

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密あるいは防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-460-1 改6
提出年月日	平成30年7月31日

工事計画に係る補足説明資料

補足-460-1 【火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
に係る補足説明資料】

平成30年7月

日本原子力発電株式会社

1. 添付資料に係る補足説明資料

火山への配慮が必要な施設の強度計算書に係る添付資料の記載内容を補足するための説明資料リストを以下に示す。

工認添付資料	補足説明資料
<p>V-3-別添 2-1-6 「建屋の強度計算書」</p>	<p>1. 原子炉建屋の強度計算に係る補足説明</p> <p>2. タービン建屋の強度計算に係る補足説明</p> <p>3. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度計算に係る補足説明</p> <p>4. 原子炉建屋原子炉棟の 3D-FEM モデルによる鉛直荷重の影響について</p> <p>5. 屋根スラブの一方向スラブによる評価について</p> <p>6. タービン建屋の荷重増分解析について</p> <p>7. 原子炉建屋原子炉棟の構造図及び解析モデル図</p> <p>8. タービン建屋の構造図及び解析モデル図</p> <p>9. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造図及び解析モデル図</p> <p>10. 海水ストレーナ評価対象部位について</p>
<p>V-3-別添 2-1-2 「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 2-1-4 「ディーゼル発電機用海水系ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 2-1-1 「残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 2-1-2 「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 2-1-3 「ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 2-1-4 「ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 2-1-5 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 2-1-6 「ディーゼル発電機室ルーフトォアの強度計算書」</p>	<p>11. 構造強度評価における評価対象部位の選定について</p>

： 今回ご説明分

補足説明資料目次

1.	原子炉建屋の強度計算に係る補足説明資料	1
2.	タービン建屋の強度計算に係る補足説明資料	35
3.	使用済燃料乾式貯蔵建屋の強度計算に係る補足説明資料	60
4.	原子炉建屋原子炉棟の 3D-FEM モデルによる鉛直荷重の影響について	87
5.	屋根スラブの一方向スラブによる評価について	100
6.	タービン建屋の荷重増分解析について	103
7.	原子炉建屋原子炉棟の構造図及び解析モデル図	109
8.	タービン建屋の構造図及び解析モデル図	113
9.	使用済燃料乾式貯蔵建屋の構造図及び解析モデル図	117
10.	海水ストレーナ評価対象部位について	122
11.	構造強度評価における評価対象部位の選定について	126

1. 原子炉建屋への強度計算に係る補足説明

1.1 概要

本資料は、原子炉建屋の降下火砕物による堆積荷重による構造健全性に用いる 3D-FEM モデルの詳細、評価部位の代表性を示すものである。

1.2 3D-FEM モデルの詳細説明

(1) モデル化の範囲

3D-FEM モデルのモデル化範囲を図 1.2-1 に示す。原子炉建屋原子炉棟の EL. 46.5m には厚さ 0.5m~1.2m の床スラブと、主トラスを支える柱の脚部には梁せい 2.2m の大梁が設置され、柱脚部の水平変形及び曲げ変形を拘束していることから、EL. 46.5m より上部構造をモデル化する。

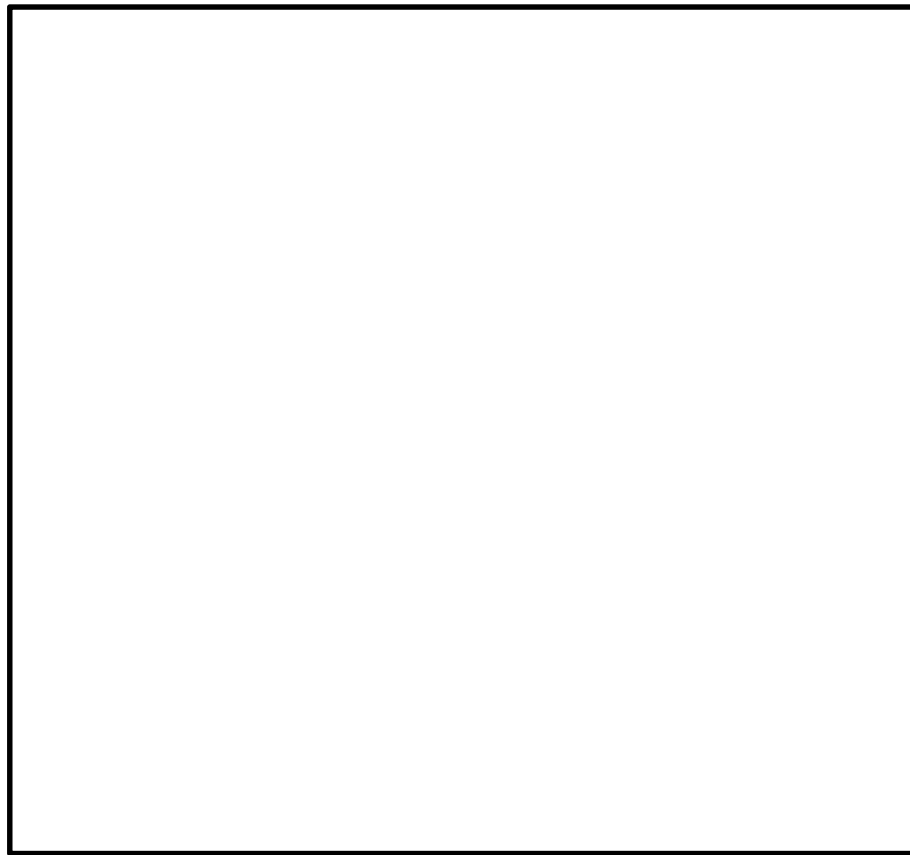


図 1.2-1 原子炉建屋原子炉棟のモデル化範囲

(2) 使用要素

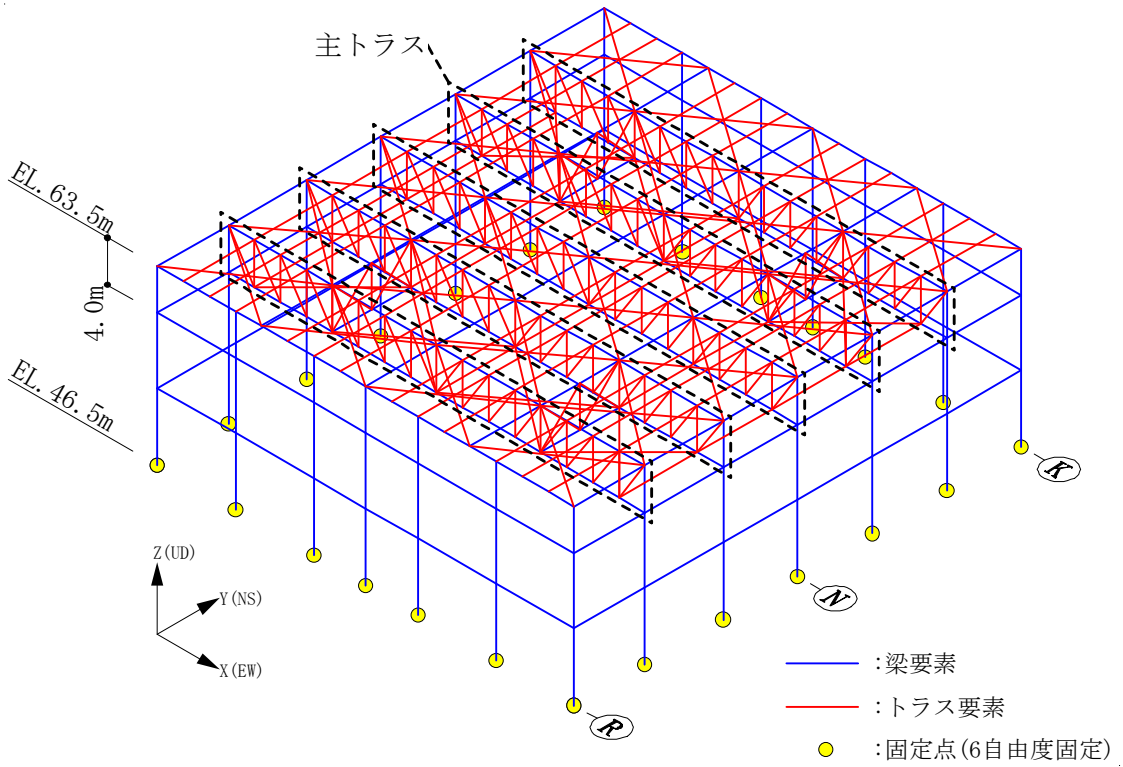
本解析で用いる使用要素を表 1.2-1 に示す。なお、3D-FEM モデルは主トラス架構に生じる曲げモーメントにより主トラス上弦材が負担する軸力を適切に評価するため、屋根スラブをシェル要素でモデル化するとともに、主トラス端部の柱による曲げ拘束を適切に評価するため耐震壁もシェル要素でモデル化する。鉄骨部及び鉄筋コンクリート部の柱・梁をモデル化した梁要素及びトラス要素の解析モデル概要と、屋根スラブ及び耐震壁をモデル化したシェル要素を加えた全要素の解析モデル概要を図 1.2-2 に示す。

鉄骨部では、主トラス弦材及び上弦面つなぎ梁は梁要素を、主トラス斜材、束材、母屋及び上弦面水平ブレースはトラス要素を用いる。

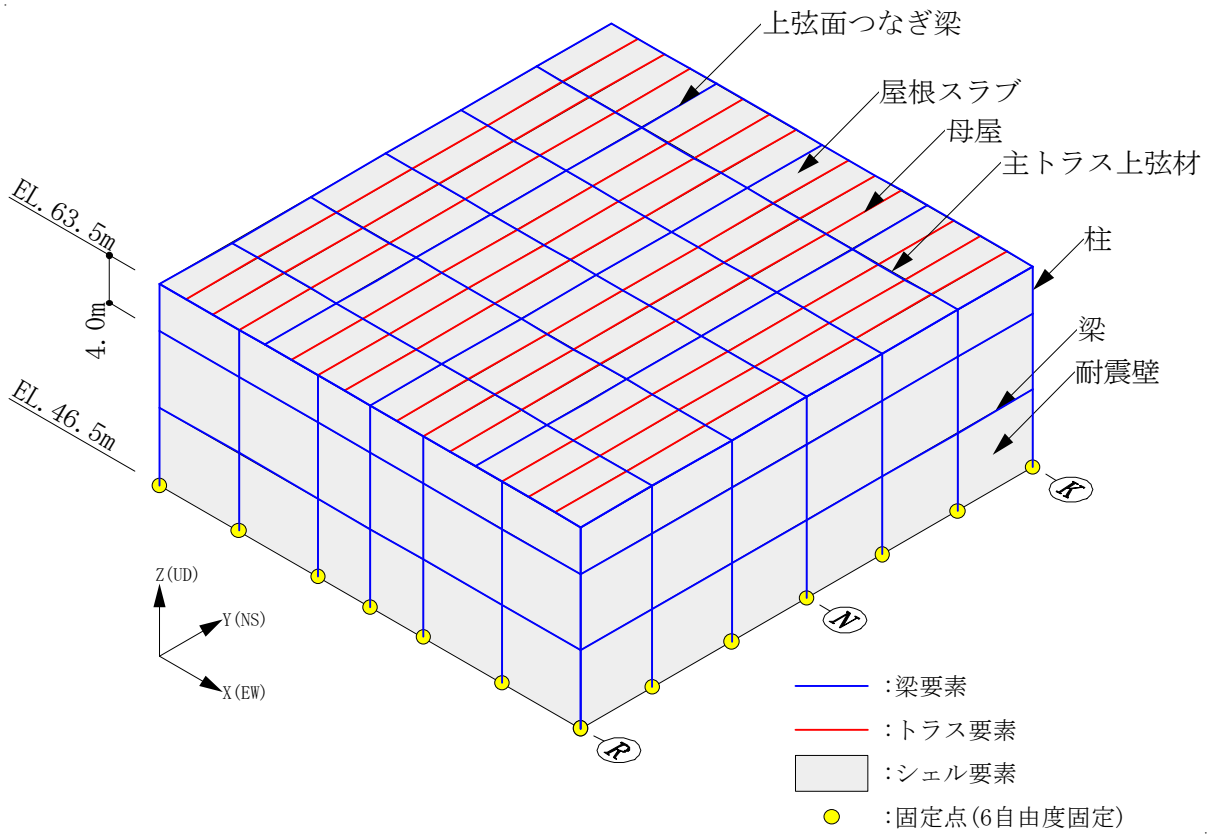
鉄筋コンクリート部では、耐震壁及び屋根トラスはシェル要素を、柱及び梁については梁要素を用いる。

表 1.2-1 使用要素（原子炉建屋原子炉棟）

鉄骨部	主トラス弦材	梁要素
	上弦面つなぎ梁	
	主トラス斜材・束材	トラス要素
	母屋	
	下弦面つなぎ梁	
	水平ブレース	
鉄筋コンクリート部	耐震壁	シェル要素
	屋根スラブ	
	柱・梁	梁要素



(a) 梁要素・トラス要素



(b) 全要素

図 1.2-2 解析モデルの概要 (原子炉建屋原子炉棟)

(3) 境界条件及び拘束条件

主トラス各部材のモデル化寸法と接続条件を図 1.2-3 に、検討部材の断面形状を表 1.2-2 に示す。

本解析モデルは、EL. 46.5m より上部の構造をモデル化し、解析モデル下端の全節点を固定端としてモデル化する。

各部材の接続条件は、鉄骨フランジ部の接続の有無に応じて剛接合もしくはピン接合としてモデル化することとし、主トラス上弦材と柱は剛接合、主トラス下弦材と柱はピン接合とする。また、主トラスの斜材・束材と上下弦材はピン接合とする。

シェル要素と梁要素及びトラス要素の同一座標における節点は、同一節点を用いてモデル化し、鉄骨材とスラブは完全に固着しているものとして解析を実施している。

また、主トラス上弦材、下弦材、斜材、束材は部材芯位置でモデル化することを基本とする。なお、主トラス端部の柱は、主トラス上弦材と端部斜材の交点にモデル化する。

なお、3D-FEM モデルの各部材の寸法は施工図を基に設定している。施工図と解析モデル図（梁要素及びトラス要素）を添付-1 に示す。

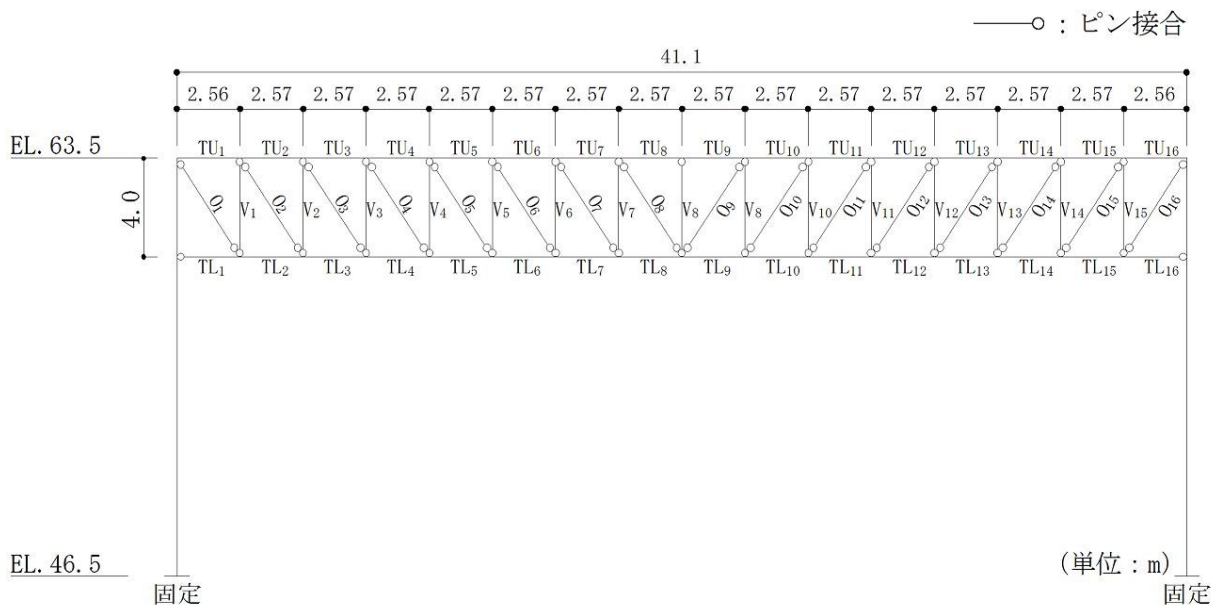


図 1.2-3 解析モデルにおける部材の接続条件（原子炉建屋原子炉棟，N 通り*）

注記 *：全通りの断面が同じため代表として N 通りを示す。

表 1.2-2 検討部材の形状・寸法（原子炉建屋原子炉棟）

部位	部材番号	形状寸法	断面積 A (cm ²)	断面 2 次 モーメント I (cm ⁴)	材質
上弦材	TU ₁ ~TU ₁₆	H-400×400×13×21	218.7	66600	SS400 (SS41)
下弦材	TL ₁ ~T ₁₆	H-400×400×13×21	218.7	66600	
斜材	O ₁ , O ₂ , O ₁₅ , O ₁₆	2Ls-200×200×15	115.5	—	
	O ₃ , O ₄ , O ₁₃ , O ₁₄	2Ls-150×150×15	85.48	—	
	O ₅ ~O ₁₂	2Ls-150×100×12	57.12	—	
束材	V ₁ , V ₂ , V ₁₄ , V ₁₅	2Ls-200×200×15	115.5	—	
	V ₃ , V ₄ , V ₁₂ , V ₁₃	2Ls-150×150×15	85.48	—	
	V ₅ ~V ₁₁	2Ls-150×100×12	57.12	—	

(4) 荷重の入力方法

屋根に作用する鉛直荷重を表 1.2-3 に、荷重の入力方法の概要を図 1.2-4 に示す。屋根に作用する鉛直荷重は、応力解析において屋根面全体に等分布の面荷重として作用させる。その他の固定荷重（外周梁、外壁）は、外周梁に等分布の線荷重として作用させる。なお、その他の固定荷重は質点系地震応答解析モデルの質点重量から、表 1.2-3 に示す固定荷重と積載荷重を除いた重量を外周梁の長さに応じて分配した。

表 1.2-3 屋根に作用させる鉛直荷重（原子炉建屋原子炉棟）

固定荷重	屋根スラブ	343 kgf/m ²
	トラス鋼材	204 kgf/m ²
	合計	547 kgf/m ² ⇒ 5370 N/m ²
積載荷重（除灰時）	1000 N/m ²	
積雪荷重	210 N/m ²	
降下火砕物堆積による鉛直荷重	7355 N/m ²	

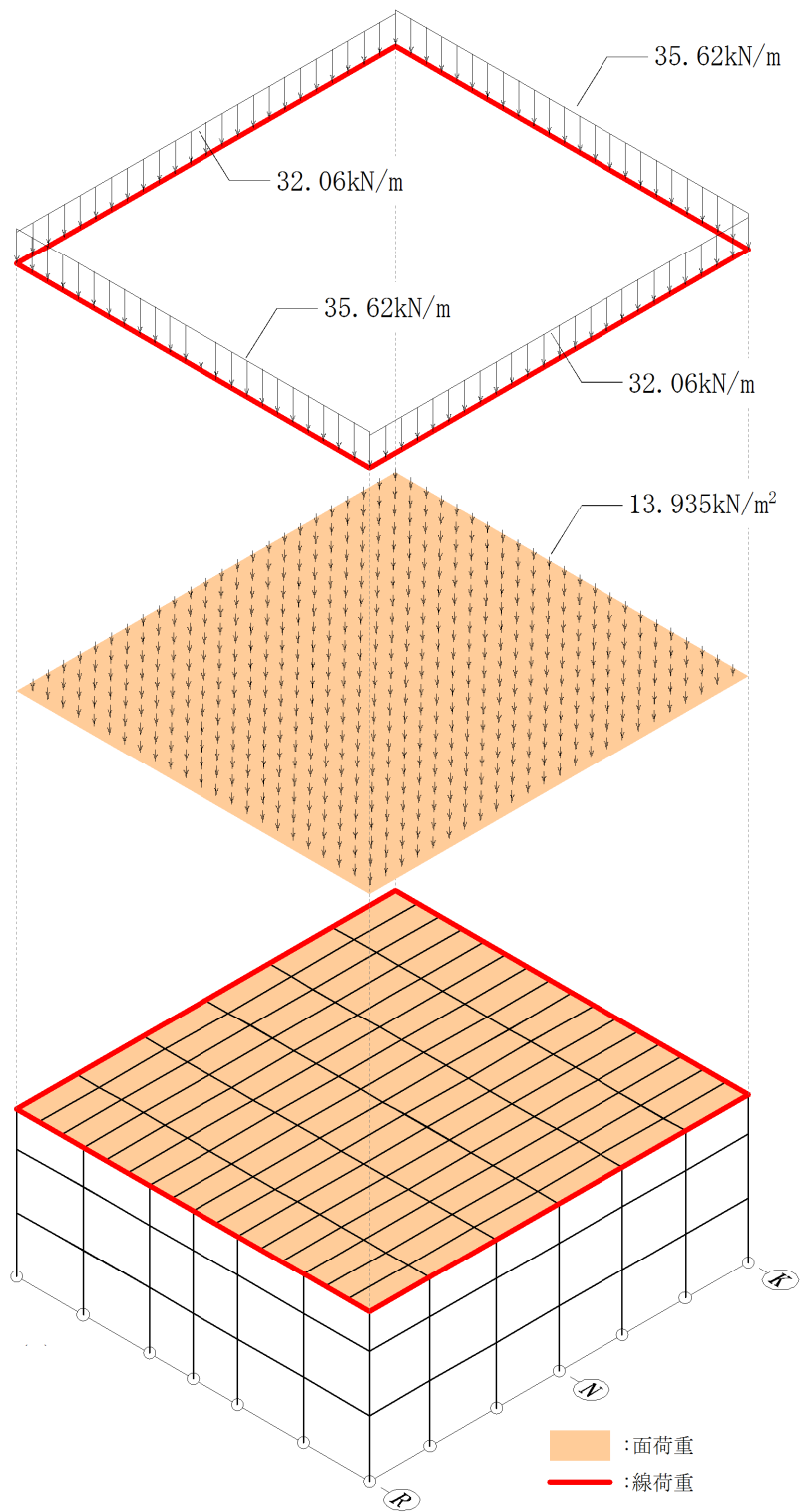


図 1.2-4 荷重の入力方法の概要 (原子炉建屋原子炉棟)

1.3 評価部位の網羅性及び代表性について

1.3.1 原子炉建屋付属棟

(1) 屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブは母屋で支持された単位幅の1方向スラブを取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として評価を行う。屋根スラブは単一断面であり、屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため、支持スパンの長い屋根スラブが最も厳しい条件であると判断できる。

図 1.3-1 に評価対象として抽出した最も支持スパンの大きい屋根スラブ位置を示す。

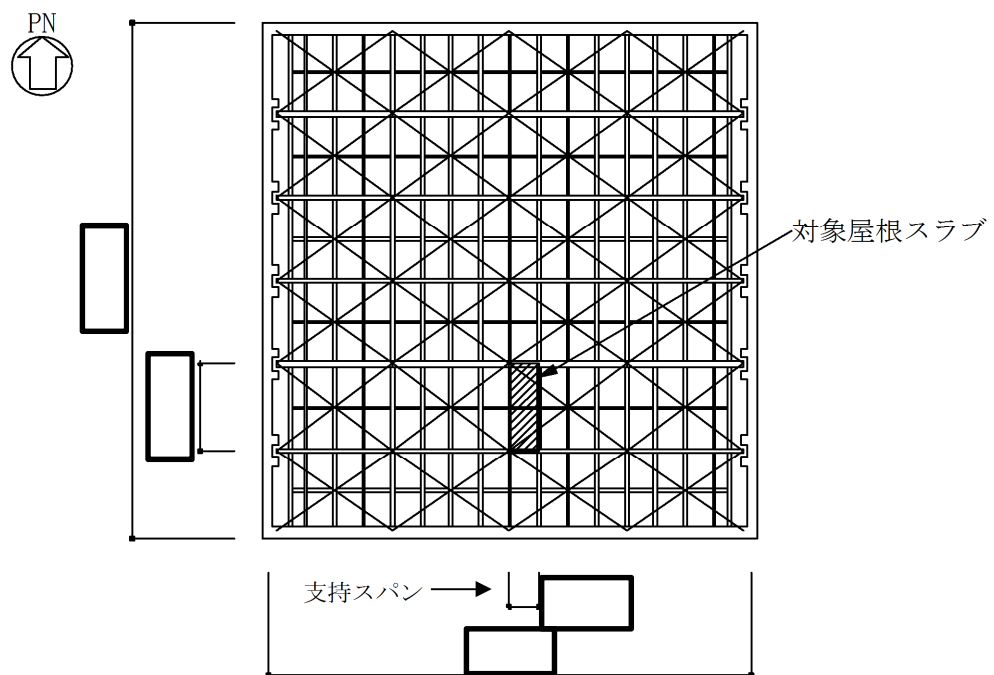


図 1.3-1 屋根スラブ評価部材の位置

(2) 主トラス

V-3-別添 2-1.2-6「建屋の強度計算書」には、降下火砕物に対する健全性評価の結果として、検定値が最大となる部材の評価結果のみを示した。

ここでは、全ての部材の評価結果を網羅的に示し、強度計算書に示した結果の代表性を確認する。

強度計算書に記載した原子炉建屋原子炉棟主トラスの評価結果を表 1.3-1 に示す。また、図 1.3-2～図 1.3-6 に通りごとに全ての主トラス部材の検定値を示す。図には、各部位の最大検定値を赤枠で囲い示した。上弦材 N,P 通り、下弦材及び斜材・束材は P 通りにおいて検定値が最大となる部材があり、それらの値は表 1.3-1 の値に整合している。

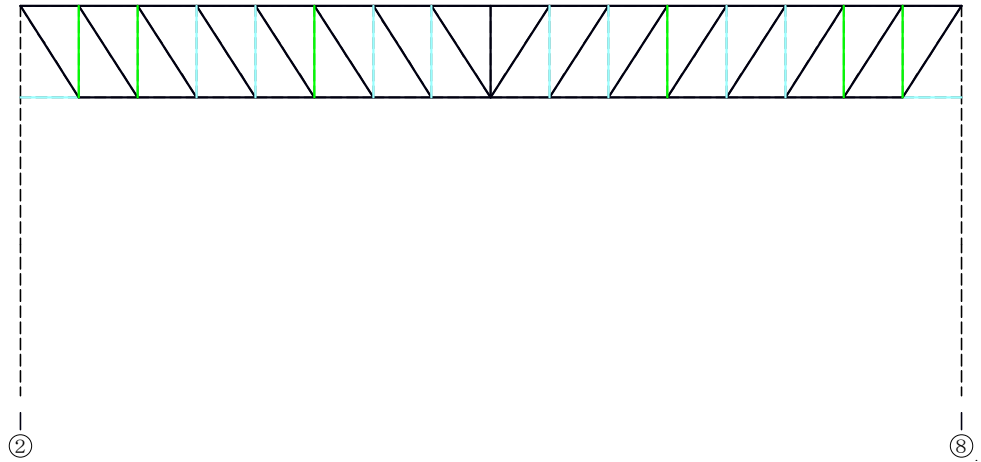
なお、許容値の算出方法については、「1.4 主トラスの許容値の算出について」に示す。

表 1.3-1 原子炉建屋原子炉棟 主トラスの評価結果

部位		発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値* (N/mm ²)	検定値
EL. 64.08 m	上弦材	圧縮	35.4	256	0.26
		曲げ	29.5	254	
	下弦材	引張	164.1	258	0.76
		曲げ	30.4	258	
	斜材	引張	204.9	258	0.80
	束材	圧縮	150.3	172	0.88

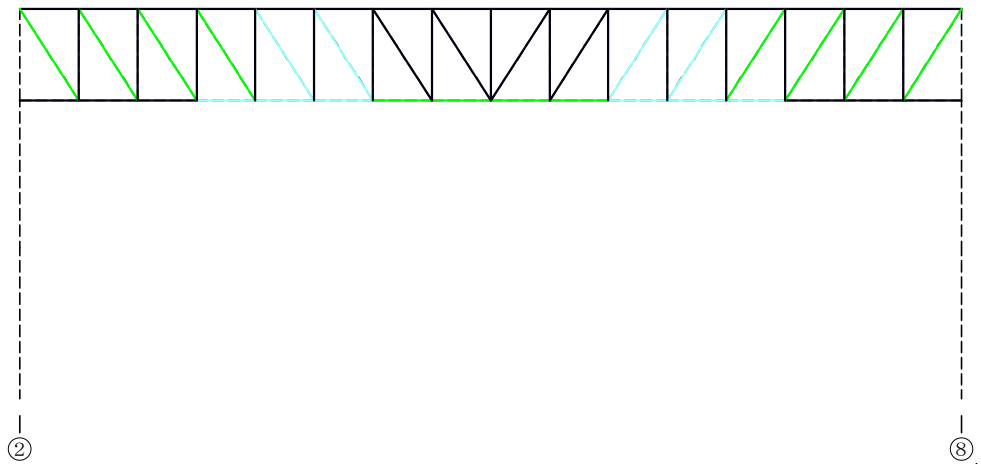
注記 * : 「鋼構造設計規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

- 検定値 < 0.2
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.4
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.6
- 0.6 ≤ 検定値 < 0.8
- 0.8 ≤ 検定値 < 1.0
- 1.0 ≤ 検定値



上弦材	0.16	0.13	0.08	0.11	0.12	0.12	0.15	0.12	0.12	0.15	0.12	0.12	0.11	0.08	0.13	0.16
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.43	0.52	0.30	0.39	0.43	0.34	0.20	0.08	0.20	0.34	0.43	0.39	0.30	0.51	0.43
下弦材	0.26	0.14	0.05	0.06	0.05	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.06	0.06	0.05	0.14	0.26

(a) 圧縮 (曲げ圧縮)



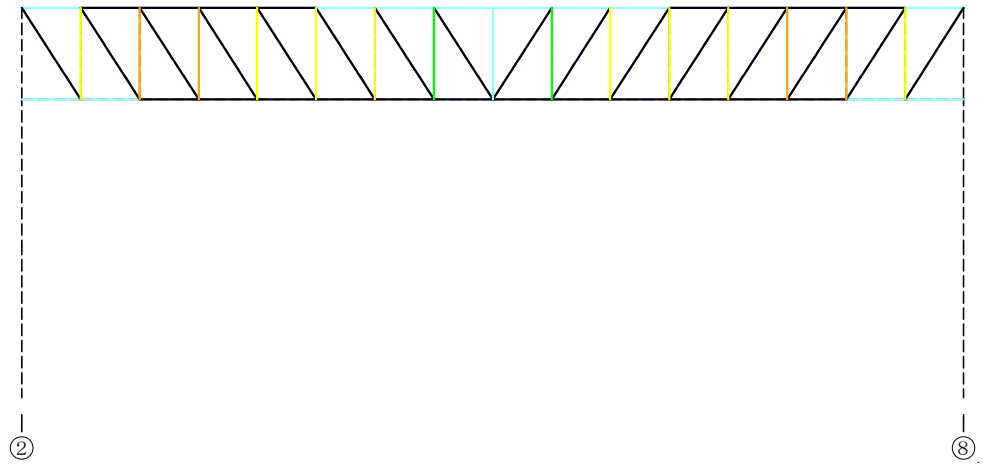
上弦材	0.16	0.10	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.04	0.04	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.10	0.16
斜材	0.43	0.48	0.48	0.48	0.34	0.27	0.15	0.04	0.04	0.15	0.27	0.34	0.48	0.48	0.48	0.42
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.07	0.07	0.14	0.24	0.32	0.38	0.42	0.44	0.44	0.42	0.38	0.32	0.24	0.14	0.07	0.07

(b) 引張 (曲げ引張)

: 最大検定比部材

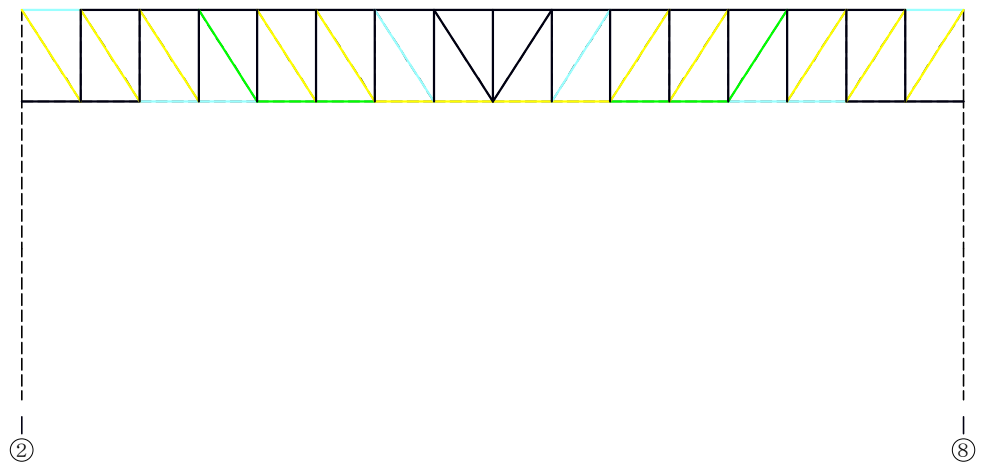
図 1.3-2 主トラスの検定比 (L 通り)

- 検定値 < 0.2
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.4
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.6
- 0.6 ≤ 検定値 < 0.8
- 0.8 ≤ 検定値 < 1.0
- 1.0 ≤ 検定値



上弦材	0.23	0.16	0.09	0.16	0.14	0.22	0.25	0.22	0.22	0.25	0.22	0.14	0.16	0.09	0.16	0.23
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.66	0.84	0.86	0.72	0.73	0.79	0.45	0.20	0.45	0.79	0.73	0.72	0.86	0.84	0.66
下弦材	0.31	0.20	0.07	0.06	0.06	0.11	0.16	0.18	0.18	0.16	0.11	0.06	0.06	0.07	0.20	0.31

(a) 圧縮 (曲げ圧縮)



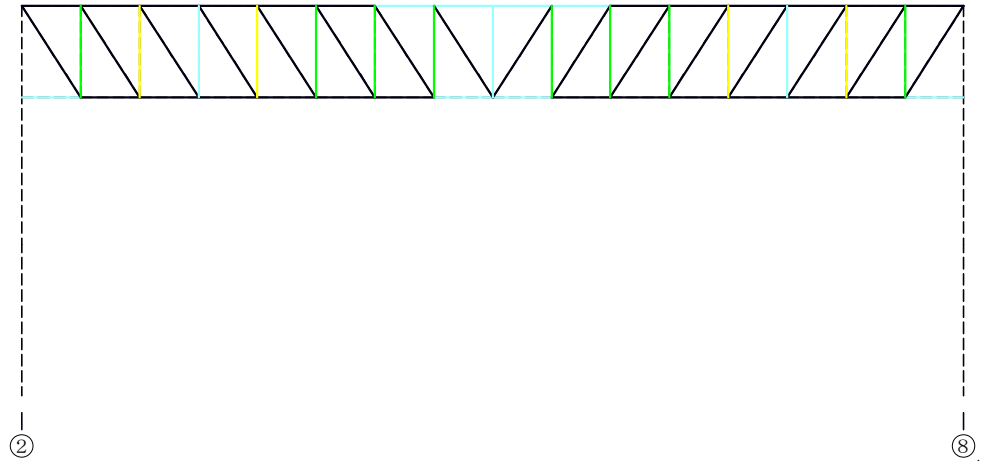
上弦材	0.23	0.11	0.02	0.07	0.04	0.10	0.13	0.09	0.09	0.13	0.10	0.04	0.07	0.02	0.12	0.23
斜材	0.66	0.78	0.66	0.58	0.69	0.63	0.35	0.09	0.09	0.35	0.63	0.69	0.58	0.66	0.78	0.66
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.12	0.12	0.23	0.37	0.41	0.57	0.70	0.75	0.75	0.70	0.57	0.41	0.37	0.23	0.12	0.12

(b) 引張 (曲げ引張)

: 最大検定比部材

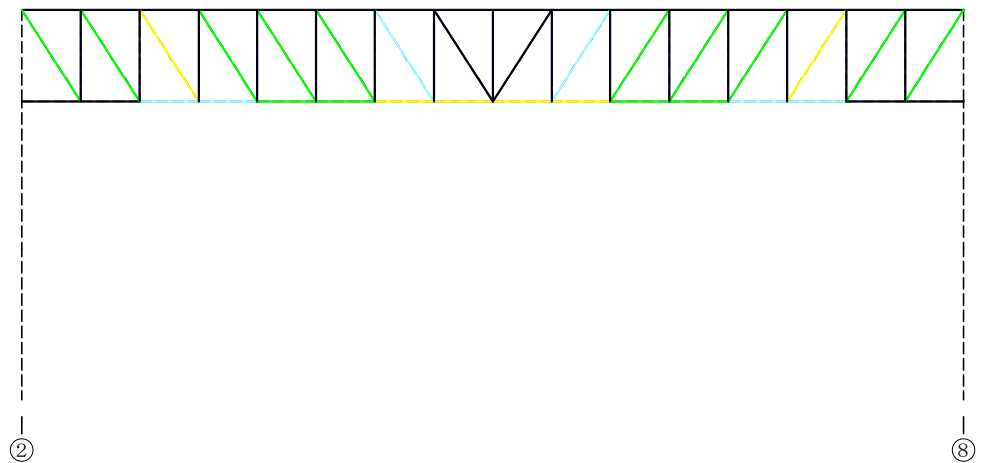
図 1.3-3 主トラスの検定比 (M 通り)

- 検定値 < 0.2
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.4
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.6
- 0.6 ≤ 検定値 < 0.8
- 0.8 ≤ 検定値 < 1.0
- 1.0 ≤ 検定値



上弦材	0.16	0.14	0.12	0.16	0.16	0.17	0.21	0.26	0.26	0.21	0.17	0.16	0.16	0.12	0.14	0.16
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.53	0.61	0.39	0.61	0.45	0.53	0.46	0.30	0.46	0.53	0.45	0.61	0.38	0.61	0.53
下弦材	0.25	0.10	0.07	0.07	0.10	0.11	0.11	0.20	0.20	0.11	0.11	0.10	0.07	0.07	0.10	0.24

(a) 圧縮 (曲げ圧縮)



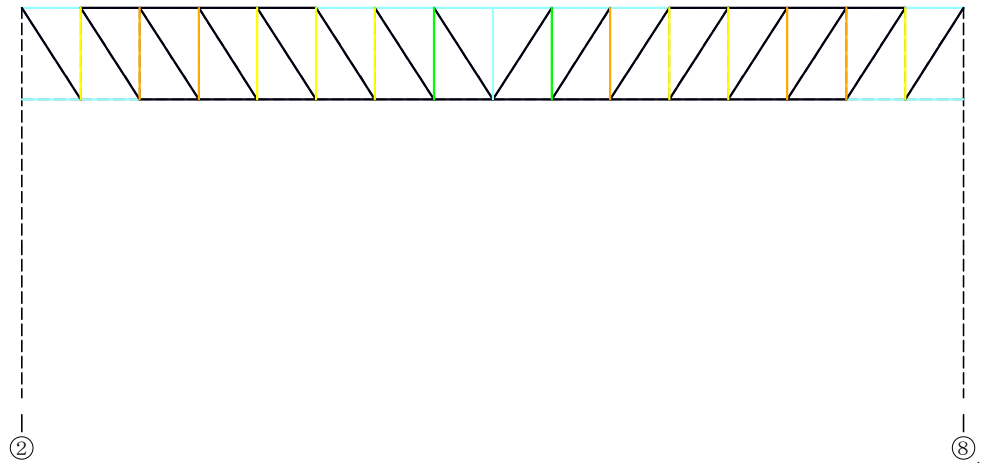
上弦材	0.15	0.10	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.12	0.12	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.10	0.15
斜材	0.52	0.58	0.61	0.59	0.56	0.45	0.37	0.13	0.13	0.36	0.45	0.56	0.59	0.61	0.58	0.52
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.08	0.08	0.22	0.35	0.50	0.58	0.63	0.75	0.75	0.63	0.58	0.50	0.35	0.22	0.08	0.08

(b) 引張 (曲げ引張)

0.26 : 最大検定比部材

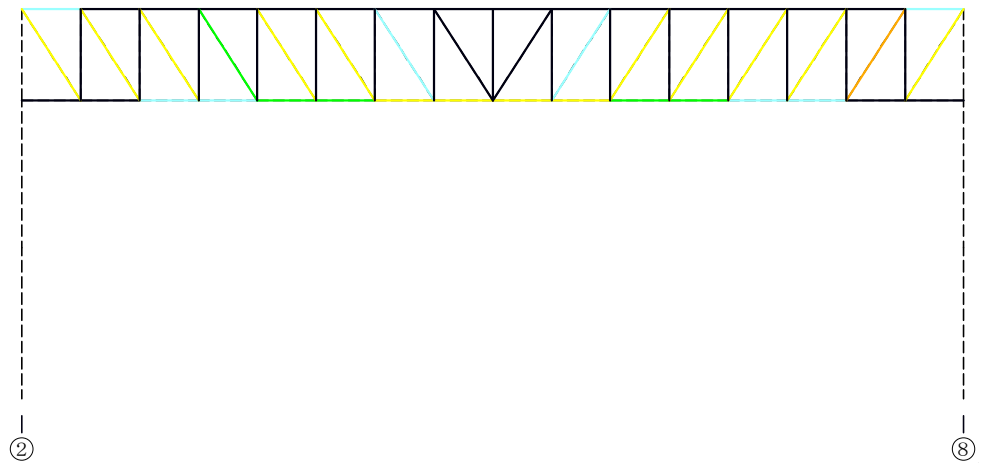
図 1.3-4 主トラスの検定比 (N 通り)

- 検定値 < 0.2
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.4
- 0.4 ≤ 検定値 < 0.6
- 0.6 ≤ 検定値 < 0.8
- 0.8 ≤ 検定値 < 1.0
- 1.0 ≤ 検定値



上弦材	0.23	0.16	0.09	0.16	0.14	0.22	0.26	0.22	0.22	0.26	0.22	0.14	0.16	0.09	0.16	0.24
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.67	0.85	0.87	0.72	0.74	0.79	0.45	0.20	0.46	0.80	0.74	0.73	0.88	0.86	0.67
下弦材	0.32	0.20	0.07	0.06	0.06	0.11	0.16	0.18	0.18	0.16	0.11	0.06	0.06	0.07	0.22	0.33

(a) 圧縮 (曲げ圧縮)



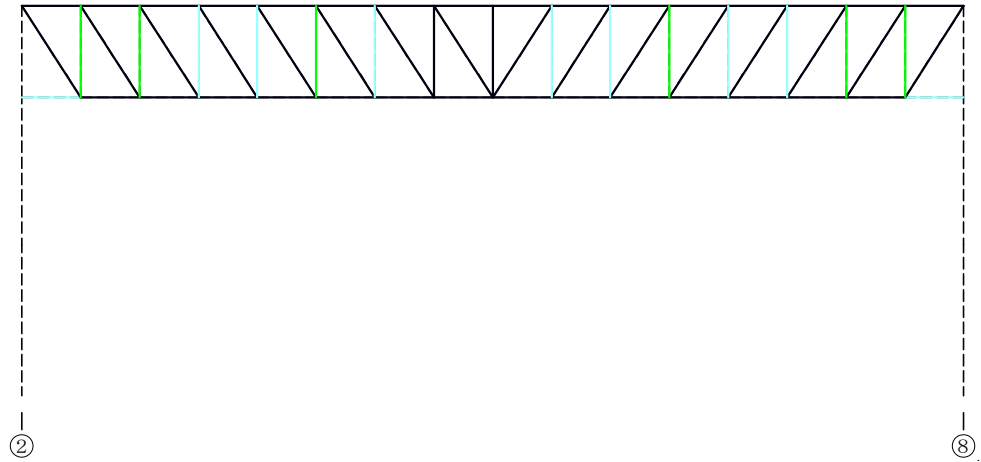
上弦材	0.24	0.12	0.02	0.08	0.04	0.10	0.13	0.09	0.09	0.13	0.10	0.04	0.08	0.02	0.12	0.24
斜材	0.66	0.79	0.67	0.59	0.69	0.63	0.35	0.09	0.10	0.36	0.63	0.69	0.60	0.68	0.80	0.67
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.12	0.12	0.23	0.37	0.42	0.58	0.71	0.76	0.76	0.71	0.58	0.42	0.37	0.23	0.12	0.12

(b) 引張 (曲げ引張)

 : 最大検定比部材

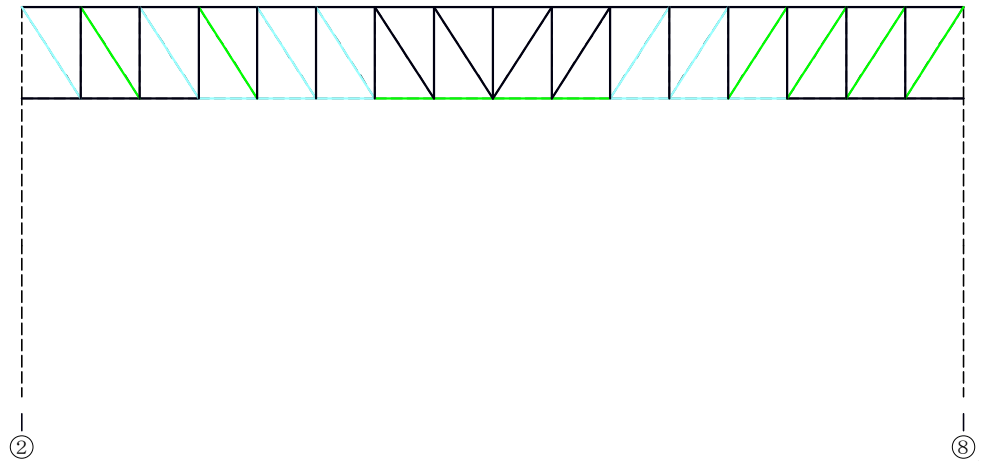
図 1.3-5 主トラスの検定比 (P 通り)

- 検定値 < 0.2
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.4
- 0.2 ≤ 検定値 < 0.6
- 0.6 ≤ 検定値 < 0.8
- 0.8 ≤ 検定値 < 1.0
- 1.0 ≤ 検定値



上弦材	0.14	0.11	0.07	0.10	0.12	0.12	0.14	0.12	0.12	0.14	0.12	0.12	0.11	0.08	0.12	0.15
斜材	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
束材		0.45	0.50	0.39	0.38	0.43	0.33	0.19	0.08	0.20	0.34	0.43	0.39	0.29	0.51	0.43
下弦材	0.28	0.15	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05	0.15	0.27

(a) 圧縮 (曲げ圧縮)



上弦材	0.14	0.09	0.03	0.03	0.06	0.04	0.07	0.04	0.04	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.10	0.15
斜材	0.36	0.45	0.38	0.45	0.35	0.26	0.15	0.04	0.05	0.16	0.27	0.34	0.47	0.47	0.48	0.42
束材		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
下弦材	0.08	0.08	0.12	0.24	0.32	0.37	0.41	0.43	0.43	0.41	0.37	0.30	0.23	0.13	0.07	0.07

(b) 引張 (曲げ引張)

: 最大検定比部材

図 1.3-6 主トラスの検定比 (Q 通り)

(3) 母屋

原子炉建屋原子炉棟の母屋は主トラスで支持された等分布荷重を受ける両端ピン支持の単純梁として評価を行う。屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため、母屋の断面が同一である場合には、支持スパンが長く、屋根面の支配面積の大きな母屋が最も厳しい条件であると判断できる。

最も支持スパンが長く、支配面積の大きな母屋の位置を図 1.3-7 に示す。

なお、原子炉棟の母屋には表 1.3-2 に示すとおり、断面の異なる 2 種類の鉄骨部材を使用しているが、図 1.3-7 に示す母屋は断面の小さい鉄骨部材 (H-390×300×10×16) であるため、この母屋を評価対象としている。

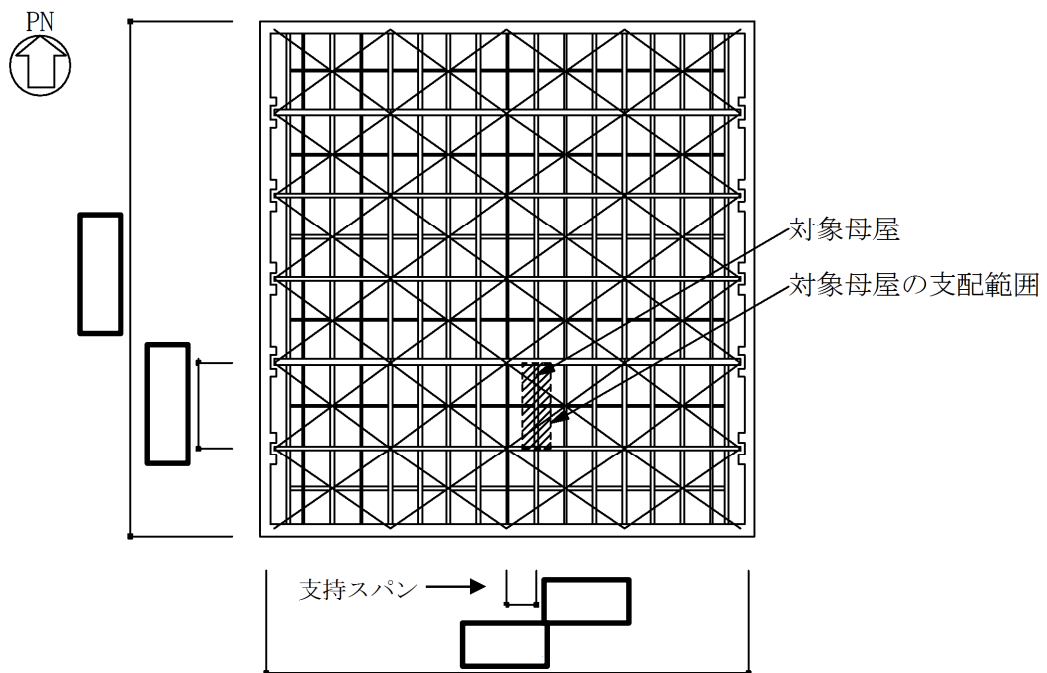


図 1.3-7 母屋の評価部材の位置

表 1.3-2 原子炉建屋原子炉棟 母屋使用部材断面

部材断面	断面積 (mm ²)
H-390×300×10×16	136.0
H-582×300×12×17	174.5

1.3.2 原子炉建屋付属棟

(1) 屋根スラブ

原子炉建屋付属棟は、鉄骨架構上 (EL. 35.0 m, 30.3 m, 30.0 m 及び 22.0 m) と、鉄筋コンクリート躯体上 (EL. 39.8 m, 30.3 m, 22.0 m, 17.2 m, 12.24 m, 12.0 m 及び 9.0 m) に屋根スラブがあり、屋根面ごとに屋根スラブの評価を行う。付属棟の屋根面を図 1.3-8 に示す。

鉄骨架構上の屋根スラブについては、母屋で支持された単位幅の1方向スラブを取り出し、等分布荷重を受ける両端固定梁として評価を行う。屋根スラブは単一断面であり、屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから、支持スパンの長い屋根スラブが最も厳しい条件であると判断し、鉄骨架構上の屋根スラブのうち、最も支持スパンの長い **EL. 30.0 m** の屋根スラブの評価を行った。

図 1.3-9 に屋根面ごとに、支持スパンが最大となるスラブ位置を示す。

一方、鉄筋コンクリート躯体上の屋根スラブは、鉄筋コンクリートの大梁または壁で支持された四辺固定または三辺固定の長方形版として評価を行う。図 1.3-10 に評価対象のスラブ位置を示す。これらの屋根スラブは、場所によって部材断面と支持条件が異なるため、すべてについて評価を行った。

表 1.3-3 に原子炉建屋付属棟屋根スラブの評価結果を示す。EL. 30.3 m の鉄筋コンクリート躯体上の屋根スラブ (SE5-7) の検定値が最も大きいことがわかる。

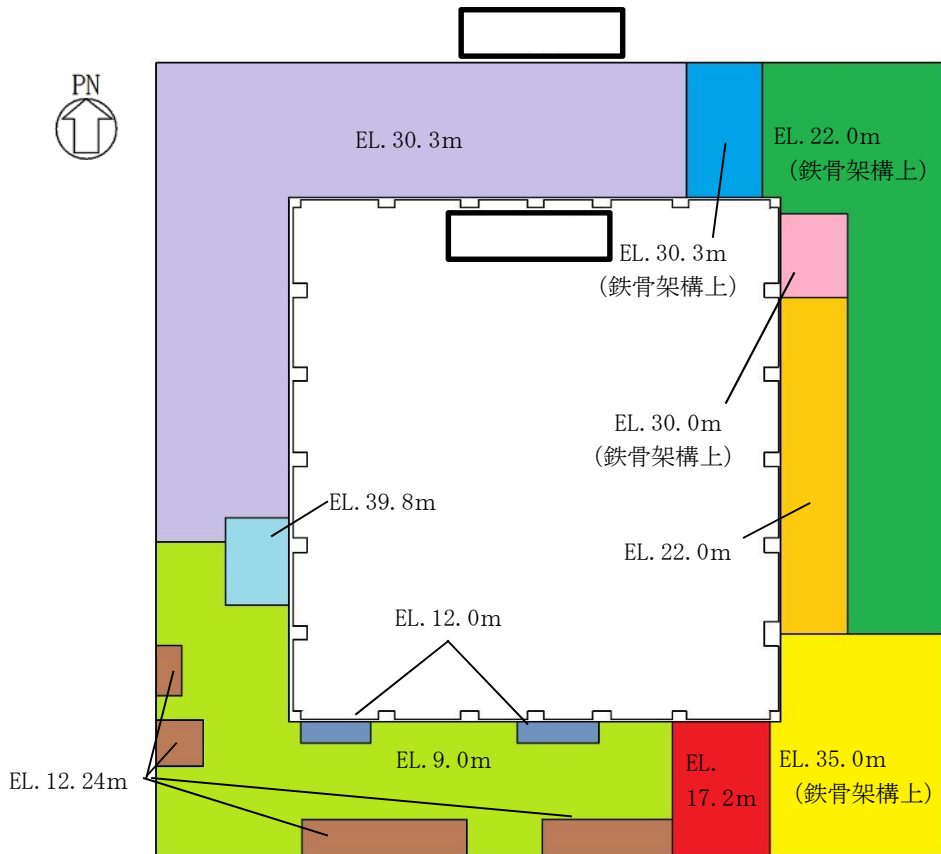


図 1.3-8 屋根面

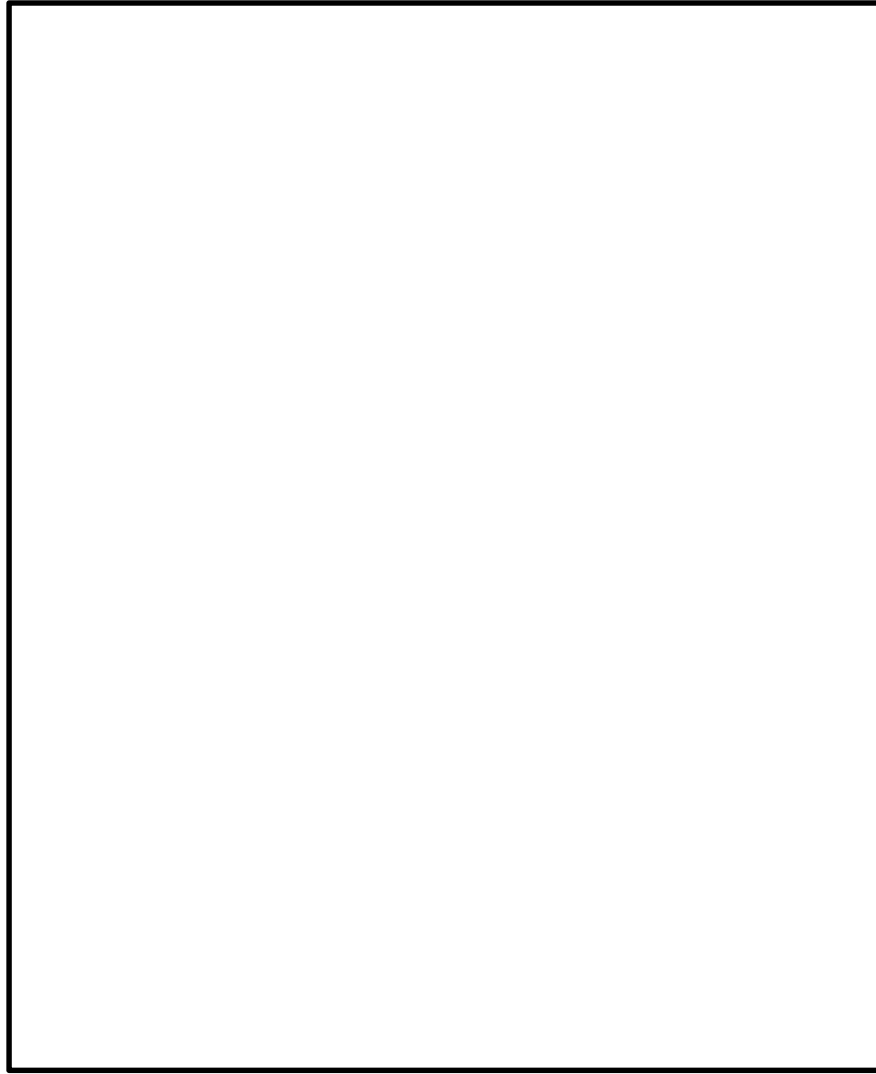


図 1.3-9 (1/2) 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ (鉄骨架構上) 評価部材の位置

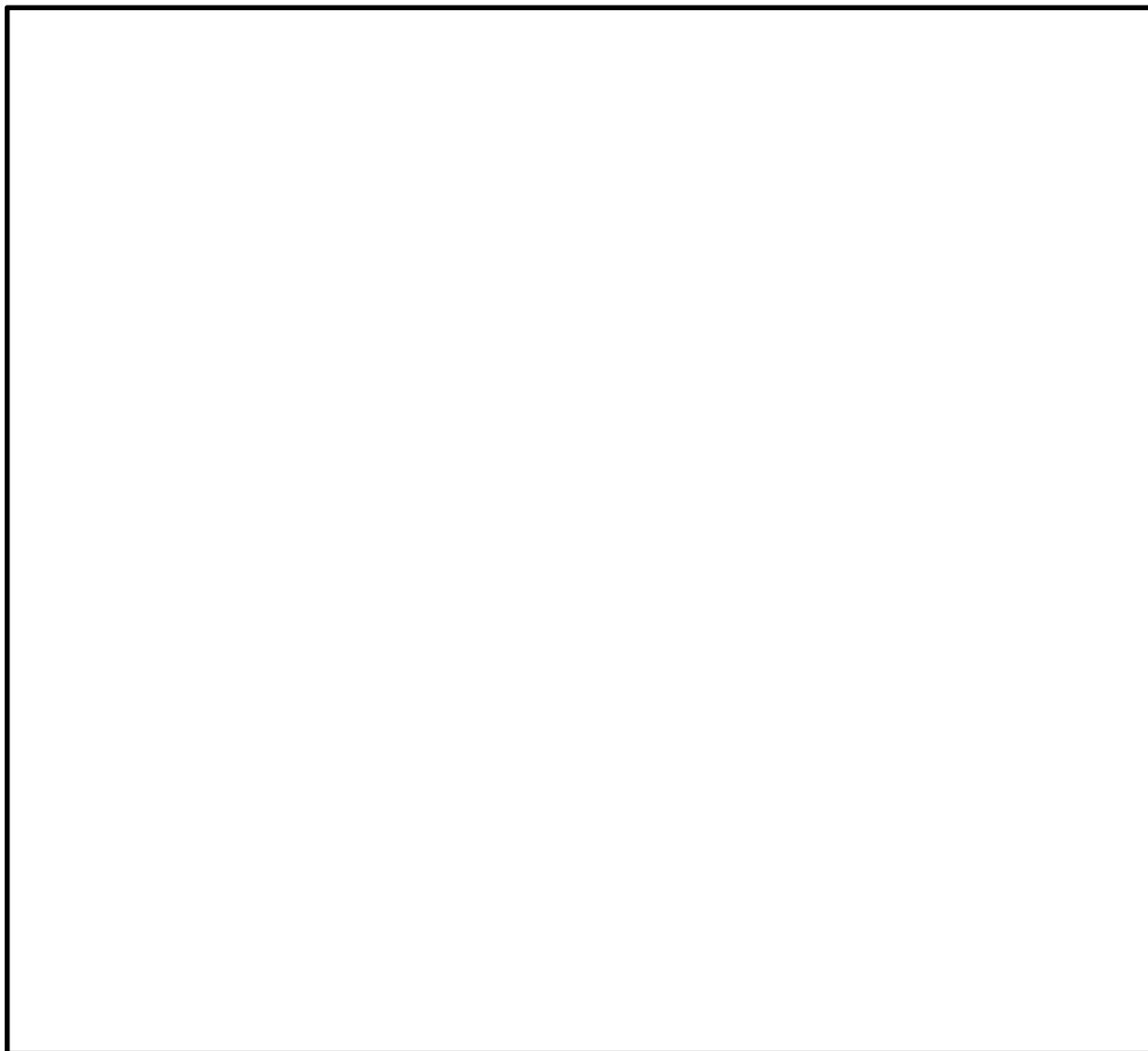


図 1.3-9 (2/2) 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ (鉄骨架構上) 評価部材の位置

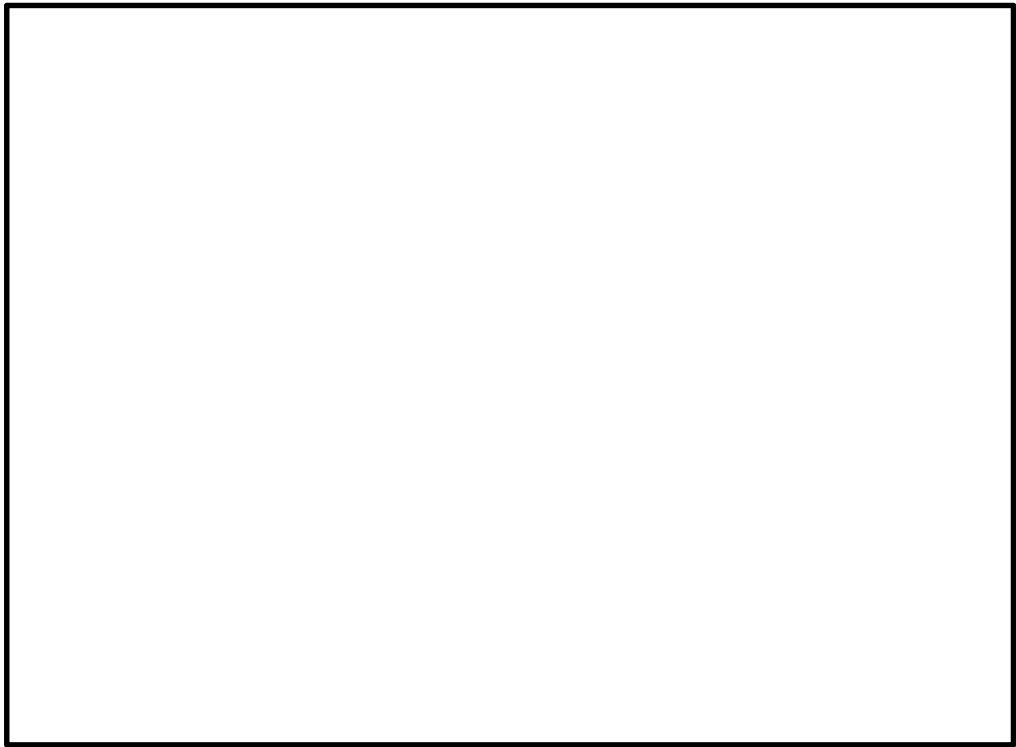
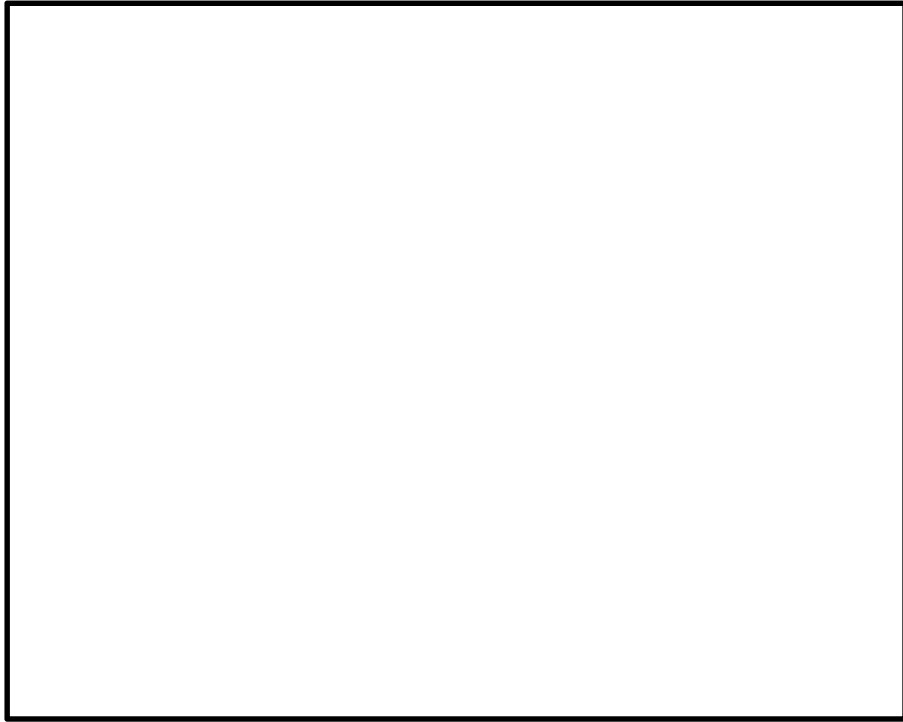


図 1.3-10 (1/4) 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ (鉄筋コンクリート躯体上) 評価部材の位置

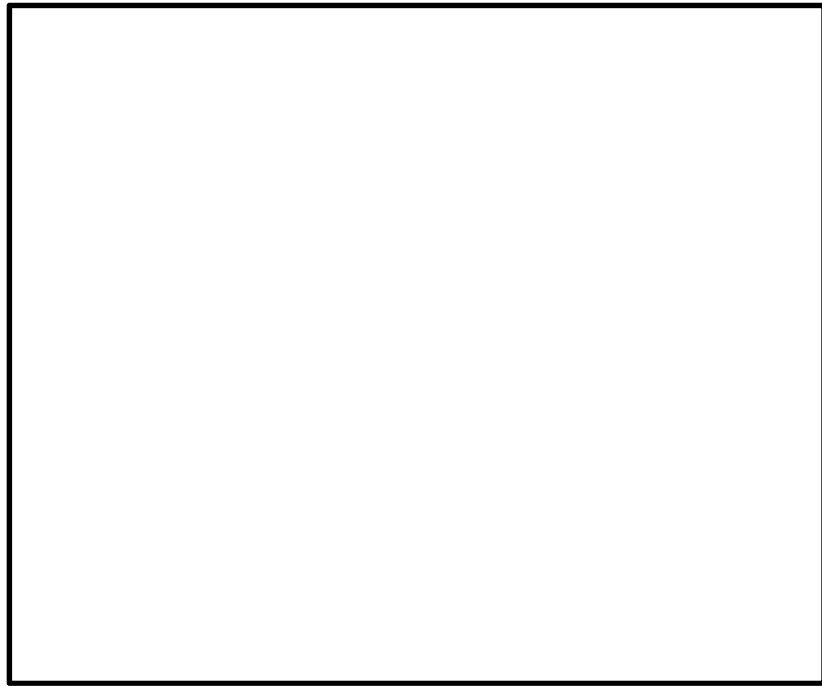


(a) EL. 29.00 m 平面図

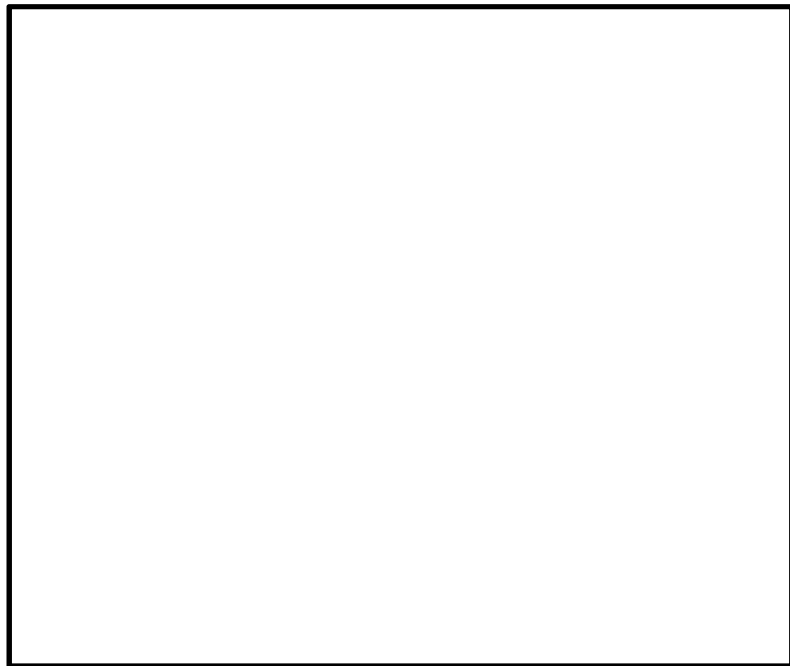


(b) EL. 23.00 m 平面図

図 1.3-10 (2/4) 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ (鉄筋コンクリート躯体上) 評価部材の位置

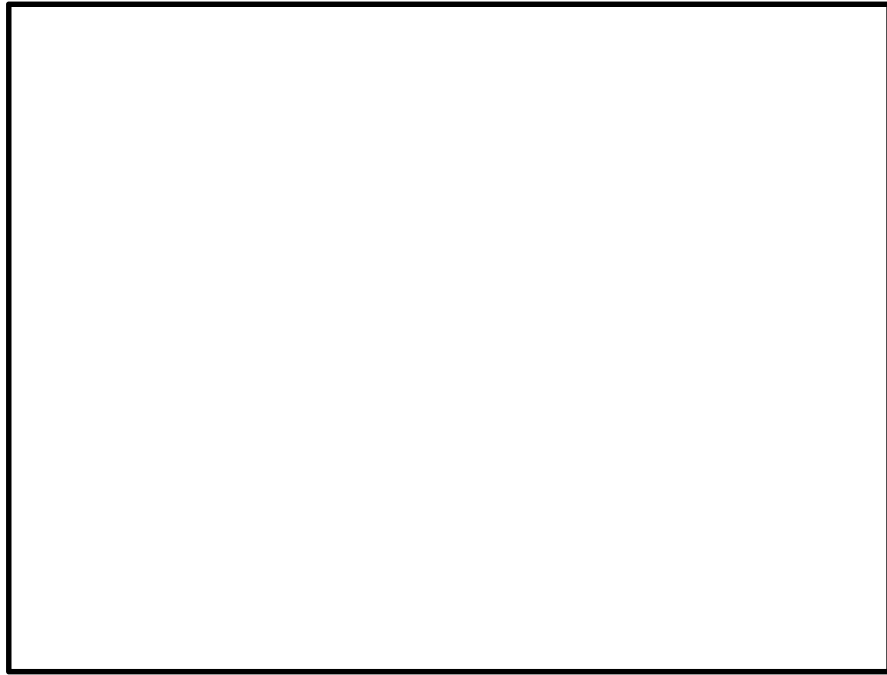


(a) EL. 20.30 m 平面図

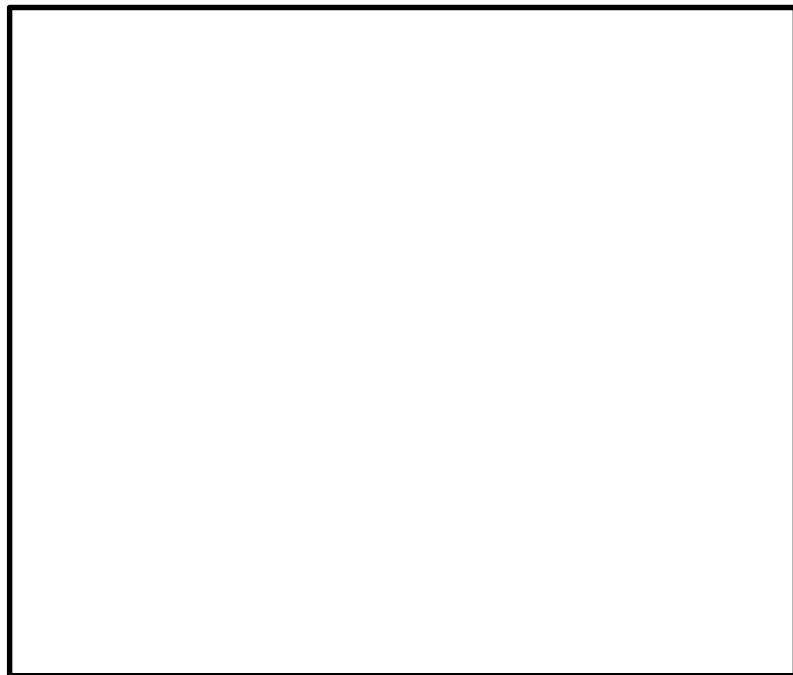


(b) EL. 14.00 m 平面図

図 1.3-10 (3/4) 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ (鉄筋コンクリート躯体上) 評価部材の位置



(a) EL. 8.2 m 平面図



(b) EL. 2.00 m 平面図

図 1.3-10 (4/4) 原子炉建屋付属棟 屋根スラブ（鉄筋コンクリート躯体上）評価部材の位置

表 1.3-3 原子炉建屋付属棟 屋根スラブの評価結果

(a) 鉄骨架構上のスラブ

高さ	記号	スラブ厚 (mm)	検定値*	
			曲げモーメント	せん断力
EL. 30.0 m	S1	150	0.39	0.28

注記 * : 「RC-N規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

(b) 鉄筋コンクリート躯体上のスラブ

高さ	記号	スラブ厚 (mm)	検定値*2			
			短辺		長辺	
			曲げ モーメント	せん断力	曲げ モーメント	せん断力
EL. 39.8 m	S30	300	0.49	0.36	0.35	0.33
EL. 30.3 m	SE5-1	400	0.46	0.25	0.23	0.22
	SE5-2	400	0.46	0.25	0.23	0.22
	SE5-3	400	0.79	0.40	0.40	0.36
	SE5-4	400	0.75	0.39	0.38	0.35
	SE5-5	400	0.75	0.39	0.38	0.35
	SE5-6	400	0.33	0.19	0.17	0.17
	SE5-7	400	0.84*1	0.42*1	0.42	0.38
	SE5-8	400	0.24	0.15	0.12	0.13
	SE6-1	1100	0.16	0.09	0.08	0.08
	SE6-2	1100	0.17	0.09	0.09	0.09
EL. 22.0 m	S8-1	800	0.16	0.10	0.08	0.10
	S8-2	800	0.16	0.10	0.08	0.10
	S8-3	800	0.18	0.10	0.09	0.10
	S9	800	0.09	0.10	0.05	0.10
EL. 17.2 m	Sa	2000	0.17	0.08	0.09	0.08
EL. 12.0 m	SM19	200	0.09	0.09	0.05	0.09
EL. 12.24 m	SM20	200	0.64	0.43	0.32	0.39

高さ	記号	スラブ厚 (mm)	検定値*2			
			短辺		長辺	
			曲げ モーメント	せん断力	曲げ モーメント	せん断力
EL. 9.0 m	SB6a-1	800	0.01	0.03	0.01	0.02
	SB6a-2	800	0.02	0.03	0.02	0.03
	SB6a-3	800	0.01	0.03	0.02	0.03
	SB12a-1	1400	0.08	0.10	0.04	0.10
	SB12a-2	1400	0.07	0.08	0.05	0.06
	SB12a-3	1400	0.04	0.07	0.03	0.06
	SB12a-4	1400	0.05	0.07	0.04	0.06

注記 *1：最大検定値

*2：「RC-N規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づきF値×1.1を適用

(2) 母屋

原子炉建屋付属棟の母屋は主トラスで支持された等分布荷重を受ける両端ピン支持の単純梁として評価を行う。屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であるため、母屋の断面が同一である場合には、支持スパンが長く、屋根面の支配面積の大きな母屋が最も厳しい条件であると判断できる。

原子炉建屋付属棟の母屋には表 1.3-4 に示すとおり、断面の異なる複数の鉄骨部材を使用しているため、同じ部材断面の母屋において最も条件の厳しい部位を選定し、評価を行う。

図 1.3-11 に部材断面毎に選定した母屋の評価部材位置を示す。

表 1.3-5 に原子炉建屋付属棟 母屋の評価結果を示す。

表 1.3-4 原子炉建屋付属棟 母屋使用部材断面

記号	部材断面
SB35	H-350×175×7×11
SB40	H-400×200×8×13
SB45	H-450×200×9×14
SB50	H-500×200×10×16
SB60	H-600×200×11×17
SB600	H-600×300×14×25

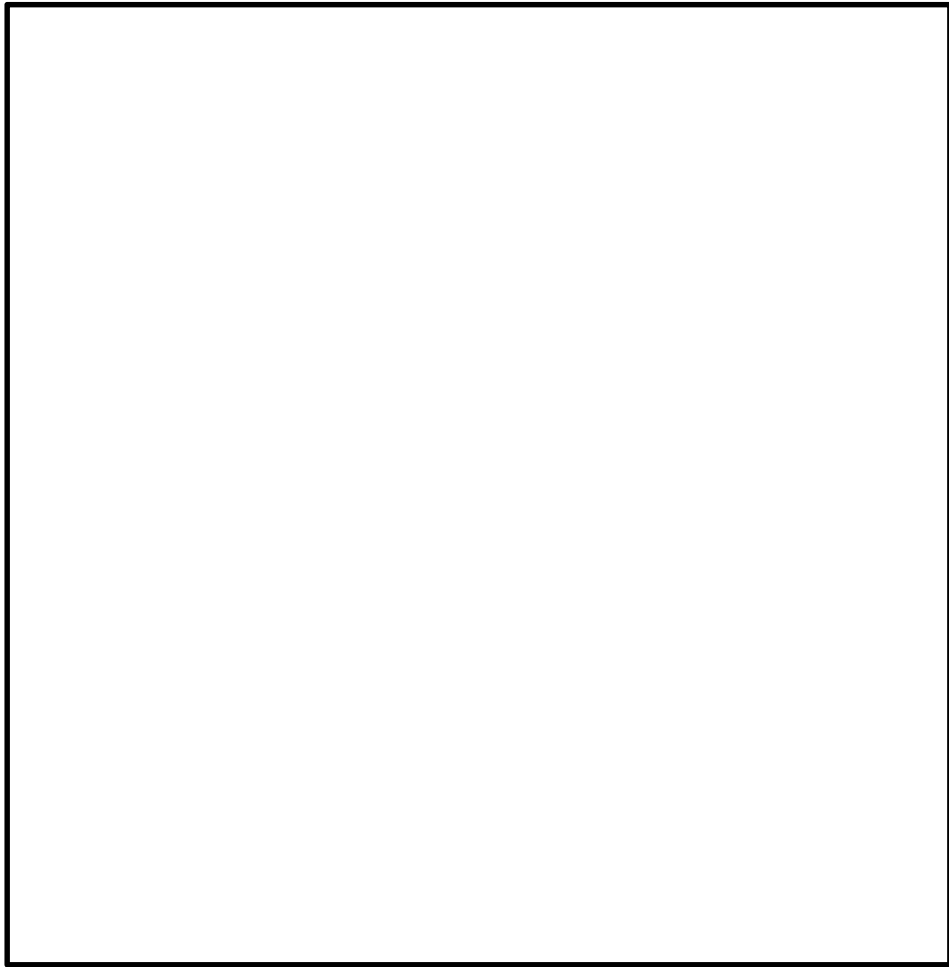


図 1.3-11(1/2) 原子炉建屋付属棟 母屋評価部材の位置

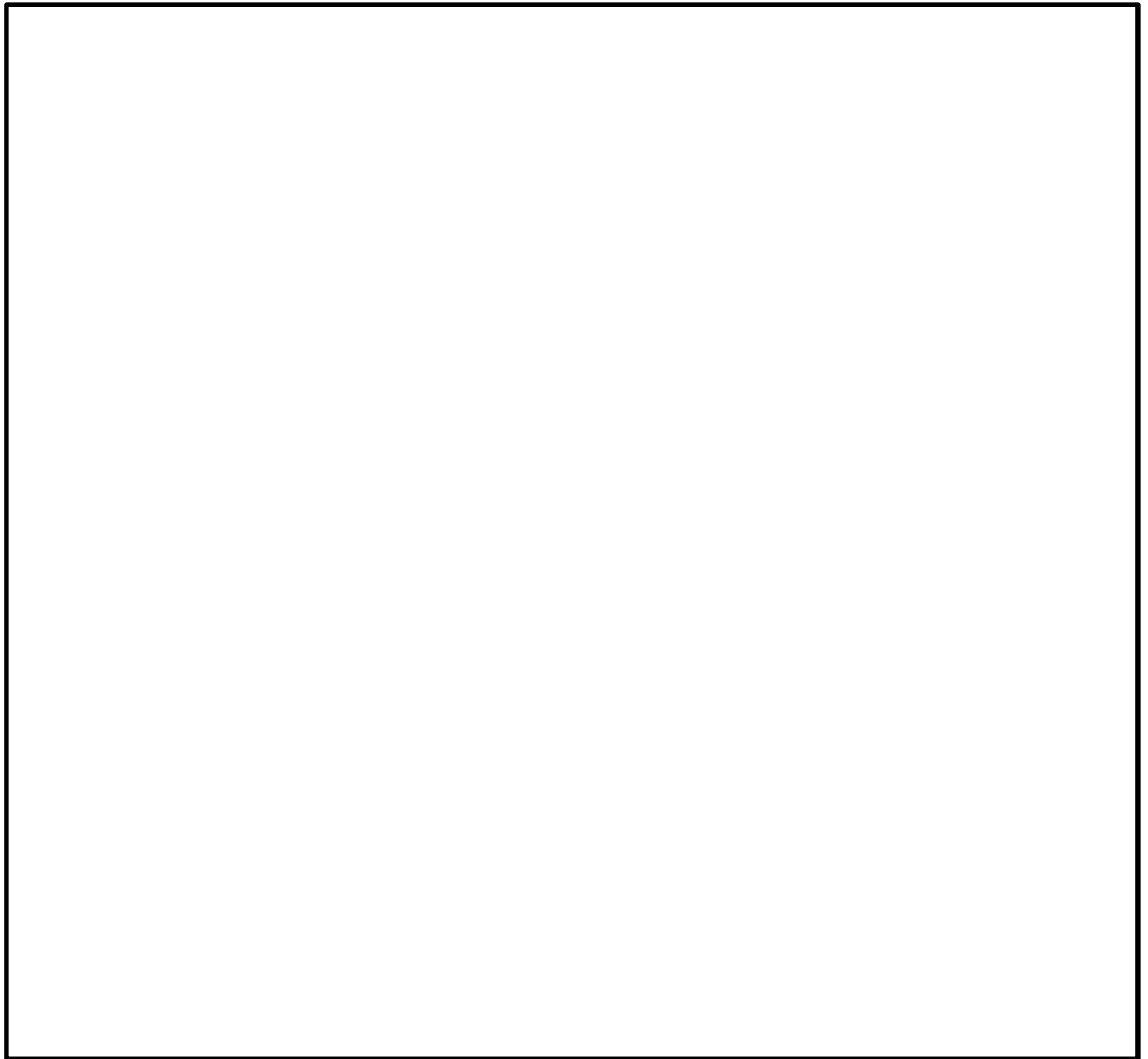


図 1.3-11 (2/2) 原子炉建屋付属棟 母屋評価部材の位置

表 1.3-5 原子炉建屋付属棟 母屋の評価結果

高さ	記号	支持 スパン (m)	支配幅 (m)	検定値*2	
				曲げモーメント	せん断力
EL. 35.0 m	SB40	5.200	1.782	0.55	0.30
	SB50	6.500	1.822	0.56	0.24
	SB50	6.575	1.782	0.56	0.24
	SB600	6.575	1.825	0.23	0.15
EL. 30.3 m	SB40	5.744	1.940	0.73*1	0.35*1
EL. 30.0 m	SB45	4.944	2.067	0.46	0.26
EL. 22.0m	SB35	3.700	1.825	0.44	0.28
	SB60-1	7.125	1.994	0.54	0.22
	SB60-2	7.325	1.940	0.55	0.22
	SB60-3	7.350	1.825	0.52	0.21
	SB600	7.325	3.386	0.52	0.31

注記 *1：最大検定値

*2：「S規準」の短期許容応力度の評価式に平成12年建設省告示第2464号に基づき
F値×1.1を適用

1.4 主トラスの許容応力値について

表 1.4-1 に示す検定値が最大となる各部位の許容値について、許容値の評価式及び算出条件を示す。

表 1.4-1 原子炉建屋原子炉棟 主トラスの評価結果

部位		発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容値* (N/mm ²)	検定値
EL. 64.08 m	上弦材	圧縮	35.4	256	0.26
		曲げ	29.5	254	
	下弦材	引張	164.1	258	0.76
		曲げ	30.4	258	
	斜材	引張	204.9	258	0.80
	束材	圧縮	150.3	172	0.88

注記 * : 「鋼構造設計規準」の短期許容応力度の評価式に平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき F 値×1.1 を適用

(1) 評価式

a. 許容引張応力度

$$f_t = F / 1.5 \quad (1.4-1 \text{ 式})$$

ここに,

F : 鋼材の F 値

b. 許容圧縮応力度

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu} \quad (\lambda \leq \Lambda \text{ のとき}) \quad (1.4-2 \text{ 式})$$

$$f_c = \frac{0.277 F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \quad (\lambda > \Lambda \text{ のとき}) \quad (1.4-3 \text{ 式})$$

ここに,

λ : 圧縮材の細長比

$$\Lambda : \text{限界細長比} \quad \Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}}$$

E : ヤング係数

$$v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

c. 許容曲げ応力度

$$f_b = \frac{1}{v} F \quad (\lambda_b \leq_p \lambda_b \text{ のとき}) \quad (1.4-4 \text{ 式})$$

$$f_b = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda_b - p \lambda_b}{e \lambda_b - p \lambda_b} \right) \right\}}{v} F \quad (p \lambda_b < \lambda_b \leq_e \lambda_b \text{ のとき}) \quad (1.4-5 \text{ 式})$$

$$f_b = \frac{1}{2.17 \lambda_b^2} F \quad (e \lambda_b < \lambda_b \text{ のとき}) \quad (1.4-6 \text{ 式})$$

ここに,

$$\lambda_b = \sqrt{\frac{M_y}{M_e}}$$

$$e \lambda_b = \frac{1}{\sqrt{0.6}}$$

$$p \lambda_b = 0.6 + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)$$

$$C = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 \leq 2.3$$

$$M_e = C \sqrt{\frac{\pi^4 E I_y \cdot E I_w}{l_b^4} + \frac{\pi^4 E_y \cdot G J}{l_b^2}}$$

$$v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

f_b : 許容圧縮応力度

λ_b : 曲げ部材の細長比

l_b : 圧縮フランジの支点間距離

$e \lambda_b$: 弾性限界細長比

$p \lambda_b$: 塑性限界細長比

C : 許容曲げ応力度の補正係数

M_e : 弾性横座屈モーメント

Z : 断面係数

I_y : 弱軸周りの断面 2 次モーメント

I_w : 曲げねじり定数

G : せん断弾性係数

J : サンプナンのめじり定数 M_y : 降伏モーメント ($F \cdot Z$)

なお、部材端部の曲げモーメントの大きいほうを M_1 、小さいほうを M_2 とし、この 2 つのモーメントが単曲率の場合は、 M_2/M_1 の符号を負に、複曲率の場合は M_2/M_1 の符号を正にしている。

(2) 許容値の算出

a. 上弦材

検定値が最大となる上弦材の許容値を算出するために必要なパラメータを以下に示す。

部材	F 値 F (N/mm ²)	ヤング率 E (N/mm ²)	せん断弾性 係数 G (N/mm ²)	断面積 A (mm ²)
H-400×400× 13×21	235	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	2.187×10 ⁴

断面 2 次 モーメント I _x (mm ⁴)	断面 2 次 モーメント I _y (mm ⁴)	断面係数 Z (mm ³)	座屈長 l _k (mm)	断面 2 次半径 i (mm)
6.660×10 ⁸	2.240×10 ⁸	3.330×10 ⁶	1670.5	174.5

細長比 λ (-)	限界細長比 Λ (-)	曲げ ねじり定数 I _w (mm ⁴)	ねじり定数 J (mm ⁶)	補正係数 C (-)
9.57	114.20	8.044×10 ¹²	2.732×10 ⁶	1.04

支点間距離 l _b (mm)	弾性横座屈 モーメント M _e (N・mm)	曲げ材の 細長比 λ _b (-)	塑性限界 細長比 _p λ _b (-)	弾性限界 細長比 _e λ _b (-)
2570	1.407×10 ¹⁰	0.25	0.32	1.29

b. 下弦材

検定値が最大となる下弦材の許容値を算出するために必要なパラメータを以下に示す。

部材	F 値 F (N/mm ²)	ヤング率 E (N/mm ²)	せん断弾性 係数 G (N/mm ²)	断面積 A (mm ²)
H-400×400× 13×21	235	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	2.187×10 ⁴

断面 2 次 モーメント I _x (mm ⁴)	断面 2 次 モーメント I _y (mm ⁴)	断面係数 Z (mm ³)	座屈長 l _k (mm)	断面 2 次半径 i (mm)
6.660×10 ⁸	2.240×10 ⁸	3.330×10 ⁶	10280	101.2

細長比 λ (-)	限界細長比 Λ (-)	曲げ ねじり定数 I _w (mm ⁴)	ねじり定数 J (mm ⁶)	補正係数 C (-)
101.58	114.20	8.044×10 ¹²	2.732×10 ⁶	1.01

支点間距離 l _b (mm)	弾性横座屈 モーメント M _e (N・mm)	曲げ材の 細長比 λ _b (-)	塑性限界 細長比 _p λ _b (-)	弾性限界 細長比 _e λ _b (-)
10280	1.277×10 ¹⁰	0.82	0.31	1.29

c. 斜材

検定値が最大となる斜材の許容値を算出するために必要なパラメータを以下に示す。

部材	F 値 F (N/mm ²)
2L _s -200× 200×15	235

d. 束材

検定値が最大となる束材の許容値を算出するために必要なパラメータを以下に示す。

部材	F 値 F (N/mm ²)	ヤング率 E (N/mm ²)	せん断弾性係 数 G (N/mm ²)	断面積 A (mm ²)
2L _s -150× 150×15	235	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	8.548×10 ³

断面 2 次 モーメント I _x (mm ⁴)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	座屈長 l _k (mm)	断面 2 次半径 i (mm)	細長比 λ (-)
4.532×10 ⁷	1.776×10 ⁷	3610	45.6	79.20

限界細長比 Λ (-)
114.20

6. タービン建屋の荷重増分解析

6.1 概要

主トラスが、想定した降下火砕物堆積による鉛直荷重に対して、適切な裕度を有していることを確認するために、鉛直荷重に対する弾塑性解析（荷重増分解析）を実施した。

6.2 解析条件

(1) 解析モデル

解析には、主トラス部材の検討と同様にFEM解析に使用するコードは「DYNA 2 E Ver. 8.0.4」であるが、弾塑性解析（荷重増分解析）を実施するために、以下の変更を加える。

なお、主トラス部材の検討と同様に鉄骨部材全てにおいて、軸力に対して修正若林モデルによる非線形性を考慮している。

- ・屋根スラブの剛性を無視する。
- ・主トラスの上下弦材には、剛塑性回転ばね付き梁要素を使用する。剛塑性回転ばね付き梁要素では、要素端部における2軸曲げを考慮し、次式に示すM-Nインタラクション曲面を降伏判定に用いる。

$$\frac{|M_1|}{M_{y1}} + \frac{|M_2|}{M_{y2}} + \frac{|N|}{N_y} \leq 1 \quad (6.2-1 \text{ 式})$$

ここに、

M_1, M_{y1} : 材端モーメント及び降伏モーメント (1軸)

M_2, M_{y2} : 材端モーメント及び降伏モーメント (2軸)

N, N_y : 軸力及び降伏軸力

降伏後は材端に塑性ヒンジができるものとする。図6.2-1に塑性ヒンジの想定位置、図6.2-2に剛塑性回転ばねの非線形特性の概念図を示す。また、解析モデルを図6.2-3に示す。

なお、「DYNA 2 E Ver. 8.0.4」の検証及び妥当性確認等の概要については、添付「V-5-2 計算プログラム（解析コード）の概要・DYNA 2 E」に示す。

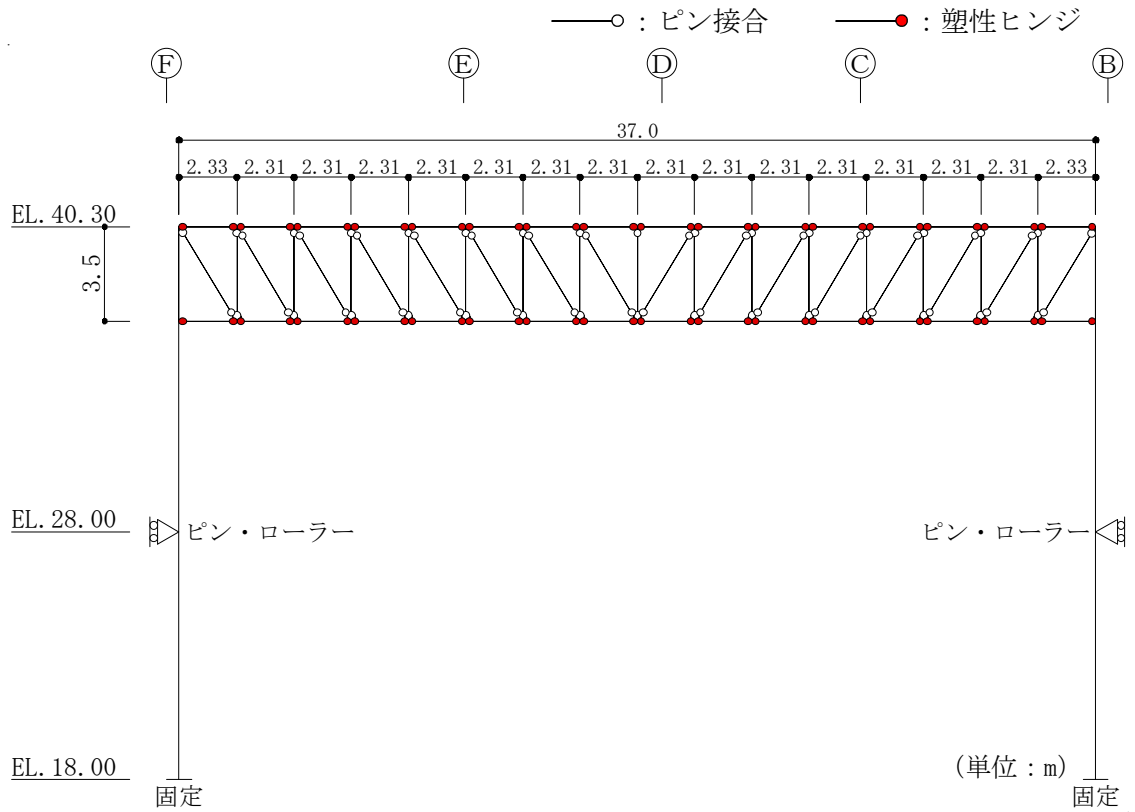
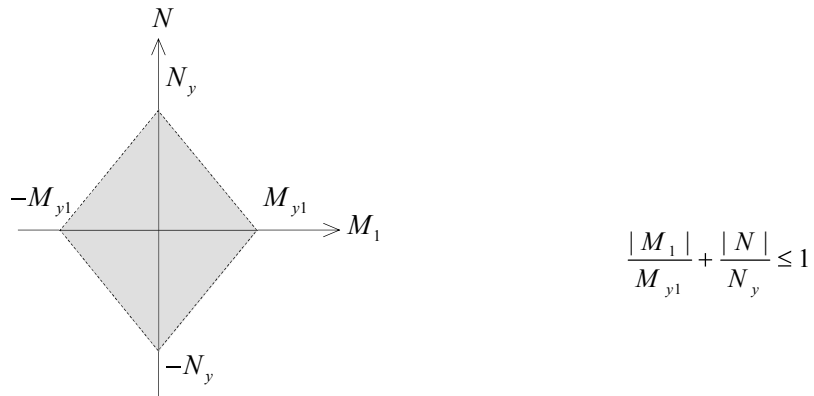
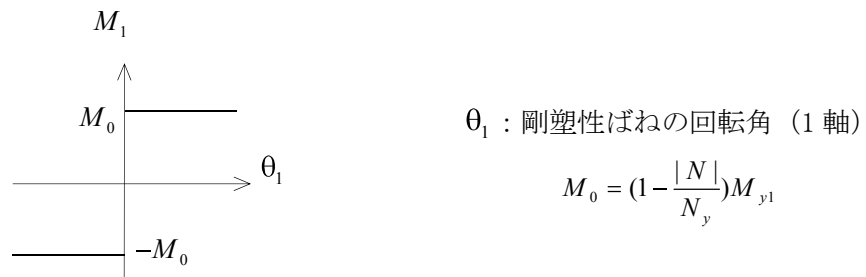


図 6.2-1 塑性ヒンジの想定位置



(a) 降伏曲面



(b) $M - \theta$ 関係

図 6.2-2 剛塑性回転ばねの非線形特性 ($M_2 = 0$)

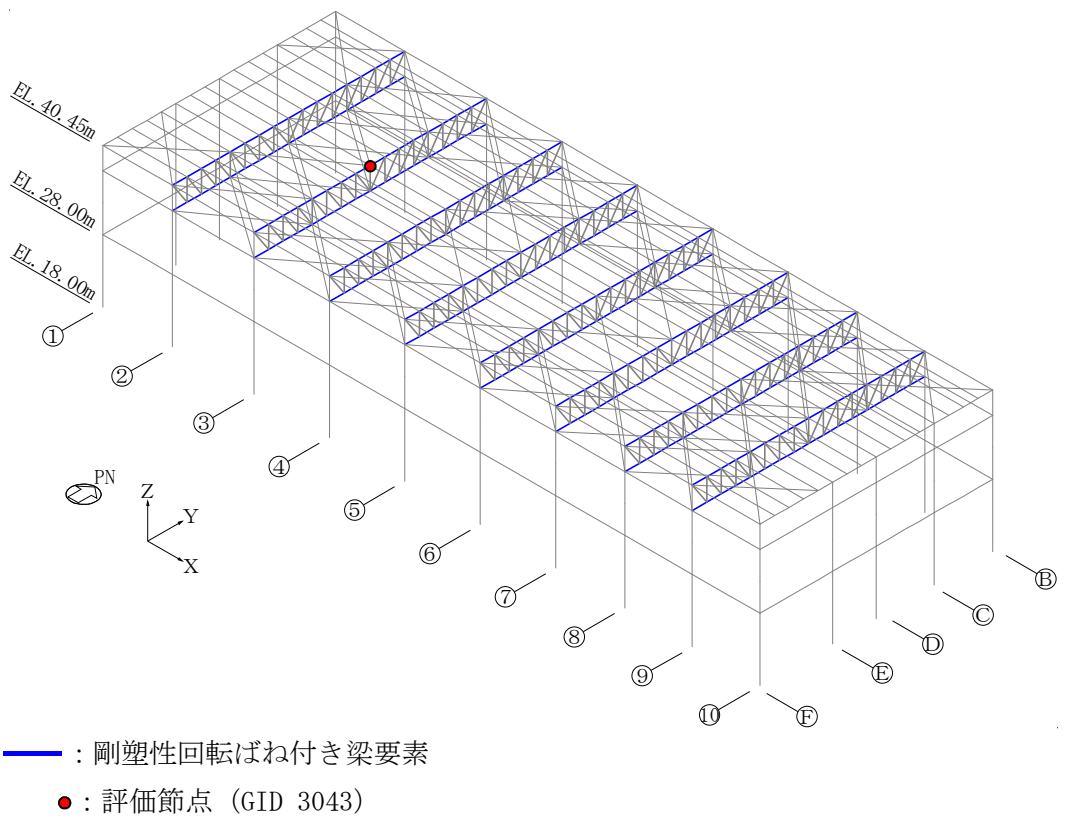


図 6.2-3 解析モデル

(2) 鉛直荷重

鉛直荷重は、以下の①～④の組合せとし、降下火砕物堆積による鉛直荷重に割増係数 k を乗じた増分解析を実施する。図 6.2-4 に荷重組合せと荷重合計を示す。

- ① 固定荷重 (F_d) : 5680 N/m²
- ② 積載荷重 (F_l) : 1000 N/m²
- ③ 積雪荷重 (F_s) : 210 N/m²
- ④ 降下火砕物堆積による鉛直荷重 ($F_v' = k F_v$) : 7355 × k N/m²

k : 降下火砕物堆積による鉛直荷重の割増係数

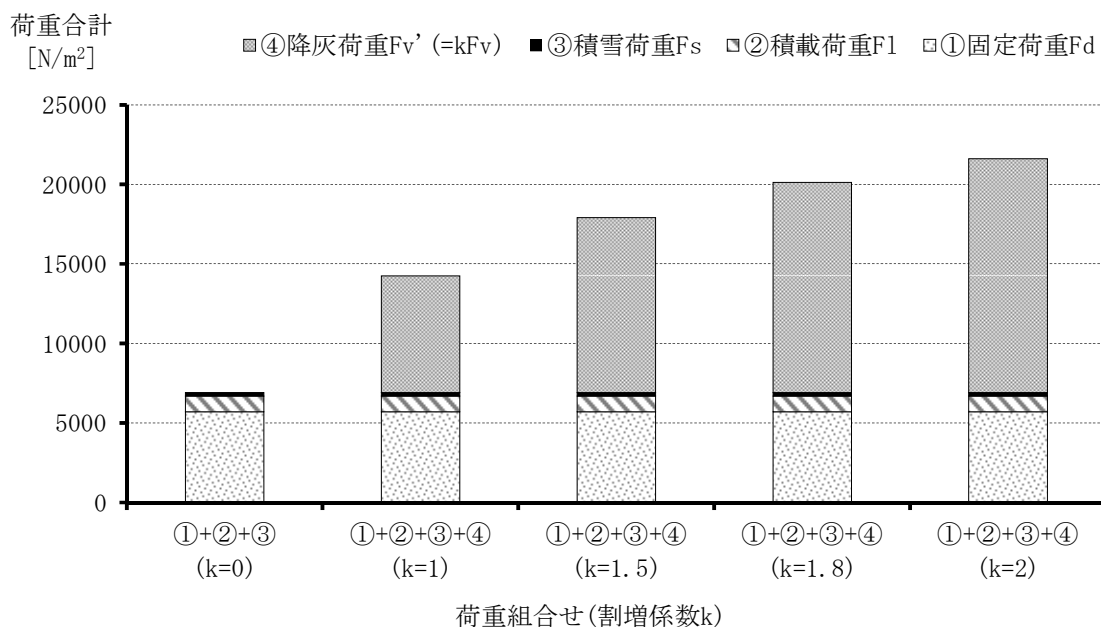


図 6.2-4 荷重組合せと荷重合計

6.3 解析結果

(1) 解析結果

主トラス中央の節点変位と割増係数による荷重－変形関係を図 6.3-5 に示す。評価節点は、図 6.2-4 に示すように、全トラス中で支配幅の最も広い 3 通り主トラス中央部の節点とした。

図 6.3-1 より、割増係数 k が 1.5 程度を超えると線形関係が崩れ、1.8 程度で荷重が頭打ちとなった後、変形が増大する。

割増係数が 1 を超えると、下弦材の端部に塑性ヒンジが形成されるが、線形関係は概ね維持される。割増係数 1.5 (鉛直変位 137mm) 前後において、一部の束材、斜材の座屈、引張降伏が始まり、上弦材の中央部においても塑性ヒンジが形成される。さらに荷重を増加させると、降伏部材の増加に伴い主トラス全体の剛性が低下していき、割増係数 1.8 (鉛直変位 209mm) 付近では、上弦材端部、下弦材中央部にも塑性ヒンジができ、剛性は急激に低下する。

(2) 評価結果

解析結果より、タービン建屋の主トラスは、降下火砕物堆積による鉛直荷重に対して、1.8 倍程度の裕度があるものと判断できる。

— : 評価節点 (GID 3043) の荷重－変位関係
- - - : 初期勾配

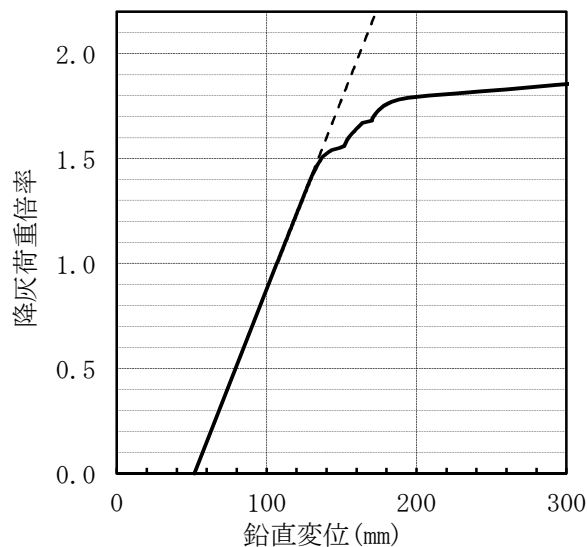


図 6.3-1 主トラス中央節点における荷重－変位関係