

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-091 改 20
提出年月日	平成 30 年 5 月 30 日

V-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

目次

V-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

V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書

V-3-別添 1-1-2 残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書

V-3-別添 1-1-3 残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書

V-3-別添 1-1-4 排気筒の強度計算書

V-3-別添 1-1-5 換気空調設備の強度計算書

V-3-別添 1-1-6 ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書

V-3-別添 1-1-7 ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書

V-3-別添 1-1-8 ディーゼル発電機吸気フィルタの強度計算書

V-3-別添 1-1-9 配管及び弁の強度計算書

V-3-別添 1-1-10 波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書

V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書

V-3-別添 1-1-10-2 消音器の強度計算書

V-3-別添 1-1-10-3 排気管、放出管及びベント管の強度計算書

V-3-別添 1-2 防護対策施設の強度計算の方針

V-3-別添 1-2-1 防護対策施設の強度計算書

V-3-別添 1-2-1-1 防護ネットの強度計算書

V-3-別添 1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書

V-3-別添 1-2-1-3 架構の強度計算書

V-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

V-3-別添 1-3-1 屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書

：今回ご説明分

V-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の
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.....	12
2.4	適用規格.....	14
3.	強度評価方法.....	15
3.1	記号の定義.....	15
3.2	評価対象部位.....	16
3.3	荷重及び荷重の組合せ.....	17
3.4	許容限界.....	20
3.5	評価方法.....	23
4.	評価条件.....	46
4.1	貫通評価.....	46
4.2	裏面剥離評価.....	48
4.3	変形評価.....	49
5.	強度評価結果.....	55
5.1	貫通評価.....	55
5.2	裏面剥離評価.....	56
5.3	変形評価.....	57

1. 概要

本資料は、V-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、竜巻より防護すべき施設を内包する施設である原子炉建屋、タービン建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所（以下「建屋」という。）及び軽油貯蔵タンクタンク室（以下「構造物」という。）が、設計飛来物（以下「飛来物」という。）の衝突に加え、風圧力及び気圧差に対し、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、内包する竜巻より防護すべき施設に飛来物が衝突することを防止する機能を有すること及び竜巻より防護すべき施設に必要な機能を損なわないことを確認するものである。

2. 基本方針

建屋及び構造物について、V-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、建屋及び構造物の「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

建屋及び構造物の配置図を図2-1に示す。

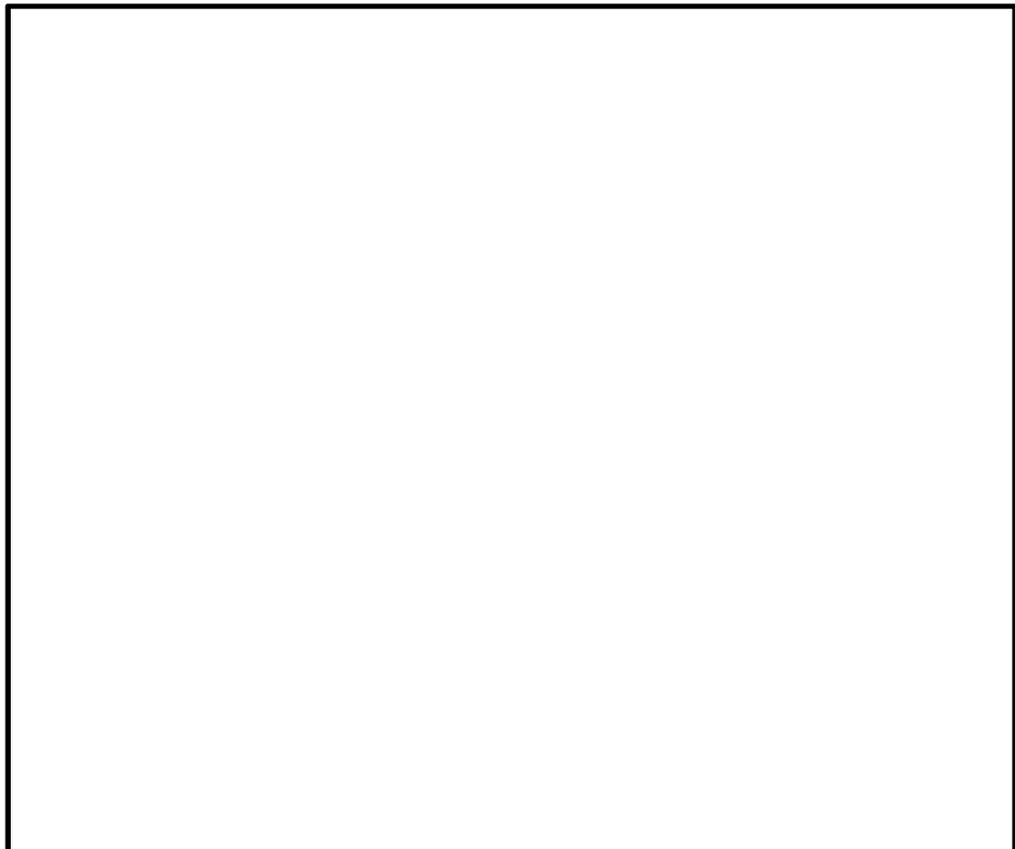


図 2-1 建屋及び構造物の配置図

2.2 構造概要

建屋及び構造物は、V-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。

建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で、一部鉄骨造を有する構造である。また、原子炉建屋には、外殻を構成する部材として鋼製の原子炉建屋大物搬入口扉（原子炉建屋原子炉棟水密扉及び機器搬入口内側扉）、原子炉建屋付属棟 1 階電気室搬入口水密扉等の扉が設置されている。

軽油貯蔵タンクタンク室は、地中に埋設された構造物であり、地上部に露出する頂版を含めた外殻の躯体は鉄筋コンクリート造とし、地上部に露出する開口部の蓋は鋼製である。

建屋及び構造物の概略平面図及び概略断面図を図 2-2～図 2-11 に示す。

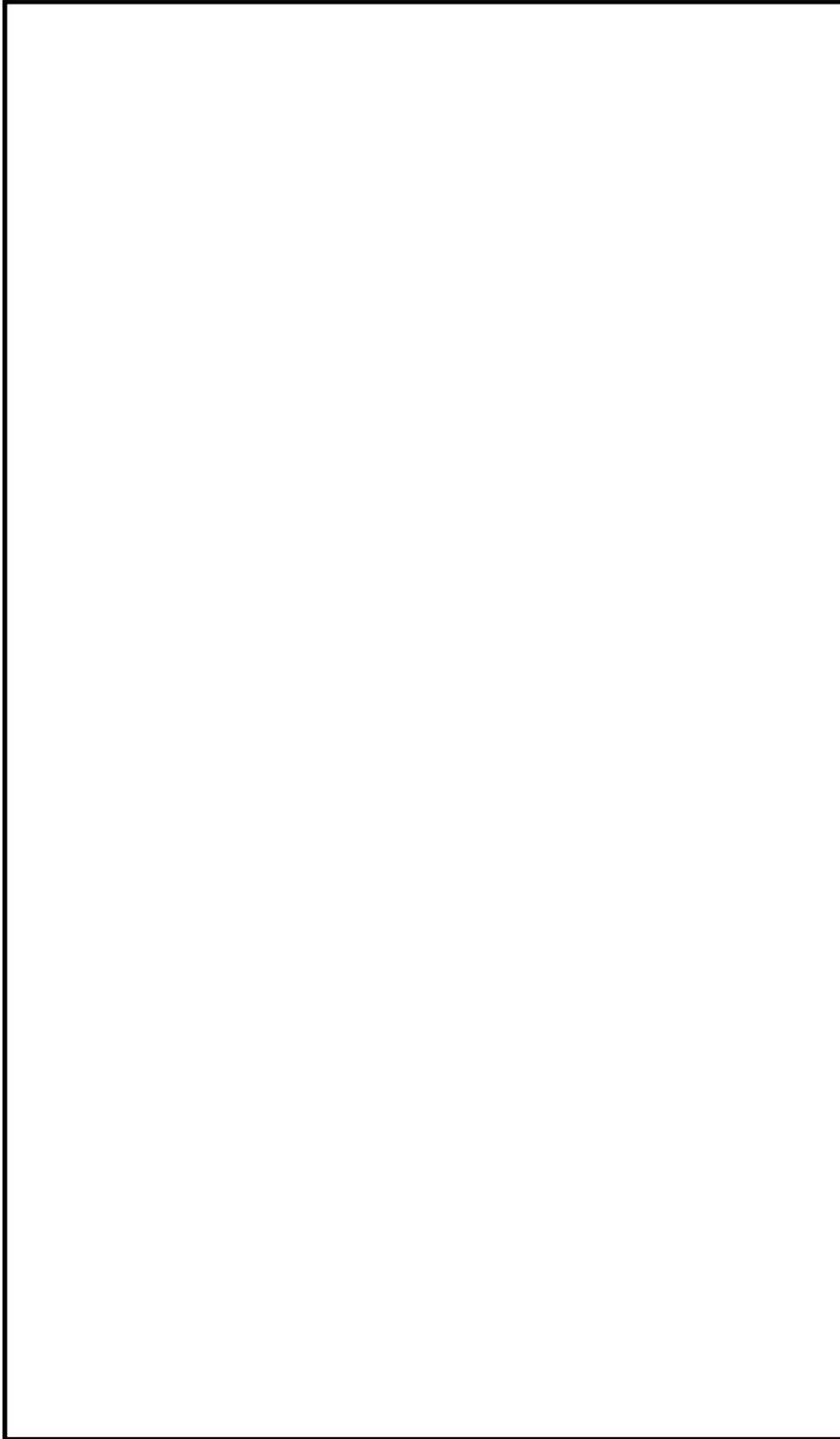


図2-2 原子炉建屋の概略平面図

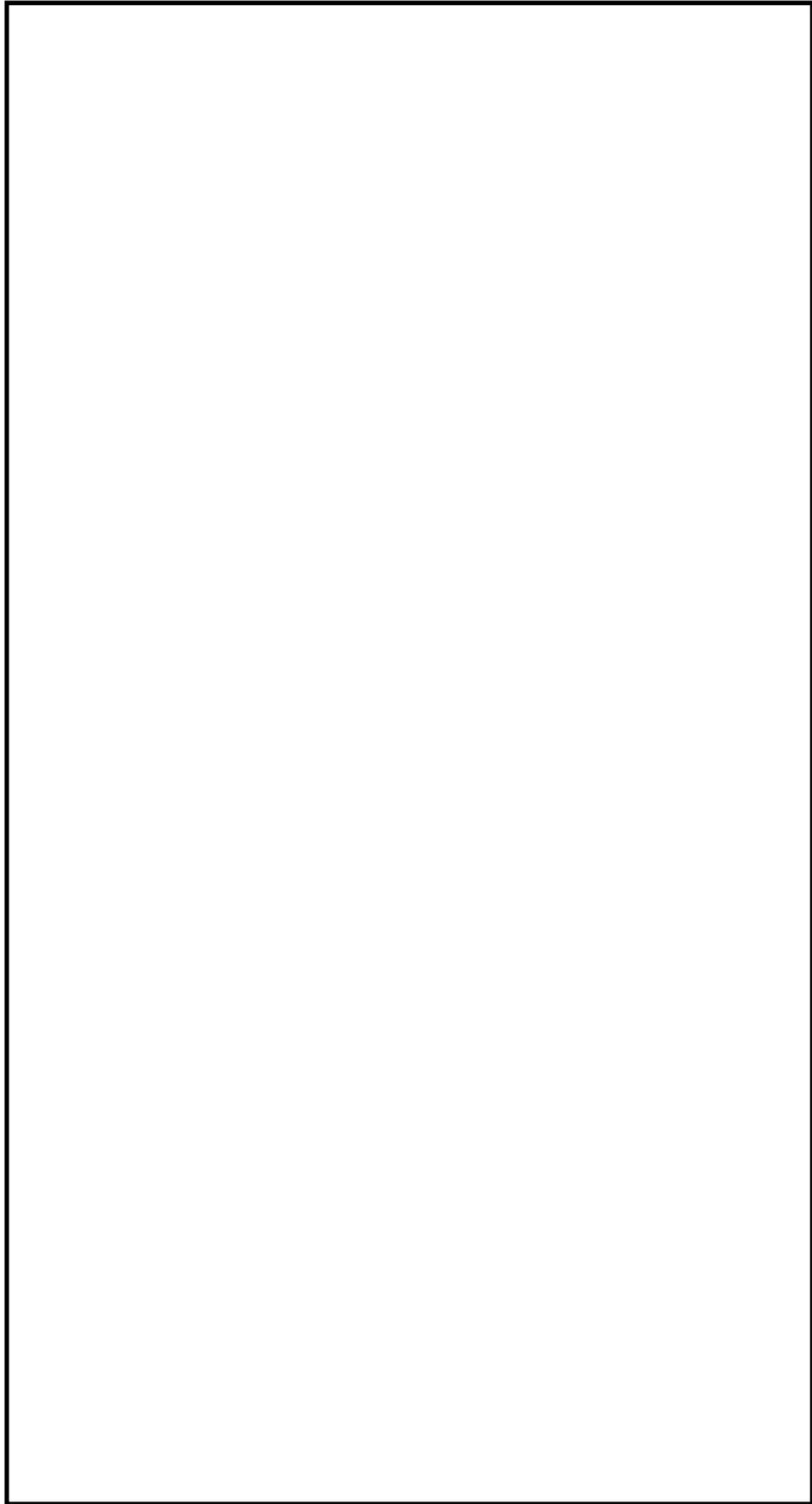


図 2-3 原子炉建屋の概略断面図(1/2)

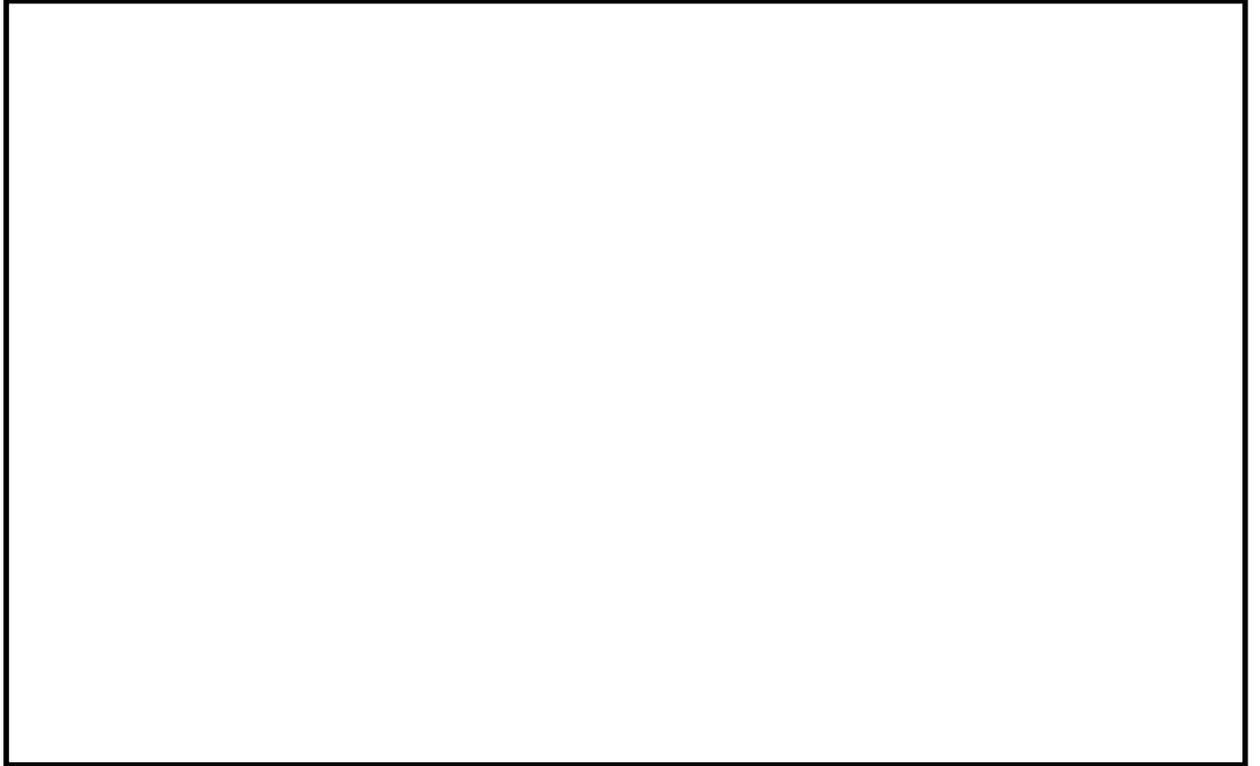


図 2-3 原子炉建屋の概略断面図(2/2：鉄骨構造部)

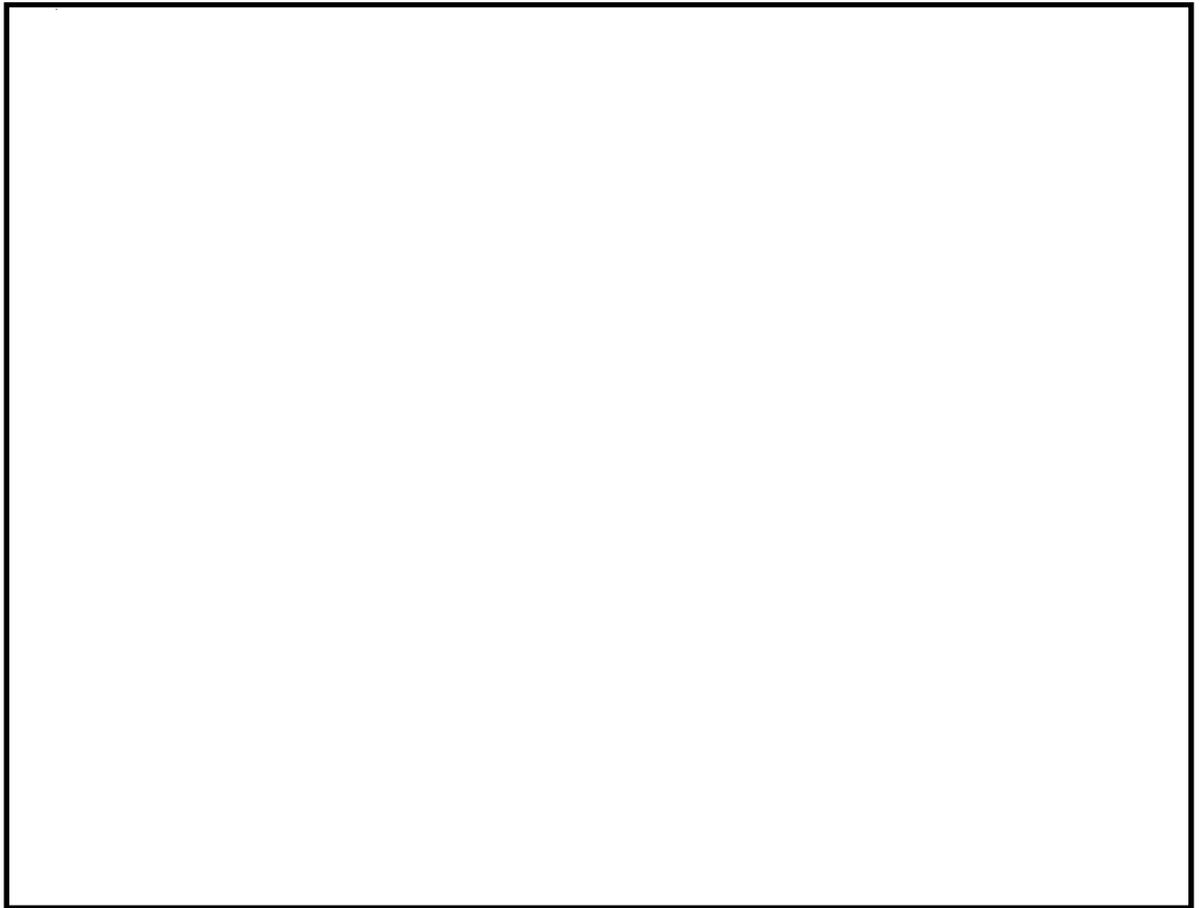


図 2-4 タービン建屋の概略平面図

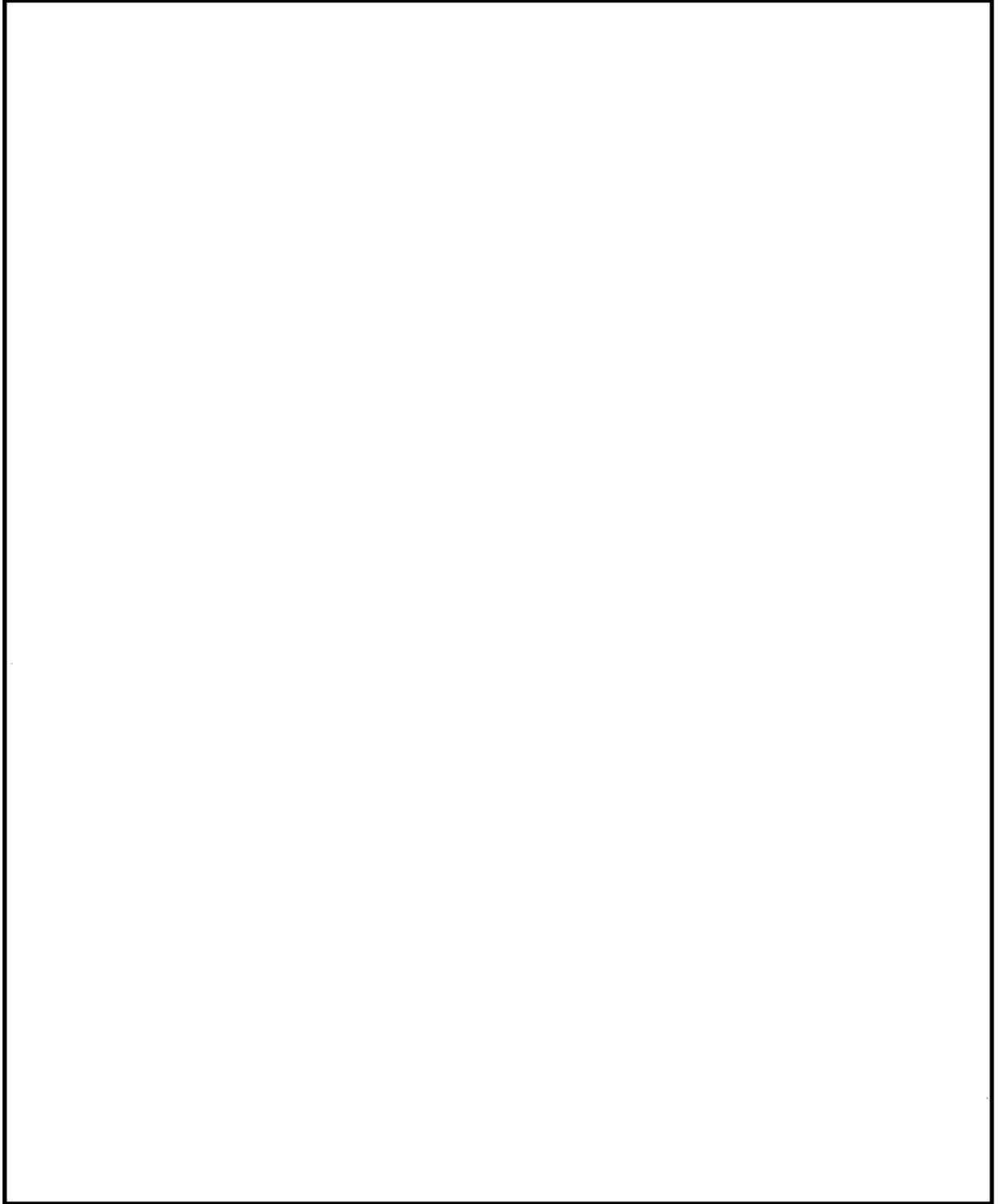


図 2-5 タービン建屋の概略断面図

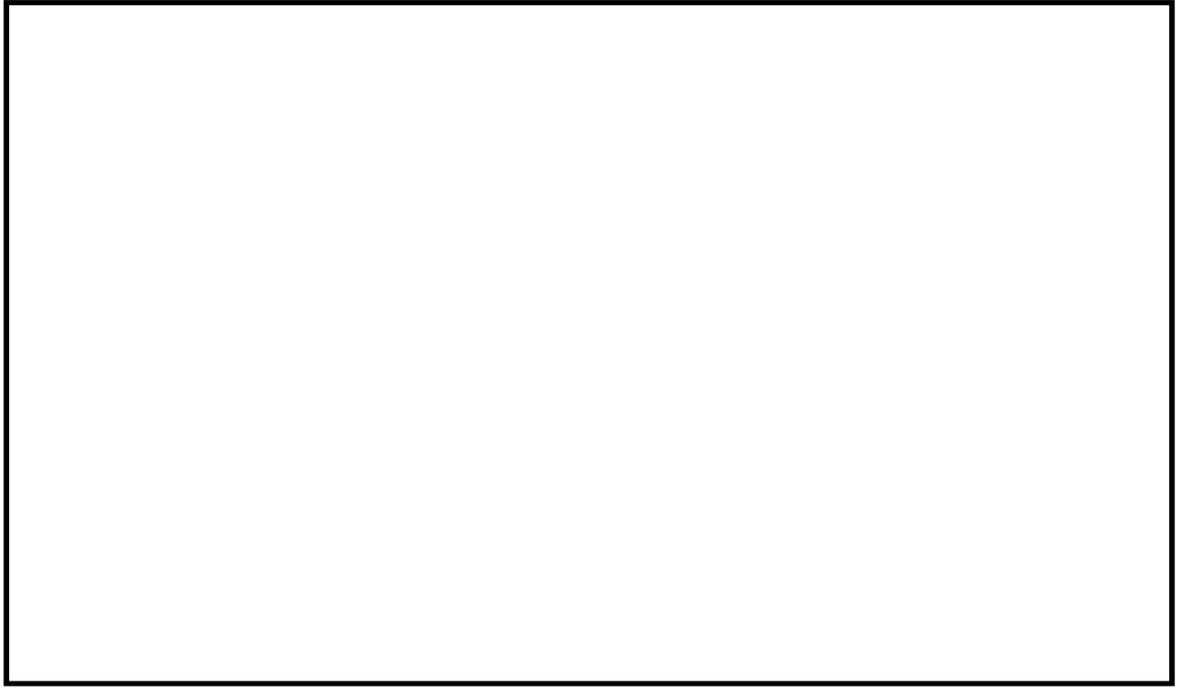


図 2-6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略平面図

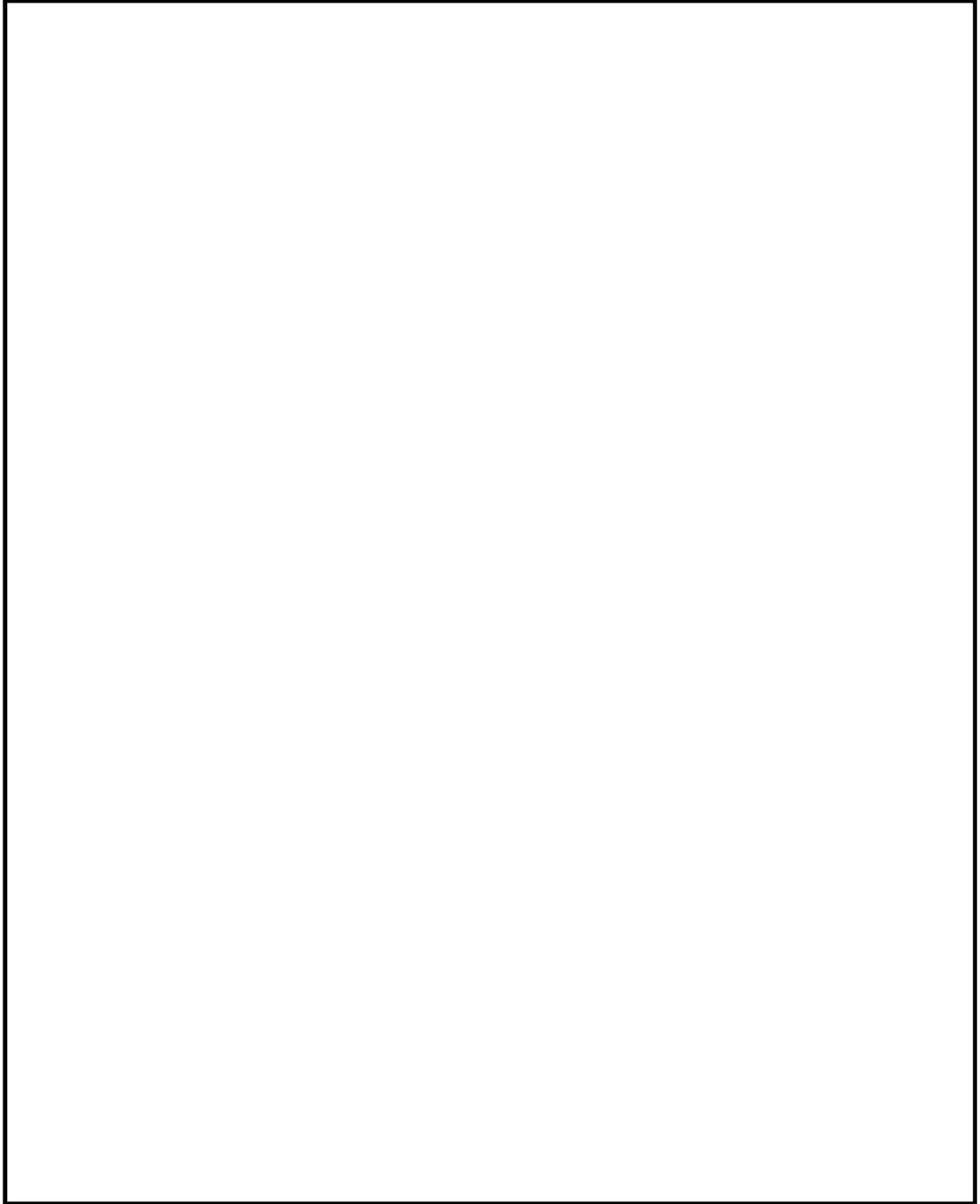


図 2-7 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図



図2-8 軽油貯蔵タンクタンク室の概略平面図

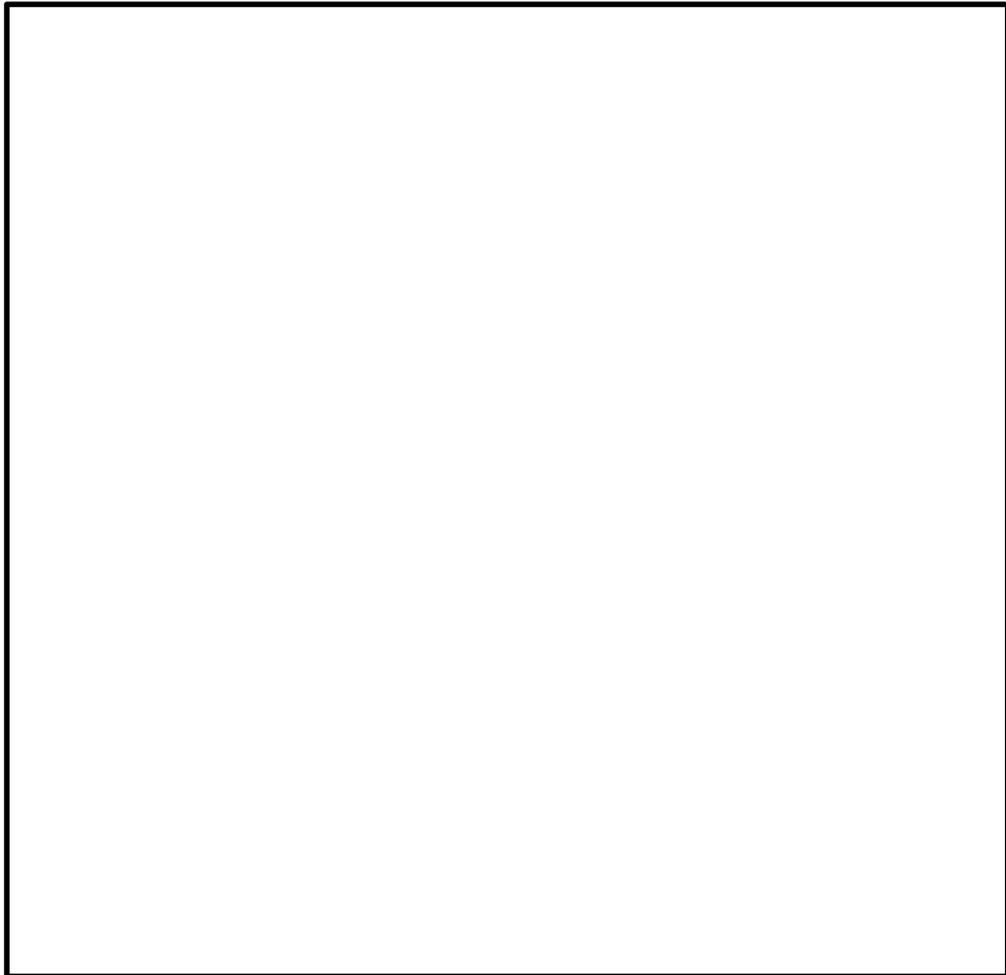


図2-9 軽油貯蔵タンクタンク室の概略断面図

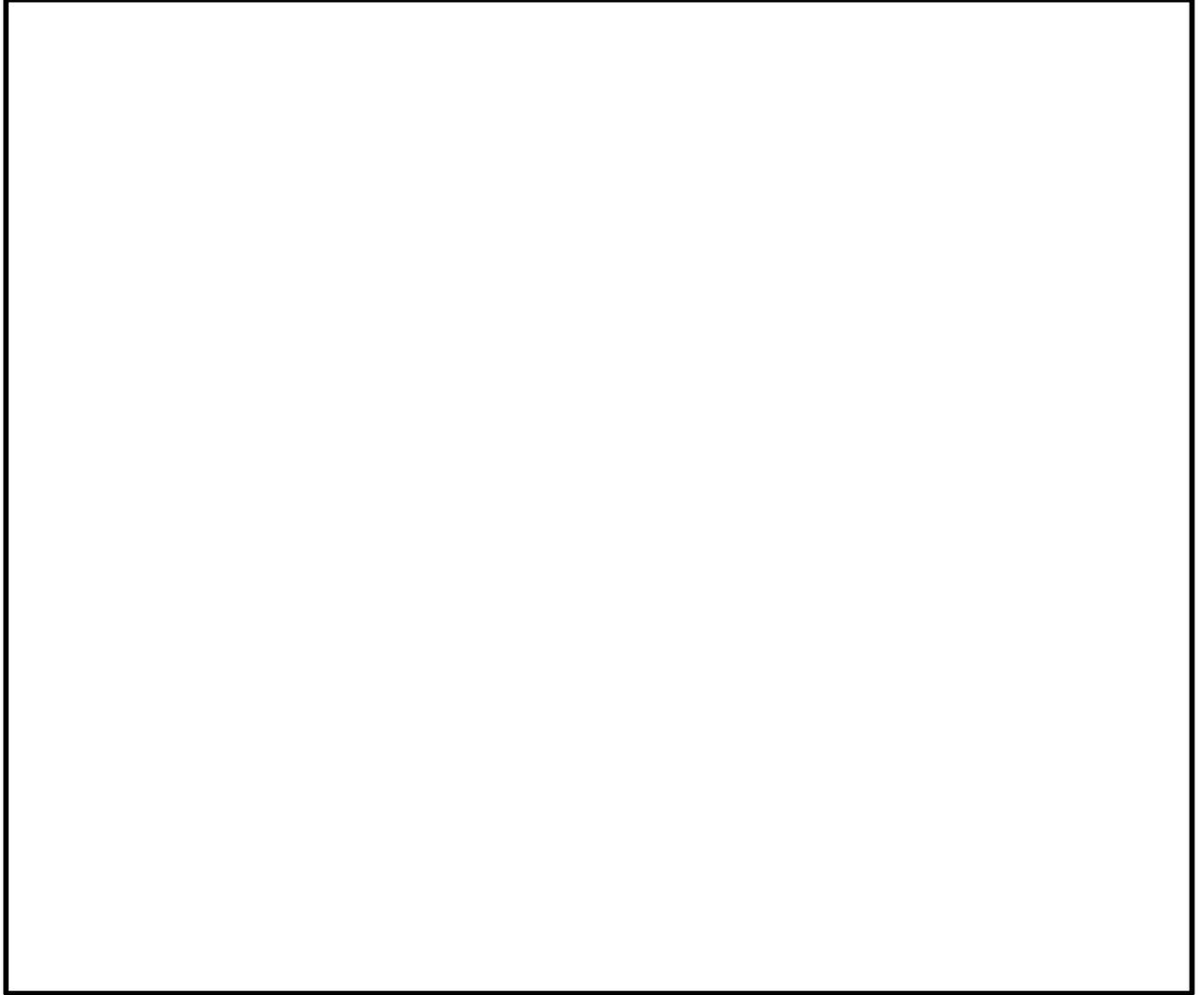


図2-10 緊急時対策所の概略平面図

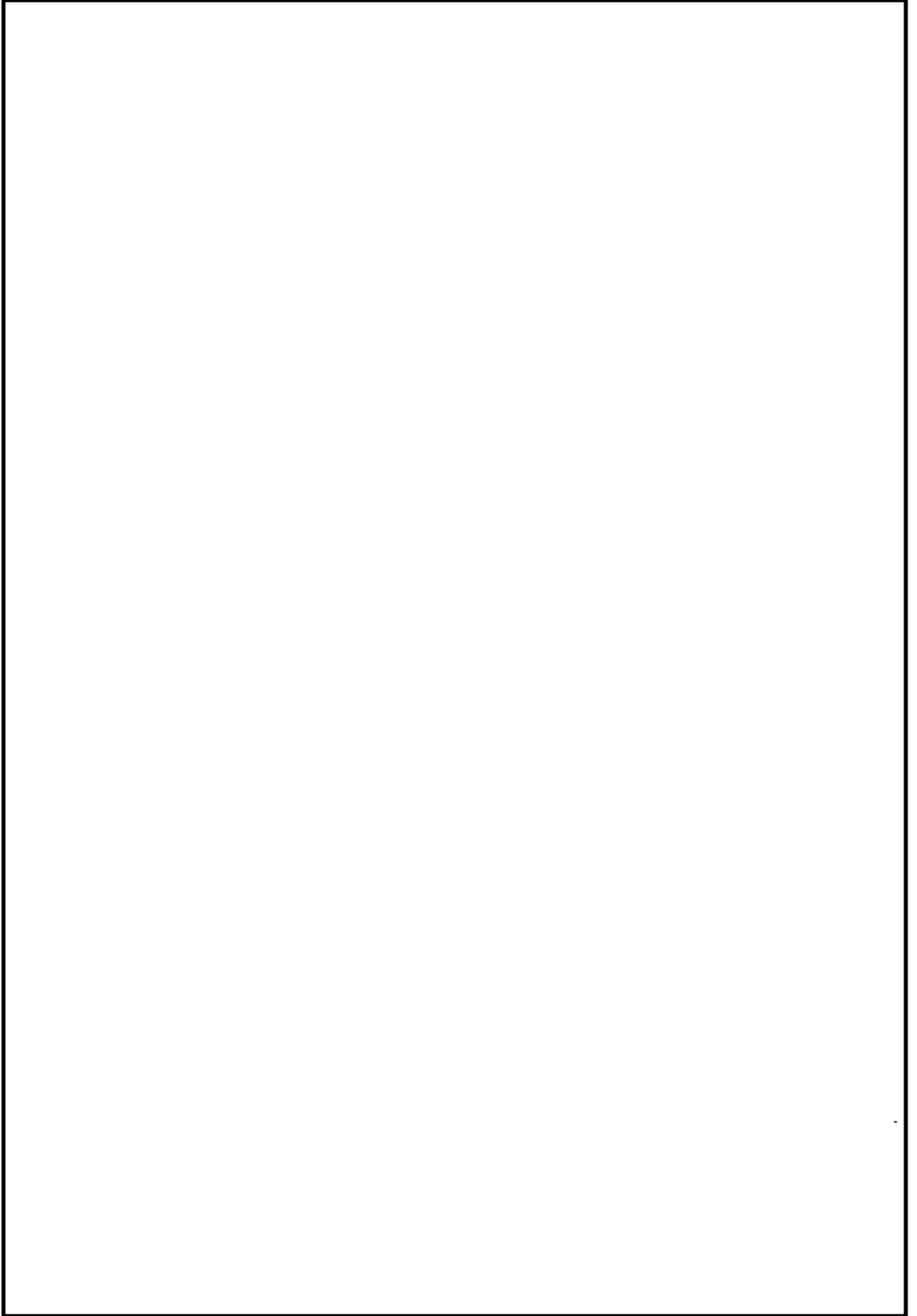


図2-11 緊急時対策所の概略断面図

2.3 評価方針

建屋及び構造物の強度評価は、V-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」及び「4.2 許容限界」を踏まえ、竜巻より防護すべき施設が安全機能を損なわないことを、「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。

建屋及び構造物の強度評価においては、その構造を踏まえ、設計竜巻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。

具体的には、飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突する直接的な影響の評価として、建屋及び構造物の外殻を構成する部材に対する「衝突評価」を行う。また飛来物が竜巻より防護すべき施設に衝突・接触する波及的な影響の評価として、建屋及び構造物の外殻を構成する部材の裏面剥離による飛散の影響並びに建屋及び構造物の外殻を構成する部材の転倒・脱落の影響に対する「構造強度評価」を行う。

2.3.1 貫通評価

飛来物が建屋及び構造物の外殻を構成する部材を貫通しない設計とするために、飛来物による衝撃荷重に対し、防護すべき施設の外殻を構成する部材が設計飛来物の貫通を生じないことを計算若しくは解析により確認する。

具体的には、防護すべき施設の外殻となる区画の屋根、外壁及び内壁、並びに開口部建具並びに構造物の地上露出部が、設計飛来物の貫通を生じない厚さを有していることを、計算により確認する。貫通を生じない厚さを有していることの確認が出来ない場合においては、これらに終局状態に至るようなひずみを生じないことを、解析により確認する。

2.3.2 構造強度評価

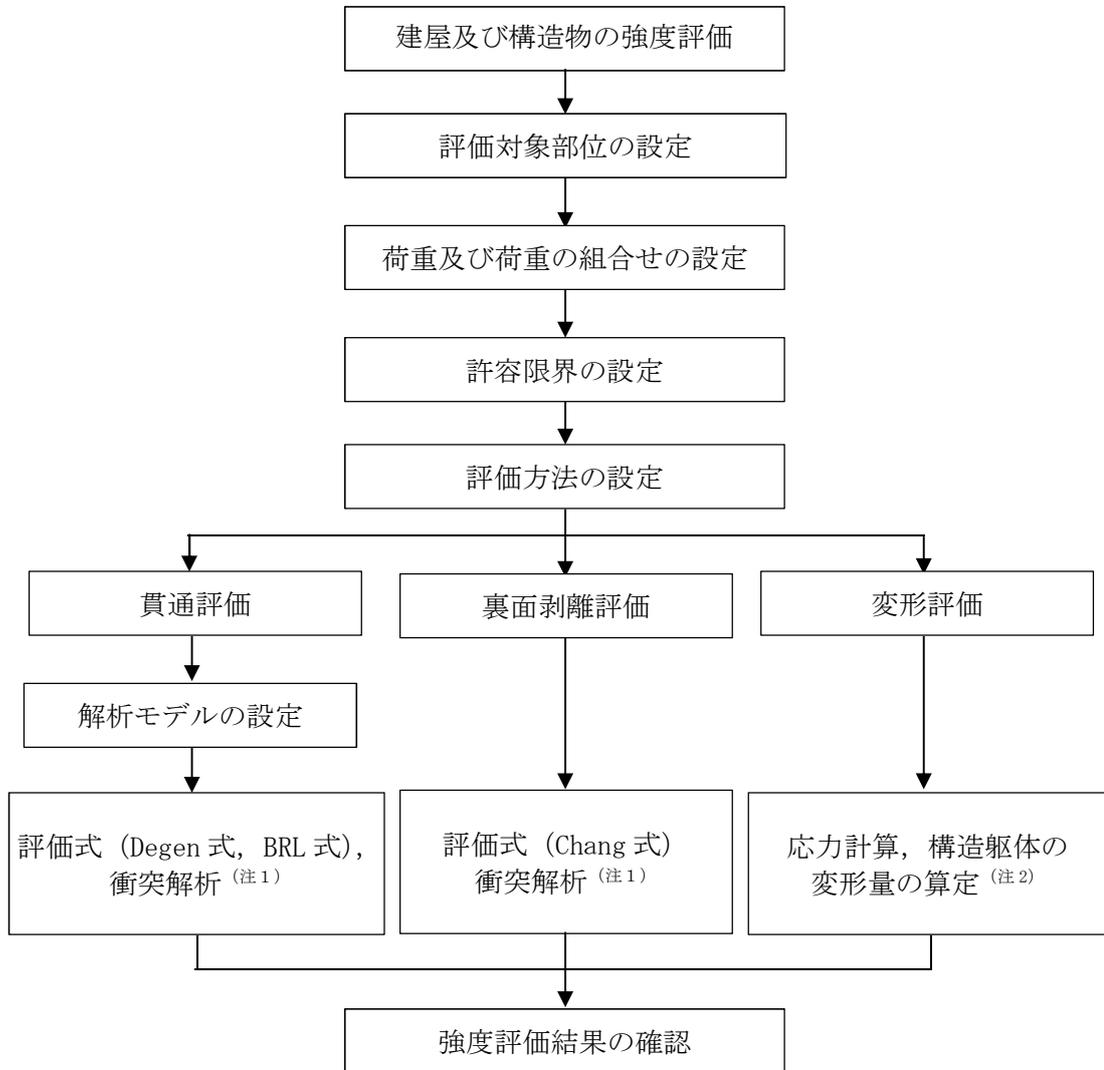
飛来物による衝撃荷重に対し、竜巻より防護すべき施設に波及的影響を与えないよう、防護すべき施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、これらについて、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じないことを計算により確認する。（以下「裏面剥離評価」という。）

具体的には、RC造の建屋及び構造物について、飛来物による衝撃荷重に対し、施設の外殻を構成する部材自体の脱落を生じない設計とするために、外殻となる屋根スラブ、外壁及び内壁並びに構造物の鉄筋コンクリートが、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることを計算により確認する。

外殻を構成する部材で、裏面剥離によるコンクリート片の飛散が生じない最小厚さ以上であることの確認ができない場合は、裏面剥離の影響を受ける防護対象施設が当該部位の近傍にないことを確認するか、裏面剥離が生じない構造であることを解析により確認する。

また、外殻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ために、設計荷重に対し、外殻となる屋根スラブ、屋根スラブのスタッドボルト、外壁及び内壁に終局状態に至るようなひずみ又は応力が生じないこと、鉄骨架構に終局状態に至るような変形が生

しないことを計算及び解析により確認する。(以下「変形評価」という。)
 建屋及び構造物の設計荷重作用時の強度評価フローを図2-10に示す。



(注1) 3次元FEMモデルを用いた動的評価を実施する。

(注2) 地震応答解析モデルを用いた静的評価を実施する。

図2-10 強度評価フロー

2.4 適用規格

- 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)
- Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev 8P(NEI07-13)) (以下「NEI07-13」という。)
- 建築基準法及び同施行令
- 建築物荷重指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2004改定)
- ISES7607-3「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」 (高温構造安全技術研究組合)
- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010改定) (以下「RC規準」という。)
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987」 ((社) 日本電気協会)
- 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」 ((社) 日本電気協会)
- 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007」 (社) 日本機械学会
- 日本工業規格 (J I S)
- 「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「各種合成指針」という。)
- 建築耐震設計における保有耐力と変形性能 ((社) 日本建築学会, 1990 改定)

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

建屋及び構造物の評価に用いる記号を表3-1～表3-4に示す。

表 3-1 貫通評価に用いる記号 (Degen 式)

記号	単位	定義	
D	kgf/cm ³	飛来物直径密度 $D = W / d^3$	
d	cm	飛来物の (等価) 直径	
e	cm	貫通限界厚さ (コンクリート)	
F _c	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度	
N	—	飛来物の形状係数	
V	m/s	外壁	飛来物の衝突速度 (水平)
		屋根	飛来物の衝突速度 (鉛直)
W	kgf	飛来物重量	
X	cm	貫入深さ	
α _e	—	低減係数	

表 3-2 貫通評価に用いる記号 (BRL 式)

記号	単位	定義
d	cm	飛来物の (等価) 直径
k	—	鋼板の材質に関する係数
M	kg	飛来物の質量
T	m	貫通限界厚さ (鋼製部材)
V	m/s	飛来物の衝突速度 (鉛直)

表 3-3 裏面剥離評価に用いる記号 (Chang 式)

記号	単位	定義	
d	cm	飛来物の (等価) 直径	
f _c '	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度	
S	cm	裏面剥離限界厚さ	
V	cm/s	外壁	飛来物の衝突速度 (水平)
		屋根	飛来物の衝突速度 (鉛直)
V ₀	cm/s	飛来物基準速度	
W	kgf	飛来物重量	
α _s	—	低減係数	

表 3-4 変形評価に用いる記号（水密扉）

記号	単位	定義
A_k	mm^2	カンヌキ断面積
A_p	mm^2	カンヌキ受けピン断面積
A_b	mm^2	カンヌキ受けボルト断面積
A_d	m^2	扉の受圧面積
L_k	mm	カンヌキ支持間距離
L_p	mm	カンヌキ受けピン支持間距離
M_k	kN/mm	カンヌキに生じる曲げモーメント
M_p	kN/mm	カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント
n	箇所	カンヌキ部箇所数
n_b	本	カンヌキ受けボルト本数
Q_k	kN	カンヌキに生じるせん断力
Q_p	kN	カンヌキ受けピンに生じるせん断力
R	kN	気圧差による荷重による反力
T	kN	引張力
W_p	kN	気圧差による荷重
Z_k	mm^3	カンヌキの断面係数
Z_p	mm^3	カンヌキ受けピンの断面係数
ΔP	N/m^2	単位面積当たりの最大気圧低下量
σ_b	N/mm^2	曲げ応力度
σ_t	N/mm^2	引張応力度
σ_x	N/mm^2	組合せ応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度

3.2 評価対象部位

建屋及び構造物の評価対象部位は、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」に示す評価対象部位を踏まえて設定する。

3.2.1 貫通評価

(1) 建屋

設計荷重に対して、外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認において、建屋については、屋根スラブ、外壁並びに防護すべき施設の外殻となる建屋内の部位のうちタービン建屋オペレーティングフロア床版、気体廃棄物処理系隔離弁を内包する区画の壁面並びに開口部建具のうち原子炉建屋機器搬入口扉、原子炉建屋附属棟1階電気室搬入口扉、また、重大事故対処施設の環境条件維持に関与する扉を評価対象部位として選定する。

(2) 構造物

外殻を構成する部材が飛来物を貫通させないことの確認において、軽油貯蔵タンクタンク室については、鋼製蓋及び鉄筋コンクリート造の頂版を評価対象部位として選定する。

3.2.2 裏面剥離評価

(1) RC造建屋

設計荷重に対して、外殻を構成する部材が飛来物による裏面剥離を生じないことの確認において、建屋については、防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ、外壁並びに建屋内の部位のうちタービン建屋オペレーティングフロア床版、気体廃棄物処理系隔離弁を内包する区画の壁面を評価対象部位として設定する。

(2) 構造物

設計荷重に対して、外殻を構成する部材が飛来物による裏面剥離を生じないことの確認において、軽油貯蔵タンクタンク室については、鉄筋コンクリート造の頂版を評価対象部位として選定する。

3.2.3 変形評価

(1) 建屋

設計荷重に対して、外殻を構成する部材自体が防護対象施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において、建屋については、設計荷重が外殻を構成する屋根スラブ及び外壁に作用し、耐震壁を介して直接岩盤に支持する基礎版へ伝達されるため、設計荷重が直接作用する、防護すべき施設の外殻となる屋根スラブ及び外壁のうち、屋根スラブについては、代表として部材厚が最も薄い原子炉建屋原子炉棟の屋根スラブを、並びに外壁については原子炉建屋（RC造部及び鉄骨造部）、タービン建屋、使用済燃料乾式貯蔵建及び緊急時対策所建屋を評価対象部位として設定する。

(2) 構造物

設計荷重に対して、外殻を構成する部材自体が竜巻により防護すべき施設へ衝突等の影響を与える変形に至らないことの確認において、軽油貯蔵タンクタンク室については、地中に埋設され竜巻の風荷重を受け難い構造であることから、評価は不要とする。

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み合わせは、V-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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重を以下に示す。

(1) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w は、下式により算定する。

風力係数 C は、「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。

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

(2) 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。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

(3) 飛来物による衝撃荷重 (W_M)

飛来物による衝撃荷重 W_M は、表3-4に示す飛来物の衝突に伴う荷重とするが、この荷重は瞬間的に作用するものであり、またこれら飛来物に対し質量が十分に大きな建物および構造物が評価の対象であるため、これらの施設の全体的な挙動に対する評価（変形評価）においては考慮せず、評価対象施設に対する瞬間的且つ局所的な影響の評価（貫通、裏面剥離）時のみ考慮する。

表3-4 飛来物の諸元

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)	衝突対象
鋼製材	4.2×0.2× 0.3	135	51	34	設計飛来物として、全ての 建屋及び構造物を対象
車両	3.6×2.5× 8.6	5000	52	—※	隣接事業所からの飛来物の 代表的なものとして、以下の 施設を対象 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・緊急時対策所

※：種々の車両の飛散解析結果と衝突対象建屋の屋根スラブの高さ及び厚さの関係から、車両が屋根に到達することは考え難く、仮に屋根に到達した場合でも、飛跡頂点から屋根までの落下距離は僅かであり、有意な衝突速度にならないと考えられるため。

(4) 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重 F_d として、自重及び上載荷重を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-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」を踏まえ、設計竜巻荷重及び常時作用す

る荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表3-5 荷重の組合せ

評価内容	評価対象部位	荷重の組合せ	
貫通評価	(式による評価) ・屋根スラブ, 外壁及び内壁 ・扉板	W_M	
	(解析による評価) ・原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ	複合荷重 W_{T2}	$W_W + 1/2W_P + W_M + F_d$
裏面剥離評価	(式による評価) ・屋根スラブ, 外壁及び内壁	W_M	
	(解析による評価) ・原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ ・原子炉建屋外壁	複合荷重 W_{T2}	$W_W + 1/2W_P + W_M + F_d$
変形評価	(式による評価) ・原子炉建屋 (RC造部及び鉄骨造部) ・タービン建屋 ・使用済燃料乾式貯蔵建屋	複合荷重 W_{T2}	$W_W + 1/2W_P + F_d$
	(式による評価) ・水密扉(カンヌキ部)	W_P	

W_M : 風圧力による荷重 W_P : 気圧差による荷重

W_M : 飛来物による衝撃荷重 F_d : 常時作用する荷重

3.4 許容限界

建屋及び構造物の許容限界は、V-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」に示す許容限界を踏まえて、評価対象部位ごとに、評価内容に応じて設定する。

3.4.1 貫通評価

貫通評価の許容限界は、式による評価を行う場合においては表 3-6 に示す最小部材厚さとする。

表3-6 貫通評価の許容限界（式による評価）

評価内容	評価対象部位	
貫通評価 (式による評価)	コンクリート	原子炉建屋
		タービン建屋
		使用済燃料乾式貯蔵建屋
		軽油貯蔵タンクタンク室
		緊急時対策所
	扉板（鋼板）	

- ※1：防護すべき施設の外壳となる、タービン建屋オペレーティングフロア床版，気体廃棄物処理系隔離弁を内包する区画の壁面
- ※2：屋上への車両の衝突は評価対象外（表3-4より）
- ※3：地中の構造物のため，側壁は露出していない。
- ※4：複数枚の板が直列の構成となっている，原子炉建屋機器搬入口扉が該当する。

式による評価を満足せず，解析による評価を行う場合における許容限界を，表3-7に示す。

表3-7 貫通評価の許容限界（解析による評価）

評価内容	評価対象部位	破断ひずみ
貫通評価 (解析による評価)	鉄筋 (原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ)	

3.4.2 裏面剥離評価

裏面剥離評価において、式による評価を行う場合においては表3-8に示す最小部材厚さとする。

表3-8 裏面剥離評価の許容限界（式による評価）

評価内容	評価対象部位		最少部材厚さ(mm)	
			鉛直方向	水平方向
裏面剥離評価 (式による評価)	コンク リート	原子炉建屋		
		タービン建屋		
		使用済燃料乾式貯蔵建屋		
		軽油貯蔵タンクタンク室		
		緊急時対策所		

※1：防護すべき施設の外殻となる，タービン建屋オペレーティングフロア床版，気体廃棄物処理系隔離弁を内包する区画の壁面

※2：屋上への車両の衝突は評価対象外（表3-4より）。

※3：地中の構造物のため，側壁は露出していない。

式による評価を満足せず，解析による評価を行う場合における許容限界は，表3-9に示すコンクリート内面のライナ若しくはデッキプレートの破断ひずみとする。

表3-9 裏面剥離評価の許容限界（解析による評価）

評価内容	評価対象部位		破断ひずみ
裏面剥離評価 (解析による評価)	外壁（原子炉建屋原子炉棟※1）	下層の鉄筋	
	屋根スラブ（原子炉建屋原原子炉棟 ²⁾ ）	内張材 (ライナ)	
	外壁(使用済燃料乾式貯蔵建屋※2)		

※1：鋼製材に対する必要最小厚さを満たさない部位のうち，最も厚さの小さいものとして選定

※2：車両に対する必要最小厚さを満たさない箇所

3.4.3 変形評価

屋根スラブ及びスタッドボルトの変形評価の許容限界は、それぞれ RC 規準及び各種合成指針に基づく強度とし、RC 造の建屋全体の変形評価の許容限界は、耐震壁のせん断ひずみに関する許容限界に基づく 2000μ とする。

変形評価の許容限界を表 3-10 に示す。

表3-10 変形評価の許容限界

評価内容	評価対象部位	許容限界	
変形評価 (屋根スラブ)	屋根スラブ	「RC 規準」に基づく終局強度	
	スタッドボルト (屋根支持部)	「各種合成指針」に基づく許容耐力	
変形評価 (建物全体)	建物の構造躯体	RC 造部	せん断ひずみ 2×10^{-3}
		鉄骨造部	「鋼構造設計規準—許容応 力度設計法—」に準じた短期許容応力度
変形評価 (水密扉)	カンヌキ部	「鋼構造設計規準—許容応力度設計 法—」に準じた短期許容応力度	

3.5 評価方法

3.5.1 貫通評価

(1) 貫通評価式による評価

a. 鉄筋コンクリート造部分

貫通限界厚さ e を、別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、以下に示すDegen式を用いて算出し、外殻となる部位の厚さが許容限界を上回ることを確認する。

$$X/d \leq 1.52 \text{ の場合,}$$

$$e = \alpha_e \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

ここで、貫入深さ X は、

$$X/d \leq 2.0 \text{ の場合,}$$

$$X/d = \{(48580/\sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8}\}^{0.5}$$

b. 鋼製部

貫通限界厚さ e を、別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、以下に示すBRL式を用いて算出し、外殻となる部位の厚さが許容限界を上回ることを確認する。

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5 \cdot M \cdot V^2}{1.439 \cdot 10^9 \cdot K^2 \cdot d^{\frac{3}{2}}}$$

(3) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する衝突解析

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに対する貫通評価については、風圧力による荷重 W_w 、気圧差による荷重 W_p 、飛来物による衝撃荷重 W_M 及び常時作用する荷重 F_d を考慮し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析により屋根及び外壁の鉄筋に生じるひずみを算出し、許容限界を超えないことを確認する。

評価対象範囲は、原子炉建屋搭屋部の屋根スラブ及び外壁のうち躯体厚さが最も薄い部分とする。

衝突解析には、解析コード「LS-DYNA」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙1「計算プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 解析モデル

(a) 屋根スラブ

屋根スラブのモデル化範囲及び飛来物の衝突位置を図3-1に示す、屋根トラスの主トラス間の長さはほぼ同等であることより、評価上重要な使用済燃料貯蔵プール

直上となる部位とし、屋根スラブのコンクリート、鉄筋及びデッキプレートをモデル化する。

コンクリートはソリッド要素、鉄筋はビーム要素及びデッキプレートはシェル要素でモデル化する。

屋根スラブの解析モデルを図3-2、解析モデルの境界条件を表3-8に示す。

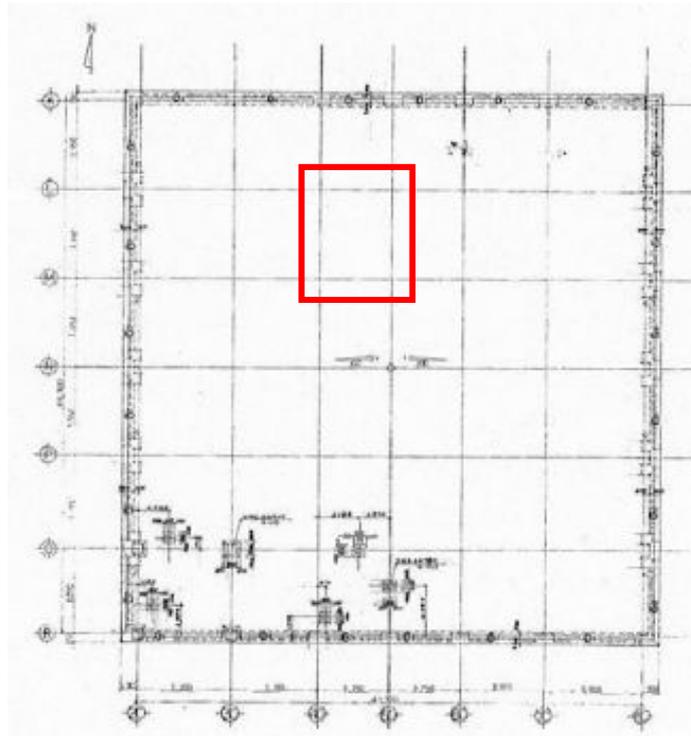


図3-1 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブのモデル化範囲

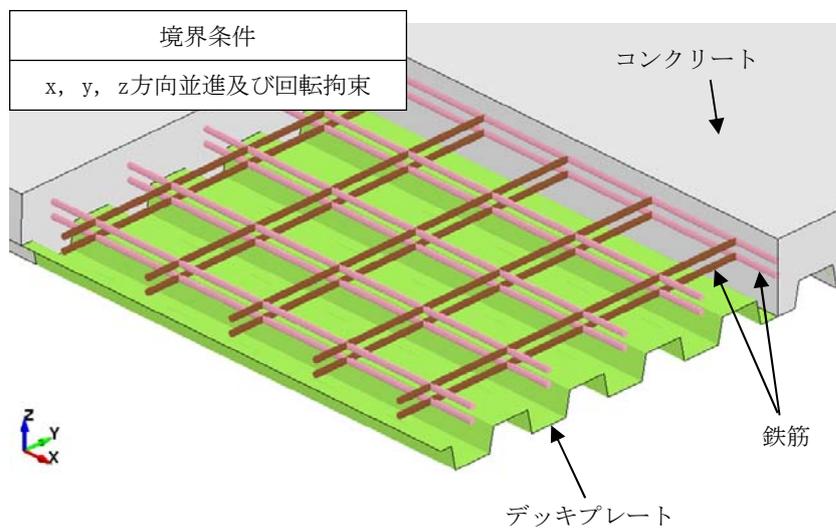


図3-2 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの解析モデル

(c) 飛来物

飛来物は、衝突時の荷重が保守的となるよう接触断面積を小さくするため、鋼製材は先端部（衝突部）を開口としてシェル要素でモデル化し、自重及び竜巻による風圧力による荷重を作用させた状態で衝突させる。

飛来物の解析モデル図を図3-3に示す。

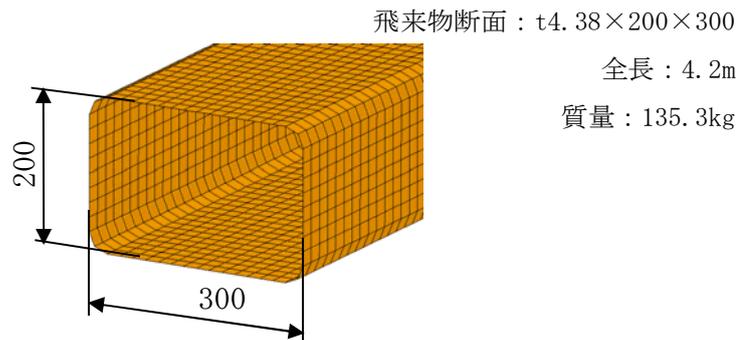


図3-5 飛来物の解析モデル図

b. 解析モデル

(a) 屋根スラブ及び外壁

コンクリートの材料定数を表3-11、鉄筋の材料定数を表3-12に示す。

表3-11 コンクリートの材料定数

コンクリート 種類	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 ρ (kN/m^3)
普通 コンクリート	22.1	2.21×10^4	0.2	23.0

表3-12 鉄筋の材料定数

鉄筋 種類	降伏強度 F_y (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 ρ (kN/m^3)
SD295	324	2.05×10^5	0.3	77.0

(b) 飛来物

飛来物の仕様について表3-13に示す。

表3-12 飛来物の仕様

飛来物	サイズ 長さ×幅×奥行き (m)	質量 (kg)	材質
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	SS400

c. 材料の非線形特性

(a) 材料の応力-ひずみ関係

コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮側が圧縮強度に到達後もその応力を保持するバイリニア型とする。

鉄筋の応力-ひずみ関係はバイリニア型とする。

コンクリートの応力-ひずみ関係を図3-6に、鋼製材の応力-ひずみ関係を図3-7に示す。

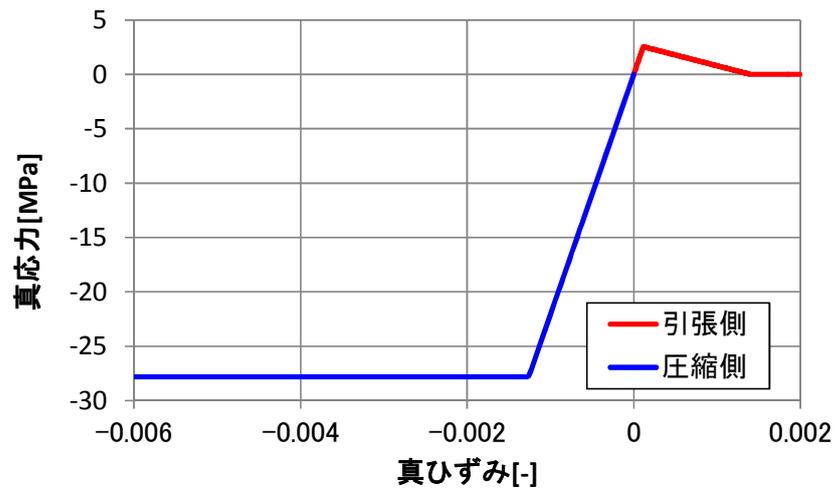


図3-6 真応力-真ひずみ関係 (コンクリート)

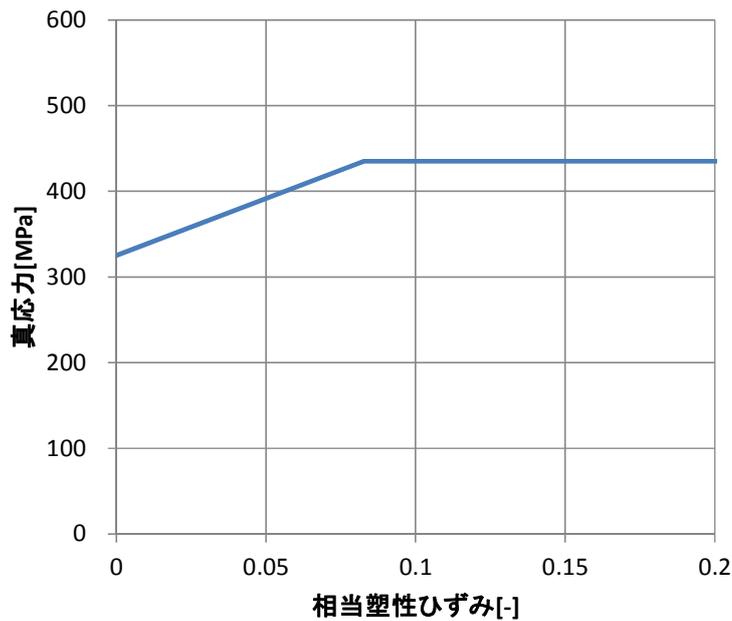


図3-7 応力-ひずみ関係（鉄筋）

(b) ひずみ速度効果

竜巻による飛来物に対する解析は、衝撃問題で変形速度が大きいため、ひずみ速度効果を考慮することとし、このひずみ速度効果として、NEI07-13で規定された割増係数（鉄筋：1.10（降伏応力）、1.05（引張強度）、デッキプレート・飛来物：1.29（降伏応力）、1.10（引張強度））を考慮する。

(c) 破断ひずみ

金属材料の破断ひずみは、JISに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また、NEI 07-13においてTF（多軸性係数）を2.0とすることが推奨されていることを踏まえ、安全余裕としてTF=2.0を考慮する。TFについては、鉄筋のみ2.0とする。鋼製材は保守的に破断ひずみを超えても荷重を負担するものとする。鉄筋の破断ひずみを表3-13に示す。

表3-13 鉄筋の破断ひずみ

材質	JIS規格値 (下限値)	T F	破断ひずみ
SD295	0.17	2.0	0.081

3.5.2 裏面剥離評価

(1) Chang式による評価

裏面剥離限界厚さSを、別添1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、以下に示すChang式を用いて算定し、許容限界を超えないことを確認する。

$$S = 1.84 \alpha_s \cdot \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \cdot \frac{\left(\frac{W \cdot V^2}{980} \right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

(2) 原子炉建屋壁面に対する衝突解析

原子炉建屋屋根スラブを除く、鋼製材に対してChang式による限界厚さを満足しない箇所のうち、版厚が最も小さい原子炉建屋原子炉棟6階の壁面を代表箇所を選定し、3次元FEMモデルを用いた衝突解析を行い、裏面側の鉄筋に発生するひずみが表3-9に示す許容限界を超えないことを確認する。

鋼製材に対しChang式の限界厚さを満足しない箇所について、FEM評価の対象となる代表箇所の構造及び解析モデルを図3-8に示す。

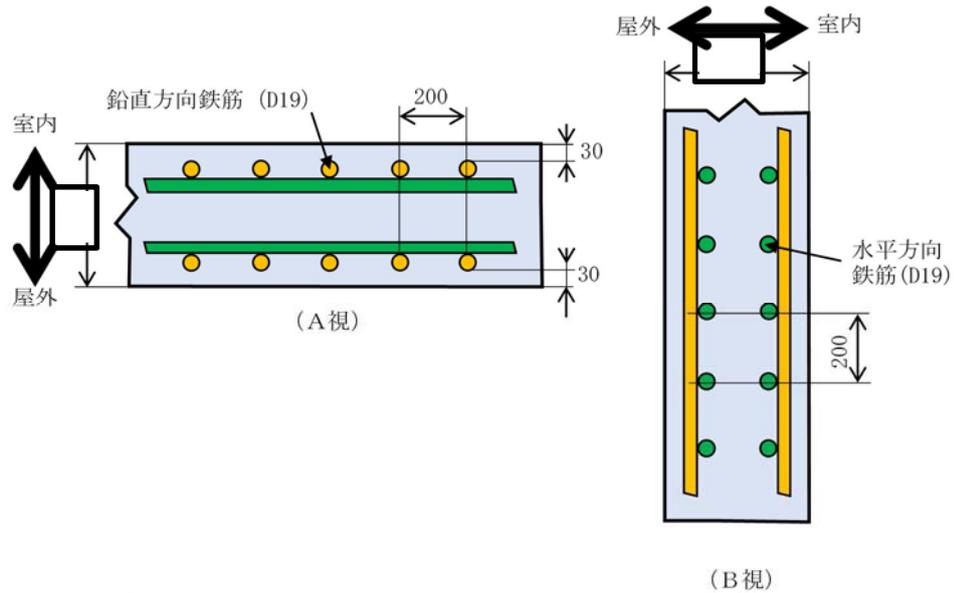


図3-8 鋼製材に対する裏面剥離評価に関するFEM解析対象箇所の構造 (1/2)

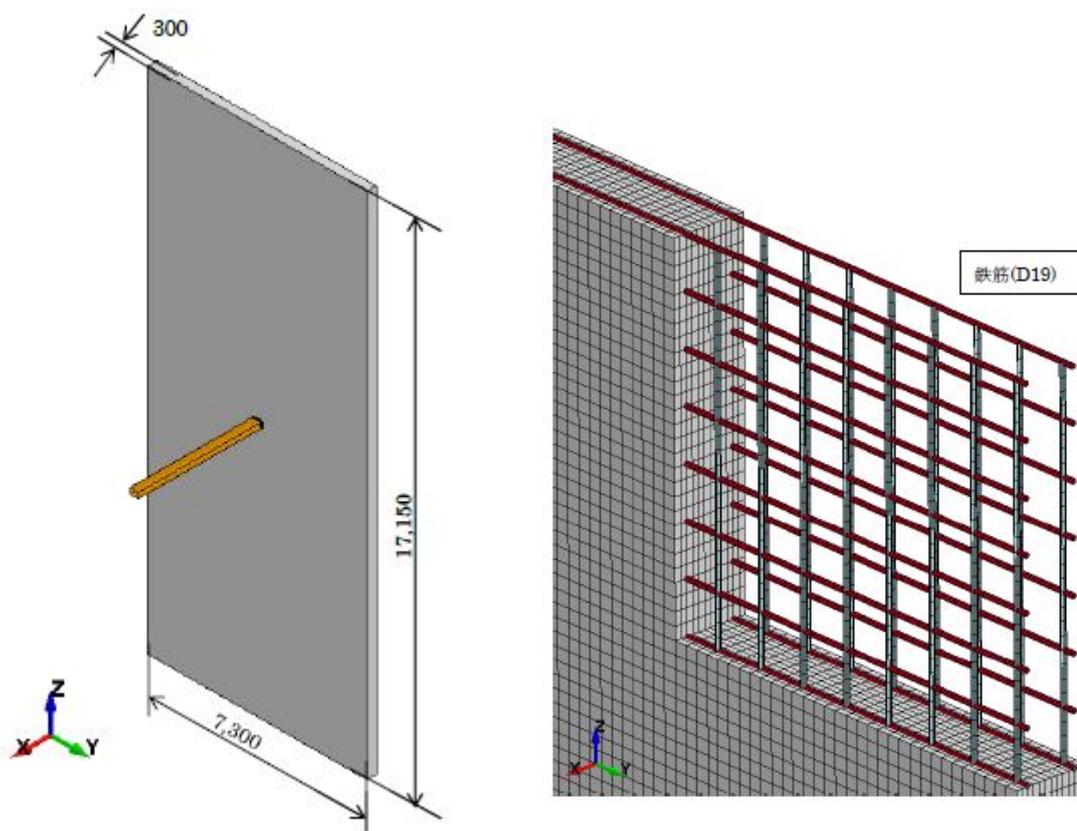


図3-8 鋼製材に対する裏面剥離評価に関するFEM解析対象箇所構造 (2/2)

材料物性については、コンクリートは貫通評価と同じものとなる。鉄筋の物性については、表3-14及び表3-15に示す。

表3-14 鉄筋の材料定数 (裏面剥離評価)

鉄筋種類	降伏強度 F_y (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量 ρ (kN/m^3)
SD345	345	2.05×10^5	0.3	77

表3-15 鉄筋の破断ひずみ (裏面剥離評価)

材質	JIS規格値 (下限値)	T F	破断ひずみ
SD345	0.18	2.0	0.083

(3) 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面に対する衝突解析

車両に対してChang式による限界厚さを満足しない、使用済燃料乾式貯蔵建屋の壁面に対しては、裏面に鋼製ライナを施工する対策を講ずる。当該補強構造については、3次元FEMモデルを用いた衝突解析を行い、裏面のライナに発生するひずみが表3-9に示す許容限界を超えないことを確認する。

当該評価の手法及び結果については、「V-3-別添1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書」に示す。

3.5.3 変形評価

(1) 原子炉建屋（RC構造部）、タービン建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋

原子炉建屋（RC構造部）、タービン建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の変位は、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。

原子炉建屋及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の $Q-\gamma$ 関係は、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」及びV-2-2-4「使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書」に示されるせん断スケルトンカーブ（ $\tau-\gamma$ 関係）に基づき算出する。

タービン建屋の $Q-\gamma$ 関係は、地震応答解析モデルが多軸の質点系モデルを用いており各軸に対しせん断スケルトンカーブを算出していることから、層全体の評価を行うため、各軸のせん断スケルトンカーブを層全体の値に集約したせん断スケルトンカーブに基づき算出する。

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の地震応答解析モデルを図3-9から図3-11に， $Q - \gamma$ 関係を表3-17から表3-20に示す。

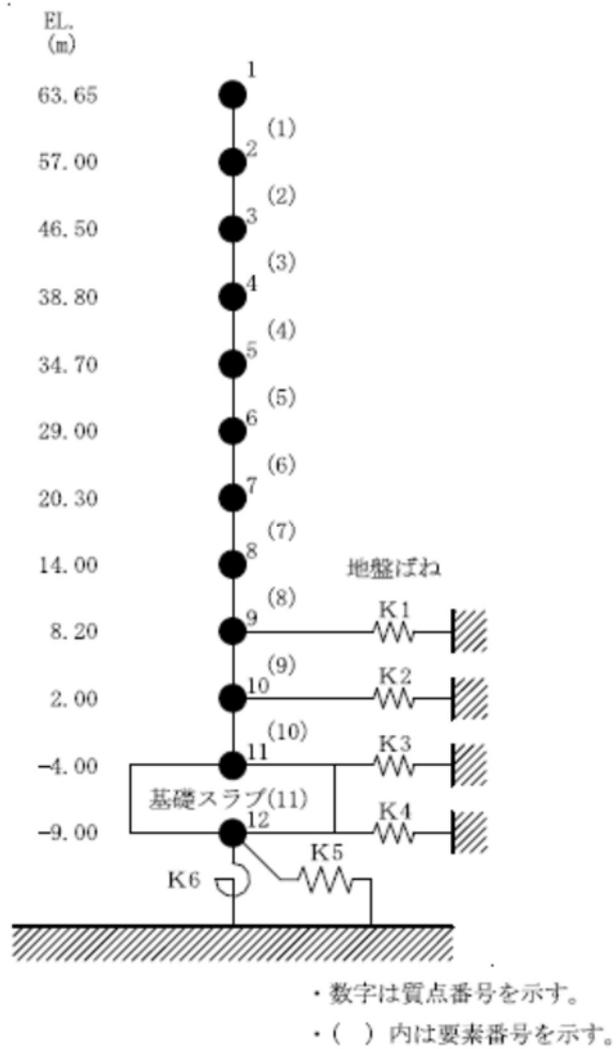


図3-9 原子炉建屋の地震応答解析モデル

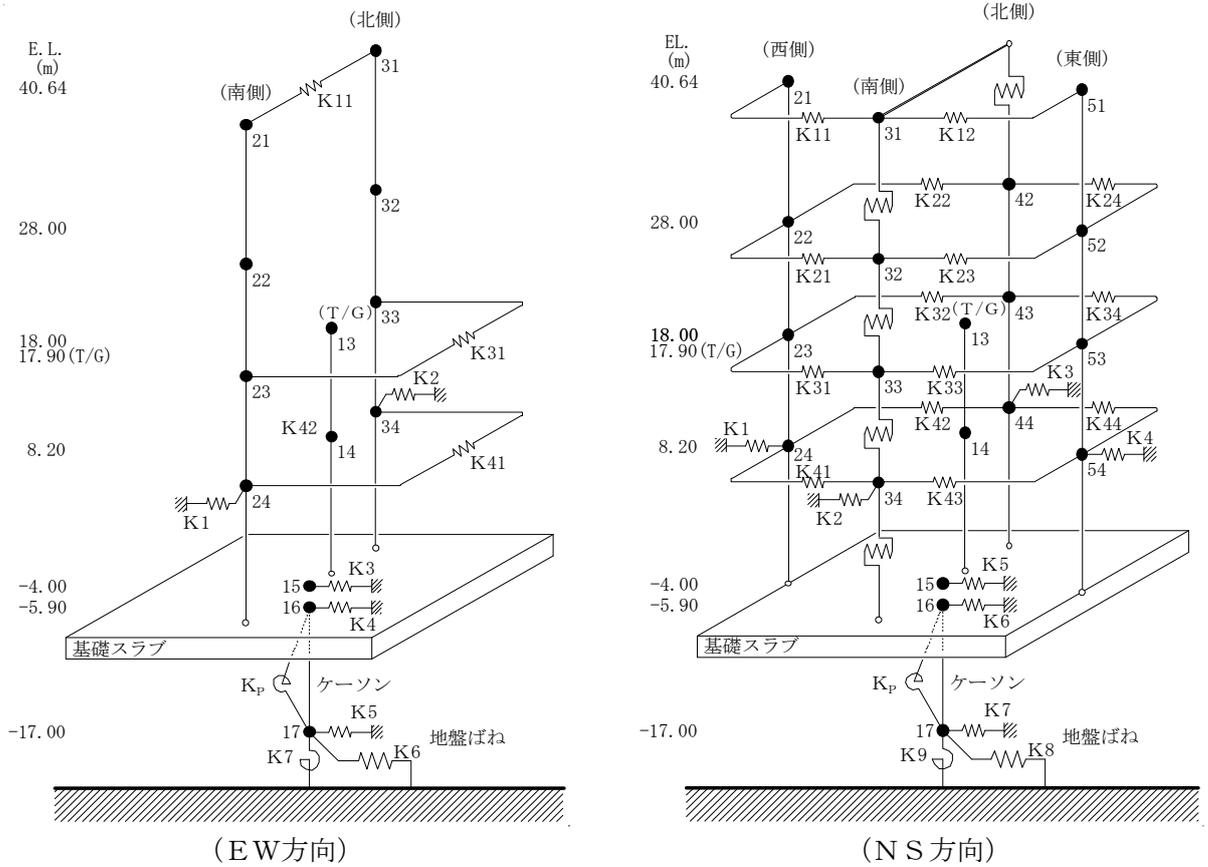


図3-10 タービン建屋の地震応答解析モデル

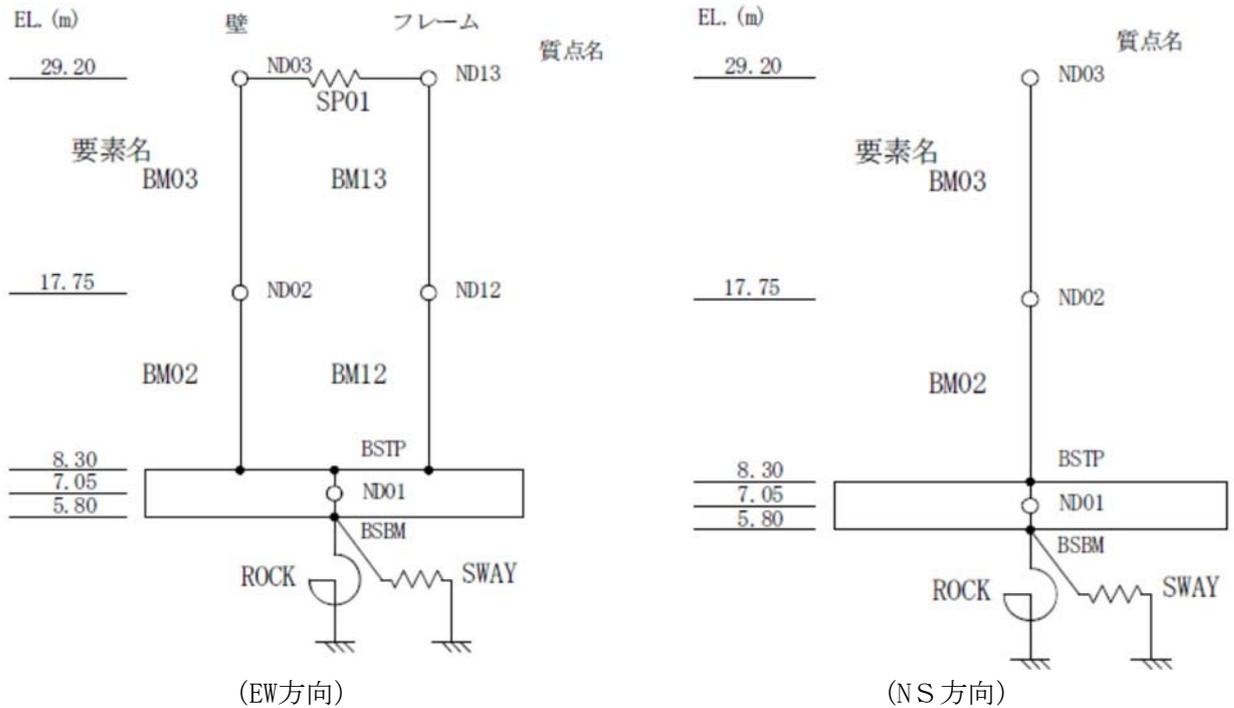


図3-11 使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析モデル

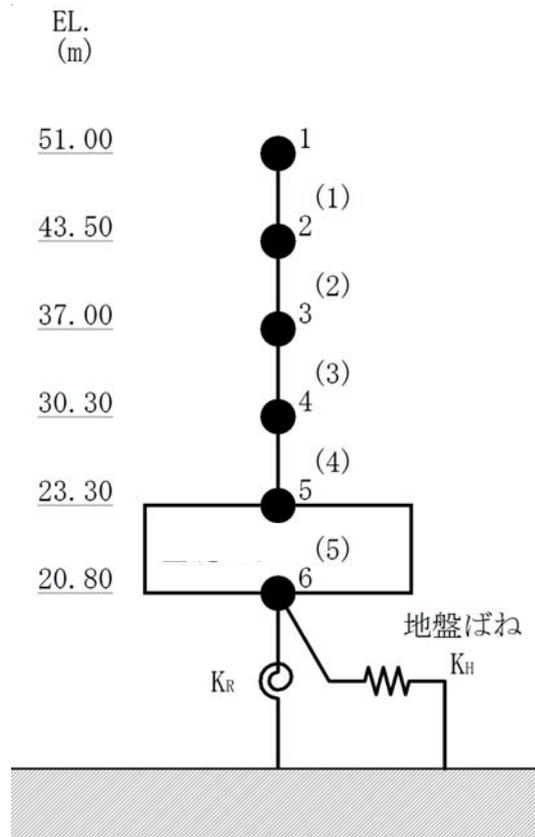


図3-12 緊急時対策所建屋の地震応答解析モデル

表3-17 原子炉建屋のQ- γ 関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
63.65 ~ 57.00	1	4.37E+04	5.90E+04	1.24E+05	0.174	0.522	4.0
57.00 ~ 46.50	2	4.67E+04	6.31E+04	1.26E+05	0.185	0.555	4.0
46.50 ~ 38.80	3	3.37E+05	4.56E+05	9.29E+05	0.173	0.519	4.0
38.80 ~ 34.70	4	1.78E+05	2.41E+05	5.55E+05	0.145	0.435	4.0
34.70 ~ 29.00	5	1.83E+05	2.47E+05	5.59E+05	0.139	0.417	4.0
29.00 ~ 20.30	6	3.20E+05	4.32E+05	9.29E+05	0.159	0.477	4.0
20.30 ~ 14.00	7	3.90E+05	5.25E+05	1.18E+06	0.174	0.522	4.0
14.00 ~ 8.20	8	6.62E+05	8.94E+05	1.68E+06	0.183	0.549	4.0

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
63.65 ~ 57.00	1	4.08E+04	5.51E+04	1.16E+05	0.174	0.522	4.000
57.00 ~ 46.50	2	4.36E+04	5.89E+04	1.18E+05	0.185	0.555	4.000
46.50 ~ 38.80	3	2.46E+05	3.33E+05	7.13E+05	0.173	0.519	4.000
38.80 ~ 34.70	4	2.10E+05	2.83E+05	6.20E+05	0.162	0.486	4.000
34.70 ~ 29.00	5	2.17E+05	2.93E+05	6.26E+05	0.151	0.453	4.000
29.00 ~ 20.30	6	3.10E+05	4.19E+05	8.82E+05	0.143	0.429	4.000
20.30 ~ 14.00	7	3.56E+05	4.82E+05	1.02E+06	0.172	0.516	4.000
14.00 ~ 8.20	8	5.80E+05	7.83E+05	1.56E+06	0.182	0.546	4.000

表3-18 タービン建屋のQ- γ 関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
40.64 ~ 28.00	1	6.32E+04	8.54E+04	1.18E+05	0.176	0.528	4.000
28.00 ~ 18.00	2	1.84E+05	2.51E+05	3.21E+05	0.228	0.684	4.000
18.00 ~ 8.20	3	4.54E+05	6.26E+05	8.18E+05	0.233	0.699	4.000

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
40.64 ~ 28.00	1	1.03E+05	1.39E+05	2.37E+05	0.176	0.528	4.000
28.00 ~ 18.00	2	2.09E+05	2.91E+05	4.39E+05	0.213	0.639	4.000
18.00 ~ 8.20	3	3.82E+05	5.24E+05	7.58E+05	0.230	0.690	4.000

表3-19 使用済燃料乾式貯蔵建屋のQ- γ 関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
29.20 ~ 17.75	BM03	4.50E+04	6.07E+04	1.36E+05	0.198	0.594	4.0
17.75 ~ 8.30	BM02	6.05E+04	8.15E+04	1.56E+05	0.214	0.642	4.0

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q_1	第2折点 Q_2	終局点 Q_3	第1折点 γ_1	第2折点 γ_2	終局点 γ_3
(m)	-	(kN)			$(\times 10^{-3} (-))$		
29.20 ~ 17.75	BM03	4.19E+04	5.66E+04	1.14E+05	0.191	0.573	4.0
17.75 ~ 8.30	BM02	6.19E+04	8.37E+04	1.62E+05	0.197	0.590	4.0

表3-20 緊急時対策所建屋のQ-γ関係

(a) NS方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q ₁	第2折点 Q ₂	終局点 Q ₃	第1折点 γ ₁	第2折点 γ ₂	終局点 γ ₃
(m)	-	(kN)			(×10 ⁻³ (-))		
43.50 ~ 51.00	1	1.18E+05	1.59E+05	2.96E+05	0.177	0.530	4.000
37.00 ~ 43.50	2	3.23E+05	4.35E+05	7.75E+05	0.181	0.542	4.000
30.30 ~ 37.00	3	3.29E+05	4.44E+05	7.56E+05	0.193	0.579	4.000
23.30 ~ 30.30	4	3.77E+05	5.10E+05	8.44E+05	0.205	0.614	4.000

(b) EW方向

高さ EL.	要素 番号	第1折点 Q ₁	第2折点 Q ₂	終局点 Q ₃	第1折点 γ ₁	第2折点 γ ₂	終局点 γ ₃
(m)	-	(kN)			(×10 ⁻³ (-))		
43.50 ~ 51.00	1	8.43E+04	1.14E+05	1.89E+05	0.177	0.530	4.000
37.00 ~ 43.50	2	2.57E+05	3.46E+05	6.04E+05	0.179	0.538	4.000
30.30 ~ 37.00	3	2.69E+05	3.62E+05	6.05E+05	0.192	0.577	4.000
23.30 ~ 30.30	4	3.21E+05	4.34E+05	7.11E+05	0.204	0.613	4.000

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し、建屋層全体の評価においては相殺される荷重であるが、保守的に W_w と同じ方向にのみ作用すると見なす。

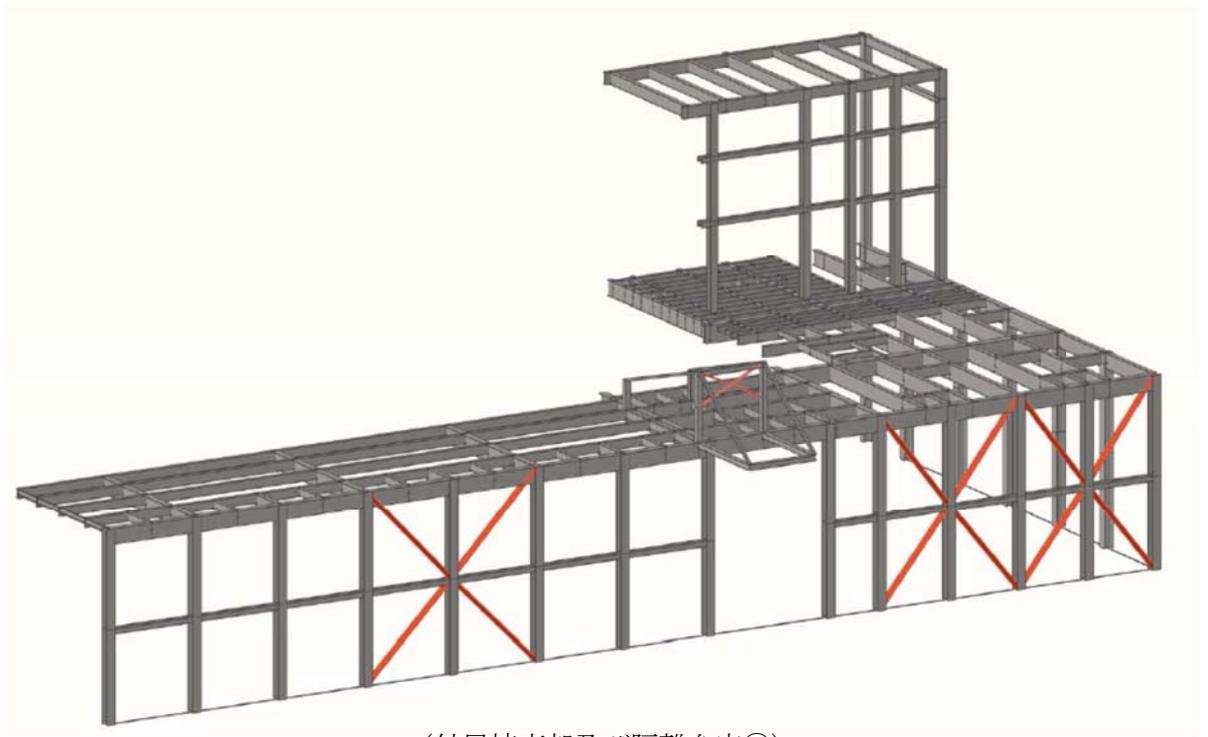
飛来物による衝撃荷重 W_M は、瞬間的に作用するものであり、またこれら建屋の質量が飛来物に対し十分に大きなものであることから、建屋の全体的な挙動に対する影響は軽微と考えられるため考慮しない。

(2) 原子炉建屋（鉄骨構造部）

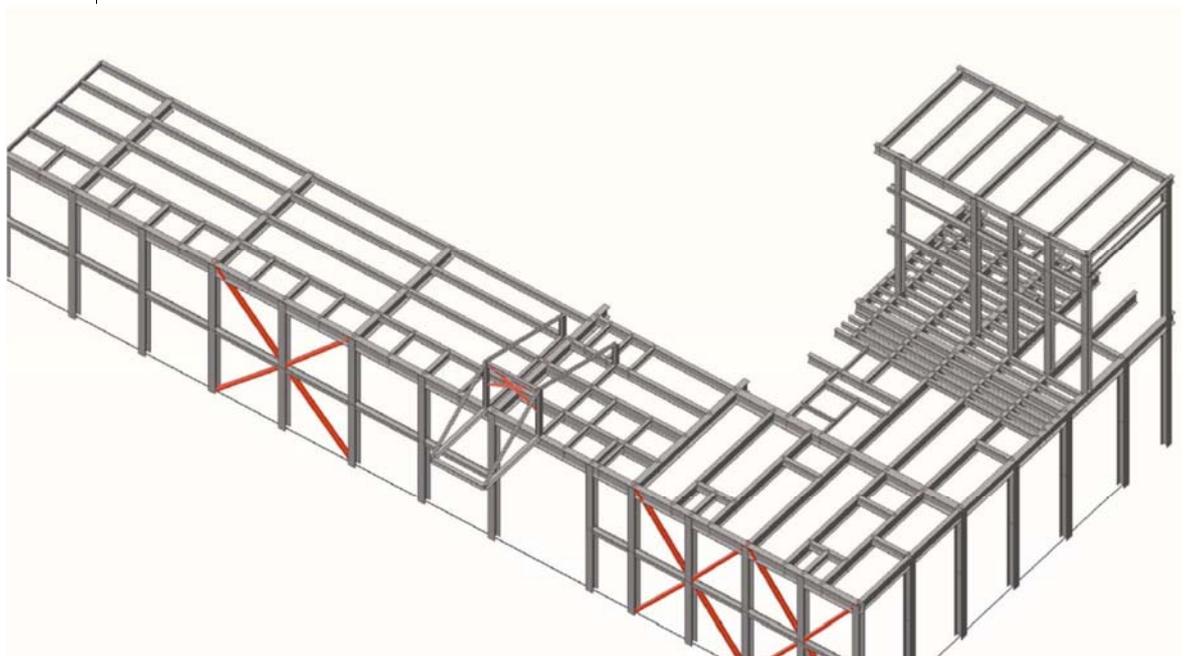
原子炉建屋（鉄骨構造部）については、図3-13に示す付属棟東部のモデルの様に、原子炉建屋原子炉棟との接合部をピン支持とした3次元フレームモデルについて、風圧力による荷重 W_w 、気圧差による荷重 W_p 及び常時作用する荷重 F_d により部材に発生する応力度を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

飛来物による衝撃荷重 W_M については、瞬間的に作用するものであり、当該部の質量は飛来物に対し十分に大きなものであること、また当該部は頑健な原子炉建屋（RC造部）に支えられた構造となっていることから、飛来物の衝突荷重で当該部の全体的な倒壊を起こすことは考え難いが、衝突による架構構成部位（鉄骨）の部分的な損傷を生じた場合には、その後に作用する自重若しくは風荷重により倒壊しないことが必要となる

ため、飛来物の衝突荷重は、柱若しくははりの一本を喪失したものと置き換えたモデルとして考慮する。



(付属棟東部及び隔離弁室②)



(付属棟東部及び隔離弁室②)

図3-13 原子炉建屋（鉄骨構造部）の解析モデル (1/2)



図3-13 原子炉建屋（鉄骨構造部）の解析モデル (2/2)

(3) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブについて、風圧力による荷重 W_w 、気圧差による荷重 W_p 及び常時作用する荷重 F_d により発生する曲げモーメント及びせん断力を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブは、鉄骨はりにスタッドを介して接続しているため、はり位置を支持点とした一方向版とし、両端の固定条件はピンとして評価する。スタッドに作用する引張力は、単位幅の屋根スラブに生じるせん断力を当該範囲のスタッドが均等に負担するものとして評価する。

屋根スラブの発生曲げモーメント M 及び発生せん断力 Q 並びにスタッドの発生引張力 T の算定式を以下に示す。また、屋根スラブに作用する荷重の概要を図3-13に示す。

単位幅の屋根スラブにおける発生モーメント

$$M = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L^2}{8}$$

単位幅の屋根スラブにおける発生せん断力

$$Q = \frac{(\omega_T - \omega_d) \cdot L}{2}$$

スタッド 1 本あたりの発生引張力

$$T = Q \cdot \frac{p}{1000}$$

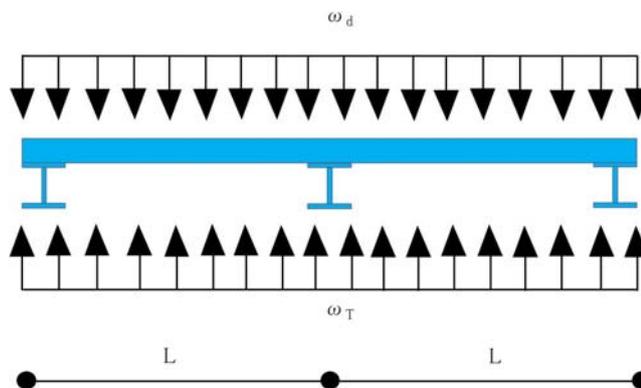


図3-14 屋根スラブに作用する荷重の概要

許容限界である終局強度については、「RC規準」に基づき算定する。

スタッドの許容引張力は、「各種合成指針」に準拠し、スタッドの降伏により定まる許容引張力 P_{a1} 及びコンクリート部のコーン状破壊により定まる許容引張力 P_{a2} のうち小さい値とする。

屋根スラブの許容曲げモーメント M_a 及び許容せん断力 Q_a 並びにスタッドの許容引張力 P_a の算定式を以下に示す。

$$M_a = a_t \cdot f_t \cdot j$$

$$Q_a = b \cdot j \cdot f_s$$

$$P_a = \min(P_{a1}, P_{a2})$$

(4) 扉

扉のカンヌキ部（カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）等，扉の閉状態を維持する部材について，気圧差による荷重 W_P により発生する応力を算出し，許容限界を超えないことを確認する。

a. 応力評価

下記の扉を評価対象とする。

- ・ 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉
- ・ 原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉
- ・ 原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸）
- ・ 原子炉建屋付属棟南側水密扉
- ・ ベイラー室脇水密扉
- ・ 原子炉建屋付属棟南側水密扉
- ・ 原子炉建屋付属棟2階東側機器搬入口扉
- ・ 原子炉建屋付属棟2階サンプルタンク室連絡通路扉
- ・ 原子炉建屋付属棟南東側機器搬入口扉
- ・ 原子炉建屋付属棟西側非常用階段連絡口扉

原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉，原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉及び原子炉建屋原子炉棟水密扉（潜戸）についての，カンヌキ部（カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）に作用する荷重，発生曲げモーメント M ，発生せん断力 Q 及び発生引張力 T の算定式を以下に示す。その他の扉についても，扉留め部に掛かる曲げ，せん断及び引張荷重をモデル化し，評価を行う。

(a) カンヌキ部に生じる荷重

カンヌキ部に生じる荷重は気圧差による荷重 W_P をカンヌキ部 n 箇所で見れば負担した場合に発生する反力 R_P から算定する。カンヌキ部に生じる荷重を図3-14に示す。

$$W_P = \Delta P \cdot A_d$$

$$R = \frac{W_P}{n}$$

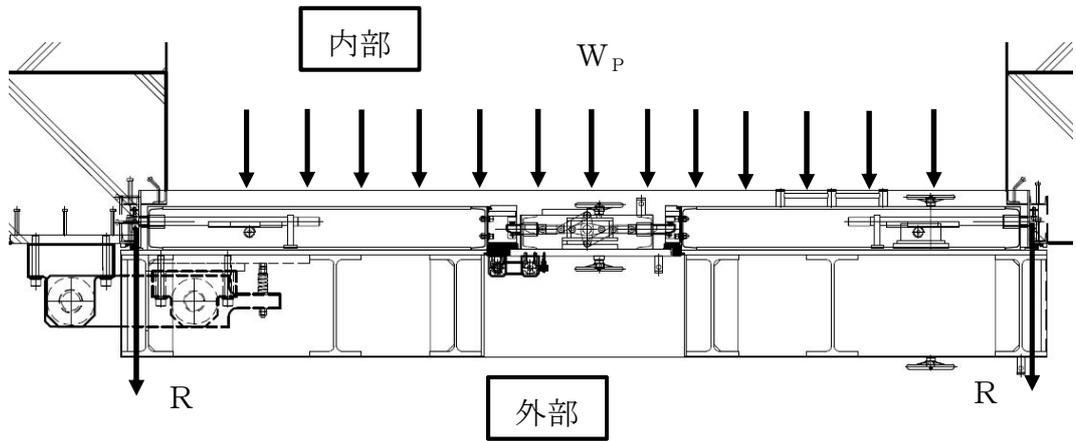


図3-15 カンヌキ部に生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉)

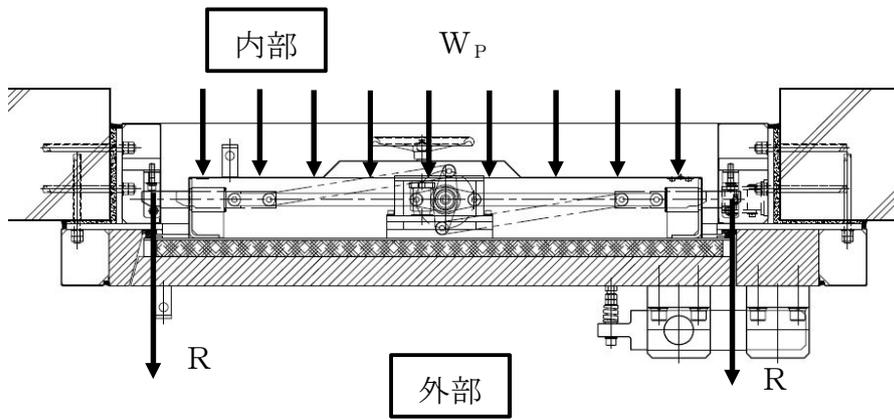


図3-16 カンヌキ部に生じる荷重(電気室搬入口水密扉)

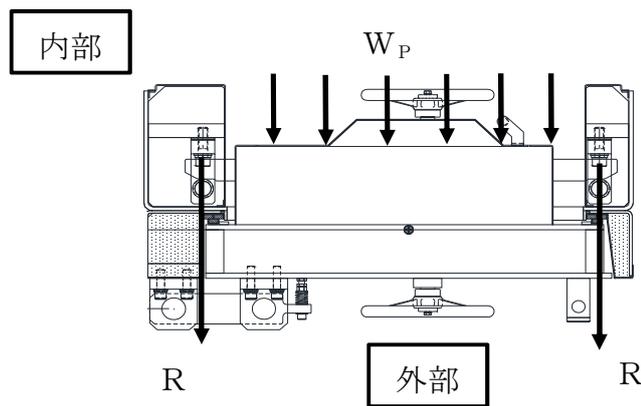


図3-17 カンヌキ部に生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸))

イ. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げモーメント M_k 及びせん断力 Q_k は次式により算定する。
カンヌキに生じる荷重を図3-18～図3-20に示す。

$$M_k = R \cdot L_k$$

$$Q_k = R$$

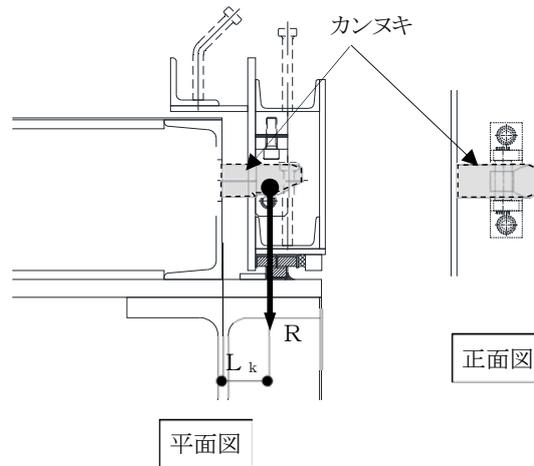


図3-18 カンヌキに生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉)

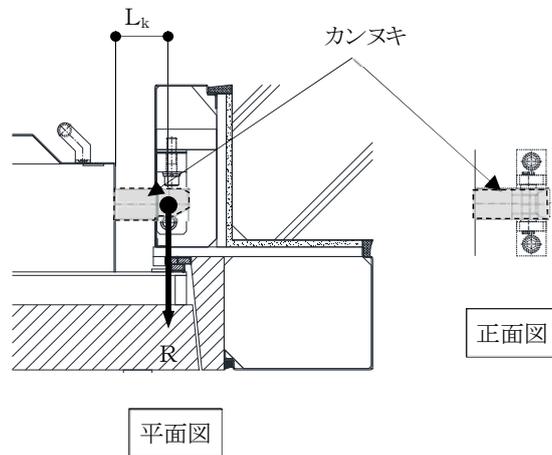


図3-19 カンヌキに生じる荷重(電気室搬入口水密扉)

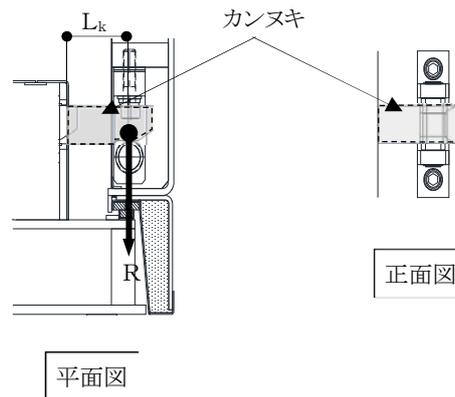


図3-20 カンヌキに生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸))

ロ. カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント M_p とせん断力 Q_p は次式により算定する。カンヌキ受けピンに生じる荷重を図3-21～図3-23に示す。

$$M_p = \frac{R \cdot L_p}{4} \quad L_k$$

$$Q_p = R$$

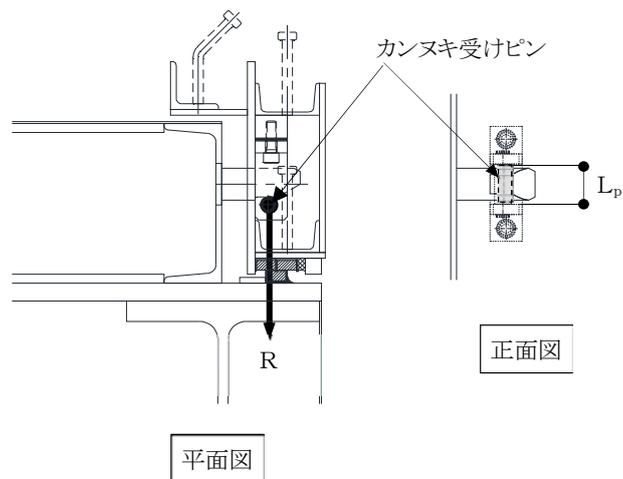


図3-21 カンヌキ受けピンに生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉)

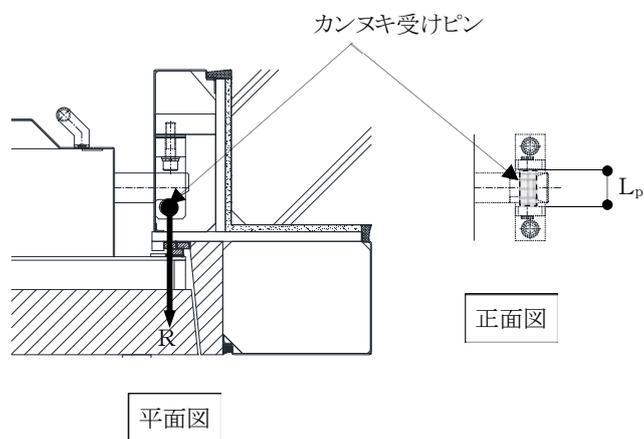


図3-22 カンヌキ受けピンに生じる荷重(電気室搬入口水密扉)

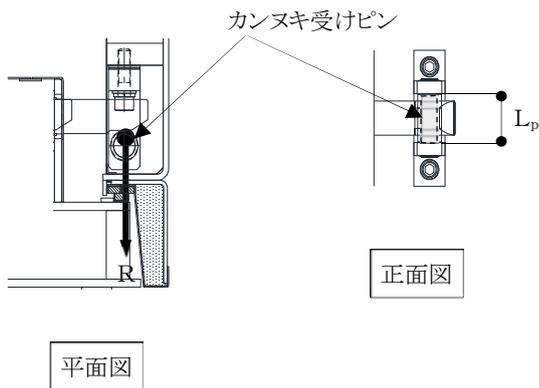


図3-23 カンヌキ受けピンに生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸))

ハ. カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張力Tは次式により算定する。カンヌキ受けボルトに生じる荷重を図3-24～図3-26に示す。

$$T = R$$

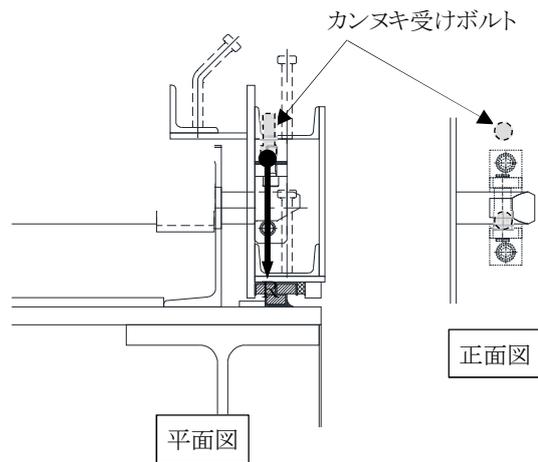


図3-24 カンヌキ受けボルトに生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉)

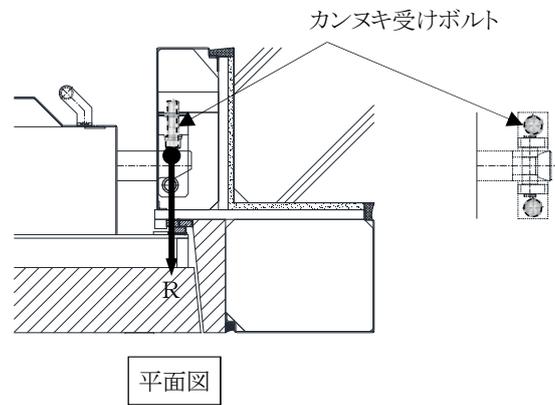


図3-25 カンヌキ受けボルトに生じる荷重(電気室搬入口水密扉)

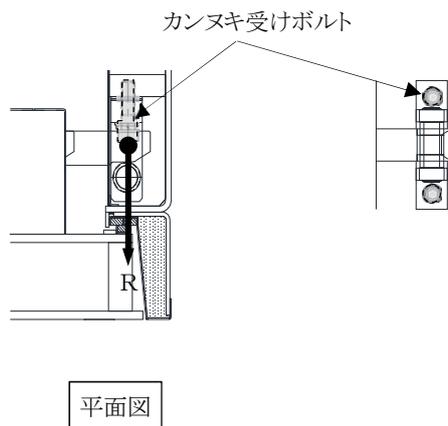


図3-26 カンヌキ受けボルトに生じる荷重(原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸))

b. 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度が許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

評価対象部位の許容限界を表3-21に示す。

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる生じる曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M_k}{Z_k}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_k}{A_k}\right)^2}$$

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定し、評価結果が厳しい方の値が短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_b = M_p / Z_p$$

$$\tau = Q_p / 2 \cdot A_p$$

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を算定し、短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = T / (n_b \cdot A_b)$$

表3-21 評価対象部位の許容限界

評価対象部材		材質	許容限界値(kN/mm ²)	
			曲げ・引張	せん断
カンヌキ部	カンヌキ	SUS304	205	—
	カンヌキ受けピン	SCM440	686	396
		S45C	345	199
	カンヌキ受けボルト	SCM435	651	—

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。

4.1 貫通評価

4.1.1 鉄筋コンクリート造部

鉄筋コンクリート造部の貫通評価に用いる条件を表4-1に示す。

表4-1 貫通評価に用いる入力値（鉄筋コンクリート造部）

記号	記号の説明		数値		単位
α_e	低減係数	鋼製材	1.0		—
		車両	0.60		—
d	飛来物直径	鋼製材	27.6		cm
		車両	338.5		cm
F_c	コンクリートの設計基準強度		原子炉建屋	225	kgf/cm ²
			タービン建屋	225	
			使用済燃料 乾式貯蔵建屋	240	
			緊急時対策所建屋	300	
N	飛来物の形状係数	鋼製材	1.14		—
		車両	0.72		—
D	飛来物直径密度 W/d^3	鋼製材	6.42×10^{-3}		kgf/cm ³
		車両	1.29×10^{-4}		kgf/cm ³
W	飛来物重量	鋼製材	135		kgf
		車両	5000		kgf
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
		車両	水平	52	m/s
			鉛直	—*	

※：表3-4を参照

4.1.2 鋼製部

鋼製部の貫通評価に用いる条件を表4-2に示す。

表4-2 貫通評価に用いる入力値（鋼製部）

記号	記号の説明		数値		単位
d	飛来物直径	鋼製材	7.90		cm
k	鋼板の材質に関する係数		1		—
M	飛来物重量	鋼製材	135		kg
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	

4.1.3 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

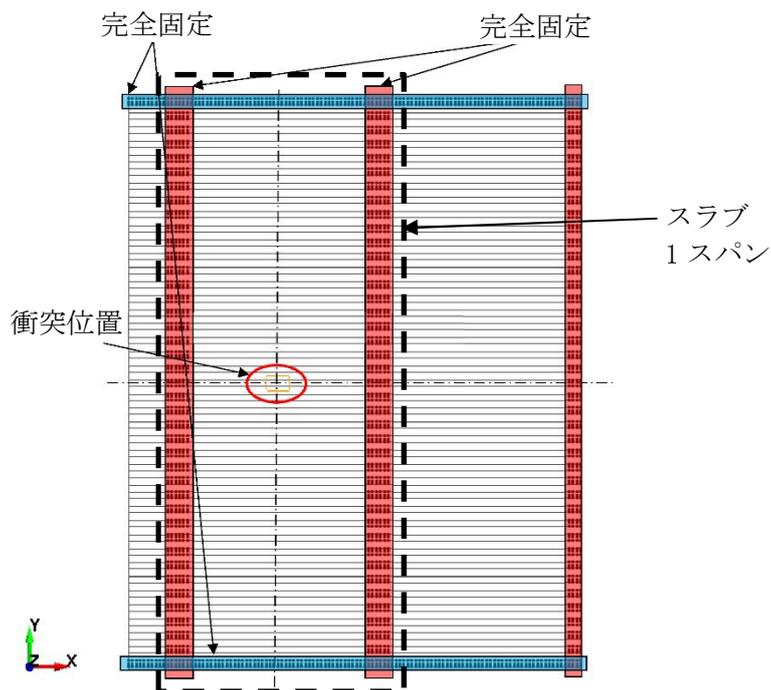
原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの貫通評価における、「3. 強度評価方法」に用いる「LS-DYNA」によるFEM解析の解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は、衝突時間が長く、被衝突部材に伝達するエネルギーが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし、衝突位置のスパンに合わせて、屋根に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-3に、解析ケース図を図4-1に示す。

表4-3 解析ケース（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ貫通評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
原子炉建屋 原子炉棟 屋根スラブ	鋼製材	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート(最小部 mm) 鉄筋(D13@180, 200)



4.2 裏面剥離評価

裏面剥離評価に用いる条件を表 4-4 に示す。

表4-4 屋根スラブの裏面剥離評価式に用いる入力値

記号	記号の説明		数値		単位
α_s	低減係数	鋼製材	1.0		—
		車両	0.55		
V_o	飛来物基準速度	鋼製材	60.96		m/s
		車両	60.96		
d	飛来物直径	鋼製材	27.6		cm
		車両	338.5		
f_c'	コンクリートの設計基準強度	原子炉建屋	225	kgf/cm ²	
		タービン建屋	225		
		使用済燃料 乾式貯蔵建屋	240		
		緊急時対策所建屋	300		
W	飛来物重量	鋼製材	135		kgf
		車両	5000		
V	飛来物の衝突速度	鋼製材	水平	51	m/s
			鉛直	34	
		車両	水平	52	
			鉛直	—*	

※：表3-4を参照

4.2.3 原子炉建屋壁面

原子炉建屋壁面の裏面剥離評価における、「3. 強度評価方法」に用いる「LS-DYNA」によるFEM解析の解析ケースを以下に示す。

飛来物の衝突位置は、衝突時間が長く、被衝突部材に伝達するエネルギーが大きくなるように部材長さ（支持スパン）が最大となる位置（中央部）とする。飛来物の衝突方向は鉛直とし、衝突位置のスパンに合わせて、屋根に対して最小断面積で衝突する場合（縦衝突）とする。

解析ケースを表4-5に、解析ケース図を図4-2に示す。

表4-5 解析ケース（原子炉建屋壁面裏面剥離評価）

評価対象	飛来物	衝突箇所	飛来物の衝突方向	対象部材
原子炉建屋 原子炉棟 外壁	鋼製材	中央部	鉛直：縦	躯体コンクリート（300 mm） 鉄筋（D19@200）

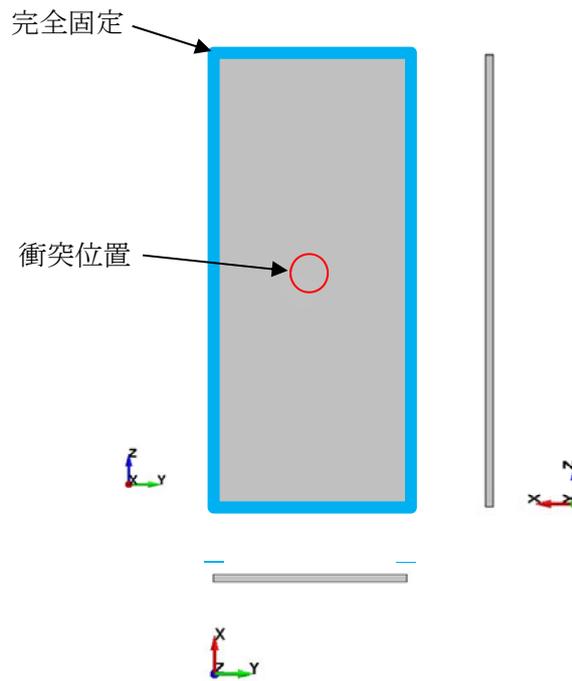


図4-2 解析ケース図

4.2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面

「V-3-別添1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書」に示す。

4.3 変形評価

(1) 外壁

原子炉建屋，タービン建屋，使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所の変形評価に用いる条件を表4-6から表4-9に示す。

表4-6 原子炉建屋変形評価の評価条件 (1/2) (RC構造部)

質点	高さ	位置	風力係数 ^{※1}	受圧面積	
				N-S方向	E-W方向
1	63.65	風上	0.8	331	354
		風下	0.4		
2	57.00	風上	0.8	447	478
		風下	0.4		
3	46.50	風上	0.8	328	351
		風下	0.4		
4	38.80	風上	0.8	175	187
		風下	0.4		
5	34.70	風上	0.8	266	283
		風下	0.4		
6	29.00	風上	0.8	581	570
		風下	0.4		
7	20.30	風上	0.8	430	432
		風下	0.4		
8	14.00	風上	0.8	396	398
		風下	0.4		

※1：風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

表4-6 原子炉建屋変形評価の評価条件 (2/2) (鉄骨造部分)

区画	高さ	位置	風力係数 ^{※1}	受圧面積	
				N-S方向	E-W方向
付属棟 南東	E. L. 22.0 ～ E. L. 35.0	風上	0.8	153	250
		風下	0.4		
付属棟 東側	E. L. 14.0 ～ E. L. 22.0	風上	0.8	— ^{※2}	370
		風下	0.4		
隔離弁室 ①	E. L. 22.0 ～ E. L. 30.0	風上	0.8	45	50
		風下	0.4		
隔離弁室 ②	E. L. 22.0 ～ E. L. 30.0	風上	0.8	8.4	91
		風下	0.4		

※1：風下側の係数は、風上側と同じ向きを正とする。

※2：構造上、N-S方向に対し見附面を有しない。

表4-7 タービン建屋変形評価の評価条件

質点	高さ	位置	風力係数 ^{※1}	受圧面積	
				N-S方向	E-W方向
1	40.64	風上	0.8	1408	585
		風下	0.4		
2	28.00	風上	0.8	1129	733
		風下	0.4		
3	18.00	風上	0.8	1034	696
		風下	0.4		

※1：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表4-8 使用済燃料乾式貯蔵建屋変形評価の評価条件

質点	高さ	位置	風力係数 ^{※1}	受圧面積	
				N-S方向	E-W方向
BM03	29.20	風上	0.8	318	658
		風下	0.4		
BM02	17.75	風上	0.8	254	525
		風下	0.4		

※1：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

表4-9 緊急時対策所建屋変形評価の評価条件

質点	高さ	位置	風力係数	受圧面積	
				N-S方向	E-W方向
1	51.00	風上	0.8	154	228
		風下	0.4		
2	43.50	風上	0.8	256	251
		風下	0.4		
3	37.00	風上	0.8	283	305
		風下	0.4		
4	30.30	風上	0.8	275	318
		風下	0.4		

(2) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの変形評価に用いる条件を表4-10に示す。

表4-10 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ変形評価の評価条件

記号	記号の説明	数値	単位
----	-------	----	----

q	設計用速度圧	6100	N/m ²
C	風力係数	1.6	—
G	ガスト影響係数	1	—
ΔP	最大気圧低下量	8900	N/m ²
A_c	コーン状破壊面の有効投影面積	33123	mm ²
A_0	頭付きアンカーボルト頭部の支圧面積	442.3	mm ²
$s_c a$	頭付きアンカーボルトの断面積で、軸部断面積とねじ部有効断面積の小なる方の値	284	mm ²
b	部材幅	1000	mm
d'	部材の有効せい	47	mm
L	屋根スラブの支持スパン	1530	mm
p	頭付きアンカーボルトの間隔	360	mm
D	頭付きアンカーボルト頭部の直径	30.4	mm
d	頭付きアンカーボルト軸部の直径	19	mm
F_c	コンクリートの設計基準強度	22.1	N/mm ²
f_n	コンクリートの支圧強度	132.6	N/mm ²
f_s	コンクリートの許容せん断応力度	1.07	N/mm ²
f_t	鉄筋の許容引張応力度	324.5	N/mm ²
a_t	引張鉄筋断面積	705	mm ²
j	応力中心間距離 ($j = (7/8) \cdot d'$)	41.1	mm
l_{ce}	頭付きアンカーボルトの強度計算用埋込み長さ ($l_{ce} = l_e$)	88.6	mm
l_e	頭付きアンカーボルトのコンクリート内への有効埋込み長さ	88.6	mm
$c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	6.851	N/mm ²
$s\sigma_{pa}$	頭付きアンカーボルトの引張強度	235	N/mm ²
$s\sigma_y$	頭付きアンカーボルトの規格降伏点強度	235	N/mm ²
ϕ_1	低減係数	1	—
ϕ_2	低減係数	0.67	—
ωd	常時作用する荷重による単位幅あたりの荷重	3.472	kN/m
$\omega T1$	評価に用いる竜巻の荷重 W_{T1} による単位幅あたりの荷重	-8.9 [*]	kN/m
$\omega T2$	評価に用いる竜巻の荷重 W_{T2} による単位幅あたりの荷重	-14.21 [*]	kN/m

※：下向きの荷重を正の値とする。

- (3) 原子炉建屋大物搬入口扉のうち原子炉建屋原子炉棟水密扉
 原子炉建屋原子炉棟水密扉の変形評価に用いる条件を表4-11に示す。

表4-11 原子炉建屋原子炉棟水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	水密扉受圧面積	25.90	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n	カンヌキ部箇所数	14	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	66.0	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	490.9	mm^2
		L_p	軸支持間距離	91.0	mm
		Z_p	断面係数	1534	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本あたりの断面積	157.0	mm^2
		n_b	ボルト本数	2	本

- (4) 原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉
 原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉の変形評価に用いる条件を表4-12に示す。

表4-12 原子炉建屋付属棟1階電気室搬入口水密扉の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	水密扉受圧面積	3.606	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n	カンヌキ部箇所数	4	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	106.0	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	314.2	mm^2
		L_p	軸支持間距離	79.0	mm
		Z_p	断面係数	785.4	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本あたりの断面積	157.0	mm^2
		n_b	ボルト本数	2	本

(5) その他の外殻となる扉

a. 原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)

原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)の変形評価に用いる条件を表4-13に示す。

表4-13 原子炉建屋原子炉棟水密扉(潜戸)の変形評価の評価条件

部位		記号	記号の説明	数値	単位
扉体		A_d	水密扉受圧面積	1.570	m^2
		ΔP	単位面積当たりの最大気圧低下量	8900	N/m^2
		n	カンヌキ部箇所数	4	箇所
カンヌキ部	カンヌキ	A_k	断面積	1963	mm^2
		L_k	軸支持間距離	95.0	mm
		Z_k	断面係数	12270	mm^3
	カンヌキ受けピン	A_p	断面積	314.2	mm^2
		L_p	軸支持間距離	90.0	mm
		Z_p	断面係数	785.4	mm^3
	カンヌキ受けボルト	A_b	ボルト1本あたりの断面積	157.0	mm^2
		n_b	ボルト本数	2	本

5. 強度評価結果

5.1 貫通評価

貫通限界厚さと許容限界の比較を表5-1に示す。式による評価で許容限界を満足しなかった原子炉建屋屋根スラブについては、解析による評価にてデッキプレートが破断しないことを確認した。

表5-1 貫通評価結果(1/2) (式による評価)

評価項目		部位	飛来物	評価結果 (mm)	許容限界 (mm)
貫通評価	原子炉建屋	屋根スラブ	鋼製材	追而	
		外壁	鋼製材		
	タービン建屋	オペレーティング フロア床版	鋼製材		
		気体廃棄物処理系 隔離弁設置エリア壁	鋼製材		
	使用済燃料乾式 貯蔵建屋	屋根スラブ	鋼製材		
			車両		
		外壁	鋼製材		
			車両		
	軽油貯蔵タンク タンク室	頂版	鋼製材		
	緊急時対策所	建屋屋根スラブ	鋼製材		
			車両		
		建屋外壁	鋼製材		
車両					

※：表5-2(2/2)により内包する防護すべき施設への影響がないことを確認

表5-1 貫通評価結果(2/2) (解析による評価)

評価項目		部位	飛来物	評価結果 (-)	許容限界 (-)
貫通評価	原子炉建屋	屋根スラブ	鋼製材	追而	
	原子炉棟				

5.2 裏面剥離評価

裏面剥離限界厚さと許容限界の比較を表5-2に示す。式による評価で許容限界を満足しなかった部位については、解析による評価にてデッキプレート若しくはライナが破断しないことを確認した。

表 5-2 裏面剥離評価結果(1/2) (式による評価)

評価項目		部位	飛来物	評価結果 (mm)	許容限界 (mm)
裏面剥離評価	原子炉建屋	屋根スラブ	鋼製材	追而	
		外壁	鋼製材		
	タービン建屋	オペレーティング フロア床版	鋼製材		
		気体廃棄物処理系 隔離弁設置エリア壁	鋼製材		
	使用済燃料乾式 貯蔵建屋	屋根スラブ	鋼製材		
			車両		
		外壁	鋼製材		
			車両		
	軽油貯蔵タンク タンク室	頂版	鋼製材		
	緊急時対策所	建屋屋根スラブ	鋼製材		
			車両		
		建屋外壁	鋼製材		
車両					

※：表 5-2(2/2)により内包する防護すべき施設への影響がないことを確認

表5-2 裏面剥離評価結果(2/2) (解析による評価)

評価項目		部位	飛来物	評価結果 (-)	許容限界 (-)
裏面剥離評価	原子炉建屋	屋根スラブ	鋼製材	追而	
		外壁	鋼製材	9.79×10^{-4}	2.00×10^{-3}
	使用済燃料乾式 貯蔵建屋	外壁	車両	追而 [※]	

※：計算の詳細は、「V-3-別添1-2-1-2 防護鋼板の強度計算書」に示す。

5.3 変形評価

(1) 外壁

建屋に生じるせん断ひずみと許容限界の比較を表5-3に示す。建屋に生じるひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表 5-3 変形評価結果（建屋）

評価項目	評価結果	評価結果	許容限界
建屋の せん断ひずみ	原子炉建屋	追而	
	タービン建屋		
	使用済燃料乾式貯蔵建屋		
	緊急時対策所		

(2) 原子炉建屋（鉄骨構造部）

原子炉建屋（鉄骨構造部）の部材に発生する応力度を計算し、許容限界を超えないことを確認する。

評価項目	評価結果	許容限界
	追而	

(3) 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ

原子炉建屋原子炉棟屋根スラブに生じる荷重と許容限界の比較を表5-4に示す。スラブ及びスタッドに生じる荷重が建屋に生じるひずみが許容限界を超えないことを確認した。

表5-4 変形評価結果（原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ）

評価項目	評価結果	許容限界
屋根スラブの曲げモーメント	追而	
屋根スラブのせん断力		
スタッドの発生引張力		

(3) 扉

評価対象の扉に生じる荷重と許容限界の比較を表5-5に示す。カンヌキ部に生じる荷重が許容限界を超えないことを確認した。

表5-5 変形評価結果

評価対象部位		評価結果 (N/mm ²)	許容限界値 (N/mm ²)	
原子炉棟水密扉 原子炉建屋	カンヌキ部	カンヌキ	90	205
		カンヌキ受けピン ^(注1)	245	686
		カンヌキ受けボルト	53	651
電気室搬入口水密扉 原子炉建屋一階	カンヌキ部	カンヌキ	70	205
		カンヌキ受けピン ^(注1)	202	686
		カンヌキ受けボルト	26	651
原子炉棟水密扉(潜戸) 原子炉建屋	カンヌキ部	カンヌキ	28	205
		カンヌキ受けピン ^(注1)	101	345
		カンヌキ受けボルト	12	651

(注1) 曲げ及びせん断のうち評価結果が厳しい方の値を記載

V-3-別添 1-1-10-1 建屋及び構造物の強度計算書

目次

1. 概要.....	2
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	4
2.3 評価方針.....	8
2.4 適用規格.....	11
3. 強度評価方法.....	12
3.1 記号の定義.....	12
3.2 評価対象部位.....	12
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	12
3.4 許容限界.....	14
3.5 評価方法.....	18
4. 評価条件.....	28
4.1 サービス建屋.....	28
4.2 海水ポンプエリア防護壁.....	30
4.3 鋼製防護壁.....	32
5. 強度評価結果.....	33
5.1 サービス建屋.....	33
5.2 海水ポンプエリア防護壁.....	33
5.3 鋼製防護壁.....	34

1. 概要

本資料は、V-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サービス建屋、海水ポンプエリア防護壁及び鋼製防護壁が、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（以下「飛来物」という。）による衝撃荷重並びにその他の荷重に対し、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に、隣接する竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋、タービン建屋並びに防護対象施設である残留熱除去系海水系ポンプ等に対して、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。

2. 基本方針

建屋及び構造物について、V-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、サービス建屋、海水ポンプエリア防護壁及び鋼製防護壁の「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

サービス建屋は、V-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」に示す配置のとおり、原子炉建屋及びタービン建屋に隣接する建屋である。

海水ポンプエリア防護壁は、V-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」に示す配置のとおり、残留熱除去系海水系ポンプ等に隣接する構造物である。

鋼製防護壁は、V-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」に示す配置のとおり、海水ポンプ室に隣接する構造物である。

建屋及び構造物の配置図を図2-1及び図2-2に示す。

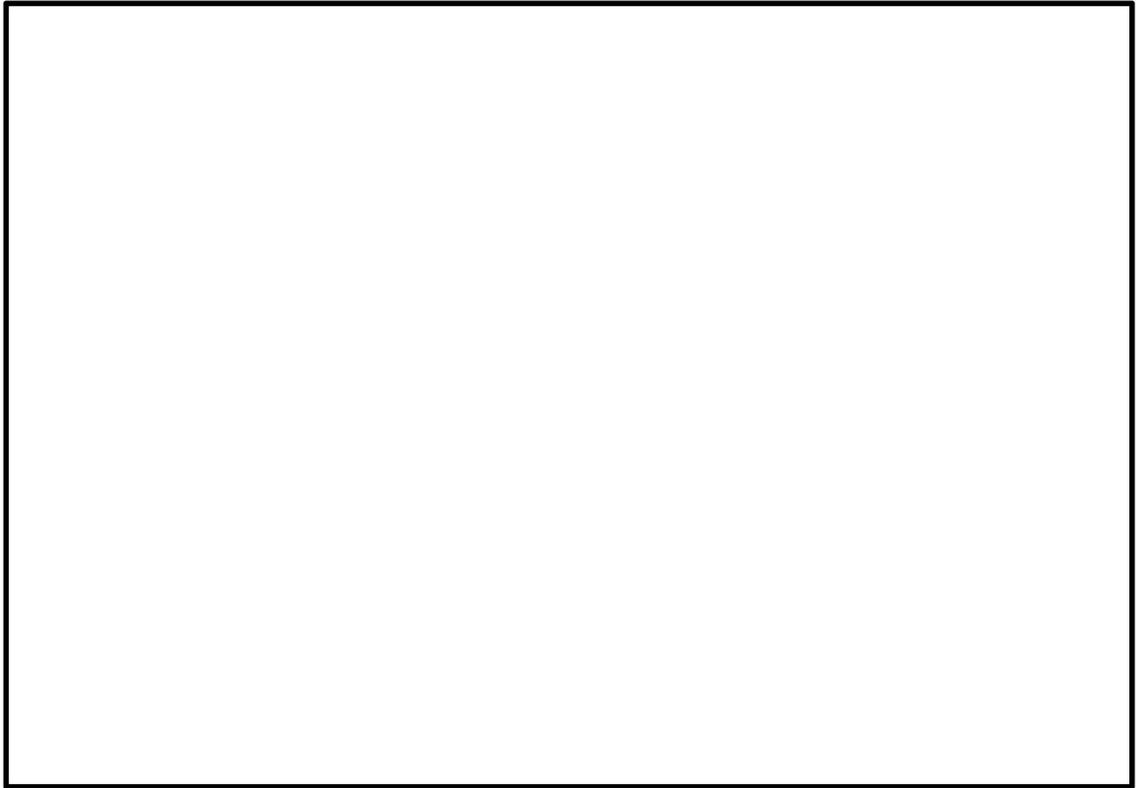


図 2-1 サービス建屋及び鋼製防護壁の配置図

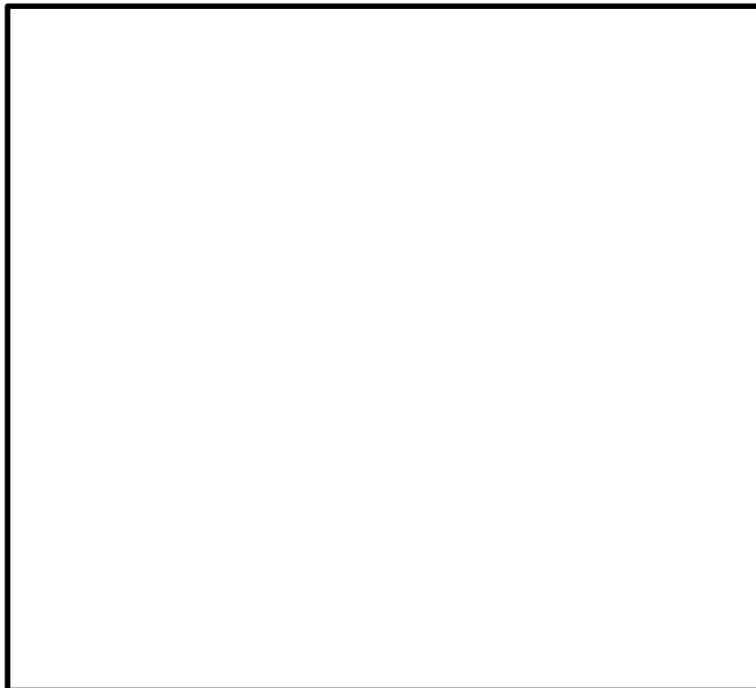


図 2-2 海水ポンプエリア防護壁の配置図

2.2 構造概要

(1) サービス建屋

サービス建屋並びにサービス建屋から波及的影響を受ける恐れがある原子炉建屋及びタービン建屋は、V-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。

サービス建屋は、図2-3に示すとおり、発電所建設時に設置した部分（以下「既設部」という。）及び、その後に増設した部分（以下「増設部」という。）で構成され、既設部及び増設部並びに原子炉建屋は、それぞれ構造的に独立した建物である。波及的影響を考慮する本評価においては、原子炉建屋に隣接する既設部を対象とする。（以下特記の無い限り「サービス建屋」という場合は、既設部を指す。）

サービス建屋、原子炉建屋及びタービン建屋は、鉄筋コンクリート造（以下、「RC造」という。）の躯体で構成する。

サービス建屋の断面図を図2-4に示す。

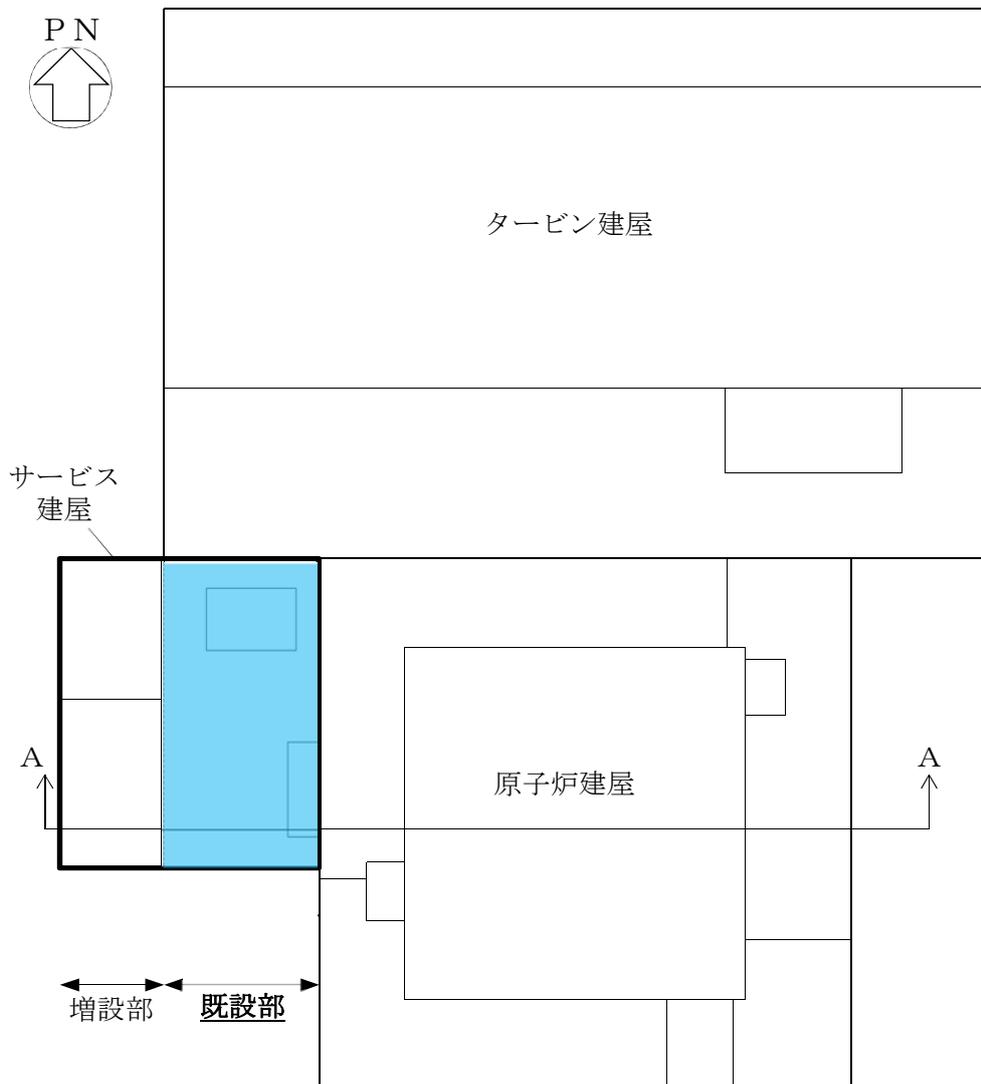


図2-3 サービス建屋、原子炉建屋及びサービス建屋の配置

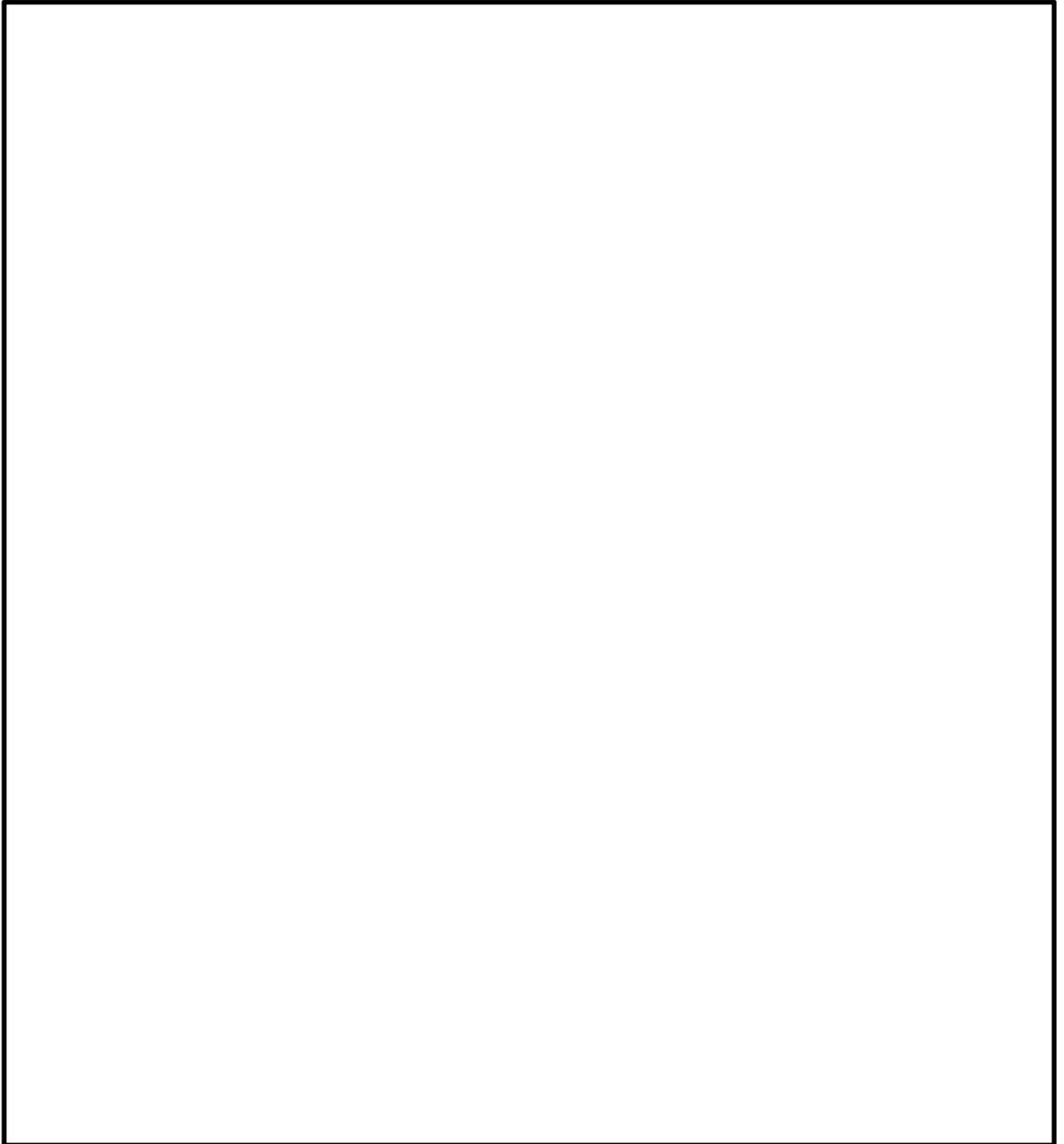


図2-4 サービス建屋断面図

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁は、V-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。

海水ポンプエリア防護壁は、RC壁並びに鉄骨架構及び鋼板で構成され、また、竜巻飛来物に対する防護ネット及び防護鋼板を取り付ける架構としての役割も有する。

海水ポンプエリア防護壁の概略構造図を図 2-5 に示す。

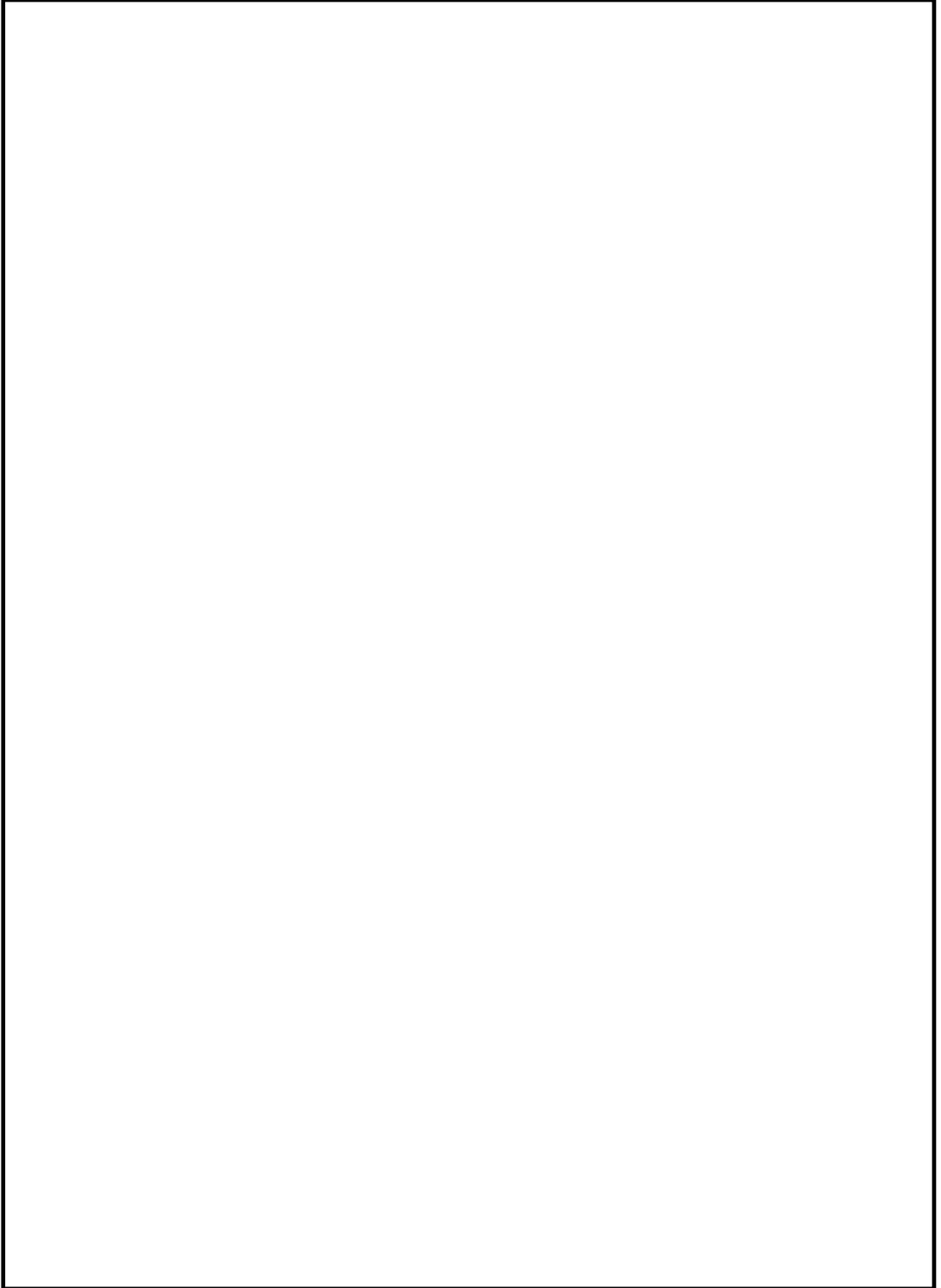


図 2-5 海水ポンプエリア防護壁概略構造図

(3) 鋼製防護壁

鋼製防護壁は、V-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。

鋼製防護壁は防潮堤の一部であり、鉛直及び水平方向に配置された鋼板で構成される鋼殻構造で構成され、添接板と高力ボルトを用いた摩擦接合により結合される、分割したブロックの集合体として全体を構成する。鋼製防護壁の概略構造図を図 2-6 に示す。

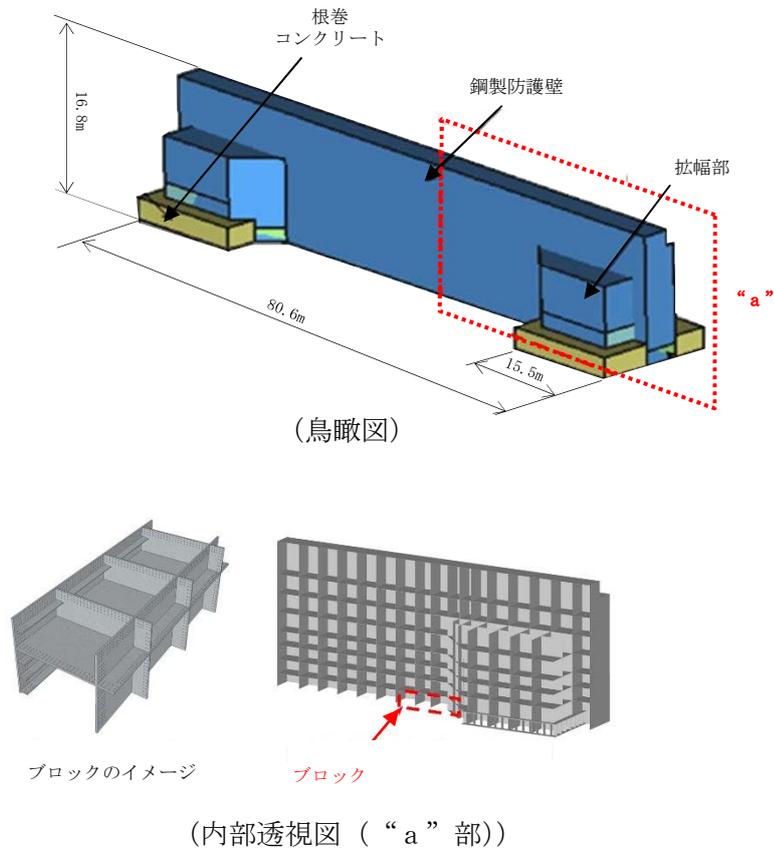


図 2-6 鋼製防護壁概略構造図

2.3 評価方針

(1) サービス建屋

サービス建屋の強度評価は、V-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。

サービス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、評価対象部位を設定する。

具体的には、サービス建屋が隣接する竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建屋及びタービン建屋との接触によって影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

サービス建屋の構造強度評価（以下「変形評価」という。）については、設計荷重に対し、原子炉建屋及びタービン建屋との相対変位を計算及び解析により算出し、接触する変形を生じないことを確認する。

サービス建屋の波及的影響評価フローを図2-7に示す。

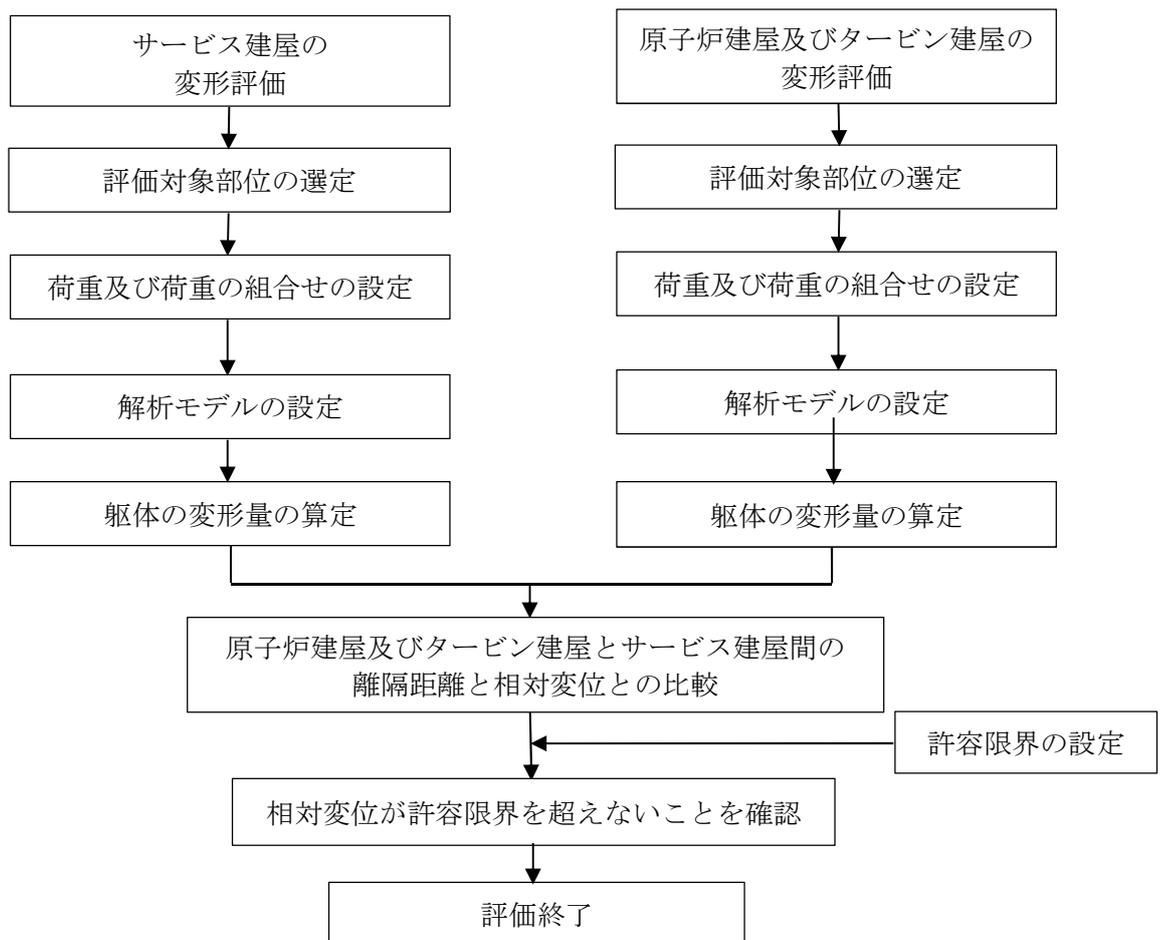


図2-7 サービス建屋の波及的影響評価フロー

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の強度評価は、V-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。

海水ポンプエリア防護壁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。

具体的には、海水ポンプエリア防護壁が隣接する残留熱除去系海水系ポンプ等との接触によって影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

海水ポンプエリア防護壁の構造強度評価（以下「変形評価」という。）については、設計荷重に対し、残留熱除去系海水系ポンプ等に接触する変形を生じない様、当該防護壁の変形が弾性限界の範囲に留まることを確認する。

海水ポンプエリア防護壁の波及的影響評価フローを図2-8に示す。

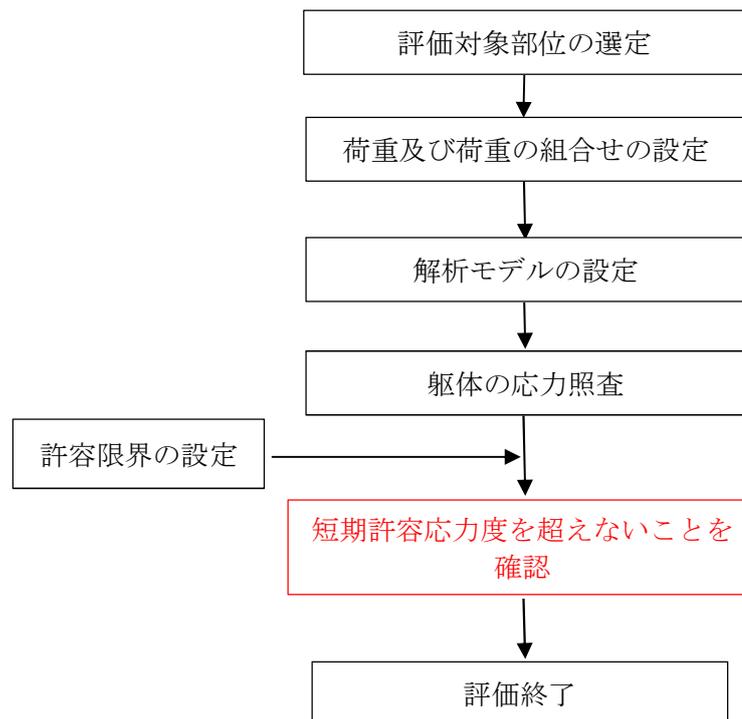


図2-8 海水ポンプエリア防護壁の波及的影響評価フロー

(3) 鋼製防護壁

鋼製防護壁の強度評価は、V-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。

鋼製防護壁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、評価対象部位を設定する。

具体的には、鋼製防護壁が隣接する海水ポンプ室内の竜巻より防護すべき施設に影響を及ぼさないことを確認する「構造強度評価」を行う。

鋼製防護壁の構造強度評価については、設計荷重に対し、鋼製防護壁に転倒が生じないことを計算により確認する。評価方法としては、V-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「5.1.2 鋼製構造物(3) 強度評価方法」に示す評価式により算出した設計荷重が、津波による荷重に包絡されることを確認する。

鋼製防護壁の波及的影響評価フローを図2-9に示す。

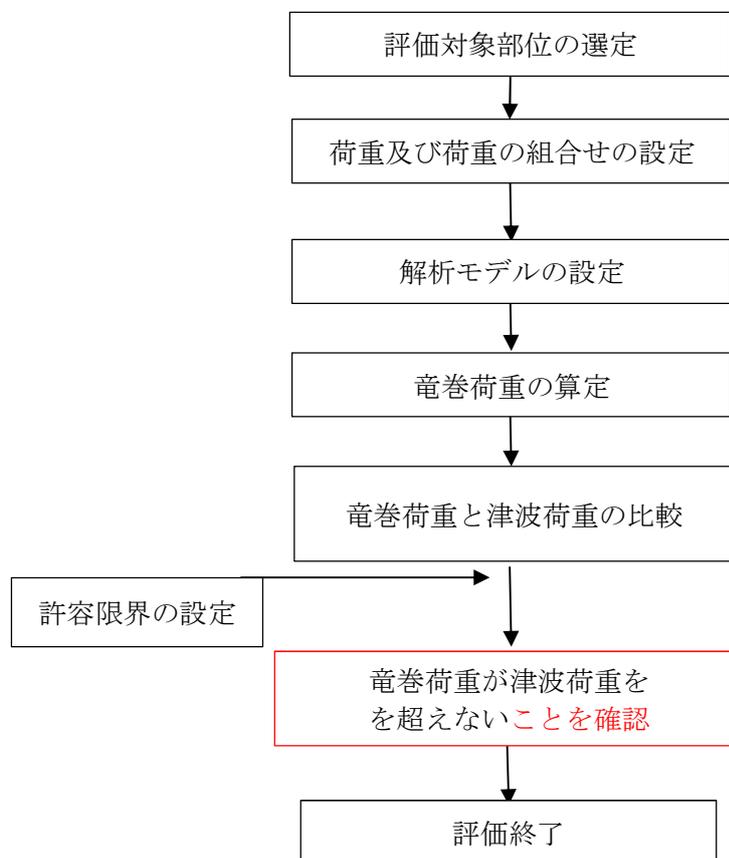


図2-9 鋼製防護壁の波及的影響評価フロー

2.4 適用規格

- ・ 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)
- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 建築物荷重指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2004 改定)
- ・ 「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)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J S M E S N C 1-2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・ 鋼構造設計規準 許容応力度設計法 日本建築学会
- ・ 道路橋示方書・同解説 (社) 日本道路協会
- ・ コンクリート標準示方書 2002 年 (構造性能照査編) 及び 2012 年 (設計編) 土木学会

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	受圧面積
C	—	風力係数
F _m	N	飛来物による衝撃荷重
G	—	ガスト影響係数
m	kg	飛来物の質量
ΔP	N/m ²	単位面積あたりの最大気圧低下量
q	N/m ²	設計用速度圧
V	m/s	飛来物の衝突速度

3.2 評価対象部位

(1) サービス建屋

サービス建屋及の評価対象部位は、V-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」に示す評価対象部位を踏まえて鉄筋コンクリート躯体を設定する。

また、設計荷重に対し、サービス建屋による原子炉建屋及びタービン建屋への波及的影響評価を行うため、**RC造**である原子炉建屋及びタービン建屋の耐震壁を評価対象部位とする。

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の評価対象部位は、V-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」に示す評価対象部位を踏まえて鉄筋コンクリート壁並びに鉄骨架構を設定する。

(3) 鋼製防護壁

鋼製防護壁の評価対象部位は、V-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」に示す評価対象部位を踏まえて上部工（鋼殻構造部）を設定する。

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み合わせは、V-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」に示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w は、下式により算定する。

風力係数 C は、「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。

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

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。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

c. 飛来物による衝撃荷重 (W_M)

飛来物による衝撃荷重 W_M については、表3-2に示す飛来物の衝突に伴う荷重としている。

なお、飛来物に対し受分に大きな質量を有する施設に対し、当該施設の全体的な変形挙動の評価をする場合には、相対的に極小と見なせる飛来物により瞬間的に作用する衝撃荷重 W_M の影響は軽微と考えられるため、考慮しないものとする。

表3-2 飛来物の諸元

飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

d. 常時作用する荷重 (F_d)

常時作用する荷重 F_d として、自重及び上載荷重を考慮する。

(2) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、V-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」を踏まえて、風圧力による荷重，気圧差による荷重，飛来物による衝撃荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。

荷重の組合せを表3-3に示す。

表3-3 荷重の組合せ

評価対象部位	荷重の組合せ
複合荷重 W_{T1}	$W_p + F_d$
複合荷重 W_{T2}	$W_w + 1/2W_p + W_M + F_d$

W_w ：風圧力による荷重 W_p ：気圧差による荷重

W_M ：飛来物による衝撃荷重 F_d ：常時作用する荷重

3.4 許容限界

(1) サービス建屋

サービス建屋の許容限界は、V-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」を踏まえて、評価内容に応じて設定する。

サービス建屋の躯体の変形（原子炉建屋及びタービン建屋に対する相対変位）に対する許容限界は、サービス建屋と原子炉建屋の離隔距離及びサービス建屋とタービン建屋の離隔距離とする。

設定した許容限界を表3-4に、サービス建屋と原子炉建屋及びタービン建屋の境界部の断面図を図3-1及び図3-2に示す。

表3-4 許容限界（サービス建屋）

	評価項目	許容限界
サービス建屋	躯体の変形	原子炉建屋との離隔距離： 50 mm
		タービン建屋との離隔距離： 50 mm

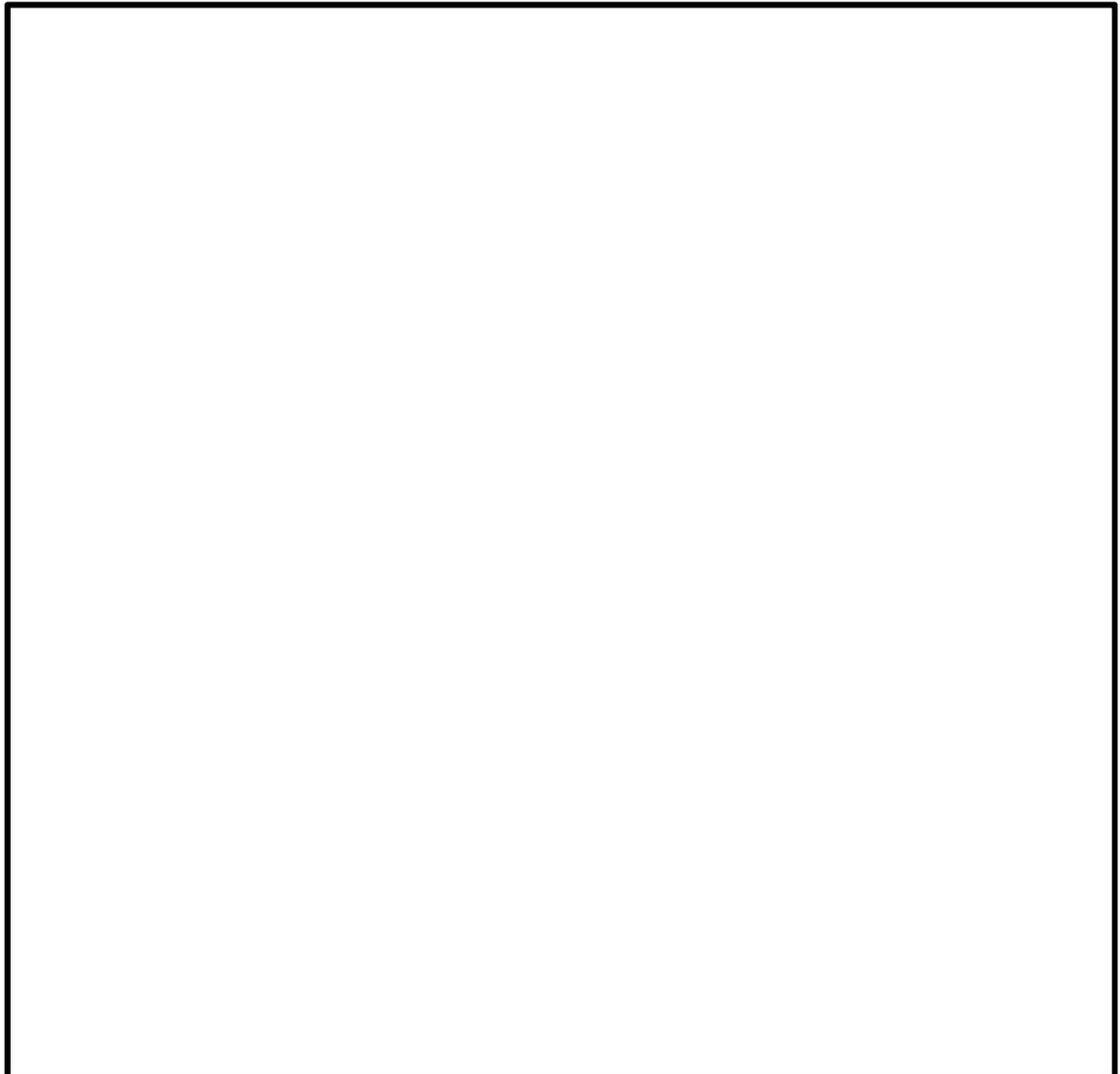


図3-1 サービス建屋と原子炉建屋の境界部断面図

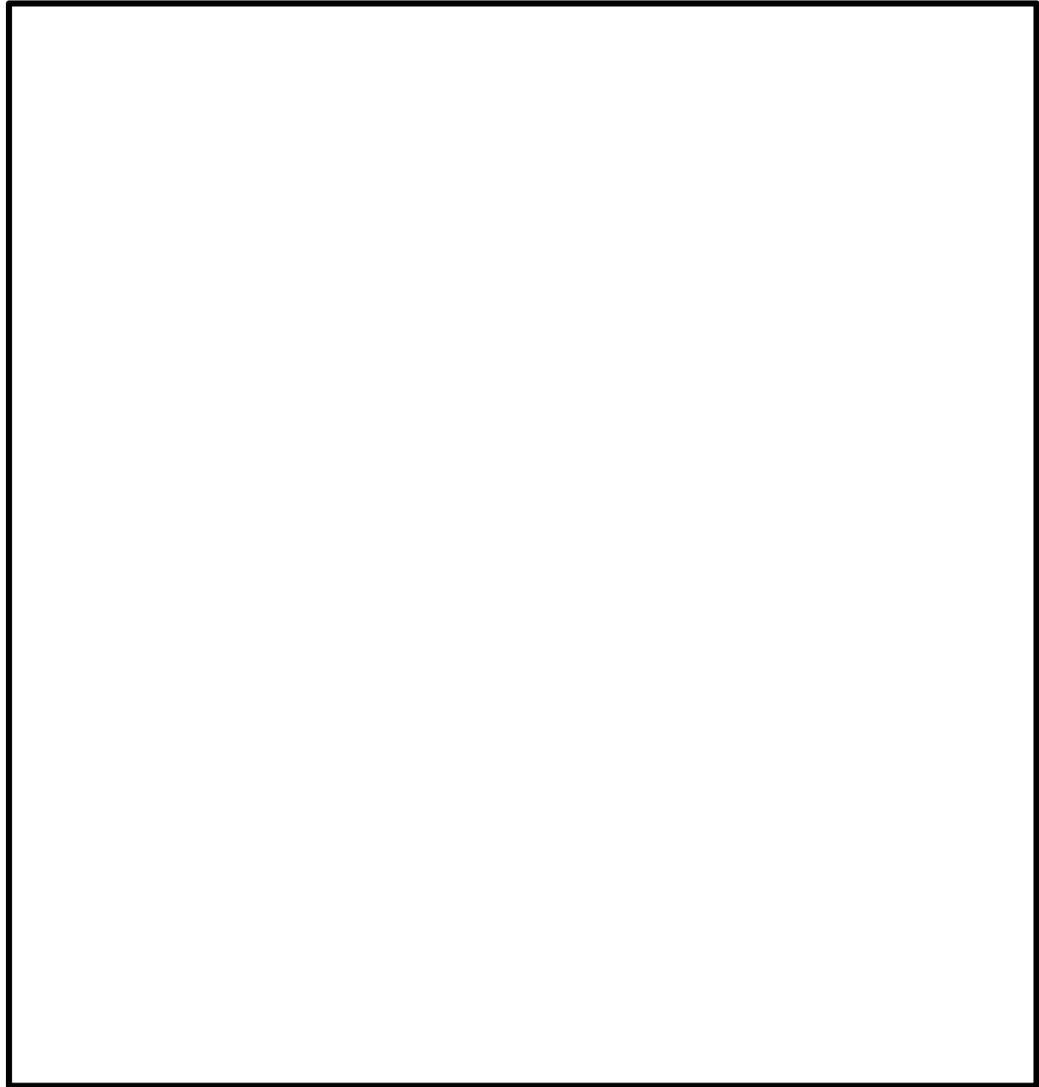


図3-2 サービス建屋とタービン建屋の境界部断面図

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の許容限界は、V-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」を踏まえて、評価内容に応じて設定する。

海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁並びに鋼製架構及び鋼板壁の変形に対する許容限界は、海水ポンプエリア防護壁の鉄筋コンクリート壁並びに鋼製架構及び鋼板壁と近接する防護対象施設との最小離隔距離を考慮し設定するものであるが、弾性限界内の変形に留めることで、防護対象施設との離隔を維持する設計とする。

各エリアに対する許容限界を表3-5に示す。

表 3-5 許容限界（海水ポンプエリア防護壁）

評価項目			許容限界
海水ポン プエリア 防護壁	躯体の 変形	RC 造部 (エリア①～⑤) 鉄骨架構部 (エリア⑧) 埋込基礎 (エリア⑧)	短期許容応力度以内
		埋込基礎 (エリア⑧)	移動しないこと

表4-4 鋼構造部の許容限界

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					
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
ⅢA _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

*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。

(3) 鋼製防護壁

鋼製防護壁の許容限界は、V-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」を踏まえて、評価内容に応じて設定する。

鋼製防護壁の上部工（鋼殻構造部）の評価における許容限界は、上部工に作用する津波荷重とする。

設定した許容限界を表3-6に、鋼製防護壁と防護対象施設の位置関係を図3-5に示す。

表 3-6 許容限界（鋼製防護壁）

評価項目		許容限界	
鋼製防護壁	上部工への風荷重	上部工天端における津波荷重 (基準津波時)	68.2 kN/m ²

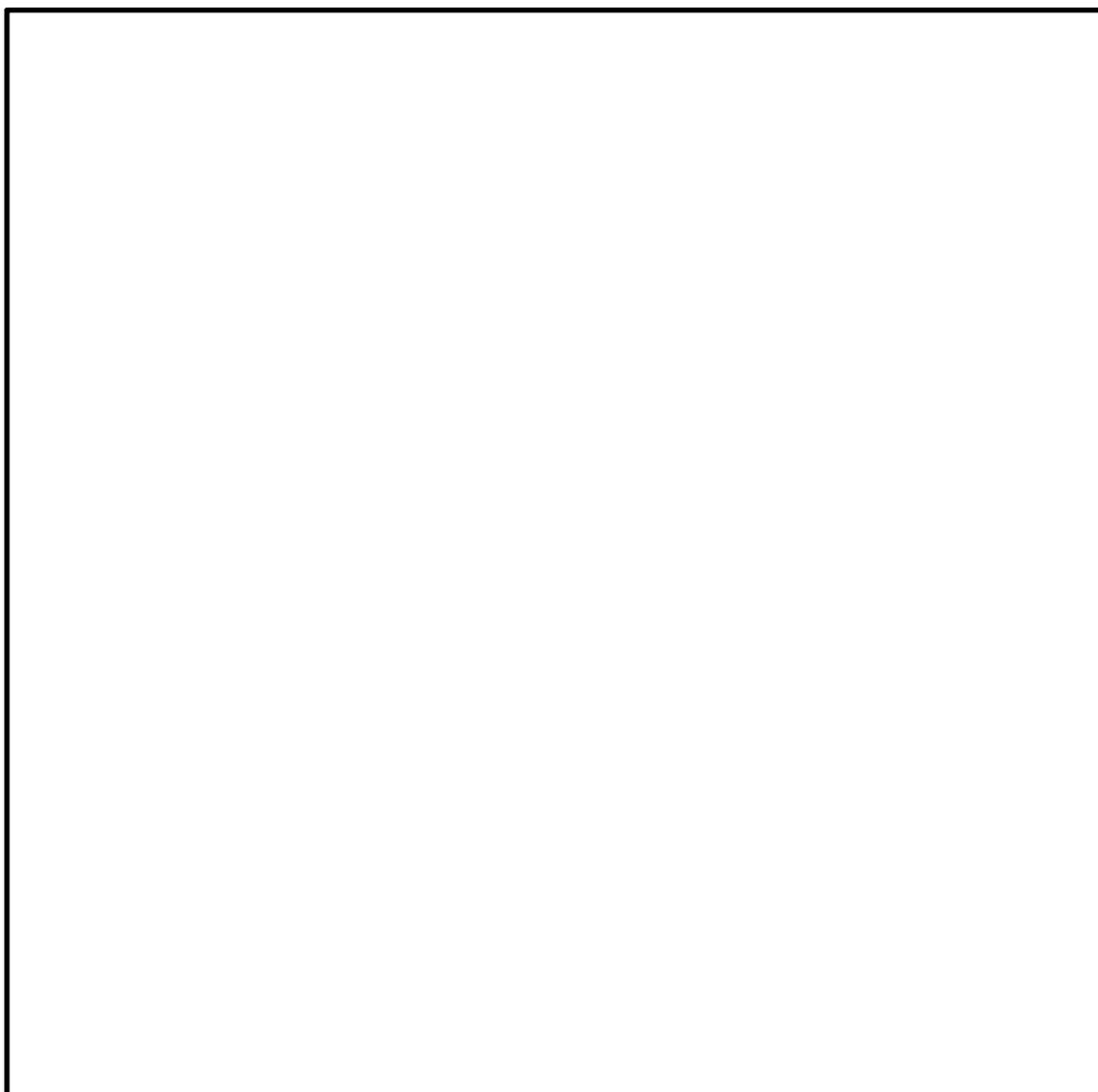


図 3-5 鋼製防護壁と防護対象の位置関係

3.5 評価方法

(1) サービス建屋（原子炉建屋及びタービン建屋を含む）

サービス建屋の躯体の変位は、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－変位関係（ $Q-\delta$ 関係）より算定する。

サービス建屋の解析モデルを図3-5に示す。解析モデルは、V-2-11-2-12「サービス建屋の耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデルを用いる。原子炉建屋はサービス建屋の東側、タービン建屋はサービス建屋の北側に位置するため、EW方向及び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 W_w の作用方向のみに作用するものとして考慮する。

飛来物による衝撃荷重 W_M は、瞬間的な荷重であり、且つサービス建屋は飛来物に対し十分に大きな質量を有することを考慮すると、建屋層全体の変形への設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから、考慮しない。

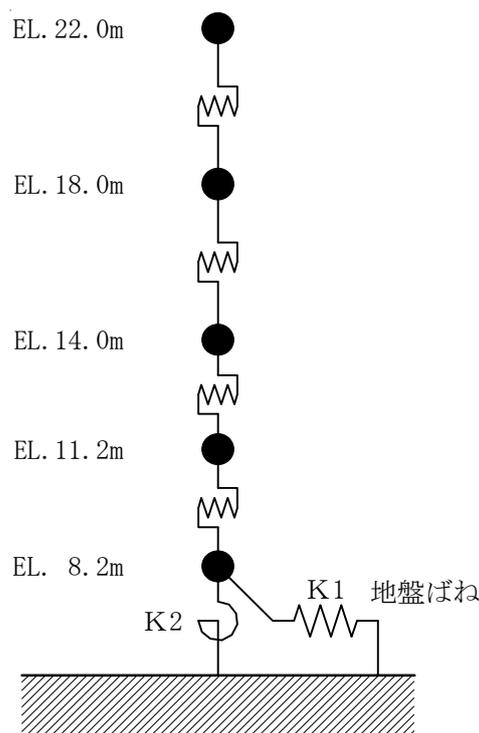


図3-5 サービス建屋の解析モデル

原子炉建屋及びタービン建屋の変位は、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。

原子炉建屋及びタービン建屋のせん断力－せん断ひずみ関係（ $Q-\gamma$ 関係）は、V-3-別添1-1-1「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」の「3.5.3 変形評価」に示すものを用いる。

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し、建屋層全体の評価においては相殺される荷重されるが、保守的に、風圧力による荷重 W_w の加力方向にのみ作用するものとする。

飛来物による衝撃荷重 W_M は、瞬間的な荷重であり、且つ原子炉建屋及びタービン建屋は飛来物に対し十分に大きな質量を有することを考慮すると、建屋層全体の変形への設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから、考慮しない。

(2) 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の変位は、評価対象の各エリアの構造モデルに竜巻荷重を入力することにより算定する。

海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図について、[図3-5](#)に示す。

鉄筋コンクリート壁で構成されるエリア①～⑤については、南北方向の壁を片持ちはりモデル、東西方向の壁を3辺固定1辺自由のスラブ、鉄骨架構で構成されるエリア⑧は、鉄骨架構部分を3次元フレームモデル、埋込基礎部をはりモデルとして評価する。

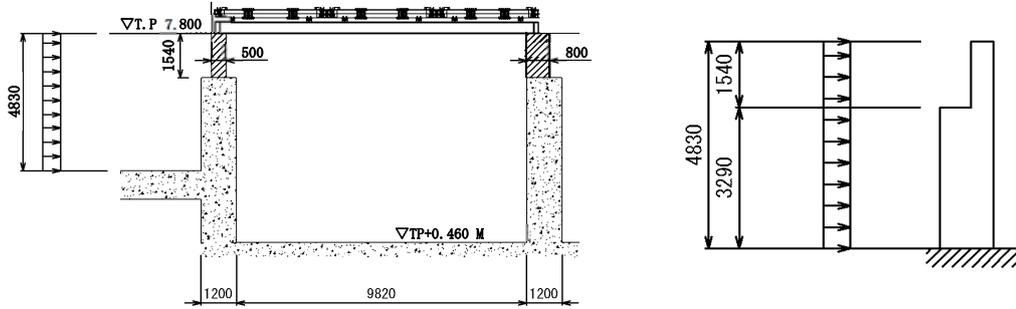
設計荷重のうち、風圧力による荷重 W_w は、海水ポンプエリア防護壁の各エリアの形状を考慮して算出した風力係数及び受圧面積に基づき算出する。

気圧差による荷重 W_p については、海水ポンプエリア防護壁の各エリアは開放された区画となっているため考慮しない。

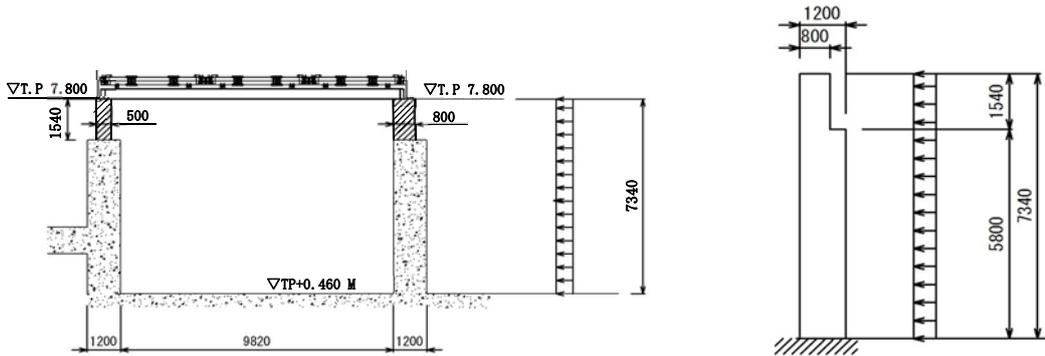
飛来物による衝撃荷重 W_M については、エリア①～⑤では、その区画を構成する海水ポンプ室躯体が設計飛来物に対し十分大きな質量を有することを考慮すると、波及的影響の検討対象である躯体の全体的な変形に対する設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから、考慮しない。エリア⑧についても、当該部の質量は飛来物に対し十分に大きく、また当該部は頑健な海水ポンプ室躯体に支えられた構造となっていることから、瞬間的に作用する飛来物の衝突荷重のみで当該部の全体的な倒壊を起こすことは考え難いが、鉄骨造の構造物において衝突による架構構成部位（鉄骨）の損傷を生じた場合には、RC造に比べ健全部材への荷重の再配分が大きいと考えられるため、その後に作用する自重若しくは風荷重により倒壊しないことの確認として、飛来物の衝突荷重を、柱の一本を喪失したものと置き換えたモデルとして考慮する。

ここで、エリア⑧と鋼製防護壁は近接しており、エリア⑧の東面に飛来物が深い入射角で衝突することは考え難いため、飛来物は南北方向に飛翔するものを考慮した上で、エリア⑧の南壁及び北壁の構造も踏まえた上で、飛来物の衝突箇所を、エリア⑧の南端の柱と設定した。

a. 東側クレーン走行路嵩上げ壁



b. 西側クレーン走行路嵩上げ壁



○ : 片持ちはりモデル
 ○ : スラブモデル

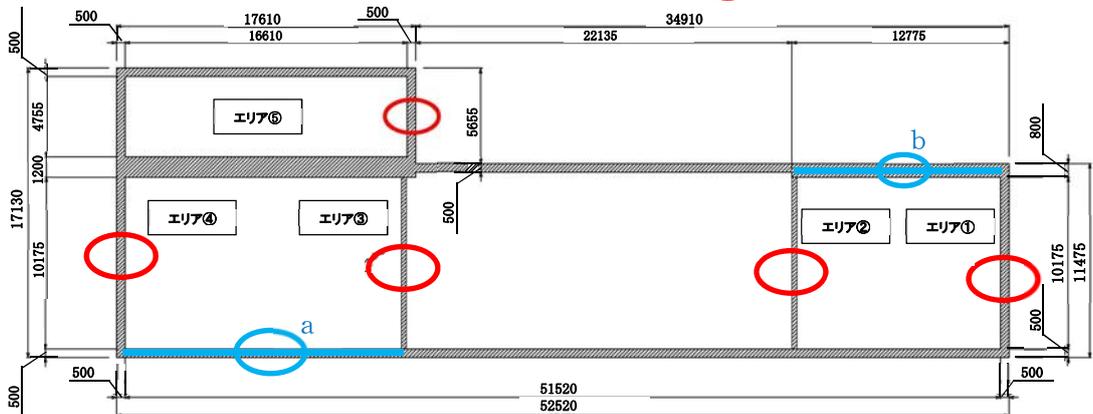
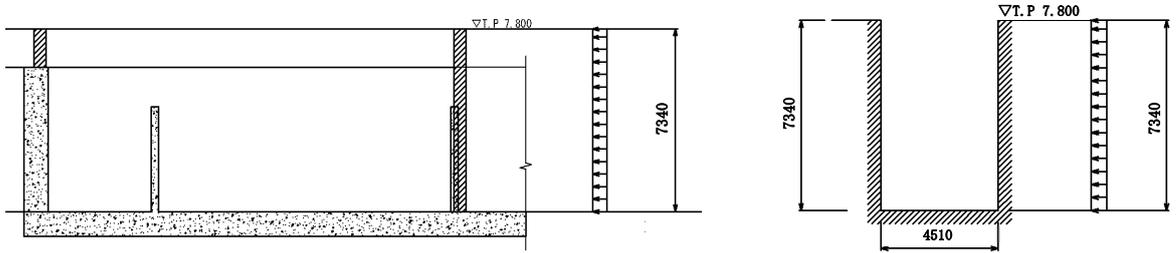
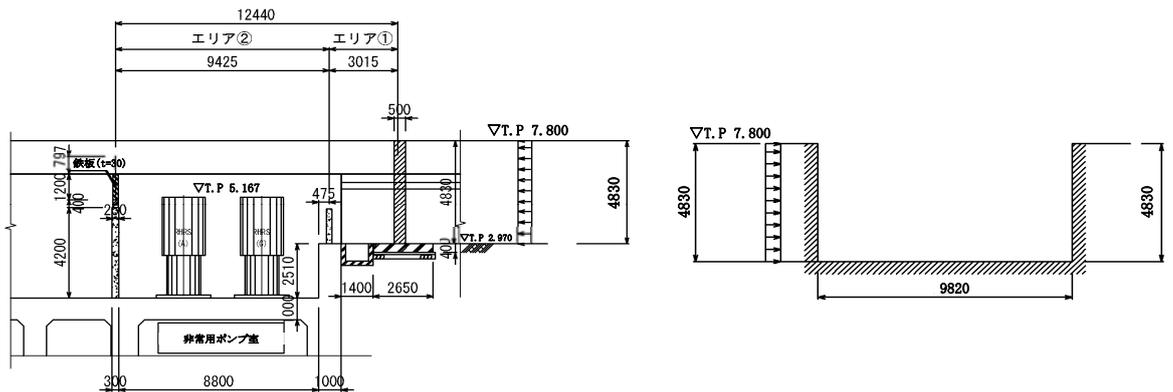


図3-5 海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図 (1/5)

c. エリア⑤北側壁



d. エリア①北側壁



○ : 片持ちはりモデル
 ○ : スラブモデル

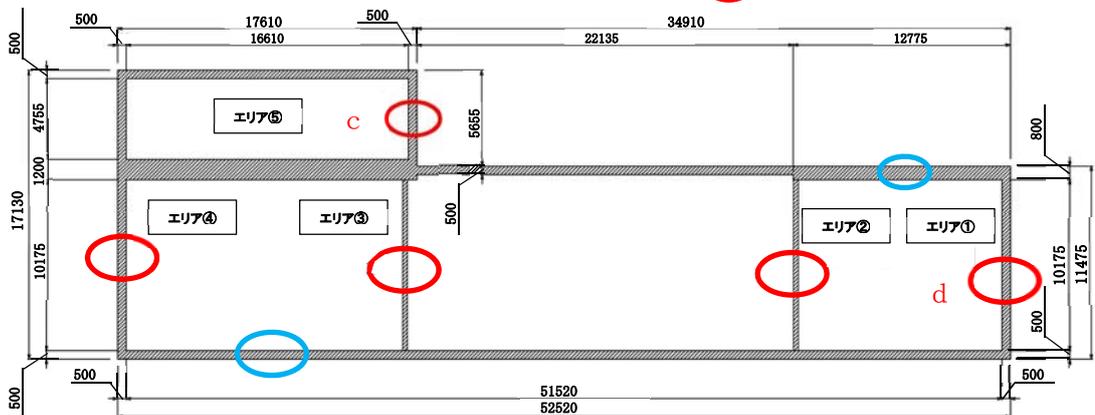
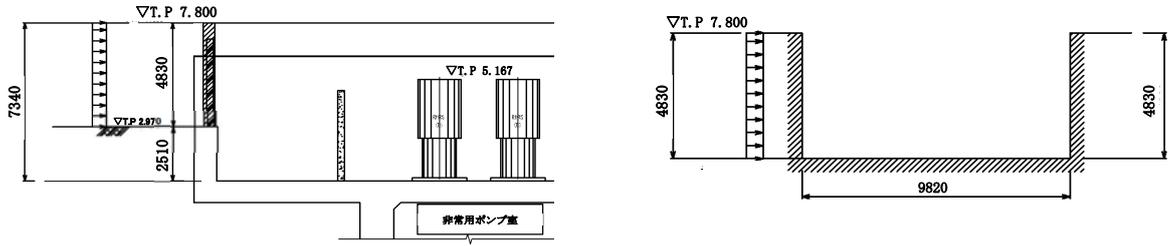
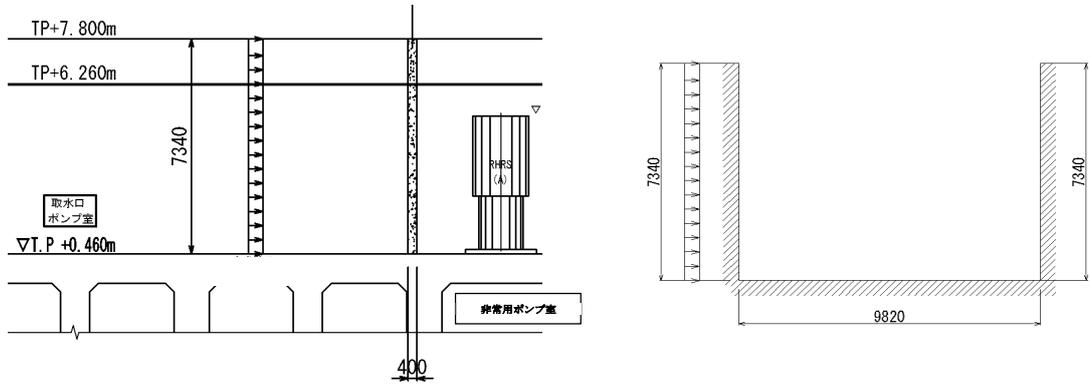


図3-5 海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図 (2/5)

e. エリア④南側壁



f. エリア②南側壁、エリア③北側壁



○ : 片持ちはりモデル
 ○ : スラブモデル

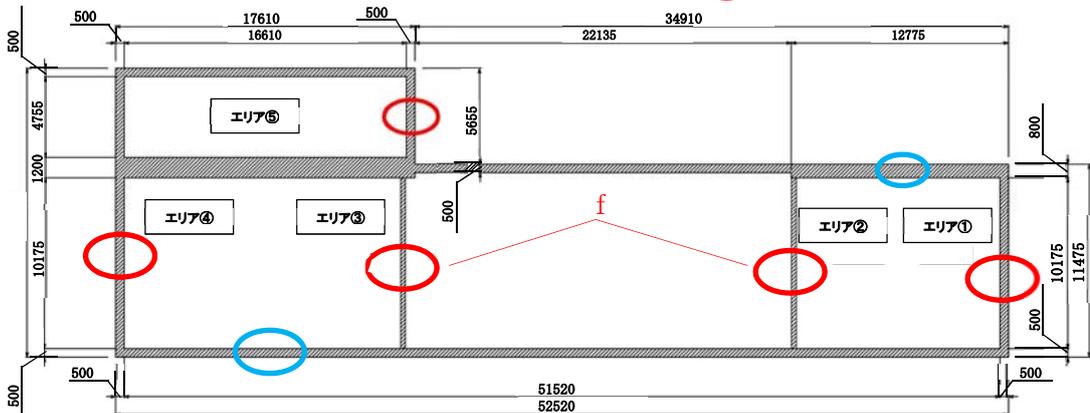
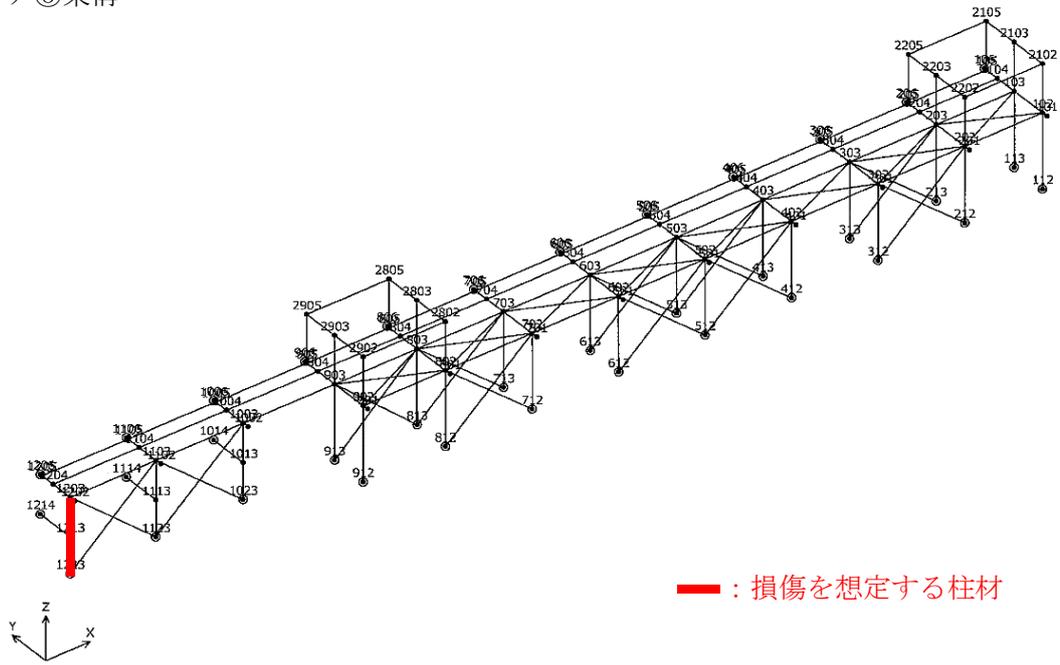


図3-5 海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図 (3/5)

エリア⑧架構



エリア⑧埋込基礎

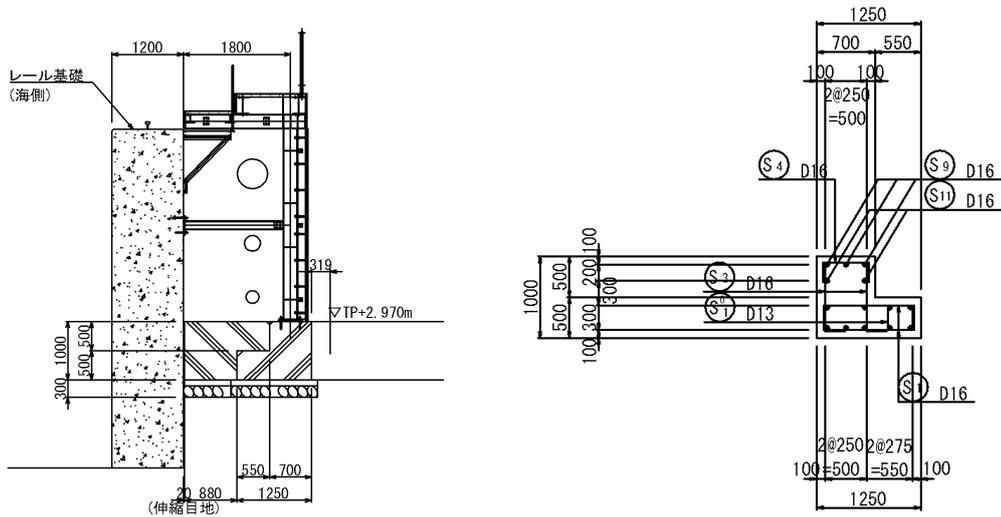
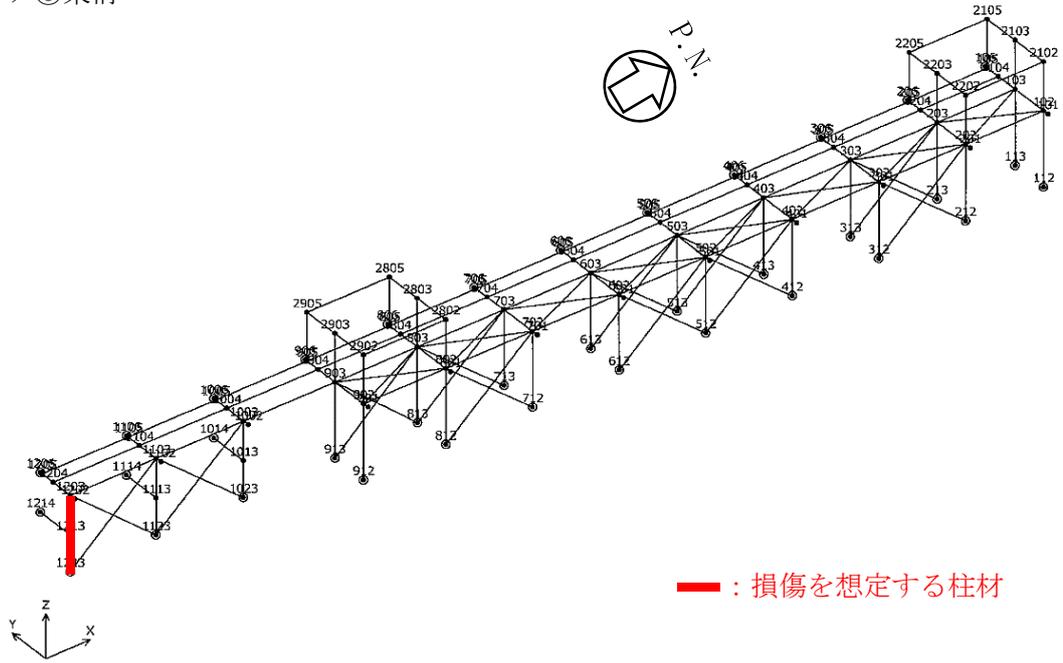


図 3-5 海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図 (4/5)

エリア⑧架構



<エリア⑧への飛来物衝突方向について>

エリア⑧について、

- ・ 東側はごく近傍に鋼製防護壁があり、飛来物は東からの侵入不可。
- ・ 西側は、上部の防護ネット部以外は海水ポンプ室に隠れている
- ・ 北側はコンクリート壁によって柱が隠れている。

↓

主要な柱に対し、飛来物は南方向からのみ衝突し得る。

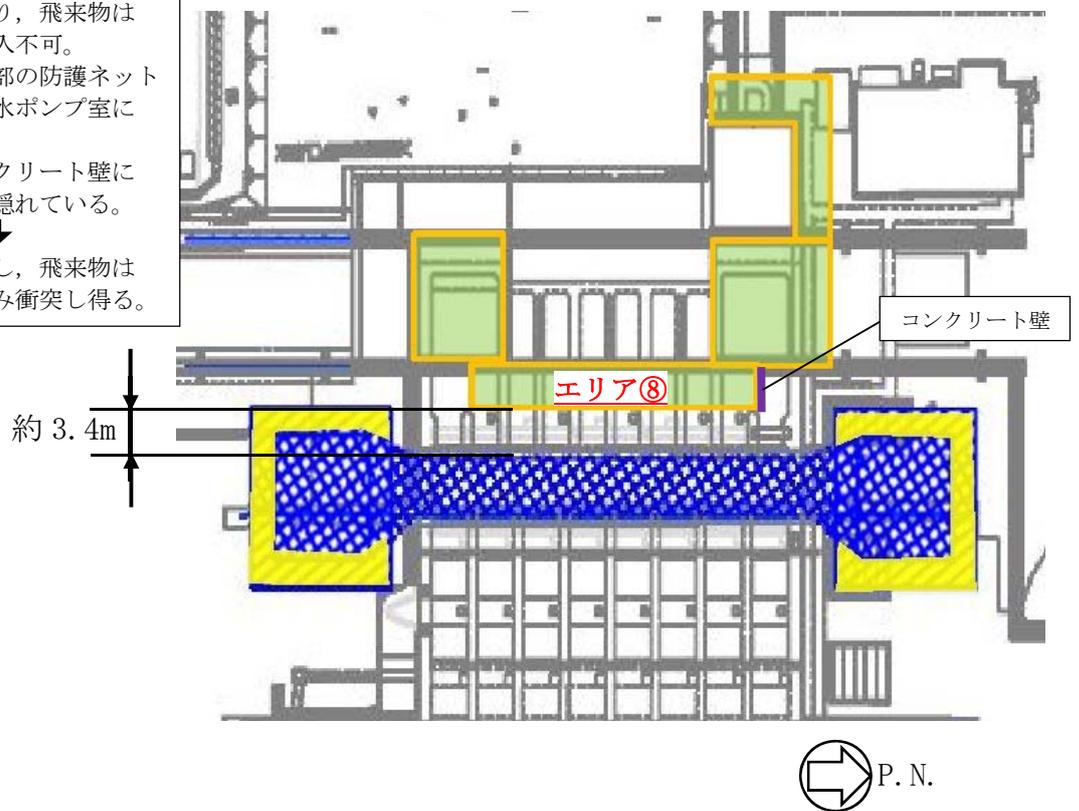


図3-5 海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図 (4/5)

エリア⑧埋込基礎

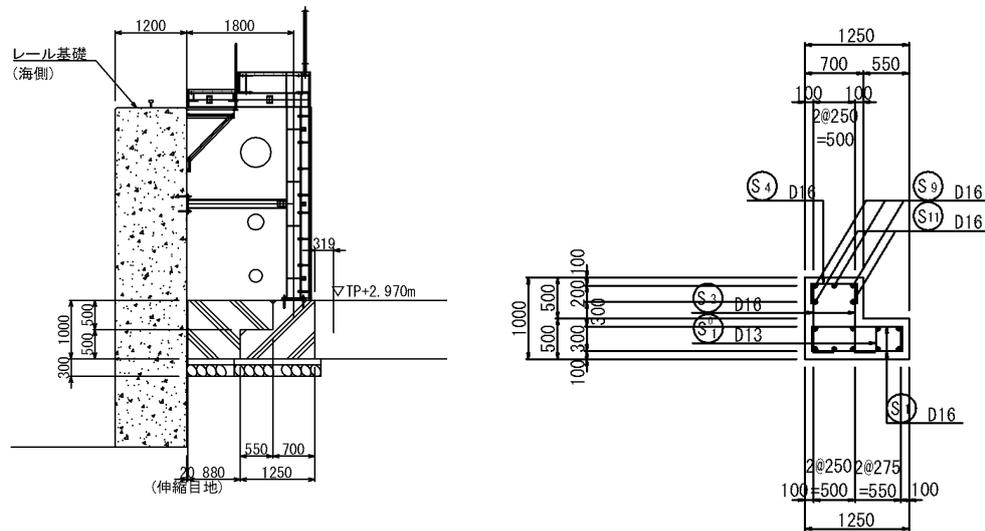


図3-5 海水ポンプエリア防護壁の解析モデル図 (4/5)

鉄筋コンクリートのはりモデルに対しては、土木学会「コンクリート標準示方書〔設計編〕(2012年)に基づき計算機コード「RC断面計算」を使用し、応力を求める。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-43 計算機プログラム(解析コード)の概要 RC断面計算」に示す。

スラブに対しては、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」の付図により応力を求める。

鉄骨架構のフレームモデルに対しては、計算機コード「Engineer's Studio」を使用し、断面力及び反力を求め、表3-7及び表3-8に示す式に基づき架構部材及びアンカーボルトの応力を算出する。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「V-5-39 計算機プログラム(解析コード)の概要 Engineer's Studio」に示す。

表3-7 架構の応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{N_t}{A}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$\frac{N_c}{A}$
曲げ応力 σ_b		MPa	$\frac{M_y}{Z_y}$, $\frac{M_z}{Z_z}$
せん断応力 τ		MPa	$\frac{Q_y}{A_{sz}}$, $\frac{Q_z}{A_{sz}}$
組合せ 応力	圧縮+曲げ	—	$\max \left(\frac{\sigma_c + \sigma_{bx} + \sigma_{by}}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_{bx} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t^*} \right)$
	引張+曲げ	—	$\max \left(\frac{\sigma_t + \sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5f_t^*} , \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_t}{1.5f_b^*} \right)$
	曲げ+せん断	—	$\max \left(\frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_z^2}}{1.5f_t^*} , \frac{\sqrt{(\sigma_c + \sigma_{bz} + \sigma_{by})^2 + 3\tau_y^2}}{1.5f_t^*} \right)$

軸力が引張の場合は、 σ_c を σ_t とする。

ここで、

- A : 断面積 (mm)
- Z_y, Z_z : 断面係数(Y, Z 軸回り) (mm)
- A_{sy}, A_{sz} : せん断断面積(Y, Z) (mm)
- N_t, N_c : 軸力(引張, 圧縮) (N)
- M_y, M_z : 曲げモーメント(Y, Z 軸回り) (N・mm)
- Q_y, Q_z : せん断力(Y, Z 軸) (N)

表3-8 ボルトの応力計算式

応力の種類		単位	応力計算式
引張応力 σ_t		MPa	$\frac{F_x}{A_b}$
圧縮応力 σ_c		MPa	$\frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{A_b}$
組合せ 応力	せん断+引張	—	$\frac{F_x}{A_b}$
せん断応力 τ		MPa	$\frac{Q_y}{A_{sz}}$, $\frac{Q_z}{A_{sz}}$

ここで、

- F_x, F_y, F_z : 引張力(X 軸), せん断力(Y 軸, Z 軸) (N)
- A_b : ボルトの断面積(mm²)

また、埋込基礎の安定性計算においては、日本道路協会「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」に基づき地盤反力を求める。

(3) 鋼製防護壁

飛来物による衝撃荷重 W_M については、鋼製防護壁が設計飛来物に対し十分大きな質量を有することを考慮すると、波及的影響の検討対象である躯体の全体的な変形に対する設計飛来物の衝突荷重の影響は軽微と考えられることから、考慮しない。また、構造的に竜巻による気圧低下が鋼製防護壁を東方向から押す様に作用する事も考え難い。

このため、鋼製防護壁に作用するのは風圧力による荷重のみとなるので、この風荷重が、設計上健全性が確認された津波荷重に包絡されていることを確認する。

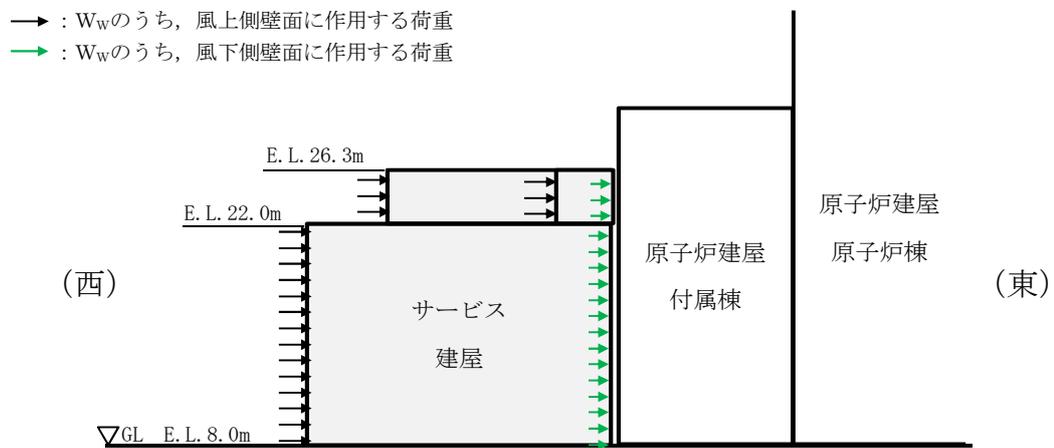
4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を、以下に示す。

4.1 サービス建屋

サービス建屋の東側に原子炉建屋、サービス建屋の北側に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 が西から東へ作用する場合及び南から北へ作用する場合の検討を実施する。サービス建屋に作用する風圧力による荷重 W_w の作用方向の模式図を図4-1に、サービス建屋の風圧力による荷重 W_w の算出条件を表4-1に示す。サービス建屋の風下側壁面は、原子炉建屋及びサービス建屋が接近して配置されており、実際には風下側壁面には風荷重が作用しないと考えられるが、本評価では保守的に風下側の風荷重も考慮するものとする。

また、サービス建屋の復元力特性諸元を表4-2に示す。



(a) 東西方向

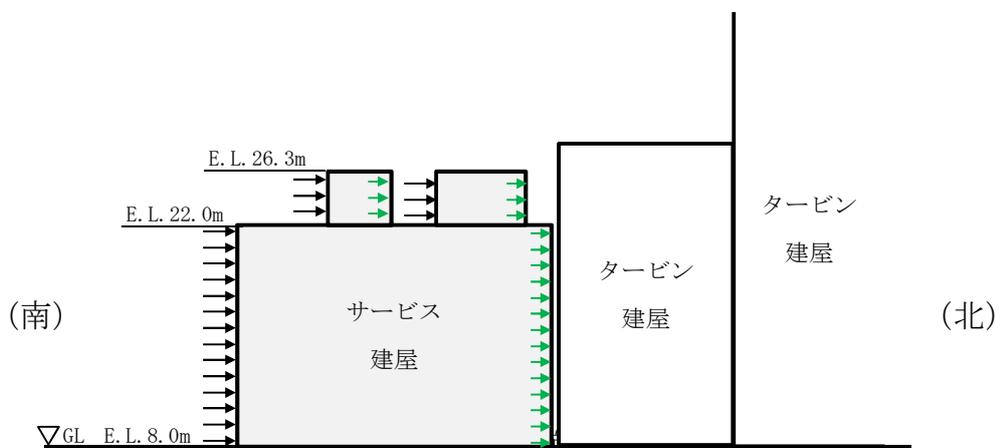


図4-1 サービス建屋への風圧力による荷重 W_w の作用方向模式図

表4-1 サービス建屋の風圧力による荷重 W_w の算出条件

E. L. (m)	位置	風力係数 $C^{※1}$	受圧面積 A	受圧面積 A
			(m^2) EW方向 (W⇒E)	(m^2) NS方向 (S⇒N)
22.0 ~ 18.0	風上	0.8	270 ^{※2}	157 ^{※2}
	風下	0.4		
18.0 ~ 14.0	風上	0.8	161	80
	風下	0.4		
14.0 ~ 11.2	風上	0.8	113	56
	風下	0.4		
11.2 ~ 8.2	風上	0.8	129	64
	風下	0.4		

※1：風下側の係数は，風上側と同じ向きを正とする。

※2：E. L. 22.0以上の部分を含む。

表 4-2 (1/2) サービス建屋の復元力特性諸元 (EW 方向)

E. L. m	要素 番号	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)	Q_3 (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_3 (mm)
22.0 ~ 18.0	1	1800	15800	19000	0.242	6.70	31.9
18.0 ~ 14.0	2	5700	21100	22700	0.916	12.0	40.0
14.0 ~ 11.2	3	3000	27300	29900	0.152	6.50	28.0
11.2 ~ 8.2	4	2570	36600	39200	0.114	7.20	30.0

表 4-2 (2/2) サービス建屋の復元力特性諸元 (NS 方向)

E. L. m	要素 番号	Q_1 (kN)	Q_2 (kN)	Q_3 (kN)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_3 (mm)
22.0 ~ 18.0	1	2870	17800	18700	0.388	10.4	40.0
18.0 ~ 14.0	2	3370	28000	29400	0.294	9.10	40.0
14.0 ~ 11.2	3	7520	37400	39300	0.240	6.40	28.0
11.2 ~ 8.2	4	12400	37100	38700	0.490	9.40	30.0

原子炉建屋及びタービン建屋の風圧力による荷重 W_w の算出条件及び復元力特性諸元については，V-3-別添1-1-1「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」の「3.5.3 変形評価」に示す。

4.2 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁の各エリアは南北及び東西方向に設置されており，その内部に防護対象施設が設置されているため，風圧力による荷重 W_w が西から東へ作用する場合及び北から南へ作用する場合の検討を実施する。各エリアに作用する風圧力による荷重 W_w の作用方法を図4-2に，海水ポンプエリア防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件を表4-3に示す。

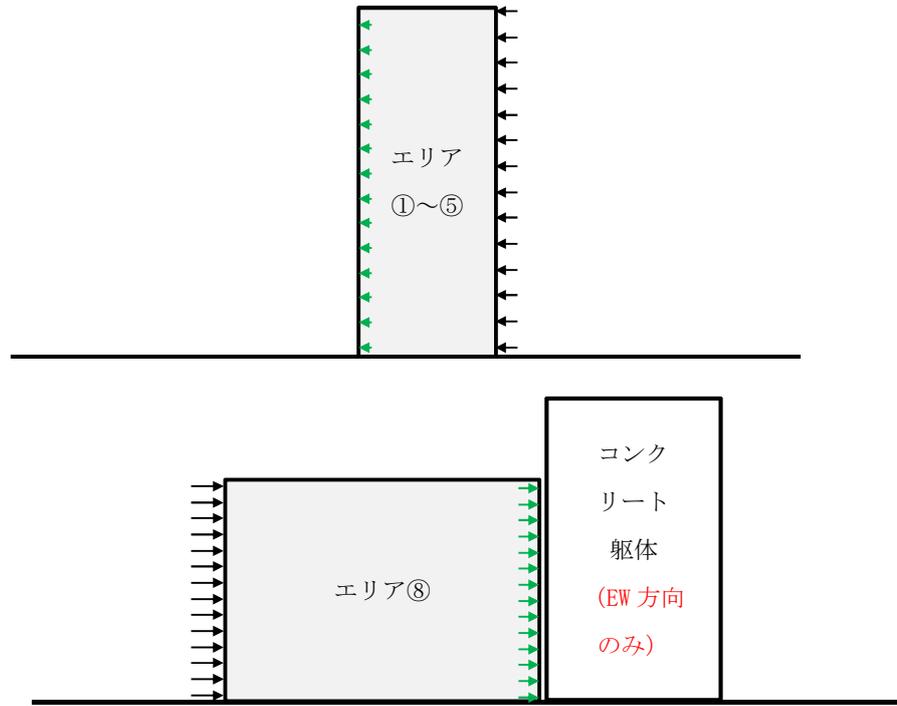


図4-2 風圧力による荷重 W_w の作用方法（海水ポンプエリア防護壁）

表4-3 海水ポンプエリア防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件

エリア	位置	風力係数C	受圧面積A (m^2)	受圧面積A (m^2)
			EW方向 (W⇒E)	NS方向 (S⇒N)
①～⑤	風上	0.6	部位ごとに算定	
	風下	0.4		
⑧	風上	0.6	122.2	28.2
	風下	0.4		

鉄筋コンクリートの仕様及び許容応力を表4-4に示す。

表 4-4 鉄筋コンクリートの仕様及び許容応力

評価項目		短期許容応力度 (N/mm ²)
コンクリート	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	
	許容せん断応力度 τ_{a1}	
鉄筋	許容曲げ引張応力度 σ_{sa2} (軸方向鉄筋)	
	許容曲げ引張応力度 σ_{sa2} (せん断補強筋)	

*1: 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)

*2: 斜め引張鉄筋を考慮する場合は, 「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)」に準拠し, 次式により求められる許容せん断力 (V_a) を許容限界とする。

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで,

V_{ca} : コンクリートの許容せん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa2} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : 1/1.15

d : 有効高さ

A_w : 斜め引張鉄筋断面積

σ_{sa2} : 鉄筋の許容引張応力度

s : 斜め引張鉄筋間隔

鉄骨架構の部材の仕様及び許容応力を表4-5に示す。

表4-5 使用材料 (エリア⑧)

仕様	材質
H-250×250×9×14	SM400
H-294×200x×8×12	SM400
L-100×100×10	SS400
L-150×150×12	SS400

鉄骨架構の仕様及び許容応力を表4-6に示す。

表4-6 材料定数 (エリア⑧)

材質	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
SM400	205000	0.3
SS400	205000	0.3

4.3 鋼製防護壁

鋼製防護壁の西側に海水ポンプ室が隣接して設置されているため、風圧力による荷重 W_w が東から西へ作用する場合の検討を実施する。鋼製防護壁に作用する風圧力による荷重 W_w の作用方法を図4-3に、鋼製防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件を表4-7に示す。

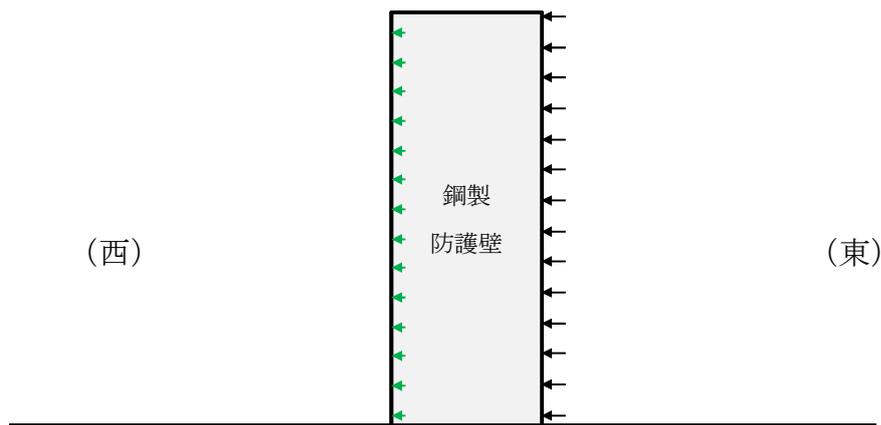


図4-3 風圧力による荷重 W_w の作用方法 (鋼製防護壁)

表4-7 鋼製防護壁の風圧力による荷重 W_w の算出条件

項目	記号	単位	備考
速度圧	6100 8210*	N/mm ²	
ガスト影響係数	1	—	
風力係数	1.0	—	「建築物荷重指針・同解説」を参照
見付面積	1	m ²	単位面積当たりの荷重で評価

※：風速116m/sの速度圧。エリア⑧の鉄骨架構及び埋込基礎の安定評価に使用

5. 強度評価結果

5.1 サービス建屋

サービス建屋と原子炉建屋の相対変位及びサービス建屋とタービン建屋の相対変位の評価結果を表5-1及び表5-2に示す。原子炉建屋及びタービン建屋と隣接する点の変位に基づく相対変位が、許容限界を超えないことを確認した。

表5-1 サービス建屋と原子炉建屋の相対変位の評価結果

(単位：mm)

複合荷重	EL. (m)	設計荷重による最大変位		最大相対変位※	許容限界
		サービス建屋	原子炉建屋		
W _{T1}	25.65	3.1	0.3	3.4	50
W _{T2}	25.65	3.8	0.3	4.1	50

※：保守的に、各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算したものとする。

表5-2 サービス建屋とタービン建屋の相対変位の評価結果

(単位：mm)

複合荷重	EL. (m)	設計荷重による最大変位		最大相対変位※	許容限界
		サービス建屋	タービン建屋		
W _{T1}	22.0	0.6	0.3	0.9	50
W _{T2}	22.0	0.7	0.4	1.1	50

※：保守的に、各建屋の最大変位をお互いが接近する方向に加算したものとする。

5.2 海水ポンプエリア防護壁

海水ポンプエリア防護壁に作用する竜巻荷重により発生する応力の評価結果を表5-3に示す。発生する応力は許容限界以下であることを確認した。

表5-3 海水ポンプエリア防護壁の発生応力評価結果

評価部位		発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	備考
東側クレーン走行路 嵩上げ壁	コンクリート	0.5	13.5	
	鉄筋	28	294	
	せん断	0.02	0.68	
西側クレーン走行路 嵩上げ壁	コンクリート	0.1	13.5	
	鉄筋	6	294	
	せん断	0.01	0.68	
エリア⑤北側壁	コンクリート	0.7	13.5	
	鉄筋	40	294	
	せん断	0.04	0.68	

エリア①北側壁		コンクリート	2.1	13.5	
		鉄筋	85	294	
		せん断	0.08	0.68	
エリア④南側壁		コンクリート	2.1	13.5	
		鉄筋	85	294	
		せん断	0.08	0.68	
エリア②南側壁, エリア③北側壁		コンクリート	3.5	13.5	
		鉄筋	99	294	
		せん断	0.12	0.68	
エリア ⑧	架構	引張+曲げ	0.43	1	単位なし
		曲げ+せん断	0.27	1	単位なし
		圧縮	0.04	1	単位なし
	アンカー ボルト	引張	84	362	
		せん断	66	278	
		組合せ	84	362	
	埋込基礎	コンクリート	0.20	13.5	
		鉄筋	13	294	
		せん断	0.03	0.68	
		地盤反力	16	450	単位:kPa

5.3 鋼製防護壁

鋼製防護壁に作用する竜巻荷重と津波荷重の評価結果を表5-3に示す。竜巻荷重が許容限界である津波荷重を超えないことを確認した。

表5-3 鋼製防護壁に対する竜巻荷重と津波荷重
(単位: kN/m²)

竜巻荷重	津波荷重 (許容限界)
6.1	68.2