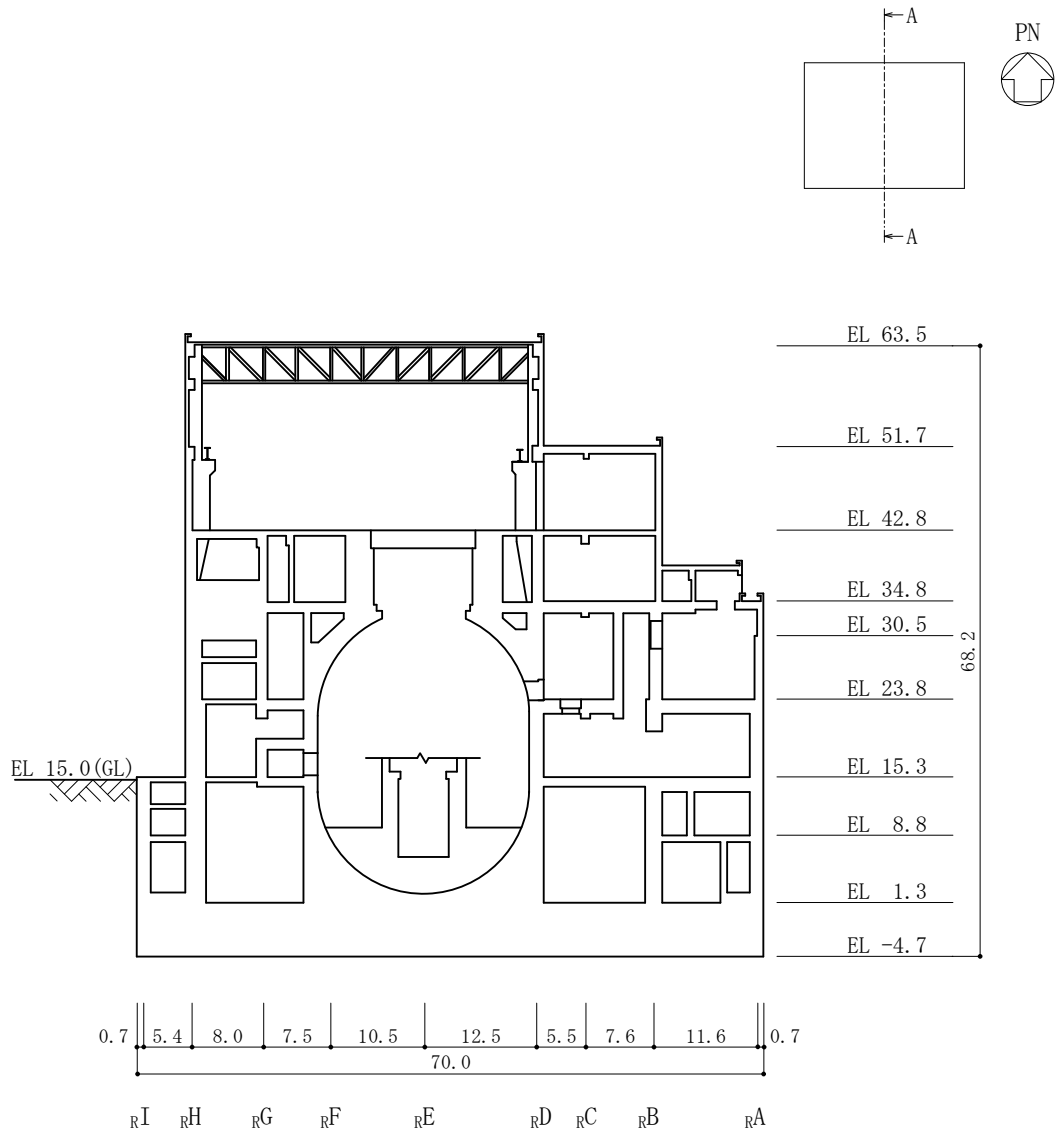
原子炉建物の屋根面の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。



(単位：m)

図 2-2 原子炉建物の概略平面図

注：「EL」は東京湾平均海面(T.P.)を基準としたレベルを示す。



(単位 : m)

図 2-3 原子炉建物の概略断面図 (A-A 断面, 南北方向) (1/2)

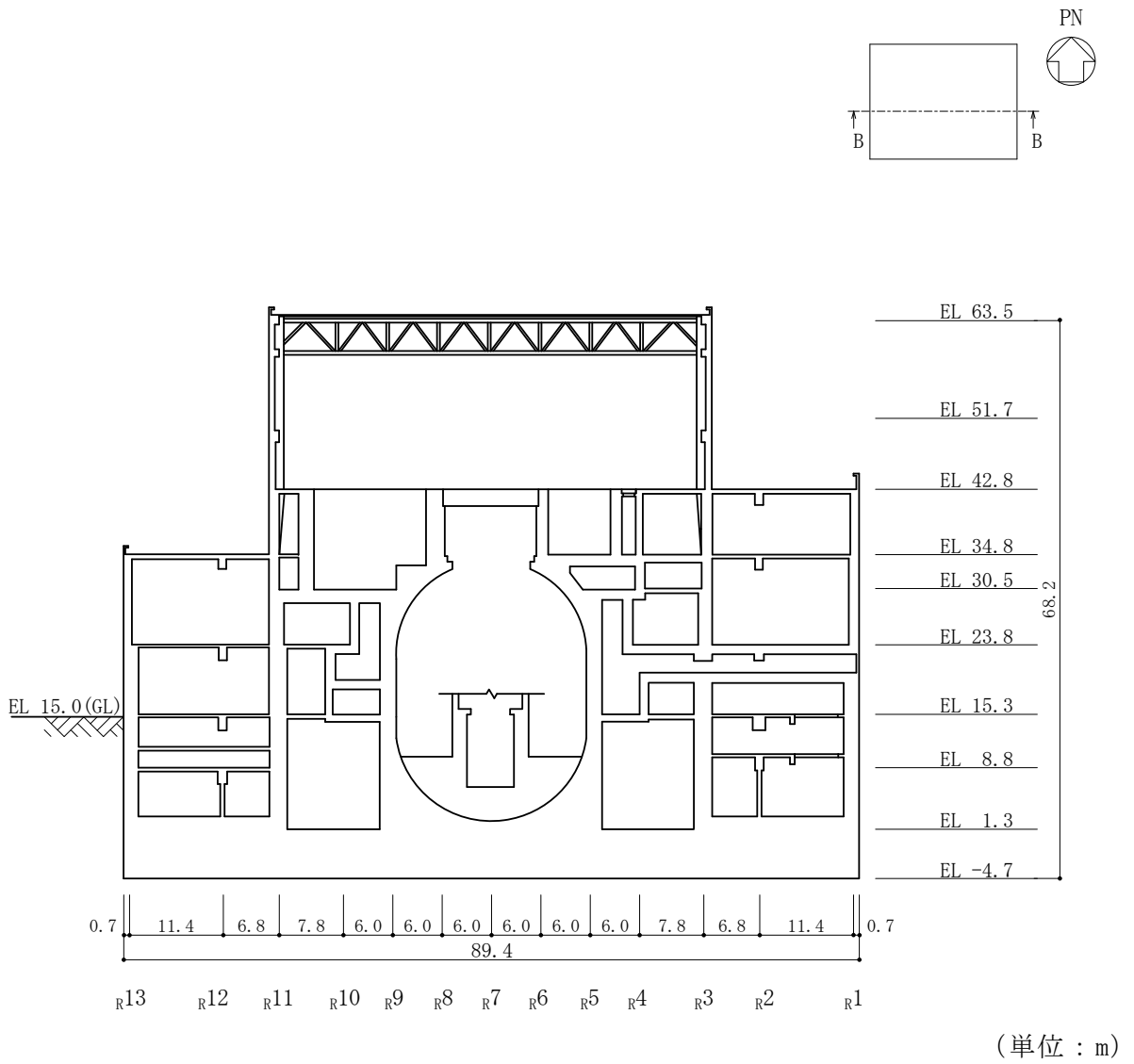


図 2-3 原子炉建物の概略断面図 (B-B 断面, 東西方向) (2/2)

2.3 評価方針

原子炉建物の強度評価は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」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、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建物の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」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。強度評価フローを図 2-4 に示す。

原子炉建物の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物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。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び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スラブ、主トラス及び二次部材を、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

設計荷重は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根及び耐震壁に作用する荷重は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価条件及び強度評価方法」に従い、原子炉建物の応力解析モデル及び質点系モデルを用いて評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。

なお、屋根トラスについては、補強工事を実施しているため、補強内容を反映した評価を実施する。

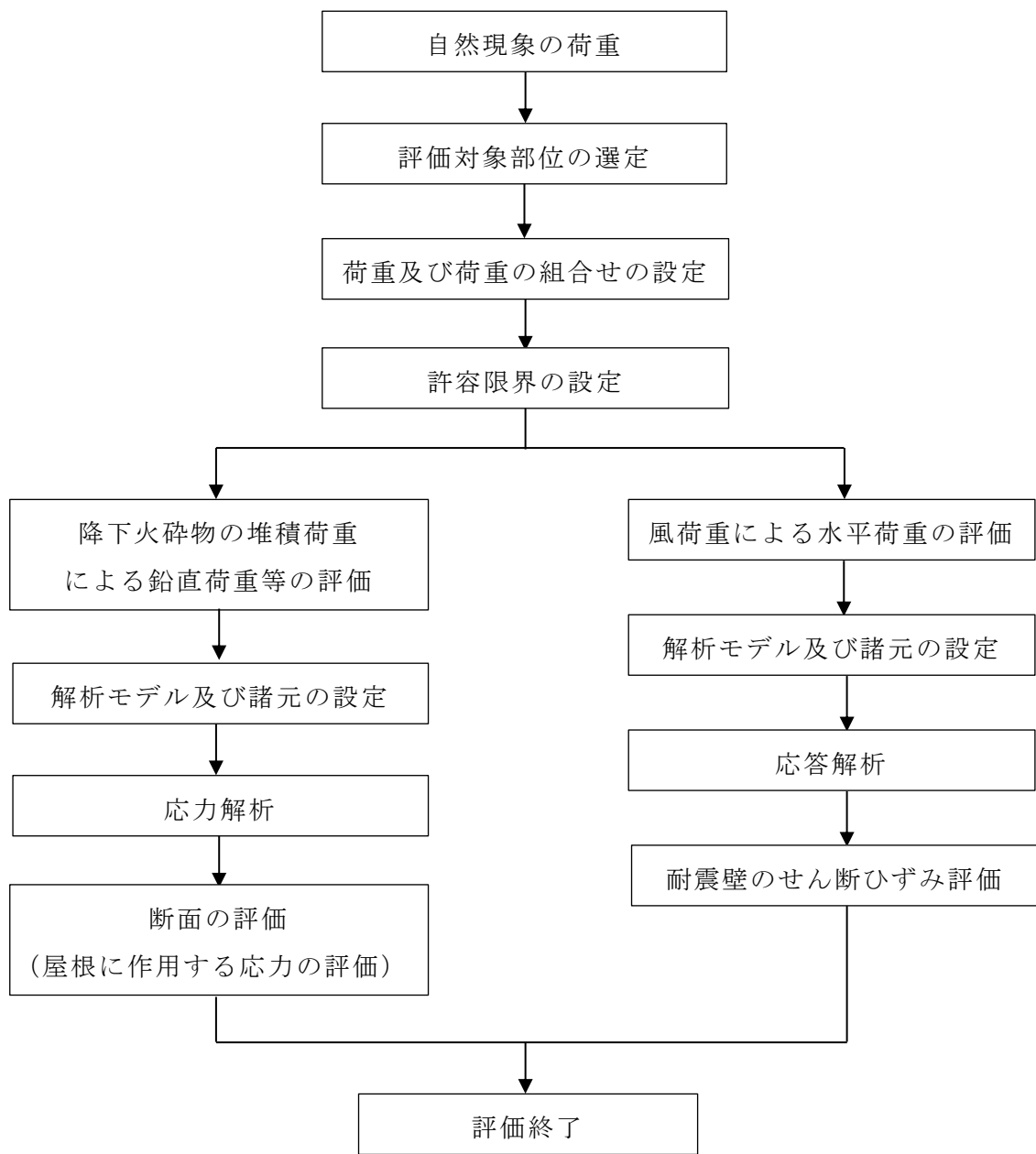


図 2-4 強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

原子炉建物の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 松江市建築基準法施行細則（平成 17 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）
- ・ 鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 改定）

3. 強度評価方法及び評価条件

3.1 評価対象部位

原子炉建物の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ、主トラス、二次部材及び耐震壁とする。

3.2 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、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」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。

3.2.1 荷重

(1) 屋根スラブ

a. 鉛直荷重

表 3-1～表 3-7 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、降下火砕物による荷重 (F_a) 及び積雪荷重 (F_s) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とする。降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 56cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とし、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。なお、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、鉛直荷重に抵抗する部位の評価においては、保守的に水平方向の風荷重は考慮しない。また、原子炉建物内は負圧となっており、屋根スラブに鉛直下向きの圧力荷重が作用しているが、鉛直荷重と比較して $6.28 \times 10^{-2}\text{kN/m}^2$ と非常に軽微なため考慮しない。

表 3-1 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 15.3m, スラブ厚さ $t = \square$)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	$t = \square$	13.828kN/m^2
		$t = \square$	17.358kN/m^2
	積載荷重 (P)	2.942kN/m^2	
降下火砕物による荷重 (F_a)		8.238kN/m^2	
積雪荷重 (F_s)		0.7kN/m^2	

表 3-2 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 34.8m, スラブ厚さ $t = \square$)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	$t = \square$	$18.829 \sim$ 22.065kN/m^2
		$t = \square$	39.953kN/m^2
	積載荷重 (P)	2.942kN/m^2	
降下火砕物による荷重 (F_a)		8.238kN/m^2	
積雪荷重 (F_s)		0.7kN/m^2	

表 3-3 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 38.5m, スラブ厚さ $t = \square$)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	$t = \square$	15.005kN/m ²
		$t = \square$	17.358kN/m ²
	積載荷重 (P)	2.942kN/m ²	
降下火砕物による荷重 (F_a)		8.238kN/m ²	
積雪荷重 (F_s)		0.7kN/m ²	

表 3-4 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 42.8m, スラブ厚さ $t = \square$)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	$t = \square$	10.297kN/m ² ~ 12.357kN/m
		$t = \square$	19.418kN/m ²
	積載荷重 (P)	2.942kN/m ²	
降下火砕物による荷重 (F_a)		8.238kN/m ²	
積雪荷重 (F_s)		0.7kN/m ²	

表 3-5 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 45.8m, スラブ厚さ $t = \square$)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	12.357kN/m ²
	積載荷重 (P)	2.942kN/m ²
降下火砕物による荷重 (F_a)		8.238kN/m ²
積雪荷重 (F_s)		0.7kN/m ²

表 3-6 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 51.7m, スラブ厚さ $t = \square$)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	17.358kN/m ²
	積載荷重 (P)	2.942kN/m ²
降下火砕物による荷重 (F_a)		8.238kN/m ²
積雪荷重 (F_s)		0.7kN/m ²

表 3-7 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ EL 63.5m, スラブ厚さ $t = \square$)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	6.130kN/m ²
	積載荷重 (P)	0.981kN/m ²
降下火砕物による荷重 (F_a)		8.238kN/m ²
積雪荷重 (F_s)		0.7kN/m ²

(2) 主トラス及び二次部材

a. 鉛直荷重

表 3-8 及び表 3-9 に鉛直荷重の一覧を示す。主トラス及び二次部材に考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、降下火砕物による荷重 (F_a) 及び積雪荷重 (F_s) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とする。また、クレーン荷重の入力する位置は待機位置とする。

降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 56cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とし、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

表 3-8 鉛直荷重一覧 (主トラス)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	屋根スラブ	6.130kN/m^2
		トラス鋼材	2.647kN/m^3
		クレーン荷重	3433kN
	積載荷重 (P)		0.981kN/m^2
降下火砕物による荷重 (F_a)			8.238kN/m^2
積雪荷重 (F_s)			0.7kN/m^2

表 3-9 鉛直荷重一覧 (二次部材)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	サブビーム	7.944kN/m^2
		もや	$6.669\sim 6.767\text{kN/m}^2$
		つなぎばり	8.826kN/m^2
	積載荷重 (P)		0.981kN/m^2
降下火砕物による荷重 (F_a)			8.238kN/m^2
積雪荷重 (F_s)			0.7kN/m^2

b. 水平荷重

風荷重の算出に用いる基準風速は、30m/s とする。

風荷重(W)は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」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を超える場合の式を用いる。風荷重(W)の算出は、建物の形状を考慮して算出した風力係数C及び風の受圧面積A₁に基づき実施し、風荷重(W)の算出に用いる受圧面積の算定において、隣接する建物の遮断効果は、安全側の評価となるよう考慮しない。

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

ここで、

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

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

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

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

Z_G, Z_b, 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

風荷重算定に使用する入力条件を表3-10～表3-12に示す。

表3-10 設計風荷重の条件

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)
原子炉建物	30	50.035	350	0.15	2.0	1742.0

表 3-11 原子炉建物の風力係数及び受圧面積

(a) 南北方向

高さ (EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 A_1 (m ²)	
	風上*	風下	風上	風下
65.035~57.60	0.800	0.4	400	400
57.60~47.25	0.729	0.4	557	557
47.25~38.80	0.670	0.4	610	610
38.80~32.65	0.606	0.4	514	514
32.65~27.15	0.563	0.4	492	492
27.15~19.55	0.475	0.4	679	679
19.55~15.00	0.401	0.4	407	407

注記* : C (風上) は基準階での値を示す。

表 3-12 原子炉建物の風力係数及び受圧面積

(b) 東西方向

高さ (EL) (m)	風力係数 C		受圧面積 A_1 (m ²)	
	風上*	風下	風上	風下
65.035~57.60	0.800	0.4	297	297
57.60~47.25	0.729	0.4	489	489
47.25~38.80	0.670	0.4	477	477
38.80~32.65	0.606	0.4	391	391
32.65~27.15	0.563	0.4	355	355
27.15~19.55	0.475	0.4	491	491
19.55~15.00	0.401	0.4	296	296

注記* : C (風上) は基準階での値を示す。

(3) 耐震壁

a. 水平荷重

水平荷重は、(2) 主トラス及び二次部材 b. 水平荷重と同様である。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-13 に示す。

ケース 1 は従荷重として、鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため主トラス及び耐震壁を評価対象とする。ケース 2 は従荷重として積雪荷重を組み合わせ、鉛直荷重のみを用いて評価するため屋根スラブ及び二次部材を評価対象とする。

表 3-13 荷重の組合せ

考慮する 荷重の 組合せ	荷重*				
	常時作用する 荷重 (F_d)		主荷重	従荷重	
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物に よる荷重 (F_a)	積雪荷重 (F_s)	風荷重 (W)
ケース 1	○	○	○	○	○
ケース 2	○	○	○	○	—

注記*：○は考慮する荷重を示す。

3.3 許容限界

原子炉建物の許容限界は、VI-3-別添 2-1-3「原子炉建物の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建物の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ，主トラス，二次部材及び耐震壁の許容限界を「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。），「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（（社）日本建築学会，2005 改定）」（以下「S規準」という。）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」に基づき表 3-14 に，鋼材の材料強度を表 3-15 に，コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-16 及び表 3-17 に示す。

表 3-14 許容限界

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

注記*1：許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものと設定すること

し、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

*2：建物全体としては、水平力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*3：事故時に換気性能とあいまって気密性を有する設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、VI-2-9-3-1「原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 1 原子炉建物原子炉棟の気密性に**関する**計算書」に示す。

表 3-15 鋼材の材料強度

(単位：N/mm²)

材料* ¹	板厚	F 値	材料強度		
			引張り	圧縮 曲げ	せん断
SS41 (SS400 相当) SS400	t ≤ 40mm	235	235	235* ²	135
SM50A (SM490A 相当) SN490B	t ≤ 40mm	325	325	325* ²	187

注記*1：建設当時の鋼材の種類を、現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

*2：上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-16 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表 3-17 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

種別*	引張り及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

注記*：建設当時の鋼材の種類を、現在の規格に読み替えた許容応力度を示す。

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 屋根スラブ

EL 63.5m の屋根スラブは、屋根トラスで支持され、厚さが同じでスパンがほぼ均等なスラブが連続しており、その外周がスラブに比べて十分剛性の大きい鉄筋コンクリート造の壁に接合されていることから、支持点の間隔を長さとした両端固定ばりの 1 方向スラブとして評価する。その他のスラブについては、端部の支持状況に応じたモデル化（例えば、四辺固定版）により応力算出を行う。

(2) 主トラス

応力解析は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは、「f a p p a s e」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力解析モデルは、主トラスを含む建物全体の各部材を線材置換した 3次元フレームモデルとする。解析モデル図を図 3-1 に、部材リストを表 3-18 に、補強箇所を図 3-2 に示す。

解析モデルに使用する要素は、はり要素、トラス要素及びシェル要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。

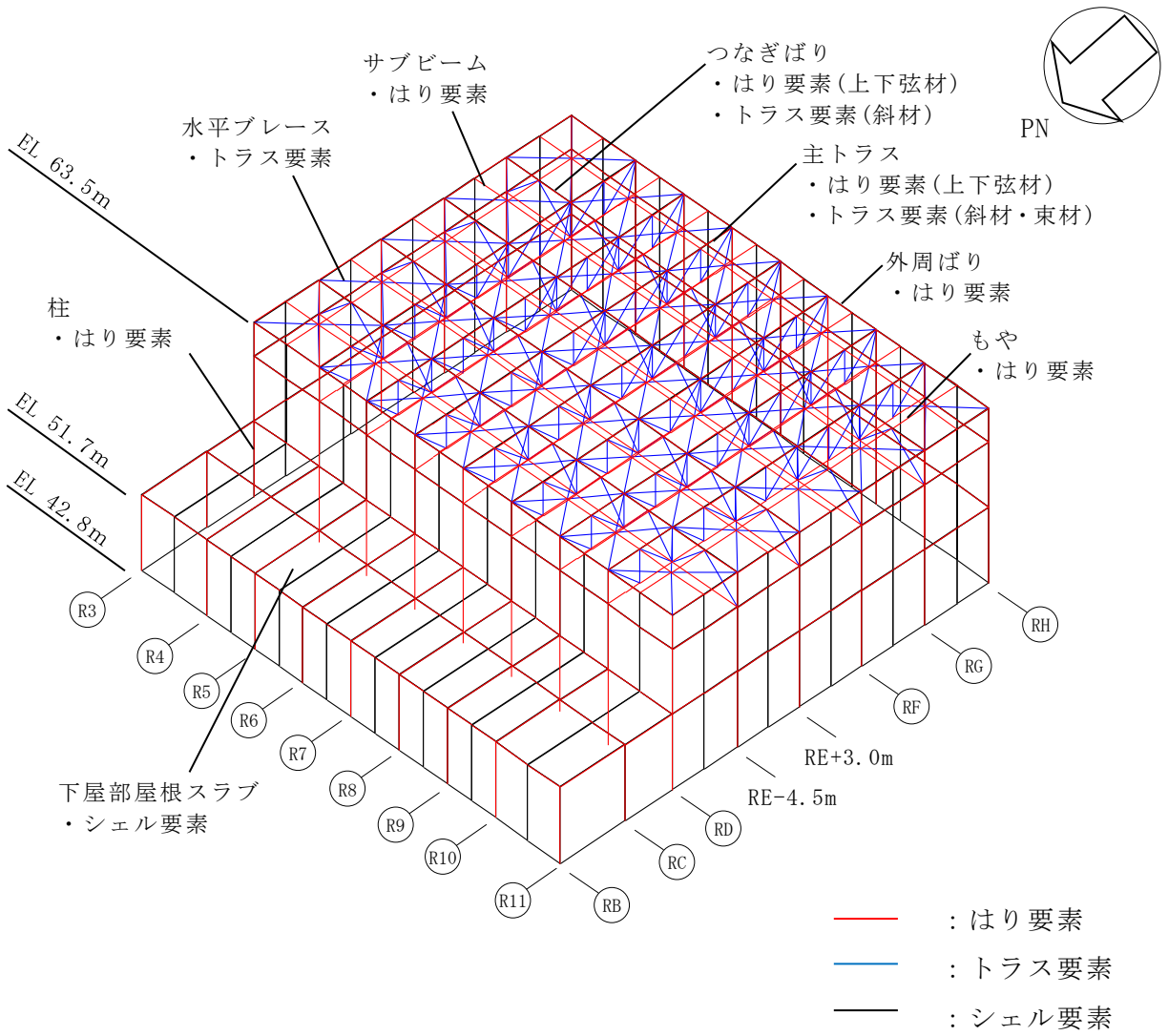


図 3-1 解析モデル図

表 3-18 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)
主トラス	上弦材	H-400×400×13×21	SM490A (SM50A)	218.7	66600
	下弦材	BH-400×400×19×35 +2PL _S -16×330*	SM490A (SM50A)	448.3	108800
		BH-400×400×19×35		342.7	99230
		H-400×400×13×21		218.7	66600
	斜材	2CT _S -175×350×12×19	SS400 (SS41)	173.9	—
		2CT _S -150×300×10×15 +4L _S -90×90×10*		187.8	—
		2CT _S -150×300×10×15		119.8	—
		2CT _S -125×250×9×14 +4L _S -90×90×10*		160.2	—
	束材	2CT _S -175×350×12×19	SS400 (SS41)	173.9	—
		2CT _S -150×300×10×15		119.8	—
		2CT _S -125×250×9×14		92.18	—

注記*：補強工事で追加した部材

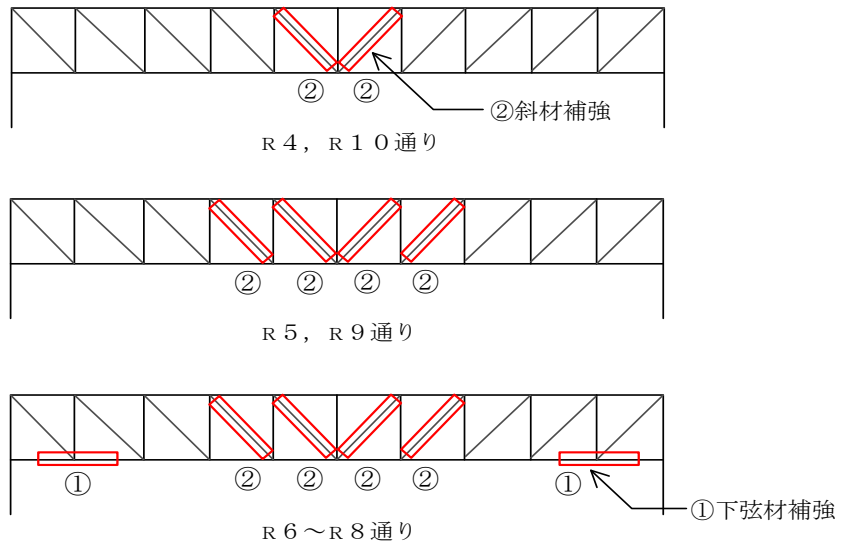


図 3-2 主トラス補強箇所

(3) 二次部材

もやは、支配幅を取り出し、等分布荷重を受ける単純ばり（両端ピン支持のほり）として応力を算定する。検討スパンは、接合部の現況を考慮した有効長さとして評価する。

つなぎばりは、支配幅を取り出し、中央集中荷重を受ける上弦材、下弦材及び斜材からなる単純支持トラス（両端ピン支持）として応力を算定する。検討スパンは、通り芯間距離として評価する。解析モデル図を図 3-3 に示す。

サブブームは、主トラスで支持された支配幅を取り出し、中央集中荷重を受ける単純ばり（両端ピン支持のほり）として応力を算定する。なお、支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

部材リストを表 3-19 に、つなぎばり補強箇所を図 3-4 に示す。

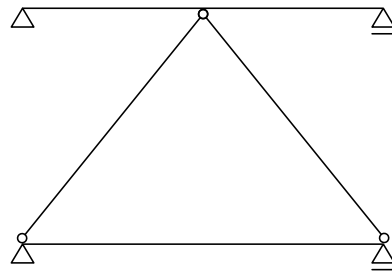


図 3-3 つなぎばり解析モデル図

表 3-19 部材リスト

部位		形状寸法	材質	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)
もや		H-294 \times 200 \times 8 \times 12	SS400 (SS41)	72.38	11300
		H-244 \times 175 \times 7 \times 11	SS400 (SS41)	56.24	6120
つなぎ ばり	上弦材	H-390 \times 300 \times 10 \times 16	SS400 (SS41)	136.0	38700
	下弦材	H-390 \times 300 \times 10 \times 16	SS400 (SS41)	136.0	38700
	斜材	2CT _s -125 \times 250 \times 9 \times 14 +4L _s -65 \times 65 \times 6*	SS400 (SS41)	122.3	—
		2CT _s -125 \times 250 \times 9 \times 14	SS400 (SS41)	92.18	—
サブビーム		H-400 \times 400 \times 13 \times 21	SS400 (SS41)	218.7	66600
		H-390 \times 300 \times 10 \times 16	SS400 (SS41)	136.0	38700

注記* : 補強工事で追加した部材

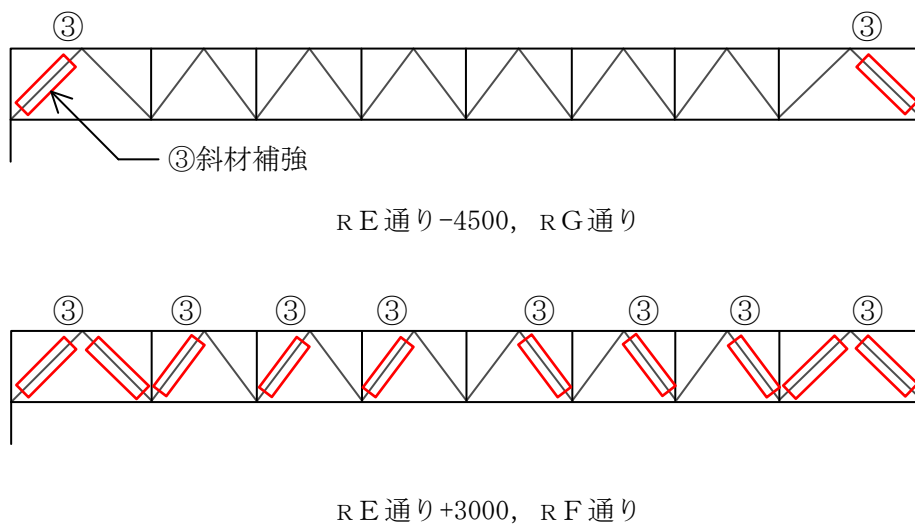
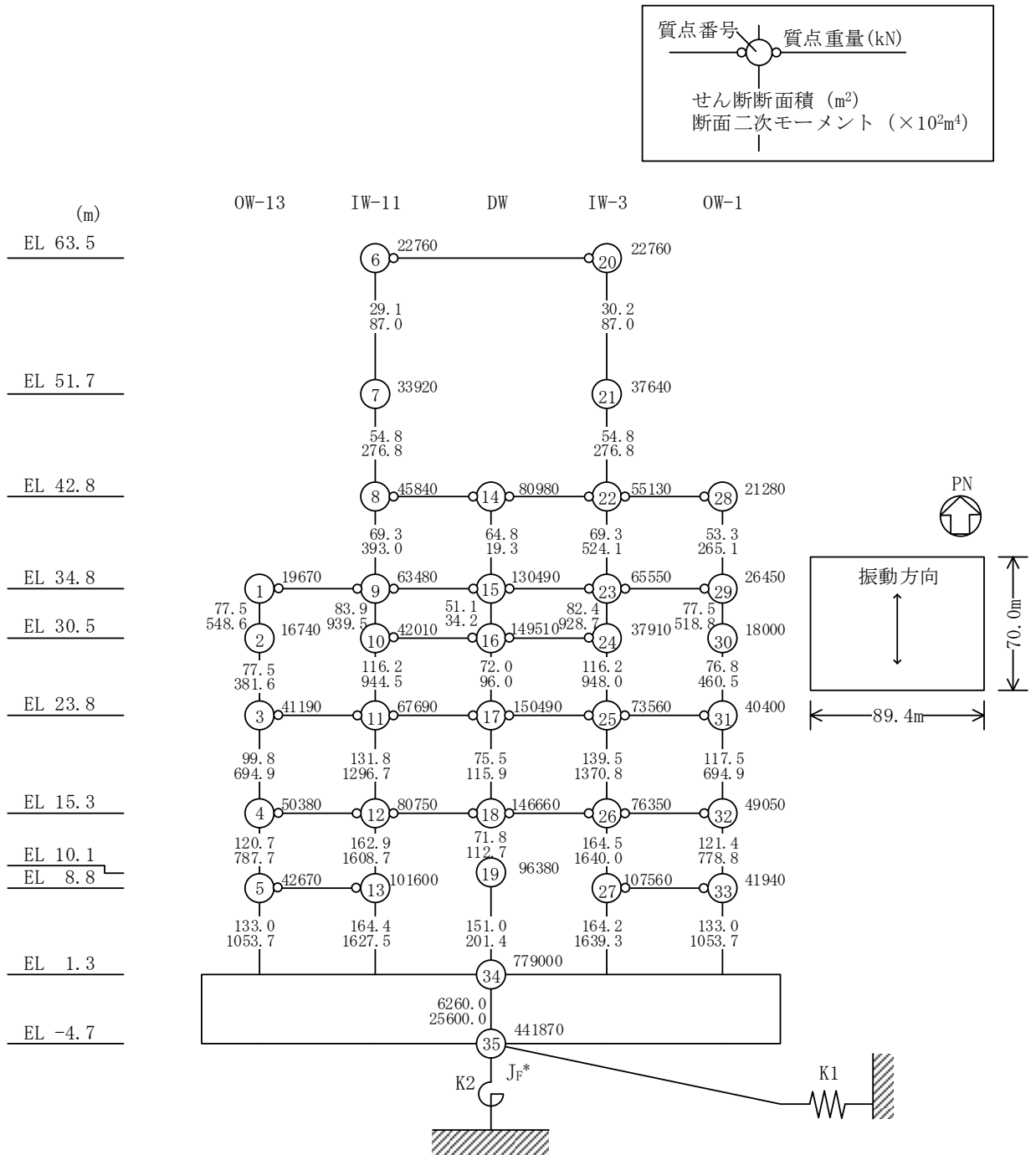


図 3-4 つなぎばり補強箇所

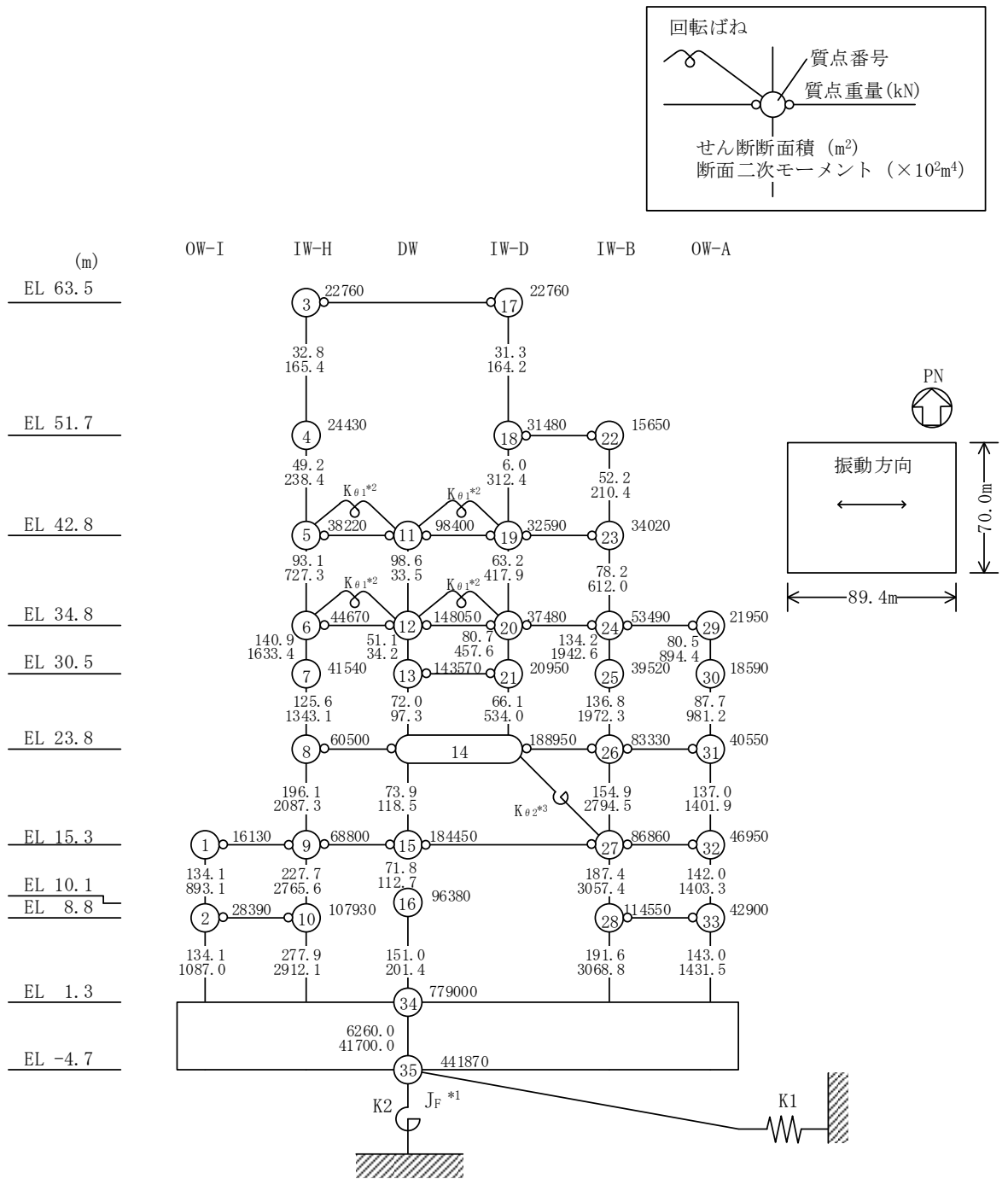
(4) 耐震壁

耐震壁は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。解析に使用するコードは、「NUPP4」である。なお、解析コードの検証及び妥当性の確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。地震応答解析モデルを図3-5に示す。



注記* : 回転慣性重量(12.25×10⁸kN・m²)

図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向) (1/2)



注記*1：回転慣性重量 ($20.88 \times 10^8 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

*2：燃料プール壁の回転ばね ($2.195 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$)

*3：内部ボックス壁の軸抵抗を考慮した回転ばね ($135.2 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$)

(東西方向)

図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向) (2/2)

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-20 に示す。

表 3-20 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
鉄筋コンクリート	2.25×10^4	9.38×10^3
鉄骨	2.05×10^5	7.90×10^4

3.5 評価方法

3.5.1 屋根スラブの評価方法

(1) 応力解析方法

a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。
単独荷重の記号を以下に示す。

F_d : 常時作用する荷重

F_a : 降下火砕物による荷重

F_s : 積雪荷重

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-21 に示す。

表 3-21 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばり及び四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。

(両端固定ばり)

・ 端部曲げモーメント (M_E)

$$M_E = -\frac{1}{12} w \cdot L^2$$

・ 中央部曲げモーメント (M_C)

$$M_C = \frac{1}{24} w \cdot L^2$$

・ せん断力 (Q_E)

$$Q_E = \frac{1}{2} w \cdot L$$

ここで、

w : 等分布荷重 (N/m)

L : 有効スパン (m)

(四辺固定版)

- ・短辺方向の端部曲げモーメント (M_{x1})

$$M_{x1} = -\frac{1}{12} w_x \cdot L_x^2$$

- ・短辺方向の中央部曲げモーメント (M_{x2})

$$M_{x2} = \frac{1}{18} w_x \cdot L_x^2$$

- ・長辺方向の端部曲げモーメント (M_{y1})

$$M_{y1} = -\frac{1}{24} w \cdot L_x^2$$

- ・長辺方向の中央部曲げモーメント (M_{y2})

$$M_{y2} = \frac{1}{36} w \cdot L_x^2$$

- ・短辺方向のせん断力 (Q_x)

$$Q_x = 0.52 \cdot w \cdot L_x$$

- ・長辺方向のせん断力 (Q_y)

$$Q_y = 0.46 \cdot w \cdot L_x$$

ここで,

L_x : 短辺有効スパン (m)

L_y : 長辺有効スパン (m)

w : 単位面積あたりの荷重 (kN/m²)

$$w_x = \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} w$$

(2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる鉄筋の引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

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

ここで,

- σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)
 M : 曲げモーメント (N・mm)
 a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)
 j : 断面の応力中心間距離で、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断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象箇所に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで、

- Q_A : 許容面外せん断力 (N)
 b : 断面の幅 (mm)
 j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)
 α : 許容せん断力の割増し係数で、次式による。
 (2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

- M : 曲げモーメント (N・mm)
 Q : せん断力 (N)
 d : 断面の有効せい (mm)
 f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)
 ${}_w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)
 p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

- a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)
 x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

3.5.2 主トラスの評価方法

(1) 応力解析方法

主トラスについては，3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により得られた部材の応力を評価する。

a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は，次の荷重を3次元フレームモデルに入力して求める。荷重の記号を以下に示す。

F_d : 常時作用する荷重

F_a : 降下火砕物による荷重

F_s : 積雪荷重

W : 風荷重

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-22 に示す。

表 3-22 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_s + W$

c. 荷重の入力方法

固定荷重及び積雪荷重は，対応する部材及び節点に分布荷重及び集中荷重として入力する。

(2) 断面の評価方法

主トラスの評価は、3次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、「S規準」に基づく短期許容応力度とする。ただし、斜材及び束材は軸応力度のみ評価する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

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

ここで、

σ_c : 圧縮応力度 (N/mm²) σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

N_c : 圧縮軸力 (N) A : 軸断面積 (mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm) Z : 断面係数 (mm³)

f_c : 圧縮応力に関する評価基準値 (N/mm²)

f_b : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm²)

(引張り)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ただし、

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

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

ここで、

σ_t : 引張応力度 (N/mm²) σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

N_t : 引張軸力 (N) A : 軸断面積 (mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm) Z : 断面係数 (mm³)

f_t : 引張応力に関する評価基準値 (N/mm²)

f_b : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm²)

3.5.3 二次部材の評価方法

(1) 応力解析方法

a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。
単独荷重の記号を以下に示す。

F_d : 常時作用する荷重

F_a : 降下火砕物による荷重

F_s : 積雪荷重

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-23 に示す。

表 3-23 荷重の組合せケース

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 2	$F_d + F_a + F_s$

c. 応力算出方法

集中荷重（サブビーム）あるいは、分布荷重（もや）を受ける両端ピン支持
ばりの曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。

つなぎばりについては、中央集中荷重を受ける上弦材、下弦材及び斜材から
なる単純支持トラス（両端ピン支持）として上弦材、下弦材及び斜材に生じる
軸力を求める。

1) 集中荷重（サブビーム）の場合

（中央曲げモーメント）

$$M = \frac{1}{4} P \cdot L$$

ここで、

P : 集中荷重 (N)

L : スパン (m)

（端部せん断力）

$$Q = \frac{1}{2} P$$

2) 分布荷重（もや）の場合

（中央曲げモーメント）

$$M = \frac{1}{8} w \cdot L^2$$

ここで、

w : 等分布荷重 (N/m)

L : スパン (m)

(端部せん断力)

$$Q = \frac{1}{2} w \cdot L$$

(2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

二次部材における曲げモーメント、せん断力及び軸力による応力度を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「S 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる曲げモーメントによる応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

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

ここで、

σ_b : 曲げ応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm³)

b. せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「S 規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じるせん断応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

τ : せん断応力度 (N/mm²)

Q : せん断力 (N)

A_s : せん断断面積 (mm²)

c. 軸力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「S規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象箇所に生じる圧縮応力度又は引張応力度が、短期許容応力度を超えないことを確認する。

(圧縮)

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

ここで、

σ_c : 圧縮応力度 (N/mm²)

N_c : 圧縮軸力 (N)

A : 軸断面積 (mm²)

(引張り)

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}$$

ここで、

σ_t : 引張応力度 (N/mm²)

N_t : 引張軸力 (N)

A : 軸断面積 (mm²)

3.5.4 耐震壁の評価方法

耐震壁の評価は、風荷重による耐震壁に発生するせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。なお、耐震壁の応力計算には、地震応答解析モデルを用い、耐震壁の復元力特性の設定においては、鉛直荷重の増加による軸力を考慮すると第1折れ点の増大が見込まれるため、本評価では保守的に降下火砕物等堆積による鉛直荷重は考慮しない。

4. 強度評価結果

4.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は、EL 15.3m（一部 EL 15.15m）、EL 34.8m、EL 38.5m、EL 42.8m、EL 45.8m、EL 51.7m 及び EL 63.5m のそれぞれについて、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-1～図 4-6 に示す。また、評価結果を表 4-1～表 4-7 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって発生する曲げモーメントに対する鉄筋の引張応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

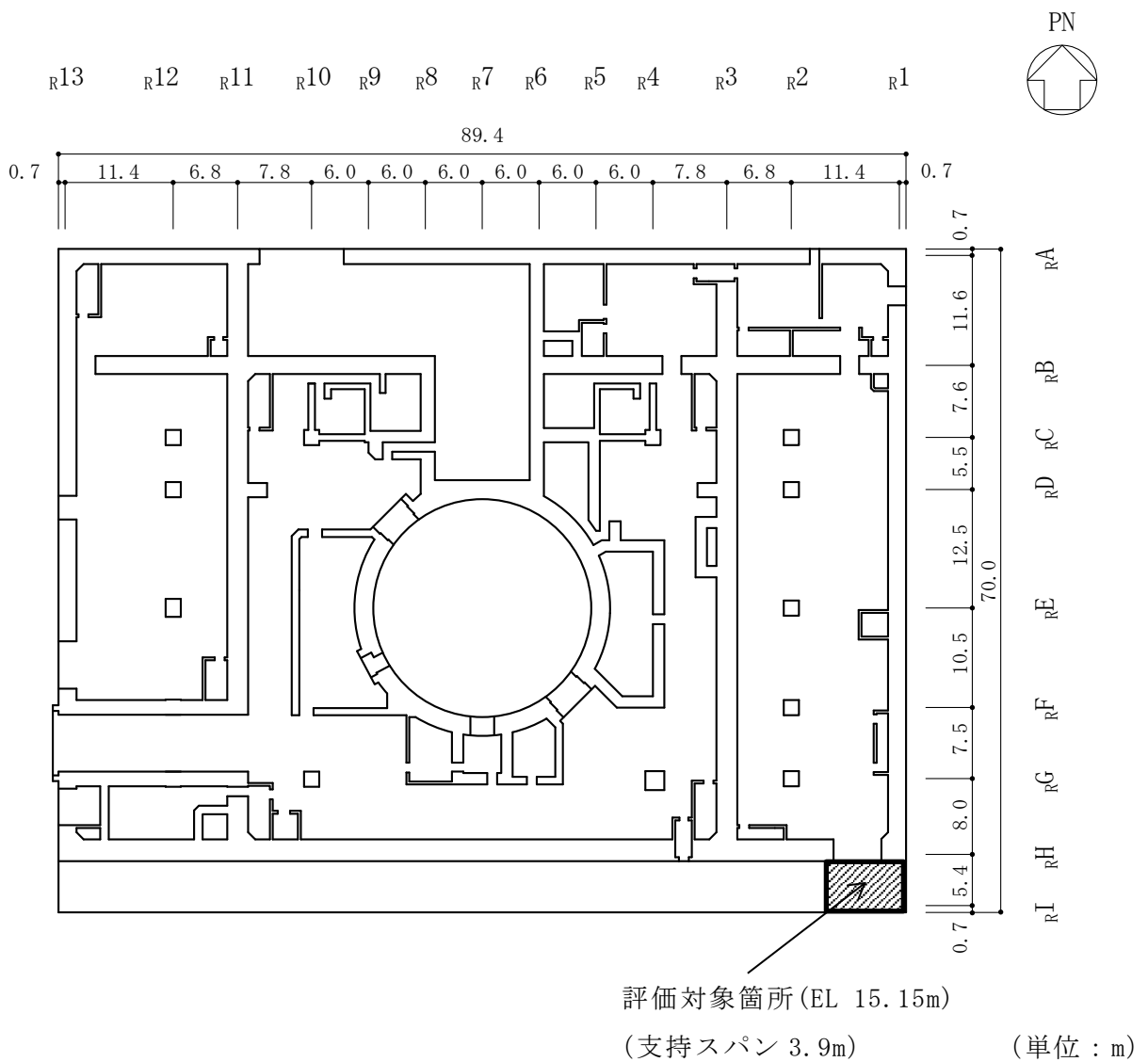
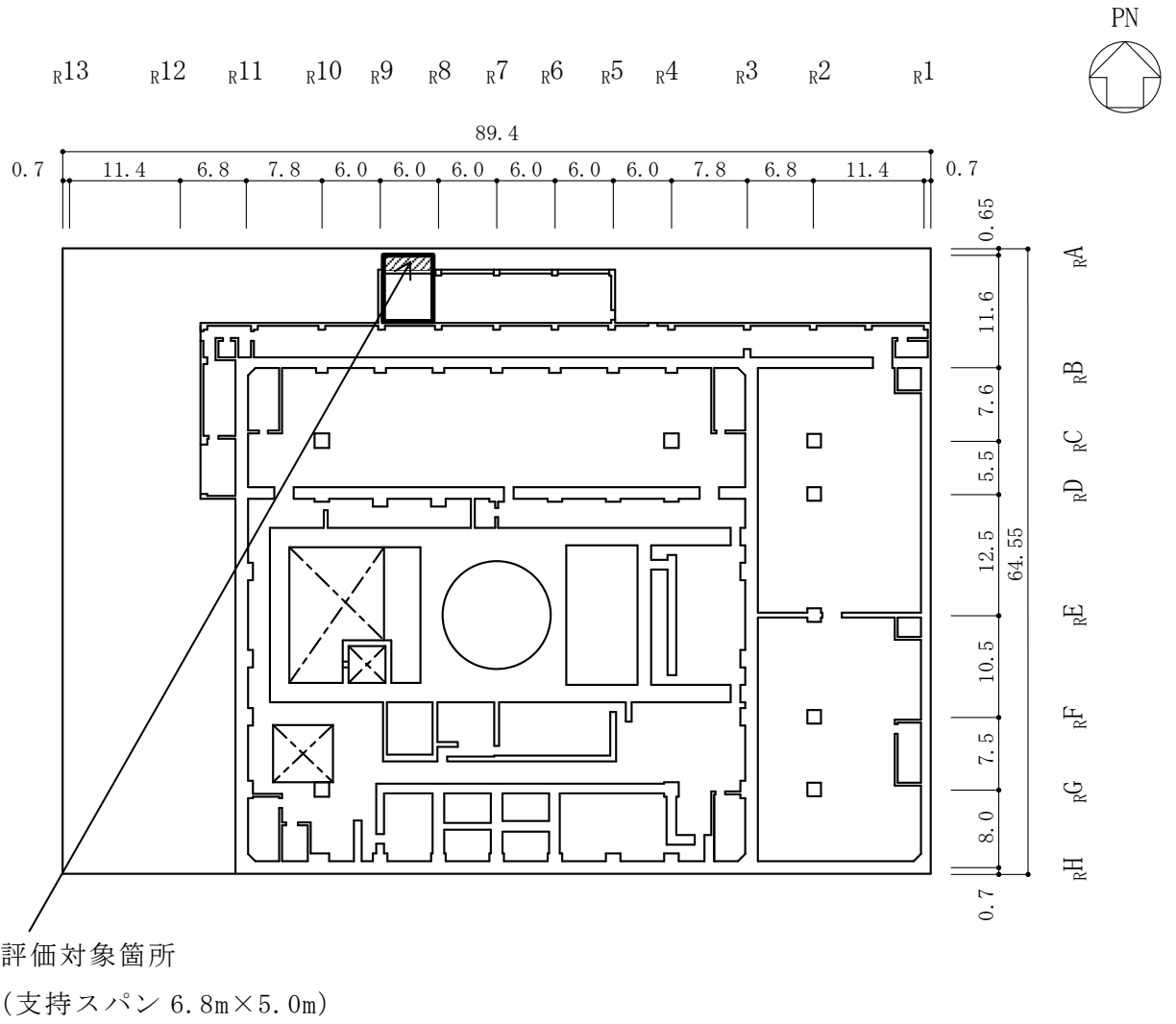
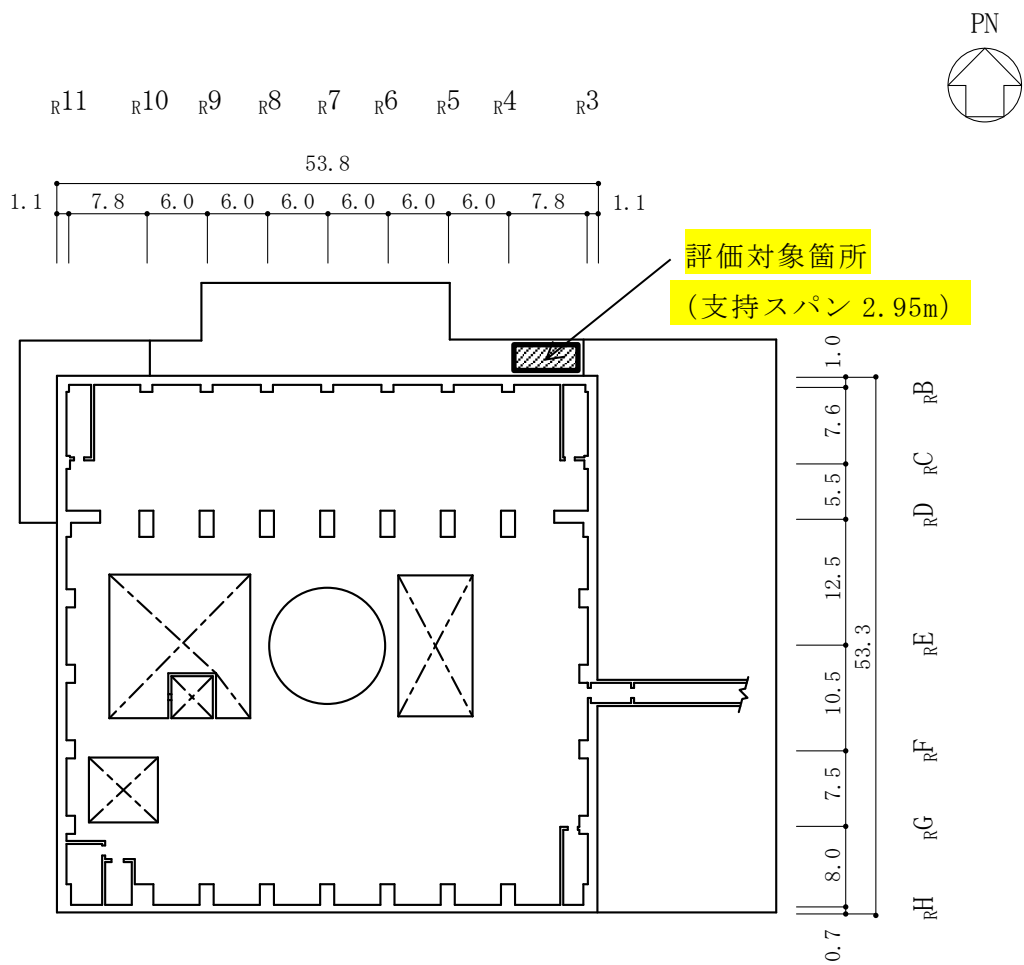


図 4-1 評価対象箇所（屋根スラブ，EL 15.3m（一部 EL 15.15m））



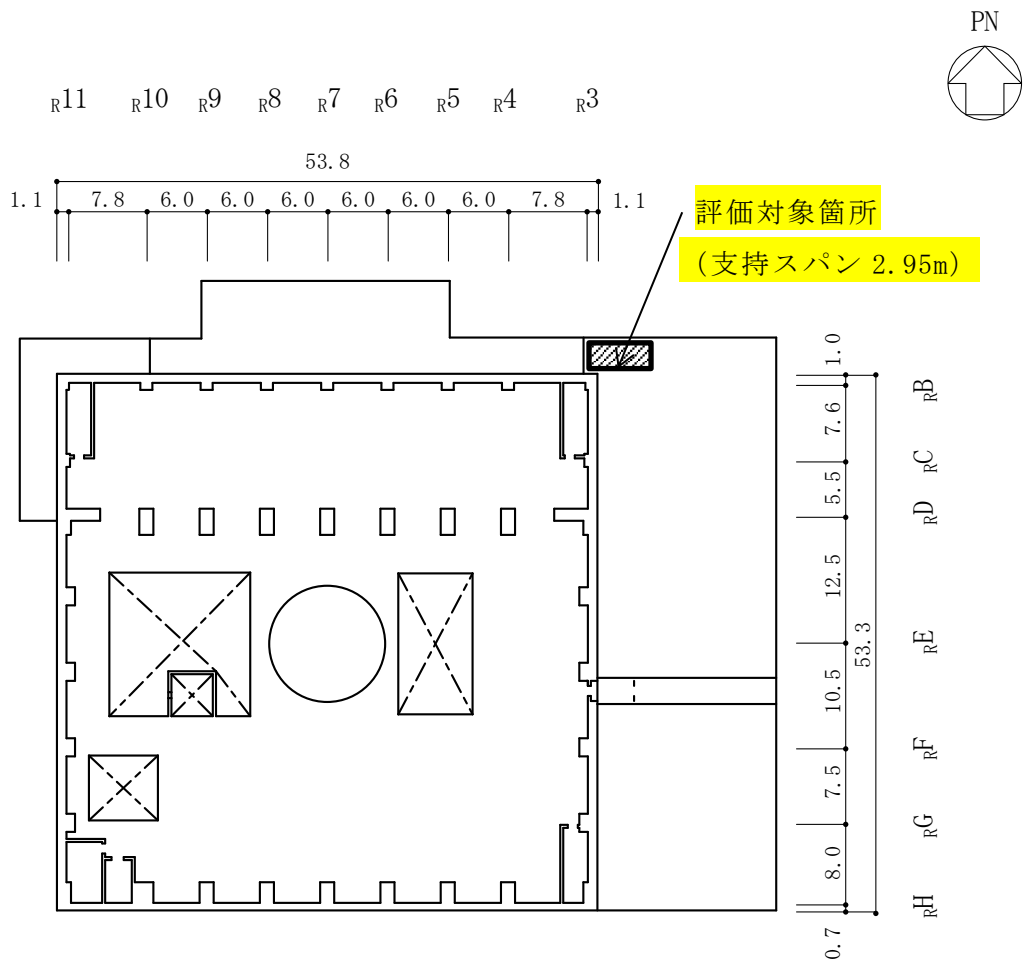
(単位 : m)

図 4-2 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 34.8m)



(単位：m)

図 4-3 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 38.5m)



(単位：m)

図 4-4 評価対象箇所（屋根スラブ，EL 42.8m，EL 45.8m）

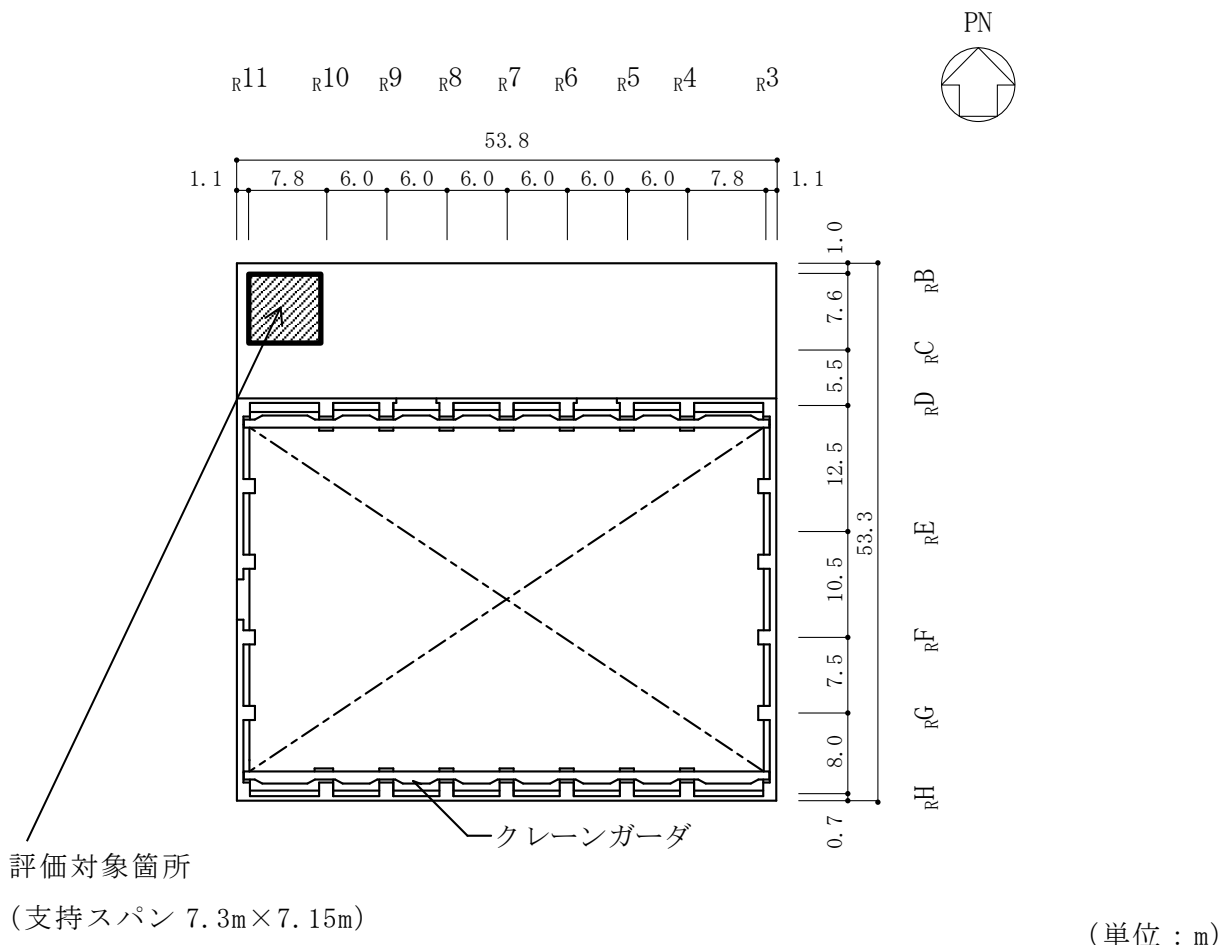
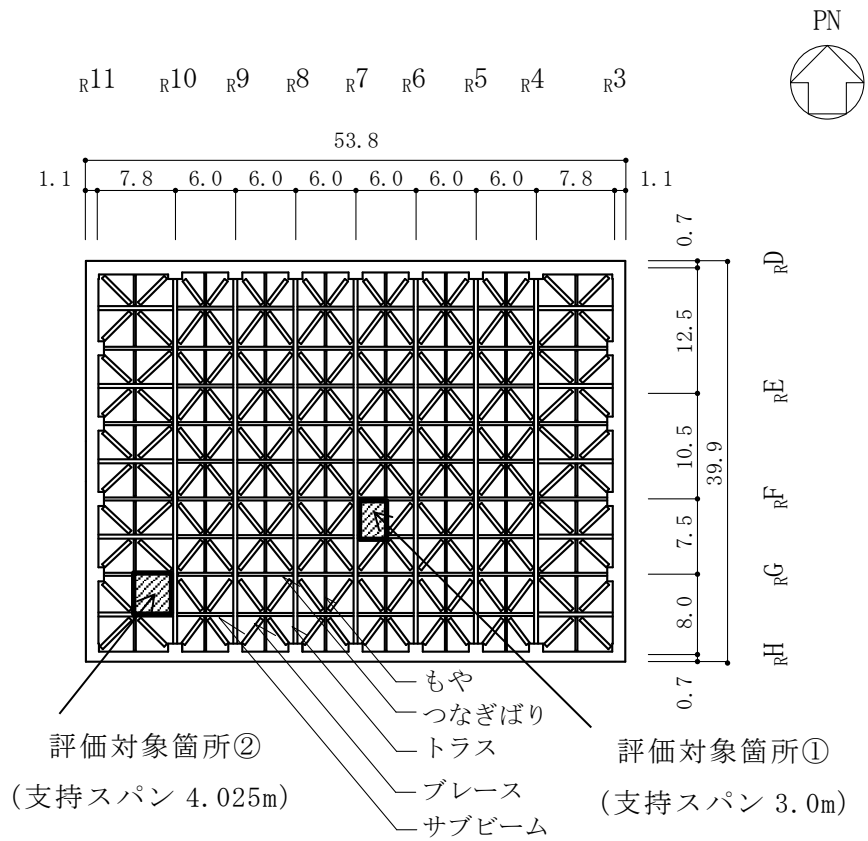


図 4-5 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 51.7m)



(単位 : m)

図 4-6 評価対象箇所 (屋根スラブ, EL 63.5m)

表 4-1 屋根スラブの評価結果 (EL 15.3m (一部 EL 15.15m))

EL (m)		15.15
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D25@200 (2535mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	32.6
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	37.7
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.11
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	50.2
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.15
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.50
	許容限界 (N/mm ²)	1.62
	検定値	0.10

表 4-2 屋根スラブの評価結果(EL 34.8m)

EL (m)		34.8
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D29@200 (3210mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	194.5
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	93.6
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.28
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	193.8
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.30
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.70
	許容限界 (N/mm ²)	1.83
	検定値	0.17

表 4-3 屋根スラブの評価結果(EL 38.5m)

EL (m)		38.5
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	19.6
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	74.4
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.22
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	39.7
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.22
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.19
	許容限界 (N/mm ²)	1.28
	検定値	0.18

表 4-4 屋根スラブの評価結果(EL 42.8m)

EL (m)		42.8
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	17.6
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	66.8
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.20
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	35.7
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.20
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.19
	許容限界 (N/mm ²)	1.28
	検定値	0.16

表 4-5 屋根スラブの評価結果(EL 51.7m)

EL (m)		51.7
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D29@200 (3210mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	62.3
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	43.5
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.13
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	108.7
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.24
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.90
	許容限界 (N/mm ²)	2.05
	検定値	0.12

表 4-6 屋根スラブの評価結果 (EL 63.5m) (評価対象箇所①)

EL (m)		63.5
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D13@200 (635mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	12.1
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	181.5
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.53
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	24.2
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.24
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.00
	許容限界 (N/mm ²)	1.08
	検定値	0.23

表 4-7 屋根スラブの評価結果 (EL 63.5m) (評価対象箇所②)

EL (m)		63.5
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)		D13@100 (1270mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	21.7
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	162.8
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.48
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	32.4
	せん断応力度 (N/mm ²)	0.31
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.00
	許容限界 (N/mm ²)	1.08
	検定値	0.29

4.2 主トラスの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-10 に示す。また、評価対象部位において複数の部材がある場合は、検定値が最大となる部材の値を示す。評価位置を図 4-7 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-10 主トラスの短期許容応力度に基づく評価結果 (EL 63.5m)

評価対象部位	No.	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
上弦材	1	引張り	49.09	325	0.37
		曲げ	71.03	325	
下弦材	2	圧縮	85.56	217	0.60
		曲げ	61.17	304	
束材	3	圧縮	102.71	176	0.59
斜材	4	引張り	169.66	235	0.73

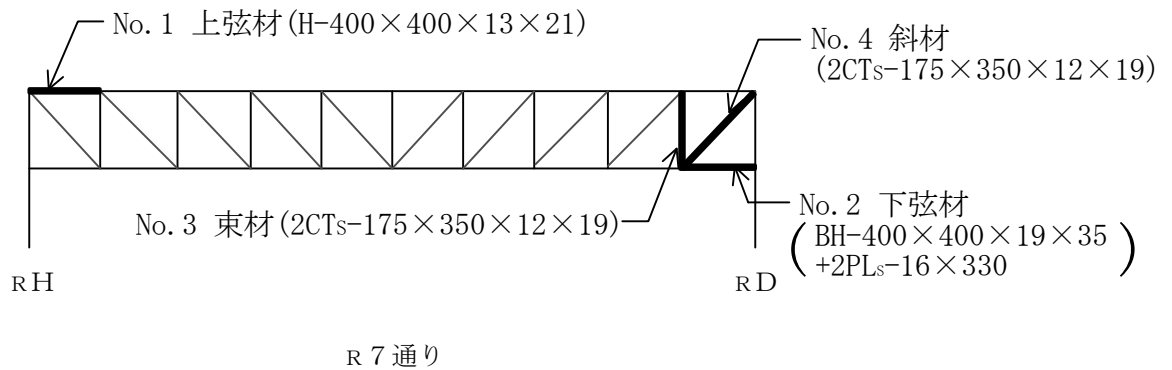
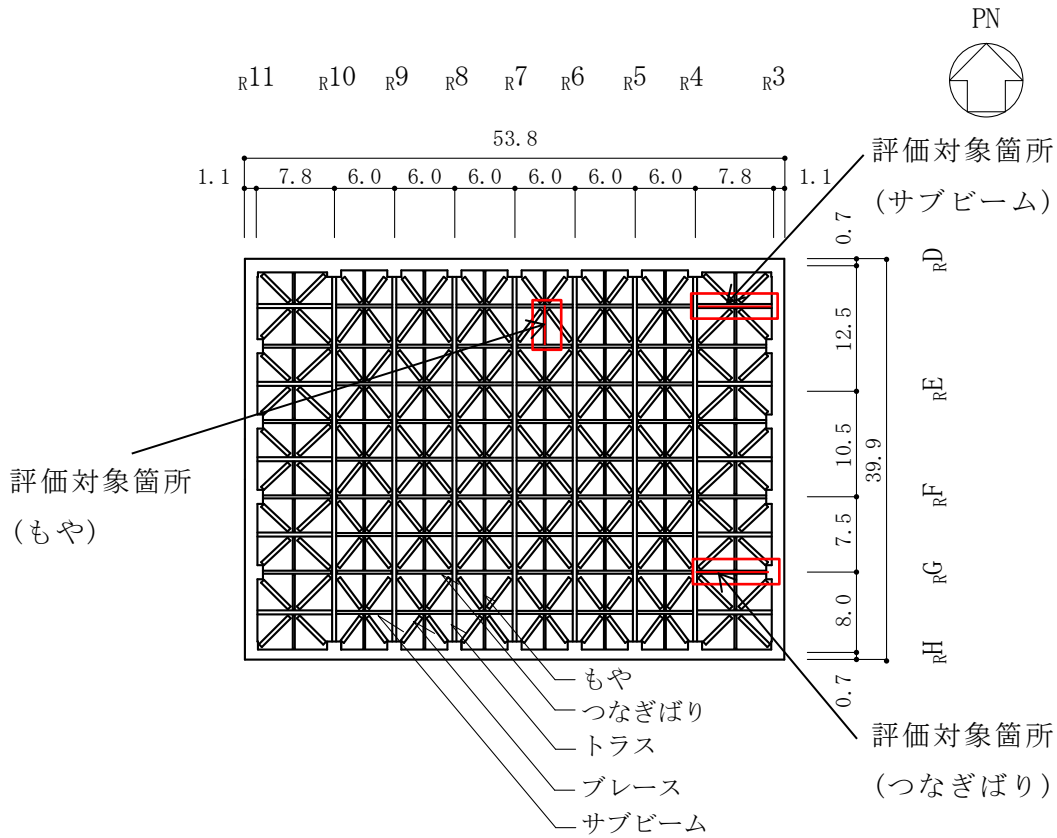


図 4-7 部材評価位置

4.3 二次部材の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-11 に示す。二次部材の評価対象箇所は、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-8 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に生じる軸力、曲げモーメント及びせん断による応力度が許容限界を超えないことを確認した。



(単位 : m)

図 4-8 評価対象箇所 (二次部材, EL 63.5m)

表 4-11 二次部材の短期許容応力度に基づく評価結果(EL 63.5m)

評価対象部位		発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
もや		曲げ	122.7	181	0.68
		せん断	49.9	135	0.37
つなぎばり	上弦材	圧縮	21.7	226	0.10
	下弦材	引張り	46.3	235	0.20
	斜材	圧縮	45.0	79	0.57
		引張り	53.3	235	0.23
サブビーム		曲げ	173.7	220	0.79
		せん断	30.9	135	0.23

4.4 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-12 に示す。なお、各方向において最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4-12 耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	高さ(EL) (m)	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
ケース 1	せん断 ひずみ	南北方向	51.7~42.8 (IW-3)	0.00190	2.0
		東西方向	51.7~42.8 (IW-B)	0.00159	2.0