

川内原子力発電所1、2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<耐震安全性評価>

資料4

2023年8月17日 九州電力㈱

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
1	1/2号機	2月2日	第1回審査会合資料 運転期間延長認可申請の概要	—	耐震安全性評価に適用する基準地震動について震源を特定しない地震動(標準応答スペクトルによるSs-3)の扱いを含めて提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-1のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
2	1号機	2月2日	第1回審査会合資料 運転期間延長認可申請の概要	—	30年目評価以降に実施した主な改善の内、主給水配管取替工事の具体的内容を提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-2のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
3	1/2号機	2月2日	第1回審査会合資料 運転期間延長認可申請の概要	68	PLM耐震安全性評価上の最小厚さの定義を補足説明資料に提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-3のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
4	1/2号機	2月2日	劣化状況評価書 別冊	—	運転開始後30年での高経年化技術評価(耐震安全性評価)との相違点を整理し提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-4のとおり。 (「添付-2 川内2号炉 耐震安全性評価結果 30年目と40年目の比較」を追加。)	2023.04.21 (2023.5.11)	2023.5.16
5	1号機	2月2日	耐震安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	—	主蒸気系統配管及び主給水系統配管の流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価(疲労累積係数等)について、運転開始後30年での評価との相違の理由(補強/取替工事での形状、材種の変更を含む)を具体的に提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-5のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
6	1号機	2月2日	劣化状況評価書 別冊 機械設備 耐震安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	3-5-36 別紙12	蒸気発生器ブローダウン系統配管の流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価(疲労累積係数等)について、一次+二次応力比が最大となる評価点、疲労累積係数が最大となる評価点(通常運転時、地震時)の位置関係を具体的に提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-6のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
7	2号機	2月2日	劣化状況評価書 別冊 機械設備 耐震安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	3-5-36 別紙12	蒸気発生器ブローダウン系統配管の流れ加速型腐食に対する耐震安全性評価(疲労累積係数等)について、運転開始後30年での評価との相違の理由(補強/取替工事での形状、材種の変更を含む)を具体的に提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-7のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
8	1号機	2月2日	耐震安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	別紙4	主蒸気系統配管貫通部の疲労割れに対する耐震安全性評価(疲労累積係数等)について、運転開始後30年での評価との相違の理由(補強/取替工事での形状、材種の変更を含む)を具体的に提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-8のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
9	1号機	2月2日	耐震安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	別紙5	アンカーサポート取付部(余熱除去系統配管)の疲労割れに関する耐震安全性評価(疲労累積係数等)について、運転開始後30年での評価との相違の理由(補強/取替工事での形状、材種の変更を含む)を具体的に提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-9のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
10	1/2号機	2月9日	劣化状況評価書 別冊 機械設備 機械設備(基礎ボルト)	25~27	9 基礎ボルトの表2.2-2のメカニカルアンカと表2.2-3のケミカルアンカに想定される経年劣化事象の表中の材料について、運転開始後30年での評価との相違の理由(該当する機器名を含む)を具体的に説明すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-10のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
11	1/2号機	2月9日	耐震安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	別紙4	表4-2に記載される格納容器最高使用圧力及び格納容器最高使用温度について、関係性を具体的に提示すること。また、評価温度における縦弾性係数について、格納容器最高使用温度との関係性を具体的に提示すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-11のとおり。	2023.04.21	2023.5.16
12	1/2号機	2月9日	耐震安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	別紙2	参照する規格の名称を確認すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-12のとおり。	2023.04.21	2023.5.16

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<耐震安全性評価>

2023年8月17日 九州電力㈱

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
13	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-2	-	主給水配管取替工事における工事計画の認可番号及び工事名称を記載すること。	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-2のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
14	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-2	-	主給水配管取替工事にてS80からS120に配管の内径及び厚さを変更した理由	曲がり部を施工性の観点からエルボ管に変更したことにより、曲げ半径が小さくなったことから応力係数が増加したため、厚肉(sch80⇒sch120)へと変更した。	2023.6.15	2023.6.15
15	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-2	-	添付資料-1～添付資料-4の図に工事範囲が分かるように示すこと。	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-2のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
16	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-4	-	PLM30とPLM40ではそれぞれどのような地震動を用いて評価したのか記載すること。	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-4のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
17	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-4	-	PLM30とPLM40の差異は応力比からの抽出以外にも疲労累積係数などから、網羅的に抽出すること。	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-4のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
18	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-5	-	「新規制基準認可時の耐震評価にて適用実績あり」について、認可番号や資料名を提示すること。	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-5のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
19	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-6	-	減肉がない場合の通常運転時における評価結果を追記すること。	当該配管については、設工認の申請対象となる配管ではないため、設工認における強度計算書を未作成であることを確認した。	2023.6.15	2023.6.15
20	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-7	-	PLM40の代表系統の相違箇所として、B-SGBDのSd評価に赤枠が付いているが、B-SGBDのSs評価につけるのが適切ではないか	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-7のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
21	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-8	-	通常運転時のUF評価は、起動停止時と起動停止時以外の詳細評価結果を切り上げて計算した結果、「0.21」となることを資料に追記すること。	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-8のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
22	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-8	-	主蒸気系統配管貫通部の疲労割れに対する評価結果として、B系の評価結果だけでなく、A系の評価結果も併記すること。	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-8のとおり。	2023.6.15	2023.6.15
23	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-9	-	アンカーサポート(余熱除去系統配管)の取替部を現地調査時に確認できるように検討すること。	現地調査時にご確認頂けるよう、対応予定。	2023.6.15	2023.6.15
24	1/2号機	5月16日	回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-10	-	基礎ボルトの表は、回答資料の整理内容を踏まえて、記載を適正化すること。	「回答資料 川内1, 2号炉耐震安全性評価-10」の通り、ステンレス鋼が使用されている基礎ボルトについては、劣化状況評価書に当該材料を追記する。	2023.6.15	2023.6.15

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<耐震安全性評価>

2023年8月17日 九州電力㈱

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
25	1/2号機	6月15日	コメント回答資料-8 (耐震・耐津波)	15	1号炉の主蒸気系統配管貫通部について、A系とB系で、基準地震動Ssによる疲労累積係数が異なる理由を記載すること。	回答資料 川内1, 2号炉-耐震安全性評価-25のとおり。	2023.7.5	2023.7.5
26	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (耐震・耐津波)	15	主蒸気系統配管について、1号炉と2号炉で基準地震動Ssによる疲労累積係数が違う理由を記載すること。	1号機と2号機でCV貫通部位置(CV貫通部の軸方向はCV半径方向と一致せず、比較的傾いた角度で設置)及び配管ルートが異なり、評価に用いる変位が違うことで差異が生じている。	2023.7.5	2023.7.5
27	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (耐震・耐津波)	18,19	2号炉の結評価結果を追加すること。	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.18,19]	2023.7.5	2023.7.5
28	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (耐震・耐津波)	19	破壊力(Japp)、破壊抵抗値(Jmat)の記載を亀裂進展力(Japp)、亀裂進展抵抗(Jmat)に修正すること。	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.19]	2023.7.5	2023.7.5
29	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 (耐震・耐津波)	20	「炉心槽」と「炉心そう」が混在しているため、記載を統一すること。	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.13]	2023.7.5	2023.7.5
30	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	20	評価部位が溶接部であることを明記すること。	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.20]	2023.7.5	2023.7.5
31	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	21	1, 2号炉でリブの板厚が2倍程度違うが、評価結果の差が小さい理由を説明し、補足説明の別紙に追記すること。	回答資料 川内1, 2号炉-耐震安全性評価-31のとおり。	2023.7.5	2023.7.5
32	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	24	「応力比、または疲労累積係数が許容値である1を上回らないことを確認した。」の表現を適正化すること。	左記箇所の表現を見直した。 [スライドp.24]	2023.7.5	2023.7.5
33	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	10	「評価項目-評価手法」の表に※を追記すること。	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.10]	2023.7.5	2023.7.5
34	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	17	「表 耐震安全性評価結果」に※1を追記すること。	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.17]	2023.7.5	2023.7.5
35	1/2号機	6月15日	補足説明資料 別紙14 (耐震・耐津波)	26	1, 2号炉で、FH算出の式の違いとなっていると思うが、内訳を追記すること。	回答資料 川内1, 2号炉-耐震安全性評価-35のとおり。	2023.7.5	2023.7.5
36	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	28	許容値、規定値(制御棒の挿入時間の2.2秒、破壊靱性値など)は工認から記載していると思うが、説明を追記すること。 補足説明資料にも類似箇所がないか確認すること。	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.27]	2023.7.5	2023.7.5

川内原子力発電所1、2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<耐震安全性評価>

2023年8月17日 九州電力㈱

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
37	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	29	スライドの順番をP28と入れ替えた方が説明性が高いのではないかと考えるので、検討すること。	スライドp.27とp.28を入れ替え、動的機能維持に係る耐震安全性評価の結果と、水平2方向と鉛直方向の組合せ影響評価結果が続きのページとなるように修正した。	2023.7.5	2023.7.5
38	1/2号機	6月15日	ヒアリング資料 耐震・耐津波	29	「以下の通り～」の記載を「～であるため、問題ないことを確認した。」といった記載に修正すること。(P32の記載を参考)	左記の通り、記載を適正化した。 [スライドp.29]	2023.7.5	2023.7.5
39	1/2号機	6月15日	コメント回答資料 耐震・耐津波 No16		主給水配管の評価手法が設工認とPLMで違う評価手法(谷埋めピーク等)である理由を説明すること。	PLM40では、1号主給水系統配管取替工事と同じ考えに基づいて、サポートを剛とし、FRS谷埋めピーク保持ありの解析条件にて固定点から固定点までを1つの解析範囲とし、その中で各サポート間(1スパン)に集中質量(1マス)を定め、減肉が想定される部分は配管を減肉させたモデルにて解析を実施した。	2023.7.5	2023.7.5
40	1/2号機	6月15日	コメント回答資料 耐震・耐津波 No16		熱時効におけるPLM30と40の差異理由として、ループ解析モデルの変更を記載しているが、ループ解析モデルの変更が熱時効評価にどのような影響を与えるか、繋がりが分かるように記載を追加すること。	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-4のとおり。	2023.7.5	2023.7.5
41	1/2号機	6月15日	コメント回答資料 耐震・耐津波 No22		補足説明資料にも主蒸気系統配管貫通部のA系の評価結果を併記すること。またA系とB系で評価結果が異なる理由を補足説明に追記すること。	補足説明資料にA系の評価結果を併記した。また、No25の回答を踏まえて補足説明資料に追記した。	2023.7.5	2023.7.5
42	1号	6月26日	配管(低サイクル疲労)	—	溶接部に異材があるが、どのように溶接しているのか説明すること。	バッド(SUS304TP)及びラグ(SS400)の溶接については、SUS309の溶材を使用するが、SS400側の溶け込み量が多くなると高温割れが発生しやすくなるため、施工に当たっては溶接電流及び溶接速度に配慮して溶接を実施している。	2023.7.5	2023.7.5
43	1/2号	6月26日	配管(流れ加速型腐食)	—	施設管理方針において、PLM30時の配管減肉管理に関する記載が、PLM30認可後の補強工事の実施によりPLM40時に削除されていることに対して、その経緯を会合資料に記載すること。	左記内容を、審査会合資料に追加する。 [スライドp.31]	2023.7.5	2023.7.5
44	1/2号機	7月5日	コメント回答資料 耐震・耐津波 No4	-	谷埋めピークについての説明をコメント反映整理表に記載すること。	コメント反映整理表のNo.39に記載を追加した。	2023.8.2	2023.8.2
45	1/2号機	7月5日	コメント回答資料 耐震・耐津波 No25	-	主蒸気系統配管について、評価用地震変位量は2方向を考慮しているか新規制工認も含めて確認すること。	疲労評価に用いる一次+二次+ピーク応力については、設計用疲労線図が最適疲労線図に対して余裕があること、及び疲労評価に用いる地震による繰返し回数についても実際の繰返し回数に対して余裕を持って設計上設定された回数であることから、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した疲労評価を省略している。よって、新規制基準工認を含めて、主蒸気系統配管貫通部の伸縮継手について水平2方向を考慮しての評価(疲労評価)結果はない。新規制基準工認の添付資料3「耐震性に関する説明書」の補足説明資料3「水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討についての補足説明資料」の別紙4.5参照。	2023.8.2	2023.8.2
46	1/2号機	7月5日	コメント回答資料 耐震・耐津波 No35	1	復水タンクの基礎ボルトについて、せん断荷重の算出に摩擦力を考慮した経緯をコメント回答資料及び補足説明資料に追記すること。	左記内容を、それぞれコメント回答資料及び補足説明資料に反映した。 [回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-No.46] [川内1号炉 補足説明資料 別紙14 p.14-9]	2023.8.2	2023.8.2

川内原子力発電所1、2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<耐震安全性評価>

2023年8月17日 九州電力㈱

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
47	1/2号機	7月5日	コメント回答資料 耐震・耐津波 No35	1	設工認において、耐震裕度向上を目的として、SRSSを用いた評価を実施していることがわかるような表現があるか確認すること。	設工認においては、補機(容器)の計算方針に「安全側に絶対和の評価とするが、SRSS法による組合せによる評価も用いる。」と記載があり、SRSSを用いることが記載されている。 新規制基準工認の添付資料3「耐震性に関する説明書」の添付資料3-14「補機(容器)の耐震計算について」の3(1)-14-3参照。 なお、新規制工認時、復水タンクは1、2号炉とも絶対値和を用いて評価を実施している。その一方で、PLM40の1号炉復水タンクの基礎ボルトは、想定される減肉から評価が厳しい見通しであったため、SRSSを用いて基礎ボルトに作用する引張荷重を算出している。	2023.8.2	2023.8.2
48	1/2号機	7月5日	ヒアリング資料 (耐震・耐津波)	24	流れ加速型腐食の耐震評価結果について、適切な表現に見直すこと。	当該記載を適正化した。 [スライドp.24]	2023.8.2	2023.8.2
49	1/2号機	7月18日	資料1-6-1 川内原子力発電所1、2号炉 劣化状況評価 (耐震・耐津波安全性評価)	24	30年目と40年目の評価の違いについて評価条件や内容が分かるよう具体的な数値を記載した形で補足説明資料に追加すること。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [1号炉:補足説明資料 別紙21 2号炉:補足説明資料 別紙22]	2023.8.2	2023.8.2
50	1/2号機	7月18日	資料1-6-1 川内原子力発電所1、2号炉 劣化状況評価 (耐震・耐津波安全性評価)	32	炭素鋼配管のFACに関する設備対策の優先度の設定の考え方について補足説明資料に追記すること。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [補足説明資料 別紙1 p.1-1]	2023.8.2	2023.8.2
51	1/2号機	7月18日	資料1-6-1 川内原子力発電所1、2号炉 劣化状況評価 (耐震・耐津波安全性評価)	-	主給水系統配管の貫通部の疲労評価結果について、A、B、C系統それぞれの評価結果を示すこと。(低サイクル疲労)	回答資料 川内1、2号炉-耐震安全性評価-51のとおり。	2023.8.2	2023.8.2
52	1/2号機	7月18日	資料1-6-1 川内原子力発電所1、2号炉 劣化状況評価 (耐震・耐津波安全性評価)	-	主給水系統配管のFACに対する応力評価結果について、最大箇所を図で示すこと。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [1号炉:補足説明資料 別紙21 添付-2]	2023.8.2	2023.8.2
53	1/2号機	8月2日	ヒアリング資料 (耐震安全性評価)	別紙21	主給水配管の応力比の最大箇所について、拡大図及び評価に用いている材料物性値が低合金鋼、炭素鋼いずれであるかを記載すること。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [1号炉:補足説明資料 別紙21 添付-2]		
54	1/2号機	8月2日	審査会合コメント回答資料 (耐震安全性評価)	23,24	評価結果が逆転している箇所が確認されたことを明記するとともに、2号機の主蒸気系統についても1号機と同様に提示すること。 また、表2、3について、逆転している数値が明確となるよう、凡例を見直すこと。	左記の内容を審査会合コメント回答資料に追加した。 [審査会合コメント回答資料 p.27,28,29]		
55	1/2号機	8月2日	回答資料 川内1、2号炉- 耐震安全性評価-45 (耐震安全性評価)	-	コメント反映整理表No.45の内容を、補足説明資料 別紙4に追記すること。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [1号炉:補足説明資料 別紙4 p.4-4 2号炉:補足説明資料 別紙4 p.4-4]		
56	1/2号機	8月2日	回答資料 川内1、2号炉- 耐震安全性評価-14 (耐震安全性評価)	-	コメント回答資料No.13,14の内容を補足説明資料に追記すること。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [1号炉:補足説明資料 別紙21 添付-4]		
57	1/2号機	8月2日	回答資料 川内1、2号炉- 耐震安全性評価-49 (耐震安全性評価)	-	主給水配管のうち、PLM30、PLM40、新規制工認及び主給水配管取替工認における評価手法の差異について、別途比較表形式にして回答すること。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [1号炉:補足説明資料 別紙21 添付-3]		
58	1/2号機	8月2日	回答資料 川内1、2号炉- 耐震安全性評価-39 (耐震安全性評価)	-	主給水配管のうち、PLM40及び主給水配管取替工認における評価手法の差異がないことを明記すること。	左記の内容を補足説明資料に追加した。 [1号炉:補足説明資料 別紙21 添付-3]		

タイトル	PLM30高経年化技術評価（耐震安全性評価）との相違点について
説明	<p>機器・配管について、PLM30とPLM40の評価結果の相違を添付－1に示す。</p> <p>なお、PLM30とPLM40では評価に用いた地震動*及び運転実績に基づく過渡回数が異なるが、対象施設全般に係る相違点であるため、添付－1への記載は省略する。</p> <p>※対象施設全般に係る共通的な相違点は下記の通り。</p> <p>【地震動】</p> <p>PLM30:Ss-1, Ss-2 (Ss-1で応力比0.5を超えた設備のみ評価)</p> <p>PLM40:Ss-1, Ss-2</p>

表1 耐震安全性評価結果 30年目と40年目の比較 (1/5)

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度	地震動	PLM30評価結果	PLM40評価結果	PLM30とPLM40の差異の理由	評価種別		
熱交換器	胴側耐圧構成品等の腐食 (流れ加速型腐食)	湿分分離加熱器	胴板	C	静的地震力	—	0.44	・PLM30においては、技術評価において腐食の進行による機器の健全性への影響はないとして、耐震評価の対象外としていたが、PLM40においては、技術評価において日常劣化管理事象として整理したため、耐震評価の対象とした。			
配管	疲労割れ	配管サポート (余熱除去系統配管のアンカーサポート)	配管とパッドの溶接部	S	S _s	(一次) 0.43	(一次) 0.50	・サポートの改造。(パイプラグ⇒角ラグ、すみ肉溶接⇒完全溶け込み溶接) ・応力の組合せの変更。(SRSS⇒絶対和)	応力比		
						(一次+二次) 0.44	(一次+二次) 0.53				
			パッドとラグの溶接部		S _s	(一次) 0.85	(一次) 0.20				
						(一次+二次) 0.85	(一次+二次) 0.23				
			ラグとプレートの溶接部		S _d	(一次) 0.79	—				
						(一次+二次) 0.62	—				
	母管の腐食 (流れ加速型腐食)	主蒸気系統配管	—	S	S _s	(一次) 0.71	(一次) 0.57			・解析条件の変更。(スペクトルモーダル解析、サポート剛性考慮、分布マス及びFRS谷埋めなしを使用)	
						(一次+二次) 1.47	(一次+二次) 1.09				
					S _d	(一次) 0.81	(一次) 0.89				
						(一次+二次) 0.71	(一次+二次) 0.61				

表1 耐震安全性評価結果 30年目と40年目の比較(2/5)

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度	地震動	PLM30評価結果	PLM40評価結果	PLM30とPLM40の差異の理由	評価種別
配管	母管の腐食 (流れ加速型腐食)	主給水系統配管	-	S	S _s	(一次) 0.44	(一次) 0.75	<ul style="list-style-type: none"> 解析条件の変更。(PLM30においては、サポート剛性考慮、配管の質量を分布マス及びFRS谷埋めなしを使用、PLM40では、サポートを剛とし、配管の質量を1スパン1マス及び谷埋めピーク保持あり)(添付-3参照) 配管取替工事(炭素鋼(STS49)⇒炭素鋼(STS480)及び低合金鋼(STPA24)) PLM30においては、一部の評価において、43年後の推定板厚による評価を実施していたが、PLM40においては、必要最小板厚による評価を実施しているため。 主給水系統配管におけるPLM30及びPLM40の応力評価最大点を添付-2に示す。 	応力比
						(一次+二次) 1.62	(一次+二次) 1.25		
						(疲労累積係数) 0.991	(疲労累積係数) 0.037		
					S _d	(一次) 0.51	(一次) 0.90		
						(一次+二次) 0.94	(一次+二次) 0.68		
		補助蒸気系統配管	-	C	静的地震力	(一次) 0.72	(一次) 0.35	<ul style="list-style-type: none"> PLM30以降にPLM30の評価結果を基に耐震補強工事を実施したことによる代表配管の変更。 PLM30においては、41年後の推定板厚による評価を実施していたが、PLM40においては、必要最小板厚による評価を実施しているため。 	
		2次系ドレン系統配管	-	C	静的地震力	(一次) 0.83	(一次) 0.49	<ul style="list-style-type: none"> PLM30以降にPLM30の評価結果を基に耐震補強工事を実施したことによる代表配管の変更。 PLM30においては、評価手法によらず、最終的な応力比が大きいラインを代表として記載していた。 PLM40においては、評価の精緻化として、FEMモデルを用いた評価を実施した評価点のうち、応力比が大きいラインを記載したことによる代表配管の変更。 	
		蒸気発生器 ブローダウン系統配管	-	S	S _s	(一次) 0.57	(一次) 0.57	<ul style="list-style-type: none"> PLM30においては、一次+二次応力最大点の疲労累積係数を記載したが、PLM40においては、疲労累積係数最大点の値を記載しているため。 	
						(一次+二次) 1.57	(一次+二次) 1.57		
					S _d	(疲労累積係数) 0.256	(疲労累積係数) 0.770		
						(一次) 0.79	(一次) 0.79		
(一次+二次) 0.94	(一次+二次) 0.94								

表1 耐震安全性評価結果 30年目と40年目の比較 (3/5)

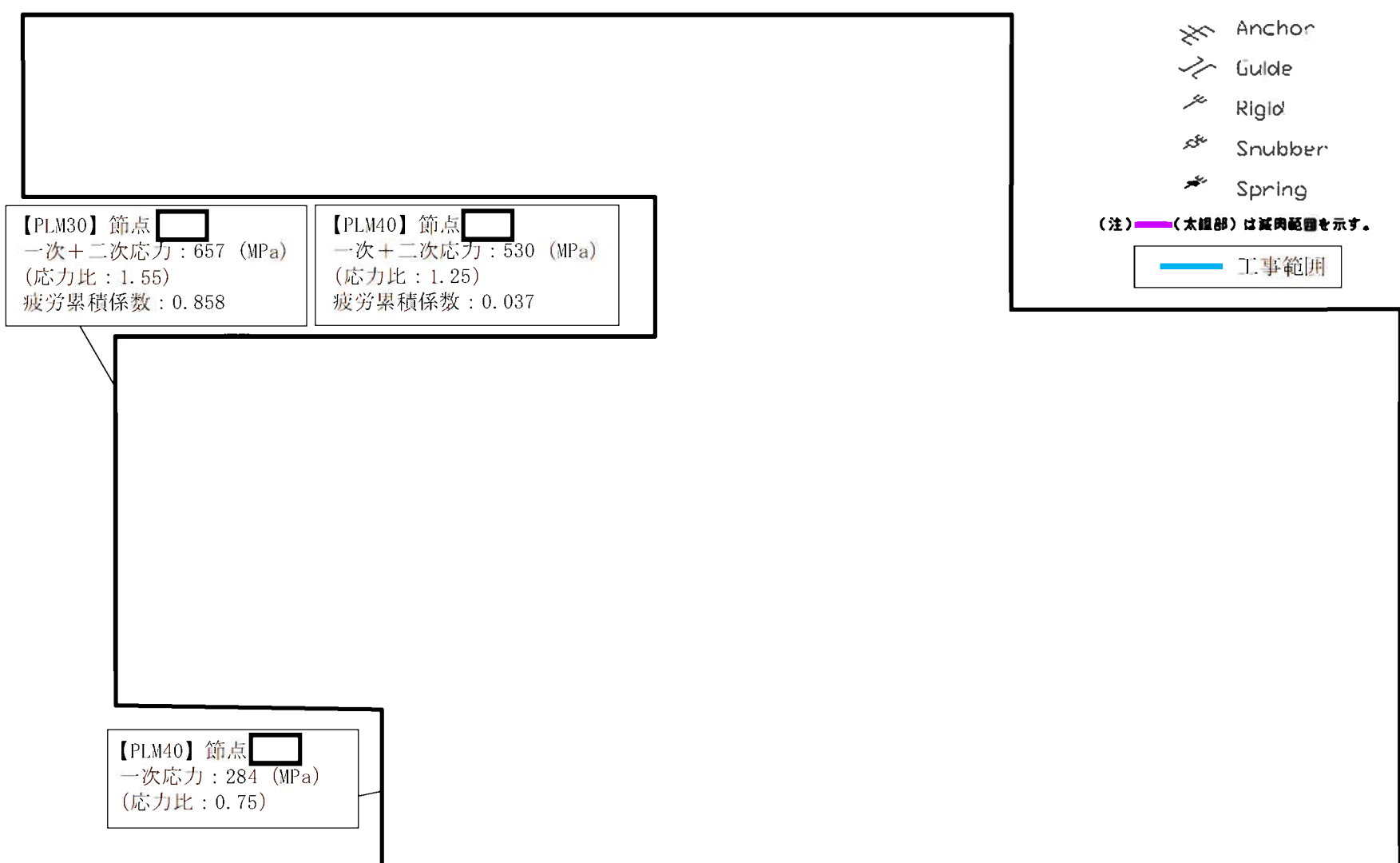
機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度	地震動	PLM30評価結果	PLM40評価結果	PLM30とPLM40の差異の理由	評価種別
炉内構造物	照射誘起型応力腐食割れ	炉内構造物	バップルフォーマボルト	S	S s	(一次) 0.11	—	・PLM40においては、技術評価におけるバップルフォーマボルトの損傷本数が0本であったため、耐震安全性評価の対象外とした。	応力比
空調設備	内面腐食(流れ加速型腐食)	空調用冷凍機	凝縮器伝熱管	C	静的地震力	(一次) 0.22	(一次) 0.29	・評価に用いる板厚の変更。(必要最小板厚⇒施栓基準) ・評価に用いる外径寸法の変更。(管端部外径⇒フィン部谷径)	
機械設備	腐食(全面腐食)	原子炉容器サポート	サポートリブ	S	S s	0.14	0.15	・運転開始後30年目以降の運転実績を反映し、EFPY見直した。	
		海水ポンプ	基礎ボルト	S	S s	【せん断】(一次) 0.04	【せん断】(一次) —	・海水ポンプ取替工認を踏まえ、PLM40においては、ボルトのせん断評価を実施不要とした。(海水ポンプ取替工認でボルト接合部の摩擦力>水平地震力となり、評価不要と判断した。)	
		燃料取替用水タンク	基礎ボルト	S	S s	【引張】(一次) 0.50	【引張】(一次) 0.57	・PLM30においては、新規制基準工認の審査中であったため、設置高さが同等である本館側の建屋モデルにて評価を実施したが、PLM40においては、新規制基準工認にて認可された建屋モデル「屋外タンク基礎」を用いて評価を実施した。	
						【せん断】(一次) 0.55	【せん断】(一次) 0.53		
		復水タンク	基礎ボルト	S	S s	【引張】(一次) 0.86	【引張】(一次) 0.74	・応力の組合せの変更。(絶対和⇒SRSS)	
						【せん断】(一次) 0.09	【せん断】(一次) 0.36		
		緊急時対策所用発電機車用給油ポンプ	基礎ボルト	—	—	【引張】(一次) —	【引張】(一次) 0.02	・PLM30認可以降に新設された設備。	
						【せん断】(一次) —	【せん断】(一次) 0.03		
緊急時対策所用発電機車用燃料油貯蔵タンク	基礎ボルト	—	—	【引張】(一次) —	【引張】(一次) 0.12				
				【せん断】(一次) —	【せん断】(一次) 0.07				

表1 耐震安全性評価結果 30年目と40年目の比較(4/5)

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度	地震動	PLM30評価結果	PLM40評価結果	PLM30とPLM40の差異の理由	評価種別
機械設備	腐食(全面腐食)	主給水系統配管	基礎ボルト	S	S _s	【引張】 (一次) 0.72	【引張】 (一次) 0.91	<ul style="list-style-type: none"> ・解析条件の変更。(時刻歴⇒スペクトルモーダル解析) ・配管取替工事(炭素鋼⇒低合金鋼) 	応力比
						【せん断】 (一次) 0.68	【せん断】 (一次) 0.25		
					S _d	【引張】 (一次) -	【引張】 (一次) 0.61		
						【せん断】 (一次) -	【せん断】 (一次) 0.17		
電源設備	伝熱管の腐食 (流れ加速型腐食)	清水冷却器	伝熱管	S	S _s	(一次) -	(一次) 0.17	<ul style="list-style-type: none"> ・PLM30においては、技術評価において、「復水器工学ハンドブック：川辺ら(愛智出版)」に示されている海中での潰食発生限界流速と管内流速を比較し、流れ加速型腐食が発生しないとの整理をしていたため、耐震評価を実施していなかった。 ・PLM40においては、技術評価において、日常劣化管理事象として整理したため、耐震評価を実施した。 	
		潤滑油冷却器	伝熱管	S	S _s	(一次) -	(一次) 0.10		
		燃料弁冷却水冷却器	伝熱管	S	S _s	(一次) -	(一次) 0.04		
ポンプ配管	熱時効	1次冷却材ポンプ	ケーシング吐出ノズル	S	S _s	(応力) 105 MPa	(応力) 104 MPa	<ul style="list-style-type: none"> ・PLM30においては、申請時にストレステストを実施済みであったことから、ストレステストの状況を踏まえたループ荷重を用いて熱時効の健全性評価を実施していた。なお、ストレステストにおいては、より現況に近い状態での評価を行うため、主蒸気/主給水系統配管等の炭素鋼配管に当時の減肉に基づいたモデルで評価した。 ・PLM40においては、既往の設工認評価を用いて、設計条件(減肉なし)のループ荷重を用いて亀裂安定性評価を実施していることによる差異。 ・熱時効の亀裂進展力(Japp)の算出にあたっては、配管及びポンプに負荷される荷重として、S_s地震動による荷重を入力していることから、ループ荷重が変更となることで、30年目と40年目で差異が生じている。 	熱時効健全性評価
		1次冷却材管	コールドレグ	S	S _s	(応力) 105 MPa	(応力) 104 MPa		

表1 耐震安全性評価結果 30年目と40年目の比較 (5/5)

機種名	経年劣化事象	機器名称		耐震重要度	地震動	PLM30評価結果	PLM40評価結果	PLM30とPLM40の差異の理由	評価種別
熱交換器	疲労割れ	蒸気発生器	給水入口管台	S	S s	(通常運転時) 0.463 (地震時) 0.000 (合計) 0.463	(通常運転時) 0.307 (地震時) 0.000 (合計) 0.307	・PLM30以降に材料物性の変更及び熱成層解析モデルを見直したことによる変更。	疲労累積係数
炉内構造物	疲労割れ	炉内構造物	下部炉心支持柱 (水平2方向)	S	S s	(通常運転時) 0.030 (地震時) 0.016 (合計) 0.046	(通常運転時) 0.030 (地震時) 0.005 (合計) 0.035	・PLM30においては、水平と鉛直方向にかかる応力に対して $\sqrt{2}$ 倍としていたが、PLM40においては、新規制基準工認の評価に合わせて、水平方向のみを $\sqrt{2}$ 倍とした。	
機械設備 (原子炉容器上部 ふた付属設備)	疲労割れ	制御棒クラスタ 駆動装置	ラッチ ハウジング	S	S s	(通常運転時) 0.001 (地震時) 0.000 (合計) 0.001	—	・PLM30においては、技術評価において高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として整理し、耐震評価を実施していたが、PLM40においては技術評価において起動・停止時等に発生する荷重が小さく、有意な応力変動を受けない構造となっていることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと整理しており、耐震評価の対象としていない。	
機械設備 (原子炉容器上部 ふた付属設備)	疲労割れ	制御棒クラスタ 駆動装置	駆動軸 ハウジング	S	S s	(通常運転時) 0.001 (地震時) 0.000 (合計) 0.001	—	・PLM30においては、技術評価において高経年化対策上着目すべき経年劣化事象として整理し、耐震評価を実施していたが、PLM40においては技術評価において起動・停止時等に発生する荷重が小さく、有意な応力変動を受けない構造となっていることから、高経年化対策上着目すべき経年劣化事象ではないと整理しており、耐震評価の対象としていない。	
機械設備 (原子炉容器 内挿物)	摩耗 (制御棒挿入性)	制御棒クラスタ	被覆管	S	S s	(地震+劣化) 1.74秒 耐震安全性評価書 の機械設備に に記載。	(地震+劣化) 1.74秒 耐震安全性評価書 の炉内構造物 に記載。	・PLM40においては、炉内構造物の耐震安全性評価のうち制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗に対する耐震安全性評価において、制御棒クラスタ案内管(案内板)と被覆管の摩耗を考慮した挿入性評価を実施しており、本項には記載していない。	挿入時間



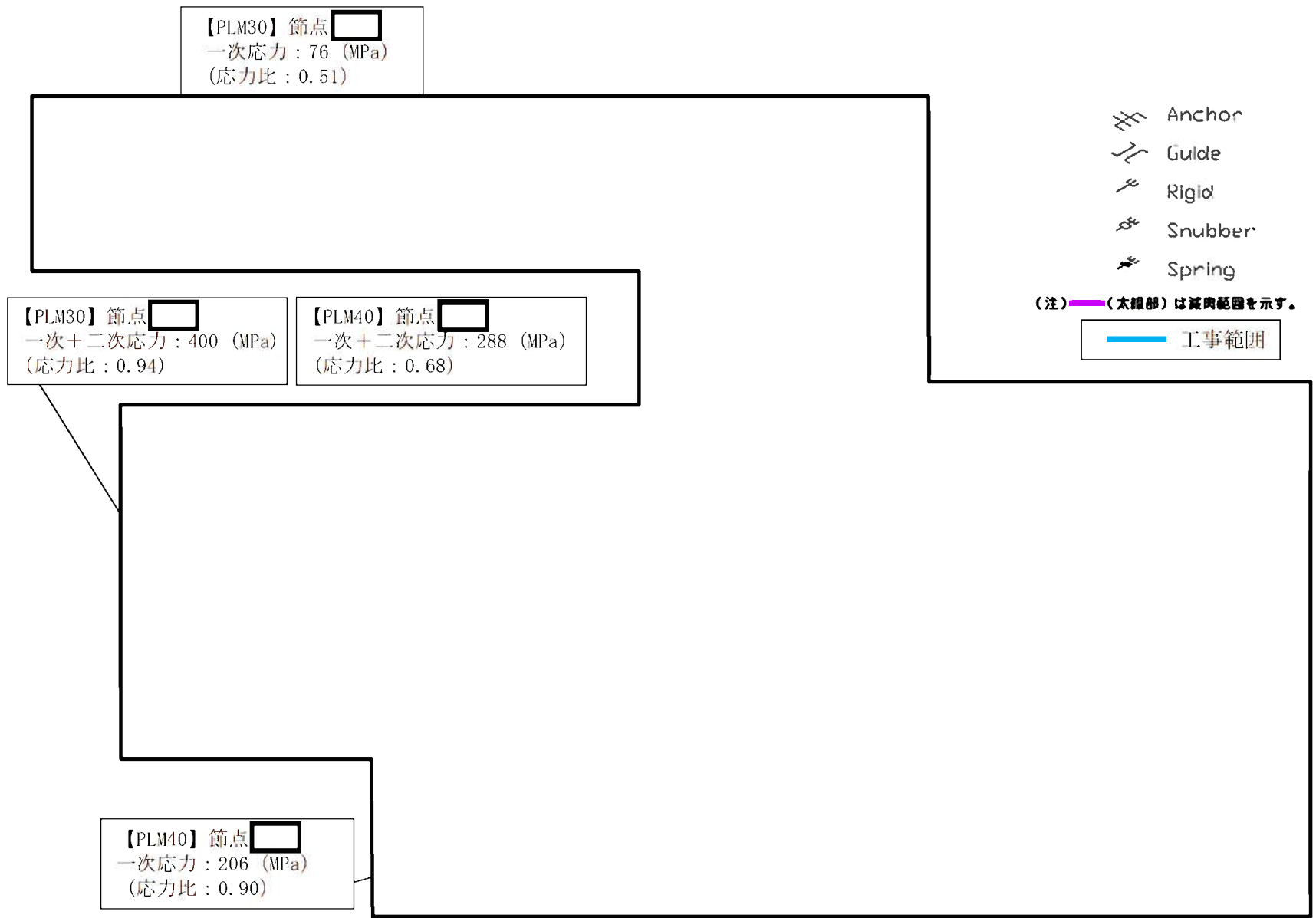
【PLM30】節点
 一次+二次応力：657 (MPa)
 (応力比：1.55)
 疲労累積係数：0.858

【PLM40】節点
 一次+二次応力：530 (MPa)
 (応力比：1.25)
 疲労累積係数：0.037

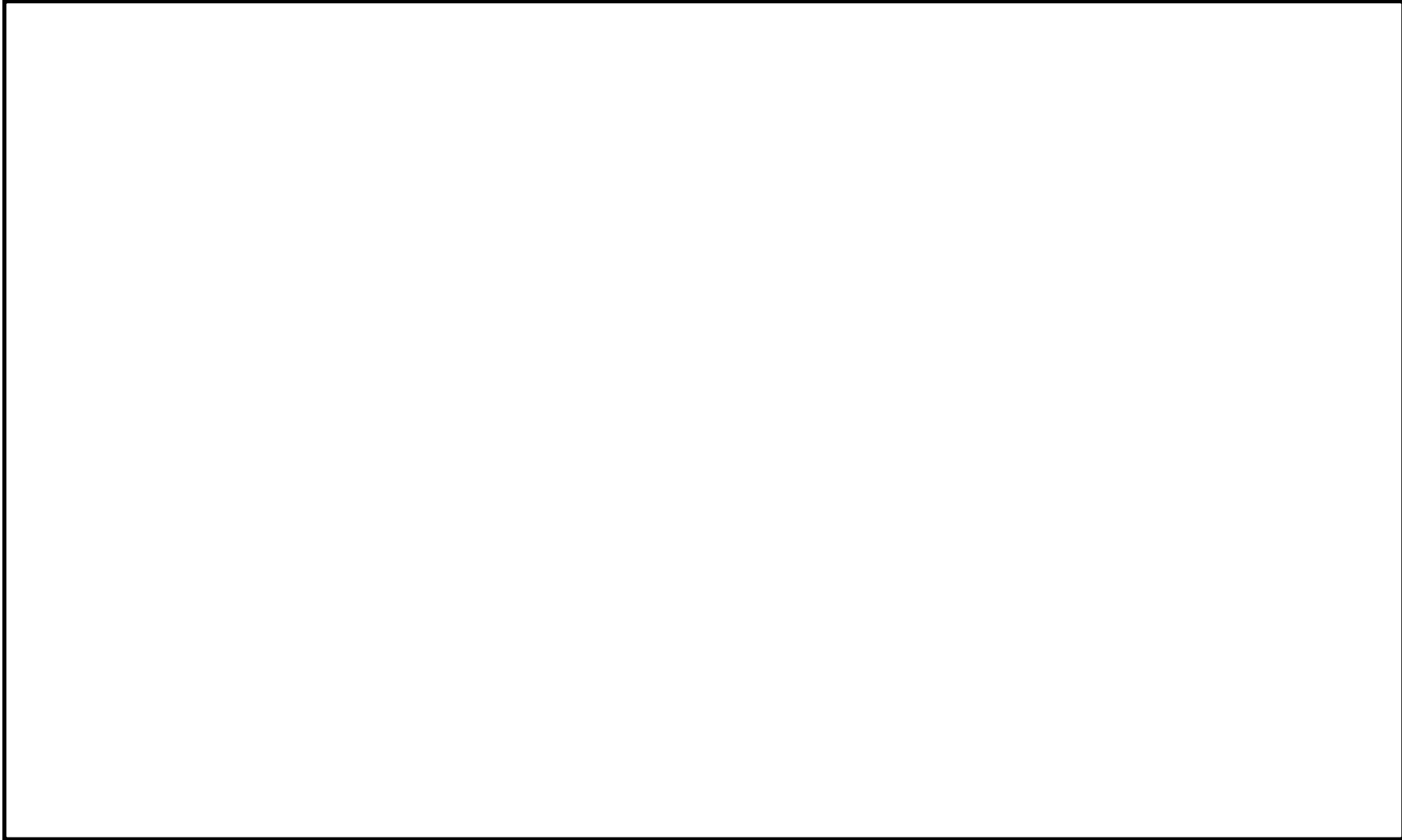
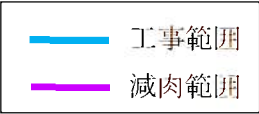
【PLM40】節点
 一次応力：284 (MPa)
 (応力比：0.75)

-  Anchor
 -  Guide
 -  Rigid
 -  Snubber
 -  Spring
- (注)  (太線部) は減肉範囲を示す。
-  工事範囲

主給水系統配管 B, C - 主給水配管 (CV外) 【S s 地震】

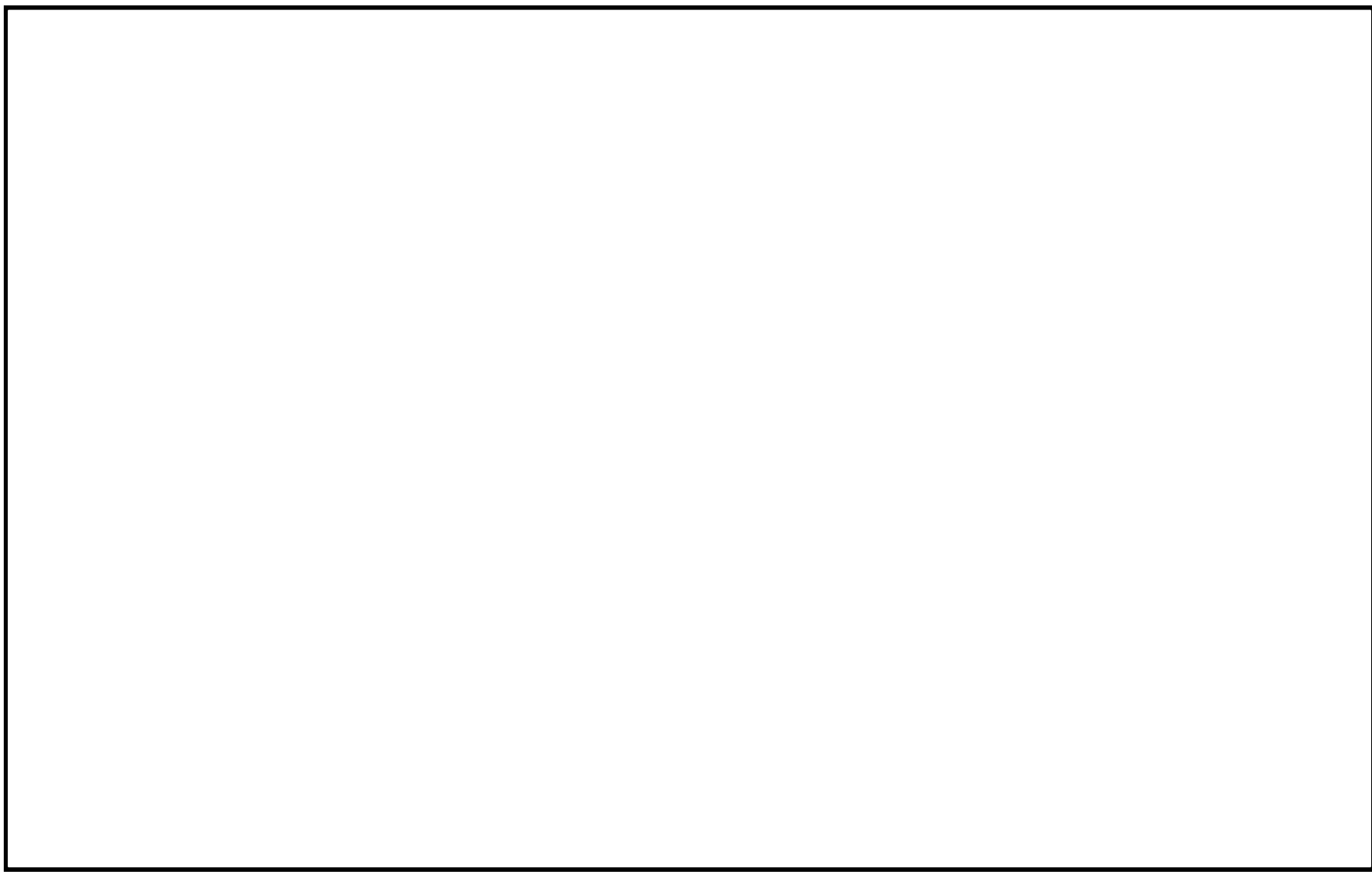


主給水系統配管 B, C—主給水配管 (CV外) 【S d 地震】



主給水系統配管 B-主給水配管 (CV外) PEN303近傍拡大図

— 工事範囲



添付— 2 (4 / 4)

主給水系統配管 C - 主給水配管 (CV外) PEN305近傍拡大図

表 主給水系統配管—流れ加速型腐食に対する評価手法比較

		配管取替工事 実施前		配管取替工事 実施後 (時)	
		新規制基準工認	PLM30	主給水配管取替工認 ^{※2}	PLM40 ^{※3}
認可日等		2015年3月18日付け 原規規発第1503181号にて認可	2015年08月05日付け 原規規発第15080516号にて認可	2017年11月1日付け 原規規発第1711013号にて認可	2022年年10月12日付け申請
FRS (建屋応答 スペクトル)	基準 地震動	Ss-1, Ss-2	Ss-1, Ss-2(Ss-1で応力比0.5を超 えた設備のみ評価)	Ss-1, Ss-2	Ss-1, Ss-2
	谷埋めピーク 保持の有無	無し	— ^{※1}	有り	(A系) 無し (B, C系) 有り
解析 モデル	解析手法	スペクトルモーダル解析	時刻歴応答解析	スペクトルモーダル解析	スペクトルモーダル解析
	質点位置	分布マス	分布マス	1スパン1マス	(A系) 分布マス (B, C系) 1スパン1マス
	支持部剛性	サポート剛性を考慮	サポート剛性を考慮	剛として設定	(A系) サポート剛性を考慮 (B, C系) 剛として設定
	炭素鋼配管 減肉考慮の 有無	無し	有り (A系) Tsr (B, C系) Tsr及び一部に 推定肉厚適用	無し	有り (Tsr)
備 考		<p>※1 時刻歴応答解析を実施しているため「—」とした。</p> <p>※2 PLM30の結果を踏まえ、B, C系のみ取替工事を実施した。</p> <p>※3 最新の工認と同条件で評価を実施しており、A系は新規制基準工認、B, C系は配管取替工認が最新の工認である。</p>			

川内 1 号機 主給水配管取替工事の概要について

以下に、平成29年11月1日付け原規規発第1711013号にて認可された工事計画（川内 1 号機主給水配管取替工事）の、具体的工事内容について示す。

(1) 工事概要

主給水配管については、炭素鋼製配管であったことから、曲がり部において流れ加速型腐食による減肉が想定されるため、当該部位の材質を減肉傾向の小さい低合金鋼へと取替えた。

(2) 工事範囲の設計条件

系統名称	機器区分	最高使用圧力	最高使用温度
主給水系統	クラス 2 配管 (重大事故等クラス 2)	7.48MPa (8.0MPa)	291℃ (344℃)

(3) 工事範囲の主要配管材料

範囲		仕様
主給水ライン合流点 ～ 格納容器貫通部 (貫通部番号 301, 303, 305)	既設	16B×S80 ^{*1} STS49
	新設	16B×S120 ^{*1} STS480 ^{*2}
		16B×S120 ^{*1} STPA24

※ 1：曲がり部を施工性の観点からエルボ管に変更したことにより、曲げ半径が小さくなったことから応力係数が増加したため、厚肉（sch80⇒sch120）へと変更した。

※ 2：現地配管との取合部（現地溶接線）については、異材溶接を回避するため同材取合いとし、溶接部については全て突合せ溶接とした。

以 上

タイトル	主蒸気系統配管貫通部（伸縮継手）の疲労割れに対する耐震安全性評価について																																																																								
説明	<p>1. 記号の説明</p> <p>伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表 4-1 に示す。</p> <p>表 4-1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="421 622 1323 1496"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの2分の1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>—</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d_p</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>常温（21℃）における JISME S NC1-2005 (2007) 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の1山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e_x</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e_y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>l</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>l_c</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>—</td> <td>許容繰返し回数（地震時）</td> </tr> <tr> <td>N_d</td> <td>—</td> <td>評価繰返し回数（地震時）</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手部1個の山数の2倍の値（1山の継手にあつては2）</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>原子炉格納容器最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲労累積係数（地震時）</td> </tr> <tr> <td>W_s</td> <td>—</td> <td>継手部1個の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向地震変位量（表 4-3 における X の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向地震変位量（表 4-3 における $\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$ の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量（地震）</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>発生応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量（地震）による応力</td> </tr> <tr> <td>σ_P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図 4-1 に示す。</p> <p>拡大部</p> <p>図 4-1 伸縮継手の基本寸法箇所</p>	記号	単位	定義	b	mm	継手部の波のピッチの2分の1	c	—	継手部の層数	d_p	mm	継手部の有効径	E	MPa	常温（21℃）における JISME S NC1-2005 (2007) 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する材料の縦弾性係数	e	mm	継手部の1山当たりの総変位量	e_x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量	e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量	h	mm	継手部の波の高さ	l	mm	継手部の有効長さ	l_c	mm	中間の管の長さ	N	—	許容繰返し回数（地震時）	N_d	—	評価繰返し回数（地震時）	n	—	継手部1個の山数の2倍の値（1山の継手にあつては2）	P	MPa	原子炉格納容器最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	UF	—	疲労累積係数（地震時）	W_s	—	継手部1個の山数	X	mm	軸方向地震変位量（表 4-3 における X の2倍（両振幅））	Y	mm	軸直角方向地震変位量（表 4-3 における $\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$ の2倍（両振幅））	δ	mm	全伸縮量（地震）	σ	MPa	発生応力	σ_D	MPa	全伸縮量（地震）による応力	σ_P	MPa	最高使用圧力による応力
記号	単位	定義																																																																							
b	mm	継手部の波のピッチの2分の1																																																																							
c	—	継手部の層数																																																																							
d_p	mm	継手部の有効径																																																																							
E	MPa	常温（21℃）における JISME S NC1-2005 (2007) 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する材料の縦弾性係数																																																																							
e	mm	継手部の1山当たりの総変位量																																																																							
e_x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
h	mm	継手部の波の高さ																																																																							
l	mm	継手部の有効長さ																																																																							
l_c	mm	中間の管の長さ																																																																							
N	—	許容繰返し回数（地震時）																																																																							
N_d	—	評価繰返し回数（地震時）																																																																							
n	—	継手部1個の山数の2倍の値（1山の継手にあつては2）																																																																							
P	MPa	原子炉格納容器最高使用圧力																																																																							
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																							
UF	—	疲労累積係数（地震時）																																																																							
W_s	—	継手部1個の山数																																																																							
X	mm	軸方向地震変位量（表 4-3 における X の2倍（両振幅））																																																																							
Y	mm	軸直角方向地震変位量（表 4-3 における $\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$ の2倍（両振幅））																																																																							
δ	mm	全伸縮量（地震）																																																																							
σ	MPa	発生応力																																																																							
σ_D	MPa	全伸縮量（地震）による応力																																																																							
σ_P	MPa	最高使用圧力による応力																																																																							

2. 評価部位

図 4-2 に主蒸気配管の伸縮継手の模式図を示す。

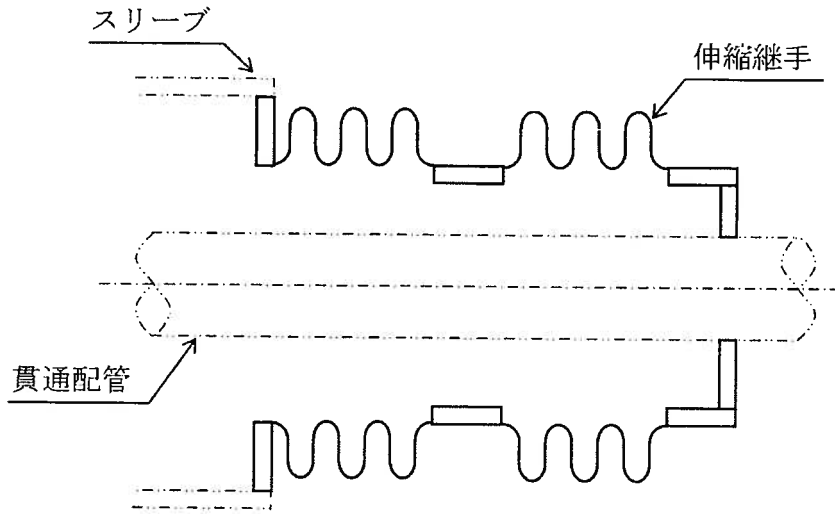


図 4-2 伸縮継手模式図

評価部位は、図 4-3 に示す伸縮継手の頂部とする。

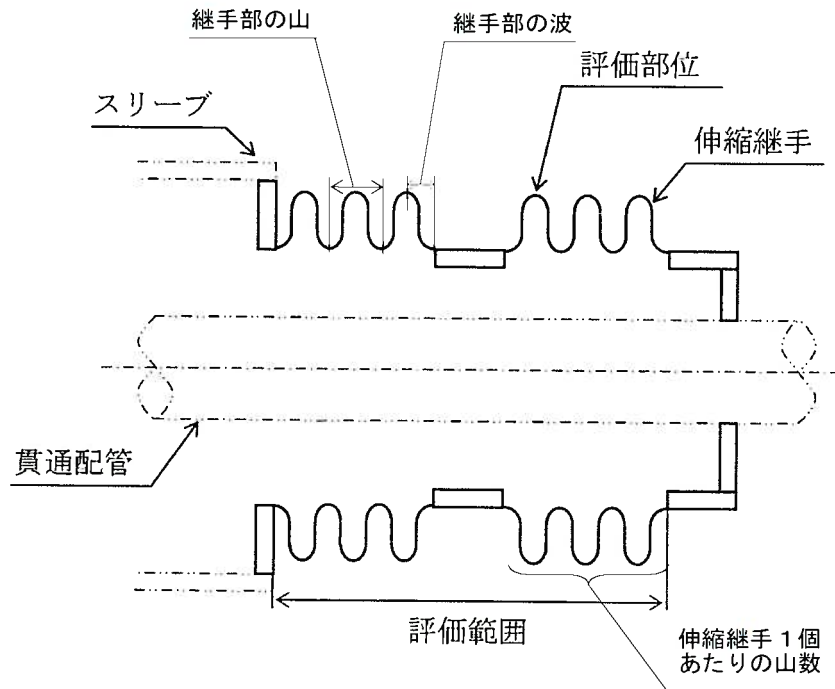


図 4-3 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

格納容器貫通部の仕様について表 4-2 に示す。

表 4-2 格納容器貫通部の仕様

ペネ番号		PEN#304 (B-主蒸気配管)	
格納容器最高使用圧力	MPa	0.245	
格納容器最高使用温度	℃	291	
伸縮継手有効径	mm		
継手部の波の高さ	mm		
継手部の波のピッチの 2分の1	mm		
継手部の板の厚さ	mm		
伸縮継手 1 個の山数	—		
継手部の層数	—		
材料	—		
評価温度における縦弾性係数	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	1.95	
複式伸縮継 手の長さ	中間の管の長さ	mm	120
	伸縮継手の長さ	mm	520

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss、Sd 地震時の伸縮継手の変位について表 4-3 に示す。

評価に用いた解析モデルを、添付-1 に示す。

表 4-3 伸縮継手の変位 (Ss、Sd 地震時)

ペネ番号	地震力	地震時合計変位 (mm) ^(注1, 2)			
		X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$
PEN#304 (B-主蒸気配管)	Ss				
	Sd				

(注1) 座標系は、配管軸方向を+X、鉛直上向きを+Z とする右手直交座標系とする。

(注2) 一次+二次の片振幅の値。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の伸縮継手の変位から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出する (日本機械学会 設計・建設規格 「PVE-3800」 参照)。

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

$$e_x = \frac{X}{2W_N}$$

(b) 軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

$$e_y = \frac{3d_p Y}{2W_N \left\{ 1 + \theta \left(\frac{\theta}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 継手部の 1 山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量 (地震)

$$\delta = eW_x$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数 (設計・建設規格 PVE-3800)

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量 (地震) による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5Et\delta}{n\sqrt{bh^3}}$$

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{Ph^2}{2t^2c}$$

発生応力

$$\sigma = \sigma_D + \sigma_P$$

(b) 許容繰返し回数 (地震時)

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

(c) 疲れ累積係数 (地震時)

$$UF = \frac{N_R}{N}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss, Sd 地震によるUF評価結果を、表 4-4 に示す。

表 4-4 Ss, Sd 地震によるUF評価結果

ペネ番号	地震力	評価部位	発生応力 (MPa)	許容繰返し回数	評価繰返し回数	UF
PEN#304 (B-主蒸気配管)	Ss	伸縮継手	1,684	719	200	0.279
	Sd	伸縮継手	1,029	4,043	300	0.075

(2) 通常運転時UFとの組合せによる評価結果*

通常運転時のUFを加えた結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 Ss, Sd 地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

ペネ番号	地震力	評価部位	通常運転時	地震時	合計	許容値	評価
PEN#304 (B-主蒸気配管)	Ss	伸縮継手	0.021	0.279	0.300	1.0	○
	Sd	伸縮継手	0.021	0.075	0.096	1.0	○

※疲労評価に用いる一次+二次+ピーク応力について、設計用疲労線図が最適疲労線図に対して余裕があること、及び疲労評価に用いる地震による繰返し回数についても実際の繰返し回数に対して余裕を持って設計上設定された回数であることから、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した疲労評価を省略している。以上より、主蒸気配管の伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題は無い。

以上

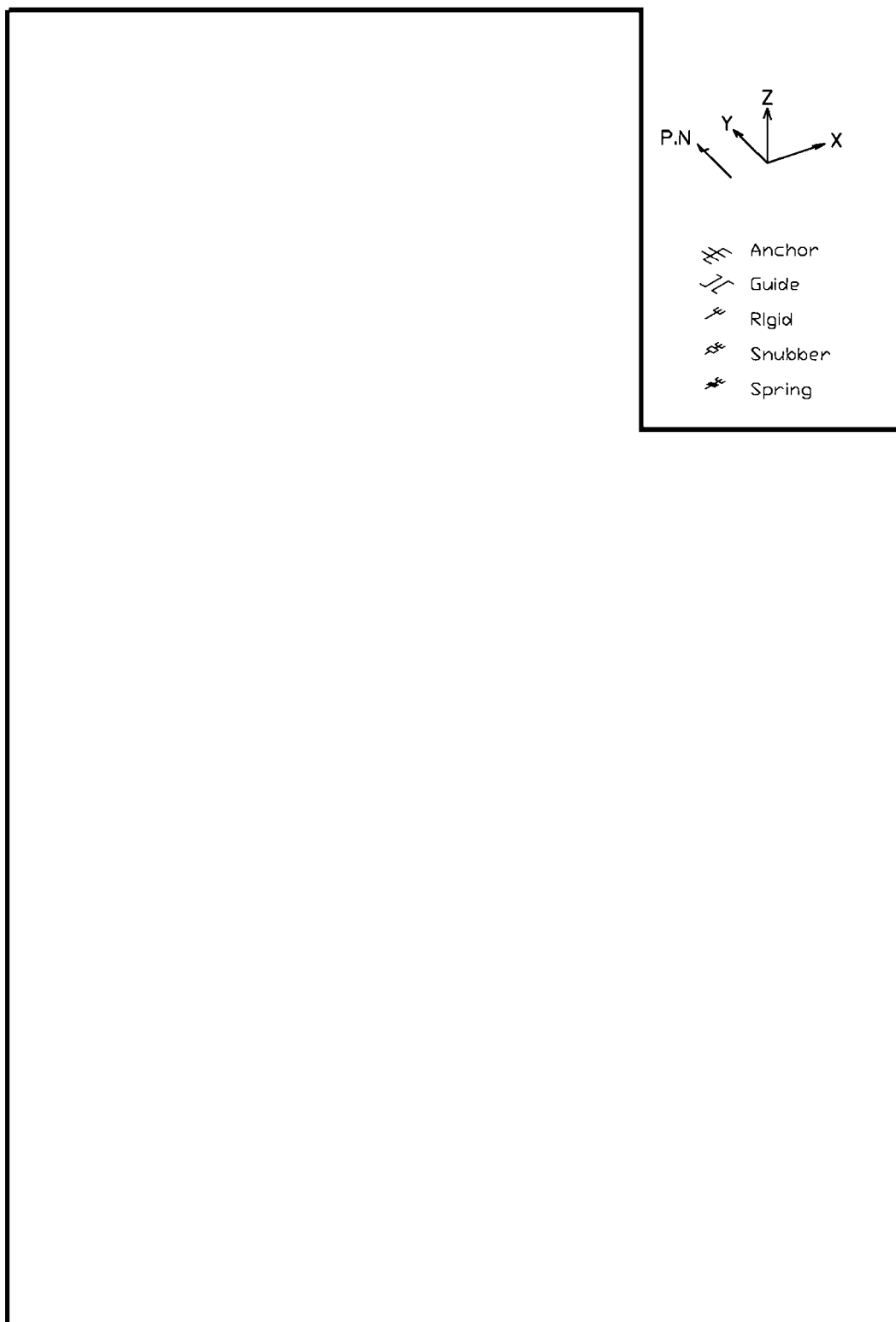


図 4-1-1 川内原子力発電所 1 号炉 B-主蒸気配管 解析モデル

主蒸気系統配管貫通部において A 系と B 系の疲労累積係数が異なる理由について

主蒸気系統配管貫通部における A 系と B 系の評価用地震変位量を表 4-6 に示す。

A 系と B 系で CV 貫通部位置 (A-MS の CV 貫通部の軸方向は CV 半径方向と一致せず、比較的傾いた角度で設置) 及び配管ルートが異なり、評価に用いる変位が違うことで差異が生じている。

なお、CV 貫通部位置の影響を受ける CV 変位は A 系が大きく、配管ルートの影響を受ける配管変位は B 系が大きくなるが、それぞれの変位を算出した結果、評価用地震変位量としては A 系が大きい結果となっている。

計算過程については、添付-3 の通り。

表 4-6 主蒸気系統配管 伸縮式貫通部 評価用地震変位量

格納容器貫通部	評価用地震変位量 [mm]	
	軸方向	軸直方向
PEN#302 (A-MS)		
PEN#304 (B-MS)		

川内1号 A 系統 主蒸気系統配管 伸縮式貫通部 評価用地震変位量の算出

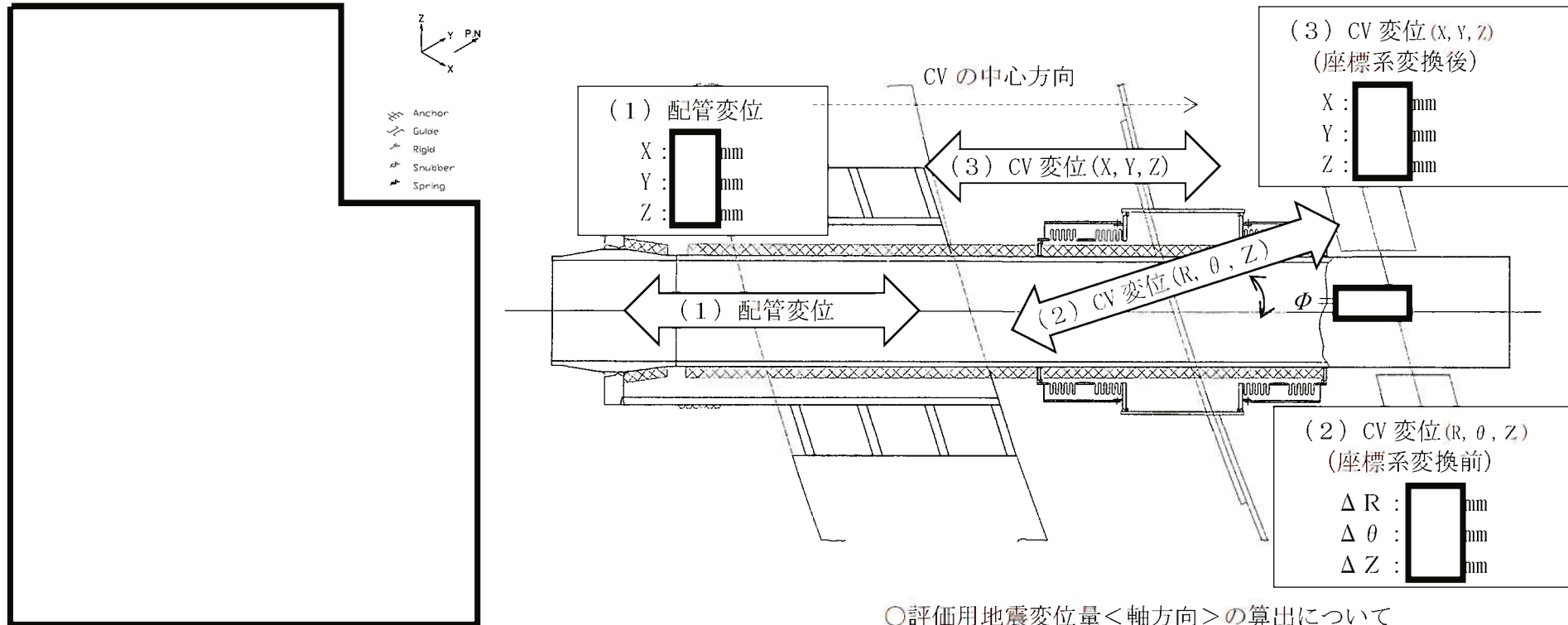


表 4-7 地震合計変位量の計算結果

	(1) 配管変位	(2) CV 変位 (座標系変換前)	(3) CV 変位 (座標系変換後)	地震合計変位量 ((1) + (3))
X (変換前は ΔR)				
Y (変換前は Δθ)				
Z (変換前は ΔZ)				

○評価用地震変位量<軸方向>の算出について
貫通配管の管軸方向 (X 方向) の変位量を片振幅から両振幅へ換算 (× 2) して算出。

$$\langle X \text{ 方向変位} \rangle \times 2 = \boxed{} \text{ mm} \times 2 = \boxed{} \text{ mm}$$

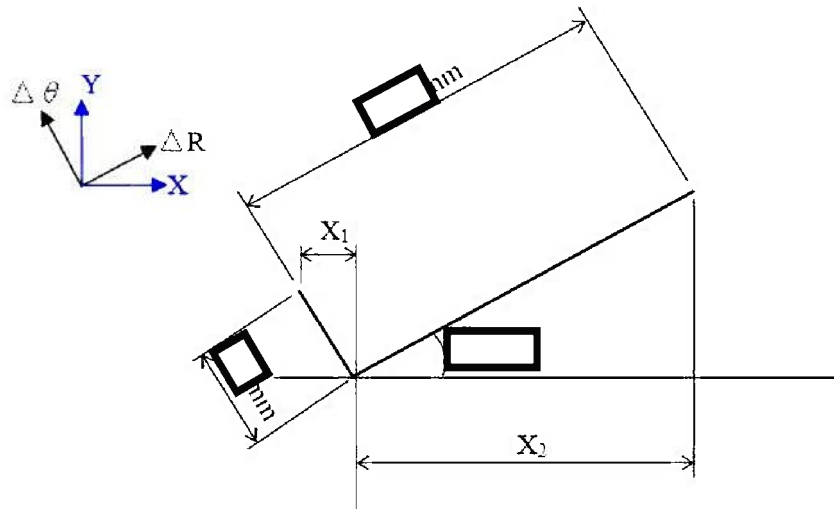
○評価用地震変位量<軸直方向>の算出について
Y 方向変位と Z 方向変位の SRSS により算出し、両振幅へ換算 (× 2) して算出。

$$\sqrt{(\langle Y \text{ 方向変位} \rangle^2 + \langle Z \text{ 方向変位} \rangle^2)} \times 2 =$$

$$\sqrt{(\langle \boxed{} \text{ mm} \rangle^2 + \langle \boxed{} \text{ mm} \rangle^2)} \times 2 = \boxed{} \text{ mm} \times 2 = \boxed{} \text{ mm}$$

A系については、CVの径方向と貫通部の取付方向に角度を有していることから、CV地震変位量を伸縮式貫通部の評価用の座標系に変換する。

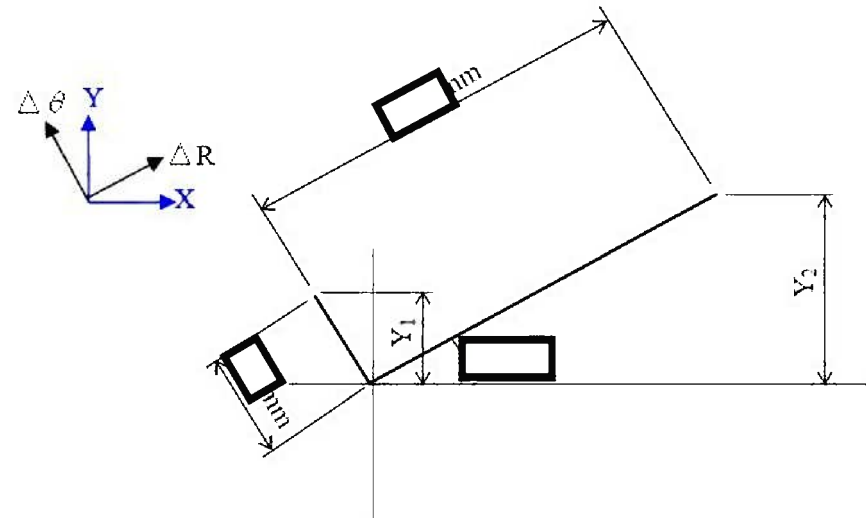
【伸縮式貫通部 軸方向変位 X】



$$X = X_1 + X_2$$



【伸縮式貫通部 軸直方向変位 Y】



$$Y = Y_1 + Y_2$$



川内1号B系統 主蒸気系統配管 伸縮式貫通部 評価用地震変位量の算出

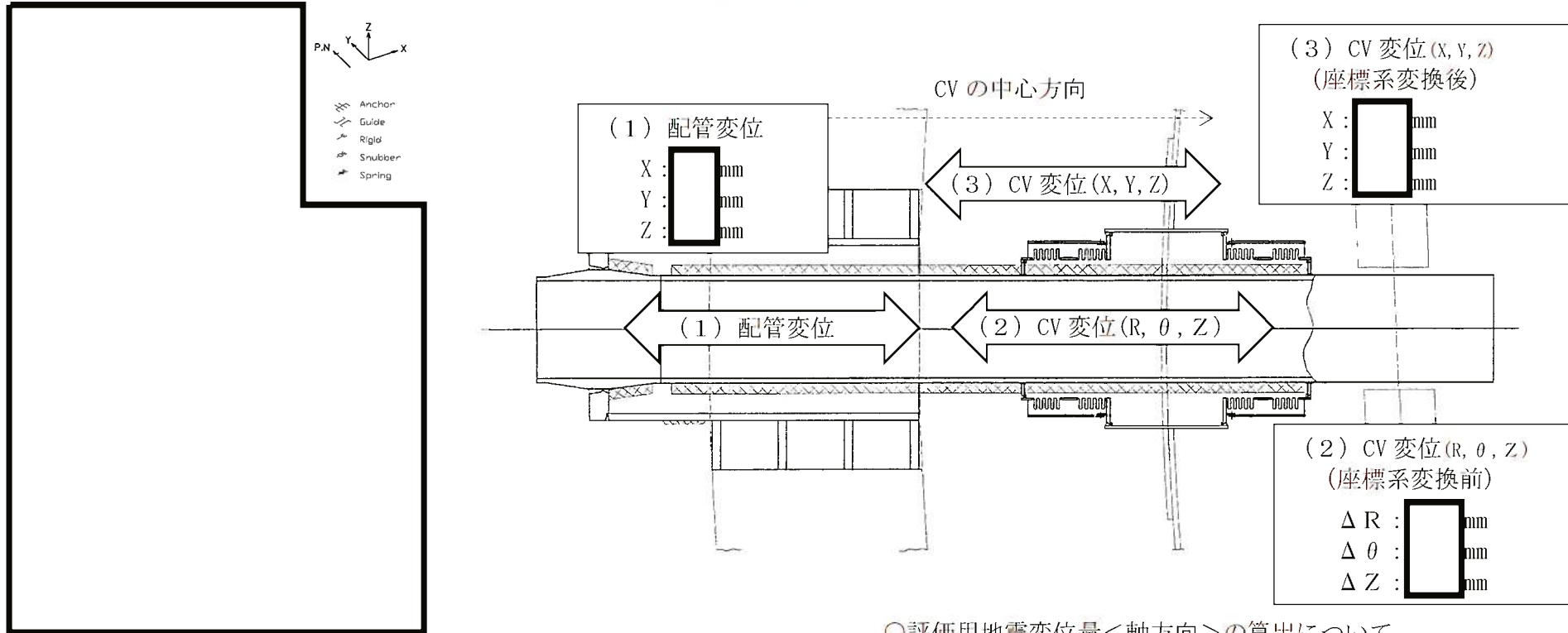


表 4-8 地震合計変位量の計算結果

	(1) 配管変位	(2) CV 変位 (座標系変換前)	(3) CV 変位 (座標系変換後)	地震合計変位量 ((1)+(3))
X (変換前はΔR)				
Y (変換前はΔθ)				
Z (変換前はΔZ)				

※小数点第2位以下を切り上げているため、(1)+(3)の計算結果とは異なる。

○評価用地震変位量<軸方向>の算出について
貫通配管の管軸方向(X方向)の変位量を片振幅から両振幅へ換算(×2)して算出。

$$\langle X \text{ 方向変位} \rangle \times 2 = \boxed{} \text{ mm} \times 2 = \boxed{} \text{ mm}$$

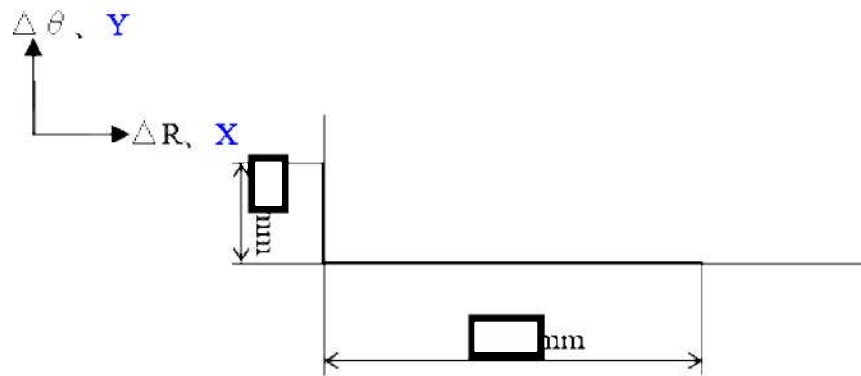
○評価用地震変位量<軸直方向>の算出について
Y方向変位とZ方向変位のSRSSにより算出し、両振幅へ換算(×2)して算出。

$$\sqrt{(\langle Y \text{ 方向変位} \rangle^2 + \langle Z \text{ 方向変位} \rangle^2)} \times 2 =$$

$$\sqrt{(\langle \boxed{} \text{ mm} \rangle^2 + \langle \boxed{} \text{ mm} \rangle^2)} \times 2 = \boxed{} \text{ mm} \times 2 = \boxed{} \text{ mm}$$

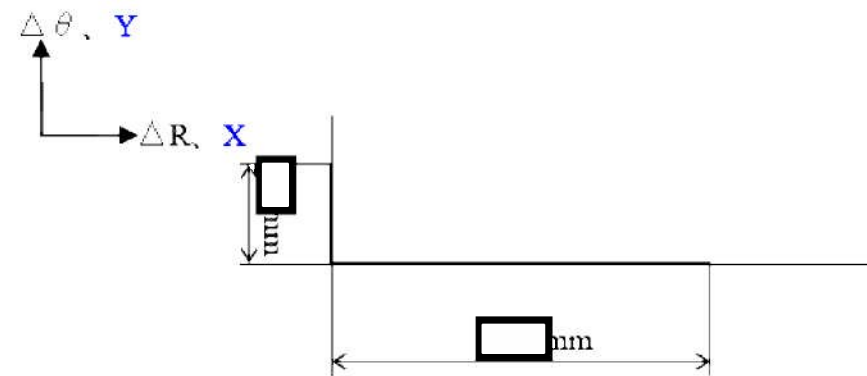
B系については、CV と貫通部の取付部は同一方向であり、伸縮継手の評価用の変位は CV 地震変位と同一となる。

【 伸縮式貫通部 軸方向変位 X 】

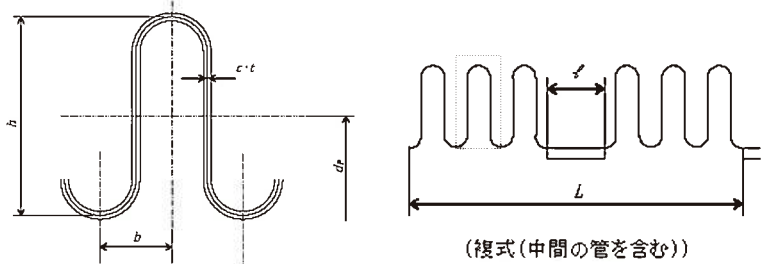


$$X = \Delta R = \boxed{}$$

【 伸縮式貫通部 軸直方向変位 Y 】



$$Y = \Delta\theta = \boxed{}$$

タイトル	主蒸気系統配管貫通部（伸縮継手）の疲労割れに対する耐震安全性評価について																																																																								
説明	<p>1. 記号の説明</p> <p>伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表 4-1 に示す。</p> <p>表 4-1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="421 622 1323 1496"> <thead> <tr> <th>記号</th> <th>単位</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>mm</td> <td>継手部の波のピッチの2分の1</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>—</td> <td>継手部の層数</td> </tr> <tr> <td>d_p</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効径</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>常温（21℃）における JISME S NC1-2005 (2007) 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する材料の縦弾性係数</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>mm</td> <td>継手部の1山当たりの総変位量</td> </tr> <tr> <td>e_x</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>e_y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>mm</td> <td>継手部の波の高さ</td> </tr> <tr> <td>l</td> <td>mm</td> <td>継手部の有効長さ</td> </tr> <tr> <td>l_c</td> <td>mm</td> <td>中間の管の長さ</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>—</td> <td>許容繰返し回数（地震時）</td> </tr> <tr> <td>N_d</td> <td>—</td> <td>評価繰返し回数（地震時）</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手部1個の山数の2倍の値（1山の継手にあつては2）</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>原子炉格納容器最高使用圧力</td> </tr> <tr> <td>t</td> <td>mm</td> <td>継手部の板の厚さ</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲労累積係数（地震時）</td> </tr> <tr> <td>W_s</td> <td>—</td> <td>継手部1個の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向地震変位量（表 4-3 における X の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向地震変位量（表 4-3 における $\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$ の2倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>δ</td> <td>mm</td> <td>全伸縮量（地震）</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>発生応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量（地震）による応力</td> </tr> <tr> <td>σ_P</td> <td>MPa</td> <td>最高使用圧力による応力</td> </tr> </tbody> </table> <p>伸縮継手の基本寸法箇所を図 4-1 に示す。</p>  <p>拡大部</p> <p>図 4-1 伸縮継手の基本寸法箇所</p>	記号	単位	定義	b	mm	継手部の波のピッチの2分の1	c	—	継手部の層数	d_p	mm	継手部の有効径	E	MPa	常温（21℃）における JISME S NC1-2005 (2007) 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する材料の縦弾性係数	e	mm	継手部の1山当たりの総変位量	e_x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量	e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量	h	mm	継手部の波の高さ	l	mm	継手部の有効長さ	l_c	mm	中間の管の長さ	N	—	許容繰返し回数（地震時）	N_d	—	評価繰返し回数（地震時）	n	—	継手部1個の山数の2倍の値（1山の継手にあつては2）	P	MPa	原子炉格納容器最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	UF	—	疲労累積係数（地震時）	W_s	—	継手部1個の山数	X	mm	軸方向地震変位量（表 4-3 における X の2倍（両振幅））	Y	mm	軸直角方向地震変位量（表 4-3 における $\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$ の2倍（両振幅））	δ	mm	全伸縮量（地震）	σ	MPa	発生応力	σ_D	MPa	全伸縮量（地震）による応力	σ_P	MPa	最高使用圧力による応力
記号	単位	定義																																																																							
b	mm	継手部の波のピッチの2分の1																																																																							
c	—	継手部の層数																																																																							
d_p	mm	継手部の有効径																																																																							
E	MPa	常温（21℃）における JISME S NC1-2005 (2007) 付録材料図表 Part6 表 1 に規定する材料の縦弾性係数																																																																							
e	mm	継手部の1山当たりの総変位量																																																																							
e_x	mm	軸方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
e_y	mm	軸直角方向変位による継手部の1山当たりの変位量																																																																							
h	mm	継手部の波の高さ																																																																							
l	mm	継手部の有効長さ																																																																							
l_c	mm	中間の管の長さ																																																																							
N	—	許容繰返し回数（地震時）																																																																							
N_d	—	評価繰返し回数（地震時）																																																																							
n	—	継手部1個の山数の2倍の値（1山の継手にあつては2）																																																																							
P	MPa	原子炉格納容器最高使用圧力																																																																							
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																							
UF	—	疲労累積係数（地震時）																																																																							
W_s	—	継手部1個の山数																																																																							
X	mm	軸方向地震変位量（表 4-3 における X の2倍（両振幅））																																																																							
Y	mm	軸直角方向地震変位量（表 4-3 における $\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$ の2倍（両振幅））																																																																							
δ	mm	全伸縮量（地震）																																																																							
σ	MPa	発生応力																																																																							
σ_D	MPa	全伸縮量（地震）による応力																																																																							
σ_P	MPa	最高使用圧力による応力																																																																							

2. 評価部位

図 4-2 に主蒸気配管の伸縮継手の模式図を示す。

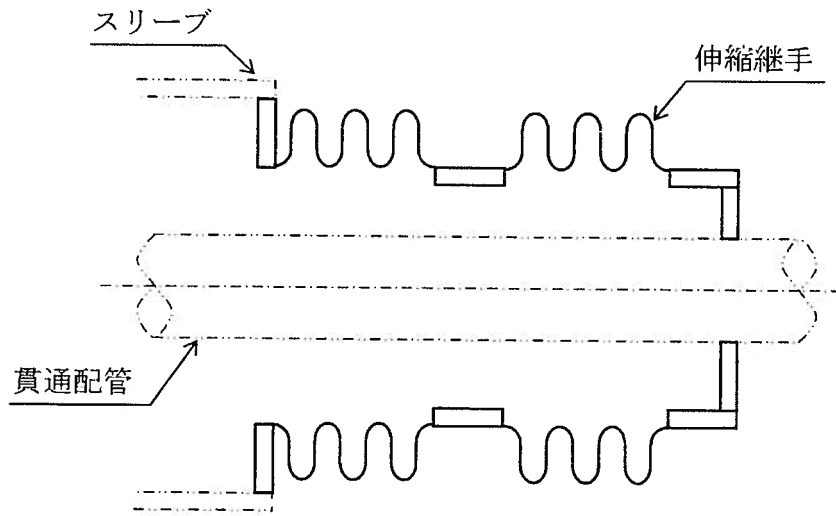


図 4-2 伸縮継手模式図

評価部位は、図 4-3 に示す伸縮継手の頂部とする。

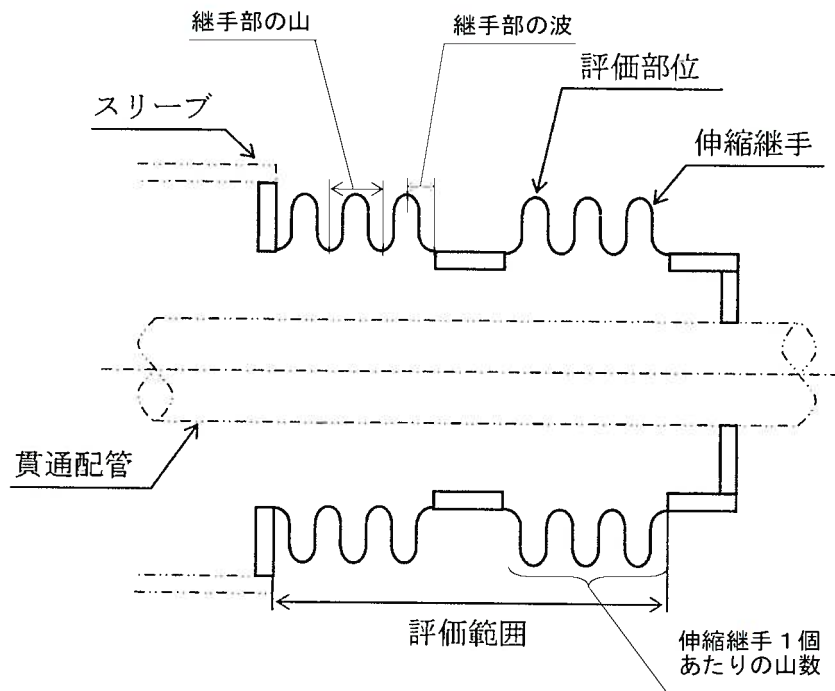


図 4-3 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

格納容器貫通部の仕様について表 4-2 に示す。

表 4-2 格納容器貫通部の仕様

ペネ番号		PEN#304 (B-主蒸気配管)	
格納容器最高使用圧力	MPa	0.245	
格納容器最高使用温度	℃	291	
伸縮継手有効径	mm		
継手部の波の高さ	mm		
継手部の波のピッチの 2分の1	mm		
継手部の板の厚さ	mm		
伸縮継手 1 個の山数	—		
継手部の層数	—		
材料	—		
評価温度における縦弾性係数	$\times 10^5 \text{ N/mm}^2$	1.95	
複式伸縮継 手の長さ	中間の管の長さ	mm	180
	伸縮継手の長さ	mm	580

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss、Sd 地震時の伸縮継手の変位について表 4-3 に示す。

評価に用いた解析モデルを、添付-1 に示す。

表 4-3 伸縮継手の変位 (Ss、Sd 地震時)

ペネ番号	地震力	地震時合計変位 (mm) ^(注1, 2)			
		X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{(Y^2+Z^2)}$
PEN#304 (B-主蒸気配管)	Ss				
	Sd				

(注1) 座標系は、配管軸方向を+X、鉛直上向きを+Zとする右手直交座標系とする。

(注2) 一次+二次の片振幅の値。

(3) 疲れ累積係数 (UF) の算出

地震時の伸縮継手の変位から発生応力を算出し許容繰返し回数を求め、評価繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出する (日本機械学会 設計・建設規格 「PVE-3800」参照)。

a. 伸縮継手の変位

(a) 軸方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

$$e_x = \frac{X}{2W_N}$$

(b) 軸直角方向変位による継手部の 1 山当たりの変位量

$$e_y = \frac{3d_p Y}{2W_N \left\{ 1 + \theta \left(\frac{\theta}{L} + 1 \right) \right\}}$$

(c) 継手部の 1 山当たりの総変位量

$$e = e_x + e_y$$

(d) 伸縮継手の全伸縮量（地震）

$$\delta = eW_x$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数（設計・建設規格 PVE-3800）

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量（地震）による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5Et\delta}{n\sqrt{bh^3}}$$

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{Ph^2}{2t^2c}$$

発生応力

$$\sigma = \sigma_D + \sigma_P$$

(b) 許容繰返し回数（地震時）

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

(c) 疲れ累積係数（地震時）

$$UF = \frac{N_R}{N}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss, Sd 地震によるUF評価結果を、表 4-4 に示す。

表 4-4 Ss, Sd 地震によるUF評価結果

ペネ番号	地震力	評価部位	発生応力 (MPa)	許容繰返し回数	評価繰返し回数	UF
PEN#304	Ss	伸縮継手	2,108	327	200	0.612
(B-主蒸気配管)	Sd	伸縮継手	1,217	2,245	300	0.134

(2) 通常運転時UFとの組合せによる評価結果*

通常運転時のUFを加えた結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 Ss, Sd 地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

ペネ番号	地震力	評価部位	通常運転時	地震時	合計	許容値	評価
PEN#304	Ss	伸縮継手	0.024	0.612	0.636	1.0	○
(B-主蒸気配管)	Sd	伸縮継手	0.024	0.134	0.158	1.0	○

※疲労評価に用いる一次+二次+ピーク応力について、設計用疲労線図が最適疲労線図に対して余裕があること、及び疲労評価に用いる地震による繰返し回数についても実際の繰返し回数に対して余裕を持って設計上設定された回数であることから、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した疲労評価を省略している。以上より、主蒸気配管の伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題はない。

以上

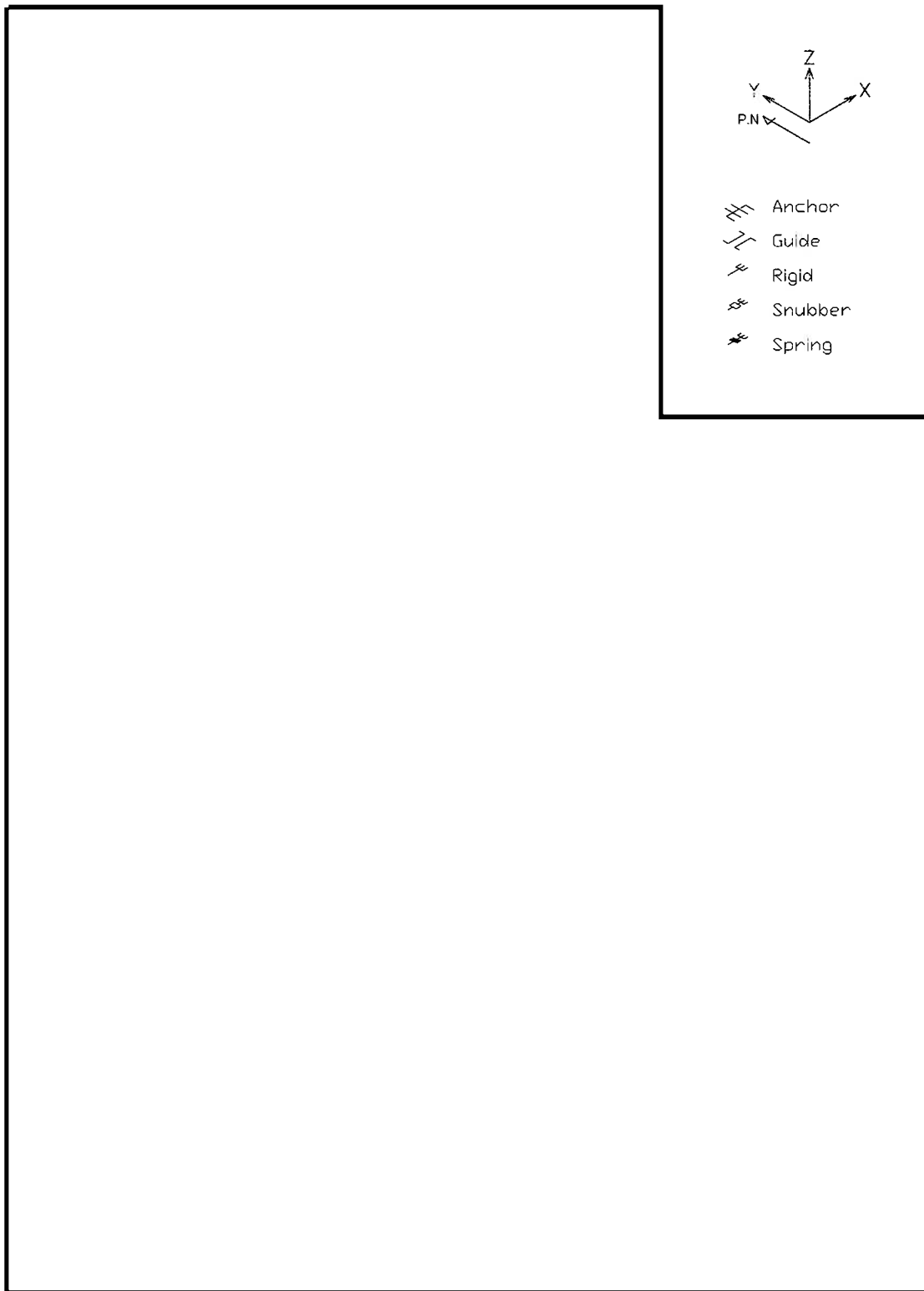


図 4-1-1 川内原子力発電所 2 号炉 B-主蒸気配管 解析モデル