

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-013-09改03
提出年月日	2023年2月17日

VI-3-別添 1-9 配管及び弁の強度計算書

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	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・基準等	6
3.	強度評価方法	7
3.1	評価対象部位	7
3.2	荷重及び荷重の組合せ	8
3.3	許容限界	10
3.4	評価方法	12
4.	評価条件	13
5.	強度評価結果	14

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、原子炉補機海水系配管及び弁（取水槽）、高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁（取水槽）、非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁（屋外）、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁（屋外）並びに非常用ガス処理系配管及び弁（以下「配管及び弁」という。）が、竜巻時及び竜巻通過後においても、主要な構造部材が構造健全性を保持し、各配管及び弁の機能を維持することを確認するものである。

2. 基本方針

配管及び弁について、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」,「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」及び「5. 強度評価方法」を踏まえ、配管及び弁の「2.1 位置」,「2.2 構造概要」,「2.3 評価方針」及び「2.4 適用規格・基準等」を示す。

2.1 位置

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、配管及び弁の位置図を図 2-1 に示す。

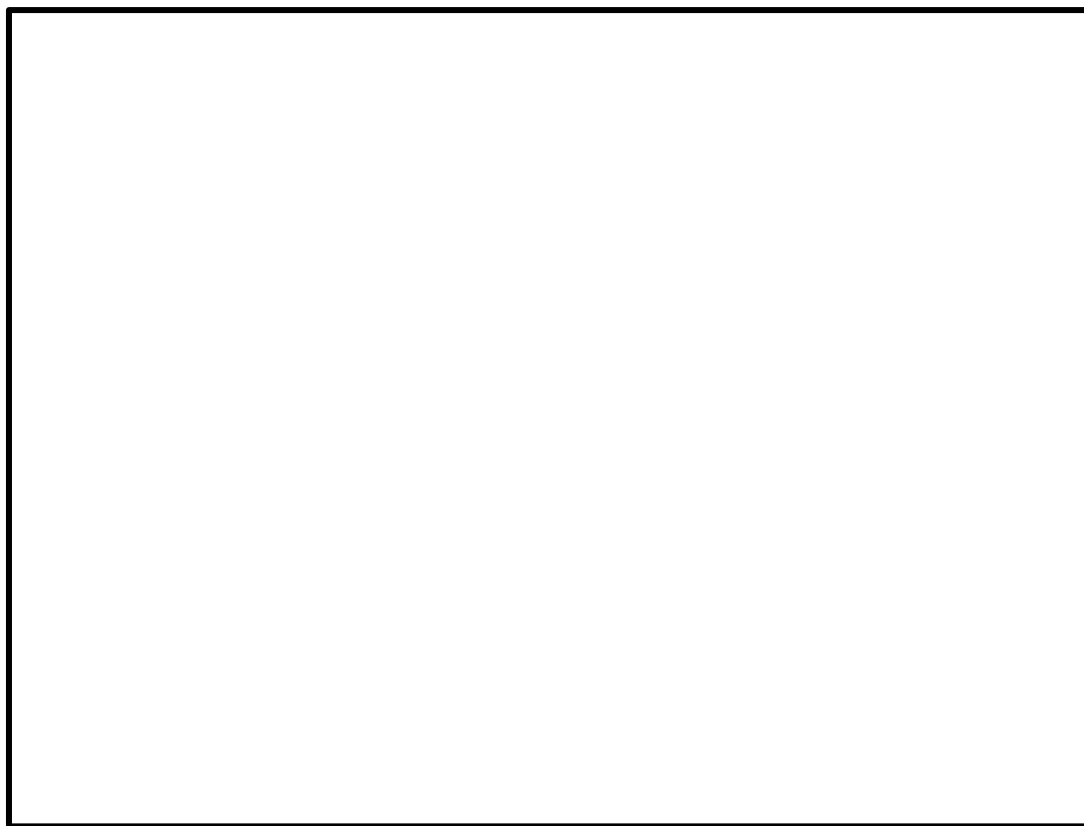


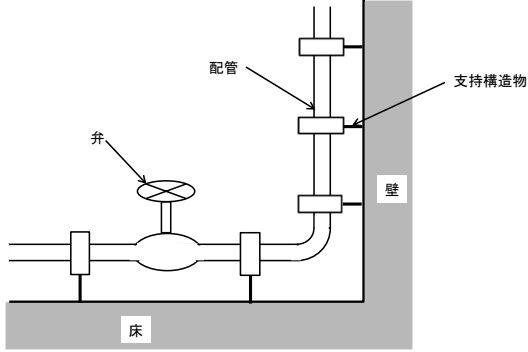
図 2-1 配管及び弁の位置図

2.2 構造概要

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」に示す構造計画のとおり、配管及び弁の構造を設定している。

配管及び弁は、配管本体及び弁で構成され、支持構造物により床、壁等から支持する構造とする。配管及び弁の構造計画を表 2-1 に、各エリアの配管及び弁の配置図を図 2-2、図 2-3 に示す。

表 2-1 配管及び弁の構造計画

施設名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
【位置】 配管及び弁は屋外の取水槽海水ポンプエリア、燃料移送ポンプエリア及び排気筒に設置する。			
配管及び弁	鋼製の配管本体及び弁で構成する。	配管本体及び弁は、支持構造物により床及び壁等から支持する。	

S2 補 VI-3-別添 1-9 R0

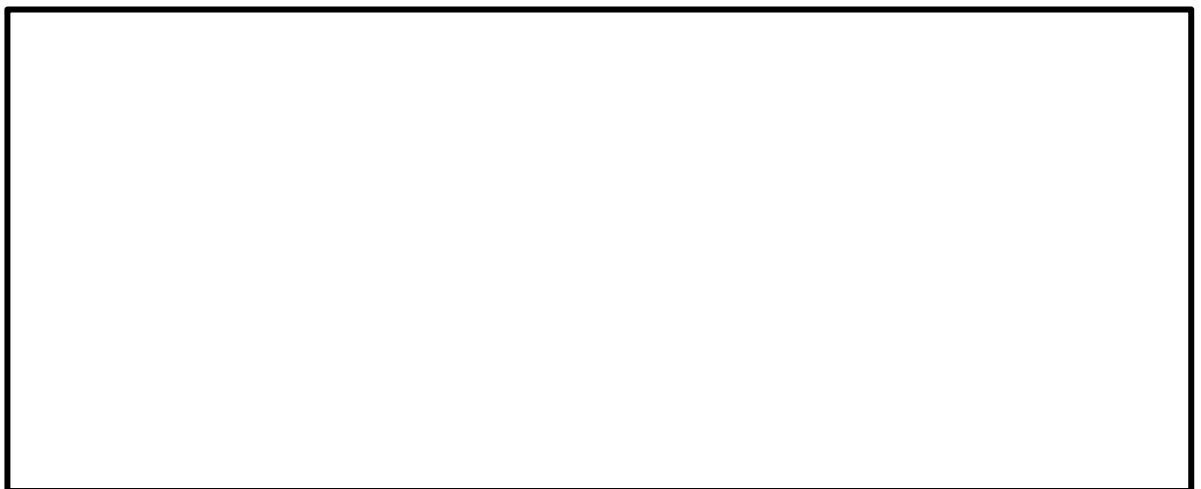


図 2-2 原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁の配置図

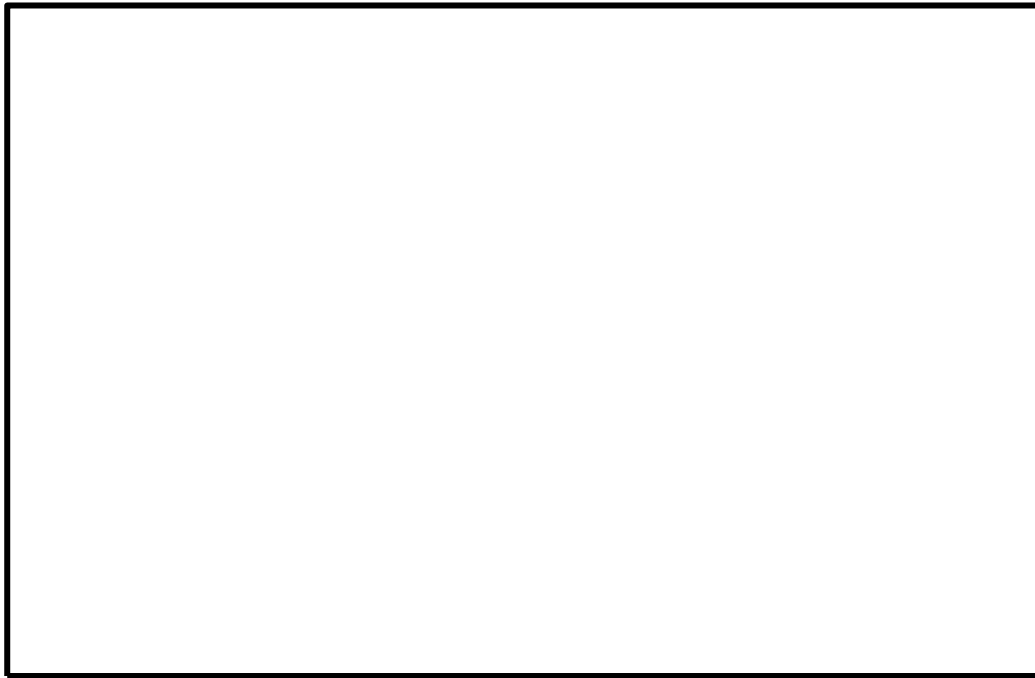


図 2-3 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁の配置図

2.3 評価方針

配管及び弁の強度評価は，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「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」を踏まえ，配管及び弁の評価対象部位に生じる貫入及び応力等が，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」に示す条件を用いて計算し，その結果を「5. 強度評価結果」に示す。

評価対象部位は，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，選定する。

(1) 衝突評価の評価方針

配管及び弁の衝突評価の方針を以下に，衝突評価フローを図 2-4 に示す。

- ・ 竜巻防護ネット等を設置する場合に考慮する飛来物である砂利の貫通限界厚さが外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満であることを確認する。
- ・ 貫通限界厚さは，「タービンミサイル評価について（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）」で用いられている式を準用し，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」に示す衝突評価が必要な機器の評価式を用いて，算出する。
- ・ 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，外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとする。

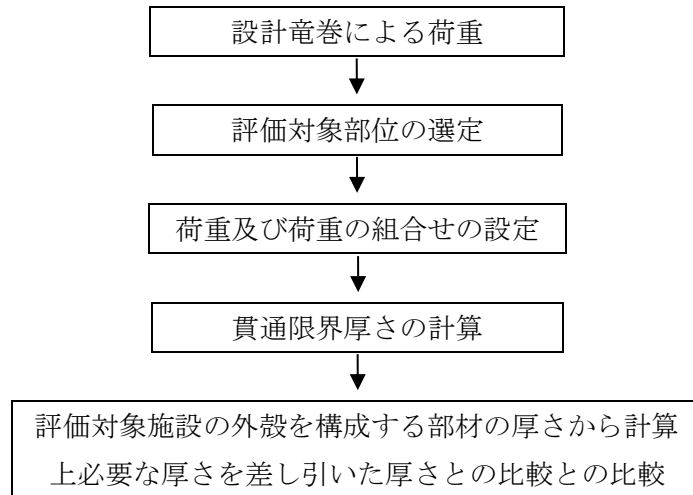


図 2-4 配管及び弁の衝突評価フロー

(2) 構造強度評価の評価方針

配管及び弁の構造強度評価の方針を以下に、構造強度評価フローを図 2-5 に示す。

- ・配管及び弁に対し、運転時に作用する荷重，設計竜巻による荷重及び常時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。
- ・配管及び弁に生じる応力は，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て，算出する。
- ・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，原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987），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）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）（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。

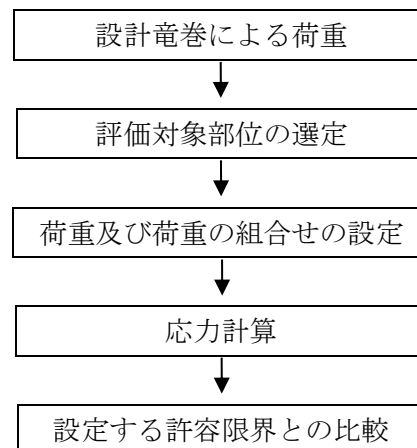


図 2-5 配管及び弁の構造強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

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（(社) 日本建築学会 2004 改定）
- ・「タービンミサイル評価について」（昭和 52 年 7 月 20 日原子炉安全専門審査会）
- ・発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC 1-2005（2007 年追補版含む。））（(社) 日本機械学会）（以下「JSME」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 JEAG 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（JEAG 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（JEAG 4 6 0 1-1991 追補版）（(社) 日本電気協会）

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

配管及び弁の評価対象部位は、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「3.2 機能維持の方針」に従い、「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。なお、弁の厚さは配管の厚さに比べ厚く、弁の評価は、配管の評価に包絡されるため、配管の評価のみ実施する。

(1) 衝突評価の評価対象部位

評価において考慮する飛来物の衝突により、配管及び弁に衝撃荷重が作用し貫入する可能性があるため、貫入によりその施設の機能が喪失する可能性のある箇所を評価対象部位として選定する。なお、非常用ガス処理系配管及び弁は、建物内に設置しているため、設計飛来物の衝突を考慮しない。

配管及び弁の衝突評価における評価対象部位を図 3-1 に示す。



図 3-1 配管及び弁の衝突評価の評価対象部位

(2) 構造強度評価の評価対象部位

設計竜巻による荷重は配管本体に作用する。サポート（配管支持構造物）については、建物内外にかかわらず地震に対して耐荷重設計がなされており、配管本体に竜巻による荷重が作用した場合でも、作用荷重は耐荷重以下であり、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とから、配管本体を評価対象部位として選定する。

配管及び弁の構造強度評価の評価対象部位を図 3-2 に示す。

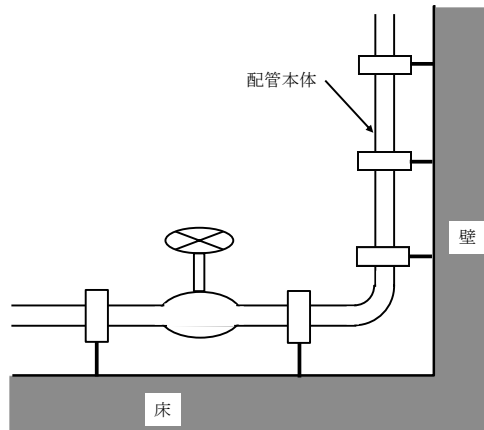


図 3-2 配管及び弁の評価対象部位

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」にて示す荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 衝突評価の荷重及び荷重の組合せ

衝突評価において考慮する飛来物として、竜巻防護ネット（ネットの網目寸法 40 (mm)）等をすり抜ける砂利を設定し、砂利の衝撃荷重を評価する。

衝突評価においては、評価対象部位に砂利が衝突した際に跳ね返らず、貫入するものとして評価する。砂利の諸元を表 3-1，配管及び弁の衝突評価に用いる荷重を表 3-2 に示す。

表 3-1 砂利の諸元

飛来物	d (m)	K (-)	M (kg)	v (m/s)	
				水平方向	鉛直方向
砂利	0.04*	1.0	0.2	54	36

注記*：等価直径 d は、設計飛来物の砂利の寸法 (0.04×0.04×0.04 (m)) で、0.045 (m) となるが、簡便かつ安全側の評価を実施することを目的に d = 0.04 (m) を設定

表 3-2 配管及び弁の衝突評価に用いる荷重

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護対象施設	配管及び弁	配管本体	飛来物による衝撃荷重

(2) 構造強度評価の荷重及び荷重の組合せ

a. 荷重の設定

構造強度評価に用いる荷重は、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」にて示す荷重を踏まえ、設定する。

b. 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、配管及び弁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、気圧差及び内圧による荷重が作用する。なお、非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁の自重は内圧による荷重に比べて十分小さいことから、自重を考慮しない。

構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

施設分類	施設名称	評価対象部位	荷重
屋外の外部事象防護 対象施設	原子炉補機海水系配管及び弁 高圧炉心スプレイ補機海水系配管及 び弁	配管本体	①自重 ②風圧力による荷重 ③気圧差による荷重 ④内圧による荷重
	非常用ディーゼル発電設備（燃料移 送系）配管及び弁 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電 設備（燃料移送系）配管及び弁	配管本体	①気圧差による荷重 ②内圧による荷重
外気と繋がっている屋内 の外部事象防護対象施設	非常用ガス処理系配管及び弁	配管本体	①気圧差による荷重 ②内圧による荷重

3.3 許容限界

配管及び弁の許容限界は、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」に従い、「3.2 評価対象部位」にて設定している部位における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の許容応力を用いる。

(1) 衝突評価の許容限界

衝突評価においては、飛来物による衝撃荷重に対し、外殻を構成する部材が、機能喪失に至る可能性のある変形を生じないことを計算により確認する。このため、配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さを許容限界とし、配管及び弁の計算上必要な厚さは、J S M E PPD-3411に基づき、算出する。

配管及び弁の許容限界を表3-4に示す。

表3-4 配管及び弁の許容限界

外部事象防護対象施設	外殻を構成する部材厚さ (mm)	計算上必要な厚さ (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)
原子炉補機海水系配管及び弁	5.1*	2.2	2.9
高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁	9.3	3.8	5.5
非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁	5.2*	2.7	2.5

注記*：評価対象となる配管のうち外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さが最小となる配管を選定する。

(2) 構造強度評価の許容限界

構造強度評価においては、J E A G 4 6 0 1を準用し、許容応力状態Ⅲ_ASから算出した許容応力とする。材料の設計降伏点はJ S M E 付録材料図表Part5表8により算出した値を用いる。周囲環境温度がJ S M E 付録材料図表Part5表8記載の中間の値の場合は、比例法を用いて計算し、小数点第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。配管の許容限界を表3-5に、許容応力を表3-6に示す。

表3-5 配管の許容限界 (1/2)

外部事象防護対象施設	許容応力状態	許容限界
原子炉補機海水系配管及び弁	Ⅲ _A S	S _y (一次応力)
高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁		

表 3-5 配管の許容限界 (2/2)

外部事象防護対象施設	許容応力状態	許容限界
非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管 及び弁	Ⅲ A S	S _y (一次一般膜)
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁		
非常用ガス処理系配管		

表 3-6 配管の許容応力

評価対象配管	D (mm)	材質	温度条件 (°C)	S _y (MPa)
原子炉補機海水系配管	711.2	SM400C	40	215
	508.0	SM400C	40	215
高圧炉心スプレイ補機海水系配管	267.4	STPT42	40	245
非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管	76.3	STPT42	40	245
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管	60.5	STPT42	40	245
非常用ガス処理系配管	406.4	STPT42	120	217

3.4 評価方法

配管及び弁の強度評価は、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」にて設定している強度評価が必要な機器の評価式を用いる。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる共通評価条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 共通評価条件

V_D (m/s)	C (-)	q (N/m ²)	ΔP_{max} (N/m ²)	g (m/s ²)
92	1.2	5189	7500	9.80665

(1) 原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-2, 表 4-3 に示す。

表 4-2 評価条件 (原子炉補機海水系配管及び弁)

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	P_1 (MPa)	i (-)
711.2	SM400C	11.66	9.5	547.1	0.9807	2.37
508.0	SM400C	8.49	9.5	309.3	0.9807	2.11

表 4-3 評価条件 (高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁)

D (mm)	材料	L (m)	t (mm)	m (kg/m)	P_1 (MPa)	i (-)
267.4	STPT42	6.20	9.3	110.2	0.9807	1.35

(2) 非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁, 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を表 4-4, 表 4-5 に示す。

表 4-4 評価条件 (非常用ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 (燃料移送系) 配管及び弁)

D (mm)	材料	r_m (mm)	t (mm)	P_1 (MPa)
76.3	STPT42	35.55	5.2	0.101
60.5	STPT42	27.65	5.5	0.9807

表 4-5 評価条件 (非常用ガス処理系配管及び弁)

D (mm)	材料	r_m (mm)	t (mm)	P_1 (MPa)
406.4	STPT42	198.45	9.5	0.0206

5. 強度評価結果

(1) 衝突評価結果

竜巻発生時の砂利の貫通限界厚さを表 5-1 に示す。砂利の貫通限界厚さ(1.0mm)と配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さとの比較を表 5-2 に示す。砂利の貫通限界厚さは、配管及び弁の外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ未満である。

表 5-1 砂利の貫通限界厚さ

飛来物	T (mm)	
	水平方向	鉛直方向
砂利	1.0	1.0

表 5-2 配管及び弁の衝突評価結果 (砂利)

外部事象防護対象施設	T (mm)	外殻を構成する部材の厚さから計算上必要な厚さを差し引いた残りの厚さ (mm)	結果
原子炉補機海水系配管及び弁	1.0	2.9 (配管)	貫通しない
高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁	1.0	5.5 (配管)	貫通しない
非常用ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備(燃料移送系)配管及び弁	1.0	2.5 (配管)	貫通しない

(2) 構造強度評価結果

a. 原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-3, 表 5-4 に示す。原子炉補機海水系配管及び弁並びに高圧炉心スプレイ補機海水系配管及び弁に発生する応力は、許容応力以下である。また、弁の厚さは配管に比べ厚いため、弁の評価は、配管の評価に包絡される。

表 5-3 評価結果（原子炉補機海水系配管及び弁）

D (mm)	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
711.2	SM400C	103	215
508.0	SM400C	65	215

表 5-4 評価結果（高压炉心スプレイ補機海水系配管及び弁）

D (mm)	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
267.4	STPT42	39	245

- b. 非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁

竜巻発生時の強度評価結果を表 5-5，表 5-6 に示す。非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁，高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに非常用ガス処理系配管及び弁に発生する応力は，許容応力以下である。また，弁の厚さは配管に比べ厚いため，弁の評価は，配管の評価に包絡される。

表 5-5 評価結果（非常用ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁並びに高压炉心スプレイ系ディーゼル発電設備（燃料移送系）配管及び弁）

D (mm)	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
76.3	STPT42	1	245
60.5	STPT42	5	245

表 5-6 評価結果（非常用ガス処理系配管及び弁）

D (mm)	材料	σ (MPa)	許容応力 (MPa)
406.4	STPT42	1	217