

VI-3-別添 1-8 換気空調設備の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	8
3. 強度評価方法	9
3.1 記号の定義	9
3.2 評価対象部位	13
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.4 許容限界	18
3.5 評価方法	24
4. 評価条件	32
5. 強度評価結果	37

1. 概要

本資料は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、ダンパ、角ダクト、丸ダクト、バタフライ弁及びファンが竜巻時及び竜巻通過後においても、その施設の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「2.1 評価対象施設」に示す構造計画を踏まえ、ダンパ、角ダクト、丸ダクト、バタフライ弁及びファンの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

ダンパ、角ダクト、丸ダクト、バタフライ弁及びファンは、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、十分な強度を有する原子炉建屋、タービン建屋海水熱交換器区域及びコントロール建屋内に設置する。

ダンパ、角ダクト、丸ダクト、バタフライ弁及びファンの位置図を図2-1に示す。

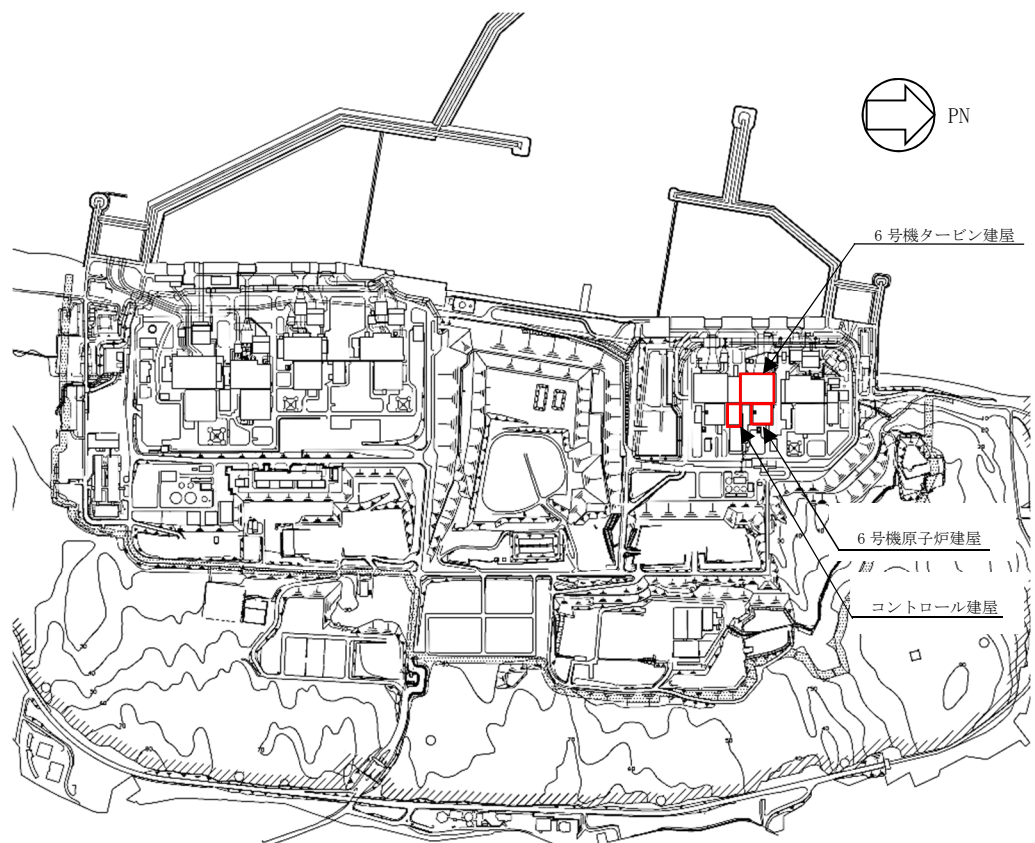


図2-1 ダンパ、角ダクト、丸ダクト、バタフライ弁及びファンの位置図

2.2 構造概要

換気空調設備について、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

(1) ダンパ（換気空調系）の構造概要

ダンパは、鋼製のケーシング、ペーン及びシャフトを主体構造とし、接続ダクトにより支持する。

ダンパの概要図を図 2-2 に示す。

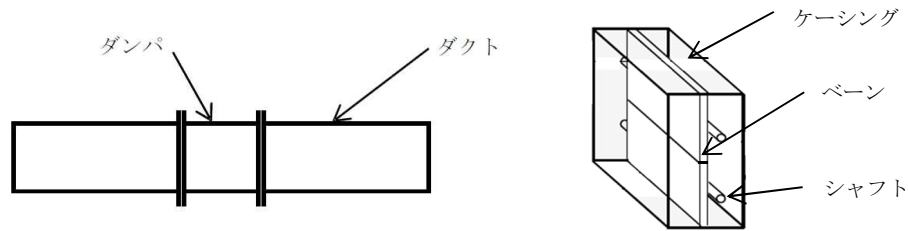


図 2-2 ダンパの概要図

(2) 角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）の構造概要

角ダクト及び丸ダクトは、鋼製のダクトを主体構造とし、支持構造物により建屋壁、床、梁等に支持する。

角ダクトの概要図を図 2-3 に、丸ダクトの概要図を図 2-4 に示す。

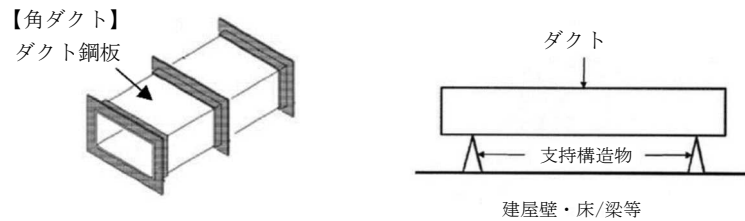


図2-3 角ダクトの概要図

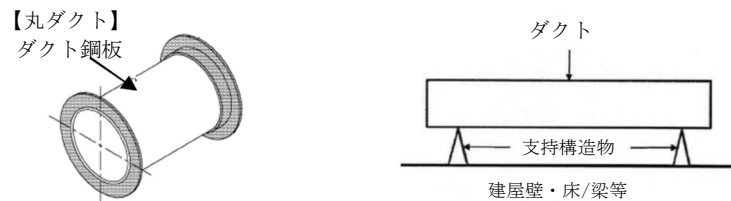


図2-4 丸ダクトの概要図

(3) バタフライ弁（換気空調系）の構造概要

バタフライ弁は，鋼製の弁箱，弁体及び弁棒で構成し，接続ダクトにより支持する。
バタフライ弁の概要図を図2-5に示す。



図2-5 バタフライ弁の概要図

(4) ファン（換気空調系）の構造概要

ファンは，流路を形成するケーシング，冷却するための空気を送り込む羽根車及び原動機からの回転力を伝達する主軸で形成し，床に基礎ボルトで支持する。

ファンの概要図を図2-6に示す。

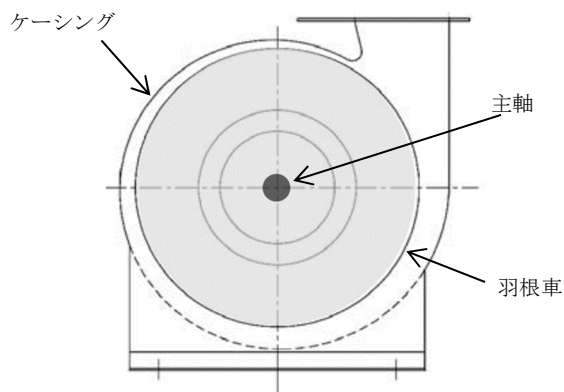


図2-6 ファンの概要図

2.3 評価方針

換気空調設備の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、ダンパ、角ダクト、丸ダクト、バタフライ弁及びファンの各評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

(1) ダンパ（換気空調系）の評価方針

ダンパの強度評価フローを図 2-7 に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている、外気と繋がっている換気空調設備のうち、ダンパの強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

構造強度評価においては、ダンパに対して、常時作用する荷重（自重）と設計竜巻の気圧差による荷重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。強度評価では、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すダンパの評価式を用いる。

ダンパの許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1・補-1984」（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」（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」（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

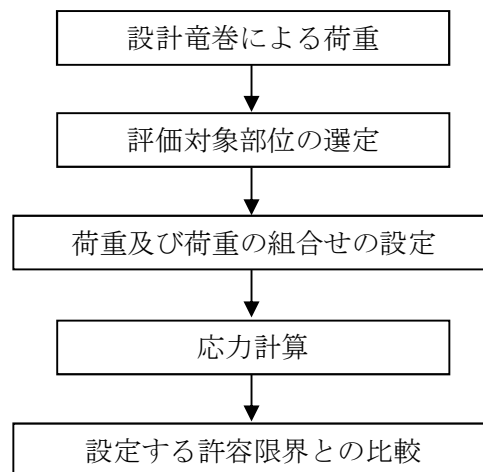


図 2-7 構造強度評価フロー

(2) 角ダクト（換気空調系）及び丸ダクト（換気空調系）の評価方針

角ダクト及び丸ダクトの強度評価フローを図2-8に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている、外気と繋がっている換気空調設備のうち、角ダクト及び丸ダクトの構造強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

角ダクトの構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重と、自重との組合せを考慮して、常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重による応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価ではVI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

角ダクトの許容限界は、妥当な安全裕度を考慮して、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1の許容応力状態Ⅲ_ASとする。ただし、座屈に対しては評価式を満足することを確認する。

丸ダクトの構造強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重を短期荷重と、自重との組合せを考慮して、常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重による応力が評価式を満足していることを確認する。構造強度評価では、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

丸ダクトの許容限界はVI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、クリップリング座屈の算出式に応じた値とする。

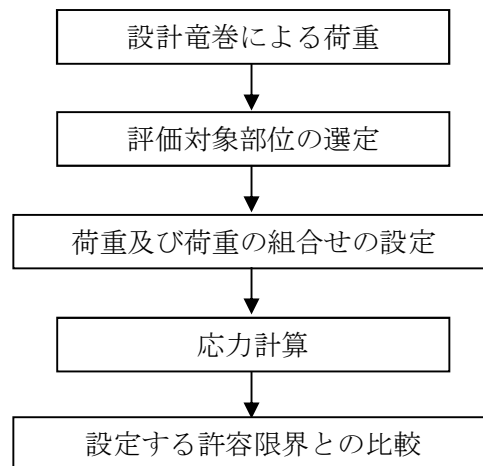


図2-8 構造強度評価フロー

(3) バタフライ弁（換気空調系）の評価方針

バタフライ弁の強度評価フローを図2-9に示す。

竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている、外気と繋がっている換気空調設備のうち、バタフライ弁の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

構造強度評価においては、バタフライ弁に対して、設計竜巻の気圧差が試験圧力以下であることを確認する。構造強度評価では、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すバタフライ弁の評価方法を用いる。

バタフライ弁の許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、バタフライ弁の試験圧力とする。

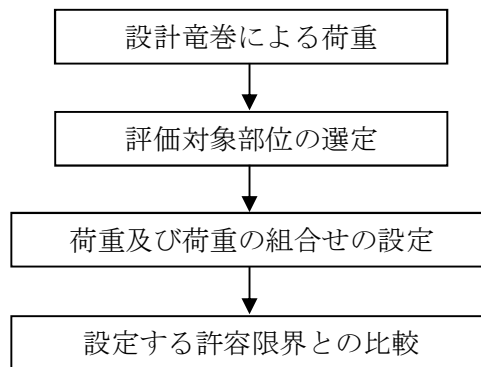


図2-9 構造強度評価フロー

(4) ファン（換気空調系）の評価方針

ファンの強度評価フローを図 2-10 に示す。竜巻より防護すべき施設を内包する施設内に設置されている、外気と繋がっている換気空調設備のうち、ファンの強度評価においては、設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。

構造強度評価においては、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示すファンの評価式を用いる。

ファンの許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、クリッピング座屈の算出式に対応した値とする。

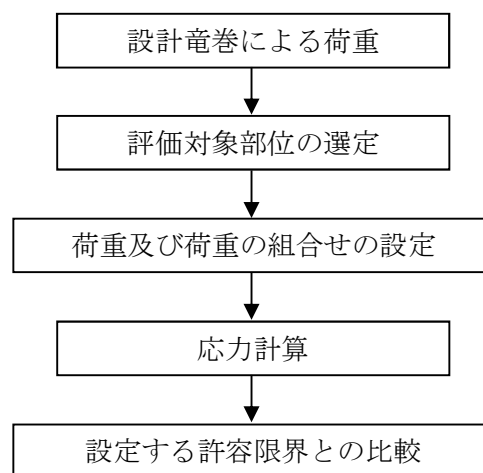


図 2-10 構造強度評価フロー

2.4 適用規格

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 JEAG 4601・補-1984」
(日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」(日本電気協会)
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」(日本電気協会)
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会) (以下「JSME」という。)
- ・日本産業規格 (JIS)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

(1) ダンパ（換気空調系）

ダンパの構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_s	mm^2	シャフト断面積
E	MPa	ヤング率
e_c	mm	ケーシングにおける断面の重心高さ
F_{1b}	N/mm^2	ベーンの内部圧力による分布荷重
F_{1c}	N/mm	ケーシングの内部圧力による分布荷重
F_{1s}	N	内部圧力によりシャフトにかかるせん断荷重
F_{2b}	N/mm^2	ベーンの自重による分布荷重
F_{2c}	N/mm	ケーシングの自重による分布荷重
F_{2s}	N	ベーンの自重によりシャフトにかかるせん断荷重
g	m/s^2	重力加速度
H_b	mm	ベーン幅
I_c	mm^4	ケーシングの断面二次モーメント
L_c	mm	面間寸法
L_s	mm	シャフト直径
l_b	mm	ベーン長さ
l_c	mm	ケーシング長さ
M_c	$\text{N}\cdot\text{mm}$	ケーシングに作用する最大曲げモーメント
m_b	kg	ベーン質量
m_c	kg	ケーシング質量
P	MPa	内部圧力
t_b	mm	ベーン板厚
Z_c	mm^3	ケーシングの断面係数
$\delta_{b\max}$	mm	面外荷重によるベーンの最大変位量
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
ν	—	ポアソン比
π	—	円周率
$\sigma_{b\max}$	MPa	ベーンの中心に生じる面外荷重による最大応力
$\sigma_{c\max}$	MPa	ケーシングに生じる最大曲げ応力
$\sigma_{s\max}$	MPa	シャフトに生じる最大せん断応力

(2) 角ダクト（換気空調系）

角ダクトの構造強度評価に用いる記号を表 3-2 に示す。

表 3-2 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
a	mm	ダクト幅
b	mm	ダクト高さ
c	mm	補強ピッチ
D_p	kg/m ²	単位面積あたりのダクト鋼板の質量
E	MPa	ヤング率
f_1	N	ダクト自重による圧縮荷重
f_2	N	面内荷重（外圧）による圧縮荷重
g	m/s ²	重力加速度
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M_p	N・mm	自重により作用する曲げモーメント
P	MPa	ダクトにかかる外圧
P_m	N	ダクト1枚あたりの限界荷重
P_0	Pa	運転圧
t	mm	ダクト板厚
δ_{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクト単位重量
ν	—	ポアソン比
π	—	円周率
σ_{max}	MPa	中心に生じる面外荷重による最大応力
σ_y	MPa	降伏応力

(3) 丸ダクト（換気空調系）

丸ダクトの構造強度評価に用いる記号を表 3-3 に示す。

表 3-3 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_1	mm^2	ダクト全断面積
A_2	mm^2	ダクト板の断面積
c	mm	ダクト板の長さ
d_1	mm	ダクト内径
d_2	mm	ダクト外径
E	MPa	ヤング率
g	m/s^2	重力加速度
k_p	—	座屈係数
L	mm	ダクトサポートの支持間隔
M_p	$\text{N}\cdot\text{mm}$	自重により作用する曲げモーメント
$M_{c r}$	$\text{N}\cdot\text{mm}$	弾性座屈曲げモーメント
n	—	座屈モードの次数
P	MPa	ダクトにかかる外圧
P_o	Pa	運転圧
r	mm	半径
r_m	mm	ダクトの平均半径
t	mm	ダクト板厚
Z	mm^3	断面係数
Z_c	—	円筒殻の座屈応力の式における係数
β	—	円筒殻の座屈応力の式における係数
ΔP	N/m^2	設計竜巻の気圧低下量
μ	kg/m	ダクト単位重量
ν	—	ポアソン比
π	—	円周率
$\sigma_{c r 1}$	MPa	クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力
$\sigma_{c r 2}$	MPa	弾性座屈曲げ応力
σ_b	MPa	ダクト自重により作用する曲げ応力
$\sigma_{P b}$	MPa	面内荷重（外圧）による圧縮圧力
$\sigma_{c r i p 1}$	MPa	外圧により生じる周方向応力

(4) バタフライ弁（換気空調系）

バタフライ弁の構造強度評価に用いる記号を表 3-4 に示す。

表 3-4 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
P	MPa	内部圧力
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量

(5) ファン（換気空調系）

ファンの構造強度評価に用いる記号を表 3-5 に示す。

表 3-5 構造強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
c	mm	ファンケーシングの長さ
k_p	—	座屈係数
n	—	座屈モードの次数
P_i	Pa	運転圧
P_b	Pa	ファンケーシングに作用する圧力
r	mm	半径
r_m	mm	平均半径
t	mm	ファンケーシングの肉厚
Z_c	—	円筒殻の座屈応力の式における係数
β	—	円筒殻の座屈応力の式における係数
ΔP	N/m ²	設計竜巻の気圧低下量
ν	—	ポアソン比
σ_θ	MPa	周方向応力
σ_{crl}	MPa	クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力

3.2 評価対象部位

(1) ダンパ（換気空調系）の評価対象部位

ダンパの評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻の配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

気圧差による荷重は、ケーシング及びベーンに作用し、ベーンを介してシャフトに作用する。

このことから、ケーシング、ベーン及びシャフトを評価対象部位として選定する。

ダンパの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

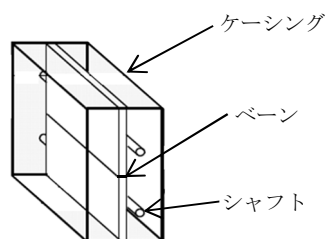


図 3-1 ダンパの評価対象部位

(2) 角ダクト（換気空調系）の評価対象部位

角ダクトの評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻の配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

気圧差による荷重は、角ダクト本体のダクト鋼板に作用する。

このことから、ダクト鋼板を評価対象部位として選定する。

角ダクトの強度評価における評価対象部位を、図 3-2 に示す。

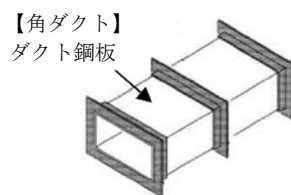


図 3-2 角ダクトの評価対象部位

(3) 丸ダクト（換気空調系）の評価対象部位

丸ダクトの評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻の配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

気圧差による荷重は、丸ダクト本体のダクト鋼板に作用する。

このことから、ダクト鋼板を評価対象部位として選定する。

丸ダクトの強度評価における評価対象部位を、図3-3に示す。

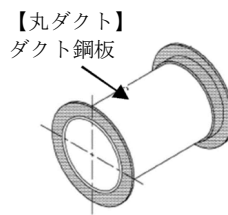


図3-3 丸ダクトの評価対象部位

(4) バタフライ弁（換気空調系）の評価対象部位

バタフライ弁の評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻の配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

気圧差による荷重は、バタフライ弁の耐圧部に作用する。

このことから、耐圧部を評価対象部位として選定する。

バタフライ弁の強度評価における評価対象部位を、図3-4に示す。

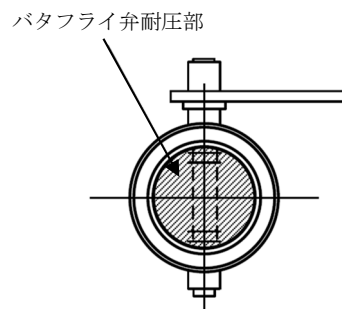


図3-4 バタフライ弁の評価対象部位

(5) ファン（換気空調系）の評価対象部位

ファンの評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻の配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

気圧差による荷重は、ファンのケーシングに作用する。

このことから、ケーシングを評価対象部位として選定する。

ファンの強度評価における評価対象部位を図3-5に示す。

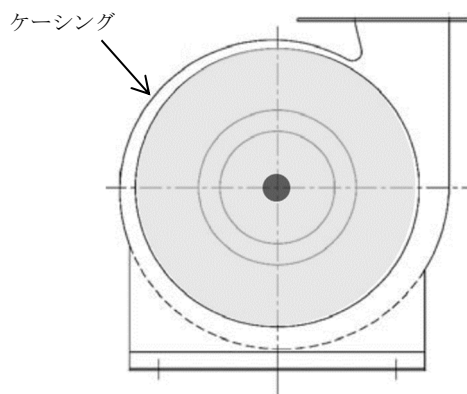


図3-5 ファンの評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえ、換気空調設備の評価対象施設ごとに設定する。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$\text{自重による荷重} = m \cdot g$$

b. 設計竜巻による荷重

外気と繋がっている屋内の施設であるため、気圧差による荷重を考慮する。

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の内圧が給気側は負圧、排気側は正圧となるが、保守性を考慮し気圧差による荷重と同等の向きに作用するものとして、運転時の状態で作用する荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せはVI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、評価対象施設ごとに設定する。なお、ダンパ及びバタフライ弁については閉止していることから、運転時の状態で作用する荷重は考慮しない。また、ファン及びバタフライ弁の自重は内圧荷重に比べ十分小さいことから、自重を考慮しない。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-6 に示す。

表 3-6 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設	ダンパ (換気空調系)	ケーシング ベーン シャフト	①自重 ②気圧差による荷重
	角ダクト (換気空調系)	ダクト鋼板	①自重 ②気圧差による荷重 ③運転時の状態で作用する荷重
	丸ダクト (換気空調系)	ダクト鋼板	①自重 ②気圧差による荷重 ③運転時の状態で作用する荷重
	バタフライ弁 (換気空調系)	耐圧部	①気圧差による荷重
	ファン (換気空調系)	ケーシング	①気圧差による荷重 ②運転時の状態で作用する荷重

3.4 許容限界

(1) ダンパ（換気空調系）の許容限界

ダンパの評価対象部位の許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

ダンパの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、クラス1・クラス2、3・その他の支持構造物の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E付録材料図表 Part5 の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

a. ダンパに対する許容応力

ダンパの許容限界を表 3-7、許容応力を表 3-8、表 3-9、表 3-10 に示す。

表 3-7 ダンパの許容限界

状態	許容限界		
	一次応力		
	曲げ	せん断	引張
許容応力状態Ⅲ _A S	$1.5f_b$	$1.5f_s$	$1.5f_t$

表 3-8 ダンパの許容応力（ケーシング）

材料	温度条件 (°C)	$1.5f_b$ (MPa)
SS400	40	282

表 3-9 ダンパの許容応力（ベーン）

材料	温度条件 (°C)	$1.5f_t$ (MPa)
SS400	40	245

表 3-10 ダンパの許容応力（シャフト）

材料	温度条件 (°C)	$1.5f_s$ (MPa)
S35C	40	176

(2) 角ダクト（換気空調系）の許容限界

角ダクトの許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、許容応力状態Ⅲ_ASとする。

角ダクトの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、クラス1・クラス2、3・その他の支持構造物の許容限界を適用する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した以下の許容応力を許容限界とする。ただし、妥当な安全裕度を考慮し、座屈を生じないように設定する許容限界は、座屈の算出式に応じた値を許容限界として設定する。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表 Part5,6 の表にて許容応力を計算する際は、角ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5,6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

- a. 面外荷重及び外圧による面内荷重に対する許容限界を表 3-11、許容応力を表 3-12 に示す。

表 3-11 角ダクトの許容限界

状態	許容限界
	一次応力
	引張
許容応力状態Ⅲ _A S	$1.5f_t$

表 3-12 角ダクトの許容応力

材料	温度条件 (°C)	$1.5f_t$ (MPa)
SGCC	40	189

- b. 常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重に対する許容限界

ダクト自重による圧縮荷重 f_1 と設計竜巻による内外差及び運転圧による圧縮荷重 f_2 の和が許容荷重 P_m 以下であることを確認する。

なお、ダクト自重による圧縮荷重 f_1 はダクト板 1 枚あたりの圧縮荷重として算出され、設計竜巻による内外圧差及び運転圧による圧縮荷重 f_2 はダクト板 4 枚あたりの圧縮荷重として算出される。許容荷重 P_m はダクト板 1 枚あたりとして算出されるため、関係は以下の式で表わされる。

$$4 \cdot f_1 + f_2 \leq 4 \cdot P_m$$

ここで、

$$P_m = \frac{\pi}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \sqrt{E \cdot \sigma_y \cdot t^2}$$

(3) 丸ダクト（換気空調系）の許容限界

丸ダクトの許容限界は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、クリップリング座屈及び弾性座屈曲げ応力の算出式に応じた値とする。

丸ダクトの許容限界は、設計荷重に対して、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、座屈を生じないこととするため、クリップリング座屈の算出式に応じた値を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を計算する際は、丸ダクトの最高使用温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

a. 外圧に対する許容限界

外圧により生じる周方向応力は、クリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） σ_{cr1} を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 σ_{cr1} は、円筒殻の座屈応力の式より算出する。

$$\sigma_{cr1} = \frac{k_P \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{c}\right)^2$$

$$k_P = \frac{(1+\beta^2)^2}{0.5+\beta^2} + \frac{12 \cdot Z_c^2}{\pi^4(1+\beta^2)^2(0.5+\beta^2)}$$

$$\beta = \frac{c \cdot n}{\pi \cdot r}$$

$$Z_c = \frac{c^2}{r \cdot t} \sqrt{1-\nu^2}$$

ここで、座屈モードの次数 n は k_P が最小となる時の次数とする。

b. 常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重に対する許容限界

ダクト自重により作用する曲げ応力 σ_b と設計竜巻による内外差圧及び運転圧による軸方向圧縮荷重による応力 σ_{pb} の和が、弾性座屈曲げ応力 σ_{cr2} 以下であることを確認する。

$$\sigma_b + \sigma_{pb} \leq \sigma_{cr2}$$

ここで、

$$\sigma_{cr2} = \frac{M_{cr}}{Z}$$

$$M_{c r} = \frac{0.72 \cdot E \cdot r \cdot t^2}{(1 - \nu^2)}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$$

(4) バタフライ弁（換気空調系）の許容限界

バタフライ弁の許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、バタフライ弁の試験圧力に応じた値とする。

バタフライ弁の許容限界は、バタフライ弁の耐圧部に発生する圧力に対して、バタフライ弁の試験圧力を許容限界とする。

(5) ファン（換気空調系）の許容限界

ファンの許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、クリップリング座屈の算出式に応じた値とする。

ファンの許容限界は、設計荷重に対して、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、座屈を生じないこととするため、クリップリング座屈の算出式に応じた値を許容限界とする。

a. 外圧に対する許容応力

外圧により生じる周方向応力はクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力（座屈応力） σ_{cr1} を超えないこととする。

外圧によるクリップリング座屈が発生する際に生じる周方向応力 σ_{cr1} は円筒殻の座屈応力の式より算出する。



$$\sigma_{cr1} = \frac{k_P \cdot \pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{c}\right)^2 \boxed{}$$

$$k_P = \frac{(1+\beta^2)^2}{0.5+\beta^2} + \frac{12 \cdot Z_c^2}{\pi^4(1+\beta^2)^2(0.5+\beta^2)}$$

$$\beta = \frac{c \cdot n}{\pi \cdot r}$$

$$Z_c = \frac{c^2}{r \cdot t} \sqrt{1-\nu^2}$$

3.5 評価方法

(1) ダンパ（換気空調系）の評価方法

ダンパの強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているダンパの評価式を用いる。

a. 計算モデル

(a) ダンパ

ケーシングは、ケーシング板材を4辺に分割し、その1辺を同様の断面性能を持つ単純支持梁として計算を行う。ケーシングのモデル図を図3-6に示す。

ベーンは、四辺支持長方形板に等分布荷重がかかるものとし、曲げ応力による計算を行う。ベーンのモデル図を図3-7に示す。

シャフトは、内部圧力及び自重により発生する荷重が両端のシャフトに均等に作用するものとし、シャフト断面についてせん断応力による計算を行う。シャフトのモデル図を図3-8に示す。

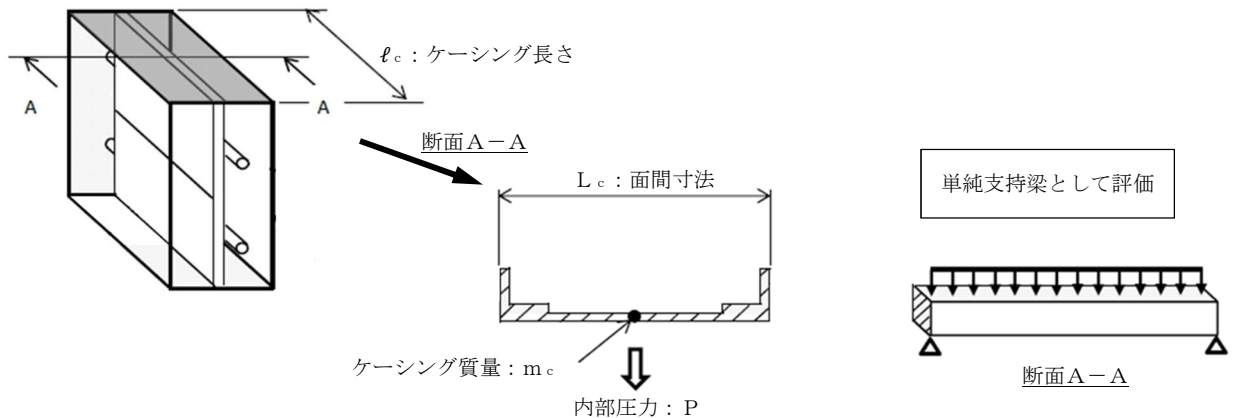


図3-6 ケーシングのモデル図

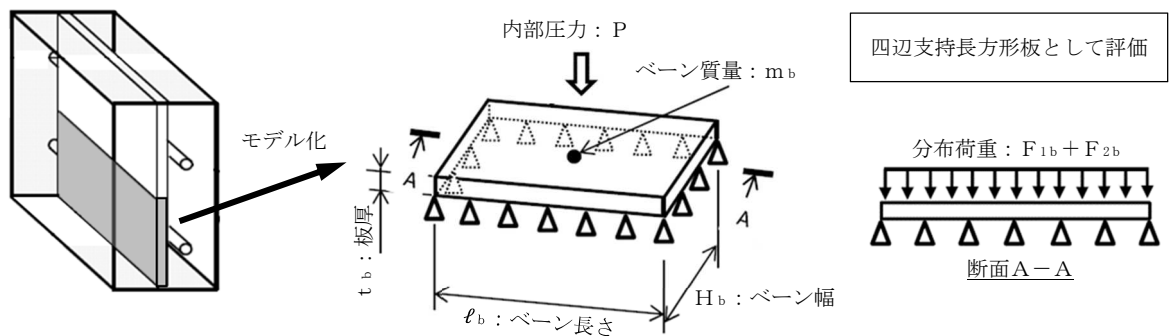


図3-7 ベーンのモデル図

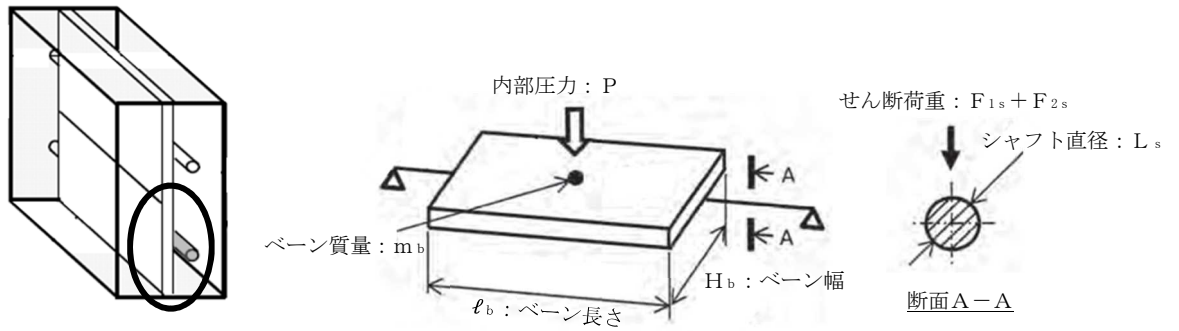


図 3-8 シャフトのモデル図

b. 計算方法

内部圧力は、設計竜巻により発生する気圧差によって発生するので、

$$P = \Delta P$$

(a) ケーシング

ケーシングに作用する最大曲げモーメント

$$M_c = \frac{\ell_c^2 (F_{1c} + F_{2c})}{8}$$

ここで、

$$F_{1c} = P \cdot L_c$$

$$F_{2c} = \frac{m_c \cdot g}{\ell_c}$$

ケーシングに生じる最大曲げ応力

$$\sigma_{c \max} = \frac{M_c}{Z_c}$$

ここで、

$$Z_c = \frac{I_c}{e_c}$$

(b) ベーン

ベーンに生じる発生応力は、四辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合において、中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力 σ_{bmax} とその面外荷重によるベーンの最大変位量 δ_{bmax} との関係は、以下の式で表わされる。

機械工学便覧に記載されている四辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{bmax} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{bmax}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\delta_{bmax} + 4t_b}{\ell_b^2} + \frac{\nu(\delta_{bmax} + 4t_b)}{H_b^2} \right\} \dots \dots (3.1)$$

$$\frac{256(1-\nu^2)(F_{1b} + F_{2b})}{\pi^6 E t_b^4} = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{\ell_b^2} + \frac{1}{H_b^2} \right)^2 \frac{\delta_{bmax}}{t_b} + \left\{ \frac{4\nu}{\ell_b^2 \cdot H_b^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{\ell_b^4} + \frac{1}{H_b^4} \right) \right\} \left(\frac{\delta_{bmax}}{t_b} \right)^3 \dots \dots (3.2)$$

ここで、

$$F_{1b} = P$$

$$F_{2b} = \frac{m_b \cdot g}{\ell_b \cdot H_b}$$

式 (3.2) より得られる δ_{bmax} の値を式 (3.1) へ代入し、 σ_{bmax} を算出する。

(c) シャフト

シャフトに生じる最大せん断応力

$$\sigma_{smax} = \frac{F_{1s} + F_{2s}}{A_s}$$

ここで、

$$F_{1s} = P \cdot H_b \cdot \ell_b$$

$$F_{2s} = m_b \cdot g$$

$$A_s = \left(\frac{L_s}{2} \right)^2 \cdot \pi$$

(2) 角ダクト（換気空調系）の評価方法

角ダクトの強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している角ダクトの評価式を用いる。

a. 計算モデル

任意のダクト面に着目すると、ダクト面は両サイドをほかの2つの側面のダクト面で、軸方向（流れ方向）を補強部材（及び接続部材）で支持された長方形の板とみなすことができる。そのため、鋼板を補強部材と両サイドのウェブで支持された四辺単純支持長方形板とし評価を行う。自重等によりダクトに生じる曲げモーメントに関し、ウェブでの応力分布が線形で、中立面がフランジの両側から等距離の中央線上にあるとする。角ダクトのモデル図を図 3-9 に示す。

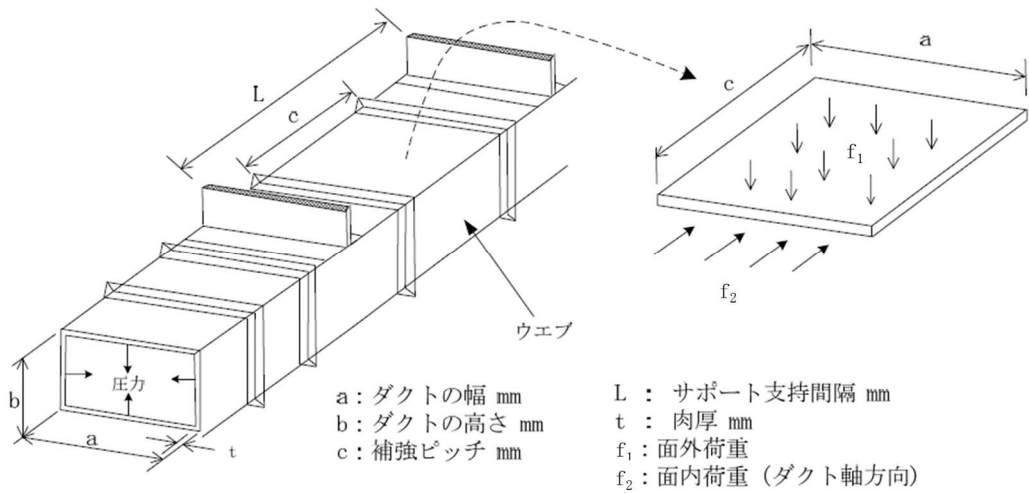


図 3-9 角ダクトのモデル図

b. 評価方法

ダクトにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので、

$$P = \Delta P + P_0$$

(a) 面外荷重による発生応力

四辺単純支持（周辺で水平，垂直方向の変位拘束，たわみ角は自由）の長方形板が等分布荷重を受ける場合において，中心に生じる外圧及び自重による面外荷重により作用する最大応力 σ_{max} とその面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量 δ_{max} との関係は，以下の式で表される。

機械工学便覧に記載されている四辺単純支持の長方形板が等分布荷重を受ける場合の長方形板の大たわみ式を引用する。

$$\sigma_{max} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot \delta_{max}}{8(1-\nu^2)} \left\{ \frac{(2-\nu^2)\delta_{max} + 4t}{a^2} + \frac{\nu(\delta_{max} + 4t)}{c^2} \right\} \dots (3.3)$$

$$\frac{256(1-\nu^2)}{\pi^6 \cdot E \cdot t^4} (P + g \cdot D_p) = \frac{4}{3} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{c^2} \right)^2 \frac{\delta_{\max}}{t} + \left\{ \frac{4\nu}{a^2 \cdot c^2} + (3-\nu^2) \left(\frac{1}{a^4} + \frac{1}{c^4} \right) \right\} \left(\frac{\delta_{\max}}{t} \right)^3 \dots (3.4)$$

式 (3.4) より得られる δ_{\max} の値を式 (3.3) へ代入し、 σ_{\max} を算出する。

(b) 面内荷重による発生応力

イ. 自重による発生応力

自重によりダクト鋼板に作用する圧縮荷重は、以下の式により算出する。

$$f_1 = \frac{M_p}{b}$$

ここで、

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

ロ. 外圧による発生応力

ダクト面内が受ける気圧差と運転圧による圧縮荷重は、以下の式により算出する。

$$f_2 = (a + 2t) \cdot (b + 2t) \cdot P \cdot 10^{-6}$$

(3) 丸ダクト（換気空調系）の評価方法

丸ダクトの強度評価は、VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している丸ダクトの評価式を用いる。

a. 計算モデル

両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。丸ダクトのモデル図を図3-10に示す。

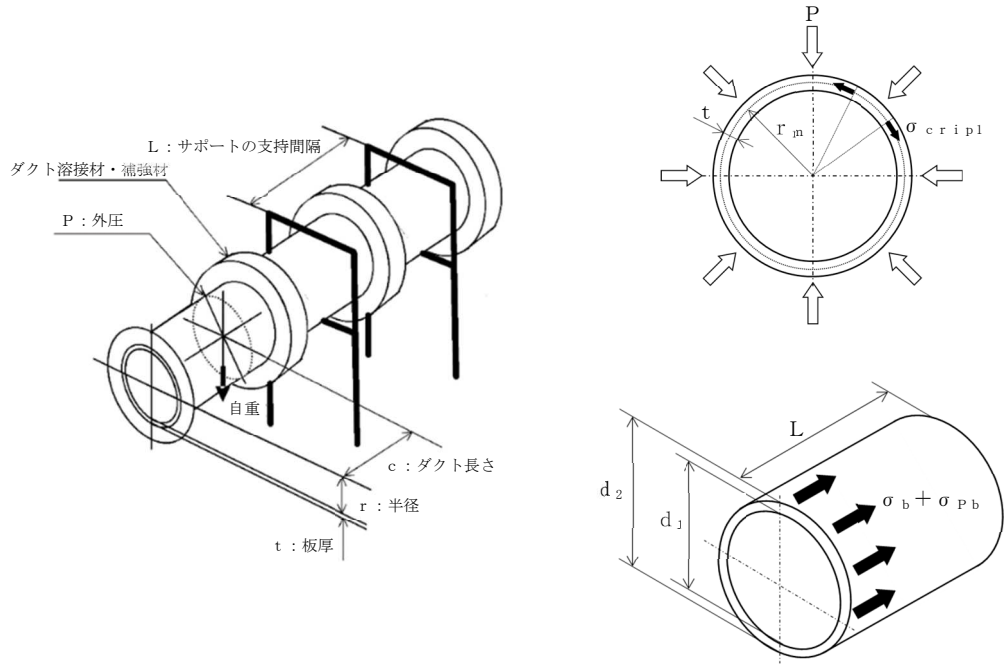


図3-10 丸ダクトのモデル図

b. 評価方法

ダクトにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので、 $P = \Delta P + P_o$ 。

(a) 外圧により生じる周方向応力

$$\sigma_{c r i p l} = \frac{P \cdot r_m}{t}$$

(b) 面内荷重による発生応力

イ. 自重による発生応力

自重によりダクト鋼板に作用する曲げ応力は、以下の式により算出する。

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

ここで,

$$M_p = \frac{g \cdot \mu \cdot L^2}{8}$$

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$$

ロ. 外圧による発生応力

ダクト面内が受ける気圧差と運転圧による圧縮応力は、以下の式により算出する。

$$\sigma_{pb} = P \cdot \frac{A_1}{A_2}$$

ここで,

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_2^2 - d_1^2)$$

(4) バタフライ弁（換気空調系）の評価方法

バタフライ弁の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているバタフライ弁の評価式を用いる。

評価方法は、設計竜巻により発生する気圧差とバタフライ弁の試験圧力との比較を行う。設計竜巻により発生する気圧差は以下のとおり。

$$P = \Delta P$$

(5) ファン（換気空調系）の評価方法

ファンの強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定しているファンの評価式を用いる。

a. 計算モデル

ファンは両端を補強部材で支持された円筒の梁とみなし、計算を行う。ファンのモデル図を図3-14に示す。

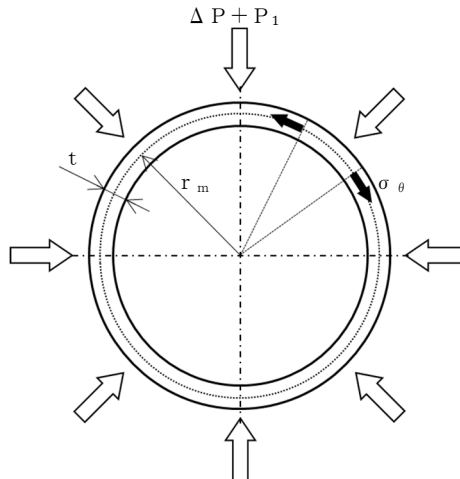


図3-14 ファンのモデル図

b. 評価方法

ファンにかかる外圧は、設計竜巻により発生する気圧差及び運転圧が影響するので、

$$P_b = \Delta P + P_1$$

(a) 外圧により生じる周方向応力

$$\sigma_{\theta} = \frac{P_b \cdot r_m}{t}$$

4. 評価条件

(1) ダンパ（換気空調系）

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1～表 4-3 に示す。

ダンパにおいて、外殻を構成するケーシングの発生応力比が最も厳しくなる系統のダンパについて記載する。

表 4-1 評価条件（ケーシング）

系統		
非常用電気品区域換気空調系		

P (MPa)	l_c (mm)	L _c (mm)
0.0097*	1500	350

m _c (kg)	g (m/s ²)	I _c (mm ⁴)
9.479	9.80665	252000

e _c (mm)
35.6

注記*：評価上保守的に設計竜巻の気圧低下量 ($\Delta P = 6400 \text{ (N/m}^2\text{)}$) に、運転圧 (0.0033 MPa) を考慮。

表 4-2 評価条件 (ベーン)

系統		
非常用電気品区域換気空調系		

E (MPa)	t_b (mm)	l_b (mm)
202000	2.3	1500

ν (-)	H_b (mm)	P (MPa)
0.3	300	0.0097*

m_b (kg)	g (m/s^2)
8.1	9.80665

注記* : 評価上保守的に設計竜巻の気圧低下量 ($\Delta P = 6400 (N/m^2)$) に、運転圧(0.0033 (MPa))を考慮。

表 4-3 評価条件 (シャフト)

系統		
非常用電気品区域換気空調系		

P (MPa)	H_b (mm)	l_b (mm)
0.0097*	300	1500

m_b (kg)	g (m/s^2)	L_s (mm)
8.1	9.80665	13

注記* : 評価上保守的に設計竜巻の気圧低下量 ($\Delta P = 6400 (N/m^2)$) に、運転圧(0.0033 (MPa))を考慮。

(2) 角ダクト（換気空調系）

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-4 に示す。

角ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も大きくなるものは面外荷重であり、その発生応力比が最も厳しくなる系統の角ダクトについて記載する。

表 4-4 評価条件

系統			
非常用電気品区域換気空調系			

ΔP (Pa)	P_0 (Pa)	E (MPa)	ν (-)
6400	3300	202000	0.3

t (mm)	a (mm)	c (mm)	g (m/s ²)
0.5	450	1800	9.80665

D_p (kg/m ²)	b (mm)	μ (kg/m)	L (mm)
4.169	150	10.8	3200

σ_y (MPa)
205

(3) 丸ダクト（換気空調系）

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-5に示す。

丸ダクトにおいて、気圧差による発生応力が最も大きくなるものは周方向応力であるため、その発生応力比が最も厳しくなる系統の丸ダクトについて記載する。

表4-5 評価条件

系統			
海水熱交換器区域換気空調系			

ΔP (MPa)	P_0 (MPa)	r_m (mm)	t (mm)
0.0064	0.00098	640.6	1.2

g (m/s ²)	μ (kg/m)	L (mm)	E (MPa)
9.80665	52.584	3000	201200

d_1 (mm)	d_2 (mm)	ν (-)	c (mm)
1280	1282.4	0.3	260

n (-)
19

(4) バタフライ弁（換気空調系）

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-6に示す。

表4-6 評価条件

系統	
中央制御室換気空調系	

ΔP (N/m ²)
6400

(5) ファン（換気空調系）

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-7 に示す。

ファンにおいて、発生応力比が最も厳しくなるファンについて記載する。

表 4-7 評価条件

系統	機器名称
中央制御室換気空調系	中央制御室送風機(A)

ΔP (MPa)	P_1 (MPa)	r_m (mm)	t (mm)
0.0064	0.0033	1682.25	4.5

E (MPa)	ν (-)	c (mm)	n (-)
201000	0.3	1191	14

r (mm)
1680

5. 強度評価結果

(1) ダンパ（換気空調系）

ダンパの構造強度評価結果を表 5-1～表 5-3 に示す。

ケーシング、ベーン及びシャフトに発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 評価結果（ケーシング）

ケーシングに発生する曲げ応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
138	282

表 5-2 評価結果（ベーン）

ベーンに発生する面外荷重による応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
84	245

表 5-3 評価結果（シャフト）

シャフトに発生するせん断応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
34	176

(2) 角ダクト（換気空調系）

角ダクトの構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

ダクト鋼板に発生する応力は許容応力以下であり，常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重及び運転時の状態で作用する荷重による発生荷重は許容値以下である。

表 5-4 評価結果（角ダクト）

系統	ダクトサイズ (mm)
非常用電気品区域換気空調系	450×150×0.5

面外荷重	
発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
140	189

面内荷重			
自重による発生荷重 $4 \times f_1$ (N)	外圧による発生荷重 f_2 (N)	合成発生荷重 $4 \times f_1 + f_2$ (N)	許容値 $4 \times P_m$ (N)
3616	661	4277	12240

(3) 丸ダクト（換気空調系）

丸ダクトの構造強度評価結果を表 5-5 に示す。

ダクト鋼板に発生する周方向応力は許容応力以下である。

表 5-5 評価結果（丸ダクト）

系統	ダクトサイズ (mm)
海水熱交換器区域換気空調系	φ 1280×1.2

外圧より生じる周方向応力	
発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
4	39

常時作用する荷重（自重）＋設計竜巻の気圧差による荷重 及び運転時の状態で作用する荷重により発生する応力			
自重による発生応力 (MPa)	外圧による発生応力 (MPa)	合成発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
0.376	1.974	3	94

(4) バタフライ弁（換気空調系）

バタフライ弁の構造強度評価結果を表 5-6 に示す。

バタフライ弁の耐圧部に発生する圧力は許容値以下である。

表 5-6 評価結果

系統	発生圧力 (MPa)	許容値 (MPa)
中央制御室換気空調系	0.0064	0.9806

(5) ファン（換気空調系）

ファンの構造強度評価結果を表 5-7 に示す。

ケーシングに発生する周方向応力は、許容応力以下である。

表 5-7 評価結果（ファン）

ケーシングに発生する周方向応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
4	12

VI-3-別添 1-9 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書

VI-3-別添 1-9-1 建屋の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格	8
3. 強度評価方法	9
3.1 記号の定義	9
3.2 評価対象	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	10
3.4 許容限界	11
3.5 評価方法	12
4. 評価条件	15
5. 強度評価結果	17

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である 5 号機タービン建屋が、設計竜巻による風圧力による荷重、気圧差による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包する 6 号機タービン建屋に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

サービス建屋の強度に関する評価は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機的设计及び工事の計画の V-3-別添 1-9-1「建屋の強度計算書」によるものとし、サービス建屋がコントロール建屋に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認している。

2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

5 号機タービン建屋は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、6 号機タービン建屋に隣接する建屋である。5 号機タービン建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

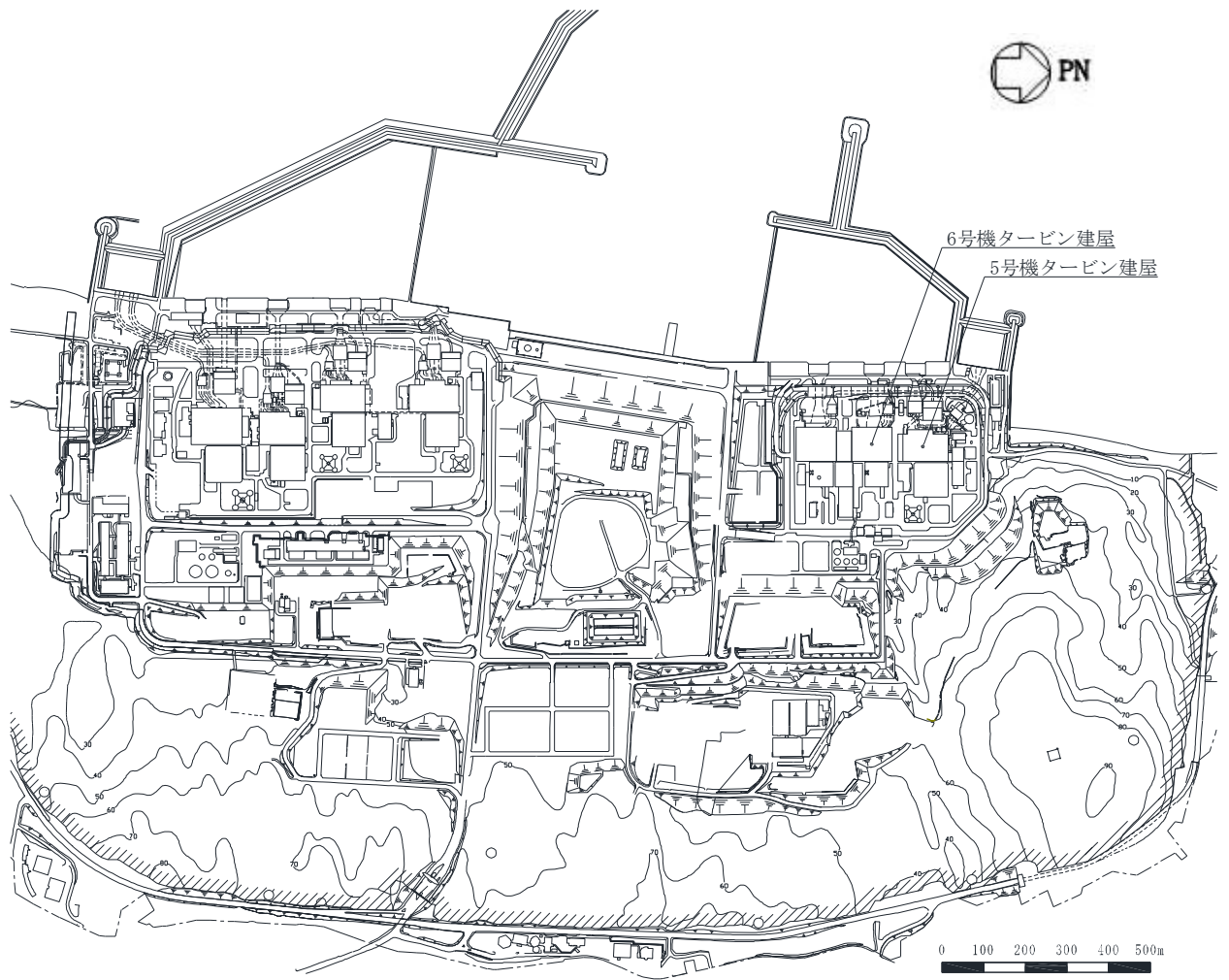
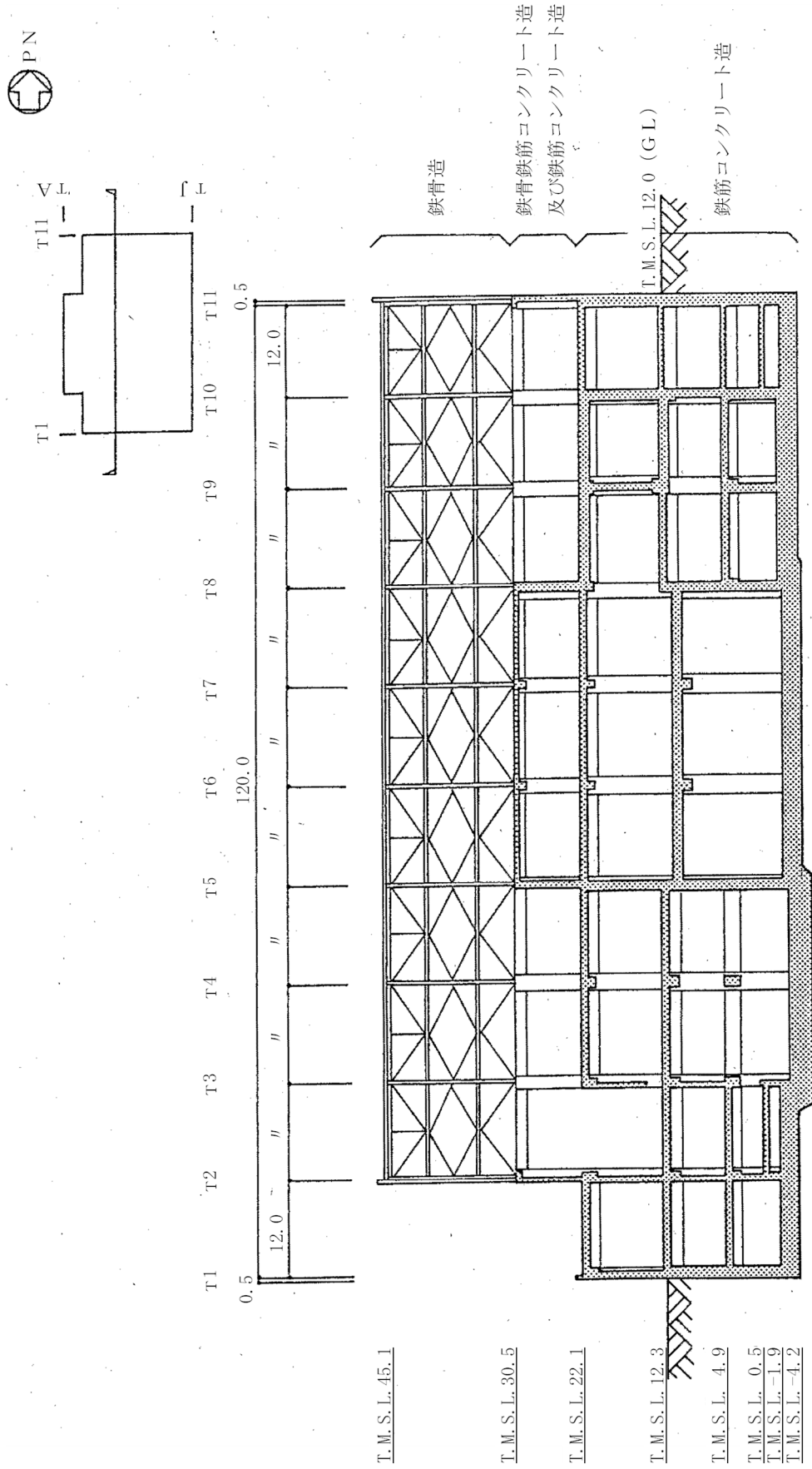


図 2-1 5号機タービン建屋の設置位置

2.2 構造概要

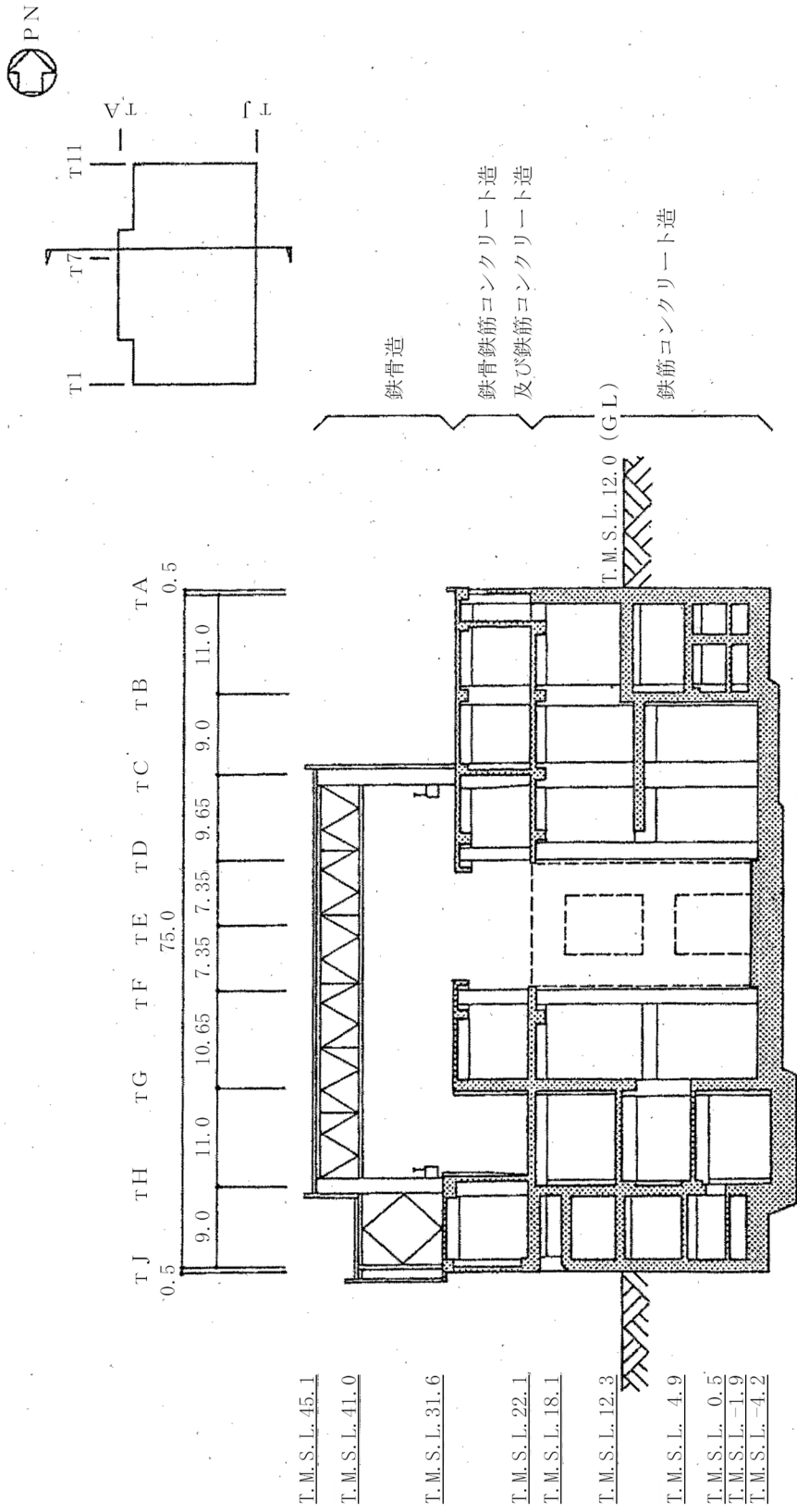
5号機タービン建屋は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

5号機タービン建屋は、地上2階（一部3階）、地下2階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物であり、隣接する6号機タービン建屋と構造的に分離している。5号機タービン建屋の概略断面図を図2-2に、建屋配置図を図2-3に示す。



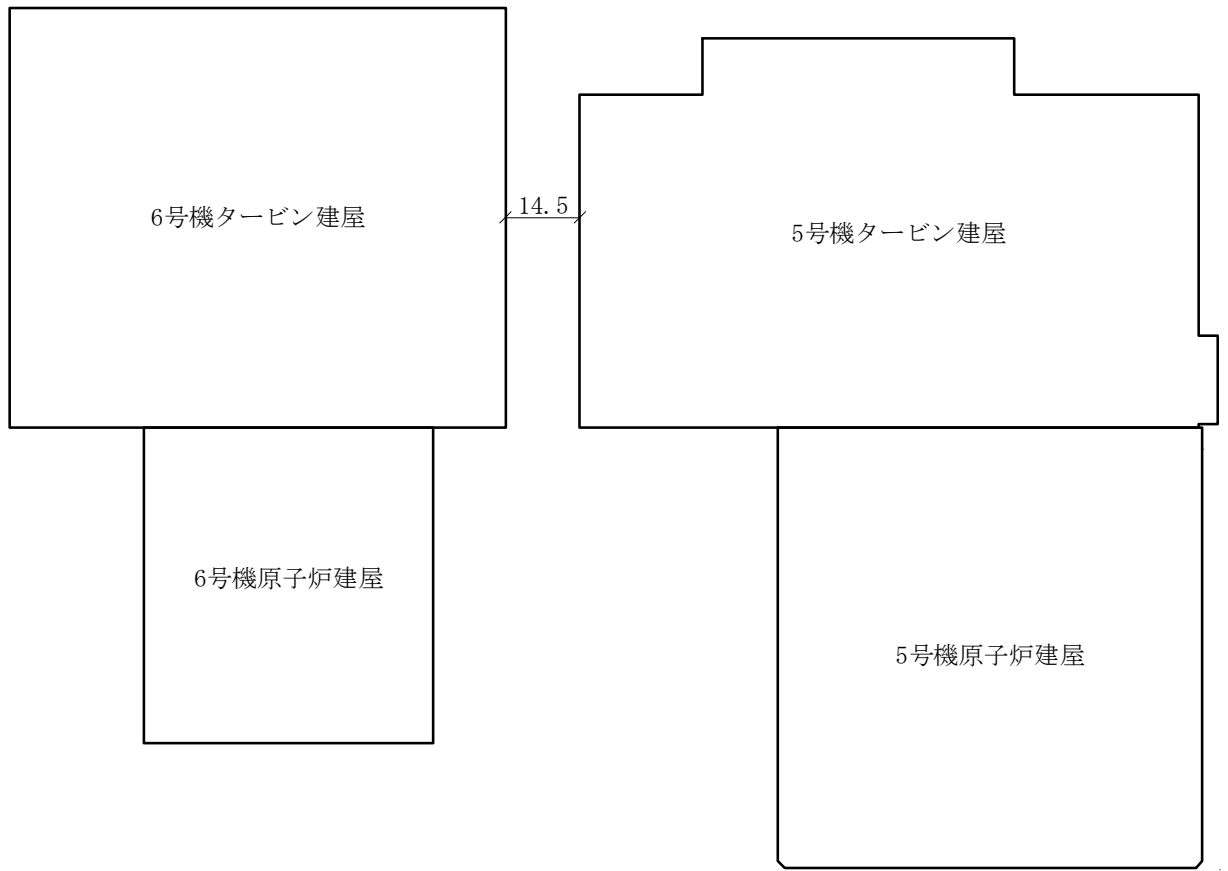
(単位：m)

図 2-2 5号機タービン建屋の南北方向断面図 (1/2)



(単位：m)

図 2-2 5号機タービン建屋の東西方向断面図 (2/2)



(単位：m)

図 2-3 建屋配置図

2.3 評価方針

5号機タービン建屋の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

5号機タービン建屋の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象を設定する。

具体的には、5号機タービン建屋が、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包する6号機タービン建屋に接触し影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

5号機タービン建屋の構造強度評価については、設計荷重に対する5号機タービン建屋の変形量を算定し、その変形量が6号機タービン建屋と5号機タービン建屋のクリアランスを超えないことを確認する。なお、5号機タービン建屋は6号機タービン建屋の北側に位置することから、NS方向を検討対象とする。

5号機タービン建屋の波及的影響評価フローを図2-4に示す。

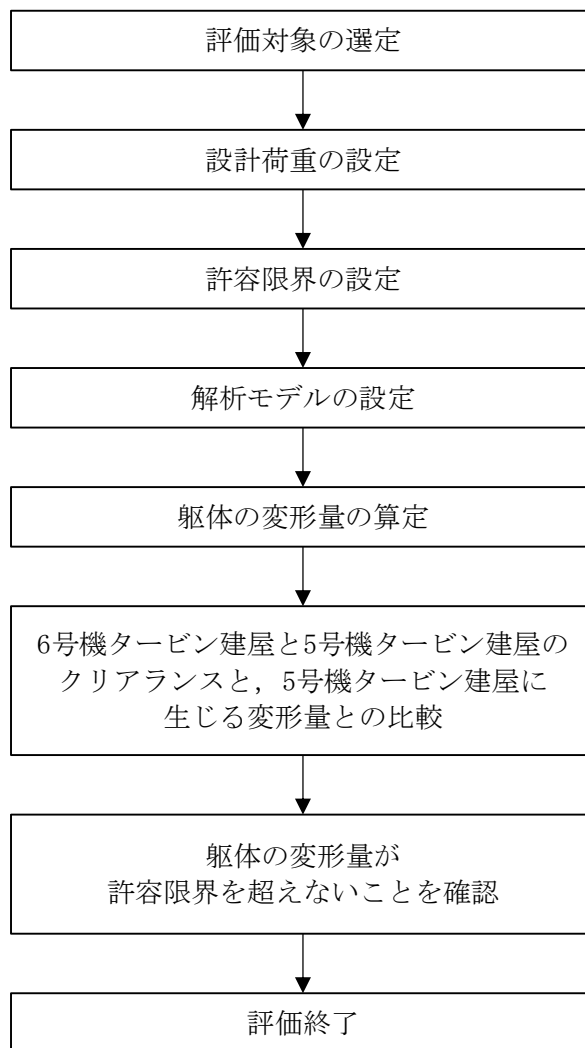


図 2-4 5号機タービン建屋の波及的影響評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」
日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」 日本電気協会
- ・ 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」 日本電気協会
- ・ U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 「建築物荷重指針・同解説」(日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」(日本建築学会, 2005 改定)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

波及的影響に関する強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ²	施設の受圧面積
C	—	風力係数
G	—	ガスト影響係数
q	N/m ²	設計用速度圧
V _D	m/s	設計竜巻の風速
W _M , F _m	N	設計飛来物による衝撃荷重
W _P	N	気圧差による荷重
W _W	N	風圧力による荷重
ρ	kg/m ³	空気密度
ΔP _{max}	N/m ²	最大気圧低下量
m	kg	設計飛来物質量
V	m/s	設計飛来物の衝突速度（水平）
τ	s	設計飛来物の被衝突体の接触時間（= L ₁ /V）
L ₁	m	設計飛来物の最も短い辺の全長

3.2 評価対象

5号機タービン建屋の評価対象は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価基準を踏まえ、5号機タービン建屋構造躯体とする。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで, } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

b. 気圧差による荷重 (W_p)

気圧差による荷重 W_p については、気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P_{MAX} \cdot A$$

c. 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) については、次式の設計飛来物による衝撃荷重の算定式によって算出した運動エネルギーが最大となる鋼製足場板の衝撃荷重 $W_M = F_m = 1100\text{kN}$ を用いて評価を行う。

$$F_m = m \cdot V / \tau = m \cdot V^2 / L_1$$

設計飛来物の諸元を表 3-2 に示す。

表 3-2 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	水平方向の 飛来速度 (m/s)	鉛直方向の 飛来速度 (m/s)
鋼製足場板	4×0.25×0.04	14	55	18

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重の組合せを踏まえ、風圧力による荷重，気圧差による荷重，設計飛来物による荷重を組み合わせる。なお，常時作用する荷重については，竜巻時せん断力の算定に際しては評価結果に影響しないため考慮しない。

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

設計荷重の種類	荷重の組合せ
複合荷重 W_{T1}	W_P
複合荷重 W_{T2}	$W_W + 1/2 \cdot W_P + W_M$

W_W ：風圧力による荷重

W_P ：気圧差による荷重

W_M ：設計飛来物による衝撃荷重

3.4 許容限界

許容限界は、「2.2 構造概要」に記載した 6 号機タービン建屋と 5 号機タービン建屋のクリアランスとする。

設定した許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-4 5 号機タービン建屋の許容限界

許容限界	6 号機タービン建屋と 5 号機タービン建屋の クリアランス
	14500mm

3.5 評価方法

5号機タービン建屋の変形量は、設計荷重による建屋の層せん断力及び各部材のせん断力-せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）より算定する。

5号機タービン建屋の解析モデルを図3-1に、5号機タービン建屋の解析モデル諸元を表3-5に、5号機タービン建屋の鉄骨部の復元力特性を表3-6に、5号機タービン建屋の耐震壁の復元力特性を表3-7に示す。ただし、設計荷重による変形量の算定では、地盤と建屋の相互作用の影響は小さいと考えられることから、地盤ばねは考慮せず、1階床位置で固定と仮定する。

なお、「2.3 評価方針」にて記載したとおり、5号機タービン建屋は6号機タービン建屋の北側に位置するため、NS方向を検討対象とする。

設計荷重のうち、風圧力による荷重 W_w は、建屋の形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 W_p は、建屋の内部から外部に作用することから、建屋層全体の評価においては相殺されるが、保守的に風圧力による荷重 W_w の作用方向のみに作用するものとする。

設計飛来物による衝撃荷重 W_M は、建屋最上部質点に作用するものとする。

なお、5号機タービン建屋は、建屋を2軸（a軸、b軸）に分けた解析モデルを用いているため、軸ごとに衝撃荷重 W_M が作用した場合の検討を実施する。評価対象とするモデルは変形量の評価結果が厳しいb軸を代表とするものとする。

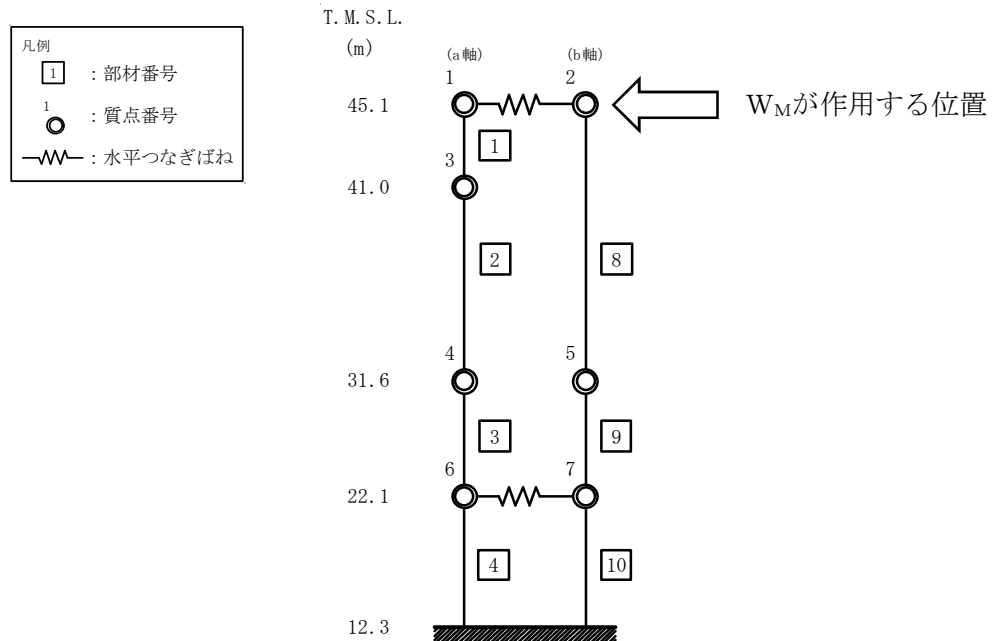


図3-1 5号機タービン建屋の解析モデル（NS方向）

表 3-5 5号機タービン建屋の解析モデル諸元 (NS 方向)

T. M. S. L. (m)	建屋	
	a 軸	b 軸
45.1	1	8
	3.04	2.58
	—	
41.0	2	—
	4.23	
	—	
31.6	3	9
	142.50	111.40
	—	—
22.1	4	10
	308.24	301.28
	—	—
12.3		

①コンクリート部*

コンクリート強度 F_c 31.3 (N/mm²)

ヤング係数 E 2.48×10^4 (N/mm²)

せん断弾性係数 G 1.03×10^4 (N/mm²)

ポアソン比 ν 0.20

減衰定数 h 5%

②鉄骨部

ヤング係数 E 2.05×10^5 (N/mm²)

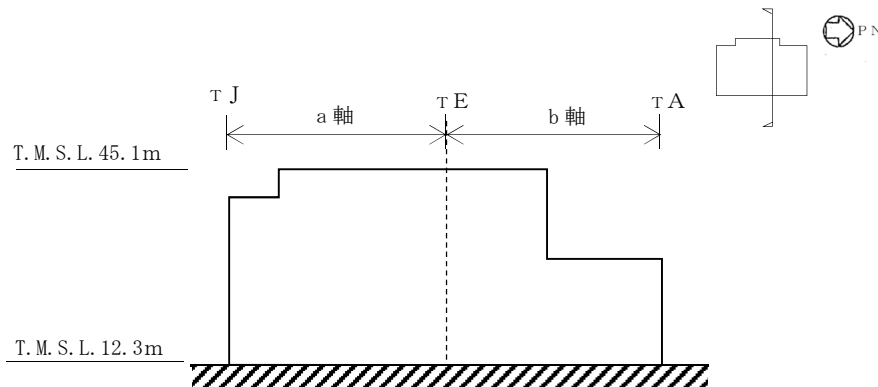
せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)

ポアソン比 ν 0.30

減衰定数 h 2%

凡例 :

部材番号
せん断面積 (m ²)
断面二次モーメント (m ⁴)



注記* : コンクリート強度は実強度に基づくものとし、ヤング係数は実強度を用いて算出した値を用いる。

表 3-6 5号機タービン建屋鉄骨部の復元力特性 (NS 方向)

部材 番号	T. M. S. L. (m)	第1折点	
		Q_1 ($\times 10^4$ kN)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)
1	45.1~41.0	7.61	2.43
2	41.0~31.6	10.5	2.40
8	45.1~31.6	5.63	2.12

注： Q_1 及び γ_1 は第1折点のせん断力及びせん断ひずみを示す。

表 3-7 5号機タービン建屋耐震壁の復元力特性 (NS 方向)

部材 番号	T. M. S. L. (m)	第1折点		第2折点		終局点	
		Q_1 ($\times 10^4$ kN)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	Q_2 ($\times 10^4$ kN)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	Q_3 ($\times 10^4$ kN)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3	31.6~22.1	36.8	0.251	49.4	0.575	85.8	4.00
4	22.1~12.3	63.9	0.201	85.6	0.595	142	4.00
9	31.6~22.1	23.3	0.203	31.2	0.575	47.8	4.00
10	22.1~12.3	66.4	0.214	86.3	0.595	138	4.00

注： Q_1 及び γ_1 は第1折点のせん断力及びせん断ひずみを、 Q_2 及び γ_2 は第2折点のせん断力及びせん断ひずみを、 Q_3 及び γ_3 は終局点のせん断力及びせん断ひずみを示す。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を以下に示す。

5号機タービン建屋は、建屋の南側に6号機タービン建屋が隣接しているため、風圧力による荷重 W_w が北から南へ作用する場合の検討を実施する。ここで、気圧差荷重 W_p は、保守的に風圧力による荷重 W_w の作用方向のみに作用するものとして検討を実施する。

5号機タービン建屋に作用する風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の作用方向の模式図を図4-1に、5号機タービン建屋の風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の算出条件を表4-1に示す。

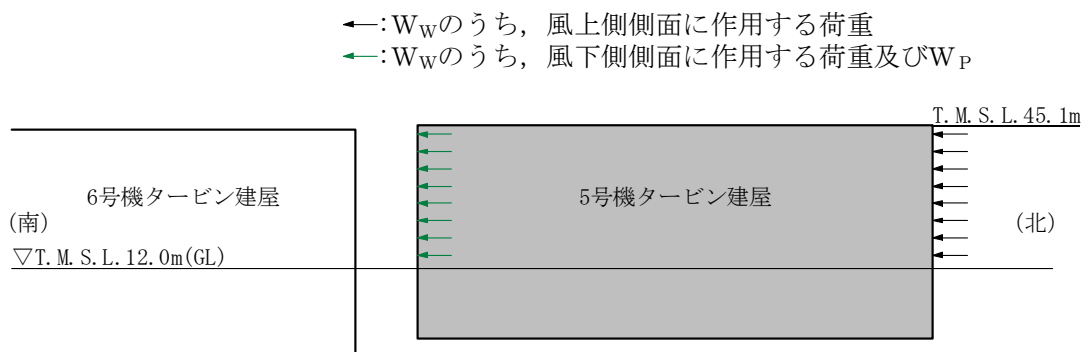


図4-1 風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の作用方向の模式図

表 4-1 風圧力による荷重 W_w 及び気圧差荷重 W_p の算出条件

T. M. S. L. (m)	位置	風力係数* ¹ C	受圧面積A* ² (m ²)
45.10~43.05	風上	0.8	a 軸 : 138.60
	風下	-0.4	b 軸 : 64.98
43.05~36.30	風上	0.8	a 軸 : 260.82
	風下	-0.4	b 軸 : 121.84
36.30~26.85	風上	0.8	a 軸 : 376.70
	風下	-0.4	b 軸 : 262.97
26.85~17.20	風上	0.8	a 軸 : 377.57
	風下	-0.4	b 軸 : 436.63
17.20~12.00	風上	0.8	a 軸 : 217.36
	風下	-0.4	b 軸 : 262.60

注記*1 : 壁面を屋外から押す方向を正の向きとする。

*2 : 2 軸 (a 軸, b 軸) ごとの, 5 号機タービン建屋の各層の高さ (T. M. S. L (m))
における見付面積とする。

5. 強度評価結果

5号機タービン建屋の変形量に関する評価結果を表5-1に示す。6号機タービン建屋と5号機タービン建屋のクリアランスと比較し、5号機タービン建屋の変形量が許容限界を超えないことを確認した。

表5-1 変形量の評価結果

変形量* (mm)	許容限界 (mm)
1.35	14500

注記*：複合荷重 W_{T1} と W_{T2} のうち、評価結果が厳しい W_{T2} の結果のみ記載した。

VI-3-別添 1-9-2 主排気筒の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格	8
3. 強度評価方法	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	9
3.3 使用材料及び材料の許容応力度	13
3.4 評価方法	15
4. 評価条件	22
5. 強度評価結果	26

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、波及的影響を及ぼす可能性がある施設である5号機主排気筒（以下「主排気筒」という。）が、設計竜巻による風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻時及び竜巻通過後においても、竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないよう、竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及び軽油タンクに対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

6号機主排気筒の強度に関する評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所7号機の設計及び工事の計画のV-3-別添 1-9-2「主排気筒の強度計算書」によるものとし、6号機主排気筒が原子炉建屋及びコントロール建屋に対して、機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認している。

2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

主排気筒は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、5号機原子炉建屋の東側に設置されている施設である。主排気筒の設置位置を図2-1に示す。

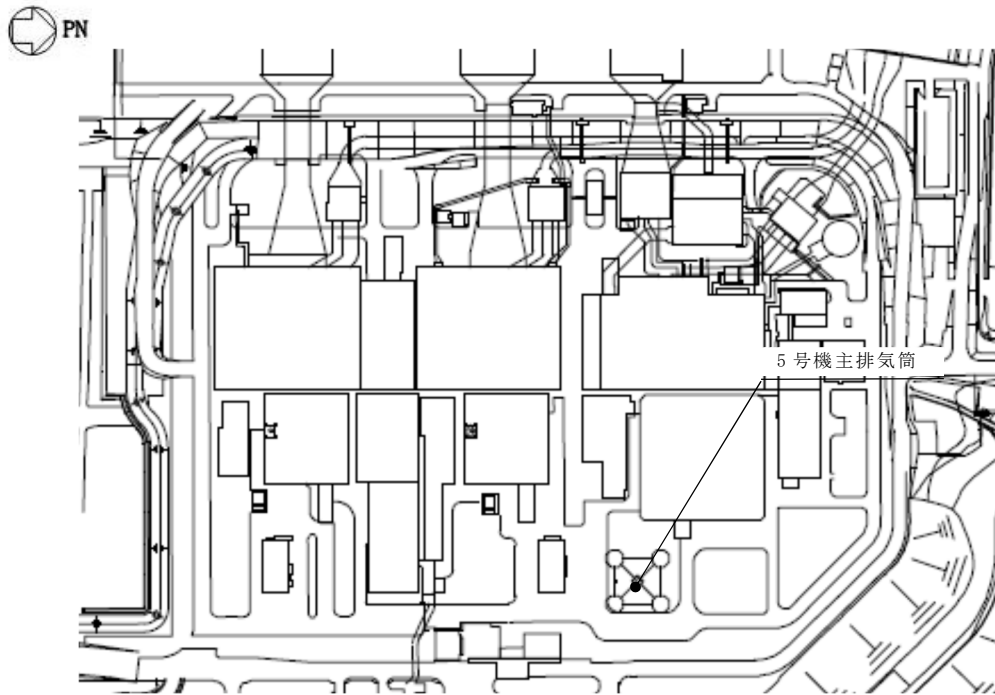


図 2-1 主排気筒の設置位置

2.2 構造概要

主排気筒は、5号機原子炉建屋の東側に位置し、内径 3.4m の鋼板製筒身（換気空調系用排気筒）を鋼管四角形鉄塔で支えた鉄塔支持形排気筒である。

また、筒身内部には、非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。主排気筒の概要図を図 2-2 に示す。

構造概要

構造形状	四角鉄塔支持形鋼管構造
主排気筒の高さ	148.0m (T.M.S.L. 160.0m)
鉄塔高さ	140.0m (T.M.S.L. 152.0m)
鉄塔幅 (NS 方向, EW 方向共通)	頂部 内側部材間 7.5m, 外側部材間 9.3m 根開き 内側部材間 30.0m, 外側部材間 35.7m
筒身支持点位置	T.M.S.L. 47.5m, 73.0m, 94.0m, 112.0m, 126.0m, 137.0m, 152.0m
鉄塔フーチング基礎	鉄筋コンクリート造

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

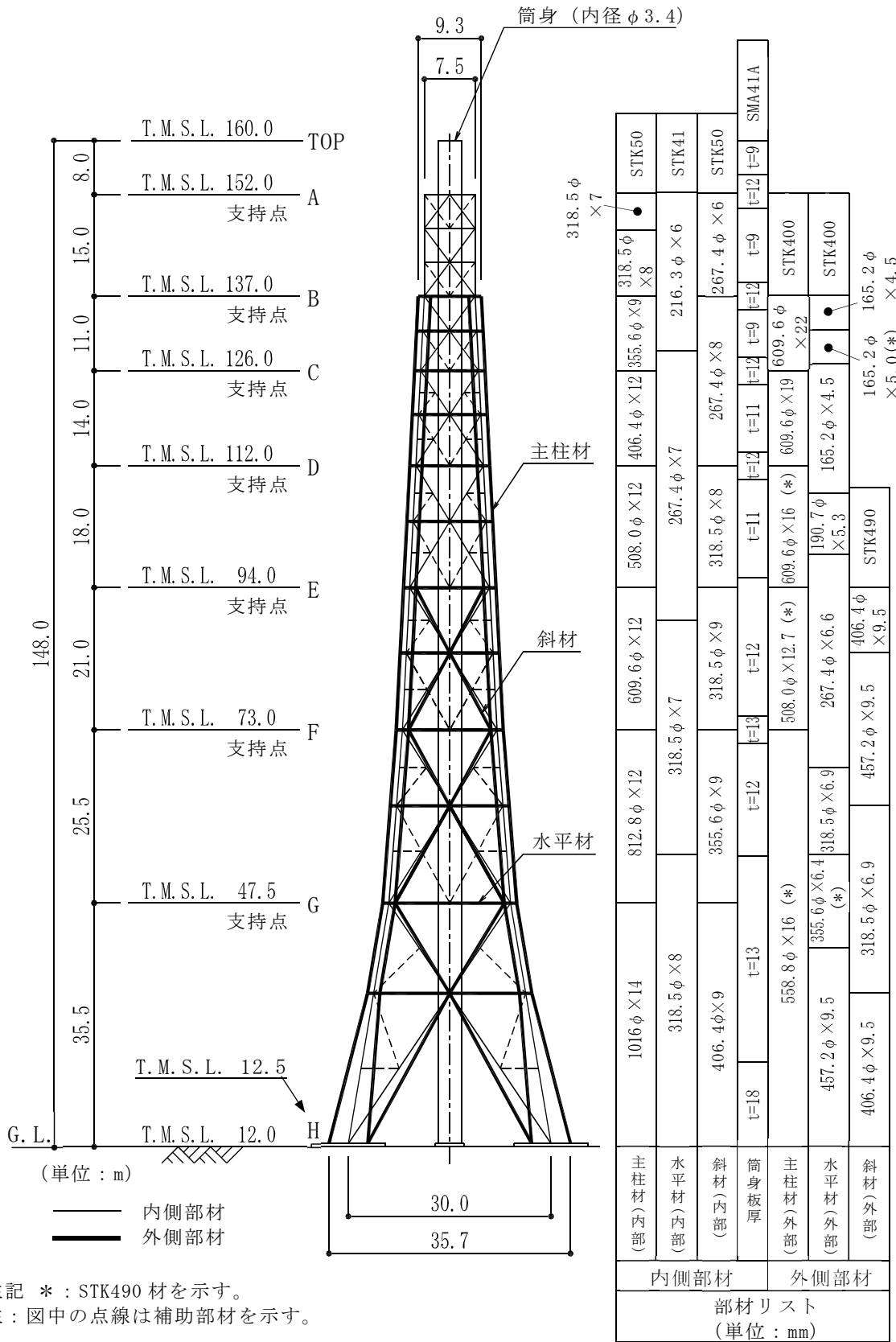
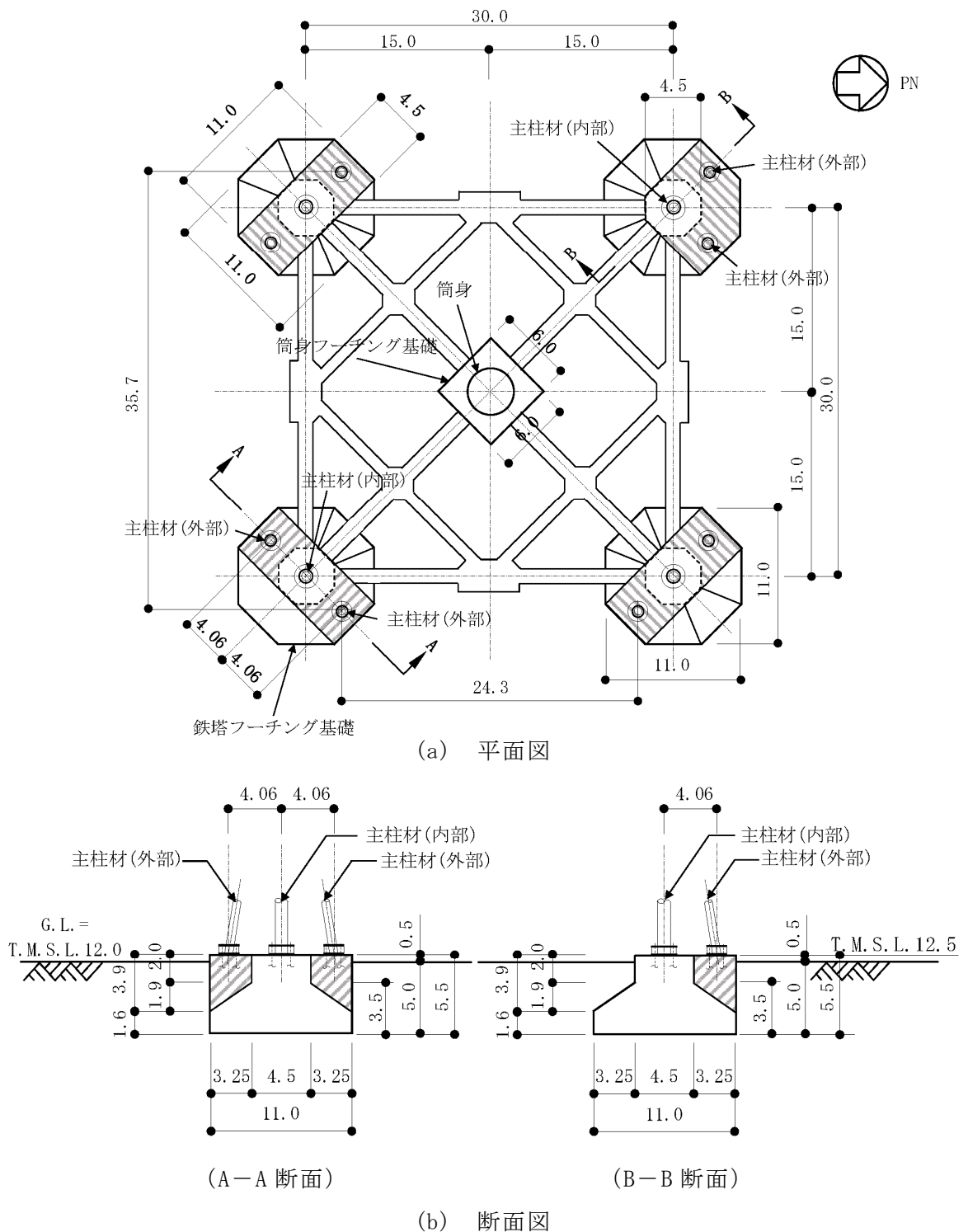


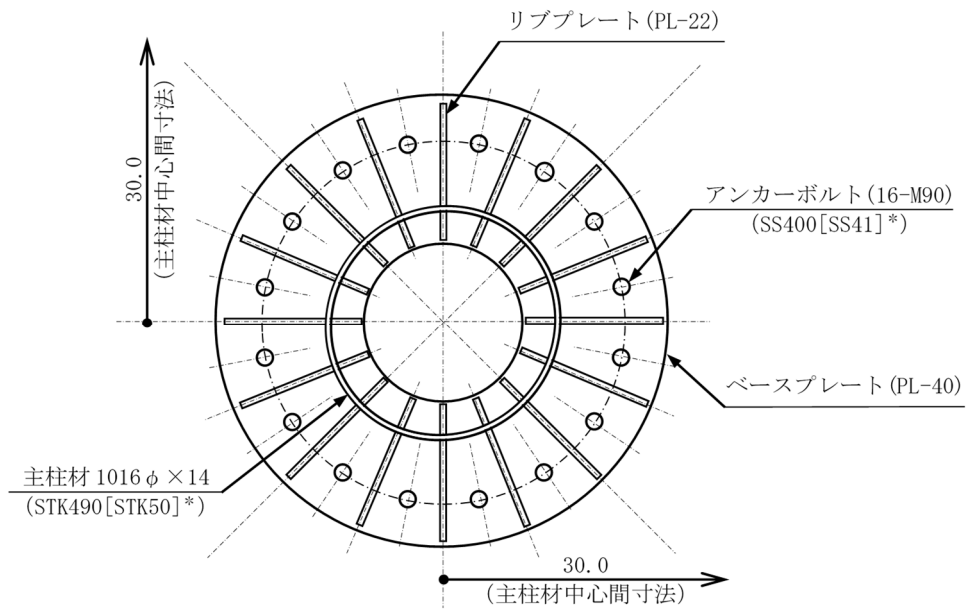
図 2-2 主排気筒の概要図

また、主排気筒の基礎の概要図を図 2-3 に示す。主排気筒の鉄塔フーチング基礎は、鉄筋コンクリート造である。主柱材脚部の詳細図を図 2-4 に示す。



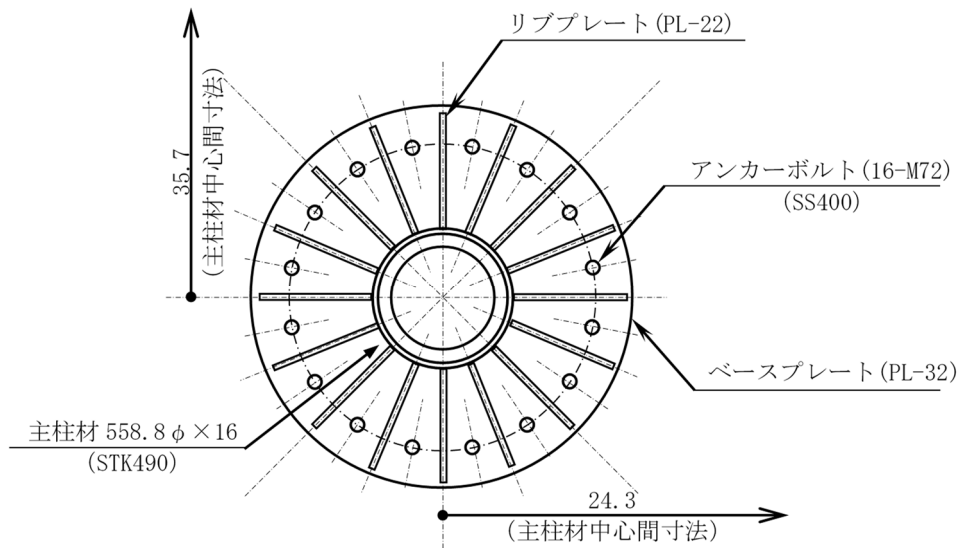
注：鉄塔フーチング基礎のハッチング部分は、設計基準強度 F_c が 30N/mm^2 の範囲を示す。その他の部分は 23.5N/mm^2 である。

図 2-3 主排気筒の基礎の概要図（単位：m）



注記* : [] 内は従来標記を示す。

(a) 主柱材 (内部) 脚部



(b) 主柱材 (外部) 脚部

図 2-4 主柱材脚部の詳細図 (単位 : m)

2.3 評価方針

主排気筒の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

主排気筒の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

具体的には、主排気筒が、竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及び軽油タンクに、倒壊による影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

主排気筒の構造強度評価については、主排気筒の構造を踏まえ、設計荷重が主排気筒に作用した場合に、主排気筒の各評価対象部位に作用する応力度が、「3.3 使用材料及び材料の許容応力度」に示す許容応力度を下回ることを確認する。ここで、設計竜巻による設計飛来物の衝突は、主排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材を損傷させるものとして考慮し、強度評価においては、設計飛来物の衝突による衝撃荷重は考慮しないこととする。また、主排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから、主排気筒の倒壊による波及的影響の評価においては鉄塔部（支柱材、斜材、水平材）、基礎（支柱材脚部アンカーボルト、鉄塔フーチング基礎）を評価対象とし、筒身は評価対象外とする。筒身への設計飛来物の衝突による筒身の損傷についても、鉄塔部材の損傷想定に包含される。

なお、上記のような損傷を想定しても、主排気筒の有する安全機能を発揮すべき事象（運転時の異常な過渡変化または設計基準事故に伴う放射性物質の放出）が竜巻に起因して発生することはなく、また筒身に損傷が生じた場合は安全上支障のない期間に補修する方針としていることから、主排気筒の安全機能に対する影響はない。

主排気筒の強度評価フローを図 2-5 に示す。

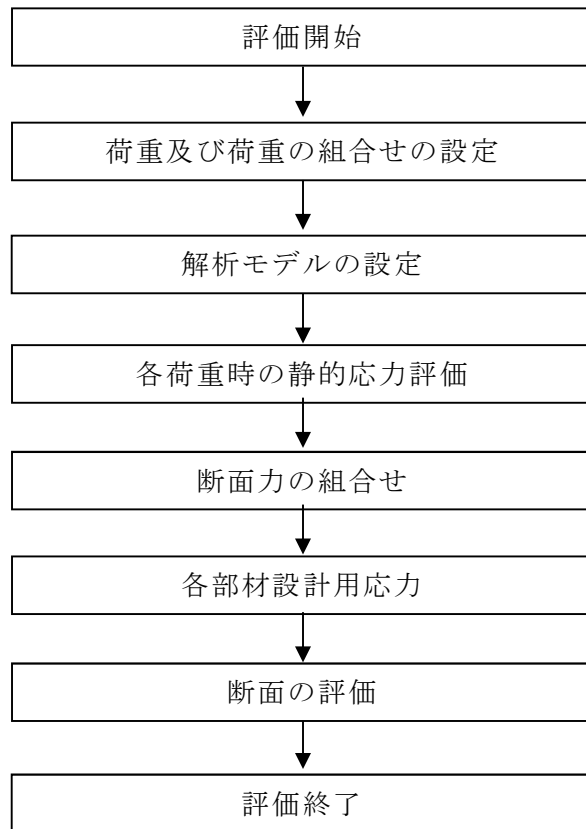


図 2-5 主排気筒の強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007
- ・ 「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（日本建築学会，2005 改定）
- ・ 「各種合成構造設計指針・同解説」（日本建築学会，2010 改定）
- ・ 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（日本建築学会，2010 改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

主排気筒の評価対象部位は，VI-3-別添 1-1 「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す評価基準を踏まえ鉄塔部（支柱材，斜材，水平材）及び基礎（支柱材脚部アンカーボルト，鉄塔フーチング基礎）とする。なお，強度評価は「2.3 評価方針」に示す評価フローに基づき，設計荷重に対して，3次元 FEM を用いた応力解析を行う。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 固定荷重(F_d)

固定荷重として、持続的に生じる荷重である筒身及び鉄塔部の自重の他に、補助部材等の付属設備の重量を考慮する。

b. 風圧力による荷重(W_w)

風圧力による荷重 W_w はVI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c.(a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで, } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2 \text{ とし}$$

W_w : 風圧力による荷重 (kN)

q : 設計用速度圧 (kN/m²)

G : ガスト影響係数

C : 風力係数

A : 鉄塔及び筒身の見付面積 (m²)

ρ : 空気密度 (kg/m³)

V_D : 最大風速 (m/s)

なお、風圧力による荷重 W_w が作用する方向は、 45° 方向及び 90° 方向とする。鉄塔部材への荷重は、各レベルの水平力を、各部材の支配幅あたりに分配して設定する。

風圧力による荷重 W_w の入力方法を図 3-1 に示す。

荷重方向：

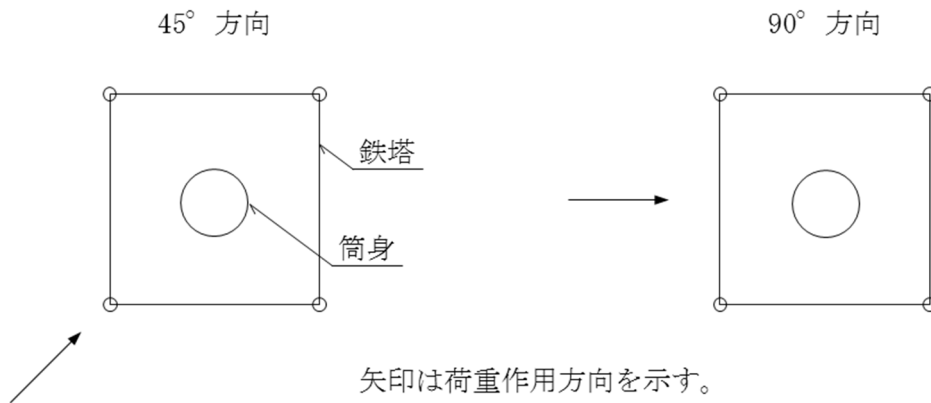


図 3-1 風圧力による荷重 W_w の入力方法

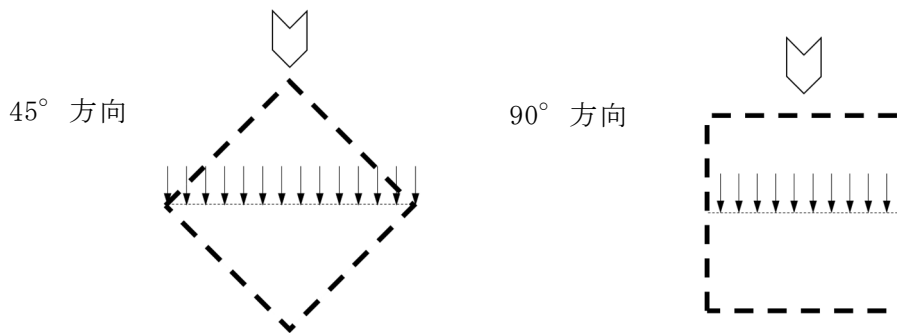
ここで、風力係数 C は「平成 12 年建設省告示第 1454 号」に基づき、鉄塔はラチス構造物として設定し、筒身は煙突その他の円筒形の構造物として $C = 0.9 k_z$ ($k_z = 1.0$) とする。

鉄塔の風力係数の算出に必要なラチス構造物の風力係数の考え方を表 3-1 に、ラチス構造物の断面を図 3-2 に示す。

表 3-1 ラチス構造物の風力係数の考え方

風圧力による荷重の作用方向	ϕ		
	(1)	(2)	(3)
	0.1以下	0.1を超え0.6未満	0.6
45° 方向	$1.7 k_z$	(1)と(3)に揚げる数値を直線的に補間した数値	$1.3 k_z$
90° 方向	$2.2 k_z$		$1.5 k_z$

注： ϕ （充足率）は風を受ける部分の最外縁に囲まれる面積に対する見付面積の割合とし、 k_z は 1.0 とする。



注：風圧力による荷重が作用する面積は、 ∇ の方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3-2 ラチス構造物の断面

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$W_w + F_d$$

ここで、 W_w ：風圧力による荷重 (kN)

F_d ：固定荷重 (kN)

主排気筒は大気中に開かれており、主排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため、気圧差による荷重は考慮しない ($W_p = 0$)。また、「2.3 評価方針」に示したとおり、設計飛来物による衝撃荷重 W_M は、設計飛来物が鉄塔部材を損傷させるものとして考慮していることから考慮しない ($W_M = 0$)。損傷を想定する部材は、健全時に風圧力による荷重を受ける際に最も厳しい評価結果となる鉄塔脚部の支柱材とする。図 3-3 に主排気筒の評価用モデル及び損傷を想定する箇所を示す。

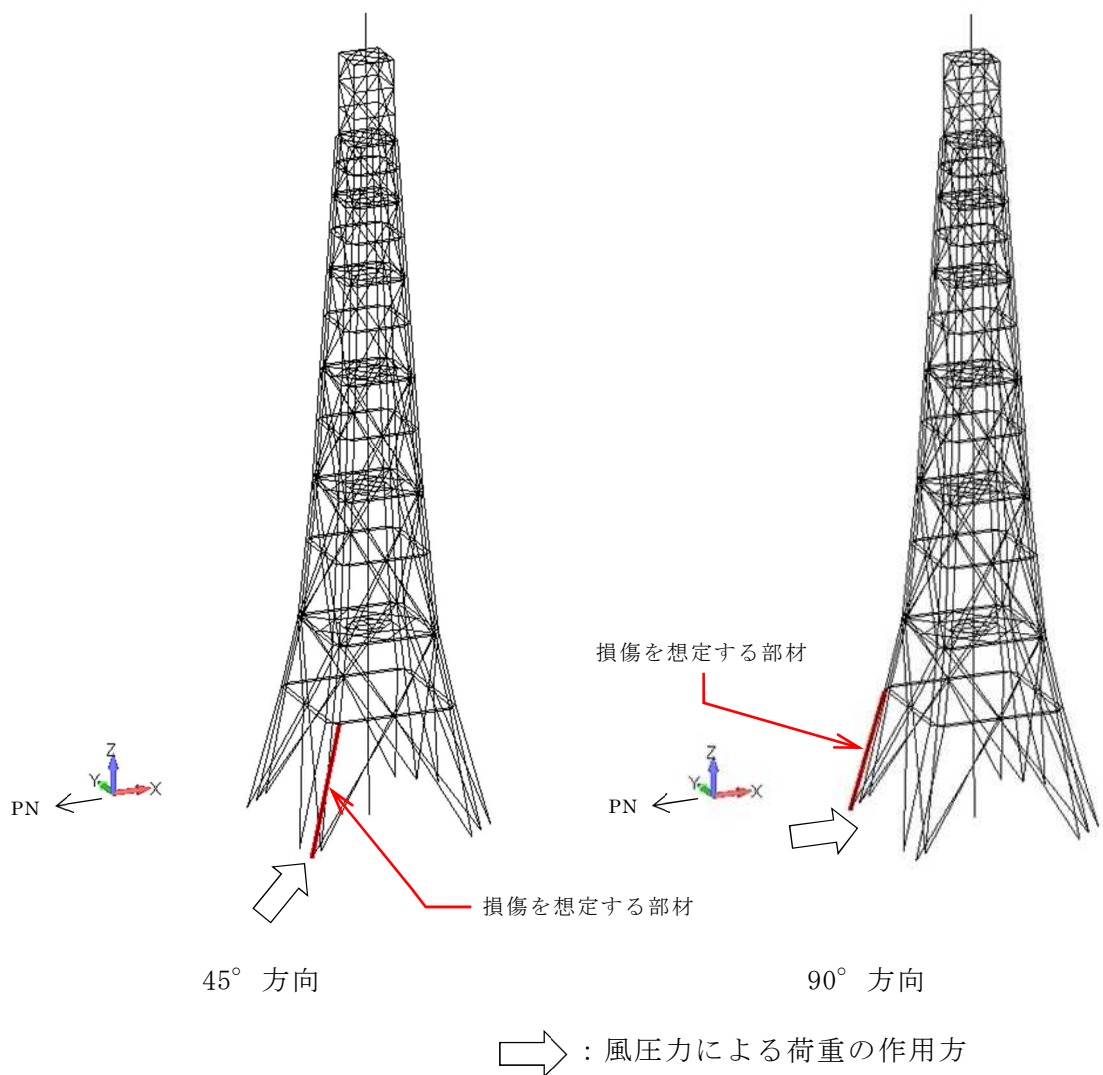


図 3-3 主排気筒の評価用モデル及び設計飛来物による損傷想定箇所

3.3 使用材料及び材料の許容応力度

鋼材は J I S G 3 1 0 1 で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400[SS41], J I S G 3 4 4 4 で規定される一般構造用炭素鋼管 STK400[STK41], STK490[STK50]を使用する。

なお、鉄塔フーチング基礎に使用するコンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 F_c は 23.5N/mm^2 、または 30.0N/mm^2 、鉄筋は SD345[SD35]及び SD390 とする。各使用材料の許容応力度を表 3-2～表 3-5 に示す。

表 3-2 鋼材の許容応力度

板厚	材料	基準強度 F (N/mm^2)	許容応力度
$t \leq 40 \text{ mm}$	STK490[STK50]*	325	「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。
	STK400[STK41]*	235	

注記* : [] 内は従来標記を示す。

表 3-3 支柱材脚部アンカーボルトの許容応力度

部位	材料	基準強度 F (N/mm^2)	許容応力度
支柱材 (内部) 脚部 (M90)	SS400[SS41]*	215	「鋼構造設計規準」に従って左記 F の値により求める。
支柱材 (外部) 脚部 (M72)	SS400[SS41]*		

注記* : [] 内は従来標記を示す。

表 3-4 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

部位	長 期			短 期		
	圧 縮	引 張	せん断	圧 縮	引 張	せん断
主柱材 (内部) 脚部 F _c = 23.5	7.83	—	0.72	15.6	—	1.08
主柱材 (外部) 脚部 F _c = 30.0	10.0	—	0.79	20.0	—	1.18

表 3-5 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

材料	鉄筋径	長 期		短 期	
		引張 及び圧縮	せん断 補強	引張 及び圧縮	せん断 補強
SD345	D25 以下	215	195	345	345
[SD35]*	D29 以上	195			
SD390	D38	195	195	390	390

注記*： [] 内は従来標記を示す。

3.4 評価方法

(1) 応力評価方法

主排気筒について、3次元FEMを用いた応力解析を実施する。評価用モデルは図3-3に示すとおり。

(2) 断面算定方法

主排気筒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設計荷重による断面力（軸力、曲げモーメント、せん断力）（以下「評価用応力」という。）を組み合わせることにより算定する。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

a. 支柱材，斜材，水平材

断面算定は「建築基準法施行令第90条，第96条」及び「平成13年国土交通省告示第1024号」に準拠して行うものとし，支柱材，斜材，水平材に生じる軸力及び曲げモーメントに対して，下式を用いて行う。

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$$

ここで，

σ_c : 鋼材の平均圧縮応力度 ($\sigma_c = N \cdot 10^3 / A$) (N/mm²)

σ_b : 鋼材の曲げ応力度 ($\sigma_b = M \cdot 10^6 / Z_p$) (N/mm²)

f_c : 鋼材の圧縮材料強度 (N/mm²)

f_b : 鋼材の曲げ材料強度 (N/mm²)

N : 評価用応力（軸力）(kN)

A : 断面積 (mm²)

M : 評価用応力（曲げモーメント）(kN・m)

Z_p : 塑性断面係数 (mm³)

b. 主柱材脚部アンカーボルト

断面算定はアンカーボルトに生じる軸力と曲げモーメント及びせん断力に対して、下式を用いて行う。なお、せん断力はアンカーボルトに均等に作用するものとする。アンカーボルトの諸元を表 3-6 に、主柱材の断面性能を表 3-7 に示す。

表 3-6 アンカーボルトの諸元

部位	材料	本数 n	ねじ部 公称径 d ₀ (mm)	ねじ部 有効断面積 A ₀ (×10 ² mm ²)
主柱材(内部) 脚部	ボルト (SS400[SS41])	16	90	55.90 * ¹
主柱材(外部) 脚部	ボルト (SS400[SS41])	16	72	34.60 * ²

注記*1：細目ねじとする。(M92×6)

*2：細目ねじとする。(M72×6)

表 3-7 主柱材の断面性能

部位	寸法 (mm)	断面積 A (×10 ² mm ²)	断面係数 Z _p (×10 ³ mm ³)
主柱材(内部)	1016 φ × 14	440.7	14100
主柱材(外部)	558.8 φ × 16	272.8	4710

(a) 引張

$$\sigma_{t1} = \frac{M}{Z_p} - \frac{N}{A}$$

$$T_a = \frac{\sigma_{t1} \cdot A}{n}$$

$$\sigma_t = \frac{T_a}{A_0}$$

$$\frac{\sigma_t}{f_{ts}} \leq 1.0$$

ここで、

σ_{t1} : 鉄塔の引張応力度 (N/mm²)

T_a : アンカーボルト 1 本当たりの引張力 (kN)

σ_t : アンカーボルト 1 本当たりの引張応力度 (N/mm²)

f_{ts} : 鋼材の引張材料強度 (N/mm²)

n : アンカーボルトの本数 (本)

A_0 : アンカーボルトのねじ部有効断面積 (mm²)

N : 評価用応力 (軸力) (kN)

A : 主柱材の断面積 (mm²)

M : 評価用応力 (曲げモーメント) (kN・m)

Z_p : 主柱材の塑性断面係数 (mm³)

(b) せん断

$$Q_a = \frac{Q}{n}$$

$$\tau = \frac{Q_a}{A_0}$$

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1.0$$

ここで、

Q_a : アンカーボルト 1 本当たりのせん断力 (kN)

τ : アンカーボルト 1 本当たりのせん断応力度 (N/mm²)

f_s : 鋼材のせん断材料強度 (N/mm²)

Q : 評価用応力 (せん断力) (kN)

n : アンカーボルトの本数 (本)

A_0 : アンカーボルトのねじ部有効断面積 (mm²)

c. 鉄塔フーチング基礎

鉄塔フーチング基礎は、その底面の最外縁にある杭位置を荷重作用点とする片持はりとして、曲げとせん断を評価する。

鉄塔フーチング基礎の評価位置の断面諸元を表 3-8 に示す。また、鉄塔フーチング基礎の評価位置、作用荷重の概念を図 3-4 に示す。

表 3-8 鉄塔フーチング基礎の評価位置（片持はり）の断面諸元

作用荷重	長さ L (mm)	はりの有効幅 b (mm)	はりのせい D (mm)	はりの有効せい d (mm)* ¹	実施配筋量 a _o (mm ²)* ²
曲げ	1810	b ₁ =4560	D ₁ =3500	3300	11150
せん断	1810	b ₂ =3360	D ₂ =2440	2240	—

注記*1：はりの圧縮縁から引張鉄筋重心までの距離

*2：実施配筋 D25@200

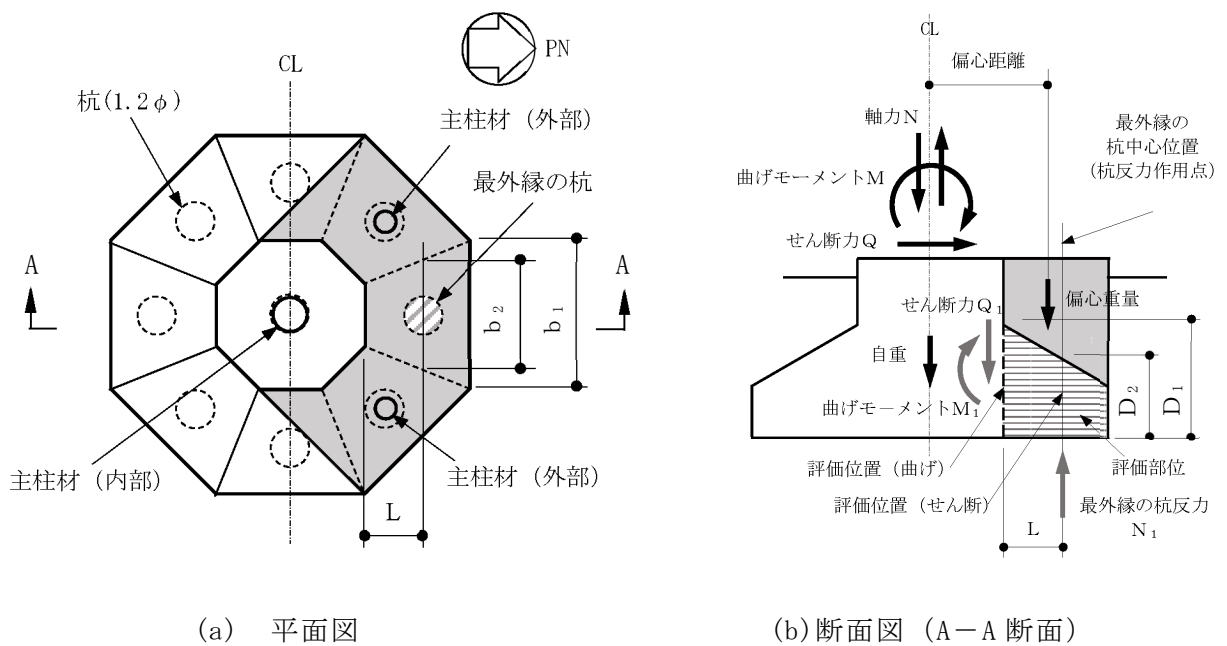


図 3-4 鉄塔フーチング基礎の評価位置、作用荷重の概念図

(a) 曲げ

$$M_1 = N_1 \times L$$

$$a_t = \frac{M_1}{f_t \cdot d \times 7/8}$$

$$\frac{a_t}{a_0} \leq 1.0$$

ここで、

 M_1 : 片持はりの曲げモーメント (N・mm) N_1 : 最外縁の杭反力 (N)

L : 長さ (mm)

 a_t : 必要鉄筋量 (mm²) f_t : 鉄筋の引張材料強度 (N/mm²)

d : 片持はりの有効せい (mm)

 a_0 : 実施配筋量 (mm²)

(b) せん断

$$\tau = \frac{Q_1}{b \cdot d \times 7/8}$$

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1.0$$

ここで、

τ : 片持はりの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : 片持はりのせん断力 (= N_1) (kN)

b : 片持はりの有効幅 (mm)

d : 片持はりの有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/mm²)

なお、断面算定にあたり必要な最外縁の杭反力は、主柱材脚部から鉄塔フーチング基礎に作用する荷重(図 3-4 に示す曲げモーメント (M)、せん断力 (Q)、軸力 (N))を用いて算定するものとし、算定に際して 3 本の主柱材から鉄塔フーチング基礎に作用する当該荷重は、保守的に鉄塔フーチング基礎中心に作用するものとする。

また、図 3-4 に示す様に、鉄塔フーチング基礎の形状が基礎中心軸に対し非対称である場合には、その自重分の偏心荷重を考慮する。

d. 材料強度

「平成 12 年建設省告示第 2464 号」に準拠し、基準強度 F 値を 1.1 倍した材料強度を用いて算出した許容応力度に対して、部材に発生する応力が当該許容応力度を超えないことを確認する。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として、評価対象部位の材料諸元を表 4-1 に、主排気筒鉄塔部の部材諸元を表 4-2～表 4-4 に、風圧力による荷重 W_w の算出に必要な条件を表 4-5 に、算定した風圧力による荷重 W_w を表 4-6、表 4-7 に示す。

表 4-1 評価対象部位の材料諸元

部位		材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)
鉄塔部		鋼材	2.05×10^5	0.3	2
基礎	主柱材(内部) 脚部	コンクリート*1: $F_c = 23.5$ (N/mm ²) 鉄筋: SD345[SD35]*2	2.25×10^4	0.2	5
	主柱材(外部) 脚部	コンクリート*1: $F_c = 30$ (N/mm ²) 鉄筋: SD345/SD390	2.44×10^4	0.2	5

注記*1: コンクリートの設計基準強度

*2: [] 内は従来標記を示す。

表 4-2 主柱材の部材諸元

部位	部材間	標高 T. M. S. L. (m)	寸法 (mm)	断面積 ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{ mm}^4$)	有効せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)
内部	A - B	152.0 ~ 147.0	318.5 ϕ \times 7	68.50	8310	34.25
		147.0 ~ 137.0	318.5 ϕ \times 8	78.04	9410	39.02
	B - C	137.0 ~ 126.0	355.6 ϕ \times 9	98.00	14700	49.00
	C - D	126.0 ~ 112.0	406.4 ϕ \times 12	148.7	28900	74.35
	D - E	112.0 ~ 94.0	508.0 ϕ \times 12	187.0	57500	93.50
	E - F	94.0 ~ 73.0	609.6 ϕ \times 12	225.3	101000	112.7
	F - G	73.0 ~ 47.5	812.8 ϕ \times 12	301.9	242000	151.0
	G - H	47.5 ~ 12.5	1016.0 ϕ \times 14	440.7	553000	220.4
外部	B - C	137.0 ~ 126.0	609.6 ϕ \times 22	406.1	176000	203.1
	C - D	126.0 ~ 112.0	609.6 ϕ \times 19	352.5	154000	176.3
	D - E	112.0 ~ 94.0	609.6 ϕ \times 16	298.4	132000	149.2
	E - F	94.0 ~ 73.0	508.0 ϕ \times 12.7	197.6	60600	98.80
	F - G	73.0 ~ 47.5	558.8 ϕ \times 16	272.8	101000	136.4
	G - H	47.5 ~ 12.5	558.8 ϕ \times 16	272.8	101000	136.4

表 4-3 斜材の部材諸元

部位	部材間	標高 T. M. S. L. (m)	寸法 (mm)	断面積 ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{ mm}^4$)	有効せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)
内部	A - B	152.0 ~ 137.0	267.4 ϕ \times 6	49.27	4210	24.64
	B - C	137.0 ~ 126.0	267.4 ϕ \times 8	65.19	5490	32.60
	C - D	126.0 ~ 112.0	267.4 ϕ \times 8	65.19	5490	32.60
	D - E	112.0 ~ 94.0	318.5 ϕ \times 8	78.04	9410	39.02
	E - F	94.0 ~ 73.0	318.5 ϕ \times 9	87.51	10500	43.76
	F - G	73.0 ~ 47.5	355.6 ϕ \times 9	98.00	14700	49.00
	G - H	47.5 ~ 12.5	406.4 ϕ \times 9	112.4	22200	56.20
外部	E - F	94.0 ~ 84.4	406.4 ϕ \times 9.5	118.5	23300	59.25
		84.4 ~ 73.0	457.2 ϕ \times 9.5	133.6	33500	66.80
	F - G	73.0 ~ 61.8	457.2 ϕ \times 9.5	133.6	33500	66.80
		61.8 ~ 47.5	318.5 ϕ \times 6.9	67.55	8200	33.78
	G - H	47.5 ~ 34.4	318.5 ϕ \times 6.9	67.55	8200	33.78
		34.4 ~ 12.5	406.4 ϕ \times 9.5	118.5	23300	59.25

表 4-4 水平材の部材諸元

部位	部材間	標高 T. M. S. L. (m)	寸法 (mm)	断面積 ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{ mm}^4$)	有効せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)
内部	A, A - B	152.0~142.0	216.3 ϕ \times 6	39.64	2190	19.82
	B, B - C	137.0~131.9	216.3 ϕ \times 6	39.64	2190	19.82
	C, C - D	126.0~119.5	267.4 ϕ \times 7	57.26	4860	28.63
	D, D - E, E	112.0~ 94.0	267.4 ϕ \times 7	57.26	4860	28.63
	E - F, F, F - G	84.4~ 61.8	318.5 ϕ \times 7	68.50	8310	34.25
	G, G - H	47.5~ 34.4	318.5 ϕ \times 8	78.04	9410	39.02
外部	B	137.0	165.2 ϕ \times 4.5	22.72	734	11.36
	B - C	131.9	165.2 ϕ \times 5.0	25.16	808	12.58
	C, C - D, D	126.0~112.0	165.2 ϕ \times 4.5	22.72	734	11.36
	D - E	103.8	190.7 ϕ \times 5.3	30.87	1330	15.44
	E, E - F, F	94.0~ 73.0	267.4 ϕ \times 6.6	54.08	4600	27.04
	F - G	61.8	318.5 ϕ \times 6.9	67.55	8200	33.78
	G	47.5	355.6 ϕ \times 6.4	70.21	10700	35.11
	G - H	34.4	457.2 ϕ \times 9.5	133.6	33500	66.80

表 4-5 風圧力による荷重 W_w の算出に必要な条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m ³)	ガスト影響係数 G (-)	工作物の高さ* H (m)	設計用速度圧 q (kN/m ²)
92	1.226	1.0	140	5.19

注記*：鉄塔部の高さを示す。

表 4-6 風圧力による荷重 W_w (鉄塔部)

T. M. S. L. (m)	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)
152.0	1.98	15.2	157	1.55	24.6	198
137.0	1.89	37.2	365	1.49	54.5	422
126.0	1.75	59.3	539	1.38	80.7	578
112.0	1.79	80.0	744	1.42	107.2	791
94.0	1.79	111.0	1032	1.42	155.0	1143
73.0	1.78	153.7	1420	1.41	224.3	1642
47.5	1.81	470.4*	4419	1.47	628.6	4796

表 4-7 風圧力による荷重 W_w (筒身)

T. M. S. L. (m)	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)	風力係数 C	見付面積 A (m ²)	風圧力による荷重 W_w (kN)
160.0	0.90	13.8	65	0.90	13.8	65
152.0	0.90	39.6	185	0.90	39.6	185
137.0	0.90	44.7	209	0.90	44.7	209
126.0	0.90	43.0	201	0.90	43.0	201
112.0	0.90	55.0	257	0.90	55.0	257
94.0	0.90	67.1	314	0.90	67.1	314
73.0	0.90	79.9	374	0.90	79.9	374
47.5	0.90	164.1*	767	0.90	164.1	767

5. 強度評価結果

「3.4(2) 断面算定方法」に基づいた主柱材，斜材，水平材，主柱材脚部アンカーボルト及び鉄塔フーチング基礎の評価結果を表5-1～表5-18に示す。いずれの評価対象部位においても検定比が1.0を超えず，主排気筒が原子炉建屋及び軽油タンクに対して，機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認した。

表 5-1 45° 方向 支柱材 (内部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力		使用部材						λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN·m)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z _P ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)	ρ_k (mm)							
152.0	A-B	62.0	1.3	318.5 ϕ \times 7	68.50	679	110	5000	46	325	357	9.1	1.9	0.04	
		401.6	4.3	318.5 ϕ \times 8	78.04	771	110	5000	46	325	357	51.5	5.6	0.18	
126.0	B-C	219.1	3.5	355.6 ϕ \times 9	98.00	1080	123	2680	22	350	357	22.4	3.2	0.08	
112.0	C-D	591.9	5.8	406.4 ϕ \times 12	148.7	1870	140	5680	41	332	357	39.8	3.1	0.13	
94.0	D-E	1239.7	16.1	508.0 ϕ \times 12	187.0	2950	175	7180	42	330	357	66.3	5.5	0.22	
73.0	E-F	2575.9	56.9	609.6 ϕ \times 12	225.3	4290	211	8370	40	333	357	114.3	13.3	0.39	
47.5	F-G	3975.1	230.0	812.8 ϕ \times 12	301.9	7700	283	13210	47	324	357	131.7	29.9	0.50	
12.5	G-H	10523.7	680.6	1016.0 ϕ \times 14	440.7	14100	354	10380	30	343	357	238.8	48.3	0.84	

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- A : 断面積
- Z_P : 塑性断面係数
- i : 断面二次半径
- ρ_k : 座屈長さ
- λ : 細長比 (ρ_k / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)
- σ_b : 曲げ応力度 (M/Z_P)

表 5-2 45° 方向 主柱材 (外部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力		使用部材					λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	
		N (kN)	M (kN·m)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z _P ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)	ρ_k (mm)							
137.0															
126.0	B-C	665.2	47.4	609.6 ϕ \times 22	406.1	7600	208	5010	25	253	258	16.4	6.2	0.09	
112.0	C-D	1160.7	39.4	609.6 ϕ \times 19	352.5	6630	209	6430	31	250	258	32.9	5.9	0.16	
94.0	D-E	984.7	231.6	609.6 ϕ \times 16	298.4	5640	210	8360	40	333	357	33.0	41.1	0.22	
73.0	E-F	2224.4	35.3	508.0 ϕ \times 12.7	197.6	3120	175	9870	57	308	357	112.6	11.3	0.40	
47.5	F-G	3922.9	94.7	558.8 ϕ \times 16	272.8	4710	192	6470	34	339	357	143.8	20.1	0.49	
12.5	G-H	5419.9	288.0	558.8 ϕ \times 16	272.8	4710	192	6130	32	341	357	198.7	61.1	0.76	

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- A : 断面積
- Z_P : 塑性断面係数
- i : 断面二次半径
- ρ_k : 座屈長さ
- λ : 細長比 (ρ_k / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)
- σ_b : 曲げ応力度 (M/Z_P)

表 5-3 45° 方向 斜材 (内部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力 N (kN)	使用部材			θ_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)					
152.0	A-B	217.4	267.4 ϕ \times 6	49.27	92.4	4900	54	313	44.1	0.15
137.0	B-C	308.3	267.4 ϕ \times 8	65.19	91.8	5630	62	299	47.3	0.16
126.0	C-D	519.7	267.4 ϕ \times 8	65.19	91.8	2850	32	341	79.7	0.24
112.0	D-E	847.7	318.5 ϕ \times 8	78.04	110	4370	40	333	108.6	0.33
94.0	E-F	895.0	318.5 ϕ \times 9	87.51	109	4530	42	330	102.3	0.31
73.0	F-G	1288.3	355.6 ϕ \times 9	98.00	123	6340	52	316	131.5	0.42
47.5	G-H	1714.1	406.4 ϕ \times 9	112.4	141	6700	48	322	152.5	0.48
12.5										

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力 λ : 細長比 (θ_k / i)

A : 断面積 f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)

i : 断面二次半径 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)

θ_k : 座屈長さ

表 5-4 45° 方向 斜材 (外部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)				
94.0	E-F	1081.0	406.4 ϕ \times 9.5	118.5	140	62	299	91.2	0.31
		1146.9	457.2 ϕ \times 9.5	133.6	158	67	289	85.8	0.30
73.0	F-G	1069.7	457.2 ϕ \times 9.5	133.6	158	67	289	80.1	0.28
		972.3	318.5 ϕ \times 6.9	67.55	110	41	332	143.9	0.44
47.5	G-H	848.9	318.5 ϕ \times 6.9	67.55	110	57	308	125.7	0.41
		1077.2	406.4 ϕ \times 9.5	118.5	140	74	274	90.9	0.34

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力 λ : 細長比 (ℓ_k / i)

A : 断面積

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)

i : 断面二次半径

σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)

ℓ_k : 座屈長さ

表 5-5 45° 方向 水平材 (内部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力 N (kN)	使用部材				λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)	θ_k (mm)				
152.0	A	78.4	216.3 $\phi \times 6$	39.64	74.4	3100	244	19.8	0.09	
142.0	A-B									
137.0	B									
131.9	B-C	162.1	267.4 $\phi \times 7$	57.26	92.1	5020	234	28.3	0.13	
126.0	C									
119.5	C-D									
112.0	D	382.2	318.5 $\phi \times 7$	68.50	110	5960	234	55.8	0.24	
94.0	D-E									
84.4	E-F									
61.8	F-G	369.0	318.5 $\phi \times 8$	78.04	110	10050	191	47.3	0.25	
47.5	G									
34.4	G-H									

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- λ : 細長比 (θ_k / i)
- A : 断面積
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- i : 断面二次半径
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)
- θ_k : 座屈長さ

表 5-6 45° 方向 水平材 (外部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力		使用部材				λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)	θ_k (mm)					
137.0	B	3.0	165.2 ϕ \times 4.5	22.72	56.8	2310	41	245	1.3	0.01	
137.0 126.0	B-C	3.4	165.2 ϕ \times 5.0	25.16	56.7	2560	46	325	1.4	0.01	
126.0	C										
	C-D	32.2	165.2 ϕ \times 4.5	22.72	56.8	3560	63	227	14.2	0.07	
112.0	D										
112.0	D-E	40.7	190.7 ϕ \times 5.3	30.87	65.6	3980	61	229	13.2	0.06	
94.0	E										
94.0	E-F	400.7	267.4 ϕ \times 6.6	54.08	92.2	5060	55	234	74.1	0.32	
73.0	F										
73.0	F-G	76.1	318.5 ϕ \times 6.9	67.55	110	6260	57	232	11.3	0.05	
47.5	G										
47.5	G	330.4	355.6 ϕ \times 6.4	70.21	123	7080	58	306	47.1	0.16	
47.5	G-H	155.2	457.2 ϕ \times 9.5	133.6	158	9270	59	230	11.6	0.06	
12.5	H										

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- A : 断面積
- i : 断面二次半径
- θ_k : 座屈長さ
- λ : 細長比 (θ_k / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)

表 5-7 45° 方向 主柱材（内部）脚部アンカーボルトの評価結果

評価項目		記号	単位	値
評価応力 (軸力は圧縮を正とする。)		M	kN・m	268
		Q	kN	3968
		N	kN	-9806
引 張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²	242
	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	T_a	kN	666
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	120
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²	236
	検定値	σ_t / f_{ts}	—	0.51
せん断	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	Q_a	kN	248
	せん断応力度	τ	N/mm ²	44.4
	許容限界	f_s	N/mm ²	136
	検定値	τ / f_s	—	0.33

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

表 5-8 45° 方向 主柱材（外部）脚部アンカーボルトの評価結果

評価項目		記号	単位	値
評価応力 (軸力は圧縮を正とする。)		M	kN・m	43
		Q	kN	1755
		N	kN	-4508
引 張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²	175
	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	T_a	kN	298
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	86.0
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²	236
	検定値	σ_t / f_{ts}	—	0.37
せん断	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	Q_a	kN	110
	せん断応力度	τ	N/mm ²	31.8
	許容限界	f_s	N/mm ²	136
	検定値	τ / f_s	—	0.24

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

表 5-9 45° 方向 鉄塔フーチング基礎の評価結果

評価項目		記号	単位	値	
評価応力 (軸力は圧縮を正とする。)		主柱材 脚部	M	kN・m	313
			Q	kN	6237
			N	kN	19069
		評価部位	M ₁	kN・m	11572
			Q ₁	kN	6394
			N ₁	kN	6394
曲げ	必要鉄筋量		a _t	mm ²	10574
	実施配筋量		a _o	mm ²	11150
	実施配筋量に対する必要鉄筋量の比		a _t / a _o	—	0.95
せん断	コンクリートのせん断応力度		τ	N/mm ²	0.98
	許容限界		f _s	N/mm ²	1.08
	検定値		τ / f _s	—	0.90

表 5-10 90° 方向 主柱材 (内部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力		使用部材						λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A (×10 ⁴ mm ²)	Z _P (×10 ³ mm ³)	i (mm)	θ_k (mm)							
152.0	A-B	61.9	0.9	318.5φ×7	68.50	679	110	5000	46	325	357	9.0	1.3	0.04	
137.0		273.6	3.4	318.5φ×8	78.04	771	110	5000	46	325	357	35.1	4.4	0.13	
126.0	B-C	152.1	2.3	355.6φ×9	98.00	1080	123	2680	22	350	357	15.5	2.1	0.06	
112.0	C-D	411.4	12.6	406.4φ×12	148.7	1870	140	5680	41	332	357	27.7	6.7	0.11	
94.0	D-E	740.1	69.9	508.0φ×12	187.0	2950	175	8360	48	322	357	39.6	23.7	0.19	
73.0	E-F	1769.7	133.5	609.6φ×12	225.3	4290	211	8370	40	333	357	78.5	31.1	0.33	
47.5	F-G	2937.8	259.1	812.8φ×12	301.9	7700	283	9790	35	338	357	97.3	33.6	0.39	
12.5	G-H	7535.8	446.8	1016.0φ×14	440.7	14100	354	10380	30	343	357	171.0	31.7	0.59	

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- A : 断面積
- Z_P : 塑性断面係数
- i : 断面二次半径
- θ_k : 座屈長さ
- λ : 細長比 (θ_k / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)
- σ_b : 曲げ応力度 (M/Z_P)

表 5-11 90° 方向 主柱材 (外部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	評価用応力		使用部材					λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
	N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A (×10 ⁶ mm ²)	Z _P (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
137.0	472.4	34.6	609.6φ×22	406.1	7600	208	5010	253	258	11.6	4.6	0.07	
126.0	952.9	80.6	609.6φ×19	352.5	6630	209	6430	250	258	27.0	12.2	0.16	
112.0	1725.5	158.2	609.6φ×16	298.4	5640	210	8360	333	357	57.8	28.0	0.26	
94.0	1869.9	75.4	508.0φ×12.7	197.6	3120	175	9870	308	357	94.6	24.2	0.38	
73.0	2621.9	109.0	558.8φ×16	272.8	4710	192	9790	318	357	96.1	23.1	0.37	
47.5	3667.3	136.0	558.8φ×16	272.8	4710	192	6130	341	357	134.4	28.9	0.48	

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- A : 断面積
- Z_P : 塑性断面係数
- i : 断面二次半径
- λ : 細長比 (λ_k / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)
- σ_b : 曲げ応力度 (M/Z_P)
- λ_k : 座屈長さ

表5-12 90° 方向 斜材 (内部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^3$ mm ²)	i (mm)				
152.0	A-B	200.6	267.4 ϕ \times 6	49.27	92.4	54	313	40.7	0.14
137.0	B-C	390.8	267.4 ϕ \times 8	65.19	91.8	62	299	59.9	0.21
126.0	C-D	619.8	267.4 ϕ \times 8	65.19	91.8	32	341	95.1	0.28
112.0	D-E	936.4	318.5 ϕ \times 8	78.04	110	40	333	120.0	0.37
94.0	E-F	807.2	318.5 ϕ \times 9	87.51	109	42	330	92.2	0.28
73.0	F-G	1144.4	355.6 ϕ \times 9	98.00	123	52	316	116.8	0.37
47.5	G-H	1269.6	406.4 ϕ \times 9	112.4	141	48	322	113.0	0.36

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力 λ : 細長比 (ℓ_k / i)

A : 断面積

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)

i : 断面二次半径

σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)

ℓ_k : 座屈長さ

表5-13 90° 方向 斜材 (外部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力 N (kN)	使用部材			λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
			寸法 (mm)	A ($\times 10^3$ mm ²)	i (mm)				
94.0	E-F	842.0	406.4φ×9.5	118.5	140	62	299	71.1	0.24
		923.2	457.2φ×9.5	133.6	158	67	289	69.1	0.24
73.0	F-G	909.1	457.2φ×9.5	133.6	158	67	289	68.0	0.24
		789.3	318.5φ×6.9	67.55	110	41	332	116.8	0.36
47.5	G-H	710.2	318.5φ×6.9	67.55	110	57	308	105.1	0.35
		928.2	406.4φ×9.5	118.5	140	74	274	78.3	0.29

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力 λ : 細長比 (θ_k / i)

A : 断面積 f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)

i : 断面二次半径 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)

θ_k : 座屈長さ

表 5-14 90° 方向 水平材 (内部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力		使用部材				λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)	θ_k (mm)					
152.0	A	71.0	216.3 ϕ \times 6	39.64	74.4	3100	42	244	17.9	0.08	
142.0	A-B										
137.0	B										
131.9	B-C	119.7	267.4 ϕ \times 7	57.26	92.1	5020	55	234	20.9	0.09	
126.0	C										
119.5	C-D										
112.0	D	375.0	318.5 ϕ \times 7	68.50	110	5960	55	234	54.7	0.24	
94.0	D-E										
84.4	E-F										
61.8	F-G	382.8	318.5 ϕ \times 8	78.04	110	10050	92	191	49.1	0.26	
47.5	G										
34.4	G-H										

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- A : 断面積
- θ_k : 断面二次半径
- λ : 細長比 (θ_k / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)
- i : 断面二次半径
- θ_k : 座屈長さ

表 5-15 90° 方向 水平材 (外部) の評価結果

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	評価用応力		使用部材				λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$
		N (kN)		寸法 (mm)	A ($\times 10^6$ mm ²)	i (mm)	θ_k (mm)				
137.0	B	2.6		165.2 ϕ \times 4.5	22.72	56.8	2310	41	245	1.1	0.01
137.0 126.0	B-C	3.6		165.2 ϕ \times 5.0	25.16	56.7	2560	46	325	1.4	0.01
126.0	C										
	C-D	40.4		165.2 ϕ \times 4.5	22.72	56.8	3560	63	227	17.8	0.08
112.0	D										
112.0	D-E	50.3		190.7 ϕ \times 5.3	30.87	65.6	3980	61	229	16.3	0.08
94.0	E										
	E-F	494.7		267.4 ϕ \times 6.6	54.08	92.2	5060	55	234	91.5	0.40
73.0	F										
73.0	F-G	57.9		318.5 ϕ \times 6.9	67.55	110	6260	57	232	8.6	0.04
47.5	G	408.9		355.6 ϕ \times 6.4	70.21	123	7080	58	306	58.2	0.20
47.5	G-H	436.0		457.2 ϕ \times 9.5	133.6	158	9270	59	230	32.6	0.15
12.5	H										

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力
- A : 断面積
- λ : 細長比 (θ_k / i)
- i : 断面二次半径
- θ_k : 座屈長さ
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。)
- σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする。)

表 5-16 90° 方向 支柱材（内部）脚部アンカーボルトの評価結果

評価項目		記号	単位	値
評価応力 (軸力は圧縮を正とする。)		M	kN・m	153
		Q	kN	2798
		N	kN	-6139
引 張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²	151
	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	T_a	kN	414
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	74.0
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²	236
	検定値	σ_t / f_{ts}	—	0.32
せん断	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	Q_a	kN	175
	せん断応力度	τ	N/mm ²	31.3
	許容限界	f_s	N/mm ²	136
	検定値	τ / f_s	—	0.23

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

表 5-17 90° 方向 支柱材（外部）脚部アンカーボルトの評価結果

評価項目		記号	単位	値
評価応力 (軸力は圧縮を正とする。)		M	kN・m	31
		Q	kN	1584
		N	kN	-2903
引 張	鉄塔の引張応力度	σ_{t1}	N/mm ²	113
	アンカーボルト 1 本当たりの引張力	T_a	kN	193
	引張応力度	σ_t	N/mm ²	55.7
	許容限界	f_{ts}	N/mm ²	236
	検定値	σ_t / f_{ts}	—	0.24
せん断	アンカーボルト 1 本当たりのせん断力	Q_a	kN	99.0
	せん断応力度	τ	N/mm ²	28.7
	許容限界	f_s	N/mm ²	136
	検定値	τ / f_s	—	0.22

注：許容応力度は材料強度評価に基づく。

表 5-18 90° 方向 鉄塔フーチング基礎の評価結果

評価項目		記号	単位	値	
評価応力 (軸力は圧縮を正とする。)		主柱材 脚部	M	kN・m	78
			Q	kN	5113
			N	kN	14461
		評価部位	M ₁	kN・m	9930
			Q ₁	kN	5486
			N ₁	kN	5486
曲げ	必要鉄筋量	a _t	mm ²	9074	
	実施配筋量	a ₀	mm ²	11150	
	実施配筋量に対する必要鉄筋量の比	a _t / a ₀	—	0.82	
せん断	コンクリートのせん断応力度	τ	N/mm ²	0.84	
	許容限界	f _s	N/mm ²	1.08	
	検定値	τ / f _s	—	0.78	

VI-3-別添 1-9-3 消音器の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	4
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の定義	5
3.2 評価対象部位	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	9
3.5 評価方法	10
4. 評価条件	12
5. 強度評価結果	13

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備排気消音器が竜巻時及び竜巻通過後においても、消音器の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備排気消音器の「2.1 位置」, 「2.2 構造概要」, 「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

非常用ディーゼル発電設備排気消音器は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、原子炉建屋屋上面に設置する。非常用ディーゼル発電設備排気消音器の位置図を図 2-1 に示す位置に設置する。

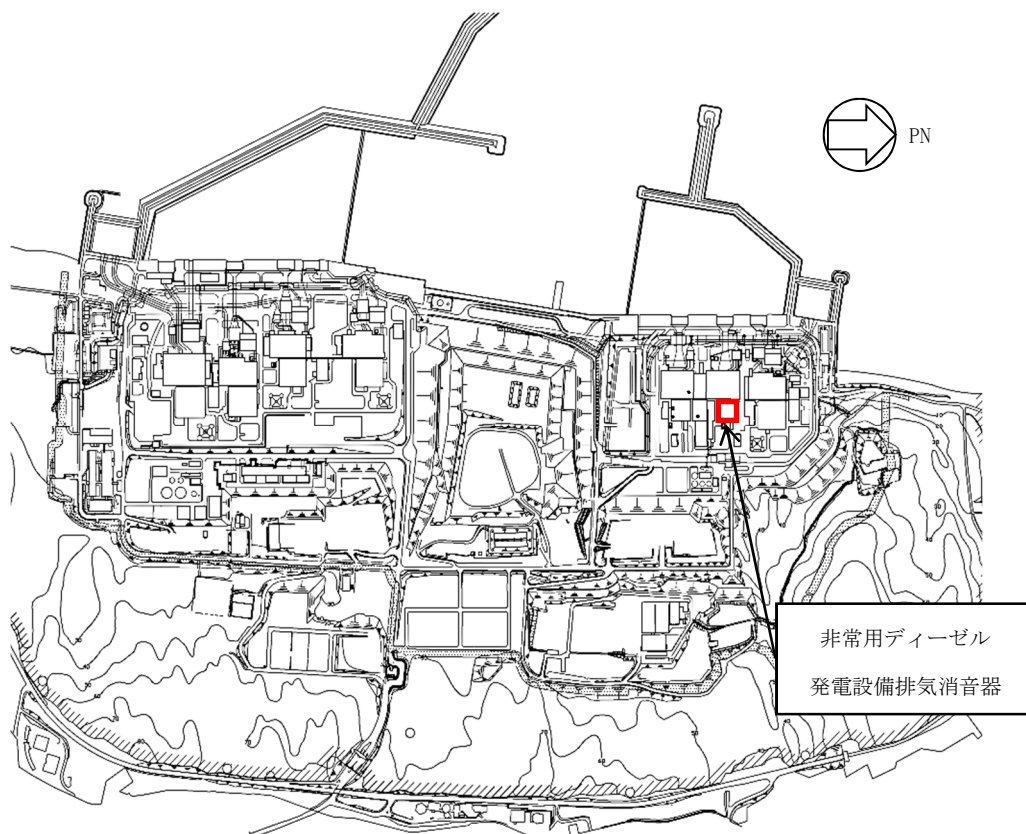


図 2-1 非常用ディーゼル発電設備排気消音器の位置図

2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備排気消音器について、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器は原子炉建屋屋上面に設置しており、取付ボルトにより固定している。設置台数は3台とし、すべてを同一設計としている。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の概要図を図2-2に示す。

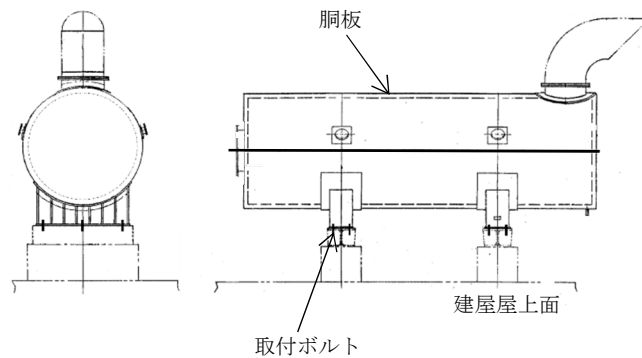


図2-2 非常用ディーゼル発電設備排気消音器の概要図

2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位に作用する応力等が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の構造強度評価フローを図 2-3 に示す。構造強度評価においては、非常用ディーゼル発電設備排気消音器に対して、設計竜巻による荷重に自重を加えた応力が許容応力以下であることを確認する。各部材の構造強度評価には、設計竜巻による荷重は水平方向より作用する外荷重という観点で地震荷重と同様なものであると考え、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601・補-1984」（日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（日本電気協会）、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（日本電気協会）（以下「JEAG 4601」という。）における 1 質点系モデルによる評価方法を準用し、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価における許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、JEAG 4601 の許容応力状態Ⅲ_AS とする。

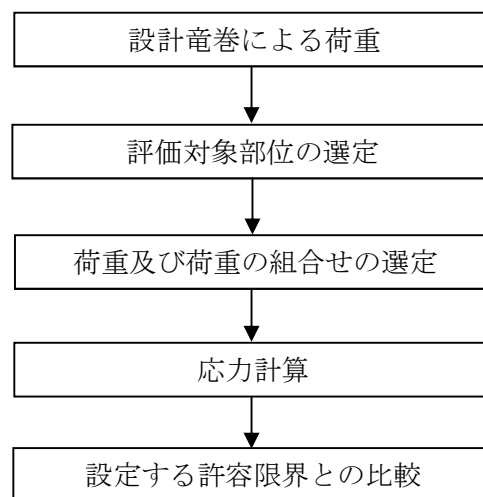


図 2-3 構造強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「建築物荷重指針・同解説」（日本建築学会，2004 改定）
- ・「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」（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」（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」（日本電気協会）
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」（日本機械学会）（以下「J S M E」という。）
- ・U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の構造強度評価に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 構造強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	m ²	受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A _A	m ²	軸方向応力評価における受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A _H	m ²	軸直角方向応力評価における受圧面積 (風向に垂直な面に投影した面積)
A _b	mm ²	取付ボルトの軸断面積
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C _A	—	軸方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
C _H	—	軸直角方向応力評価における建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
d	mm	取付ボルト呼び径
F	MPa	J SME SSB-3121.1(1)により規定される値
F _{bA}	N	軸方向における引張力
F _{bH}	N	軸直角方向における引張力
f _t	MPa	J SME SSB-3121.1に規定される供用状態A及びBでの許容引張応力
f _s	MPa	J SME SSB-3121.1に規定される供用状態A及びBでの許容せん断応力
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
h	mm	消音器重心高さ
ℓ _{1A}	mm	軸方向における取付ボルトから重心までの距離
ℓ _{2A}	mm	軸方向における取付ボルトから重心までの距離
ℓ _{1H}	mm	軸直角方向における取付ボルトから重心までの距離
ℓ _{2H}	mm	軸直角方向における取付ボルトから重心までの距離
m	kg	消音器の質量

表 3-1 構造強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
N	—	取付ボルト本数
n_{fA}	—	軸方向における引張力を受ける取付ボルト本数
n_{fH}	—	軸直角方向における引張力を受ける取付ボルト本数
Q_b	N	取付ボルトに対するせん断力
q	N/m ²	設計用速度圧
S_u	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計引張強さ
S_y	MPa	J SME 付録材料図表Part5の表にて規定される設計降伏点
V_D	m/s	設計竜巻の最大風速
W_T	N	設計竜巻による複合荷重
W_W	N	風圧力による荷重
π	—	円周率
ρ	kg/m ³	空気密度
σ_{bA}	MPa	軸方向における取付ボルトに生じる引張応力
σ_{bH}	MPa	軸直角方向における取付ボルトに生じる引張応力
τ	MPa	取付ボルトに生じるせん断応力

3.2 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器は、鋼製の胴板を主体構造とし、原子炉建屋屋上に設けたコンクリート基礎に本体を取付ボルトで固定する構造とする。設計竜巻による荷重は、非常用ディーゼル発電設備排気消音器本体に作用し、取付ボルトに作用する。

排気消音器の転倒による閉塞により、ディーゼル発電設備の排気機能に影響を与える波及的影響を考慮し、転倒を防止するための主要な支持部材のうち、荷重作用点から離れていることから転倒モーメントが大きく作用し、更に支持断面積が小さいことから発生する応力が厳しくなる取付ボルトを評価対象部位として設定する。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

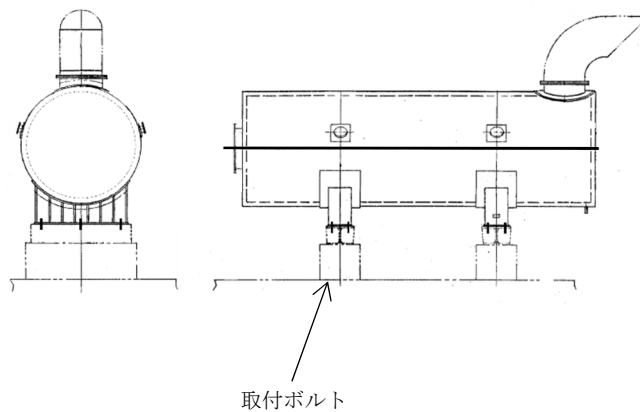


図 3-1 非常用ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$\text{自重による荷重} = m \cdot g$$

b. 設計竜巻による荷重

屋外の施設であるため風圧力による荷重を考慮する。非常用ディーゼル発電設備排気消音器は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差は発生しないことから、気圧差による荷重は考慮しない。また、非常用ディーゼル発電設備排気消音器は排気機能が健全であれば良く、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の排気箇所から排気されることから、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重を考慮しない。

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w はVI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a)風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで } q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

(2) 荷重の組合せ

構造強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、非常用ディーゼル発電設備排気消音器の評価対象部位に対して設定する。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の取付ボルトには、自重及び風圧力による荷重が作用する。強度評価の荷重の組合せを表3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外部事象防護対象施設に波及的影響を及ぼす可能性がある施設	非常用ディーゼル発電設備排気消音器	取付ボルト	①自重 ②風圧力による荷重

3.4 許容限界

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の取付ボルトの許容限界は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位に対して、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、その他支持構造物の許容限界を適用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E付録材料図表 Part5 の表にて許容応力を計算する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。ただし、J S M E付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の取付ボルトの許容限界を表 3-3 に、それぞれの許容応力を表 3-4 に示す。

表 3-3 許容限界

評価対象部位	許容応力状態	応力の種類		許容限界
取付ボルト	Ⅲ _A S	一次応力	引張	$1.5f_t$
			せん断	$1.5f_s$
			組合せ	$\text{Min} \{1.5f_t, (2.1f_t - 1.6\tau)\}$

表 3-4 許容応力

評価対象部位	材料	温度条件* (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	1.5f _t (MPa)	1.5f _s (MPa)
取付ボルト	SNB7	40	725	860	602	451	347

注記*：周囲環境温度

3.5 評価方法

非常用ディーゼル発電設備排気消音器の構造強度評価は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1) 計算モデル

受圧面の重心位置に風圧力による荷重が作用する1質点系モデルとして計算を行う。
非常用ディーゼル発電設備排気消音器の評価モデル図を図3-2に示す。

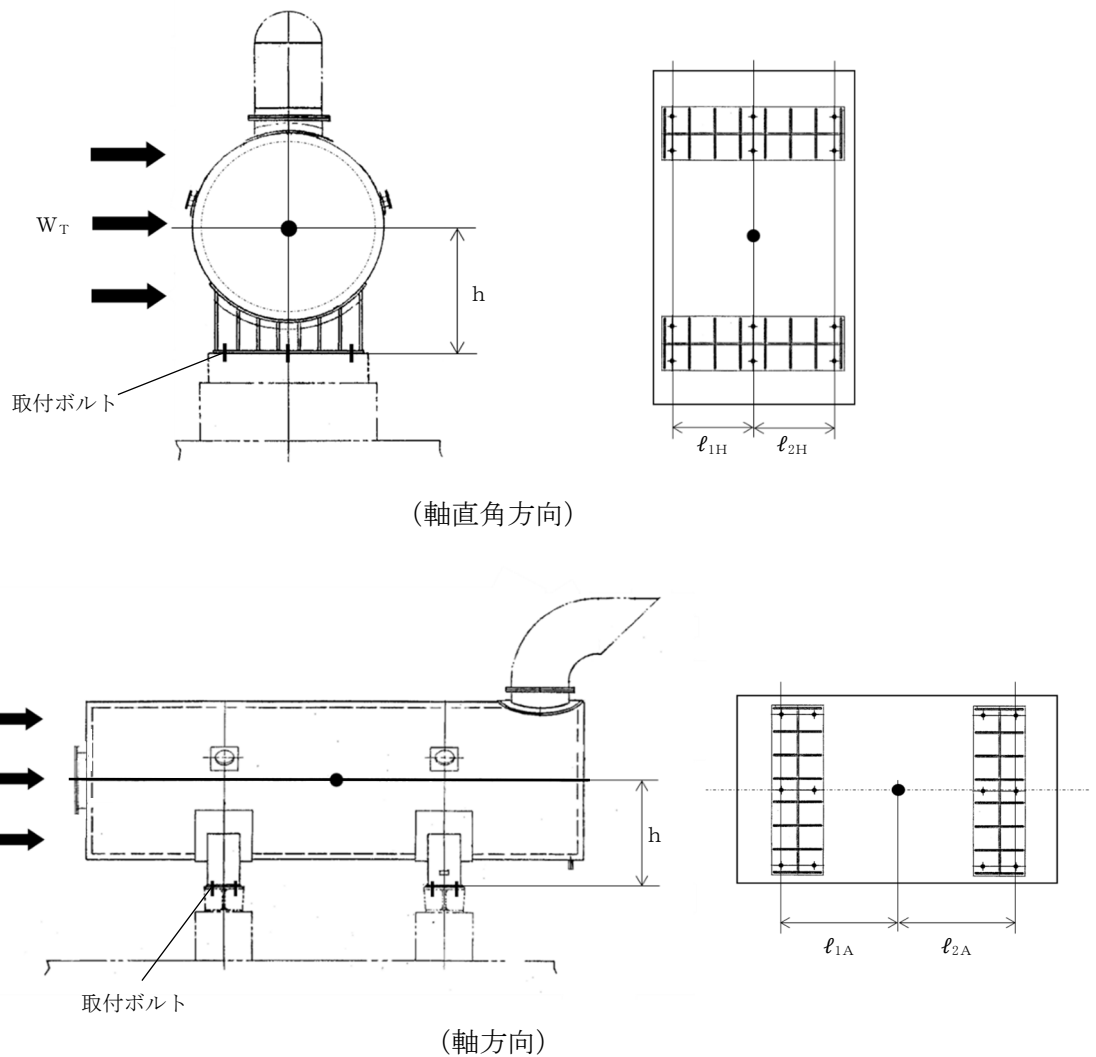


図3-2 非常用ディーゼル発電設備排気消音器の評価モデル図

(2) 計算方法

a. 引張応力

取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 3-2 で取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。なお、自重によるモーメントは風荷重に対し抗力となるため除外し、保守的な評価とする ($W_T = W_w$)。

(a) 軸直角方向

イ. 引張力

$$F_{bH} = \frac{W_T \cdot h}{\ell_{1H} + \ell_{2H}}$$

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bH} = \frac{F_{bH}}{n_{fH} \cdot A_b}$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

(b) 軸方向

イ. 引張力

$$F_{bA} = \frac{W_T \cdot h}{\ell_{1A} + \ell_{2A}}$$

ロ. 引張応力

$$\sigma_{bA} = \frac{F_{bA}}{n_{fA} \cdot A_b}$$

b. せん断応力

取付ボルトに対するせん断応力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

(a) せん断力

$$Q_b = W_T$$

(b) せん断応力

$$\tau = \frac{Q_b}{N \cdot A_b}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1に示す。

表4-1 評価条件

V_D (m/s)	ρ (kg/m ³)	q (N/m ²)	g (m/s ²)	G (-)
92	1.226	5.18843×10^3	9.80665	1.0

l_{1H} (mm)	l_{2H} (mm)	l_{1A} (mm)	l_{2A} (mm)	A_H (m ²)	A_A (m ²)
900	900	2275	2275	23.91	6.493

C_H (-)	C_A (-)	h (mm)	m (kg)
1.2	2.4	1750	13500

d (mm)	N (-)	n_{fH} (-)	n_{fA} (-)	A_b (mm ²)
30	12	4	3	706.9

5. 強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-1, 表 5-2 に示す。

非常用ディーゼル発電設備排気消音器取付ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 評価結果 (軸直角方向)

評価対象部位	損傷モード	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	引張	52	451
	せん断	18	347
	組合せ	52	451

表 5-2 評価結果 (軸方向)

評価対象部位	損傷モード	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	引張	14	451
	せん断	9	347
	組合せ	14	451

VI-3-別添 1-9-4 排気管及びミスト管の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	5
3. 強度評価方法	6
3.1 記号の定義	6
3.2 評価対象部位	7
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	10
3.5 評価方法	11
4. 評価条件	13
5. 強度評価結果	15

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク、非常用ディーゼル発電設備機関本体、潤滑油補給タンク、燃料油ドレンタンク）が竜巻時及び竜巻通過後においても、各配管の機能維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 基本方針

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク、非常用ディーゼル発電設備機関本体、潤滑油補給タンク、燃料油ドレンタンク）について、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク、非常用ディーゼル発電設備機関本体、潤滑油補給タンク、燃料油ドレンタンク）の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク、非常用ディーゼル発電設備機関本体、潤滑油補給タンク、燃料油ドレンタンク）は、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、図 2-1 に示す位置に設置する。

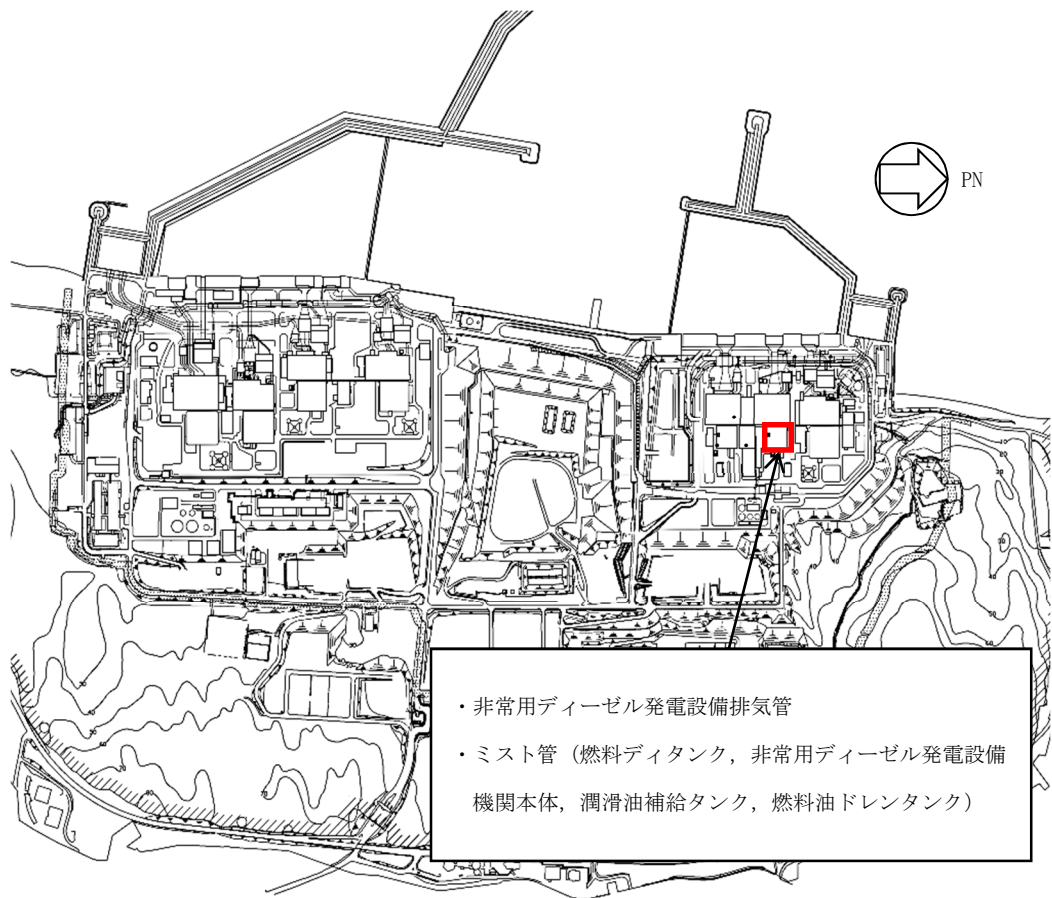


図 2-1 非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の位置図

2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）について，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて，構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）は鋼製の配管で構成される。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）は原子炉建屋屋上面に設置する設計とし，サポートによる支持構造物で建屋床面等に固定する構造とする。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の概要図を図 2-2，図 2-3 に示す。

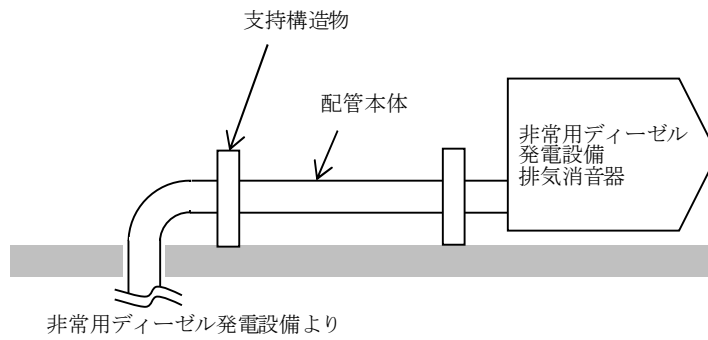


図 2-2 非常用ディーゼル発電設備排気管の概要図

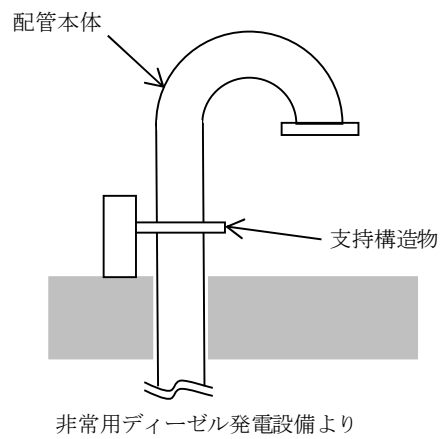


図 2-3 ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の概要図

2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の強度評価は，VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の評価対象部位に作用する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により，「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5. 強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の構造強度評価フローを図 2-4 に示す。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の構造強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

構造強度評価において，非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）に対し，設計竜巻による荷重，常時作用する荷重（自重）及び運転時の状態で作用する荷重（内圧）により生じる応力が許容応力以下であることを確認する。構造強度評価では，VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の許容限界は，VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である，「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」（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」（日本電気協会）及び「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」（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

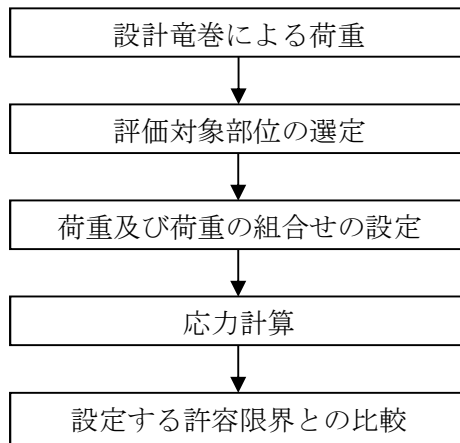


図2-4 非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の構造強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・「建築物荷重指針・同解説」（日本建築学会，2004 改定）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984」（日本電気協会）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987」（日本電気協会）
- ・「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版」（日本電気協会）
- ・「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「JSME」という。）
- ・U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: REGULATORY GUIDE 1.76, DESIGN-BASIS TORNADO AND TORNADO MISSILES FOR NUCLEAR POWER PLANTS, Revision1, March 2007

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の構造強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
A	m ² /m	単位長さ当たりの受圧面積（風向に垂直な面に投影した面積）
C	—	建築物荷重指針・同解説により規定される風力係数
D	mm	管外径
G	—	ガスト影響係数
g	m/s ²	重力加速度
L	m	支持間隔
M	N・m	風により作用する曲げモーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量
P	MPa	内圧
q	N/m ²	設計用速度圧
S _y	MPa	J S ME 付録材料図表 Part5 の表にて規定される設計降伏点
t	mm	板厚
V _D	m/s	設計竜巻の最大風速
W _w	N/m	単位長さ当たりの風圧力による荷重
w	N/m	単位長さ当たりの自重による荷重
Z	m ³	断面係数
π	—	円周率
ρ	kg/m ³	空気密度
σ	MPa	配管に生じる応力
σ _{ww}	MPa	風圧力により生じる応力
σ _{自重}	MPa	自重により生じる応力
σ _{内圧}	MPa	内圧により生じる応力

3.2 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の評価対象部位は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って，「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき，設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

設計竜巻による風荷重は，配管本体及びサポート（配管支持構造物）に作用する。サポート（配管支持構造物）については，建屋内外に関わらず地震に対して耐荷重設計がなされており，配管本体に竜巻の風荷重が作用した場合でも，作用荷重は耐荷重以下であるため，竜巻による荷重に対するサポートの設計は耐震設計に包絡される。

このことから，配管本体を評価対象部位として選定する。

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の構造強度評価における評価対象部位を図 3-1 から図 3-3 に示す。

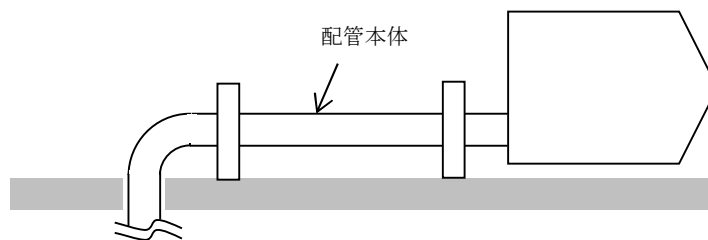


図 3-1 非常用ディーゼル発電設備排気管の評価対象部位

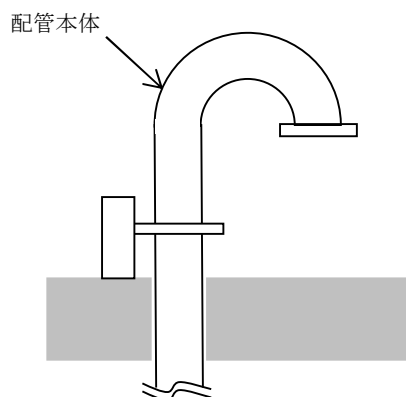


図 3-2 ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重

常時作用する荷重として、持続的に生じる荷重である自重を考慮する。

単位長さ当たりの自重による荷重は以下のとおり計算する。

$$w = m \cdot g$$

b. 設計竜巻による荷重

風圧力による荷重及び常時作用する荷重を考慮する。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）には、運転時に内圧が作用するため、運転時の状態で作用する荷重も考慮する。非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）は、排気又は通気機能が健全であれば良く、仮に飛来物による衝撃荷重によって貫通しても、その貫通箇所又は本来の箇所から排気又は通気されるため、設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重に衝撃荷重は考慮しない。また、非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）は屋外施設であり閉じた施設ではないため、気圧差による荷重を考慮しない。

(a) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w はVI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1(3)c. (a) 風圧力による荷重」に示す式に従い、算出する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

$$\text{ここで, } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

c. 運転時の状態で作用する荷重

運転時の状態で作用する荷重としては、配管に作用する内圧を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重の組合せを踏まえ、非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク、非常用ディーゼル発電設備機関本体、潤滑油補給タンク、燃料油ドレンタンク）の評価対象部位ごとに設定する。

配管本体には、自重、風圧力による荷重及び内圧が作用する。

構造強度評価の荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
外部事象防護対象 施設に波及的影響 を及ぼす可能性が ある施設	非常用ディーゼル発電設備 排気管	配管本体	①自重 ②風圧力による荷重 ③内圧
	ミスト管（燃料ディタンク、 非常用ディーゼル発電設備機 関本体、潤滑油補給タンク、 燃料油ドレンタンク）	配管本体	①自重 ②風圧力による荷重 ③内圧

3.4 許容限界

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の許容限界値は，VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って，「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し，J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力の許容荷重を用いる。

許容限界は，J E A G 4 6 0 1を準用し，「クラス2，3配管」の許容限界を適用し，許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1に従い，J S M E付録材料図表 Part5 の表にて許容応力を計算する際は，評価対象部位の最高使用温度に応じた値をとるものとするが，温度がJ S M E付録材料図表記載の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。但し，J S M E付録材料図表 Part5 で比例法を用いる場合の端数処理は，小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の配管本体の許容限界を表3-3に，許容応力を表3-4に示す。

表3-3 排気管本体及びベント管本体の許容限界

許容応力状態	許容限界
	一次応力（膜+曲げ）
Ⅲ _A S	S _y

表3-4 配管の許容応力

評価対象配管	管外径 (mm)	材料	温度条件* (°C)	S _y (MPa)
非常用ディーゼル発電設備排気管	812.8	SM400B	520	111
燃料ディタンクミスト管	76.3	STPT370	45	212
	114.3	STPT370	45	212
非常用ディーゼル発電設備機関本体ミスト管	114.3	STPT370	85	191
	216.3	STPT370	85	191
潤滑油補給タンクミスト管	76.3	STPT370	85	191
	114.3	STPT370	85	191
燃料油ドレンタンクミスト管	48.6	STPT370	45	212
	76.3	STPT370	45	212

注記*：最高使用温度

3.5 評価方法

非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）の構造強度評価は，VI-3-別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1) 計算モデル

配管は一定距離ごとにサポートによって支えられているため，風圧力による一様な荷重を受ける場合は単純支持梁として評価を行う。評価に用いる支持間隔はサポートの支持間隔が最長となる箇所を用いる。

なお，非常用ディーゼル発電設備ミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）は，配管端部が片持ち形状となっていることから，配管端部についても片持ち梁として評価を行う。

両端支持形状の配管モデル図及び片持ち形状の配管モデル図を図3-3に示す。

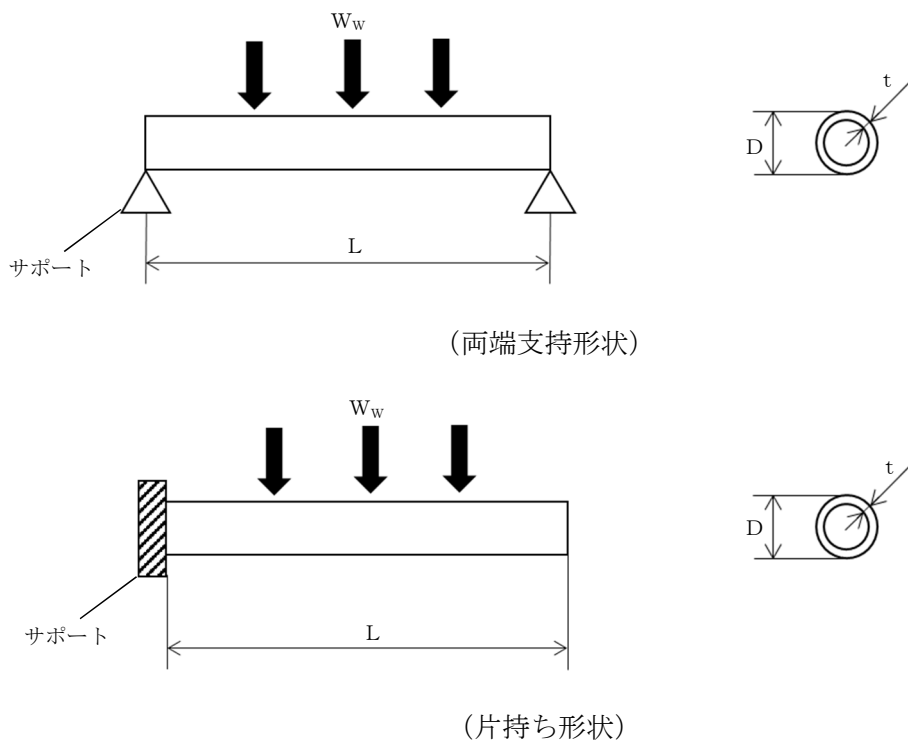


図3-3 非常用ディーゼル発電設備排気管及びミスト管（燃料ディタンク，非常用ディーゼル発電設備機関本体，潤滑油補給タンク，燃料油ドレンタンク）のモデル図

(2) 計算方法

a. 竜巻による応力計算

(a) 風圧力により生じる応力

風圧力による荷重が配管の支持スパンに等分布荷重として加わり、曲げ応力を発生させるものとして、以下の式により算定する。

(両端支持形状)

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

(片持ち形状)

$$\sigma_{ww} = \frac{M}{Z} = \frac{W_w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

$$\text{ここで } Z = \frac{\pi}{32 \cdot D} \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

b. 組合せ応力

竜巻荷重と組み合わせる荷重として、配管に常時作用する自重及び運転時に作用する内圧を考慮する。自重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力は、以下の式により算定する。

(a) 自重により生じる応力

・両端支持形状

$$\sigma_{自重} = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

・片持ち支持形状

$$\sigma_{自重} = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{2 \cdot Z}$$

$$w = m \cdot g$$

(b) 内圧により生じる応力

$$\sigma_{内圧} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot t}$$

したがって、自重及び風圧力による荷重により生じる曲げ応力及び内圧により生じる一次一般膜応力を足し合わせ、配管に生じる応力は以下の式により算出する。

$$\sigma = \sigma_{自重} + \sigma_{内圧} + \sigma_{ww}$$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1から表4-6に示す。

表4-1 評価条件

設計竜巻の 最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m ³)	設計用速度圧 q (N/m ²)	重力加速度 g (m/s ²)	ガスト影響 係数 G (-)	風力係数 C (-)
92	1.226	5188.43	9.80665	1.0	1.2

表4-2 評価条件（非常用ディーゼル発電設備排気管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当りの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当りの 受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
812.8	両端支持	SM400B	4.4560	8.7	208.9	0.8128	0.101325

表4-3 評価条件（燃料ディタンクミスト管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当りの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当りの 受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
76.3	片持ち	STPT370	0.8743	5.2	9.2	0.0763	0.101325
114.3	片持ち	STPT370	0.3047	6.0	16.1	0.1143	0.101325

表4-4 評価条件（非常用ディーゼル発電設備機関本体ミスト管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当りの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当りの 受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
114.3	片持ち	STPT370	0.9314	6.0	16.1	0.1143	0.101325
216.3	片持ち	STPT370	0.2476	8.2	42.1	0.2163	0.101325

表 4-5 評価条件（潤滑油補給タンクミスト管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当りの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当りの 受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
76.3	片持ち	STPT370	0.8743	5.2	9.2	0.0763	0.101325
114.3	片持ち	STPT370	0.3047	6.0	16.1	0.1143	0.101325

表 4-6 評価条件（燃料油ドレンタンクミスト管）

管外径 D (mm)	形状	材料	支持間隔 L (m)	板厚 t (mm)	単位長さ 当りの 質量 m (kg/m)	単位長さ 当りの 受圧面積 A (m ² /m)	内圧 P (MPa)
48.6	片持ち	STPT370	0.9546	5.1	5.5	0.0486	0.101325
76.3	片持ち	STPT370	0.2245	5.2	9.2	0.0763	0.101325

5. 強度評価結果

(1) 非常用ディーゼル発電設備排気管

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

非常用ディーゼル発電設備排気管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-1 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
812.8	両端支持	SM400B	8	111

(2) 燃料ディタンクミスト管

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-2 に示す。

燃料ディタンクミスト管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-2 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	片持ち	STPT370	15	212
114.3				

(3) 非常用ディーゼル発電設備機関本体ミスト管

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-3 に示す。

非常用ディーゼル発電設備機関本体ミスト管に発生する応力は、許容応力以下である。

表 5-3 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
114.3	片持ち	STPT370	10	191
216.3				

(4) 潤滑油補給タンクミスト管

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-4 に示す。

潤滑油補給タンクミスト管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-4 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	片持ち	STPT370	15	191
114.3				

(5) 燃料油ドレンタンクミスト管

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-5 に示す。

燃料油ドレンタンクミスト管に発生する応力は，許容応力以下である。

表 5-5 強度評価結果

管外径 D (mm)	形状	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
48.6	片持ち	STPT370	27	212
76.3				

VI-3-別添 1-10 固縛装置の強度計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 1-3「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」に示すとおり、固縛装置が必要となる屋外の重大事故等対処設備（以下「固縛対象設備」という。）の固縛装置について、竜巻襲来時における設計竜巻による荷重とこれを組み合わせる荷重が固縛対象設備に作用した場合であっても、固縛装置が固縛状態を維持するために必要な構造強度を有するように、固縛構成要素等に作用する荷重が許容限界以下であることを確認するものである。

可搬型代替注水ポンプ（A-2 級）（7 号機設備，6,7 号機共用）及びタンクローリ（4kL）（7 号機設備，6,7 号機共用）の固縛装置の強度に関する説明は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機的设计及び工事の計画の V-3-別添 1-10「固縛装置の強度計算書」による。

VI-3-別添2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

VI-3-別添 2-1 火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針

火山への配慮が必要な施設の強度計算の方針は、以下の資料により構成されている。

VI-3-別添 2-1-1 軽油タンクの強度計算の方針

VI-3-別添 2-1-2 原子炉建屋の強度計算の方針

VI-3-別添 2-1-3 タービン建屋の強度計算の方針

VI-3-別添 2-1-4 コントロール建屋の強度計算の方針

VI-3-別添 2-1-5 廃棄物処理建屋の強度計算の方針

VI-3-別添 2-1-1 軽油タンクの強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	6
4.1 荷重及び荷重の組合せ	6
4.2 許容限界	10
5. 強度評価方法	13
5.1 評価条件	13
5.2 評価対象部位	13
5.3 強度評価方法（1 質点系モデル）	14
6. 適用規格	22

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」という。）の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」にて設定している軽油タンクが、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、軽油タンクの具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-3「軽油タンクの強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせすべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、軽油タンクを強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している軽油タンクが有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、軽油タンクの構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

軽油タンクは、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、軽油タンクのコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、軽油タンクの主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 構造設計

軽油タンクは、平底たて置円筒形容器とする。軽油タンクは、適切な強度を有する鋼製の屋根板及び胴板を主体構造とし、屋外の軽油タンクエリアに設けたコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する構造とする。

想定する降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する屋根板に作用し、屋根板に接続する胴板（上部）に伝達する構造とする。また、地震荷重に対しては、胴板（下部）を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

軽油タンクの構造計画を表3-1に示す。

(2) 評価方針

軽油タンクは、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、軽油タンクを構成する屋根板、胴板（上部及び下部）及び軽油タンクを支持する基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出した応力及び「5. 強度評価方法」に示す強度評価式により算出した応力を基に評価を行う。

降下火砕物，地震及び積雪を考慮した荷重に対する強度評価を，VI-3-別添 2-3「軽油タンクの強度計算書」に示す。

表 3-1 軽油タンクの構造計画

施設 名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】 軽油タンクは、屋外の軽油タンクエリアに設置する設計とする。</p>			
軽油タンク	平底たて置円筒形容器であり、鋼製の胴板及び屋根板により構成する。	容器底部をコンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	<p>正面図</p> <p>基礎図</p>

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って、持続的に生じる荷重である自重及び水頭圧とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_a)

降下火砕物による荷重は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」(以下「VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」という。)の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、主荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、湿潤密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに $147.1\text{N}/\text{m}^2$ の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる地震を踏まえて、年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を主荷重に組み合わせる地震荷重として考慮することとするが、その大きさは、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を上回る地震動として、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す弾性設計用地震動 S_d による地震力を地震荷重として設定する。

d. 積雪荷重 (F_s , F_{sb})

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、柏崎市における1日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値84.3cmが堆積した場合の荷重を主荷重に組み合わせる積雪荷重(F_s)とする。更に、従荷重として扱う積雪荷重とは別に、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる積雪量31.1cmによる荷重を常時考慮する積雪荷重(F_{sb})として考慮する。積雪荷重については、新潟県建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 29.4N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

なお、常時作用する荷重、地震荷重及び積雪荷重については、組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には、評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ、軽油タンクの強度評価における荷重の組合せの設定については、施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。軽油タンクにおける荷重の組合せの考え方を表4-1に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

考慮する荷重 の組合せ	荷 重					
	常時作用 する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重		ベース負荷
	自重	水頭圧	降下火砕物 による荷重 (F_a)	地震荷重 (F_k)	積雪荷重 (F_s)	常時考慮す る積雪荷重 (F_{sb})
ケース 1	○	○	○	○	—	○
ケース 2	○	—	○	—	○	○

注：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重, 地震荷重及び積雪荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
C_H	—	水平方向設計震度
C_V	—	鉛直方向設計震度
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	従荷重として組み合わせる積雪荷重
F_{sb}	N/m^2	ベース負荷として組み合わせる常時考慮する積雪荷重
F_{vk}	N/m^2	従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F_{vs}	N/m^2	従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f'_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
g	m/s^2	重力加速度
H_a	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	従荷重として考慮する積雪深
H_{sb}	cm	ベース負荷として考慮する積雪深
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、降下火砕物、地震及び積雪を考慮する。

(a) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s, \quad F_{sb} = f'_s \cdot H_{sb}$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_{vk} = F_a + F_{sb}, \quad F_{vs} = F_a + F_s + F_{sb}$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (cm)	f'_s (N/(m ² ·cm))	H_s (cm)	H_{sb} (cm)
1500	9.80665	35	29.4	84.3	31.1

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、
 $F_{vk} = 6063\text{N/m}^2$, $F_{vs} = 8542\text{N/m}^2$ とする。

(b) 地震による鉛直荷重

鉛直方向設計震度 C_v によって発生する鉛直荷重を算出する。

c. 水平荷重

水平荷重については、地震を考慮する。

(a) 地震による水平荷重

水平方向設計震度 C_H によって発生する水平荷重を算出する。

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

(1) 屋根板、胴板（上部及び下部）及び基礎ボルト

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、地震荷重及びその他の荷重に対し、軽油タンクを構成する屋根板、胴板（上部及び下部）及び軽油タンクを支持する基礎ボルトが、おおむね弾性状態に留まることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に準じて許容応力状態Ⅲ_ASの許容応力を許容限界として設定する。

表 4-4 許容限界

施設 名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
軽油 タンク	$F_d + F_{vk} + F_k$	胴板 (下部)	圧縮, 曲げ	部材が弾性域に留 まらず塑性域に入 る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力 状態Ⅲ _A Sの許容応 力以下とする*1, *2
		基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ		
	$F_d + F_{vs}$	屋根板	圧縮, 曲げ		
		胴板 (上部)	圧縮, 曲げ		

F_d : 常時作用する荷重

F_{vk} : 従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

F_k : 従荷重として組み合わせる地震荷重

F_{vs} : 従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

注記*1 : J E A G 4 6 0 1を基に, 表 4-5 クラス 2, 3 容器の許容限界を準用する。

*2 : J E A G 4 6 0 1を基に, 表 4-6 クラス 2, 3 支持構造物の許容限界を準用する。

表 4-5 クラス 2, 3 容器の許容限界

許容応力 状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6S_u$ の小さい方。 ただし, オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケ ル合金については $1.2S$ と する。	左欄の 1.5 倍の値	$2S_y$

注 : 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 4-6 クラス 2, 3 支持構造物の許容限界

許容応力 状態	許容限界*1 (ボルト以外)				許容限界*1 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$	$1.5 f_c$	$1.5 f_b$	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

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。

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 f_{ts} は以下のとおり。

$$f_{ts} = \text{Min}\{1.4(1.5f_t) - 1.6\tau_b, 1.5f_t\}$$

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ FEM 等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

具体的な評価においては、J E A G 4 6 0 1 を準用する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、地震による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として、軽油タンクの強度評価方法を以下に示す。

5.1 評価条件

平底たて置円筒形容器の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (1) 平底たて置円筒形容器の強度計算において、地震荷重による影響が大きな胴板（下部）及び基礎ボルトは 1 質点系モデルとして強度評価式により評価し、降下火砕物等が堆積する屋根板及びその屋根板に接続する胴板（上部）は FEM 解析により評価を行う。計算モデルを図 5-1 に示す。
- (2) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、建築基準法施行令第 86 条に基づき、屋根の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚により上載質量を算出し、屋根板表面積で除することにより入力荷重を算出し等分布荷重として保守的に設定する。
- (4) 地震荷重は、年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を主荷重に組み合わせる地震荷重として考慮することとするが、その大きさは、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を上回る地震動として、弾性設計用地震動 S_d による地震力を地震荷重として設定する。

5.2 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
胴板 (下部)	圧縮, 曲げ
基礎ボルト	引張, せん断, 組合せ
屋根板	圧縮, 曲げ
胴板 (上部)	圧縮, 曲げ

5.3 強度評価方法（1 質点系モデル）

(1) 記号の定義

平底たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 平底たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号（1/2）

記号	単位	定義
A_b	mm^2	基礎ボルト呼び径断面積
C_c	—	基礎ボルト計算における係数
C_H	—	弾性設計用地震動 S_d による水平方向設計震度
C_t	—	基礎ボルト計算における係数
C_V	—	弾性設計用地震動 S_d による鉛直方向設計震度
D_c	mm	基礎ボルト中心円直径
D_i	mm	胴内径
D_{bi}	mm	ベースプレート内径
D_{bo}	mm	ベースプレート外径
E	MPa	縦弾性係数
e	—	基礎ボルト計算における係数
F	MPa	J SME SSB-3121.1(1)により規定される値
F_c	N	基礎に作用する圧縮力
F_t	N	基礎ボルトに作用する引張力
f_b	MPa	曲げモーメントにより生じる座屈応力
f_c	MPa	軸圧縮荷重により生じる座屈応力
g	m/s^2	重力加速度
H	m	全高
H_h	mm	液面高さ
k	—	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数
l_g	mm	基礎から容器重心までの距離
l_1, l_2	mm	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離
M_s	$\text{N}\cdot\text{mm}$	転倒モーメント
m_0	kg	容器の有効運転質量
m_e	kg	空質量
m_s	kg	降下火砕物等の堆積による質量
n	—	基礎ボルト本数
R_B	mm	胴平均半径
s	—	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比
t	mm	胴板厚
t_1	mm	基礎ボルト面積相当板幅

表 5-2 平底たて置円筒形容器の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
t_2	mm	圧縮側基礎相当幅
z	—	基礎ボルト計算における係数
α_1	—	安全率
α_2	rad	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度
η	—	R_B/t
η_1	—	$1200 \times g/F$
η_2	—	$8000 \times g/F$
η_3	—	$9600 \times g/F$
π	—	円周率
ρ	—	軽油の比重
σ_0	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力
σ_{0c}	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)
σ_{0t}	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (引張)
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_c	MPa	基礎に生じる圧縮応力
σ_{xc}	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)
σ_{xt}	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (引張)
σ_{x2}	MPa	自重 (空質量) 及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
σ_{x3}	MPa	鉛直方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
σ_{x4}	MPa	水平方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
σ_{xbs}	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
σ_{xcs}	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_{\phi c}$	MPa	胴に生じる周方向応力の和 (圧縮)
$\sigma_{\phi t}$	MPa	胴に生じる周方向応力の和 (引張)
$\sigma_{\phi 1}$	MPa	静水頭により胴に生じる周方向応力
$\sigma_{\phi 2}$	MPa	鉛直方向地震力により胴に生じる周方向応力
τ	MPa	水平方向地震力により胴に生じるせん断応力
τ_b	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力
ϕ_b	MPa	座屈応力 f_b を算出する際の関数
ϕ_c	MPa	座屈応力 f_c を算出する際の関数

(2) 計算モデル

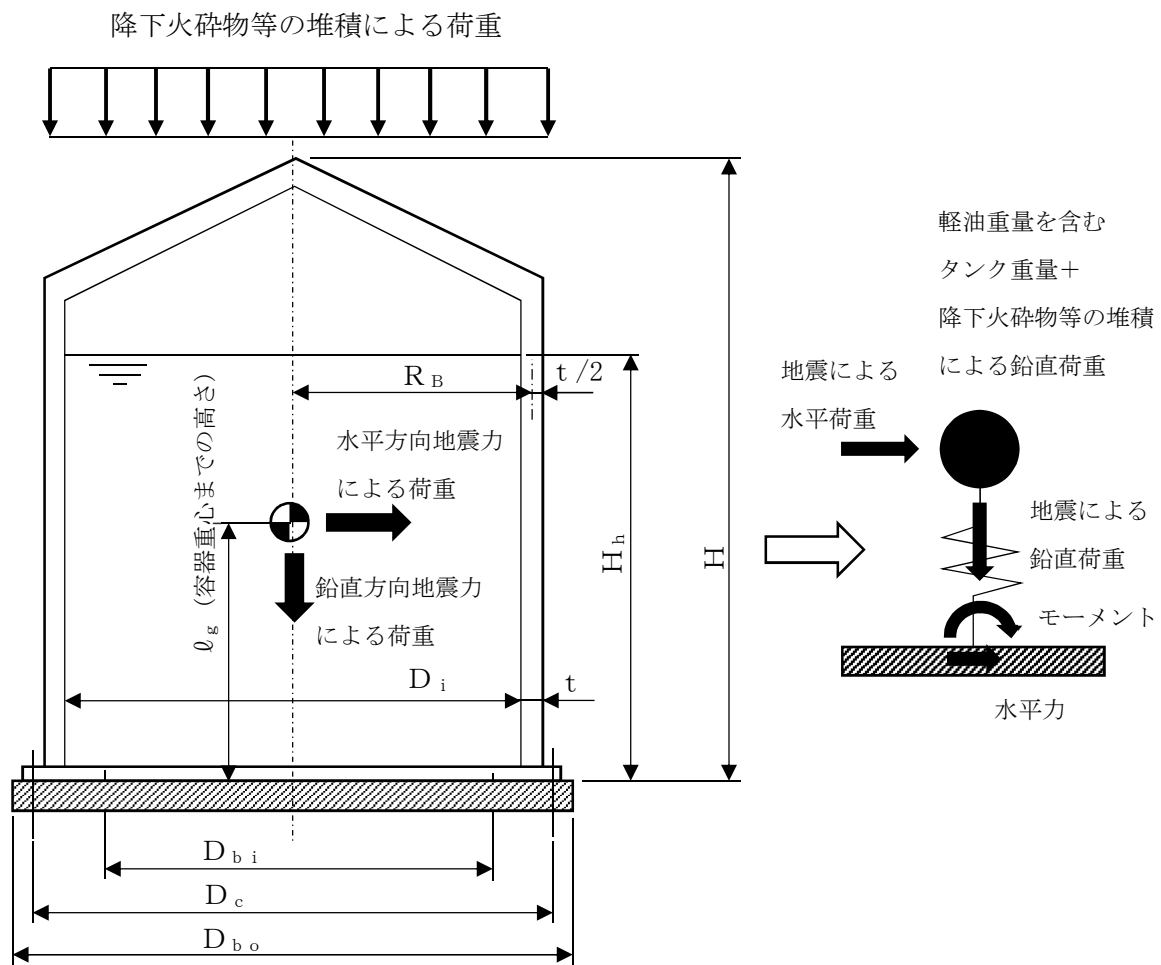


図 5-1 平底たて置円筒形容器モデル図

(3) 強度評価方法

a. 胴に生じる応力

(a) 静水頭及び鉛直方向地震力により胴に生じる周方向応力

静水頭により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \cdot \rho \cdot H_h \cdot D_i}{2t}$$

鉛直方向地震力により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot g \cdot \rho \cdot H_h \cdot D_i \cdot C_v}{2t}$$

(b) 胴の自重（空質量）、鉛直方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

自重（空質量）及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_e + m_s) \cdot g}{\pi (D_i + t) \cdot t}$$

鉛直方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x3} = \frac{C_v \cdot (m_e + m_s) \cdot g}{\pi (D_i + t) \cdot t}$$

(c) 水平方向地震力により生じる応力

水平方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x4} = \frac{4M_s}{\pi (D_i + t)^2 \cdot t}$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot (m_0 + m_s) \cdot g \cdot \ell_g$$

水平方向地震力により胴に生じるせん断応力

$$\tau = \frac{2C_H \cdot (m_0 + m_s) \cdot g}{\pi (D_i + t) \cdot t}$$

(d) 胴に生じる組合せ一次一般膜応力及び組合せ一次応力

イ. 組合せ引張応力

胴に生じる周方向応力の和（引張）

$$\sigma_{\phi t} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

胴に生じる軸方向応力の和 (引張)

$$\sigma_{xt} = -\sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (引張)

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{xt} + \sigma_{\phi t}) + \sqrt{(\sigma_{xt} - \sigma_{\phi t})^2 + 4\tau^2} \right\}$$

ロ. 組合せ圧縮応力

胴に生じる周方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{\phi c} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2}$$

胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{xc} = \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{xc} + \sigma_{\phi c}) + \sqrt{(\sigma_{xc} - \sigma_{\phi c})^2 + 4\tau^2} \right\}$$

ハ. 組合せ応力

胴に生じる組合せ一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max}[\sigma_{0t}, \sigma_{0c}]$$

組合せ一次応力は組合せ一次一般膜応力と同じになる。

(e) 軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{xcs} = \sigma_{x2} + \sigma_{x3}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{xbs} = \sigma_{x4}$$

b. 胴の座屈評価

(a) 軸圧縮荷重により生じる座屈応力

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left[1 - \frac{1}{6800 \times g} \{ F - \phi_c(\eta_2) \} (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \phi_c(\eta) & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_c(\eta) = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

(b) 曲げモーメントにより生じる座屈応力

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left[1 - \frac{1}{8400 \times g} \{ F - \phi_b(\eta_3) \} (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \phi_b(\eta) & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_b(\eta) = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

(c) 安全率 α_1

安全率は、各荷重の組合せに対して

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600 \times g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで,

$$\eta = \frac{R_B}{t}, \quad \eta_1 = \frac{1200 \times g}{F}, \quad \eta_2 = \frac{8000 \times g}{F}, \quad \eta_3 = \frac{9600 \times g}{F}$$

(d) 座屈評価

以下の式により評価を行う。

$$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$$

c. 基礎ボルト評価

(a) 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot (m_0 + m_s) \cdot g}{n \cdot A_b}$$

(b) 基礎ボルトに生じる引張応力

基礎ボルトに引張力が発生しないのは、 α_2 が π に等しくなったときであり、 α_2 を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を、 F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

- ・ $F_t \leq 0$ ならば、引張力は作用しない。
- ・ $F_t > 0$ ならば、引張力は作用しているので以降の計算を行う。

転倒モーメント M_s が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。基礎の荷重説明図を図 5-2 に示す。

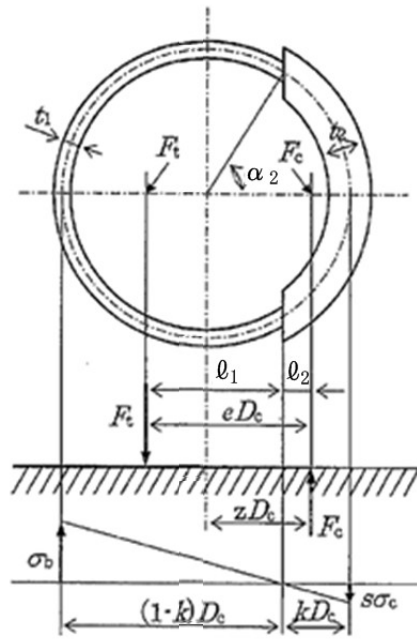


図5-2 基礎の荷重説明図 (J E A G 4 6 0 1 より抜粋)

イ. σ_b , σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

ロ. α_2 を求める。

$$\alpha_2 = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

ハ. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{2}(\pi - \alpha_2) + \frac{3}{2} \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2}{(\pi - \alpha_2) \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2} \right\}$$

$$+ \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{1}{2} \alpha_2 - \frac{3}{2} \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right)$$

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha_2 + \left(\frac{\frac{1}{2} \alpha_2 - \frac{3}{2} \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right) \right\}$$

$$C_t = \frac{2\{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2\}}{1 + \cos \alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2(\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cos \alpha_2)}{1 - \cos \alpha_2}$$

二. 各定数を用いて F_t , F_c を求める。

$$F_t = \frac{1}{e \cdot D_c} \sqrt{M_s^2 + \{C_v \cdot (m_0 + m_s) \cdot g \cdot z \cdot D_c\}^2} - \frac{z}{e} (m_0 + m_s) \cdot g$$

$$F_c = \frac{1}{e \cdot D_c} \sqrt{M_s^2 + \{C_v \cdot (m_0 + m_s) \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c\}^2} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) (m_0 + m_s) \cdot g$$

ホ. σ_b , σ_c を求め, (イ) にて仮定した値を十分に近似していることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} (D_{b_o} - D_{b_i}) - t_1$$

6. 適用規格

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、軽油タンクの強度評価に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007（日本機械学会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（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（日本電気協会）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 改定）

VI-3-別添 2-1-2 原子炉建屋の強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	6
4.1 荷重及び荷重の組合せ	6
4.2 許容限界	11
5. 強度評価条件及び強度評価方法	14
5.1 強度評価条件	14
5.2 強度評価方法	14
6. 適用規格	15
7. 引用文献	16

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」という。）の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定している原子炉建屋が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、原子炉建屋の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせすべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを、「5. 強度評価条件及び強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、原子炉建屋を強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している原子炉建屋が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、原子炉建屋の構造強度を保持するよう機能維持の方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

原子炉建屋は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄骨フレーム（以下「屋根トラス」という。）及び鉄筋コンクリート造の耐震壁等で支持し、支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物の降灰から 30 日を目途に降下火砕物を適切に除去すること、また降灰時には除雪も併せて実施することを保安規定に定める。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 構造設計

原子炉建屋は、屋根スラブを屋根トラス、耐震壁等で支持し、支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。屋根スラブ、屋根トラス、耐震壁等は適切な強度を有する構造とする。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する屋根スラブに作用する構造とする。

原子炉建屋の設置位置を図 3-1 に、構造計画を表 3-1 に示す。

(2) 評価方針

原子炉建屋は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、原子炉建屋の屋根スラブ、屋根トラス、耐震壁等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。

降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添2-4「原子炉建屋の強度計算書」に示す。

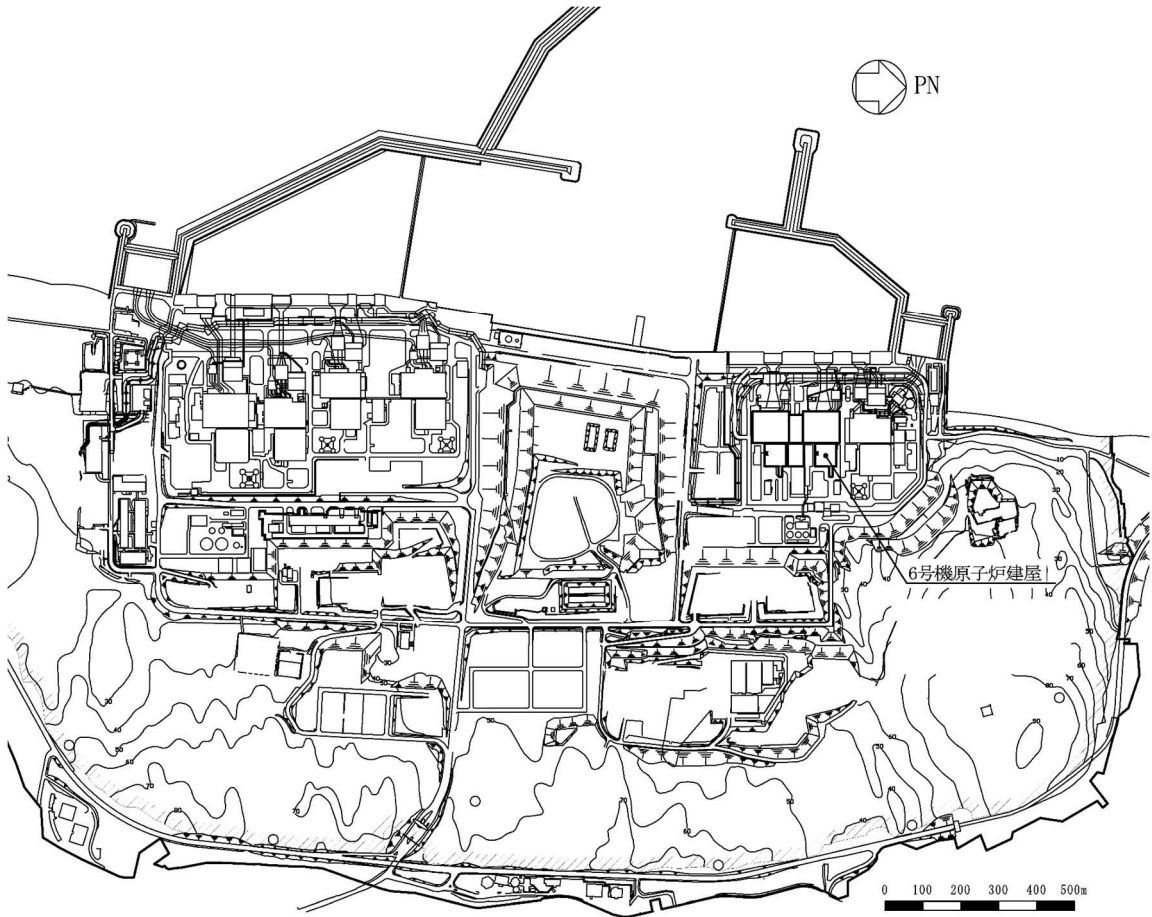


図 3-1 原子炉建屋の設置位置

表 3-1 構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造の主体構造及び鉄骨造の屋根トラスで構成する。</p>	<p>荷重は建屋の外殻を構成する屋根，耐震壁等に作用し，耐震壁等を介し，基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	<p>(NS 方向断面) (単位：m)</p> <p>(EW 方向断面) (単位：m)</p>

K6 ① VI-3-別添 2-1-2 R0

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重の種類，荷重の組合せ及び荷重の算定方法を「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

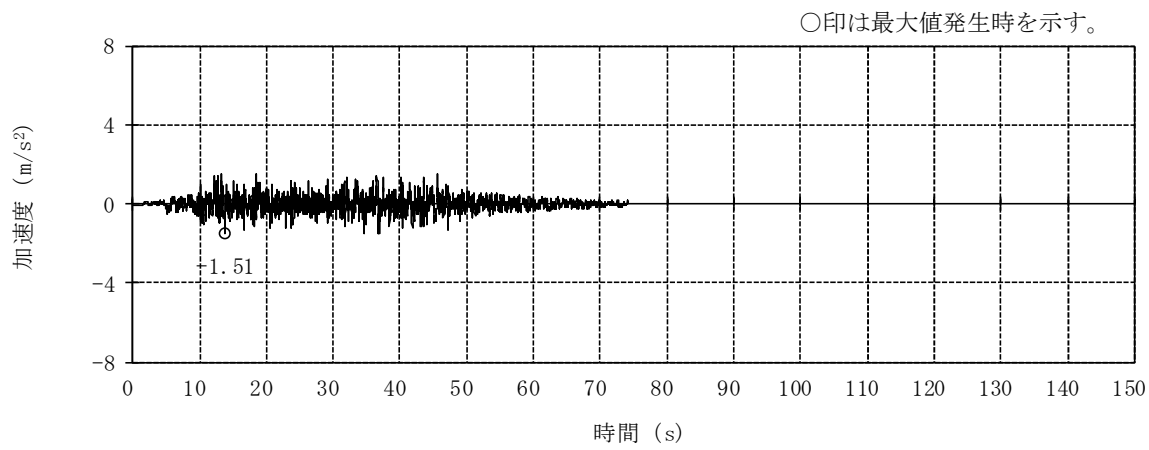
常時作用する荷重は，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って，持続的に生じる荷重である固定荷重及び積載荷重とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_a)

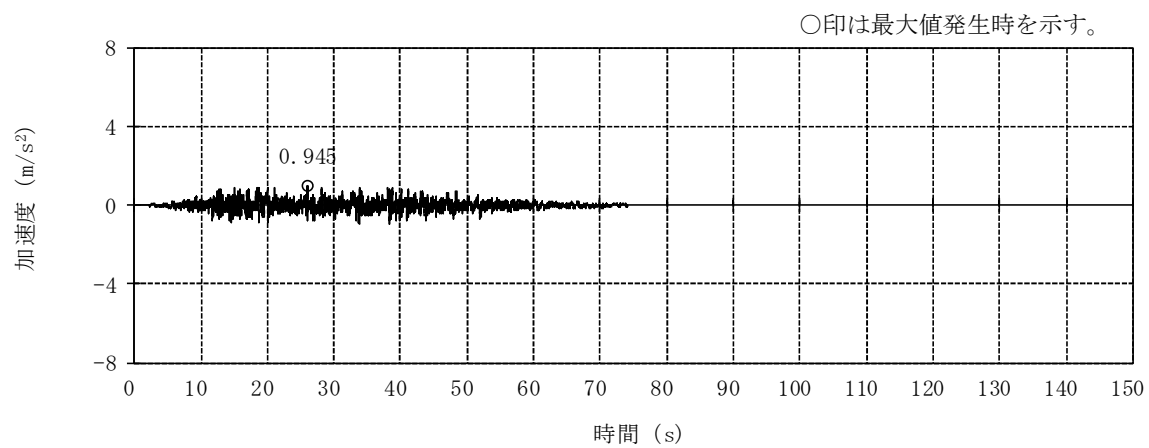
降下火砕物による荷重は，VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」(以下「VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」という。)の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，主荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，湿潤密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに $147.1\text{N}/\text{m}^2$ の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，従荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる地震を踏まえて，年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を主荷重に組み合わせる地震荷重とする。年超過確率 10^{-2} 相当地震動は，VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」の「7.4 基準地震動 S_s の超過確率参照」に示す地震ハザード評価に基づき模擬地震波を設定する。設定した模擬地震波の加速度時刻歴波形を図 4-1 に示す。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 4-1 加速度時刻歴波形 (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)

d. 積雪荷重 (F_s , F_{sb})

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、柏崎市における1日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重に組み合わせる積雪荷重 (F_s) とする。更に、従荷重として扱う積雪荷重とは別に、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる積雪量 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重 (F_{sb}) として考慮する。積雪荷重については、新潟県建築基準法施行細則により、積雪量 1cm ごとに 29.4N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

上記を踏まえ、強度評価における荷重の組合せの設定については、建屋の設置状況及び構造を考慮し設定する。原子炉建屋における荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

考慮する荷重の組合せ	荷 重					
	常時作用する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重		ベース負荷
	固定荷重	積載荷重	降下火砕物による荷重 (F_a)	地震荷重 (F_k)	積雪荷重 (F_s)	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})
ケース 1	○	○	○	○	—	○
ケース 2	○	○	○	—	○	○

注：「○」は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

降下火砕物による荷重，地震荷重及び積雪荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	従荷重として組み合わせる積雪荷重
F_{sb}	N/m^2	ベース負荷として組み合わせる常時考慮する積雪荷重
F_{vk}	N/m^2	従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F_{vs}	N/m^2	従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f'_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
g	m/s^2	重力加速度
H_a	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	従荷重として考慮する積雪深
H_{sb}	cm	ベース負荷として考慮する積雪深
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 降下火砕物による荷重及び積雪荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s, \quad F_{sb} = f'_s \cdot H_{sb}$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_{vk} = F_a + F_{sb}, \quad F_{vs} = F_a + F_s + F_{sb}$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (cm)	f'_s N/(m ² ·cm)	H_s (cm)	H_{sb} (cm)
1500	9.80665	35	29.4	84.3	31.1

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、
 $F_{vk} = 6063\text{N/m}^2$ 、 $F_{vs} = 8542\text{N/m}^2$ とする。

c. 地震荷重

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた原子炉建屋の質点系モデル及び3次元FEMモデルに対して、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して地震荷重を算出する。

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、評価対象部位ごとに求められる機能が担保できる許容限界を設定する。

(1) 屋根スラブ

屋根スラブは、構造健全性、遮蔽性能及び気密性能を維持することを性能目標としており、構造健全性においては終局強度を許容限界としているが、気密性能及び遮蔽性能においては短期許容応力度を許容限界としており、「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。）に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

(2) 屋根トラス

屋根トラスは、構造健全性を維持することを性能目標としており、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）」（以下「S 規準」という。）に基づく弾性限強度を許容限界として設定する。また、弾性範囲を超える部材については当該部材の座屈及び降伏の繰返し回数が、中込ほか（引用文献(1)参照）による破断寿命と比較し、十分な裕度を有していることを確認する。

(3) 耐震壁

耐震壁は、構造健全性、気密性能及び遮蔽性能を維持することを性能目標としており、「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）」に基づき最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

表 4-4 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)	
—	構造強度を有すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく終局強度	
			屋根トラス		主トラス 〔上弦材〕 〔下弦材〕 斜材 束材 つなぎばり 〔上弦材〕 〔下弦材〕 上弦面水平ブレース	「S 規準」に基づく弾性限強度*2
					つなぎばり 〔斜材〕 束材 下弦面水平ブレース	応答による繰返し回数が許容限界に対して十分な裕度を有することを確認
		耐震壁*1		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}	
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度*3	
		耐震壁*1 (二次遮蔽壁及び補助遮蔽)		最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}	
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度*4	
		耐震壁*1 (原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設))		最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *5	

注記*1 : 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。また、VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」の「別紙 年超過確率 10^{-2} 相当地

震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」で補助壁を耐震要素とした地震応答解析を行っているため、評価対象部位には補助壁を含む。

- *2 : 弾性限強度として「S 規準」のF 値に「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)」に基づき 1.1 倍の割増しを考慮する。
- *3 : 許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。
- *4 : 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。
- *5 : 事故時に換気性能とあいまって気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、VI-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の耐震性についての計算書 別紙-2 原子炉建屋原子炉区域の気密性に関する計算書」に示す。

5. 強度評価条件及び強度評価方法

5.1 強度評価条件

原子炉建屋の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (1) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- (2) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、 $F_{V_k}=6063\text{N/m}^2$ 、 $F_{V_s}=8542\text{N/m}^2$ とする。
- (3) 地震荷重は、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた原子炉建屋の質点系モデル及び3次元FEMモデルに対して、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して算出する。

5.2 強度評価方法

(1) 屋根スラブの応力計算

応力解析モデルを用いて、屋根スラブに作用する固定荷重、積載荷重及び自然現象の荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

(2) 耐震壁の応答計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

(3) 屋根トラスの応答計算

3次元FEMモデルによる地震応答解析により、屋根トラスに発生する応力を求める。

6. 適用規格

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、原子炉建屋の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・建築基準法・同施行令
- ・新潟県建築基準法施行細則（昭和35年12月30日新潟県規則第82号）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（社）日本電気協会
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（社）日本電気協会
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）
- ・鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・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）
- ・2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

7. 引用文献

- (1) 中込ほか「繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究」(日本建築学会構造系論文集, 第 469 号, 127-136, 1995 年 3 月)

VI-3-別添 2-1-3 タービン建屋の強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	6
4.1 荷重及び荷重の組合せ	6
4.2 許容限界	11
5. 強度評価条件及び強度評価方法	13
5.1 強度評価条件	13
5.2 強度評価方法	13
6. 適用規格	14

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」という。）の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定しているタービン建屋海水熱交換器区域が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、タービン建屋海水熱交換器区域の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせすべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを、「5. 強度評価条件及び強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、タービン建屋海水熱交換器区域を強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定しているタービン建屋海水熱交換器区域が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、タービン建屋海水熱交換器区域が内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないよう機能維持の方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

タービン建屋海水熱交換器区域は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、鉄筋コンクリート造の屋根スラブを、鉄骨大ばり及び鉄筋コンクリート造の耐震壁等で支持し、支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）による荷重を短期荷重とするために、降下火砕物の降灰から 30 日を目途に降下火砕物を適切に除去すること、また降灰時には除雪も併せて実施することを保安規定に定める。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 構造設計

タービン建屋海水熱交換器区域は、屋根スラブを鉄骨大ばり、耐震壁等で支持し、支持性能を有する基礎スラブにより支持する構造とする。タービン建屋海水熱交換器区域の屋根スラブ、鉄骨大ばり、耐震壁等は適切な強度を有する構造とする。建屋全体については、耐震壁等及び鉄骨フレームが適切な強度を有する構造とする。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する屋根スラブに作用する構造とする。

タービン建屋の設置位置を図 3-1 に、構造計画を表 3-1 に示す。

(2) 評価方針

タービン建屋海水熱交換器区域は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、タービン建屋海水熱交換器区域については屋根スラブ、鉄骨大はり、耐震壁等、建屋全体については耐震壁等及び鉄骨フレームが、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。なお、耐震壁については、建屋全体の評価においてタービン建屋海水熱交換器区域を含むものとする。

降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」に示す。

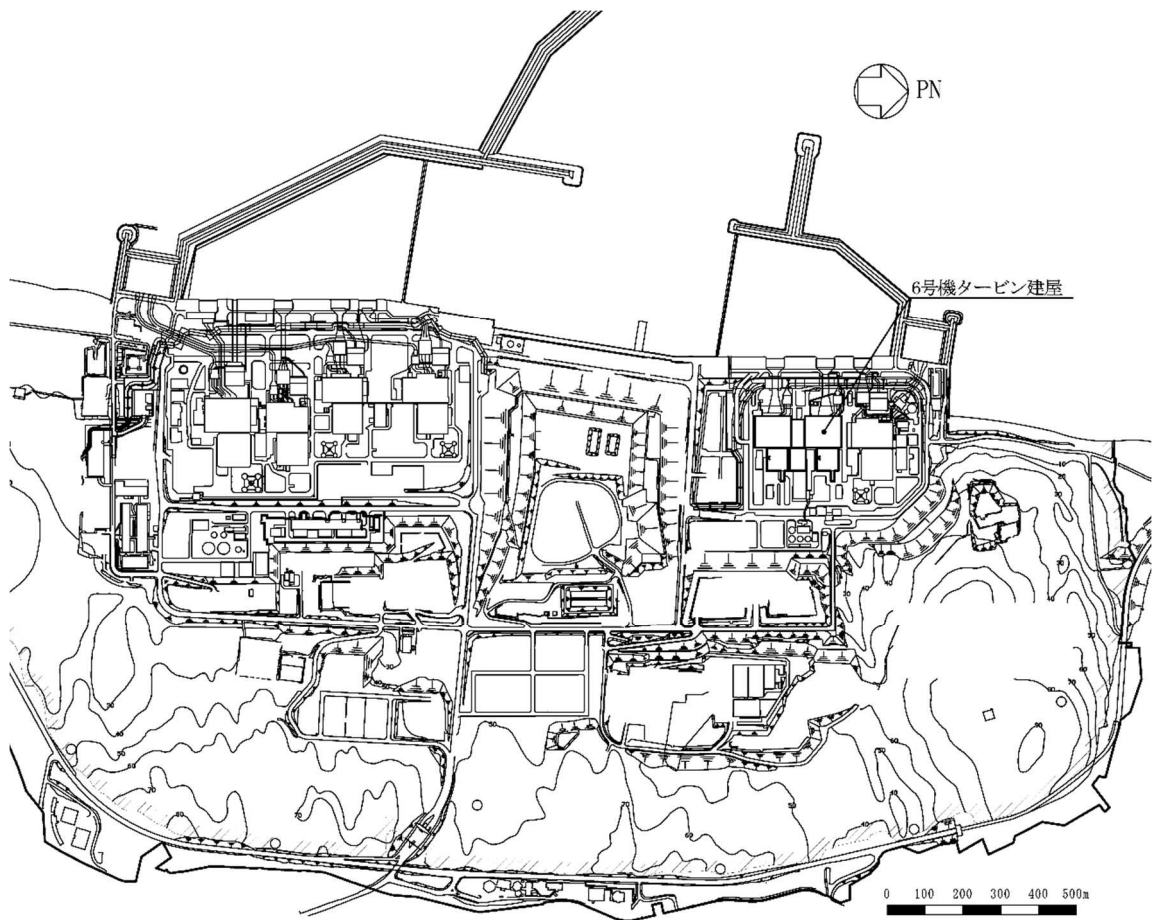


図 3-1 タービン建屋の設置位置

表 3-1 構造計画

計画の概要		説明図
主体構造	支持構造	
<p>鉄筋コンクリート造の主体構造及び鉄骨造の屋根で構成する。</p>	<p>荷重は建屋の外殻を構成する屋根、耐震壁等に作用し、耐震壁等を介し、基礎スラブへ伝達する構造とする。</p>	<p>(NS 方向断面) (単位 : m)</p> <p>(EW 方向断面) (単位 : m)</p>

K6 ① VI-3-別添 2-1-3 R0

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重の種類，荷重の組合せ及び荷重の算定方法を「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ，以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

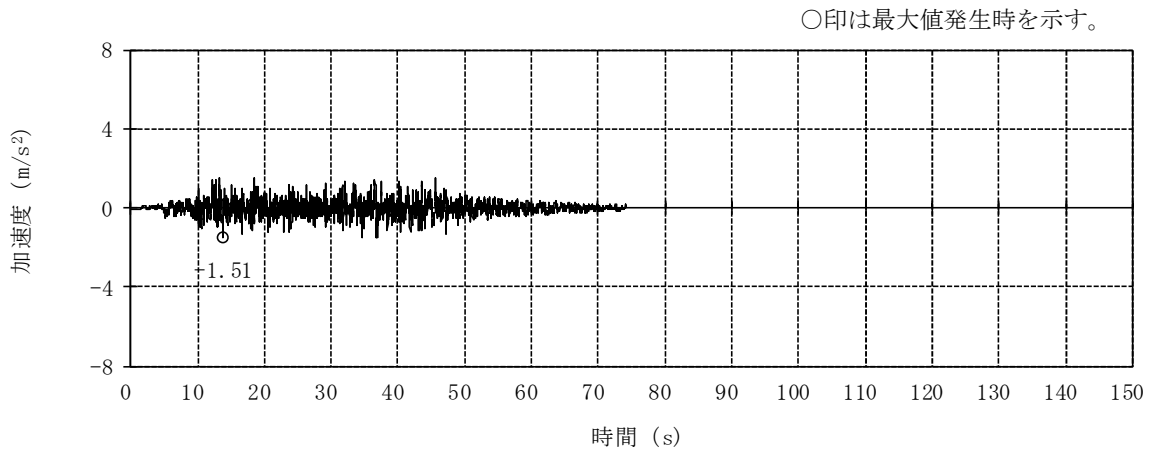
常時作用する荷重は，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って，持続的に生じる荷重である固定荷重及び積載荷重とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_a)

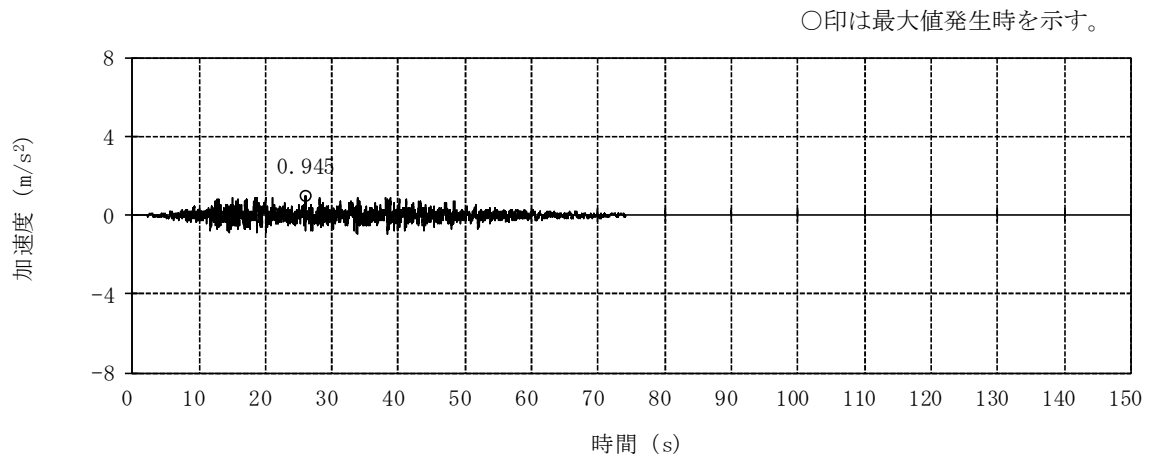
降下火砕物による荷重は，VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」(以下「VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」という。)の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，主荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて，湿潤密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに $147.1\text{N}/\text{m}^2$ の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って，従荷重として扱うこととし，VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる地震を踏まえて，年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を主荷重に組み合わせる地震荷重とする。年超過確率 10^{-2} 相当地震動は，VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」の「7.4 基準地震動 S_s の超過確率参照」に示す地震ハザード評価に基づき模擬地震波を設定する。設定した模擬地震波の加速度時刻歴波形を図 4-1 に示す。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 4-1 加速度時刻歴波形 (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)

d. 積雪荷重 (F_s , F_{sb})

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、柏崎市における1日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重に組み合わせる積雪荷重 (F_s) とする。更に、従荷重として扱う積雪荷重とは別に、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる積雪量 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重 (F_{sb}) として考慮する。積雪荷重については、新潟県建築基準法施行細則により、積雪量 1cm ごとに 29.4N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

上記を踏まえ、タービン建屋海水熱交換器区域の強度評価における荷重の組合せの設定については、建屋の設置状況及び構造を考慮し設定する。タービン建屋海水熱交換器区域における荷重の組合せの考え方を表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

考慮する 荷重の組合せ	荷 重					
	常時作用する 荷重 (F_d)		主荷重	従荷重		ベース負荷
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物 による荷重 (F_a)	地震荷重 (F_k)	積雪荷重 (F_s)	常時考慮する 積雪荷重 (F_{sb})
ケース 1	○	○	○	○	—	○
ケース 2	○	○	○	—	○	○

注：「○」は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

降下火砕物による荷重，地震荷重及び積雪荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	従荷重として組み合わせる積雪荷重
F_{sb}	N/m^2	ベース負荷として組み合わせる常時考慮する積雪荷重
F_{vk}	N/m^2	従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F_{vs}	N/m^2	従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f'_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
g	m/s^2	重力加速度
H_a	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	従荷重として考慮する積雪深
H_{sb}	cm	ベース負荷として考慮する積雪深
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 降下火砕物による荷重及び積雪荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s \quad , \quad F_{sb} = f'_s \cdot H_{sb}$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は，次式のとおり算出する。

$$F_{vk} = F_a + F_{sb} \quad , \quad F_{vs} = F_a + F_s + F_{sb}$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (cm)	f'_s N/(m ² ·cm)	H_s (cm)	H_{sb} (cm)
1500	9.80665	35	29.4	84.3	31.1

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、
 $F_{vk} = 6063\text{N/m}^2$, $F_{vs} = 8542\text{N/m}^2$ とする。

c. 地震荷重

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえたタービン建屋の質点系モデルに対して、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して地震荷重を算出する。

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを踏まえた、評価対象部位ごとの許容限界を表4-4に示す。

構造強度評価においては、降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、評価対象部位ごとに求められる機能が担保できる許容限界を設定する。

(1) 屋根スラブ

屋根スラブ（デッキ構造スラブ用デッキプレート）は、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010 改定）（以下「合成構造指針」という。）に基づく弾性限強度を許容限界として設定する。

(2) 鉄骨大はり

鉄骨大はりは、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー」（（社）日本建築学会，2005 改定）（以下「S 規準」という。）に基づく弾性限強度を許容限界として設定する。

(3) 耐震壁

耐震壁は、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「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）に基づき最大せん断ひずみ 4.0×10^{-3} を耐震壁の許容限界として設定する。

(4) 鉄骨フレーム

鉄骨フレームは、内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを性能目標としており、「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」（（財）日本建築防災協会）を参考に層間変形角 1/30 を鉄骨フレームの許容限界として設定する。

表 4-4 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「合成構造指針」に基づく弾性限強度*2
			鉄骨大はり		「S規準」に基づく弾性限強度*3
		耐震壁*1		最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		鉄骨フレーム		最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 $1/30^{*4}$

注記*1 : 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。また、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」の「別紙 年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」で補助壁を耐震要素とした地震応答解析を行っているため、評価対象部位には補助壁を含む。

*2 : 弾性限強度として「合成構造指針」のF値に「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)」(以下「技術基準解説書」という。)に基づき1.1倍の割増しを考慮する。

*3 : 弾性限強度として「S規準」のF値に「技術基準解説書」に基づき1.1倍の割増しを考慮する。

*4 : 「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 ((財) 日本建築防災協会)」を参考に許容限界を設定している。なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が $1/30$ を超えた場合に大破と判定しているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

5. 強度評価条件及び強度評価方法

5.1 強度評価条件

タービン建屋海水熱交換器区域の強度評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (1) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重を短期荷重として評価する。
- (2) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、 $F_{V_k}=6063\text{N/m}^2$ 、 $F_{V_s}=8542\text{N/m}^2$ とする。
- (3) 地震荷重は、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえたタービン建屋の質点系モデルに対して、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して算出する。

5.2 強度評価方法

(1) 屋根スラブの応力計算

2 スパンの連続ばりとした評価モデルを用いて、屋根スラブに作用する固定荷重、積載荷重及び自然現象の荷重により屋根スラブに発生する応力を求める。

(2) 鉄骨大ばりの応力計算

2次元フレームモデルによる弾性応力解析により、鉄骨大ばりに発生する応力を求める。

(3) 耐震壁の応答計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえたタービン建屋の質点系モデルによる地震応答解析により耐震壁に発生するせん断ひずみを求める。

(4) 鉄骨フレームの応答計算

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえたタービン建屋の質点系モデルによる地震応答解析により鉄骨フレームに発生する層間変形角を求める。

6. 適用規格

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設の設計に係る適用規格を示している。

これらのうち、タービン建屋海水熱交換器区域の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）
- ・ 鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・ 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）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

VI-3-別添 2-1-4 コントロール建屋の強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定しているコントロール建屋が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

コントロール建屋の強度評価方針に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画のV-3-別添2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」による。

VI-3-別添 2-1-5 廃棄物処理建屋の強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」で設定している廃棄物処理建屋が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

廃棄物処理建屋の強度評価方針に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画のV-3-別添2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」による。

VI-3-別添 2-2 防護対策施設の強度計算の方針

防護対策施設の強度計算の方針は、以下の資料により構成されている。

VI-3-別添 2-2-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針

VI-3-別添 2-2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針

VI-3-別添 2-2-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の
強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	7
4.1 荷重及び荷重の組合せ	7
4.2 許容限界	11
5. 強度評価方法	13
5.1 評価条件	13
5.2 評価対象部位	13
5.3 強度評価方法	14
6. 適用規格	23

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」という。）の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」にて設定している非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-8「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせすべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板を強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するよう、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、架構を軽油タンクのコンクリート基礎に柱脚で固定し、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の主要な構造部材が構造健全性を維持し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 構造設計

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプに降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板、防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する柱脚から構成される。

想定する降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物が堆積する防護鋼板に作用し、架構に伝達する構造とする。また、地震荷重に対しては、架構を介して柱脚に作用する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造計画を表 3-1 に示す。

(2) 評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板を構成する防護鋼板、架構及び柱脚が、「4.2 許容限界」で示す許容限界を超えないことを確認する。評価方法としては、等分布荷重による評価と3次元静的線形応力解析による評価を行う。

降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-8「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算書」に示す。

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造計画 (1/2)

施設名称 (系統名)	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、屋外の軽油タンクエリアに設置する設計とする。</p>			
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板 (A・C)	防護鋼板、架構及び柱脚により構成する。	コンクリート基礎に柱脚で固定する。	<p>断面位置図</p> <p>凡例 ■:非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ</p> <p>a) A-A断面図</p> <p>b) B-B断面図</p>

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の構造計画 (2/2)

施設名称 (系統名)	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
<p>【位置】非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、屋外の軽油タンクエリアに設置する設計とする。</p>			
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(B)	防護鋼板、架構及び柱脚により構成する。	コンクリート基礎に柱脚で固定する。	<p>軽油タンク基礎</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ防護板 (B)</p> <p>凡例 ■:非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ</p> <p>断面位置図</p> <p>防護鋼板</p> <p>架構</p> <p>柱脚</p> <p>▽T.N.S.L. 12.0m</p> <p>b) A-A断面図</p> <p>防護鋼板</p> <p>架構</p> <p>柱脚</p> <p>▽T.N.S.L. 10.0m</p> <p>b) B-B断面図</p>

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って、持続的に生じる荷重である固定荷重及び積載荷重とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_a)

降下火砕物による荷重は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」(以下「VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」という。)の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、主荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに 147.1N/m^2 の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる地震を踏まえて、年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を主荷重に組み合わせる地震荷重とする。年超過確率 10^{-2} 相当地震動は、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」の「7.4 基準地震動 S_s の超過確率参照」に基づき設定する。

d. 積雪荷重 (F_s , F_{sb})

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、柏崎市における1日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値84.3cmが堆積した場合の荷重を主荷重に組み合わせる積雪荷重(F_s)とする。更に、従荷重として扱う積雪荷重とは別に、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる積雪量31.1cmによる荷重を常時考慮する積雪荷重(F_{sb})として考慮する。積雪荷重については、新潟県建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 29.4N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

なお、常時作用する荷重、地震荷重及び積雪荷重については、組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には、評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価における荷重の組合せの設定については、施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板における荷重の組合せの考え方を表4-1に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

考慮する荷重 の組合せ	荷 重					
	常時作用 する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重		ベース負荷
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物 による荷重 (F_a)	地震荷重 (F_k)	積雪荷重 (F_s)	常時考慮す る積雪荷重 (F_{sb})
ケース 1	○	○	○	○	—	○
ケース 2	○	○	○	—	○	○

注：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重, 地震荷重及び積雪荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出方法及び算出式を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
C_H	—	水平方向設計震度
C_V	—	鉛直方向設計震度
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	従荷重として組み合わせる積雪荷重
F_{sb}	N/m^2	ベース負荷として組み合わせる常時考慮する積雪荷重
F_{vk}	N/m^2	従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F_{vs}	N/m^2	従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f'_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
g	m/s^2	重力加速度
H_a	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	従荷重として考慮する積雪深
H_{sb}	cm	ベース負荷として考慮する積雪深
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、降下火砕物、地震及び積雪を考慮する。

(a) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s, \quad F_{sb} = f'_s \cdot H_{sb}$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_{vk} = F_a + F_{sb}, \quad F_{vs} = F_a + F_s + F_{sb}$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (cm)	f'_s (N/(m ² ・cm))	H_s (cm)	H_{sb} (cm)
1500	9.80665	35	29.4	84.3	31.1

以上を踏まえ、降下火砕物及び積雪の堆積による鉛直荷重は、
 $F_{vk} = 6063\text{N/m}^2$ 、 $F_{vs} = 8542\text{N/m}^2$ とする。

(b) 地震による鉛直荷重

「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」の荷重条件を踏まえた軽油タンク基礎の2次元FEMモデルに対して、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して算出した軽油タンク基礎版上の加速度応答スペクトルと架構の固有周期より保守的に設定した設計震度(C_v)により設定する。

c. 水平荷重

(a) 地震による水平荷重

地震による鉛直荷重と同様に、保守的に設定した設計震度(C_H)により設定する。

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表4-4に示す。

(1) 防護鋼板、架構及び柱脚

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、地震荷重及びその他の荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板を構成する防護鋼板、架構及び柱脚が構造健全性を維持することを性能目標としていることから、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—(日本建築学会, 2005 改定)」(以下「S規準」という。)に基づく短期許容応力度を許容限界として設定する。

表 4-4 許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板	$F_d + F_{V_k} + F_k$	防護鋼板	組合せ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	「S 規準」に基づく短期許容応力度以下とする
		架構	引張, 圧縮, 曲げ, せん断, 組合せ		
		柱脚	曲げ, 引張, せん断, 組合せ		
	$F_d + F_{V_s}$	防護鋼板	組合せ		
		架構	引張, 圧縮, 曲げ, せん断, 組合せ		
		柱脚	曲げ		

F_d : 常時作用する荷重

F_{V_k} : 従荷重として地震荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

F_k : 従荷重として組み合わせる地震荷重

F_{V_s} : 従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

5. 強度評価方法

防護鋼板に対しては等分布荷重による評価，架構及び柱脚に対しては3次元静的線形応力解析による評価を行う。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重，地震による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価方法を以下に示す。

5.1 評価条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- (1) 防護鋼板は，等分布荷重時の長方形板（四辺単純支持）における発生応力を算出し評価を行う。
- (2) 架構及び柱脚は，3次元静的線形応力解析により構成部材における発生応力を算出し評価を行う。
- (3) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については，防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し，入力荷重として設定する。
- (4) 地震荷重は，軽油タンク基礎の2次元FEMモデルに対して，年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して算出した軽油タンク基礎版上の加速度応答スペクトルと架構の固有周期より保守的に設定した静的震度により設定する。
- (5) 地震荷重は，水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

5.2 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表5-1に示す。

表5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位		応力等の状態
防護鋼板		組合せ
架構	はり	圧縮，曲げ，せん断，組合せ
	柱	圧縮，曲げ，せん断，組合せ
	ブレース	引張，圧縮
柱脚	ベースプレート	曲げ
	基礎ボルト	引張，せん断，組合せ

5.3 強度評価方法

(1) 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	単位面積当たりの断面積
A _g	mm ²	部材の断面積
A _w	mm ²	部材のウェブ断面積
A _F	mm ²	部材のフランジ断面積
F	N/mm ²	鋼材の基準強度
a _s	mm ²	基礎ボルトの断面積
f _b	N/mm ²	短期許容曲げ応力度
f _{b x (y)}	N/mm ²	X(Y)方向の短期許容曲げ応力度
f _{c (t)}	N/mm ²	短期許容圧縮(引張)応力度
f _{t s}	N/mm ²	基礎ボルトの短期許容引張応力度
f _s	N/mm ²	短期許容せん断応力度
L _{x (y)}	m	防護鋼板の短辺(長辺)の長さ
M	N・mm	曲げモーメント
M _{1 (2)}	N・mm	図 5-1 に基づく M _x (M _y) の値
M _{x (y)}	N・mm	X(Y)方向の曲げモーメント
N	N	軸力
p	N/m ²	等分布荷重
Q	N	せん断力
Q _{x (y)}	N	X(Y)方向のせん断力
Q _{D S}	N	基礎ボルト 1 本に負担させる設計用せん断力
Q _{a c}	kN	基礎ボルト(タイプA) 1 本あたりの短期許容せん断力
q _{a c}	kN	基礎ボルト(タイプB) 1 本あたりの短期許容せん断力
t	mm	部材の厚さ
T _{D S}	N	基礎ボルト 1 本に負担させる引張力
t _{a c}	kN	基礎ボルト(タイプB) 1 本あたりの短期許容引張力
Z	mm ³	断面係数
Z _{x (y)}	mm ³	X(Y)方向の断面係数

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
σ_b	N/mm ²	曲げ応力度
$\sigma_{bx(y)}$	N/mm ²	X(Y)方向の曲げ応力度
$\sigma_c(t)$	N/mm ²	圧縮(引張)応力度
σ_{ts}	N/mm ²	基礎ボルトの設計用引張応力度
$\sigma_x(y)$	N/mm ²	X(Y)方向に作用する曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
$\tau_{1(2)}$	N/mm ²	X(Y)方向のせん断応力度
τ_{ts}	N/mm ²	基礎ボルトの設計用せん断応力度

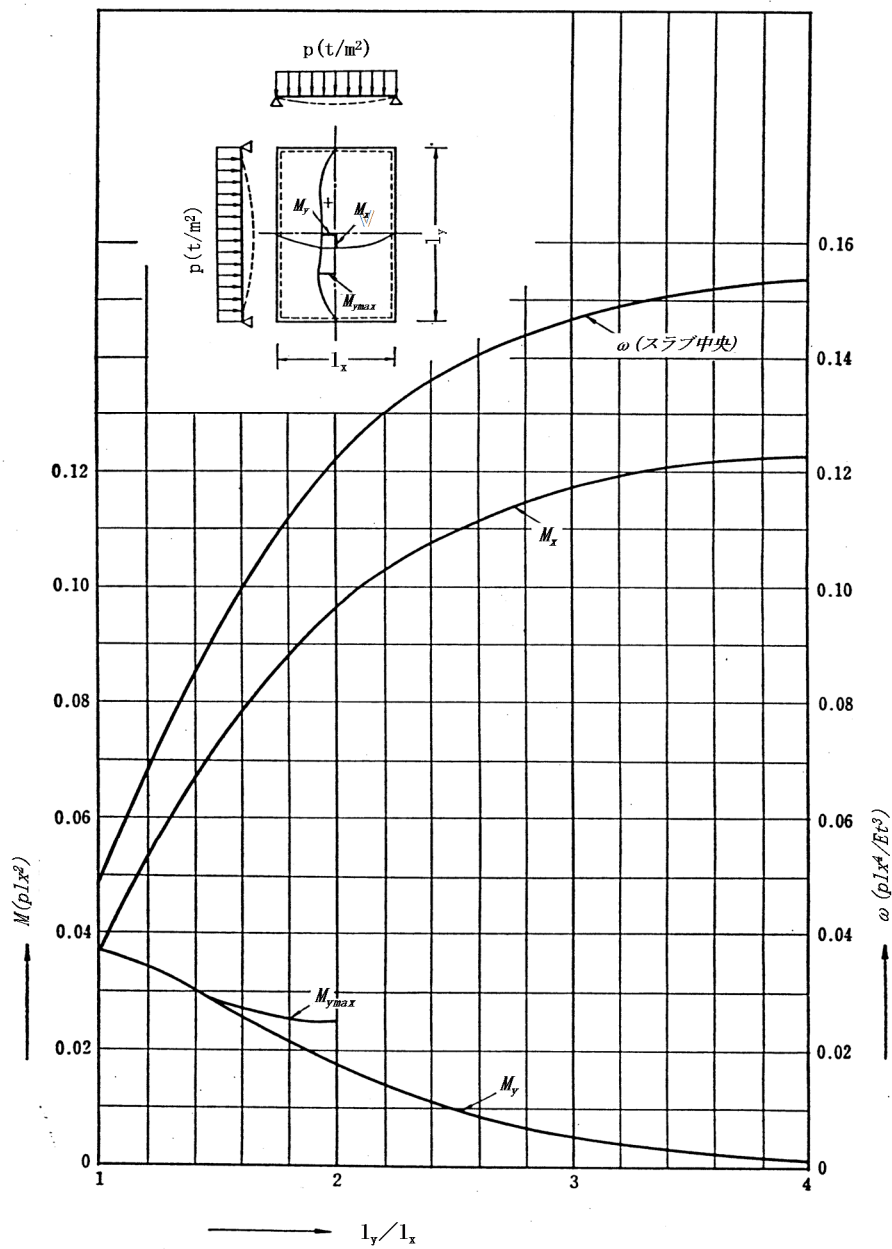
(2) 応力の計算方法

a. 防護鋼板の応力

降下火砕物及び積雪が堆積する防護鋼板は、等分布荷重が作用する長方形板として応力を算出する。

(a) 等分布荷重の計算モデル

等分布荷重による評価を行う防護鋼板の強度評価は、長方形板（四辺単純支持）モデルとする。応力計算においては「建築構造学大系 11 巻，平板構造（彰国社，1970）」における等分布荷重時四辺単純支持スラブの曲げモーメントとたわみの図表を用いる。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図 5-1 に示す。



(建築構造学大系 11 卷, 平板構造 (彰国社, 1970) より引用)

図 5-1 等分布荷重による評価に用いる計算モデル図 (長方形板 (四辺単純支持) モデル)

(b) 組合せによる応力度

イ. 曲げ応力度

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Z_x}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}$$

$$M_x = M_1 \cdot p \cdot L_x^2$$

$$M_y = M_2 \cdot p \cdot L_y^2$$

ロ. せん断応力度

$$\tau = \frac{Q_y}{A}$$

b. 架構の応力

架構ははり、柱、ブレースで構成されており、3次元静的線形応力解析を用いて各構成部材に発生する応力を算出する。なお、応力算出においては水平2方向の地震力を考慮する。水平2方向の地震力を組み合わせる際は、簡便で保守的な手法である「絶対値の和」を用いた評価とする。

(a) はりに生じる応力度

イ. 引張応力度又は圧縮応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}, \quad \sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

ロ. せん断応力度

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

ハ. 曲げ応力度

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

(b) 柱に生じる応力度

イ. 引張応力度又は圧縮応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}, \quad \sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

ロ. せん断応力度

$$\tau_1 = \frac{Q_x}{A_w}, \quad \tau_2 = \frac{Q_y}{A_F}$$

ハ. 曲げ応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M}{Z_x}, \quad \sigma_{by} = \frac{M}{Z_y}$$

(c) ブレースに生じる応力度

イ. 引張応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}$$

ロ. 圧縮応力度

$$\sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

c. 柱脚の応力

柱脚はベースプレート及び基礎ボルトで構成されており，架構の応力算出に用いた3次元静的線形応力解析結果における柱脚部の支点反力，及び基礎ボルトと柱軸芯間の距離から計算される曲げモーメントを用いて，各構成部材に発生する応力を算出する。

(a) ベースプレートに生じる応力度

イ. 曲げ応力度

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

(b) 基礎ボルトに生じる応力度

イ. せん断応力度

$$\tau_{ts} = \frac{Q_{DS}}{a_s}$$

ロ. 引張応力度

$$\sigma_{ts} = \frac{T_{DS}}{a_s}$$

(3) 強度評価方法

a. 防護鋼板の応力評価

「(2)a. 防護鋼板の応力」で定めた組合せ応力度が，表5-3に示す評価条件を満たすこと。

表5-3 防護鋼板の評価条件

評価部位	応力	単位	評価条件
防護鋼板	組合せ	N/mm ²	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 3\tau^2} \leq f_t$

b. 架構の応力評価

「(2)b. 架構の応力」で求めたはり、柱及びブレースに生じる応力度及び検定比が、表 5-4 に示す評価条件を満たすこと。

表 5-4 架構の評価条件

評価部位	応力	単位	評価条件
はり	曲げ	N/mm ²	$\sigma_b \leq f_b$
	圧縮	N/mm ²	$\sigma_c \leq f_c$
	せん断	N/mm ²	$\tau \leq f_s$
	組合せ (曲げ+軸力)	—	$\frac{\sigma_b}{f_b} + \frac{\sigma_{c(t)}}{f_{c(t)}} \leq 1.0$
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	N/mm ²	$\sqrt{(\sigma_b + \sigma_t)^2 + 3\tau^2} \leq f_t$
柱	曲げ	N/mm ²	$\sigma_b \leq f_b$
	引張/圧縮	N/mm ²	$\sigma_c \leq f_c$ (圧縮時) $\sigma_t \leq f_t$ (引張時)
	せん断	N/mm ²	$\tau_{1(2)} \leq f_s$
	組合せ (曲げ+軸力)	—	$\frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} + \frac{\sigma_{c(t)}}{f_{c(t)}} \leq 1.0$
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	N/mm ²	$\max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{bx} + \sigma_c)^2 + 3\tau_1^2} \\ \sqrt{(\sigma_{by} + \sigma_c)^2 + 3\tau_2^2} \end{array} \right\} \leq f_t$
ブレース	引張/圧縮	N/mm ²	$\sigma_c \leq f_c$ (圧縮時) $\sigma_t \leq f_t$ (引張時)

c. 柱脚の応力評価

「(2)c. 柱脚の応力」で求めたベースプレート及び基礎ボルトの応力度が、表 5-5 に示す評価条件を満たすこと。

表 5-5 柱脚の評価条件

評価部位	応力	単位	評価条件	
ベースプレート	曲げ	N/mm ²	$\sigma_b \leq f_b$	
基礎ボルト	タイプ A	引張応力度	N/mm ²	$\sigma_{ts} \leq f_{ts}$
		せん断応力度	N/mm ²	$\tau_{ts} \leq f_{ts}/\sqrt{3}$
		せん断力	kN	$Q_{DS} \leq Q_{ac}$
		組合せ (引張応力度)	N/mm ²	$\sigma_{ts} \leq 1.2 \cdot f_{ts} - \sqrt{3} \cdot \tau_{ts}$
		組合せ (せん断力)	kN	$Q_{DS} \leq (1.2 - \sigma_{ts}/f_{ts}) \cdot Q_{ac}$
	タイプ B	引張力	kN	$T_{DS} \leq t_{ac}$
		せん断力	kN	$Q_{DS} \leq q_{ac}$
		組合せ	—	$\frac{T_{DS}}{t_{ac}} + \frac{Q_{DS}}{q_{ac}} \leq 1.0$

6. 適用規格

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設的设计に係る適用規格を示している。

これらのうち、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる規格、規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 鋼構造設計規準 — 許容応力度設計法 —（日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）
- ・ 挿入型鉄筋定着工法「Post-Head-Anchor 工法」（BCJ 評定-SS0030-03）（日本建築センター）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，1999 年）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年）

VI-3-別添 2-2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の
強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 構造強度設計	3
3.1 構造強度の設計方針	3
3.2 機能維持の方針	3
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	9
4.1 荷重及び荷重の組合せ	9
4.2 許容限界	13
5. 強度評価方法	15
5.1 評価条件	15
5.2 評価対象部位	15
5.3 強度評価方法	16
6. 適用規格	24

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第7条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「解釈」という。）に適合し、技術基準規則第54条及びその解釈に規定される「重大事故等対処設備」を踏まえた重大事故等対処設備に配慮する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」（以下「VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」という。）の「4.1 構造物への荷重を考慮する施設」にて設定している非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板が、降下火砕物に対して構造健全性を維持することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

強度評価は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」（以下「VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」という。）に示す適用規格を用いて実施する。

降下火砕物の影響を考慮する施設のうち、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 2-9「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す降下火砕物による荷重と組み合わせすべき他の荷重による組合せ荷重により発生する応力等が、「4.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを、「5. 強度評価方法」で示す評価方法及び考え方を使用し、「6. 適用規格」で示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

本資料における評価対象施設は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」にて設定している構造物への荷重を考慮する施設のうち、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を強度評価の対象施設とする。

3. 構造強度設計

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」で設定している降下火砕物特性に対し、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している構造物への荷重を考慮する施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するように、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「5. 機能設計」で設定している非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

また、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造強度を保持するように構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」の「4.1(3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、降下火砕物堆積時の機能維持を考慮して、架構を軽油タンクのコンクリート基礎に基礎ボルトで固定し、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の主要な構造部材が構造健全性を維持し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないために、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。

3.2 機能維持の方針

VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」で設定している荷重条件を適切に考慮して、構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

(1) 構造設計

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管に降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板、防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する基礎ボルトから構成される。

想定する降下火砕物及び積雪（以下「降下火砕物等」という。）の堆積による鉛直荷重に対しては、降下火砕物等が堆積する防護鋼板に作用し、架構に伝達する構造とする。また、地震荷重に対しては、架構を介して基礎ボルトに伝達する構造とする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画を表 3-1 に示す。

(2) 評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の評価方針とする。

想定する降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対し、荷重の作用する部位及び荷重が伝達する部位を踏まえて、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する防護鋼板、架構及び基礎ボルトが、「4.2 許容限界」で設定している許容限界を超えないことを確認する。評価方法としては、FEMを用いた解析により算出した応力を基に評価を行う。

降下火砕物、地震及び積雪を考慮した荷重に対する強度評価を、VI-3-別添 2-9「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算書」に示す。

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画 (1/4)

施設名称 (系統名)	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、屋外の軽油タンクエリアに設置する設計とする。			
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)(C)	防護鋼板、架構及び基礎ボルトにより構成する。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

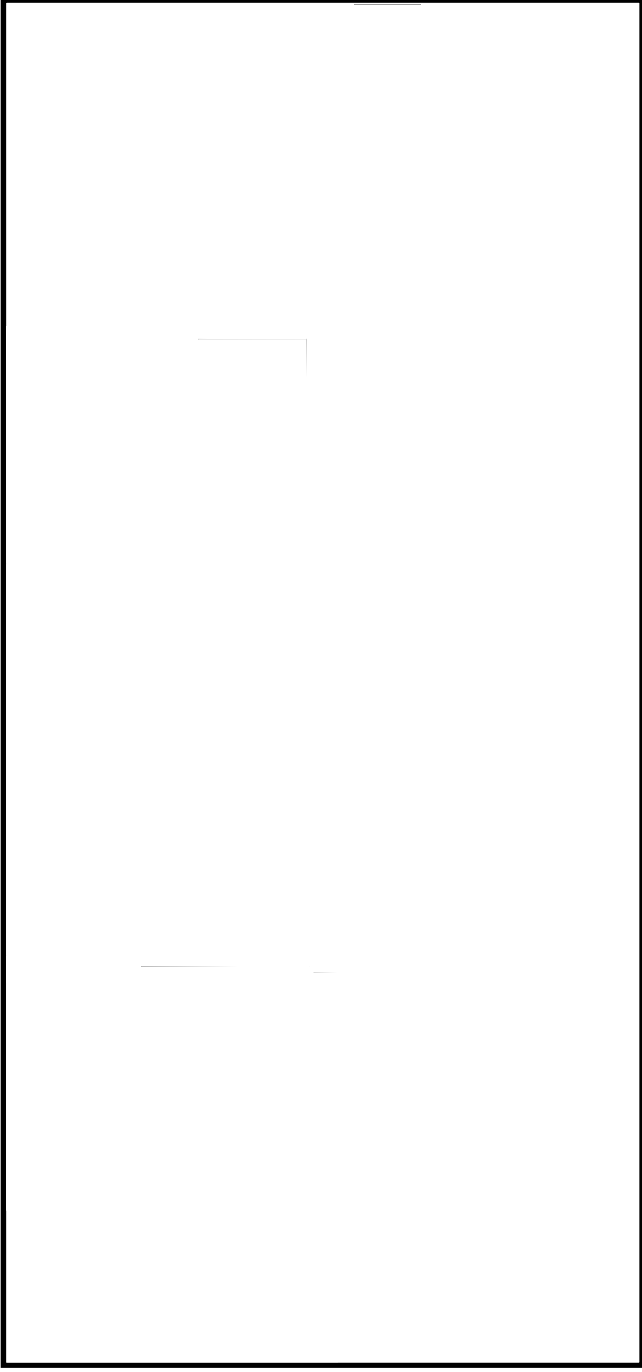
K6 ① VI-3-別添 2-2-2 R0

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画 (2/4)

施設名称 (系統名)	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、屋外の軽油タンクエリアに設置する設計とする。			
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (B)	防護鋼板, 架構及び基礎ボルトにより構成する。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

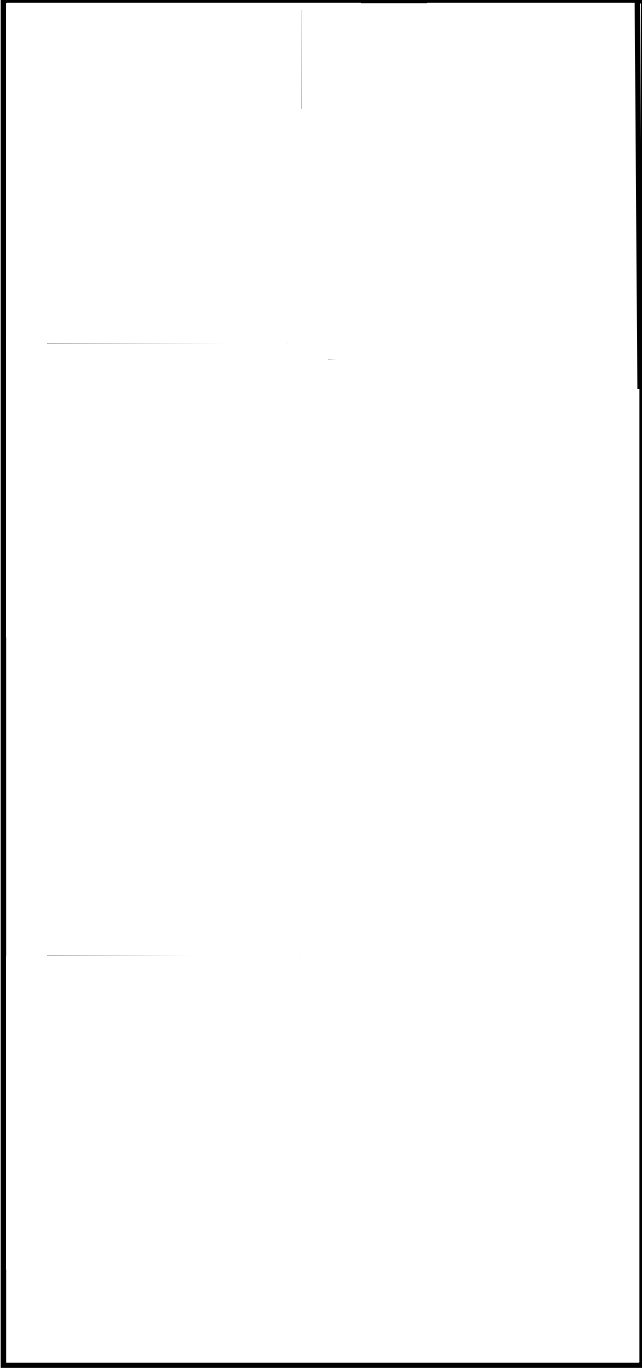
K6 ① VI-3-別添 2-2-2 R0

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画 (3/4)

施設名称 (系統名)	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、屋外の軽油タンクエリアに設置する設計とする。			
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(ドレンノズル(A))	防護鋼板, 架構及び基礎ボルトにより構成する。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

K6 ① VI-3-別添 2-2-2 R0

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画 (4/4)

施設名称 (系統名)	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、屋外の軽油タンクエリアに設置する設計とする。			
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(ドレンノズル(B)) (予備ノズル (A) (B))	防護鋼板, 架構及び基礎ボルトにより構成する。	コンクリート基礎に基礎ボルトで固定する。	

K6 ① VI-3-別添 2-2-2 R0

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

強度評価にて考慮する荷重及び荷重の組合せは、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2) 荷重の組合せ及び許容限界」を踏まえ、以下のとおり設定する。

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.3(2)a. 荷重の種類」で設定している常時作用する荷重に従って、持続的に生じる荷重である自重及び積載荷重とする。

b. 降下火砕物による荷重 (F_a)

降下火砕物による荷重は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」(以下「VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」という。)の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、主荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」の「2.1.2 設計に用いる降下火砕物特性」に示す降下火砕物の特性及び「2.1.3(2)a. 荷重の種類」に示す降下火砕物による荷重を踏まえて、湿潤密度 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として堆積量 1cm ごとに $147.1\text{N}/\text{m}^2$ の降下火砕物による荷重が作用することを考慮し設定する。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる地震を踏まえて、年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を主荷重に組み合わせる地震荷重として考慮することとするが、その大きさは、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を上回る地震動として、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す弾性設計用地震動 S_d による地震力を地震荷重として設定する。

d. 積雪荷重 (F_s , F_{sb})

積雪荷重は、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」で設定している自然現象の組合せに従って、従荷重として扱うこととし、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」に示す組み合わせる積雪深を踏まえて、柏崎市における1日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値84.3cmが堆積した場合の荷重を主荷重に組み合わせる積雪荷重(F_s)とする。更に、従荷重として扱う積雪荷重とは別に、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる積雪量31.1cmによる荷重を常時考慮する積雪荷重(F_{sb})として考慮する。積雪荷重については、新潟県建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 29.4N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(2) 荷重の組合せ

a. 降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重の組合せ

降下火砕物による荷重、地震荷重及び積雪荷重については、VI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」の「4.1 自然現象の組合せについて」を踏まえて、それらの組合せを考慮し、自然現象の荷重として扱う。自然現象の荷重は短期荷重として扱う。

b. 荷重の組合せ

荷重の組合せについては、自然現象の荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

なお、常時作用する荷重、地震荷重及び積雪荷重については、組み合わせることで降下火砕物による荷重の抗力となる場合には、評価結果が保守的となるよう荷重の算出において考慮しないこととする。

上記を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価における荷重の組合せの設定については、施設の設置状況及び構造等を考慮し設定する。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板における荷重の組合せの考え方を表4-1に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

考慮する荷重 の組合せ	荷重					
	常時作用 する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重		ベース負荷
	自重	積載 荷重	降下火砕物 による荷重 (F_a)	地震荷重 (F_k)	積雪荷重 (F_s)	常時考慮す る積雪荷重 (F_{sb})
ケース 1	○	○	○	○	—	○
ケース 2	○	○	○	—	○	○

注：○は考慮する荷重を示す。

(3) 荷重の算定方法

「4.1(1) 荷重の種類」で設定している荷重のうち、「4.1(2)a. 降下火砕物による荷重, 地震荷重及び積雪荷重の組合せ」で設定している自然現象の荷重の鉛直荷重及び水平荷重の算出式及び算出方法を以下に示す。

a. 記号の定義

荷重の算出に用いる記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の算出に用いる記号

記号	単位	定義
C_H	—	水平方向設計震度
C_V	—	鉛直方向設計震度
F_a	N/m^2	湿潤状態の降下火砕物による荷重
F_s	N/m^2	従荷重として組み合わせる積雪荷重
F_{sb}	N/m^2	ベース負荷として組み合わせる常時考慮する積雪荷重
F_{vk}	N/m^2	従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F_{vs}	N/m^2	従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f'_s	$N/(m^2 \cdot cm)$	建築基準法施行令に基づき設定する積雪の単位荷重
g	m/s^2	重力加速度
H_a	cm	降下火砕物の層厚
H_s	cm	従荷重として考慮する積雪深
H_{sb}	cm	ベース負荷として考慮する積雪深
ρ	kg/m^3	降下火砕物の湿潤密度

b. 鉛直荷重

鉛直荷重については、降下火砕物、地震及び積雪を考慮する。

(a) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

湿潤状態の降下火砕物による荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_a = \rho \cdot g \cdot H_a \cdot 10^{-2}$$

積雪荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_s = f'_s \cdot H_s, \quad F_{sb} = f'_s \cdot H_{sb}$$

湿潤状態の降下火砕物に積雪を踏まえた鉛直荷重は、次式のとおり算出する。

$$F_{vk} = F_a + F_{sb}, \quad F_{vs} = F_a + F_s + F_{sb}$$

表 4-3 に入力条件を示す。

表 4-3 入力条件

ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	H_a (cm)	f'_s (N/(m ² ·cm))	H_s (cm)	H_{sb} (cm)
1500	9.80665	35	29.4	84.3	31.1

以上を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、
 $F_{vk} = 6063\text{N/m}^2$, $F_{vs} = 8542\text{N/m}^2$ とする。

(b) 地震による鉛直荷重

鉛直方向設計震度 C_v によって発生する鉛直荷重を算出する。

c. 水平荷重

水平荷重については、地震を考慮する。

(a) 地震による水平荷重

水平方向設計震度 C_H によって発生する水平荷重を算出する。

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-4-3「降下火砕物の影響を考慮する施設の設計方針」の「4. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標及び「3.2 機能維持の方針」に示す評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、評価対象部位ごとの許容限界を表 4-4 に示す。

(1) 防護鋼板、架構及び基礎ボルト

構造強度評価においては、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、地震荷重及びその他の荷重に対し、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する防護鋼板、架構及び基礎ボルトが、許容限界を超えないことを解析により確認する評価方針としていることを踏まえ、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 (日本電気協会) (以下「J E A G 4 6 0 1」という。) に準じて許容応力状態 $IV_A S$ の許容応力を許容限界として設定する。

表 4-4 許容限界

施設 名称	荷重の 組合せ	評価対象 部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
非常用 ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板	$F_d + F_{vk} + F_k$	防護鋼板	組合せ	部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態	J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態IV _A Sの許容応力以下とする*
		架構	引張, 圧縮 せん断, 曲げ 組合せ		
		基礎 ボルト	引張, せん断 組合せ		
	$F_d + F_{vs}$	防護鋼板	組合せ		J E A G 4 6 0 1 に準じて許容応力状態IV _A Sの許容応力以下とする*
		架構	引張, 圧縮 せん断, 曲げ 組合せ		
		基礎 ボルト	引張, せん断 組合せ		

F_d : 常時作用する荷重

F_{vk} : 従荷重として地震荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

F_k : 従荷重として組み合わせる地震荷重

F_{vs} : 従荷重として積雪荷重を組み合わせたときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重

注記* : J E A G 4 6 0 1 を基に, 表 4-5 その他支持構造物の許容限界を準用する。

表 4-5 その他支持構造物の許容限界

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					
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ FEM を用いた解析法

具体的な評価においては、J E A G 4 6 0 1 を準用する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重，地震による荷重が作用する場合に強度評価を行う施設の強度評価方法として，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価方法を以下に示す。

5.1 評価条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- (1) 防護鋼板，架構及び基礎ボルトは，FEM 解析を用いて構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定し評価を行う。
- (2) 計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- (3) 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については，防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し，入力荷重として設定する。
- (4) 地震荷重は，年超過確率 10^{-2} 相当の地震動を主荷重に組み合わせる地震荷重として考慮することとするが，その大きさは，年超過確率 10^{-2} 相当地震動を上回る地震動として，弾性設計用地震動 S_d による地震力を地震荷重として設定する。
- (5) 地震荷重は，水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

5.2 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	応力等の状態
防護鋼板	組合せ
架構	引張，圧縮，せん断，曲げ，組合せ
基礎ボルト	引張，せん断，組合せ

5.3 強度評価方法

(1) 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号を表 5-2 に示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
A	mm ²	架構の断面積
A _b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
A _s	mm ²	防護鋼板の単位長さ当たりの断面積
A _{s y}	mm ²	架構のせん断断面積 (y 軸)
A _{s z}	mm ²	架構のせん断断面積 (z 軸)
C _H	—	弾性設計用地震動 S _d による水平方向設計震度
C _V	—	弾性設計用地震動 S _d による鉛直方向設計震度
d	mm	基礎ボルトの径
E	MPa	縦弾性係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1(1)に定める値
F [*]	MPa	J S M E SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値
F _{s x}	N	防護鋼板の膜力 (x 軸)
F _{s y}	N	防護鋼板の膜力 (y 軸)
F _{s x y}	N	防護鋼板のせん断力
f _b [*]	MPa	架構の許容曲げ応力
f _c [*]	MPa	架構の許容圧縮応力
f _s [*]	MPa	架構の許容せん断応力
f _t [*]	MPa	架構又は防護鋼板の許容引張応力
f _{s b}	MPa	基礎ボルトの許容せん断応力
f _{t o}	MPa	基礎ボルトの許容引張応力
f _{t s}	MPa	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
i	mm	断面二次半径
ℓ _k	mm	座屈長さ

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
M_y	N・mm	架構の曲げモーメント (y 軸)
M_z	N・mm	架構の曲げモーメント (z 軸)
M_{s_x}	N・mm	防護鋼板の曲げモーメント (x 軸)
M_{s_y}	N・mm	防護鋼板の曲げモーメント (y 軸)
$M_{s_{xy}}$	N・mm	防護鋼板のねじりモーメント
N_c	N	架構の軸力 (圧縮)
N_t	N	架構の軸力 (引張)
p	N	基礎ボルト1本当たりの引張力
Q_y	N	架構のせん断力 (y 軸)
Q_z	N	架構のせん断力 (z 軸)
q	N	基礎ボルト1本当たりのせん断力
R_x	N	基礎ボルト部の反力 (x 軸)
R_y	N	基礎ボルト部の反力 (y 軸)
R_z	N	基礎ボルト部の反力 (z 軸)
S	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 5 に定める許容引張応力
S_u	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 9 に定める設計引張強さ
S_y	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 8 に定める設計降伏点
$S_y (R T)$	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける設計降伏点

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
Z_b	mm^3	防護鋼板の断面係数
Z_y	mm^3	架構の断面係数 (y 軸)
Z_z	mm^3	架構の断面係数 (z 軸)
Z_t	mm^3	防護鋼板のねじり断面係数
Λ	—	架構の限界細長比
λ	—	架構の有効細長比
ν'	—	座屈に対する安全率
π	—	円周率
σ	MPa	防護鋼板の組合せ応力
σ_b	MPa	架構に生じる曲げ応力
σ_{by}	MPa	架構に生じる曲げ応力 (y 軸)
σ_{bz}	MPa	架構に生じる曲げ応力 (z 軸)
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力
σ_t	MPa	架構に生じる引張応力
σ_{tb}	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値
σ_x, σ_y	MPa	互いに直交する垂直応力
τ	MPa	防護鋼板に生じるせん断応力
τ_b	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値
τ_k	MPa	架構に生じるせん断応力
τ_y	MPa	架構に生じるせん断応力 (y 軸)
τ_z	MPa	架構に生じるせん断応力 (z 軸)

(2) 応力の計算方法

a. 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素での膜力 F_{sx} , F_{sy} , せん断力 F_{sxy} , 曲げモーメント M_{sx} , M_{sy} 及びねじりモーメント M_{sxy} により組合せ応力を次のように求める。

(a) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで,

$$\sigma_x = \frac{F_{sx}}{A_S} \pm \frac{M_{sx}}{Z_b}, \quad \sigma_y = \frac{F_{sy}}{A_S} \pm \frac{M_{sy}}{Z_b}$$

$$\tau = \frac{F_{sxy}}{A_S} \pm \frac{M_{sxy}}{Z_t}$$

b. 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 N_t , N_c , せん断力 Q_y , Q_z 及び曲げモーメント M_y , M_z により各応力を次のように求める。

(a) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

(b) せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \tau_z)$$

ここで,

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{sy}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{sz}}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

ここで,

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

(d) 組合せ応力

イ. 圧縮+曲げ

$$\max \left(\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*} \right)$$

ロ. 引張+曲げ

$$\max \left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b^*} \right)$$

ハ. 曲げ+せん断

$$\max \left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_z^2}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_y^2}}{1.5 \cdot f_t^*} \right)$$

引張軸力の場合は σ_c を σ_t とする。

c. 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は、解析による計算で得られる基礎ボルト部の反力 R_x 、 R_y 及び R_z により各応力を次のように求める。

(a) 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{p}{A_b}$$

ここで,

$$p = R_z$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(b) せん断応力

$$\tau_b = \frac{q}{A_b}$$

ここで,

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_x^2}$$

(3) 強度評価方法

a. 防護鋼板の応力評価

「(2)a. 防護鋼板の応力」で定めた組合せ応力が許容引張応力 $1.5 \cdot f_t^*$ 以下であること。

	許容応力状態IV _A S
許容引張応力 $1.5 \cdot f_t^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

b. 架構の応力評価

「(2)b. 架構の応力」で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は1以下であること。

	許容応力状態IV _A S
許容引張応力 $1.5 \cdot f_t^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $1.5 \cdot f_c^*$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $1.5 \cdot f_s^*$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $1.5 \cdot f_b^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}}$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

c. 基礎ボルトの応力評価

「(2)c. 基礎ボルトの応力」で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tb} は、次式より求めた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 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \min (1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎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。

	許容応力状態IV _A S
許容引張応力 f_{to}	$0.8 \cdot \frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$0.8 \cdot \frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 適用規格

VI-1-1-3-4-1「火山への配慮に関する基本方針」においては、降下火砕物の影響を考慮する施設的设计に係る適用規格を示している。

これらのうち、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007（日本機械学会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4 6 0 1・補-1984（日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4 6 0 1-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4 6 0 1-1991 追補版（日本電気協会）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 改定）

VI-3-別添 2-3 軽油タンクの強度計算書

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	4
2.4 適用規格	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の定義	7
3.2 評価対象部位	10
3.3 荷重及び荷重の組合せ	11
3.4 許容限界	12
3.5 評価方法	14
4. 評価条件	23
5. 強度評価結果	24
5.1 1質点系モデルによる計算結果	24
5.2 FEM解析による計算結果	24

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」に示すとおり、軽油タンクが降下火砕物等の堆積時においても、非常用ディーゼル発電機へ7日間の燃料供給が継続できるよう燃料を保有する機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

軽油タンクは、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、軽油タンクの「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

軽油タンクは、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の軽油タンクエリアに設置する。軽油タンクエリアの位置図を図 2-1 に示す。

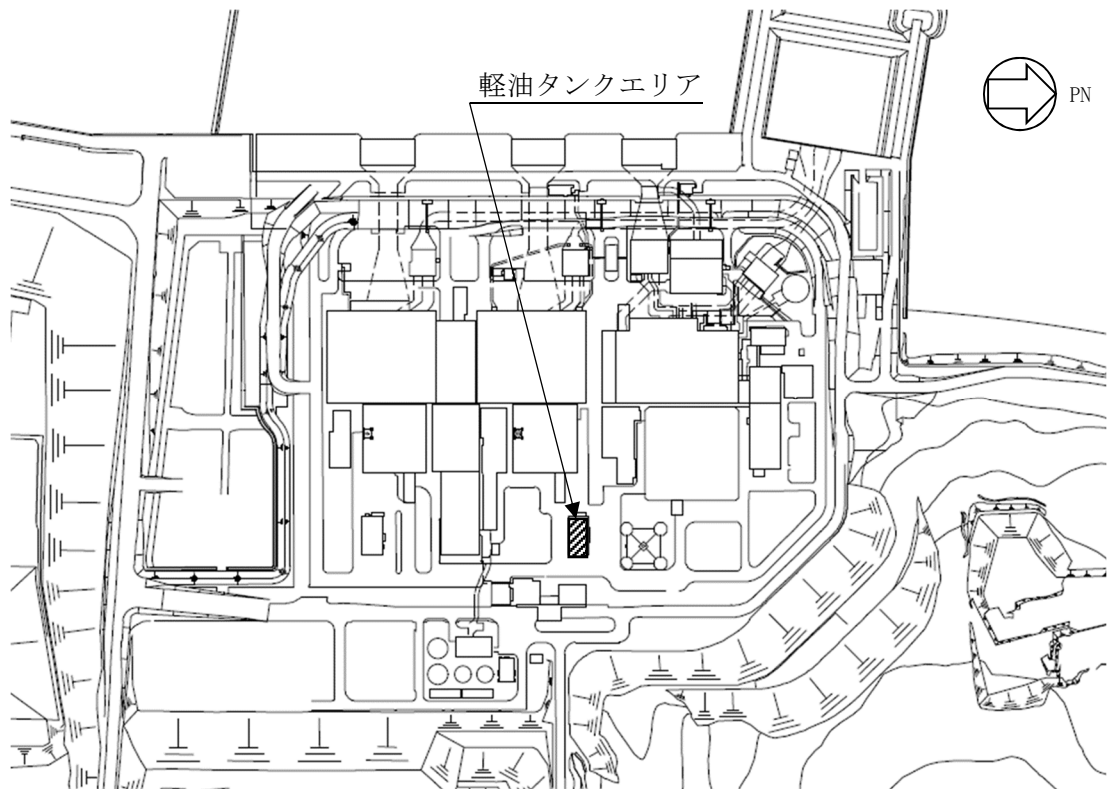


図 2-1 軽油タンクエリアの位置図

2.2 構造概要

軽油タンクは、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

軽油タンクは、円筒形の胴板と屋根板より構成され、基礎ボルトにより基礎コンクリートに固定された平底たて置円筒形容器である。タンクは外気と繋がっているため、タンク内圧は大気圧となっている。軽油タンクの概要図を図 2-2 に示す。

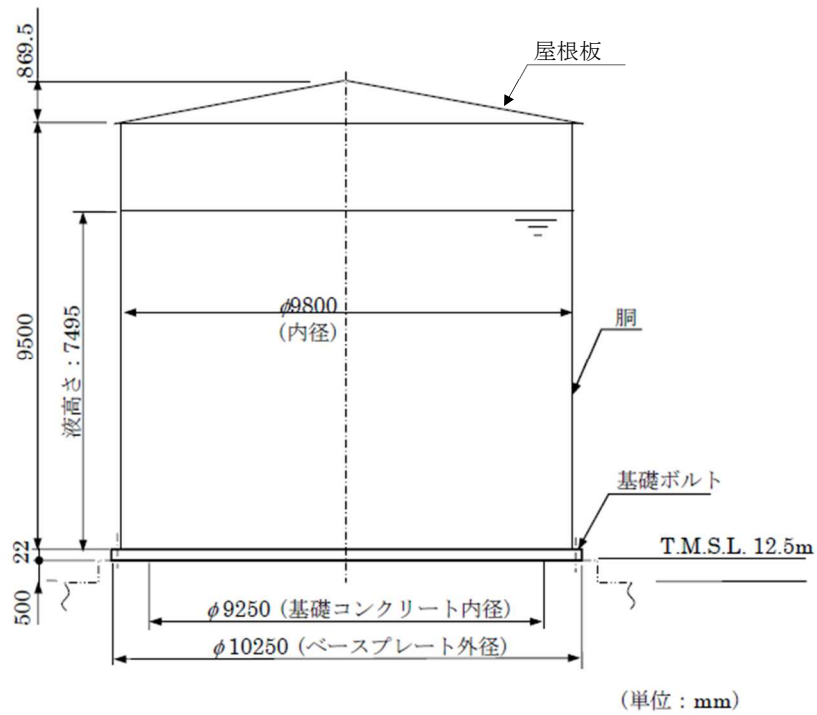


図 2-2 軽油タンクの概要図

2.3 評価方針

軽油タンクの強度評価は、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、軽油タンクの評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

軽油タンクの強度評価フローを図 2-3 に示す。軽油タンクの強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、建築基準法施行令第 86 条に基づき、屋根の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出し、屋根板表面積で除することにより入力荷重を算出し等分布荷重として保守的に設定する。強度評価においては、屋根板及び屋根板に接続する胴板（上部）に対して、FEM による応力解析を用いる。また、胴板（下部）及び基礎ボルトに対して、「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」（日本電気協会）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の平底たて置円筒形容器の評価方法を準用し、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す平底たて置円筒形容器の評価式を用いる。軽油タンクの許容限界は、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態Ⅲ_ASとする。

「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「J S M E」という。）付録材料図表 part5, 6 の表にて許容応力を計算する際は、機器本体については最高使用温度、ボルトについては周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

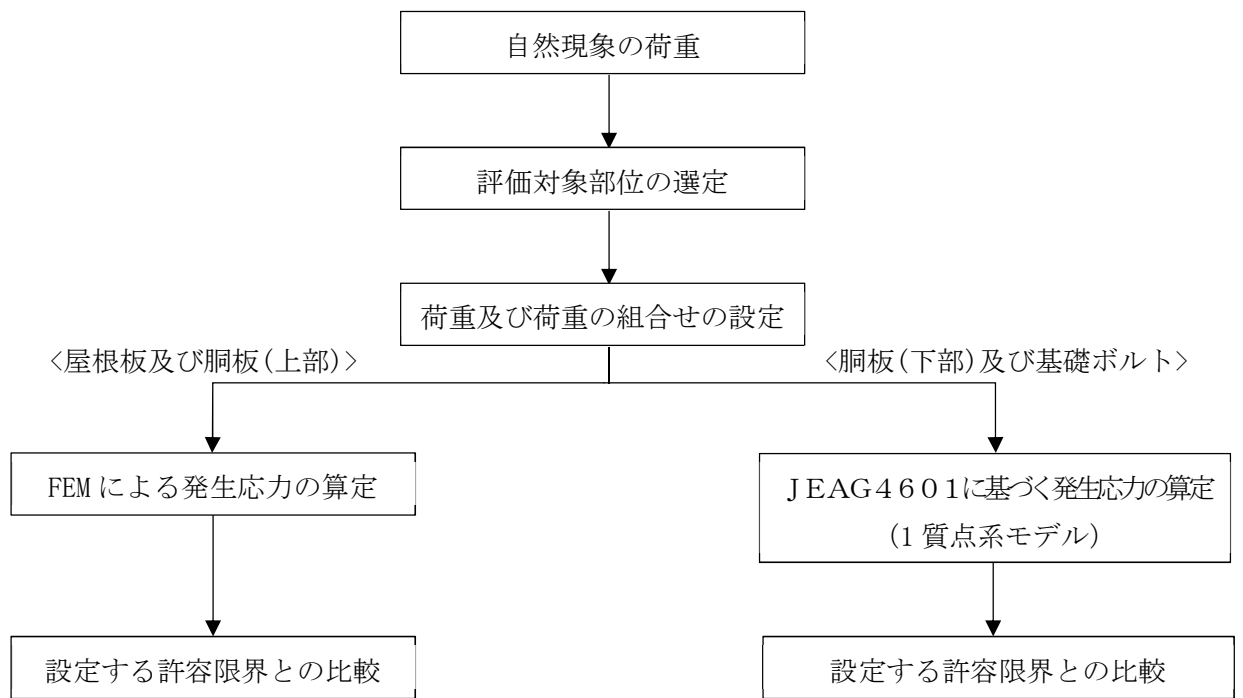


図 2-3 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007（日本機械学会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984（日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987（日本電気協会）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 改定）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

軽油タンクの強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 軽油タンクの強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
A_b	mm^2	基礎ボルト呼び径断面積
C_c	—	基礎ボルト計算における係数
C_H	—	弾性設計用地震動 S_d による水平方向設計震度
C_t	—	基礎ボルト計算における係数
C_V	—	弾性設計用地震動 S_d による鉛直方向設計震度
D_c	mm	基礎ボルト中心円直径
D_i	mm	胴内径
D_{bi}	mm	ベースプレート内径
D_{bo}	mm	ベースプレート外径
E	MPa	縦弾性係数
e	—	基礎ボルト計算における係数
F	MPa	J SME SSB-3121.1(1)により規定される値
F_c	N	基礎に作用する圧縮力
F_d	N	常時作用する荷重
F_t	N	基礎ボルトに作用する引張力
F_k	N	地震荷重
F_{vk}	N	従荷重として地震荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F_{vs}	N	従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f_b	MPa	曲げモーメントにより生じる座屈応力
f_c	MPa	軸圧縮荷重により生じる座屈応力
f_s	MPa	J SME SSB-3131 により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容せん断応力
f_t	MPa	J SME SSB-3131 により規定される供用状態 A 及び B での基礎ボルトの許容引張応力
f_{ts}	MPa	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
g	m/s^2	重力加速度
H	m	全高
H_h	mm	液面高さ
k	—	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数

表 3-1 軽油タンクの強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
l_g	mm	基礎から容器重心までの距離
l_1, l_2	mm	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離
M_s	N・mm	転倒モーメント
m_0	kg	容器の有効運転質量
m_e	kg	空質量
m_s	kg	降下火砕物等の堆積による質量
n	—	基礎ボルト本数
R_B	mm	胴平均半径
S_0	MPa	屋根板又は胴板の一次一般膜応力の許容値
S_1	MPa	屋根板又は胴板の一次膜応力＋一次曲げ応力の許容値
S_y	MPa	J SME 付録材料図表 part5 の表にて規定される設計降伏点
S_u	MPa	J SME 付録材料図表 part5 の表にて規定される設計引張強さ
s	—	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比
t	mm	胴板厚
t_1	mm	基礎ボルト面積相当板幅
t_2	mm	圧縮側基礎相当幅
z	—	基礎ボルト計算における係数
α_1	—	安全率
α_2	rad	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度
η	—	R_B / t
η_1	—	$1200 \times g / F$
η_2	—	$8000 \times g / F$
η_3	—	$9600 \times g / F$
ν	—	ポアソン比
π	—	円周率
ρ	—	軽油の比重
σ_0	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力
σ_1	MPa	胴に生じる組合せ一次応力
σ_{0c}	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)
σ_{0t}	MPa	胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (引張)
σ_b	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力
σ_c	MPa	基礎に生じる圧縮応力
σ_{xc}	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)
σ_{xt}	MPa	胴に生じる軸方向応力の和 (引張)

表 3-1 軽油タンクの強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
σ_{x2}	MPa	自重（空質量）及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
σ_{x3}	MPa	鉛直方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
σ_{x4}	MPa	水平方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力
σ_{xbs}	MPa	曲げモーメントにより生じる圧縮応力
σ_{xcs}	MPa	軸圧縮荷重により生じる圧縮応力
$\sigma_{\phi c}$	MPa	胴に生じる周方向応力の和（圧縮）
$\sigma_{\phi t}$	MPa	胴に生じる周方向応力の和（引張）
$\sigma_{\phi 1}$	MPa	静水頭により胴に生じる周方向応力
$\sigma_{\phi 2}$	MPa	鉛直方向地震力により胴に生じる周方向応力
τ	MPa	水平方向地震力により胴に生じるせん断応力
τ_b	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力
ϕ_b	MPa	座屈応力 f_b を算出する際の関数
ϕ_c	MPa	座屈応力 f_c を算出する際の関数

3.2 評価対象部位

軽油タンクの評価対象部位は、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根板、胴板（上部）、胴板（下部）及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物が堆積する屋根板及び屋根板に接続する胴板（上部）に作用する。また、地震荷重は、胴板を介して胴板（下部）及び基礎ボルトに作用する。

このことから、屋根板、胴板（上部）、胴板（下部）及び基礎ボルトを評価対象部位として設定している。

軽油タンクの強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

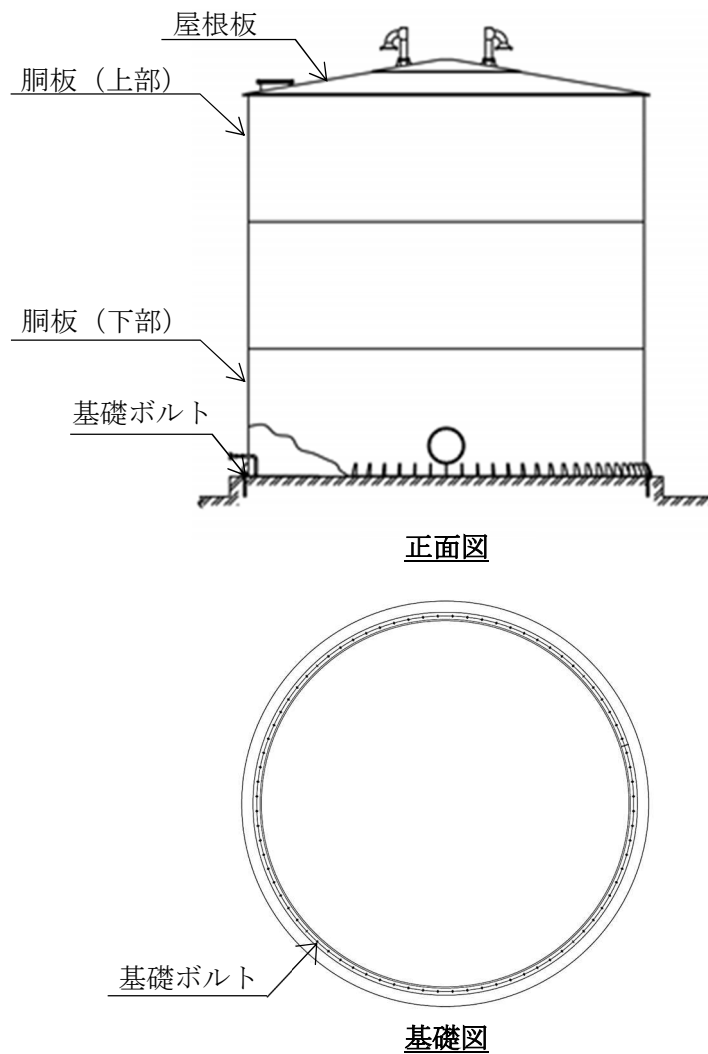


図 3-1 軽油タンクの評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

軽油タンクの強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、自重及び水頭圧を考慮する。

b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 (F_{vk} , F_{vs})

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は、 $F_{vk}=6063\text{N/m}^2$ 、 $F_{vs}=8542\text{N/m}^2$ とする。建築基準法施行令第86条では、屋根部の勾配が60度以下の場合においては、その勾配に応じた屋根形状係数を乗じた数値とし、その勾配が60度を超える場合においては、零とすることができるとの記載があるが、保守的に屋根形状係数を1とする。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は、弾性設計用地震動 S_d による地震力を考慮することを踏まえて、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-5 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の計算方法に基づき得られた固有周期に対応した設計震度 ($C_H=0.89$, $C_V=0.65$) によって発生する水平荷重及び鉛直荷重を算出する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、軽油タンクの評価対象部位ごとに設定する。

軽油タンクの屋根板及び胴板（上部）については、水頭圧は作用しないため考慮しない。そのため、軽油タンクの屋根板及び胴板（上部）には、自重及び降下火砕物等の堆積による鉛直荷重が作用する。

軽油タンクの胴板（下部）及び基礎ボルトには、水頭圧、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

軽油タンクの評価にて考慮する荷重の組合せを表3-2に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
軽油タンク	屋根板	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
	胴板（上部）	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
	胴板（下部）	①自重，水頭圧 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
	基礎ボルト	①自重，水頭圧 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重

3.4 許容限界

軽油タンクの許容限界値は、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1 に基づき許容応力状態Ⅲ_AS の許容応力を用いる。

軽油タンクの許容限界は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、屋根板及び胴板については「クラス 2, 3 容器」、基礎ボルトについては「クラス 2, 3 支持構造物」の許容限界を適用する。また、座屈については評価式を満足することを確認する。設計荷重に対して、当該施設に要求される安全機能を維持できるように弾性設計とするため、許容応力状態Ⅲ_AS から算出した以下の許容応力を許容限界とする。J E A G 4 6 0 1 に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

軽油タンクの許容限界について、屋根板及び胴板（上部）の許容限界を表 3-3、胴板（下部）の許容限界を表 3-4、基礎ボルトの許容限界を表 3-5 に示す。

表 3-3 屋根板及び胴板（上部）の許容限界

状態	温度条件 (°C)	許容限界	
		一次一般膜	一次膜+一次曲げ
許容応力 状態Ⅲ _A S	66*	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$	左欄の 1.5 倍の値

注記*：最高使用温度

表 3-4 胴板（下部）の許容限界

状態	温度条件 (°C)	許容限界		
		一次一般膜	組合せ一次	座屈
許容応力 状態Ⅲ _A S	66*	$\text{Min}[S_y, 0.6 S_u]$	左欄に同じ	$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$

注記*：最高使用温度

表 3-5 基礎ボルトの許容限界

状態	温度条件 (°C)	許容限界	
		一次応力	
		引張	せん断
許容応力 状態Ⅲ _A S	40*	$1.5 f_t$	$1.5 f_s$

注記*：周囲環境温度

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 f_{ts} は以下のとおり。

$$f_{ts} = \text{Min}\{1.4(1.5 f_t) - 1.6 \tau_b, 1.5 f_t\}$$

3.5 評価方法

1 質点系モデルによる評価と FEM 解析による評価を行う。

(1) 1 質点系モデルによる評価

1 質点系モデルによる強度評価は、VI-3-別添 2-1-1「軽油タンクの強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している平底たて置円筒容器の評価式を用いる。

a. 計算モデル

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重、水頭圧及び自重（鉛直荷重）並びに地震荷重（水平及び鉛直荷重）により作用する水平力及びモーメントに対し、厳しい部位である胴板（下部）及び基礎ボルトの構造健全性を 1 質点系モデルとして評価を行う。軽油タンクの 1 質点系モデルによる計算に用いるモデル図を図 3-2 に示す。

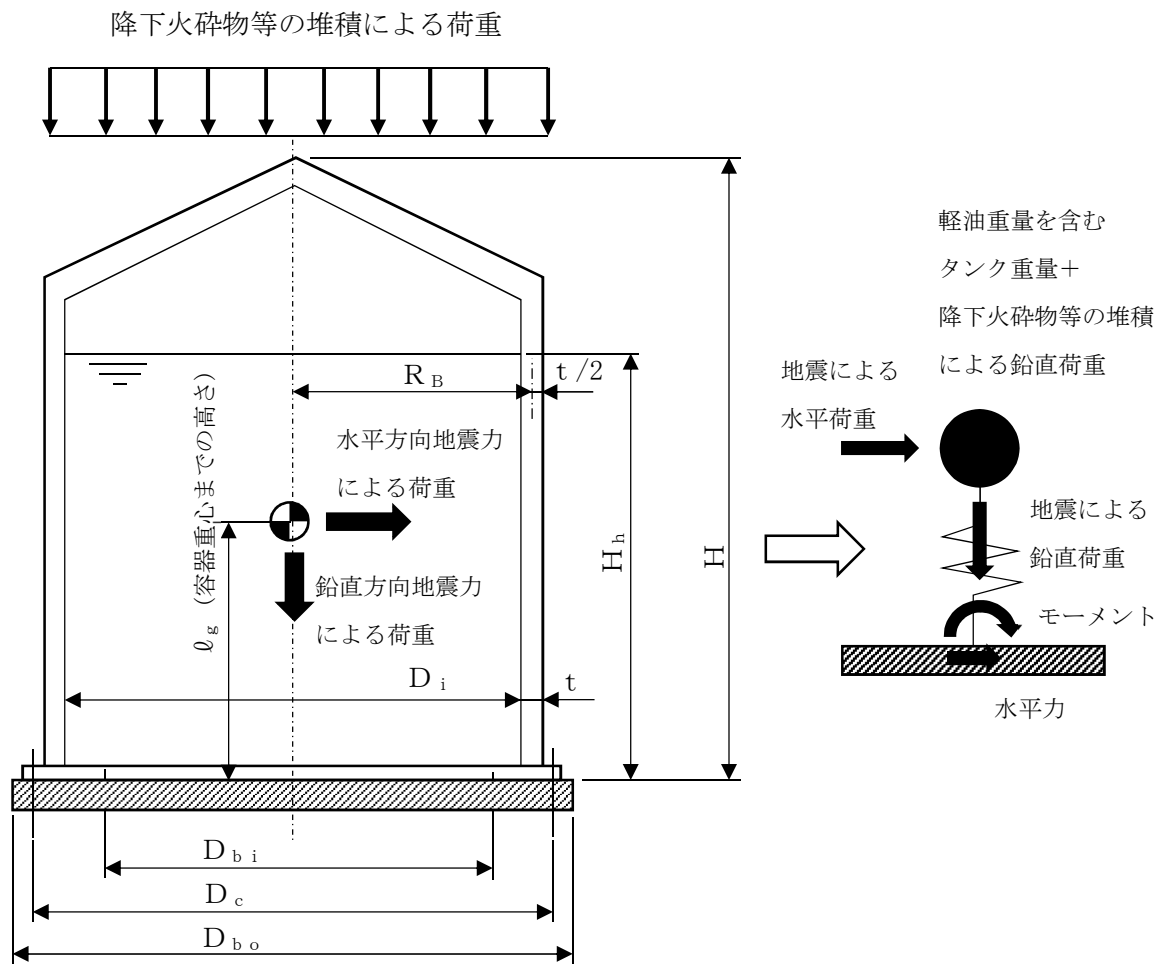


図 3-2 1 質点系モデルによる計算モデル図

b. 1 質点系モデルによる評価における計算方法

内包油量は胴板及び基礎ボルトの各評価対象部位に対して応力が大きくなるように設定する。具体的には、胴板（下部）及び基礎ボルト計算時は保守的な評価となるように満油量にて計算する。

(a) 胴に生じる応力

イ. 静水頭及び鉛直方向地震力により胴に生じる周方向応力

静水頭により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \cdot \rho \cdot H_h \cdot D_i}{2t}$$

鉛直方向地震力により胴に生じる周方向応力

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot g \cdot \rho \cdot H_h \cdot D_i \cdot C_v}{2t}$$

ロ. 胴の自重（空質量）、鉛直方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

自重（空質量）及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_e + m_s) \cdot g}{\pi (D_i + t) \cdot t}$$

鉛直方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x3} = \frac{C_v \cdot (m_e + m_s) \cdot g}{\pi (D_i + t) \cdot t}$$

ハ. 水平方向地震力により生じる応力

水平方向地震力及び降下火砕物等の堆積による荷重により胴に生じる軸方向応力

$$\sigma_{x4} = \frac{4M_s}{\pi (D_i + t)^2 \cdot t}$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot (m_0 + m_s) \cdot g \cdot \ell_g$$

水平方向地震力により胴に生じるせん断応力

$$\tau = \frac{2C_H \cdot (m_0 + m_s) \cdot g}{\pi (D_i + t) \cdot t}$$

ニ. 胴に生じる組合せ一次一般膜応力及び組合せ一次応力

(イ) 組合せ引張応力

胴に生じる周方向応力の和 (引張)

$$\sigma_{\phi t} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

胴に生じる軸方向応力の和 (引張)

$$\sigma_{xt} = -\sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (引張)

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{xt} + \sigma_{\phi t}) + \sqrt{(\sigma_{xt} - \sigma_{\phi t})^2 + 4\tau^2} \right\}$$

(ロ) 組合せ圧縮応力

胴に生じる周方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{\phi c} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2}$$

胴に生じる軸方向応力の和 (圧縮)

$$\sigma_{xc} = \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2}$$

胴に生じる組合せ一次一般膜応力 (圧縮)

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{xc} + \sigma_{\phi c}) + \sqrt{(\sigma_{xc} - \sigma_{\phi c})^2 + 4\tau^2} \right\}$$

(ハ) 組合せ応力

胴に生じる組合せ一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max}[\sigma_{0t}, \sigma_{0c}]$$

組合せ一次応力は組合せ一次一般膜応力と同じになる。

ホ. 軸圧縮荷重及び曲げモーメントにより生じる圧縮応力

軸圧縮荷重により生じる圧縮応力

$$\sigma_{xcs} = \sigma_{x2} + \sigma_{x3}$$

曲げモーメントにより生じる圧縮応力

$$\sigma_{xbs} = \sigma_{x4}$$

(b) 胴の座屈評価

イ. 軸圧縮荷重により生じる座屈応力

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left[1 - \frac{1}{6800 \times g} \{ F - \phi_c(\eta_2) \} (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \phi_c(\eta) & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_c(\eta) = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

ロ. 曲げモーメントにより生じる座屈応力

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left[1 - \frac{1}{8400 \times g} \{ F - \phi_b(\eta_3) \} (\eta - \eta_1) \right] & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \\ \phi_b(\eta) & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

ここで,

$$\phi_b(\eta) = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right]$$

ハ. 安全率 α_1

安全率は、各荷重の組合せに対して

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600 \times g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで,

$$\eta = \frac{R_B}{t}, \quad \eta_1 = \frac{1200 \times g}{F}, \quad \eta_2 = \frac{8000 \times g}{F}, \quad \eta_3 = \frac{9600 \times g}{F}$$

ニ. 座屈評価

以下の式により評価を行う。

$$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$$

(c) 基礎ボルト評価

イ. 基礎ボルトに生じるせん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot (m_0 + m_s) \cdot g}{n \cdot A_b}$$

ロ. 基礎ボルトに生じる引張応力

基礎ボルトに引張力が発生しないのは、 α_2 が π に等しくなったときであり、 α_2 を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$ 及び $z = 0.25$ を、 F_t を求める式に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判断する。

- ・ $F_t \leq 0$ ならば、引張力は作用しない。
- ・ $F_t > 0$ ならば、引張力は作用しているので以降の計算を行う。

転倒モーメント M_s が作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。基礎の荷重説明図を図3-3に示す。

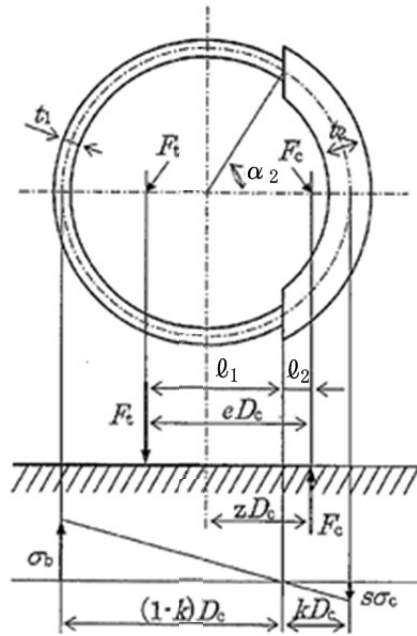


図3-3 基礎の荷重説明図 (J E A G 4 6 0 1 より抜粋)

(イ) σ_b , σ_c を仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

(ロ) α_2 を求める。

$$\alpha_2 = \cos^{-1}(1 - 2k)$$

(ハ) 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{1}{2}(\pi - \alpha_2) + \frac{3}{2} \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2}{(\pi - \alpha_2) \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2} \right\}$$

$$+ \frac{1}{2} \left(\frac{\frac{1}{2} \alpha_2 - \frac{3}{2} \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right)$$

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos \alpha_2 + \left(\frac{\frac{1}{2} \alpha_2 - \frac{3}{2} \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2 + \alpha_2 \cdot \cos^2 \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2} \right) \right\}$$

$$C_t = \frac{2\{(\pi - \alpha_2) \cdot \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2\}}{1 + \cos \alpha_2}$$

$$C_c = \frac{2(\sin \alpha_2 - \alpha_2 \cdot \cos \alpha_2)}{1 - \cos \alpha_2}$$

(二) 各定数を用いて F_t , F_c を求める。

$$F_t = \frac{1}{e \cdot D_c} \sqrt{M_s^2 + \{C_v \cdot (m_0 + m_s) \cdot g \cdot z \cdot D_c\}^2} - \frac{z}{e} (m_0 + m_s) \cdot g$$

$$F_c = \frac{1}{e \cdot D_c} \sqrt{M_s^2 + \{C_v \cdot (m_0 + m_s) \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c\}^2} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) (m_0 + m_s) \cdot g$$

(ホ) σ_b , σ_c を求め、(イ)にて仮定した値を十分に近似していることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで、

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} (D_{b_o} - D_{b_i}) - t_1$$

(2) FEM 解析による評価

屋根板及び胴板（上部）は FEM 解析にて評価を行う。

FEM 解析に使用する解析コードは「MSC NASTRAN」である。

なお、評価に用いる解析コード MSC NASTRAN の検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 荷重条件

軽油タンクの荷重条件を表 3-6 に示す。

表 3-6 軽油タンクの荷重条件

荷重条件	入力荷重 (N/m ²)
従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F_{vs}	8542

b. 計算モデル及び諸元

拘束部位はタンク基部であることから、タンク胴板（上部）に構造上有意な応力増加はないため、屋根部に作用する鉛直荷重に対し厳しい部位である屋根板及び胴板（上部）について、屋根板、コンプレッションリング、屋根板補強リング及び胴板の板部材を板要素で、ラフタ及び補強材を梁要素でモデル化して評価を行う。軽油タンクの FEM 解析に用いるモデル図を図 3-4 に、諸元を表 3-7 に示す。



図 3-4 FEM 解析に用いるモデル図

表 3-7 軽油タンクの諸元

部材	材料	最高使用温度 (°C)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν (—)
屋根板, 胴板, 補強リング, コンプレッショ ンリング	<input type="text"/>	66	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ラフタ, 補強材	<input type="text"/>	66	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1及び表4-2示す。

表4-1 許容応力評価に用いる条件

材料	温度 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	$1.5f_t$ (MPa)	$1.5f_s$ (MPa)
<input type="text"/> (屋根板, 胴板)	66	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—
<input type="text"/> (基礎ボルト)	40	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

表4-2 軽油タンクの入力条件

据付場所 及び床面高さ (m) *1	構造概要	最高使用圧力 (MPa)	温度*2 (°C)	ρ (—)	g (m/s ²)
屋外 T. M. S. L. 12.5	平底 たて置き円筒形	大気圧	①66	0.86	9.80665
			②40		

固有周期 (水平/鉛直) (s)	C_H (—)	C_V (—)	H (mm)	m_0 (kg)
<input type="text"/>	0.89	0.65	10391.5	<input type="text"/>

m_e (kg)	m_s *3 (kg)	D_i (mm)	t (mm)	l_g (mm)
<input type="text"/>	③50100 ④70500	9800	<input type="text"/>	4615

H_h (mm)	R_B (mm)	E (MPa)	s (—)	n (—)
7495	4918	<input type="text"/>	9	<input type="text"/>

D_c (mm)	D_{b_o} (mm)	D_{b_i} (mm)	ボルト サイズ	A_b (mm ²)
10050	10250	9250	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : ①は屋根板及び胴板評価時, ②は基礎ボルト評価時の値

*3 : ③は胴板(下部)及び基礎ボルト評価時, ④は屋根板及び胴板(上部)評価時の値

5. 強度評価結果

5.1 1 質点系モデルによる計算結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5-1 に示す。

胴板（下部），基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下であり，また，座屈の評価の条件式を満足している。

表 5-1 軽油タンクの 1 質点系モデルによる評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板 (下部)	□	一次一般膜	$\sigma_0 = 23$	$S_0 = \square$
		組合せ一次	$\sigma_1 = 23$	
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xcs}}{f_c} + \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_{xbs}}{f_b} \leq 1$	
				0.08
基礎ボルト	□	引張	$\sigma_b = 14$	$1.5f_t = \square$
		せん断	$\tau_b = 35$	$1.5f_s = \square$
		組合せ	$\sigma_b = 14$	$f_{ts} = \square$

5.2 FEM 解析による計算結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5-2 に示す。

屋根板，胴板（上部）に発生する応力は許容応力以下である。

表 5-2 軽油タンクの FEM 解析による評価結果

評価部位	材料	応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
屋根板	□	一次一般膜	$\sigma = 64$	$S_0 = \square$
		一次膜+一次曲げ	$\sigma = 105$	$S_1 = \square$
胴板 (上部)	□	一次一般膜	$\sigma = 16$	$S_0 = \square$
		一次膜+一次曲げ	$\sigma = 30$	$S_1 = \square$

VI-3-別添 2-4 原子炉建屋の強度計算書

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	8
2.4 適用規格	10
3. 強度評価方法及び評価条件	11
3.1 評価対象部位	11
3.2 荷重及び荷重の組合せ	11
3.2.1 荷重	11
3.2.2 荷重の組合せ	18
3.3 許容限界	19
3.4 解析モデル及び諸元	23
3.4.1 モデル化の基本方針	23
3.4.2 解析諸元	28
3.5 評価方法	29
3.5.1 屋根スラブの評価方法	29
3.5.2 屋根トラスの評価方法	33
3.5.3 耐震壁の評価方法	35
4. 強度評価結果	36
4.1 屋根スラブの評価結果	36
4.2 屋根トラスの評価結果	45
4.3 耐震壁の評価結果	62
5. 引用文献	63

別紙 年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1-2「原子炉建屋の強度計算の方針」に示すとおり、原子炉建屋が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能、放射線の遮蔽機能（以下「遮蔽性」という。）及び放射性物質の閉じ込め機能（以下「気密性」という。）の維持を考慮して、建屋全体及び建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

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

2.1 位置

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

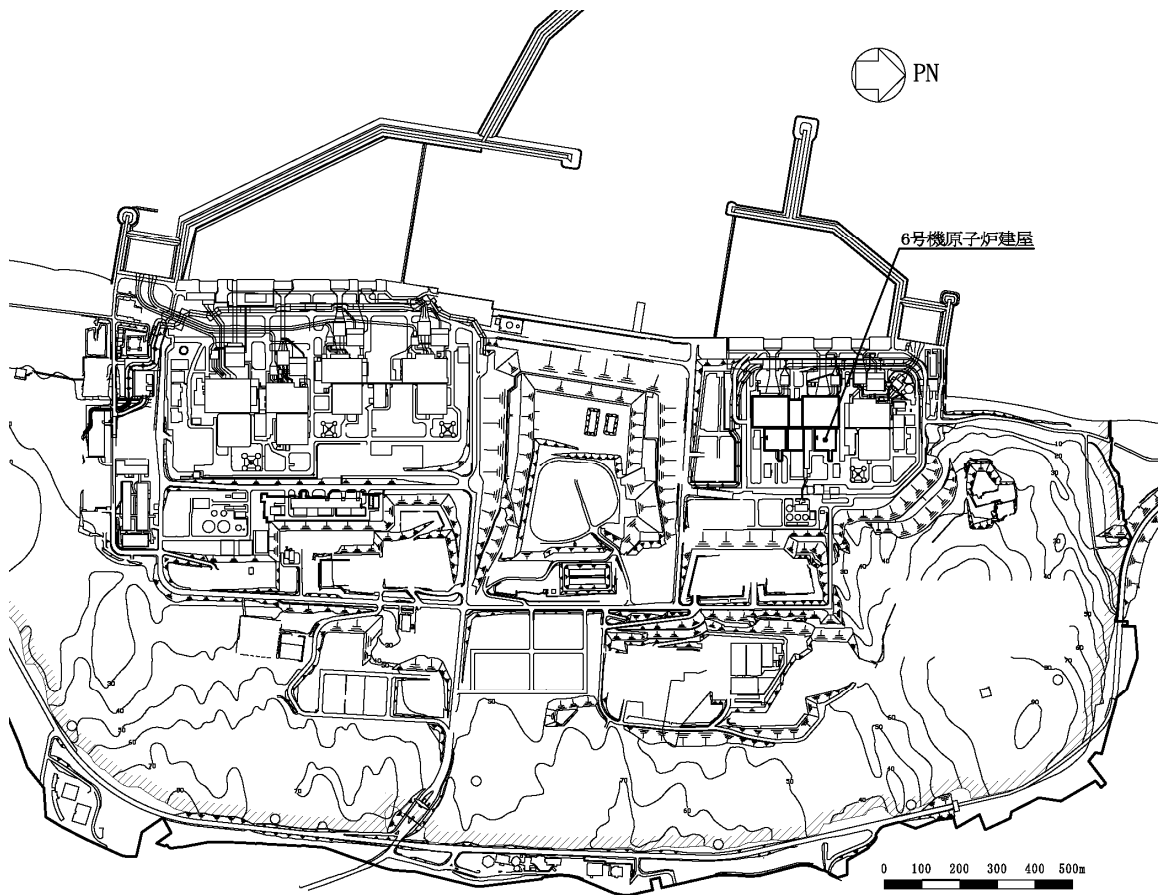


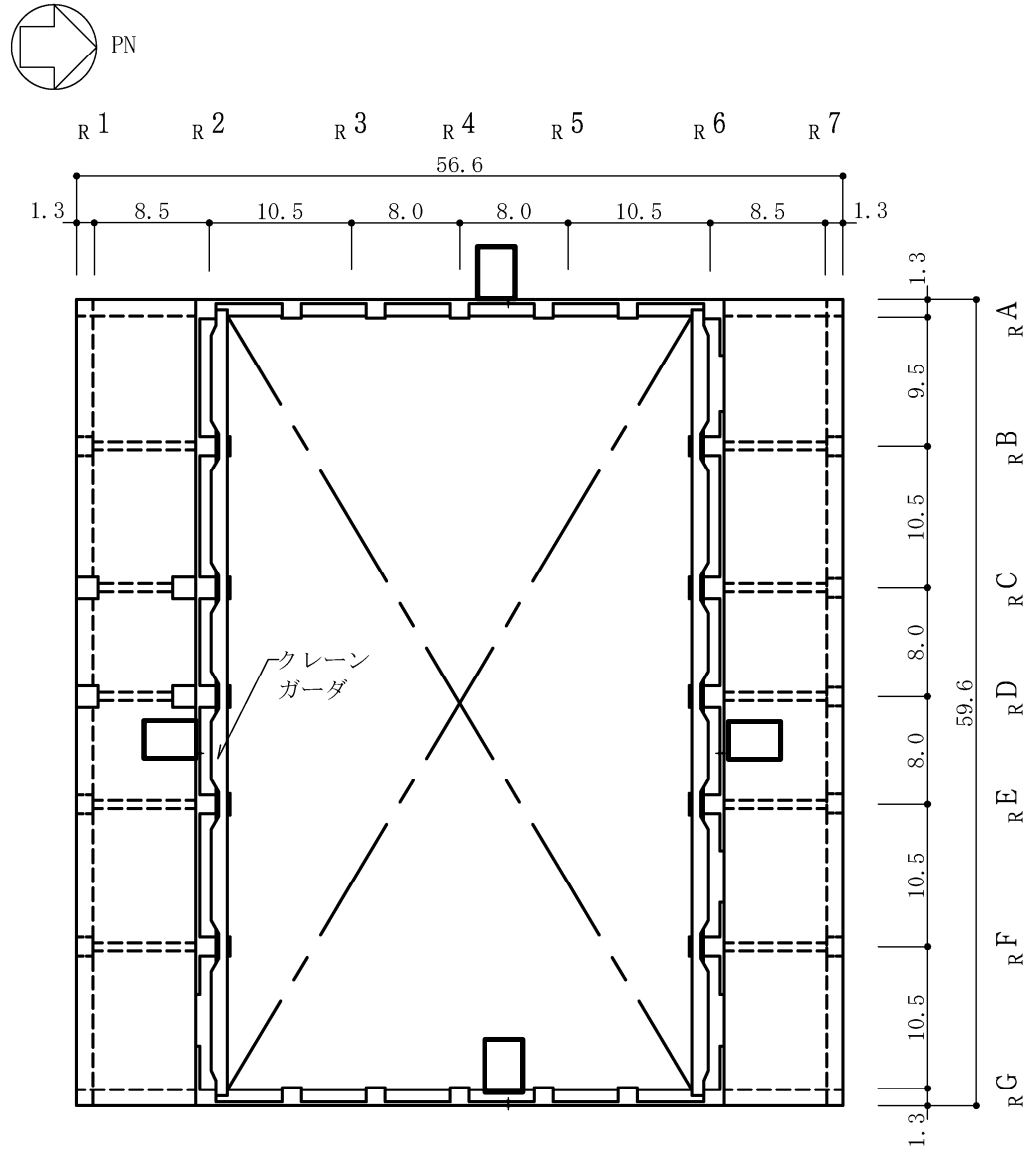
図 2-1 原子炉建屋の配置図

2.2 構造概要

原子炉建屋は、VI-3-別添 2-1-2「原子炉建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

原子炉建屋は、平面が 56.6m (NS 方向) × 59.6m (EW 方向) の鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造 (トラス構造) の地上 4 階、地下 3 階建ての建物である。屋根スラブを支える屋根トラスの平面形状は 39.0m (NS 方向) × 59.6m (EW 方向) の長方形であり、4 階面 (T.M.S.L. 31.7m) からの高さは 18.0m である。

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



注：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

図 2-2 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T.M.S.L. 38.2m) (1/2) (単位：m)

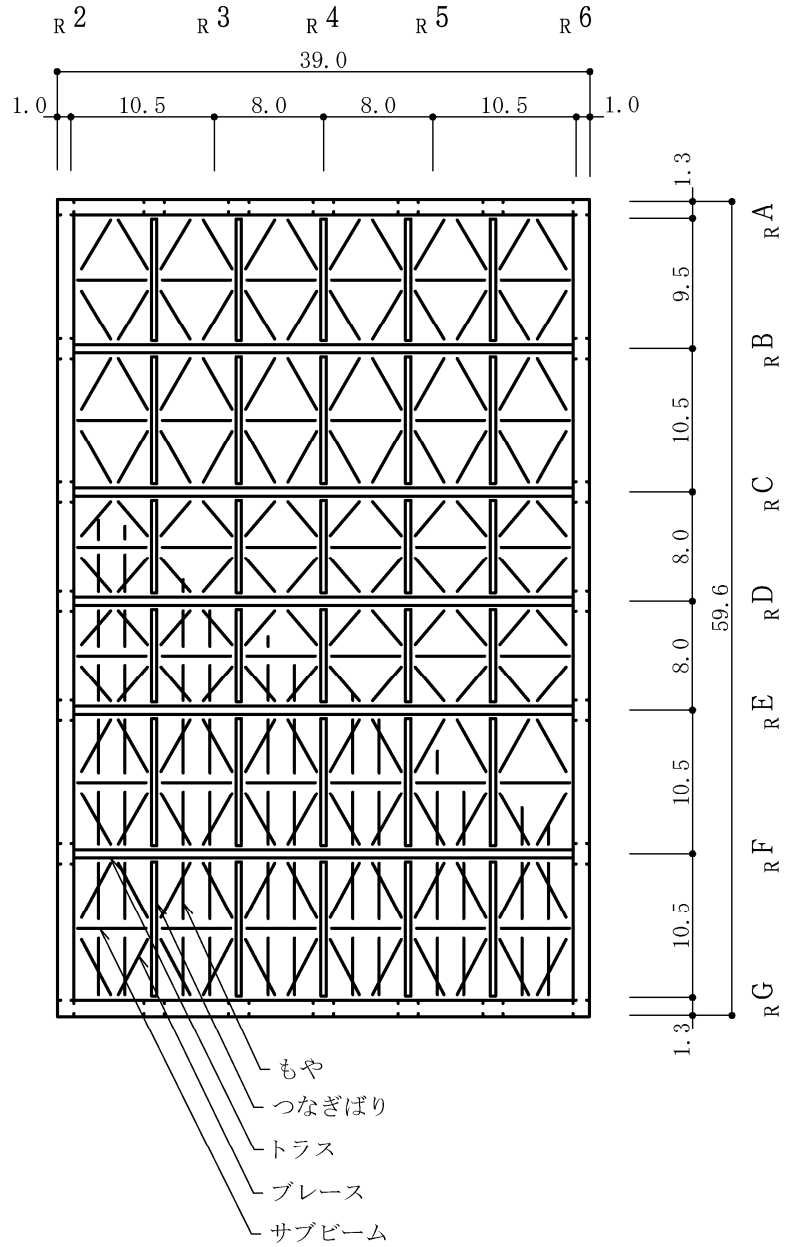
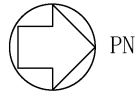
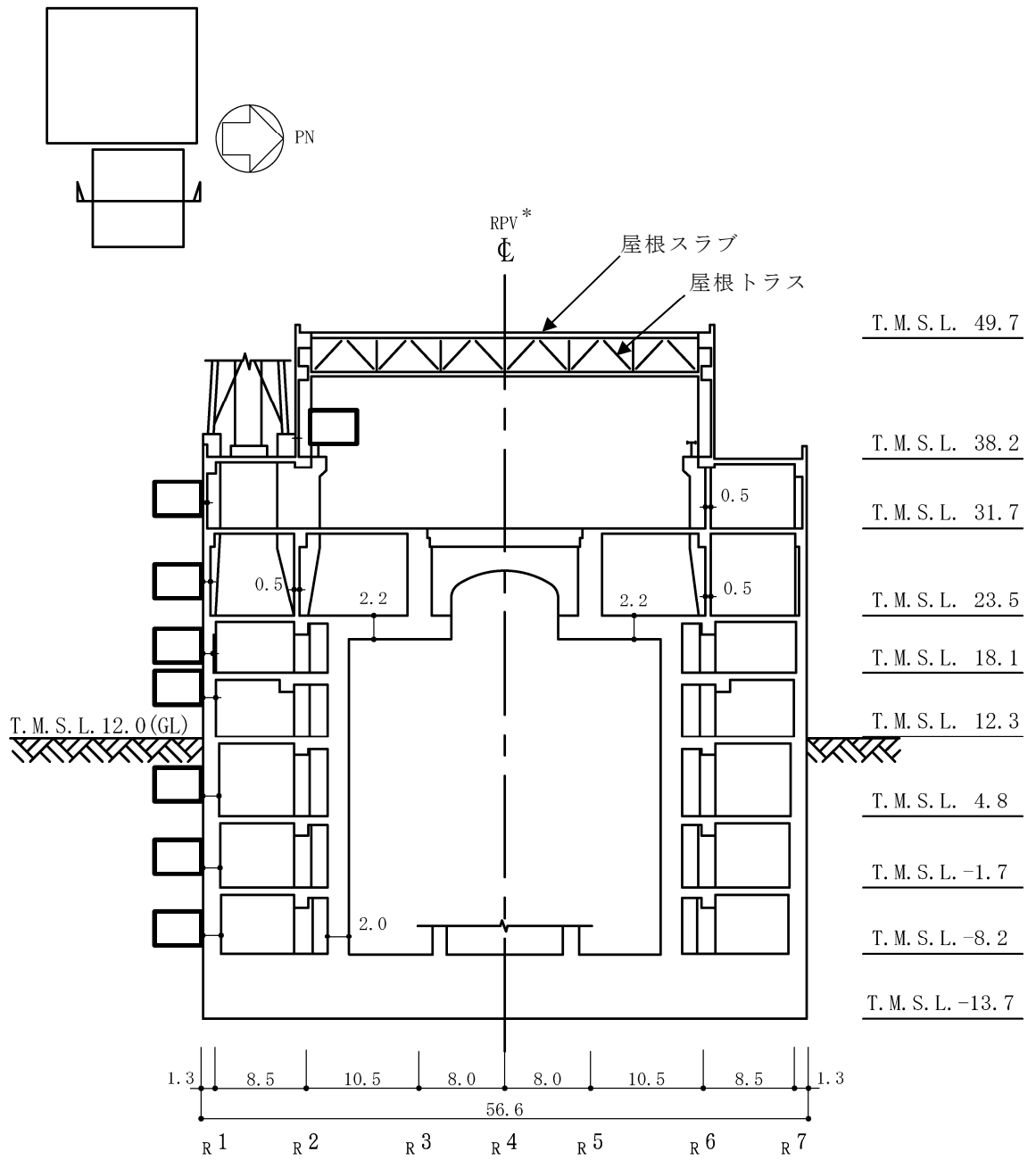


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 49.7m) (2/2) (単位 : m)



注記*：原子炉圧力容器を，以下「RPV」という。

図 2-3 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2) (単位 : m)

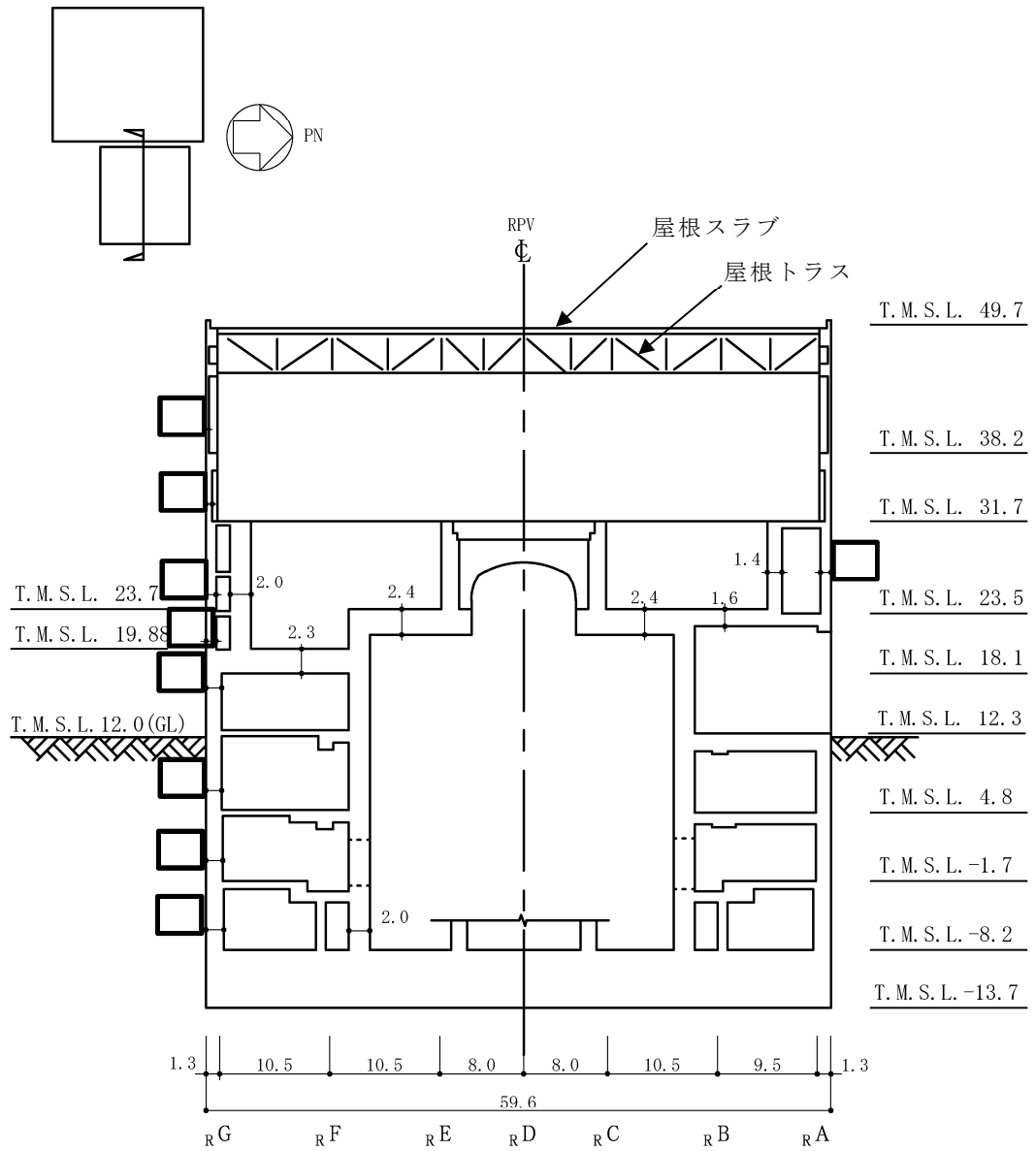


図2-3 原子炉建屋の概略断面図 (EW方向) (2/2) (単位 : m)

2.3 評価方針

原子炉建屋の強度評価は、VI-3-別添 2-1-2「原子炉建屋の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建屋の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

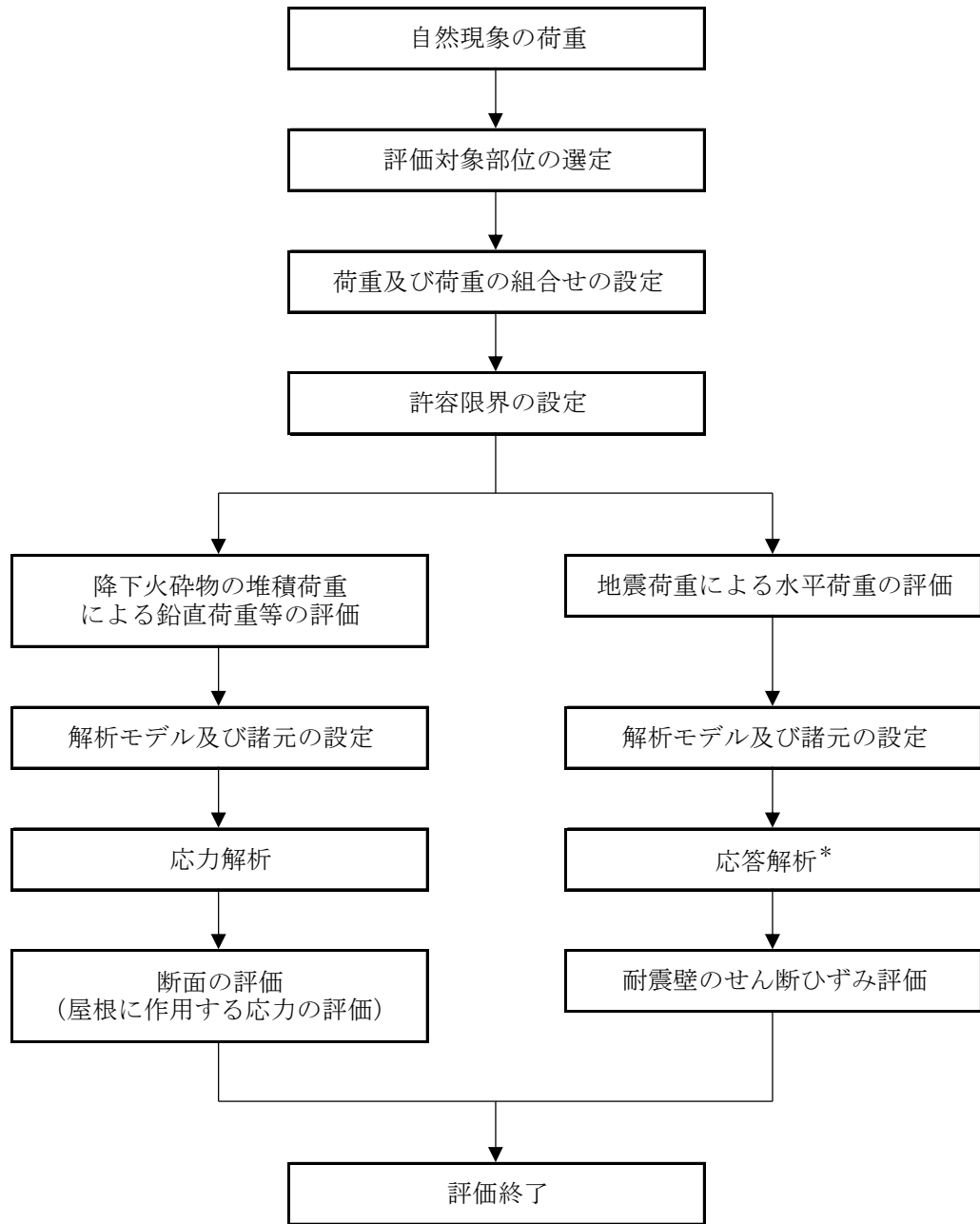
原子炉建屋の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として屋根スラブ及び屋根トラスを、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。

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

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

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



注記* : VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。

図 2-4 強度評価フロー

2.4 適用規格

原子炉建屋の強度評価に用いる規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 —許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）（以下「RC-N 規準」という。）
- ・ 鋼構造設計規準 —許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 改定）（以下「S 規準」という。）
- ・ 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）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

3. 強度評価方法及び評価条件

3.1 評価対象部位

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

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1-2「原子炉建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重

(1) 屋根スラブ

a. 鉛直荷重

表 3-1～表 3-3 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、降下火砕物による荷重 (F_a) 及び積雪荷重 (F_s , $F_{s,b}$) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とし、平成 3 年 8 月 23 日付け 3 資庁第 6674 号にて許可された工事計画の添付書類「IV-2-7-1 原子炉建屋の耐震性についての計算書」(以下「既工認」という。)に基づき設定する。ただし、屋根トラスの裕度向上を目的として、耐震強化工事を実施しており、その際に屋根スラブの積載重量の低減を図り、ルーフブロック等を撤去したため、その重量も反映する。降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は積雪量 1cm ごとに 29.4N/m^2 とし、柏崎市における 1 日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重である降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重 (F_s) とする。また、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重 ($F_{s,b}$) として考慮する。なお、原子炉建屋内は負圧となっており、屋根スラブに鉛直下向きの圧力荷重が作用しているが、鉛直荷重と比較して $6.28 \times 10^{-2}\text{kN/m}^2$ と非常に軽微なため考慮しない。

b. 地震荷重

屋根スラブに考慮する地震荷重 (F_k) は, T. M. S. L. 49. 7m のスラブについては, 後述する「3. 4 解析モデル及び諸元」に示す年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する 3 次元 FEM モデルの鉛直方向最大応答加速度より, T. M. S. L. 38. 2m 及び T. M. S. L. 19. 6m のスラブについては, VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」に示す質点系モデルの鉛直方向最大応答加速度より算定した鉛直震度として考慮する。

表 3-1 鉛直荷重一覧（屋根スラブ T.M.S.L. 49.7m, スラブ厚さ $t = \square$ mm)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	2.746kN/m ²
	積載荷重 (P)	0.5884kN/m ²
降下火砕物による荷重 (F_a)		5.148kN/m ²
積雪荷重	年超過確率 10^{-2} (F_s)	2.478kN/m ²
	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})	0.9143kN/m ²

表 3-2 鉛直荷重一覧（屋根スラブ T.M.S.L. 38.2m, スラブ厚さ $t = \square$ mm)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	16.22kN/m ²
	積載荷重 (P)	0.8826kN/m ²
降下火砕物による荷重 (F_a)		5.148kN/m ²
積雪荷重	年超過確率 10^{-2} (F_s)	2.478kN/m ²
	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})	0.9143kN/m ²

表 3-3 鉛直荷重一覧（屋根スラブ T.M.S.L. 19.6m, スラブ厚さ $t = \square$ mm)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	9.807kN/m ²
	積載荷重 (P)	0.2942kN/m ²
降下火砕物による荷重 (F_a)		5.148kN/m ²
積雪荷重	年超過確率 10^{-2} (F_s)	2.478kN/m ²
	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})	0.9143kN/m ²

(2) 屋根トラス

a. 鉛直荷重

表 3-4 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根トラスに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、降下火砕物による荷重 (F_a) 及び積雪荷重 (F_s, F_{sb}) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とし、「既工認」に基づき設定する。ただし、屋根トラスは裕度向上を目的として、耐震強化工事を実施しており、その重量も反映する。また、クレーン荷重は積雪荷重又は地震荷重と組み合わせることから入力する位置は待機位置とする。

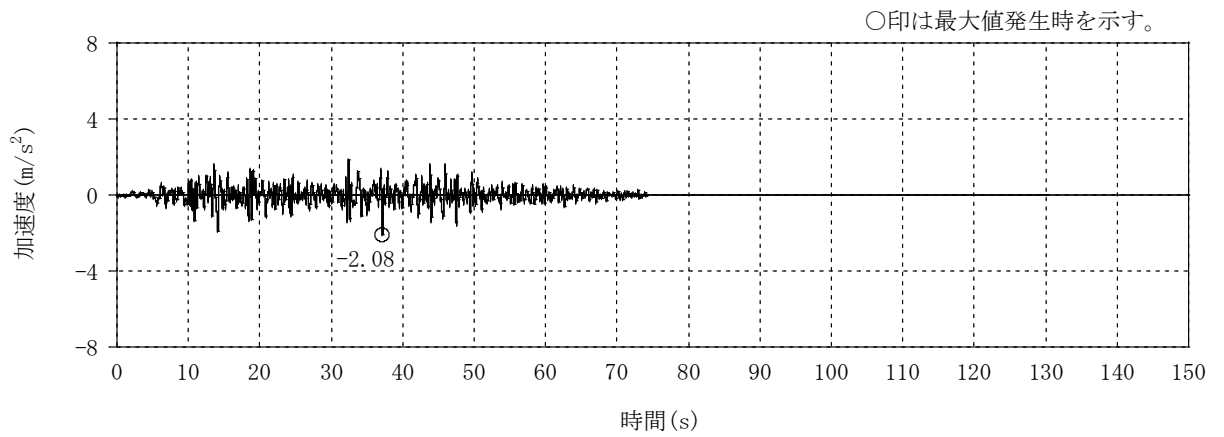
降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は積雪量 1cm ごとに 29.4kN/m^2 とし、柏崎市における 1 日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重である降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重 (F_s) とする。また、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重 (F_{sb}) として考慮する。

表 3-4 鉛直荷重一覧 (屋根トラス)

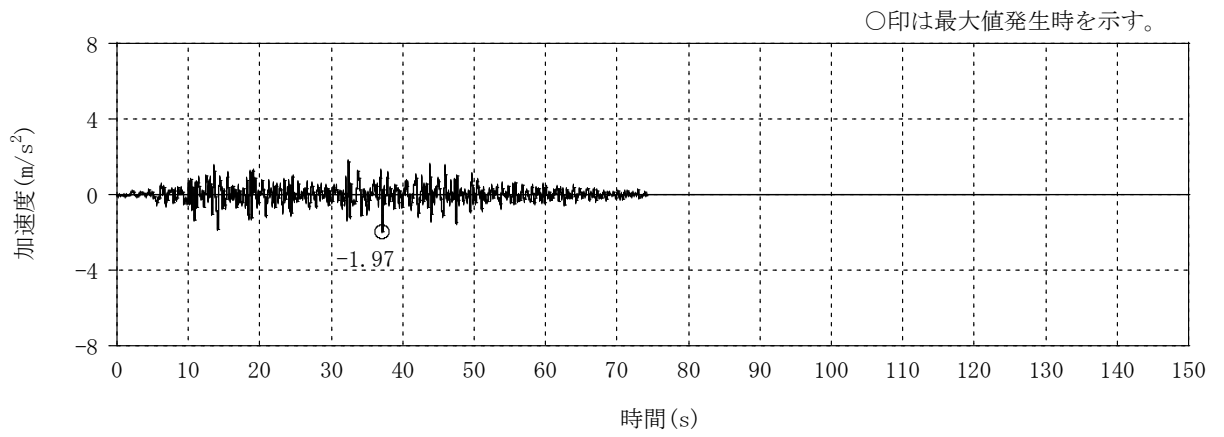
常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	屋根スラブ	2.746kN/m^2
		トラス鋼材	76.98kN/m^3
		クレーン荷重	3040kN
	積載荷重 (P)		0.5884kN/m^2
降下火砕物による荷重 (F_a)			5.148kN/m^2
積雪荷重	年超過確率 10^{-2} (F_s)		2.478kN/m^2
	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})		0.9143kN/m^2

b. 地震荷重

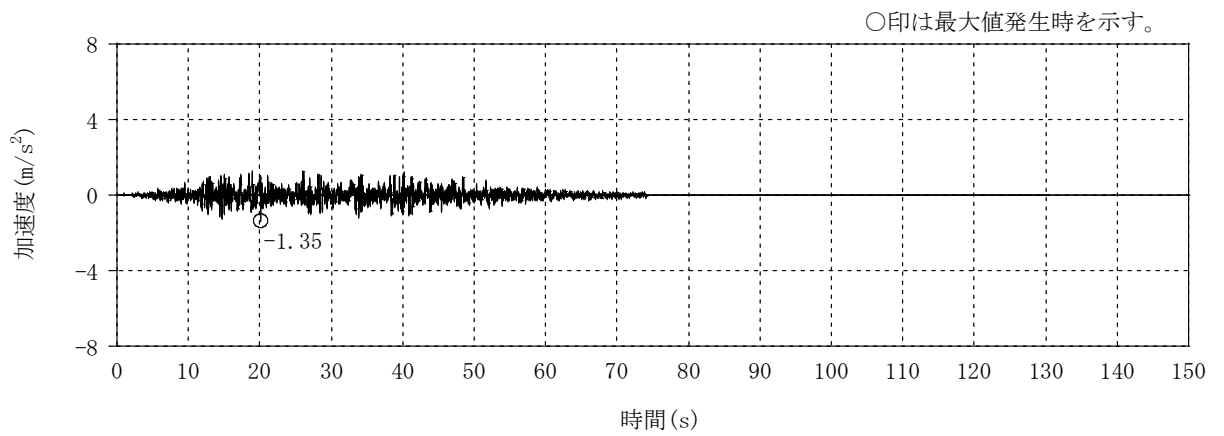
屋根トラスに考慮する地震荷重 (F_k) は、VI-3-別添 2-4 「原子炉建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析から得られる燃料取替床レベル ($4F$, T.M.S.L. 31.7m) の水平及び鉛直方向の時刻歴応答加速度を入力することで考慮する。水平 2 成分、鉛直成分及び回転 2 成分の加速度時刻歴波形を図 3-1 及び図 3-2 に示す。



(a) NS 方向 (水平)

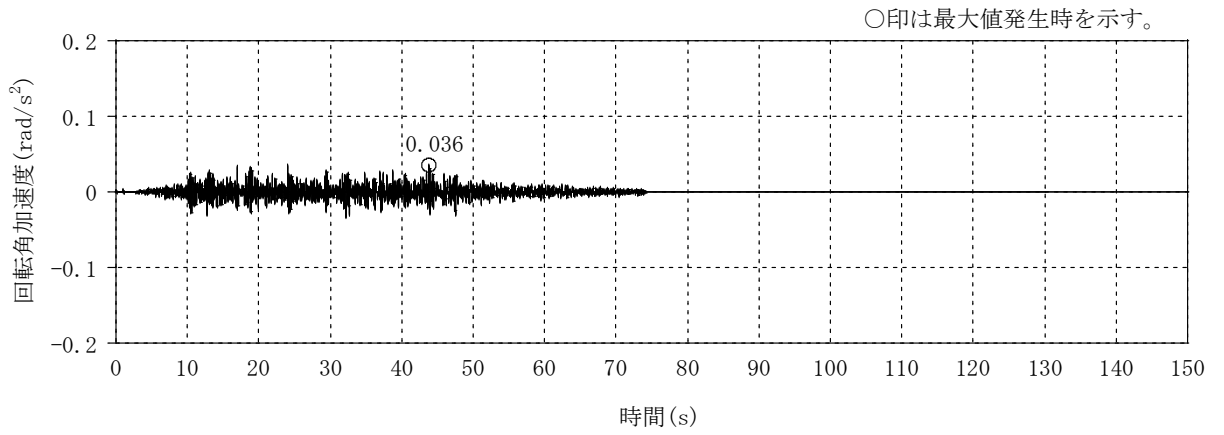


(b) EW 方向 (水平)

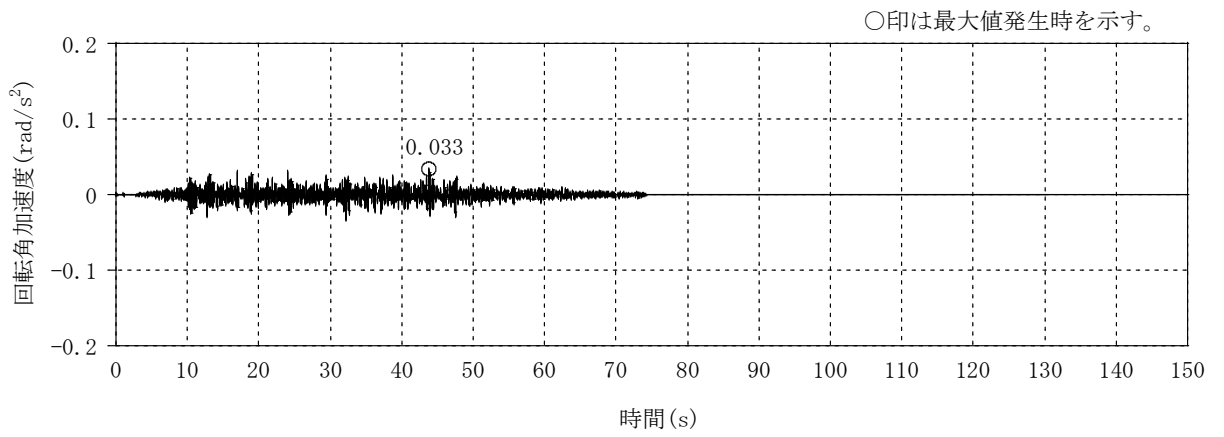


(c) 鉛直方向

図 3-1 燃料取替床レベル (4F, T.M.S.L. 31.7m) の加速度時刻歴波形
(年超過確率 10^{-2} 相当地震動, 水平, 鉛直成分)



(a) NS 方向 (回転)



(b) EW 方向 (回転)

図 3-2 燃料取替床レベル (4F, T.M.S.L. 31.7m) の加速度時刻歴波形
(年超過確率 10^{-2} 相当地震動, 回転成分)

(3) 耐震壁

耐震壁の評価に考慮する荷重は，VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」に示す。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

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

表 3-5 荷重の組合せ

考慮する 荷重の 組合せ	荷 重					
	常時作用 する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重		ベース負荷
	固定 荷重	積載 荷重	降下火砕物 による荷重 (F_a)	地震荷重 (F_k)	積雪荷重 (F_s)	常時考慮す る積雪荷重 (F_{sb})
ケース 1	○	○	○	○	—	○
ケース 2	○	○	○	—	○	○

注：「○」は考慮する荷重を示す。

3.3 許容限界

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

屋根スラブ，屋根トラス及び耐震壁の許容限界を表 3-6 に，鋼材の弾性限強度を表 3-7，コンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-6 許容限界

要求機能	構造強度設計上の性能目標	部位		機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)	
—	構造健全性を維持すること	屋根	屋根スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく終局強度	
			屋根トラス		主トラス 〔上弦材〕 〔下弦材〕 斜材 束材 つなぎばり	「S 規準」に基づく弾性限強度*2
					〔上弦材〕 〔下弦材〕 上弦面水平ブレース	
			つなぎばり 〔斜材〕 束材 下弦面水平ブレース	応答による繰返し回数が許容限界に対して十分な裕度を有することを確認	最大ひずみ度に対する破断寿命 (繰返し回数)	
	耐震壁*1		最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}		
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性能を損なわないこと	屋根スラブ		部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度*3	
		耐震壁*1 (二次遮蔽壁及び補助遮蔽)		最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3}	
気密性	換気性能とあいまって気密性能を維持すること	屋根スラブ		部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N 規準」に基づく短期許容応力度*4	
		耐震壁*1 (原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設))		最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10^{-3} *5	

注記*1 : 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。また、VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強

度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」にて補助壁を耐震要素とした地震応答解析を行っているため、評価対象部位には補助壁を含む。

- *2 : 弾性限強度として「S 規準」の F 値に「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍の割り増しを考慮する。
- *3 : 許容限界は終局強度に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。
- *4 : 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。
- *5 : 事故時に換気性能とあいまって気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。耐震壁の気密性に対する許容限界の適用性は、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書 別紙 2 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の気密性に関する計算書」に示す。

表 3-7 鋼材の弾性限強度

材 料	板 厚 (mm)	F 値 (N/mm ²)	弾性限強度 (N/mm ²)		
			圧縮* 引張	曲げ*	せん断
SS41 (SS400相当)	t ≤ 40	235	258	258	135
SM50A (SM490A相当)	t ≤ 40	325	357	357	187

注記* : 「技術基準解説書」に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮する。ただし、圧縮及び曲げの弾性限強度に対しては上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-8 コンクリートの短期許容応力度

(単位 : N/mm²)

位置	設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
T. M. S. L. 49. 7m	22. 1	14. 7	0. 94
T. M. S. L. 38. 2m T. M. S. L. 19. 6m	32. 3	21. 5	1. 21

表 3-9 鉄筋の短期許容応力度

(単位 : N/mm²)

種別	引張及び 圧縮	せん断
SD35 (SD345相当)	345	345

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 屋根スラブ

T. M. S. L. 49.7m の屋根スラブは、1 方向スラブとしてモデル化する。スパンがほぼ均等なスラブが連続しており、その外端がスラブに比べて十分剛性の大きい鉄筋コンクリート造の壁と連続し、内端がスタッドを介してもやに接合されていることから、両端固定ばりとして評価する。T. M. S. L. 38.2m 及び T. M. S. L. 19.6m の屋根スラブについても、同様に 1 方向スラブとしてモデル化し、両端固定ばりとして評価する。

(2) 屋根トラス

a. 基本方針

応力解析は、3 次元 FEM モデルを用いた弾塑性応力解析とする。解析には、「f a p p a s e」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「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、燃料取替床レベル（4F, T. M. S. L. 31.7m）より上部の鉄骨鉄筋コンクリート造の柱、はり、壁、鉄骨造の主トラス、つなぎばり、上下弦面水平ブレース及びサブビームをはり要素、トラス要素及びシェル要素により立体的にモデル化した 3 次元 FEM モデルとする。解析モデルを図 3-3 に、部材リストを表 3-10 に示す。

b. 使用要素

解析モデルに使用する要素は、各鉄骨部材は、軸、曲げ変形を考慮したはり要素（トラスの上下弦材及びサブビーム）と軸変形のみを考慮したトラス要素（上下弦面水平ブレース、トラスの斜材及び束材）とする。また、耐震壁及び外周はりには各々シェル要素及び軸、曲げ変形を考慮したはり要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。解析モデルの節点数は 434、要素数は 1225 である。

c. 境界条件

柱脚の条件は固定とする。

地震荷重を入力する際には、原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる燃料取替床レベル（4F, T. M. S. L. 31.7m）の応答結果を、燃料取替床位置を固定として水平方向と鉛直方向の同時入力とする（水平 2 成分、鉛直成分及び回転 2 成分）。

(3) 耐震壁

耐震壁は、VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。地震応答解析モデルを図 3-4 に示す。

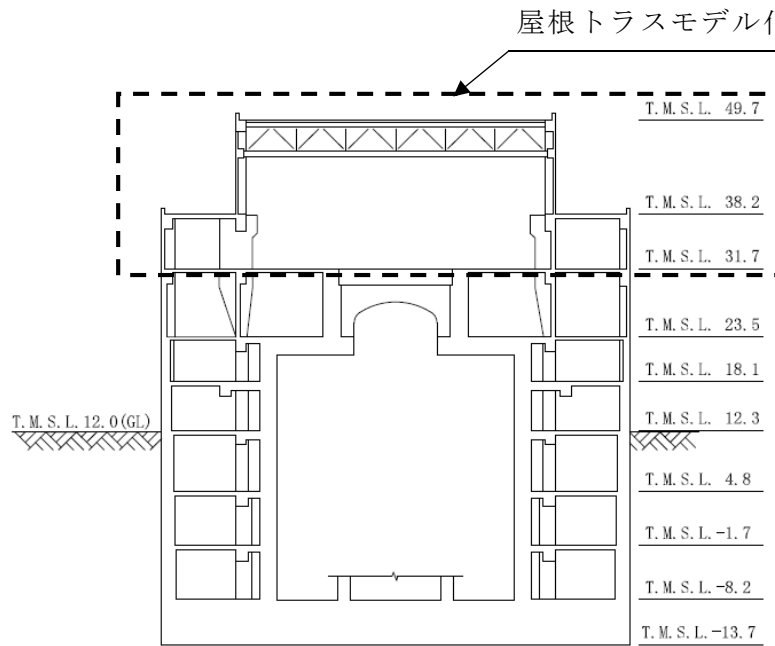
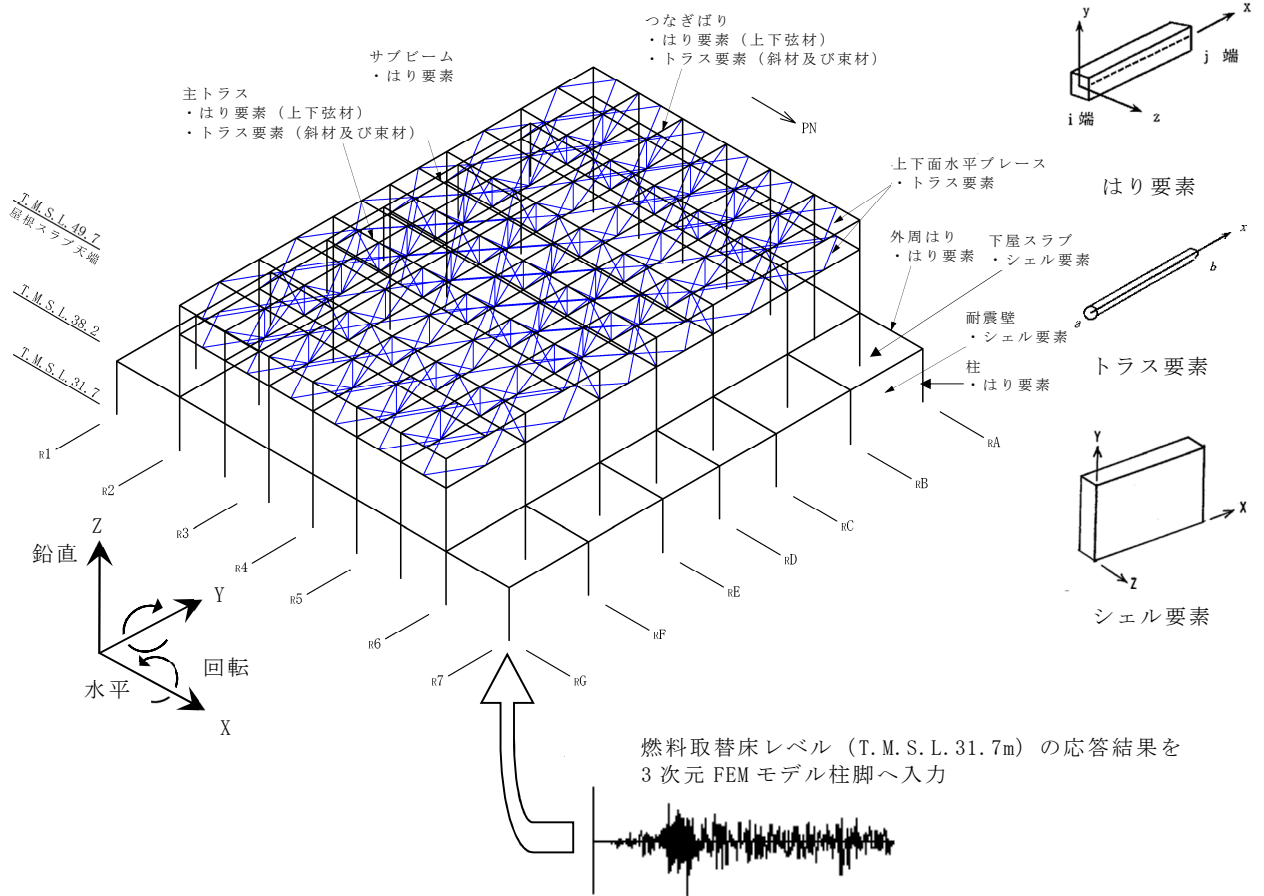
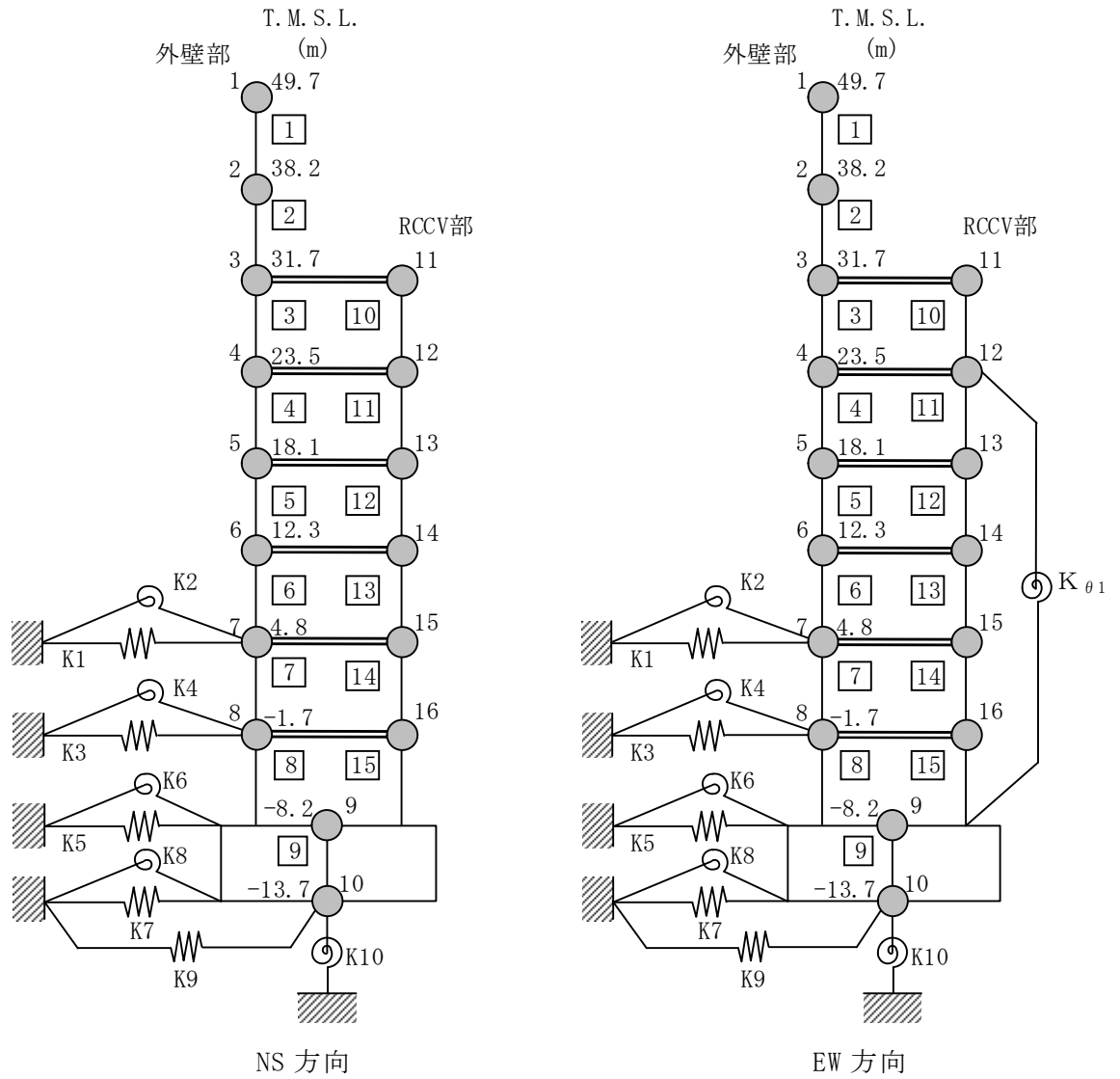


図 3-3 解析モデル図 (単位 : m)



注： $K_{\theta 1}$ は鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）回転ばねを示す。

図 3-4 地震応答解析モデル（水平方向）

表 3-10 部材リスト

部位		使用部材	材質	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)
主トラス	上弦材	H-428 \times 407 \times 20 \times 35	SM50A (SM490A相当)	360.7	119000
	下弦材	H-400 \times 408 \times 21 \times 21	SM50A (SM490A相当)	250.7	70900
	斜材	H-400 \times 400 \times 13 \times 21 H-350 \times 350 \times 12 \times 19 H-244 \times 252 \times 11 \times 11	SM50A (SM490A相当)	218.7 173.9 82.00	—
	束材	2[s-200 \times 90 \times 8 \times 13.5	SS41 (SS400相当)	77.30	—
つなぎ ばり	上弦材	H-394 \times 398 \times 11 \times 18	SS41 (SS400相当)	186.8	56100
	下弦材	H-200 \times 200 \times 8 \times 12	SS41 (SS400相当)	63.53	4720
	斜材	2Ls-90 \times 90 \times 10 2Ls-120 \times 120 \times 8 2Ls-130 \times 130 \times 9	SS41 (SS400相当)	34.00 37.52 45.48	—
	束材	2[s-200 \times 80 \times 7.5 \times 11	SS41 (SS400相当)	62.60	—
水平 ブレース	上弦面	2[s-400 \times 130 \times 14 \times 22 +2PLs-22 \times 116 2[s-400 \times 130 \times 14 \times 22 2[s-300 \times 100 \times 8 \times 12	SS41 (SS400相当)	267.2 216.2 93.80	—
	下弦面	CT-150 \times 300 \times 10 \times 15 CT-175 \times 350 \times 12 \times 19	SS41 (SS400相当)	59.90 87.00	—

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-11 に示す。

表 3-11 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
鉄筋 コンクリート	28800	12000	5
鉄骨	205000	79000	2

3.5 評価方法

3.5.1 屋根スラブの評価方法

(1) 応力解析方法

a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。また、鉛直震度算定のための最大鉛直加速度は、VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果に基づき算定する。ただし、T.M.S.L. 49.7m の屋根スラブについては、屋根トラスの立体的な挙動を考慮できる 3次元 FEM モデルにより得られた屋根面の応答加速度のうち、最大の応答加速度を採用する。最大鉛直加速度及び鉛直震度を表 3-12 に示す。

F_d : 常時作用する荷重

F_a : 降下火砕物による荷重

F_k : 地震荷重 (鉛直方向)

F_s : 積雪荷重 (地震時以外)

F_{sb} : 積雪荷重 (常時)

表 3-12 最大鉛直加速度及び鉛直震度

T. M. S. L. (m)	階	最大鉛直 加速度 (m/s^2)	鉛直震度
49.7	RF	9.88	1.01
38.2	CRF	1.85	0.19
19.6	2F	1.31	0.14

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-13 に示す。

表 3-13 荷重の組合せケース (屋根スラブ)

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_k + F_{sb}$
ケース 2	$F_d + F_a + F_s + F_{sb}$

c. 応力算出方法

等分布荷重を受ける両端固定ばりの曲げモーメント及びせん断力は下式より求める。

(端部曲げモーメント)

$$M = \frac{1}{12} \cdot w \cdot L^2 \dots\dots\dots (3. 1)$$

ここで, w : 等分布荷重 (N/m)

L : スパン (m)

(端部せん断力)

$$Q = \frac{1}{2} \cdot w \cdot L \dots\dots\dots (3. 2)$$

(2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

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

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

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

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j} \dots\dots\dots (3. 3)$$

ここで、 σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

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

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot {}_w f_t \cdot (p_w - 0.002) \} \cdots \cdots (3.4)$$

ここで、 Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

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

ここで、 M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 3-8 に示す値 (N/mm²)

${}_w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 3-9 に示す値 (N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

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

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

3.5.2 屋根トラスの評価方法

(1) 応力解析方法

屋根トラスについては、3次元 FEM モデルを用いた地震応答解析（ケース 1）及び静的応力解析（ケース 2）により得られた各部材の応力を評価する。

a. 荷重ケース

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

F_d : 常時作用する荷重

F_a : 降下火砕物による荷重

F_k : 地震荷重（燃料取替床レベルの年超過確率 10^{-2} 地震時の水平及び鉛直方向の時刻歴応答加速度）

F_s : 積雪荷重（地震時以外）

F_{sb} : 積雪荷重（常時）

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-14 に示す。

水平地震荷重と鉛直地震荷重は、加速度時刻歴波形を同時に入力して組み合わせる。

表 3-14 荷重の組合せケース（屋根トラス）

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_k + F_{sb}$
ケース 2	$F_d + F_a + F_s + F_{sb}$

c. 荷重の入力方法

屋根面の固定荷重及び積雪荷重は面荷重として、天井クレーンは待機位置（RB 通り）にあるものとし、その重量は対応する節点に集中荷重として入力する。

地震荷重は、図 3-1 及び図 3-2 に示した加速度時刻歴波形を 3次元 FEM モデルの脚部に入力する。

(2) 断面の評価方法

断面の評価は以下の方法で行う。

3次元 FEM モデルの地震応答解析及び静的応力解析により各部材に生じる応力が許容限界を超えないこと及び塑性化部材では破断しないことを確認する。

a. 主トラス、つなぎばり（上下弦材）及び上弦面水平ブレース

部材に生じる軸力及び曲げモーメントに対する断面検定について、下式を用いて行う。ただし、主トラスの斜材、束材及び上弦面水平ブレースは軸応力度のみ評価する。なお、主トラス上下弦材の弱軸周りの曲げモーメントはつなぎばりが直交方向の変形を拘束しているため考慮しない。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \dots\dots\dots (3.5)$$

- ここに、 σ_c : 部材の軸応力度 (N/mm²)
 σ_b : 部材の曲げ応力度 (N/mm²)
 f_c : 圧縮応力度に対する許容値*
 f_b : 曲げ応力度に対する許容値*

(引張)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \dots\dots\dots (3.6)$$

- ここに、 σ_t : 部材の軸応力度 (N/mm²)
 σ_b : 部材の曲げ応力度 (N/mm²)
 f_t : 引張応力度に対する許容値*
 f_b : 曲げ応力度に対する許容値*

注記* : 技術基準解説書に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。

b. つなぎばり（斜材及び束材）及び下弦面水平ブレース

各部材の累積塑性変形倍率を整理した上で、累積塑性変形倍率が最も大きい部材について評価する。当該部材の軸ひずみの時刻歴を参照し、座屈及び降伏の繰返し回数が、当該部材の最大ひずみ度に対する破断寿命（繰返し回数）と比較し、十分な裕度を有していることを確認する。

3.5.3 耐震壁の評価方法

耐震壁は、VI-3-別添 2-4「原子炉建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答計算書」に示す耐震壁のせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

4. 強度評価結果

4.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価対象箇所は T.M.S.L. 49.7m, T.M.S.L. 38.2m 及び T.M.S.L. 19.6m のそれぞれについて、各断面の検定値が最も大きい箇所とし、図 4-1～図 4-3 に示す。また、評価結果を表 4-1～4-6 に示す。

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

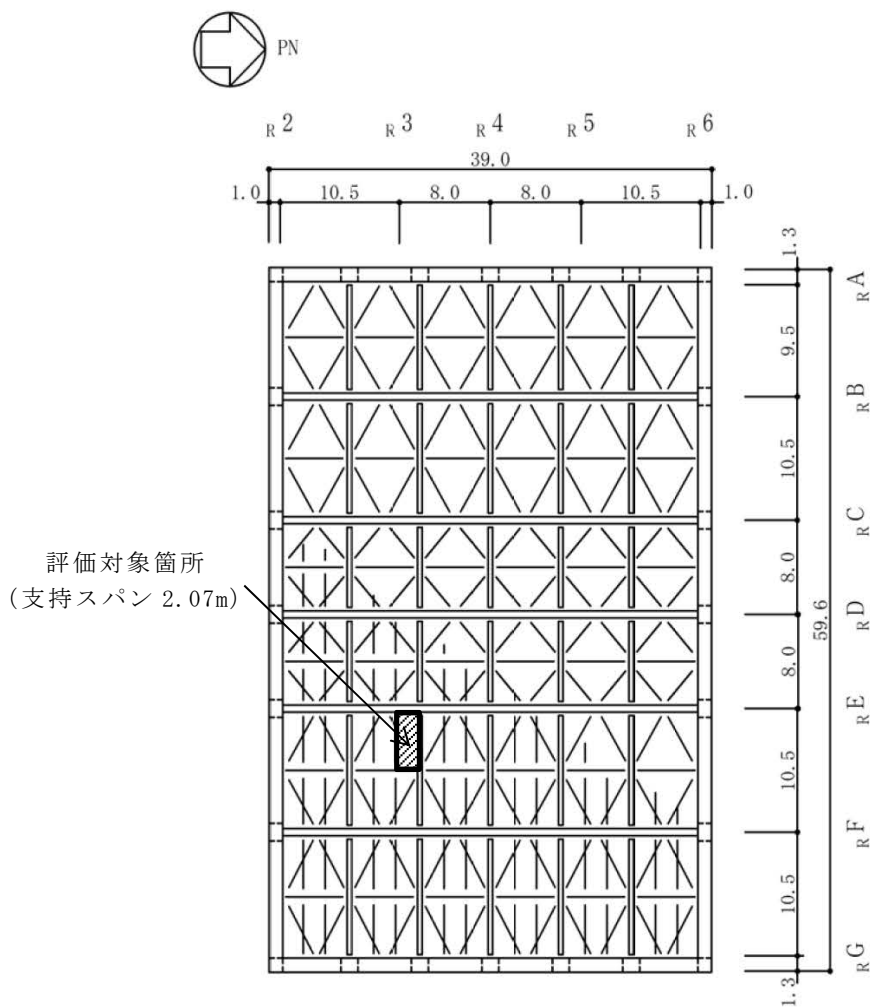


図 4-1 評価対象箇所（屋根スラブ，T.M.S.L. 49.7m）（単位：m）

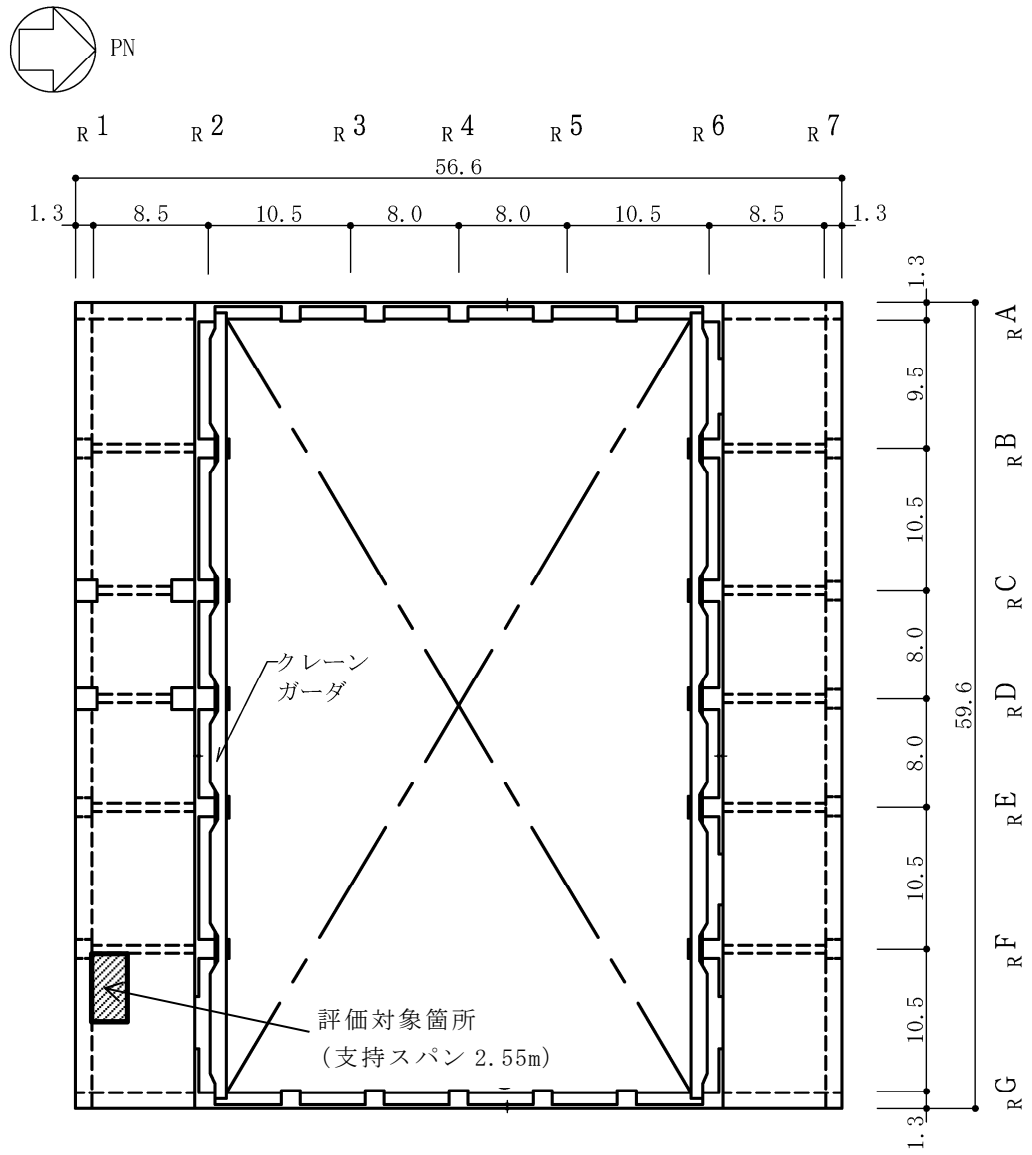


図 4-2 評価対象箇所 (屋根スラブ, T.M.S.L. 38.2m) (単位 : m)

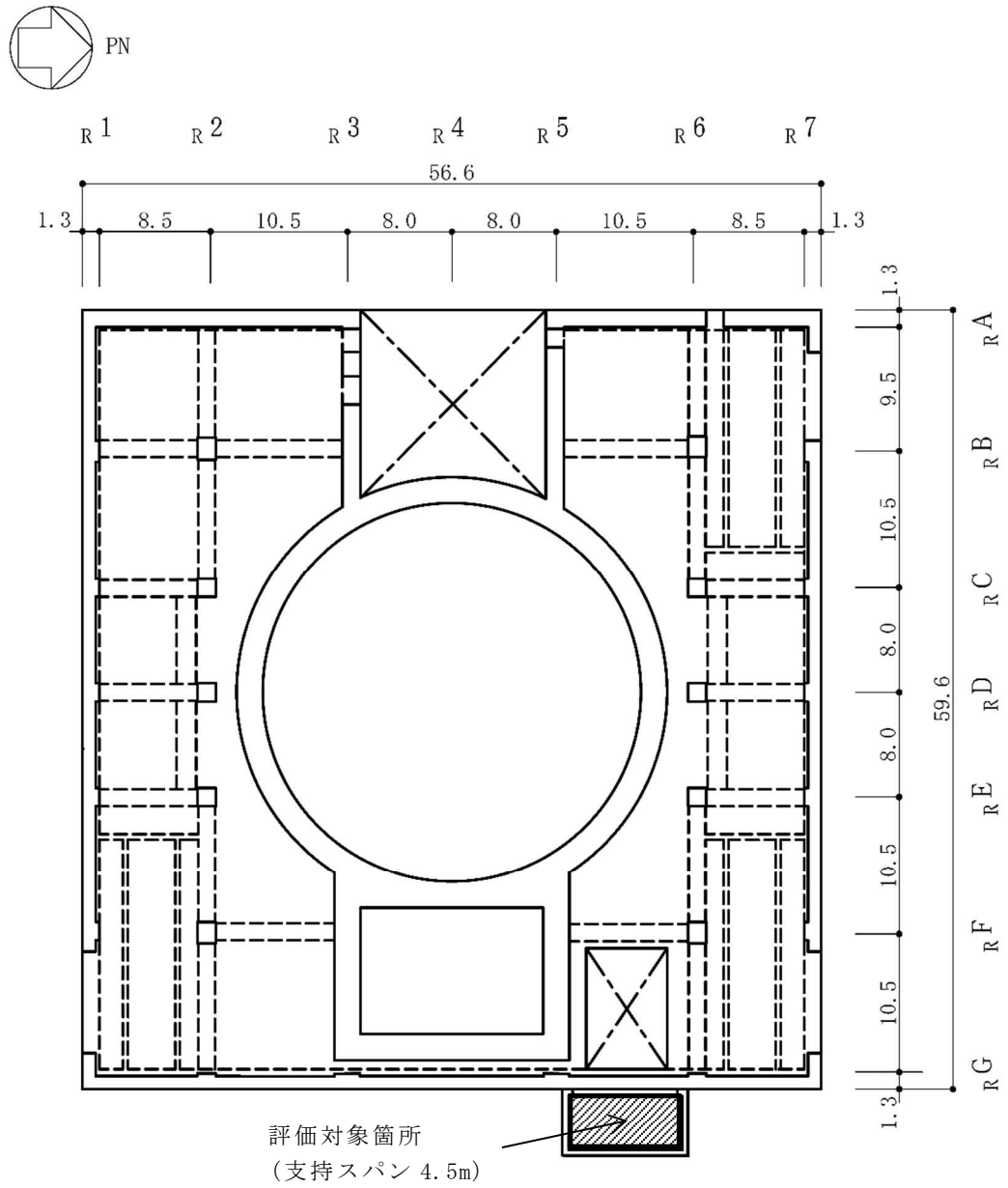


図 4-3 評価対象箇所（屋根スラブ，T.M.S.L. 19.6m）（単位：m）

表 4-1 屋根スラブの評価結果 (ケース 1, T. M. S. L. 49.7m)

T. M. S. L. (m)		49.7
厚さ t (mm)		□
有効せい d (mm)		50
配筋 (鉄筋断面積)		D13@100 (1270mm ² /m)
曲 げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	6.745
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	121.4
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.36
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	19.55
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.0
	許容限界 (kN/m)	41.12
	検定値	0.48

表 4-2 屋根スラブの評価結果 (ケース 1, T. M. S. L. 38. 2m)

T. M. S. L. (m)		38. 2
厚さ t (mm)		□
有効せい d (mm)		410
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm ² /m)
曲 げ モ ー メ ン ト	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	14. 93
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	29. 00
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0. 09
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	35. 14
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1. 96
	許容限界 (kN/m)	850. 9
	検定値	0. 05

表 4-3 屋根スラブの評価結果 (ケース 1, T. M. S. L. 19.6m)

T. M. S. L. (m)		19.6
厚さ t (mm)		□
有効せい d (mm)		210
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	31.10
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	118.0
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.35
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	41.47
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.0
	許容限界 (kN/m)	222.3
	検定値	0.19

表 4-4 屋根スラブの評価結果 (ケース 2, T. M. S. L. 49.7m)

T. M. S. L. (m)		49.7
厚さ t (mm)		□
有効せい d (mm)		50
配筋 (鉄筋断面積)		D13@100 (1270mm ² /m)
曲 げ モ ー メ ン ト	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	4.238
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	76.28
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.23
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	12.29
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.0
	許容限界 (kN/m)	41.12
	検定値	0.30

表 4-5 屋根スラブの評価結果 (ケース 2, T. M. S. L. 38. 2m)

T. M. S. L. (m)		38. 2
厚さ t (mm)		□
有効せい d (mm)		410
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm ² /m)
曲 げ モ ー メ ン ト	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	13. 89
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	26. 98
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0. 08
面 外 せん 断 力	発生せん断力 Q (kN/m)	32. 69
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1. 96
	許容限界 (kN/m)	850. 9
	検定値	0. 04

表 4-6 屋根スラブの評価結果 (ケース 2, T. M. S. L. 19.6m)

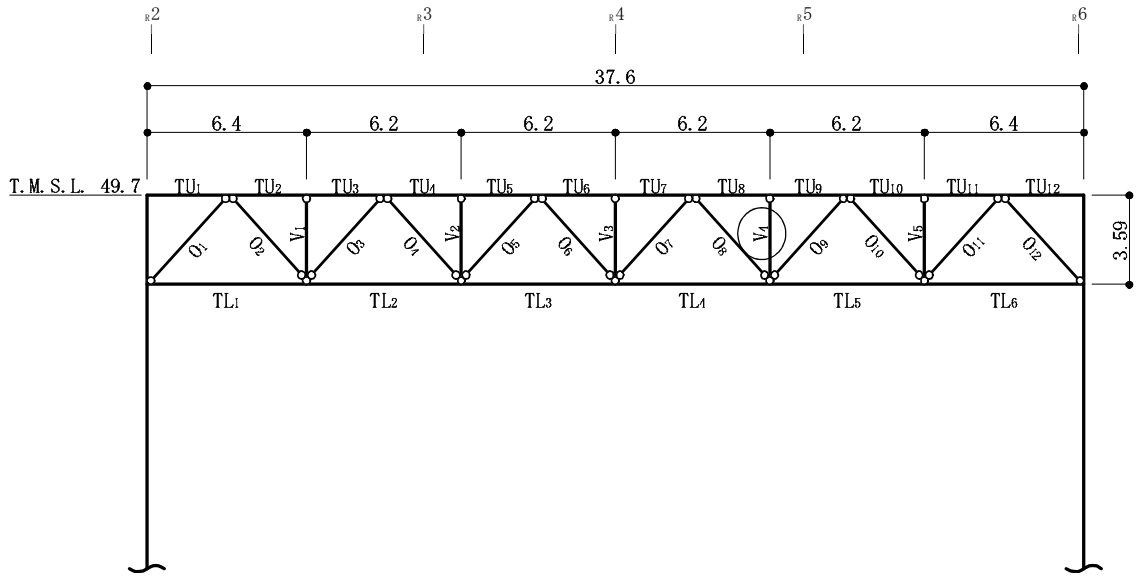
T. M. S. L. (m)		19.6
厚さ t (mm)		□
有効せい d (mm)		210
配筋 (鉄筋断面積)		D19@200 (1435mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	31.46
	鉄筋の引張応力度 σ_t (N/mm ²)	119.3
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.35
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	41.94
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.0
	許容限界 (kN/m)	222.3
	検定値	0.19

4.2 屋根トラスの評価結果

(1) 主トラス，つなぎばり（上下弦材）及び上弦面水平ブレース

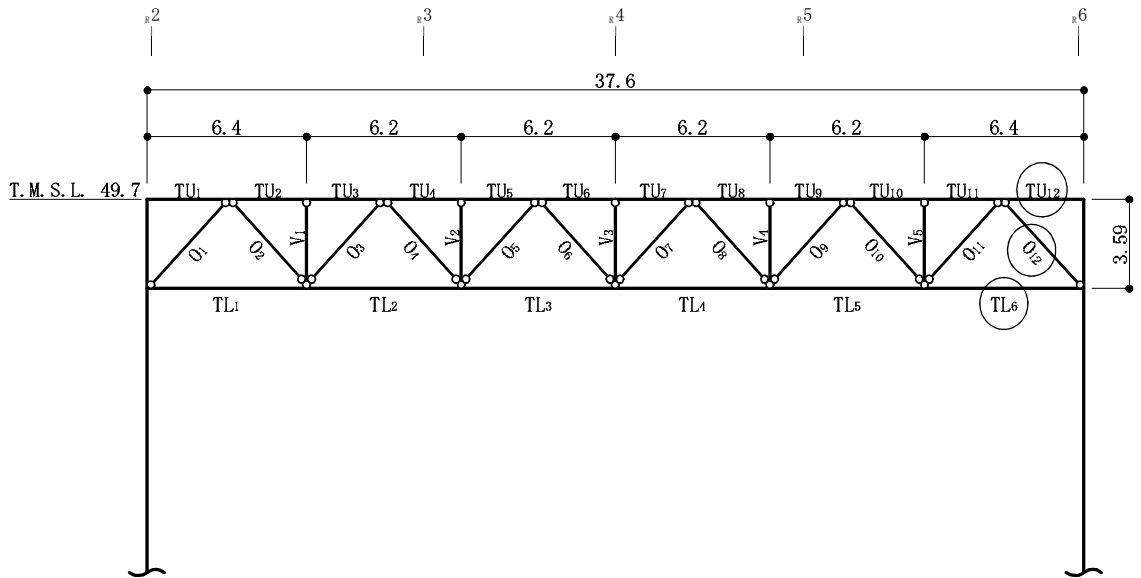
評価対象箇所は，各部材の検定値が最も大きい箇所とし，図 4-4～図 4-9 に示す。
また，断面算定結果を表 4-7～表 4-12 に示す。

主トラス，つなぎばり（上下弦材）及び上弦面水平ブレースにおける発生応力度が許容限界を超えないことを確認した。



○：最大応力発生位置を示す。

(a) 主トラス： r_D 通り



○：最大応力発生位置を示す。

(b) 主トラス： r_E 通り

図 4-4 評価対象箇所 (ケース 1, 主トラス) (単位: m)

表 4-7 断面算定結果（ケース 1，主トラス：_RE 通り）（1/4）

部材（種類）		上弦材	
位置		TU ₁₂	
ケース		ケース1	
鉄骨断面	部材	H-428×407×20×35	
	種別	SM50A（SM490A相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		2670	0*
M (kN・m)		459	459
断面算定	σ_t (N/mm ²)	97.5	—
	σ_c (N/mm ²)	—	0
	σ_b (N/mm ²)	82.5	82.5
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	342
	f_b (N/mm ²)	357	357
	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t + f_b}$	0.51 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	—	0.24 (<1.0)

注記*：圧縮軸力が生じないため 0 とする。

表 4-7 断面算定結果（ケース 1，主トラス：_RE 通り）（2/4）

部材（種類）		下弦材	
位置		TL ₆	
ケース		ケース1	
鉄骨断面	部材	H-400×408×21×21	
	種別	SM50A（SM490A相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	2230
M (kN・m)		233	233
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	88.9
	σ_b (N/mm ²)	65.9	65.9
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	313
	f_b (N/mm ²)	357	357
	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t + f_b}$	0.19 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	—	0.47 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

表 4-7 断面算定結果（ケース 1，主トラス：_RE 通り）（3/4）

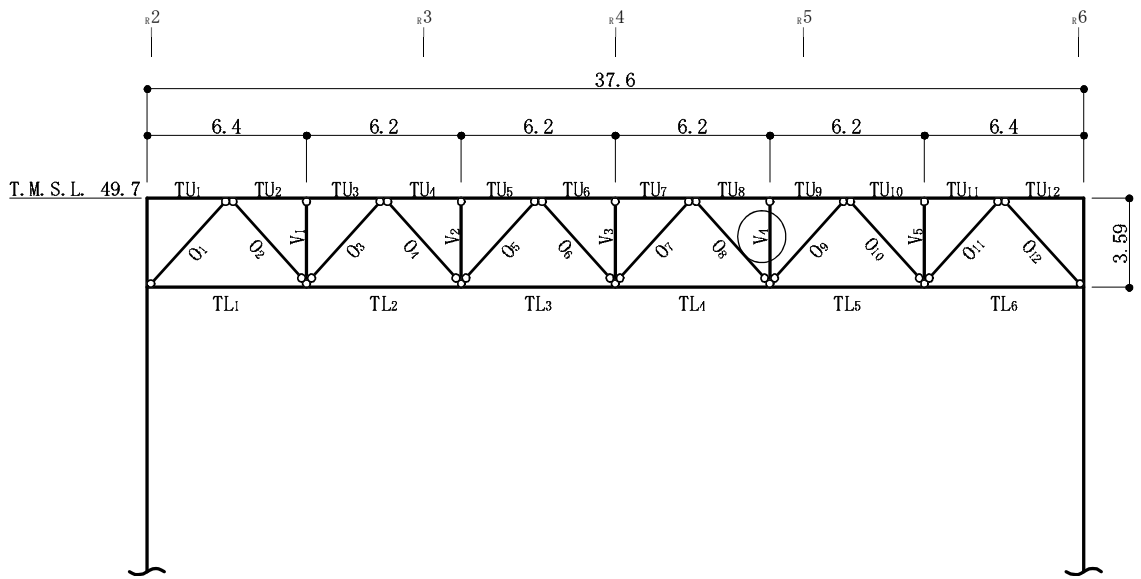
部材（種類）		斜材	
位置		0 ₁₂	
ケース		ケース1	
鉄骨断面	部材	H-400×400×13×21	
	種別	SM50A（SM490A相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	3320
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	152
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	342
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.45 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

表 4-7 断面算定結果（ケース 1，主トラス：_RD 通り）（4/4）

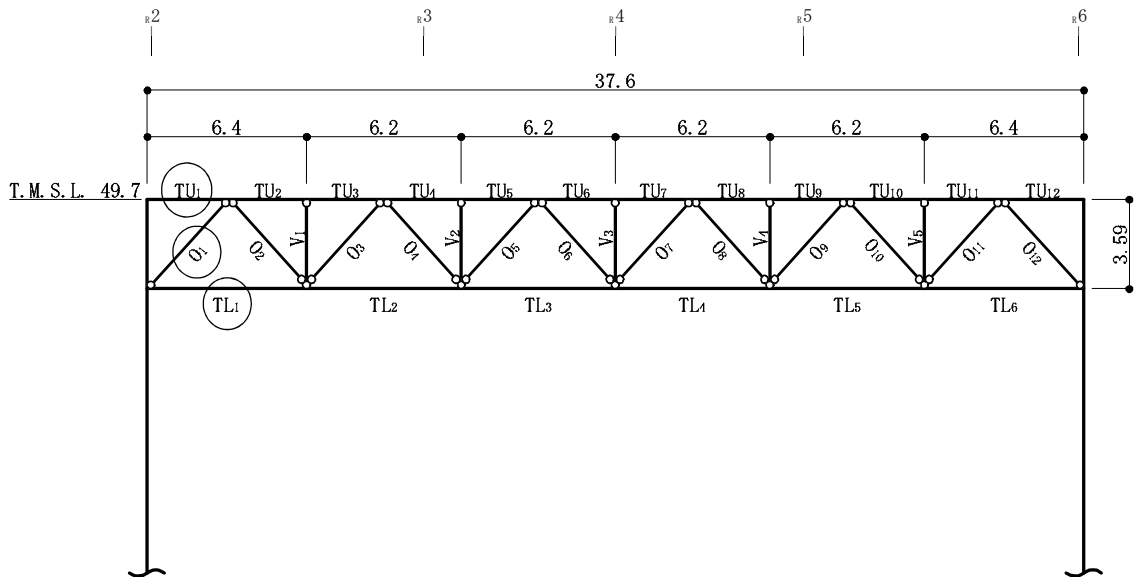
部材（種類）		束材	
位置		V ₄	
ケース		ケース1	
鉄骨断面	部材	2[s-200×90×8×13.5	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	502
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	65.0
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	206
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.32 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。



○：最大応力発生箇所を示す。

(a) 主トラス： R_D 通り



○：最大応力発生位置を示す。

(b) 主トラス： R_E 通り

図 4-5 評価対象箇所（ケース 2，主トラス）（単位：m）

表 4-8 断面算定結果（ケース 2，主トラス：_RE 通り）（1/4）

部材（種類）		上弦材	
位置		TU ₁	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	H-428×407×20×35	
	種別	SM50A（SM490A相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		2020	0*
M (kN・m)		358	358
断面算定	σ_t (N/mm ²)	73.8	—
	σ_c (N/mm ²)	—	0
	σ_b (N/mm ²)	64.3	64.3
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	342
	f_b (N/mm ²)	357	357
	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t + f_b}$	0.39 (< 1.0)	—
	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	—	0.19 (< 1.0)

注記*：圧縮軸力が生じないため 0 とする。

表 4-8 断面算定結果（ケース 2，主トラス：_RE 通り）（2/4）

部材（種類）		下弦材	
位置		TL ₁	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	H-400×408×21×21	
	種別	SM50A（SM490A相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	1550
M (kN・m)		180	180
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	61.9
	σ_b (N/mm ²)	50.8	50.8
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	313
	f_b (N/mm ²)	357	357
	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t + f_b}$	0.15 (< 1.0)	—
	$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c + f_b}$	—	0.35 (< 1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

表 4-8 断面算定結果（ケース 2，主トラス：_RE 通り）（3/4）

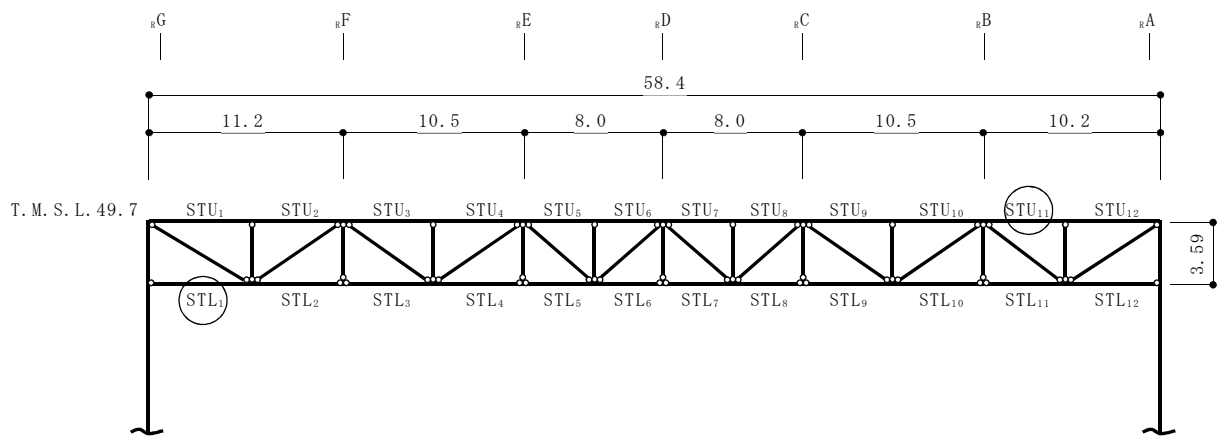
部材（種類）		斜材	
位置		O ₁	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	H-400×400×13×21	
	種別	SM50A（SM490A相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	2590
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	119
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	342
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.35 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

表 4-8 断面算定結果（ケース 2，主トラス：_RD 通り）（4/4）

部材（種類）		束材	
位置		V ₄	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	2[s-200×90×8×13.5	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	342
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	44.2
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	206
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.22 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。



○：最大応力発生箇所を示す。

図 4-6 評価対象箇所（ケース 1，つなぎばり上下弦材：R4 通り）（単位：m）

表 4-9 断面算定結果（ケース 1，つなぎばり上下弦材：R4 通り）（1/2）

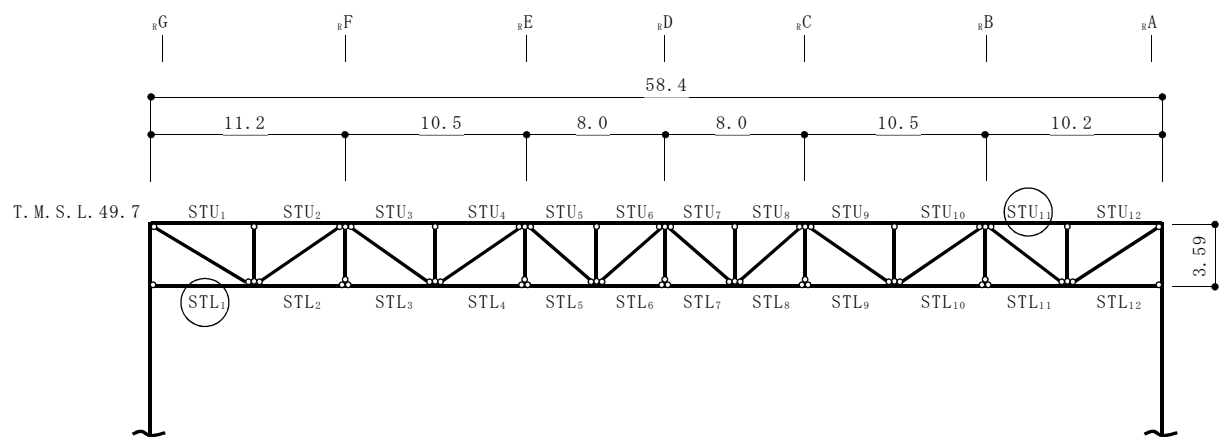
部材（種類）		上弦材	
位置		STU ₁₁	
ケース		ケース1	
鉄骨断面	部材	H-394×398×11×18	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		497	0*
断面算定	σ_t (N/mm ²)	26.7	—
	σ_c (N/mm ²)	—	0
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	256
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.11 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.00 (<1.0)

注記*：圧縮軸力が生じないため 0 とする。

表 4-9 断面算定結果（ケース 1，つなぎばり上下弦材：R4 通り）（2/2）

部材（種類）		下弦材	
位置		STL ₁	
ケース		ケース1	
鉄骨断面	部材	H-200×200×8×12	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	337
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	53.1
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	96.0
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.56 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。



○：最大応力発生箇所を示す。

図 4-7 評価対象箇所（ケース 2，つなぎばり上下弦材：_R4 通り）（単位：m）

表 4-10 断面算定結果（ケース 2，つなぎばり上下弦材： $R4$ 通り）（1/2）

部材（種類）		上弦材	
位置		STU ₁₁	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	H-394×398×11×18	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		344	0*
断面算定	σ_t (N/mm ²)	18.5	—
	σ_c (N/mm ²)	—	0
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	256
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.08 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.00 (<1.0)

注記*：圧縮軸力が生じないため 0 とする。

表 4-10 断面算定結果（ケース 2，つなぎばり上下弦材： $R4$ 通り）（2/2）

部材（種類）		下弦材	
位置		STL ₁	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	H-200×200×8×12	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	279
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	44.0
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	96.0
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.46 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

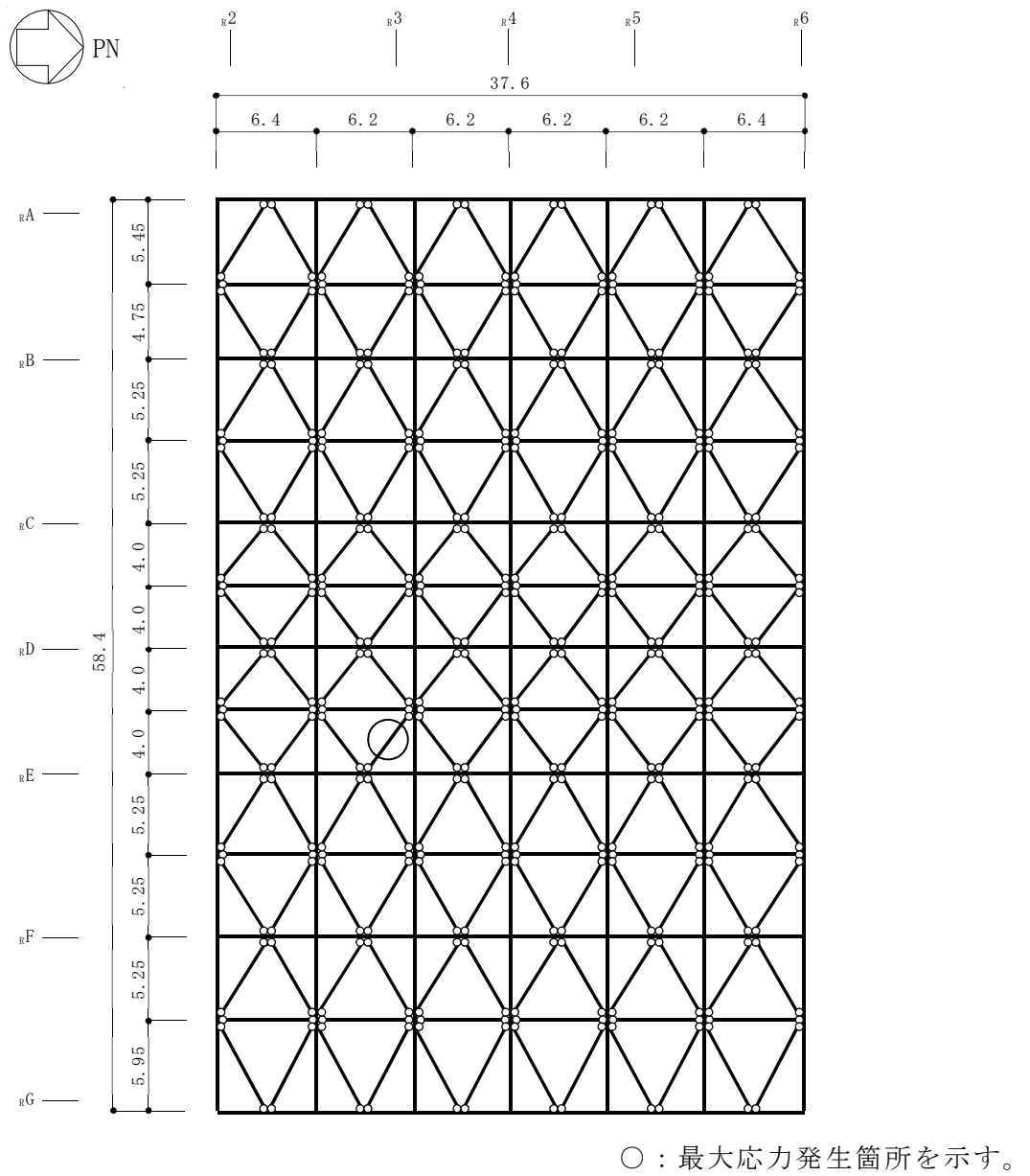


図 4-8 評価対象箇所 (ケース 1, 上弦面水平ブレース : T. M. S. L. 49.7m) (単位 : m)

表 4-11 断面算定結果（ケース 1, 上弦面水平ブレース）

部材（種類）		上弦面水平ブレース	
位置		図4-8参照	
ケース		ケース1	
鉄骨断面	部材	2[s-300×100×8×12	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	376
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	40.1
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	171
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.24 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

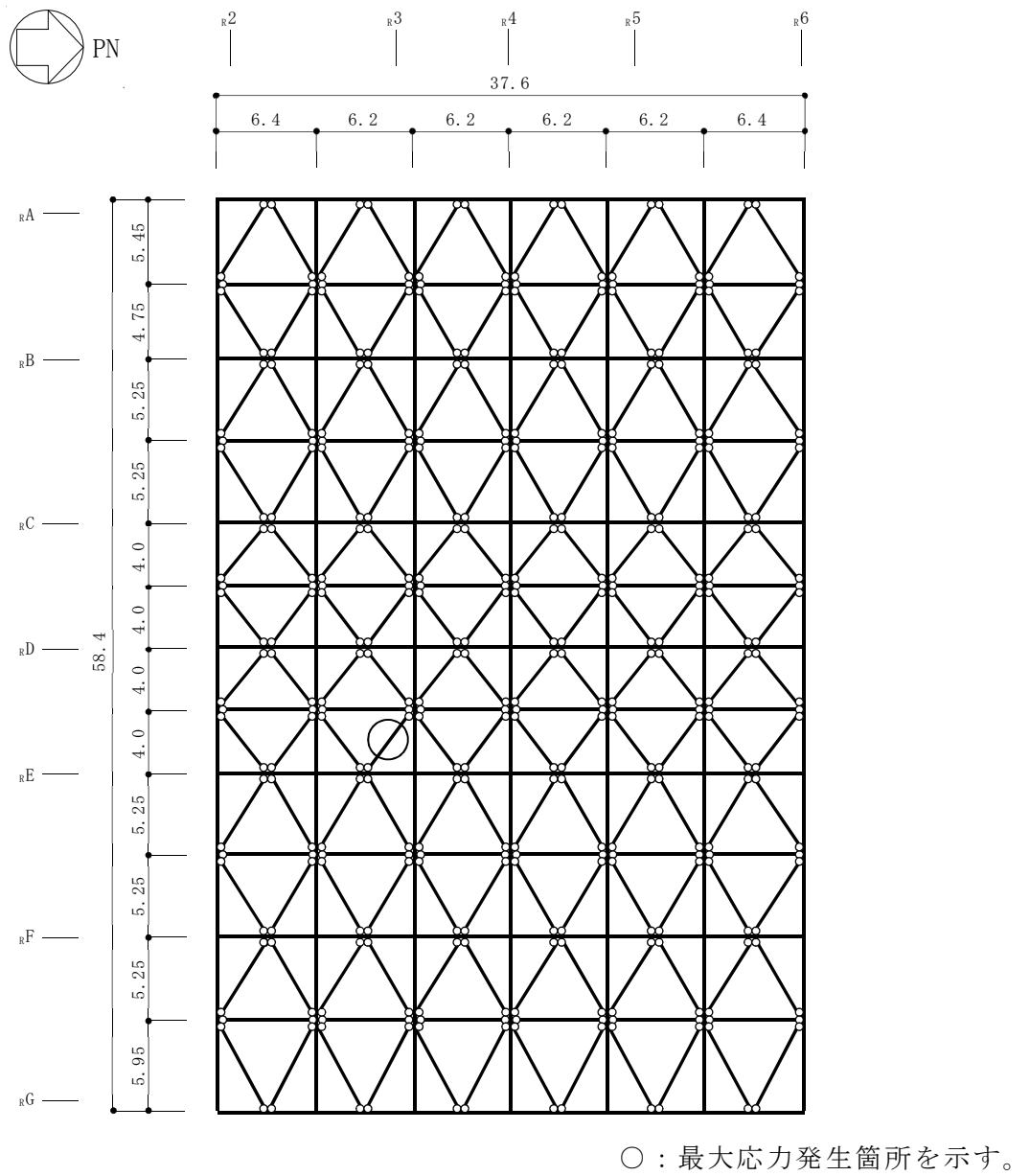


図 4-9 評価対象箇所 (ケース 2, 上弦面水平ブレース : T. M. S. L. 49.7m) (単位 : m)

表 4-12 断面算定結果（ケース 2，上弦面水平ブレース）

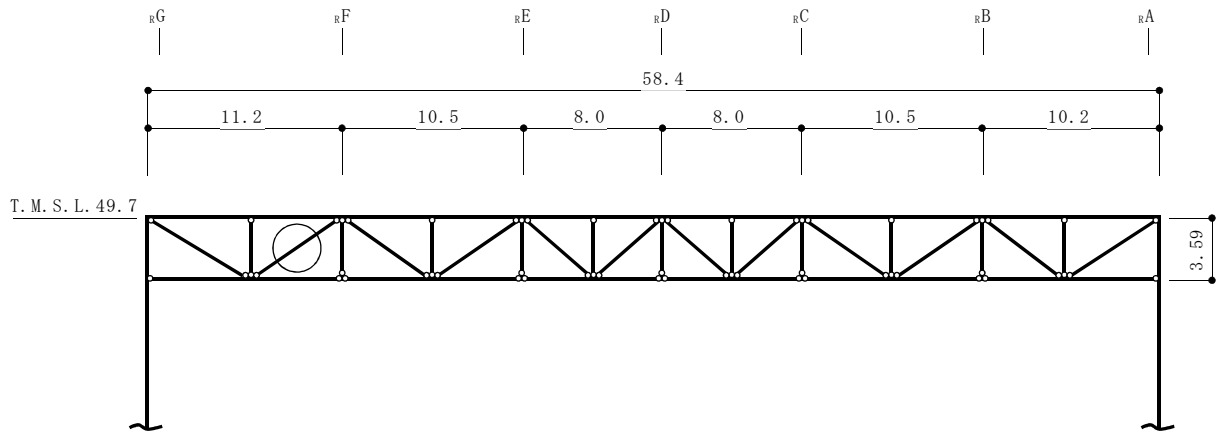
部材（種類）		上弦面水平ブレース	
位置		図4-9参照	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	2[s-300×100×8×12	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	249
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	26.5
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	171
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.16 (<1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

(2) つなぎばり（斜材及び束材）及び下弦面水平ブレースの評価結果

評価対象箇所は、各部材の評価結果のうち、検定値が最も大きい箇所とするが、ケース 1 については、部材の一部が塑性化しているため累積塑性変形倍率が最も大きい部材とする。評価対象箇所を図 4-10 及び図 4-11 に、ケース 1 の破断評価結果を表 4-13 に、ケース 2 の断面算定結果を表 4-14 に示す。

つなぎばりにおける発生応力度が弾性限強度を超えないこと、また、弾性限強度を超えた場合には、中込ほか（引用文献(1)参照）による破断寿命と比較し、十分な裕度を有していることを確認した。なお、破断評価の対象となる部材の接合部については、保有耐力接合である。



○：累積塑性変形倍率が最も大きい箇所を示す。

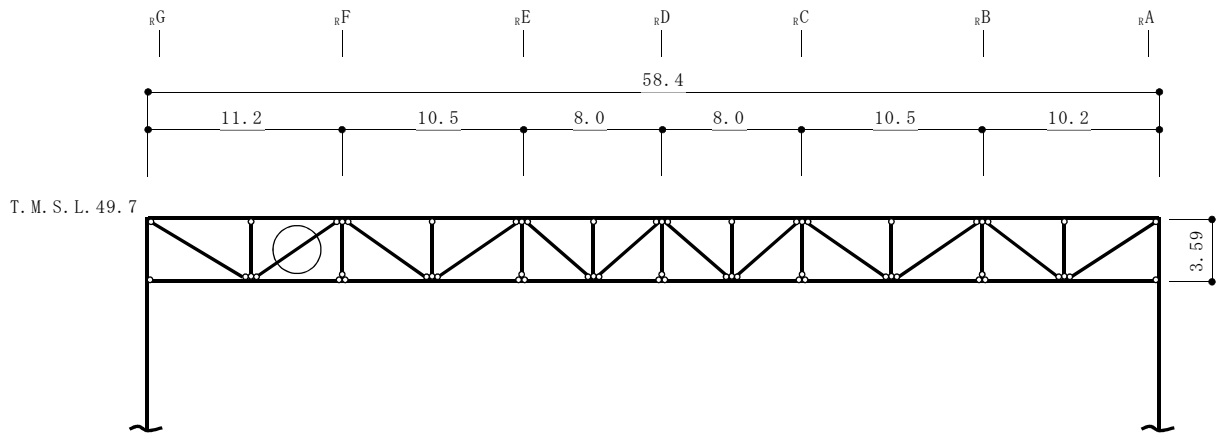
図 4-10 評価対象箇所（ケース 1，つなぎばり斜材： r_4 通り）（単位：m）

表 4-13 破断評価結果（ケース 1）

部位 (使用部材)	部材	最大等価 軸ひずみ $\epsilon_{max} (\times 10^{-3})$	累積塑性 変形倍率 η	応答による*1 繰返し回数 n_i	評価基準*2 (破断寿命) N_p	$\frac{n_i}{N_p}$
つなぎばり ($2L_s-130 \times 130 \times 9$) SS41 (SS400相当)	斜材	0.00776	0.828	614	1190000	0.0006

注記*1：ピークカウント法を用い、対象部材の軸ひずみ時刻歴波形の最大及び最小を全てカウントする。

*2：最大等価軸ひずみ（設定ひずみ振幅）に対応する鋼材の破断寿命を引用文献(1)より算定し、これを評価基準とする。



○：最大応力発生箇所を示す。

図 4-11 評価対象箇所（ケース 2，つなぎばり斜材：R4 通り）（単位：m）

表 4-14 断面算定結果（ケース 2，つなぎばり斜材）

部材（種類）		斜材	
位置		図4-11参照	
ケース		ケース2	
鉄骨断面	部材	2Ls-130×130×9	
	種別	SS41（SS400相当）	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		0*	557
断面算定	σ_t (N/mm ²)	0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	123
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	143
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.00 (< 1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.87 (< 1.0)

注記*：引張軸力が生じないため 0 とする。

4.3 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-15 に示す。なお、各方向において最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動による水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4-15 耐震壁の評価結果

検討 ケース	評価項目	方向	部材番号	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
ケース 1	せん断 ひずみ	NS 方向	7	0.0660	2.0
		EW 方向	6	0.0574	2.0

5. 引用文献

- (1) 中込ほか「繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究」(日本建築学会構造系論文集, 第 469 号, 127-136, 1995 年 3 月)

別紙 年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の
地震応答計算書

目 次

1. 概要	別紙-1
2. 基本方針	別紙-1
2.1 位置	別紙-1
2.2 構造概要	別紙-2
2.3 解析方針	別紙-14
2.4 適用規格	別紙-16
3. 解析方法	別紙-17
3.1 検討用地震動	別紙-17
3.2 地震応答解析モデル	別紙-20
3.2.1 水平方向モデル	別紙-21
3.2.2 鉛直方向モデル	別紙-22
3.3 解析方法	別紙-34
4. 解析結果	別紙-35
4.1 固有値解析結果	別紙-35
4.2 応答解析結果	別紙-35

1. 概要

本資料は、VI-3-別添2-1-2「原子炉建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する原子炉建屋の地震応答解析について説明するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建屋の設置位置を図2-1に示す。

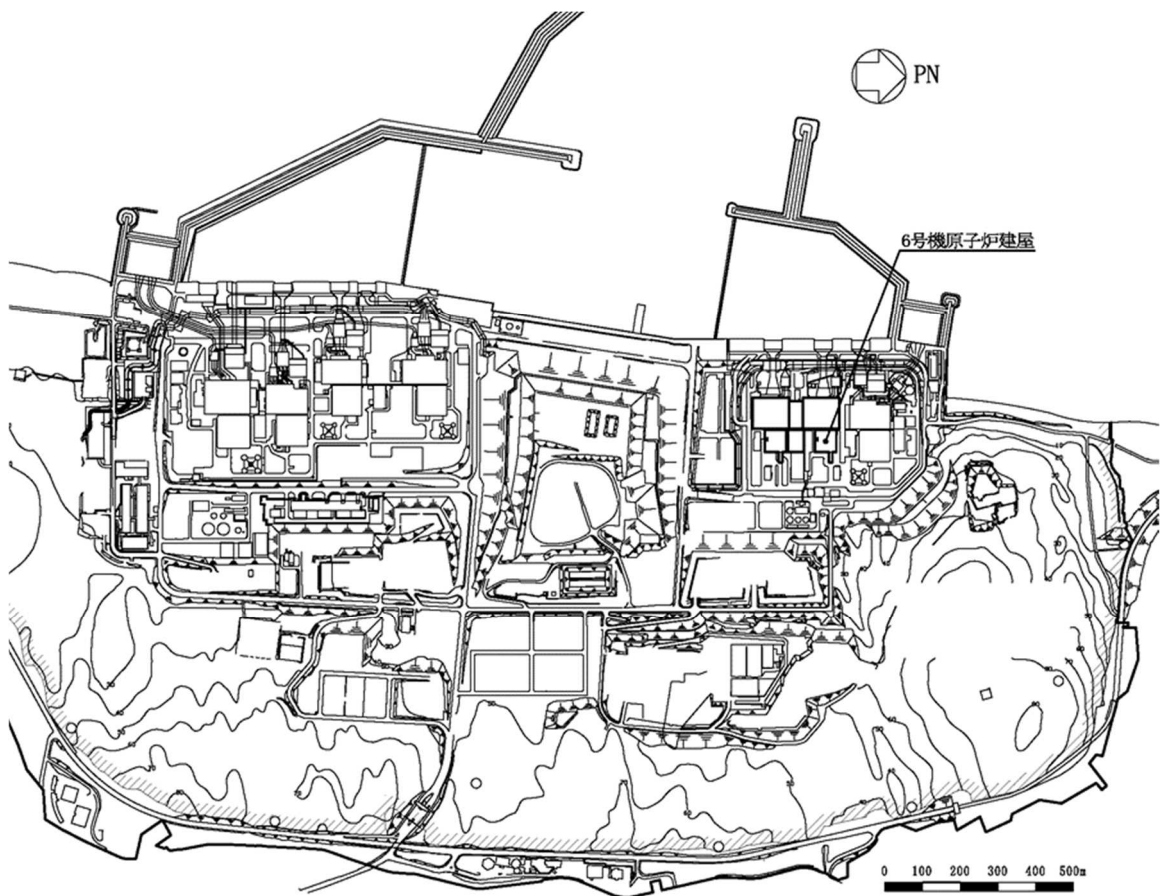


図2-1 原子炉建屋の設置位置

2.2 構造概要

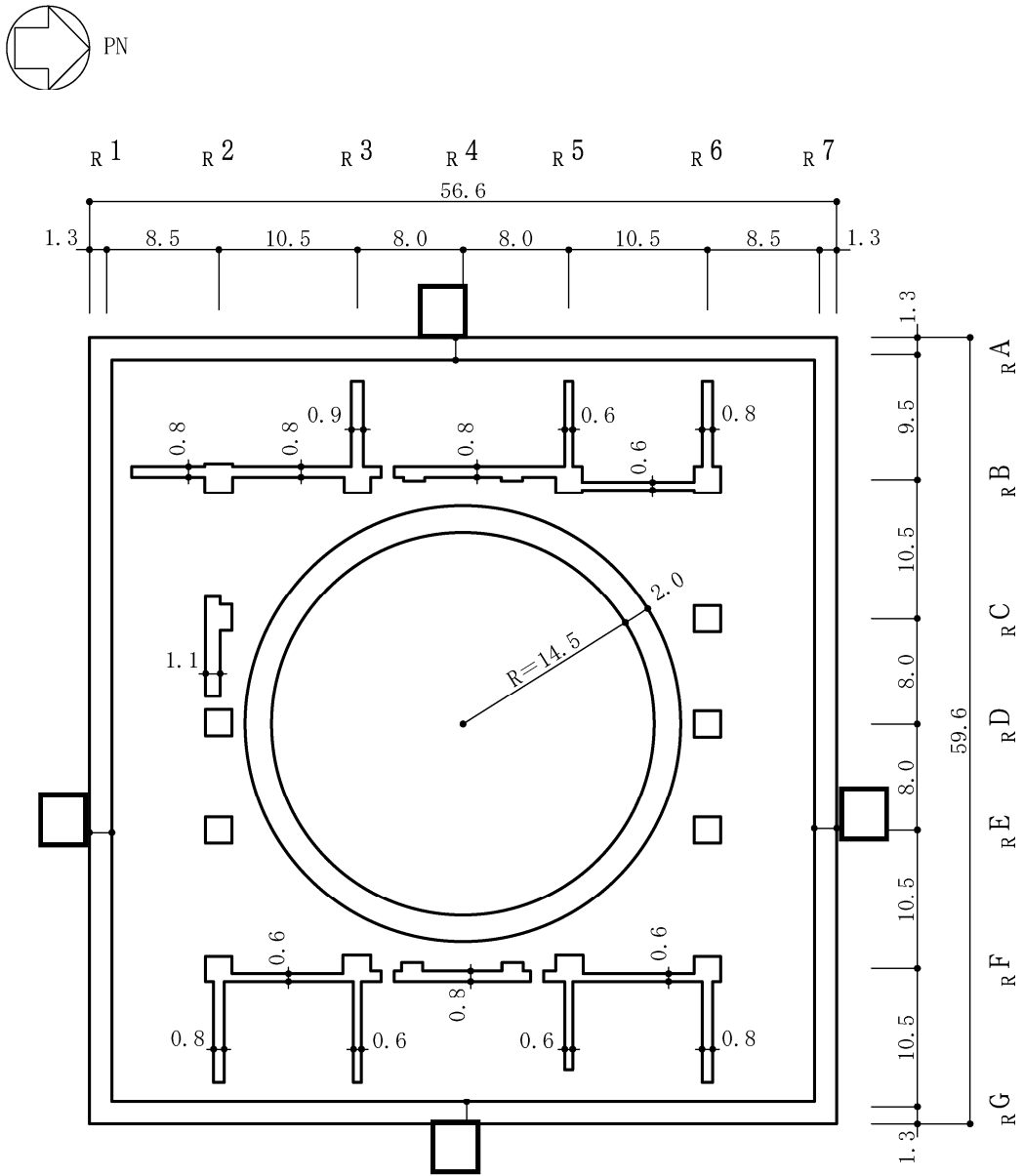
原子炉建屋は、地上4階、地下3階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

原子炉建屋の平面は、地下部分では56.6m（NS方向）×59.6m（EW方向）、最上階は39.0m（NS方向）×59.6m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは63.4mであり、地上高さは37.7mである。なお、原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は厚さ5.5mのべた基礎で、支持地盤である泥岩上に設置している。

原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCVは円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。このRCCVの高さは底部上端からトップスラブ部下端まで29.5m、内径は29.0mであり、壁厚は2.0mである。

原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCVと外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



注：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -8.2m) (1/9) (単位 : m)

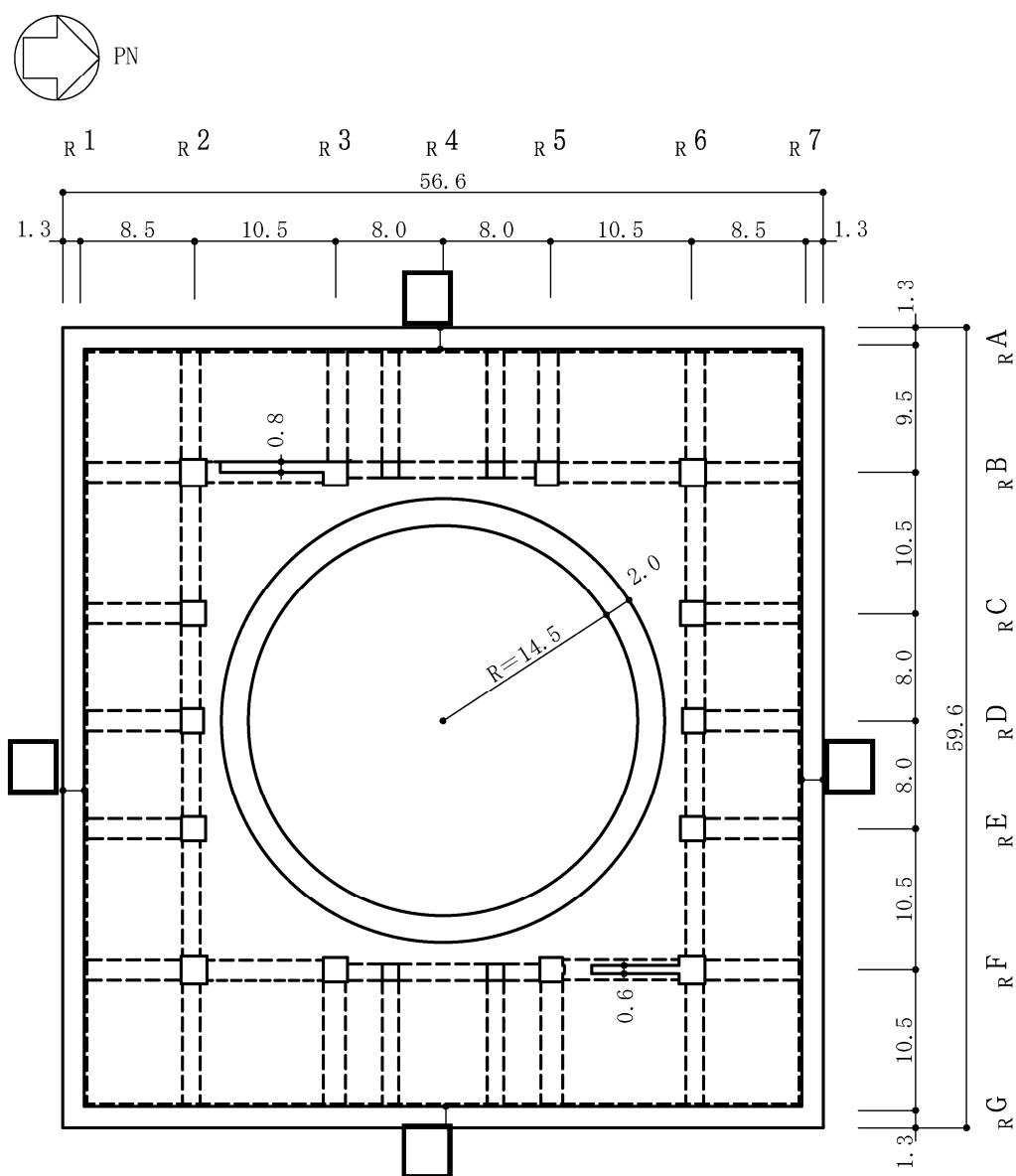


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -1.7m) (2/9) (単位: m)

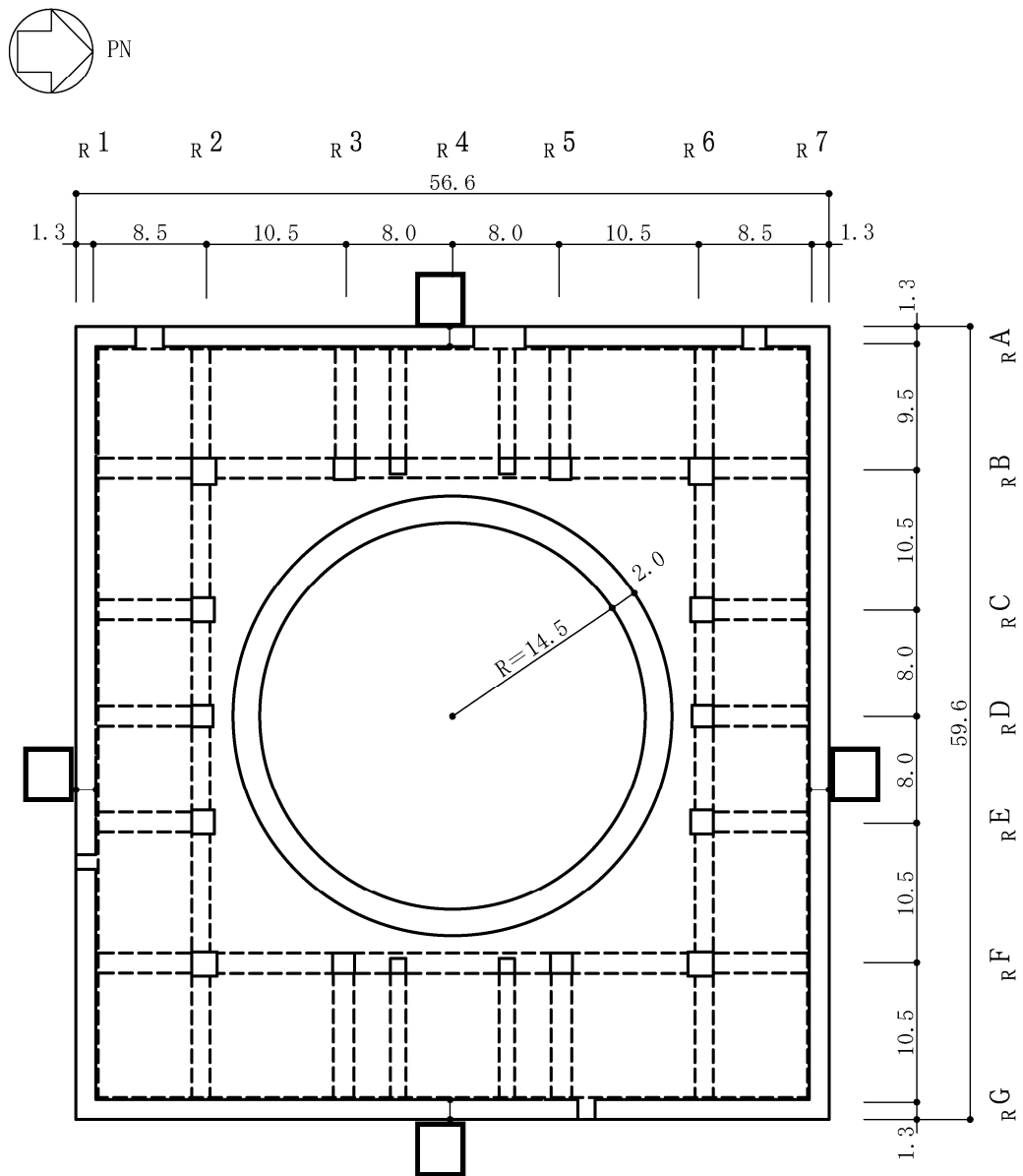


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.8m) (3/9) (単位 : m)

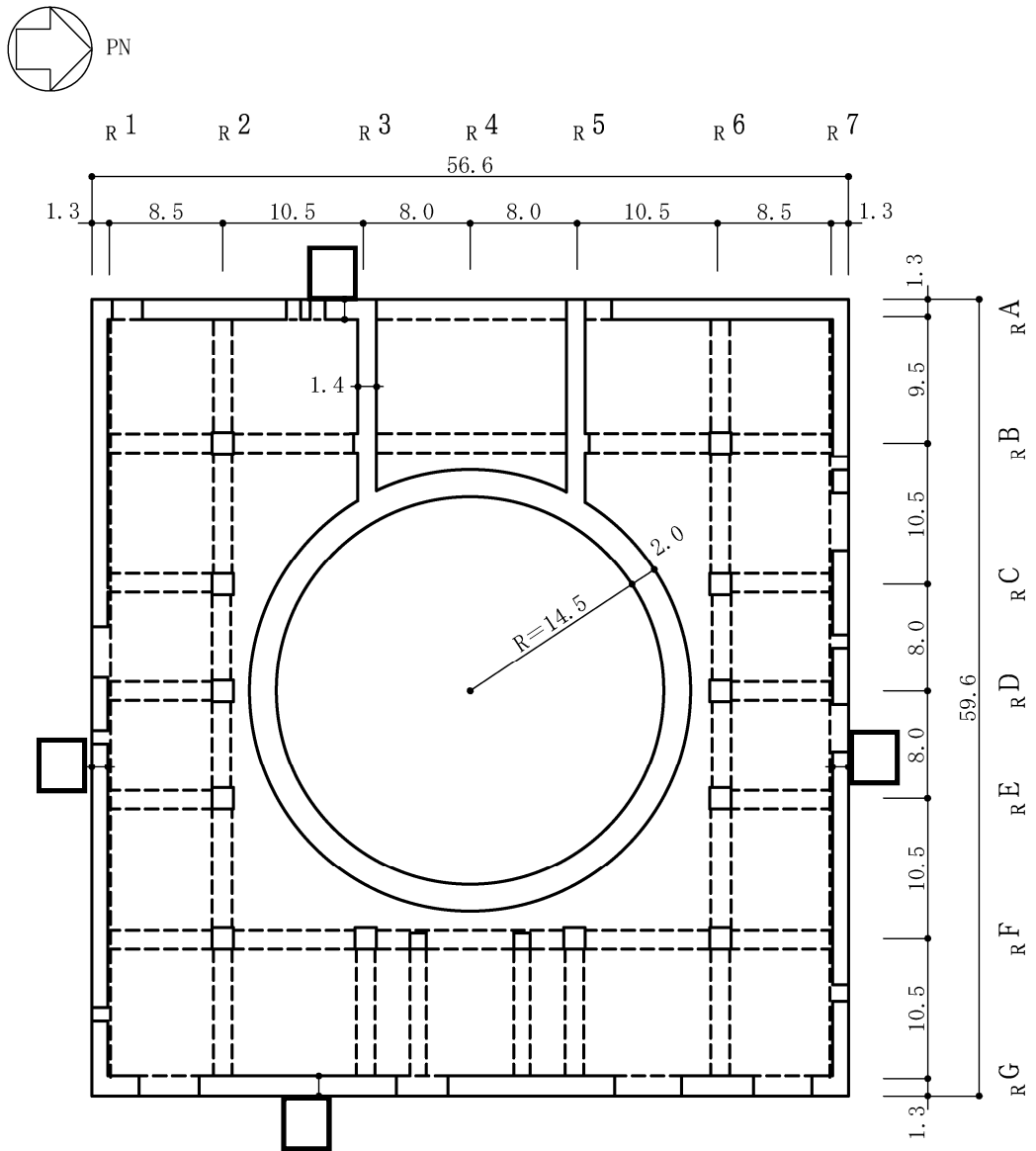


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (1F, T. M. S. L. 12.3m) (4/9) (単位 : m)

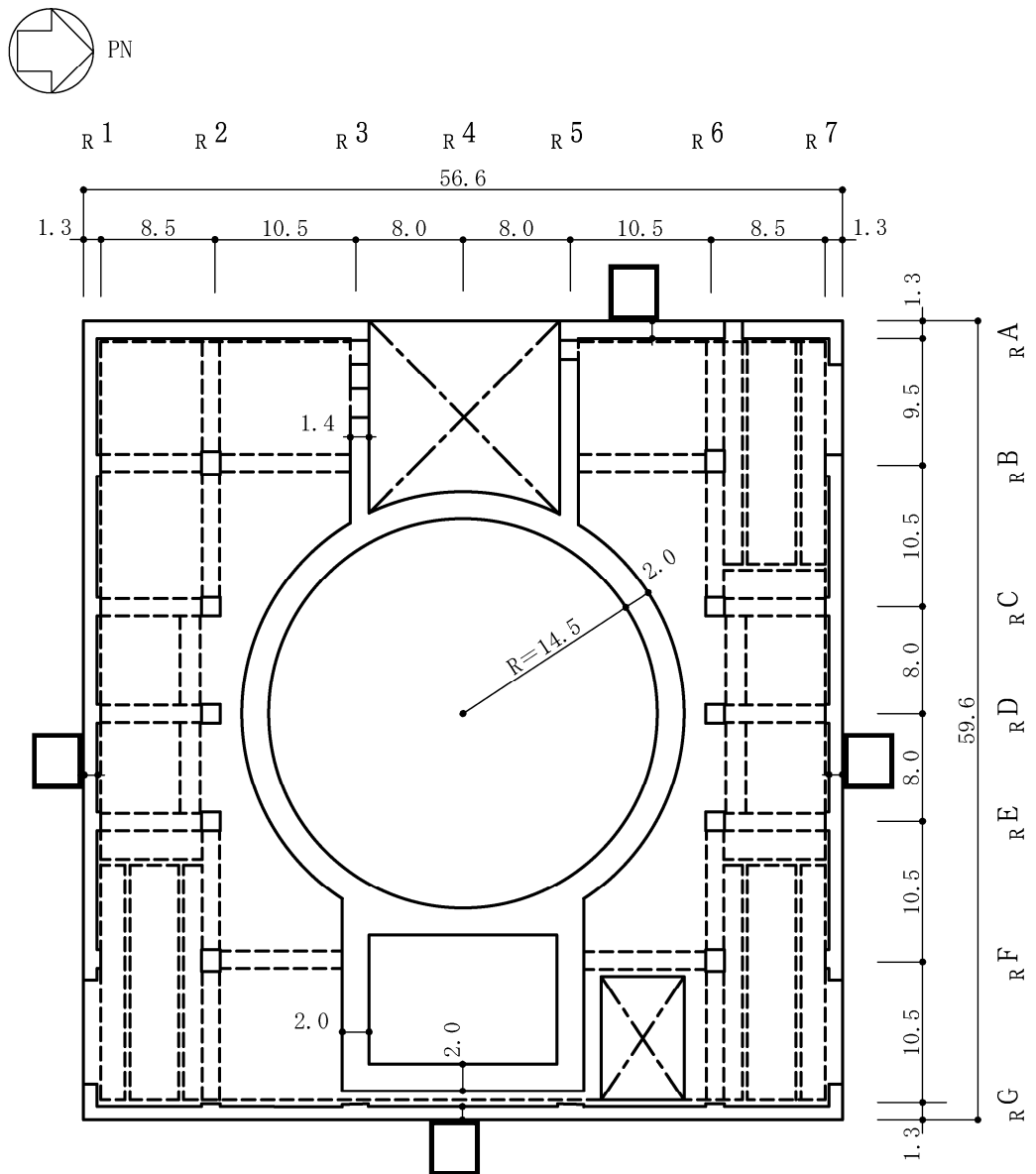


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 18.1m) (5/9) (単位 : m)

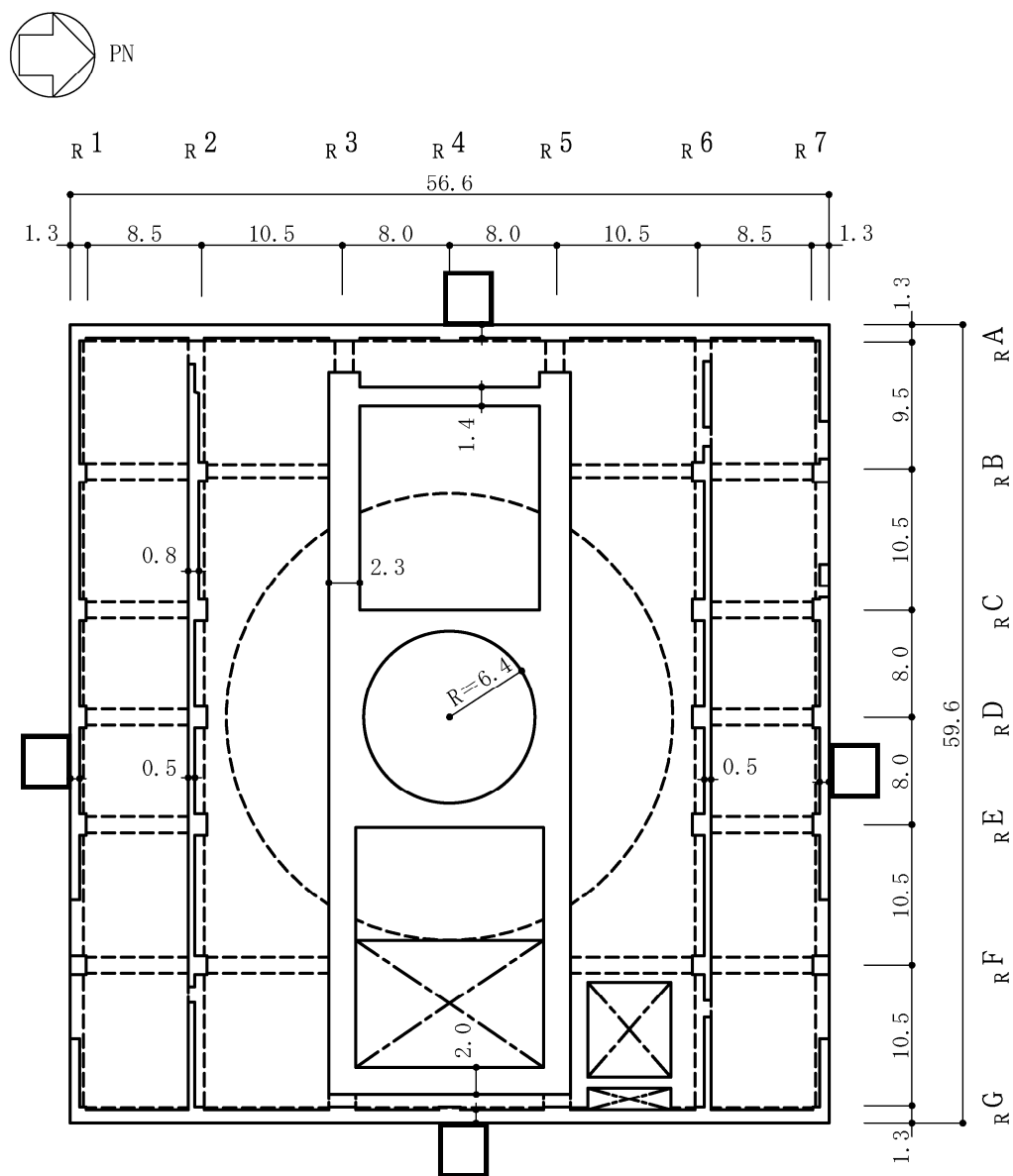


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 23.5m) (6/9) (単位 : m)

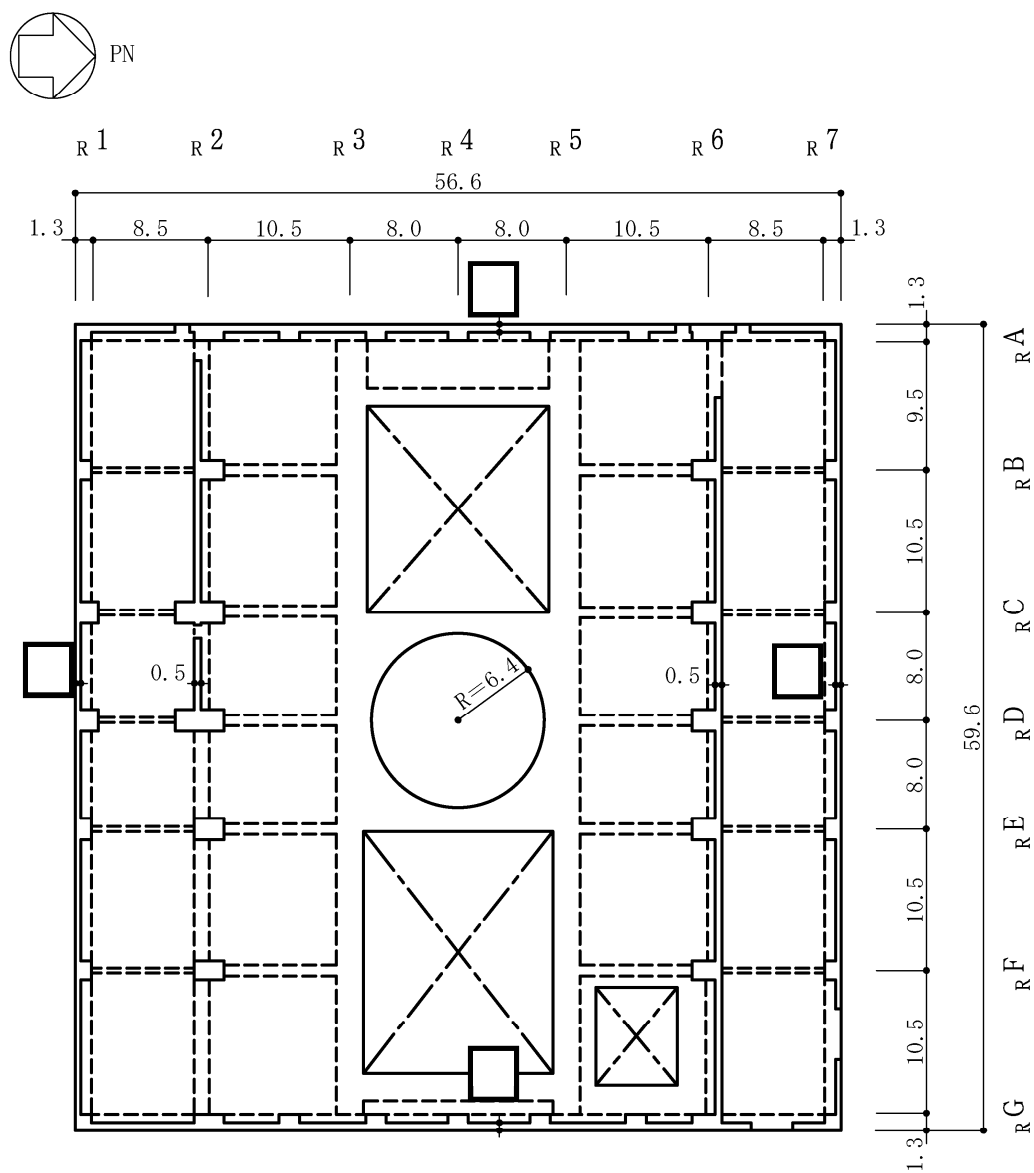


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 31.7m) (7/9) (単位 : m)

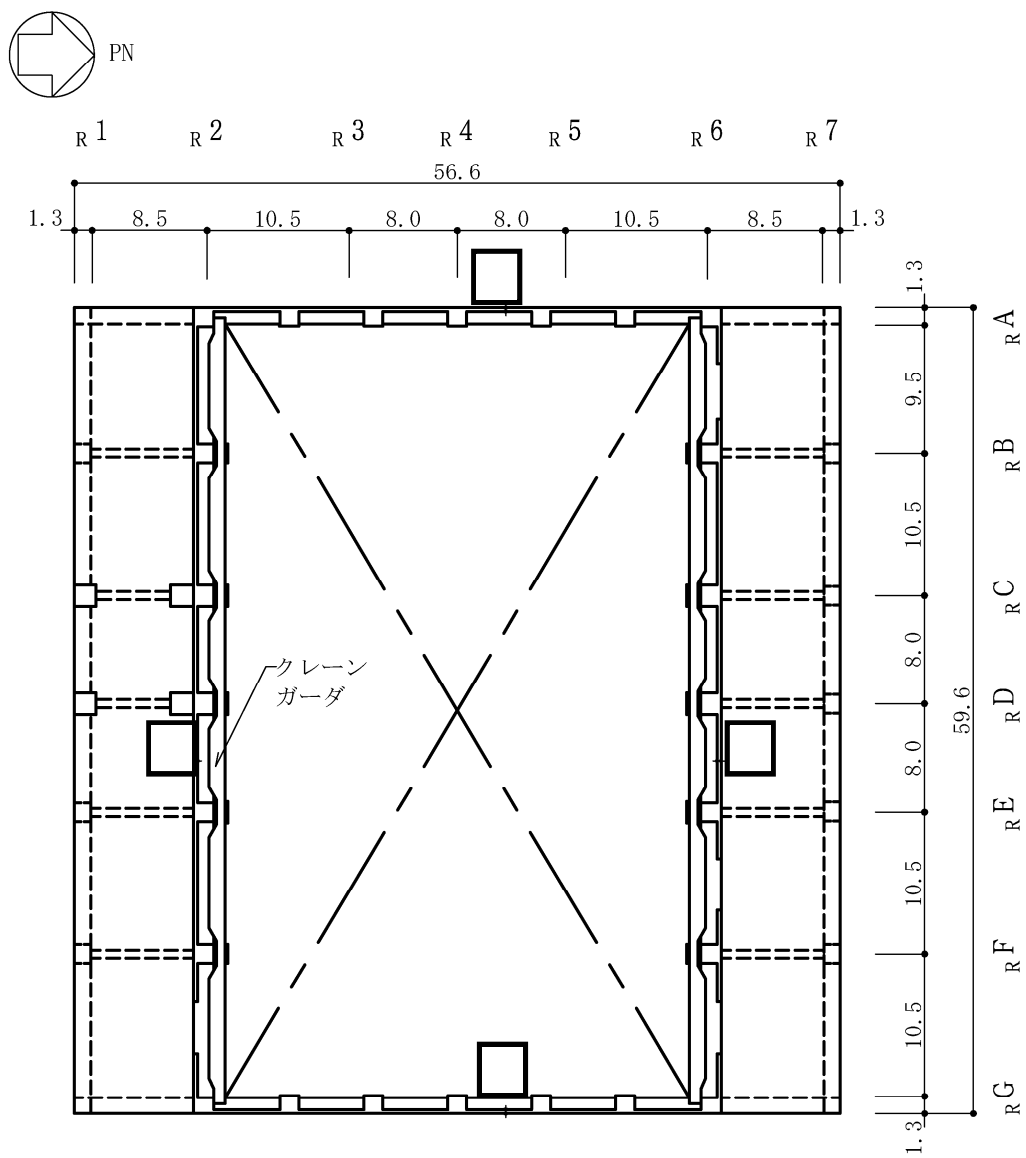


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T.M.S.L. 38.2m) (8/9) (単位 : m)

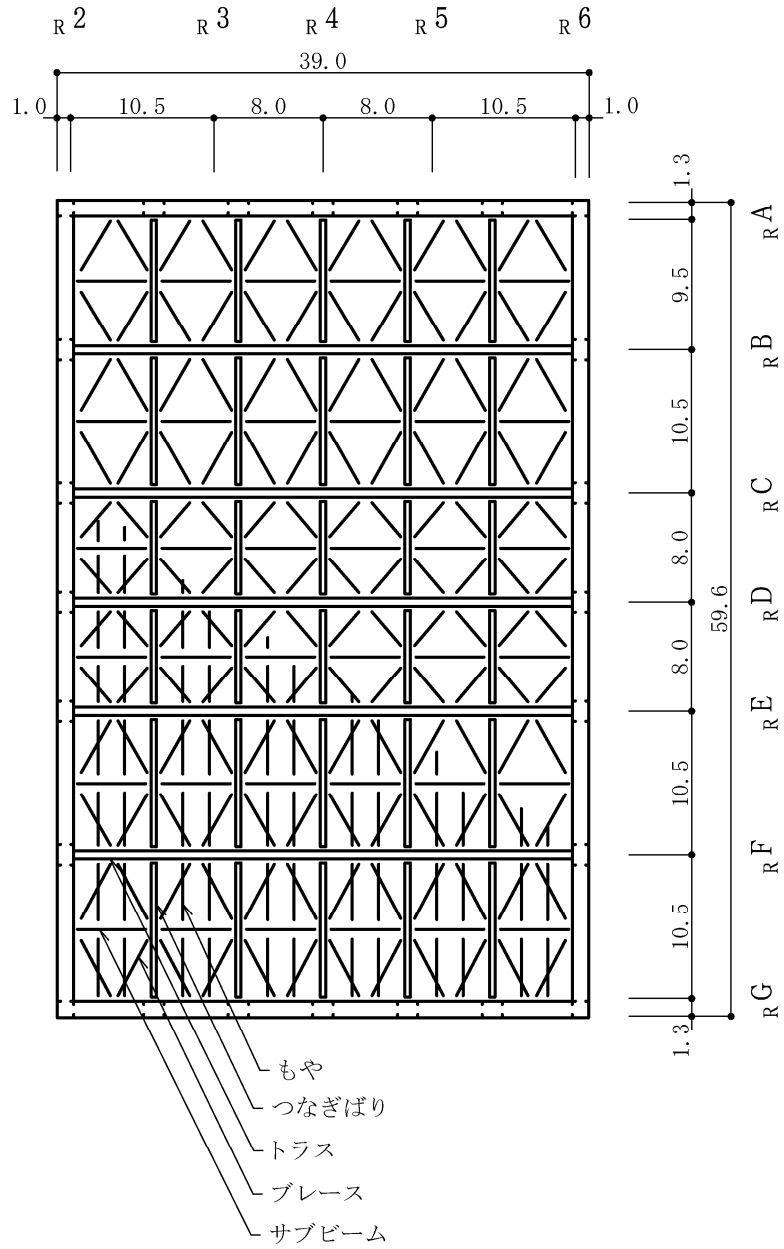
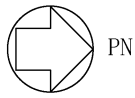
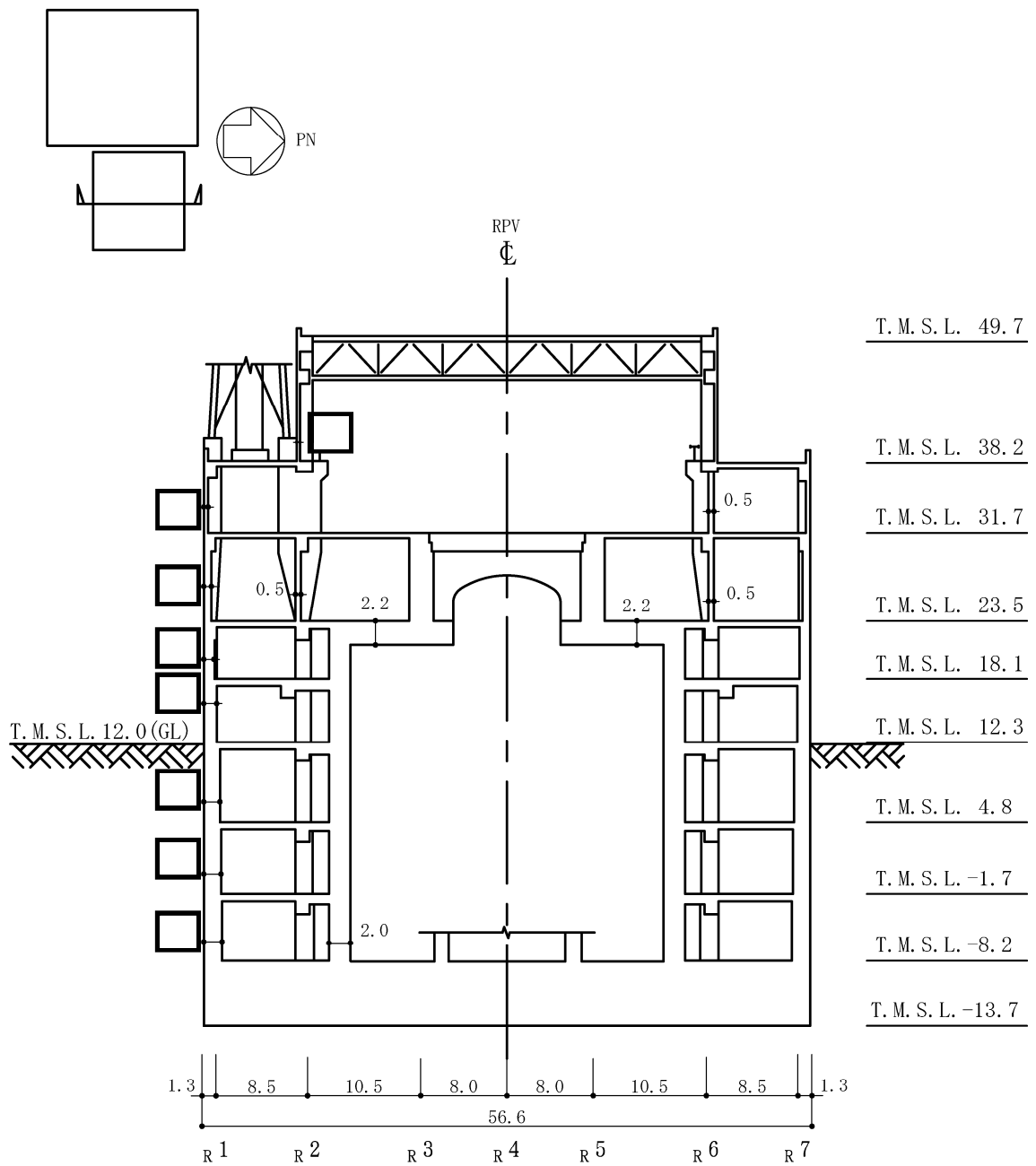


図2-2 原子炉建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 49.7m) (9/9) (単位 : m)



注記*：原子炉圧力容器を、以下「RPV」という。

図2-3 原子炉建屋の概略断面図（NS方向）（1/2）（単位：m）

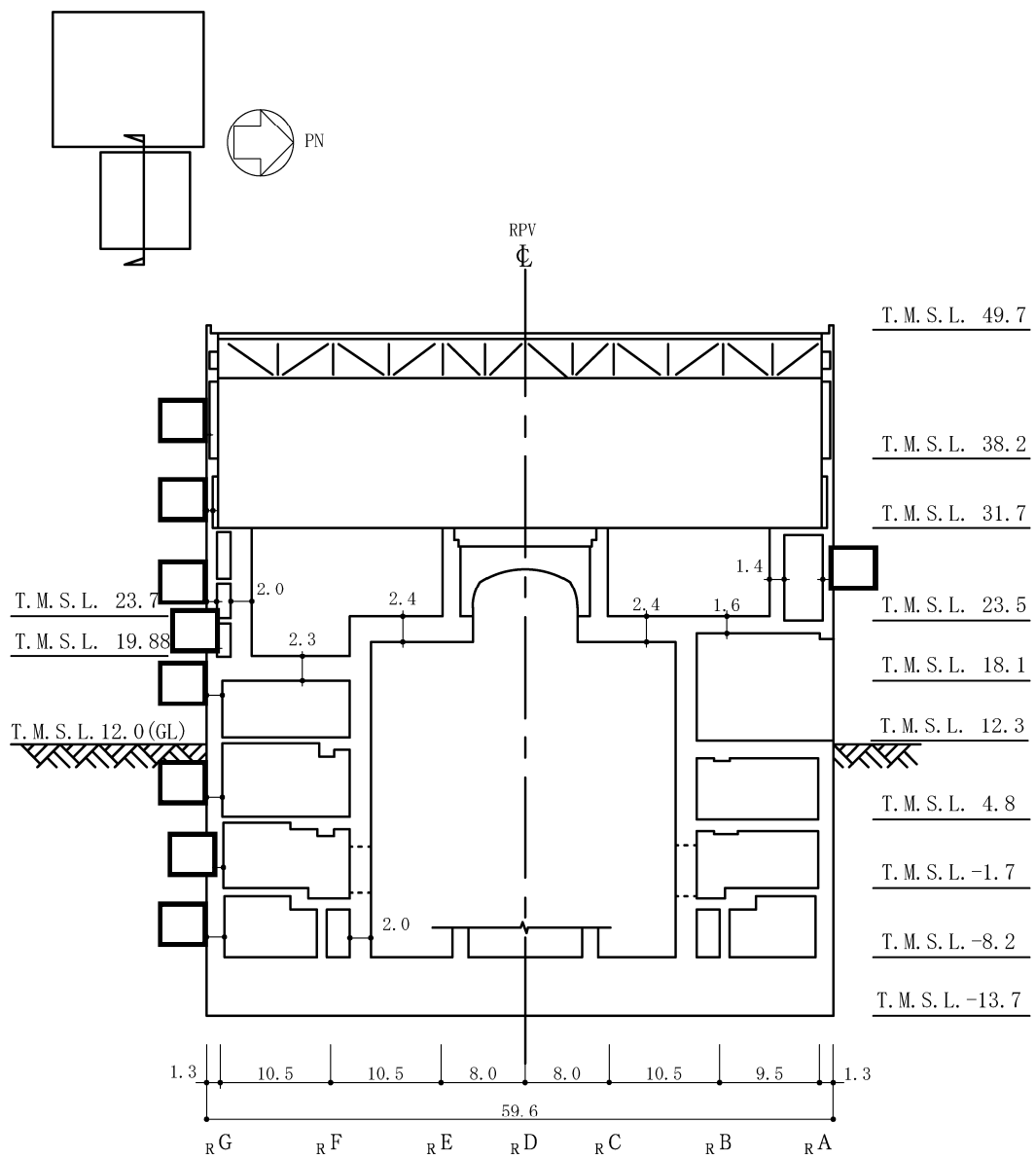


図2-3 原子炉建屋の概略断面図 (EW方向) (2/2) (単位 : m)

2.3 解析方針

原子炉建屋の地震応答解析は、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図2-4に原子炉建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 検討用地震動」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」に基づき、「4. 解析結果」において、加速度、変位、せん断ひずみ等を含む各種応答値を算出する。

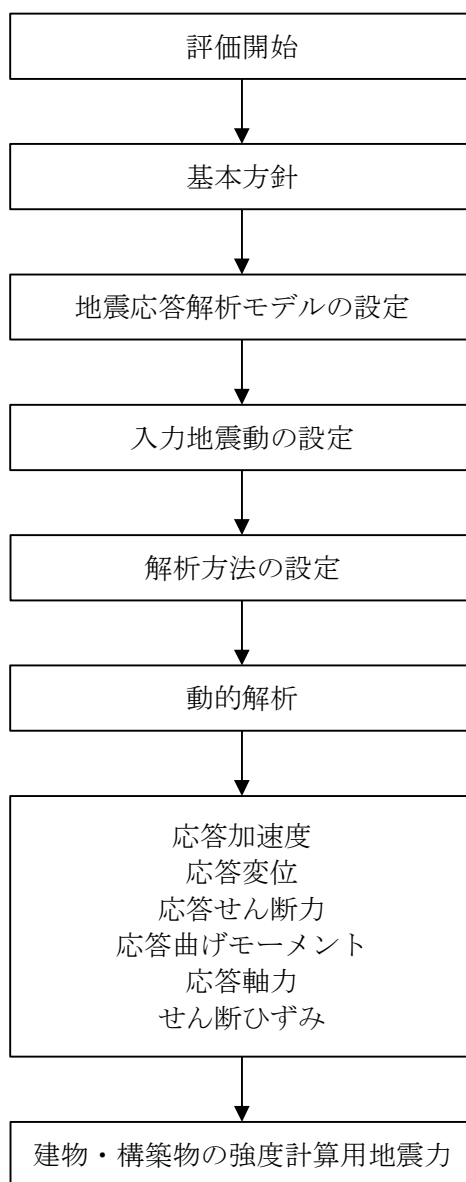


図2-4 原子炉建屋の地震応答解析フロー

2.4 適用規格

地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

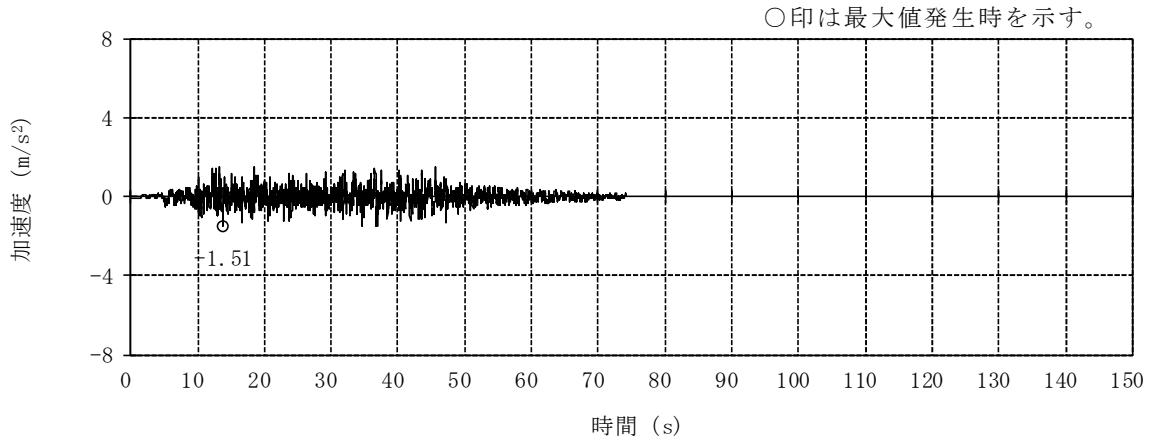
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005制定)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005改定)

3. 解析方法

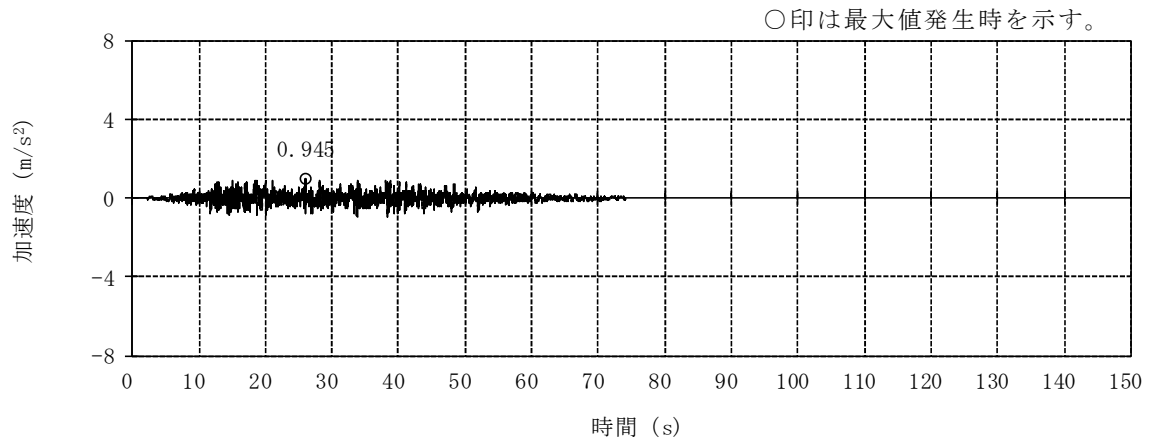
3.1 検討用地震動

原子炉建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この建屋－地盤連成モデルへの入力地震動は、VI-3-別添2-1-2「原子炉建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動を用いることとする。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図3-1及び図3-2に示す。

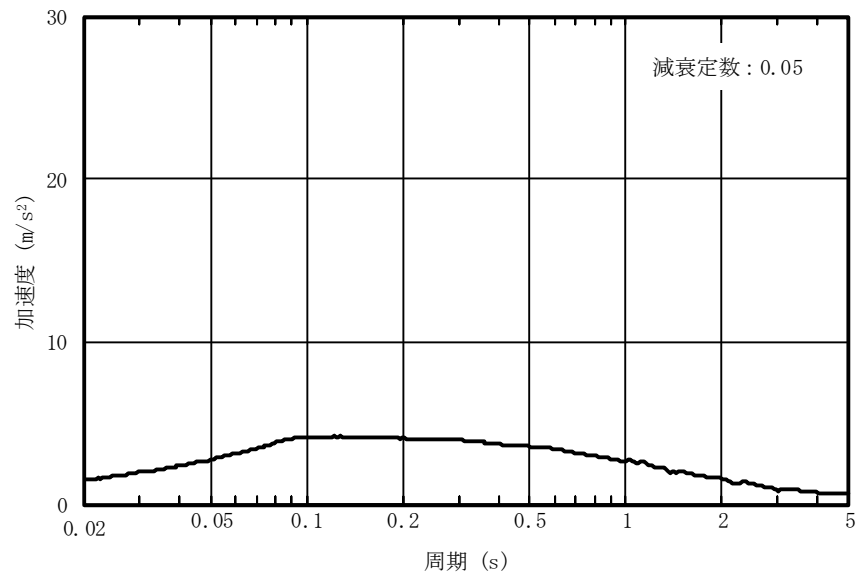


(a) 水平方向

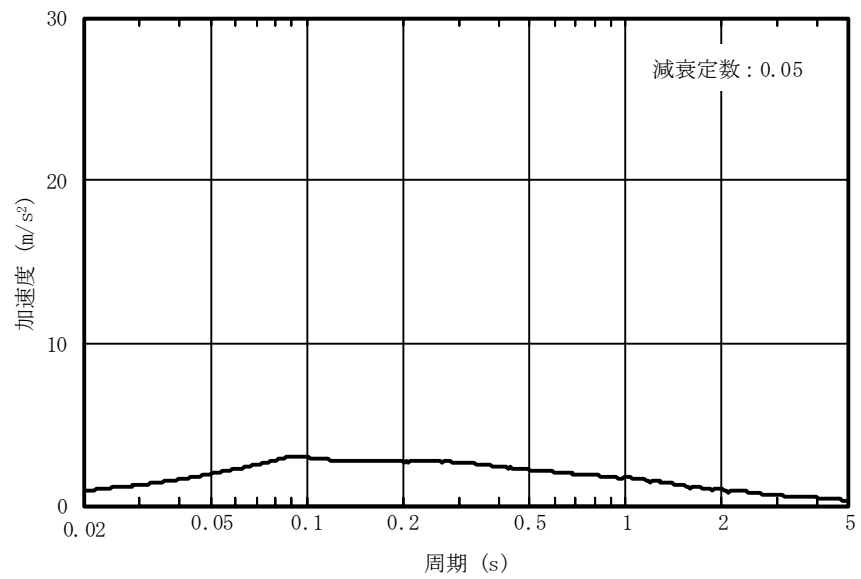


(b) 鉛直方向

図3-1 加速度時刻歴波形 (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図3-2 加速度応答スペクトル (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定する。

地震応答解析モデルの設定に用いた建物・構築物の物性値を表3-1に示す。

ここで、コンクリート剛性については、実現象に近い応答を模擬するという観点から、建設時コンクリートの91日強度データを基に設定した実強度を用いて算定する。

表3-1 建物・構築物の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート*： $\sigma_c = 43.1 \text{ N/mm}^2$ ($\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋：SD35 (SD345相当)	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート*： $\sigma_c = 39.2 \text{ N/mm}^2$ ($\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋：SD35 (SD345相当)	2.79×10^4	1.16×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨：SS41 (SS400相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨：SM50A (SM490A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記*：実強度に基づくコンクリート強度。

3.2.1 水平方向モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。

建屋のモデル化はNS方向、EW方向それぞれについて行っているが、EW方向においては、使用済燃料貯蔵プール壁がRCCVの曲げ変形を拘束する影響を考慮して回転ばねを取り付けている。また、設計時には考慮していなかった補助壁を、実現象に近い応答を模擬するという観点から、耐震要素と位置づけ、地震応答解析モデルに取り込む。地震応答解析モデルを図3-3に、地震応答解析モデルの諸元を表3-2及び表3-3に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、「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（日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。）により、成層補正を行ったのち、振動アドミタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを、近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。

また、埋込み部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、Novakの方法に基づき求めた水平ばねを、基礎底面地盤ばねと同様に、近似法により定数化して用いる。また、設計時に考慮していなかった回転ばねを、水平ばねと同様に、定数化して用いる。なお、地盤表層部（新期砂層）については、地盤ばねは考慮しない。建屋側面の水平・回転ばねの評価には、解析コード「NOVAK」を用いる。

水平方向モデルへの入力地震動は、次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤の応答として評価する。また、基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。図3-4に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤定数を表3-4に示す。なお、地盤定数は地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた等価地盤物性値を用いる。ひずみ依存特性については、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づく。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置（T.M.S.L.-13.7m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-5に示す。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表3-5に示す。

なお、水平方向の解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.2 鉛直方向モデル

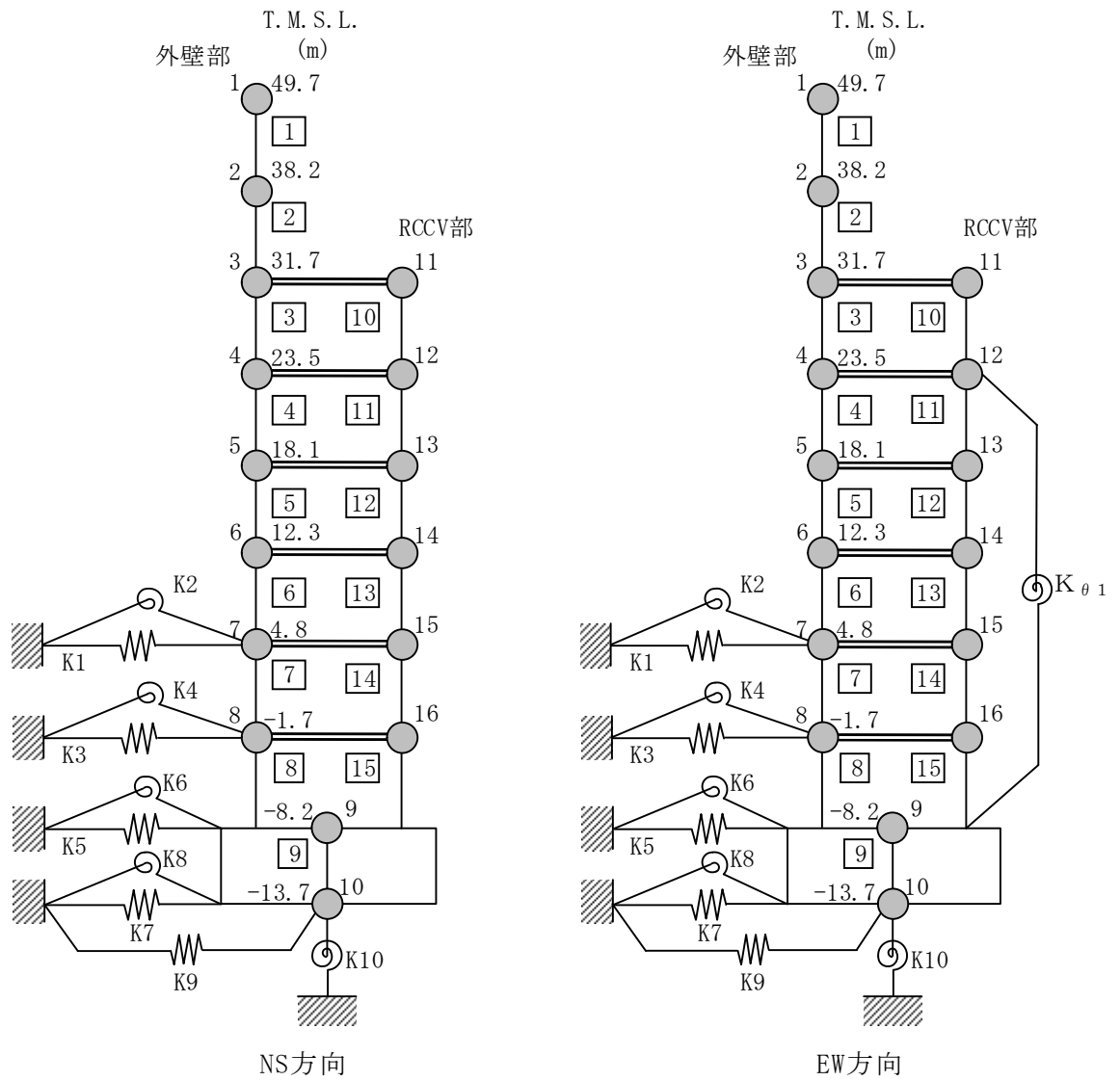
鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。水平方向モデルと同様に、補助壁を地震応答解析モデルに取り込む。鉛直方向の地震応答解析モデルを図3-6に、地震応答解析モデルの諸元を表3-6に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、スウェイ及びロッキングばね定数の評価法と同様、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めた鉛直ばねを近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。

鉛直方向モデルへの入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤の応答として評価したものであり、基礎底面レベルに直接入力する。図3-7に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。

設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置 (T.M.S.L. -13.7m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図3-8に示す。なお、地盤定数は表3-4に示すとおりである。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表3-7に示す。

なお、鉛直方向の解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注： $K_{\theta 1}$ はRCCV回転ばねを示す。

図3-3 地震応答解析モデル（水平方向）

表3-2 地震応答解析モデル諸元 (NS方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_S (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^3 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_S (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
1	50590	90.5									
2	84680	429.5	1	41.0	13600						
3	86730	484.7	2	82.4	50500						
4	83140	287.7	3	182.1	71400						
5	55570	200.3	4	127.8	70400						
6	82400	293.4	5	156.5	87200						
7	78650	291.3	6	180.2	103000						
8	79430	293.2	7	191.6	112800						
9	339800	936.5	8	225.0	119000						
10	216920	580.6	9	3373.4	900600						
合計	1973340					11	94140	33.3	10	119.9	7200
						12	157400	384.4	11	107.9	23300
						13	101890	303.0	12	150.0	23500
						14	199370	400.1	13	133.0	23400
						15	125920	392.3	14	129.7	23600
						16	136710	369.7	15	176.2	29500

① 建屋部

ヤング係数 E $2.88 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 せん断弾性係数 G $1.20 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

② 基礎スラブ

ヤング係数 E $2.79 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 せん断弾性係数 G $1.16 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

基礎形状 56.6m (NS方向) \times 59.6m (EW方向) \times 5.5m (厚さ)

表3-3 地震応答解析モデル諸元 (EW方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_S (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_S (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
1	50590	188.6									
2	84680	321.1	1	54.7	29900						
3	91730	304.1	2	122.6	61200						
4	67180	275.6	3	162.2	89400						
5	52200	220.8	4	132.8	82600						
6	81320	330.6	5	158.4	96200						
7	77080	317.7	6	197.4	111700						
8	77960	320.7	7	211.6	124000						
9	339800	1030.7	8	258.7	131000						
10	216920	647.2	9	3373.4	998600						
合計	1973340					11	89140	275.6	10	248.3	6700
						12	173360	480.8	11	223.0	23300
						13	105260	332.6	12	158.3	23100
						14	200450	439.4	13	118.2	23400
						15	127490	433.5	14	183.2	21200
						16	138180	408.9	15	160.1	23800

① 建屋部

ヤング係数 E $2.88 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 せん断弾性係数 G $1.20 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%
 回転ばね $K_{\theta 1}$ $2.13 \times 10^{10} \text{kN}\cdot\text{m/rad}$

② 基礎スラブ

ヤング係数 E $2.79 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 せん断弾性係数 G $1.16 \times 10^4 \text{N/mm}^2$
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数 h 5%

基礎形状 56.6m (NS方向) \times 59.6m (EW方向) \times 5.5m (厚さ)

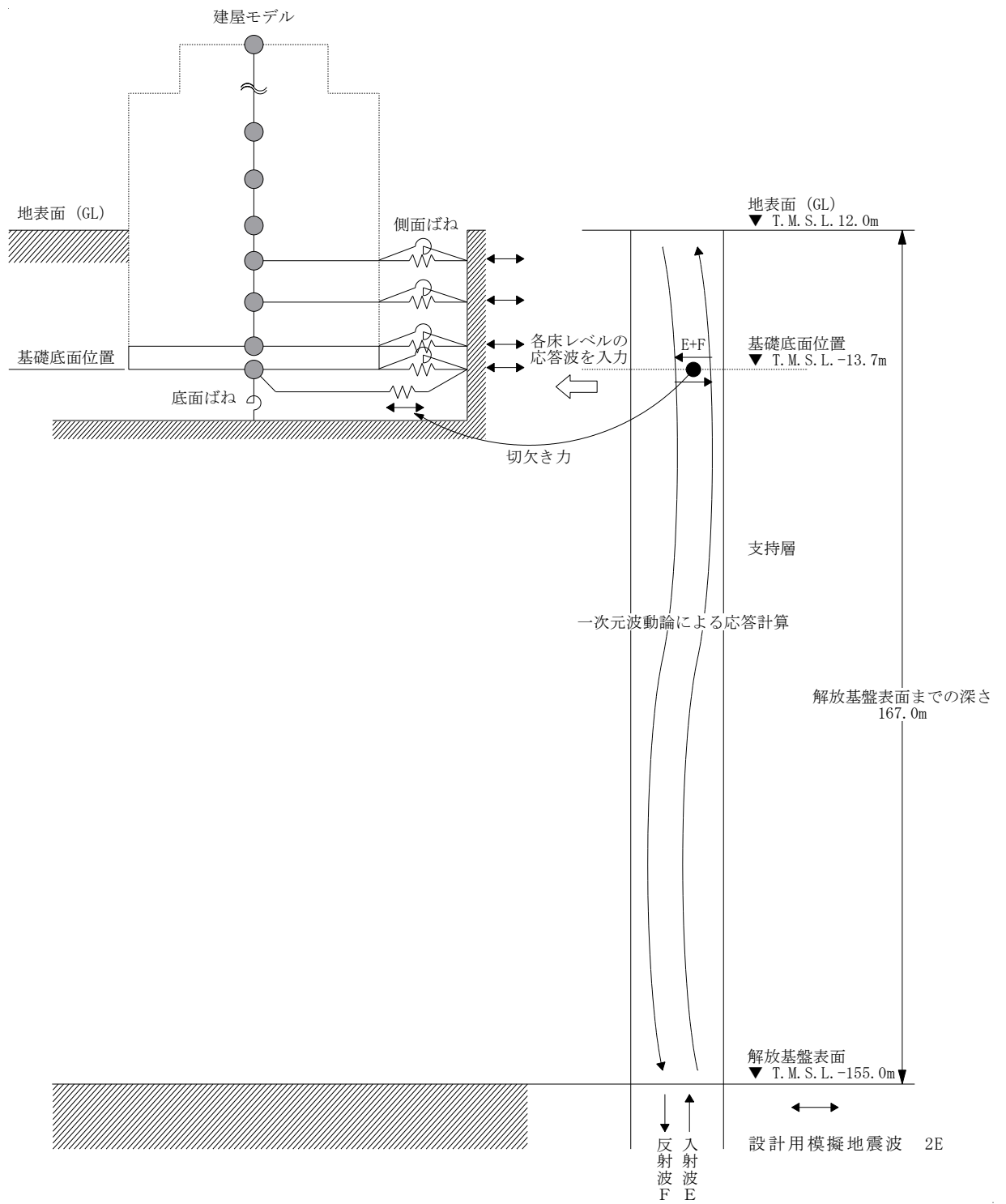


図3-4 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図（水平方向）

表3-4 地盤定数 (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.247	0.369	0.67	8
+8.0		200	16.1	0.308	0.374	0.657	0.57	11
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.53	1.92	0.80	3
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.07	4.16	0.98	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.60	4.75	0.97	3
-90.0		590	17.3	0.432	6.01	6.14	0.98	3
-136.0		650	19.3	0.424	8.15	8.32	0.98	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

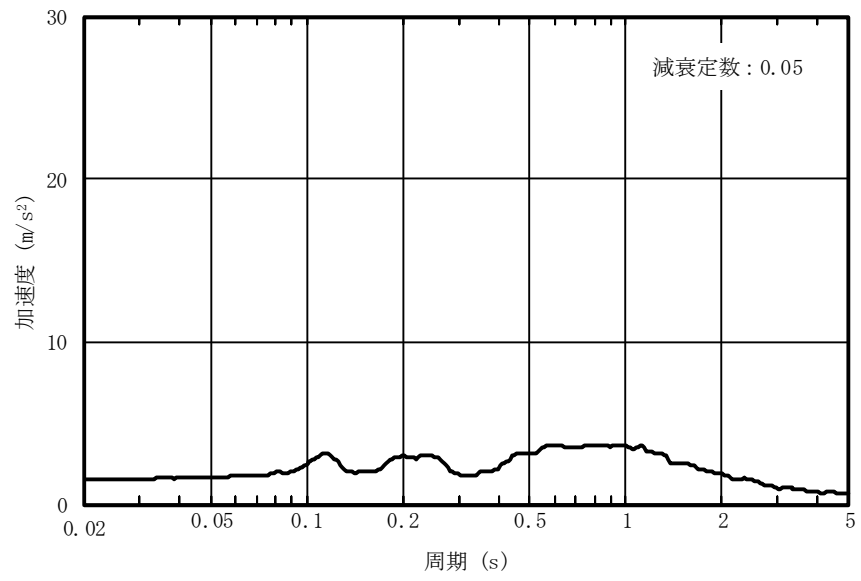


図3-5 入力地震動の加速度応答スペクトル
(年超過確率 10^{-2} 相当地震動, 水平方向, T.M.S.L. -13.7m)

表3-5 地盤のばね定数と減衰係数（年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

(a) NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^{*1} K_C	減衰係数 ^{*2} C_C
K1	7	側面・並進	1.62×10^6	5.10×10^5
K2	7	側面・回転	1.26×10^9	1.26×10^8
K3	8	側面・並進	4.31×10^6	1.35×10^6
K4	8	側面・回転	3.34×10^9	3.34×10^8
K5	9	側面・並進	9.31×10^6	1.82×10^6
K6	9	側面・回転	7.33×10^9	4.17×10^8
K7	10	側面・並進	4.82×10^6	8.89×10^5
K8	10	側面・回転	3.77×10^9	2.02×10^8
K9	10	底面・並進	7.82×10^7	2.93×10^6
K10	10	底面・回転	7.62×10^{10}	6.21×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7 及び K9 の単位は kN/m, K2, K4, K6, K8 及び K10 の単位は kN・m/rad とする。

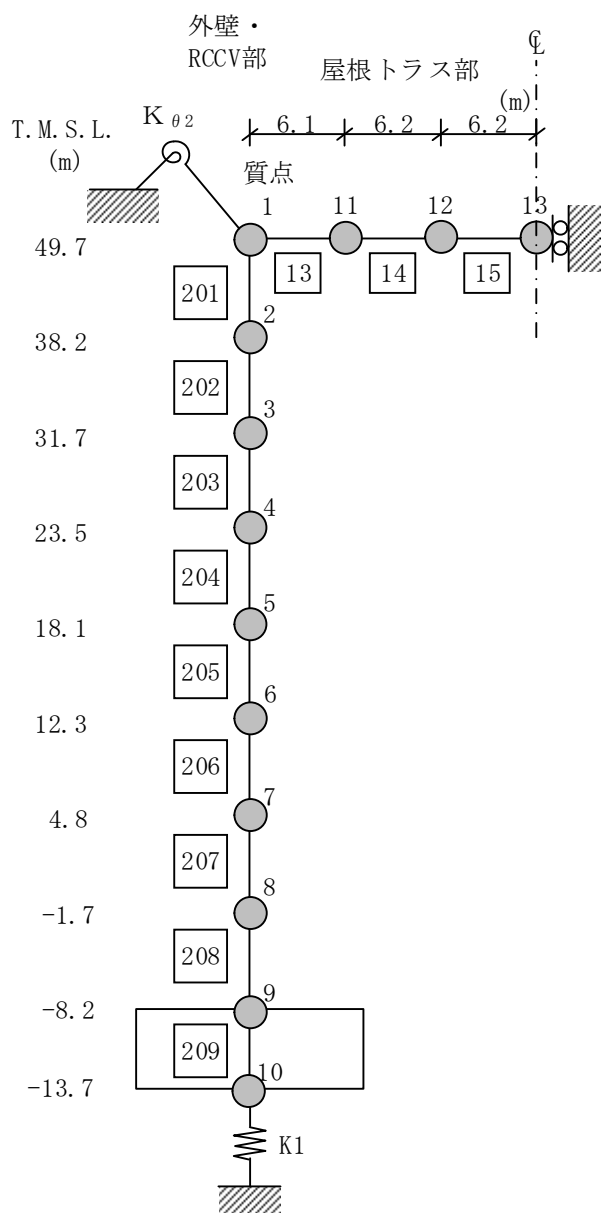
*2 : K1, K3, K5, K7 及び K9 の単位は kN・s/m, K2, K4, K6, K8 及び K10 の単位は kN・m・s/rad とする。

(b) EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^{*1} K_C	減衰係数 ^{*2} C_C
K1	7	側面・並進	1.62×10^6	5.11×10^5
K2	7	側面・回転	1.26×10^9	1.26×10^8
K3	8	側面・並進	4.31×10^6	1.36×10^6
K4	8	側面・回転	3.34×10^9	3.35×10^8
K5	9	側面・並進	9.31×10^6	1.82×10^6
K6	9	側面・回転	7.33×10^9	4.20×10^8
K7	10	側面・並進	4.82×10^6	8.89×10^5
K8	10	側面・回転	3.77×10^9	2.03×10^8
K9	10	底面・並進	7.78×10^7	2.91×10^6
K10	10	底面・回転	8.21×10^{10}	7.24×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7 及び K9 の単位は kN/m, K2, K4, K6, K8 及び K10 の単位は kN・m/rad とする。

*2 : K1, K3, K5, K7 及び K9 の単位は kN・s/m, K2, K4, K6, K8 及び K10 の単位は kN・m・s/rad とする。



注： $K_{\theta 2}$ は屋根トラス端部回転拘束ばねを示す。

図3-6 地震応答解析モデル（鉛直方向）

表3-6 地震応答解析モデル諸元 (鉛直方向)

外壁・RCCV部			
質点番号	質点重量 W (kN)	部材 番号	軸断面積 A_N (m ²)
1	34450		
2	84680	201	89.0
3	180870	202	199.2
4	240540	203	587.3
5	157460	204	585.5
6	281770	205	616.0
7	204570	206	619.8
8	216140	207	705.4
9	339800	208	806.3
10	216920	209	3373.4
合計	1973340		

屋根トラス部				
質点番号	質点重量 W (kN)	部材 番号	せん断断面積 A_S ($\times 10^{-2}$ m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)
1	—			
11	6470	13	21.25	2.00
12	6450	14	16.82	2.00
13	3220	15	7.94	2.00

①コンクリート部 建屋

ヤング係数E 2.88×10^4 N/mm²
 せん断弾性係数G 1.20×10^4 N/mm²
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数h 5%

②コンクリート部 基礎スラブ

ヤング係数E 2.79×10^4 N/mm²
 せん断弾性係数G 1.16×10^4 N/mm²
 ポアソン比 ν 0.2
 減衰定数h 5%

③鉄骨部

ヤング係数E 2.05×10^5 N/mm²
 せん断弾性係数G 7.90×10^4 N/mm²
 ポアソン比 ν 0.3
 減衰定数h 2%
 トラス端部回転拘束ばね $K_{\theta 2}$ 3.90×10^7 kN・m/rad

基礎形状 56.6m (NS方向) × 59.6m (EW方向) × 5.5m (厚さ)

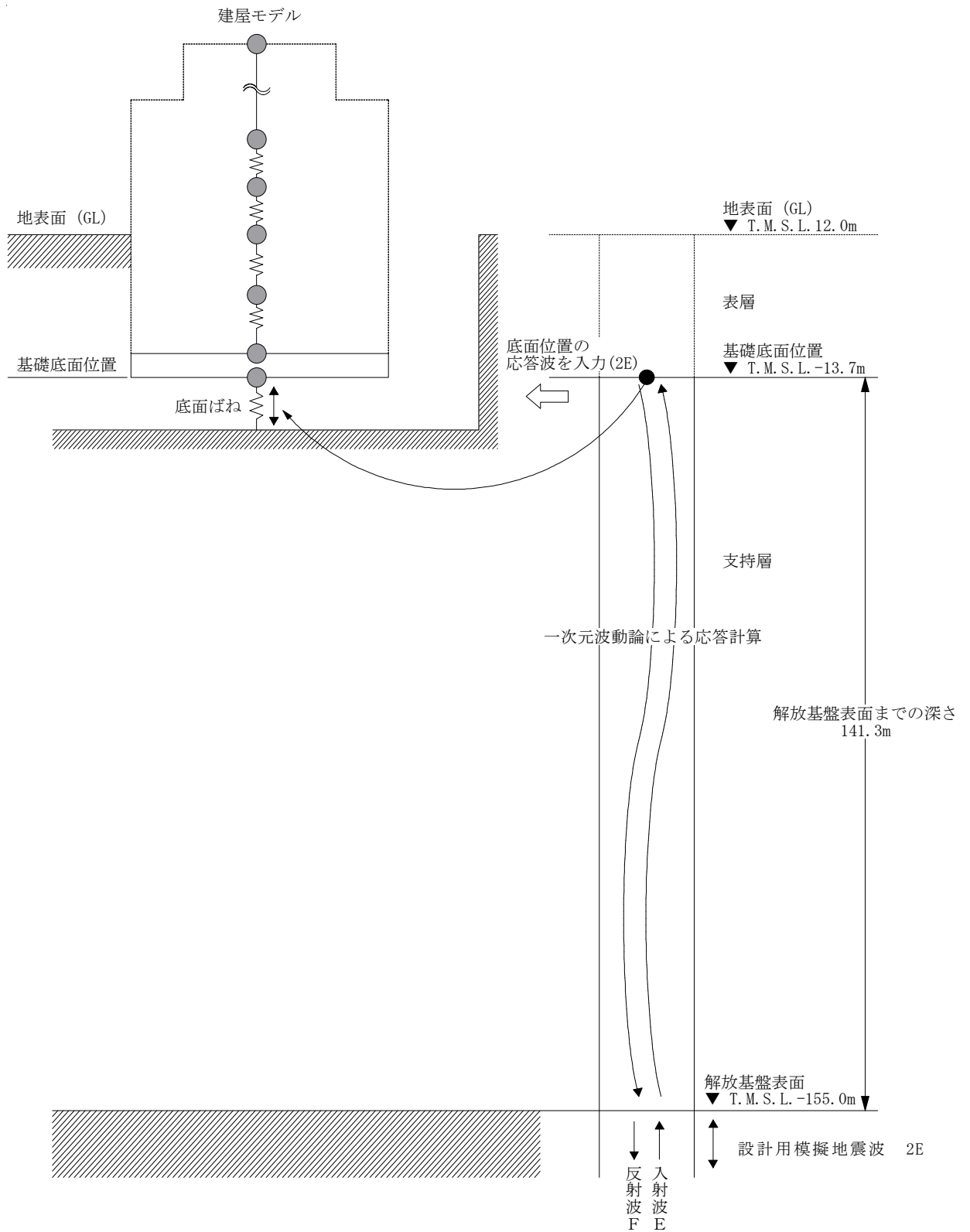


図3-7 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (鉛直方向)

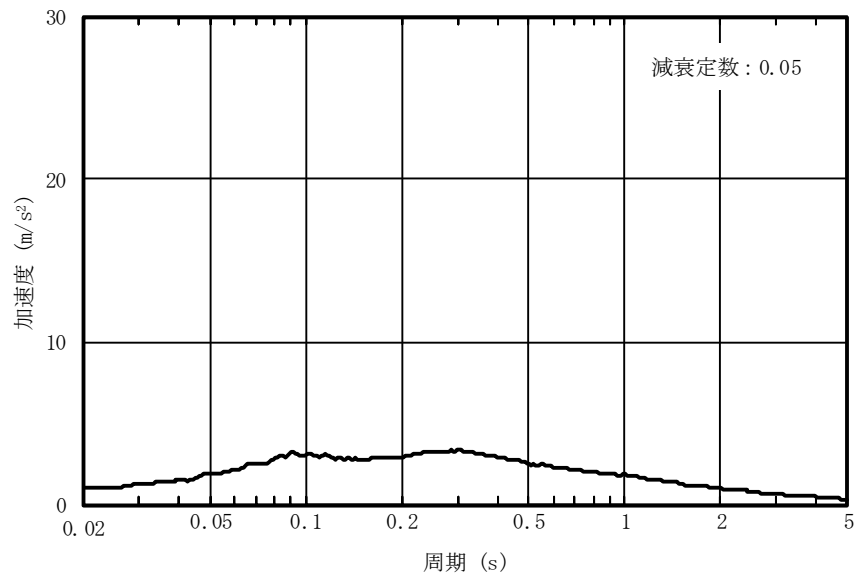


図3-8 入力地震動の加速度応答スペクトル
(年超過確率 10^{-2} 相当地震動, 鉛直方向, T.M.S.L. -13.7m)

表3-7 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 K_C (kN/m)	減衰係数 C_C (kN·s/m)
K1	10	底面・鉛直	1.29×10^8	6.74×10^6

3.3 解析方法

原子炉建屋の地震応答解析は、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、時刻歴応答解析により実施する。時刻歴応答解析には、解析コード「NUPP4」を用いる。なお、解析に用いる解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4. 解析結果

4.1 固有値解析結果

固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）を表4-1に示す。刺激関数図を図4-1に示す。

なお、刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を1に規準化して得られる値を示す。

4.2 応答解析結果

地震応答解析結果を図4-2～図4-12及び表4-2，表4-3に示す。

表4-1 固有値解析結果

(a) NS方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.428	2.34	1.588	地盤建屋連成1次
2	0.187	5.34	-0.724	—
3	0.094	10.61	0.109	—
4	0.079	12.70	0.082	—
5	0.078	12.88	0.063	—

(b) EW方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.418	2.39	1.548	地盤建屋連成1次
2	0.186	5.39	-0.633	—
3	0.085	11.78	0.006	—
4	0.079	12.70	0.125	—
5	0.073	13.69	-0.045	—

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数*	備考
1	0.372	2.69	2.537	屋根トラス1次
2	0.254	3.93	-1.643	地盤建屋連成1次
3	0.104	9.60	0.135	—
4	0.069	14.43	-0.053	—
5	0.049	20.58	-0.104	—

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を1に規準化して得られる刺激係数を示す。

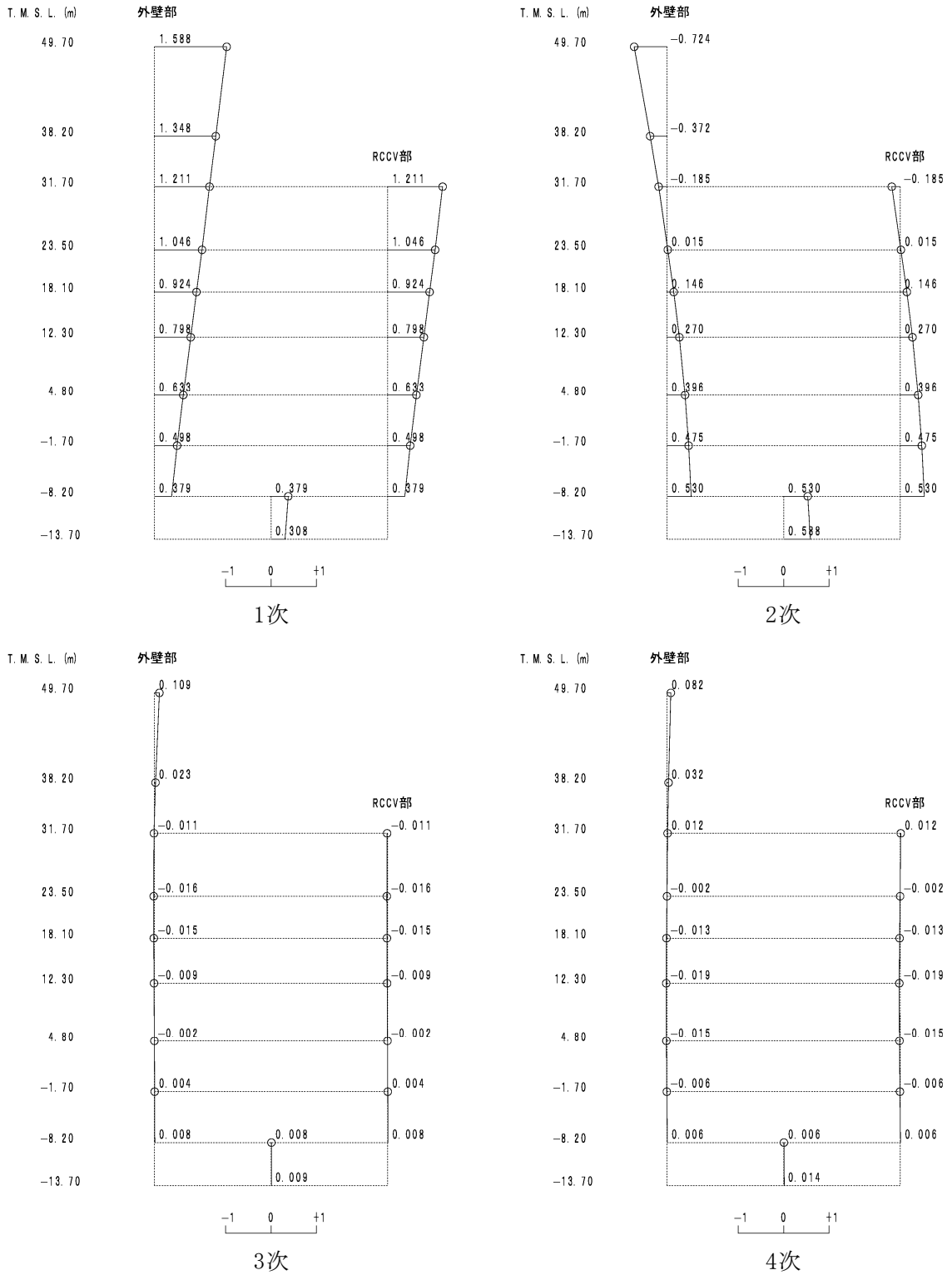


図4-1 刺激関数図 (NS方向) (1/3)

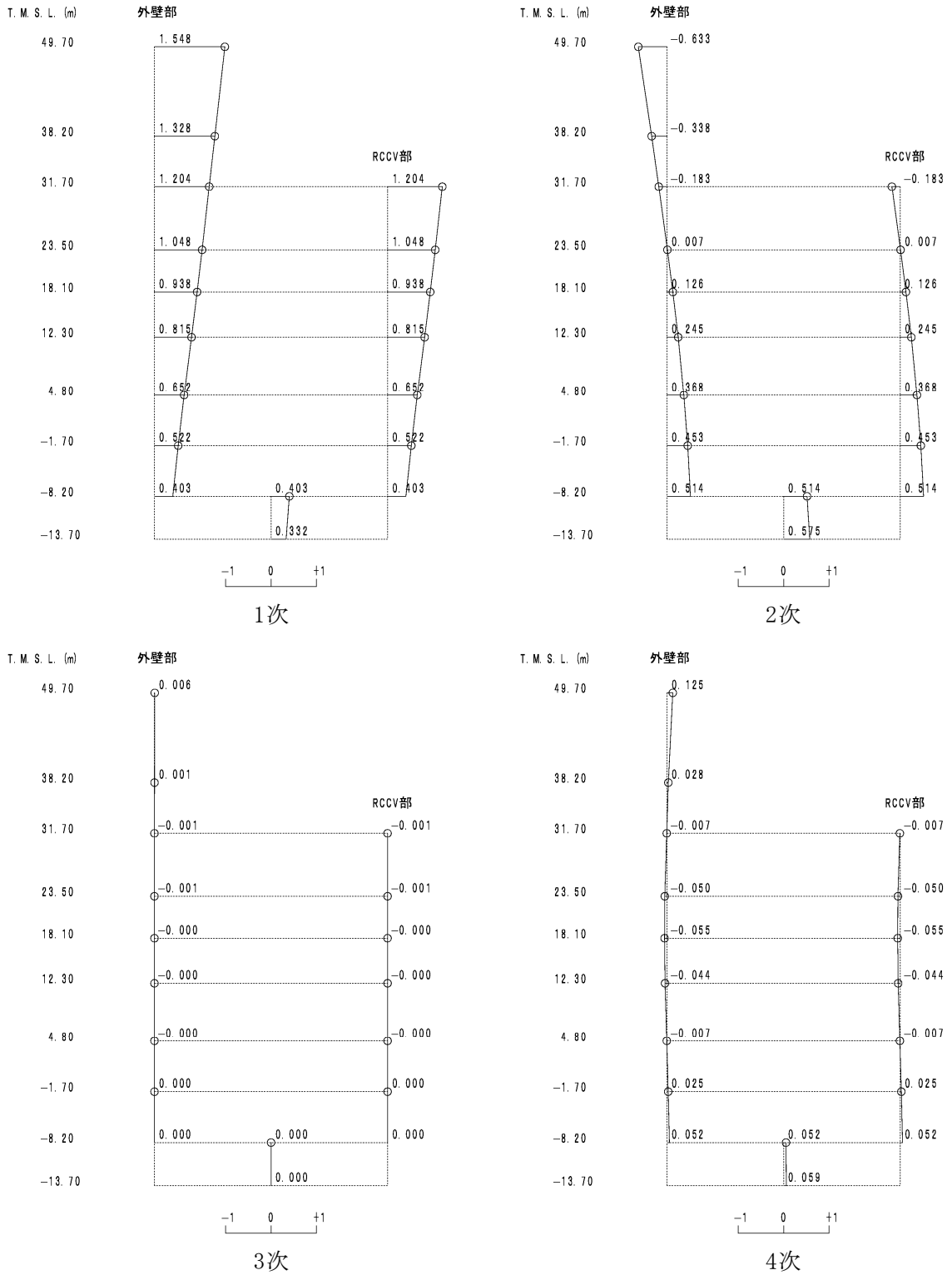


図4-1 刺激関数図 (EW方向) (2/3)

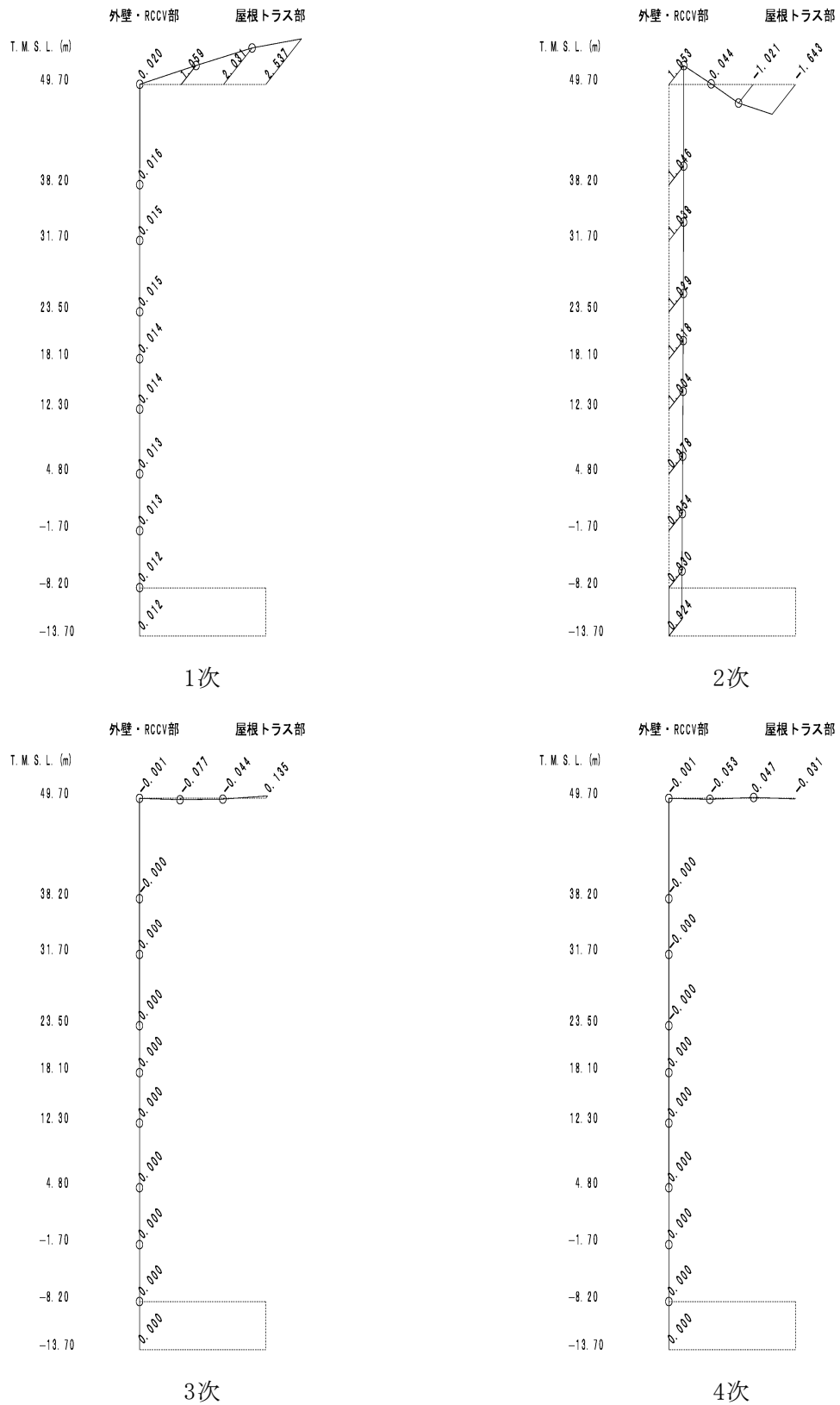


図4-1 刺激関数図 (鉛直方向) (3/3)

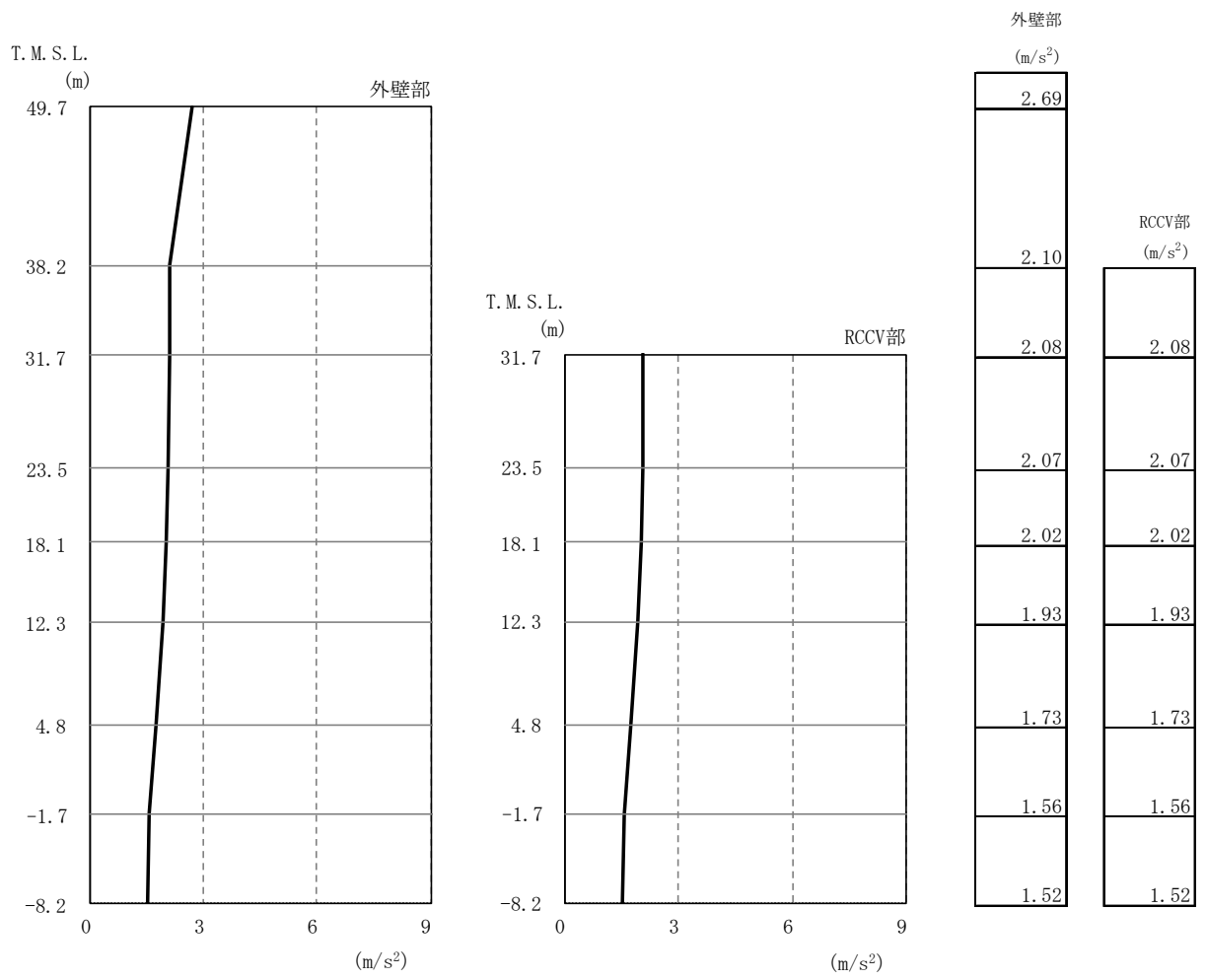


図4-2 最大応答加速度 (NS方向)

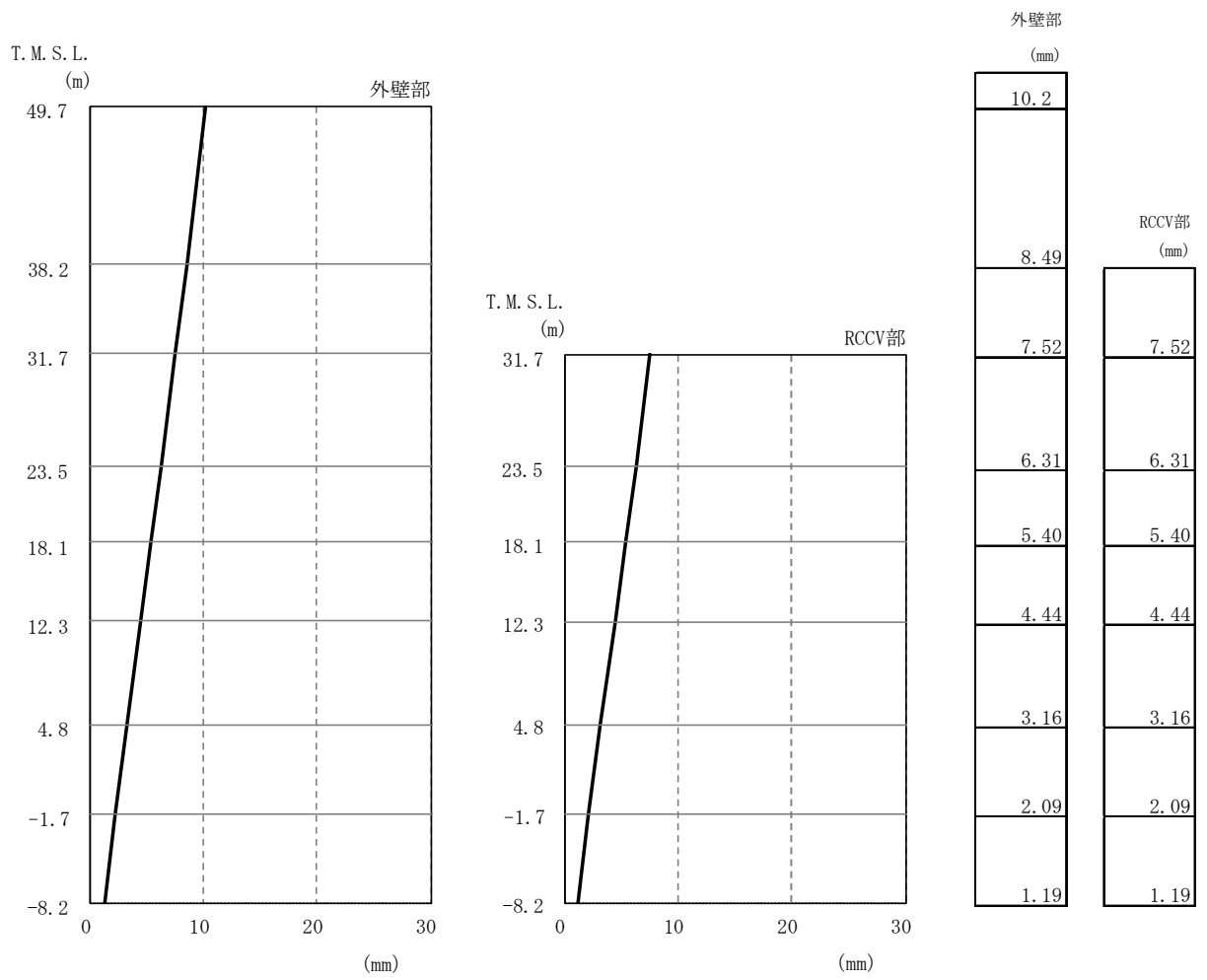


図4-3 最大応答変位 (NS方向)

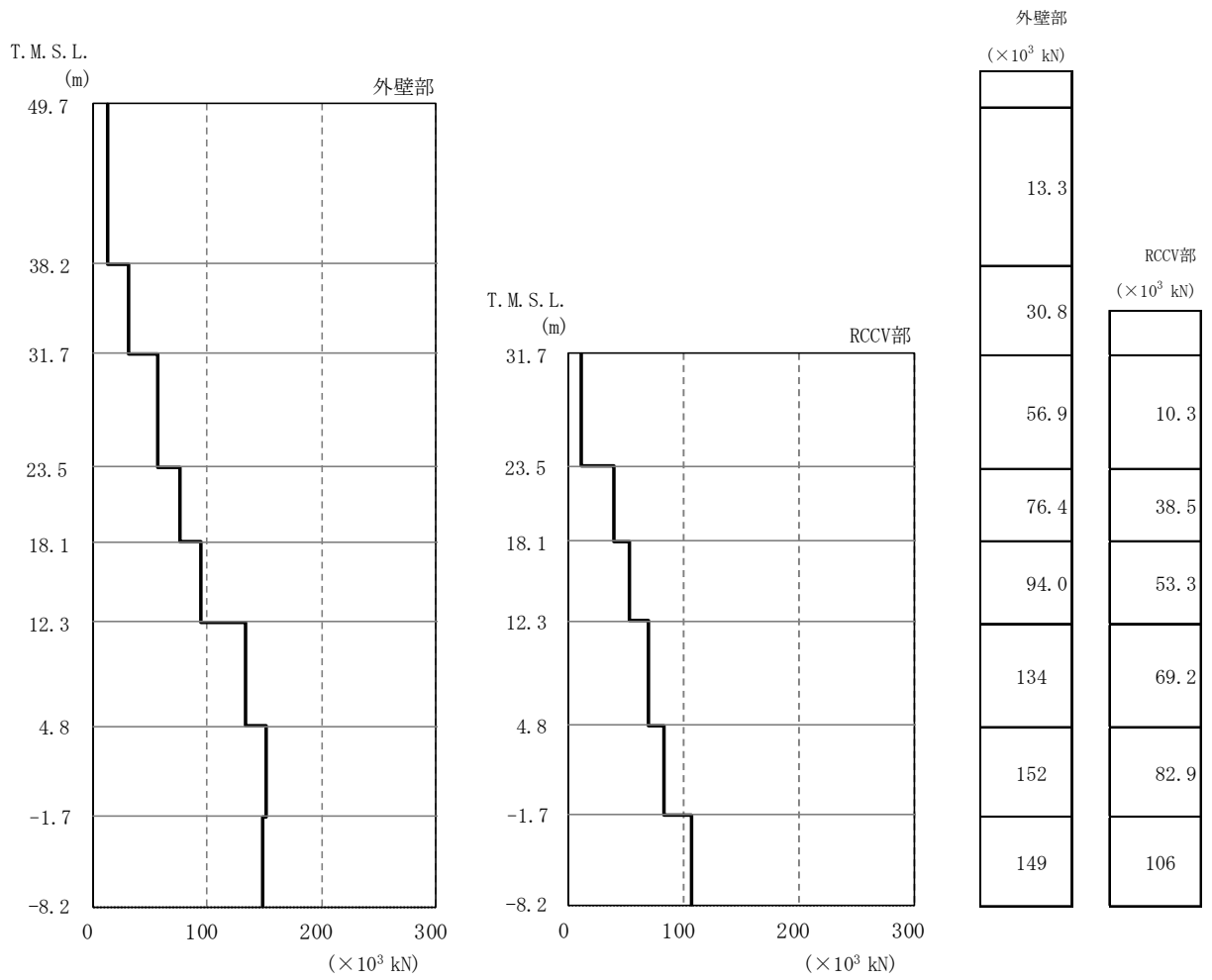


図4-4 最大応答せん断力 (NS方向)

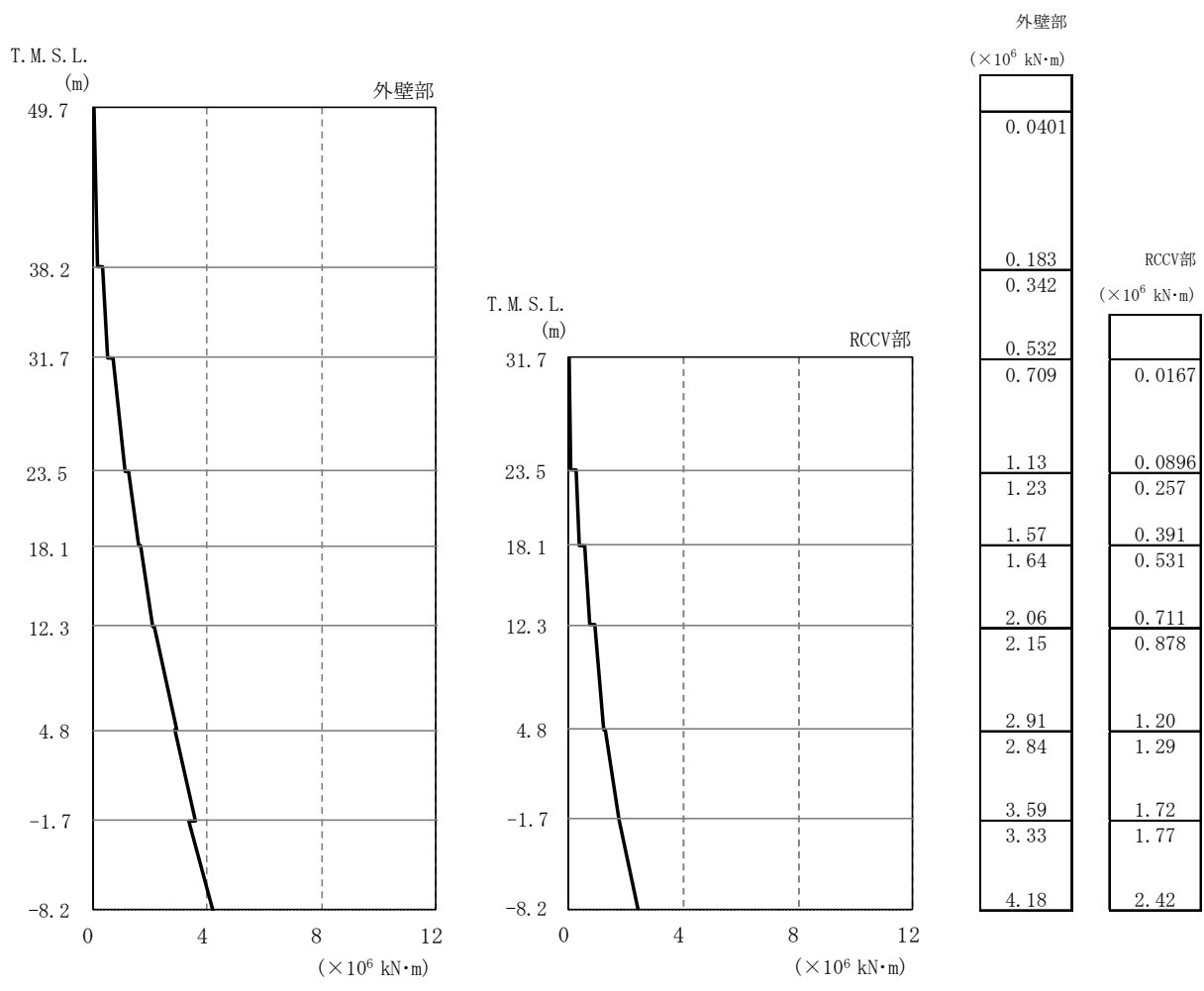


図4-5 最大応答曲げモーメント (NS方向)

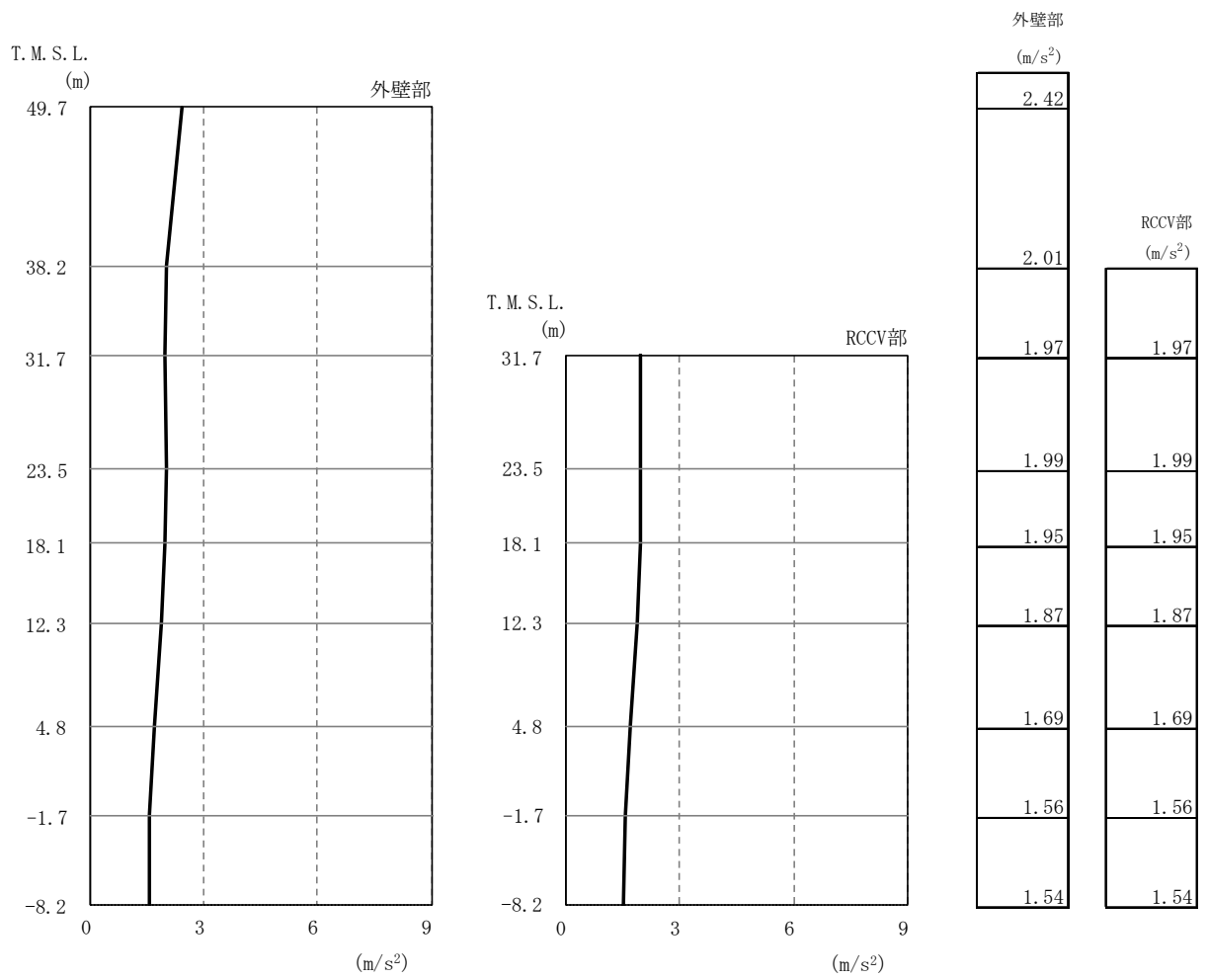


図4-6 最大応答加速度 (EW方向)

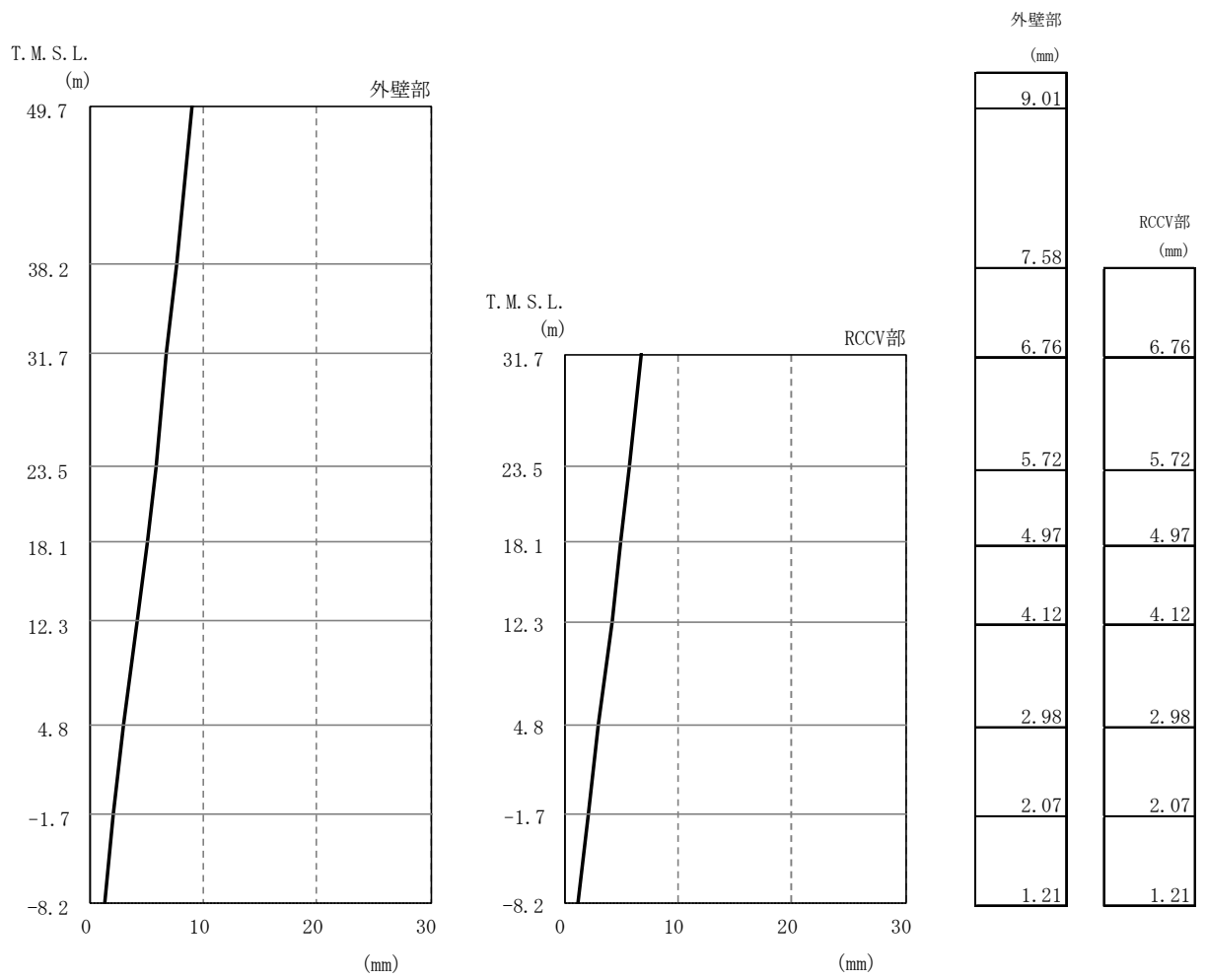


図4-7 最大応答変位 (EW方向)

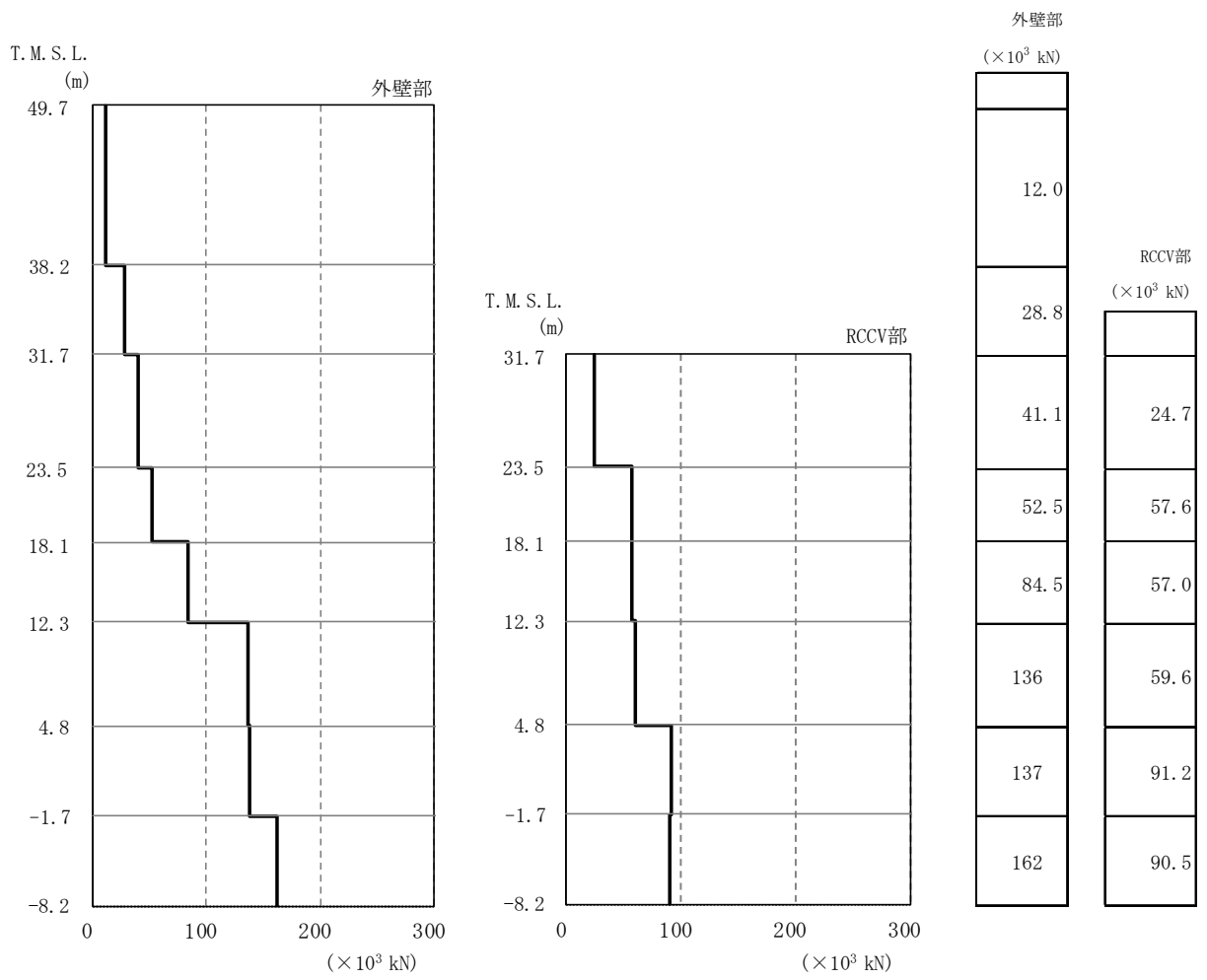


図4-8 最大応答せん断力 (EW方向)

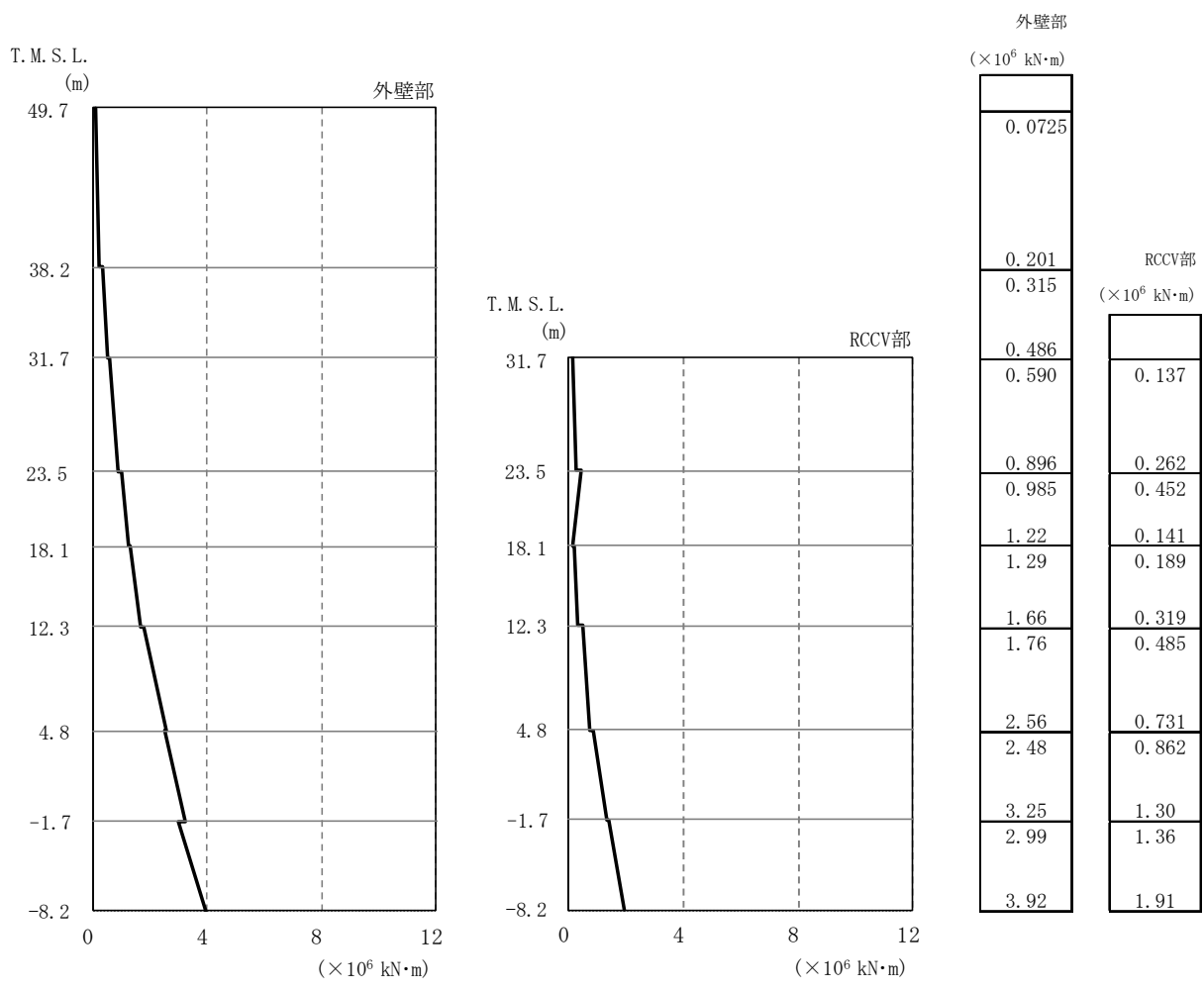


図4-9 最大応答曲げモーメント (EW方向)

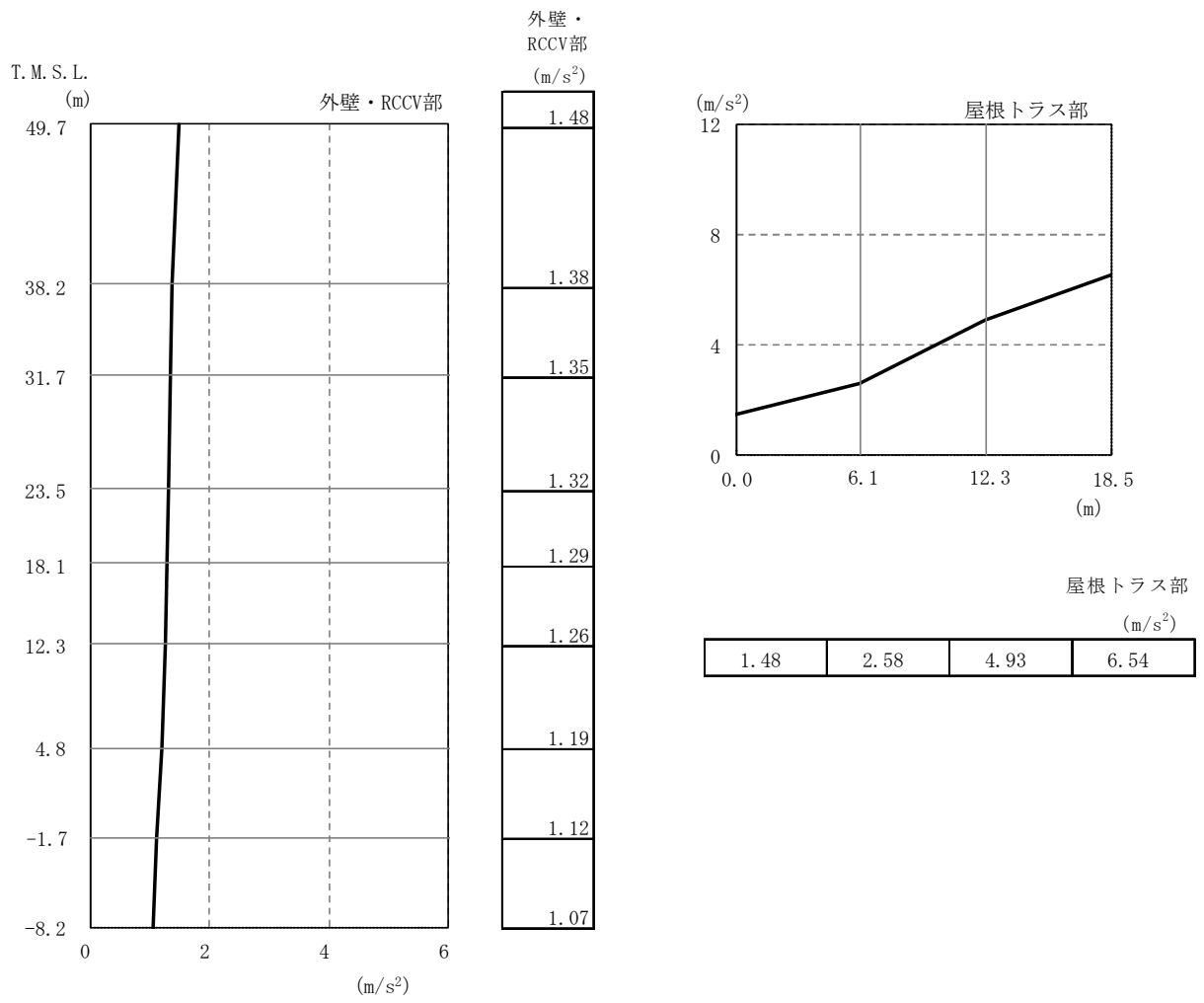


図4-10 最大応答加速度（鉛直方向）

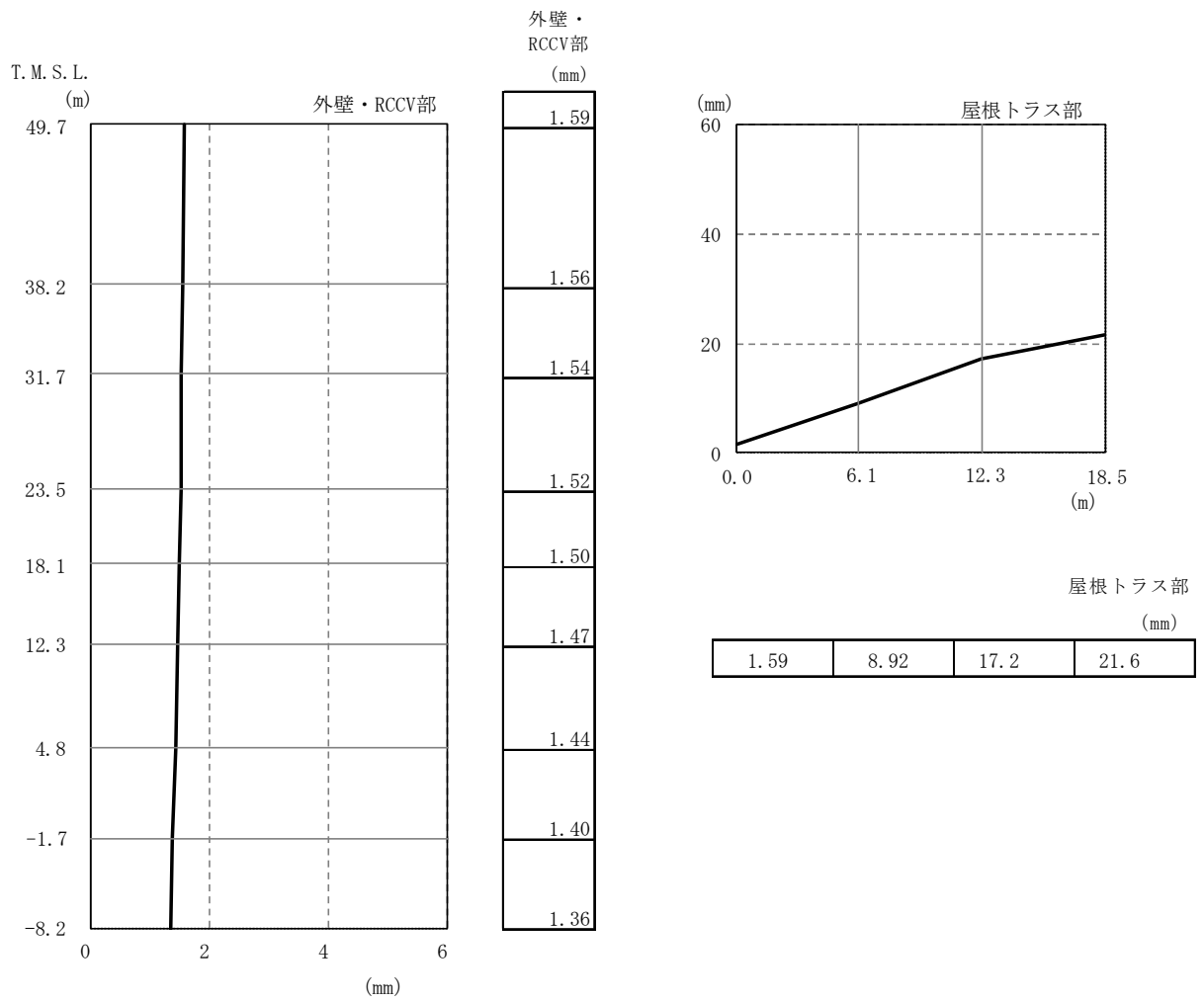


図4-11 最大応答変位（鉛直方向）

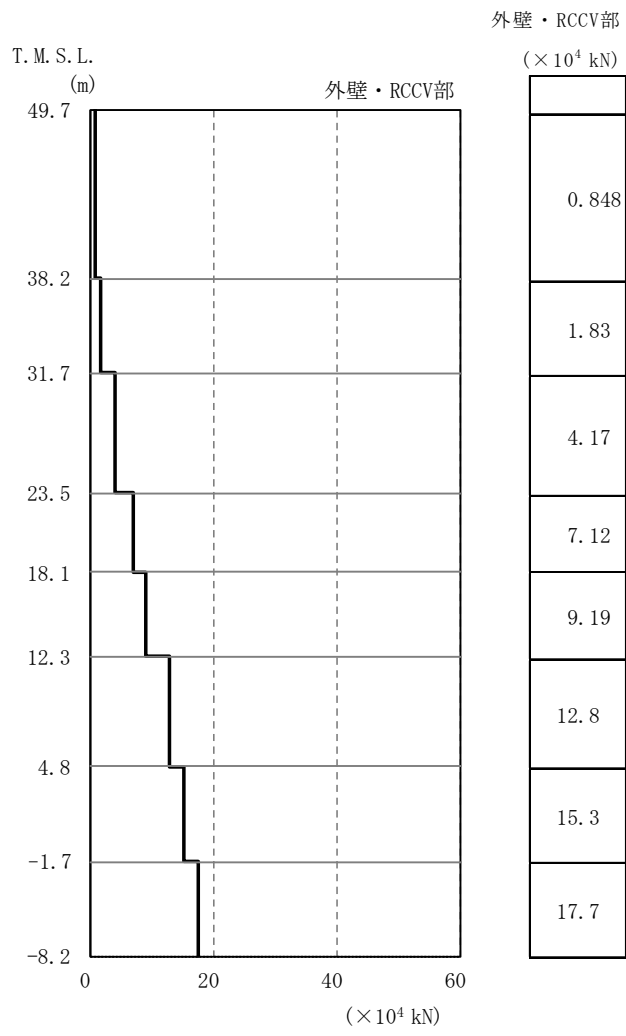


図4-12 最大応答軸力（鉛直方向）

表4-2 耐震壁（外壁部）の最大せん断ひずみ

NS方向

T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
49.7~38.2	1	0.0270	2.0
38.2~31.7	2	0.0311	
31.7~23.5	3	0.0260	
23.5~18.1	4	0.0498	
18.1~12.3	5	0.0501	
12.3~ 4.8	6	0.0618	
4.8~-1.7	7	<u>0.0660</u>	
-1.7~-8.2	8	0.0550	

注：下線は各層の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

EW方向

T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
49.7~38.2	1	0.0182	2.0
38.2~31.7	2	0.0196	
31.7~23.5	3	0.0211	
23.5~18.1	4	0.0329	
18.1~12.3	5	0.0445	
12.3~ 4.8	6	<u>0.0574</u>	
4.8~-1.7	7	0.0541	
-1.7~-8.2	8	0.0522	

注：下線は各層の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

表4-3 地震応答解析結果に基づく接地率

方向	最大接地圧 (kN/m^2)	最大転倒モーメント ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}$)	最小接地率(%)
NS方向	838	7.11	100
EW方向	825	7.03	100

VI-3-別添 2-5 タービン建屋の強度計算書

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	6
2.4 適用規格	8
3. 強度評価方法及び評価条件	9
3.1 評価対象部位	9
3.2 荷重及び荷重の組合せ	10
3.2.1 荷重	10
3.2.2 荷重の組合せ	12
3.3 許容限界	13
3.4 解析モデル及び諸元	16
3.4.1 モデル化の基本方針	16
3.4.2 解析諸元	21
3.5 評価方法	22
3.5.1 屋根スラブの評価方法	22
3.5.2 鉄骨大ばりの評価方法	23
3.5.3 耐震壁の評価方法	26
3.5.4 鉄骨フレームの評価方法	26
4. 強度評価結果	27
4.1 屋根スラブの評価結果	27
4.2 鉄骨大ばりの評価結果	28
4.3 耐震壁の評価結果	29
4.4 鉄骨フレームの評価結果	29

別紙 年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」に示すとおり、タービン建屋海水熱交換器区域が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、建屋全体及び建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

タービン建屋海水熱交換器区域は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、本資料では、「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

タービン建屋海水熱交換器区域は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す位置に設置する。タービン建屋の配置を図 2-1 に示す。

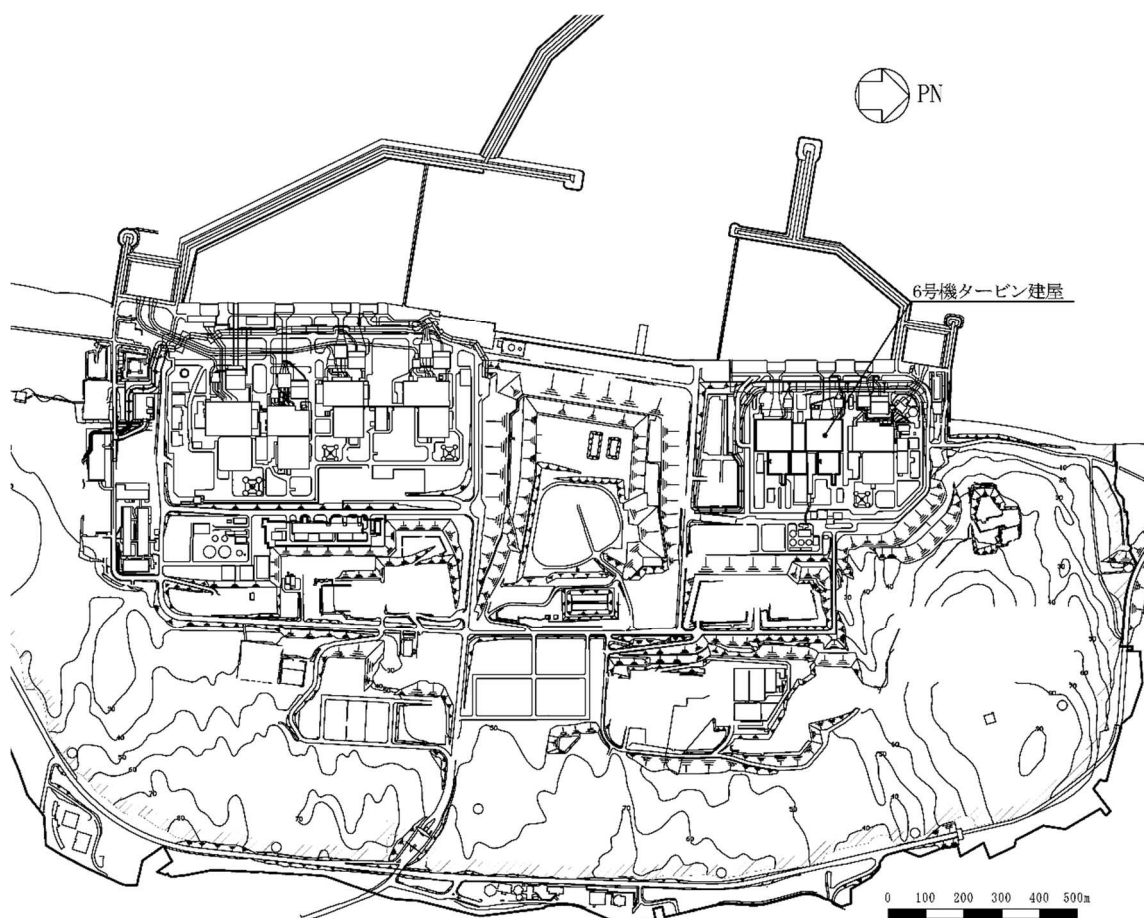


図 2-1 タービン建屋の配置図

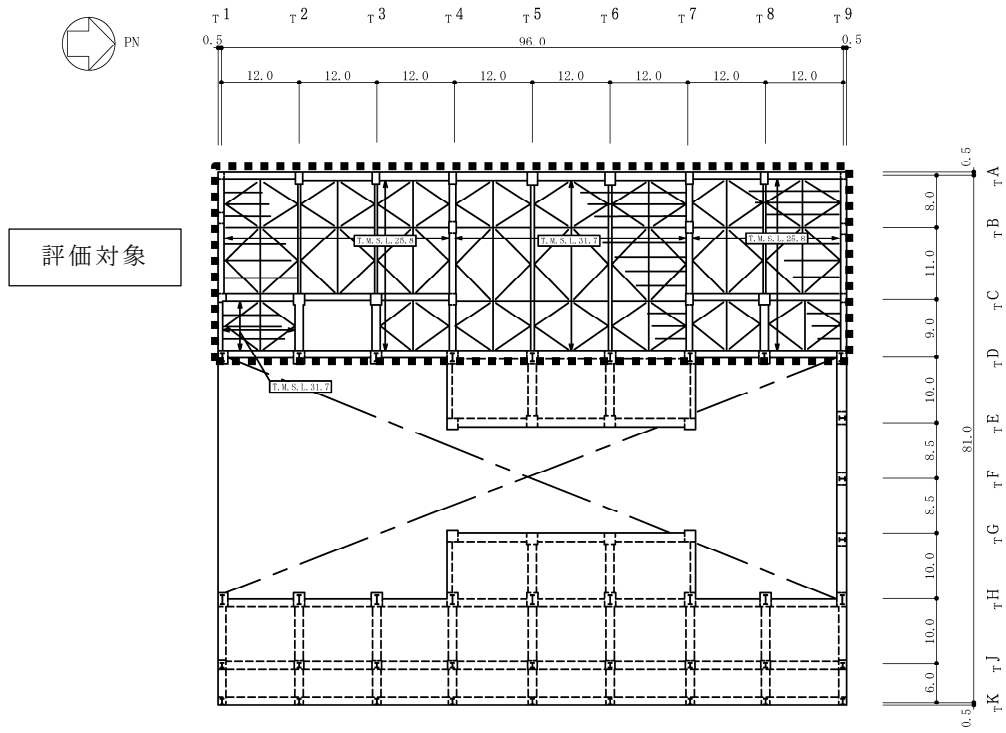
2.2 構造概要

タービン建屋海水熱交換器区域は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

タービン建屋は、地上 2 階（一部 3 階）、地下 2 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造となっている。

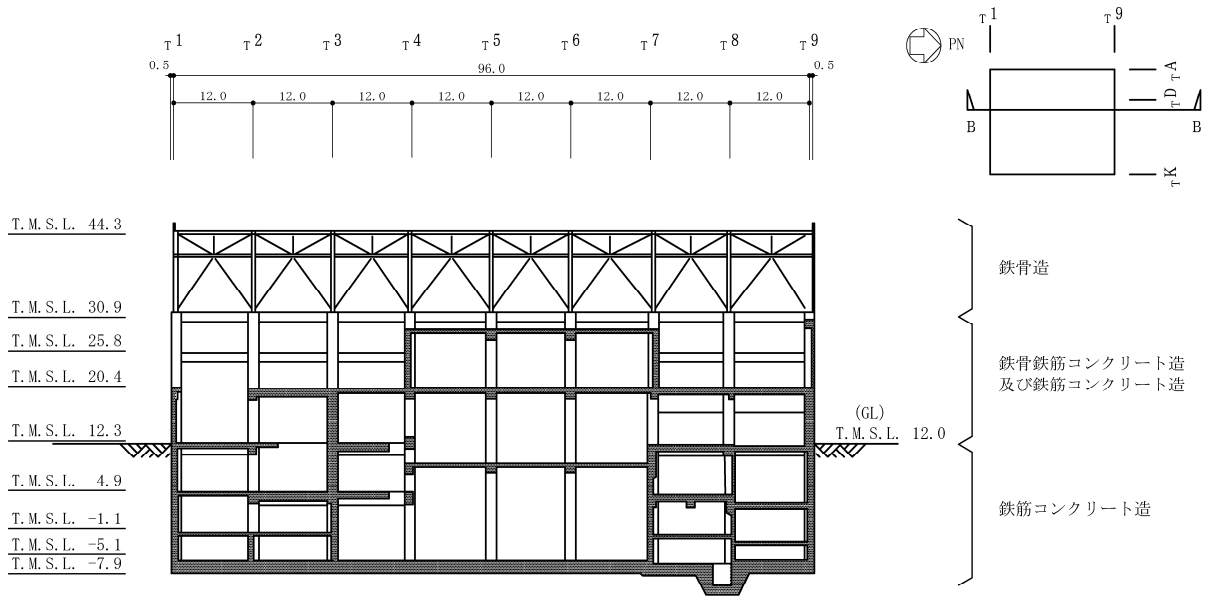
タービン建屋全体の平面は、地下部分では 97.0m（NS 方向）×82.0m（EW 方向）、最上階は 97.0m（NS 方向）×48.9m（EW 方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 52.2m であり、地上高さは 32.3m である。なお、タービン建屋海水熱交換器区域は、建屋西側の 97.0m（NS 方向）×28.5m（EW 方向）である。

タービン建屋の 3 階及び屋根面の概略平面図を図 2-2 に、概略断面図を図 2-3 に示す。

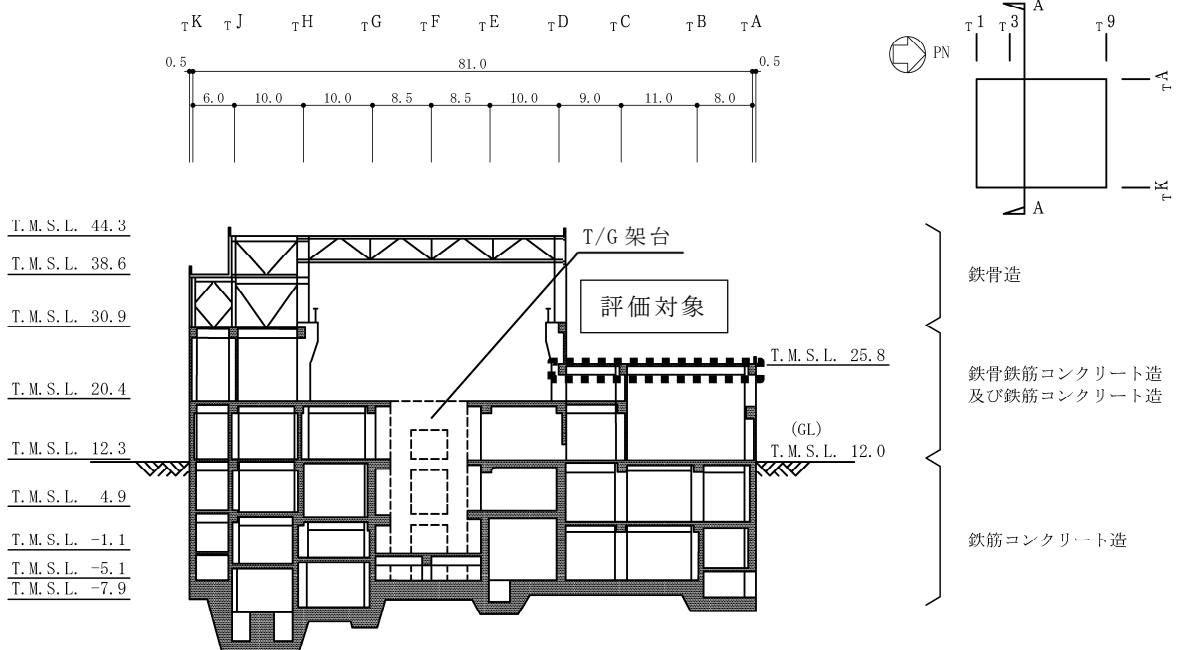


注：東京湾平均海面を，以下「T.M.S.L.」という。

図2-2 タービン建屋の概略平面図（T.M.S.L. 30.9m）（単位：m）



NS方向断面



EW方向断面

図2-3 タービン建屋の概略断面図 (単位：m)

2.3 評価方針

タービン建屋海水熱交換器区域の強度評価は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」のうち「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重、荷重の組合せ及び許容限界を踏まえて、建屋の評価対象部位に発生する応力等が許容限界に収まることを「3. 強度評価方法及び評価条件」に示す方法及び評価条件を用いて計算し、「4. 強度評価結果」にて確認する。強度評価フローを図 2-4 に示す。

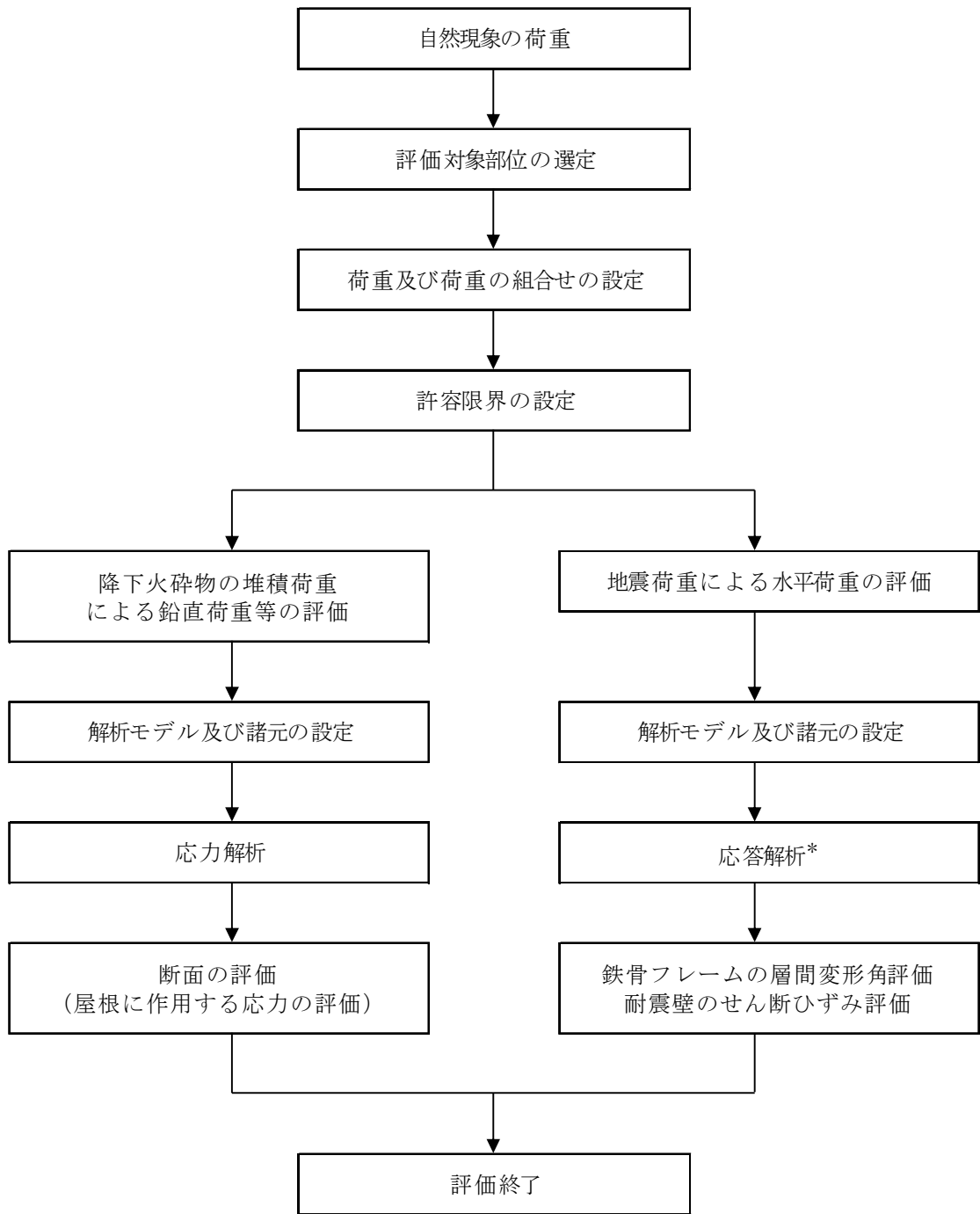
タービン建屋海水熱交換器区域の強度評価においては、その構造を踏まえて降下火砕物堆積による鉛直荷重及びこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物堆積による鉛直荷重及び設計荷重に対しては、鉛直荷重に抵抗する評価対象部位として、海水熱交換器区域上の屋根スラブ及び鉄骨大ばりを、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁を選定した。また、建屋全体については、水平荷重に抵抗する評価対象部位として耐震壁及び鉄骨フレームを選定した。

設計荷重は、VI-3 別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に従い設定する。

屋根スラブ、鉄骨大ばり、耐震壁及び鉄骨フレームに作用する荷重は、VI-3 別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」のうち「5. 強度評価条件及び強度評価方法」に従い、タービン建屋の質点系モデルを用いて評価する。

許容限界は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に従い設定する。



注記* : VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す。

図 2-4 強度評価フロー

2.4 適用規格

タービン建屋の強度評価に用いる規格・基準を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）（以下「RC-N 規準」という。）
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（（社）日本建築学会，2005 改定）（以下「S 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）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）（以下「技術基準解説書」という。）

3. 強度評価方法及び評価条件

3.1 評価対象部位

タービン建屋海水熱交換器区域の評価対象部位は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」のうち「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、屋根スラブ、鉄骨大ばり及び耐震壁とする。建屋全体については、耐震壁及び鉄骨フレームとする。

なお、屋根スラブの評価については、各断面についてのスラブのスパン、スラブに作用する荷重等を考慮して、検定値が最も大きい部材を選定して示す。屋根スラブの評価対象部位を図 3-1 に示す。

鉄骨大ばりについては、支持スパンが最も大きい T5 フレームを代表して示す。鉄骨大ばりの評価対象部位を図 3-1 に示す。

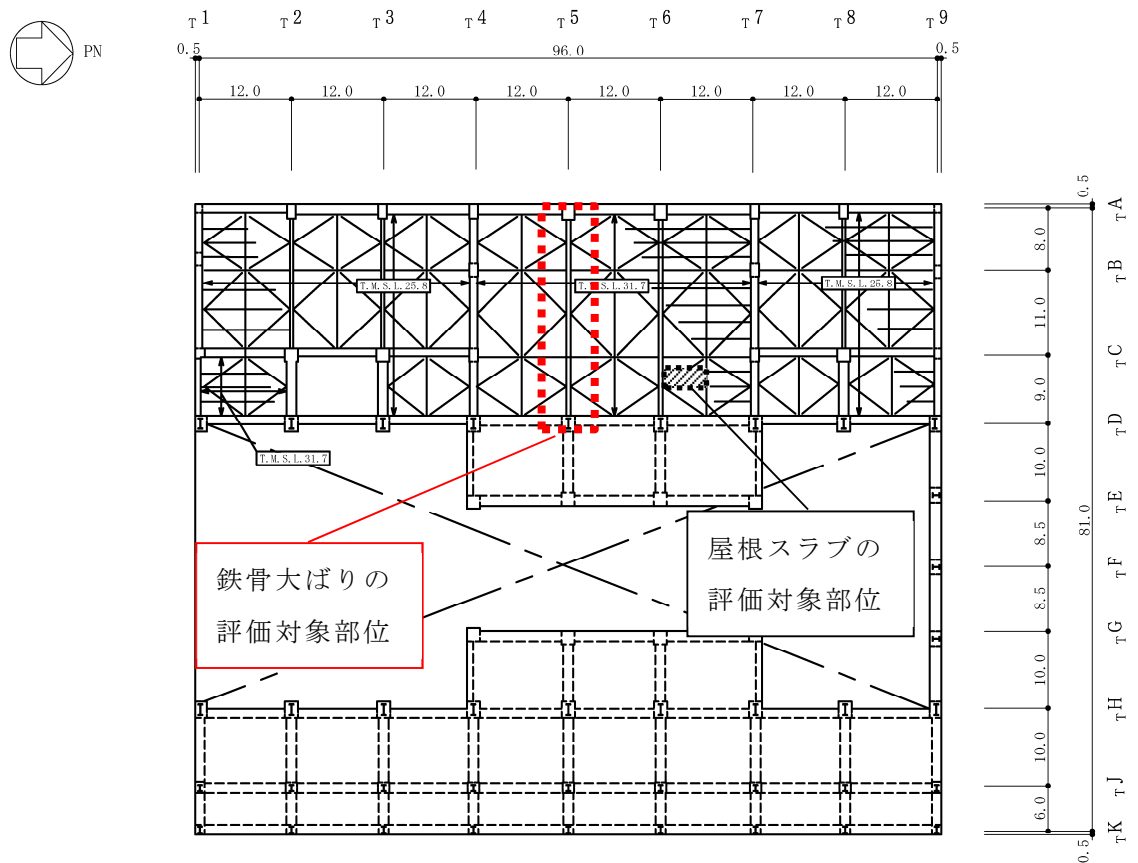


図 3-1 屋根スラブ及び鉄骨大ばりの評価対象部位 (T.M.S.L. 30.9m) (単位：m)

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重

(1) 屋根スラブ

a. 鉛直荷重

表 3-1 に鉛直荷重の一覧を示す。屋根スラブに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、降下火砕物による荷重 (F_a) 及び積雪荷重 (F_s, F_{sb}) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とし、平成 3 年 8 月 23 日付け 3 資庁第 6674 号にて認可された工事計画の添付書類 IV-2-9「タービン建屋の耐震性についての計算書」(以下「既工認」という。)に基づき設定する。

降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は積雪量 1cm ごとに 29.4N/m^2 とし、柏崎市における 1 日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重である降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重 (F_s) とする。また、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重 (F_{sb}) として考慮する。

表 3-1 鉛直荷重一覧 (屋根スラブ T.M.S.L. 31.7m)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	屋根スラブ	1.817 kN/m^2
	積載荷重 (P)		0.5884 kN/m^2
降下火砕物による荷重 (F_a)			5.148 kN/m^2
積雪荷重	年超過確率 10^{-2} (F_s)		2.478 kN/m^2
	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})		0.9143 kN/m^2

b. 地震荷重

屋根スラブに考慮する地震荷重 (F_k) は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析から得られる屋根スラブレベル (T.M.S.L. 31.7m) の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。

(2) 鉄骨大ぶり

a. 鉛直荷重

表 3-2 に鉛直荷重の一覧を示す。鉄骨大ぶりに考慮する鉛直荷重は、常時作用する荷重 (F_d)、降下火砕物による荷重 (F_a) 及び積雪荷重 (F_s, F_{sb}) を考慮する。常時作用する荷重は、固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) とし、「既工認」に基づき設定する。

降下火砕物による荷重は、湿潤密度 1.5g/cm^3 の降下火砕物が 35cm 堆積した場合の荷重として考慮する。積雪荷重は積雪量 1cm ごとに 29.4N/m^2 とし、柏崎市における 1 日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値 84.3cm が堆積した場合の荷重を主荷重である降下火砕物による荷重に組み合わせる積雪荷重 (F_s) とする。また、ベース負荷として日最深積雪量の平均値に当たる 31.1cm による荷重を常時考慮する積雪荷重 (F_{sb}) として考慮する。

表 3-2 鉛直荷重一覧 (鉄骨大ぶり)

常時作用する荷重 (F_d)	固定荷重 (G)	屋根スラブ	1.817 kN/m ²
		トラス鋼材	76.98 kN/m ³
	積載荷重 (P)		0.5884 kN/m ²
降下火砕物による荷重 (F_a)			5.148 kN/m ²
積雪荷重	年超過確率 10^{-2} (F_s)		2.478 kN/m ²
	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})		0.9143 kN/m ²

b. 地震荷重

屋根トラスに考慮する地震荷重 (F_k) のうち、水平地震荷重は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大応答せん断力を用いて設定する。また、鉛直地震荷重は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大鉛直加速度より鉛直震度を算定する。

(3) 耐震壁

耐震壁の評価に考慮する荷重は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す。

(4) 鉄骨フレーム

鉄骨フレームの評価に考慮する荷重は、VI-3-別添2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-3に示す。

ケース1は、従荷重として地震荷重を組み合わせ、鉛直荷重と水平荷重を用いて評価するため、屋根スラブ、鉄骨大ばり及び耐震壁を評価対象とする。ケース2は、従荷重として積雪荷重を組み合わせ、鉛直荷重のみを用いて評価するため、屋根スラブ及び鉄骨大ばりを評価対象とする。

表3-3 荷重の組合せ

考慮する荷重の組合せ	荷 重					
	常時作用する荷重 (F_d)		主荷重	従荷重		ベース負荷
	固定荷重	積載荷重	降下火砕物による荷重 (F_a)	地震荷重 (F_k)	積雪荷重 (F_s)	常時考慮する積雪荷重 (F_{sb})
ケース1	○	○	○	○	—	○
ケース2	○	○	○	—	○	○

注：「○」は考慮する荷重を示す。

3.3 許容限界

タービン建屋海水熱交換器区域の許容限界はVI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.1 評価対象部位」にて設定している建屋の評価対象部位ごとに設定する。

屋根スラブ，鉄骨大はり及び耐震壁は，構造健全性を維持する設計とすることを構造強度設計上の性能目標としているため，終局耐力に対して妥当な安全裕度を有する許容限界として設定する。

屋根スラブ，鉄骨大はり，耐震壁及び鉄骨フレームの許容限界を表 3-4 に，鉄骨大はり鋼材の弾性限強度を表 3-5 に，デッキプレートの弾性限強度を表 3-6 に示す。

表 3-4 許容限界

要求機能	機能設計上の性能目標	部位		構造健全性維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないこと	屋根	屋根スラブ	内包する防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないために落下しないことを確認	「合成構造指針」に基づく弾性限強度* ²
			鉄骨大ぶり		「S規準」に基づく弾性限強度* ³
		耐震壁* ¹		最大せん断ひずみが波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 4.0×10^{-3}
		鉄骨フレーム		最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 $1/30$ * ⁴

注記*1 : 建屋全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており、柱、はり、間仕切壁等が耐震壁の変形に追従すること、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられるため、各層の耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。また、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」で補助壁を耐震要素とした地震応答解析を行っているため、評価対象部位には補助壁を含む。

*2 : 弾性限強度として「合成構造指針」のF値に「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍の割増しを考慮する。

*3 : 弾性限強度として「S規準」のF値に「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍の割増しを考慮する。

*4 : 「震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針」((財)日本建築防災協会)を参考に許容限界を設定している。なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が $1/30$ を超えた場合に大破と判定しているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

表 3-5 鋼材の弾性限強度

(単位：N/mm²)

材 料	板 厚	基準強度 F 値	弾性限強度		
			圧縮* 引張	曲げ*	せん断
SS41 (SS400相当)	t ≤ 40mm	235	258	258	135
SM41A (SM400A相当)	t ≤ 40mm	235	258	258	135
SM50A (SM490A相当)	t ≤ 40mm	325	357	357	187

注記*：「技術基準解説書」に基づき、F 値に1.1倍の割増しを考慮する。ただし、圧縮及び曲げ終局強度に対しては上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

表 3-6 デッキプレートの弾性限強度

(単位：N/mm²)

材料	厚さ	基準強度 F 値	弾性限強度*
SS400	2.3mm	235	258

注記*：「技術基準解説書」に基づき、F 値に1.1倍の割増しを考慮する。

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 屋根スラブ

屋根スラブはデッキ構造スラブ用デッキプレートにより全荷重を負担している。このため、もやで支持された1方向スラブとして単位幅を取り出し、等分布荷重を受ける2スパンの連続ばりとしてデッキプレートの応力を算定する。なお、屋根スラブは、単一断面であり、屋根面に作用する等分布荷重は屋根面全体で均一であることから、支持スパンの長い部位を対象に評価を行う。

屋根スラブの評価モデル図を図3-2に、検討条件を表3-7に示す。また、デッキプレートの断面図を図3-3に示す。

【2スパンの連続ばり】

・ 中央モーメント $M_{x2} = \frac{w \cdot L^2}{8}$ (3. 1)

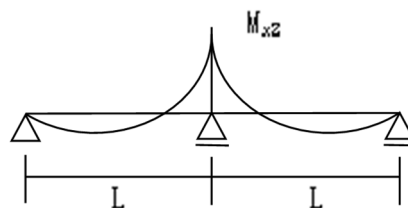


図3-2 屋根スラブの評価モデル

表 3-7 屋根スラブの検討条件

評価対象部位*1	スラブ厚*2 (mm)	支持スパン (m)	デッキプレート厚 (mm)	断面係数 (cm ³)
T. M. S. L. 31.7m	□	2.27	2.3	70.6

注記*1 : 支持スパンの長い部位を記載

*2 : デッキ構造スラブのため、全荷重をデッキプレートで負担する。なお、コンクリートのスラブ厚は□mmである。

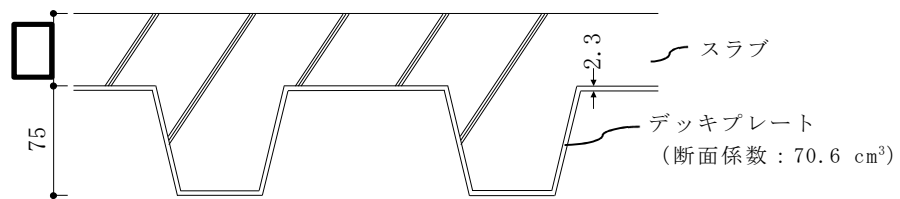


図 3-3 デッキプレートの断面図 (単位: mm)

(2) 鉄骨大ぶり

応力解析は、2次元フレームモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析に使用するコードは「f a p p a s e」である。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。モデル化範囲は、鉄骨大ぶりのスパンが最も長くなる T5 フレームとする。

応力解析モデルは、T. M. S. L. 12.3m より上部の耐震壁、柱、はり及び屋根トラスをモデル化した解析モデルを用いる。

解析モデル図を図 3-4 に、部材リストを表 3-8 に示す。

解析モデルに使用する要素は、はり要素及びトラス要素とする。また、解析モデルの脚部は固定とする。解析モデルの節点数は 89、要素数は 122 である。

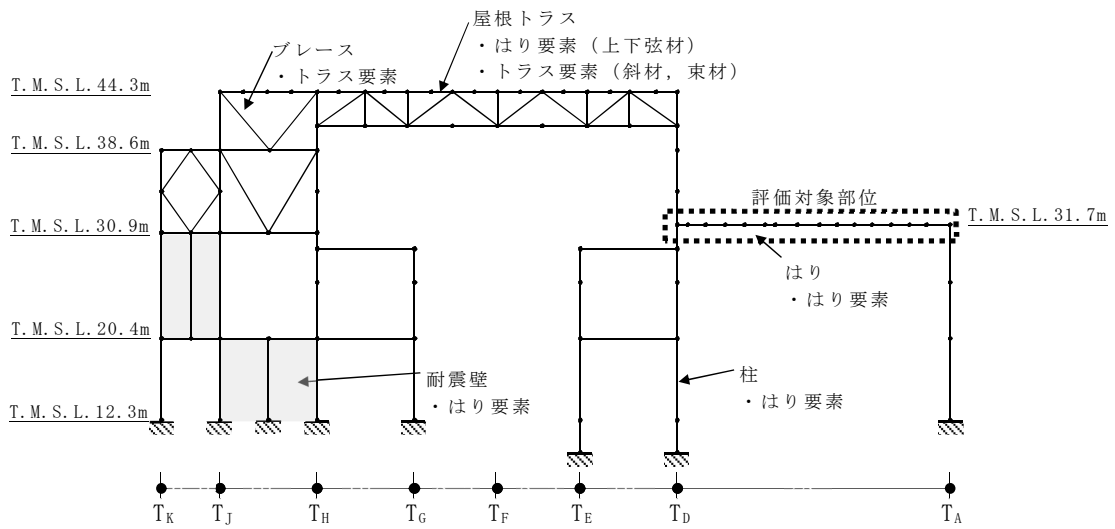


図 3-4 鉄骨大ばりの解析モデル (T5 フレーム)

表 3-8 部材リスト (評価対象部位)

部位	使用部材	材質	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^6 \text{mm}^4$)
鉄骨大ばり	BH-2000 \times 500 \times 25 \times 36	SM50A	842	49650

(3) 耐震壁

耐震壁は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。また、RC 部材の部材番号を表 3-9 に示す。

(4) 鉄骨フレーム

鉄骨フレームは、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルを用いて評価する。地震応答解析モデルを図 3-5 に示す。

また、各部材のモデル化について表 3-9 に示す。なお、基礎部、T/G 架台及びモデル化範囲に耐震壁・鉄骨ブレースのない部材は線形でモデル化している。

表 3-9 各部材のモデル化

方向	せん断スケルトン曲線を 設定している部材		線形でモデル化 している部材	
	RC 部材	S 部材	RC 部材	S 部材
NS 方向	3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 及び 14	1, 2, 8 及び 15	16, 17, 18 及び 19	—
EW 方向	3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 35, 36, 37, 40, 41, 42 及び 43	1, 2, 11, 12, 18, 19, 30, 31, 38 及び 39	44, 45 及び 46	8, 15, 23 及び 34

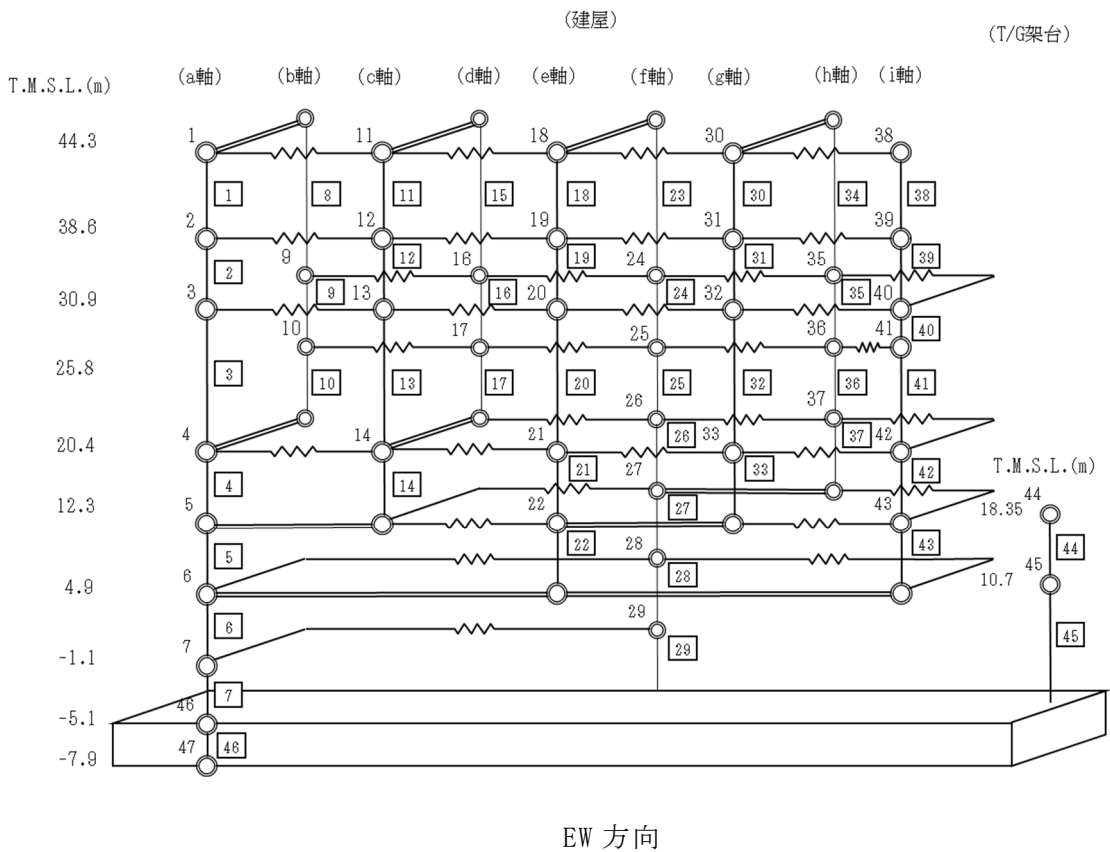
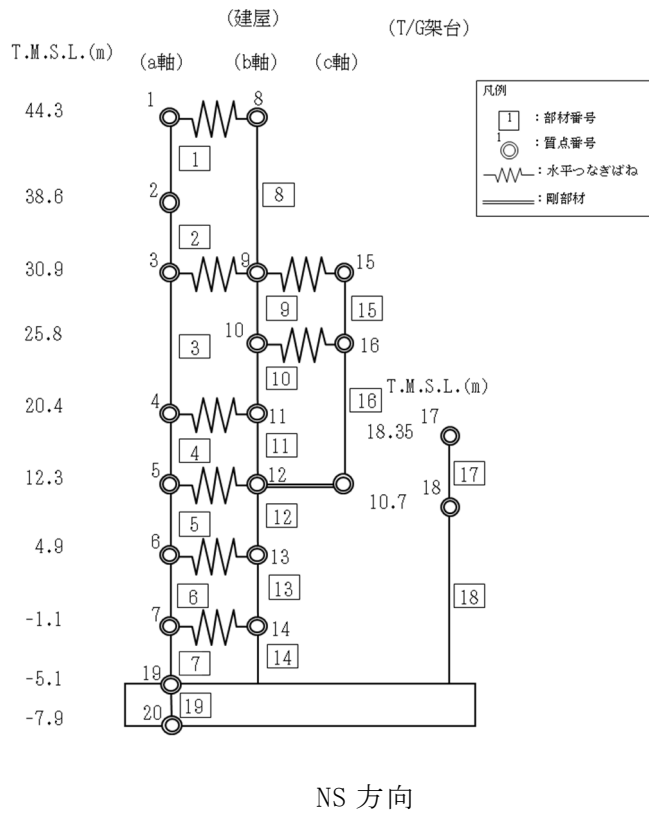


図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向)

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-10 示す。

表 3-10 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)
鉄筋コンクリート	28800	12000
鉄骨	205000	79000

3.5 評価方法

3.5.1 屋根スラブの評価方法

(1) 応力解析方法

a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。また、鉛直震度算定のための最大鉛直加速度は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により設定する。最大鉛直加速度及び鉛直震度を表 3-11 に示す。

- F_d : 常時作用する荷重
- F_a : 降下火砕物による荷重
- F_k : 地震荷重（鉛直方向）
- F_s : 積雪荷重（地震時以外）
- F_{sb} : 積雪荷重（常時）

表 3-11 最大鉛直加速度及び鉛直震度

T. M. S. L. (m)	階	最大鉛直 加速度 (m/s^2)	鉛直震度
31.7	RF	1.46	0.15

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-12 に示す。

表 3-12 荷重の組合せケース（屋根スラブ）

組合せケース	荷重の組合せ
ケース 1	$F_d + F_a + F_k + F_{sb}$
ケース 2	$F_d + F_a + F_s + F_{sb}$

(2) 断面の評価方法

タービン建屋の屋根スラブはデッキ構造スラブであるため、曲げモーメントに対してのみ評価する。

曲げモーメントに対する断面の評価は、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによるデッキプレートの引張応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (3. 2)$$

ここで、

σ_t : デッキプレートの引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : デッキプレートの断面係数 (mm³)

3.5.2 鉄骨大ばりの評価方法

(1) 応力解析方法

鉄骨大ばりについては、2次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により得られた部材の応力を評価する。

a. 荷重ケース

降下火砕物堆積時の応力は、次の荷重を2次元フレームモデルに入力して求める。荷重の記号を以下に示す。

- F_d : 常時作用する荷重
- F_a : 降下火砕物による荷重
- F_k : 地震荷重 (水平方向)
- F_k : 地震荷重 (鉛直方向)
- F_s : 積雪荷重 (地震時以外)
- F_{s b} : 積雪荷重 (常時)

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-13 に示す。ケース 1 において，地震荷重の水平方向 (F_{kH}) と鉛直方向 (F_{kV}) は，組合せ係数法により組み合わせる。なお，鉛直方向地震荷重については，屋根部の応力及び変形が大きくなる下向き荷重のみを考慮する。

表 3-13 荷重の組合せケース (鉄骨大はり)

組合せケース	地震荷重の組合せ係数	荷重の組合せ
ケース 1	水平+1.0, 鉛直+0.4	$F_d + F_a + F_{sb} + F_{kH} + 0.4F_{kV}$
	水平-1.0, 鉛直+0.4	$F_d + F_a + F_{sb} - F_{kH} + 0.4F_{kV}$
	水平+0.4, 鉛直+1.0	$F_d + F_a + F_{sb} + 0.4F_{kH} + F_{kV}$
	水平-0.4, 鉛直+1.0	$F_d + F_a + F_{sb} - 0.4F_{kH} + F_{kV}$
ケース 2	—	$F_d + F_a + F_s + F_{sb}$

注：地震荷重の水平方向は EW 方向を示し，+は E から W への荷重，-は W から E への荷重を示す。

c. 荷重の入力方法

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

水平地震荷重は，VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大応答せん断力を分配して，対応する節点に集中荷重として入力する。鉛直地震荷重は，VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析結果により得られた最大鉛直加速度より鉛直震度を設定する。

(2) 断面の評価方法

鉄骨大ばりの評価は、2次元フレームモデルを用いた弾性応力解析により評価対象部位に生じる軸力及び曲げモーメントによる応力度が許容限界を超えないことを確認する。

なお、許容限界については、終局耐力に対し妥当な安全裕度を有する許容限界を設定し、その許容限界は、表 3-4 に示すように、弾性限強度として「S 規準」の F 値に「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍の割増しを考慮する。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (3. 3)$$

ただし、

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A} \quad \dots\dots\dots (3. 4)$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (3. 5)$$

ここで、

- | | |
|--|---|
| σ_c : 圧縮応力度 (N/mm ²) | σ_b : 曲げ応力度 (N/mm ²) |
| N_c : 圧縮軸力 (N) | A : 軸断面積 (mm ²) |
| M : 曲げモーメント (N・mm) | Z : 断面係数 (mm ³) |
| f_c : 圧縮応力に関する評価基準値 (N/mm ²) | |
| f_b : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm ²) | |

(引張)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (3. 6)$$

ただし,

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A} \quad \dots\dots\dots (3. 7)$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (3. 8)$$

ここで,

- | | |
|--|---|
| σ_t : 引張応力度 (N/mm ²) | σ_b : 曲げ応力度 (N/mm ²) |
| N_t : 引張軸力 (N) | A : 軸断面積 (mm ²) |
| M : 曲げモーメント (N・mm) | Z : 断面係数 (mm ³) |
| f_t : 引張応力に関する評価基準値 (N/mm ²) | |
| f_b : 曲げ応力に関する評価基準値 (N/mm ²) | |

3.5.3 耐震壁の評価方法

耐震壁の評価は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10⁻²相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に基づく耐震壁のせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

3.5.4 鉄骨フレームの評価方法

鉄骨フレームの評価は、VI-3-別添 2-5「タービン建屋の強度計算書」のうち別紙「年超過確率 10⁻²相当地震動に対するタービン建屋の地震応答計算書」に基づく鉄骨フレームの層間変形角が許容限界を超えないことを確認する。

4. 強度評価結果

4.1 屋根スラブの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-1 に示す。

降下火砕物堆積による鉛直荷重等によって、評価対象部位に生じる曲げモーメントによるデッキプレートの引張応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-1 屋根スラブ評価結果* (デッキ構造スラブ)

評価対象部位		T. M. S. L. 31. 7m	
デッキプレート t = 2. 3mm		Z = 70. 6cm ³ /m	
検討ケース		ケース 1	ケース 2
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	6. 273	7. 051
	デッキプレート引張応力度 σ_t (N/mm ²)	88. 86	99. 88
	許容限界 (N/mm ²)	258	
	検定値	0. 35	0. 39

注記* : 屋根スラブはデッキ構造スラブ (全荷重をデッキプレートのみで負担する構造) のため、デッキプレートの発生応力を用いて評価。

4.2 鉄骨大ばりの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表4-2に示す。なお、ケース1については、地震荷重の組合せ係数法による4ケースのうち、検定値が最大となるケースを示す。

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

表4-2 鉄骨大ばりの評価結果 (T.M.S.L. 31.7m)

検討ケース	発生応力	応力度 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
ケース1	曲げモーメント	233.7	357	0.70
	軸力	11.99	336	
ケース2	曲げモーメント	227.0	357	0.67
	軸力	10.83	331	

4.3 耐震壁の評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-3 に示す。なお、各方向において、最大せん断ひずみが生じる部材のみを示す。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動による水平荷重等によって、評価対象部位に生じるせん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 4-3 耐震壁の評価結果

検討ケース	評価項目	方向	部材番号	せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
ケース 1	せん断ひずみ	NS 方向	7	0.0457	4.0
		EW 方向	40	0.0874	

4.4 鉄骨フレームの評価結果

「3.5 評価方法」に基づいた評価結果を表 4-4 に示す。なお、各方向において、最大層間変形角が生じる部材のみを示す。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動による水平荷重等によって、評価対象部位に生じる層間変形角が許容限界を超えないことを確認した。

表 4-4 鉄骨フレームの評価結果

検討ケース	評価項目	方向	部材番号	層間変形角	許容限界
ケース 1	層間変形角	NS 方向	2	1/1430	1/30*
		EW 方向	23	1/593	

注記*：「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」（（財）日本建築防災協会）を参考に許容限界を設定している。なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が 1/30 を超えた場合に大破と判定しているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

別紙 年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の
地震応答計算書

目 次

1. 概要	別紙-1
2. 基本方針	別紙-1
2.1 位置	別紙-1
2.2 構造概要	別紙-2
2.3 解析方針	別紙-7
2.4 適用規格	別紙-9
3. 解析方法	別紙-10
3.1 検討用地震動	別紙-10
3.2 地震応答解析モデル	別紙-13
3.2.1 水平方向モデル	別紙-14
3.2.2 鉛直方向モデル	別紙-15
3.3 解析方法	別紙-32
4. 解析結果	別紙-33
4.1 固有値解析結果	別紙-33
4.2 応答解析結果	別紙-33

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1-3「タービン建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対するタービン建屋の地震応答解析について説明するものである。

2. 基本方針

2.1 位置

タービン建屋の設置位置を図 2-1 に示す。

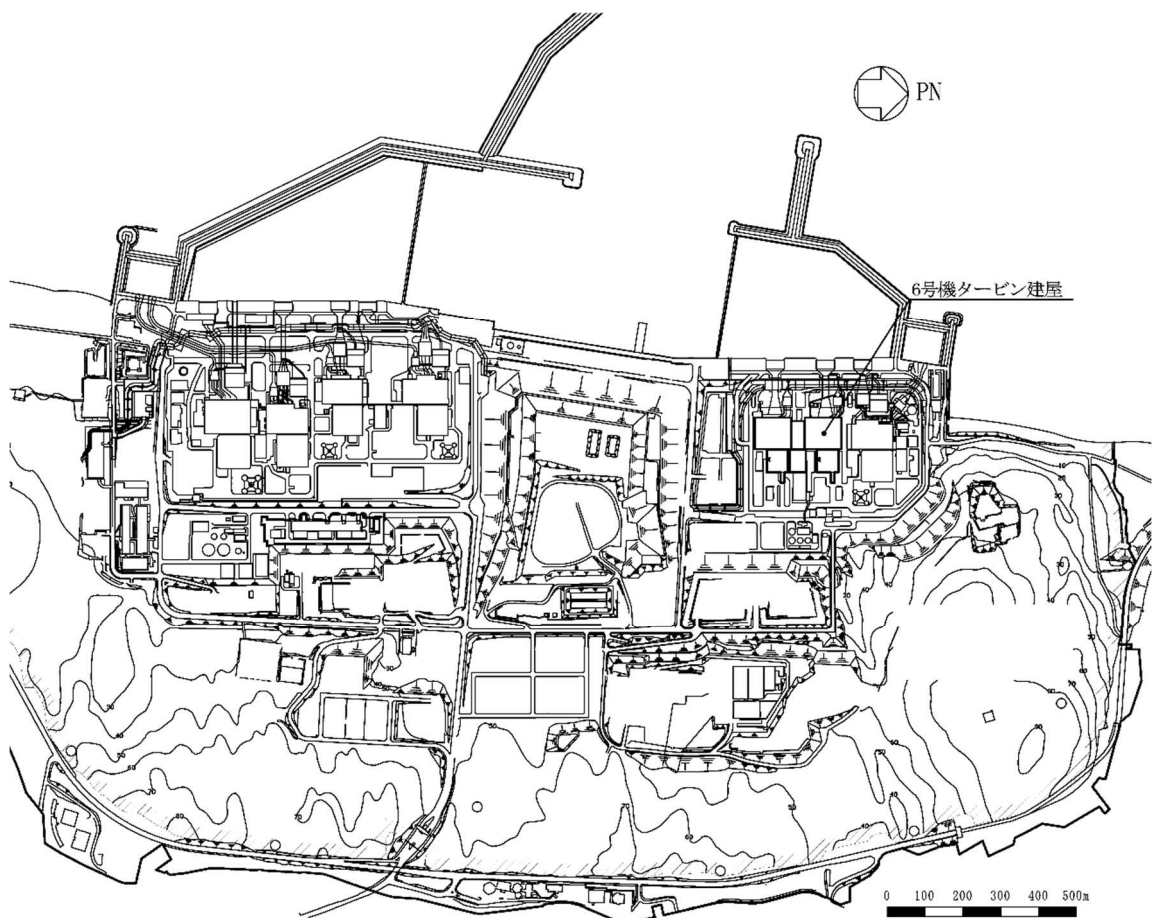


図 2-1 タービン建屋の設置位置

2.2 構造概要

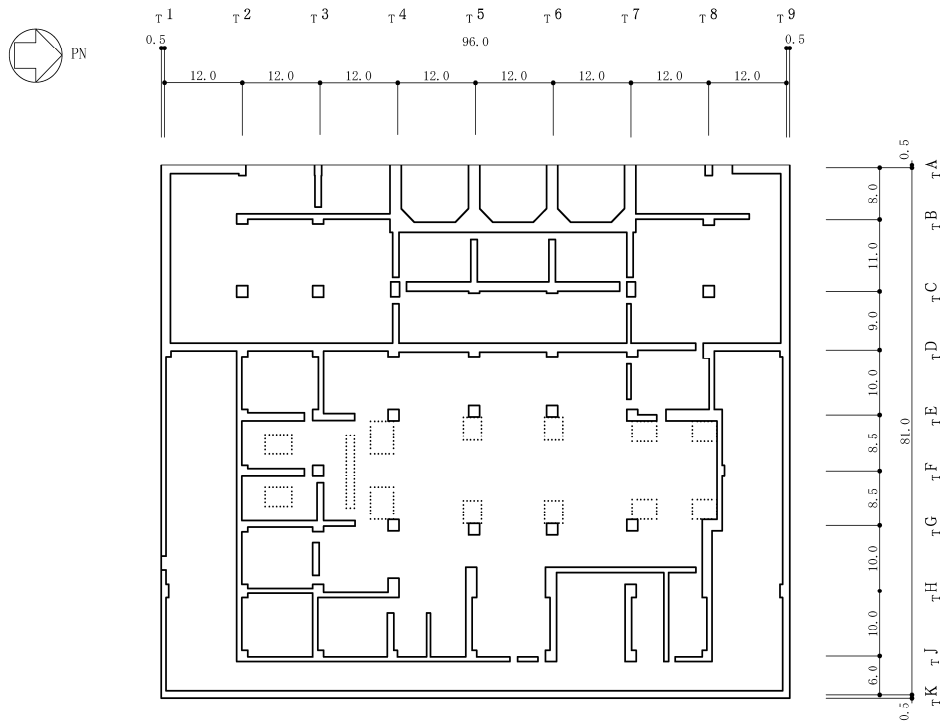
タービン建屋は、地上 2 階（一部 3 階）、地下 2 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。タービン建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

タービン建屋の平面は、地下部分では 97.0m（NS 方向）×82.0m（EW 方向）、最上階は 97.0m（NS 方向）×48.9m（EW 方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 52.2m であり、地上高さは 32.3m である。また、タービン建屋は隣接する原子炉建屋及び廃棄物処理建屋と構造的に分離している。

タービン建屋の基礎は厚さ 2.0m（蒸気タービンの基礎のうちラーメン構造部（以下「T/G 架台」という。）部分及びその周辺部は厚さ 2.8m）のべた基礎で、支持地盤である泥岩上に直接又はマンメイドロックを介して設置している。

蒸気タービンの基礎とは、図 2-2 及び図 2-3 に示すように、タービン建屋のほぼ中央に位置するタービン発電機を支える柱及びはりによって構成される鉄筋コンクリート造の T/G 架台及びそれを支持する基礎スラブ部をいう。

T/G 架台は高さ 25.5m、長さ 69.7m、幅約 16.3m の大きさとタービン建屋とは基礎スラブ部で接続する以外は構造的に分離する。



注：東京湾平均海面を、以下「T. M. S. L.」という。

図 2-2 タービン建屋の概略平面図 (B2F, T. M. S. L. -5.1m) (1/6) (単位 : m)

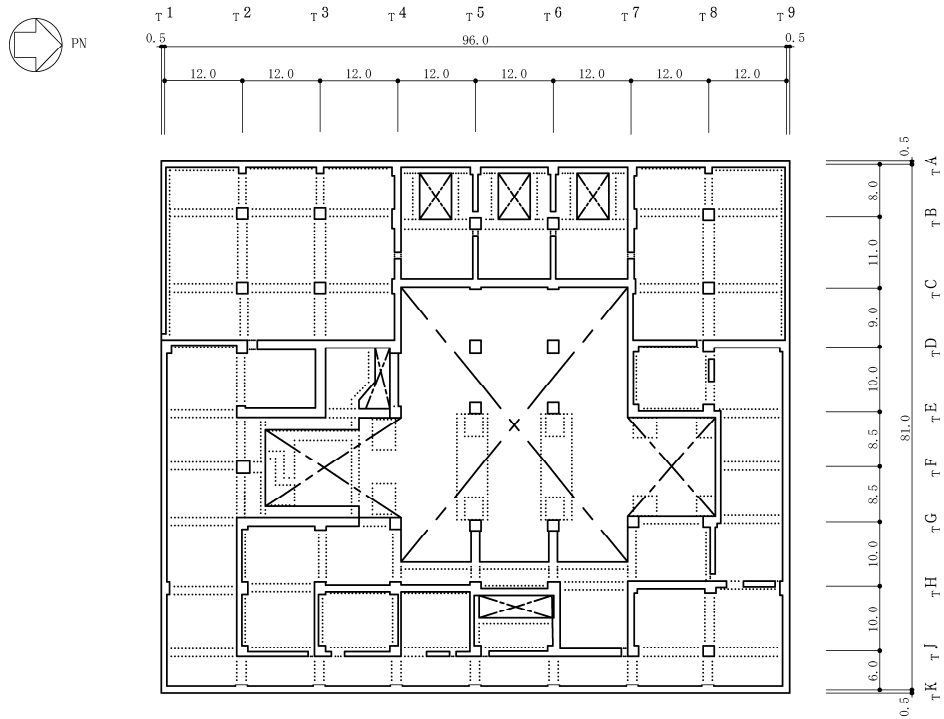


図2-2 タービン建屋の概略平面図 (B1F, T. M. S. L. 4.9m) (2/6) (単位 : m)

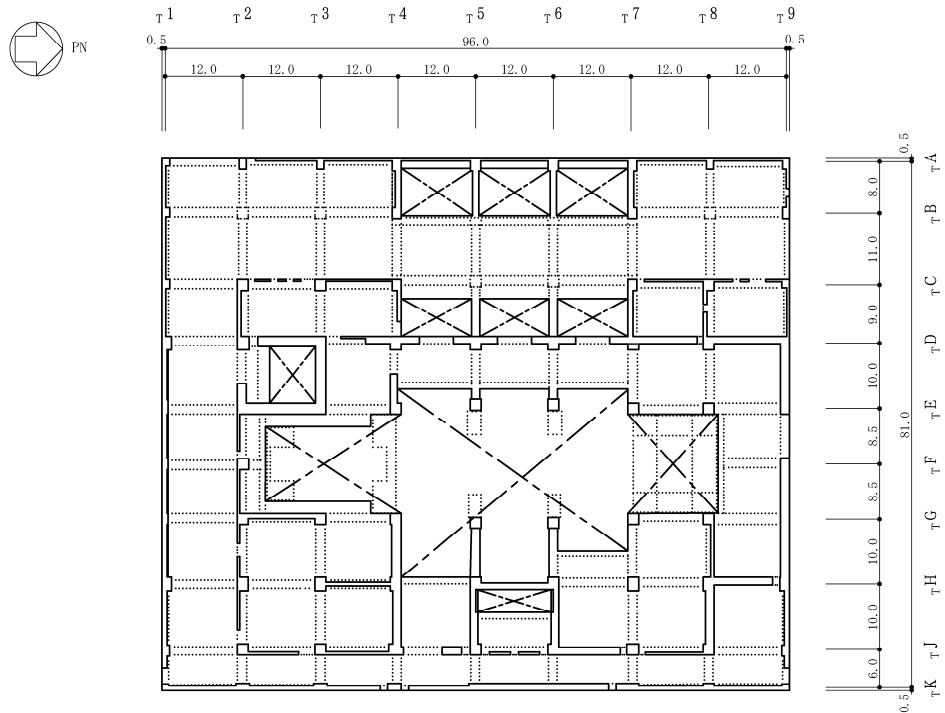


図2-2 タービン建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (3/6) (単位 : m)

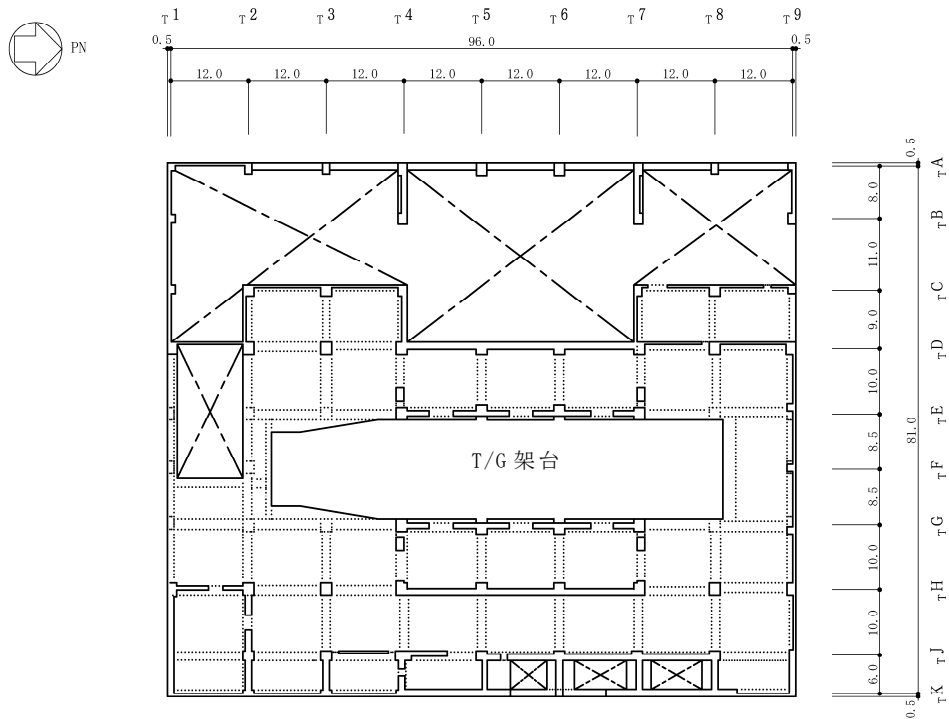


図2-2 タービン建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 20.4m) (4/6) (単位 : m)

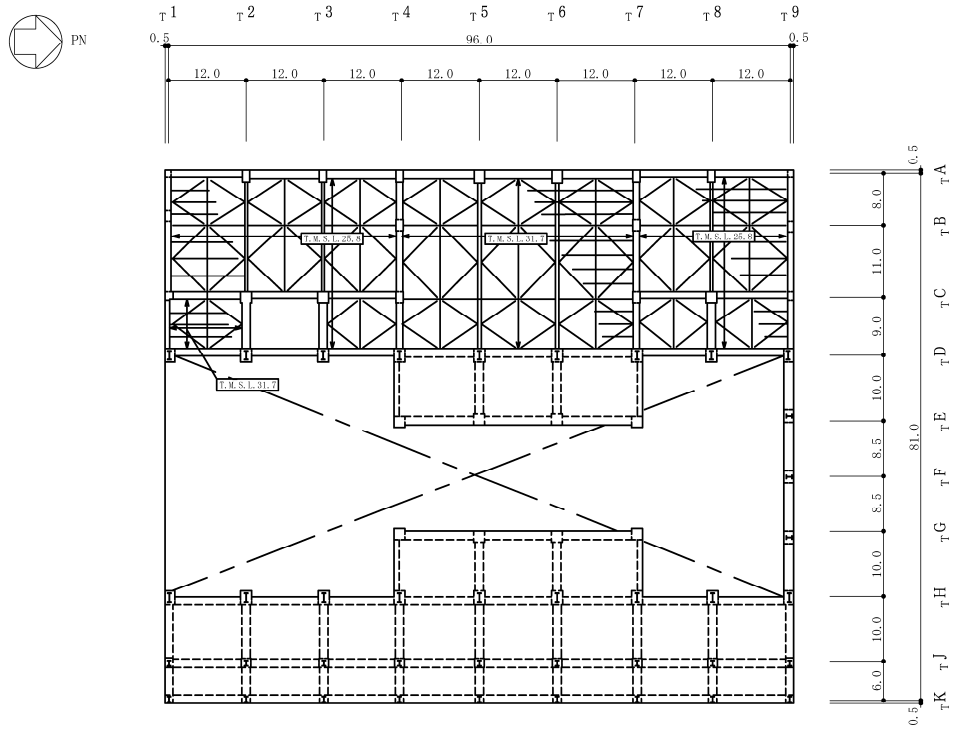


図2-2 タービン建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 30.9m) (5/6) (単位 : m)

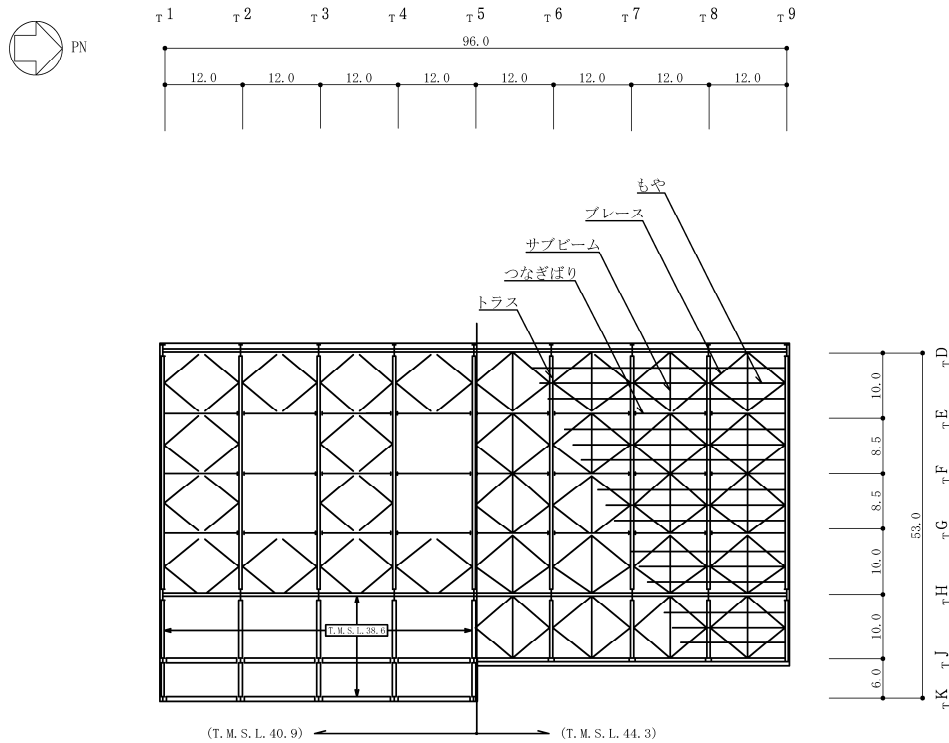
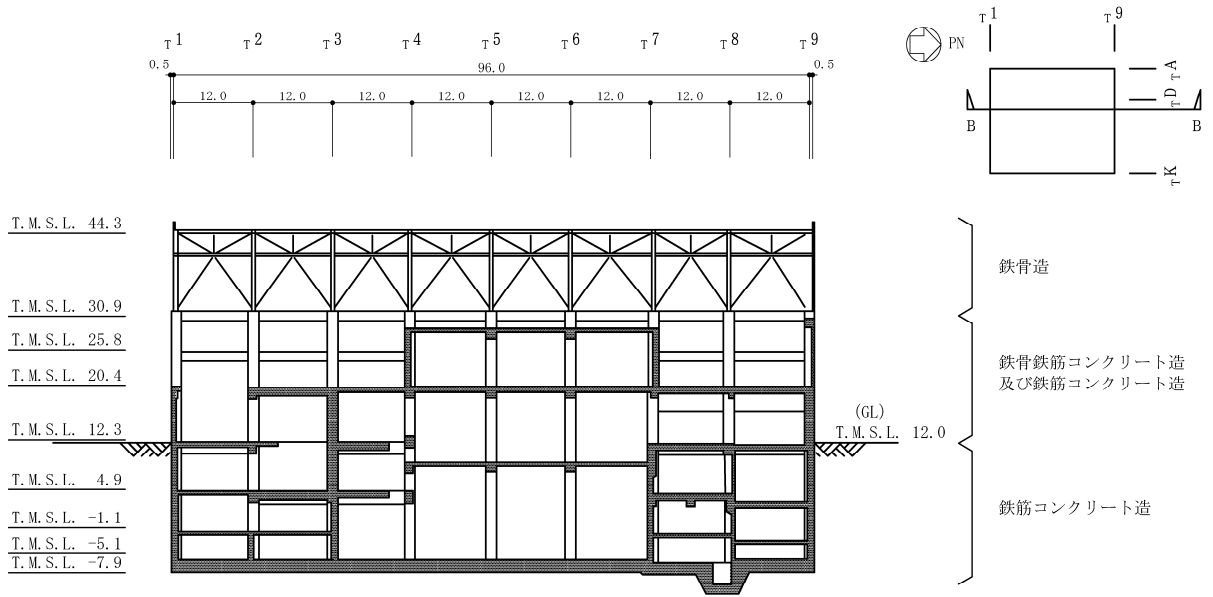
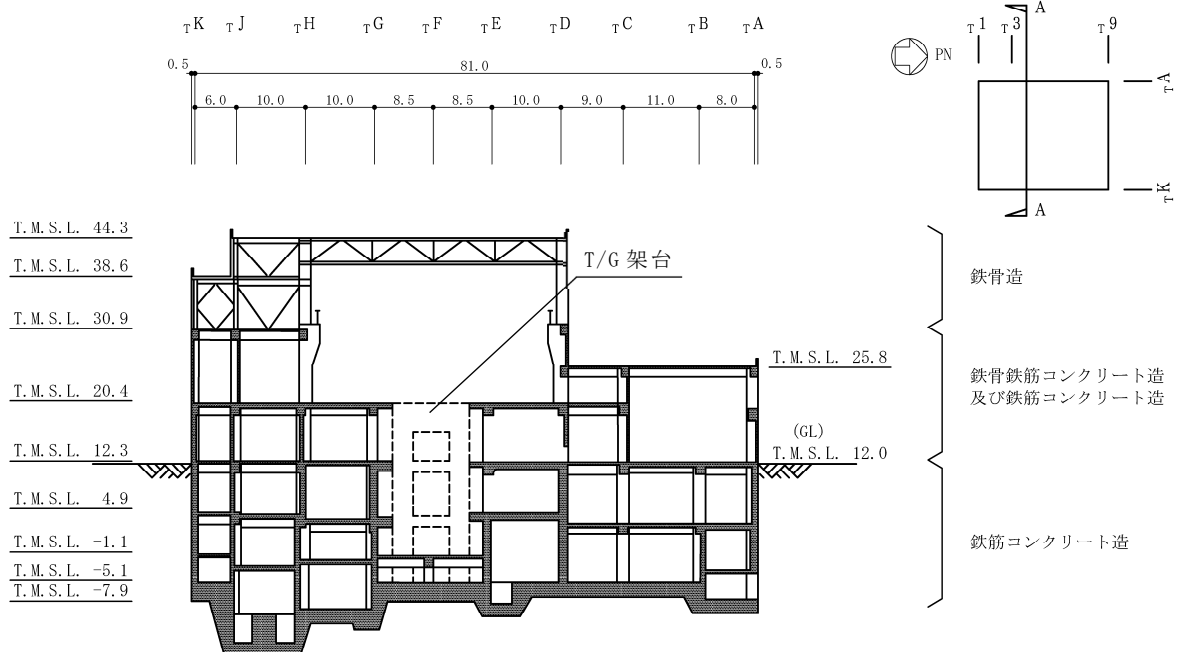


図2-2 タービン建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 44.3m) (6/6) (単位 : m)



NS 方向断面



EW 方向断面

図2-3 タービン建屋の概略断面図 (単位 : m)

2.3 解析方針

タービン建屋の地震応答解析は、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

図2-4にタービン建屋の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.1 検討用地震動」及び「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデルを用いて実施することとし、「3.3 解析方法」に基づき、「4. 解析結果」において、加速度、変位、せん断ひずみ等を含む各種応答値を算出する。

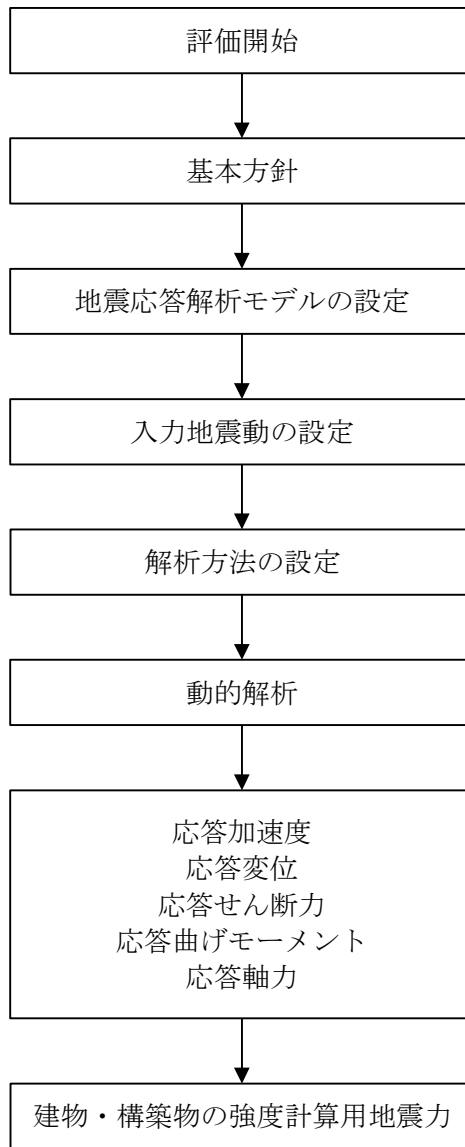


図 2-4 タービン建屋の地震応答解析フロー

2.4 適用規格

地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

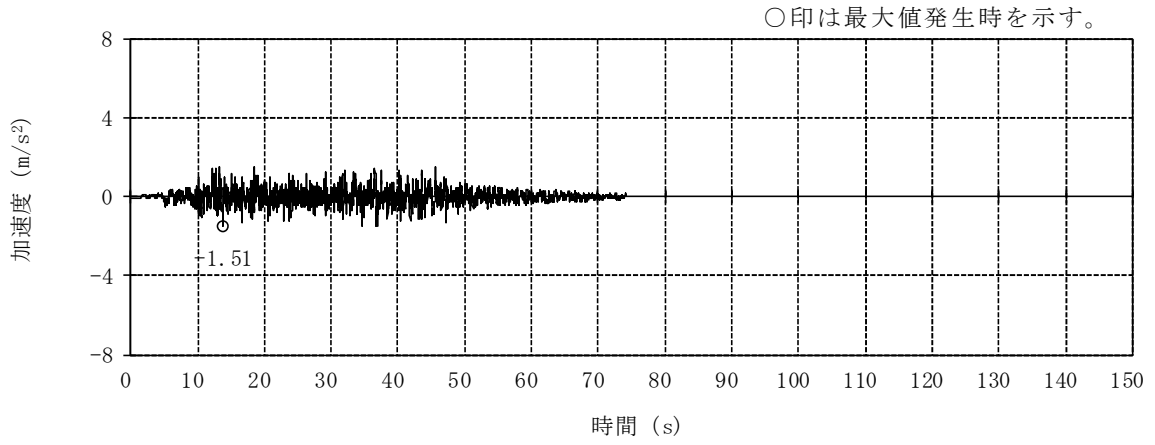
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)

3. 解析方法

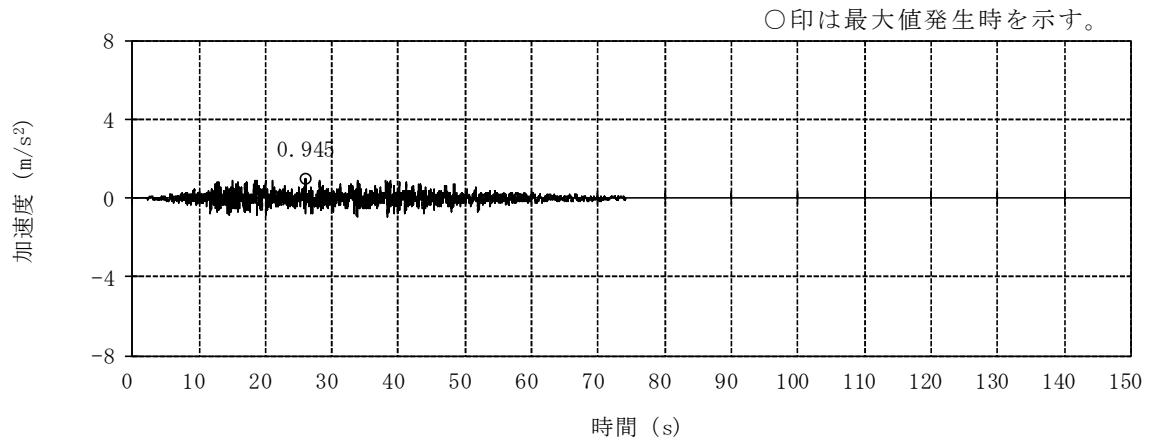
3.1 検討用地震動

タービン建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この建屋－地盤連成モデルへの入力地震動は、VI-3-別添 2-1-3 「タービン建屋の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動を用いることとする。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 3-1 及び図 3-2 に示す。

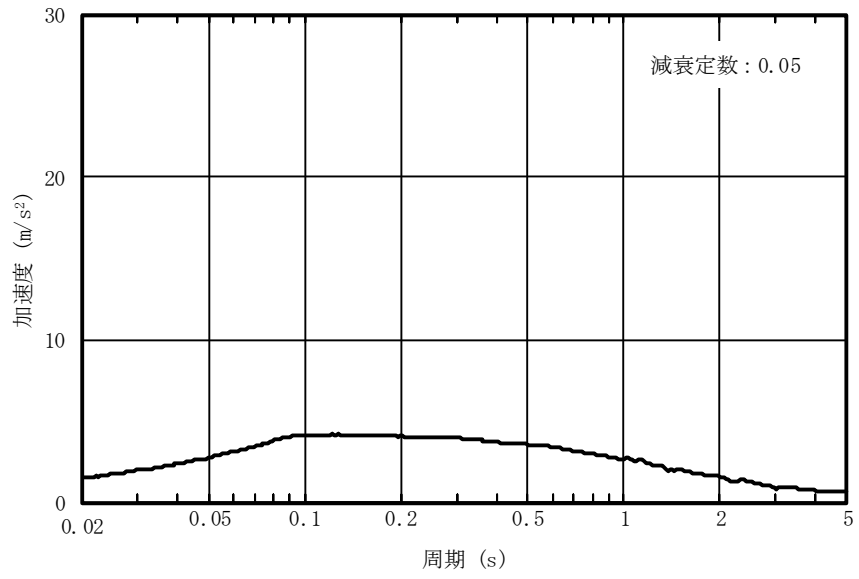


(a) 水平方向

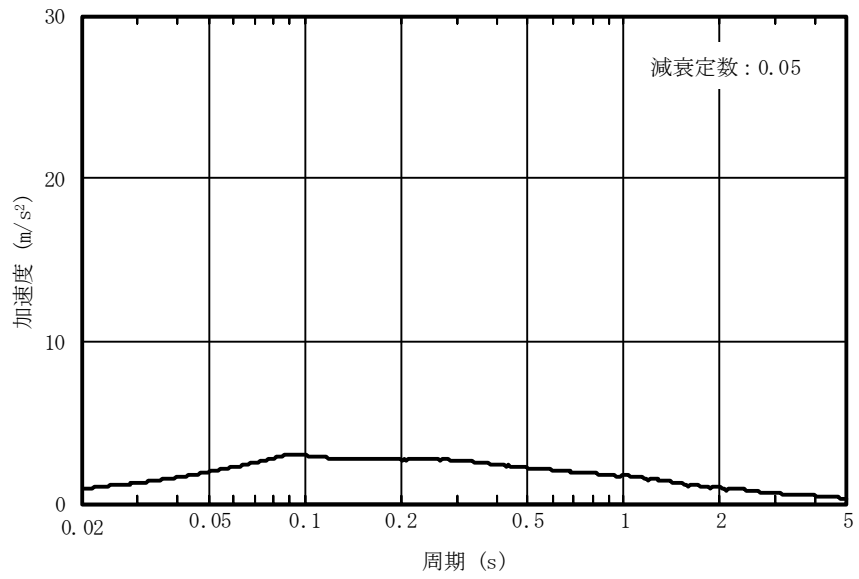


(b) 鉛直方向

図 3-1 加速度時刻歴波形 (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3-2 加速度応答スペクトル (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向それぞれについて設定する。

地震応答解析モデルの設定に用いた建物・構築物の物性値を表 3-1 に示す。

ここで、コンクリート剛性については、実現象に近い応答を模擬するという観点から、建設時コンクリートの 91 日強度データを基に設定した実強度を用いて算定する。

表 3-1 建物・構築物の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部 及び T/G 架台	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1 \text{ N/mm}^2$ ($\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345 相当)	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート* : $\sigma_c = 39.2 \text{ N/mm}^2$ ($\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345 相当)	2.79×10^4	1.16×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨 : SS41 (SS400 相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM41A (SM400A 相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM50A (SM490A 相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記* : 実強度に基づくコンクリート強度を示す。

3.2.1 水平方向モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾塑性時刻歴応答解析を行う。なお、耐震壁及び鉄骨部のせん断力及び曲げモーメントのスケルトン曲線の諸数値は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析の解析モデルと同一である。

建屋のモデル化は NS 方向、EW 方向それぞれについて行っている。また、実現象に近い応答を模擬するという観点から設計時には考慮していなかった補助壁を耐震要素として位置づけ、地震応答解析モデルに取り込む。地震応答解析モデルの概念図を図 3-3 及び図 3-4 に、地震応答解析モデルを図 3-5 に、地震応答解析モデルの諸元を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、「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) (以下「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」という。)により、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。

また、埋込み部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」により、Novak の方法に基づき求めた水平ばねを、基礎底面地盤ばねと同様に、近似法により定数化して用いる。なお、地盤表層部(新期砂層)については、基準地震動 S_s による地盤応答レベルを踏まえ、表層部では建屋-地盤相互作用が見込めないと判断し、この部分の地盤ばねは考慮しない。建屋側面の水平ばねの評価には、解析コード「NOVAK」を用いる。

水平方向モデルへの入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤の応答として評価する。また、基礎底面レベルにおけるせん断力(以下「切欠き力」という。)を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。図 3-6 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。

年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤定数を表 3-4 に示す。なお、地盤定数は地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた等価地盤物性値を用いる。ひずみ依存特性については、VI-2「耐震性に関する説明書」のうち VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づく。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置(T.M.S.L.-7.9m)における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-7 に示す。地震応答解析に用いる地盤ばねの記号を図 3-8 に、地盤のばね定数と減衰係

数を表 3-5 に示す。

なお、水平方向の解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2.2 鉛直方向モデル

鉛直方向の地震応答解析モデルは、耐震壁の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を考慮した質点系モデルとし、弾性時刻歴応答解析を行う。水平方向モデルと同様に、補助壁を地震応答解析モデルに取り込む。鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-9 に、地震応答解析モデルの諸元を表 3-6 に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、スウェイ及びロッキングばねの定数化の方法と同様、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づいて、鉛直ばねを近似法により定数化して用いる。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ADMITHF」を用いる。

鉛直方向モデルへの入力地震動は、次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する年超過確率 10^{-2} 相当地震動に対する地盤の応答として評価したものであり、基礎底面レベルに直接入力する。図 3-10 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を用いる。

設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置 (T. M. S. L. -7.9m) における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3-11 に示す。なお、地盤定数は表 3-4 に示すとおりである。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表 3-7 に示す。

なお、鉛直方向の解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

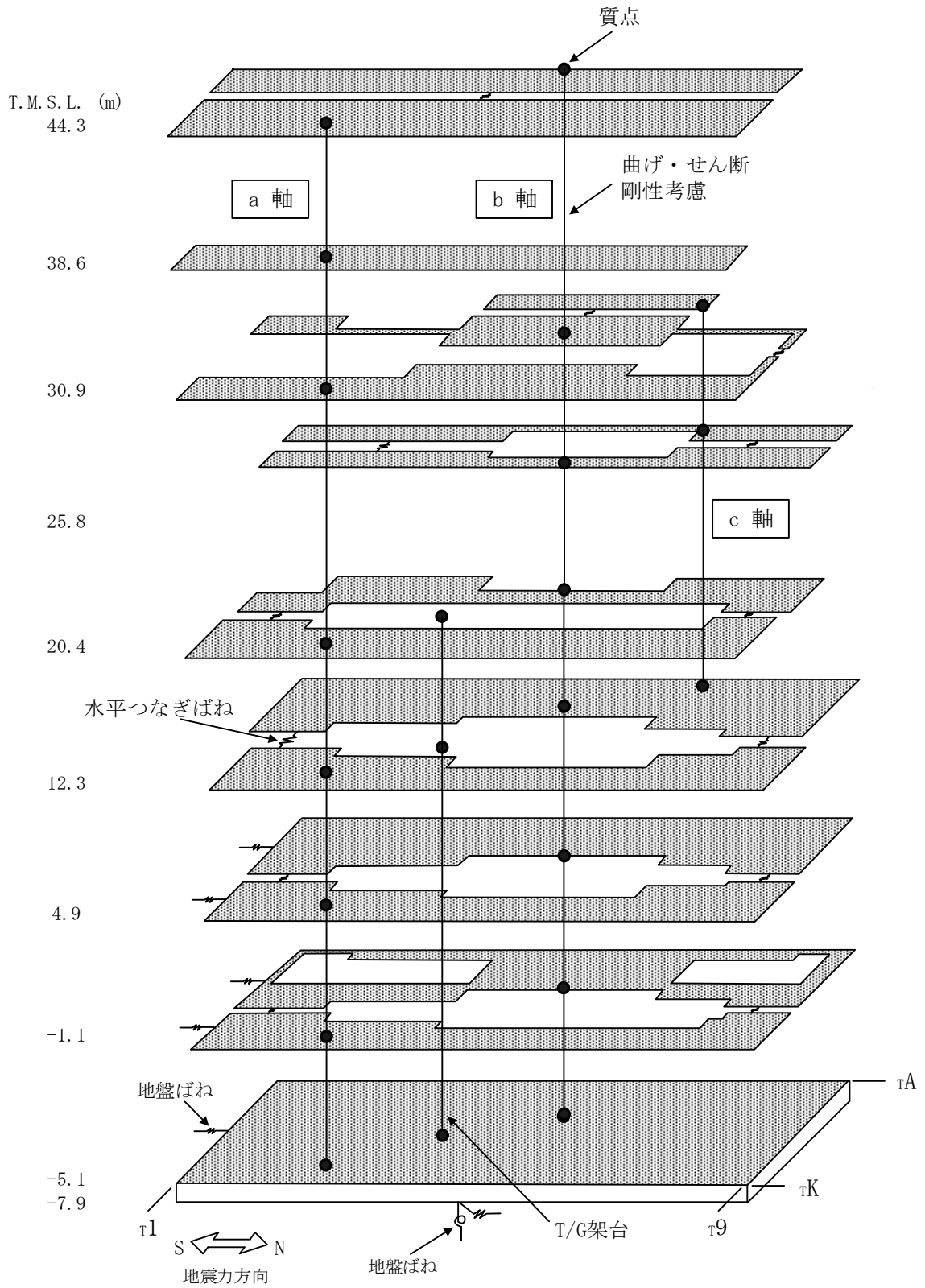


図 3-3 地震応答解析モデルの概念図 (NS 方向)

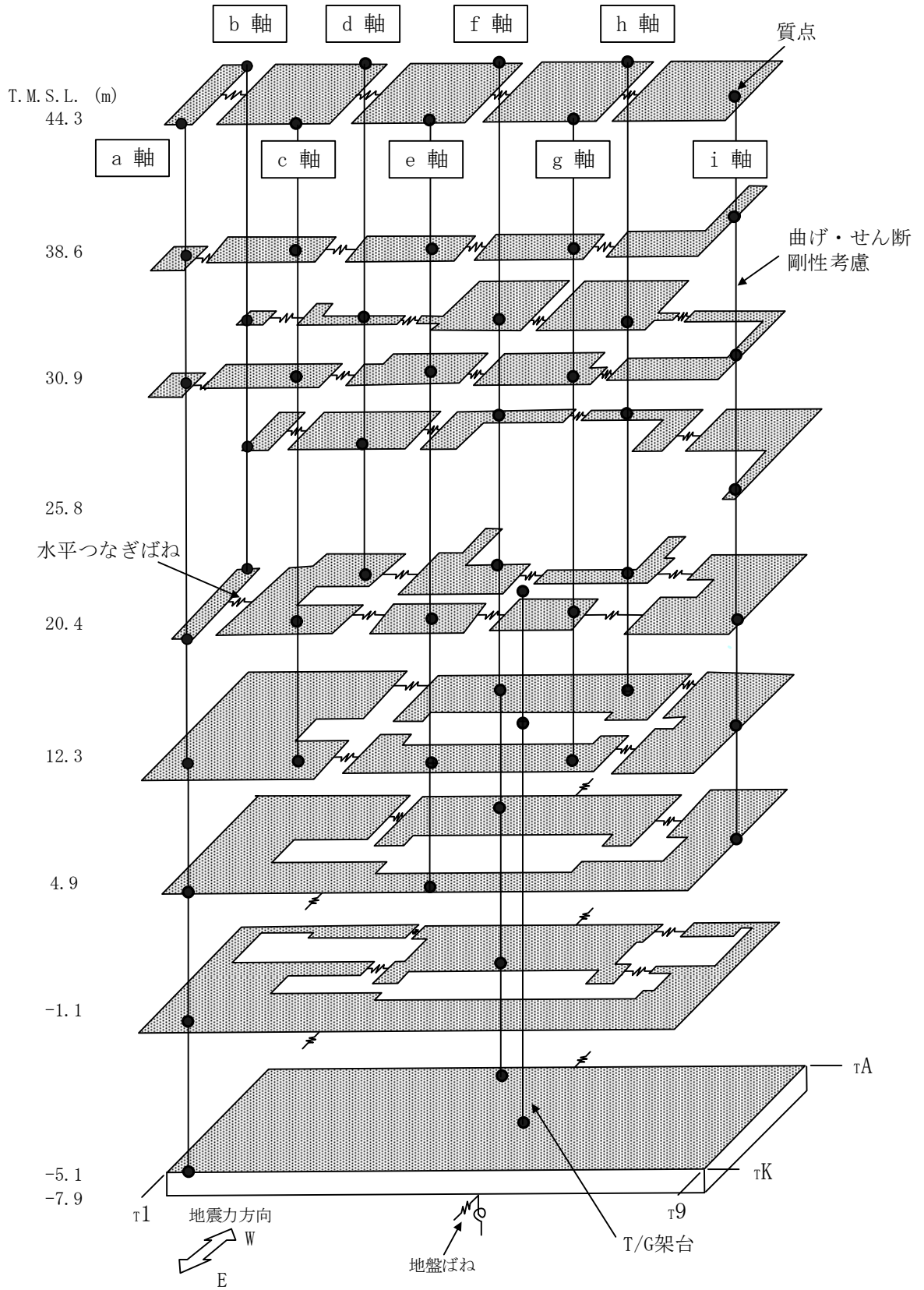


図 3-4 地震応答解析モデルの概念図 (EW 方向)

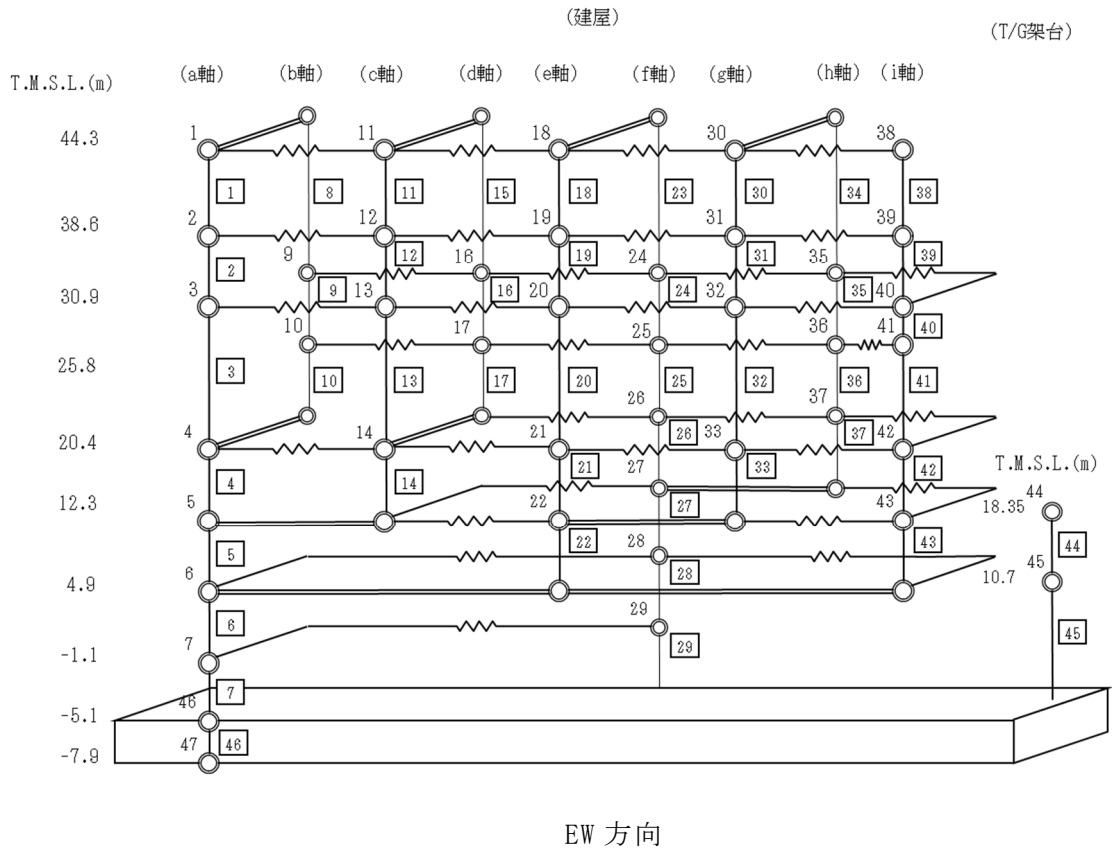
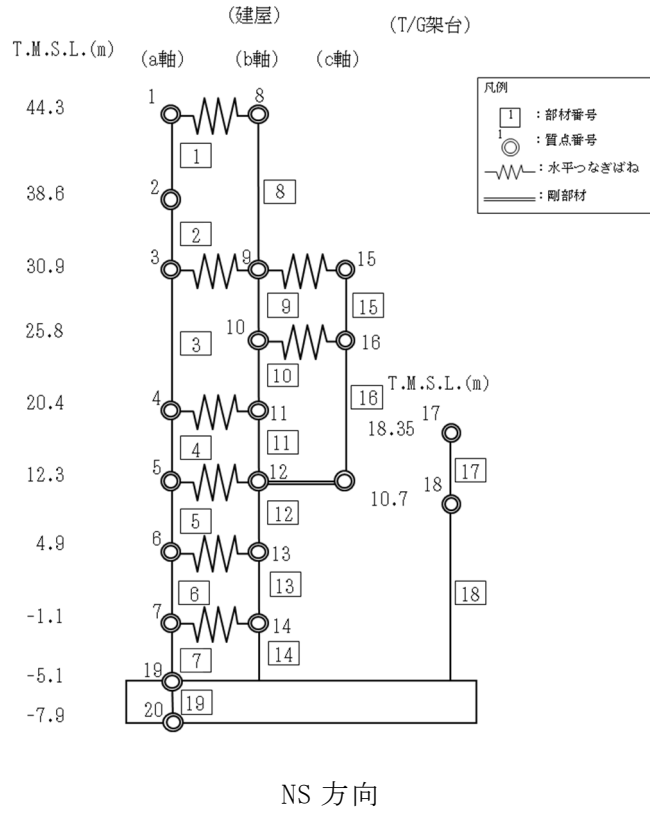


図 3-5 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-2 地震応答解析モデル諸元 (NS 方向)

(a) 重量・回転慣性重量

T. M. S. L. (m)	T/G 架台	建屋		
		1	8	
44.3		41790	26860	
		30.1	8.6	
38.6		2		
		48460		
30.9		102410	46640	9530
		29.1	146.6	1.6
25.8			10	16
			47510	25370
20.4			507.3	270.2
		17	4	11
12.3		106240	178190	101540
		-	331.1	445.8
4.9		18	5	12
		68920	168130	204500
-1.1			758.0	518.3
			6	13
-5.1			167480	202240
			567.3	726.1
-7.9			7	14
			122510	150210
		392.1	1032.0	
		19		
		490770		
		3771.9		
		20		
		266390		
		1495.2		

質点番号
重量 (kN)
回転慣性重量 ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

(b) せん断断面積・断面二次モーメント

T. M. S. L. (m)	T/G 架台	建屋		
		1	8	
44.3		4.00		
		-	2.70	
38.6		2		
		5.80		
30.9			3	9
			192.8	92.0
25.8				1.1
				63290
20.4			10	16
			61480	109.5
12.3				4.5
				52350
4.9		17	4	11
		14.3	187.5	135.4
-1.1			80640	75330
			18	5
-5.1			242.1	258.6
			146930	106930
-7.9			6	13
			268.8	384.0
		129200	200510	
		7	14	
		274.6	394.9	
		158050	182470	
		19		
		7954.0		
		-		

- ① コンクリート部 建屋及び T/G 架台
ヤング係数 E $2.88 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
せん断弾性係数 G $1.20 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%
- ② コンクリート部 基礎スラブ
ヤング係数 E $2.79 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
せん断弾性係数 G $1.16 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%
- ③ 鉄骨部
ヤング係数 E $2.05 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
せん断弾性係数 G $7.90 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
ポアソン比 ν 0.30
減衰定数 h 2%
- 基礎形状
97.0m (NS 方向) \times 82.0m (EW 方向)
 \times 2.0m 又は 2.8m (厚さ)

部材番号
せん断断面積 (m^2)
断面二次モーメント (m^4)

表 3-3 地震応答解析モデル諸元 (EW 方向) (1/2)

(a) 重量・回転慣性重量

質点番号
重量 (kN)
回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

T. M. S. L. (m)	T/G 架台	建屋									
		1		11		18		30		38	
44.3		4760		15950		16590		17050		14310	
		0.17		7.7		8.0		8.2		4.1	
38.6		3240		11600		12380		10740		10500	
		0.1		5.7		6.1		5.2		3.1	
30.9		6560		16120		31140		31460		21330	
		0.5		7.9		10.0		10.1		7.0	
25.8		7110		21000		13640		12860		18270	
		0.3		10.2		1.1		1.0		5.4	
20.4	44	106240		56880		44450		48450		60550	
		0.8		153.8		23.1		25.6		16.6	
12.3	45	68920		72170		81010		91660		192.8	
		328.6		139.1		161.2		192.8		192.8	
4.9		293550		76170		154.4		77150		102.4	
		1067.4		29		102.4		102.4		102.4	
-1.1	7	195570		77150		102.4		102.4		102.4	
		727.7		102.4		102.4		102.4		102.4	
-5.1	46	490770		5261.9		5261.9		5261.9		5261.9	
		5261.9		5261.9		5261.9		5261.9		5261.9	
-7.9	47	266390		2091.3		2091.3		2091.3		2091.3	
		2091.3		2091.3		2091.3		2091.3		2091.3	

表 3-3 地震応答解析モデル諸元 (EW 方向) (2/2)

(b) せん断断面積・断面二次モーメント

部材番号
せん断断面積 (m ²)
断面二次モーメント (m ⁴)

T. M. S. L. (m)	T/G 架台	建屋								
		1	8	11	15	18	23	30	34	38
44.3		0.36	0.05	0.72	0.08	0.72	0.09	0.72	0.09	1.6
		—		—		—		—		—
38.6		2		12		19		31		39
		0.46		0.91		0.91		0.91		2.4
30.9		3	9	13	16	20	24	32	35	40
		17.6		10.9		24.3		6.9		25.2
25.8		10		17		25		36		41
		660		17.7		8.4		24.9		280
20.4	44	4		14		21	26	33	37	42
		26.2		58.6		43.2		40.1		25.1
12.3	45	5		4780		1670	410	160	370	27290
		—		37190		—		—		—
4.9	12.2	6		28		105.3		12210		43
		151.5		42.7		103.5		1500		13600
-1.1	—	7		29		100.0		8510		55080
		465.4		—		—		—		—
-5.1		46		—		—		—		—
		7954.0		—		—		—		—

- ① コンクリート部 建屋及び T/G 架台
 ヤング係数 E 2.88×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.20×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%
- ② コンクリート部 基礎スラブ
 ヤング係数 E 2.79×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.16×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%
- ③ 鉄骨部
 ヤング係数 E 2.05×10^5 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.30
 減衰定数 h 2%

基礎形状
 97.0m(NS 方向)×82.0m(EW 方向)
 ×2.0m 又は 2.8m(厚さ)

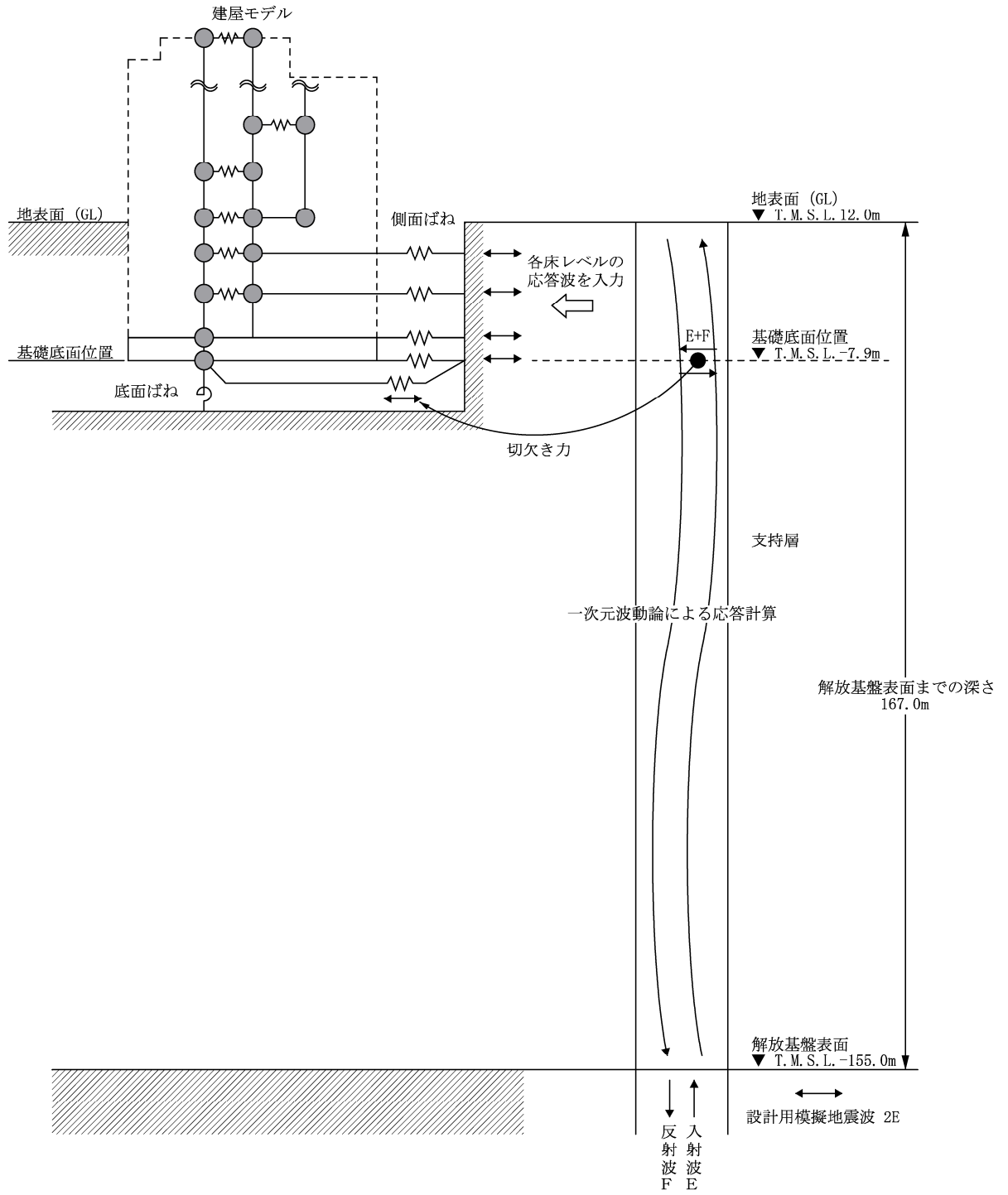


図 3-6 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (水平方向)

表 3-4 地盤定数 (年超過確率 10^{-2} 相当地震動)

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.247	0.369	0.67	8
+8.0		200	16.1	0.308	0.374	0.657	0.57	11
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.53	1.92	0.80	3
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.07	4.16	0.98	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.60	4.75	0.97	3
-90.0		590	17.3	0.432	6.01	6.14	0.98	3
-136.0		650	19.3	0.424	8.15	8.32	0.98	3
-155.0		椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00
∞								

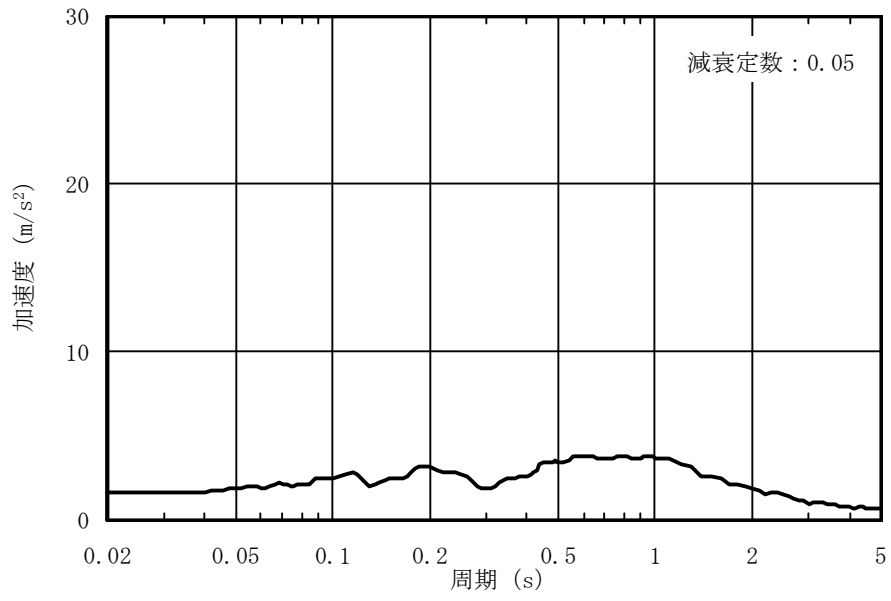


図 3-7 入力地震動の加速度応答スペクトル（水平方向）
（年超過確率 10^{-2} 相当地震動，T.M.S.L. -7.9m）

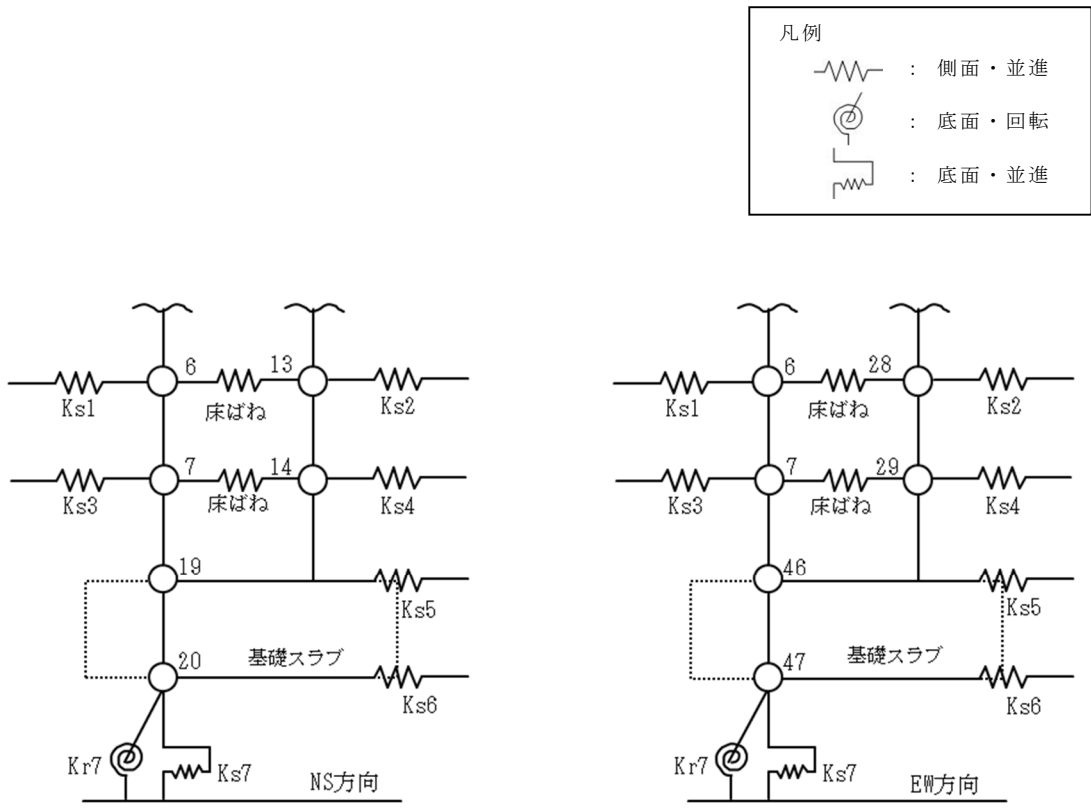


図 3-8 地盤ばねの記号

表 3-5 地盤のばね定数と減衰係数（年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

(a) NS 方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	6	側面・並進	5.94×10^5	3.18×10^5
Ks2	13	側面・並進	7.97×10^5	4.27×10^5
Ks3	7	側面・並進	1.41×10^6	7.58×10^5
Ks4	14	側面・並進	1.90×10^6	1.02×10^6
Ks5	19	側面・並進	2.76×10^6	1.28×10^6
Ks6	20	側面・並進	2.45×10^6	7.11×10^5
Ks7	20	底面・並進	1.23×10^8	7.16×10^6
Kr7	20	底面・回転	3.42×10^{11}	7.79×10^9

注記*1 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6 及び Ks7 の単位は kN/m, Kr7 の単位は kN・m/rad を示す。

*2 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6 及び Ks7 の単位は kN・s/m, Kr7 の単位は kN・m・s/rad を示す。

(b) EW 方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	6	側面・並進	1.05×10^6	5.47×10^5
Ks2	28	側面・並進	3.43×10^5	1.79×10^5
Ks3	7	側面・並進	2.49×10^6	1.30×10^6
Ks4	29	側面・並進	8.18×10^5	4.27×10^5
Ks5	46	側面・並進	2.76×10^6	1.25×10^6
Ks6	47	側面・並進	2.45×10^6	7.02×10^5
Ks7	47	底面・並進	1.25×10^8	7.34×10^6
Kr7	47	底面・回転	2.64×10^{11}	4.81×10^9

注記*1 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6 及び Ks7 の単位は kN/m, Kr7 の単位は kN・m/rad を示す。

*2 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6 及び Ks7 の単位は kN・s/m, Kr7 の単位は kN・m・s/rad を示す。

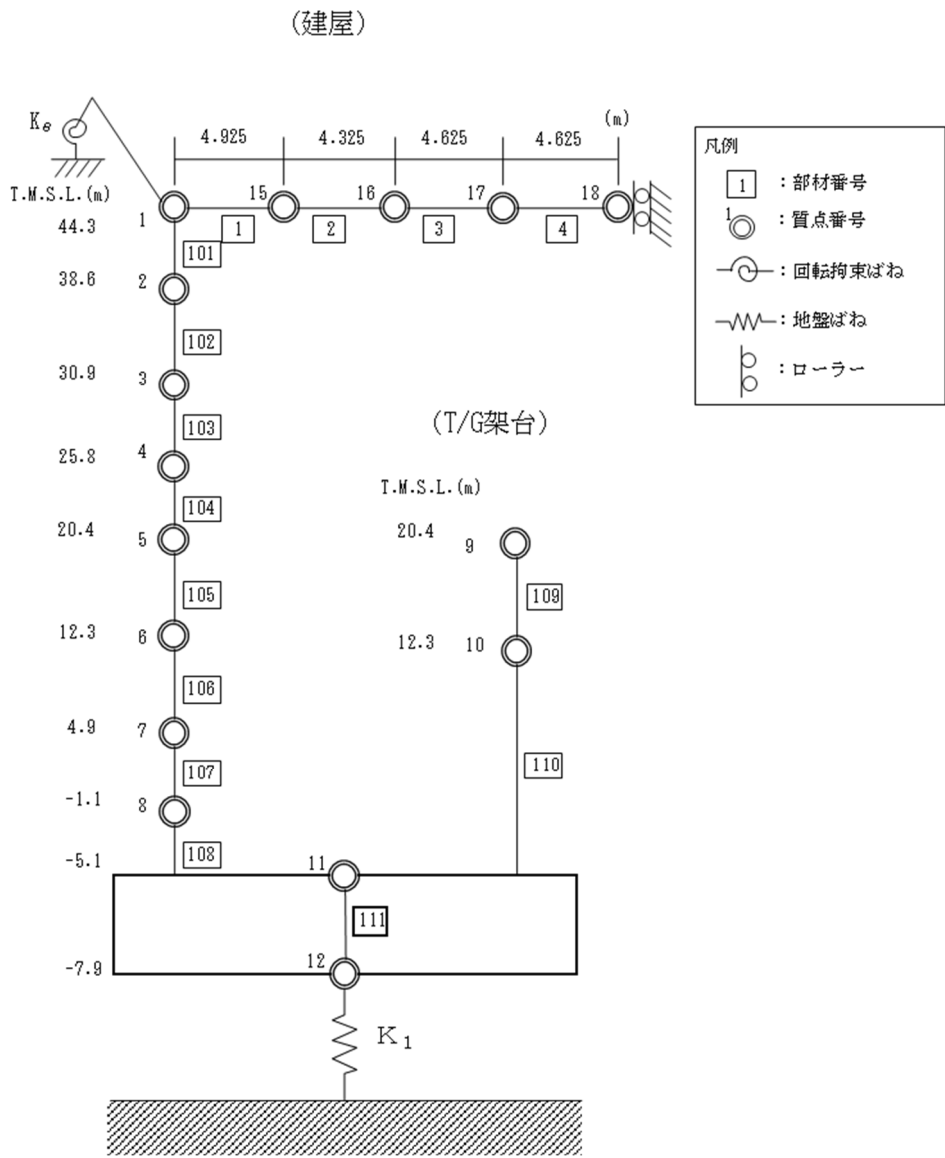


図 3-9 地震応答解析モデル (鉛直方向)

表 3-6 地震応答解析モデルの諸元 (鉛直方向)

質点番号	1	15	16	17	18
質点重量W (kN)	—	9400	9480	9800	4900
部材番号	1	2	3	4	
せん断断面積 $A_s (\times 10^{-2} m^2)$	29.28	29.28	20.04	20.04	
断面二次モーメント $I_B (m^4)$	3.19	3.19	2.54	2.54	
質点	質点重量		部材	軸断面積	
1	35070		101	20.7	
2	48460		102	24.9	
3	158580		103	580.8	
4	72880		104	548.9	
5	279730		105	693.0	
6	372630		106	966.7	
7	369720		107	1222.1	
8	272720		108	1234.2	
11	490770		111	7954.0	
12	266390				
9	106240		109	138.8	
10	68920		110	154.0	

屋根トラス端部回転拘束ばね $K_\theta = 2.48 \times 10^7$ (kN·m/rad)

① コンクリート部 建屋及び T/G 架台
 ヤング係数 E 2.88×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.20×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%

② コンクリート部 基礎スラブ
 ヤング係数 E 2.79×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.16×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%

③ 鉄骨部
 ヤング係数 E 2.05×10^5 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 7.90×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.30
 減衰定数 h 2%

基礎形状 97.0m (NS 方向) × 82.0m (EW 方向)
 × 2.0m 又は 2.8m (厚さ)

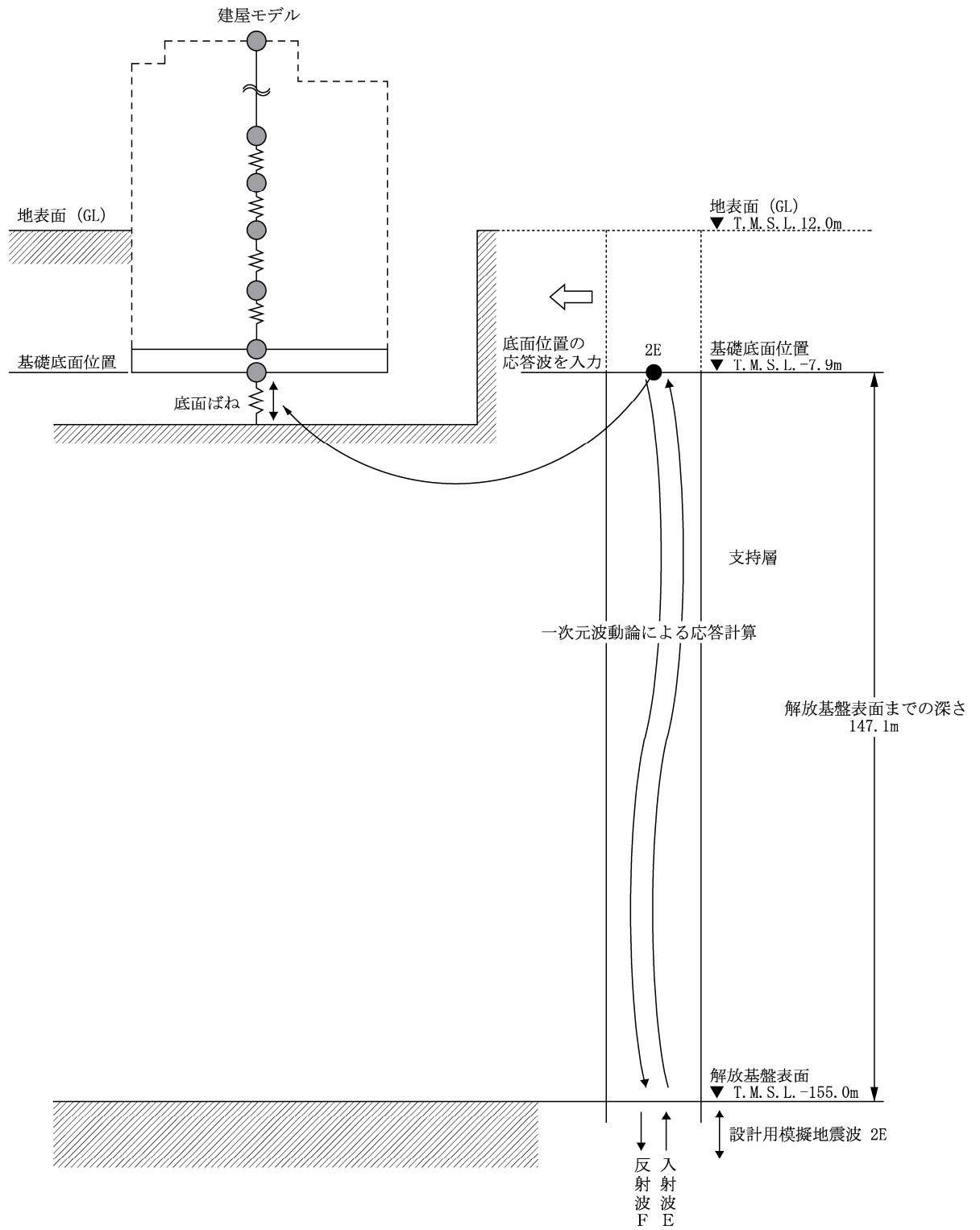


図 3-10 地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図 (鉛直方向)

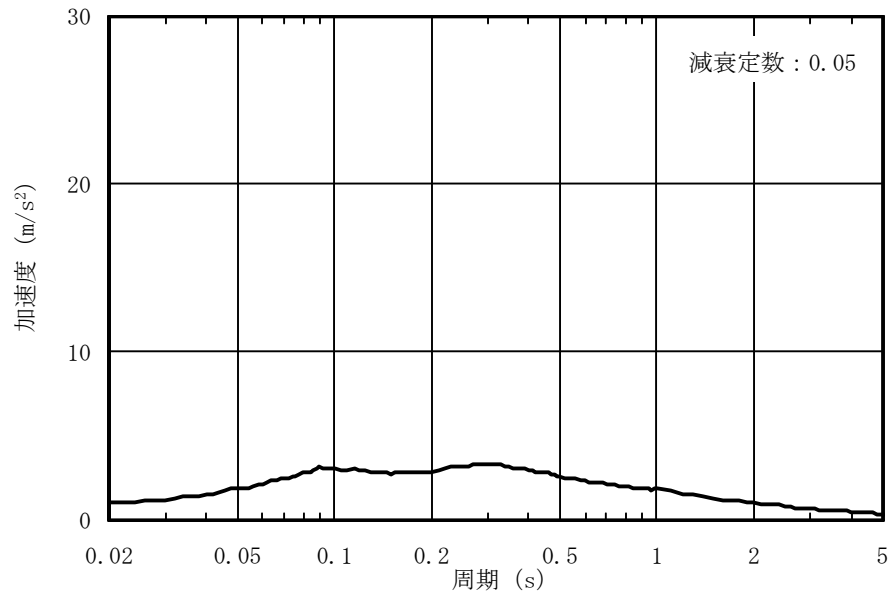


図 3-11 入力地震動の加速度応答スペクトル
(年超過確率 10^{-2} 相当地震動, 鉛直方向, T. M. S. L. -7.9m)

表 3-7 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，年超過確率 10^{-2} 相当地震動）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	12	底面・鉛直	2.13×10^8	1.80×10^7

3.3 解析方法

タービン建屋の地震応答解析には，解析コード「NUPP4」を用いる。

タービン建屋の解析は，VI-2「耐震性に関する説明書」のうちVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，時刻歴応答解析により実施する。なお，解析に用いる解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，VI-3「強度に関する説明書」のうち別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4. 解析結果

4.1 固有値解析結果

固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）を表 4-1 に示す。刺激関数図を図 4-1 に示す。

なお、刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。

4.2 応答解析結果

地震応答解析結果を図 4-2～図 4-12，表 4-2～表 4-4 に示す。

表 4-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.356	2.81	2.278	建屋-地盤連成1次
2	0.292	3.43	0.927	
3	0.226	4.42	-1.867	
4	0.207	4.84	-1.030	
5	0.187	5.34	-1.749	

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.405	2.47	3.258	建屋-地盤連成1次
2	0.311	3.21	-1.551	
3	0.256	3.91	-1.783	
4	0.242	4.14	-1.433	
5	0.187	5.36	-0.390	

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.502	1.99	1.638	屋根トラス1次
2	0.224	4.47	1.149	建屋-地盤連成1次
3	0.108	9.23	0.242	
4	0.068	14.65	-0.163	
5	0.061	16.36	0.088	

注:刺激係数は,モードごとに固有ベクトルの最大値を1に規準化して得られる値を示す。

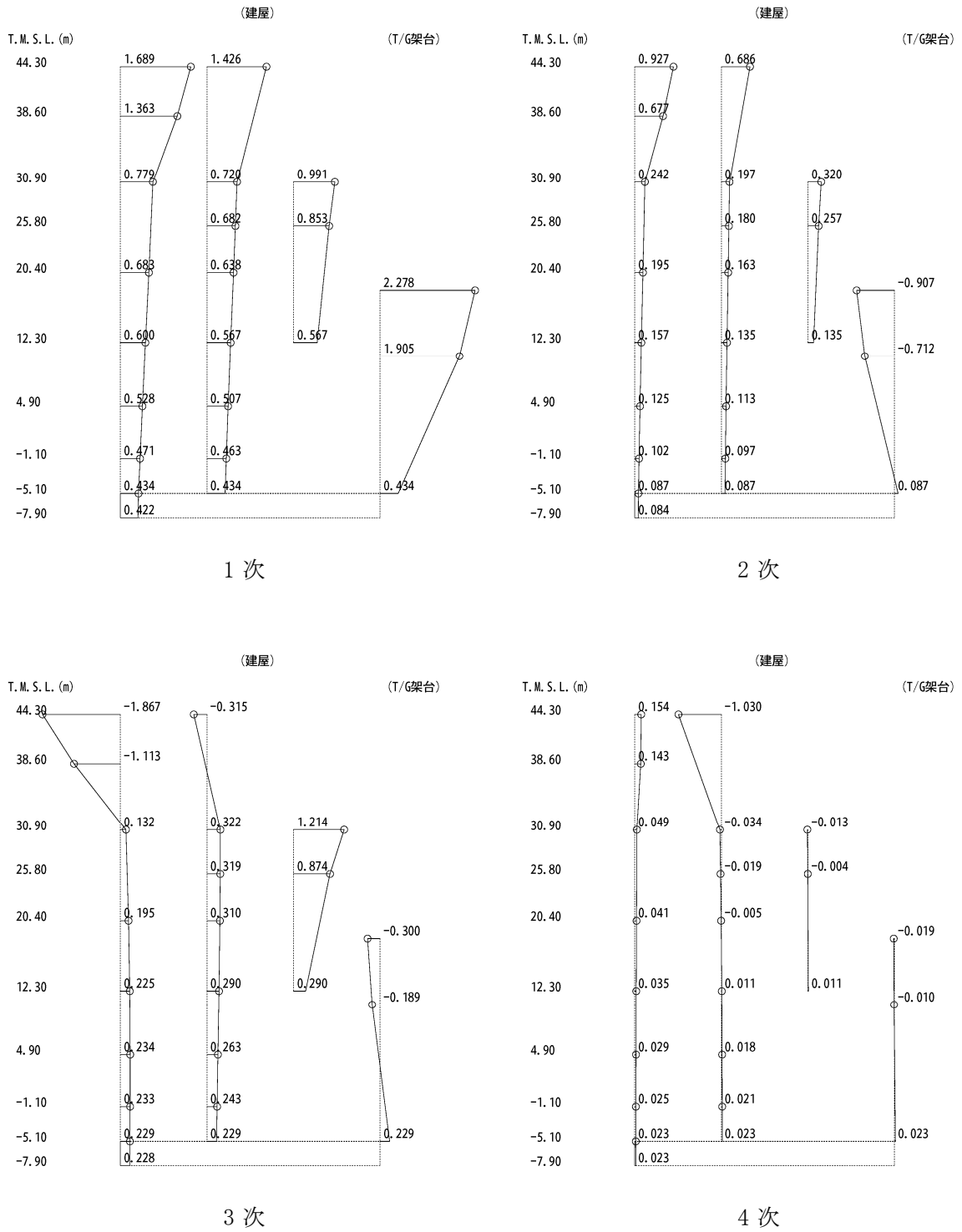
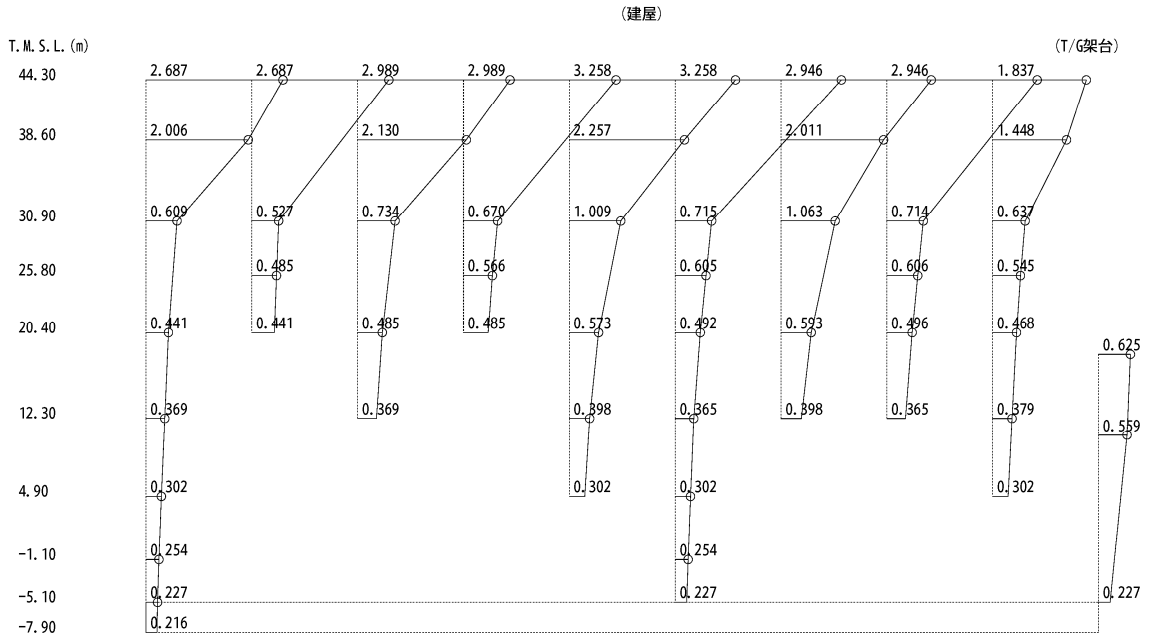
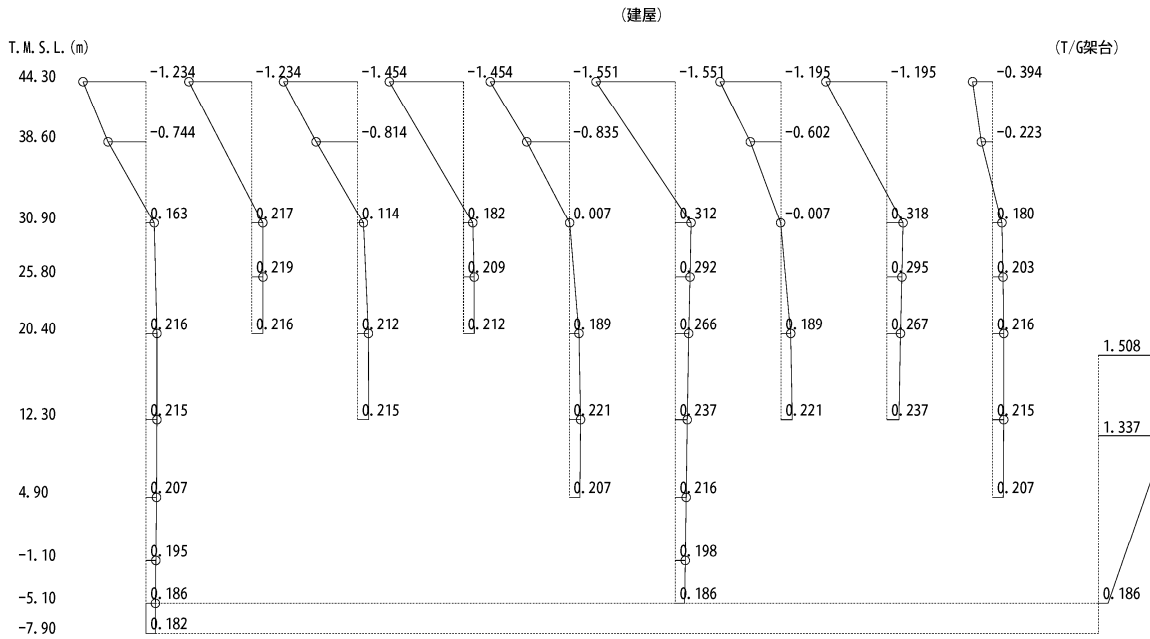


図 4-1 刺激関数図 (NS 方向) (1/4)

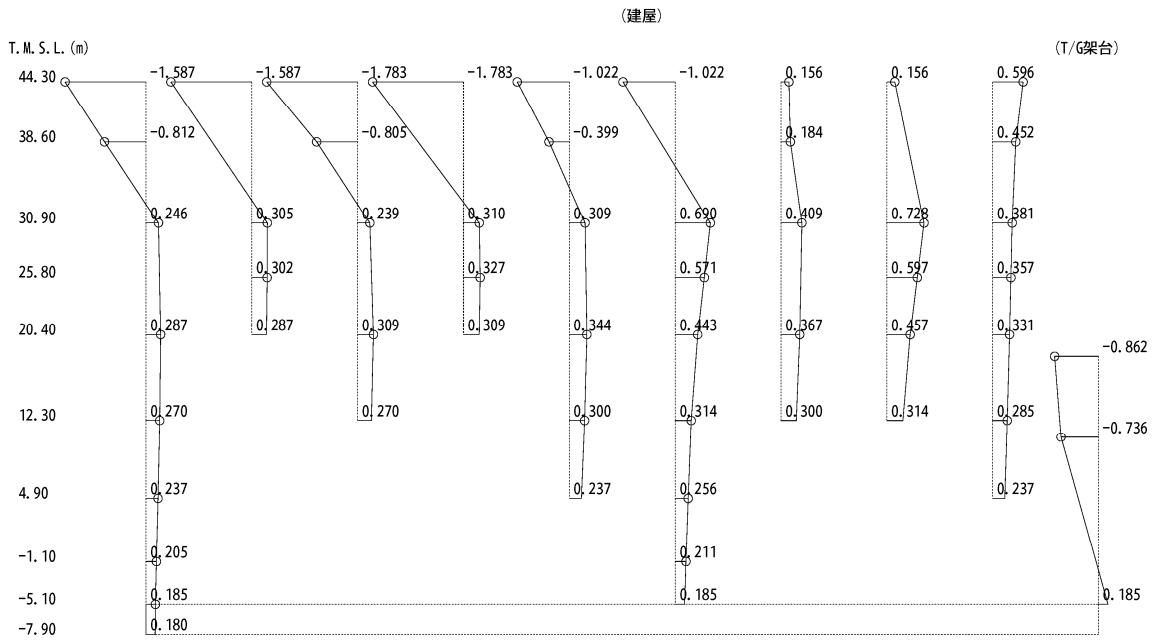


1 次

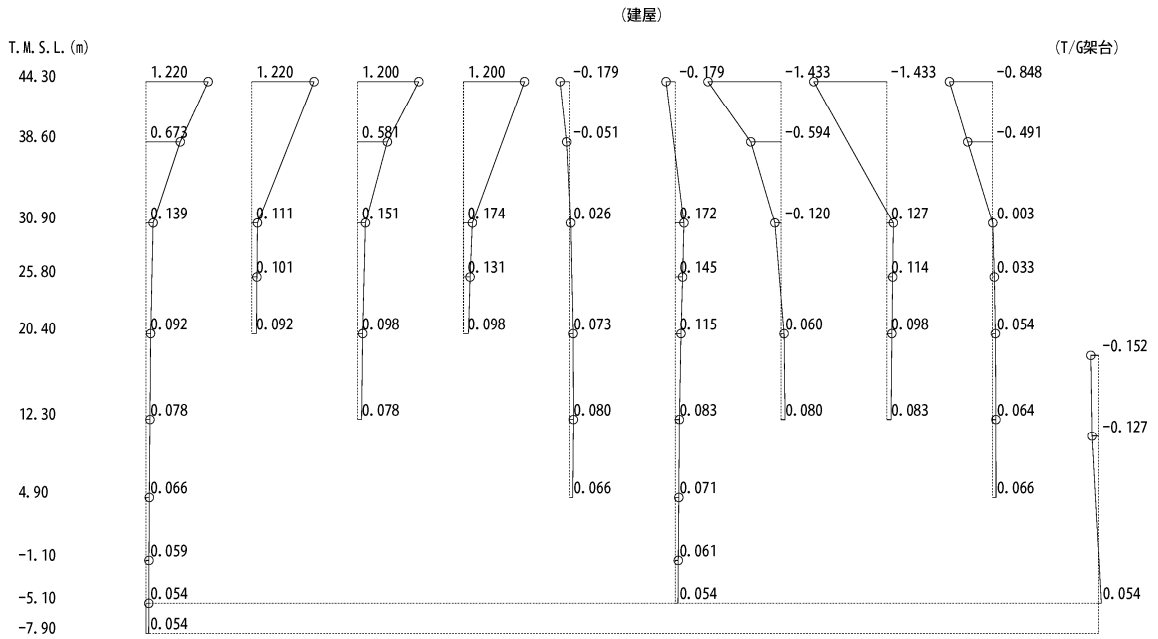


2 次

図 4-1 刺激関数図 (EW 方向) (2/4)



3次



4次

図 4-1 刺激関数図 (EW 方向) (3/4)

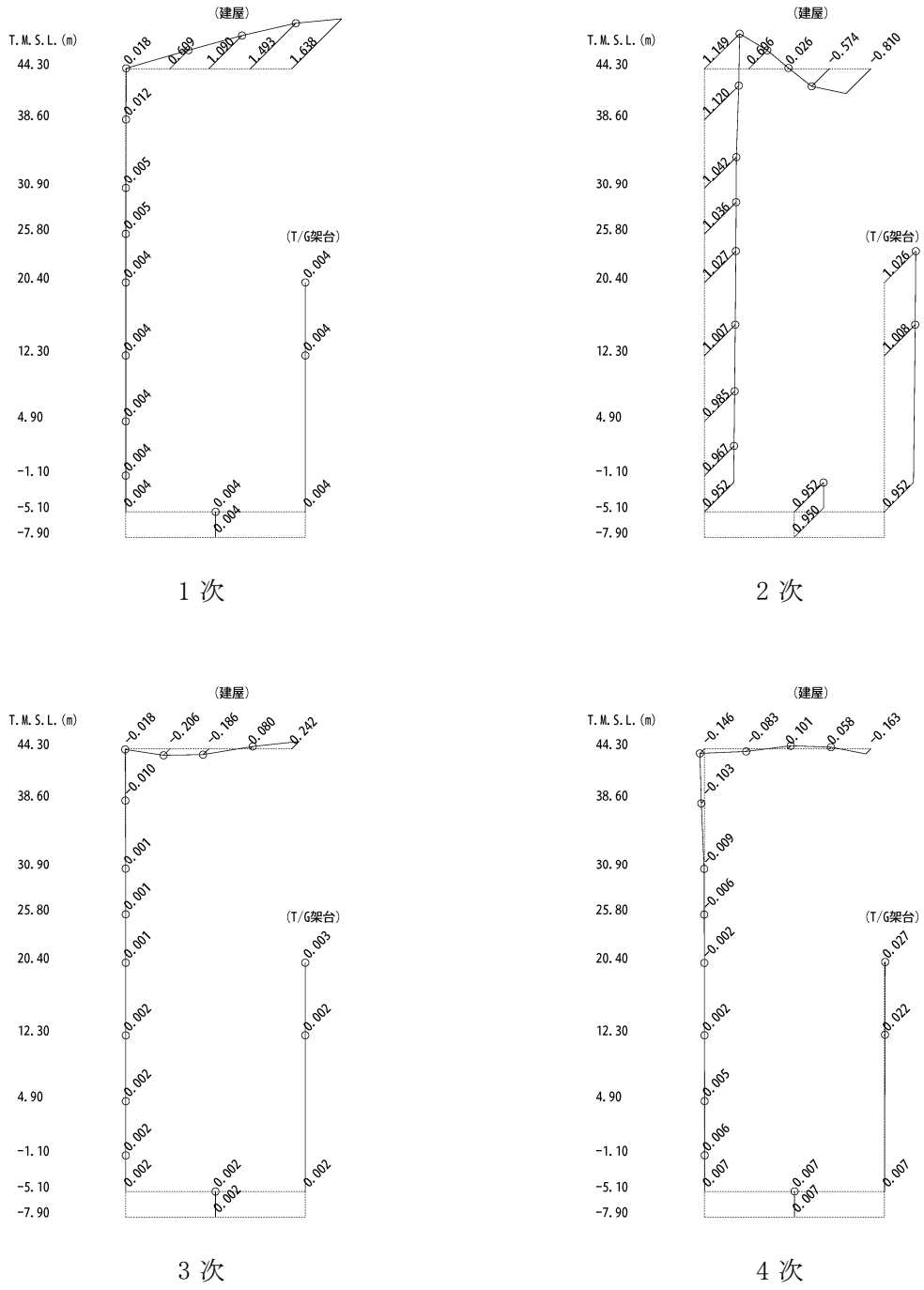
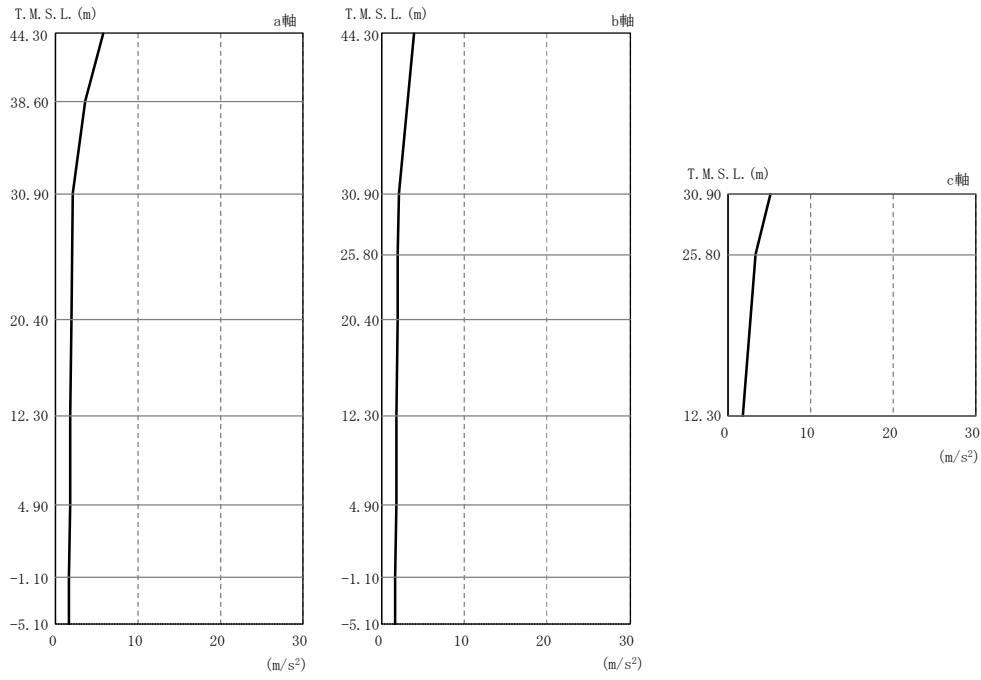
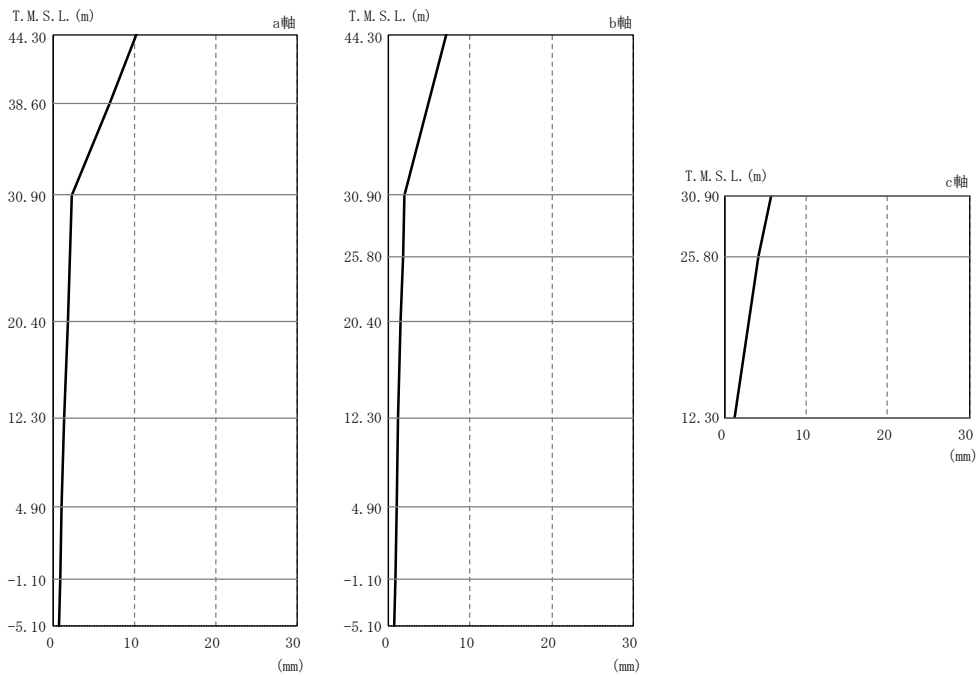


図 4-1 刺激関数図（鉛直方向）（4/4）



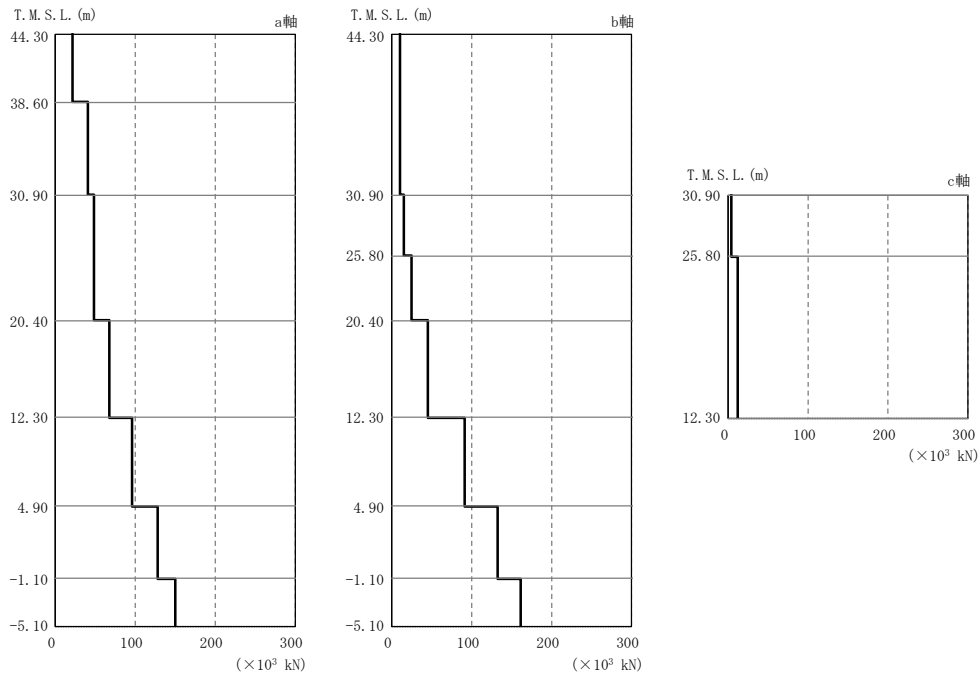
部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s ²)
a 軸	1	5.77
	2	3.62
	3	1.96
	4	1.87
	5	1.78
	6	1.69
	7	1.62
b 軸	19	1.61
	8	3.82
	9	1.97
	10	1.95
	11	1.90
	12	1.80
	13	1.69
c 軸	14	1.64
	15	5.23
	16	3.35

図 4-2 最大応答加速度 (NS 方向)



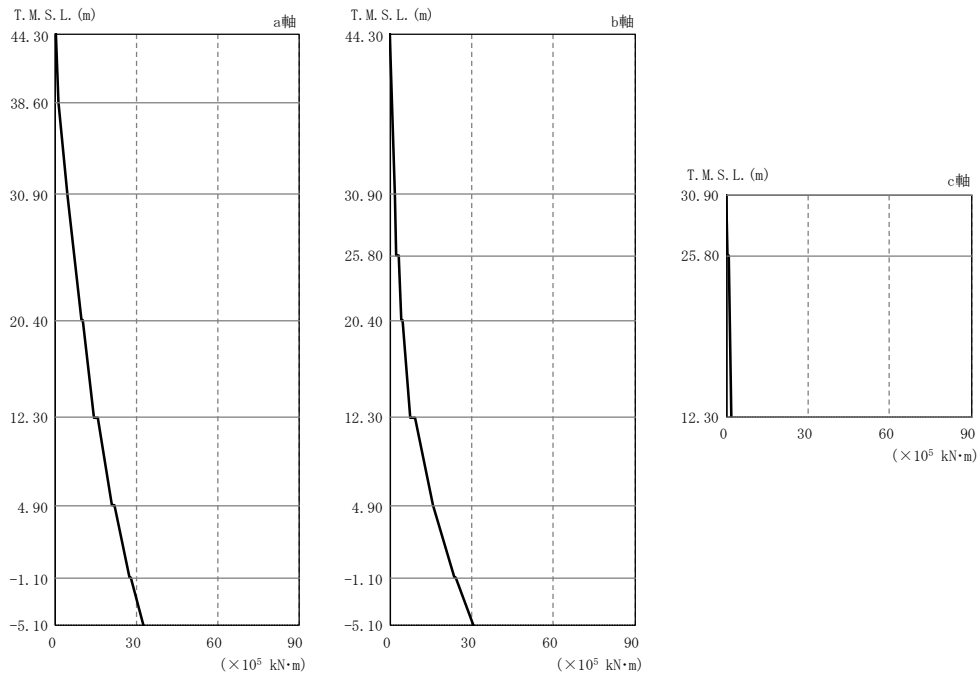
部位	質点番号	最大応答変位 (mm)
a 軸	1	10.2
	2	6.98
	3	2.24
	4	1.75
	5	1.34
	6	1.02
	7	0.765
b 軸	19	0.756
	8	7.01
	9	1.91
	10	1.72
	11	1.50
	12	1.17
	13	0.923
c 軸	14	0.764
	15	5.67
	16	4.09

図 4-3 最大応答変位 (NS 方向)



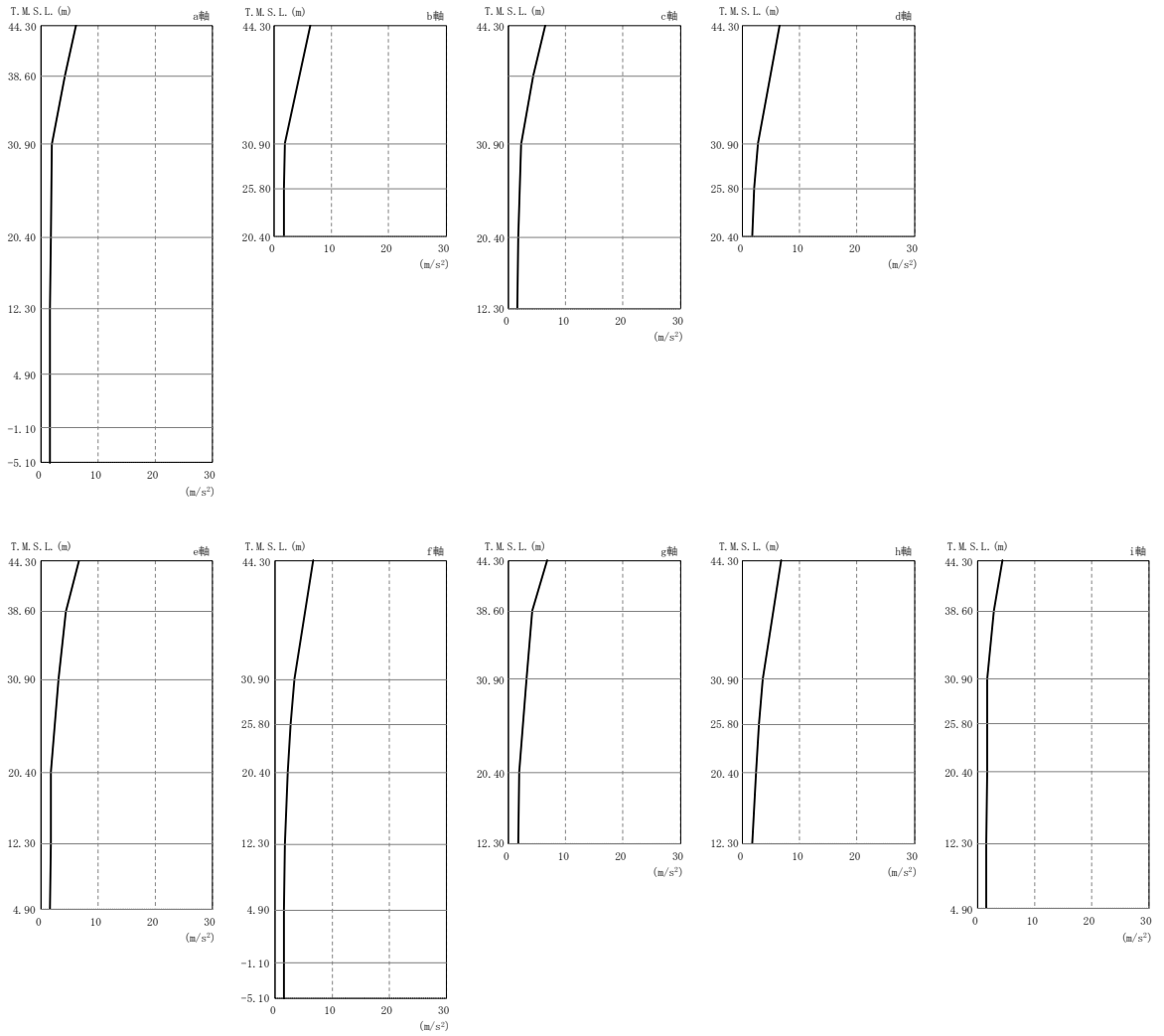
部位	部材番号	最大応答せん断力 ($\times 10^3$ kN)
a 軸	1	22.8
	2	40.7
	3	48.9
	4	68.5
	5	96.9
	6	128
	7	151
b 軸	8	11.3
	9	16.1
	10	25.3
	11	45.8
	12	91.5
	13	132
	14	162
c 軸	15	4.12
	16	11.5

図 4-4 最大応答せん断力 (NS 方向)



部位	部材番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)
a 軸	1	0.0769
		1.32
	2	1.33
		4.47
	3	4.49
		9.59
	4	9.90
	14.5	
	15.5	
	21.1	
	21.7	
	27.4	
	27.7	
	32.7	
b 軸	8	0.0224
		1.52
	9	1.60
		2.36
	10	2.99
		3.97
	11	4.55
	7.20	
	8.96	
	15.6	
	15.9	
	23.7	
	24.1	
	30.4	
c 軸	15	0.00283
		0.209
	16	0.482
	1.76	

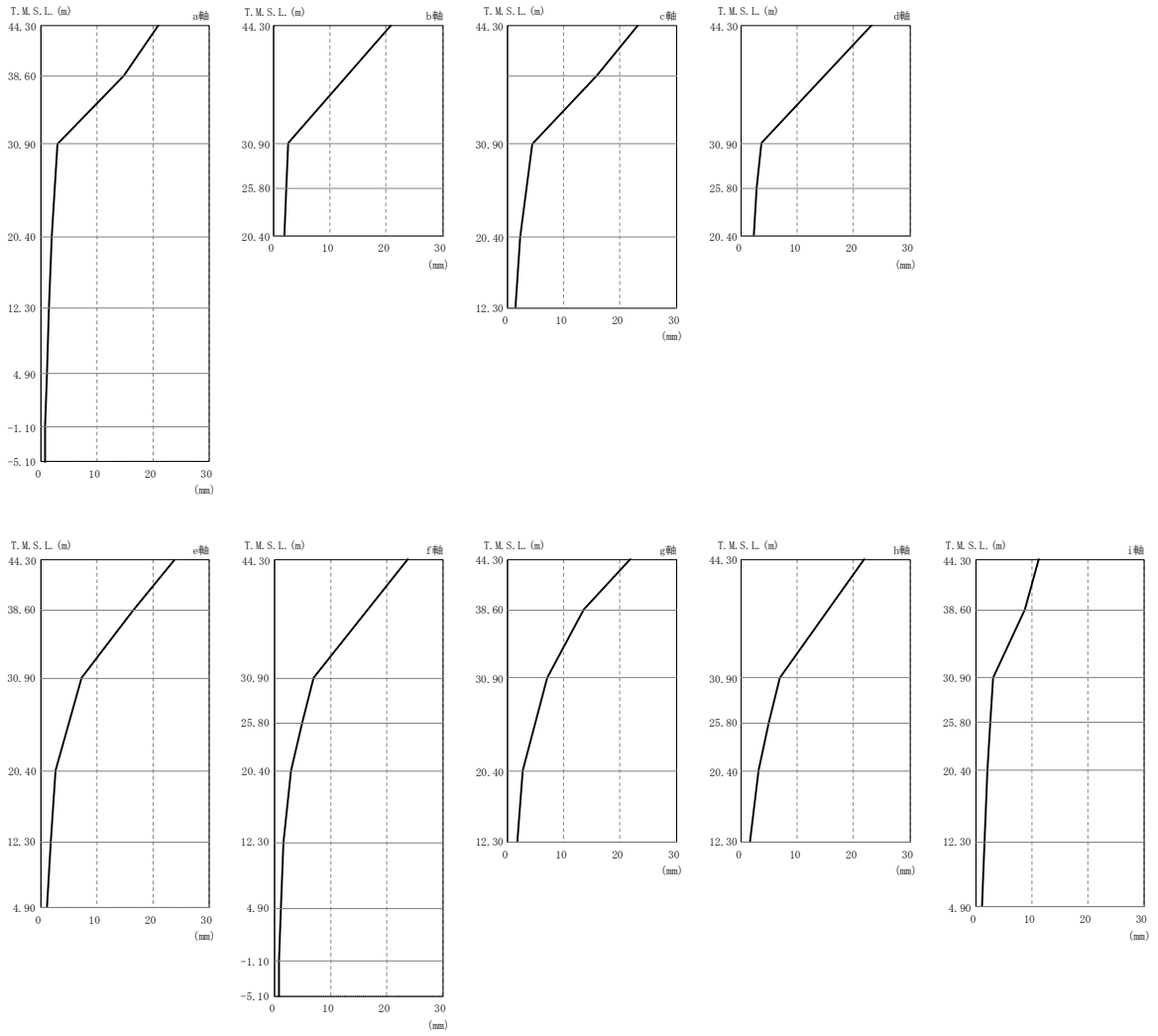
図 4-5 最大応答曲げモーメント (NS 方向)



部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s ²)
a 軸	1	6.22
	2	4.21
	3	1.94
	4	1.67
	5	1.56
	6	1.53
	7	1.51
b 軸	46	1.53
	9	1.80
	10	1.73
c 軸	11	6.36
	12	4.35
	13	2.22
	14	1.71
d 軸	16	2.62
	17	2.06
	18	6.70
e 軸	19	4.34
	20	3.09
	21	1.76
	22	1.66

部位	質点番号	最大応答加速度 (m/s ²)
f 軸	24	3.34
	25	2.77
	26	2.28
	27	1.72
	28	1.55
	29	1.53
g 軸	30	6.80
	31	4.17
	32	3.21
h 軸	33	1.84
	35	3.41
	36	2.86
i 軸	37	2.35
	38	4.34
	39	2.79
	40	1.72
	41	1.66
	42	1.65
43	1.62	

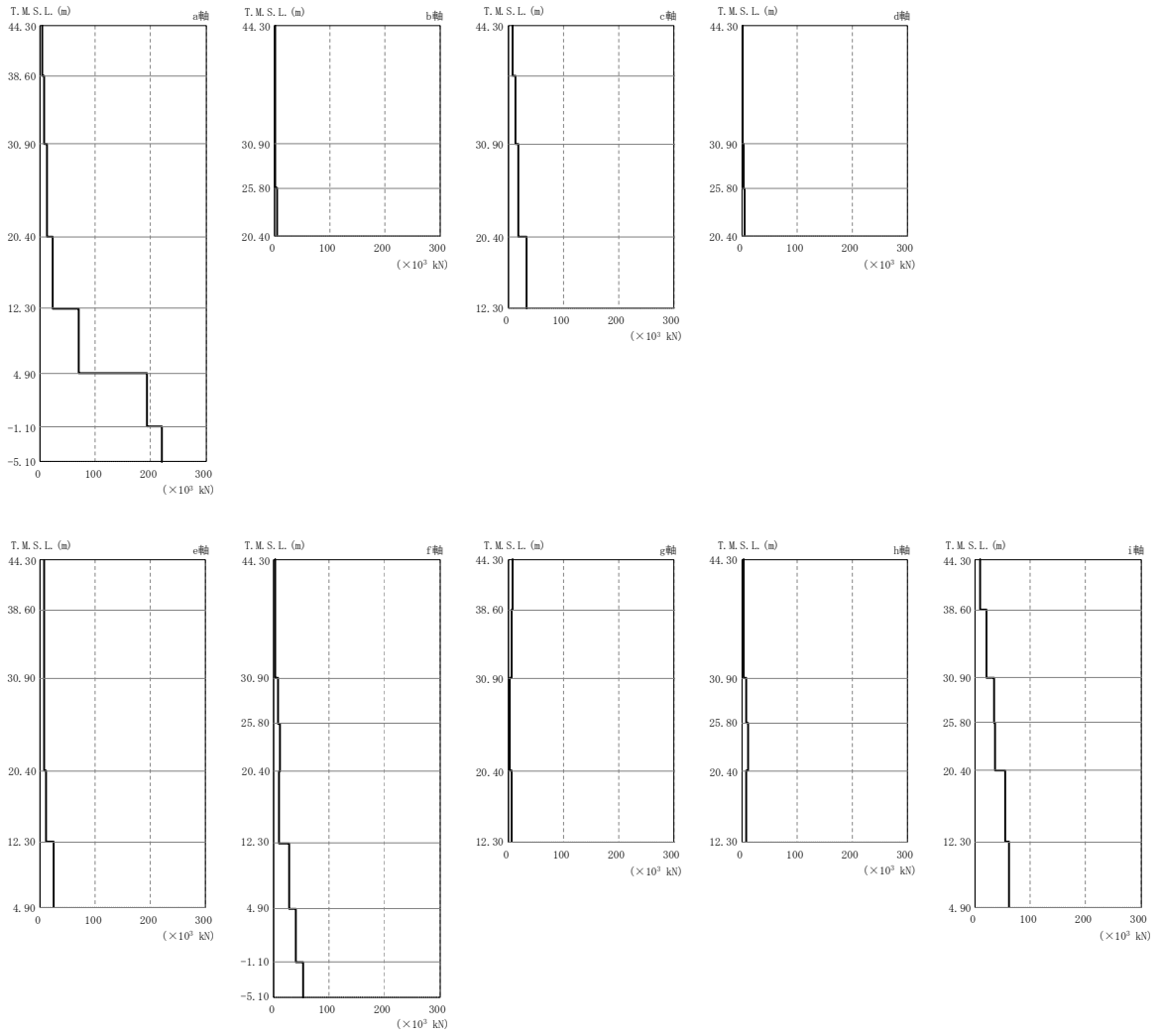
図 4-6 最大応答加速度 (EW 方向)



部位	質点番号	最大応答変位 (mm)
a 軸	1	20.9
	2	14.9
	3	2.92
	4	1.96
	5	1.49
	6	1.05
	7	0.786
b 軸	46	0.749
	9	2.50
	10	2.26
c 軸	11	23.2
	12	15.9
	13	4.49
	14	2.24
d 軸	16	3.62
	17	2.75
	18	23.9
e 軸	19	16.4
	20	7.33
	21	2.60
	22	1.72

部位	質点番号	最大応答変位 (mm)
f 軸	24	6.96
	25	4.95
	26	3.04
	27	1.58
	28	1.17
	29	0.829
g 軸	30	21.8
	31	13.5
	32	7.10
h 軸	33	2.80
	35	6.86
	36	4.85
	37	3.01
i 軸	38	11.3
	39	8.79
	40	3.07
	41	2.61
	42	2.17
	43	1.57

図 4-7 最大応答変位 (EW 方向)

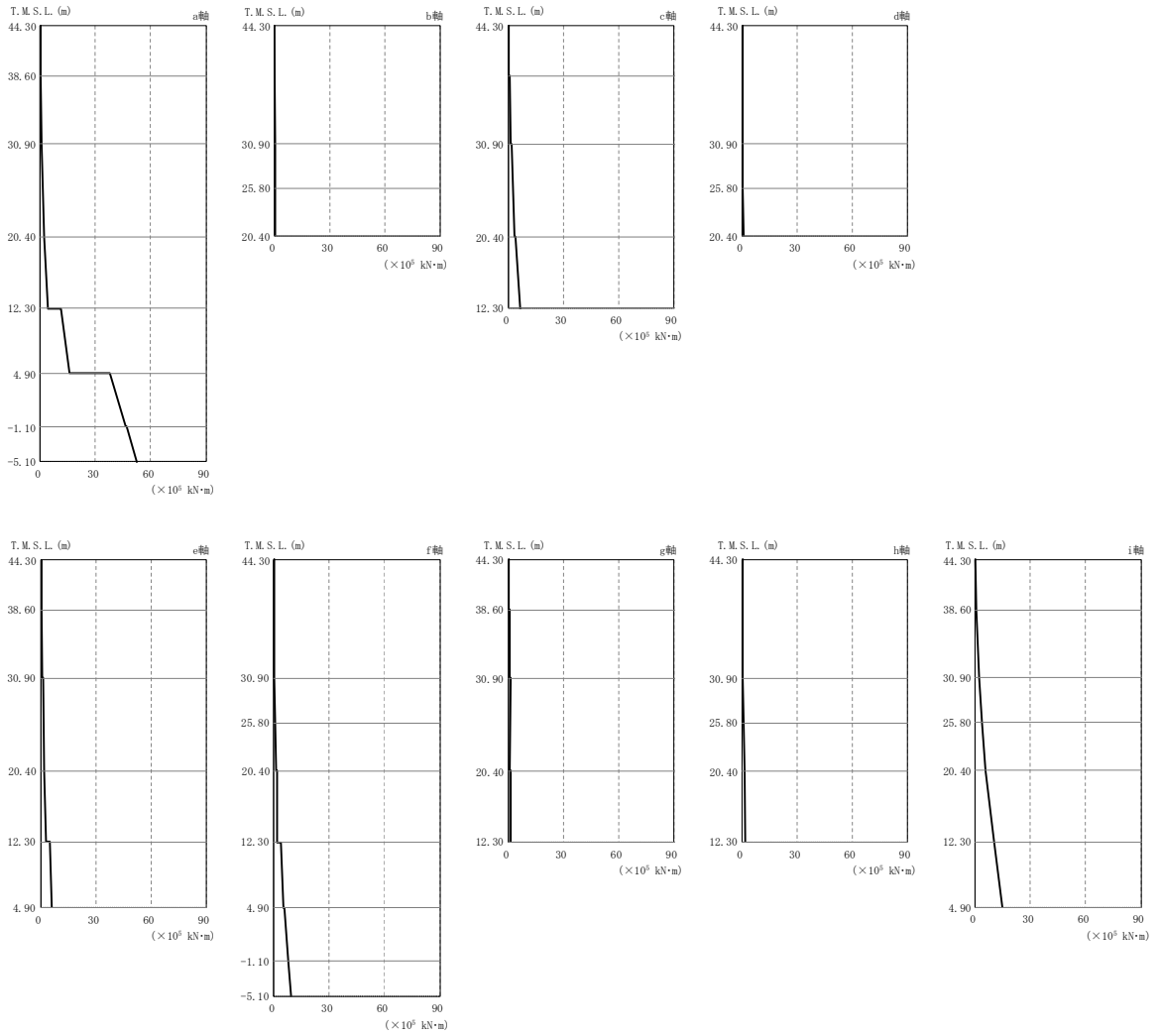


部位	部材番号	最大応答せん断力 ($\times 10^3$ kN)
a 軸	1	3.55
	2	6.89
	3	11.4
	4	22.0
	5	69.0
	6	193
	7	220
b 軸	8	0.703
	9	1.16
	10	4.68
c 軸	11	8.12
	12	12.1
	13	18.1
	14	32.6

部位	部材番号	最大応答せん断力 ($\times 10^3$ kN)
d 軸	15	1.10
	16	1.85
	17	3.79
e 軸	18	7.49
	19	7.26
	20	7.66
	21	11.2
	22	23.2
f 軸	23	1.56
	24	7.47
	25	10.1
	26	8.75
	27	27.4
	28	39.6
	29	52.0

部位	部材番号	最大応答せん断力 ($\times 10^3$ kN)
g 軸	30	7.82
	31	5.70
	32	2.29
	33	6.71
h 軸	34	1.42
	35	7.37
	36	10.2
	37	6.59
i 軸	38	7.96
	39	19.9
	40	34.1
	41	36.5
	42	55.2
	43	61.8

図 4-8 最大応答せん断力 (EW 方向)



部位	部材番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)
a 軸	1	0.00149 0.202
	2	0.203 0.734
	3	0.738 1.92
	4	2.27 4.05
	5	11.1 16.0
	6	37.7 46.4
	7	47.0 52.3
b 軸	8	0.000286 0.0943
	9	0.0946 0.153
	10	0.154 0.405
c 軸	11	0.101 0.497
	12	0.620 1.44
	13	1.61 3.41
	14	4.04 6.65

部位	部材番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)
d 軸	15	0.0640 0.171
	16	0.175 0.266
	17	0.353 0.504
	18	0.145 0.489
e 軸	19	0.610 1.06
	20	1.25 1.81
	21	2.02 2.85
	22	4.86 5.80
	23	0.0000695 0.209
f 軸	24	0.264 0.584
	25	0.607 1.12
	26	1.34 1.63
	27	3.76 5.14
	28	5.59 7.44
	29	7.65 9.39

部位	部材番号	最大応答曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)
g 軸	30	0.154 0.479
	31	0.582 0.911
	32	1.09 0.943
	33	1.35 1.10
h 軸	34	0.0710 0.178
	35	0.308 0.604
	36	0.625 1.11
	37	1.32 1.50
i 軸	38	0.00984 0.457
	39	0.460 1.99
	40	1.99 3.64
	41	3.64 5.46
	42	5.59 10.0
	43	10.3 14.9

図 4-9 最大応答曲げモーメント (EW 方向)

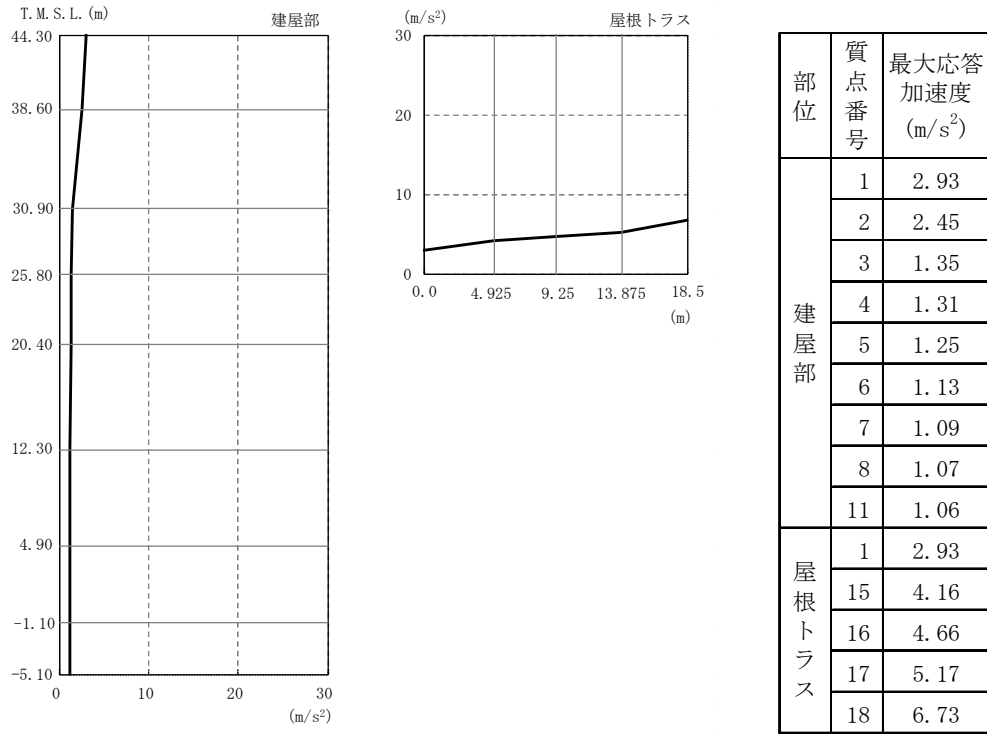


図 4-10 最大応答加速度 (鉛直方向)

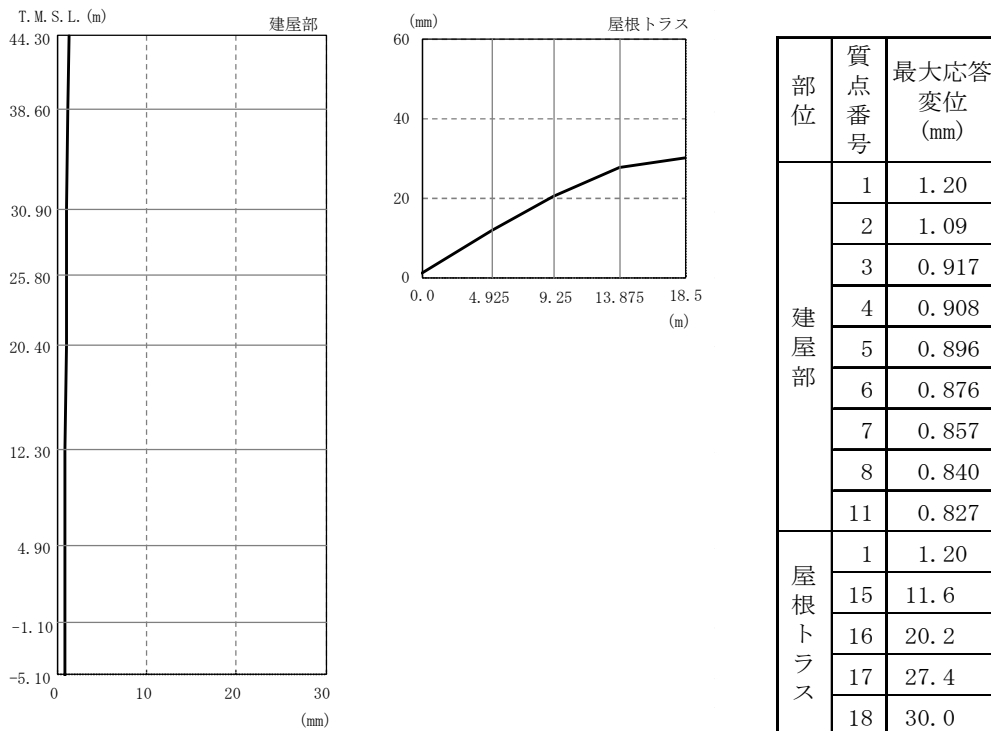
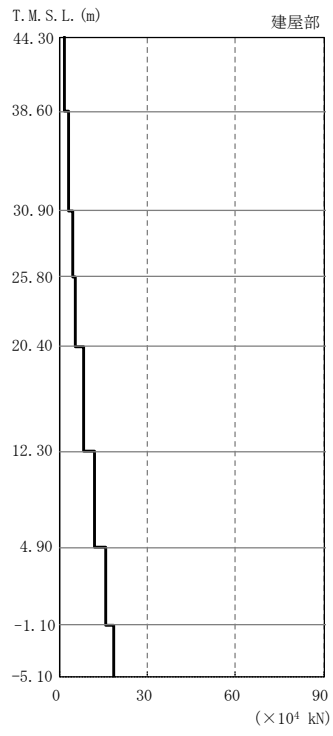


図 4-11 最大応答変位 (鉛直方向)



部位	部材番号	最大応答軸力 ($\times 10^4$ kN)
建屋部	101	1.80
	102	2.91
	103	4.43
	104	5.28
	105	8.39
	106	12.2
	107	15.8
	108	18.6

図 4-12 最大応答軸力 (鉛直方向)

表 4-2 耐震壁の最大せん断ひずみ (1/2)

(a) NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
a 軸	30.9~20.4	3	0.0211	4.0
	20.4~12.3	4	0.0305	
	12.3~4.9	5	0.0333	
	4.9~-1.1	6	0.0397	
	-1.1~-5.1	7	<u>0.0457</u>	
b 軸	30.9~25.8	9	0.0146	
	25.8~20.4	10	0.0193	
	20.4~12.3	11	0.0282	
	12.3~4.9	12	0.0295	
	4.9~-1.1	13	0.0287	
	-1.1~-5.1	14	0.0342	

注：下線部は各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

表 4-2 耐震壁の最大せん断ひずみ (2/2)

(b) EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデルの部材 番号	最大せん断 ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
a 軸	30.9~20.4	3	0.0540	4.0
	20.4~12.3	4	0.0313	
	12.3~4.9	5	0.0380	
	4.9~-1.1	6	0.0402	
	-1.1~-5.1	7	0.0395	
b 軸	30.9~25.8	9	0.0089	
	25.8~20.4	10	0.0220	
c 軸	30.9~20.4	13	0.0621	
	20.4~12.3	14	0.0629	
d 軸	30.9~25.8	16	0.0223	
	25.8~20.4	17	0.0376	
e 軸	30.9~20.4	20	0.0253	
	20.4~12.3	21	0.0233	
	12.3~4.9	22	0.0452	
f 軸	30.9~25.8	24	0.0225	
	25.8~20.4	25	0.0338	
	20.4~12.3	26	0.0291	
	12.3~4.9	27	0.0221	
	4.9~-1.1	28	0.0313	
	-1.1~-5.1	29	0.0433	
g 軸	30.9~20.4	32	0.0076	
	20.4~12.3	33	0.0316	
h 軸	30.9~25.8	35	0.0222	
	25.8~20.4	36	0.0340	
	20.4~12.3	37	0.0339	
i 軸	30.9~25.8	40	<u>0.0874</u>	
	25.8~20.4	41	0.0645	
	20.4~12.3	42	0.0446	
	12.3~4.9	43	0.0465	

注：下線部は各階の最大せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

表 4-3 鉄骨の層間変形角

(a) NS 方向

部位	T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデル部材番号	層間変形角	許容限界
a軸	44.3~38.6	1	1/1750	1/30
	38.6~30.9	2	<u>1/1430</u>	
b軸	44.3~30.9	8	1/2420	
c軸	30.9~25.8	15	1/2780	

注：下線部は各階の層間変形角のうち最も大きい値を表示。

(b) EW 方向

部位	T. M. S. L. (m)	地震応答解析 モデル部材番号	層間変形角	許容限界
a軸	44.3~38.6	1	1/941	1/30
	38.6~30.9	2	1/643	
b軸	44.3~30.9	8	1/710	
c軸	44.3~38.6	11	1/770	
	38.6~30.9	12	1/670	
d軸	44.3~30.9	15	1/675	
e軸	44.3~38.6	18	1/659	
	38.6~30.9	19	1/776	
f軸	44.3~30.9	23	<u>1/593</u>	
g軸	44.3~38.6	30	1/653	
	38.6~30.9	31	1/946	
h軸	44.3~30.9	34	1/651	
i軸	44.3~38.6	38	1/1920	
	38.6~30.9	39	1/1200	

注：下線部は各階の層間変形角のうち最も大きい値を表示。

表 4-4 地震応答解析結果に基づく接地率

方向	最大接地圧 (kN/m ²)	最大転倒モーメント (×10 ⁶ kN・m)	最小接地率 (%)
NS 方向	402	7.78	100
EW 方向	414	7.95	100

VI-3-別添 2-6 コントロール建屋の強度計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1-4「コントロール建屋の強度計算の方針」に示すとおり、コントロール建屋が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能、放射線の遮蔽機能及び放射性物質の閉じ込め機能の維持を考慮して、建屋全体及び建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

コントロール建屋の構造健全性に関する説明は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の V-3-別添 2-6「コントロール建屋の強度計算書」による。

VI-3-別添 2-7 廃棄物処理建屋の強度計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-1-5「廃棄物処理建屋の強度計算の方針」に示すとおり、廃棄物処理建屋が降下火砕物及び積雪の堆積時においても、内包する防護すべき施設に降下火砕物を堆積させない機能、放射線の遮蔽機能及び放射性物質の閉じ込め機能の維持を考慮して、建屋全体及び建屋の主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

廃棄物処理建屋の構造健全性に関する説明は、令和 2 年 10 月 14 日付け原規規発第 2010147 号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設計及び工事の計画の V-3-別添 2-7「廃棄物処理建屋の強度計算書」による。

VI-3-別添 2-8 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の
強度計算書

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	5
2.4 適用規格	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の定義	7
3.2 評価対象部位	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	9
3.4 許容限界	11
3.5 評価方法	12
4. 評価条件	21
5. 強度評価結果	22

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板が降下火砕物等の堆積時においても、外部事象防護対象施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認するものである。

2. 基本方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の軽油タンクエリアに設置する。軽油タンクエリアの位置図を図 2-1 に示す。

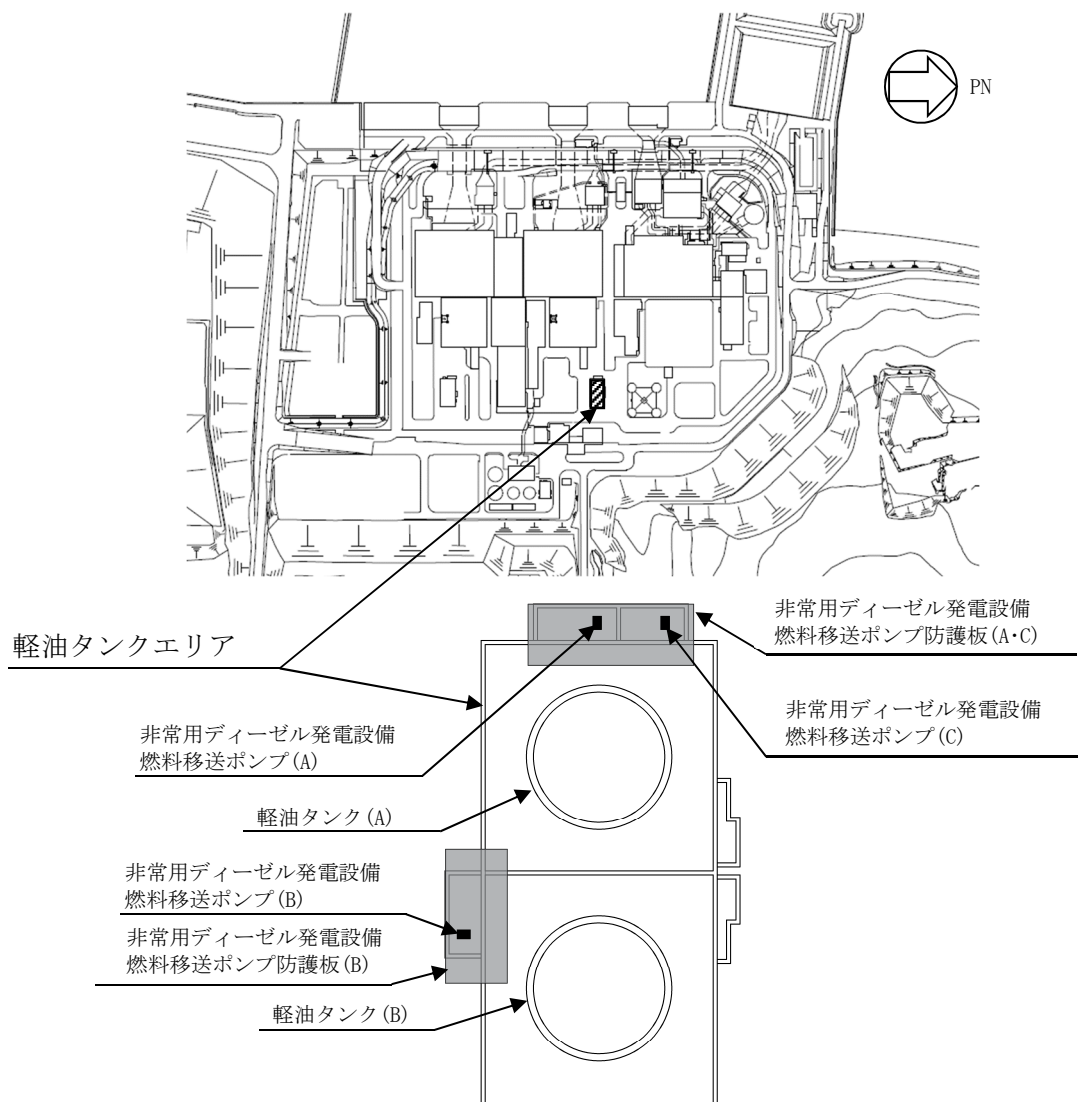


図 2-1 軽油タンクエリアの位置図

2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプに降下火砕物等が堆積することを防止する防護鋼板、防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する柱脚から構成される。非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の概要図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

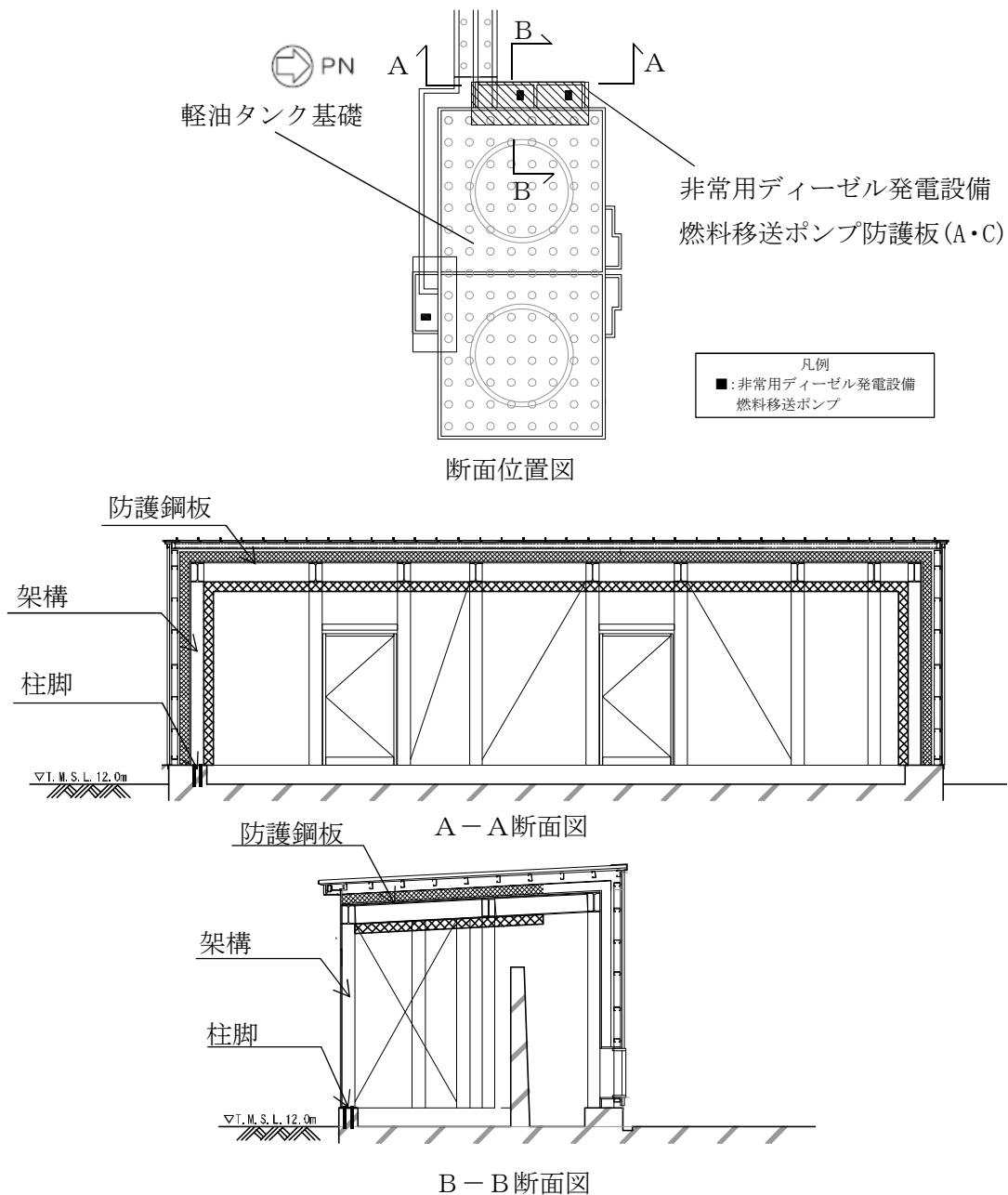
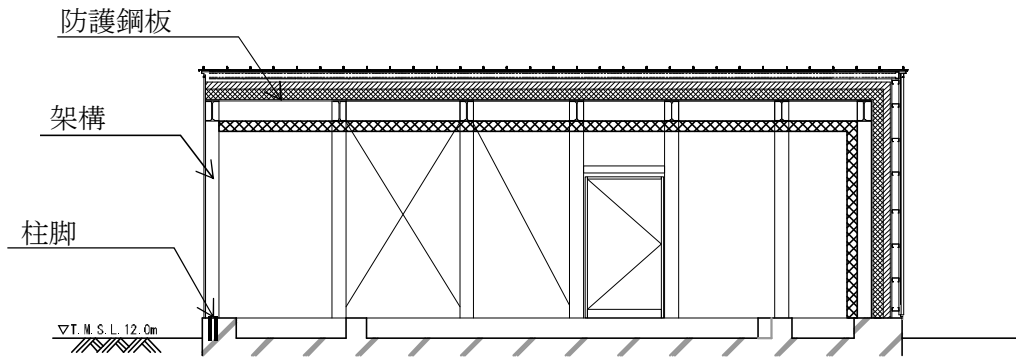
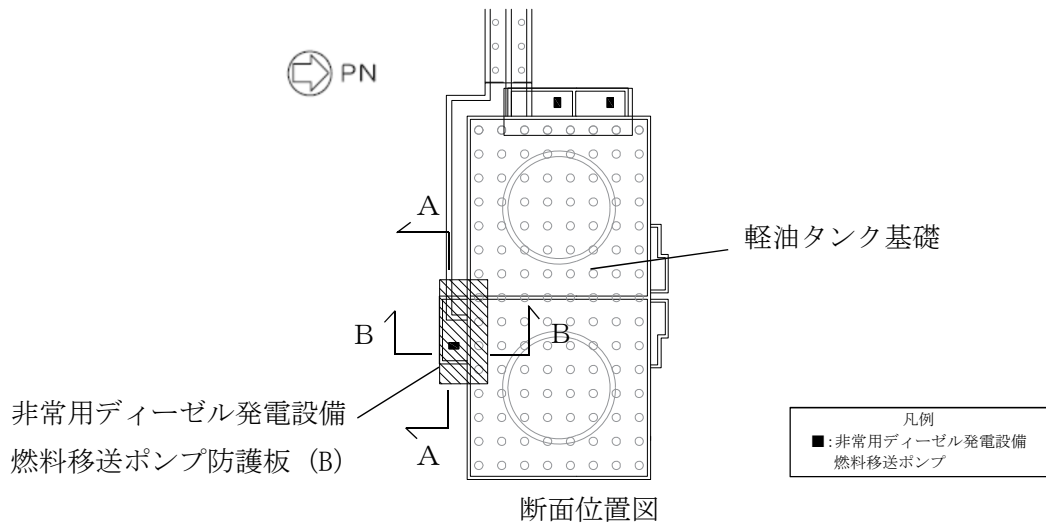
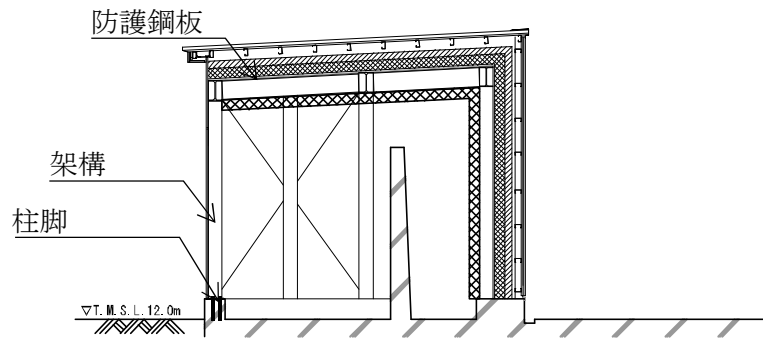


図 2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板 (A・C) の概要図



A-A断面図



B-B断面図

図 2-3 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(B)の概要図

2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価は、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価フローを図 2-4 に示す。非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、建築基準法施行令第 86 条に基づき、防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出する。強度評価においては、降下火砕物等が堆積する防護鋼板については、等分布荷重が作用する長方形板として評価を行う。また、架構及び柱脚は、3次元静的線形応力解析により構成部材に対する発生荷重及び発生モーメントを算定する。許容限界は、防護鋼板、架構及び柱脚共に、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.2. 許容限界」に示す許容限界である、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（日本建築学会，2005 年改定）」（以下「S 規準」という。）に基づく短期許容応力度とする。

なお、本強度評価においては水平 2 方向の地震力を考慮する。水平 2 方向の地震力を組み合わせる際に考慮する地震荷重は、水平 2 方向（NS 方向及び EW 方向）と鉛直方向（UD 方向）とする。3 方向地震荷重の組合せは簡便で保守的な手法である「絶対値の和」を用いた評価により実施する。

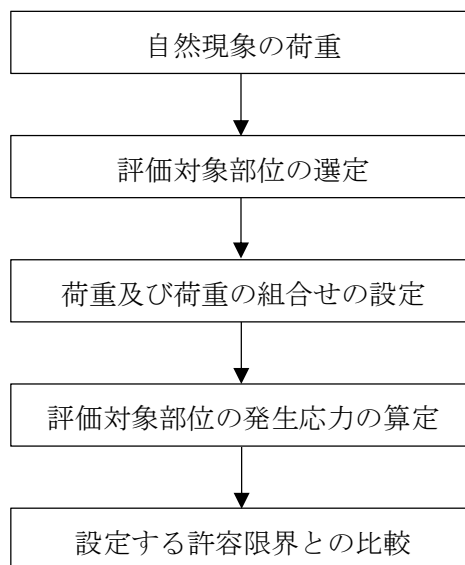


図 2-4 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，規準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー（日本建築学会，2005 年改定）
- ・ 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）
- ・ 挿入型鉄筋定着工法「Post-Head-Anchor 工法」（BCJ 評定-SS0030-03）（日本建築センター）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，1999 年）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年改定）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A	mm ²	単位面積当たりの断面積
A _g	mm ²	部材の断面積
A _w	mm ²	部材のウェブ断面積
A _F	mm ²	部材のフランジ断面積
F	N/mm ²	鋼材の基準強度
a _s	mm ²	基礎ボルトの断面積
f _b	N/mm ²	短期許容曲げ応力度
f _{b x (y)}	N/mm ²	X(Y) 方向の短期許容曲げ応力度
f _{c (t)}	N/mm ²	短期許容圧縮 (引張) 応力度
f _{t s}	N/mm ²	基礎ボルト (タイプ A) の短期許容引張応力度
f _s	N/mm ²	短期許容せん断応力度
L _{x (y)}	m	防護鋼板の短辺 (長辺) の長さ
M	N・mm	曲げモーメント
M _{l (2)}	N・mm	図 3-2 に基づく M _x (M _y) の値
M _{x (y)}	N・mm	X(Y) 方向の曲げモーメント
N	N	軸力
p	N/m ²	等分布荷重
Q	N	せん断力
Q _{x (y)}	N	X(Y) 方向のせん断力
Q _{DS}	N	基礎ボルト 1 本に負担させる設計用せん断力
Q _{ac}	kN	基礎ボルト (タイプ A) 1 本あたりの短期許容せん断力
q _{ac}	kN	基礎ボルト (タイプ B) 1 本あたりの短期許容せん断力
t	mm	部材の厚さ
T _{DS}	N	基礎ボルト 1 本に負担させる引張り力
t _{ac}	kN	基礎ボルト (タイプ B) 1 本あたりの短期許容引張り力
Z	mm ³	断面係数
Z _{x (y)}	mm ³	X(Y) 方向の断面係数

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
σ_b	N/mm ²	曲げ応力度
$\sigma_{bx(y)}$	N/mm ²	X(Y)方向の曲げ応力度
$\sigma_c(t)$	N/mm ²	圧縮(引張)応力度
σ_{ts}	N/mm ²	基礎ボルトの設計用引張応力度
$\sigma_x(y)$	N/mm ²	X(Y)方向に作用する曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
$\tau_{1(2)}$	N/mm ²	X(Y)方向のせん断応力度
τ_{ts}	N/mm ²	基礎ボルトの設計用せん断応力度

3.2 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位は、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、防護鋼板、架構及び柱脚とする。架構については、構成部材であるはり、柱及びブレースの各部材に対して評価を実施し、柱脚については、構成部材であるベースプレート及び基礎ボルトの各部材に対して評価を実施する。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物等が堆積する防護鋼板に作用する。また、地震荷重は、架構を介して柱脚に作用する。

このことから、防護鋼板、架構及び柱脚を評価対象部位として設定している。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

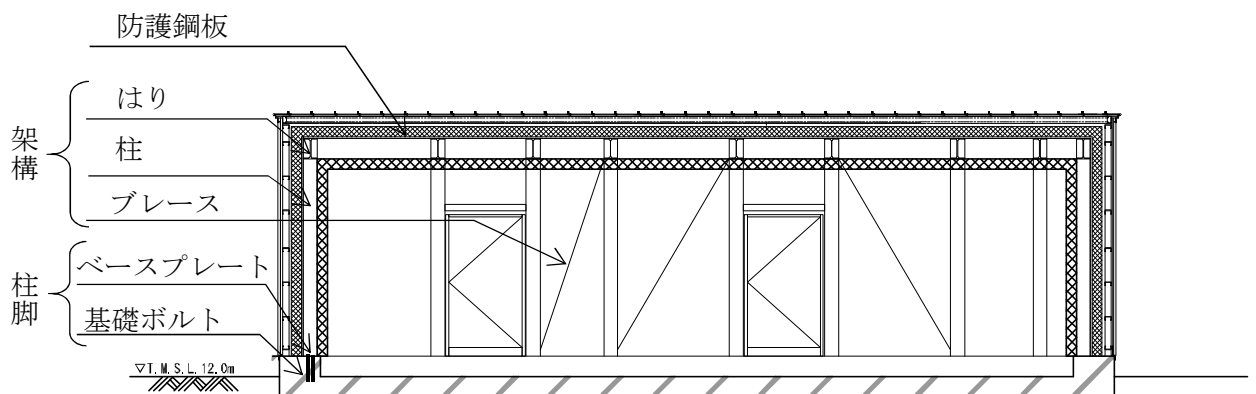


図 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、固定荷重及び積載荷重を考慮する。

b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 (F_{vk} , F_{vs})

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は、 $F_{vk} = 6063\text{N/m}^2$, $F_{vs} = 8542\text{N/m}^2$ とする。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は、軽油タンク基礎の 2 次元 FEM モデルに対して、年超過確率 10^{-2} 相当地震動を入力して算出した軽油タンク基礎版上の加速度応答スペクトルと架構の固有周期 (A・C) 水平 (NS) : 0.098 (s), 水平 (EW) : 0.101 (s), 鉛直 : 0.020 (s), (B) 水平 (NS) : 0.091 (s), 水平 (EW) : 0.088 (s), 鉛直 : 0.020 (s)) に対応した保守的な設定として、設計震度 $C_H = 0.50$, $C_V = 0.40$ を用いて算出する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価対象部位ごとに設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の防護鋼板には、固定荷重、積載荷重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の架構及び柱脚には、固定荷重、積載荷重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位		荷重
非常用 ディーゼル 発電設備 燃料移送 ポンプ 防護板	防護鋼板		①固定荷重，積載荷重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
	架構	はり	①固定荷重，積載荷重
		柱	②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
		ブレース	③地震荷重
	柱脚	ベースプレート	①固定荷重，積載荷重
基礎ボルト		②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重	

3.4 許容限界

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界値は、VI-3-別添 2-2-1「非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、S 規準に基づく短期許容応力度を用いる。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界について、表 3-3 から表 3-5 に示す。

表 3-3 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界（鋼材）

評価部位	材料 (寸法:mm)	基準強度 F (N/mm ²)	短期	
			引張り (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
防護鋼板, 架構 (はり, 柱, ブ レース)	SS400 (t ≤ 40)	235	235	135
柱脚 (ベースプレー ト)	SN490B (t ≤ 40)	325	325	187

表 3-4 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界（鉄筋）

評価部位		材料	短期	
			引張りおよび 圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
柱脚 (基礎ボルト)	タイプ A	SD390	390	390
	タイプ B	SD345	345	345

表 3-5 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の許容限界（コンクリート）

評価部位		材料	短期		
			圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	付着 (N/mm ²)
柱脚 (基礎ボルト)	タイプ A	F _c 23.5	15.6	1.08	1.48
	タイプ B				

3.5 評価方法

等分布荷重による評価と3次元静的線形応力解析による評価を行う。

(1) 荷重条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の荷重条件を表3-6に示す。

表3-6 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の荷重条件

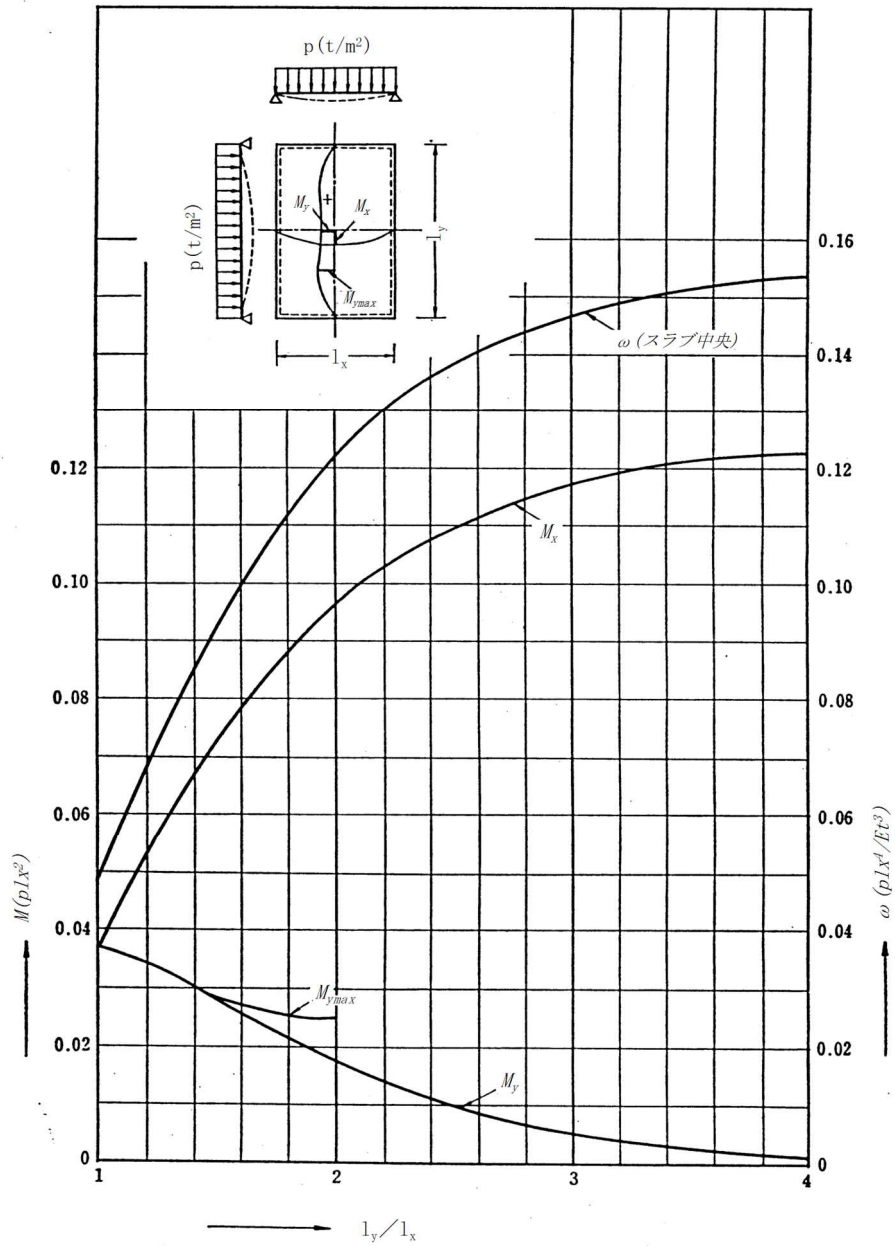
荷重条件	入力荷重 (N/m ²)
従荷重として地震荷重を組み合わせるときの の降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F_{V_k}	6063
従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの の降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F_{V_s}	8542

(2) 等分布荷重による評価

防護鋼板の強度評価は等分布荷重により評価を行う。

a. 計算モデル

等分布荷重による評価を行う防護鋼板の強度評価は、長方形板（四辺単純支持）モデルとする。応力計算においては「建築構造学大系 11 巻，平板構造（彰国社，1970）」における等分布荷重時四辺単純支持スラブの曲げモーメントとたわみの図表を用いる。等分布荷重による評価に用いるモデル図を図3-2に示す。



(建築構造学大系 11 卷, 平板構造 (彰国社, 1970) より引用)

図 3-2 等分布荷重による評価に用いる計算モデル図 (長方形板 (四辺単純支持) モデル)

b. 防護鋼板に生じる応力度

(a) 曲げ応力度

$$\sigma_x = \frac{M_x}{Z_x}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{Z_y}$$

$$M_x = M_1 \cdot p \cdot L_x^2$$

$$M_y = M_2 \cdot p \cdot L_y^2$$

(b) せん断応力度

$$\tau = \frac{Q_y}{A}$$

(3) 3次元静的線形応力解析による評価

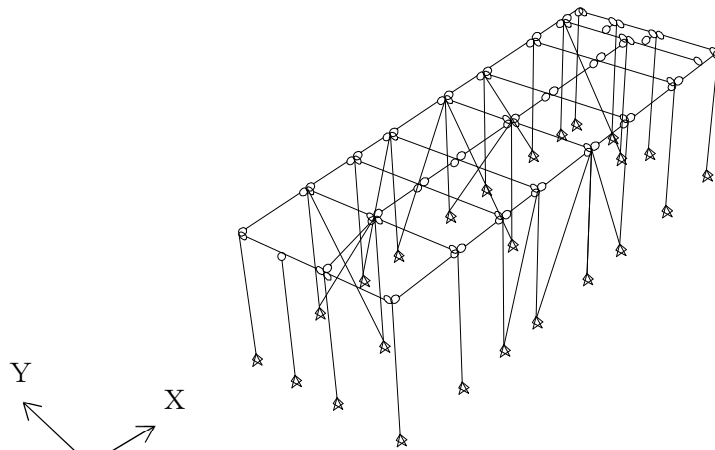
架構及び柱脚は3次元静的線形応力解析にて評価を行う。

3次元静的線形応力解析に使用する解析コードは「Super Build/SS3」である。

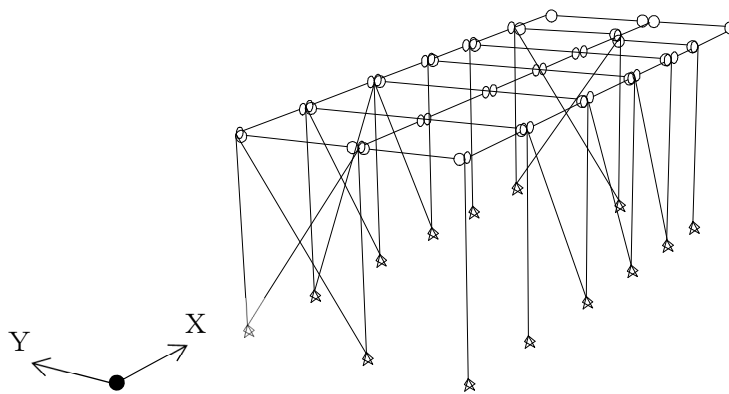
なお、評価に用いる解析コードSuper Build/SS3の検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 計算モデル

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の3次元静的線形応力解析に用いるモデル図を図3-3に示す。



a) 解析に用いるモデル図(A・C)



b) 解析に用いるモデル図(B)

条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

注：鉛直ブレースの両端部はピン接合とする。

図3-3 3次元静的線形応力解析に用いるモデル図

b. 3次元静的線形応力解析による評価における計算方法

(a) 架構の応力

イ. はりに生じる応力度

(イ) 引張応力度又は圧縮応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}, \quad \sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

(ロ) せん断応力度

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

(ハ) 曲げ応力度

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

ロ. 柱に生じる応力度

(イ) 引張応力度又は圧縮応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}, \quad \sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

(ロ) せん断応力度

$$\tau_1 = \frac{Q_x}{A_w}, \quad \tau_2 = \frac{Q_y}{A_F}$$

(ハ) 曲げ応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M}{Z_x}, \quad \sigma_{by} = \frac{M}{Z_y}$$

ハ. ブレースに生じる応力度

(イ) 引張応力度

$$\sigma_t = \frac{N}{A_g}$$

(ロ) 圧縮応力度

$$\sigma_c = \frac{N}{A_g}$$

(b) 柱脚の応力

イ. ベースプレートに生じる応力度

ベースプレートの応力度は、架構の応力算出に用いた3次元静的線形応力解析結果における柱脚部の支点反力と、基礎ボルトと柱軸芯間の距離から計算される曲げモーメントを用いて算出する。

(イ) 曲げ応力度

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

ロ. 基礎ボルトに生じる応力度

基礎ボルトに生じる応力度は、架構の応力算出に用いた3次元静的線形応力解析結果における柱脚部の支点反力から算出する。

(イ) せん断応力度

$$\tau_{ts} = \frac{Q_{DS}}{a_s}$$

(ロ) 引張応力度

$$\sigma_{ts} = \frac{T_{DS}}{a_s}$$

(4) 強度評価方法

a. 防護鋼板の応力評価

「(2)b. 防護鋼板に生じる応力度」で定めた組合せ応力度が、表 3-7 に示す評価条件を満たすこと。

表 3-7 防護鋼板の許容応力度

評価部位	応力	単位	評価条件
防護鋼板	組合せ	N/mm ²	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 3\tau^2} \leq f_t$

b. 架構の応力評価

「(3)b. (a)イ. はりに生じる応力度」, 「(3)b. (a)ロ. 柱に生じる応力度」及び「(3)b. (a)ハ. ブレースに生じる応力度」で求めたはり, 柱及びブレースに生じる各応力が, 表 3-8 に示す評価条件を満たすこと。

表 3-8 架構の応力評価

評価部位	応力	単位	評価条件
はり	曲げ	N/mm ²	$\sigma_b \leq f_b$
	圧縮	N/mm ²	$\sigma_c \leq f_c$
	せん断	N/mm ²	$\tau \leq f_s$
	組合せ (曲げ+軸力)	—	$\frac{\sigma_b}{f_b} + \frac{\sigma_{c(t)}}{f_{c(t)}} \leq 1.0$
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	N/mm ²	$\sqrt{(\sigma_b + \sigma_t)^2 + 3\tau^2} \leq f_t$
柱	曲げ	N/mm ²	$\sigma_b \leq f_b$
	引張り/圧縮	N/mm ²	$\sigma_c \leq f_c$ (圧縮時) $\sigma_t \leq f_t$ (引張り時)
	せん断	N/mm ²	$\tau_{1(2)} \leq f_s$
	組合せ (曲げ+軸力)	—	$\frac{\sigma_{bx}}{f_{bx}} + \frac{\sigma_{by}}{f_{by}} + \frac{\sigma_{c(t)}}{f_{c(t)}} \leq 1.0$
	組合せ (曲げ+せん断 +軸力)	N/mm ²	$\max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{bx} + \sigma_c)^2 + 3\tau_1^2} \\ \sqrt{(\sigma_{by} + \sigma_c)^2 + 3\tau_2^2} \end{array} \right\} \leq f_t$
ブレース	引張り/圧縮	N/mm ²	$\sigma_c \leq f_c$ (圧縮時) $\sigma_t \leq f_t$ (引張り時)

c. 柱脚の応力評価

「(3)b. (b)イ. ベースプレートに生じる応力度」及び「(3)b. (b)ロ. 基礎ボルトに生じる応力度」で求めたベースプレート及び基礎ボルトに生じる各応力が、表 3-9 に示す評価条件を満たすこと。

表 3-9 柱脚の評価条件

評価部位	応力	単位	評価条件	
ベースプレート	曲げ	N/mm ²	$\sigma_b \leq f_b$	
基礎ボルト	タイプ A	引張応力度	N/mm ²	$\sigma_{ts} \leq f_{ts}$
		せん断応力度	N/mm ²	$\tau_{ts} \leq f_{ts}/\sqrt{3}$
		せん断力	kN	$Q_{DS} \leq Q_{ac}$
		組合せ (引張応力度)	N/mm ²	$\sigma_{ts} \leq 1.2 \cdot f_{ts} - \sqrt{3} \cdot \tau_{ts}$
		組合せ (せん断力)	kN	$Q_{DS} \leq (1.2 - \sigma_{ts}/f_{ts}) \cdot Q_{ac}$
	タイプ B	引張り力	kN	$T_{DS} \leq t_{ac}$
		せん断力	kN	$Q_{DS} \leq q_{ac}$
		組合せ	—	$\left(\frac{T_{DS}}{t_{ac}}\right)^2 + \left(\frac{Q_{DS}}{q_{ac}}\right)^2 \leq 1.0$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-1 から表 4-4 に示す。評価条件は非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板 (A・C), (B)ともに同一である。

表 4-1 評価条件 (防護鋼板)

部材	材料	A (mm ²)	Z (mm ³)
PL-22	SS400	22000	887000

表 4-2 評価条件 (架構)

部位	部材	材料	A _g (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	A _w (mm ²)	
はり	H-294×200×8×12	SS400	7110	7.56×10 ⁵	1.60×10 ⁵	2160	
柱	H-200×200×8×12	SS400	6350	4.72×10 ⁵	1.60×10 ⁵	1408	
	BH-200×200×9×16	SS400	7912	5.78×10 ⁵	2.13×10 ⁵	1512	
ブレース	水平	L-100×100×13	SS400	2430	—	—	—
		PL _s -105×12	SS400	1260	—	—	—
	鉛直	[-150×75×6.5×10	SS400	2370	—	—	—
		[-150×75×9×12.5	SS400	3060	—	—	—
		[-200×90×8×13.5	SS400	3870	—	—	—

表 4-3 評価条件 (柱脚(ベースプレート))

部材	材料	t (mm)
PL-36	SN490B	36

表 4-4 評価条件 (柱脚(基礎ボルト))

タイプ	鉄筋径	材料	A _a (mm ²)
タイプ A	D29	SD390	642
タイプ B	D25	SD345	507

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時における強度評価結果を表5-1及び表5-2に示す。

防護鋼板、架構及び柱脚に発生する応力度は許容応力度以下である。

表5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果
(ケース1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (1/2)

施設名称 (系統名)	評価部位		材料	応力	発生応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(A・C)	防護鋼板		SS400	組合せ	47	235	
	架構	はり	SS400	曲げ	56	235	
				圧縮	28	215	
				せん断	18	135	
				組合せ*1 (曲げ+軸力)	0.33	1.0	
				組合せ (曲げ+せん断+軸力)	66	235	
		柱	SS400	曲げ	0	235	
				圧縮	42	185	
				せん断	0	135	
				組合せ*1 (曲げ+軸力)	0.23	1.0	
				組合せ (曲げ+せん断+軸力)	42	235	
	ブレース	水平	SS400	引張り	77	235	
		鉛直	SS400	圧縮	43	132	
	柱脚	ベースプレート		SN490B	曲げ	177	325
		基礎 ボルト	タイプA	SD390	引張応力度	89	390
					せん断応力度	52	225
					せん断力*2	24	107
					組合せ (引張応力度)	89	412
					組合せ*2 (せん断力)	24	112

注記*1 : 検定比による結果を示す。

*2 : 単位はkNとする。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果
(ケース 1 : 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (2/2)

施設名称 (系統名)	評価部位		材料	応力	発生応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(B)	防護鋼板		SS400	組合せ	49	235	
	架構	はり	SS400	曲げ	108	235	
				圧縮	30	206	
				せん断	36	135	
				組合せ*1 (曲げ+軸力)	0.46	1.0	
				組合せ (曲げ+せん断+軸力)	125	235	
		柱	SS400	曲げ	141	235	
				圧縮	33	184	
				せん断	18	135	
				組合せ*1 (曲げ+軸力)	0.77	1.0	
				組合せ (曲げ+せん断+軸力)	145	235	
	ブレース	水平	SS400	引張り	74	235	
		鉛直	SS400	圧縮	39	129	
	柱脚	ベースプレート		SN490B	曲げ	136	325
		基礎 ボルト	タイプA	SD390	引張応力度	94	390
					せん断応力度	54	225
					せん断力*2	24	107
					組合せ (引張応力度)	94	424
					組合せ*2 (せん断力)	24	114
		タイプB	SD345	引張り力*2	36	116	
せん断力*2				13	81		
組合せ*1	0.13			1.0			

注記*1 : 検定比による結果を示す。

*2 : 単位はkNとする。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果
(ケース 2 : 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (1/2)

施設名称 (系統名)	評価部位		材料	応力	発生応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(A・C)	防護鋼板		SS400	組合せ	34	235	
	架構	はり		SS400	曲げ	43	235
					圧縮	13	215
					せん断	14	135
					組合せ* ¹ (曲げ+軸力)	0.24	1.0
					組合せ (曲げ+せん断+軸力)	50	235
		柱		SS400	曲げ	0	235
					圧縮	12	180
					せん断	0	135
					組合せ* ¹ (曲げ+軸力)	0.07	1.0
					組合せ (曲げ+せん断+軸力)	12	235
	ブレース	水平	SS400	引張り	—* ²	—* ²	
		鉛直	SS400	圧縮	5	139	
	柱脚	ベースプレート		SN490B	曲げ	13	325
		基礎 ボルト	タイプA	SD390	引張応力度	—* ²	—* ²
					せん断応力度	—* ²	—* ²
					せん断力	—* ²	—* ²
					組合せ (引張応力度)	—* ²	—* ²
組合せ (せん断力)					—* ²	—* ²	

注記*1 : 検定比による結果を示す。

*2 : ケース 2 は鉛直荷重のみ作用するため、評価対象外。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価結果
(ケース 2 : 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (2/2)

施設名称 (系統名)	評価部位		材料	応力	発生応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板(B)	防護鋼板		SS400	組合せ	35	235	
	架構	はり	SS400	曲げ	79	235	
				圧縮	21	216	
				せん断	27	135	
				組合せ* ¹ (曲げ+軸力)	0.34	1.0	
				組合せ (曲げ+せん断+軸力)	91	235	
		柱	SS400	曲げ	103	235	
				圧縮	9	179	
				せん断	13	135	
				組合せ* ¹ (曲げ+軸力)	0.49	1.0	
				組合せ (曲げ+せん断+軸力)	106	235	
	ブレース	水平	SS400	引張り	—* ²	—* ²	
		鉛直	SS400	圧縮	6	129	
	柱脚	ベースプレート		SN490B	曲げ	15	325
		基礎 ボルト	タイプA	SD390	引張応力度	—* ²	—* ²
					せん断応力度	—* ²	—* ²
					せん断力	—* ²	—* ²
					組合せ (引張応力度)	—* ²	—* ²
					組合せ (せん断力)	—* ²	—* ²
					引張り力	—* ²	—* ²
タイプB		SD345	せん断力	—* ²	—* ²		
			組合せ	—* ²	—* ²		

注記*1 : 検定比による結果を示す。

*2 : ケース 2 は鉛直荷重のみ作用するため、評価対象外。

VI-3-別添 2-9 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の
強度計算書

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	8
2.4 適用規格	10
3. 強度評価方法	11
3.1 記号の定義	11
3.2 評価対象部位	14
3.3 荷重及び荷重の組合せ	15
3.4 許容限界	16
3.5 評価方法	17
4. 評価条件	28
5. 強度評価結果	34

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」に示すとおり、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板が降下火砕物等の堆積時においても、外部事象防護対象施設に降下火砕物を堆積させない機能の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持し、外部事象防護対象施設に波及的影響を与えないことを確認するものである。

2. 基本方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえ、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の「2.1 位置」、「2.2 構造概要」、「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格」を示す。

2.1 位置

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり、屋外の軽油タンクエリアに設置する。軽油タンクエリアの位置図を図 2-1 に示す。

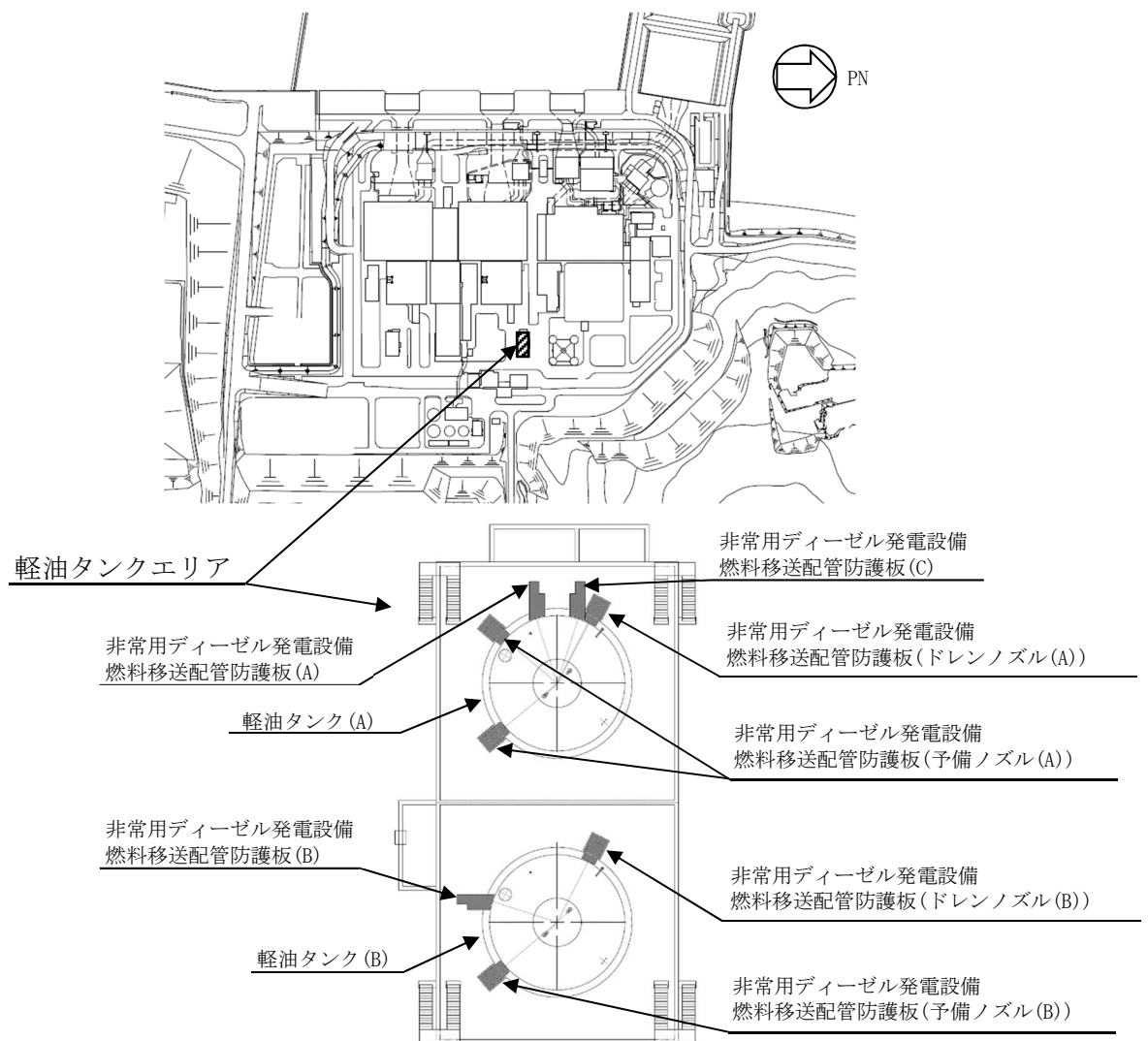


図 2-1 軽油タンクエリアの位置図

2.2 構造概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画を踏まえて、構造を設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管に降下火砕物が堆積することを防止する防護鋼板、防護鋼板を支持する架構及び架構をコンクリート基礎に固定する基礎ボルトから構成される。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の概要図を図 2-2 から図 2-5 に示す。なお、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板のうち、同一構造である非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)と同防護板(C)については同防護板(A)の評価結果で代表するものとする。同様に、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(ドレンノズル(B))と同防護板(予備ノズル(A)及び(B))については同防護板(予備ノズル(B))の評価結果で代表するものとする。同一構造のない非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)及び同防護板(ドレンノズル(A))についてはそれぞれについて示すものとする。

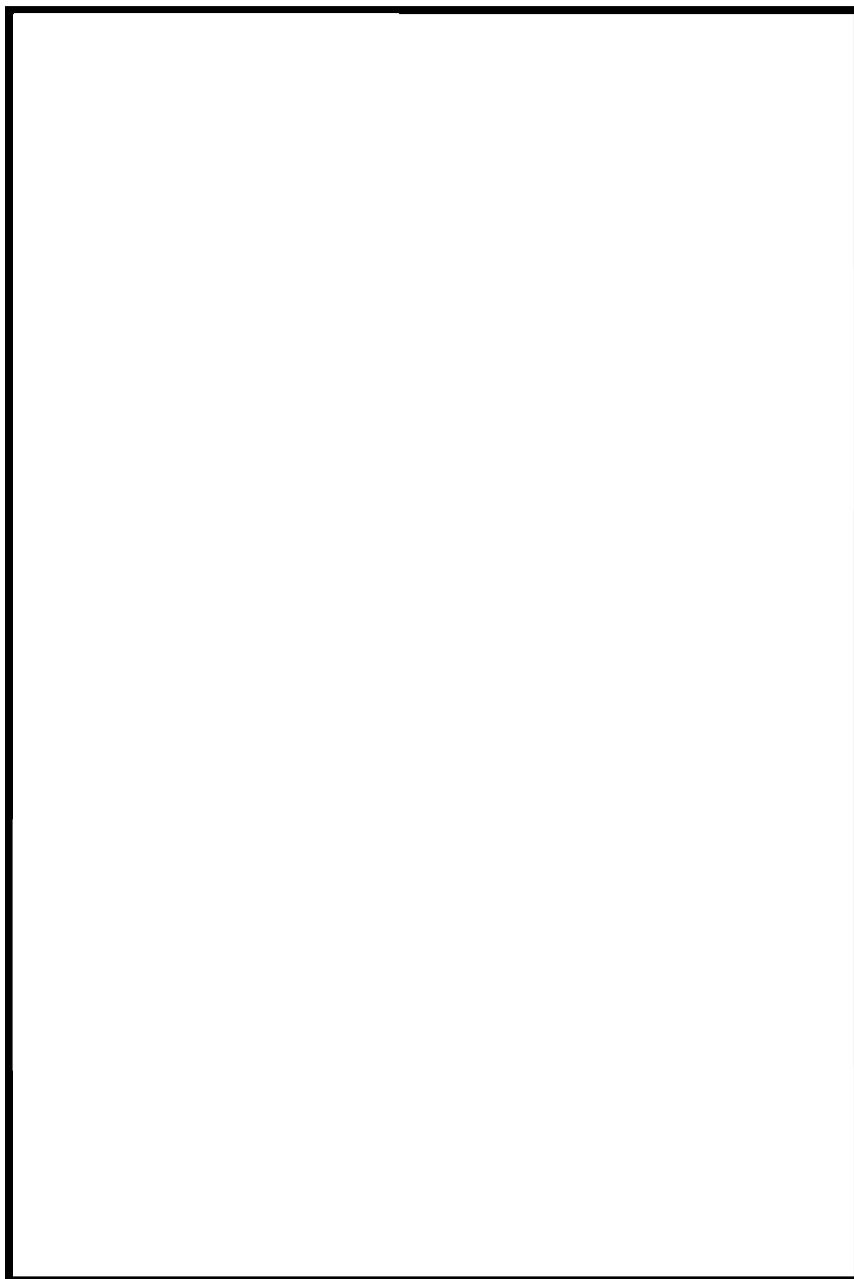


図 2-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)の概要図

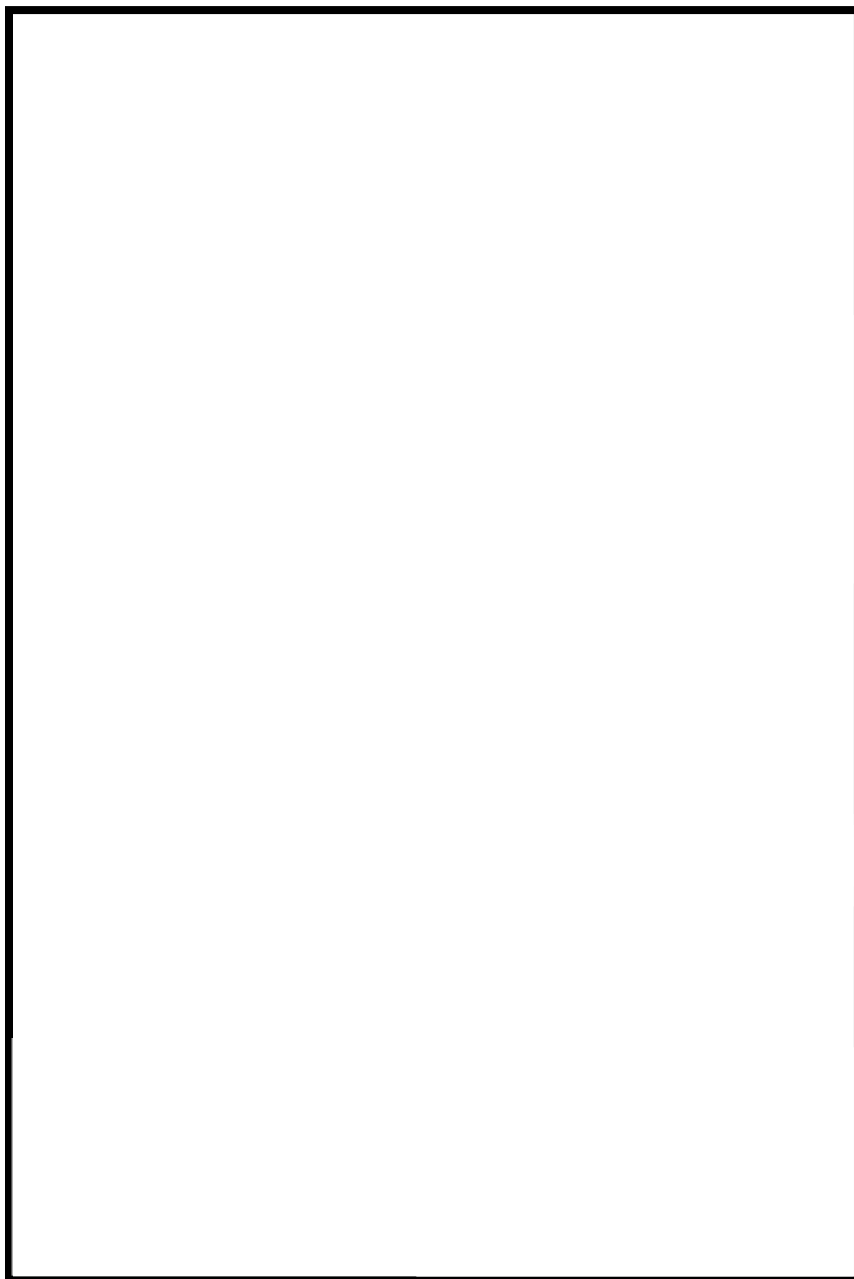


図 2-3 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)の概要図



図 2-4 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（ドレンノズル(A)）の概要図

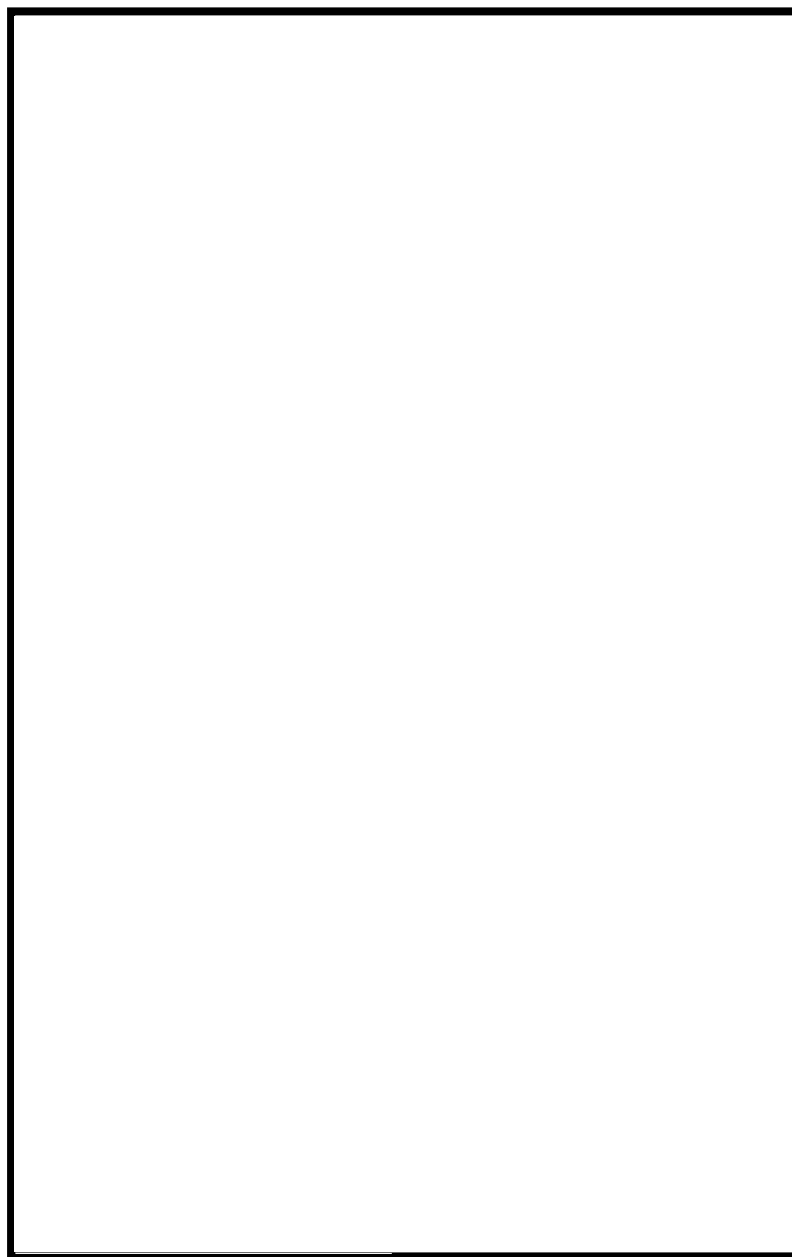


図 2-5 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板（予備ノズル(B)）の概要図

2.3 評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」にて設定している、荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位に作用する応力が、許容限界に収まることを「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて計算し、「5. 強度評価結果」にて確認する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価フローを図 2-6 に示す。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価においては、その構造を踏まえ、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を選定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重については、建築基準法施行令第 86 条に基づき、防護鋼板の水平投影面積に対し降下火砕物等の層厚より上載質量を算出する。強度評価においては、FEM による応力解析を用いる。また、基礎ボルトに対して、「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」（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」（日本電気協会）及び「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（日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の評価方法を準用し、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に示す評価式を用いる。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」に示す許容限界である、J E A G 4 6 0 1 の許容応力状態 IV_{AS} とする。

「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007」（日本機械学会）（以下「J S M E」という。）付録材料図表 part5,6 の表にて許容応力を計算する際は、周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度が J S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。

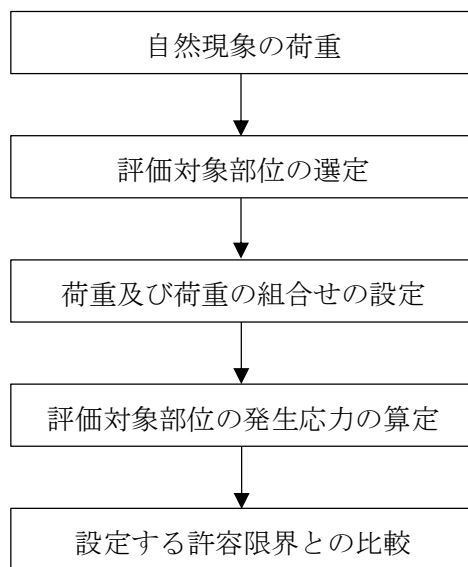


図 2-6 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007
（日本機械学会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4 6 0 1・補-1984
（日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4 6 0 1-1987（日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4 6 0 1-1991 追補版（日本電気協会）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年改定）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
A	mm ²	架構の断面積
A _b	mm ²	基礎ボルトの軸断面積
A _s	mm ²	防護鋼板の単位長さ当たりの断面積
A _{s y}	mm ²	架構のせん断断面積 (y 軸)
A _{s z}	mm ²	架構のせん断断面積 (z 軸)
C _H	—	弾性設計用地震動 S _d による水平方向設計震度
C _V	—	弾性設計用地震動 S _d による鉛直方向設計震度
d	mm	基礎ボルトの径
E	MPa	縦弾性係数
F	MPa	J S M E SSB-3121.1(1)に定める値
F*	MPa	J S M E SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値
F _{s x}	N	防護鋼板の膜力 (x 軸)
F _{s y}	N	防護鋼板の膜力 (y 軸)
F _{s x y}	N	防護鋼板のせん断力
F _{v k}	N	従荷重として地震荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
F _{v s}	N	従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの降下火砕物等の堆積による鉛直荷重
f _b *	MPa	架構の許容曲げ応力
f _c *	MPa	架構の許容圧縮応力
f _s *	MPa	架構の許容せん断応力
f _t *	MPa	架構又は防護鋼板の許容引張応力
f _{s b}	MPa	基礎ボルトの許容せん断応力
f _{t o}	MPa	基礎ボルトの許容引張応力
f _{t s}	MPa	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
g	m/s ²	重力加速度
i	mm	断面二次半径
ℓ _k	mm	座屈長さ

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
M_y	N・mm	架構の曲げモーメント (y 軸)
M_z	N・mm	架構の曲げモーメント (z 軸)
M_{s_x}	N・mm	防護鋼板の曲げモーメント (x 軸)
M_{s_y}	N・mm	防護鋼板の曲げモーメント (y 軸)
$M_{s_{xy}}$	N・mm	防護鋼板のねじりモーメント
m	kg	解析モデル各節点の付加質量の合計
N_c	N	架構の軸力 (圧縮)
N_t	N	架構の軸力 (引張)
p	N	基礎ボルト1本当たりの引張力
Q_y	N	架構のせん断力 (y 軸)
Q_z	N	架構のせん断力 (z 軸)
q	N	基礎ボルト1本当たりのせん断力
R_x	N	基礎ボルト部の反力 (x 軸)
R_y	N	基礎ボルト部の反力 (y 軸)
R_z	N	基礎ボルト部の反力 (z 軸)
S	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 5 に定める許容引張応力
S_u	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 9 に定める設計引張強さ
S_y	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 8 に定める設計降伏点
$S_y (RT)$	MPa	J SME 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける設計降伏点
X, Y, Z	—	絶対 (節点) 座標軸
x, y, z	—	局所 (要素) 座標軸

表 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
Z_b	mm^3	防護鋼板の断面係数
Z_y	mm^3	架構の断面係数 (y 軸)
Z_z	mm^3	架構の断面係数 (z 軸)
Z_t	mm^3	防護鋼板のねじり断面係数
Λ	—	架構の限界細長比
λ	—	架構の有効細長比
ν	—	ポアソン比
ν'	—	座屈に対する安全率
π	—	円周率
σ	MPa	防護鋼板の組合せ応力
σ_b	MPa	架構に生じる曲げ応力
σ_{by}	MPa	架構に生じる曲げ応力 (y 軸)
σ_{bz}	MPa	架構に生じる曲げ応力 (z 軸)
σ_c	MPa	架構に生じる圧縮応力
σ_t	MPa	架構に生じる引張応力
σ_{tb}	MPa	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値
σ_x, σ_y	MPa	互いに直交する垂直応力
τ	MPa	防護鋼板に生じるせん断応力
τ_b	MPa	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値
τ_k	MPa	架構に生じるせん断応力
τ_y	MPa	架構に生じるせん断応力 (y 軸)
τ_z	MPa	架構に生じるせん断応力 (z 軸)

3.2 評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位に従って、防護鋼板、架構及び基礎ボルトとする。

評価対象部位は、「2.2 構造概要」にて設定している構造に基づき、設計荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

降下火砕物等の堆積による鉛直荷重は、降下火砕物が堆積する防護鋼板及び防護鋼板と接続する架構に作用する。また、地震荷重は、架構を介して基礎ボルトに作用する。

このことから、防護鋼板、架構及び基礎ボルトを評価対象部位として設定している。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価における評価対象部位を、図 3-1 に示す。

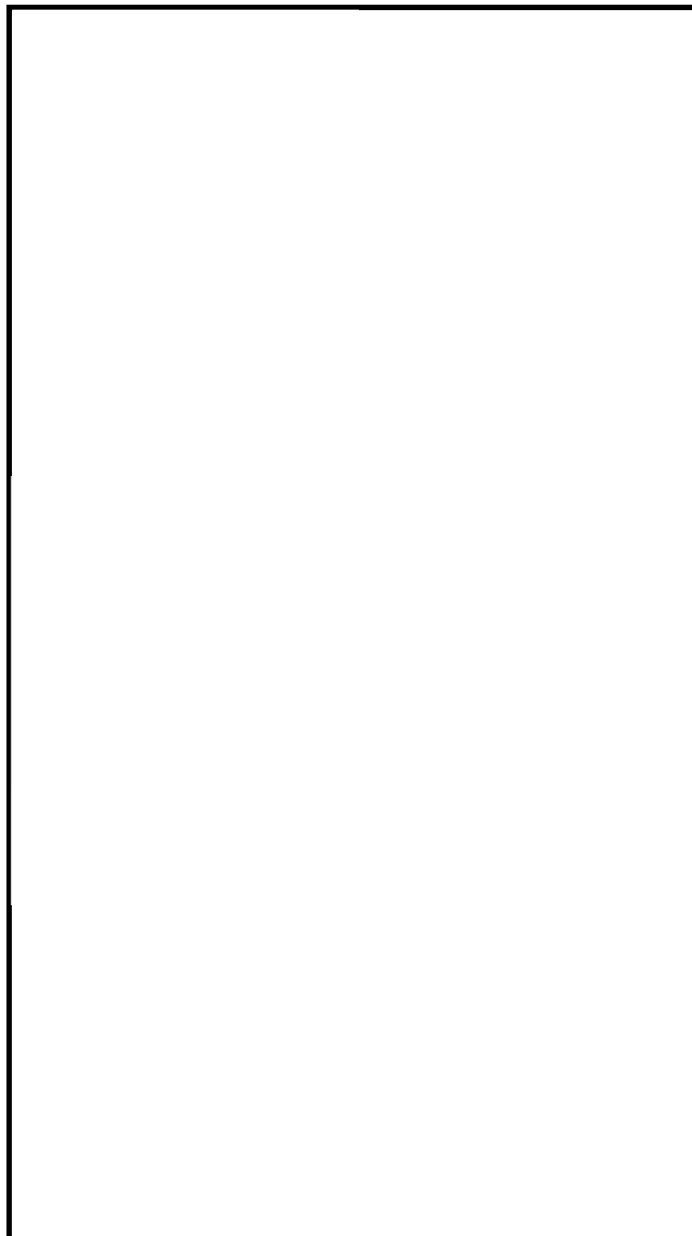


図 3-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度評価に用いる荷重を以下に示す。

a. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重は、自重及び積載荷重を考慮する。

b. 降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 (F_{vk} , F_{vs})

降下火砕物等の堆積による単位面積当たりの鉛直荷重は、 $F_{vk}=6063\text{N/m}^2$ 、 $F_{vs}=8542\text{N/m}^2$ とする。

c. 地震荷重 (F_k)

地震荷重は、弾性設計用地震動 S_d による地震力を考慮することを踏まえて、3次元 FEM による固有値解析に基づき得られた固有周期に対応した設計震度 ($C_H=0.89$, $C_V=0.65$) によって発生する水平荷重及び鉛直荷重を算出する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価対象部位ごとに設定する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の防護鋼板には、積載荷重、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の架構及び基礎ボルトには、自重、降下火砕物等の堆積による鉛直荷重及び地震荷重が作用する。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価にて考慮する荷重の組合せを表 3-2 に示す。

表 3-2 荷重の組合せ

施設名称	評価対象部位	荷重
非常用ディーゼル 発電設備燃料移送 配管防護板	防護鋼板	①自重, 積載荷重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
	架構	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重
	基礎ボルト	①自重 ②降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 ③地震荷重

3.4 許容限界

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界値は、VI-3-別添 2-2-2「非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に従って、「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、J E A G 4 6 0 1に基づく許容応力状態IV_ASの許容応力を用いる。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する防護鋼板、架構及び基礎ボルトの許容限界は、J E A G 4 6 0 1を準用し、「その他支持構造物」の許容応力を適用する。J E A G 4 6 0 1に従い、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 の表にて許容応力を評価する際は、評価対象部位の周囲環境温度に応じた値をとるものとするが、温度がJ S M E 付録材料図表記載の中間の値の場合は、比例法を用いて評価する。ただし、J S M E 付録材料図表 Part5, 6 で比例法を用いる場合の端数処理は、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容限界について、防護鋼板、架構及び基礎ボルトの許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 防護鋼板、架構及び基礎ボルトの許容限界

状態	温度 条件 (°C)	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	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
許容応力 状態IV _A S	40	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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。

3.5 評価方法

防護鋼板、架構及び基礎ボルトはFEM解析にて評価を行う。

FEM解析に使用する解析コードは「ABAQUS」である。

なお、評価に用いる解析コードABAQUS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。

(1) 荷重条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重条件を表3-5に示す。

表3-5 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重条件

荷重条件	入力荷重 (N/m ²)
従荷重として地震荷重を組み合わせるときの の降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F_{vk}	6063
従荷重として積雪荷重を組み合わせるときの の降下火砕物等の堆積による鉛直荷重 F_{vs}	8542

(2) 計算モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は防護鋼板及び架構から構成されることから、防護鋼板はシェル要素、架構は梁要素でモデル化して評価を行う。また、拘束条件として、基礎ボルト部の各軸方向を固定する。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板のFEM解析に用いるモデル図を図3-2から図3-5に、諸元を表3-6に示す。



図 3-2 FEM 解析に用いるモデル図 (非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A))

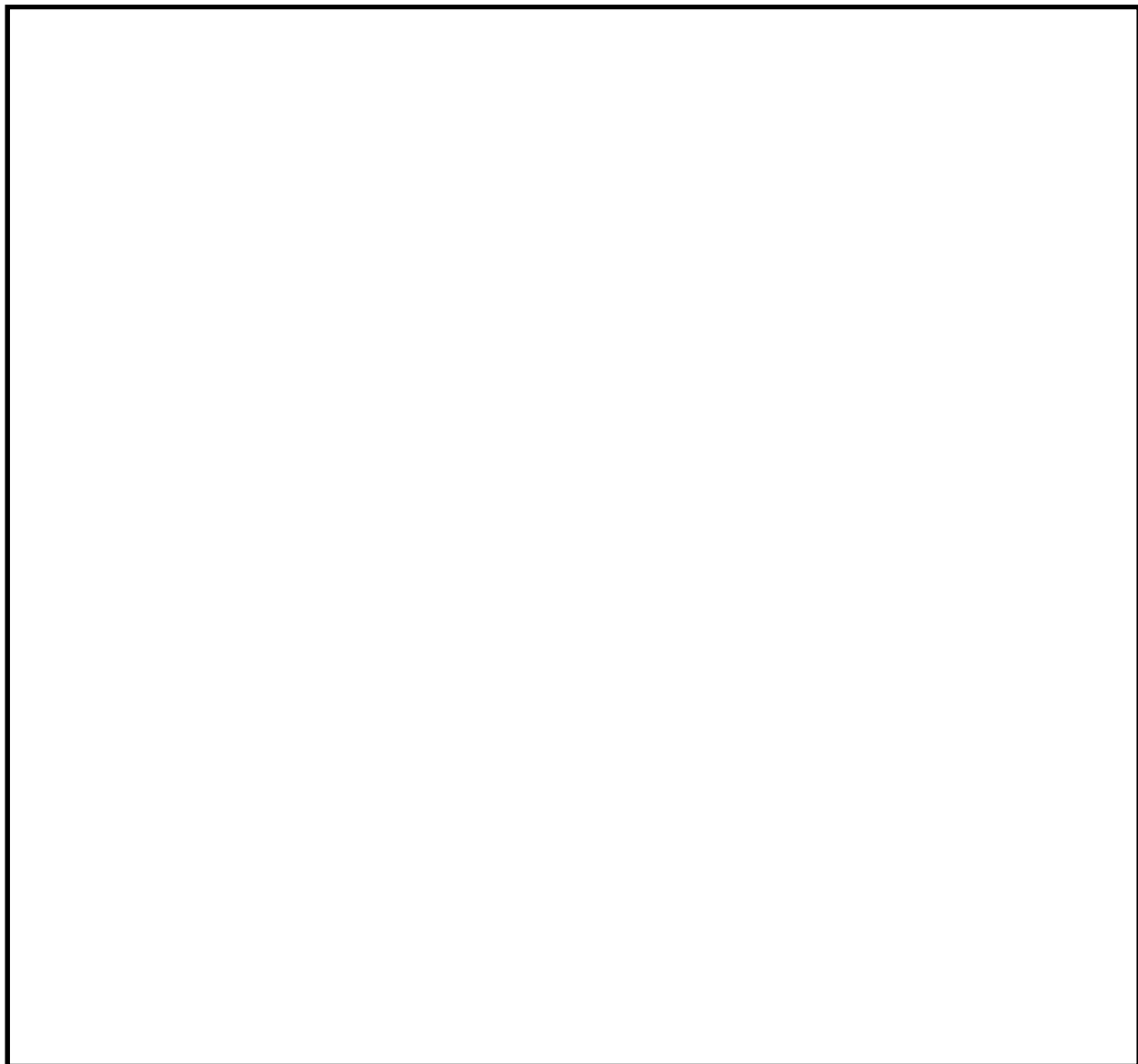


図 3-3 FEM 解析に用いるモデル図（非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)）

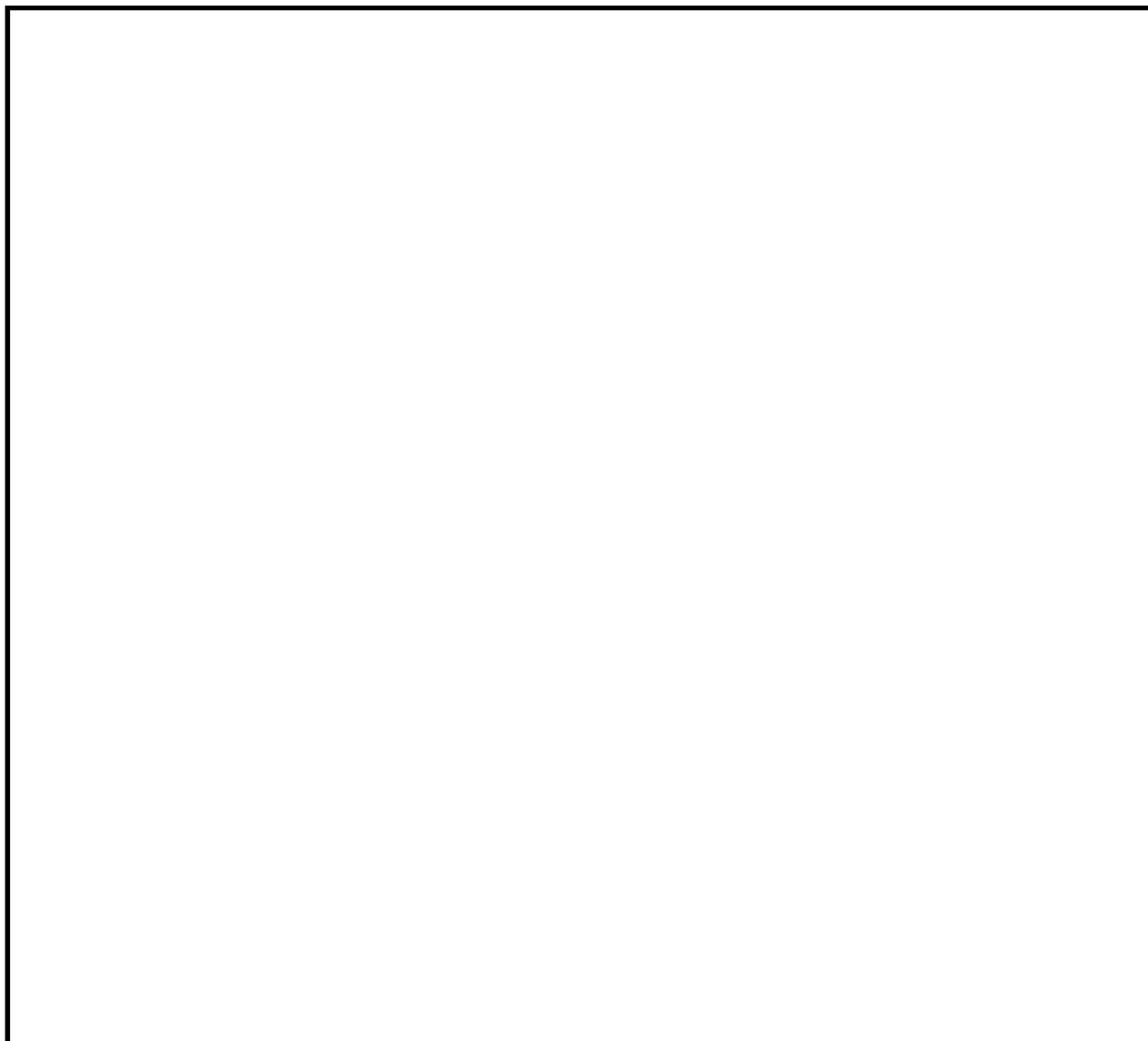


図 3-4 FEM 解析に用いるモデル図
(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル(A)))

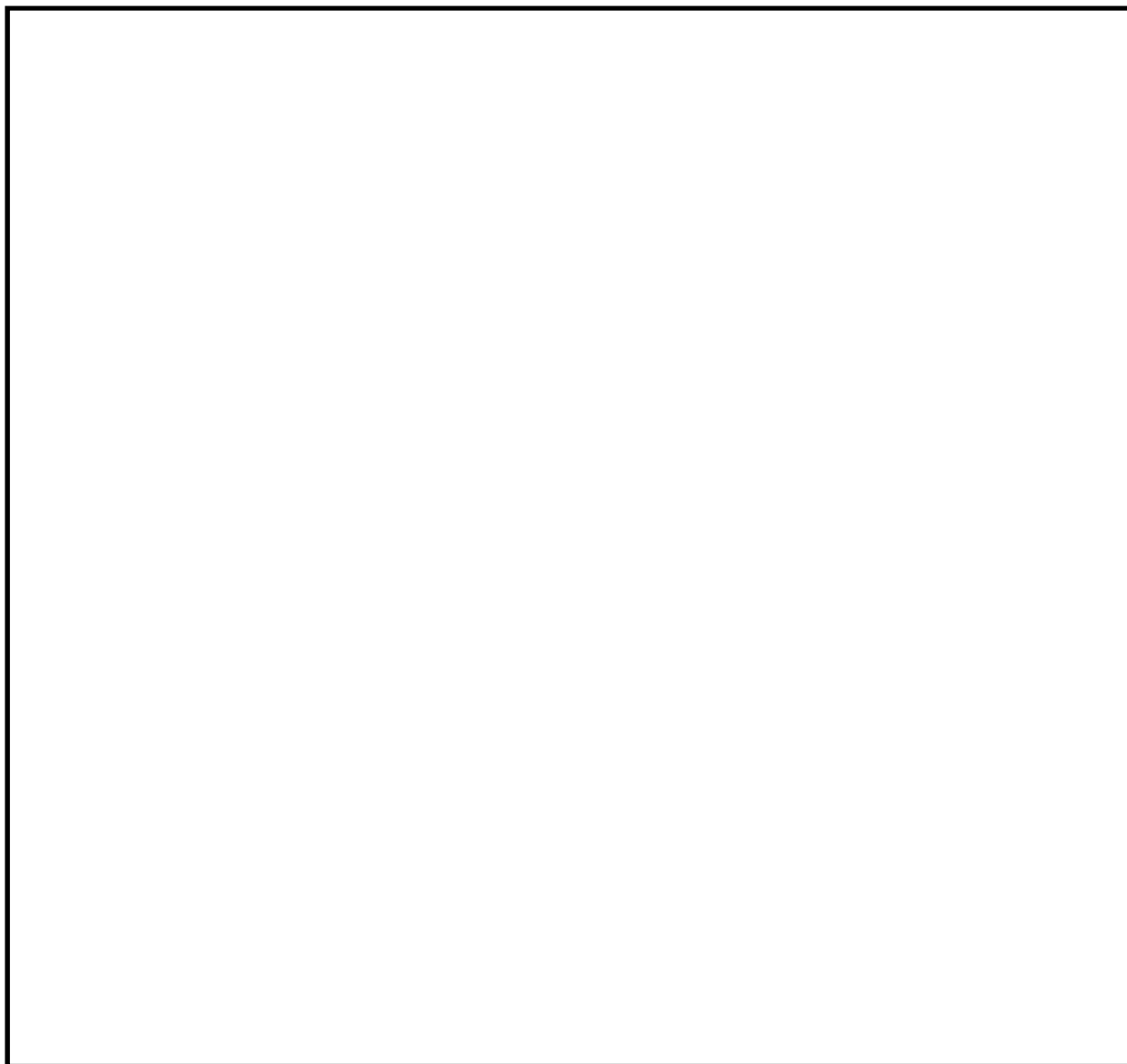


図 3-5 FEM 解析に用いるモデル図
(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (予備ノズル(B)))

表 3-6 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の諸元

部材	材料	周囲環境温度 (°C)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν (—)
防護鋼板	SUS304	40	1.94×10^5	0.3
架構, ベースプレート	SS400	40	2.02×10^5	0.3
基礎ボルト	SS400	40	2.02×10^5	0.3

(3) 応力の計算方法

a. 防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は、解析による計算で得られる各要素での膜力 F_{sx} 、 F_{sy} 、せん断力 F_{sxy} 、曲げモーメント M_{sx} 、 M_{sy} 及びねじりモーメント M_{sxy} により組合せ応力を次のように求める。

(a) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで、

$$\sigma_x = \frac{F_{sx}}{A_s} \pm \frac{M_{sx}}{Z_b}, \quad \sigma_y = \frac{F_{sy}}{A_s} \pm \frac{M_{sy}}{Z_b}$$

$$\tau = \frac{F_{sxy}}{A_s} \pm \frac{M_{sxy}}{Z_t}$$

b. 架構の応力

架構の応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 N_t 、 N_c 、せん断力 Q_y 、 Q_z 及び曲げモーメント M_y 、 M_z により各応力を次のように求める。

(a) 引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

(b) せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \tau_z)$$

ここで、

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{sy}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{sz}}$$

(c) 曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

ここで,

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

(d) 組合せ応力

イ. 圧縮+曲げ

$$\max \left(\frac{\sigma_c}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_b^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5 \cdot f_t^*} \right)$$

ロ. 引張+曲げ

$$\max \left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5 \cdot f_b^*} \right)$$

ハ. 曲げ+せん断

$$\max \left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_z^2}}{1.5 \cdot f_t^*}, \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3 \cdot \tau_y^2}}{1.5 \cdot f_t^*} \right)$$

引張軸力の場合は σ_c を σ_t とする。

c. 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は、解析による計算で得られる基礎ボルト部の反力 R_x 、 R_y 及び R_z により各応力を次のように求める。

(a) 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{p}{A_b}$$

ここで,

$$p = R_z$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

(b) せん断応力

$$\tau_b = \frac{q}{A_b}$$

ここで,

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_x^2}$$

(4) 強度評価方法

a. 防護鋼板の応力評価

「(3)a. 防護鋼板の応力」で定めた組合せ応力が許容引張応力 $1.5 \cdot f_t^*$ 以下であること。

	許容応力状態IV _A S
許容引張応力 $1.5 \cdot f_t^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

b. 架構の応力評価

「(3)b. 架構の応力」で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は1以下であること。

	許容応力状態IV _A S
許容引張応力 $1.5 \cdot f_t^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $1.5 \cdot f_c^*$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $1.5 \cdot f_s^*$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $1.5 \cdot f_b^*$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}}$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

c. 基礎ボルトの応力評価

「(3)c. 基礎ボルトの応力」で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tb} は、次式より求めた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 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \min (1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to})$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎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。

	許容応力状態IV _A S
許容引張応力 f_{to}	$0.8 \cdot \frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$0.8 \cdot \frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表4-1及び表4-2示す。

表4-1 許容応力評価に用いる条件 (1/4)
(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A))

材料	温度 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304 (防護鋼板)	40				
SS400 ($t \leq 16\text{mm}$) (架構)	40				
SS400 ($16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$) (基礎ボルト)	40				

材料	E (MPa)	ν' (—)	ρ_k (mm)	i (mm)	λ (—)
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.88			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.63			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.68			

材料	SS400 <input type="text"/>	SS400 <input type="text"/>
A (mm ²)		
Z_y (mm ³)		
Z_z (mm ³)		

表 4-1 許容応力評価に用いる条件 (2/4)
 (非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B))

材料	温度 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304 (防護鋼板)	40				
SS400 ($t \leq 16\text{mm}$) (架構)	40				
SS400 ($16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$) (基礎ボルト)	40				

材料	E (MPa)	ν' (—)	ρ_k (mm)	i (mm)	λ (—)
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.88			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.63			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.68			

材料	SS400 <input type="text"/>	SS400 <input type="text"/>
A (mm ²)		
Z_y (mm ³)		
Z_z (mm ³)		

K6 ① VI-3-別添 2-9 R0

表 4-1 許容応力評価に用いる条件 (3/4)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル(A)))

材料	温度 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304 (防護鋼板)	40				
SS400 ($t \leq 16\text{mm}$) (架構)	40				
SS400 ($16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$) (基礎ボルト)	40				

材料	E (MPa)	ν' (—)	ρ_k (mm)	i (mm)	λ (—)
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.61			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.76			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.73			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.53			

材料	SS400 <input type="text"/>	SS400 <input type="text"/>
A (mm ²)		
Z_y (mm ³)		
Z_z (mm ³)		

表 4-1 許容応力評価に用いる条件 (4/4)
 (非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (予備ノズル(B)))

材料	温度 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304 (防護鋼板)	40				
SS400 ($t \leq 16\text{mm}$) (架構)	40				
SS400 ($16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$) (基礎ボルト)	40				

材料	E (MPa)	ν' (—)	ρ_k (mm)	i (mm)	λ (—)
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.61			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.76			
SS400 <input type="text"/>	2.02×10^5	1.73			

材料	SS400 <input type="text"/>	SS400 <input type="text"/>
A (mm ²)		
Z_y (mm ³)		
Z_z (mm ³)		

K6 ① VI-3-別添 2-9 R0

表 4-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件 (1/4)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A))

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 (—)		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		
6号機軽油 タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0	0. 039	0. 034	$C_H=0. 89$	$C_V=0. 65$	—	40

m (kg)	d (mm)	A_b (mm ²)	g (m/s ²)
			9. 80665

表 4-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件 (2/4)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B))

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 (—)		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		
6号機軽油 タンク基礎 T. M. S. L. 12. 0	0. 040	0. 038	$C_H=0. 89$	$C_V=0. 65$	—	40

m (kg)	d (mm)	A_b (mm ²)	g (m/s ²)
			9. 80665

表 4-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件 (3/4)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル(A)))

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 (—)		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		
6号機軽油 タンク基礎 T. M. S. L. 12.0	0.043	0.040	$C_H=0.89$	$C_V=0.65$	—	40

m (kg)	d (mm)	A_b (mm ²)	g (m/s ²)
			9.80665

表 4-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の入力条件 (4/4)

(非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (予備ノズル(B)))

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 (—)		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		
6号機軽油 タンク基礎 T. M. S. L. 12.0	0.046	0.038	$C_H=0.89$	$C_V=0.65$	—	40

m (kg)	d (mm)	A_b (mm ²)	g (m/s ²)
			9.80665

5. 強度評価結果

降下火砕物等の堆積時の強度評価結果を表 5-1, 表 5-2 に示す。

防護鋼板, 架構及び基礎ボルトに発生する応力は許容応力以下である。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
(ケース 1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (1/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記*: 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
 (ケース 1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (2/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (B)	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
 (ケース 1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (3/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル (A))	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
 (ケース 1: 従荷重として地震荷重を組み合わせる場合) (4/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (予備ノズル(B))	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
 (ケース 2: 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (1/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A)	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
 (ケース 2: 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (2/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (B)	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
 (ケース 2: 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (3/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (ドレンノズル (A))	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

表 5-2 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の評価結果
 (ケース 2: 従荷重として積雪荷重を組み合わせる場合) (4/4)

施設名称 (系統名)	評価部位	材料	応力	発生応力	許容限界
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 (予備ノズル(B))	防護鋼板	SUS304	組合せ		
	架構	SS400	引張		
			圧縮		
			せん断		
			曲げ		
			組合せ* (圧縮+曲げ)		
			組合せ* (引張+曲げ)		
			組合せ* (曲げ+せん断)		
	基礎ボルト	SS400	引張		
			せん断		

注記* : 組合せ応力は検定比による結果を示す。

VI-3-別添3 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

VI-3-別添3-1 津波への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

VI-3-別添 3-1-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目 次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	1
2.1 評価対象施設	1
2.2 評価方針	4
3. 構造強度設計	4
3.1 構造強度の設計方針	4
3.1.1 津波防護施設	4
3.1.2 浸水防止設備	4
3.1.3 津波監視設備	5
3.2 機能保持の方針	6
3.2.1 海水貯留堰	6
3.2.2 取水槽閉止板	10
3.2.3 水密扉	13
3.2.4 床ドレン浸水防止治具	18
3.2.5 貫通部止水処置	22
3.2.6 取水槽水位計	28
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	31
4.1 荷重及び荷重の組合せ	31
4.2 許容限界	37
4.2.1 施設ごとの許容限界	37
5. 強度評価方法	50
5.1 津波防護施設に関する評価式	50
5.1.1 海水貯留堰	50
5.2 浸水防止設備に関する評価式	51
5.2.1 取水槽閉止板	51
5.2.2 水密扉	52
5.2.3 床ドレンライン浸水防止治具	53
5.2.4 貫通部止水処置	56
5.3 津波監視設備に関する評価式	57
5.3.1 取水槽水位計	57
6. 適用規格	58

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第6条及び第51条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に基づき設計する津波防護に関する浸水防護施設である津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備が、津波に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は、VI-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちVI-1-1-3-2-1「耐津波設計の基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

各施設の具体的な計算の方法及び結果は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度に関する説明書」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度計算は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す津波による荷重と組合すべき他の荷重による組合せ荷重又は応力が許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す評価方法を使用し、「6. 適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

強度評価の対象施設とする浸水防護施設を表2-1に示す。また、強度評価の対象施設とする浸水防護施設の配置を図2-1に示す。

表 2-1 強度評価の対象施設

施設名称		施設分類
留堰 海水貯	海水貯留堰（重大事故等時のみ 6, 7 号機共用）	津波防護施設
	海水貯留堰（7 号機設備，重大事故等時のみ 6, 7 号機共用）	—*
取水槽閉止板	タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板 1	浸水防止設備
	タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板 2	
	補機冷却用海水取水槽（A） 閉止板	
	補機冷却用海水取水槽（B） 閉止板	
	補機冷却用海水取水槽（C） 閉止板	
水密扉	B 系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	
	A 系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	
	タービン建屋地下中 2 階南西階段室 水密扉	
	タービン建屋地下中 2 階北西階段室 水密扉	
	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉 1	
	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉 2	
	循環水系配管メンテナンス室 水密扉 1	
	循環水系配管メンテナンス室 水密扉 2	
	タービン建屋地下 2 階北西階段室 水密扉	
	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	
	C 系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	
	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ）	
	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下 2 階～廃棄物処理建屋地下 3 階）	
	循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉 1	
循環水配管，電解鉄イオン供給装置室 水密扉 2		
貫通部止水処置		
床ドレンライン浸水防止治具		
取水槽水位計		津波監視設備

注記*：海水貯留堰（7 号機設備）については 6 号機における津波防護施設には該当しないが，津波による影響を考慮する必要があるため，津波防護施設と同等の設計を行う。



2.2 評価方針

浸水防護施設は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため、「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに、浸水防護に関する強度評価を実施する。

3. 構造強度設計

「2.1 評価対象施設」で設定している施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するよう、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「4. 機能設計」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を保持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するための設計方針を、「2.1 評価対象施設」ごとに示す。

3.1.1 津波防護施設

(1) 海水貯留堰

海水貯留堰は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1 津波防護施設 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、古安田層中の粘性土もしくは西山層に支持される鋼製の鋼管矢板で構成し、地震後、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、ずれる又は浮き上がるおそれのない設計とするとともに、鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手を設置し、部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とする。また、取水護岸と海水貯留堰の接続部には、止水ゴムを設置し、部材を有意な漏えいを生じない相対変位に留める設計とする。

3.1.2 浸水防止設備

(1) 取水槽閉止板

取水槽閉止板は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製の閉止板で構成し、十分な支持性能を有するタービン建屋内の補機冷却用海水取水槽の上部床面に固定する構造とし、地震後、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(2) 水密扉

水密扉は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、鋼製の水密扉で構成し、十分な支持性能を有する建屋に固定する構造とし、地震後、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(3) 床ドレンライン浸水防止治具

床ドレンライン浸水防止治具は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、弁本体、フロートガイド等で構成し、十分な支持性能を有する建屋内の床面に固定する構造とし、地震後、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

(4) 貫通部止水処置

貫通部止水処置は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.2 浸水防止設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、以下の荷重（以下「考慮する荷重」という。）に対し、タービン建屋内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材、ブーツ、閉止板又はモルタルにより塞ぐ構造とし、止水性の保持を考慮して主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。

- ・地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重
- ・津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重
- ・余震を考慮した荷重
- ・漂流物の衝突を考慮した荷重
- ・積雪を考慮した荷重

3.1.3 津波監視設備

(1) 取水槽水位計

取水槽水位計は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.3 津波監視設備 (3) 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、監視機能が保持できる設計とするために、津波による影響を受けにくいタービン建屋に固定する設計とし、主要な構造部材が構造健全性を保持する設計とする。

3.2 機能保持の方針

VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するために、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、VI-1-1-3-2-1「耐津波設計の基本方針」の「2.1.4 津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針 (2) 荷重の組合せ及び許容限界 b. 荷重の組合せ」及び「2.1.4 津波防護対策に必要な浸水防護の設計方針 (2) 荷重の組合せ及び許容限界 c. 許容限界」で設定している荷重を適切に考慮して、各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方針を設定する。

3.2.1 海水貯留堰

(1) 構造設計

海水貯留堰は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

鋼製の鋼管矢板を古安田層中の粘性土もしくは西山層で支持し、海水を貯留する設計とする。鋼管矢板同士の接続部には、試験等により止水性を確認した鋼管矢板継手を設置し、鋼管矢板の境界部の止水性を保持する設計とする。また、取水護岸と海水貯留堰の接続部には、試験等により止水性を確認した止水ゴムを設置し、取水護岸と海水貯留堰の境界部の止水性を保持する設計とする。

海水貯留堰の構造計画を表 3-2-1 に示す。

(2) 評価方針

海水貯留堰は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

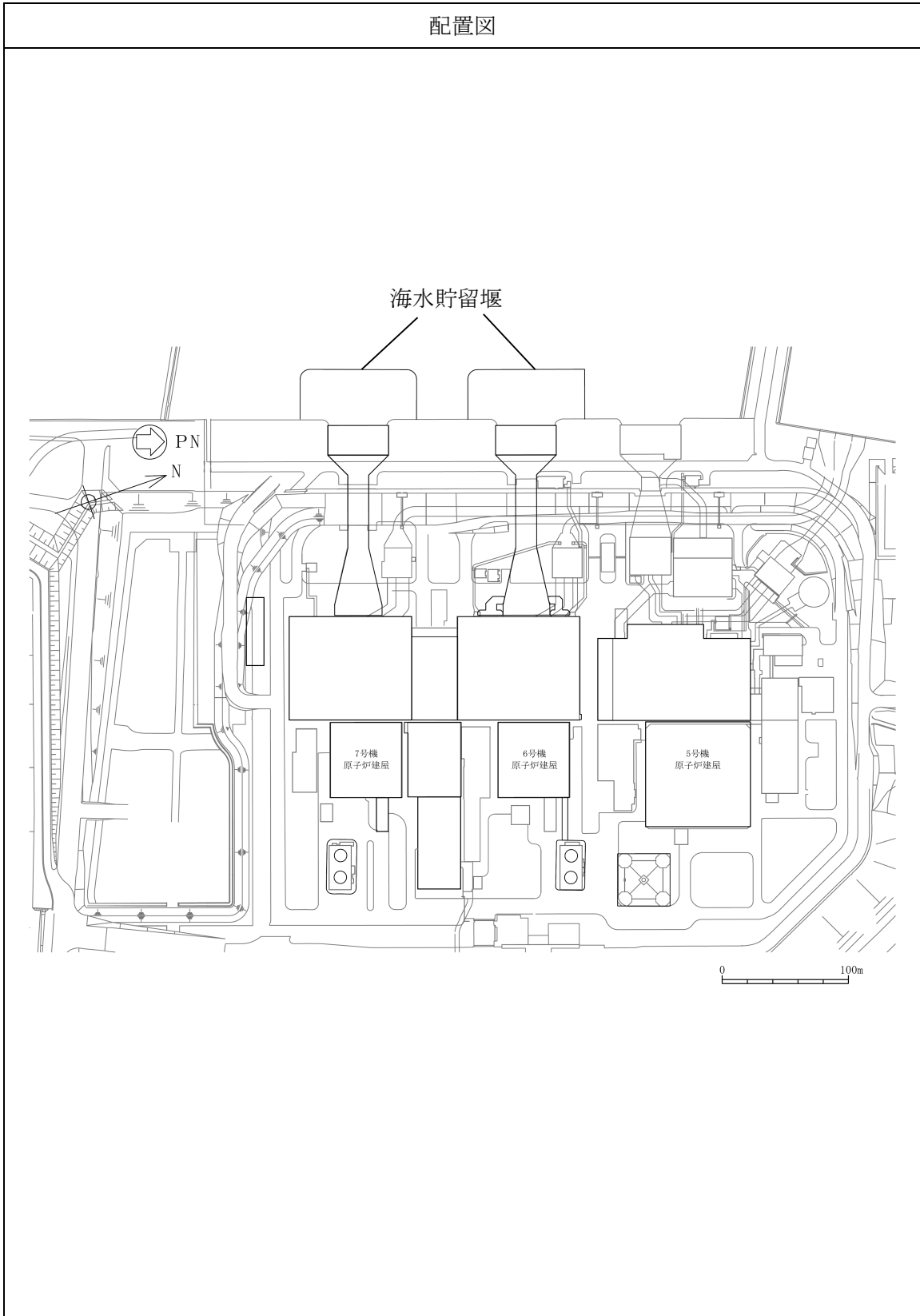
地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし、評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを確認する。

貯留堰の強度評価は、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

表 3-2-1 構造計画 (海水貯留堰) (1/3)



K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

表 3-2-1 構造計画 (海水貯留堰) (2/3)

計画の概要		概略構造図
<p>主体構造</p> <p>鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手より構成する。</p>	<p>支持構造</p> <p>鋼管矢板下端を十分な支持性能を有する古安田層もしくは西山層に根入れする。</p>	<p style="text-align: center;">(単位:mm)</p> <p style="text-align: center;"><u>平面図</u></p>
		<p style="text-align: center;">(単位:mm)</p> <p style="text-align: center;"><u>A-A断面図</u></p>

K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

表 3-2-1 構造計画 (海水貯留堰) (3/3)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材より構成する。	取水護岸及び海水貯留堰本体に支持する。	<p>鋼管矢板</p> <p>止水ゴム</p> <p>止水ゴム取付部鋼材</p> <p>前面鋼矢板</p> <p>PN</p> <p>平面図(A部拡大)</p>

3.2.2 取水槽閉止板

(1) 構造設計

取水槽閉止板は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

本体を補機冷却用海水取水槽最上部の上部床面に設置するアンカーボルトで固定する構造とする。

また、作用する荷重については、スキンプレート、主桁及び戸当りに伝わり、取水槽閉止板を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達する構造とする。

取水槽閉止板の構造計画を表 3-2-2 に示す。

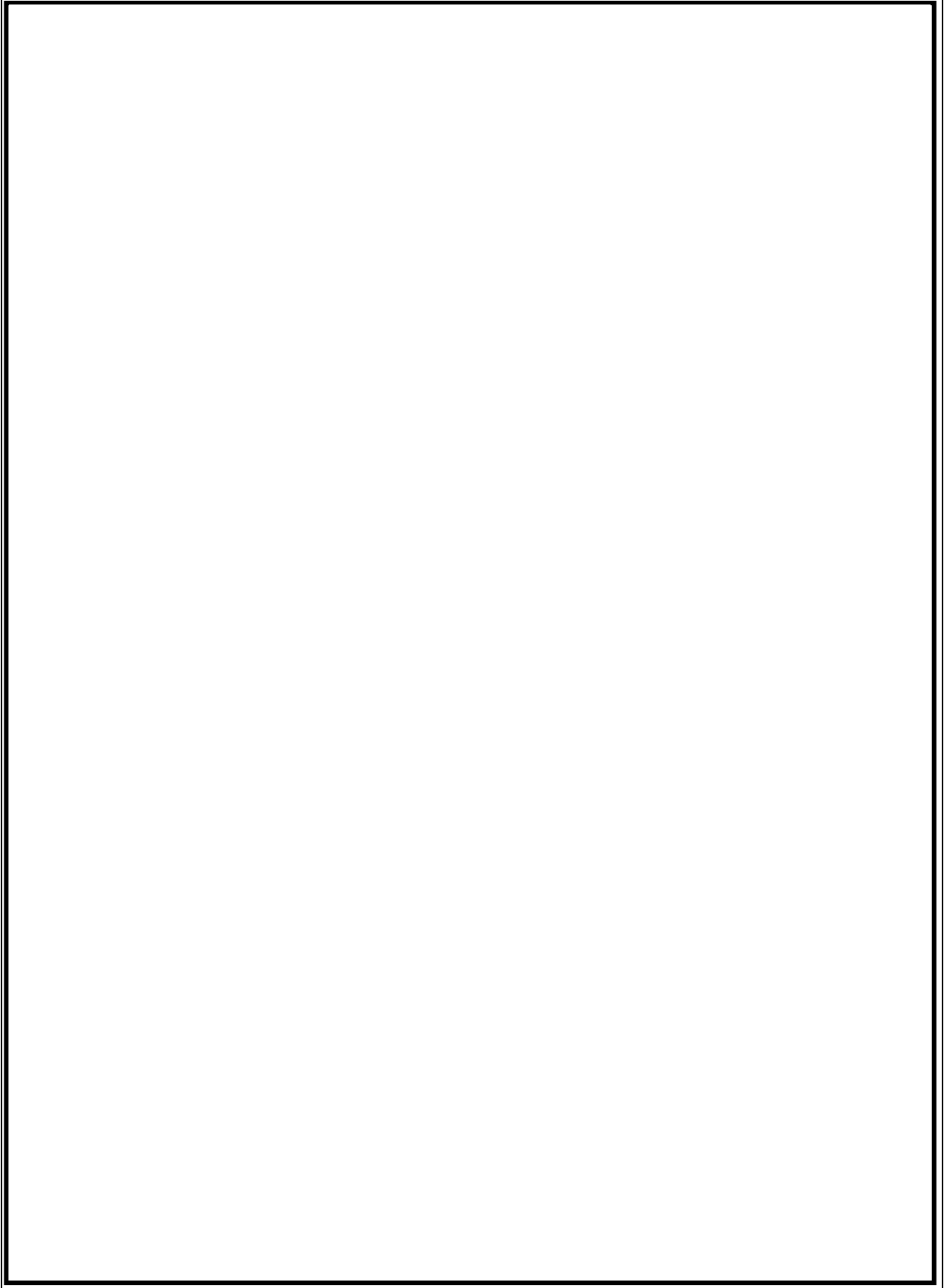
(2) 評価方針

取水槽閉止板は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、評価対象部位に作用する応力等がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3-2-2 構造計画（取水槽閉止板）（1/2）

配置図



K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

表 3-2-2 構造計画（取水槽閉止板）（2/2）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
スキンプレート、主桁及び戸当りにより構成する。	補機冷却用海水取水槽の上部床面及び壁面に設置するアンカーボルトで戸当りを躯体に固定し、締付ボルトによりスキンプレート、主桁を戸当りに固定する。	<p>アンカーボルト</p> <p>A ←</p> <p>主桁</p> <p>締付ボルト</p> <p>A ←</p> <p>スキンプレート</p> <p>締付ボルト</p> <p>平面図</p> <p>A-A断面図</p> <p>スキンプレート</p> <p>締付ボルト</p> <p>戸当り</p> <p>アンカーボルト</p> <p>側面図</p> <p>注：代表として、補機冷却用海水取水槽(C)閉止板について示す。</p>

K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

3.2.3 水密扉

(1) 構造設計

水密扉は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

水密扉は、片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉鎖状態において締付装置により固定され、水密性を確保しており、扉枠を介して建屋躯体にアンカーボルトで固定し、支持する構造とする。

また、作用する荷重については、扉板から芯材を介し締付装置、扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達する構造とする。

水密扉の構造計画を表 3-2-3 に示す。

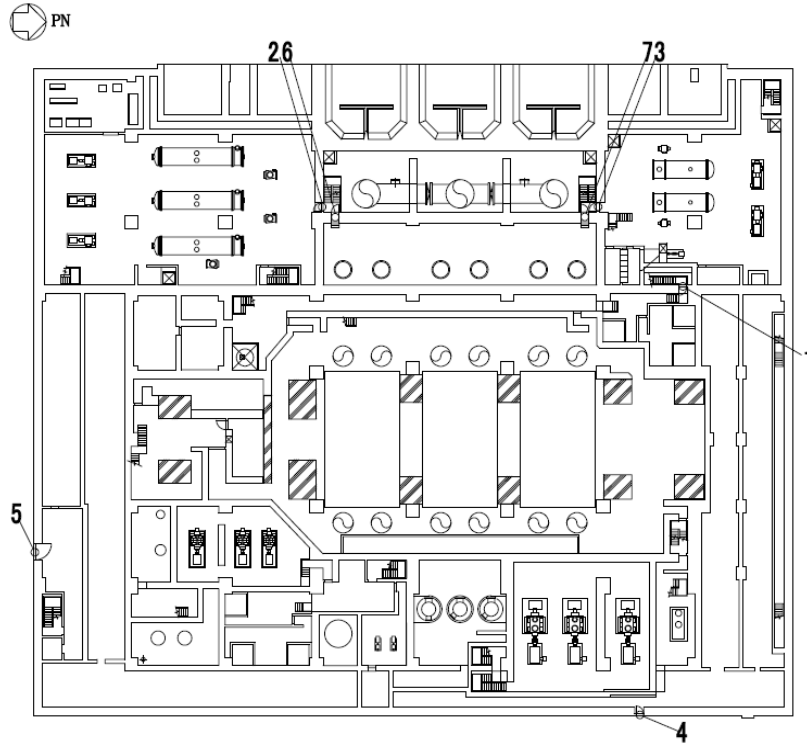
(2) 評価方針

水密扉は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、水密扉の評価対象部位に作用する応力等がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3-2-3 構造計画 (水密扉) (1/4)

配置図

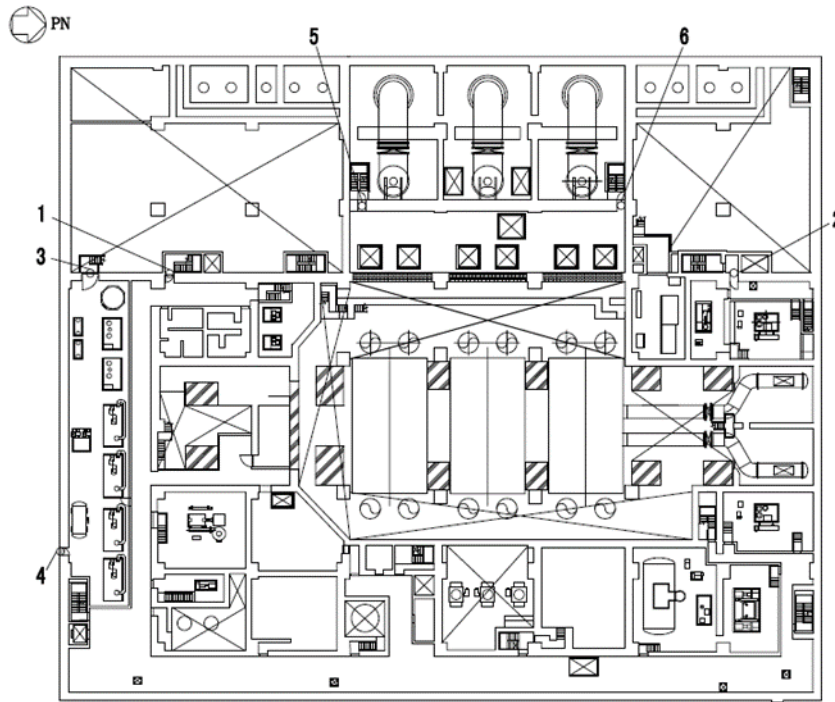


タービン建屋 T.M.S.L. -5100mm

1	タービン建屋地下 2 階北西階段室 水密扉
2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
4	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下 2 階～配管トレンチ)
5	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下 2 階～廃棄物処理建屋地下 3 階)
6	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 1
7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 2

表 3-2-3 構造計画 (水密扉) (2/4)

配置図

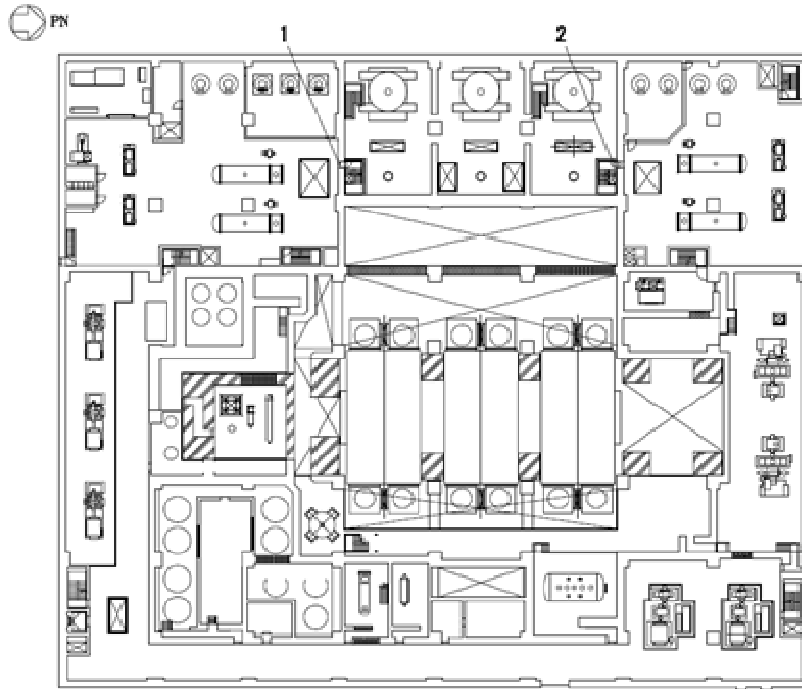


タービン建屋 T.M.S.L. -1100mm

1	タービン建屋地下中 2 階南西階段室 水密扉
2	タービン建屋地下中 2 階北西階段室 水密扉
3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉 1
4	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉 2
5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉 1
6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉 2

表 3-2-3 構造計画 (水密扉) (3/4)

配置図



タービン建屋 T. M. S. L. 4900mm



1		原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
2		原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉

表 3-2-3 構造計画 (水密扉) (4/4)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>The diagram illustrates the overall structure of a watertight door. It shows a vertical cross-section of the door assembly. The door is composed of a door plate (扉板) and a core material (芯材). The door is mounted on a door frame (扉枠) which is secured to the building body (建屋 (躯体)) using anchor bolts (アンカーボルト). The door is closed by a locking device (締付装置) and is hinged (ヒンジ) at the bottom. The floor surface (床面) is indicated at the bottom.</p>
		<p>This diagram provides a detailed view of the door's connection to the building body. It shows the door plate (扉板) and core material (芯材) being secured to the building body (建屋 (躯体)) using anchor bolts (アンカーボルト).</p>

K6 ① VI-3-別添 3-1-1-R0

3.2.4 床ドレンライン浸水防止治具

(1) 構造設計

床ドレンライン浸水防止治具は、フロート式治具、スプリング式治具、閉止キャップ及び閉止栓があり、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

フロート式治具は、弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成し、床面設置の床ドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定する構造もしくは、台座と取付金具を接着剤で固定し、本体フランジと取付金具をボルトで固定する構造とする。また、フロート式治具に作用する荷重はねじ込み又は接着で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

スプリング式治具は、弁本体、弁体及び弁体を弁座に導くガイドを主体構造とし、荷重が作用した場合でもスプリング式治具が動かないように床面設置の床ドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定する構造もしくは、台座と取付金具を接着剤で固定し、弁本体フランジと取付金具をボルトで固定する構造とする。また、スプリング式治具に作用する荷重はねじ込み又は接着で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

閉止キャップは、閉止キャップで構成し、床面設置の床ドレン配管にねじ込み固定する構造とする。また、閉止キャップに作用する荷重はねじ込みで固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

閉止栓は、閉止栓で構成し、床面設置の床ドレン配管にゴムの圧着により固定する構造とする。また、閉止栓に作用する荷重はゴムの圧着で固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

床ドレンライン浸水防止治具の構造計画を表 3-2-4 に示す。

(2) 評価方針

床ドレンライン浸水防止治具は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、床ドレンライン浸水防止治具の評価対象部位に作用する応力等がおおむね弾性状態にとどまること及び有意な漏えいが生じないことを確認する。

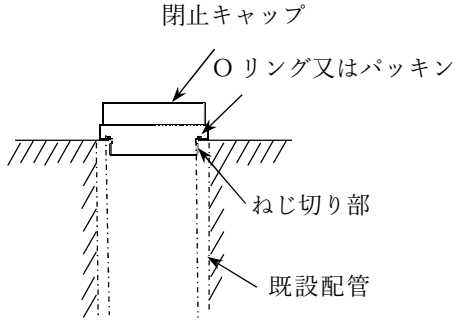
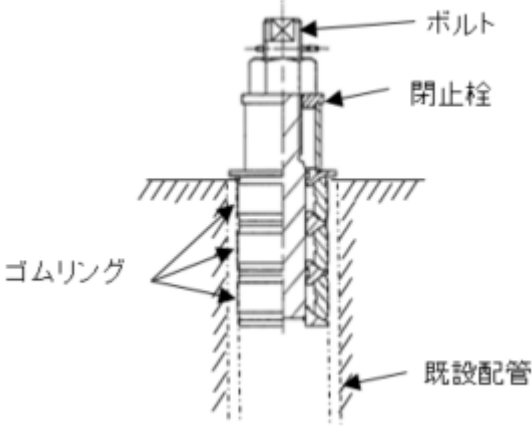
表 3-2-4 構造計画 (床ドレンライン浸水防止治具) (1/3)

設置位置図					
床ドレンライン 浸水防止治具	タービン 建屋*	地下2階	T. M. S. L. -5100		
		地下中2階	T. M. S. L. -1100		
		地下1階	T. M. S. L. +4900		
注記* : 建屋外周エリアを含む					
計画の概要			概略構造図		
型式	主体構造	支持構造			
フロート式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。		
	内ねじ取付型				
	フランジ取付型				

表 3-2-4 構造計画 (床ドレンライン浸水防止治具) (2/3)

計画の概要			型式	主体構造	支持構造	概略構造図
K6 ① VI-3-別添 3-1-1-R0	スプリング式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体, 弁体, 弁体を弁座に導くガイド, ばねが内挿されるばねガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。		
		内ねじ取付型				
		フランジ取付型				

表 3-2-4 構造計画 (床ドレンライン浸水防止治具) (3/3)

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
閉止キャップ	閉止キャップで構成する。	配管にねじ込み固定する。	
閉止栓	閉止栓で構成する。	ゴムの圧着により固定する。	

K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

3.2.5 貫通部止水処置

(1) 構造設計

貫通部止水処置は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

貫通部止水処置は、タービン建屋内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材、ブーツ、閉止板又はモルタルにより、止水する構造とする。

なお、シール材をケーブルトレイ貫通部の止水に用いる場合は、シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックス及び直埋ダクトにシール材を充填、もしくは塗布する。

貫通部止水処置の構造計画を表3-2-5に示す。

(2) 評価方針

貫通部止水処置は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

シール材及びブーツによる止水処置については、考慮する荷重に対し、シール材及びブーツに有意な漏えいが生じないことを確認する。

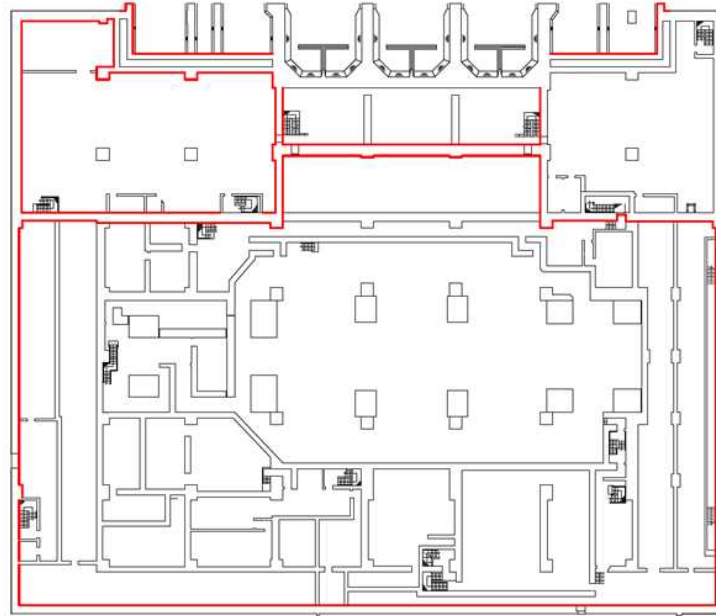
閉止板（鉄板）による止水処置については、考慮する荷重に対し、鉄板がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

モルタルによる止水処置については、考慮する荷重に対し、モルタルがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

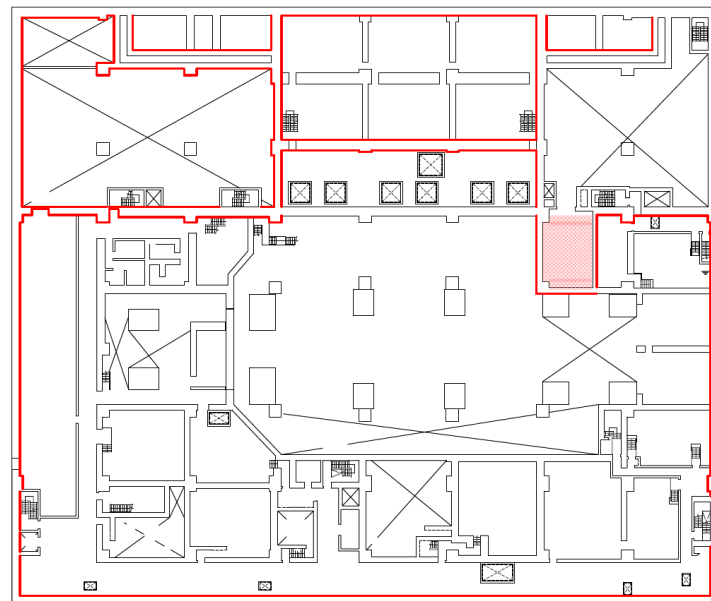
ケーブルトレイ金属ボックスによる止水処置については、考慮する荷重に対し、金属ボックスに有意な漏えいが生じないこと及びアンカーボルトがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3-2-5 構造計画（貫通部止水処置）（1/5）

配置図



タービン建屋 T. M. S. L. -5100mm



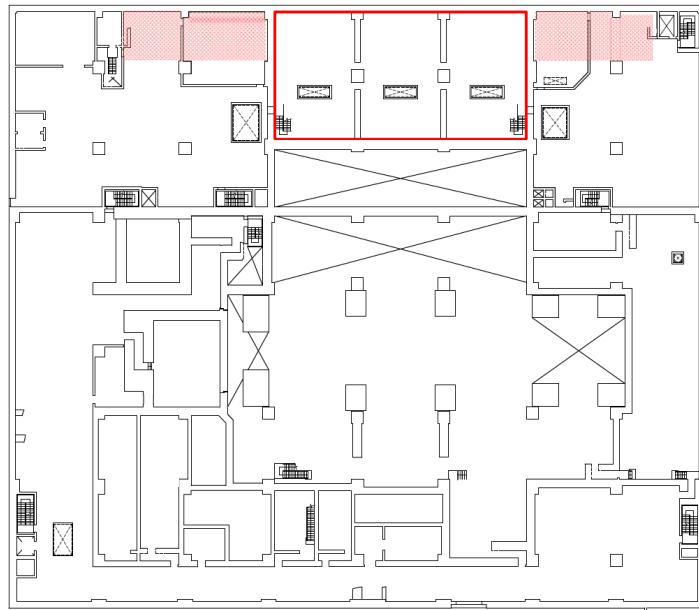
タービン建屋 T. M. S. L. -1100mm

— : 貫通部止水処置を実施する壁面

▨ : 貫通部止水処置を実施する床面

表 3-2-5 構造計画（貫通部止水処置）（2/5）

配置図



タービン建屋 T. M. S. L. 4900mm

- : 貫通部止水処置を実施する壁面
- : 貫通部止水処置を実施する床面

K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

表 3-2-5 構造計画（貫通部止水処置）（3/5）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>充填タイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	
	<p>シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックス及び直埋ダクトにシール材を充填、もしくは塗布する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。</p>	
<p>コーキングタイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	

表 3-2-5 構造計画（貫通部止水処置）（4/5）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて締結する。	

表 3-2-5 構造計画（貫通部止水処置）（5/5）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鉄板にて閉止する構成とする。	開口部に鉄板を挿入し，溶接によって接合する。	

3.2.6 取水槽水位計

(1) 構造設計

取水槽水位計は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及びVI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

取水槽水位計は、検出器、バブラー管、アキュムレータ、ポンベラック及び管から構成されており、タービン建屋内の床面の貫通口とバブラー管の隙間をモルタルにより、止水する構造とする。

取水槽水位計の構造計画を表 3-2-6 に示す。

(2) 評価方針

取水槽水位計は、「(1)構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

津波時は、取水槽からの突き上げ津波荷重がモルタル、バブラー管に作用する。重畳時は、取水槽からの突き上げ津波荷重及び余震による慣性力がモルタル、バブラー管に作用する。

構造強度評価においては、強度評価上厳しくなるモルタルを選定する。

取水槽水位計は、「(1) 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

モルタルによる止水処置については、考慮する荷重に対し、モルタルがおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3-2-6 構造計画 (取水槽水位計) (1/2)



K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

表 3-2-6 構造計画 (取水槽水位計) (2/2)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	

K6 ① VI-3-別添 3-1-1 R0

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

浸水防護施設の強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の種類

a. 常時作用する荷重 (D, G, P)

常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重又は固定荷重、積載荷重とする。

b. 津波荷重 (P_t , P_h , P_{hy})

津波荷重は、施設ごとに設置位置における津波の浸入形態に応じて、以下のとおり、遡上津波荷重、突き上げ津波荷重、静水圧荷重又は津波荷重 (静水圧) として算定する。

(a) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重は、遡上波により波圧として作用する荷重であり、「防波堤の耐津波設計ガイドライン (国土交通省港湾局, 平成 25 年 9 月 (平成 27 年 12 月一部改訂))」によると津波が構造物を越流する場合の津波荷重の算定については、若干越流している状態に静水圧差による算定式を適用する場合は、それより水位の低い越流直前の状態の方が高い波力となる可能性があるため、両者を比較して高い方を採用する必要があるとしている。このため、海水貯留堰における津波波力としては、越流直前の波力及び越流時の静水圧差のうち保守的なものを適用することとする。

(b) 突き上げ津波荷重 (P_t)

突き上げ津波荷重は、床面に設置されている施設に対して、経路からの津波が鉛直上向き方向に作用した場合の津波荷重であり、各施設の設置位置における経路からの津波高さ及び流速を用いて算定する。

(c) 静水圧荷重 (P_h)

静水圧荷重は、津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧として作用する荷重であり、各施設の設置位置における施設の設置高さ及び浸水深さを考慮して、静水圧として算定する。

(d) 津波荷重（静水圧）（ $P_h y$ ）

津波荷重（静水圧）は、津波により越流している状態で余震が発生することを想定し、津波荷重は平面2次元モデルによる津波シミュレーション解析により得られる最大内外水位差に応じた静水圧を算定し、越流時の津波波力（静水圧差）を適用する。

c. 余震荷重（ S_d 又は $K S_d$ ）

余震荷重は、以下のいずれかを適用する。

- ・弾性設計用地震動 $S_d - 1$ に伴う地震力（動水圧含む。）
- ・VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」又はVI-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」により策定した弾性設計用地震動 S_d に伴う地震力（動水圧含む。）

なお、記号については、 S_d 又は $K S_d$ のいずれかを使用する。

d. 衝突荷重（ P_c ）

衝突荷重は、漂流物として最も重量が大きい15 tの航行不能船及び0.14 tの保安林及び1 tの軽自動車を選定し、設定する。

e. 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重は、建築基準法の多雪区域における地震荷重と積雪荷重の組合せの考え方よりも保守的な値である、柏崎市における1日当たりの積雪量の年超過確率 10^{-2} 規模の値（84.3cm）とし、この値にベース負荷である常時考慮するとした積雪量（31.1cm）を合算した115.4cmを組合せとして考慮する。ただし、積雪については、除雪による緩和措置が図られる場合にはその運用上の措置を踏まえた荷重を用いる。

(2) 荷重の組合せ

各施設の強度計算に用いる荷重の組合せは、施設の配置、構造計画に基づく形状及び評価部位を踏まえて、「(1) 荷重の種類」で示した荷重 a. ~e. を常時作用する荷重、津波の形態に応じた津波荷重等及びその他自然現象による荷重に分けて適切に組み合わせる。荷重の組合せにおいては、まず、常時作用する荷重として、対象施設に応じて、以下の荷重の組合せを考慮する。構造物については、固定荷重（ G ）を考慮する。さらに、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造である場合は、積載荷重（ P ）を組み合わせる。

一方、機器類については、自重（ D ）を考慮する。

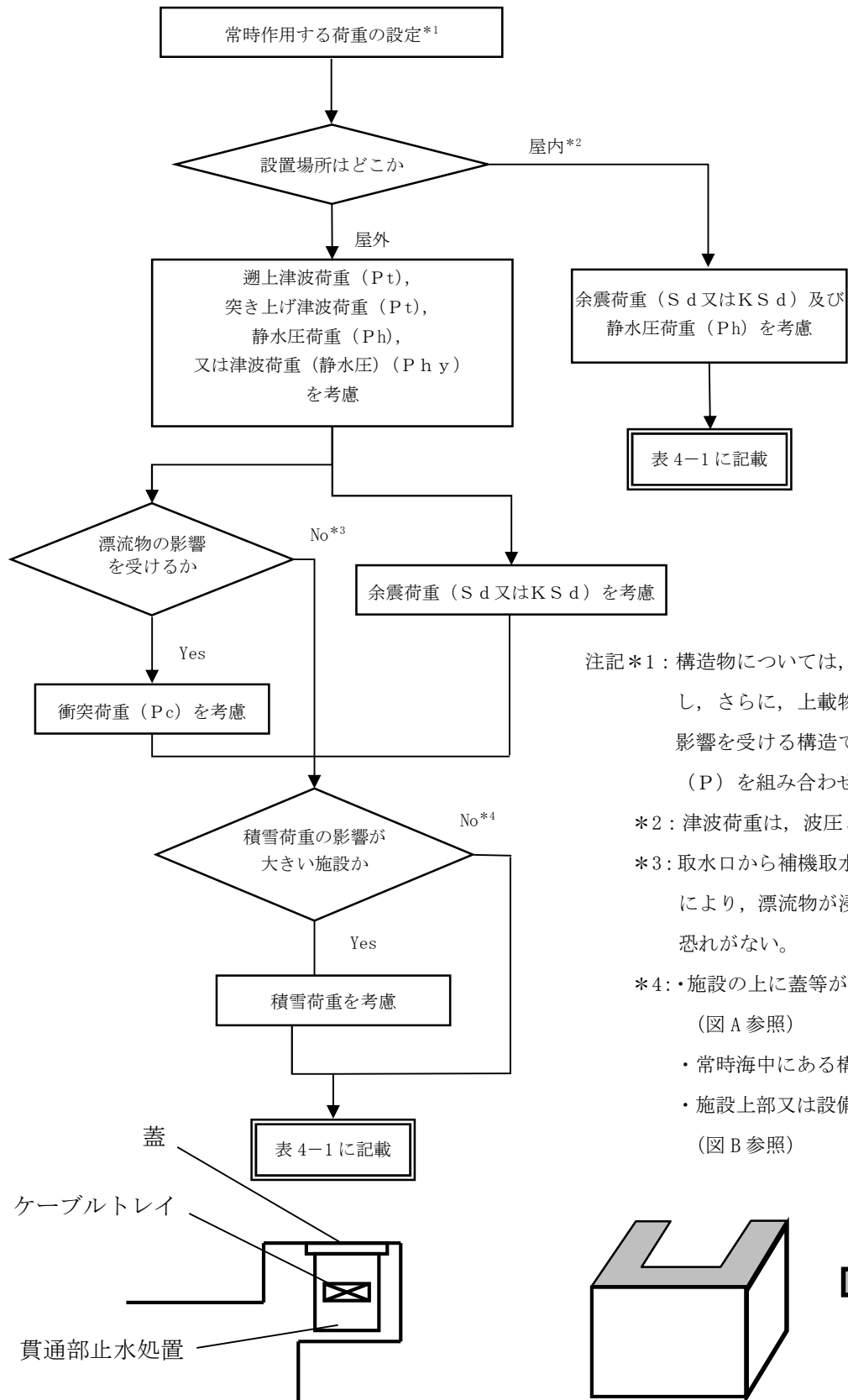
次に、津波の形態に応じた津波荷重等の組合せを考慮する。

津波荷重として、遡上津波荷重 (P_t)、突き上げ津波荷重 (P_t)、静水圧荷重 (P_h) 又は津波荷重 (静水圧) (P_{hy}) を考慮する場合 (漂流物の影響を受ける位置に設置している施設については、衝突荷重 (P_c) の組合せを考慮する。) と、遡上津波荷重 (P_t)、突き上げ津波荷重 (P_t)、静水圧荷重 (P_h) 又は津波荷重 (静水圧) (P_{hy}) と余震荷重 (S_d 又は $K S_d$) の組合せを考慮する場合に分けて強度計算を行う。

最後に、施設の構造等を踏まえ、積雪荷重 (P_s) の組合せを考慮する。

積雪荷重 (P_s) については、屋外の積雪が生じる場所に設置している施設について、組合せを考慮する。ただし、自重 (D) に対して積雪荷重 (P_s) の割合が無視できる施設については、各強度計算書において積雪荷重 (P_s) の影響が無視できることを確認したうえで、組合せ計算を実施しない。

以上を踏まえ、具体的に施設ごとの強度計算書において考慮すべき荷重の組合せを設定する。荷重の組合せの設定フローを図 4-1 に、フローに基づき設定した施設ごとの荷重の組合せ結果を表 4-1 に示す。



注記*1：構造物については、固定荷重 (G) を考慮し、さらに、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造である場合は、積載荷重 (P) を組み合わせる。

*2：津波荷重は、波圧として考慮しない。

*3：取水口から補機取水槽まで距離があることにより、漂流物が浸水防止設備に衝突する恐れがない。

*4：・施設の上に蓋等があり施設に積雪しない。
(図 A 参照)
・常時海中にある構造物。
・施設上部又は設備の受圧面積が小さい。
(図 B 参照)

図 A：蓋等により積雪しない場合の例

図 B：上部の受圧面積が小さい場合の例

図 4-1 強度計算における荷重の組合せの設定フロー

表 4-1 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ (1/2)

強度計算の対象施設	事象	荷重					
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S d 又は K S d)	遡上津波荷重 (P t), 突き上げ津波荷重 (P t), 静水圧荷重 (P h), 又は津波荷重 (静水圧) (P h y)	衝突荷重 (P c)	積雪荷重 (P s)
海水貯留堰 (重大事故等時のみ 6, 7 号機共用)	津波時	○	—	—	○ 遡上津波 (P t)	○	—
	重畳時 1	○	—	○	○ 遡上津波 (P t)	—	—
	重畳時 2	○	—	○	○ 津波荷重 (静水圧) (P h y)	○	—
海水貯留堰 (7 号機設備, 重大事故等 時のみ 6, 7 号共用)	津波時	○	—	—	○ 遡上津波 (P t)	○	—
	重畳時 1	○	—	○	○ 遡上津波 (P t)	—	—
	重畳時 2	○	—	○	○ 津波荷重 (静水圧) (P h y)	○	—
取水槽閉止板	津波時	○	—	○	○ 突き上げ津波荷重 (P t)	—	—
水密扉	津波時	○	—	○	○ 静水圧荷重 (P h)	—	—

(○ : 考慮する荷重を示す。)

表 4-1 津波防護に関する施設の強度計算における荷重の組合せ (2/2)

強度計算の対象施設	事象	荷重					
		自重 (D) 又は 固定荷重 (G)	積載荷重 (P)	余震荷重 (S d 又は K S d)	遡上津波荷重 (P t), 突き上げ津波荷重 (P t), 静水圧荷重 (P h), 又は津波荷重 (静水圧) (P h y)	衝突荷重 (P c)	積雪荷重 (P s)
床ドレンライン浸水防止 治具	津波時	○	—	○	○ 静水圧荷重 (P h)	—	—
貫通部止水処置	津波時	○	—	○	○ 静水圧荷重 (P h) 突き上げ津波荷重 (P t)	—	—
取水槽水位計	津波時	○	—	○	○ 突き上げ津波荷重 (P t)	—	—

(○：考慮する荷重を示す。)

4.2 許容限界

許容限界は、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」にて設定している。

津波荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能保持の評価方針を踏まえて、評価部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めて施設ごとの許容限界を表4-2-1に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価部位の応力や変形の状態を考慮し、評価部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1 施設ごとの許容限界

(1) 海水貯留堰

a. 鋼管矢板

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、鋼管矢板がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」に基づき、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

b. 止水ゴム

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため、境界部に設置する止水ゴムが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する評価方針としていることを踏まえ、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。

c. 止水ゴム取付部鋼材

地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、止水ゴム取付部鋼材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、基準津波に対する許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」に基づき、適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように、短期許容応力度として設定する。

(2) 取水槽閉止板

a. スキンプレート、主桁、戸当り及び締付ボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、スキンプレート、主桁、戸当り及び締付ボルトの構造部材が、おおむね弾性状

態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、許容限界は、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえて、短期許容応力度として設定する。

b. アンカーボルト

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)」に基づき算定し、許容耐力として設定する。

(3) 水密扉

a. 扉板、芯材及び締付装置部

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、扉板、芯材及び締付装置部の構造部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえて、短期許容応力度として設定する。

b. アンカーボルト

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、アンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、許容限界は、「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)」に基づき算定し、許容耐力として設定する。

(4) 床ドレンライン浸水防止治具

a. フロート式治具

(a) 弁本体、フロートガイド

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、弁本体、フロートガイドの構造部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格設計・建設規格 (2005 年度版 (2007 年追補版を含む)) J S M E S N C 1-2005/2007 (日本機械学会)」に準じた供用状態 C の許容応力 (許容応力状態 III_A S) を許容限界として設定する。

(b) フロート、取付部

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重

並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、フロート、取付部に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、フロート、取付部に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認するため、水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

b. スプリング治具

(a) 弁本体・ガイド、ばねガイド及び弁体

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、弁本体・ガイド、ばねガイド及び弁体の構造部材が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年度版(2007年追補版を含む)) J S M E S N C 1 - 2005/2007 (日本機械学会)」に準じた供用状態 C の許容応力 (許容応力状態Ⅲ_AS) を許容限界として設定する。

(b) 弁体、取付部

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し構造部材の健全性を保持する設計とするために、弁体、取付部に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、弁体、取付部に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認するため、水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

c. 閉止キャップ

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、閉止キャップに有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、閉止キャップに想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認するため、水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

d. 閉止栓

津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、閉止栓に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、閉止栓に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認するため、水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

(5) 貫通部止水処置

a. シール材

考慮する荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材に有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、シール材に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認するため、水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

考慮する荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツに有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、ブーツに想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認するため、水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

考慮する荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、貫通口と貫通物の隙間に施工するモルタルが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002年制定)」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

d. 鉄板

考慮する荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、貫通口に施工する鉄板が、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補含む)) J S M E S N C 1-2005/2007((社)日本機械学会)」に準じた供用状態Cの許容応力(許容応力状態Ⅲ_AS)を許容限界として設定する。

e. ケーブルトレイ金属ボックス

(a) 金属ボックス

考慮する荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、貫通口と貫通物の隙間に施工する金属ボックスに有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることを踏まえ、金属ボックスに想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認するため、水圧試験の水圧を許容限界として設定する。

(b) アンカーボルト

考慮する荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするために、貫通口と貫通物の隙間に施工するアンカーボルトが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005

年版（2007年追補含む）J S M E S N C 1 - 2005 / 2007（（社）日本機械学会）」に準じた供用状態 C の許容応力（許容応力状態Ⅲ_AS）を許容限界として設定する。

(6) 取水槽水位計

a. モルタル

地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重に対し、貫通口とバブラー管の隙間に施工するモルタルが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることを踏まえ、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づく計算式により算出される許容付着荷重を許容荷重として設定する。

表 4-2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (1/8)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
海水貯留堰 (重大事故等時のみ6,7号機共用)	$G + P_t + P_c$ $G + P_t + K S_d$ $G + P_h y + K S_d + P_c$	鋼管矢板	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。
		止水ゴム	変形	有意な漏えいに至る変形	漏水試験及び変形試験により, 有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		止水ゴム 取付部鋼材	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。

表 4-2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (2/8)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
海水貯留堰 (7号機設備, 重大 事故等時のみ6, 7 号機共用)	$G + P_t + P_c$ $G + P_t + K S_d$ $G + P_{hy} + K S_d + P_c$	鋼管矢板	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。
		止水ゴム	変形	有意な漏えいに至る変形	漏水試験及び変形試験により, 有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。
		止水ゴム 取付部鋼材	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」に基づき, 短期許容応力度とする。基準津波に対する許容限界は適切な裕度をもって弾性状態にとどまるように設定する。

表 4-2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (3/8)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水槽閉止板	G + P t + K S d	スキンプレート, 主桁, 戸当り	曲げ, せん断	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本 建築学会, 2005 改定)」を踏まえて, 短期許容応 力度以下とする。
		締付ボルト	引張り, せん断	部材が弾性域 にとどまらず 塑性域に入る 状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本 建築学会, 2005 改定)」を踏まえて, 短期許容応 力度以下とする。
		アンカーボルト			「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建 築学会, 2010 改定)」に基づき算定した, 許容耐 力以下とする。

表 4-2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (4/8)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
水密扉	G + P h + K S d	扉板, 芯材	曲げ, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社)日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえ, 短期許容応力度以下とする。
		締付装置部	曲げ, せん断 引張り		
		アンカーボルト	引張り, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	

表 4-2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (5/8)

設備名		荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
床ドレンライン浸水防止治具	フロート式治具	D + P h + S d	弁本体, フロートガイド	圧縮, 曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年度版(2007年追補版を含む)) <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007 (日本機械学会)」に準じた供用状態Cの許容応力(許容応力Ⅲ _A S)以下とする。
			フロート	圧縮	有意な漏えいに至る変形	水圧試験で確認した水圧以下とする。
			取付部	引張り		
	スプリング式治具		弁本体・ガイド, ばねガイド	圧縮, 曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年度版(2007年追補版を含む)) <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007 (日本機械学会)」に準じた供用状態Cの許容応力(許容応力Ⅲ _A S)以下とする。
			弁体	曲げ	有意な漏えいに至る変形	水圧試験で確認した水圧以下とする。
			弁体, 取付部	圧縮	有意な漏えいに至る変形	

表 4-2-1 施設ごとの評価対象部位の許容限界 (6/8)

設備名		荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
				応力等の状態	限界状態	
床ドレンライン浸水防止治具	閉止 キャップ	D + P h + S d	閉止キャップ	圧縮	有意な漏えいに至る変形	水圧試験で確認した水圧以下とする。
	閉止栓		閉止栓			

表 4-2-1 施設ごとの代表的な評価対象部位の許容限界 (7/8)

設備名	荷重の組合せ	評価部位		機能損傷モード		許容限界	
				応力等の状態	限界状態		
貫通部止水処置	G + P _h + P _t + K S _d	シール材		せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。	
		ブーツ		せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。	
		モルタル		圧縮, せん断		部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書【構造性能照査】((社) 土木学会, 2002 年制定)」に基づいて算出される許容付着荷重以下とする。
		閉止板	鉄板	せん断, 曲げ		部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年度版 (2007 年追補版を含む)) <第 I 編 軽水炉規格> J S M E S N C 1-2005/2007 (日本機械学会)」に準じた供用状態 C の許容応力 (許容応力 III _A S) 以下とする。
		ケ ー 属 ボ ル ツ レ ク イ ス	金属ボックス	せん断		有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
アンカーボルト	引張り, せん断		部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年度版 (2007 年追補版を含む)) <第 I 編 軽水炉規格> J S M E S N C 1-2005/2007 (日本機械学会)」に準じた供用状態 C の許容応力 (許容応力 III _A S) 以下とする。			

表 4-2-1 施設ごとの代表的な評価対象部位の許容限界 (8/8)

設備名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
取水槽水位計	G + Pt + K S d	モルタル	圧縮, せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書【構造性能照査】((社) 土木学会, 2002 年制定)」に基づいて算出される許容付着荷重以下とする。

5. 強度評価方法

評価手法は、以下に示す解析法により、適用性に留意の上、規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・ F E M等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

余震荷重を基に設定した入力地震動に対する評価手法は、以下に示す解析法により、 J E A G 4 6 0 1に基づき実施することを基本とする。

- ・ 時刻歴応答解析
- ・ F E M等を用いた解析法
- ・ 定式化された評価式を用いた解析法

5.1 津波防護施設に関する評価式

5.1.1 海水貯留堰

(1) 評価方針

海水貯留堰の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波の津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-1-1 に示す。

表 5-1-1 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼管矢板	曲げ，せん断
止水ゴム	変形
止水ゴム取付部鋼材	曲げ，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」及びVI-3-別添 3-1-3「海水貯留堰（7号機設備）の強度計算書」に示す。

5.2 浸水防止設備に関する評価式

5.2.1 取水槽閉止板

(1) 評価方針

取水槽閉止板の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2-1 に示す。

表 5-2-1 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
スキンプレート, 主桁, 戸当り	曲げ, せん断
アンカーボルト, 締付ボルト	引張り, せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-1-4「取水槽閉止板の強度計算書」に示す。

5.2.2 水密扉

(1) 評価方針

水密扉の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2-2 に示す。

表 5-2-2 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉板、芯材	曲げ、せん断
締付装置部	曲げ、せん断、引張り
アンカーボルト	引張り、せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-1-5 「水密扉の強度計算書」に示す。

5.2.3 床ドレンライン浸水防止治具

(1) フロート式治具

a. 評価方針

床ドレンライン浸水防止治具の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 構造上の特徴, 静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- (b) 荷重及び荷重の組合せは, 津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震, 漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- (c) 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

b. 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2-3 に示す。

表 5-2-3 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体	圧縮、曲げ
フロートガイド	
フロート	圧縮
取付部	引張り

c. 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については, VI-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に示す。

(2) スプリング式治具

a. 評価方針

スプリング式治具の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 構造上の特徴, 静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- (b) 荷重及び荷重の組合せは, 津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震, 漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- (c) 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

b. 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2-4 に示す。

表 5-2-4 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体・ガイド	圧縮、曲げ
ばねガイド	
弁体	曲げ
弁体, 取付部	圧縮

c. 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に示す。

(3) 閉止キャップ

a. 評価方針

閉止キャップの評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 構造上の特徴, 静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し, 評価部位を設定する。
- (b) 荷重及び荷重の組合せは, 津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震, 漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し, 評価される最大荷重を設定する。
- (c) 評価に用いる寸法については, 公称値とする。

b. 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2-5 に示す。

表 5-2-5 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
閉止キャップ	圧縮

c. 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に示す。

(4) 閉止栓

a. 評価方針

閉止栓の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- (a) 構造上の特徴、静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。
- (b) 荷重及び荷重の組合せは、津波による溢水又は内部溢水の浸水によって生じる浸水深が大きい方の静水圧荷重並びに余震、漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- (c) 評価に用いる寸法については、公称値とする。

b. 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2-6 に示す。

表 5-2-6 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
閉止栓	圧縮

c. 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-1-6「床ドレンライン浸水防止治具の強度計算書」に示す。

5.2.4 貫通部止水処置

(1) 評価方針

貫通部止水処置の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、考慮する荷重のうち、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-2-7 に示す。

表 5-2-7 評価部位及び評価内容

評価部位		評価内容
シーラ材		せん断
ブーツ		せん断
モルタル		圧縮, せん断
閉止板	鉄板	せん断, 曲げ
ケーブルトレイ 金属ボックス	金属ボックス	せん断
	アンカーボルト	引張り, せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、VI-3-別添 3-1-7 「貫通部止水処置の強度計算書」に示す。

5.3 津波監視設備に関する評価式

5.3.1 取水槽水位計

(1) 評価方針

取水槽水位計の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴，津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは，地震後の繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重並びに余震，漂流物の衝突及び積雪を考慮した荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5-3-1 に示す。

表 5-3-1 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
モルタル	圧縮，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，VI-3-別添 3-1-8「取水槽水位計の強度計算書」に示す。

6. 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・防波堤の耐津波設計ガイドライン (国土交通省港湾局, 平成 27 年 12 月一部改訂)
- ・港湾鋼構造物防食・補修マニュアル (沿岸技術研究センター, 2009 年版)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局, 平成 19 年 7 月)
- ・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)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 -許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・鋼構造設計規準-許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・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 -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 (2005 年版 (2007 年追補含む)) J S M E S N C 1 -2005/2007 ((社) 日本機械学会)
- ・日本産業規格 (J I S)
- ・水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 (公益社団法人 日本水道協会)
- ・Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY , 2012)
- ・機械工学便覧 (日本機械学会)

VI-3-別添3-1-2 海水貯留堰の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	6
3. 強度評価方法	7
4. 評価条件	8
5. 強度評価結果	9

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、海水貯留堰が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

強度計算に当たっては、基準津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

ここで、余震とは、津波と組み合わせる地震のことであり、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 $S_d - 1$ を用いる。(以下「 $S_d - 1$ 」という。)

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-3-別添3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-3-別添3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

海水貯留堰は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設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。

海水貯留堰の強度評価は、VI-3-別添3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」において設定している荷重及び荷重の組合せ、並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」より、海水貯留堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）について行う。

海水貯留堰の強度評価は、表2-1の海水貯留堰の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を実施することにより、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、海水貯留堰の鋼管矢板が1列に並んでいる構造であることから、津波荷重による接地圧への影響がほぼないこと及び重畳時の余震荷重よりも地震時の地震荷重の方が接地圧への影響が大きいことを考慮して、耐震計算書において実施する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価のうち津波時の検討では、2次元静的フレーム解析における地盤ばね

の剛性を考慮した検討を実施し、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。また、重畳時の検討では、1次元有効応力解析から地盤ばねの剛性を考慮した2次元静的フレーム解析を実施し、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認するとともに、地盤物性のばらつきの影響評価を実施する。

海水貯留堰の強度評価フローを図2-1に示す。

なお、重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される余震(S d-1)を1次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

表 2-1 海水貯留堰の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼管矢板	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

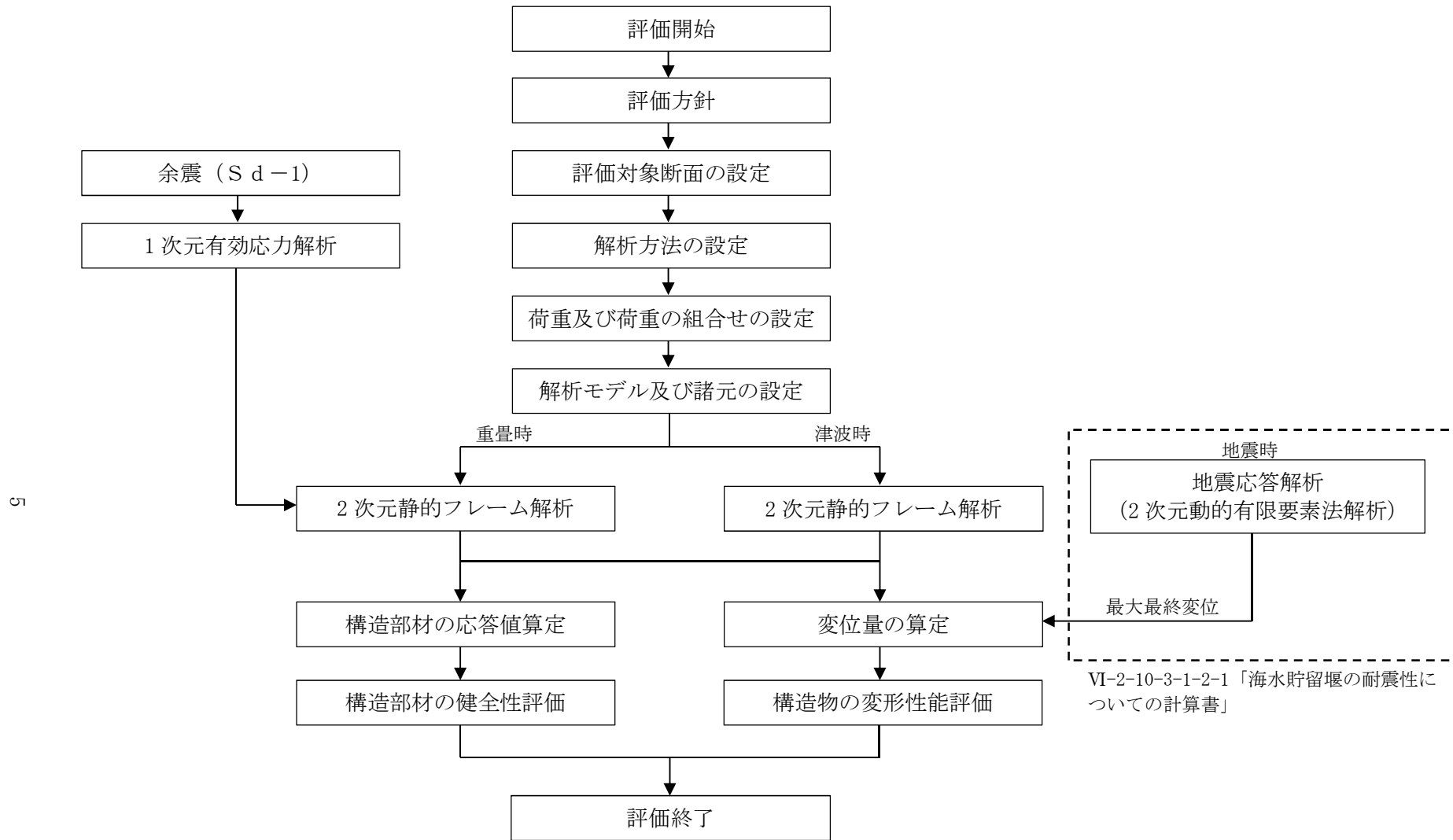


図 2-1 海水貯留堰の強度評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 強度評価方法

強度評価方法は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」の「3. 強度評価方法」による。

4. 評価条件

評価条件は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」の「4. 評価条件」による。

5. 強度評価結果

強度評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-3「海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書」の「5. 強度評価結果」による。

VI-3-別添 3-1-3 海水貯留堰（7号機設備）の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	6
3. 強度評価方法	7
4. 評価条件	8
5. 強度評価結果	9

1. 概要

本資料は、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、海水貯留堰（7号機設備）が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

強度計算に当たっては、基準津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

ここで、余震とは、津波と組み合わせる地震のことであり、VI-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動 $S_d - 1$ を用いる。（以下「 $S_d - 1$ 」という。）

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-3-別添3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-3-別添3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

海水貯留堰（7号機設備）は、常設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。

海水貯留堰（7号機設備）の強度評価は、VI-3-別添3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」において設定している荷重及び荷重の組合せ、並びに許容限界を踏まえて実施する。強度評価では、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」より、海水貯留堰（7号機設備）の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰（7号機設備）の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下「重畳時」という。）について行う。

海水貯留堰（7号機設備）の強度評価は、表2-1の海水貯留堰（7号機設備）の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を実施することにより、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、海水貯留堰の鋼管矢板が1列に並んでいる構造であることから、津波荷重による接地圧への影響がほぼないこと及び重畳時の余震荷重よりも地震時の地震荷重の方が接地圧への影響が大きいことを考慮して、耐震計算書において実施する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

構造部材の健全性評価のうち津波時の検討では、2次元静的フレーム解析における地盤ばね

の剛性を考慮した検討を実施し、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。
また、重畳時の検討では、1次元有効応力解析から地盤ばねの剛性を考慮した2次元静的フレーム解析を実施し、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認するとともに、地盤物性のばらつきの影響評価を実施する。

海水貯留堰（7号機設備）の強度評価フローを図2-1に示す。

なお、重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される余震（S d-1）を1次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

表 2-1 海水貯留堰（7号機設備）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼管矢板	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

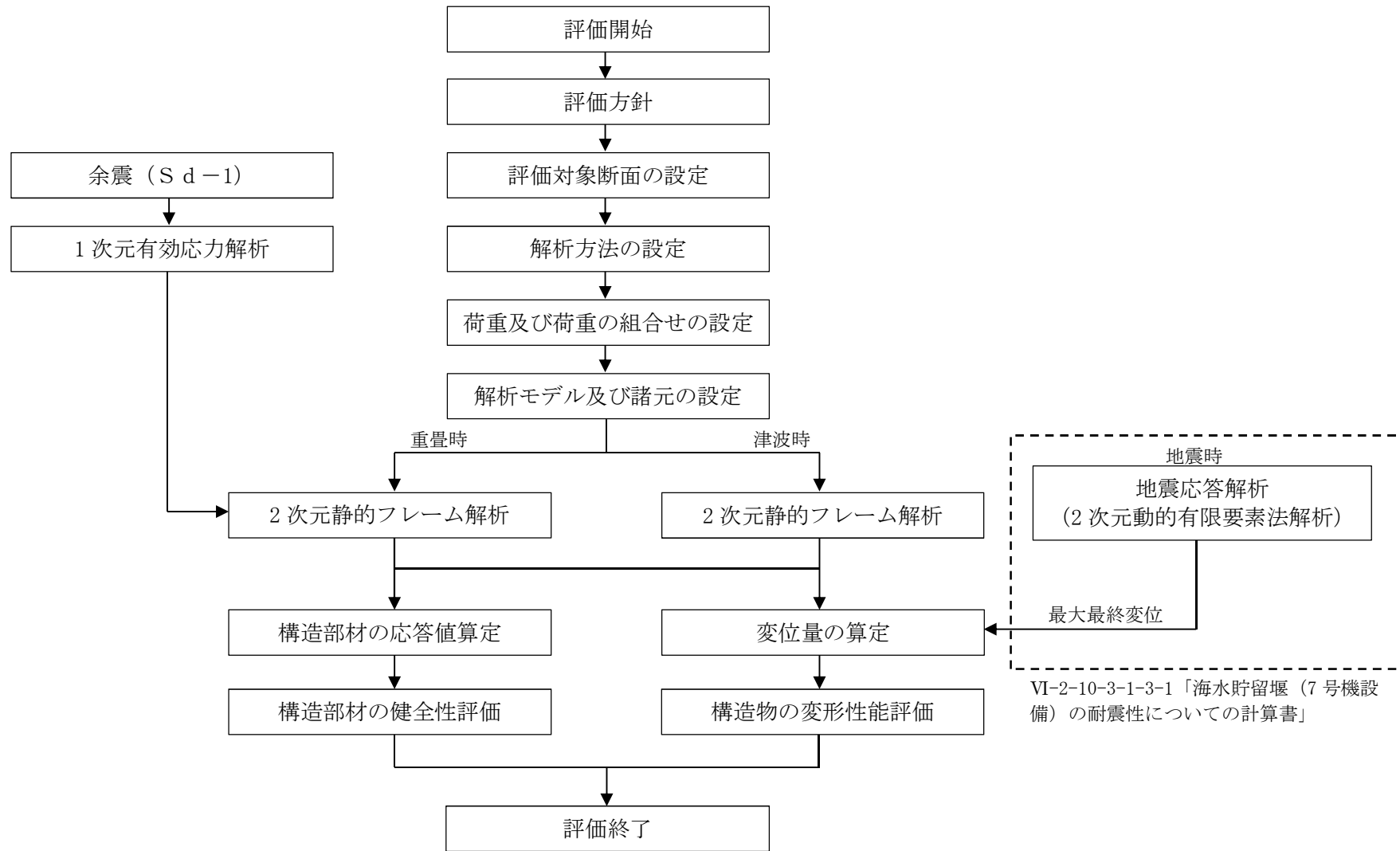


図 2-1 海水貯留堰 (7号機設備) の強度評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 強度評価方法

強度評価方法は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」の「3. 強度評価方法」による。

4. 評価条件

評価条件は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」の「4. 評価条件」による。

5. 強度評価結果

強度評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-3-別添3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」の「5. 強度評価結果」による。