

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-028 改 09
提出年月日	2023年1月30日

工事計画に係る補足説明資料
(各クラス機器の強度に関する計算書)

2023年1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。

各クラス機器の強度に関する計算書の補足説明資料目次

1. 補足説明資料と添付資料の関連

2. 補足説明資料

2.1 全般に関する補足説明資料

資料 1 強度に関する説明書における適用規格の整理

資料 2 各クラス機器の強度計算書の説明分類

資料 3 強度評価対象弁の選定について

資料 4 ボルトの評価断面について

資料 17 強度評価における告示第 5 0 1 号及び設計・建設規格の相違点について

2.2 クラス 3 機器に関する補足説明資料

資料 5 技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法及び消防法の規定の比較

2.3 重大事故等クラス 2 機器に関する補足説明資料

資料 6 重大事故等クラス 2 機器に用いられるクラス 1 機器の事故時の強度評価について

資料 7 重大事故等クラス 2 管の疲労評価について

資料 8 重大事故等クラス 2 機器におけるクラス 2 機器の規定によらない場合の評価

資料 9 重大事故等クラス 2 容器のうち、だ円形マンホールの厚さ計算に適用する評価手法の妥当性について

資料 10 重大事故等クラス 2 管のうち、伸縮継手の全伸縮量算出について

資料 11 容器の平板の穴の補強計算について

資料 12 空気だめ だ円形マンホール管台の座屈に係る解析評価について

資料 14 主蒸気系伸縮継手の取替経緯について

資料 15 ダクトにおける腐れしろが考慮不要の根拠について

資料 20 ECCS ストレーナ等の評価条件の整理について **今回提出範囲**

2.4 重大事故等クラス 3 機器に関する補足説明資料

資料 13 重大事故等クラス 3 機器の強度評価における耐圧試験を用いた裕度の考え方について

2.5 炉心支持構造物に関する補足説明資料

資料 16 アクセスホールカバー取替による「炉心支持構造物の強度計算書」への影響について

2.6 ドライウェルの強度計算書に関する補足説明資料

資料 18 ドライウェル主フランジのガスケット増厚に伴うトルク管理への影響について

2.7 クラス 1 機器に関する補足説明資料

資料 19 クラス 1 機器及び炉心支持構造物の応力腐食割れ対策に関する説明書に係る補足説明資料

ECCSストレナー等の評価条件の整理について

目 次

1. 概要	1
2. ECCS ストレーナに関する内規	1
3. ECCS ストレーナ関連の既提出工事計画認可申請	1
4. 技術基準規則との関係性	1
5. 設工認における評価条件の整理	2
6. ECCS ストレーナ等の評価に用いる荷重	2
7. 異物量の整理	5

別紙1 水力学的動荷重の算出について

1. 概要

非常用炉心冷却系ストレーナ（以下「ECCS ストレーナ」という。）に対して、内規及び圧損試験による条件を踏まえた評価を実施することについて、以下のとおり評価条件等の整理を行った。なお、重大事故等対処設備として評価する原子炉隔離時冷却系ストレーナの整理も本書に含む。

2. ECCS ストレーナに関する内規

ECCS ストレーナに関する内規の時系列を以下に示す。

- ① 平成 17 年 10 月 25 日 平成 17・10・13 原院第 4 号「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について（内規）」（以下「H17 年内規」という。）
- ② 平成 20 年 2 月 27 日 平成 20・02・12 原院第 5 号「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20 年 3 月 1 日施行）（以下「H20 年内規」という。）

3. ECCS ストレーナ関連の既提出工事計画認可申請

ECCS ストレーナ関連の既工事計画認可申請について、以下に示す。

- ① 平成 19 年 4 月 27 日 電原設第 14 号 申請
- ② 平成 19 年 5 月 23 日 平成 19・04・27 原第 14 号 認可

4. 技術基準規則との関係性

技術基準規則における ECCS ストレーナの評価に関する項目を以下に示す。

技術基準規則	評価に関する項目
第 5 条/第 50 条（地震による損傷の防止）	設計基準対象施設：地震荷重 S_d 、 S_s で評価する必要がある。 重大事故等対処設備：地震荷重 S_s で評価する必要がある。
第 17 条（材料及び構造）	H20 年内規に適合することが解釈（17 条 5）に記載されている。
第 55 条（材料及び構造）	設計基準対象施設の規定（第 17 条）を準用することが解釈に記載されている。

5. 設工認における評価条件の整理

既工認及び今回設工認における評価条件を以下に示す。

対象		評価条件	
		既工認	今回設工認
残留熱除去系 ^{*1} 低圧炉心スプレイ系 高圧炉心スプレイ系	ストレーナ本体	H17年内規に基づき評価	H20年内規に基づき評価 ^{*3}
	ストレーナ部ティー	—	
	ストレーナ取付部 コネクタ	H17年内規に基づき評価	
	ストレーナ取付部 サポート	H17年内規に基づき評価	
原子炉隔離時冷却系 ^{*2}	ストレーナ本体	—	
	ストレーナ部ティー	—	

注記*1：ECCS ストレーナは、残留熱除去系を代表して評価し、同形状の低圧炉心スプレイ系及び高圧炉心スプレイ系については、残留熱除去系の評価に包絡されるものとする。

*2：原子炉隔離時冷却系は、重大事故等時のシーケンス上、LOCA 時の機能要求がないことから、異物を考慮しない評価とする。

*3：ストレーナ部ティー及び原子炉隔離時冷却系ストレーナ本体については、施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和 55 年 10 月 30 日、通商産業省告示 5 0 1 号）となることから、強度計算書において設計・建設規格又は告示による評価を実施する。

6. ECCS ストレーナ等の評価に用いる荷重

表 6-1 に ECCS ストレーナ等の評価に必要な荷重を示す。今回設工認における ECCS ストレーナ等の評価では、同一の荷重の組合せである場合、より大きな荷重の組合せを代表で評価条件として用いる。このため、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として評価に用いる荷重の比較を表 6-2 に示す。

なお、ECCS ストレーナ等はサブプレッションプール内に設置される機器であり、VI-1-8-1 「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」にて原子炉格納施設の重大事故等時の荷重の組合せとして、S d とチャギング荷重の組合せが示されている。これは格納容器過圧・過温破損（ベントケース）を想定したものであり、当該シーケンスにおいて、ストレーナは有効性評価上期待する設備ではないため、S d とチャギング荷重の組合せは考慮不要である。

表 6-1 ECCS ストレートナ等評価用荷重の整理

【今回設工認で考慮する組合せ】

分類	運転状態	死荷重	異物荷重*1	通常運転温度	差圧	SRV 荷重		LOCA 荷重			地震荷重		供用状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S d	S s	
強度計算書 記載項目	運転状態 V (L)	○	○		○								A *3
	運転状態 V (S)	○	○		○			○					D *3
	運転状態 V (S)	○	○		○					○			D *3
	運転状態 V (S)	○	○		○					○			D *3
耐震計算書 記載項目	運転状態 I	○											C (III, S)
	運転状態 I	○									○		D (IV, S)
	運転状態 II	○				○							C (III, S)
	運転状態 II	○				○						○	D (IV, S)
	運転状態 IV (L)	○	○		○								C (III, S)
SA	運転状態 V (L) *4	○	○		○								D (IV, S) *5
	運転状態 V (LL)	○	○		○								D (IV, S) *5

注記 *1：原子炉隔離時冷却系については、重大事故等時のシーケンス上、LOCA 時の機能要求がないことから、異物荷重を考慮しない。

*2：DB の評価は、SA の評価条件に包絡するため省略する。

*3：重大事故等時として運転状態 V (L) は供用状態 A、運転状態 V (S) は供用状態 D の許容限界を用いる。

*4：運転状態 V (L) は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度とした運転状態 V (LL) の評価で代表される。

*5：許容応力状態 V, S として、IV, S の許容限界を用いる。

【(参考) H20 年内規における組合せ】

運転状態	死荷重	異物荷重	通常運転温度	差圧	SRV 荷重		LOCA 荷重			地震荷重		供用状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S d	S s	
運転状態 I	○		○									A
運転状態 II	○		○									B
運転状態 IV (L)	○	○		○								A
運転状態 IV (S)	○	○		○			○					D
運転状態 IV (S)	○	○		○				○				D
運転状態 IV (S)	○					○						D
運転状態 I	○								○			C (III, S)
運転状態 I	○										○	D (IV, S)
運転状態 II	○			○					○			C (III, S)
運転状態 II	○			○							○	D (IV, S)
運転状態 IV (L)	○	○		○						○		C (III, S)

表 6-2 評価用荷重の比較

No.	荷重の種類		比較結果
1	異物荷重 DB 時 \geq SA 時		ストレーナ圧損試験の評価結果より、DB 時圧損が SA 時圧損を上回るため、ストレーナに付加される異物量は、DB 条件での値に包絡できることから、「DB 時 \geq SA 時」となる。 DB 時圧損： <input type="text"/> m SA 時圧損： <input type="text"/> m
2	差圧 DB 時 \geq SA 時		ストレーナ圧損試験の評価結果より、「DB 時 \geq SA 時」となる。
3	SRV 荷重	中小破断時 DB 時=SA 時	DB 時、SA 時ともに逃がし安全弁作動時にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり、「DB 時=SA 時」となる。
4	LOCA 荷重	プールのスウェル DB 時=SA 時	DB 時、SA 時ともに LOCA 時に発生するプールのスウェルの際にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり、「DB 時=SA 時」となる。
5		蒸気凝縮 (CO) DB 時=SA 時	DB 時、SA 時ともに LOCA 時に発生する蒸気凝縮の際にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり、「DB 時=SA 時」となる。
6		チャギング (CH) DB 時=SA 時	DB 時、SA 時ともに LOCA 時に発生するチャギングの際にサブプレッションプール内に設置される構造物に考慮すべき荷重であり、「DB 時=SA 時」となる。
7	地震荷重	S _s 荷重 \geq S _d 荷重 (又は静的震度)	S _d 荷重は S _s 荷重の 1/2 程度であり、「S _s 荷重 \geq S _d 荷重 (又は静的震度)」となる。

7. 異物量の整理

H20 年内規に基づきストレーナ評価に考慮する異物量については、「破損保温材」, 「破損保温材以外に考慮する異物」が定義されており, 整理結果を以下に示す。

(1) 破損保温材の異物量

表 7-1 に示すとおり, H20 年内規に基づき異物量を算出した。

【H20 年内規 (抜粋)】

(2) 破損保温材のECCS水源への移行量評価

(1) で評価された保温材の破損量に別表第 2 に示す割合を乗じた量が, ECCS水源 (ECCSの再循環運転における水源をいい, BWRではサプレッションプール, PWRでは格納容器再循環サンプをいう。以下同じ。) への移行量として評価されていること。ただし, PWRにおいては, 格納容器内に放出される冷却材の全量に対する滞留水区画 (冷却材の一部が滞留するおそれのある格納容器内の区画) の体積比を移行量に乗じた値を, 当該移行量から減じることができることとする。この場合において, 体積比は 15% を上限とする。

別表第 2 破損保温材のECCS水源への移行割合

保温材種類	BWR	PWR
カプセル保温 (金属反射型)	50%	57% (ドライ型) 68% (アイスコンデンサ型)
カプセル保温 (繊維質)	15%	60%
一般保温 (ケイ酸カルシウム)	10%	100%
一般保温 (繊維質)	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下)	60%

表 7-1 破損保温材の ECCS 水源への移行割合と異物量

No.	保温材種類	既工認 (H17 年内規)	圧損試験 (DB 時)	圧損試験 (SA 時)
①	カプセル保温 (金属反射型)	50% [] m ²	50% [] m ²	50% [] m ²
②	カプセル保温 (繊維質)	15% [] m ³	15% [] m ³	15% [] m ³
③	一般保温 (ケイ酸カルシウム*1)	10% [] m ³	10% [] m ³	10% [] m ³
④	一般保温	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) [] m ³ ([] kg)	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) [] m ³ ([] kg) *2	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) [] m ³ ([] kg) *3

注: [] 内に示す異物量は, 移行割合を乗じた後の値 (ストレーナ 1 個分) を示す。

注記*1: 島根 2 号機ではケイ酸カルシウムではなくパーライトを使用。

*2: H20 年内規に基づきストレーナ付着厚さ 3mm 相当を考慮している。

*3: 実機では, 繊維質保温材を撤廃しているが, 付着厚さ 0.3 mm 相当を考慮している。

(2) 破損保温材以外に考慮する異物

表 7-2 に示すとおり、H20 年内規に基づき異物量を算出した。

【H20 年内規（抜粋）】

(3) 破損保温材以外の異物のECCS水源への移行量評価
 破損保温材以外の格納容器内に存在する異物について、破断流・格納容器スプレイによる流動及び格納容器内雰囲気を考慮の上で、ECCS水源への移行量が評価されていること。その際、存在する異物の量については、原則として、発電設備毎の状況調査に基づき保守的な量としていること。ただし、異物管理及び原子炉起動の際の格納容器内清掃・点検を実施している場合に限り、別表第3に示す異物の種類に応じ、当該異物の欄に示す量とすることができることとする。

別表第3 破損保温材以外に考慮する異物		
種類	BWR	PWR
耐DBA仕様塗装	39 kg	半径10Dの球形ZOIの表面積に塗膜厚さを乗じた値
非DBA仕様塗装	格納容器内の事故時環境に直接晒されるもの全量	
堆積異物	スラッジ：89 kg 錆片：23 kg 塵土：68 kg	繊維質：13.6 kg 粒子：77.1 kg
その他異物	現地調査を踏まえ余裕を持たせた値	

表 7-2 破損保温材以外に考慮する異物

No.	種類	既工認 (H17 年内規)	圧損試験 (DB 時)	圧損試験 (SA 時)
⑤	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	19.5kg	19.5kg	19.5kg
⑥	非 DBA 仕様塗装	—	□ kg	□ kg
⑦	堆積異物	スラッジ	44.5kg	44.5kg
⑧		錆片	11.5kg	11.5kg
⑨		塵土	34kg	34kg
⑩	その他異物	—	□ m ²	□ m ²
⑪	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮) *	—	—	□ kg
⑫	化学影響生成異物	—	—	□ kg

注：ストレーナ 1 個分の異物量を示す。

注記*：重大事故等時において、原子炉格納容器内温度が上昇することから、耐 DBA 仕様塗装の塗装片の追加発生を考慮

(3) 今回設工認で考慮する異物の整理

表 7-1 及び表 7-2 より、DB/SA 評価で考慮すべき異物を以下のとおり整理する。

① カプセル保温（金属反射型）

DB/SA 評価で考慮が必要。なお、DB 時の圧損試験では、評価式により試験投入不要としているが、異物荷重としては考慮する。

② カプセル保温（繊維質）

繊維質保温材を撤廃しているため、DB/SA 評価とも考慮不要。

③ 一般保温（パーライト）

DB/SA 評価で考慮が必要。島根 2 号機ではケイ酸カルシウムではなくパーライトを使用しており、実機確認結果の値を用いる。

④ 一般保温（繊維質）

繊維質保温材を撤廃しているため、DB/SA 評価とも考慮不要であるが、DB 評価では H20 年内規の薄膜効果を考慮するため、ストレーナ付着厚さ 3mm 相当の考慮が必要。SA では内規に規定がなく繊維質ゼロ相当として付着厚さ 0.3mm 相当を考慮する。

⑤ 耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損）

DB/SA 評価で考慮が必要。H20 年内規記載の値を用いる。

⑥ 非 DBA 仕様塗装

DB/SA 評価で考慮が必要。実機確認結果の値を用いる。

- ⑦ スラッジ
⑧ 錆片
⑨ 塵土
- } 堆積異物

堆積異物は DB/SA 評価で考慮が必要。H20 年内規記載の値を用いる。

⑩ その他異物

DB/SA 評価で考慮が必要。圧損試験では、ストレーナ表面積からステッカー類の総表面積の 75%分を差し引いて考慮しているため、試験時に投入していないが、異物荷重としては考慮し、実機確認結果の値を用いる。

- ⑪ 耐 DBA 仕様塗装（SA 時考慮）
⑫ 化学影響生成異物
- } SA 時に考慮する異物

SA 時に考慮する異物であるが、これらを考慮した圧損試験（SA）の結果、DB 条件で得られた圧損より小さいことから、ストレーナに付加される異物量は DB 条件の値に包絡できると考えられるため、評価に含めない。

(4) 評価で考慮する異物のまとめ

上記より、今回設工認で考慮する異物について表 7-3 に示す。なお、耐震・強度評価においては、異物全量を系統ごとに流量比で分配し、ストレーナの自重と同様に異物の質量を死荷重として考慮している。

表 7-3 異物のまとめ

No.	異物の種類	評価で考慮する異物量	備考	
①	カプセル保温 (金属反射型)	□ m ²	移行割合 破損影響範囲	
②	カプセル保温 (繊維質)	—	繊維質撤廃	
③	一般保温 (パーライト)	□ m ³	移行割合 破損影響範囲	
④	一般保温 (繊維質)	□ kg (DB : □ kg SA : □ kg)	繊維質撤廃、ただし以下を考慮 DB : 付着厚さ 3mm 相当 SA : 付着厚さ 0.3mm 相当	
⑤	耐 DBA 仕様塗装 (ジェット破損)	19.5kg	H20 年内規記載値	
⑥	非 DBA 仕様塗装	□ kg	実機確認結果	
⑦	堆積異物	スラッジ	44.5kg	H20 年内規記載値
⑧		錆片	11.5kg	H20 年内規記載値
⑨		塵土	34kg	H20 年内規記載値
⑩	その他異物	□ m ²	実機確認結果	
⑪	耐 DBA 仕様塗装 (SA 時考慮)	—	圧損試験結果より含めず	
⑫	化学影響生成異物	—	圧損試験結果より含めず	

注：ストレーナ 1 個分の異物量を示す。

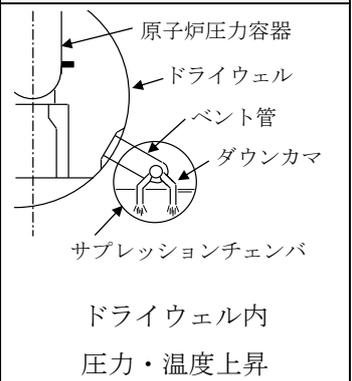
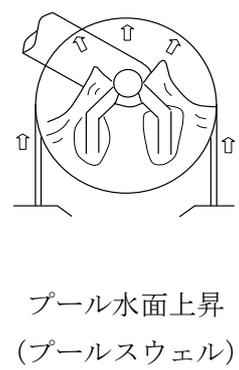
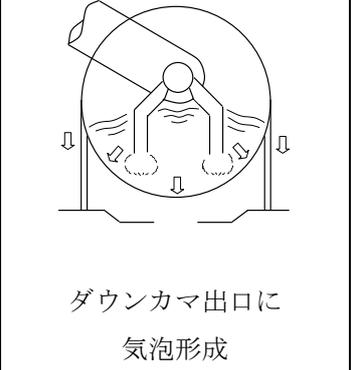
水力学的動荷重の算出について

1. はじめに

原子炉冷却材喪失時及び逃がし安全弁作動時には、サプレッションプール水中の構造物に様々な荷重が作用する。これらの荷重に関する評価は、「BWR・MARK I 型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」（昭和 62 年 11 月 5 日決定 平成 2 年 8 月 30 日一部改訂）（以下「MARK-I 指針」という。）に準じて行う。本資料は、BWR において残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ、低圧炉心スプレイ系ストレーナ及び原子炉隔離時冷却系ストレーナ（以下、4 種類のストレーナ全てを記載の対象とする場合は「ストレーナ」という。3 つの大型ストレーナを記載の対象とする場合は「ECCS ストレーナ」という。原子炉隔離時冷却系ストレーナを記載の対象とする場合は「RCIC ストレーナ」という。）に作用する水力学的動荷重の評価の概要について説明するものである。

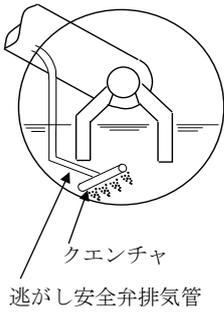
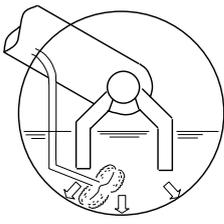
2. 水力学的動荷重の現象及び評価項目

水力学的動荷重は、原子炉冷却材喪失時に発生するものと、逃がし安全弁作動時に発生するものの二つに大別される。それぞれの事象について、図 2-1 及び図 2-2 にその概要を示す。また、BWR のストレーナにおいて考慮する水力学的動荷重を表 2-1 に示す。

事故後の推移	MARK-I	事故後の推移	MARK-I
① LOCA発生	 <p>原子炉圧力容器 ドライウエル ベント管 ダウンカマ サプレッションチェンバ</p> <p>ドライウエル内 圧力・温度上昇</p>	⑤ 気相部圧縮	 <p>プール水面上昇 (プールのスウェル)</p>
② ベント クリア	 <p>ダウンカマ内のプール水 が押し出される</p>	⑥ ブレーク スルー	 <p>水面が壊れる</p>
③ 気泡形成	 <p>ダウンカマ出口に 気泡形成</p>	⑦ フォール バック	 <p>プール水が落下</p>
④ プール 水面上昇	 <p>気泡形成とともに プール水面上昇</p>	⑧ 蒸気凝縮 振動・ チャギング	 <p>ダウンカマ内にプール水 が出入りする</p>

注：図中の矢印は荷重の方向を示す。

図 2-1 原子炉冷却材喪失時の動荷重現象概念

作動後の推移	MARK-I
① クリアリング	 <p data-bbox="885 504 997 526">クエンチャ</p> <p data-bbox="829 537 1029 571">逃がし安全弁排気管</p>
② 気泡振動	

注：図中の矢印は荷重の方向を示す。

図 2-2 逃がし安全弁作動時の動荷重現象概念

表 2-1 水力的動的荷重の評価項目

事象	荷重	概要	評価項目	
原子炉冷却材喪失時	ベントクリア			
	気泡形成		定常ドラッグ力 加速度ドラッグ力	
	プールスウェル			
	ブレークスルー			
	フォールバック			
	蒸気凝縮振動 (CO)		定常ドラッグ力 加速度ドラッグ力	
	チャギング (CH)		定常ドラッグ力 加速度ドラッグ力	
逃がし安全弁作動時	クリアリング			定常ドラッグ力
	気泡振動			定常ドラッグ力 加速度ドラッグ力

3. 水力的動的荷重の評価

MARK-I 指針に示される水力的動的荷重の評価手法と、MARK-I のストレナに作用する水力的動的荷重の比較を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1 原子炉冷却材喪失時にストレーナに作用する動荷重（その1）

事故後の推移	荷重	MARK-I 指針での番号	適用	MARK-I 指針での評価方法	荷重の評価方法
① 破断直後	—	—	—	—	
② ベントクリア 過程	ベントクリアに伴いプール水の流動により構造物に加わる荷重	2.1.2(1)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評価を省略することができる。	
	ベントクリア時にダウンカムに対して横方向に加わる荷重	2.1.2(2)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評価を省略することができる。	
③ 気泡形成 過程	気泡形成に伴いプール水の流動により構造物に加わる荷重	2.1.2(1)	○	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評価を省略することができる。	
④ プールスウェル 過程	プールスウェルに伴いプール水の流動により構造物に加わる荷重	2.1.2(1)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評価を省略することができる。	
	プールスウェル時にベント系に加わる衝撃荷重及びドラッグ荷重	2.1.2(3)	—	実機を模擬した各種の実験により得られた荷重及び荷重の分布のデータからスケール則等を適切に用いて荷重を評価する。	
	プールスウェルに伴い圧力抑制室気相部内の構造物に加わる衝撃荷重	2.1.2(4)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評価を省略することができる。	
	プールスウェル時の真空破壊弁作動により弁本体に加わる荷重	2.1.2(5)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評価を省略することができる。	

表 3-1 原子炉冷却材喪失時にストレーナに作用する動荷重 (その 2)

事故後の推移	荷重	MARK-I 指針での番号	適用	MARK-I 指針での評価方法	荷重の評価方法
⑤ フォールバック 過程	フォールバックに伴いプール 水の流動により構造物に加わ る荷重	2.1.2(1)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重 量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評 価を省略することができる。	
⑥ フォールバック 後の水面振動 過程	プールのスウェル後のプール水 面の揺動により構造物に加わ る荷重	2.1.2(6)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重 量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評 価を省略することができる。	
⑦ 蒸気放出過程 (蒸気凝縮振動過 程・チャギング過 程)	蒸気凝縮に伴いプール水の流 動により構造物に加わる荷重	2.1.2(1)	○	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重 量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評 価を省略することができる。	
	蒸気凝縮時の真空破壊弁作動 により弁本体に加わる荷重	2.1.2(5)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重 量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評 価を省略することができる。	
	蒸気流によりベント系に加わ る荷重	2.1.2(7)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷重との重 量を考慮しても格納容器安全評価上の重要度は低いので評 価を省略することができる。	
	蒸気凝縮に伴いダウンカマに 対して横方向に加わる荷重	2.1.2(8)	—	実機を模擬した実規模実験の結果に基づき、蒸気凝縮振動 についてはダウンカマ内における圧力を、チャギングにつ いてはダウンカマ出口に加わる横方向の荷重を、実機ダウ ンカマの振動特性等により補正して評価する。	

表 3-2 逃がし安全弁作動時にストレーナに作用する水力的動荷重

作動後の推移	荷重	MARK-I 指針 での番号	適用	MARK-I 指針での評価方法	荷重の評価方法
① クリアリング 過程	弁の作動開始直後、排気管内にたまって いた水のクリアリングによる噴流によ り、構造物に加わる衝撃荷重とドラッグ 荷重	2.2.2(1)	○	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷 重との重畳を考慮しても格納容器安全評価上の重 要度は低いので評価を省略することができる。	
② 気泡振動過程	クリアリングに引き続き、排気管内にた まっていた非凝縮性ガスがプール内に吹 き出して膨張、収縮することにより構造 物に加わるドラッグ荷重	2.2.2(2)	○	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷 重との重畳を考慮しても格納容器安全評価上の重 要度は低いので評価を省略することができる。	
③ 蒸気凝縮過程	排気管からプールへ流入する蒸気の凝縮 が不安定となる場合に生じる構造物に加 わるドラッグ荷重	2.2.2(3)	—	継続時間が短く、あるいは振幅が小さく、他の荷 重との重畳を考慮しても格納容器安全評価上の重 要度は低いので評価を省略することができる。	
①②③	弁作動時にクエンチャ自身に加わる荷重	2.2.2(4)	—	実機の排気管内空気、蒸気、水柱に対して、質 量、運動量、エネルギーの各保存式と熱力学的関 係式に基づいて、排気管内過渡流動解析を行い、 クエンチャに加わる反力を評価する。	

表 3-1 及び表 3-2 の整理結果より、ストレーナに加わる水力学的動荷重として、以下の荷重を算出する。

① 原子炉冷却材喪失時の水力学的動荷重

- ・気泡形成に伴いプール水の流動により構造物に加わるドラッグ荷重*¹
- ・蒸気凝縮に伴いプール水の流動により構造物に加わるドラッグ荷重
(蒸気凝縮振動及びチャギング) *¹

② 逃がし安全弁作動時の水力学的動荷重

- ・排気管内にたまっていた水のクリアリングによる噴流により、構造物に加わるドラッグ荷重*¹
- ・排気管内にたまっていた非凝縮性ガスがプール内に吹き出して膨張、収縮することにより構造物に加わるドラッグ荷重*¹

注記*1：「MARK-I 指針」において、評価を省略することができる整理されているが、内規の規定を踏まえ、ストレーナの評価においては水力学的動荷重として考慮する。

なお、ストレーナに加わる水力学的動荷重は、基本的に、*² に示される手法に従い算出する。

注記*2：

3.1 原子炉冷却材喪失時の水力的動荷重

原子炉冷却材喪失時のドラッグ荷重算出において，下記の点を考慮する。

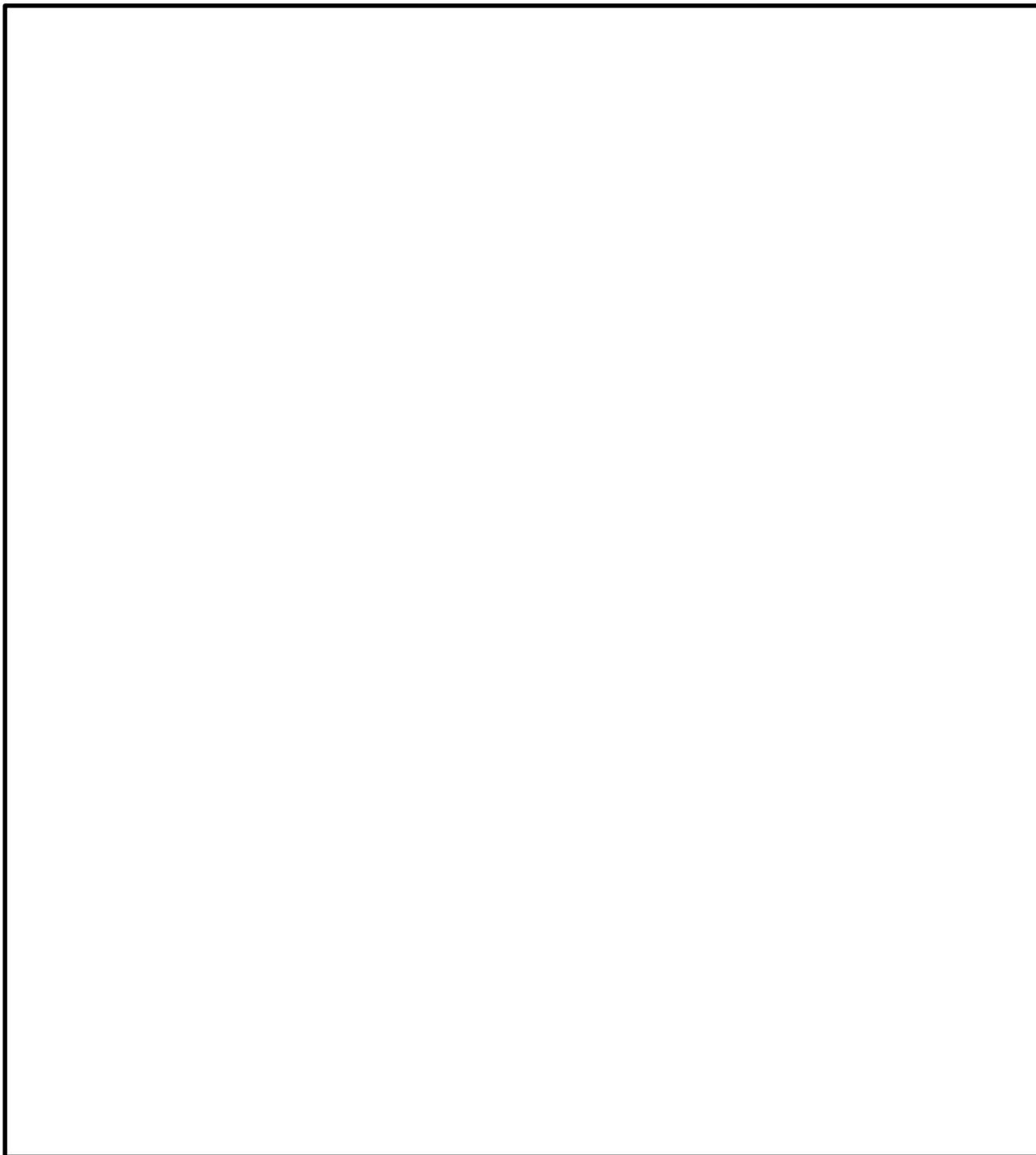


図 3-1 サプレッションチェンバ 平面図

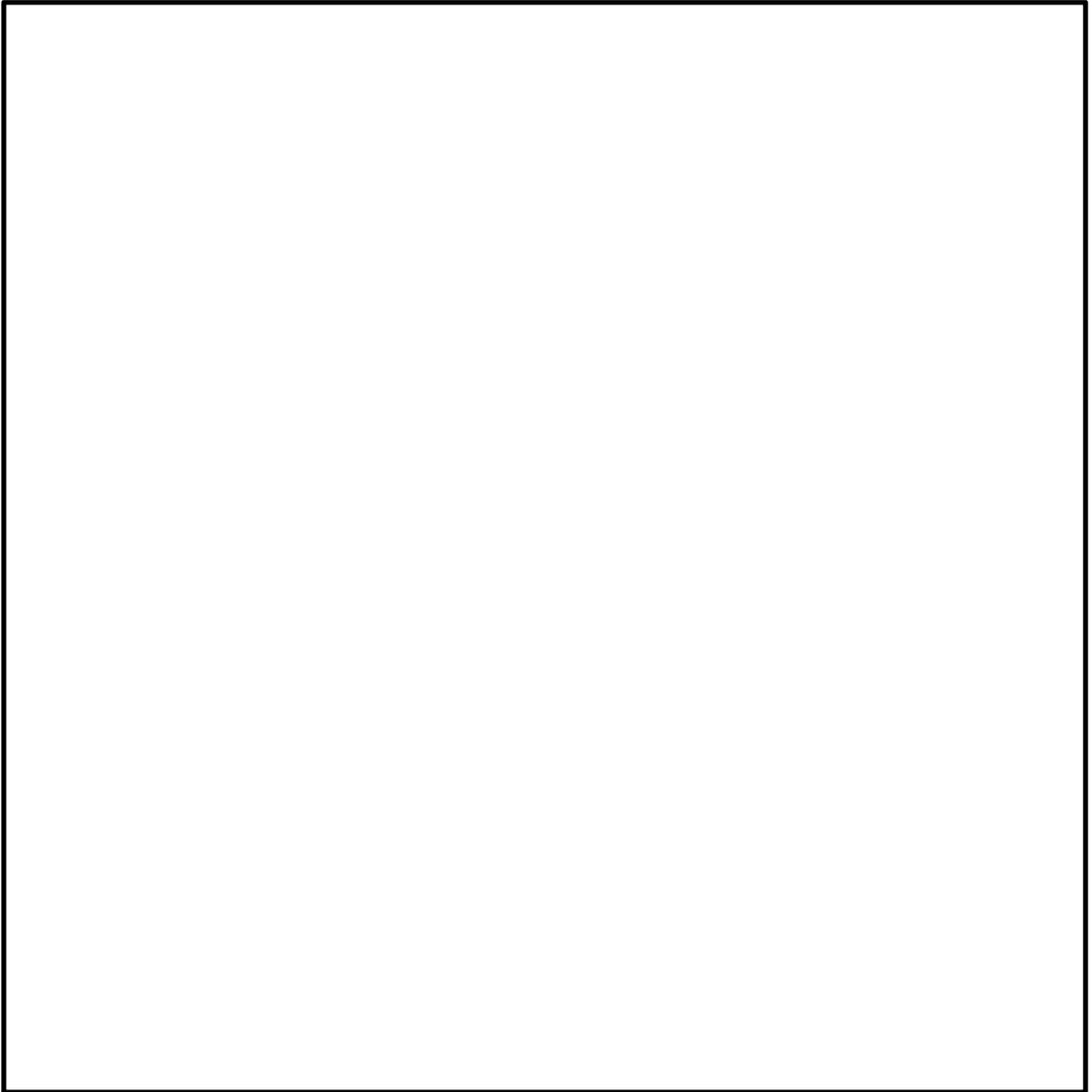


図 3-2 ダウンカメラとストレーナの相対位置関係例

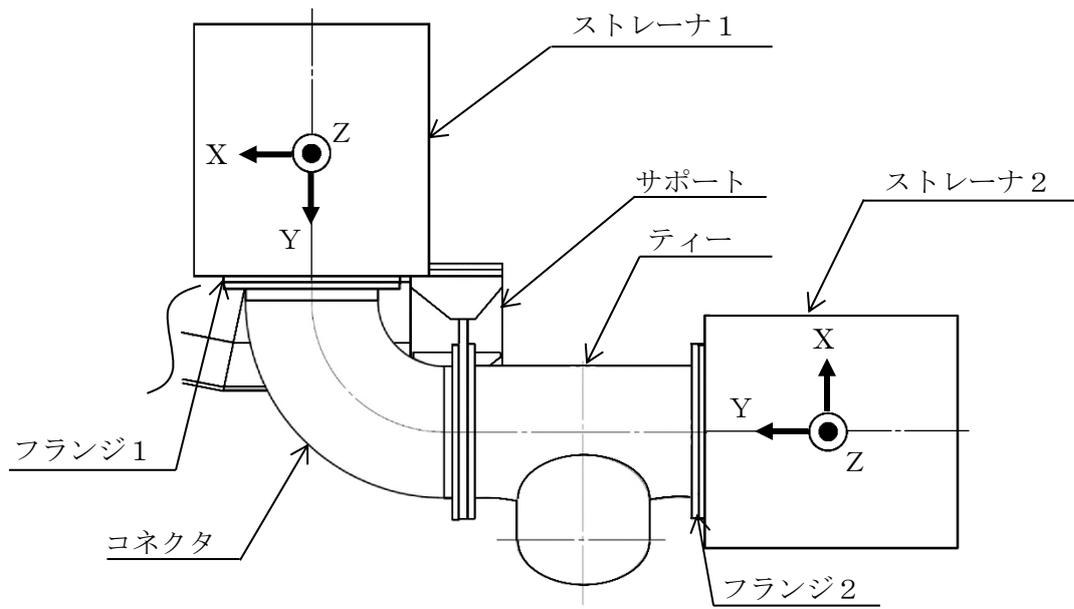


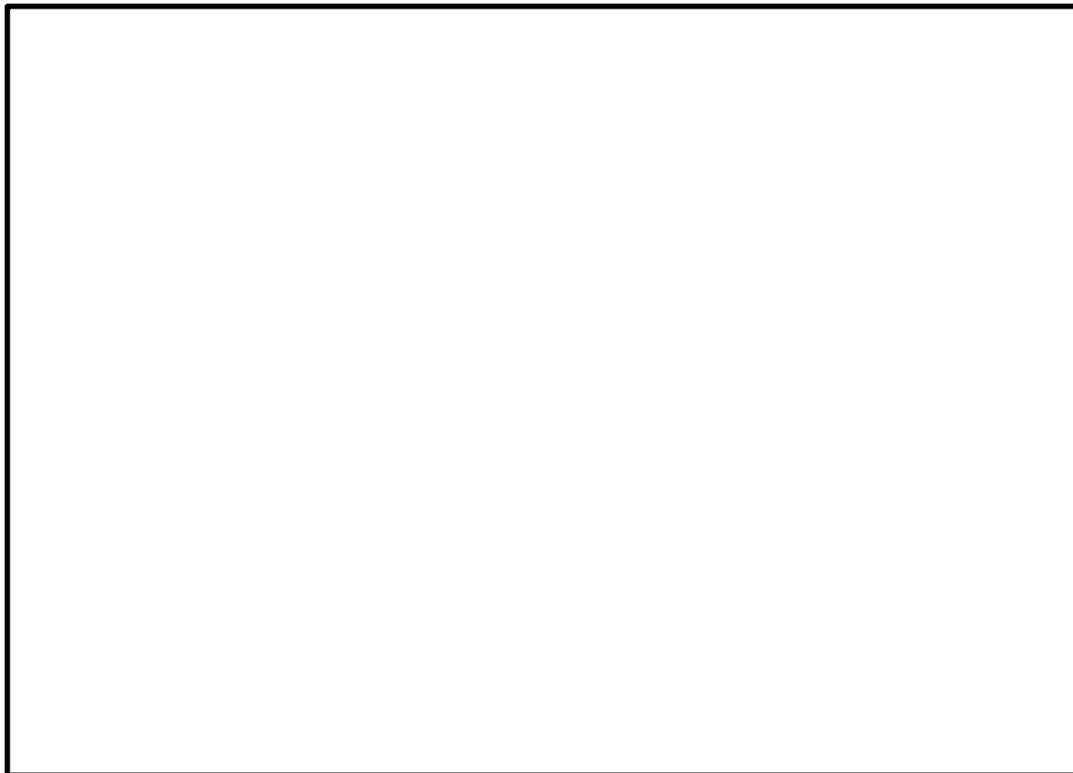
図 3-3 ストレーナの座標系
 (RCIC ストレーナの場合はストレーナ 2 の座標系のみを考える)

3.1.1 気泡形成に伴うプール水流動によるドラッグ荷重

原子炉冷却材喪失時の急激なドライウェル内圧力上昇により、ドライウェル内の非凝縮性ガスがベント管を通じてサプレッションプール水中に排出される。このとき、気泡の膨張により水中構造物にドラッグ荷重が加わる。

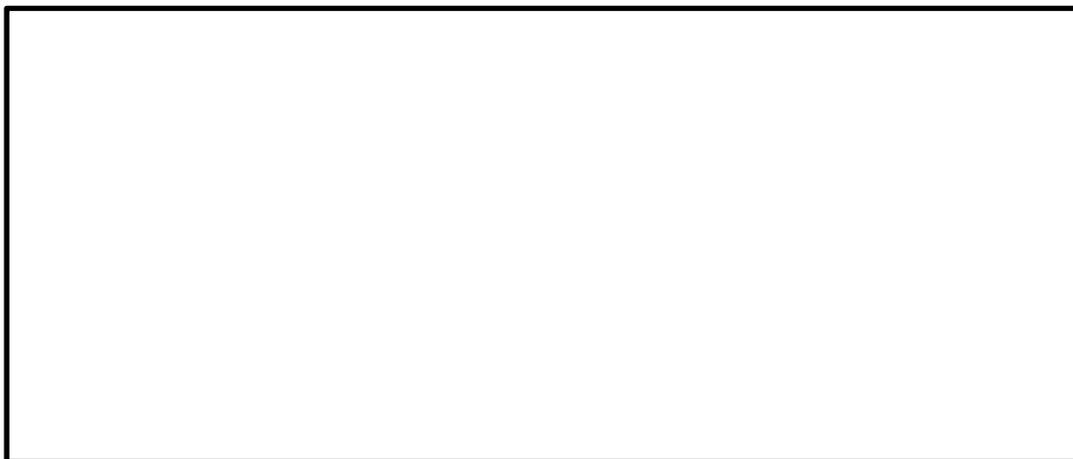
(1) 荷重算出方法

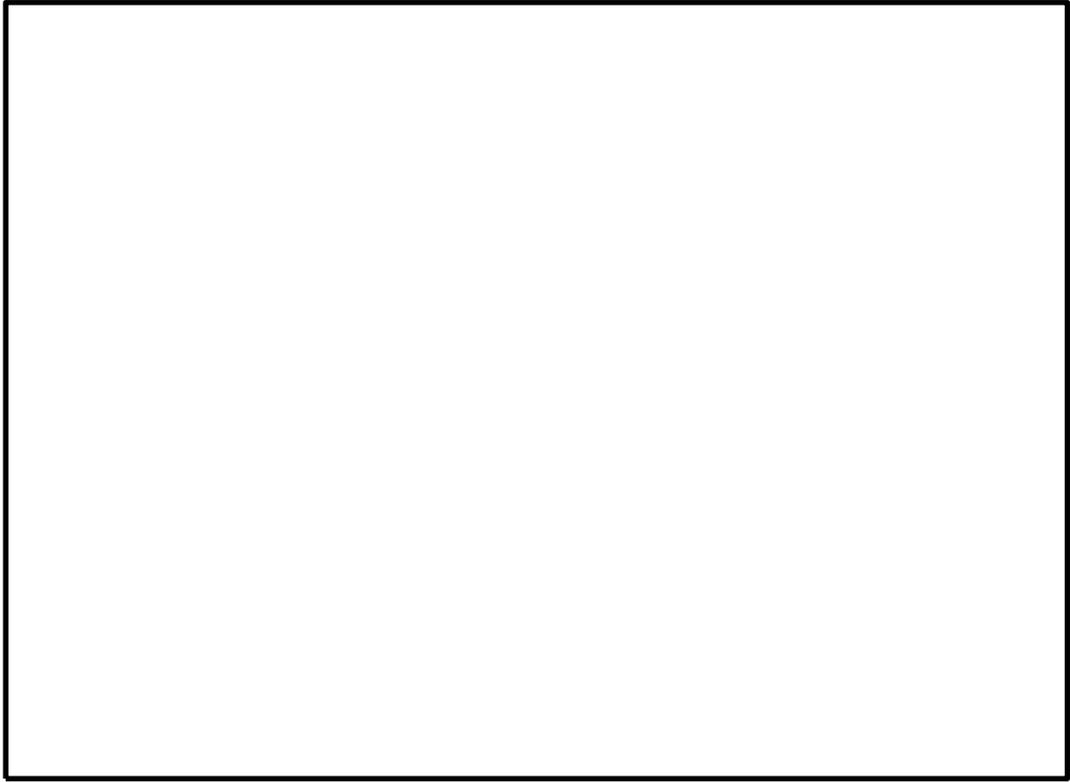
構造物に加わる荷重は、定常ドラッグ荷重 F_S と加速度ドラッグ荷重 F_A の和とする。



a. 評価条件

式(1)及び(2)における対象構造物の周囲流体の流速及び加速度は、ダウンカメラ先端での速度の強度及び加速度の強度を用いて、式(3)及び(4)より定める。





気泡形成に伴うプール水流动によるドラッグ荷重計算のフローを図 3-7 に示す。



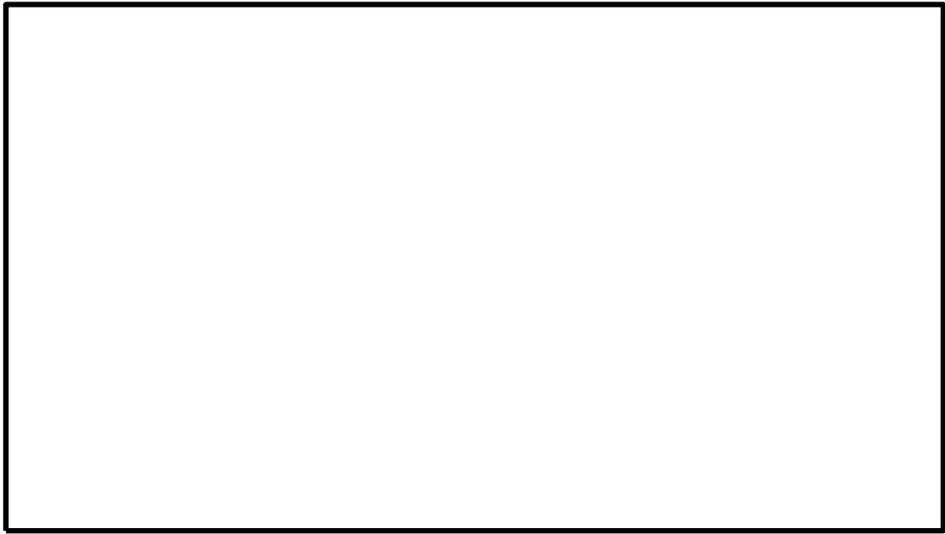


図 3-4 速度の強度 $u(t)$

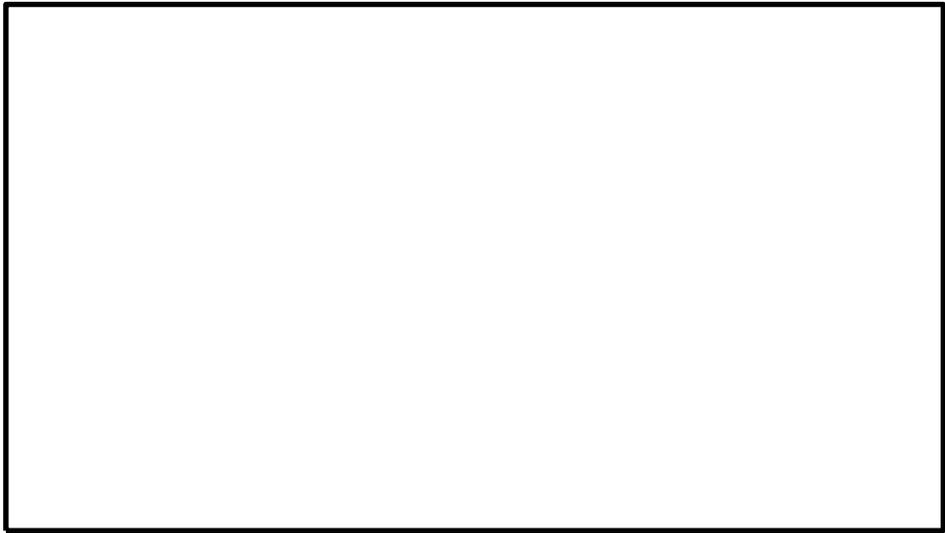


図 3-5 加速度の強度 $a(t)$

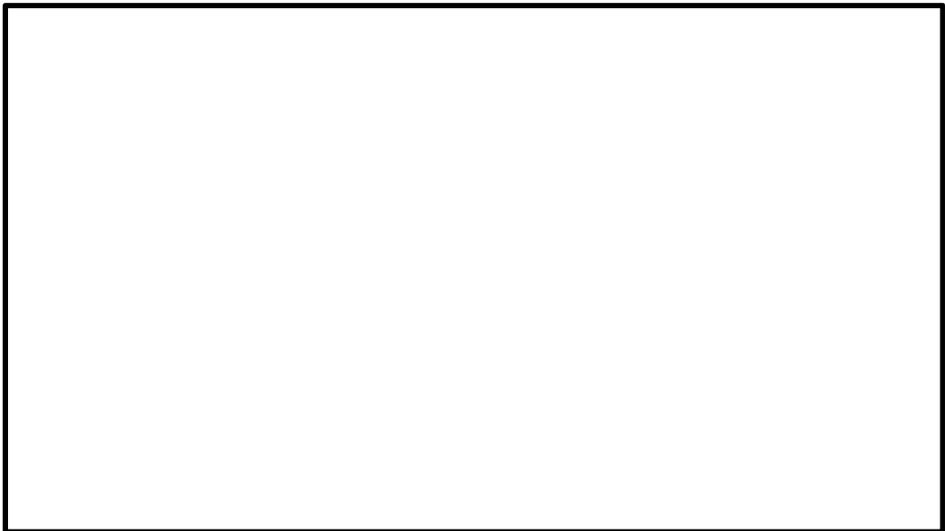


図 3-6 気泡半径

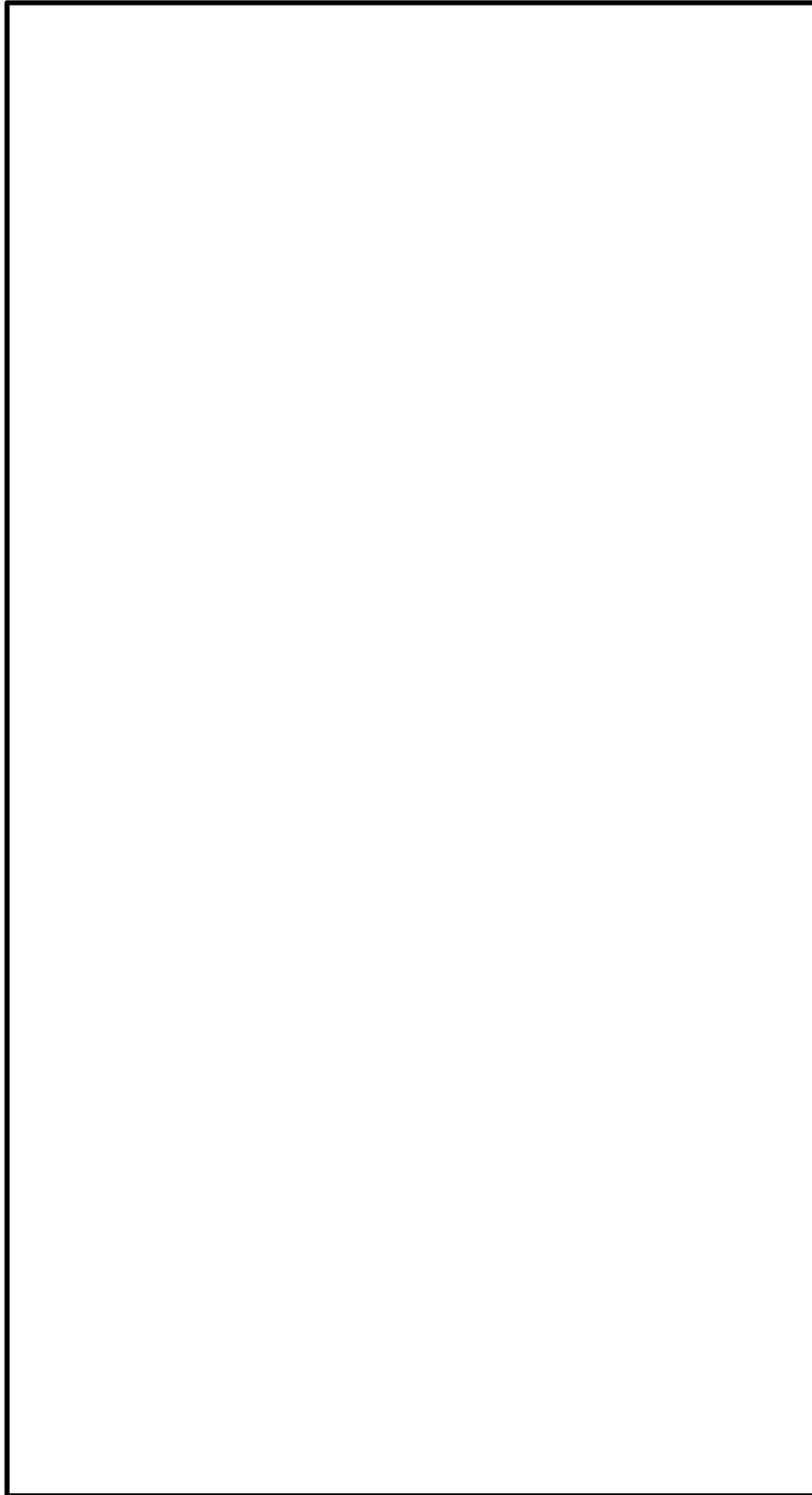


図 3-7 気泡形成に伴うプール水流動によるドラッグ荷重計算のフロー

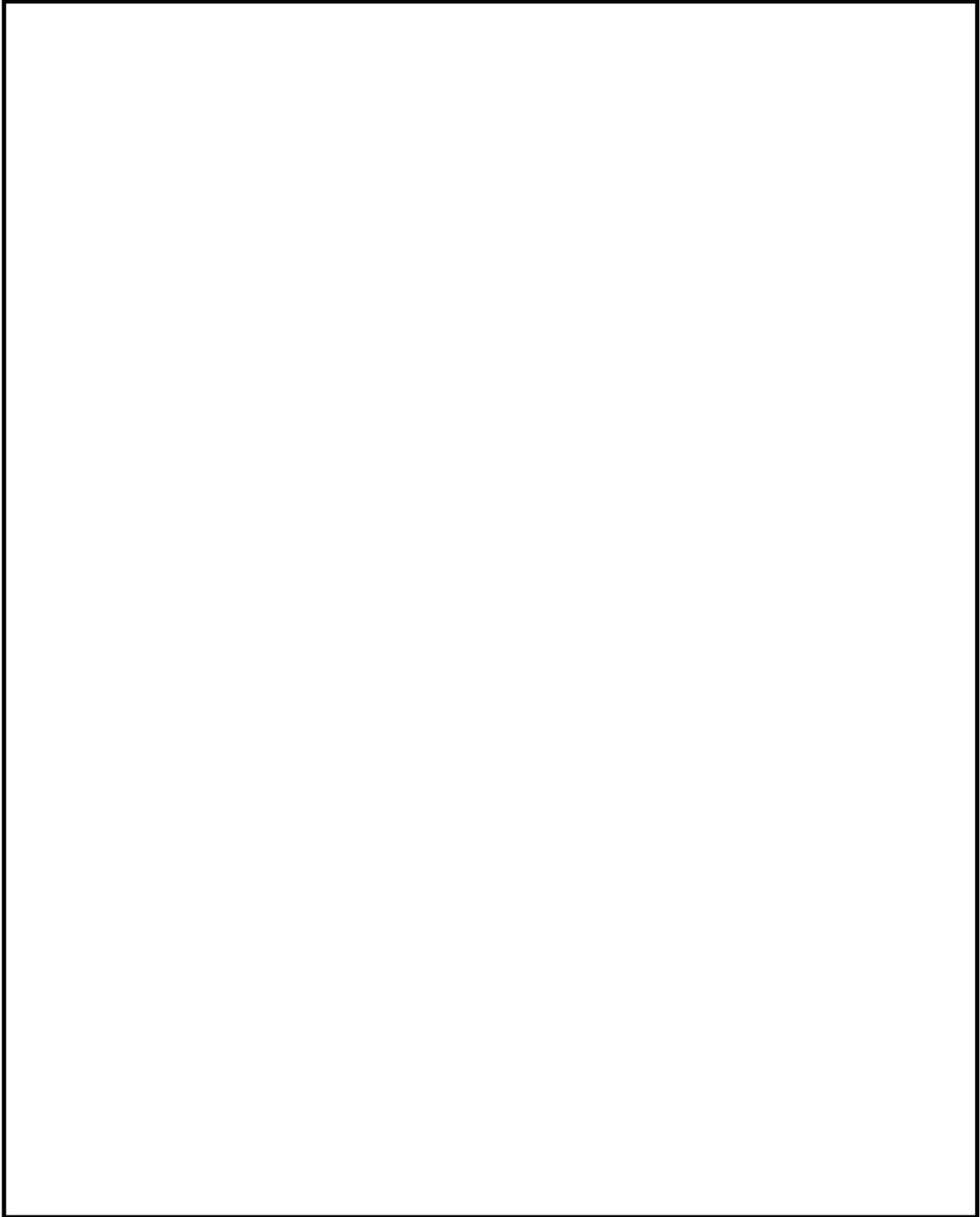


図 3-8 解析モデル (ECCS ストレーナ取付角度 27°) (1/3)

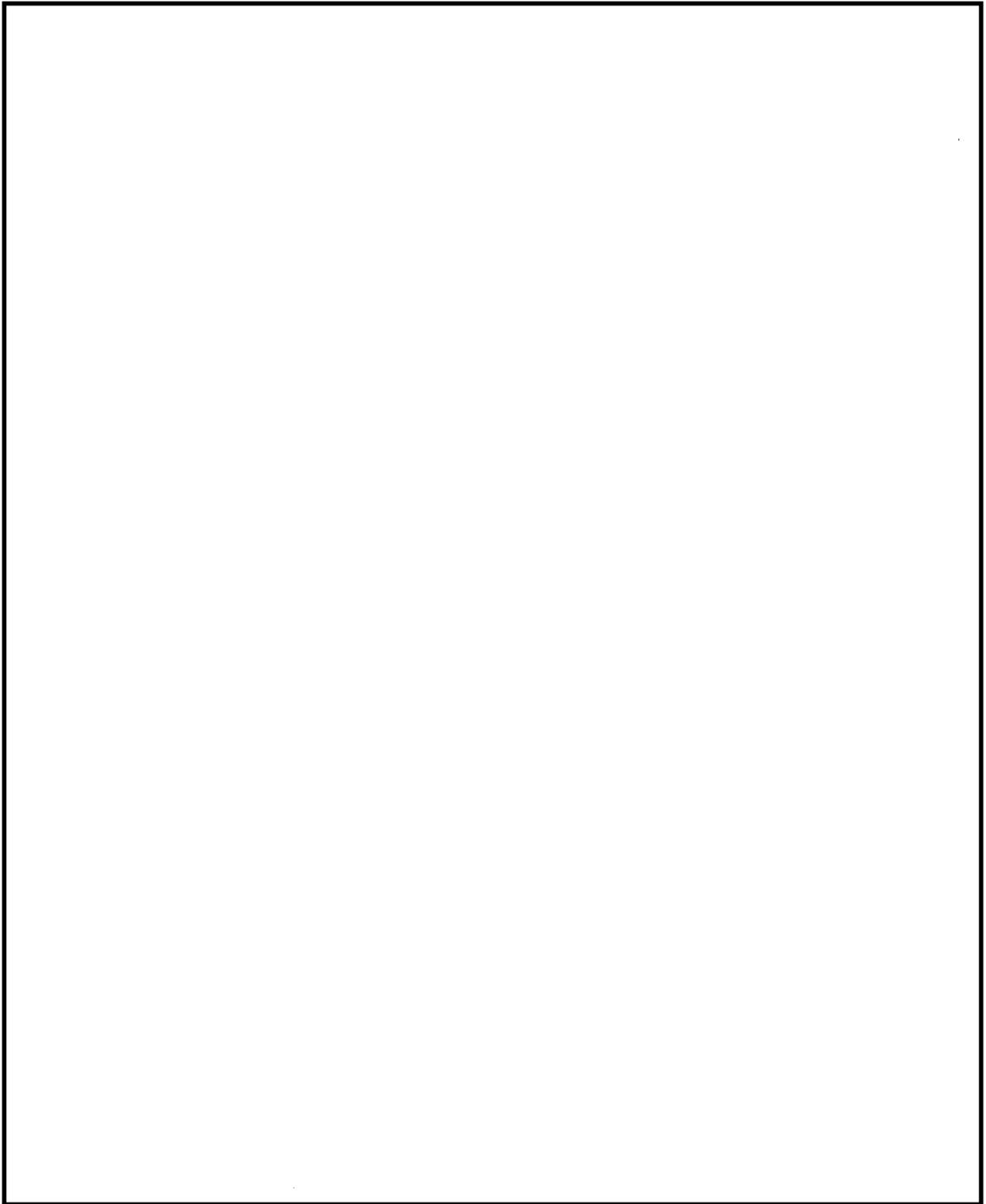


図 3-8 解析モデル (ECCS ストレーナ取付角度 45°) (2/3)

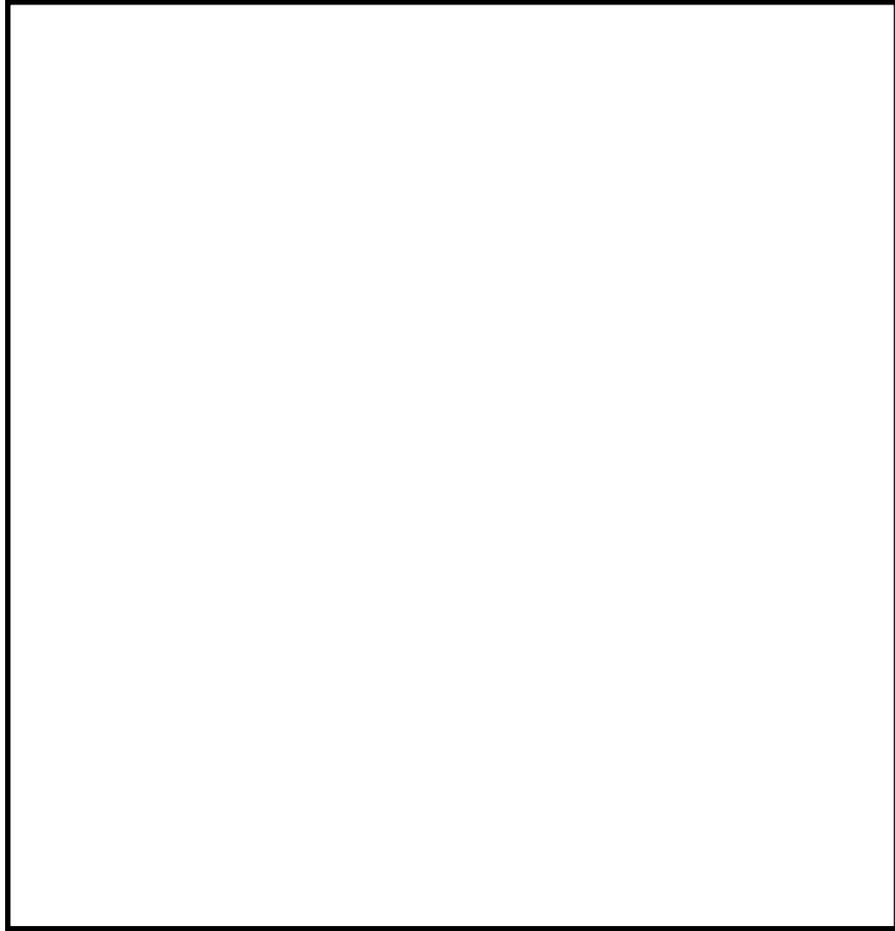


図 3-8 解析モデル (RCIC ストレーナ) (3/3)

(2) 関連図書

(3) 算出結果

各軸方向のドラッグ荷重の合計は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向（X 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_x =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_x =$ (N)

- ・ストレーナ軸方向（Y 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向（Z 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_z =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_z =$ (N)

以上の算出結果を用いたストレーナの強度評価においては、ストレーナの軸方向荷重及び軸直角方向荷重による応力評価を行う。

なお、軸直角方向荷重は、水平方向（X 軸）及び鉛直方向（Z 軸）のドラッグ荷重を二乗和平方根にて合成した荷重を設定する。

ストレーナの強度評価で用いる気泡形成時の水力的動荷重を以下に示す。

- ・ストレーナ軸方向荷重

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ストレーナ軸直角方向荷重

ECCS ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

3.1.2 蒸気凝縮振動に伴うプール水振動によるドラッグ荷重

(1) 荷重算出方法

本荷重は、気泡形成荷重同様に、式(1)及び式(2)より算出する。その際に使用する速度は式(5)より、加速度は式(6)より、それぞれ算出する。

a. 評価条件

蒸気凝縮振動に伴うプール水振動によるドラッグ荷重計算のフローを図3-9に示す。

表 3-3 蒸気凝縮振動時のソース振幅

--

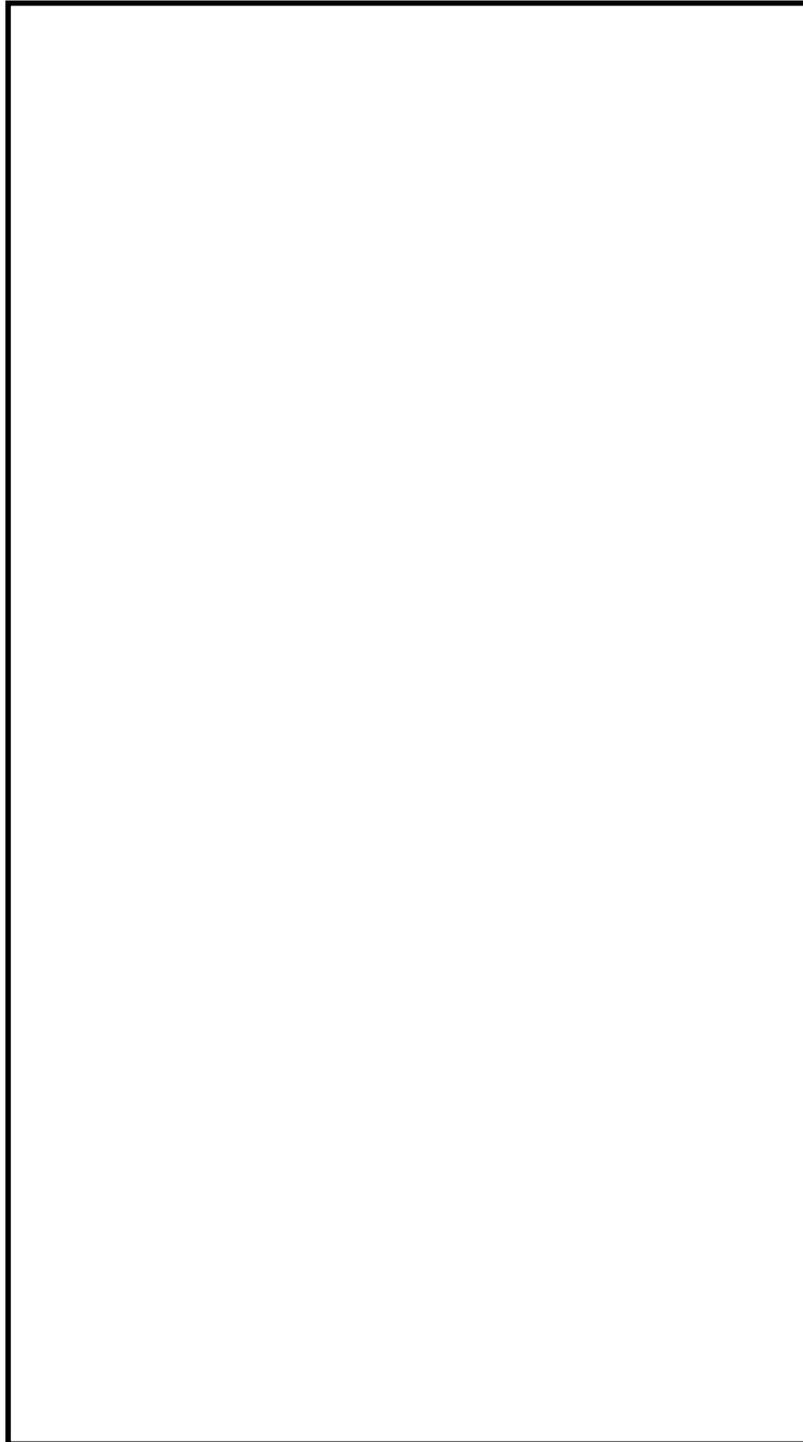


図 3-9 蒸気凝縮振動に伴うプール水振動によるドラッグ荷重計算のフロー

(2) 関連図書



(3) 算出結果

各軸方向のドラッグ荷重は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向（X 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_x =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_x =$ (N)

- ・ストレーナ軸方向（Y 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向（Z 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_z =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_z =$ (N)

ストレーナの強度評価で用いる蒸気凝縮振動時の水力的動荷重を以下に示す。

- ・ストレーナ軸方向荷重

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ストレーナ軸直角方向荷重

ECCS ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

3.1.3 チャギングに伴うプール水振動によるドラッグ荷重

(1) 荷重算出方法

チャギング時のプール水流動により，水中構造物にドラッグ荷重が作用する。チャギング時のドラッグ荷重の算出計算は，3.1.2(1)項の蒸気凝縮振動に伴うプール水振動によるドラッグ荷重算出計算と同様に行う。

チャギングに関しては，気泡形成時における荷重(前期チャギング)及び気泡形成後の凝縮に伴う荷重(後期チャギング)それぞれについて考慮する。前期チャギングと後期チャギングは発生のタイミングが異なるため，それぞれ計算し，最大絶対値を用いる。

本ドラッグ荷重は，3.1.2(1)項の式(5)及び(6)より流速及び加速度ドラッグを算出し，3.1.1(1)項に示す式(1)及び(2)を用いてチャギング時のドラッグ荷重を算出する。



チャギングに伴うプール水振動によるドラッグ荷重計算のフローを図 3-10 に示す。



表 3-4 チャギング時のソース振幅

--

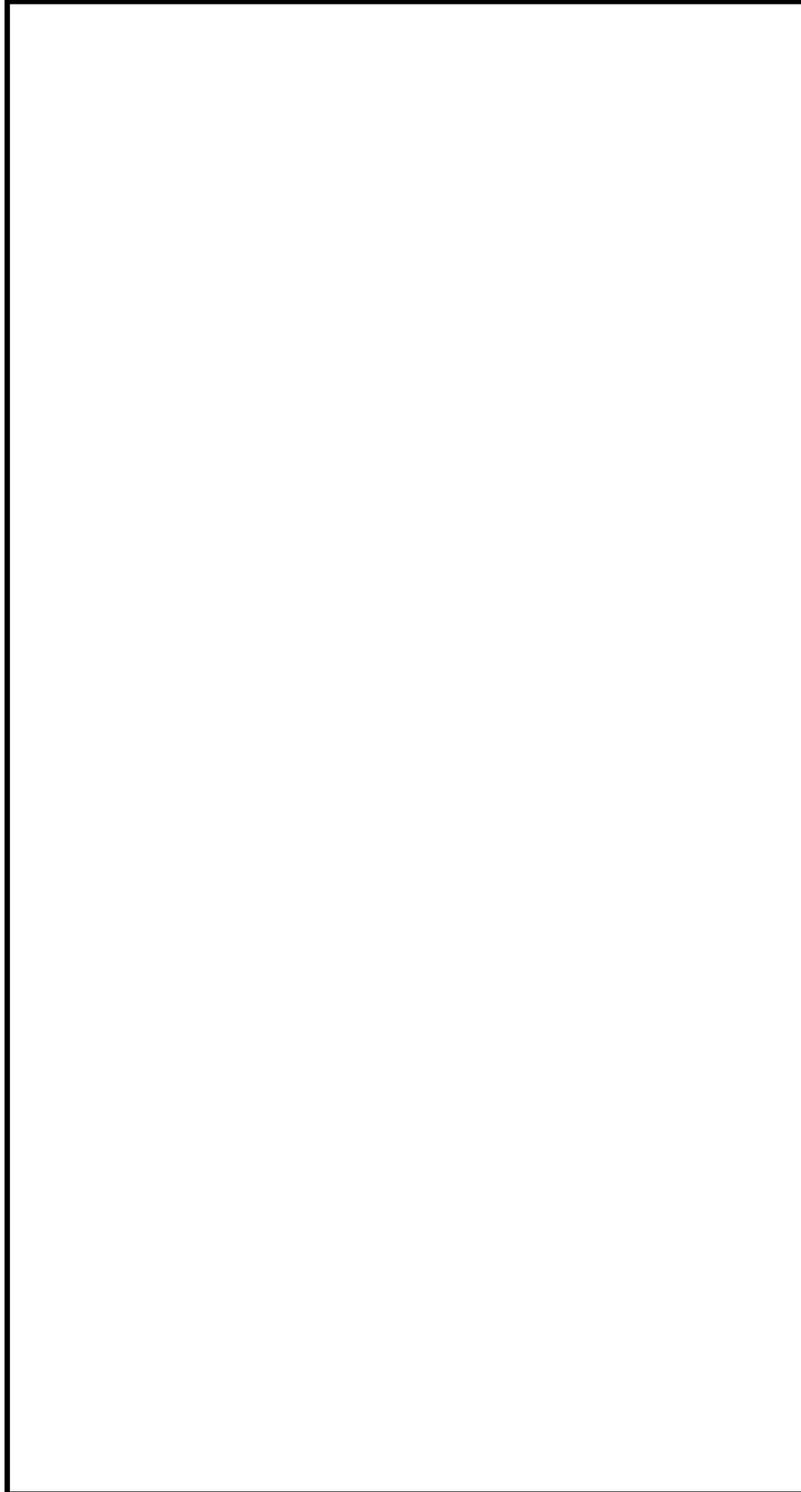


図 3-10 チャギングに伴うプール水振動によるドラッグ荷重計算のフロー

(2) 関連図書



(3) 算出結果

各軸方向のドラッグ荷重は、下記の値となる。

- ・ ストレーナ軸直角方向かつ水平方向（X 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_x =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_x =$ (N)

- ・ ストレーナ軸方向（Y 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向（Z 軸）ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_z =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_z =$ (N)

ストレーナの強度評価で用いるチャギング時の水力的動荷重を以下に示す。

- ・ ストレーナ軸方向荷重

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ ストレーナ軸直角方向荷重

ECCS ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

3.2 逃がし安全弁作動時の水力的動荷重

逃がし安全弁作動時のドラッグ荷重算出において、下記の点を考慮する。

3.2.1 クエンチャから放出される水ジェットによるドラッグ荷重

プール水中の構造物に対して、クエンチャから放出された水の流速によるドラッグ力が作用する。

(1) 荷重算出方法

ストレーナに加わるドラッグ荷重 F_D (N) は、式(7)により評価する。

(2) 関連図書

(3) 算出結果

水ジェットによる荷重は、クエンチャの前面にあるストレーナ 2 のみに作用し、コネクタ設置側のストレーナ 1 は考慮しない。また、クエンチャは Y 軸方向を長手方向としてストレーナ正面に位置するため、Y 軸方向の荷重は発生しないものと考ええる。なお、RCIC ストレーナは水ジェット影響範囲から十分離れているため水ジェット荷重は考慮しない。

X, Z 軸方向のドラッグ荷重は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸) ドラッグ荷重の合計

$$F_x = \boxed{} \text{ (N)}$$

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重の合計

$$F_z = \boxed{} \text{ (N)}$$

なお、逃がし安全弁作動時の水力学的動荷重によるストレーナの強度評価は、3.2.2(1)項で算出される気泡振動時のドラッグ荷重と本項の水ジェットによるドラッグ荷重との包絡値を用いて行うため、荷重値は 3.2.2(3)項にまとめて示す。

3.2.2 気泡振動時のドラッグ荷重

(1) 荷重算出方法

クエンチャから放出される気泡の振動によるドラッグ荷重は、以下の手順で算出する。



気泡形成時のドラッグ荷重計算のフローを図 3-12 に示す。



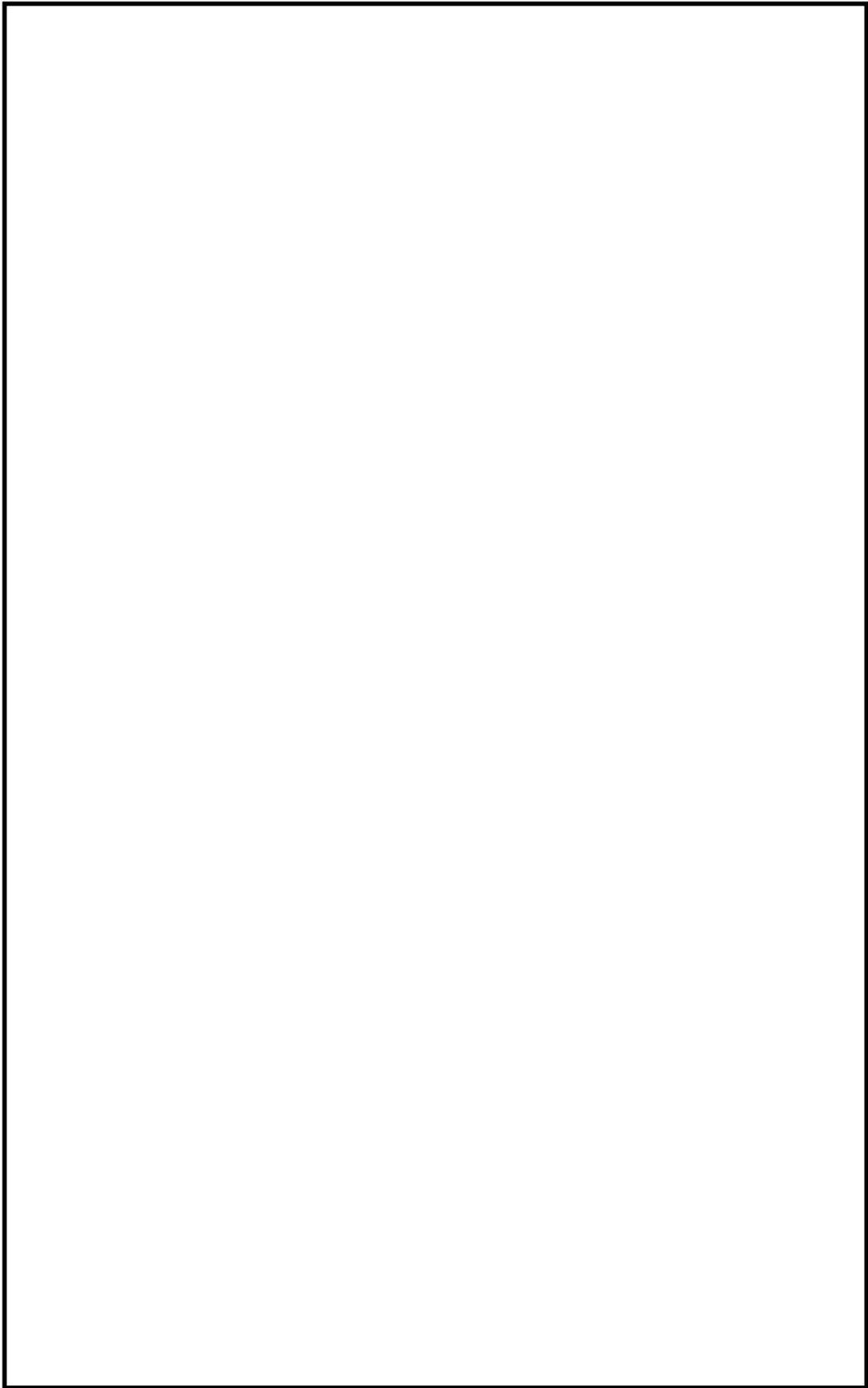


図 3-11 クエンチャから放出される気泡の振動の速度・加速度

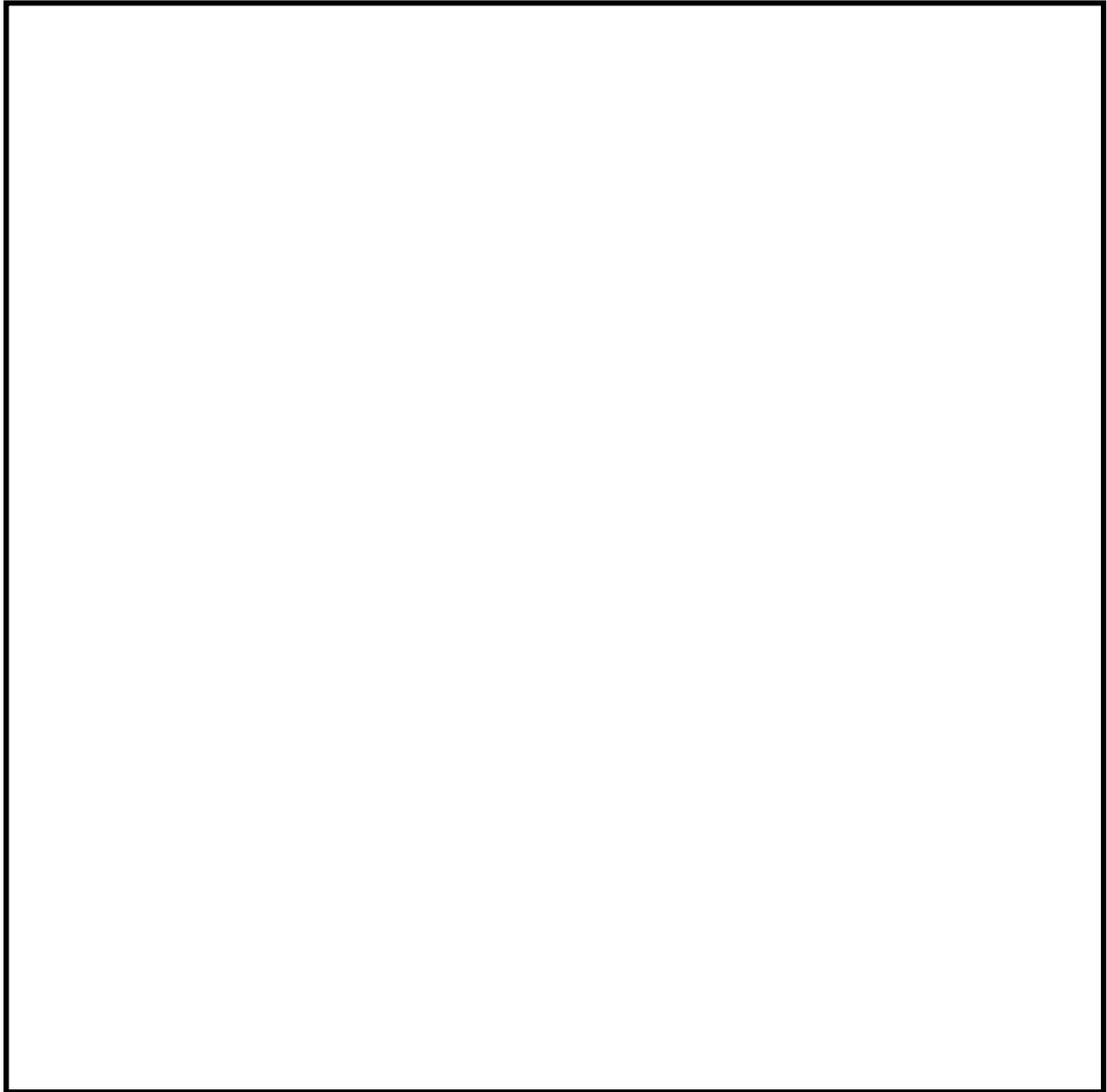


図 3-12 逃がし安全弁作動時 気泡形成によるドラッグ荷重計算のフロー

(2) 関連図書

(3) 算出結果

各軸方向のドラッグ荷重の合計は、下記の値となる。

- ・ストレーナ軸直角方向かつ水平方向 (X 軸) ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_x =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_x =$ (N)

- ・ストレーナ軸方向 (Y 軸) ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ストレーナ軸直角方向かつ鉛直方向 (Z 軸) ドラッグ荷重の合計

ECCS ストレーナ $F_z =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_z =$ (N)

3.2.1(3)項及び 3.2.2(3)項の算出結果から設定した、ストレーナの強度評価で用いる逃がし安全弁作動時の水学的動的荷重を以下に示す。

- ・ストレーナ軸方向荷重

ECCS ストレーナ $F_y =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_y =$ (N)

- ・ストレーナ軸直角方向荷重

ECCS ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

RCIC ストレーナ $F_{xz} =$ (N)

水力学的動荷重算出における計算条件

(1) ストレーナのドラッグ係数 C_D の設定根拠

ストレーナにおけるドラッグ係数 C_D は、 に示される値を使用する。本数値は、GE社で実施したフルスケール・プロトタイプによる実験等から得られた多孔効果を含んだ値である。

ストレーナ軸直角方向

ストレーナ軸方向

(2) ストレーナの投影面積 A_P の算出方法

ストレーナの投影面積 A_P は、外観形状が円筒形のストレーナにおいて、軸方向及び軸直角方向に対し算出する。ストレーナの軸方向の投影面積はディスクの円形面の面積とし、以下の値とする。

$$A_P (\text{軸}) = \text{$$

ストレーナの軸直角方向の投影面積は、円筒形の軸直角方向から投影した長方形面の面積とし、以下の値とする。

$$A_P (\text{軸直}) = \text{$$

さらに、軸直角方向の投影面積の算出において、ストレーナ本体のディスク間ギャップ分の投影面積は差引き、ストレーナとティー継手の接合部のフランジの投影面積は付加して算出する。

(3) ストレーナの加速度ドラッグ体積 V_{AC} の算出方法

また、ストレーナは多孔プレート構造のため、多孔効果による荷重低減を行うことができる。[]では、これを []として下記を設定している。

- ・ 軸直角方向 []
- ・ 軸方向 []

よって、最終的なストレーナの加速度ドラッグ体積 V_{AC} は以下となる。

$$\begin{aligned} V_{AC} \text{ (軸直)} &= [] \\ &= [] \\ V_{AC} \text{ (軸)} &= [] \\ &= [] \end{aligned}$$

水力学の特性の算出 参考



ストレーナ固有モードについて

ストレーナの固有モードを以下に示す。ストレーナ取付角度に応じてモデルを 2 種類用いているので、それぞれの結果を示す。



参考図 2-1 ストレーナ単体モデル 固有モード (取付角度: 27°, 1 次モード s)



参考図 2-2 ストレーナ単体モデル 固有モード (取付角度: 45°, 1 次モード s)