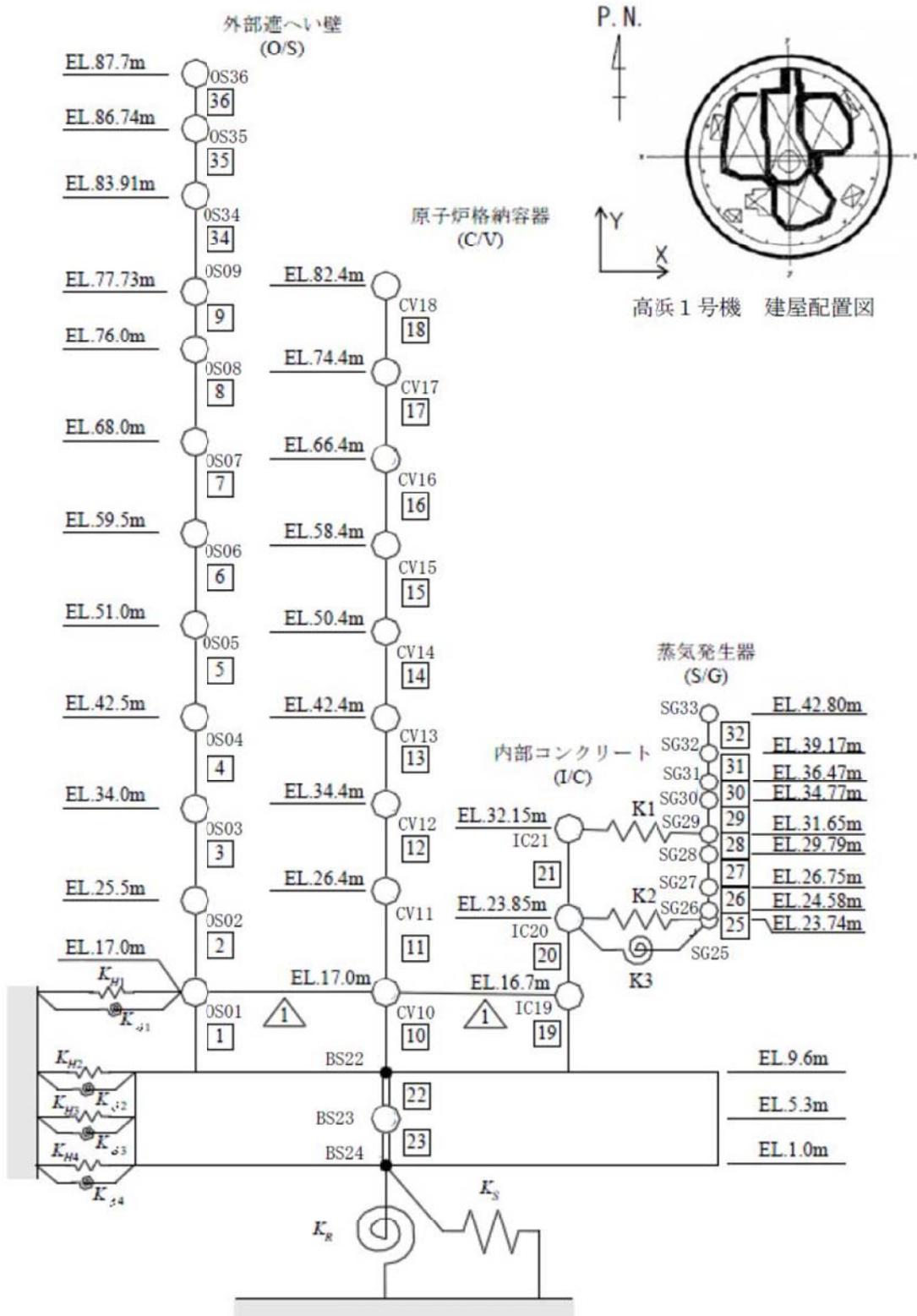


No.	高浜1－その他の経年劣化事象－16	事象：流れ加速型腐食－8
質 問	<p>(別冊-共通)</p> <p>熱交換器2次側構成品の腐食について、低合金鋼が流れ加速型腐食に優れる旨記載がある。当該低合金鋼の組成(Cr濃度含む)を提示すること。また、他の機器にも同様の記述が他にもあるので、全てについて提示すること。</p>	
回 答	<p>高浜1号炉の劣化状況評価書において、流れ加速型腐食が想定される部位が低合金鋼であることから、炭素鋼より流れ加速型腐食に優れているとの記載がある箇所、材料は以下の通りである。</p> <p>① 蒸気発生器</p> <p>a) 給水リング <input type="text"/></p> <p>b) Jチューブ <input type="text"/></p> <p>c) 給水入口管台 <input type="text"/></p> <p>d) 蒸気出口管台 <input type="text"/></p> <p>e) 2次側胴 <input type="text"/></p> <p>f) 気水分離器 <input type="text"/></p> <p>② 高圧タービン</p> <p>車軸 <input type="text"/></p> <p>③ 低圧タービン</p> <p>車軸 <input type="text"/></p> <p style="text-align: center;"><input type="text"/>内は商業機密に属しますので公開できません</p>	

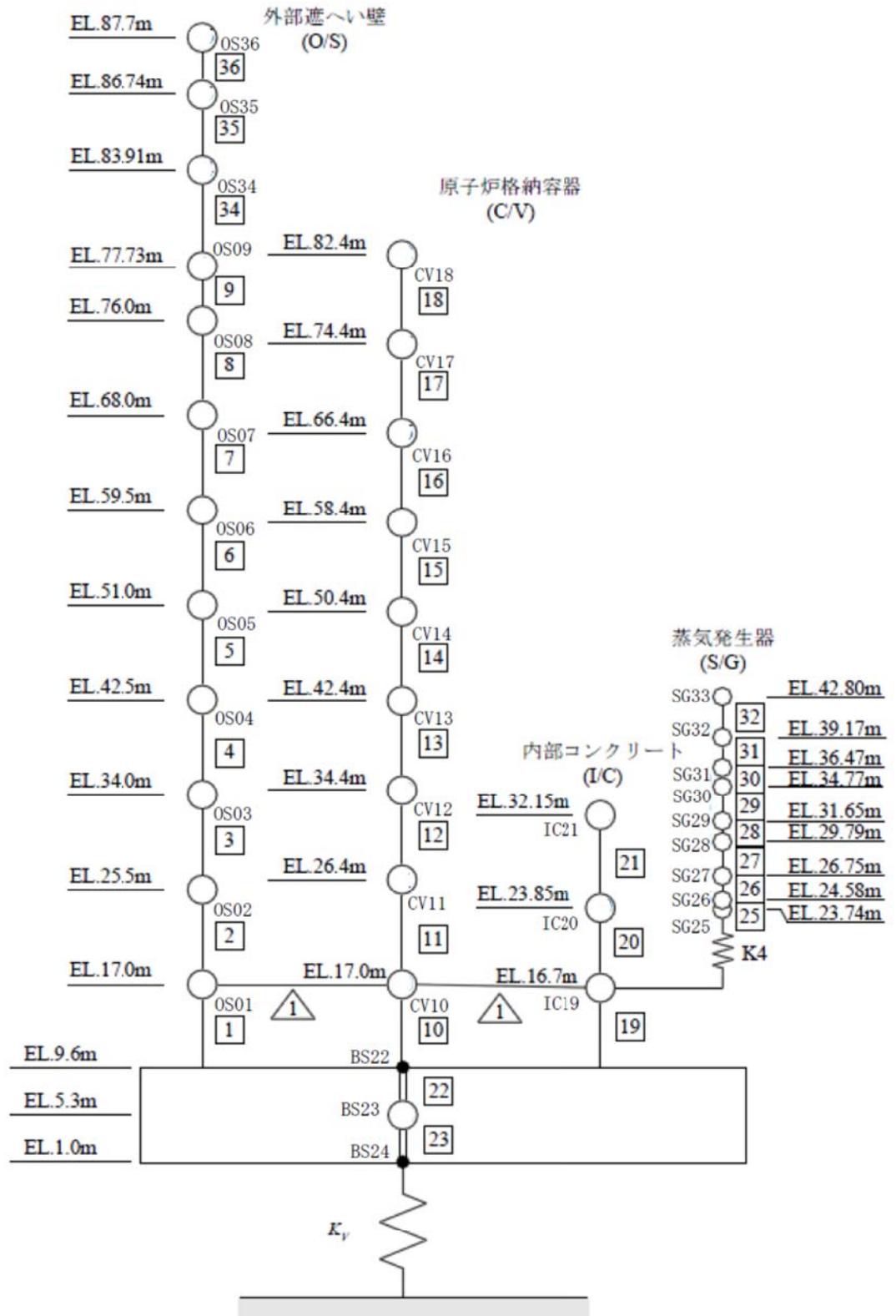
No.	高浜 1－耐震－ 5 Rev. 1	分類：共通
質 問	耐震 S クラスの機器を支持する主要部位（建屋、内部コンクリート等）について、基準地震動 S2、Ss（550Gal）、新 Ss による地震応答の比較（最大応答加速度、加速度応答スペクトル）を提示すること。	
回 答	<p>内部コンクリート（T/C）、外部遮蔽建屋（O/S）、原子炉建屋基礎、地盤及び原子炉補助建屋（A/B）について、基準地震動 S2、Ss（550Gal）（以下、Ss550）、新 Ss（以下、Ss700）による最大床応答加速度の比較を添付－ 1 に示します。</p> <p>また、耐震 S クラス機器を支持する主要部位（IC19、IC20、OS01、OS02、AB10、AB07）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+16.7m）、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>

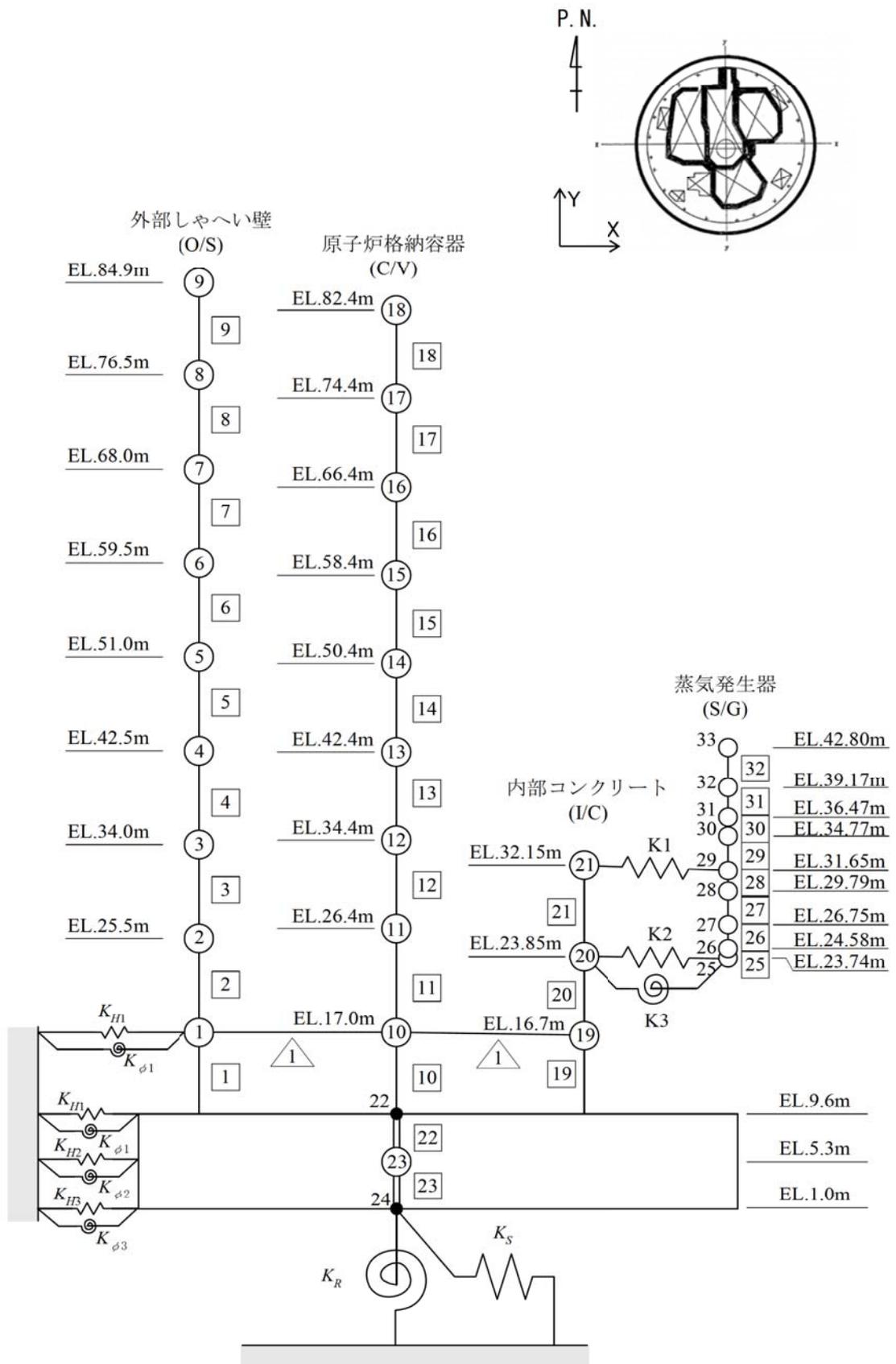
基準地震動 S2、Ss (550Gal)、新 Ss による最大床応答加速度をグラフ化して比較しました。



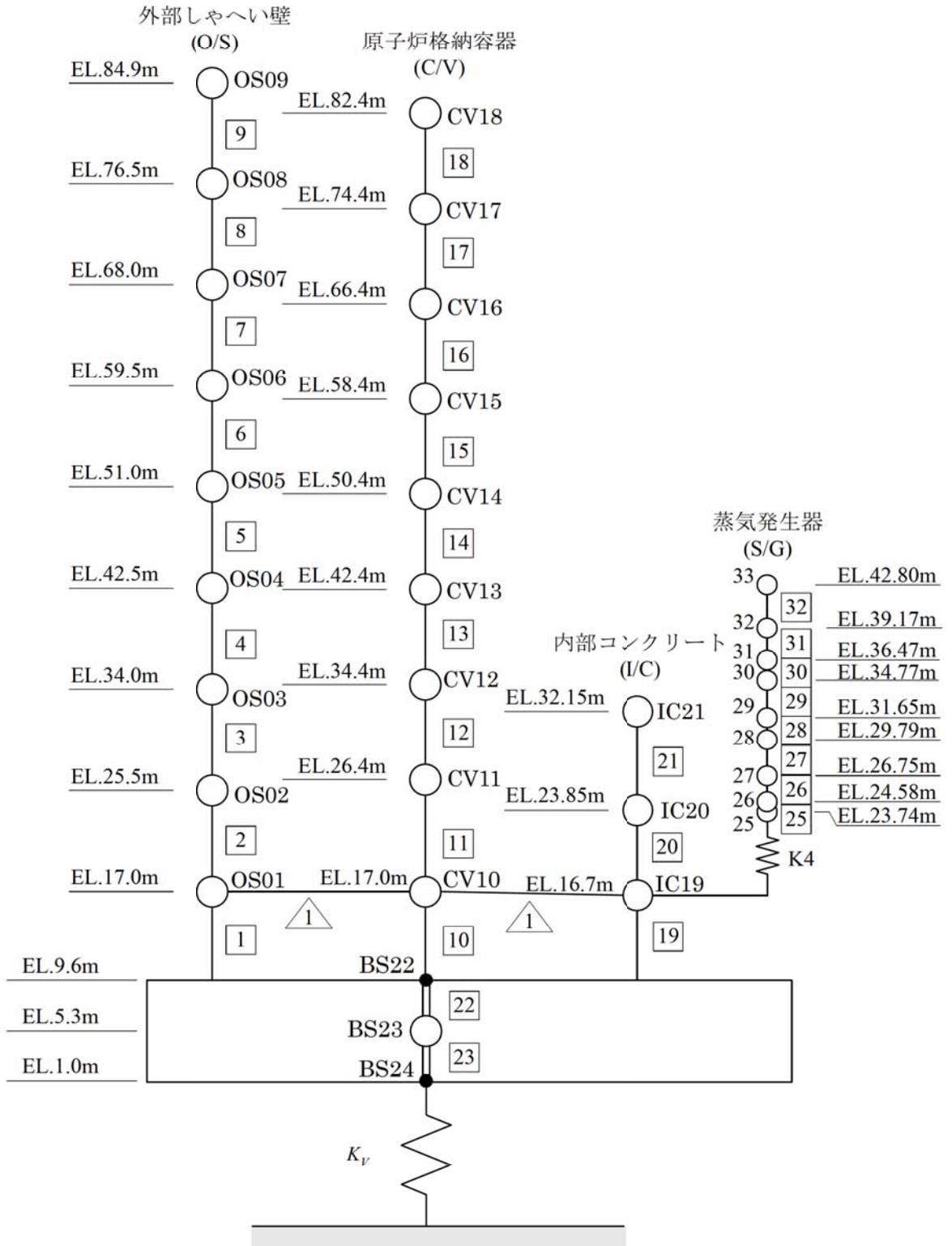
高浜1号機 原子炉建屋の解析モデル図 トップドーム有 (水平方向)



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)

建屋	質点番号 (節点)	質点高さ EL.(m)	最大床応答加速度 (G)																											
			S2			Ss550			Ss-1			Ss-2			Ss-3			Ss-4			Ss-5			Ss-6(EW)			Ss-6(NS)			Ss-7
			EW方向 (X方向)	NS方向 (Y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																												
	内部コンクリート	OS03	34.0																											
OS02		25.5																												
OS01		17.0																												
IC21		32.15																												
IC20		23.85																												
基礎 地盤	IC19	16.7																												
	BS23	5.3																												
	GR	-																												

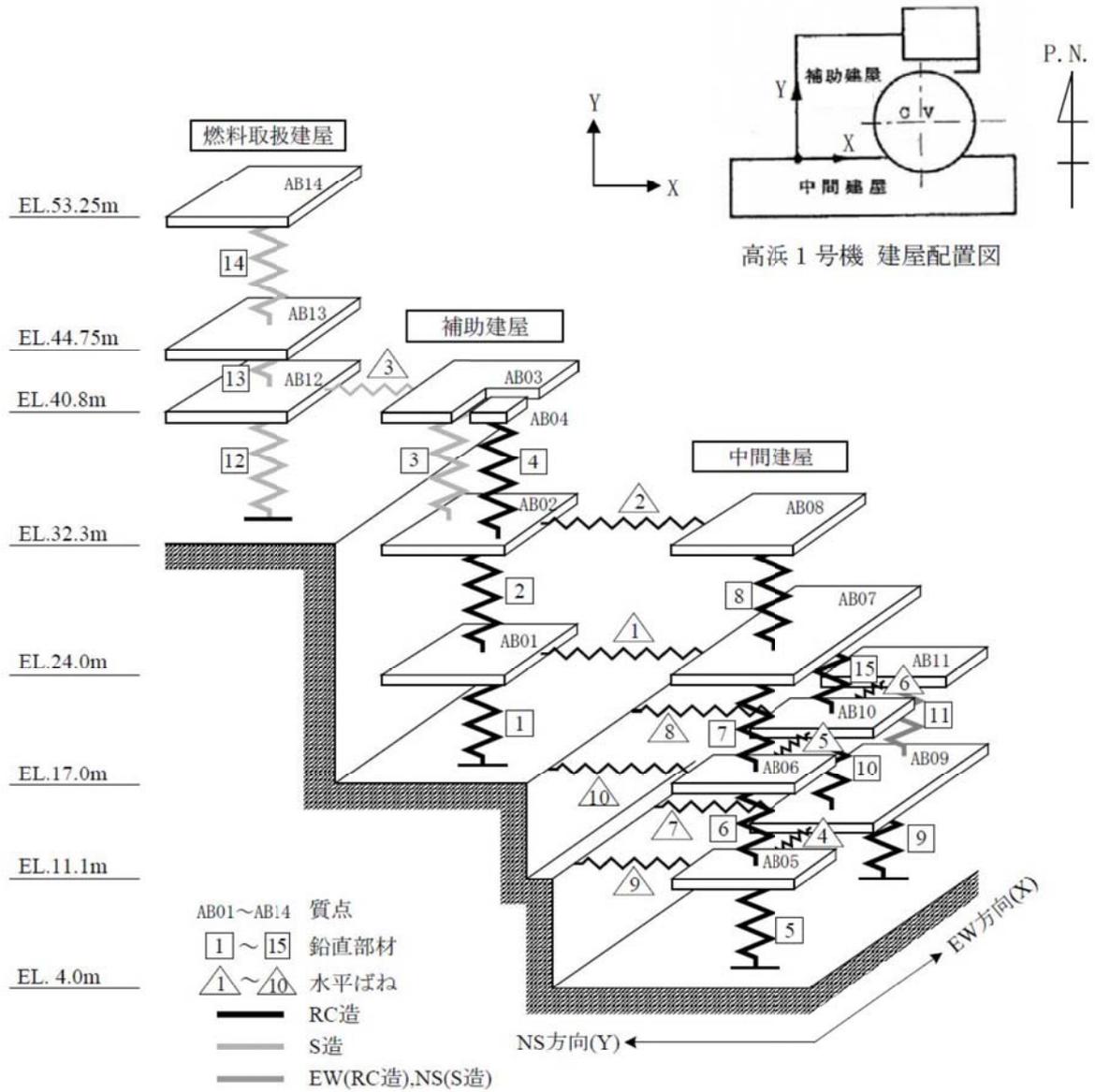
: S2、Ss550 および Ss-1～Ss-7 のうち最大の値

内は商業機密に属しますので公開できません

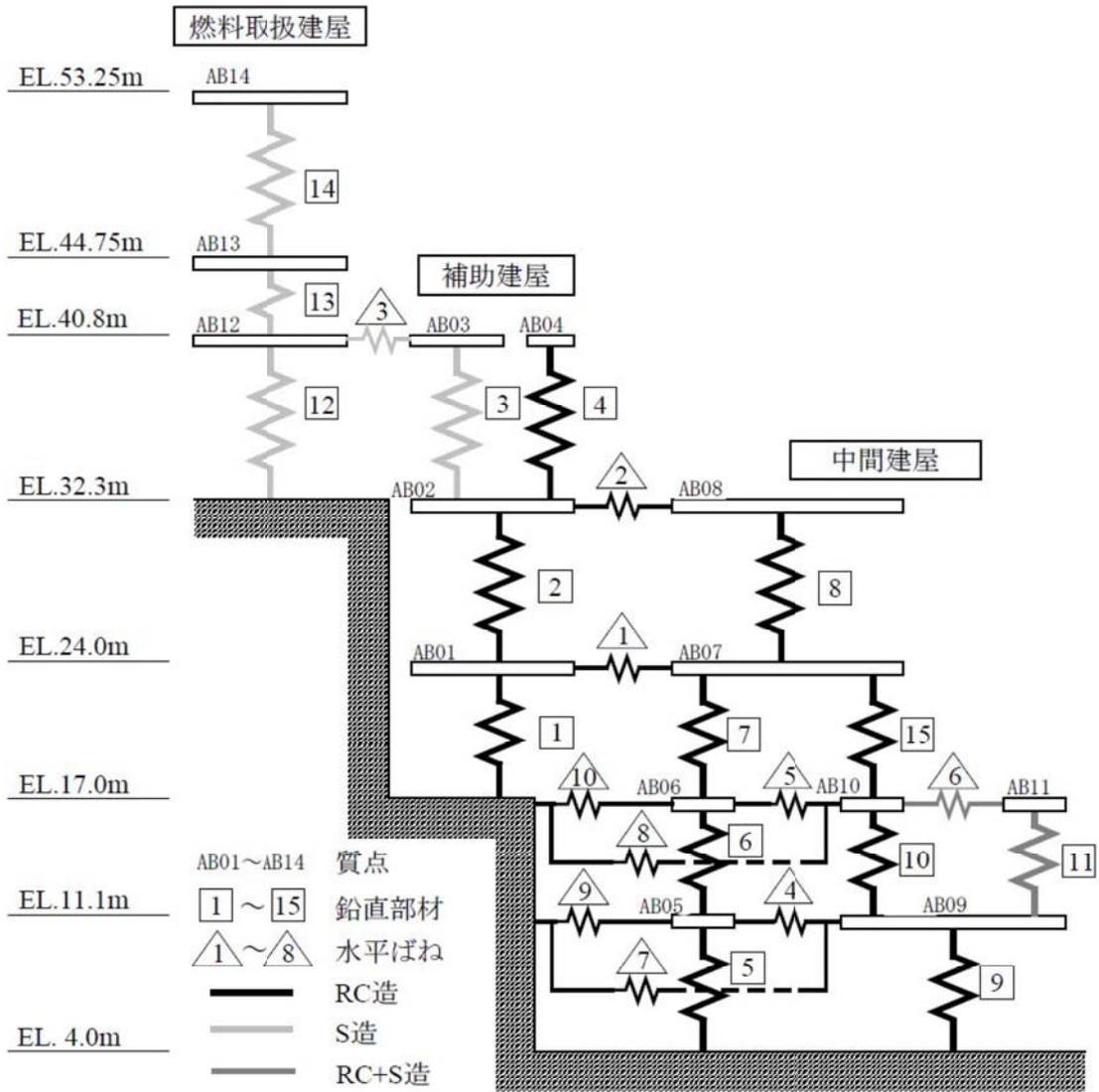
建屋	質点 番号	質点 高さ EL. (m)	最大床応答加速度 (g)															
			Ss550	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7								
			鉛直方向 (V方向)															
外部 しゃ へい 壁	OS36	87.7																
	OS35	86.74																
	OS34	83.91																
	OS09	84.9																
	OS09	77.73																
	OS08	76.5																
	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	[Redacted Data]																													
	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	24.0																														
	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)							
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

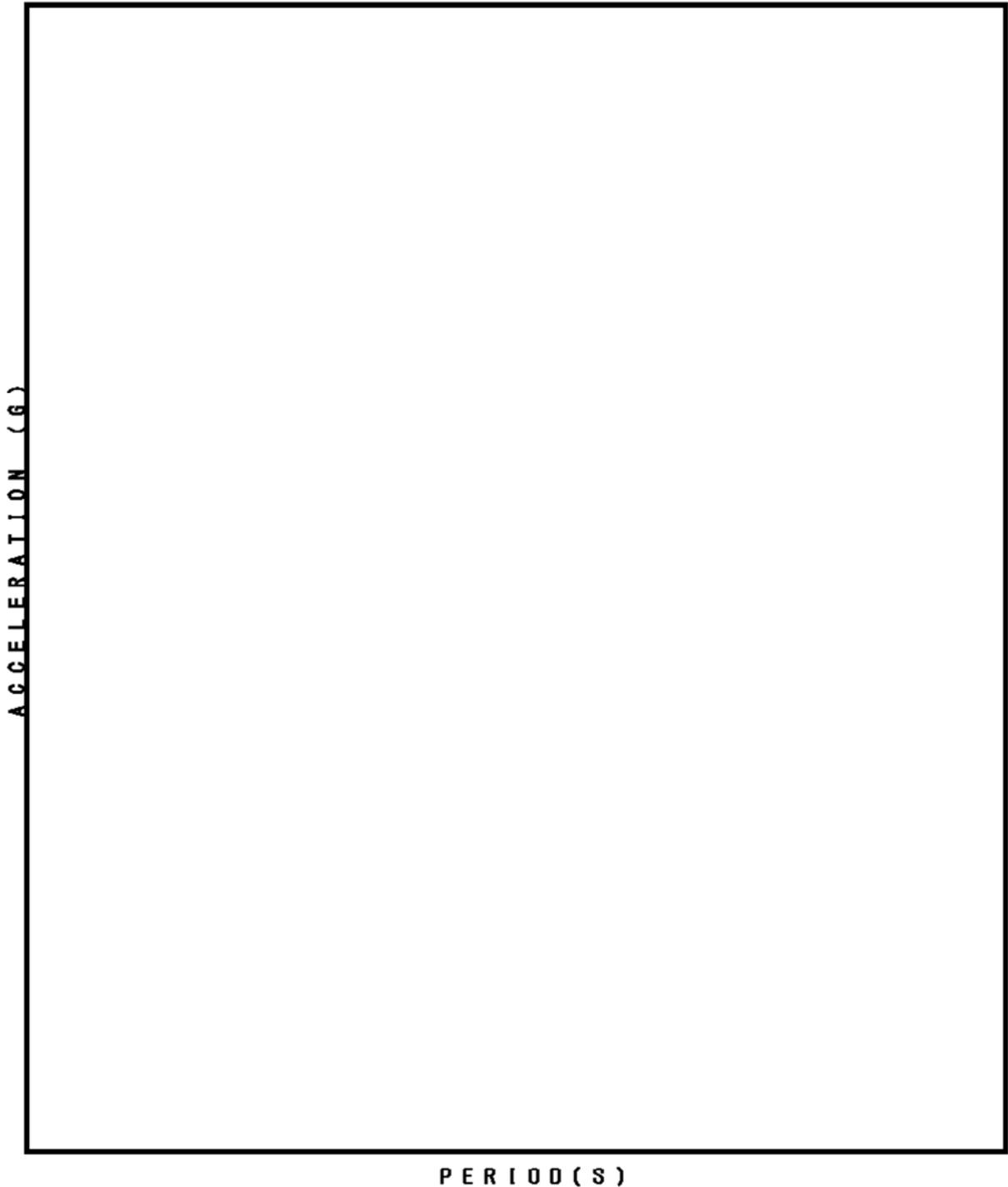
 内は商業機密に属しますので公開できません

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

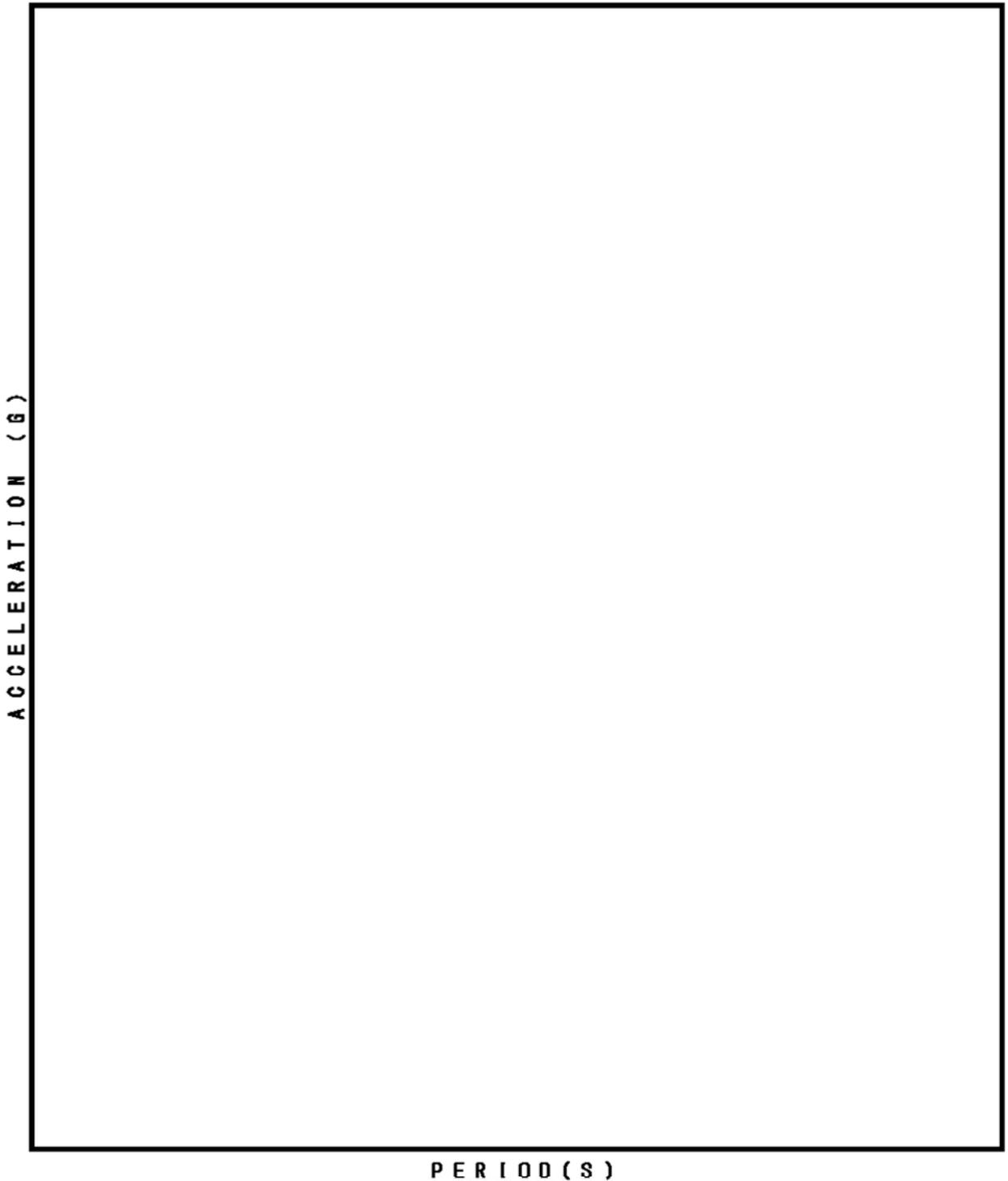


内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

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

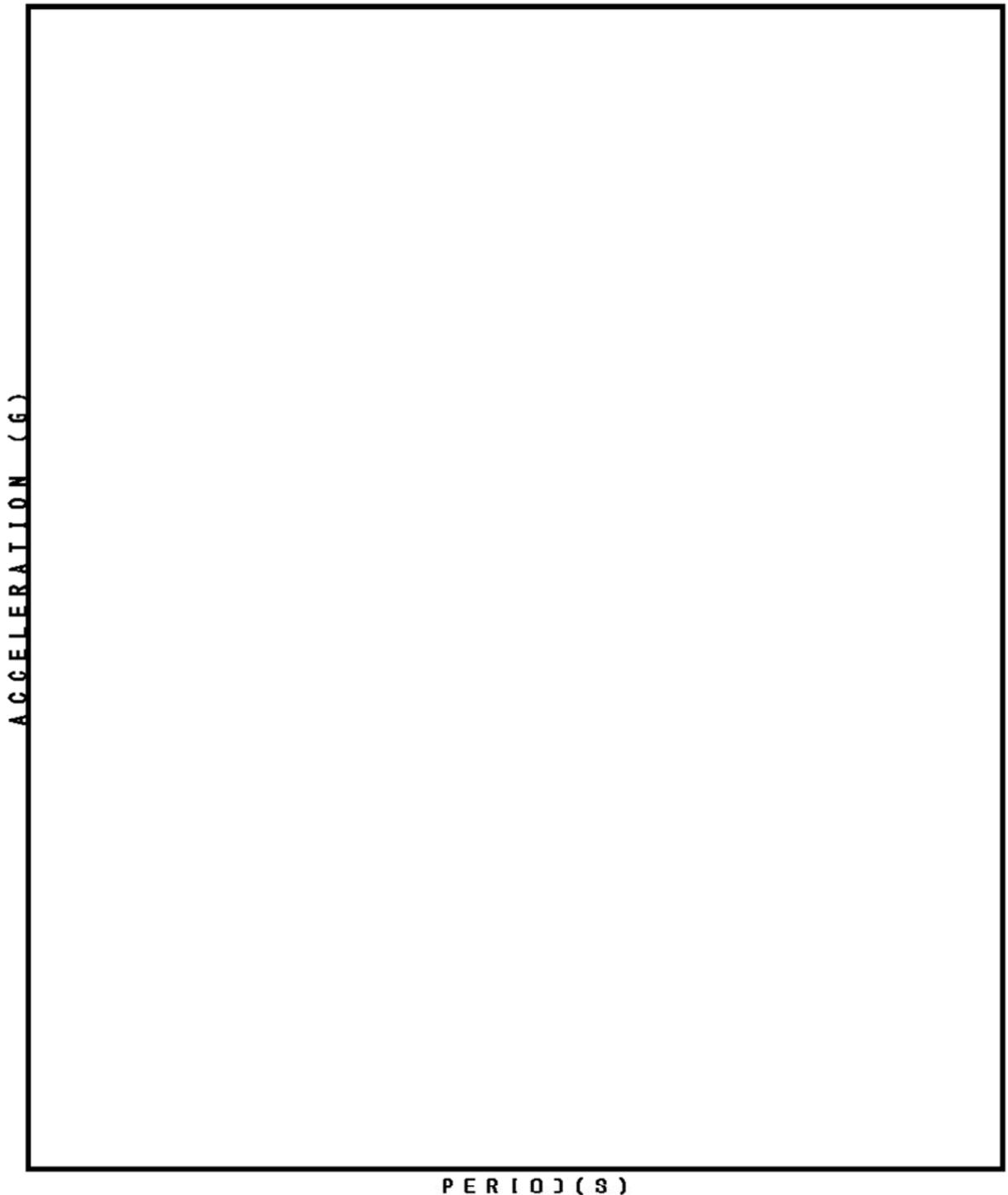
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

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

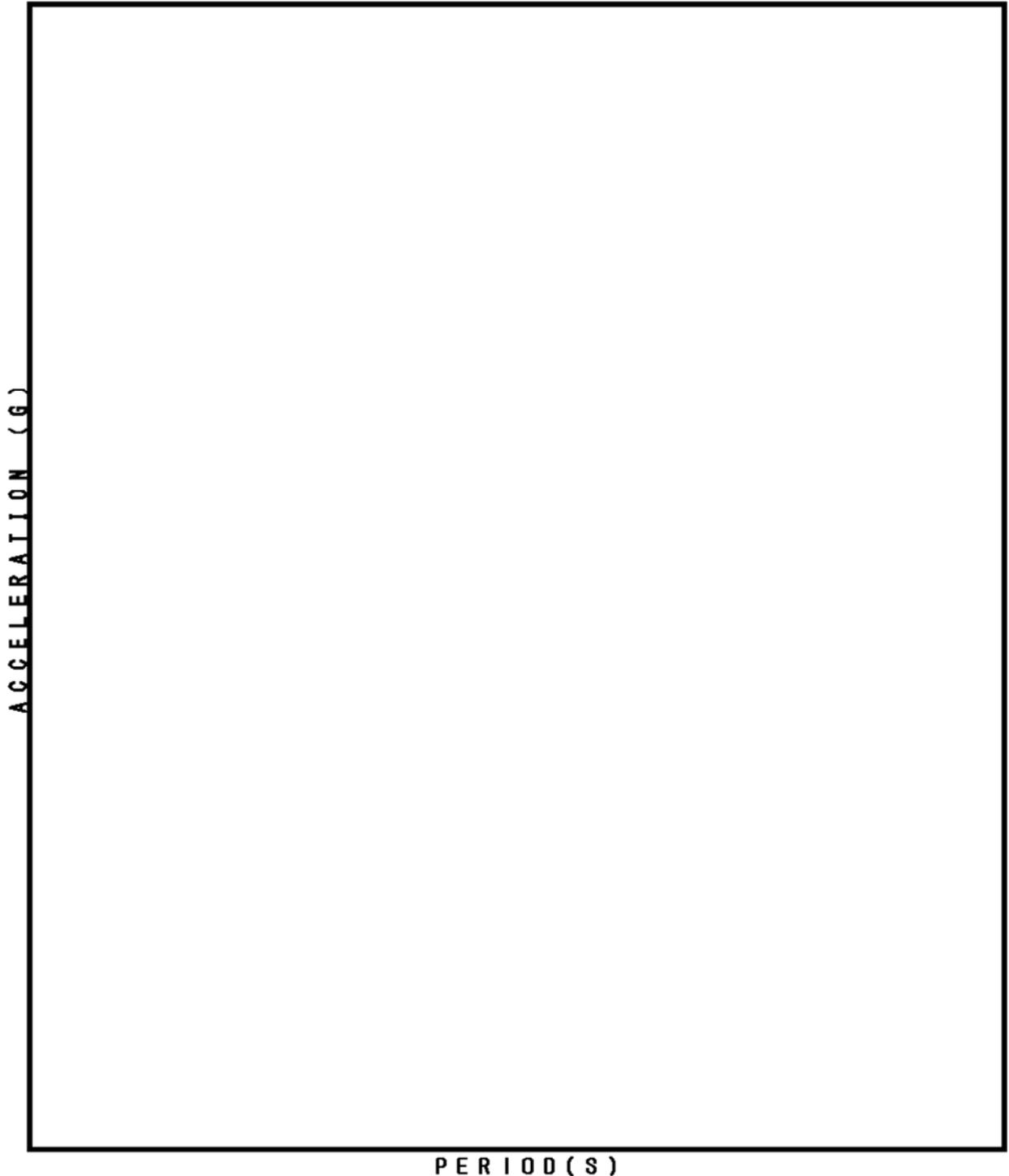
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-3
— Ss-7	



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

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

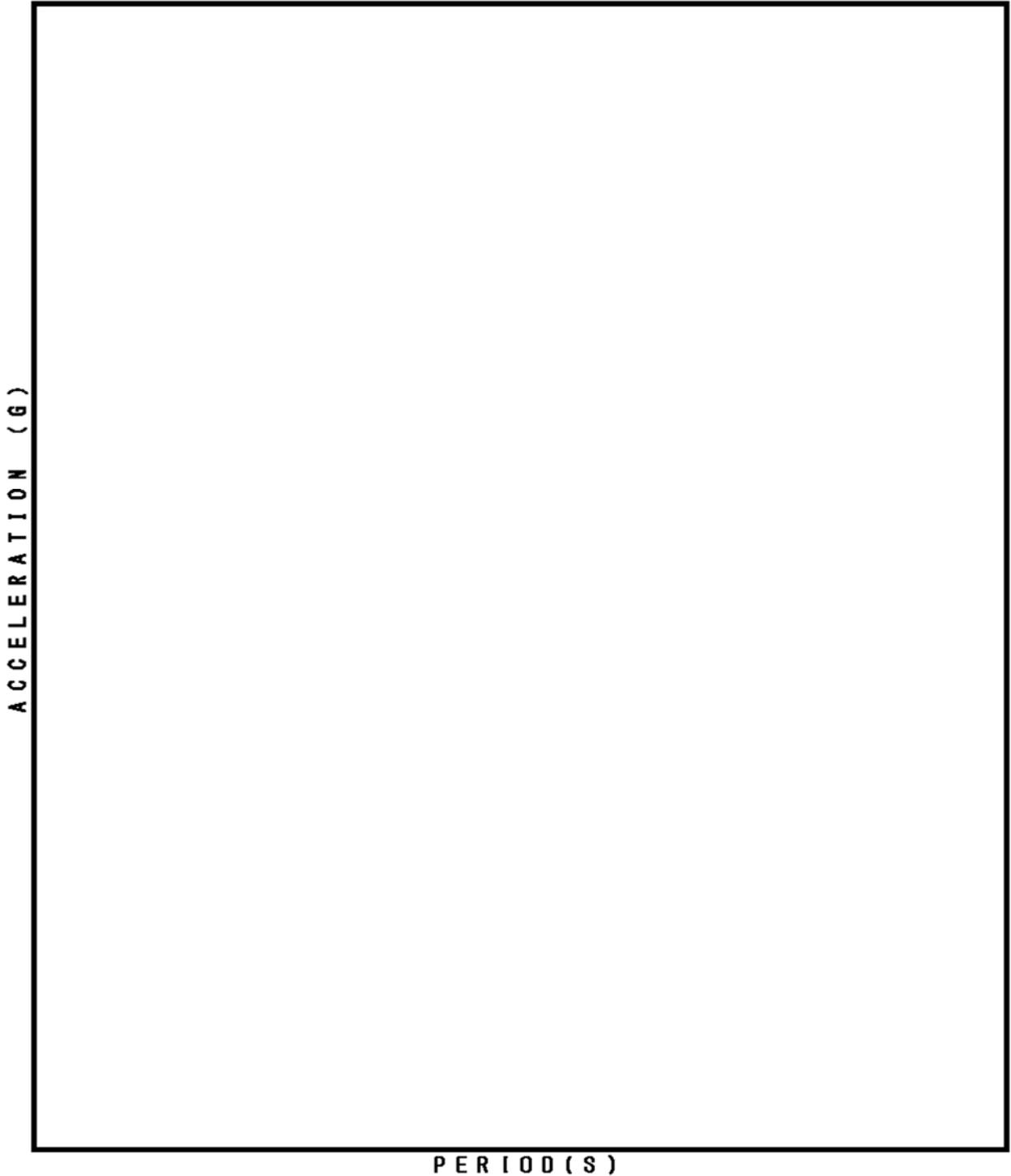
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

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

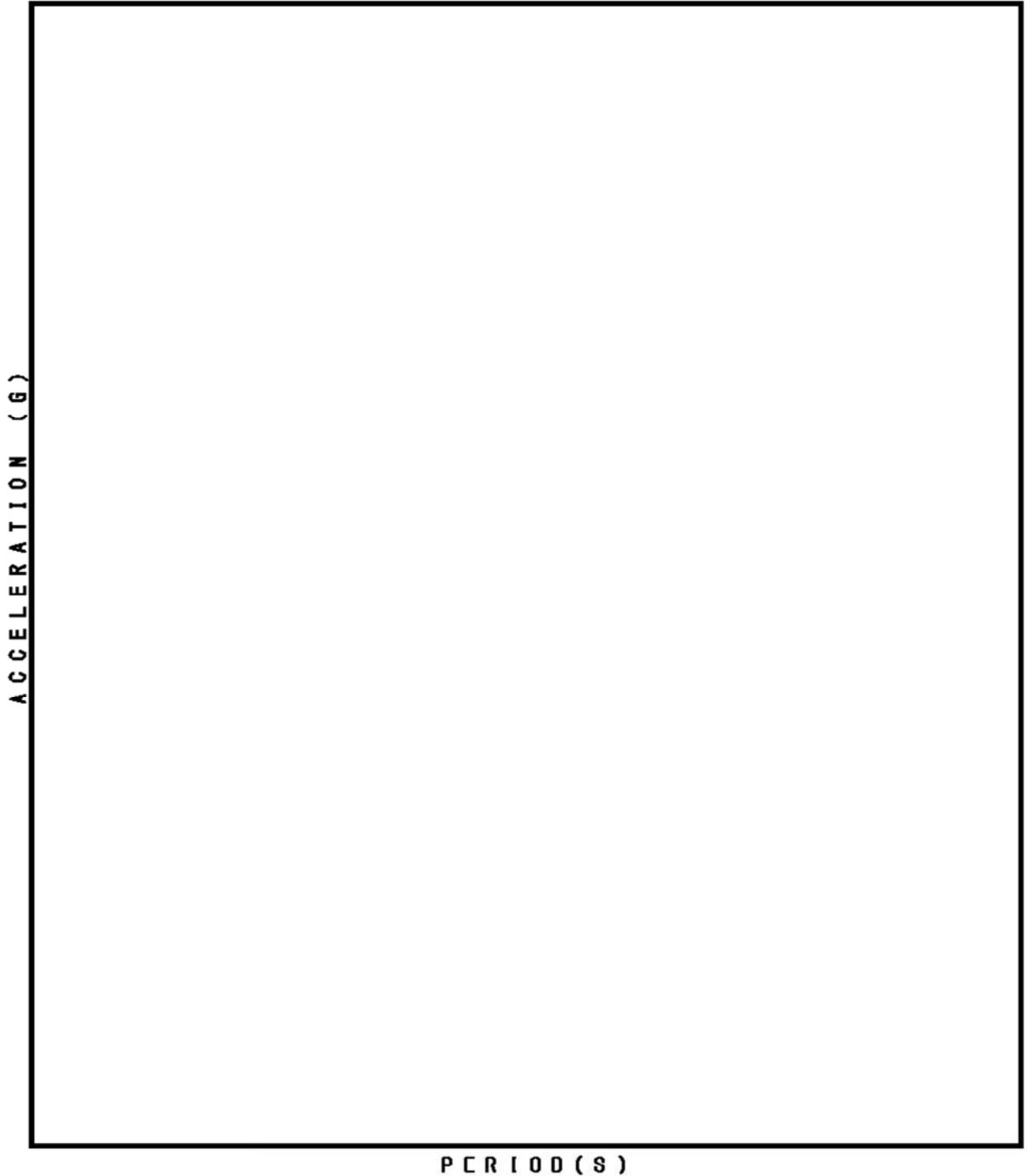
— S2	— Ss55C
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



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	



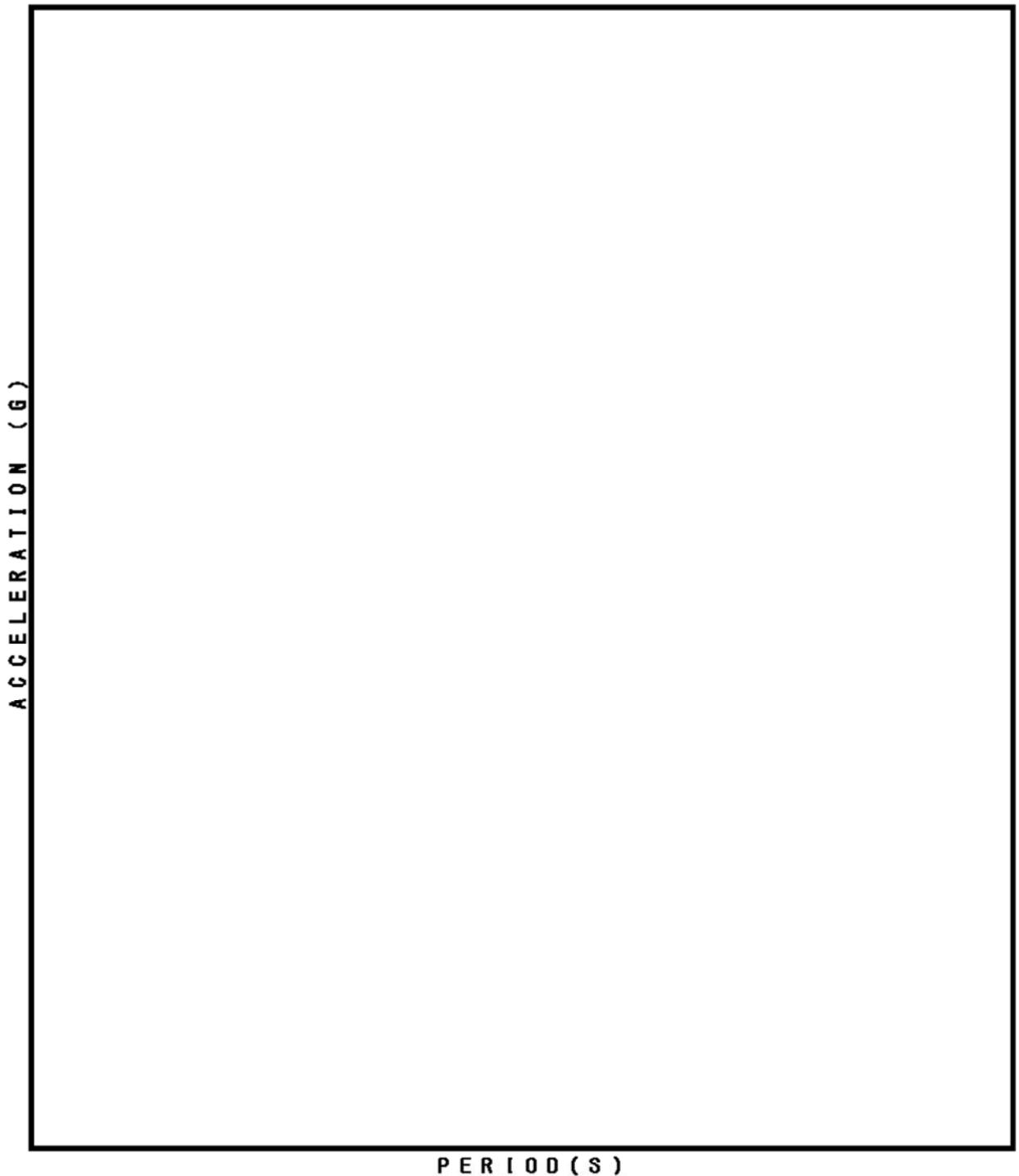
内は商業機密に属しますので公開できません

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%

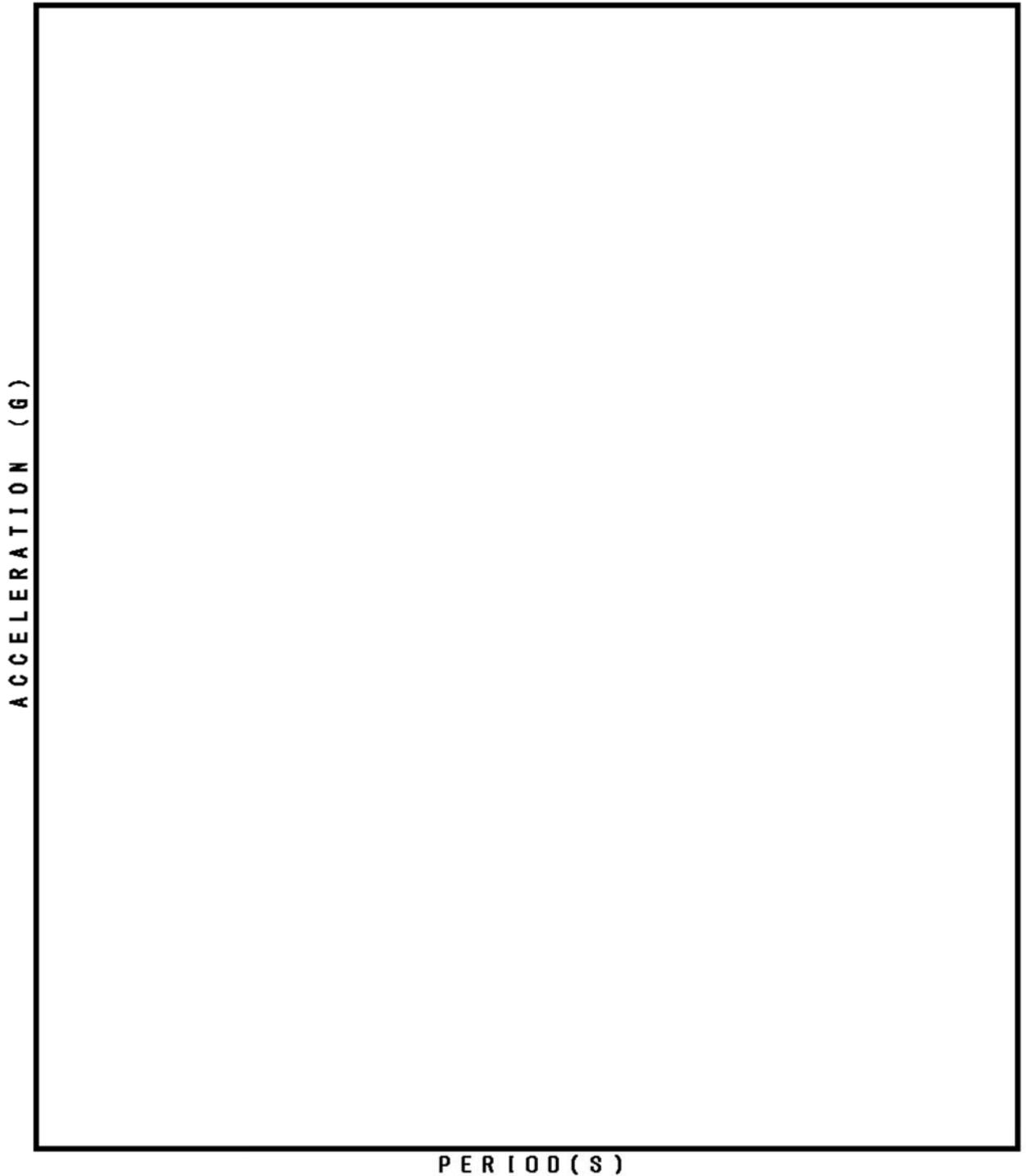
— S2	— Ssbb0
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-0(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

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

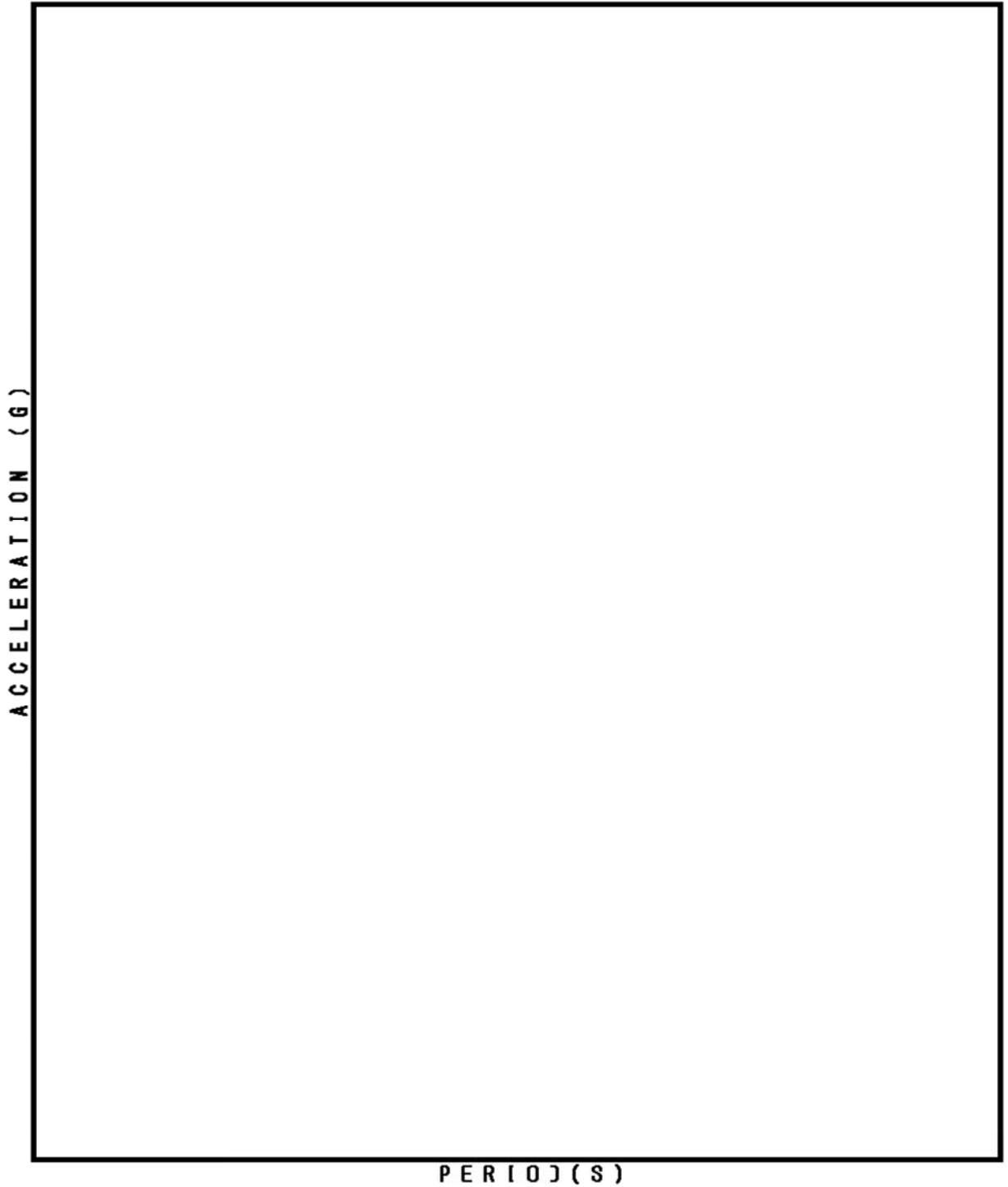
— S2	— Ss553
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



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

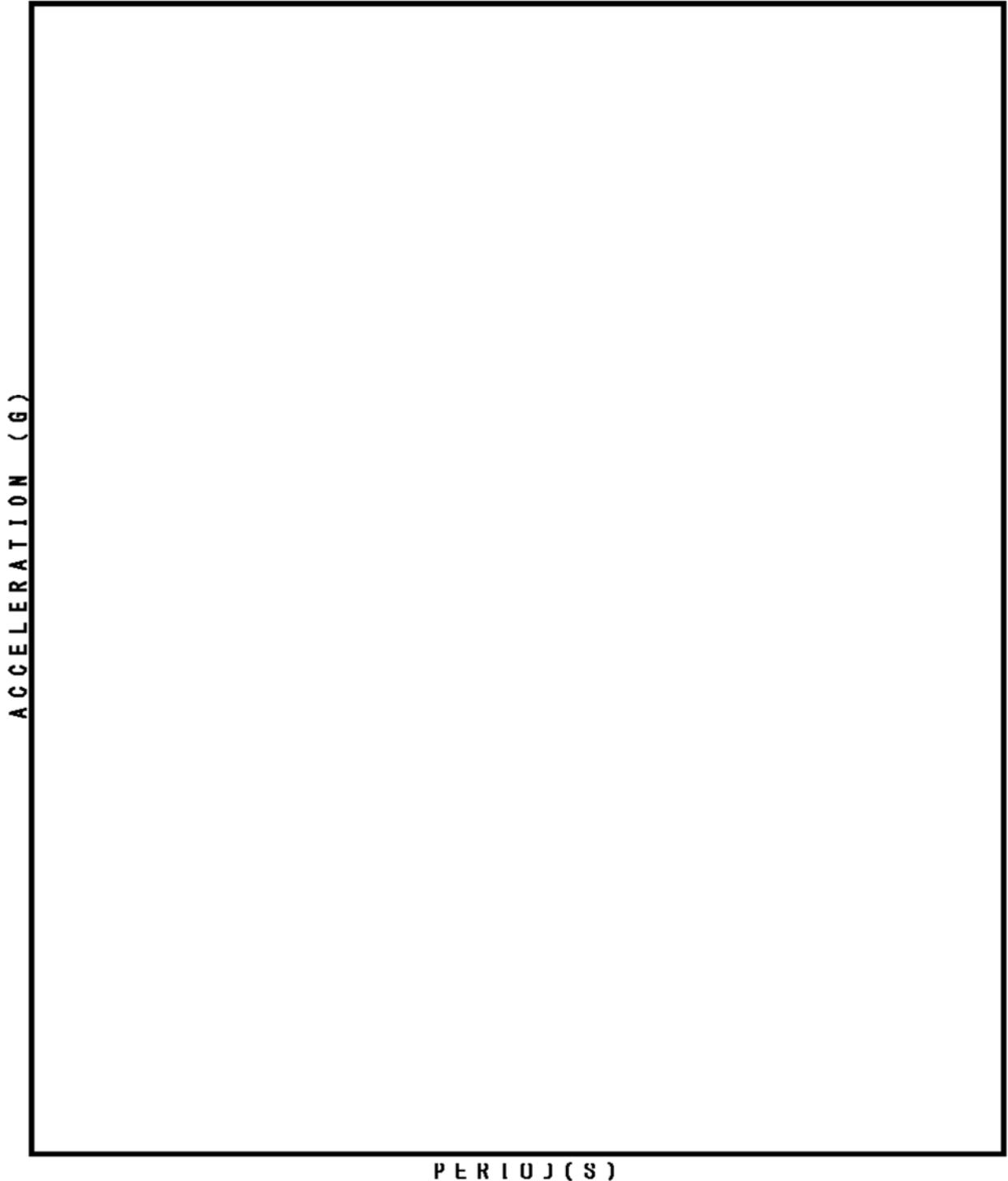


□ 内は商業機密に属しますので公開できません

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



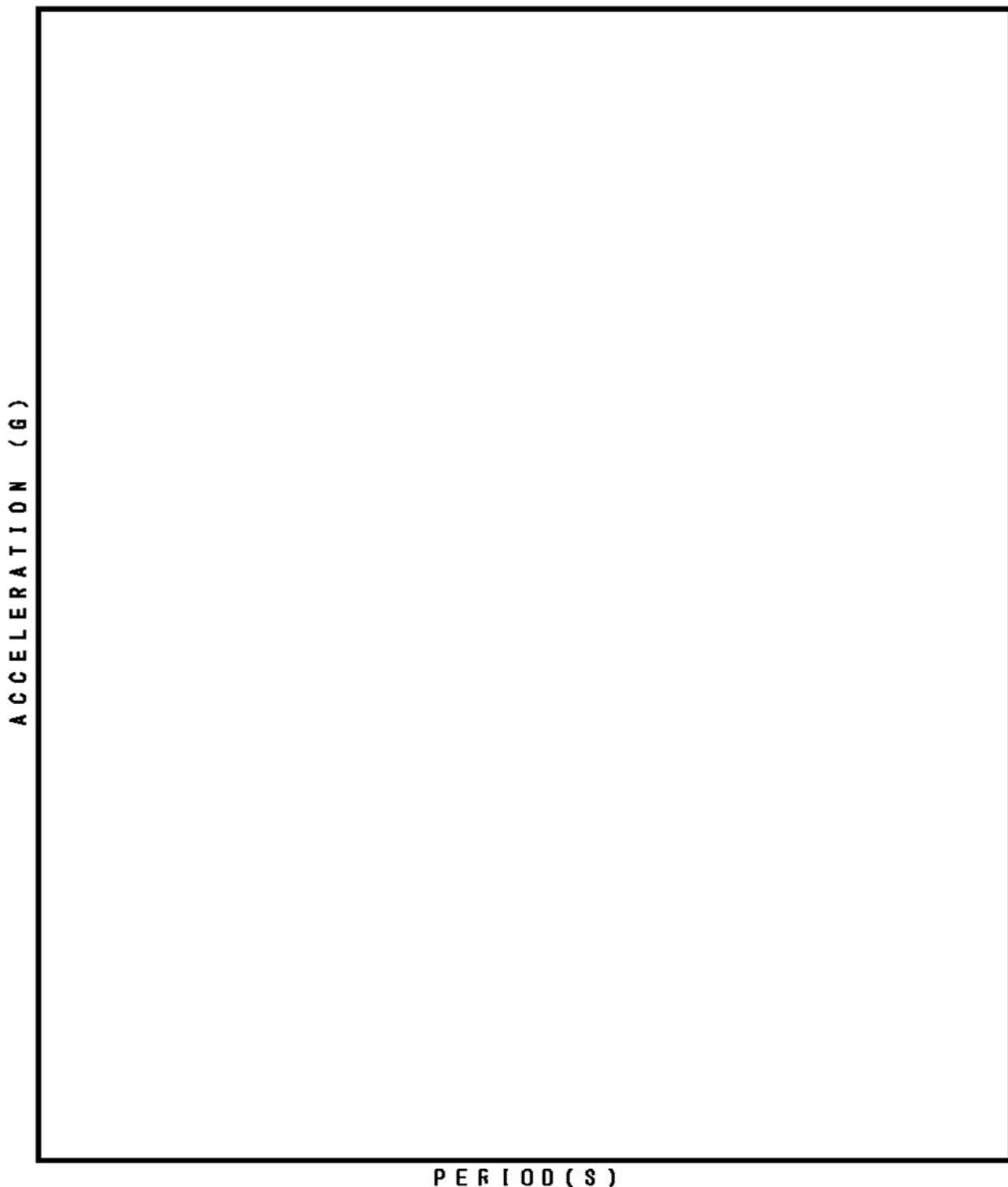
PERIOD (S)

□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 : 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



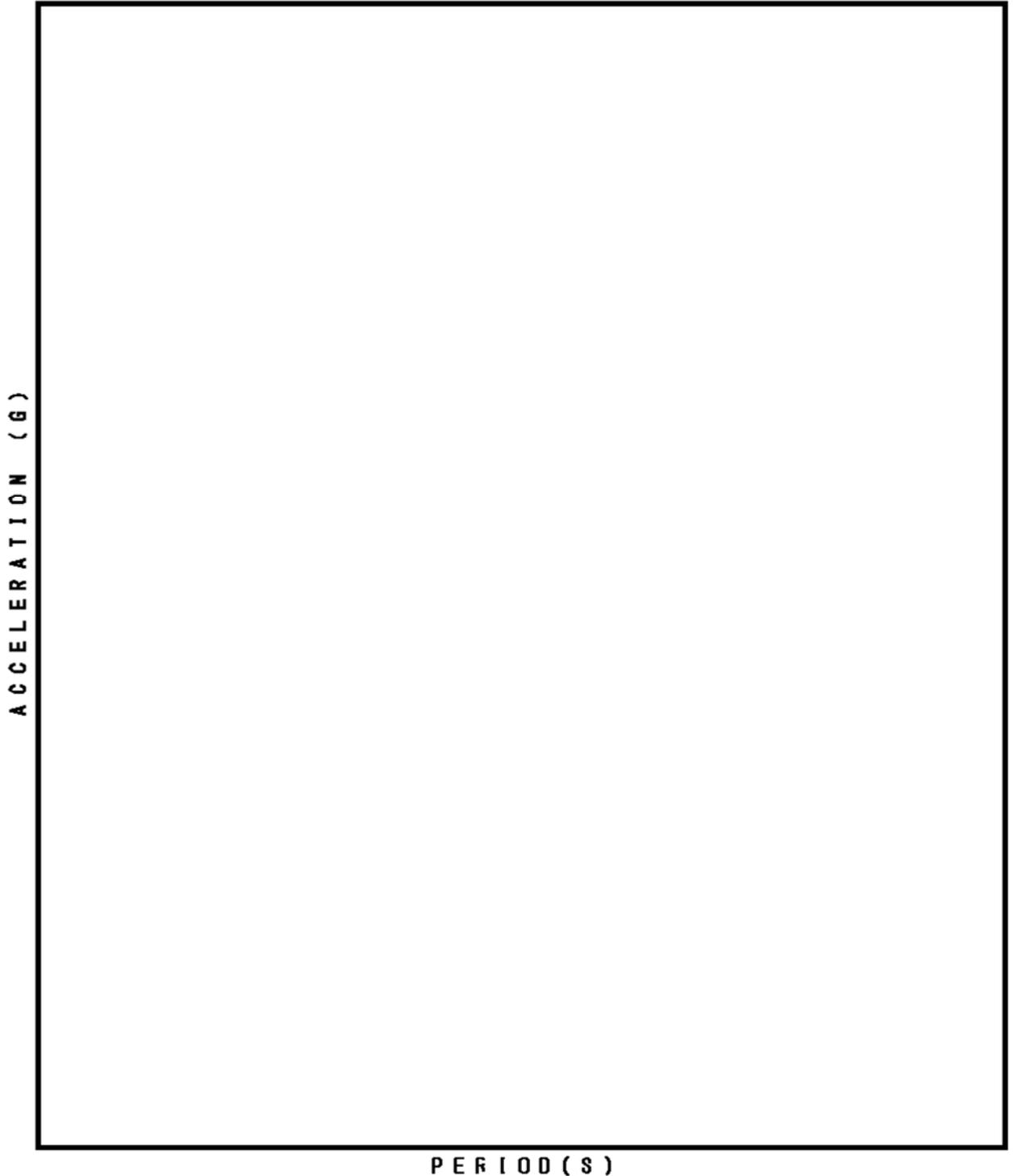
PERIOD (S)

□ 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: V
BUILDING NAME : OS
ELEVATION : EL 25.5M #OS02
DAMPING : 1.0%

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

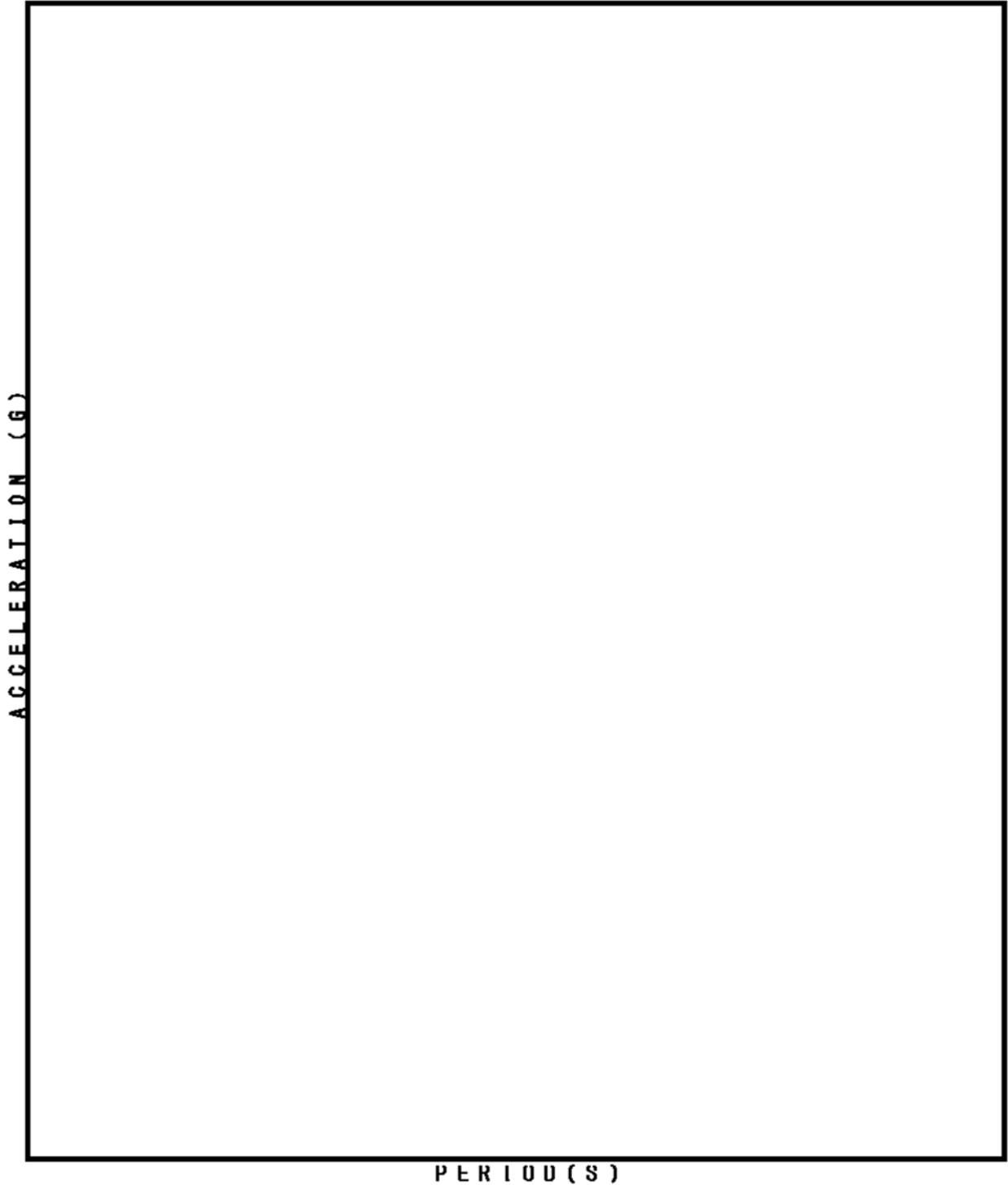


3. 補助一般建屋および制御建屋の床応答スペクトル

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

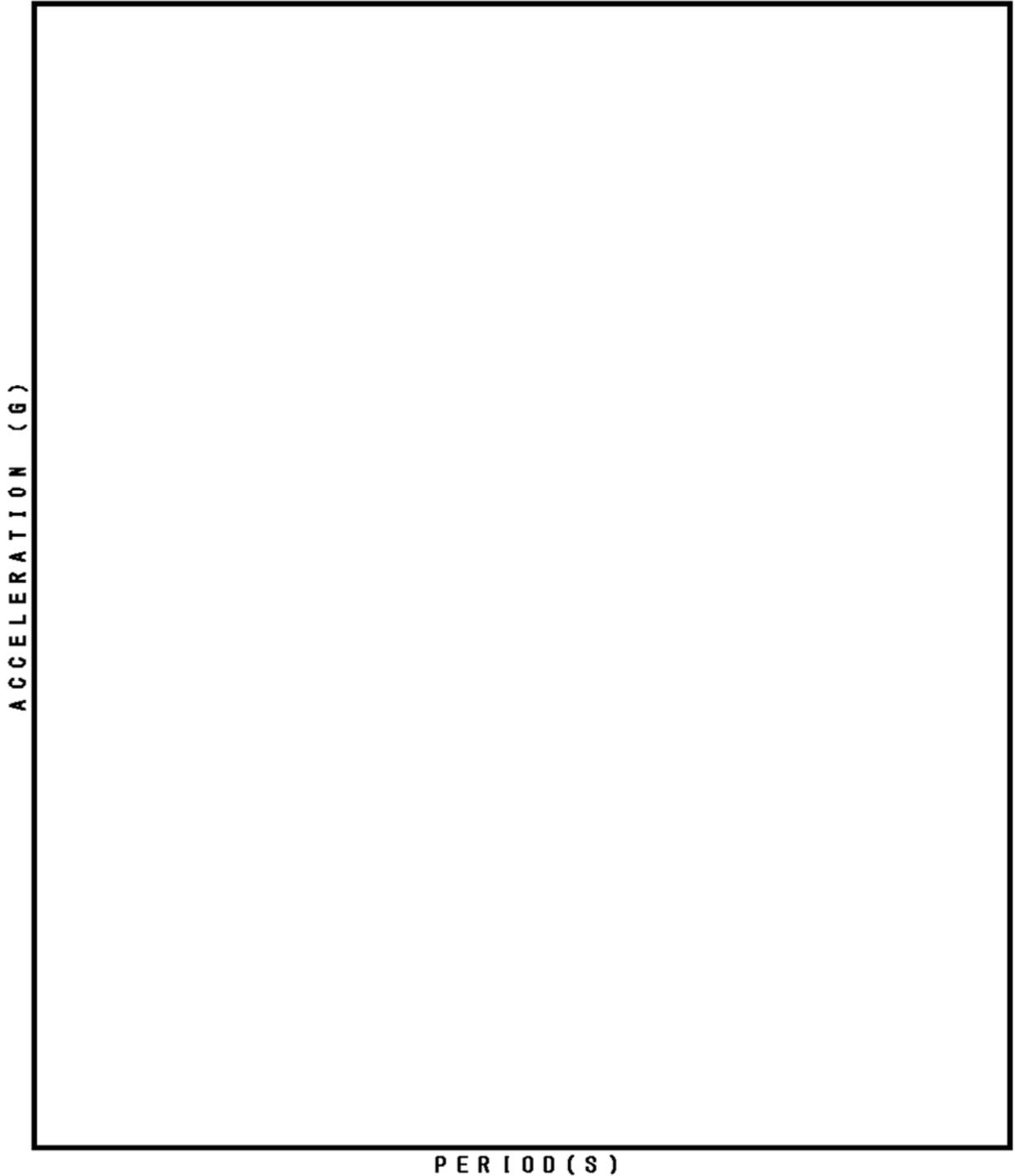


内は商業機密に属しますので公開できません

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



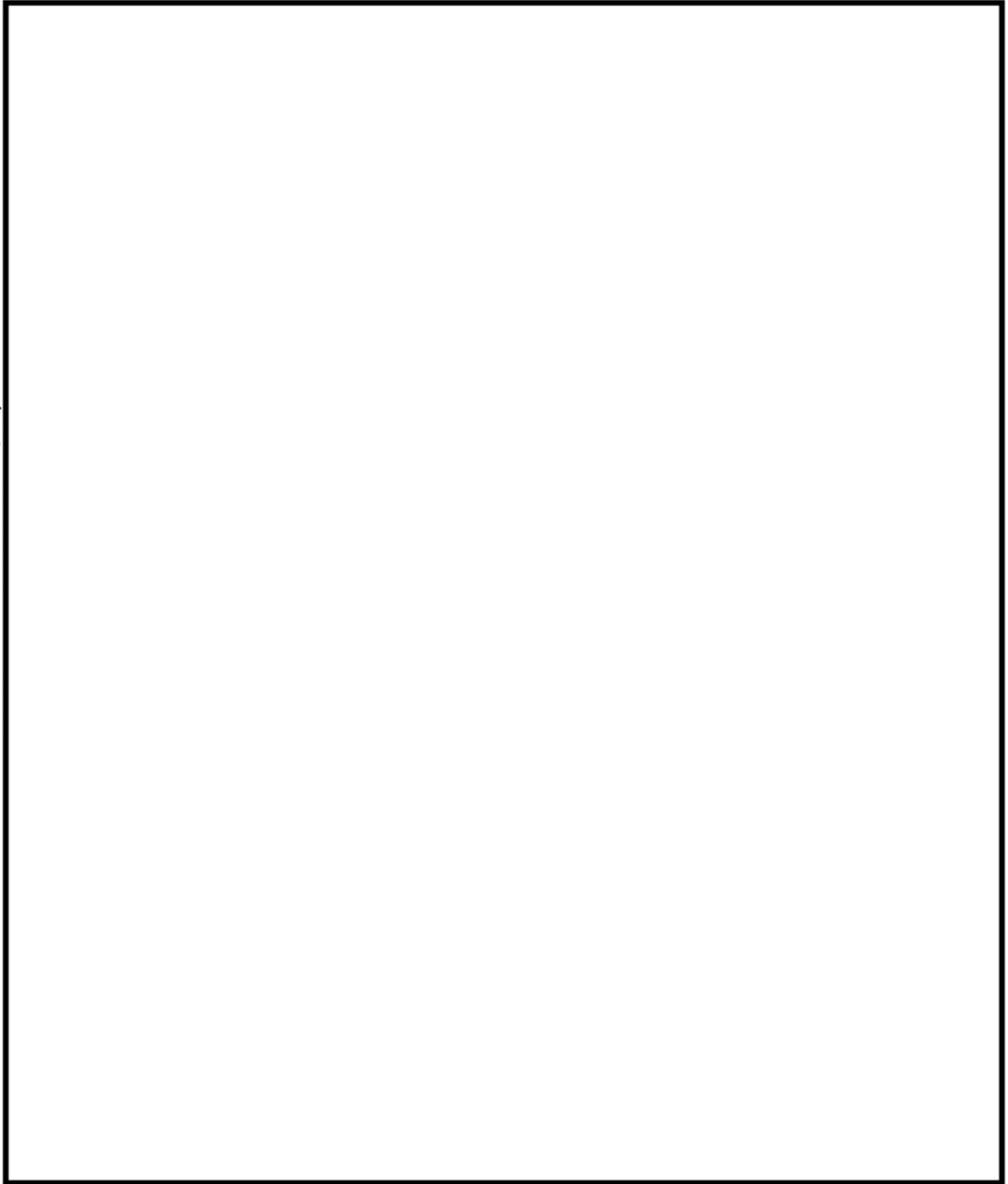
内は商業機密に属しますので公開できません

FLOOR RESPONSE SPECTRUM

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

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

ACCELERATION (G)



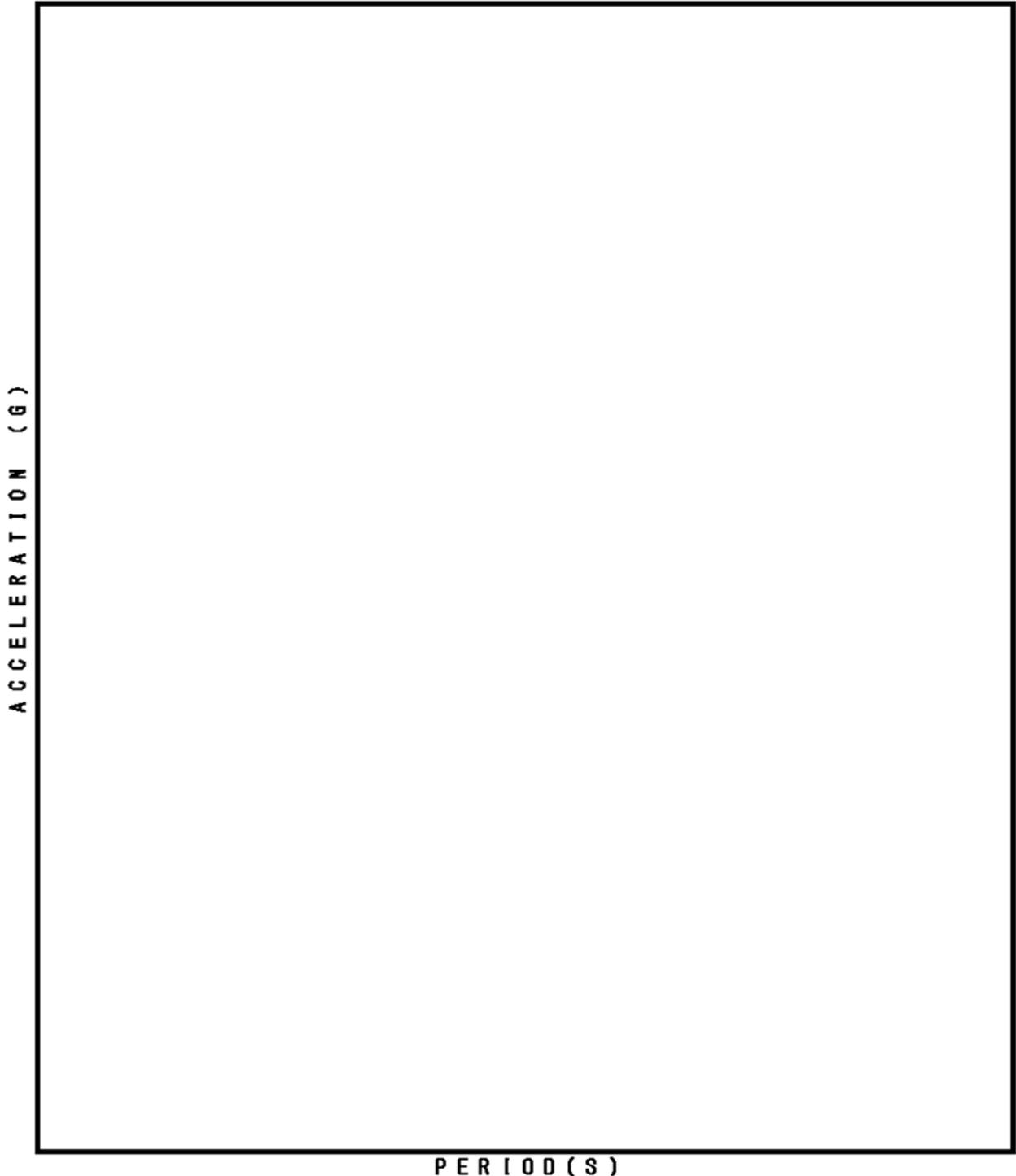
PERIOD (S)

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%

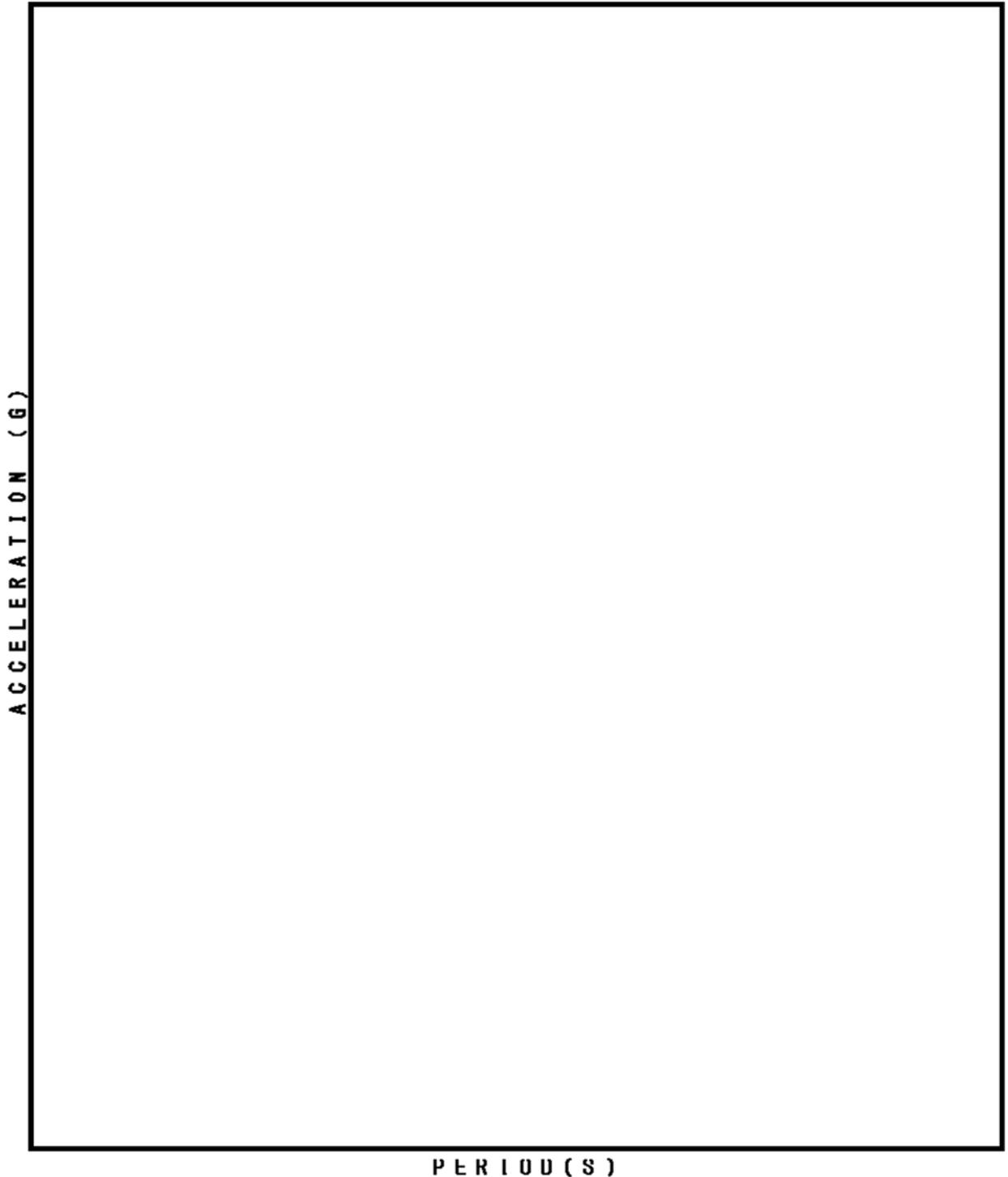
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

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

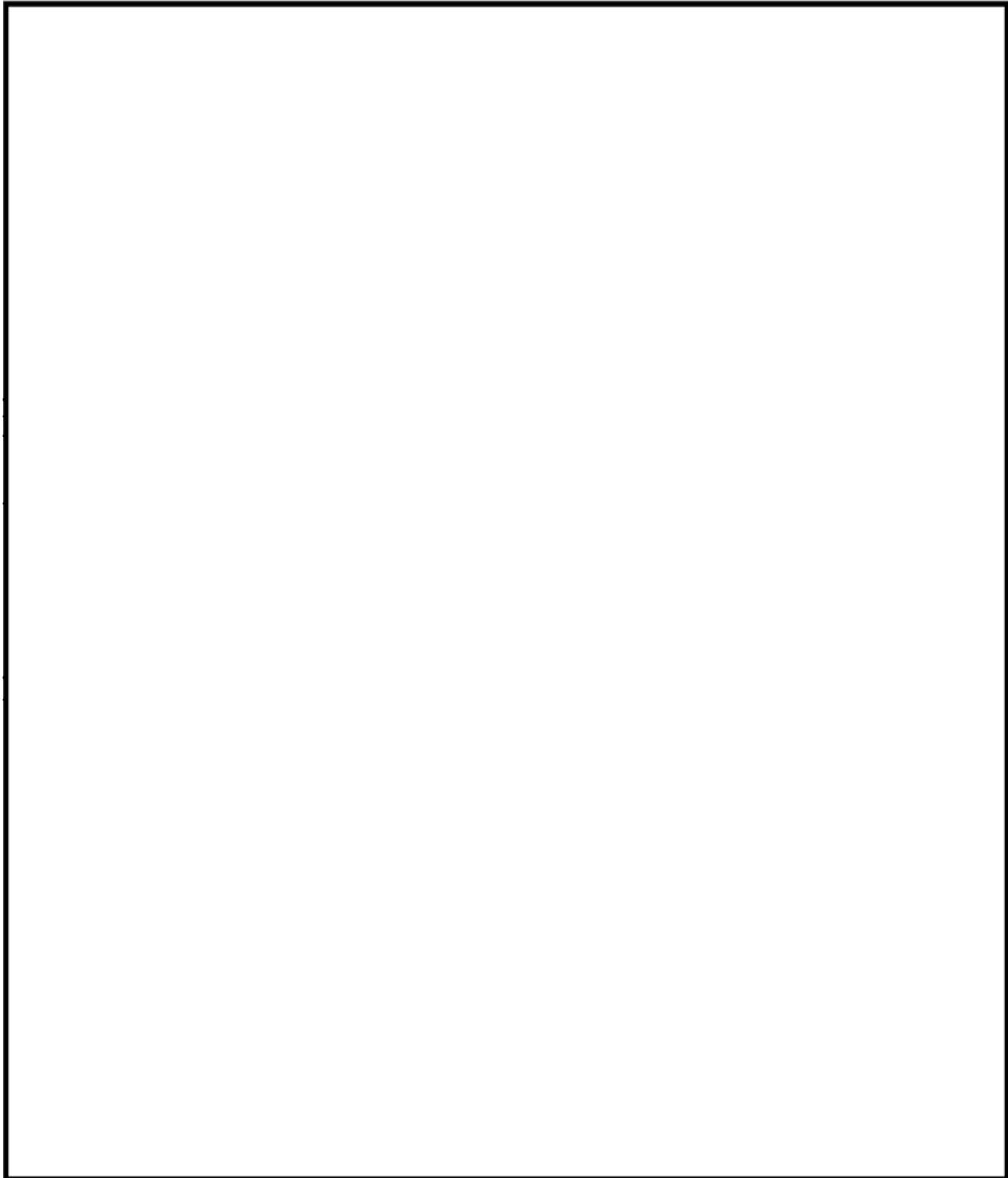
— S2	— Ss550
— Ss-1	— Ss-2
— Ss-3	— Ss-4
— Ss-5	— Ss-6(EW)
— Ss-6(NS)	— Ss-7



FLOOR RESPONSE SPECTRUM

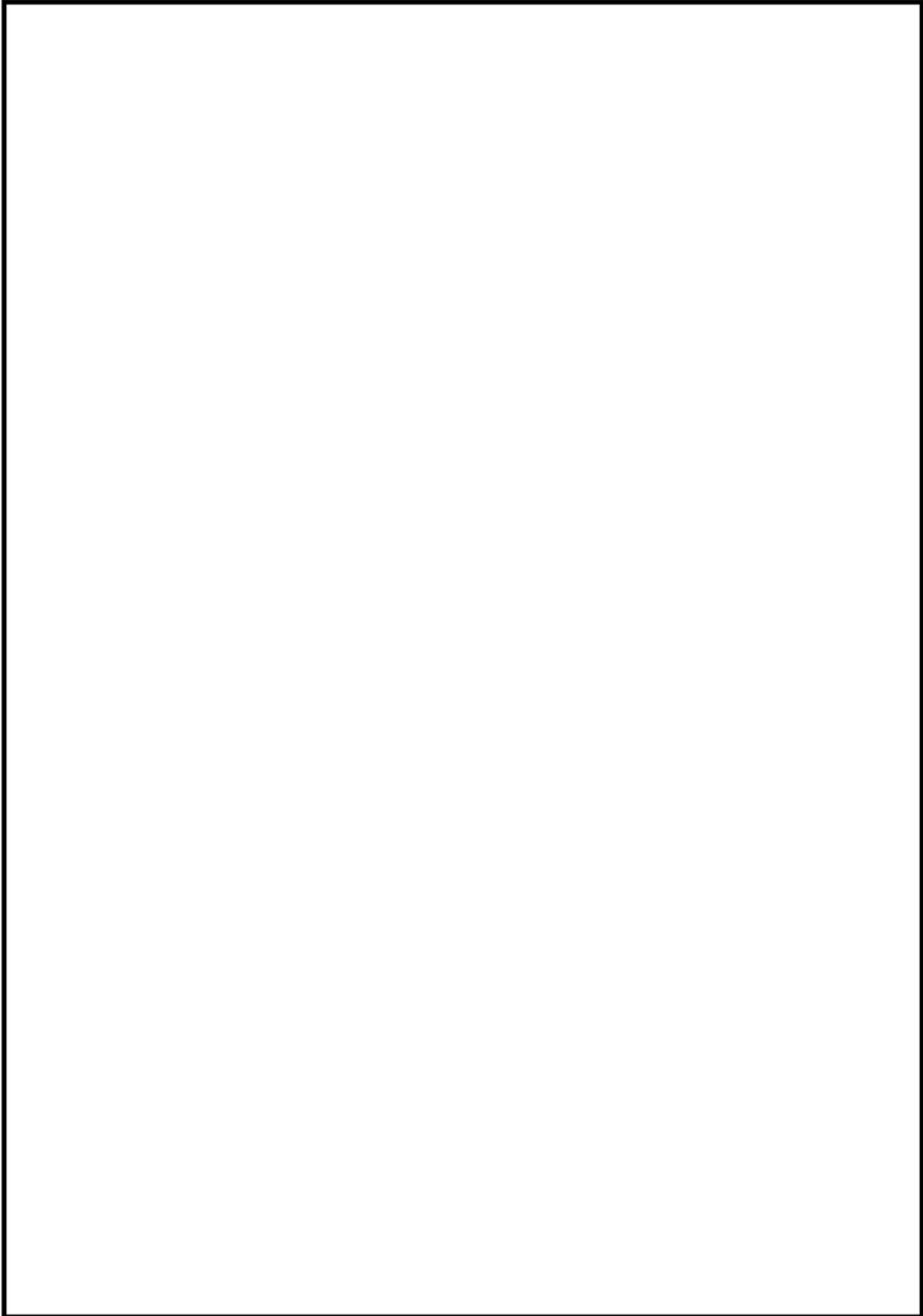
UNIT NAME : KTN-1
WAVE DIRECTION: V
BUILDING NAME : AB
ELEVATION : EL 24.0COM #AB07
DAMPING : 1.0%

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

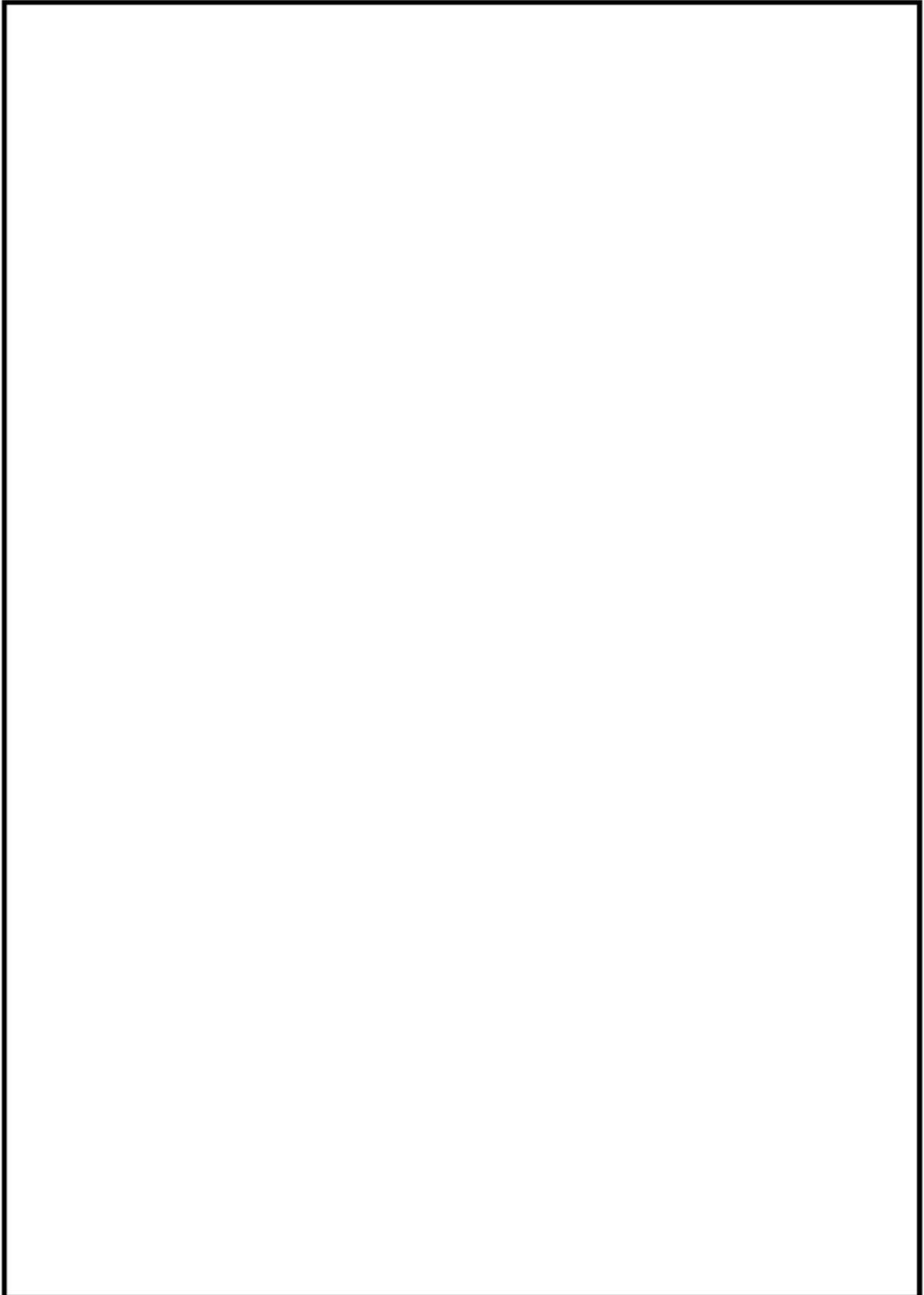


PERIOD (S)

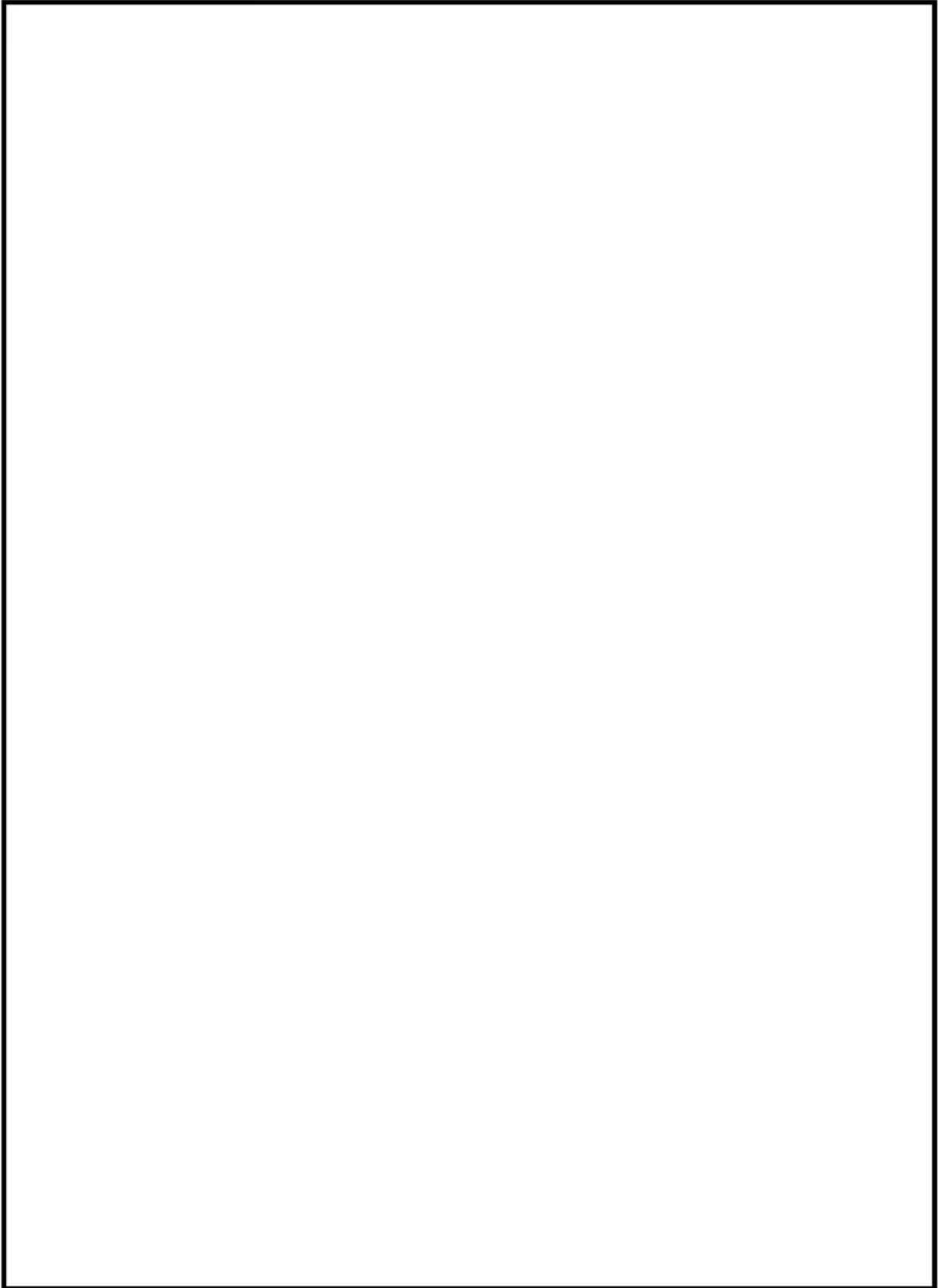
1. 内部コンクリート



2. 外部遮へい建屋



3. 原子炉補助建屋



No.	高浜1-耐震-10 rev.2	分類：容器
質問	<p>(3.4.41,42頁) 原子炉容器の中性子照射脆化（関連温度上昇）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 PTSでの応力評価部位と応力値 PTS事象のK_1上限包絡曲線については、技術評価書「容器-原子炉容器」に示すとおり、小破断1次冷却材喪失事故（小破断LOCA）、大破断1次冷却材喪失事故（大破断LOCA）、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失に対するK_1曲線を上限包絡して示したものです。 K_1値は、特別点検の結果を踏まえ、原子炉容器胴部に想定欠陥（長さ <input type="text"/>、深さ5mmの半楕円表面欠陥）を仮定し評価しています。</p> <p>② Ss地震時の応力評価部位と応力値 Ss地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点（原子炉容器管台ノズル部（図中 <input type="text"/> の <input type="text"/>）を使用しています。この曲げモーメントを断面係数 <input type="text"/> で除して算出した曲げ応力値（σ_b）は <input type="text"/> になります。</p> <div data-bbox="560 1249 1177 1966" style="border: 1px solid black; height: 320px; width: 100%;"></div>	

内は商業機密に属しますので公開できません

③ K_{IC} の算出式とその根拠

K_{IC} はJEAC4206-2007の附属書C「供用状態C, Dにおける加圧水型原子炉圧力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に基づき、以下の式で計算しています。（技術評価書「容器-原子炉容器」参照）

$$K_{IC} = 20.16 + 129.9 \exp\{0.0161(T - T_p)\} \quad (MPa\sqrt{m})$$

④ K_I 値の評価結果

PTS事象での K_I 上限包絡曲線（上記①）に、 S_s 地震で生じる K_I 値を一律でかさ上げしています。 S_s 地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥（長さ [] 深さ5mmの半楕円表面欠陥、母材厚さ [] に上記②の荷重が作用した場合に生じる値として、ASME Sec. XI App. Aの式を用いて [] を算出しました。

PTS事象の K_I 値はJEAC4206-2007でPTS事象の K_I 値算出に引用されているC. B. Buchalet & W. H. Bamfordの応力拡大係数式（附属図C-2000-1及びC-2000-2の係数を使用）を用いて算出されたものですが、 S_s 地震で生じる K_I 値の算出に対しては規定がないため、JEAC4206-2007の附属書F「応力拡大係数」にて記載のあるASME Sec. XI App. Aの式を使用しています。

応力拡大係数を計算する際のき裂寸法は、長さ [] 深さ5mmの半楕円表面欠陥です。

S_s 地震で生じる K_I 値 [] の算出過程は以下のとおりです。ASME Sec. XI App. A A-3320(b)により、 K_I 値を算出します。想定欠陥のサイズは、

欠陥深さ	$a = 5 \text{ mm} = 0.197 \text{ in}$
欠陥長さ	$l = []$
母材厚さ	$t = []$

TABLE A-3320-1（添付-1）において、 $a/t = []$ $a/l = []$ より、

$$M_m = G_0 = []$$

$$G_1 = []$$

よって、

$$q_y = \left[\frac{(\sigma_m \cdot M_m + A_p \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b)}{\sigma_{ys}} \right]^2 / 6$$

$$= []^2 / []$$

ここで $A_p = 17.16 \text{ MPa} \approx 2.49 \text{ ksi}$

$$M_b = G_0 - 2(a/t) G_1 = []$$

$$\sigma_{ys} = 304.3 \text{ MPa} = 44.1 \text{ ksi}$$

($T_c = 288.6^\circ\text{C}$ におけるJSME S NC1-2005/2007の値)

$$\sigma_m = 0$$

$$Q = 1 + 4.593(a/l)^{1.65} - q_y = []$$

※：欠陥面にかかる内圧は、PTS事象とし考慮している小破断LOCA、大破断LOCA、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失時の最高圧力を上回る、最高使用圧力（17.16MPa）を評価に用いています。

以上より、

$$K_I = [(\sigma_m + A_p)M_m + \sigma_b \cdot M_b] \sqrt{\pi a / Q}$$

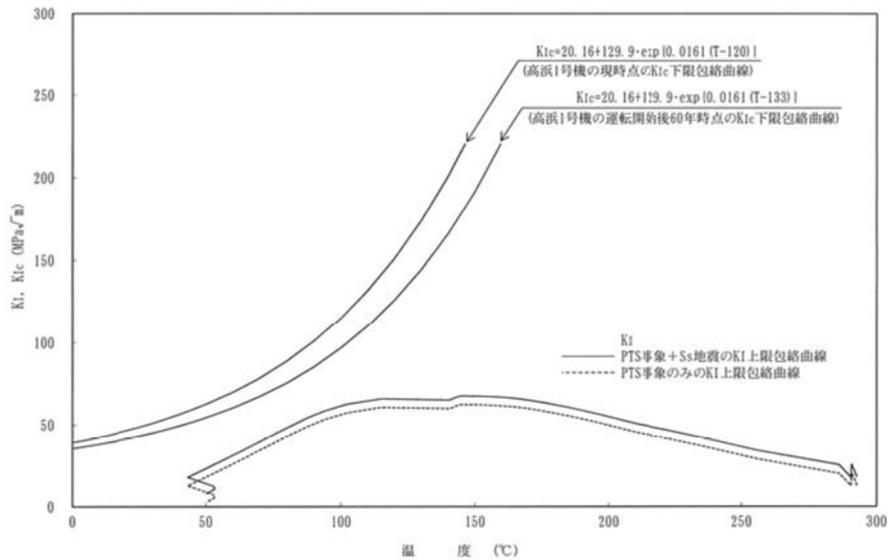


図1 高浜1号機 Ss地震を考慮したPTS評価結果(欠陥深さ5mm)

なお、JEAC4206-2007「原子力発電所用機器に対する破壊靱性の確認試験方法」では、加圧熱衝撃評価を実施するにあたって深さ10mmの想定き裂を設定するように定められています。原子炉容器内表面からの深さ10mm位置での評価結果を以下に示します。

⑤ PTSでの応力評価部位と応力値

PTS事象の K_I 上限包絡曲線については、技術評価書「容器—原子炉容器」に示すとおり、小破断1次冷却材喪失事故(小破断LOCA)、大破断1次冷却材喪失事故(大破断LOCA)、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失に対する K_I 曲線を上限包絡して示したものです。

K_I 値は、原子炉容器胴部に想定欠陥(長さ[redacted]、深さ10mmの半楕円表面欠陥)を仮定し評価しています。

⑥ Ss地震時の応力評価部位と応力値

Ss地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点(原子炉容器管台ノズル部(図中[redacted]の[redacted])を使用しています。この曲げモーメントを断面係数[redacted]で除して算出した曲げ応力値(σ_b)は[redacted]になります。

⑦ K_{IC} の算出式とその根拠

K_{IC} はJEAC4206-2007の附属書C「供用状態C, Dにおける加圧水型原子炉圧力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に基づき、以下の式で計算しています。（技術評価書「容器-原子炉容器」参照）

$$K_{IC} = 20.16 + 129.9 \exp\{0.0161(T - T_p)\} \quad (MPa\sqrt{m})$$

⑧ K_I 値の評価結果

PTS事象での K_I 上限包絡曲線（上記①）に、Ss地震で生じる K_I 値を一律でかさ上げしています。Ss地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥（長さ \square 深さ10mmの半楕円表面欠陥、母材厚さ \square ）に上記②の荷重が作用した場合に生じる値として、ASME Sec. XI App. Aの式を用いて \square を算出しました。

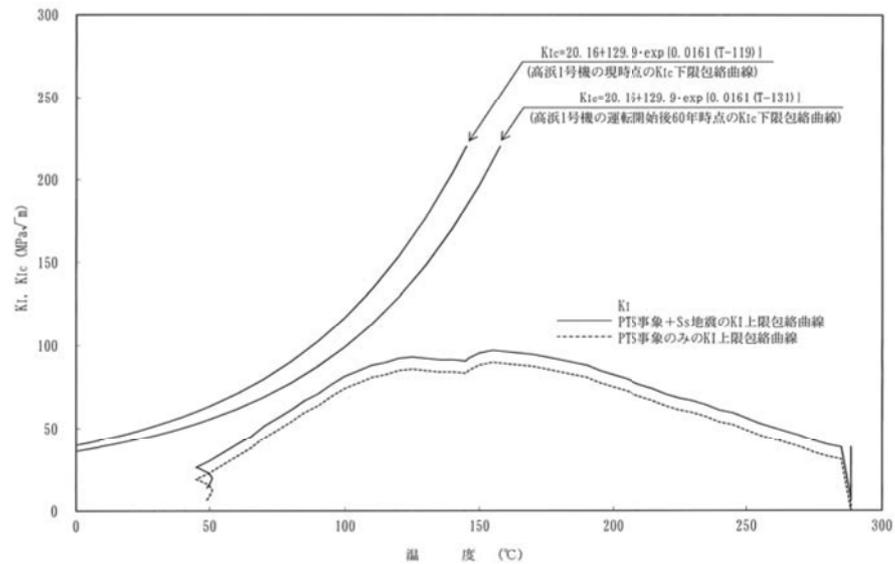


図2 高浜1号機 Ss地震を考慮したPTS評価結果（欠陥深さ10mm）

以上を踏まえて、耐震技術評価書には深さ10mmの想定き裂の評価結果を記載することとし、あわせて深さ5mmの想定き裂の評価結果を併記することとします。

以上

\square 内は商業機密に属しますので公開できません

2004 SECTION XI, DIVISION 1

TABLE A-3320-1
COEFFICIENTS G_0 THROUGH G_3 FOR SURFACE CRACK AT POINT 1

		Flaw Aspect Ratio a/t					
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
UNIFORM G_0	0.00	1.1208	1.0969	1.0856	1.0727	1.0564	1.0366
	0.05	1.1461	1.1000	1.0879	1.0740	1.0575	1.0373
	0.10	1.1945	1.1152	1.0947	1.0779	1.0609	1.0396
	0.15	1.2670	1.1402	1.1058	1.0842	1.0664	1.0432
	0.20	1.3654	1.1744	1.1210	1.0928	1.0739	1.0482
	0.25	1.4929	1.2170	1.1399	1.1035	1.0832	1.0543
	0.30	1.6539	1.2670	1.1621	1.1160	1.0960	1.0614
	0.40	2.1068	1.3840	1.2135	1.1448	1.1190	1.0772
	0.50	2.8254	1.5128	1.2693	1.1757	1.1457	1.0931
	0.60	4.0420	1.6372	1.3216	1.2039	1.1699	1.1058
0.70	6.3743	1.7373	1.3610	1.2237	1.1866	1.1112	
0.80	11.991	1.7899	1.3761	1.2285	1.1902	1.1045	
LINEAR G_1	0.00	0.7622	0.6635	0.6826	0.7019	0.7214	0.7411
	0.05	0.7624	0.6651	0.6833	0.7022	0.7216	0.7413
	0.10	0.7732	0.6700	0.6855	0.7031	0.7221	0.7418
	0.15	0.7945	0.6780	0.6890	0.7046	0.7230	0.7426
	0.20	0.8267	0.6891	0.6939	0.7067	0.7243	0.7420
	0.25	0.8706	0.7029	0.7000	0.7094	0.7260	0.7451
	0.30	0.9276	0.7193	0.7073	0.7126	0.7282	0.7468
	0.40	1.0907	0.7584	0.7249	0.7209	0.7338	0.7511
	0.50	1.3501	0.8029	0.7454	0.7314	0.7417	0.7566
	0.60	1.7863	0.8488	0.7671	0.7441	0.7520	0.7631
0.70	2.6125	0.8908	0.7882	0.7588	0.7653	0.7707	
0.80	4.5727	0.9288	0.8063	0.7753	0.7822	0.7792	
QUADRATIC G_2	0.00	0.6009	0.5078	0.5310	0.5556	0.5815	0.6084
	0.05	0.5969	0.5086	0.5313	0.5557	0.5815	0.6084
	0.10	0.5996	0.5109	0.5323	0.5560	0.5815	0.6085
	0.15	0.6088	0.5148	0.5340	0.5564	0.5815	0.6087
	0.20	0.6247	0.5202	0.5364	0.5571	0.5815	0.6089
	0.25	0.6475	0.5269	0.5394	0.5580	0.5817	0.6093
	0.30	0.6775	0.5350	0.5430	0.5592	0.5820	0.6099
	0.40	0.7651	0.5545	0.5520	0.5627	0.5835	0.6115
	0.50	0.9048	0.5776	0.5632	0.5680	0.5869	0.6144
	0.60	1.1382	0.6027	0.5762	0.5760	0.5931	0.6188
0.70	1.5757	0.6281	0.5907	0.5874	0.6037	0.6255	
0.80	2.5997	0.6513	0.6063	0.6031	0.6200	0.6351	
CUBIC G_3	0.00	0.5060	0.4246	0.4480	0.4735	0.5006	0.5290
	0.05	0.5012	0.4250	0.4482	0.4736	0.5006	0.5290
	0.10	0.5012	0.4264	0.4488	0.4736	0.5004	0.5290
	0.15	0.5059	0.4286	0.4498	0.4737	0.5001	0.5289
	0.20	0.5152	0.4317	0.4511	0.4738	0.4998	0.5289
	0.25	0.5292	0.4357	0.4528	0.4741	0.4994	0.5289
	0.30	0.5483	0.4404	0.4550	0.4746	0.4992	0.5291
	0.40	0.6045	0.4522	0.4605	0.4763	0.4993	0.5298
	0.50	0.6943	0.4665	0.4678	0.4795	0.5010	0.5316
	0.60	0.8435	0.4829	0.4769	0.4853	0.5054	0.5349
0.70	1.1207	0.5007	0.4880	0.4945	0.5141	0.5407	
0.80	1.7614	0.5190	0.5013	0.5085	0.5286	0.5487	

GENERAL NOTE: Interpolations in a/t and a/ℓ are permitted.

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 原子炉容器の中性子照射脆化（関連温度上昇）（PTS評価）に対する耐震安全性評価について

PTS評価において、S_s地震により原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントは、現状、原子炉容器モデルの節点にかかる地震荷重の最大値を用いて評価を行っており、実際に中性子照射脆化の影響を受ける部位となっていない。このため、実際の評価対象部位である、炉心領域部を含む胴部の節点における曲げモーメントの最大値を用いた評価とし、より精緻な評価を行った。

下記に評価結果を示します。

⑨ PTSでの応力評価部位と応力値

PTS事象のK₁上限包絡曲線については、技術評価書「容器-原子炉容器」に示すとおり、小破断1次冷却材喪失事故（小破断LOCA）、大破断1次冷却材喪失事故（大破断LOCA）、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失に対するK₁曲線を上限包絡して示したものです。

K₁値は、特別点検の結果を踏まえ、原子炉容器胴部に想定欠陥（長さ 深さ5mm、10mmの半楕円表面欠陥）を仮定し評価しています。

⑩ S_s地震時の応力評価部位と応力値

S_s地震による原子炉容器胴部に生じる曲げモーメントとして、最大となる節点（原子炉容器管台ノズル部（図中 の ）を使用しています。この曲げモーメントを断面係数 で除して算出した曲げ応力値（ σ_b ）は になります。



内は商業機密に属しますので公開できません

⑪ K_{IC} の算出式とその根拠

K_{IC} はJEAC4206-2007の附属書C「供用状態C, Dにおける加圧水型原子炉圧力容器の炉心領域部に対する非延性破壊防止のための評価方法」に基づき、以下の式で計算しています。
(技術評価書「容器-原子炉容器」参照)

$$K_{IC} = 20.16 + 129.9 \exp\{0.0161(T - T_p)\} \quad (MPa\sqrt{m})$$

⑫ K_I 値の評価結果

PTS事象での K_I 上限包絡曲線(上記⑪)に、 S_s 地震で生じる K_I 値を一律でかさ上げしています。 S_s 地震の K_I 値は、原子炉容器胴部に仮定した想定欠陥(長さ[] 深さ5mm、10mmの半楕円表面欠陥、母材厚さ[]に上記②の荷重が作用した場合に生じる値として、ASME Sec. XI App. Aの式を用いて[](5mm)、[](10mm)を算出しました。

PTS事象の K_I 値はJEAC4206-2007でPTS事象の K_I 値算出に引用されているC. B. Buchalet & W. H. Bamfordの応力拡大係数式(附属図C-2000-1及びC-2000-2の係数を使用)を用いて算出されたものですが、 S_s 地震で生じる K_I 値の算出に対しては規定がないため、JEAC4206-2007の附属書F「応力拡大係数」にて記載のあるASME Sec. XI App. Aの式を使用しています。

応力拡大係数を計算する際のき裂寸法は、長さ[] 深さ5mm、10mmの半楕円表面欠陥です。

S_s 地震で生じる K_I 値算出過程は以下のとおりです。

《想定欠陥深さ5mmの場合》

ASME Sec. XI App. A A-3320(b)により、 K_I 値を算出します。想定欠陥のサイズは、

欠陥深さ $a = 5 \text{ mm} = 0.197 \text{ in}$
 欠陥長さ $l = []$
 母材厚さ $t = []$

TABLE A-3320-1 (添付-1)において、 $a/t = []$ $a/l = []$ より、

$M_m = G_0 = []$
 $G_1 = []$

よって、

$$q_y = \left[\frac{(\sigma_m \cdot M_m + A_p \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b)}{\sigma_{ys}} \right]^2 / 6$$

$$= []^2 / 6 = []$$

ここで $A_p = 17.16 \text{ MPa}^* = 2.49 \text{ ksi}$

$M_b = G_0 - 2(a/t) G_1 = []$

$\sigma_{ys} = 304.3 \text{ MPa} = 44.1 \text{ ksi}$

($T_c = 288.6^\circ\text{C}$ におけるJSME S NC1-2005/2007の値)

$\sigma_m = 0$

$Q = 1 + 4.593(a/l)^{1.65} - q_y = []$

※：欠陥面にかかる内圧は、PTS事象とし考慮している小破断LOCA、大破断LOCA、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失時の最高圧力を上回る、最高使用圧力(17.16MPa)を評価に用いています。

以上より、

$$K_I = [(\sigma_m + A_p) \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b] \sqrt{(\pi a/Q)}$$

= []

= []

《想定欠陥深さ10mmの場合》

ASME Sec. XI App. A A-3320(b)により、 K_I 値を算出します。想定欠陥のサイズは、

欠陥深さ $a = 10 \text{ mm} = 0.394 \text{ in}$
 欠陥長さ $l = []$
 母材厚さ $t = []$

TABLE A-3320-1 (添付-1)において、 $a/t = []$ 、 $a/l = []$ より、

$M_m = G_0 = []$
 $G_1 = []$

よって、

$$q_y = [(\sigma_m \cdot M_m + A_p \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b) / \sigma_{ys}]^2 / 6$$

= []² / 6 []

ここで $A_p = 17.16 \text{ MPa}^* = 2.49 \text{ ksi}$

$M_b = G_0 - 2(a/t) G_1 = []$

$\sigma_{ys} = 304.3 \text{ MPa} = 44.1 \text{ ksi}$

($T_c = 288.6^\circ\text{C}$ におけるJSME S NC1-2005/2007の値)

$\sigma_m = 0$

$$Q = 1 + 4.593(a/l)^{1.65} - q_y []$$

※：欠陥面にかかる内圧は、PTS事象とし考慮している小破断LOCA、大破断LOCA、主蒸気管破断事故および2次冷却系からの除熱機能喪失時の最高圧力を上回る、最高使用圧力(17.16MPa)を評価に用いています。

以上より、

$$K_I = [(\sigma_m + A_p) \cdot M_m + \sigma_b \cdot M_b] \sqrt{(\pi a/Q)}$$

= []

= []

[] 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号機のSs地震を考慮したPTS評価結果（評価点変更，欠陥深さ5mm）

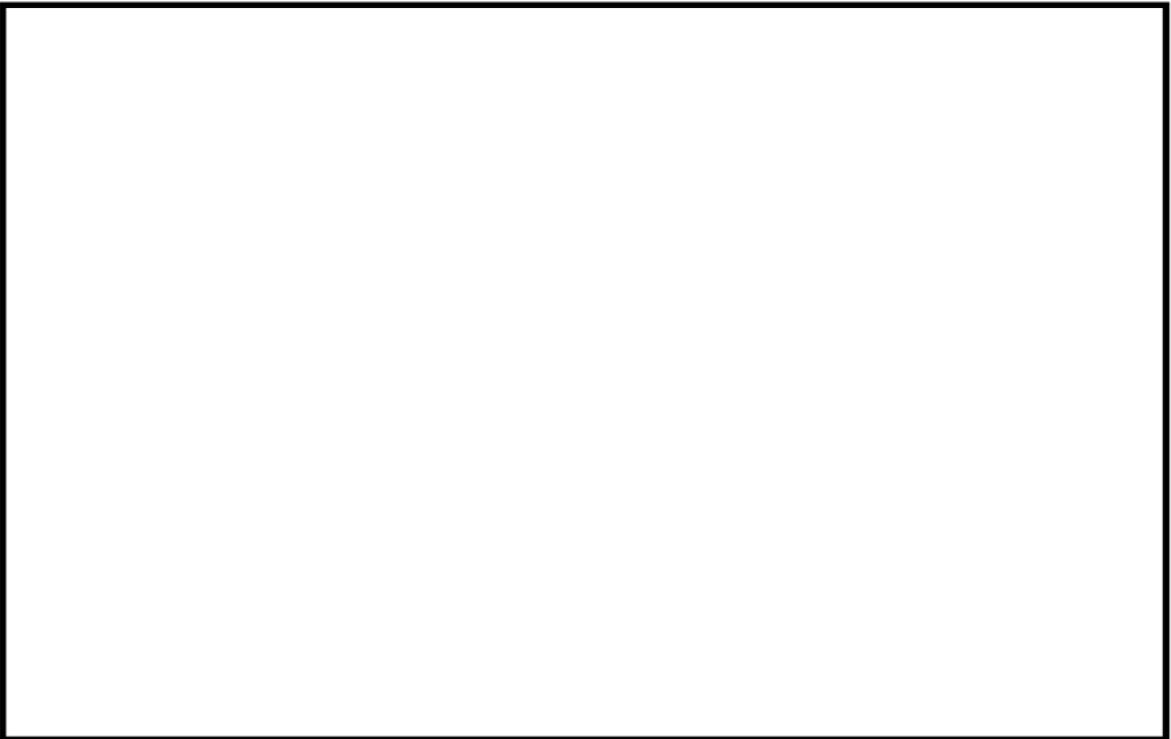


図2 高浜1号機のSs地震を考慮したPTS評価結果（評価点変更，欠陥深さ10mm）

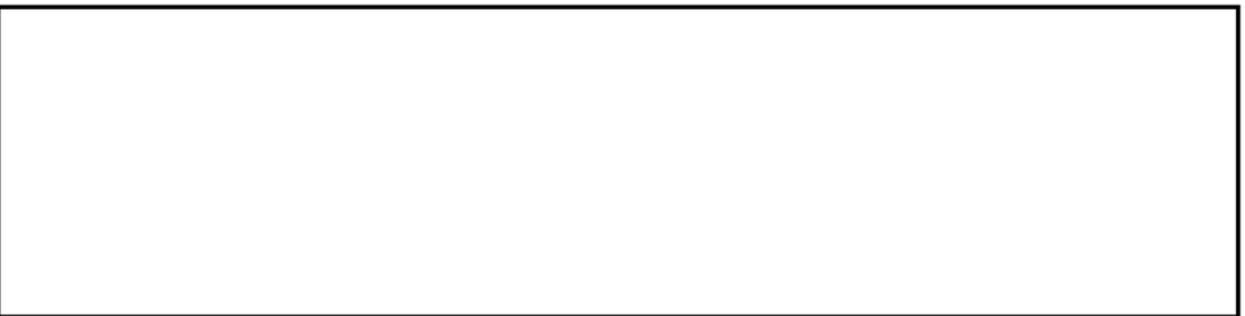


内は商業機密に属しますので公開できません

No.	高浜 1 - 耐震 - 2 1	事象：耐震
質 問	<p>後打ちアンカの評価について、減肉後の応力比の算定根拠（プラント設計時の耐震条件含む）を提示すること。</p>	
回 答	<p>後打ちアンカについては、メーカーの後打ちアンカ使用基準に基づき最大許容荷重が定められており、この値以上の荷重がボルトに作用しないよう施工されています。</p> <p>後打ちアンカの評価にあたっては、ボルトに技術評価により想定される運転開始後 60 年時点での減肉量(半径方向に 0.3mm)を考慮した上で、保守的に最大許容荷重が作用した場合であっても応力比が 1 以下になることを確認しています。</p> <p>減肉後の応力比の算定条件及び算定結果を添付-1 に示します。</p> <p style="text-align: right;">以 上</p>	

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (引張)

型式	ボルト呼び径	長期最大許容荷重 (N)	短期最大許容荷重*1 (N)	断面積		減肉後発生応力*2 (N/mm ²)	許容応力*3 (N/mm ²)	減肉後の応力比*4
				減肉前 (mm ²)	減肉後 (mm ²)			
メカニカルアンカ	M8	2.3×10 ³	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.39
	M10	2.7×10 ³						0.28
	M12	4.7×10 ³						0.33
	M16	6.9×10 ³						0.27
	M20	10.8×10 ³						0.26
	M24	13.8×10 ³						0.23
ケミカルアンカ	M10	7.4×10 ³						0.77
	M12	10.9×10 ³						0.77
	M16	20.0×10 ³						0.77
	M20	37.8×10 ³						0.91
	M24	53.6×10 ³						0.90
	M30	88.0×10 ³						0.93



*4 : 減肉後発生応力 / 許容応力

内は商業機密に属しますので公開できません

減肉後の応力比の算定条件及び算定結果 (せん断)

型式	ボルト呼び径	長期最大許容荷重 (N)	短期最大許容荷重*1 (N)	断面積		減肉後発生応力*2 (N/mm ²)	許容応力*3 (N/mm ²)	減肉後の応力比*4
				減肉前 (mm ²)	減肉後 (mm ²)			
メカニカルアンカ	M8	2.5×10 ³	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.55
	M10	4.7×10 ³						0.64
	M12	7.1×10 ³						0.66
	M16	12.5×10 ³						0.63
	M20	19.8×10 ³						0.63
	M24	26.3×10 ³						0.58
ケミカルアンカ	M10	5.1×10 ³						0.69
	M12	7.5×10 ³						0.69
	M16	13.7×10 ³						0.69
	M20	21.3×10 ³						0.68
	M24	31.8×10 ³						0.69
	M30	61.5×10 ³						0.85



*4 : 減肉後発生応力/許容応力

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-22 Rev.2	事象：耐震
質 問	<p>(14頁)</p> <p>表2の高経年化対策上着目すべきでない経年劣化事象において、ステンレス配管母管の内面からの応力腐食割れを耐震安全上考慮する必要が無い経年劣化事象(表中■)として抽出する根拠を具体的に提示すること。</p>	
	<p>ステンレス鋼配管母管の内面については、1次系水質環境下においても局所的に溶存酸素濃度が高くなる等の理由で内面からの応力腐食割れが発生する可能性は否定できない。</p> <p>しかしながら、高温かつ溶存酸素濃度が高くなる可能性のある範囲の溶接部については、SUS304系から耐応力腐食割れ性に優れているSUS316系に取替を完了しており、応力腐食割れの可能性は小さい。</p> <p>さらに、供用期間中検査時に超音波探傷試験を実施して有意な欠陥がないことを確認するとともに、漏えい検査により機器の健全性を維持している。</p> <p>したがって、今後も現状保全で管理される程度の範囲の進行では固有振動数への影響は軽微であることから、耐震安全性に影響を与えるものではないとしている。</p> <p>PLM30での高経年化技術評価内容は以下のとおり。</p> <p><PLM30での評価></p> <p>〔余熱除去系統配管〕</p> <p>通常運転時に使用されず閉塞滞留部となり溶存酸素濃度が高くなる可能性があり、かつ、1次冷却材の流れの影響により高温となる可能性のある部位については、応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。当該部位については、SUS304系からSUS316系に取替を完了しており、定期的に溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施し、有意な欠陥がないことを確認している。</p> <p>健全性評価から判断して、母管の内面からの応力腐食割れ発生の可能性は小さいと考えるが、発生の可能性は否定できないため、高温で溶存酸素濃度が高くなる可能性がある部分について、溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施していく。</p> <p>〔化学体積制御系統配管、安全注入系統配管〕</p> <p>高経年化に当たっては、応力腐食割れ発生の可能性は否定できない。したがって、高温で溶存酸素濃度が高くなる可能性がある部分について、代表部位の溶接部を対象とした超音波探傷検査を実施していく。(配管取替未実施の部位あり)</p>	

《参考》高浜1号機 O₂SCC対象配管の取替え実績

対象ライン	系 統	実施時期	対 策
加圧器スプレインベントレン	RCS	③	I
加圧器補助スプレイン	RCS	③	I
ループ冷却材トレンライン	CVCS	②	I
充てんラインベントレン	CVCS	①, ②	I
充てんライン分岐管 補助スプレイン	CVCS	①	I
B充てんラインハイライン	CVCS	②	I
抽出ラインベントレン	CVCS	①, ②	I
RHRP吸込みライン	RHRS	③	I
蓄圧注入ライン	SIS	④	I
ループ高温側安全注入ライン	SIS	⑤	I
ループ低温側安全注入ライン	SIS	⑤	I
充てん待機ライン	CVCS	②	I
充てん待機ライン	CVCS	⑥	II-1
低圧抽出連絡ライン	CVCS	⑥	I
サンプリングライン(ブルー)	RHRS	⑥	II-2

〈系 統〉

RCS：1次冷却系統 (Reactor Coolant System)

CVCS：化学体積制御系統 (Chemical and Volume Control System)

SIS：安全注入系統 (Safety Injection System)

RHRS：余熱除去系統 (Residual Heat Removal System)

〈実施時期〉

- ①第19回：平成12年5月～6月
 - ②第20回：平成13年8月～9月
 - ③第21回：平成14年11月～平成15年2月
 - ④第24回：平成18年11月～平成19年2月
 - ⑤第26回：平成21年9月～11月
 - ⑥第27回：平成23年1月～現在実施中
- ※④⑤⑥はPLM30後の対策

〈対策〉

I：SUS304SW (ソケット溶接) →SUS316BW (突合せ溶接) への取替

II-1：SUS304BW (突合せ溶接) 配管の撤去

II-2：SUS304BW (突合せ溶接) →SUS316BW (突合せ溶接) への取替

※SUS304BW (突合せ溶接) 配管の対策は、高浜1号機PLM30の後に実施することとなった。

〈高浜1号機データ〉

- ・運開30年 平成16年11月14日
- ・PLM30認可 平成16年3月18日

No.	高浜 1－耐震－ 2 6	事象：耐震
質 問	<p>(3. 1. 13、3. 14. 90頁)</p> <p>動的機能維持評価において、ポンプの耐震安全上考慮する必要のある経年劣化事象として抽出した海水ポンプの基礎ボルトの腐食（評価結果は機械設備、機器基礎ボルトの表3. 14. 11-1に記載）を振動応答特性への影響が「軽微若しくは無視」できる事象とした根拠を具体的に提示すること。</p>	
回 答	<p>基礎ボルトについては、高経年化に対する技術評価により、想定される経年劣化事象については、現状の保全対策によりボルトが支持する機器に与える影響が十分小さいことを確認しています。また、耐震安全上考慮する必要のある屋外の基礎ボルトに対する耐震安全性評価の実施により、基礎ボルトにおける経年劣化事象は、ボルトが支持する機器の支持機能への影響がないことを確認しています。これより、経年劣化事象を考慮しても、地震時に動的機能の維持が要求される当該基礎ボルトが支持する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ています。</p> <p>なお、以上の内容は、耐震（機械設備－基礎ボルト）における、経年劣化事象に対する動的機能維持評価とします。</p>	

No.	高浜1-40年目追加評価-9	事象：劣化傾向の評価												
質 問	<p>(別冊-18 40年目追加評価-2相ステンレス鋼の熱時効-14頁)</p> <p>30年目の評価と40年目評価で加圧器サージライン管台は共通の評価部位となっているが、これに加えて、30年目の評価ではホットレグ直管が、一方40年目評価では安全注入系ライン用管台がそれぞれ評価部位として抽出されている。30年目の評価と40年目評価でこれらの評価対象部位が異なった理由を説明すること。</p>													
回 答	<p>高浜1号炉の40年目の劣化状況評価では、「原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008」に基づき、2相ステンレス鋼を使用している各部位に対してフェライト量、応力の観点から最も厳しくなる評価点を選定しています。</p> <p>この結果、フェライト量最大として6B安全注入系ライン用管台、応力最大として加圧器サージライン用管台を選定しました。</p> <p>一方、30年目の高経年化技術評価では、フェライト量と応力の双方の条件を考慮し、母管と管台の部位別に1つずつ代表点を選定しています。</p> <p>この結果、母管からホットレグの原子炉容器出口直管部、管台から加圧器サージライン管台を選定しました。</p> <p style="text-align: center;">高浜1号炉 40年目熱時効評価対象部位一覧</p> <table border="1" data-bbox="477 1249 1305 1368"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>選定理由</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6B安全注入系ライン用管台</td> <td>フェライト量最大</td> </tr> <tr> <td>加圧器サージライン管台</td> <td>応力最大</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">高浜1号炉 30年目熱時効評価対象部位一覧</p> <table border="1" data-bbox="477 1480 1305 1671"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>選定理由</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ホットレグ直管部</td> <td>母管においてフェライト量、荷重が総合的に高い</td> </tr> <tr> <td>加圧器サージライン管台</td> <td>管台においてフェライト量、荷重が総合的に高い</td> </tr> </tbody> </table>		評価部位	選定理由	6B安全注入系ライン用管台	フェライト量最大	加圧器サージライン管台	応力最大	評価部位	選定理由	ホットレグ直管部	母管においてフェライト量、荷重が総合的に高い	加圧器サージライン管台	管台においてフェライト量、荷重が総合的に高い
評価部位	選定理由													
6B安全注入系ライン用管台	フェライト量最大													
加圧器サージライン管台	応力最大													
評価部位	選定理由													
ホットレグ直管部	母管においてフェライト量、荷重が総合的に高い													
加圧器サージライン管台	管台においてフェライト量、荷重が総合的に高い													