

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-028-10-10 改2
提出年月日	2020年6月18日

ECCS ストレーナの評価条件等の整理について

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. ECCS ストレーナに関わる内規について	1
3. ECCS ストレーナ関連の既提出工事認可申請について	1
4. 技術基準の規定について	1
5. 既工認及び今回工認における評価条件の整理	2
6. ECCS ストレーナの評価に用いる荷重について	2
7. 異物量の整理	5

別紙 1 水力的動荷重の算出について 別 1-1

別紙 2 耐震強度評価における非 DBA 塗装片の異物荷重想定について 別 2-1

別紙 3 解析モデルについて 別 3-1

: 今回提出範囲

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、以下に評価条件等の整理を行った。

2. ECCS ストレーナに関わる内規について

ECCS ストレーナに関わ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認可申請について

ECCS ストレーナ関連の既提出工事認可申請について以下に示す。

- ① 平成 18 年 7 月 31 日 総官発 18 第 86 号 申請
- ② 平成 18 年 8 月 17 日 平成 18・07・31 原第 44 号 認可
- ③ 平成 20 年 2 月 29 日 総官発 19 第 305 号 申請
- ④ 平成 20 年 4 月 7 日 平成 20・02・29 原第 10 号 認可

4. 技術基準の規定について

技術基準における ECCS ストレーナの評価に関連する規定を以下に示す。

技術基準	評価に関連する規定
5 条・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。
17 条（材料及び構造）	H20 年内規に適合することが解釈（17 条 4）に記載されている。
55 条（材料及び構造）	設計基準対象施設の規定（17 条）を準用することが解釈に記載されている。

5. 既工認及び今回工認における評価条件の整理
既工認及び今回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	今回工認
残留熱除去系	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
	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	
高圧炉心注水系	ストレーナ本体	H17 年内規に 基づき評価	
	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	
原子炉隔離時冷却系	ストレーナ本体*	—	
	ストレーナ部ティー*	—	

注記*：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 通商産業省告示第 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 ストレーナの評価に用いる荷重について

表 6-1 に ECCS ストレーナの評価における荷重の組合せを示す。今回工認における ECCS ストレーナの評価において、同一の荷重の組合せである場合は、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（以下「DB」という。）及び重大事故等対処設備（以下「SA」という。）として評価に用いる荷重の比較を表 6-2 に示す。

なお、ECCS ストレーナはサプレッションプール内に設置される機器であり、V-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。

水力学的動荷重の算出については別紙 1 に示す。

表 6-1 ECCS ストレーナ評価用荷重の整理

【内規に記載の組合せ】

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)	Sd	Ss	
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 _A S)
運転状態 I	○										○	D(IV _A S)
運転状態 II	○				○					○		C(III _A S)
運転状態 II	○				○						○	D(IV _A S)
運転状態IV (L)	○	○		○						○		C(III _A S)

3

【今回工認で考慮する組合せ】

分類	運転状態	死荷重	異物 ^{*1} 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)	Sd	Ss	
強度計算書 記載項目	SA	運転状態 V (L)	○	○		○							重大事故等時 ^{*2}
		運転状態 V (S)	○	○		○			○				重大事故等時 ^{*2}
		運転状態 V (S)	○	○		○		○		○			重大事故等時 ^{*2}
		運転状態 V (S)	○						○				重大事故等時 ^{*2}
耐震計算書 記載項目	DB	運転状態 I	○								○		C(III _A S)
		運転状態 I	○									○	D(IV _A S)
		運転状態 II	○				○				○		C(III _A S)
		運転状態 II	○				○					○	D(IV _A S)
	SA	運転状態IV (L)	○	○		○					○		C(III _A S)
		運転状態 V (L) ^{*3}	○	○		○					○		D(IV _A S) ^{*4}
		運転状態 V (LL)	○	○		○						○	D(IV _A S) ^{*4}

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：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。

*3：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。

*4：許容応力状態 V_AS として IV_AS の許容応力を用いる。

表 6-2 荷重の大小関係の整理

No.	荷重の種類		説明
1	異物荷重 DB 時 \geq SA 時		ストレーナの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の量は DB 条件での値に包絡できることから, DB 時 \geq SA 時 DB 時圧損: <input type="text"/> m SA 時圧損: <input type="text"/> m
2	差圧 DB 時 \geq SA 時		ストレーナの圧損試験の評価結果より, DB 時 \geq SA 時
3	SRV 荷重	中小破断時 DB 時=SA 時	DB, 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 時荷重=SA 時荷重
4	LOCA 荷重	プールスウェル DB 時=SA 時	DB, SA 時ともに LOCA 時に発生するプール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 時荷重=SA 時荷重
5		蒸気凝縮 (CO) DB 時=SA 時	DB, 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 時荷重=SA 時荷重
6		チャギング (CH) DB 時=SA 時	DB, 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 時荷重=SA 時荷重
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)

7. 異物量の整理

内規に基づきストレーナ評価にて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、以下にその整理を行う。

(1) 破損保温材の異物量

表 7-1 に示すとおり内規に基づき異物量を算出した。

[H20 年内規 記載]

(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。

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% (アイスクонден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*1

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% 【 <input type="text"/> m ² 】	50% 【 <input type="text"/> m ² 】	50% 【 <input type="text"/> m ² 】
②	カプセル保温 (繊維質)	15% 【 <input type="text"/> m ² 】	15% 【 <input type="text"/> m ² 】	15% 【 <input type="text"/> m ² 】
③	一般保温 (ケイ酸カルシウム)	10% 【 <input type="text"/> m ³ 】	10% 【 <input type="text"/> m ³ 】	10% 【 <input type="text"/> m ³ 】
④	一般保温 (繊維質)	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) 【 <input type="text"/> m ³ (<input type="text"/> kg*2)】	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) 【 <input type="text"/> m ³ (<input type="text"/> kg*2)】	28% (グレーチング上) 78% (グレーチング下) 【 <input type="text"/> m ³ (<input type="text"/> kg*3)】

注記 *1: 異物量は移行割合を乗じた後の値を示す。

*2: 内規に基づき付着厚さ 3mm 相当を考慮している。

*3: 実機のドライウェル内では、繊維質保温材を撤廃しているが、付着厚さ 0.3mm 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 に示すとおり内規に基づき異物量を算出した。

[H20 年内規 記載]

(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)	□ kg	□ kg	□ kg
⑥	非 DBA 仕様塗装	—	□ kg	□ kg
⑦	堆積異物	スラッジ	□ kg	□ kg
⑧		錆片	□ kg	□ kg
⑨		塵土	□ kg	□ kg
⑩	その他異物	—	□ m ²	□ m ²
⑪	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥落) *1	—	—	□ kg
⑫	化学影響生成異物	—	—	□ kg

注記*1：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、塗装片の追加発生を考慮。

(3) 今回工認で考慮する異物の整理

表 7-1 及び表 7-2 より、DB/SA 評価の異物で考慮すべき対象を次のとおり整理する。

① カプセル保温（金属反射型）：

DB/SA の評価で考慮が必要。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べきであるため、DB 時でも考慮する。

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 共に考慮不要。

③ 一般保温（ケイ酸カルシウム）：

DB/SA の評価で考慮が必要であり、現場調査の確認結果による値を用いる。

④ 一般保温（繊維質）：

繊維質保温材を撤廃しており、DB/SA 共に考慮不要であるが、DB では内規の薄膜効果を考慮するため、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 相当の考慮が必要。

⑤ 耐 DBA 仕様塗装（ジェット破損）：

DB/SA の評価で考慮が必要であり、内規記載の値を用いる。

⑥ 非 DBA 仕様塗装：

DB/SA の評価で考慮が必要であり、現場調査の確認結果による値を用いる。

⑦ スラッジ：(DB/SA)

⑧ 錆片：(DB/SA)

⑨ 塵土：(DB/SA)

} 堆積異物

DB/SA の評価で考慮が必要であり、内規記載の値を用いる。

⑩ その他異物：(DB/SA)

DB/SA の評価で考慮が必要。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、試験には投入していないが、異物荷重としては考慮すべきであるため、現場調査の確認結果による値を用いる。

⑪ 耐 DBA 仕様塗装（SA 環境剥落）

⑫ 化学影響生成異物

} SA 時に考慮する異物

SA 時に考慮すべき異物であるが、この異物を考慮した圧損試験の結果、DB 条件で得られた圧損より小さい値であることが確認できたことから、ストレーナに付加される異物の量は DB 条件での値に包絡できると考えられるため、評価には含めない。

(4) 評価で考慮する異物のまとめ

上記より、今回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全量を系統ごとに流量比で分配し、異物の質量をストレーナの自重と同様に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)	<input type="text"/> m ²	移行割合と破損影響範囲
②	カプセル保温 (繊維質)	—	繊維撤廃
③	一般保温 (ケイ酸カルシウム)	<input type="text"/> m ³	移行割合と破損影響範囲
④	一般保温 (繊維質)	<input type="text"/> kg 〔 DB : <input type="text"/> kg 〕 〔 SA : <input type="text"/> kg 〕	繊維撤廃 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)	<input type="text"/> kg	内規記載値
⑥	非 DBA 仕様塗装	<input type="text"/> kg*1	確認結果
⑦	堆積異物	スラッジ <input type="text"/> kg	内規記載値
⑧		錆片 <input type="text"/> kg	内規記載値
⑨		塵土 <input type="text"/> kg	内規記載値
⑩	その他異物	<input type="text"/> m ²	確認結果
⑪	耐 DBA 仕様塗装 (SA 環境剥落)	—	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

注記*1 : ストレーナの吸込影響範囲を踏まえた保守性について別紙 2 に示す。

解析モデルについて

本資料は、ECCS ストレーナの耐震強度評価における解析モデルについて説明するものである。

(1) 貫通部のモデル化について

BWR MARK-II 型と ABWR 型について、図 1-1 に示すとおり、ストレーナと原子炉格納容器の接続部の構造が異なっている。ABWR 型ではガセットプレート及びフランジプレートにより、強固に約 2m の鉄筋コンクリートに固定されているため、応答解析用モデルの端点を完全固定としている。一方、BWR MARK-II 型では、約 60mm の PCV 壁面に直接取り付けられているのみであり、鉄筋コンクリートとの間には約 70mm の隙間があるため、動きを考慮した回転バネとしてモデル化している。

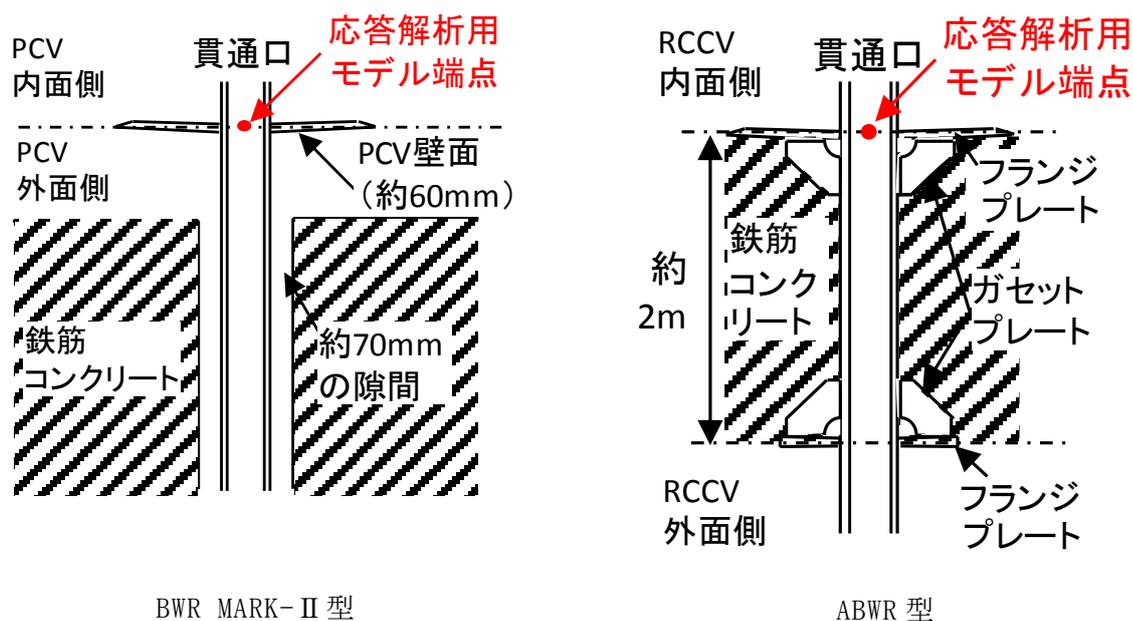


図 1-1 貫通部における BWR MARK-II 型と ABWR 型の構造の違い

(2) 多孔プレートの設定について

応力解析用モデルでは、ASME Section III Div.1 Appendices A-8131(a) (図 2-1 参照) に記載の方針に基づき、多孔プレートは孔無しの等価プレートにてモデル化しており、以下に示す等価係数を掛けることで計算を行っている。

・縦弾性係数

ASME Section III Div.1 Appendices A-8131(b) (図 2-1 参照) に記載の「縦弾性係数 E と等価縦弾性係数の間にある係数はコンピューター演算により直接求めても良い」に基づき、FEM 解析により計算した変位から係数を算出し、設定している。等価縦弾性係数の係数は孔無しのプレートに対して計算された変位最大値と孔有りのプレートに対して計算された変位最大値の比により算出し、残留熱除去系は ，高圧炉心注水系は を用いている。

・ポアソン比

ASME Section III Div.1 Appendices A-8131(c) (図 2-1 参照) 中の Figure A-8131-1 に示されるグラフから求め、設定している。なお、図中の h (孔の間の最小距離)、P (孔のピッチ) は図 2-2 からそれぞれ mm と mm となり、 $h/P =$ より等価ポアソン比 ν^* は となる。

・応力増倍率

ASME Section III Div.1 Appendices A-8131(b) (図 2-1 参照) に記載の「孔有りプレートの係数は等価の孔無しプレートに対してコンピューター演算を行い求めた単位荷重に対する応力から求め、適用することができる」に基づき、FEM 解析により孔有りのプレートに対して計算された応力最大値と孔無しのプレートに対して計算された応力最大値の比により算出し、残留熱除去系は ，高圧炉心注水系は を用いている。

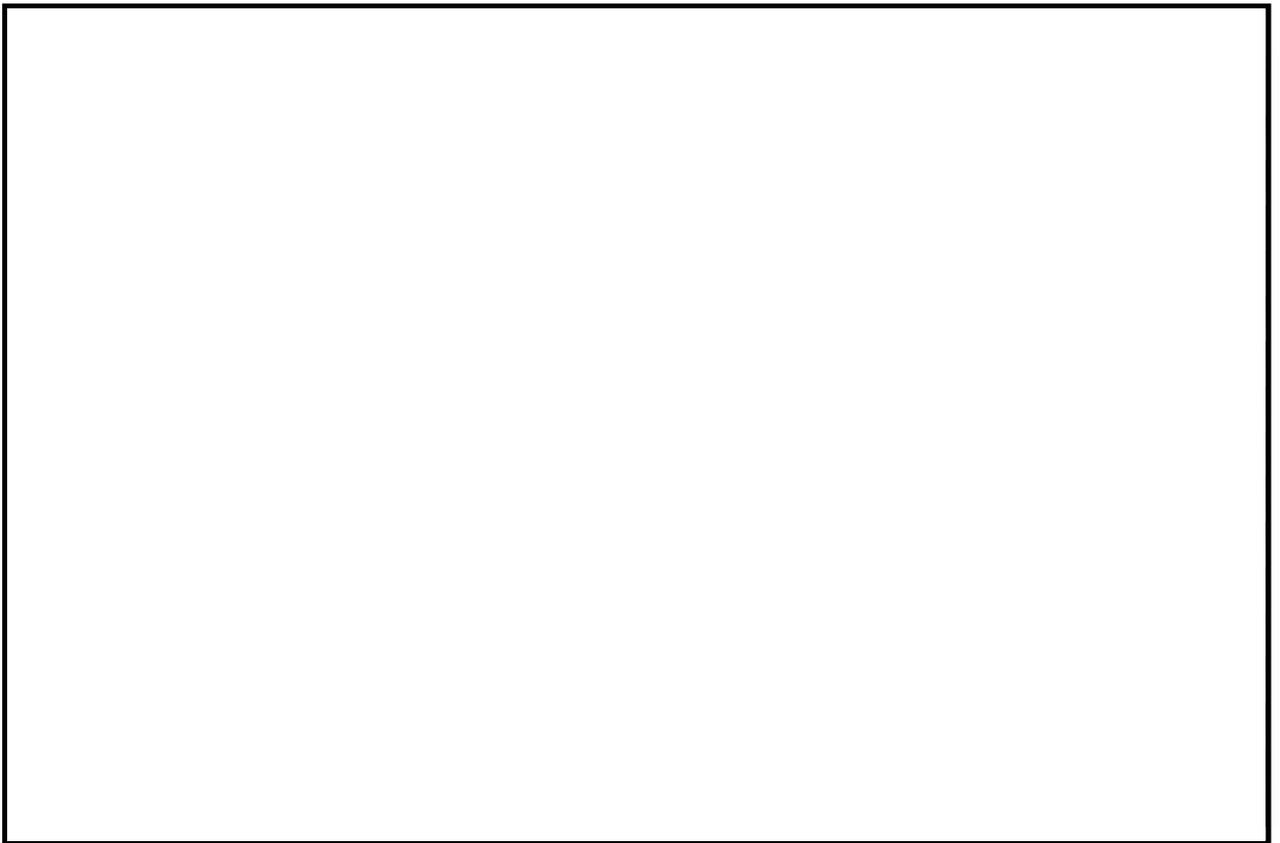


図 2-1 ASME Section III Div.1 Appendices A-8131 抜粋

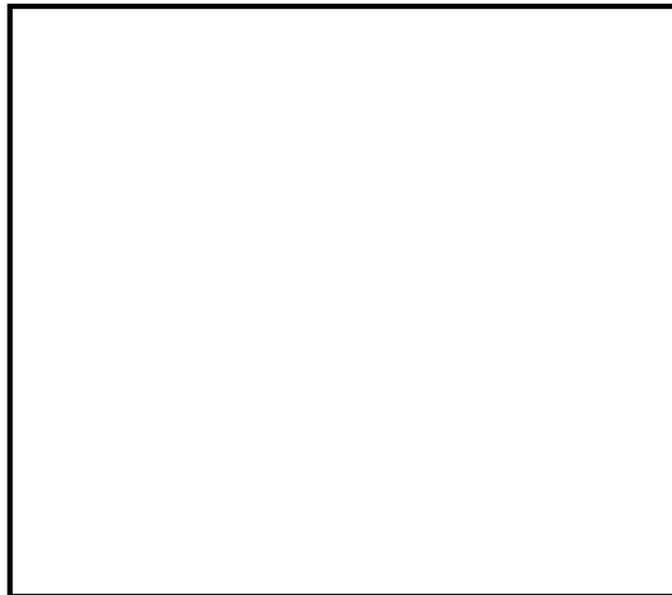


図 2-2 多孔プレート構造図 (残留熱除去系)

(3) フランジ部の評価について

ストレナーはフランジ面にてボルトとナットにより締結されているため、WARREN C. YOUNG “ROARK’ S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition に記載の式を用いて完全拘束を想定し、図 3-1 に示すとおりモデル化している。当該式は円板に支持されたトラニオンに曲げモーメントが作用した際に、フランジ面に発生する曲げ応力の最大値を算出する式であり、概略図を図 3-2 に示す。

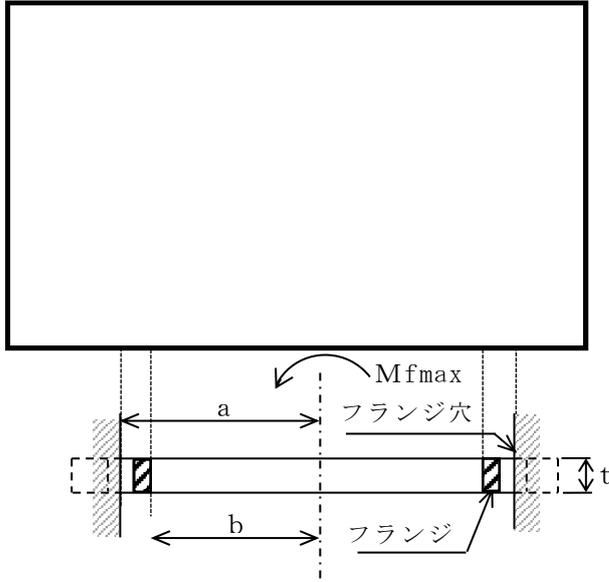


図 3-1 フランジ断面の計算モデル

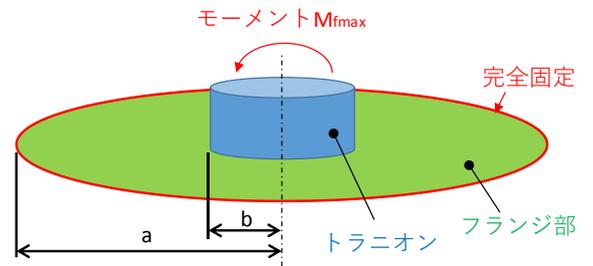


図 3-2 モデル概略図

また、応力評価式における β の計算過程を以下に示す。

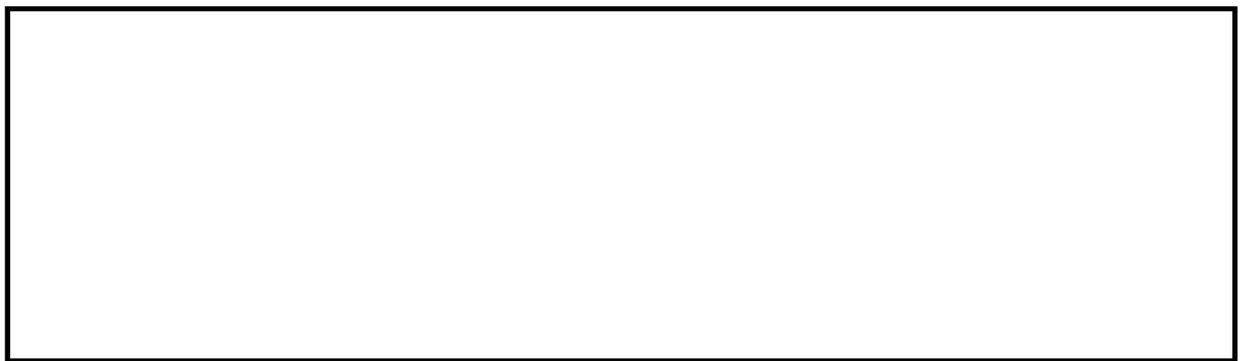


図 3-3 “ROARK’ S FORMULAS for Stress and Strain” 抜粋

β については、参考文献中に表として図 3-3 のように与えられているので、 $b/a = \square$ から 0.70 と 0.80 の値を線形補間して以下のように求めている。



(4) ティー部の評価について

ティーに発生する応力は、設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出しており、解説 PPC-3520(c)では主管と分岐管の交点のモーメントを用いることが規定されているが、工認計算においては、図 4-1 に示すとおりフランジ面及びスリーブに作用するモーメントを用いて計算を行っている。

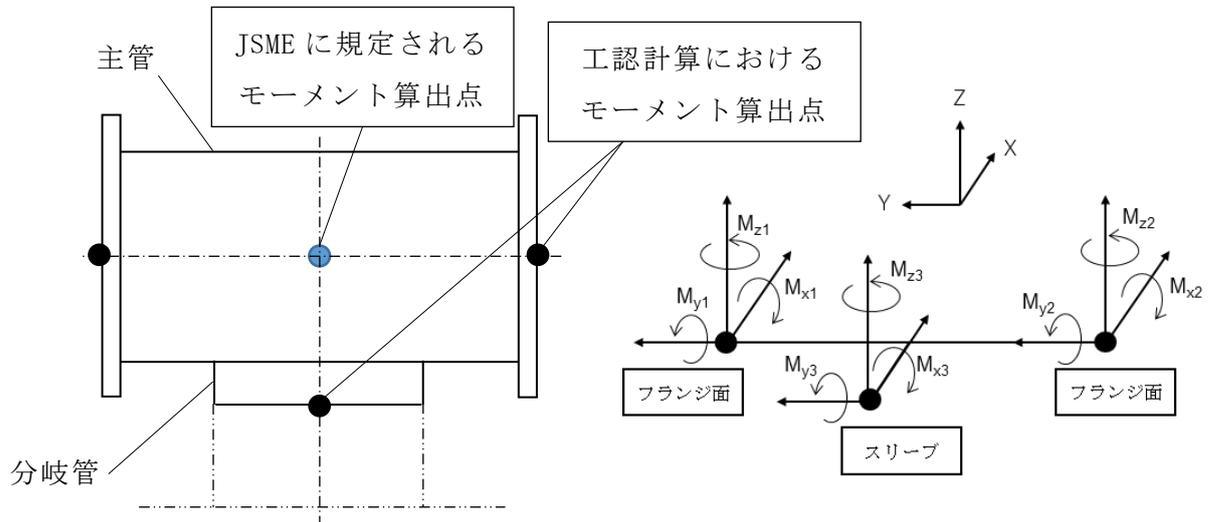


図 4-1 ティーのモーメント算出点

工認計算においては設計・建設規格 解説 PPC-3520 の考え方にに基づき、以下のとおり合成したモーメントを用いている。ここで、 $M_{ir(i=x,y,z)}$ は M_{i1} と M_{i2} の絶対値の小さい方をとる。

$$\text{分岐管の合成モーメント } M_b = \sqrt{M_{x3}^2 + M_{y3}^2 + M_{z3}^2}$$

$$\text{主管の合成モーメント } M_r = \sqrt{M_{xr}^2 + M_{yr}^2 + M_{zr}^2}$$

フランジ面及びスリーブに作用するモーメントを用いることについて、以下の観点から評価結果は保守性を有していると考えられる。

- ・ 交点の主管のモーメントはフランジ面と比べて大きくなるが、交点の分岐管のモーメントはスリーブにおけるモーメントと比べて小さくなる。
- ・ モーメントの符号は考慮せず、保守的に主管両端のモーメントを異符号として扱い計算している。
- ・ 各設計荷重について、余裕を見込んだ荷重設定をしている。

なお、確認計算として主管と分岐管の交点のモーメントを用いた場合の評価を実施しており、表 4-1 に示すとおり、工認計算結果が保守性を有していることを確認した。

表 4-1(1) ティー部の評価に用いる主管と分岐管のモーメント

荷重	残留熱除去系			
	確認計算*		工認計算	
	主管 [N・mm]	分岐管 [N・mm]	主管 [N・mm]	分岐管 [N・mm]
死荷重				
異物荷重				
差圧				
S R V 荷重				
プールスウェル (気泡形成)				
蒸気凝縮 (C O)				
チャギング (C H)				
S d * 地震荷重				
S s 地震荷重				
異物 S d * 地震荷重				
異物 S s 地震荷重				

注記* : 主管と分岐管の交点のモーメントを用いた場合の評価

表 4-1(2) ティー部の評価結果

許容応力状態	残留熱除去系			
	確認計算*		工認計算	
	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
III _A S	38	169	47	169
IV _A S	54	395	69	395
V _A S	51	373	69	373
V (S)	116	204	117	204

注記* : 主管と分岐管の交点のモーメントを用いた場合の評価

(5) コネクタの応力係数について

クラス 2 配管であるコネクタの解析における一般要求事項は、設計・建設規格 PPC-3511 に基づき、「応力係数 B は PPB-3810 の規定に基づいて定められた値を用いる」とある一方で、PPB-3810 には曲げ管および突合せ溶接式エルボに関する記載はあるが、コネクタに相当するエビ管の応力係数に関して記載がない。

しかしながら、ASME Section III Division 1 Table NC-3673.2(b)-1 (図 5-1 参照) において、エビ管は曲げ管および突合せ溶接式エルボと同じ評価式を用いていること、また、設計・建設規格 解説 PPB-3810 にて「文献等 (ASME B&PV Code Section III を含む) に記載されている係数であって、適切と認められるもの」は応力係数として用いてよい旨が示されていることから、コネクタに設計・建設規格 (PPB-4.20) 式に規定される曲げ管および突合せ溶接式エルボの応力係数を適用している。

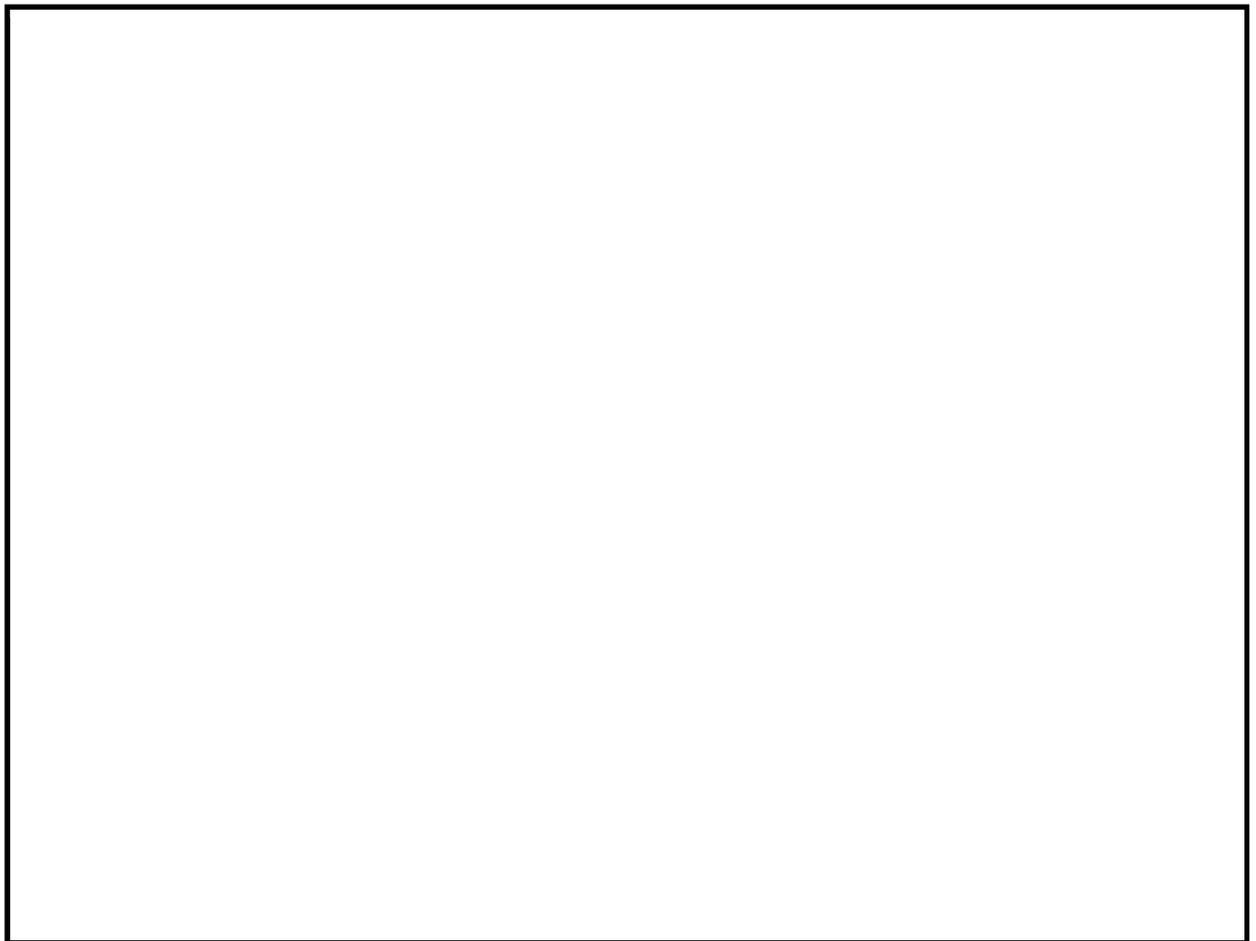


図 5-1 ASME Section III Division 1 Table NC-3673.2(b)-1