

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-170 改3
提出年月日	平成30年8月30日

V-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する 影響評価結果

目次

1. 概要	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	1
3.1 建物・構築物	1
3.2 機器・配管系	X
3.3 屋外重要土木構造物	X
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された 建物・構築物	X

別紙 原子炉建屋改造工事に伴う地震応答解析

黒線：本日も説明

1. 概要

本資料は、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち、「4.1 地震力の算定法(2)動的地震力」及びV-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力により、施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動 S_s を用いる。基準地震動 S_s は、V-2-1-2「基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」による。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表3-1-1に示す。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表3-1-2及び表3-1-3に示す。

なお、隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突可否判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、耐震壁を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。杭及びケーソンについても上部構造の大変形による衝突が杭及びケーソンの大規模降伏による転倒に先行すると考えられるため抽出対象に該当しない。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表3-1-1に示す耐震評価上の構成部位のうち、表3-1-2に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表3-1-4に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位」として、主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の隅柱、原子炉建屋、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋、格納容器圧力逃がし装置格納槽及び緊急時対策所建屋の基礎スラブ並びに主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の杭を抽出した。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」として、原子炉建屋の地下外壁及びプール側壁、格納容器圧力逃がし装置格納槽及びタービン建屋の地下外壁を抽出した。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表 3-1-3 に示す 3 次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-5 に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」として、原子炉建屋の燃料取替フロアの壁を抽出した。

また、応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生する可能性がある部位」として、非常用ガス処理系配管支持架構の梁一般部（水平材）及び鉄骨ブレース（斜材）を抽出した。

(5) 3次元 FEMモデルによる精査

上記 (4) で抽出した 3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出した部位について、3次元 FEMモデルにより精査を行う。精査した結果を表 3-1-6 に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」については、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、下部に上位クラス施設がある原子炉建屋の燃料取替フロアの壁を代表として 3 次元 FEMモデルによる精査を行う。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動の影響が大きい部位」については、ねじれ応答の影響が懸念されるとともに、重要設備である非常用ガス処理系配管支持架構の梁一般部（水平材）及び鉄骨ブレース（斜材）を代表として 3 次元 FEMモデルによる精査を行う。

また、原子炉建屋の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元 FEMモデルによる精査を行う。精査は、地震応答解析により水平 2 方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行う。

表 3-1-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC造 及びS造	S造	S造	RC造 及びS造	RC造	RC造	RC造 及びS造	RC造 及びS造
柱	一般部	○	—	—	○	—	○	○	○
	隅部	○	○	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	—	—	○	—
	筒身	—	○	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	○	○	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	—	—	○	—
	鉄骨トラス	○	—	—	○	—	—	○	—
壁	一般部	○	—	—	○	○	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	○	—
	鉄骨ブレース	—	○	○	—	—	—	—	○
床 屋根	一般部	○	—	—	○	○	○	○	○
基礎	基礎スラブ	○	—	○	○	○	○	○	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	○	—
	基礎梁	—	○	—	—	—	—	—	○
	杭	—	○	○	○	—	○	○	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

表 3-1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

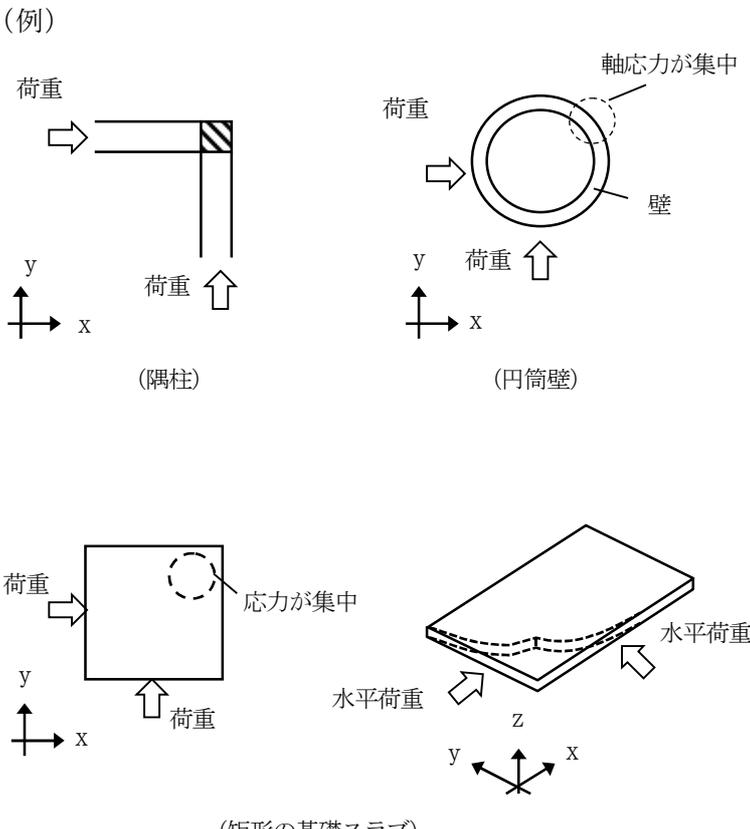
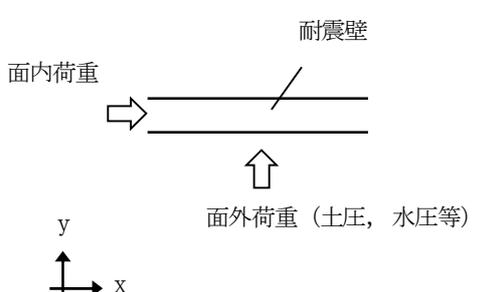
荷重の組合せによる応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎スラブ)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

表 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

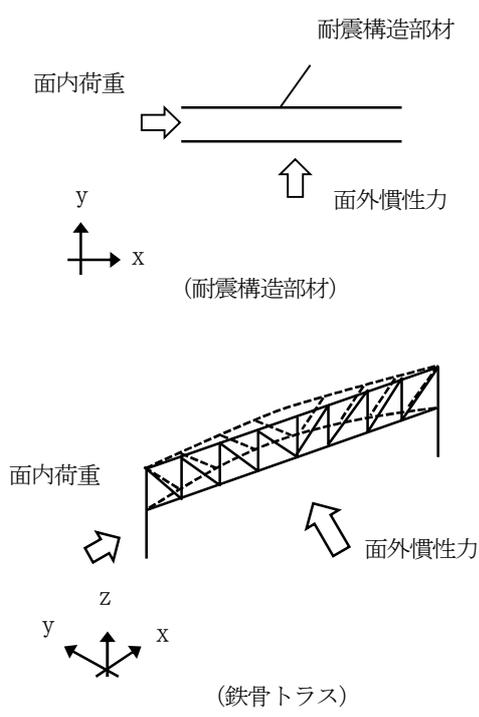
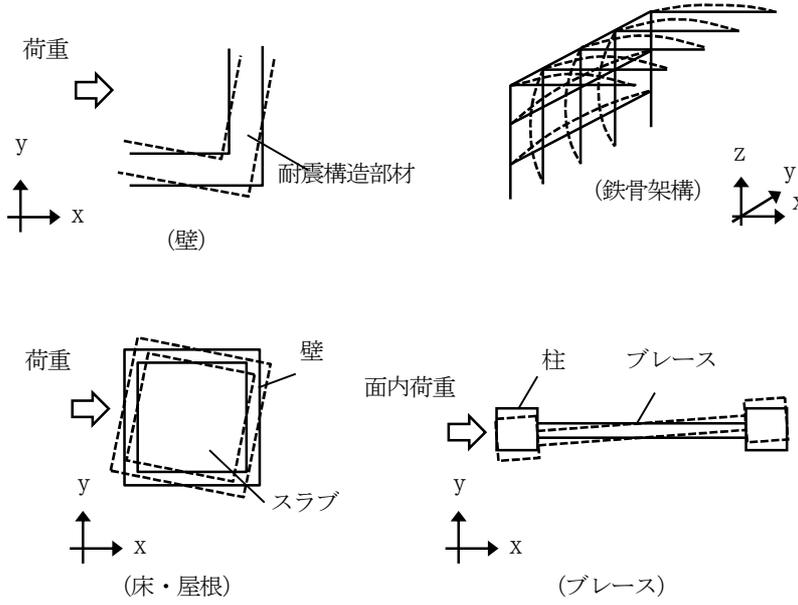
3 次元的な 応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方に励起される振動</p>	<p>塔状構造物を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(壁)</p> <p>鉄骨架構</p> <p>(鉄骨架構)</p> <p>荷重</p> <p>壁</p> <p>スラブ</p> <p>(床・屋根)</p> <p>柱</p> <p>ブレース</p> <p>面内荷重</p> <p>(ブレース)</p>

表 3-1-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及びS 造	S 造	S 造	RC 造 及びS 造	RC 造	RC 造	RC 造 及びS 造	RC 造 及びS 造
柱	一般部	該当なし	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	①-1 要	①-1 要	該当なし	—	該当なし	該当なし	不要 ^(*1)
	地下部	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	筒身	—	該当なし	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	鉄骨トラス	該当なし	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—
壁	一般部	①-2 要 (プール側壁)	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	①-2 要	—	—	—	①-2 要	—	①-2 要	—
	鉄骨ブレース	—	該当なし	該当なし	—	—	—	—	不要 ^(*2)
床 屋根	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	基礎スラブ	①-1 要	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	①-1 要	不要 ^(*2)	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要 ^(*2)	—
	基礎梁	—	該当なし	—	—	—	—	—	不要 ^(*2)
	杭	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	—	①-1 要	不要 ^(*2)	不要 ^(*2)

凡例 要：評価必要，不要：評価不要，①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」，①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」

注記 *1: 上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋であり、隣接する原子炉建屋への衝突方向には耐震壁追設補強により、隅柱に軸心力が集中しても波及的影響評価に影響がないため、不要とする。

*2: 上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋は、衝突可否判断が基本となるため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、耐震壁を主たる評価対象部位とするため不要とする。杭及びケーソンについても上部構造の大変形による衝突が杭及びケーソンの大規模降伏による転倒に先行すると考えられるため不要とする。

表 3-1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及び S 造	S 造	S 造	RC 造 及び S 造	RC 造	RC 造	RC 造 及び S 造	RC 造 及び S 造
柱	一般部	不要	—	—	不要	—	不要	不要	不要
	隅部	不要	要	要	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	筒身	—	不要	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	不要	不要	②-2	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	鉄骨トラス	不要	—	—	不要	—	—	不要	—
壁	一般部	要 (プル側壁) ②-1 (燃料取替フロア壁)	—	—	不要	不要	不要	不要 (*)	不要
	地下部	要	—	—	—	要	—	要	—
	鉄骨ブレース	—	不要	②-2	—	—	—	—	不要
床 屋根	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	不要	不要
基礎	基礎スラブ	要	—	要	要	要	要	不要	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要	—
	基礎梁	—	不要	—	—	—	—	—	不要
	杭	—	要	要	要	—	要	不要	不要

凡例 要：荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み、不要：評価不要、②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」、②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記 *：上部階の壁は複数スパンにまたがって直交方向に壁及び大梁がなく、面内方向荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられるが下部に上位クラス施設がないため不要とする。

表 3-1-6 3次元FEMモデルを用いた精査

耐震評価部位		対象 建物・構築物	3次元的な応答特性	3次元モデルを用いた精査方法	3次元モデルを用いた精査結果
梁	一般部	<u>非常用ガス処理系</u> <u>配管支持架構</u>	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	水平2方向及び鉛直方向地震力による左記の対象に有する耐震性への影響は想定されないため抽出しない。
壁	一般部	<u>原子炉建屋</u> (<u>燃料取替フロア</u>)	②-1 (面内方向の荷重に加え面外慣性力の影響が大きい)	同上	同上
	鉄骨 ブレース	<u>非常用ガス処理系</u> <u>配管支持架構</u>	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	同上	同上
耐震評価 部位全般		<u>原子炉建屋</u>	局所的な応答	同上	同上

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を表3-1-7に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位」のうち、重要施設である非常用ガス処理系排気筒を支持する、主排気筒鉄塔部の支柱材を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」として、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建屋使用済燃料貯蔵プールの壁を代表して、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

表 3-1-7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>主排気筒</u> ・ 非常用ガス処理系配管支持架構 	重要設備である非常用ガス処理系排気筒を支持する、主排気筒鉄塔部の支柱材を代表として評価する。
	基礎	基礎スラブ ・ 杭	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋</u> ・ 主排気筒 ・ 非常用ガス処理系配管支持架構 ・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・ 格納容器圧力逃がし装置格納層 ・ 緊急時対策所建屋 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	水圧作用部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋（使用済燃料プール）</u> ・ 原子炉建屋（壁地下部） ・ 格納容器圧力逃がし装置格納槽（壁地下部） ・ タービン建屋（壁地下部） 	施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁を評価する。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

(1) 主排気筒の主柱材の評価

主排気筒の主柱材について、基準地震動 S_s による地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させ、3次元FEMモデルを用いた弾性応答解析の結果を用いた評価を行った。

主排気筒の主柱材の評価については、 S_s 地震時を対象として、直交する水平2方向の荷重が応力集中する可能性のある主柱材を対象に、水平2方向及び鉛直方向入力時と水平1方向及び鉛直方向入力時の最大応力度比の比率を求め、当該比率を考慮した各主柱材の最大応力度比が、1.0を超えないことにより確認する。

3次元FEMモデルによる弾性応答解析は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に基づいて行った。

主排気筒の構造概要図を図3-1-1に示す。

地震荷重時については、基準地震動 S_s の地震応答解析により得られた地震荷重を、地震荷重による応力評価用モデルに入力して評価した。解析に用いた材料物性値を表3-1-1に示す。

地震荷重以外の荷重については、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に基づいて評価を実施する。

荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定、基準地震動 S_s に係る組合せに加えて、地震荷重及び風荷重を組み合わせた場合についても水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価した。風荷重は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」と同様に作用させるものとした。

主排気筒の3次元FEMモデルは、図3-1-2に示すとおり梁要素で構成される立体骨組モデルとしてモデル化する。

解析結果として、水平2方向及び鉛直方向入力時並びに水平1方向及び鉛直方向入力時の主柱材の最大応力度比を表3-1-2に示す。

評価の結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる解析結果は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる解析結果と比較して水平2方向の地震力の影響により、解析結果の値は増加傾向であるものの、各主柱材の最大応力度比が1.0を超えないことを確認した。

以上より、水平2方向及び鉛直方向地震力に対し、主排気筒の主柱材が有する耐震性への影響がないことを確認した。

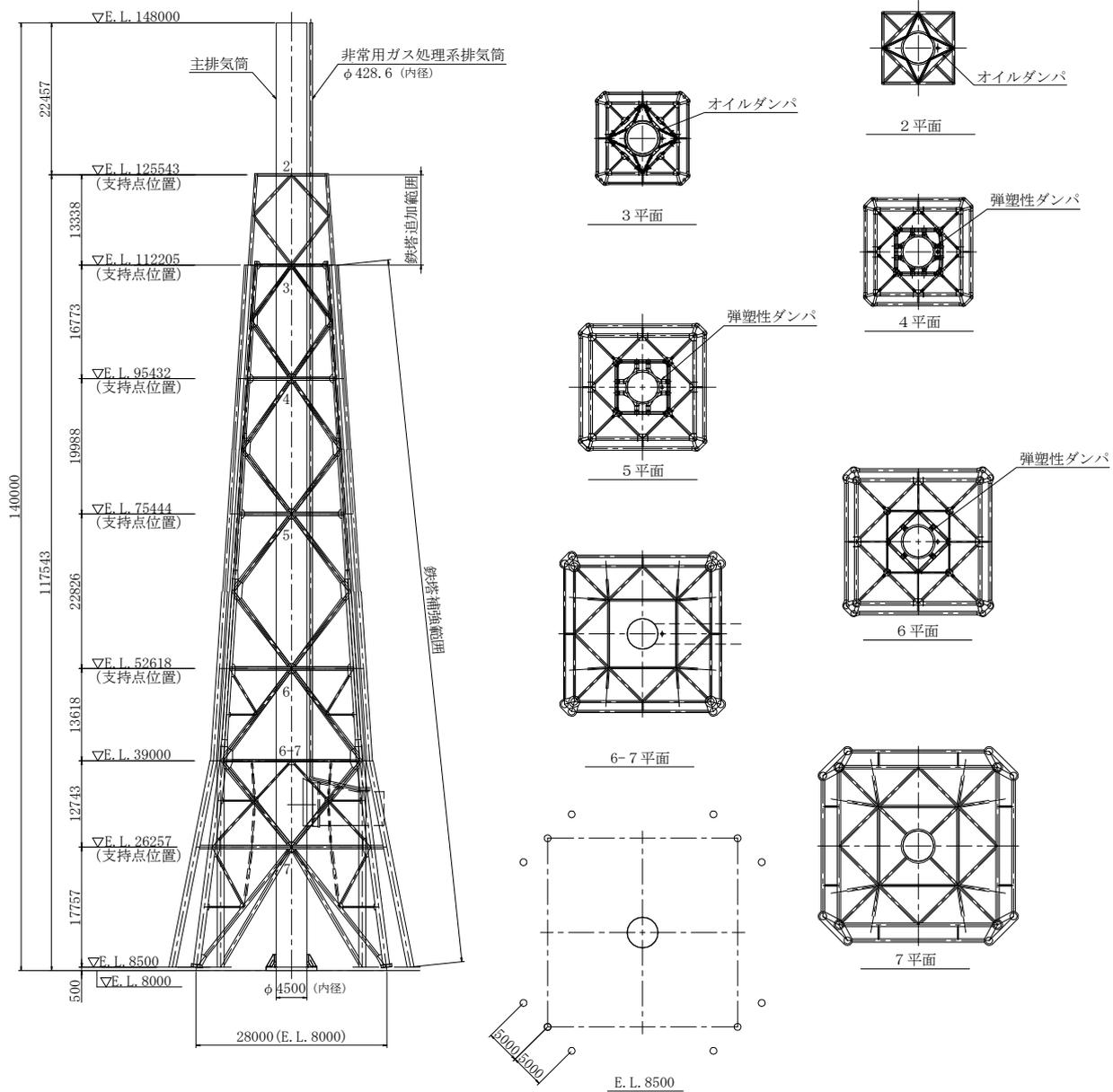


図 3-1-1 主排気筒の構造概要図 (単位 : mm)

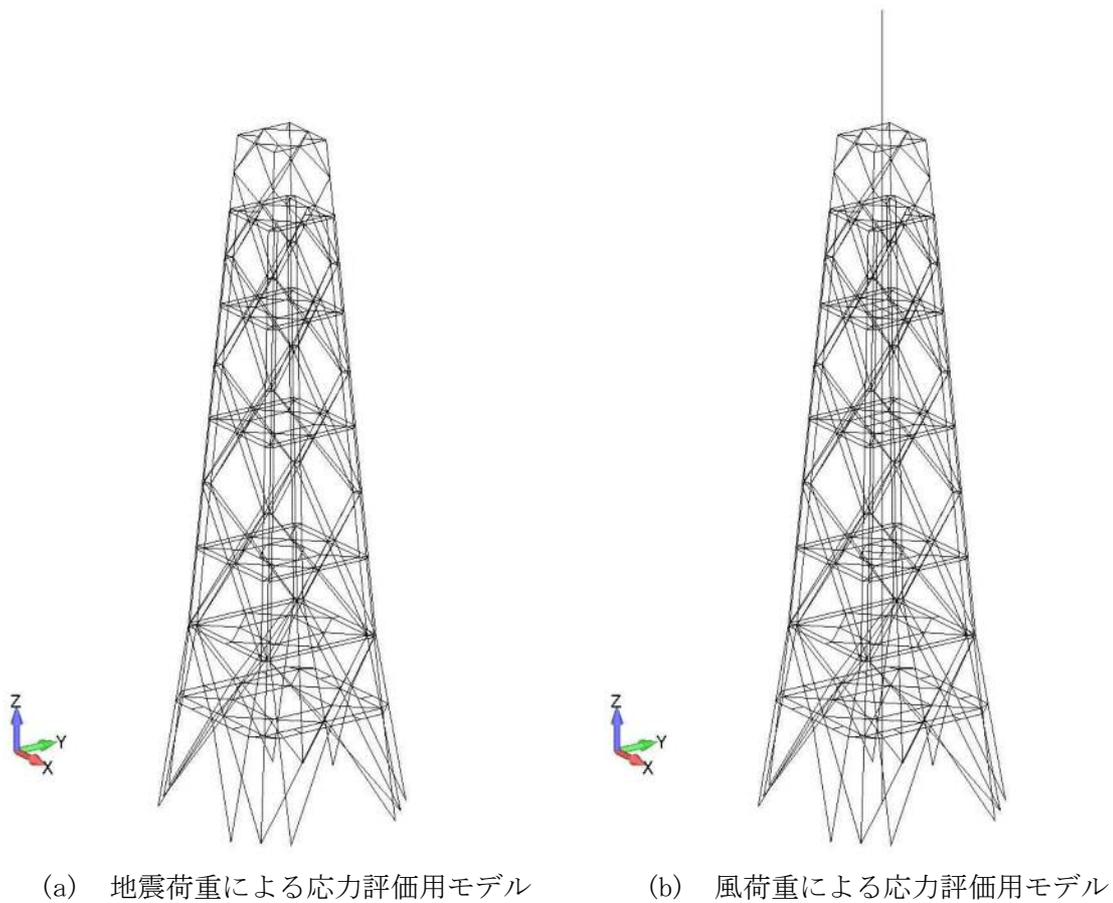


図 3-1-2 鉄塔の応力解析モデル

表 3-1-1 材料物性値

使用材料	ヤング係数	ポアソン比
主柱材 (STK400)	205000 N/mm ²	0.3

表 3-1-2 主排気筒の主柱材の解析結果

EL. (m)	使用部材	材質	判定結果		比率 ②/①
			① 水平1方向及び 鉛直方向入力時	② 水平2方向及び 鉛直方向入力時	
112.205	Φ406.4×6.4	STK400	0.48 ≤ 1.00	0.52 ≤ 1.00	1.09
95.432	Φ406.4×12.7	STK400	0.53 ≤ 1.00	0.65 ≤ 1.00	1.23
75.444	Φ558.8×12.7	STK400	0.73 ≤ 1.00	0.87 ≤ 1.00	1.20
52.618	Φ812.8×12.7	STK400	0.71 ≤ 1.00	0.73 ≤ 1.00	1.03
26.257	Φ1016.0×12.7	STK400	0.55 ≤ 1.00	0.57 ≤ 1.00	1.04

(2) 原子炉建屋基礎盤の評価

原子炉建屋基礎盤について、基準地震動 S_s による地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させ、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を行った。3次元FEM解析による断面の評価は、資料V-2-9-3-4「原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に基づいて行った。

原子炉建屋基礎盤の評価については、 S_s 地震時を対象とし、直交する水平2方向の荷重が隅部に応力集中する可能性がある矩形の原子炉棟基礎及び付属棟基礎に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を評価した。

原子炉建屋基礎盤の概略平面図及び概略断面図を図3-1-3及び図3-1-4に示す。

地震荷重は、資料V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」のうち、 S_s 地震時のNS方向及びEW方向の地震力を応答スペクトルに基づく地震動、断層モデルに基づく地震動及び震源を特定せず策定する地震動のそれぞれについて包絡させた結果を用いる。

荷重の組合せは、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重の組合せに基づき、風荷重の影響は地震荷重と比較して極めて小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。また、地震荷重及び積雪荷重の組合せは、地震荷重及び積雪荷重の組合せに含まれるものとする。

原子炉建屋基礎盤の応力解析モデルは、基礎とその上部構造の耐震壁の剛性を考慮したモデルである。解析モデルを図3-1-5に示す。材料の物性値を表3-1-3に示す。

解析結果を記載する要素の位置（許容値に対する解析結果の割合が最大となる要素）を図3-1-6、評価結果を表3-1-4に示す。

評価の結果、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる、許容値に対する解析結果の割合は、水平2方向の地震力の影響により割合が最大となる要素位置が一部で変わり、解析結果の値は増加傾向であるものの、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値が各許容値を超えないことを確認した。

また、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した応答増幅の影響についての検討を行った。検討結果を表3-1-5に示す。応答増幅の影響を考慮した場合においても構造健全性に影響はないことを確認した。なお、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した地震応答解析については、別紙に示す。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉建屋基礎盤が有する耐震性への影響はないことを確認した。

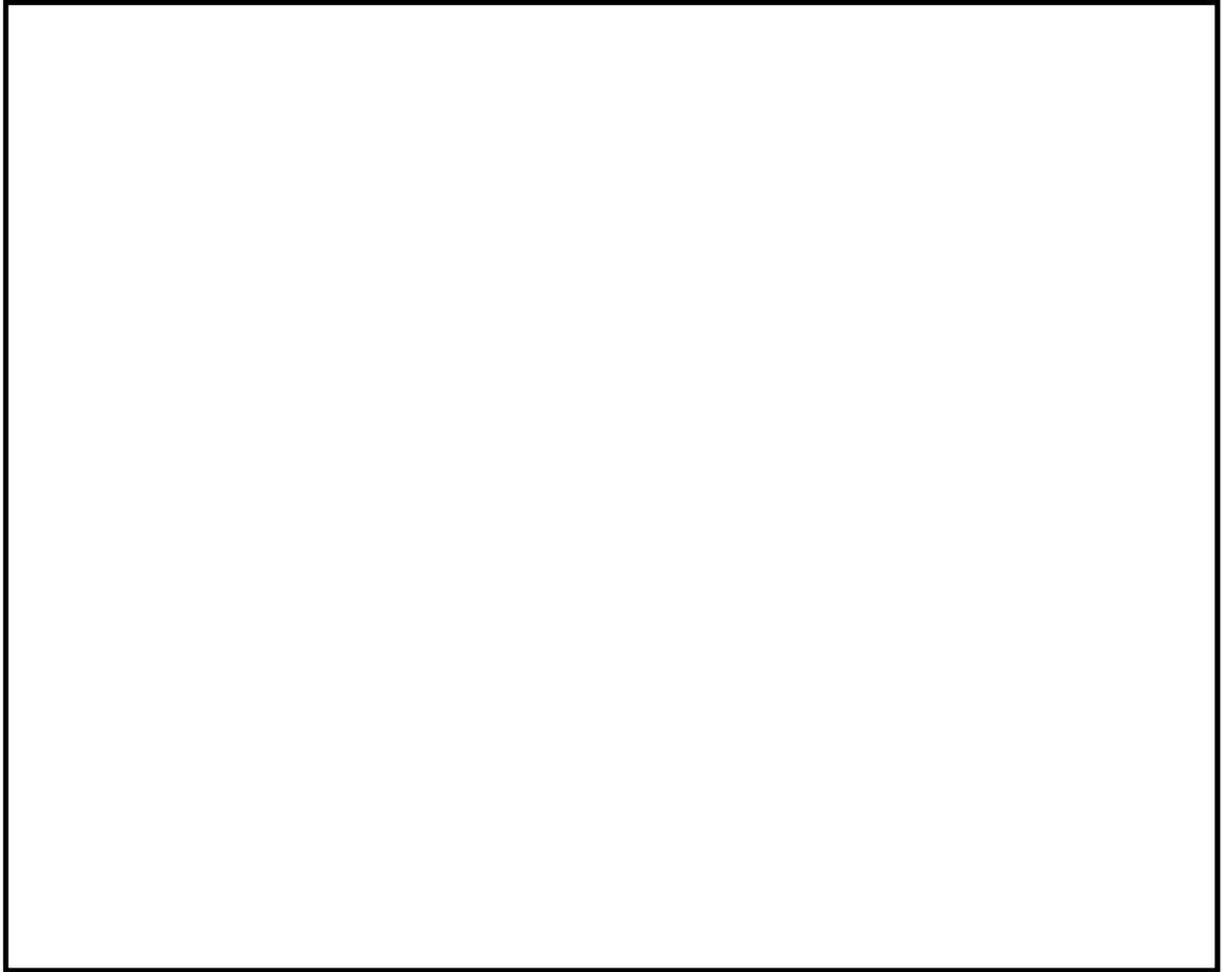


図 3-1-3 原子炉建屋基礎盤の概略平面図 (EL. -4.0m)

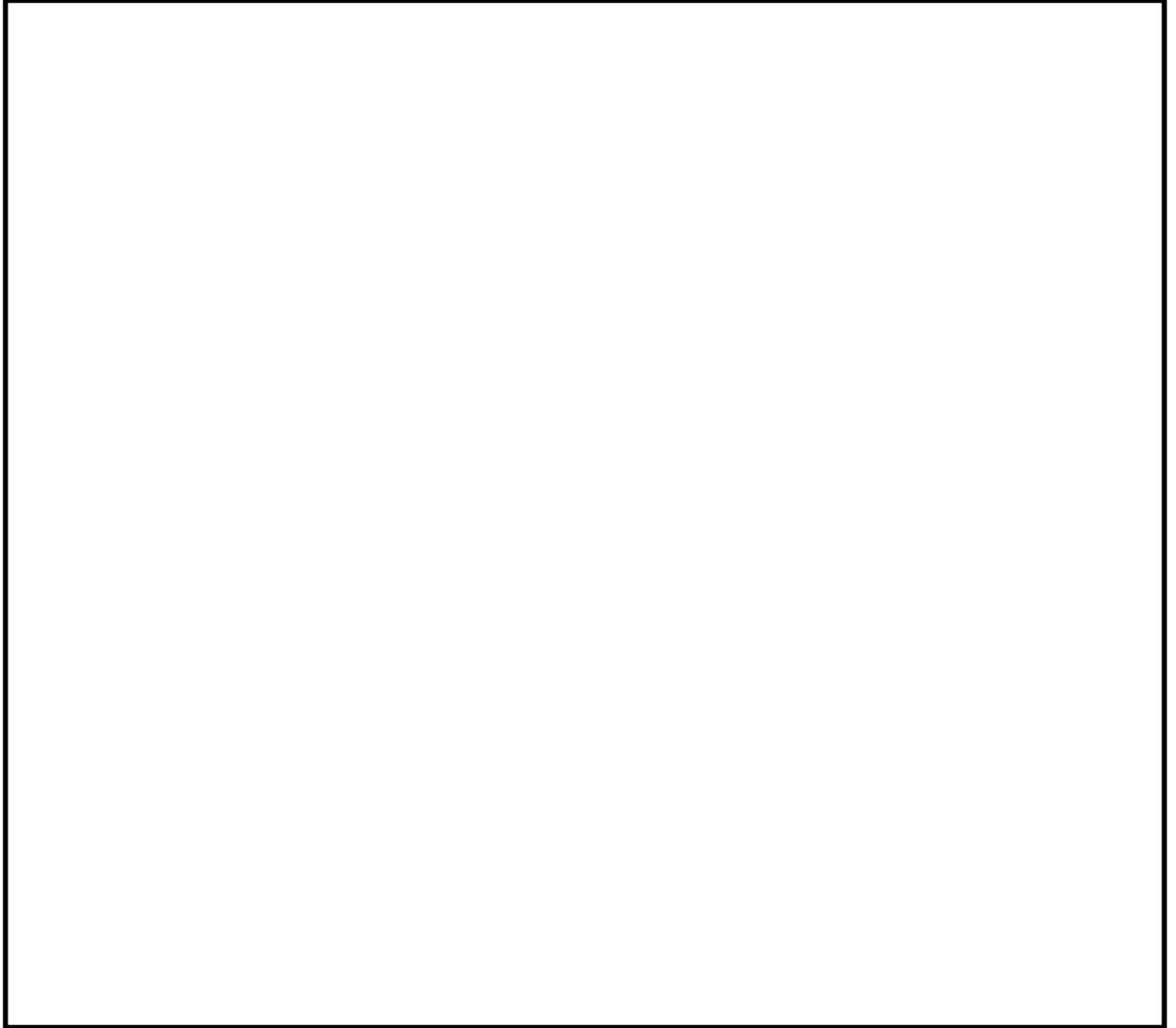


図 3-1-4 原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

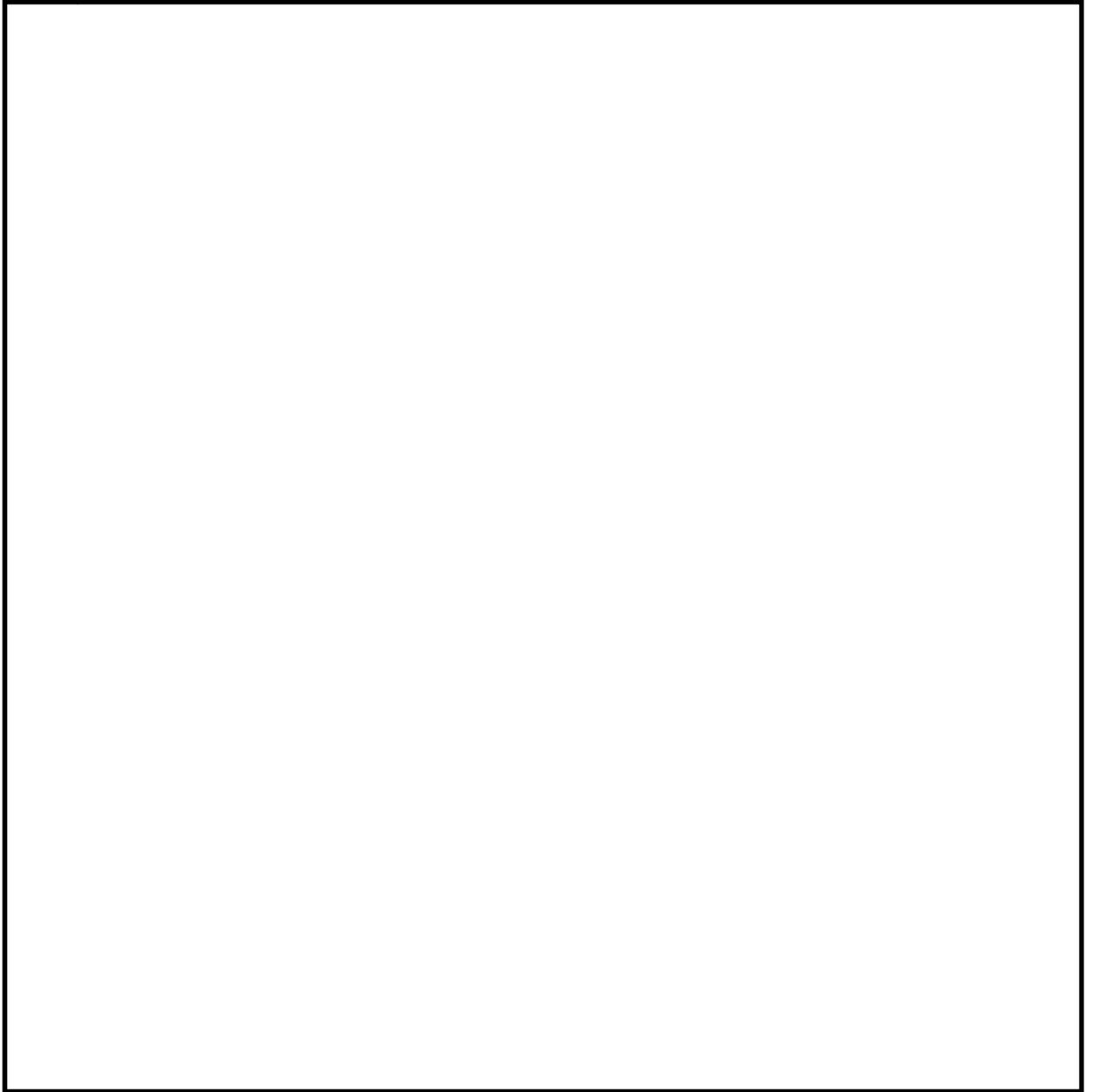
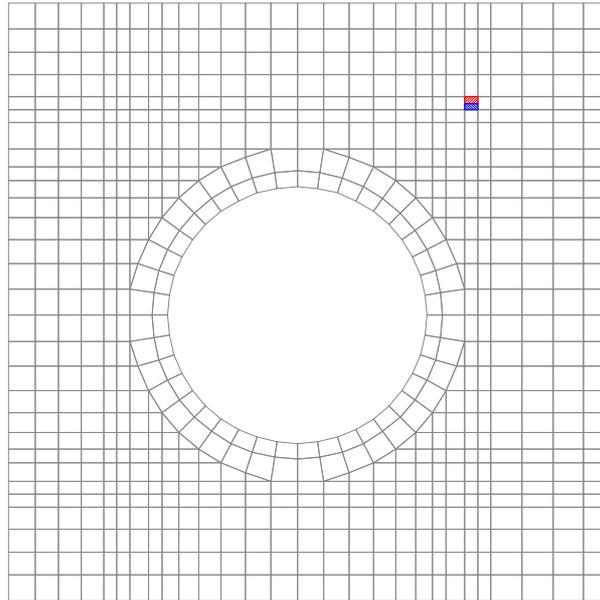


図 3-1-5 解析モデル

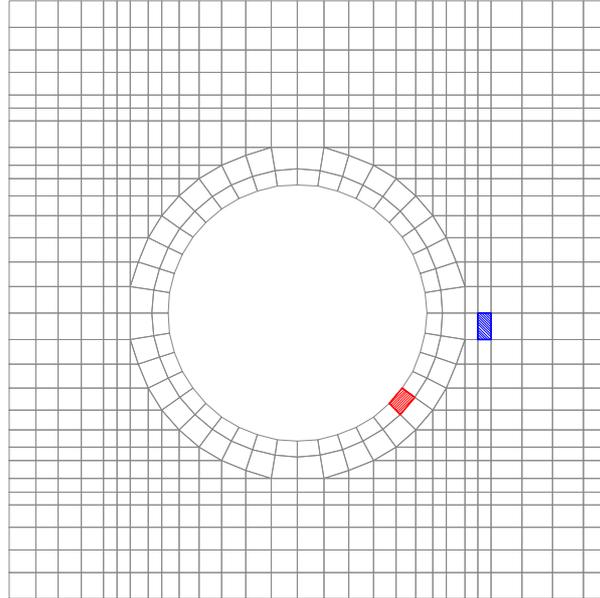
表 3-1-3 使用材料の物性値

部 位	コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
基礎版	22.1	2.21×10^4	0.2



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

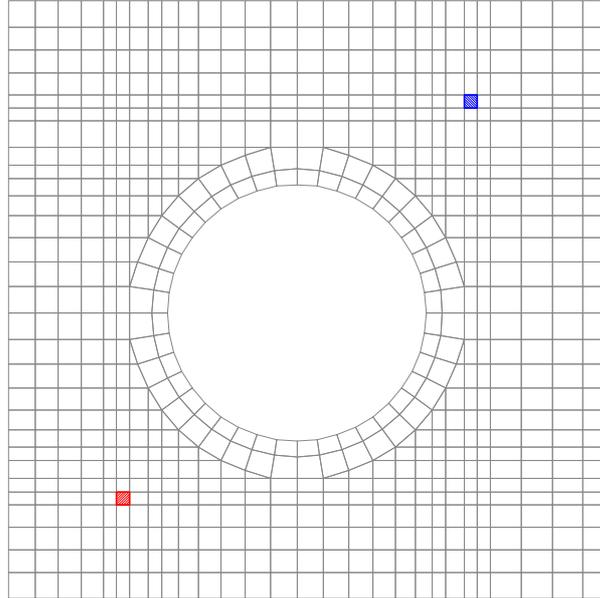
(a) 軸力+曲げモーメント (NS 方向 **または円周方向**)



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

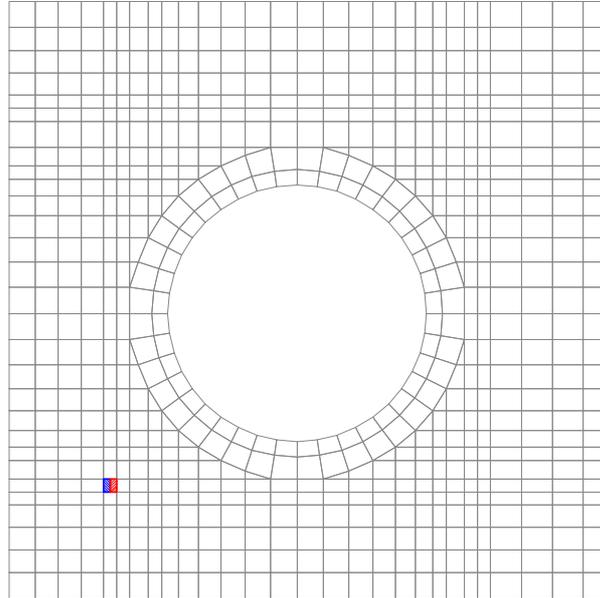
(b) 軸力+曲げモーメント (EW 方向 **または半径方向**)

図 3-1-6 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
 ■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

(c) 面外せん断力 (NS 方向 **または円周方向**)



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
 ■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

(d) 面外せん断力 (EW 方向 **または半径方向**)

図 3-1-6 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置

表 3-1-4 原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN \cdot m/m)	NS	851	10.7	11.8
		半径	276	43.9	49.8
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	1.42 [*]	2.12
		EW	465	1.71 [*]	2.12

※：応力の再配分等を考慮して，応力の平均化を行った結果

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

評価項目		方向	要素番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN \cdot m/m)	NS	851	10.9	12.2
		EW	626	23.2	32.4
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	851	1.60	2.19
		EW	465	1.90	2.19

表 3-1-5 補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した評価
 (発生値は応答倍率 1.02 による暫定値)

評価項目		方向	要素 番号	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN・m/m)	NS	851	10.9	11.8
		半径	276	44.8	49.8
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	1.45 [*]	2.12
		EW	465	1.74 [*]	2.12

※：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

(3) 使用済燃料プールの壁の評価

使用済燃料プールの壁について、基準地震動 S_s による地震力を水平2方向及び鉛直方向に作用させ、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を行った。3次元FEM解析による断面の評価は、資料V-2-4-2-1「使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に基づいて行った。

使用済燃料プールの壁の評価については、 S_s 地震時を対象とし、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する壁について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を評価する。

使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図3-1-5及び図3-1-6、使用済燃料プール周りの概略平面図及び概略断面図を図3-1-7及び図3-1-8に示す。

地震荷重は、資料V-2-4-2-1「使用済燃料プールの耐震性についての計算書」のうち、基準地震動 S_s により算定される動的地震力を各レベルで包絡した評価結果を用いる。その他、水圧荷重を考慮する。

地震荷重以外の荷重については資料V-2-4-2-1「使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に基づいて評価を実施する。

荷重の組合せは、資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重の組合せに基づき、風荷重の影響は地震荷重と比較して極めて小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。また、地震荷重及び積雪荷重の組合せは、地震荷重及び積雪荷重の組合せに含まれるものとする。

解析モデルは、使用済燃料プール、原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットを一体としてモデル化する。また、プール部に連続する壁及び床については、これらのプール部に対する拘束効果を適切に反映した解析モデルとする。解析モデル概要図を図3-1-9に示す。材料の物性値を表3-1-5に示す。

解析結果を記載する要素の位置（許容値に対する解析結果の割合が最大となる要素）を図3-1-10及び図3-1-11、評価結果を表3-1-6に示す。

評価の結果、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる、許容値に対する解析結果の割合は、水平2方向の地震力の影響により割合が最大となる要素位置が一部で変わり、解析結果の値は増加傾向であるものの、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値が各許容値を超えないことを確認した。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、使用済燃料プールの壁が有する耐震性への影響はないことを確認した。



図 3-1-5 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (EL. 46.5 m)



図 3-1-6 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

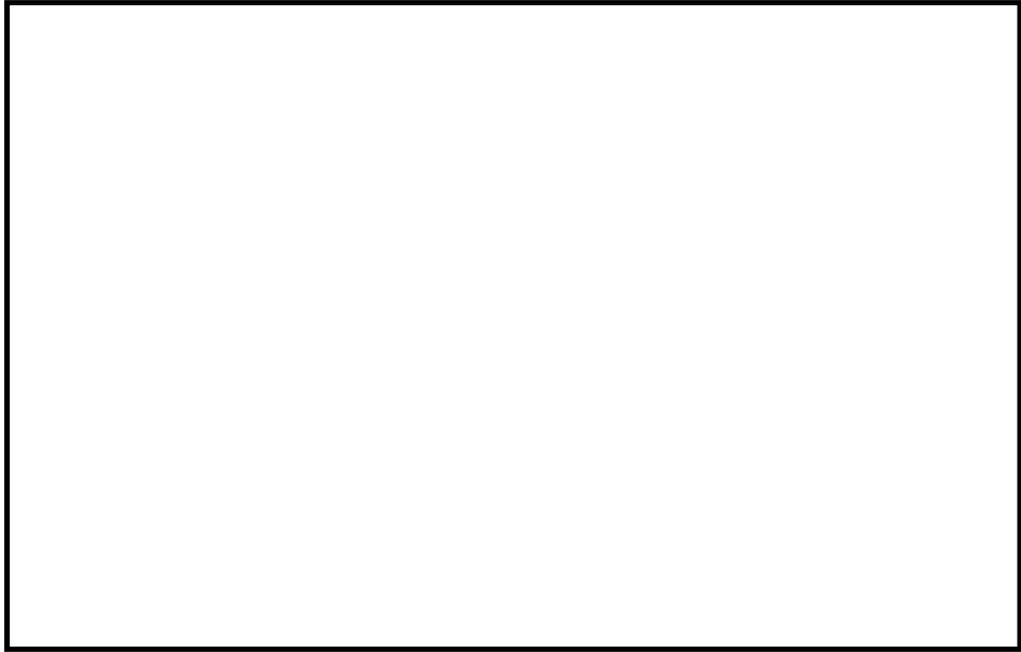


図 3-1-7 使用済燃料プール周りの概略平面図 (EL. 38.80 m)

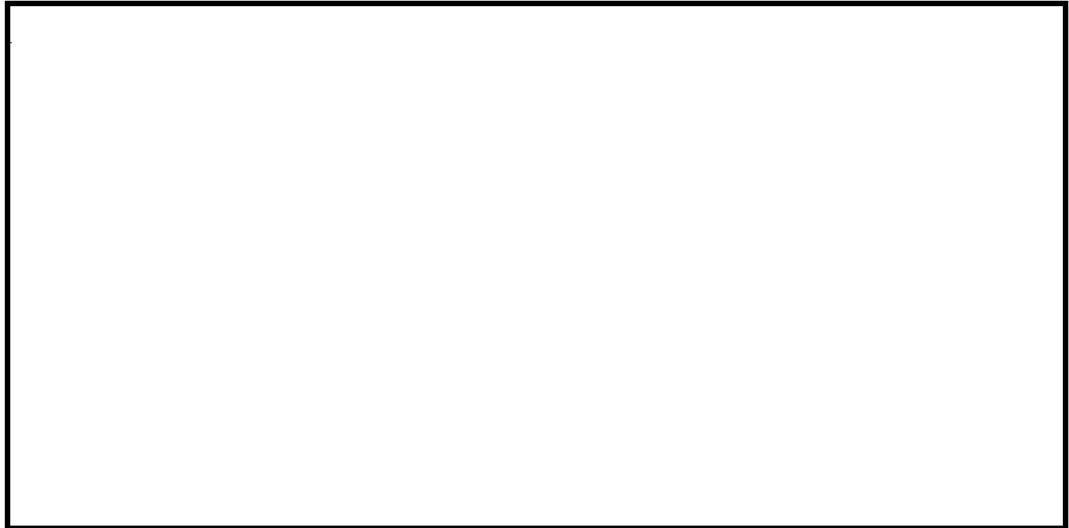


図 3-1-8 使用済燃料プール周りの概略断面図 (A-A 断面)

節点数 : 1028
要素数 : 1038

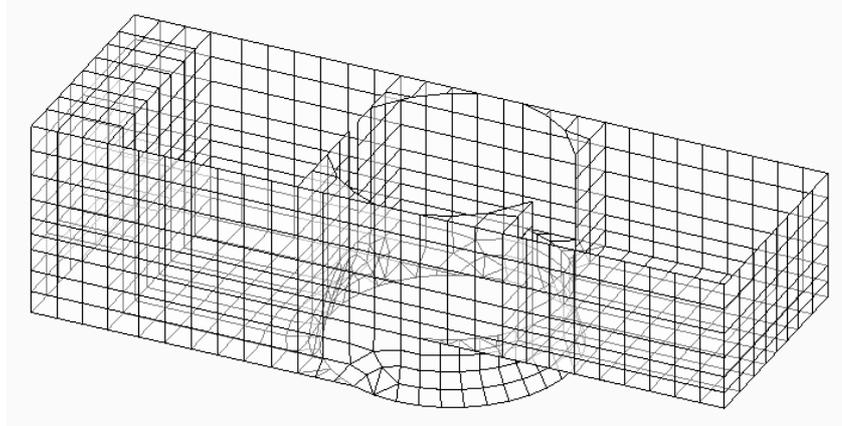
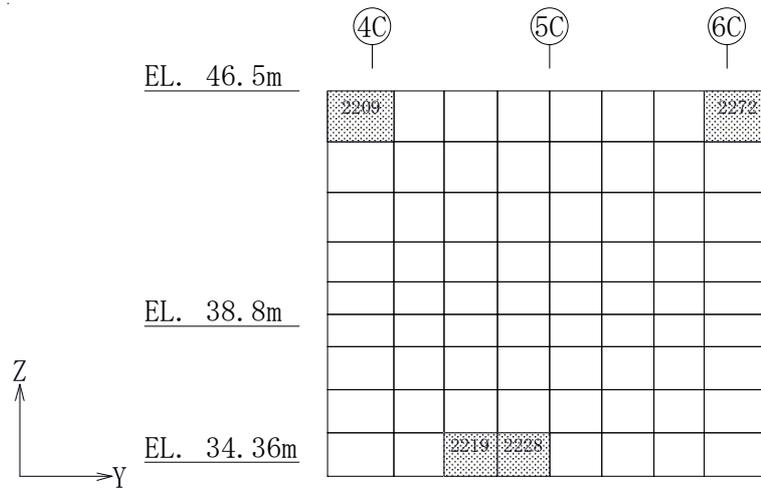


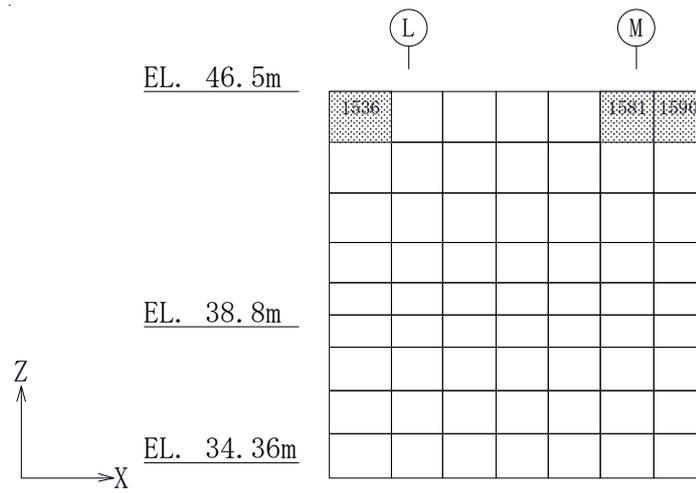
図 3-1-9 解析モデル概要図

表 3-1-5 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
22.1	2.21×10^4	0.2

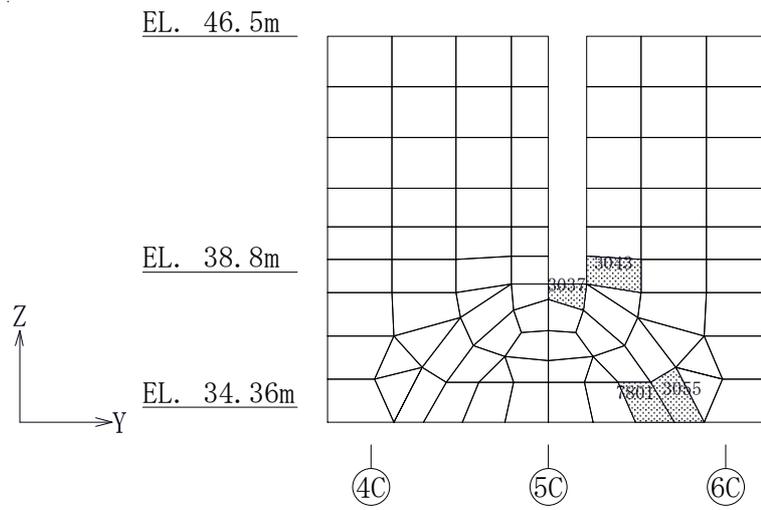


(a) 北側壁

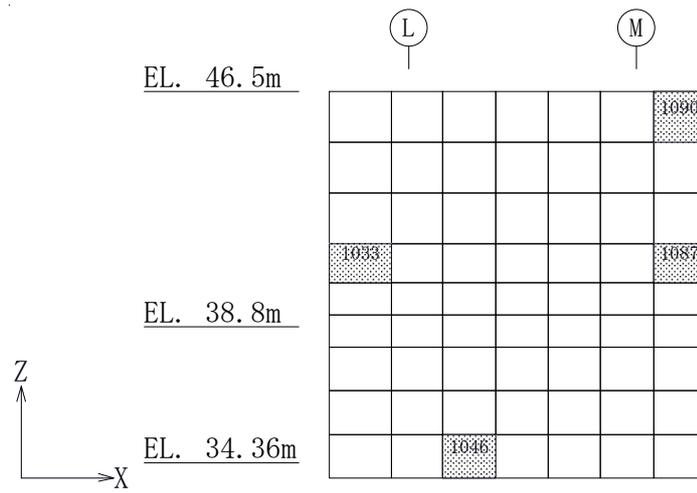


(b) 東側壁

図 3-1-10 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)

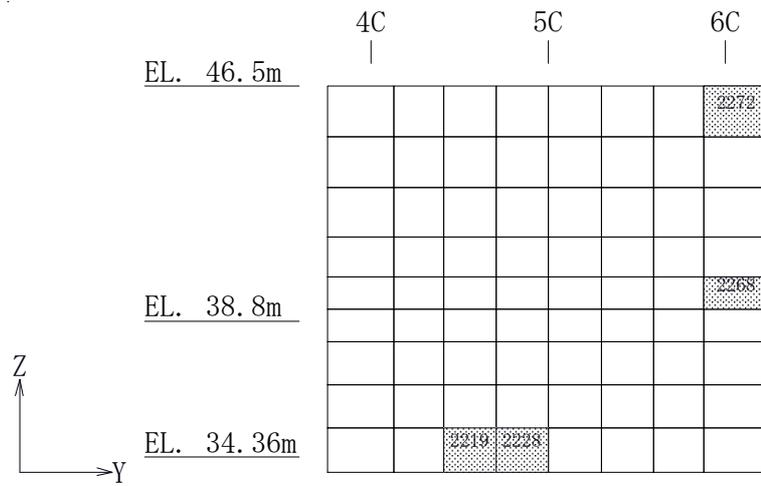


(c) 南側壁

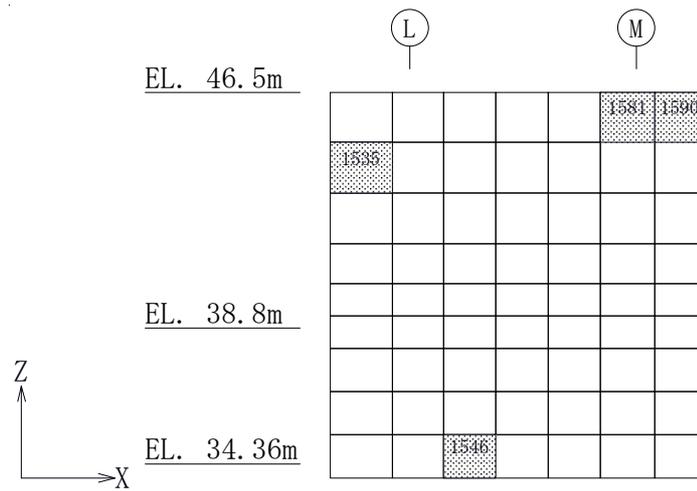


(d) 西側壁

図 3-1-10 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)

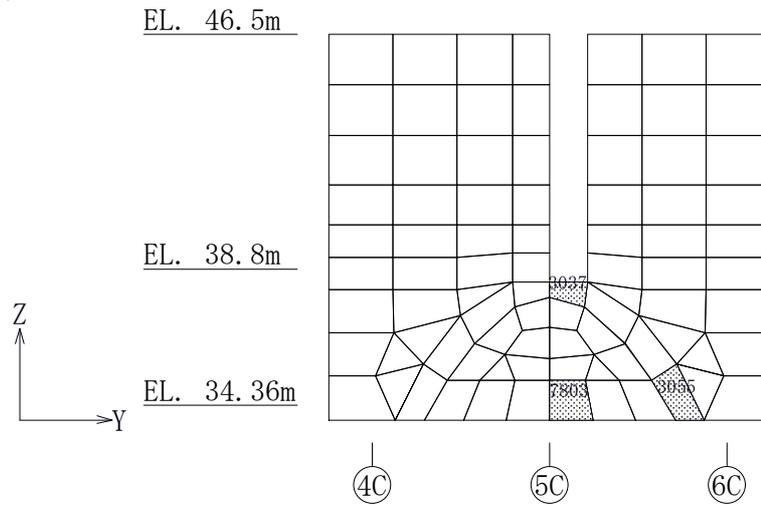


(a) 北側壁

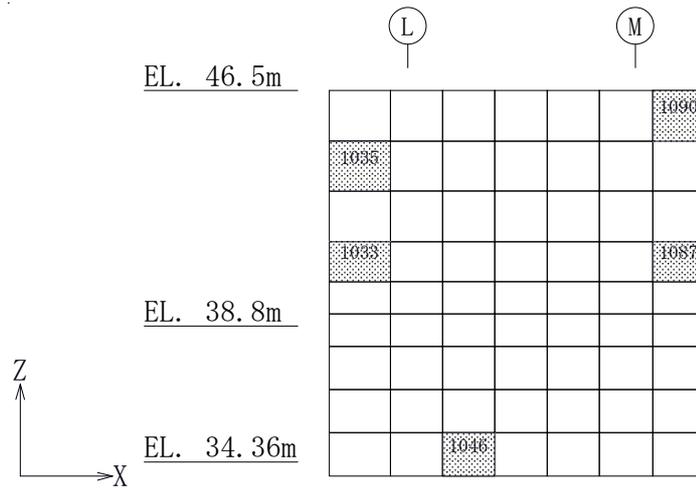


(b) 東側壁

図 3-1-11 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)



(c) 南側壁



(d) 西側壁

図 3-1-11 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)

表 3-1-6 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S_s地震時) (1/2)

(a) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	1.78	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1590	0.148	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	1.93	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	0.337	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	1.60	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1090	0.159	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	1.69	5.00	引張側
軸力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2272	0.716	14.7	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1581	1.36	14.7	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3043	3.22	14.7	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1090	1.55	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2209	0.483	1.61	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	1.15	1.47	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	2.11	3.81	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	1.13	1.86	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	0.621	1.31	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1536	0.439	1.37	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7801	1.11	2.05	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	0.470	1.32	

表 3-1-5 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S_s地震時) (2/2)

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	0.142	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	1.77	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1535	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	1.78	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	0.393	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	1.46	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1035	0.145	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	1.58	5.00	引張側
軸力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2272	0.701	14.7	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1581	1.36	14.7	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3055	3.15	14.7	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1090	1.54	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2268	0.648	1.97	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	1.06	1.50	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	2.08	3.93	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	1.10	1.90	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	0.666	1.28	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1546	0.424	1.27	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7803	0.895	1.60	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	0.457	1.32	

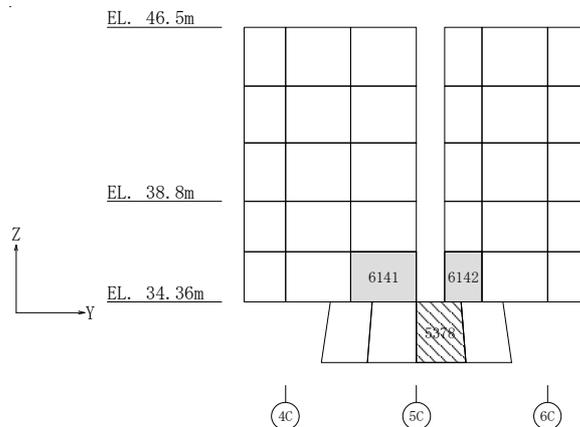
(4) 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響検討

東北地方太平洋沖地震の地震観測記録では、オペフロにおける EW 方向の床応答加速度スペクトルの 10Hz 付近が増幅することが確認されていることから、地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響について検討する。なお、建屋全体の 3 次元 FEM モデルを用いた検討より、鉛直地震力によりウェル壁が東西方向に開閉する振動モードにより 10Hz 付近が増幅することを確認している。

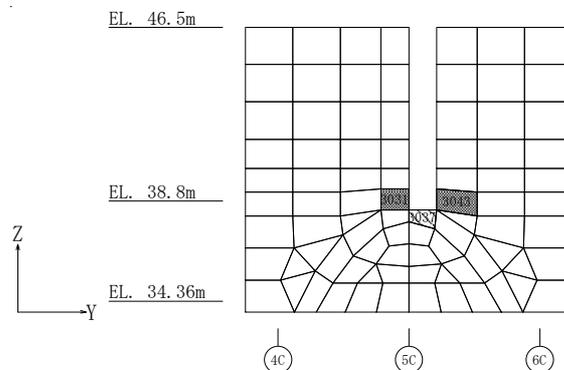
検討は、10Hz 付近の増幅の影響が大きいウェル壁を対象とし、まず、建屋全体の 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析により、ウェル壁に発生する EW 方向単独入力時の応力と鉛直方向単独入力時の応力を比較し応答増幅率を算出する。次に、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による評価結果に応答増幅率を乗じて検定比が 1.0 以下となる事を確認する。

評価結果を記載する要素の位置を図 3-1-12 に、応答増幅率を表 3-1-6 に、影響検討結果を表 3-1-7 に示す。

評価の結果、地震観測記録に見られる EW 方向の応答増幅を考慮した場合にも、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメントに対する評価における発生値が各許容値を超えないことを確認した。



(a) 応答増幅率を記載する要素の位置



(b) 応力解析結果を記載する要素の位置

図 3-1-12 評価結果を記載する要素の位置

表 3-1-6 応答増幅率

要素番号	応力	UD 方向入力 による応力増分	EW 方向入力 による発生応力	応答増幅率 (1.0EW+0.4UD) /(1.0EW)
6141	鉛直軸方向引張力	294	1240	1.095
6142	鉛直軸方向引張力	411	1640	1.101
5378	水平軸方向引張力	253	275	1.368

表 3-1-7 ウェル壁の影響検討結果 (S_s地震 水平 2 方向及び鉛直方向地震)

要素番号	項目	応答増幅率	応力解析時 検定比	応答増幅を考慮 した検定比
3031	引張鉄筋検定比	1.095	0.264	0.290
3043	引張鉄筋検定比	1.101	0.209	0.231
3037	引張鉄筋検定比	1.368	0.321	0.440

別紙 原子炉建屋改造工事に伴う地震応答解析

目次

1. 概要.....	別紙-1
2. 基本方針.....	別紙-2
2.1 解析方針.....	別紙-2
2.2 適用規格・基準等.....	別紙-4
3. 解析方法.....	別紙-5
3.1 設計用模擬地震波.....	別紙-5
3.2 地震応答解析モデル.....	別紙-6
3.3 入力地震動.....	別紙-20
3.4 解析方法.....	別紙-21
3.5 解析条件.....	別紙-22
4. 解析結果.....	別紙-25
4.1 動的解析.....	別紙-25

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の補強等に伴う重量の増加分を考慮したモデル(以下、「補強反映モデル」という。)の諸元及び地震応答解析結果を示すものである。

補強反映モデルとは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答解析」に示す原子炉建屋の地震応答解析モデルを元に補強等に伴う重量の増加を考慮しモデル化したものである。

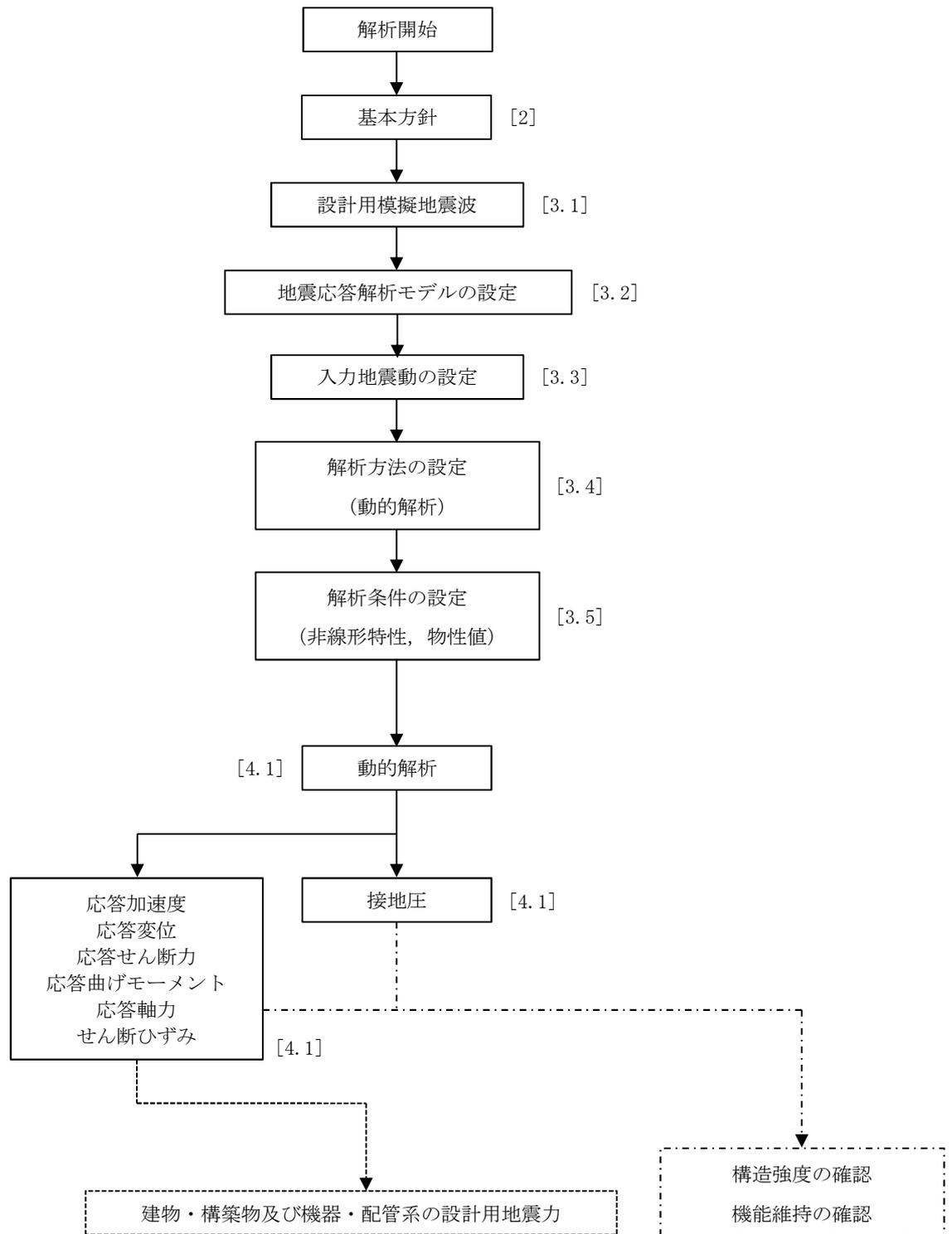
2. 基本方針

2.1 解析方針

図 2-1 に補強反映モデルの地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「3.2 地震応答解析モデル」において設定した地震応答解析モデル及び「3.1 設計用模擬地震波」に基づき「3.3 入力地震動」において設定した入力地震動を用いて実施することとし、「3.4 解析方法」及び「3.5 解析条件」に基づき、「4.1 動的解析」においては、せん断ひずみ及び接地圧を含む各種応答値を算出する。

なお、影響検討は、応答倍率を用いた手法により行うことから、応答倍率の算出のための「補強反映モデル」を用いた地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_{e-D1} に対して実施することとする。



注1 : []内は、本資料における章番号を示す。

図2-1 補強反映モデルの地震応答解析フロー

2.2 適用規格・基準等

地震応答解析において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力度編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
(以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一 ((社) 日本建築学会, 1999)
- ・鋼構造設計規準 一許容応力度設計法一 ((社) 日本建築学会, 2005)

3. 解析方法

3.1 設計用模擬地震波

原子炉建屋の地震応答解析モデルは、建屋と地盤の相互作用を評価した建屋－地盤連成モデルとする。この連成モデルへの入力地震動は、添付書類「V-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された設計用模擬地震波を用いることとする。

基準地震動 S_s として作成した設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」と同様である。

3.2 地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答解析」の地震応答解析モデルと同様の設定方針に基づき、水平方向及び鉛直方向についてそれぞれ設定する。地震応答解析モデルの設定に用いた使用材料の物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)	備考
鉄筋コンクリート コンクリート： Fc=22.1 (N/mm ²) (Fc=225 (kgf/cm ²)) 鉄筋：SD35 (SD345 相当)	2.21×10 ⁴	9.21×10 ³	5	—
鉄骨：SS41 (SS400 相当) SM41A (SM400A 相当)	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	2	屋根トラス

3.2.1 水平方向

(1) 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルは、地盤との相互作用を考慮し、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとして、NS 方向及び EW 方向についてそれぞれ設定する。水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1 に、解析モデルの諸元を表 3-2 に示す。

(2) 地盤ばね

基礎底面の地盤ばね（水平ばね及び回転ばね）は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」により、成層補正を行ったのち、振動アドミッタンス理論に基づいて、スウェイ及びロッキングばね定数を近似法により評価する。基礎底面ばねの評価には解析コード「G R I M P 2 ver. 2.5」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-15 計算機プログラム（解析コード）の概要・G R I M P 2」に示す。

また、建屋埋込み部分の側面地盤ばねのばね定数については、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づいて N o v a k の方法により設定する。建屋側面ばねの評価には解析コード「N V K 4 6 3 ver. 1.0」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-16 計算機プログラム（解析コード）の概要・N V K 4 6 3」に示す。

地盤ばねの算定に用いる地盤定数は地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた等価物性値を用いる。添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能の基本方針」に記載の解析用物性値に基づく初期地盤の物性値を表 3-3 に、ひずみ依存特性を図 3-2～図 3-5 に示す。また、基準地震動 $S_g - D 1$ に対する地盤定数を表 3-4 に示す。また、地盤ばねの定数化の概要を図 3-6 に、地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-5 に示す。

(3) 復元力特性

地震応答解析では、一部の上部構造物においてその応答が構造要素の弾性限度を超えることが予想されるため、復元力特性を設定する。ただし、重量増分に伴うせん断及び曲げスケルトンへの影響は軽微であるため、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」で示した復元力特性と同様の値を用いる。

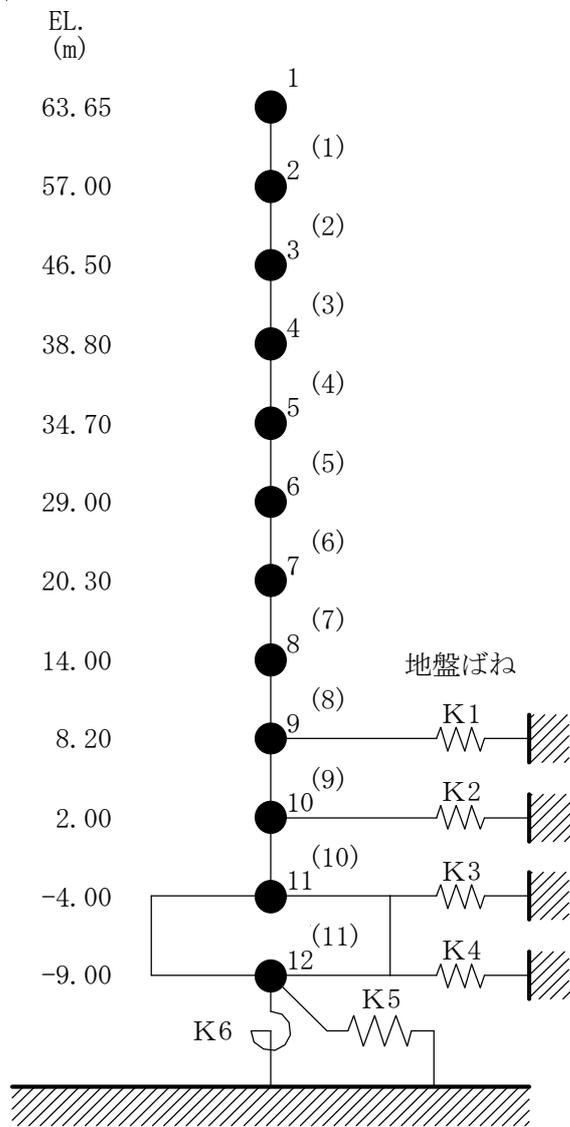
3.2.2 鉛直方向

(1) 解析モデル

鉛直方向（UD 方向）の地震応答解析モデルは、耐震壁の軸剛性及び屋根トラスの曲げせん断剛性を評価した質点系モデルとする。鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-7 に、解析モデルの諸元を表 3-6 に示す。

(2) 地盤ばね

基礎底面の地盤ばね（鉛直ばね）は、振動アドミッタンス理論により得られる動的地盤ばねを、水平方向と同様に近似する。基礎底面ばねの評価には解析コード「GRIMP 2 ver. 2.5」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-15 計算機プログラム（解析コード）の概要・GRIMP 2」に示す。なお、地盤定数は表 3-4～表 3-19 に示す。鉛直地盤ばねの定数化の概要を図 3-8 に、地盤ばね定数及び減衰係数を表 3-7 に示す。



- ・数字は質点番号を示す。
- ・ () 内は要素番号を示す。

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-2 地震応答解析モデル諸元 (水平方向)

標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		要素 番号	せん断断面積 (m^2)		断面2次モーメント ($\times 10^3 \text{m}^4$)	
			NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	NS方向	EW方向
63.65	1	15870	35.7	31.5					
					(1)	27.3	25.5	20.4	18.4
57.00	2	17910	56.7	49.5					
					(2)	27.3	25.5	20.4	18.4
46.50	3	67940	121.4	105.6					
					(3)	212	154	64.4	34.7
38.80	4	98460	163.9	101.2					
					(4)	133	141	45.0	37.3
34.70	5	85220	115.6	70.3					
					(5)	143	156	45.4	38.7
29.00	6	125380	357.5	256.8					
					(6)	218	237	77.6	72.9
20.30	7	164920	498.0	554.2					
					(7)	242	224	86.3	77.6
14.00	8	237120	728.7	788.2					
					(8)	394	345	178.5	147.4
8.20	9	202660	908.2	901.9					
					(9)	464	454	218.4	208.5
2.00	10	222250	838.2	836.5					
					(10)	464	454	218.8	208.9
-4.00	11	440910	1731.5	1718.9					
					(11)	4675	4675	1828.1	1814.8
-9.00	12	275090	1081.4	1073.5					
総重量		1953730							

表 3-3 初期地盤の物性値

標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 ρ t/m ³	S波速度 Vs m/s	ポアソン比 ν
8.0	du*	5.0	1.82	210	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	240	0.286
2.0		4.7	2.01	240	0.491
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	500	0.462
-14.4	Km	5.6	1.72	446	0.461
-20.0		20.0	1.72	456	0.460
-40.0		20.0	1.73	472	0.458
-60.0		30.0	1.73	491	0.455
-90.0		30.0	1.73	514	0.452
-120.0		30.0	1.73	537	0.449
-150.0		40.0	1.74	564	0.445
-190.0		40.0	1.74	595	0.441
-230.0		40.0	1.75	626	0.437
-270.0		50.0	1.75	660	0.433
-320.0		50.0	1.76	699	0.427
-370.0		解放基盤	—	1.76	718

* : 地下水位より浅いことを示す。

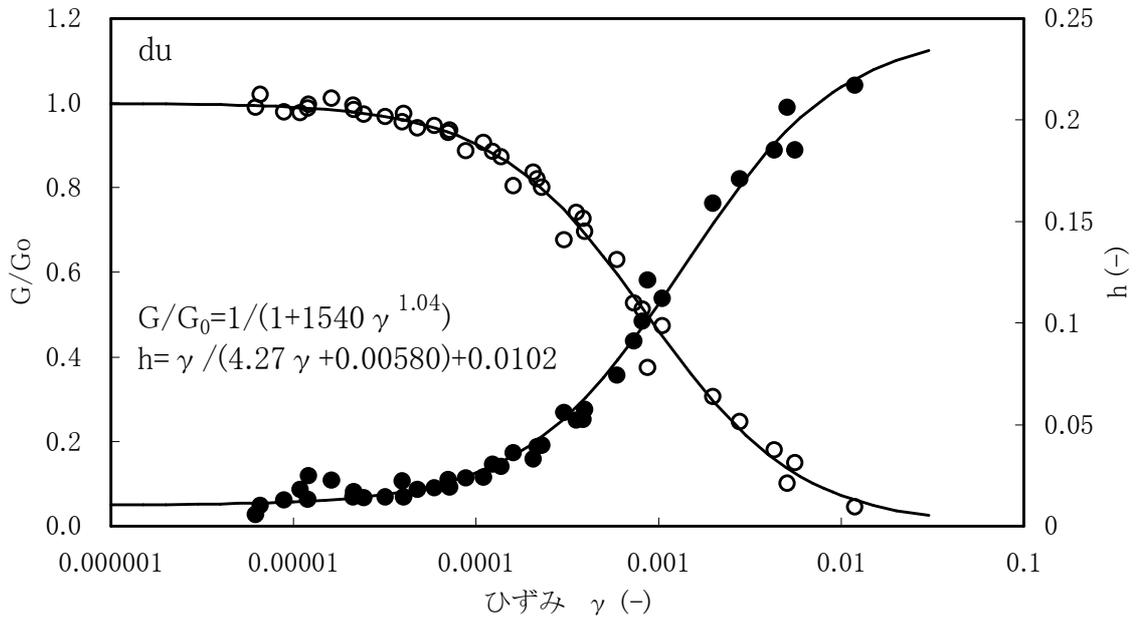


図 3-2 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (du 層)

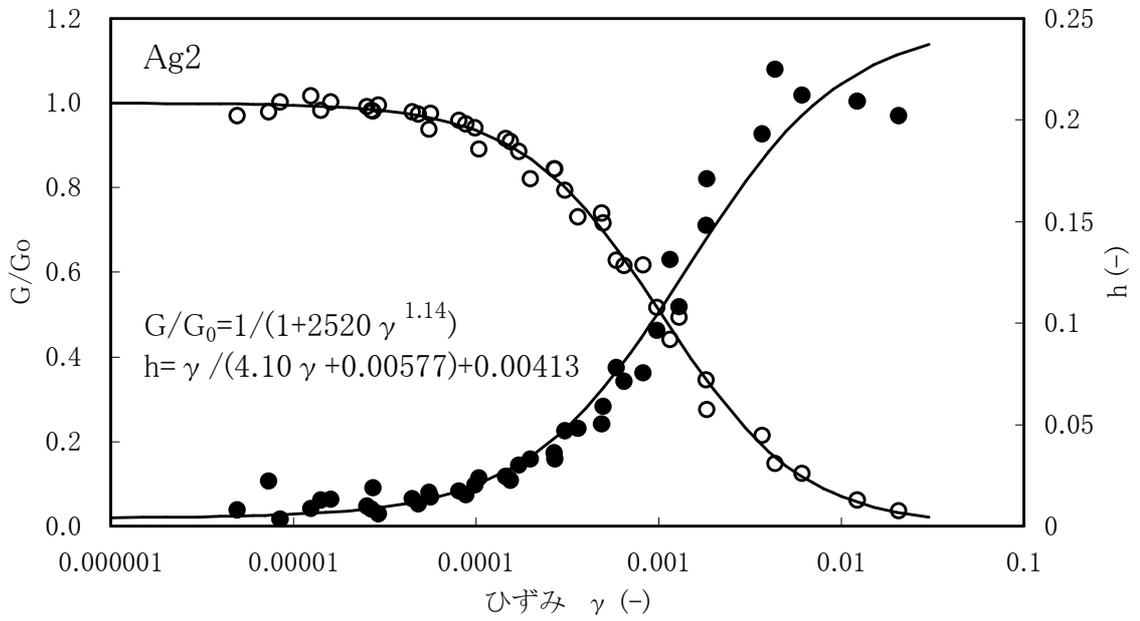


図 3-3 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Ag2 層)

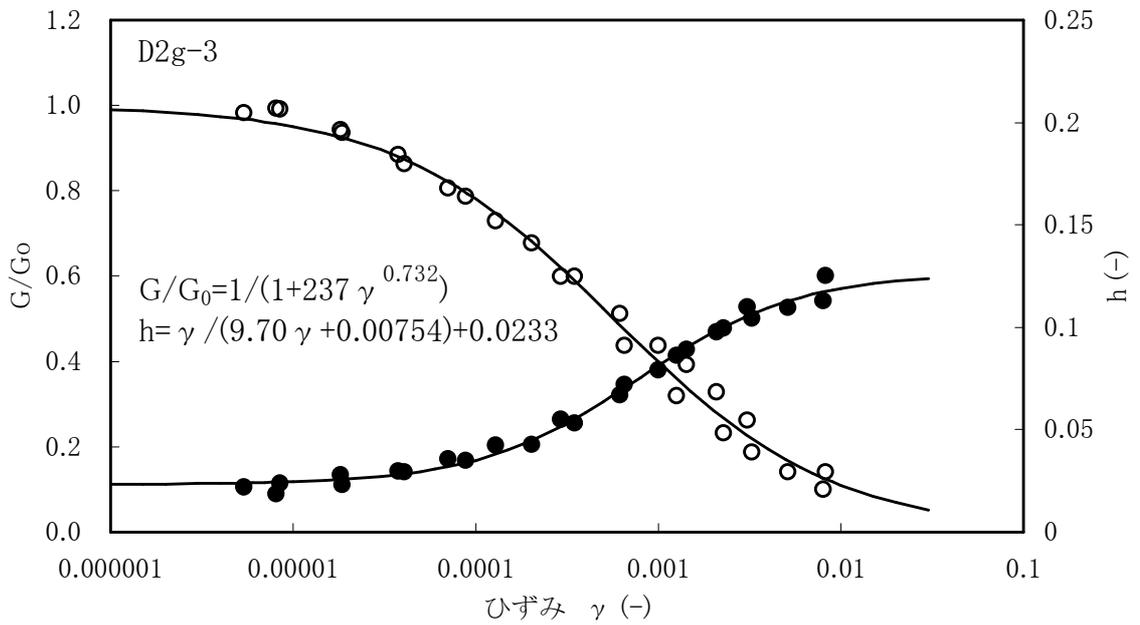


図 3-4 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (D2g-3層)

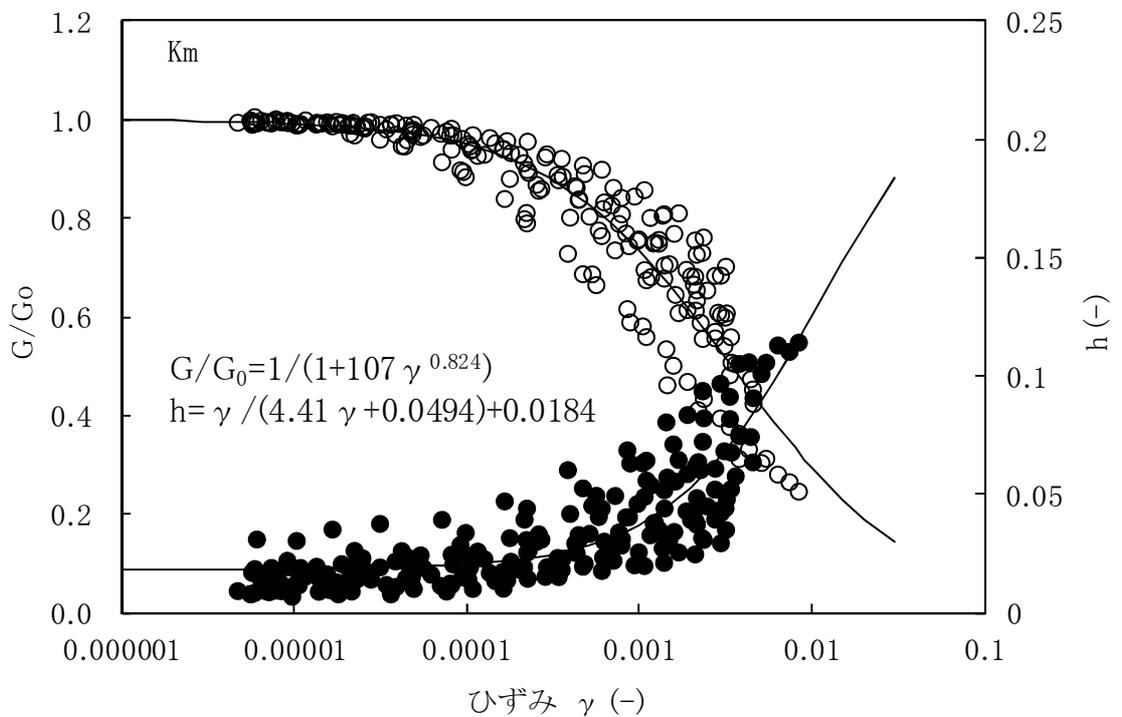
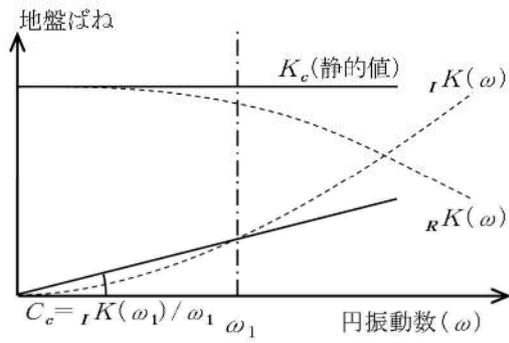


図 3-5 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Km層)

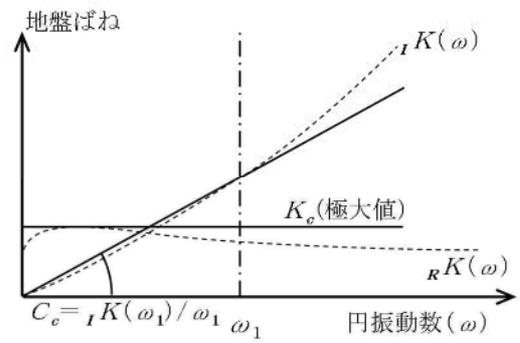
表 3-4 地盤定数 (S_s-D1)

標高 EL. (m)	地層 区分	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	等価 減衰定数	等価 S波速度 (m/s)	等価 P波速度 (m/s)	ポアソン比
8.0	du*	5.0	1.82	0.06	178	412	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	0.08	193	353	0.286
2.0		4.7	2.01	0.11	171	1794	0.495
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	0.05	391	1847	0.477
-14.4	Km	5.6	1.72	0.03	406	1644	0.468
-20.0		20.0	1.72	0.03	410	1660	0.468
-40.0		20.0	1.73	0.03	425	1679	0.466
-60.0		30.0	1.73	0.03	442	1691	0.463
-90.0		30.0	1.73	0.03	465	1718	0.460
-120.0		30.0	1.73	0.03	486	1745	0.458
-150.0		40.0	1.74	0.03	508	1769	0.455
-190.0		40.0	1.74	0.03	542	1809	0.451
-230.0		40.0	1.75	0.03	577	1850	0.446
-270.0		50.0	1.75	0.03	612	1899	0.442
-320.0	50.0	1.76	0.03	652	1937	0.436	
-370.0	解放基盤	—	1.76	0.00	718	1988	0.425

* : 地下水位より浅いことを示す。



(a) 底面ばね



(b) 側面ばね

ばね定数：底面ばねは 0 Hz，側面ばねは理論解の極大値であるばね定数 K_c で定式化

減衰係数：地盤—建屋連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定式化

図 3-6 地盤ばねの定数化の概要

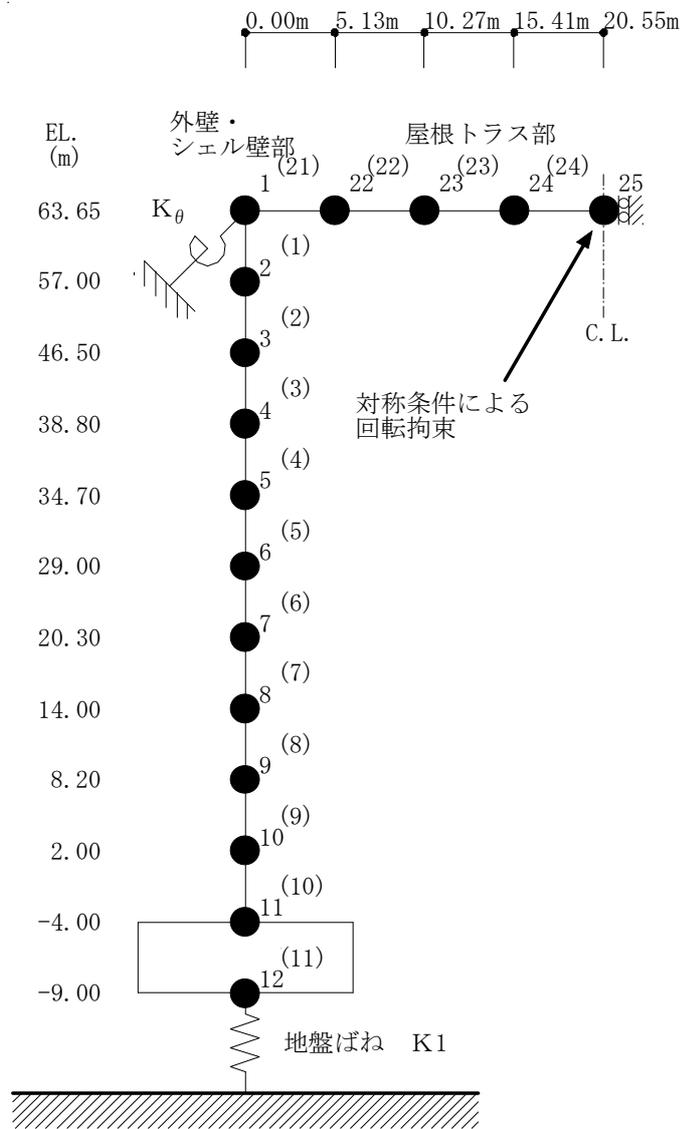
表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (S_s-D1)

(a) NS 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	側面・水平	5.46 × 10 ⁵ (kN/m)	2.48 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K2	側面・水平	1.22 × 10 ⁶ (kN/m)	4.20 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64 × 10 ⁶ (kN/m)	9.07 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92 × 10 ⁷ (kN/m)	8.69 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K5	底面・水平	6.41 × 10 ⁷ (kN/m)	3.44 × 10 ⁶ (kN・S/m)
K6	底面・回転	9.26 × 10 ¹⁰ (kN・m/rad)	1.58 × 10 ⁹ (kN・m・s/rad)

(b) EW 方向

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	側面・水平	5.46 × 10 ⁵ (kN/m)	2.46 × 10 ⁵ (kN・s/m)
K2	側面・水平	1.22 × 10 ⁶ (kN/m)	4.21 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K3	側面・水平	6.64 × 10 ⁶ (kN/m)	9.05 × 10 ⁵ (kN・S/m)
K4	側面・水平	1.92 × 10 ⁷ (kN/m)	8.68 × 10 ⁵ (kN・s/m)
K5	底面・水平	6.42 × 10 ⁷ (kN/m)	3.45 × 10 ⁶ (kN・s/m)
K6	底面・回転	9.17 × 10 ¹⁰ (kN・m/rad)	1.56 × 10 ⁹ (kN・m・s/rad)



- 数字は質点番号を示す。
- () 内は要素番号を示す。

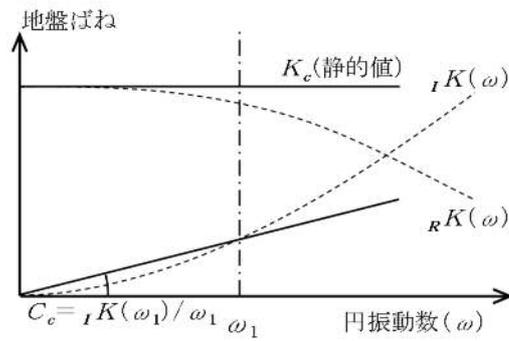
図 3-7 地震応答解析モデル (UD 方向)

表 3-6 地震応答解析モデル諸元 (UD 方向)

外壁・シェル壁部				
標高 EL. (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	要素 番号	軸断面積 (m ²)
63.65	1	8030		
			(1)	52.4
57.00	2	17910		
			(2)	58.8
46.50	3	67940		
			(3)	331
38.80	4	98460		
			(4)	243
34.70	5	85220		
			(5)	297
29.00	6	125380		
			(6)	451
20.30	7	164920		
			(7)	461
14.00	8	237120		
			(8)	727
8.20	9	202660		
			(9)	900
2.00	10	222250		
			(10)	900
-4.00	11	440910		
			(11)	4675
-9.00	12	275090		
総重量		1953730		

屋根トラス部						
標高 EL. (m)	スパン方向 (m)	質点 番号	質点重量 (kN)	要素 番号	せん断断面積 (×10 ⁻² m ²)	断面2次モーメント (m ⁴)
63.65	20.55	25	1120			
				(24)	5.68	1.76
	15.41	24	2240			
				(23)	5.68	1.76
	10.27	23	2240			
				(22)	8.50	1.76
	5.13	22	2240			
				(21)	11.49	1.76
	0.00	1	—			

トラス端部回転拘束ばね
 $K_{\theta} = 5.62 \times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$



ばね定数：0 Hz のばね定数 K_c で定数化

減衰係数：地盤－建屋連成系の 1 次固有円振動数 ω_1 に対応する虚部の値と原点とを結ぶ直線の傾き C_c で定数化

図 3-8 鉛直地盤ばねの定数化の概要

表 3-7 地盤ばね定数と減衰係数 (UD 方向, $S_s - D 1$)

ばね 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K_c	減衰係数 C_c
K1	底面・鉛直	1.08×10^8 (kN/m)	8.20×10^6 (kN·s/m)

3.3 入力地震動

3.3.1 水平方向

水平方向モデルへの入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルで定義される基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面及び側面地盤ばねレベルでの地盤の応答として評価する。また、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。入力地震動の算定には、解析コード「KSHAKE ver. 2.0」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-17 計算機プログラム（解析コード）の概要・KSHAKE」に示す。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置（EL. -9.0 m）における入力地震動の加速度応答スペクトルは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」と同一である。

3.3.2 鉛直方向

鉛直方向モデルへの入力地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルで定義された基準地震動 S_s に対する建屋基礎底面レベルでの地盤の応答として評価したものであり、基礎底面レベルに直接入力する。入力地震動の算定には、解析コード「KSHAKE ver. 2.0」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-17 計算機プログラム（解析コード）の概要・KSHAKE」に示す。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置（EL. -9.0 m）における入力地震動の加速度応答スペクトルは、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」と同一である。

3.4 解析方法

原子炉建屋について、動的解析により応答加速度、応答変位、応答せん断力、応答曲げモーメント、応答軸力、せん断ひずみ及び接地圧を算出する。

原子炉建屋の地震応答解析には、解析コード「DAC3N V97」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「V-5-18 計算機プログラム(解析コード)の概要・DAC3N」に示す。

3.4.1 動的解析

建物・構築物の動的解析は、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の解析方法に基づき、時刻歴応答解析により実施する。

なお、最大接地圧は、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社)日本電気協会)」を参考に、水平応答と鉛直応答から組合せ係数法(組合せ係数は 1.0 と 0.4)を用いて算出する。

3.5 解析条件

3.5.1 建物・構築物の復元力特性

原子炉建屋の各耐震壁のせん断及び曲げスケルトンカーブの諸数値を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

表 3-8 セン断スケルトンカーブ ($\tau - \gamma$ 関係)

(a) NS 方向

EL. m	要素 番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
63.65 ~ 57.00	(1)	1.60	2.16	4.54	0.174	0.522	4.0
57.00 ~ 46.50	(2)	1.71	2.31	4.63	0.185	0.555	4.0
46.50 ~ 38.80	(3)	1.59	2.15	4.38	0.173	0.519	4.0
38.80 ~ 34.70	(4)	1.34	1.81	4.17	0.145	0.435	4.0
34.70 ~ 29.00	(5)	1.28	1.73	3.91	0.139	0.417	4.0
29.00 ~ 20.30	(6)	1.47	1.98	4.26	0.159	0.477	4.0
20.30 ~ 14.00	(7)	1.61	2.17	4.87	0.174	0.522	4.0
14.00 ~ 8.20	(8)	1.68	2.27	4.27	0.183	0.549	4.0
8.20 ~ 2.00	(9)	1.77	2.39	5.02	0.192	0.576	4.0
2.00 ~ -4.00	(10)	1.85	2.50	5.84	0.201	0.603	4.0

(b) EW 方向

EL. m	要素 番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
63.65 ~ 57.00	(1)	1.60	2.16	4.54	0.174	0.522	4.0
57.00 ~ 46.50	(2)	1.71	2.31	4.63	0.185	0.555	4.0
46.50 ~ 38.80	(3)	1.60	2.16	4.63	0.173	0.519	4.0
38.80 ~ 34.70	(4)	1.49	2.01	4.40	0.162	0.486	4.0
34.70 ~ 29.00	(5)	1.39	1.88	4.01	0.151	0.453	4.0
29.00 ~ 20.30	(6)	1.31	1.77	3.72	0.143	0.429	4.0
20.30 ~ 14.00	(7)	1.59	2.15	4.57	0.172	0.516	4.0
14.00 ~ 8.20	(8)	1.68	2.27	4.52	0.182	0.546	4.0
8.20 ~ 2.00	(9)	1.77	2.39	5.02	0.192	0.576	4.0
2.00 ~ -4.00	(10)	1.85	2.50	5.77	0.201	0.603	4.0

表 3-9 曲げスケルトンカーブ (M-φ 関係)

(a) NS 方向

EL. m	要素 番号	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁵ /m)
63.65 ~ 57.00	(1)	1.85	3.23	4.18	0.410	4.87	97.4
57.00 ~ 46.50	(2)	2.06	3.49	4.48	0.457	4.97	99.4
46.50 ~ 38.80	(3)	5.75	12.6	18.7	0.404	5.28	57.1
38.80 ~ 34.70	(4)	4.87	12.7	16.1	0.490	8.14	102
34.70 ~ 29.00	(5)	5.12	13.0	16.5	0.510	8.12	102
29.00 ~ 20.30	(6)	7.47	19.5	22.5	0.436	5.90	33.9
20.30 ~ 14.00	(7)	10.3	27.0	31.1	0.540	6.02	36.6
14.00 ~ 8.20	(8)	14.5	42.2	50.3	0.368	4.81	47.5
8.20 ~ 2.00	(9)	21.7	62.6	79.2	0.450	5.46	41.8
2.00 ~ -4.00	(10)	24.7	80.9	101	0.511	6.35	36.9

(b) EW 方向

EL. m	要素 番号	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₂ (×10 ⁻⁵ /m)	φ ₃ (×10 ⁻⁵ /m)
63.65 ~ 57.00	(1)	1.77	3.03	3.86	0.435	5.15	103
57.00 ~ 46.50	(2)	2.23	3.35	4.19	0.548	5.83	116
46.50 ~ 38.80	(3)	3.57	6.61	8.98	0.466	8.83	108
38.80 ~ 34.70	(4)	4.87	12.5	16.1	0.591	9.58	123
34.70 ~ 29.00	(5)	5.12	12.8	16.6	0.599	9.28	120
29.00 ~ 20.30	(6)	6.80	17.6	21.1	0.422	5.67	53.5
20.30 ~ 14.00	(7)	8.95	22.4	26.0	0.522	5.80	47.3
14.00 ~ 8.20	(8)	12.7	38.2	46.2	0.390	5.23	53.0
8.20 ~ 2.00	(9)	20.9	61.2	77.3	0.454	5.56	42.0
2.00 ~ -4.00	(10)	23.7	77.8	96.5	0.513	6.48	39.8

4. 解析結果

4.1 動的解析

4.1.1 固有値解析結果

基本ケースの地震応答解析モデルの固有値解析結果（固有周期，固有振動数及び刺激係数）を表 4-1 に示す。S_s-D 1 の刺激関数図を，図 4-1 に示す。

なお，刺激係数は，各次の固有ベクトル {u} に対し，最大振幅が 1.0 となるように規準化した値を示す。

表 4-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次 数	固有周期(s)	固有振動数(Hz)
1	0.413	2.42
2	0.203	4.93
3	0.105	9.51
4	0.086	11.66
5	0.064	15.51
6	0.053	18.96

(b) EW 方向

次 数	固有周期(s)	固有振動数(Hz)
1	0.415	2.41
2	0.203	4.93
3	0.108	9.22
4	0.087	11.49
5	0.065	15.40
6	0.051	19.52

(c) UD 方向

次 数	固有周期(s)	固有振動数(Hz)
1	0.399	2.50
2	0.275	3.63
3	0.093	10.79
4	0.060	16.58
5	0.057	17.64
6	0.048	20.70

追而

図 4-1 (1/3) 刺激関数図 ($S_s - D 1$, NS 方向)

追而

図 4-1 (2/3) 刺激関数図 ($S_s - D 1$, EW 方向)

追而

図 4-1 (3/3) 刺激関数図 ($S_s - D 1$, UD 方向)

4.1.2 地震応答解析結果

基準地震動 S_s-D1 による「補強反映モデル」の最大応答値を図 4-2～図 4-12、表 4-2 及び表 4-3 に示す。なお、参考に添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答解析」に示した補強等によるに伴う重量の増加分を考慮していないモデル（以下、「今回工認モデル」という。）も併せて示す。

また、基準地震動 S_s に対する最大応答値を図 4-13～図 4-16 の耐震壁のスケルトンカーブ上にプロットして示す。

浮上りの検討を表 4-4、最大接地圧を表 4-5 に示す。

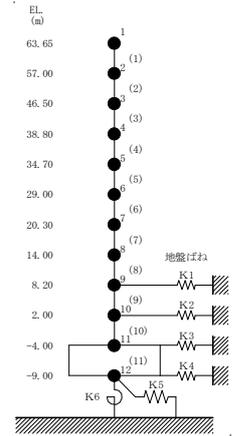
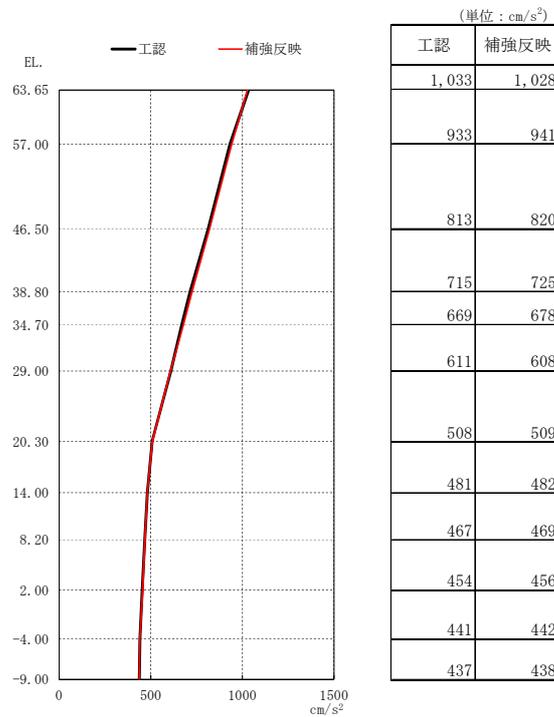


図 4-2 最大応答加速度 (S_s - D 1, NS 方向)

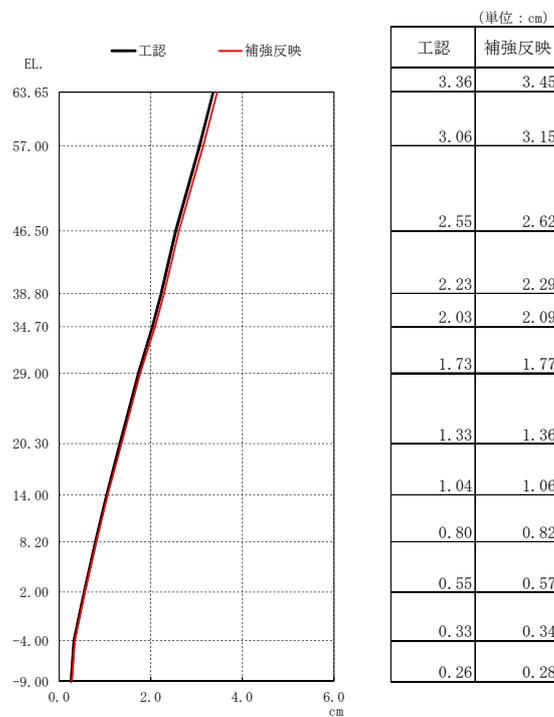
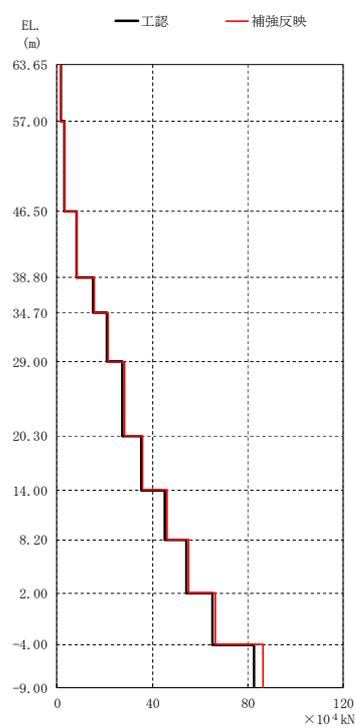


図 4-3 最大応答変位 (S_s - D 1, NS 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

工認	補強反映
1.66	1.64
3.13	3.32
8.21	8.5
15.2	15.6
20.9	21.4
27.5	28.2
35.3	36.0
45.4	46.1
54.2	55.2
65.3	66.3
82.7	86.3

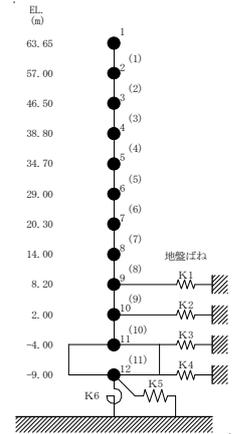
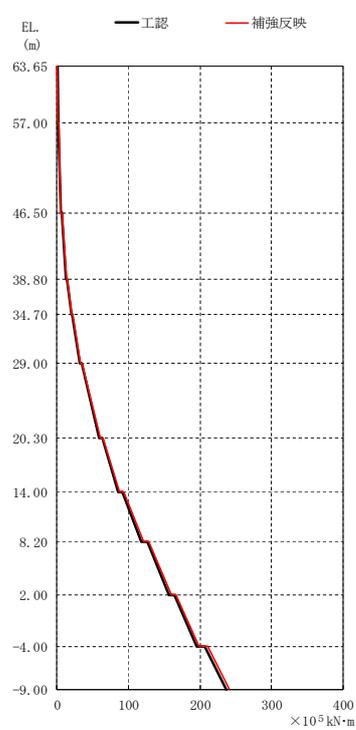


図 4-4 最大応答せん断力 ($S_s - D 1$, NS 方向)



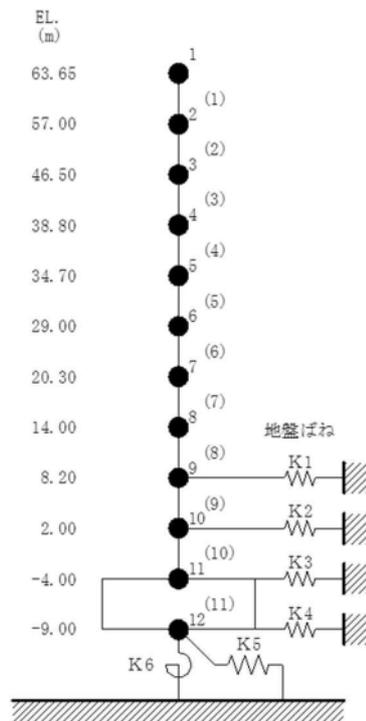
(単位: $\times 10^5$ kN·m)

工認	補強反映
0.572	0.575
1.48	1.50
2.29	2.40
5.24	5.50
6.77	7.08
12.5	13.0
14.3	14.8
19.9	20.5
21.0	21.7
32.1	33.0
35.0	35.8
58.9	60.3
63.3	64.6
85.5	87.2
92.1	94
118	121
126	128
157	160
164	166
195	198
207	211
237	241

図 4-5 最大応答曲げモーメント ($S_s - D 1$, NS 方向)

表4-2 最大せん断ひずみ (S s - D 1, NS方向)

要素 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	第1 折れ点	第2 折れ点
	S s - D 1	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)
(1)	0.07	0.174	0.522
(2)	0.14	0.185	0.555
(3)	0.05	0.173	0.519
(4)	0.13	0.145	0.435
(5)	0.28	0.139	0.417
(6)	0.15	0.159	0.477
(7)	0.17	0.174	0.522
(8)	0.13	0.183	0.549
(9)	0.13	0.192	0.576
(10)	0.16	0.201	0.603



- ・ 数字は質点番号を示す。
- ・ () 内は要素番号を示す。



図 4-6 最大応答加速度 (S_s-D 1, EW 方向)

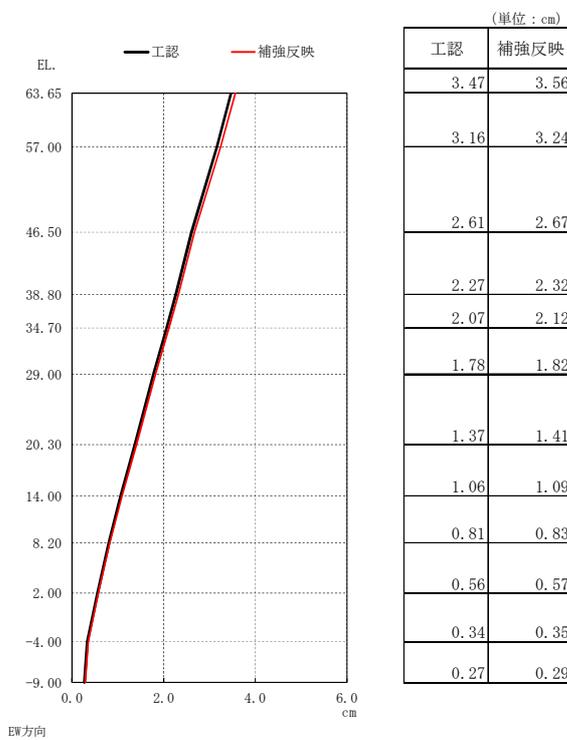
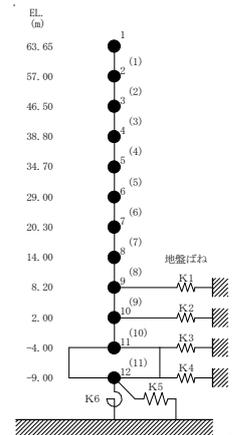
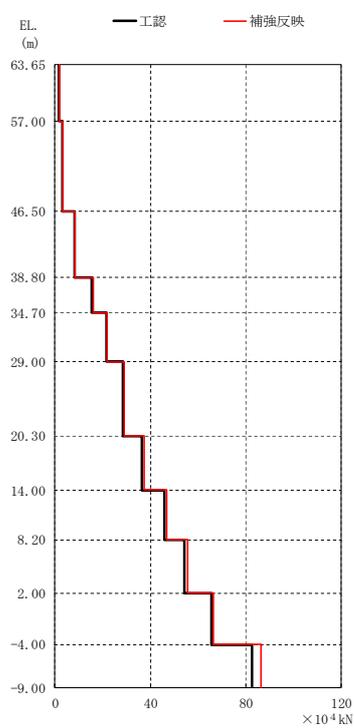


図 4-7 最大応答変位 (S_s-D 1, EW 方向)



(単位: $\times 10^4$ kN)

工認	補強反映
1.72	1.73
3.26	3.45
8.30	8.6
15.6	15.9
21.5	21.8
28.7	29.0
36.6	37.3
46.1	47.0
54.4	55.4
65.4	66.4
82.6	86.4

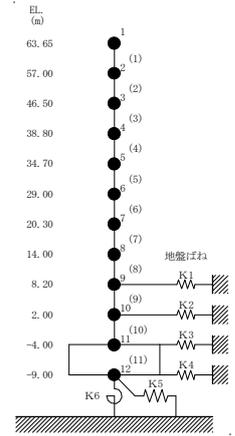
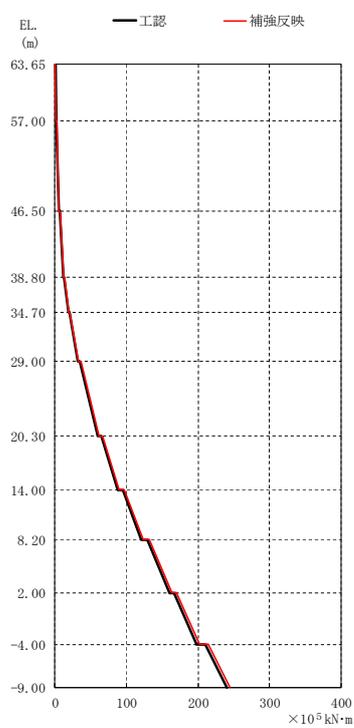


図 4-8 最大応答せん断力 ($S_s - D 1$, EW 方向)



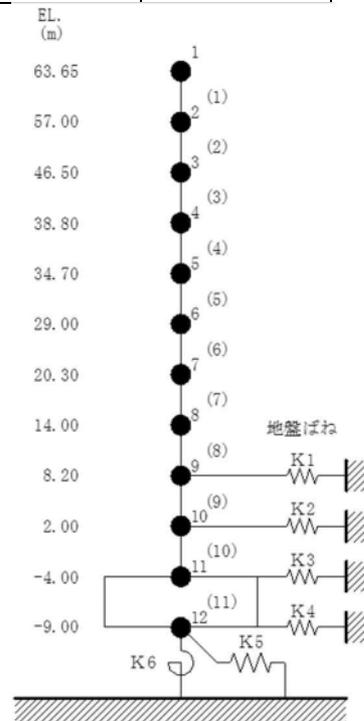
(単位: $\times 10^5$ kN·m)

工認	補強反映
0.529	0.532
1.47	1.49
2.22	2.32
5.32	5.58
6.63	6.92
12.3	12.7
13.4	13.8
19.5	20.1
20.2	20.9
32.2	33.1
34.9	36.0
59.8	61.3
65.2	66.9
87.9	89.8
94.8	97
121	124
129	132
160	163
166	170
198	202
210	214
240	244

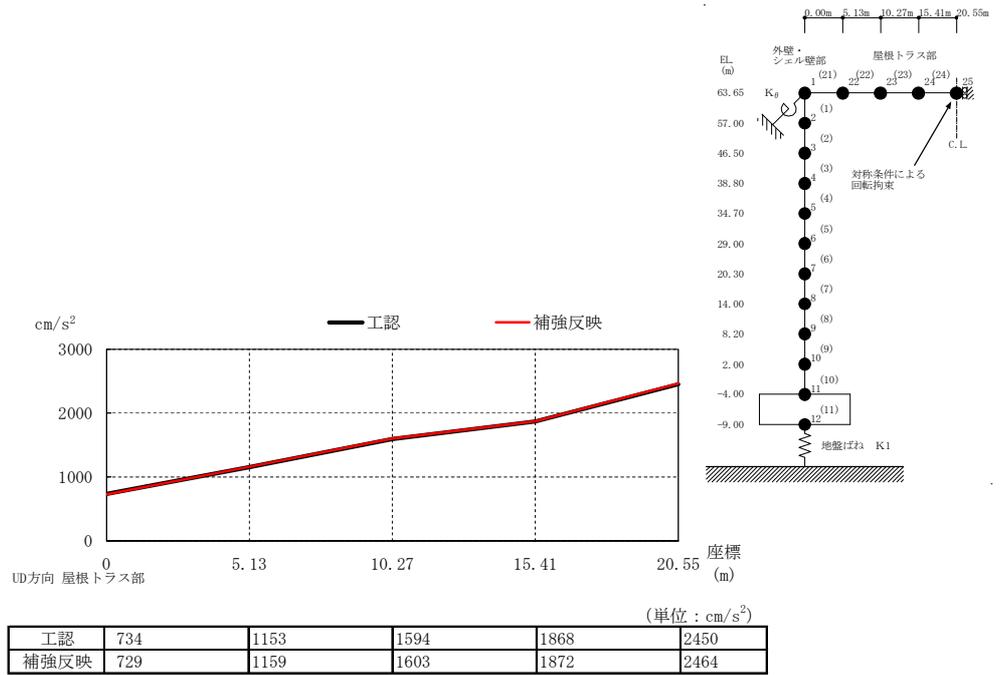
図 4-9 最大応答曲げモーメント ($S_s - D 1$, EW 方向)

表4-3 最大せん断ひずみ (S s - D 1, EW方向)

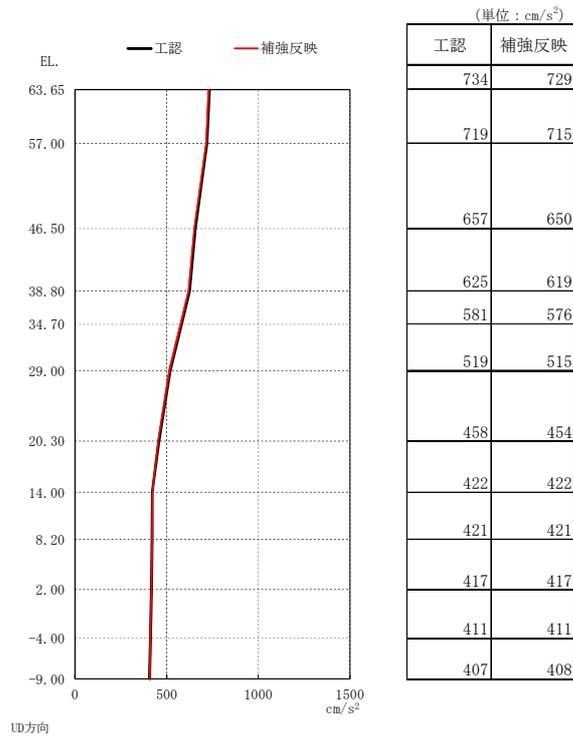
要素 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	第 1 折れ点	第 2 折れ点
	S s - D 1	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)
(1)	0.08	0.174	0.522
(2)	0.15	0.185	0.555
(3)	0.07	0.173	0.519
(4)	0.13	0.162	0.486
(5)	0.16	0.151	0.453
(6)	0.14	0.143	0.429
(7)	0.23	0.172	0.516
(8)	0.15	0.182	0.546
(9)	0.14	0.192	0.576
(10)	0.16	0.201	0.603



- ・数字は質点番号を示す。
- ・() 内は要素番号を示す。

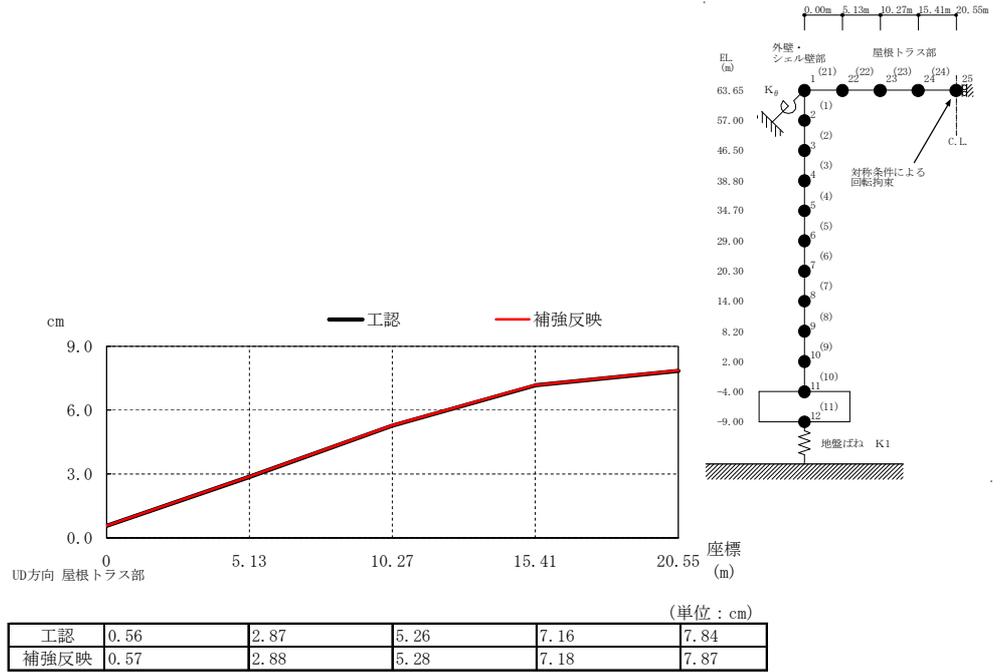


(a) 屋根トラス部

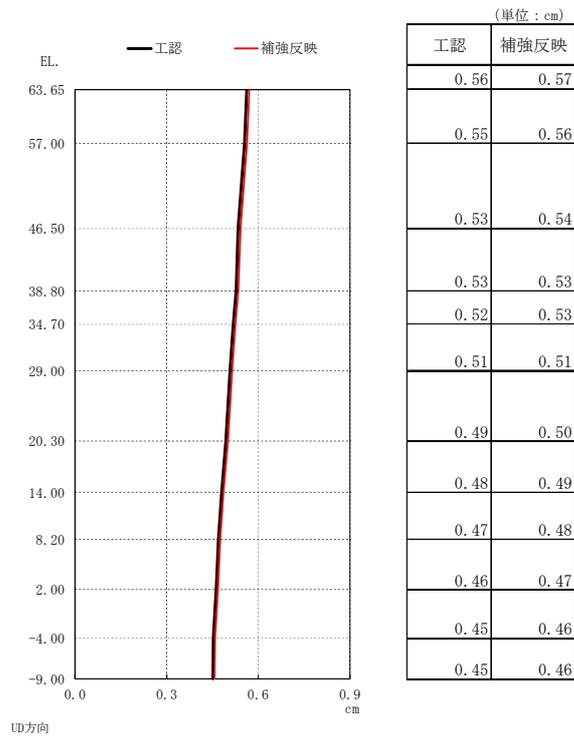


(b) 外壁及びシエル壁

図 4-10 最大応答加速度 (S_s-D 1, UD 方向)



(a) 屋根トラス部



(b) 外壁及びシエル壁

図 4-11 最大応答変位 (S_s-D 1, UD 方向)

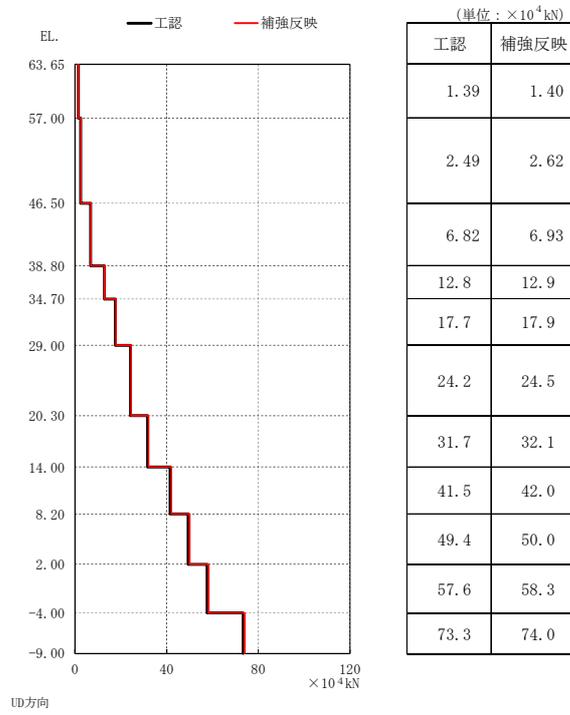
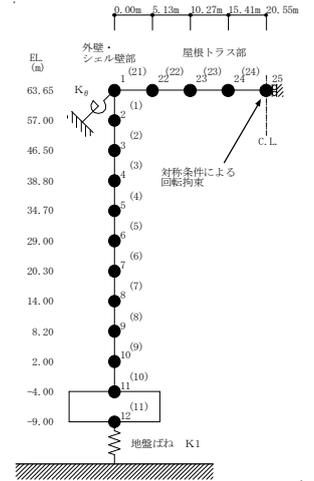


図 4-12 最大応答軸力 ($S_s - D 1$, UD 方向)

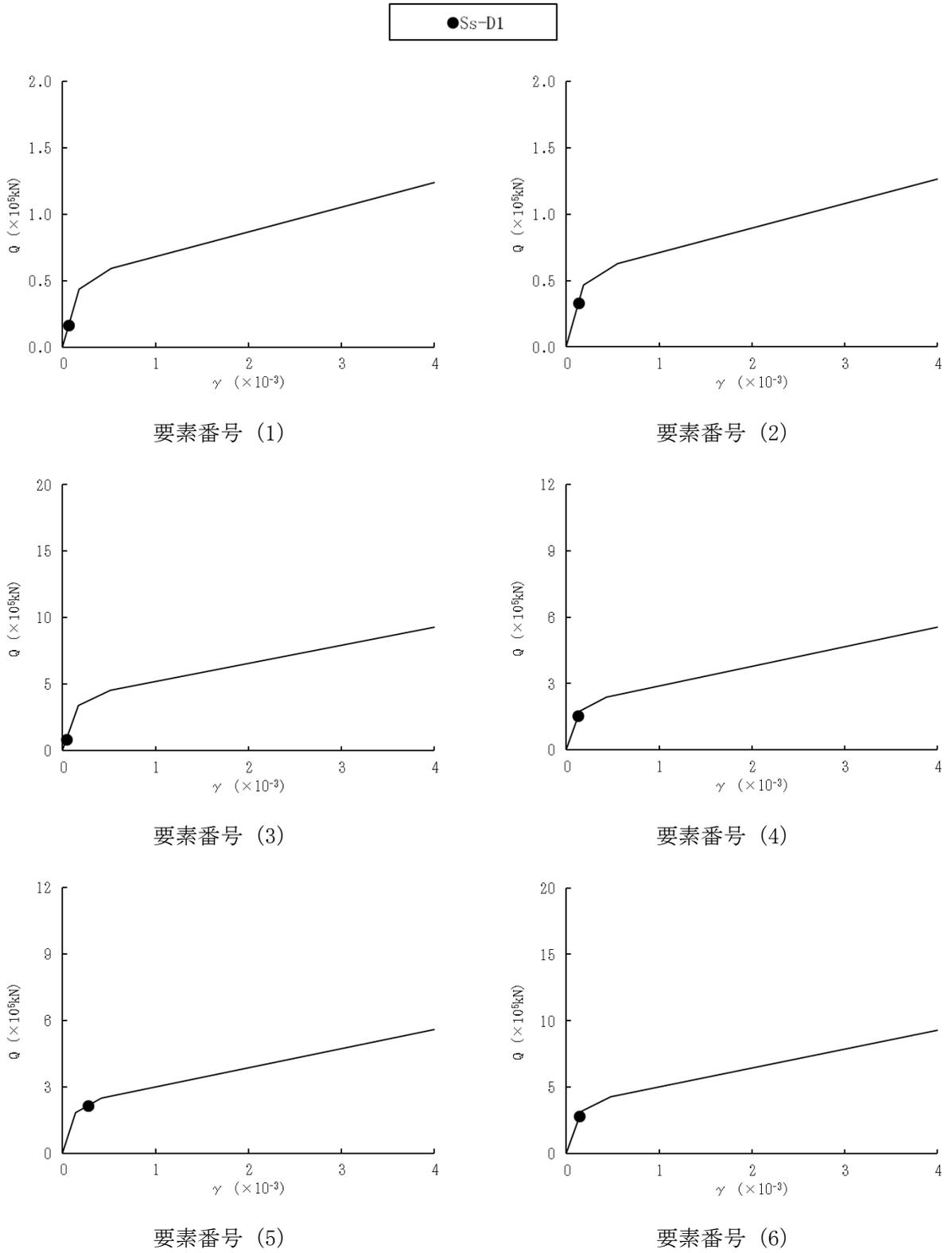


図 4-13 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, NS 方向)

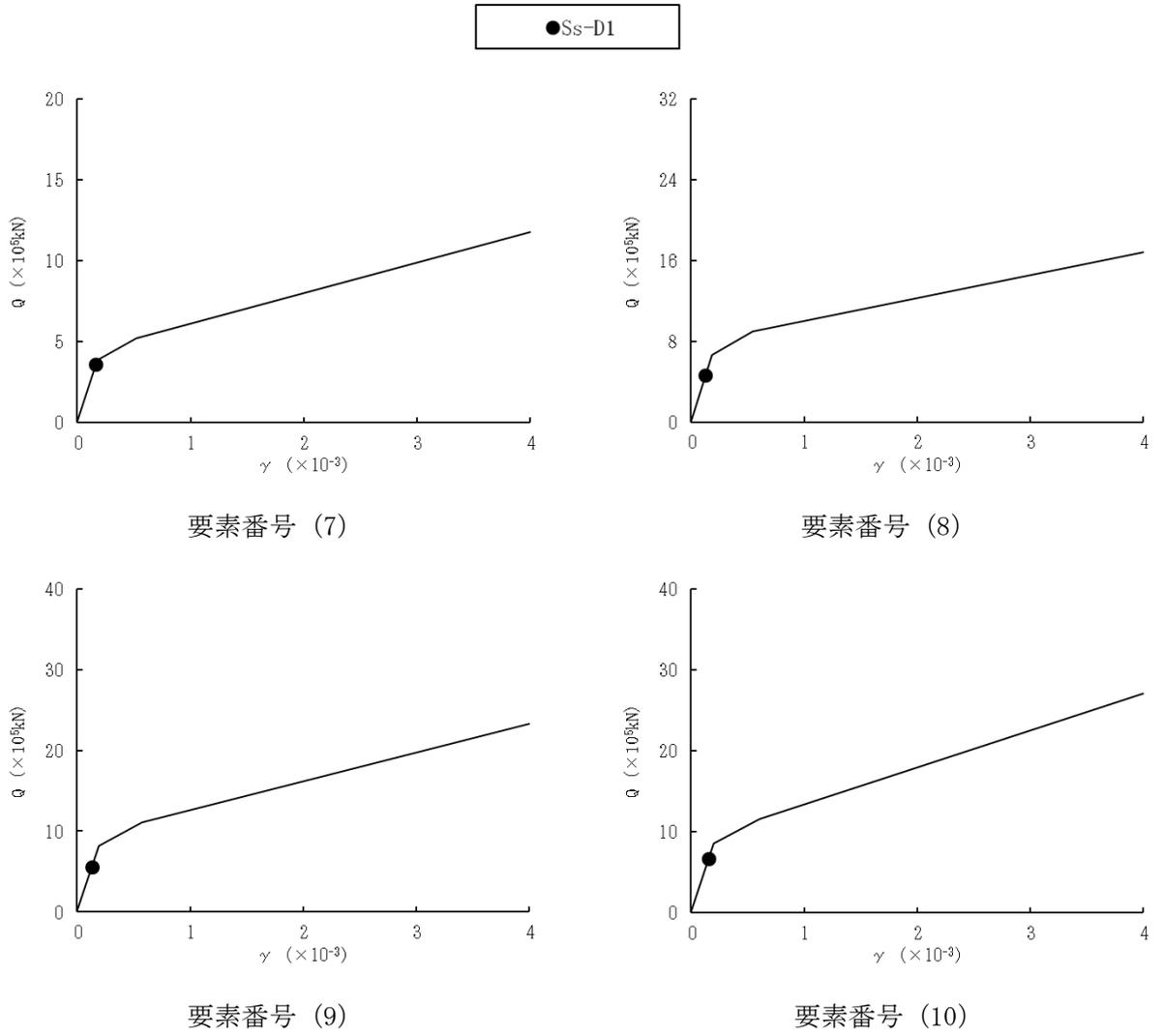


図 4-13 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D 1, NS 方向)

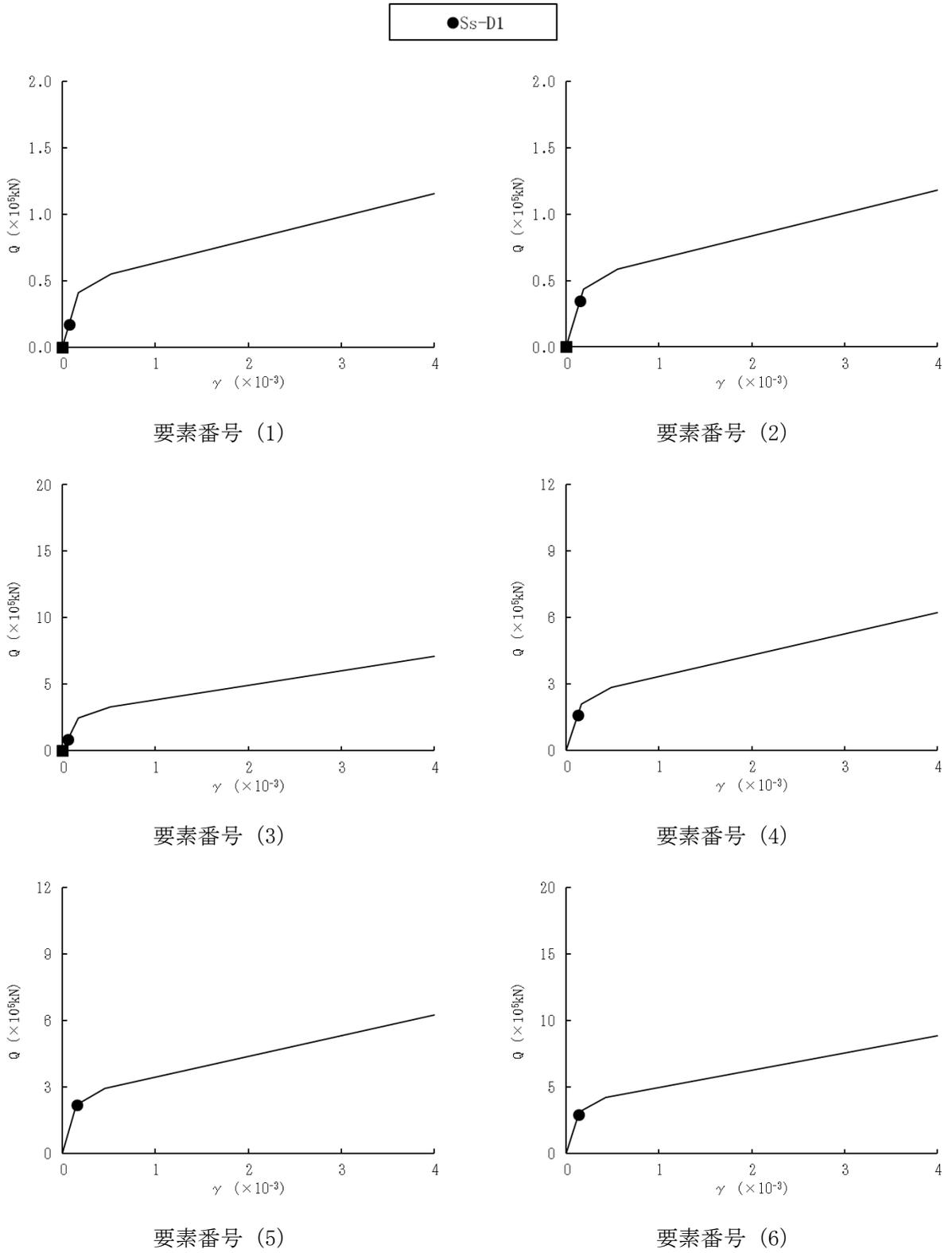


図 4-14 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, EW 方向)

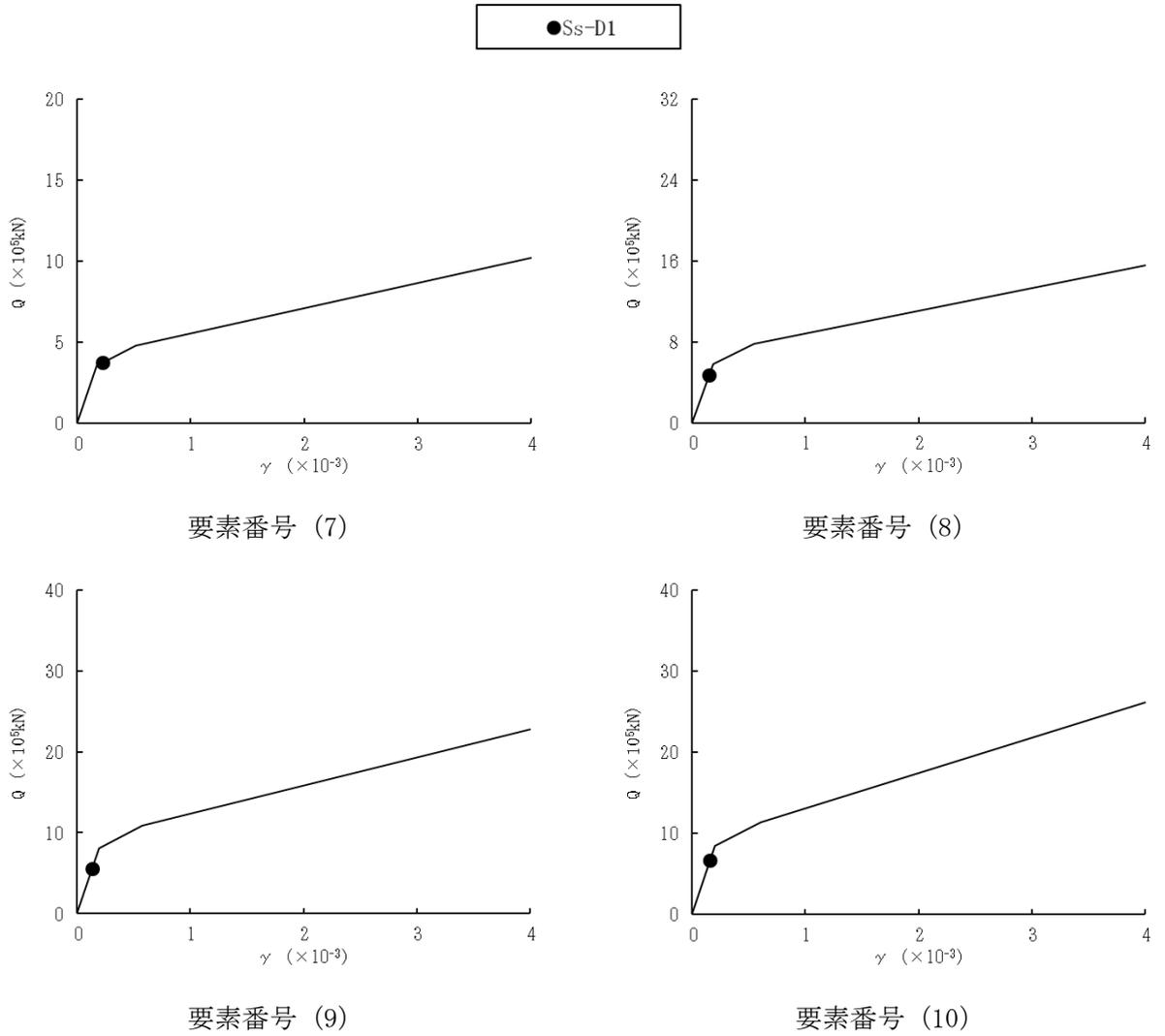


図 4-14 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, EW 方向)

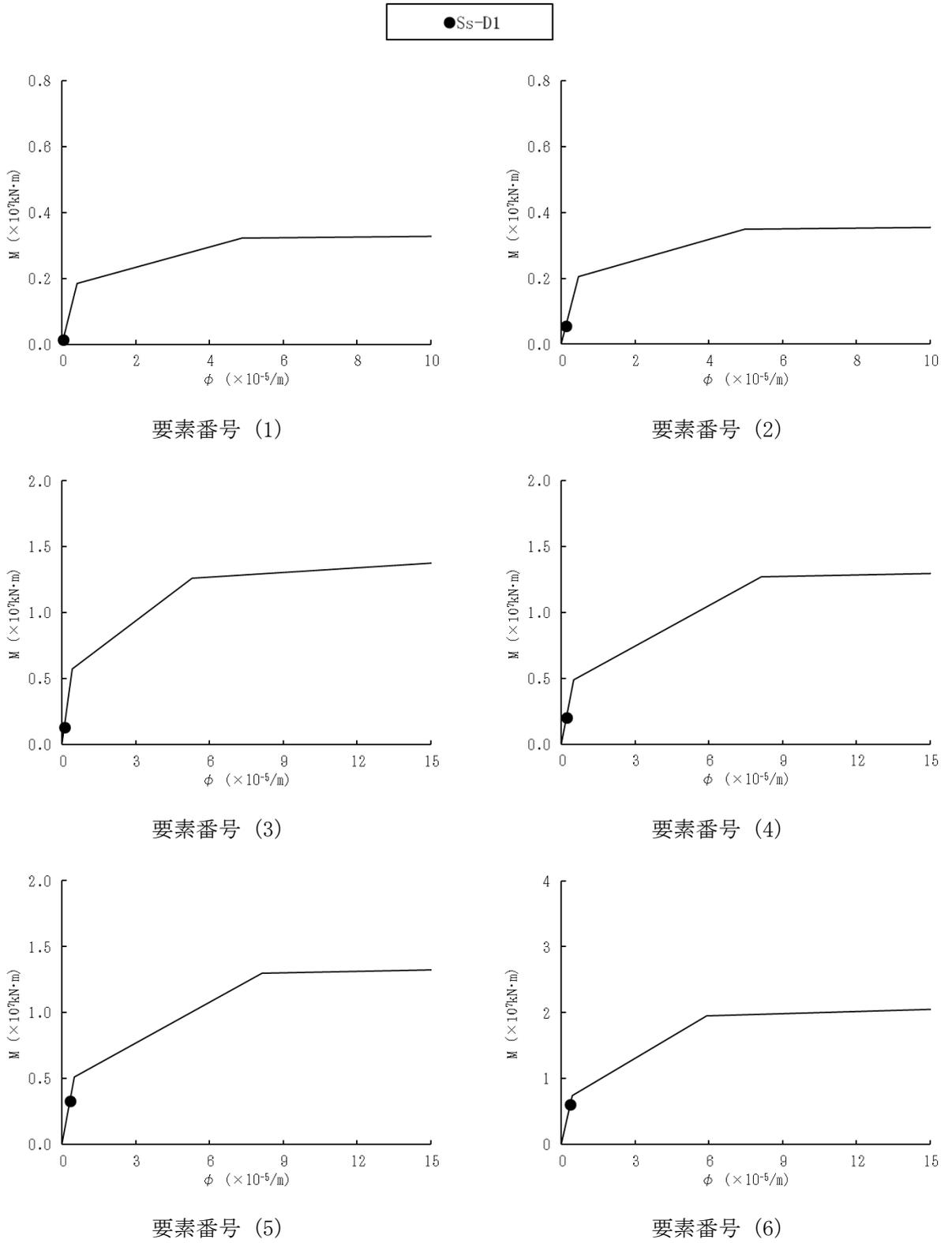


図 4-15 (1/2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, NS 方向)

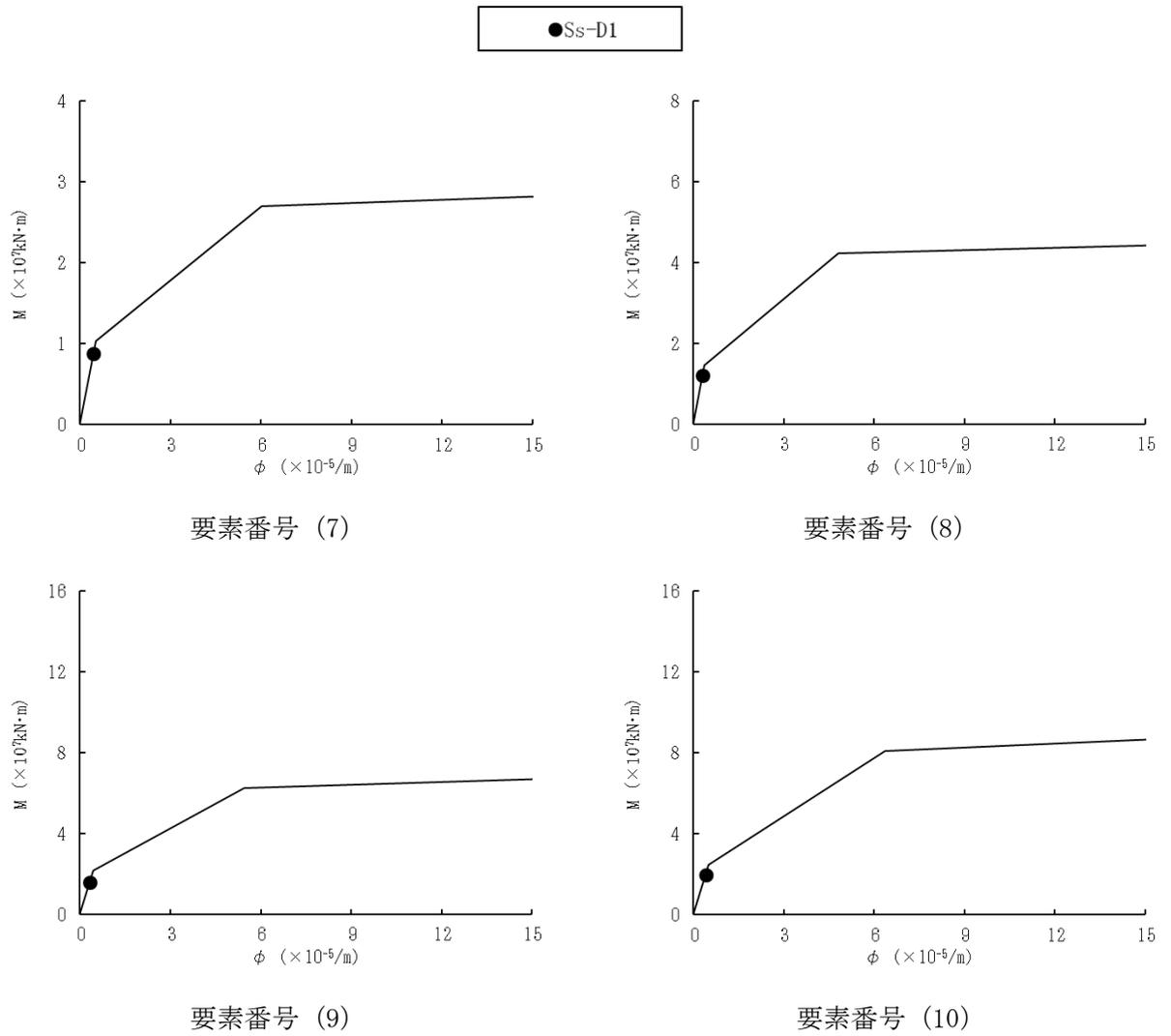


図 4-15 (2/2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, NS 方向)

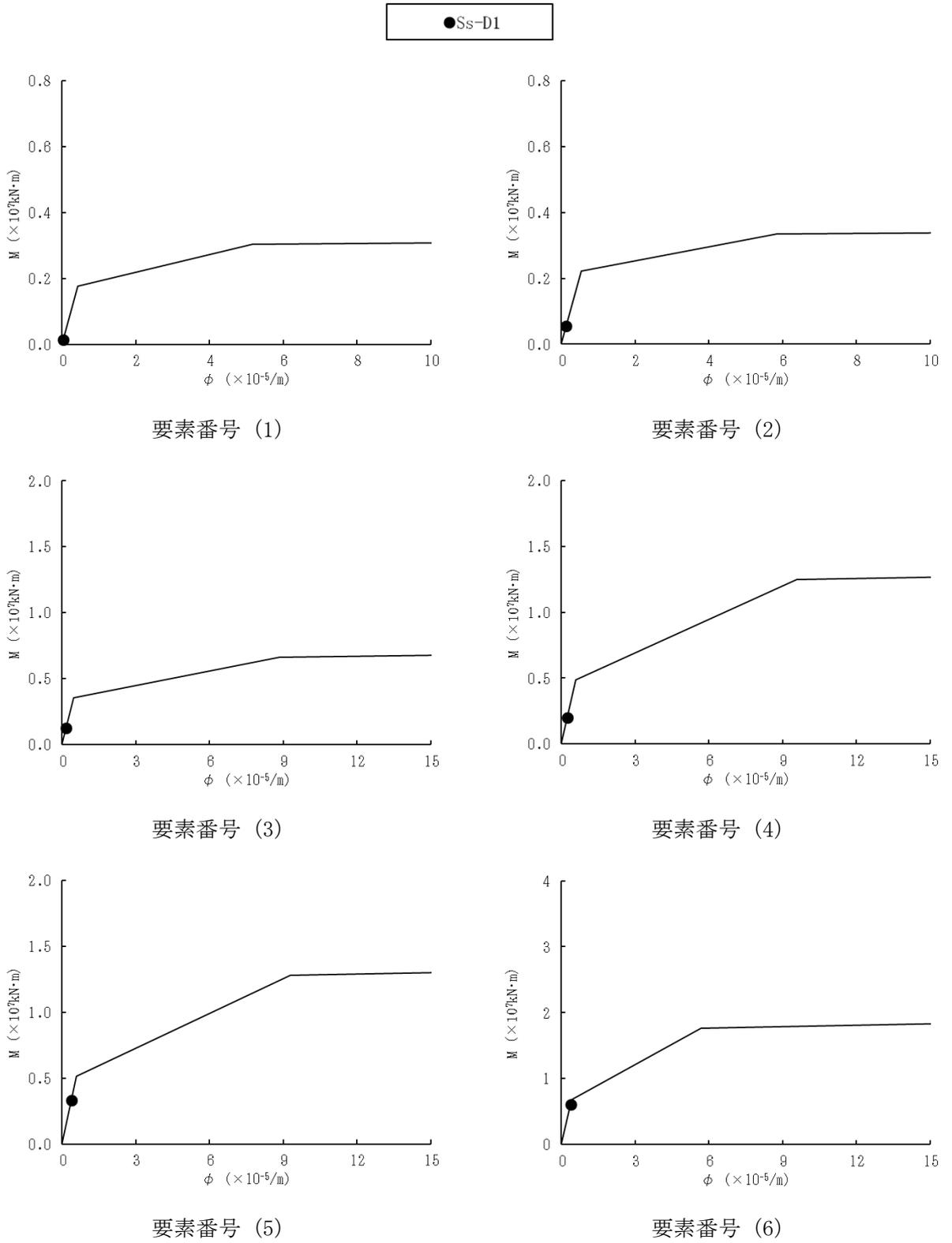


図 4-16 (1/2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, EW 方向)

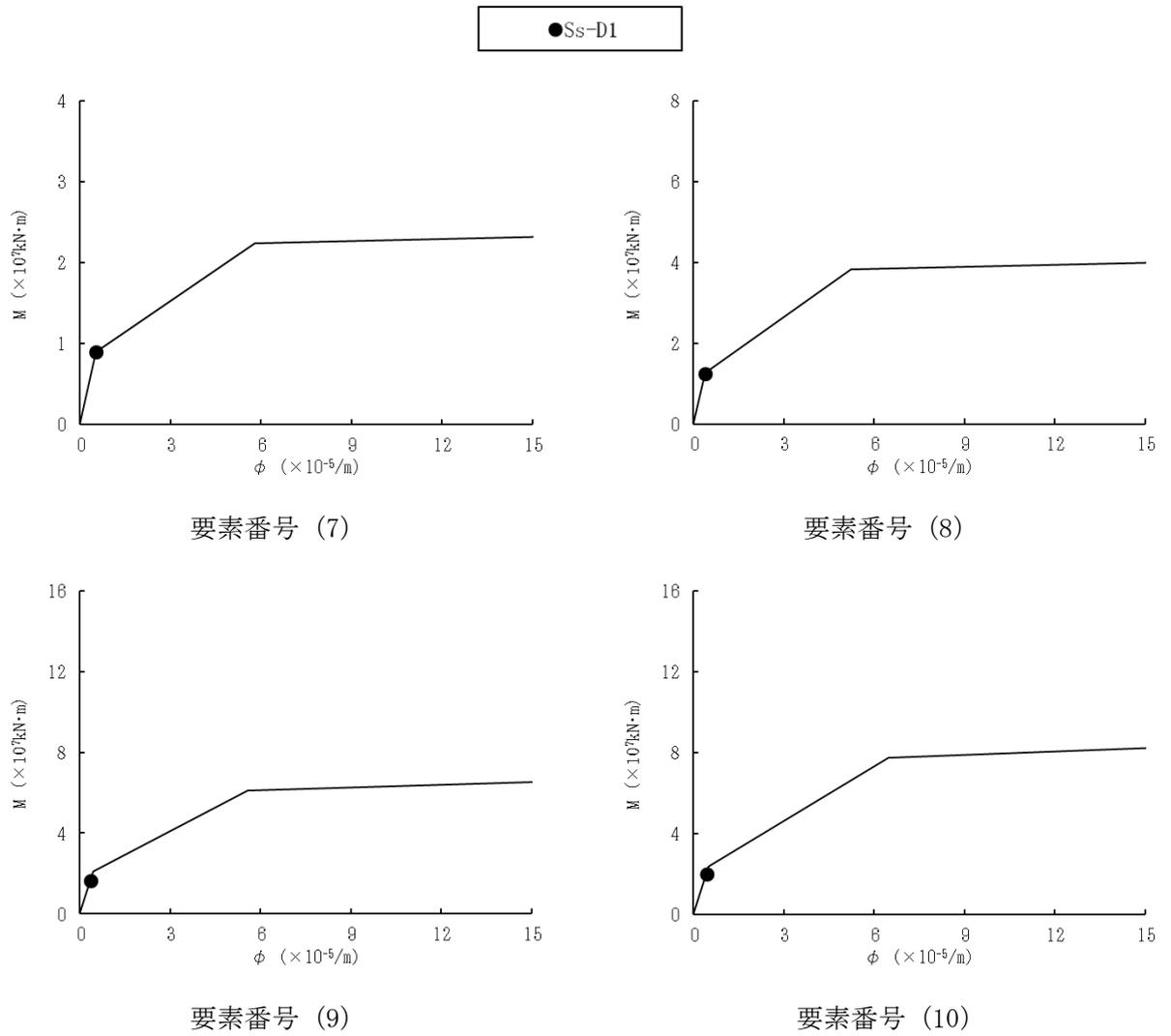


図 4-16 (2/2) 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値 (S_s-D1, EW 方向)

表 4-4 浮上り検討 S_s 基本ケース

(a) NS 方向

地震動	浮上り限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN \cdot m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN \cdot m)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1$	22.3	23.8	96.6

(b) EW 方向

地震動	浮上り限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN \cdot m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN \cdot m)	最小接地率 (%)
$S_s - D 1$	22.2	24.1	95.8

表 4-5 最大接地圧 S_s 基本ケース

追而