

2.12 使用済燃料共用プール設備

2.12.1 基本設計

2.12.1.1 設置の目的

使用済燃料共用プール設備は、燃料の適切な貯蔵を目的として運用補助共用施設内に設け、燃料貯蔵設備と燃料取扱設備等で構成する。

燃料貯蔵設備は、使用済燃料共用プール（以下、「共用プール」という。）、共用プール冷却浄化系、共用プール補機冷却系、共用プール補給水系等で構成する。

共用プール冷却浄化系は、ポンプ、熱交換器、ろ過脱塩装置、補助機器等で構成する。

燃料取扱設備は、燃料取扱装置及び共用プールで取り扱う構内用輸送容器、使用済燃料乾式貯蔵容器（以下、「乾式貯蔵キャスク」という。）及び使用済燃料輸送貯蔵兼用容器（以下、「輸送貯蔵兼用キャスク」という。）で構成する。なお、これら容器については、「Ⅱ.2.11」、「Ⅱ.2.13」及び「Ⅱ.2.31」に記載する。

その他設備として天井クレーン、使用済燃料輸送容器除染設備等がある。

また、共用プールに、1～4号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料、5,6号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料を除く炉内燃料（合計5,936体※）の受け入れを計画している。震災時に何らかの損傷を受けている燃料が含まれている可能性があるため、そのような燃料を受け入れても未臨界等の安全機能が維持できる設備の設置を予定している（詳細は今後報告する予定）。

なお、5,6号機原子炉建屋内の使用済燃料プールに貯蔵中の使用済燃料及び新燃料を除く炉内燃料の共用プールへの受け入れ計画を踏まえて、使用済燃料乾式キャスク仮保管設備（「Ⅱ.2.13」に記載）の増設を計画している。

※ 設置許可対象外の使用済燃料（7×7燃料）が含まれているため、受け入れ前に未臨界評価結果を報告する予定

2.12.1.2 要求される機能

原則、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」指針49から51に適合すること。

2.12.1.3 設計方針

(1) 未臨界性

共用プールは、容量いっぱい燃料集合体を収容した場合でも、通常時はもちろん、予想される外的条件が加わっても未臨界性を確保できる設計とする。

(2) 冷却及び浄化能力

共用プール冷却浄化系は、共用プール内に貯蔵する使用済燃料から発生する崩壊熱を除去でき、かつ共用プール水の不純物を除去できる能力を持つ設計とする。

使用済燃料の崩壊熱は、共用プール冷却浄化系の熱交換器によって、共用プール補機冷却系へ伝えられ、同系の空気冷却器によって大気へ伝えられる設計とする。

(3) 非常用補給能力

津波等により外部電源が喪失した場合にも、共用プール補給水系を用いて共用プール水の補給ができる設計とする。

(4) 貯蔵容量

炉心全装荷量（1～6号機炉心全装荷量の合計）の約200%貯蔵できる容量を超えない容量とする。

(5) 遮へい

共用プール及びキャスク・ピット内の壁面及び底部はコンクリート壁による遮へいを施すとともに、使用済燃料の上部には十分な水深を保つことにより、遮へい効果を有する設計とする。

燃料取扱装置は、構内用輸送容器、乾式貯蔵キャスクまたは輸送貯蔵兼用キャスクと共用プール間の使用済燃料の移送操作及び収容操作が、使用済燃料の遮へい及び熱除去を考慮して、水面下で行うことができる設計とする。

(6) 漏えい防止及び漏えい検知

共用プール水の漏えいを防止するため、共用プール及びキャスク・ピットには排水口を設けない設計としている。また、共用プールに接続された配管が破損しても、共用プール水が流出しない設計としている。

また、万一の共用プール・ライニングの想定される破損による漏えいを検知するため漏えい水検出計及び水位警報装置を設ける。

(7) 構造強度

燃料取扱装置及び貯蔵設備は、地震荷重等の適切な組合せを考慮しても強度上耐え得るように設計する。

また、共用プールのライニングは、万一の燃料集合体の落下時にも共用プールの機能を失うような損傷を生じない設計とする。

(8) 落下防止

使用済燃料貯蔵ラック上には、重量物を吊った天井クレーンは通過させないようにし、重量物の貯蔵燃料への落下を防止できる設計とする。

燃料取扱装置の燃料つかみ機は、二重のワイヤや種々のインター・ロックを設け、また天井クレーンの主要要素は種々の二重化を施すことにより移送中の燃料集合体等の落下を防止できる設計とする。

(9) 除染

構内用輸送容器等の除染ができるようにする。

(10) 被ばく低減

燃料取扱装置及び燃料貯蔵設備は、放射線業務従事者の被ばくを合理的に達成できる限り低くするため、運用補助共用施設の建屋内に設置し、換気空調設備を有する設計とする。

(11) 燃料取扱場所のモニタリング

燃料取扱場所は、崩壊熱の除去能力の喪失に至る状態及び過度の放射線レベルを検出できるとともに、これを適切に放射線業務従事者に伝える設計とする。

(12) 格納及び空気浄化

貯蔵設備は運用補助共用施設の建屋内に設置し、換気空調設備を有する設計とする。

(13) 試験可能性

燃料取扱装置及び燃料貯蔵設備のうち安全機能を有する構築物、系統及び機器は、定期的に試験及び検査ができる設計とする。

(14) 火災防護

共用プール施設は、火災により共用プール施設の安全性が損なわれないようにする。

2.12.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 共用プール水温が 65℃以下であること。
- (2) 共用プールへ冷却水を補給できること。
- (3) 共用プールがオーバーフロー水位付近にあること。

2.12.1.5 主要な機器

運用補助共用施設平面図を図 2. 12-1～5 に、共用プール概要図を図 2. 12-6 に示す。

(1) 共用プール

- a. 共用プールは、鉄筋コンクリート造の設備で運用補助共用施設内にあり、1～6 号機原子炉建屋内の使用済燃料プールまたは炉内で 19 ヶ月以上冷却され、かつ運転中のデータ、 SHIPPING 検査等により健全であることを確認した使用済燃料、炉内燃料（8×8 燃料、新型 8×8 燃料、新型 8×8 ジルコニウムライナ燃料、高燃焼度 8×8 燃料及び 9×9 燃料）及び新燃料（9×9 燃料※）を貯蔵し、貯蔵容量は炉心全装荷量（1～6 号機炉心全装荷量の合計）の約 200%である。なお、乾式貯蔵キャスク仕立て時に発生するチャンネルボックス等も共用プールに貯蔵する。

※ 使用済 9×9 燃料を共用プール内の燃料貯蔵ラックに貯蔵した場合の未臨界性は既存の設置許可において確認されている。使用済 9×9 燃料の未臨界評価においては、燃料未照射状態から燃料寿命末期において最も反応度が高い状態を包絡するような評価を行っていることから、新燃料を燃料貯蔵ラックに貯蔵した場合でも臨界にはならない。

- b. 使用済燃料貯蔵ラックは、ステンレス鋼を使用するとともに、適切な燃料間距離を保持することにより、容量いっぱい燃料を収容し、共用プール水温及びラック内燃料貯蔵位置等について想定される厳しい状態を仮定しても実効増倍率が 0.95 以下となる設計としている。
- c. 共用プール、キャスク・ピット壁の厚さ及び水深は遮へいを考慮して十分確保し、内面はステンレス鋼でライニングするとともに排水口を設けないことにより漏えいを防

止している。また、万一の共用プール・ライニング及びキャスク・ピット・ライニングの想定される破損による漏えいを検知するため、漏えい水検出計及び水位警報装置を設ける。

- d. 燃料取扱場所においてガンマ線レベルを連続的に監視し、線量率が設定値を超えた場合には燃料取扱場所に警報を発するエリア放射線モニタを設ける。
- e. キャスク・ピットは、共用プールの横に別個に設け、万一のキャスクの落下事故の場合にも、共用プールの機能を喪失しない設計としている。また、万一の燃料集合体の落下時にも共用プールのライニングは機能を喪失しない設計としている。

(2) 共用プール冷却浄化系

共用プール冷却浄化系は、使用済燃料からの崩壊熱を共用プール補機冷却系により熱交換器で除去して共用プール水を冷却するとともに、ろ過脱塩装置で共用プール水をろ過脱塩して、共用プール及びキャスク・ピット水の純度及び透明度を維持する。

共用プール冷却浄化系は、1～6号機原子炉建屋内の使用済燃料プールまたは炉内に19ヶ月以上冷却された使用済燃料及び炉内燃料を年間900体ずつ貯蔵容量いっぱいまで受入れた場合の使用済燃料から発生する崩壊熱の合計として定義する通常最大熱負荷を、この系の熱交換器で除去し、1系列で共用プール水温がコンクリートの制限温度65℃を超えない、また2系列で共用プール水温が現場作業環境を考慮した温度52℃を超えない設計としている。

共用プールからスキマせきを越えてスキマ・サージ・タンクに流出する共用プール水は、ポンプで昇圧し、ろ過脱塩装置、熱交換器を通した後、共用プールのディフューザから吐出する設計としている。

共用プールに入る配管には逆止弁を設け、サイフォン効果により共用プール水が流出しない設計としている。

共用プール冷却浄化系は、スキマせきを越えてスキマ・サージ・タンクに流出する水をポンプで循環させるので、この系の破損時にも燃料プール水位はスキマせきより低下することはない。

なお、ろ過脱塩装置より発生する使用済イオン交換樹脂は、運用補助共用施設内の本設の沈降分離タンク（共用プールの設備寿命を40年として、発生する使用済イオン交換樹脂を収容できる容量として設計されている）で保管する。

また、本系統の電源は、外部電源喪失時に非常用所内電源からの受電が可能となっている。

(3) 共用プール補機冷却系

共用プール補機冷却系は、共用プールで発生する崩壊熱等を共用プール冷却浄化系の熱交換器等によって冷却除去するとともに、この系の空気冷却器によって大気へ伝える。

また、本系統の電源は、外部電源喪失時に非常用所内電源からの受電が可能となってい

る。

(4) 共用プール補給水系

共用プール補給水系は、通常時及び異常時に共用プール補給水貯蔵槽から共用プール補給水ポンプで昇圧し、共用プール水を補給する。

外部電源が喪失した場合にも、共用プール補給水系を用いて、共用プールへ水の補給ができる。また、長期停止した場合も消防車により共用プールへ水の補給が可能である。

なお、消防車については、ろ過水タンク等（ろ過水タンク：OP. 41, 000，純水タンク：OP. 10, 000）の真水を水源とする。

(5) 燃料取扱装置

燃料取扱装置は、共用プール及びキャスク・ピットの上に設けるレール上を水平に移動するブリッジと、その上を移動するトロリで構成する。

また、燃料つかみ機は、二重のワイヤや種々のインター・ロックを設ける。燃料取扱作業による放射線業務従事者の被ばくを低減するため、燃料取扱装置は、遠隔自動で運転できるようにしている。

(6) 天井クレーン

天井クレーンは、構内用輸送容器、乾式貯蔵キャスクまたは輸送貯蔵兼用キャスクの運搬等に使用する。

また、天井クレーンの主要要素は、種々の二重化（主巻装置のワイヤーロープ，ドラム等）を施しており，使用済燃料貯蔵ラック上には，重量物を通過させないように，天井クレーンにインター・ロックが設けられている。

(7) 使用済燃料輸送容器除染設備

使用済燃料輸送容器除染設備は，構内用輸送容器，乾式貯蔵キャスクまたは輸送貯蔵兼用キャスクの除染を行うため，共用プールに隣接して設けている。

(8) 燃料貯蔵区域換気空調系

燃料貯蔵区域換気空調系は，送・排風機，フィルタ等で構成する。共用プールの管理区域に供給された空気は，フィルタを通した後，排風機により排気口から大気に放出する。

(9) 使用済燃料輸送容器保管エリア

使用済燃料装填前あるいは装填後の構内用輸送容器，乾式貯蔵キャスク及び輸送貯蔵兼用キャスクを必要に応じて一時保管するため，運用補助共用施設内に使用済燃料輸送容器保管エリアを設けている。

(10) 電源

使用済燃料共用プール設備の電源は所内高圧母線から受電できる構成とする。また，外部電源喪失の場合でも，非常用所内電源からの供給が可能な構成とする。

なお，全交流電源喪失の場合でも電源車（「Ⅱ. 2. 7」に記載）により，使用済燃料共用プール注水機能を維持する機器に対して電源を供給できる構成とする。

2.12.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

東北地方太平洋沖地震では、共用プール冷却浄化系、共用プール補機冷却系及び共用プール補給水系について、地下階に設置されていた電源設備以外のポンプ等の設備は床面より高い位置に設置されていたことにより被害は生じなかったが、同様に地下階に設置されていた電源盤等が浸水による被害を生じたため冷却機能を喪失した。

このため、余震により想定される津波対策としての仮設防潮堤の設置に加え、建屋の防水性向上対策等を行う。

現在は共用プール設備と同じく運用補助共用施設内に設置されている先行復旧予定の非常用ディーゼル発電機（4B）の復旧に合わせ、まずは地下階の防水性向上対策としてトレンチ開口部の閉塞を実施し、地下階の電源盤等の浸水による電源喪失リスクを低減させることで、冷却機能喪失リスクを低減している。また、建屋の浸水を抑えるために床・壁等の開口部の防水性向上対策を実施する。

(2) 火災

復旧した火災報知設備及び消火設備により、火災の早期検知、消火活動の円滑化を図る。

(3) 台風・竜巻

使用済燃料共用プール設備は、屋内に設置してあるため、台風・竜巻の影響を受けない。

(4) 環境条件

使用済燃料共用プール設備は基本的に東北地方太平洋沖地震において被災した設備を復旧する計画としている。復旧後は以下の保守管理を実施し、設備の維持を図る。

- ・燃料取扱装置、天井クレーンについては使用前の点検及び定期的な点検を実施する。
- ・共用プール冷却浄化系、共用プール補機冷却系、共用プール補給水系、建屋躯体等については、当面は、定期的な巡視点検において状態を監視し、異常の兆候が確認された場合に対応を行うこととしている。

2.12.1.7 構造強度及び耐震性

使用済燃料共用プール設備の構造強度及び耐震性は以下の工事計画認可申請書等により確認している。

工事計画認可申請書（6資庁第2935号 平成6年4月27日認可）

工事計画届出書（総文発官 5 第 1218 号 平成 6 年 4 月 13 日届出）

運用補助共用施設共用プール棟の耐震壁および使用済燃料共用プール躯体について、基準地震動 S_s による耐震安全性評価を実施し、問題のないことを確認している。

2.12.1.8 機器の故障への対応

(1) 共用プール冷却浄化系の機器の単一故障

a. 共用プール冷却浄化系又は共用プール補機冷却系ポンプ故障

共用プール冷却浄化系又は共用プール補機冷却系ポンプが故障した場合は、現場に移動し、待機ポンプの起動を行い、使用済燃料共用プールの循環冷却を再開する。

b. 電源喪失

共用プール冷却浄化系の電源が外部電源喪失や所内電源喪失により喪失した場合、電源の復旧に長時間を要しない場合は、電源の復旧により使用済燃料共用プールの循環冷却を再開する。

共用プール冷却浄化系ポンプ及び共用プール補給水ポンプの電源の復旧に長時間を要する場合は、予め免震重要棟付近（OP. 36, 900）に待機している電源車を用いて共用プール補給水系の電源を復旧し、使用済燃料共用プールへの注水を行うと共に、必要に応じて予め免震重要棟西側（OP. 36, 900）に待機している消防車の配備を行い、直接プールに注水を行うことにより、プール水位の異常な低下を防止する。

(2) 共用プール冷却浄化系の複数の系統・機器の同時機能喪失

地震、津波等により、万が一、共用プール冷却機能の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した場合には、現場状況に応じて、予め免震重要棟西側（OP. 36, 900）に待機している消防車の配備を行い、プール水位の異常な低下を防止する。共用プール冷却機能が停止してから、燃料の露出を確実に防止でき且つ水遮へいが有効とされる使用済燃料の有効燃料頂部の上部 2m に至るまでは最短でも約 20 日であることから、使用済燃料プールの冷却を確保することは可能である。

(3) 冷却機能喪失事象に対する評価

共用プール冷却機能の喪失評価を添付資料—6に示す。

(4) 燃料集合体の落下

燃料集合体の落下評価を添付資料—7に示す。

2.12.2 基本仕様

2.12.2.1 要求仕様

以下に要求仕様を示す。なお、福島第一原子力発電所 原子炉設置許可申請書に機器仕様を記載されているものは機器名称に※を記載する。

(1) 使用済燃料共用プール

容 量 6840 体

(使用済燃料共用プールについては、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

(2) 使用済燃料貯蔵ラック

容 量 90 体

個 数 76

(使用済燃料貯蔵ラックについては、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

(3) 共用プール冷却浄化系

a. ポンプ※

台 数 3 (うち 1 台は予備)

容 量 約 500m³/h/台

(ポンプについては、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

b. 熱交換器※

基 数 2

交換熱量 約 3.3MW/基 (約 2.8×10⁶kcal/h/基)

(熱交換器については、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

c. ろ過脱塩装置※

形 式 圧力プリコート形

基 数 2

容 量 約 200m³/h/基

(ろ過脱塩装置については、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

表 2. 1 2 - 1 共用プール冷却浄化系 主要配管仕様

名 称	仕 様	
スキマ・サージ・タンクから共用プール冷却浄化系ポンプまで	外径／厚さ (mm) 材質 最高使用圧力 (kg/cm ²) 最高使用温度 (°C)	267.4／9.3 SUS304TP／STS42 静水頭／14.0 66
共用プール冷却浄化系ポンプから共用プール冷却浄化系熱交換器まで	外径／厚さ (mm) 材質 最高使用圧力 (kg/cm ²) 最高使用温度 (°C)	165.2／7.1 216.3／8.2 267.4／9.3 SUS304 TP／STS42 14.0 66
共用プール冷却浄化系熱交換器から使用済燃料共用プールへ	外径／厚さ (mm) 材質 最高使用圧力 (kg/cm ²) 最高使用温度 (°C)	267.4／9.3 SUS304 TP 14.0 66
ポンプ出口配管から共用プール冷却浄化系ろ過脱塩器まで	外径／厚さ (mm) 材質 最高使用圧力 (kg/cm ²) 最高使用温度 (°C)	165.2／7.1 SUS304TP／STS42／STPT38 14.0 66
共用プール冷却浄化系ろ過脱塩器からポンプ出口配管まで	外径／厚さ (mm) 材質 最高使用圧力 (kg/cm ²) 最高使用温度 (°C)	139.8／6.6 165.2／7.1 SUS304TP 14.0 66

(主要配管については、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

(4) 共用プール補給水系

a. 共用プール補給水貯蔵槽※

基 数 1
容 量 約 430m³
主要部材質 ステンレス鋼ライニング

b. ポンプ※

台 数 2
容 量 約 30m³/h/台

(5) 共用プール補機冷却系

a. ポンプ※

台 数 3 (うち1台は予備)
容 量 約 650m³/h/台

(ポンプについては、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

b. 空気冷却器※

基 数 2
交換熱量 約 3.3MW/基 (約 2.9×10⁶kcal/h/基)

(空気冷却器については、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

表 2. 1 2 - 2 共用プール補機冷却系 主要配管仕様

名 称	仕 様	
共用プール補機冷却ポンプ から共用プール冷却浄化系 熱交換器まで	外径／厚さ (mm)	216.3／8.2 267.4／9.3 318.5／10.3
	材質	STS42
	最高使用圧力 (kg/cm ²)	12.0
	最高使用温度 (℃)	70
共用プール冷却浄化系熱交 換器から共用プール補機冷 却系空気冷却器まで	外径／厚さ (mm)	114.3／6.0 165.2／7.1 267.4／9.3 318.5／10.3
	材質	STS42
	最高使用圧力 (kg/cm ²)	12.0
	最高使用温度 (℃)	70
共用プール補機冷却系空気 冷却器から共用プール補機 冷却系ポンプまで	外径／厚さ (mm)	114.3／6.0 165.2／7.1 318.5／10.3
	材質	STS42
	最高使用圧力 (kg/cm ²)	12.0
	最高使用温度 (℃)	70

(主要配管については、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

(6) 燃料取扱装置

型 式	燃料把握機付移床式
基 数	1
定格荷重	燃料把握機 460kg 補助ホイス ト 460kg

(燃料取扱装置については、以下の工事計画届出書により確認している。

工事計画届出書 (総文発官 5 第 1218 号 平成 6 年 4 月 13 日届出))

(7) 天井クレーン

a. 共用プールエリア天井クレーン

型 式	天井走行式
基 数	1
定格荷重	主巻 125t 補巻 5t

(共用プールエリア天井クレーンについては、以下の工事計画届出書により確認している。

工事計画届出書 (総文発官 5 第 1218 号 平成 6 年 4 月 13 日届出))

b. キャスク搬出入エリア天井クレーン

型 式	天井走行式
基 数	1
定格荷重	主巻 140t 補巻 5t

(キャスク搬出入エリア天井クレーンについては、以下の工事計画届出書により確認している。

工事計画届出書 (総文発官 5 第 1218 号 平成 6 年 4 月 13 日届出))

(8) 燃料貯蔵区域換気空調系

a. 共用プールエリア送風機

台 数	2 (うち 1 台は予備)
容 量	約 93,000m ³ /h/台
形 式	遠心式
静 圧	180mmAq

(共用プールエリア送風機については、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

b. 共用プールエリア排風機

台 数	2 (うち 1 台は予備)
容 量	約 93,000m ³ /h/台
形 式	遠心式
静 圧	250mmAq

(共用プールエリア排風機については、以下の工事計画認可申請書により確認している。

工事計画認可申請書 (6 資庁第 2935 号 平成 6 年 4 月 27 日認可))

(9) 温度計

形 式	熱電対
計測範囲	0～100℃
個 数	1

(10) エリア放射線モニタ

検出器の種類	計測範囲	取付箇所
半導体式	10 ⁻⁴ ～1mSv/h	・ 3F 1 チャンネル ・ 2F 1 チャンネル ・ 1F 3 チャンネル ・ B1F 1 チャンネル (合計 6 チャンネル)
	1～10 ⁴ mSv/h	・ 3F 1 チャンネル (合計 1 チャンネル)

(エリア放射線モニタについては、以下の工事計画届出書により確認している。

工事計画届出書 (総文発官 5 第 1218 号 平成 6 年 4 月 13 日届出))

(11) 使用済燃料輸送容器保管エリア

保管容量 (構内用輸送容器, 乾式貯蔵キャスク, 輸送貯蔵兼用キャスクの合計)
10 基

(12) 消防車

基 数	1※
容 量	3m ³ /h 以上
※使用済燃料プール設備と共用	

(13) ろ過水タンク等

a. ろ過水タンク

基 数	1
容 量	約 8,000m ³ /基

b. 純水タンク

基 数	2
容 量	約 2,000m ³ /基

2.12.3 添付資料

添付資料—1 系統概略図

添付資料—2 現在の設備状況

添付資料—3 有効燃料頂部+2m での線量率評価

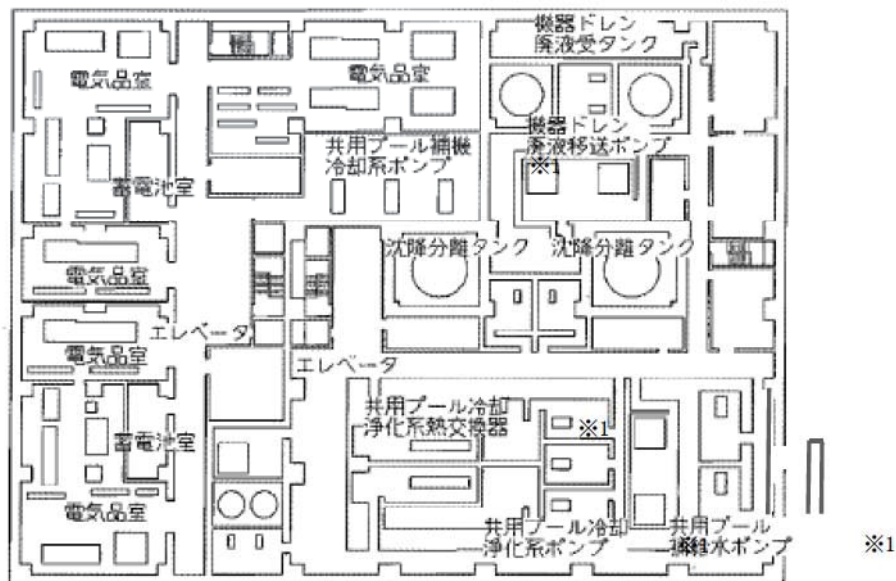
添付資料—4 「共用プール冷却浄化系及び共用プール補機冷却系」1 系列運転時の共用プール水温度評価

添付資料—5 運用補助共用施設共用プール棟の耐震安全評価について

添付資料—6 共用プール冷却機能の喪失評価

添付資料—7 燃料集合体の落下評価

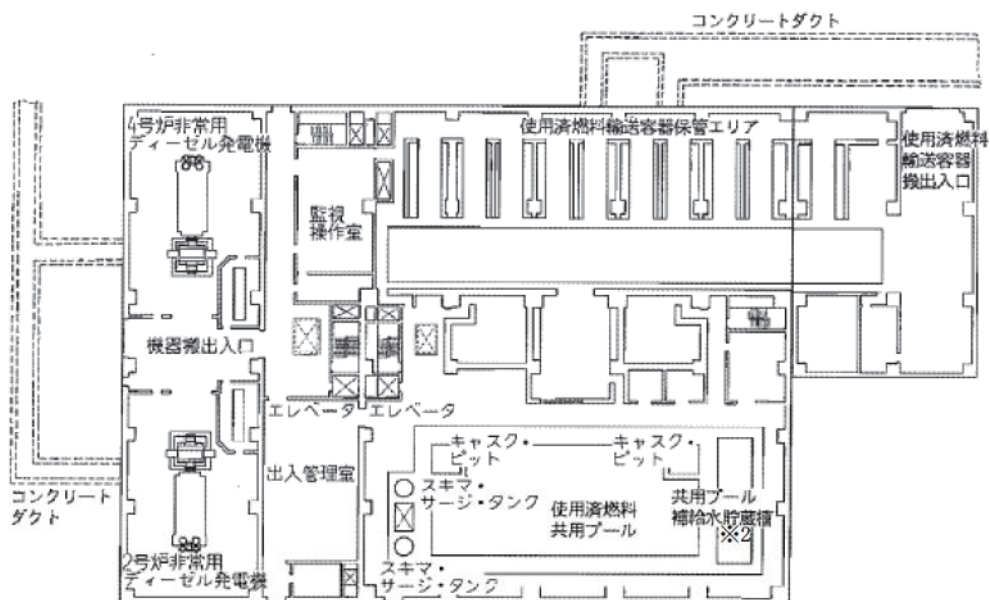
添付資料—8 使用済燃料共用プール設備の耐震安全性について



※1: 共用プール冷却浄化系ポンプ、共用プール補給機冷却系ポンプ、共用プール補給水ポンプ、共用プール冷却浄化系熱交換器は、床面から高い位置に設置。

O.P.+2700mm

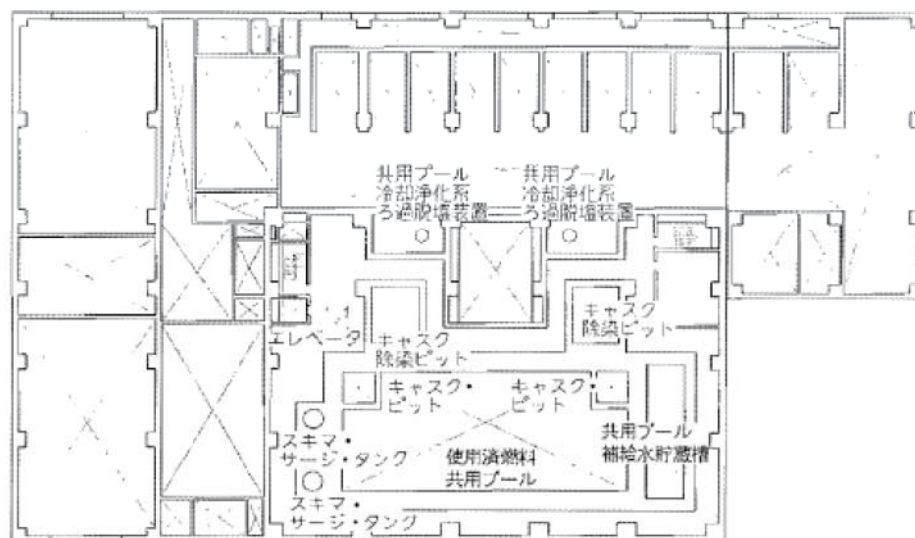
図 2. 1 2 - 1 運用補助共用施設平面図 (その 1)



※2: 共用プール補給水貯蔵槽は、共用プール同様、鉄筋コンクリート造の設備。

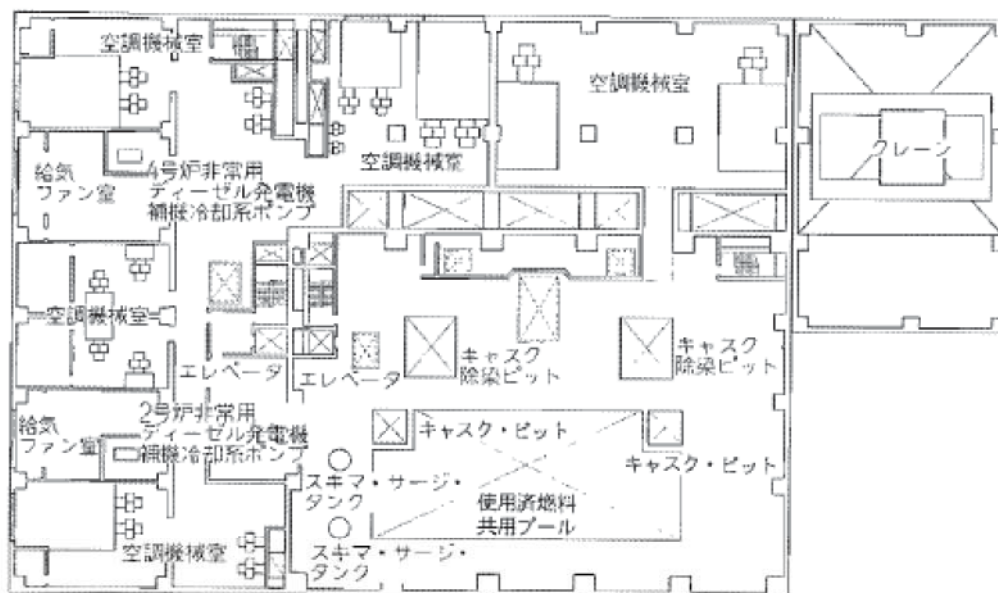
O.P.+10200mm

図 2. 1 2 - 2 運用補助共用施設平面図 (その 2)



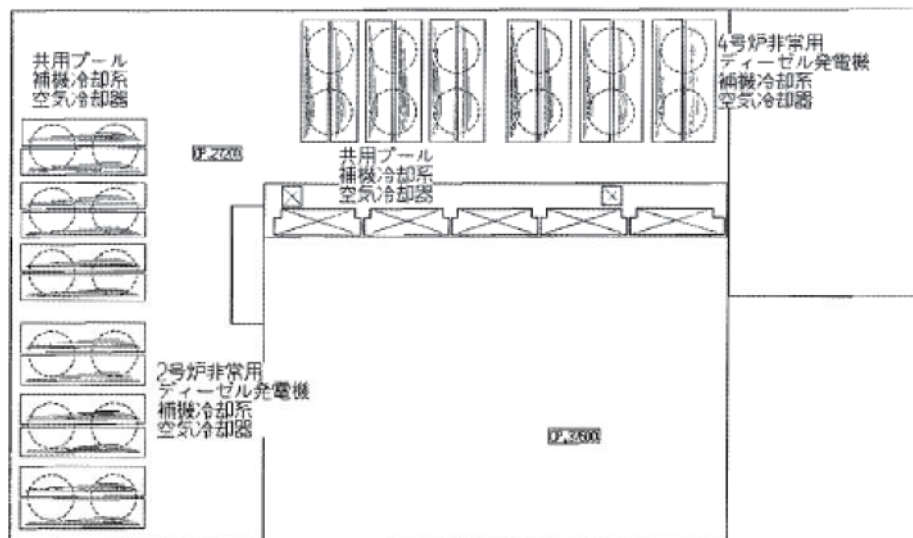
O.P. +15700mm

図 2. 1 2 - 3 運用補助共用施設平面図 (その 3)



O.P. +19200mm, O.P. +20200mm

図 2. 1 2 - 4 運用補助共用施設平面図 (その 4)



O.P., +27200mm, O.P., +37600mm

図2. 12-5 運用補助共用施設平面図 (その5)

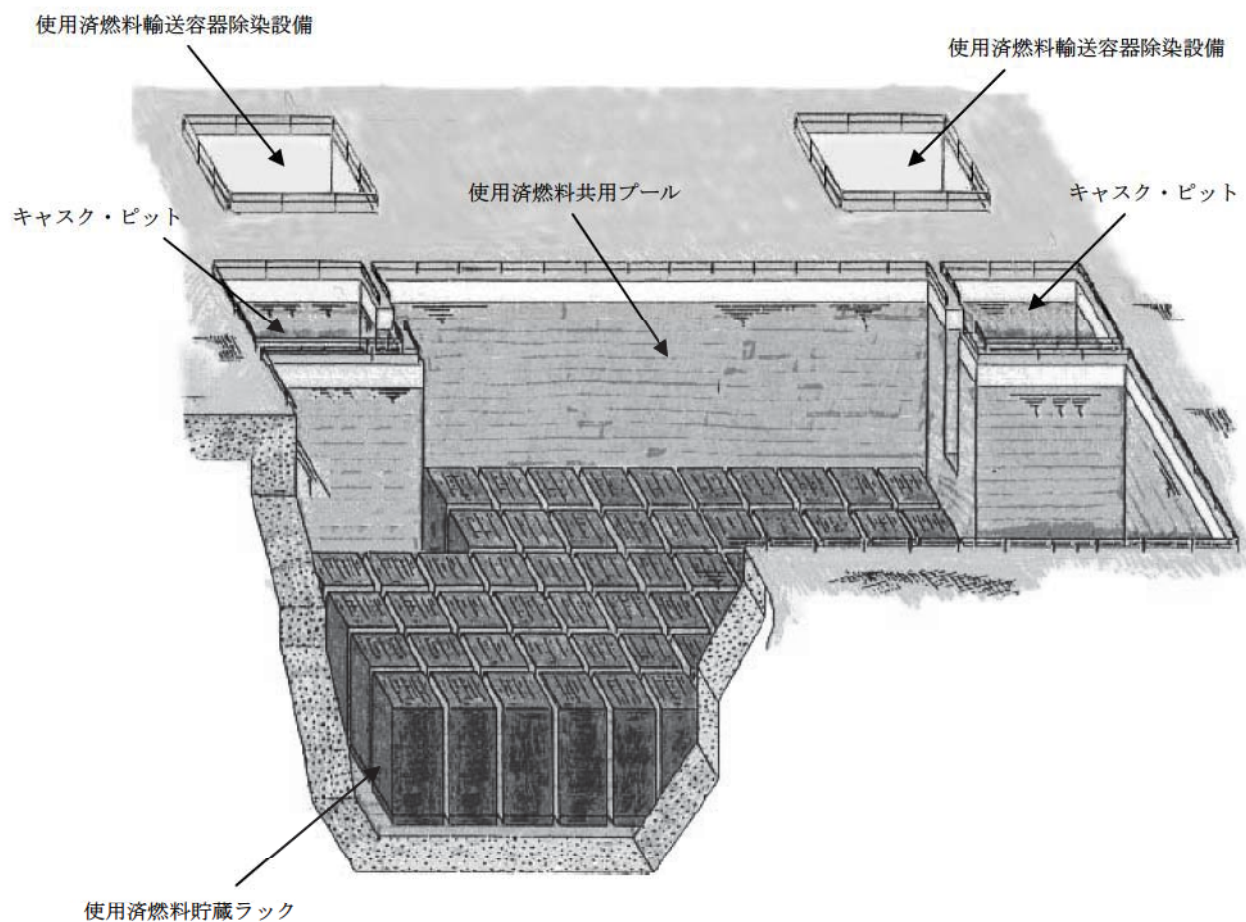


図 2. 1 2 - 6 共用プール概要図

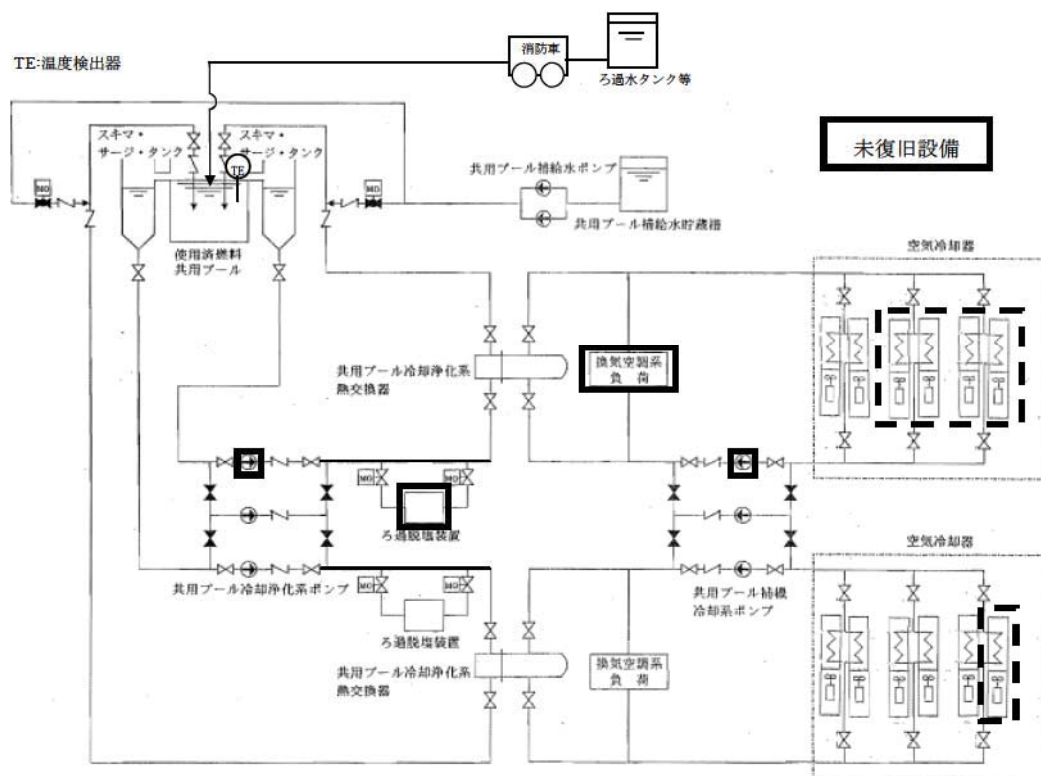


図 1-1 共用プール冷却浄化系，共用プール補機冷却系
及び共用プール補給水系概略系統図（現状：平成 25 年 5 月）

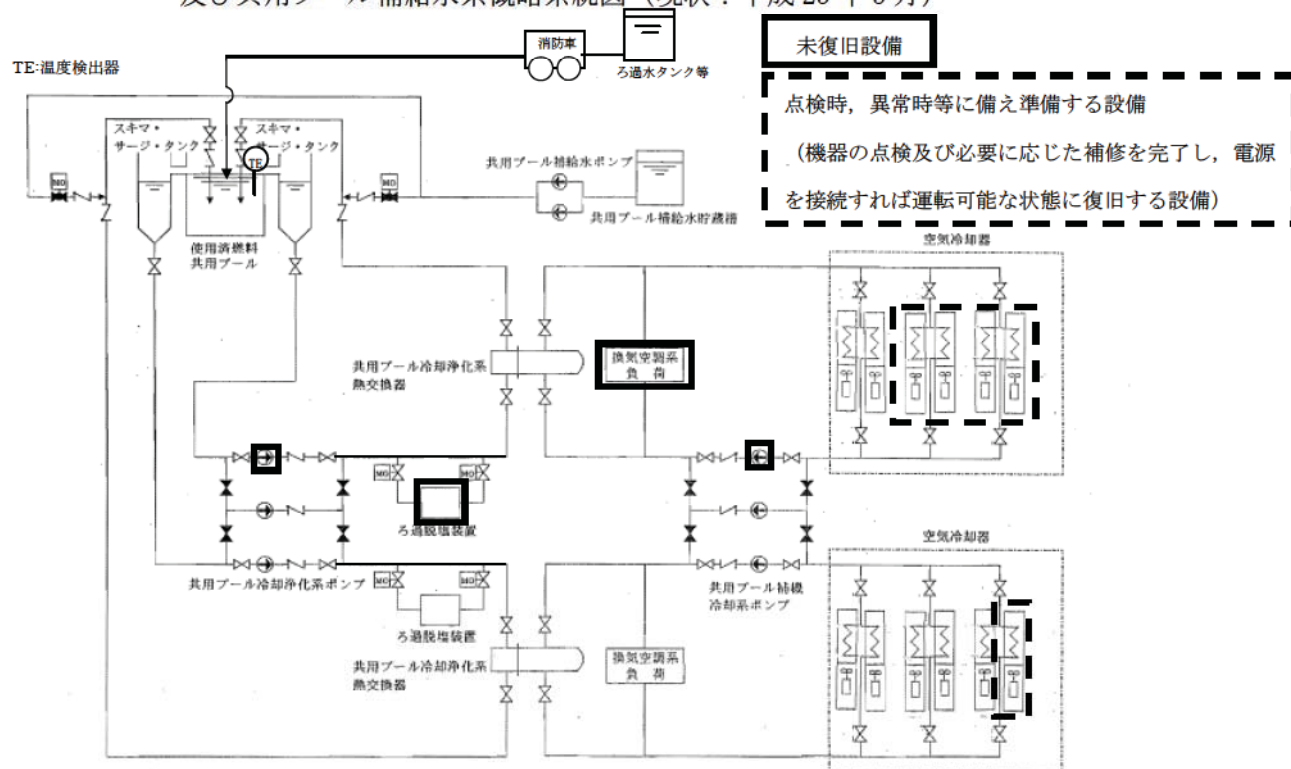


図 1-2 共用プール冷却浄化系，共用プール補機冷却系
及び共用プール補給水系概略系統図（共用プールからの燃料取出開始時）

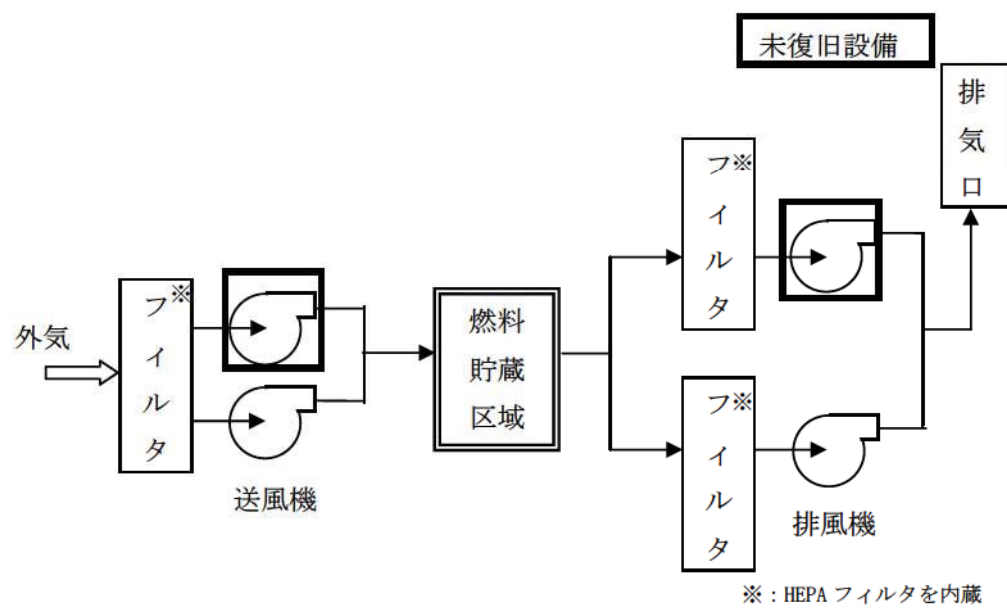


図 1 - 3 燃料貯蔵区域換気空調系概略系

現在の設備状況

東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波により、運用補助共用施設の非管理区域地下1階に設置された電源設備は70～120cm程度浸水し、運用補助共用施設は全ての電源が喪失した。電源喪失により共用プール冷却浄化系の機能は喪失したが、共用プール水位については、使用済燃料頂部より高い水位が十分確保されていた。なお、共用プール水温は一時的に73℃程度まで上昇したが、仮設電源の設置と共用プール冷却浄化系の一部復旧により水温は低下し、現在は概ね15～35℃程度を維持している。

現在の設備状況を添付資料—1に、設備の点検・復旧の概略工程計画を表1に示す。

今後、設備信頼性、運用面の改善、津波、1～6号機使用済燃料プール及び炉内の燃料受け入れの観点から、設備の復旧、改造または設置等を必要に応じて実施していく計画としている。

1.1 燃料貯蔵設備

1.1.1 共用プール

漏えい水検出計は平成24年6月、水位警報装置は平成25年3月に復旧している。スキマ・サージ・タンク水位計の指示は巡視点検で確認しており、ウェブカメラにより免震重要棟でも確認することができる。使用済燃料貯蔵ラックは、平成25年1月に代表ラック2基に対して外観点検を実施し、問題がないことを確認している。

1.1.2 共用プール冷却浄化系

3台ある共用プール冷却浄化系ポンプのうち1台目を平成23年3月に復旧し、早期に2系統ある冷却浄化系のうち1系統での共用プール水の冷却を可能としており、平成25年3月には2台目も復旧し、冷却に関しては多重性を確保している。ろ過脱塩装置は、平成24年4月に2台のうち1台を復旧している。

添付資料—4に示すとおり、熱交換器1基で今後の1～6号機の燃料の受入れを考慮しても共用プール水温を52℃以下に冷却することが可能であるため、当面は2系列ある共用プール冷却浄化系のうち1系列のみを使用して冷却を行うが、残りの1系列についても点検時、異常時等に備えて熱交換器が使用できるように、平成25年5月に熱交換器を復旧している。

また、巡視点検において、共用プール水温度、ポンプの運転状態等を確認し、冷却状態を確認している。なお、共用プール水温度計の指示は、ウェブカメラにより免震重要棟でも確認することができる。

1.1.3 共用プール補機冷却系

3台ある共用プール補機冷却系ポンプのうち1台目を平成23年3月に復旧し、早期に2系統ある冷却浄化系のうち1系統での共用プール冷却浄化系の冷却を可能としており、平成25年3月には2台目も復旧し、多重性を確保している。また、12台あるエアフィンクーラーのうち7台を平成24年5月までに復旧している。

なお、空気冷却器は3ベイで1基（共用プール補機冷却系片系統に1基）を構成しており、1ベイあたり2台のエアフィンクーラーが配置されている。

添付資料―4に示すとおり、空気冷却器1基で今後の1～6号機の燃料の受入れを考慮しても共用プール水温を52℃以下に冷却することが可能である。したがって、当面は2系列ある共用プール補機冷却系のうち1系列のみを使用して冷却を行うが、残りの1系列の空気冷却器についても点検時、異常時等に備えて電源を供給すれば使用できるよう準備する。なお、エアフィンクーラーについては、プール水温度を確認しながら運転台数の調整を行う。

また、巡視点検において、ポンプの運転状態等系を確認し、冷却状態を確認している。

1.1.4 共用プール補給水系

2台ある共用プール補給水ポンプのうち1台目を平成23年3月に復旧し、早期に共用プール補給水貯蔵槽からプールへ共用プール水を補給することを可能としており、平成25年3月には2台目も復旧し、多重性を確保している。

1.2 燃料取扱装置

平成24年9月に点検は終了しており、定期事業者検査相当の健全性確認を社内自主で実施し、機能上の問題がないことを確認している。

1.3 使用済燃料輸送容器

キャスク保管エリアで保管されていた使用済燃料輸送容器は、外観上異常はない。

また、震災時に使用済燃料輸送容器除染設備で点検していた使用済燃料輸送容器については、平成24年3月に点検を終了し問題ないことを確認している。

1.4 その他設備

1.4.1 天井クレーン

平成 24 年 2 月に点検は終了しており，定期事業者検査相当の健全性確認を社内自主で実施し，機能上の問題がないことを確認している。

1.4.2 使用済燃料輸送容器除染設備

外観上異常はない。

1.4.3 燃料貯蔵区域換気空調系

燃料貯蔵区域換気空調系については，2 台ある共用プールエリア送風機のうち 1 台を平成 23 年 3 月に復旧している。また，2 台ある共用プールエリア排風機のうち 1 台を平成 23 年 3 月に運転可能としているが，現状停止している。

停止の間の燃料取扱作業時は，共用プール奥ペフロ階において，空気中の放射性物質をダストサンプラーで採取し，放射性物質濃度の測定を行う。

なお，2 台ある共用プールエリア送・排風機のうち，1 台は予備機であることから，当面は送・排風機については各 1 台で運用する。

1.4.4 エリア放射線モニタ

現在，点検復旧中である。

復旧までの間の燃料取扱作業時は，可搬式放射線モニタ等を用いて監視する。

表1 共用プールからの燃料取出開始までの点検・復旧工程（案）

	平成24年				平成25年				平成26年	
機器点検・復旧	天井クレーン点検・復旧									
	燃料取扱装置点検・復旧									
	使用済燃料輸送容器点検・保守									
	共用プール冷却浄化系、共用プール補機冷却系点検・復旧（ポンプ2台目）※1 （電源復旧しながら実施）									
	共用プール補給水ポンプ（2台目）点検・復旧 （電源復旧しながら実施）									
	監視系（漏えい水検出計，水位警報装置，エリア放射線モニタ等）点検・復旧 （電源復旧しながら実施）									
	換気空調系送風機側HEPAフィルタ設置									
	火災報知設備，消火設備点検・復旧									
電源設備	電源設備の復旧 ※2									
津波対策	床・壁等の開口部の防水性向上									

※1：1～4号機使用済燃料プールからの燃料受け入れ開始前までには，片系でエアフィンクーラー6台を復旧する。

※2：電源設備とは「Ⅱ.2.7 添付資料2 図-1. 所内単線結線図」で示されている共用プールM/C等を示している。

有効燃料頂部+2m での線量率評価

共用プールの冷却浄化系及び補給水系の機能が喪失した場合、消防車を用いて共用プールの冷却を再開する必要がある。冷却再開にあたり、共用プール水位が有効燃料頂部+2m において共用プール 3 階フロアでの作業が可能な線量率であることの確認を行った。

1. 評価条件

評価条件は以下の通りである。

- (1) 使用済燃料の体数はプール容量一杯の 6,840 体とする。
- (2) 使用済燃料の燃焼度は保守的に全燃料 9×9 燃料の最高燃焼度 55GWd/t とする。
- (3) 冷却期間については、共用プールに移送される使用済燃料として冷却期間の最も短い 5 号機使用済燃料プール及び炉心燃料の使用済燃料を考慮する。具体的な冷却期間は、5 号機停止（平成 23/1/3）から平成 25/1/1（5 号機使用済燃料移送開始）とする。
- (4) ORIGEN2 により使用済燃料の線源強度を計算し、この線源強度を用い MCNP により線量率を計算する。
- (5) 共用プール中心及び共用プール縁について、フロア高さの線量率を評価する。

2. 評価結果

下表に線量率の評価結果を示す。共用プール水位を有効燃料頂部+2m 確保することで、共用プール 3 階フロアにおける線量率を低く抑えることができる。したがって、作業員が共用プール 3 階フロアで消防車等による注水作業を行うことは可能である。

場所	線量率 (mSv/h)
共用プール中心	1.3
共用プール縁	0.7

評価にあたっては使用済燃料の燃焼度及び冷却期間に十分な保守性を持たせていることから、線量率は更に小さくなると考える。

「共用プール冷却浄化系及び共用プール補機冷却系」1 系列運転時の共用プール水温度評価

1～4 号機の使用済燃料プール及び 5 号機，6 号機炉心及び使用済燃料プールに貯蔵されている使用済燃料の受入れを考慮した崩壊熱の最大値『約 2.6MW^{※1}』に対して，1 系列運転（共用プール冷却浄化系熱交換器 1 基，共用プール冷却浄化系ポンプ 1 台，共用プール補機冷却系空気冷却器 1 基[エアフィンクーラー6 台]，共用プール補機冷却系ポンプ 1 台）時に，共用プール水温度が 52℃以下になることの確認を行った。

※1：「添付資料－ 6」を参照。

1. 評価条件

評価条件は以下の通りである。

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| (1) 崩壊熱 | : 約 2.6MW |
| (2) 共用プール冷却浄化系管側（プール側）流量 | : 500m ³ /h |
| 共用プール冷却浄化系胴側（補機冷却系側）流量 | : 500m ³ /h |
| (3) 共用プール補機冷却系空気冷却器ファン側大気温度 | : 29.1℃ |
| 共用プール補機冷却系空気冷却器管側出口水温度 | : 38℃ |
| 共用プール補機冷却系管側流量 | : 650m ³ /h |
| (4) 換気空調系負荷 | : 約 1.3MW |

2. 評価結果

図 1 に評価結果を示す。共用プール水温度は 51.4℃であり，1～4 号機の使用済燃料プール，5 号機，6 号機使用済燃料プール及び炉心に貯蔵されている使用済燃料の受入れを考慮した崩壊熱に対して，1 系列運転時に共用プール水温度を 52℃以下とすることが可能である。

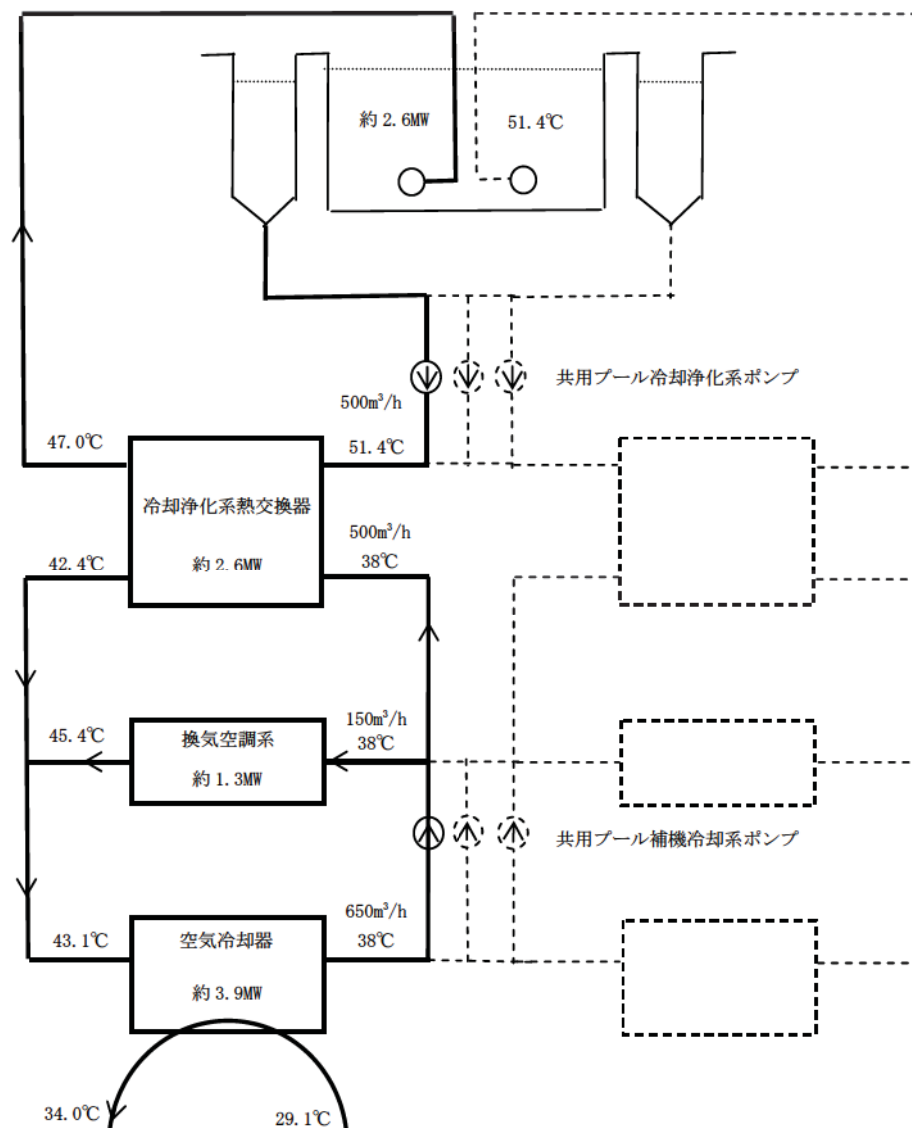


図1 1系列運転時熱バランス

運用補助共用施設共用プール棟の耐震安全性評価について

1. 耐震壁の耐震安全性評価

1.1 評価方針

運用補助共用施設共用プール棟（以下、PL/Bという）の耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることとし、建物・構造物や地盤の特性を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

1.2 地震応答解析

(1) PL/Bの概要

PL/Bは、地上3階、地下1階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。概略平面図（基礎版レベル）及び概略断面図を、図1.1～図1.3に、物性値を表1.1に示す。

PL/Bは、基礎底面からの高さが37.6m、地上部が27.6m、地下部が10.0mであり、平面が72.5m(NS方向)×54.5m(EW方向)で、厚さ2.7mの鉄筋コンクリート造の基礎版を介して富岡層(O.P. 0.0m)上に支持されている。

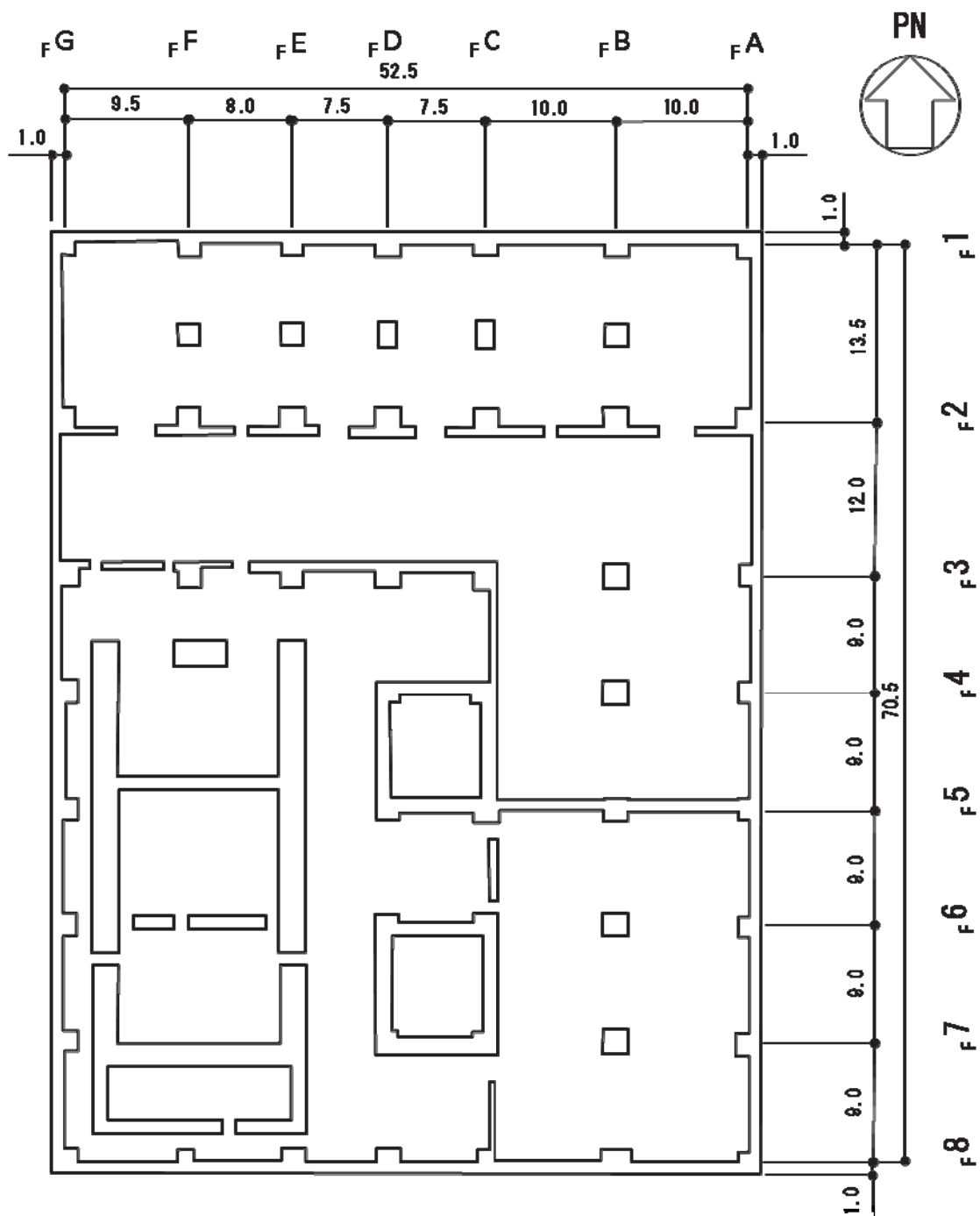


図1.1 PL/B 基礎版レベル平面図(0. P. 2. 7m) (単位 : m)

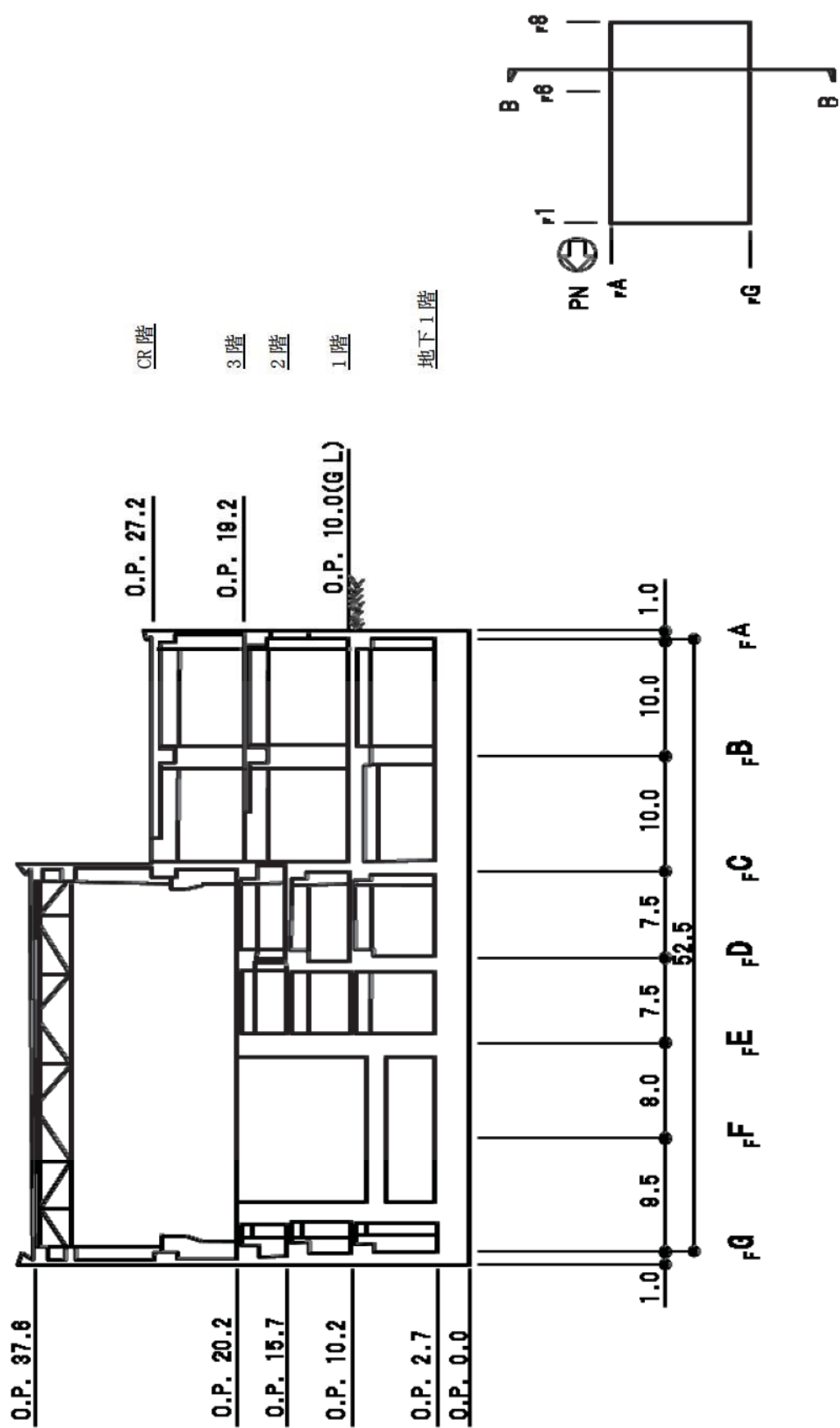


图1.3 PL/B EW方向断面图 (单位：m)

表 1.1 PL/B の物性値

	強度* ¹ F _c (N/mm ²)	ヤング係数* ² E (N/mm ²)	せん断弾性係数* ² G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量* ³ γ (kN/m ³)
コン クリ ート	40.0	2.81×10 ⁴	1.17×10 ⁴	0.2	24.5
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

*1：強度は実状に近い強度（以下、「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまるめた値とした。

*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。

(2) 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た、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとする。解析モデルの諸元を図 1.4 及び図 1.5 に示す。

地盤は、地盤調査に基づき水平成層地盤とし、基礎底面地盤ばねについては、「原子力発電所耐震設計技術指針 追補版 JEAG 4601 - 1991」（以下、「JEAG 4601 - 1991」という。）により、成層補正を行ったのち、振動アドミ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。基礎底面地盤ばねには、基礎浮き上がりによる幾何学的非線形性を考慮する。図 1.6 に回転ばねの曲げモーメントと回転角の関係を示す。

また、埋め込み部分の建屋側面地盤ばねについては、建屋側面位置の地盤定数を用いて、水平及び回転ばねを「JEAG 4601 - 1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

なお、表 1.2 に地盤調査に基づく地盤定数を示す。

復元力特性は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG 4601 - 1991」に基づいて設定する。

地震応答解析は、上記復元力特性を用いた弾塑性時刻歴応答解析とする。

入力地震動は、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s を用いることとする。

なお、埋め込みを考慮した解析モデルであるため、モデルに入力する地震動は、一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s に対する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。図 1.7 に、地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を、図 1.8 に解放基盤表面位置（O.P. -196.0m）における基準地震動 S_s-1 、 S_s-2 及び S_s-3 の加速度時刻歴波形（水平方向）を示す。

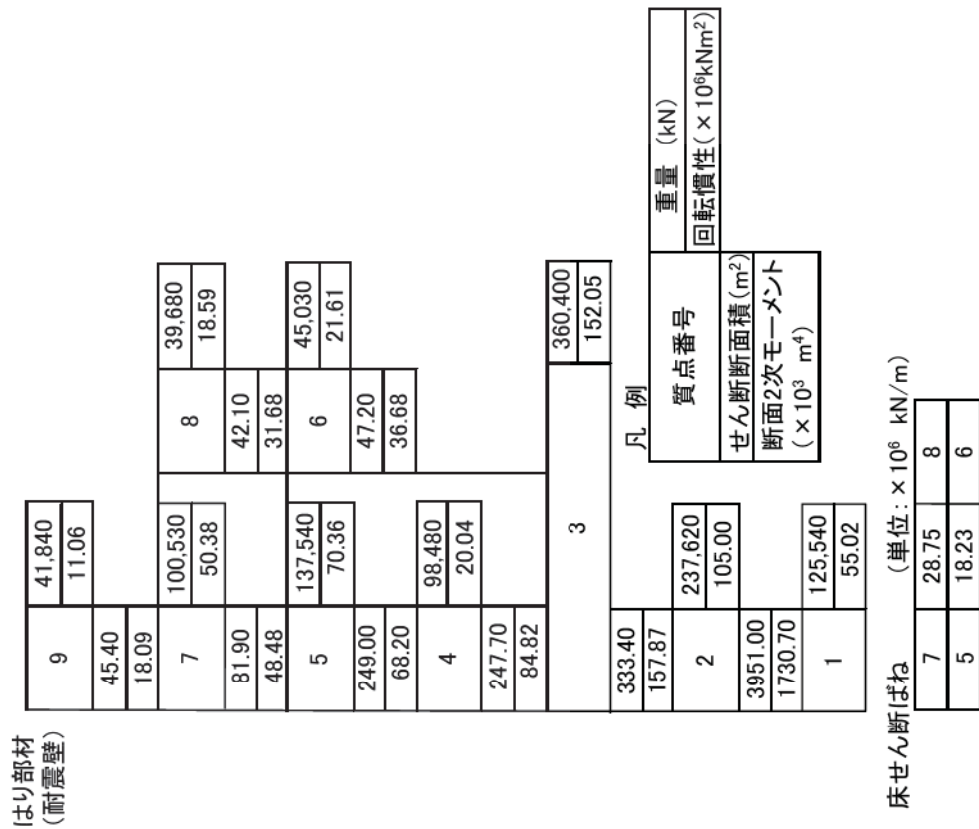


図1.4 PL/B 建屋の振動諸元(NS方向)

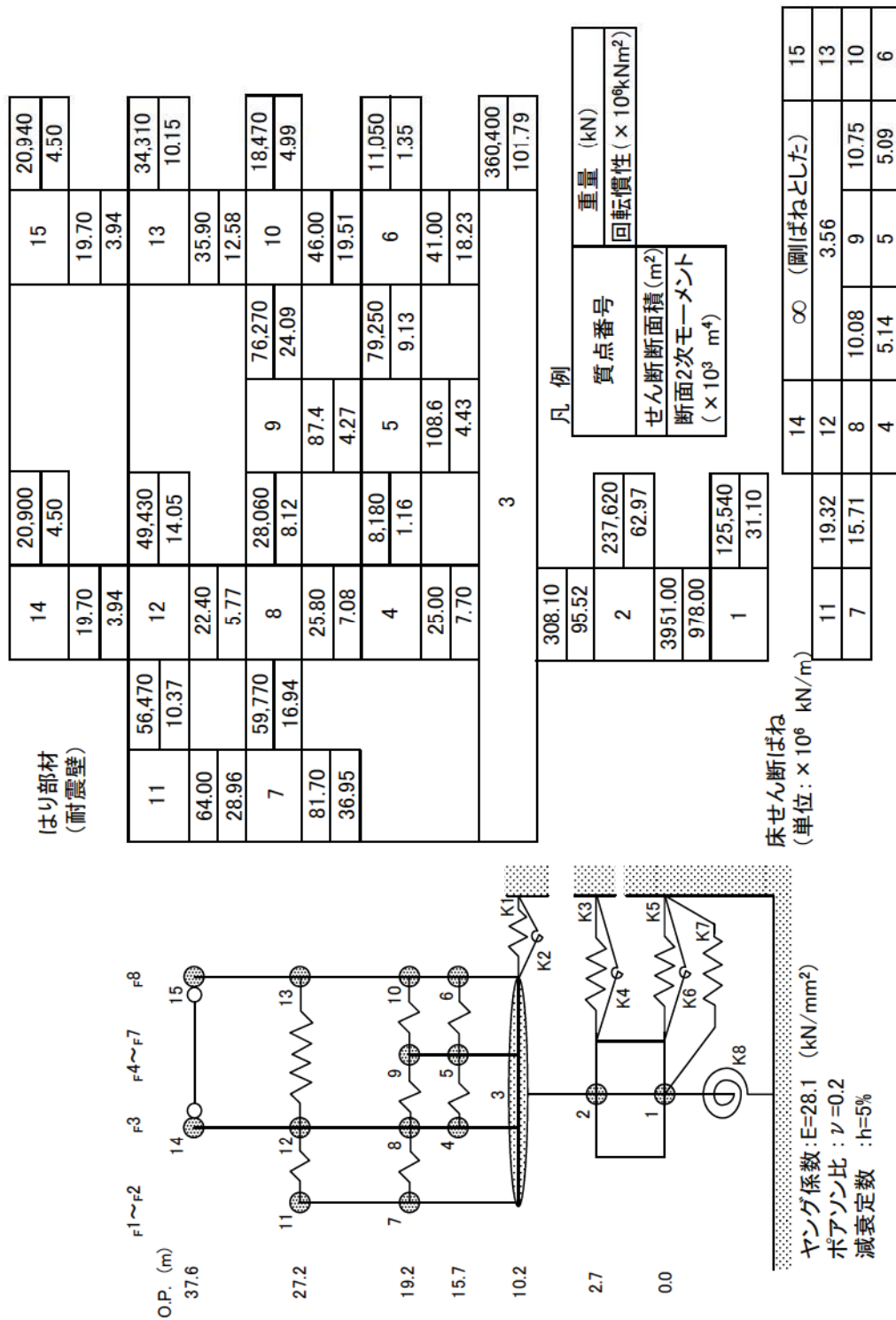


図1.5 PL/B 建屋の振動諸元 (EW方向)

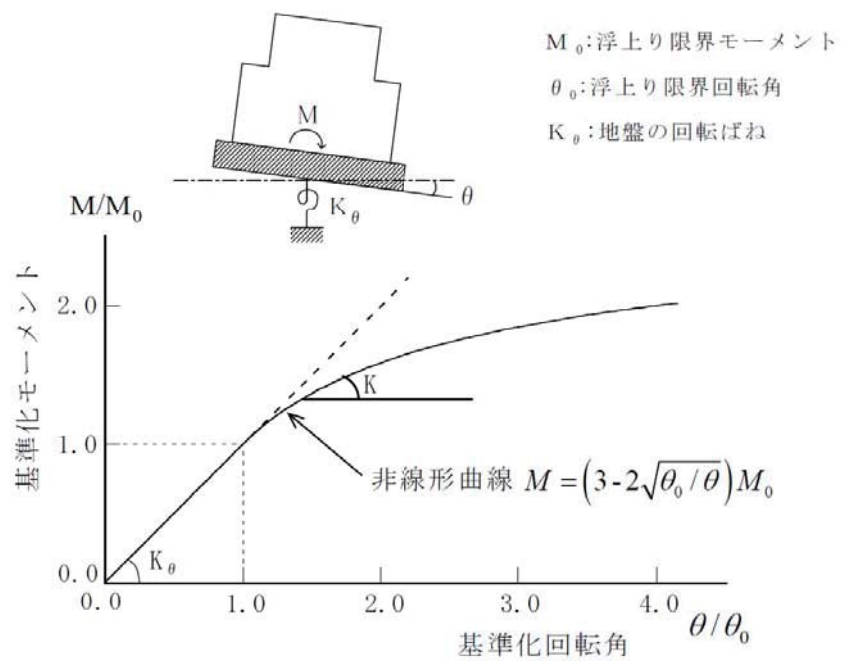


図 1.6 回転ばねの曲げモーメントと回転角の関係

表 1.2(1) PL/B 地盤定数 (Ss-1H)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
10.0										
2.7	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	7.3
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.69	3.41	0.79	7.88	3	12.7
-80.0		500	17.1	0.455	3.44	4.36	0.79	10.01	3	70.0
-108.0		560	17.6	0.446	4.45	5.63	0.79	12.87	3	28.0
-108.0		600	17.8	0.442	5.16	6.53	0.79	14.88	3	88.0
-196.0		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

表 1.2(2) PL/B 地盤定数 (Ss-2H)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
10.0										
2.7	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	7.3
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	12.7
-80.0		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-108.0		560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-108.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
-196.0		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

表 1.2(3) PL/B 地盤定数 (Ss-3H)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
10.0										
2.7	砂岩	380	17.8	0.473	2.28	2.62	0.87	6.72	3	7.3
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	12.7
-80.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-108.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-108.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-196.0		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

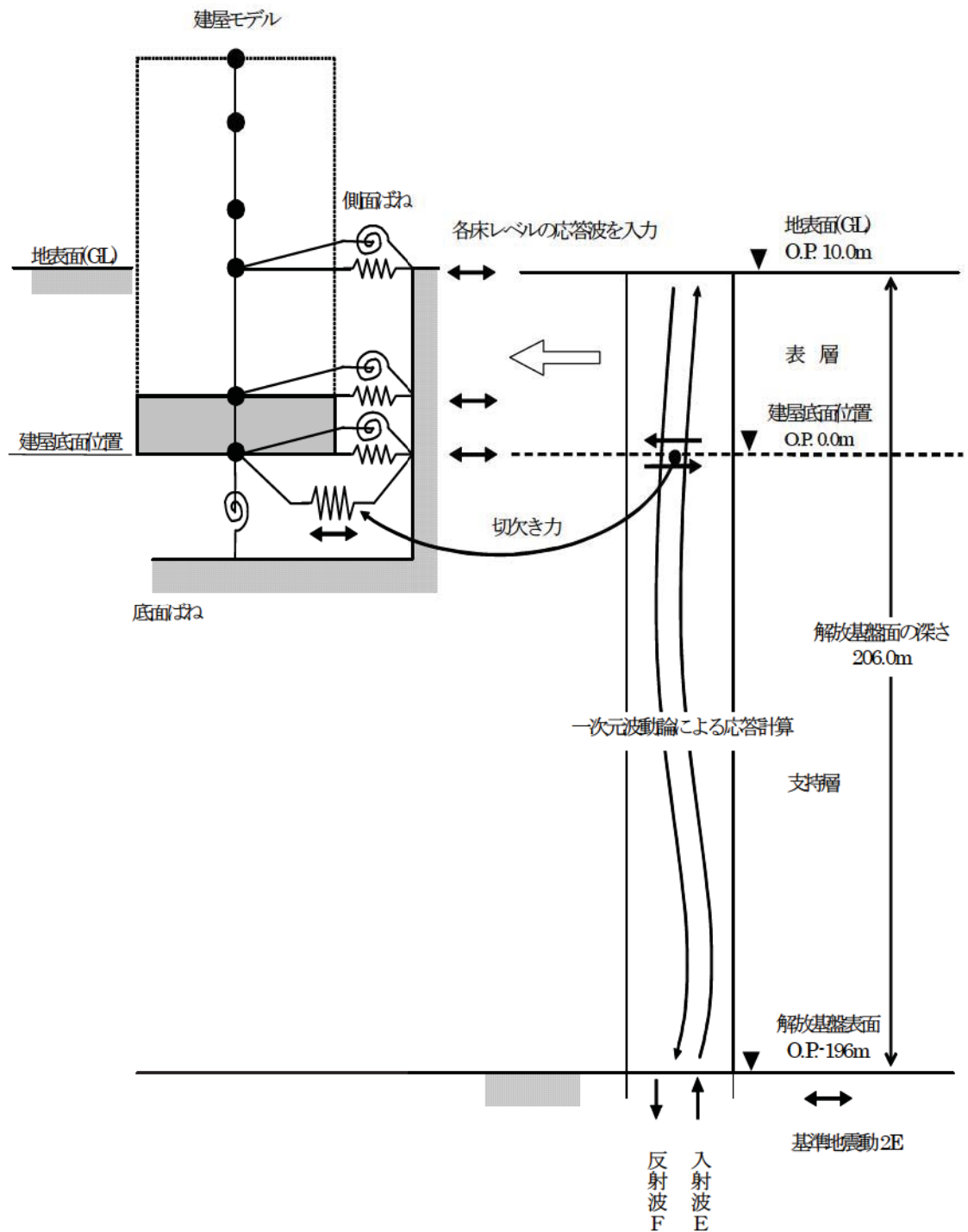
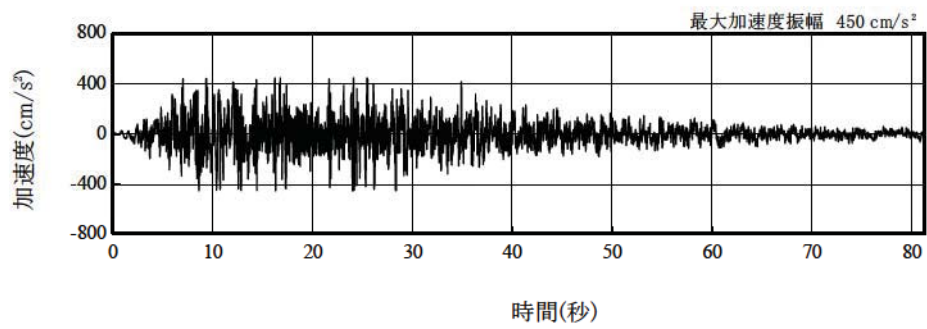
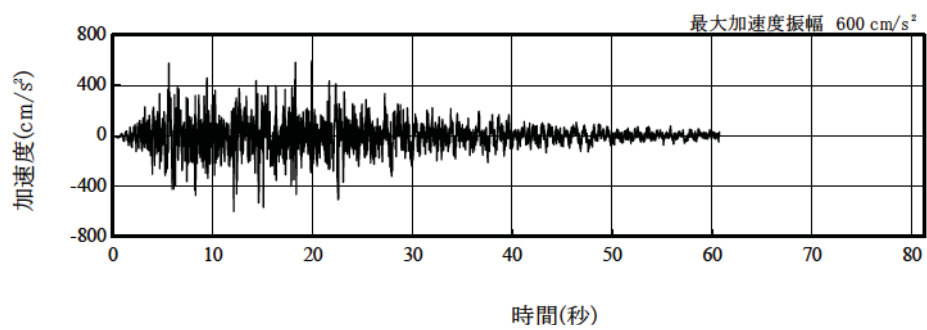


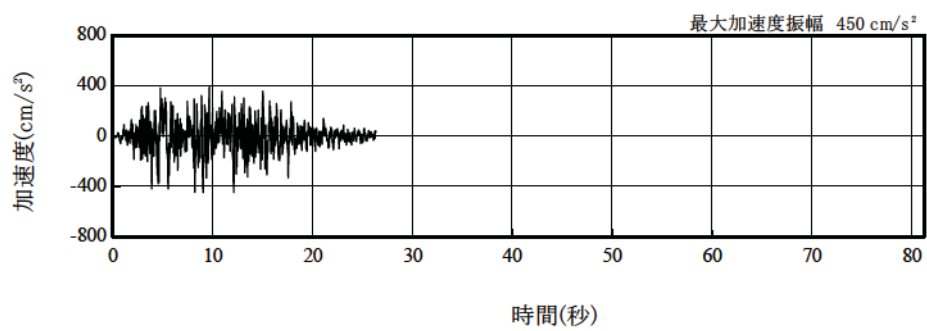
図1.7 PL/B 建屋—地盤連成系地震応答解析モデルの概要



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図1.8 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形(水平方向)

(3) 地震応答解析結果

基準地震動 S_s による最大応答加速度を、図1.9及び図1.10に示す。

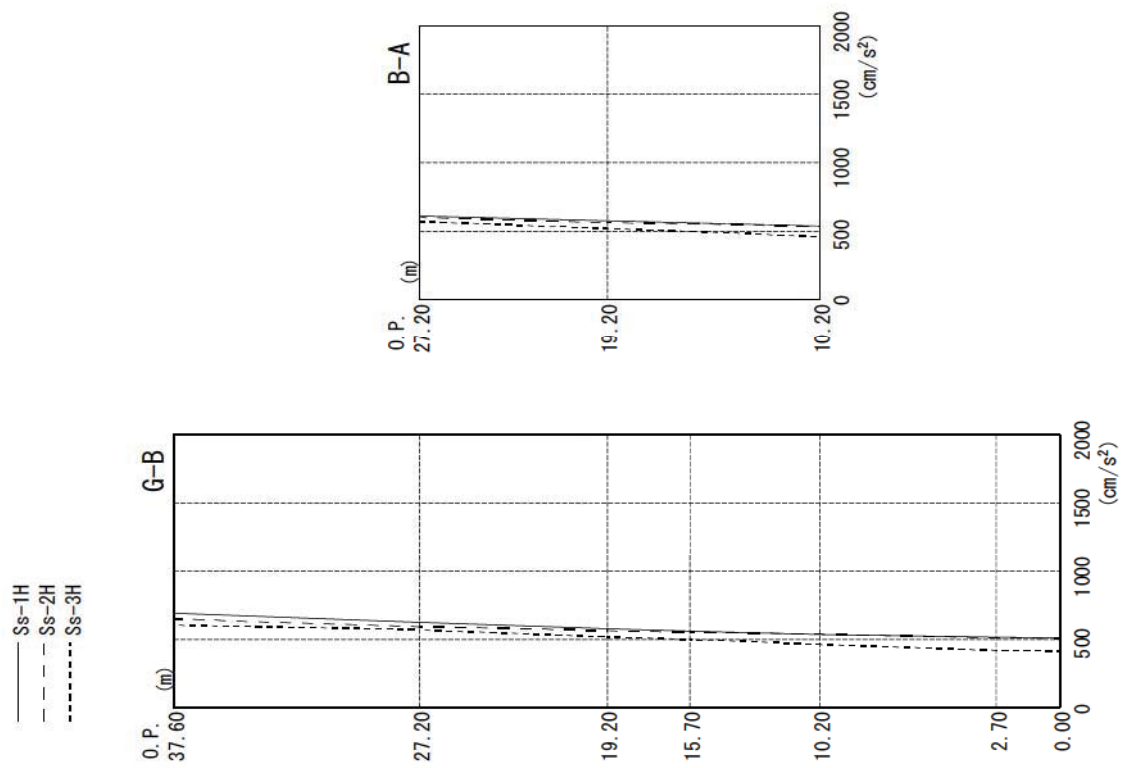


图1.9 PL/B 最大応答加速度 (NS方向)

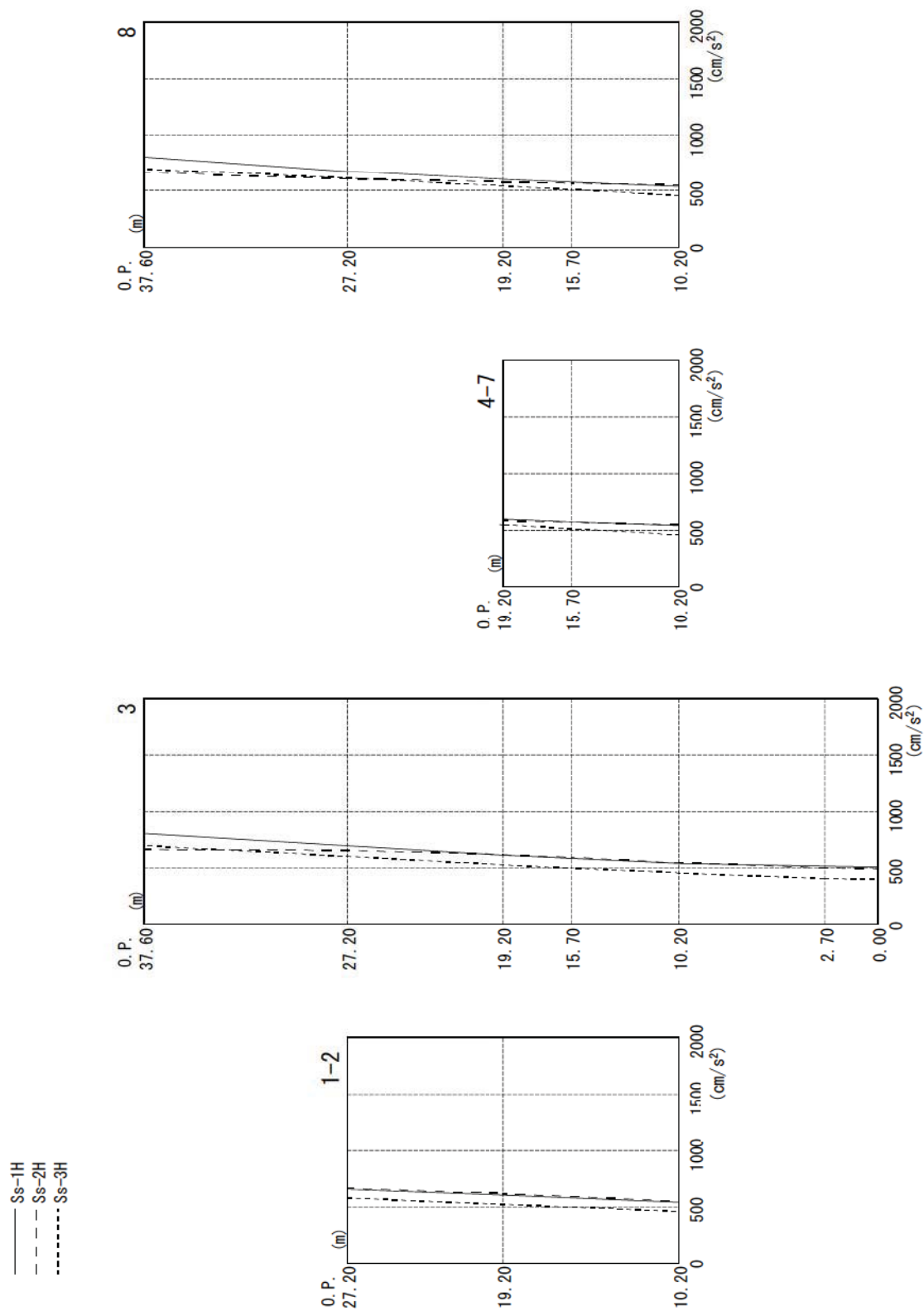


图1.10 PL/B 最大応答加速度 (EW方向)

1.3 耐震壁の耐震安全性評価

表1.3及び表1.4に耐震壁のせん断ひずみ一覧を示す。また、図1.11及び図1.12に基準地震動 S_s に対する最大応答値を耐震壁のせん断スケルトン曲線上に示す。耐震壁のせん断ひずみは、最大で 0.14×10^{-3} であり、耐震壁の評価基準値 (2.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。

表 1.3 PL/B 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS方向)

				($\times 10^{-3}$)
階	S_s-1	S_s-2	S_s-3	評価基準値
CR階	0.06	0.06	0.05	2.0 以下
3階	0.10	0.09	0.09	
2階	0.10	0.09	0.09	
1階	0.10	0.09	0.09	
地下1階	0.11	0.11	0.10	

表 1.4 PL/B 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW方向)

				($\times 10^{-3}$)
階	S_s-1	S_s-2	S_s-3	評価基準値
CR階	0.10	0.09	0.09	2.0 以下
3階	0.12	0.11	0.10	
2階	0.12	0.12	0.11	
1階	0.14	0.14	0.12	
地下1階	0.12	0.13	0.11	

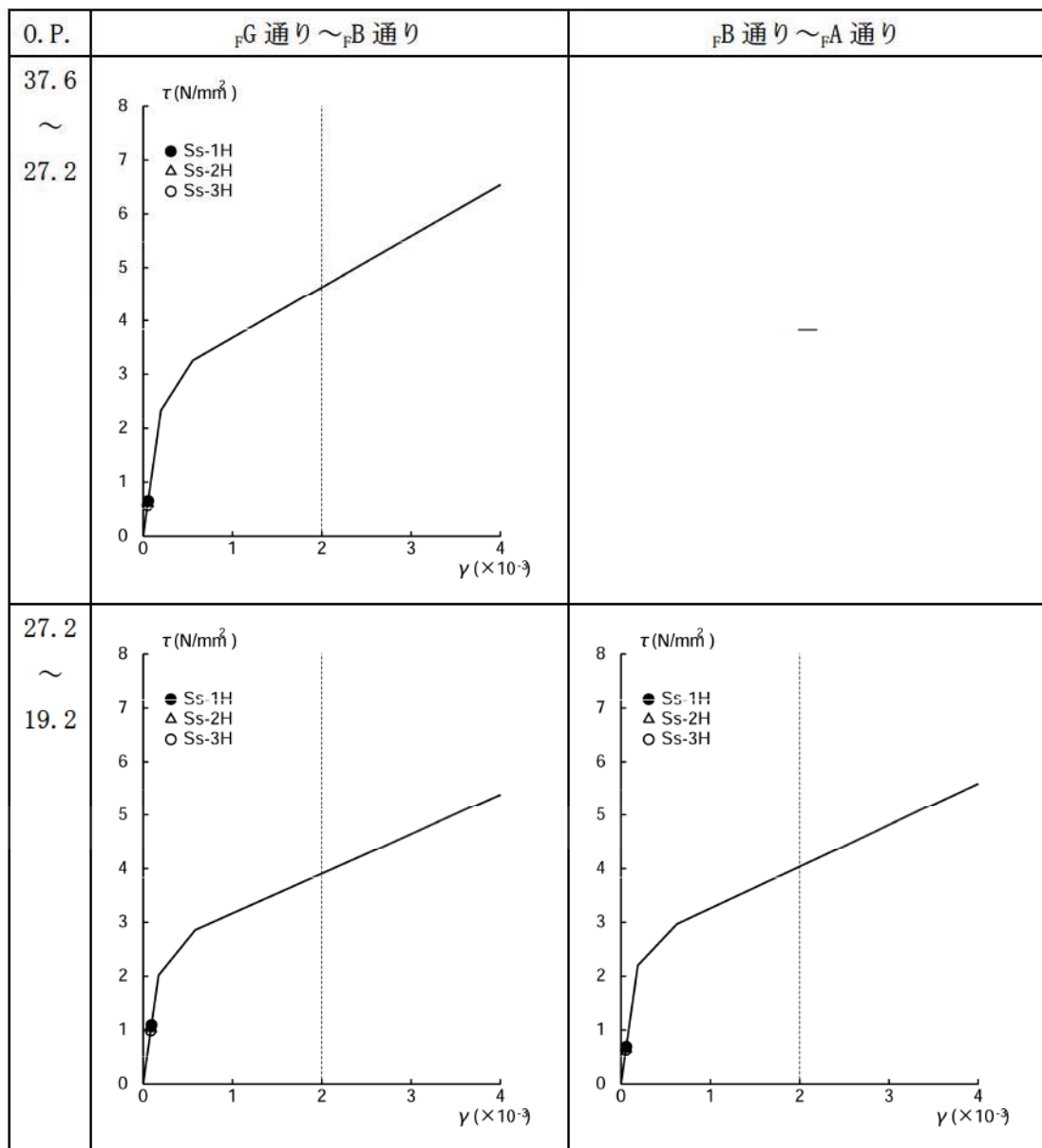


図 1.11(1) PL/B せん断スケルトン曲線上の最大応答値 NS 方向

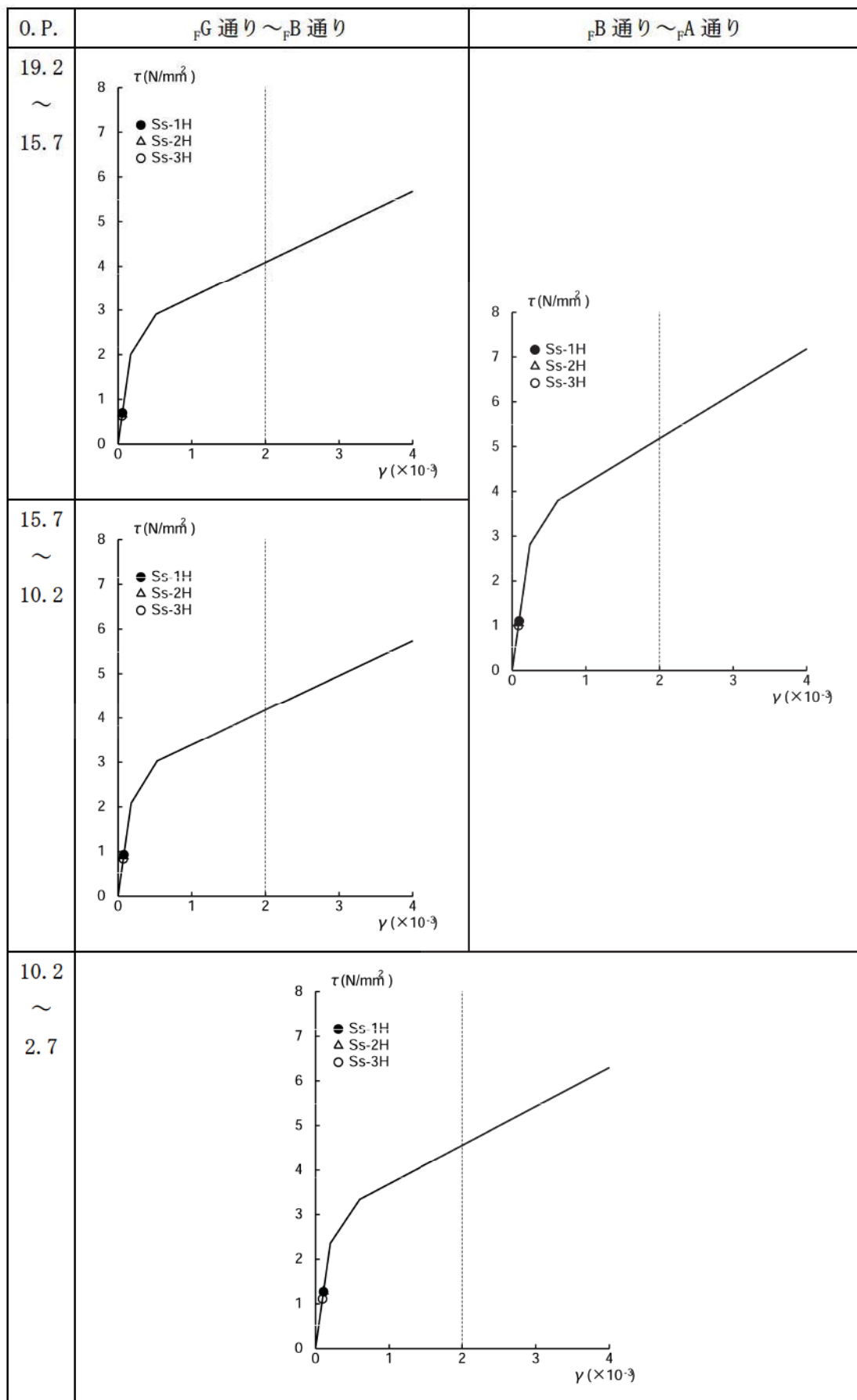


図 1.11(2) PL/B セン断スケルトン曲線上の最大応答値 NS 方向

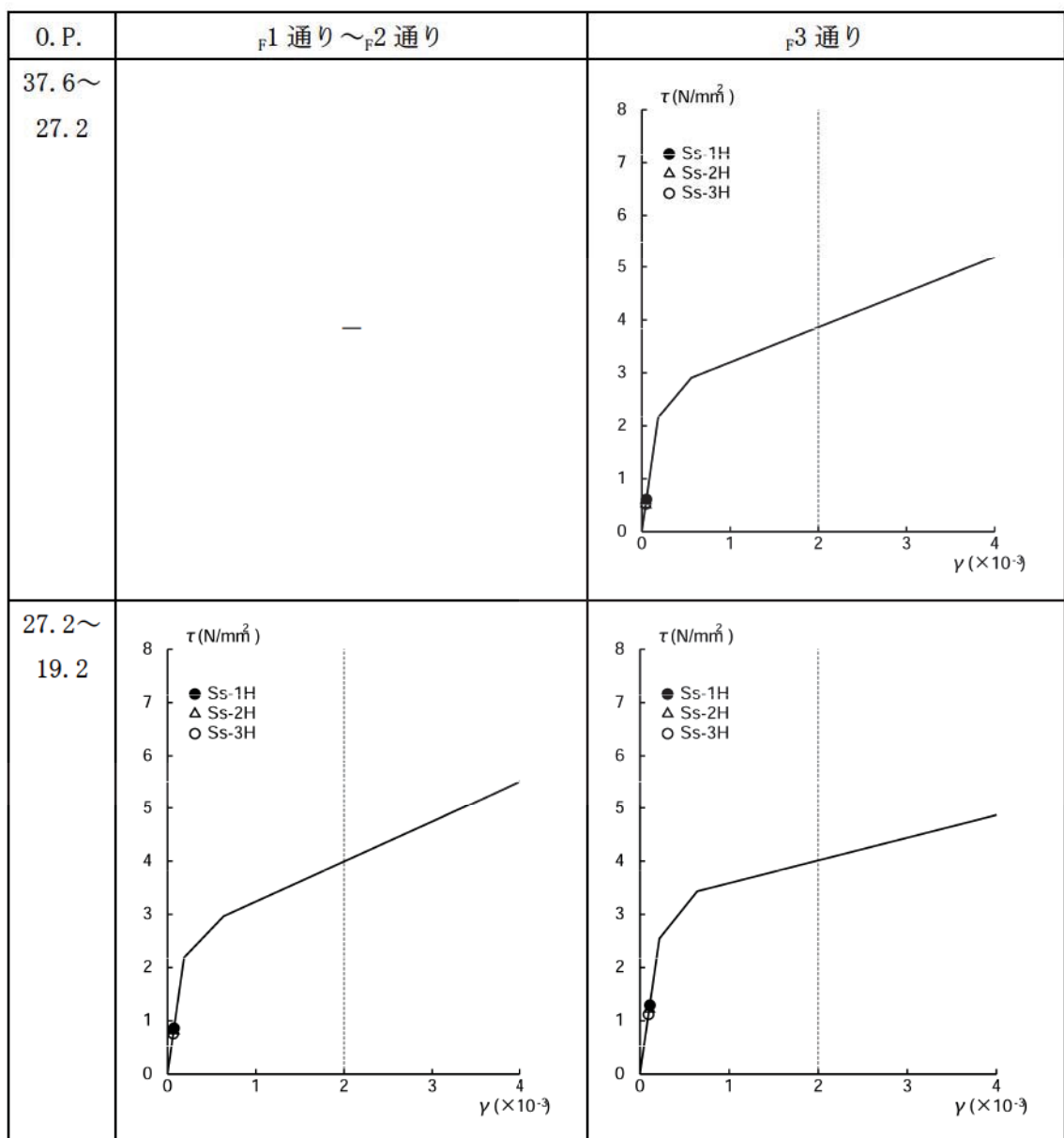


図 1.12(1) PL/B せん断スケルトン曲線上の最大応答値 EW 方向

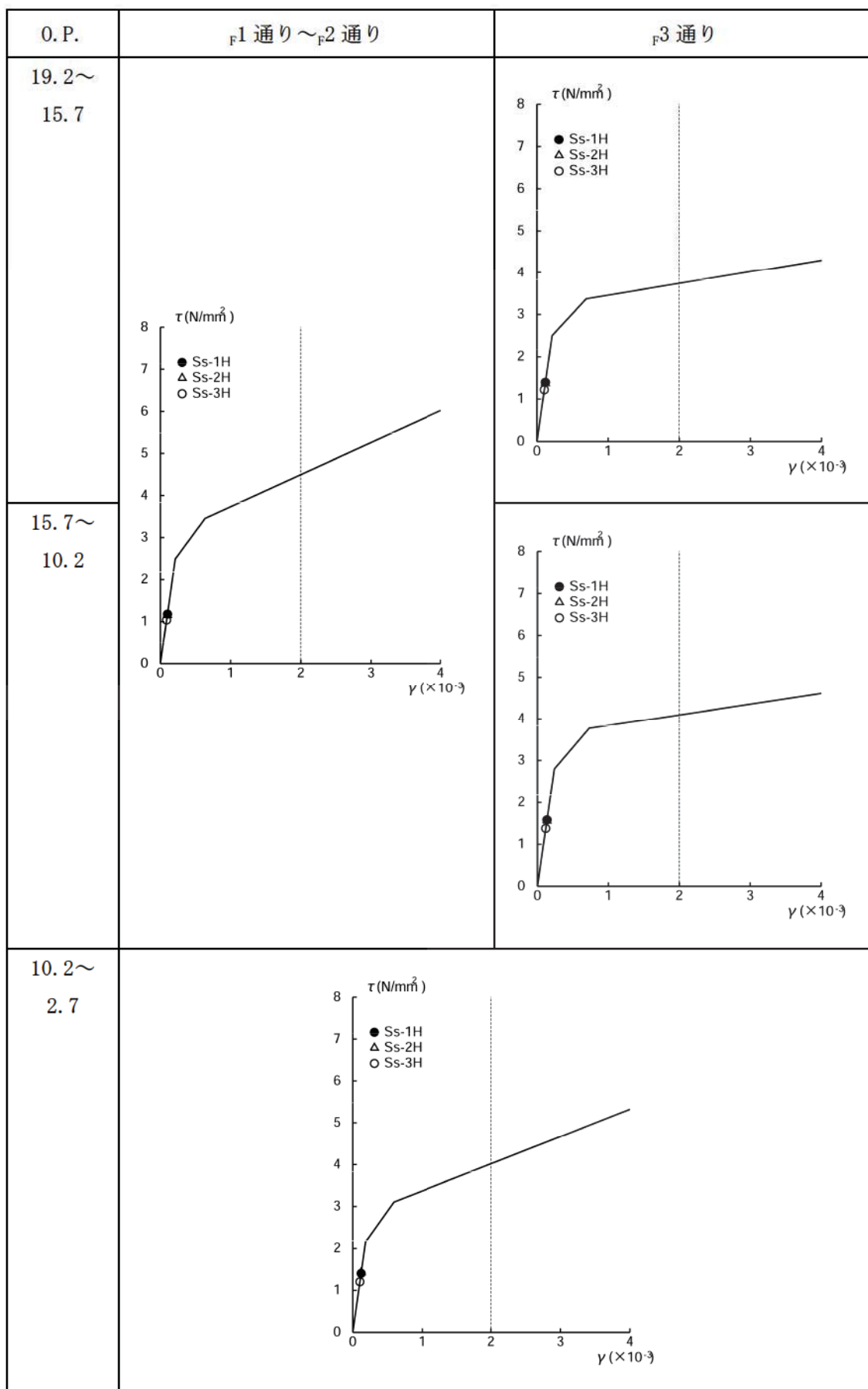


図 1.12(2) PL/B セン断スケルトン曲線上の最大応答値 EW 方向

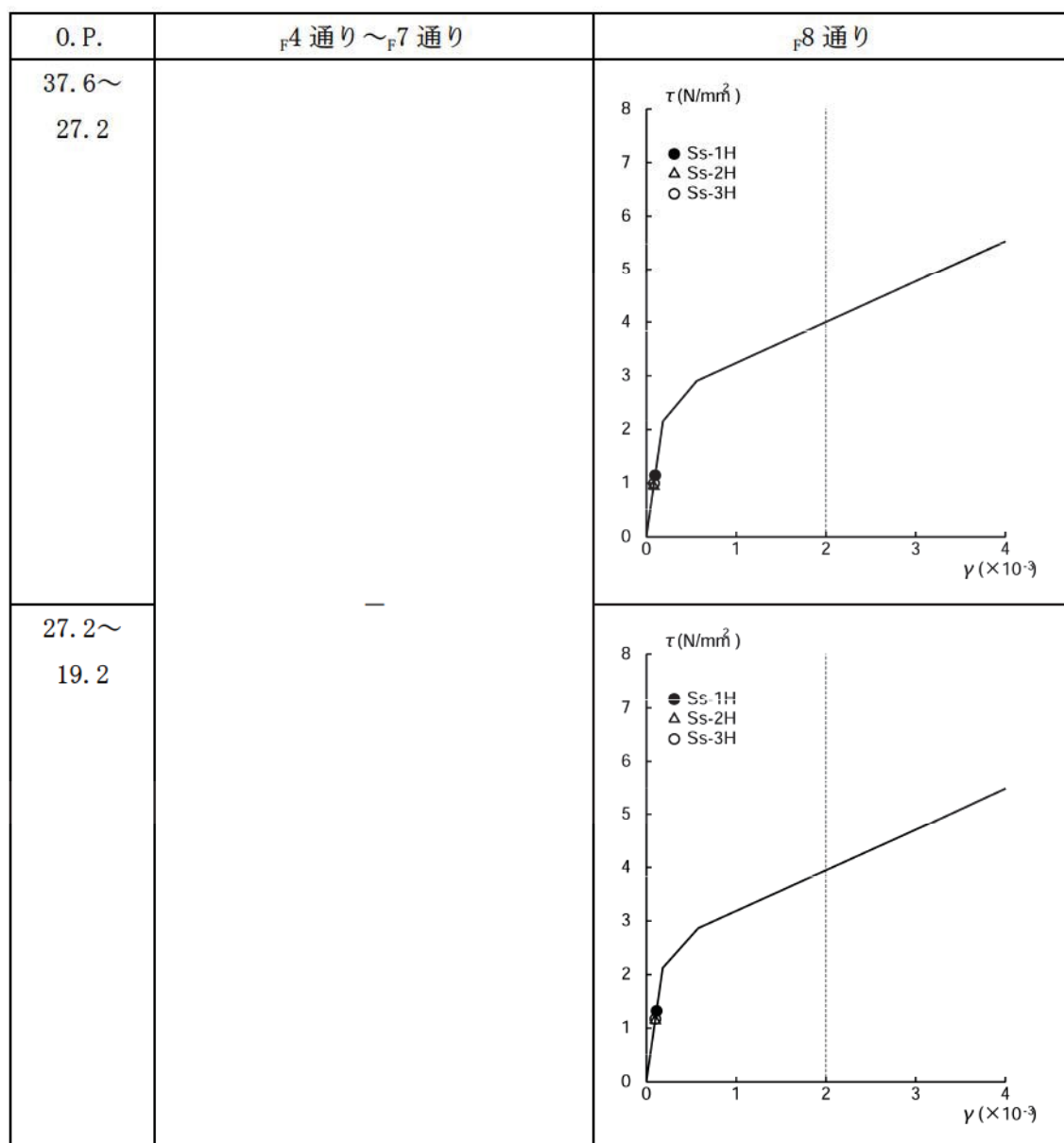


図 1.12 (3) PL/B せん断スケルトン曲線上の最大応答値 EW 方向

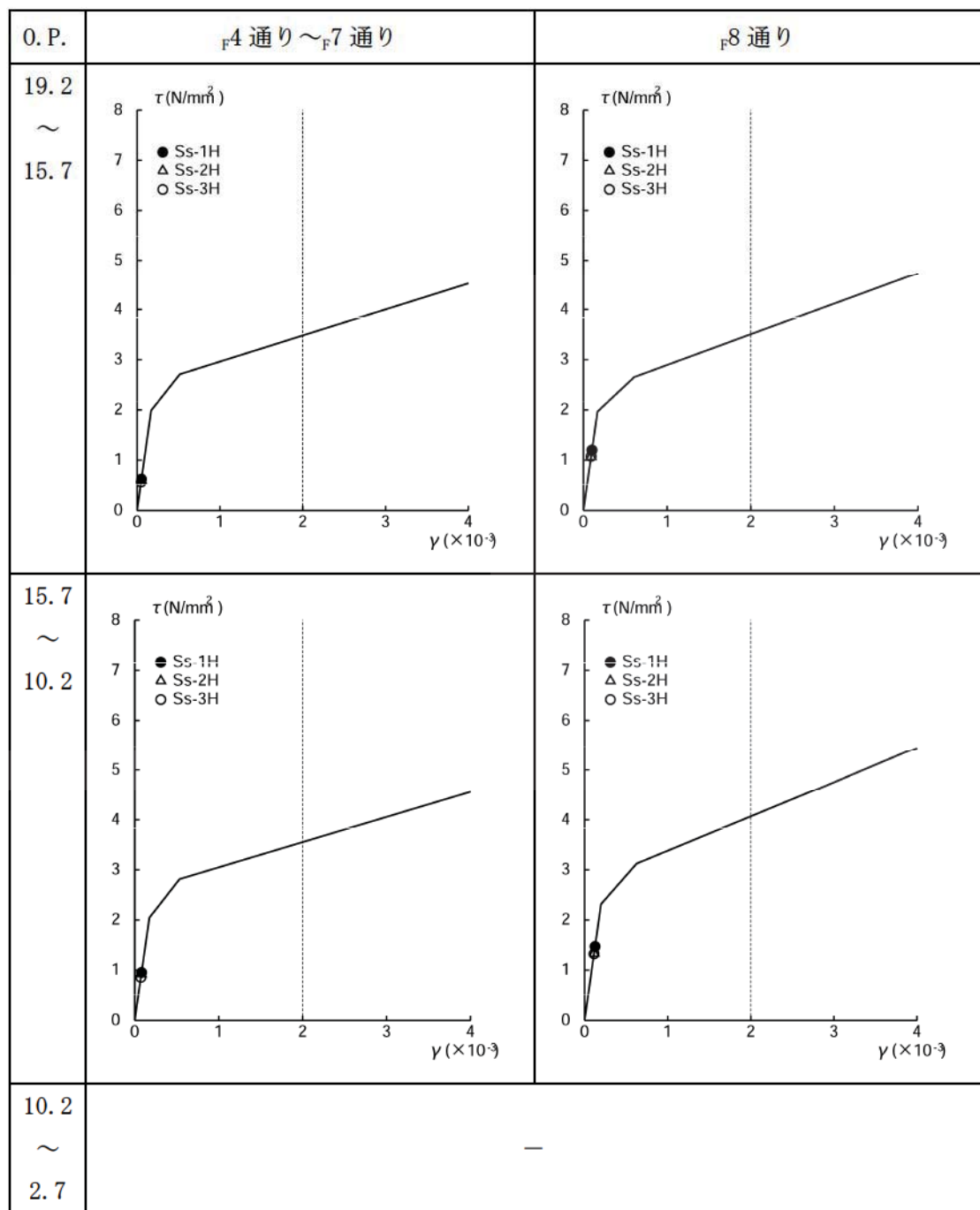


図1.12 (4) PL/B せん断スケルトン曲線上の最大応答値 EW方向

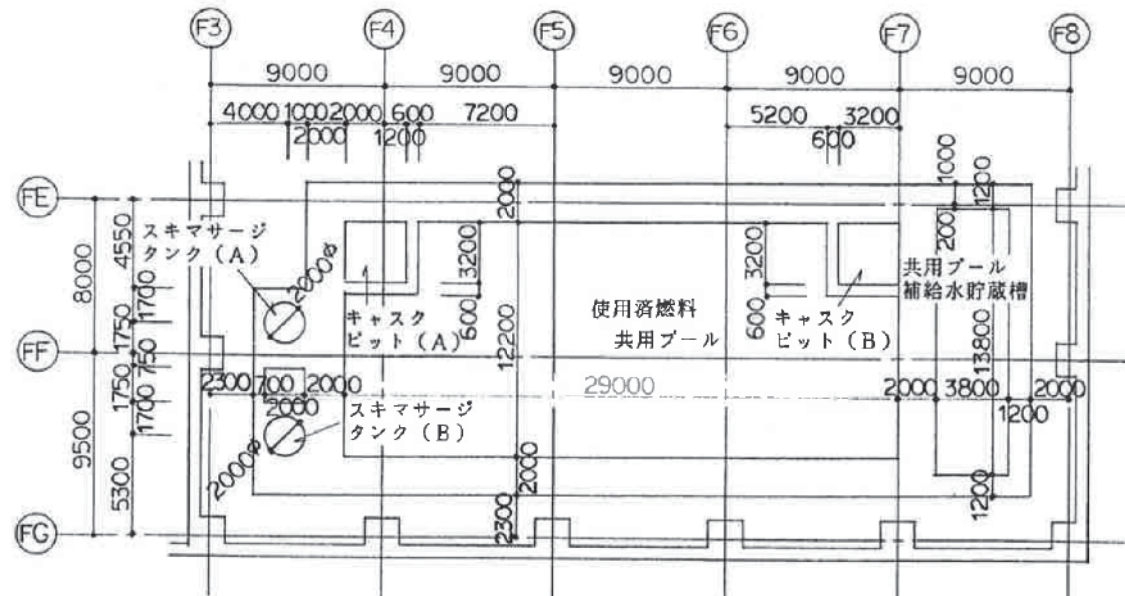
2. 使用済燃料共用プール躯体の耐震安全性評価

2.1 解析評価方針

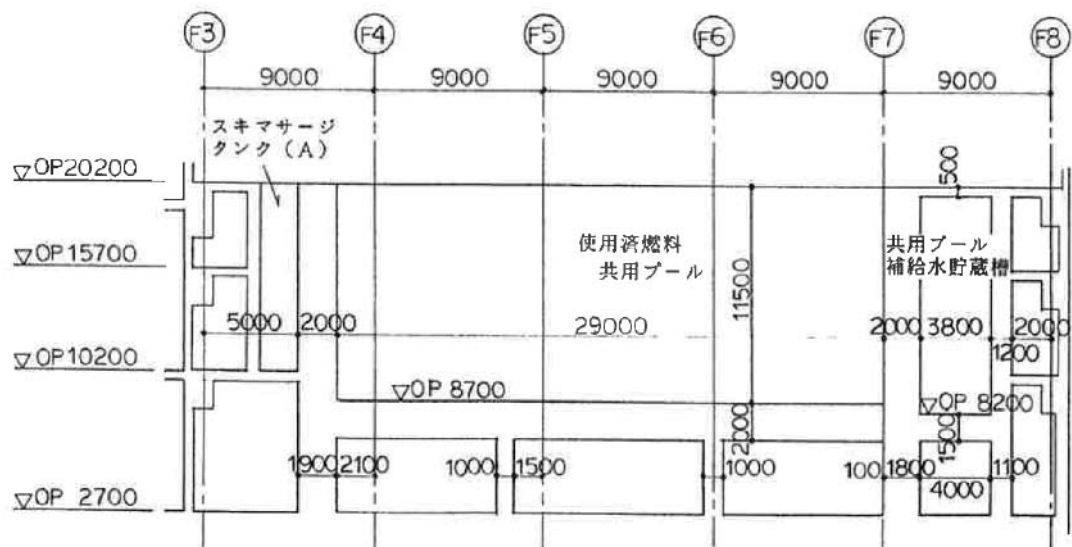
本検討では、使用済燃料共用プール躯体（以下、共用プール）の耐震安全性を3次元FEMモデルによって評価する。

共用プールの構造概要を図2.1に示す。

耐震安全性評価は、図2.2のフローに示すように以下の手順で行う。



(平面)



(断面)

(単位：mm)

図 2.1 共用プール概要図

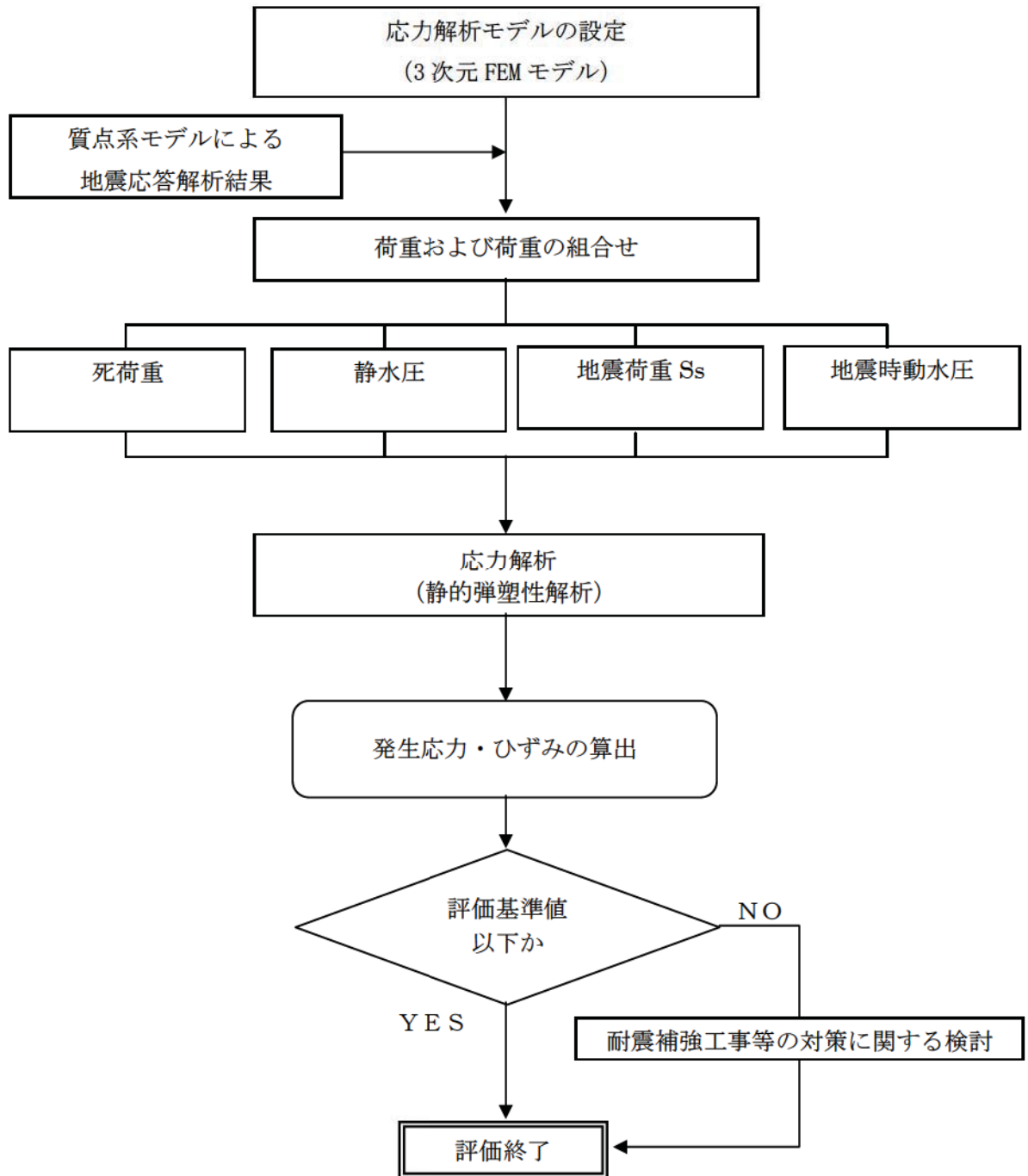


図 2.2 共用プールの耐震安全性評価フロー

2.2 応力解析モデルの設定

鉄筋コンクリート部材の塑性化を考慮した静的弾塑性解析を実施し、共用プール部に発生する応力およびひずみを算定する。解析モデルは、共用プール部分を切り出した 3 次元 FEM モデルとする。

解析モデルに使用する板要素は、鉄筋層をモデル化した異方性材料による積層シェル要素を用いた。各要素には、板の軸力と曲げ応力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮した。使用計算機コードは「ABAQUS」である。

図 2.3 に解析モデル概要図を、図 2.4 にコンクリートと鉄筋の構成則を、図 2.5 に解析モデルの境界条件を示す。

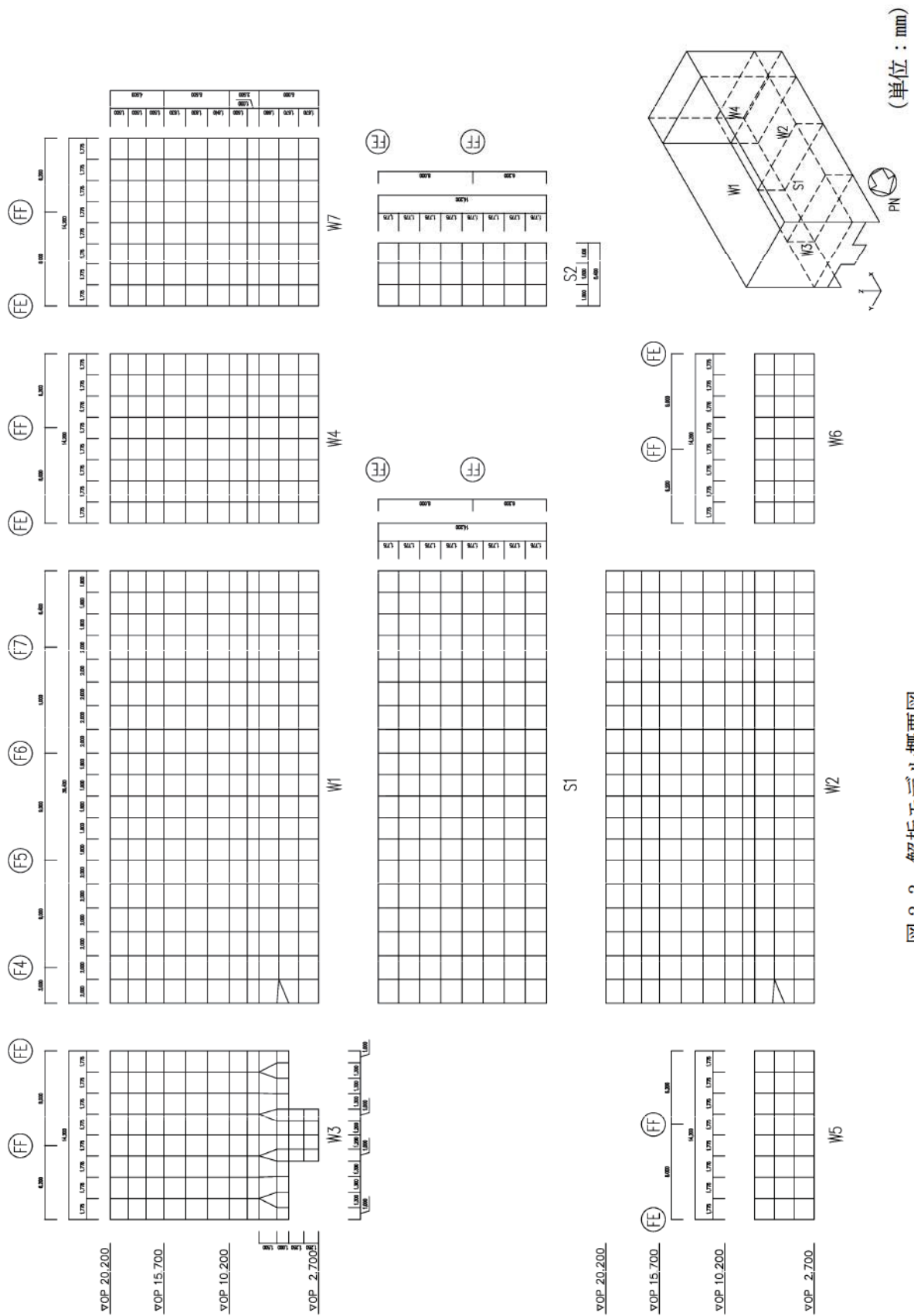
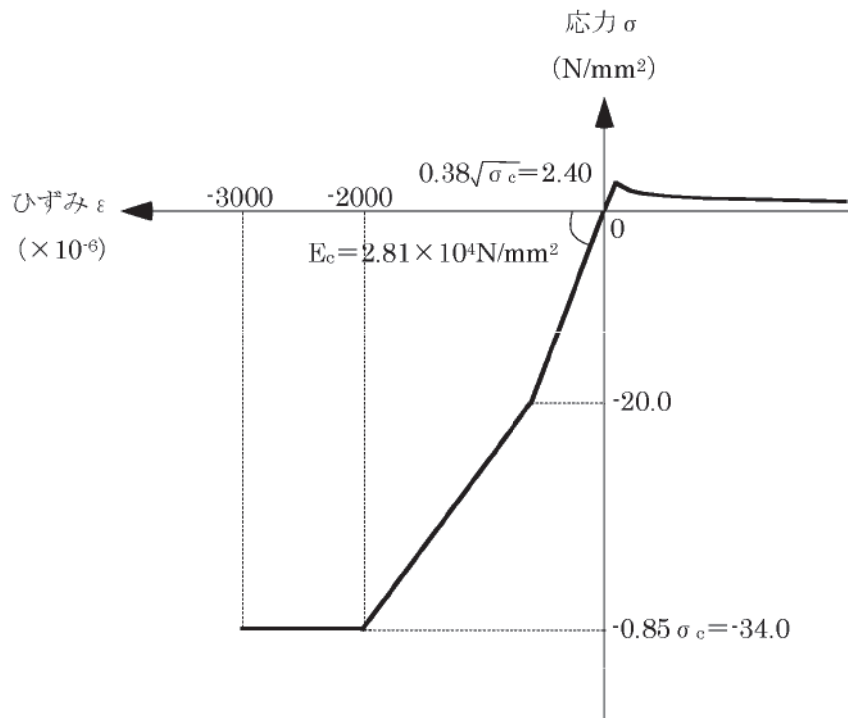
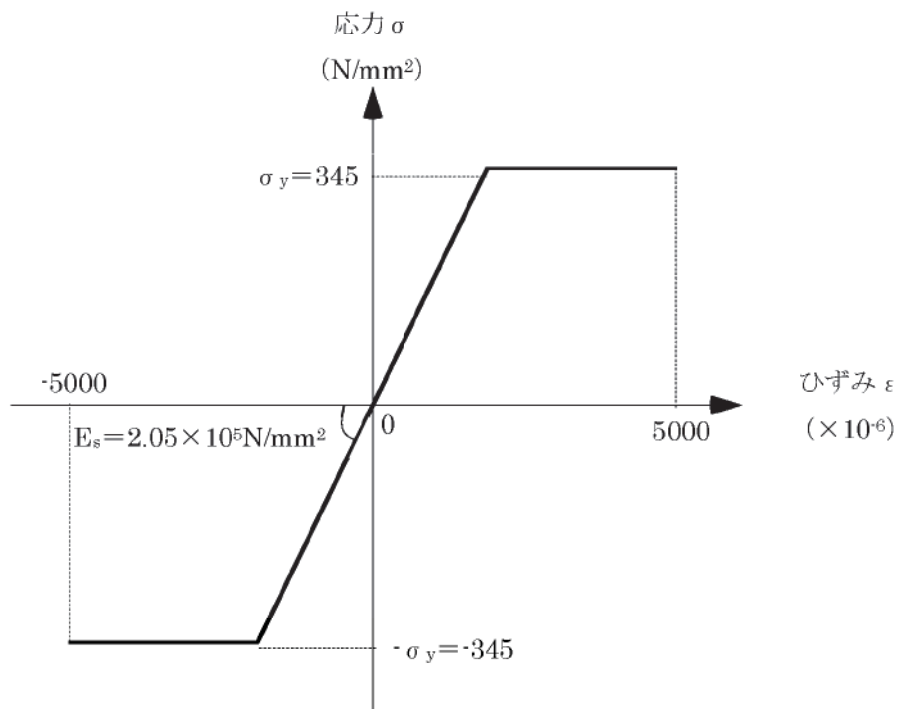


図 2.3 解析モデル概要図



(a) コンクリートの応力-ひずみ関係 (コンクリート強度 $\sigma_c = 40$ N/mm²)



(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係 (鉄筋降伏点 $\sigma_y = 345$ N/mm²)

図 2.4 コンクリートと鉄筋の構成則

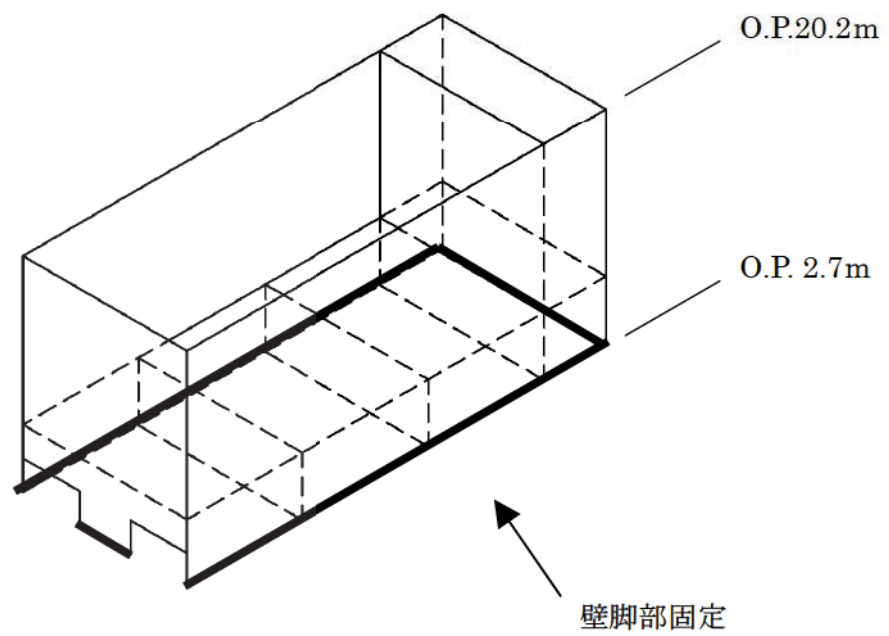


図 2.5 解析モデルの境界条件

2.3 荷重および荷重の組合せ

(1) 死荷重

解析モデルに付与する死荷重は、モデル化範囲の建屋躯体の自重に加え、機器・配管・その他の共用プールに直接取りつく大梁、小梁、床スラブ、間仕切壁の自重も考慮する。

(2) 静水圧

共用プールが満水状態にあると仮定した場合の静水圧を考慮する。

(3) 地震荷重

「1. 耐震壁の耐震安全性評価」の質点系モデルによる基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果に基づき、水平方向および鉛直方向の地震荷重を設定する。

(4) 地震時動水圧

共用プールが満水状態にあると仮定した場合の動水圧を考慮する。

(5) 荷重の組合せ

表 2.1 に荷重の組合せを示す。なお、水平方向および鉛直方向の地震の組合せは、組合せ係数法（組合せ係数 0.4）により評価する。

表 2.1 荷重の組合せ

荷重時名称	荷重の組合せ
S_s 地震時	$DL + H + K + KH$

ここに、 DL：死荷重、 H：静水圧、 K：地震荷重（基準地震動 S_s ）、
KH：地震時動水圧

2.4 評価結果

配筋諸元等に基づき共用プールの構造検討を行い、耐震安全性を評価する。評価においては、応力解析より求まる発生応力およびひずみが、評価基準値を超えないことを確認する。評価基準値は、日本機械学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（2011）」等に基づき設定する。表 2.2 に評価対象毎に定められた評価基準値を示す。

評価基準値に対する発生ひずみ、発生応力の比（検定比）を図 2.6～図 2.11 に示す。また、各評価項目について検定比が最大になる要素について発生値、評価基準値、及び検定比を図中に示す。

いずれの箇所においても発生応力およびひずみは評価基準値を下回り（検定比が 1 以下）、共用プールは基準地震動 S_s に対する耐震安全性が確保されている。

図 2.6～図 2.11 に用いる記号の説明

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$: 各方向のひずみ（コンクリート：圧縮，鉄筋：圧縮及び引張）

ε_a : ひずみの評価基準値

※ひずみは全て引張側を正として表記

Q_x, Q_y : 各方向の面外せん断力

Q_a : 面外せん断力の評価基準値

表 2.2 評価対象毎に定められた評価基準値

評価対象	評価基準値
コンクリートのひずみ	-3000×10^{-6}
鉄筋のひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$
壁部および床部の面外せん断力	上述の規格に基づく許容面外せん断力

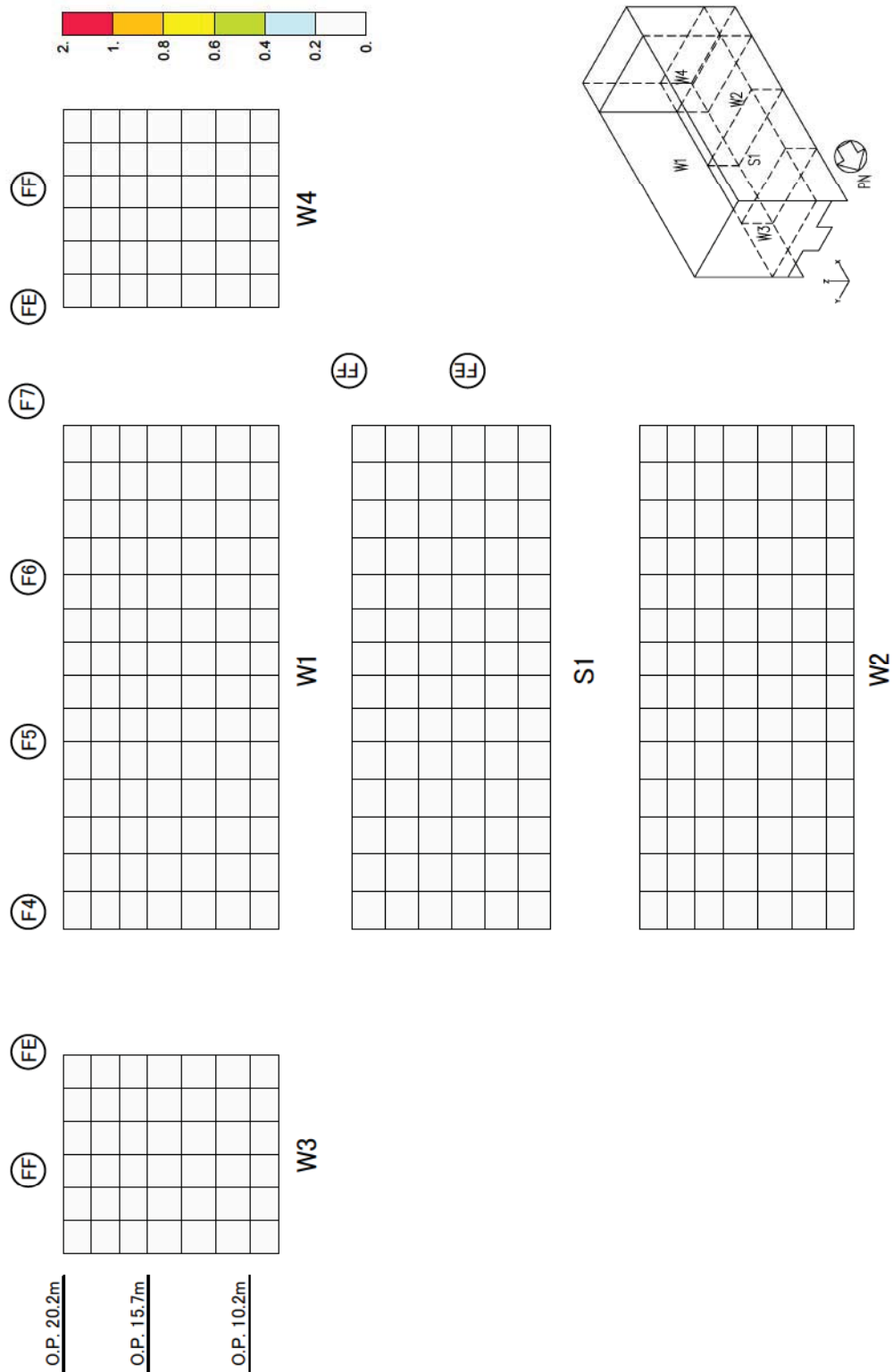


図 2.6 断面算定結果 コンクリートのひずみ 検定比コンタ一図 $\epsilon x / \epsilon a$ (壁：水平方向，床：南北方向)

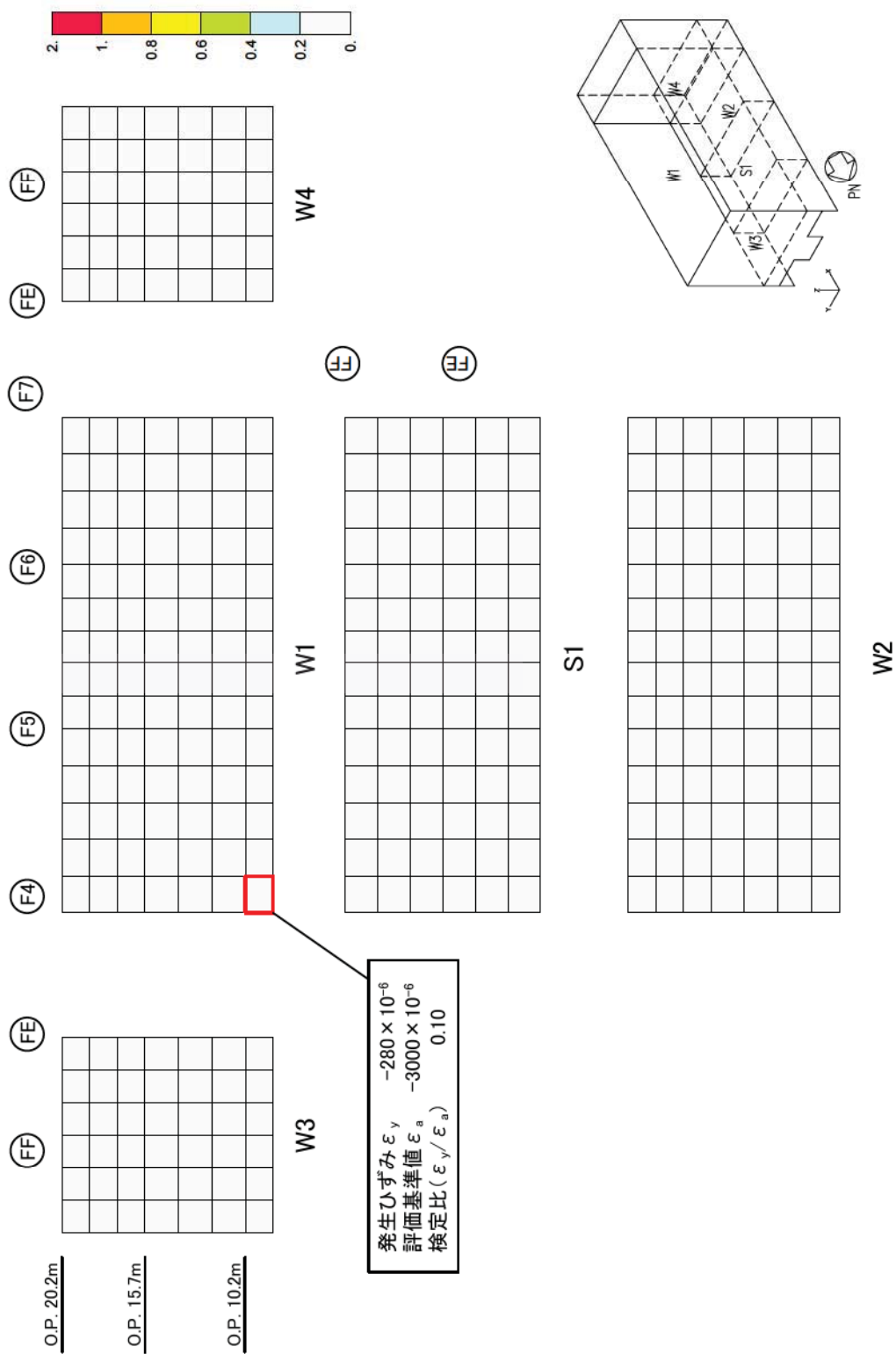
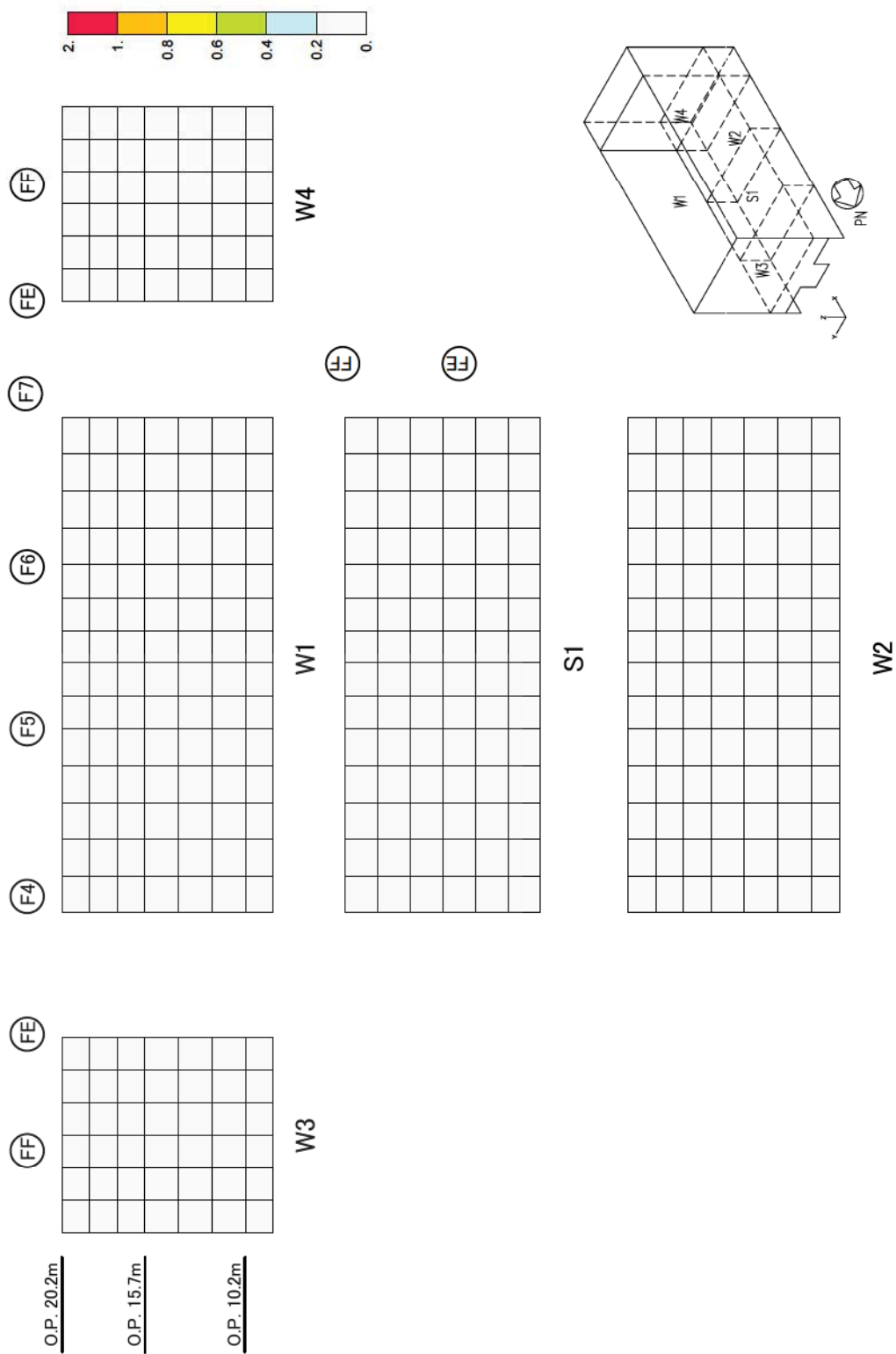


図 2.7 断面算定結果 コンクリートのひずみ 検定比コンタ—図 $\varepsilon_y / \varepsilon_a$ (壁：鉛直方向，床：東西方向)



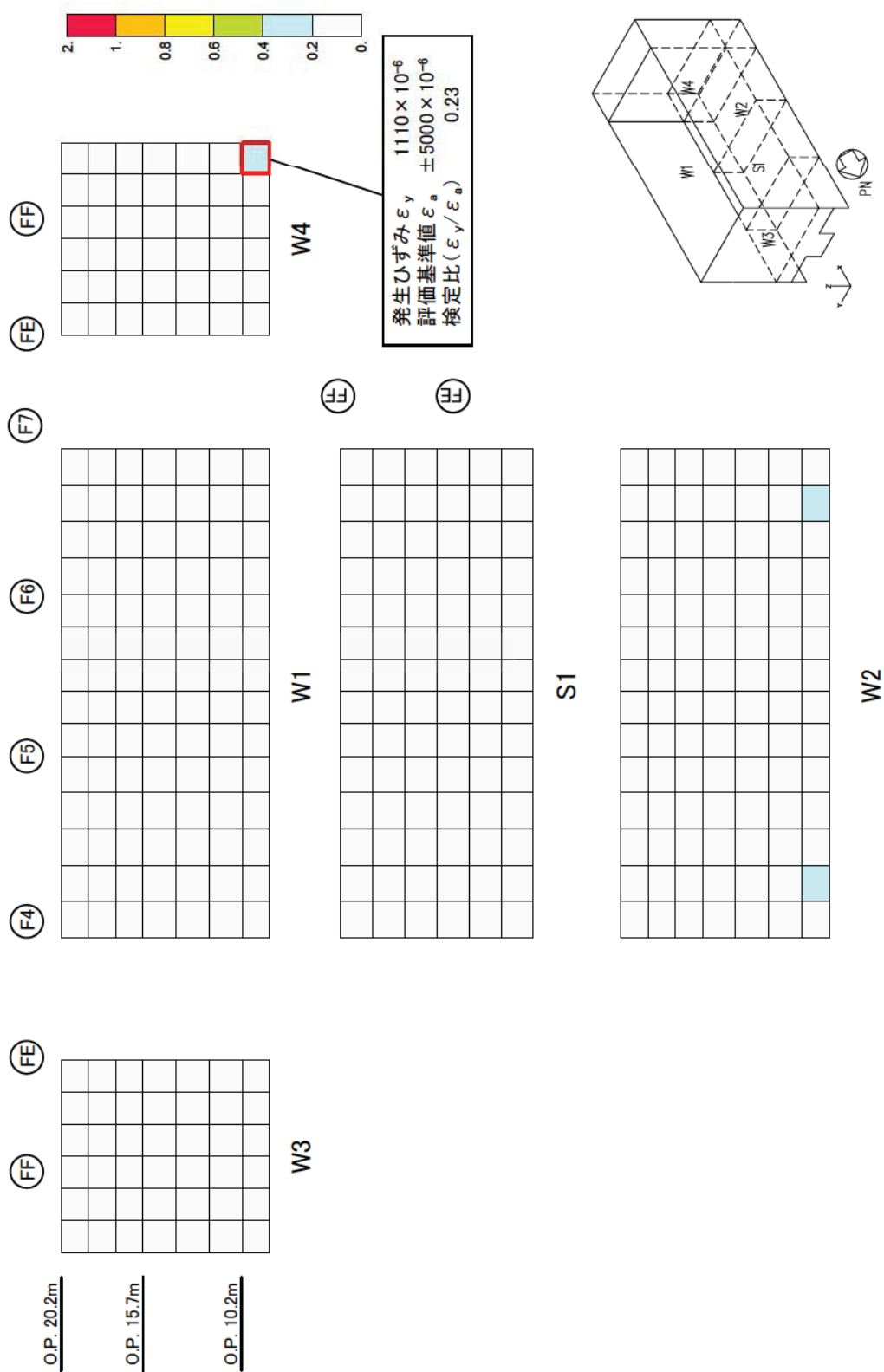


図 2.9 断面算定結果 鉄筋のひずみ 検定比コンタ―図 ϵ_y / ϵ_a (壁：鉛直方向，床東西方向)

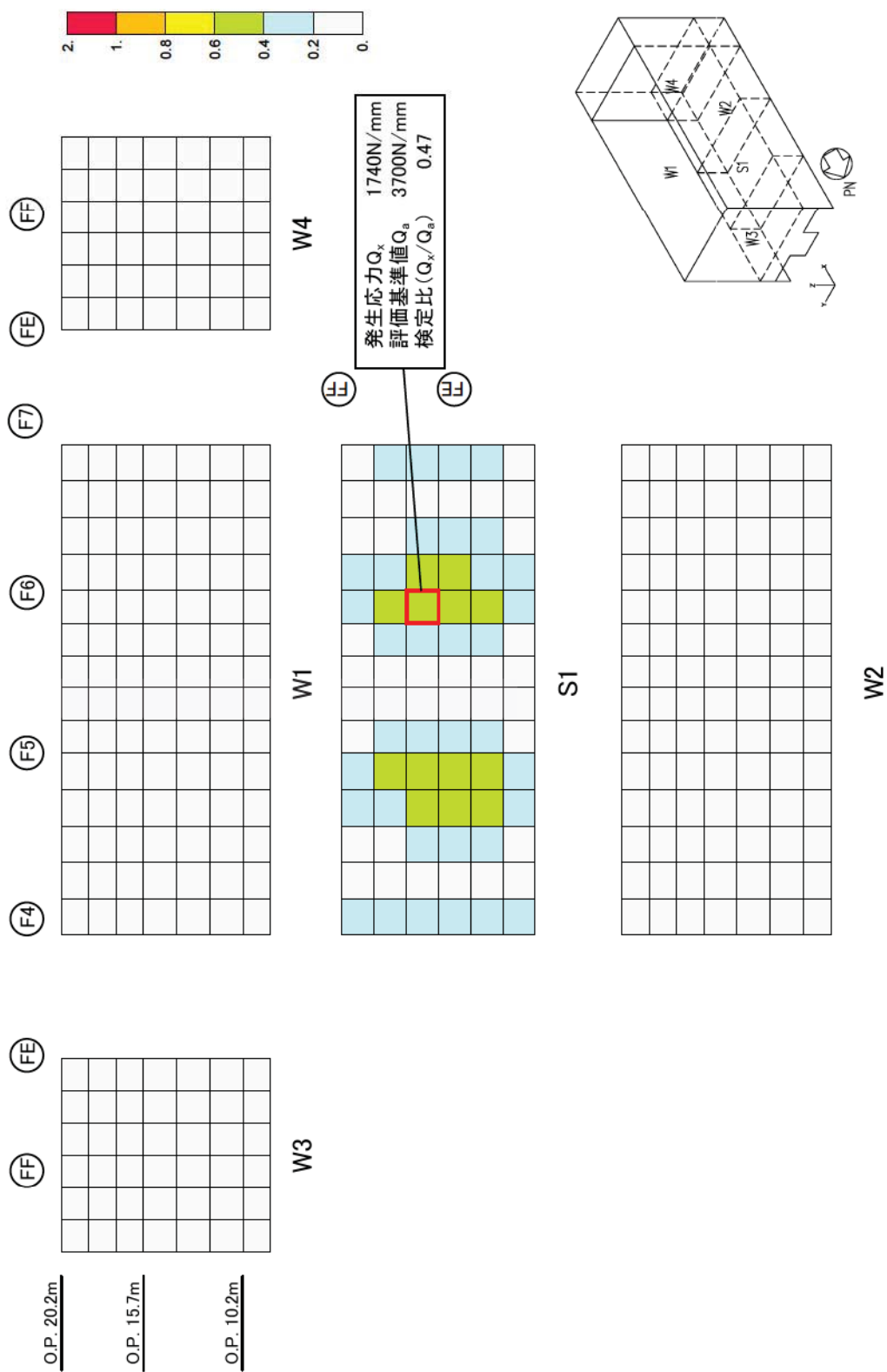


図 2.10 断面算定結果 面外せん断力 検定比コンター図 Q_x/Q_a (壁：水平方向, 床：南北方向)

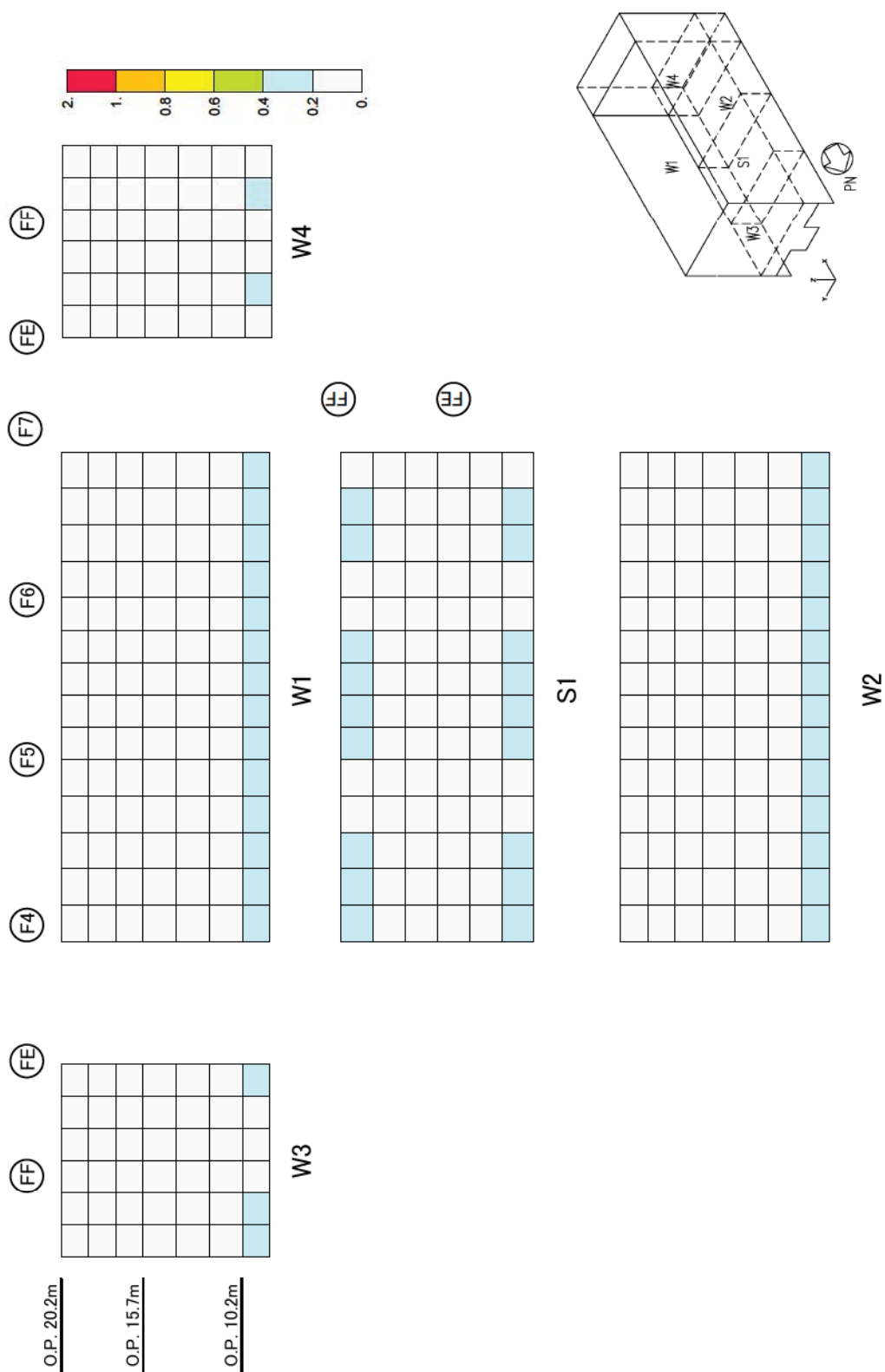


図 2.11 断面算定結果 面外せん断力 検定比コンタター図 Q_y/Q_a (壁：鉛直方向，床：東西方向)

3. 別添

- 別添－1 福島第一原子力発電所 運用補助共用施設共用プール棟 耐震壁の耐震安全性
評価について（東京電力株式会社，平成25年2月21日，特定原子力施設
監視・評価検討会（第4回）資料3－2）

特定原子力施設監視・
評価検討会(第4回)
資料3-2
(第3回資料3-2を再配布)

福島第一原子力発電所 運用補助共用施設共用プール棟 耐震壁の耐震安全性評価について

平成25年2月21日
東京電力株式会社



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

1. 評価方針
 2. 地震応答解析
 3. 耐震壁の耐震安全性評価
 4. コメント回答
- ・ 参考資料



無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

1

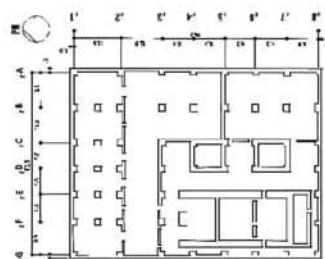
1. 評価方針

運用補助共用施設共用プール棟（以下、PL/Bという）は、Sクラス設備（使用済燃料共用プール、キャスクピット、使用済燃料貯蔵ラック）の間接支持構造物として機能保持させることとする。

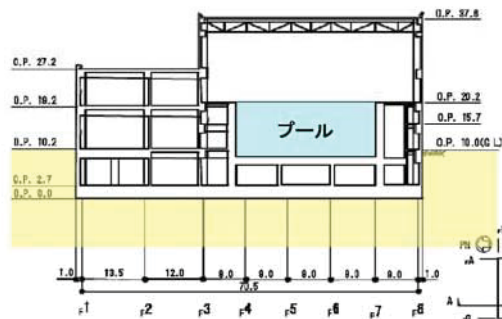
PL/Bの耐震壁は、機能保持限界における許容限界ひずみ 2×10^{-3} を評価基準値とする。

2. 地震応答解析 (1) PL/Bの概要

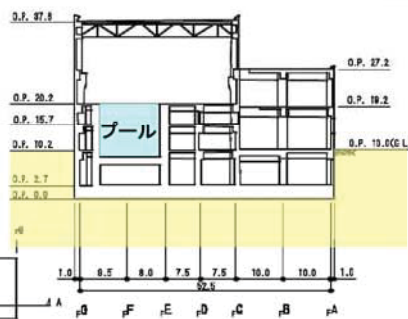
構 造：鉄筋コンクリート造
（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）
階 数：地上3階、地下1階
基 礎：厚さ2.7mのべた基礎で、泥岩盤上に設置
平面形状：72.5m（NS方向）×54.5m（EW方向）
高 さ：基礎版底面から37.6m（地上高さ27.6m）



平面図

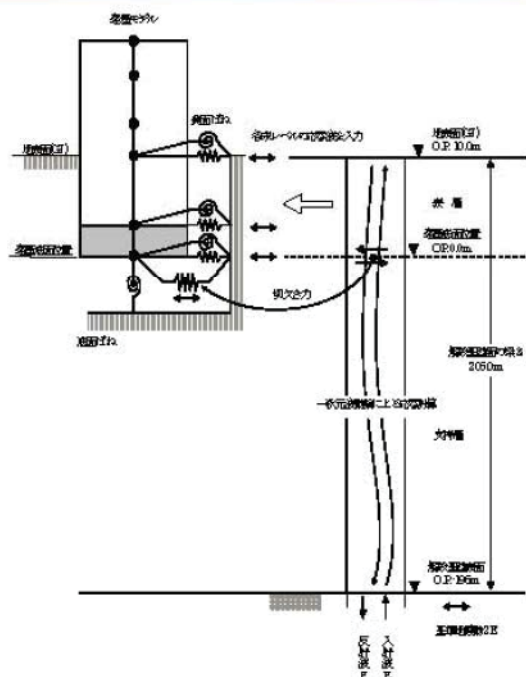


断面図 (NS方向)



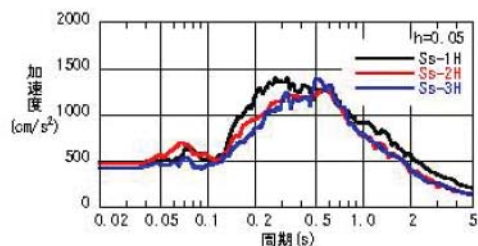
断面図 (EW方向)

2. 地震応答解析 (2) 入力地震動の算定



PL/Bの水平方向の入力地震動については、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を入力として、解放基盤表面から地表面までの速度構造を成層と仮定した地盤モデルを用いた一次元波動論による地震応答解析を行い、PL/B基礎底面位置及び側面ばね位置での地震動を入力地震動とした。

建屋基礎底面位置におけるせん断力（切欠き力）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した。



入力地震動の応答スペクトル（基礎底面E+F）

入力地震動の概念図（水平方向）

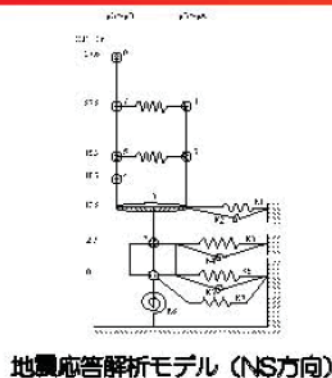


東京電力

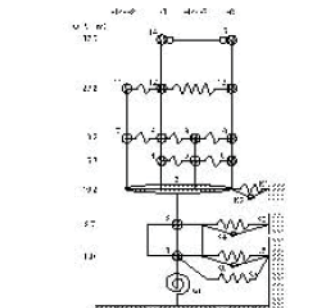
無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

4

2. 地震応答解析 (3) 地震応答解析モデル



地震応答解析モデル（NS方向）



地震応答解析モデル（EW方向）

- 多質点系モデル
 - ・建屋と底面・側面地盤との相互作用を考慮
 - ・耐震壁のせん断剛性と曲げ剛性を考慮
- 地盤ばね
 - ・建屋底面地盤ばね（水平・回転）は、JEAG4601-1991による振動アドミタンス理論に基づく近似ばね
 - ・建屋側面地盤ばね（水平・回転）は、JEAG4601-1991によるNOVAKの手法に基づく近似ばね
- 建屋耐震壁のモデル化
 - ・せん断および曲げとも非線形性を考慮
- 材料特性
 - ・コンクリート実強度（40N/mm²）を採用
- 建屋の減衰
 - ・5%（コンクリート部）
- 固有周期（ S_s-1 ）
 - ・NS方向（1次：0.289s 2次：0.154s）
 - ・EW方向（1次：0.298s 2次：0.155s）

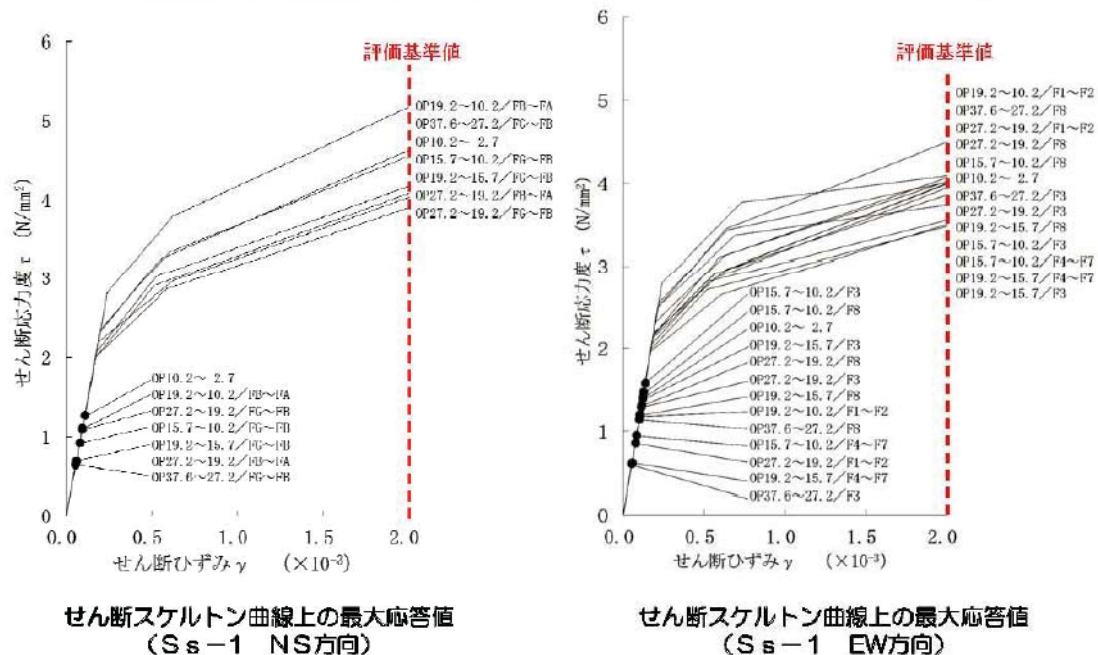


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

5

3.耐震壁の耐震安全性評価



耐震壁の最大応答せん断ひずみは、最大で 0.14×10^{-3} (Ss-1, EW方向, 1階)であり、評価基準値 (2.0×10^{-3}) を満たすことを確認した。



東京電力

振断破壊・転倒禁止 東京電力株式会社

6

4. コメント回答

①地震応答解析モデル及び耐震安全性評価への、平成23年3月11日以降の地震、津波等による影響について



3階 (オベフロ) (撮影日: 平成24年12月9日)



2階 (撮影日: 平成24年12月9日)



1階 (撮影日: 平成24年12月9日)



地下1階 (撮影日: 平成24年12月9日)



目視点検 (実施期間: 平成23年12月5日～平成24年4月26日) の結果^{*}、プール壁には、平成21年度調査後に発生したひび割れは見られず、一般壁で最大幅0.5mm、一般床で最大幅0.9mmのひび割れが新たに確認されたものの、躯体の健全性を損なうひび割れは見られなかった。

^{*}点検はマニュアルに基づき目視可能な範囲において、幅0.3mm以上のひび割れを記録し、1mm以上のひび割れを要補修としている。



東京電力

振断破壊・転倒禁止 東京電力株式会社

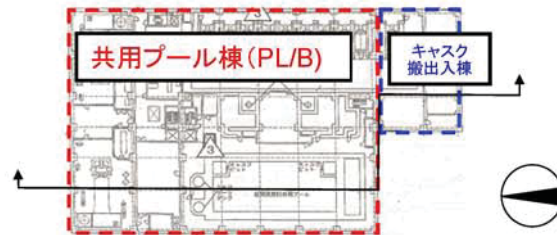
7

4. コメント回答

②地震応答解析モデルへの地盤による埋め込み効果の適用性について



共用プール棟 (PL/B) ・ガスク搬出入棟 NS方向断面図



共用プール棟 (PL/B) ・ガスク搬出入棟 平面図

⇒ JEAC4601-2008では、地下部分の大部分（3面または面積で75%以上）が周辺地盤と接している場合には全面埋込みと同様な埋込み効果が期待できるものとしている。
よって、上図に示すようにPL/Bにおいては地下部分の3面以上が周辺地盤と接しており、埋め込み効果が期待できるものとして、NOVAKの方法による側面ばねを考慮している。

4. コメント回答

③地震応答解析モデルへの基準地震動 S_s に対する建屋の接地率について

接地率

単位 (%)

	S_s-1	S_s-2	S_s-3
NS方向	100	100	100
EW方向	100	100	100

⇒ 基礎浮上り非線形性を考慮した地震応答解析の適用条件とされている「接地率65%以上」をいずれも満足する。

4. コメント回答

④コンクリートの実強度の適用性について

鉄筋コンクリートの物性値

コンクリート	強度*1 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	単位体積重量*2 γ (kN/m ³)
	40.0	2.81×10 ⁴	1.17×10 ⁴	0.2	24.5
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

PL/Bの圧縮強度試験データ分析結果

設計基準強度		23.5 N/mm ²
平均圧縮強度*1 (調査年:平成 17年)	1階外壁	53.6 N/mm ² (3供試体の平均)
	1階内壁	46.9 N/mm ² (3供試体の平均)
解析採用値		<u>40.0 N/mm²</u>

*1 福島第一原子力発電所第4号機 高経年化技術評価報告書
(平成19年10月、東京電力株式会社)

*1: RC造部の剛性を評価する際に用いるコンクリート強度は、PL/Bの圧縮強度試験の平均値を小さめに丸めた値を設定した。

*2: 鉄筋コンクリートの値を示す。



東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

10

【 参考資料】

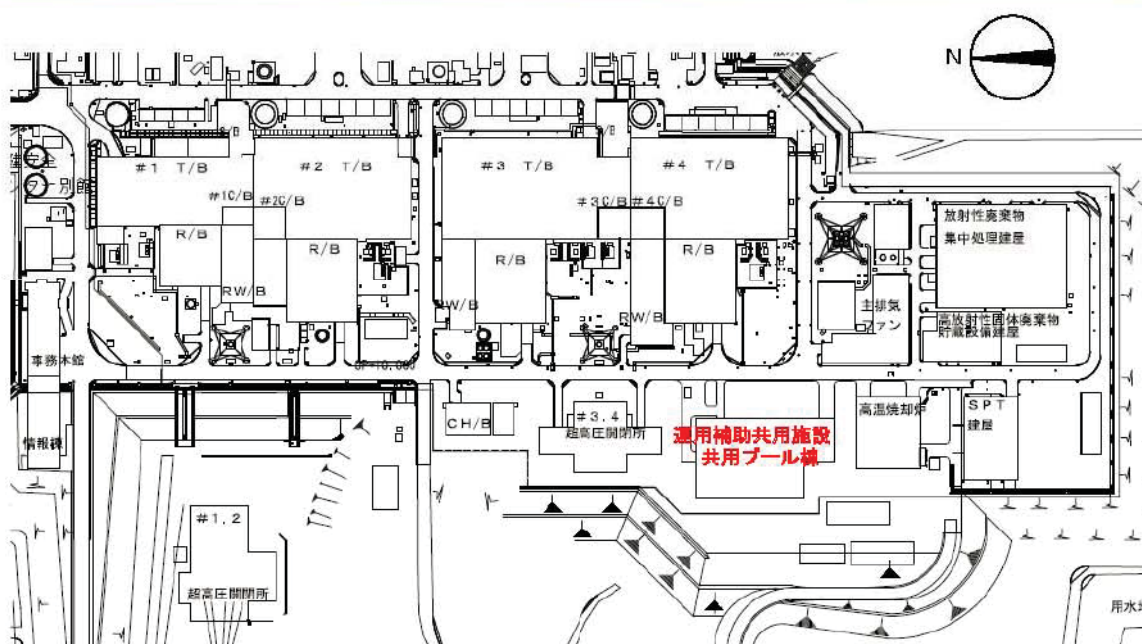


東京電力

無断複製・転載禁止 東京電力株式会社

11

PL/Bの配置



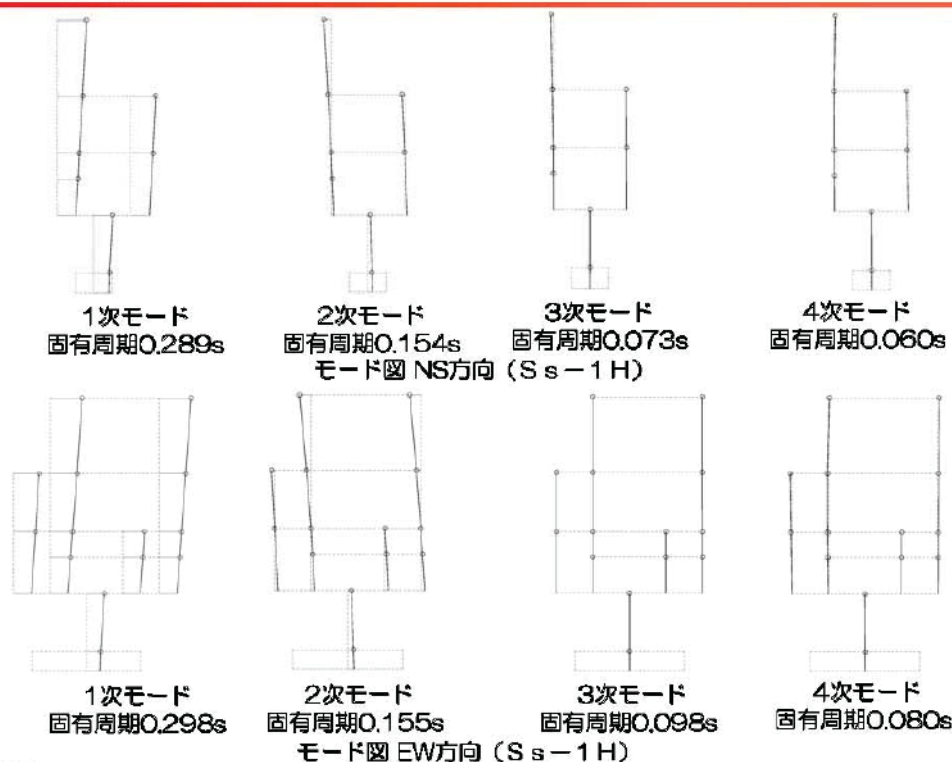
地盤定数

地盤モデル及び物性値については、PL/B付近の地盤の調査結果に基づき、せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した等価線形解析により、基準地震動Ss-1、Ss-2及びSs-3のそれぞれについて個別に設定した。

地盤定数

標高 O.P. (m)	地質	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体 積重量 γ (kN/m ³)	ポア ソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0			せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)			ヤング 係数 E ($\times 10^5$ kN/m ²)			減衰 定数 h (%)			層厚 H (m)
						Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-1	Ss-2	Ss-3	
10.0	砂岩	380	17.8	0.473	2.62	0.85	0.85	0.87	2.25	2.25	2.28	6.53	6.53	6.72	3	3	3	7.3
5.7		450	16.5	0.464	3.41	0.79	0.81	0.78	2.59	2.76	2.66	7.88	8.08	7.79	3	3	3	12.7
-10.0		500	17.1	0.455	4.36				3.44	3.53	3.40	10.01	10.27	9.89				70.0
-80.0		550	17.6	0.446	5.53				4.45	4.55	4.39	12.87	13.19	12.70				28.0
-108.0		500	17.8	0.442	5.53				5.15	5.29	5.09	14.88	15.25	14.58				88.0
-196.0		700	18.5	0.421	9.24	1.00	1.00	1.00	9.24	9.24	9.24	25.25	25.25	25.25	-	-	-	-

固有値解析結果



東京電力

知照複製・転載禁止 東京電力株式会社

16

固有値解析結果

固有値（固有周期、固有振動数）
および刺激係数（水平方向、NS方向）

(Ss-1H)

次数	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.289	3.45	1.367	建屋-地盤連成系1次
2	0.154	6.50	-0.323	
3	0.073	13.64	-0.104	
4	0.060	16.74	-0.108	
5	0.050	19.81	0.047	

(Ss-2H)

次数	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.286	3.49	1.371	建屋-地盤連成系1次
2	0.152	6.56	-0.327	
3	0.073	13.65	-0.105	
4	0.060	16.74	-0.111	
5	0.050	19.82	0.048	

(Ss-3H)

次数	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.291	3.44	1.366	建屋-地盤連成系1次
2	0.155	6.47	-0.322	
3	0.073	13.63	-0.103	
4	0.060	16.74	-0.107	
5	0.050	19.81	0.047	

固有値（固有周期、固有振動数）
および刺激係数（水平方向、EW方向）

(Ss-1H)

次数	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.298	3.36	1.498	建屋-地盤連成系1次
2	0.155	6.44	-0.525	
3	0.098	10.16	-0.004	
4	0.080	12.44	-0.075	
5	0.076	13.13	-0.031	

(Ss-2H)

次数	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.295	3.39	1.503	建屋-地盤連成系1次
2	0.154	6.50	-0.522	
3	0.098	10.17	-0.003	
4	0.080	12.45	-0.078	
5	0.076	13.14	-0.031	

(Ss-3H)

次数	固有周期 (sec)	固有振動数 (Hz)	刺激係数	備考
1	0.299	3.34	1.497	建屋-地盤連成系1次
2	0.155	6.42	-0.522	
3	0.098	10.15	-0.004	
4	0.080	12.43	-0.074	
5	0.076	13.13	-0.031	

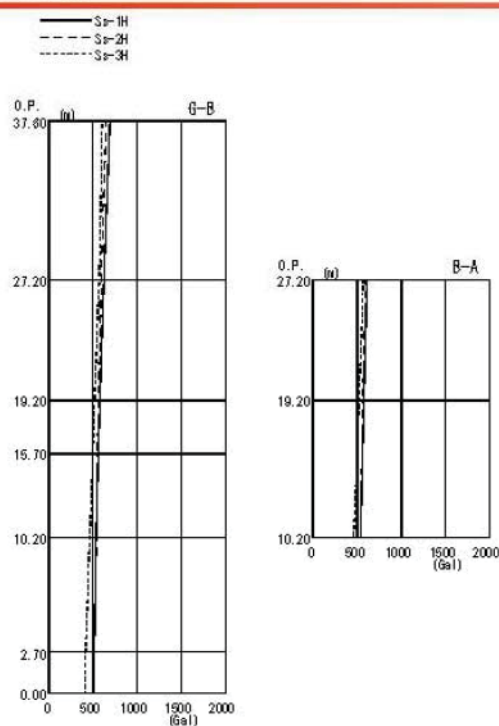


東京電力

知照複製・転載禁止 東京電力株式会社

17

地震応答解析結果



東京電力

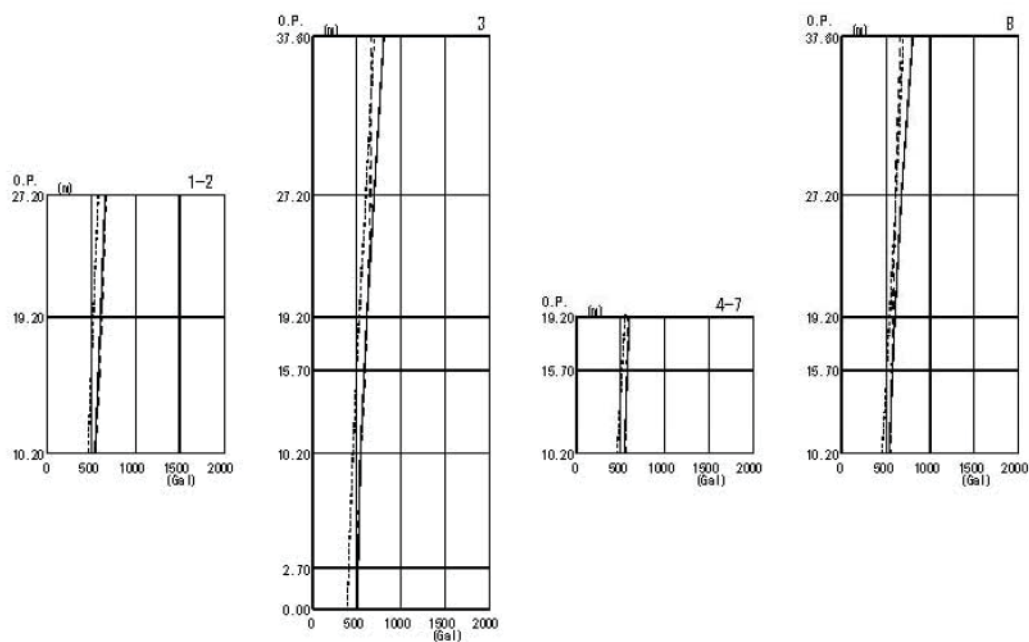
最大応答加速度 (NS方向)

無所複製・転載禁止 東京電力株式会社

18

地震応答解析結果

— S_y-1H
--- S_y-2H
- - - S_y-3H



東京電力

最大応答加速度 (EW方向)

無所複製・転載禁止 東京電力株式会社

19

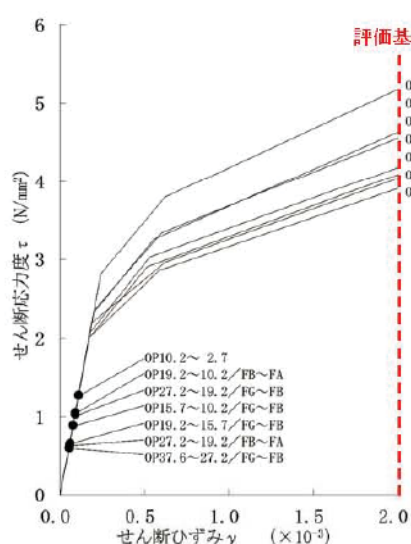
耐震壁の耐震安全性評価

耐震安全性の評価は、基準地震動 S_s による各層の鉄筋コンクリート耐震壁の最大応答せん断ひずみが評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認する。
地震応答解析から得られる最大せん断応答ひずみを示す。

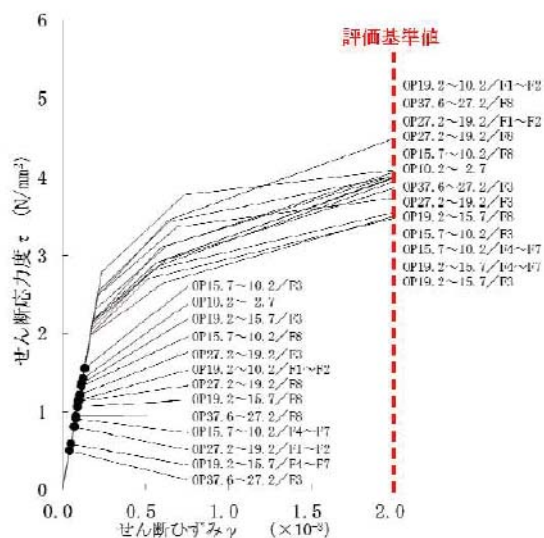
耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧

基準地震動 S_s	NS方向		EW方向	
	最大応答せん断ひずみ	部位	最大応答せん断ひずみ	部位
S_s-1	0.11×10^{-3}	地下1階	0.14×10^{-3}	1階
S_s-2	0.11×10^{-3}	地下1階	0.14×10^{-3}	1階
S_s-3	0.10×10^{-3}	地下1階	0.12×10^{-3}	1階

耐震壁の耐震安全性評価

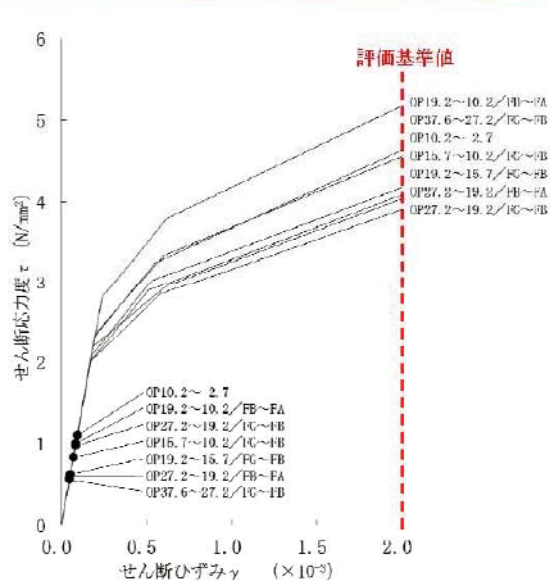
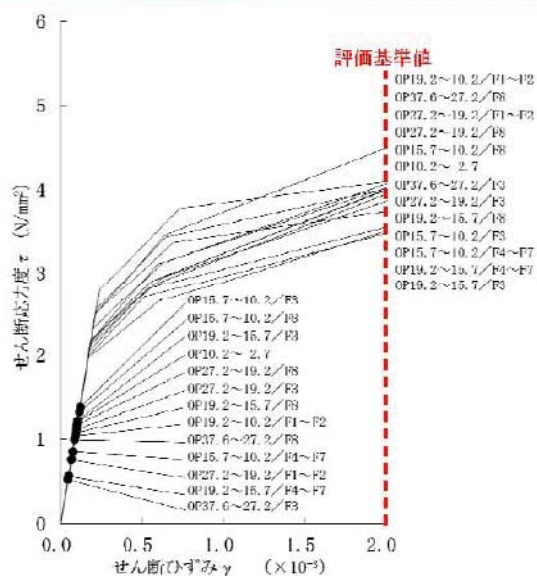


せん断スkeleton曲線上の最大応答値
(S_s-2 NS方向)



せん断スkeleton曲線上の最大応答値
(S_s-2 EW方向)

耐震壁の耐震安全性評価

せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(Ss-3 NS方向)

せん断スケルトン曲線上の最大応答値
(S s-3 EW方向)

共用プール冷却機能の喪失評価

1. 原因

共用プール冷却中に、ポンプの故障や地震・津波等の原因により共用プールの冷却機能が喪失し、共用プール水の温度が上昇すると共に共用プール水位が低下する。

2. 対策及び保護機能

- (1) 待機ポンプ（今後、待機ポンプを1台復旧する）を起動させる。
- (2) 冷却機能喪失後、共用プールの冷却機能の復旧に長時間を要する場合は、共用プール補給水系により共用プール水の補給を行い、プール水位の異常な低下を防止する。
- (3) 地震・津波等により電源喪失が発生し、共用プールの冷却機能が停止し、電源喪失の復旧に長時間を要する場合は、予め免震重要棟西側(OP. 36, 900)に待機している消防車の配備を行い、直接プールに注水を行うことにより、プール水位の異常な低下を防止する。

3. 評価条件及び評価結果

(1) 評価条件

- ・ 保守的に、使用済燃料から発生する崩壊熱は全て共用プール水の温度上昇及び共用プール水の蒸発に寄与するものとし、外部への放熱は考慮しないものとする。
- ・ 共用プール水の初期温度は52℃とする。
- ・ 共用プール初期水位はオーバーフロー水位付近(有効燃料頂部+約7.2m)とする。
- ・ 共用プールに貯蔵されている使用済燃料は、1～6号機の使用済燃料プール燃料及び5,6号機の炉心燃料の受け入れに必要な体数を取り出す予定であるが、ORIGEN2を用いた崩壊熱の評価に当たっては、保守的に共用プールからの燃料取出しによる崩壊熱の減少は考慮しない。
- ・ 平成25年1月に5,6号機使用済燃料プールの燃料取り出し、同年4月に5,6号機炉心燃料の取り出し、同年11月に4号機使用済燃料プールの燃料取り出し、平成27年1月に3号機使用済燃料プールの燃料取り出し、平成28年1月に1,2号使用済燃料プールの燃料取り出しが開始され、即時全ての燃料が共用プールに移送されると仮定して、使用済燃料から発生する崩壊熱を評価した。評価結果を表1に示す。(実際の取り出し時期は確定していないため、取り出し時期が早まり、評価条件を超える場合は再評価を行う)

表 1 使用済燃料から発生する崩壊熱

評価時期	(1) 共用 プール既 存燃料の 崩壊熱 (MW)	(2) 1, 2 号機 SFP ※燃料の 崩壊熱 (MW)	(3) 3 号 機 SFP※ 燃料の 崩壊熱 (MW)	(3) 4 号 機 SFP※ 燃料の 崩壊熱 (MW)	(4) 5, 6 号機 SFP ※燃料の 崩壊熱 (MW)	(5) 5, 6 号機 炉 心燃料 の崩壊 熱 (MW)	共用プ ールで 考慮す る発熱 量 (MW)
平成 24 年 12 月	1.06	—	—	—	—	—	1.06
平成 25 年 1 月	1.06	—	—	—	0.80	—	1.86
平成 25 年 4 月	1.05	—	—	—	0.76	0.50	2.31
平成 25 年 11 月	1.03	—	—	0.51	0.69	0.40	2.62
平成 27 年 1 月	1.00	—	0.18	0.41	0.59	0.29	2.47
平成 28 年 1 月	0.98	0.25	0.16	0.36	0.54	0.24	2.53

(※SFP:使用済燃料プール)

(2) 評価結果

共用プール水位が有効燃料頂部+2m に至るまで：約 20 日

4. 判断基準への適合性の検討

本事象に対する判断基準は、「使用済燃料から発生する崩壊熱を確実に除去できること」である。

共用プールの冷却機能が喪失した後、共用プール水位が、水遮へいが有効とされる有効燃料頂部+2m に至るまでには、最短でも約 20 日の時間的余裕がある。なお、水遮へいの効果については「Ⅱ.2.12 添付資料—3」に示すとおりである。このことから、他に緊急度の高い復旧作業がある場合は、そちらを優先して実施することになるが、共用プールの冷却機能の復旧作業を、事前準備が整い次第、速やかに実施することで、共用プール冷却を再開する。また、共用プールの冷却機能の復旧作業に長時間を要する場合にも、共用プール補給水系または消防車※により共用プール水位を保つことは十分可能である。

以上より、共用プールの冷却機能が喪失した場合でも、使用済燃料の冠水は確保され、使用済燃料から発生する崩壊熱が確実に除去されることから、判断基準は満足される。

※：消防車による注水開始までの所要時間（目安）は、作業開始から約 3 時間。

燃料集合体の落下評価

1. 原因

共用プール内における使用済燃料の取扱い中に、何らかの原因で燃料集合体が落下し、放射性物質が放出される。

2. 対策及び保護機能

燃料集合体の落下を防止するため、次のような設計及び運転管理上の対策を講じる。

- (1) 燃料取扱装置は、燃料集合体の総重量を十分上回る重量に耐えることのできる強度に設計している。
- (2) 燃料つかみ機のワイヤを二重化している。
- (3) 燃料つかみ機は、圧縮空気が喪失した場合、燃料集合体が外れないフェイル・セーフ設計としている。
- (4) 燃料つかみ機が燃料集合体を確実につかんでいない場合には、吊り上げが出来ないようなインター・ロックを設けている。
- (5) 運転要領を十分整備し、よく訓練された監督者の直接指揮下で燃料取り扱い作業を行う運転管理体制とする。

3. 評価条件及び評価結果

設置許可申請書において、「共用プールにおける燃料集合体落下事象」は、「炉心上への燃料集合体の落下事象」と比較して、敷地境界外の実効線量は小さく、周辺公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはないと評価されている。

下表に、「炉心上への燃料集合体の落下事象」と「共用プールにおける燃料集合体落下事象」の評価条件と評価結果を示す。共用プールで取扱う使用済燃料は19ヶ月以上冷却された燃料であり、「炉心上への燃料集合体の落下事象」における冷却期間1日と比べて長いことからよう素及び希ガスは半減期に応じて減衰しており、また燃料集合体の落下高さの違いから破損燃料も少ない。したがって、大気中に放出される核分裂生成物の量は少なく、これによる敷地境界外の実効線量は、「炉心上への燃料集合体の落下事象」より小さい。

	原子炉建屋※	共用プール
燃料種類	9×9 燃料	9×9 燃料
落下場所	炉心	共用プール燃料ラック上
破損燃料体数	2.3 体	2 体
冷却期間	1 日	19 ヶ月
放出経路	スタック経由	地上放出
よう素 (I - 131 等価量) 大気放出量	$4.7 \times 10^{11} \text{Bq}$	$1.3 \times 10^7 \text{Bq}$
希ガス (γ 線実効エネルギー 0.5MeV 換算値) 大気放出量	$3.2 \times 10^{14} \text{Bq}$	$4.2 \times 10^{11} \text{Bq}$
敷地境界での被ばく量	0.068mSv	0.068mSv 以下

※：2～5 号機について記載。

4. 判断基準への適合性の検討

3. に示したとおり，周辺公衆に対し，著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

使用済燃料共用プール設備の耐震安全性について

1. 概要

使用済燃料共用プール設備の耐震性については、建設時の工事計画認可申請時に確認しているが、当該工事計画認可申請は、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改定（平成18年）以前におこなったものである。本項では、同指針に基づき策定された基準地震動 S_s に対して、使用済燃料共用プール設備の耐震性を検討した結果を示す。検討対象設備は耐震Sクラス設備である使用済燃料貯蔵ラック、耐震Sクラス設備に対する波及的影響を考慮すべき設備である燃料取扱装置、天井クレーンである。

2. 準拠基準等

本検討は、原則として下記に準拠して行う。

原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601・補-1984）

原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1987）

原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG 4601-1991 追補版）

原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC 4601-2008）

発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME S NC1-2005）

また、本検討に用いる設計時の図書は以下のとおり。

工事計画認可申請書（6資庁第2935号 平成6年4月27日認可）

工事計画届出書（総文発官5 第1218 号 平成6 年4 月13 日届出）

3. 使用済燃料貯蔵ラックに対する検討

使用済燃料共用プールに存在する3種類のラック各々に対して、設計時において評価に用いた S_2 地震動の震度と基準地震動 S_s の震度との応答比を算出し、設計時における S_2 地震動での応力評価値に乗じることにより、簡易評価を行う（応答倍率法）。応答倍率法の結果、評価が厳しい場合は詳細評価を実施する。

3.1 応答倍率法による検討

3.1.1 検討方法

表1に、各ラック1次モードの固有周期、 S_2 震度及び基準地震動 S_s の震度を示す。図1に、使用済燃料貯蔵ラックの評価床に対応するOP10.2mでの基準地震動 S_s の水平方向の床応答スペクトル図を示す。なお、設計時は使用済燃料貯蔵ラックは1%の減衰定数での床応答スペクトルを用いているが、ここでは過去に当社で実施した類似構造ラックの加振試験の結果を踏まえ、7%の減衰定数の床応答スペクトルを評価に用いた。また、鉛直方向はラック評価床OP10.2mでの基準地震動 S_s による最大加速度の1.2倍（1.2ZPA）を用いた。

表 1 より、応答比は最も震度の差異の大きい鉛直方向の比を採用することとし、基準地震動 S s の鉛直震度 0.49 を設計時の鉛直震度 0.23 で除することにより、2.13 と設定した。

表 1 使用済燃料貯蔵ラックの固有周期及び震度

機器		固有周期 (秒)	設計時の震度 (G)	S s 震度 (G)	応答比
使用済燃料 貯蔵ラック	その 1	水平 : 0.097	水平 : 0.82	水平 : 0.68	水平 : 0.83
		鉛直 : ー	鉛直 : 0.23	鉛直 : 0.49	鉛直 : 2.13
	その 2	水平 : 0.090	水平 : 0.73	水平 : 0.68	水平 : 0.94
		鉛直 : ー	鉛直 : 0.23	鉛直 : 0.49	鉛直 : 2.13
	その 3	水平 : 0.110	水平 : 1.23	水平 : 0.70	水平 : 0.57
		鉛直 : ー	鉛直 : 0.23	鉛直 : 0.49	鉛直 : 2.13

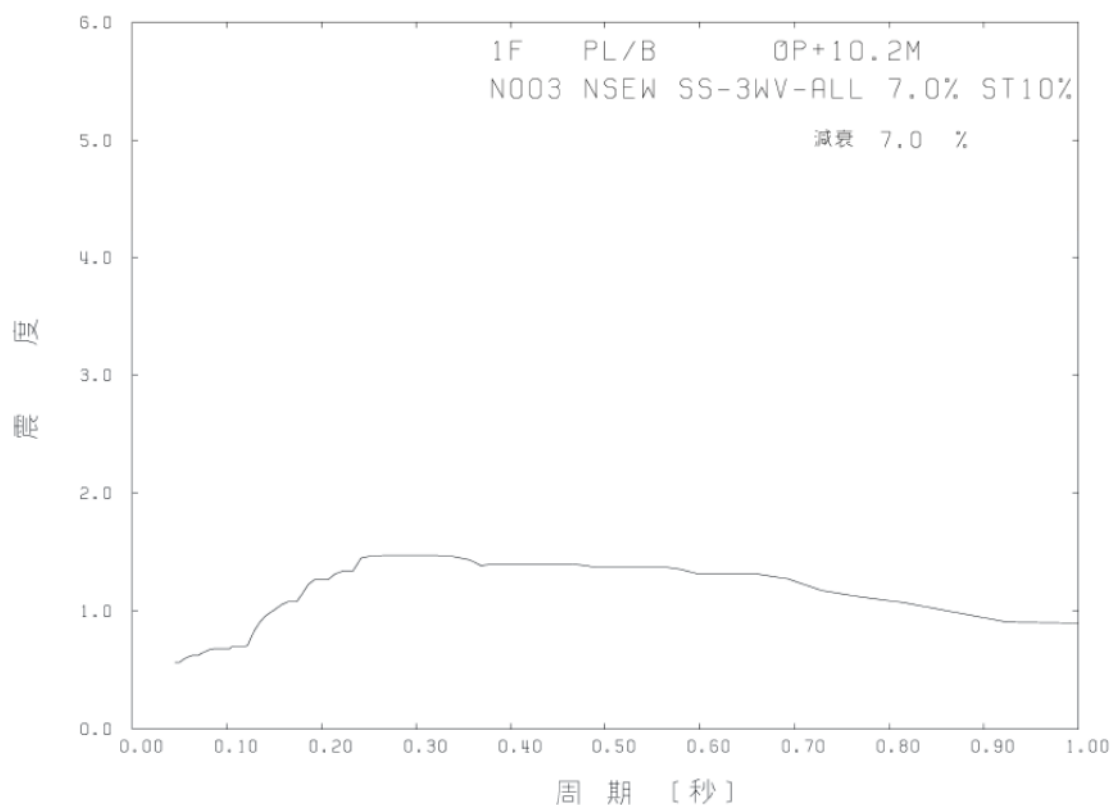


図 1 共用プールOP10.2mでの床応答スペクトル（水平方向）

3.1.2 検討結果

3.1.1で求めた応答比（2.13）を設計時の応力評価値に乗じた結果を表 2 に示す。表 2 より、その 1 ラック及びその 2 ラックについては許容応力を満足する結果となった。なお、許容応力は設計・建設規格（JSME S NC1-2005）に基づき設計時から見直しを行った。

表 2 使用済燃料貯蔵ラックの応答倍率法による検討結果

(単位 : MPa)

ラック	部位	応力の種類	設計時計算値	Ss 計算値	許容応力
その 1	角管	組合わせ	39	84	246
	補強板	組合わせ	67	143	246
	ボルト	引張	97	207	488
		せん断	36	77	375
その 2	角管	組合わせ	36	77	246
	補強板	組合わせ	58	124	246
	ボルト	引張	47	101	488
		せん断	21	45	375

3.2 解析モデルによる検討

3.2.1 検討方法

応答倍率法による検討の結果、その 3 ラックについては補強板の応力が許容応力を超過する結果となったため、その 3 ラックについて解析モデルを作成し、耐震性の検討を行った。解析コードとして NASTRAN を用いた。図 2 にその 3 ラックの解析モデル、表 3 に重量を示す。検討に用いる水平方向の床応答スペクトルは図 1 と同様であり、鉛直方向はラック評価床 OP10.2m での基準地震動 S_s による最大加速度の 1.2 倍 (1.2ZPA) を用いた。

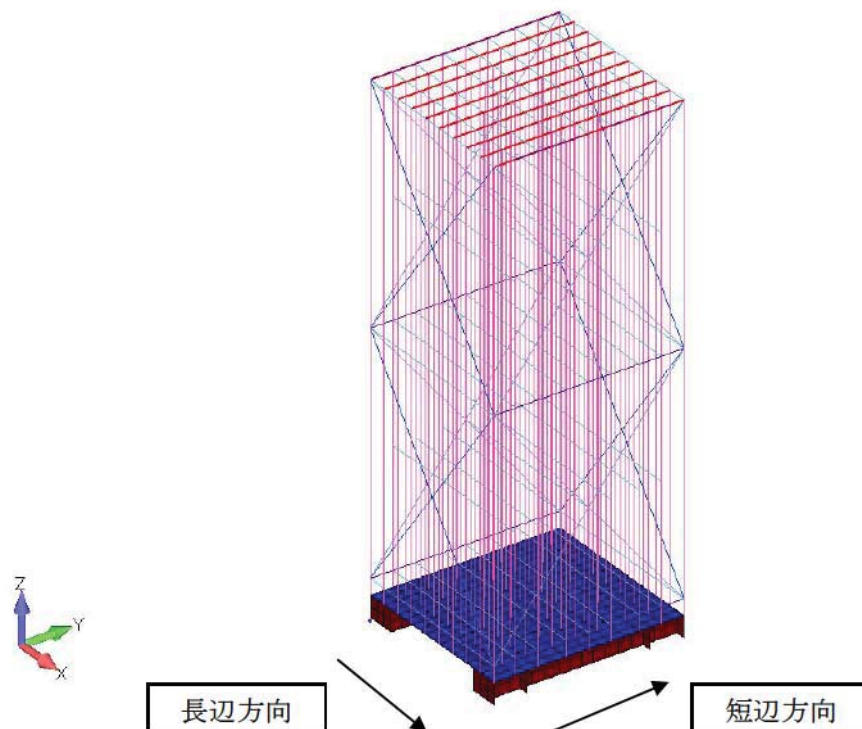


図2 使用済燃料貯蔵ラック（その3）の解析モデル

表3 使用済燃料貯蔵ラック（その3）の重量

(単位：ton)

使用済燃料貯蔵時の ラック全重量 W^{*1}	使用済燃料 の重量 W_F	ラックの 重量 W_R	ラックに含まれ る水の重量 W_W
47.84	28.44	14.0	5.4

※1 $W=W_F+W_R+W_W$

3.2.2 検討結果

表4に使用済燃料貯蔵ラック（その3）のスペクトル応答解析の検討結果を示す。発生応力は許容応力を満足する結果となった。

表4 使用済燃料貯蔵ラック（その3）スペクトル応答解析の検討結果

(単位：MPa)

部材	応力の種類	S_s 計算値	許容応力
角管	組合わせ	33	246
補強板	組合わせ	78	246
基礎ボルト	引張	12	488
	せん断	14	375

4. 燃料取扱装置に対する検討

4.1 検討方法

設計時において評価に用いた S_{2} 地震動の震度と基準地震動 S_{s} の震度との応答比を算出し、設計時における S_{2} 地震動での応力評価値に乘じることにより、簡易評価を行う（応答倍率法）。応答倍率法の結果、評価が厳しい場合は以下の式に示すように設計時の水平震度による組合わせ応力、設計時の鉛直震度による組合わせ応力それぞれに応答比を乗じることによって検討を行う。表 5 に、設計時の S_{2} 震度、基準地震動 S_{s} の震度及び応答比を示す。図 3 に、燃料取扱装置の評価床である OP27.2m での基準地震動 S_{s} の水平方向の床応答スペクトル図を示す。また、図 4 に、鉛直方向の床応答スペクトルを示す。設計時において燃料取扱装置は複数の次数の固有周期および震度を用いて評価しているが、本検討では保守的に設計時の震度と基準地震動 S_{s} での震度の比がもっとも大きいものを応答比として用いた。表 5 より、応答倍率法に用いる応答比は水平・鉛直のうちより値の大きい鉛直の応答比である 7.79 を用いた。また、応答比を水平・鉛直それぞれ検討に用いる場合、水平：1.95、鉛直：7.79 を用いた。

$$\text{発生応力：} \sigma = \sqrt{(\beta_H \cdot \sigma_H)^2 + (\beta_V \cdot \sigma_V)^2} + \sigma_0$$

β_H ：水平方向の応答比

β_V ：鉛直方向の応答比

σ_H ：設計時の S_{2} 地震動における水平震度による組合わせ応力

σ_V ：設計時の S_{2} 地震動における鉛直震度による組合わせ応力

σ_0 ：設計時の S_{2} 地震動における地震以外の応力（自重）

表 5 燃料取扱装置の評価に用いる震度及び応答比

機器	設計時の震度 (G)	S_{s} 震度 (G)	応答比
燃料取扱装置	水平：0.76	水平：1.48	水平：1.95
	鉛直：0.23	鉛直：1.79	鉛直：7.79

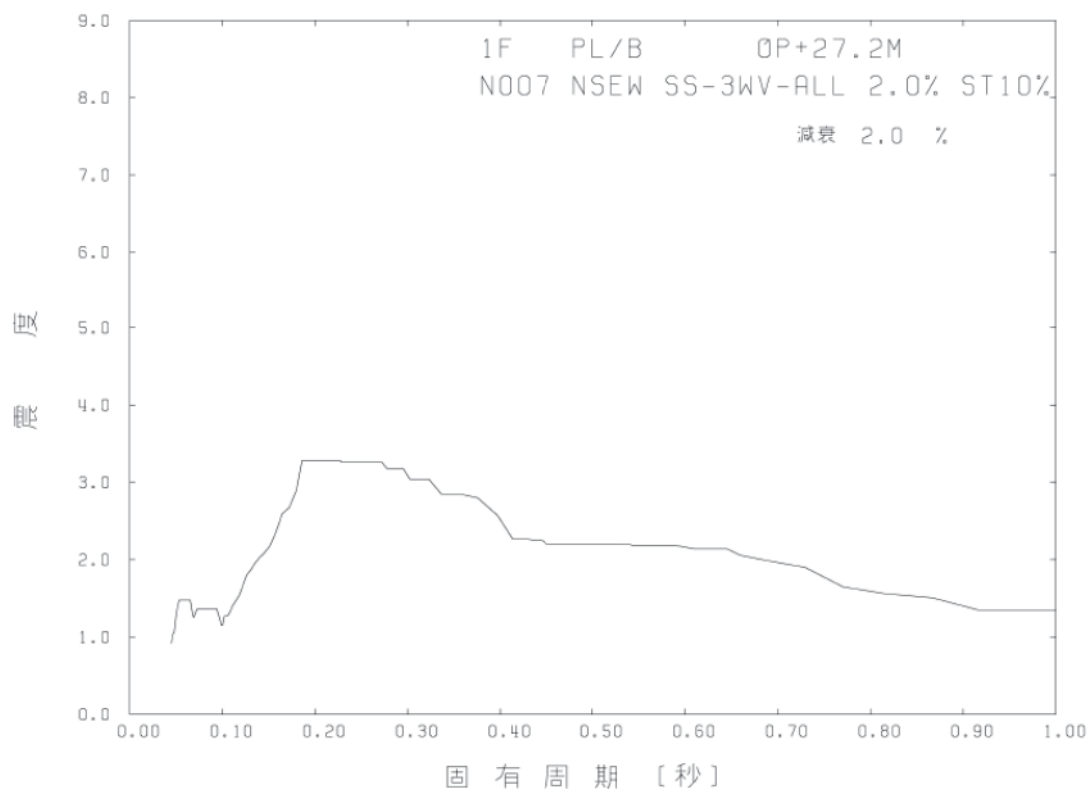


図3 共用プールOP27.2mでの床応答スペクトル（水平方向）

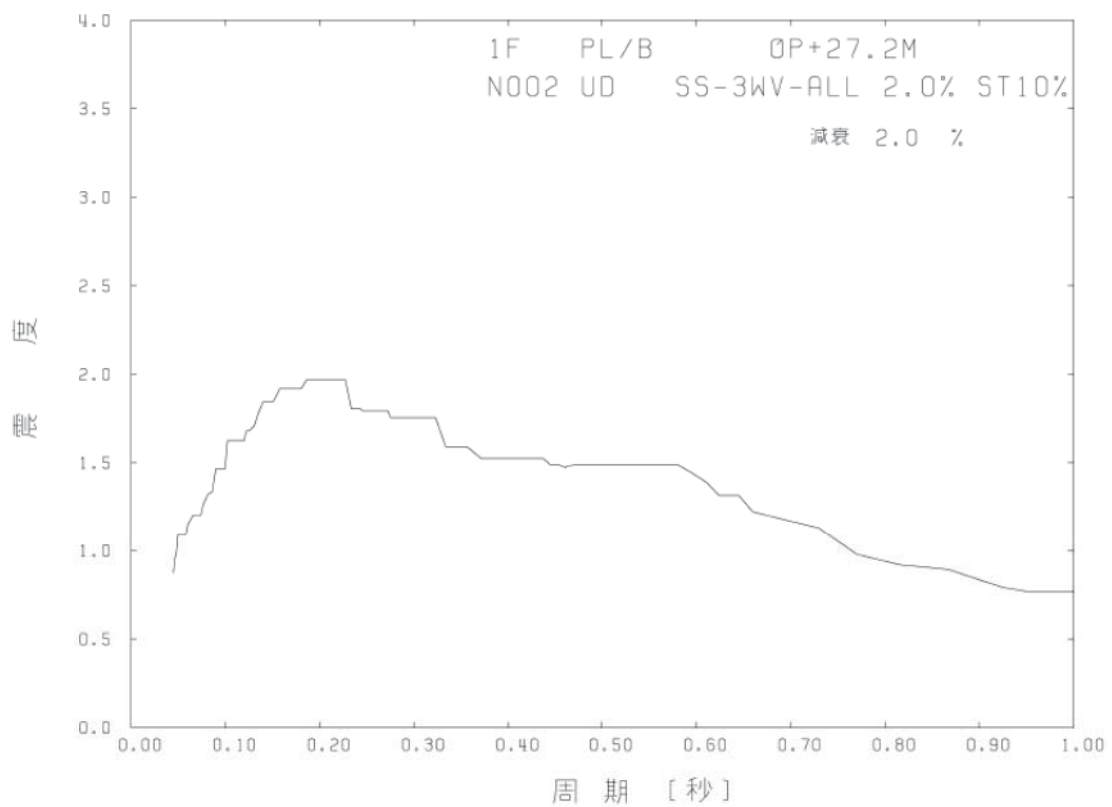


図4 共用プールOP27.2mでの床応答スペクトル（鉛直方向）

4.2 検討結果

応答比 (7.79) を用いた応答倍率法による検討, または設計時の水平震度による組合わせ応力, 鉛直震度による組合わせ応力それぞれに応答比 (水平 : 1.95, 鉛直 : 7.79) を乗じることで検討を行った結果を表 6 に示す。表 6 より, 基準地震動 S_s による計算値は許容応力を満足する結果となった。なお, 燃料取扱装置は図 5 に示すように脱線防止ラグを有しており, レールからの脱落を防止する構造になっている。

表 6 燃料取扱装置に対する検討結果

(単位 : MPa)

部位			応力の種類	評価方法※	設計時 計算値	S s 計算値	許容応力
構造物フレーム			組合わせ	B	136	222	276
ブリッジ	脱線防止 ラグ	本体	組合わせ	A	4	32	253
		取付	引張	A	7	55	350
		ボルト	せん断	A	5	39	269
	ブリッジガ イドフレー ム	本体	組合わせ	A	24	187	253
		取付	引張	A	5	39	350
		ボルト	せん断	A	13	102	269
トロリ	トロリ脱線 防止ラグ	本体	組合わせ	A	3	24	253
		取付	引張	A	1	8	350
		ボルト	せん断	A	2	16	269
走行レール			組合わせ	A	26	203	548

※ A : 応答倍率法による評価 (応答比 : 7.79)

B : 設計時の水平・鉛直震度による組合わせ応力それぞれに応答比を乗じた評価 (水平 : 1.95, 鉛直 : 7.79)

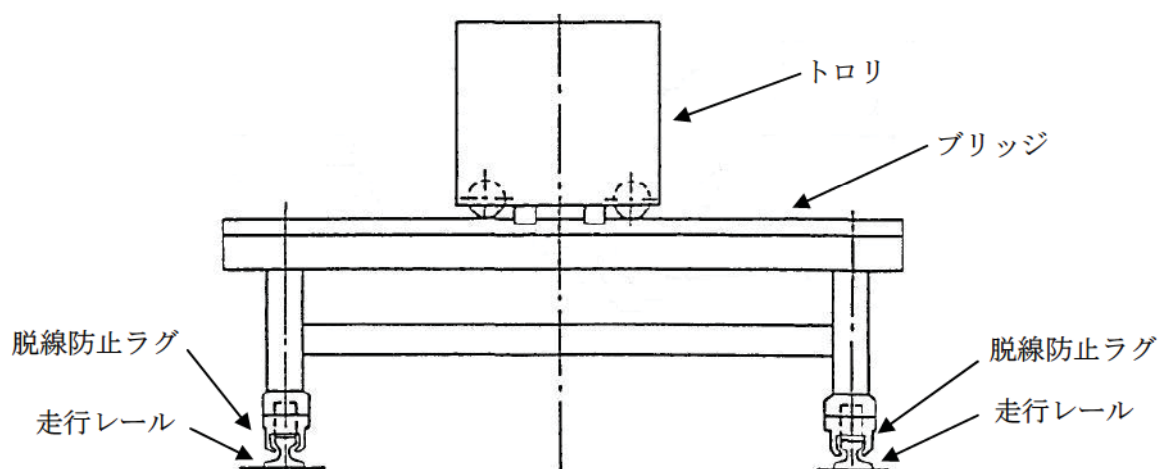


図 5 燃料取扱装置概念図

5. 天井クレーンに対する検討

5.1 検討方法

天井クレーンは基準地震動 S_s により S クラス設備への波及的影響を及ぼさないことが要求される。本検討では、基準地震動 S_s において天井クレーンがランウェイガードから脱落し落下する事のないことを、時刻歴応答解析を用いることにより天井クレーンの浮き上がり量を評価することで確認する。また、あわせて天井クレーンに発生する応力を検討する。

天井クレーンは共用プールエリア及びキャスク搬出入エリアの 2 台が存在するため、本検討では両者について確認を行う。図 6 及び図 7 に、検討に用いる解析モデル、図 8 及び図 9 に入力値である基準地震動 S_s の時刻歴波形を示す。検討に用いる時刻歴波形は、各天井クレーンの鉛直方向固有周期における応答スペクトル値が最も大きい S_s-1 を用いた。検討には解析コードとして NASTRAN を用いた。

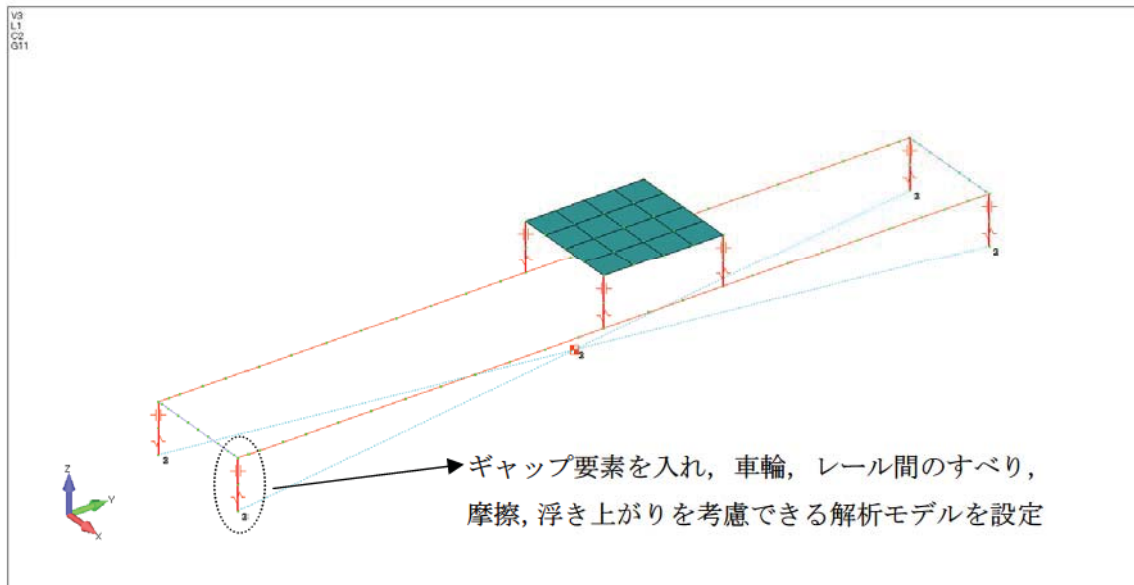


図6 共用プールエリア天井クレーンの解析モデル

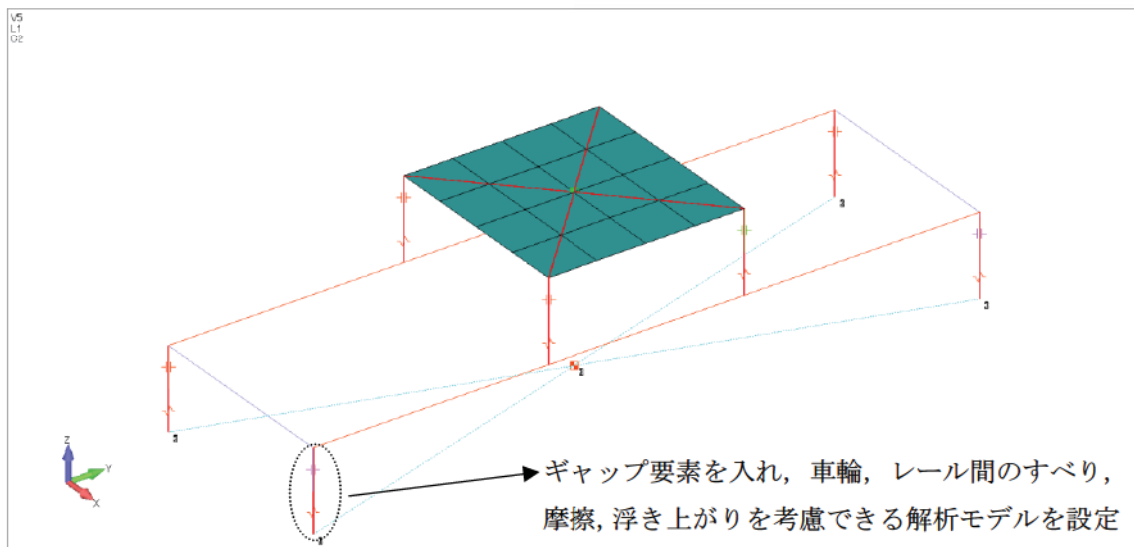
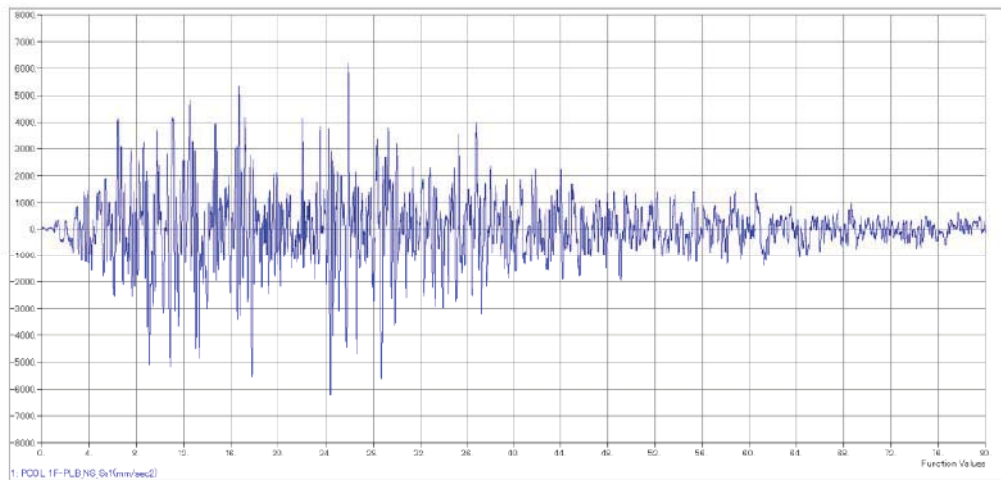
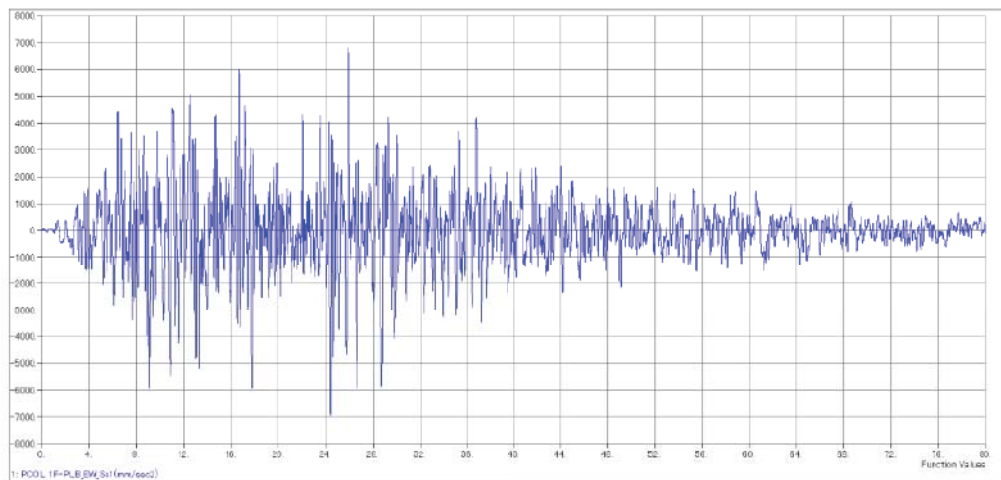


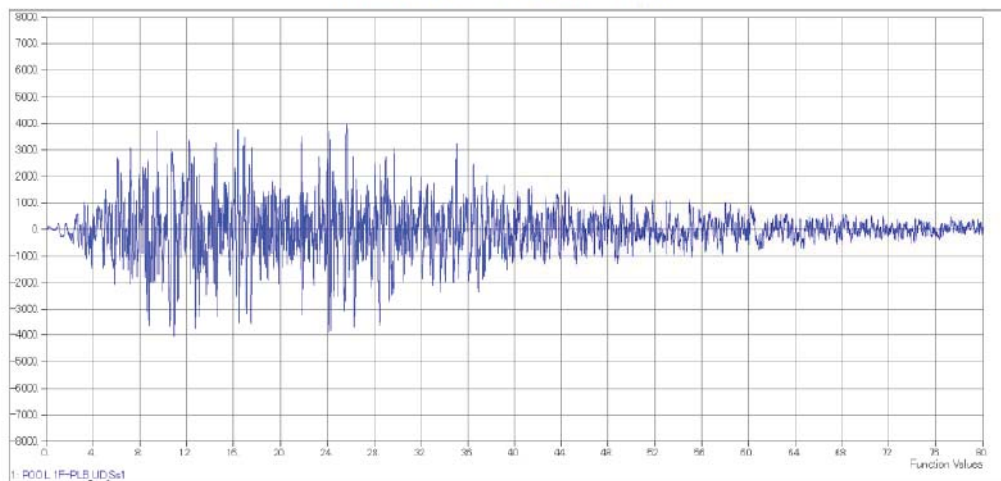
図7 キャスク搬出入エリア天井クレーンの解析モデル



(1)NS 加振 (1F-PLB_NS)

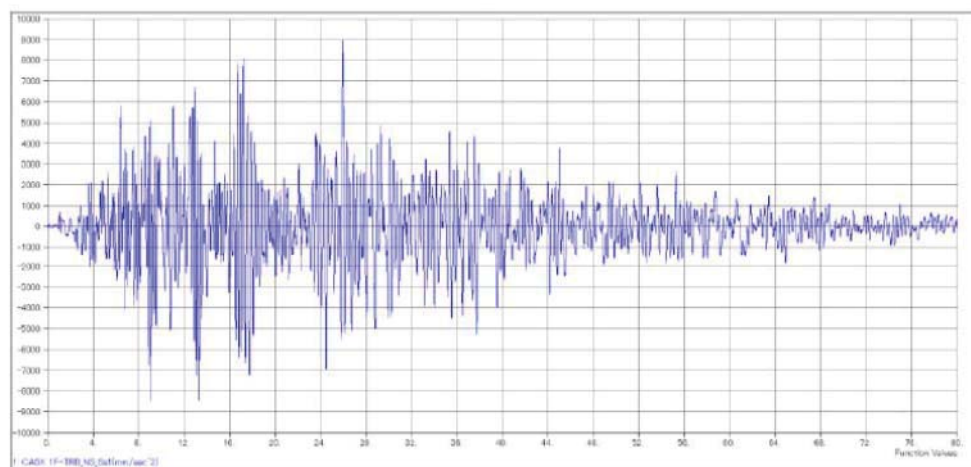


(1)EW 加振 (1F-PLB_EW)

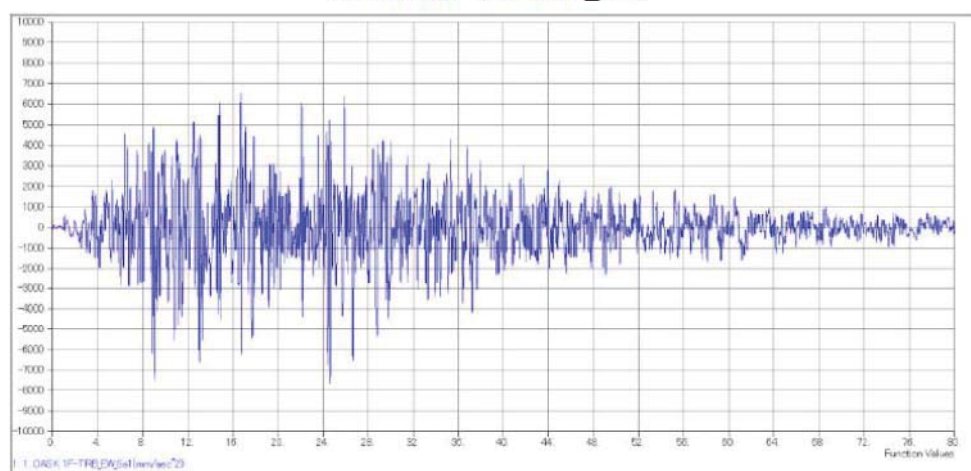


(1)UD 加振 (1F-PLB_UD)

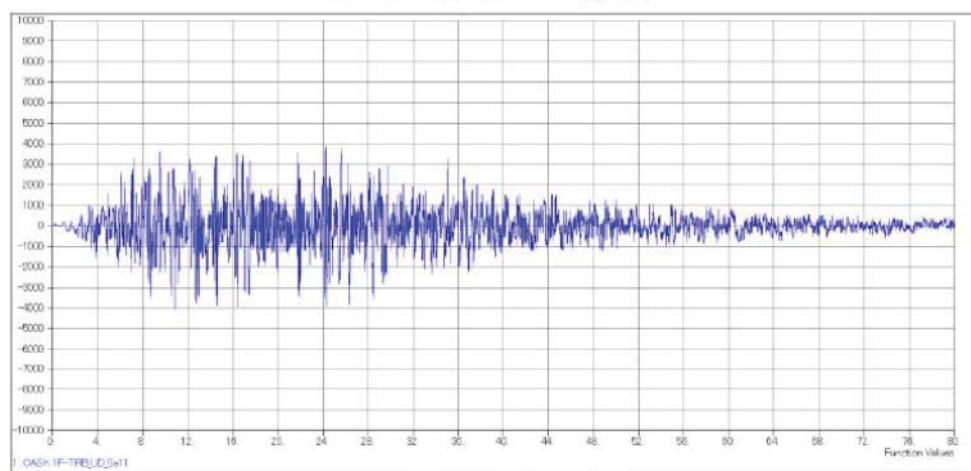
図8 基準地震動S_sの時刻歴波形（共用プールエリア天井クレーン）



(1)NS 加振 (1F-TRB_NS)



(1)EW 加振 (1F-TRB_EW)



(1)UD 加振 (1F-TRB_UD)

図9 基準地震動S_sの時刻歴波形 (キャスク搬出入エリア天井クレーン)

5.2 検討結果

時刻歴応答解析により評価した各天井クレーンの浮き上がり量を表7に示す。また、各天井クレーンの応力を表8に示す。基準地震動 S_s による応力を試算した結果、評価値は許容応力に対して裕度を有している。また、浮き上がり量は各天井クレーンの脱線防止ラグとランウェイガーダのクリアランス以下であり、接触しないため(図10参照)、ランウェイガーダ及び脱線防止ラグが損傷することはない、天井クレーンは落下しないことが確認できた。

表7 各天井クレーンの浮き上がり量

(単位：mm)

種類	部位	浮き上がり量	脱線防止ラグとランウェイガーダとのクリアランス
共用プールエリア	ガーダ	8.1	65
キャスク搬出入エリア	ガーダ	8.2	65

表8 各天井クレーンの応力検討結果

(単位：MPa)

種類	部位	評価値	許容応力
共用プールエリア	ガーダ	185	392
キャスク搬出入エリア	ガーダ	99	336

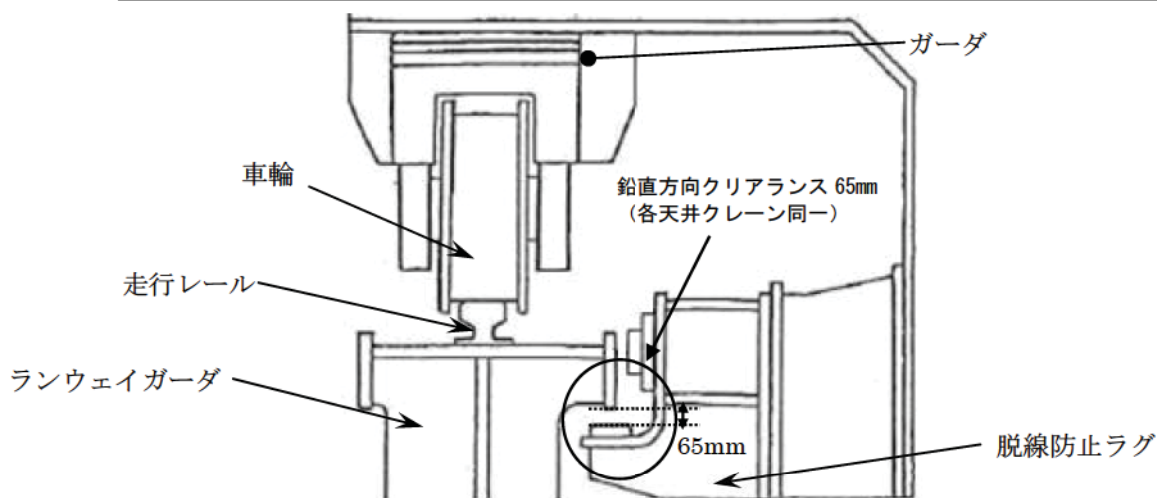


図10 天井クレーン脱線防止ラグ周り概念図

6. まとめ

使用済燃料貯蔵ラック、燃料取扱装置及び天井クレーンについて、基準地震動 S_s に対する耐震安全性評価を実施したところ、いずれも評価基準値に対して裕度を有していることを確認した。

以上