

4. 個別評価項目に対する評価方法および評価結果

4.1 地震

4.1.1 評価の概要

伊方発電所第1号機の想定を超える「地震」に対する安全裕度の評価において、平成18年に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に照らした耐震安全性評価（以下、「耐震バックチェック」という。）で策定した基準地震動 S_s を想定地震動とし、これを超える地震動に対する建屋、系統、機器等（以下、「設備等」という。）の耐震裕度は、原則として耐震バックチェックの結果に基づき評価を実施する。また、必要に応じ最新知見等に基づく評価手法も用いることとする。

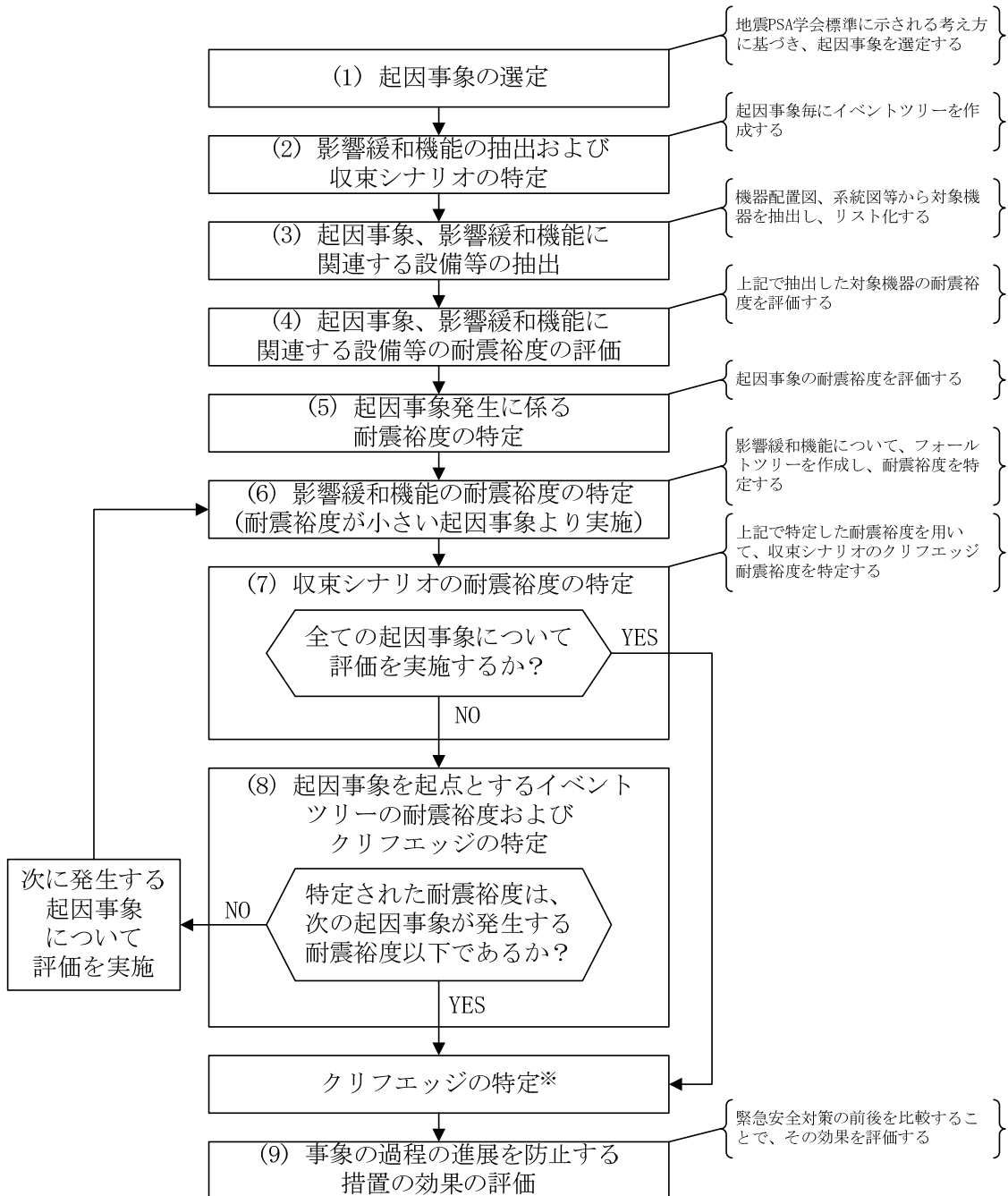
上記で求めた設備等の耐震裕度を踏まえ、想定を超える「地震」を起因として燃料の重大な損傷に至る過程を地震P S A（確率論的安全評価）の知見等を用いて同定し、クリフエッジとそのときの地震動の大きさを明らかにするとともに、事象の過程の進展を防止する措置の効果を確認する。

4.1.2 評価実施事項

- (1) 地震動が、設計上の想定を超える程度に応じて、耐震Sクラスおよび燃料の重大な損傷に関係し得るその他のクラスの設備等が損傷・機能喪失するか否かを許容値等との比較もしくは地震P S Aの知見等を踏まえて評価する。
- (2) (1)の評価結果を踏まえて、発生する起因事象により燃料の重大な損傷に至る事象の過程を同定し、クリフエッジの所在を特定する。また、そのときの地震動の大きさを明らかにする。
- (3) 特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止するための措置について、多重防護の観点から、その効果を示す。

4.1.3 評価方法

炉心にある燃料と使用済燃料ピット（以下、「SFP」という。）にある燃料を対象に、図4.1.1のクリフエッジ評価に係るフロー図（地震）に従い、以下の評価を実施する。



※ 各イベントツリーの耐震裕度のうち、最も小さいものが、クリフエッジとなる。

図4.1.1 クリフエッジ評価に係るフロー図（地震）

(1) 起回事象の選定

a. 炉心にある燃料

日本原子力学会標準「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」（以下、「地震P S A学会標準」という。）に示される考え方にに基づき、地震動による建物、配管等の大型静的機器の損傷が要因となる起回事象（格納容器バイパス^{*}、原子炉冷却材喪失事故（以下、「LOCA」という。）等）、および地震動による安全機能へ重大な影響を及ぼす機器等の損傷が要因となる起回事象を選定する。

※：燃料から放出された放射性物質が格納容器雰囲気を経由することなく環境に放出される事象

b. S F Pにある燃料

S F Pの燃料の損傷に至る事象として、S F P保有水の流出およびS F P冷却系の機能喪失に伴う崩壊熱除去失敗を考慮する。S F P保有水の流出原因としてピットの本体損傷、また、S F P冷却系の機能喪失の原因としてS F P冷却系配管等の損傷を考慮して、起回事象を選定する。

(2) 影響緩和機能の抽出および収束シナリオの特定

選定した各起回事象に対して、事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、イベントツリーを作成の上、事象の進展を収束させるシナリオを特定する。なお、炉心にある燃料に対するイベントツリーは、これまでのP S Aで用いられている成功基準、事故シーケンス分析の結果に基づき展開された各起回事象に対するイベントツリーを基本にして作成する。

(3) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の抽出

評価対象とする設備等は、燃料の重大な損傷に係わる耐震Sクラスの設備および燃料の重大な損傷に関係し得るその他クラスの設備等とする。具体的には、選定した起回事象に直接関連する設備等に加え、フロントライン系^{*1}に必要な設備等およびサポート系^{*2}に必要な設備等について、各起回事象を収束させるのに必要なものを対象として抽出する。

（添付資料－4. 1. 1）

※1：各イベントツリーの安全機能の達成に直接必要な影響緩和機能をフロントライン系という。例えば主給水喪失事象では、原子炉停止、補助給水による蒸気発生器への給水、主蒸気逃がし弁による熱放出等がフロントライン系である。

※2：フロントライン系を機能させるために必要な電源や冷却水等を供給する機能をサポート系という。例えば、補助給水の機能達成に必要な監視、制御のための直流電源やポンプ駆動力のための交流電源等がサポート系である。

(4) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の耐震裕度の評価

a. 検討条件

- (a) 想定地震動は、耐震バックチェックにおいて、策定した基準地震動 S_s (以下、「 S_s 」という。) とする。
- (b) 解析諸元は、設計時の値に加え、建設後の実寸法・物性値および試験等で得られた最新の知見についても適用の妥当性に留意しつつ用いることとする。
- (c) 各設備等の評価値は、原則、 S_s に対して求める。
- (d) 各設備等の許容値は、以下のとおり、設計基準上の許容値を用いることを基本とする。
 - i 構造強度に係る許容値は、既往の評価等で実績があるものを用いるが、必要に応じ、設計基準で定められた設計引張強さ (S_u) を用いる。
 - ii 動的機能に係る許容値は、耐震バックチェック評価等で実績のある許容値を用いる。また、機能維持確認済加速度との比較による評価に加え、解析による評価も適用する。
ただし、建設時の材料諸元を用いた許容値等についても、必要に応じ、妥当性に留意しつつ用いる。(ミルシートの適用等)

b. 評価方法

- (a) 当該評価対象設備の損傷モードに応じた地震動に対する応力等の評価値を求める。なお、構造損傷の評価の場合には、設備等の機能喪失を考慮する上で、最も耐震裕度が小さい部位の評価値を求める。
- (b) 当該評価対象設備の損傷モードに対応する許容値を求める。
- (c) 評価対象設備毎に、評価値が許容値に達するのは S_s の何倍の地震動に相当するかを算出し、耐震裕度を求める。

c. 経年変化への対応

各設備等の耐震裕度評価において、経年変化の影響については以下のとおり考慮することとし、その考え方に基づく検討フローを図4. 1. 2に示す。

- (a) 伊方発電所第1号機高経年化技術評価等報告書（平成18年9月提出、平成19年7月および平成20年10月一部変更）およびPWR[®]

ラントの高経年化技術評価(以下、「PLM」という。)における耐震安全性評価の知見を踏まえ、設備等の評価対象部位に想定される耐震安全性評価上着目すべき経年変化事象を抽出^{*}する。

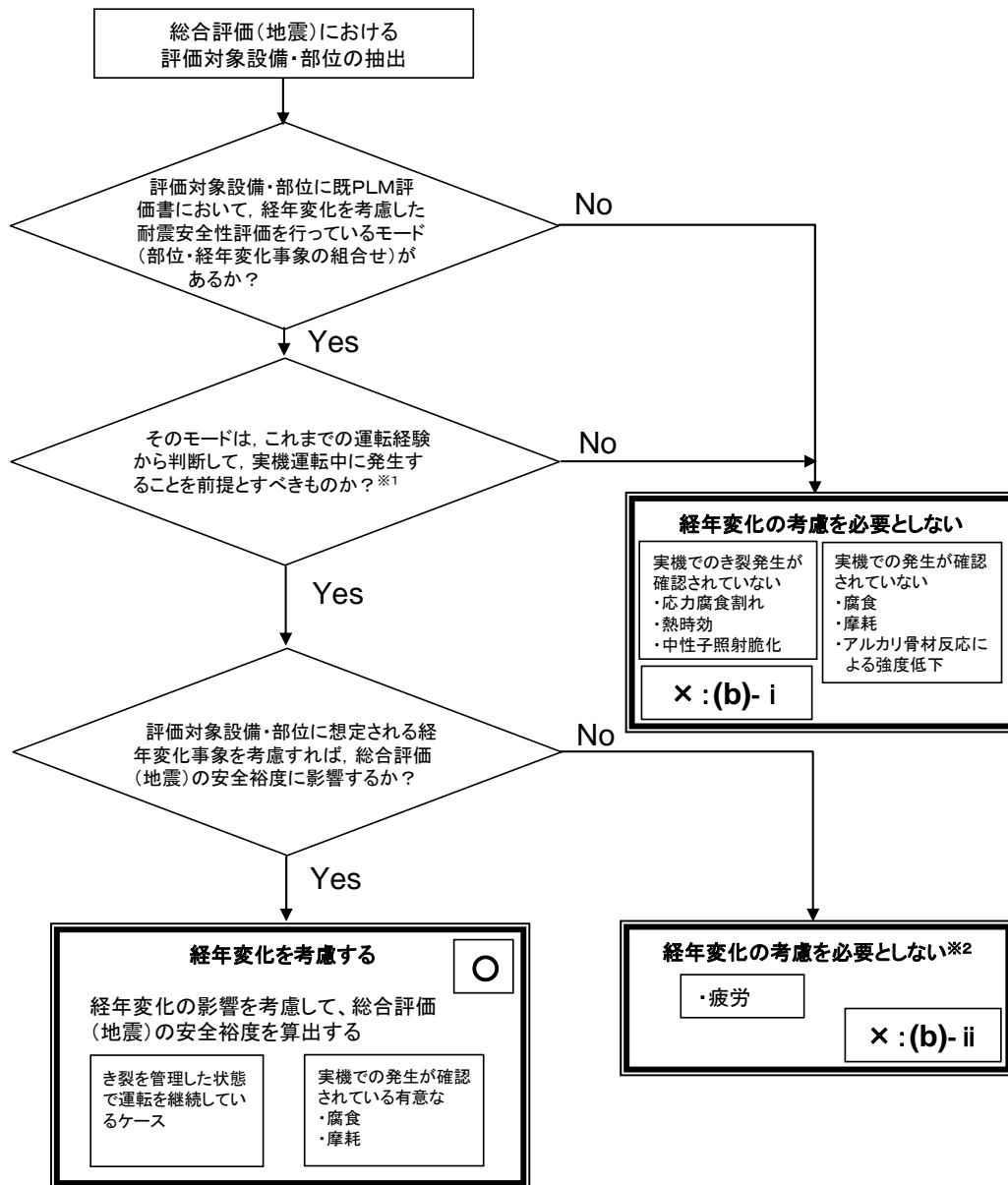
※：振動応答特性上または構造・強度上有意な経年変化事象として、靱性低下(中性子照射脆化、熱時効)、応力腐食割れ、疲労、腐食、摩耗、アルカリ骨材反応による強度低下が抽出される。

(添付資料－2. 3. 1)

(b) ただし、以下の場合については、考慮しないものとする。

- i PLMにおける耐震安全性評価では、仮想き裂や、実際には認められていない腐食量等を安全側に想定した評価を行う場合があるが、本評価時点において、き裂や腐食等が認められない場合は、考慮を必要としない。
- ii 評価対象設備における疲労については、プラント運転と地震により生じるものを評価しているが、相対的にプラント運転によるものが支配的である。設計時点で設定したプラント運転による設計過渡回数は、実機が受けた過渡回数と比較して、相当な余裕をもっており、地震による疲労累積係数の増分は、この設計余裕に十分吸収できると考えられることから、疲労については考慮を必要としない。

(c) (a), (b)において抽出された評価対象部位および耐震安全性評価上着目すべき経年変化事象の組合せを考慮し、耐震裕度を算出する。



※1: 応力腐食割れ、熱時効、中性子照射脆化等、き裂が存在して初めてその経年変化が耐震安全性に影響する事象については、発電用原子力設備規格「維持規格」による評価結果に基づき、き裂を検知しているものの、その進展・大きさを管理した状態で運転を継続しているケースを除き、考慮を必要としない。また、実機保全実績から経年変化が確認されていない腐食等についても、考慮を必要としない。

※2: 総合評価(地震)の安全裕度評価結果に影響を与えず、かつ、実際に割れが発生するまでには、相当な設計裕度があると判断される「疲労」については、考慮を必要としない。

図 4. 1. 2 総合評価 (地震) における経年変化の影響考慮について

(5) 起因事象発生に係る耐震裕度の特定

(1)において選定した各起因事象について、(4)で求めた各設備等の耐震裕度評価結果を用いて、どの程度の地震動でどのような起因事象が発生するかを特定する。

(6) 影響緩和機能の耐震裕度の特定

(5)で求めた各起因事象発生に係る耐震裕度が小さい起因事象から順に、(4)で求めた各設備等の耐震裕度評価結果を用いて、当該起因事象のイベントツリーに含まれる影響緩和機能の耐震裕度を特定する。具体的には、各影響緩和機能のフォールトツリーを作成し、各影響緩和機能を構成する各設備等の耐震裕度から、各影響緩和機能の耐震裕度を特定する。

(7) 収束シナリオの耐震裕度の特定

(6)で求めた各収束シナリオの影響緩和機能の耐震裕度から、各収束シナリオの耐震裕度を特定する。耐震裕度は、各収束シナリオに必要な各影響緩和機能の耐震裕度の内、最も小さいものとなる。

(8) 起因事象を起点とするイベントツリーの耐震裕度およびクリフエッジの特定

(7)で求めた収束シナリオの耐震裕度から、当該起因事象を起点とするイベントツリーの耐震裕度（以下、「イベントツリーの耐震裕度」という。）を特定する。当該イベントツリーの耐震裕度は、収束シナリオが複数ある場合には、各収束シナリオの耐震裕度の内、最も大きいものとなる。

各イベントツリーの耐震裕度の中から、クリフエッジを特定する。クリフエッジは、各イベントツリーの耐震裕度の中の最も小さいものとなる。

なお、(1)～(3)において、燃料の重大な損傷に至る可能性のある全ての起因事象とその収束シナリオ、ならびに関連する設備等を抽出しており、これらの収束シナリオを一つずつ評価することで、クリフエッジを特定することができる。ただし、それぞれの起因事象に至る損傷対象設備が異なる結果、起因事象発生に係る耐震裕度も大小異なった値となることを踏まえると、クリフエッジを評価するためには、(1)において抽出された起因事象に対して、耐震裕度の小さい起因事象から順にクリフエッジが特定されるまでの評価を実施すればよい。具体的には、あるイベントツリー（当該イベントツリー）の耐震裕度を特定した上で、次の起因事象がそれ以上の地震動により発生する場合には、次のイベントツリーの耐震裕度

が、当該イベントツリーの耐震裕度を下回ることはないことから、当該イベントツリーの耐震裕度をクリフエッジとして特定することができる。

(9) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価

特定されたクリフエッジへの対応を含め、燃料の重大な損傷に至る事象の過程の進展を防止する措置の効果について、多重防護の観点から、その効果を示す。

4.1.4 評価条件

2.3 項の評価の進め方に示した最も厳しいプラント状態を評価条件とし、評価にあたっては、以下の事項を考慮する。

(1) 原子炉およびSFPが同時に影響を受けると想定する。また、防護措置の評価にあたっては、合理的な想定により機能回復を期待できる場合を除き、一度失った機能は回復しない、プラント外部からの支援は受けられない等、厳しい状況を仮定する。

(2) 複数号機間の相互作用の可能性の考慮として、1, 2, 3号機が同時に地震の影響を受ける状況を仮定する。

4.1.5 炉心にある燃料に対する評価結果

検討を行うために必要な解析諸元や前提条件等については、耐震バックチェック評価と同じとすることを基本とするが、一部の設備等については、実力をより忠実に反映する観点から、耐震バックチェックより、精緻に評価を行う。

なお、 S_s に対する評価値と許容値から耐震裕度を算定しにくい設備等については、 S_s を係数倍した地震動を用いた地震応答解析を実施して、直接、耐震裕度を算出する。

(添付資料－4. 1. 2および4. 1. 3)

(1) 起回事象の選定結果

地震の評価で用いる起回事象については、既往の内の事象PSAで選定している起回事象をベースに、地震PSA学会標準に基づき図4. 1. 3の選定フローにより、地震で発生が誘因される可能性のある起回事象を加え、以下の9事象を選定した。

【起因事象】

- ・主給水喪失
- ・外部電源喪失
- ・補機冷却水の喪失
- ・2次冷却系の破断
- ・大破断LOCA
- ・中破断LOCA
- ・小破断LOCA
- ・格納容器バイパス
- ・炉心損傷直結

具体的には、内的事象PSAの評価プロセスにおいては、機器の耐震クラス、配置によらず、原子炉施設の故障により発生する起因事象が抽出されていることから、今回の起因事象の選定にあたっては、内的事象PSAで対象としている起因事象と同様の起因事象が地震により発生するかを検討した上で、それらに地震特有で発生する起因事象を追加することで、考慮すべき起因事象の選定を行っている。今回選定した上記の起因事象と、安全評価審査指針での想定事象等に基づき、定期安全レビューやアクシデントマネジメント整備有効性評価等でこれまで評価を実施している内的事象PSAにおける起因事象との関係を図4. 1. 4に整理した。また、内的事象PSAにおける起因事象と地震の評価で用いる起因事象の関係を表4. 1. 1に示す。

表4. 1. 1より、内的事象PSAで用いる起因事象と地震の評価で用いる起因事象は、その発生の要因となる故障モードの対象は異なるものの（例えば、弁の場合は、内的事象PSA：閉塞、腐食等による損傷など、地震評価：構造損傷、機能損傷）、設備が故障した結果として発生する起因事象としての影響は同等である。また、表4. 1. 1の起因事象に加えて、地震特有の起因事象として「炉心損傷直結」を考慮している。

地震評価における「炉心損傷直結」の分類は以下のとおり。

- ①地震動による安全上重要な機器を格納する建屋の損傷
(例) 原子炉建家、原子炉補助建家
- ②地震動による安全上重要な大型機器の損傷
(例) 原子炉容器、蒸気発生器 等
- ③地震動による安全上重要な緩和設備の機能維持に必要な電気設備の損傷
(例) 運転コンソール、安全保護計装盤 等

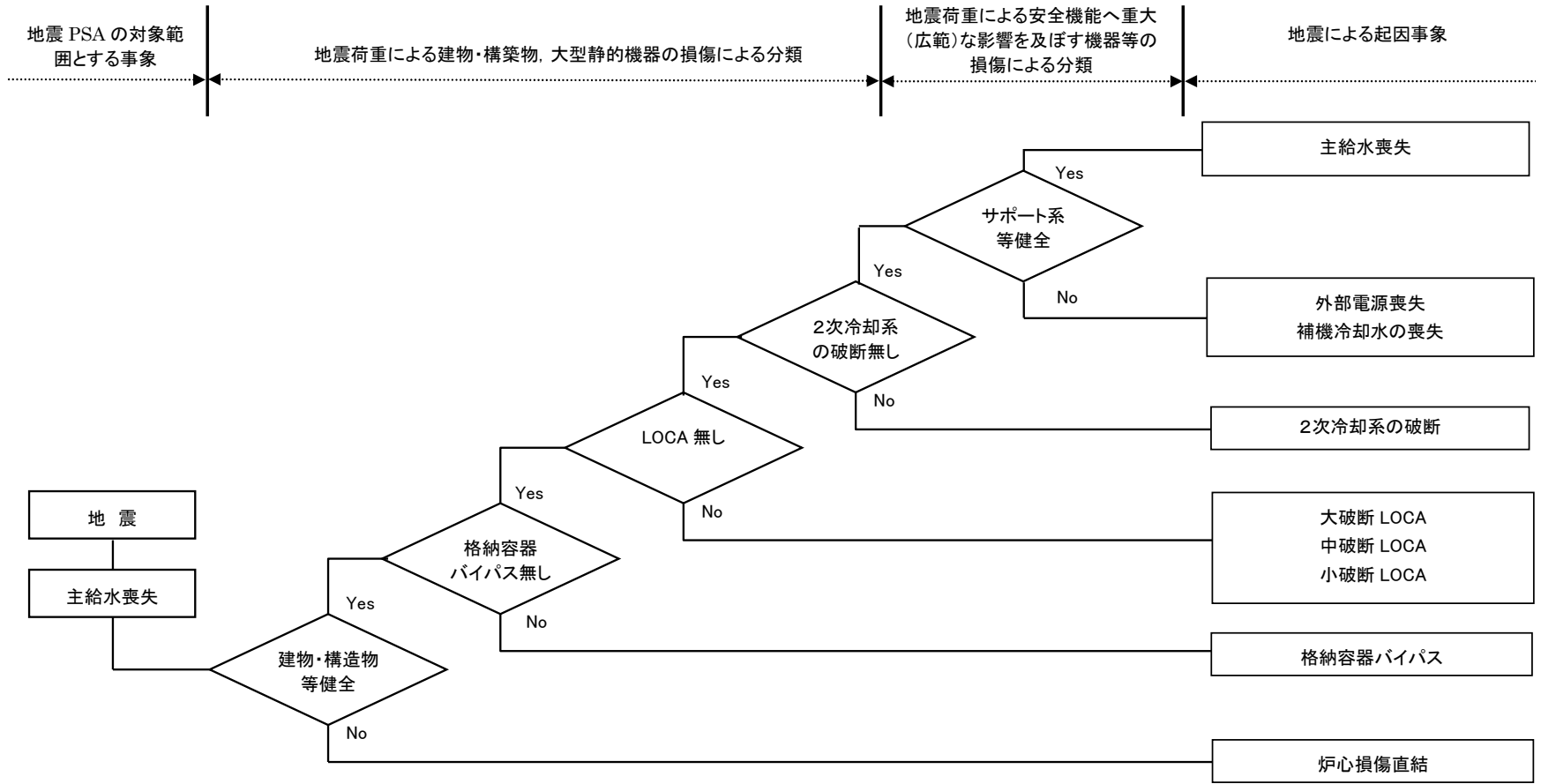


図4. 1. 3 炉心損傷に至る起因事象選定フロー

表4. 1. 1 内的起因事象からの地震による起因事象の検討

起因事象	内的事象		地震		起因事象	地震による起因事象の取扱い
	起因事象を誘発する可能性のある代表機器	代表機器の機種	内的起因事象を誘発する代表機器の故障モード(例)	内的起因事象の代表機器の故障モードに対応する地震による故障モード(例)		
主給水喪失	主給水ポンプ	電動ポンプ	継続運転の失敗	機能損傷	主給水喪失	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生することから、地震による起因事象として「主給水喪失」を考慮する。
	給水制御弁	空気作動弁	閉塞 腐食・疲労等による損傷 誤動作	— 構造損傷 機能損傷		
	主給水系配管	配管	閉塞 腐食・疲労等による損傷	— 構造損傷		
外部電源喪失	送電線	送電線	絶縁劣化	構造損傷	外部電源喪失	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生することから、地震による起因事象として「外部電源喪失」を考慮する。
	開閉所	母線	絶縁劣化	構造損傷		
	所内受電盤用遮断器	遮断器	誤動作	機能損傷		
	6.6kV 母線	母線	絶縁劣化	構造損傷		
過渡事象	主蒸気止め弁	油圧作動弁	閉塞	—	—	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生する。基準地震動以上では主給水は喪失し、この場合の過渡事象は「主給水喪失」に包含されることから「主給水喪失」として取り扱う。
			腐食・疲労等による損傷 誤動作	構造損傷 機能損傷		
	蒸気加減弁	油圧作動弁	閉塞 腐食・疲労等による損傷 誤動作	— 構造損傷 機能損傷		
2次冷却系の破断	主蒸気系配管	配管	腐食・疲労等による損傷	構造損傷	2次冷却系の破断	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生することから、地震による起因事象として「2次冷却系の破断」を考慮する。
	主給水系配管	配管	腐食・疲労等による損傷	構造損傷		
蒸気発生器伝熱管破損	蒸気発生器伝熱管	配管	SCC、疲労、磨耗等による損傷	—	格納容器バイパス	地震時においては蒸気発生器の伝熱管を含む内部構造物の損傷が考えられ、これらの損傷の結果、緩和系に期待できず炉心損傷に至る可能性があることから、これらの事象を「格納容器バイパス」として取り扱う。
	蒸気発生器(内部構造物)	蒸気発生器	—	構造損傷		
大破断LOCA	蓄圧タンク注入配管	配管	SCC、疲労等による損傷	構造損傷	大破断LOCA	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生することから、地震による起因事象として「大破断LOCA」を考慮する。
中破断LOCA	高圧注入系配管	配管	SCC、疲労等による損傷	構造損傷	中破断LOCA	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生することから、地震による起因事象として「中破断LOCA」を考慮する。
小破断LOCA	加圧器逃がし弁配管	配管	SCC、疲労等による損傷	構造損傷	小破断LOCA	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生することから、地震による起因事象として「小破断LOCA」を考慮する。
ATWS*	原子炉トリップ遮断器	遮断器	不作動	機能損傷	—	原子炉自動停止を必要とする事象が発生し、それに失敗した起因事象である。つまり、原子炉自動停止を必要とする事象の派生事象であり、今回はそれぞれの原子炉自動停止を必要とする起因事象に含める。
補機冷却水の喪失	原子炉補機冷却水ポンプ	電動ポンプ	継続運転の失敗	機能損傷	補機冷却水の喪失	地震による機器の損傷により、内的起因事象と同様の事象が発生することから、地震による起因事象として「補機冷却水の喪失」を考慮する。
	原子炉補機冷却水冷却器	冷却器	閉塞 腐食・疲労・磨耗等による損傷	— 構造損傷		
	原子炉補機冷却水系配管	配管	閉塞 腐食等による損傷	— 構造損傷		
	原子炉補機冷却水サージタンク	タンク	腐食等による損傷 疲労等による損傷	構造損傷 構造損傷		
余熱除去系隔離弁LOCA	余熱除去系第1入口弁	電動弁	疲労等による損傷	構造損傷	格納容器バイパス	蒸気発生器伝熱管破損と同様に、地震で余熱除去系隔離弁LOCAが発生する場合、地震による破損時には隔離弁の隔離機能の回復には期待できないことから「格納容器バイパス」として取り扱う。
			誤動作	—		
	余熱除去系第2入口弁	電動弁	疲労等による損傷 誤動作	構造損傷 —		
手動停止	様々な機器	様々な機器	原子炉自動停止を伴わない LCO逸脱等の不具合	—	—	地震では、原子炉が自動停止する地震加速度以上の地震を対象とすることから「手動停止」を対象外とする。
DC母線1系列の喪失	充電器盤	直流電源装置	誤動作	機能損傷	—	地震により発生する外部電源喪失後のシナリオに包絡されるため、本事象は対象外とする。

※内的事象 PSA において、原子炉停止を必要とする事象については原子炉停止が成功する場合と失敗する場合でその後の事象の緩和方法が異なることから、イベントツリーを分けて評価することとし、原子炉停止を必要とする事象発生後の原子炉停止に失敗するまでを「ATWS」という起因事象の形で取り扱っている。

(2) 影響緩和機能の抽出および収束シナリオの特定結果

各起回事象について、事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、イベントツリーを作成し、収束シナリオを特定した。収束シナリオの特定においては、炉心の未臨界性が確保され、かつ、燃料が安定、継続的に冷却される状態に至るシナリオを収束シナリオ（冷却成功）とし、この状態に至らないシナリオを燃料の重大な損傷に至るシナリオ（炉心損傷）とした。なお、「格納容器バイパス」および「炉心損傷直結」については影響緩和機能に期待せず、炉心損傷に至るとみなすことからイベントツリーは作成していない。

（添付資料－４．１．４）

(3) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の抽出結果

起回事象および影響緩和機能（フロントライン系およびサポート系）に関連する設備等を抽出した。

（添付資料－４．１．５）

(4) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の耐震裕度の評価結果

抽出した設備等について、 S_s に基づく評価値および許容値から、耐震裕度を評価した。

（添付資料－４．１．５）

また、影響緩和機能についてはフロントライン系とそれに必要なサポート系の関連を整理するとともに、これら設備等の関係を系統図にまとめた。

（添付資料－４．１．６および４．１．７）

なお、安全機能に影響を及ぼさない、もしくは明らかに裕度が大きく、クリフエッジ評価に影響を及ぼさないと考えられる一部の設備については抽出対象としていない。

（添付資料－４．１．８）

(5) 起回事象発生に係る耐震裕度の特定結果

各起回事象について、設備等の耐震裕度の評価結果を用いて、 S_s の何倍でどのような起回事象が発生するか、表４．１．２のとおり特定した。なお、「主給水喪失」および「外部電源喪失」については耐震Cクラスの設備等の破損により発生することから、 S_s までの地震動で発生すると想定した。

表 4. 1. 2 各起回事象の対象設備等および耐震裕度一覧(地震:炉心損傷)

起回事象	設 備 等	裕度 (×Ss)
主給水喪失	工学的判断※	1.00 未満
外部電源喪失	工学的判断※	1.00 未満
補機冷却水の喪失	海水ポンプ	1.66
炉心損傷直結	1次冷却材ポンプ	1.87
2次冷却系の破断	蒸気発生器 (2次系管台)	2.01
小破断LOCA	原子炉容器 空気抜管台	2.06
大破断LOCA	関連配管	2.12
格納容器バイパス	蒸気発生器 (内部構造物)	2.33
中破断LOCA	1次冷却材管 (充てんライン用管台)	2.73

※Ss 以上の場合、主給水ポンプ、碍子等の設備が必ず損傷に至ると想定する。

起回事象として、まず Ss までの地震動で発生する「主給水喪失」、「外部電源喪失」を対象に評価を実施することとした。なお、Ss の地震動下において外部電源が期待できないことを考えると「主給水喪失」と「外部電源喪失」のイベントツリーは同様のものとなる。従って、「主給水喪失」、「外部電源喪失」の評価は「外部電源喪失」にまとめて評価を実施することとした。

(6) 影響緩和機能の耐震裕度の特定結果

「外部電源喪失」の各影響緩和機能のフロントライン系とサポート系の耐震裕度を整理の上、各影響緩和機能をフォールトツリーに展開し、各影響緩和機能を構成する機能の耐震裕度を求めるとともに、それぞれの影響緩和機能に対する耐震裕度評価を行った。

(添付資料－4. 1. 9～4. 1. 11)

(7) 収束シナリオの耐震裕度の特定結果

「外部電源喪失」の収束シナリオ（成功パス）①～③の耐震裕度について評価を行った。

- ① 起因事象発生の後、原子炉の停止および非常用ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源からの給電がなされている状態で、電動またはタービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水が行われる。主蒸気逃がし弁が中央制御室からの手動操作により開放され、2次系による冷却が行われる。この状態で充てん系によるほう酸の添加を行い、未臨界性を確保する。この状態では未臨界性が確保された上で安定、継続的な冷却が行われており、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。
- ② 起因事象発生の後、原子炉の停止および非常用ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源からの給電がなされている状態で、①で期待していた補助給水による蒸気発生器への給水、主蒸気逃がし弁による熱放出、充てん系によるほう酸の添加のいずれかに失敗した場合、高圧注入ポンプの起動、加圧器逃がし弁の開放、格納容器スプレイポンプの起動を中央制御室からの手動操作により行い、燃料取替用水タンクのほう酸水を注入し、1次系の冷却を行う。ほう酸水注入の後、再循環へ切り替えを行い余熱除去冷却器および格納容器スプレイ冷却器を用いて継続した1次系冷却を行う。この状態では未臨界性が確保された上で安定、継続的な冷却が行われており、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。
- ③ 起因事象発生の後、原子炉の停止に成功するが、地震により非常用所内電源からの電源供給が失敗し、全交流電源喪失に至る場合、または②で期待していた高圧注入による原子炉への給水、加圧器逃がし弁による熱放出、格納容器スプレイによる格納容器除熱、余熱除去ポンプによるブースティング、高圧注入による再循環炉

心冷却、格納容器スプレイによる再循環格納容器冷却のいずれかに失敗した場合、タービン動補助給水ポンプによる蒸気発生器への給水が行われ、現場での手動操作により主蒸気逃がし弁を開放し、2次系による冷却が行われる。蓄圧タンクのほう酸水を注入し、未臨界性を確保し、蓄電池の枯渇までに電源車による給電を行う。なお、蓄圧タンク出口弁は中央制御室からの操作により閉止する。また、復水タンク枯渇までに海水の復水タンクへの補給を行うことにより、2次系冷却を継続する。この状態では未臨界性が確保された上で安定、継続的な2次系による冷却が行われており、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

以上の収束シナリオの内、最も耐震裕度が大きいのは収束シナリオ①および③となった。収束シナリオ①においては、電源供給に必要な蓄電池(1.66Ss)および非常用所内電源等の補機類の冷却に必要な海水ポンプ(1.66Ss)が、また収束シナリオ③においては、電源供給に必要な蓄電池(1.66Ss)が、最小裕度となり機能喪失する結果、影響緩和機能に関連する設備へ電源が供給されないため、燃料の重大な損傷に至ると評価された。

(8) 起因事象を起点とするイベントツリーの耐震裕度およびクリフエッジの特定結果

「外部電源喪失」の次に大きな地震動で発生する起因事象は、「補機冷却水の喪失」であり、その発生に係る耐震裕度 1.66Ss は「外部電源喪失」のイベントツリーの耐震裕度 1.66Ss と等しいことから、炉心にある燃料に対する重大な損傷を防止する観点では、「外部電源喪失」と「補機冷却水の喪失」のイベントツリーの耐震裕度である 1.66Ss がクリフエッジとして特定された。

(9) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価結果

(8)で特定したクリフエッジは、福島第一原子力発電所事故を踏まえて整備を行った緊急安全対策実施後の状態に対して評価を行ったものである。ここではクリフエッジへの対応、事象の過程の進展を防止するための措置でもある緊急安全対策のクリフエッジへの効果について検討する。

緊急安全対策のクリフエッジへの効果を検討するために、緊急安全対策を考慮しないイベントツリーを作成した。

(添付資料－4. 1. 12)

緊急安全対策実施前後の比較を行った結果、耐震裕度は変わらないものの、緊急安全対策として実施した電源車の配備により、非常用ディーゼル発電機による非常用所内電源からの給電が失敗した場合においても電源車からの給電が可能となるため、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重防護措置がとられており、緊急安全対策の効果について確認することができた。

4.1.6 SFPにある燃料に対する評価結果

検討を行うために必要な解析諸元や前提条件等については、耐震バックチェック評価と同じとすることを基本とするが、一部の設備等については、実力をより忠実に反映する観点から、耐震バックチェックより、精緻に評価を行う。

なお、 S_s に対する評価値と許容値から耐震裕度を算定しにくい設備等については、 S_s を係数倍した地震動を用いた地震応答解析を実施して、直接、耐震裕度を算出する。

(添付資料－4. 1. 2および4. 1. 3)

(1) 起回事象の選定結果

地震を起因としてSFPの燃料の損傷に至る起回事象として以下の4事象を選定した。

【起回事象】

- ・外部電源喪失
- ・SFP冷却機能喪失
- ・補機冷却水の喪失
- ・SFP損傷

(2) 影響緩和機能の抽出および収束シナリオの特定結果

上記の各起回事象について、事象の影響緩和に必要な機能を抽出し、イベントツリーを作成し、収束シナリオを特定した。収束シナリオ特定においては、SFPの未臨界性が確保され、かつ、燃料が安定、継続的に冷却される状態に至るシナリオを収束シナリオ（冷却成功）とし、この状態に至らないシナリオを燃料の重大な損傷に至るシナリオ（燃料損傷）とした。なお、「SFP損傷」については影響緩和機能に期待せず、燃料の重大な損傷に至るとみなすことからイベントツリーは作成していない。

(添付資料－4. 1. 13)

(3) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の抽出結果

起回事象および影響緩和機能（フロントライン系およびサポート系）に関連する設備等を抽出した。

（添付資料－４．１．１４）

(4) 起回事象、影響緩和機能に関連する設備等の耐震裕度の評価結果

抽出した設備等について、 S_s に基づく評価値および許容値から、耐震裕度を評価した。

（添付資料－４．１．１４）

また、フロントライン系に必要なサポート系の関連を整理するとともに、これら設備等の関係を系統図にまとめた。

（添付資料－４．１．１５および４．１．１６）

なお、安全機能に影響を及ぼさない、もしくは明らかに耐震裕度が大きく、クリフエッジ評価に影響を及ぼさないと考えられる一部の設備については抽出対象としていない。

（添付資料－４．１．８）

(5) 起回事象発生に係る耐震裕度の特定結果

各起回事象について、設備等の耐震裕度評価結果を用いて、 S_s の何倍でどのような起回事象が発生するか、表４．１．３のとおり特定した。「外部電源喪失」および「SFP冷却機能喪失」については耐震B、Cクラス設備等の破損により発生することから、 S_s までの地震動で発生すると想定した。

表 4. 1. 3 各起因事象の対象設備等および耐震裕度一覧
(地震: S F P 燃料損傷)

起因事象	設 備 等	裕度 (×Ss)
外部電源喪失	工学的判断*	1.00 未満
S F P 冷却機能喪失	工学的判断*	1.00 未満
補機冷却水の喪失	海水ポンプ	1.66
S F P 損傷	S F P	2

※Ss 以上の場合、碍子、S F P 冷却系配管等の設備が必ず損傷に至ると想定する。

(1)で抽出した「外部電源喪失」、「S F P 冷却機能喪失」、「補機冷却水の喪失」、「S F P 損傷」それぞれの起因事象について評価を実施した。なお、Ss の地震下において外部電源が期待できないことを考えると「外部電源喪失」と「S F P 冷却機能喪失」のイベントツリーは同様のものとなる。また、(2)で示すとおり、「外部電源喪失」と「補機冷却水の喪失」のイベントツリーは、同様のものとなる。従って、「外部電源喪失」、「S F P 冷却機能喪失」および「補機冷却水の喪失」の評価は「外部電源喪失」にまとめて評価を実施することとした。

(6) 影響緩和機能の耐震裕度の特定結果

「外部電源喪失」の各影響緩和機能のフロントライン系とサポート系の耐震裕度を整理の上、各影響緩和機能をフォールトツリーに展開し、各影響緩和機能を構成する機能の耐震裕度を求めるとともに、それぞれの影響緩和機能に対する耐震裕度評価を行った。なお、「S F P 損傷」は影響緩和機能に期待しない事象であることから、起因事象対象設備等である S F P の耐震裕度が当該起因事象の耐震裕度となる（「S F P 損傷」の耐震裕度は(5)のとおり）。

(添付資料－ 4. 1. 17～4. 1. 19)

(7) 収束シナリオの耐震裕度の特定結果

「外部電源喪失」の以下の収束シナリオ（成功パス）①、②の耐震裕度について評価を行った。

- ① 起回事象発生の後、非常用ディーゼル発電機の起動に成功し、非常用所内電源からの給電がなされている状態で、燃料取替用水タンクポンプを用いて燃料取替用水タンクのほう酸水をSFPに注入することにより安定、継続的な冷却が行われ、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。
- ② 起回事象発生の後、地震により非常用所内電源からの電源供給が失敗し、燃料取替用水タンクポンプを用いて燃料取替用水タンクのほう酸水をSFPに注入することが困難となるため、消防自動車を用いて海水をSFPに供給することにより、安定、継続的な冷却が行われ、燃料の重大な損傷に至る事態は回避される。

以上の収束シナリオの内、最も耐震裕度が大きいのは収束シナリオ②となった。収束シナリオ②においては、海水供給に必要な消防自動車（2.5Ss）が最小裕度となり機能喪失する結果、海水をSFPに供給できなくなる可能性があるため、燃料の重大な損傷に至ると評価された。（「SFP損傷」の耐震裕度は(5)のとおり）。

(8) 起回事象を起点とするイベントツリーの耐震裕度およびクリフエッジの特定結果

「外部電源喪失」、「SFP冷却機能喪失」および「補機冷却水の喪失」の耐震裕度は2.5Ss、「SFP損傷」の耐震裕度は2Ssと特定された。従って、SFPにある燃料に対する重大な損傷を防止する観点では、「SFP損傷」の耐震裕度である2Ssがクリフエッジとして特定された。

(9) 事象の過程の進展を防止する措置の効果の評価結果

(8)で特定したクリフエッジは福島第一原子力発電所事故を踏まえて整備を行った緊急安全対策実施後の状態に対して評価を行ったものである。ここではクリフエッジへの対応、事象の過程の進展を防止するための措置でもある緊急安全対策のクリフエッジへの効果について検討する。

緊急安全対策のクリフエッジへの効果を検討するために、緊急安全対策を考慮しないイベントツリーを作成した。

(添付資料－4. 1. 20)

緊急安全対策実施前後の比較を行った結果、緊急安全対策実施前においては、燃料取替用水タンクによる水源の確保に失敗する結果、燃料の重大な損傷に至ると評価され、そのクリフエッジは 1.33Ss と特定された。一方、緊急安全対策実施後においては、燃料取替用水タンクによる水源の確保に失敗した場合においても消防自動車を用いた S F P への海水の補給により、燃料取替用水タンクに頼らない冷却水の確保が可能であり、クリフエッジが大きくなった。

以上より、緊急安全対策実施前後で、地震によるクリフエッジは改善されるとともに、燃料の重大な損傷に至ることを防止するための多重防護措置がとられており、緊急安全対策の効果について確認することができた。

4.1.7 建屋の誘発上下動と非線形応答の影響について

総合評価においては、地震動の大きさと、地震により設備が受ける応答とは比例関係にある（以下、「線形応答」という。）として裕度評価を行っているが、地震動が大きくなると、建屋基礎の浮き上がり現象に伴って誘発される鉛直方向の応答（以下、「誘発上下動」という。）の影響や、建屋の応答が非線形領域に入っている場合は、地震動の大きさと、地震により設備が受ける応答とは比例関係にはならないことも考えられる（以下、「非線形応答」という。）ことから、これらが設備の裕度評価に及ぼす影響について検討した。

その結果、これらが、クリフエッジ評価に与える影響はないことを確認した。

（添付資料－4. 1. 21）

4.1.8 結論

以上より、地震に対するクリフエッジは、炉心にある燃料に対しては 1.66Ss であり、また、S F P にある燃料に対しては 2Ss であると特定されたことから、プラント全体としての地震に対するクリフエッジは 1.66Ss であると特定された。

また、本評価において、これまで実施してきた緊急安全対策の効果についても確認することができた。

なお、耐震安全性の向上に係る当社独自の取り組みとして、耐震 S クラスの安全上重要な主な機器について Ss の 2 倍程度の耐震裕度があるかどうかを確認し必要なものは対策を実施すること、および S F P 冷却系設備について耐震 B クラスから耐震 S クラス相当に向上させる対策等を進めて

おり、今後も必要に応じ対策の強化を図っていく。

耐震評価設備等リスト

耐震 クラス	設備等の名称	耐震バックチェック 結果の有無	本評価 での 適用
S	a. 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系		
	・原子炉容器	有	○
	・蒸気発生器	有	○
	・1次冷却材ポンプ	有	○
	・加圧器	有	○
	・1次冷却材管	有	○
	・付属配管・弁	有	○
S	b. 使用済燃料を貯蔵するための施設		
	・使用済燃料ピット	有	○
	・使用済燃料ラック	有	○
	・使用済燃料ピット補給水系	有	○
S	c. 原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、および原子炉の停止状態を維持するための施設		
	・制御棒クラスタおよび制御棒駆動装置	有	○
	・ほう酸注入（移送）系	有	○
S	d. 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設		
	・主蒸気系（蒸気発生器～主蒸気隔離弁）	有	○
	・主給水系（主給水逆止弁～蒸気発生器）	有	○
	・補助給水系	有	○
	・復水タンク	有	○
	・余熱除去系	有	○
S	e. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設		
	・安全注入系	有	○
	・余熱除去系（ECCS）	有	○
	・燃料取替用水タンク	有	○

耐震 クラス	設備等の名称	耐震バックチェック 結果の有無	本評価 での 適用
S	f. 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設		
	・原子炉格納容器	有	○
S	g. 放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設で上記 f. 以外の施設		
	・格納容器スプレイ系	有	○
	・燃料取替用水タンク（再掲）	有	○
S	h. 補助設備		
	・原子炉補機冷却水系	有	○
	・原子炉補機冷却海水系	有	○
	・非常用所内電源	有	○
	・計装設備	有	○
	・制御用空気系	有	○
その他	i. 建屋、波及的影響を考慮すべき設備等		
	・耐震安全上重要な建屋等	有	○
	・波及的影響を考慮する設備（クレーン類ほか）	有	○
	・耐震 B, C クラス設備（上記「波及的影響を考慮する設備」を除く）	無	×

伊方発電所の基準地震動 S_s

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂（平成１８年９月 原子力安全委員会決定）に伴う伊方発電所施設の耐震安全性評価（耐震バックチェック）において、新潟県中越沖地震を踏まえた耐震安全性評価に反映すべき事項も考慮し、これまで実施してきた各種地質調査等のデータの再整理および拡充を行い、基準地震動 S_s を策定した。

策定した基準地震動 S_s については、平成２２年１月に原子力安全・保安院および原子力安全委員会より妥当との評価を得ている。

なお、詳細については、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故を踏まえた伊方発電所第３号機の安全性に関する総合評価（一次評価）の結果について（報告）」（平成２３年１１月１４日提出）の「４．１ 地震」4-1-22 頁～4-1-39 頁を参照のこと。

総合評価における耐震裕度の評価について

1. はじめに

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂(平成18年9月原子力安全委員会決定)に伴い実施している伊方発電所第1号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価(以下「耐震バックチェック」という。)の結果に基づき、燃料の重大な損傷に係わるSクラス設備および燃料の重大な損傷に関係し得るその他の設備について、基準地震動 S_s に対する耐震裕度を求める。なお、 S_s に対する評価値と許容値から耐震裕度を算定しにくい設備等については、 S_s を係数倍した地震動を用いた地震応答解析を実施して、直接、耐震裕度を算出する。

本添付資料では、総合評価に用いた建物・構築物の耐震裕度評価、機器・配管系の耐震裕度評価について述べるとともに、設備の実力をより忠実に反映する観点から精緻に評価を実施する等、評価の基準となった耐震バックチェック評価と異なる評価を用いる設備について整理した。

2. 建物・構築物の耐震裕度評価

2.1 評価の概要

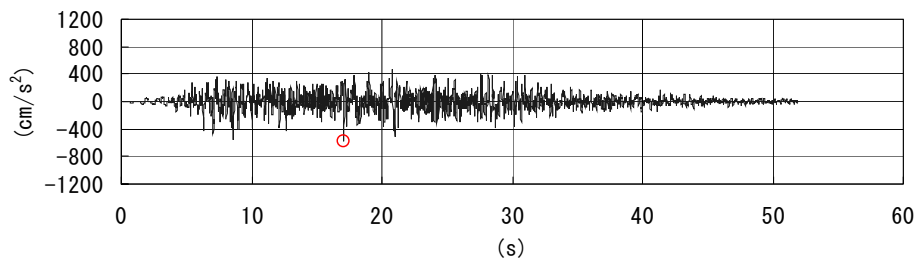
原子炉建家および原子炉補助建家について、設計上の想定を超える地震動に対し、燃料の重大な損傷を起こさせないとの観点からどの程度の裕度を有するか評価を実施する。

地震に対する安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析(時刻歴応答解析)によることを基本とし、この地震動を係数倍(2.0倍)した地震動による応答と許容値とを比較することにより、基準地震動 S_s に対する裕度を評価する。解析モデルは耐震バックチェックと同様とし、地震応答解析により求められたせん断ひずみをもとに評価する。解析モデルを設定する際の解析諸元については、設計時の値を用いることを基本とするが、実寸法、実測の物性値および試験研究等で得られた知見も妥当性に留意しつつ適用する。

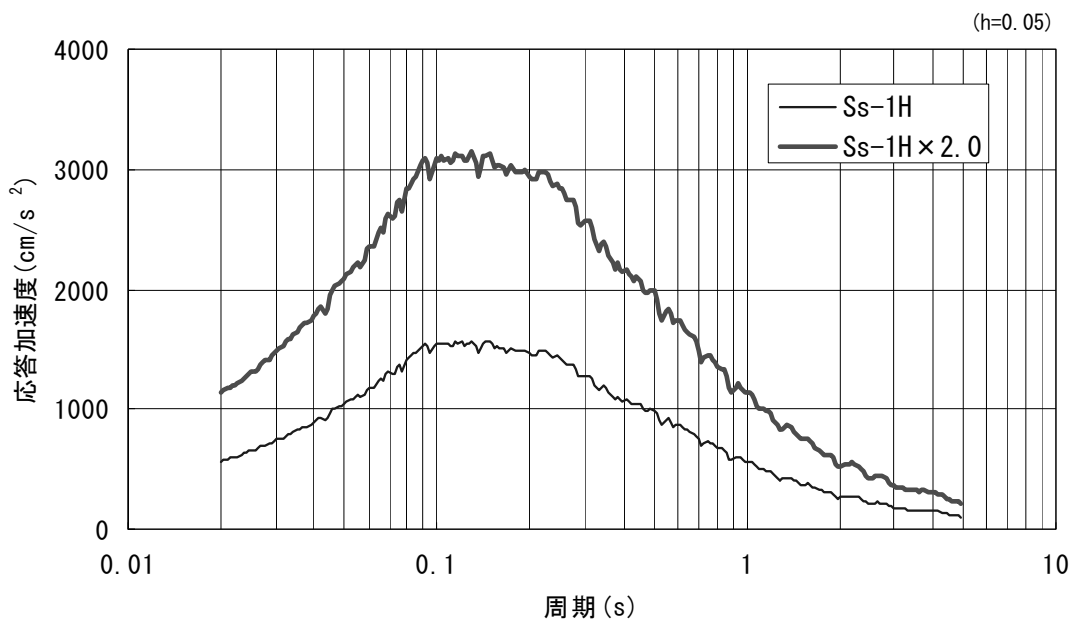
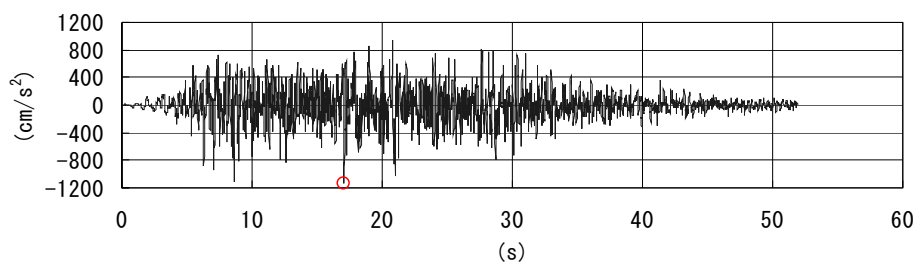
2.2 入力地震動

解放基盤表面(EL. +10m)で定義されている基準地震動 $S_s(S_s-1)$ を 2.0 倍した地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第 2.2-1 図に示す。この地震動を基に、それぞれの建屋の地震応答解析モデルの状況に応じた入力地震動を設定の上用いる。

Ss-1H
(570gal)

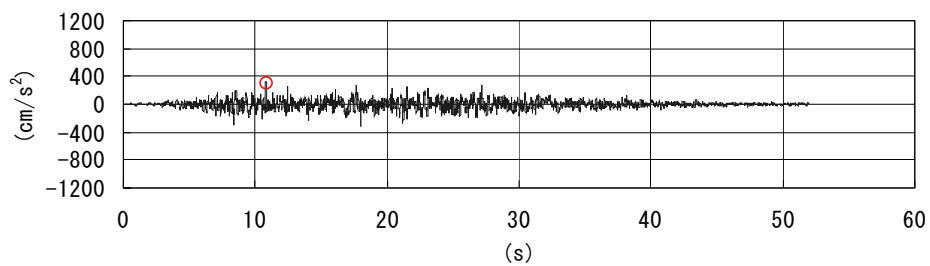


Ss-1H×2.0
(1140gal)

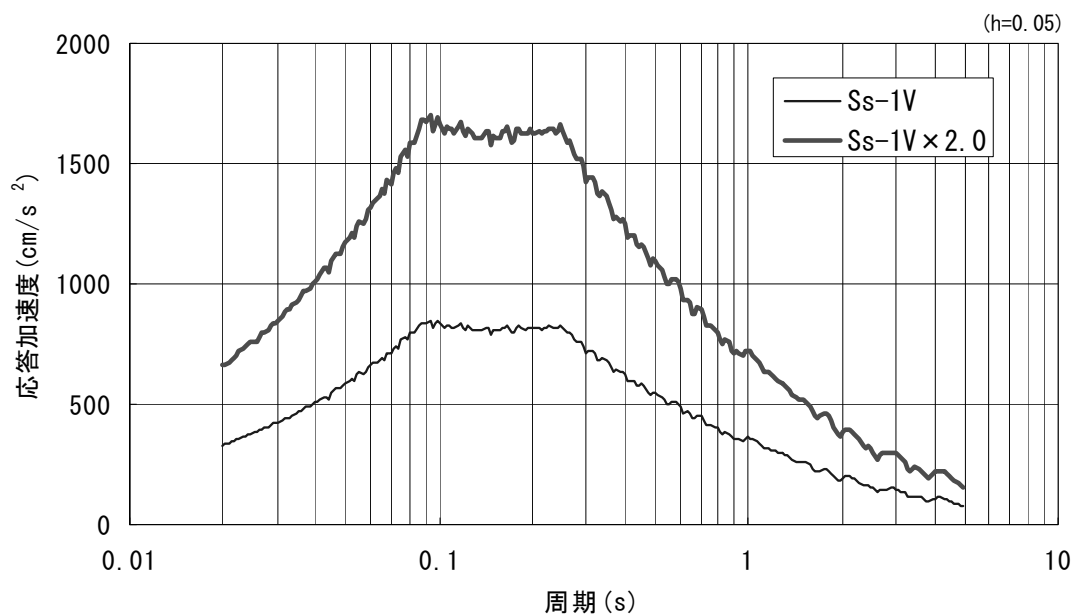
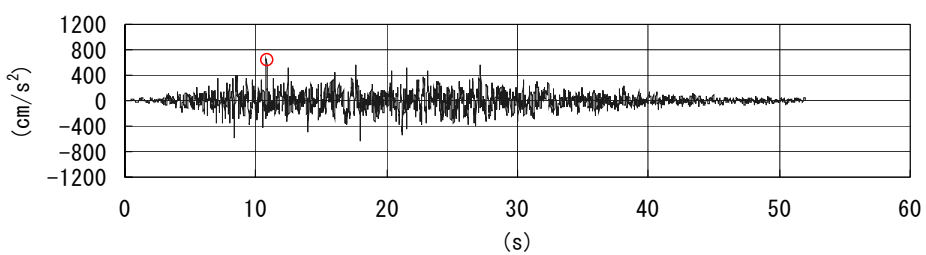


第 2.2-1 図(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形と
加速度応答スペクトル(水平方向)

Ss-1V
(330gal)



Ss-1V×2.0
(660gal)



第 2.2-1 図(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形と
加速度応答スペクトル(鉛直方向)

2.3. 原子炉建家

2.3.1 地震応答解析モデル

(1) 水平方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮して底面および側面に地盤の水平および回転ばねを設けた基礎上に、内部コンクリート、外周コンクリート壁など、振動特性の異なる構造物ごとに独立した軸を有する多軸多質点系の曲げせん断棒モデルとしている。

解析に用いる材料定数を第 2.3.1-1 表に、モデル諸元を第 2.3.1-2 表に、地盤物性値および基礎版諸元を第 2.3.1-3 表に、地盤ばね定数および減衰係数を第 2.3.1-4 表に示す。また、地震応答解析モデルを第 2.3.1-1 図に示す。

上部構造物および地盤の非線形特性については、(社)日本電気協会の「原子力発電所耐震設計技術指針追補版 JEAG4601-1991」(以下「JEAG4601-1991」という。)等に基づき、以下の項目を考慮する。

- ・耐震壁の非線形復元力特性
- ・基礎浮き上がりによる地盤の回転ばねの幾何学的非線形

なお、水平方向の地震応答解析は、弾塑性時刻歴応答解析によるものとする。

モデルに入力する地震動は、埋め込みを考慮した水平モデルであるため、基礎底面レベルには、地盤応答および補正水平力(切欠き力)を、埋め込み側面ばね設置レベルには、地盤応答をそれぞれ考慮する。これらの地震動は、1次元波動論に基づき、解放基盤表面(EL.+10m)で定義されている基準地震動 $S_s(S_s-1)$ を 2.0 倍した地震動に対する地盤の応答として評価する。

地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を第 2.3.1-2 図に示す。

(2) 鉛直方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、水平方向と同様に、地盤との相互作用を考慮して底面に地盤の鉛直ばねを設けた基礎上に、構造物ごとに耐震壁等の軸剛性を評価した独立軸を有する多軸多質点系の軸棒モデルとしている。

解析に用いる材料定数を第 2.3.1-1 表に、モデル諸元を第 2.3.1-5 表に、地盤ばね定数および減衰係数を第 2.3.1-6 表に示す。また、地震応答解析モデルを第 2.3.1-3 図に示す。

なお、鉛直方向の地震応答解析は、弾性時刻歴応答解析によるものとし、解放基盤表面(EL.+10m)で定義されている基準地震動 $S_s(S_s-1)$ を 2.0 倍した地震動を建屋基礎底面レベルに入力する。

第2.3.1-1表 解析に用いる材料定数

	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 (%)
外周コンクリート壁 (O/S)	20.6	2.15×10^4	8.96×10^3	0.20	5
内部コンクリート (I/C)	20.6	2.15×10^4	8.96×10^3	0.20	5
原子炉格納容器 (C/V)	-	1.95×10^5	7.51×10^4	0.30	1
蒸気発生器(S/G) (17~18, 20~23部材)	-	1.85×10^5	7.12×10^4	-	1
蒸気発生器(S/G) (24部材)		1.80×10^5	6.92×10^4		
蒸気発生器(S/G) (19部材)		1.77×10^5	6.81×10^4		

第2.3.1-2表(1) モデル諸元(水平方向)(1)

部位	質点 番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	部材 番号	せん断断面積 (m ²)		断面2次モーメント (m ⁴)	
					X方向	Y方向	X方向	Y方向
O/S	1	78.115	1069.77	1	46.85		16271.53	
	2	68.6	2160.34	2	46.85		16271.53	
	3	58.9	2181.14	3	46.85		16271.53	
	4	49.2	2181.14	4	46.85		16271.53	
	5	39.5	2181.14	5	46.85		16271.53	
	6	29.8	2198.01	6	46.85		16271.53	
C/V	7	71.66	104.27	7	1.0009		168.660	
	8	65.3	103.49	8	1.0011		255.776	
	9	58.388	108.63	9	1.8382		513.728	
	10	54.8	499.49	10	1.8382		513.728	
	11	42.9	402.75	11	1.8382		513.728	
	12	29.8	416.42	12	1.8382		513.728	
I/C	13	47.05	481.10	13	32.30		348.80	361.63
	14	31.7	3487.42	14	87.40		4460.00	1634.96
	15	25.95	2655.54	15	119.84		6166.00	2301.76
	16	19.7	5477.42	16	142.95		6674.00	7463.42
S/G	17	41.956	96.1	17	1.33		6.39	
	18	38.29	139.3	18	1.33		6.39	
	19	36.289	8.0	19	1.23		4.65	
	20	34.591	150.1	20	0.90		2.56	
	21	31.2	143.0	21	0.90		2.56	
	22	29.6595	8.1	22	0.93		2.66	
	23	26.619	234.2	23	0.93		2.66	
	24	24.3965	7.1	24	7.07		36.23	
	25	23.56	95.9		-		-	
基礎	29	11.907	37354.38		-		-	
基礎質量 回転慣性	X方向			4.6484×10 ⁶ (t・m ²)				
	Y方向			4.6299×10 ⁶ (t・m ²)				
総 質 量			63944.25					

第 2.3.1-2 表 (2) モデル諸元(水平方向) (2)

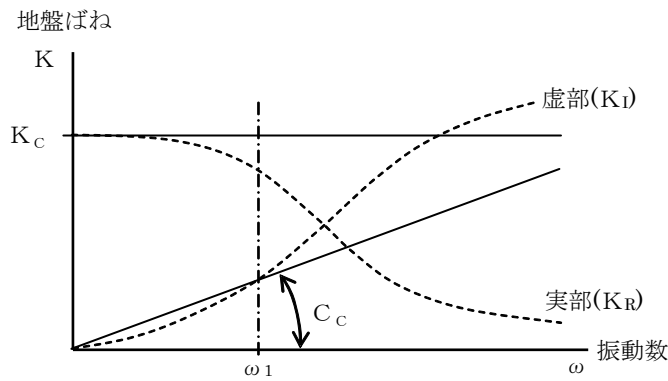
	部材番号	ばね定数	X方向	Y方向
S/G-I/C	25	水平ばね (kN/m)	1.52×10^7	8.85×10^6
	26	水平ばね (kN/m)	6.65×10^7	6.44×10^6
	27	回転ばね (kN·m/rad)	2.26×10^7	3.28×10^7

第 2.3.1-3 表 地盤物性値および基礎版諸元

		X方向	Y方向
地盤物性値	S波速度 (m/s)	2600	
	密度 (g/cm ³)	3.0	
	ポアソン比	0.36	
基礎版の形状 (m)		φ 38.07	

第 2.3.1-4 表 地盤ばね定数および減衰係数(水平方向)

			X方向	Y方向
基礎底面	水平ばね	ばね定数 (kN/m)	1.792×10^9	
		減衰係数 (kN·s/m)	7.170×10^6	
	回転ばね	ばね定数 (kN·m/rad)	5.566×10^{11}	
		減衰係数 (kN·m·s/rad)	3.120×10^7	
基礎側面	水平ばね (+15.4m)	ばね定数 (kN/m)	4.094×10^8	
		減衰係数 (kN·s/m)	1.017×10^7	
	回転ばね (+15.4m)	ばね定数 (kN·m/rad)	1.129×10^{11}	
		減衰係数 (kN·m·s/rad)	2.376×10^8	
	水平ばね (+5.6m)	ばね定数 (kN/m)	4.094×10^8	
		減衰係数 (kN·s/m)	1.017×10^7	
	回転ばね (+5.6m)	ばね定数 (kN·m/rad)	1.129×10^{11}	
		減衰係数 (kN·m·s/rad)	2.376×10^8	



ω_1 : 建屋-地盤連成モデルの 1 次固有振動数

K_c : 振動数 $\omega = 0$ における地盤ばね実部の値

C_c : 減衰係数 ($= K_I(\omega_1)/\omega_1$)

第 2.3.1-5 表(1) モデル諸元(鉛直方向)(1)

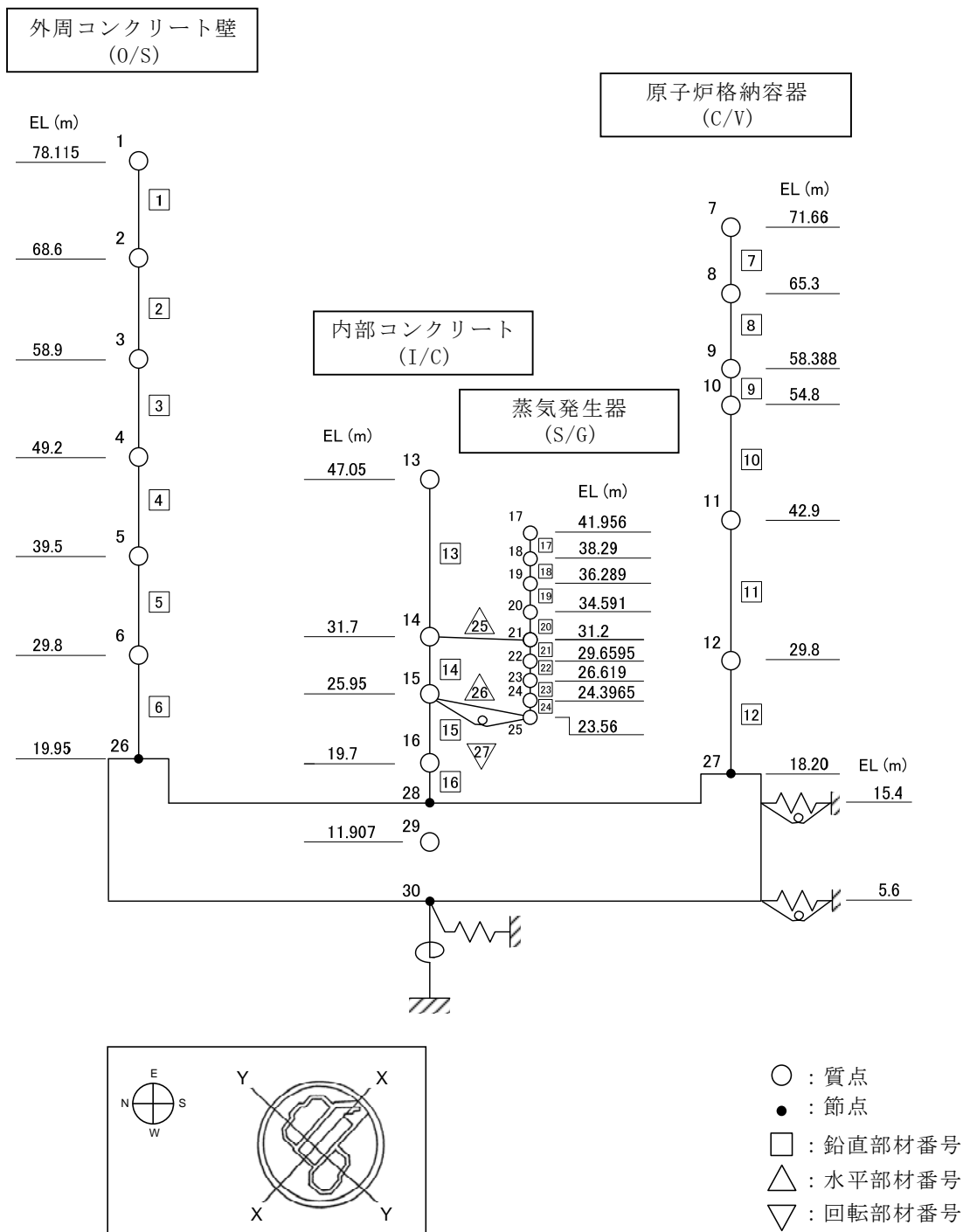
部位	質点 番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	部材 番号	軸断面積 (m ²)
O/S	1	78.115	1069.77	1	93.69
	2	68.6	2160.34	2	93.69
	3	58.9	2181.14	3	93.69
	4	49.2	2181.14	4	93.69
	5	39.5	2181.14	5	93.69
	6	29.8	2198.01	6	93.69
C/V	7	71.66	104.27	7	2.0017
	8	65.3	103.49	8	2.0021
	9	58.388	108.63	9	3.6764
	10	54.8	499.49	10	3.6764
	11	42.9	402.75	11	3.6764
	12	29.8	416.42	12	3.6764
I/C	13	47.05	481.10	13	48.45
	14	31.7	3487.42	14	131.09
	15	25.95	2655.54	15	179.75
	16	19.7	5477.42	16	214.43
S/G	17	41.956	96.1	17	2.67
	18	38.29	139.3	18	2.67
	19	36.289	8.0	19	2.46
	20	34.591	150.1	20	1.80
	21	31.2	143.0	21	1.80
	22	29.6595	8.1	22	1.87
	23	26.619	234.2	23	1.87
	24	24.3965	7.1	24	14.14
	25	23.56	95.9		-
基礎	29	11.907	37354.38		-
総 質 量			63944.25		

第 2.3.1-5 表(2) モデル諸元(鉛直方向)(2)

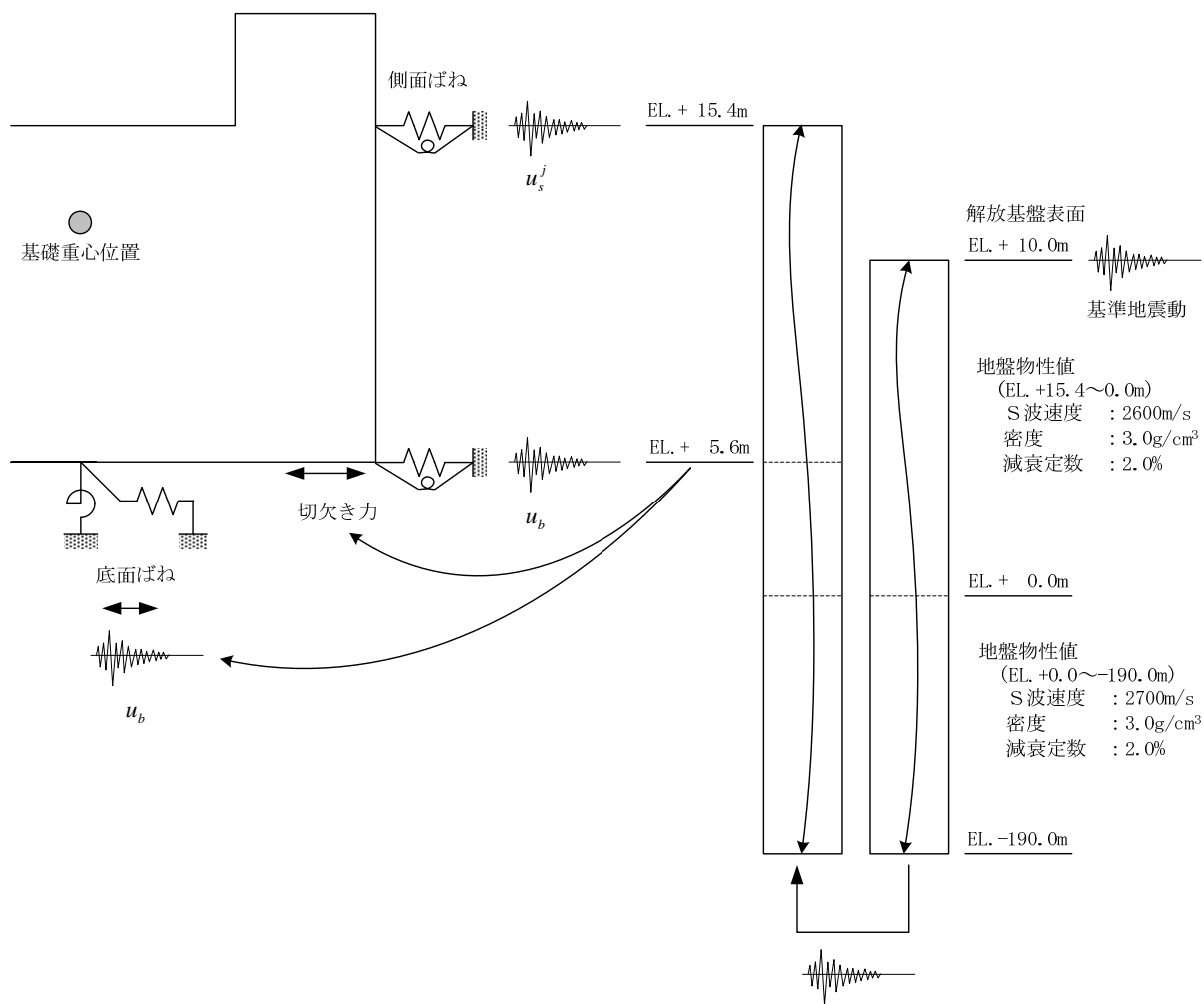
	部材番号	ばね定数	Z方向
S/G-I/C	25	鉛直ばね (kN/m)	1.31×10^7

第 2.3.1-6 表 地盤ばね定数および減衰係数(鉛直方向)

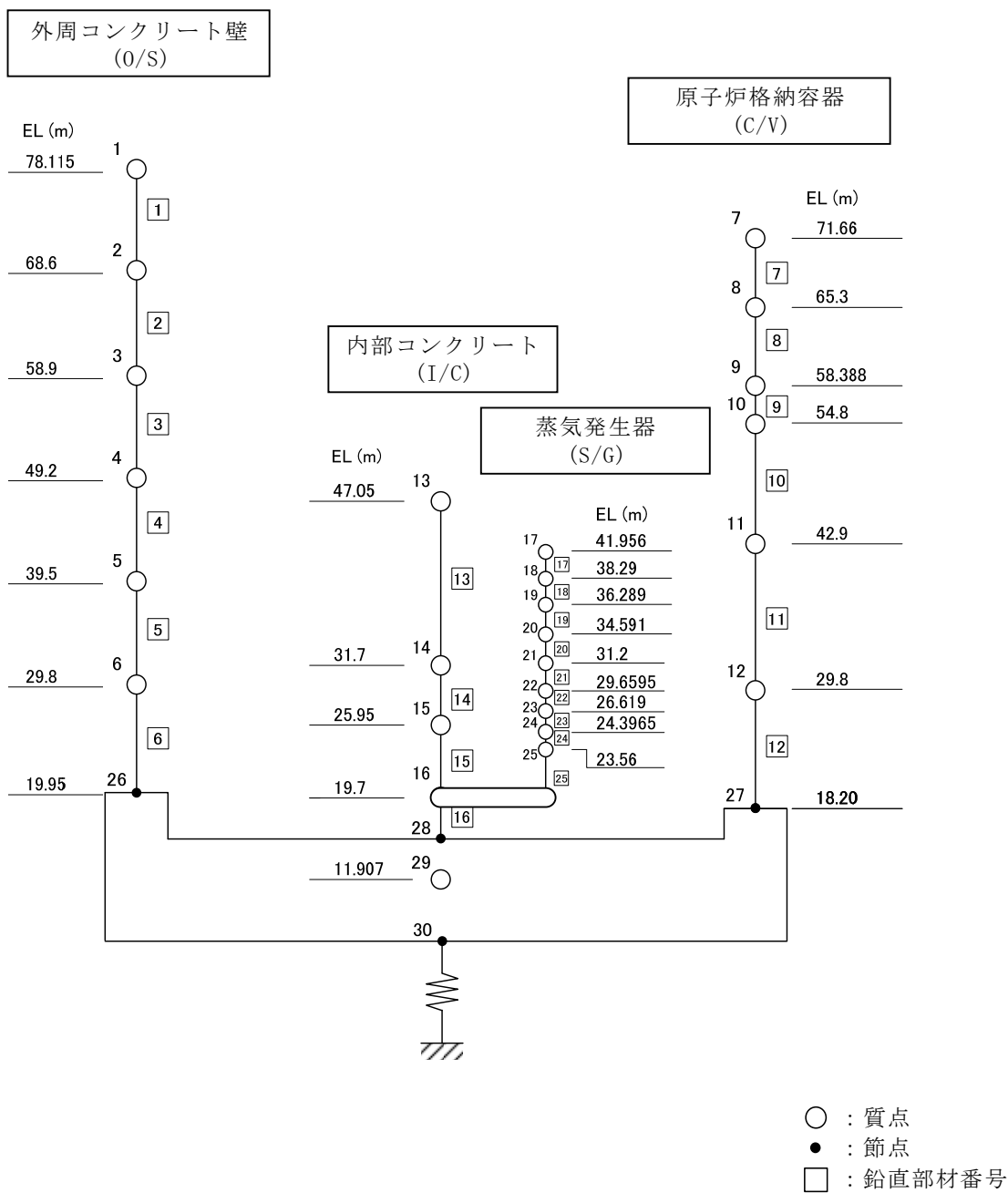
		Z方向
基礎底面 鉛直ばね	ばね定数 (kN/m)	2.295×10^9
	減衰係数 (kN·s/m)	1.259×10^7



第 2.3.1-1 図 地震応答解析モデル(水平方向)



第 2.3.1-2 図 水平モデルの入力地震動の概念図



第 2.3.1-3 図 地震応答解析モデル(鉛直方向)

2.3.2 地震応答解析結果

(1) 固有値解析結果

地震応答解析モデルの固有値解析結果(主要な固有周期および固有振動数)を第 2.3.2-1 表に、各次の刺激関数図を第 2.3.2-1 図に示す。

(2) 地震応答解析結果

入力地震動による最大応答加速度分布を第 2.3.2-2 図に、最大応答せん断力分布を第 2.3.2-3 図に、最大応答曲げモーメント分布を第 2.3.2-4 図に、最大応答軸力分布を第 2.3.2-5 図に示す。

(3) 接地率

地震応答解析の結果から算定した接地率は、X 方向 56.2%、Y 方向 57.5%である。

第 2.3.2-1 表 固有値解析結果

水平方向(X方向)

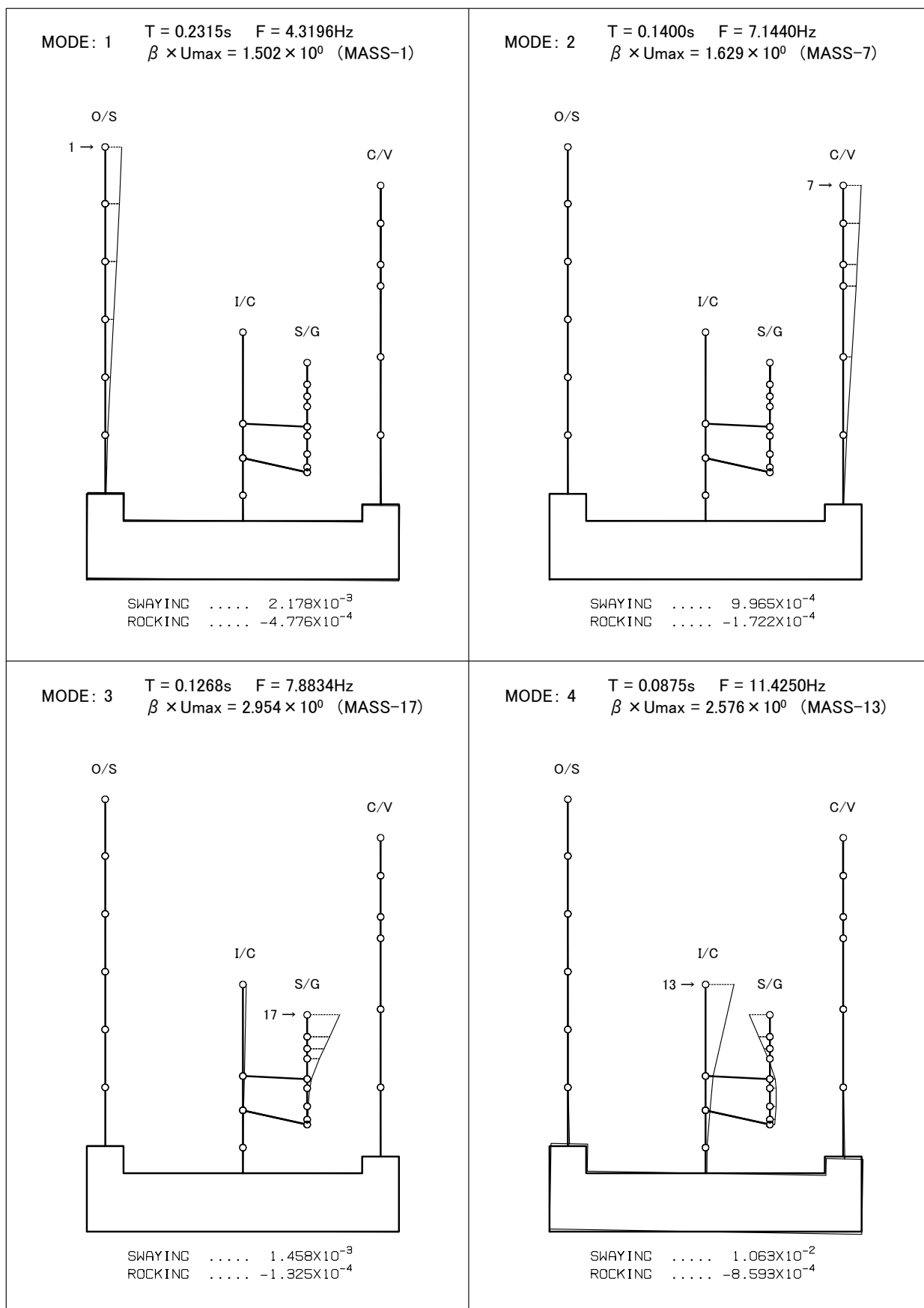
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	備考
1	0.232	4.32	全体1次
2	0.140	7.14	
3	0.127	7.88	
4	0.088	11.43	
5	0.071	14.05	
6	0.056	17.91	
7	0.043	23.21	
8	0.039	25.59	

水平方向(Y方向)

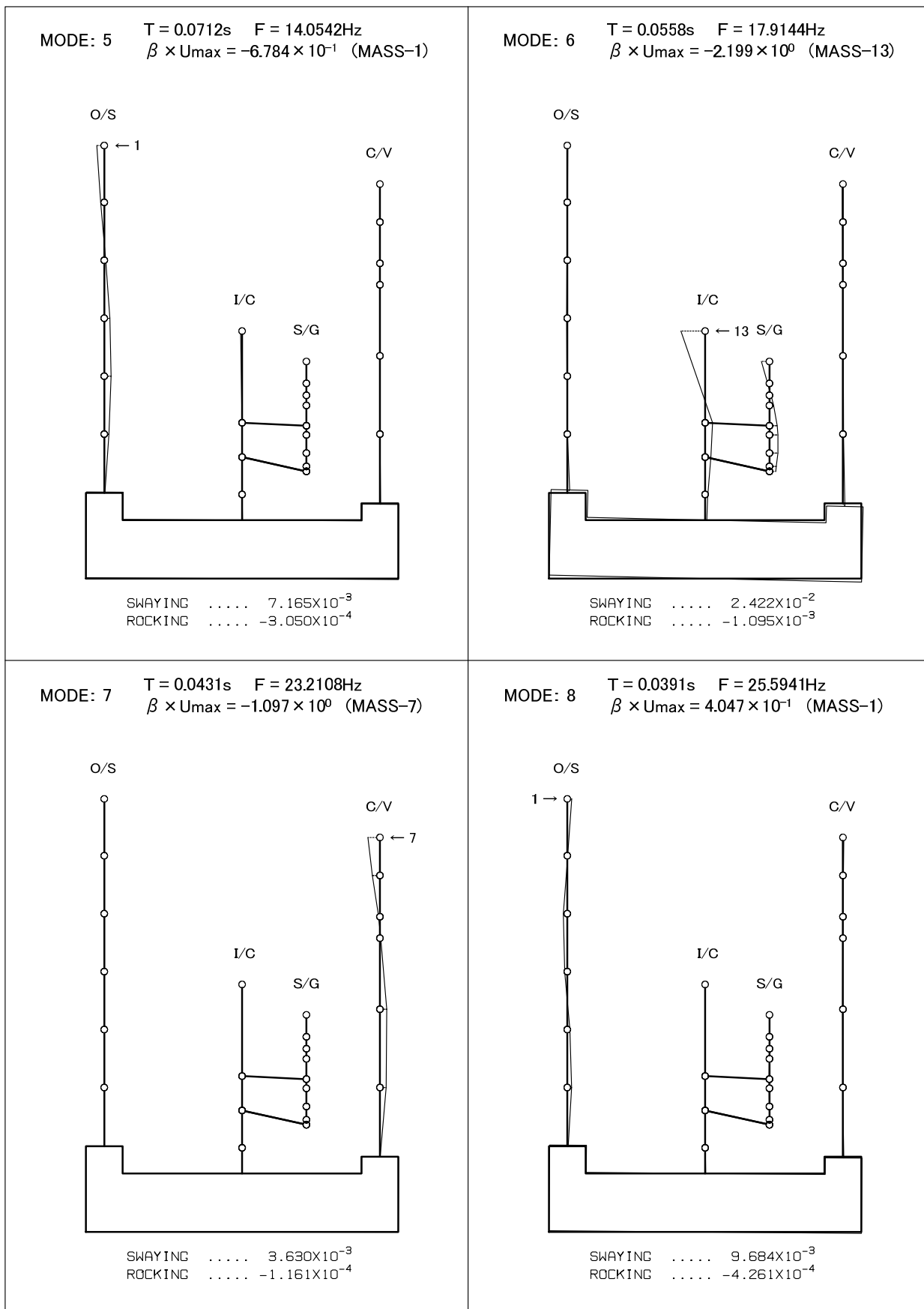
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	備考
1	0.232	4.32	全体1次
2	0.144	6.97	
3	0.140	7.15	
4	0.099	10.12	
5	0.071	14.05	
6	0.057	17.41	
7	0.043	23.21	
8	0.039	25.55	

鉛直方向(Z方向)

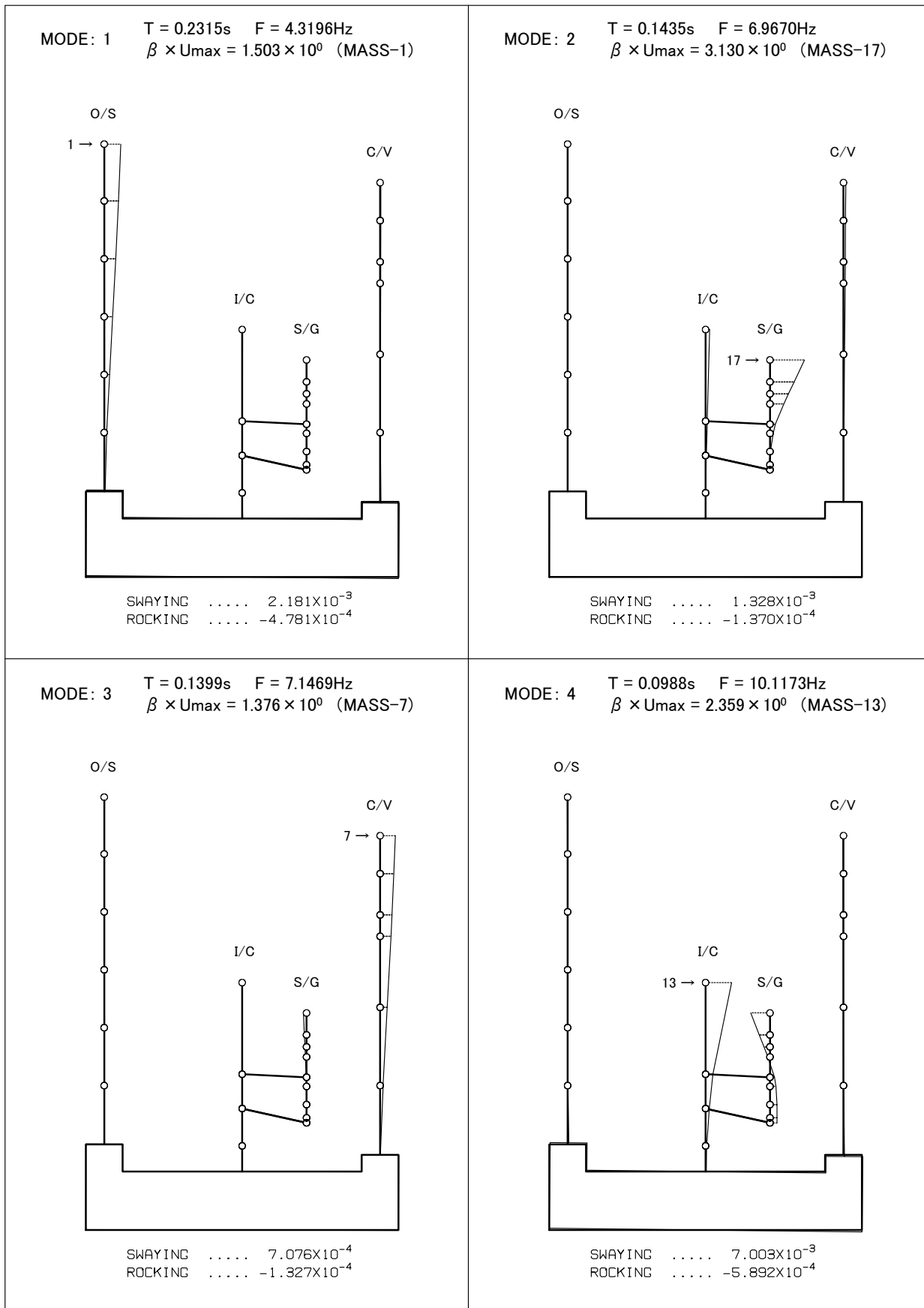
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	備考
1	0.079	12.61	全体1次
2	0.057	17.67	
3	0.047	21.07	
4	0.036	27.83	
5	0.027	36.91	
6	0.022	44.46	
7	0.017	60.05	
8	0.016	62.84	



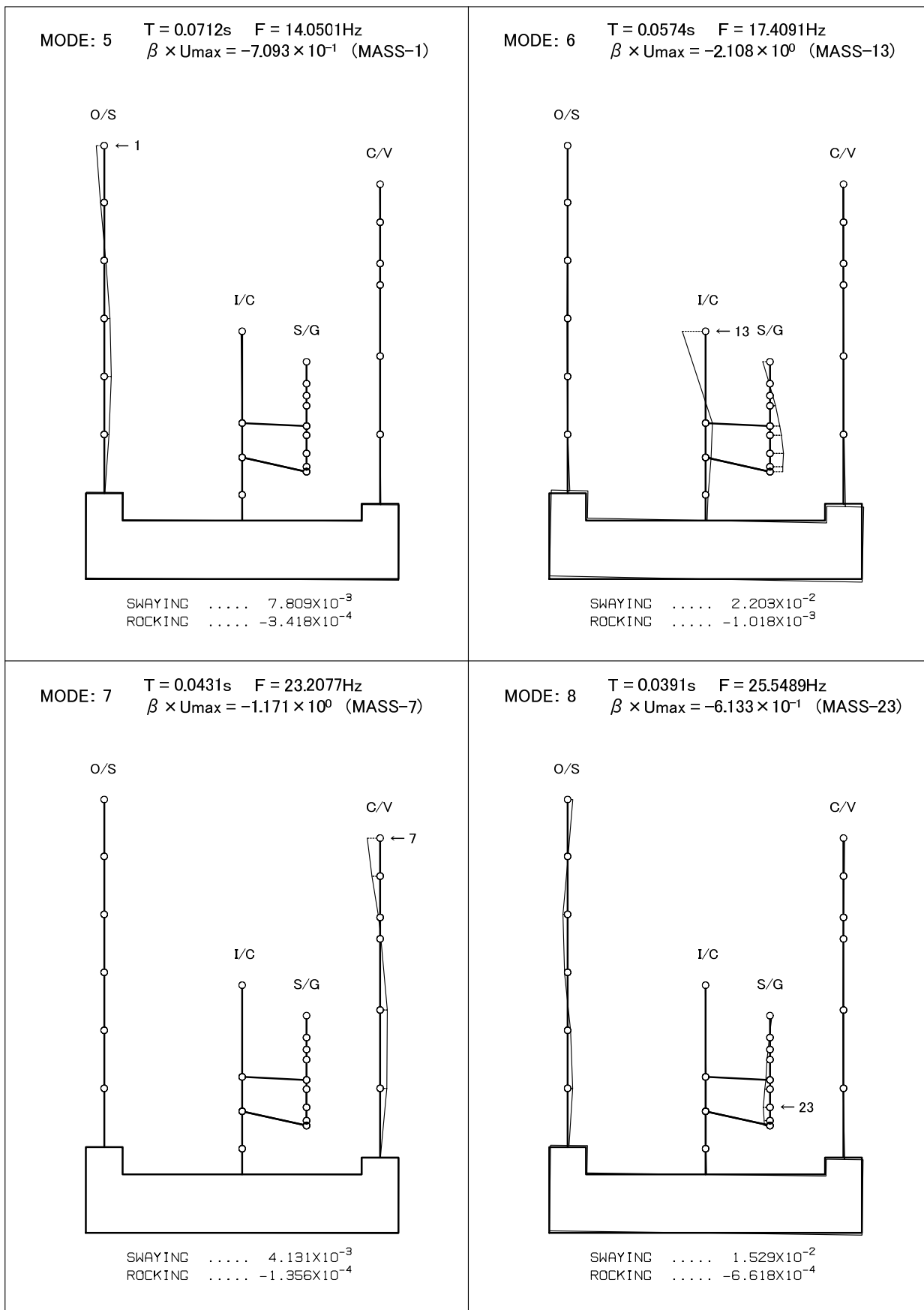
第 2.3.2-1 図(1) 刺激関数 (X 方向: 1 次~4 次)



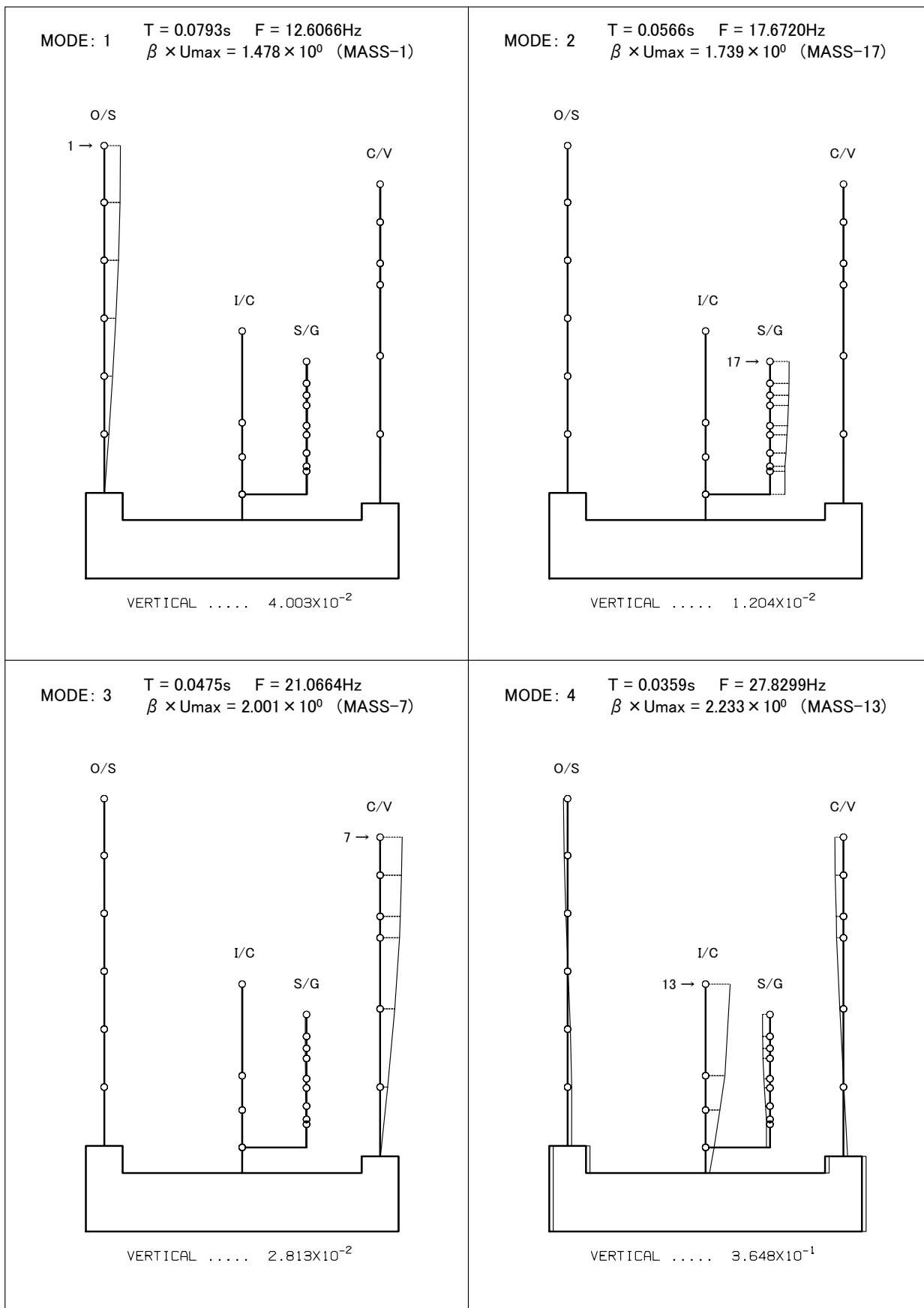
第 2.3.2-1 図(2) 刺激関数 (X 方向 : 5 次~8 次)



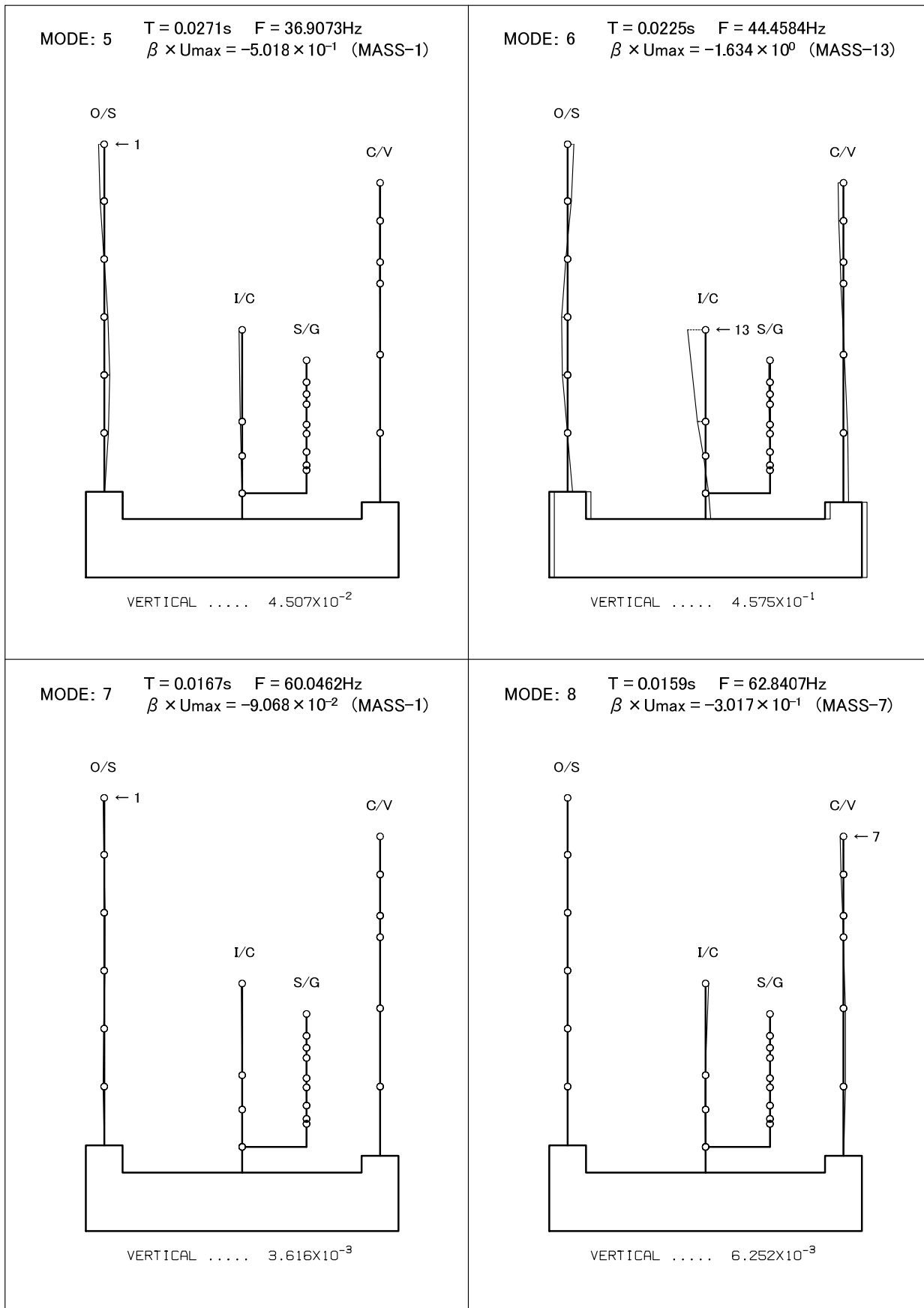
第 2.3.2-1 図(3) 刺激関数 (Y 方向 : 1 次~4 次)



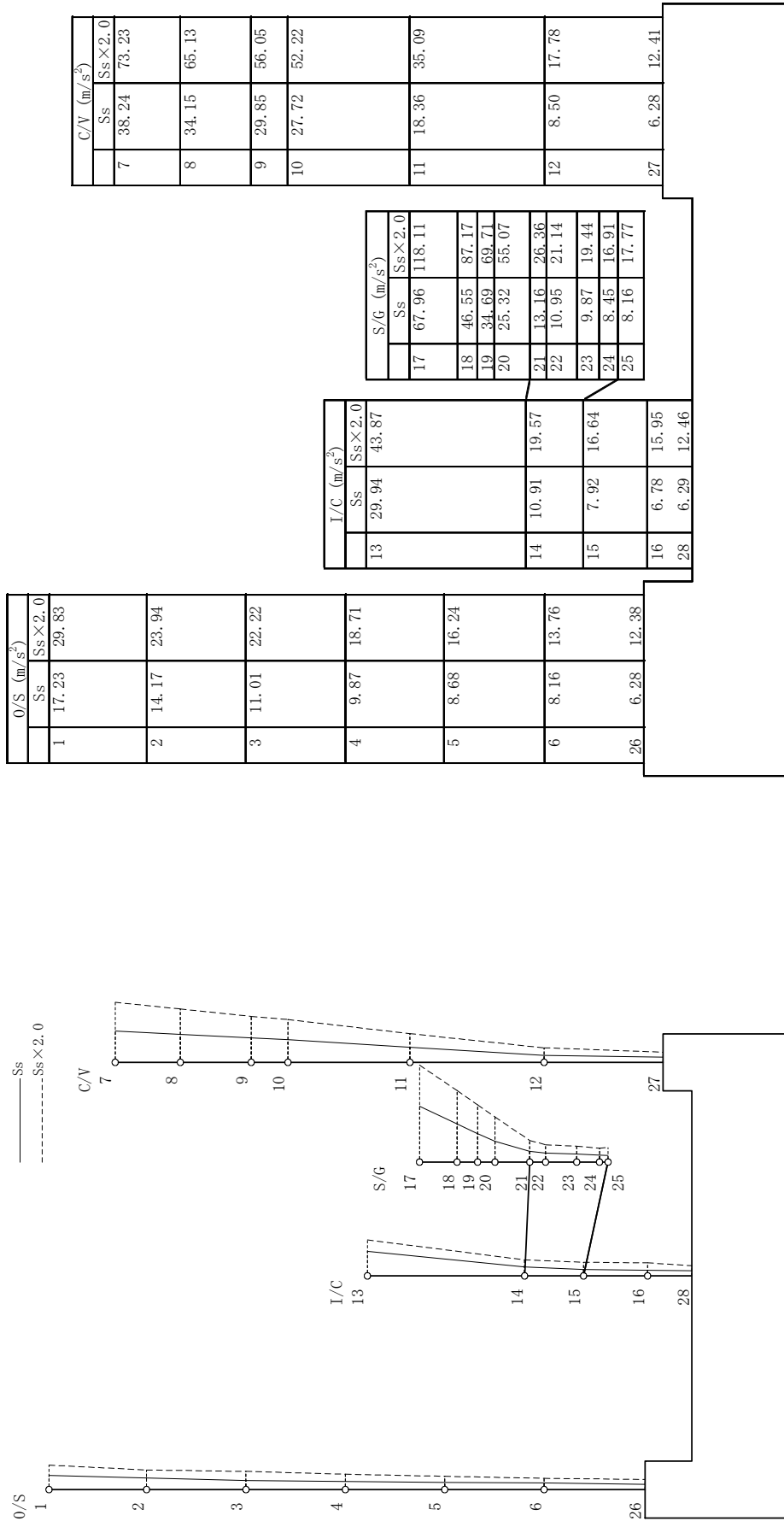
第 2.3.2-1 図(4) 刺激関数 (Y 方向 : 5 次~8 次)



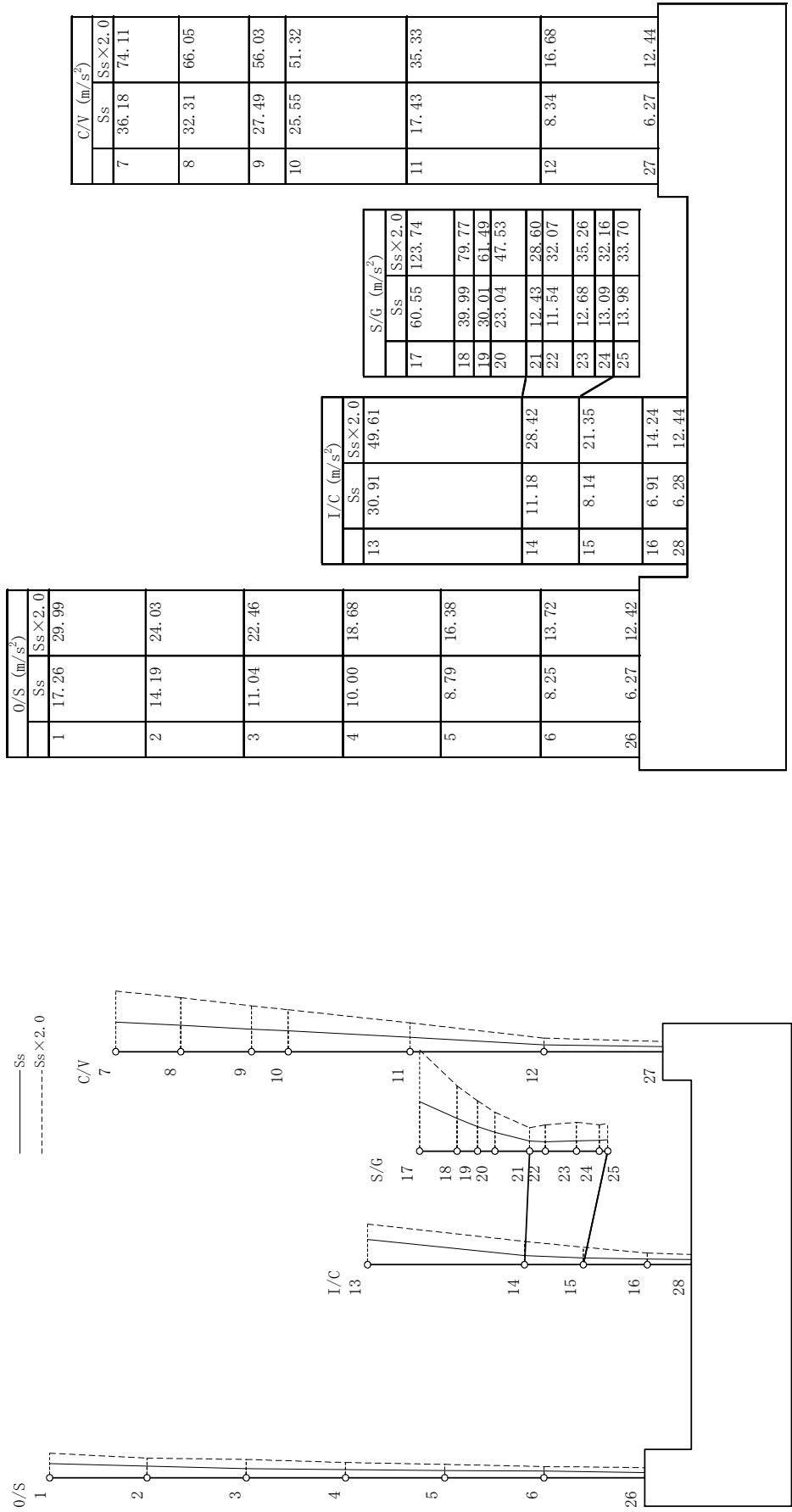
第 2.3.2-1 図(5) 刺激関数 (Z 方向 : 1 次~4 次)



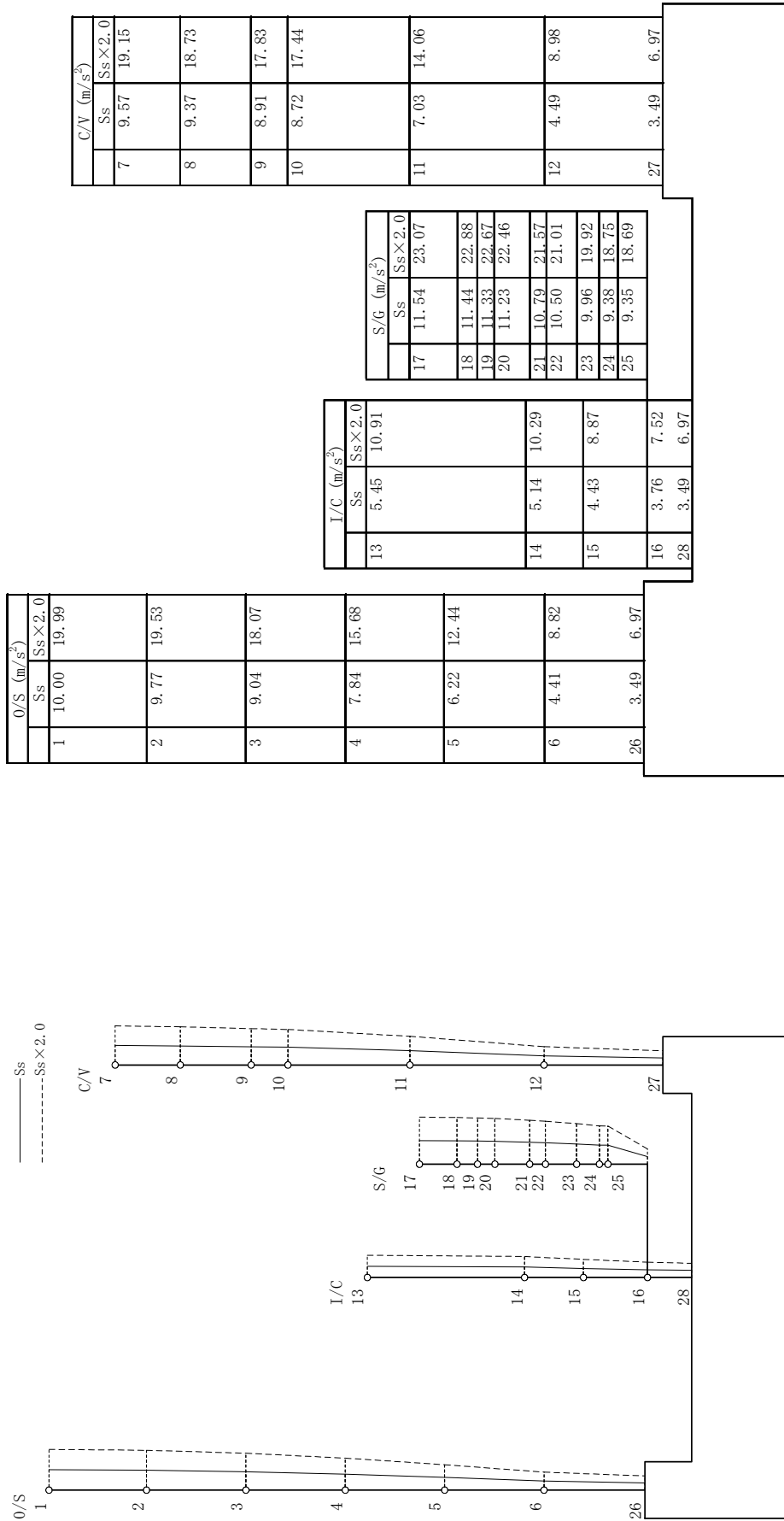
第 2.3.2-1 図(6) 刺激関数 (Z 方向 : 5 次~8 次)



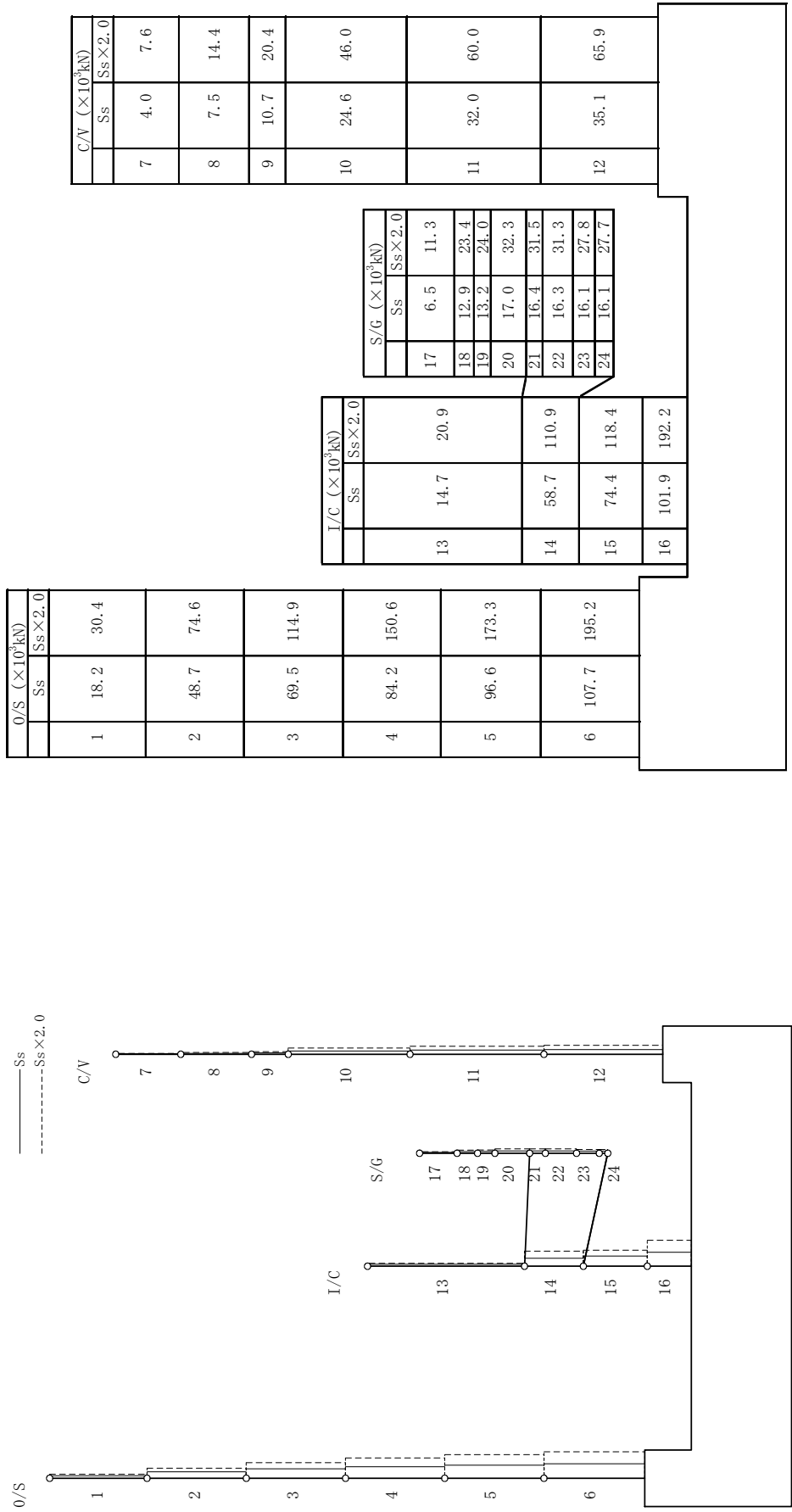
第 2.3.2-2 図(1) 最大応答加速度分布(X方向)



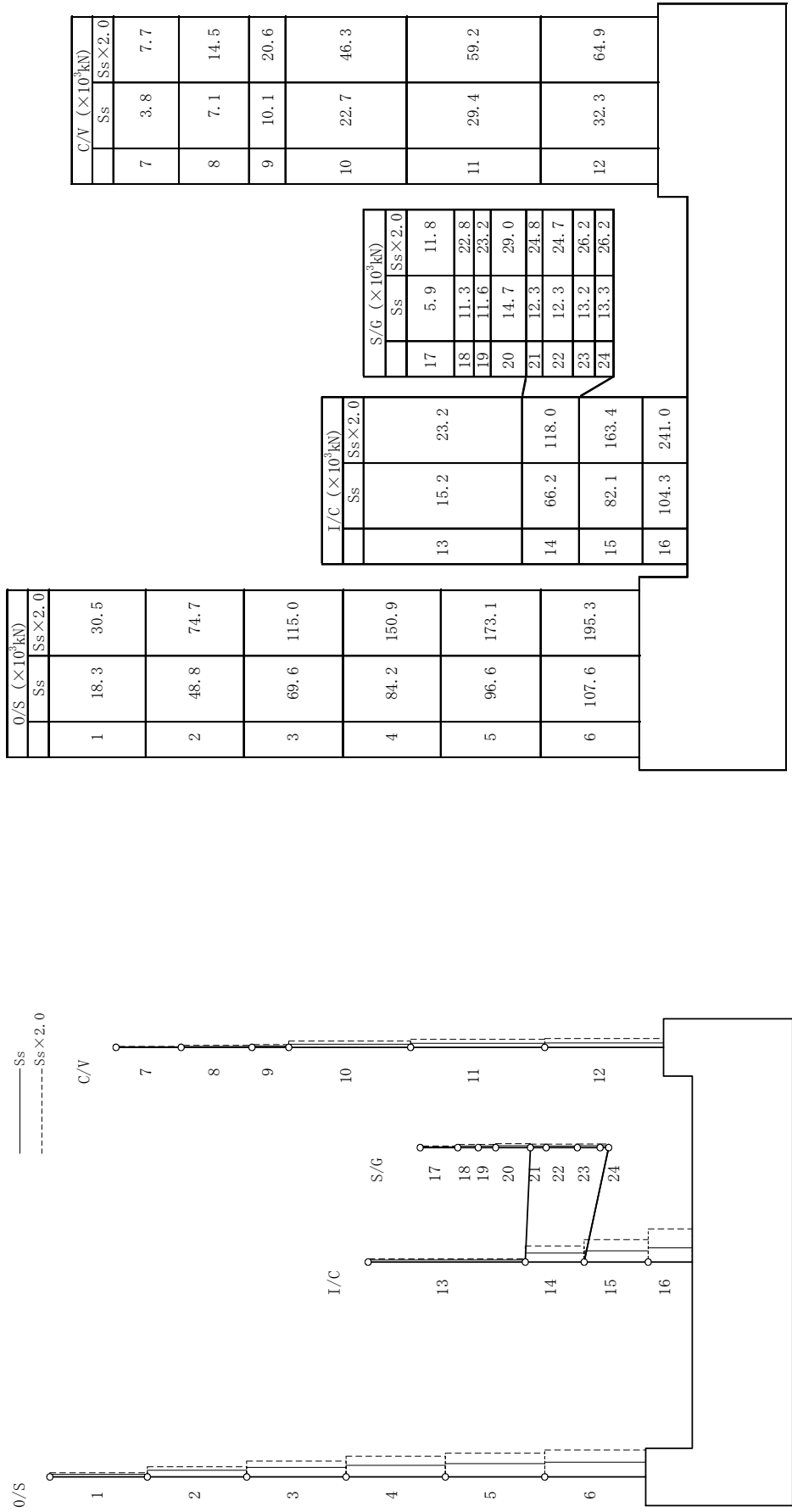
第 2.3.2-2 図(2) 最大応答加速度分布 (Y 方向)



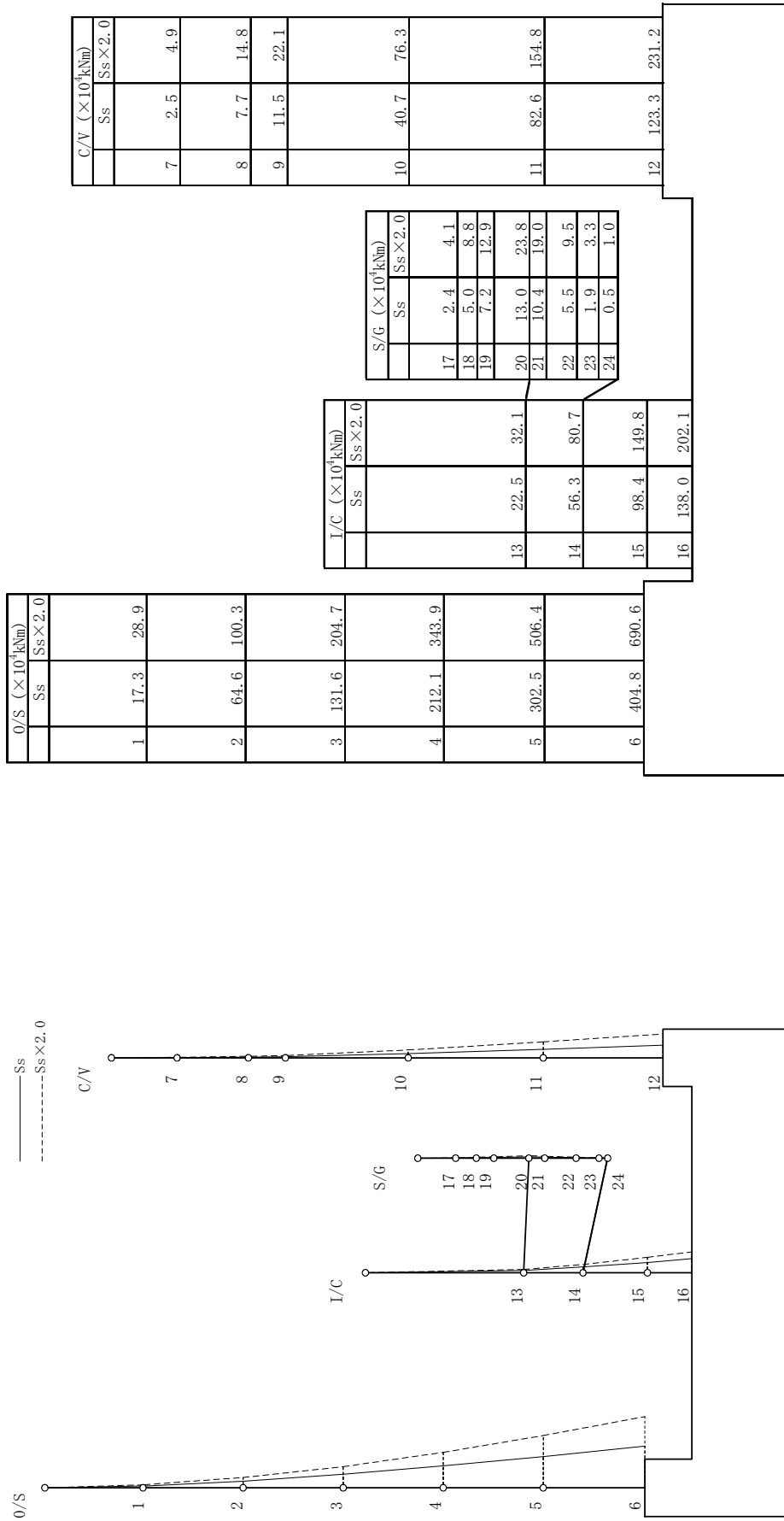
第 2.3.2-2 図(3) 最大応答加速度分布(Z方向)



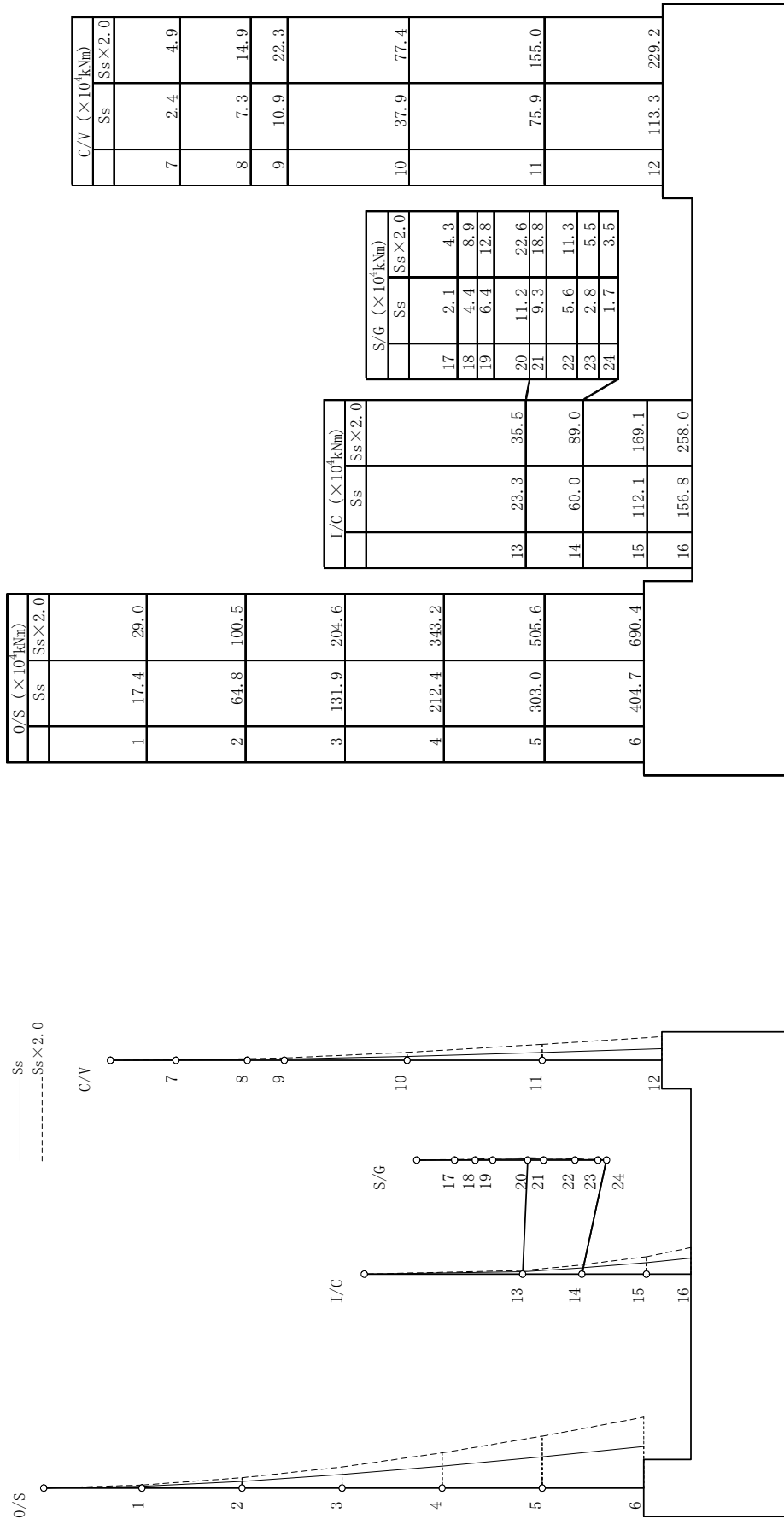
第 2.3.2-3 図(1) 最大応答せん断力分布 (X 方向)



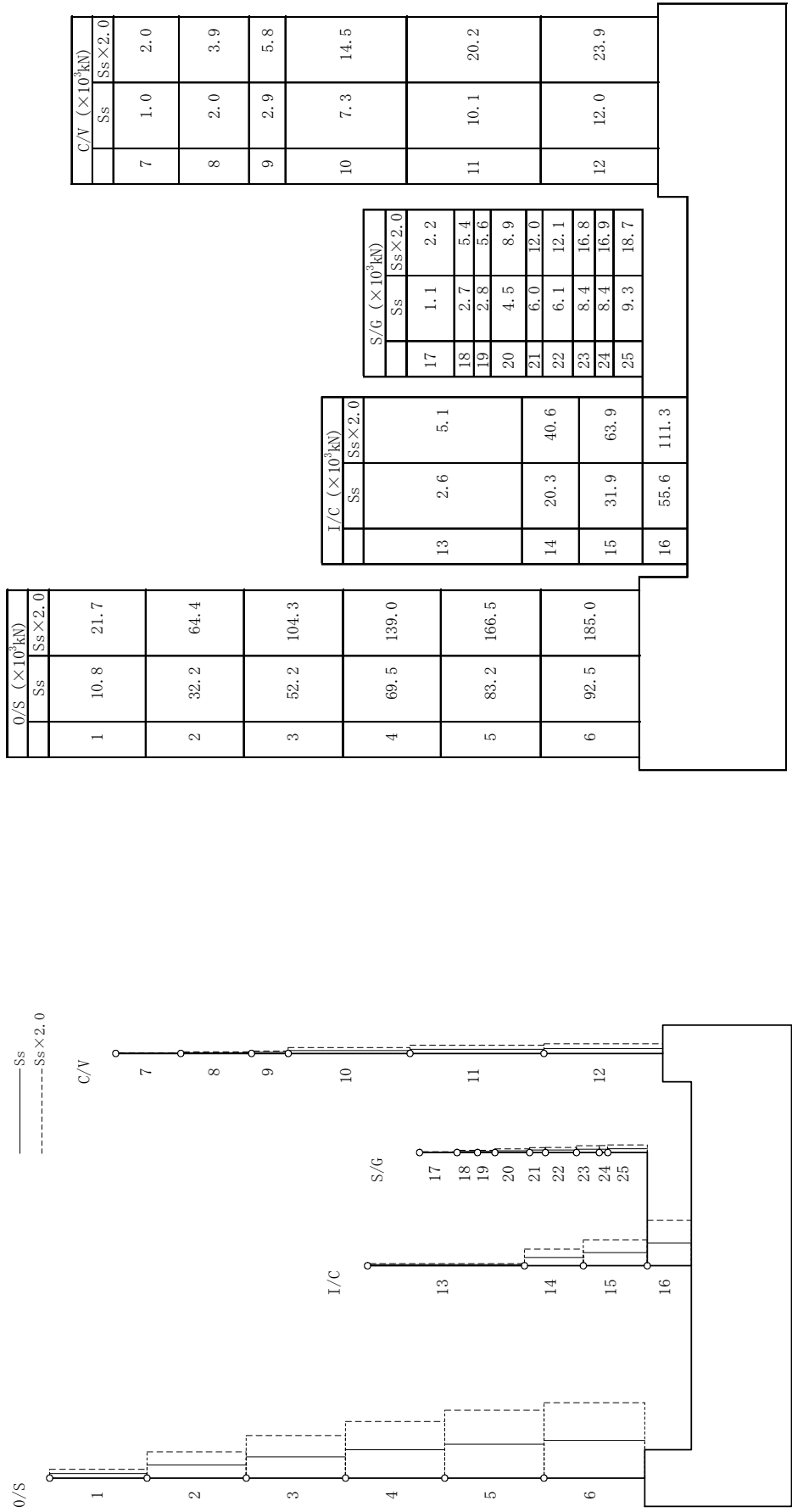
第 2.3.2-3 図(2) 最大応答せん断力分布 (Y 方向)



第 2.3.2-4 図(1) 最大応答曲げモーメント分布(X方向)



第 2.3.2-4 図(2) 最大応答曲げモーメント分布 (Y 方向)



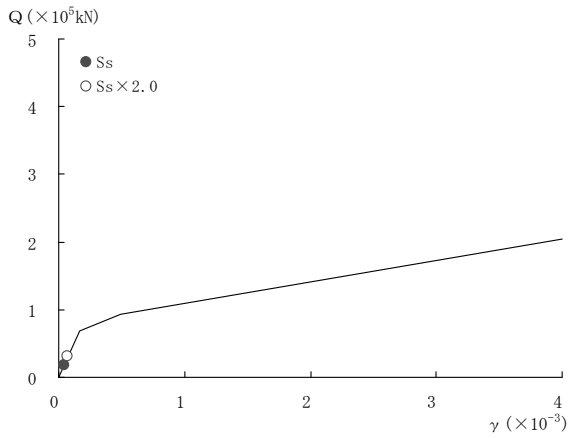
第2.3.2-5图 最大応答軸力分布(Z方向)

2.3.3 許容値

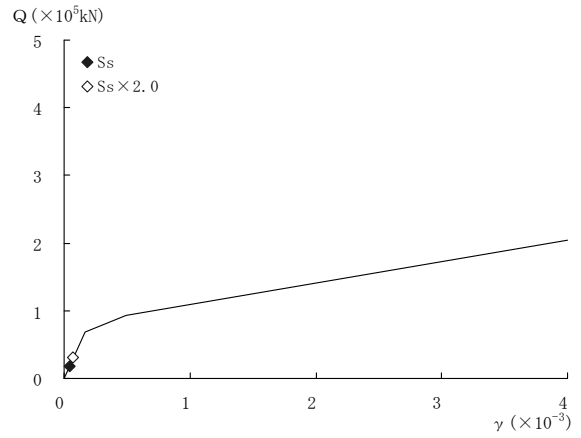
鉄筋コンクリート造耐震壁について、せん断ひずみが、(社)日本電気協会の「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」(以下「JEAC4601-2008」という。)における鉄筋コンクリート造耐震壁の終局点のせん断ひずみ(4.0×10^{-3})を超えないことを確認する。

2.3.4 評価結果

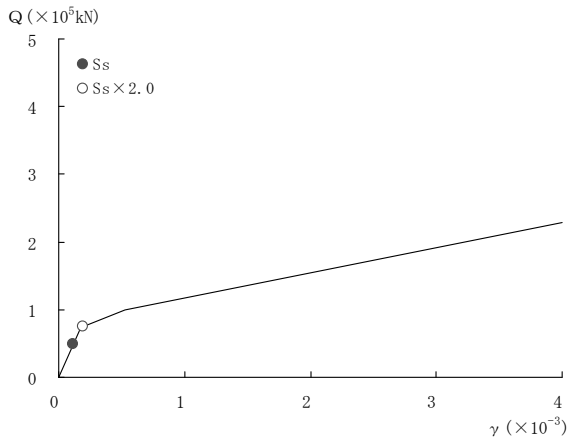
入力地震動による最大応答値を耐震壁のせん断スケルトンカーブ上にプロットしたものを第 2.3.4-1 図に示す。原子炉建家の最大応答せん断ひずみは、 2.29×10^{-3} (Y 方向、6部材)となっており、 4.0×10^{-3} を超えないことを確認した。



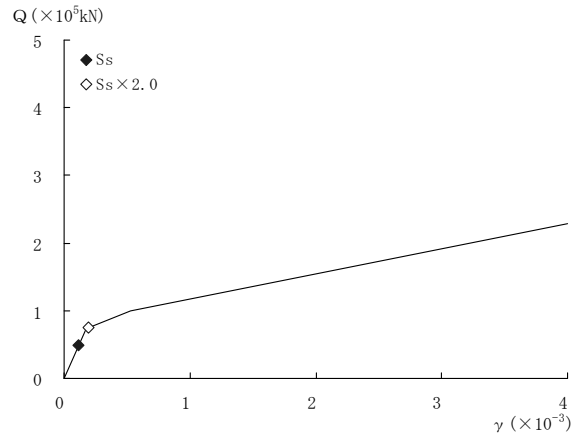
(X方向 部材1)



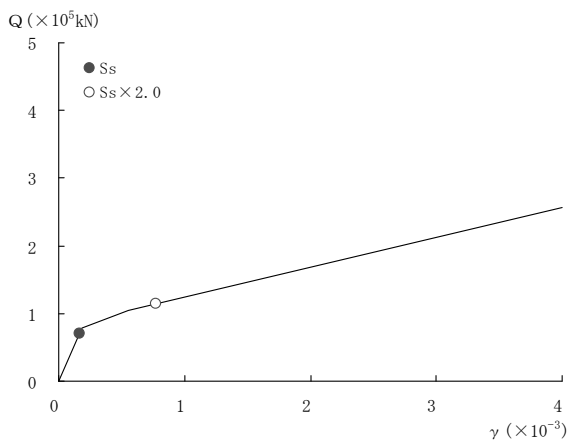
(Y方向 部材1)



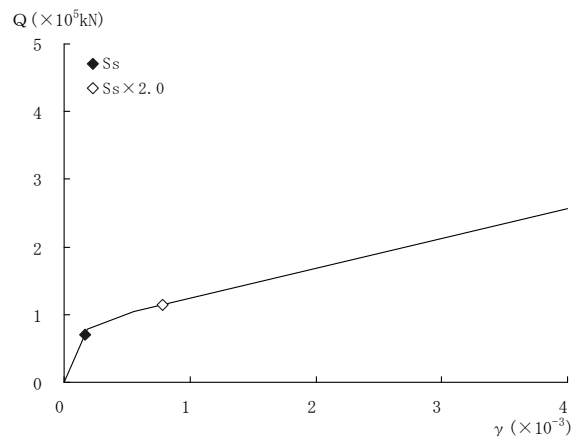
(X方向 部材2)



(Y方向 部材2)

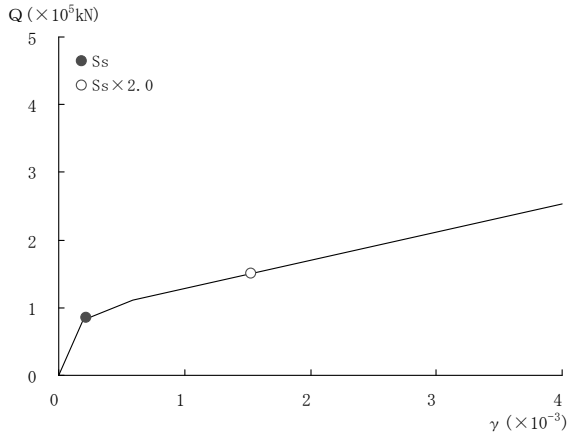


(X方向 部材3)

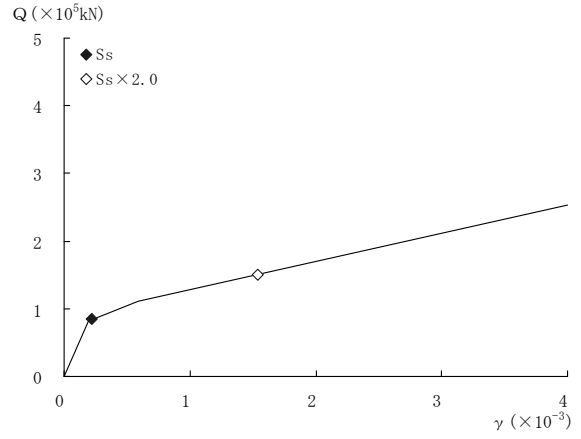


(Y方向 部材3)

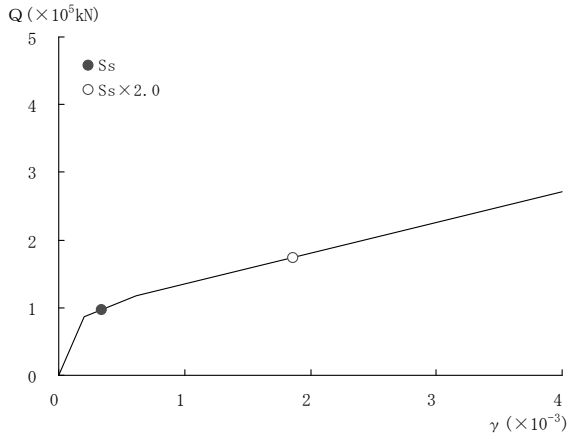
第2.3.4-1 図(1) 最大応答値(外周コンクリート壁(1))



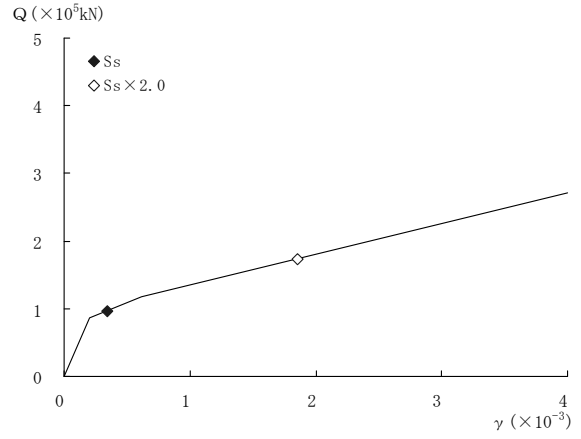
(X方向 部材4)



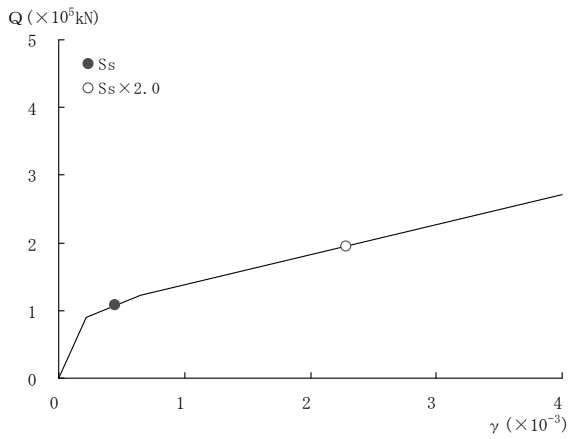
(Y方向 部材4)



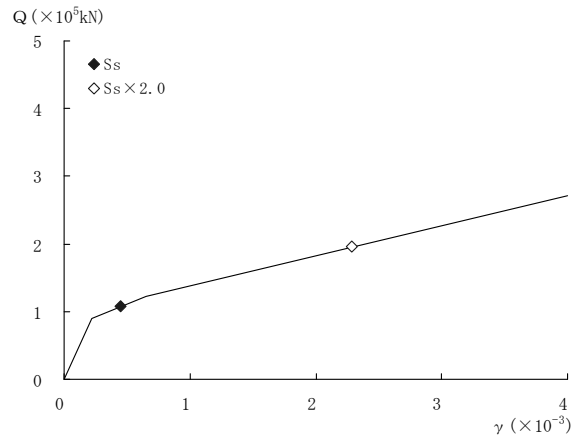
(X方向 部材5)



(Y方向 部材5)

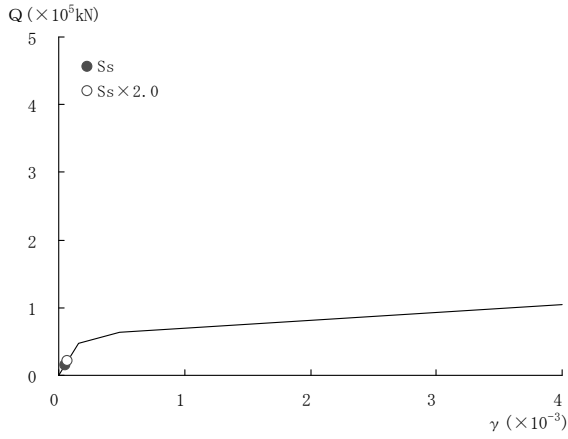


(X方向 部材6)

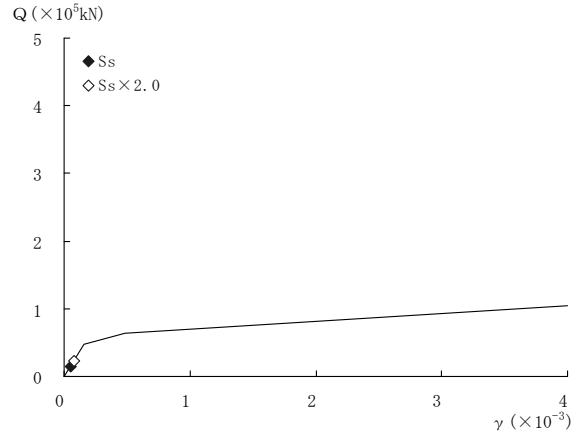


(Y方向 部材6)

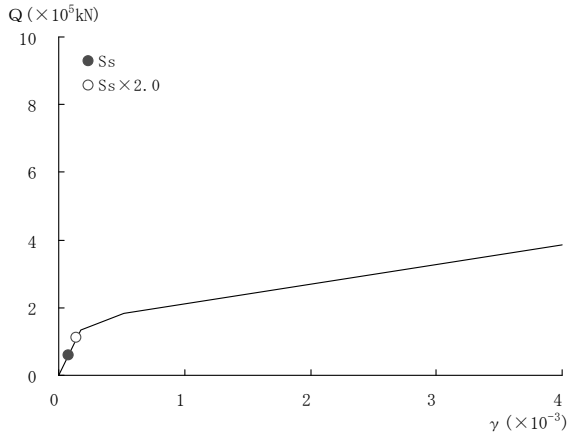
第 2.3.4-1 図(2) 最大応答値(外周コンクリート壁(2))



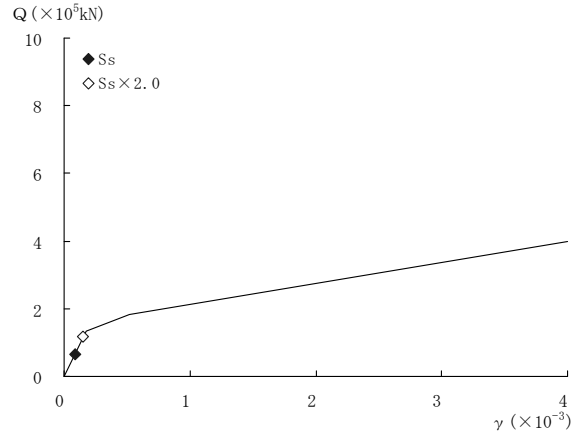
(X方向 部材 13)



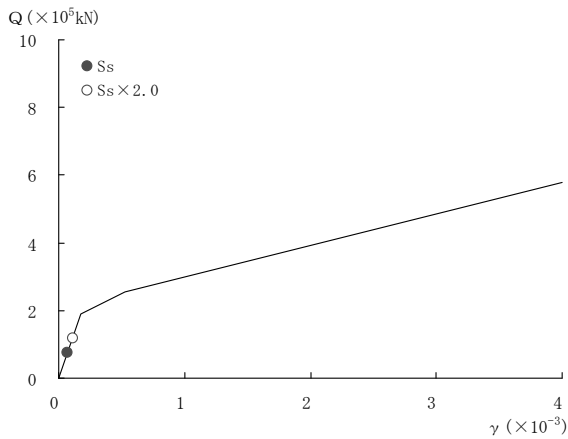
(Y方向 部材 13)



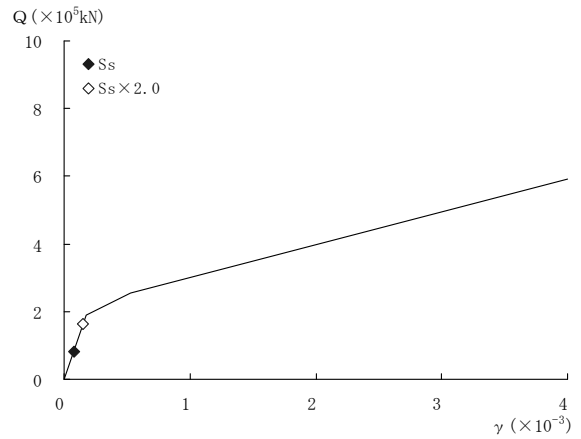
(X方向 部材 14)



(Y方向 部材 14)

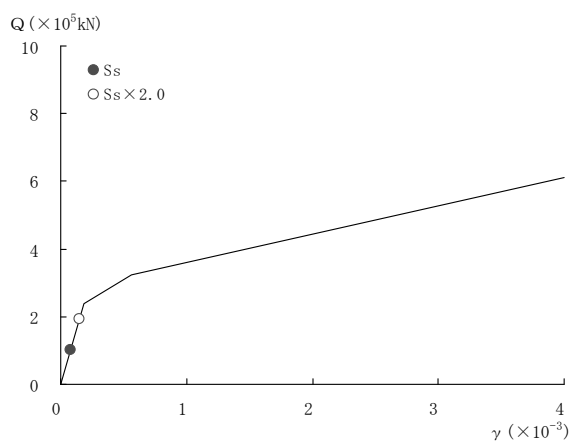


(X方向 部材 15)

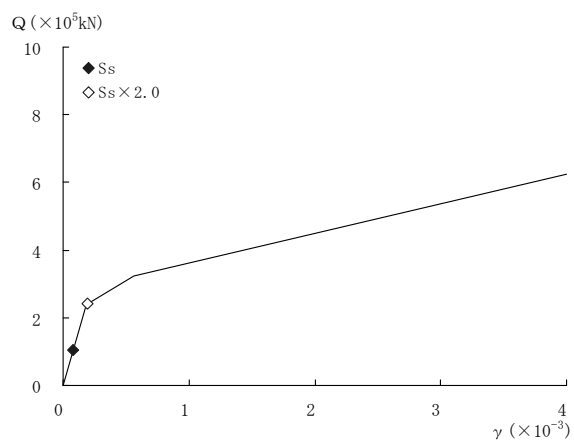


(Y方向 部材 15)

第 2.3.4-1 図(3) 最大応答値(内部コンクリート(1))



(X方向 部材 16)



(Y方向 部材 16)

第 2.3.4-1 図(4) 最大応答値(内部コンクリート(2))

2.4. 原子炉補助建家

2.4.1 地震応答解析モデル

(1) 水平方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、各床レベルでねじれ剛性を考慮した多軸多質点系の等価せん断棒モデルとし、基礎固定としている。

解析に用いる材料定数を第 2.4.1-1 表に、水平方向のモデル諸元を第 2.4.1-2 表に示す。また、水平方向の地震応答解析モデルを第 2.4.1-1 図に示す。

上部構造物および地盤の非線形特性については、JEAG4601-1991 に基づき、以下の項目を考慮する。

- ・耐震壁の非線形復元力特性
- ・鉄骨部（筋かい架構）の非線形復元力特性

なお、水平方向の地震応答解析は、弾塑性時刻歴応答解析によるものとし、解放基盤表面(EL. +10m)で定義されている基準地震動 $S_s(S_s-1)$ を 2.0 倍した地震動を建屋基礎固定レベルに入力する。

(2) 鉛直方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、耐震壁等の軸剛性を評価した軸を有する多軸多質点系の軸棒モデルとし、水平方向と同様に、基礎固定としている。

解析に用いる材料定数を第 2.4.1-1 表に、鉛直方向のモデル諸元を第 2.4.1-3 表に示す。また、鉛直方向の地震応答解析モデルを第 2.4.1-2 図に示す。

なお、鉛直方向の地震応答解析は、弾性時刻歴応答解析によるものとし、解放基盤表面(EL. +10m)で定義されている基準地震動 $S_s(S_s-1)$ を 2.0 倍した地震動を建屋基礎固定レベルに入力する。

第 2.4.1-1 表 解析に用いる材料定数

	設計基準強度 Fc (N/mm ²) (210kg/cm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 (%)
RC 部分	20.6 (210kg/cm ²)	2.15 × 10 ⁴	8.96 × 10 ³	0.2	5
S 部分	-	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	0.3	2

第 2.4.1-2 表(1) モデル諸元(水平方向) (1)

質点 番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	質量回転慣性 (t・m ²)	重心座標 [※]	
				X (m)	Y (m)
1	52.0	853.6	1.058 × 10 ⁵	56.40	48.40
2	39.2	4851.0	3.261 × 10 ⁶	44.47	17.06
3	32.2	11740.4	8.213 × 10 ⁶	48.87	24.61
4	26.2	12394.1	8.733 × 10 ⁶	43.20	26.48
5	20.9	6855.1	3.796 × 10 ⁶	28.52	13.86
6	15.4	9586.4	8.395 × 10 ⁶	36.89	12.44
7	10.2	10242.0	1.027 × 10 ⁷	31.64	12.27
8	28.7	1389.6	1.339 × 10 ⁵	73.00	7.50
9	24.2	2136.4	2.058 × 10 ⁵	73.00	7.50

※基準座標 (2b, Ea通り)

第 2.4.1-2 表(2) モデル諸元(水平方向) (2)

部材 番号	ばね定数			剛心座標 ^{※2}	
	K _X (kN/m)	K _Y (kN/m)	K _θ (kN・m/rad)	X (m)	Y (m)
1 ^{※1}	1.853 × 10 ⁵	1.481 × 10 ⁵	3.866 × 10 ⁷	58.98	46.80
2	4.883 × 10 ⁷	4.204 × 10 ⁷	6.542 × 10 ¹⁰	43.87	18.11
3	1.644 × 10 ⁸	1.931 × 10 ⁸	1.607 × 10 ¹¹	52.59	30.71
4	8.749 × 10 ⁷	1.129 × 10 ⁸	6.821 × 10 ¹⁰	27.90	9.27
5	1.058 × 10 ⁸	1.064 × 10 ⁸	8.285 × 10 ¹⁰	28.22	12.93
6	2.798 × 10 ⁸	1.704 × 10 ⁸	2.230 × 10 ¹¹	35.39	11.74
7	2.173 × 10 ⁸	2.008 × 10 ⁸	2.247 × 10 ¹¹	33.83	9.43
8	4.587 × 10 ⁷	3.138 × 10 ⁷	9.178 × 10 ⁹	73.00	7.50
9	5.129 × 10 ⁷	2.947 × 10 ⁷	9.082 × 10 ⁹	73.00	7.09
10	3.402 × 10 ⁷	1.657 × 10 ⁷	5.303 × 10 ⁹	73.00	9.07
11	1.272 × 10 ⁸	1.301 × 10 ⁸	2.283 × 10 ¹⁰	63.94	47.03

※1: S 部材

※2: 基準座標 (2b, Ea通り)

第2.4.1-2表(3) モデル諸元(水平方向) (3)

位置		座標 [※]		部材 番号	ばね定数		
		X (m)	Y (m)		K_H (軸) (kN/m)	K_S (せん断) (kN/m)	K_θ (回転) (kN·m/rad)
7-固定点	7	23.50	16.00	a	3.866×10^7	1.076×10^7	2.899×10^9
	固定	23.50	16.10				
6-固定点	6	23.50	16.00	b	3.866×10^7	1.076×10^7	2.899×10^9
	固定	23.50	16.10				
5-固定点	5	50.75	34.50	c	2.853×10^7	0	8.583×10^8
	固定点	50.75	34.60				
	5	58.50	17.60	d	1.524×10^7	2.121×10^7	0
	固定点	58.60	17.60				
5-9	5	58.50	1.32	e	1.452×10^7	8.764×10^6	1.965×10^8
	9	58.60	1.32				
9-固定点	9	68.75	15.00	f	2.577×10^7	1.275×10^7	3.093×10^8
	固定点	68.75	15.10				
4-8	4	58.50	1.67	g	1.135×10^7	0	1.849×10^8
	8	58.60	1.67				
	4	68.75	15.10	h	1.105×10^7	5.577×10^6	1.325×10^8
	8	68.75	15.00				

※基準座標(2b, Ea通り)

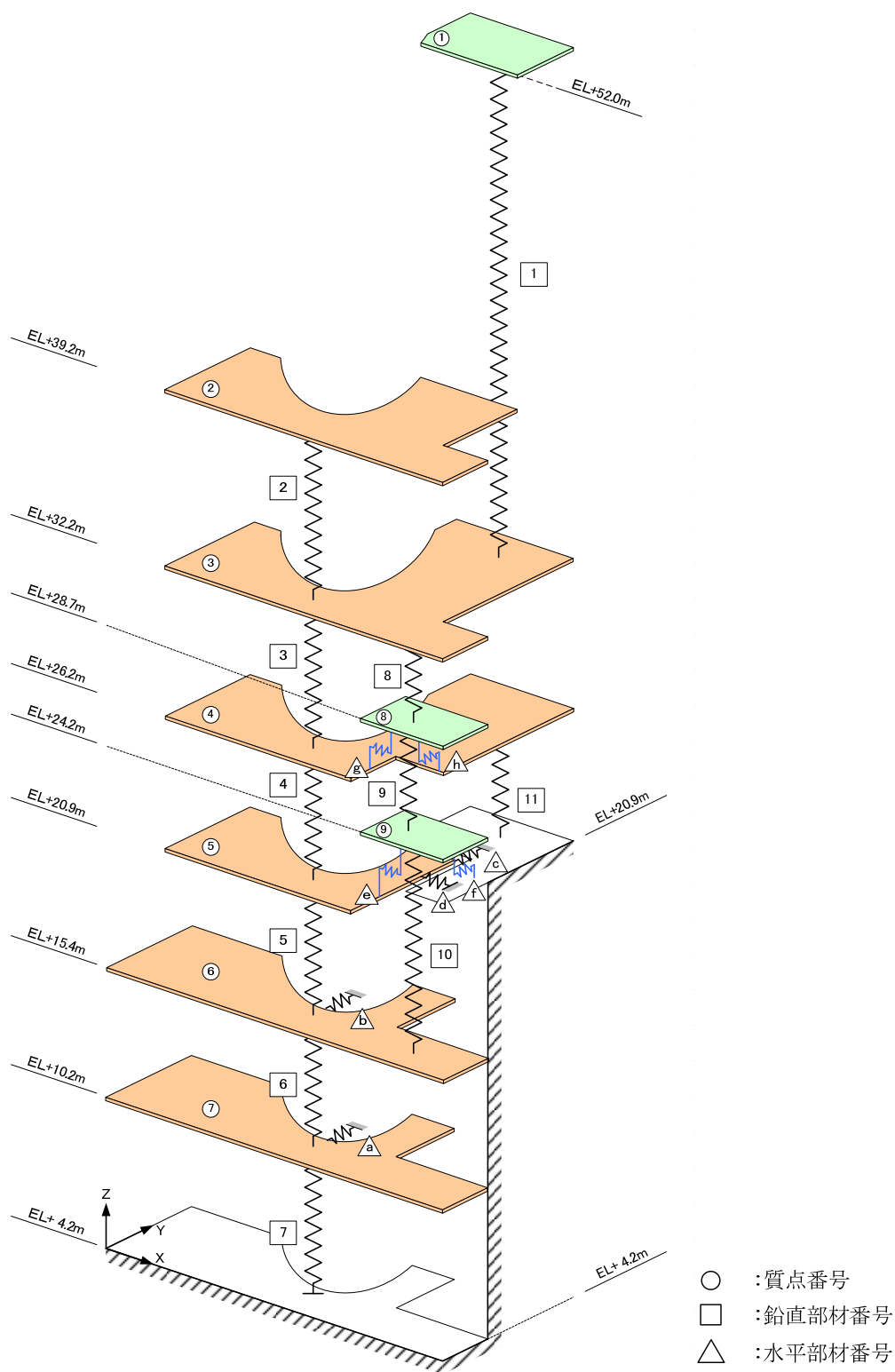
第 2.4.1-3 表(1) モデル諸元(鉛直方向)(1)

質点 番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	部材 番号	軸断面積 (m ²)
1	52.0	853.6	1 [*]	0.892
2	39.2	4851.0	2	163.3
3	32.2	11740.4	3	500.4
4	26.2	12394.1	4	223.4
5	20.9	6855.1	5	242.3
6	15.4	9586.4	6	437.3
7	10.2	10242.0	7	545.6
8	28.7	1389.6	8	45.4
9	24.2	2136.4	9	45.4
			10	69.1
			11	320.7
			12	23.2
			13	23.2
			14	18.0

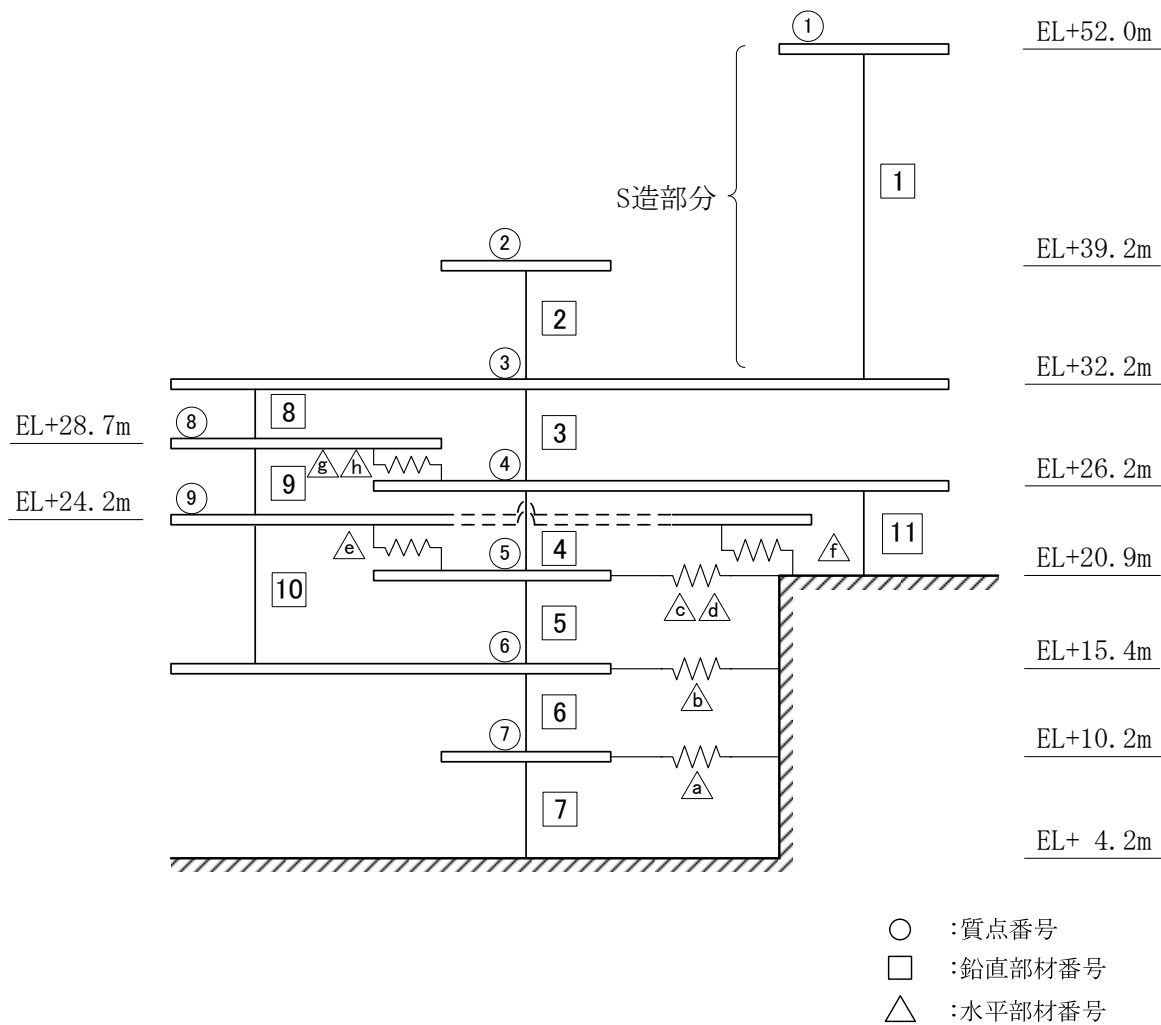
※：S部材

第 2.4.1-3 表(2) モデル諸元(鉛直方向)(2)

	部材 番号	ばね定数
		K (kN/m)
7-固定点	a	3.474×10^4
6-固定点	b	3.474×10^4
5-固定点	c	4.476×10^5
9-固定点	d	1.493×10^7
4-9	e	9.051×10^6

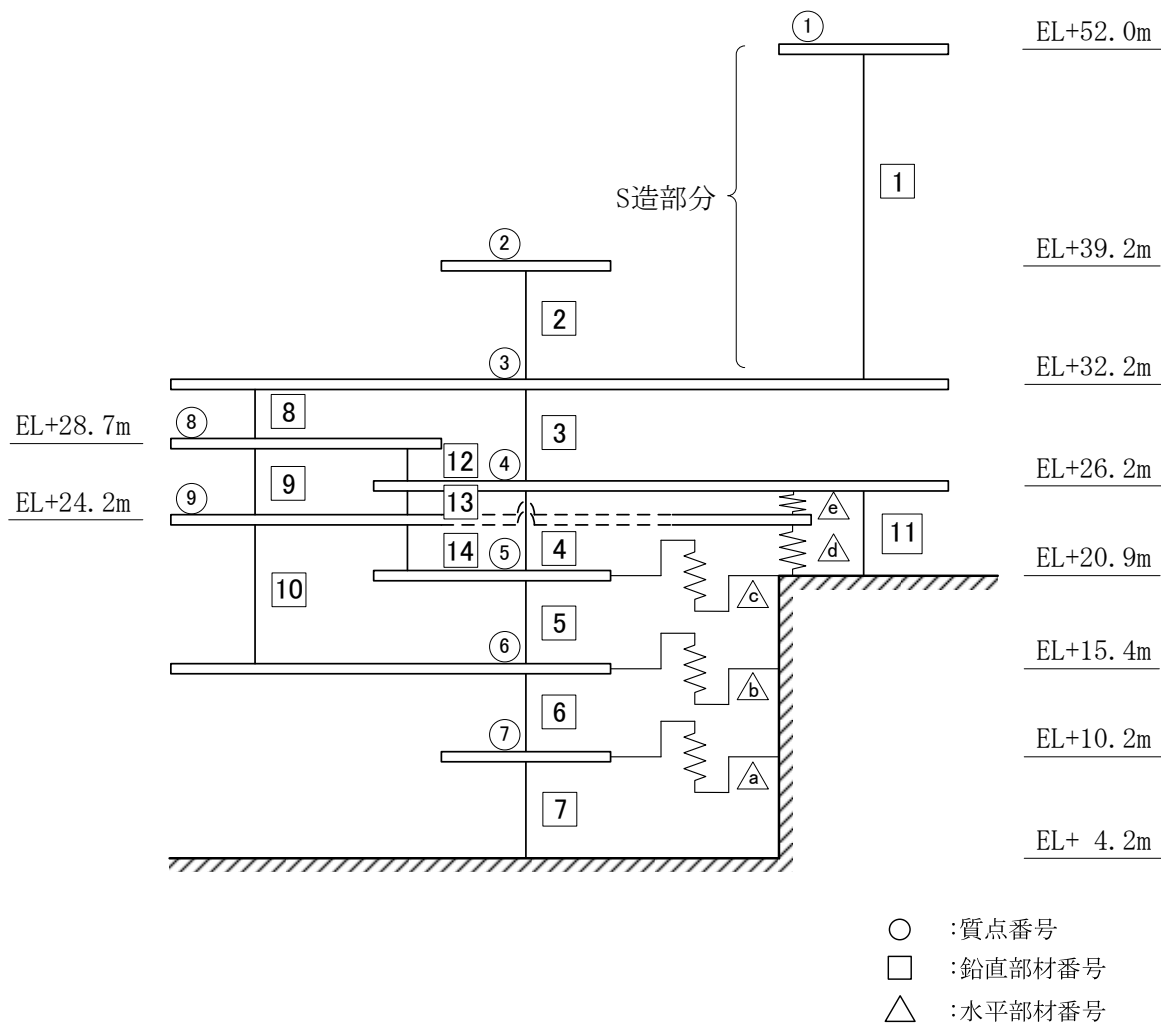


第 2.4.1-1 図(1) 地震応答解析モデル(水平方向) (1)



概略図

第 2.4.1-1 図(2) 地震応答解析モデル(水平方向) (2)



第 2.4.1-2 図 地震応答解析モデル(鉛直方向)

2.4.2 地震応答解析結果

(1) 固有値解析結果

地震応答解析モデルの固有値解析結果(主要な固有周期および固有振動数)を第2.4.2-1表に、各次の刺激関数図を第2.4.2-1図に示す。

(2) 地震応答解析結果

入力地震動による最大応答加速度分布を第2.4.2-2図に、最大応答せん断力分布を第2.4.2-3図に、最大応答曲げモーメント分布を第2.4.2-4図に、最大応答軸力分布を第2.4.2-5図に示す。

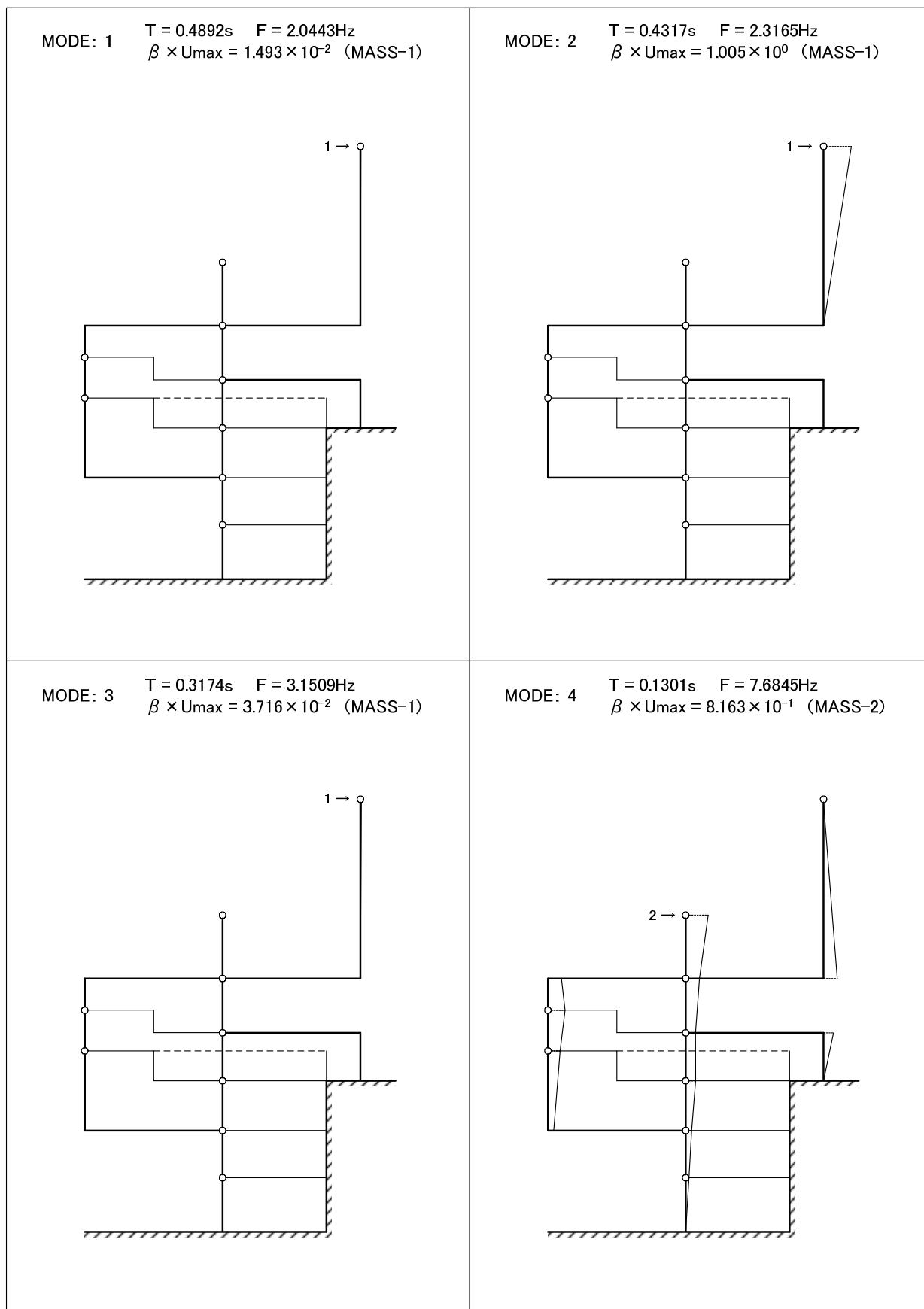
第 2.4.2-1 表 固有値解析結果

水平方向

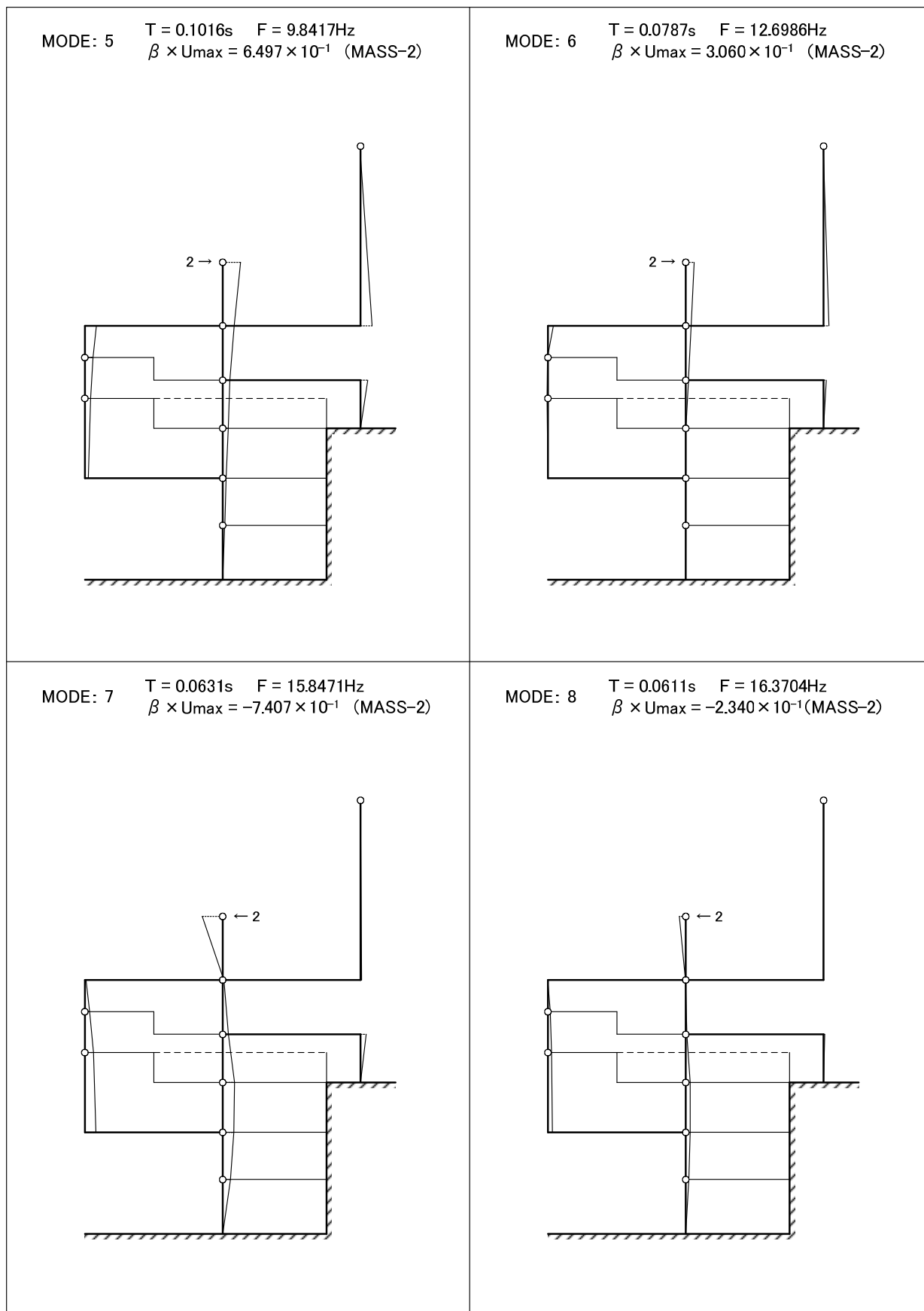
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
1	0.489	2.04
2	0.432	2.32
3	0.317	3.15
4	0.130	7.68
5	0.102	9.84
6	0.079	12.70
7	0.063	15.85
8	0.061	16.37

鉛直方向

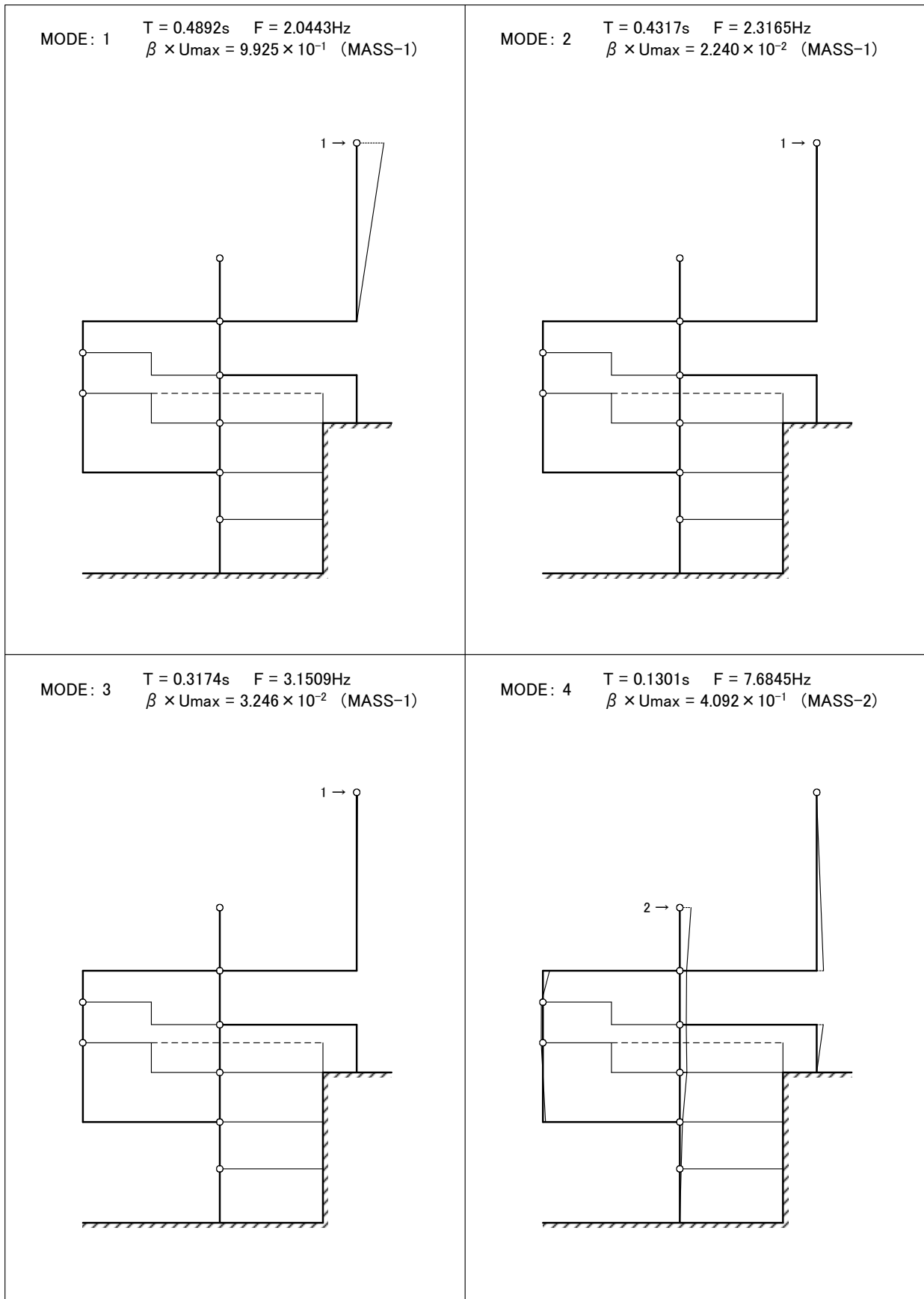
次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
1	0.061	16.44
2	0.035	28.98
3	0.021	47.36
4	0.016	62.24



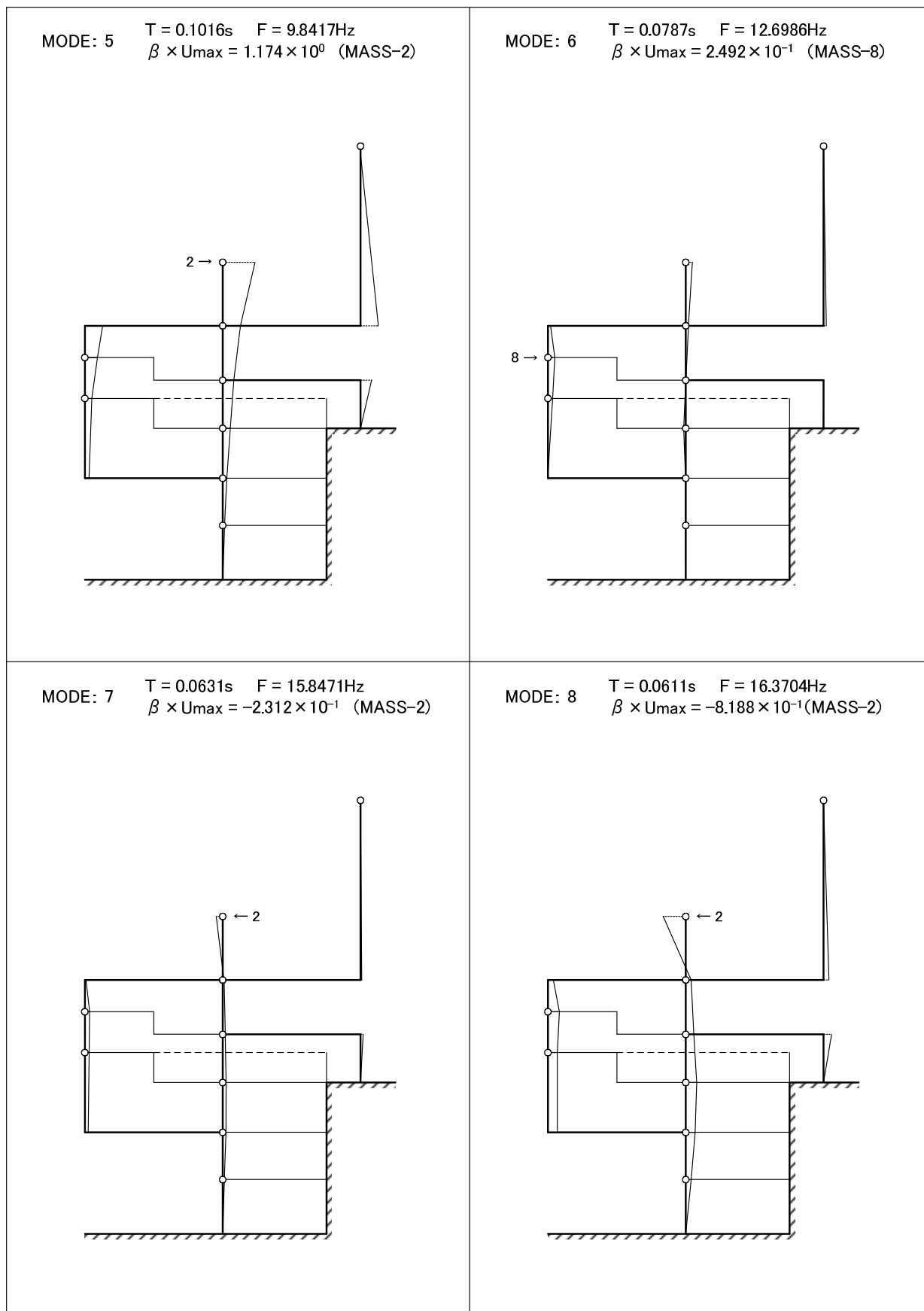
第 2.4.2-1 図(1) 刺激関数(X 方向 : 1 次~4 次)



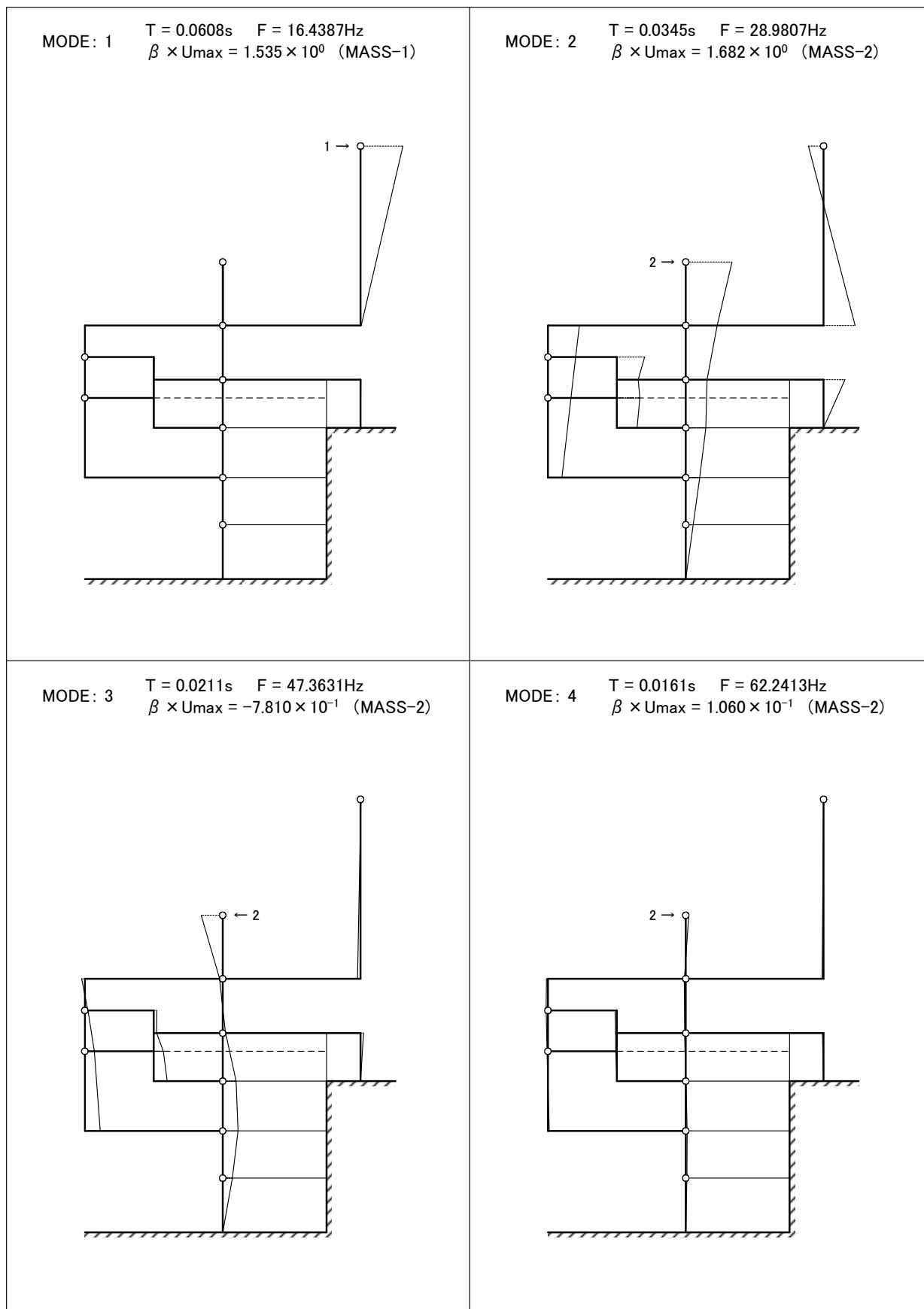
第 2.4.2-1 図(2) 刺激関数(X 方向 : 5 次~8 次)



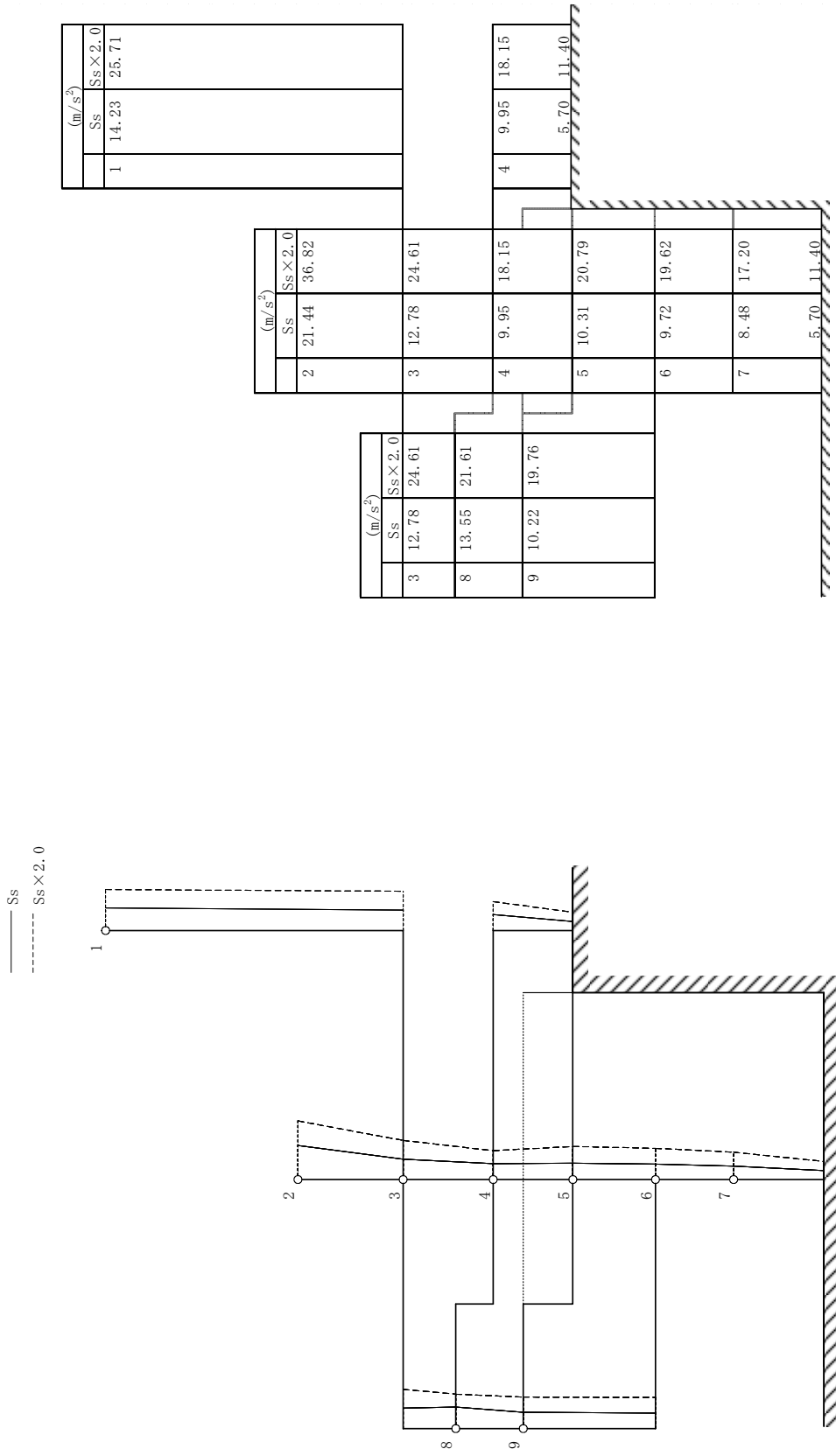
第 2.4.2-1 図(3) 刺激関数(Y 方向 : 1 次~4 次)



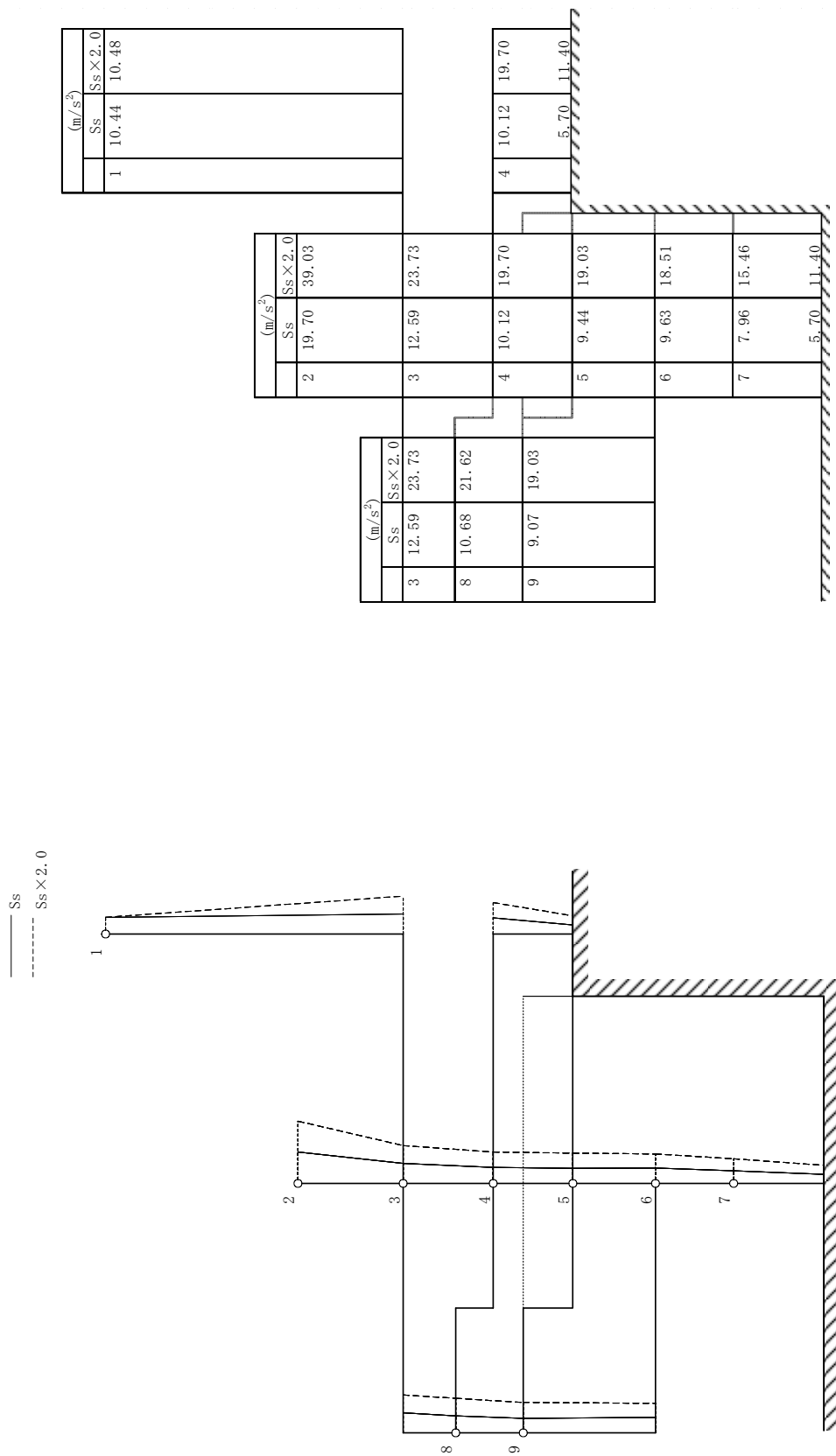
第 2.4.2-1 図(4) 刺激関数(Y 方向 : 5 次~8 次)



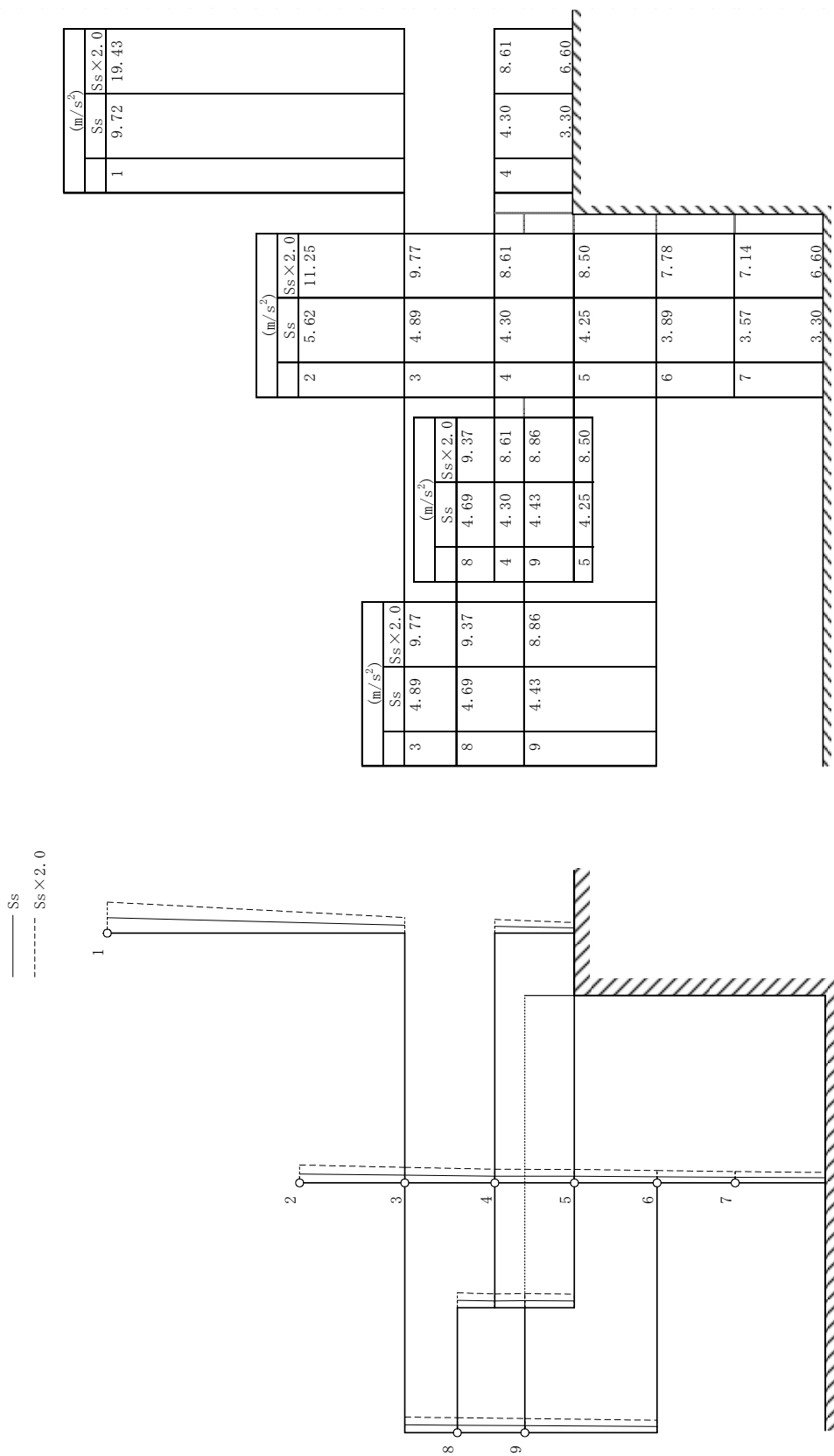
第 2.4.2-1 図(5) 刺激関数(Z 方向 : 1 次~4 次)



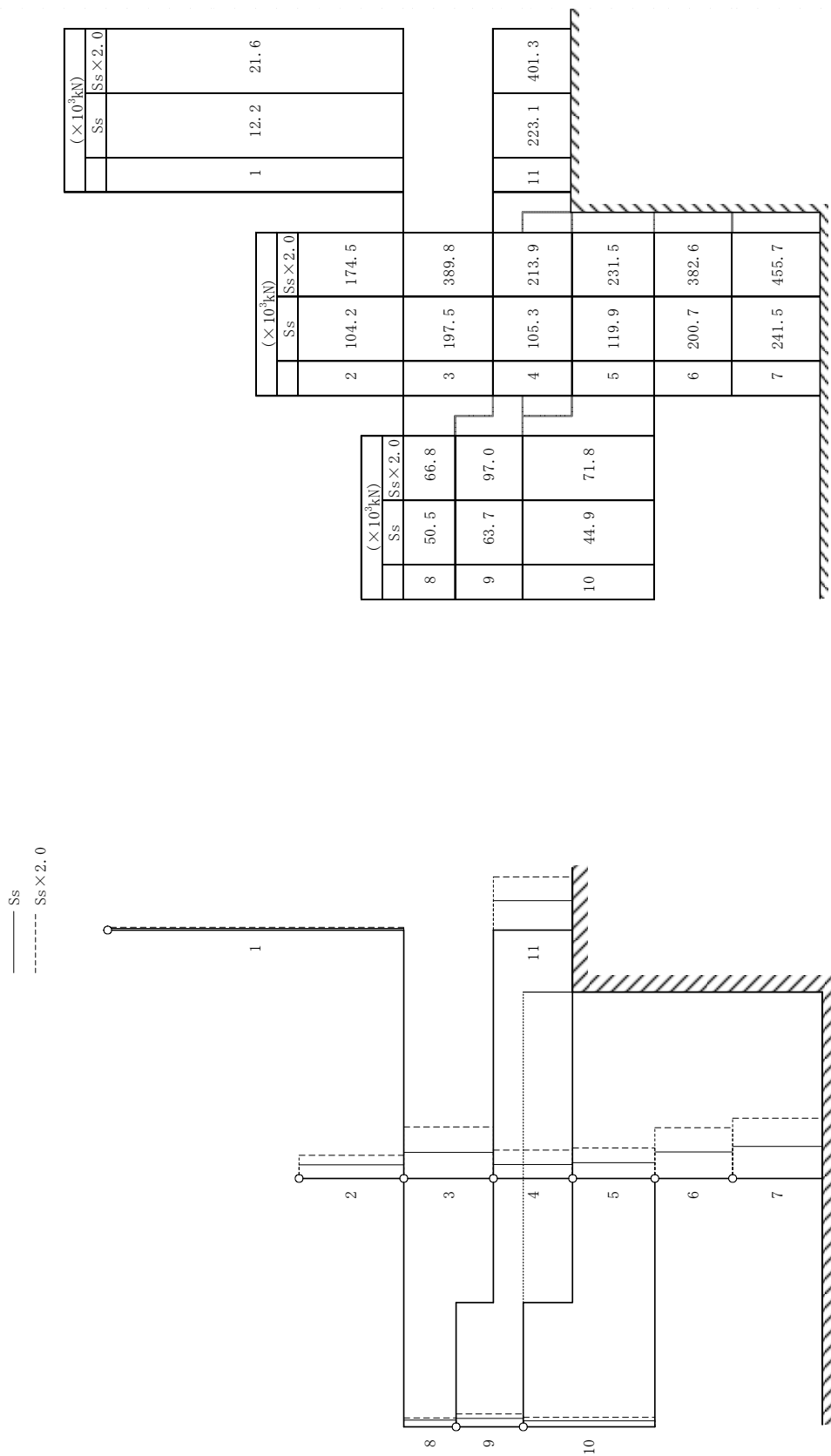
第 2.4.2-2 図(1) 最大応答加速度分布(X方向)



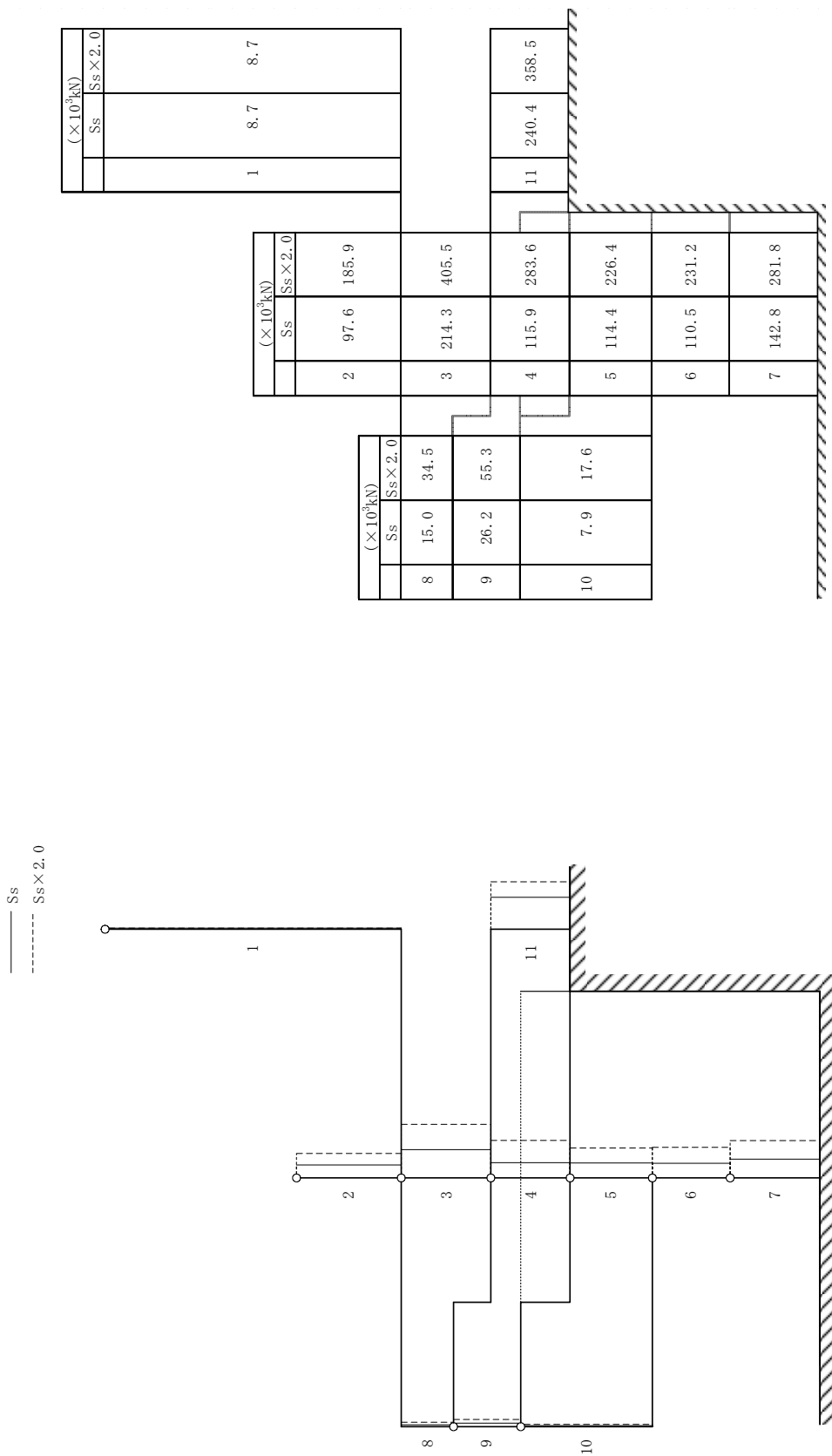
第 2.4.2-2 図(2) 最大応答加速度分布 (Y 方向)



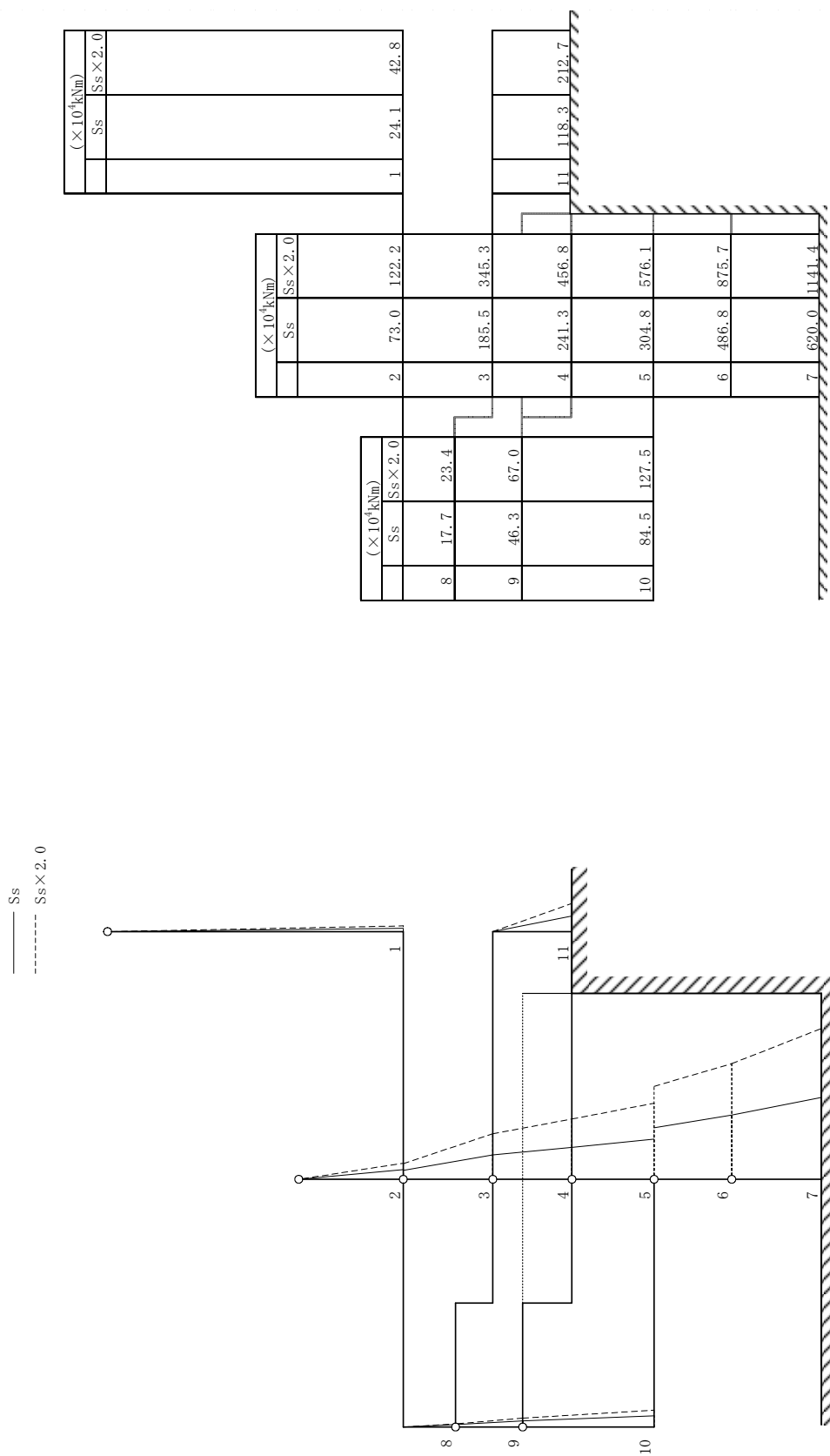
第 2.4.2-2 図(3) 最大応答加速度分布(Z方向)



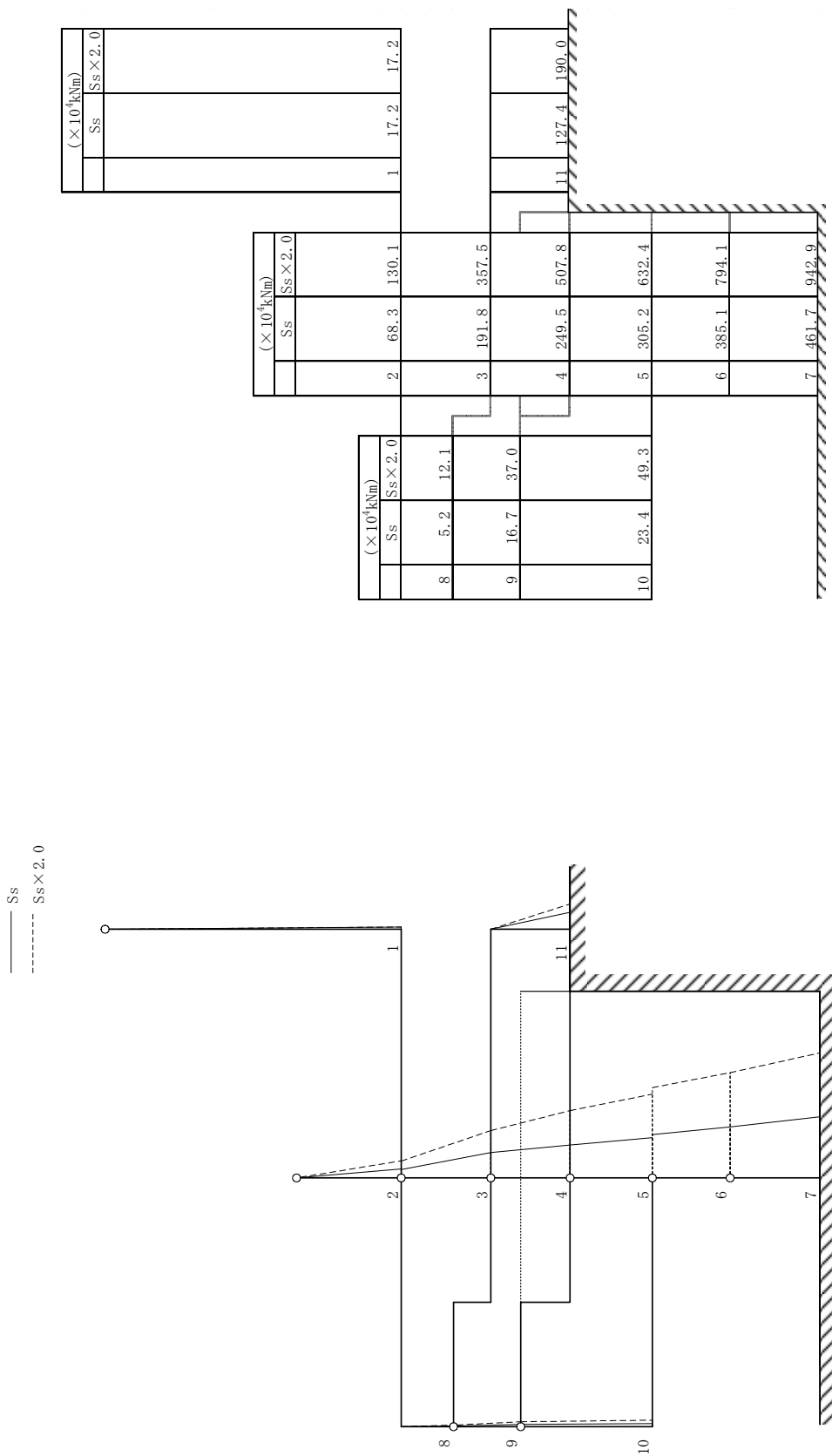
第 2.4.2-3 図(1) 最大応答せん断力分布(X方向)



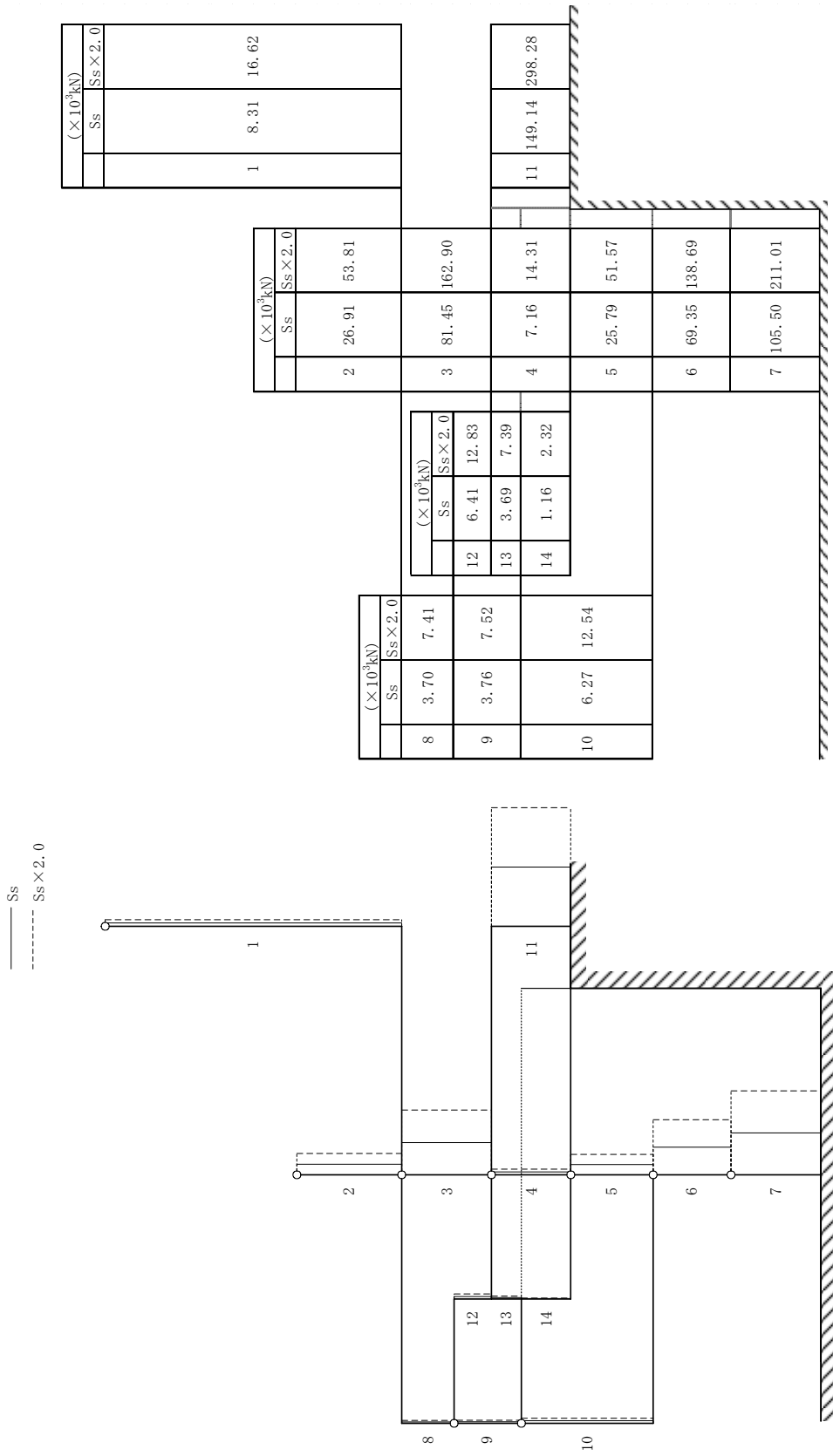
第 2.4.2-3 図(2) 最大応答せん断力分布 (Y 方向)



第 2.4.2-4 図(1) 最大応答曲げモーメント分布(X方向)



第 2.4.2-4 図(2) 最大応答曲げモーメント分布 (Y 方向)



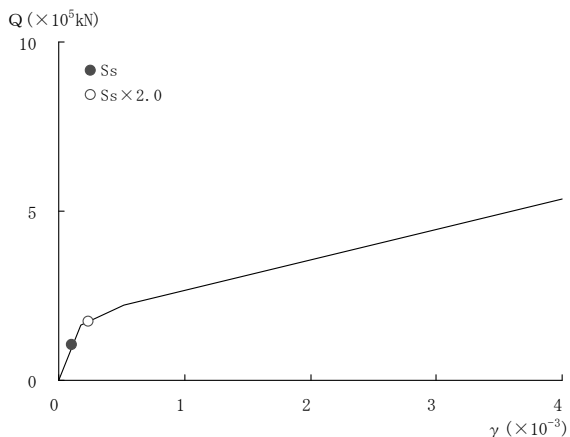
第 2.4.2-5 图 最大応答軸力分布(Z 方向)

2.4.3 許容値

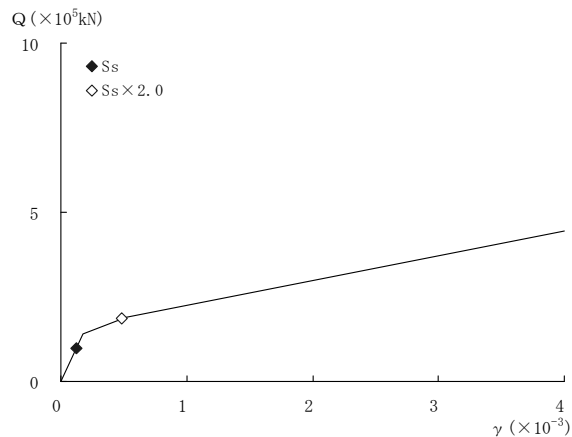
鉄筋コンクリート造耐震壁について、せん断ひずみが、JEAC4601-2008 における鉄筋コンクリート造耐震壁の終局点のせん断ひずみ(4.0×10^{-3})を超えないことを確認する。

2.4.4 評価結果

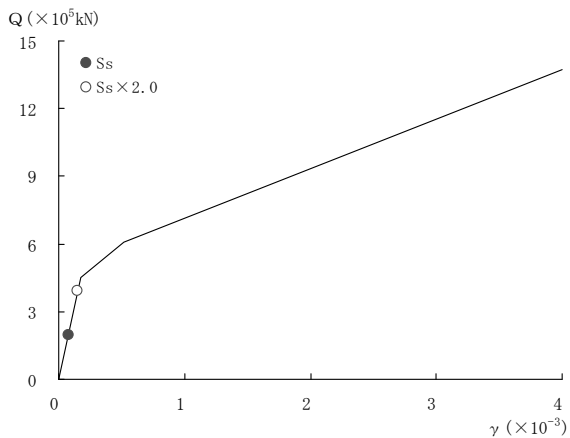
入力地震動による最大応答値を耐震壁のせん断スケルトンカーブ上にプロットしたものを第 2.4.4-1 図に示す。原子炉補助建家の最大応答せん断ひずみは、使用済み燃料ピット位置を含む部材(□3、□11部材)の 0.92×10^{-3} (Y 方向、□11部材)であり、 4.0×10^{-3} を超えないことを確認した。



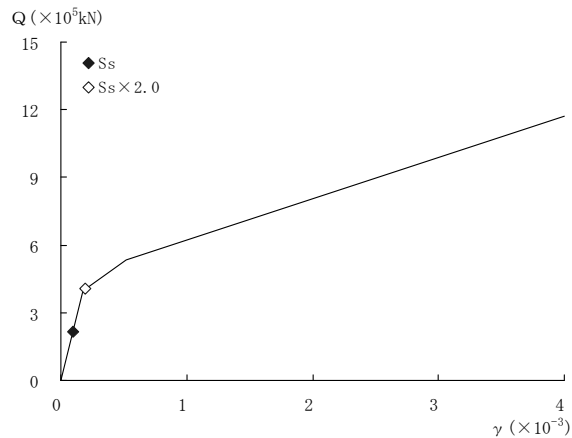
(X 方向 部材 2)



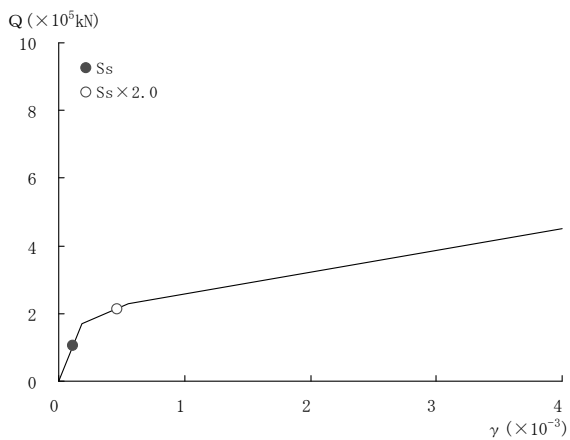
(Y 方向 部材 2)



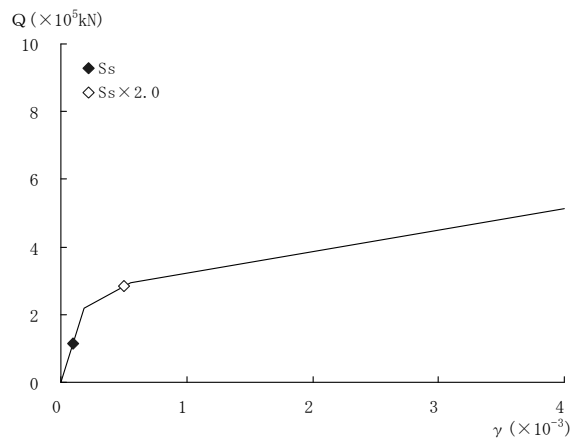
(X 方向 部材 3)



(Y 方向 部材 3)

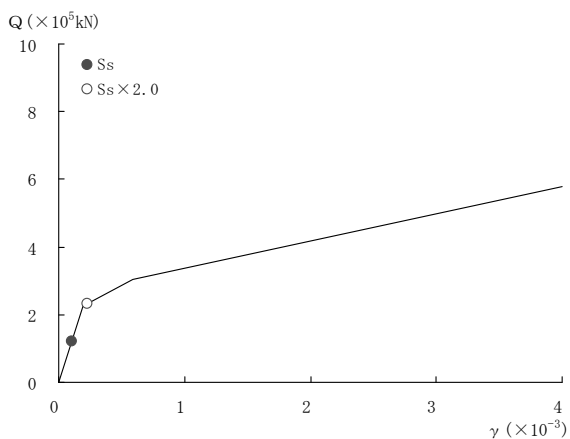


(X 方向 部材 4)

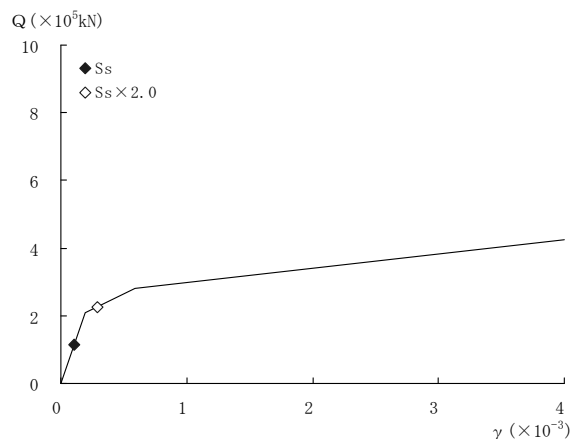


(Y 方向 部材 4)

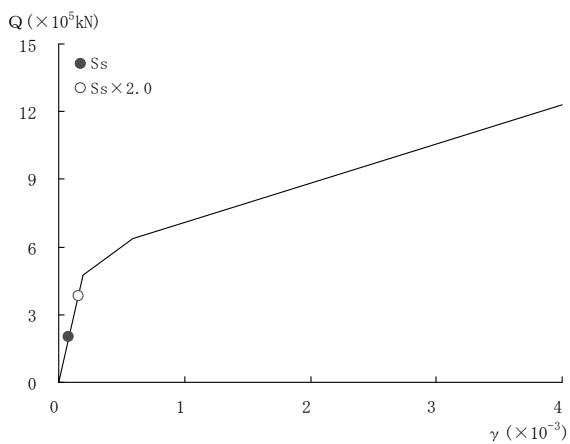
第 2.4.4-1 図(1) 最大応答値(1)



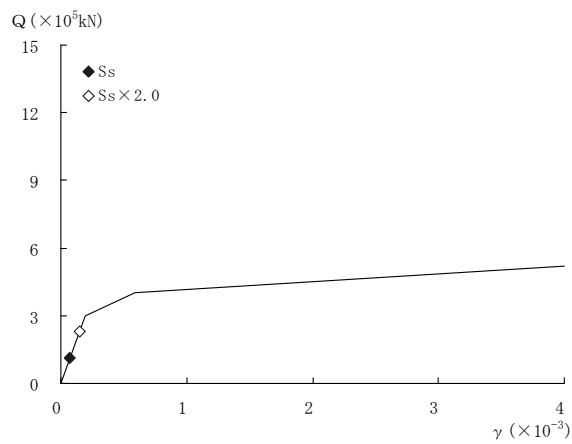
(X方向 部材5)



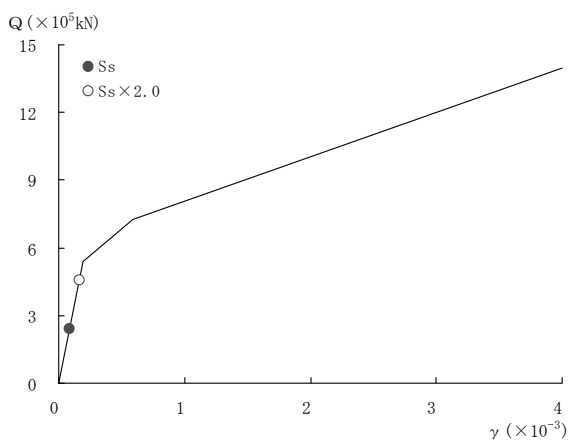
(Y方向 部材5)



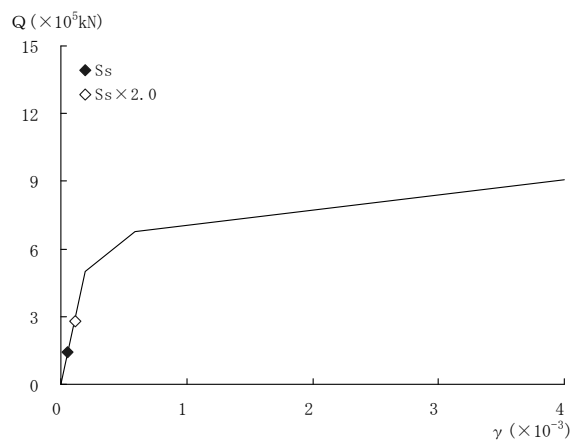
(X方向 部材6)



(Y方向 部材6)

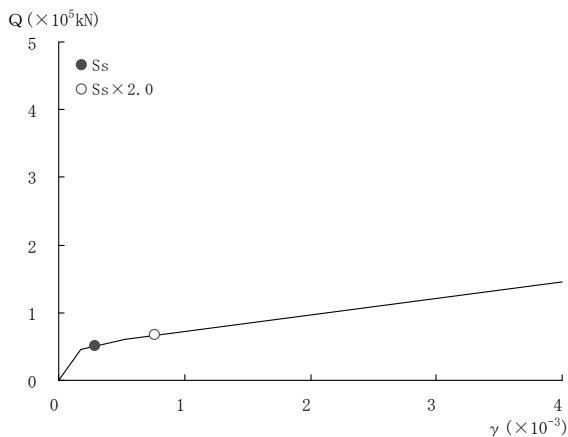


(X方向 部材7)

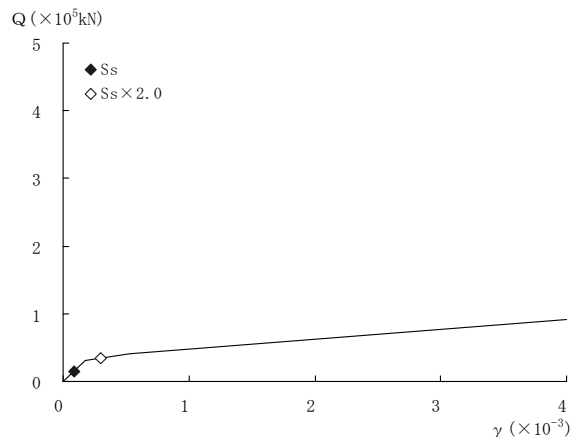


(Y方向 部材7)

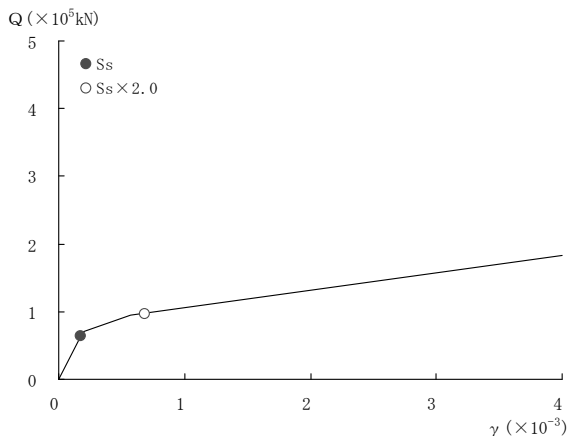
第2.4.4-1図(2) 最大応答値(2)



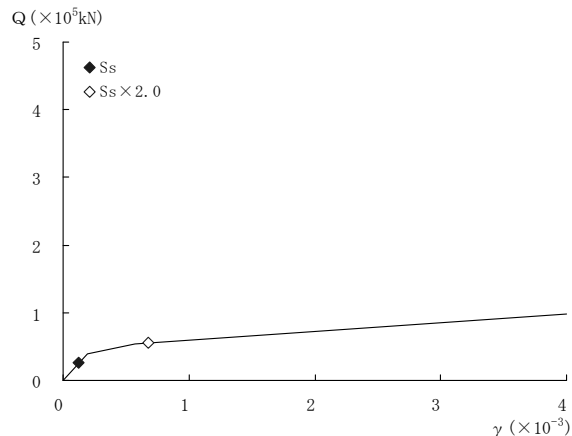
(X方向 部材 8)



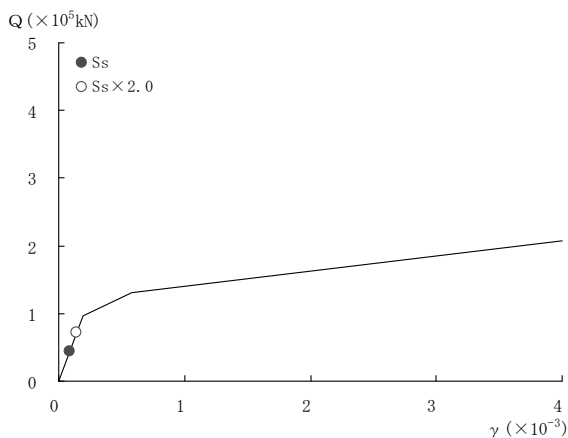
(Y方向 部材 8)



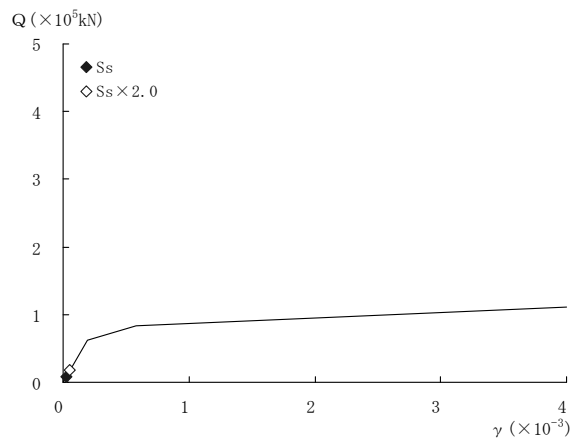
(X方向 部材 9)



(Y方向 部材 9)

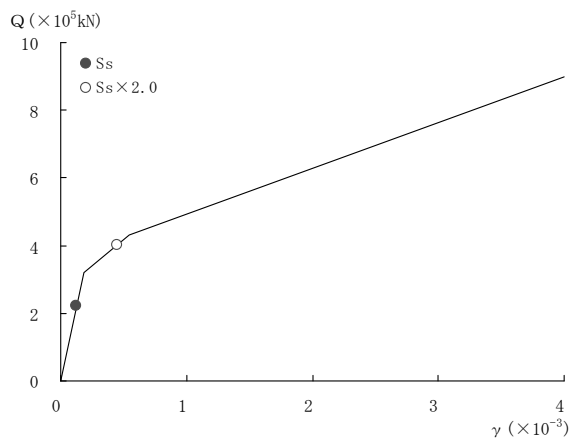


(X方向 部材 10)

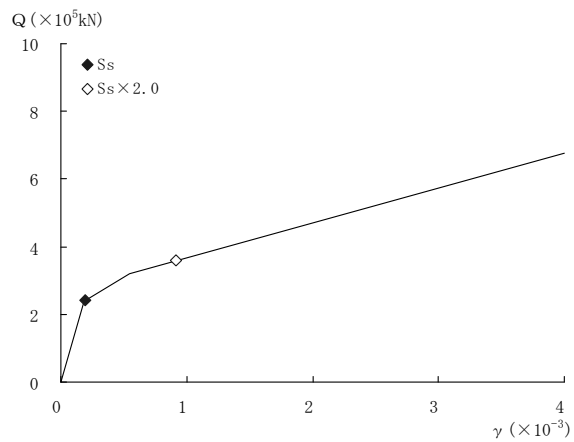


(Y方向 部材 10)

第 2.4.4-1 図(3) 最大応答値(3)



(X 方向 部材 11)



(Y 方向 部材 11)

第 2.4.4-1 図(4) 最大応答値(4)

3. 機器・配管系の耐震裕度評価

3.1 評価概要

耐震 S クラスの設備ならびに、耐震 B, C クラス設備のうち、その破損が耐震 S クラス設備に波及的破損を生じさせ、燃料の重大な損傷に関係し得るおそれがある設備を対象とした構造強度評価結果から耐震裕度を評価する。また、耐震 S クラス設備のうち、ポンプ等の地震時の動的機能が要求される機器については動的機能維持評価結果から耐震裕度を評価する。ただし、今回の評価に影響を及ぼさないと考えられる設備（耐震 S クラス設備を含む）あるいは、設備の構成部位間の裕度の関係やこれまでの評価実績に基づく工学的判断により、耐震裕度が大きいことが明らかな設備については耐震裕度評価を省略する。

評価に当たり、同一仕様・同一設計の複数の設備が存在する場合は、代表設備について評価する。また、配管系のように類似設備が多数存在する場合は、仕様および使用条件等の観点から耐震安全評価上適切にグループ化し、その代表設備について評価する。

耐震裕度評価は、耐震バックチェックの評価結果を原則として用いる。新たに評価を行う場合には、基準地震動 S_s を用いた動的解析によることを基本とし、機器・配管系の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で応答解析を行い、その結果求められた応力値、または応答加速度値等をもとに評価する。解析モデルを設定する際の解析諸元については、設計時の値を用いることを基本とするが、実寸法、実測の物性値および試験研究等で得られた知見も適用の妥当性に留意しつつ用いることとする。

原子炉容器、蒸気発生器および 1 次冷却材ポンプ等の評価にあたっては、水平地震動と鉛直地震動による建屋－機器連成応答解析を行い、それぞれの応答結果を二乗和平方根 (SRSS) 法等により組み合わせる。

また、比較的小型の機器等の評価にあたっては、当該設備の据付床の水平方向および鉛直方向それぞれの床応答を用いた応答解析等を行い、それぞれの応答結果を二乗和平方根 (SRSS) 法等により組み合わせる。

構造強度評価に際しては、当該設備の耐震安全機能を確認する観点から重要な評価箇所を既往評価の評価範囲を参考に選定する。また、選定した評価箇所に対して、地震慣性力による 1 次応力評価を基本として構造強度評価を行う。

動的機能維持評価に際しては、地震時に動的機能が要求される動的機器を選定する。また、選定した動的機器の設置位置における応答加速度と機能確認済加速度との比較を基本として動的機能維持評価を行う。

構造強度評価、動的機能維持評価の両方を行っている設備の裕度評価にあ

たつては、構造強度評価・動的機能維持評価（水平・鉛直）のうち、最も低い裕度をその設備の裕度とする。

なお、平成21年3月に「伊方発電所1,2号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告」を原子力安全・保安院に提出しているが、その後、基準地震動 S_s を見直していること等により、報告書記載値と異なっている。

3.2 具体的な評価内容

3.2.1 構造強度の評価方法

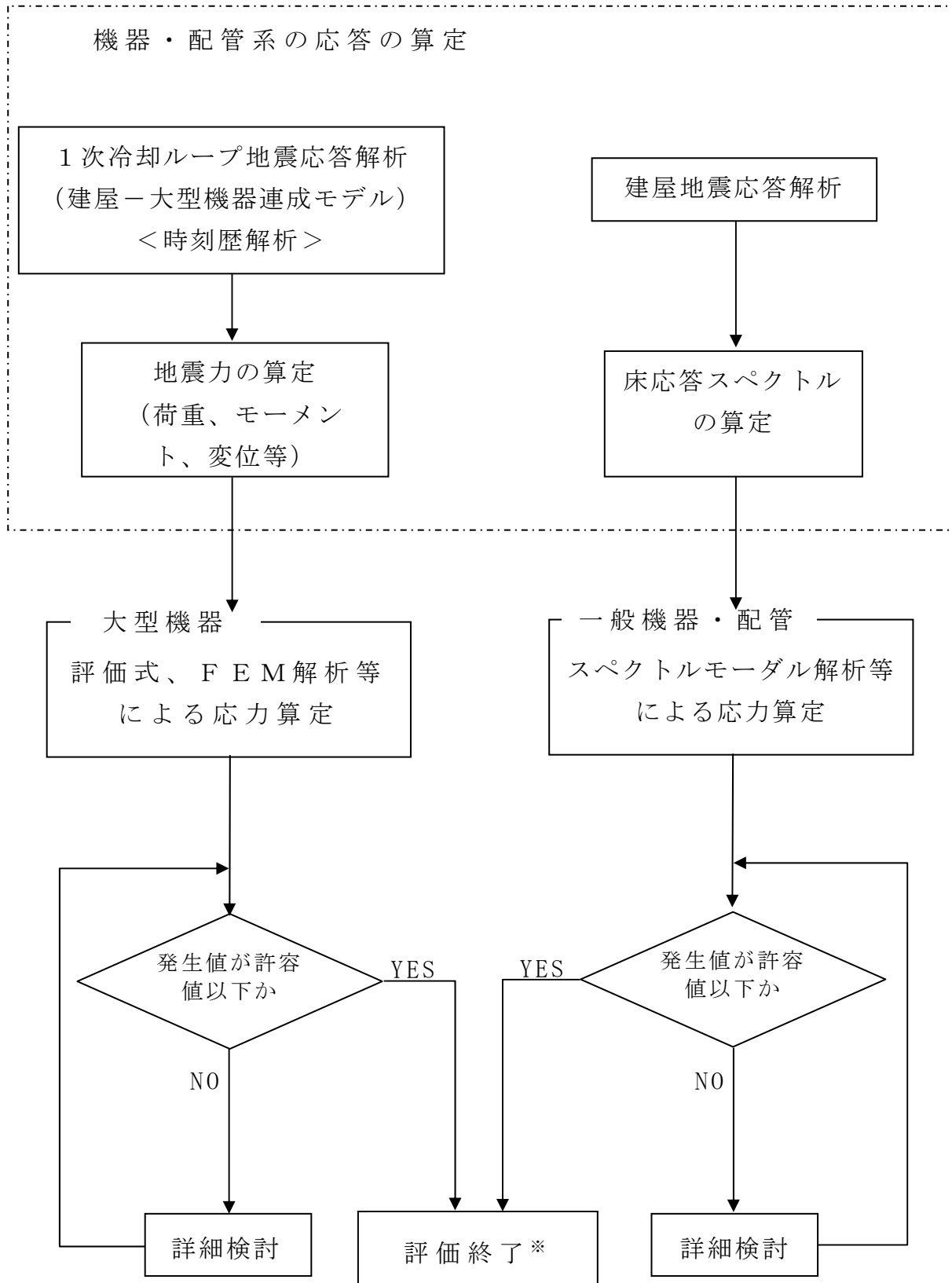
構造強度に関する評価は、原則として耐震バックチェックで用いられる以下に示す解析法による詳細評価を行い、発生値を算定し、許容値と比較する。

- a. スペクトルモーダル解析法
- b. 時刻歴応答解析法
- c. 定式化された評価式を用いた解析法（床置き機器等）

構造強度の評価手順を図 3.2.1-1 に示す。ただし、耐震バックチェック手法は相当の保守性をもった評価手法であるため、裕度を精緻に求める必要がある場合には、

- a. 有限要素法（FEM解析）
- b. 弾塑性解析

といった詳細評価手法等も用いるものとする。



※より精緻な裕度を求める場合は更に詳細な評価を実施する

図 3.2.1-1 構造強度の評価手順

3.2.2 動的機能維持の評価方法

動的機能維持に関する評価は、以下に示す機能確認済加速度との比較あるいは詳細評価により実施する。

動的機能維持の評価手順を図 3.2.2-1 に示す。

3.2.2.1 機能確認済加速度との比較

基準地震動 S_s による評価対象機器の応答加速度を求め、その加速度と機能確認済加速度を確認する。なお、機能確認済加速度とは、立形ポンプ、横形ポンプおよびポンプ駆動用タービン等、機種毎に、試験あるいは解析により、動的機能維持が確認された加速度である。

3.2.2.2 詳細評価

機能確認済加速度の設定されていない機器や、基準地震動 S_s による応答加速度が、機能確認済加速度を上回る機器、もしくは裕度をより精緻に求めたい機器については、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」等を参考に、動的機能維持を確認する上で評価が必要となる項目を抽出し、対象部位毎の構造強度評価または動的機能維持評価を行い、発生値と許容値を比較する。

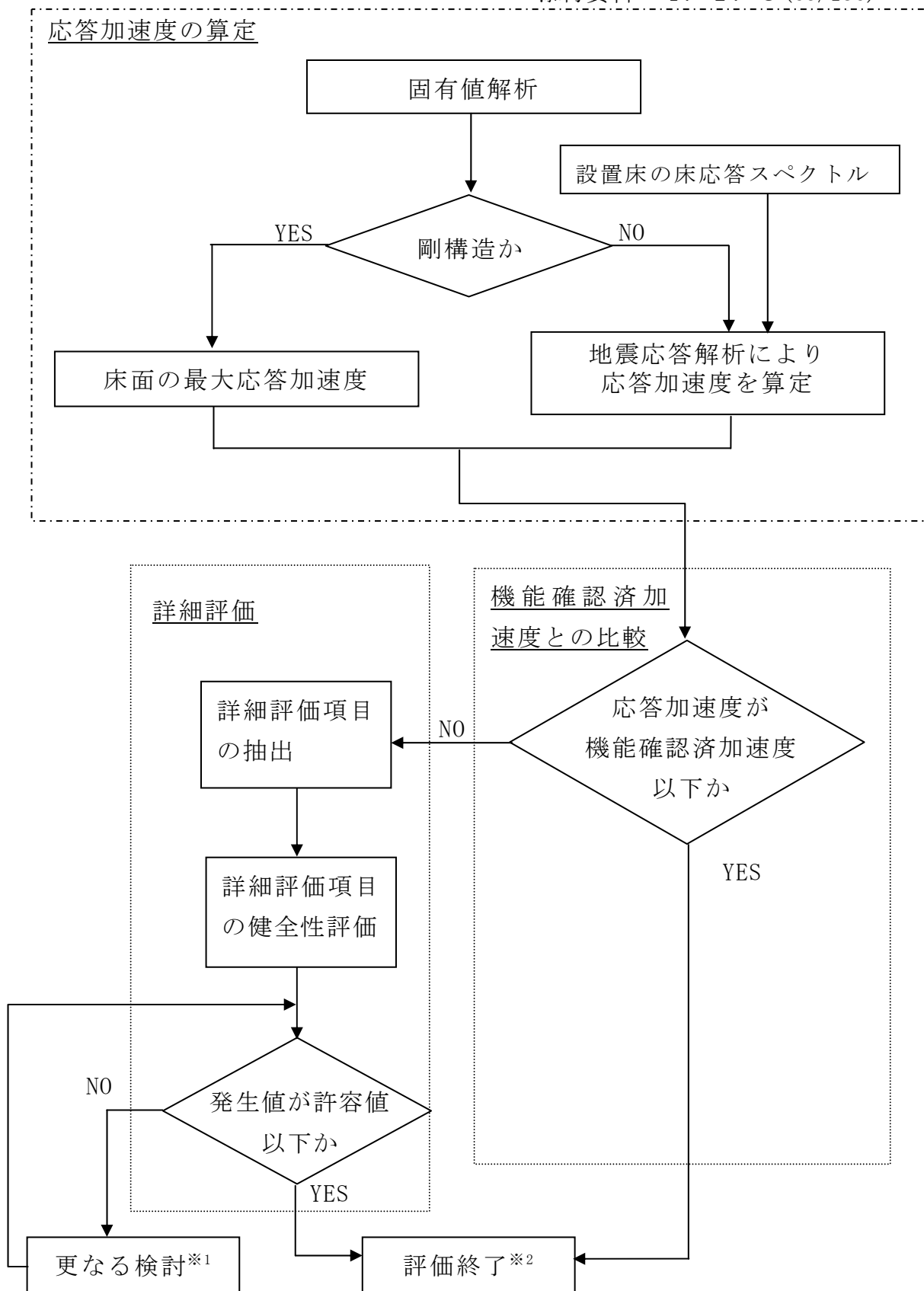


図 3.2.2-1 動的機能維持の評価手順

3.3 地震応答解析

3.3.1 地震応答解析モデル

機器・配管系の地震応答解析モデルは、その振動特性に応じて、代表的な振動モードが適切に表現でき、応力評価等に用いる地震荷重を適切に算定できるものを使用する。また、解析モデルは既往評価で用いられたものの他、有限要素法等実績がある手法によるモデルを使用する。モデル化にあたって使用する物性値等については、既往評価で用いられたものの他、施設運用上の管理値や実測値等を考慮して設定する。

3.3.2 1次冷却設備の地震応答解析

1次冷却設備は、原子炉容器を中心として蒸気発生器、1次冷却材ポンプおよび1次冷却材管からなる複数の1次冷却ループから構成されており、また蒸気発生器には主蒸気管、主給水管が接続されている。さらに、これらの機器・配管系は耐震性を考慮して内部コンクリートに設置された各支持構造物により支持されている。

したがって、1次冷却設備の地震応答解析では、1次冷却ループおよび主蒸気管、主給水管を3次元はり質点系にモデル化し、建屋モデルと連成した解析モデルにより基準地震動 S_s による時刻歴応答解析を実施する。

解析は水平方向（NS および EW の両方向）および鉛直方向について実施する。

3.3.2.1 1次冷却設備解析モデル

原子炉本体（原子炉容器）および1次冷却設備（蒸気発生器、1次冷却材ポンプ等）の地震荷重を算定する解析モデルを図 3.3.2.1-1～2 に示す。

機器・配管系については、配管要素およびはり要素にて3次元はり質点系にモデル化し、支持構造物をモデル化した等価ばね等により建屋モデルとの連成を行う。

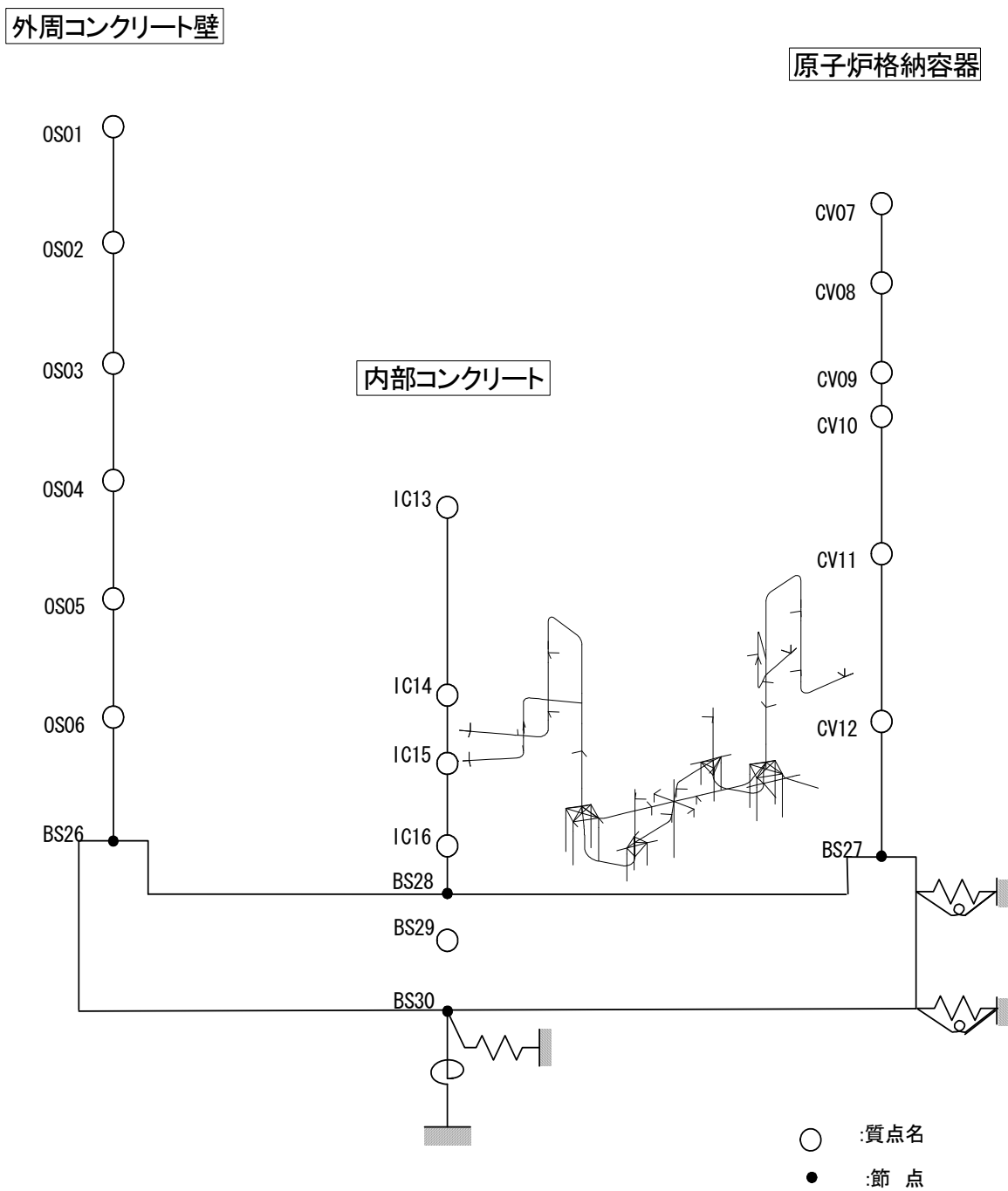


図 3.3.2.1-1

1次冷却設備の建屋－機器連成解析モデル（水平方向）

外周コンクリート壁

原子炉格納容器

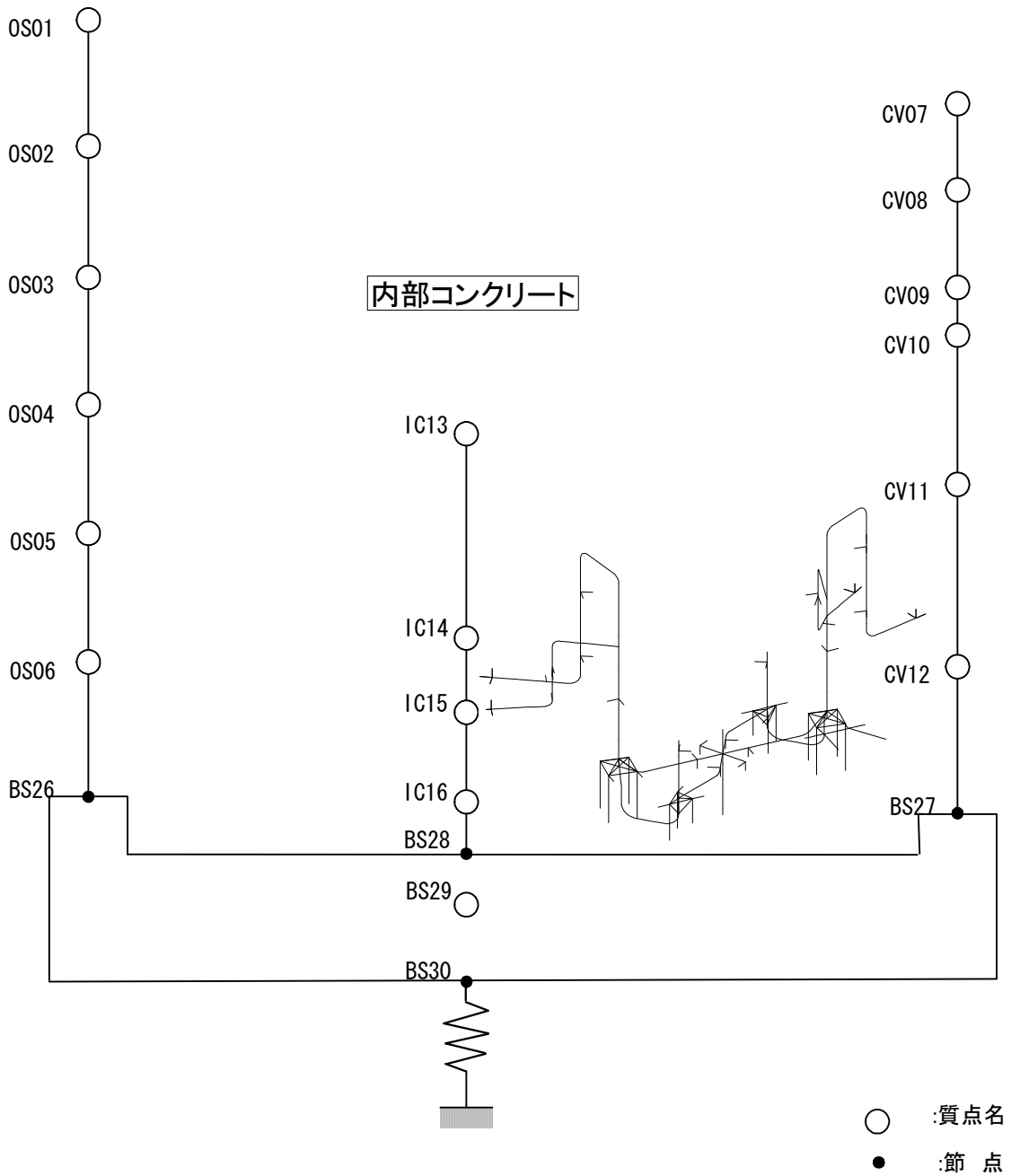


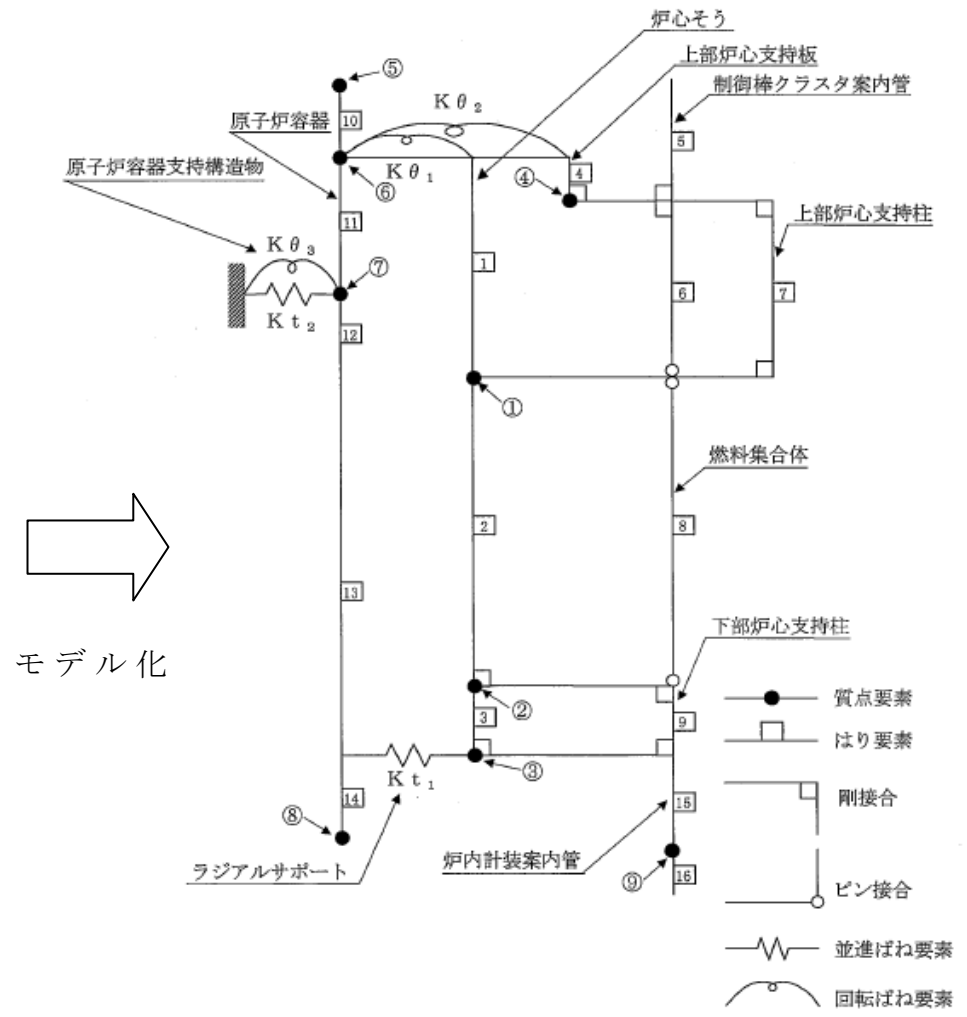
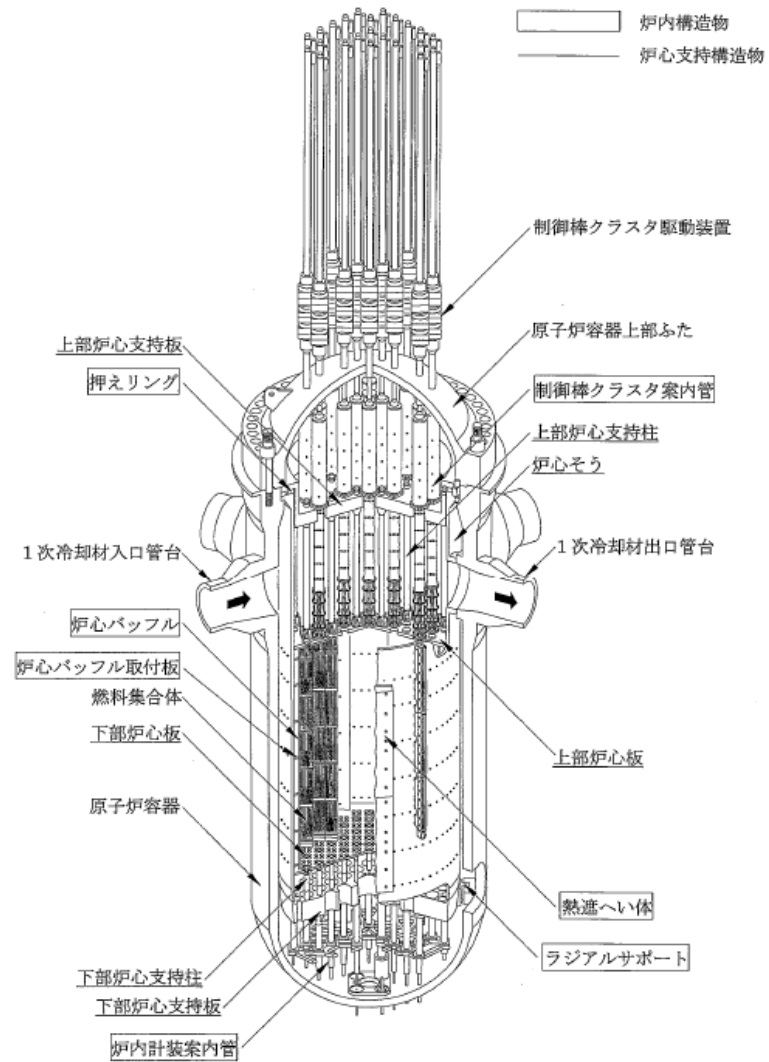
図 3.3.2.1-2

1次冷却設備の建屋-機器連成解析モデル（鉛直方向）

3.3.3 機器・配管系の地震応答解析

3.3.2 項にて示した建屋と連成して地震応答解析を行うものの他、一般的な機器・配管系の地震応答解析では、振動特性等に応じて一質点または多質点によるモデル化を行い、床応答スペクトル、または応答時刻歴波を用いた地震応答解析を行う。

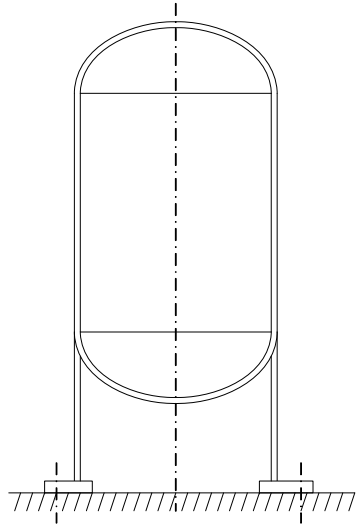
機器・配管系の地震応答解析モデル例を図 3.3.3-1～3 に示す。



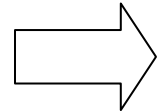
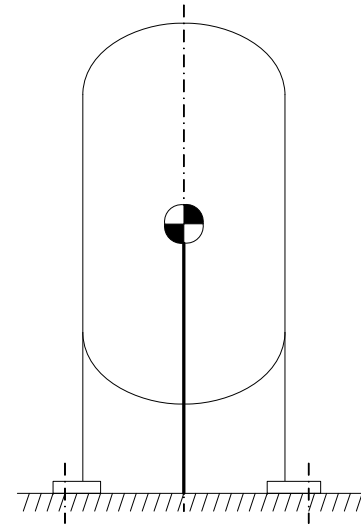
モデル化

図 3.3.3-1 地震応答解析モデル（炉心支持構造物等の例）

スカート支持たて置円筒形容器



● : 重心位置
— : はり要素



モデル化

横形ポンプ

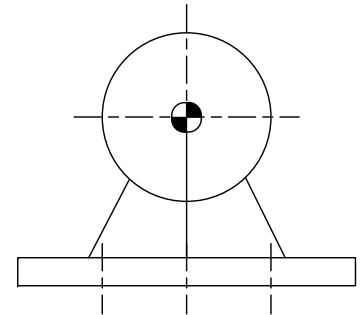
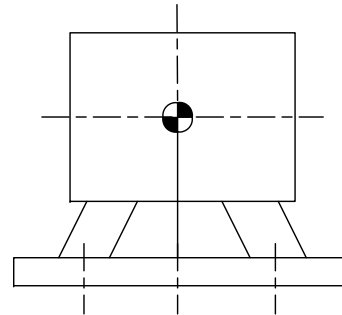
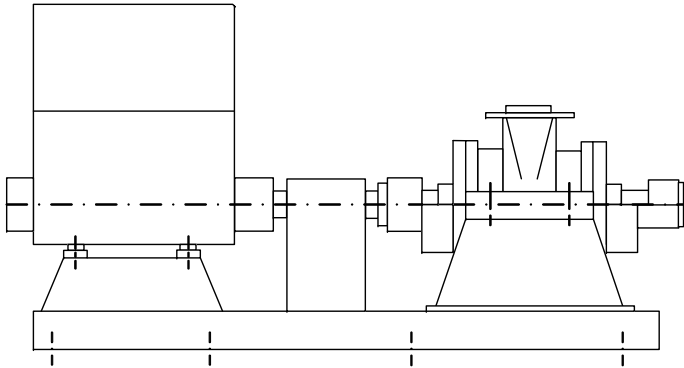


図 3.3.3-2 地震応答解析モデル（補機の例）

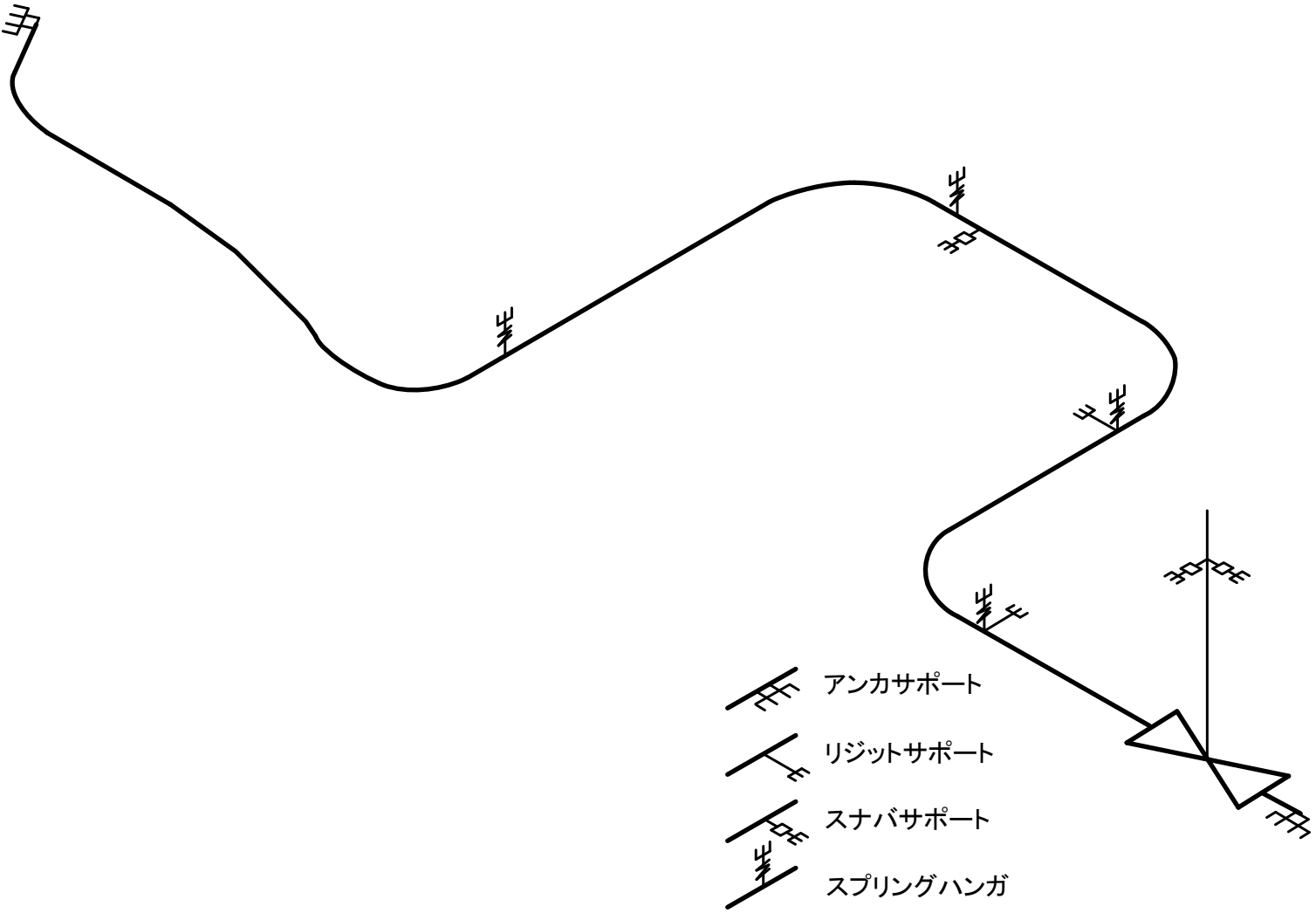


図 3.3.3-3 地震応答解析モデル（配管系の例）

3.3.4 減衰定数

機器・配管系の地震応答解析に用いる減衰定数を表 3.3.4-1 に示す。

減衰定数は、原則として耐震バックチェック評価等で認められている値とし、試験等で妥当性が確認された値等も評価に用いる。

表 3.3.4-1 機器・配管系の減衰定数

対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0
ボルトおよびリベット構造物	2.0	2.0
ポンプ等の機械装置	1.0	1.0
電気盤	4.0	1.0
制御棒クラスタ駆動装置	5.0	1.0
1次冷却設備	3.0	1.0
炉内計装引出管	2.5	2.5
蒸気発生器伝熱管	8.0(面外) 15.0(面内)	1.0
配管系	0.5～3.0	0.5～3.0

3.4. 許容値

3.4.1 構造強度の評価基準

構造強度評価に用いる許容値は耐震バックチェック評価等で認められている値、または試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

設備の実力を忠実に反映する観点より、規格基準で規定されている以外の許容値を適用した設備、およびその妥当性の検討結果を表 3.4.1-1 に示す。

表 3.4.1-1 規格基準より踏み込んだ許容値を用いた設備 (1/2)

設備名	許容値
蓄電池 (架台)	<p>架台フレームの組合せ許容応力 $1.5ft^*$ の算出にあたって、F^* 値に JSME 設計・建設規格に定められる設計引張強さ Su を使用した。</p> <p>規格基準に基づく許容値 $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = \min(294, 280) = 280$ $ft^* = F^*/1.5 = 186$ $1.5 ft^* = 279$</p> <p>今回使用した許容値 $ft^* = S_u/1.5 = 400/1.5 = 266$ $1.5 ft^* = 399$</p> <p><妥当性の説明> 蓄電池は鋼材で組まれた架台の上に電池が乗っている構造であり、蓄電池が落下するような破断が無い限り、機能を満足する。設計引張強さ S_u で評価したとしても、ひずみ量は十分小さく、破断に至るまでの余裕がある。</p>
蓄圧タンク	<p>許容引張応力 $1.5ft^*$ の算出にあたって、JSME 設計・建設規格に定められる設計降伏点 S_y、設計引張強さ S_u の代わりに実測値（ミルシート値）の降伏点 σ_y、引張強さ σ_u を使用した。</p> <p>規格基準に基づく許容値 $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = \min(234, 273) = 234$ $ft^* = F^*/1.5 = 156$ $1.5 ft^* = 234$</p> <p>今回使用した許容値 $F^* = \min(\sigma_y, 0.7\sigma_u) = \min(279, 296) = 279$ $ft^* = F^*/1.5 = 186$ $1.5 ft^* = 279$</p> <p><妥当性の説明> 使用した強度値は当該機器の素材の実測値であり、実力評価として適切である。</p>
蒸気発生器伝熱管	<p>許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ の代わりに JSME 設計・建設規格に定められる設計引張強さ S_u に JEAC4601-2008 に定められる形状係数 α を乗じて使用した。</p> <p>規格基準に基づく許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ $= 1.34 \times \min(2.4 \times 164, 2/3 \times 539) = 481$</p> <p>今回使用した許容値 $\alpha S_u = 1.34 \times 539 = 722$</p> <p>※$\alpha$: JEAC4601-2008 表 4.2.3.1-1 に基づく形状係数</p> <p><妥当性の説明> 設計引張強さ S_u は実測値（ミルシート値）の引張強さに比べ保守的な値となっている。また、蒸気発生器伝熱管は、管群が一体となって振動し、管群内で変形によるひずみが制限されることから、弾性解析での応力評価値が S_u に達した場合であっても、ひずみ量は破断ひずみに比べて十分小さいため、保守的な評価になる。</p>

表 3.4.1-1 規格基準より踏み込んだ許容値を用いた設備 (2/2)

設備名	許容値
制御棒クラスタ駆動装置耐圧部	<p>許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ の算出にあたって、JSME 設計・建設規格に定められる設計応力強さ S_m、設計引張強さ S_u の代わりに実測値（ミルシート値）を使用した。</p> <p>規格基準に基づく許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ $= 1.484 \times \min(2.4 \times 115, 2/3 \times 427) = 409$</p> <p>今回使用した許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ $= 1.484 \times \min(2.4 \times 135, 2/3 \times 445) = 439$</p> <p>※ α : JEAC4601-2008 表 4.2.3.1-1 に基づく形状係数 < 妥当性の説明 > 使用した強度値は当該機器の素材の実測値であり、実力評価として適切である。</p>

3.4.2 動的機能維持の評価基準

機能確認済加速度は、耐震バックチェック評価等で認められている値、または試験等で妥当性が確認された値を用いる。

機能確認済加速度を表 3.4.2-1 に示す。

詳細評価における構造強度評価の許容値は、耐震バックチェック評価等で認められている値を用いる。また、部位毎の動的機能維持の許容値は、個別に試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

表 3.4.2-1 機能確認済加速度 (1/3)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度	
			水平方向 (G※1)	鉛直方向 (G※1)
立形ポンプ	立形斜流ポンプ	コラム 先端部	10.0	1.0
横形ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	軸位置	3.2 (軸直角方向)	1.0
	横形多段遠心式ポンプ		1.4 (軸方向)	
往復動式ポンプ	立形3連往復動式ポンプ	重心位置	1.6	1.0
ポンプ駆動用 タービン	補助給水ポンプ用 タービン	重心位置	1.0	1.0
電動機	横形ころがり軸受電動機	軸受部	4.7	1.0
	横形すべり軸受電動機		2.6	
	立形ころがり軸受電動機		2.5	
	立形すべり軸受電動機			

※1 G=9.80665(m/s²)

表 3.4.2-1 機能確認済加速度 (2/3)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度	
			水平方向 (G ^{※1})	鉛直方向 (G ^{※1})
非常用 ディーゼル 発電機	中速形 ディーゼル機関	機関 重心位置	1.7	1.0
		ガバナ 取付位置	1.8	
制御用 空気圧縮機	立型単気筒圧縮機	シリンダ部	2.2	1.0
弁 (一般弁および特殊弁)	一般弁	駆動部	6.0	6.0
	ゴムダイヤフラム弁		2.7	
	主蒸気隔離弁操作用 電磁弁		6.1 ^{※2}	3.4 ^{※2}
	加圧器安全弁		13.0	3.0
	主蒸気安全弁		10.0	3.0

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

※2 独立行政法人 原子力安全基盤機構「平成 19 年度 原子力施設の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その 4 (弁)に係る報告書」

表 3.4.2-1 機能確認済加速度 (3/3)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度 ^{※2}	
			水平方向 (G ^{※1})	鉛直方向 (G ^{※1})
盤	運転コンソール	据付位置	8.00	2.00
	大型表示装置盤		8.00	7.50
	中央制御室退避時制御盤		9.90	7.80
	安全保護計装盤		10.00	2.00
	安全防護系シーケンス盤		10.00	2.00
	原子炉保護系補助リレー盤		10.00	2.00
	現場盤		9.90	7.80
	リノット分電盤		8.00	12.00
	ディゼールコントロールセンタ		7.10	3.00
	ディゼール発電機制御盤		5.20	2.00
	タービン動補助給水ポンプ 起動盤		6.00	3.00
	電動補助給水ポンプ 現場盤		6.00	3.00
	充てんポンプ 速度制御盤		5.80	2.60
	充てんポンプ 速度制御補助盤		5.80	2.60
	メタラ		6.00	1.20
	パワーセンタ		3.14	1.39
	原子炉コントロールセンタ		7.10	3.00
	ドロップ盤		5.00	2.00
	直流コントロールセンタ		12.00	8.00
	直流分電盤		8.00	12.00
	充電器盤		5.20	2.00
	計装用電源盤		2.42	1.21
	計装用分電盤		8.00	12.00
切替器盤	7.10	3.00		
制御用空気圧縮機盤	4.30	3.00		
計装器具	制御用地震計		1.60	1.00
	1次冷却材高温側および低温側温度計		15.00	15.00
	その他の計器		6.43	2.37

※1 G=9.80665 (m/s²)

※2 既往試験（電力共通研究、メーカー社内試験等）により確認された数値

4. 耐震バックチェック評価と異なる評価を用いる設備

4.1 概要

耐震バックチェック評価においては、基本的に建設時の工事計画認可申請における評価手法等を用いているため、保守的な条件設定（例えば使用材料については実際に使用されている材料の強度ではなく、規格基準上定められている、より低い強度を採用している等）により評価していることから、耐震バックチェック評価より算出される耐震裕度は実際の設備が持つ耐震性よりも大幅に低いものとなる。設備設計の段階等、十分耐震安全性が確保されていることを確認することを目的としているような場合には、このような保守的な評価を実施することが妥当と考えるが、総合評価においては、想定を超えた地震が発生した場合のプラント全体の裕度について評価することを目的とするため、設備の耐震裕度をより現実的に求める（評価を精緻化する）ことにより、クリフエッジ評価をより現実に近いものとするのが望ましいと考えた。そのため、対象設備のうち、特にクリフエッジ評価に影響するような設備の耐震裕度をより忠実に反映する観点から、一部耐震バックチェック評価と異なる条件等を採用し、評価を精緻化している。なお、耐震バックチェック評価から算出される耐震裕度が他の対象設備と比較して大きい設備については、クリフエッジ評価には影響しないことから精緻化は実施していないが、これら設備についても実際の耐震裕度は報告した裕度より更に大きいと考える。

4.2 評価結果

概要で述べた考え方にに基づき、耐震バックチェック評価（波及的影響を検討する下位クラス施設ならびに緊急安全対策に係る設備を含む）と総合評価との差異について表4． 2－1に示す。

なお、今回の評価において、地震により安全機能を喪失することが極めて考えにくい設備等については、クリフエッジ評価において、結果に影響を及ぼすことがないことから裕度算出の対象外としている。クリフエッジ評価において抽出対象外とした設備および理由については添付資料－ 4． 1． 8 に記載した。

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (1 / 8)

設備名	評価部位および損傷モード				評価値		許容値				備考
	BC		ST (BC と異なるもの)		BC	ST	BC		ST (BC と異なるもの)		
	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価値 [MPa]	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	裕度	許容値 [MPa]	裕度	
原子炉容器	安全注入用管台 (8L)	膜応力+曲げ応力	安全注入用管台 (8C)	膜応力+曲げ応力	249	184	424	1.70	424	2.30	補足①参照
	空気抜管台 (2, 4)	膜応力+曲げ応力	—	—	267	248	531	1.98	512	2.06	補足①参照
炉内構造物	ラジアルサポート (ラジアルキー)	膜応力+曲げ応力	熱遮へい体取付ボルト	膜応力+曲げ応力	263	25	372	1.41	483	19.32	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
炉内構造物のうち 制御棒クラスタ案内管	制御棒クラスタ案内管	膜応力+曲げ応力	—	—	25	—	391	15.64	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
炉心支持構造物	下部炉心支持柱取付ボルト	膜応力+曲げ応力	下部炉心支持板	膜応力+曲げ応力	209	116	569	2.72	372	3.20	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
燃料集合体	燃料被覆管	体積平均相当応力	—	—	100	—	290	2.90	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
	制御棒案内シムプル	膜応力+曲げ応力	—	—	93	—	194	2.08	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
	支持格子	衝撃力	—	—	※1	—	—	—	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】 ※1 支持格子の永久変形を評価し、制御棒挿入性に影響しないことを確認
原子炉容器支持構造物	レベリングスクリュー	せん断応力	—	—	128	—	361	2.82	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
原子炉容器支持構造物 埋込金物	コンクリート	鉛直方向荷重	—	—	7,253 [kN]	—	19,372 [kN]	2.67	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
蒸気発生器	給水入口管台 (9L, 10L)	膜応力+曲げ応力	給水入口管台 (2)	膜応力+曲げ応力	270	188	413	1.52	378	2.01	補足①参照
蒸気発生器内部構造物	伝熱管	膜応力+曲げ応力	湿分離器支持環	膜応力+曲げ応力	398	202	481	1.20	471	2.33	補足②参照
蒸気発生器支持構造物	下部支持構造物パッド	せん断応力	—	—	138	—	198	1.43	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
蒸気発生器支持構造物 埋込金物	下部支持構造物コンクリート (SG-L-B-5)	圧縮荷重	—	—	8,294 [kN]	—	9,317 [kN]	1.12	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
一次冷却材ポンプ	吐出口 (⑨, ⑩)	一次応力 (曲げ応力含む)	—	—	198	—	372	1.87	—	—	—
一次冷却材ポンプ支持構造物	上部支持構造物 ポンプ側ブラケット取付ボルト	引張応力	—	—	564	—	766	1.35	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
一次冷却材ポンプ支持構造物 埋込金物	支持脚埋込金物コンクリート (RCP-C-A-3)	引張荷重	—	—	990 [kN]	—	1,768 [kN]	1.78	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
加圧器	スプレイライン用管台 (5, 6)	膜応力+曲げ応力	ガイドブラケット (IN, OUT)	膜応力+曲げ応力	251	200	406	1.61	431	2.15	補足①参照
	スプレイライン用管台 (5, 6)	膜応力+曲げ応力	スプレイライン用管台 (1A)	膜応力+曲げ応力	251	67	406	1.61	385	5.74	補足①参照
加圧器支持構造物	上部支持構造物 スナバ取付ピン	せん断応力	—	—	228	—	340	1.49	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (2/8)

設備名	評価部位および損傷モード				評価値		許容値				備考
	BC		ST (BC と異なるもの)		BC	ST	BC		ST (BC と異なるもの)		
	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価値 [MPa]	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	裕度	許容値 [MPa]	裕度	
加圧器支持構造物埋込金物	下部支持構造物コンクリート	引張荷重	—	—	7,604 [kN]	—	8,842 [kN]	1.16	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8 参照】
加圧器ヒータ	シース	膜応力+曲げ応力	—	—	47	—	383	8.14	—	—	—
一次冷却材管	ホットレグ	膜応力+曲げ応力	—	—	170	—	348	2.04	—	—	—
	加圧器サージ管台	膜応力+曲げ応力	—	—	134	—	384	2.86	—	—	—
	充てんライン用管台	膜応力+曲げ応力	—	—	140	—	383	2.73	—	—	—
	蓄圧タンク注入ライン用管台	膜応力+曲げ応力	—	—	130	—	383	2.94	—	—	—
再生熱交換器	胴	膜応力+曲げ応力	—	—	96	—	384	4.00	—	—	—
充てんポンプ	原動機基礎ボルト	せん断応力	—	—	36	—	160	4.44	—	—	—
封水注入フィルタ	胴	組合せ応力	—	—	90	—	267	2.96	—	—	—
封水フィルタ	基礎ボルト	引張応力	—	—	21	—	210	10.00	—	—	総合評価では対象外
余熱除去冷却器	基礎ボルト	組合せ応力	胴	膜応力+曲げ応力	86	126	210	2.44	352	2.79	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8 参照】
余熱除去ポンプ	基礎ボルト	せん断応力	—	—	10	—	160	16.00	—	—	—
高圧注入ポンプ	原動機取付ボルト	引張応力	—	—	50	—	210	4.20	—	—	—
蓄圧タンク	基礎ボルト	引張応力	スカート	組合せ応力	353	143	441	1.24	279	1.95	補足③参照 また、耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8 参照】
ほう酸注入タンク	胴	組合せ応力	—	—	102	—	254	2.49	—	—	—
原子炉補機冷却水冷却器	基礎ボルト	組合せ応力	支持脚	組合せ応力	158	108	177	1.12	261	2.41	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8 参照】
原子炉補機冷却水ポンプ	原動機取付ボルト	せん断応力	—	—	13	—	160	12.30	—	—	—
原子炉補機冷却水サージタンク	支持脚	組合せ応力	—	—	217	146	255	1.17	270	1.84	補足④参照
海水ポンプ	電動機取合ボルト	引張応力	—	—	139	126	210	1.51	210	1.66	補足⑤参照
海水ストレーナ	支持台	組合せ応力	—	—	156	—	279	1.78	—	—	—
燃料取替用水タンク	胴	座屈	—	—	0.75 [-]	—	1 [-]	1.33	—	—	—
格納容器再循環サンプスクリーン	ラテラルサポート	組合せ応力	—	—	62	—	204	3.29	—	—	—
制御棒クラスタ	制御棒接合部	膜応力+曲げ応力	—	—	297	—	398	1.34	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8 参照】
制御棒クラスタ駆動装置	原子炉容器ふた一体化構造物	組合せ応力	耐圧部	膜応力+曲げ応力	0.502 [-]	126	1 [-]	1.99	439	3.48	補足③, ⑥参照
ほう酸ポンプ	原動機取付ボルト	せん断応力	—	—	13	—	160	12.30	—	—	—
ほう酸タンク	基礎ボルト	引張応力	スカート	組合せ応力	42	31	210	5.00	261	8.41	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8 参照】

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (3 / 8)

設備名	評価部位および損傷モード				評価値		許容値				備考
	BC		ST (BC と異なるもの)		BC	ST	BC		ST (BC と異なるもの)		
	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価値 [MPa]	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	裕度	許容値 [MPa]	裕度	
ほう酸フィルタ	基礎ボルト	引張応力	胴	組合せ応力	27	14	210	7.77	267	19.07	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
炉内計装引出管	コンジットチューブ	膜応力+曲げ応力	-	-	101	-	333	3.29	-	-	-
大型表示装置盤	盤本体	組合せ応力	-	-	0.63 [-]	0.38 [-]	1 [-]	1.58	1 [-]	2.63	補足⑦参照
運転コンソール	溶接部	せん断応力	-	-	85	-	160	1.88	-	-	-
制御用空気圧縮機	基礎ボルト	引張応力	-	-	43	-	210	4.88	-	-	-
制御用空気だめ	基礎ボルト	引張応力	胴	組合せ応力	54	45	210	3.88	223	4.95	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
燃料取替用水タンクポンプ	ポンプ取付ボルト	引張応力	-	-	12	-	195	16.25	-	-	-
使用済燃料ラック	基礎ボルト	組合せ応力	-	-	128	-	150	1.17	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
使用済燃料ピットクレーン	脚	組合せ応力	-	-	188	-	244	1.29	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
補助建家クレーン	走行レール押え	せん断応力	-	-	133	-	135	1.01	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
格納容器 高レンジエリアモニタ	基礎ボルト	引張応力	-	-	4	-	207	51.75	-	-	損傷した場合でも、炉心冷却には影響しないため、総合評価では対象外とした。
アニュラス排気ファン	基礎 (取付) ボルト	引張応力	-	-	87	-	196	2.25	-	-	放射性物質放出抑制の観点で必要な設備であり、炉心冷却に影響しないため、総合評価では対象外とした。
中央制御室空調ファン	基礎 (取付) ボルト	引張応力	-	-	108	-	174	1.61	-	-	
中央制御室非常用給気ファン	基礎 (取付) ボルト	引張応力	-	-	62	-	210	3.38	-	-	
中央制御室再循環ファン	基礎 (取付) ボルト	引張応力	-	-	96	-	121	1.26	-	-	
アニュラス 排気フィルタユニット	基礎ボルト	せん断応力	-	-	22	-	160	7.27	-	-	
中央制御室非常用 フィルタユニット	基礎ボルト	引張応力	-	-	59	-	210	3.55	-	-	
中央制御室空調ユニット	基礎ボルト	引張応力	-	-	76	-	210	2.76	-	-	
原子炉格納容器本体	リングガータ上端部	膜応力+曲げ応力	-	-	208	-	279	1.34	-	-	損傷した場合でも、炉心冷却に影響しないため、総合評価では対象外とした。
	胴	座屈	-	-	0.68 [-]	-	1 [-]	1.47	-	-	
機器搬入口	取付部	膜応力+曲げ応力	-	-	132	-	279	2.11	-	-	
エアロック	取付部	膜応力+曲げ応力	-	-	133	-	279	2.09	-	-	
格納容器貫通部	取付部	膜応力+曲げ応力	-	-	138	-	279	2.02	-	-	
アニュラスシール	補強ブレース端ボルト	せん断応力	-	-	164	-	220	1.34	-	-	
格納容器スプレイ冷却器	基礎ボルト	組合せ応力	胴	膜応力+曲げ応力	187	100	451	2.41	352	3.52	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
格納容器スプレイポンプ	基礎ボルト	せん断応力	-	-	16	-	160	10.00	-	-	-

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (4/8)

設備名	評価部位および損傷モード				評価値		許容値				備考
	BC		ST (BC と異なるもの)		BC	ST	BC		ST (BC と異なるもの)		
	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価値 [MPa]	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	裕度	許容値 [MPa]	裕度	
よう素除去薬品タンク	基礎ボルト	引張応力	胴	膜応力+曲げ応力	210	65	451	2.14	432	6.64	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
真空逃がし装置	貫通配管	一次応力	-	-	41	-	363	8.85	-	-	損傷した場合でも、炉心冷却に影響しないため、総合評価では対象外とした。
格納容器排気筒	排気筒本体	曲げモーメント	-	-	724 [N・m]	-	26,500 [N・m]	36.60	-	-	損傷した場合でも、炉心冷却に影響しないため、総合評価では対象外とした。
電動補助給水ポンプ	基礎ボルト	引張応力	-	-	26	-	210	8.07	-	-	-
タービン動補助給水ポンプ	ポンプ取付ボルト	引張応力	-	-	38	-	148	3.89	-	-	-
復水タンク	基礎ボルト	組合せ応力	胴	座屈評価	269	0.34 [-]	449	1.66	1 [-]	2.94	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
非常用 DG 内燃機関	基礎ボルト	組合せ応力	-	-	60	-	298	4.96	-	-	-
非常用 DG 空気だめ	胴	組合せ応力	-	-	78	-	267	3.42	-	-	-
非常用 DG 燃料油サービスタンク	基礎 (取付) ボルト	せん断応力	胴	組合せ応力	15	9	160	10.66	240	26.66	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8参照】
非常用 DG 発電機	軸受台 台板取付ボルト	せん断応力	-	-	27	-	148	5.48	-	-	-
直流電源装置	蓄電池架台	組合せ応力	-	-	259	239	279	1.07	399	1.66	補足⑧参照
格納容器ポーラクレーン	横行レール押え取付ボルト	引張応力	-	-	102	-	207	2.02	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
一次冷却設備配管	配管本体	一次応力	-	-	107	-	330	3.08	-	-	-
一次冷却設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	-	-	116	-	245	2.11	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
主蒸気設備配管	配管本体	一次応力	-	-	140	-	315	2.25	-	-	-
主蒸気設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	-	-	94	-	245	2.60	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
主給水設備配管	配管本体	一次応力	-	-	185	-	380	2.05	-	-	-
主給水設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	-	-	59	-	164	2.77	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
余熱除去設備配管	配管本体	一次応力	-	-	170	-	361	2.12	-	-	-
余熱除去設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	-	-	173	-	264	1.52	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
安全注入設備配管	配管本体	一次応力	-	-	111	-	342	3.08	-	-	-
安全注入設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	-	-	134	-	264	1.97	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
原子炉格納容器スプレイ設備配管	配管本体	一次応力	-	-	85	-	379	4.45	-	-	-
原子炉格納容器スプレイ設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	-	-	216	-	264	1.22	-	-	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (5 / 8)

設備名	評価部位および損傷モード				評価値		許容値				備考
	BC		ST (BC と異なるもの)		BC	ST	BC		ST (BC と異なるもの)		
	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価部位	損傷モード (応力分類)	評価値 [MPa]	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	裕度	許容値 [MPa]	裕度	
化学体積制御設備配管	配管本体	一次応力	—	—	66	—	384	5.81	—	—	—
化学体積制御設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	—	—	139	—	264	1.89	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8 参照】
その他配管	配管本体	一次応力	—	—	61	—	401	6.57	—	—	—
その他配管サポート	サポート部材	組合せ応力	—	—	32	—	280	8.75	—	—	総合評価では対象外【添付-4.1.8 参照】
原子炉建家	せん断ひずみ		—		0.45 × 10 ⁻³ [-]	2.29 × 10 ⁻³ [-]	2.0 × 10 ⁻³ [-]	4.44	4.0 × 10 ⁻³ [-]	2	2 × Ss に対し、せん断ひずみ ≤ 4.0 × 10 ⁻³ を確認【2. 建物・構築物の耐震裕度評価、補足⑨および3号機審査質問回答※1 参照】
原子炉補助建家	せん断ひずみ		—		0.30 × 10 ⁻³ [-]	0.92 × 10 ⁻³ [-]	2.0 × 10 ⁻³ [-]	6.66	4.0 × 10 ⁻³ [-]	2	2 × Ss に対し、せん断ひずみ ≤ 4.0 × 10 ⁻³ を確認【2. 建物・構築物の耐震裕度評価、補足⑨および3号機審査質問回答※1 参照】
海水ポンプ室	曲げ		せん断		304.9	0.91 [-]	345	1.13	1.0 [-]	2	2 × Ss に対し非線形解析を実施し、耐力 / 応答を評価した。【補足⑩参照】
海水管ダクト	曲げ		せん断		256.9	0.77 [-]	345	1.34	1.0 [-]	2	2 × Ss に対し非線形解析を実施し、耐力 / 応答を評価した。【補足⑩参照】
動力変圧器	基礎ボルト	引張応力	—	—	110	—	210	1.90	—	—	—
フィルタ盤	基礎ボルト	引張応力	—	—	96	—	210	2.18	—	—	—
直流コントロールセンタ	基礎ボルト	引張応力	—	—	97	—	210	2.16	—	—	—
制御用空気除湿装置	取付ボルト	引張応力	胴	組合せ応力	53	32	210	3.96	234	7.31	耐震バックチェック代表部位は抽出対象外【添付-4.1.8 参照】
電源車	2.5Ss に対して転倒しないことを確認										3号機審査質問回答※2 参照
消防自動車	2.5Ss に対して転倒しないことを確認										3号機審査質問回答※3 参照

※1 : 「3号機審査質問回答」の「(No. 7) 耐震バックチェックとストレステストの相違」 4頁~11頁

※2 : // 31頁~34頁

※3 : // 29頁~30頁

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (6 / 8)

設備名	損傷モード	評価部位および損傷モード				許容値						備考
		BC		ST (BC と異なるもの)		BC			ST			
		水平 [G]	鉛直 [G]	水平 [G]	鉛直 [G]	水平 [G]	鉛直 [G]	裕度	水平 [G]	鉛直 [G]	裕度	
余熱除去ポンプ	機能損傷	0.58	0.34	—	—	1.4	1.0	2.41	—	—	—	—
余熱除去ポンプ用原動機	機能損傷	0.58	0.34	—	—	4.7	1.0	2.94	—	—	—	
充てんポンプ	機能損傷	1.56	0.43	26,204[N]		1.6	1.0	1.02	252,217[N]		9.62	補足⑩参照
充てんポンプ用原動機	機能損傷	1.56	0.43	—	—	4.7	1.0	2.32	—	—	—	
高圧注入ポンプ	機能損傷	1.31	0.43	1,476[N]		1.4	1.0	1.06	40,000[N]		27.10	補足⑩参照
高圧注入ポンプ用原動機	機能損傷	1.52	0.43	—	—	2.6	1.0	1.71	—	—	—	
原子炉補機冷却水ポンプ	機能損傷	0.58	0.34	—	—	1.4	1.0	2.41	—	—	—	—
原子炉補機冷却水ポンプ用原動機	機能損傷	0.58	0.34	—	—	4.7	1.0	2.94	—	—	—	
海水ポンプ	機能損傷	9.0	0.44	1.1[MPa]		10.0	1.0	1.11	4.0[MPa]		3.63	補足⑤参照
海水ポンプ用原動機	機能損傷	26,000[N]		31,000[N]		34,000[N]		1.30	63,000[N]		2.03	
ほう酸ポンプ	機能損傷	13[MPa]		—		160[MPa]		12.30	—		—	—
ほう酸ポンプ用原動機	機能損傷	1.86	0.50	—	—	4.7	1.0	2.00	—	—	—	
制御用空気圧縮機	機能損傷	0.98	0.36	—	—	2.2	1.0	2.24	—	—	—	—
制御用空気圧縮機用原動機	機能損傷	0.98	0.36	—	—	4.7	1.0	2.77	—	—	—	
燃料取替用水タンクポンプ	機能損傷	1.28	0.40	148[N]		1.4	1.0	1.09	23,200[N]		156.75	補足⑩参照
燃料取替用水タンクポンプ用原動機	機能損傷	1.28	0.40	—	—	4.7	1.0	2.50	—	—	—	
アニュラス排気ファン	機能損傷	90[MPa]		—		263[MPa]		2.92	—		—	放射線物質放出抑制の観点で必要な設備であり、炉心冷却に影響しないため、総合評価では対象外としている。
アニュラス排気ファン用原動機	機能損傷	3.36	0.91	—	—	4.7	1.0	1.09	—	—	—	
中央制御室空調ファン	機能損傷	206[MPa]		—		279[MPa]		1.35	—		—	
中央制御室空調ファン用原動機	機能損傷	105[MPa]		—		138[MPa]		1.31	—		—	
中央制御室再循環ファン	機能損傷	138[MPa]		—		170[MPa]		1.23	—		—	
中央制御室再循環ファン用原動機	機能損傷	27[MPa]		—		56[MPa]		2.07	—		—	
中央制御室非常用給気ファン	機能損傷	256[MPa]		—		279[MPa]		1.08	—		—	
中央制御室非常用給気ファン用原動機	機能損傷	32[MPa]		—		56[MPa]		1.75	—		—	
格納容器スプレイポンプ	機能損傷	0.58	0.34	—	—	1.4	1.0	2.41	—	—	—	
格納容器スプレイポンプ用原動機	機能損傷	0.58	0.34	—	—	2.6	1.0	2.94	—	—	—	
タービン動補助給水ポンプ	機能損傷	0.98	0.36	14[MPa]		1.4	1.0	1.42	58[MPa]		4.14	補足⑩参照
タービン動補助給水ポンプ駆動用タービン	機能損傷	0.98	0.36	14[MPa]		1.0	1.0	1.02	58[MPa]		4.14	
電動補助給水ポンプ	機能損傷	0.98	0.36	26[MPa]		1.4	1.0	1.42	210[MPa]		8.07	補足⑩参照
電動補助給水ポンプ用原動機	機能損傷	0.98	0.36	—	—	2.6	1.0	2.65	—	—	—	
非常用予備発電装置機関本体	機能損傷	0.98	0.36	—	—	1.7	1.0	1.73	—	—	—	—
非常用予備発電装置ガバナ	機能損傷	0.98	0.36	—	—	1.8	1.0	1.83	—	—	—	
一般弁	機能損傷	134[MPa]		—		331[MPa]		2.47	—		—	—
主蒸気隔離弁操作作用電磁弁	機能損傷	2.66	0.50	—	—	6.1	3.4	2.29	—	—	—	

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (7/8)

設備名	損傷モード	評価部位および損傷モード				許容値						備考
		BC		ST(BCと異なるもの)		BC			ST			
		水平 [G]	鉛直 [G]	水平 [G]	鉛直 [G]	水平 [G]	鉛直 [G]	裕度	水平 [G]	鉛直 [G]	裕度	
加圧器安全弁	機能損傷	7.40	0.50	—	—	13.0	3.0	1.75	—	—	—	動的機能要求がなく、バウンダリ維持機能のみが要求される。バウンダリ維持機能としては配管の裕度により代表していることから、総合評価では対象としていない。
主蒸気安全弁	機能損傷	6.74	0.50	—	—	10.0	3.0	1.48	—	—	—	動的機能要求がなく、バウンダリ維持機能のみが要求される。バウンダリ維持機能としては配管の裕度により代表していることから、総合評価では対象としていない。
主蒸気逃がし弁	機能損傷	4.21	1.06	58[MPa]		6.0	6.0	1.42	331[MPa]		5.70	補足⑩参照
制御棒 (挿入性)	機能損傷	1.55[s]		—		1.8[s]		2.38	—		—	総合評価では対象外【添付-4.1.8参照】
運転コンソール	機能損傷	1.88	0.54	—	—	8.00	2.00	3.70	—	—	—	—
大型表示装置盤	機能損傷	3.10	0.54	—	—	8.00	7.50	2.58	—	—	—	—
中央制御室退避時制御盤	機能損傷	1.18	0.44	—	—	9.90	7.80	8.38	—	—	—	—
安全保護計装盤	機能損傷	3.48	0.44	—	—	10.00	2.00	2.87	—	—	—	—
安全防護系シーケンス盤	機能損傷	3.48	0.44	—	—	10.00	2.00	2.87	—	—	—	—
原子炉保護系補助リレー盤	機能損傷	1.18	0.44	—	—	10.00	2.00	4.54	—	—	—	—
ソレノイド分電盤	機能損傷	1.73	0.54	—	—	8.00	12.00	4.62	—	—	—	—
ディーゼルコントロールセンタ	機能損傷	3.73	0.44	—	—	7.10	3.00	1.90	—	—	—	—
ディーゼル発電機制御盤	機能損傷	2.54	0.44	—	—	5.20	2.00	2.04	—	—	—	—
タービン動補助給水ポンプ起動盤	機能損傷	1.18	0.44	—	—	6.00	3.00	5.08	—	—	—	—
充てんポンプ速度制御盤	機能損傷	2.37	0.53	—	—	5.80	2.60	2.44	—	—	—	—
充てんポンプ速度制御補助盤	機能損傷	2.37	0.53	—	—	5.80	2.60	2.44	—	—	—	—
メタクラ	機能損傷	2.52	0.44	—	—	6.00	1.20	2.38	—	—	—	—
パワーセンタ	機能損傷	1.46	0.44	—	—	3.14	1.39	2.15	—	—	—	—
原子炉コントロールセンタ	機能損傷	3.88	0.48	—	—	7.10	3.00	1.82	—	—	—	—
ドロップ盤	機能損傷	1.62	0.41	—	—	5.00	2.00	3.08	—	—	—	—
直流コントロールセンタ	機能損傷	4.94	0.48	—	—	12.00	8.00	2.42	—	—	—	—
直流分電盤	機能損傷	1.88	0.52	—	—	8.00	12.00	4.25	—	—	—	—
充電器盤	機能損傷	1.76	0.41	—	—	5.20	2.00	2.95	—	—	—	—
計装用電源盤	機能損傷	0.58	0.41	—	—	2.42	1.21	2.95	—	—	—	—
計装用分電盤	機能損傷	1.88	0.52	—	—	8.00	12.00	4.25	—	—	—	—
切替器盤	機能損傷	1.18	0.44	—	—	7.10	3.00	6.01	—	—	—	—
制御用空気圧縮機盤	機能損傷	1.89	0.44	—	—	4.30	3.00	2.27	—	—	—	—
海水ポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—
原子炉補機冷却水ポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—
電動補助給水ポンプ現場盤	機能損傷	1.54	0.48	—	—	6.00	3.00	3.89	—	—	—	—
充てんポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—
ほう酸ポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—
高圧注入ポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—

表4. 2-1 耐震バックチェック (BC) と総合評価 (ST) との差異 (8 / 8)

設備名	損傷モード	評価部位および損傷モード				許容値						備考
		BC		ST (BC と異なるもの)		BC			ST			
		水平 [G]	鉛直 [G]	水平 [G]	鉛直 [G]	水平 [G]	鉛直 [G]	裕度	水平 [G]	鉛直 [G]	裕度	
格納容器スプレイポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—
余熱除去ポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—
燃料取替用水タンクポンプ現場盤	機能損傷	4.35	0.69	—	—	9.90	7.80	2.27	—	—	—	—
制御用地震計	機能損傷	0.58	0.34	—	—	1.60	1.00	2.75	—	—	—	—
蒸気発生器水位計	機能損傷	1.14	0.52	—	—	6.43	2.37	4.55	—	—	—	—
主蒸気ライン圧力計	機能損傷	2.66	0.50	—	—	6.43	2.37	2.41	—	—	—	—
1次冷却材高温側および低温側温度計	機能損傷	1.77	0.88	—	—	15.00	15.00	8.47	—	—	—	—
1次冷却材圧力計	機能損傷	0.83	0.45	—	—	6.43	2.37	5.26	—	—	—	—
加圧器水位計	機能損傷	0.70	0.38	—	—	6.43	2.37	6.23	—	—	—	—
格納容器圧力計	機能損傷	2.66	0.50	—	—	6.43	2.37	2.41	—	—	—	—
制御用空気供給母管圧力計	機能損傷	2.66	0.50	—	—	6.43	2.37	2.41	—	—	—	—
燃料取替用水タンク水位計	機能損傷	0.58	0.34	—	—	6.43	2.37	6.97	—	—	—	—
加圧器圧力計	機能損傷	0.70	0.38	—	—	6.43	2.37	6.23	—	—	—	—

補足① 地震荷重の分離について

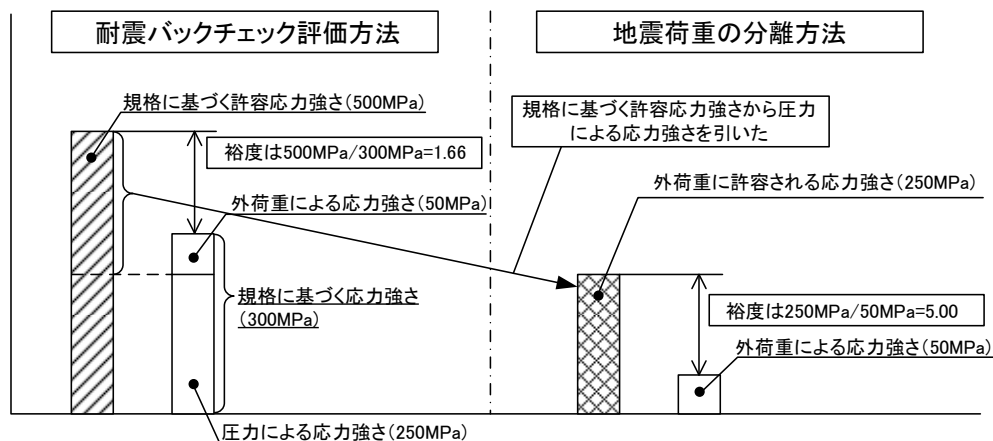
1. 概要

耐震バックチェックでは、圧力による応力と地震荷重を含む外荷重（以下、「外荷重」という。）による応力との合計応力から算出される応力強さの最大値を用いて、規格に基づく裕度を評価している。一方、総合評価では、圧力による応力は外荷重の増減に関係なく一定であることから、外荷重のみに着目し裕度を算出することで、地震に対してより実態に即した裕度（外荷重に対する裕度）を評価している。

外荷重に対する裕度は、外荷重に許容される応力強さ（規格に基づく許容応力強さから圧力による応力強さを引いた値）と、外荷重による応力強さの最大値との比で算出する。算出方法のイメージを下図に示す。ここで、外荷重に許容される応力強さを算出するためには、圧力による応力強さを算出する必要があるが、この算出にあたっては、外荷重による応力強さが最大となる場合において、外荷重による応力と圧力による応力との合計応力から算出される応力強さから外荷重による応力強さの最大値を引くことで簡便に算出する。

総合評価では、耐震バックチェックの評価結果で耐震裕度が厳しい箇所に対して地震荷重の分離を実施する。その後、地震荷重の分離を実施した箇所および実施していない箇所の全ての箇所の裕度を比較して最小裕度を特定し当該施設の耐震裕度とする。

なお、上記方法にて当該施設の耐震裕度を算定すれば、その値は地震荷重を分離していない箇所の算定裕度となる可能性があるが、地震荷重の分離を実施すれば裕度は必ず向上することから、当該施設の耐震裕度は保守的に評価できている。



地震荷重の分離方法のイメージ図（許容値等は仮の数値）

上記の方法により各設備の地震荷重を分離した結果について、次頁以降に示す。

2. 原子炉容器の耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

原子炉容器の耐震バックチェック評価結果について、耐震裕度の少ないものから順に上位10部位を表2-1に示す。

表2-1 耐震バックチェック評価結果

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
安全注入用管台(8L)	膜応力+ 曲げ応力	249	424	1.70
冷却材出口管台 (5L, 6L)	膜応力+ 曲げ応力	238	424	1.78
冷却材入口管台 (5L, 6L)	膜応力+ 曲げ応力	218	431	1.97
空気抜管※ ¹ (2, 4)	膜応力+ 曲げ応力	267	531	1.98
安全注入用管台(8C)	膜応力+ 曲げ応力	184	424	2.30
冷却材出口管台 (5C, 6C)	膜応力+ 曲げ応力	168	424	2.52
容器支持金物 (5~8)	膜応力+ 曲げ応力	154	431	2.79
安全注入用管台(2)	膜応力+ 曲げ応力	136	383	2.81
空気抜管※ ¹ (1, 3)	膜応力+ 曲げ応力	185	531	2.87
冷却材入口管台 (5C, 6C)	膜応力+ 曲げ応力	150	431	2.87

※1は、起因事象「小破断LOCA」の範囲。その他は、起因事象「炉心損傷直結」の範囲。

(2) 今回実施した詳細評価

耐震バックチェック評価結果から算出される耐震裕度が他の評価部位と比べて少ない安全注入用管台(8L)、冷却材出口管台(5L, 6L)、冷却材入口管台(5L, 6L)および空気抜管(2, 4)について、発生値から圧力による応力を分割し、地震に対する裕度をより精緻に評価した。

その結果を表 2－2 に示す。

表 2－2 圧力による応力を除いた耐震裕度評価結果

評価部位	①圧力による応力 [MPa]	②地震等による応力 [MPa]	③許容値 [MPa]	④外荷重に対する許容値 [MPa] [③－①]	⑤外荷重に対する耐震裕度 [④/②]
安全注入用管台 (8L)	248	1	424	176	176.00
冷却材出口管台 (5L, 6L)	208	30	424	216	7.20
冷却材入口管台 (5L, 6L)	194	24	431	237	9.87
空気抜管 (2, 4)	19	248	531	512	2.06

精緻化評価を実施した空気抜管（起因事象：小破断 L O C A の範囲）については、空気抜管(2, 4)の耐震裕度向上後の値を採用した。また、原子炉容器（起因事象：炉心損傷直結）については、安全注入用管台(8L)、冷却材出口管台(5L, 6L)、冷却材入口管台(5L, 6L)の耐震裕度が、いずれも次に耐震裕度の少ない安全注入用管台(8C)の裕度を上回ったことから、総合評価においては安全注入用管台(8C)を原子炉容器の耐震裕度として採用した。

なお、安全注入用管台(8C)についても、同様な手法により耐震裕度の精緻化が可能ではあるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

3. 蒸気発生器の耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

蒸気発生器（内部構造物除く）の耐震バックチェック評価結果について、耐震裕度の少ないものから順に上位4部位を表3－1に示す。

表3－1 耐震バックチェック評価結果

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
給水入口管台 (9L, 10L)	膜応力＋ 曲げ応力	270	413	1.52
給水入口管台 (2)	膜応力＋ 曲げ応力	233	423	1.81
給水入口管台 (1)	膜応力＋ 曲げ応力	217	423	1.94
冷却材入口管台 (4)	膜応力＋ 曲げ応力	177	380	2.14

(2)今回実施した詳細評価

耐震バックチェック評価結果から算出される耐震裕度が他の評価部位と比べて少ない給水入口管台(9L, 10L)、給水入口管台(2)および給水入口管台(1)について、発生値から圧力による応力を分割し、地震に対する裕度をより精緻に評価した。

その結果を表3－2に示す。

表3－2 圧力による応力を除いた耐震裕度評価結果

評価部位	①圧力による 応力[MPa]	②外荷重によ る応力[MPa]	③許容値 [MPa]	④外荷重に対 する許容値 [MPa] [③－①]	⑤外荷重に対 する耐震裕度 [④/②]
給水入口管台 (9L, 10L)	249	21	413	164	7.80
給水入口管台 (2)	45	188	423	378	2.01
給水入口管台 (1)	44	173	423	379	2.19

蒸気発生器の裕度は、精緻化評価を実施した給水入口管台(2)の耐震裕度向上後の値を採用した。

４． 加圧器の耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

加圧器の耐震バックチェック評価結果について、耐震裕度の少ないものから順に上位４部位とスプレイライン用管台の２番目に耐震裕度が少ない部位を表４－１に示す。

表４－１ 耐震バックチェック評価結果

評価部位	応力分類	発生値 [MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
スプレイライン用管台 ^{※1} (5, 6)	膜応力＋ 曲げ応力	251	406	1. 61
サージ用管台 (5, 6)	膜応力＋ 曲げ応力	250	406	1. 62
安全弁および逃がし弁用管台 ^{※1} (5, 6)	膜応力＋ 曲げ応力	243	406	1. 67
ガイドブラケット (IN, OUT)	膜応力＋ 曲げ応力	200	431	2. 15
・ ・ ・				
スプレイライン用管台 ^{※1} (1A)	膜応力＋ 曲げ応力	67	385	5. 74

※1は、起因事象「小破断LOCA」の範囲。その他は、起因事象「大破断LOCA」の範囲。

(2)今回実施した詳細評価

耐震バックチェック評価結果から算出される耐震裕度が他の評価部位と比べて少ないスプレイライン用管台(5, 6)、サージ用管台(5, 6)、安全弁および逃がし弁用管台(5, 6)について、発生値から圧力による応力を分割し、地震に対する裕度をより精緻に評価した。

その結果を表４－２に示す。

表４－２ 圧力による応力を除いた耐震裕度評価結果

評価部位	①圧力による応力 [MPa]	②外荷重による応力 [MPa]	③許容値 [MPa]	④外荷重に対する許容値 [MPa] [③－①]	⑤外荷重に対する耐震裕度 [④/②]
スプレイライン用 管台 (5, 6)	249	1	406	157	157.00
サージ用管台 (5, 6)	246	4	406	160	40.00
安全弁および 逃がし弁用管台 (5, 6)	242	1	406	164	164.00

(注) 数値処理の影響で、「①圧力による応力」と「②外荷重による応力」を足し合わせても、耐震バックチェック評価結果の「発生値」とならない場合がある。

スプレイライン用管台、安全弁および逃がし弁用管台（起因事象：小破断 L O C A の範囲）については、精緻化評価を実施したスプレイライン用管台(5, 6)、安全弁および逃がし弁用管台(5, 6)の裕度が、いずれも次に耐震裕度の少ないスプレイライン用管台(1A)の裕度を上回ったことから、総合評価においてはスプレイライン用管台(1A)の耐震裕度を採用した。また、加圧器（起因事象：大破断 L O C A）については、精緻化評価を実施したサージ用管台(5, 6)の耐震裕度が、次に耐震裕度の少ないガイドブラケット(IN, OUT)の裕度を上回ったことから、総合評価においてはガイドブラケット(IN, OUT)を加圧器の耐震裕度として採用した。

なお、ガイドブラケット(IN, OUT)およびスプレイライン用管台(1A)についても、耐震裕度の精緻化が可能ではあるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

補足② 蒸気発生器内部構造物の耐震裕度評価

1. 耐震バックチェックでの結果

蒸気発生器内部構造物の耐震バックチェック評価結果を表1に示す。

表1 耐震バックチェック評価結果

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
伝熱管	膜応力＋ 曲げ応力	398	481	1.20
管群外筒 支持金物	膜応力＋ 曲げ応力	343	478	1.39
湿分分離器 支持環	膜応力＋ 曲げ応力	202	471	2.33

2. 今回実施した詳細評価

総合評価では、耐震裕度が比較的少ない伝熱管、管群外筒支持金物についてより精緻に評価するため、以下のように耐震バックチェック評価時と異なる解析条件・許容値を用いた評価を行った。

- ・伝熱管：時刻歴解析に準じる手法として、拡幅なしの床応答スペクトルを用いたスペクトルモーダル解析を実施（参考1）
許容値 $\alpha \min (2.4 S_m, 2/3 S_u)$ の代わりに JSME 設計・建設規格に定められている設計引張強さ S_u の α 倍を使用（参考2）
- ・管群外筒支持金物：FEMモデルを用いた解析を実施（参考3）
その結果を表2に示す。

表2 解析条件等を変更した評価結果

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
伝熱管	膜応力＋ 曲げ応力	284	722	2.54
管群外筒 支持金物	膜応力＋ 曲げ応力	170	478	2.81

精緻化評価を実施した結果、伝熱管、管群外筒支持金物の耐震裕度は、湿分分離器支持環の裕度を上回ったことから、総合評価においては湿分分離器支持環を蒸気発生器内部構造物の耐震裕度として採用した。

なお、湿分分離器支持環についても、耐震裕度の精緻化が可能ではあるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

参考1 伊方1号機 蒸気発生器伝熱管の地震応答解析について

蒸気発生器伝熱管の地震応答解析は、日本電気協会 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008（以下、「JEAC4601-2008」という。）に規定された地震応答解析モデルを用いたスペクトルモーダル法による動的解析である。

1. 蒸気発生器伝熱管 U 字管部の振動特性

蒸気発生器は、多数の伝熱管を有する縦型 U ベンド管式の大型熱交換器であり、その U 字管部は振止め金具（以下、「AVB」という。）で支持された構造である。蒸気発生器伝熱管 U 字管部の構造を図 1 に示す。

蒸気発生器伝熱管 U 字管部は、同一列に属する曲げ半径の U 字管が一つの面を形成し、この各列（面）の間に AVB が挿入されている。AVB は各単一の U 字管の面外振動の変位は拘束するが、面内振動および上下振動に対しては摩擦による抑制効果を及ぼすだけである。従って、蒸気発生器伝熱管 U 字管部の振動は、面外振動、面内振動および上下振動で異なる特性を示す。

面外振動に対しては U 字管群全体が AVB を介して一体化されているため、ほぼ全管群で同一の固有振動数を持つ一体振動を示す。

一方、面内振動に対しては、各伝熱管は AVB との摩擦のみによって管群として一体化されているため、加振力が小さい領域においては面外振動と同様に一体振動を示すが、加振力が大きくなると AVB との摩擦力を振り切って独立管として振動するものも生じる。応力的には一体振動する管より独立振動する管の方が大きいいため、面内振動に対しては独立振動する管に注目すれば良い。

上下振動に対しては、機構的には面内振動と同様であるが、固有振動数は高く、剛な応答を示す。

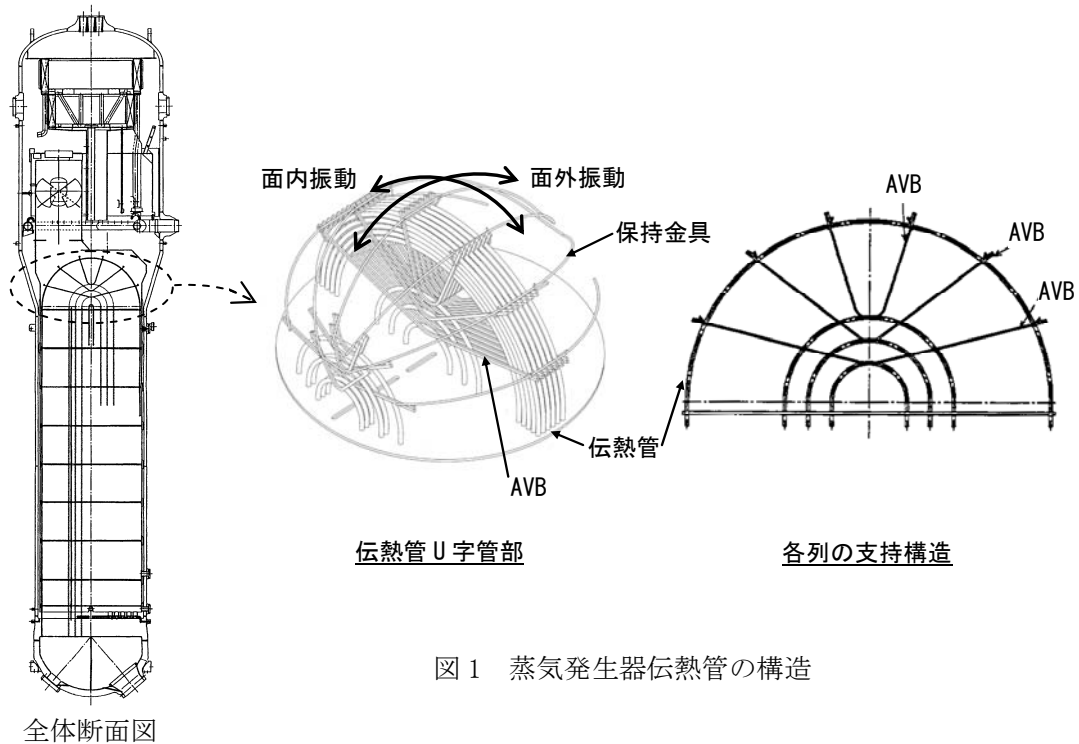


図1 蒸気発生器伝熱管の構造

2. 解析モデルの考え方

蒸気発生器伝熱管の地震応答解析モデルは JEAC4601-2008 に規定されたモデルを用いる。具体的には U 字管部から 2 枚目の管支持板までの長さの直管部を持つ U 字管部モデルとし、面外振動、面内振動および上下振動の振動特性を適切に評価できるモデル化を行う。伝熱管 U 字管部の地震応答解析モデルを図 2 に示す。

(1) 基本的考え方

- a. 面外振動、面内振動および上下振動を評価するモデルは、それぞれ適切にその振動特性を評価出来るよう独立のモデルとするが、代表する伝熱管や AVB のグループ化については共通性をもたせる。
- b. 各モデルは、以下を考慮して、最大曲げ半径伝熱管を含む 6 種類の曲げ半径(R1～R6)の伝熱管で代表させ、それぞれについて考慮した伝熱管の本数分の断面積および断面二次モーメントを有するはり要素でモデル化する。
 - ・ AVB 支持点数
 - ・ 面外振動において、外周部を含む最大発生応力を模擬できること
 - ・ 面内振動において、設計床応答曲線を考慮して最大発生応力を模擬できること
- c. 伝熱管の質量は、振動特性を適切に評価できるように伝熱管質量および水等の付加質量を考慮してモデル化する。
- d. 水平方向振動の設計用減衰定数は、面外振動、面内振動それぞれの振動試験で得られた減衰比の下限值を設定することにより、適切な保守性を持たせることができる。ここでは模擬試験体による振動試験結果に基づき、水平方向振動の設計用減衰定数は面外振動 8.0%、面内振動 15.0%とする。また、上下振動の減衰定数は保守的に溶接構造物の基本的な設計用減衰定数 1.0%とする。

(2) 伝熱管面外解析モデル

- a. U 字管部モデル中央部は最大曲げ半径伝熱管を含む 6 種類の曲げ半径(R1～R6)の伝熱管でモデル化する。また、半球殻の振動特性を模擬できるように、R1～R5 の伝熱管それぞれについて外周部も別にモデル化し、立体的に配置すると共に、AVB を介して一体振動するモデルとする。
- b. AVB は U 字管部モデル中央部に集約させて梁要素でモデル化する。
- c. 伝熱管外周部は保持金具により支持されるモデルとする。

(3) 伝熱管面内解析モデル

面内振動は基本的には一体振動を示すが、独立に振動する管も存在し、応力評価上はこれが支配的となるため、この独立振動管をモデル化の対象とする。独立振動管が AVB との静摩擦力を超えて振動している状態を模擬するため、伝熱管面内解析モデルは、AVB および保持金具を考慮していないモデル化とした平面モデルとする。

(4) 伝熱管上下解析モデル

上下振動は管群全体の一体振動であり、この一体振動を模擬するため、AVB を介した平面モデルとする。

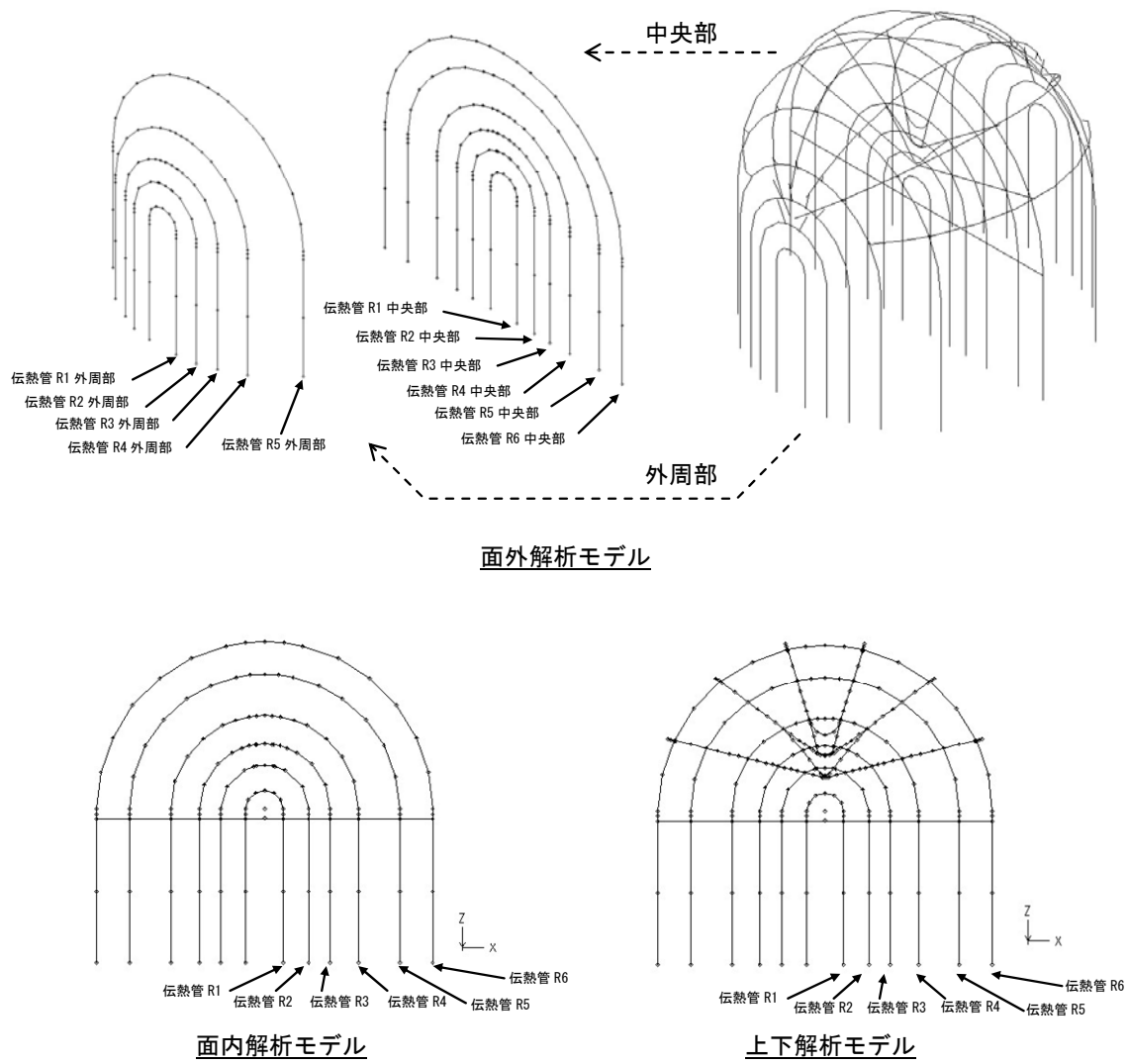


図2 蒸気発生器伝熱管 地震応答解析モデル

3. 地震応答解析

地震により蒸気発生器伝熱管に負荷される地震荷重は、多質点はりモデルに置換した蒸気発生器伝熱管地震応答解析モデルを用いてスペクトルモーダル解析によりモデル化した伝熱管全ての部材力を算出し、最終的に伝熱管 1 本あたりに負荷される最大荷重として求める。なお、地震応答解析には JEAC4601-2008 に規定された設計用減衰定数を用いる。また、評価値は S_s に対して求めるが、床応答スペクトルは設備の実力をより忠実に評価する観点で、拡幅なしのものを用いている。

4. 地震応答解析結果

地震応答解析結果を表 1 に示す。部材力は、面外、面内、上下振動の各部材力を算定し、面外振動部材力は面外振動と上下振動の部材力を SRSS した値、面内振動部材力は面内振動と上下振動の部材力を SRSS した値である。なお、地震荷重の座標系は図 3 に示す部材の軸方向を x 方向、面内正方向を y 方向とする右手座標系である。

表 1 (1/2) 蒸気発生器伝熱管 地震応答解析結果 (面外振動部材力)

部位	軸力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
伝熱管 R1 中央部	0	0	13	75	2,558	7
伝熱管 R2 中央部	7	5	92	3,369	40,248	273
伝熱管 R3 中央部	7	2	56	6,779	44,675	343
伝熱管 R4 中央部	3	2	67	7,866	53,209	317
伝熱管 R5 中央部	4	2	75	7,991	59,767	288
伝熱管 R6 中央部	20	2	81	7,709	63,109	377
伝熱管 R1 外周部	0	0	13	74	2,545	7
伝熱管 R2 外周部	365	199	121	5,169	57,149	9,827
伝熱管 R3 外周部	264	169	147	11,100	93,384	14,518
伝熱管 R4 外周部	191	111	86	11,639	75,435	13,548
伝熱管 R5 外周部	118	77	74	8,550	61,208	14,650

表 1 (2/2) 蒸気発生器伝熱管 地震応答解析結果 (面内振動部材力)

部位	軸力 (N)			モーメント (N・mm)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
伝熱管 R1	14	10	0	0	0	2,984
伝熱管 R2	12	21	0	0	0	3,122
伝熱管 R3	12	14	0	0	0	4,469
伝熱管 R4	18	43	0	0	0	10,618
伝熱管 R5	49	140	0	0	0	54,648
伝熱管 R6	43	118	0	0	0	59,148

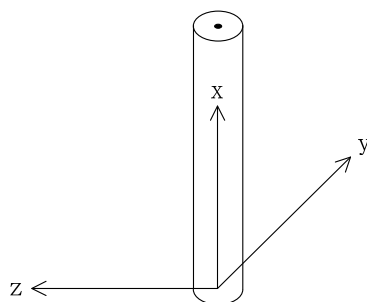


図 3 蒸気発生器伝熱管 地震荷重の座標系

5. 応力評価

面外および面内方向全ての伝熱管の地震応答解析結果の中から地震荷重が最大となる伝熱管を選定し応力評価を行う。

伝熱管に発生する応力のうち、地震荷重を含む外荷重による応力の主成分は軸方向応力である。軸方向応力は、自重および軸力 F_x による引張または圧縮応力と、モーメント $\sqrt{My^2 + Mz^2}$ による曲げ応力との重ね合わせである。ここで、モーメントは軸力に対して約数十倍～数百倍以上であることから、表 1 の場合、応力評価にはモーメント $\sqrt{My^2 + Mz^2}$ が最大となる伝熱管 R3 外周部の荷重（面外振動）を用いる。

なお、伝熱管 R3 外周部の荷重（面外振動）が最大となる理由は以下の通りと考えられる。

伊方 1 号機の蒸気発生器伝熱管の評価においては面外振動と面内振動の双方について行うが、面外振動に対する減衰定数は面内振動に対する減衰定数より小さく、耐震評価上は面外振動が支配的となる。

面外振動においては管群が一体となって振動するが、同一面内の伝熱管に着目した場合、曲げ半径の大きい伝熱管は相対的に剛性が小さく振動しやすいため、曲げ半径の小さい伝熱管よりも応力が高くなる傾向となる。更に、外周部の伝熱管は伝熱管の隙間に挿入された AVB を介して保持金具で連結されているため、隣接する伝熱管とほぼ同じ変位で振動するので、曲げ半径の大きい伝熱管より曲げ半径の小さい伝熱管の応力が大きくなり、局所的に一部の伝熱管の応力が高くなる傾向となるためと考えられる。

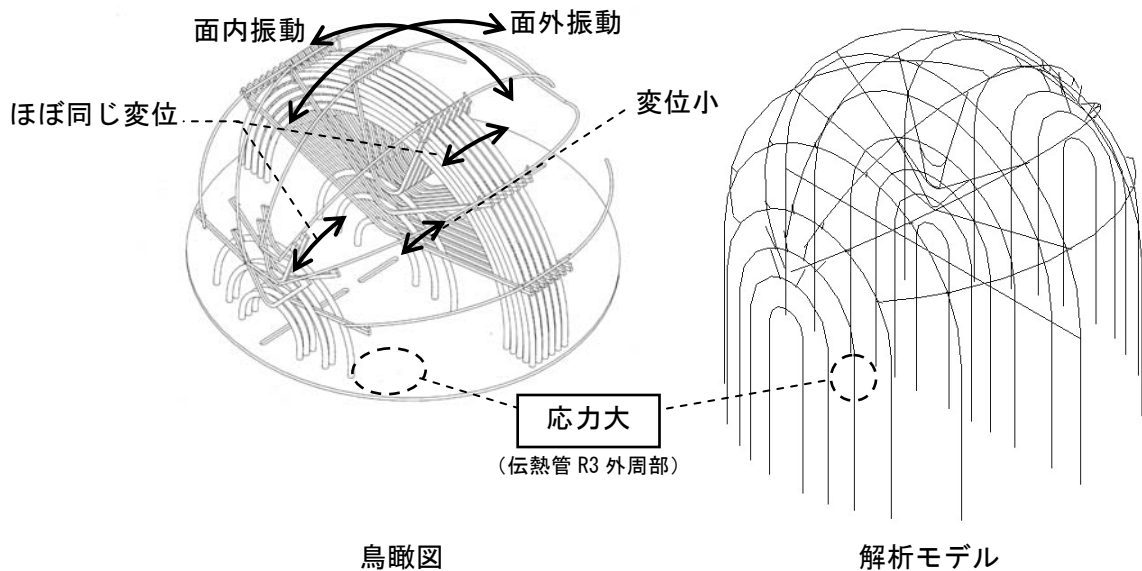


図 4 蒸気発生器伝熱管 U 字管部の構造

6. 応力評価結果

応力評価は、伝熱管 R3 外周部の地震荷重（面外振動）および自重からはり理論に基づき算出した外荷重による応力と、圧力による応力との合計応力から、応力強さを算出する。表 2 に応力評価結果を示す。

表 2 蒸気発生器伝熱管 応力評価結果

圧力による応力(MPa)				外荷重による応力(MPa)				応力強さ(MPa)*		
σ_x	σ_t	σ_r	τ_{rx}	σ_x	σ_t	σ_r	τ_{xt}	S12	S23	S31
45.2	95.6	-5.5	0.0	-231.4	0.0	0.0	16.1	-283.6	102.0	181.6

※ 許容値（722MPa）に対して応力強さの絶対値での最大値（284MPa）を評価値として裕度を評価

参考2 伊方1号機 蒸気発生器伝熱管の許容値が持つ破壊に対する強度の余裕について

蒸気発生器は多数の伝熱管を有する縦型 U ベンド管式の大型熱交換器であり、1次冷却材圧力バウンダリを維持する観点から伝熱管の強度評価を行っている。

伝熱管 U 字管部は振止め金具（以下、「AVB」という。）で支持された構造である。蒸気発生器伝熱管 U 字管部の構造を図 1 に示す。AVB は各単一の U 字管の面外振動の変位は拘束するが、面内振動に対しては摩擦による抑制効果を及ぼすだけであるため、面外振動、面内振動で異なる振動特性を示し、面外振動に対しては U 字管群全体が AVB を介して一体化されているため、ほぼ全管群で同一の固有振動数を持つ一体振動を示す。

一方、面内振動に対しては、各伝熱管は AVB との摩擦のみによって管群として一体化されているため、加振力が小さい領域においては面外振動と同様に一体振動を示すが、加振力が大きくなると AVB との摩擦力を振り切って独立管として振動するものも生じる。

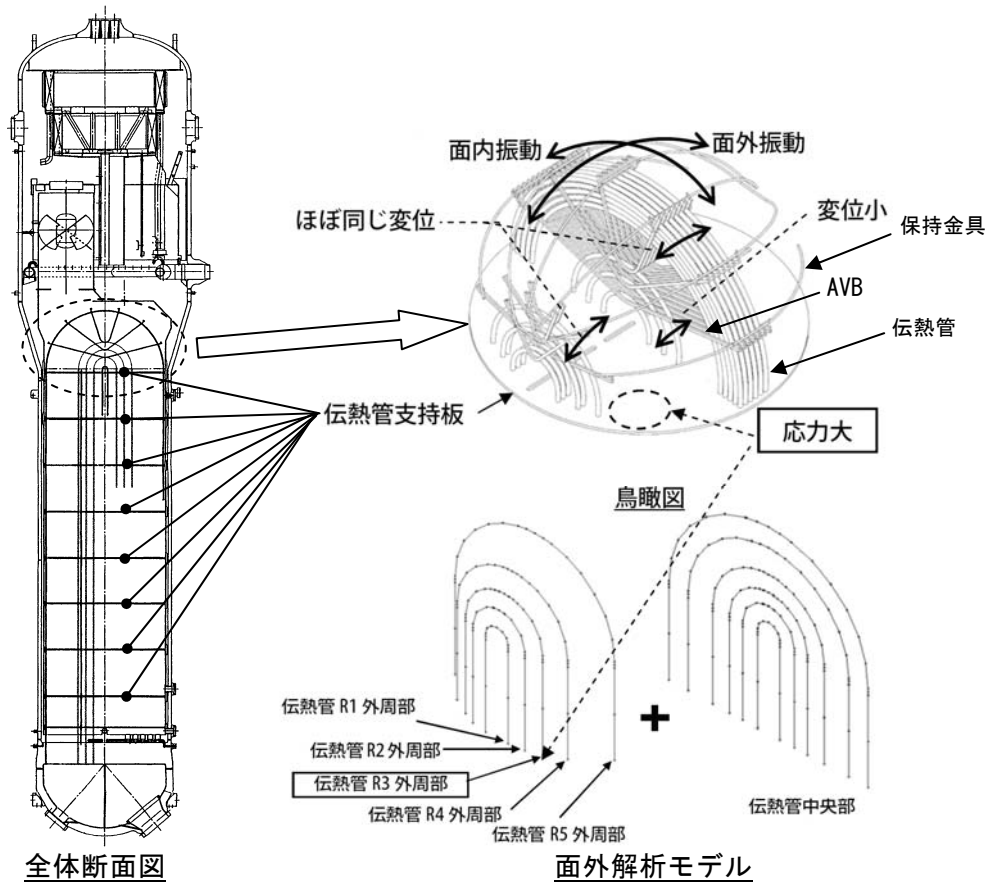


図 1 蒸気発生器伝熱管 U 字管部の構造

伊方1号機の蒸気発生器伝熱管の評価においては面外振動と面内振動の双方について行うが、面外振動に対する減衰定数は面内振動に対する減衰定数より小さく、耐震評価上は面外振動が支配的となる。減衰定数が異なる要因としては、面外振動では伝熱管とAVBの摩擦が減衰の主な影響因子となっているのに対して、面内振動では隣接する伝熱管との衝突が減衰の主な影響因子となっているからと考えられる。

面外振動においては管群全体がAVBを介して一体化されているため、管群が一体となって振動するが、同一面内の伝熱管に着目した場合、曲げ半径の大きい伝熱管は相対的に剛性が小さく振動しやすいことから、曲げ半径の小さい伝熱管よりも応力が高くなる傾向となる。しかし、外周部の伝熱管は伝熱管の隙間に挿入されたAVBを介して保持金具で連結されているため、隣接する伝熱管とほぼ同じ変位で振動するので、曲げ半径の大きい伝熱管より曲げ半径の小さい伝熱管の応力が大きくなり、局所的に一部の伝熱管の応力が高くなる傾向となる。このように耐震評価上厳しくなる伝熱管は構造的な要因で局所的な領域に限られる。最大応力が発生する耐震評価上最も厳しい外周部の曲率の小さい伝熱管は、弾性挙動を示す範囲に応力が留まっている曲率の大きな伝熱管が多くを占める中央部（全伝熱管数の97%以上）と一体となって振動し、中央部による変位を強制的にうけることで応力が発生している。そのため、最大応力の発生する外周部の曲率の小さい伝熱管の応力がSu未満の状態であれば、いずれの伝熱管も破損に至ることはない。

以上のことから、Suを用いて伝熱管の耐震裕度を評価したとしても、破損限界に対して保守性を有した評価となると考えられるため、総合評価においては、許容値 $\alpha \cdot \min(2.4S_m^{*1}, 2/3Su)$ の代わりにJSME設計・建設規格に定められる設計引張強さSuにJEAC4601-2008に定められる形状係数 α を乗じて使用している。

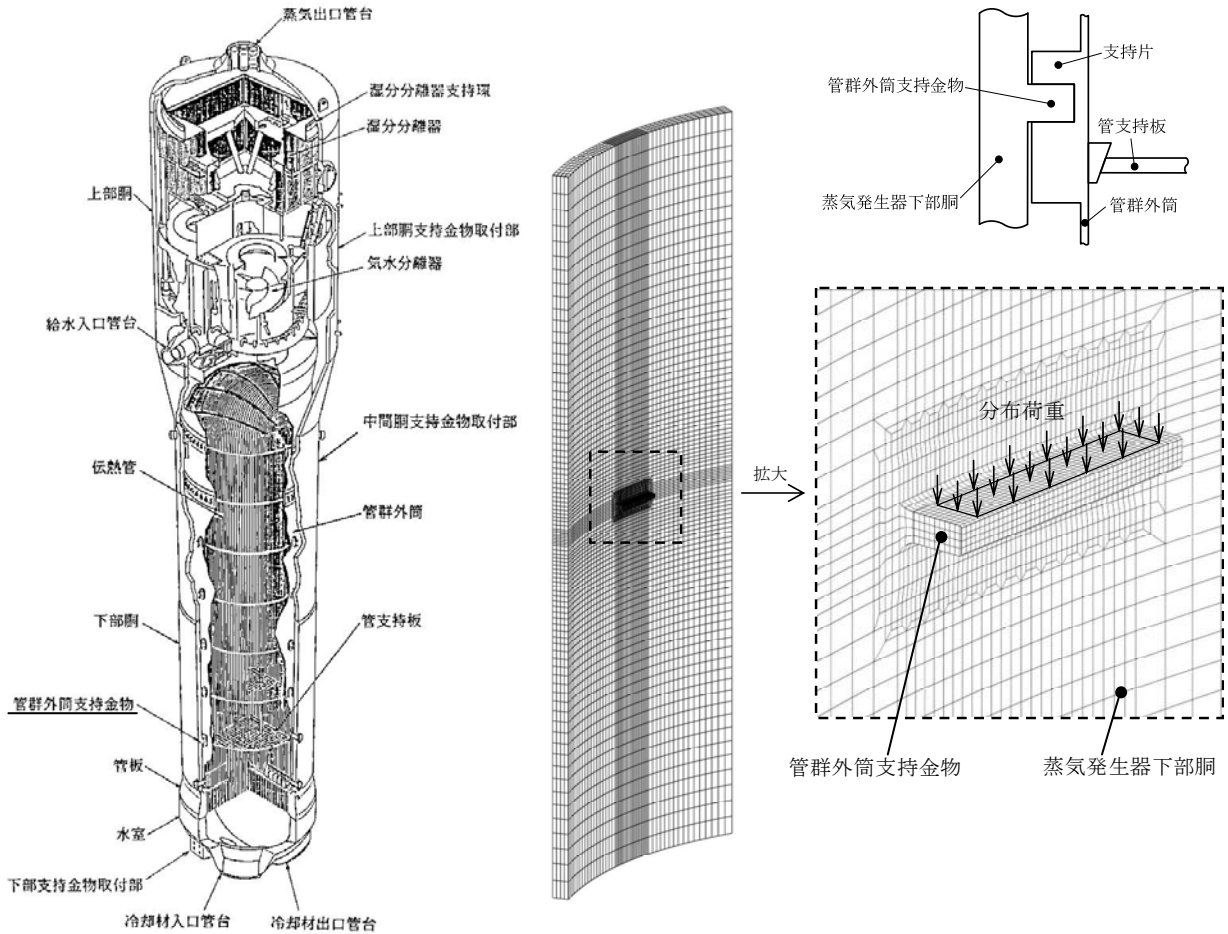
※1 Sm：JSME設計・建設規格に定められる設計応力強さ

参考3 FEMモデルを用いた管群外筒支持金物の耐震評価

総合評価では、管群外筒支持金物の耐震裕度をより精緻に評価するため、耐震バックチェックにて実施しているはり理論による評価に変えて、FEMモデルを用いた解析を実施した。FEMモデル図等を以下に示す。

管群外筒支持金物の形状、寸法、および荷重条件等は、耐震バックチェック評価条件と同じとし、荷重は管群外筒支持金物と支持片との接触面に分布荷重として付加した。

なお、解析コードは耐震バックチェックで実績のある「ABAQUS」を使用した。



蒸気発生器 (例)

管群外筒支持金物 FEMモデル

FEM評価の結果、管群外筒支持金物に発生する応力は170MPa（許容値478MPa）となり、耐震裕度は2.81となった。

補足③ ミルシートを用いた許容値の算出等について

JSME 設計・建設規格に定められる設計降伏点 S_y 、設計引張り強さ S_u は、設計段階での強度評価で用いる各材料の許容値として定義している数値である。一方、設備の実力評価を実施するにあたっては、当該設備個有の素材の実強度が機械試験にて確認されている場合、ミルシートに記載されるそれらの S_y 、 S_u を許容値算出に適用することは問題ないとする。

ミルシート記載値を許容値算出に適用する方法は以下に示すとおりである。

(ミルシート記載値と規格値との差 δ を、許容値算出温度の規格 S_u 値に足し合わせる。
 S_y も同様。)

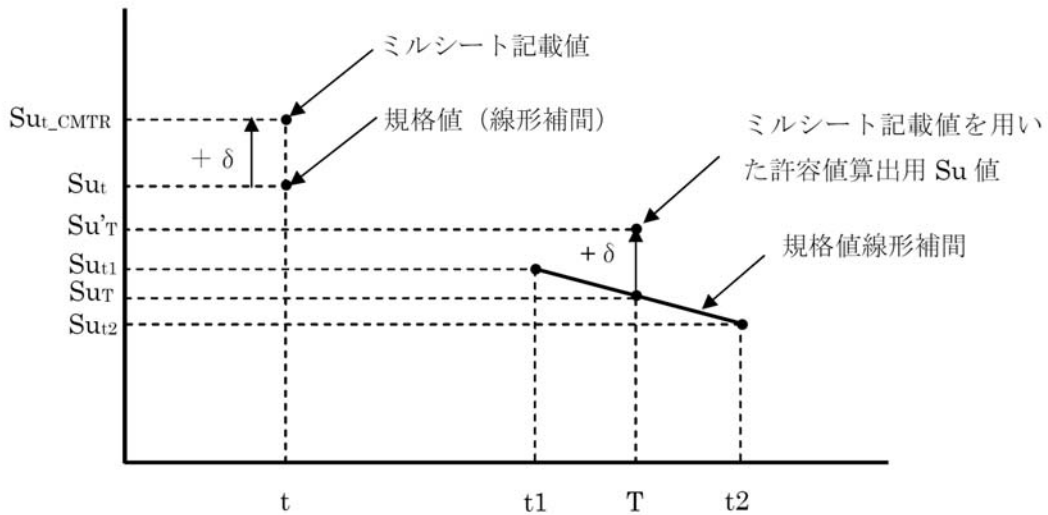
ミルシート記載値を用いて求めた S_u 値 ($=S_u'_{T}$) :

$$S_u'_{T} = S_{u_T} + \delta$$

$$S_{u_T} = \frac{S_{u_{t1}} - S_{u_{t2}}}{t1 - t2} \times (T - t1) + S_{u_{t1}}$$

$$\delta = S_{u_{t_CMTR}} - S_{u_t}$$

- $S_{u_{t_CMTR}}$: ミルシート記載の温度 t における S_u 値
- S_{u_t} : 規格から線形補間により求まる温度 t における S_u 値
- $S_{u_{t1}}$: 温度 $t1$ における規格の S_u 値
- $S_{u_{t2}}$: 温度 $t2$ における規格の S_u 値
- S_{u_T} : 規格から線形補間により求まる温度 T における S_u 値 ($t1 \leq T \leq t2$)
- $S_{u'_{T}}$: ミルシート記載値を用いて求めた温度 T における S_u 値 ($t1 \leq T \leq t2$)
- T : 許容値算出温度



ミルシート値を用いて規格基準より踏み込んだ許容値を用いた設備とその内容について以下の表に示す。

規格基準より踏み込んだ許容値を用いた設備

設備名	許容値
蓄圧タンク	<p>許容引張応力 $1.5ft^*$ の算出にあたって、JSME 設計・建設規格に定められる設計降伏点 S_y、設計引張強さ S_u の代わりに実測値（ミルシート値）の降伏点 σ_y、引張強さ σ_u を使用した。</p> <p>規格基準に基づく許容値 $F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = \min(234, 273) = 234$ $ft^* = F^*/1.5 = 156$ $1.5 ft^* = 234$</p> <p>今回使用した許容値 $F^* = \min(\sigma_y, 0.7\sigma_u) = \min(279, 296) = 279$ $ft^* = F^*/1.5 = 186$ $1.5 ft^* = 279$</p>
制御棒クラスタ駆動装置耐圧部	<p>許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ の算出にあたって、JSME 設計・建設規格に定められる設計応力強さ S_m、設計引張強さ S_u の代わりに実測値（ミルシート値）を使用した。</p> <p>規格基準に基づく許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ $= 1.484 \times \min(2.4 \times 115, 2/3 \times 427) = 409$</p> <p>今回使用した許容値 $\alpha \min(2.4S_m, 2/3S_u)$ $= 1.484 \times \min(2.4 \times 135, 2/3 \times 445) = 439$</p> <p>※ α : JEAC4601-2008 表 4.2.3.1-1 に基づく形状係数</p>

補足④ 原子炉補機冷却水サージタンク耐震裕度評価

1. 耐震バックチェックでの結果

原子炉補機冷却水サージタンクの耐震バックチェック評価結果について、表1に示す。

表1 耐震バックチェック評価結果

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
胴	膜応力+曲げ応力	84	352	4.19
支持脚	組合せ応力	217	255	1.17
	座屈	0.10 [－]	1 [－]	10.00
基礎ボルト	引張応力	98	210	2.14
	せん断応力	109	160	1.46
	組合せ応力	98	119	1.21

2. 今回実施した詳細評価

構造強度評価について、以下の精緻化評価を実施した。

【精緻化評価】

- ・内容水量を公称容量の 7.6m³ から高警報水位容量の 4.6 m³ に変更した。
- ・評価温度を最高使用温度である 95℃ から、通常運転時の原子炉補機冷却水冷却器の入口温度である 65℃ に変更した。
- ・評価に用いる加速度を 1.2ZPA から ZPA に変更した。

以上の精緻化評価を実施した結果を表2に示す。

表2 総合評価結果

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
胴	膜応力+曲げ応力	69	360	5.21
支持脚	組合せ応力	146	270	1.84
	座屈	0.05 [－]	1 [－]	20.00
基礎ボルト	引張応力	74	210	2.83
	せん断応力	78	160	2.05
	組合せ応力	74	169	2.28

総合評価では、支持脚（組合せ応力）の耐震裕度 1.84 を採用した。

補足⑤ 海水ポンプの耐震裕度評価

1. 耐震バックチェックでの結果

耐震バックチェックにおける海水ポンプの評価結果を以下の表 1,2 に示す。

表 1 耐震バックチェック評価結果 (構造強度)

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
電動機取合ボルト	引張応力	139	210	1.51

表 2 耐震バックチェック評価結果 (動的機能維持)

設備	評価位置	方向	発生値	許容値	耐震裕度
海水ポンプ	コラム先端	水平	9.0 G	10.0 G	1.11
		鉛直	0.44 G	1.0 G	2.27
海水ポンプ電動機※	電動機下部 軸受荷重	—	$2.6 \times 10^4 \text{N}$	$3.4 \times 10^4 \text{N}$	1.30
	電動機上部 軸受荷重	—	$3.5 \times 10^4 \text{N}$	$5.6 \times 10^4 \text{N}$	1.60

※耐震バックチェックにおいて、加速度評価を実施したが、機能確認済加速度を満足しなかったため、JEAC4601-2008 に基づき詳細評価を実施した。

2. 今回実施した詳細評価

構造強度評価および動的機能維持評価について、以下の精緻化評価を実施した。

【構造強度評価】

- ・時刻歴解析に準じる手法として、拡幅なしの床応答スペクトルを用いた。

【動的機能維持評価】

- ・海水ポンプについて、JEAC4601-2008 に規定される詳細評価を実施した。
- ・海水ポンプ電動機軸受荷重の許容値について、耐震バックチェック時は、軸受部摺動に必要な油膜厚さ $10 \mu\text{m}$ に余裕を見て、 $15 \mu\text{m}$ の油膜を確保できる許容荷重としていたが、実耐力を把握するという観点から、必要な油膜厚さ $10 \mu\text{m}$ 以上を確保できる許容荷重とした。また、時刻歴解析に準じる手法として、拡幅なしの床応答スペクトルを用いた。

以上の精緻化評価を実施した結果を表 3,4 に示す。

表3 総合評価 評価結果 (構造強度)

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
電動機取合ボルト	引張応力	126	210	1.66

表4 総合評価 評価結果 (動的機能維持)

設備	評価位置	発生値	許容値	耐震裕度
海水ポンプ	ポンプ軸受面圧	1.1MPa	4.0MPa	3.63
海水ポンプ電動機	電動機下部 軸受荷重	$2.3 \times 10^4 \text{N}$	$4.7 \times 10^4 \text{N}$	2.04
	電動機上部 軸受荷重	$3.1 \times 10^4 \text{N}$	$6.3 \times 10^4 \text{N}$	2.03

総合評価では、表 3,4 に示した構造強度評価結果および動的機能維持評価結果のうち、最小裕度である電動機取合ボルトの耐震裕度 1.66 を採用した。

補足⑥ 制御棒クラスタ駆動装置の耐震裕度評価

1. 耐震バックチェックでの結果

制御棒クラスタ駆動装置の耐震バックチェック評価結果について、表1に示す。

表1 耐震バックチェック評価結果

評価部位	応力分類	発生値 [MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
原子炉容器ふた一体化構造物本体	組合せ応力	0.502 [－]	1 [－]	1.99
耐震サポート タイロッドUリンク	せん断応力	70	219	3.12
耐圧部	膜応力+曲げ応力	126	409	3.24
原子炉容器ふた接続部金物	せん断応力	21	133	6.33
支持フレーム取付ピン	せん断応力	45	396	8.80

2. 今回実施した詳細評価

耐震サポートタイロッドUリンクについては、応力算出の際、以下の図に示すように、せん断面積をより現実的な値に見直した。また、耐圧部については許容値算出の際、ミリシート値を使用した。評価結果を表2に示す。

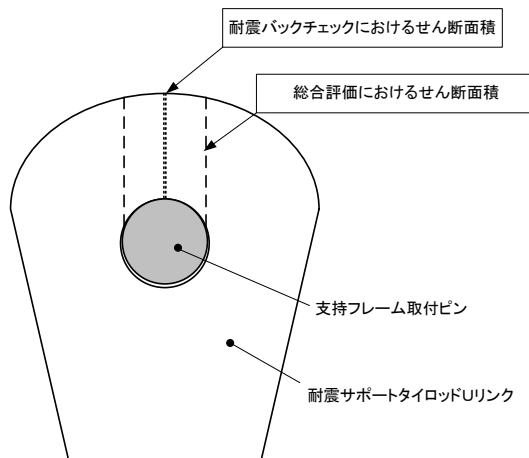


表2 総合評価結果

評価部位	応力分類	発生値 [MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
耐震サポート タイロッドUリンク	せん断応力	50	219	4.38
耐圧部	膜応力+曲げ応力	126	439	3.48

総合評価では、原子炉容器ふた一体化構造物本体が抽出対象外（添付－4. 1. 8参照）であることから、精緻化後の耐圧部の裕度 3.48 を制御棒クラスタ駆動装置の裕度として採用した。

補足⑦ 大型表示装置盤の耐震裕度評価

1. 耐震バックチェックでの結果

大型表示装置盤の耐震バックチェック評価結果について、表1, 2に示す。

表1 耐震バックチェック評価結果（構造強度）

盤名称	評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
デスク盤	盤本体	引張応力	15	279	18.60
		圧縮応力	16	85	5.31
		曲げ応力	63	279	4.42
		せん断応力	25	160	6.40
		組合せ応力	0.42 [－]	1 [－]	2.38
	取付ボルト	引張応力	62	361	5.82
		せん断応力	29	277	9.55
		組合せ応力	62	361	5.82
表示盤	盤本体	引張応力	31	279	9.00
		圧縮応力	36	117	3.25
		曲げ応力	147	279	1.89
		せん断応力	71	160	2.25
		組合せ応力	0.63 [－]	1 [－]	1.58
	取付ボルト	引張応力	123	361	2.93
		せん断応力	47	277	5.89
		組合せ応力	123	361	2.93

表2 耐震バックチェック評価結果（動的機能維持）

評価位置	方向	発生値	許容値	耐震裕度
盤頂部	水平	3.10 G	8.00 G	2.58
	鉛直	0.54 G	7.50 G	13.88

2. 今回実施した詳細評価

構造強度評価について、以下の精緻化評価を実施した。

【精緻化評価】

- ・時刻歴解析を実施した。

以上の精緻化評価を実施した結果を表3に示す。

表3 総合評価結果（構造強度）

盤名称	評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
デスク盤	盤本体	引張応力	7	279	39.85
		圧縮応力	8	216	27.00
		曲げ応力	35	279	7.97
		せん断応力	12	160	13.33
		組合せ応力	0.16 [－]	1 [－]	6.25
	取付ボルト	引張応力	28	361	12.89
		せん断応力	32	277	8.65
		組合せ応力	28	361	12.89
表示盤	盤本体	引張応力	16	279	17.43
		圧縮応力	21	117	5.57
		曲げ応力	71	279	3.92
		せん断応力	27	160	5.92
		組合せ応力	0.38 [－]	1 [－]	2.63
	取付ボルト	引張応力	81	361	4.45
		せん断応力	31	277	8.93
		組合せ応力	81	361	4.45

総合評価では、構造強度評価を精緻化した耐震裕度が、機能維持評価の耐震裕度を上回ったことから、総合評価においては、機能維持評価の耐震裕度2.58を採用した。

なお、機能維持評価についても精緻化が可能ではあるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

補足⑧ 蓄電池架台の耐震裕度評価

1. 耐震バックチェックでの結果

蓄電池架台の耐震バックチェック評価結果について、表 1 に示す。

表 1 耐震バックチェック評価結果

部材	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
架台	組合せ応力	259	279	1.07
基礎ボルト	引張応力	46	210	4.56
	せん断応力	96	160	1.66
	組合せ応力	43	174	4.04

2. 今回実施した詳細評価

構造強度評価について、以下の精緻化評価を実施した。

【精緻化評価】

- ・ 時刻歴解析を実施した。
- ・ F*値に JSME 設計・建設規格に定められる設計引張強さ Su を使用した。

以上の精緻化評価を実施した結果を表 2 に示す。

表 2 総合評価結果

部材	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値 [MPa]	耐震裕度
架台	組合せ応力	239	399	1.66
基礎ボルト	引張応力	38	300	7.89
	せん断応力	89	229	2.57
	組合せ応力	38	277	7.28

蓄電池はアングル材等で構成された架台で蓄電池本体が支持される構造となっており（下図）、架台の基礎が崩壊し転倒する、もしくは架台の部材が破断することにより、蓄電池本体が落下しない限り、機能は喪失しない。そこで、蓄電池架台の組合せ応力の評価基準値 1.5ft* の算出にあたって、F*値に JSME 設計・建設規格に定められる設計引張強さ Su を使用した。



【規格基準に基づく許容値】

$$F^* = \min(1.2S_y, 0.7S_u) = \min(294, 280) = 280$$

$$ft^* = F^*/1.5 = 186$$

$$1.5 ft^* = 279$$

【今回使用した許容値】

$$ft^* = S_u/1.5 = 400/1.5 = 266$$

$$1.5 ft^* = 399$$

補足⑨ 建屋（燃料取扱棟を含む）の耐震裕度評価について

1. 鉄筋コンクリート造耐震壁

1.1 評価方針

原子炉建家および原子炉補助建家については、耐震バックチェックと同様の解析モデルを用いて、 $2.0 \times S_s$ による地震応答解析を実施し、鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひずみが、(社)日本電気協会の「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」（以下「JEAC4601-2008」という。）における鉄筋コンクリート造耐震壁の終局点のせん断ひずみ(4.0×10^{-3})を超えないことを確認する。

1.2 評価結果

原子炉建家の最大応答せん断ひずみは、 2.29×10^{-3} (Y 方向、6部材)となっており、 4.0×10^{-3} を超えないことを確認している。

原子炉補助建家の最大応答せん断ひずみは、使用済み燃料ピット位置を含む部材(3、11部材)の 0.92×10^{-3} (Y 方向、11部材)であり、 4.0×10^{-3} を超えないことを確認している。

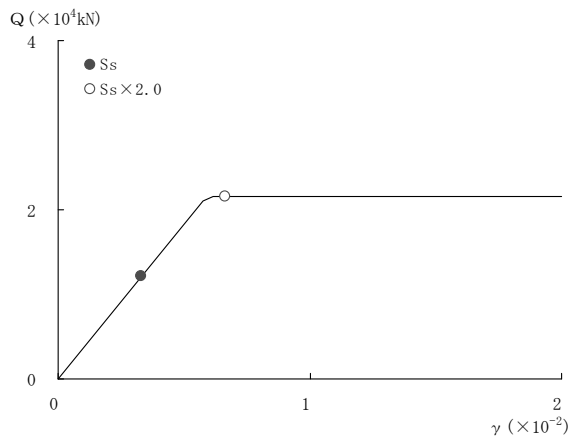
2. 燃料取扱棟鉄骨部

2.1 評価方針

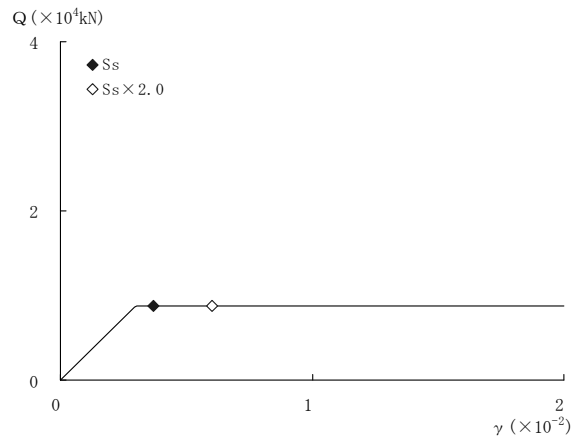
原子炉補助建家の燃料取扱棟鉄骨部(ブレース構造)については、塑性率が JEAC4601-2008 における許容限界を超えないことを確認する。

2.2 評価結果

$2.0 \times S_s$ による最大応答値を原子炉補助建家の鉄骨部(1部材)のスケルトンカーブ上にプロットしたものを第 2.2-1 図に、燃料取扱棟鉄骨部の塑性率を第 2.2-1 表に示す。ブレース構造の塑性率が許容限界を超えないことを確認している。



(X 方向 部材 1)



(Y 方向 部材 1)

第 2.2-1 図 最大応答値(燃料取扱棟鉄骨部)

第 2.2-1 表 燃料取扱棟鉄骨部の塑性率

部材番号	X方向		Y方向	
	塑性率 ^{※1}	許容値 ^{※2}	塑性率 ^{※1}	許容値 ^{※2}
1	1.16	2.77	2.06	2.77

※1：塑性率 $\mu = \delta_{\max} / \delta_y$ δ_{\max} ：最大応答変位， δ_y ：降伏変位

※2：JEAC4601-2008に基づき算定した塑性率の許容限界

3. 燃料取扱棟屋根鉄骨部

3.1 評価方針

局所的に発生する応答の影響として、スパンが長く、鉛直地震動による影響が大きい燃料取扱棟屋根鉄骨部(トラス梁)について、波及的影響の観点から、 $2.0 \times S_s$ での水平地震力と鉛直地震力を同時に考慮し、部材の塑性率が許容値を超えないことを確認する。

3.2 評価概要

屋根鉄骨部(トラス梁)は、燃料取扱棟の EL+32.2m より上部を対象に、トラスの上下弦材および柱を梁要素に、トラスの腹材(斜材、束材)およびブレースをトラス要素に、壁および屋根を平面応力要素に置換した 3次元モデル(線形)を用いている。

S_s による地震時応力は、モデル下端(EL+32.2m)に、 S_s による質点系モデルの地震応答解析結果から得られる同位置(質点 3)の応答波を水平(Y 方向)および鉛直方向に入力した地震応答解析によりそれぞれ求め、組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により組合せて評価している。

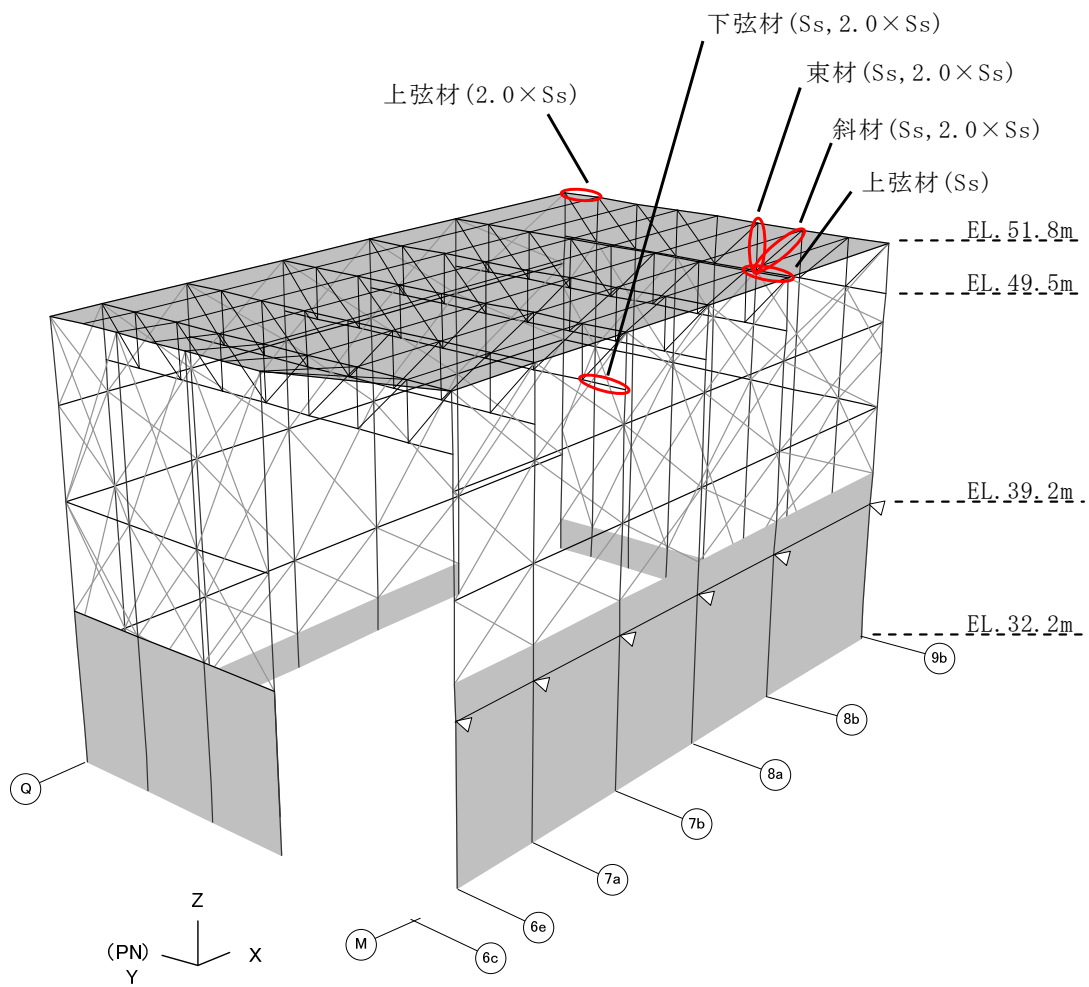
$2.0 \times S_s$ による地震時応力は、 S_s による水平地震時応力および鉛直地震時応力に対して、 S_s 、 $2.0 \times S_s$ による質点系モデルの地震応答解析により得られる鉄骨脚部位置(質点 3、Y 方向)での最大応答加速度の比率を乗じたうえで、組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により組合せて評価している。

解析モデルを第 3.2-1 図に、応力の組合せを第 3.2-1 表に示す。

また、 S_s による評価結果を第 3.2-2 表に示す。

3.3 評価結果

鉄骨脚部位置における最大応答加速度の比率を第 3.3-1 表に、 $2.0 \times S_s$ による評価結果を第 3.3-2 表に示す。屋根鉄骨部(トラス梁)の塑性率が許容値を超えないことを確認している。



(境界条件)

EL. 32.2m: 固定

EL. 39.2m: 水平方向拘束 (<印箇所)

第 3.2-1 図 応力解析モデル(燃料取扱棟屋根鉄骨部)

第3.2-1表 応力の組合せ(燃料取扱棟屋根鉄骨部)

ケース	応力の組合せケース※
1	$GP + S_{SH} + 0.4 \times S_{SV}$
2	$GP + 0.4 \times S_{SH} + S_{SV}$
3	$GP - S_{SH} + 0.4 \times S_{SV}$
4	$GP - 0.4 \times S_{SH} + S_{SV}$
5	$GP + S_{SH} - 0.4 \times S_{SV}$
6	$GP + 0.4 \times S_{SH} - S_{SV}$
7	$GP - S_{SH} - 0.4 \times S_{SV}$
8	$GP - 0.4 \times S_{SH} - S_{SV}$

- ※ GP : 固定・積載荷重による応力
 S_{SH} : 水平地震力による応力
 S_{SV} : 鉛直地震力による応力

第3.2-2表 Ssによる燃料取扱棟屋根鉄骨部の塑性率

部材	発生応力度 ^{※1} (N/mm ²)			発生応力比 ^{※2}		塑性率 ^{※3}	許容値 ^{※4}
					評価式		
上弦材	軸力 (引張)	σ_t	3.5	0.28	$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}$	1以下	4
	曲げ	σ_b	68.4				
下弦材	軸力 (圧縮)	σ_c	69.1	0.66	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	1以下	4
	曲げ	σ_b	100.8				
斜材	軸力 (圧縮)	σ_c	146.8	0.62	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	1以下	3.31
束材	軸力 (圧縮)	σ_c	182.0	0.73	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	1以下	4

※1：第3.2-1表に示す全ケースのうち、発生応力比が最大となるものを記載しており、曲げによる発生応力度は発生曲げモーメントを塑性断面係数で除して算定(位置は第3.2-1図にO印で示す)

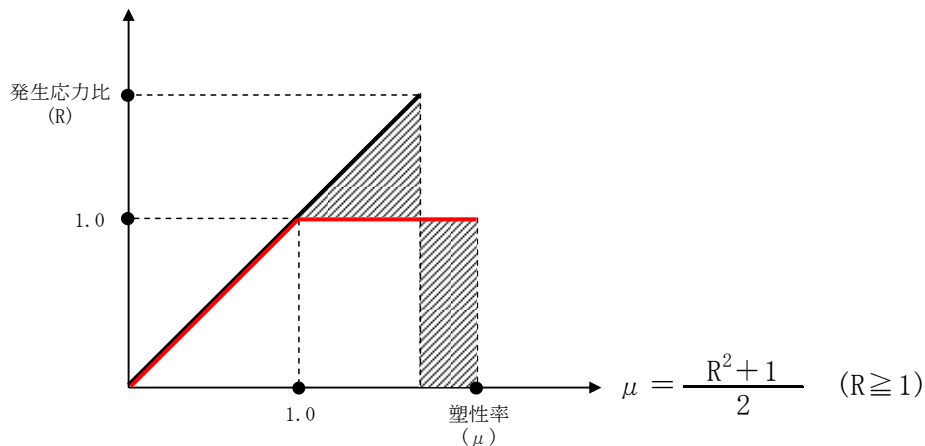
※2：鋼材の材料強度(F値の1.1倍)をもとに、(社)日本建築学会「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき、弦材については軸力と曲げを、腹材(斜材、束材)については軸力を受ける場合の評価式により算定

許容引張応力度 $f_t = 258.5 \text{ N/mm}^2$

許容圧縮応力度 $f_c = 254.5 \text{ N/mm}^2$ (下弦材)、 236.9 N/mm^2 (斜材)、 249.0 N/mm^2 (束材)

許容曲げ応力度 $f_b = 258.5 \text{ N/mm}^2$

※3：エネルギー一定則に基づき発生応力比Rに対応した塑性率 μ を算定



※4：JEAC4601-2008に基づく鉄骨架構の塑性率に関する許容限界

第3.3-1表 S_s、2.0×S_sによる鉄骨脚部位置における最大応答加速度の比率

	質点※ 番号	最大応答加速度 (m/s ²)		比率
		S _s	2.0×S _s	
水平 (Y方向)	③	12.59	23.73	1.88
鉛直	③	4.89	9.77	2.00

※原子炉補助建家(質点系モデル)での質点番号

第3.3-2表 2.0×Ssによる燃料取扱棟屋根鉄骨部の塑性率

部材	発生応力度 ^{※1} (N/mm ²)			発生応力比 ^{※2}		塑性率 ^{※3}	許容値 ^{※4}
				評価式			
上弦材	軸力 (引張)	σ_t	31.1	0.44	$\frac{\sigma_t + {}_t\sigma_b}{f_t}$	1以下	4
	曲げ	${}_t\sigma_b$	83.1				
下弦材	軸力 (圧縮)	σ_c	127.2	1.16	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{{}_c\sigma_b}{f_b}$	1.18	4
	曲げ	${}_c\sigma_b$	171.7				
斜材	軸力 (圧縮)	σ_c	272.8	1.15	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	1.17	3.31
束材	軸力 (圧縮)	σ_c	326.7	1.31	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	1.37	4

※1：第3.2-1表に示す全ケースのうち、発生応力比が最大となるものを記載しており、曲げによる発生応力度は発生曲げモーメントを塑性断面係数で除して算定(位置は第3.2-1図にO印で示す)

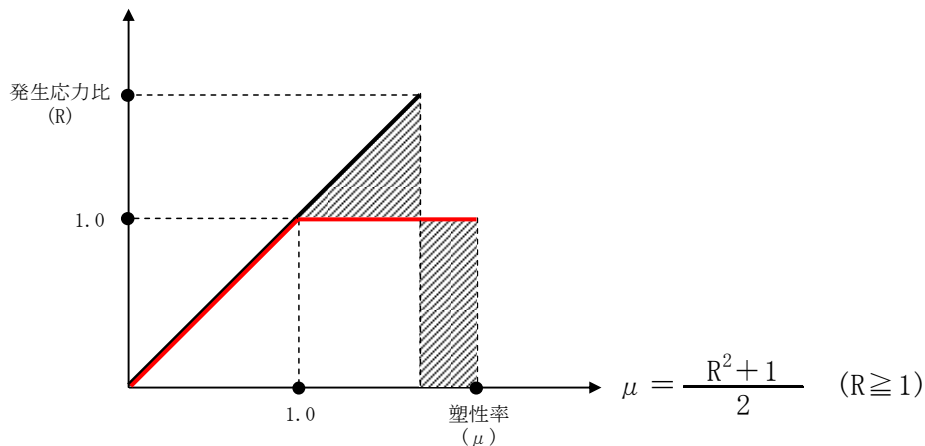
※2：鋼材の材料強度(F値の1.1倍)をもとに、(社)日本建築学会「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」に基づき、弦材については軸力と曲げを、腹材(斜材、束材)については軸力を受ける場合の評価式により算定

許容引張応力度 $f_t = 258.5 \text{ N/mm}^2$

許容圧縮応力度 $f_c = 254.5 \text{ N/mm}^2$ (下弦材)、 236.9 N/mm^2 (斜材)、 249.0 N/mm^2 (束材)

許容曲げ応力度 $f_b = 258.5 \text{ N/mm}^2$

※3：エネルギー一定則に基づき発生応力比Rに対応した塑性率 μ を算定



※5：JEAC4601-2008に基づく鉄骨架構の塑性率に関する許容限界

補足⑩ 海水ポンプ室・海水管ダクトの耐震裕度評価

1. 評価の概要

総合評価においては、 $2 \times S_s$ 入力による地震応答解析を実施することにより、耐震裕度を評価することとした。

2. 耐震裕度評価

(1) 評価条件

評価条件は以下のとおり。

○解析手法 耐震バックチェックでは等価線形解析だが、総合評価では材料非線形解析とする。

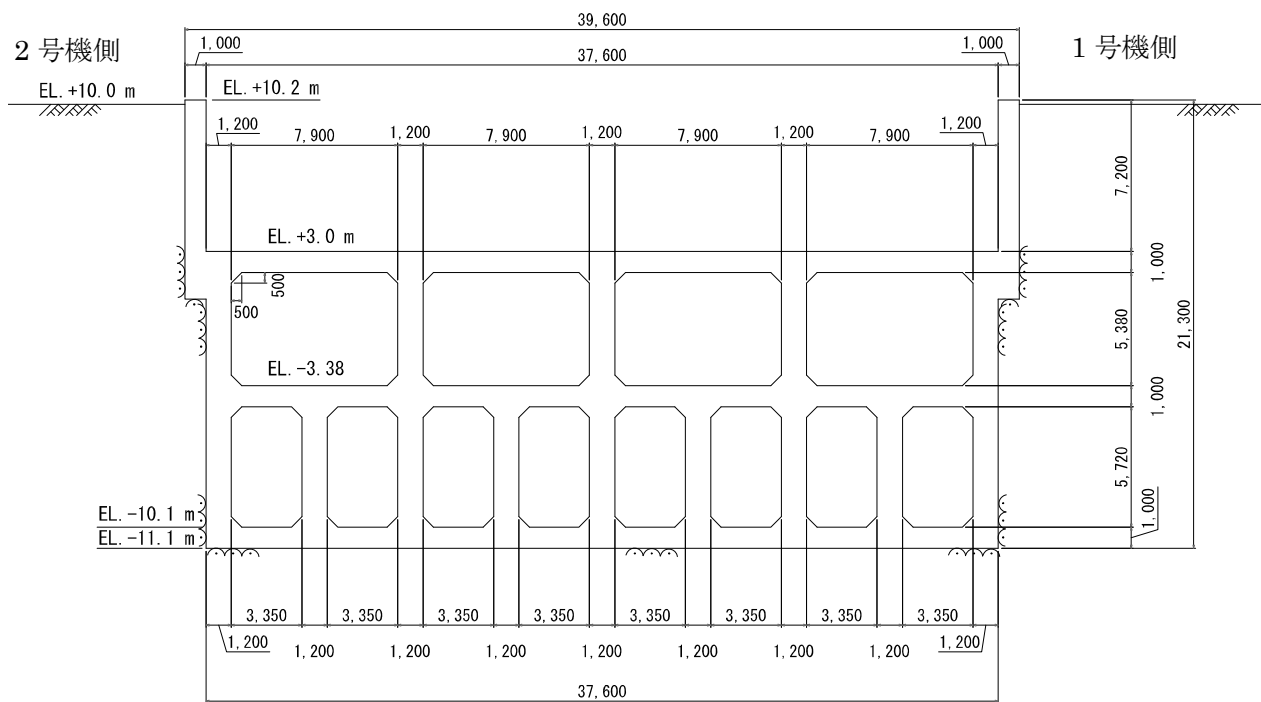
○解析モデル 耐震バックチェックでは構造物を線形の梁モデルとしていたが、総合評価では材料の非線形特性を考慮した梁モデルとする。モデル図を図－1、2に示す。

○評価基準値 耐震バックチェックでは許容応力度または「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」（土木学会、1992）による評価だが、総合評価では「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」（土木学会、2005）に示される圧縮縁コンクリートひずみ、せん断力による評価とする。圧縮縁コンクリートひずみの評価基準値は、コンクリートの損傷による機器・配管への影響を考慮して、1.0%よりも小さい値とし、コンクリートの圧縮限界である0.35%とする。

せん断力の評価は、まず、せん断耐力評価式で求まるせん断耐力により評価することとし、応答値がせん断耐力を超える場合は、精緻にせん断耐力を評価できる材料非線形解析で求まるせん断耐力により評価する。

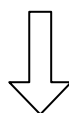
(2) 評価結果

表－1に示すように、曲げに対する照査の結果、照査用の圧縮縁コンクリートひずみが全ての部材において圧縮ひずみの評価基準値を下回ることを確認した。また、表－2に材料非線形解析によって評価した結果を示す。せん断に対する照査の結果、全ての部材においてコンクリートの照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

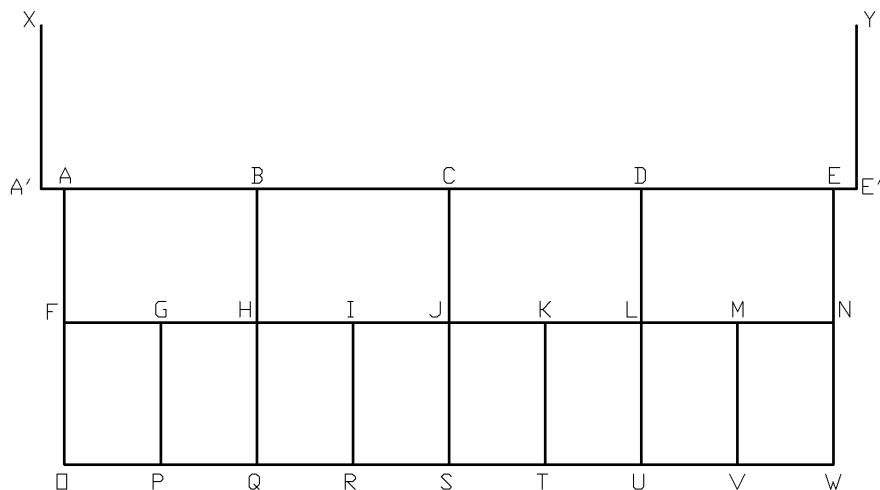


(単位 : mm)

ポンプ室断面図

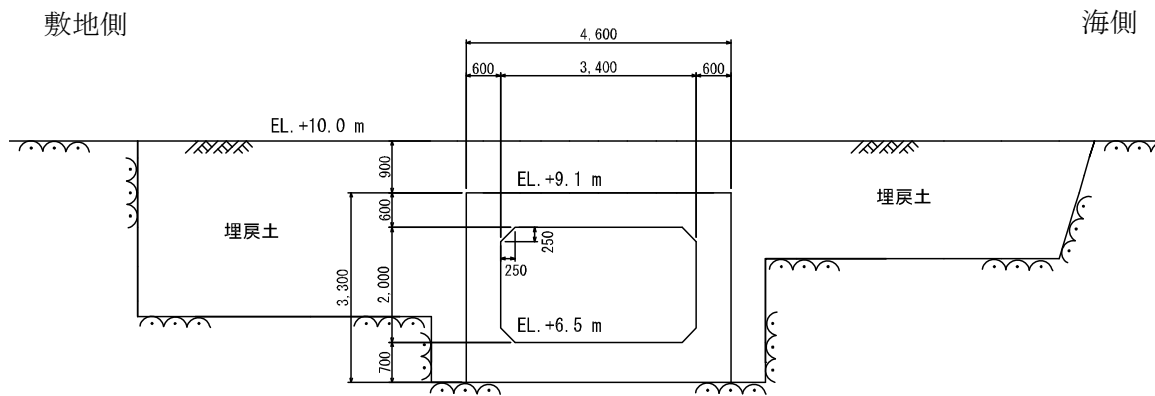


モデル化



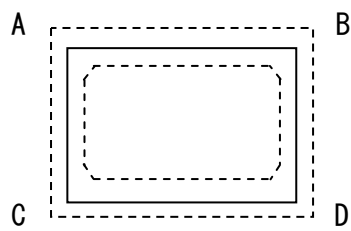
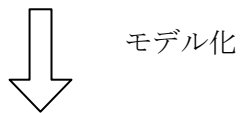
解析モデル図

図-1 解析モデル (海水ポンプ室)



(単位 : mm)

海水管ダクト断面図



解析モデル図

図-2 解析モデル (海水管ダクト)

表－1 曲げに対する照査結果

【海水ポンプ室】

部材※	照査用圧縮ひずみ (μ)	限界ひずみ (μ)	照査用圧縮ひずみ／限界ひずみ
ポンプ室側壁1号機側 (YE')	70	3500	0.02
ポンプ室側壁2号機側 (XA')	144	3500	0.04
湛水部側壁1号機側 (EW)	223	3500	0.06
湛水部隔壁1号機側 (DU)	243	3500	0.07
湛水部隔壁中央 (CS)	286	3500	0.08
湛水部隔壁2号機側 (BQ)	419	3500	0.12
湛水部側壁2号機側 (AO)	400	3500	0.11
湛水部下段隔壁1号機側 (MV)	213	3500	0.06
湛水部下段隔壁1号機側 (KT)	233	3500	0.07
湛水部下段隔壁2号機側 (IR)	260	3500	0.07
湛水部下段隔壁2号機側 (GP)	249	3500	0.07
頂版 (AE)	350	3500	0.10
中床版 (FN)	205	3500	0.06
底版 (OW)	262	3500	0.07

※各部材で最も厳しいケースを示す。

【海水管ダクト】

部材※	照査用圧縮ひずみ (μ)	限界ひずみ (μ)	照査用圧縮ひずみ／限界ひずみ
頂版 (AB)	297	3500	0.09
底版 (CD)	272	3500	0.08
敷地側側壁 (AC)	350	3500	0.10
海側側壁 (BD)	463	3500	0.13

※各部材で最も厳しいケースを示す。

表－2 せん断に対する照査結果

【海水ポンプ室】

部材 ^{※1}	頂版 (AE)	中床版 (FN)	底版 (OW)	ポンプ室 側壁 {XA' YE'}	湛水部 上段側壁 {AF BH CJ DL EN}	湛水部 下段側壁 {FO GP HQ IR JS KT LU MV NW}
照査用せん断力/ せん断耐力	0.91	0.62	0.41	※2	0.50	0.70

※1 各部材で最も厳しいケースを示す。

※2 せん断耐力評価式による照査で基準値以下を確認している。

【海水管ダクト】

部材 ^{※1}	頂版 (AB)	底版 (CD)	敷地側側壁 (AC)	海側側壁 (BD)
照査用せん断力/せん断耐力	0.77	0.19	※2	0.76

※1 各部材で最も厳しいケースを示す。

※2 せん断耐力評価式による照査で基準値以下を確認している。

補足① 動的機能維持確認について

1. 概要

タービン動補助給水ポンプ（駆動用タービン含む）、電動補助給水ポンプ、高圧注入ポンプ、充てんポンプ、燃料取替用水タンクポンプ、主蒸気逃がし弁について、耐震バックチェックでは各設備の応答加速度が機能維持確認済加速度を下回っていることを確認しているが、総合評価においては耐震裕度をより精緻に求めるため、JEAC4601-2008 に規定される詳細評価を行った。その結果を以下の表に示す。

動的機能維持詳細評価結果

設備	評価部位 ^{※1}	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	耐震裕度
タービン動補助給水ポンプ (駆動用タービン含む)	弁箱	14	58	4.14
電動補助給水ポンプ	基礎ボルト	26	210	8.07
高圧注入ポンプ	軸受	1,476 ^{※2}	40,000 ^{※2}	27.10
充てんポンプ	減速機 中間軸受	26,204 ^{※2}	252,217 ^{※2}	9.62
燃料取替用水タンクポンプ	軸受	148 ^{※2}	23,200 ^{※2}	156.75
主蒸気逃がし弁	弁本体	58	331	5.70

※1 最小裕度部位を示す。

※2 軸受にかかる荷重[N]を示す。

なお、主蒸気隔離弁操作用電磁弁については、耐震バックチェックおよび総合評価では「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定される機能確認済加速度（水平方向 2.2G、鉛直方向 2.0G）を用いず、独立行政法人 原子力安全基盤機構「平成 19 年度 原子力施設の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その 4（弁）に係る報告書」にて機能維持が確認された値（水平方向 6.1G、鉛直方向 3.4G）を許容値として用いた。

2. タービン動補助給水ポンプの耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

耐震バックチェックにおけるタービン動補助給水ポンプの評価結果を以下の表2-1, 2に示す。

表2-1 耐震バックチェック評価結果（構造強度）

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
ポンプ取付ボルト	引張応力	38	148	3.89

表2-2 耐震バックチェック評価結果（動的機能維持）

設備	評価位置	方向	応答加速度[G]	機能確認済加速度[G]	耐震裕度
タービン動補助給水ポンプ	ポンプ軸位置	水平	0.98	1.4	1.42
		鉛直	0.36	1.0	2.77
タービン動補助給水ポンプ 駆動用タービン	タービン 重心位置	水平	0.98	1.0	1.02
		鉛直	0.36	1.0	2.77

(2)今回実施した詳細評価

構造強度および動的機能維持評価のうち、耐震裕度が少ない動的機能維持について、JEAC4601-2008に規定される詳細評価を実施した。

その結果を表2-3に示す。

表2-3 動的機能維持詳細評価結果

設備	評価部位	評価値[MPa]	許容値[MPa]	耐震裕度
タービン動補助給水ポンプおよび駆動用タービン	弁箱	14	58	4.14

詳細評価を実施したタービン動補助給水ポンプ（駆動用タービン含む）の動的機能維持の耐震裕度は、ポンプ取付ボルトの構造強度の裕度を上回ったことから、総合評価においてはポンプ取付ボルトの構造強度の裕度をタービン動補助給水ポンプの耐震裕度として採用した。

なお、ポンプ取付ボルトの構造強度についても耐震裕度の精緻化が可能と考えるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

3. 電動補助給水ポンプの耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

耐震バックチェックにおける電動補助給水ポンプの評価結果を以下の表 3-1, 2 に示す。

表 3-1 耐震バックチェック評価結果（構造強度）

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
基礎ボルト	引張応力	26	210	8.07

表 3-2 耐震バックチェック評価結果（動的機能維持）

設備	評価位置	方向	応答加速度 [G]	機能確認済 加速度[G]	耐震 裕度
電動補助給水ポンプ	ポンプ 軸位置	水平	0.98	1.4	1.42
		鉛直	0.36	1.0	2.77
電動補助給水ポンプ用原動機	原動機 軸受部	水平	0.98	2.6	2.65
		鉛直	0.36	1.0	2.77

(2)今回実施した詳細評価

構造強度および動的機能維持評価のうち、耐震裕度が少ない電動補助給水ポンプの動的機能維持について、JEAC4601-2008 に規定される詳細評価を実施した。

その結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 動的機能維持詳細評価結果

設備	評価部位	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	耐震裕度
電動補助給水ポンプ	基礎ボルト	26	210	8.07

詳細評価を実施した電動補助給水ポンプの動的機能維持の耐震裕度は、電動補助給水ポンプ用原動機の動的機能維持の裕度を上回ったことから、総合評価においては電動補助給水ポンプ用原動機の動的機能維持の裕度を電動補助給水ポンプの耐震裕度として採用した。

なお、電動補助給水ポンプ用原動機の動的機能維持についても耐震裕度の精緻化が可能と考えるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

4. 高圧注入ポンプの耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

耐震バックチェックにおける高圧注入ポンプの評価結果を以下の表4-1, 2に示す。

表4-1 耐震バックチェック評価結果（構造強度）

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
原動機取付ボルト	引張応力	50	210	4.20

表4-2 耐震バックチェック評価結果（動的機能維持）

設備	評価位置	方向	応答加速度[G]	機能確認済加速度[G]	耐震裕度
高圧注入ポンプ	ポンプ軸位置	水平	1.31	1.4	1.06
		鉛直	0.43	1.0	2.32
高圧注入ポンプ用原動機	原動機軸受部	水平	1.52	2.6	1.71
		鉛直	0.43	1.0	2.32

(2)今回実施した詳細評価

構造強度および動的機能維持評価のうち、耐震裕度が少ない高圧注入ポンプの動的機能維持について、JEAC4601-2008に規定される動的機能維持の詳細評価を実施した。

その結果を表4-3に示す。

表4-3 動的機能維持詳細評価結果

設備	評価部位	評価値[N]	許容値[N]	耐震裕度
高圧注入ポンプ	軸受	1,476	40,000	27.10

詳細評価を実施した高圧注入ポンプの動的機能維持の耐震裕度は、高圧注入ポンプ用原動機の動的機能維持の裕度を上回ったことから、総合評価においては高圧注入ポンプ用原動機の動的機能維持を高圧注入ポンプの耐震裕度として採用した。

なお、高圧注入ポンプ用原動機の動的機能維持についても耐震裕度の精緻化が可能と考えるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分あるため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

5. 充てんポンプの耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

耐震バックチェックにおける充てんポンプの評価結果を以下の表 5－1, 2 に示す。

表 5－1 耐震バックチェック評価結果（構造強度）

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
原動機基礎ボルト	せん断応力	36	160	4.44

表 5－2 耐震バックチェック評価結果（動的機能維持）

設備	評価位置	方向	応答加速度 [G]	機能確認済 加速度[G]	耐震 裕度
充てんポンプ	ポンプ 重心位置	水平	1.56	1.6	1.02
		鉛直	0.43	1.0	2.32
充てんポンプ用原動機	原動機 軸受部	水平	1.56	4.7	3.01
		鉛直	0.43	1.0	2.32

(2)今回実施した詳細評価

構造強度および動的機能維持評価のうち、耐震裕度が少ない充てんポンプの動的機能維持について、JEAC4601-2008 に規定される詳細評価を実施した。

その結果を表 5－3 に示す。

表 5－3 動的機能維持詳細評価結果

設備	評価部位	評価値 [N]	許容値 [N]	耐震裕度
充てんポンプ	減速機 中間軸受	26,204	252,217	9.62

詳細評価を実施した充てんポンプの動的機能維持の耐震裕度は、充てんポンプ用原動機の動的機能維持の裕度を上回ったことから、総合評価においては充てんポンプ用原動機の動的機能維持の裕度を充てんポンプの耐震裕度として採用した。

なお、充てんポンプ用原動機の動的機能維持についても耐震裕度の精緻化が可能と考えるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

6. 燃料取替用水タンクポンプの耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

耐震バックチェックにおける燃料取替用水タンクポンプの評価結果を以下の表6-1, 2に示す。

表6-1 耐震バックチェック評価結果（構造強度）

評価部位	応力分類	発生値[MPa]	評価基準値[MPa]	耐震裕度
ポンプ取付ボルト	引張応力	12	195	16.25

表6-2 耐震バックチェック評価結果（動的機能維持）

設備	評価位置	方向	応答加速度[G]	機能確認済加速度[G]	耐震裕度
燃料取替用水タンクポンプ	ポンプ軸位置	水平	1.28	1.4	1.09
		鉛直	0.40	1.0	2.50
燃料取替用水タンクポンプ用原動機	原動機軸受部	水平	1.28	4.7	3.67
		鉛直	0.40	1.0	2.50

(2)今回実施した詳細評価

構造強度および動的機能維持評価のうち、耐震裕度が少ない燃料取替用水タンクポンプの動的機能維持について、JEAC4601-2008に規定される詳細評価を実施した。

その結果を表6-3に示す。

表6-3 動的機能維持詳細評価結果

設備	評価部位	評価値[N]	許容値[N]	耐震裕度
燃料取替用水タンクポンプ	軸受	148	23,200	156.75

詳細評価を実施した燃料取替用水タンクポンプの動的機能維持の耐震裕度は、燃料取替用水タンクポンプ用原動機の動的機能維持の裕度を上回ったことから、総合評価においては燃料取替用水タンクポンプ用原動機の動的機能維持の裕度を燃料取替用水タンクポンプの耐震裕度として採用した。

なお、燃料取替用水タンクポンプ用原動機の動的機能維持についても耐震裕度の精緻化が可能と考えるが、耐震バックチェック評価結果から求まる耐震裕度が十分ある（2以上）ため、クリフエッジの評価には影響しないと判断し、精緻化は実施していない。

7. 主蒸気逃がし弁の耐震裕度評価

(1)耐震バックチェックでの結果

耐震バックチェックにおける主蒸気逃がし弁の評価結果を以下の表7-1に示す。

なお、主蒸気逃がし弁の厚さは配管本体よりも厚く、配管の耐震裕度よりも大きいことから、構造強度は、配管の耐震裕度で代表できると考える。

表7-1 耐震バックチェック評価結果（動的機能維持）

設備	評価位置	方向	応答加速度 [G]	機能確認済 加速度[G]	耐震 裕度
主蒸気逃がし弁	弁駆動部	水平	4.21	6.0	1.42
		鉛直	1.06	6.0	5.66

(2)今回実施した詳細評価

主蒸気逃がし弁について、JEAC4601-2008に規定される動的機能維持の詳細評価を実施した。

その結果を表7-2に示す。

表7-2 動的機能維持詳細評価結果

評価部位	評価値 [MPa]	許容値 [MPa]	耐震裕度
弁本体※	58	331	5.70

※ 構造強度上の最弱部位

主蒸気逃がし弁については、この動的機能維持の詳細評価の結果を採用した。