

泊発電所 2 号炉 審査資料	
資料番号	HTN2-PLM30(冷停)-耐震 改 4
提出年月日	令和 2 年 10 月 29 日

泊発電所 2 号炉 高経年化技術評価
(耐震安全性評価)

補足説明資料

令和 2 年 10 月 29 日
北海道電力株式会社

: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象と評価手法	4
3.1 評価対象	4
3.1.1 耐震安全性評価対象機器	4
3.1.2 耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出	4
3.2 評価手法	7
3.2.1 主な適用規格	7
3.2.2 冷温停止状態が維持されることを前提とした評価における劣化評価期間	7
3.2.3 耐震安全性評価の評価手法	9
3.3 評価用地震力	13
3.4 評価用地震動	14
3.5 代表の選定	17
4. 代表の耐震安全性評価	19
4.1 耐震安全性評価	19
4.1.1 低サイクル疲労	19
4.1.2 高サイクル熱疲労	20
4.1.3 中性子照射脆化	20
4.1.4 熱時効	21
4.1.5 中性子照射による靱性低下	21
4.1.6 中性子及び γ 線照射脆化	22
4.1.7 応力腐食割れ	22
4.1.8 摩耗	23
4.1.9 流れ加速型腐食	24
4.1.10 全面腐食	25
4.1.11 動的機能維持に係る耐震安全性評価	26
4.1.12 照射誘起型応力腐食割れ	28
4.2 現状保全	29
4.3 総合評価	29
5. まとめ	30
5.1 審査ガイド適合性	30
5.2 保守管理に関する方針として策定する事項	34

別紙 1.	建設後の耐震補強の実績について	1-1
別紙 2.	耐震安全性評価に用いる現行の JEAG4601 以外の値を適用した ケースについて	2-1
別紙 3.	冷温停止状態における耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の 発生・進展について	3-1
別紙 4.	機器・配管に係る，比率で示された耐震安全性評価結果 (疲労累積係数を除く) について	4-1
別紙 5.	主給水管他の伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性評価について	5-1
別紙 6.	アンカーサポート取付部 (余熱除去系統配管) の疲労割れに対する 耐震安全性評価について	6-1
別紙 7.	余熱除去系統配管の高サイクル熱疲労割れに対する耐震安全性評価 について	7-1
別紙 8.	原子炉容器の中性子照射脆化に対する耐震安全性評価について	8-1
別紙 9.	炉心そうの中性子照射による靱性低下に対する耐震安全性評価について	9-1
別紙 10.	原子炉容器サポート (サポートブラケット (サポートリブ)) の 中性子及び γ 線照射脆化に対する耐震安全性評価について	10-1
別紙 11.	低水質廃液蒸発装置 (蒸発器胴板) の応力腐食割れに対する 耐震安全性評価について	11-1
別紙 12.	蒸気発生器支持脚 (ヒンジ摺動部) の摩耗に対する耐震安全性評価 について	12-1
別紙 13.	主蒸気系統配管他の内面からの腐食 (流れ加速型腐食) に対する 耐震安全性評価について	13-1
別紙 14.	ディーゼル機関空気冷却器伝熱管他の内面腐食 (流れ加速型腐食) に対する耐震安全性評価について	14-1
別紙 15.	制御用空気だめ他の腐食 (全面腐食) に対する耐震安全性評価について	15-1
別紙 16.	バッフルフォーマボルトの照射誘起型応力腐食割れが抽出されない理由 について	16-1

5. まとめ

5.1 審査ガイド適合性

「2. 基本方針」で示した要求事項について耐震安全性評価を行った結果、すべての要求事項を満足しており、審査ガイドに適合していることを確認した。耐震安全性評価についての要求事項との対比及び評価結果の分類を表16及び表17に示す。

表16 (1/2) 耐震安全性評価についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	耐震安全性評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策審査ガイド	3. 高経年化技術評価等の審査の視点・着眼点 (1)高経年化技術評価の審査 ⑥動的機器（部位）の抽出 動的機器（部位）を評価対象外としている場合、発電用原子炉設置者の保守管理活動において、材料等の経年劣化の影響から生じる性能低下の状況が的確に把握され、高経年化技術評価の開始時期以降もこれらが適切に行われることを保証しているかを、保守管理要領等の文書及び保守管理実績等により審査する。	3.1.1, 3.1.2に示すとおり、耐震安全性評価を実施する機器として、動的機器（部位）を含めて評価対象としている。
	⑮-1 耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象の抽出 経年劣化の進展評価結果に基づき、耐震安全性評価の対象となる経年劣化事象を抽出していることを審査する。	3.1.1, 3.1.2に示すとおり、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象の抽出フローにより、耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象を抽出している。
	⑰-1 耐震安全上着目すべき経年劣化事象の抽出 耐震安全上着目すべき経年劣化事象を抽出していることを審査する。	
	⑳-1 耐震安全性の評価 実施ガイド3.1⑤に規定する期間の満了日までの期間について、経年劣化事象の発生又は進展に伴う機器・構造物の耐震安全性を評価しているかを審査する。	3.2.2, 4.1.1～4.1.11に示すとおり、運転開始後60年時点までの経年劣化を考慮した状態における耐震安全性評価を実施している。
	㉑-1 耐震安全上の現状保全の評価 耐震安全性に対する現状の保全策の妥当性を評価しているかを審査する。	4.2, 4.3に示すとおり、耐震安全性評価を実施してガイドを満足していることから、耐震安全性に対する現状の保全策は妥当であると評価している。
	㉒-1 耐震安全上の追加保全策の策定 想定した経年劣化事象に対し、耐震安全性が確保されない場合に、現状保全に追加する必要のある新たな保全策を適切に策定しているかを審査する。	4.3に示すとおり、耐震安全評価を実施してガイドを満足していることから、現状保全に追加すべき新たな保全策はないと評価している。
	(2)長期保守管理方針の審査 ①長期保守管理方針の策定 すべての追加保全策について長期保守管理方針として策定されているかを審査する。	4.3に示すとおり、追加保全策については抽出されていないため、長期施設管理方針は高経年化対策の視点から充実すべき保守管理の項目はないと評価している。

表16 (2/2) 耐震安全性評価についての要求事項との対比

ガイド	要求事項	耐震安全性評価結果
実用発電用原子炉施設における高経年化対策実施ガイド	3. 1 高経年化技術評価の実施及び見直し ⑥耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、必要に応じ追加保全策を抽出すること。	4. 1～4. 3に示すとおり、耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象については、経年劣化を加味した機器・構造物の耐震安全性評価を行い、ガイドを満足して耐震安全上問題のないことを確認している。また、現状の保全策についても妥当であることを確認しており、追加保全策はないと評価している。
	実用炉規則第8条第1項から第3項までの規定による高経年化技術評価に係る耐震安全性評価は、規制基準（当該評価を行う時点後の直近の運転開始以後30年、40年又は50年を経過する日において適用されているものに限る。）の要求を満たすことが確認された確定した基準地震動及び弾性設計用地震動を用いた評価を行うこと。当該高経年化技術評価後に、当該評価に用いた基準地震動及び弾性設計用地震動が見直された場合には、高経年化技術評価を速やかに見直すこと。 ⑥を行うに当たっては、PLM基準2008版の6.3.4耐震安全性評価を用いることができる。	3. 4に示すとおり、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年9月19日）により策定した基準地震動 S_s 並びに泊発電所設置許可申請書（2号炉）（昭和59年6月14日許可）の基準地震動 S_1 による評価を実施している。
	3. 2 長期保守管理方針の策定及び変更 長期保守管理方針の策定及び変更に当たっては、以下の要求事項を満たすこと。 ①高経年化技術評価の結果抽出された全ての追加保全策（発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提として抽出されたもの及び冷温停止状態が維持されることを前提として抽出されたものの全て。）について、発電用原子炉ごとに、保守管理の項目及び当該項目ごとの実施時期を規定した長期保守管理方針を策定すること。 なお、高経年化技術評価の結果抽出された追加保全策について、発電用原子炉の運転を断続的に行うことを前提とした評価から抽出されたものと冷温停止状態が維持されることを前提とした評価から抽出されたもの間で、その対象の経年劣化事象及び機器・構造物の部位が重複するものについては、双方の追加保全策を踏まえた保守的な長期保守管理方針を策定すること。 ただし、冷温停止が維持されることを前提とした高経年化技術評価のみを行う場合はその限りではない。	4. 3に示すとおり、追加保全策については抽出されないため、長期施設管理方針は高経年化対策の視点から充実すべき保守管理の項目はないと評価している。

表17 耐震安全性評価についての要求事項と評価結果の分類

機器・ 構造物	耐震安全上考慮する必要がある経年劣化事象											動的機能維持評価
	疲労割れ		中性子照射脆化	照射誘起型応力腐食割れ	熱時効	中性子照射による靱性低下	中性子及びγ線照射脆化	応力腐食割れ	摩耗	腐食		
	低サイクル疲労	高サイクル熱疲労								流れ加速型腐食	全面腐食	
ポンプ	A2	—	—	—	B2-②	—	—	—	—	—	—	C1
熱交換器	A2	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	—
ポンプ用 電動機	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1
容器	A2	—	B3-①	—	—	—	—	—	—	—	—	—
配管	A1*1, A2	B1-③	—	—	B2-②	—	—	—	—	A1, A2	—	—
弁	A2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1, C2
炉内構造物	A2	—	—	—	—	B3-①	—	—	A1	—	—	—
ケーブル	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電気設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1
タービン 設備	(冷温停止状態維持に必要な評価対象機器なし)											
コンクリート 構造物及び 鉄骨構造物	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計測制御 設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C1
空調設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	C1
機械設備	A2	—	—	—	—	—	B3-①	B1-③	A1	—	A1	C1
電源設備	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1	—	C1

*1：配管サポート

凡例

○経年劣化事象を考慮した評価対象機器について地震時に発生する応力及び疲労累積係数を評価した結果、耐震設計上の許容限界を下回ることを確認した事象。

[分類]

A1：応力評価により耐震設計上の許容限界を下回る評価を行った事象

A2：疲労累積係数評価により耐震設計上の許容限界を下回る評価を行った事象

○経年劣化事象を考慮した評価対象機器について地震時に発生する応力、亀裂進展力及び応力拡大係数を評価した結果、想定亀裂（欠陥）に対する破壊力学評価上の許容限界を下回ることを確認した事象。

B1：応力評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

B2：亀裂進展力評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

B3：応力拡大係数評価により破壊力学評価上の許容限界を下回る評価を行った事象

[破壊力学評価手法の分類]

①：線形破壊力学評価法

②：弾塑性破壊力学に基づく評価

③：極限荷重評価法

○経年劣化事象を考慮した、地震時に動的機能が要求される評価対象機器の地震時の応答加速度を評価した結果、機能確認済加速度以下であることを確認した機器。

[分類]

C1：動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象が、機器の振動応答特性への影響が「軽微もしくは無視」できる事象であることを確認し、経年劣化事象を考慮しても、機器における地震時の応答加速度は各機器の機能確認済加速度を上回るものではないと考えられ、地震時の動的機能についても維持されると判断した機器

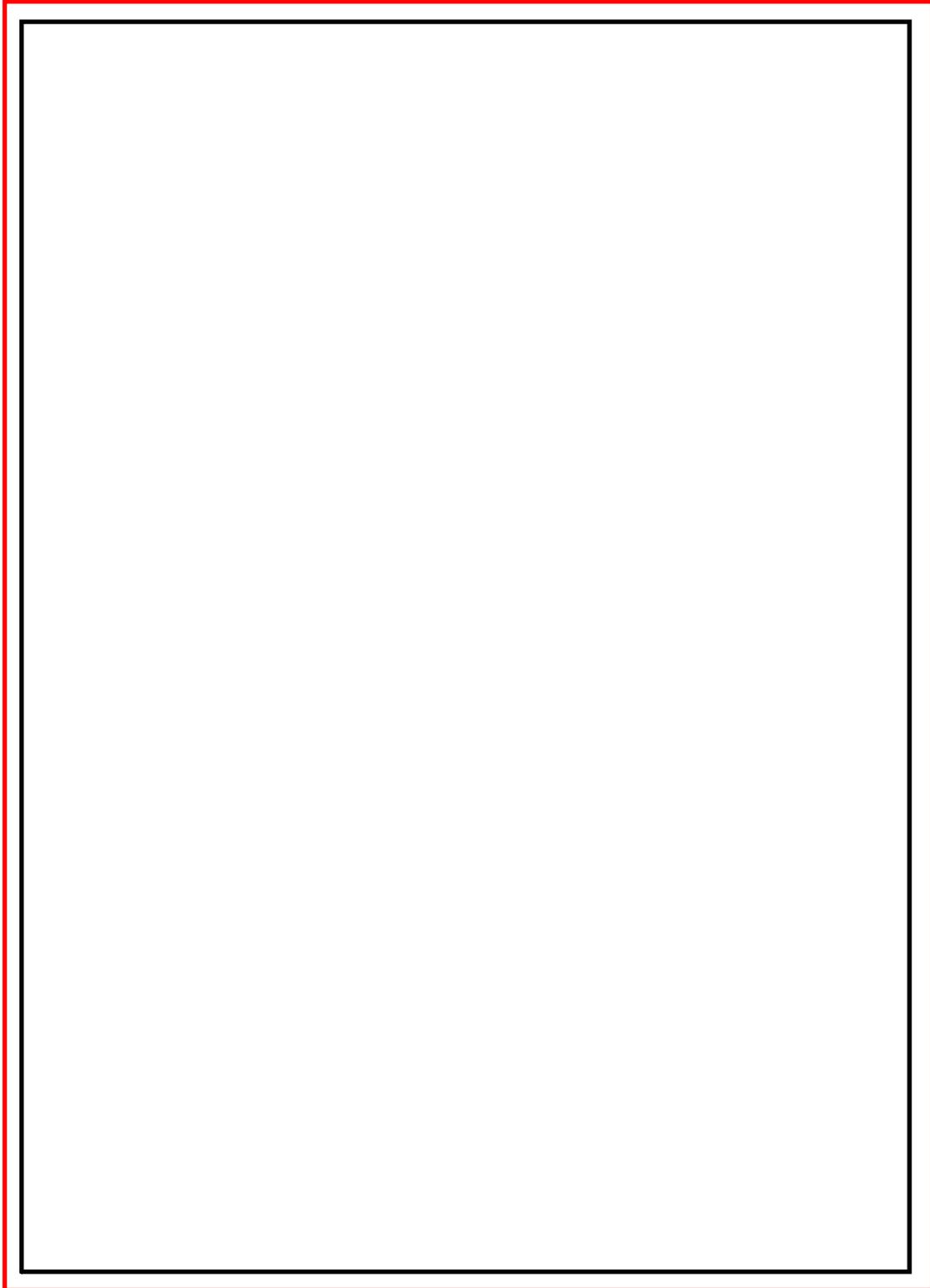
C2：動的機能維持に必要となる部位での経年劣化事象が、機器の振動応答特性に影響を及ぼす可能性があるが、耐震安全性評価の実施により、振動応答特性に影響を与える経年劣化事象ではないことを確認している機器

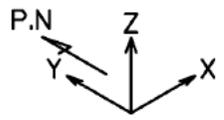
タイトル	主蒸気系統配管他の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する耐震安全性評価について										
説明	<p>1. 評価対象ラインの抽出について</p> <p>泊2号炉の高経年化技術評価における「母管の内面からの腐食(流れ加速型腐食)」に対する耐震安全性評価は、日本機械学会「加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（JSME S NG1-2006）」（以下「技術規格」という。）等を反映した社内規程「泊発電所配管肉厚管理要則」で定める「流れ加速型腐食」の対象系統のうち、冷温停止状態の維持に必要なラインを抽出した。</p> <p>なお、耐震重要度が高く、配管の腐食（流れ加速型腐食）による配管減肉を考慮した耐震安全性評価の結果、発生応力と許容応力の比が最大となる主蒸気系統の炭素鋼配管を代表とし、以下に評価の詳細を示す。また、主蒸気系統以外の系統の配管（主給水系統、補助蒸気系統、蒸気発生器ブローダウン系統）の評価を添付－4、5に示す。</p> <p>2. 評価仕様</p> <p>主蒸気系統配管の評価仕様を表13-1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表13-1 評価仕様</p> <table border="1" data-bbox="448 1115 1329 1263"> <thead> <tr> <th>評価対象配管</th> <th>ライン数</th> <th>種別</th> <th>技術規格との対応※</th> <th>減肉条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>主蒸気系統配管</td> <td>4</td> <td>FAC</td> <td>なし (知見拡充箇所)</td> <td>必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)</td> </tr> </tbody> </table> <p>※（ ）内の記載は社内規程「泊発電所配管肉厚管理要則」に基づく管理区分を示す。</p> <p>3. 解析モデル</p> <p>(1) 解析手法</p> <p>はりモデル解析</p> <p>なお、スペクトルモーダル解析に用いた床応答スペクトルは、谷埋め・ピーク保持を実施している。谷埋め・ピーク保持実施前後の床応答スペクトルの一例及び主要モードにおける固有周期を添付－1に示す。</p> <p>(2) 解析モデル図</p> <p>評価対象ラインのうち、高経年化技術評価書に代表で記載した応力比の厳しい箇所を含む範囲の解析モデル図を添付－2に示す。</p> <p>4. 評価結果</p> <p>評価結果を添付－3に示す。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応※	減肉条件	主蒸気系統配管	4	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応※	減肉条件							
主蒸気系統配管	4	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)							

スペクトルモーダル解析に用いた床応答スペクトルの例（原子炉建屋 EL. 36.9m）

S s 地震動 水平方向（X方向） （減衰 3 %）

（主蒸気系統配管 B-主蒸気配管（CV外）の評価にて使用）

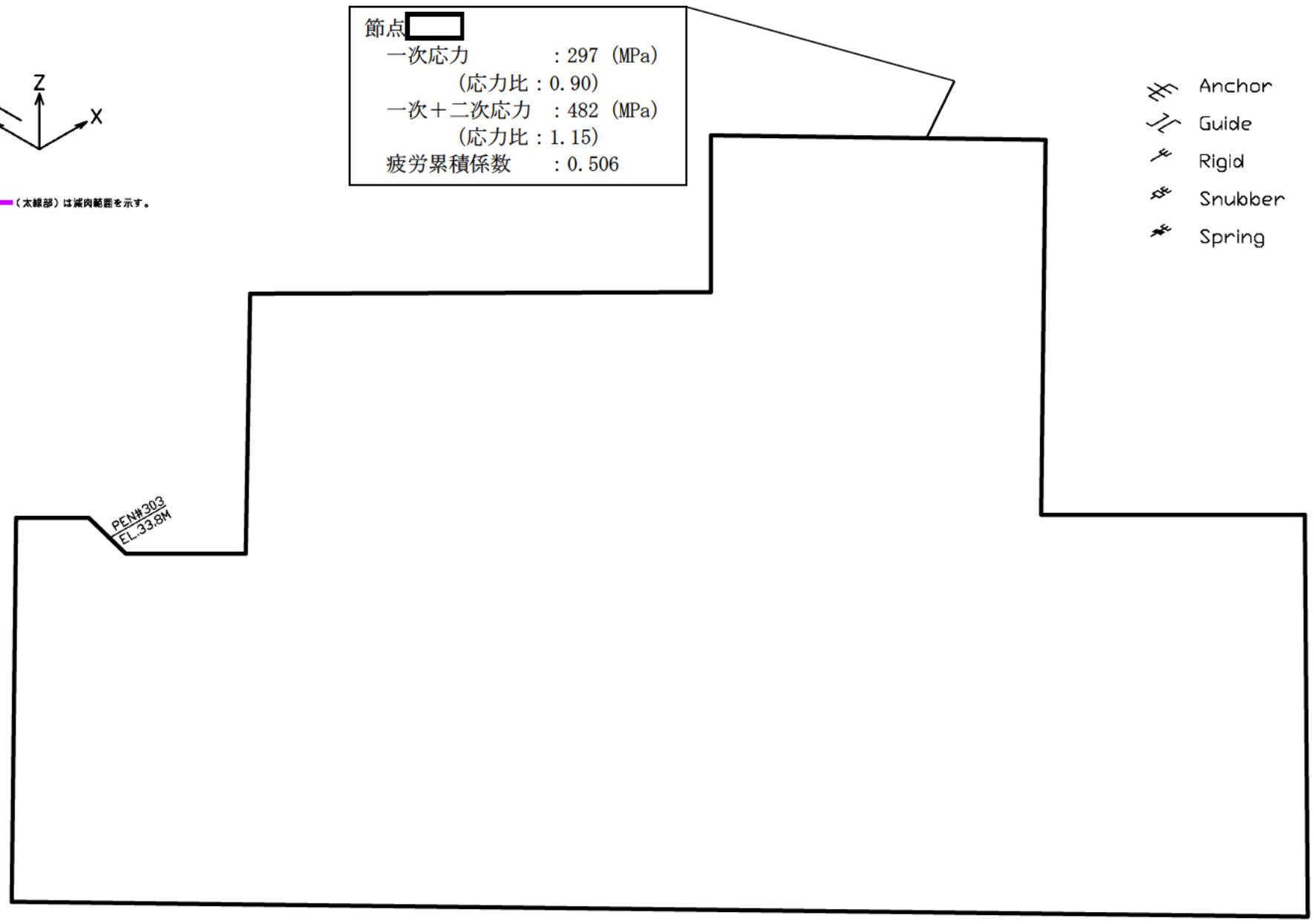




(注) 太線部は減肉範囲を示す。

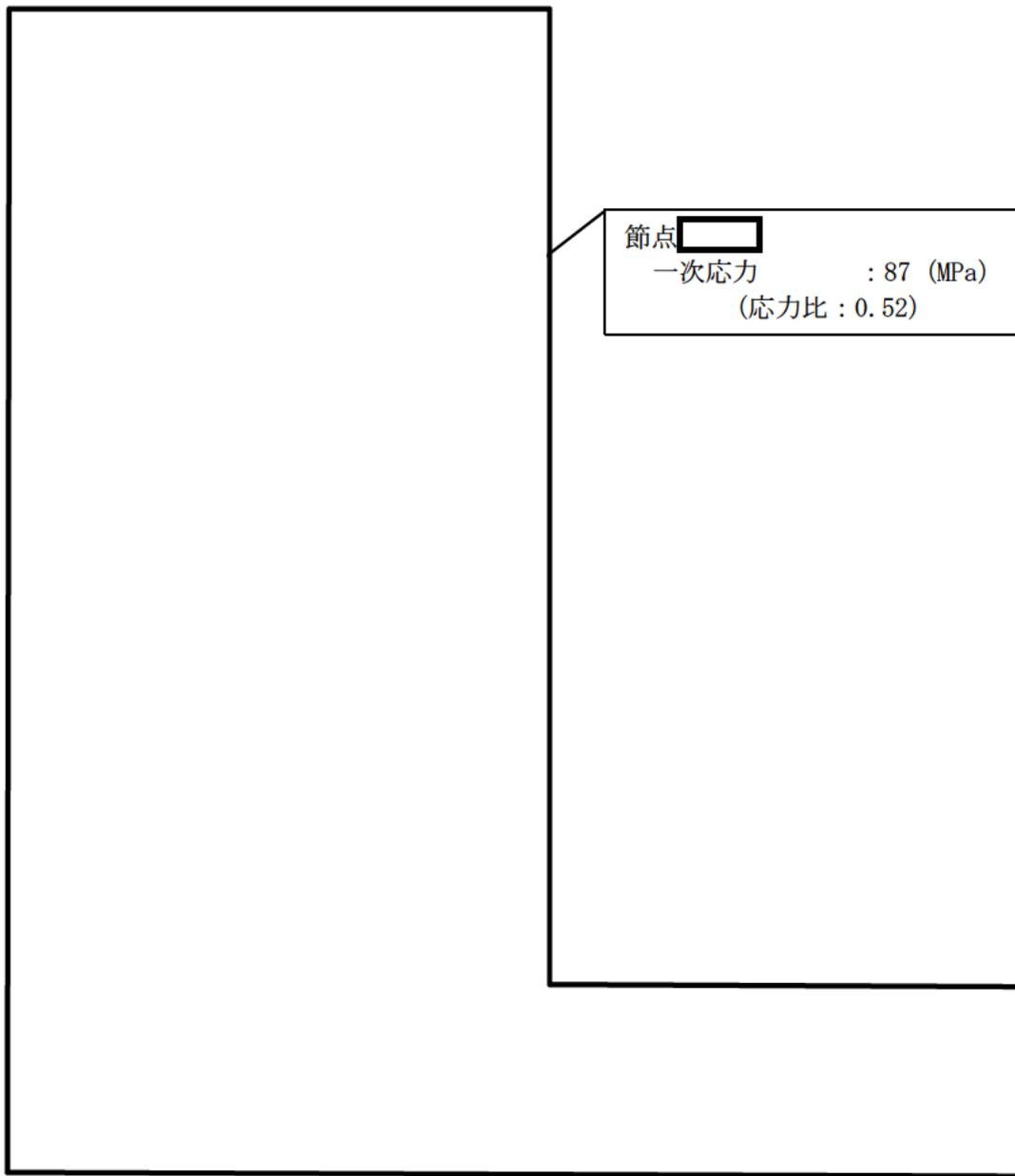
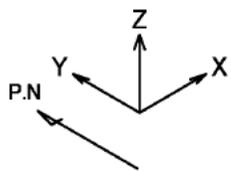
節点	
一次応力	: 297 (MPa)
(応力比)	: 0.90
一次+二次応力	: 482 (MPa)
(応力比)	: 1.15
疲労累積係数	: 0.506

- Anchor
- Guide
- Rigid
- Snubber
- Spring



-13-3-

主蒸気系統配管 B-主蒸気配管 (CV外) 【Ss地震】

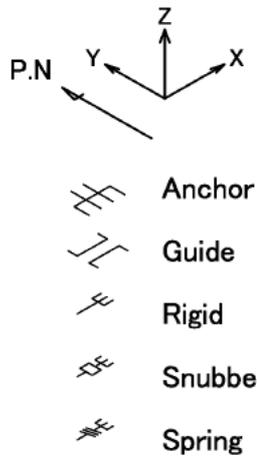


-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

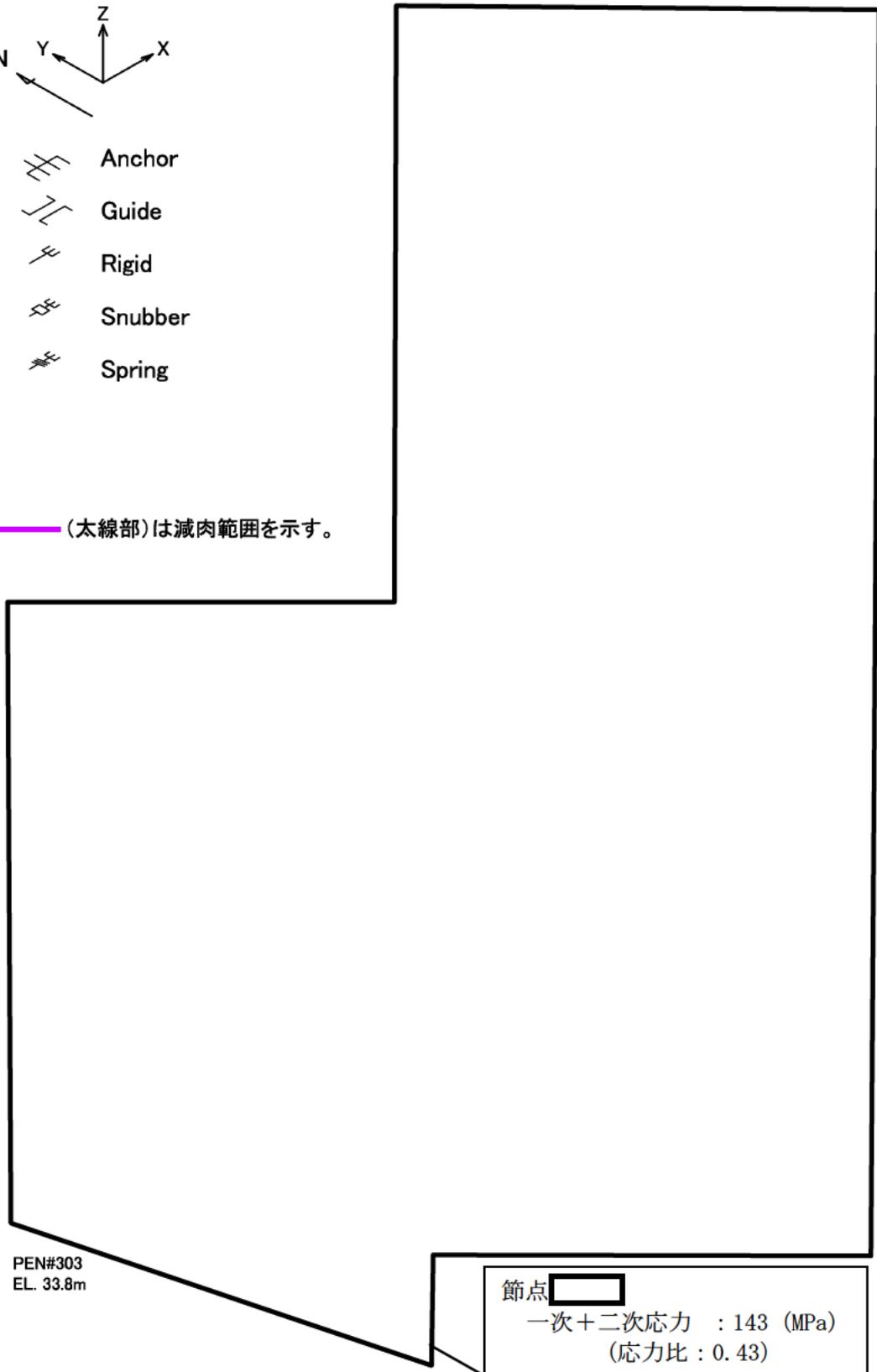
注: (太線部)は減肉範囲を示す。

PEN#301
EL. 29.0m

主蒸気系統配管 A-主蒸気配管 (CV内) 【S₁地震】



注: (太線部)は減肉範囲を示す。



PEN#303
EL. 33.8m

節点
一次+二次応力 : 143 (MPa)
(応力比 : 0.43)

主蒸気系統配管 B-主蒸気配管 (CV内) 【S₁地震】

泊2号炉 主蒸気系統配管の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する
耐震安全性評価結果一覧

系統分類	配管名称	耐震 重要度		応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル		
					はりモデル評価		
					発生応力/ 許容応力※	応力比	評価
主蒸気系統	A-主蒸気配管 (CV内)	S	S _s	一次	99/324	0.31	○
				一次+二次	76/336	0.23	○
			S ₁	一次	87/168	0.52	○
				一次+二次	93/336	0.28	○
	B-主蒸気配管 (CV内)	S	S _s	一次	109/324	0.34	○
				一次+二次	95/336	0.28	○
			S ₁	一次	87/168	0.52	○
				一次+二次	143/336	0.43	○
	A-主蒸気配管 (CV外)	S	S _s	一次	130/329	0.40	○
				一次+二次	151/418	0.36	○
			S ₁	一次	71/209	0.34	○
				一次+二次	52/440	0.12	○
	B-主蒸気配管 (CV外)	S	S _s	一次	297/329	0.90	○
				一次+二次	482/418	1.15	×
			疲労累積係数：0.506				○
			S ₁	一次	84/209	0.40	○
一次+二次	104/440	0.24		○			

※ 発生応力及び許容応力の単位はMPa

■ 評価書に記載した評価結果

主蒸気系統配管以外の内面からの腐食（流れ加速型腐食）
に対する耐震安全性評価について

1. 評価仕様

主蒸気系統配管以外の評価仕様を表13-4-1に示す。

表13-4-1 評価仕様

評価対象配管	ライン数	種別	技術規格との対応※	減肉条件
主給水系統配管	4	FAC	あり (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
補助蒸気系統配管	1	FAC	なし (知見拡充箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)
蒸気発生器ブロー ダウン系統配管	2	FAC	なし (主要箇所)	必要最小肉厚 (周軸方向一様減肉)

※（ ）内の記載は社内規程「泊発電所配管肉厚管理要則」に基づく管理区分を示す。

2. 解析モデル

(1) 解析手法

はりモデル解析

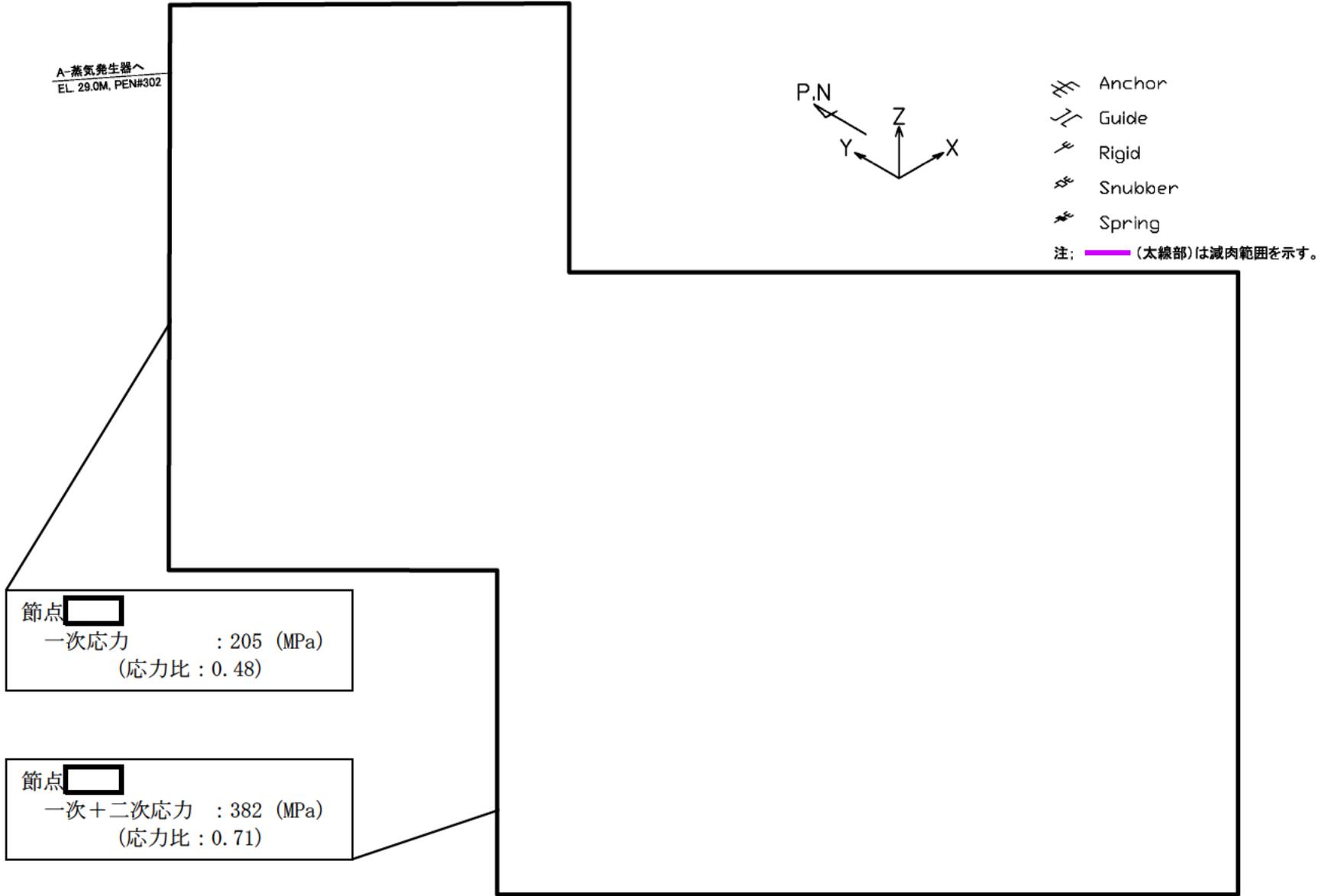
なお、スペクトルモーダル解析に用いた床応答スペクトルは、谷埋め・ピーク保持を実施している。

(2) 解析モデル図

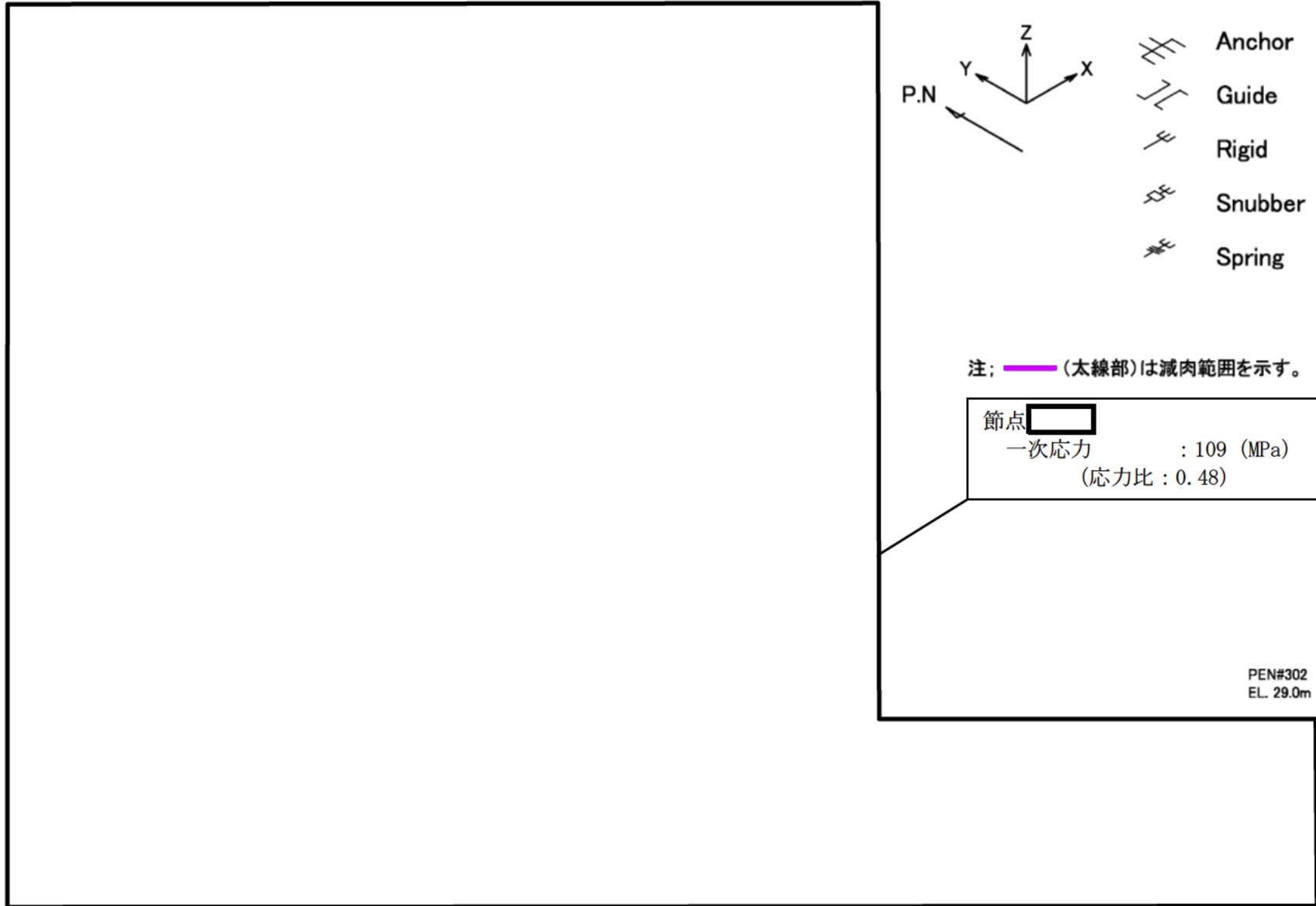
評価対象ラインのうち、高経年化技術評価書に代表で記載した応力比の厳しい箇所を含む範囲の解析モデル図を次頁以降に示す。（補助蒸気系統配管は定ピッチスパン法による評価のため除く）

3. 評価結果

評価結果を添付－５に示す。

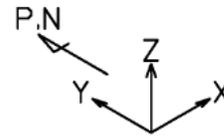


主給水系統配管 A-主給水配管 (CV外) 【Ss地震】



主給水系統配管 A-主給水配管 (CV内) 【S₁地震】

A-蒸気発生器へ
EL. 29.0M, PEN#302

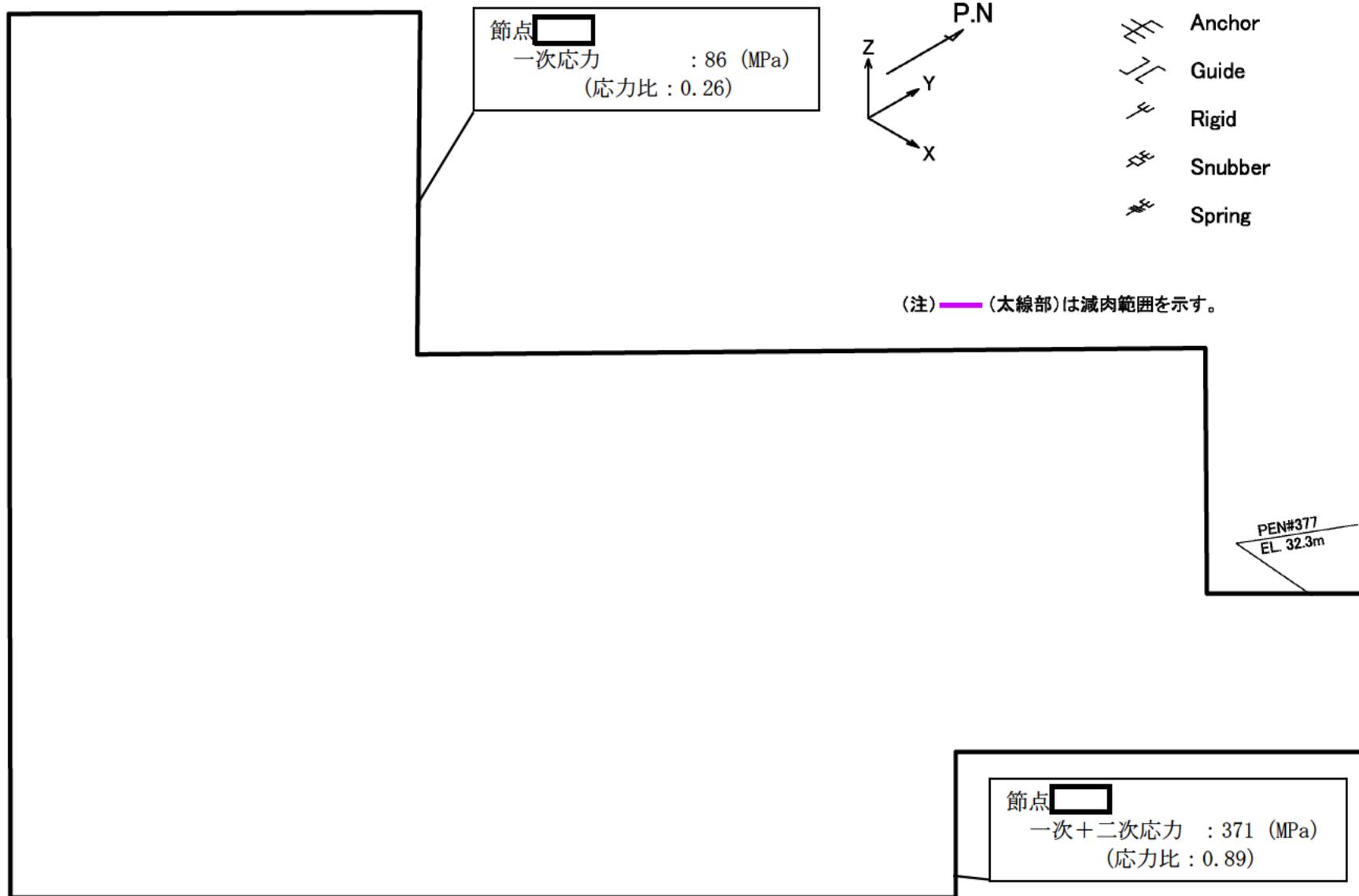


-  Anchor
-  Guide
-  Rigid
-  Snubber
-  Spring

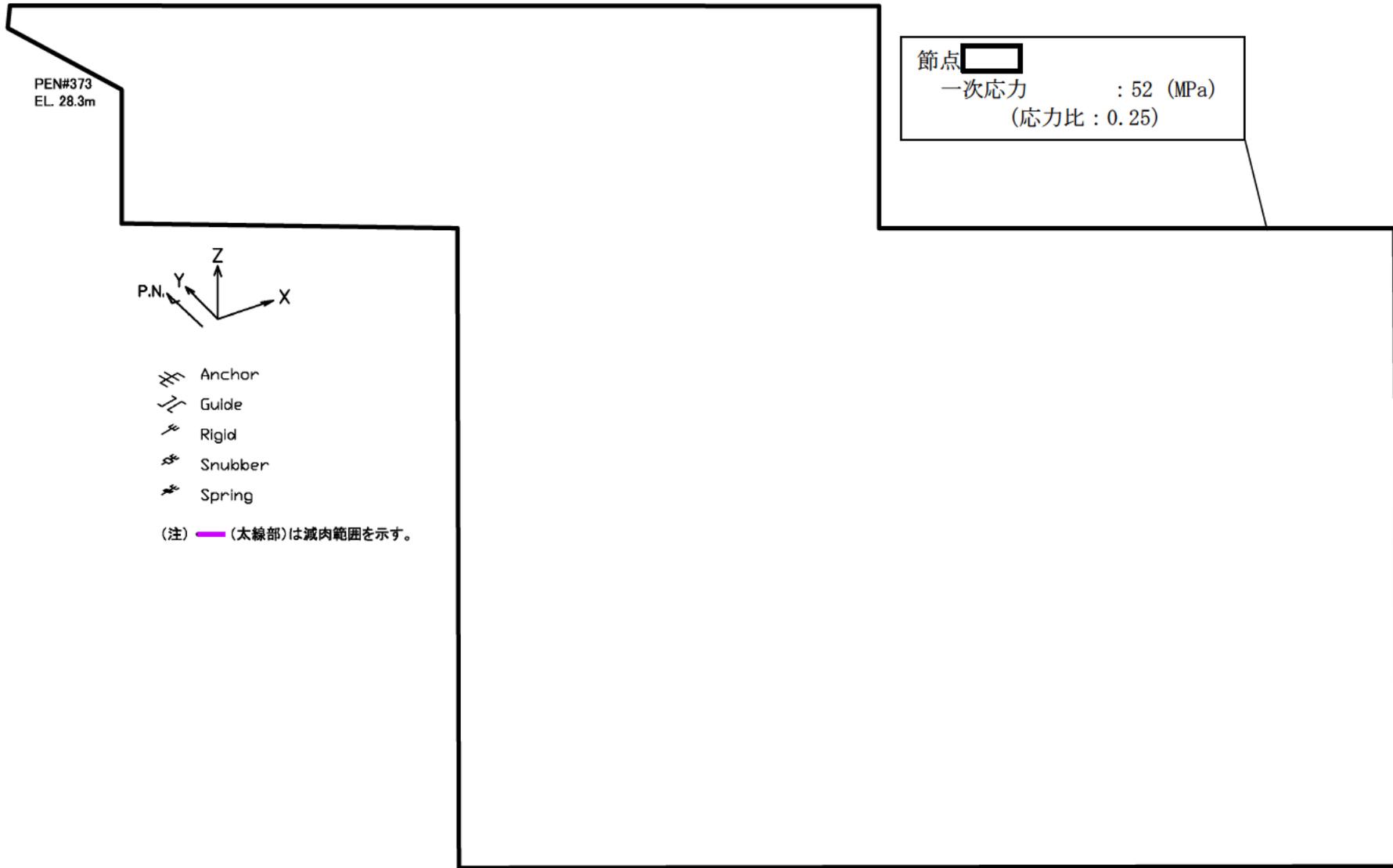
注:  (太線部)は減肉範囲を示す。

節点 
一次+二次応力 : 145 (MPa)
(応力比 : 0.27)

主給水系統配管 A-主給水配管 (CV外) 【S₁地震】



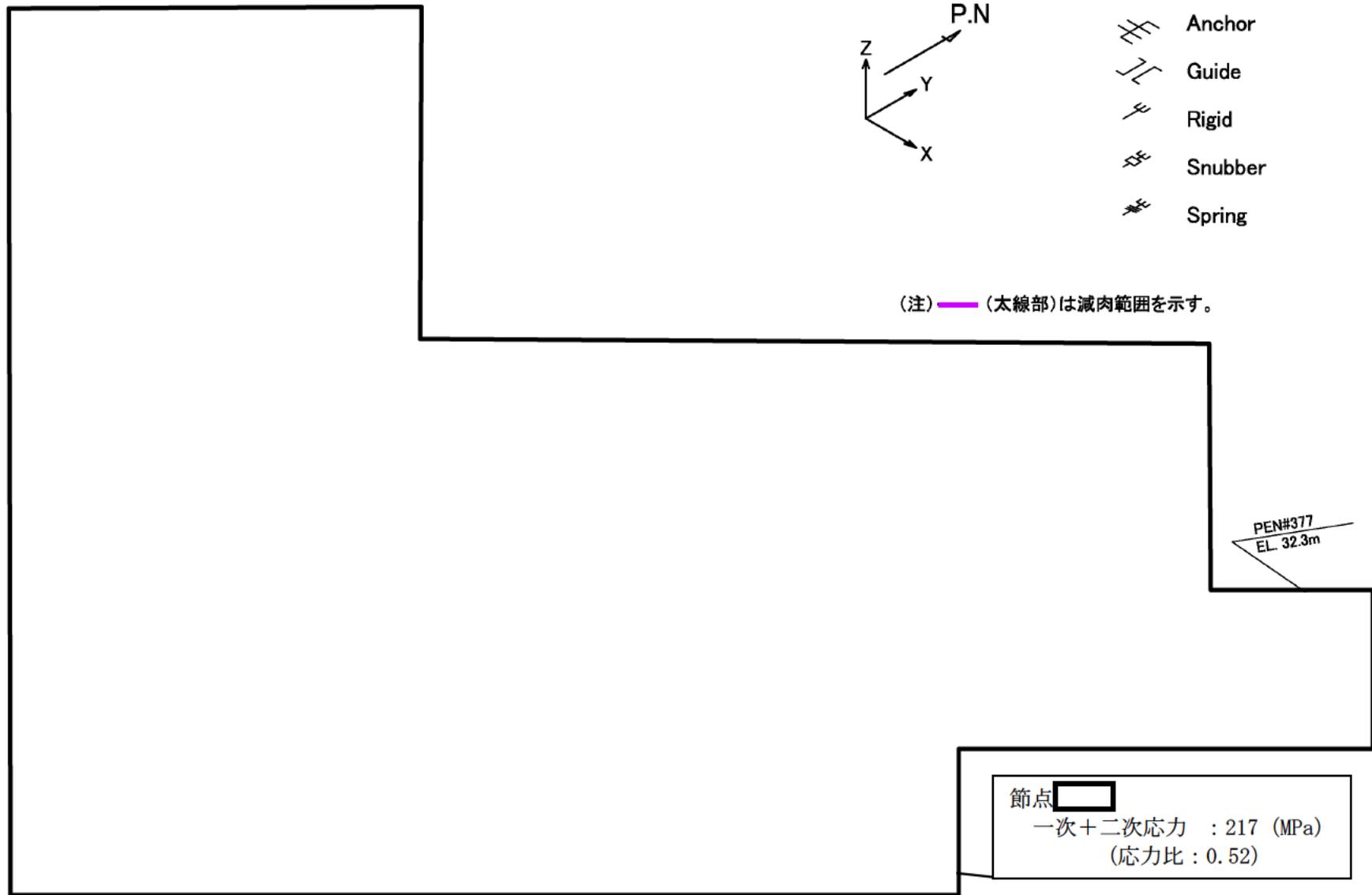
蒸気発生器ブローダウン系統配管 B-SGBD配管 (CV外) 【Ss地震】



蒸気発生器ブローダウン系統配管

A-SGBD配管 (CV外)

【S₁地震】



蒸気発生器ブローダウン系統配管 B-SGBD配管 (CV外) 【S₁地震】

泊2号炉 主蒸気系統配管以外の内面からの腐食（流れ加速型腐食）に対する
耐震安全性評価結果一覧

系統分類	配管名称	耐震 重要度		応力種別	全箇所必要最小肉厚条件モデル		
					はりモデル評価		
					発生応力/ 許容応力※	応力比	評価
主給水系統	A-主給水配管 (CV内)	S	S _s	一次	133/380	0.35	○
				一次+二次	121/456	0.27	○
			S ₁	一次	109/228	0.48	○
				一次+二次	114/456	0.25	○
	B-主給水配管 (CV内)	S	S _s	一次	142/380	0.37	○
				一次+二次	165/456	0.36	○
			S ₁	一次	96/228	0.42	○
				一次+二次	94/456	0.21	○
	A-主給水配管 (CV外)	S	S _s	一次	205/426	0.48	○
				一次+二次	382/540	0.71	○
			S ₁	一次	91/270	0.34	○
				一次+二次	145/540	0.27	○
	B-主給水配管 (CV外)	S	S _s	一次	87/426	0.20	○
				一次+二次	146/540	0.27	○
			S ₁	一次	41/270	0.15	○
				一次+二次	58/540	0.11	○
補助蒸気系統	補助蒸気配管 (1次系)	C	C	133/179	0.74	○	
蒸気発生器 ブローダウン 系統	A-SGBD配管 (CV外) CVBD内	S	S _s	一次	63/329	0.19	○
				一次+二次	261/418	0.62	○
			S ₁	一次	52/209	0.25	○
				一次+二次	145/418	0.35	○
	B-SGBD配管 (CV外) CVBD内	S	S _s	一次	86/329	0.26	○
				一次+二次	371/418	0.89	○
			S ₁	一次	41/209	0.20	○
				一次+二次	217/418	0.52	○

※ 発生応力及び許容応力の単位はMPa

■ 評価書に記載した評価結果