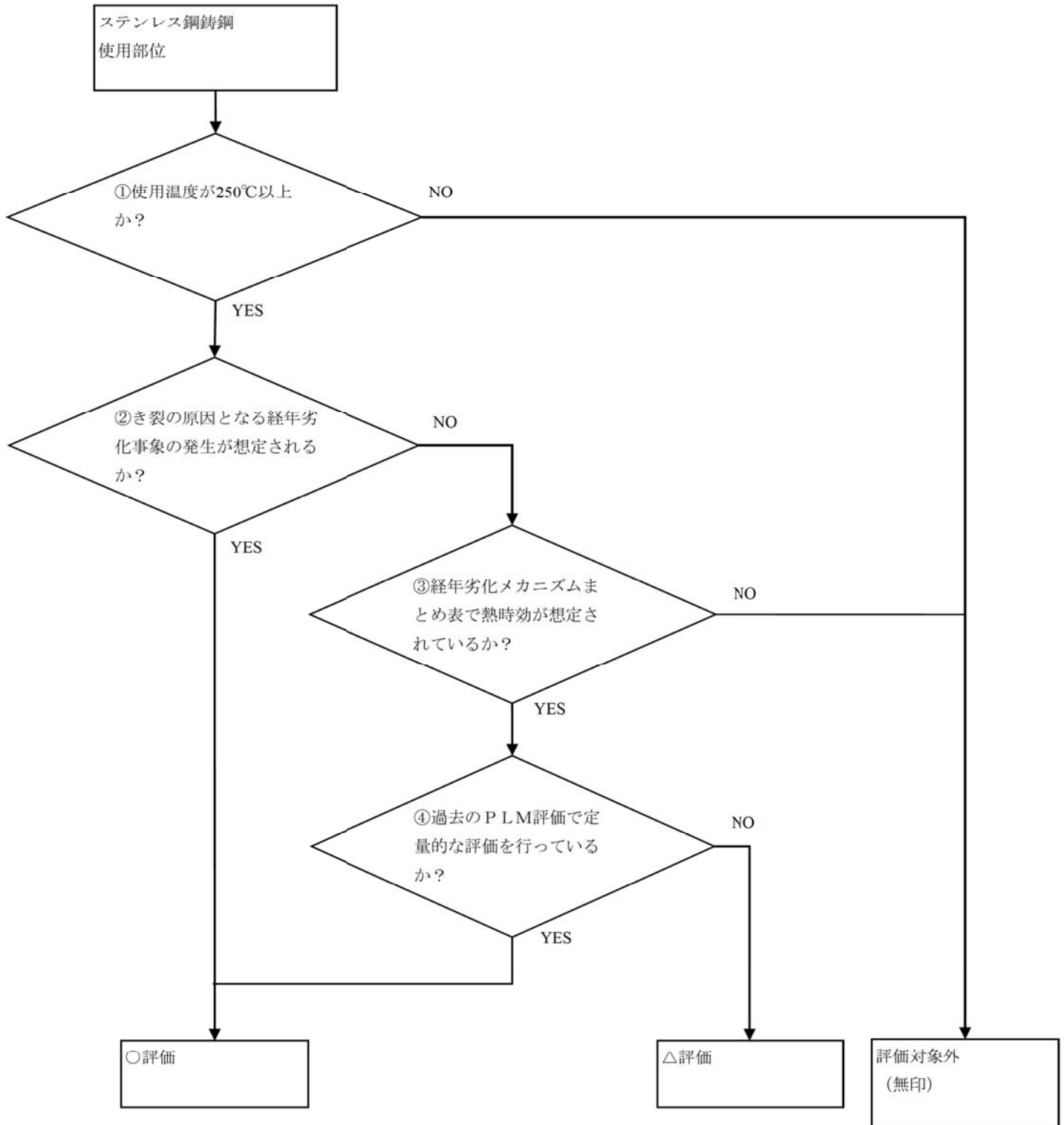


No.	高浜 1-2相ステンレス鋼の熱時効-8	事象：2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-10タービン設備-1高圧タービン-4, 5, 7, 15頁) 翼環について熱時効への対応の記述がないことの原因（技術的根拠を含む）を示すこと。</p>	
回 答	<p>翼環については、高経年化技術評価書での評価結果の通り、き裂の発生原因となる経年劣化事象が想定されず、かつ経年劣化メカニズムまとめ表で熱時効が想定されていないため熱時効の評価を行っていません。</p> <p>なお、熱時効評価に対する抽出の考え方を添付に示しますが、翼環については①→②→③→評価対象外と判断しています。</p>	

熱時効スクリーニングフロー



No.	高浜1-低サイクル疲労-6 rev2	事象：疲労															
質 問	<p>(別冊-2熱交換器-2蒸気発生器-22頁)</p> <p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠(解析モデル、材料物性、最大評価点の選定、応力分類、Ke係数、環境評価パラメータ、伝熱管最外周部の穴周りの応力算出法を含む)を提示すること。</p> <p>また、疲労累積係数について、設計・建設規格による解析結果と環境疲労評価手法による解析結果が各々最大となる評価点の位置とその値を提示すること。</p>																
回 答	<p>蒸気発生器本体管板及び給水入口管台の疲労累積係数の算出根拠は以下の通りです。</p> <p>1. 解析モデル 解析モデルを添付1に示します。</p> <p>2. 材料物性値 材料物性値を以下に示します。</p> <table border="1" data-bbox="368 987 1417 1256"> <thead> <tr> <th rowspan="2">使用箇所</th> <th rowspan="2">材料</th> <th colspan="2">設計応力強さ</th> </tr> <tr> <th>S_m (MPa)</th> <th>温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>給水入口管台</td> <td colspan="3" rowspan="2" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>管板及び管板廻り</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">□内は商業機密に属しますので公開できません</p> <p>3. 最大評価点の選定 解析モデル上の評価点及び設計・建設規格による最大評価点の選定結果を、添付2に示します。</p> <p>4. 応力分類 評価における荷重の組み合わせを以下に示します。また、応力評価のフローを添付3に示します。</p> <table border="1" data-bbox="416 1686 1369 1843"> <thead> <tr> <th>状態</th> <th>荷重の組合せ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>供用状態 A, B</td> <td>圧力、機械的荷重、自重、熱膨張荷重、熱過渡</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Ke係数 評価に用いたKe係数を添付2、添付4に示します。</p>		使用箇所	材料	設計応力強さ		S _m (MPa)	温度 (°C)	給水入口管台				管板及び管板廻り	状態	荷重の組合せ	供用状態 A, B	圧力、機械的荷重、自重、熱膨張荷重、熱過渡
使用箇所	材料	設計応力強さ															
		S _m (MPa)	温度 (°C)														
給水入口管台																	
管板及び管板廻り																	
状態	荷重の組合せ																
供用状態 A, B	圧力、機械的荷重、自重、熱膨張荷重、熱過渡																

6. 環境評価パラメータ

評価に用いた環境評価パラメータ（環境効果補正係数 f_{en} ）を、添付4に示します。

7. 評価点の位置と数値

設計・建設規格による解析結果と環境疲労評価手法による解析結果が各々最大となる評価点の位置とその値を以下に示します。

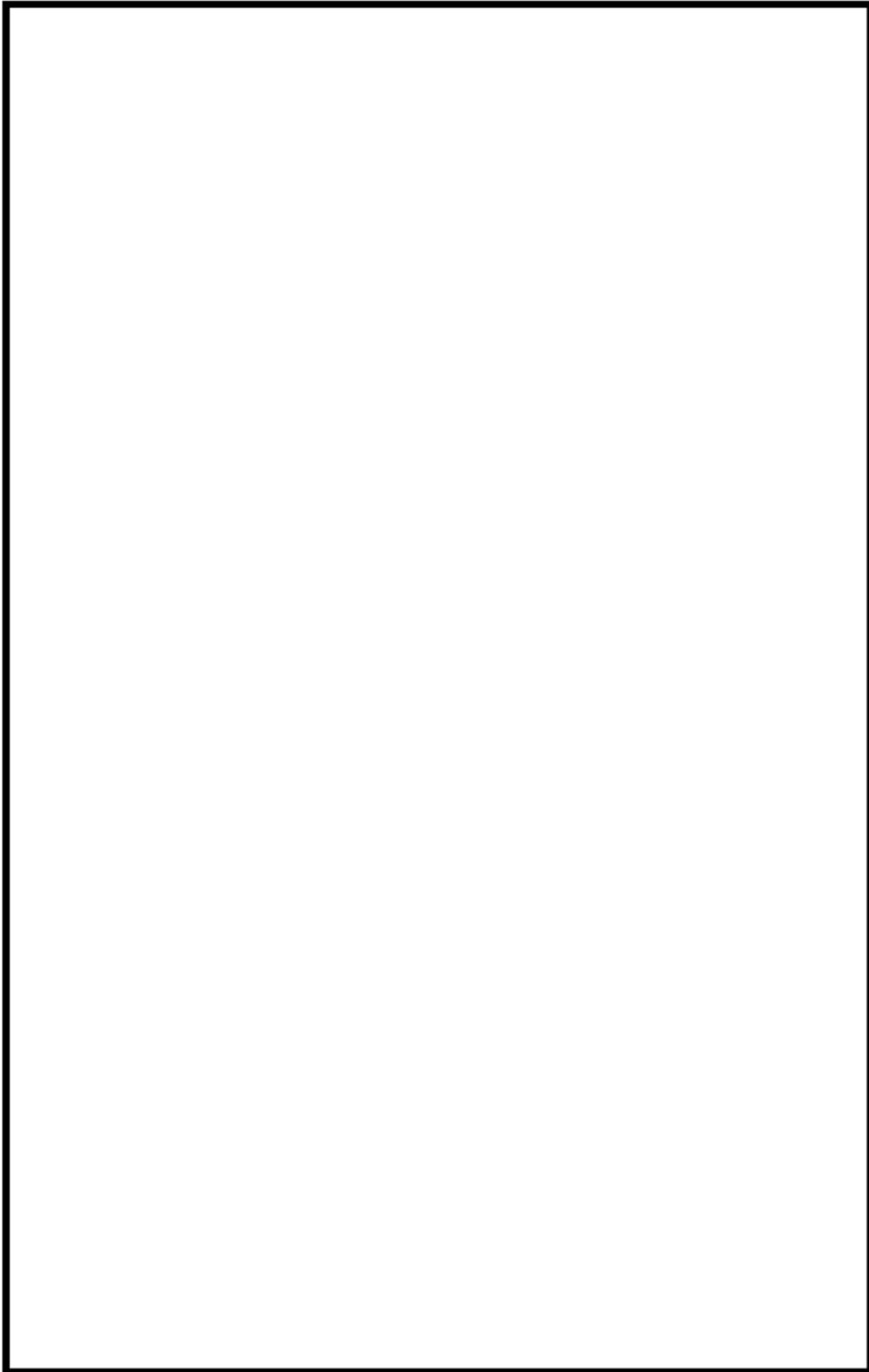
管板及び管板廻りについては、設計・建設規格による評価において疲労累積係数が最大となる評価点が、ニッケル基合金の内張りにより接液しないため、内張りを施していない接液部で疲労累積係数が最大となる評価点の疲労累積係数を用いて環境疲労評価を実施しています。

また、給水入口管台については、熱成層による影響を考慮して最大となる環境疲労評価を示しています。

評価点の位置については、添付2を参照下さい。

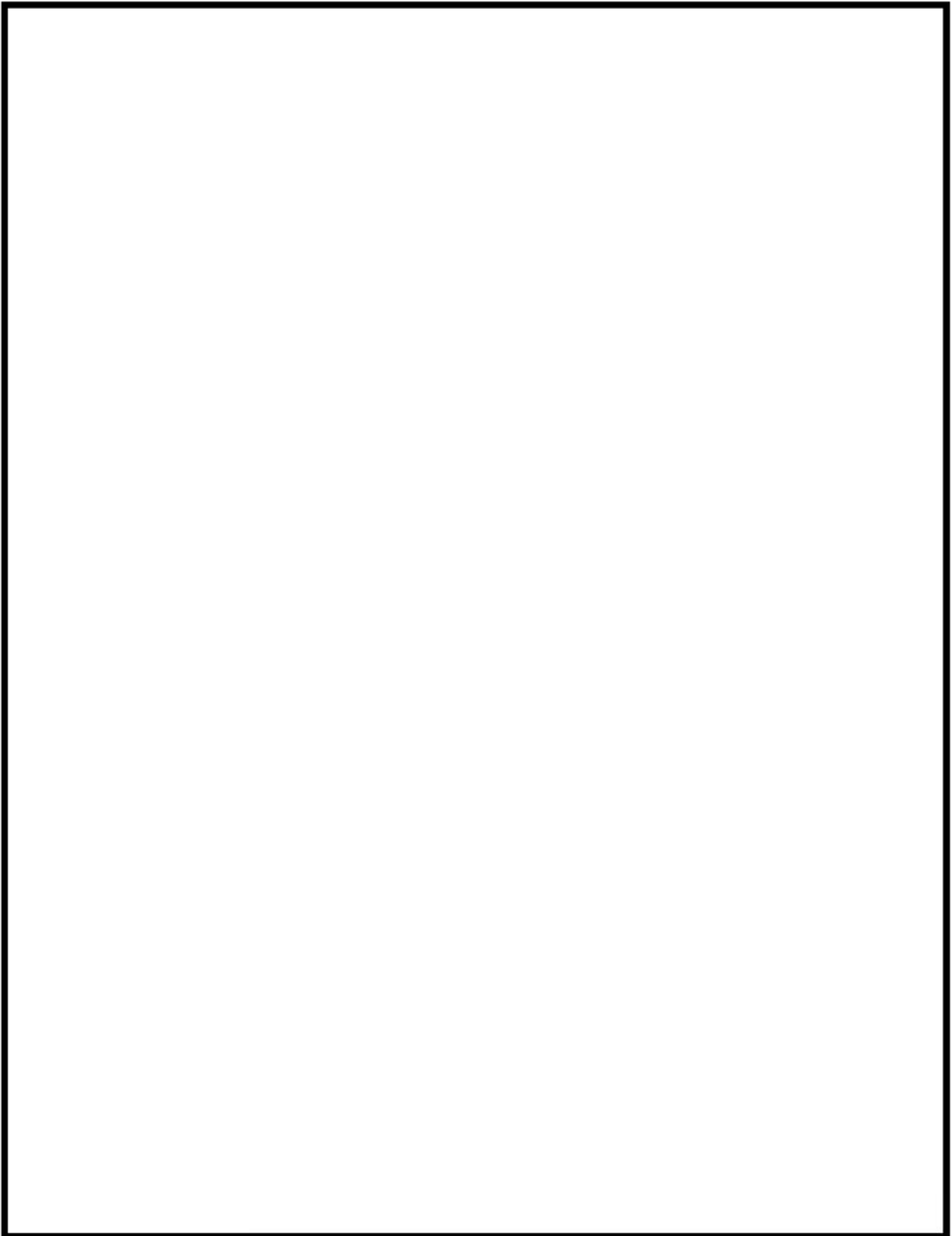
評価部位	設計・建設規格による 解析結果		環境疲労評価手法に よる解析結果		評価点参照
	U f	評価点	U f e n	評価点	
管板及び管板廻り	0. 1 2 3	1次側 R/R*=1.0	0. 0 9 9	1	添付2（1／6）
給水入口管台	0. 0 7 3	7	0. 2 3 5	1	添付2（2／6）

以上



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません



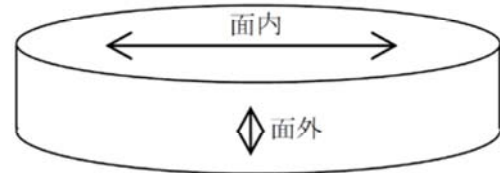
蒸気発生器本体 給水入口管台 解析モデル

内は商業機密に属しますので公開できません

管板部の伝熱管穴周りの応力算出

管板部の伝熱管穴周りの応力算出 (高浜 1/2 号炉 共通)

管板のモデル化は、管板の穴明き部を簡易的に評価するため、等価中実円板に置き換えてモデル化を行っている。



等価中実円板とは、寸法が多孔板と同一で変位が等しくなるように、縦弾性係数及びポアソン比を修正した中実円板です。管板 (多孔板部) は次のとおり等価剛性を考慮します。

- 1) 面内方向の E^*/E 及び ν^* は、文献「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」Table2 及び Table3 より

E^* : 等価縦弾性係数
 E : 縦弾性係数
 ν^* : 等価ポアソン比

	η	0.3	0.4
管穴ピッチ方向	E^*/E	0.420	0.525
	ν^*	0.173	0.216
管穴対角方向	E^*/E	0.239	0.380
	ν^*	0.529	0.433

リガメント効率 : $\eta = h / p =$ []

管穴ピッチ : $p =$ []

最小リガメント : $h =$ []

から、管穴ピッチ方向と管穴対角方向を平均し、 $E^*/E =$ [] $\nu^* =$ [] となる。

- 2) 面外方向の E^*/E は、面積比より $E^*/E = 1 - [(\pi \cdot r'^2) / p^2] =$ [] となる。

等価伝熱管内半径 : $r' =$ []

管穴ピッチ : $p =$ []

面外方向 ν^* は、中実と変わりなく、 $\nu^* = 0.3$ となる。

管板部の伝熱管周りの応力算出 (補足説明)

管穴の配列について

多孔板の等価剛性を求める手法として ASME 「ARTICLE A-8000 STRESSES IN PERFORATED FLAT PLATES」が存在するが、適用条件として管穴配列が正三角形であることが必要である。しかしながら、高浜 1 号炉及び 2 号炉の蒸気発生器の管板の管穴配列は図 1 に示すとおり、正四角形であることから ASME は適用できない。

そこで、適用条件として管穴配列が正四角形の場合も記載されている文献「Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns」※ (適用条件となる管穴配列は図 2 参照) を適用しています。

※ T. Slot, W. J. O' Donnell : Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns, Journal of Engineering for Industry, 1971

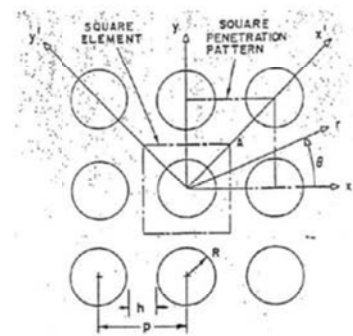
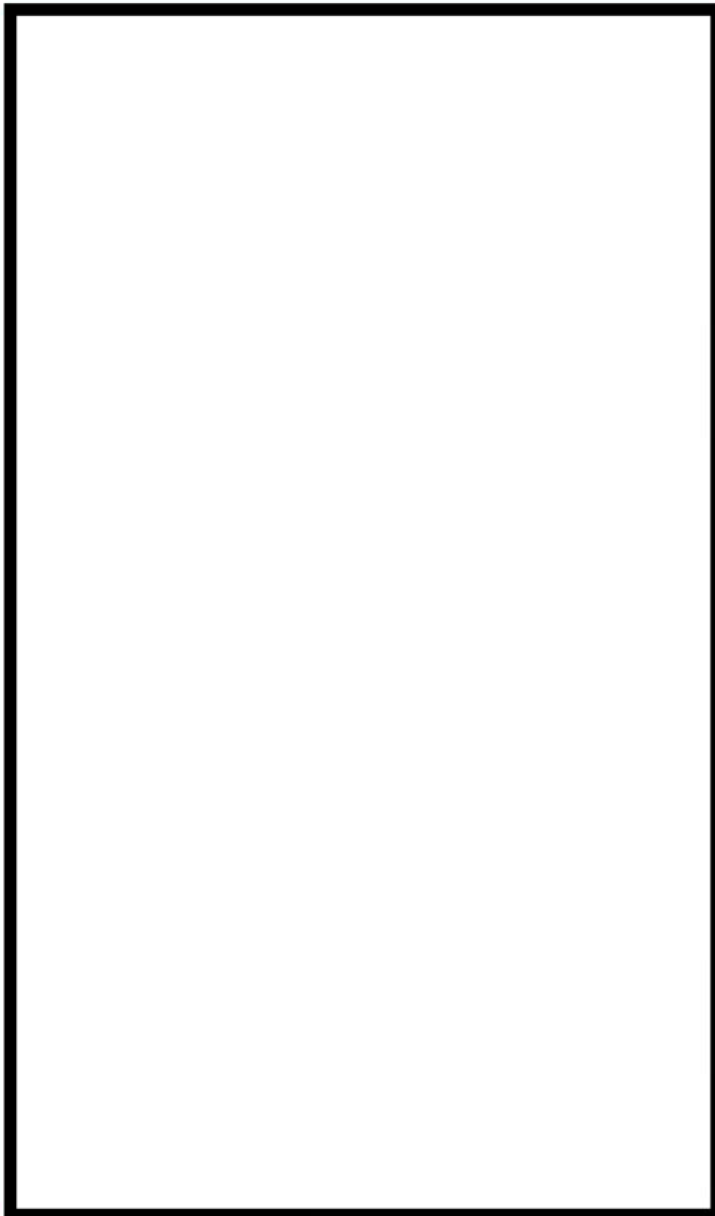


図 2 適用条件となる管穴配列 (正四角形の場合)



図 1 評価対象機器の管穴配列

上段 : 高浜 1 号炉 蒸気発生器
下段 : 高浜 2 号炉 蒸気発生器

管板周りの疲労評価における解析モデルの妥当性について

○仕切板の影響について

蒸気発生器水室の入口側と出口側の仕切板は、管板と溶接等で接合されていないため、管板に対する仕切板の熱伸び等による有意な影響はないと考えられます。そのため、水室の仕切板はモデルに考慮しておりません。

○管側水室の温度条件について

管側水室の温度条件は1次冷却材の入口側高温条件を管板全面に入力しております。理由を以下に示します。

蒸気発生器の管板周りにおいては、胴側と水室側の温度差により管板が曲がろうとするため、管板と胴の境界周辺の構造不連続部に大きな応力が発生します。

図1に、胴側が低温流体、水室側が高温流体の場合のイメージ図を示します。仕切板を考慮した場合は図1(a)のように、胴側との温度差が大きくなる水室入口側は管板の半分の領域に接するため、管板の熱曲げによる応力は主にこの領域で発生します。

一方、疲労評価では図1(b)のように仕切板を考慮せず、管板全体が最大温度差を受けるモデルとすることで、管板の変形が大きくなり、管板の熱曲げによる応力が大きく評価されます。

したがって、図1(b)の方が熱過渡による疲労評価として厳しい評価となります。

ここで、水室側において入口側と出口側が隣り合う部分（管板と仕切板の交差部周辺）では、入口側と出口側の温度差により熱応力は生じますが、温度差は胴側—水室入口側より小さいこと、及び曲げの生じる方向が管板全体の曲げとは異なることから、管板全体への影響は小さいと考えます。

以上から管側水室の入口側と出口側の温度差による影響は、より温度差の大きい胴側と管側入口側の温度差を考慮した評価により確認されていると判断し、解析モデルに考慮しておりません。

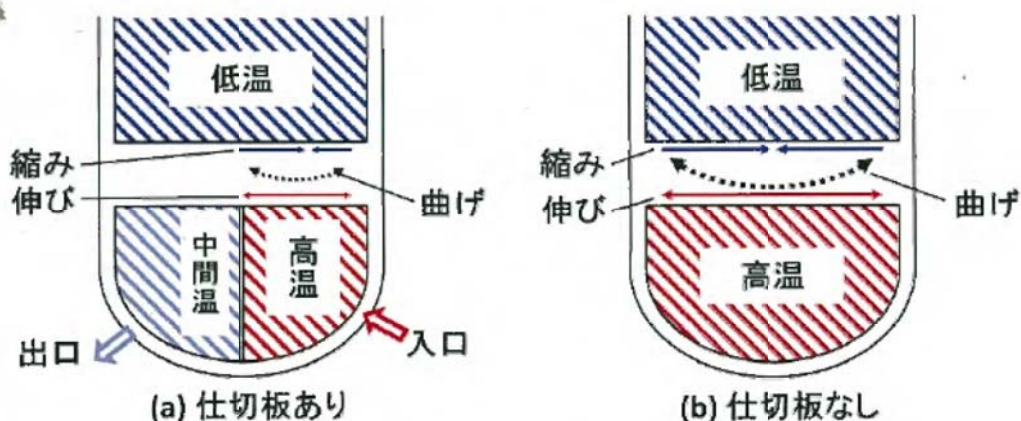
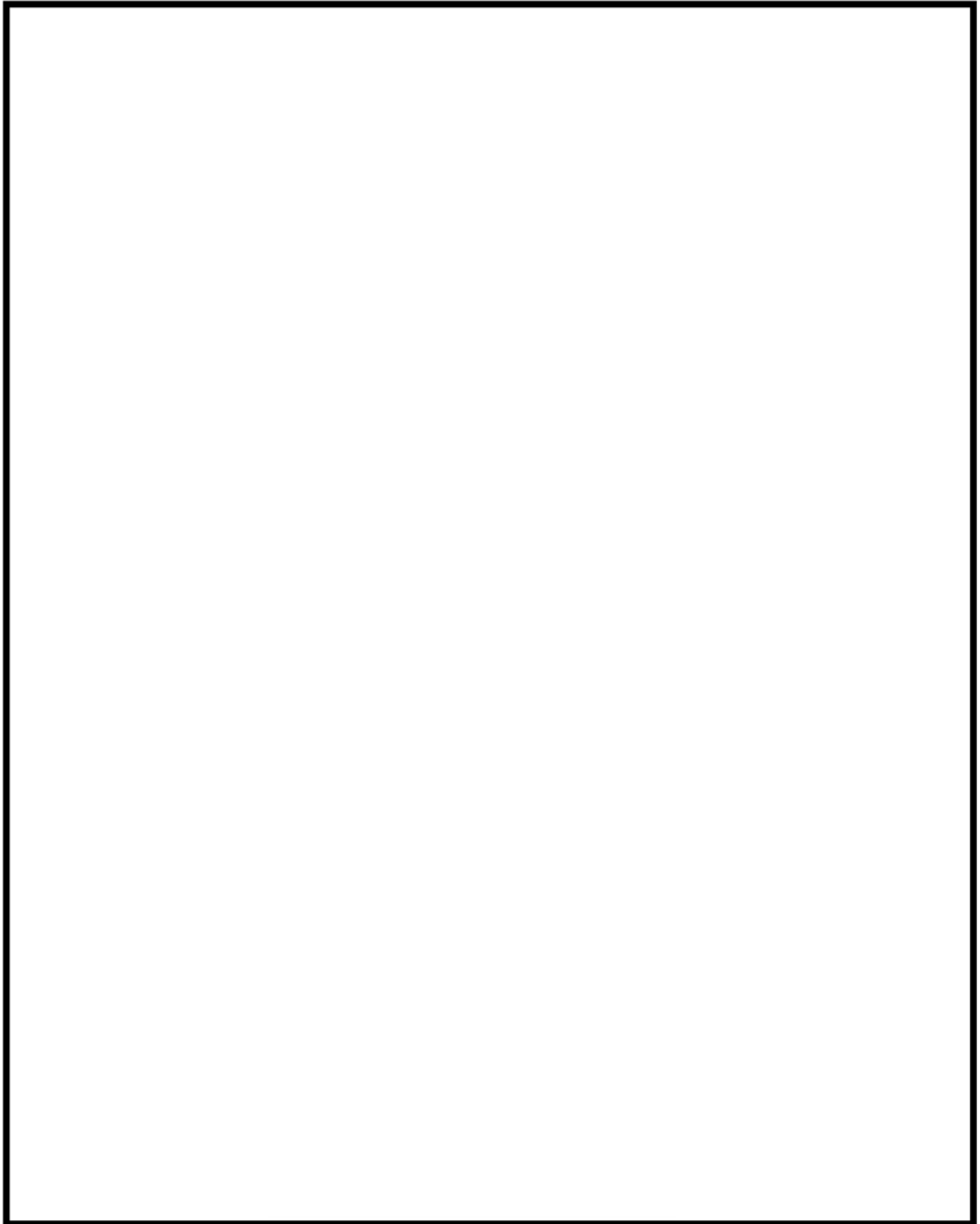
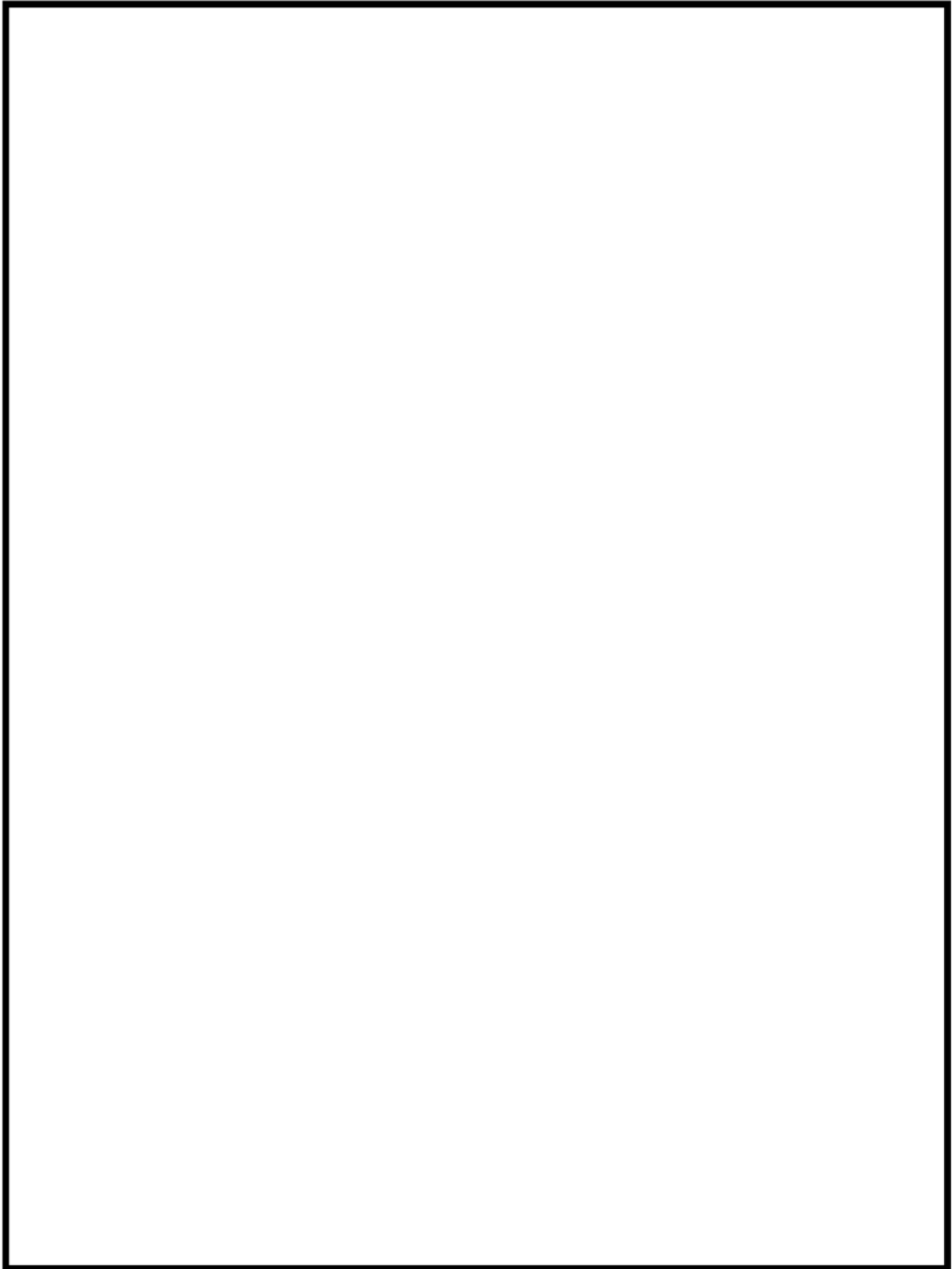


図1: 管板周りのイメージ図



蒸気発生器本体 管板及び管板廻り 評価点

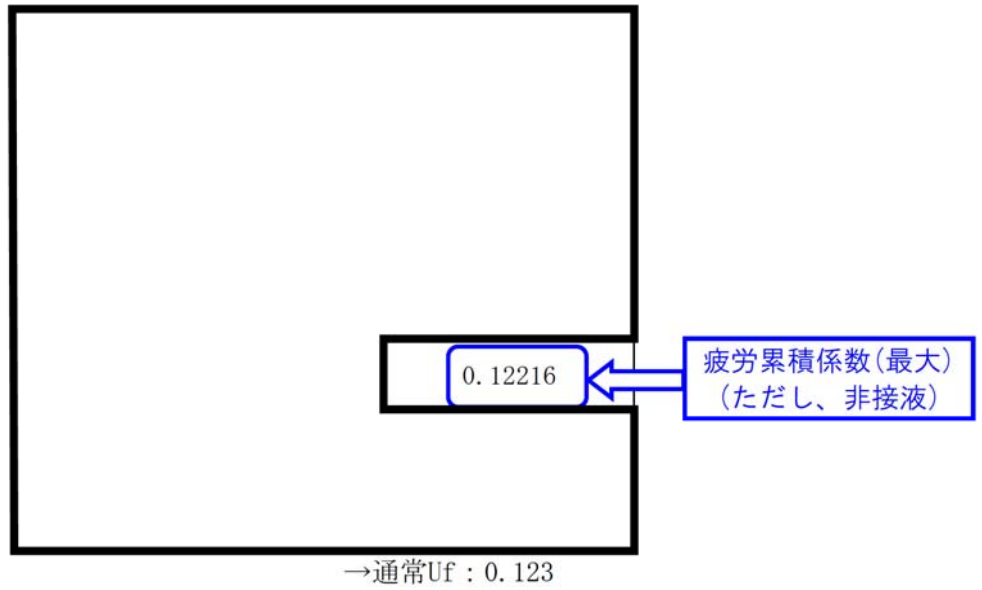
内は商業機密に属しますので公開できません



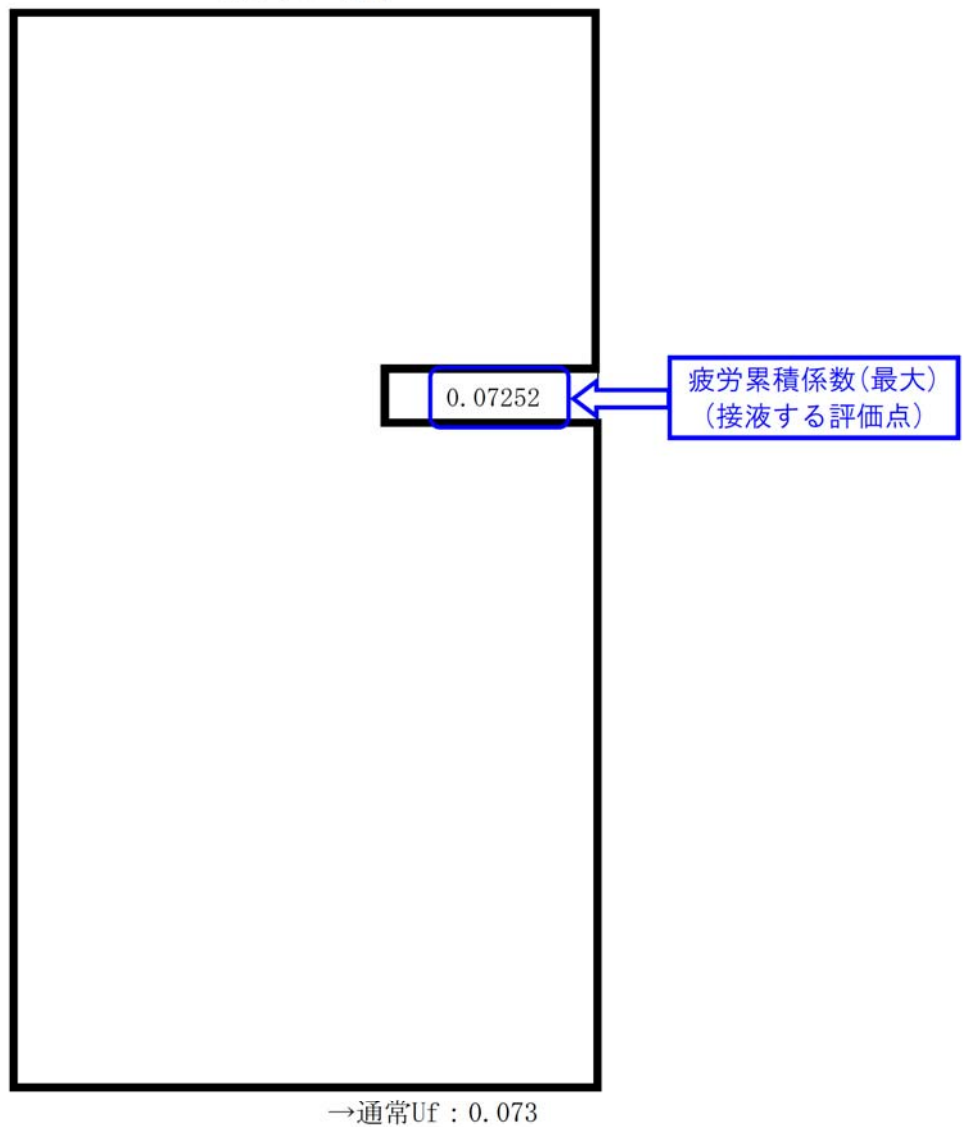
蒸気発生器本体 給水入口管台 評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (1/2)
管板および管板廻り



蒸気発生器本体 最大疲労評価点の選定 (2/2)
給水入口管台



蒸気発生器本体 疲労評価結果 管板及び管板廻り (評価点: 1次側 R/R*=1.0)

評価点 - P1 SIDE R/R* = 1.0

応力強さ	(単位: MPa)	繰返し回数	疲労係数
			疲労累積係数 = 0.12216

K_s : 割増し係数

ALT : 繰返しピーク応力強さ

ALT : ALTに(207000)/(材料の使用温度における縦弾性係数)を乗じて得た値

N : 設計繰返し回数

N* : 許容繰返し回数

→通常UF:0.123

内は商業機密に属しますので公開できません

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点:7) (1/2)

評価点 - 7
(S12)

応力強さ (単位: MPa)	繰返し回数	疲労係数

内は商業機密に属しますので公開できません

蒸気発生器本体 疲労評価結果 給水入口管台 (評価点:7) (2/2)

評価点 : 7
(S12)

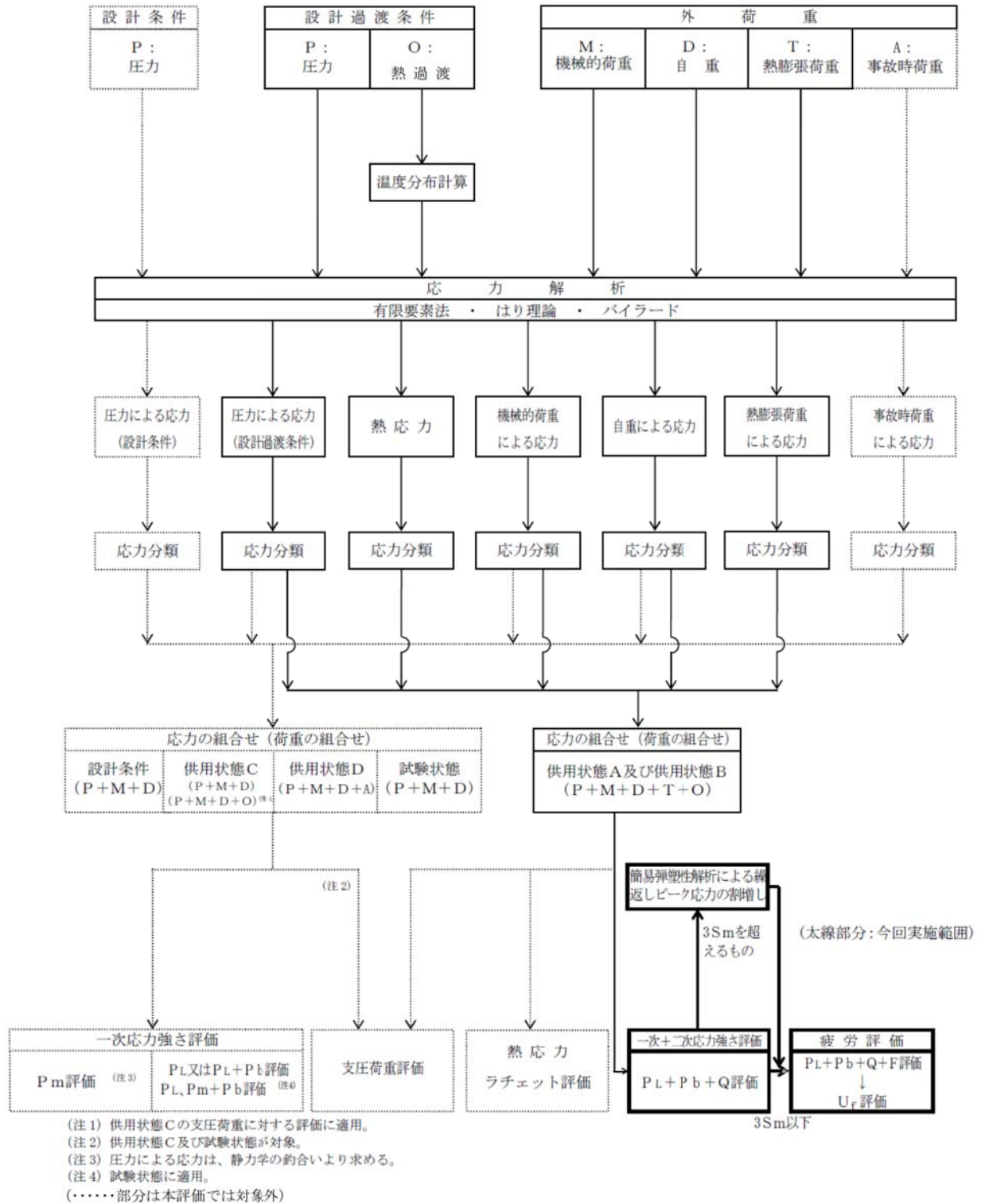
応力強さ (単位: Ma)					繰返し回数		疲労係数
極大値	極小値	K_e	ALT	ALT	N	N^*	(= $N N^*$)
[Redacted]							

疲労累積係数 = 0.07252

- K_e : 割増し係数
- ALT : 繰返しピーク応力強さ
- ALT : $ALT \times (207000) / (\text{材料の使用温度における縦弾性係数})$ を乗じて得た値 → 通常UF:0.073
- N : 設計繰返し回数
- N^* : 許容繰返し回数

[Redacted] 内は商業機密に属しますので公開できません

応力評価フロー



K e 係数と環境疲労パラメータ (管板及び管板回り 評価点①) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回 数	許容繰返し 回 数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					

<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

合計 : 0.09818

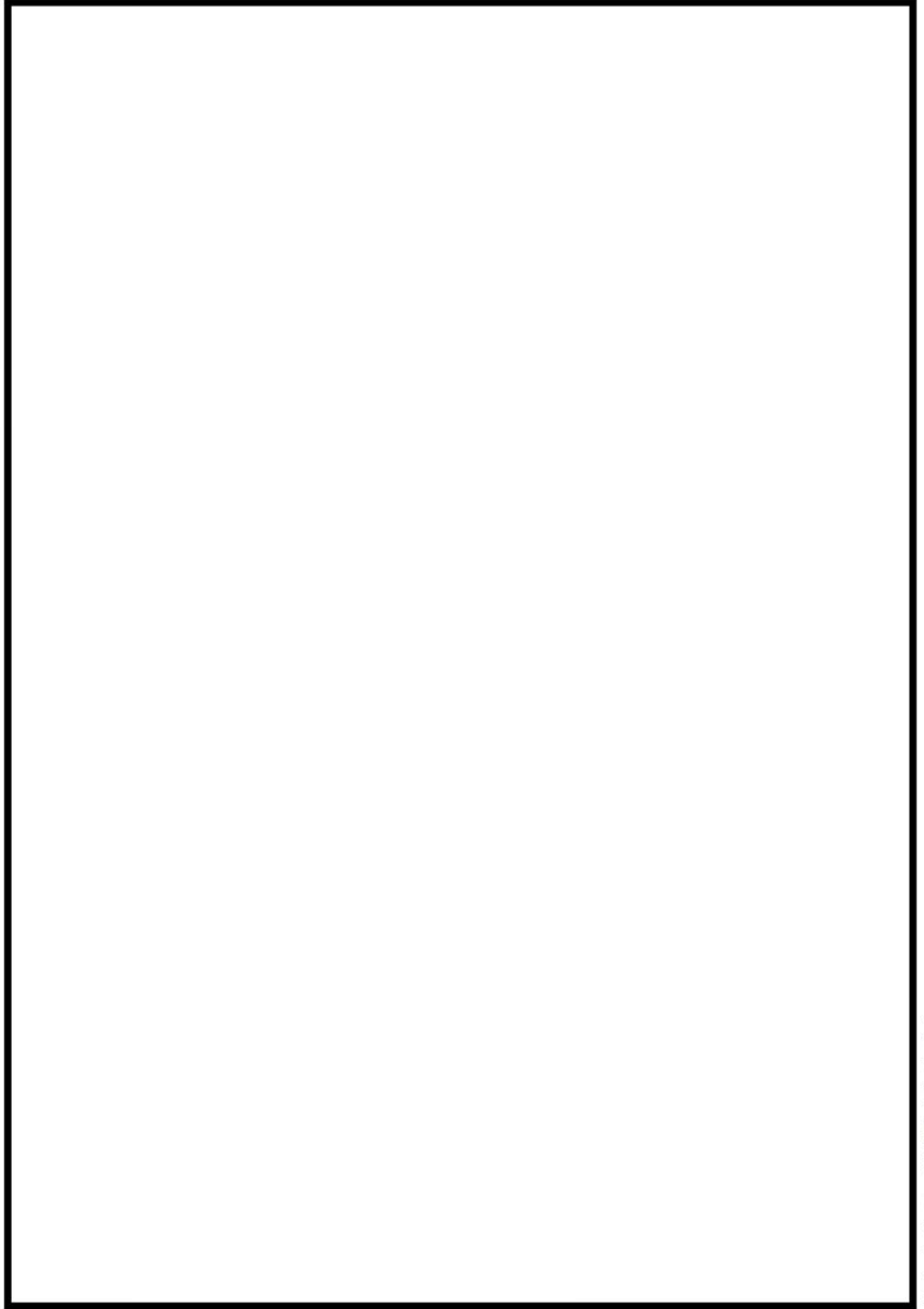
内は商業機密に属しますので公開できません

→ 環境Uf : 0.099

環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

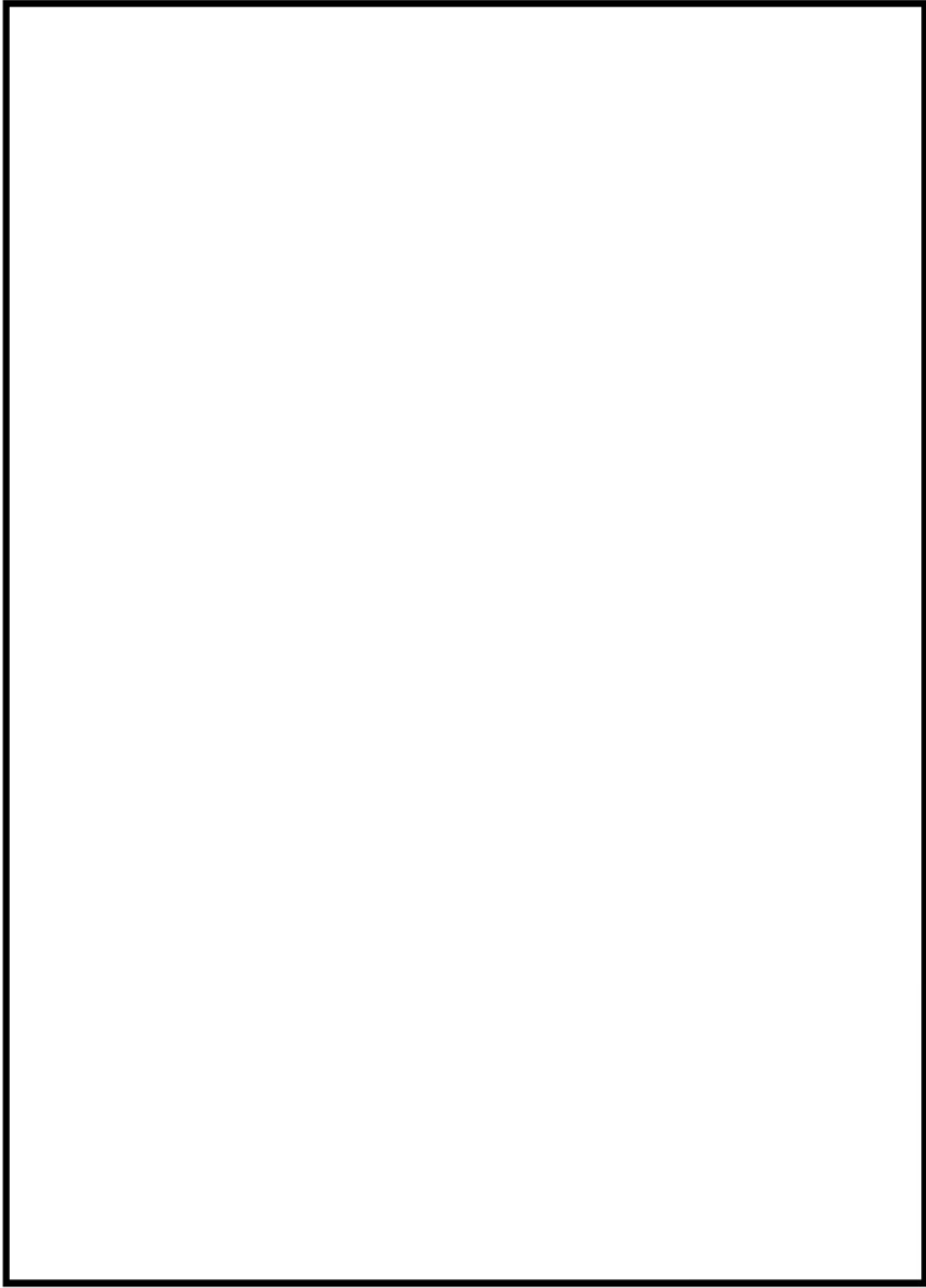
環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える、U f が大きい過渡の温度、ひずみ履歴を6例示す。

a. 過渡2J1, 2E1



b. 過渡2J1, 2K1

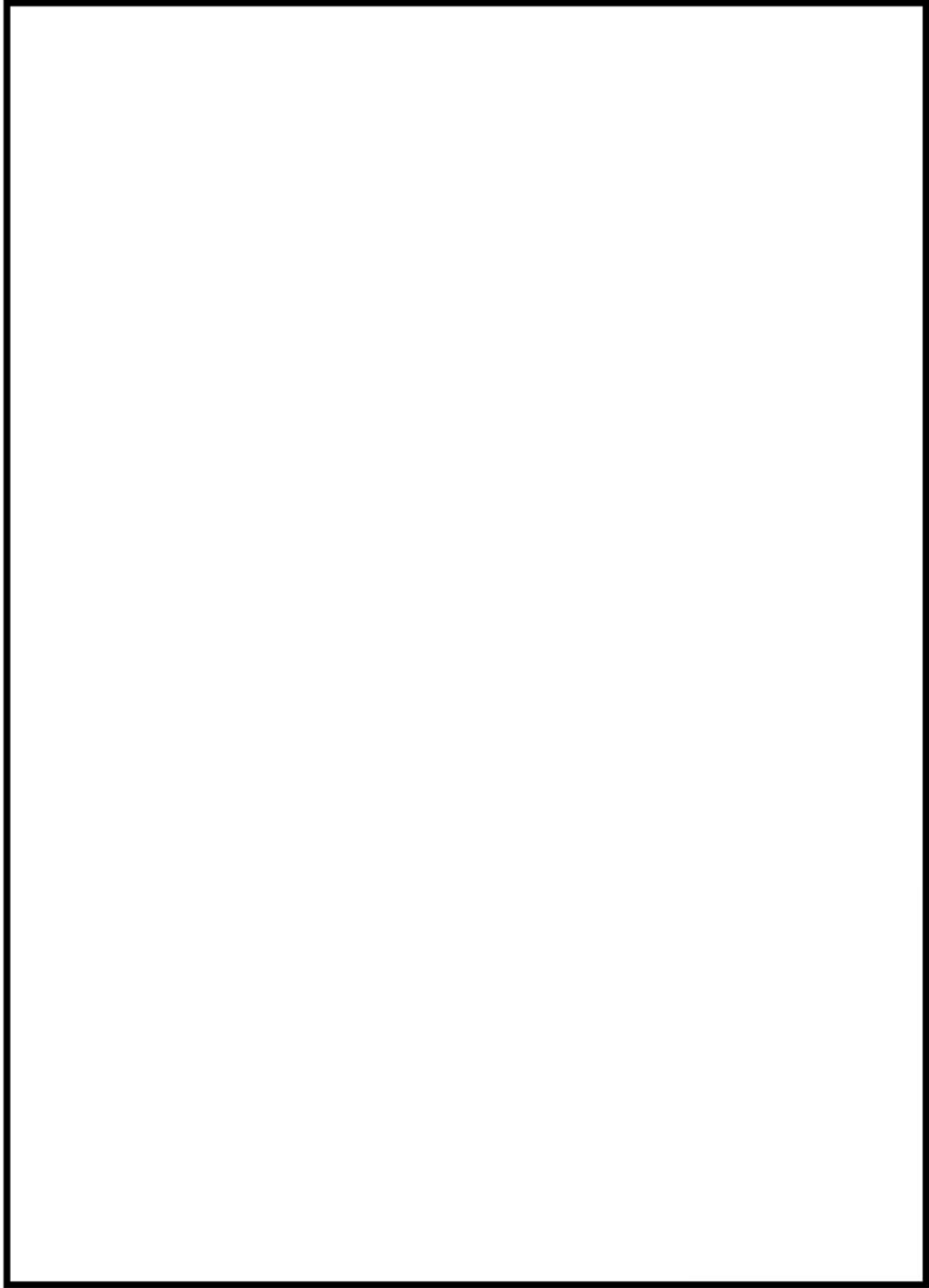
内は商業機密に属しますので公開できません



c. 過渡1A1, 1D1

d. 過渡1C1, 1D1

内は商業機密に属しますので公開できません



e. 過渡IC1, IK1

f. 過渡NSS, IAI



内は商業機密に属しますので公開できません

Ke 係数と環境疲労パラメータ (給水入口管台 評価点①) (詳細評価手法)

過渡条件 記号		一次+二次+ ピーク応力強さ		割り増し 係数	繰返しピーク 応力強さ		実過渡 回数	許容繰返し 回数	疲労累積係数	環境効果 補正係数	環境効果を考慮した 疲労累積係数
A	B	smax	smin		補正前 salt	補正後 salt'					
										合計 :	0.23438

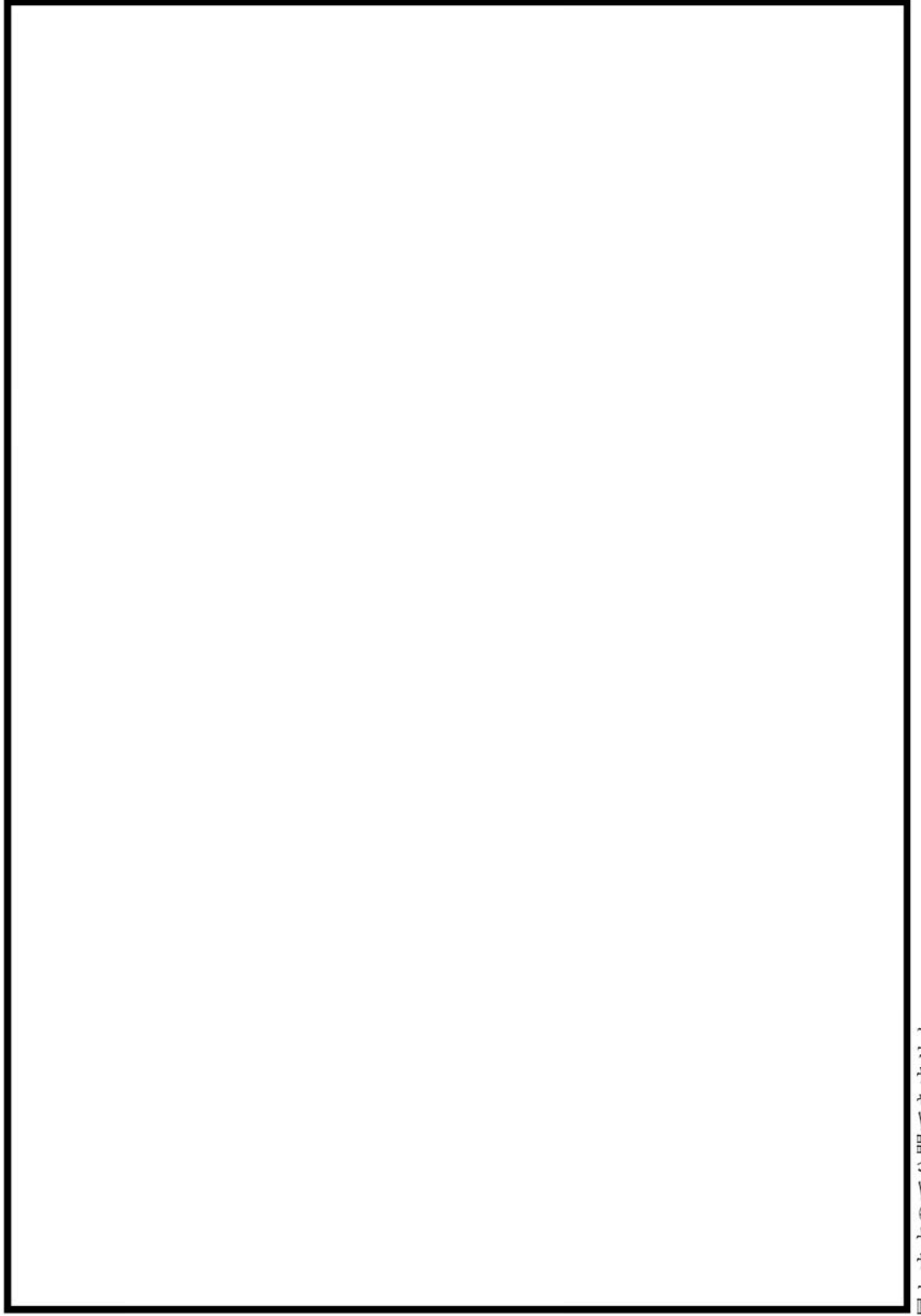
→ 環境Uf : 0.235

内は商業機密に属しますので公開できません

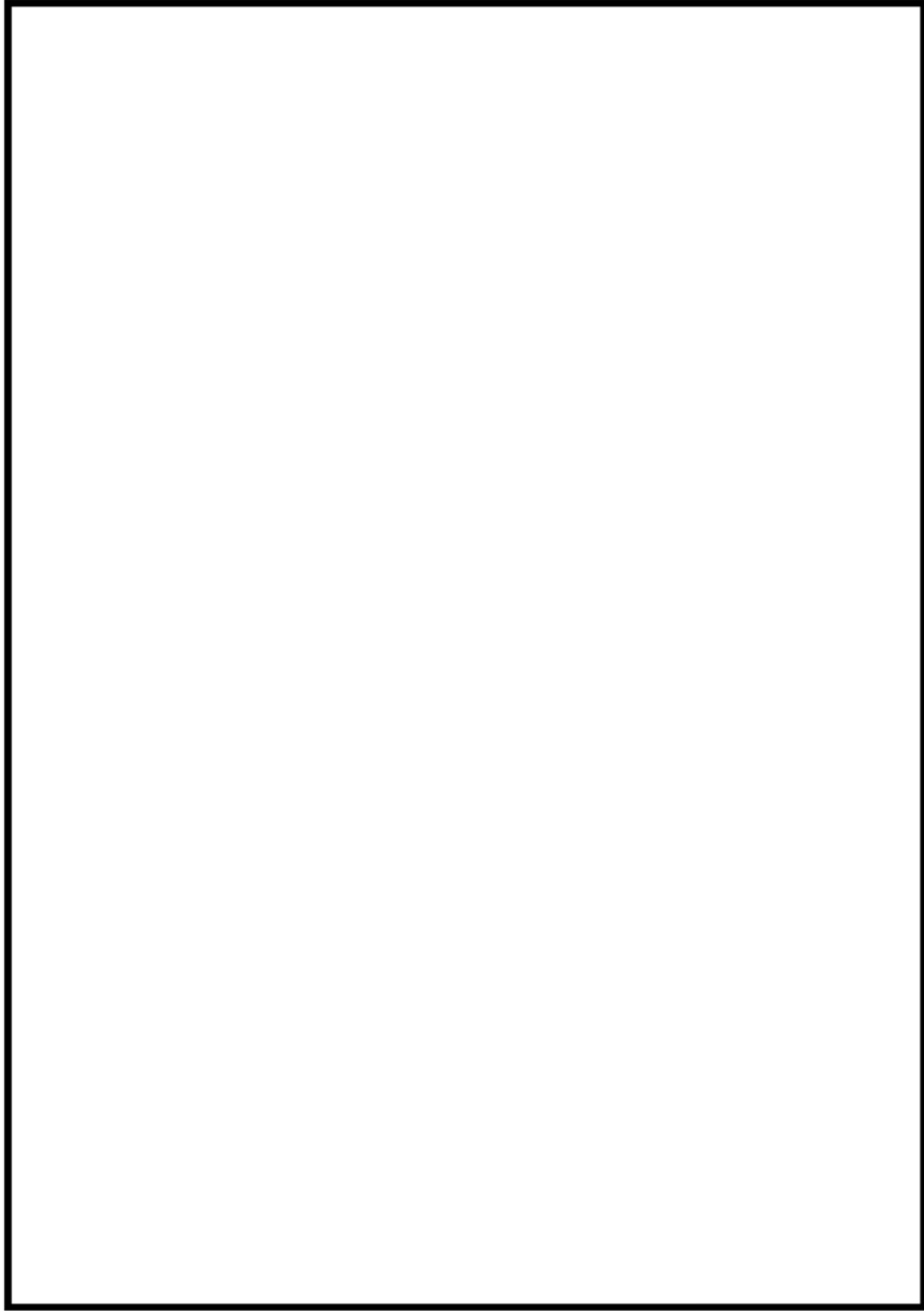
環境効果補正係数 (fen) の算出根拠

環境補正係数については、各過渡の温度、ひずみ履歴より値を読み取り、環境疲労評価手法に従って算出している。以下に環境補正係数が1を超える過渡の温度、ひずみ履歴を示す。

a. 過渡1B1, 2T1



b. 過渡1A1, 2T1

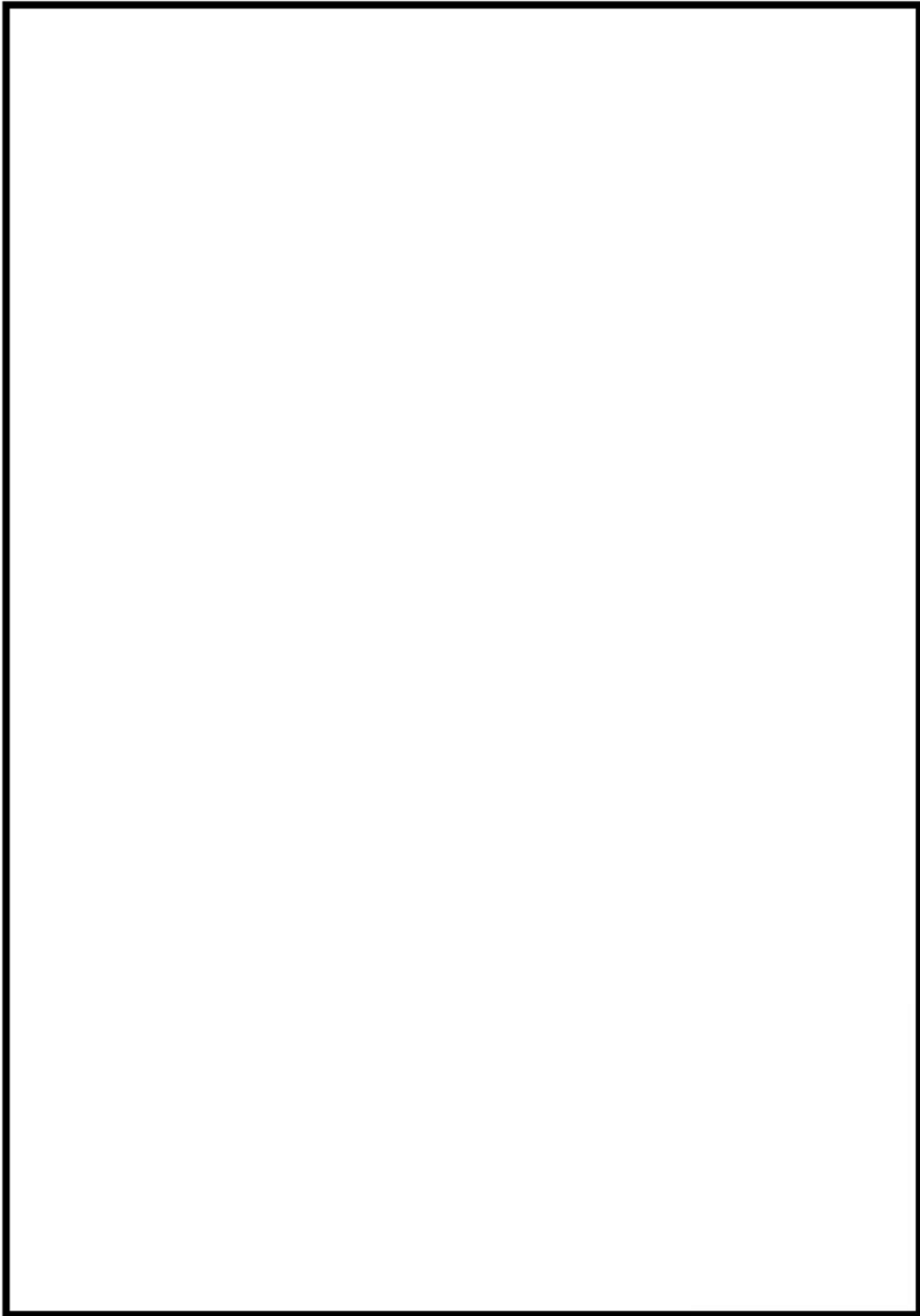


c. 過渡2T1, 2D5

d. 過渡2T1, 2G1

内は商業機密に属しますので公開できません



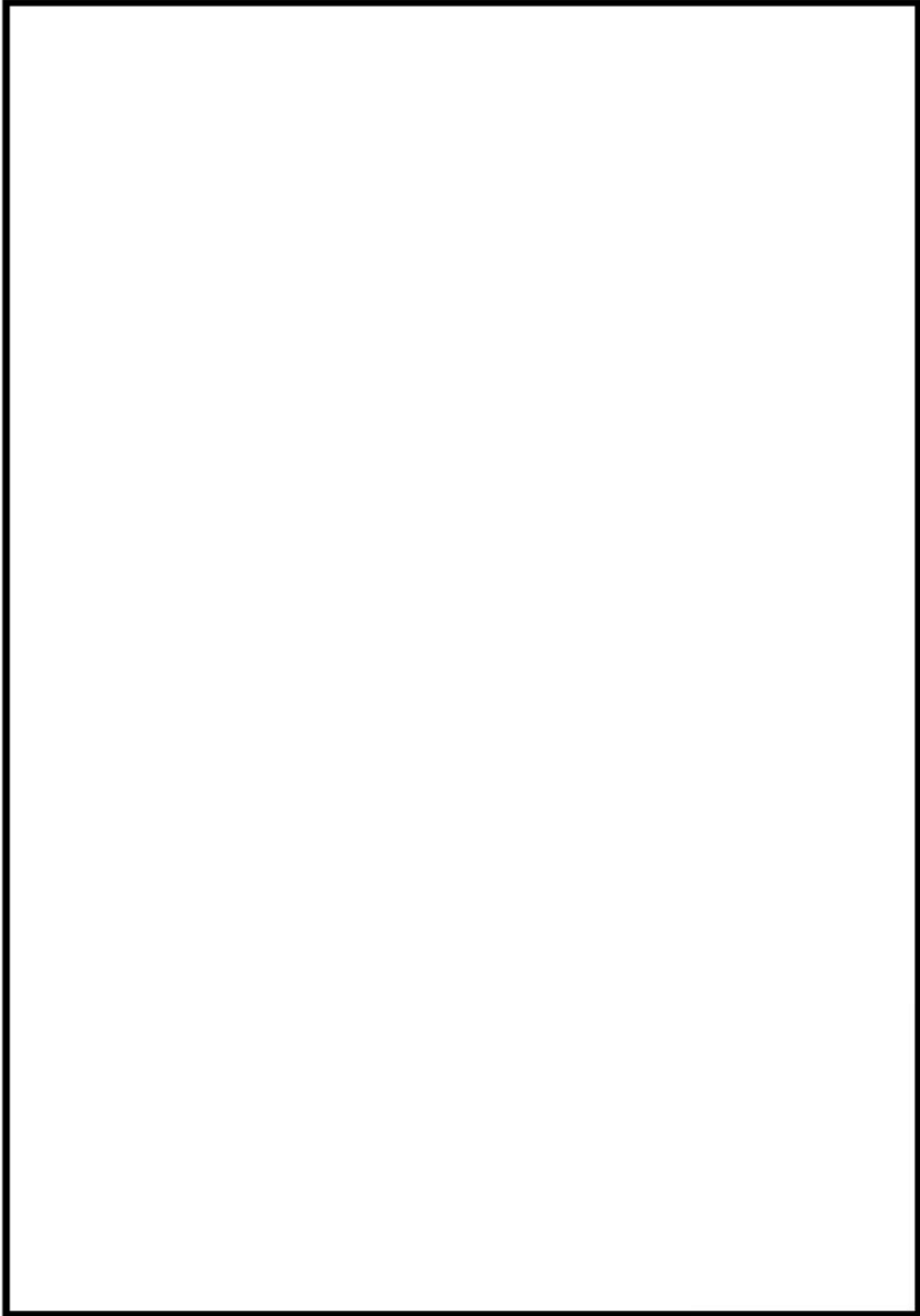


e. 過渡2T1, 1N1

f. 過渡1A1, 1N1

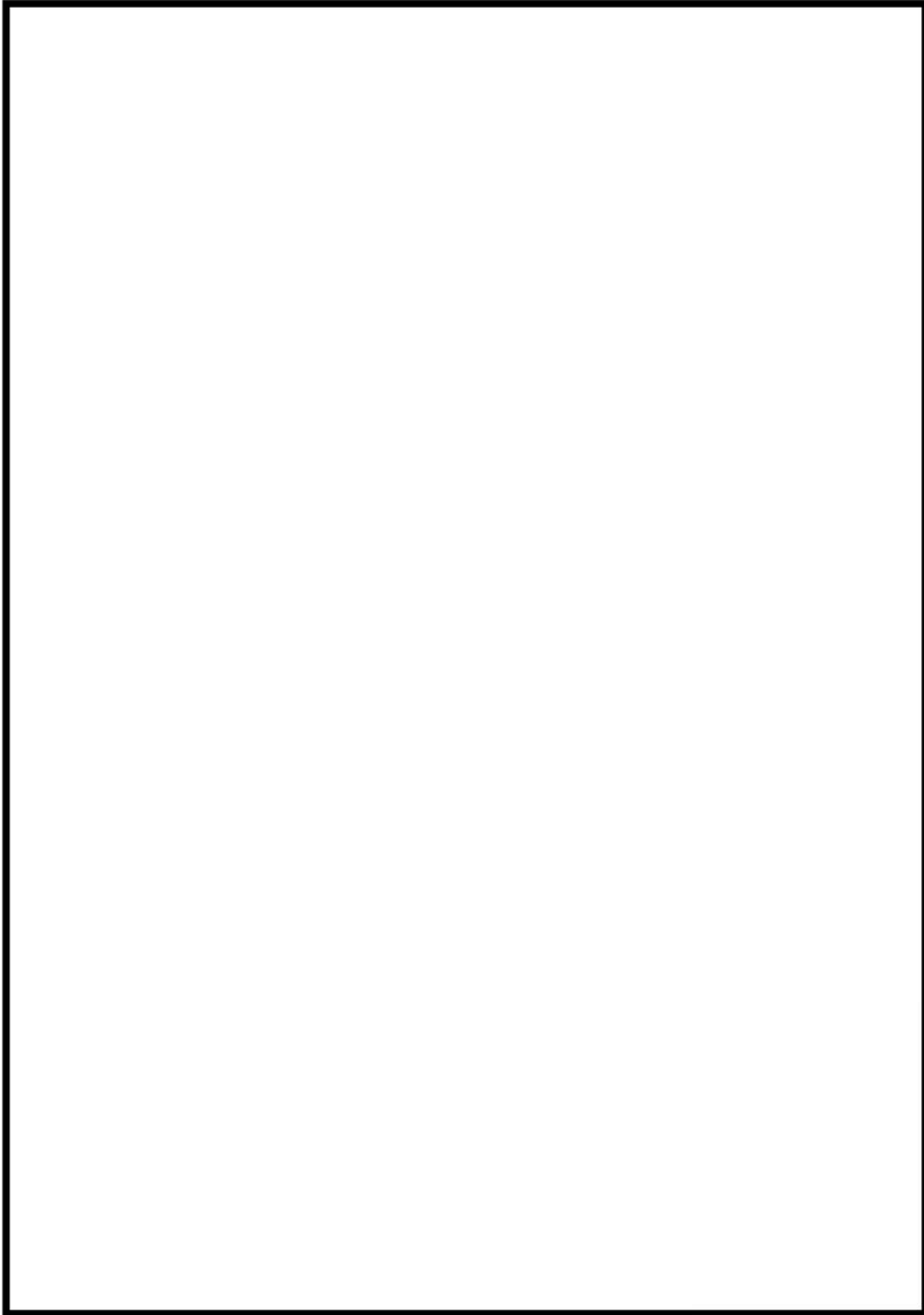
□内は商業機密に属しますので公開できません

g. 過渡1N1, 1N1



h. 過渡1N1, 2D3

内は商業機密に属しますので公開できません



i. 過渡1N1, 2E1

j. 過渡1N1, 2B1

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜 1 - 40年目追加評価 - 10	事象：劣化傾向の評価
質 問	<p>(別冊-18 40年目追加評価-コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下-18頁) 表 6 - 1 において、各要因における 30 年目および 40 年目評価結果で、特別点検の結果より妥当性の確認ができたのかを説明すること。</p>	
回 答	<p>強度低下という劣化事象に対して、それぞれの劣化要因について、より使用環境条件等が厳しい箇所を対象に、技術評価および特別点検にて強度の確認を行っている。その結果、運転開始後 40 年経過時点ではあるが、技術評価および特別点検の結果により、強度が低下していないことが確認できたことから、技術評価の妥当性の確認が出来たものと判断している。</p> <p>同様に、遮蔽能力低下という劣化事象に対して、その劣化要因について、より使用環境条件等が厳しい箇所を対象に、技術評価および特別点検にて遮蔽能力の確認を行った結果、運転開始後 40 年経過時点ではあるが、技術評価および特別点検の結果により、遮蔽能力が低下していないことが確認できたことから、技術評価の妥当性の確認が出来たものと判断している。</p>	