

VI-2-4 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性に関する説明書

VI-2-4-1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1
3. 技術基準規則第 5 条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算	5
3.1 耐震計算の概要	5

1. 概要

本資料は、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件との差異の有無を整理した。結果を表1に示す。

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算は表1に示す計算書に記載することとする。

表1 耐震評価条件整理一覧表 (1/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
核 燃 料 物 質 の 取 扱 施 設 及 び 貯 蔵 施 設	使 用 済 燃 料 貯 蔵 設 備	使用済燃料貯蔵プール(設計 基準対象施設としてのみ 1, 2, 5, 6 号機共用)	S	有	VI-2-4-2-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-4-2-1
		キャスクピット(設計基準対 象施設としてのみ 1, 2, 5, 6 号機共用)	S	有	VI-2-4-2-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-4-2-1
		使用済燃料貯蔵ラック(設計 基準対象施設としてのみ 1, 2, 5, 6 号機共用)	S	有	VI-2-4-2-2	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-4-2-2
		制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S	無	VI-2-4-1	—	—	—
		使用済燃料貯蔵プール水 位・温度 (SA)	—	—*2	—	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-4-2-3
		使用済燃料貯蔵プール水 位・温度 (SA 広域)	—	—*2	—	常設/防止 常設/緩和	—	VI-2-4-2-4

表1 耐震評価条件整理一覧表 (2/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
核 燃 料 物 質 の 取 扱 施 設 及 び 貯 蔵 施 設	使 用 済 燃 料 貯 蔵 槽 冷 却 浄 化 設 備	燃料プール冷却浄化系熱交換器(設計基準対象施設としてのみ1, 2, 5, 6号機共用)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-4-3-1-1
		燃料プール冷却浄化系ポンプ(設計基準対象施設としてのみ1, 2, 5, 6号機共用)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-4-3-1-2
		主配管	S	有	VI-2-4-3-1-3	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-4-3-1-3 VI-2-4-3-2-1
		使用済燃料貯蔵プール(使用済燃料貯蔵設備に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-4-2-1
		キャスクピット(使用済燃料貯蔵設備に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-4-2-1

表1 耐震評価条件整理一覧表 (3/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	その他	使用済燃料貯蔵プール監視 カメラ	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-2-5
		使用済燃料貯蔵プール監視 カメラ用空冷装置	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-2-6

注記*1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設／防止」は常設重大事故防止設備を示す。

*2 : 本設計及び工事の計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外。

3. 技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算

3.1 耐震計算の概要

本章は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設のうち、技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備である制御棒・破損燃料貯蔵ラックが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。制御棒・破損燃料貯蔵ラックの計算結果を次ページ以降に示す。

- (1) 制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性
についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 ラック部材の応力	16
5.4.2 底部基礎ボルトの応力	18
5.4.3 サポート部材の応力	20
5.4.4 サポート部基礎ボルトの応力	22
5.5 計算条件	24
5.6 応力の評価	24
5.6.1 部材の応力評価	24
5.6.2 基礎ボルトの応力評価	24
6. 評価結果	25
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	25

1. 概要

本計算書は、IV-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御棒・破損燃料貯蔵ラックは、基礎ボルトで使用済燃料貯蔵プールの底部に固定及び側壁から支持される。</p> <p>サポート部については、ラックのデバイダをサポート上のブラケットで挟み込んで固定する構造となっている。</p> <p>破損燃料コンテナは、最大 10 体をラック内に挿入できるが、コンテナ上部についてはラック外となる構造である。</p>	<p>ステンレス鋼製たて置ラック</p>	<p>(単位:mm)</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、IV-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図2-1に示す。

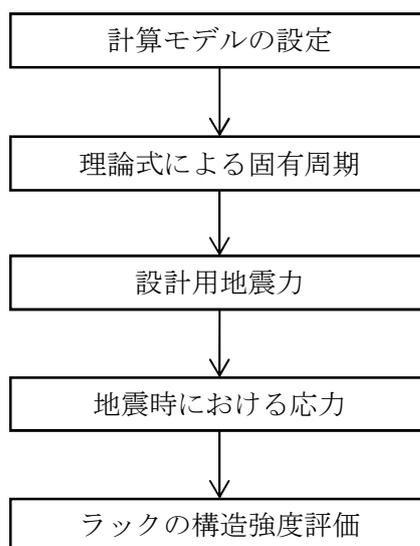


図2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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）
- ・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）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（(社) 日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	ラックの断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _p	サポートの断面積	mm ²
A _{p x} , A _{p z}	サポートのせん断断面積	mm ²
A _{s i} * ²	ラックのせん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _a	ラックに働く軸力	N
F _i * ²	ラックに働くせん断力	N
F _{y B}	ベース底部に働くせん断力	N
F _{y G}	ラック重心位置に働くせん断力	N
F _{y i} * ²	サポート部に働く軸力	N
F _{x i} , F _{z i} * ²	サポート部に働くせん断力	N
f _{1 i} , f _{2 i} * ²	底部基礎ボルトに働く引張力 (1本当たり)	N
f _s	部材の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _t	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₁	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (応力評価時に使用)	mm
h ₂	破損燃料貯蔵時のラック重心からサポートまでの高さ (応力評価時に使用)	mm
h ₃	サポート高さ	mm
h _{x 1}	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (X方向の固有周期計算時に使用)	mm
h _{y 1}	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (Y方向の固有周期計算時に使用)	mm
h _{y 2}	破損燃料貯蔵時のラック重心からサポートまでの高さ (Y方向の固有周期計算時に使用)	mm
h _{z 1}	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (Z方向の固有周期計算時に使用)	mm
I _x	ラックの断面二次モーメント (X軸回り)	mm ⁴
I _y	ラックの断面二次モーメント (Y軸回り)	mm ⁴

記号	記号の説明	単位
K_i^{*2}	ラックのばね定数	N/mm
K_z	ラックのばね定数 (Z方向の固有周期計算時に使用)	N/mm
l	サポート取付部からサポート重心までの水平距離	mm
$l_{g i}^{*2}$	ベース端からラック重心までの距離	mm
l_1, l_2, l_3, l_4	サポート部基礎ボルトの中心からプレート先端までの距離	mm
$l_{1 i}, l_{2 i}^{*2}$	ベース端から底部基礎ボルトまでの距離	mm
l_s	サポート中心からラックによるサポート反力発生点までの距離	mm
M_i^{*2}	ラックの転倒モーメント	N・mm
$M_{x B}$	ベース底部の転倒モーメント	N・mm
$M_{x G}$	ラック重心位置の転倒モーメント	N・mm
$M_{x i}, M_{z i}^{*2}$	サポート部に働くモーメント	N・mm
m	破損燃料貯蔵時のラックの全質量 (応力評価時に使用)	kg
m_a	破損燃料貯蔵時のラックの全質量 (固有周期計算時に使用)	kg
m_c	破損燃料コンテナの質量	kg
m_F	破損燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_s	サポートの全質量	kg
$m_{v i}^{*2}$	ラックの付加質量*1	kg
$m_{v z}$	ラックの付加質量*1 (Z方向)	kg
m_w	ラックに含まれる水の質量	kg
$N_{p m}$	$M_{x i}, M_{z i}$ により生じる基礎ボルト1本当たりの最大引張力	N
n	底部及びサポート部基礎ボルトの全本数	—
$n_{1 i}, n_{2 i}^{*2}$	各部の底部基礎ボルトの本数	—
R	ラックによるサポート反力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
T_i^{*2}	固有周期	s
T_z	固有周期 (Z方向)	s
Z_x	ラックの断面係数 (X軸回り)	mm ³
Z_y	ラックの断面係数 (Y軸回り)	mm ³
$Z_{p x}, Z_{p z}$	サポートの断面係数	mm ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{f a}$	部材に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{f t}$	部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	部材に生じるせん断応力	MPa

注記*1：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

*2： $A_{s i}$ 、 F_i 、 $F_{y i}$ 、 $F_{x i}$ 、 $F_{z i}$ 、 $f_{1 i}$ 、 $f_{2 i}$ 、 K_i 、 $l_{g i}$ 、 $l_{1 i}$ 、 $l_{2 i}$ 、 M_i 、 $M_{x i}$ 、 $M_{z i}$ 、 $m_{v i}$ 、 $n_{1 i}$ 、 $n_{2 i}$ 及び T_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = x$: X方向 (長辺方向)

$i = y$: Y方向 (短辺方向)

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
周囲環境温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるラック、サポート部材及び基礎ボルトについて実施する。ラックの耐震評価部位については、図3-1の構造概要図に示す。ただし、破損燃料コンテナはラックに挿入されているだけであるため、ラックの耐震評価の計算に見込むが評価部位とはしない。

なお、サポート部材の評価は、ラック支持点の反力を1/2ずつラック両側のサポート部材で受けるものとして評価しており、形状が異なる2種類あるサポート部材について、それぞれ評価を行い、算出応力の大きい方の結果を記載している。

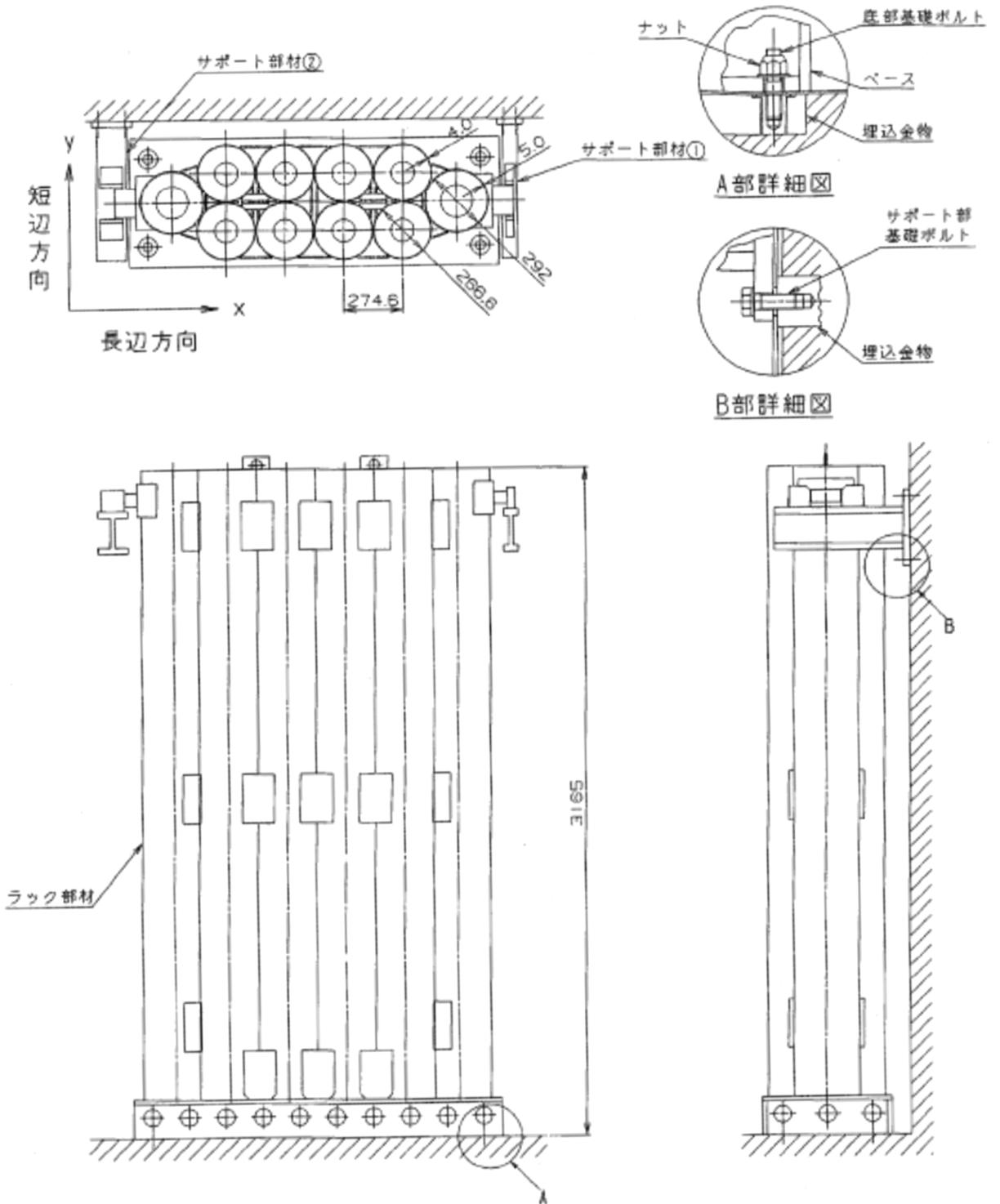


図 3-1 構造概要図 (単位 : mm)

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

- (1) ラックの質量は、破損燃料と破損燃料コンテナ 10 体の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び付加質量を考慮した値とする。
- (2) ラックは、ベース底部で基礎ボルトを介し床に完全固定とする。
- (3) 変形モードは、曲げたわみとせん断たわみの合成とする。
- (4) ラックは、Y方向の振動に対してサポートにより支持されるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 本ラックは、各部材をすべて溶接にて接合されており、一体の構造物とみなして、上述より図 4-1 に示すようなラックの重心位置での 1 質点系の計算モデルと考える。
- (7) 図 4-1 に示す 1 質点系の計算モデルの固有周期は、(4.1.1) 及び (4.1.2) 式より求める。

$$T_i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_a + m_{v i}}{1000 \cdot K_i}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

(i = x : X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))

$$T_z = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_a + m_{v z}}{1000 \cdot K_z}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ただし、ラックのばね定数は、(4.1.3), (4.1.4) 及び (4.1.5) 式より求める。

$$K_x = \frac{1}{\frac{h_{x1}^3}{3 \cdot E \cdot I_y} + \frac{h_{x1}}{A_{sx} \cdot G}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$K_y = \frac{1}{\frac{h_{y2}^2 \cdot h_{y1}^3 \cdot (4 \cdot h_{y2} + 3 \cdot h_{y1})}{12 \cdot E \cdot I_x \cdot h_3^3} + \frac{h_{y2} \cdot h_{y1}}{A_{sy} \cdot G \cdot h_3}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$K_z = \frac{A \cdot E}{h_{z1}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

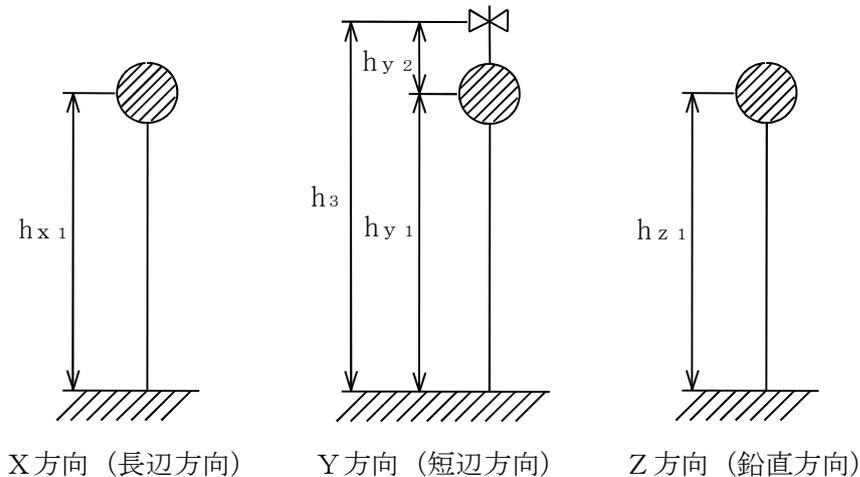


図 4-1 計算モデル

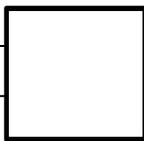
4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

	固有周期
X 方向 (長辺方向)	
Y 方向 (短辺方向)	
Z 方向 (鉛直方向)	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) ラックは、原子炉建屋の使用済燃料貯蔵プールの底部 (T. M. S. L. 19.88m) に基礎ボルトで固定し、更に壁からのサポートで支持されるものとする。
- (2) ラックの質量は、破損燃料と破損燃料コンテナ 10 体の質量、ラック自身の質量及びラックに含まれる水の質量とする。
- (3) 地震力は、ラックに対して水平方向から作用するものとする。ここで水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。
また、鉛直方向地震力は、水平方向地震力と同時に不利な方向に作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

ラックの許容応力は、IV-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料	制御棒・破損燃料	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
	貯蔵設備	貯蔵ラック			$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等以外）		許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力		一次応力	
	引張り	せん断	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
ラック	SUS304TKA	周囲環境温度	66	188	479	205
サポート	SUS304	周囲環境温度	66	188	479	205
基礎ボルト	SUS630	周囲環境温度	66	696	867	725

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、IV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. 19.88 (T. M. S. L. 23.5*)	[Redacted]		C _H =0.78	C _V =0.72	C _H =1.53	C _V =1.41

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 ラック部材の応力

部材の荷重状態を図5-1に示す。

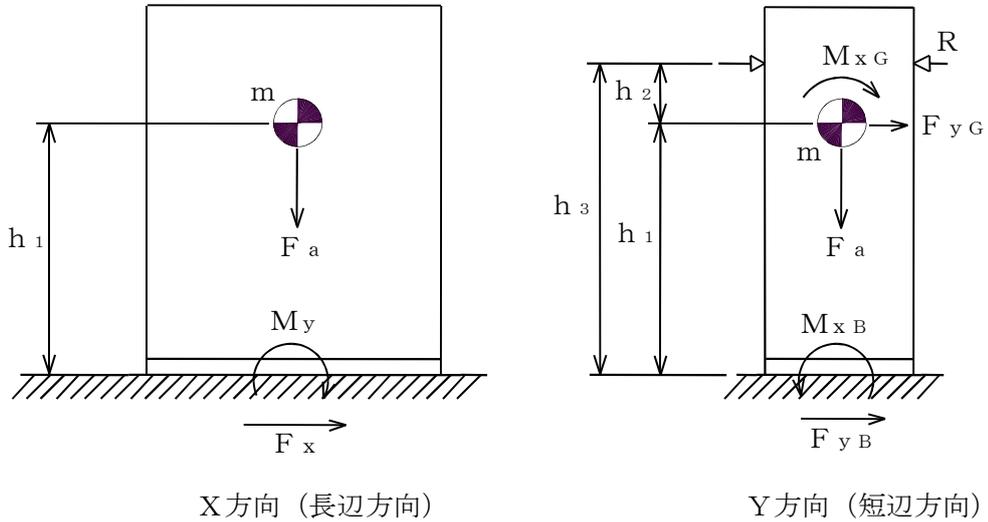


図5-1 荷重状態

ラックの全質量は、(5.4.1)式より破損燃料と破損燃料コンテナ10体の質量、ラック自身の質量及びラックに含まれる水の質量の合計から求める。

$$m = m_c + m_F + m_R + m_w \quad \dots \quad (5.4.1)$$

(1) せん断応力

せん断力 F_i により、部材に生じるせん断応力 τ_f は、(5.4.2)式より求める。

$$\tau_f = \frac{F_i}{A_{s_i}} \quad \dots \quad (5.4.2)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))

ここで、ラックに働くせん断力 F_i は、(5.4.3), (5.4.4), (5.4.5) 及び (5.4.6) 式より求める。

$$F_x = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots \quad (5.4.3)$$

$$F_y = \text{Max}(F_{yB}, F_{yG}) \quad \dots \quad (5.4.4)$$

$$F_{yB} = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot h_3^2} \cdot (2 \cdot h_2^2 + 6 \cdot h_1 \cdot h_2 + 3 \cdot h_1^2) \quad \dots \quad (5.4.5)$$

$$F_{yG} = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_1^2}{2 \cdot h_3^2} \cdot (3 \cdot h_2 + 2 \cdot h_1) \quad \dots \quad (5.4.6)$$

また、サポート反力 R は、 F_{yG} に等しい。

(2) 引張応力

軸力 F_a 及び転倒モーメント M_i により部材に生じる引張応力 σ_{ft} は、(5.4.7) 及び (5.4.8) 式より求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_a}{A} + \frac{M_y}{Z_y} \dots\dots\dots (5.4.7)$$

$$\sigma_{ft} = \frac{F_a}{A} + \frac{M_x}{Z_x} \dots\dots\dots (5.4.8)$$

ここで、ラックに働く軸力 F_a 及びラックの転倒モーメント M_i は、(5.4.9), (5.4.10), (5.4.11), (5.4.12) 及び (5.4.13) 式より求める。

$$F_a = (1 + C_v) \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.4.9)$$

$$M_x = \text{Max}(M_{xB}, M_{xG}) \dots\dots\dots (5.4.10)$$

$$M_{xB} = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_1 \cdot h_2}{2 \cdot h_3^2} \cdot (2 \cdot h_2 + h_1) \dots\dots\dots (5.4.11)$$

$$M_{xG} = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_2 \cdot h_1^2}{2 \cdot h_3^2} \cdot (3 \cdot h_2 + 2 \cdot h_1) \dots\dots\dots (5.4.12)$$

$$M_y = F_x \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.13)$$

(3) 組合せ応力

部材に生じる組合せ応力 σ_{fa} は、(5.4.14) 式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \dots\dots\dots (5.4.14)$$

5.4.2 底部基礎ボルトの応力

基礎ボルトの荷重状態を図5-2に示す。

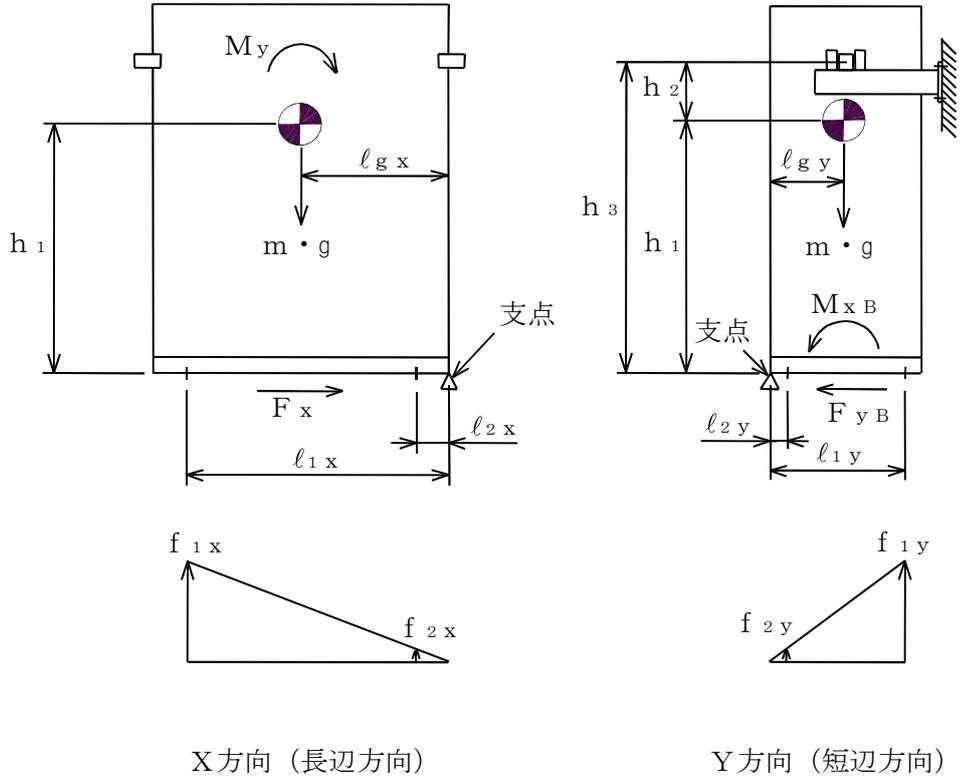


図5-2 荷重状態

(1) せん断応力

ベース底部に働くせん断力 F_x 又は F_{yB} により、基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(5.4.15) 及び (5.4.16) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_x}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.15)$$

$$\tau_b = \frac{F_{yB}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.16)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は (5.4.17) 式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.17)$$

(2) 引張応力

図 5-2 荷重状態において支点まわりのモーメントの平衡により基礎ボルト 1 本当たりの引張力 f_{1i} , f_{2i} を求める。

$f_{1i} > f_{2i}$ の関係にあるので f_{1i} のみを以下により求める。

ここで、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の評価のうち、静的震度を組合せる場合は、(5.4.18) 及び (5.4.19) 式を、それ以外は (5.4.20) 及び (5.4.21) 式より求める。

$$f_{1x} = \frac{\ell_{1x} \cdot \{M_y - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gx}\}}{n_{1x} \cdot \ell_{1x}^2 + n_{2x} \cdot \ell_{2x}^2} \quad \text{(絶対値和法)} \quad (5.4.18)$$

$$f_{1y} = \frac{\ell_{1y} \cdot \{M_{xB} - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gy}\}}{n_{1y} \cdot \ell_{1y}^2 + n_{2y} \cdot \ell_{2y}^2} \quad \text{(絶対値和法)} \quad (5.4.19)$$

$$f_{1x} = \frac{\ell_{1x} \cdot \{\sqrt{M_y^2 + (C_V \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gx})^2} - m \cdot g \cdot \ell_{gx}\}}{n_{1x} \cdot \ell_{1x}^2 + n_{2x} \cdot \ell_{2x}^2} \quad \text{(SRSS法)} \quad (5.4.20)$$

$$f_{1y} = \frac{\ell_{1y} \cdot \{\sqrt{M_{xB}^2 + (C_V \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gy})^2} - m \cdot g \cdot \ell_{gy}\}}{n_{1y} \cdot \ell_{1y}^2 + n_{2y} \cdot \ell_{2y}^2} \quad \text{(SRSS法)} \quad (5.4.21)$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(5.4.22) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \text{(i = x : X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))} \quad (5.4.22)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は、(5.4.17) 式による。

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

5.4.3 サポート部材の応力

サポート部材にかかる荷重状態を図 5-3 に示す。

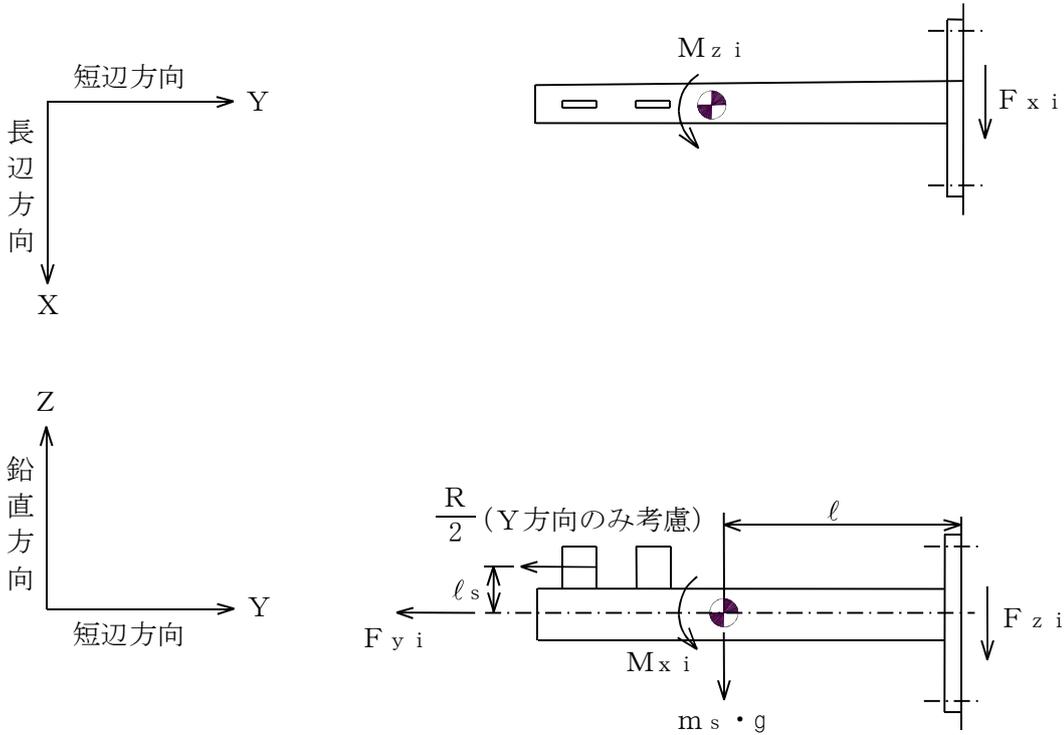


図 5-3 荷重状態

(1) せん断応力

せん断力 F_{xi} , F_{zi} により部材に生じるせん断応力 τ_f は, (5.4.23) 式より求める。

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_{xi}}{A_{px}}\right)^2 + \left(\frac{F_{zi}}{A_{pz}}\right)^2} \dots\dots\dots (5.4.23)$$

($i = x$: X 方向 (長辺方向), y : Y 方向 (短辺方向))

ここで, サポート部に働くせん断力は, (5.4.24), (5.4.25) 及び (5.4.26) 式より求める。

$$F_{xx} = C_H \cdot m_s \cdot g \dots\dots\dots (5.4.24)$$

$$F_{xy} = 0 \dots\dots\dots (5.4.25)$$

$$F_{zi} = (1 + C_V) \cdot m_s \cdot g \dots\dots\dots (5.4.26)$$

($i = x$: X 方向 (長辺方向), y : Y 方向 (短辺方向))

(2) 引張応力

軸力 $F_{y i}$ 及び曲げモーメント $M_{x i}$, $M_{z i}$ により部材に生じる引張応力 $\sigma_{f t}$ は、

(5.4.27) 式より求める。

$$\sigma_{f t} = \frac{F_{y i}}{A_p} + \frac{M_{x i}}{Z_{p x}} + \frac{M_{z i}}{Z_{p z}} \quad \dots\dots\dots (5.4.27)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))

ここで、サポート部に働く軸力及びモーメントは、(5.4.28), (5.4.29), (5.4.30), (5.4.31), (5.4.32), (5.4.33) 及び (5.4.34) 式より求める。

なお、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の評価のうち、静的震度を組合せる場合は、(5.4.31) 式を、それ以外は (5.4.32) 式より求める。

$$F_{y x} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.28)$$

$$F_{y y} = \frac{R}{2} + C_H \cdot m_s \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.29)$$

$$M_{x x} = (1 + C_V) \cdot m_s \cdot g \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (5.4.30)$$

$$M_{x y} = (1 + C_V) \cdot m_s \cdot g \cdot \ell + \frac{R}{2} \cdot \ell_s \quad \text{(絶対値和法)}$$

$$\dots\dots\dots (5.4.31)$$

$$M_{x y} = \sqrt{\left(\frac{R}{2} \cdot \ell_s\right)^2 + (C_V \cdot m_s \cdot g \cdot \ell)^2} + m_s \cdot g \cdot \ell \quad \text{(S R S S法)}$$

$$\dots\dots\dots (5.4.32)$$

$$M_{z x} = C_H \cdot m_s \cdot g \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (5.4.33)$$

$$M_{z y} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.34)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力 $\sigma_{f a}$ は、(5.4.35) 式より求める。

$$\sigma_{f a} = \sqrt{\sigma_{f t}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.35)$$

5.4.4 サポート部基礎ボルトの応力

基礎ボルトに作用する引張力 $F_{y i}$ 、せん断力 $F_{x i}$ 、 $F_{z i}$ 及び曲げモーメント $M_{x i}$ 、 $M_{z i}$ の荷重状態を図 5-4 に示す。

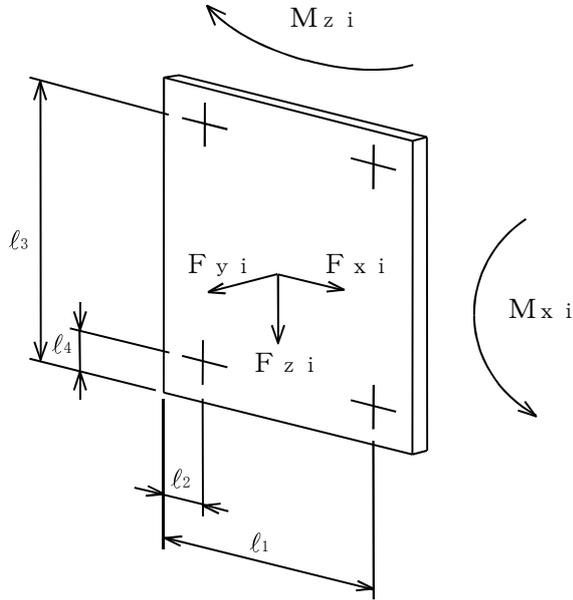


図 5-4 荷重状態

(1) せん断応力

せん断力 $F_{x i}$ 、 $F_{z i}$ により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(5.4.36) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_{x i}^2 + F_{z i}^2}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.36)$$

($i = x$: X 方向 (長辺方向), y : Y 方向 (短辺方向))

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は、(5.4.17) 式による。

(2) 引張応力

曲げモーメント $M_{x i}$ 、 $M_{z i}$ により生じる基礎ボルト 1 本当たりの最大引張力 $N_{p m}$ 及び軸力 $F_{y i}$ により生じる基礎ボルトの引張応力 σ_b は、(5.4.37) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_{p m}}{A_b} + \frac{F_{y i}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.37)$$

($i = x$: X 方向 (長辺方向), y : Y 方向 (短辺方向))

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は、(5.4.17) 式による。

また，基礎ボルト 1 本当たりの最大引張力は (5.4.38) 式より求める。

$$N_{pm} = \frac{\ell_1 \cdot M_{z\ i}}{2 \cdot (\ell_1^2 + \ell_2^2)} + \frac{\ell_3 \cdot M_{x\ i}}{2 \cdot (\ell_3^2 + \ell_4^2)} \dots\dots\dots (5.4.38)$$

(i = x : X 方向 (長辺方向), y : Y 方向 (短辺方向))

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 部材の応力評価

5.4.1 項及び5.4.3 項で求めた各部材の引張応力 σ_{ft} 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_t 以下であること。

また、5.4.1 項及び5.4.3 項で求めた各部材のせん断応力 τ_f が、許容せん断応力 f_s 以下であること。ただし、 f_t 及び f_s は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重 との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.2 基礎ボルトの応力評価

5.4.2 項及び5.4.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.6.1)$$

また、5.4.2 項及び5.4.4 項で求めた基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重 との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
制御棒・破損燃料 貯蔵ラック	S	原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5*)			C _H =0.78	C _V =0.72	C _H =1.53	C _V =1.41	—	66

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 固有周期の計算に用いる要目

m (kg)	m _c (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	m _{v x} (kg)	m _{v y} (kg)	m _{v z} (kg)	A (mm ²)	A _{s x} (mm ²)	A _{s y} (mm ²)	I _x (mm ⁴)	I _y (mm ⁴)
								3.653×10 ⁴	1.827×10 ⁴	1.827×10 ⁴	8.647×10 ⁸	7.047×10 ⁹

E* (MPa)	G* (MPa)	h _{x 1} (mm)	h _{y 1} (mm)	h _{z 1} (mm)	h _{y 2} (mm)	h ₃ (mm)
192000	73800	2070	1850	2120	1175	3025

注記*：周囲環境温度（66°C）で算出

1.2.2 部材の応力評価に用いる要目

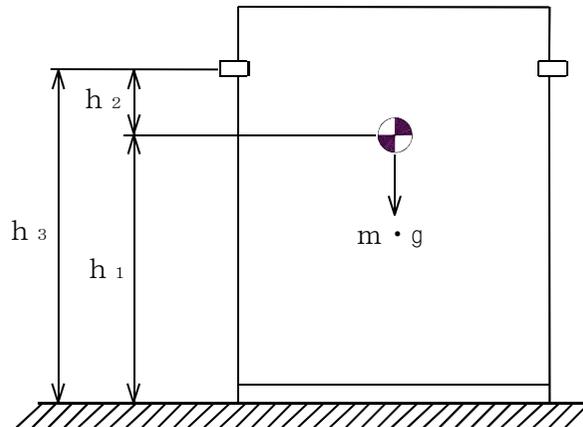
m (kg)	m _c (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	m _s (kg)	A (mm ²)	A _{s x} (mm ²)	A _{s y} (mm ²)	A _p (mm ²)	A _{p x} (mm ²)	A _{p z} (mm ²)
						3.653×10 ⁴	1.827×10 ⁴	1.827×10 ⁴	1.120×10 ⁴	5.756×10 ³	3.246×10 ³

Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _{p x} (mm ³)	Z _{p z} (mm ³)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	l _s (mm)	l (mm)
3.149×10 ⁶	8.632×10 ⁶	6.589×10 ⁵	1.973×10 ⁵	2060	965	3025	153	370

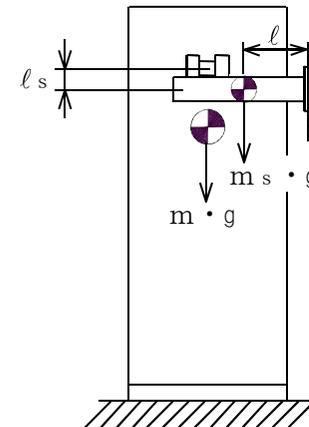
	材料	S _y *1 (MPa)	S _u *1 (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
ラック	SUS304TKA	188	479	205	205	205
サポート	SUS304					

27

注記*1：周囲環境温度（66℃）で算出



X方向（長辺方向）



Y方向（短辺方向）

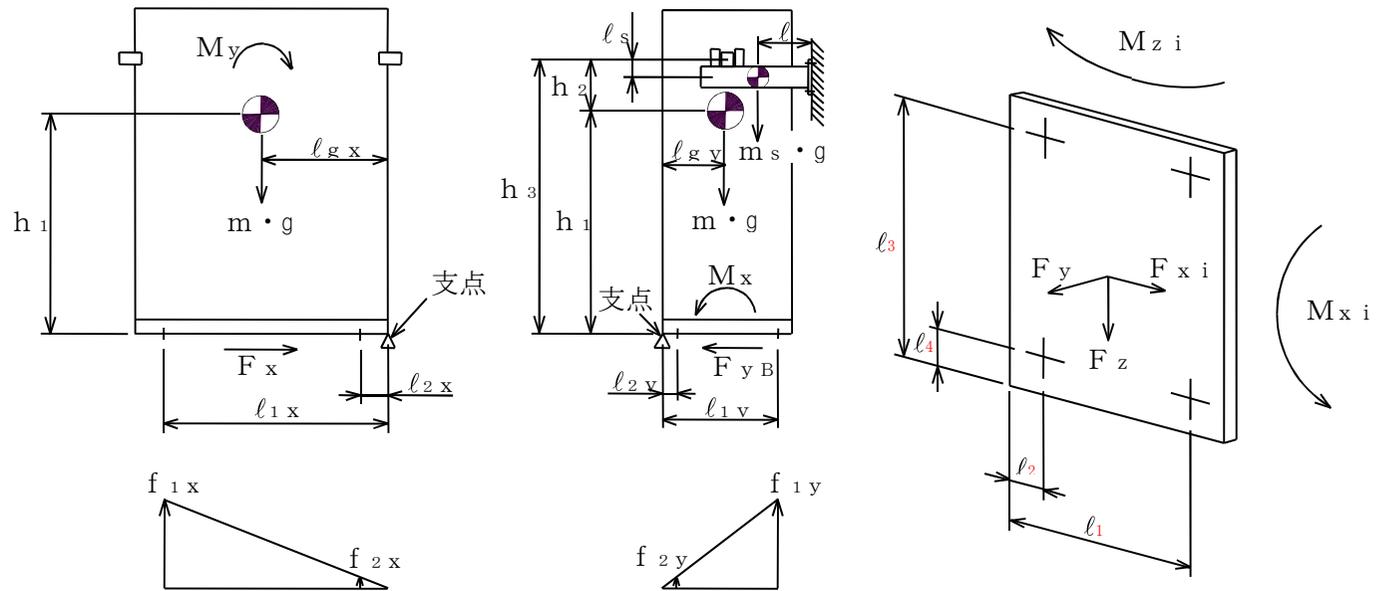
1.2.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m (kg)	m _s (kg)	d (mm)		A _b (mm ²)		l _{1x} (mm)	l _{2x} (mm)	l _{1y} (mm)	l _{2y} (mm)
		底部基礎ボルト	サポート部基礎ボルト	底部基礎ボルト	サポート部基礎ボルト				
		36 (M36)	24 (M24)	1018	452.4	1639.5	82.5	512.5	92.5

l (mm)	l _s (mm)	l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l _{gx} (mm)	l _{gy} (mm)	n	n _{1x}	n _{2x}	n _{1y}	n _{2y}
370	153	160	30	330	30	861	302.5	4	2	2	2	2

基礎ボルト材料	S _y ^{*1} (MPa)	S _u ^{*1} (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)
SUS630	696	867	725	607	607

注記*1：周囲環境温度（66℃）で算出



X方向（長辺方向）

Y方向（短辺方向）

1.3 計算数値

1.3.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
ラック	引張り σ_{ft}	17	13	31	23
	せん断 τ_f	3	2	6	4
	組合せ σ_{fa}	18	14	33	24
サポート	引張り σ_{ft}	3	11	5	20
	せん断 τ_f	1	1	1	1
	組合せ σ_{fa}	4	12	6	20

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎 ボルト	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
底部	引張り σ_b	30	17	54	33
	せん断 τ_b	14	7	27	13
サポート部	引張り σ_b	5	35	8	65
	せん断 τ_b	2	1	2	2

1.4 結論

1.4.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック	SUS304TKA	引張り	$\sigma_{ft}=17$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=31$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=3$	$f_s=118$	$\tau_f=6$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=18$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=33$	$f_t=205$
サポート	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=11$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=20$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=1$	$f_s=118$	$\tau_f=1$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=12$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=20$	$f_t=205$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
底部	SUS630	引張り	$\sigma_b=30$	$f_{ts}=455^*$	$\sigma_b=54$	$f_{ts}=455^*$
		せん断	$\tau_b=14$	$f_{sb}=350$	$\tau_b=27$	$f_{sb}=350$
サポート部		引張り	$\sigma_b=35$	$f_{ts}=455^*$	$\sigma_b=65$	$f_{ts}=455^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=350$	$\tau_b=2$	$f_{sb}=350$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

VI-2-4-2 使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-2-1 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	10
3. 応力解析による評価方法	11
3.1 評価対象部位及び評価方針	11
3.2 荷重及び荷重の組合せ	13
3.2.1 荷重	13
3.2.2 荷重の組合せ	25
3.3 許容限界	26
3.4 解析モデル及び諸元	28
3.4.1 モデル化の基本方針	28
3.4.2 解析諸元	33
3.4.3 材料構成則	34
3.5 評価方法	36
3.5.1 応力解析方法	36
3.5.2 断面の評価方法	43
4. 評価結果	51
4.1 S _d 地震時	51
4.2 S _s 地震時, (異常+S _d 地震)時及び(異常+S _s 地震)時	51
5. 引用文献	70

別紙 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット）

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、応力解析による評価により行う。

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットは原子炉建屋の一部を構成している。使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

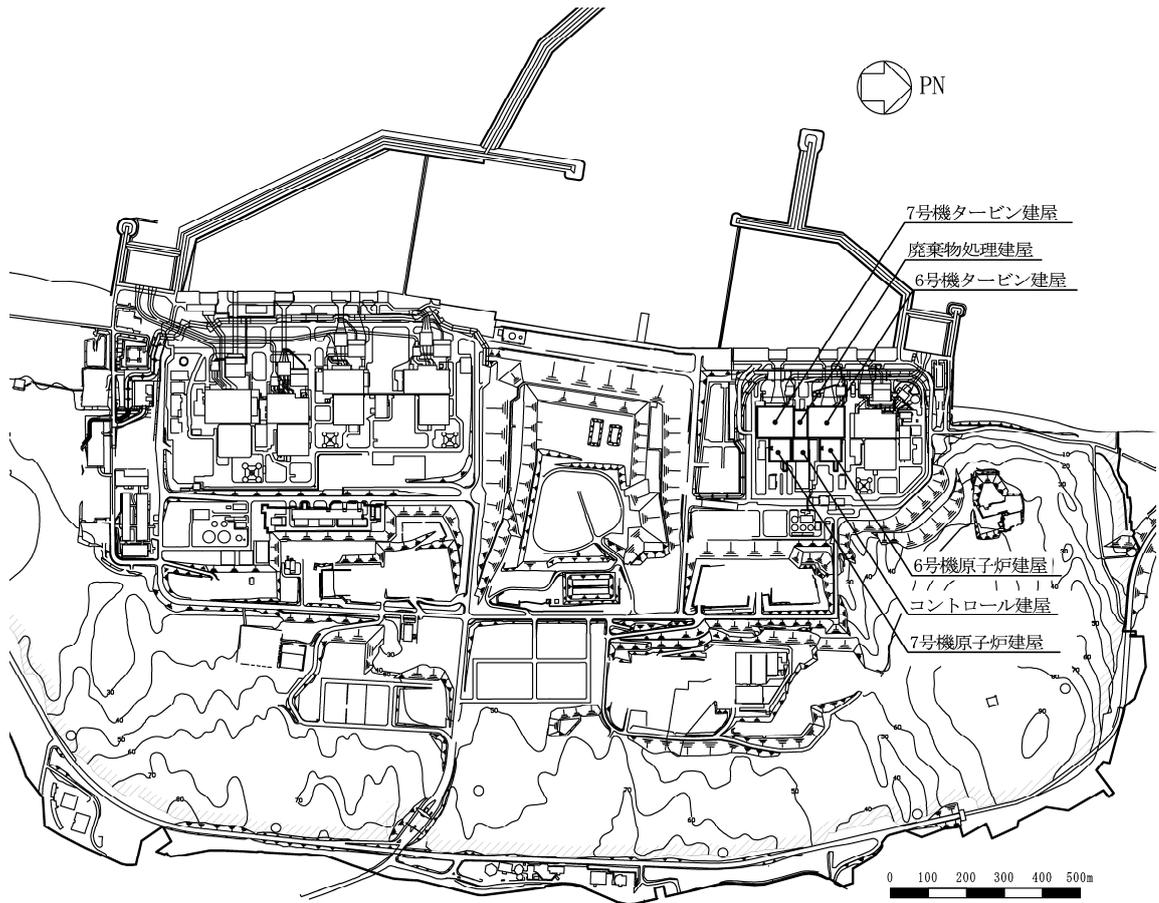


図 2-1 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットは原子炉建屋の燃料取替床（T.M.S.L.* 31.7m）付近に位置する鉄筋コンクリート構造物で、使用済燃料、制御棒及び使用済燃料輸送容器が収容される。

使用済燃料貯蔵プール内には、収容される機器の遮蔽及び冷却のため常時水が張られている。

使用済燃料貯蔵プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐとともに、保守及び点検についても考慮されている。なお、「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、鋼製ライナは耐漏洩機能を、鉄筋コンクリート部分は支持機能を有する。

また、原子炉ウェルをはさんで使用済燃料貯蔵プールの反対側には、燃料交換時に蒸気乾燥器と気水分離器を仮置きする蒸気乾燥器・気水分離器ピットがある。（以下、使用済燃料貯蔵プール、キャスクピット、原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットの全てを示す場合は、これを「プール部」という。）

プール部は、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）及び外壁に支持された一体構造物である。なお、プール部の床面及び壁面の一部はRCCVと共有するが、当該部分については、VI-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」に示す。

使用済燃料貯蔵プールの大きさは、内面寸法で平面 17.9m×14.0m、深さ 11.82m、壁厚 2.0m、底面スラブ厚 2.3m であり、キャスクピットの平面寸法は 3.2m×3.2m、壁厚 0.6m で、底面スラブ及び壁の一面はそれぞれ使用済燃料貯蔵プール底面及び壁面と共有する。

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット周りの概略平面図及び概略断面図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。

注記*：東京湾平均海面を、以下「T.M.S.L.」という。

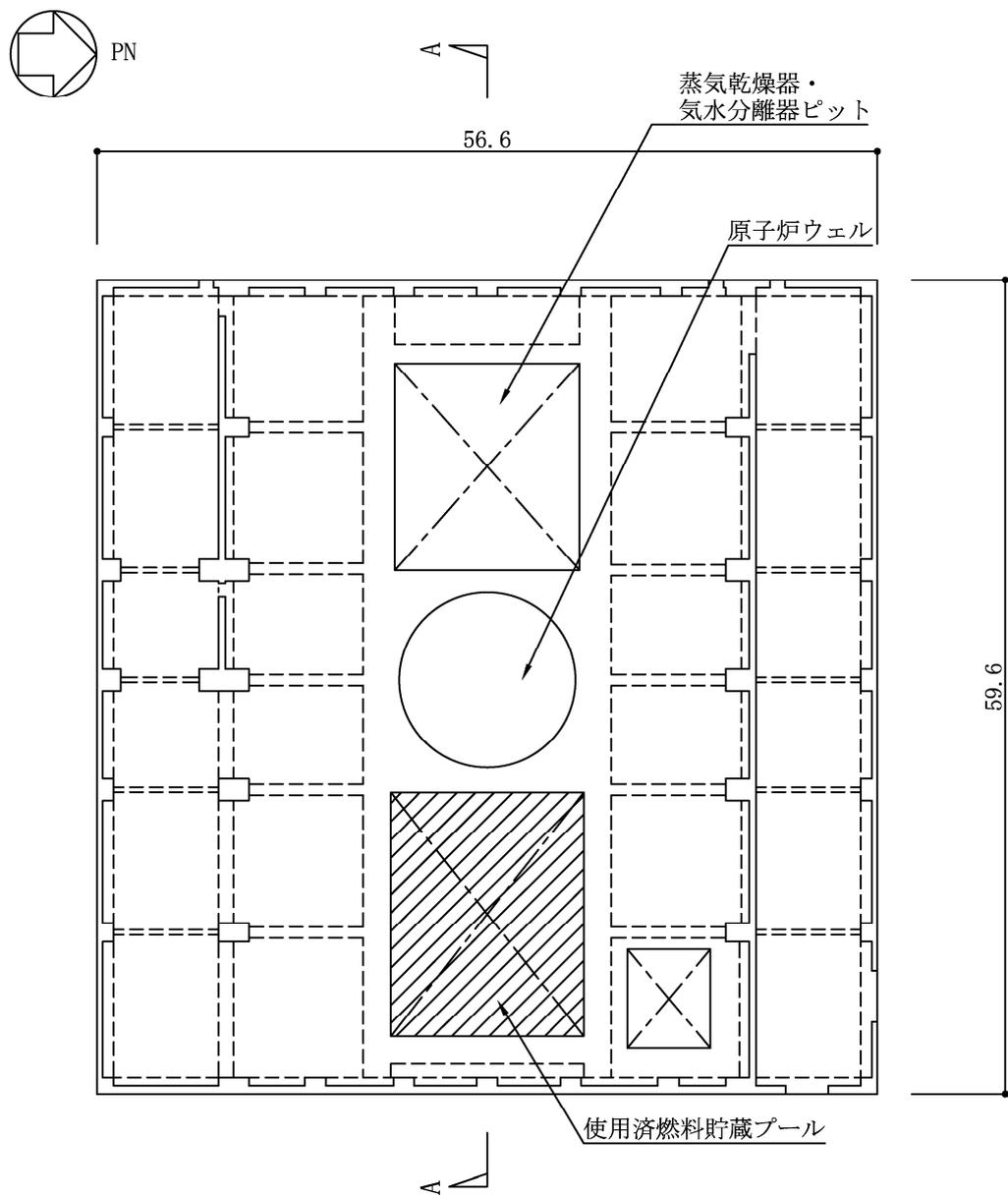
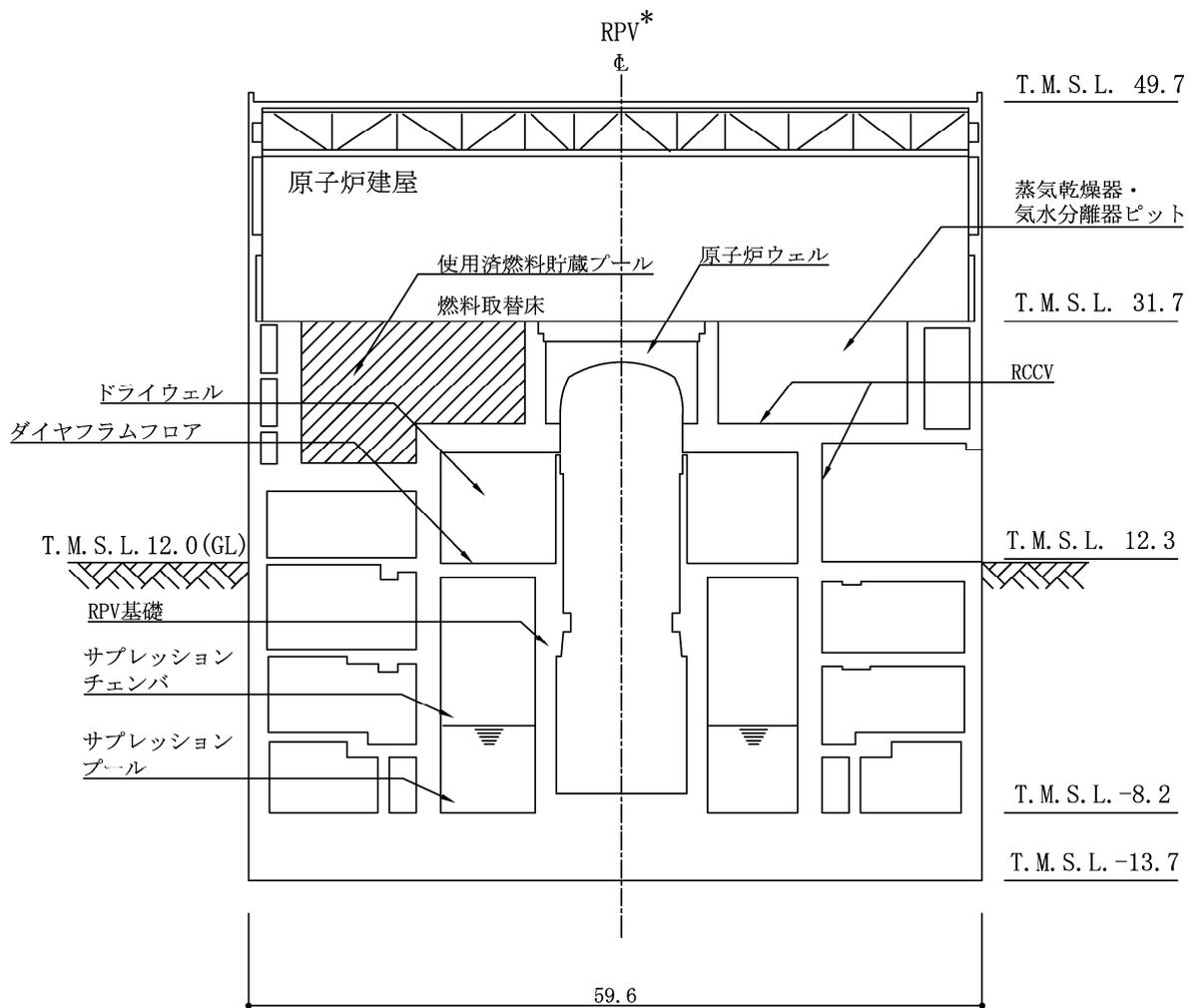


図 2-2 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の概略平面図
(T.M.S.L. 31.7m) (単位 : m)



注記*：原子炉圧力容器を，以下「RPV」という。

図 2-3 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットを含む原子炉建屋の概略断面図
(A-A 断面) (単位：m)

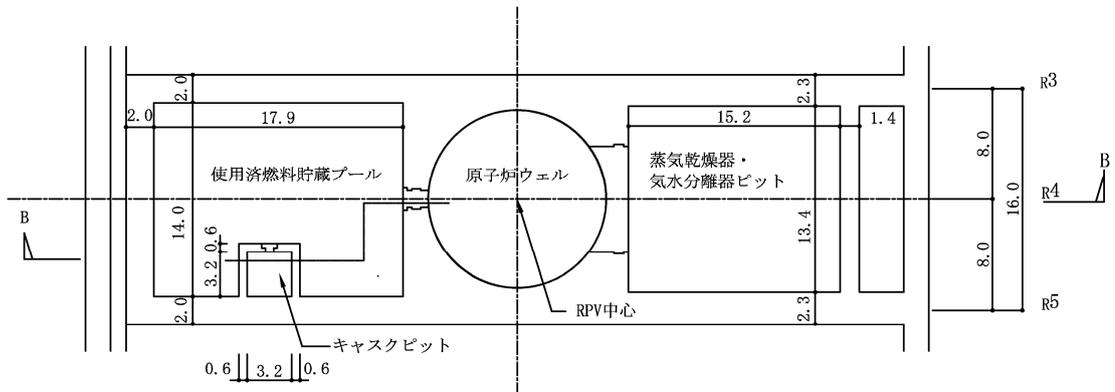
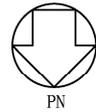


図 2-4 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット周りの概略平面図 (単位 : m)

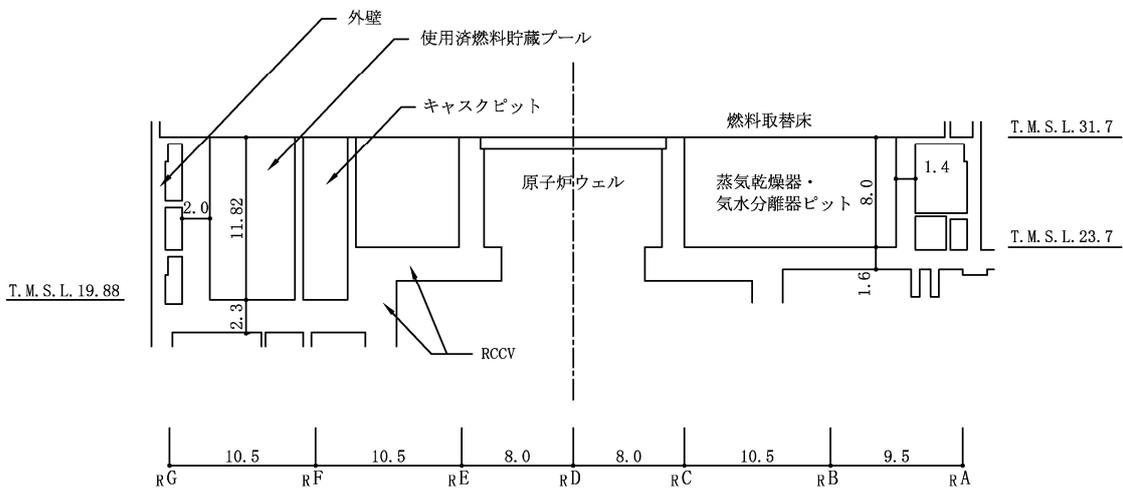


図 2-5 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット周りの概略断面図 (B-B 断面) (単位 : m)

2.3 評価方針

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」に分類される。

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力（以下「 S_d 地震時」という。）に対する評価及び基準地震動 S_s による地震力（以下「 S_s 地震時」という。）に対する評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、以下の3つの荷重の組合せに分類し、応力解析による評価において断面の評価を行うことで、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの地震時の構造強度の確認を行う。

- (1) S_d 地震時
- (2) S_s 地震時
- (3) (異常+ S_d 地震)時

なお、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの地震時の構造強度の確認には、地震応答解析による評価においてせん断ひずみ及び保有水平耐力の評価が必要であるが、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットが原子炉建屋の一部であることを踏まえ、原子炉建屋全体としての評価結果をVI-2-2-2「原子炉建屋の耐震性についての計算書」に示すこととする。評価にあたっては、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」による材料物性の不確かさを考慮する。表2-1に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、上記の(2)及び(3)に以下の(4)を加えた3つの荷重の組合せに分類し、応力解析による評価において断面の評価を行うことで、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの地震時の構造強度の確認を行う。

- (4) (異常+ S_s 地震)時

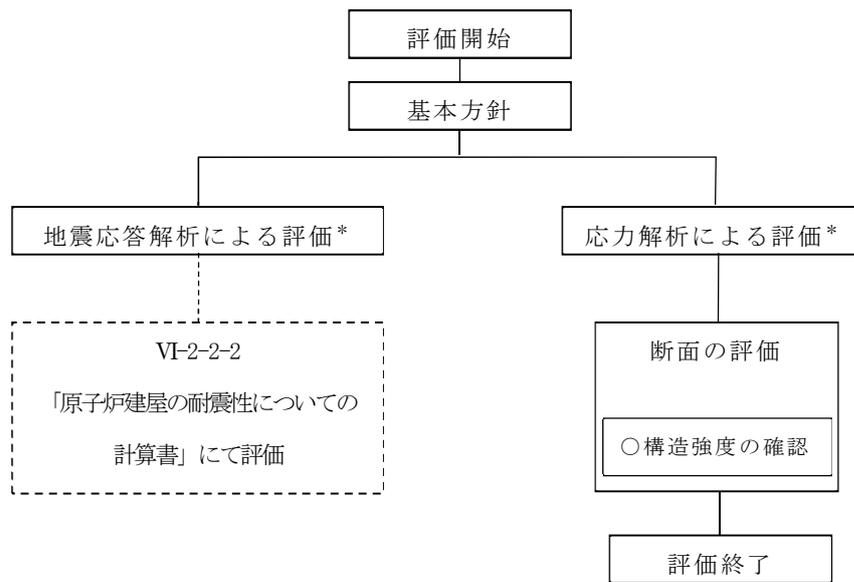
ここで、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットにおける(2)及び(3)の荷重の組合せでは、運転時、設計基準事故時の状態において、温度の条件が異なるが、コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下は認められず、剛性低下は認められるがその影響は小さいと考えられる（別紙「鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット）」参照）こと、また、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」（（社）日本機械学会，2003）では部材内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響し

ないこととされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの評価フローを図 2-6 に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	回転ばね 定数	地盤剛性	備考
①ケース1 (設工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース
②ケース2 (建屋剛性+ σ 及び 地盤剛性+ σ)	実強度+ σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤+ σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%及び 西山層+10%)	—
③ケース3 (建屋剛性- σ 及び 地盤剛性- σ)	実強度- σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤- σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%及び 西山層-10%)	—
④ケース4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑤ケース5 (建屋剛性-2 σ)	実強度-2 σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑥ケース6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	—



注記* : VI-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-6 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 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）（以下「RC 規準」という。）
- ・ 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。）
- ・ 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）
- ・ 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）
（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）
- ・ 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）
- ・ 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）（以下「CCV 規格」という。）

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの応力解析による評価対象部位は、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットを構成する壁及び底面スラブとし、3次元FEMモデルを用いた応力解析により評価を行う。3次元FEMモデルを用いた応力解析にあたっては、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」及び平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類IV-2-4-2-1「使用済燃料貯蔵プール（キャスクピットを含む。）の耐震性についての計算書」（以下「既工認」という。）による荷重を用いて、荷重の組合せを行う。

「2.3 評価方針」に示した4つの荷重の組合せに対しては、以下の(1)～(3)の方針に基づき断面の評価を行う。また、応力解析による評価フローを図3-1に示す。

(1) S d 地震時に対する評価

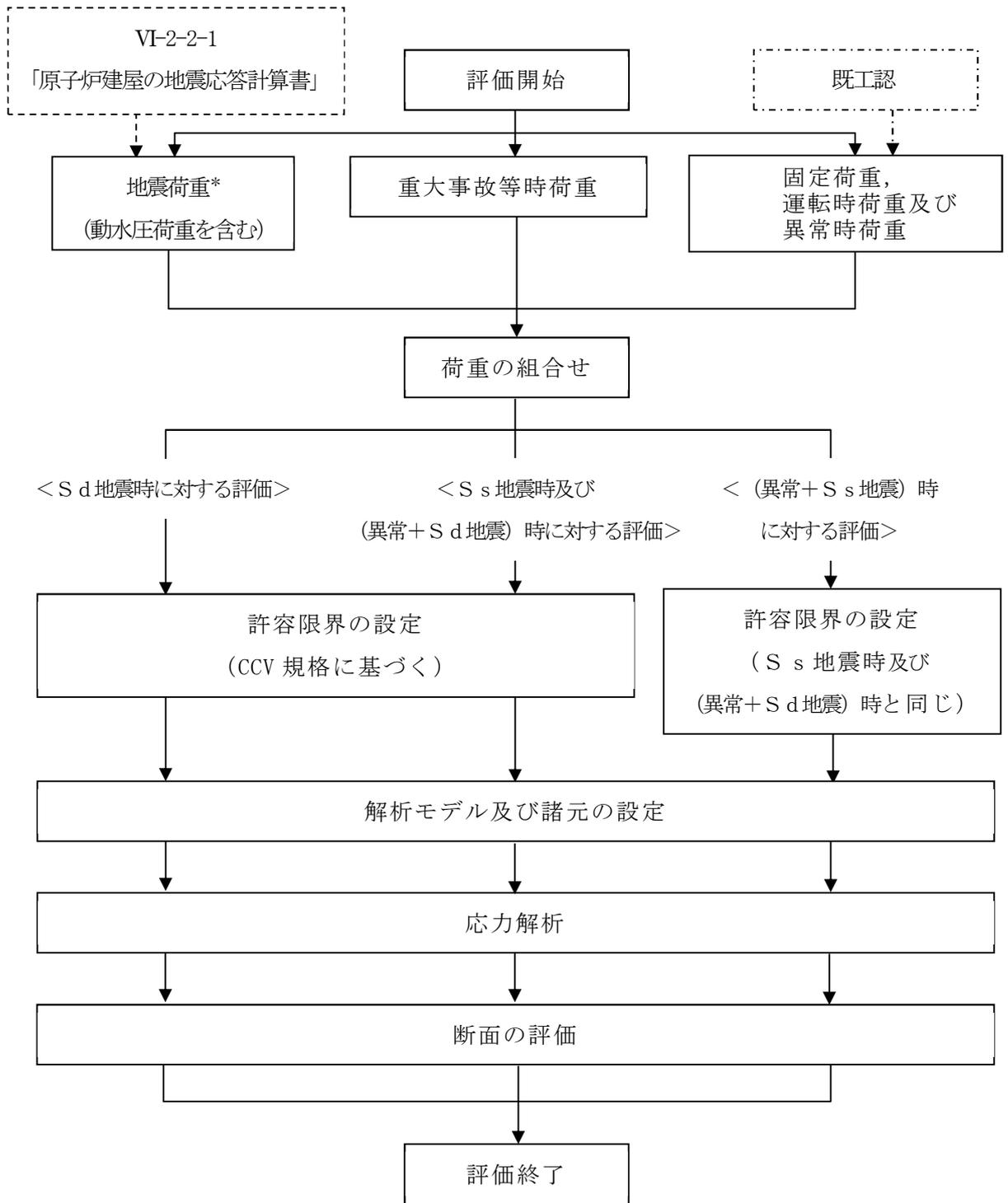
S d 地震時に対する評価は、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、CCV規格に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) S s 地震時及び（異常＋S d 地震）時に対する評価

S s 地震時及び（異常＋S d 地震）時に対する評価は、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、CCV規格に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(3) （異常＋S s 地震）時に対する評価

（異常＋S s 地震）時に対する評価は、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットについて、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、(2)と同じものとして設定した許容限界を超えないことを確認する。



注記* : 材料物性の不確かさについては、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。

図 3-1 応力解析による評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重

(1) 固定荷重

固定荷重として次のものを考慮する。

a. 死荷重及び活荷重 (DL)

死荷重及び活荷重は，既工認に基づき，次のものを考慮する。

- ・鉄筋コンクリート構造体の自重・・・23.5kN/m³
- ・使用済燃料貯蔵プールに格納される使用済燃料及びその他の機器重量・・・153kN/m²
- ・使用済燃料貯蔵プールの内容水による静水圧（水面を T.M.S.L. 31.7m より 0.31m 下りとする。）・・・113kN/m²

(2) 運転時荷重

運転時の状態で作用する荷重として次のものを考慮する。各荷重については，既工認に基づき設定する。（既工認時の温度分布解析については，VI-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」の別紙 2「温度分布解析」参照）

a. 運転時圧力 (P₁)

運転時において，RCCV の内部と外部の圧力差によって生じる荷重で，次の値とする。

$$P_1 = 13.7\text{kPa} \dots\dots\dots (3.1)$$

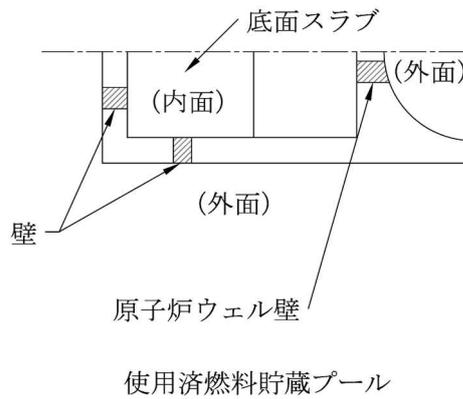
b. 運転時温度荷重 (T₁)

運転時において、プール部に生じる温度変化による荷重及びプール部の内部と外部との温度差によって生じる荷重で、内外表面の温度を表 3-1 のとおり設定する。

表 3-1 運転時内外表面温度

(単位：℃)

	季節	位置	使用済燃料貯蔵プール		
			壁	底面 スラブ	原子炉 ウェル壁
運転時	夏	内面	52.0	52.0	52.0
		外面	42.3	42.0	54.8
	冬	内面	52.0	52.0	52.0
		外面	18.0	17.1	54.6



c. 逃がし安全弁作動時荷重 (H_1)

逃がし安全弁作動時において，サプレッションプールに考慮する水力的動荷重は，次の値とする。

$$H_1 = \boxed{} \dots\dots\dots (3. 2)$$

(3) 異常時荷重

異常発生後，長時間継続する状態における荷重で，次のものとする。各荷重については，既工認に基づき設定する。

a. 異常時圧力 (P_2)

異常時において，RCCV の内部と外部との圧力差によって生じる荷重で，表 3-2 に示す値とする。

表 3-2 異常時圧力 (P_2)

(単位：kPa)

異常発生後の経過時間	記号	ドライウエル	サプレッションチェンバ
直後	P_{21}	248	177

(4) 重大事故等時荷重

重大事故等時の状態で施設に作用する荷重のうち長期的な荷重として次のものを考慮する。

a. 重大事故等時圧力 (P_{SALL})

重大事故等時において，RCCV の内部と外部の圧力差によって長期的に生じる荷重で，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の「5.2 荷重の組合せ」より，次の値とする。

$$P_{SALL} = 150\text{kPa} \dots\dots\dots (3. 3)$$

(5) 地震荷重

a. S_d地震荷重 (K_d)

水平地震力は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び静的地震力より設定する。動的地震力のうちせん断力については、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」における最大応答せん断力から補助壁が負担するせん断力を減じて算定する。静的地震力については、既工認時に基準地震動 S₁ による動的地震力及び静的地震力に余裕を考慮して設定した S₁ 地震荷重を適用する。

鉛直地震力は、鉛直震度として設定する。鉛直震度は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される鉛直震度及び震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮した高さ一定方向の鉛直震度より設定する。

S_d 地震荷重を表 3-3～表 3-5 に示す。

b. S_s地震荷重 (K_s)

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び鉛直震度より設定する。動的地震力のうちせん断力については、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」における最大応答せん断力から補助壁が負担するせん断力を減じて算定する。

S_s 地震荷重を表 3-6～表 3-8 に示す。

表 3-3 地震荷重 (K_d) (せん断力)

(a) NS 方向

T. M. S. L. (m)	せん断力 (×10 ³ kN)	
	S d	静的地震力
31.7	22.3	67.0
23.5	85.5	120
18.1	79.8	148
12.3	114	166
4.8	134	170
-1.7	140	184
-8.2		

(b) EW 方向

T. M. S. L. (m)	せん断力 (×10 ³ kN)	
	S d	静的地震力
31.7	51.6	76.1
23.5	128	148
18.1	124	160
12.3	119	169
4.8	125	189
-1.7	140	198
-8.2		

表 3-4 地震荷重 (K_d) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

T. M. S. L. (m)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)	
	S d	静的地震力
31.7	7.00	5.10
23.5	23.0	55.0
	104	79.5
18.1	150	120
	208	140
12.3	267	206
	330	217
4.8	416	330
	460	330
-1.7	525	441
	525	441
-8.2	600	561

(b) EW 方向

T. M. S. L. (m)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)	
	S d	静的地震力
31.7	63.0	46.4
23.5	101	62.3
	-112	-95.6
18.1	-52.0	-31.8
	-73.0	-56.9
12.3	127	77.7
	193	124
4.8	272	204
	326	213
-1.7	429	327
	463	327
-8.2	563	455
回転ばね*	249	158

注記* : プール壁が RCCV の曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばねを示す。

表 3-5 地震荷重 (K_d) (鉛直震度)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度	
	S d	静的地震力
31.7	0.48	0.24
23.5	0.47	0.24
18.1	0.45	0.24
12.3	0.43	0.24
4.8	0.42	0.24
-1.7	0.42	0.24
-8.2	0.42	0.24

表 3-6 地震荷重 (K_s) (せん断力)

(a) NS 方向

T. M. S. L. (m)	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
31.7	48.6
23.5	183
18.1	170
12.3	276
4.8	296
-1.7	257
-8.2	

(b) EW 方向

T. M. S. L. (m)	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
31.7	85.1
23.5	221
18.1	272
12.3	287
4.8	305
-1.7	280
-8.2	

表 3-7 地震荷重 (K_s) (曲げモーメント)

(a) NS 方向

T. M. S. L. (m)	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
31.7	14.0 38.0
23.5	165 243
18.1	342 444
12.3	541 734
4.8	832 971
-1.7	971 1120
-8.2	

(b) EW 方向

T. M. S. L. (m)	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
31.7	120 178
23.5	-331 -196
18.1	-147 201
12.3	315 463
4.8	573 750
-1.7	818 969
-8.2	
回転ばね*	530

注記* : プール壁が RCCV の曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばねを示す。

表 3-8 地震荷重 (K_s) (鉛直震度)

T. M. S. L. (m)	鉛直震度
	S_s
31.7	0.96
23.5	0.94
18.1	0.91
12.3	0.87
4.8	0.84
-1.7	0.84
-8.2	0.84

c. 地震時配管荷重 (R_d 及び R_s)

地震時において、配管貫通部には、表 3-9 に示す地震時配管荷重を同時に考慮する。

表 3-9 地震時配管荷重 (R_d 及び R_s)

記号	配管	N (kN)	Q (kN)	M_t (kN·m)	M (kN·m)
R_d	主蒸気配管	2460	780	1010	2770
	給水配管	1130	348	722	970
R_s	主蒸気配管	3050	1000	1260	3510
	給水配管	1500	440	960	1200

注 1 : N, Q, M_t 及び M は、下図に示すとおりである。

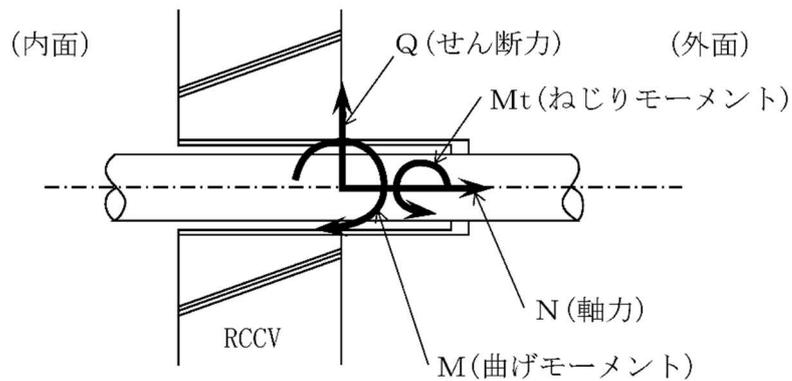
注 2 : 数値は、1 本当たりの絶対値を示す。

注 3 : 開口部の位置及び開口径は VI-2-9-2-1 「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」による。

注 4 : R_d は、 S_d 地震荷重と同時に作用するものとする。

注 5 : R_s は、 S_s 地震荷重と同時に作用するものとする。

注 6 : M (曲げモーメント) については、せん断力による効果も併せて考慮した。



d. 地震時動水圧荷重 (KH)

使用済燃料貯蔵プールに作用する地震時動水圧荷重は、J E A G 4 6 0 1 - 1987 における Housner 理論に基づき、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s による応答解析結果から衝撃圧及び揺動圧を算定する。地震時動水圧荷重を表 3-10 に示す。

表 3-10 地震時動水圧荷重 (KH)

(単位 : kN/m²)

KH _d *1		KH _s *2	
NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向

注記*1 : KH_dは、S_d地震荷重と同時に作用するものとする。

*2 : KH_sは、S_s地震荷重と同時に作用するものとする。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-11 に示す。

表 3-11 荷重の組合せ

外力の状態	荷重 番号	荷重の組合せ
S _d 地震時*	1	$DL + P_1 + T_1 + H_1 + K_d + R_d + KH_d$
S _s 地震時	2	$DL + P_1 + H_1 + K_s + R_s + KH_s$
(異常 + S _d 地震) 時	3	$DL + P_{21} + K_d + R_d + KH_d$
(異常 + S _s 地震) 時	4	$DL + P_{SALL} + K_s + R_s + KH_s$

注記* : 温度荷重がない場合も考慮する。

- DL : 死荷重及び活荷重
- P₁ : 運転時圧力
- T₁ : 運転時温度荷重
- H₁ : 逃がし安全弁作動時荷重
- P₂₁ : 異常時圧力 (直後)
- P_{SALL} : 重大事故等時圧力
- K_d 及び K_s : 地震荷重
- R_d 及び R_s : 地震時配管荷重
- KH_d 及び KH_s : 地震時動水圧荷重

3.3 許容限界

応力解析による評価における使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限の方針に基づき、表3-12及び表3-13のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表3-14及び表3-15に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表3-16に示す。

表3-12 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	外力の状態	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	S d 地震時	壁及び底面スラブ	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	CCV規格に基づく荷重状態Ⅲの許容値
		S s 地震時	壁及び底面スラブ	部材に生じる応力及び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	CCV規格に基づく荷重状態Ⅳの許容値
		(異常+S d 地震)時	壁及び底面スラブ		

表3-13 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	外力の状態	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	S s 地震時	壁及び底面スラブ	部材に生じる応力及び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	CCV規格に基づく荷重状態Ⅳの許容値
		(異常+S d 地震)時	壁及び底面スラブ		
		(異常+S s 地震)時	壁及び底面スラブ		(異常+S s 地震)時の許容値*

注記* : S s 地震時及び(異常+S d 地震)時の許容限界と同じ許容限界を適用する。

表 3-14 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	設計基準強度 $F_c = 32.3$			
	応力状態1* ¹		応力状態2* ²	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
S d 地震時	21.4	1.21	24.2	1.21
S s 地震時 (異常 + S d 地震) 時 (異常 + S s 地震) 時	21.4* ³	1.21	—	—

注記*1：「応力状態1」とは、各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

*2：「応力状態2」とは、各荷重状態において温度荷重による応力が生じている状態をいう。

*3：軸力の検討に用いる許容圧縮応力度を示す。

表 3-15 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	引張及び圧縮	面外せん断補強
S d 地震時	SD35 (SD345 相当)	SD35 (SD345 相当)
	345	345

表 3-16 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

外力の状態	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
S s 地震時 (異常 + S d 地震) 時 (異常 + S s 地震) 時	0.003	0.005

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

S d 地震時における応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。S s 地震時、（異常+S d 地震）時及び（異常+S s 地震）時における応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力解析モデルは、プール部のほか、RCCV、ダイヤフラムフロア及び基礎スラブを一体としたモデルである。応力解析における評価対象部位は、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの壁及び底面スラブであるが、各部の荷重伝達を考慮するために周辺部を含むモデルを用いることとした。なお、本解析モデルは、VI-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」と同一である。地震荷重時の解析モデル概要図を図 3-2 に示す。

S d 地震時における熱応力の解析に用いるコンクリートの弾性係数は、1/3 に低減した値を用いる。

(2) 使用要素

S d 地震時における解析モデルに使用する FEM 要素は、シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は均質等方性材料によるシェル要素である。

S s 地震時、（異常+S d 地震）時及び（異常+S s 地震）時における解析モデルに使用する FEM 要素は、積層シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は鉄筋層をモデル化した異方性材料による積層シェル要素である。

各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

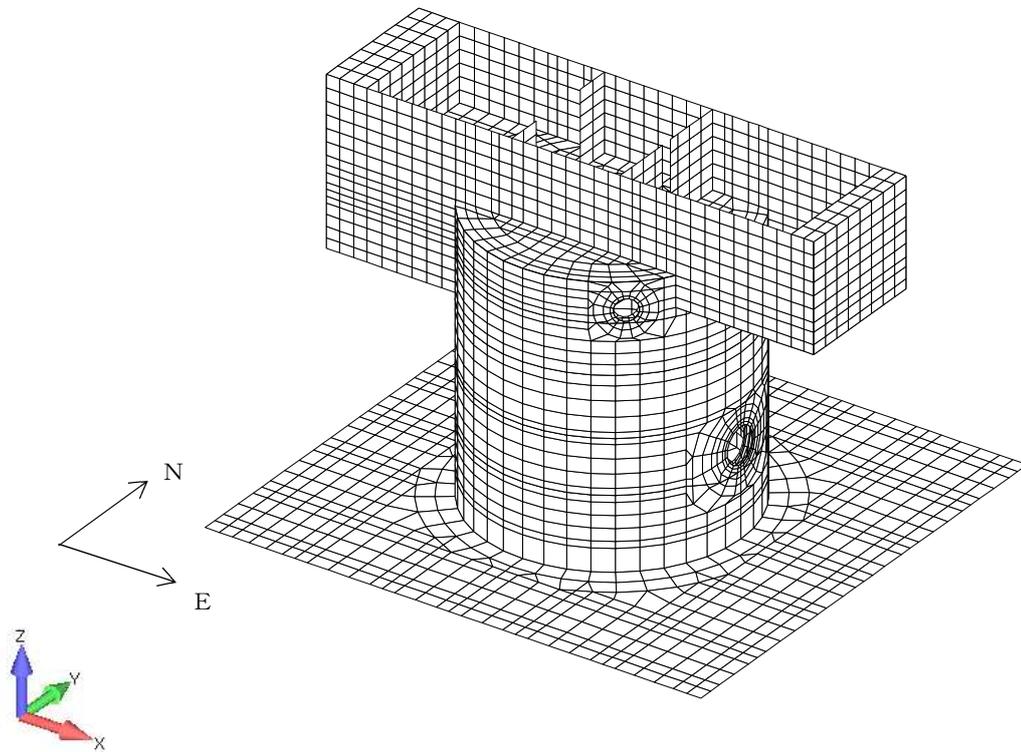
解析モデルの節点数は 8266、要素数は 12028 である。

(3) 境界条件

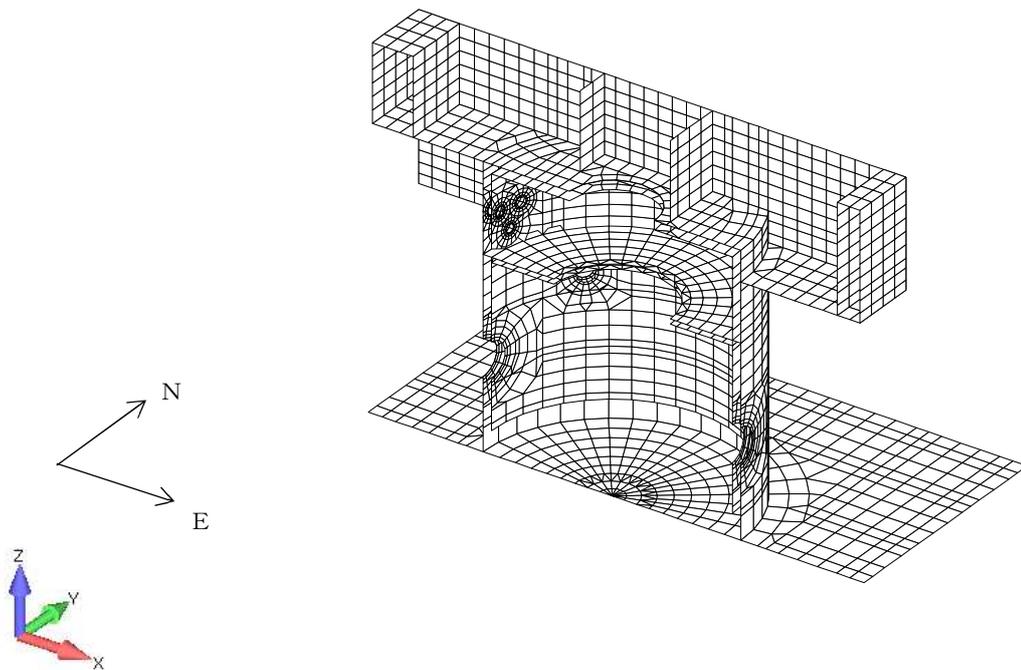
3次元 FEM モデルの基礎スラブ底面及び側面に、VI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元 FEM モデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばね及び側面水平ばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデル

のロッキングばね及び側面回転ばねを基に設定を行う。なお，基礎スラブ底面の地盤ばねについては，引張力が発生したときに浮上りを考慮する。

また，3次元 FEM モデルの上部構造物に対する周辺床及び外壁の剛性並びに基礎スラブに対する上部構造物の剛性を考慮する。RCCV と外壁の間の耐震壁の脚部位置については，はり要素を設ける。

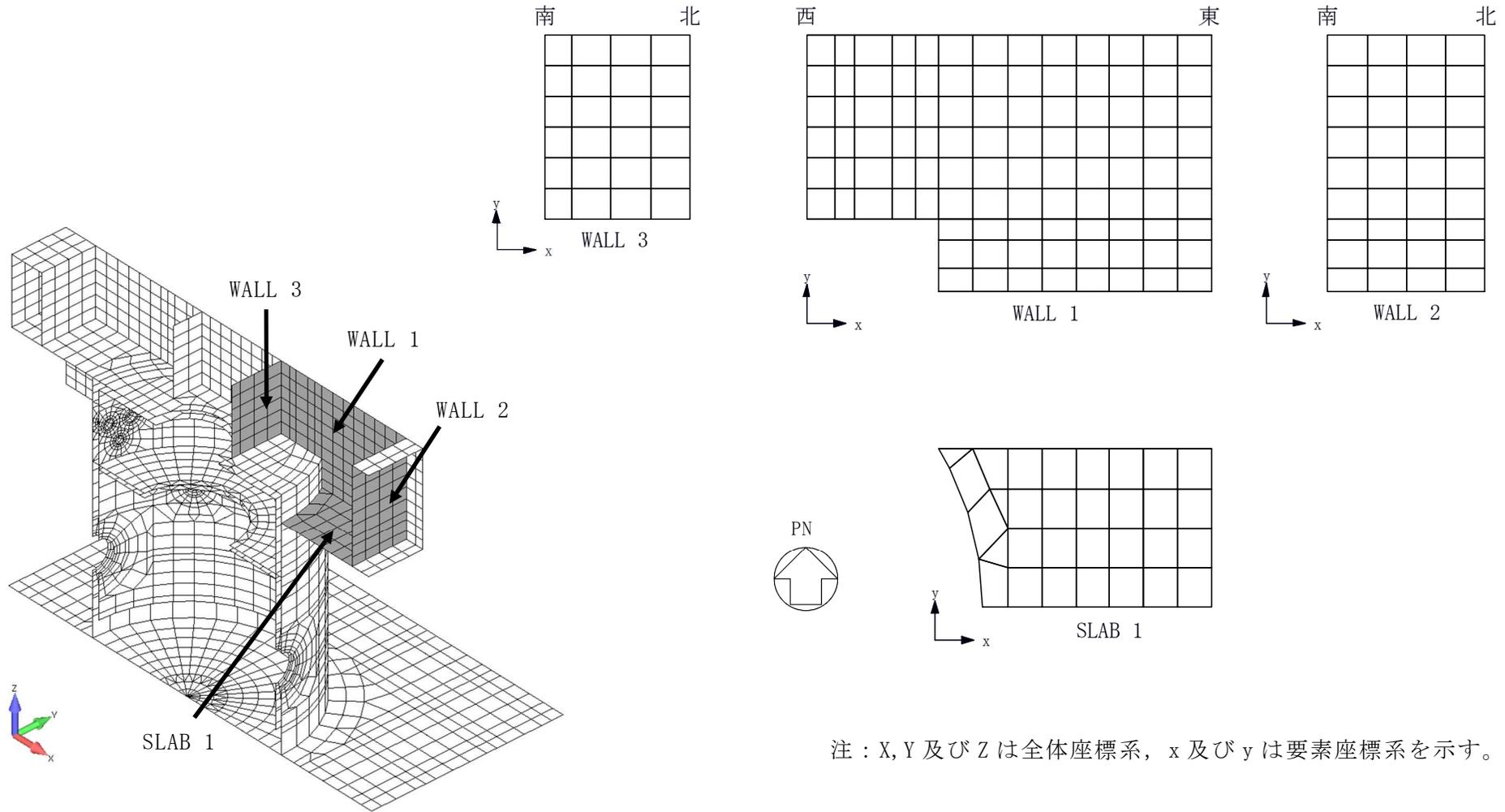


(a) 全体鳥瞰図



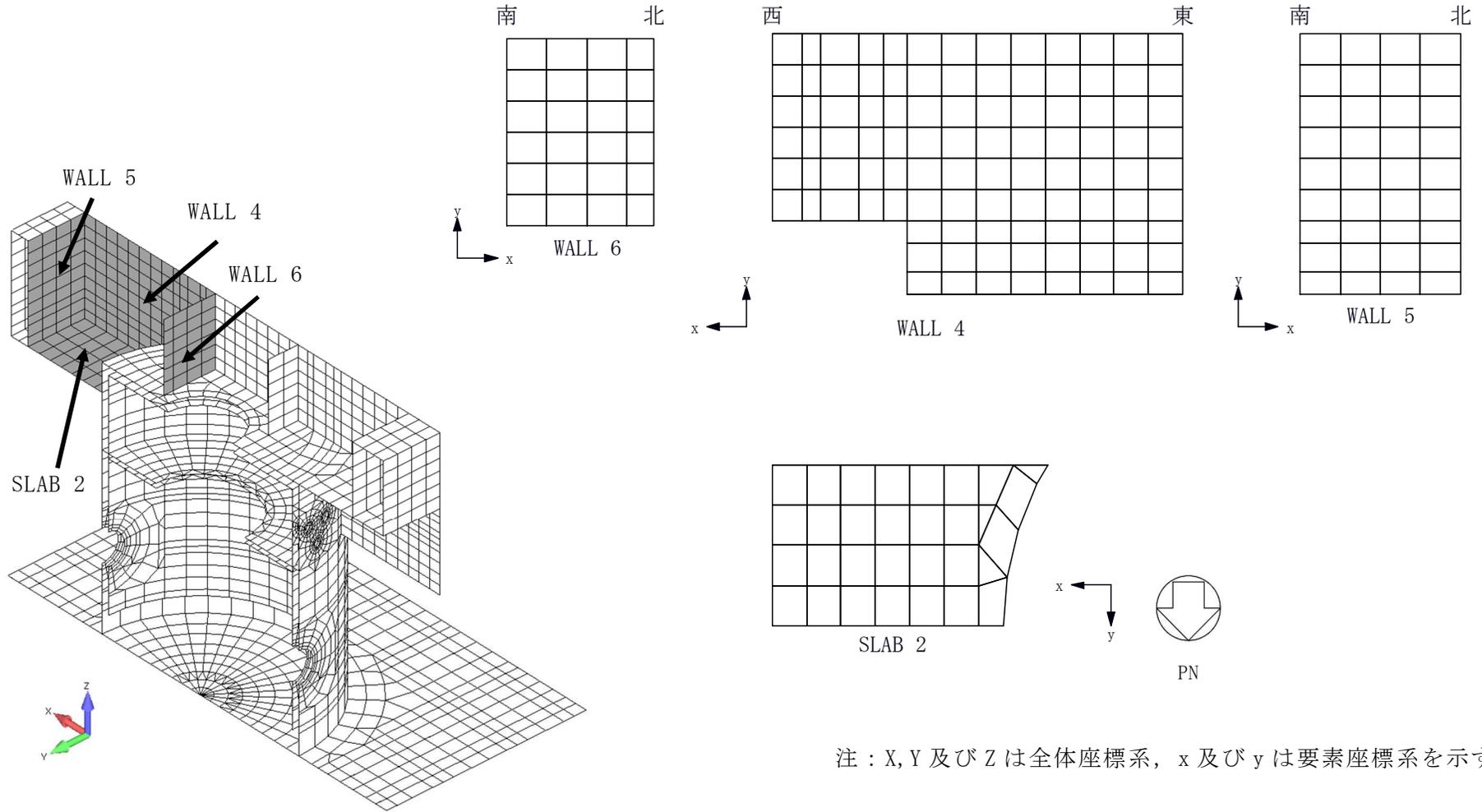
(b) 全体断面図 (EW 方向断面)

図 3-2 解析モデル (地震荷重時) (1/3)



(c) プール部要素分割図

図 3-2 解析モデル (地震荷重時) (2/3)



注：X, Y 及び Z は全体座標系，x 及び y は要素座標系を示す。

(d) プール部要素分割図

図 3-2 解析モデル（地震荷重時）（3/3）

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-17 及び表 3-18 に示す。

表 3-17 コンクリートの物性値

諸元	物性値	
	上部構造物	基礎スラブ
ヤング係数 (N/mm ²)	2.88×10 ⁴ *1	2.79×10 ⁴ *2
ポアソン比	0.2	0.2

注記*1 : 剛性はコンクリートの実強度 (43.1N/mm²) に基づく。

*2 : 剛性はコンクリートの実強度 (39.2N/mm²) に基づく。

表 3-18 鉄筋の物性値

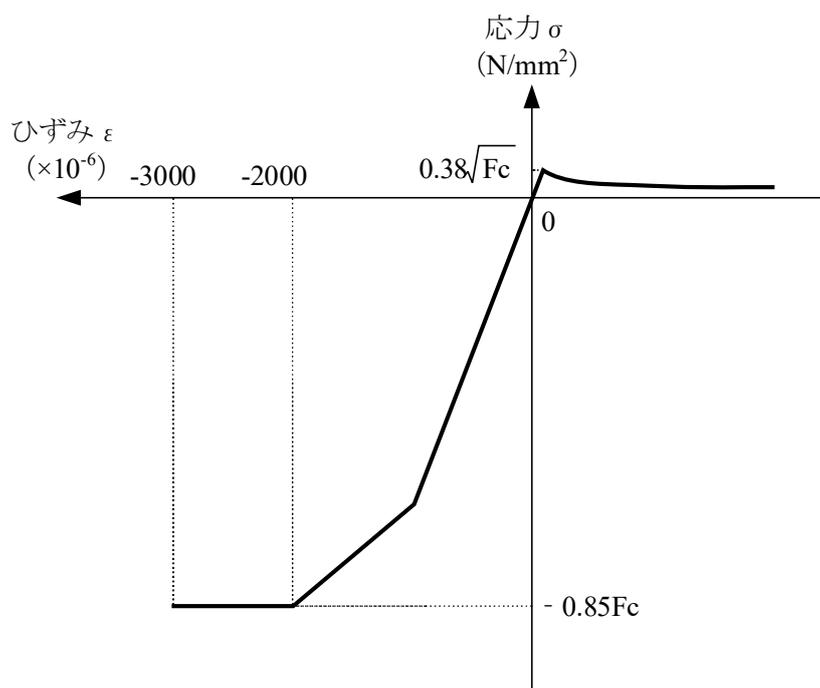
(単位 : N/mm²)

諸元	物性値
鉄筋の種類	SD40 (SD390 相当) SD35 (SD345 相当)
ヤング係数	2.05×10 ⁵

3.4.3 材料構成則

S s 地震時，（異常＋S d 地震）時及び（異常＋S s 地震）時に対する評価で用いる材料構成則を図 3-3 に示す。

なお，ヤング係数は実強度に基づく値とし，コンクリートの圧縮強度は設計基準強度に基づく値とする。



F_c : コンクリートの設計基準強度

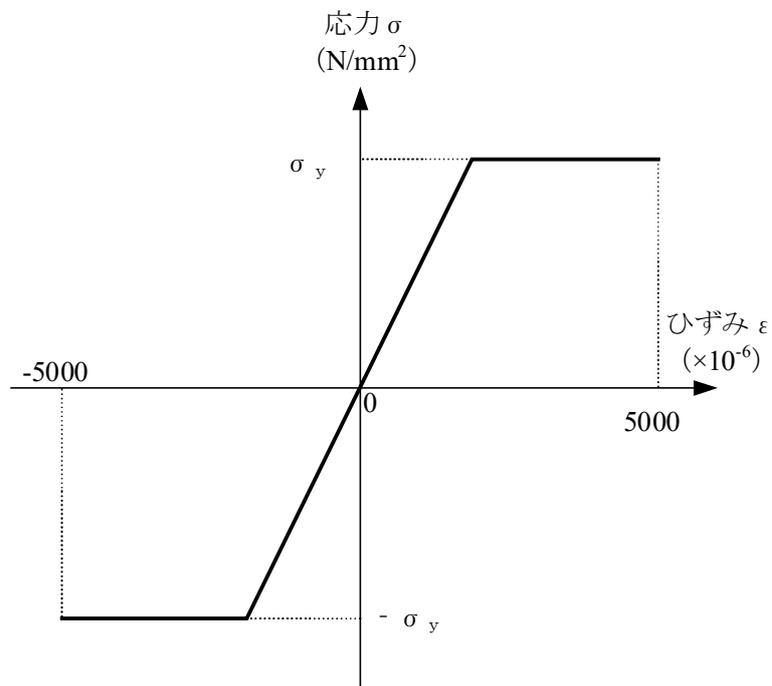
項目	設定
圧縮強度	$-0.85 F_c$ (CCV 規格)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (CCV 規格)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 ($c = 0.4$) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \sqrt{F_c}$ (RC 規準)

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 3-3 材料構成則 (1/2)

- 鉄筋の構成則：バイリニア型
- 終局ひずみ： $\pm 5000 \times 10^{-6}$ （CCV規格）



σ_y ：鉄筋の降伏強度

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力－ひずみ関係

図 3-3 材料構成則 (2/2)

3.5 評価方法

3.5.1 応力解析方法

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットについて、S_d地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施し、S_s地震時、（異常+S_d地震）時及び（異常+S_s地震）時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

それぞれの外力の状態の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

DL	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
T ₁	: 運転時温度荷重
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
P ₂₁	: 異常時圧力（直後）
P _{SALL}	: 重大事故等時圧力
K _{d1SN} *	: S→N方向 S _d 地震荷重（動的地震力）
K _{d1WE} *	: W→E方向 S _d 地震荷重（動的地震力）
K _{d1DU} *	: 鉛直方向 S _d 地震荷重（動的地震力）
K _{d2SN} *	: S→N方向 S _d 地震荷重（静的地震力）
K _{d2WE} *	: W→E方向 S _d 地震荷重（静的地震力）
K _{d2DU} *	: 鉛直方向 S _d 地震荷重（静的地震力）
K _{sSN} *	: S→N方向 S _s 地震荷重
K _{sWE} *	: W→E方向 S _s 地震荷重
K _{sDU} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重
R _d	: S _d 地震時配管荷重
R _s	: S _s 地震時配管荷重
KH _{dWE} *	: W→E方向 S _d 地震時動水圧荷重
KH _{dSN} *	: S→N方向 S _d 地震時動水圧荷重
KH _{sWE} *	: W→E方向 S _s 地震時動水圧荷重
KH _{sSN} *	: S→N方向 S _s 地震時動水圧荷重

注記* : 計算上の座標軸を基準として、EW方向はW→E方向の加力、NS方向はS→N方向の加力、鉛直方向は上向きの加力を記載している。

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-19 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008」（（社）日本電気協会）を参考に、組合せ係数法（組合せ係数は 1.0 と 0.4）を用いるものとする。

表 3-19 荷重の組合せケース (1/4)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S d 地震時	1-1	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	1-2	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	1-3	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	1-4	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$
	1-5	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	1-6	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	1-7	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	1-8	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$
	1-9	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dSN}$
	1-10	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dWE}$
	1-11	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dSN}$
	1-12	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dWE}$
	1-13	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dSN}$
	1-14	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dWE}$
	1-15	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dSN}$
	1-16	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dWE}$
	1-17	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	1-18	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	1-19	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	1-20	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$
	1-21	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	1-22	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	1-23	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	1-24	$DL + P_1 + [T_1] + H_1 - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$

注：[]は応力状態 2 に対する荷重を表す。

表 3-19 荷重の組合せケース (2/4)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S s 地震時	2-1	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN}$
	2-2	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sWE}$
	2-3	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN}$
	2-4	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sWE}$
	2-5	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN}$
	2-6	$DL + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sWE}$
	2-7	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN}$
	2-8	$DL + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sWE}$
	2-9	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN}$
	2-10	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sWE}$
	2-11	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN}$
	2-12	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sWE}$
	2-13	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN}$
	2-14	$DL + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sWE}$
	2-15	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN}$
	2-16	$DL + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sWE}$

表 3-19 荷重の組合せケース (3/4)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
(異常 + S d 地震) 時	3-1	$DL + P_{21} + 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	3-2	$DL + P_{21} + 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	3-3	$DL + P_{21} - 1.0K_{d1SN} + 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	3-4	$DL + P_{21} - 1.0K_{d1WE} + 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$
	3-5	$DL + P_{21} + 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	3-6	$DL + P_{21} + 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	3-7	$DL + P_{21} - 1.0K_{d1SN} - 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	3-8	$DL + P_{21} - 1.0K_{d1WE} - 0.4K_{d1DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$
	3-9	$DL + P_{21} + 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dSN}$
	3-10	$DL + P_{21} + 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dWE}$
	3-11	$DL + P_{21} - 0.4K_{d1SN} + 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dSN}$
	3-12	$DL + P_{21} - 0.4K_{d1WE} + 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dWE}$
	3-13	$DL + P_{21} + 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dSN}$
	3-14	$DL + P_{21} + 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d + 0.4KH_{dWE}$
	3-15	$DL + P_{21} - 0.4K_{d1SN} - 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dSN}$
	3-16	$DL + P_{21} - 0.4K_{d1WE} - 1.0K_{d1DU} + R_d - 0.4KH_{dWE}$
	3-17	$DL + P_{21} + 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	3-18	$DL + P_{21} + 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	3-19	$DL + P_{21} - 1.0K_{d2SN} + 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	3-20	$DL + P_{21} - 1.0K_{d2WE} + 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$
	3-21	$DL + P_{21} + 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dSN}$
	3-22	$DL + P_{21} + 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d + 1.0KH_{dWE}$
	3-23	$DL + P_{21} - 1.0K_{d2SN} - 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dSN}$
	3-24	$DL + P_{21} - 1.0K_{d2WE} - 1.0K_{d2DU} + R_d - 1.0KH_{dWE}$

表 3-19 荷重の組合せケース (4/4)

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
(異常+ S _s 地震) 時	4-1	$DL + P_{SALL} + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN}$
	4-2	$DL + P_{SALL} + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sWE}$
	4-3	$DL + P_{SALL} - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN}$
	4-4	$DL + P_{SALL} - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sWE}$
	4-5	$DL + P_{SALL} + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sSN}$
	4-6	$DL + P_{SALL} + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s + 1.0KH_{sWE}$
	4-7	$DL + P_{SALL} - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sSN}$
	4-8	$DL + P_{SALL} - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + R_s - 1.0KH_{sWE}$
	4-9	$DL + P_{SALL} + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN}$
	4-10	$DL + P_{SALL} + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sWE}$
	4-11	$DL + P_{SALL} - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN}$
	4-12	$DL + P_{SALL} - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sWE}$
	4-13	$DL + P_{SALL} + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sSN}$
	4-14	$DL + P_{SALL} + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s + 0.4KH_{sWE}$
	4-15	$DL + P_{SALL} - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sSN}$
	4-16	$DL + P_{SALL} - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + R_s - 0.4KH_{sWE}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

水平地震力については，各階のせん断力及び曲げモーメントを各床レベルの節点に離散化して節点荷重として入力する。

鉛直地震力については，モデル上の各節点における鉛直震度により支配面積に応じた節点力として入力する。

b. 温度荷重

S d 地震時における熱応力については，CCV 規格に基づき，部材の剛性を一律に低減する一律低減法により評価する。

c. 地震荷重及び温度荷重以外の荷重

地震荷重及び温度荷重以外の荷重については，FEM モデルの各節点又は各要素に，集中荷重又は分布荷重として入力する。

3.5.2 断面の評価方法

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの断面の評価に用いる応力は、3次元 FEM モデルを用いた応力解析により得られた各荷重による応力（軸力、曲げモーメント及びせん断力）とする。壁及び底面スラブの断面力成分を図 3-4 に示す。

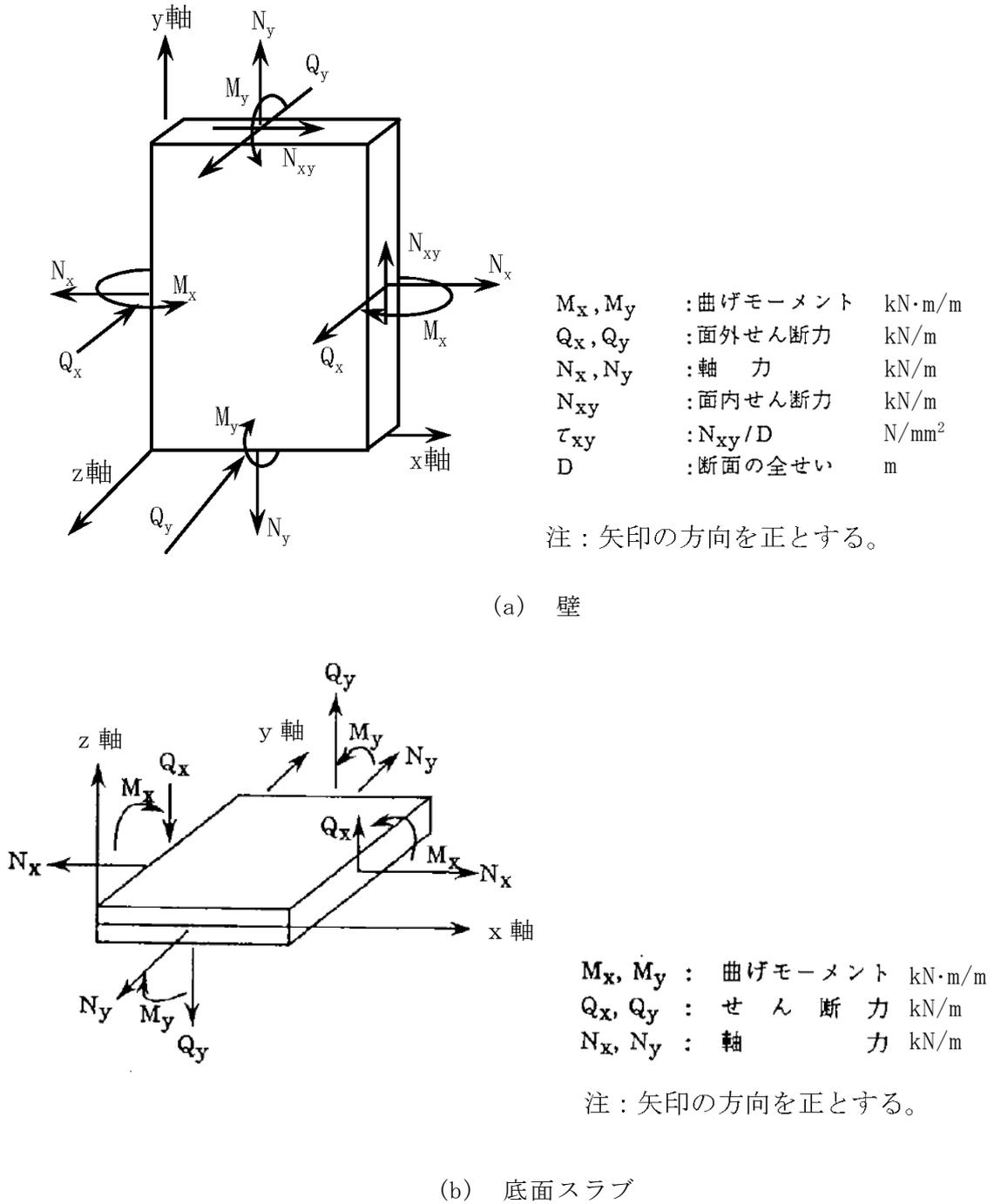


図 3-4 壁及び底面スラブの断面力成分

(1) S d 地震時

a. 壁

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度，面内せん断力並びに面外せん断力を算定し，CCV 規格に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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

膜力と面内せん断力の関係図を図 3-5 に示す。

等価膜力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度については，表 3-14 及び表 3-15 に示す許容応力度を超えないことを確認する。

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

$$N_{\theta}^* = N_{\theta} \pm |N_{\phi\theta}| \dots\dots\dots (CVE-3511-2)$$

ここで，

- N_{ϕ}^* ， N_{θ}^* : ϕ ， θ 方向の等価膜力
- N_{ϕ} ， N_{θ} : ϕ ， θ 方向の膜力
- $N_{\phi\theta}$: 面内せん断力

(ϕ 方向は子午線方向， θ 方向は円周方向とする)

上記のうち，「膜力」は「軸力」に読み替えることとする。また，「子午線方向」は「縦方向」に，「円周方向」は「横方向」にそれぞれ読み替えることとする。

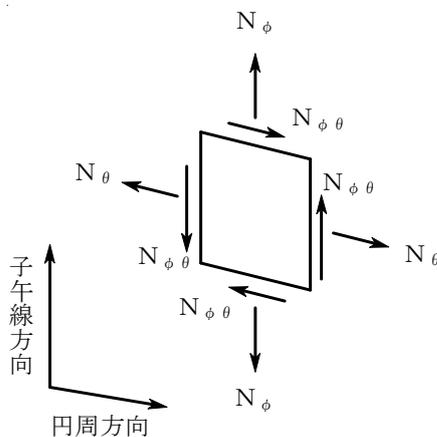


図3-5 膜力と面内せん断力の関係図

(b) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、CCV規格のCVE-3512.1に準拠して行う。

面内せん断応力度が、CVE-3512.2-1及びCVE-3512.2-2より計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値の0.75倍の値を超えないことを確認する。

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

$$\tau_u = 1.10 \sqrt{F_c} \dots\dots\dots (\text{CVE-3512.2-2})$$

ここで、

- τ_u : 終局面内せん断応力度(N/mm²)
- $p_{t\phi}$: 子午線方向主筋の鉄筋比
- $p_{t\theta}$: 円周方向主筋の鉄筋比
- $\sigma_{o\phi}$: 外力により生じる子午線方向の膜応力度(N/mm²) (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)
- $\sigma_{o\theta}$: 外力により生じる円周方向の膜応力度(N/mm²) (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)
- f_y : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、表3-15に示す値(N/mm²)
- F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

上記のうち、「子午線方向主筋」は「縦方向主筋」に、「円周方向主筋」は「横方向主筋」にそれぞれ読み替えることとする。また、「子午線方向の膜応力度」は「縦方向の軸応力度」に、「円周方向の膜応力度」は「横方向の軸応力度」にそれぞれ読み替えることとする。

(c) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、CCV 規格の CVE-3513.1 に準拠して行う。

面外せん断応力度が、CVE-3513.2-1 及び CVE-3513.2-2 より計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値の 0.75 倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_R = \Phi \left\{ 0.1(p_t \cdot f_y - \sigma_0) + 0.5 \cdot p_w \cdot f_y + 0.235 \sqrt{F_c} \right\} \quad (\text{CVE-3513.2-1})$$

$$\tau_R = 1.10 \sqrt{F_c} \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-2})$$

ここで、

τ_R : 終局面外せん断応力度 (N/mm²)

p_t : 主筋の鉄筋比

σ_0 : 外力による膜応力度 (N/mm²) (引張の符号を正とする)

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

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-3})$$

a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm²)

b : 断面の幅 (mm)

x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

Φ : 低減係数であり、次の計算式により計算した値

(1を超える場合は1, 0.58未満の場合は0.58とする)

$$\Phi = 1 / \sqrt{M / (Q \cdot d)} \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-4})$$

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_y : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、表3-15に示す値 (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

上記のうち、「外力による膜応力度」は「外力による軸応力度」に読み替えることとする。

b. 底面スラブ

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断力を算定し、CCV 規格に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度については、表 3-14 及び表 3-15 に示す許容応力度を超えないことを確認する。

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、CCV規格のCVE-3522に準拠して行う。

面外せん断力が、CVE-3522-1又はCVE-3522-2より計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot c f_s \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-1)$$

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)
- $c f_s$: コンクリートの許容せん断応力度で、表3-14に示すSd地震時の値(N/mm²)

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot c f_s + 0.5 \cdot w f_t (p_w - 0.002) \} \dots\dots\dots (CVE-3522-2)$$

ここで、

- p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であり、次の計算式により計算した値(0.002以上とし、0.012を超える場合は0.012として計算する)

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-3)$$

- a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積(mm²)
- x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔(mm)
- $w f_t$: 面外せん断力に対する補強筋の許容引張応力度であり、表3-15に示す値(N/mm²)

- α : 割増し係数であり、次の計算式により計算した値(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。また、引張軸力が2N/mm²を超える場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1} \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-4)$$

- 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)

(2) S s 地震時，（異常＋S d 地震）時及び（異常＋S s 地震）時

a. 壁

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ，軸力による圧縮応力度，面内せん断力並びに面外せん断力を算定し，CCV 規格に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみは，縦方向及び横方向各々について算定し，CCV 規格の CVE-3511.2 に基づき，表 3-16 に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(b) 軸力に対する断面の評価方法

軸力による圧縮応力度については，CVE-3511.3 に準拠してコンクリートの設計基準強度の 2/3 倍を超えないことを確認する。

(c) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，CCV 規格の CVE-3512.2 に準拠して行う。

面内せん断応力度が，CVE-3512.2-1 及び CVE-3512.2-2 より計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値を超えないことを確認する。このとき，鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度 f_y は，表 3-15 に示す S d 地震時の値とする。

(d) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，CCV 規格の CVE-3513.2 に準拠して行う。

面外せん断応力度が，CVE-3513.2-1 及び CVE-3513.2-2 より計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値を超えないことを確認する。このとき，鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度 f_y は，表 3-15 に示す S d 地震時の値とする。

b. 底面スラブ

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力を算定し、CCV 規格に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、CCV 規格の CVE-3521.2 に準拠して、表 3-16 に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、CCV 規格の CVE-3522 に準拠して行う。

面外せん断力が、CVE-3522-1 又は CVE-3522-2 より計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

3次元 FEM モデルを用いた応力の算定において、FEM 要素に応力集中等が見られる場合については、RC-N 規準に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行う。

4. 評価結果

「3.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図4-1に、配筋一覧を表4-1に示す。

4.1 S d 地震時

断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図4-2に、評価結果を表4-2に示す。

S d 地震時において、壁について、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。また、底面スラブについて、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

4.2 S s 地震時，（異常＋S d 地震）時及び（異常＋S s 地震）時

断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図4-3～図4-5に、評価結果を表4-3～表4-5に示す。

S s 地震時，（異常＋S d 地震）時及び（異常＋S s 地震）時において、壁について、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。また、底面スラブについて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

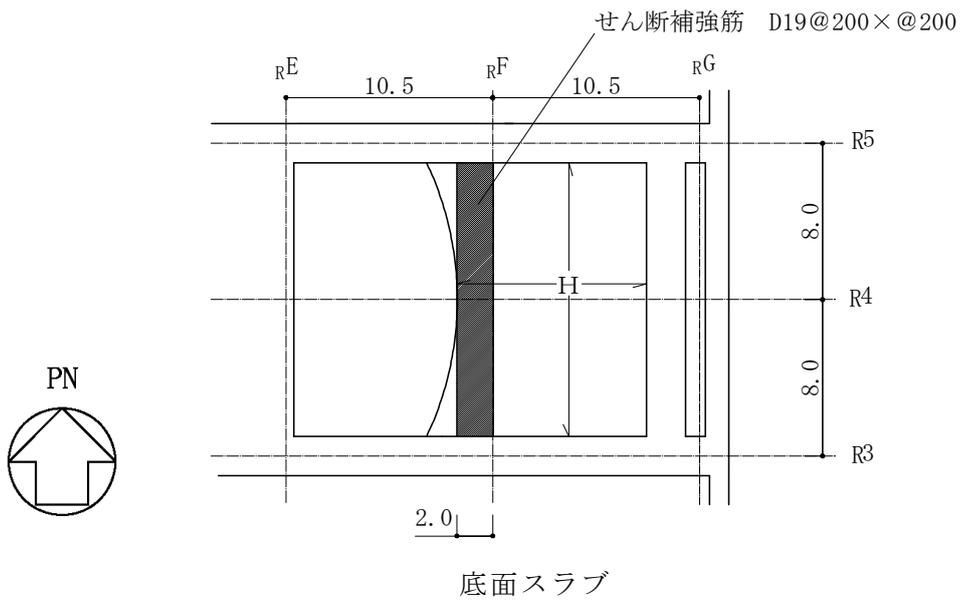
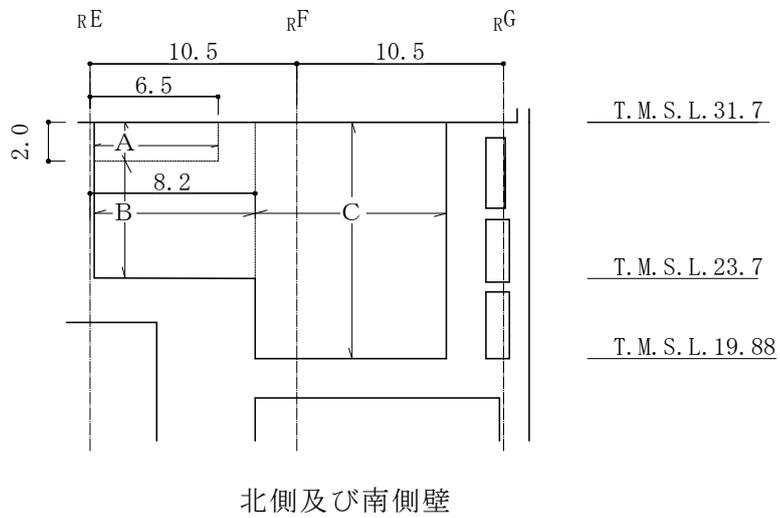
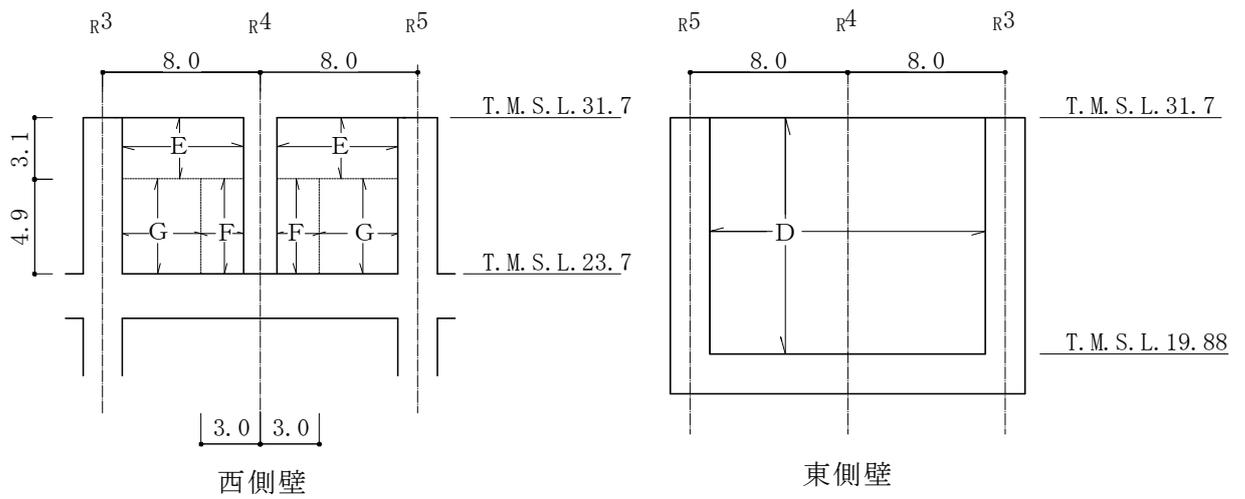


図 4-1 配筋領域図 (単位 : m)

表 4-1 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの配筋一覧

(a) 北側及び南側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
A	2-D38@200	5-D38@200
B		3-D38@200
C	3-D38@200	

(b) 東側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
D	2-D38@200	2-D38@200

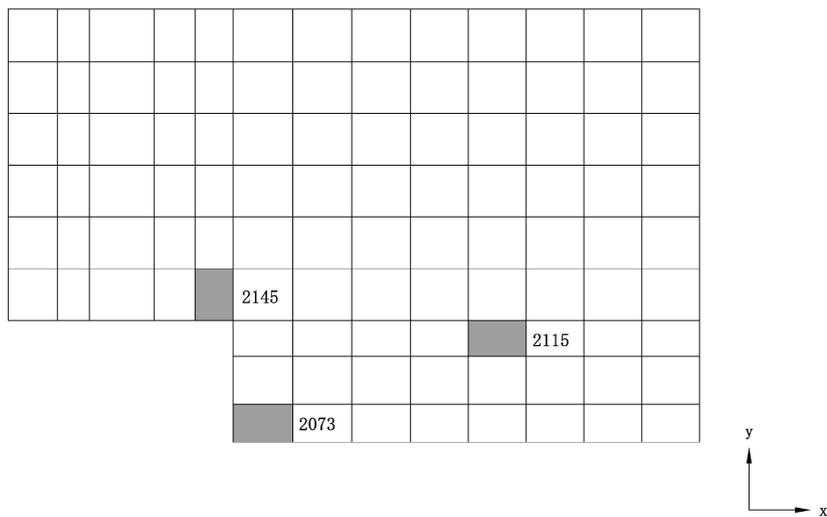
(c) 西側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
E	2-D38@200	2-D38@200
F	4-D38@200	3-D38@200
G	2-D38@200 +D38@400	

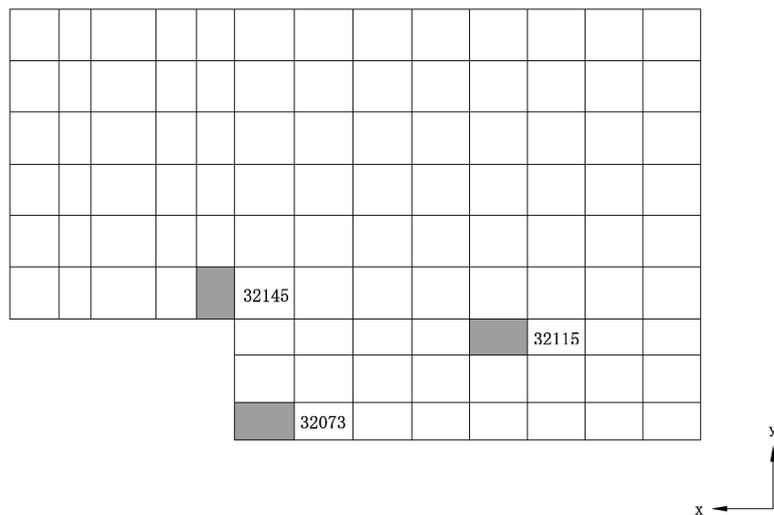
(d) 底面スラブ

区分	EW 方向	NS 方向
H	4-D38@200	3-D38@200

注：配筋は片側を示す。

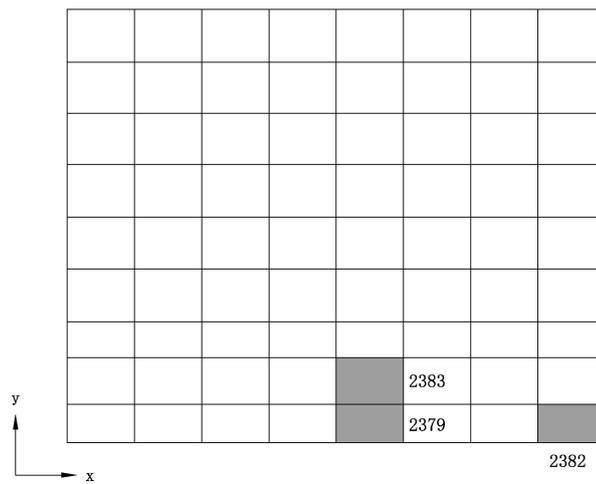


(a) 北側壁

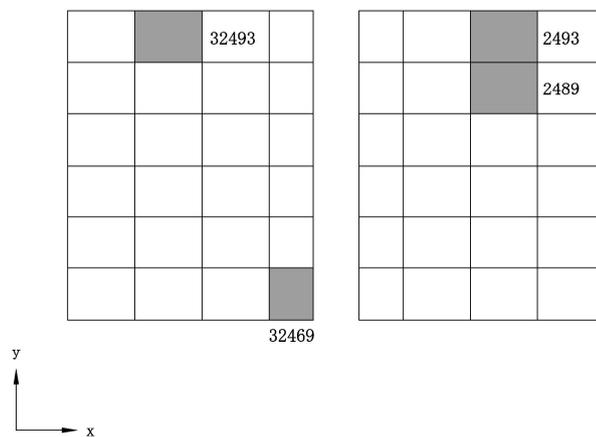


(b) 南側壁

図 4-2 選定した要素の位置 S d 地震時 (1/3)

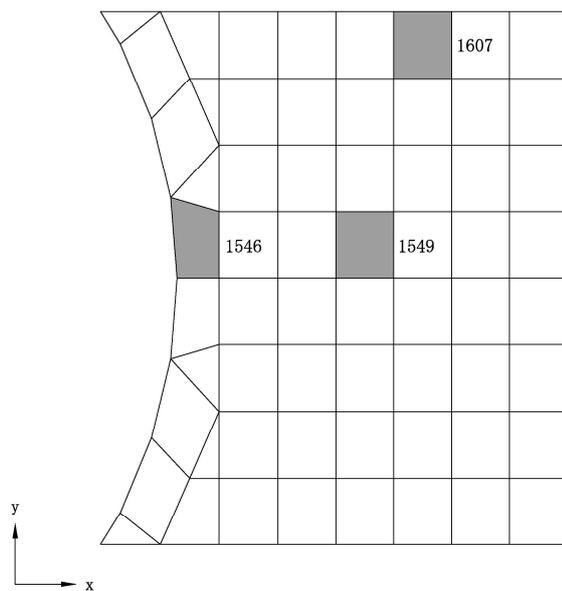


(c) 東側壁



(d) 西側壁

図 4-2 選定した要素の位置 S d 地震時 (2/3)



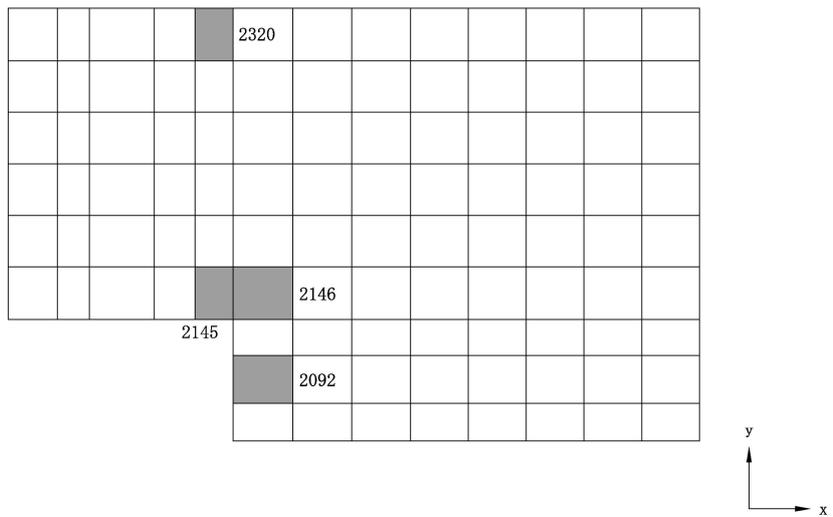
(e) 底面スラブ

図 4-2 選定した要素の位置 S d 地震時 (3/3)

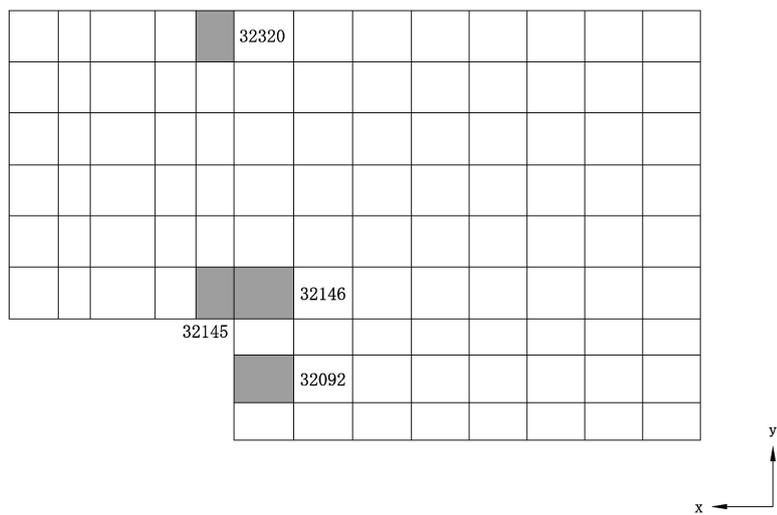
表 4-2 評価結果 S d 地震時

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値	
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2145	1-19	8.92	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	2115	1-8	209	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	2073	1-16	2.09	4.42
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	2145	1-19	0.642	0.980
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	32145	1-17	8.91	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	32115	1-8	210	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	32073	1-16	2.09	4.42
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	32145	1-17	0.642	0.980
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2379	1-6	8.10	21.4
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	2379	1-6	232	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	2382	1-21	1.03	2.94
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	2383	1-6	0.520	1.17
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	32469	1-21	5.76	21.4
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	水平	2493	1-21	298	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	2489	1-21	0.833	1.07
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	水平	32493	1-8	0.146	1.12
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	1549	1-14	8.11	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	1546	1-2	226	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	1607	1-14	1.11	1.21

K6 ① VI-2-4-2-1 R0

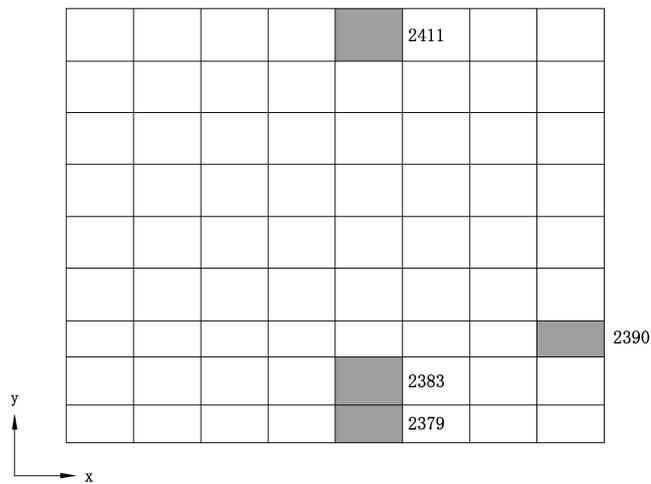


(a) 北側壁

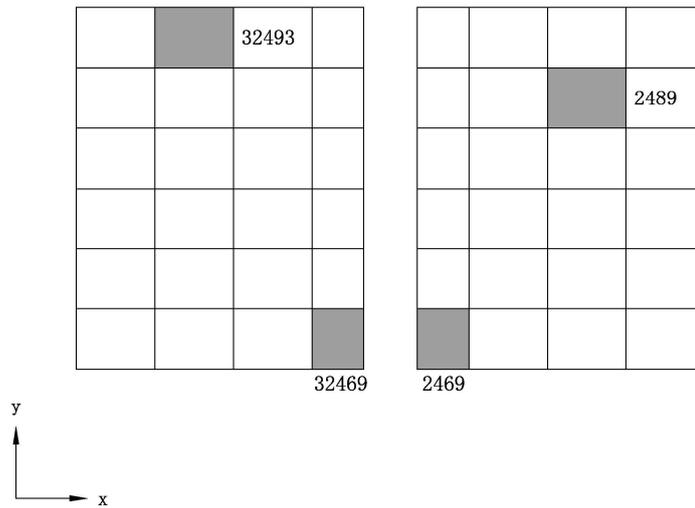


(b) 南側壁

図 4-3 選定した要素の位置 S s 地震時 (1/3)

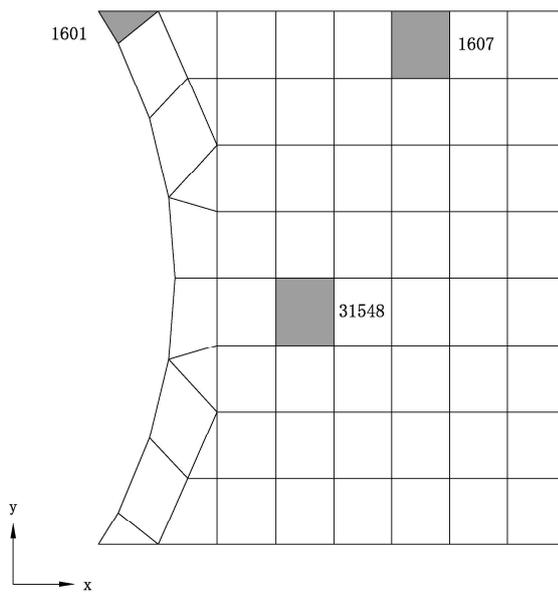


(c) 東側壁



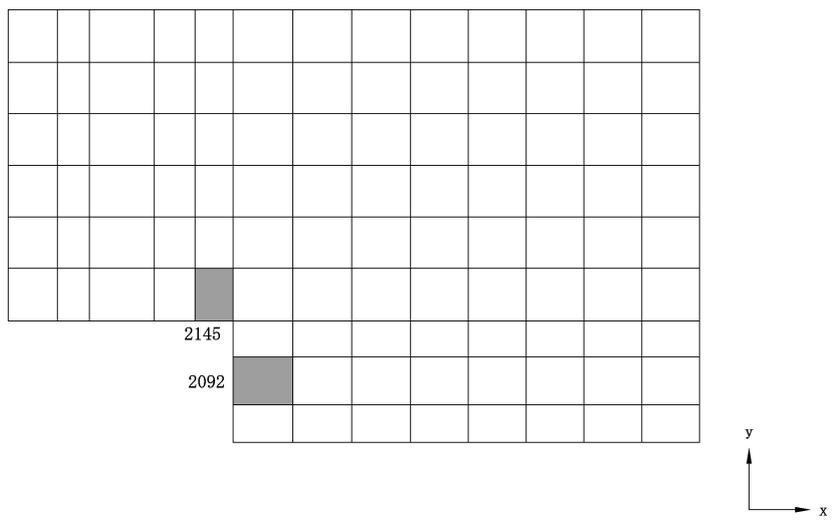
(d) 西側壁

図 4-3 選定した要素の位置 S s 地震時 (2/3)

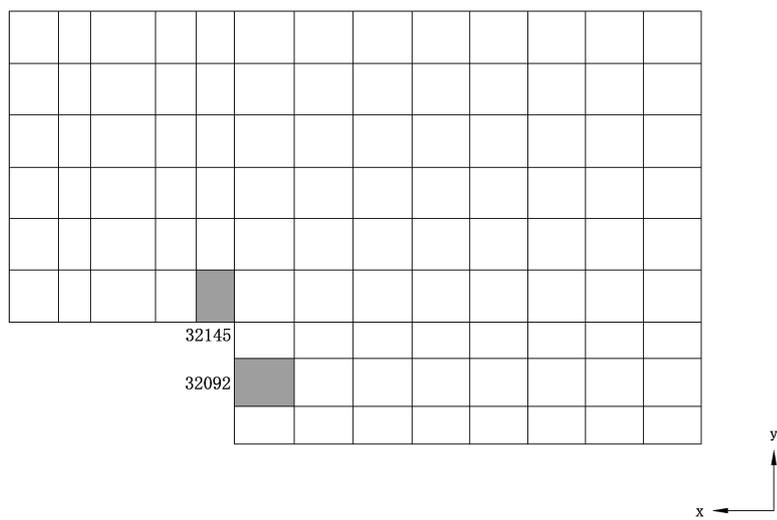


(e) 底面スラブ

図 4-3 選定した要素の位置 S s 地震時 (3/3)

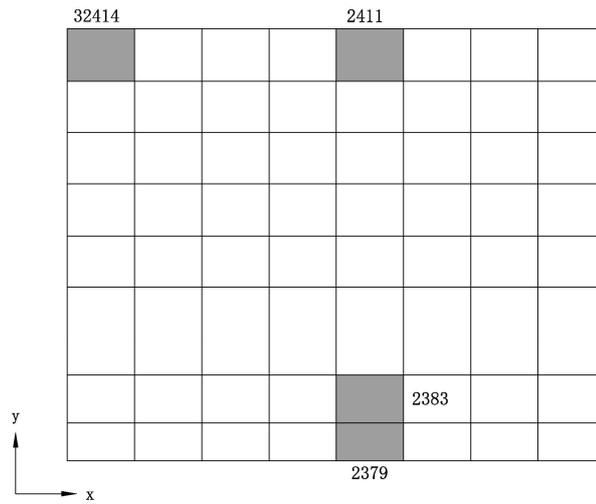


(a) 北側壁

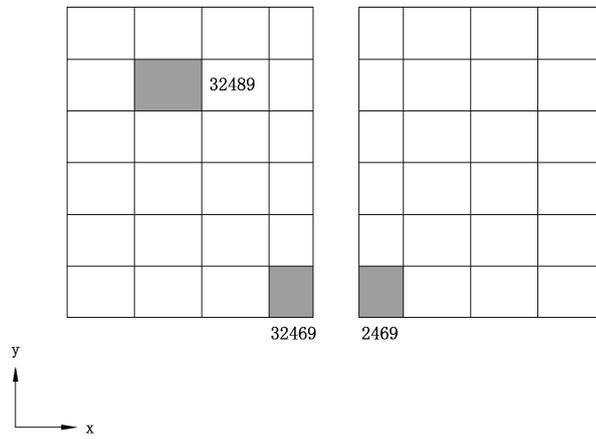


(b) 南側壁

図 4-4 選定した要素の位置 (異常 + S d 地震) 時 (1/3)

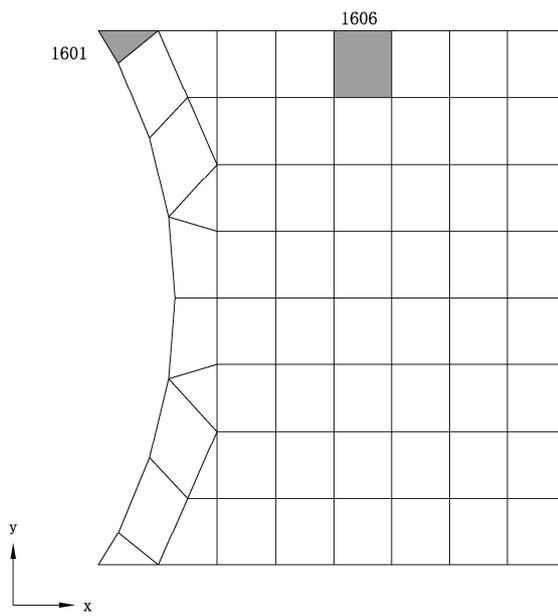


(c) 東側壁



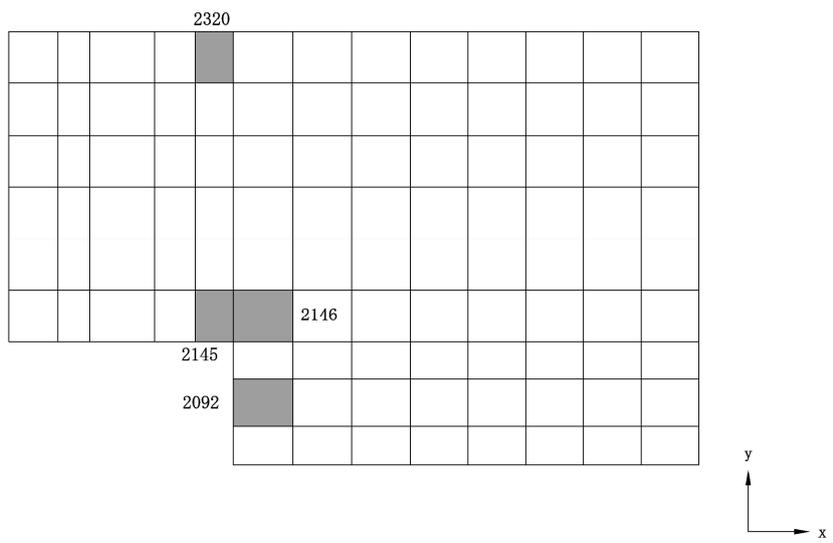
(d) 西側壁

図 4-4 選定した要素の位置 (異常 + S d 地震) 時 (2/3)

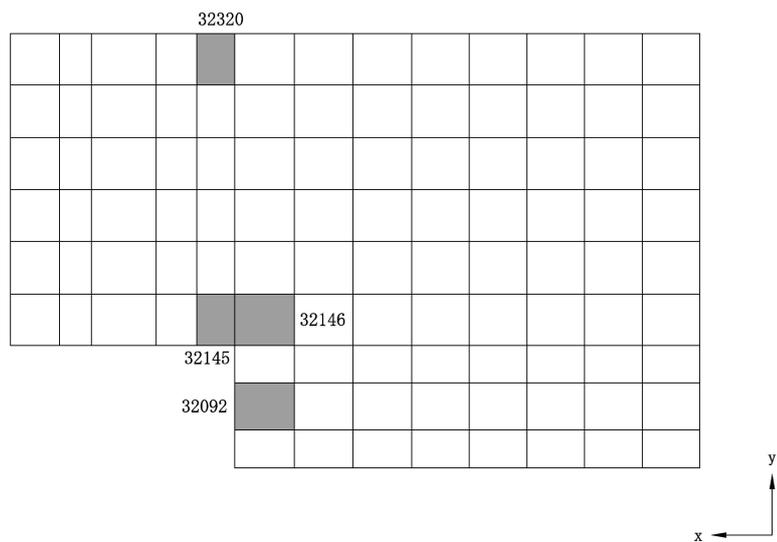


(e) 底面スラブ

図 4-4 選定した要素の位置 (異常 + S d 地震) 時 (3/3)

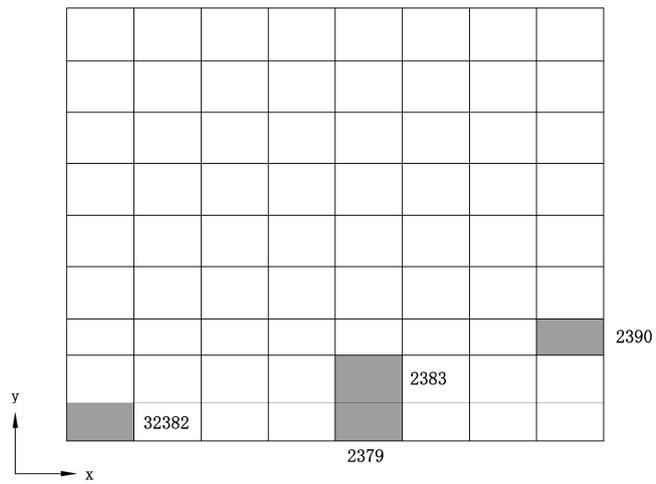


(a) 北側壁

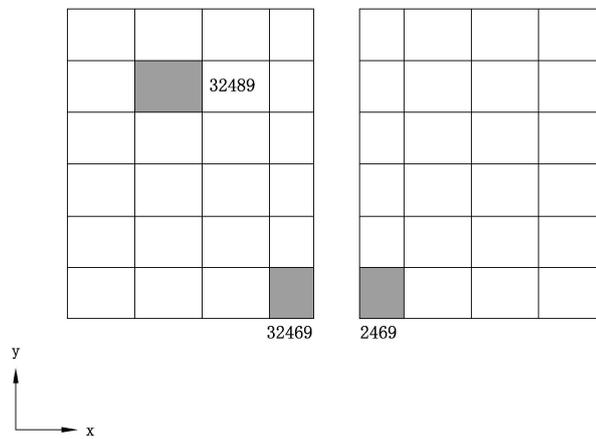


(b) 南側壁

図 4-5 選定した要素の位置 (異常 + S s 地震) 時 (1/3)

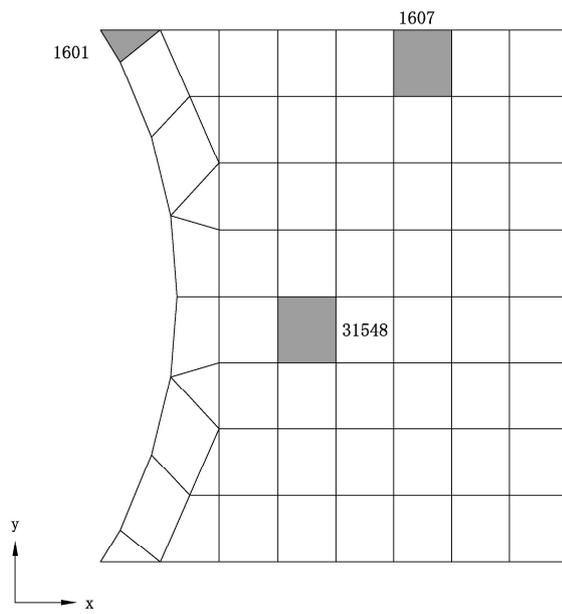


(c) 東側壁



(d) 西側壁

図 4-5 選定した要素の位置 (異常 + S s 地震) 時 (2/3)



(e) 底面スラブ

図 4-5 選定した要素の位置 (異常 + S s 地震) 時 (3/3)

表 4-3 評価結果 S s 地震時

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値	
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	2-5	0.277	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	2-8	0.382	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2146	2-16	6.42	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	2092	2-16	3.16	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	2-5	0.700	1.98
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	32145	2-7	0.275	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	32320	2-8	0.380	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32146	2-16	6.39	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	32092	2-16	3.15	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32145	2-7	0.698	1.99
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	2-6	0.337	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	2-6	0.622	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2411	2-16	0.940	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	2390	2-5	1.04	3.80
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	2-6	0.682	1.73
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	32469	2-5	0.169	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	2-5	0.423	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	2-5	4.98	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	2489	2-1	0.647	1.43
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	32493	2-8	0.237	1.49
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	2-8	0.285	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	31548	2-6	0.358	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1607	2-14	0.979*	1.21

注記* : 応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果を示す。

表 4-4 評価結果 (異常 + S d 地震) 時

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値	
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	3-21	0.208	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	3-19	0.180	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	3-21	2.74	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	2092	3-21	1.97	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	3-17	0.628	1.61
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	32145	3-23	0.206	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	32145	3-17	0.181	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32145	3-23	2.73	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	32092	3-23	1.95	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32145	3-19	0.627	1.61
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	3-6	0.138	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	3-6	0.148	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2411	3-16	0.254	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	32414	3-19	0.728	3.21
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	3-22	0.410	1.70
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	32469	3-17	0.229	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	3-17	0.493	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	3-17	6.18	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	32489	3-17	0.876	1.79
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	3-20	0.361	2.02
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	3-8	0.152	3.00
		鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	3-8	0.116	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1606	3-14	0.942	1.21

表 4-5 評価結果 (異常 + S s 地震) 時

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せ ケース	発生値	許容値	
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	4-5	0.237	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	4-4	0.350	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2146	4-16	4.92	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	2092	4-16	2.83	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	4-5	0.752	1.93
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	32145	4-7	0.236	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	32320	4-4	0.352	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32146	4-16	4.90	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	32092	4-16	2.82	5.89
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32145	4-3	0.677	1.73
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	4-6	0.325	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2379	4-6	0.601	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32382	4-6	0.668	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	2390	4-5	1.00	3.81
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	4-6	0.666	1.72
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	32469	4-1	0.188	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	4-1	0.398	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	4-5	5.27	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	32489	4-5	0.652	1.47
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	32469	4-8	0.424	2.18
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	4-8	0.279	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	31548	4-6	0.339	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1607	4-14	0.974*	1.21

注記* : 応力の再分配等を考慮して、応力平均化を行った結果を示す。

5. 引用文献

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993
- (2) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫 : 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol.25, No.9, 1987.9

別紙 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響
(使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット)

目 次

1. 概要	別紙-1
2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査	別紙-1
2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性	別紙-1
2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性	別紙-2
3. 施設を構成する部材の構造特性	別紙-4
4. まとめ	別紙-4

1. 概要

原子炉建屋の燃料貯蔵設備である使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットは、主要構造体を鉄筋コンクリート造の壁と床で構成する。使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの冷却機能や注水機能を喪失する重大事故等時において、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの水温は高温状態が一定期間継続すると推定される。

よって、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットについて、既往の文献・規格等に基づき、高温時の健全性を確認する。

2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査

2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性

鉄筋コンクリートは、コンクリートと鉄筋で構成され、日本建築学会「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、一般に、コンクリート・鉄筋は、温度の上昇と共に強度・剛性は劣化し、ひずみが大きくなる傾向にあるとされている。

コンクリートについては、セメント水和物及びその吸着水、水和物で構成される細孔内に存在する毛管水、毛管より大きな空隙に存在する自由水から成る多孔体である。一般的にコンクリートの温度が 70℃程度では、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃以下では圧縮強度の低下は小さいとされる。また、コンクリートの温度が大気圧において 100℃を超すと自由水が脱水し始め、その温度作用時間が長期間になると結晶水も脱水し始める。コンクリート温度が 190℃付近では結晶水が解放され始め、更に高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされる。

鉄筋については、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2009）」によると、強度及び剛性は、概ね 200℃から 300℃までは常温時の特性を保持するとされている。

2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットは、ステンレス鋼によりライニングされており、また、重大事故等時には、代替注水設備によりプールへの注水が行われるため、高温によるコンクリートからの水分逸散のないシール状態にある。それを踏まえ、シール状態で高温加熱を受けたコンクリートの文献収集を行った。高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献を表 2-1 に示す。

文献 No. 1 及び No. 2 では、加熱温度 175℃ のコンクリートへの影響について検討されている。文献 No. 1 では、シール状態において強度は熱水反応により一様な変化は示さないとされており、加熱期間 91 日までは、概ね加熱前と強度は同等と考えられる。アンシール状態では加熱期間 28 日までの低下率は 10% 以内に収まるとされている。文献 No. 2 では、シール状態においては、加熱期間 91 日まで強度の低下は認められない。

また、文献 No. 3～No. 7 は、加熱温度 110℃ のコンクリートへの影響について検討されている。No. 4 は加熱期間 50 日について検討されており、強度低下は認められない。また、No. 3 は加熱期間 3.5 年間、No. 5～No. 7 は加熱期間 2 年間について検討され、いずれも強度の低下傾向は認められないとされている。

それぞれの加熱温度における剛性に着目すると、加熱温度 175℃ において、アンシールの条件下では、加熱期間 1 日でも急激に低下する場合があるとされており、水分の逸散と高い相関があると考えられる。一方、シール状態では大きな低下はなく、加熱温度 110℃ では加熱後ごく初期に剛性の変化は収束するとされている。

以上より、175℃ 程度までの高温環境ではコンクリート強度への影響は小さい。また、コンクリートの剛性については、高温環境による水分逸散の影響が大きく、シール状態においても剛性の低下の傾向は認められるが、加熱後ごく初期に収束するため影響はない。

表 2-1 高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献一覧

No.	文献名 (出典)	著者	試験条件		
			温度	加熱期間	水分
1	高温 (175 °C) を受けたコンクリートの強度性状 (セメント・コンクリートNo.449, July 1984)	川口 徹, 高橋久雄	175°C	1~91日	シール アンシール
2	高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究 (日本建築学会構造系論文集 第457号, 1994年3月)	長尾覚博, 中根 淳	40 ~ 175 , 300 , 600°C	1~91日 (~175°C) 7日 (300, 600°C)	シール アンシール
3	熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究 (第48回セメント技術大会講演集, 1994)	長尾覚博, 鈴木智巳, 田渕正昭	①65, 90, 110°Cの 一定加熱 ②20~110°Cのサイ クル加熱	1日~3.5年間	シール アンシール
4	長期高温加熱がコンクリートの力学特性に及ぼす影響の検 討 (日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010年9月)	木場将雄, 山本知弘, 久野通也, 島本 龍, 一瀬賢一, 佐藤 立	①20°Cの一定加熱 ②110°Cのサイクル 加熱	①50日 ②1~50サイクル (1サイクル: 1日, 110°Cの期間: 9時間)	シール アンシール
5	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験 的研究 (その1 実験計画と結果概要) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999年9月)	藪田 敏, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 池内俊之, 大池 武			
6	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験 的研究 (その2 普通コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999年9月)	池内俊之, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 藪田 敏, 大池 武	①20, 110, 180, 325°Cの一定加熱 ②~110°C, ~180°C ~325°Cのサイク ル加熱	①1日~24か月 ②1~180サイクル (1サイクル: 72時間, 高温保持時間: 24時 間)	シール アンシール
7	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験 的研究 (その3 耐熱コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999年9月)	大池 武, 池内俊之, 北野剛人, 長尾覚博, 藪田 敏, 守屋正裕			

3. 施設を構成する部材の構造特性

部材内の温度差及び拘束により発生する熱応力は、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの壁が周囲の壁、床に比べて厚く、更に取り付く床が少ないため、拘束応力のレベルが低いことに加え、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」では、自己拘束的な応力であることから、十分な塑性変形能力がある場合、終局耐力に影響しないこととされている。

以上を踏まえ、施設を構成する部材の構造特性については、高温時においても設計基準状態との相違は小さい。

4. まとめ

鉄筋コンクリート構造物の高温時の健全性について、既往の文献・規格等に基づき評価を行い、使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの重大事故等時における高温状態に対しても、鉄筋コンクリート構造物の強度及び剛性への影響は小さいことを確認した。

VI-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	7
2.3	適用規格・基準等	8
2.4	記号の説明	9
2.5	計算精度と数値の丸め方	11
3.	評価部位	12
4.	地震応答解析及び構造強度評価	12
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	12
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	20
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	20
4.2.2	許容応力	20
4.2.3	使用材料の許容応力評価条件	20
4.3	解析モデル及び諸元	24
4.4	固有周期	30
4.5	設計用地震力	43
4.6	計算方法	53
4.6.1	部材の応力	53
4.6.2	基礎ボルトの応力	55
4.7	計算条件	57
4.8	応力の評価	57
4.8.1	部材の応力評価	57
4.8.2	基礎ボルトの応力評価	57
5.	評価結果	58
5.1	設計基準対象施設としての評価結果	58
5.2	重大事故等対処設備としての評価結果	58
別添	解析モデルの寸法	89
別添	使用済燃料貯蔵プール内ラック全体配置図	94

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、使用済燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表2-1～表2-5に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
使用済燃料貯蔵ラックは、たて置形で下部を基礎ボルトで使用済燃料貯蔵プールの底部に固定されており、自立型である。	ボロン添加ステンレス鋼製たて置ラック	<p>角管型 176 体ラック (単位：mm)</p>

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
使用済燃料貯蔵ラックは、たて置形で下部を基礎ボルトで使用済燃料貯蔵プールの底部に固定されており、自立型である。	ボロン添加ステンレス鋼製たて置ラック	<p>Aから見たアンカー部概略構造は表2-1を参照</p> <p>角管型 187 体ラック (単位：mm)</p>

表 2-3 構造計画

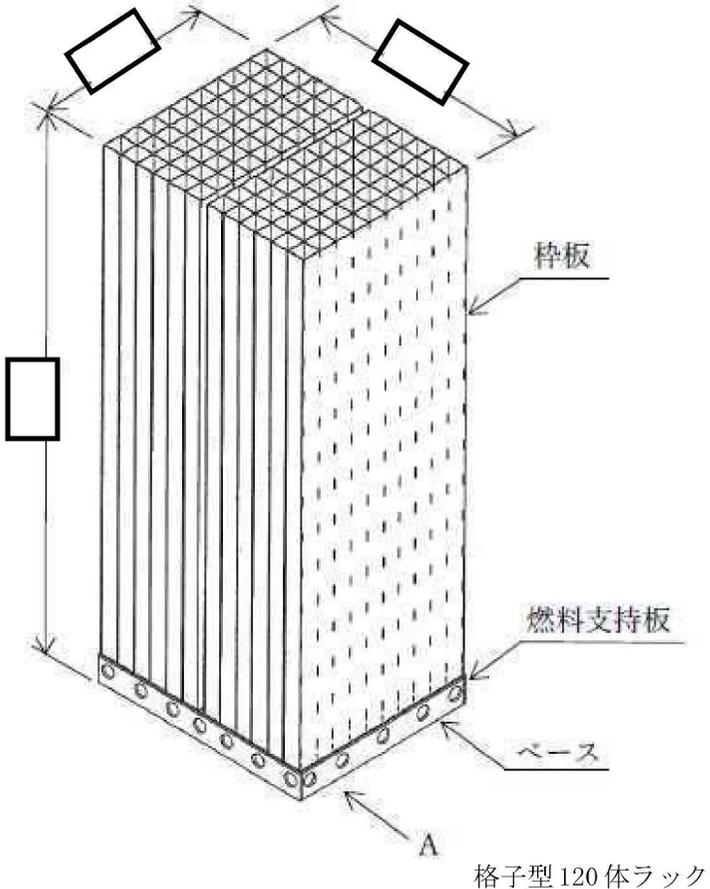
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
使用済燃料貯蔵ラックは、たて置形で下部を基礎ボルトで使用済燃料貯蔵プールの底部に固定されており、自立型である。	ボロン添加ステンレス鋼製たて置ラック	 <p>Aから見たアンカー部概略構造は表2-1を参照</p> <p>格子型120体ラック</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-4 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
使用済燃料貯蔵ラックは、たて置形で下部を基礎ボルトで使用済燃料貯蔵プールの底部に固定されており、自立型である。	ボロン添加ステンレス鋼製たて置ラック	<p>Aから見たアンカー部概略構造は表2-1を参照</p> <p>格子型187体ラック</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-5 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>使用済燃料貯蔵ラックは、たて置形で下部を基礎ボルトで使用済燃料貯蔵プールの底部に固定されており、自立型である。</p>	<p>ボロン添加ステンレス鋼製たて置ラック</p>	<p>Aから見たアンカー部概略構造は表2-1を参照</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図2-1に示す。

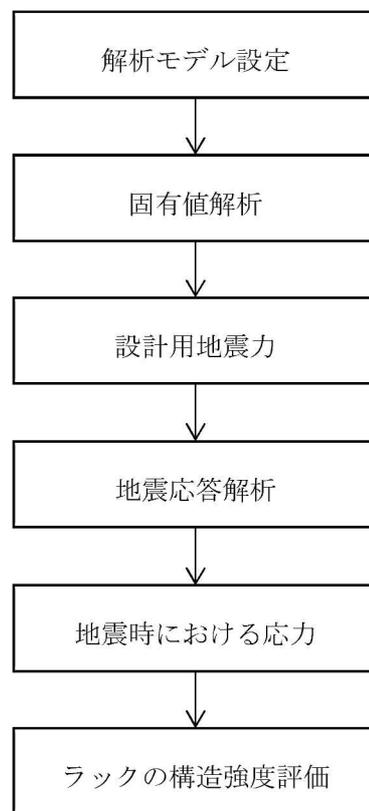


図2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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)
- ・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)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_x	部材の断面積	mm^2
A_y, A_z	部材のせん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_x, F_y, F_z	部材に働く引張力及びせん断力	N
F_{ai}	ベース底部に働くせん断力 ^{*1}	N
f_{ji}	基礎ボルトに働く引張力 (1本当たり) ^{*1, *2}	N
f_s	部材の許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	部材の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
I_x, I_y, I_z	部材の断面二次モーメント	mm^4
l_{gi}	ベース端から重心までの距離 ^{*1}	mm
l_{ji}	ベース端から基礎ボルトまでの距離 ^{*1, *2}	mm
M_{ai}	ベース底部の転倒モーメント ^{*1}	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y, M_z	部材に働く曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_a	使用済燃料貯蔵時のラック全質量	kg
m_F	使用済燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_W	ラックに含まれる水の質量	kg
n	基礎ボルトの全本数	—
n_{ji}	基礎ボルト各部の本数 ^{*1, *2}	—
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
t	部材の板厚	mm
Z_y, Z_z	部材の断面係数	mm^3
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_x, σ_y	シェル部材に生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{ft}	はり部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	はり部材に生じるせん断応力	MPa
τ_{xy}	シェル部材に生じるせん断応力	MPa

注記*1: F_{ai} , f_{ji} , l_{gi} , l_{ji} , M_{ai} 及び n_{ji} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=N$: NS方向

$i=E$: EW方向

*2: f_{ji} , l_{ji} 及び n_{ji} の添字 j はボルトの列番号を示す。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-6 に示すとおりである。

表 2-6 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
周囲環境温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる角管、枠板、補強板、燃料支持板、ベース及び基礎ボルトについて実施する。

なお、ラックの型式は角管型と格子型がある。角管型は176体ラック、187体ラックの2種類が、格子型は120体ラック、187体ラック、210体ラックの3種類があり、それぞれ評価を行う。

ラックの耐震評価部位については、表2-1～表2-5の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ラックは、原子炉建屋の使用済燃料貯蔵プールの底部（T.M.S.L. 19.88m）に基礎ボルトにより固定されるものとする。
- (2) ラックの質量は、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量及び角管型ラックは角管外形の付加質量*、格子型ラックはラック外形の付加質量*を考慮する。
- (3) 地震力は、ラックに対して水平方向から作用するものとする。
ここで、水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。
また、鉛直方向地震力は、水平方向地震力と同時に不利な方向に作用するものとする。
- (4) 角管型の全体組立図（角管型176体ラックの例）を図4-1に、構造概要図を図4-2及び図4-3に示す。
- (5) 格子型の全体組立図（格子型210体ラックの例）を図4-4に、構造概要図を図4-5、図4-6及び図4-7に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

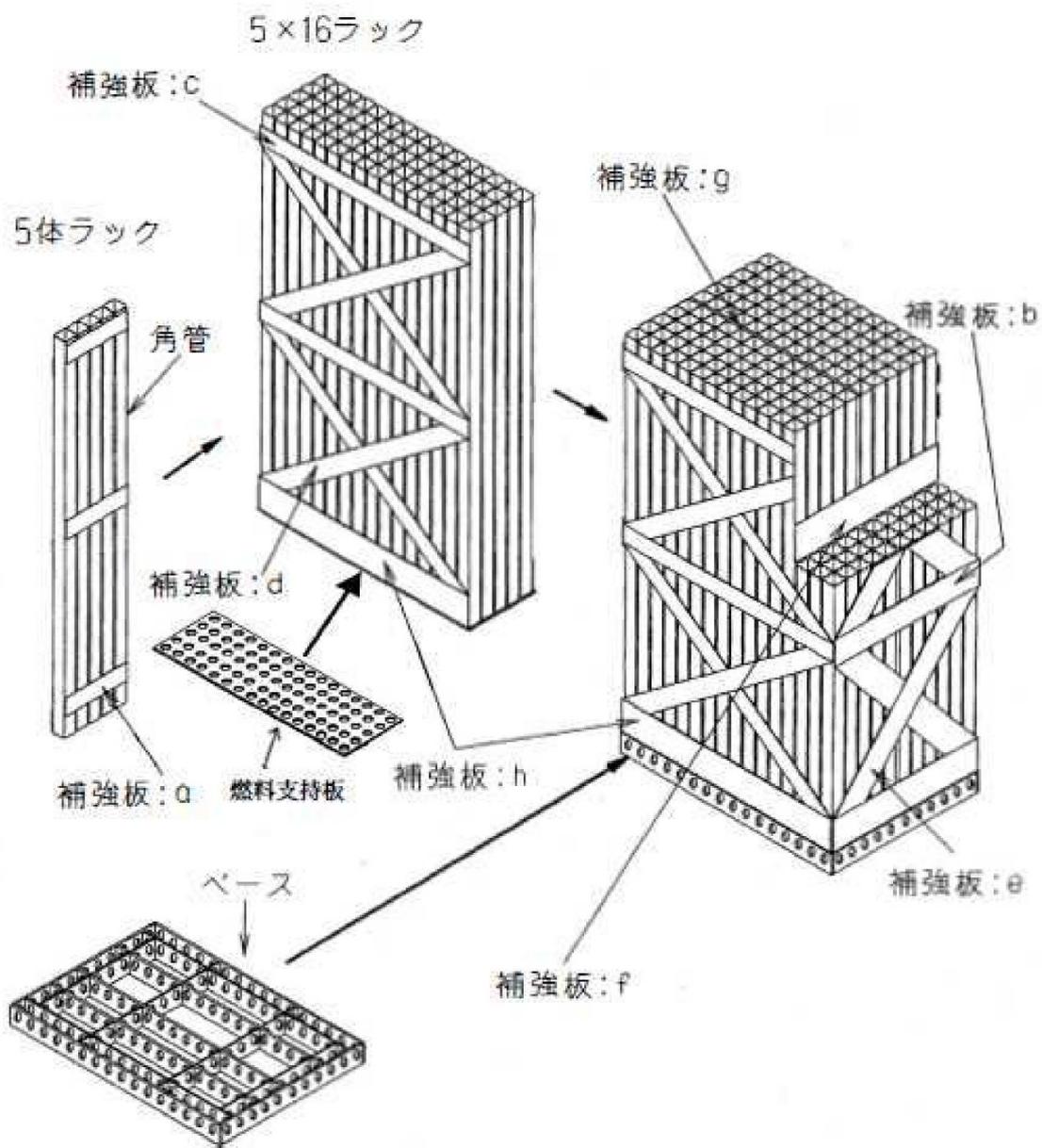


図 4-1 全体組立図 (角管型 176 体ラック)

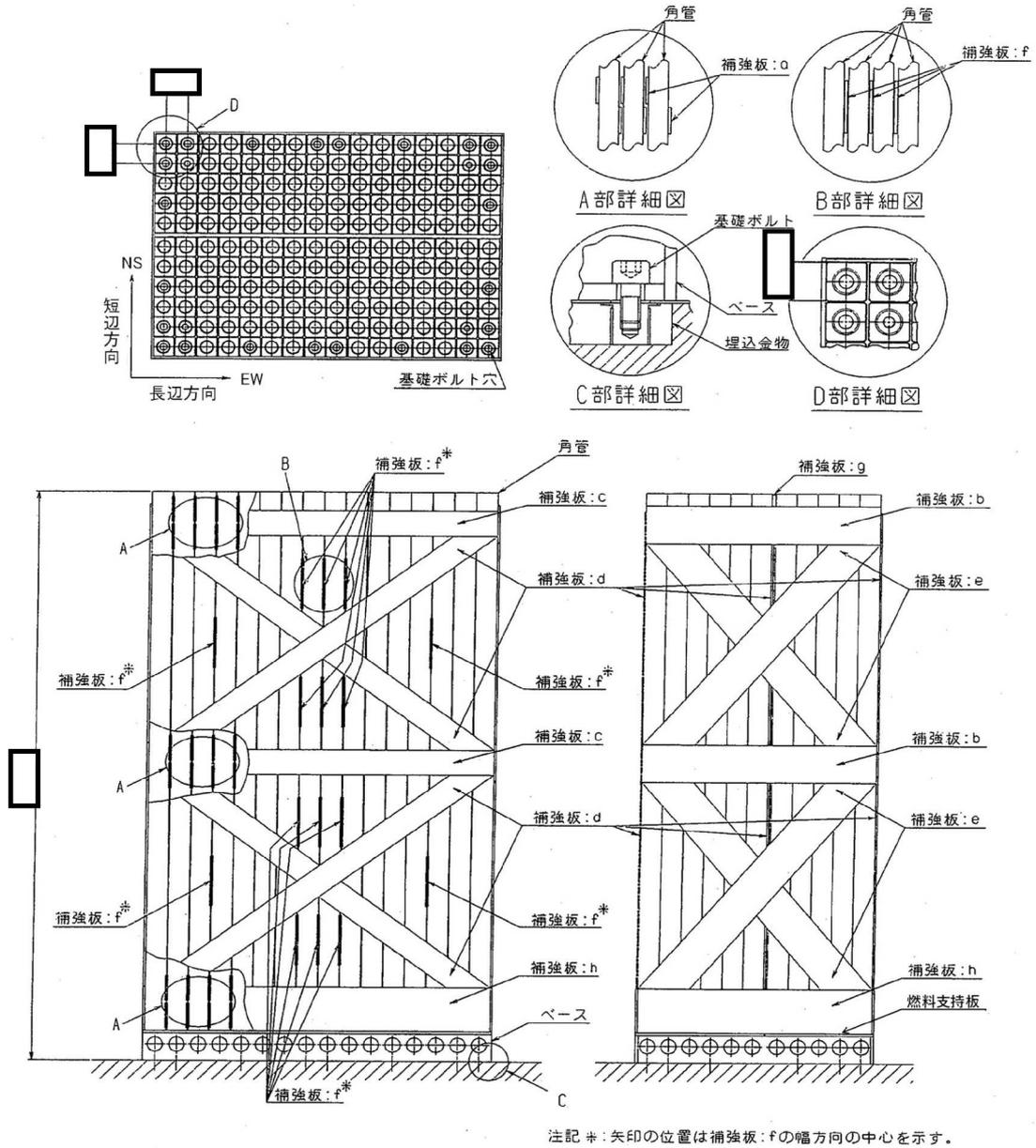


図 4-2 構造概要図 (角管型 176 体ラック) (単位 : mm)

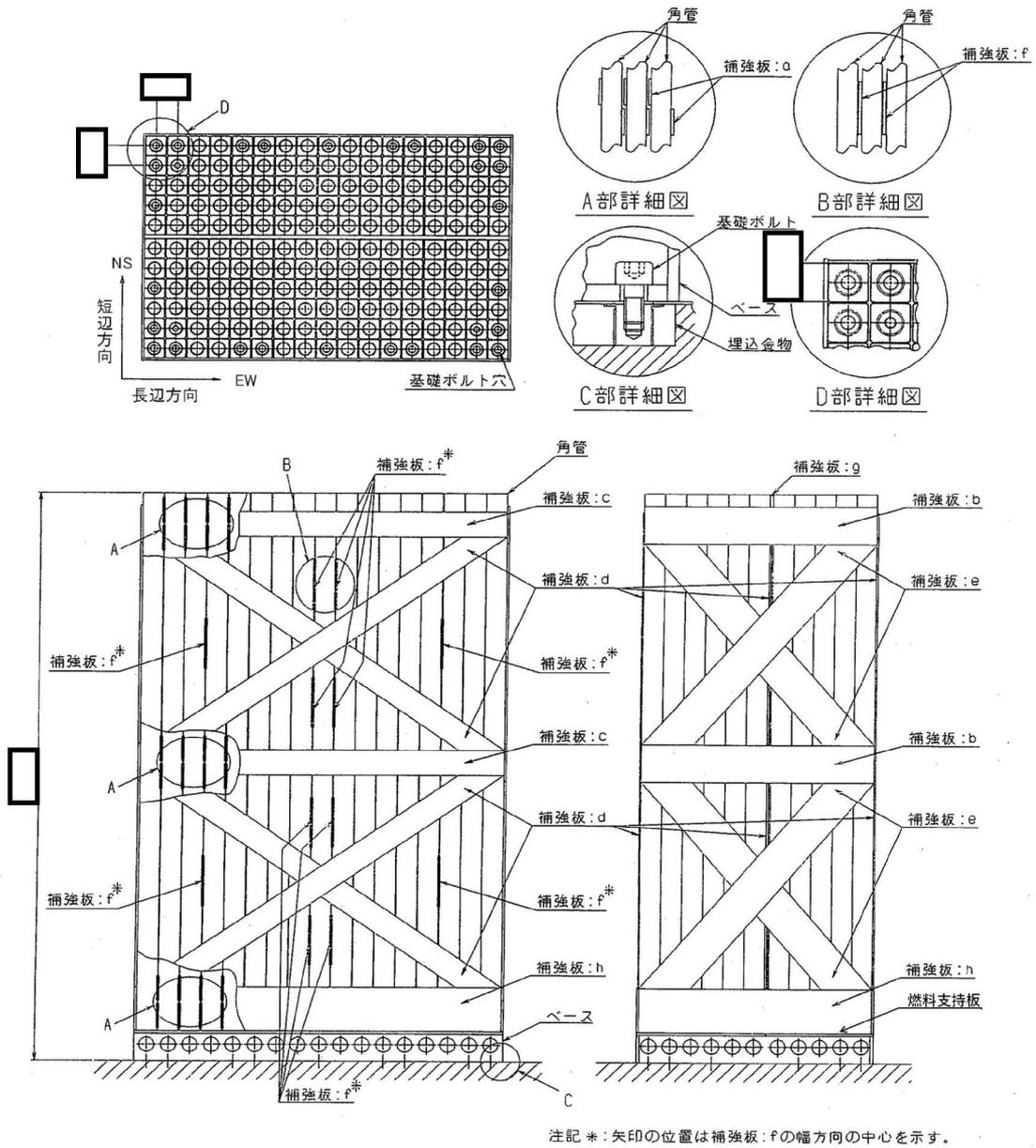


図 4-3 構造概要図 (角管型 187 体ラック) (単位: mm)

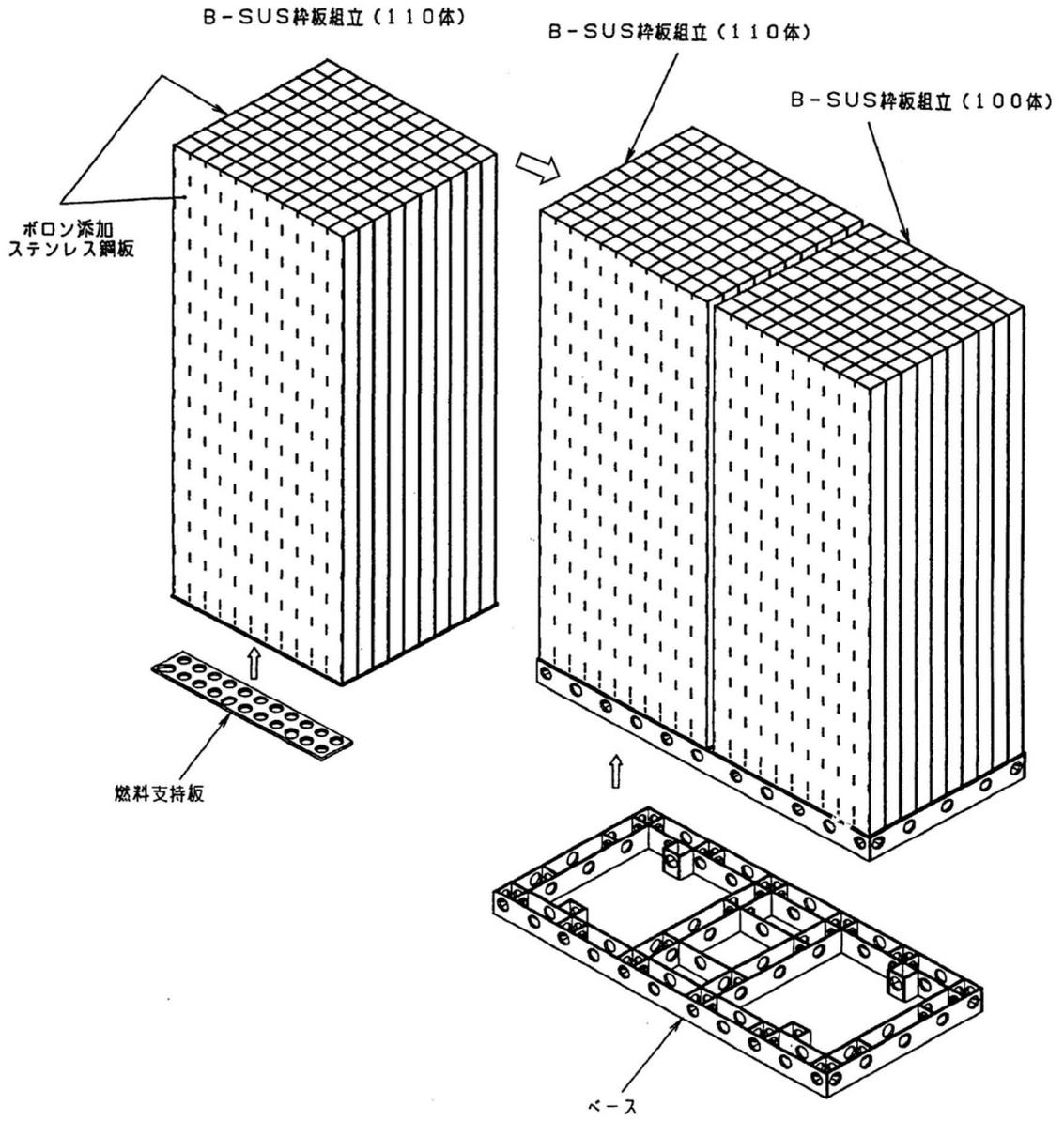


図 4-4 全体組立図 (格子型 210 体ラック)

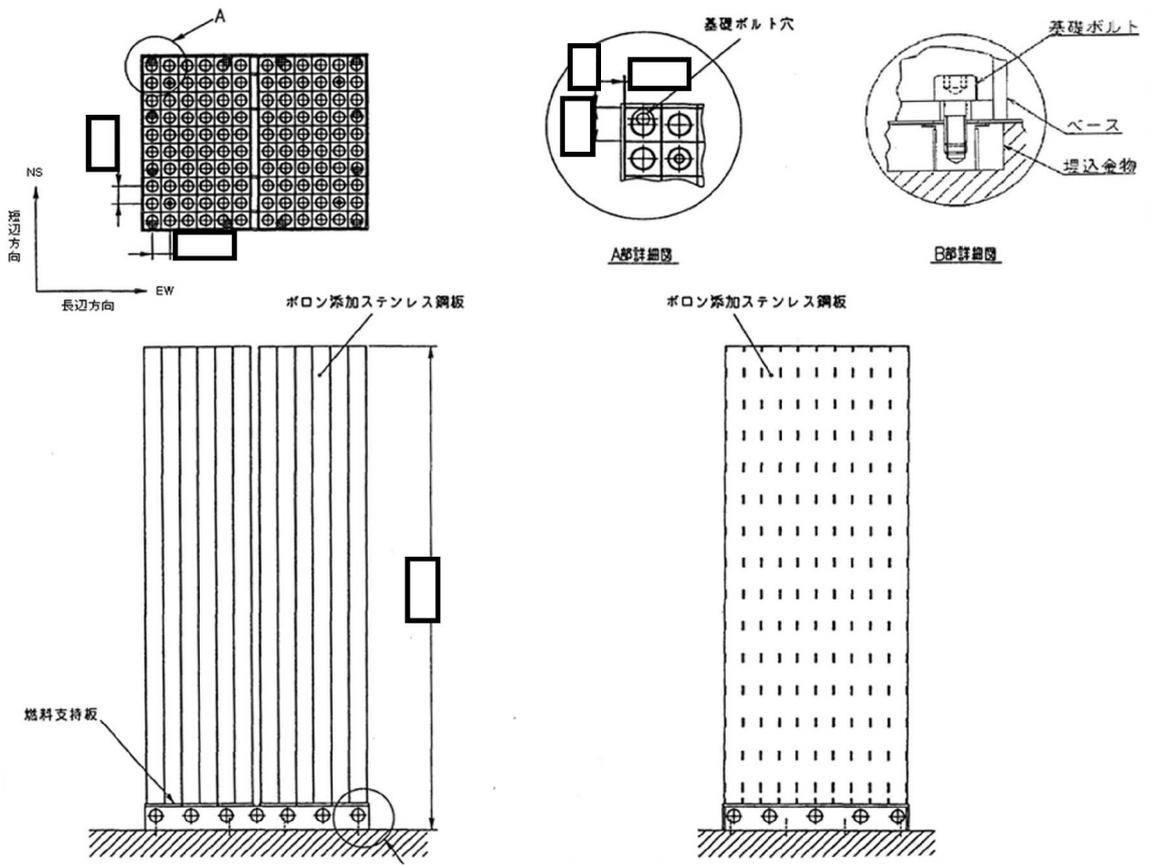


図 4-5 構造概要図 (格子型 120 体ラック) (単位 : mm)

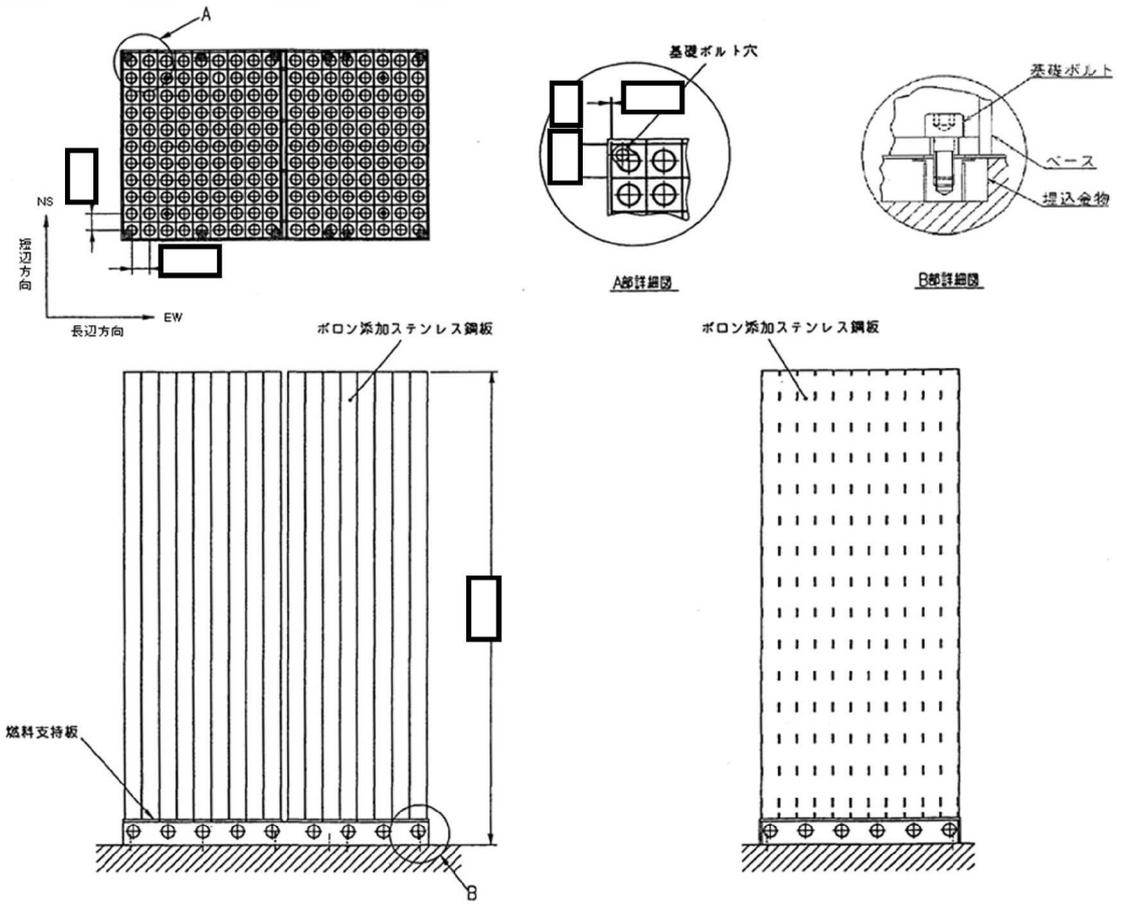


図 4-6 構造概要図 (格子型 187 体ラック) (単位 : mm)

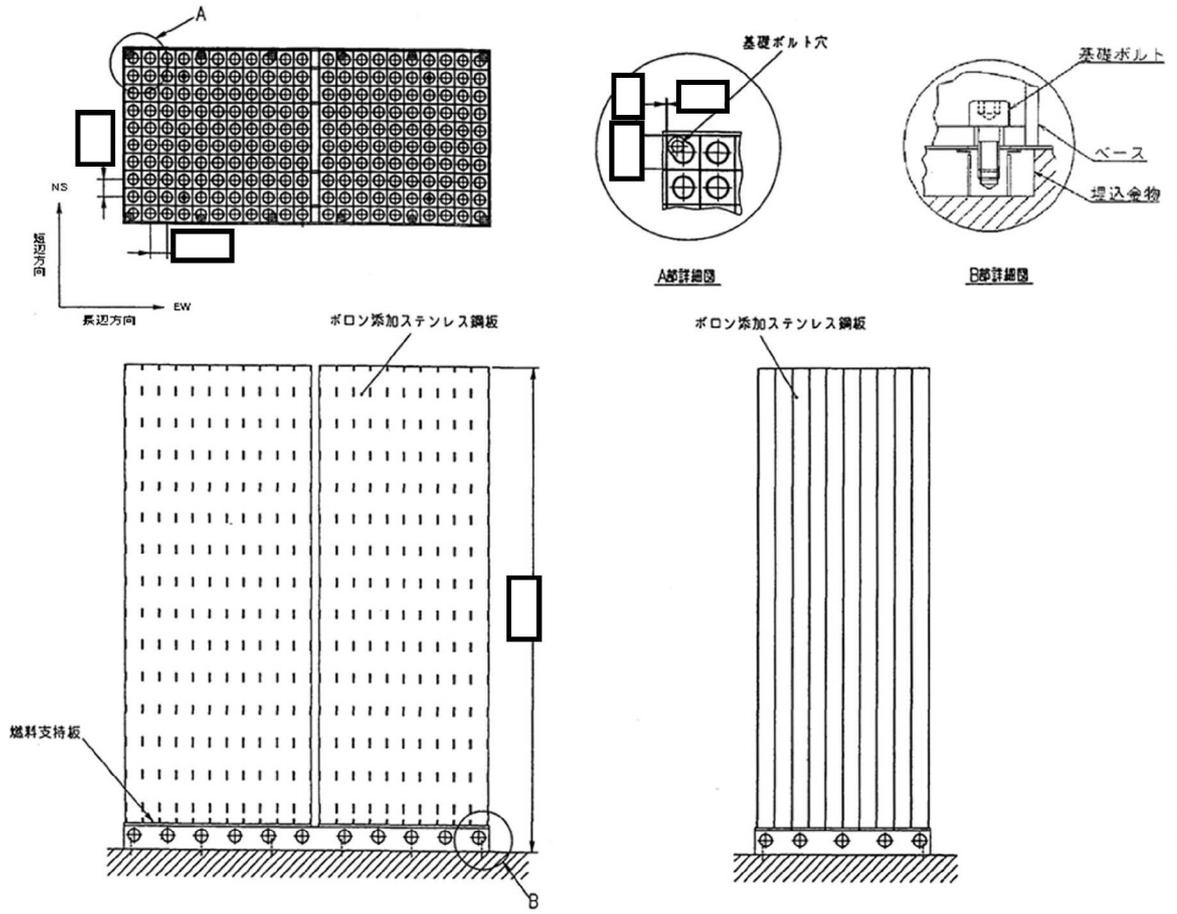


図 4-7 構造概要図 (格子型 210 体ラック) (単位 : mm)

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

ラックの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	使用済燃料 貯蔵ラック	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	使用済燃料 貯蔵ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張り	せん断	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
角管及び 杵板	ボロン添加ステンレ ス鋼管及び鋼板	周囲環境温度	66	188 *	479 *	205 *
補強板及び 燃料支持板	SUS304	周囲環境温度	66	188	479	205
ベース	SUS304	周囲環境温度	66	188	479	205
基礎ボルト	SUS630	周囲環境温度	66	696	867	725

注記*：ボロン添加ステンレス鋼のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
角管及び 杵板	ボロン添加ステンレ ス鋼管及び鋼板	周囲環境温度	100	171 *	441 *	205 *
補強板及び 燃料支持板	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205
ベース	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205
基礎ボルト	SUS630	周囲環境温度	100	666	846	725

注記*：ボロン添加ステンレス鋼のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

4.3 解析モデル及び諸元

ラックの解析モデルを図4-8～図4-12に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 角管型ラックは、はり要素及びシェル要素を用いた有限要素モデルとし、角管はそれぞれ等価な断面特性を持つ1本のはり要素、補強板 a～補強板 e についてもそれぞれ同様にはり要素とし、補強板 f～補強板 h、燃料支持板及びベースはシェル要素とする。

また、格子型ラックはシェル要素を用いた有限要素モデルとする。

- (2) 角管型ラックの解析モデルでは、角管をモデル化したはり要素をラックの角管のピッチに合わせて等間隔に配置し、補強板をモデル化したはり要素及びシェル要素で接続している。

また、同一方向への曲げモードが支配的となること及び角管間に存在する補強板を考慮し、角管同士の接触は考慮しない。

- (3) 角管型ラックは、ベース底部で基礎ボルトをモデル化したバネ要素を介して固定されるものとする。

また、格子型ラックはベースを基礎ボルトにより固定されるため、基礎ボルト近傍のベース下端の節点を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。

- (4) 角管型ラックの質量には使用済燃料の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び角管外形の付加質量を考慮し、これら使用済燃料、ラックに含まれる水の質量及び角管外形の付加質量は角管全長にわたって等分布に与える。

また、格子型ラックの質量には使用済燃料の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及びラック外形の付加質量を考慮し、これら使用済燃料、ラックに含まれる水の質量及びラック外形の付加質量は枠板全長にわたって等分布に与える。

- (5) 本ラックに使用するボロン添加ステンレス鋼のボロン添加量は角管型ラックで 格子型ラックで である。ボロン添加量の増加に従って縦弾性係数が漸増し、固有周期については漸減する傾向を示す。このため、固有値解析、地震応答解析にあたっては、角管型ラックはボロン添加量の上限付近の実験値、格子型ラックはボロン添加量の下限值を用い、設計用床応答曲線から震度を設定するにあたっては、ボロン添加量より想定される固有周期帯のなかでの最大値を評価用震度に用いる。
- (6) 固有値、荷重及び部材の応力は、解析コード「MSC NASTRAN」を用いて求める。

なお、評価に用いる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。

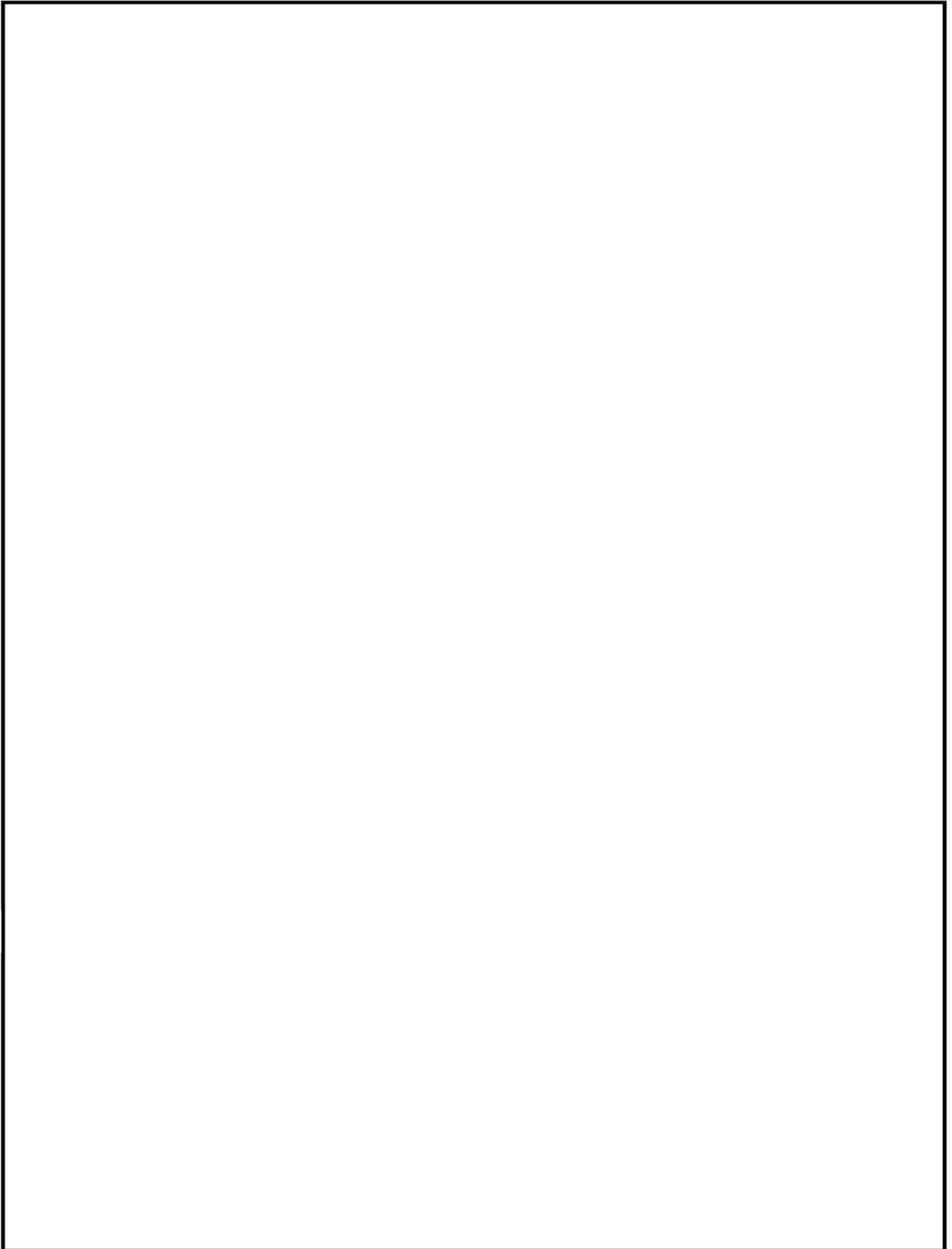


図 4-8 解析モデル (角管型 176 体ラック)

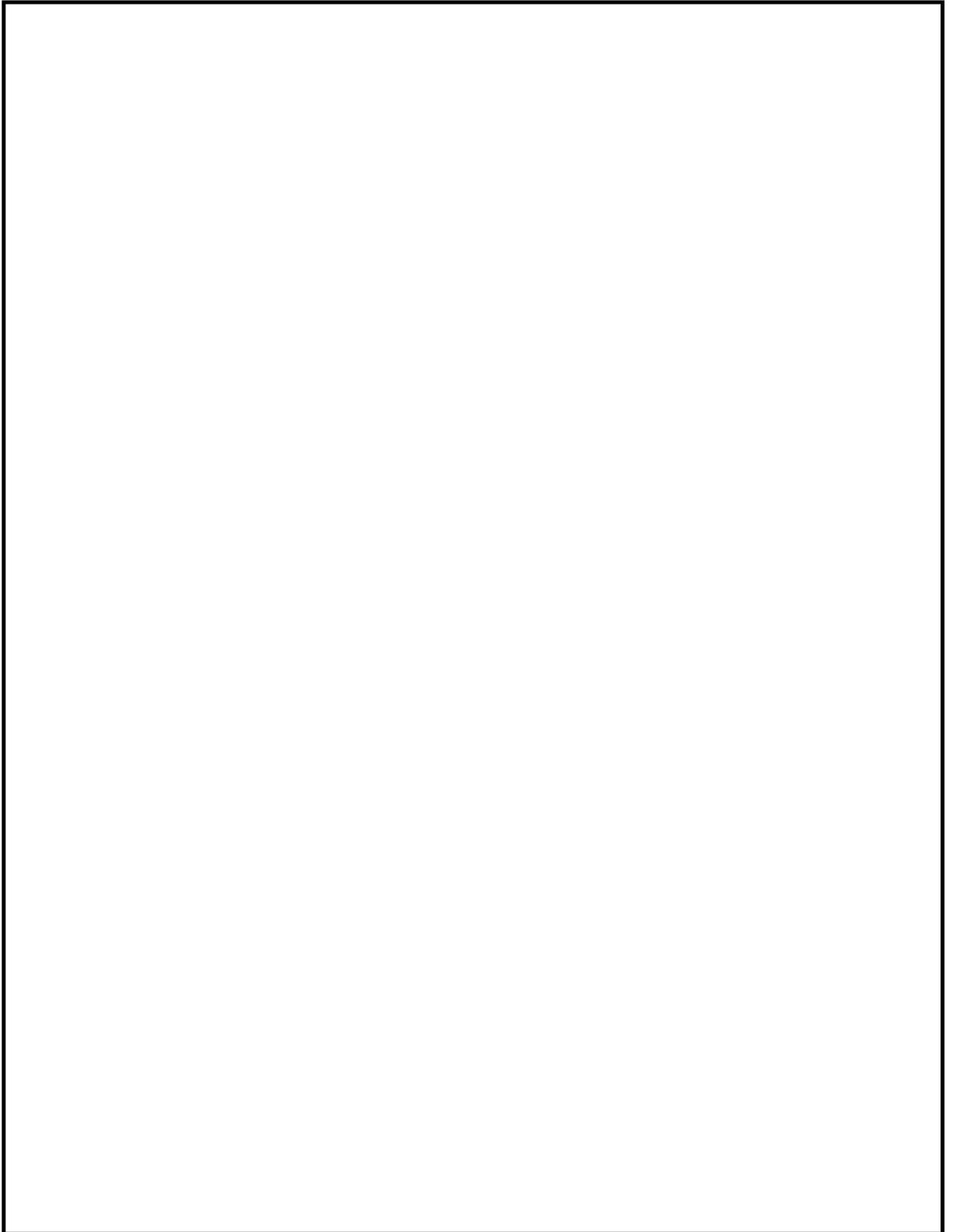


図 4-9 解析モデル (角管型 187 体ラック)

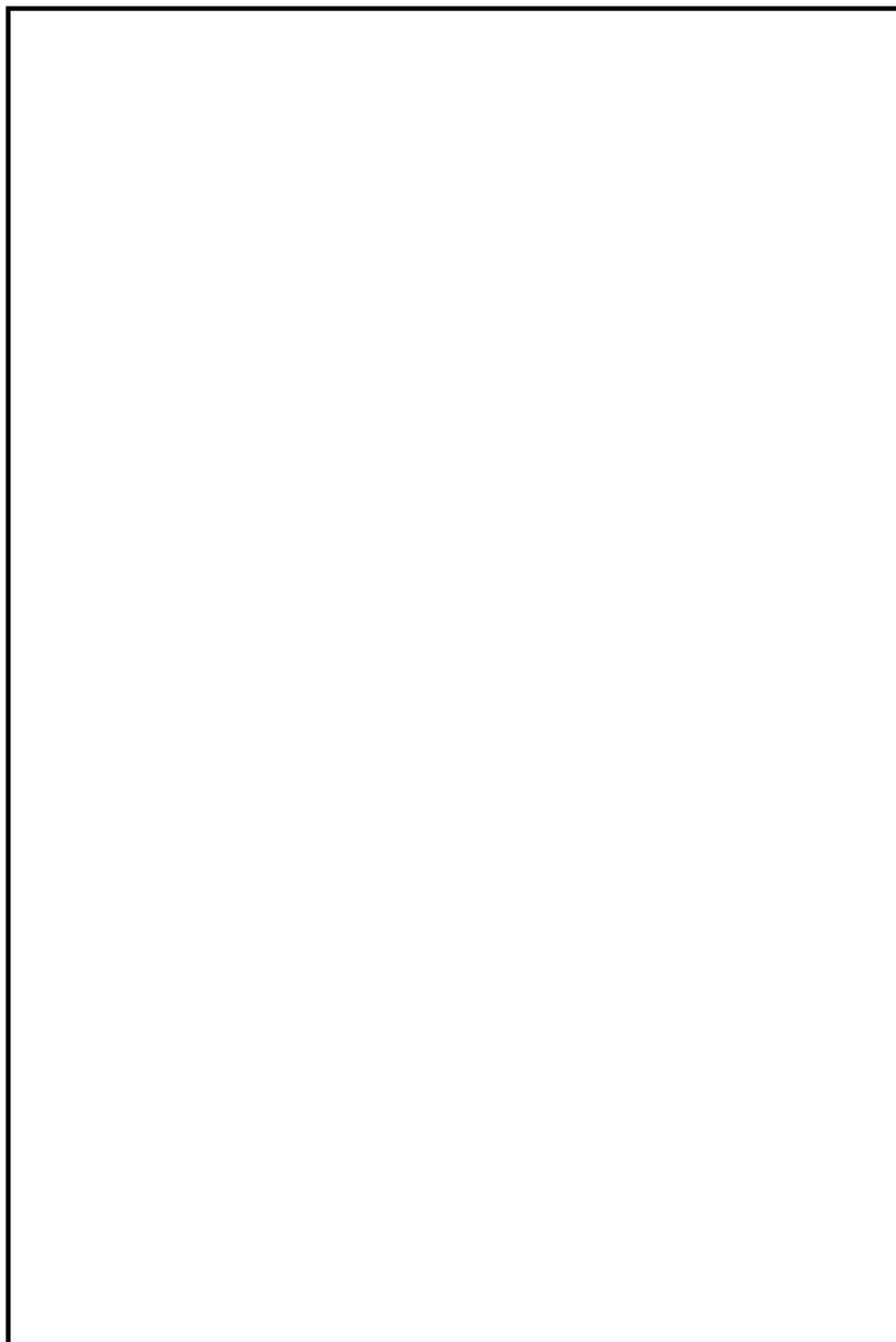


図 4-10 解析モデル (格子型 120 体ラック)

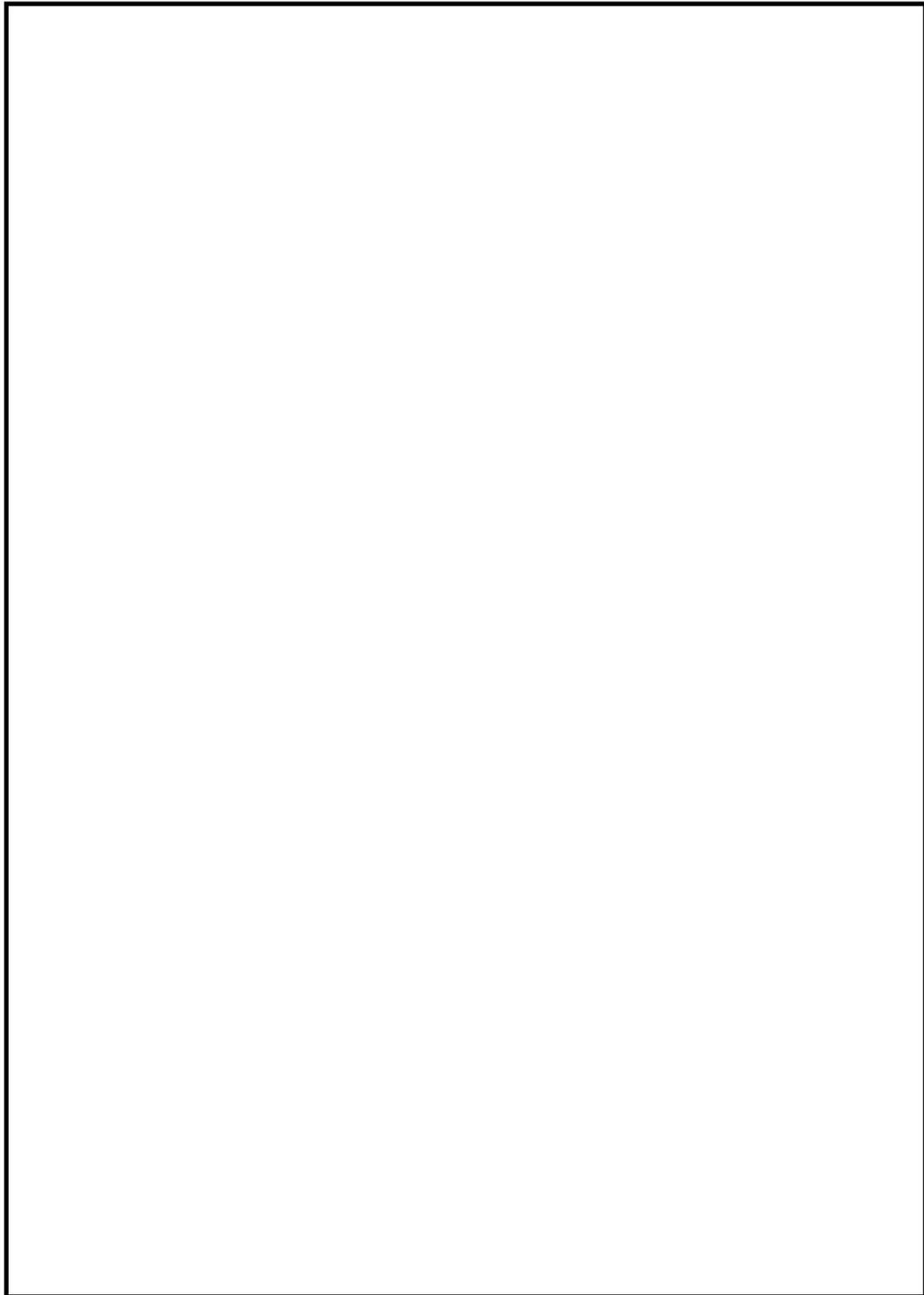


図 4-11 解析モデル (格子型 187 体ラック)

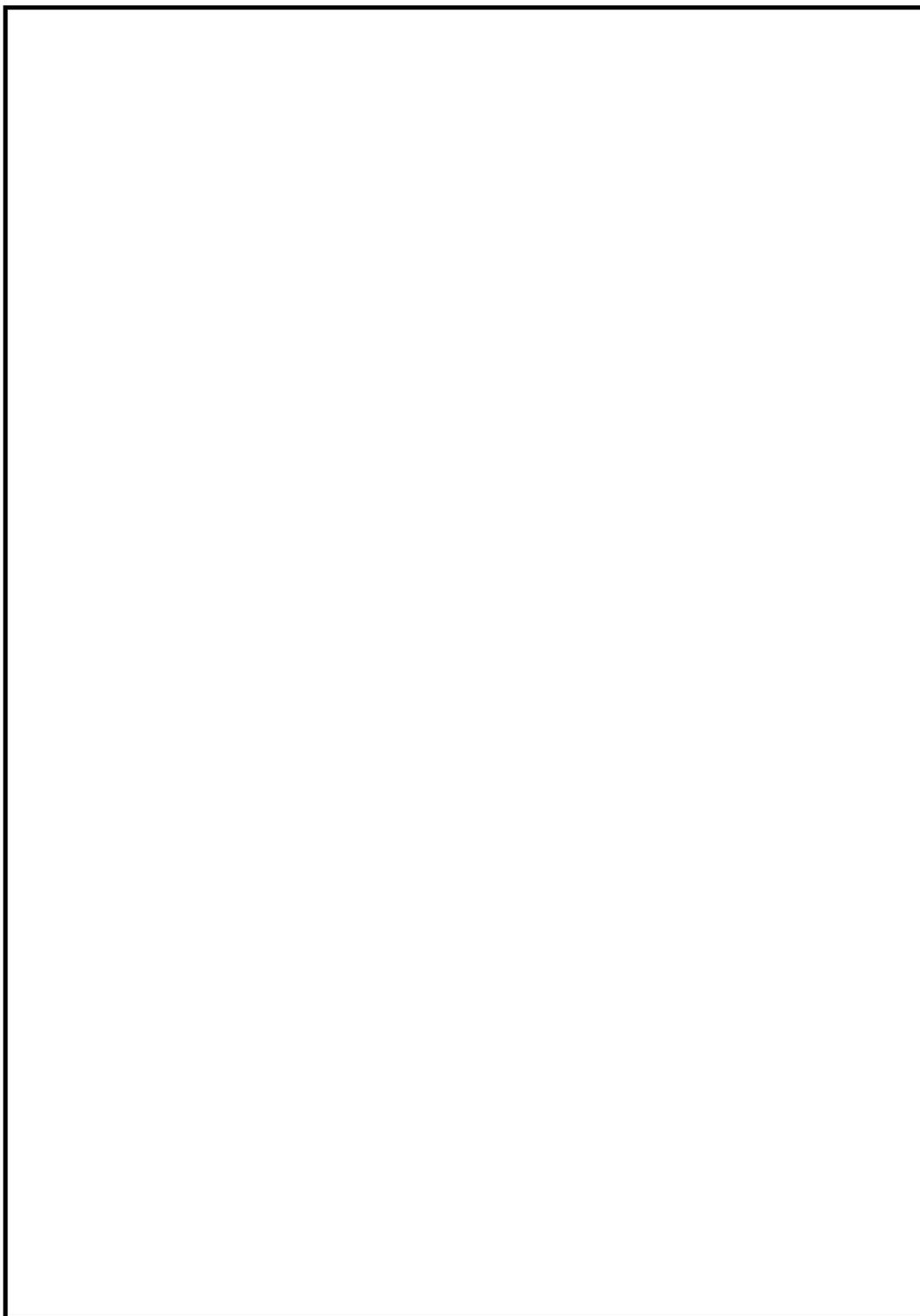


図 4-12 解析モデル (格子型 210 体ラック)

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6～表4-10に、振動モード図を図4-13～図4-27に示す。なお、格子型ラックの振動モード図は、3次モードまでを代表として示す。

表4-6 固有周期（角管型176体ラック）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			NS方向	EW方向	
1次	水平	0.087	8.764	0.000	0.025
2次	水平	0.076	0.000	8.720	0.000
3次	水平	0.043	—	—	—
8次	鉛直	0.020	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表4-7 固有周期（角管型187体ラック）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			NS方向	EW方向	
1次	水平	0.090	9.009	0.000	0.014
2次	水平	0.076	0.000	8.966	0.000
3次	水平	0.047	—	—	—
9次	鉛直	0.020	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表4-8 固有周期（格子型120体ラック）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			N S 方向	E W 方向	
1次	水平	0.094	0.000	0.000	0.020
2次	水平	0.089	0.000	-7.056	0.000
3次	水平	0.060	0.317	0.000	0.000
4次	水平	0.060	0.000	0.000	0.000
5次	水平	0.052	6.442	0.000	0.000
6次	水平	0.051	0.000	0.000	0.000
7次	水平	0.029	—	—	—
117次	鉛直	0.004	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表4-9 固有周期（格子型187体ラック）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			N S 方向	E W 方向	
1次	水平	0.081	0.000	4.325	0.004
2次	水平	0.070	0.000	7.535	0.000
3次	水平	0.059	-0.124	0.000	0.000
4次	水平	0.057	0.000	0.000	0.000
5次	水平	0.051	6.945	0.000	0.000
6次	水平	0.050	-4.561	0.000	0.000
7次	水平	0.028	—	—	—
125次	鉛直	0.005	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

表4-10 固有周期（格子型210体ラック）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			N S 方向	E W 方向	
1次	水平	0.065	0.000	-2.675	-0.012
2次	水平	0.060	0.000	-8.603	0.008
3次	水平	0.059	-7.662	0.000	0.000
4次	水平	0.057	1.905	0.000	0.000
5次	水平	0.057	-4.295	0.000	0.000
6次	水平	0.056	-0.450	0.000	0.000
7次	水平	0.027	—	—	—
119次	鉛直	0.005	—	—	—

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

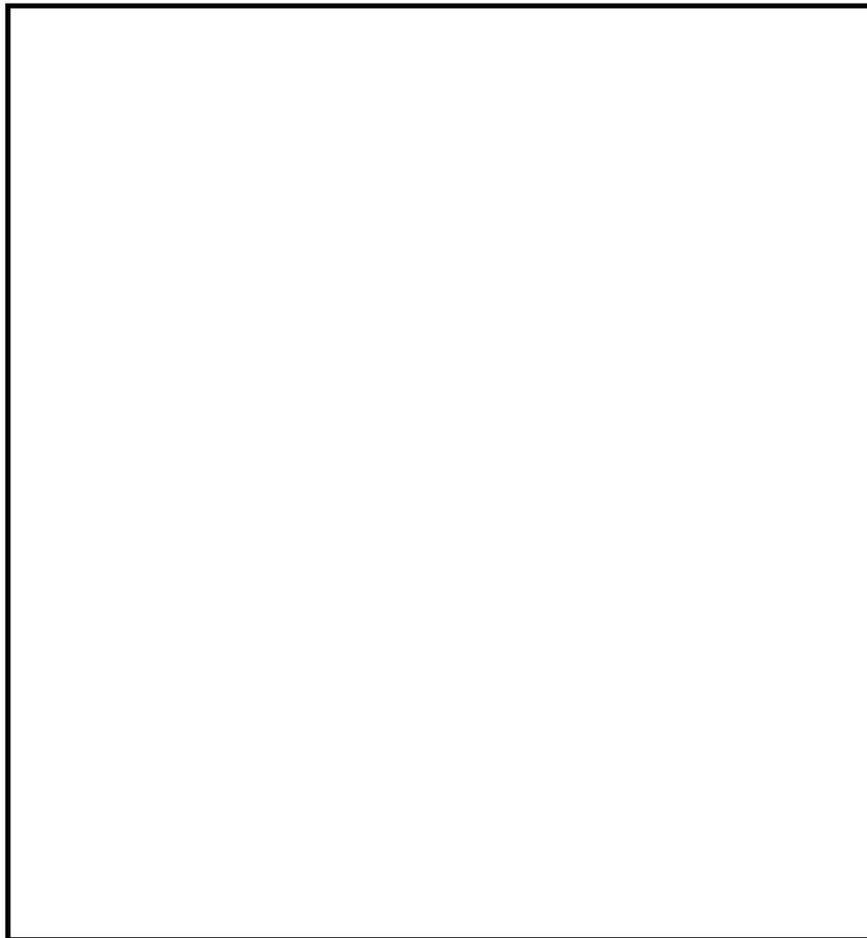


図4-13 振動モード (角管型176体ラック
1次モード 水平方向 0.087s)

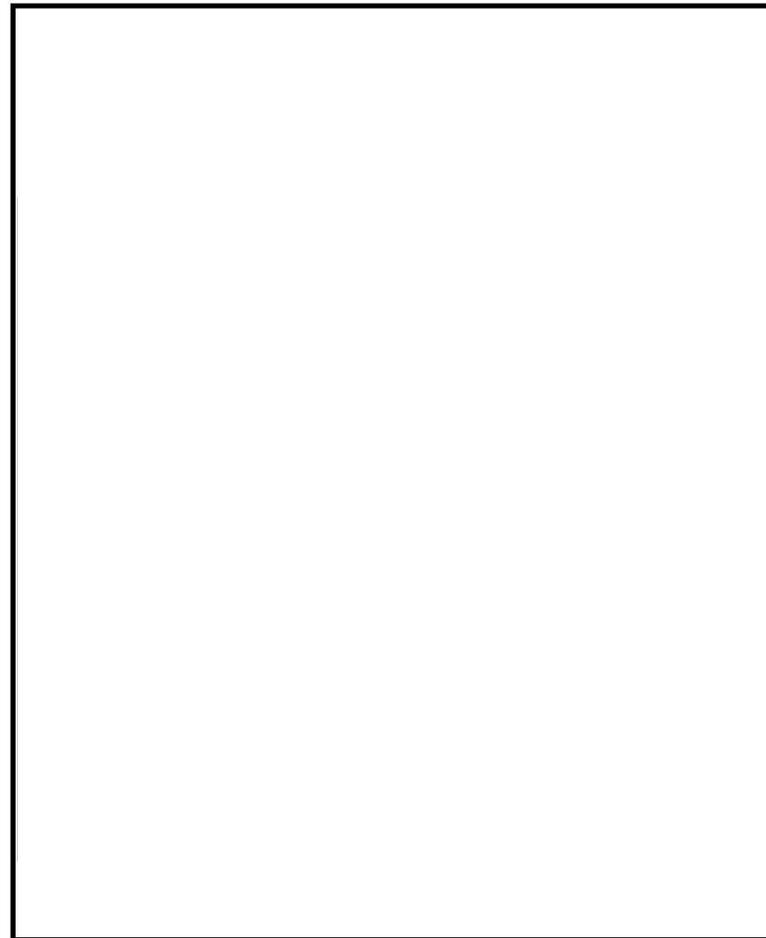


図4-14 振動モード (角管型176体ラック
2次モード 水平方向 0.076s)



図4-15 振動モード（角管型176体ラック 3次モード 水平方向 0.043s）

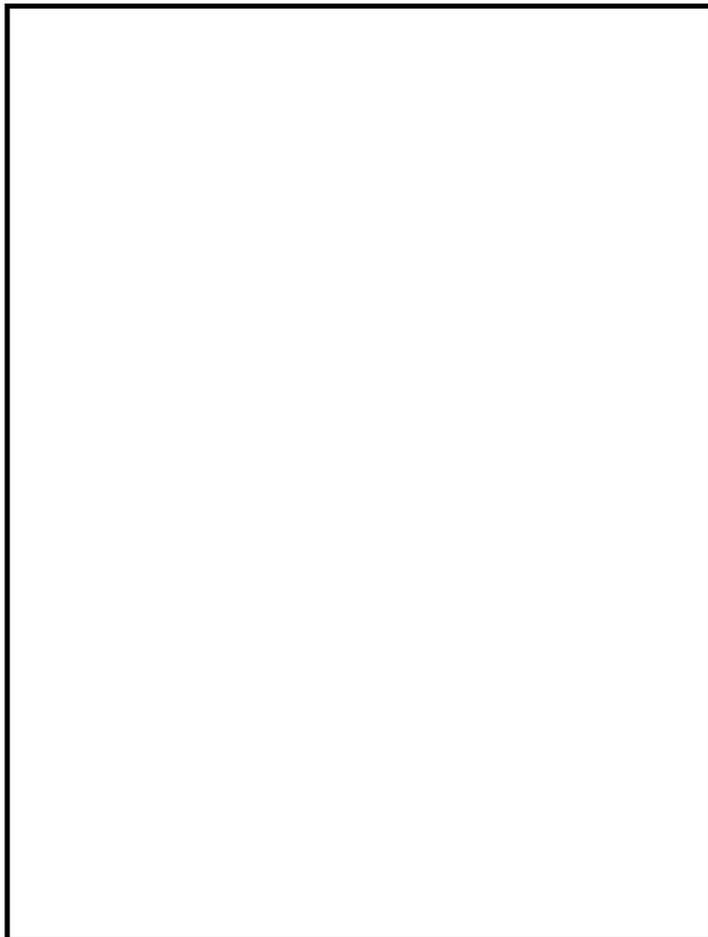


図 4-16 振動モード (角管型 187 体ラック
1 次モード 水平方向 0.090s)

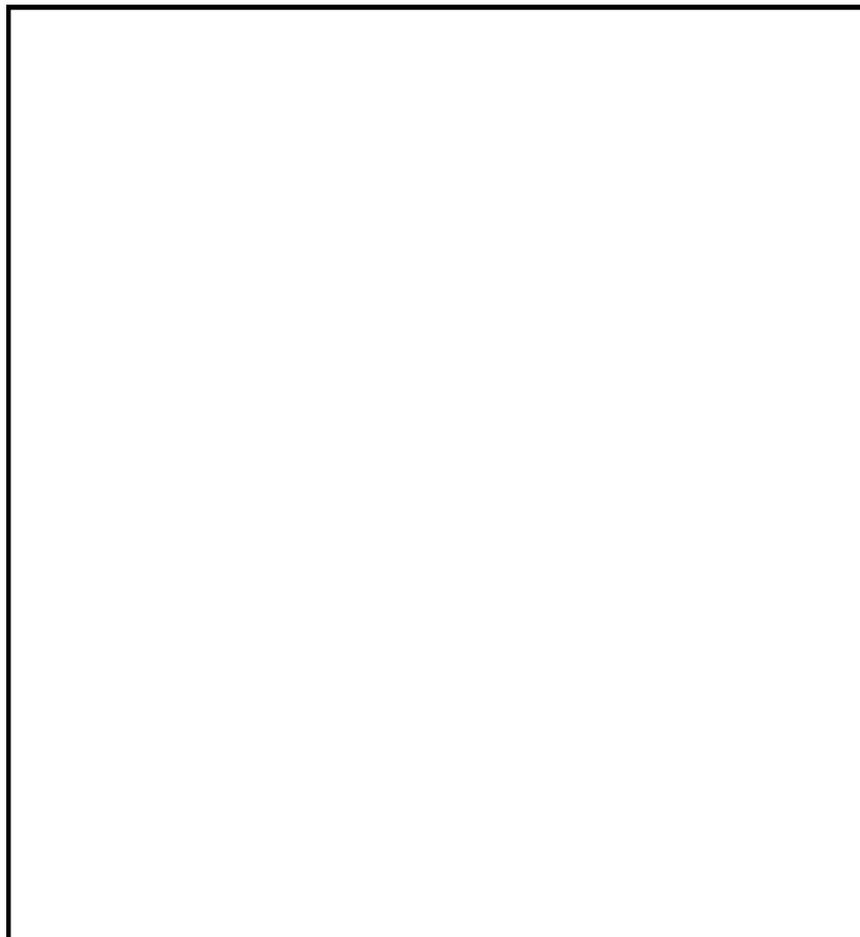


図 4-17 振動モード (角管型 187 体ラック
2 次モード 水平方向 0.076s)

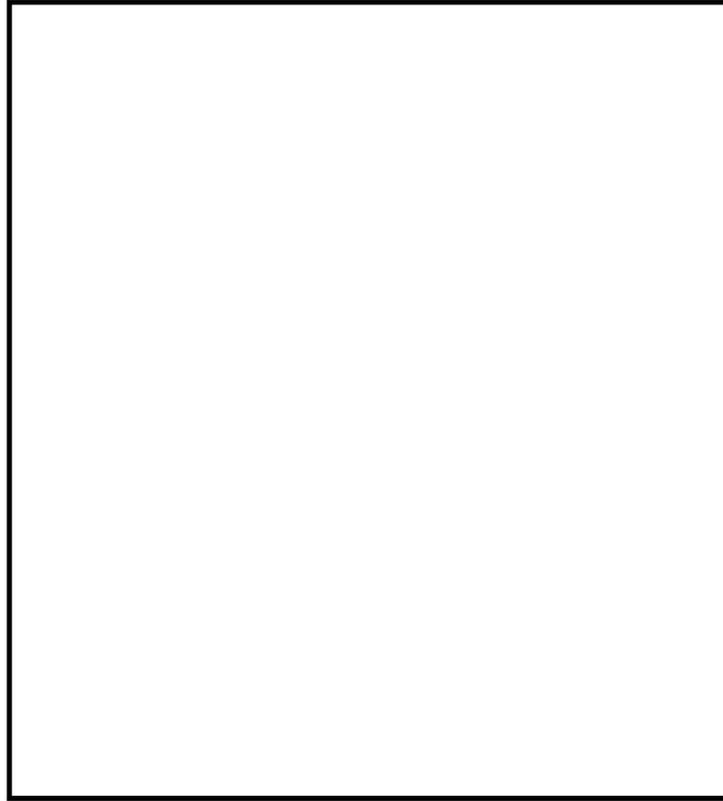


図 4-18 振動モード (角管型 187 体ラック 3 次モード 水平方向 0.047s)

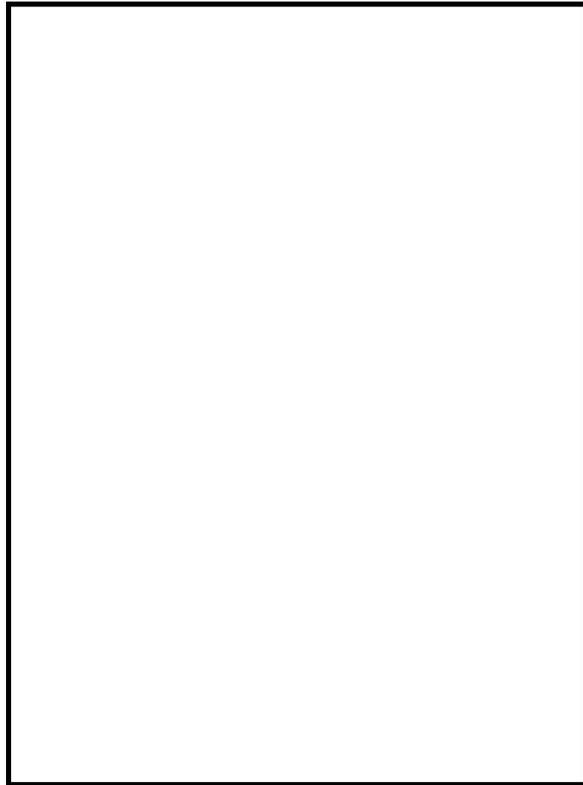


図 4-19 振動モード (格子型 120 体ラック)
1 次モード 水平方向 0.094s)

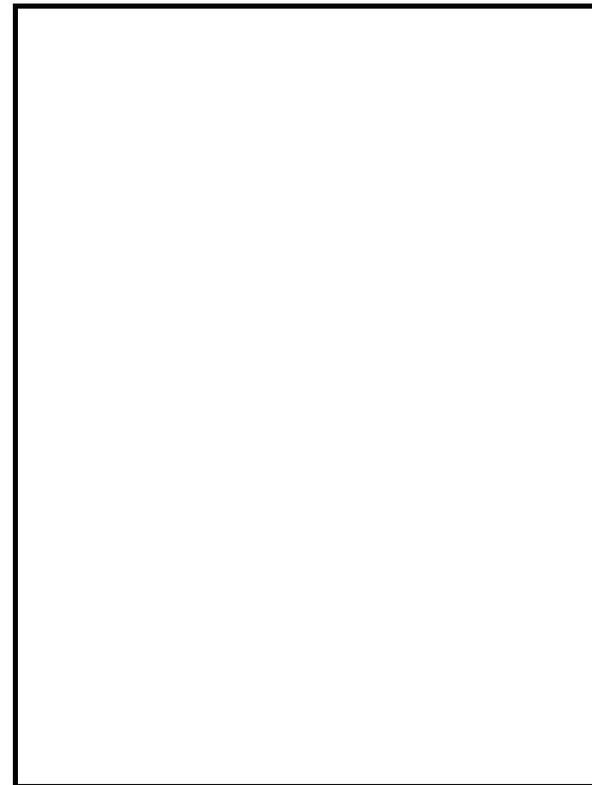


図 4-20 振動モード (格子型 120 体ラック)
2 次モード 水平方向 0.089s)



図 4-21 振動モード (格子型 120 体ラック 3 次モード 水平方向 0.060s)

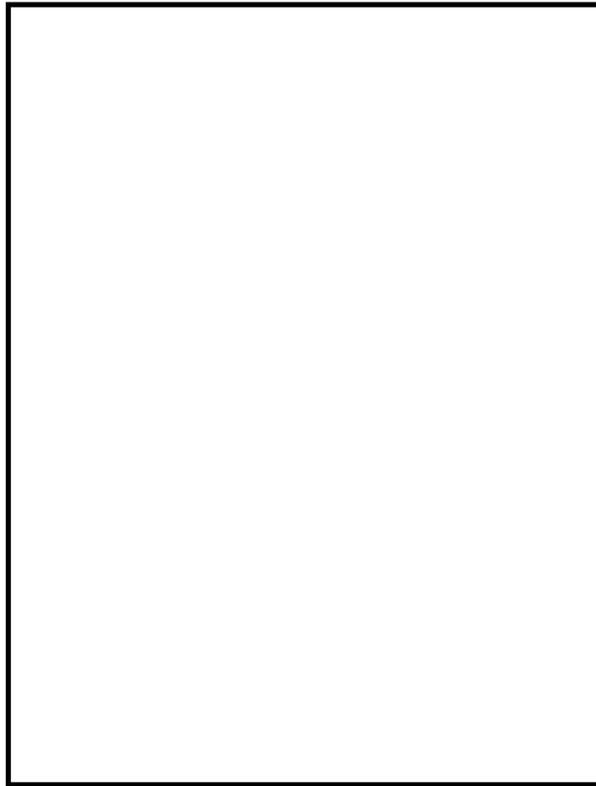


図 4-22 振動モード (格子型 187 体ラック
1 次モード 水平方向 0.081s)

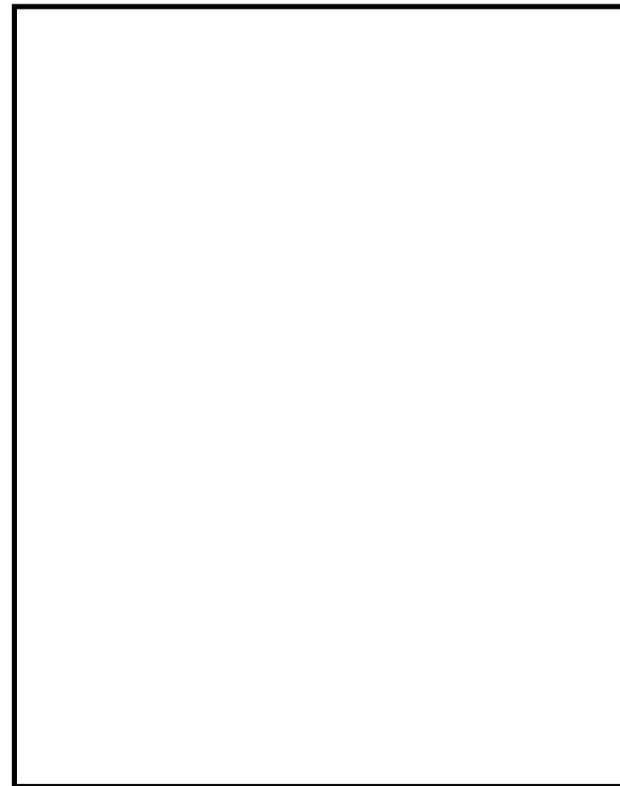


図 4-23 振動モード (格子型 187 体ラック
2 次モード 水平方向 0.070s)

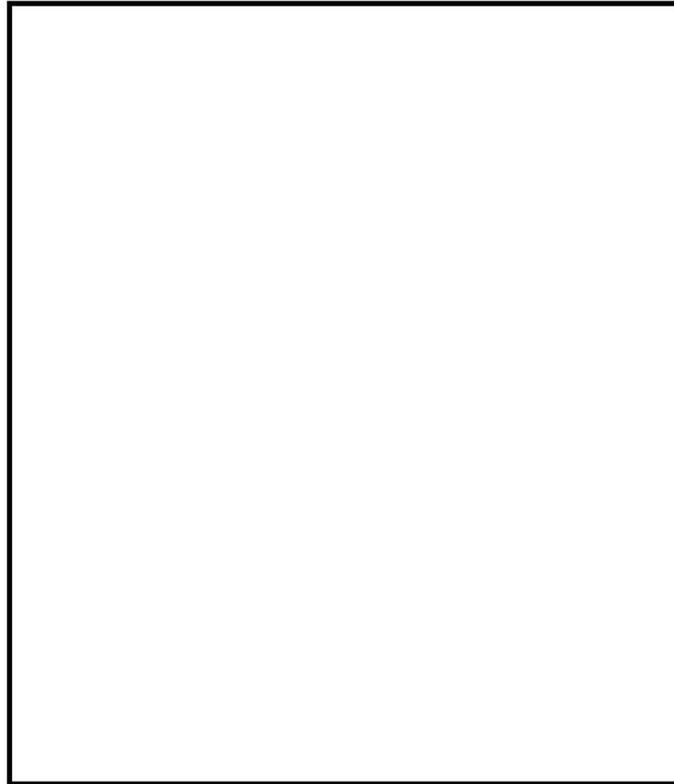


図 4-24 振動モード (格子型 187 体ラック 3 次モード 水平方向 0.059s)

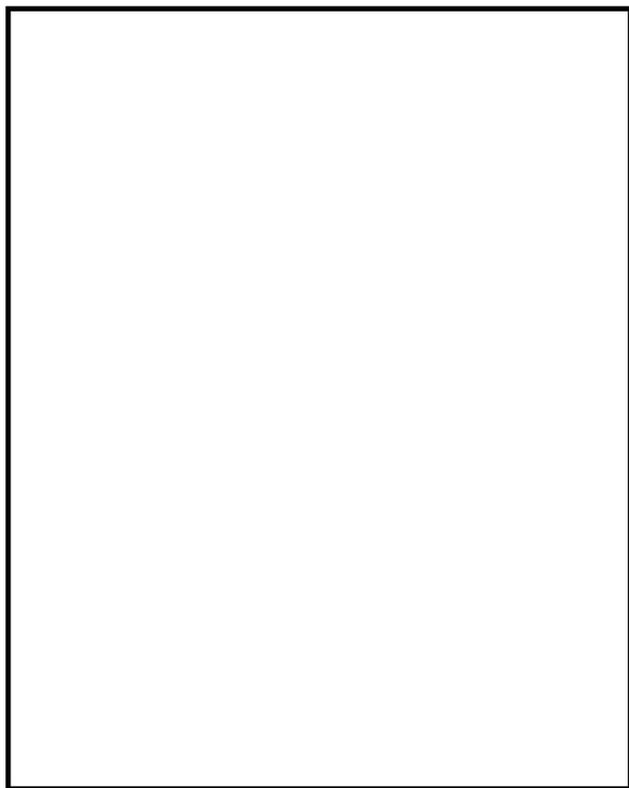


図 4-25 振動モード (格子型 210 体ラック
1 次モード 水平方向 0.065s)

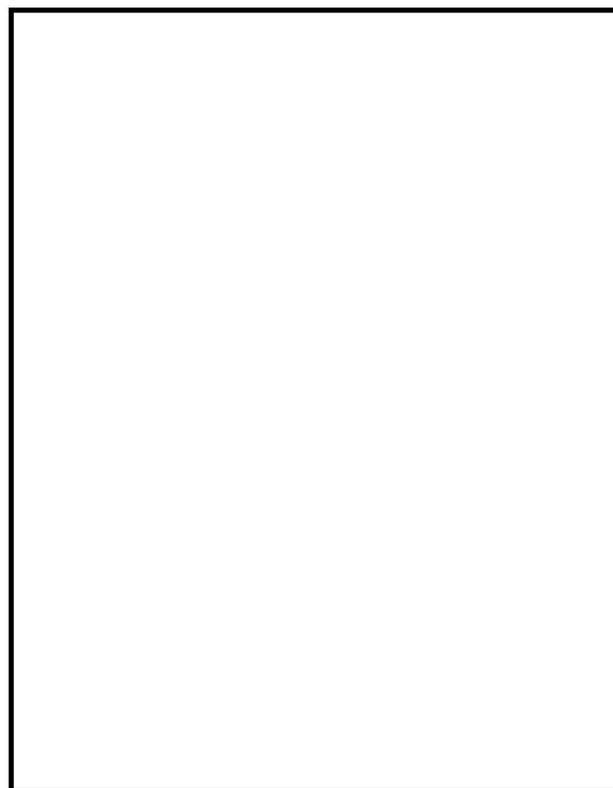


図 4-26 振動モード (格子型 210 体ラック
2 次モード 水平方向 0.060s)

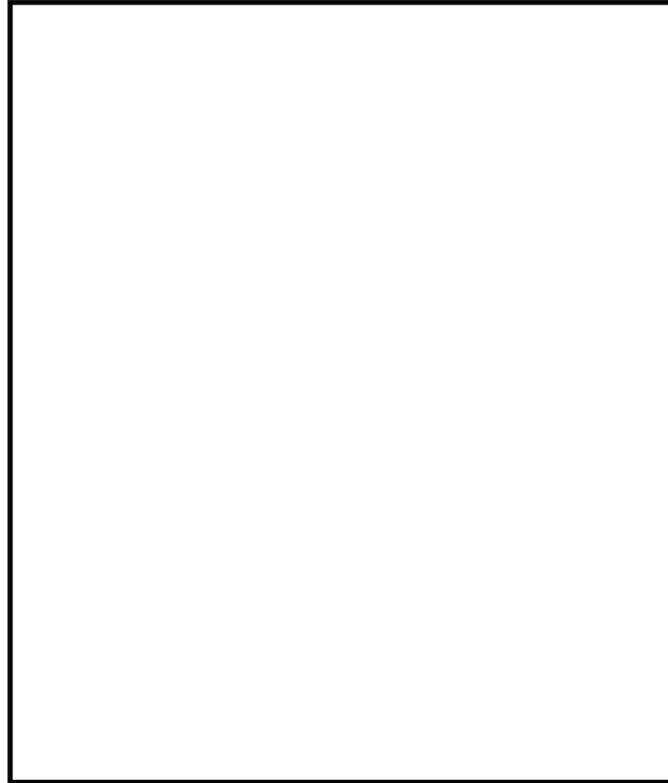


図4-27 振動モード (格子型210体ラック 3次モード 水平方向 0.059s)

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-11～表4-20に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-11 設計用地震力（設計基準対象施設）角管型 176 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5 ^{*1})					
固有周期(s)		水平：0.087 ^{*2} 鉛直：0.020					
減衰定数(%)		水平：5.0 (S d), 7.0 (S s) 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	0.087	1.06		—	1.84		—
2次	0.076	0.84		—	1.60		—
3次	0.043	—		—	—		—
動的地震力 ^{*5}		0.77		0.72	1.53		1.41
静的地震力 ^{*6}		0.78		0.29	—		—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

*5：S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6：静的震度（ $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ ）を示す。

表 4-12 設計用地震力（設計基準対象施設）角管型 187 体ラック

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5 ^{*1})					
固有周期(s)		水平：0.090 ^{*2} 鉛直：0.020					
減衰定数(%)		水平：5.0 (S d), 7.0 (S s) 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度 ^{*3}	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.090	1.09		—	1.88		—
2 次	0.076	0.84		—	1.60		—
3 次	0.047	—		—	—		—
動的地震力 ^{*5}		0.77		0.72	1.53		1.41
静的地震力 ^{*6}		0.78		0.29	—		—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

*5：S s 又は S d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6：静的震度（ $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ ）を示す。

表 4-13 設計用地震力（設計基準対象施設）格子型 120 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.094* ² 鉛直：0.004					
減衰定数(%)		水平：5.0 (S _d), 7.0 (S _s) 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.094	1.08		—	1.87		—
2 次	0.089	0.97		—	1.76		—
3 次	0.060	0.72		—	1.46		—
4 次	0.060	0.72		—	1.46		—
5 次	0.052	0.71		—	1.46		—
6 次	0.051	0.71		—	1.45		—
7 次	0.029	—		—	—		—
動的地震力* ⁵		0.77		0.72	1.53		1.41
静的地震力* ⁶		0.78		0.29	—		—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*5：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6：静的震度（3.6・C_i 及び 1.2・C_v）を示す。

表 4-14 設計用地震力（設計基準対象施設）格子型 187 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.081* ² 鉛直：0.005					
減衰定数(%)		水平：5.0 (S _d), 7.0 (S _s) 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.081	0.84		—	1.60		—
2 次	0.070	0.84		—	1.59		—
3 次	0.059	0.72		—	1.46		—
4 次	0.057	0.72		—	1.46		—
5 次	0.051	0.71		—	1.45		—
6 次	0.050	0.69		—	1.45		—
7 次	0.028	—		—	—		—
動的地震力* ⁵		0.77		0.72	1.53		1.41
静的地震力* ⁶		0.78		0.29	—		—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*5：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6：静的震度（3.6・C_i 及び 1.2・C_v）を示す。

表 4-15 設計用地震力（設計基準対象施設）格子型 210 体ラック

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.065* ² 鉛直：0.005					
減衰定数(%)		水平：5.0 (S _d), 7.0 (S _s) 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ³		応答鉛直 震度* ³	応答水平震度* ⁴		応答鉛直 震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.065	0.79		—	1.52		—
2 次	0.060	0.72		—	1.46		—
3 次	0.059	0.72		—	1.46		—
4 次	0.057	0.72		—	1.46		—
5 次	0.057	0.72		—	1.46		—
6 次	0.056	0.72		—	1.46		—
7 次	0.027	—		—	—		—
動的地震力* ⁵		0.77		0.72	1.53		1.41
静的地震力* ⁶		0.78		0.29	—		—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*5：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6：静的震度（3.6・C_i 及び 1.2・C_v）を示す。

表 4-16 設計用地震力（重大事故等対処設備）角管型 176 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.087* ² 鉛直：0.020					
減衰定数(%)		水平：7.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.087	—	—	—	1.84	—	—
2 次	0.076	—	—	—	1.60	—	—
3 次	0.043	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ⁴		—	—	—	1.53	—	1.41
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-17 設計用地震力（重大事故等対処設備）角管型 187 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.090* ² 鉛直：0.020					
減衰定数(%)		水平：7.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.090	—	—	—	1.88	—	—
2 次	0.076	—	—	—	1.60	—	—
3 次	0.047	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ⁴		—	—	—	1.53	—	1.41
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-18 設計用地震力（重大事故等対処設備）格子型 120 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.094* ² 鉛直：0.004					
減衰定数(%)		水平：7.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.094	—	—	—	1.87	—	—
2 次	0.089	—	—	—	1.76	—	—
3 次	0.060	—	—	—	1.46	—	—
4 次	0.060	—	—	—	1.46	—	—
5 次	0.052	—	—	—	1.46	—	—
6 次	0.051	—	—	—	1.45	—	—
7 次	0.029	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ⁴		—	—	—	1.53	—	1.41
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-19 設計用地震力（重大事故等対処設備）格子型 187 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.081* ² 鉛直：0.005					
減衰定数(%)		水平：7.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.081	—	—	—	1.60	—	—
2 次	0.070	—	—	—	1.59	—	—
3 次	0.059	—	—	—	1.46	—	—
4 次	0.057	—	—	—	1.46	—	—
5 次	0.051	—	—	—	1.45	—	—
6 次	0.050	—	—	—	1.45	—	—
7 次	0.028	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ⁴		—	—	—	1.53	—	1.41
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

表 4-20 設計用地震力（重大事故等対処設備）格子型 210 体ラック

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建屋 T.M.S.L. 19.88 (T.M.S.L. 23.5* ¹)					
固有周期(s)		水平：0.065* ² 鉛直：0.005					
減衰定数(%)		水平：7.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ³		応答鉛直震度* ³
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.065	—	—	—	1.52	—	—
2 次	0.060	—	—	—	1.46	—	—
3 次	0.059	—	—	—	1.46	—	—
4 次	0.057	—	—	—	1.46	—	—
5 次	0.057	—	—	—	1.46	—	—
6 次	0.056	—	—	—	1.46	—	—
7 次	0.027	—	—	—	—	—	—
動的地震力* ⁴		—	—	—	1.53	—	1.41
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*4：S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

4.6 計算方法

4.6.1 部材の応力

部材についての応力計算は、図4-8～図4-12の解析モデルにて、計算機コード「MSC NASTRAN」を使用して行い、本項に示す計算方法に従って引張応力、せん断応力及び組合せ応力を計算する。

(1) はり部材の応力

計算機コード内では各部材の局所座標系及び引張力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 及び曲げモーメント M_y 、 M_z の働く向きを図4-28に示すように設定している。

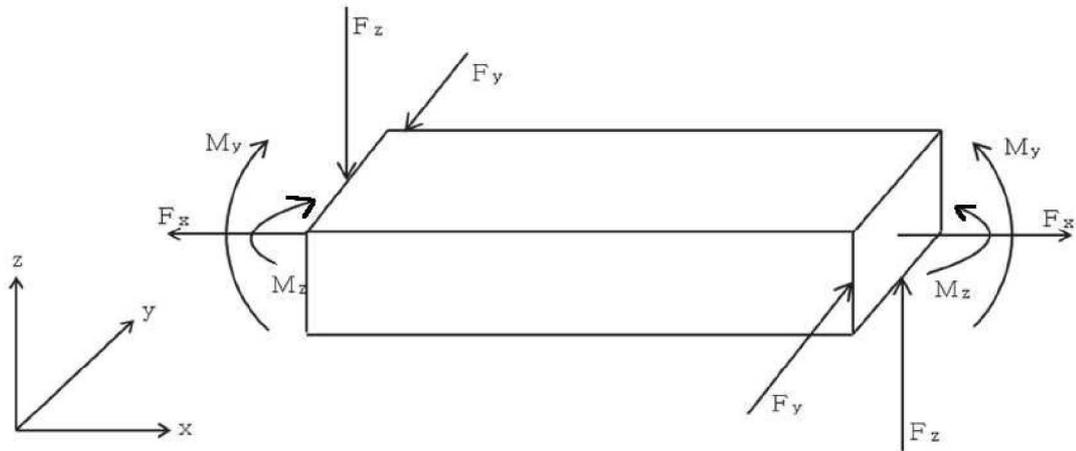


図4-28 はり部材の応力計算モデル

引張力 F_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z により部材に生じる引張応力 σ_{ft} は、(4.6.1)式により求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_x}{A_x} + \frac{M_y}{Z_y} + \frac{M_z}{Z_z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1)$$

せん断力 F_y 、 F_z により部材に生じるせん断応力 τ_f は、(4.6.2)式により求める。

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_y}{A_y}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_z}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.2)$$

組合せ応力 σ_{fa} は、(4.6.3)式により求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3\tau_f^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3)$$

(2) シェル部材の応力

計算機コード内では、各部材の局所座標系及びせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y の働く向きを図 4-29 に示すように設定している。

各シェル部材の組合せ応力 σ_{fa} は、上述で計算したせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y を用いて (4.6.4) 式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.4)$$

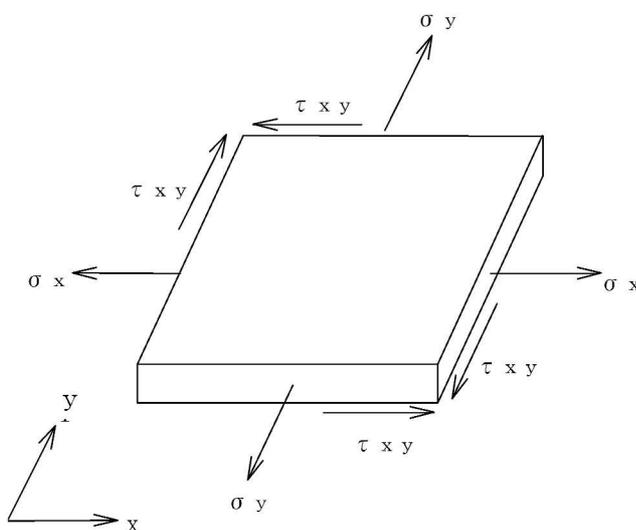


図 4-29 シェル部材の応力計算モデル

4.6.2 基礎ボルトの応力

図4-8～図4-12の解析モデルにて，計算機コード「MSC NASTRAN」を使用して荷重を算出し，求められた地震時のラックに作用する転倒モーメント $M_{a i}$ 及びベース底部に作用するせん断力 $F_{a i}$ が，ラックに図4-30のように負荷されるものとして基礎ボルトの応力を求める。

基礎ボルトの荷重状態を図4-30に示す。

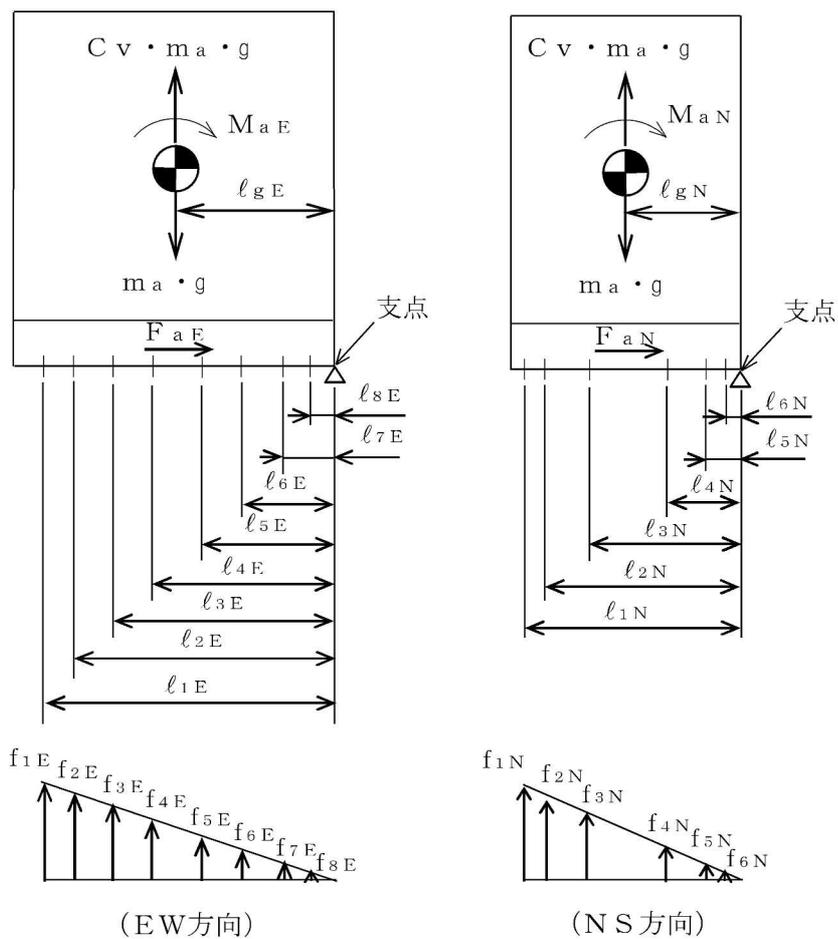


図4-30 基礎ボルトの荷重状態

(1) 引張応力

図 4-30 において支点回りのモーメントの平衡により基礎ボルト 1 本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを以下により求める。

ここで、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の評価のうち、静的震度を組み合わせる場合は、(4.6.5) 式を、それ以外は (4.6.6) 式より求める。

$$f_{1i} = \frac{l_{1i} \cdot \{ M_{ai} - (1 - C_v) \cdot m_a \cdot g \cdot l_{gi} \}}{n_{1i} \cdot l_{1i}^2 + n_{2i} \cdot l_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot l_{ji}^2} \quad \text{(絶対値和法)} \quad (4.6.5)$$

$$f_{1i} = \frac{l_{1i} \cdot \{ \sqrt{M_{ai}^2 + (C_v \cdot m_a \cdot g \cdot l_{gi})^2} - m_a \cdot g \cdot l_{gi} \}}{n_{1i} \cdot l_{1i}^2 + n_{2i} \cdot l_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot l_{ji}^2} \quad \text{(SRSS法)} \quad (4.6.6)$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.7) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad (4.6.7)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.8) 式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad (4.6.8)$$

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{ai} により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.9) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{ai}}{n \cdot A_b} \quad (4.6.9)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.8) 式による。

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6.1項で求めた各部材の引張応力 σ_{ft} 、 σ_x 、 σ_y 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_t 以下であること。

また、4.6.1項で求めた各部材のせん断応力 τ_f 、 τ_{xy} が、許容せん断応力 f_s 以下であること。ただし、 f_t 及び f_s は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

注：ボロン添加ステンレス鋼の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、F、F*値はSUS304の値を使用する。

4.8.2 基礎ボルトの応力評価

4.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.1)$$

また、4.6.2項で求めた基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
使用済燃料貯蔵ラック (角管型 176 体ラック)	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5* ¹)	0. 087	0. 020	C _H =0. 78 又は* ₂	C _V =0. 72	C _H =1. 53 又は* ₃	C _V =1. 41	—	66
使用済燃料貯蔵ラック (角管型 187 体ラック)	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5* ¹)	0. 090	0. 020	C _H =0. 78 又は* ₂	C _V =0. 72	C _H =1. 53 又は* ₃	C _V =1. 41	—	66
使用済燃料貯蔵ラック (格子型 120 体ラック)	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5* ¹)	0. 094	0. 004	C _H =0. 78 又は* ₂	C _V =0. 72	C _H =1. 53 又は* ₃	C _V =1. 41	—	66
使用済燃料貯蔵ラック (格子型 187 体ラック)	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5* ¹)	0. 081	0. 005	C _H =0. 78 又は* ₂	C _V =0. 72	C _H =1. 53 又は* ₃	C _V =1. 41	—	66
使用済燃料貯蔵ラック (格子型 210 体ラック)	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5* ¹)	0. 065	0. 005	C _H =0. 78 又は* ₂	C _V =0. 72	C _H =1. 53 又は* ₃	C _V =1. 41	—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：弾性設計用地震動 S_d に基づく設計用床応答曲線から得られる値

*3：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

1.2 機器要目

1.2.1 機器諸元

(1) 角管型ラック

部材	材料	A _x * ¹ (mm ²)	A _y * ¹ (mm ²)	A _z * ¹ (mm ²)	I _x * ¹ (mm ⁴)	I _y * ¹ (mm ⁴)	I _z * ¹ (mm ⁴)	Z _y * ¹ (mm ³)	Z _z * ¹ (mm ³)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν								
角管	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管									<input type="text"/>	0. 3								
補強板： a	SUS304																	192000	0. 3
補強板： b	SUS304																	192000	0. 3
補強板： c	SUS304																	192000	0. 3
補強板： d	SUS304																	192000	0. 3
補強板： e	SUS304																	192000	0. 3

注記*1：A_x, A_y, A_z, I_x, I_y, I_z, Z_y, Z_zは、部材の長手方向を軸とした局所座標系に従う。

*2：ボロン添加量 における実験値

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
補強板 : f	SUS304		192000	0.3
補強板 : g	SUS304		192000	0.3
補強板 : h	SUS304		192000	0.3
燃料支持板	SUS304		192000	0.3
ベース	SUS304		192000	0.3

部材	ばね定数 (N/m)
基礎ボルト	3.486×10^9

(2) 格子型ラック

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
枠板	ボロン添加 ステンレス鋼板			0.3
燃料支持板	SUS304		192000	0.3
ベース	SUS304		192000	0.3

注記* : ボロン添加量 における値

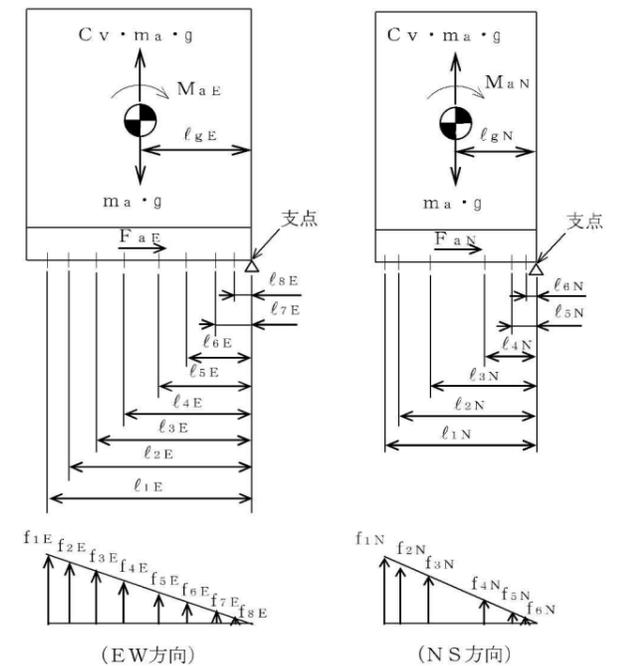
1.2.2 基礎ボルト

(1) 角管型 176 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1718.5	1558.5	1238.5	571.5	251.5	91.5	2551.5	2387.5	1895.5	1403.5	1239.5	747.5	255.5	91.5	905	1321.5

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}
1.590×10^3 (M45)	24	8	2	2	2	2	8	6	2	2	2	2	2	2	6

S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
696	867	725	606	606



(2) 角管型 187 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{9E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1718.5	1558.5	1238.5	571.5	251.5	91.5	2715.5	2551.5	2059.5	1895.5	1403.5	911.5	747.5	255.5	91.5	905	1403.5

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}
1.590×10^3 (M45)	26	9	2	2	2	2	9	6	2	2	2	2	2	2	2	6

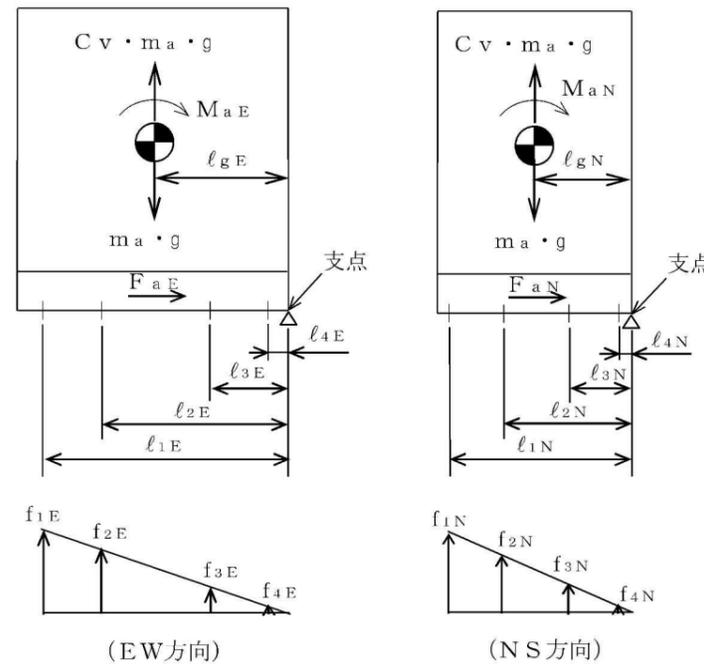
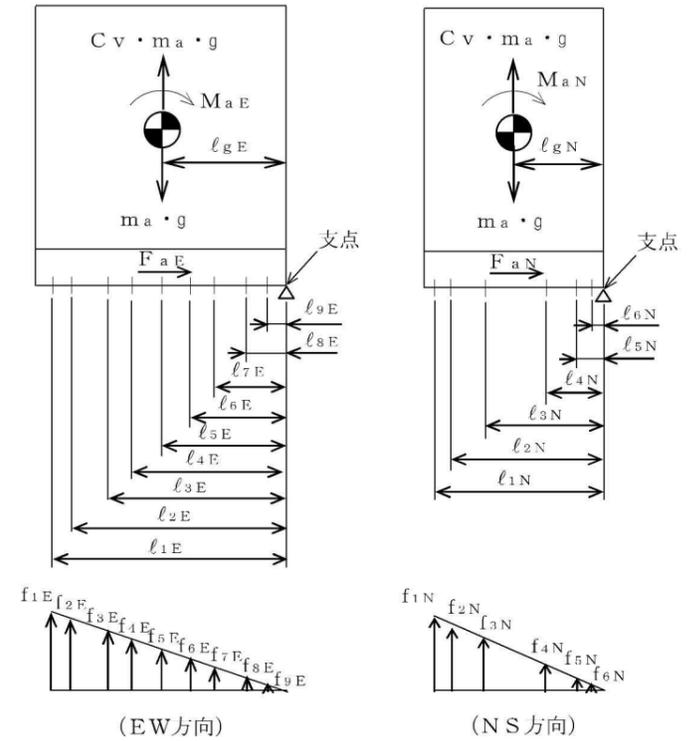
S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
696	867	725	606	606

(3) 格子型 120 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1536	1056	549	69	1900	1244	752	96	802.5	998

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}
1.590×10^3 (M45)	12	4	2	2	4	4	2	2	4

S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
696	867	725	606	606



(4) 格子型 187 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1694.5	67.5	2702.5	2046.5	1390.5	898.5	734.5	78.5	881	1385.25

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}
1.590×10^3 (M45)	12	6	6	2	2	2	2	2	2

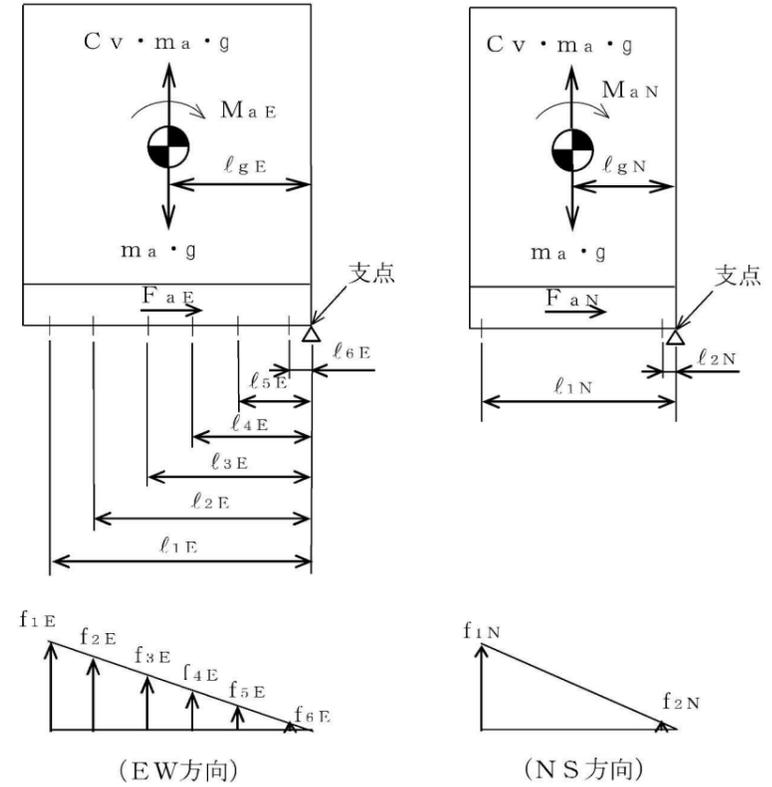
S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
696	867	725	606	606

(5) 格子型 210 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1536	69	3348	2692	2036	1380	724	68	802.5	1708

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}
1.590×10^3 (M45)	12	6	6	2	2	2	2	2	2

S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
696	867	725	606	606



1.2.3 角管及び枠板, 補強板, 燃料支持板, ベース

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
角管及び枠板	ボロン添加ステンレス鋼 鋼管及び鋼板*	188	479	205	205	205
補強板及び 燃料支持板	SUS304	188	479	205	205	205
ベース	SUS304	188	479	205	205	205

注記* : ボロン添加ステンレス鋼の S_y , S_u の値は, SUS304 の規格値を上回っているが, 安全側の評価とするため, SUS304 の値を使用する。

1.3 計算数値

1.3.1 部材に生じる応力

(1) 角管及び枠板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
角管型 176 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り σ_{ft}	47	26	78	43
		せん断 τ_f	12	13	20	21
		組合せ σ_{fa}	51	34	84	57
角管型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り σ_{ft}	46	26	75	43
		せん断 τ_f	14	13	23	24
		組合せ σ_{fa}	52	35	85	59
格子型 120 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り σ_x	14	8	29	14
		引張り σ_y	17	54	23	95
		せん断 τ_{xy}	13	7	22	13
		組合せ σ_{fa}	27	52	46	91
格子型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り σ_x	15	48	52	87
		引張り σ_y	4	5	7	9
		せん断 τ_{xy}	17	17	8	31
		組合せ σ_{fa}	31	54	51	98
格子型 210 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り σ_x	7	43	12	82
		引張り σ_y	41	4	77	7
		せん断 τ_{xy}	2	7	4	12
		組合せ σ_{fa}	39	43	72	81

(2) 補強板及び燃料支持板, ベース

(単位:MPa)

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
				N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
角管型 176 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り σ_{ft}	35	13	58	19
			せん断 τ_f	22	14	36	24
			組合せ σ_{fa}	51	28	84	46
	補強板 : b	SUS304	引張り σ_{ft}	27	9	45	16
			せん断 τ_f	20	7	35	12
			組合せ σ_{fa}	44	15	74	26
	補強板 : c	SUS304	引張り σ_{ft}	37	29	63	54
			せん断 τ_f	13	15	21	28
			組合せ σ_{fa}	43	38	73	73
	補強板 : d	SUS304	引張り σ_{ft}	44	53	76	99
			せん断 τ_f	12	8	20	16
			組合せ σ_{fa}	48	55	83	103
	補強板 : e	SUS304	引張り σ_{ft}	39	13	68	21
			せん断 τ_f	4	3	7	5
			組合せ σ_{fa}	40	13	69	23
	補強板 : f	SUS304	引張り σ_x	5	2	9	3
			引張り σ_y	1	3	2	5
			せん断 τ_{xy}	16	4	27	5
			組合せ σ_{fa}	28	7	47	9
	補強板 : g	SUS304	引張り σ_x	1	1	1	1
			引張り σ_y	2	3	3	3
			せん断 τ_{xy}	1	1	1	1
			組合せ σ_{fa}	2	2	3	3
	補強板 : h	SUS304	引張り σ_x	6	4	9	8
			引張り σ_y	4	7	6	11
			せん断 τ_{xy}	14	15	24	23
			組合せ σ_{fa}	25	27	42	41
	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	27	20	46	28
			引張り σ_y	9	5	14	6
			せん断 τ_{xy}	0	3	0	6
			組合せ σ_{fa}	24	19	41	27
	ベース	SUS304	引張り σ_x	31	7	51	26
引張り σ_y			6	6	9	12	
せん断 τ_{xy}			0	11	0	14	
組合せ σ_{fa}			29	20	47	32	

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
角管型 187 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り σ_{ft}	38	14	61	20
			せん断 τ_f	22	15	37	25
			組合せ σ_{fa}	54	28	88	47
	補強板 : b	SUS304	引張り σ_{ft}	29	9	49	16
			せん断 τ_f	22	7	38	13
			組合せ σ_{fa}	48	16	82	27
	補強板 : c	SUS304	引張り σ_{ft}	42	27	72	51
			せん断 τ_f	14	15	23	29
			組合せ σ_{fa}	48	38	82	71
	補強板 : d	SUS304	引張り σ_{ft}	49	51	84	95
			せん断 τ_f	13	8	23	15
			組合せ σ_{fa}	54	53	92	99
	補強板 : e	SUS304	引張り σ_{ft}	43	13	73	22
			せん断 τ_f	5	3	7	5
			組合せ σ_{fa}	43	14	74	24
	補強板 : f	SUS304	引張り σ_x	6	3	10	1
			引張り σ_y	2	2	3	4
			せん断 τ_{xy}	20	5	33	6
			組合せ σ_{fa}	35	8	57	11
	補強板 : g	SUS304	引張り σ_x	1	1	1	1
			引張り σ_y	2	3	3	3
			せん断 τ_{xy}	1	1	2	1
			組合せ σ_{fa}	3	2	4	3
	補強板 : h	SUS304	引張り σ_x	4	3	6	8
			引張り σ_y	7	7	10	11
			せん断 τ_{xy}	15	15	25	23
			組合せ σ_{fa}	26	27	44	41
	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	26	20	44	27
			引張り σ_y	9	11	14	14
			せん断 τ_{xy}	1	3	2	6
			組合せ σ_{fa}	23	18	39	25
	ベース	SUS304	引張り σ_x	29	9	47	26
引張り σ_y			5	1	9	13	
せん断 τ_{xy}			1	11	2	14	
組合せ σ_{fa}			27	20	44	32	

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
格子型 120 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	6	5	8	11
			引張り σ_y	8	7	10	8
			せん断 τ_{xy}	1	5	2	8
			組合せ σ_{fa}	7	10	9	17
	ベース	SUS304	引張り σ_x	8	1	11	1
			引張り σ_y	10	2	14	2
			せん断 τ_{xy}	9	16	13	29
			組合せ σ_{fa}	18	28	25	50
格子型 187 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	1	7	1	9
			引張り σ_y	1	19	9	31
			せん断 τ_{xy}	5	0	5	0
			組合せ σ_{fa}	8	16	12	28
	ベース	SUS304	引張り σ_x	11	15	15	27
			引張り σ_y	11	21	16	37
			せん断 τ_{xy}	12	21	16	38
			組合せ σ_{fa}	23	41	32	73
格子型 210 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	5	2	8	3
			引張り σ_y	14	2	19	2
			せん断 τ_{xy}	1	7	1	11
			組合せ σ_{fa}	12	12	16	19
	ベース	SUS304	引張り σ_x	11	13	26	29
			引張り σ_y	12	16	12	23
			せん断 τ_{xy}	15	16	20	29
			組合せ σ_{fa}	28	31	41	57

1.3.2 基礎ボルトに生じる力とモーメント

ラック	材料	地震力の種類	F _{aN} (N)	F _{aE} (N)	M _{aN} (N・mm)	M _{aE} (N・mm)
角管型 176 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	6.307×10 ⁵	6.240×10 ⁵	1.983×10 ⁹	1.361×10 ⁹
		基準地震動 S _s	1.095×10 ⁶	9.425×10 ⁵	3.442×10 ⁹	2.792×10 ⁹
角管型 187 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	6.854×10 ⁵	6.626×10 ⁵	2.159×10 ⁹	1.495×10 ⁹
		基準地震動 S _s	1.182×10 ⁶	9.965×10 ⁵	3.724×10 ⁹	3.079×10 ⁹
格子型 120 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	4.002×10 ⁵	4.002×10 ⁵	9.304×10 ⁸	9.304×10 ⁸
		基準地震動 S _s	7.851×10 ⁵	5.929×10 ⁵	1.825×10 ⁹	1.963×10 ⁹
格子型 187 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	6.197×10 ⁵	6.197×10 ⁵	1.445×10 ⁹	1.445×10 ⁹
		基準地震動 S _s	1.216×10 ⁶	1.216×10 ⁶	2.834×10 ⁹	2.834×10 ⁹
格子型 210 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	6.948×10 ⁵	6.948×10 ⁵	1.621×10 ⁹	1.621×10 ⁹
		基準地震動 S _s	1.363×10 ⁶	1.363×10 ⁶	3.179×10 ⁹	3.179×10 ⁹

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の 種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
角管型 176 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	44	26	96	52
		せん断 τ _b	17	17	29	25
角管型 187 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	45	25	95	50
		せん断 τ _b	17	16	29	25
格子型 120 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	64	51	118	101
		せん断 τ _b	21	21	42	31
格子型 187 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	78	66	143	123
		せん断 τ _b	33	33	64	64
格子型 210 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	97	51	179	98
		せん断 τ _b	37	37	72	72

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

ラック	次数	固有周期	卓越方向
角管型 176 体 ラック	1	0.087	水平方向
	2	0.076	
	3	0.043	
	8	0.020	鉛直方向
角管型 187 体 ラック	1	0.090	水平方向
	2	0.076	
	3	0.047	
	9	0.020	鉛直方向
格子型 120 体 ラック	1	0.094	水平方向
	2	0.089	
	3	0.060	
	4	0.060	
	5	0.052	
	6	0.051	
	7	0.029	
	117	0.004	鉛直方向
格子型 187 体 ラック	1	0.081	水平方向
	2	0.070	
	3	0.059	
	4	0.057	
	5	0.051	
	6	0.050	
	7	0.028	
	125	0.005	鉛直方向
格子型 210 体 ラック	1	0.065	水平方向
	2	0.060	
	3	0.059	
	4	0.057	
	5	0.057	
	6	0.056	
	7	0.027	
	119	0.005	鉛直方向

1.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

a. 角管及び枠板

(単位:MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 176 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り	$\sigma_{ft}=47$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=78$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=12$	$f_s=118$	$\tau_f=20$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=51$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=84$	$f_t=205$
角管型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り	$\sigma_{ft}=46$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=75$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_f=14$	$f_s=118$	$\tau_f=23$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=52$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=85$	$f_t=205$
格子型 120 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り	$\sigma_x=8$	$f_t=205$	$\sigma_x=14$	$f_t=205$
		引張り	$\sigma_y=54$	$f_t=205$	$\sigma_y=95$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_{xy}=7$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=13$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=52$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=91$	$f_t=205$
格子型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り	$\sigma_x=48$	$f_t=205$	$\sigma_x=87$	$f_t=205$
		引張り	$\sigma_y=5$	$f_t=205$	$\sigma_y=9$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_{xy}=17$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=31$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=54$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=98$	$f_t=205$
格子型 210 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り	$\sigma_x=43$	$f_t=205$	$\sigma_x=82$	$f_t=205$
		引張り	$\sigma_y=4$	$f_t=205$	$\sigma_y=7$	$f_t=205$
		せん断	$\tau_{xy}=7$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=12$	$f_s=118$
		組合せ	$\sigma_{fa}=43$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=81$	$f_t=205$

すべて許容応力以下である。

b. 補強板及び燃料支持板, ベース

(単位: MPa)

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 176 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=35$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=58$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=22$	$f_s=118$	$\tau_f=36$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=51$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=84$	$f_t=205$
	補強板 : b	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=27$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=45$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=20$	$f_s=118$	$\tau_f=35$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=44$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=74$	$f_t=205$
	補強板 : c	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=37$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=63$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=13$	$f_s=118$	$\tau_f=21$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=43$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=73$	$f_t=205$
	補強板 : d	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=53$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=99$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=8$	$f_s=118$	$\tau_f=16$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=55$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=103$	$f_t=205$
	補強板 : e	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=39$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=68$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=4$	$f_s=118$	$\tau_f=7$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=40$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=69$	$f_t=205$
	補強板 : f	SUS304	引張り	$\sigma_x=5$	$f_t=205$	$\sigma_x=9$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=1$	$f_t=205$	$\sigma_y=2$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=16$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=27$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=28$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=47$	$f_t=205$
	補強板 : g	SUS304	引張り	$\sigma_x=1$	$f_t=205$	$\sigma_x=1$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=3$	$f_t=205$	$\sigma_y=3$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=1$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=1$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=2$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=3$	$f_t=205$
	補強板 : h	SUS304	引張り	$\sigma_x=4$	$f_t=205$	$\sigma_x=9$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=7$	$f_t=205$	$\sigma_y=6$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=15$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=24$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=27$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=42$	$f_t=205$
	燃料支持板	SUS304	引張り	$\sigma_x=27$	$f_t=205$	$\sigma_x=46$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=9$	$f_t=205$	$\sigma_y=14$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=0$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=0$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=24$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=41$	$f_t=205$
	ベース	SUS304	引張り	$\sigma_x=31$	$f_t=205$	$\sigma_x=51$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=6$	$f_t=205$	$\sigma_y=9$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=0$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=0$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=29$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=47$	$f_t=205$

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 187 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=38$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=61$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=22$	$f_s=118$	$\tau_f=37$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=54$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=88$	$f_t=205$
	補強板 : b	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=29$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=49$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=22$	$f_s=118$	$\tau_f=38$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=48$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=82$	$f_t=205$
	補強板 : c	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=42$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=72$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=14$	$f_s=118$	$\tau_f=23$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=48$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=82$	$f_t=205$
	補強板 : d	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=49$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=95$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=13$	$f_s=118$	$\tau_f=15$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=54$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=99$	$f_t=205$
	補強板 : e	SUS304	引張り	$\sigma_{ft}=43$	$f_t=205$	$\sigma_{ft}=73$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_f=5$	$f_s=118$	$\tau_f=7$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=43$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=74$	$f_t=205$
	補強板 : f	SUS304	引張り	$\sigma_x=6$	$f_t=205$	$\sigma_x=10$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=2$	$f_t=205$	$\sigma_y=3$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=20$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=33$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=35$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=57$	$f_t=205$
	補強板 : g	SUS304	引張り	$\sigma_x=1$	$f_t=205$	$\sigma_x=1$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=2$	$f_t=205$	$\sigma_y=3$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=1$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=2$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=3$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=4$	$f_t=205$
	補強板 : h	SUS304	引張り	$\sigma_x=3$	$f_t=205$	$\sigma_x=6$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=7$	$f_t=205$	$\sigma_y=10$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=15$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=25$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=27$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=44$	$f_t=205$
	燃料支持板	SUS304	引張り	$\sigma_x=26$	$f_t=205$	$\sigma_x=44$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=9$	$f_t=205$	$\sigma_y=14$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=1$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=2$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=23$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=39$	$f_t=205$
	ベース	SUS304	引張り	$\sigma_x=29$	$f_t=205$	$\sigma_x=47$	$f_t=205$
			引張り	$\sigma_y=5$	$f_t=205$	$\sigma_y=9$	$f_t=205$
			せん断	$\tau_{xy}=1$	$f_s=118$	$\tau_{xy}=2$	$f_s=118$
			組合せ	$\sigma_{fa}=27$	$f_t=205$	$\sigma_{fa}=44$	$f_t=205$

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
格子型 120 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り	$\sigma_x = 5$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 11$	$f_t = 205$
			引張り	$\sigma_y = 7$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 8$	$f_t = 205$
			せん断	$\tau_{xy} = 5$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 8$	$f_s = 118$
			組合せ	$\sigma_{fa} = 10$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 17$	$f_t = 205$
	ベース	SUS304	引張り	$\sigma_x = 1$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 1$	$f_t = 205$
			引張り	$\sigma_y = 2$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 2$	$f_t = 205$
			せん断	$\tau_{xy} = 16$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 29$	$f_s = 118$
			組合せ	$\sigma_{fa} = 28$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 50$	$f_t = 205$
格子型 187 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り	$\sigma_x = 7$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 9$	$f_t = 205$
			引張り	$\sigma_y = 19$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 31$	$f_t = 205$
			せん断	$\tau_{xy} = 0$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 0$	$f_s = 118$
			組合せ	$\sigma_{fa} = 16$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 28$	$f_t = 205$
	ベース	SUS304	引張り	$\sigma_x = 15$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 27$	$f_t = 205$
			引張り	$\sigma_y = 21$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 37$	$f_t = 205$
			せん断	$\tau_{xy} = 21$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 38$	$f_s = 118$
			組合せ	$\sigma_{fa} = 41$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 73$	$f_t = 205$
格子型 210 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り	$\sigma_x = 5$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 3$	$f_t = 205$
			引張り	$\sigma_y = 14$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 2$	$f_t = 205$
			せん断	$\tau_{xy} = 1$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 11$	$f_s = 118$
			組合せ	$\sigma_{fa} = 12$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 19$	$f_t = 205$
	ベース	SUS304	引張り	$\sigma_x = 13$	$f_t = 205$	$\sigma_x = 29$	$f_t = 205$
			引張り	$\sigma_y = 16$	$f_t = 205$	$\sigma_y = 23$	$f_t = 205$
			せん断	$\tau_{xy} = 16$	$f_s = 118$	$\tau_{xy} = 29$	$f_s = 118$
			組合せ	$\sigma_{fa} = 31$	$f_t = 205$	$\sigma_{fa} = 57$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(2) 基礎ボルトに生じる応力

(単位:MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 176 体 ラック	SUS630	引張り	$\sigma_b = 44$	$f_{ts} = 454^*$	$\sigma_b = 96$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_b = 17$	$f_{sb} = 349$	$\tau_b = 29$	$f_{sb} = 349$
角管型 187 体 ラック	SUS630	引張り	$\sigma_b = 45$	$f_{ts} = 454^*$	$\sigma_b = 95$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_b = 17$	$f_{sb} = 349$	$\tau_b = 29$	$f_{sb} = 349$
格子型 120 体 ラック	SUS630	引張り	$\sigma_b = 64$	$f_{ts} = 454^*$	$\sigma_b = 118$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_b = 21$	$f_{sb} = 349$	$\tau_b = 42$	$f_{sb} = 349$
格子型 187 体 ラック	SUS630	引張り	$\sigma_b = 78$	$f_{ts} = 454^*$	$\sigma_b = 143$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_b = 33$	$f_{sb} = 349$	$\tau_b = 64$	$f_{sb} = 349$
格子型 210 体 ラック	SUS630	引張り	$\sigma_b = 97$	$f_{ts} = 454^*$	$\sigma_b = 179$	$f_{ts} = 454^*$
		せん断	$\tau_b = 37$	$f_{sb} = 349$	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 349$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
使用済燃料貯蔵ラック (角管型 176 体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5 ^{*1})	0. 087	0. 020	—	—	C _H =1. 53 又は*2	C _V =1. 41	—	100
使用済燃料貯蔵ラック (角管型 187 体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5 ^{*1})	0. 090	0. 020	—	—	C _H =1. 53 又は*2	C _V =1. 41	—	100
使用済燃料貯蔵ラック (格子型 120 体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5 ^{*1})	0. 094	0. 004	—	—	C _H =1. 53 又は*2	C _V =1. 41	—	100
使用済燃料貯蔵ラック (格子型 187 体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5 ^{*1})	0. 081	0. 005	—	—	C _H =1. 53 又は*2	C _V =1. 41	—	100
使用済燃料貯蔵ラック (格子型 210 体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 19. 88 (T. M. S. L. 23. 5 ^{*1})	0. 065	0. 005	—	—	C _H =1. 53 又は*2	C _V =1. 41	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：基準地震動 S_s に基づく設計用床応答曲線から得られる値

2.2 機器要目

2.2.1 機器諸元

(1) 角管型ラック

部材	材料	A _x ^{*1} (mm ²)	A _y ^{*1} (mm ²)	A _z ^{*1} (mm ²)	I _x ^{*1} (mm ⁴)	I _y ^{*1} (mm ⁴)	I _z ^{*1} (mm ⁴)	Z _y ^{*1} (mm ³)	Z _z ^{*1} (mm ³)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
角管	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管									<input type="text"/>	0. 3
補強板： a	SUS304									192000	0. 3
補強板： b	SUS304									192000	0. 3
補強板： c	SUS304									192000	0. 3
補強板： d	SUS304									192000	0. 3
補強板： e	SUS304									192000	0. 3

注記*1：A_x, A_y, A_z, I_x, I_y, I_z, Z_y, Z_zは、部材の長手方向を軸とした局所座標系に従う。

*2：ボロン添加量 における実験値

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数E (MPa)	ポアソン比 ν
補強板：f	SUS304		192000	0.3
補強板：g	SUS304		192000	0.3
補強板：h	SUS304		192000	0.3
燃料支持板	SUS304		192000	0.3
ベース	SUS304		192000	0.3

部材	ばね定数 (N/m)
基礎ボルト	3.486×10^9

(2) 格子型ラック

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数E (MPa)	ポアソン比 ν
枠板	ボロン添加 ステンレス鋼板			0.3
燃料支持板	SUS304		192000	0.3
ベース	SUS304		192000	0.3

注記*：ボロン添加量 における値

75

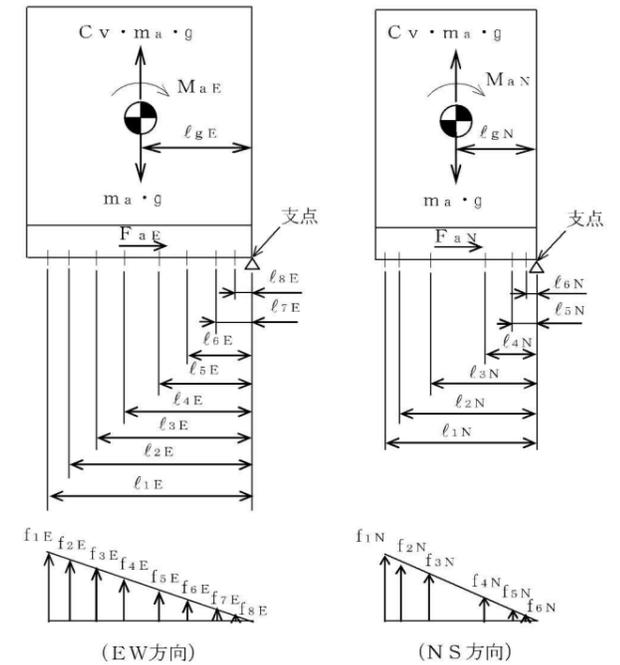
2.2.2 基礎ボルト

(1) 角管型 176 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1718.5	1558.5	1238.5	571.5	251.5	91.5	2551.5	2387.5	1895.5	1403.5	1239.5	747.5	255.5	91.5	905	1321.5

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}
1.590×10^3 (M45)	24	8	2	2	2	2	8	6	2	2	2	2	2	2	6

S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
666	846	725	—	592



(2) 角管型 187 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{9E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1718.5	1558.5	1238.5	571.5	251.5	91.5	2715.5	2551.5	2059.5	1895.5	1403.5	911.5	747.5	255.5	91.5	905	1403.5

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}
1.590×10^3 (M45)	26	9	2	2	2	2	9	6	2	2	2	2	2	2	2	6

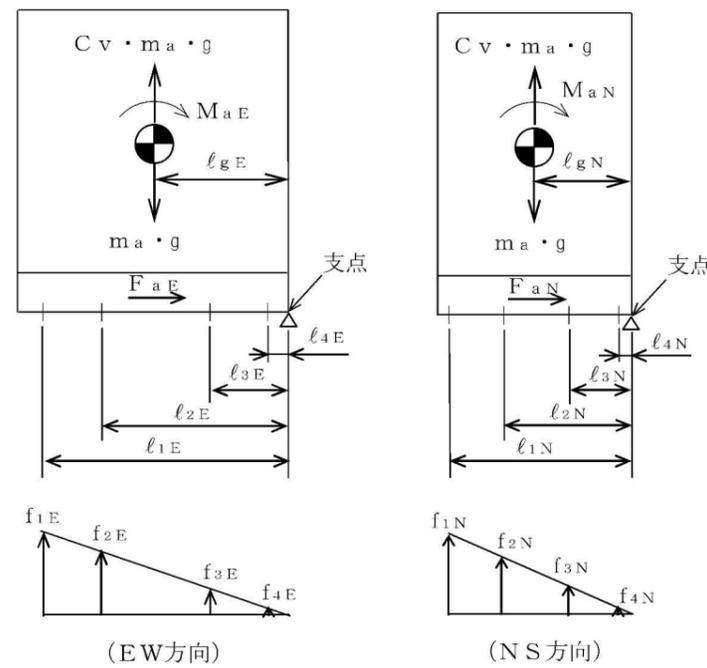
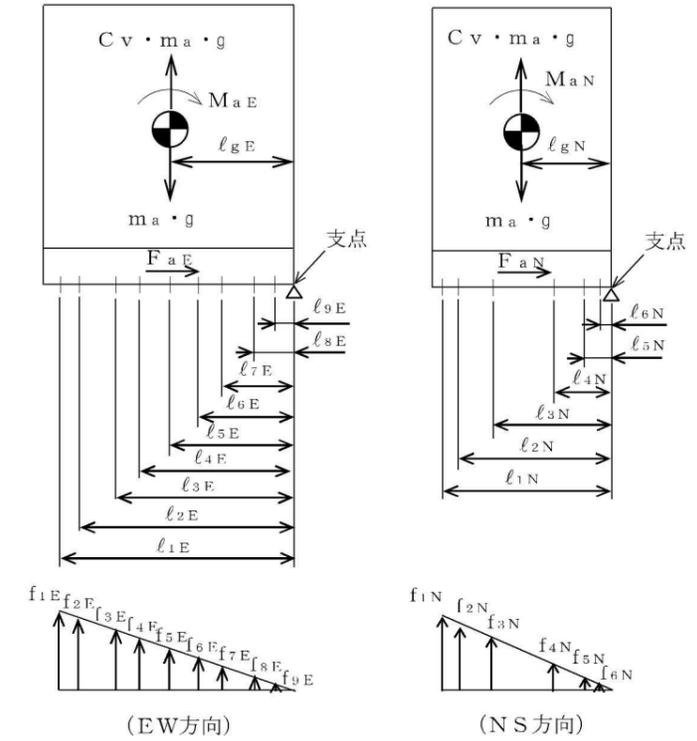
S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
666	846	725	—	592

(3) 格子型 120 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1536	1056	549	69	1900	1244	752	96	802.5	998

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}
1.590×10^3 (M45)	12	4	2	2	4	4	2	2	4

S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
666	846	725	—	592



(4) 格子型 187 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1694.5	67.5	2702.5	2046.5	1390.5	898.5	734.5	78.5	881	1385.25

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}
1.590×10^3 (M45)	12	6	6	2	2	2	2	2	2

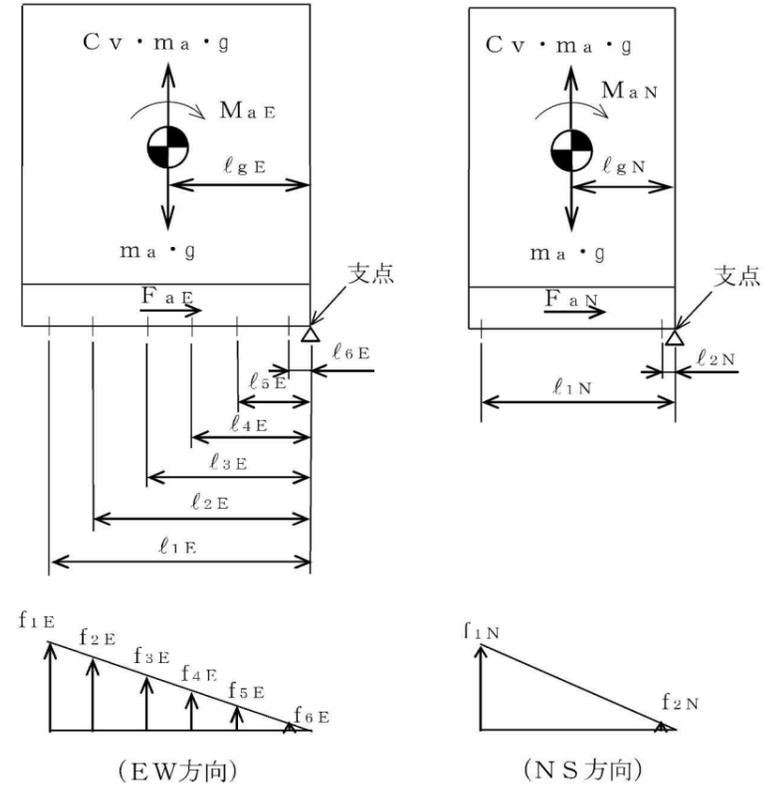
S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
666	846	725	—	592

(5) 格子型 210 体ラック

m_a (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_W (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)	l_{6E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)
				1536	69	3348	2692	2036	1380	724	68	802.5	1708

A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}
1.590×10^3 (M45)	12	6	6	2	2	2	2	2	2

S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
666	846	725	—	592



2.2.3 角管及び杵板, 補強板, 燃料支持板, ベース

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
角管及び杵板	ボロン添加ステンレス鋼 鋼管及び鋼板*	171	441	205	—	205
補強板及び 燃料支持板	SUS304	171	441	205	—	205
ベース	SUS304	171	441	205	—	205

注記*: ボロン添加ステンレス鋼の S_y , S_u の値は, SUS304 の規格値を上回っているが, 安全側の評価とするため, SUS304 の値を使用する。

2.3 計算数値

2.3.1 部材に生じる応力

(1) 角管及び枠板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
			角管型 176 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り σ_{ft}	—
		せん断 τ_f	—	—	20	21
		組合せ σ_{fa}	—	—	84	57
角管型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り σ_{ft}	—	—	75	43
		せん断 τ_f	—	—	23	24
		組合せ σ_{fa}	—	—	85	59
格子型 120 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り σ_x	—	—	29	14
		引張り σ_y	—	—	23	95
		せん断 τ_{xy}	—	—	22	13
		組合せ σ_{fa}	—	—	46	91
格子型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り σ_x	—	—	52	87
		引張り σ_y	—	—	7	9
		せん断 τ_{xy}	—	—	8	31
		組合せ σ_{fa}	—	—	51	98
格子型 210 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り σ_x	—	—	12	82
		引張り σ_y	—	—	77	7
		せん断 τ_{xy}	—	—	4	12
		組合せ σ_{fa}	—	—	72	81

(2) 補強板及び燃料支持板, ベース

(単位:MPa)

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
				N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
角管型 176 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	58	19
			せん断 τ_f	—	—	36	24
			組合せ σ_{fa}	—	—	84	46
	補強板 : b	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	45	16
			せん断 τ_f	—	—	35	12
			組合せ σ_{fa}	—	—	74	26
	補強板 : c	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	63	54
			せん断 τ_f	—	—	21	28
			組合せ σ_{fa}	—	—	73	73
	補強板 : d	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	76	99
			せん断 τ_f	—	—	20	16
			組合せ σ_{fa}	—	—	83	103
	補強板 : e	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	68	21
			せん断 τ_f	—	—	7	5
			組合せ σ_{fa}	—	—	69	23
	補強板 : f	SUS304	引張り σ_x	—	—	9	3
			引張り σ_y	—	—	2	5
			せん断 τ_{xy}	—	—	27	5
			組合せ σ_{fa}	—	—	47	9
	補強板 : g	SUS304	引張り σ_x	—	—	1	1
			引張り σ_y	—	—	3	3
			せん断 τ_{xy}	—	—	1	1
			組合せ σ_{fa}	—	—	3	3
	補強板 : h	SUS304	引張り σ_x	—	—	9	8
			引張り σ_y	—	—	6	11
			せん断 τ_{xy}	—	—	24	23
			組合せ σ_{fa}	—	—	42	41
	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	—	—	46	28
			引張り σ_y	—	—	14	6
			せん断 τ_{xy}	—	—	0	6
			組合せ σ_{fa}	—	—	41	27
	ベース	SUS304	引張り σ_x	—	—	51	26
			引張り σ_y	—	—	9	12
			せん断 τ_{xy}	—	—	0	14
			組合せ σ_{fa}	—	—	47	32

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
角管型 187 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	61	20
			せん断 τ_f	—	—	37	25
			組合せ σ_{fa}	—	—	88	47
	補強板 : b	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	49	16
			せん断 τ_f	—	—	38	13
			組合せ σ_{fa}	—	—	82	27
	補強板 : c	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	72	51
			せん断 τ_f	—	—	23	29
			組合せ σ_{fa}	—	—	82	71
	補強板 : d	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	84	95
			せん断 τ_f	—	—	23	15
			組合せ σ_{fa}	—	—	92	99
	補強板 : e	SUS304	引張り σ_{ft}	—	—	73	22
			せん断 τ_f	—	—	7	5
			組合せ σ_{fa}	—	—	74	24
	補強板 : f	SUS304	引張り σ_x	—	—	10	1
			引張り σ_y	—	—	3	4
			せん断 τ_{xy}	—	—	33	6
			組合せ σ_{fa}	—	—	57	11
	補強板 : g	SUS304	引張り σ_x	—	—	1	1
			引張り σ_y	—	—	3	3
			せん断 τ_{xy}	—	—	2	1
			組合せ σ_{fa}	—	—	4	3
	補強板 : h	SUS304	引張り σ_x	—	—	6	8
			引張り σ_y	—	—	10	11
			せん断 τ_{xy}	—	—	25	23
			組合せ σ_{fa}	—	—	44	41
	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	—	—	44	27
			引張り σ_y	—	—	14	14
			せん断 τ_{xy}	—	—	2	6
			組合せ σ_{fa}	—	—	39	25
	ベース	SUS304	引張り σ_x	—	—	47	26
引張り σ_y			—	—	9	13	
せん断 τ_{xy}			—	—	2	14	
組合せ σ_{fa}			—	—	44	32	

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
格子型 120 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	—	—	8	11
			引張り σ_y	—	—	10	8
			せん断 τ_{xy}	—	—	2	8
			組合せ σ_{fa}	—	—	9	17
	ベース	SUS304	引張り σ_x	—	—	11	1
			引張り σ_y	—	—	14	2
			せん断 τ_{xy}	—	—	13	29
			組合せ σ_{fa}	—	—	25	50
格子型 187 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	—	—	1	9
			引張り σ_y	—	—	9	31
			せん断 τ_{xy}	—	—	5	0
			組合せ σ_{fa}	—	—	12	28
	ベース	SUS304	引張り σ_x	—	—	15	27
			引張り σ_y	—	—	16	37
			せん断 τ_{xy}	—	—	16	38
			組合せ σ_{fa}	—	—	32	73
格子型 210 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り σ_x	—	—	8	3
			引張り σ_y	—	—	19	2
			せん断 τ_{xy}	—	—	1	11
			組合せ σ_{fa}	—	—	16	19
	ベース	SUS304	引張り σ_x	—	—	26	29
			引張り σ_y	—	—	12	23
			せん断 τ_{xy}	—	—	20	29
			組合せ σ_{fa}	—	—	41	57

2.3.2 基礎ボルトに生じる力とモーメント

ラック	材料	地震力の種類	F _{aN} (N)	F _{aE} (N)	M _{aN} (N・mm)	M _{aE} (N・mm)
角管型 176 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
		基準地震動 S _s	1.095×10 ⁶	9.425×10 ⁵	3.442×10 ⁹	2.792×10 ⁹
角管型 187 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
		基準地震動 S _s	1.182×10 ⁶	9.965×10 ⁵	3.724×10 ⁹	3.079×10 ⁹
格子型 120 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
		基準地震動 S _s	7.851×10 ⁵	5.929×10 ⁵	1.825×10 ⁹	1.963×10 ⁹
格子型 187 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
		基準地震動 S _s	1.216×10 ⁶	1.216×10 ⁶	2.834×10 ⁹	2.834×10 ⁹
格子型 210 体 ラック	SUS630	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
		基準地震動 S _s	1.363×10 ⁶	1.363×10 ⁶	3.179×10 ⁹	3.179×10 ⁹

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック	材料	応力の 種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
角管型 176 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	—	—	96	52
		せん断 τ _b	—	—	29	25
角管型 187 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	—	—	95	50
		せん断 τ _b	—	—	29	25
格子型 120 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	—	—	118	101
		せん断 τ _b	—	—	42	31
格子型 187 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	—	—	143	123
		せん断 τ _b	—	—	64	64
格子型 210 体 ラック	SUS630	引張り σ _b	—	—	179	98
		せん断 τ _b	—	—	72	72

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

ラック	次数	固有周期	卓越方向
角管型 176 体 ラック	1	0.087	水平方向
	2	0.076	
	3	0.043	
	8	0.020	鉛直方向
角管型 187 体 ラック	1	0.090	水平方向
	2	0.076	
	3	0.047	
	9	0.020	鉛直方向
格子型 120 体 ラック	1	0.094	水平方向
	2	0.089	
	3	0.060	
	4	0.060	
	5	0.052	
	6	0.051	
	7	0.029	
	117	0.004	鉛直方向
格子型 187 体 ラック	1	0.081	水平方向
	2	0.070	
	3	0.059	
	4	0.057	
	5	0.051	
	6	0.050	
	7	0.028	
	125	0.005	鉛直方向
格子型 210 体 ラック	1	0.065	水平方向
	2	0.060	
	3	0.059	
	4	0.057	
	5	0.057	
	6	0.056	
	7	0.027	
	119	0.005	鉛直方向

2.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

a. 角管及び枠板

(単位:MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 176 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=78$	$f_t=205$
		せん断	—	—	$\tau_f=20$	$f_s=118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=84$	$f_t=205$
角管型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼鋼管	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=75$	$f_t=205$
		せん断	—	—	$\tau_f=23$	$f_s=118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=85$	$f_t=205$
格子型 120 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り	—	—	$\sigma_x=14$	$f_t=205$
		引張り	—	—	$\sigma_y=95$	$f_t=205$
		せん断	—	—	$\tau_{xy}=13$	$f_s=118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=91$	$f_t=205$
格子型 187 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り	—	—	$\sigma_x=87$	$f_t=205$
		引張り	—	—	$\sigma_y=9$	$f_t=205$
		せん断	—	—	$\tau_{xy}=31$	$f_s=118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=98$	$f_t=205$
格子型 210 体 ラック	ボロン添加 ステンレス鋼板	引張り	—	—	$\sigma_x=82$	$f_t=205$
		引張り	—	—	$\sigma_y=7$	$f_t=205$
		せん断	—	—	$\tau_{xy}=12$	$f_s=118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=81$	$f_t=205$

すべて許容応力以下である。

b. 補強板及び燃料支持板, ベース

(単位:MPa)

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 176 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=58$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_f=36$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=84$	$f_t=205$
	補強板 : b	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=45$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_f=35$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=74$	$f_t=205$
	補強板 : c	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=63$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_f=21$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=73$	$f_t=205$
	補強板 : d	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=99$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_f=16$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=103$	$f_t=205$
	補強板 : e	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=68$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_f=7$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=69$	$f_t=205$
	補強板 : f	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=9$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=2$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=27$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=47$	$f_t=205$
	補強板 : g	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=1$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=3$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=1$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=3$	$f_t=205$
	補強板 : h	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=9$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=6$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=24$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=42$	$f_t=205$
	燃料支持板	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=46$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=14$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=0$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=41$	$f_t=205$
	ベース	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=51$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=9$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=0$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=47$	$f_t=205$

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 187 体 ラック	補強板 : a	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=61$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{fs}=37$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=88$	$f_t=205$
	補強板 : b	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=49$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{fs}=38$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=82$	$f_t=205$
	補強板 : c	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=72$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{fs}=23$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=82$	$f_t=205$
	補強板 : d	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=95$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{fs}=15$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=99$	$f_t=205$
	補強板 : e	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{ft}=73$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{fs}=7$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=74$	$f_t=205$
	補強板 : f	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=10$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=3$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=33$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=57$	$f_t=205$
	補強板 : g	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=1$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=3$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=2$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=4$	$f_t=205$
	補強板 : h	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=6$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=10$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=25$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=44$	$f_t=205$
	燃料支持板	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=44$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=14$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=2$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=39$	$f_t=205$
	ベース	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x=47$	$f_t=205$
			引張り	—	—	$\sigma_y=9$	$f_t=205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy}=2$	$f_s=118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa}=44$	$f_t=205$

ラック	部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
格子型 120 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x = 11$	$f_t = 205$
			引張り	—	—	$\sigma_y = 8$	$f_t = 205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy} = 8$	$f_s = 118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 17$	$f_t = 205$
	ベース	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x = 1$	$f_t = 205$
			引張り	—	—	$\sigma_y = 2$	$f_t = 205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy} = 29$	$f_s = 118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 50$	$f_t = 205$
格子型 187 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x = 9$	$f_t = 205$
			引張り	—	—	$\sigma_y = 31$	$f_t = 205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy} = 0$	$f_s = 118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 28$	$f_t = 205$
	ベース	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x = 27$	$f_t = 205$
			引張り	—	—	$\sigma_y = 37$	$f_t = 205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy} = 38$	$f_s = 118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 73$	$f_t = 205$
格子型 210 体 ラック	燃料支持板	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x = 3$	$f_t = 205$
			引張り	—	—	$\sigma_y = 2$	$f_t = 205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy} = 11$	$f_s = 118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 19$	$f_t = 205$
	ベース	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_x = 29$	$f_t = 205$
			引張り	—	—	$\sigma_y = 23$	$f_t = 205$
			せん断	—	—	$\tau_{xy} = 29$	$f_s = 118$
			組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 57$	$f_t = 205$

すべて許容応力以下である。

(2) 基礎ボルトに生じる応力

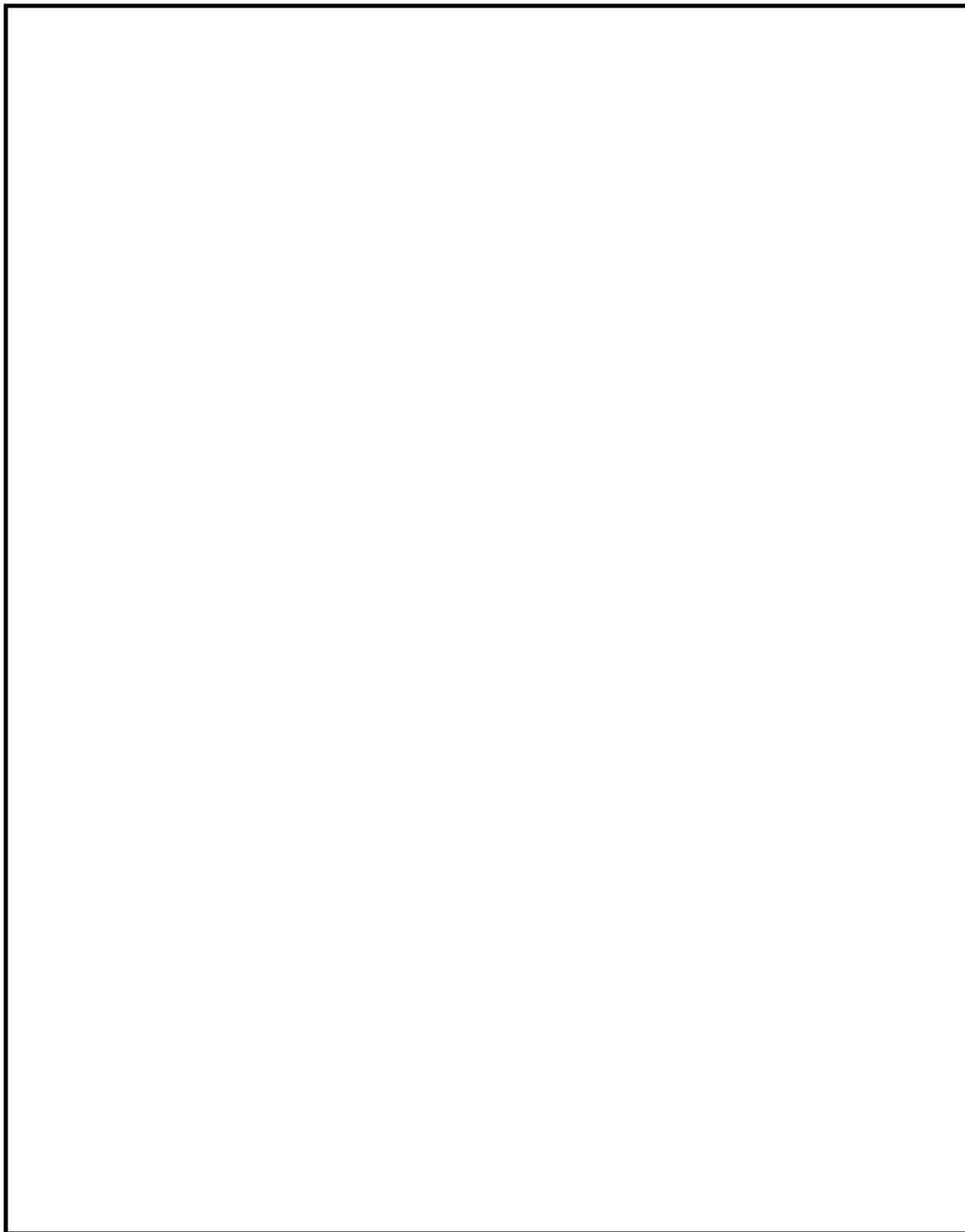
(単位：MPa)

ラック	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
角管型 176 体 ラック	SUS630	引張り	—	—	$\sigma_b = 96$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 29$	$f_{sb} = 341$
角管型 187 体 ラック	SUS630	引張り	—	—	$\sigma_b = 95$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 29$	$f_{sb} = 341$
格子型 120 体 ラック	SUS630	引張り	—	—	$\sigma_b = 118$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 42$	$f_{sb} = 341$
格子型 187 体 ラック	SUS630	引張り	—	—	$\sigma_b = 143$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 64$	$f_{sb} = 341$
格子型 210 体 ラック	SUS630	引張り	—	—	$\sigma_b = 179$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 72$	$f_{sb} = 341$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

別添 解析モデルの寸法

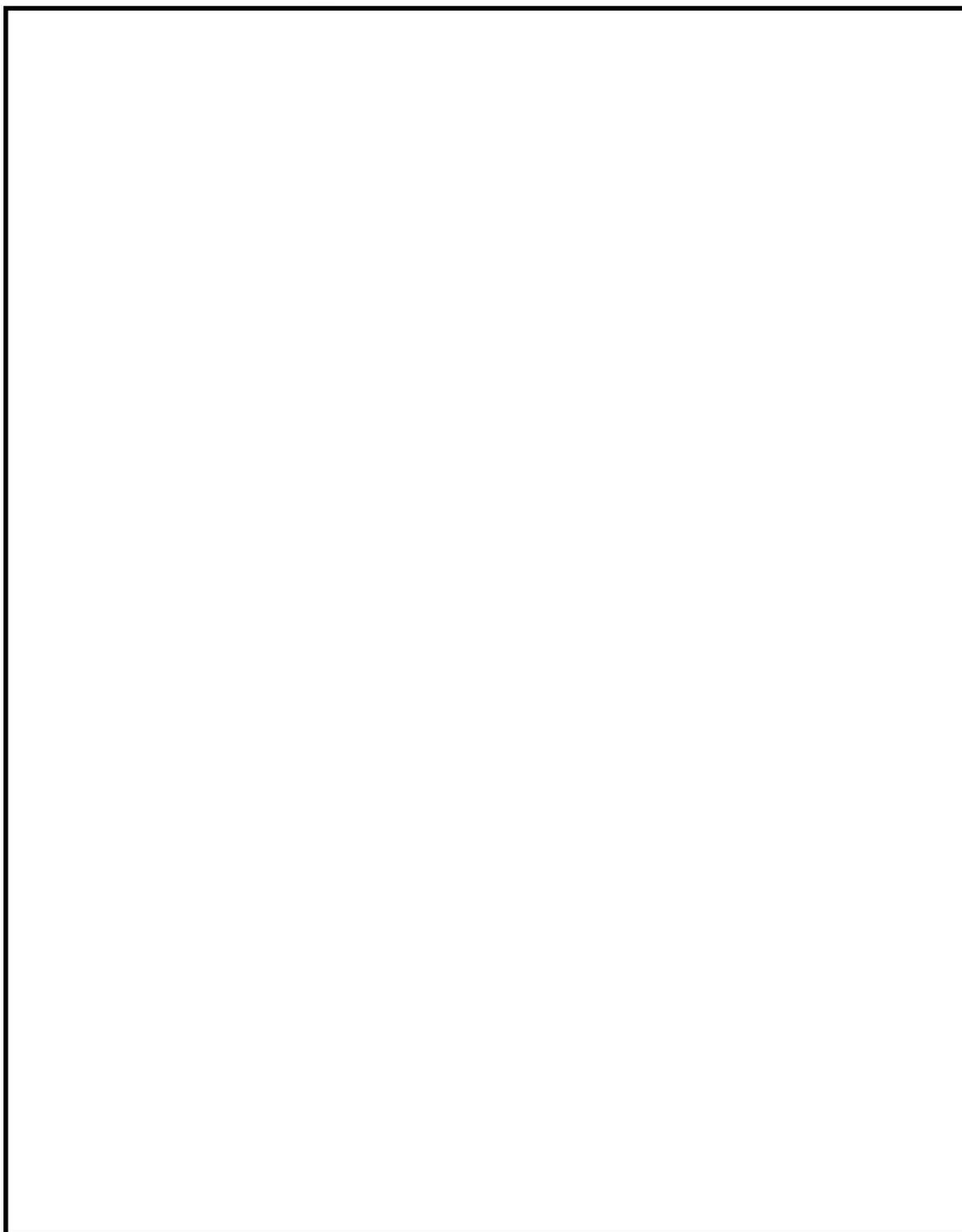


(単位:mm)

付図1 解析モデルの寸法 (角管型 176 体ラック)

K6 ① VI-2-4-2-2 R0

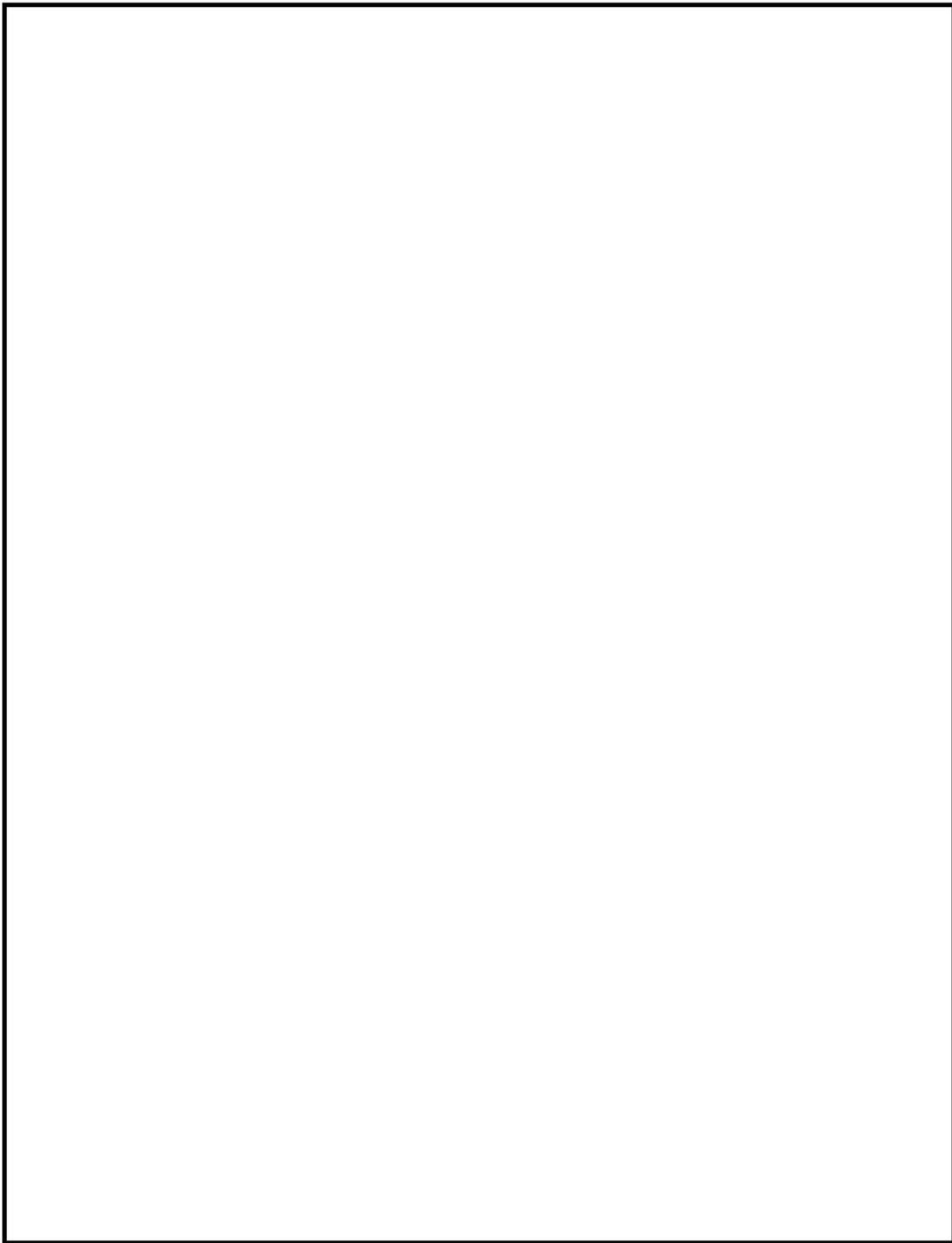
K6 ① VI-2-4-2-2 R0



(単位:mm)

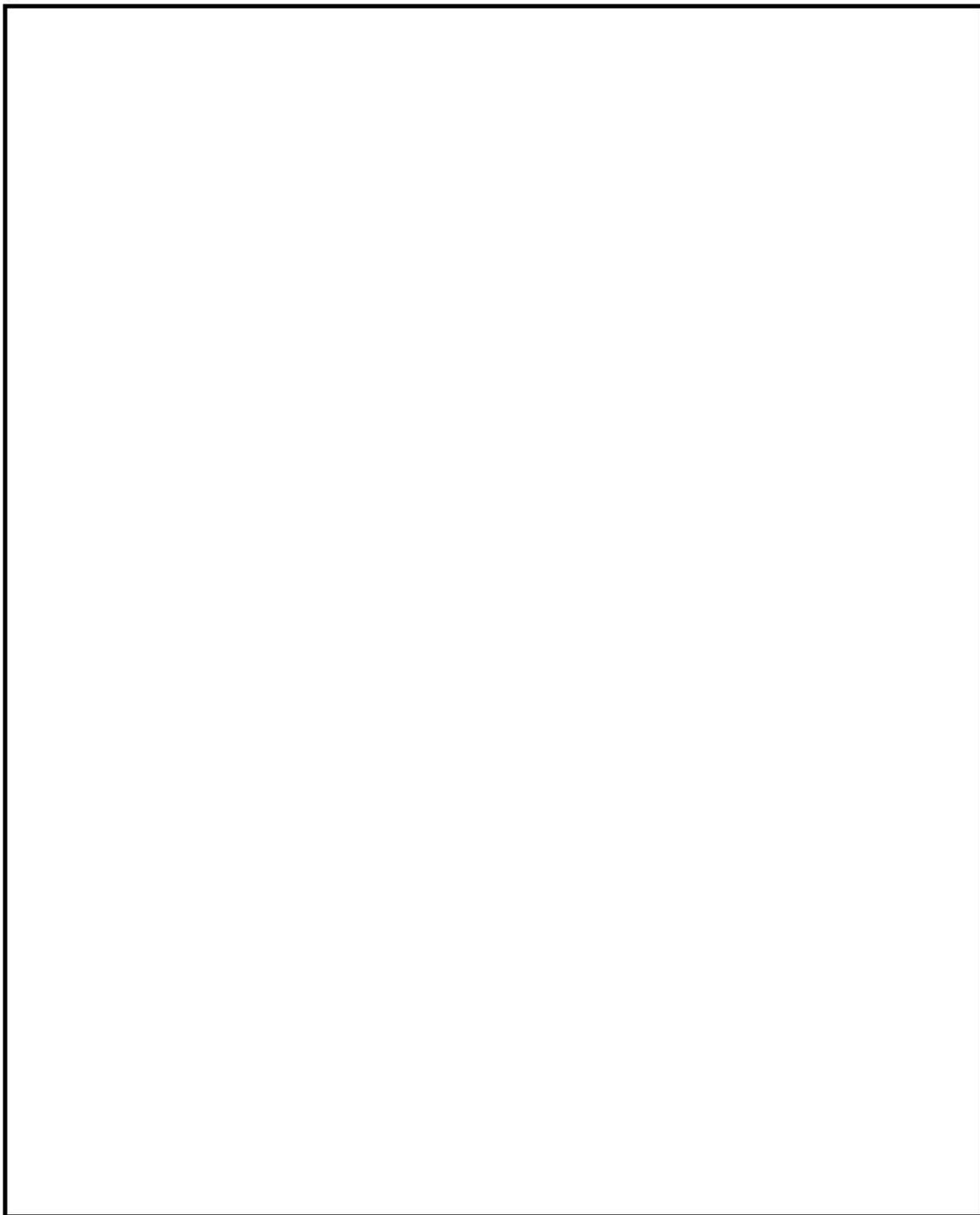
付図2 解析モデルの寸法 (角管型187体ラック)

K6 ① VI-2-4-2-2 R0



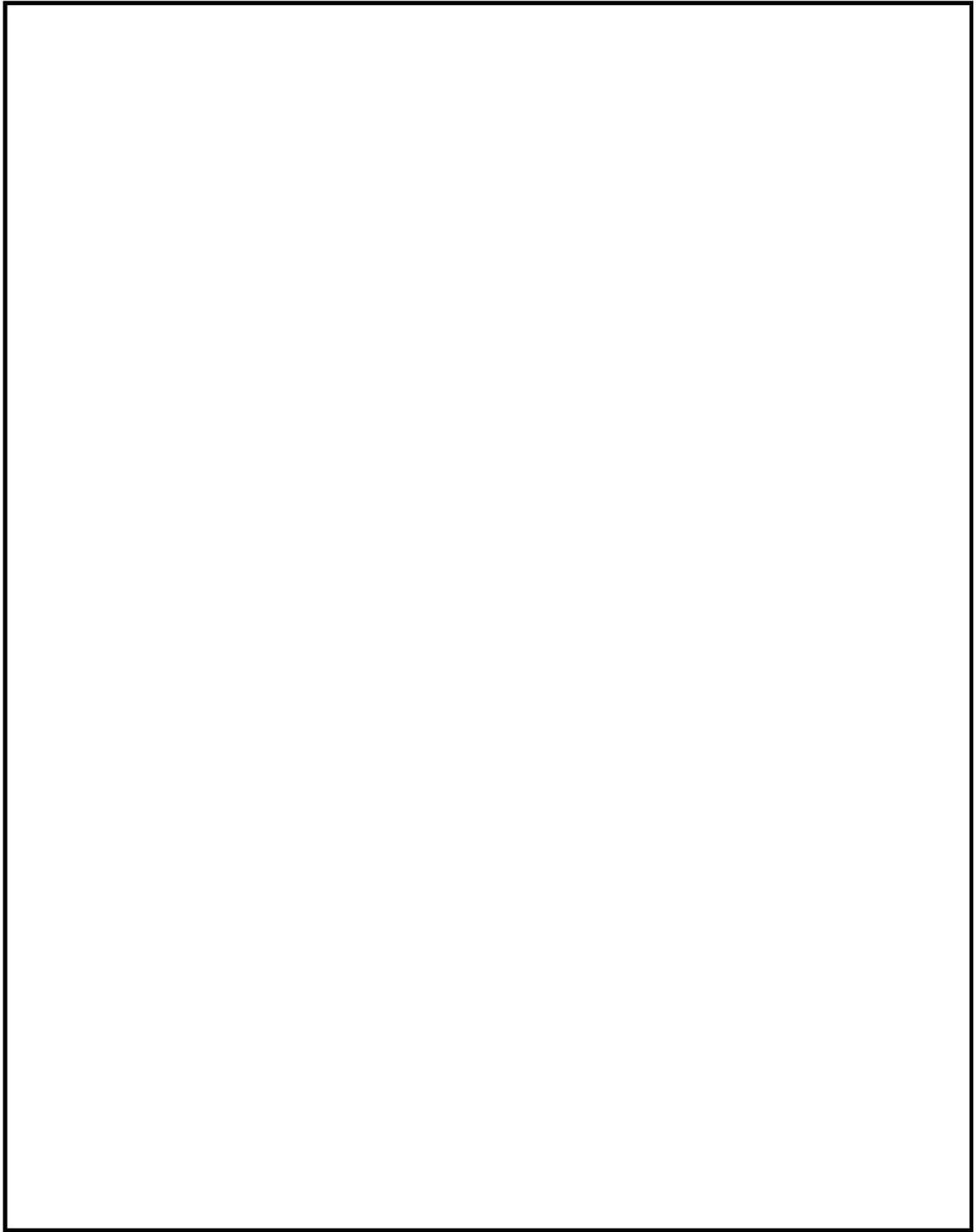
(単位:mm)

付図3 解析モデルの寸法 (格子型120体ラック)



(単位:mm)

付図4 解析モデルの寸法 (格子型 187 体ラック)



(単位:mm)

付図5 解析モデルの寸法 (格子型 210 体ラック)

別添 使用済燃料貯蔵プール内ラック全体配置図

K6 ① VI-2-4-2-2 RO E



付図 6 使用済燃料貯蔵プール内ラック全体配置図