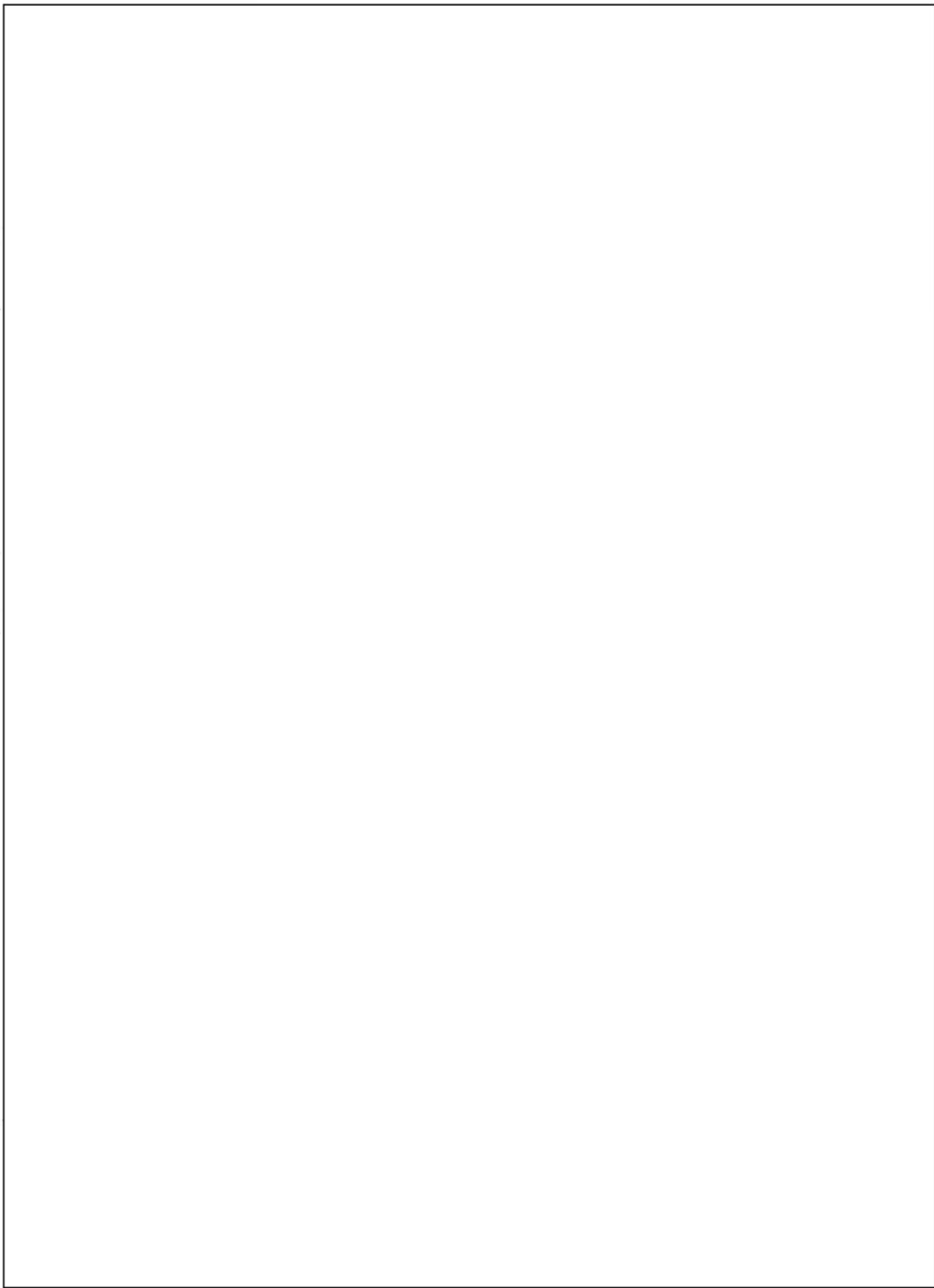


No.	高浜 1－熱時効－ 1 0 rev1	事象：2相ステンレス鋼の熱時効
質 問	<p>(別冊-5配管-41次冷却材管-18頁)</p> <p>母管及び管台の熱時効に係る現状保全及び総合評価について、健全性評価において選定した評価部位との関係から、定期的実施している溶接部の超音波探傷検査における検査部位の選定（サンプリング）の妥当性を提示すること。</p>	
回 答	<p>母管及び管台の溶接部の供用期間中検査（超音波探傷検査）の検査部位の選定は維持規格に基づき実施しております。</p> <p>維持規格においては、経年劣化を確認するため定点サンプリング方式を採用しております。当該部においては、経年劣化事象を考慮して相対的に経年変化に厳しい条件にあると考えられる部位を優先して選定することが望ましいとの考えに則って、以下の溶接継手を優先して選定することとしております。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①容器と各管との溶接継手 ②構造不連続部の継手 <p>また、部位として選定した構造不連続部の継手が特定の系統および口径の継手に偏らないようにするため、その継手数を比例配分により求めるよう定めております。（維持規格参照）</p> <p>具体的な選定箇所および検査部位を添付 1 に示します。</p> <p>なお、母管及び管台の健全性評価において選定した箇所（加圧器サージ管台、6 B 安全注入系ライン用管台。添付 1 内に図示）については、添付 1 に示す上記①②に該当する選定箇所に含まれており、現状保全にて健全性を確認しております。</p>	



No.	高浜1－その他の経年劣化事象－1	事象：摩耗－1
質 問	<p>(別冊-7炉内構造物-26頁) 制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗について、健全性評価の具体的な内容及びその根拠を提示すること。</p>	
回 答	<p>制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗については、日本機械学会 維持規格(JSME S NA1-2008)および原子力安全推進協会 PWR炉内構造物点検評価ガイドライン[制御棒クラスタ案内管](第3版)(グループ4)に基づき将来の摩耗予測を実施し、制御棒クラスタ案内管(案内板)から制御棒が抜け出す可能性が出てくると考えられる摩耗長さ74%に至るのは62.7万運転時間であると評価しています。(図1、図2参照)</p> <p>一方で、高浜1号炉の2015年4月時点の運転実績は約23万時間であることから、制御棒クラスタ案内管(案内板)の摩耗が制御棒の案内機能に直ちに影響を及ぼす可能性はないと考えています。</p> <p>また、定期的に制御棒の落下試験を実施し、挿入時間に問題がないことにより健全性を確認しています。</p> <p>したがって、今後も現状保全を継続することで、機能の維持は可能であると考えています。</p>	

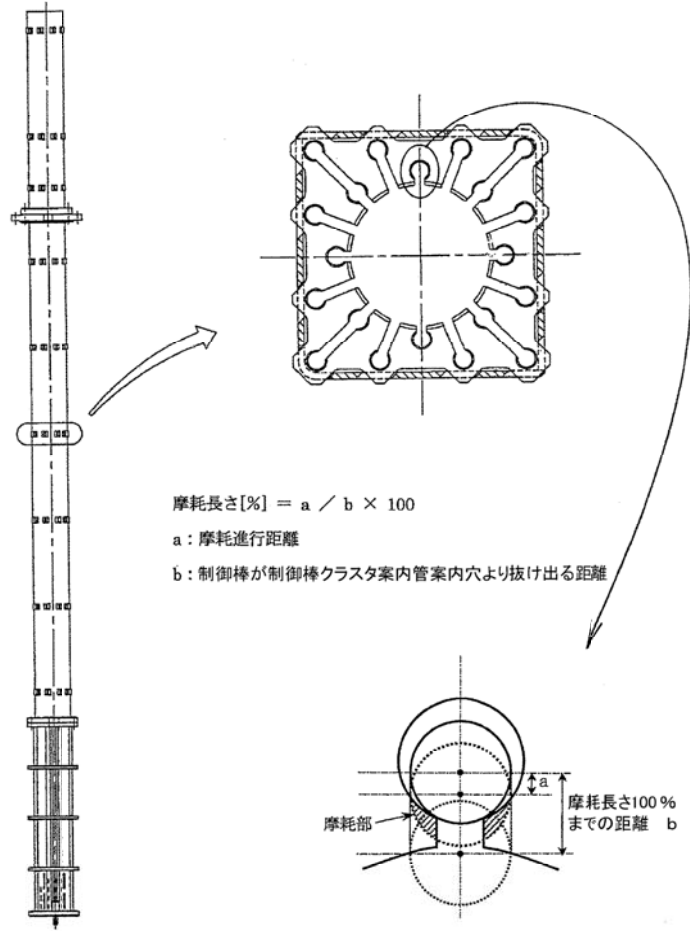


図1 高浜1号炉 制御棒クラスタ案内管（案内板）摩耗長さ

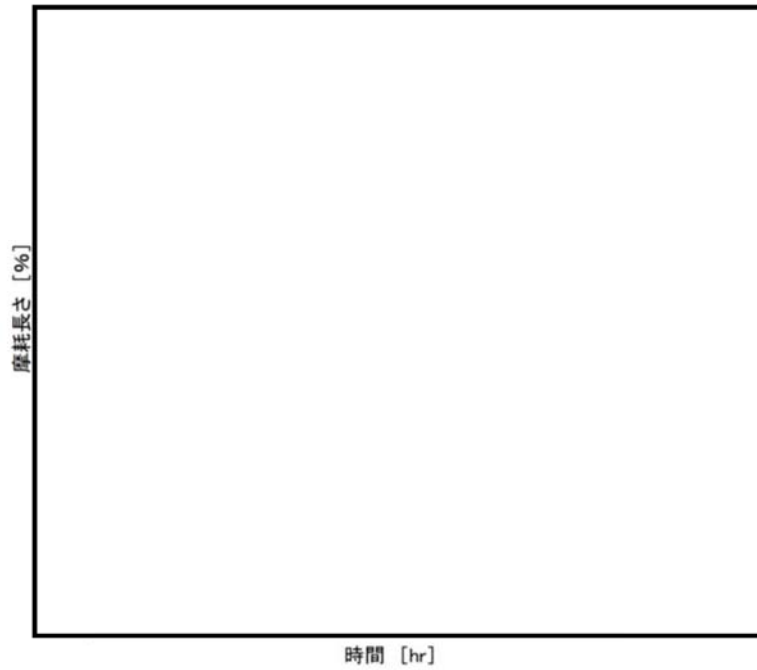


図2 高浜1号炉 制御棒クラスタ案内管案内板摩耗進行予測結果

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜1-その他の経年劣化事象-20 r e v 1	事象：中性子照射による靱性低下 - 1
質 問	<p>(別冊-7炉内構造物-27頁)</p> <p>炉心そうの目視確認について、頻度、範囲等の詳細を提示すること。また、「万一有意な欠陥が存在すると仮定した場合でも不安定破壊しないことを確認している」ことの詳細を提示すること。</p>	
回 答	<p>炉心そうに対して実施している水中テレビカメラによる目視確認については、日本機械学会 維持規格に規定されているVT-3として定期的[] [] に実施しています。VT-3では、炉心そうに有意な異常(過度の変形、部品の破損等)がないことを確認しています。炉心そうの可視範囲について添付資料に示します。</p> <p>「万一有意な欠陥が存在すると仮定した場合でも不安定破壊しないことを確認している」ことの詳細について、以下に示します。</p> <p>想定欠陥は、日本機械学会 設計・建設規格(JSME S NC1-2005/2007)を準用し、深さを板厚の1/4、長さは板厚の1.5倍の表面欠陥を周方向に仮定した(図1)。</p> <p>平板中の半楕円表面き裂の応力拡大係数Kを求めるRaju-Newmanの式(Raju, I. S. and Newman, J. C., Jr., NASA Technical Paper 1578, 1979.)を用いて想定欠陥の応力拡大係数Kを算出した結果、[] MPa√mとなった。</p> <p>一方、図2中のJ_{IC}最下限値14 kJ/m²から、換算式により破壊靱性値K_{IC}を求めると51 MPa√mとなる。</p> <p>以上より、想定欠陥の応力拡大係数は、破壊靱性値を下回っており、不安定破壊は生じないことを確認した。</p> $K_{IC} = \sqrt{\frac{E}{(1-\nu^2)}} \times J_{IC}$ <p>E：縦弾性係数 (173000 N/mm² at 350°C) ν：ポアソン比 (0.3) J_{IC}：破壊靱性値の下限 (14 kJ/m² at 350°C)</p>	

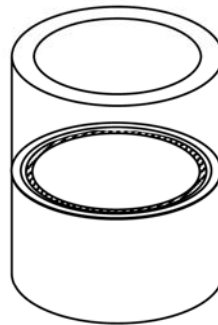
また、日本機械学会 発電用原子力施設規格 維持規格 (JSME S NA1-2008) に基づき実施した健全性評価の結果を以下に示します。

【評価内容】

- ・炉心そう溶接部にき裂を想定し、FEM解析によって応力拡大係数Kを算出する。

【評価条件】

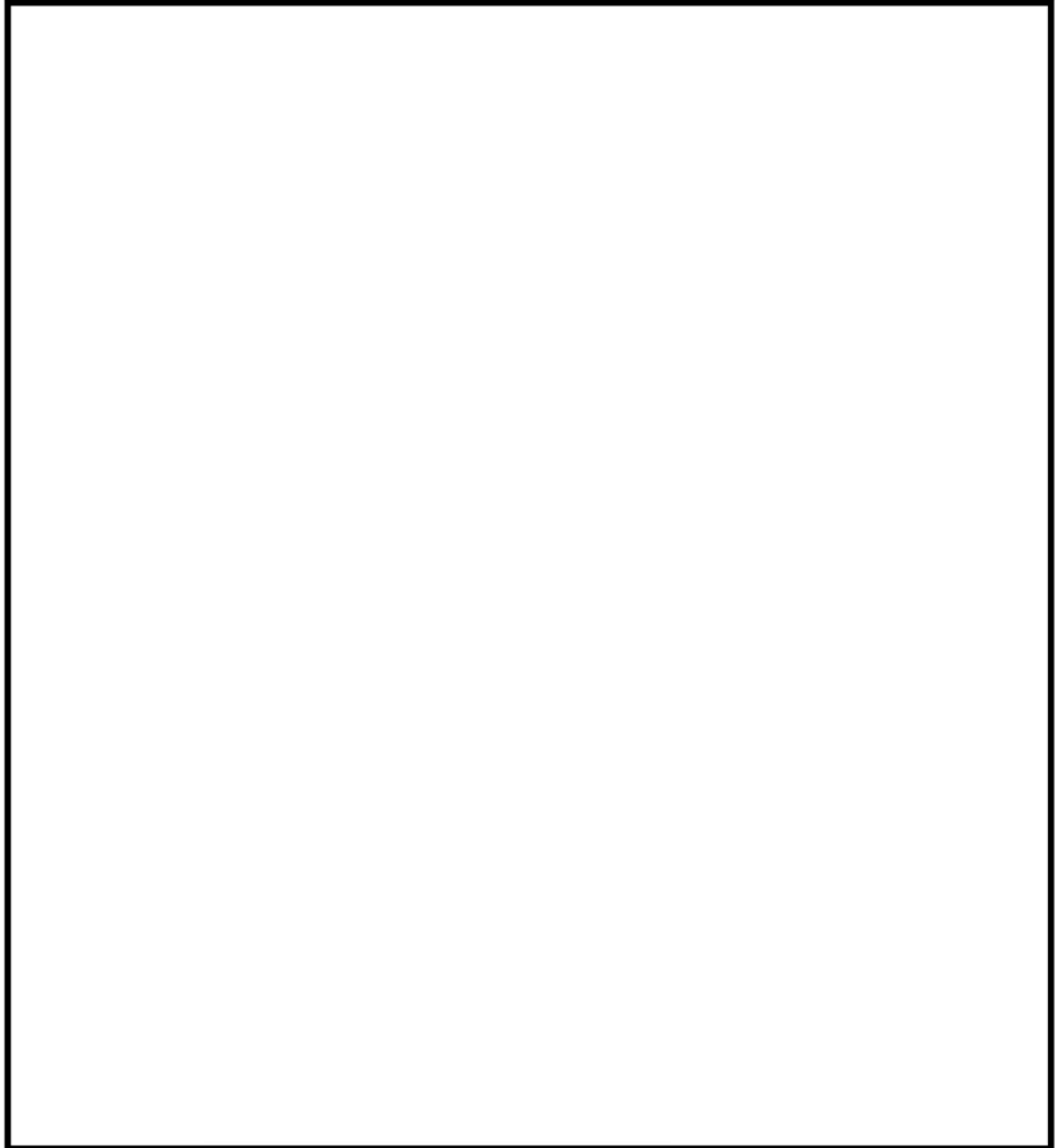
- ・溶接タイプ (残留応力) :
- ・機械及び熱応力 : 通常運転時の応力
- ・地震による応力 : S_s 地震動による応力 (約 MPa)
- ・想定き裂形状 : 溶接線中心 (内面) に全周き裂
(下図にき裂のイメージを示す)
- ・炉心そう形状 : 板厚 mm、内径 ϕ mm




想定き裂のイメージ
(斜線部分)

【評価結果】

評価条件の応力状態における炉心そうに対し、き裂深さをパラメータとして応力拡大係数Kを算出した結果、応力拡大係数Kは最大値約 MPa \sqrt{m} となり、破壊靱性値 K_{Ic} : 51 MPa \sqrt{m} に対して十分小さい値であった。以上の結果から、仮に炉心そう溶接部にき裂が生じても不安定破壊は起こらないと考えられる。



高浜 1 号炉 炉心そう可視範囲概要

内は商業機密に属しますので公開できません

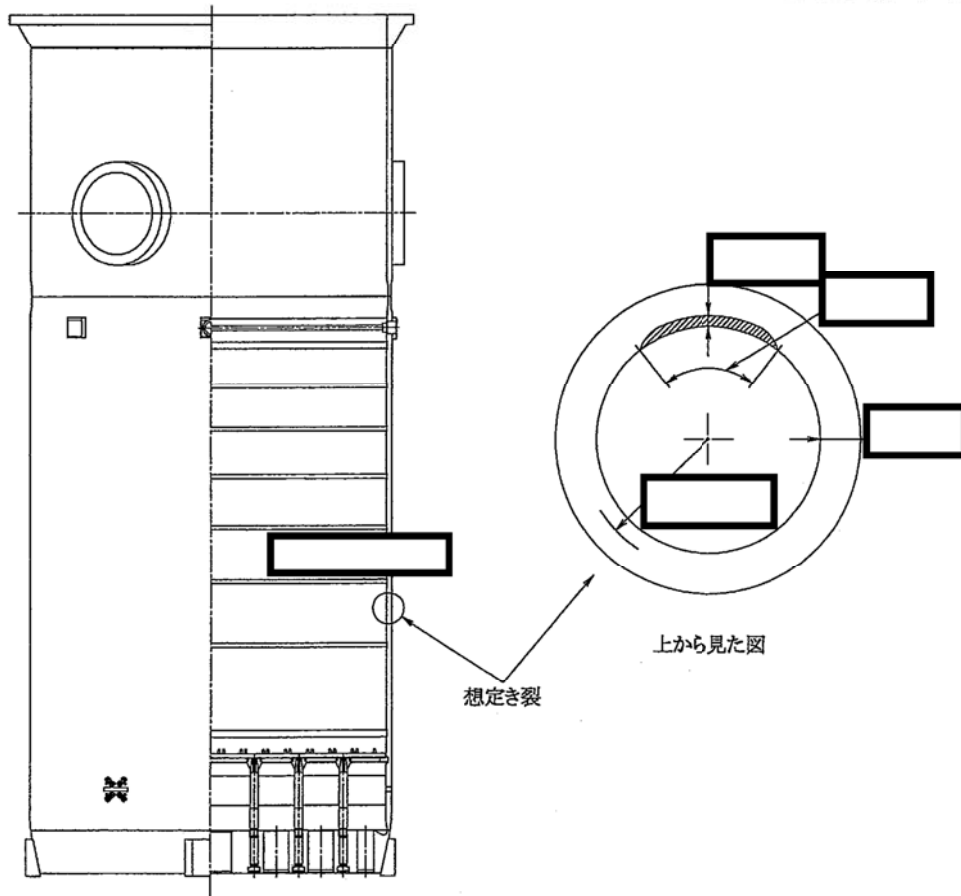


図1 高浜1号炉 中性子照射による靱性低下に対する炉心そのの想定き裂

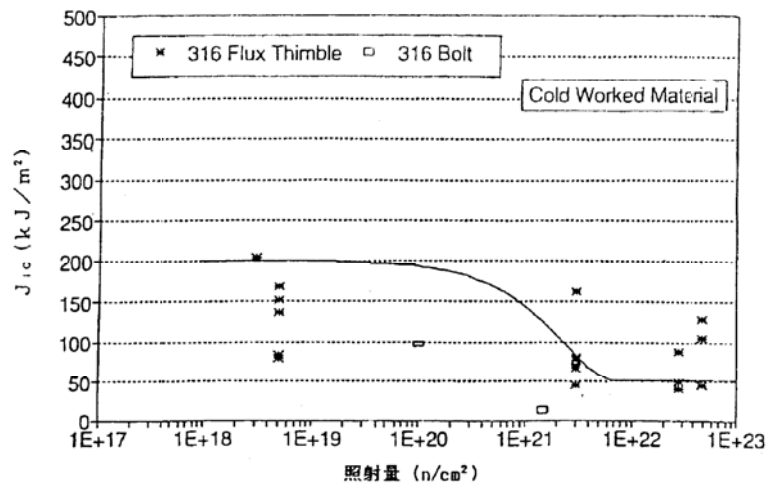


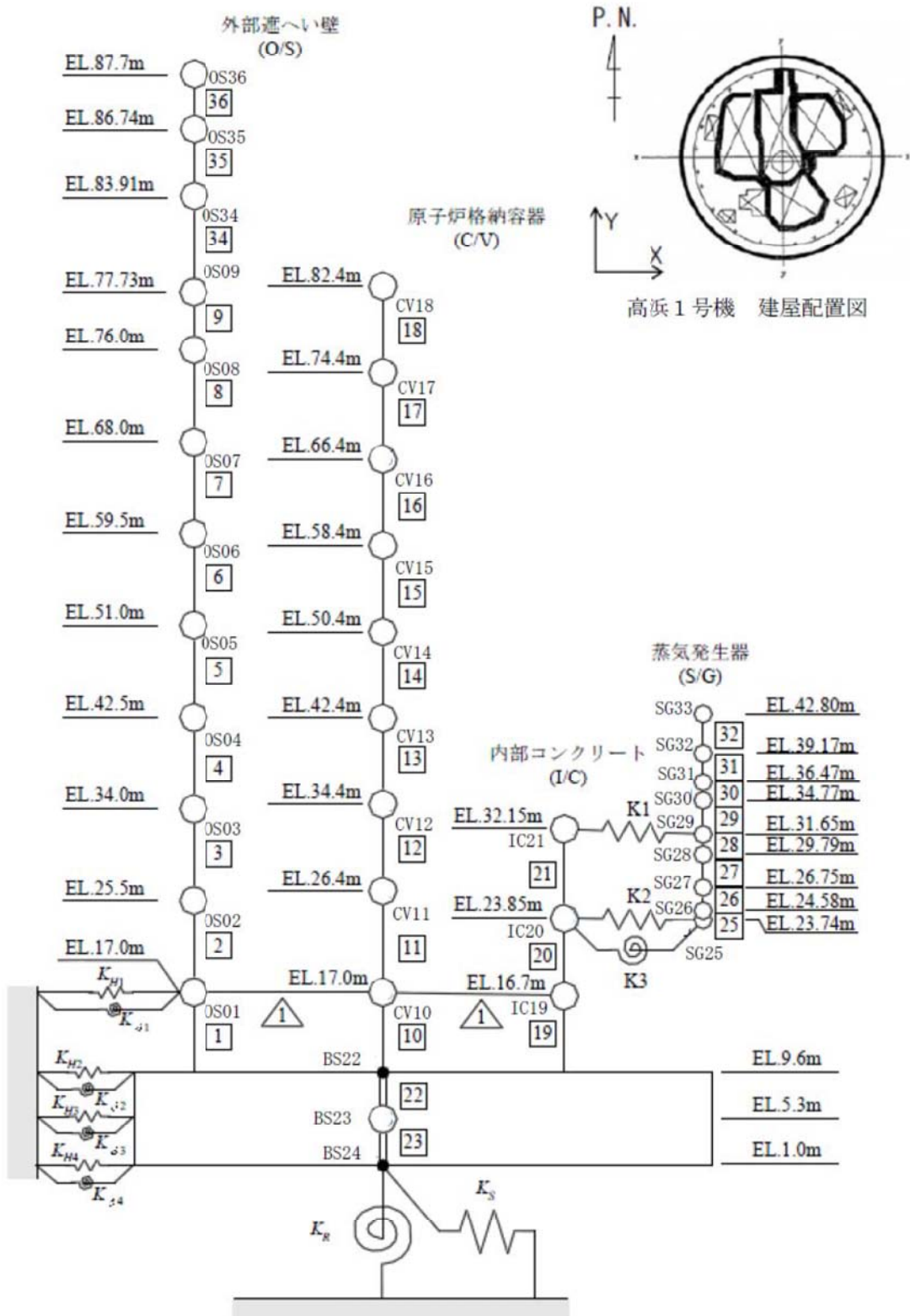
図2 破壊靱性値 J_{1c} と照射量の関係

[出典：発電設備技術検査協会「プラント長寿命化技術開発」報告書]

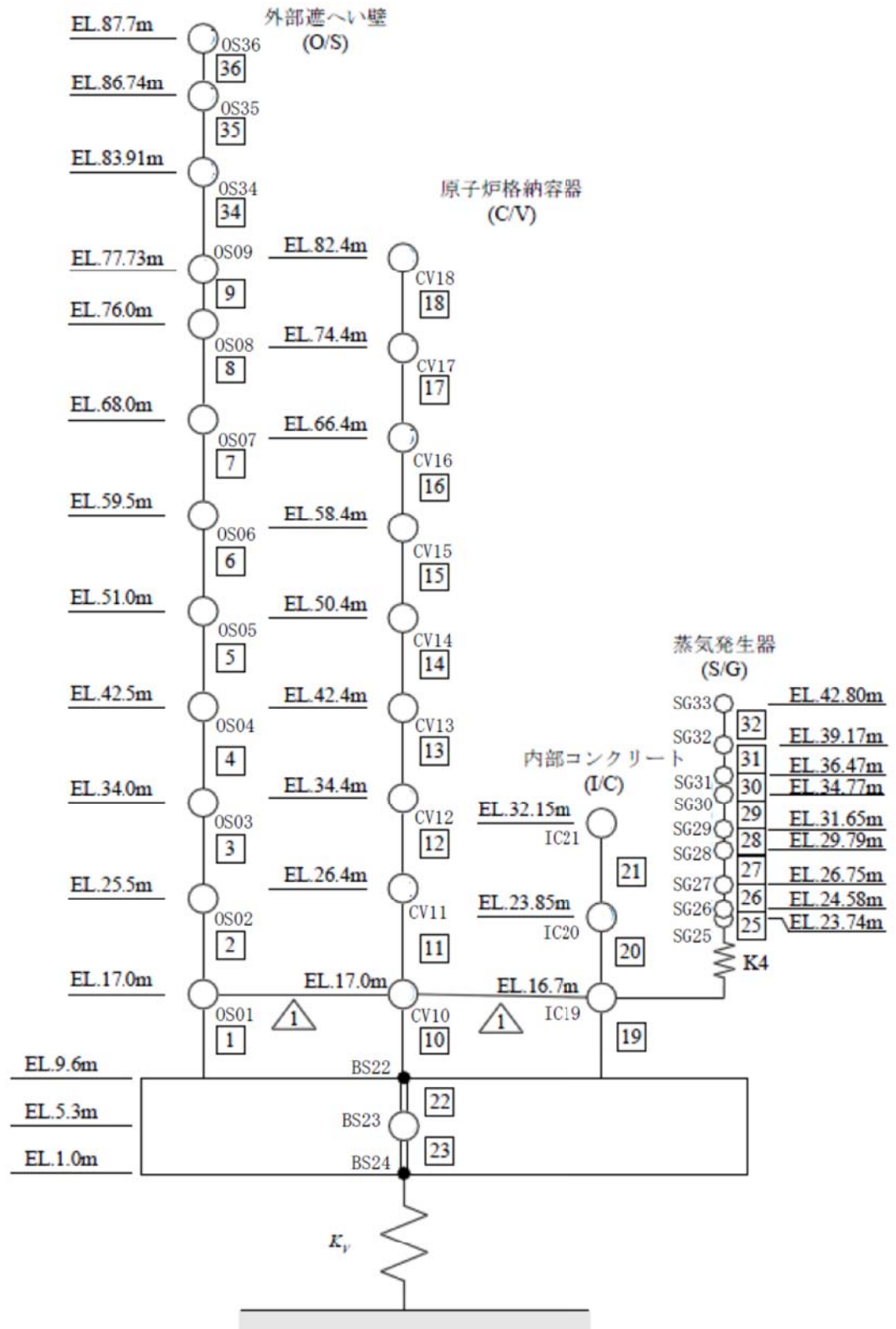
No.	高浜 1 - 耐震 - 5	分類：共通
質 問	耐震 S クラスの機器を支持する主要部位（建屋、内部コンクリート等）について、基準地震動 S2、Ss（550Gal）、新 Ss による地震応答の比較（最大応答加速度、加速度応答スペクトル）を提示すること。	
回 答	<p>内部コンクリート（T/C）、外部遮蔽建屋（O/S）、原子炉建屋基礎、地盤及び原子炉補助建屋（A/B）について、基準地震動 S2、Ss（550Gal）（以下、Ss550）、新 Ss（以下、Ss700）による最大床応答加速度の比較を添付－1 に示します。</p> <p>また、耐震 S クラス機器を支持する主要部位（IC19、IC20、OS01、OS02、AB10、AB07）における床応答スペクトルの比較を添付－2 に示します。</p> <p>なお、比較表／図における各地震波の名称は下記の通りです。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ S2 : 基準地震動 S2 ・ Ss550 : 基準地震動 Ss（水平最大加速度 550Gal） ・ Ss-1 : 基準地震動 Ss（水平最大加速度 700Gal） ・ Ss-2 : F0-A～F0-B～熊川断層 ・ Ss-3 : F0-A～F0-B～熊川断層 ・ Ss-4 : F0-A～F0-B～熊川断層 ・ Ss-5 : 上林川断層 ・ Ss-6(EW) : 鳥取県西部地震（賀祥ダム観測波（EW 方向）） ・ Ss-6(NS) : 鳥取県西部地震（賀祥ダム観測波（NS 方向）） ・ Ss-7 : 北海道留萌支庁南部地震 <p><添付－1></p> <p>S2、Ss550 および Ss-1～7 の原子炉建屋の解析モデル図および最大応答加速度を示します。S2 と Ss550 については、トップドーム無のモデル、Ss-1～7 については、トップドーム有のモデルによる値を示します。また、S2 の鉛直方向は 0.288（G）で一定のため、比較表には記載しておりません。</p> <p>【I/C（内部コンクリート）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○水平方向：上 2 階層で S2、下 1 階層で Ss700 が上回っている。 ○鉛直方向：全ての階層で Ss700 が上回っている。 <p>【O/S（外部遮蔽建屋）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○水平方向：一部の階層で Ss-6(NS) や Ss-7 が上回る他は、Ss-1 が上回っている。 ○鉛直方向：上 3 階層で Ss-1、中～下階層で Ss-6 が上回っている。 <p>【A/B（原子炉補助建屋）】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○水平方向：一部の階層で Ss550 や Ss-6(EW) が上回る他は、Ss-1 が上回っている。 ○鉛直方向：一部の階層で Ss-1 が上回る他は、Ss-6 が上回っている。 <p><添付－2></p> <p>耐震 S クラス機器を支持する主要部位（IC19（EL+32.15m）、IC20（EL+23.85m）、OS01（EL+17.0m）、OS02（EL+25.5m）、AB10（EL+17.0m）、AB07（EL+24.0m））における各地震波の床応答スペクトル（方向：水平・鉛直、減衰定数：1.0%）を比較しています。</p> <p>全周期帯におけるピーク加速度を比較すると、I/C、O/S においては、水平方向は概ね S2、Ss-1、Ss-6(EW) の順、鉛直方向は概ね Ss-2、Ss-6、Ss-3 の順で卓越していることがわかります（ただし OS02 は Ss-6、Ss-1、Ss550）。A/B においては、水平方向は概ね、Ss-1、Ss-6(EW)、Ss550 の順、鉛直方向は概ね Ss-6、Ss-1、Ss-2 の順で卓越していることがわかります。</p>	

<添付-3>

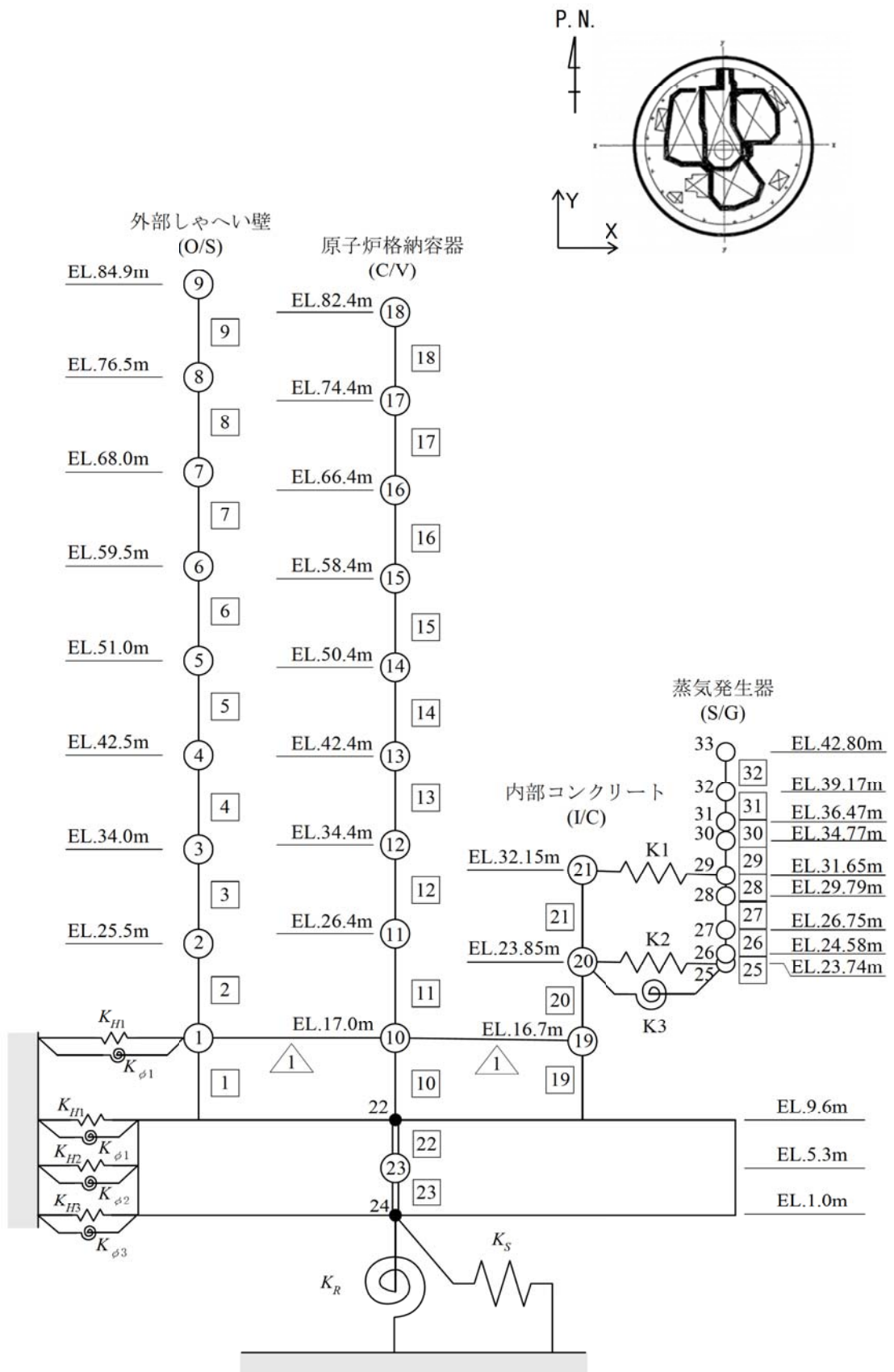
基準地震動 S2、Ss (550Gal)、新 Ss による最大床応答加速度をグラフ化して比較しました。



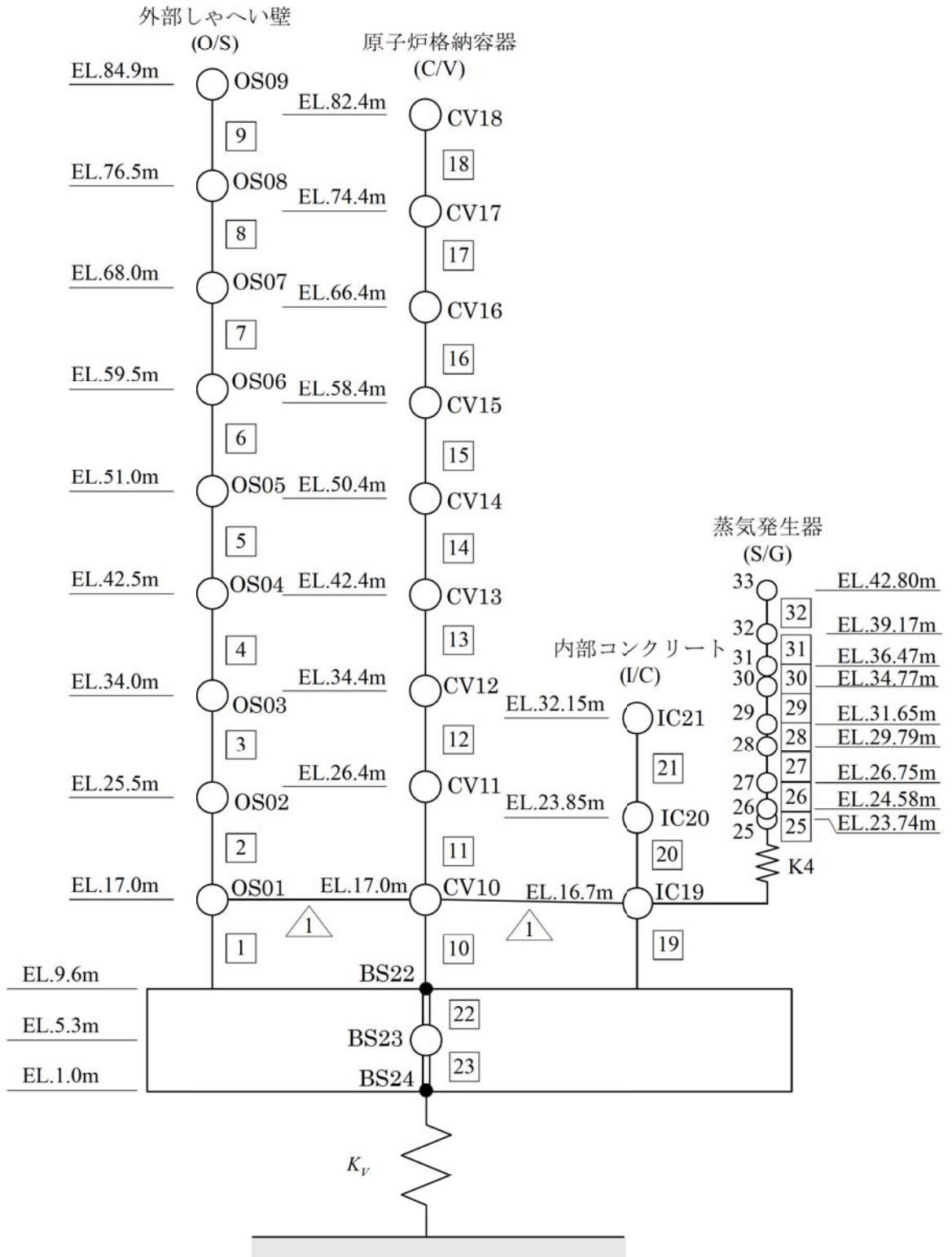
高浜1号機 原子炉建屋の解析モデル図 トップドーム有 (水平方向)



高浜1号機 原子炉建屋の解析モデル図 トップドーム有 (鉛直方向)



高浜1号機 原子炉建屋の解析モデル図 トップドーム無 (水平方向)



高浜 1 号機 原子炉建屋の解析モデル図 トップドーム無 (鉛直方向)

		最大床応答加速度 (G)																														
建屋	質点番号	質点高さ EL. (m)	S2			Ss550			Ss-1			Ss-2			Ss-3			Ss-4			Ss-5			Ss-6 (EP)			Ss-6 (NS)			Ss-7		
			NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EP方向 (X方向)	EP・NS 方向包絡 (X方向)			
外部 部 し ゃ へ い 壁	OS36	87.7																														
	OS35	86.74																														
	OS34	83.91																														
	OS09	84.9																														
	OS09	77.73																														
	OS08	76.5																														
	OS08	76.0																														
	OS07	68.0																														
	OS06	59.5																														
	OS05	51.0																														
	OS04	42.5																														
	OS03	34.0																														
	OS02	25.5																														
	OS01	17																														
	内 部 コ ン ク リ ー	IC21	32.15																													
IC20		23.85																														
IC19		16.7																														
基 礎 地 盤	BS23	5.3																														
	GR	-																														

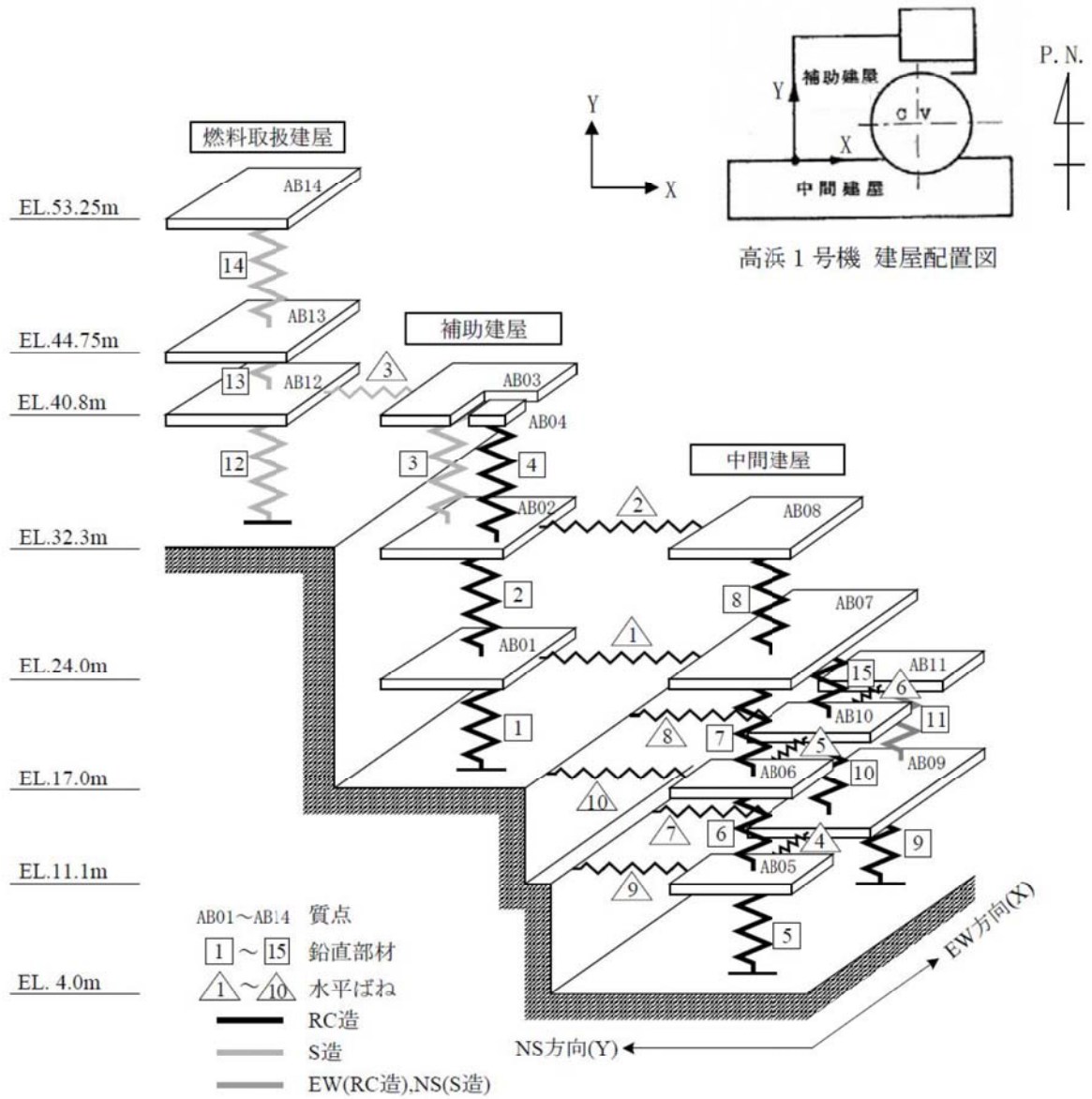
: S2、Ss550 および Ss-1～Ss-7 のうち最大の値

内は商業機密に属しますので公開できません

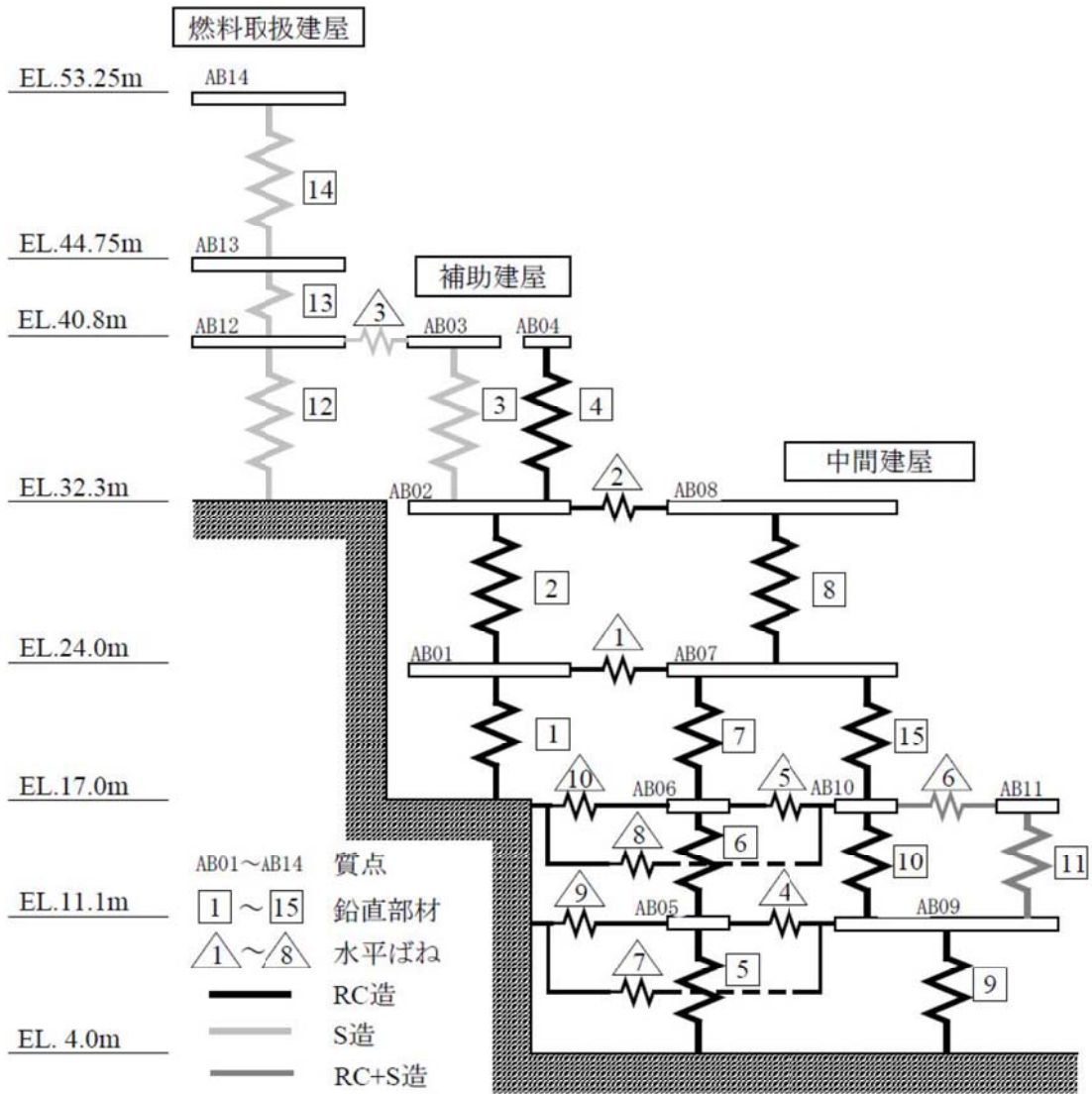
建屋	質点 番号	質点 高さ EL. (m)	最大床応答加速度 (g)							
			Ss550	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7
			鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)
外部 しゃ へい 壁	OS36	87.7								
	OS35	86.74								
	OS34	83.91								
	OS09	84.9								
	OS09	77.73								
	OS08	76.5								
	OS08	76.0								
	OS07	68.0								
	OS06	59.5								
	OS05	51.0								
	OS04	42.5								
	OS03	34.0								
	OS02	25.5								
	OS01	17.0								
内部 コン クリ ート	IC21	32.15								
	IC20	23.85								
	IC19	16.7								
基礎	BS23	5.3								
地盤	GR	-								

 : S2、Ss550 および Ss-1～Ss-7 のうち最大の値

 内は商業機密に属しますので公開できません



高浜1号機 原子炉補助建屋の解析モデル図 (水平方向)



高浜 1 号機 原子炉補助建屋の解析モデル図 (鉛直方向)

		最大床芯管加速度 (G)																														
建屋	質点番号	質点高さ EL. (m)	S2			Ss550			Ss-1			Ss-2			Ss-3			Ss-4			Ss-5			Ss-6(EW)			Ss-6(NS)			Ss-7		
			NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)	NS方向 (Y方向)	EW方向 (X方向)	EW・NS 方向包絡 (X方向)			
燃料取扱建屋	AB14	53.25																														
	AB13	44.75																														
	AB12	40.8																														
補助建屋	AB04	40.8																														
	AB03	40.8																														
	AB02	32.3																														
	AB01	24.0																														
	AB08	32.3																														
中間建屋	AB07	24.0																														
	AB11	17.0																														
	AB10	17.0																														
	AB06	17.0																														
	AB09	11.1																														
	AB05	11.1																														

: S2, Ss550 および Ss-1~Ss-7のうち最大の値

内は商業機密に属しますので公開できません

建屋	質点 番号	質点 高さ EL. (m)	最大床応答加速度(G)							
			Ss550	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7
			鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)	鉛直方向 (V方向)
燃料 取扱 建屋	AB14	53.25								
	AB13	44.75								
	AB12	40.8								
補助 建屋	AB04	40.8								
	AB03	40.8								
	AB02	32.3								
	AB01	24.0								
中間 建屋	AB08	32.3								
	AB07	24								
	AB11	17.0								
	AB10	17.0								
	AB06	17.0								
	AB09	11.1								
	AB05	11.1								

: S2、Ss550 および Ss-1～Ss-7 のうち最大の値

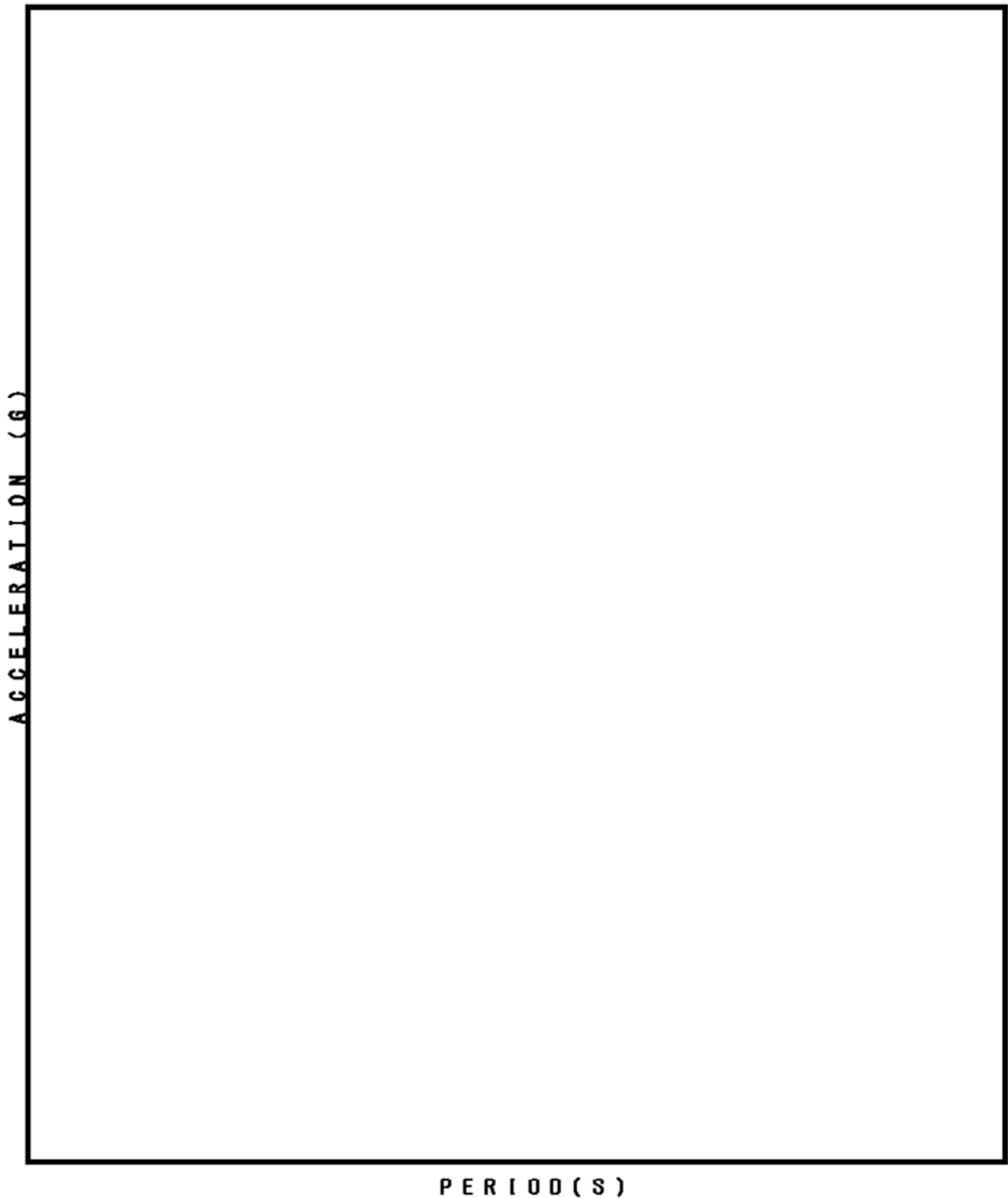
内は商業機密に属しますので公開できません

1. 内部コンクリートの床応答スペクトル

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: X
BUILDING NAME : IC
ELEVATION : EL 16.7M #IC19
DAMPING : 1.0%

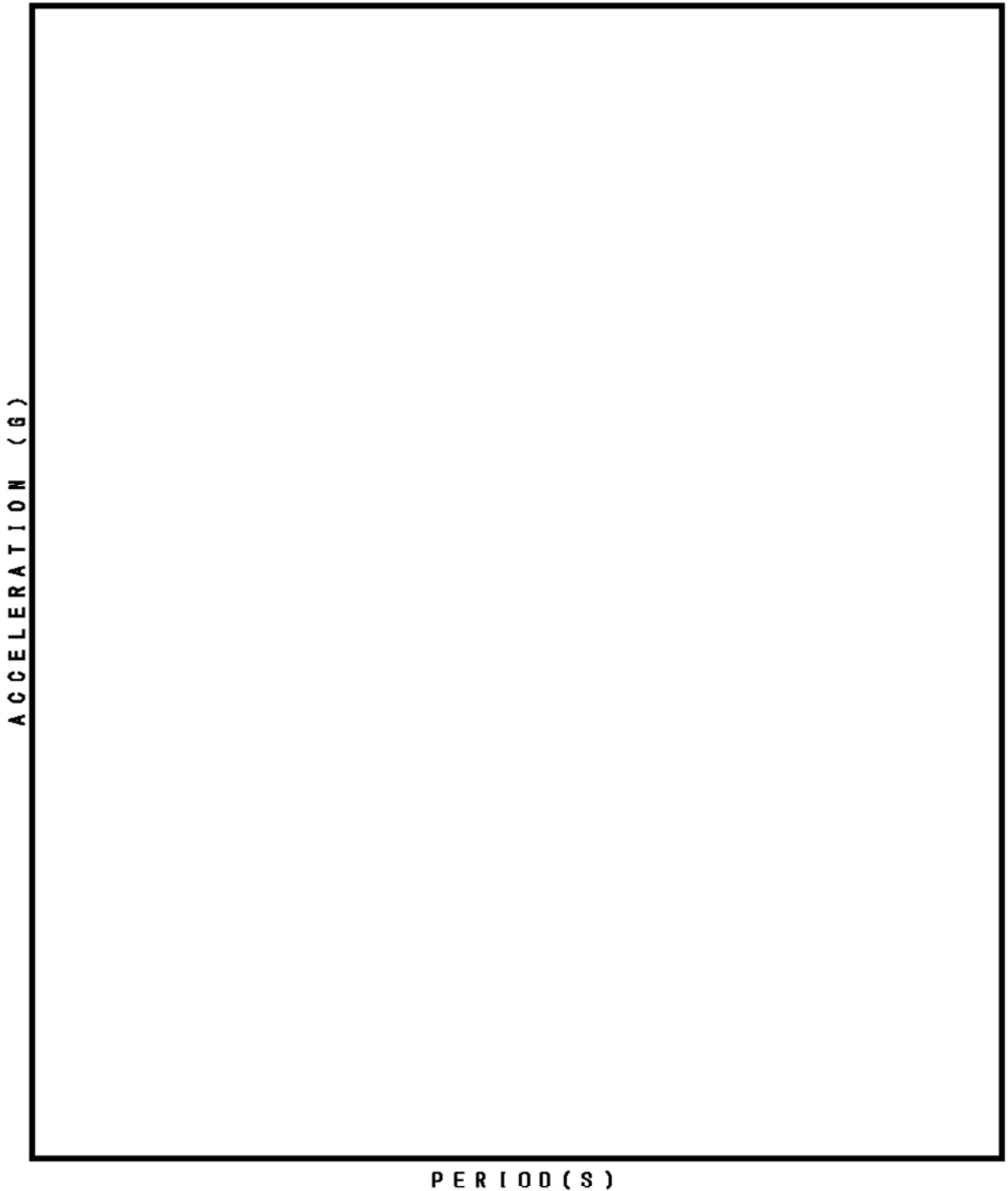
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : IC
ELEVATION : EL 16.7M #1C19
DAMPING : 1.0%

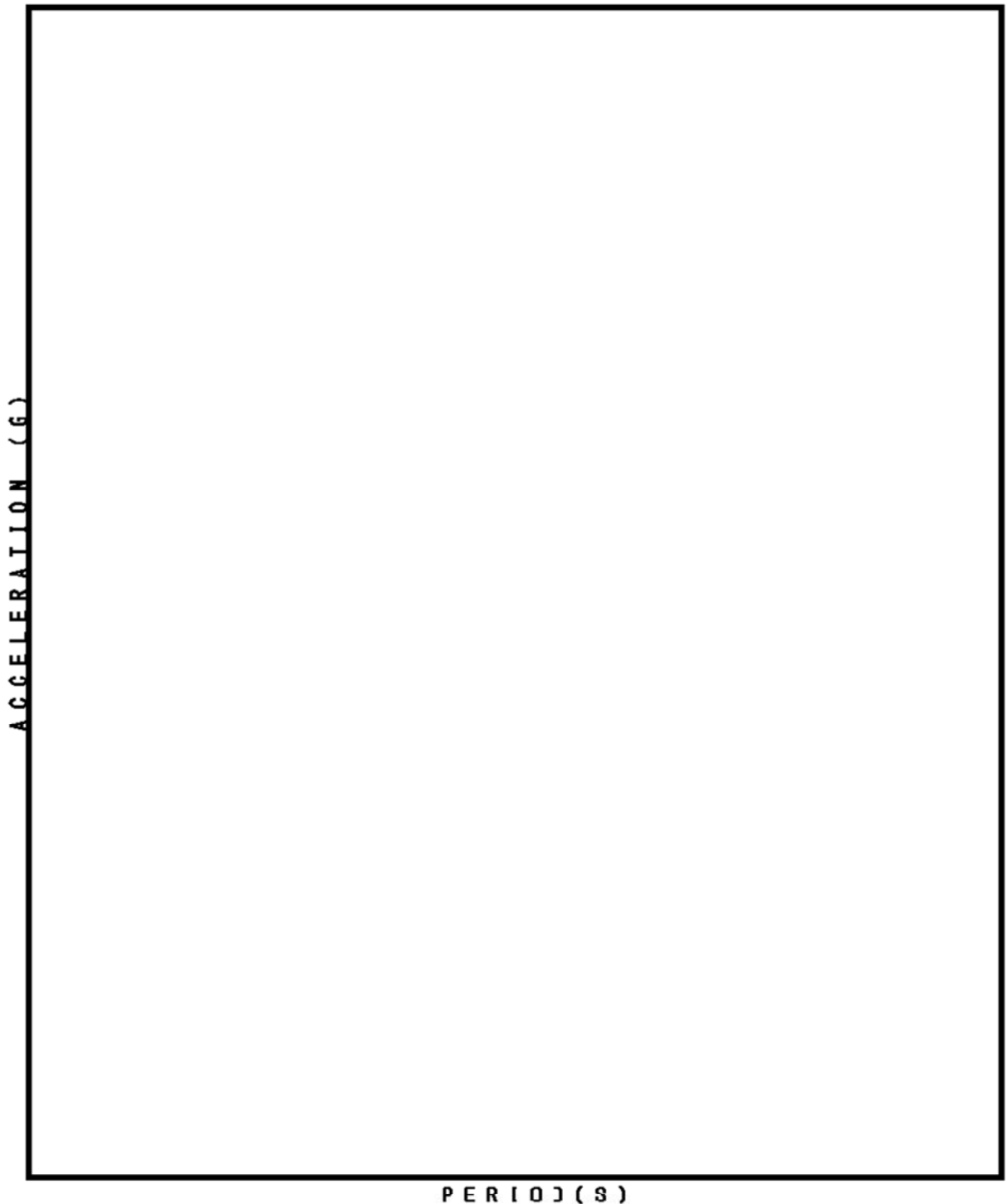
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : IC
ELEVATION : EL 16.7M #IC19
DAMPING : 1.0%

— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-3
— Ss-7	



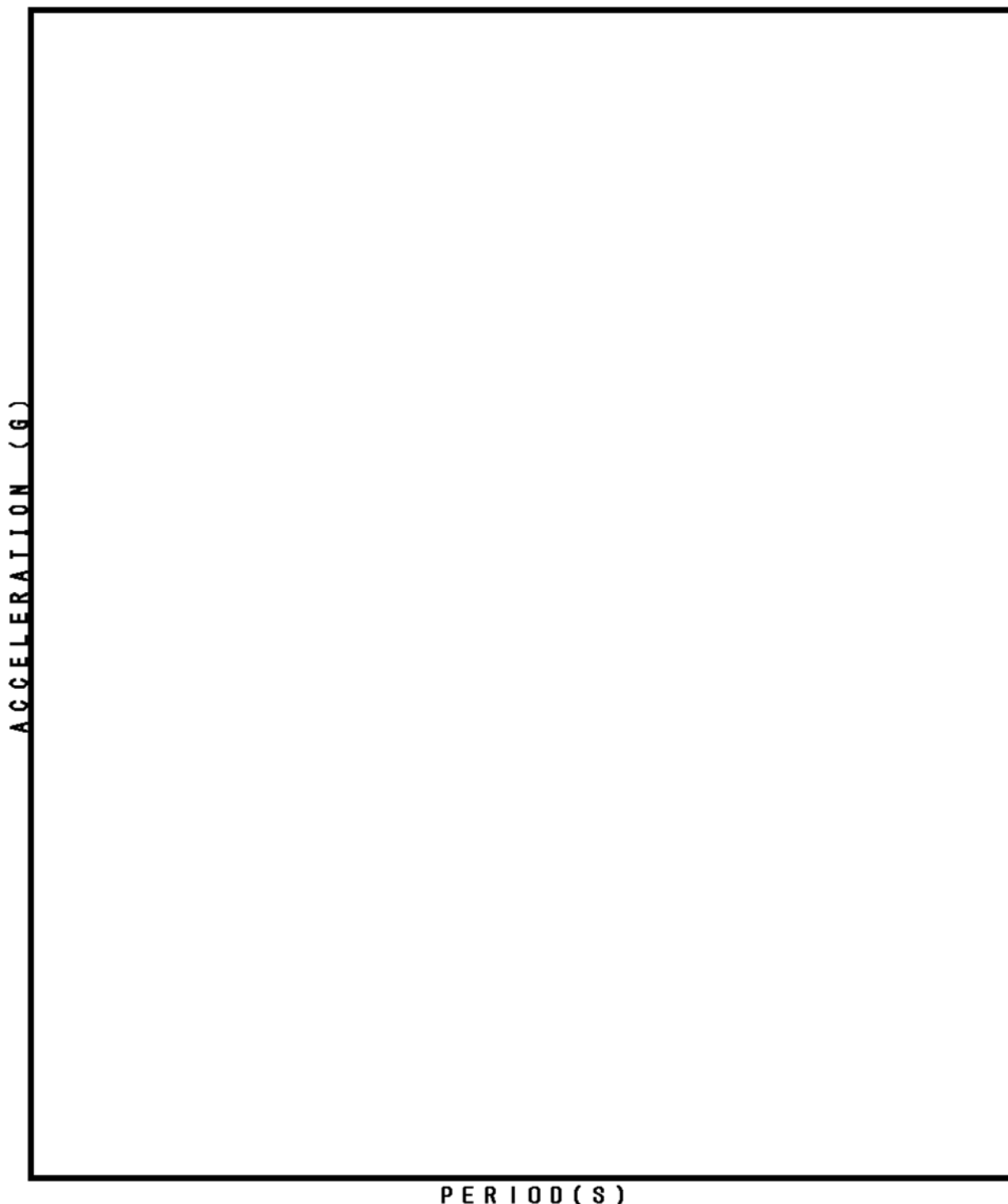
PERIOD (S)

内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: X
BUILDING NAME : IC
ELEVATION : EL 23.85M #IC20
DAMPING : 1.0%

— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



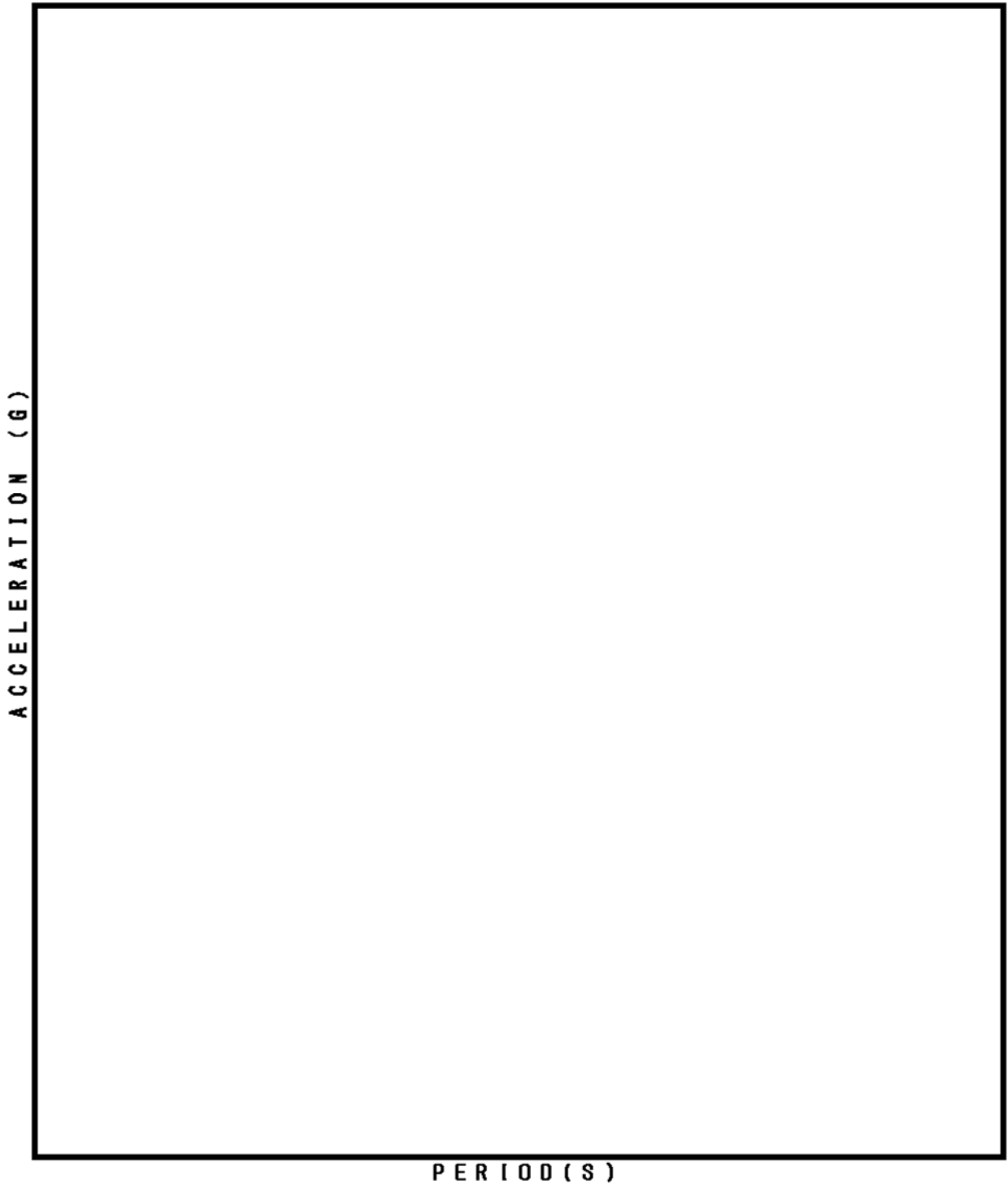
PERIOD (S)

内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: Y
BUILDING NAME : IC
ELEVATION : EL 23.85M #IC20
DAMPING : 1.0%

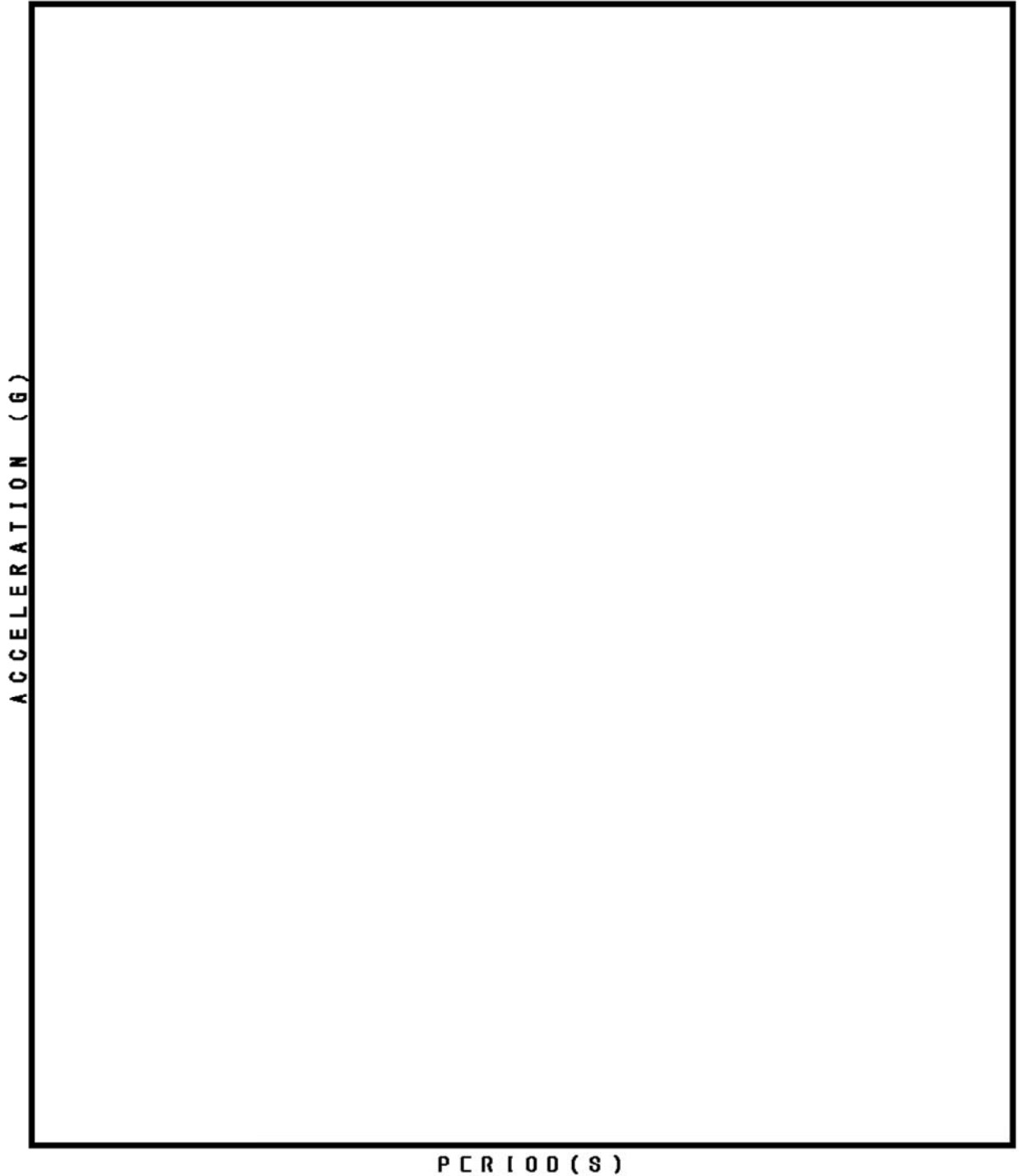
— S2	— Ss55C
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : IC
ELEVATION : EL 23.85M #IC20
DAMPING : 1.0%

— S₂ Ss550
— Ss-1 Ss-2
— Ss-3 Ss-4
— Ss-5 Ss-6
— Ss-7



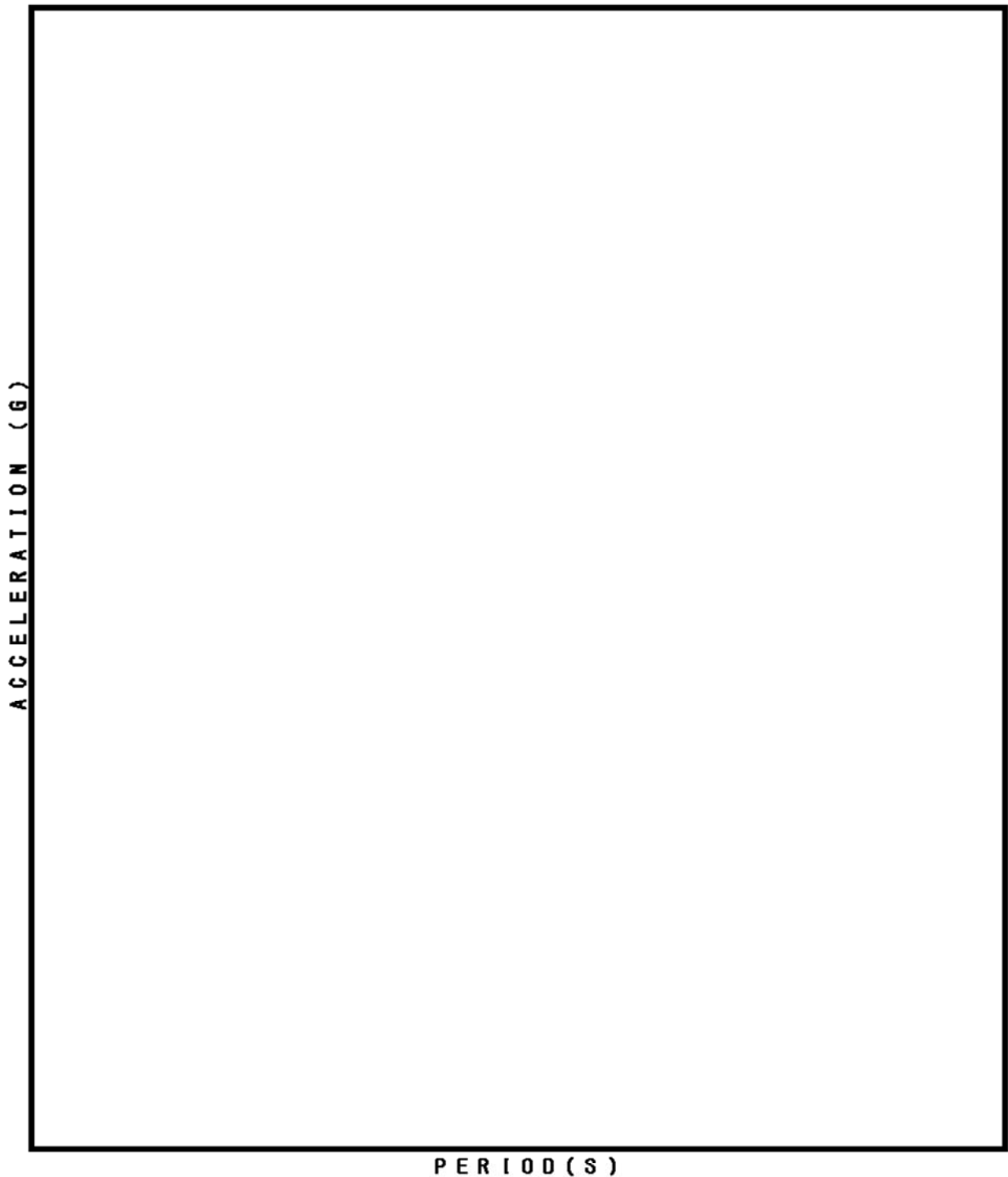
内は商業機密に属しますので公開できません

2. 外部しゃへい建屋の床応答スペクトル

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: X
BUILDING NAME : OS
ELEVATION : EL 17.0M #OS01
DAMPING : 1.0%

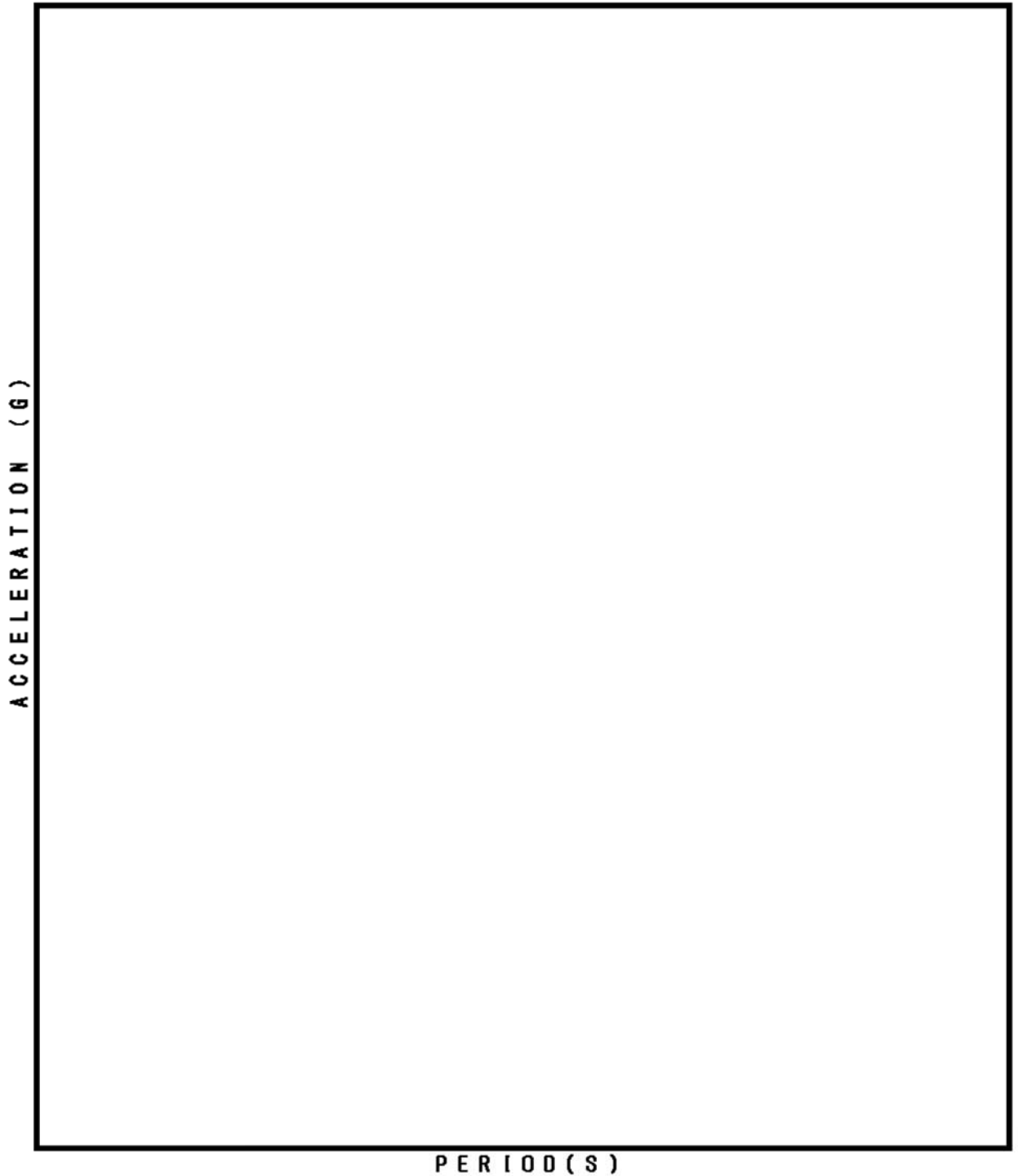
— S2	— Ssbb0
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-0(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: Y
BUILDING NAME : OS
ELEVATION : EL 17.0M #0301
DAMPING : 1.0%

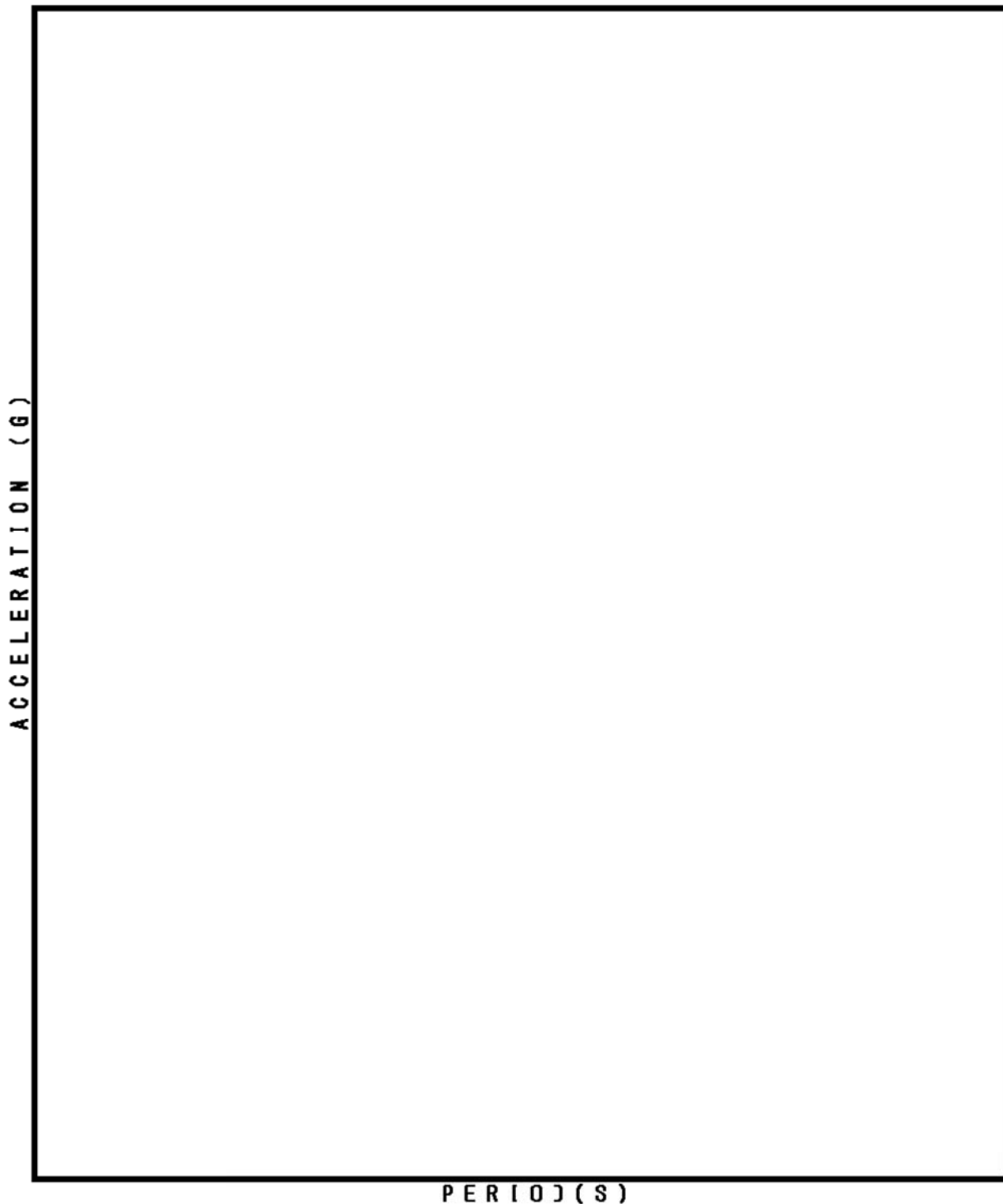
— S2	— Ss553
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : OS
ELEVATION : EL 17.0M #0S01
DAMPING : 1.0%

— S2 Ss550
— Ss-1 Ss-2
— Ss-3 Ss-4
— Ss-5 Ss-6
— Ss-7

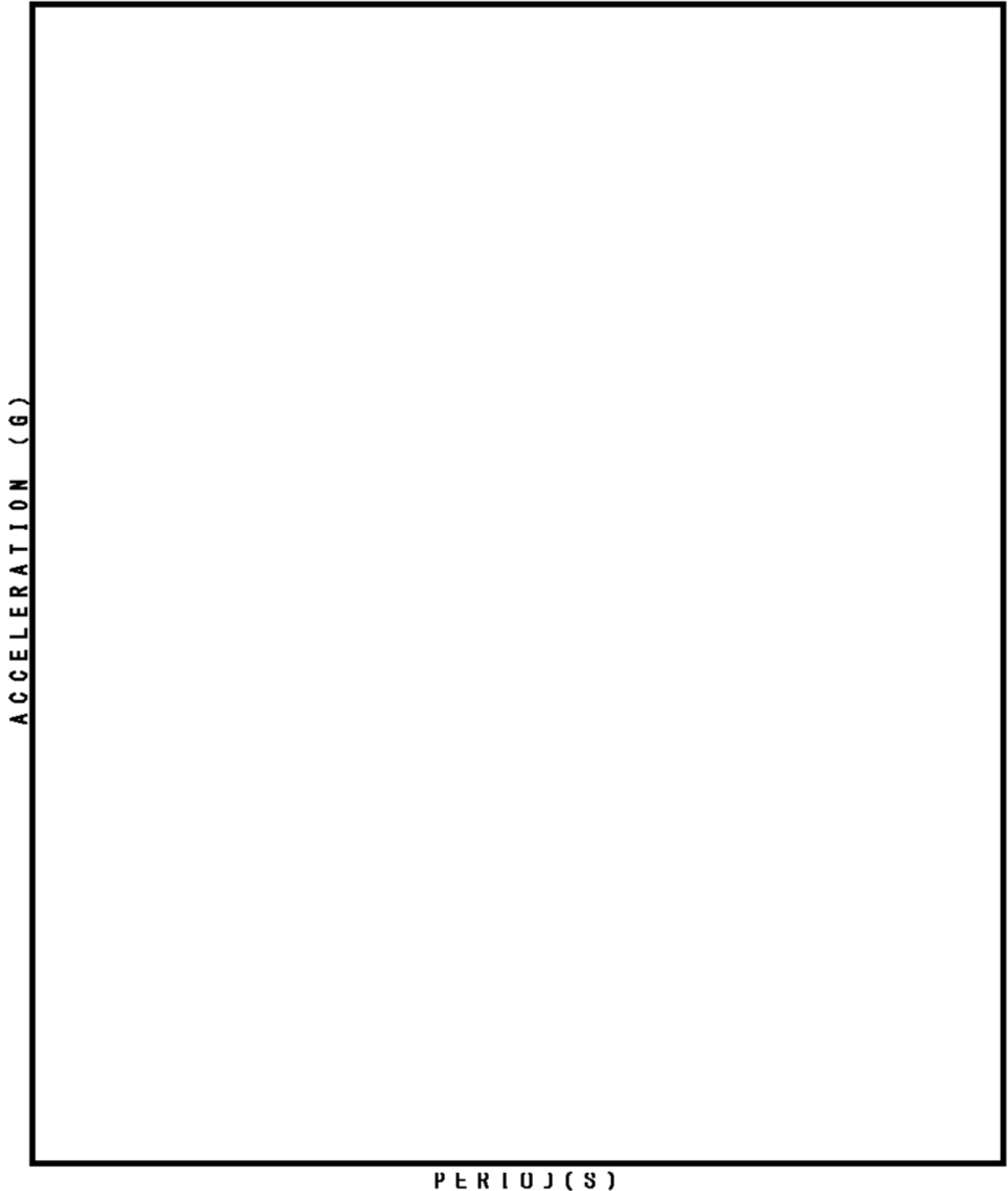


□ 内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: X
BUILDING NAME : OS
ELEVATION : EL 25.5M #OS02
DAMPING : 1.0%

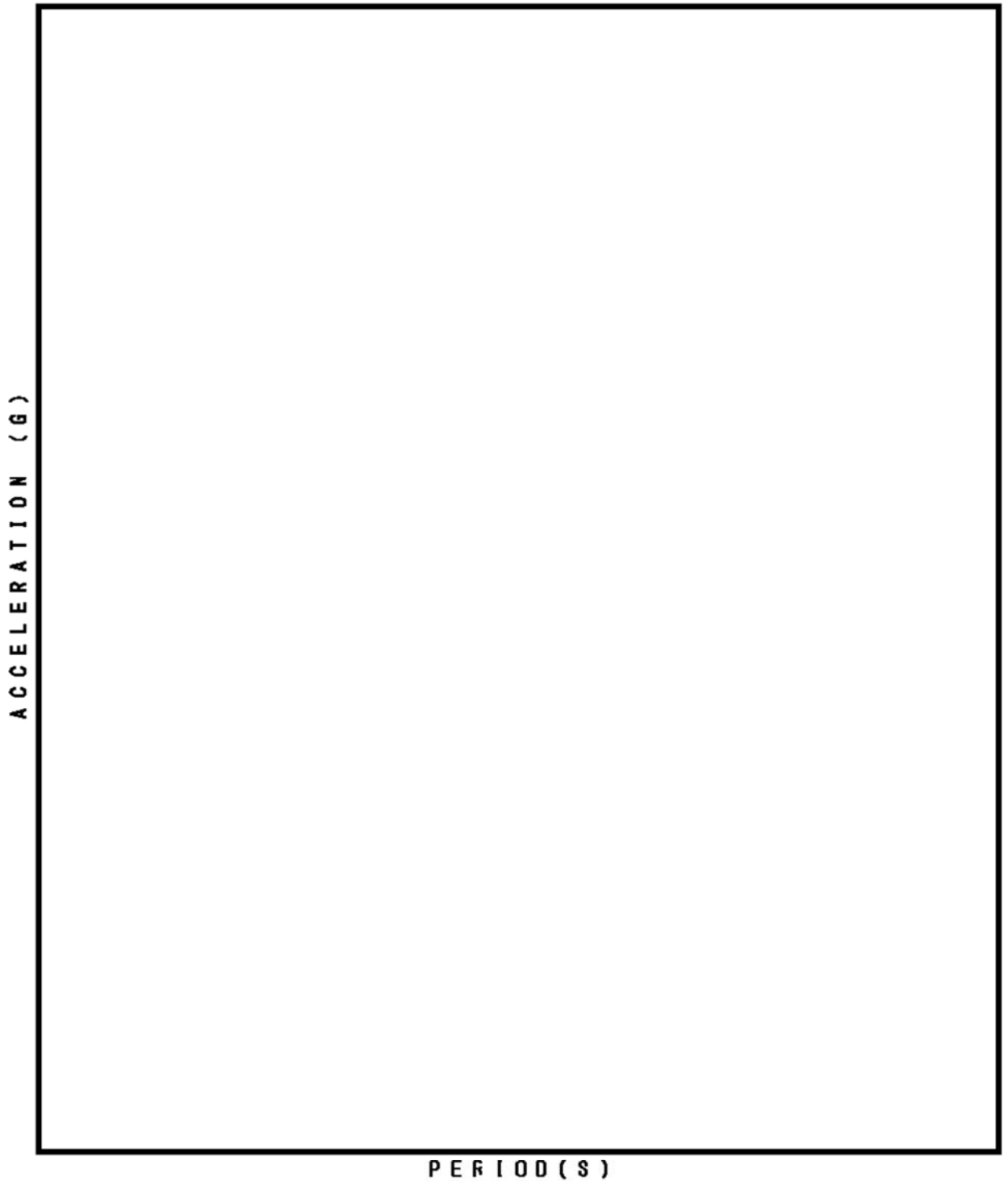
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: Y
BUILDING NAME : OS
ELEVATION : EL 25.5M #0302
DAMPING : 1.0%

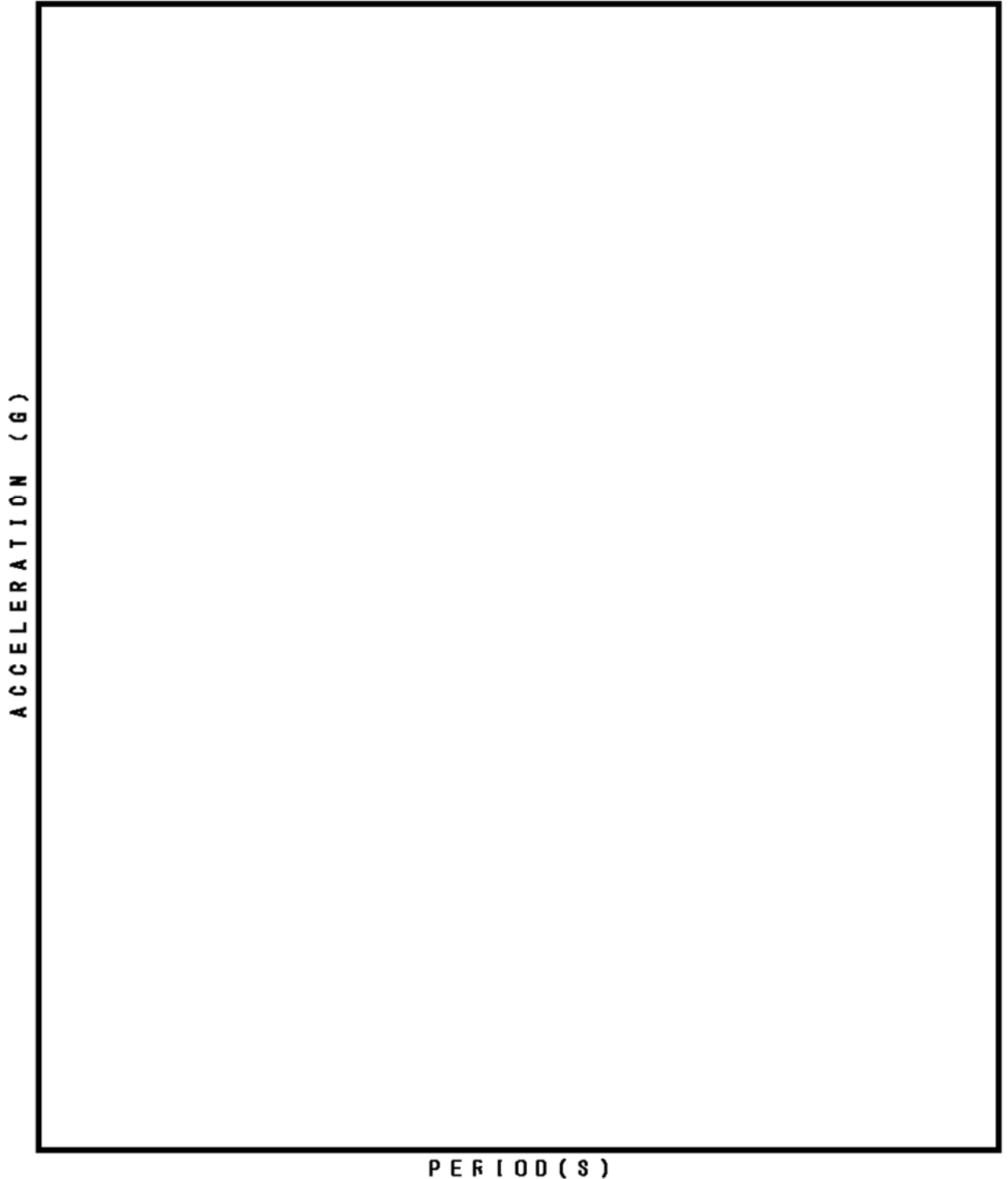
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : OS
ELEVATION : EL 25.5M #OS02
DAMPING : 1.0%

— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6
— Ss-7	

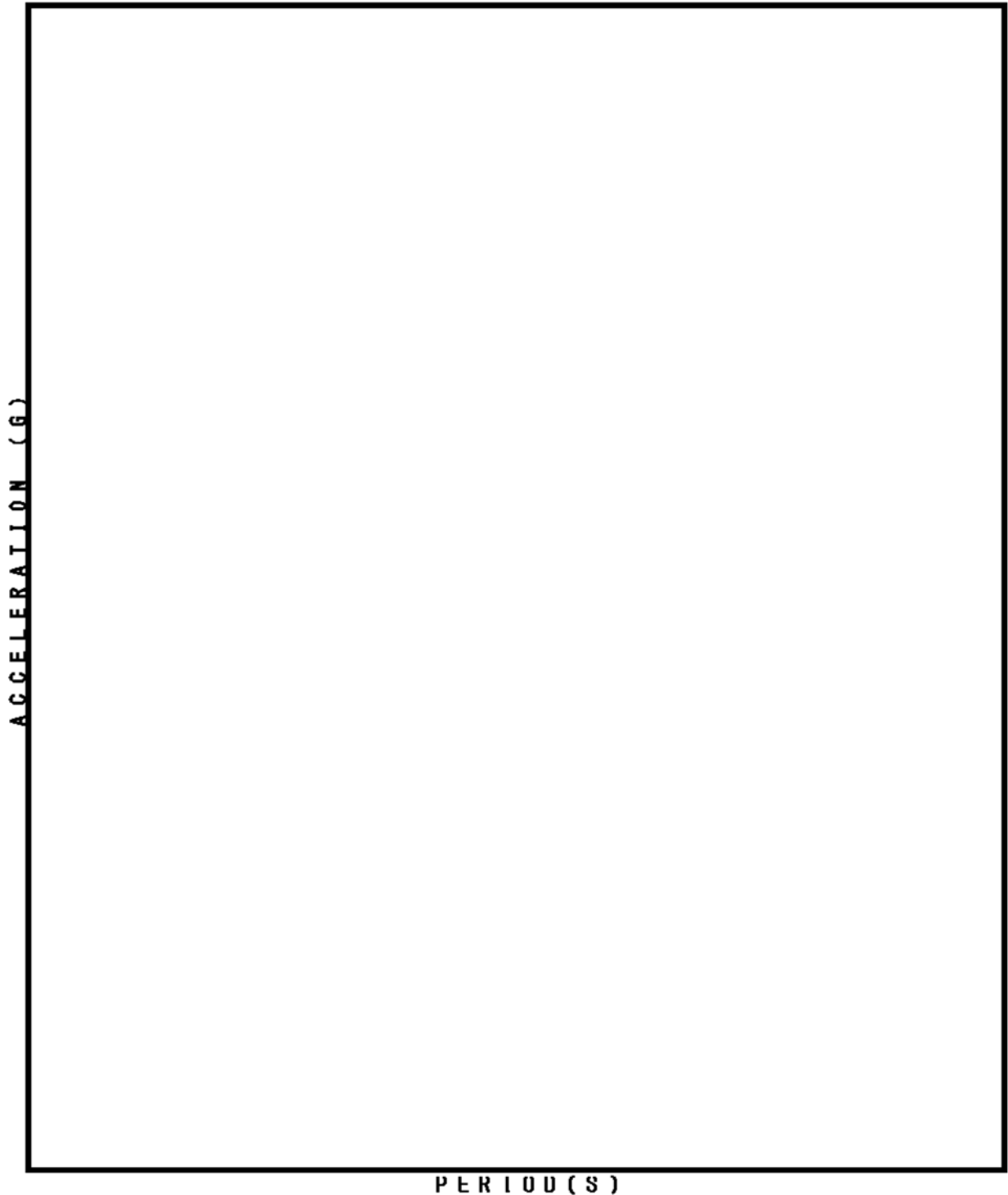


3. 補助一般建屋および制御建屋の床応答スペクトル

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: X
BUILDING NAME : AB
ELEVATION : EL 17.000M #AB10
DAMPING : 1.0%

— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7

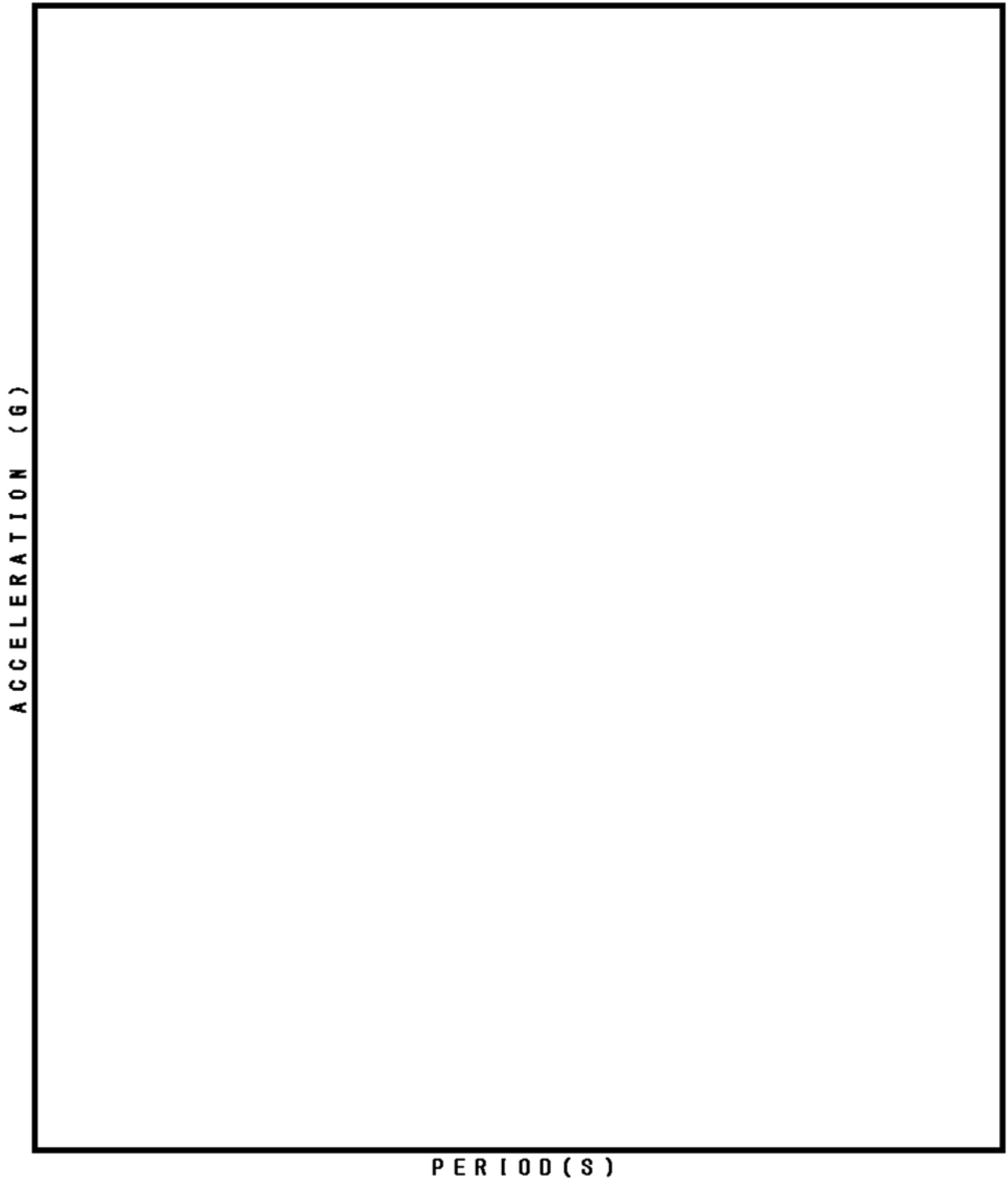


内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: Y
BUILDING NAME : AB
ELEVATION : EL 17.000M #AB10
DAMPING : 1.0%

— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



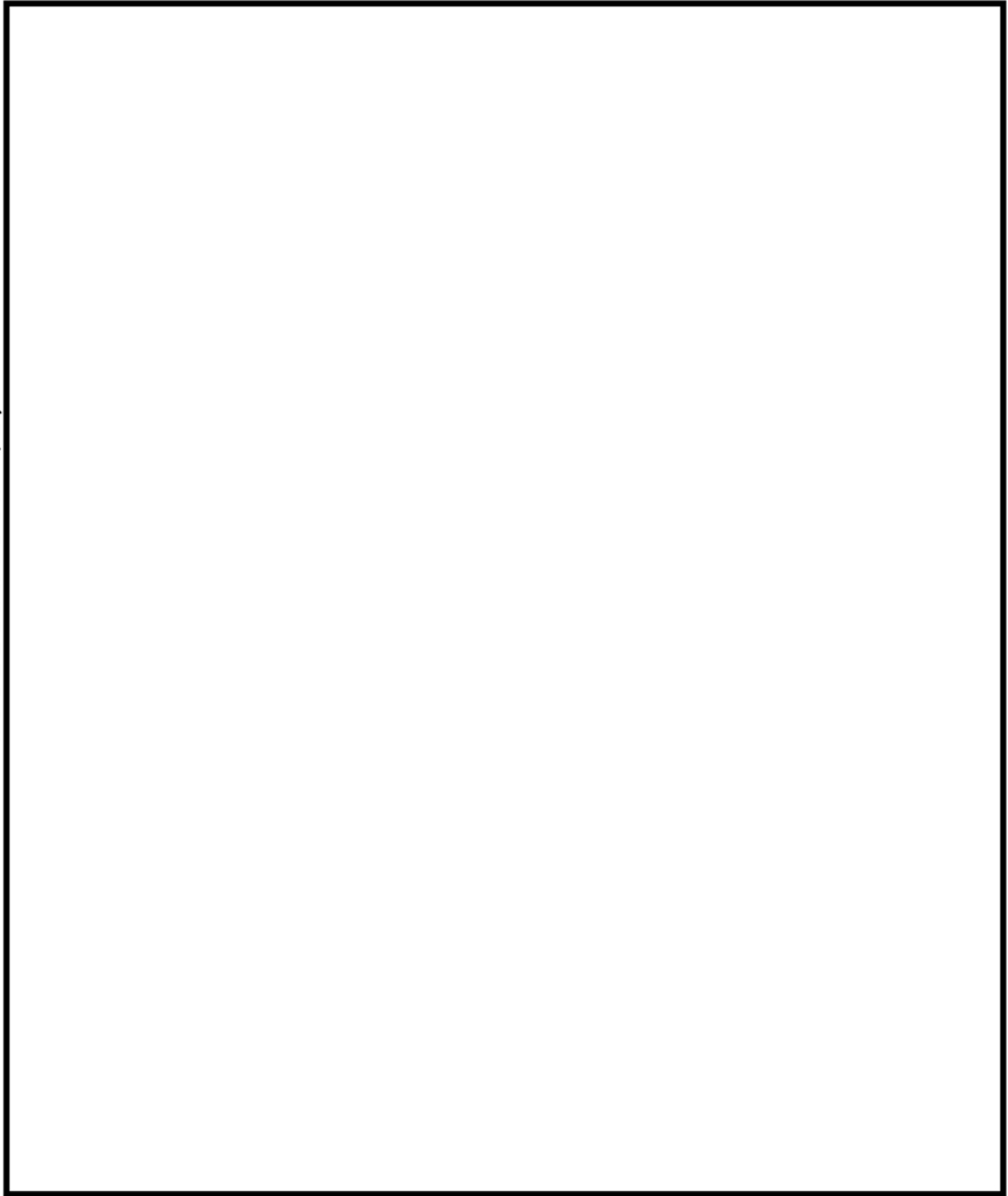
□ 内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : AB
ELEVATION : EL 17.000M #AB`0
DAMPING : 1.0%

— S2 Ss550
— Ss-1 Ss-2
— Ss-3 Ss-4
— Ss-5 Ss-6
— Ss-7

ACCELERATION (G)



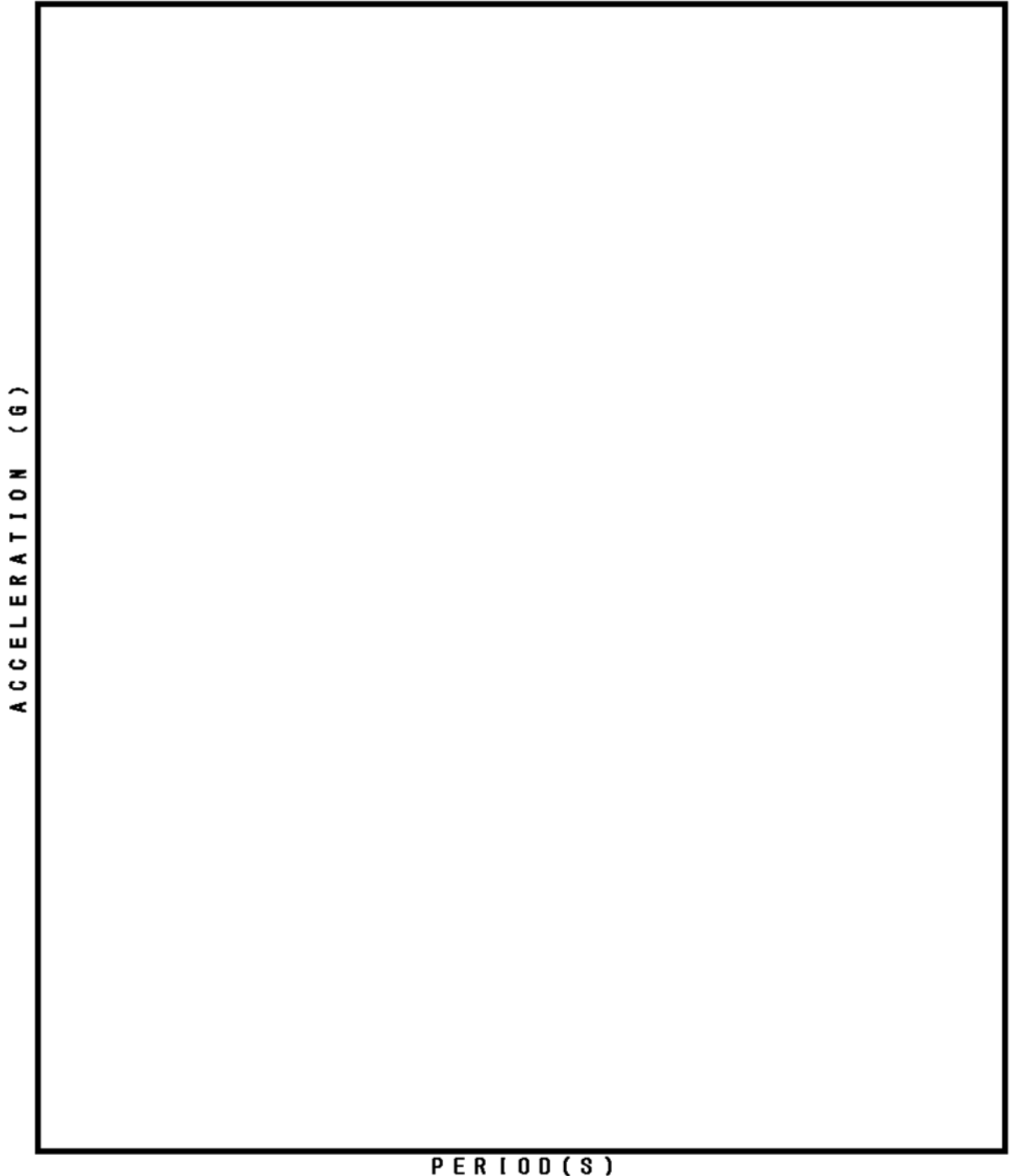
PERIOD (S)

内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: X
BUILDING NAME : AB
ELEVATION : EL 24.000M #AB07
DAMPING : 1.0%

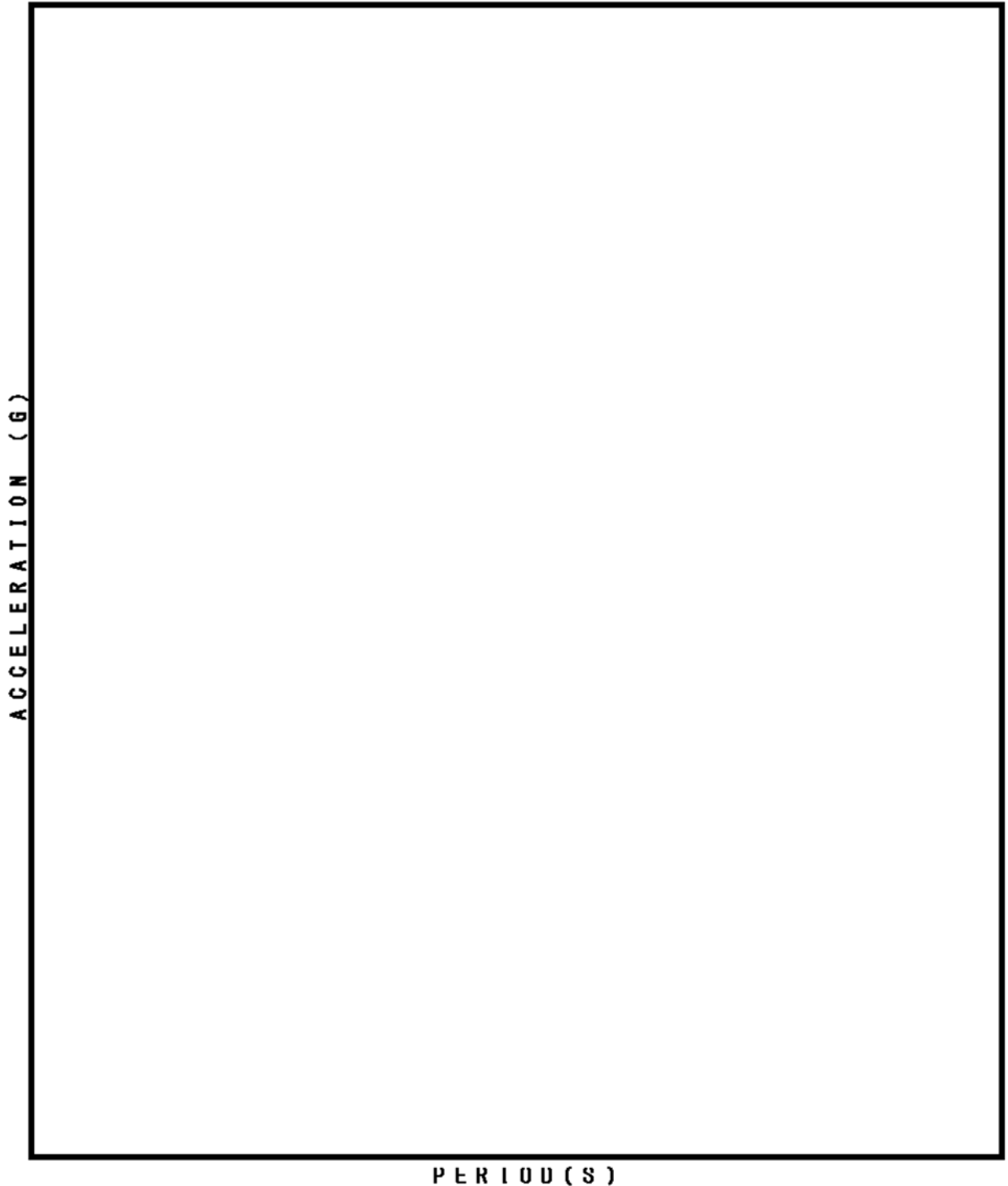
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: Y
BUILDING NAME : AB
ELEVATION : EL 24.000M #AB07
DAMPING : 1.0%

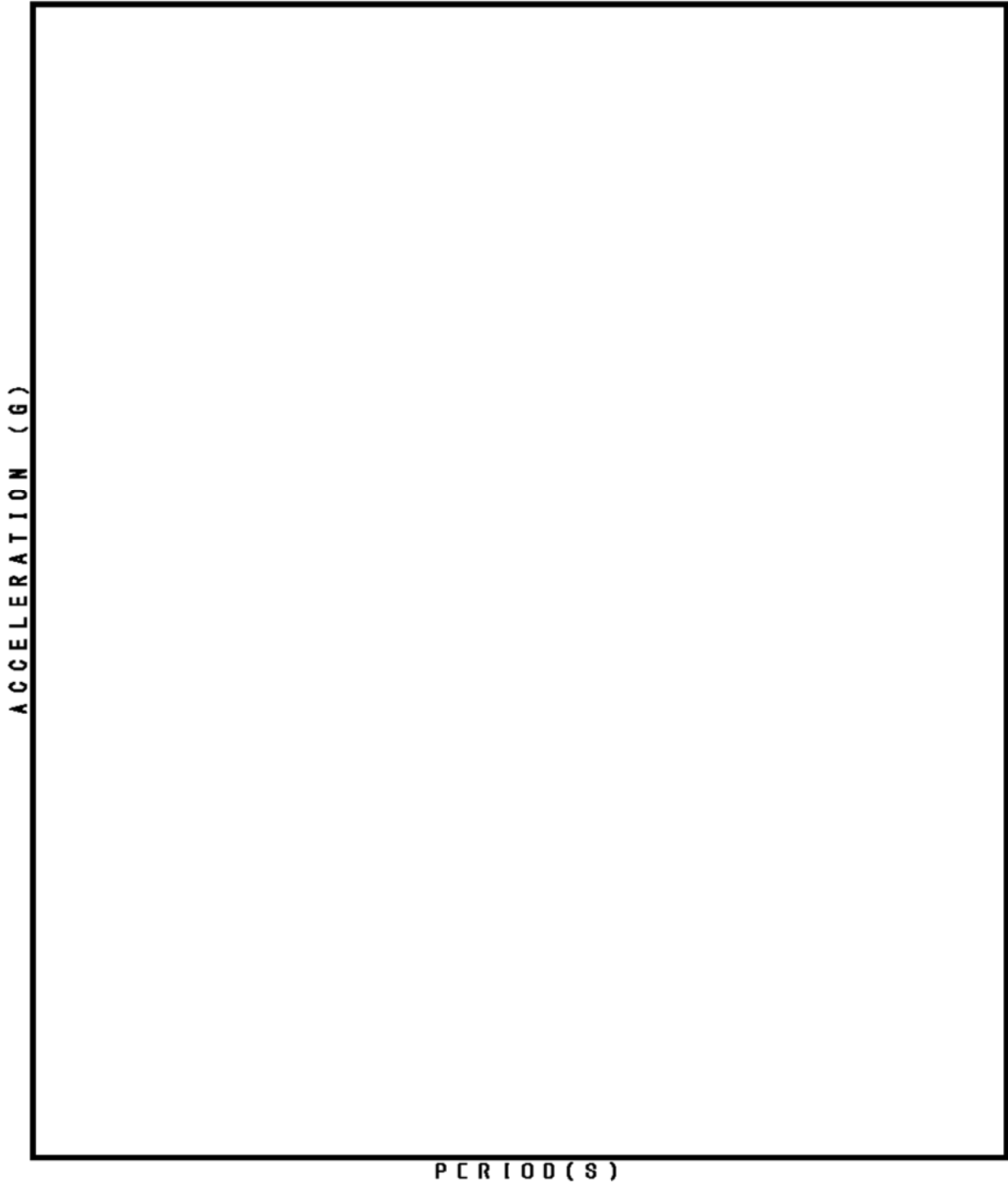
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



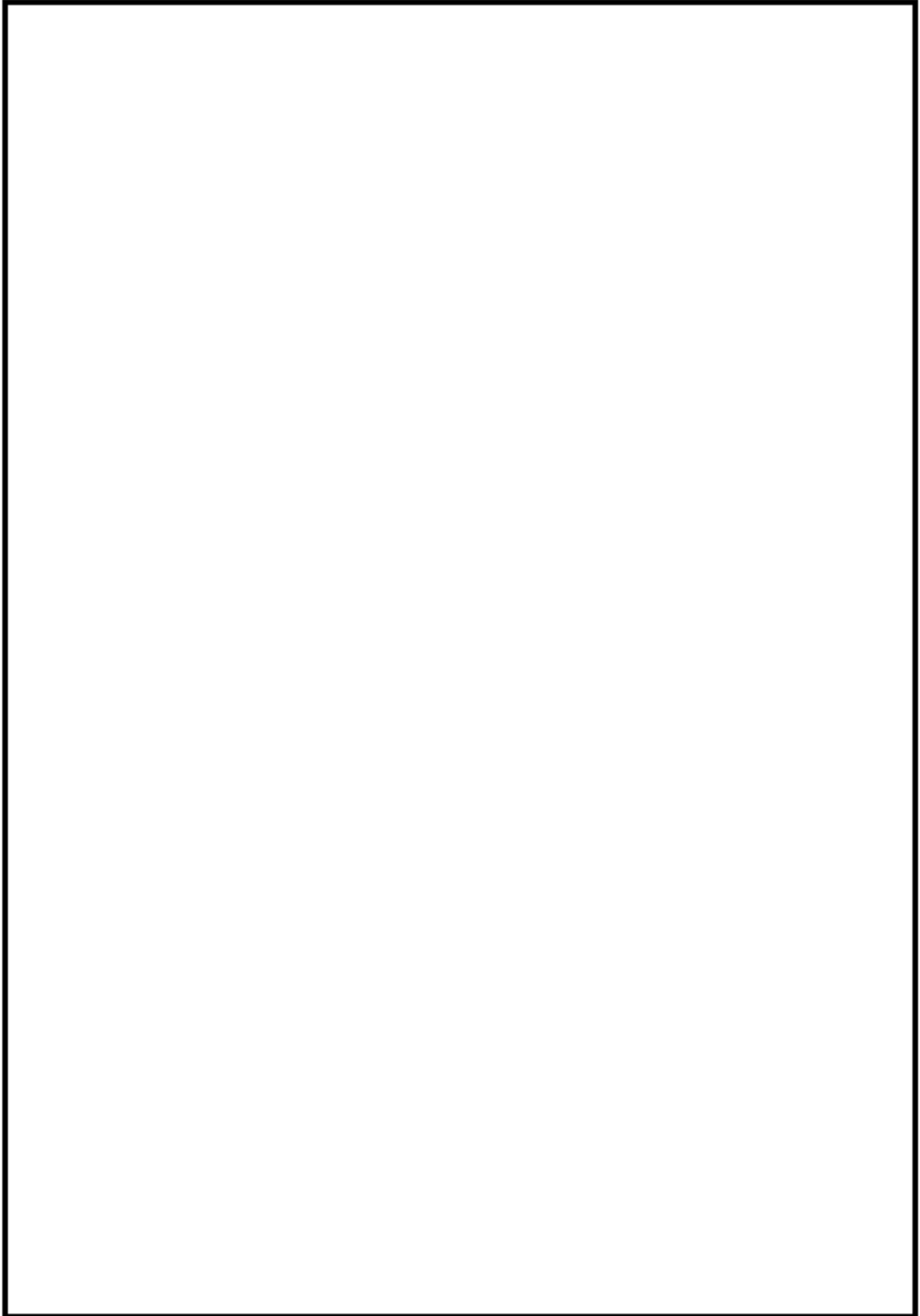
FLOOR RESPONSE SPECTRUM

UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : AB
ELEVATION : EL 24.0COM #AB07
DAMPING : 1.0%

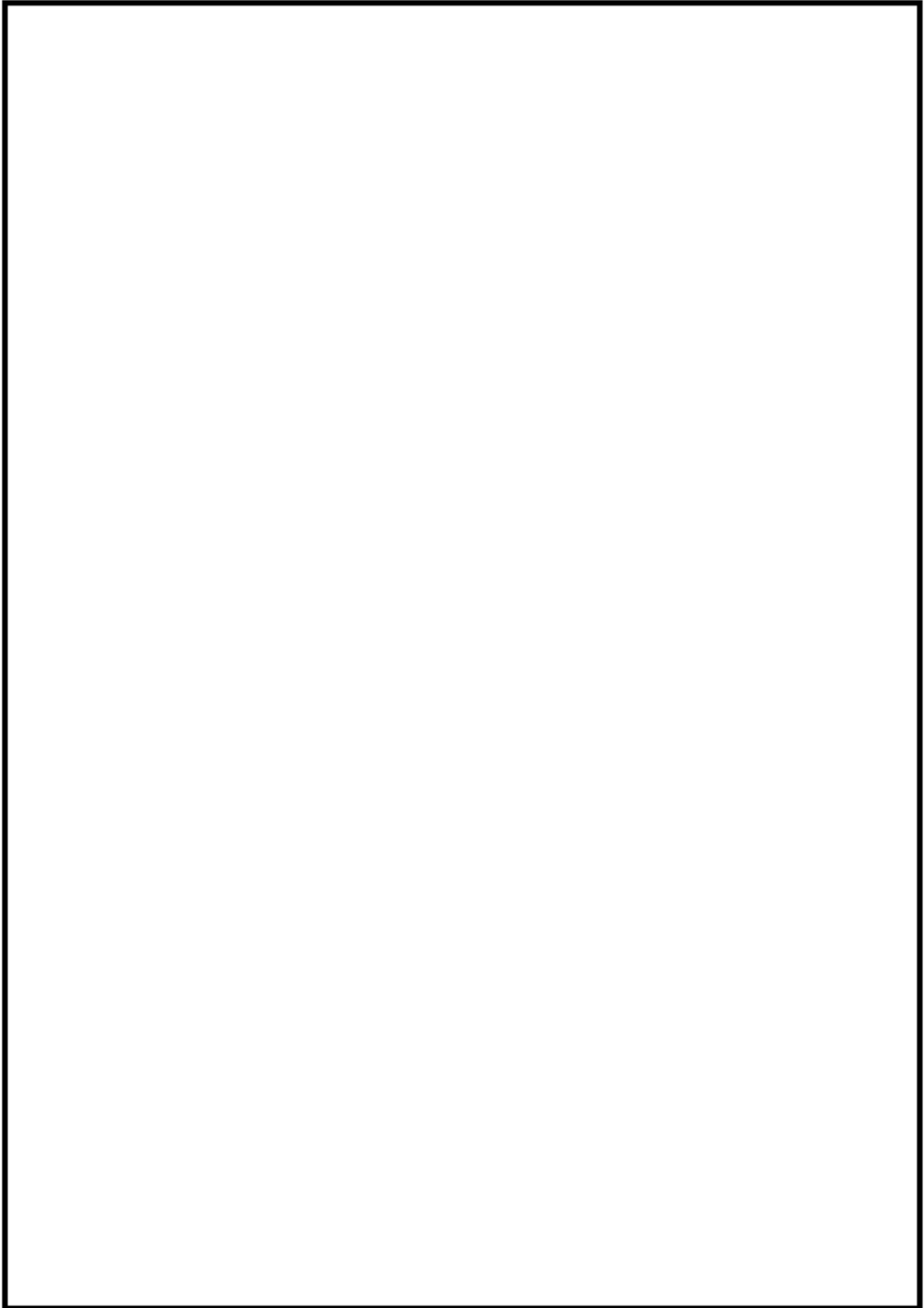
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6
— Ss-7	



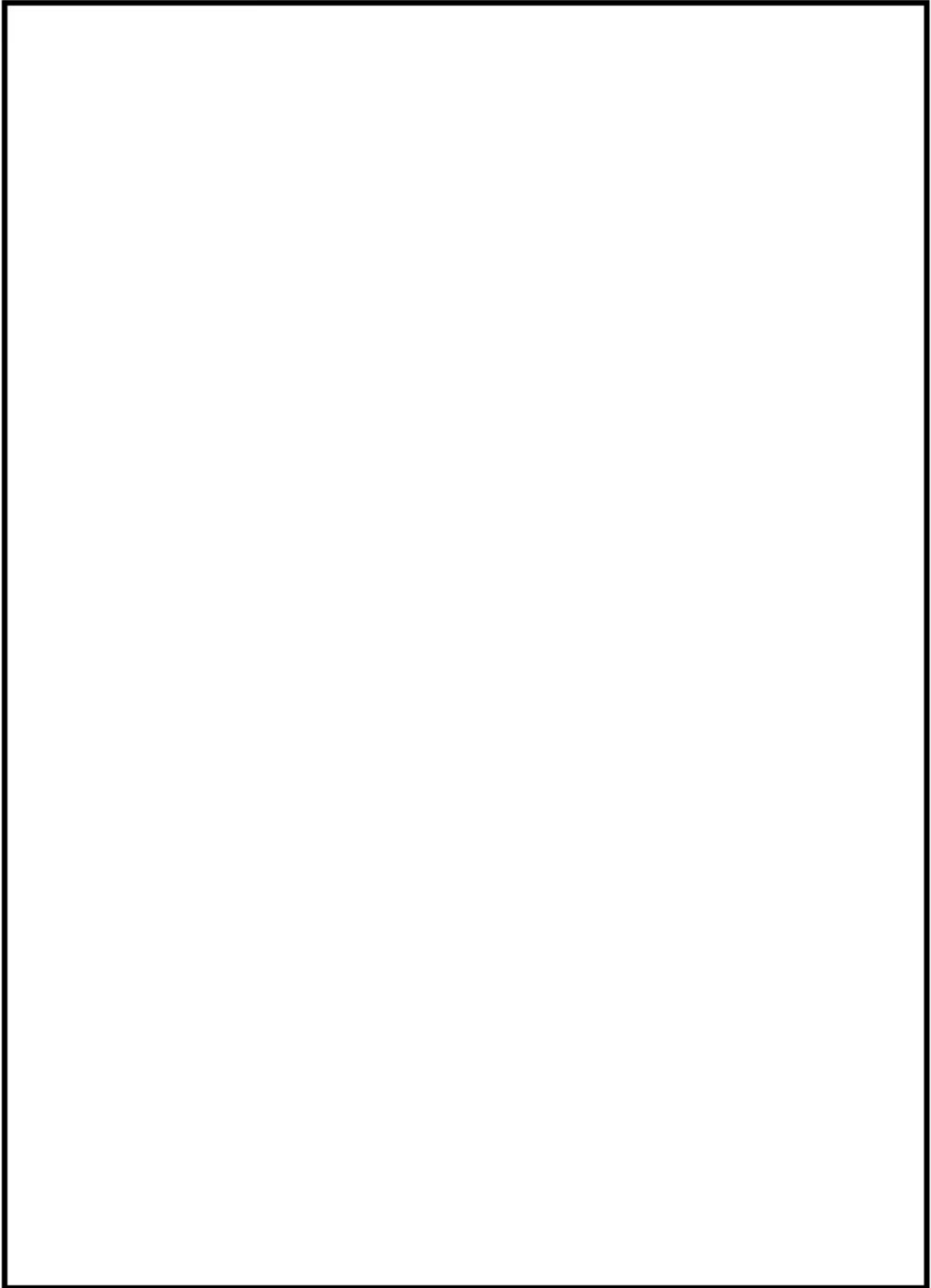
1. 内部コンクリート



2. 外部遮へい建屋



3. 原子炉補助建屋



No.	高浜 1－耐震－9 Rev.1	分類：熱交換器
質 問	<p>(3.2.20頁) 蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れに対する評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）を提示すること。</p>	
回 答	<p>蒸気発生器の冷却材出入口管台セーフエンドの応力腐食割れについては、「美浜2号における評価」に基づき同様の評価を実施することとします。なお、対象の劣化モードはPWSCCですが、「美浜2号における評価」においては下記に示すとおり（1）「PWSCC」に加え（2）「低サイクル疲労」による進展も考慮しているため、同様に「低サイクル疲労」による進展も加えた評価を行うこととします。</p> <p>（1）PWSCC進展評価 セーフエンド部の運転中の軸方向応力は表面は引張応力であるが、板厚内で圧縮応力となることから、SCC進展における応力拡大係数 $K=0$ となる深さの全周内表面欠陥を想定します。</p> <p>（2）低サイクル疲労進展評価 PWSCCによるき裂の進展が停留する応力拡大係数 $K=0$ を初期欠陥深さとして疲労進展評価を行い、得られた進展量を加えた欠陥深さを評価用の欠陥とします。</p> <p>評価内容および結果については添付－1に示します。</p>	

1. 評価仕様

想定する欠陥は、周方向欠陥とする。発電用原子力設備規格維持規格（以下、JSME 維持規格）の EB-1320 の第二段階の欠陥評価に基づき、蒸気発生器入口セーフエンド部の周方向欠陥の健全性評価を実施する。当部位の運転中の応力分布は、引張応力から圧縮応力に変化するため、SCCによる進展は停留すると考えられることから、停留した欠陥深さから疲労によるき裂進展評価を実施する。破壊評価は、評価末期の欠陥に対して、極限荷重法を用いて実施する。評価フローを図1に示す。

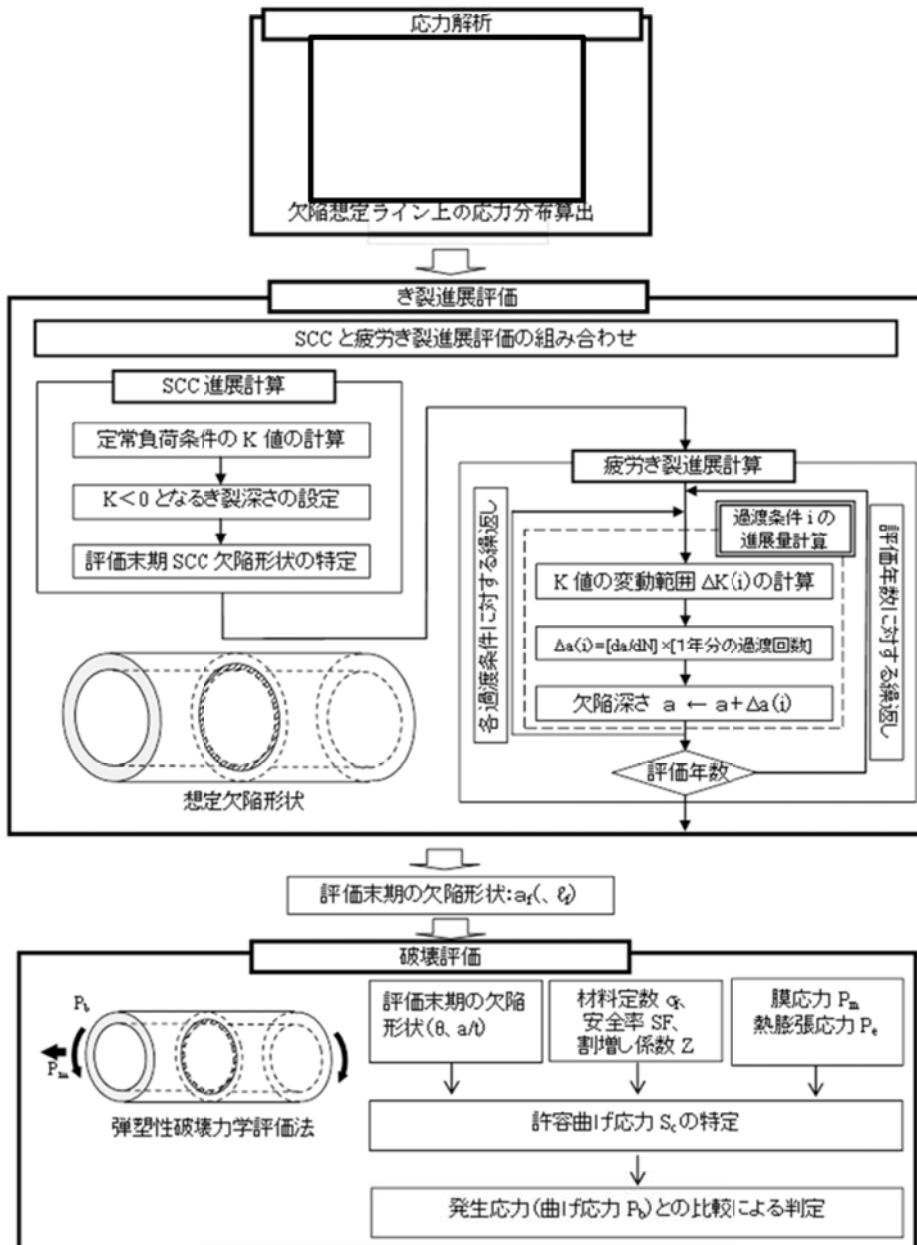


図1 評価フロー

内は商業機密に属しますので公開できません

2. 解析モデル

セーフエンドの主要形状寸法を表 1 に、評価対象の構造を図 2 に示す。評価用荷重条件は、JSME 維持規格「添付 E-7」より定常負荷条件とする。定常負荷条件で発生する応力は、溶接時残留応力、出力運転時の内圧および熱荷重による応力、機械的荷重による応力である。なお、欠陥想定ライン上の応力分布算出のうち溶接時残留応力は、蒸気発生器管台セーフエンド部のニッケル基合金溶接部の溶接過程を模擬した FEM 弾塑性解析により求めたものを用いた。内圧及び熱による応力は定常運転時の内圧と温度より FEM 弾性解析により求めたものを用いた。

表 1 主要形状寸法

部位	外径 Do (mm)	内径 (mm)	板厚 t (mm)
入口管台			

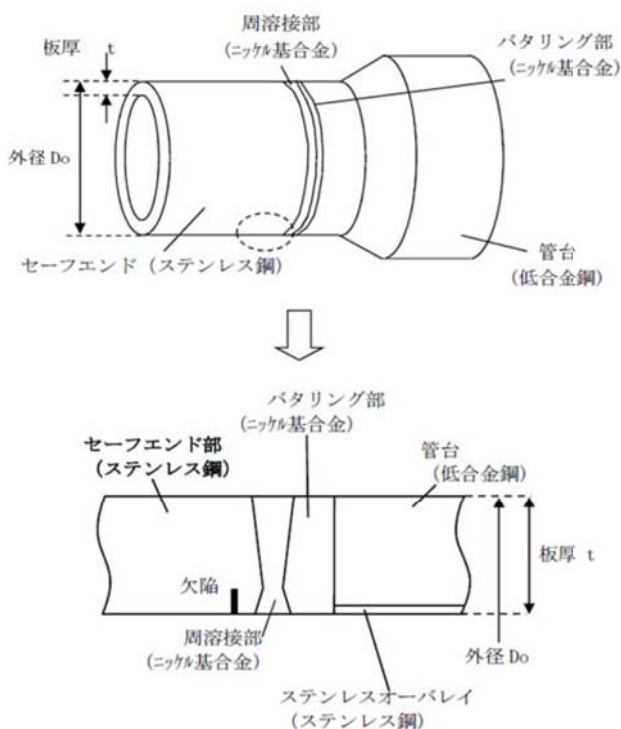


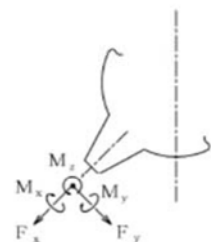
図 2 評価対象構造

3. 評価条件

評価に用いた機械的荷重 (外荷重) 条件を表 2、疲労進展評価に考慮した過渡条件を表 3、破壊評価に考慮した条件を表 4 に示す。

表 2 荷重条件

荷重の種類		軸力 (kN)			曲げモーメント (kN・m)		
		F _X	F _Y	F _Z	M _X	M _Y	M _Z
自重							
熱膨張							
管台 反力	S _s 地震時						
	S _d 地震時						



(注) Z 軸は手前方向である。

表3 疲労進展評価時の過渡条件 (供用状態 A 及び B、並びに 地震荷重)

供用状態	過渡条件	PLM 評価用過渡回数 (プラント供用 60 年想定)	
A	起動		
	停止		
	負荷上昇 (負荷上昇率 5%/min)		
	負荷減少 (負荷減少率 5%/min)		
	90%から 100%へのステップ状負荷上昇		
	100%から 90%へのステップ状負荷減少		
	100%からの大きいステップ状負荷減少		
	定常負荷運転時の変動		
	燃料交換		
	0%から 15%への負荷上昇		
	15%から 0%への負荷減少		
	1 ループ停止		
	1 ループ起動		
	B		負荷の喪失
外部電源喪失			
1 次冷却材流量の部分喪失			
100%からの 原子炉トリップ		不注意な冷却を伴わないトリップ	
		不注意な冷却を伴うトリップ	
		不注意な冷却と安全注入を伴うトリップ	
1 次冷却系の異常な減圧			
制御棒クラスタの落下			
出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動			
1 次冷却系停止ループの誤起動			
タービン回転試験			
1 次系漏えい試験			
地震	S _d *の 1/3 の地震力		

* : プラント使用 60 年到達時点 (SG 取替後の想定使用年数 (39 年) 到達時点) で考慮する回数。
 なお、地震回数は下記のとおり算出しました。

・ 1/3 S_d 地震の頻度 : 1 回/10 年

・ 地震 1 回あたりの等価繰り返し回数 :

・ 使用期間 : 39 年

以上より、地震回数は、 ⇒ 安全側にと想定しました。

内は商業機密に属しますので公開できません

表4 破壊評価用条件

供用状態		供用状態 C&D		
温度 T(°C)				
設計応力強さ S _m (MPa)				
流動応力 σ _f (MPa) (=2.7S _m)				
周方向欠陥用 応力	膜応力 P _m (MPa)			
	曲げ応力 P _b (MPa)			
	熱膨張応力 P _c (MPa)			
	地震			S _s (S _s -1)
曲げ応力 P _b (MPa)				
最大合計	膜応力 P _m (MPa)			
	曲げ応力 P _b (MPa)			
	熱膨張応力 P _c (MPa)			

(注) 供用状態 C&D の膜応力及び曲げ応力は、供用状態 C&D の過渡条件を包絡する圧力（最高使用圧力を 1.1 倍した圧力）に対するものを適用した。

4. SCC による進展評価

SCC によるき裂進展は、JSME 維持規格 EB-4352 の考え方に基づいて実施した。き裂は保守側に全周内表面欠陥とし、溶接部境界から 10mm 以内のステンレス鋼母材部に想定した。SCC 進展評価用応力拡大係数算出式として、JSME 維持規格の EB-4360 に基づき、添付 E-5 5.3(4)a 項の周方向全周内表面欠陥の式を使用する。

$$K = \left[(\sigma_0 + \sigma_p)G_0 + \sigma_1 G_1 \left(\frac{a}{t}\right) + \sigma_2 G_2 \left(\frac{a}{t}\right)^2 + \sigma_3 G_3 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + \sigma_4 G_4 \left(\frac{a}{t}\right)^4 + \sigma_{bg} G_{bg} \right] \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (3-1)$$

σ₀, σ₁, σ₂, σ₃, σ₄, σ_p : 板厚方向の応力分布を(3-2)式の四次多項式で与えた時の係数。σ_p は、内圧が円筒内表面の欠陥に働く場合 p, それ以外は 0 とする。

σ_{bg} : 断面曲げ応力

$$\sigma(x) = \sigma_0 + \sigma_1 \left(\frac{x}{t}\right) + \sigma_2 \left(\frac{x}{t}\right)^2 + \sigma_3 \left(\frac{x}{t}\right)^3 + \sigma_4 \left(\frac{x}{t}\right)^4 \dots\dots\dots (3-2)$$

a : 欠陥深さ

t : 板厚

x : き裂表面からの距離 0 ≤ x ≤ t

G₀, G₁, G₂, G₃, G₄, G_{bg} : 管厚比 Ri/t および欠陥深さ a/t から決定される補正係数。周方向全周表面欠陥に対する表添付 E-5-13 を用いて Ri/t, a/t で補間。

R_i : 内半径

内は商業機密に属しますので公開できません

なお、当該部においては運転中の板厚内応力分布計算結果(図3)から、内表面の引張応力から圧縮応力に転じ、応力拡大係数 $K < 0$ となる欠陥深さで SCC による進展が停留すると考えられることから、 $K=0$ となる深さを SCC による進展深さとした(図4)。



図3 運転中の応力分布

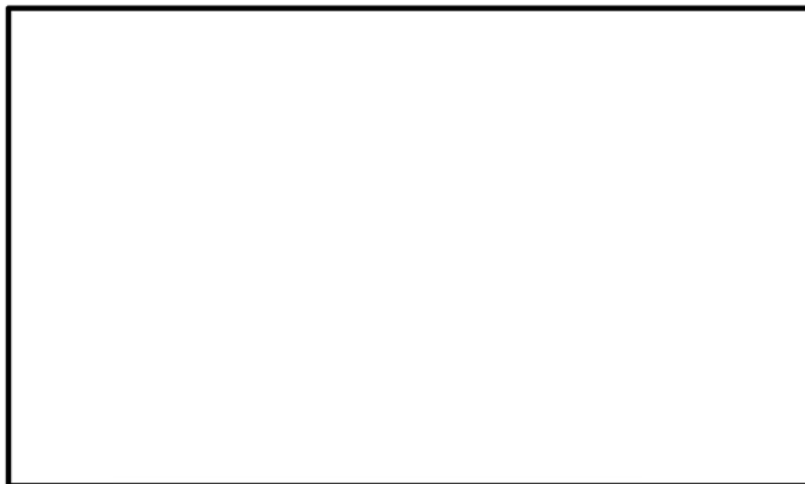


図4 き裂深さと応力拡大係数 (SCC)

5. 疲労による進展評価

疲労によるき裂進展は、JSME 維持規格 EB-4351 に基づいて実施した。疲労き裂進展速度は、JSME 維持規格の添付 E-2 4.1(2)b 項に示されるオーステナイト系ステンレス鋼の PWR 一次系水質環境中の疲労き裂進展速度線図を用いて評価を実施する。

$$da/dN = 4.35 \times 10^{-13} T_c^{0.63} tr^{0.33} \Delta K^{3.0} / (1-R)^{1.56} \dots\dots\dots (3-3)$$

- ただし、 da/dN : 疲労き裂進展速度 (m/cycle)
- ΔK : 応力拡大係数の範囲 ($MPa\sqrt{m}$)
($\Delta K = K_{max} - K_{min}$: $R \geq 0$ 、 $\Delta K = K_{max}$: $R < 0$)
- T_c : 温度 ($^{\circ}C$)
- tr : 負荷上昇時間 (秒)
($tr < 1$ の場合は $tr=1$ 、 tr が定義できない場合は $tr=1000$)
- R : 応力比 = K_{min}/K_{max} ($R < 0$ のときは、 $R=0$ としてする)
- K_{min} 、 K_{max} : 応力拡大係数の最小、最大

き裂は前章で求めた SCC によるき裂形状から、プラント供用 60 年時点（蒸気発生器取替後 39 年間）までの疲労によるき裂進展を算出した。評価結果を図 5 及び表 5 に示す。



図 5 疲労によるき裂進展評価結果

表 5 プラント供用 60 年時点における欠陥形状

	初期欠陥深さ a ₀ (mm)	疲労欠陥 評価年数	欠陥深さ a (mm)	欠陥角度 2θ (°)
入口管台		39 年		360

6. 破壊評価結果

破壊評価は、JSME 維持規格 EB-4440 に基づいて実施した。破壊評価は、セーフエンド部のオーステナイト系ステンレス鋼管の評価末期の周方向欠陥に対して、弾塑性破壊力学法を用いた。評価方法は「事例規格 周方向欠陥に対する許容欠陥角度の制限の代替規定、NA-CC-002、2005、日本機械学会」にて欠陥角度 2θ>60°の欠陥にも適用可能な以下評価式を用いた。なお、安全率 SF については、PLM耐震評価における欠陥は、実際に生じているものではなく、あくまで想定であることから、JSME 維持規格で記載される周方向欠陥（許容状態 C&D）の評価に使用する SF:1.39 を考慮する必要はないと考えるが、ここでは安全側に考慮することとしました。

$$\beta \leq \pi - \theta \text{ の場合 } P'_b = \frac{2\sigma_f}{\pi} \left(2 \sin \beta - \frac{a}{t} \sin \theta \right)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\pi - \frac{a}{t} \theta - \pi \frac{P_m}{\sigma_f} \right)$$

$$\beta > \pi - \theta \text{ の場合 } P'_b = \frac{2\sigma_f}{\pi} \left(2 - \frac{a}{t} \right) \sin \beta$$

$$\beta = \frac{\pi}{2 - a/t} \left(1 - \frac{a}{t} - \frac{P_m}{\sigma_f} \right)$$

$$\text{塑性崩壊の曲げ応力 } P'_b = Z (SF) \left(P_m + P_b + \frac{P_e}{(SF)} \right) - P_m$$

- ただし、 t : 板厚 \square
 a : 評価期間末期の欠陥深さ $= \square$
 σ_f : 流動応力 (実測降伏点と引張強さの平均、または $2.7S_m$)
 S_m : 設計応力強さ
 β : 周方向欠陥付き管の中立軸に対応する角度
 SF : 安全率 周方向欠陥のとき $= 1.39$ (許容状態 C&D)
 P_b' : 欠陥形状で表した塑性崩壊曲げ応力
 θ : 周方向欠陥半長に対応する角度 (欠陥角度) $= \pi \text{rad}$
 P_m : 一次一般膜応力
 P_b : 一次曲げ応力
 P_e : 熱膨脹応力
 Z : Z 係数 (割増し係数)

許容曲げ応力は次式となる。

$$S_c = \frac{1}{SF} \left(\frac{P_b'}{Z} - P_e \right) - P_m \left(1 - \frac{1}{Z \cdot SF} \right)$$

ただし、



前章で求めたプラント供用 60 年時点 (39 年後) のき裂に対する、 S_8 地震時の発生応力及び許容曲げ応力を算出した結果を表 6 に示す。評価部位に作用する曲げ応力は許容曲げ応力以下であることから、SCC に対する耐震安全性は問題ない。

表 6 プラント供用 60 年時点の欠陥形状に対する破壊評価結果

部位	評価き裂 深さ (mm)	安全率	曲げ応力 P_b (MPa)	許容曲げ 応力 S_c (MPa)	応力比 (P_b / S_c)
入口管台	\square	1.39 (供用状態 C&D)	\square	\square	0.53

以上

\square 内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜 1－耐震－ 1 1 Rev. 1	分類：容器
質 問	<p>(3.4.43頁) 原子炉容器の中性子照射脆化（上部棚吸収エネルギーの低下）に対する耐震安全性評価の具体的内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）を提示すること。</p>	
回 答	<p>1. 弾塑性破壊力学評価</p> <p>(1) J_{mat} の算出 欠陥深さ a に対する上部棚破壊靱性 J_{mat} は次式で評価しています。 $J_{mat} = M_j \cdot C_1 \cdot \Delta a^{C_2}$ $M_j = 0.863[\text{供用状態 A,B}]$ $C_1 = \exp\{0.147 + 2.64 \cdot \log(\text{USE 調整値}) - 0.00087 \cdot T\}$ $C_2 = -0.549 + 0.383 \cdot \log(C_1)$ USE 調整値：60 年運転時点における 1/4t 深さでの値 (= <input type="text"/>) T：評価位置での温度 (= <input type="text"/>C) (出典：JEAC4206-2007 附属書 G G-3200)</p> <p>(2) J_{app} の算出 欠陥深さ a に対するき裂進展力 J_{app} は次式、及び表 1 の評価条件を基に評価しています。 $J_{app} = 1000 \cdot (K_I')^2 / E'$ $K_I' = \sqrt{\frac{a_e}{a}} \cdot K_I$ $a_e = a + \left(\frac{1000}{6\pi} \right) \cdot \left[\frac{K_I}{\sigma_y} \right]^2$ $\sigma_y : \text{降伏応力 (MPa)}$ $K_I = 0.961(K_{IP}^e + K_{I-S2}^e) + 0.961C \cdot K_{II}^e$ $C = 1.0 - \{-0.159(a/t) + 0.155\}(\sigma_t / \sigma_{total})$ ただし、C の下限は次式とする。 $C = 1.0 - 0.12 \cdot (\sigma_t / \sigma_{total})$ $\sigma_t : \text{欠陥深さ位置の熱応力(MPa)、}$ $\sigma_{total} : \text{欠陥深さ位置の応力 (S s 地震力含む) (MPa)}$ <math display="block">t : \text{胴部母材厚さ (= <input type="text"/>mm)}</math> $K_{IP}^e : \text{内圧応力に対する応力拡大係数}$ $K_{II}^e : \text{熱応力に対する応力拡大係数}$ $K_{I-S2}^e : \text{S s 地震力に対する応力拡大係数}$ (出典：JEAC4206-2007 附属書 G G-6200) ※ K_{IP}^e 及び K_{II}^e は、ASME Code Section XI, Appendix A の解（作用分布応力を多項式近似する場合）により算出する。 K_{I-S2}^e は、ASME Code Section XI, Appendix A の解（作用分応力を線形近似する場合）により算出する。</p>	

表1 評価に使用した各条件

仮想欠陥 ^{※1※2}	内圧 ^{※4}	温度過渡 ^{※3}	地震 ^{※4}
深さ: <input type="text"/> mm (1/4t)	<input type="text"/> MPa) 一定	<input type="text"/> C/h	<input type="text"/> (MPa)
長さ: <input type="text"/> mm (1.5t)	(最高使用圧力の 1.1 倍)	(停止までの下降率)	(Ss-1 地震時の曲げ応力)

※1: tは原子炉容器胴部の板厚

※2: 欠陥の想定位置は、回答 10 におけるPTS評価部位(炉心領域モデル④番部位)と同じ位置

※3: 温度過渡から求める α 、 K_{IT} は一定値ではなく過渡に伴う変数となります。 $\Delta a = 0\text{mm}$, 1mm, 2mm, 2.5mm, 3mmにおいて、それぞれの α 及び K_{IT} の履歴をもとに算出したJapp値の履歴のうち最大値となるJappを評価値としています。

※4: $\Delta a = 0\text{mm}$, 1mm, 2mm, 2.5mm, 3mmにおける、それぞれの K_{IP} および K_{I-Ss} を表2に示します。

表2 各想定欠陥深さにおける内圧による応力拡大係数 K_{IP} 及びSs地震による応力拡大係数 K_{I-Ss}

Δa [mm]	内圧による応力拡大係数 K_{IP} [MPa \sqrt{m}]	Ss地震による応力拡大係数 K_{I-Ss} [MPa \sqrt{m}]
0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2.5	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(算出に必要な条件)

【RV 寸法】

内半径: mm (クラッド内面)、 mm (母材内面)

母材板厚: mm

【熱伝導率、熱拡散率】

ASME Sec II Part D の Table TCD を使用 (母材: Group C、クラッド: Group J)

【縦弾性係数】

母材: $\times 10^{11}$ Pa

【熱膨張係数】

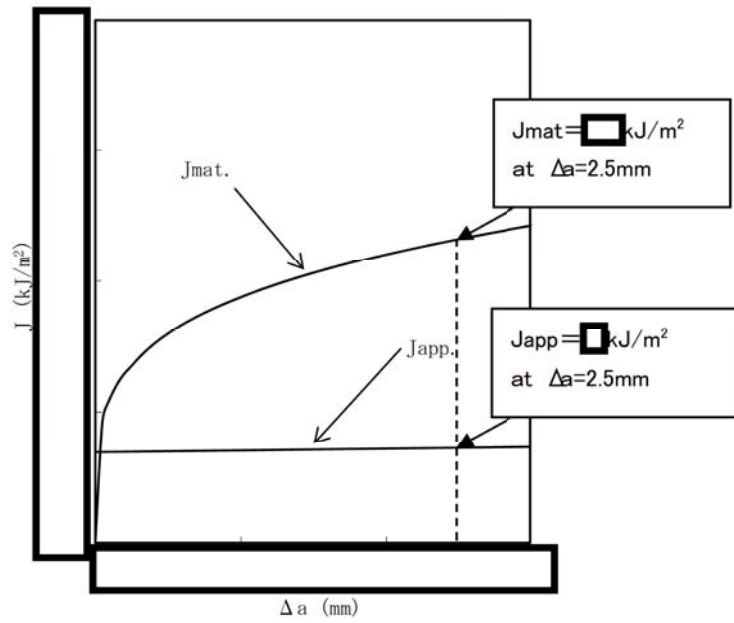
母材: $\times 10^{-6}$ mm/mm $^{\circ}$ C

【ポアソン比】

【降伏応力 σ_y 】

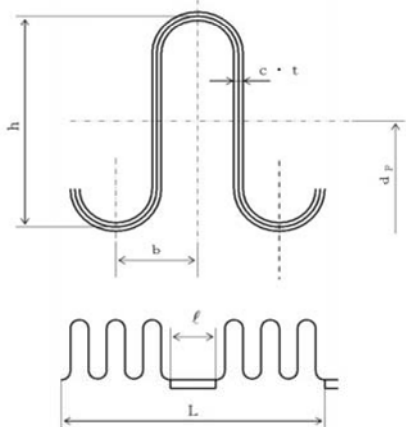
MPa (母材の低温側配管の冷却材温度 C) での値)

(3) 評価結果
評価結果を下図に示します。



高浜1号 S s 地震を考慮した供用状態A, Bに対するき裂安定性評価結果

内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜 1 - 耐震 - 1 2 Rev. 1	分類：容器																																																																								
質 問	<p>機械ペネトレーションの主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する具体的評価内容（評価仕様、解析モデル、入力（荷重）条件、評価結果を含む）を提示すること。</p>																																																																									
回 答	<p>1. 記号の説明 伸縮継手の疲労評価に用いる記号について、表 1 に示します。</p> <p style="text-align: center;">表 1 伸縮継手の疲労評価に用いる記号</p> <table border="1" data-bbox="406 638 1308 1377"> <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（平均径）</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>MPa</td> <td>最高使用温度における JSME S NCI-2005/2007 付録図表 Part 6 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</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</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>—</td> <td>継手の波数の 2 倍の値（1 波の継手にあつては 2）</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>MPa</td> <td>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>U</td> <td>—</td> <td>疲れ係数</td> </tr> <tr> <td>UF</td> <td>—</td> <td>疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td>W_N</td> <td>—</td> <td>1 個の継手部の山数</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>mm</td> <td>軸方向変位量（表 3 における X の 2 倍（両振幅））</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>mm</td> <td>軸直角方向変位量（表 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</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>MPa</td> <td>合計応力</td> </tr> <tr> <td>σ_D</td> <td>MPa</td> <td>全伸縮量による応力</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 1 に示します。</p>  <p style="text-align: center;">(複 式 (中間の管を含む))</p> <p style="text-align: center;">図 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（平均径）	E	MPa	最高使用温度における JSME S NCI-2005/2007 付録図表 Part 6 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	mm	中間の管の長さ	N	—	許容繰返し回数	n	—	継手の波数の 2 倍の値（1 波の継手にあつては 2）	P	MPa	最高使用圧力	t	mm	継手部の板の厚さ	U	—	疲れ係数	UF	—	疲れ累積係数	W_N	—	1 個の継手部の山数	X	mm	軸方向変位量（表 3 における X の 2 倍（両振幅））	Y	mm	軸直角方向変位量（表 3 における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の 2 倍（両振幅））	δ	mm	全伸縮量	σ	MPa	合計応力	σ_D	MPa	全伸縮量による応力	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（平均径）																																																																								
E	MPa	最高使用温度における JSME S NCI-2005/2007 付録図表 Part 6 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	mm	中間の管の長さ																																																																								
N	—	許容繰返し回数																																																																								
n	—	継手の波数の 2 倍の値（1 波の継手にあつては 2）																																																																								
P	MPa	最高使用圧力																																																																								
t	mm	継手部の板の厚さ																																																																								
U	—	疲れ係数																																																																								
UF	—	疲れ累積係数																																																																								
W_N	—	1 個の継手部の山数																																																																								
X	mm	軸方向変位量（表 3 における X の 2 倍（両振幅））																																																																								
Y	mm	軸直角方向変位量（表 3 における $\delta y = \sqrt{y^2 + z^2}$ の 2 倍（両振幅））																																																																								
δ	mm	全伸縮量																																																																								
σ	MPa	合計応力																																																																								
σ_D	MPa	全伸縮量による応力																																																																								
σ_P	MPa	最高使用圧力による応力																																																																								

2. 評価部位

評価する伸縮継手は、技術評価で厳しい系統とし、主蒸気配管はCループ（改造なし）、主給水配管はBループ（改造あり）とします。図2にC－主蒸気配管、図3にB－主給水配管の伸縮継手の模式図を示します。

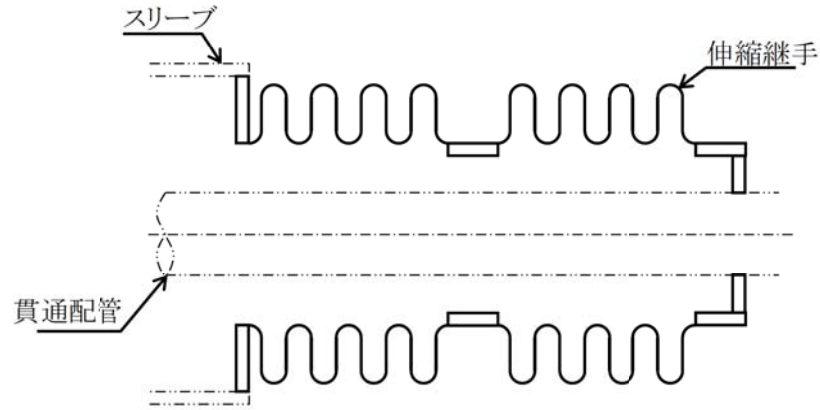


図2 C－主蒸気配管(改造なし)

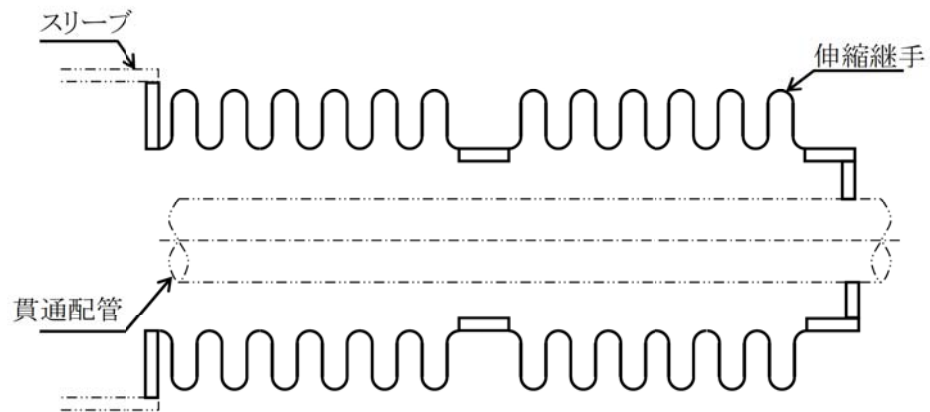


図3 B－主給水配管(改造あり)

評価部位は、図4に示す伸縮継手の頂部とします。

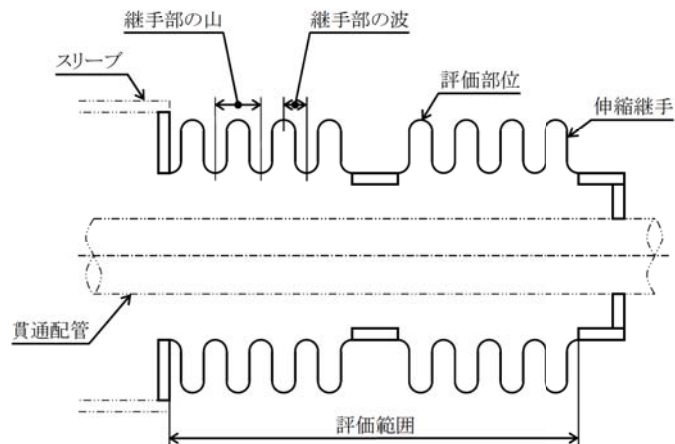


図4 伸縮継手の評価部位

3. 評価内容

(1) 格納容器貫通部の仕様

各格納容器貫通部の仕様について表 2 に示します。

表 2 格納容器貫通部の仕様

配管	原子炉格納容器最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	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	ヤング率 (MPa)	複式伸縮継手の長さ (mm)			
											中心間距離 A	中間の管の長さ B	伸縮継手の長さ L	
主蒸気配管格納容器貫通部	0.261													
主給水配管格納容器貫通部	0.261													

(2) 地震時の伸縮継手の変位

Ss地震時及びSd地震時の伸縮継手の変位について表 3 に示します。

表 3-1 伸縮継手の変位 (Ss地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

表 3-2 伸縮継手の変位 (Sd地震時)

ライン名称	地震合計変位 (mm)			
	X	Y	Z	$\delta y = \sqrt{(Y^2 + Z^2)}$
主蒸気配管格納容器貫通部				
主給水配管格納容器貫通部				

注：表 3 に示す座標系は、格納容器半径方向をx方向、鉛直方向をz方向とする右手直交座標系であり、表 1 に示すX、Yとは異なるものである。

(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、評価用繰返し回数と許容繰返し回数の比 (疲れ累積係数) を算出します (日本機械学会 設計・建設規格「PVE-3800 伸縮継手」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

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

(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

$$\delta = e W_N$$

b. 伸縮継手の応力と許容繰返し回数

(a) 伸縮継手の応力

全伸縮量による応力

$$\sigma_D = \frac{1.5 E t \delta}{n \sqrt{b h^3}}$$

注：ヤング率Eについては、表2における高温時の値ではなく、常温（21℃）におけるヤング率195,000(MPa)を用いる。

最高使用圧力による応力

$$\sigma_P = \frac{P h^2}{2 t^2 c}$$

発生応力

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

(b) 許容繰返し回数

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

(c) 疲れ累積係数

$$U F = \Sigma \frac{\text{評価用繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}}$$

4. 評価結果

(1) 地震によるUF評価結果

Ss地震によるUF評価結果を、表4に示します。

表4 Ss地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.200
主給水ライン貫通部				0.005

Sd地震によるUF評価結果を、表5に示します。

表5 Sd地震によるUF評価結果

格納容器貫通部	発生応力 [MPa]	許容繰返し 回数	評価繰返し 回数	UF
主蒸気ライン貫通部				0.031
主給水ライン貫通部				0.002

(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6及び表7に示します。

表6 Ss地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Ss地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.008	0.200	0.208
主給水ライン貫通部	0.033	0.005	0.038

表7 Sd地震時の通常運転時UFとの組合せによる評価結果

格納容器貫通部	通常運転時	Sd地震時	合計
主蒸気ライン貫通部	0.008	0.031	0.039
主給水ライン貫通部	0.033	0.002	0.035

以上より、主蒸気系統伸縮継手及び主給水系統伸縮継手の疲労割れに対する耐震安全性に問題はありません。

以上

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－ 2	事象：劣化傾向の評価											
質 問	(別冊-18 40年目追加評価-低サイクル疲労-7頁) ケーシング吐出ノズルについて、30年目の高経年化技術評価と劣化状況評価における疲労累積係数の相違について定量的な理由を提示すること。												
回 答	<p>表 1 1次冷却材ポンプケーシング吐出ノズル疲労評価結果の相違</p> <table border="1" data-bbox="454 768 1300 981"> <thead> <tr> <th rowspan="2">機器・設備</th> <th rowspan="2">部位</th> <th colspan="2">60年時点の予測値</th> </tr> <tr> <th>30年目評価</th> <th>40年目評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1次冷却材ポンプ</td> <td>ケーシング吐出ノズル</td> <td>0.263</td> <td>0.022</td> </tr> </tbody> </table> <p>表 1 のように、高浜 1 号機の 1 次冷却材ポンプケーシング吐出ノズルの疲労評価結果については、40年目評価（以下「PLM40」という。）の予測値が30年目評価（以下「PLM30」という。）の予測値で相違があります。相違が生じた大きな理由として「応力割増係数Keの算出式の変更」が挙げられます。</p> <p>PLM40の適用基準は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編軽水炉規格」（JSME S NC-1 2005/2007）であるのに対し、PLM30の適用基準は「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（通商産業省告示501号）であるため、応力割増係数Keの算出式が変更となっています。</p> <p>(1) PLM30での応力割増係数Keの算出過程</p> <p>まず、PLM30でのKe算出式を示します。「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」によりKeは、次式で表されます。添付 1 にPLM30での吐出ノズルの疲労評価結果および評価点を示します。</p> $Ke = 1 + \frac{1-n}{n(m-1)} \left(\frac{Sn}{3Sm} - 1 \right) \quad (\text{※}Sn > 3Sm \text{のとき})$ <p> Sn：一次＋二次応力強さのサイクルにおける極大値と極小値の差 Sm：設計応力強さ m：材料の種類に応じ定められた定数（添付 3 参照） n：材料の種類に応じ定められた定数（添付 3 参照） </p> <p>例として表 1 のPLM30における予測値を示した評価点の、繰り返しピーク応力強さ最大の場合のKe計算過程を示します。（添付 1 および添付 3 参照）</p> $Ke = 1 + \frac{1-0.3}{0.3(1.7-1)} \left(\boxed{} - 1 \right) = \boxed{}$			機器・設備	部位	60年時点の予測値		30年目評価	40年目評価	1次冷却材ポンプ	ケーシング吐出ノズル	0.263	0.022
機器・設備	部位	60年時点の予測値											
		30年目評価	40年目評価										
1次冷却材ポンプ	ケーシング吐出ノズル	0.263	0.022										

(2) PLM40のKe算出式を用いて、(1)の評価点のKeを算出
次にPLM40でのKe算出式を示します。「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編軽水炉規格」(JSME S NC-1 2005/2007)により、Keは次式で表されます。添付1にPLM40での吐出ノズルの疲労評価結果および評価点を示します。

$$Ke = 1 + (q-1) \left(1 - \frac{3Sm}{Sn}\right) \quad \left(\text{※ } K < B_0, \frac{Sn}{3Sm} \geq \frac{(q + \frac{A_0}{K} - 1) - \sqrt{(q - \frac{A_0}{K} - 1)^2 - 4A_0(q-1)}}{2A_0} \text{ のとき} \right)$$

- Sn : 一次+二次応力強さのサイクルにおける極大値を極小値の差
- Sm : 設計応力強さ
- q : 材料の種類に応じ定められた定数 (添付1 参照)
- A_0 : 材料の種類に応じ定められた定数 (添付1 参照)
- B_0 : 材料の種類に応じ定められた定数 (添付1 参照)
- K : Sp/Sn
- Sp : ピーク応力強さのサイクルにおいてその極大値と極小値の差

この式を用いて、表1のPLM30における予測値を示した評価点の、繰り返しピーク応力強さ最大の場合のKeを算出します。

$$Ke = 1 + (3.1 - 1) \left(1 - \frac{\square}{\square}\right) = \square$$

PLM40で用いたKe算出式によるKe \square が、PLM30で用いたKe算出式によるKe \square よりも値が小さくなっています。

同様にKeを算出していく、PLM30の評価についてPLM40のKe算出式を用いてUF値を算出した値を表2に示します。

表2 PLM30のKe算出式を変更した場合のUF値比較

PLM30でのUF値	
告示501号によるKe算出式を用いた場合	JSME S NC-1 2005/2007によるKe算出式を用いた場合
0.263	0.049

このようにPLM40の算出式を適用すると、PLM30の算出式を適用したもののよりUFが小さくなるのが分かります。

以上のことから、PLM40の予測値とPLM30の予測値で相違が生じた大きな理由として「Keの算出式の変更」が考えられます。

高浜1号機 PLM30での一次冷却材ポンプ各評価点での一次+二次応力強さ

部 位	評価点	一次+二次応力強さ (N/mm ²)		疲れ評価	
		PL+PB+Q	許容値	Σu_i	許容値
吸込 ノズル	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
吐出 ノズル					
脚部					

内は商業機密に属しますので公開できません

高浜1号機PLM30でのRCPケーシング吐出ノズルの疲労評価結果 (評価点: 13)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR
TOTAL =						0.26263

⇒通常UF : 0.263



高浜1号機PLM30でのRCPケーシング評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

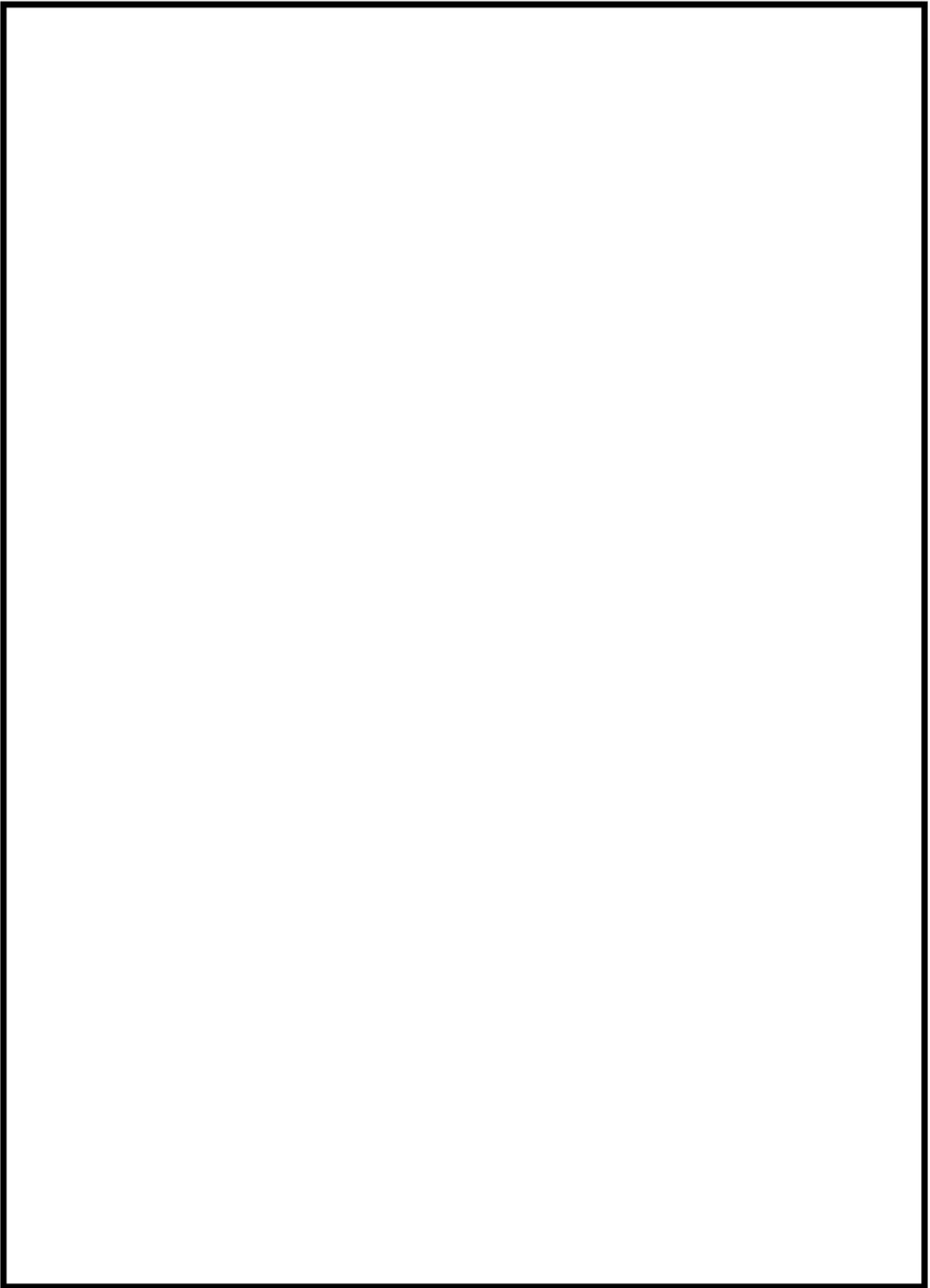
高浜 1 号機PLM40でのRCPケーシング吐出ノズルの疲労評価結果 (評価点 : 6003)

STRESS INTENSITY				NUMBER OF CYCLES		USAGE
MAXIMUM	MINIMUM	KE	ALT	N	N*	FACTOR

TOTAL = | 0.02198 |

⇒通常UF : 0.022

内は商業機密に属しますので公開できません



高浜1号機 PLM40でのRCPケーシング評価点

内は商業機密に属しますので公開できません

応力割増係数 K_e 算出式における、材料の種類に応じ定められた定数
(PLM30適用基準「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」より抜粋)

材 料 の 種 類	m	n	A_0
低 合 金 鋼	2.0	0.2	1.0
マルテンサイト系ステンレス鋼	2.0	0.2	1.0
炭 素 鋼	3.0	0.2	0.66
オーステナイト系ステンレス鋼	1.7	0.3	0.7
高ニッケル合金	1.7	0.3	0.7

(PLM40適用基準「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 第1編軽水炉規格」より抜粋)

材 料 の 種 類	q	A_0	B_0
低 合 金 鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭 素 鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15