

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-9 改 02
提出年月日	2023年2月22日

## ECCS ストレーナ等の地震応答解析モデルについて

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. はじめに	1
2. 貫通部のモデル化について	1
3. 多孔プレートの設定について	7
4. フランジ部の評価について	9
5. ストレーナ部ティール及びストレーナ取付部コネクタの評価について	10

## 1. はじめに

本資料は、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、及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ（以下「ECCS ストレーナ」という。）並びに原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価に適用する解析モデル等について説明するものである。

本書において対象とする図書を以下に示す。なお、高圧炉心スプレイ系及び低圧炉心スプレイ系は、残留熱除去系と同形状であることから、各系統で最大となる荷重条件を用いて、評価結果を残留熱除去系の計算書に代表して記載している。

- ・ VI-2-5-4-1-3 「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-5-4-1-5 「ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（残留熱除去系）」
- ・ VI-2-5-4-1-6 「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-5-4-1-7 「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-5-5-4-1 「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-5-6-1-4 「ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）」

## 2. 貫通部のモデル化について

ECCS ストレーナの地震応答解析では、サプレッションチェンバで増幅された地震動がストレーナに作用することから、サプレッションチェンバの主要な振動モードを表現するため、剛構造である原子炉隔離時冷却系を除くサプレッションチェンバ内側のストレーナ、ストレーナ取付部コネクタ、ストレーナ取付部サポート、ストレーナ部ティー及び貫通部スリーブの全5機をサプレッションチェンバに加えてモデル化した、はり要素による有限要素モデルを用いている。地震応答解析モデルを図 2-1 に示す。BWR MARK-I 型の原子炉格納容器貫通部は、原子炉格納容器壁面に貫通部スリーブが直接に取り付けられた構造であることから、ECCS ストレーナの地震応答解析モデルにおける貫通部スリーブとサプレッションチェンバの結合部は、サプレッションチェンバ胴の局部剛性を考慮したばね定数を設定している。原子炉格納容器貫通部の概略構造図を図 2-2 に示す。

サプレッションチェンバ胴に対して面外方向の並進ばね及び回転ばねについては、サプレッションチェンバ胴の補強リング間の範囲及び貫通部スリーブ取付部近傍をシェル要素による有限要素モデルとしてモデル化した解析結果に基づき、ばね定数を設定している。一般的に並進ばねは「荷重／変位量」であり、回転ばねは「モーメント／変位角」で求めることができるため、図 2-3 に示す解析モデルの貫通部スリーブ端部中央に単位荷重を負荷し、解析により得られた変位又は変位角の結果からばね定数を算出している。単位荷重による解析結果として得られる変位コンター図を図 2-4 に示す。サプレッションチェンバ胴に対して面内方向については、剛性が十分高いことから、局部剛性の影響は考慮していない。ECCS ストレーナの貫通部スリーブにおけるサプレッションチェンバ胴のばね定数を表 2-1 に示す。

地震応答解析では、スペクトルモーダル解析により ECCS ストレーナに作用する地震荷重を算出し、有限要素解析手法を適用した応力解析用モデルによる応力算出に用いる。剛構造である原子炉隔離時冷却系ストレーナについては、本地震応答解析モデルにおける貫通部スリーブ取付位置に相当する位置での応答加速度を上回る震度を設定し、ストレーナに作用する荷重を理論式により算出する。

参考として、既工認の地震応答解析モデルを図 2-5 に示す。既工認では外部配管を解析モデルに含んでいたが、ストレーナ取付部サポートの高剛性化のための耐震補強工事を行っており、ストレーナの応答に対する外部配管の影響は少ないと考えられるため、今回工認の解析モデルに外部配管は含んでいない。

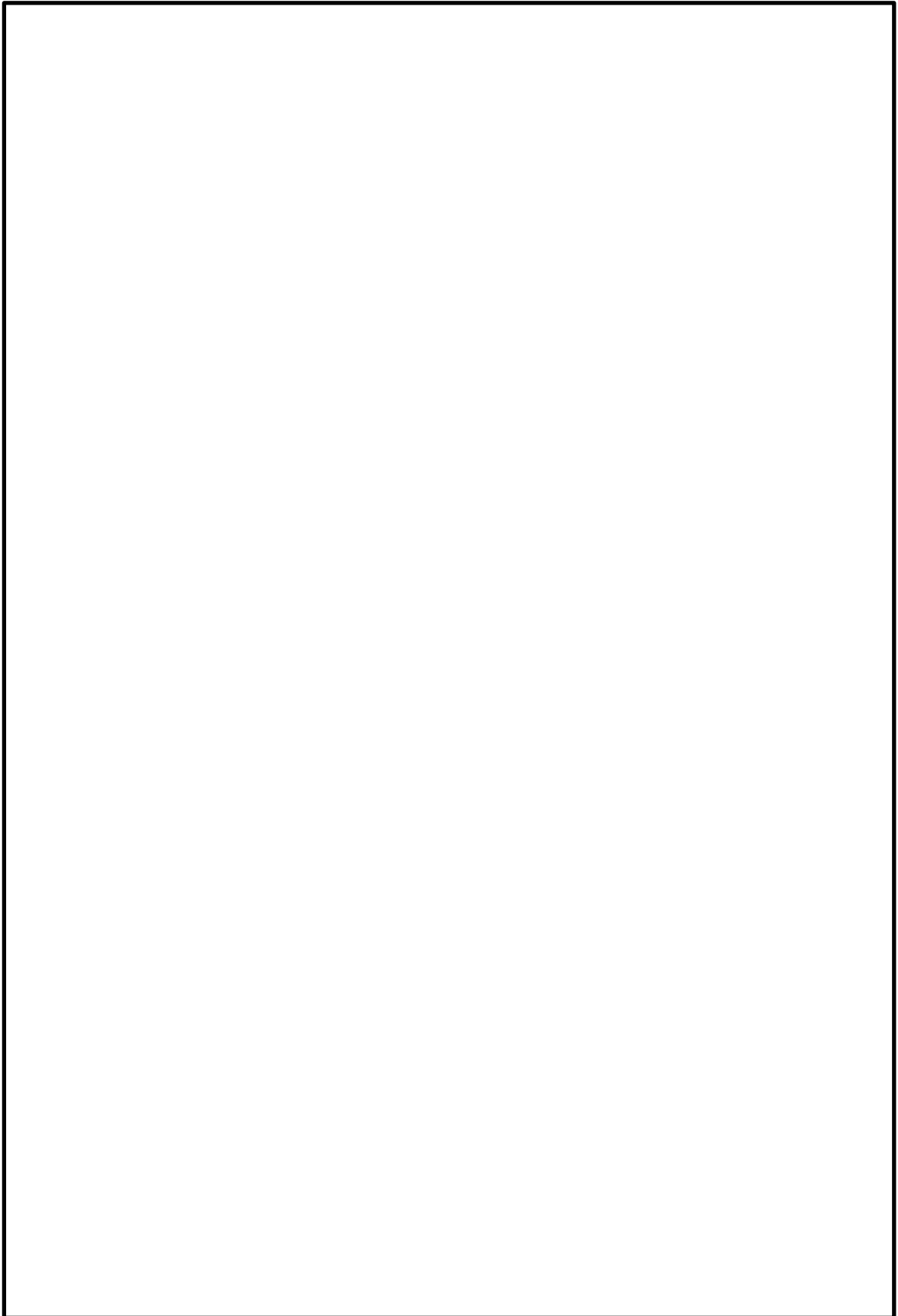


図 2-1 ECCS ストレーナの地震応答解析モデル

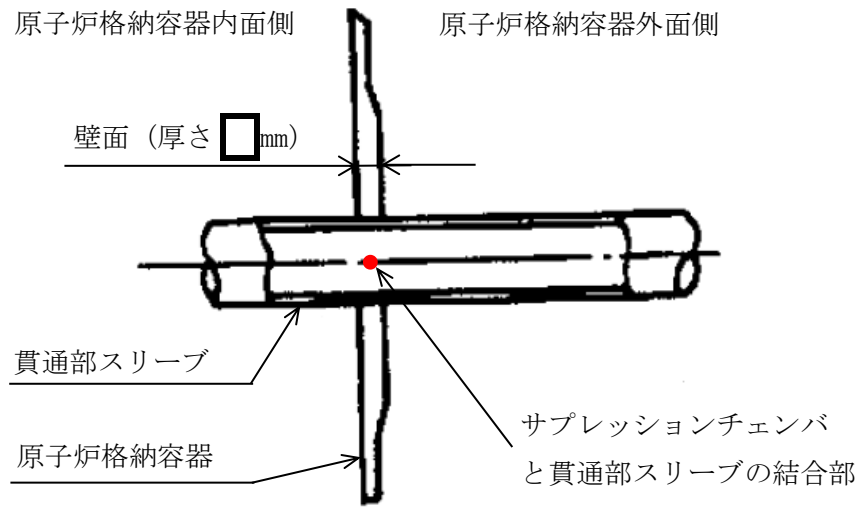


図 2-2 BWR MARK-I 型の原子炉格納容器貫通部の概略構造

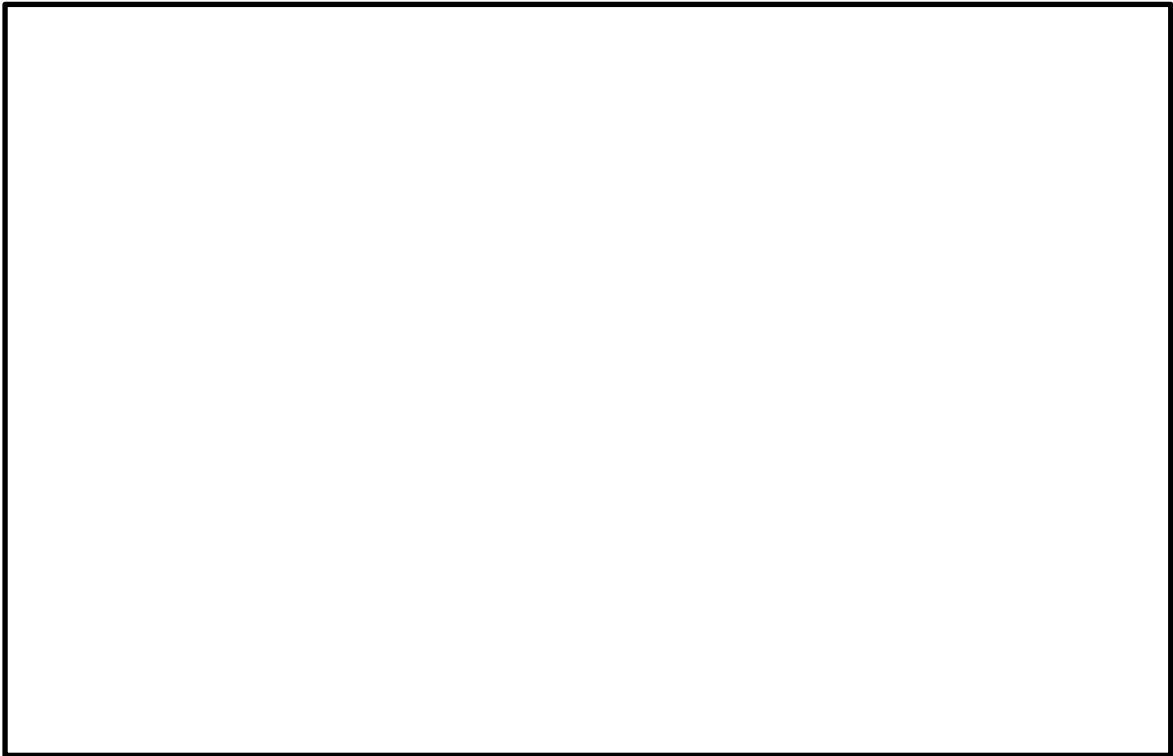


図 2-3 サプレッションチェンバ胴のばね定数算出モデル

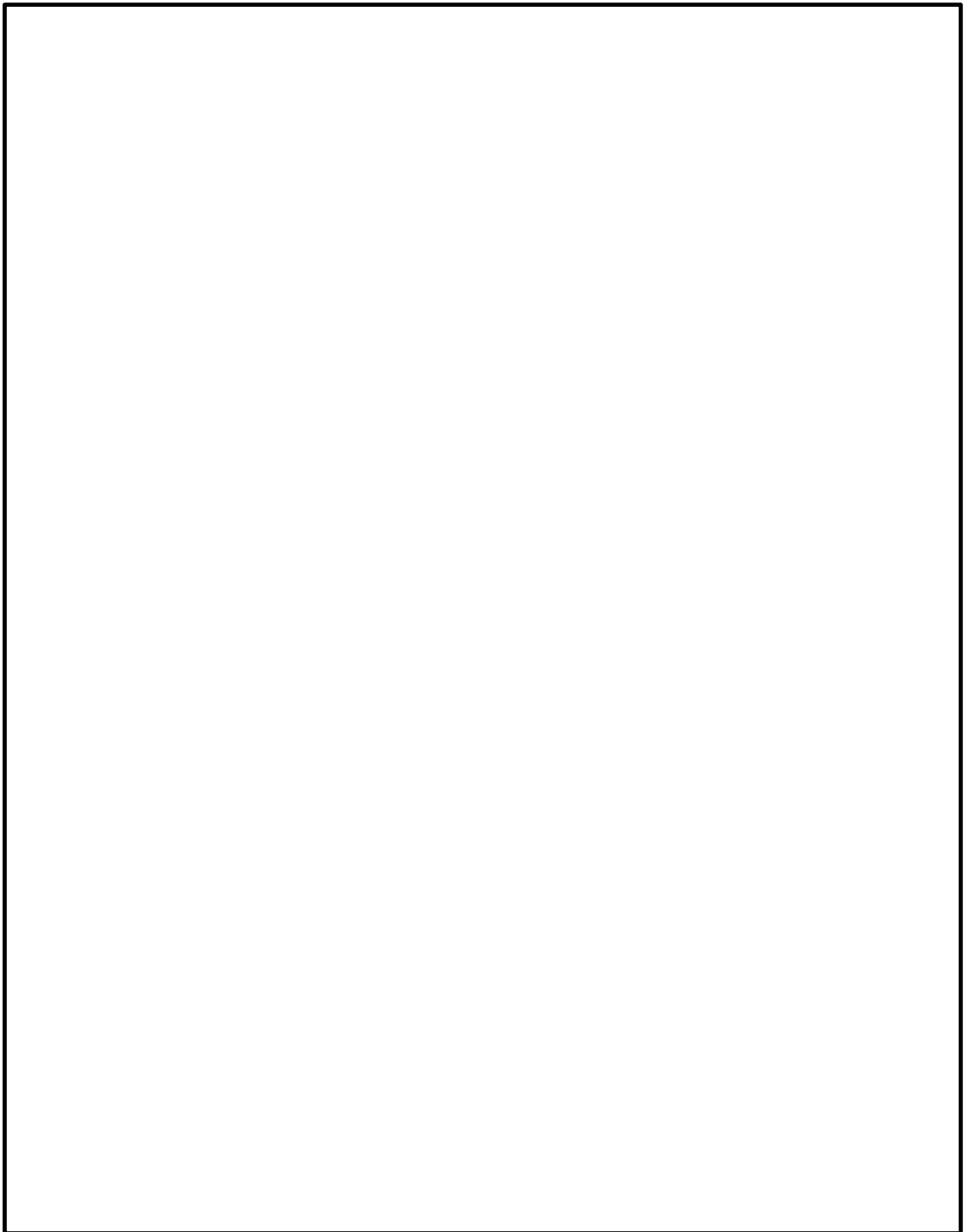


図 2-4 サプレッションチェンバ胴の変位コンター図

表 2-1 サプレッションチェンバ胴のばね定数

種類		ばね定数
並進剛性	原子炉格納容器に対して半径方向	$3.540 \times 10^4$ N/mm
回転剛性	原子炉格納容器に対して周方向	$5.287 \times 10^9$ N・mm/rad
	原子炉格納容器に対して軸方向	$1.732 \times 10^{10}$ N・mm/rad
上記以外 (サプレッションチェンバ胴に対して面内方向)		剛性が十分高いことから 局部剛性の影響は考慮しない

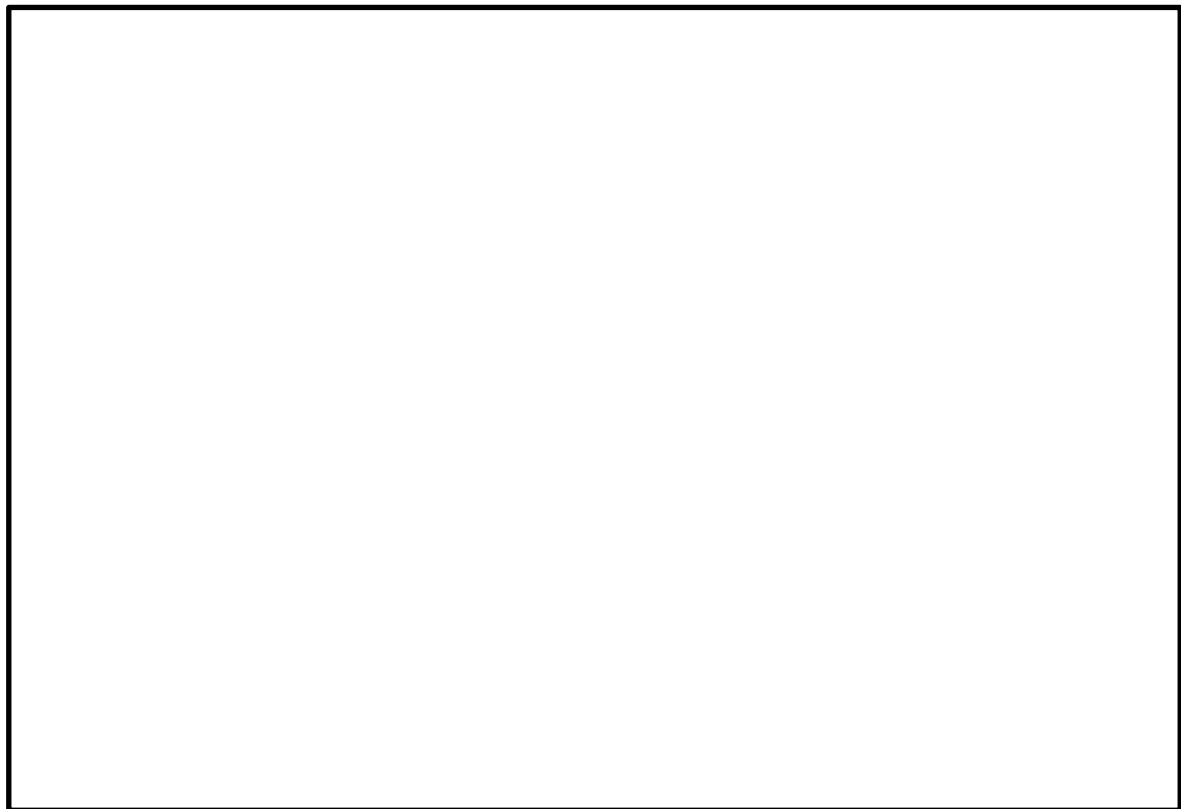


図 2-5 既工認の地震応答解析モデル



### 3. 多孔プレートの設定について

ECCS ストレーナの有限要素解析手法を適用した応力解析用モデルでは、ASME Section III Div.1 Appendices A-8131(a) (図3-1 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3-1 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、を用いる。

#### ・ポアソン比

ASME Section III Div.1 Appendices A-8131(c) (図3-1 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3-2 からそれぞれ  mm と  mm となり、 $h/P =$   より等価ポアソン比  $\nu^*$  は  となる。

#### ・応力増倍率

ASME Section III Div.1 Appendices A-8131(b) (図3-1 参照) に記載の「孔有りプレートの応力強さは、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公称応力に倍率をかけることで、決定することができる」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、を用いている。



図 3-1 ASME Section III Div. 1 Appendices A-8131 抜粋

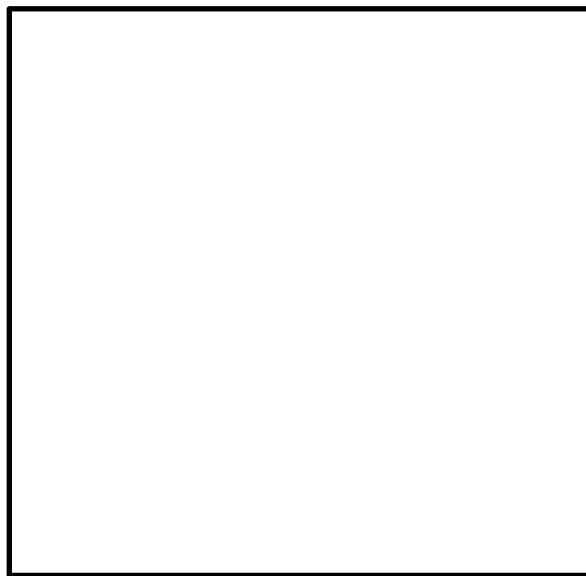


図 3-2 多孔プレート構造図

#### 4. 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 “ROAK’ 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4-1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ン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4-2に示す。

また、応力評価式における $\beta$ の計算過程について、残留熱除去系ストレナーを代表に、以下に示す。

$\beta$ については、参考文献中に表として図4-3のように与えられているので、

$$\beta =$$

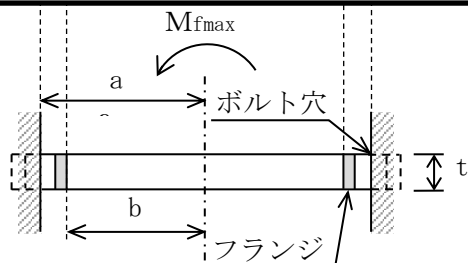
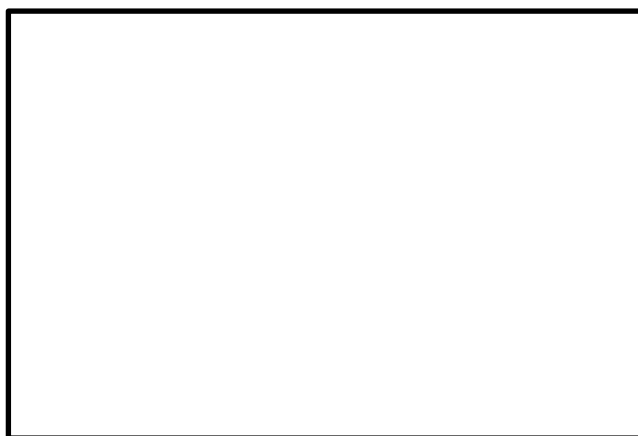


図4-1 フランジ断面の計算モデル

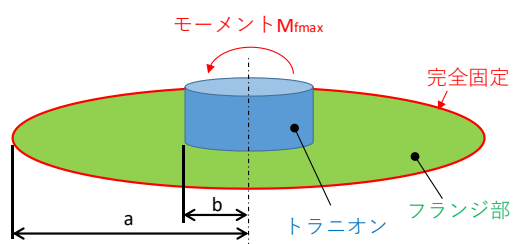


図4-2 モデル概略図



図4-3 “ROAK’ S FORMULAS for Stress and Strain” 抜粋

5. ストレーナ部ティー及びストレーナ取付部コネクタの評価について

1. の記載のとおり, ストレーナ部ティー及びストレーナ取付部コネクタは地震応答解析モデルの一部としてモデル化しており, ストレーナ部ティー及びストレーナ取付部コネクタに発生する応力は, 設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出する。