

2 特定原子力施設の構造及び設備，工事の計画

2.1 原子炉压力容器・格納容器注水設備

2.1.1 基本設計

2.1.1.1 設置の目的

原子炉压力容器・格納容器注水設備（以下，原子炉注水系という）は，建屋に滞留した汚染水から油分，塩分，放射能を除去した水（以下，処理水という）及びろ過水を水源とし，電動機駆動の注水ポンプにて原子炉への注水を行い，燃料の崩壊熱を除去することを目的とする。

2.1.1.2 要求される機能

- (1) 原子炉压力容器・格納容器内での崩壊熱を適切に除去できること。
- (2) 原子炉压力容器底部温度を概ね 100℃未満に維持できる機能を有すること。
- (3) 原子炉注水系は多重性または多様性及び独立性をそなえること。
- (4) 異常時にも適切に対応できる機能を有すること。
- (5) 常設の原子炉注水系が冷却機能を喪失した際は代替冷却機能を有すること。

2.1.1.3 設計方針

2.1.1.3.1 新設設備の設計方針

- (1) 構造強度及び機能の維持
 - a. 原子炉注水系は，燃料の崩壊熱を除去し冷温停止状態に必要な冷却水を注入できる機能を有し，原子炉压力容器底部温度を概ね 100℃未満に維持できる設計とする。
 - b. 原子炉注水系は，系統の多重性及び独立性を備えた設計とする。また，定期的に機能確認が行える設計とする。
 - c. 原子炉注水系は，異なる送電系統で 2 回線以上の外部電源から受電するとともに，外部電源喪失の場合でも，所内の独立した電源設備から受電できる設計とする。
 - d. 原子炉注水系は，材料の選定，製作及び検査について，適切と認められる規格および基準によるものとする。
 - e. 原子炉注水系は，漏えいを防止できる設計とする。
 - f. 原子炉注水系の設備に異常が生じた場合に検出できるようにする。
- (2) 注水状態の監視
 - a. 原子炉注水系は，注水流量を監視し記録できる設計とする。

(3) 漏えい監視

- a. 原子炉注水系は、設備に漏えいがあった場合に検出できるようにする。
- b. 原子炉注水系は、漏えい箇所を隔離できるとともに注水を継続できる設計とする。

(4) 異常時への対応機能

- a. 原子炉注水系は、外部電源が利用できない場合にも冷却機能を継続できる設計とする。
- b. 原子炉注水系は、母線によって供給される全ての電源が喪失した場合においても、注水冷却をすみやかに再開可能とする電源を備えたものとする。
- c. 原子炉注水系は、地震、津波等の発生を考慮しても冷却機能を確保できる設計とする。

(5) 火災防護

- a. 早期検知に努めるとともに、消火設備を設けることで、初期消火を行い、火災により、安全性を損なうことのないようにする。

2.1.1.3.2 既設設備の設計方針

(1) 耐震性

原子炉注水系の既設設備は、基準地震動 S_s による地震力に対してその安全機能を確保できることを確認する。確保できない場合は、多様性を考慮した設計とする。

(2) 系統流量

原子炉等を適切に冷却するのに必要な冷却水の流量を確保できることを確認する。

2.1.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 崩壊熱相当注水量以上で原子炉へ注水できること。
- (2) 原子炉圧力容器底部温度が 100°C 未満であること。

2.1.1.5 主要な機器

(1) 設備概要（添付資料－1，5，6 参照）

原子炉注水系は、処理水及びろ過水を水源とし、電動機駆動の注水ポンプにて建屋内の既設配管（1号機は給水系、炉心スプレイ系、2，3号機は給水系、炉心スプレイ系及び消火系）を介して原子炉への注水を行い、燃料の崩壊熱を除去する。

水源には、ろ過水タンク、処理水バッファタンク、純水タンク、復水貯蔵タンク（以下、CSTという）を備え、ポンプは常用高台炉注水ポンプ、非常用高台炉注水ポンプ、純水タンク脇炉注水ポンプ、タービン建屋内炉注水ポンプ、CST炉注水ポンプにより構成する。また、原子炉への注水ラインは、処理水バッファタンクから常用高台炉注水ポンプまたは非常用高台炉注水ポンプを介する注水ライン、処理水バッファタンクからタービン建

屋内炉注水ポンプを介する注水ライン，純水タンクから純水タンク脇炉注水ポンプを介する注水ライン，各号機のC S TからC S T炉注水ポンプまたはタービン建屋内炉注水ポンプを介するライン等で構成する。

系統の構成にあたっては，それぞれの設備で多重化を図り，機器の故障等による機能喪失を防止するよう構成する。

(2) 注水ポンプ

原子炉注水系の常用系は，事務本館海側駐車場に設置された常用高台炉注水ポンプ 3 台（1～3 号共用），タービン建屋内に設置されたタービン建屋内炉注水ポンプ 6 台及びC S T炉注水ポンプ 6 台で構成する。

また予備としては電源喪失時の注水を確保するため，事務本館海側駐車場に設置され所内電源系統から独立した専用のディーゼル発電機（以下，D/Gという）から受電する非常用高台炉注水ポンプの 3 台（1～3 号共用），純水タンク脇に設置され所内電源及び専用のD/Gの双方からの受電が可能な純水タンク脇炉注水ポンプ 3 台（1～3 号共用）の計 6 台で構成している。各ポンプの操作盤は各ポンプ近傍に設置されており，手動で起動・停止を行う。注水ポンプは，燃料の崩壊熱相当注水量を十分確保できる仕様とする。（崩壊熱相当注水量の計算例を添付資料－3に示す）

(3) タンク

原子炉注水系の水源は，建屋に滞留した汚染水を水処理した処理水とろ過水の 2 種類がある。処理水を水源としているタンクは，処理水バッファタンク及びC S Tがあり，ろ過水を水源としているタンクはろ過水タンク，純水タンクがあり，水源に対し多様性を有している。

また，処理水バッファタンクは水源として処理水を主としているが，処理装置の不具合等により，処理水の供給がとぎれた場合に備え，ろ過水タンクから水の供給が可能である。なお，ろ過水タンクへのろ過水の供給量は，崩壊熱相当注水量に対して十分な供給能力がある。

これらタンクは 1～3 号機共用として運用するが，複数のタンクがあり，またタンクから原子炉までの注水ラインはそれぞれ独立しているため，十分な多様性及び独立性を有している。

(4) 原子炉注水ライン

常用，非常用高台炉注水ポンプ，タービン建屋内炉注水ポンプ，純水タンク脇炉注水ポンプ及びC S T炉注水ポンプは，ポンプ吐出ラインをそれぞれ独立したラインで構成する他，常用，非常用高台炉注水ポンプは水源からポンプまでのラインも，処理水バッファタンクとろ過水タンクからの独立した系統構成とすることで，多様性を向上させ，系の漏え

い等に伴う系統を隔離しての補修作業や系統単独での作動確認が実施できる。

これらの系を構成するラインは、ポンプ定格流量にて注水した場合においても、有意な圧力損失及び流体振動等が発生しないよう考慮する。また、耐圧ホース及びフレキシブルチューブの敷設にあたっては、許容された半径を満足する様に配置するとともに、ホース類の敷設にあたっては、温度上昇による強度への影響を考慮し、道路脇の芝生上に敷設するなど可能な限りアスファルトを避けて敷設する。

(5) 電源

常用高台炉注水ポンプ、タービン建屋内炉注水ポンプ及びC S T炉注水ポンプの電源は、異なる送電系統で2回線の外部電源から受電できる構成とする。

外部電源喪失の場合でも、所内共通ディーゼル発電機から電源を供給することで常用高台炉注水ポンプ、タービン建屋内炉注水ポンプ及びC S T炉注水ポンプのいずれかの運転が可能な構成とする。

また、非常用高台炉注水ポンプ及び純水タンク脇炉注水ポンプはそれぞれ単独のD/Gを有し、外部電源の供給の有無に関わらず運転が可能な構成とする。

(6) その他

その他、複数の設備に損傷が生じた場合であっても、原子炉注水を維持するため、非常時の対応に必要となる原子炉注水専用の消防車を3台配備する。また、水源については、上記のタンクその他、原水地下タンクを利用できる。

なお、これらの水源が使用できない場合も、海水を水源とした消防車による注水が可能である。

また、原子炉注水系の腐食防止対策として注水する処理水の水質管理を行うと共に、窒素バブリングによる脱酸素等を実施する。(添付資料-4参照)

原子炉注水系の凍結防止対策としては、保温材の取り付け、水抜き、ハウス設置を実施する。

原子炉注水系の監視としては、現場、免震重要棟集中監視室等で原子炉の冷却状態及び注水状態を監視し、これらの変動により有意な漏えい検出も可能と考えている。

また、タンク、または配管等からの微少漏えいによる系外への放射性物質漏えいに関しては特に監視設備は設けていないが、漏えいリスクが低いPE管への設備変更、土嚢による系外放出防止対策を実施すると共に、巡視点検を行うことにより監視している。

2.1.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

原子炉注水系は、機器の故障等による機能喪失を防止するよう構成しているが、津波等により万が一、複数設備の機能が同時に喪失した場合は、水源の損傷状況や現場状況に応

じて、新たな消防車の配備や注水ラインの再敷設等を行い、原子炉注水を再開する。

(2) 火災

原子炉注水系の非常用高台炉注水ポンプ及び純水タンク脇炉注水ポンプのD/G用燃料タンク内に危険物が存在するため、初期消火の対応ができるよう、近傍に消火器を設置する。

2.1.1.7 構造強度及び耐震性（添付資料－2 参照）

(1) 構造強度

原子炉注水系は、技術基準上非常用炉心冷却設備に相当するクラス2機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、設計・建設規格という）」で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を規定したものであり、耐圧ホース等の非金属材料についての基準がない。従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス2機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価をおこなう。この際、当該の設備が JIS や独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用し、評価を行う。

また、構造強度に関連して経年劣化の影響を評価する観点から、原子力発電所での使用実績がない材料の設備を使用する場合は、他産業での使用実績等を活用しつつ、必要に応じて試験等をおこなうことで、経年劣化の影響についての評価を行う。なお、試験等の実施が困難な場合にあつては、巡視点検等による状態監視をおこなうことで、健全性を確保する。

(2) 耐震性

原子炉注水系は、耐震設計審査指針上のSクラス相当の設備と位置づけられるが、新設設備については、短期間での設計、調達及び設置を行う必要があることから、耐震Sクラスの要求事項を完全に満足するものとはなっていないものの、今後も継続的に発生すると思われる地震に対して耐震性を確保する観点から、耐震Bクラス設備に適用される静的地震力に対して耐震性が確保されることを確認する。

また、既設設備については、基準地震動 S_s による地震力に対してその安全機能を確保できることを確認する。確保できない場合は、多様性を考慮した設計とする。耐震性に関する評価にあたっては、「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」に準拠することを基本とするが、必要に応じて試験結果等を用いた現実的な評価を行う。支持部材がない等の理由によって、耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては、フレキシビリティを有する材料を使用するなどし、可能な限り耐震性を確保する。

2.1.1.8 機器の故障への対応

2.1.1.8.1 機器の単一故障

(1) ポンプ故障

常用系ポンプが故障した場合は、待機号機の起動もしくは非常用高台炉注水ポンプの起動を行うことで炉注水を再開する（注水再開の所要時間：30分程度）。

(2) 電源喪失

常用系ポンプの電源が、外部電源喪失や全母線電源喪失により喪失した場合は、電源切替には数時間を要することから、非常用高台炉注水ポンプによる原子炉注水（系統構成及び非常用高台炉注水ポンプの起動）及び予め待機している消防車による原子炉注水（系統構成及び消防車の起動）を並行して実施する（注水再開の所要時間：30分程度）。

(3) 水源喪失

常用系ポンプは、主としてバッファタンクを水源としているが、タンク等が損傷し、保有水が漏えいする等、タンク機能が喪失した場合は、水源をろ過水タンクに切替える（注水再開の所要時間：30分程度）。

なお、万が一バッファタンクに加え、ろ過水タンクの機能も喪失した場合（複数設備の機能喪失に該当）は、純水タンクへのろ過水の供給が無くなるため、原水地下タンクを水源とし、予め待機している消防車による注水を行う（注水再開の所要時間：60分程度）。

(4) 原子炉注水ラインの損傷

常用系ポンプからの注水ラインが損傷した場合は、純水タンク脇炉注水ポンプによる原子炉注水（系統構成及び純水タンク脇ポンプの起動）を行う（注水再開の所要時間：30分程度）。

2.1.1.8.2 原子炉注水系の複数の設備が同時に機能喪失した場合

原子炉注水系は、機器の故障等による機能喪失を防止するよう構成しているが、地震、津波等により万が一、複数の設備の機能が同時に喪失した場合は、水源の損傷状況や現場状況に応じて、新たな消防車の配備や注水ラインの再敷設等を行い、原子炉注水を再開する。消防車は、事務本館海側駐車場（OP. 35,000）、ろ過水タンク脇（OP. 40,800）、厚生棟横（OP. 23,000）にバックアップとして設置されている消防車を使用できる他、事務本館山側駐車場（OP. 36,900）に配備されている消防車を使用できる。注水再開までの時間は、現場状況等により変動するものの、ホース敷設距離等を踏まえた作業時間を勘案すると、作業開始から3時間程度と想定しており、想定以上

とならないよう定期的に訓練を実施している。

現行の崩壊熱においては、仮に注水停止が3時間を超える長時間にわたる場合を想定しても、1プラント当たり $10\text{m}^3/\text{h}$ の注水流量で冷却可能であると評価されており、現行の設備で冷却を行うことが十分可能である。流量を高めた注水を再開する場合には、蒸気が急速に凝縮する可能性があることから、窒素封入が行われていることを確認するとともに、温度や圧力等のパラメータを監視しつつ注水流量の調整を行う。

2.1.1.8.3 異常時の評価

原子炉注水系が異常事象により機能喪失し、原子炉注水が停止した場合について、評価を実施した。(添付資料－7 参照)

敷地境界での年間の実効線量の評価結果は、過渡相当事象（注水停止1時間）で約 $9.3 \times 10^{-7} \text{ mSv}$ 、事故相当事象（注水停止7時間）で約 $4.3 \times 10^{-6} \text{ mSv}$ であり、周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

想定を大きく超える、シビアアクシデント相当事象（注水停止12時間）における敷地境界での年間の実効線量は約 $2.1 \times 10^{-5} \text{ mSv}$ であり、3プラント分の放射性物質の放出を考慮した場合では約 $6.3 \times 10^{-5} \text{ mSv}$ である。また、特定原子力施設から5km、10km地点での年間の実効線量は、3プラント分の放射性物質の放出を考慮した場合でそれぞれ約 $1.1 \times 10^{-5} \text{ mSv}$ 、約 $3.6 \times 10^{-6} \text{ mSv}$ であり、周辺の公衆に対し、著しい放射線被ばくのリスクを与えることはない。

2.1.1.8.4 原子炉注水系の確率論的リスク評価

原子炉注水系に対して影響が大きい事象を選定し、その後の事象進展の確率を、設備構成や故障率を基に推定し、原子炉圧力容器内及び格納容器内の燃料（以下、炉心という）が再損傷に至る頻度を評価した。(添付資料－8 参照)

評価の結果、炉心が再損傷する頻度（点推定値）の内の事象（ハザード発生箇所が発電所内）の合計値は、約 $3.2 \times 10^{-7}/\text{年}$ 、外部電源喪失（地震）は、約 $6.1 \times 10^{-9}/\text{年}$ 、大津波事象は、約 $5.8 \times 10^{-5}/\text{年}$ となっている。評価結果の合計値は約 $5.9 \times 10^{-5}/\text{年}$ であり、寄与割合は、大津波事象が約99%となった。

2.1.2 基本仕様

2.1.2.1 主要仕様

(1) 常用高台炉注水ポンプ（完成品）（外部電源）（OP:35,000）

台 数	3
容 量	20m ³ /h（1台あたり）
揚 程	113m

(2) 非常用高台炉注水ポンプ（完成品）（D／G電源）（OP:35,000）

台 数	3
容 量	20m ³ /h（1台あたり）
揚 程	113m

(3) 純水タンク脇炉注水ポンプ（完成品）（外部電源及びD／G電源）（OP:10,000）

台 数	3
容 量	37 m ³ /h（1台あたり）
揚 程	93m

(4) タービン建屋内炉注水ポンプ（完成品）（外部電源）

1号機（OP:10,200）

台 数	2
容 量	12 m ³ /h（1台あたり）
揚 程	70m

2，3号機（OP:9,000）

台 数	2号機 2，3号機 2
容 量	10m ³ /h（1台あたり）
揚 程	70m

(5) C S T炉注水ポンプ（完成品）（外部電源）

台 数	1号機 2（OP:10,200） 2号機 2（OP:9,000） 3号機 2（OP:9,000）
容 量	20m ³ /h（1台あたり）
揚 程	70m

(6) 処理水バッファタンク（完成品）（OP:35,000）

基 数	1
容 量	1000m ³

(7) 復水貯蔵タンク（C S T）

基 数	1 号機	1 (OP:10,300)
	2 号機	1 (OP:10,400)
	3 号機	1 (OP:10,400)
容 量	1 号機	1893Kl
	2 / 3 号機	2448.5Kl

(8) ろ過水タンク（OP:40,800）

基 数	1
容 量	8000 m ³

(9) 純水タンク（OP:10,000）

基 数	2
容 量	2000 m ³ （1 基あたり）

(10) 原水地下タンク（OP:40,800）

基 数	1
容 量	970m ³

(11) 消防車

基 数	3
容 量	10m ³ /h（1 台あたり）

表 2. 1-1 主要配管仕様

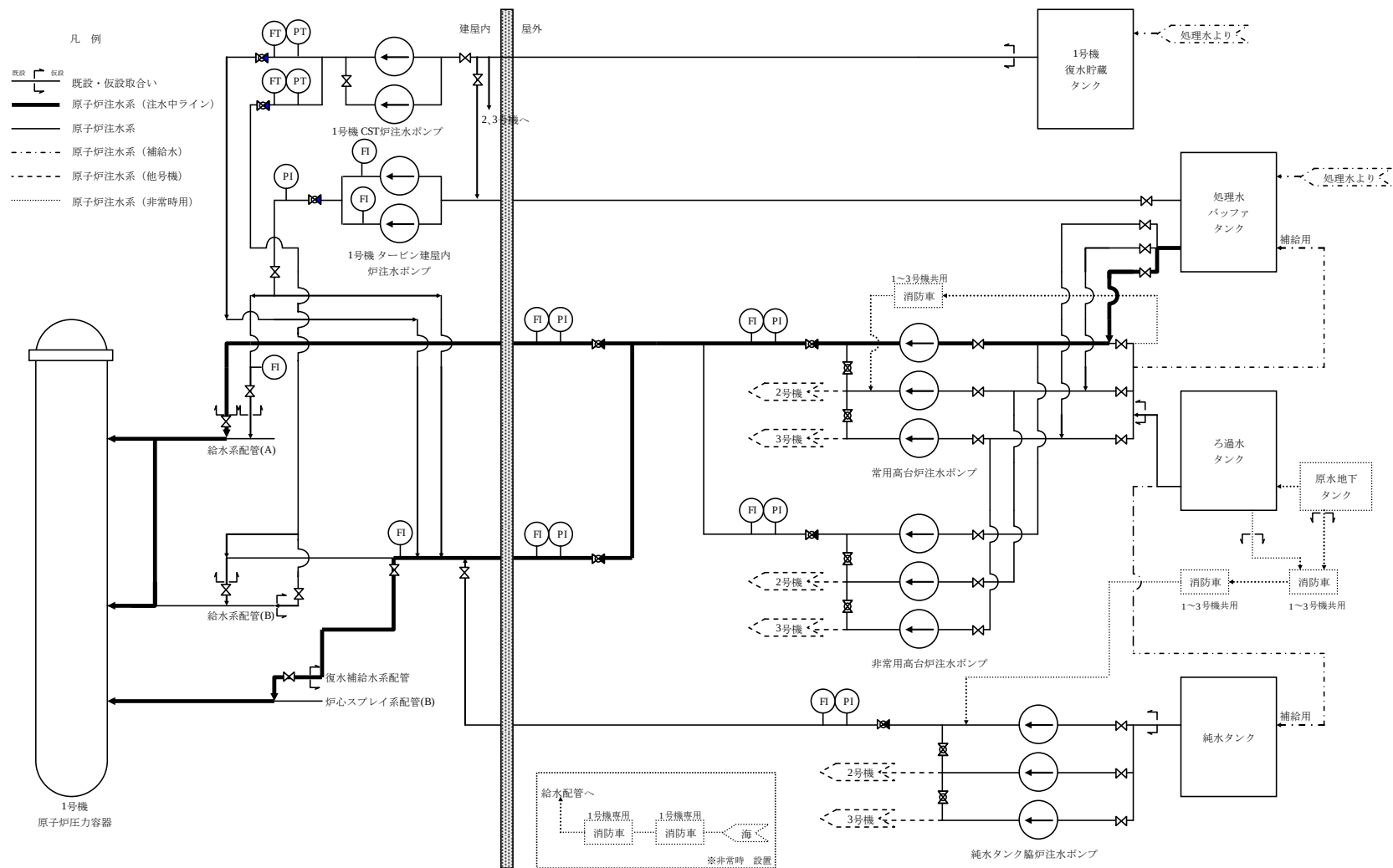
名称	仕様	
【1～3号機高台炉注水ライン】 ポンプユニット (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch20S 65A／Sch20S 80A／Sch20S SUS304TP 1.4MPa 50℃
(フレキシブルチューブ)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当 SUS316L 1.4MPa 50℃
【1～3号機高台炉注水ライン】 注水ライン (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch40 80A／Sch40 150A／Sch40 SUS304TP 0.98MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch40 STPT370 0.98MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch80 STPT370 0.98MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	300A／Sch40 STPT410 0.98MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch40 65A／Sch40 80A／Sch40 STPG370 0.98MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch80 STPG370 0.98MPa 50℃
(フレキシブルチューブ)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 SUS316L 0.98MPa 50℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

名称	仕様	
(消防ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力	65A 相当 ポリエステル 1.0MPa 以上
【1～3号機純水タンク脇炉注水ライン】 ポンプユニット (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch20S 65A／Sch20S 80A／Sch40 SUS304TP 1.4MPa 50℃
【1～3号機純水タンク脇炉注水ライン】 注水ライン (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A／Sch20 200A／Sch20 SGP 0.98MPa 50℃
(耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
(消防ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力	65A 相当 ポリエステル 1.0MPa 以上
【1～3号機タービン建屋内炉注水ライン】 ポンプユニット (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A／Sch40 STPT370 1.4MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch80 STPT370 1.4MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch80 SUS304TP 1.4MPa 50℃
【1～3号機タービン建屋内炉注水ライン】 注水ライン (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A／Sch40 80A／Sch40 100A／Sch40 150A／Sch40 STPT370 0.98MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch160 STPT370 0.98MPa 50℃

名称	仕様	
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch40 150A／Sch40 300A／Sch40 STPG370 0.98MPa 50℃
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch80 STPG370 0.98MPa 50℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当/150A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
【1～3号機CST原子炉注水ライン】 ポンプユニット (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A／Sch80 50A／Sch80 STPT410 0.96MPa 66℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch40 STPT410 0.96MPa 66℃
【1～3号機CST原子炉注水ライン】 注水ライン (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch80 65A／Sch40 80A／Sch40 100A／Sch40 150A／Sch40 STPT410 0.96MPa 66℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 75A 相当 100A 相当 150A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

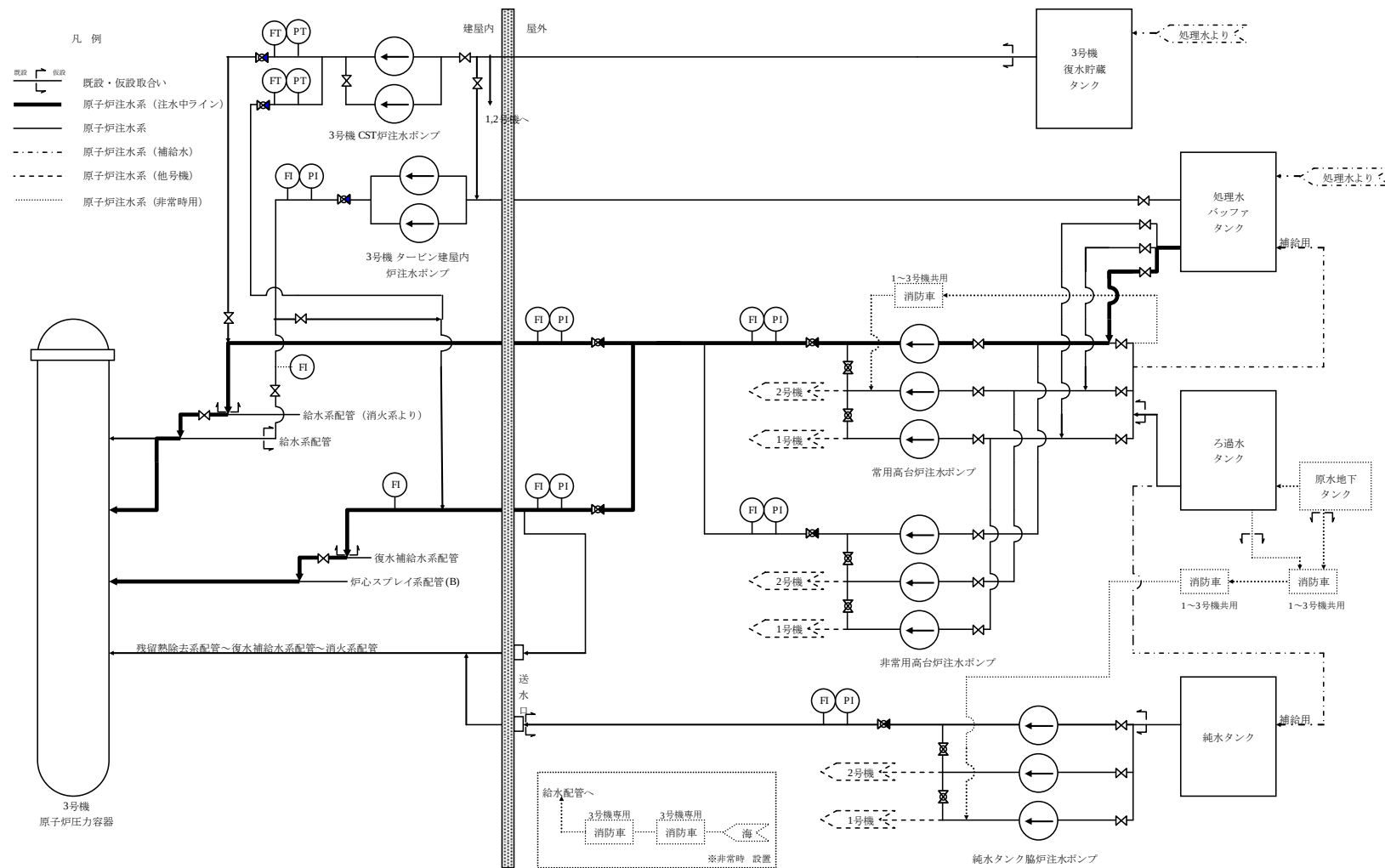
2.1.3 添付資料

- 添付資料－1 原子炉圧力容器・格納容器注水設備系統概略図
- 添付資料－2 構造強度及び耐震性について
- 添付資料－3 崩壊熱相当の注水量について
- 添付資料－4 炉注入する処理水の水質目標値について
- 添付資料－5 1～3号機 CST 原子炉注水設備設置について
- 添付資料－6 1号機 FDW系注水点の信頼性向上について
- 添付資料－7 原子炉注水停止時評価の説明資料
- 添付資料－8 原子炉注水系に関する確率論的リスク評価



図－1 1号機原子炉压力容器・格納容器注水設備系統概略図

図-2 2号機原子炉压力容器・格納容器注水設備系統概略図



図－3 3号機原子炉压力容器・格納容器注水設備系統概略図

構造強度及び耐震性について

1 新設設備の構造強度及び耐震性

1.1 ポンプ

1.1.1 常用高台炉注水ポンプ及び非常用高台炉注水ポンプ

1.1.1.1 構造強度

常用高台炉注水ポンプ及び非常用高台炉注水ポンプについては、ポンプの最高使用圧力を上回る試験圧力で耐圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認することから、ポンプの最高使用圧力に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

1.1.1.2 耐震性

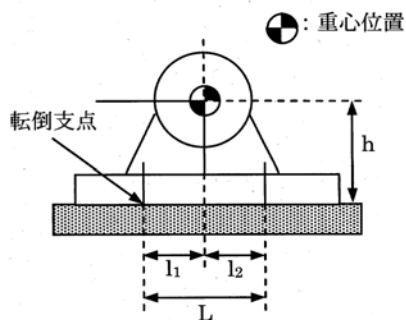
常用高台炉注水ポンプ及び非常用高台炉注水ポンプについては、ポンプユニットを、ダンパを有するトラックに搭載することにより耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで、転倒防止策を講じる。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、及びトラックが転倒しないことの評価を行った。なお、基準地震動 S_s に対する動的解析を行うことが困難であることから、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価を行った。

(1) ボルトの強度評価

原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008) の横型ポンプの強度評価方法に準拠して評価を行った結果、耐震 B クラス設備に適用される静的地震力に対してボルトの強度が確保されることを確認した。なお、耐震 S クラス設備に適用される静的地震力に対しても、ボルトの強度が確保されることを確認した (表－ 1、図－ 1 参照)。

表－ 1 常用及び非常用高台炉注水ポンプのボルトの強度評価結果

	耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価		耐震 S クラス設備に適用される静的地震力による評価	
	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
引張応力	作用しない	158	5	190
せん断応力	3	122	5	146



図－１ ボルトの強度評価モデル

- L 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離
- m 機器の運転時質量
- g 重力加速度
- h 据付面から重心までの距離
- M_p ポンプ回転により働くモーメント
※基礎ボルトに M_p は作用しない
- l_1 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n 基礎ボルトの本数
- A_b 基礎ボルトの軸断面積
- C_H 水平方向設計震度
- C_V 鉛直方向設計震度
- C_p ポンプ振動による震度

$$\text{ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H + C_p)h + M_p - mg(1 - C_V - C_p)l_1 \}$$

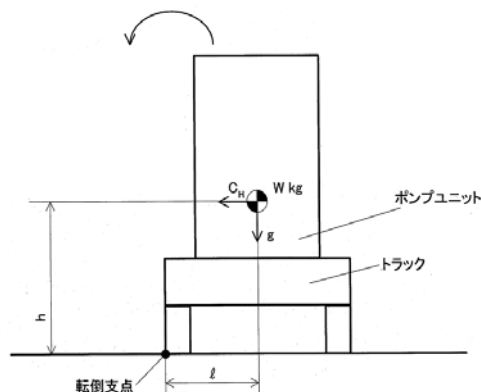
$$\text{ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

$$\text{ボルトに作用するせん断力： } Q_b = mg(C_H + C_p)$$

$$\text{ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

(2) トラックの転倒評価

ポンプユニット、及びそれを搭載しているトラックについて、地震によるモーメントと自重によるモーメントを算出し、それらを比較することで転倒評価を行った。（図－２参照）ポンプユニット及びトラックが転倒するのは、地震によるモーメント＞自重によるモーメントとなる場合であるが、耐震Ｂクラス設備に適用される静的地震力による評価の結果、地震によるモーメント＜自重によるモーメントとなることから、耐震Ｂクラス設備に適用される静的地震力に対してポンプユニット及びトラックが転倒しないことを確認した。なお、耐震Ｓクラス設備に適用される静的地震力に対しても、トラックが転倒しないことを確認した。



図－２ トラックの転倒評価モデル

- C_H 水平方向設計震度
- W 機器重量
- g 重力加速度
- h 据付面から重心までの距離
- l 転倒支点から機器重心までの距離

地震によるモーメント： $M_1 = W \times g \times C_H \times h$

自重によるモーメント： $M_2 = W \times g \times \ell$

1.1.2 純水タンク脇炉注水ポンプ

1.1.2.1 構造強度

純水タンク脇炉注水ポンプについては、ポンプの最高使用圧力を上回る試験圧力で耐圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認することから、ポンプの最高使用圧力に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

1.1.2.2 耐震性

純水タンク脇炉注水ポンプは、常用高台炉注水ポンプと同様の構造（ポンプユニットをトラックに搭載し、ボルト等で固定）であることから、耐震性についても同様に評価を行った。なお、基準地震動 S_s に対する動的解析を行うことが困難であることから、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価を行った。

(1) ボルトの強度評価

常用高台炉注水ポンプと同様の手法でボルトの評価を行った結果、耐震 B クラス設備に適用される静的地震力に対してボルトの強度が確保されることを確認した。なお、耐震 S クラス設備に適用される静的地震力に対しても、ボルトの強度が確保されることを確認した（表－2 参照）。

表－2 純水タンク脇炉注水ポンプのボルトの強度評価結果

	耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価		耐震 S クラス設備に適用される静的地震力による評価	
	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
引張応力	作用しない	158	6	190
せん断応力	3	122	5	146

(2) トラックの転倒評価

常用高台炉注水ポンプと同様に、耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価を行った結果、地震によるモーメント＜自重によるモーメントとなることから、耐震 B クラス設備に適用される静的地震力に対して純水タンク脇ポンプのポンプユニット及びトラックが転倒しないことを確認した。

1.1.3 タービン建屋内炉注水ポンプ

1.1.3.1 構造強度

タービン建屋内炉注水ポンプについては、通常運転圧力を上回る試験圧力で耐圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認することから、ポンプの通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

1.1.3.2 耐震性

タービン建屋内炉注水ポンプは、基礎ボルトによりタービン建屋 1 階の床面に固定されていることを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されることの評価を行った。なお、基準地震動 S_s に対する動的解析を行うことが困難であることから、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価を行った。

(1) ボルトの強度評価

常用高台炉注水ポンプと同様の手法でボルトの評価を行った結果、ボルトの強度が確保されることを確認した。なお、耐震 S クラス設備に適用される静的地震力に対しても、ボルトの強度が確保されることを確認した（表－3 参照）。

表－3 タービン建屋内炉注水ポンプのボルトの強度評価結果

号機	応力分類	耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価		耐震 S クラス設備に適用される静的地震力による評価	
		算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
1 F－1	引張応力	作用しない	158	2	190
	せん断応力	2	122	3	146
1 F－2／3	引張応力	作用しない	180	3	207
	せん断応力	3	139	4	159

1.1.4 C S T 炉注水ポンプ

1.1.4.1 構造強度

C S T 炉注水ポンプについては、通常運転圧力を上回る試験圧力で耐圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認することから、ポンプの通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

1.1.4.2 耐震性

C S T 炉注水ポンプは、基礎ボルトによりタービン建屋 1 階の床面に固定されていることを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されることの評

価を行う。なお、基準地震動 S_s に対する動的解析を行うことが困難であることから、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価を行う。

(1) ボルトの強度評価

常用高台炉注水ポンプと同様の手法でボルトの評価を行い、ボルトの強度が確保されることを確認した。なお、耐震 S クラス設備に適用される静的地震力に対しても、ボルトの強度が確保されることを確認した（表－4 参照）。

表－4 C S T 炉注水ポンプのボルトの強度評価結果

号機	応力分類	耐震 B クラス設備に適用される静的地震力による評価		耐震 S クラス設備に適用される静的地震力による評価	
		算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
1 F－ 1／2／3	引張応力	作用しない	180	2	207
	せん断応力	3	139	4	159

1.2 タンクの構造強度及び耐震性

1.2.1 処理水バッファタンク

1.2.1.1 構造強度

バッファタンクについては、オーバーフロー水位 9,800mm に対して、8,000mm まで水張り後に漏えい確認を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認する。実際の運用にあたっては、7,000mm 以下で水位管理をすることから、原子炉注水系における使用条件に対し、十分耐えうる構造強度を有していると評価している。

1.2.1.2 耐震性

処理水バッファタンクは、事務本館海側駐車場に設置されており、ボルトによる固定はされていないことを踏まえ、耐震性の評価として、タンクが転倒しないことの評価を行った。なお、基準地震動 S_s に対する動的解析を行うことが困難であることから、静的地震力を用いて、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

(1) 処理水バッファタンクの転倒評価

タンクについて、地震によるモーメントと自重によるモーメントを算出し、それらを比較することで転倒評価を行った。タンクが転倒するのは、地震によるモーメント > 自重によるモーメントの場合であるが、評価の結果、地震によるモーメント < 自重によるモーメントであり、耐震 B クラス設備に適用される静的地震力に対してタンクが転倒しないことを確認した。

1.3 管の構造強度及び耐震性

1.3.1 鋼管

1.3.1.1 構造強度

鋼管については、「設計・建設規格」におけるクラス 2 配管の規定に基づき，最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており，原子炉注水系における使用条件に対し，十分な構造強度を有していると評価している（表－4 参照）。

表－4 原子炉注水系における鋼管の構造強度評価結果

	公称肉厚 [mm]	必要最小厚さ [mm]
【1～3号機高台炉注水ライン】 ポンプユニット	3.5	0.33
	3.5	0.42
	4.0	0.49
【1～3号機高台炉注水ライン】	3.9	0.24
	5.5	0.35
	7.1	0.64
	5.5	3.0
	5.5	2.4
	10.3	3.8
	3.9	2.4
	5.2	2.7
	5.5	3.0
	5.5	2.4
【1～3号機純水タンク脇炉注水ライン】 ポンプユニット	3.5	0.33
	3.5	0.42
	5.5	0.49
【1～3号機純水タンク脇炉注水ライン】	5.0	3.8
	5.8	3.8
【1～3号機タービン建屋内炉注水ライン】 ポンプユニット	5.2	2.7
	5.5	2.4
	5.5	0.33
【1～3号機タービン建屋内炉注水ライン】	5.2	2.7
	5.5	3.0
	6.0	3.4
	7.1	3.8
	8.7	2.4

	5.5	3.0
	7.1	3.8
	10.3	3.8
	5.5	2.4
【1～3号機C S T炉注水ライン】 ポンプユニット	4.5	1.7
	5.5	2.4
	5.5	3.0
【1～3号機C S T炉注水ライン】	5.5	2.4
	5.2	2.7
	5.5	3.0
	6.0	3.4
	7.1	3.8

■ 内圧を受ける直管

最高使用圧力に対する直管の厚さは、(式 1-1) により計算した値及び表－5 に定める値のいずれか大きい方の値以上でなければならない。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (\text{式 1-1})$$

t：管の計算上必要な厚さ（mm）

P：最高使用圧力（MPa）

D₀：管の外径（mm）

S：最高使用温度における「設計・建設規格 付録材料図 表 Part5 表 5」に規定する材料の許容引張応力（MPa）

η：長手継手の効率で、「設計・建設規格 PVC-3130」に定めるところによる。

表－5 炭素鋼鋼管の必要最小厚さ

管の外径（mm）	管の厚さ（mm）
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	3.8

1.3.1.2 耐震性

鋼管は分岐ヘッダ等の短い部分に使用するが、その前後はフレキシビリティを有したポリエチレン配管等と接続されており地震変位による有意な応力は発生しないと考える。

1.3.2 フレキシブルチューブ

1.3.2.1 構造強度

フレキシブルチューブは設計・建設規格に記載がない機器であるが、通常運転状態における漏えい確認試験を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認することから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

1.3.2.2 耐震性

フレキシブルチューブは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

1.3.3 ポリエチレン配管

1.3.3.1 構造強度

ポリエチレン管の材料である高密度ポリエチレンは非金属材であるため、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」による規定はなく、ISO TR9080 及び ISO 12162 により「PE100」として規定、分類される。ポリエチレン管の性能（引張降伏強さや引張による破断時の伸び等）や寸法については、日本水道協会規格（JWWA K 144 等）及び配水用ポリエチレンパイプシステム協会規格（PTC K 03 等）に詳しく規定されている。

内圧に対する強度設計としては、設計内圧による発生応力が、材料（PE100）の 50 年後クリープ強度 σ_{50} に安全率を見込んだ値を上回らないような外径と管厚の組み合わせを、JWWA K 144 等で規定している（下式）。この強度設計式において、設計内圧は 1.0MPa であり、常用高台炉注水ポンプ等の通常運転圧力（現在までの実績ベースで 1.0MPa 以下）を上回っていることから、ポリエチレン管の規格品は、原子炉注水系での内圧条件に対して十分な管厚を有する。（表－6 にポリエチレン管の寸法の例を示す）

また、ポリエチレン管の耐圧性は温度依存性があるが、50℃の温度条件においても、原子炉注水系の最高使用圧力を上回る耐圧性能が確保できることを数値シミュレーションにより確認している。具体的には、①ポリエチレン管に加わる内圧による応力、②使用環境温度、及び③破壊時間に関する関係式を用いて、環境温度が 20℃～50℃のときに、1MPa の内圧が加わった場合の破壊時間を算出したところ、破壊時間が最も短くなる 50℃の場合でも、10 年以上の寿命が確保できることを確認した。

さらに、通常運転状態における漏えい確認を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認している。以上のことから、ポリエチレン管は原子炉注水系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると判断する。

$$\frac{\sigma_{50}}{S_f} = \frac{P(D-t)}{2t}$$

σ_{50} PE100 の 50 年後クリープ強度(MPa)

S_f 安全率

P 設計内圧(MPa)

D 管外径(mm)

t 管厚(mm)

表－6 ポリエチレン管の寸法の例（JWWA K 144）

呼び径	外径：D [mm]	管厚： t [mm]
50	63.0	5.8
75	90.0	8.2
100	125.0	11.4
150	180.0	16.4
200	250.0	22.7

1.3.3.2 耐震性

ポリエチレン管の耐震設計については、土中に埋設された状態における耐震計算が日本水道協会規格等で規定されているのみであり、福島第一原子力発電所のように地上に設置したポリエチレン管の耐震計算に関する規定はない。しかしながら、ポリエチレン管は、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考える。

1.3.4 耐圧ホース及び消防用ホース

1.3.4.1 構造強度

耐圧ホースは設計・建設規格に記載がない材料であるが、通常運転状態における漏えい確認試験を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

消防用ホースも同様に設計・建設規格に記載がない材料であるが、消防法により規定される耐圧性能（1.6MPa）を満足していることから、原子炉注水系における使用条件（1.0MPa 以下）に対し、十分な構造強度を有していると判断する。

2 既設設備の耐震性

2.1 配管

2.1.1 耐震性評価

原子炉注水系のラインとしては、表－7の既設配管を使用することから、これらの耐震性について評価を行った。評価にあたっては、原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）に規定される許容応力状態Ⅳ_AS に対する許容値を評価基準値として用いた。その結果、1～3号機の炉心スプレイ系配管に接続される復水補給水系配管については、算出応力が評価基準値を上回るものの、1号機、2号機及び3号機の給水系配管については、算出応力が評価基準値を満足することを確認した（表－8参照）。

また、既設配管の内、PCV 内等に敷設されている配管については、現時点で目視等による健全性確認は実施できていないが、現時点でも当該配管を用いた注水により、原子炉圧力容器等が冷却されていること等の状況から、原子炉冷却に必要な健全性は確保されているものと考えられる。

表－7 原子炉注水系で使用する既設配管

号機	原子炉注水配管
1号機	給水系（A系，B系）
	復水補給水系～炉心スプレイ系（B系）
2号機	給水系（B系）
	復水補給水系～炉心スプレイ系（B系）
3号機	給水系（B系）
	復水補給水系～炉心スプレイ系（B系）

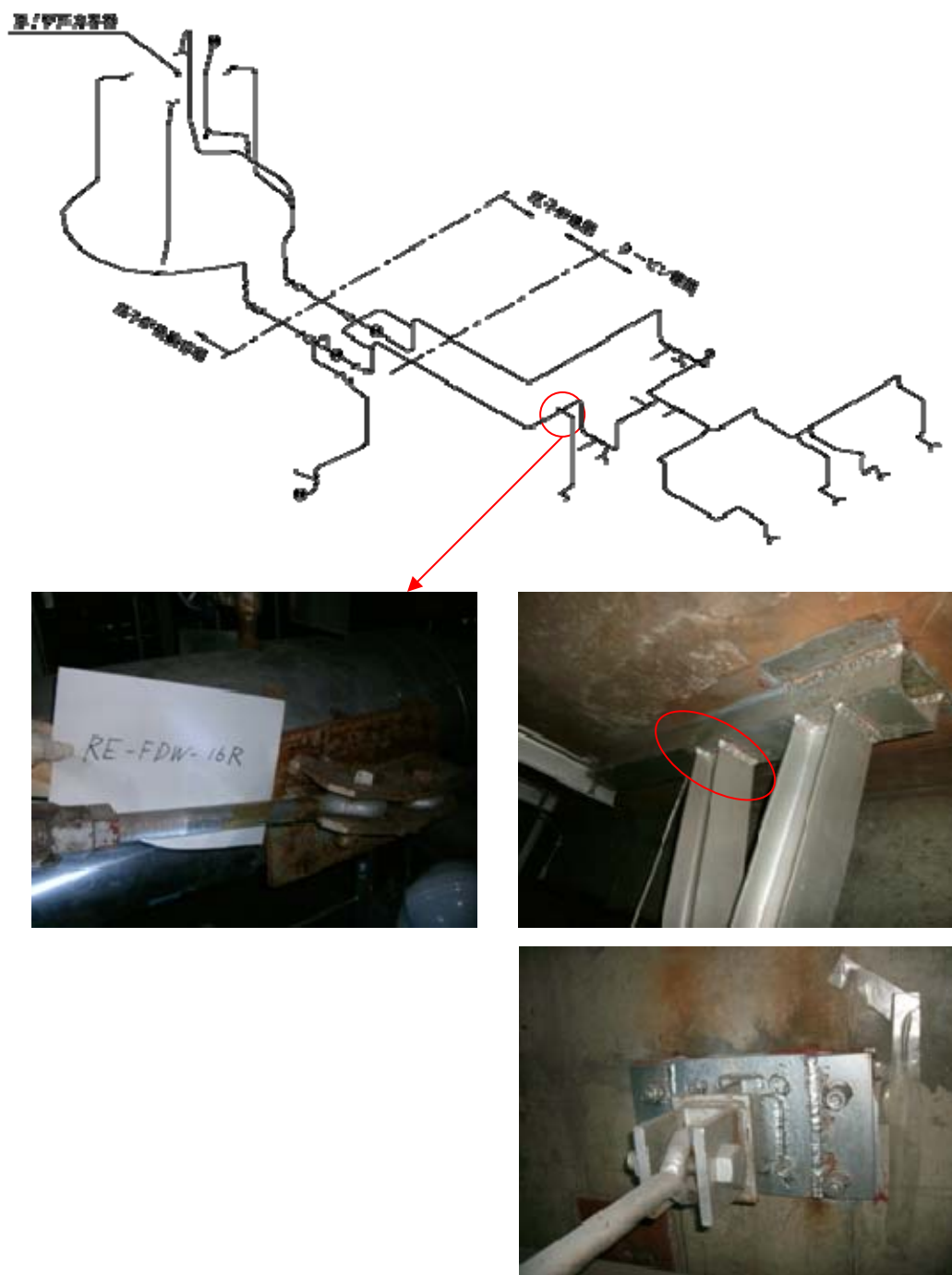
表－8 基準地震動 S_s による地震力に対する既設配管の耐震性評価結果

号機	系統	耐震 クラス	1次応力の 算出値 [MPa]	評価 基準値 [MPa]
1号機	給水系（A系，B系）	B	204	369
2号機	給水系（B系）	B	266	369
3号機	給水系（B系）	B	229	432

2.1.2 配管支持構造物の点検結果（代表例を記載）

【1号機】

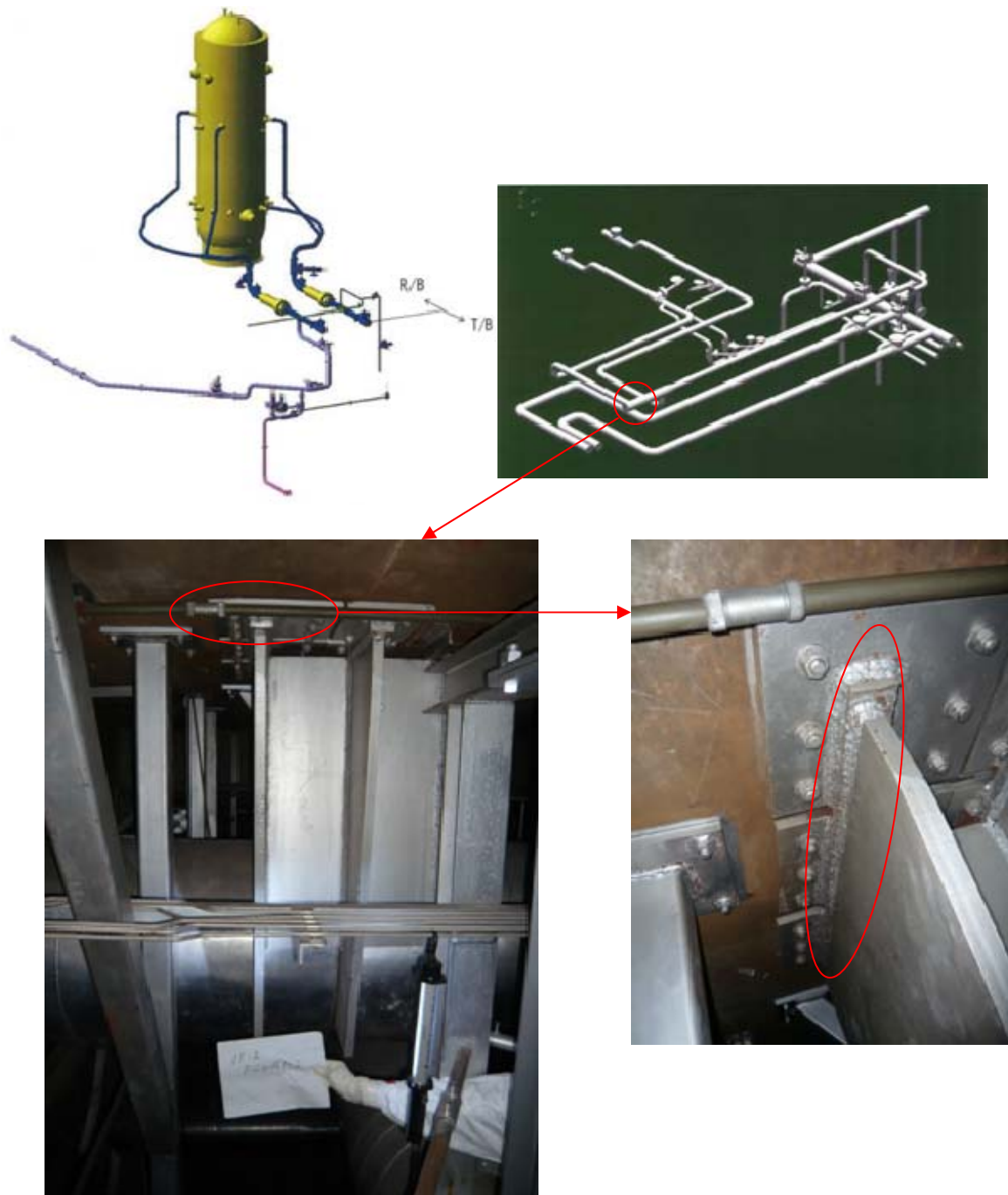
RE-FDW-16R



図－3 1号機の配管支持構造物の点検結果

【2号機】

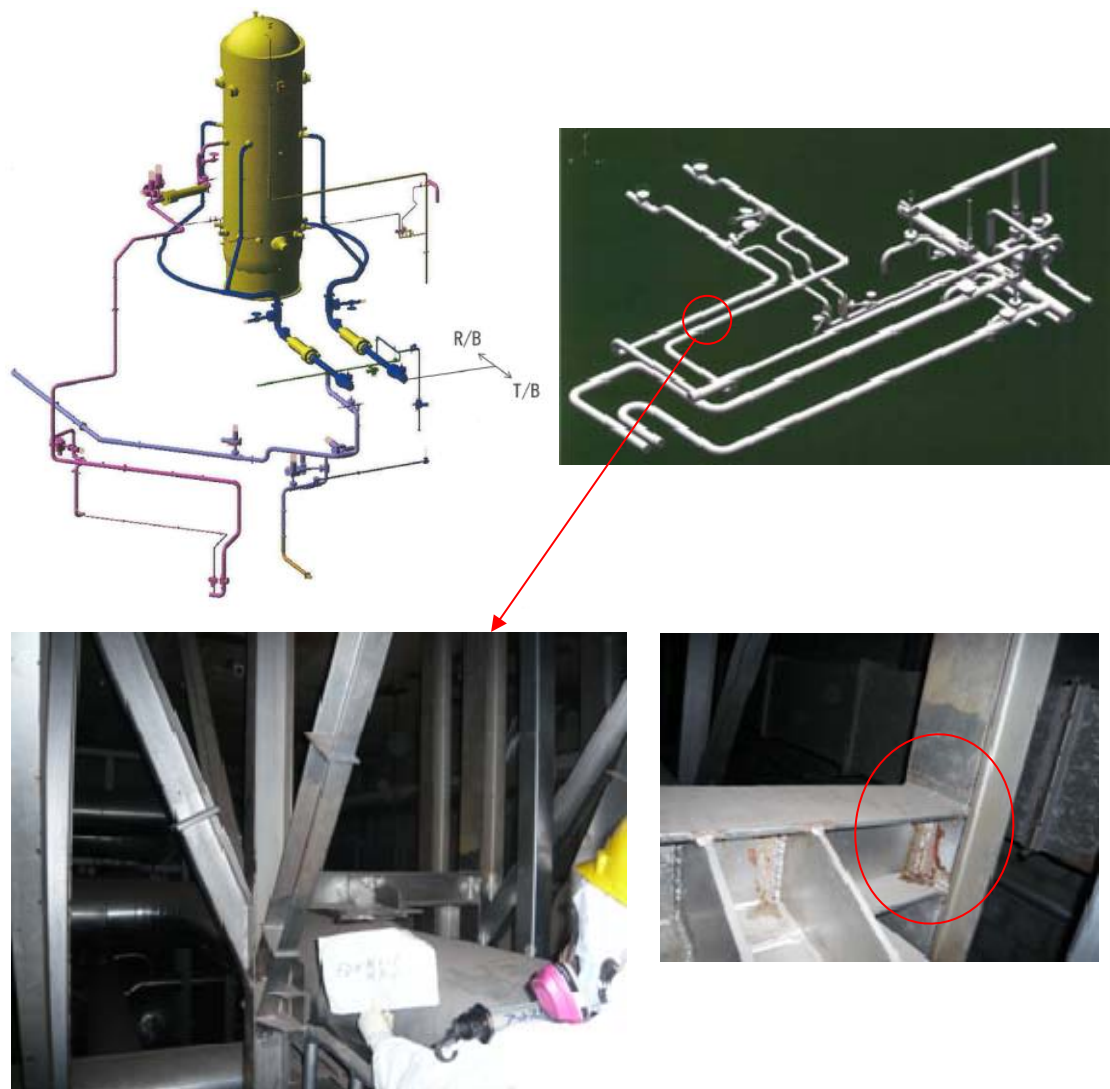
FDWR5-2



図－4 2号機の配管支持構造物の点検結果

【3号機】

FDWR6-1, FDWR7-1



図－5 3号機の配管支持構造物の点検結果

2.2 ろ過水タンク，純水タンク

ろ過水タンク，純水タンクは，本震で基準地震動 S_s 相当の地震力が加わったことで，純水タンク 1 基に漏えいが確認されたが，ろ過水タンク 2 基，純水タンク 1 基については，機能は維持されていた。これらのタンクは，基準地震動 S_s に対しては，解析上は耐震性を満足しないものの，現状を踏まえると，必ずしも全てのタンクが機能を喪失するものではないと考えるが，全てのタンクが機能喪失に至った場合でも注水ができるように，海水を水源とした消防車による注水を行えるようにする。

2.3 復水貯蔵タンク（CST）

CSTは，1号機は耐震Bクラス（工事計画認可 昭和44年4月9日付け 43公第13820号）にて，2／3号機は耐震Aクラス（2号機：工事計画認可 昭和46年2月10日付け 45公第11897号 3号機：工事計画認可 昭和46年12月22日付け 46公第16351号，工事計画軽微変更届出 昭和48年10月23日付け 総官発871号）にて設計・製作されている。本震で基準地震動 S_s 相当の地震力が加わるとともに，スロッシングによる応力も加わったと想定されるが，CSTについては，有意な変形等もなく，機能は維持されていた。この結果より，現状を踏まえると，基準地震動 S_s に対して機能維持可能であると考ええる。

崩壊熱相当の注水量について

崩壊熱相当の注水量 $W[\text{m}^3/\text{h}]$ は下式で計算されるものであり、 $T_{\text{in}}[^\circ\text{C}]$ から $T_{\text{out}}[^\circ\text{C}]$ までの顕熱で崩壊熱を冷却可能な注水量である。

$$W = Q \times \rho \times 1,000 \times 3,600 / (hw_{\text{out}} - hw_{\text{in}})$$

Q : 崩壊熱[kW]
 T_{in} : 注水温度[$^\circ\text{C}$]
 T_{out} : 崩壊熱を除熱後の注水温度[$^\circ\text{C}$]
 hw_{out} : 水 ($T_{\text{out}}^\circ\text{C}$) の比エンタルピー[J/kg]
 hw_{in} : 水 ($T_{\text{in}}^\circ\text{C}$) の比エンタルピー[J/kg]
 ρ : 水の比容積[m^3/kg]

なお、平成 24 年 12 月 7 日時点で、 T_{in} を 20°C 、 T_{out} を 80°C とした場合の、各号機の崩壊熱と崩壊熱相当の注水量の計算例を以下に示す。

号機	崩壊熱	崩壊熱相当の注水量 W
1 号機	0.25 MW	3.6 m^3/h
2 号機	0.33 MW	4.8 m^3/h
3 号機	0.33 MW	4.8 m^3/h

以上

炉注入する処理水の水質目標値について

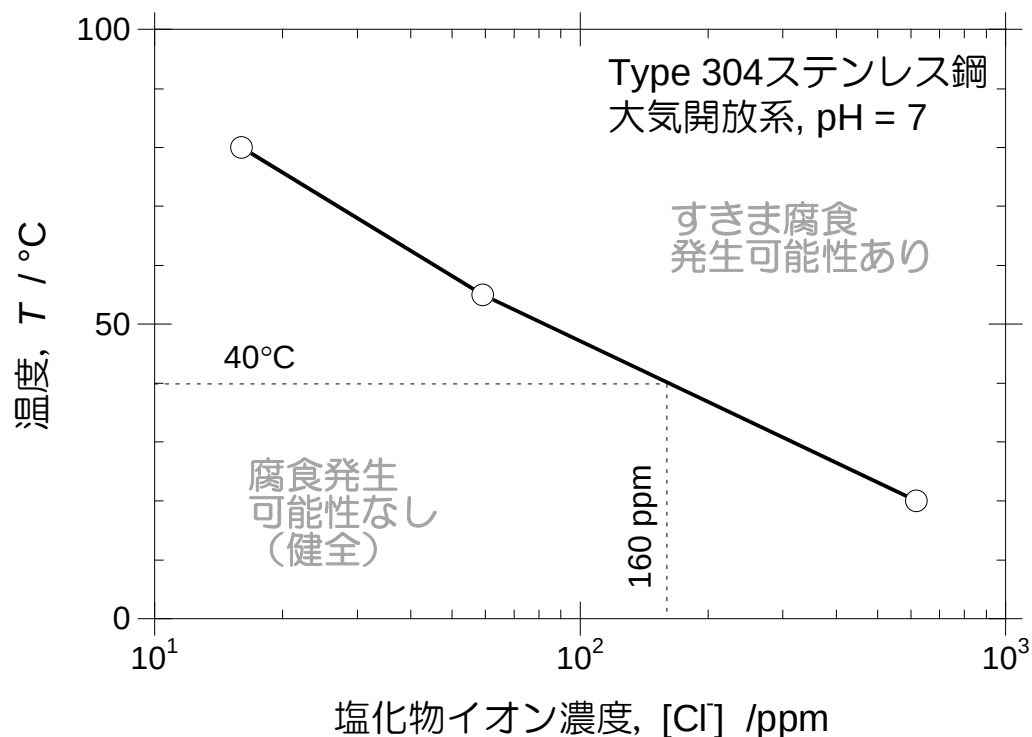
1. 原子炉注水ラインや原子炉压力容器（R P V）及び原子炉格納容器（P C V）の一部には塩化物イオンによる腐食への影響が認められている SUS304 材を使用していることから、念のため塩化物イオン濃度の目標値を 100ppm 以下とする。
2. 原子炉注水の水源である処理水バッファタンク水及び3号機復水貯蔵タンク水の塩化物イオン濃度を1回／3ヶ月の頻度で確認する。なお、確認は導電率測定によるものとし、塩化物イオン濃度 100ppm に相当する導電率 $40\text{mS/m}^{1),2)}$ を超える場合は、塩化物イオン濃度の測定を行う。

<100ppm の根拠>

塩化物イオンによるステンレス鋼の局部腐食発生限界を考慮。SUS304 と SUS316 が使用されているが塩化物イオンの腐食への影響がより大きい SUS304 の腐食抑制を検討。

①原子炉注水ライン

- 図－1 中の曲線の下領域が腐食の発生しない環境である。
- 原子炉注水ラインの温度は処理水バッファタンクまたは復水貯蔵タンクが水源であるから、大気温度を大きく超える可能性はなく、猛暑期を想定しても 40°C 以下と考えられる。
- 40°C における局部腐食臨界電位に相当する塩化物イオン濃度を評価すると、図－1 より 160ppm となる。



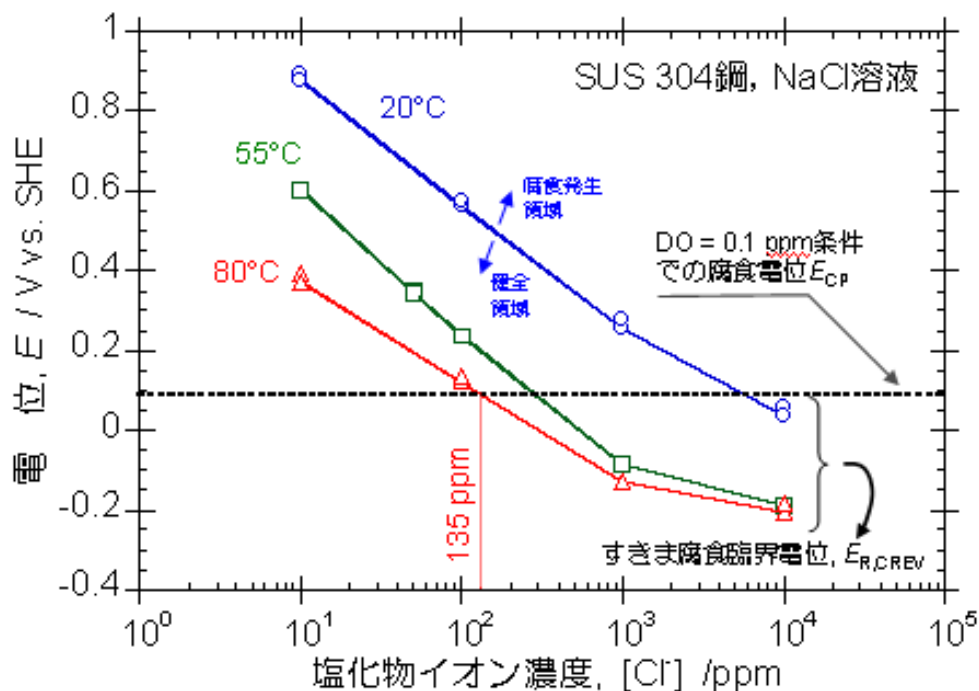
図－1 大気開放条件での 304 ステンレス鋼の腐食マップ^{3), 4)}

② 原子炉圧力容器（RPV）内及び原子炉格納容器（PCV）内

- R P V及びP C V内の温度は 80℃程度と評価されているが、窒素ガスの封入が行われていることから水中の溶存酸素濃度は低減しているものと考えられる。
- 現在、溶存酸素濃度は測定できないものの、注入されている N2 濃度は 99.99%以上であるので、酸素濃度を 0.01%と仮定すると分圧から水中の溶存酸素濃度は 1ppb程度で平衡するものと推定される。保守的に 100ppb (0.1ppm) と仮定すると、腐食電位は 100mV(SHE)以下と推定される。⁵⁾
- 図－2によれば、80℃、100mV（SHE）における局部腐食臨界電位に相当する塩化物イオン濃度は 135ppm と評価される。

③水質目標値の設定

以上より水質管理目標値を保守的に 100ppm とする。なお、今後R P VやP C V内の腐食環境に関する新たな情報が得られた時点で、根拠及び目標値を再評価してゆく。



図－2 SUS 304 鋼のすきま腐食臨界電位 $E_R, CREV$ と定常腐食電位 E_{SP} との比較による対すきま腐食可使用条件評価^{3), 6)}

1) 日本化学会編: “化学便覧 基礎編 改訂5版,” 丸善, p. II-563 (2004).

2) 日本学術振興会編: “金属防食技術便覧,” 日刊工業新聞社, p. 177 (1972).

3) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).

4) T. Fukuda, M. Akashi: Proc. Nuclear Waste Packaging –FOCUS’91, ANS, p. 201 (1991)

5) R. W. Staehle et al.: EPRI RP311-1, Final Summary Report (1977).

6) T. Fukuda, M. Akashi: Proc. Nuclear Waste Packaging –FOCUS’91, ANS, p. 201 (1991)

1 ～ 3 号機 CST 原子炉注水設備設置について

1. 工事の概要

原子炉注水設備の信頼性向上対策として，1 ～ 3 号機の C S T を水源とし，1 ～ 3 号機の原子炉等の安定冷却に必要な注水量を満足する注水ポンプ等を設置する。工事の対象範囲を図－1 ～ 3 に示す。設置する C S T 原子炉注水設備の仕様は，2. 1. 2. 1 (5)，及び表 2. 1－1 に示した通り。

2. 工程

	平成 25 年		
	4 月	5 月	6 月
現地工事			

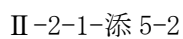


図-1 1号機 CST原子炉注水設備設置範囲

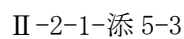


図-1-2 2号機 CST原子炉注水設備設置範囲

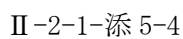


図-3 3号機 CST原子炉注水設備設置範囲

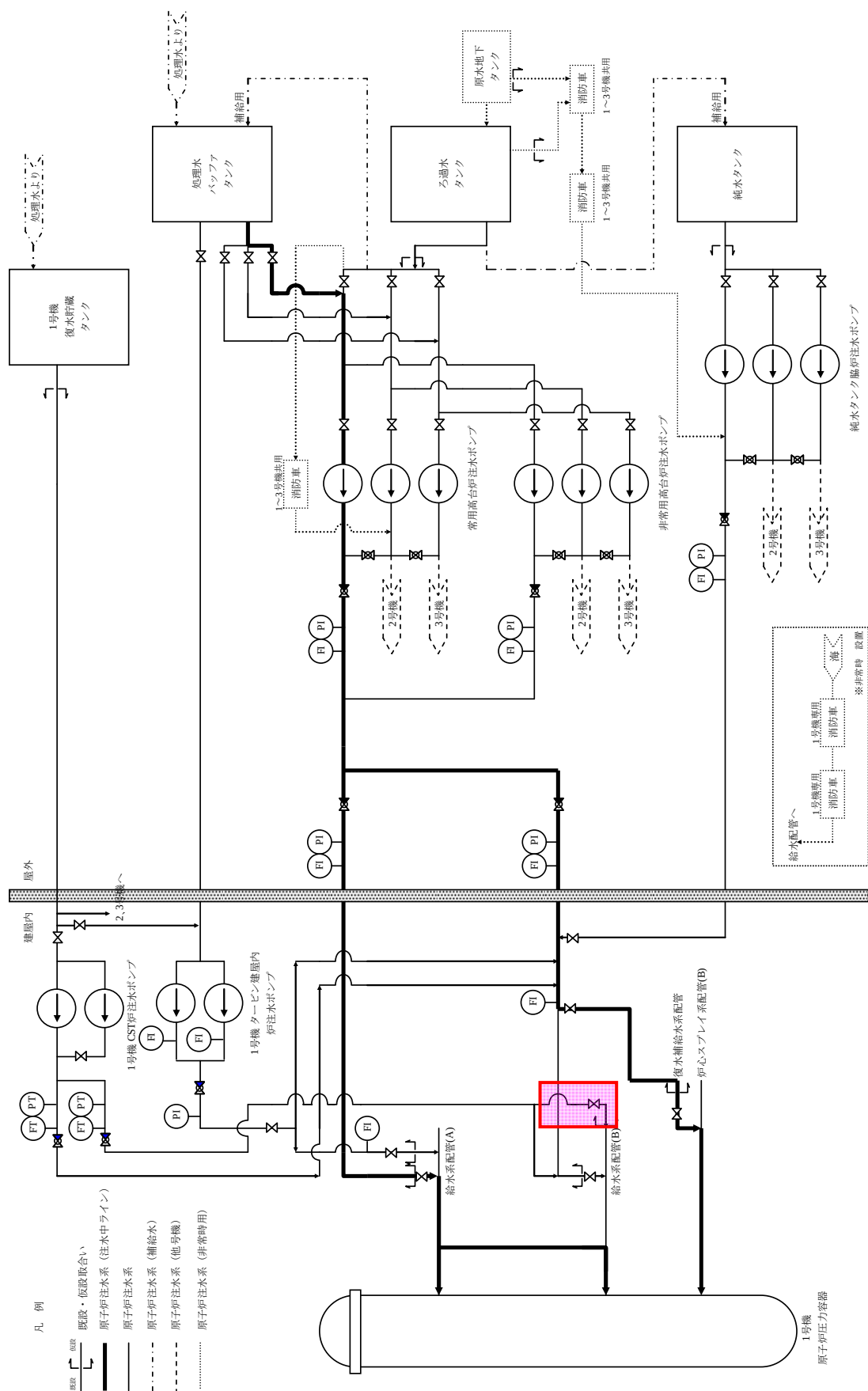
1号機 F D W系注水点の信頼性向上について

1. 工事の概要

既存の原子炉注水設備の信頼性向上対策として、F D W系注水点の改善工事（F D W配管母管を切断・注水ライン付き閉止板の取付け）により、注水ラインの口径アップ、及びバウンダリの縮小を図る。工事の対象範囲を図－1に示す。設置する配管の仕様は、表2. 1－1に示した通り。

2. 工程

	平成 25 年					
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
工場製作						
現地工事						



図ー1 1号機 F DW系注水点信頼性向上工事範囲

原子炉注水停止時評価の説明資料

1. 評価方法

評価は、大きく分けて三段階で実施する。第一段階では時間依存のエネルギーバランス評価によって原子炉注水停止後及び注水再開時の燃料や炉内構造材の温度変化を評価し、第二段階では温度評価結果を入力として核分裂生成物の放出量を評価し、第三段階では放出される環境中への線量影響評価を実施する。

評価プラントについては、1～3号機のうち崩壊熱の評価結果が最大である2号機を代表として対象とする（平成24年12月7日時点の崩壊熱：1号機0.25 MW、2号機0.33 MW、3号機0.33 MW）。

1.1 燃料温度評価

- (1) 炉心燃料からの崩壊熱による発熱と、炉心燃料、上部構造材、シュラウド、原子炉圧力容器側部、原子炉圧力容器底部のそれぞれの間の輻射熱伝達を考慮する。（図－1）
- (2) 各部の温度は一点近似とする。
- (3) 原子炉注水停止時の原子炉圧力容器内の保有水量は保守的に0 m³とし、原子炉注水停止と同時に全燃料が露出するものとする。
- (4) 評価に用いる式を以下に示す。（注水再開前）
 - a. 炉心燃料のエネルギーバランスの式

$$M_1 C p_1 \frac{dT_1}{dt} = Q_d - Q_1 - Q_5$$

M_1 : 炉心燃料質量[kg]

$C p_1$: 炉心燃料比熱[kJ/(kg-K)]

T_1 : 炉心燃料温度[K]

Q_d : 炉心燃料崩壊熱[kW]

Q_1 : 炉心燃料（上面）における輻射伝熱量[kW]

Q_5 : 炉心燃料（下面）における輻射伝熱量[kW]

- b. 上部構造材のエネルギーバランスの式

$$M_2 C p_2 \frac{dT_2}{dt} = Q_2$$

M_2 : 上部構造材質量[kg]

$C p_2$: 上部構造材比熱[kJ/(kg-K)]

T_2 : 上部構造材温度[K]

Q_2 : 上部構造材における輻射伝熱量[kW]

- c. シュラウドのエネルギーバランスの式

$$M_3 Cp_3 \frac{dT_3}{dt} = Q_3 - Q_4$$

M_3 : シュラウド質量[kg]

Cp_3 : シュラウド比熱[kJ/(kg-K)]

T_3 : シュラウド温度[K]

Q_3 : シュラウド（内面）における輻射伝熱量[kW]

Q_4 : シュラウド（外面）における輻射伝熱量[kW]

- d. 原子炉圧力容器側部のエネルギーバランスの式

$$M_4 Cp_4 \frac{dT_4}{dt} = Q_4$$

M_4 : 原子炉圧力容器側部質量[kg]

Cp_4 : 原子炉圧力容器側部比熱[kJ/(kg-K)]

T_4 : 原子炉圧力容器側部温度[K]

- e. 原子炉圧力容器底部のエネルギーバランスの式

$$M_5 Cp_5 \frac{dT_5}{dt} = Q_5$$

M_5 : 原子炉圧力容器底部質量[kg]

Cp_5 : 原子炉圧力容器底部比熱[kJ/(kg-K)]

T_5 : 原子炉圧力容器底部温度[K]

- (5) 注水再開後には注水による燃料冷却を考慮する。注水量の全てが炉心燃料の冷却に寄与するものとし、また、発生蒸気によって上部構造材が冷却されるものとする。飽和温度以下の水により燃料が冷却される場合には、水の顕熱により燃料の崩壊熱が除去されるものとする。

- (6) 評価に用いる式を以下に示す。（注水再開後）

- a. 炉心燃料のエネルギーバランスの式

$$M_1 Cp_1 \frac{dT_1}{dt} = Q_d - Q_1 - Q_5 - Q_c$$

$$\text{ここで, } Q_c = W_g (H_g - H_f) + W_{in} (H_f - H_{in})$$

Q_c : 注水による炉心燃料除熱量[kW]

W_{in} : 注水流量[kg/s]

W_g	: 発生蒸気量[kg/s]
H_{in}	: 注水の比エンタルピ[kJ/kg]
H_g	: 飽和蒸気の比エンタルピ[kJ/kg]
H_f	: 飽和水の比エンタルピ[kJ/kg]

b. 上部構造材のエネルギーバランスの式

$$M_2 C p_2 \frac{dT_2}{dt} = -Q_2 - Q_{2g}$$

$$\text{ここで, } Q_{2g} = h_{2g} A_{2g} (T_2 - T_g)$$

Q_{2g}	: 上部構造材から蒸気流への対流伝熱量[kW]
T_g	: 飽和蒸気温度[K]
h_{2g}	: 上部構造材の熱伝達率[kW/(m ² -K)]
A_{2g}	: 上部構造材伝熱面積（蒸気への対流伝熱）[m ²]

1.2 核分裂生成物の放出量評価

- (1) 上部構造材に付着しているセシウムが温度上昇に伴い飽和蒸気圧で蒸発し、環境中へ放出された場合の線量影響を評価する。セシウムの放出量は、上部構造材温度の時間変化にしたがって放出量を積分して評価する。

上部構造材としては、スタンドパイプと気水分離器を考慮しており、燃料からの輻射熱の影響を考慮し、燃料に近いこれらの部位に炉心燃料インベントリ全量のセシウムが付着しているという保守的な設定としている。

- (2) 希ガスは既にほぼ完全に放出されていること、また、ヨウ素は減衰していることから、これらの被ばく評価上の影響は無視できるため、本評価では考慮しないこととする。
- (3) 燃料残存の核分裂生成物（FP）については、平成 23 年 3 月の事故時に燃料温度は約 3,000℃近くの高温に達していると評価されており、揮発性の高いものは既に放出されているものと考えられる。よって、今回の評価結果の範囲である 500℃程度の燃料温度では、FP の有意な追加放出がないと考えられることから、これらについては本評価では考慮しないこととする。
- (4) 対象とするセシウムの化学形態は水酸化セシウム（CsOH）とし、その飽和蒸気圧は熱力学データベース（MALT）による評価結果を引用するものとする。（図－2）
- (5) CsOH のキャリアガスは、発生する蒸気量とする。また、炉心燃料が冷却するまで放出が継続するものとする。
- (6) 評価に用いる式を以下に示す。

$$M_{CsOH} = P_{CsOH} V_g / (RT)$$

$$C_{CsOH} = M_{CsOH} / (V_g + \nu_{grav} A_{grav} + \nu_{dif} A_{dif})$$

$$M_{leak} = C_{CsOH} V_g$$

- M_{CsOH} : CsOH 発生量[mo1/s]
 P_{CsOH} : CsOH 飽和蒸気圧[N/m²]
 V_g : 発生蒸気流量[m³/s]
 R : 気体定数[J/(mo1-K)]
 T : 上部構造材温度[K]
 C_{CsOH} : CsOH 平衡濃度[mo1/m³]
 v_{grav} : 重力沈降速度[m/s]
 A_{grav} : 重力沈降面積[m²]
 v_{dif} : ブラウン拡散沈着速度[m/s]
 A_{dif} : ブラウン拡散沈着面積[m²]
 M_{leak} : CsOH 放出量[mo1/s]:

- (7) 上記の原子炉格納容器での重力沈降とブラウン拡散沈着は考慮するが，その他の原子炉格納容器内や原子炉建屋での除染係数については，保守的に考慮しないこととする。

1.3 線量影響評価

- (1) 大気中へ放出されるセシウムは，原子炉建屋から地上放散されるものとし，周辺の公衆に対する，放射線被ばくのリスクを年間の実効線量を用いて評価する。
- (2) 評価対象核種はセシウム 134 とセシウム 137 とする。
- (3) 実効線量は，以下に述べる内部被ばくによる実効線量及び外部被ばくによる実効線量の和として計算する。被ばく経路としては，放射性雲中のセシウムからの外部被ばくと内部被ばくと，地表沈着したセシウムによる外部被ばくと内部被ばくを考慮する。
- (4) 放射性雲のセシウムからの γ 線の外部被ばくによる実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{\gamma} = K \cdot E_{\gamma} / 0.5 \cdot D / Q \cdot Q_{Cs} \cdot 1000$$

- H_{γ} : 放射性雲のセシウムからの γ 線の外部被ばくによる実効線量[mSv]
 K : 空気カーマから実効線量への換算係数[Sv/Gy]
 E_{γ} : γ 線の実効エネルギー[MeV]
 D / Q : 相対線量[Gy/Bq]
 Q_{Cs} : 事故期間中のセシウムの大気放出量[Bq]

- (5) 放射性雲のセシウムからの吸入摂取による内部被ばくの実効線量の評価に用いる式を以下に示す。

$$H_{Cs} = K_{in} \cdot R_1 \cdot \chi / Q \cdot Q_{Cs}$$

- H_{Cs} : 放射性雲のセシウムからの吸入摂取による内部被ばくの実効線量[mSv]

K_{in} : 内部被ばく線量換算係数[mSv/Bq]
 R_1 : 呼吸率[m³/s]
 χ/Q : 相対濃度[s/m³]

- (6) 地表沈着したセシウムからの外部被ばくによる実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{ex} = K_{ex} \cdot \chi/Q \cdot V \cdot f \cdot Q_{Cs} \cdot T \cdot 1000$$

G_{ex} : 地表沈着したセシウムからの外部被ばくによる実効線量[mSv]
 K_{ex} : 外部被ばく線量換算係数[(Sv/s)/(Bq/m²)]
 V : 沈降速度[m/s]
 f : 残存割合[-]
 T : 被ばく時間[s]

- (7) 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウムの吸入摂取による内部被ばくの実効線量の評価に用いる式を以下に示す。1年間居住し続ける場合を考慮し、1年間の線量を評価する。セシウムの崩壊については保守的に考慮しない。

$$G_{in} = R_2 \cdot K_{in} \cdot \chi/Q \cdot V \cdot f \cdot F \cdot Q_{Cs} \cdot T$$

G_{in} : 地表沈着したセシウムから再浮遊したセシウムの吸入摂取による内部被ばくの実効線量[mSv]
 R_2 : 呼吸率[m³/s]
 F : 再浮遊率[m⁻¹]

- (8) 相対濃度と相対線量については、本事象では核分裂生成物は主排気筒より放出されないことから、地上放散を想定し、下表の値を用いる。

	敷地境界	5km 地点	10km 地点
相対濃度[s/m ³]	2.6×10^{-5}	4.3×10^{-6}	1.5×10^{-6}
相対線量[Gy/Bq]	3.0×10^{-19}	8.9×10^{-20}	3.8×10^{-20}

2. 評価条件

2.1 燃料位置

燃料の位置については、不確定性はあるものの、1～3号機のいずれについても原子炉圧力容器もしくは原子炉格納容器内に燃料は存在しているものと推定されており、本評価

では、実効線量の評価を厳しくする観点から、原子炉压力容器内に燃料の全量があるという条件で評価している。

平成23年3月の事故時の炉心損傷過程で放出されたセシウムの大部分は原子炉压力容器内の上部構造材に付着していると考えられるため、本評価では、上部構造材に付着したセシウムの再蒸発による環境放出を前提とする。原子炉格納容器に燃料が落下している場合と比較して、原子炉压力容器内に燃料を想定する場合の方が上部構造材の温度上昇を大きく見積もるため、保守的な結果を与えることとなる。

2.2 初期温度

現状の原子炉压力容器や原子炉格納容器の各部位の温度推移から、原子炉压力容器内及び原子炉格納容器内は十分に冷却されており（平成24年12月7日時点で概ね50℃以下）、露出した過熱部分が有意な割合で存在している状況ではないと推定される。よって、初期燃料温度については、100℃と設定することが妥当と考えられるが、燃料位置等の不確かさを考慮して、保守的に150℃と設定する。原子炉压力容器上部等の構造材については、初期温度を100℃と設定する。

2.3 燃料の崩壊熱

燃料の崩壊熱については、平成24年12月7日時点の2号機の崩壊熱（0.33MW）を用いる。

2.4 注水停止時間

注水停止してから注水再開までの注水停止時間は以下の条件とする。

(1) 過渡相当

過渡相当事象としては、機器等の単一の故障を想定する。想定される原子炉注水系の単一の故障（ポンプ故障、電源喪失、水源喪失、原子炉注水ライン損傷）が発生した場合の注水再開までの所要時間は、以下に示すようにいずれも30分程度であるので、これに余裕をとり原子炉注水の停止時間は1時間とする。

a. ポンプ故障

常用系ポンプが故障した場合は、待機号機の起動もしくは非常用高台炉注水ポンプの起動を行うことで、原子炉注水を再開する（注水再開の所要時間：30分程度）。

b. 電源喪失

常用系ポンプの電源が、外部電源喪失や全母線電源喪失により喪失した場合は、電源切替に数時間を要することから、非常用高台炉注水ポンプによる原子炉注水（系統構成及び非常用高台炉注水ポンプの起動）及び予め待機している消防車による原子炉注水（系統構成及び消防車の起動）を並行して実施する（注水再開の所要時間：30分程度）。

c. 水源喪失

常用系ポンプは、主としてバッファタンクを水源としているが、タンク等が損傷し、保有水が漏えいする等、タンク機能が喪失した場合は、水源をろ過水タンクに切替える（注水再開の所要時間：30 分程度）

d. 原子炉注水ライン損傷

常用系ポンプからの注水ラインが損傷した場合は、純水タンク脇炉注水ポンプによる原子炉注水（系統構成及び純水タンク脇炉注水ポンプの起動）を行う（注水再開の所要時間：30 分程度）。

(2) 事故相当

原子炉注水の流量低下や注水ポンプの電源喪失を検知した際は、免震重要棟内で警報を発して異常時の対応を促す仕組みとしているが、事故相当事象としては、これらの警報では検知できない原子炉注水系の異常が生じた場合を想定する。この場合には、原子炉压力容器周辺や原子炉格納容器周辺の温度計の指示上昇によって異常の兆候を検知することとなるが、仮に、このような事態が生じた場合には、各部位の温度計が全体的に顕著な上昇傾向を示すと考えられるため、異常の検知は可能であると考えられる。

温度上昇の幅としては、本評価では保守的に 30℃と設定する。また、対象とする温度については、異常時には全体的に顕著な温度上昇傾向が想定されるため、上述の評価方法によって求めた原子炉压力容器底部の温度を代表として検知対象とする。原子炉压力容器底部の温度変化を図－3 に示すが、原子炉压力容器底部の温度上昇幅が 30℃を超過するのは注水停止からの経過時間が約 6 時間の時点である。これに注水再開に要する時間（注水再開の所要時間：30 分程度）を考慮し、事故相当での原子炉注水の停止時間は 7 時間とする。

事故相当事象としては、原子炉注水系の複数の設備が同時に機能喪失した事象も想定される。このような事象が発生した場合には、水源の損傷状況や現場状況に応じて、新たな消防車の配備や注水ラインの再敷設等を行い、原子炉注水を再開する。注水再開までの時間は、現場状況等により変動するものの、ホース敷設距離等を踏まえた作業時間を勘案すると、作業開始から 3 時間程度と想定しており、上述の炉注水関係の警報では検知できない異常事象に包絡される。

(3) シビアアクシデント相当

施設の安全性を評価する観点では、異常時の評価としては過渡相当事象と事故相当事象の評価をすることで十分と考えられるが、ここではより長期にわたる原子炉注水停止の影響評価を行うため、想定を大きく超えるシビアアクシデント相当事象についても評価を実施することとする。

シビアアクシデント相当としては、何らかの原因によって原子炉注水が長時間停止し、注水停止時間が事故相当事象を超える事象を想定する。

東北地方太平洋沖地震時の最長の原子炉注水停止時間は、1号機の実績で約14時間であり、この時間が1つの目安として考えられる。下表に1号機の当時の時系列を示しているが、全交流電源喪失から消防車による淡水注入開始までの約14時間を注水停止時間としている（非常用復水器の動作については不明な点があるものの、全交流電源喪失以降について機能が喪失しているものとしている）。

1号機 事象発生時の主要経緯（時系列）

（「福島第一原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について（平成23年9月 東京電力株式会社）」からの抜粋）

日時	主要経緯
平成23年3月11日	
14:46	東北地方太平洋沖地震発生，原子炉スクラム。
15:37	全交流電源喪失。
17:12	発電所長（発電所緊急時対策本部長）は，アクシデントマネジメント策として設置した消火系（FP）ライン，及び消防車を使用した原子炉への注水方法の検討開始を指示。
17:30	ディーゼル駆動消火ポンプ（DD-FP）起動（待機状態）。
平成23年3月12日	
1:48	不具合によるDD-FP停止を確認。消防車からFPラインへの送水口につなぎこむことを検討開始。
5:46	原子炉内にFPラインから消防車による淡水注入開始。

表に示すように、消防車からFPラインへの送水口につなぎこむことの検討開始は、ディーゼル駆動消火ポンプ（DD-FP）の停止を確認した後に実施しており、原子炉注水途絶直後から消防車による注水だけに専念することを想定する場合には、DD-FPの起動から停止までの時間（約7時間）を短縮することが可能であると考えられる。また、当時と比較して、消防車の配備や手順書の整備がなされており、定期的な訓練も実施されていることから、消防車による原子炉注水についても事故当時と比較すると短期間で実施することが可能と考えられる。

これらを踏まえて、本評価では実績の約14時間を短縮した12時間をシビアアクシデント相当事象の注水停止時間として設定する。

2.5 注水再開時の注水流量と注水温度

注水再開時の注水流量は、事故相当事象とシビアアクシデント相当事象では $10 \text{ m}^3/\text{h}$ と設定する。これは、平成 24 年 12 月 7 日時点の崩壊熱相当注水量（Ⅱ.2.1 添付資料－3）の約 2 倍の流量である。また、過渡相当事象では崩壊熱相当注水量と同程度の $5 \text{ m}^3/\text{h}$ を注水再開時の注水流量として設定する。また、注水温度は 30°C とする。

3. 評価結果

3.1 過渡相当

炉心燃料温度と上部構造材温度の時間変化を図－4に示す。原子炉注水停止から炉心燃料温度は上昇し、注水停止から1時間の注水再開の時点で約 170°C まで上昇するが、注水再開により速やかに冷却され、事象は収束する。また、事象期間を通じて上部構造材温度はほとんど上昇しない。

本事象時に放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量について評価した結果は下表のとおりとなる。

セシウム 134 放出量	約 $5.0 \times 10^4 \text{ Bq}$
セシウム 137 放出量	約 $6.1 \times 10^4 \text{ Bq}$
年間の実効線量	約 $9.3 \times 10^{-7} \text{ mSv}$

3.2 事故相当

炉心燃料温度と上部構造材温度の時間変化を図－5に示す。原子炉注水停止から温度は上昇し、注水停止から7時間の注水再開の時点で炉心燃料温度は約 260°C 、上部構造材温度は約 110°C まで上昇するが、注水再開により速やかに冷却され、事象は収束する。

本事象時に放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量について評価した結果は下表のとおりとなる。

セシウム 134 放出量	約 $2.3 \times 10^5 \text{ Bq}$
セシウム 137 放出量	約 $2.8 \times 10^5 \text{ Bq}$
年間の実効線量	約 $4.3 \times 10^{-6} \text{ mSv}$

3.3 シビアアクシデント相当

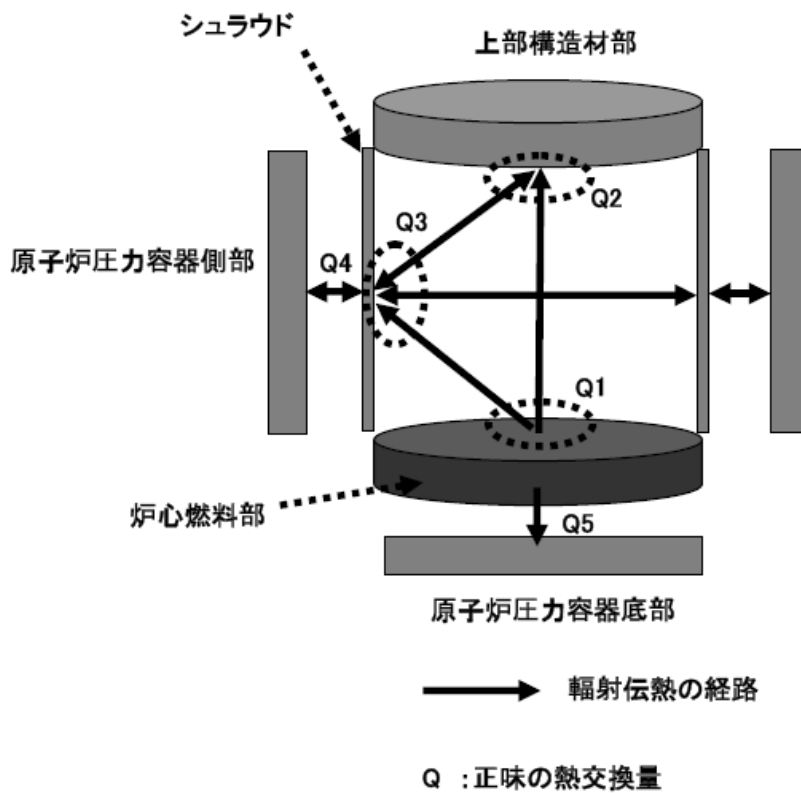
炉心燃料温度と上部構造材温度の時間変化を図－6に示す。原子炉注水停止から温度は上昇し、注水停止から12時間の注水再開の時点で炉心燃料温度は約 330°C 、上部構造材温度は約 120°C まで上昇するが、注水再開により速やかに冷却され、事象は収束する。

本事象時に放出されるセシウム量及び敷地境界での実効線量について評価した結果は下表のとおりとなる。

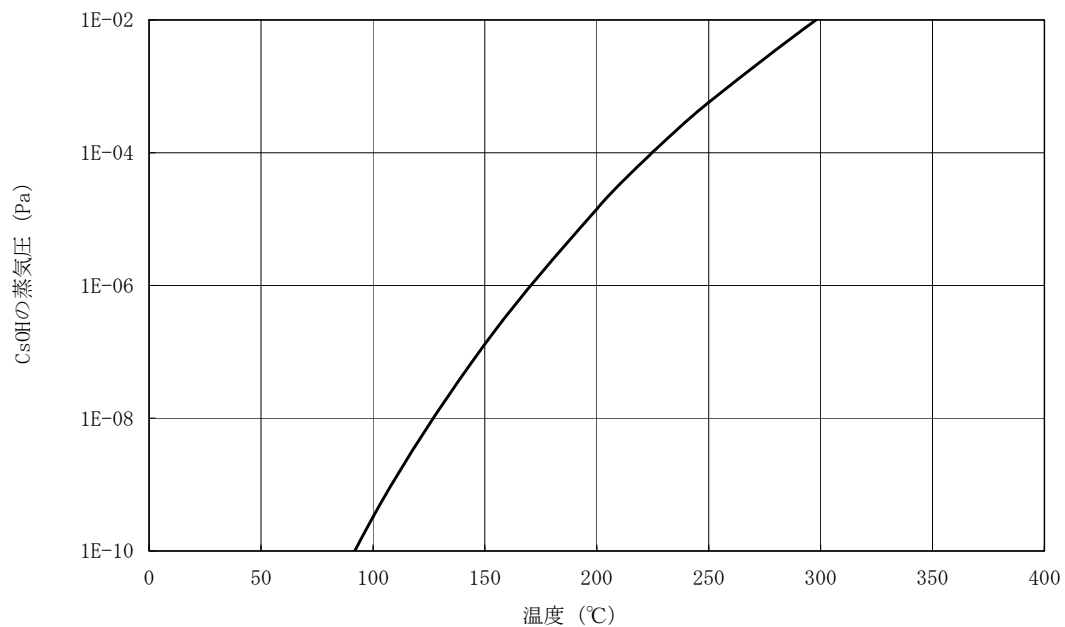
セシウム 134 放出量	約 1.1×10^6 Bq
セシウム 137 放出量	約 1.4×10^6 Bq
年間の実効線量	約 2.1×10^{-5} mSv

また, 特定原子力施設から 5km, 10km 地点での年間の実効線量はそれぞれ約 3.5×10^{-6} mSv, 約 1.2×10^{-6} mSv となる。3 プラント分の放射性物質の放出を考慮した場合においても, 敷地境界での年間の実効線量は約 6.3×10^{-5} mSv, 特定原子力施設から 5km 地点で約 1.1×10^{-5} mSv, 10km 地点で約 3.6×10^{-6} mSv となる。

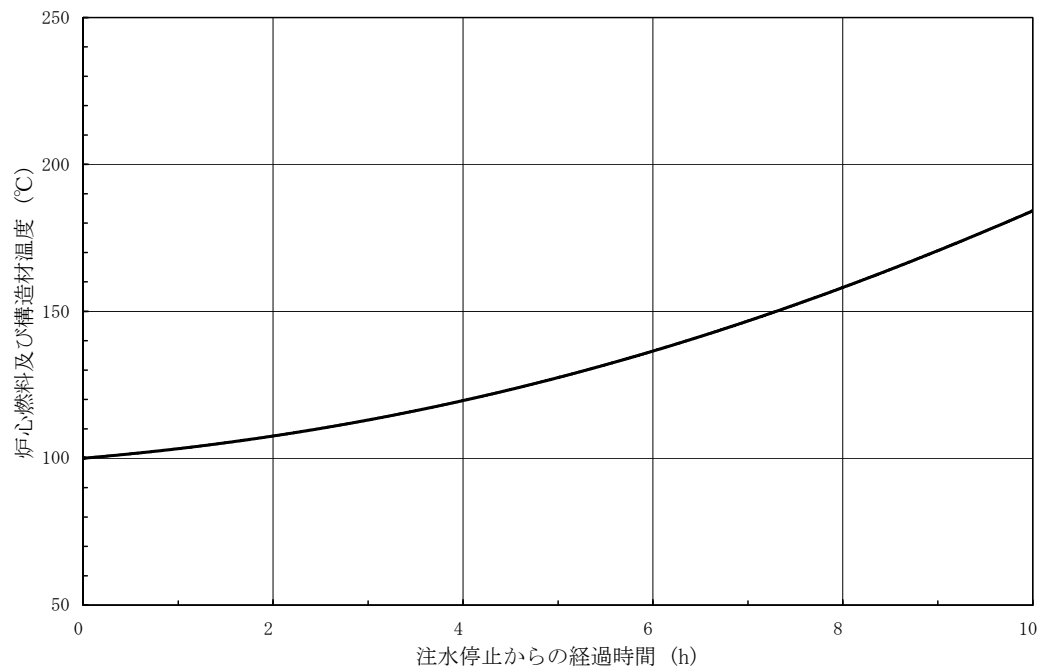
以下余白



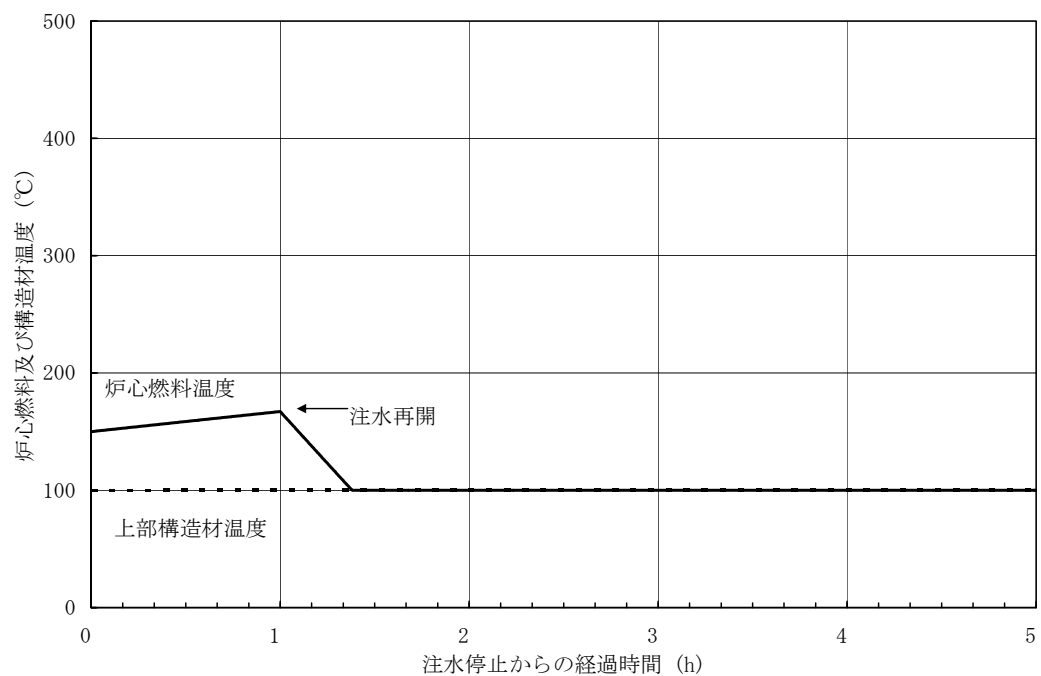
図－1 原子炉压力容器輻射モデルの概要



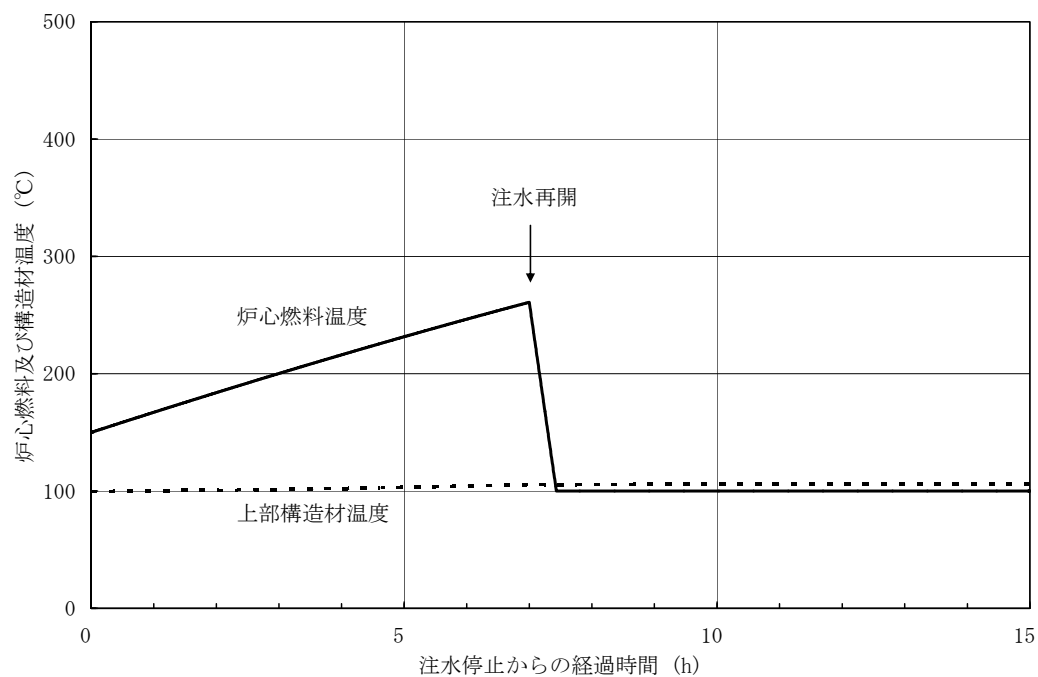
図－2 CsOH 蒸気圧の温度依存性



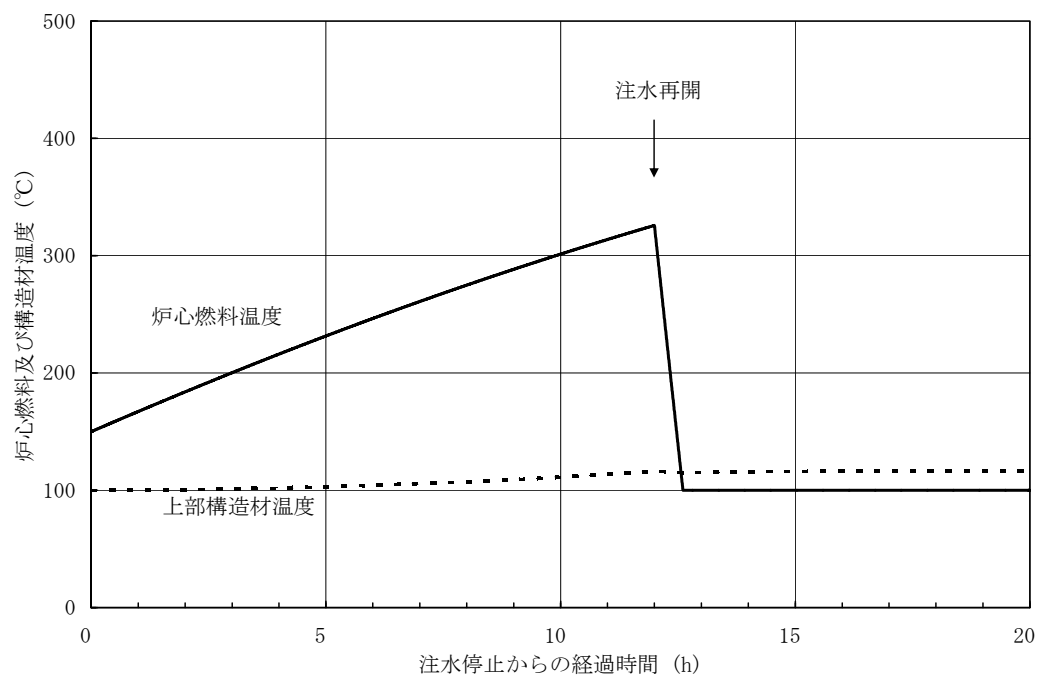
図－３ 原子炉圧力容器底部の温度上昇の時間変化



図－４ 炉心燃料温度と上部構造材温度の時間変化（過渡相当）



図ー 5 炉心燃料温度と上部構造材温度の時間変化（事故相当）



図ー 6 炉心燃料温度と上部構造材温度の時間変化（シビアアクシデント相当）

原子炉注水系に関する確率論的リスク評価

1.1 目的

事故後の原子炉の状況において最も重要な原子炉を冷やす機能である原子炉注水系について、多重故障等の厳しい条件に基づき、原子炉注水系の機能が喪失した際の相対的な脆弱性を体系的に把握することは、安全性を向上させる上で有用な役割を果たすものである。

ここでは、原子炉注水系に対して影響が大きい事象を選定し、その後の事象進展の確率を、設備構成や故障率を基に推定し、原子炉压力容器内及び格納容器内の燃料（以下、炉心という）が再損傷に至る頻度を評価する（別紙－ 1， 2 参照）。

1.2 方針

1 号機から 3 号機は、津波襲来後の数日の間にシビアアクシデントに至ったものとみられており、その間で一定量の放射性物質（FP）が環境に放出されたものと考えられる。このような状況を考慮し、ここでの評価方針としては、原子炉压力容器内及び格納容器内に残存している FP の相当量が環境へ放出される事象を対象とする。

1.3 評価対象

本評価では、原子炉压力容器内及び格納容器内に残存している FP の相当量が環境へ放出される事象として、炉心再露出及び炉心再損傷に至る頻度を評価対象とする。なお、原子炉注水系が一定時間停止すると、炉心再露出に至ることから、原子炉注水系が停止する事象を原子炉注水系機能喪失と呼ぶ。

また、格納容器の気密性を確保できていないと考えられることから、炉心の再損傷後から放出までの評価は炉心の再損傷頻度と同等として取り扱う。

評価対象とした原子炉注水系の構成を図－ 1 に、原子炉注水系の電源構成を図－ 2 に示す。

原子炉注水系機能喪失に至る起因事象は、安定的な原子炉への注水を阻害する要因（ハザード）が発電所内、所外のどちらに起因するかに分けて選定し、以下のとおりとした。

○ハザード発生箇所が発電所内の場合

- (1) 常用高台炉注水ポンプトリップ
- (2) 注水ライン機能喪失
- (3) 一次水源からの供給機能喪失
- (4) 外部電源喪失（地震を除く）
- (5) 所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災

○ハザード発生箇所が発電所外の場合

- (6) 外部電源喪失（地震）
- (7) 大津波事象

1.4 原子炉注水系機能喪失の判定条件

これまで比較的安定して冷却してきた燃料が露出すると、燃料温度は上昇する。ただし、原子炉停止から時間が経過していることから、炉内の崩壊熱量は大幅に低減しており、燃料が露出しても直ちに燃料が溶融し、FP が環境に放出されることにはならない。

ここで、炉心再損傷の判定条件として、炉心の温度が上昇し、3 プラント同時に炉心損傷した際の敷地境界の線量が 5mSv 以下となることとした。添付資料－1 の手法により原子炉注水系機能喪失からこの判定条件に至るまでの時間を評価した結果、原子炉注水系機能喪失から、34 時間後までに炉心への注水に成功すれば、炉心再損傷を防止できるものとし、34 時間以内に注水を復旧できない場合を炉心再損傷とした。

1.5 評価結果

起因事象発生から炉心再損傷に至るまでの頻度を評価した。

炉心再損傷が発生する頻度（点推定値）は表－1 及び図－3 に示すとおりであった。各起因事象の評価結果の概要について以下に示す。

(1) 常用高台炉注水ポンプトリップ

常用高台炉注水ポンプの共通原因故障による 3 台の機能喪失により、ポンプトリップし、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(2) 注水ライン機能喪失

注水ラインの破損により炉注水が中断し、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(3) 一次水源からの供給機能喪失

一次水源（バッファタンク）への給水が途絶えること等で、一次水源が枯渇することにより炉注水が中断し、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(4) 外部電源喪失（地震を除く）

外部電源喪失（地震を除く）により外部電源の供給が途絶え、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(5) 所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災

所内共通 M/C(1A)/(1B) 盤火災により、常用高台炉注水ポンプへの電源の供給が途絶え、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は 1%未満である。

(6) 外部電源喪失（地震）

地震により外部電源の供給が途絶え、炉注水の再開に失敗することにより炉心が再

損傷に至るシナリオである。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は1%未満である。

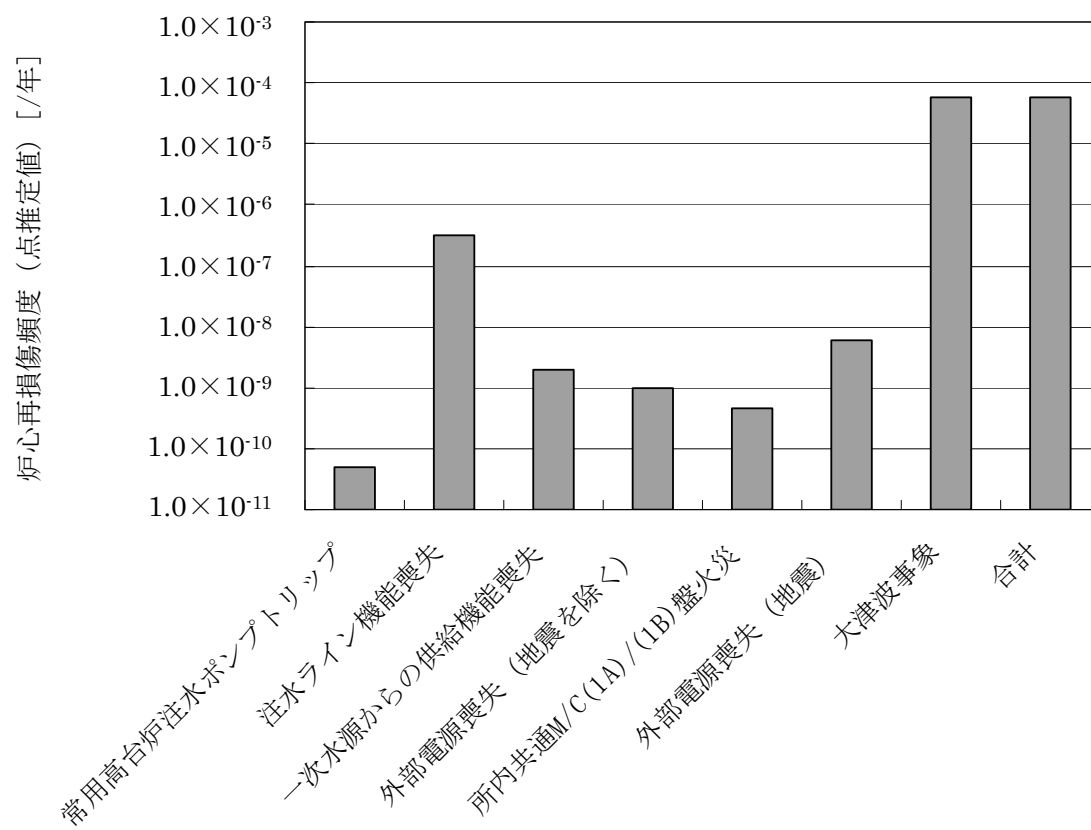
(7) 大津波事象

大津波が襲来したことにより，注水ラインが流され，炉注水が中断し，注水ラインの復旧に失敗し，炉注水の再開に失敗することにより炉心が再損傷に至るシナリオである。大津波事象の発生頻度を 700 年に一回と見込んだこと，漂流物等により注水ラインが損傷した場合代替手段が少なくなること，及び，注水ライン損傷後の復旧作業が難航（漂流物による作業環境の悪化，滞留水の漏えいに伴う線量上昇による作業環境の悪化）することにより，注水ラインの復旧に失敗し，炉注水の再開に失敗する割合が大きくなるため，炉心再損傷頻度が大きくなる。

本モードの炉心再損傷頻度への寄与割合は約 99%である。

表－1 炉心再損傷頻度の評価結果

ハザード 発生箇所	起因事象	起因事象発生 頻度（／年）	炉心再損傷頻 度（／年）	寄与割合 （％）
発電所内	常用高台炉注水ポンプトリップ	4.8×10^{-3}	4.8×10^{-11}	1%未満
	注水ライン機能喪失	1.2×10^{-2}	3.1×10^{-7}	1%未満
	一次水源からの供給機能喪失	2.0×10^{-1}	2.0×10^{-9}	1%未満
	外部電源喪失（地震を除く）	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-9}	1%未満
	所内共通M/C(1A)/(1B)盤火災	4.5×10^{-2}	4.5×10^{-10}	1%未満
発電所外	外部電源喪失（地震）	5.7×10^{-1}	6.1×10^{-9}	1%未満
	大津波事象	1.4×10^{-3}	5.8×10^{-5}	99%
—	合計	—	5.9×10^{-5}	100%



図－3 炉心再損傷頻度の評価結果

1.6 別紙

別紙－1 確率論的リスク評価手法

別紙－2 事故シーケンスの定量評価

確率論的リスク評価手法

1. 評価手法

評価手法ではまず、安定的な原子炉圧力容器及び格納容器への注水を阻害する起因事象の選定を行い、成功基準を決定し、事象の進展を考慮してイベントツリーを作成した。イベントツリーの各要素（以下、「ヘディング」という。）に対してフォールトツリー等によりシステムをモデル化し、従属故障及び人間信頼性の解析を行うとともに必要なデータベースを作成した後、事故シーケンスを定量化して炉心再損傷頻度を評価した。（図－ 1 参照）

2. 起因事象の選定と成功基準の設定

2.1. 起因事象

炉心再損傷に至る要因は、燃料の冷却不良によるものであり、原子炉注水系の機能が喪失し、炉心に冷却水が供給されないことにより発生する。原子炉注水系の機能が喪失に至る起因事象及び起因事象発生頻度は、表－ 1 のとおりとする。

なお、今回の評価では、設備の故障、人的過誤等により、システムの信頼性が損なわれることにより炉心が再損傷する事象を選定している。

選定にあたり、安定的な原子炉への注水を阻害する要因（ハザード）が発電所内、所外どちらに起因するかに分類した。ここで、発電所内に起因するものとしては、内的事象、内的溢水、内的火災のハザードグループが考えられ、一方、発電所外に起因するものとしては、地震、強風、外部溢水、その他の外的事象などのハザードグループが考えられる。

発電所内に起因するハザードグループのうち、内的事象としては、常用高台炉注水ポンプによる安定的な原子炉への注水を直接的に阻害する「常用高台炉注水ポンプトリップ」、「注水ライン機能喪失」、「一次水源からの供給機能喪失」、「外部電源喪失（地震を除く）¹」を代表して選定することとした。なお、「内的溢水」については、発電所内の各機器（ポンプ、電源盤、タンクなど）の配置から、発生可能性が小さいと考え、評価対象外としている。また、「内的火災」として、常用高台炉注水ポンプを始め、比較的多くの炉注水ポンプが所内共通 M/C (1A)/(1B) 盤より受電されているため、これを代表して選定することとした。

発電所外に起因するハザードグループのうち、実際に東北地方太平洋沖地震によって発生した外部電源喪失及び大津波事象を踏まえ、「外部電源喪失（地震）」、「大津波事象」を選定することとした。なお、上記以外のハザード及びハザード随伴事象は、地震による外部電源喪失及び大津波事象に比べれば無視しうるものとして、評価対象外とした。

¹ 発電所外での落雷、台風等のハザードによる発電所内への電源供給喪失も含まれる。

表－１ 起因事象及び起因事象の発生頻度

ハザード発生箇所	起因事象	要因	頻度（/年）	備考
発電所内	常用高台炉注水ポンプトリップ	共通原因故障による全台ポンプトリップ	4.8×10^{-3}	仮設ポンプの時間故障率（実績と故障件数0.5件（仮定）から算出）と共通要因故障データから算出
	注水ライン機能喪失	R/B内	9.0×10^{-4}	EPRIのTechnical Report 1013141を参考に算出。
		T/B内	8.4×10^{-4}	
		屋外	1.0×10^{-2}	
	一次水源からの供給機能喪失	タンクの破損・損傷等による一次水源枯渇等	2.0×10^{-1}	仮設ポンプ（実績と故障件数0.5件（仮定）から算出）、タンク破損及び閉塞の時間故障率（（社）日本原子力技術協会「故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定」を参照）から算出
	外部電源喪失（地震を除く）	発電所外での落雷，台風等	1.0×10^{-1}	停止時PSR-PSA（平成20年度実績）での 9.4×10^{-3} /年の10倍程度と仮定
発電所外	所内共通M/C(1A)/(1B)盤火災	所内共通M/C(1A)/(1B)盤火災	4.5×10^{-2}	NUREG/CR-6850を参考に設定
	外部電源喪失（地震）	地震	5.7×10^{-1}	外部電源喪失の実績から算出
	大津波事象	大津波	1.4×10^{-3}	「科学」2011年10月号（岩波書店）「東北地方太平洋沖地震の断層モデルと巨大地震発生のスーパーサイクル」（東京大学地震研究所：佐竹健治氏）による700年に1回を適用

2.2 成功基準

原子炉注水系の機能に発生した異常事象を収束させるために必要な安全機能を抽出し、各緩和系の成功基準を設定した。1～3号機全ての炉心の崩壊熱を除去するために必要な注水を行うために必要な最小設備数は表－2、水源は表－3のとおりとしている。具体的には、平成24年12月7日時点での注水量1号機 $4.5\text{m}^3/\text{hr}$ 、2号機 $6\text{m}^3/\text{hr}$ 、3号機 $6\text{m}^3/\text{hr}$ で十分に冷却できていることから、3基共用のポンプは $20\text{m}^3/\text{hr}$ 1台、1基用のポンプは $10\text{m}^3/\text{hr}$ 1台を成功基準としている。

表－2 各緩和系の成功基準

緩和系	成功基準	備考
常用高台炉注水ポンプ	3 台中 1 台運転	
タービン建屋内炉注水ポンプ	2 台中 1 台運転	1 プラント当たり
CST 炉注水ポンプ	2 台中 1 台運転	1・2 号機共用
	2 台中 1 台運転	3 号機用
非常用高台炉注水ポンプ	3 台中 1 台運転	
事務本館海側駐車場消防ポンプ (FT-A1)	1 台中 1 台運転	
ろ過水タンク脇消防ポンプ (FT-B2) 及び厚生棟脇消防ポンプ (FT-B1)	2 台中 2 台運転 (FT-B1, FT-B2)	
純水タンク脇炉注水ポンプ	3 台中 1 台運転	
事務本館海側駐車場バックアップ 消防ポンプ	3 台中 1 台運転	

表－3 各緩和系とその水源の関連性

緩和系	水源
常用高台炉注水ポンプ	処理水バッファタンク
	ろ過水タンク
タービン建屋内炉注水ポンプ	処理水バッファタンク
	3 号機 CST
CST 炉注水ポンプ	3 号機 CST
非常用高台炉注水ポンプ	処理水バッファタンク
	ろ過水タンク
事務本館海側駐車場消防ポンプ (FT-A1)	ろ過水タンク
ろ過水タンク脇消防ポンプ (FT-B2) 及び厚生 棟脇消防ポンプ (FT-B1)	原水地下タンク
	ろ過水タンク
純水タンク脇炉注水ポンプ	純水タンク
事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ	－ (海水可)

2.3. イベントツリーの作成

炉心再損傷頻度の評価に際しては、選定した起因事象に対して各緩和系の作動や故障を考慮して、炉心再損傷に至る事象の進展をイベントツリーとして展開し、定量化する方法を採用した。

イベントツリー解析では、まず起因事象の発生から炉心再損傷に至るまでの設備の故障や緩和操作等をヘディングとして列挙した。次に、事象の進展を考慮し個々のヘディングにおける分岐の有無を決定し、さらに各ヘディングの分岐確率を設定した。ヘディングの分岐確率は、成功基準や時間余裕を考慮して実績データ及び後述するフォールトツリー解析を用いて評価した。(図－2 参照)

2.4. システムのモデル化

イベントツリーの定量化においては、各ヘディングに対して、対象となるシステムの非信頼度を得るために、フォールトツリー手法によりシステムのモデル化を行った。

フォールトツリーは、成功基準に基づき、頂上事象を明確にして系統の機能喪失に至る原因を展開し作成した。フォールトツリー解析では、系統や機器の運転状態や待機状態を考慮して各状態におけるシステムの非信頼度を評価した。

フォールトツリーの作成においては、機器の故障及びその復旧、従属故障、人的過誤等の構成要素を考慮した。

(1) 機器の故障及びその復旧

フォールトツリー解析において、主要な機器故障として待機中の機器の起動失敗、起動後の運転継続失敗を考慮した。

- ・ 起動失敗

デマンド故障確率を用いた。

- ・ 運転継続失敗

系統起動後も引き続き機能が必要な機器については、時間あたりの運転継続失敗率を考慮して、運転継続失敗確率 q' として、下記の式を用いた。

$$q' = \lambda' \times T_M$$

ここで、 T_M は使命時間であり、24 時間を使用した。 λ' は故障率である。

使命時間については、3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震・大津波において、原子炉注水系機能喪失後、24 時間以内に注水を再開できていることから、24 時間あれば、多重化等の新たな対応が可能と考え、24 時間を設定している。

- ・ 復旧

バックアップ操作や、故障の復旧が期待できる場合には、これらによる機能回復を考慮した。

(2) 従属故障の解析

システム信頼性評価で考慮すべき従属故障は、系統間の従属性と、機器間の従属性である。これらの従属性については、イベントツリー及びフォールトツリーの定量化の過程で考慮した。

なお、機器間従属性として共通原因故障を考慮しており、その評価対象は、仮設ポンプ等の 2 台又は 3 台起動失敗、2 台又は 3 台継続運転失敗、仮設 D/G 等の 2 台起動失敗、及び 2 台継続運転失敗等である。

(3) 人間信頼性解析

人間信頼性解析は、以下のように分類し、ヒューマンエラーハンドブック (NUREG/CR-1278) の THERP 手法に基づき、作業環境を考慮に入れた工学的判断値を含めて失敗確率を算定した。なお、ここでは操作のための時間余裕等を考慮している。また、監視・復旧チームについては、福島第一原子力発電所免震棟にて、24 時間体制で十分な能力のあるメンバーが常駐している。

・事象発生後の人的過誤

事象発生後、操作員に対して要求される手動操作や、操作員が対応可能なバックアップ操作について、その操作失敗を考慮した。

2.5. データベースの作成

(1) 起因事象の発生頻度

各起因事象の発生頻度は、原子炉注水系の実績及び文献値等を用いた。(表－1 参照)

(2) 機器故障率関連データ

機器故障率関連データに関しては、原子炉注水系の実績及び文献値等を基に設定した。

(3) 共通原因故障データ

共通原因故障の評価に用いた β ファクタ値等は、米国 LER に基づく分析結果等のデータソースを参考にした。

なお、 β ファクタ値等は、福島第一・1～3 号機の様な状況を想定したものでないことから、仮設ポンプ、仮設 D/G 等に設定した β ファクタ値を一桁大きくして感度解析（点推定値）を実施した。その結果、各起因事象の中で、機器の多重故障による影響が比較的高かった常用高台炉注水ポンプトリップ、注水ライン機能喪失及び外部電源喪失（地震）時の炉心再損傷頻度に対する感度（常用高台炉注水ポンプトリップ時の炉心再損傷頻度は約 4.8×10^{-11} /年から約 9.6×10^{-10} /年、注水ライン機能喪失は約 3.2×10^{-7} /年から約 1.9×10^{-6} /年、外部電源喪失（地震）時の炉心再損傷頻度は約 6.1×10^{-9} /年から約 2.3×10^{-8} /年）が認められ、評価結果の合計値への感度（約 5.9×10^{-5} /年から約 6.1×10^{-5} /

年)も若干増加することから、データの不確実さとして認識しておく必要がある。

(4) 人的過誤確率データ

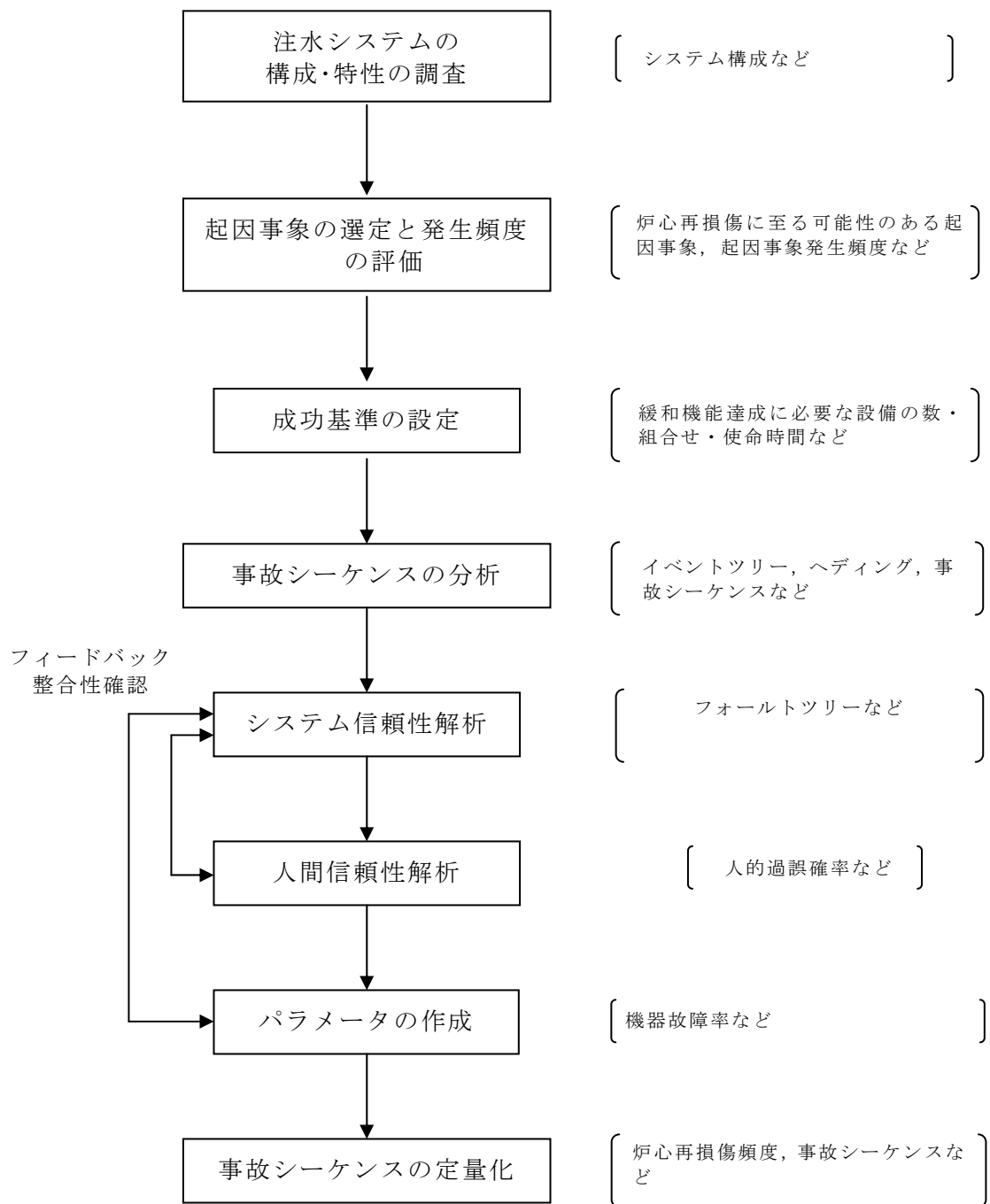
人的過誤の評価は、ヒューマンエラーハンドブック (NUREG/CR- 1278) の THERP 手法を用いた。従ってこの評価に用いるデータも NUREG/CR-1278 の値、及び、炉注水停止後の時間余裕 34 時間を考慮した工学的判断値を用いた。

(5) 時間余裕データ

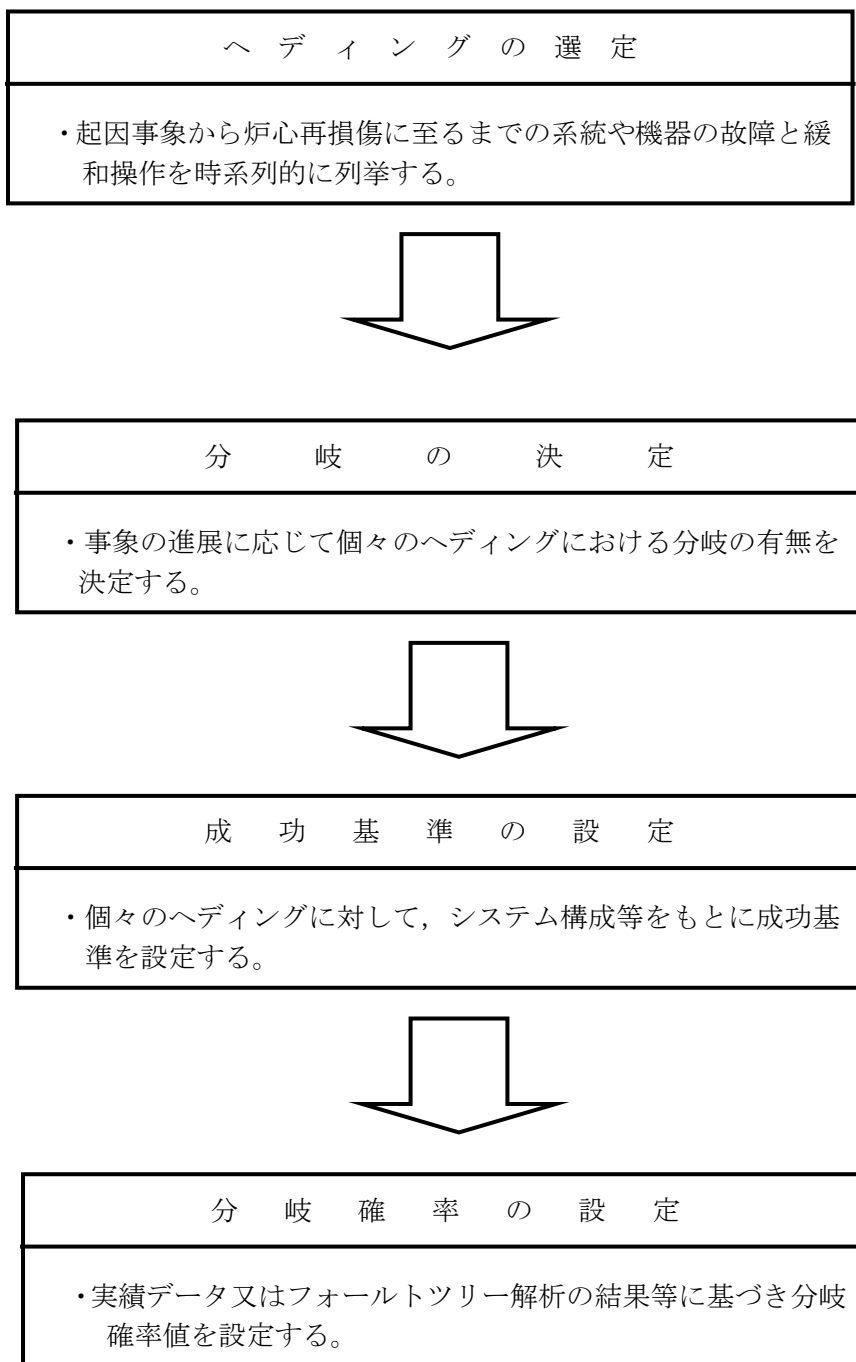
時間余裕は、燃料の崩壊熱の大きさから評価され、崩壊熱が小さいほど、時間余裕が大きくなる。

2.6. イベントツリーの定量化

選定された起因事象ごとに作成したイベントツリーに、起因事象の発生頻度を設定し、イベントツリーの分岐にフォールトツリーを結合することにより、各事故シーケンスを定量化した。(別紙-2 参照)



図－１ 作業フロー



図－２ イベントツリー解析の流れ

事故シーケンスの定量評価

(1) 常用高台炉注水ポンプトリップ

常用高台炉注水ポンプトリップ時は、図－ 1 に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図－ 1 に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、注水設備の多重性は十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

常用高台 炉注水ポ ンプトリッ プ	復旧作業 の着手	タービン 建屋内炉 注水ポン プ	CST炉注 水ポンプ	非常用高 台炉注水 ポンプ	事務本館 海側駐車 場消防ポ ンプ車	ろ過水タ ンク脇及 び厚生棟 脇消防ポ ンプ車	純水タン ク脇炉注 水ポンプ	事務本館 海側駐車 場バック アップ消防 ポンプ車	No.	終状態	発生頻度 (／年)
4.8E-03		1.7E-03	1.1E-03	7.6E-02	1.0E-02	2.2E-02	1.5E-04	1.4E-04	1	-	
									2	-	
									3	-	
									4	-	
									5	-	
									6	-	
									7	-	
									8	CD	9.7E-19
									9	CD	4.8E-11
										合計値	4.8E-11

図－ 1 常用高台炉注水ポンプトリップのイベントツリー

略語（以下、同様）

CD：炉心再損傷

(2) 注水ライン機能喪失

単一箇所の配管等の破損により、注水ラインが 3 プラントとも使用不能となる想定をしており、表－2－1 に示すとおり、破損箇所は原子炉建屋内（R/B）内、タービン建屋内（T/B 内）、屋外に場合分けしている。なお、給水系及び CS 系を併用して注水しているが、起因事象発生時には、どちらの系の注水も中断している保守的な仮定を置いている。

起因事象発生の検知など、復旧作業の着手に成功する場合には、図－2－1 から図－2－3 に示すとおり、注水ラインとは異なる複数の注水ラインが利用可能であるため、緩和設備の多重故障により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

一方、起因事象発生の検知に失敗するなど、復旧作業（機能喪失注水ライン隔離を含む）の着手に失敗した場合には、図－2－1 から図－2－3 に示すとおり、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

なお、タービン建屋内（T/B 内）及び原子炉建屋内（R/B 内）の注水ラインは、炉注水状態を監視する流量計（FI）や圧力計（PI）がなく、建屋内の注水ライン機能の喪失時には、原子炉圧力容器内及び格納容器内の温度・圧力の上昇により検知するため、屋外注水ラインより検知できる確率は相対的に小さく設定している。

表－2－1 注水ライン機能喪失の起因事象発生頻度

発生頻度 [/年]	位置	配管割合 [%]	最終的な 起因事象発生頻度 [/年]
1. 2E-02	R/B	8%	9. 0E-04
	T/B	7%	8. 4E-04
	屋外	85%	1. 0E-02

注水ライン機能喪失(既設-R/B内)	機能喪失注水ライン隔離	復旧作業の着手	アクセス	復旧	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	No.	終状態	発生頻度(／年)
9.0E-04	4.0E-03								1	-	0.0E+00
									2	-	
									3	-	
									4	-	
									5	-	
									6	-	
									7	CD	
									8	-	1.2E-11
									9	-	
									10	-	
									11	-	
									12	CD	
									13	-	
									14	-	
									15	-	
									16	-	
										合計値	9.9E-08

図－２－１ 注水ライン機能喪失のイベントツリー（R/B内） （1／3）

注水ライン機能喪失(既設-T/B内)	機能喪失注水ライン隔離	復旧作業の着手	アクセス	復旧	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	No.	終状態	発生頻度(／年)
8.4E-04	4.0E-03								1	-	1.5E-17
									2	-	
									3	-	
									4	-	
									5	-	
									6	-	
									7	CD	
									8	-	2.1E-17
									9	-	
									10	-	
									11	-	
									12	CD	
									13	-	
									14	-	9.2E-08
									15	-	
									16	-	
									17	CD	
										合計値	9.2E-08

図－２－２ 注水ライン機能喪失のイベントツリー（T/B内） （2／3）

注水ライン機能喪失(屋外)	復旧作業の着手	アクセス	復旧	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	No.	終状態	発生頻度(／年)
1.0E-02			1.0E-04	1.7E-03	1.1E-03	2.2E-02	1.5E-04	1	-	2.6E-17
								2	-	
								3	-	
								4	-	
								5	-	
								6	CD	
								7	-	2.6E-17
								8	-	
								9	-	
								10	-	
								11	CD	
								12	-	1.2E-07
								13	-	
								14	-	
								15	-	
								16	CD	
合計値									1.2E-07	

図ー２ー３ 注水ライン機能喪失のイベントツリー（屋外） (3／3)

(3) 一次水源からの供給機能喪失

一次水源からの供給機能喪失時は、図－3に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図－3に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、水源の多重性は十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

一次水源 からの供 給機能喪 失	復旧作業 の着手	常用高台 炉注水ポ ンプ	タービン 建屋内炉 注水ポン プ	CST炉注 水ポンプ	非常用高 台炉注水 ポンプ	事務本館 海側駐車 場消防ボ ンプ車	ろ過水タ ンク脇及 び厚生棟 脇消防ボ ンプ車	純水タン ク脇炉注 水仮設ボ ンプ	事務本館 海側駐車 場バック アップ消 防ポンプ 車	No.	終状態	発生頻度 (／年)
2.0E-01	1.0E-08	2.6E-03	4.1E-03	1.1E-03	7.8E-02	1.0E-02	2.2E-02	1.5E-04	1.4E-04	1	-	4.0E-16 2.0E-09
										2	-	
										3	-	
										4	-	
										5	-	
										6	-	
										7	-	
										8	-	
										9	CD	
										10	CD	
											合計値	2.0E-09

図－3 一次水源からの供給機能喪失のイベントツリー

(4) 外部電源喪失（地震を除く）

外部電源喪失（地震を除く）時は、図－４－１に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図－４－２及び図－４－３に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、非常用D／G、電源車及び消防車のように、代替電源の多重性及び多様性が十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

外部電源喪失(地震を除く)	復旧作業の着手	外電復旧	No.	終状態	発生頻度(／年)
1.0E-01	1.0E-08	1.0E-01	1 - 9	TE1へ	-
			10 - 18	TE2へ	-
			19	CD	1.0E-09
				合計値	1.0E-09

図－４－１ 外部電源喪失（地震を除く）時のイベントツリー（1／3）

外電復旧成功	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
									1	－	2.6E-15
									2	－	
1.3E-04									3	－	
									4	－	
1.7E-03									5	－	
									6	－	
1.1E-03									7	－	
									8	－	
7.6E-02									9	CD	
										合計値	2.6E-15
1.0E-02											
2.2E-02											
1.4E-04											
1.4E-04											

図－４－２ 外部電源喪失（地震を除く）時のイベントツリー（2／3）

(TE1：外電復旧成功時)

外電復旧失敗	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
									10	－	4.4E-15
									11	－	
									12	－	
									13	－	
									14	－	
									15	－	
									16	－	
									17	－	
									18	CD	
										合計値	4.4E-15

図－４－３ 外部電源喪失（地震を除く）時のイベントツリー（3／3）

(TE2：外電復旧失敗時)

(5) 所内共通 M/C(1A)/(1B)盤火災

所内共通 M/C(1A)/(1B)盤火災時には、図－5に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図－5に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機している場合には、非常用D／G、電源車及び消防車のように、代替電源の多重性及び多様性は十分に確保されているため、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

所内共通 M/C(1A)/ (1B)盤火 災	復旧作業 の着手	常用高台 炉注水ポン プ再起動	タービン 建屋内炉 注水ポン プ	CST炉注 水ポンプ	非常用高 台炉注水 ポンプ	事務本館 海側駐車 場消防ポン プ車	ろ過水タン ク脇及び厚 生棟脇消防 ポンプ車	純水タン ク脇炉注 水ポンプ	事務本館 海側駐車 場バック アップ消防 ポンプ車	No.	終状態	発生頻度 (／年)
4.5E-02	1.0E-08	1.0E+00	1.0E+00	1.1E-03	7.6E-02	1.0E-02	2.2E-02	7.6E-02	1.4E-04	1	-	5.3E-13 4.5E-10
										2	-	
										3	-	
										4	-	
										5	-	
										6	-	
										7	-	
										8	-	
										9	CD	
										10	CD	
											合計値	4.5E-10

図－5 所内共通 M/C(1A)/(1B)盤火災時のイベントツリー

(6) 外部電源喪失（地震）

地震による外部電源喪失には、図－６－１に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していない場合には、復旧作業の着手失敗により、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。また、図－６－３に示すとおり、外電復旧が失敗した場合には、地震の影響により、注水設備の再起動が困難になっていることから、炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

一方、図－６－２に示すとおり、十分な能力を有する要員が待機していることにより、外電復旧に成功する場合には、緩和設備の多重故障により炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は小さい。

外部電源喪失(地震)	復旧作業の着手	外電復旧	No.	終状態	発生頻度(／年)
			1－9	STE1へ	－
5.7E-01		5.0E-01	10－18	STE2へ	－
	1.0E-08		19	CD	5.7E-09
				合計値	5.7E-09

図－６－１ 外部電源喪失（地震）時のイベントツリー（１／３）

外電復旧成功	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
	7.5E-04								1	－	
		1.1E-02							2	－	
			7.2E-03						3	－	
				3.6E-01					4	－	
					3.4E-02				5	－	
						6.8E-02			6	－	
							8.3E-04		7	－	
								4.3E-04	8	－	
									9	CD	9.1E-13
										合計値	9.1E-13

図－６－２ 外部電源喪失（地震）時のイベントツリー（２／３）
（STE1：外電復旧成功時）

外電復旧失敗	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
	9.3E-03								10	－	
		1.9E-02							11	－	
			1.6E-02						12	－	
				3.6E-01					13	－	
					3.4E-02				14	－	
						6.8E-02			15	－	
							3.9E-03		16	－	
								4.3E-04	17	－	
									18	CD	4.3E-10
										合計値	4.3E-10

図－６－３ 外部電源喪失（地震）時のイベントツリー（３／３）
（STE2：外電復旧失敗時）

(7) 大津波事象

大津波（2011 年 3 月 11 日に発生した津波規模を想定）が襲来した際には，OP. 10,000 の地上高付近に設置されている，タービン建屋内炉注水ポンプ，CST 炉注水ポンプ，純水タンク脇炉注水ポンプによる注水機能が失われているとした保守的な仮定を置いている。

図－7 に示すとおり，津波対策により強化した OP. 10,000 の地上高にある炉注水ラインに損傷がない場合には，高台に設置している注水設備による注水は継続可能である。

一方，図－7 に示すとおり，注水ラインが損傷した場合には，原子炉圧力容器及び格納容器への注水が途絶え，津波被害（漂流物による作業環境の悪化，滞留水の漏えいに伴う線量上昇による作業環境の悪化）により現場にアクセスすることが困難になることが予想され，事務本館海側駐車場バックアップ消防車のための新しい注水ラインの確保に失敗すること，及び，並行で作業を進めると想定される常用高台炉注水ポンプ，非常用高台炉注水ポンプ，事務本館海側駐車場消防ポンプ及びろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプからの炉注水ラインの復旧にも失敗することにより，炉心再損傷に至るシナリオの頻度の寄与は大きい。

大津波事象	炉注水ライン機能喪失	復旧作業の着手	常用高台炉注水ポンプ再起動	タービン建屋内炉注水ポンプ	CST 炉注水ポンプ	非常用高台炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場消防ポンプ車	ろ過水タンク脇及び厚生棟脇消防ポンプ車	純水タンク脇炉注水ポンプ	事務本館海側駐車場バックアップ消防ポンプ車	No.	終状態	発生頻度(／年)
1.4E-03	5.0E-01										1	-	
											2	-	
											3	-	
											4	-	
											5	-	
											6	-	
											7	-	
											8	-	
											9	-	
											10	CD	5.8E-05
											11	CD	0.0E+00
											合計値		5.8E-05

図－7 大津波事象時のイベントツリー

2.5 汚染水処理設備等

2.5.1 基本設計

2.5.1.1 設置の目的

タービン建屋等には、東北地方太平洋沖地震による津波、炉心冷却水の流入、雨水の浸入、地下水の浸透等により海水成分を含んだ高レベルの放射性汚染水が滞留している（以下、「滞留水」という）。

このため、汚染水処理設備等では、滞留水を安全な箇所に移送すること、滞留水に含まれる主要な放射性物質を除去し環境中に移行し難い性状とすること、除去した放射性物質を一時的に貯蔵すること、滞留水の発生量を抑制するため塩分を除去し原子炉への注水に再利用する循環冷却を構築することを目的とする。

2.5.1.2 要求される機能

- (1) 発生する高レベル放射性汚染水量（地下水及び雨水の流入による増量分を含む）を上回る処理能力を有すること
- (2) 高レベル放射性汚染水中の放射性物質等の濃度及び量を適切な値に低減する能力を有すること
- (3) 汚染水処理設備が停止した場合に備え、複数系統及び十分な貯留設備を有すること
- (4) 汚染水処理設備等は漏えいを防止できること
- (5) 万一、高レベル放射性汚染水の漏えいがあった場合、高レベル放射性汚染水の散逸を抑制する機能を有すること
- (6) 高レベル放射性汚染水を処理する過程で発生する気体状の放射性物質及び可燃性ガスの検出、管理及び処理が適切に行える機能を有すること

2.5.1.3 設計方針

2.5.1.3.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）の設計方針

- (1) 処理能力
 - a. 汚染水処理設備及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）は、原子炉への注水、雨水の浸入、地下水の浸透等により1号～4号機のタービン建屋等に発生する滞留水に対して十分対処できる処理容量とする。
 - b. 汚染水処理設備の除染能力及び塩素除去能力は、処理済水の発電所内再使用を可能とするのに十分な性能を有するものとする。
- (2) 汚染水処理設備等の長期停止に対する考慮
 - a. 主要核種の除去を行う処理装置（セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、除染装置）は、単独もしくは組み合わせでの運転が可能な設計とする。また、第二セシウム

吸着装置の所内電源系統は、セシウム吸着装置、除染装置と分離する。

- b. 汚染水処理設備及び関連設備（移送ポンプ等）の動的機器は、その故障により滞留水の移送・処理が長期間停止することがないように原則として多重化する。
- c. 汚染水処理設備が長期間停止した場合を想定し、滞留水がタービン建屋等から所外に漏れ出ないように、タービン建屋等の水位を管理するとともに、貯留用のタンクを設ける。
- d. 汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備（移送ポンプ等）は、所内高圧母線から受電できる設計とする。
- e. 汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備（移送ポンプ等）は、外部電源喪失の場合においても、非常用所内電源から必要に応じて受電できる設計とする。

(3) 規格・基準等

汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）の機器等は、設計、材料の選定、製作及び検査について、原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(4) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）は、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに、タンク水位の検出器等を設ける。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいの早期検出を可能にするとともに、漏えいを停止するのに適切な措置をとれるようにする。また、汚染水処理設備、貯留設備においては漏えい水の拡大を抑制するための堰等を設ける。
- c. タンク水位、漏えい検知等の警報については、シールド中央制御室（シールド中操）に表示し、異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

(5) 放射線遮へいに対する考慮

汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）は、放射線業務従事者等の線量を低減する観点から、放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6) 崩壊熱除去に対する考慮

汚染水処理設備は、放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し、必要に応じて崩壊熱を除去できる設計とする。

(7) 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

汚染水処理設備は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。

(8) 気体廃棄物の放出に対する考慮

汚染水処理設備は、放出する可燃性ガス等の気体に放射性物質が含まれる可能性がある場合には、排気設備にフィルタ等を設け捕獲する設計とする。

(9) 健全性に対する考慮

汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備は、機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

2.5.1.3.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設の設計方針

(1) 貯蔵能力

使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設は、汚染水処理設備、多核種除去設備で発生する放射性廃棄物を貯蔵できる容量とする。また、必要に応じて増設する。

(2) 多重性等

廃スラッジ貯蔵施設の動的機器は、故障により設備が長期間停止することがないように、原則として多重化する。

(3) 規格・基準等

使用済セシウム吸着塔保管施設、廃スラッジ貯蔵施設の機器等は、設計、材料の選定、製作及び検査について、原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(4) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

廃スラッジ貯蔵施設の機器等は、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに、タンク水位の検出器等を設ける。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は、漏えいの早期検出を可能にするとともに、漏えい液体の除去・回収を行えるようにする。
- c. タンク水位、漏えい検知等の警報については、シールド中央制御室（シールド中操）に表示し、異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

なお、セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置の使用済みの吸着塔、多核種除去設備

の使用済みの吸着材を収容した高性能容器及び処理カラムは、内部の水を抜いた状態で貯蔵するため、漏えいの可能性はない。

(5) 放射線遮へいに対する考慮

使用済セシウム吸着塔保管施設、廃スラッジ貯蔵施設は、放射線業務従事者の線量を低減する観点から、放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6) 崩壊熱除去に対する考慮

- a. 吸着塔、高性能容器及び処理カラムは、崩壊熱を大気に逃す設計とする。
- b. 廃スラッジ貯蔵施設は、放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し、必要に応じて熱を除去できる設計とする。

(7) 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

吸着塔、高性能容器、処理カラム及び廃スラッジ貯蔵施設は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスの滞留を防止でき、必要に応じて適切に排出できる設計とする。

(8) 気体廃棄物の放出に対する考慮

廃スラッジ貯蔵施設は、放出する可燃性ガス等の気体に放射性物質を含む可能性がある場合は、排気設備にフィルタ等を設け捕獲収集する設計とする。また、気体廃棄物の放出を監視するためのモニタ等を設ける。

(9) 健全性に対する考慮

使用済セシウム吸着塔保管施設、廃スラッジ貯蔵施設は、機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

2.5.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 汚染水処理設備は、滞留水の放射性物質の濃度を原子炉注水に再利用可能な濃度まで低減できる能力を有すること。
- (2) 汚染水処理設備は、滞留水の塩化物イオン濃度を原子炉注水に再利用可能な濃度まで低減できる能力を有すること。

2.5.1.5 主要な機器

2.5.1.5.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）

汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）は、滞留水移送装置、油分分離装置、処理装置（セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、除染装置）、淡水化装置（逆浸透膜装置、蒸発濃縮装置）、高濃度滞留水受タンク、中低濃

度タンク、地下貯水槽等で構成する。

使用済セシウム吸着塔保管施設、廃スラッジ貯蔵施設及び関連施設（移送配管、移送ポンプ等）は、使用済セシウム吸着塔仮保管施設、使用済セシウム吸着塔一時保管施設、造粒固化体貯槽(D)、廃スラッジ一時保管施設等で構成する。

1号～4号機のタービン建屋等の滞留水は、滞留水移送装置によりプロセス主建屋、高温焼却炉建屋へ移送した後、必要に応じて油分を除去し、処理装置、淡水化装置により主要核種や塩分を除去する。また、各装置間には処理済水、廃水を保管するための中低濃度タンク、地下貯水槽を設置する。

二次廃棄物となる使用済みの吸着材を収容したセシウム吸着塔、多核種除去設備の使用済みの吸着材を収容した高性能容器及び処理カラムは使用済セシウム吸着塔仮保管施設、もしくは使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵する。また、二次廃棄物の廃スラッジは造粒固化体貯槽(D)、廃スラッジ一時保管施設で一時的に貯蔵する。

汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備の主要な機器は、シールド中央制御室（シールド中操）から遠隔操作及び運転状況の監視を行う。

(1) 滞留水移送装置

滞留水移送装置は、タービン建屋等にある滞留水を汚染水処理設備のあるプロセス主建屋、高温焼却炉建屋へ移送することを目的に、移送ポンプ、移送ライン等で構成する。

移送ポンプは、1号機タービン建屋に4台、2号機タービン建屋に3台、3号機のタービン建屋に3台、4号機タービン建屋に4台設置し、原子炉への注水、雨水の浸入、地下水の浸透等により1号～4号機のタービン建屋等に発生する滞留水に対して十分対処可能な設備容量を確保する。滞留水の移送は、移送元のタービン建屋等の水位や移送先となるプロセス主建屋、高温焼却炉建屋の水位の状況に応じて、ポンプの起動台数、移送元、移送先を適宜選定して実施する。

移送ラインは、設備故障及び損傷を考慮し複数の移送ラインを準備する。また、使用環境を考慮した材料を選定し、必要に応じて遮へい、保温材等を設置する。

(2) 油分分離装置

油分分離装置は、油分がセシウム吸着装置の吸着性能を低下させるため、その上流側に設置し、滞留水に含まれる油分を自然浮上分離により除去する。油分分離装置は、プロセス主建屋内に3台設置する。

(3) 処理装置（セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、除染装置）

セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置は、吸着塔内部に充填された吸着材のイオン交換作用により、滞留水に含まれるセシウム等の核種を除去する。除染装置は、滞留水にセシウム等の核種を吸着する薬品を注入し凝集・沈殿させ、上澄液とスラッジに分離する

ことで、滞留水に含まれるセシウム等の核種を除去する。また、各装置は装置の処理能力を確認するための試料を採取できる設備とする。

処理装置は、複数の装置により多様性を確保するとともに、各装置の組み合わせもしくは単独により運転が可能な系統構成とする。

a. セシウム吸着装置

セシウム吸着装置は、焼却工作建屋内に 4 系列配置しており、各系列で多段の吸着塔によりセシウム等の核種を除去する。吸着塔は、二重の円筒形容器で、内側は内部に吸着材を充填したステンレス製の容器、外側は炭素鋼製の遮へい容器からなる構造とする。

交換した吸着塔は、使用済セシウム吸着塔仮保管施設にて内部の水抜きを行い、使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設にて貯蔵する。

b. 第二セシウム吸着装置

第二セシウム吸着装置は、高温焼却炉建屋内に 2 系列配置し、各系列で多段の吸着塔によりセシウム等の核種を除去する。吸着塔は、二重の円筒形容器で、内側は内部にゼオライトを充填したステンレス製の容器、外側は炭素鋼製の遮へい容器からなる構造とする。また、遮へい容器は、二重管構造とし、内部に鉛等を装填する。

交換した吸着塔は、本装置において内部の水抜きを行い、使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設にて貯蔵する。

c. 除染装置

除染装置は、プロセス主建屋に 1 系列設置し、滞留水に含まれる懸濁物質や浮遊物質を除去する加圧浮上分離装置、薬液注入装置から吸着剤を注入し放射性物質の吸着を促す反応槽、薬液注入装置から凝集剤を注入し放射性物質を凝集・沈殿させ上澄液とスラッジに分離する凝集沈殿装置、懸濁物質の流出を防止するディスクフィルター、吸着材を注入する薬品注入装置で構成する。反応槽及び凝集沈殿装置は、1 組の装置を 2 段設置することにより放射能除去性能を高める設計とするが、1 段のみでも運転可能な設計とする。スラッジは造粒固化体貯槽(D)に排出する。

(4) 淡水化装置（逆浸透膜装置、蒸発濃縮装置）

淡水化装置は、滞留水を原子炉注水に再使用するため、滞留水に含まれる塩分を除去することを目的に、逆浸透膜装置、蒸発濃縮装置で構成する。

逆浸透膜装置は、3 系列 4 台で構成し、水を通しイオンや塩類などの不純物は透過しない逆浸透膜の性質を利用して滞留水に含まれる塩分を除去し、処理済水と塩分が濃縮された廃水に分離する。蒸発濃縮装置は 3 系列 8 台で構成し、逆浸透膜装置により塩分が濃縮さ

れた廃水を蒸気により蒸発濃縮（蒸留）する。また、各装置は装置の処理能力を確認するための試料を採取できる設備とする。

淡水化装置は、複数の装置及び系統により多重性及び多様性を確保する。

(5) 高濃度滞留水受タンク

高濃度滞留水受タンクは、万一タービン建屋等の滞留水の水位が所外放出レベルに達した場合に、プロセス主建屋に貯留している滞留水の一部を受け入れ、タービン建屋等の滞留水の貯留先を確保するために設置する。また高濃度滞留水受タンクは、貯留する滞留水が高線量であるため、遮へいのために屋外の地中に埋設する。なお、所外放出のリスクが低下した場合には、高濃度滞留水受タンクの滞留水をプロセス主建屋に移送する。

(6) 中低濃度タンク

中低濃度タンクは、処理装置（セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、除染装置）により主要核種が除去された水等を貯留する目的で主に屋外に設置する。

中低濃度タンクは、貯留する水の性状により分類し、処理装置（セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、除染装置）により主要核種を除去された水等を貯留するサプレッション・プール水サージタンク及び廃液 RO 供給タンク、逆浸透膜装置の廃水を貯留する RO 後濃縮塩水受タンク※¹、蒸発濃縮装置の廃水を貯留する濃縮廃液貯槽、逆浸透膜装置の処理済水及び蒸発濃縮装置の処理済水を貯留する RO 及び蒸発濃縮装置後淡水受タンク※²、多核種除去設備の処理済水を貯留する多核種処理水タンク※³で構成する。多核種処理水タンクは、主に多核種除去設備の処理済水を貯留するが、タンクの運用状況に応じては淡水化装置の処理済水や逆浸透膜装置の廃水を貯留する。

サプレッション・プール水サージタンクは、液体廃棄物処理系の設備として既に設置されていた設備を使用し、工事計画認可申請書（57 資庁第 2974 号 昭和 57 年 4 月 20 日認可）において確認を実施している。RO 及び蒸発濃縮装置後淡水受タンクの貯留水は、処理済水として原子炉への注水に再利用する。

なお、各タンクは必要に応じて増設する。

※¹：RO 濃縮水貯槽、濃縮水受タンク、地下貯水槽（RO 後濃縮塩水用分）にて構成。

※²：RO 処理水一時貯槽、RO 処理水貯槽、濃縮処理水タンク、蒸発濃縮処理水貯槽、中低濃度滞留水受タンクにて構成。

※³：多核種処理水貯槽、地下貯水槽で構成。

(7) 地下貯水槽

地下貯水槽は、発電所構内の敷地を有効活用する観点で地面を掘削して地中に設置する。また、止水のための 3 重シート（2 重の遮水シート及びベントナイトシート）、その内部に地面からの荷重を受けるためのプラスチック製枠材を配置した構造とする。

地下貯水槽には、逆浸透膜装置の処理済水、廃水もしくは多核種除去設備の処理済水等

を貯留する。

(8) ろ過水タンク

ろ過水タンクは、既に屋外に設置されていたもので、放射性物質を含まない水を貯留するタンクであるが、地下貯水槽に貯留した逆浸透膜装置の廃水の貯留用として一時的に使用する。ろ過水タンクは、放射性流体を貯留するための設備ではないため、逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合の適合性評価を行う。また、貯留期間は貯留開始後1年以内を目途とし、ろ過水タンクに貯留した逆浸透膜装置の廃水を別のタンクに移送する。

(9) 電源設備

電源は、所内高圧母線から受電でき、非常用所内電源とも接続できる構成とする。セシウム吸着装置、除染装置と第二セシウム吸着装置は、それぞれ異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とし、所内高圧母線の点検等による電源停止においても、何れかの処理装置により、滞留水の処理が可能な設計とする。また、汚染水処理設備等は、外部電源喪失の場合は、タービン建屋等の水位の状況や汚染水処理設備以外の設備負荷を考慮しながら復旧する。

2.5.1.5.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

使用済セシウム吸着塔保管施設は、使用済セシウム吸着塔仮保管施設、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で構成する。廃スラッジ貯蔵施設は造粒固化体貯槽(D)、廃スラッジ一時保管施設で構成する。

廃スラッジ貯蔵施設の主要な機器は、シールド中央制御室（シールド中操）から遠隔操作及び運転状況の監視を行う。

(1) 使用済セシウム吸着塔保管施設

a. 使用済セシウム吸着塔仮保管施設

使用済セシウム吸着塔仮保管施設は、セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置で発生する吸着塔を使用済セシウム吸着塔一時保管施設へ移送するまでの間貯蔵するために設けた施設であり、吸着塔を取り扱うための門型クレーン、セシウム吸着装置吸着塔のろ過水による洗浄・水抜きを実施する装置、遮へい機能を有するコンクリート製ボックスカルバート等にて構成する。

b. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設

使用済セシウム吸着塔一時保管施設は、セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置にて発生する吸着塔、多核種除去設備にて発生する二次廃棄物を収容する高性能容器及び処理カラムの処理施設等が設置されるまでの間一時的に貯蔵を行う施設であ

り、吸着塔、高性能容器及び処理カラムを取り扱うための門型クレーン、遮へい機能を有するコンクリート製ボックスカルバート等により構成する。

(2) 廃スラッジ貯蔵施設

a. 造粒固化体貯槽(D)

造粒固化体貯槽(D)は、除染装置の凝集沈殿装置で発生したスラッジを廃スラッジ一時保管施設へ移送するまでの間、貯蔵する設備であり、固体廃棄物処理系の設備として既にプロセス主建屋に設置していた設備を改造して使用する。なお、造粒固化体貯槽(D)はプロセス主建屋と一体構造であるため、「2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋」において確認している。

b. 廃スラッジ一時保管施設

廃スラッジ一時保管施設は、廃スラッジを処理施設等へ移送するまでの間一時貯蔵する設備として設置する。廃スラッジ一時保管施設は、スラッジ貯槽、セル及びオフガス処理系等を収容するスラッジ棟、圧縮空気系の機器等を収容する設備棟で構成する。

廃スラッジ一時保管施設の動的機器は、故障により設備が長期間停止することがないよう、原則として多重化する。

また、廃スラッジ一時保管施設の電源は、所内高圧母線から受電でき、非常用所内電源とも接続できる構成とする。また、外部電源喪失の場合は、タービン建屋等の水位の状況や汚染水処理設備以外の設備負荷を考慮しながら復旧する。

2.5.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

滞留水移送装置、処理装置等一部の設備を除き、アウターライズ津波が到達しないと考えられる O.P. 30m 以上の場所に設置する。

滞留水移送装置、処理装置等、津波が到達した O.P. 10m のエリアに設置する設備については、アウターライズ津波による浸水を防止するため仮設防潮堤内に設置する。また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際は滞留水移送装置、処理装置を停止し、処理装置については隔離弁を閉めることにより滞留水の流出を防止する。

(2) 台風（強風）

汚染水処理設備等のうち、処理装置は台風（強風）による設備損傷の可能性が低い鉄筋コンクリート造の建屋内に設置する。淡水化装置は、蛇腹ハウスやテントハウス内に設置しているため、台風（強風）によりハウスの一部が破損する可能性はあるが、ハウス破損に伴い、淡水化装置に損傷を与える可能性がある場合は、淡水化装置の停

止等の操作を行い、装置損傷による汚染水の漏えい防止を図る。

(3) 火災

初期消火の対応ができるよう、近傍に消火器を設置する。

2.5.1.7 構造強度及び耐震性

2.5.1.7.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）

(1) 構造強度

汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備を構成する機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、ポリエチレン管等の非金属材料についての基準がない。

従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス 3 機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際、JIS や独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用できるものとし、評価を行う。

また、構造強度に関連して経年劣化の影響を評価する観点から、原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は、他産業での使用実績等を活用しつつ、必要に応じて試験等を行うことで、経年劣化の影響についての評価を行う。なお、試験等の実施が困難な場合にあっては、巡視点検等による状態監視を行うことで、健全性を確保する。

(2) 耐震性

汚染水処理設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態にあわせたものを採用する。B クラス施設に要求される水平震度に対して耐震性を確保できない場合は、その影響について評価を行う。支持部材がない等の理由によって、耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては、可撓性を有する材料を使用するなどし、耐震性を確保する。

また、各機器は必要な耐震性を確保するために、原則として以下の方針に基づき設計する。

- ・倒れ難い構造（機器等の重心を低くする、基礎幅や支柱幅を大きくとる）
- ・動き難い構造、外れ難い構造（機器をアンカ、溶接等で固定する）
- ・座屈が起り難い構造
- ・変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設

定, 配管等に可撓性のある材料を使用)

2.5.1.7.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

(1) 構造強度

使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器のうち放射性物質を内包する機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」で定めるクラス 3 機器と位置づけられ, 原則としてクラス 3 機器に要求される基準を満足するように設計する。万一適合しないものがある場合においても, 温度, 圧力, 使用環境等を考慮し, 一般民間規格に従う産業品を使用するとともに, 機器の設計, 製作, 設置, 検査等の各段階において, 適切なものとなっていることを確認し, クラス 3 機器と同等以上の構造強度を持たせる。

(2) 耐震性

使用済セシウム吸着塔保管施設, 廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は, 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられる。

使用済セシウム吸着塔保管施設, 廃スラッジ貯蔵施設の耐震性に関する評価にあたっては, 「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠することを基本とするが, 必要に応じて現実的な評価を行う。また, 配管に関しては, 変位による破壊を防止するため, 定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定や, 可撓性のある材料を使用する。

2.5.1.8 機器の故障への対応

2.5.1.8.1 汚染水処理設備, 貯留設備 (タンク等) 及び関連施設 (移送配管, 移送ポンプ等)

(1) 機器の単一故障

a. 動的機器の単一故障

汚染水処理設備は, 機器の単一故障により滞留水の処理機能が喪失するのを防止するため動的機器や外部電源を多重化しているが, 汚染水処理設備の動的機器が故障した場合は, 待機設備へ切替を行い, 滞留水の処理を再開する。

(2) 主要機器の複数同時故障

a. 処理装置の除染能力が目標性能以下

汚染水処理設備は, セシウム吸着装置, 第二セシウム吸着装置, 除染装置による処理装置全体で多重化が確立されており, 各装置の組み合わせもしくは単独による運転が可能である。そのため, 一つの処理装置が故障しても性能回復は短時間で行えるが, 万一, 所定の除染能力が得られず下流側の逆浸透膜装置の受け入れ条件 (10^2Bq/cm^3 オーダ) を満足しない場合は, 以下の対応を行う。

逆浸透膜装置及び蒸発濃縮装置後淡水受タンクでの希釈効果等を踏まえながら, 必

要に応じて処理装置出口の処理済水を再度セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，除染装置に水を戻す「再循環処理」を実施する（手動操作）。なお，再循環処理を実施する場合，稼働率が 50%以下となるため，タービン建屋等からの滞留水の移送量を調整し，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の水位上昇を監視する。

b. 滞留水の処理機能喪失

汚染水処理設備は，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，除染装置のそれぞれで単独運転が可能である。また，第二セシウム吸着装置はセシウム吸着装置，除染装置と異なる所内高圧母線から受電する構成としている。さらに，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，除染装置は，建屋により分離して設置している。以上のことから，共通要因によりすべての処理装置が機能喪失する可能性は十分低いと想定するが，全装置が長期間停止する場合は，以下の対応を行う。

- (a) 処理装置が長期間停止する場合，炉注水量を調整し，滞留水の発生量を抑制する。
- (b) セシウム吸着装置もしくは第二セシウム吸着装置の吸着塔の予備品を用意し，短期間（1 ヶ月程度）で新たな処理が可能のように準備する。
- (c) タービン建屋等の水位が所外放出レベル近くに達した場合，滞留水を高濃度滞留水受タンク（容量約 2,800 m³），タービン建屋の復水器（容量約 3,000m³）に移送することで，放射性物質の所外放出を防止する。
- (d) 滞留水の系外への漏えいを防止するために，集中廃棄物処理建屋のサイトバンカ建屋（容量約 1,300m³），焼却工作室建屋（容量約 2,500m³）等への移送準備を行い，滞留水受け入れ容量を確保する。

(3) その他の事象

a. 降水量が多い場合の対応

降水量が多い場合には，滞留水の移送量，処理量を増加させる等の措置をとる。また，大量の降雨が予想される場合には，事前に滞留水をプロセス主建屋等へ移送し，タービン建屋等の水位を低下させる措置をとる。

さらに，タービン建屋の水位が上昇すれば，炉注水量の低下措置等の対応を図る。

(4) 異常時の評価

a. 滞留水の処理機能喪失時の評価

処理装置が長期に機能喪失した場合でも，タービン建屋等の水位は OP. 3,000 程度で管理しているため所外放出レベルの OP. 4,000 に達するまでの貯留容量として約 23,000m³ を確保している。さらに高濃度滞留水受タンク（容量約 2,800 m³），タービン建屋の復水器（容量約 3,000m³）等へ滞留水を移送することにより，これまでの運

転実績から、原子炉への注水量を約 320m³/日まで低下させれば、地下水の浸透、雨水の浸入により追加発生する滞留水量（200～500m³/日）の 1 ヶ月分以上の貯留が可能である。

b. 降水量が多い場合の評価

月降水量の最大値は、気象庁の観測データにおいて福島県浪江町で 634mm（2006 年 10 月）、富岡町で 615mm（1998 年 8 月）である。また、タービン建屋等の水位は、降水量に対し 85%の水位上昇を示したことがあるため 1 ヶ月あたりタービン建屋の水位を 540mm（634mm×0.85%）上昇させる可能性がある。

その他、建屋水位を上昇させるものとして、①地下水流入と②原子炉への注水があり、各々500m³/日、600m³/日が想定される。1 号～4 号機の滞留水が存在している建屋面積の合計は約 23,000m²となるため、降雨、地下水流入、及び原子炉への注水により 1 ヶ月に発生する滞留水量の合計は 45,420m³となる。そのため、各建屋の水位を維持するためには、約 1,520m³/日の滞留水移送・処理が必要となる。一方、移送装置は移送ポンプが 1 台あたり 20m³/h の運転実績があるため 1,920m³/日の滞留水移送が可能であり、処理装置も実績として 1,680m³/日で処理を実施したことがある。

したがって、降雨量が多い場合でも月降水量最大約 850mm までは、現状の移送装置、処理装置の能力でタービン建屋等の水位を維持することが可能である。

2.5.1.8.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

(1) 機器の単一故障

a. 動的機器の単一故障

廃スラッジ一時保管施設は、機器の単一故障により安全機能が喪失するのを防止するため、動的機器を多重化しているが、動的機器が故障した場合は、待機設備へ切替を行い、安全機能を回復する。

b. 外部電源喪失時

使用済セシウム吸着塔仮保管施設、使用済セシウム吸着塔一時保管施設は、使用済みのセシウム吸着塔等を静的に保管する施設であり、外部電源喪失した場合でも、安全機能に影響を及ぼすことはない。

造粒固化体貯槽(D)は排気用の仮設電源を設けており、外部電源喪失により貯槽内気相部の排気が不可能となった場合は、必要に応じ電源切替を操作することで可燃性ガスを放出する。

廃スラッジ一時保管施設は、外部電源喪失により貯槽内気相部の排気が不可能となるが、以下を考慮しており、短時間のうちに安全機能の回復が可能である。

- ・電源車の接続口を設置

- 仮設送風機（エンジン付きコンプレッサ）の接続が可能なように取合口を設置
- 窒素ボンベによる掃気が可能なようにボンベを設置
- 手動弁を操作することで、可燃性ガスを放出（ベント）できるラインを設置

2.5.2 基本仕様

2.5.2.1 主要仕様

2.5.2.1.1 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

(1) 1号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台 数	4
容 量	10m ³ /h（1台あたり）
揚 程	14m

(2) 2号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台 数	3
容 量	12m ³ /h（1台あたり）
揚 程	30m

(3) 3号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台 数	3
容 量	12m ³ /h（1台あたり）
揚 程	30m

(4) 4号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台 数	4
容 量	12m ³ /h（1台あたり）
揚 程	30m

(5) サイトバンカ排水ポンプ（完成品）

台 数	1
容 量	24 m ³ /h
揚 程	20.5 m

(6) プロセス主建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台 数	2（高濃度滞留水受タンク移送ポンプと共用）
容 量	50 m ³ /h（1台あたり）
揚 程	38.5～63m

(7) 高温焼却炉建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	38.5m

(8) 油分分離装置処理水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	65m

(9) ブースターポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	108m

(10) セシウム吸着処理水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	41m

(11) 除染装置処理水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	20m

(12) S P T廃液拔出ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	30m

(13) S P T受入水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	75m

(14) 廃液ＲＯ供給ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	70m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	30m

(15) ＲＯ処理水供給ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	75m

(16) ＲＯ処理水移送ポンプ（完成品）

台 数	8
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	75m

(17) ＲＯ濃縮水供給ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	75m

(18) ＲＯ濃縮水貯槽移送ポンプ（完成品）

台 数	4
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	75m

(19) ＲＯ濃縮水移送ポンプ（完成品）

台 数	16
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	50～75m

(20) 濃縮水供給ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	50m

(21) 蒸留水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	40m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	75m

(22) 濃縮処理水供給ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	40m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	50m

(23) 濃縮処理水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	50m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	75m

(24) 濃縮水移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	40m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	50m

(25) 高濃度滞留水受タンク移送ポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	30m ³ /h（1 台あたり）
揚 程	65m

(26) 高濃度滞留水受タンク（完成品）

合計容量（公称）	2,800 m ³
基 数	28 基
容量（単基）	100m ³ ／基

(27) 油分分離装置処理水タンク（完成品）

合計容量（公称）	37.5 m ³
基 数	3 基
容量（単基）	12.5 m ³ ／基

(28) セシウム吸着処理水タンク (完成品)

合計容量 (公称)	37.5 m ³
基 数	3 基
容量 (単基)	12.5 m ³ /基

(29) 除染装置処理水タンク (完成品)

合計容量 (公称)	37.5 m ³
基 数	3 基
容量 (単基)	12.5 m ³ /基

(30) サプレッションプール水サージタンク (既設品)

基 数	2 基
容 量	3,500 m ³ /基

(31) S P T受入水タンク (完成品)

基 数	1 基
容 量	85 m ³

(32) 廃液R O供給タンク (完成品)

合計容量 (公称)	1,200m ³
基 数	34 基
容量 (単基)	35～110 m ³ /基

(33) R O処理水受タンク (完成品)

基 数	1 基
容 量	85 m ³

(34) R O処理水一時貯槽 (完成品)

合計容量 (公称)	5,000m ³
基 数	139 基
容量 (単基)	16～42 m ³ /基

(35) R O 処理水貯槽

合計容量 (公称)	13,750m ³
基 数	27 基
容量 (単基)	300, 450, 1100 m ³ / 基
材 料	SS400
板厚 (側板)	9mm (300m ³), 9~12mm (450m ³), 12mm (1100m ³)

(36) 中低濃度滯留水受タンク (完成品)

合計容量 (公称)	7,200 m ³
基 数	72 基
容量 (単基)	100 m ³ / 基

(37) R O 濃縮水受タンク (完成品)

基 数	1 基
容 量	85 m ³

(38) R O 濃縮水貯槽 (完成品)

合計容量 (公称)	20,000m ³
基 数	170 基
容量 (単基)	120 m ³ / 基

(39) R O 濃縮水貯槽

合計容量 (公称)	<u>268,000m³</u>
基 数	<u>297 基</u>
容量 (単基)	500, 1100 m ³ / 基
材 料	SS400
板厚 (側板)	9~12mm (500m ³), 12mm (1100m ³)

(40) 濃縮水受タンク (完成品)

合計容量 (公称)	800m ³
基 数	26 基
容量 (単基)	40 m ³ / 基

(41) 蒸留水タンク（完成品）

合計容量（公称）	94m ³
基 数	3 基
容量（単基）	40 m ³ ／基

(42) 濃縮処理水タンク（完成品）

合計容量（公称）	1,600m ³
基 数	52 基
容量（単基）	40m ³ ／基

(43) 蒸発濃縮処理水貯槽

合計容量（公称）	5,000m ³
基 数	5 基
容量（単基）	1,100m ³ ／基
材 料	SS400
板厚（側板）	12mm

(44) 濃縮水タンク（完成品）

合計容量（公称）	150m ³
基 数	5 基
容量（単基）	40m ³ ／基

(45) 濃縮廃液貯槽（完成品）

合計容量（公称）	10,000m ³
基 数	100 基
容量（単基）	100m ³ ／基

(46) 多核種処理水貯槽

合計容量（公称）	<u>390,000m³</u>	（必要に応じ増設）
基 数	<u>390 基</u>	（必要に応じ増設）
容量（単基）	1,100m ³ ／基	
材 料	SS400	
板厚（側板）	12mm	

(47) 地下貯水槽

合計容量 (公称)	58,000 m ³
基 数	7 基
容 量	2,000～14,000m ³
材 料	ポリエチレン, ベントナイト
厚 さ	1.5mm (ポリエチレン), 6.4mm (ベントナイト)

(48) ろ過水タンク (既設品)

<u>基 数</u>	<u>1 基</u>
<u>容 量</u>	<u>8,000 m³</u>

(49) 油分分離装置 (完成品)

台 数	3
容 量	1,200 m ³ /日 (1 台で 100%容量)
性 能	出口にて浮遊油 100ppm 以下 (目標値)

(50) セシウム吸着装置

系 列 数	4
処 理 量	1,200 m ³ /日
除染係数 (設計目標値)	10 ³ ～10 ⁵ 程度

(51) 第二セシウム吸着装置

系 列 数	2
処 理 量	1,200 m ³ /日
除染係数 (設計目標値)	10 ⁴ ～10 ⁶ 程度

(52) 除染装置 (凝集沈殿法)

系 列 数	1
処 理 量	1,200 m ³ /日
除染係数 (設計目標値)	10 ³ 程度

(53) 淡水化装置（逆浸透膜装置）（完成品）

(R0-1A)	処 理 量	270 m ³ ／日
	淡水化率	約 40%
(R0-1B)	処 理 量	300 m ³ ／日
	淡水化率	約 40%
(R0-2)	処 理 量	1,200 m ³ ／日
	淡水化率	約 40%
(R0-3)	処 理 量	1,200 m ³ ／日
	淡水化率	約 40%

(54) 淡水化装置（蒸発濃縮装置）（完成品）

(蒸発濃縮-1A)	処 理 量	12.7 m ³ ／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-1B)	処 理 量	27 m ³ ／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-1C)	処 理 量	52 m ³ ／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-2A/2B)	処 理 量	80 m ³ ／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-3A/3B/3C)	処 理 量	250 m ³ ／日
	淡水化率	約 70%

表 2. 5-1 汚染水処理設備等の主要配管仕様 (1 / 5)

名 称	仕 様	
1 号機タービン建屋から 1 号機廃棄物処理建屋まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 80A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
2 号機タービン建屋から 3 号機タービン建屋まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
2 号機タービン建屋から 4 号機弁ユニットまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
3 号機タービン建屋から 4 号機弁ユニットまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
3 号機タービン建屋から 4 号機タービン建屋まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
4 号機タービン建屋から 4 号弁ユニットまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
4 号弁ユニットから プロセス主建屋, 高温焼却炉建屋まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
サイトバンカ建屋から プロセス主建屋まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
プロセス主建屋 3 階取り合いから 油分分離装置入口ヘッダーまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1.37MPa 66℃
油分分離装置入口ヘッダーから 油分分離装置処理水タンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1.37MPa 66℃

表 2. 5-1 汚染水処理設備等の主要配管仕様 (2 / 5)

名 称	仕 様	
油分分離装置処理水タンクから セシウム吸着装置入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1. 37MPa 66℃
油分分離装置処理水タンクから 第二セシウム吸着装置入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1. 37MPa 66℃
セシウム吸着装置入口から セシウム吸着装置出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 80A／Sch. 40 SUS316L 0. 97MPa 66℃
セシウム吸着装置出口から セシウム吸着処理水タンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1. 37MPa 66℃
セシウム吸着処理水タンクから 除染装置入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1. 37MPa 66℃
除染装置入口から 除染装置出口まで (鋼管)	呼び径 ／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 80A, 100A, 150A, 200A ／Sch. 20S SUS316L 0. 3MPa 50℃
除染装置出口から 除染装置処理水タンクまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1. 37MPa 66℃
セシウム吸着処理水タンクから S P T 建屋取り合いまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1. 37MPa 66℃
除染装置処理水タンクから S P T 建屋取り合いまで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1. 37MPa 66℃
S P T 建屋取り合いから S P T (B) まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1. 0MPa 40℃

表 2. 5 - 1 汚染水処理設備等の主要配管仕様 (3 / 5)

名 称	仕 様	
高温焼却炉建屋 1 階ハッチから 高温焼却炉建屋 1 階取り合いまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋 1 階取り合いから 第二セシウム吸着装置入口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1.37MPa 66℃
第二セシウム吸着装置入口から 第二セシウム吸着装置出口まで (鋼管)	呼び径 ／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 80A, 100A, 150A／ Sch. 80 STPG370, STPT370 1.37MPa 66℃
第二セシウム吸着装置入口から 第二セシウム吸着装置出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 80A／Sch. 40 SUS316L 1.37MPa 66℃
第二セシウム吸着装置出口から S P T (B) まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A／Sch. 80 STPG370, STPT370 1.37MPa 66℃
S P T (B) から 淡水化装置 (R O) まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
淡水化装置 (R O) から R O 処理水一時貯槽まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
R O 処理水一時貯槽から 処理水バッファタンクまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
R O 処理水供給ポンプ配管分岐部から R O 処理水貯槽まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
R O 処理水貯槽から 蒸発濃縮処理水貯槽配管まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

表 2. 5 - 1 汚染水処理設備等の主要配管仕様 (4 / 5)

名 称	仕 様	
淡水化装置 (RO) から RO濃縮水貯槽まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 65A 相当, 80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
RO濃縮水貯槽から 蒸発濃縮装置まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
RO濃縮水貯槽移送ポンプ配管分岐部 から廃液RO供給タンクまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
蒸発濃縮装置から 蒸留水タンクまで (耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 100A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98MPa 74℃
蒸発濃縮装置から 濃縮水タンクまで (耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 100A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98MPa 74℃
蒸留水タンクから 濃縮廃液貯槽まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
濃縮水タンクから 処理水バッファタンクまで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
水中ポンプ出口 (耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当, 80A 相当, 100A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
プロセス主建屋内取り合いから プロセス主建屋出口取り合いまで (戻り系統含む) (鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A, 50A, 80A, 100A / Sch80 STPG370 0.5MPa 66℃
プロセス主建屋出口取り合いから 高濃度滞留水受タンクエリア入口まで (戻り系統含む) (二重管ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 EPDM 0.5MPa 66℃

表 2. 5 - 1 汚染水処理設備等の主要配管仕様 (5 / 5)

名 称	仕 様	
高濃度滞留水受タンクエリア入口から 高濃度滞留水受タンク (戻り系統含む) (鋼管)	呼び径／厚さ	25A, 50A, 80A, 100A／ Sch80
	材質	STPG370
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	66℃

2.5.2.1.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

(1) 使用済セシウム吸着塔仮保管施設

吸着塔保管体数	308 体 (セシウム吸着装置)
	34 体 (第二セシウム吸着装置)

(2) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設 (第一施設)

吸着塔保管体数	604 体 (セシウム吸着装置)
	142 体 (第二セシウム吸着装置, 処理カラム)

(3) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設 (第二施設)

吸着塔保管体数	736 体
	(セシウム吸着装置, 多核種除去設備の合計)

(4) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設 (第三施設)

(高性能容器を貯蔵するが, 貯蔵体数は今後の詳細設計により決定する)

(5) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設 (第四施設)

吸着塔保管体数	680 体 (セシウム吸着装置)
	212 体 (第二セシウム吸着装置, 処理カラム)

(6) 造粒固化体貯槽 (D) (既設品)

スラッジ保管容量	700m ³
----------	-------------------

(7) 廃スラッジ一時保管施設

スラッジ保管容量	720m ³ (予備機含む)
スラッジ貯層基数	8 基
スラッジ貯層容量	90m ³ /基

表 2. 5 - 2 廃スラッジ貯蔵施設の主要配管仕様

名 称	仕 様	
除染装置から 造粒固化体貯槽 (D) (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 80A / Sch20S SUS316L 0.3MPa 50℃
造粒固化体貯槽 (D) から プロセス主建屋壁面取合まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 80A / Sch20S SUS316L 0.98MPa 50℃
プロセス主建屋壁面取合から 廃スラッジー時保管施設取合まで (二重管ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.72MPa 82.2℃
廃スラッジー時保管施設取合から スラッジ貯槽まで (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A, 50A / Sch40 SUS316L 0.98MPa 50℃
廃スラッジー時保管施設内 上澄み移送ライン (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A, 100A, 80A / Sch40 SUS329J4L 0.98MPa 50℃
廃スラッジー時保管施設内 スラッジ移送ライン (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A, 80A, 50A / Sch40 SUS316L 0.98MPa 50℃

2.5.3 添付資料

添付資料－1 系統概要図

添付資料－2 主要設備概要図

添付資料－3 汚染水処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

添付資料－4 廃スラッジー時保管施設の耐震性に関する検討結果

添付資料－5 汚染水処理設備等の具体的な安全確保策について

添付資料－6 セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の吸着塔の温度評価

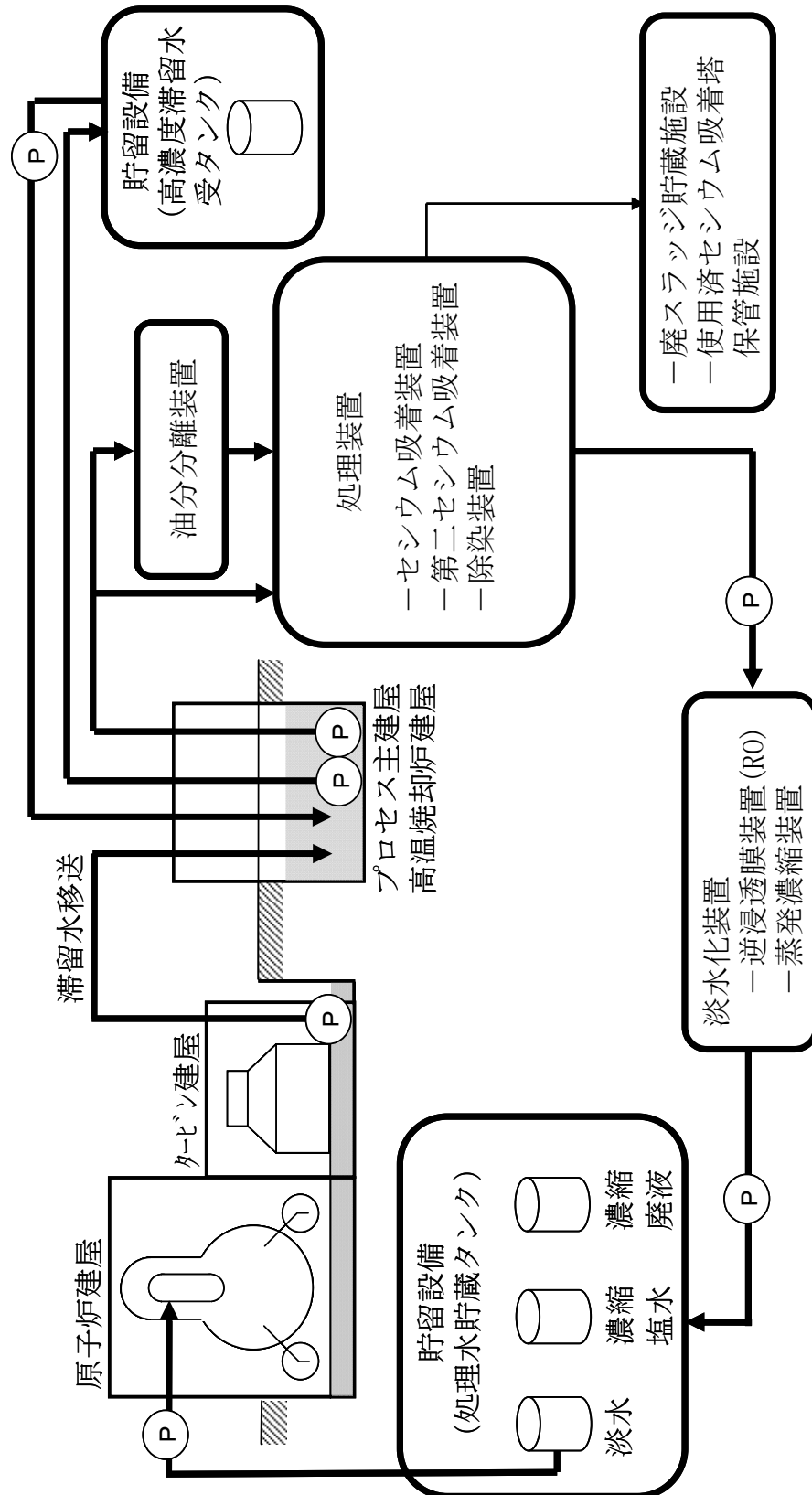
添付資料－7 廃スラッジー時保管施設の崩壊熱評価

添付資料－8 廃スラッジー時保管施設の遮へい設計

添付資料－9 汚染水処理設備等の工事計画及び工程について

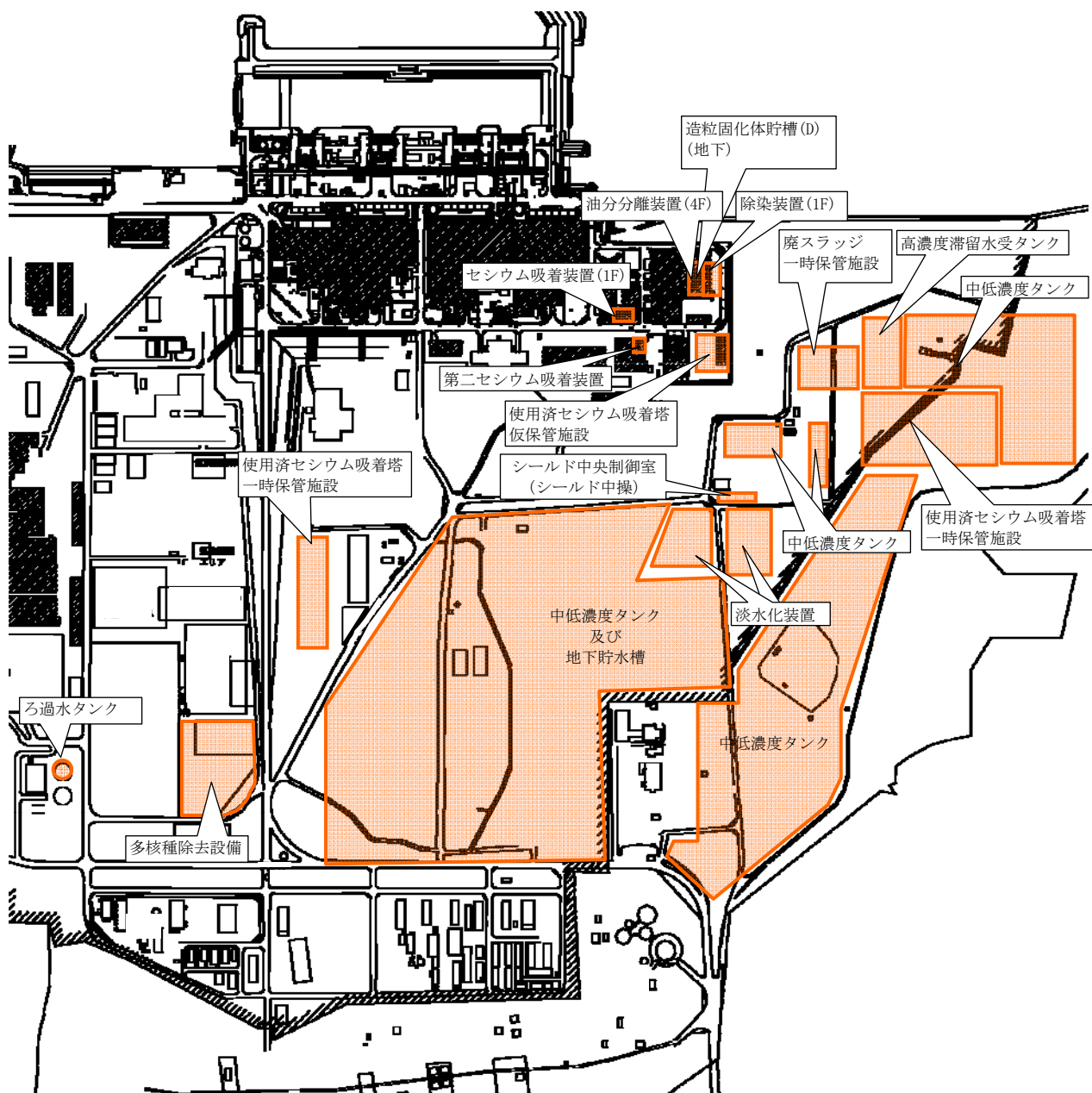
添付資料－10 No.1 ろ過水タンクへの逆浸透膜装置廃水の貯留について

系統概要図



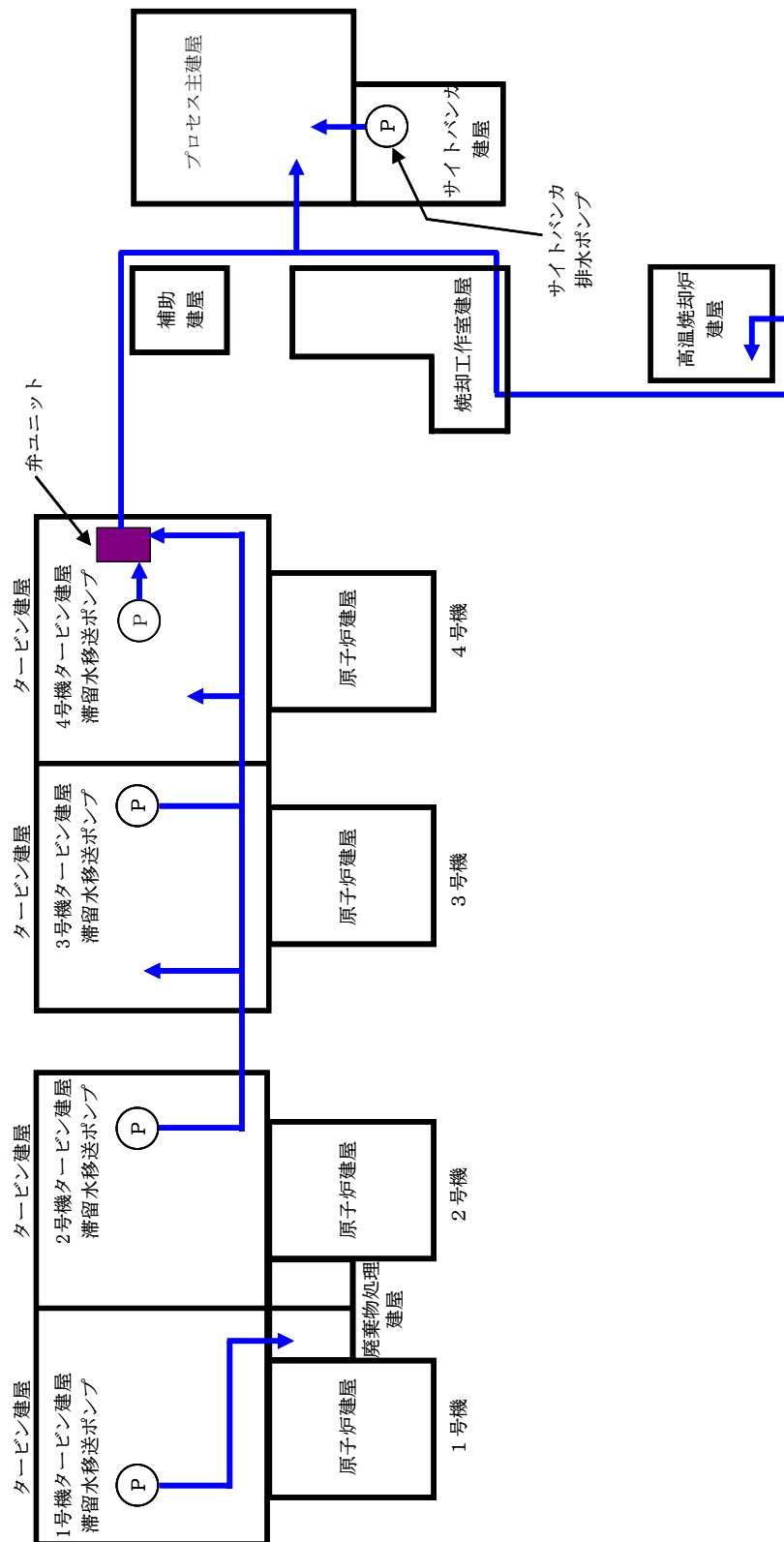
(a) 系統概要

図－1 汚染水処理設備等の全体概要図 (1/2)

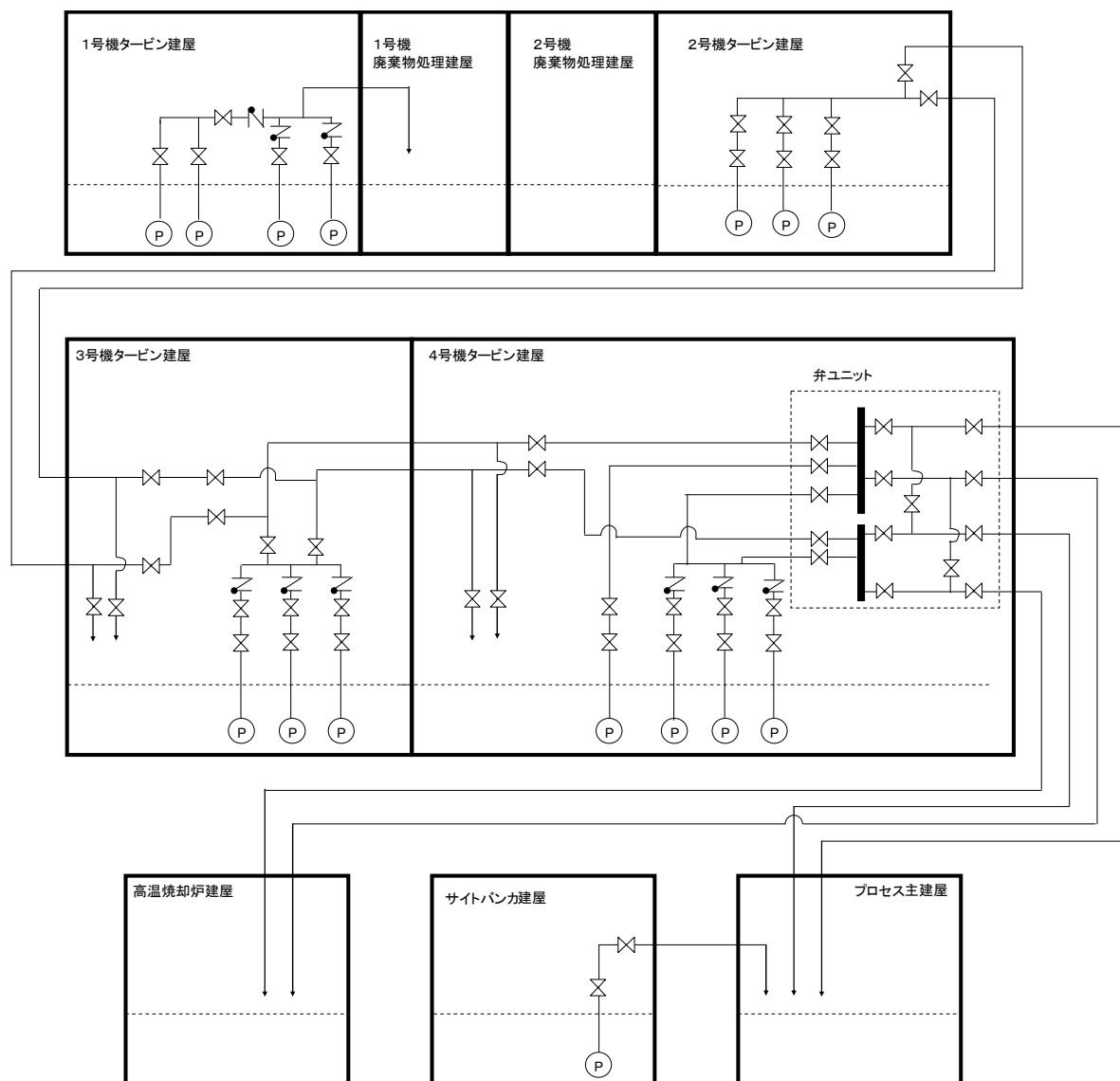


(b) 配置概要

図ー1 汚染水処理設備等の全体概要図 (2 / 2)

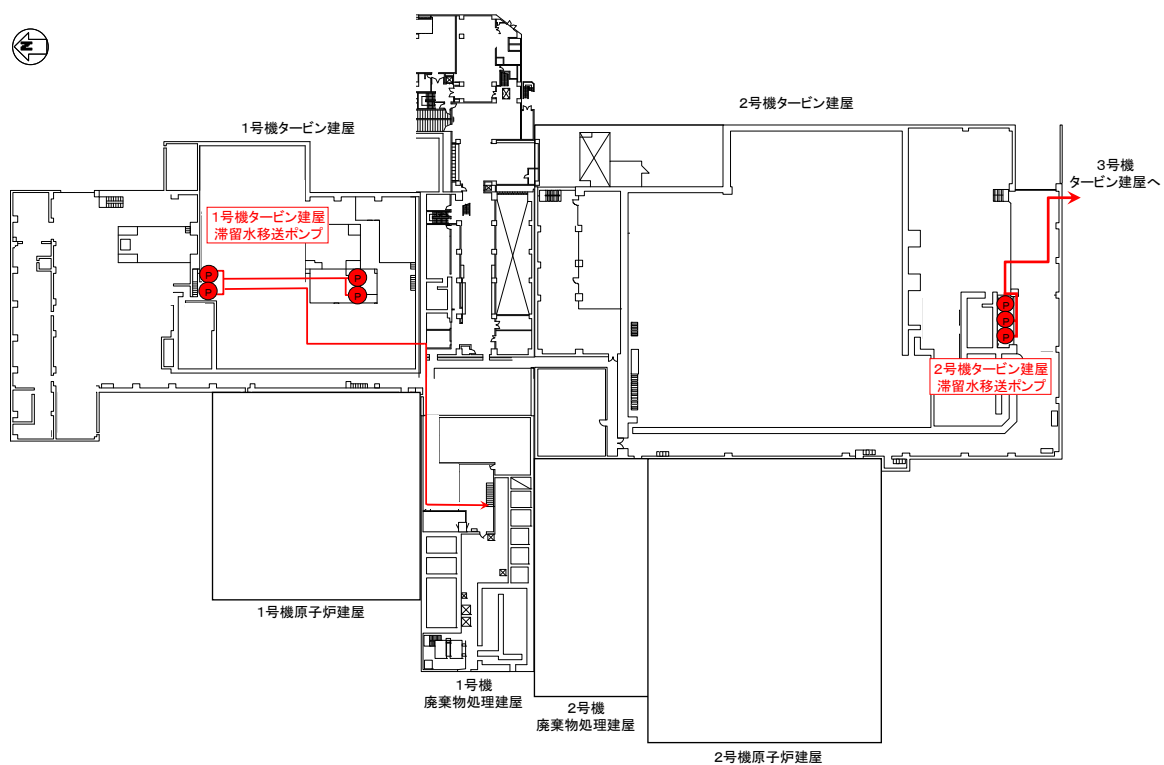


(a) 移送装置全体系統図
 図-2 滞留水移送装置の系統構成図 (1 / 3)

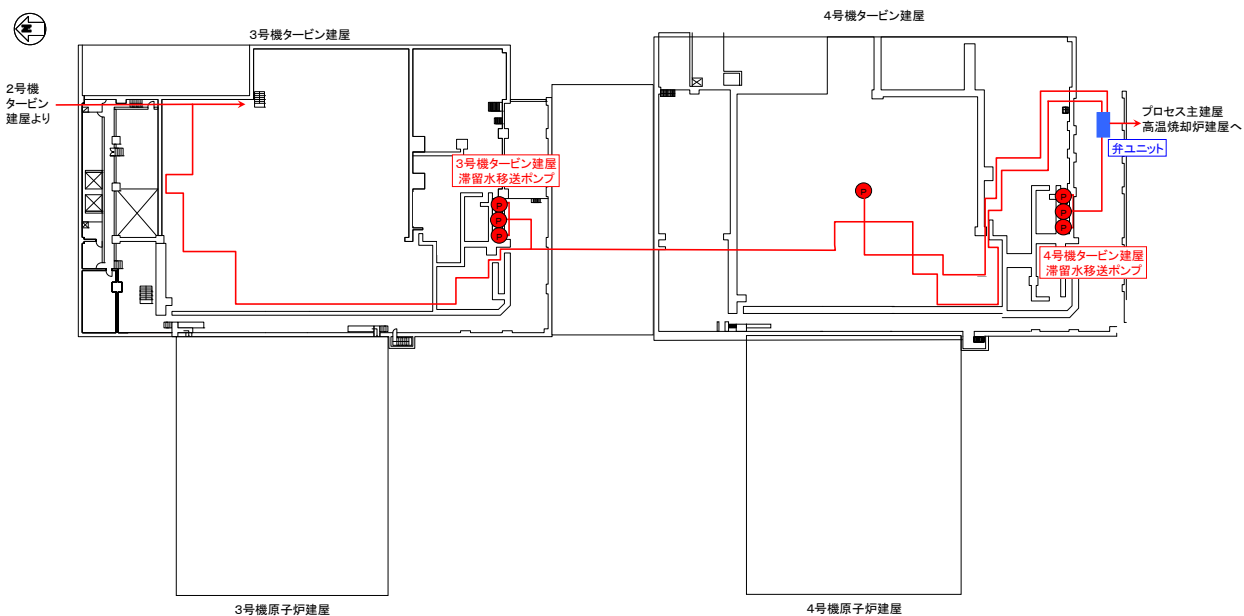


(b) 移送装置系統図概略図

図－2 滞留水移送装置の系統構成図（2／3）



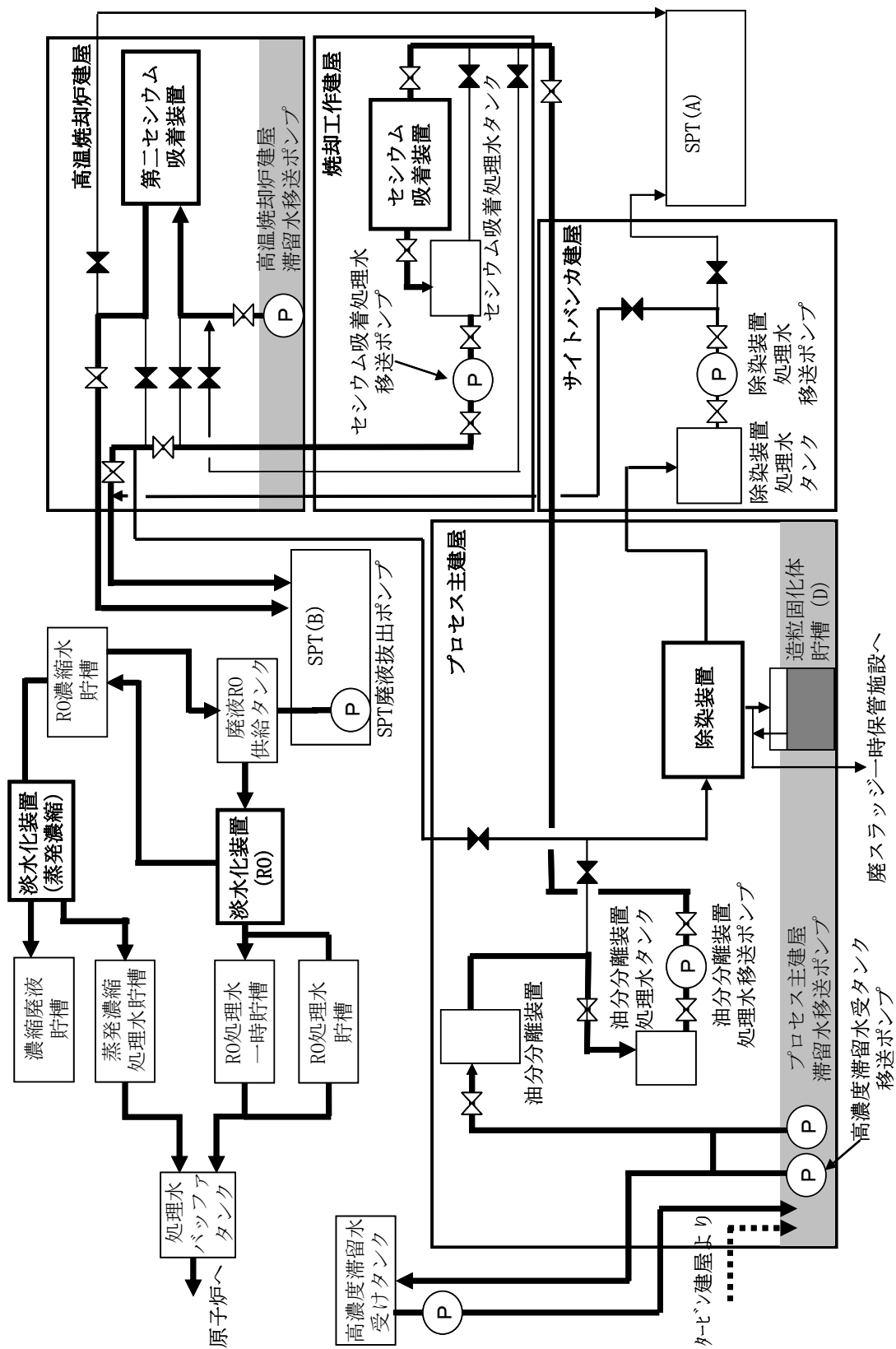
1, 2号機滞留水移送系統 (各建屋1階)



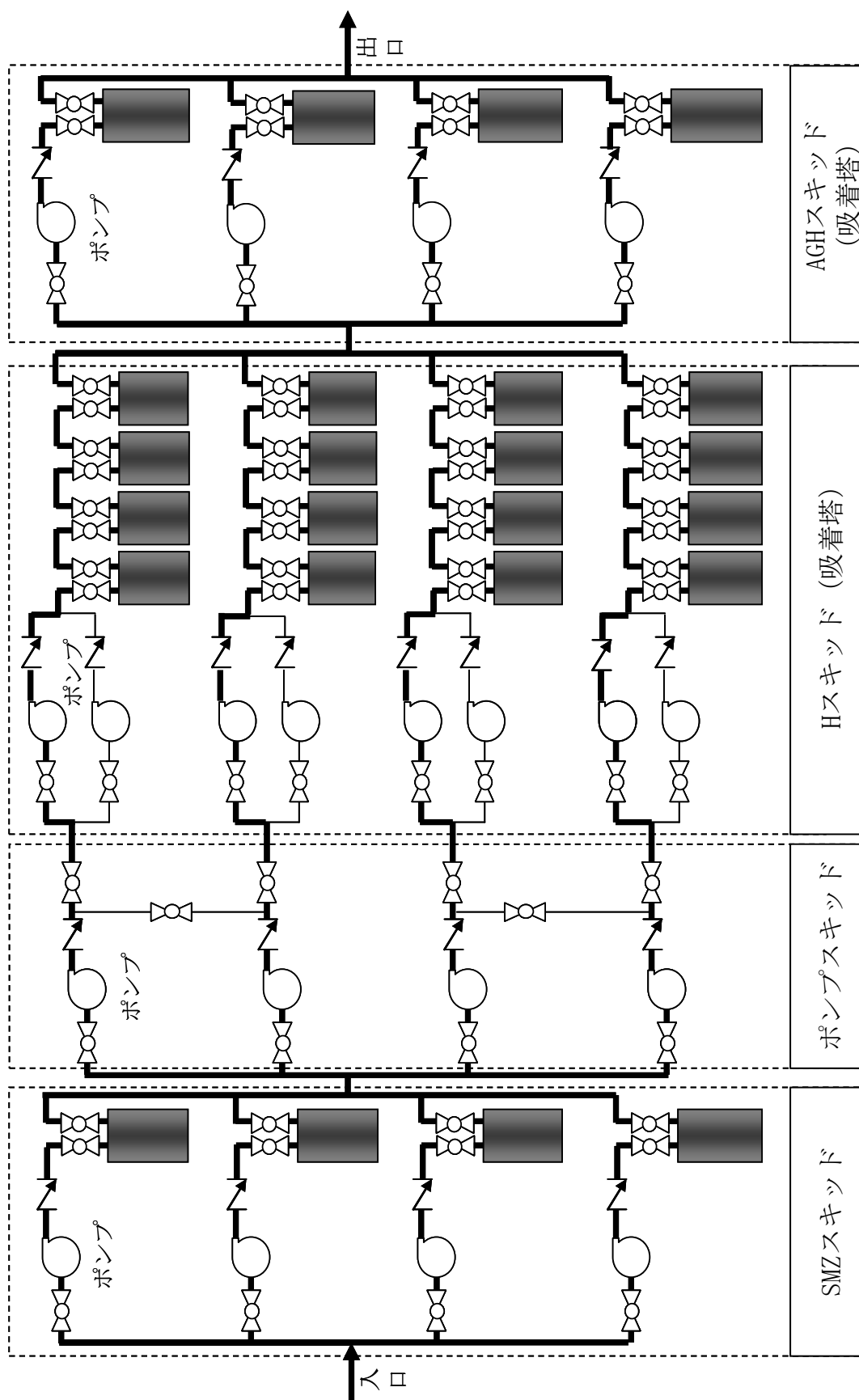
3, 4号機滞留水移送系統 (各建屋1階)

(b) 移送装置 配管ルート図

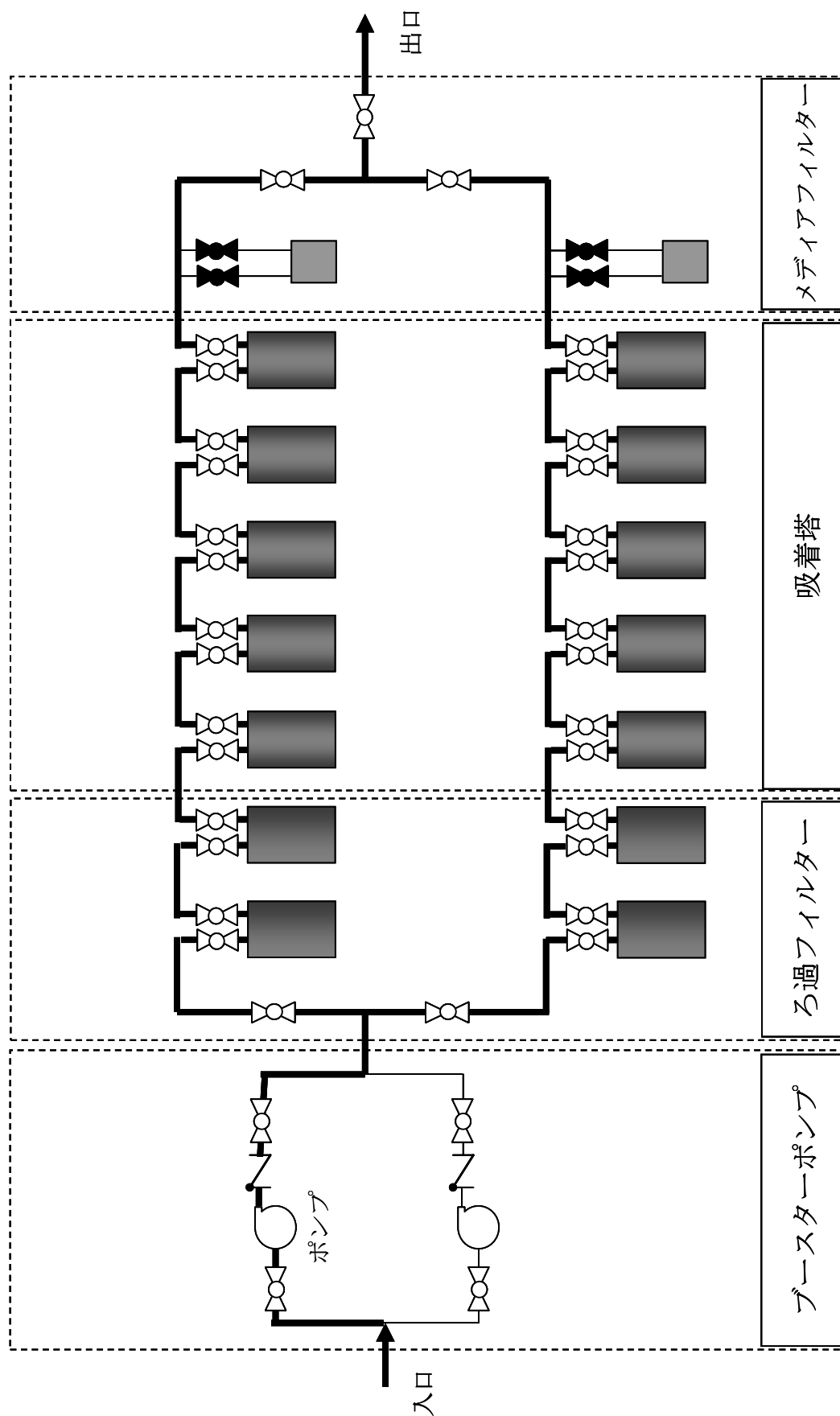
図-2 滞留水移送装置の系統構成図 (3 / 3)



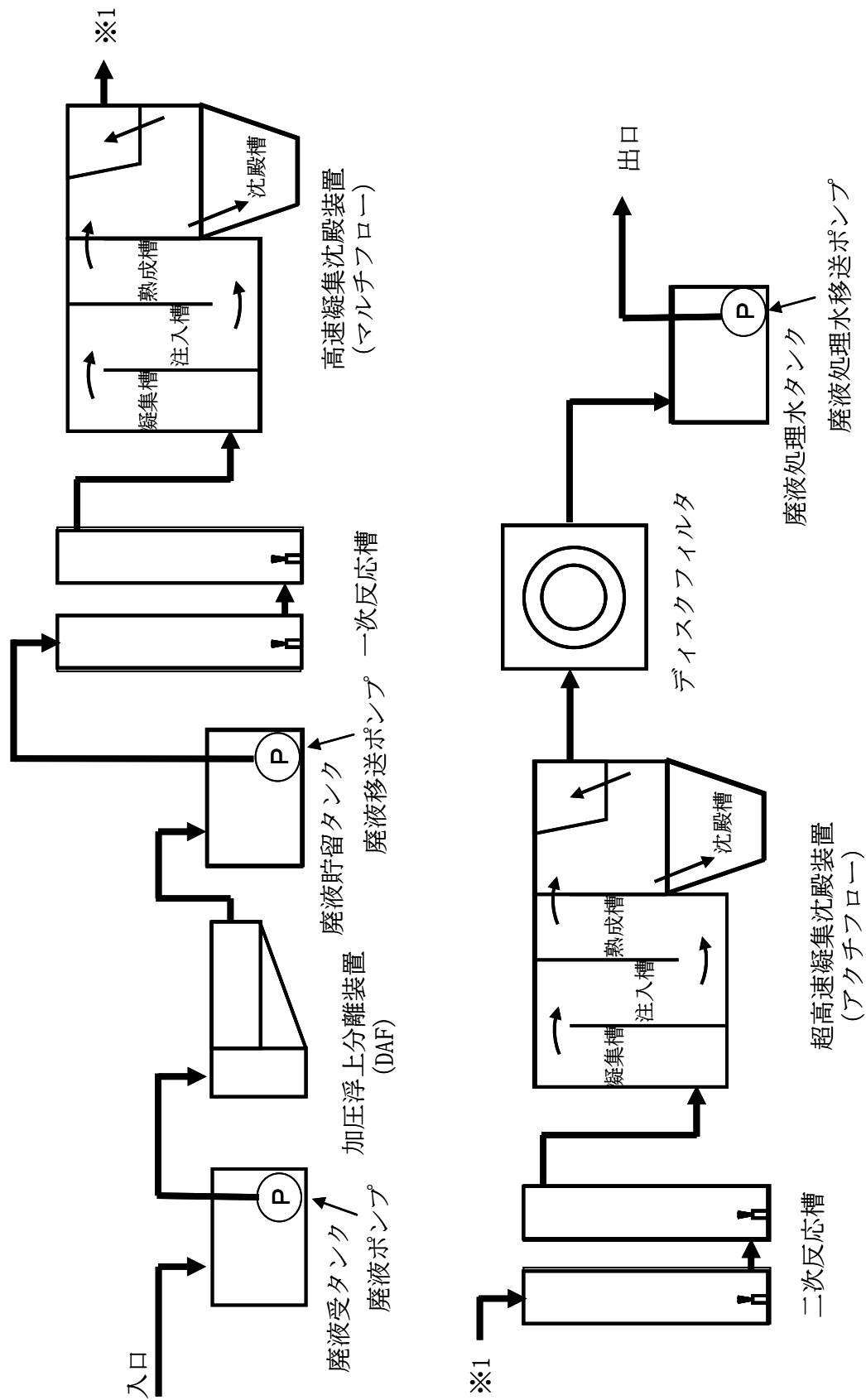
図ー3 処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，除染装置）の系統構成図



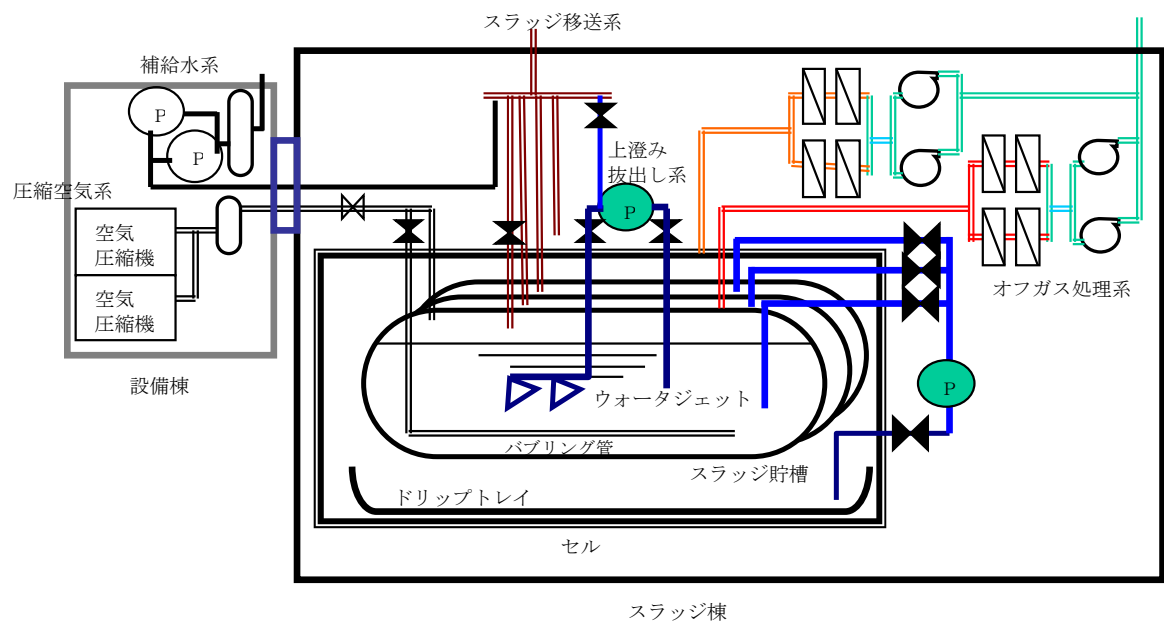
図ー4 セシウム吸着装置の系統構成図



図ー5 第二セシウム吸着装置の系統構成図

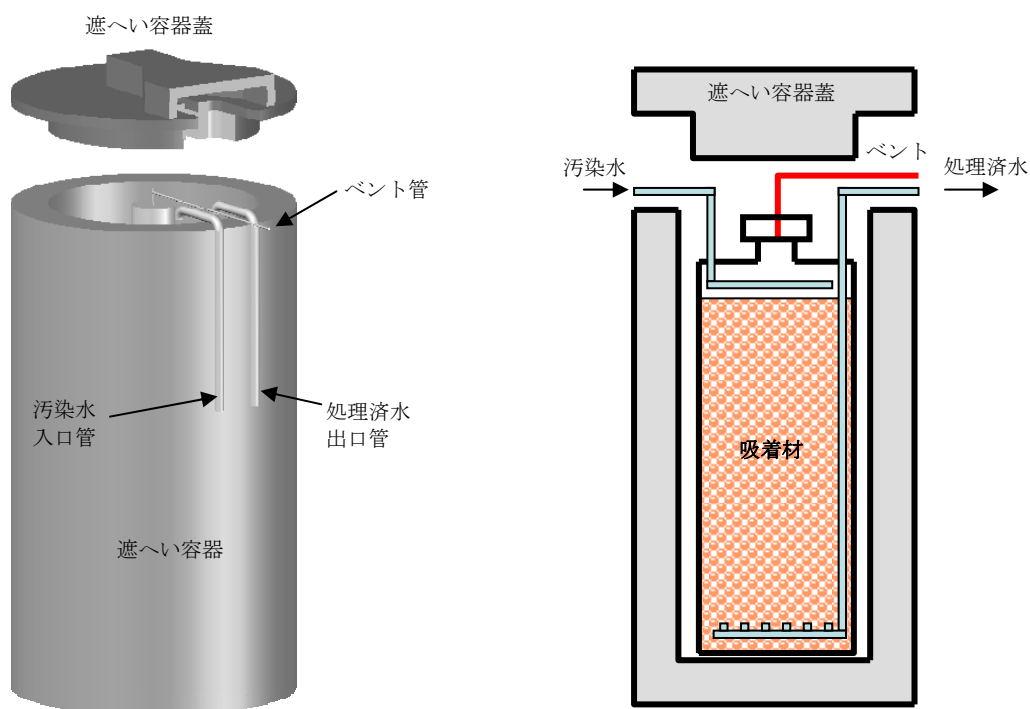


図ー6 除染装置の系統構成図

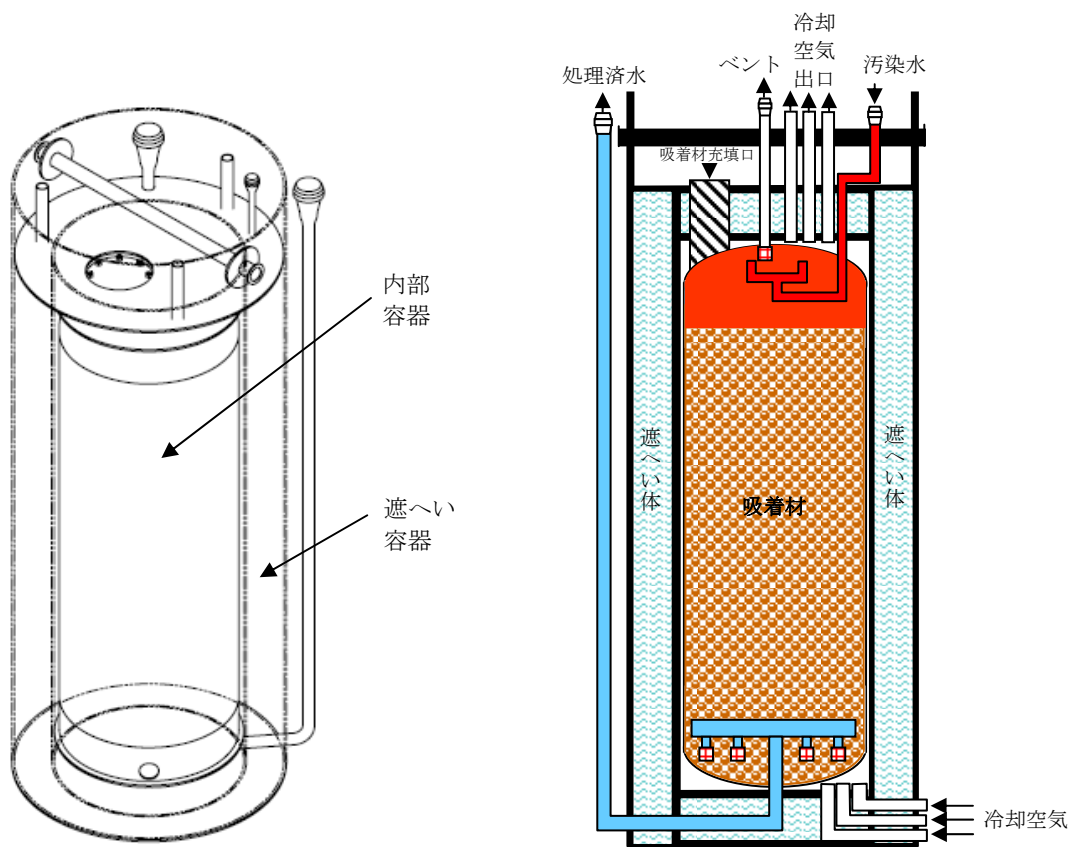


図ー８ 廃スラッジ一時保管施設概要図

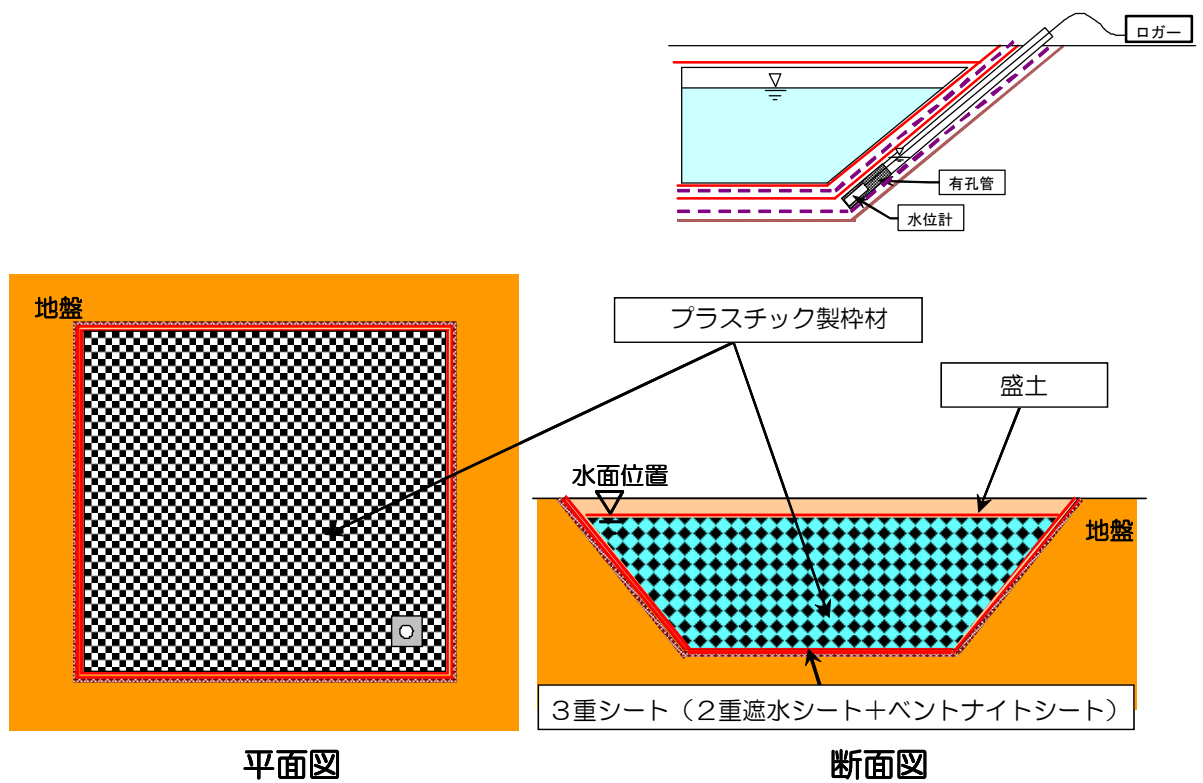
主要設備概要図



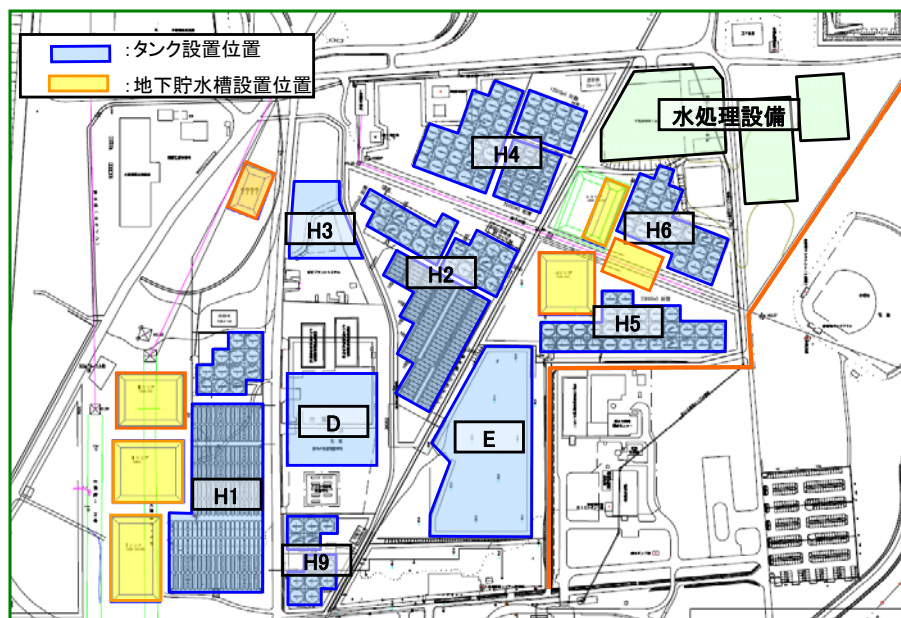
図－１ セシウム吸着装置の吸着塔外形図及び概要図



図－２ 第二セシウム吸着装置の吸着塔外形図及び概要図

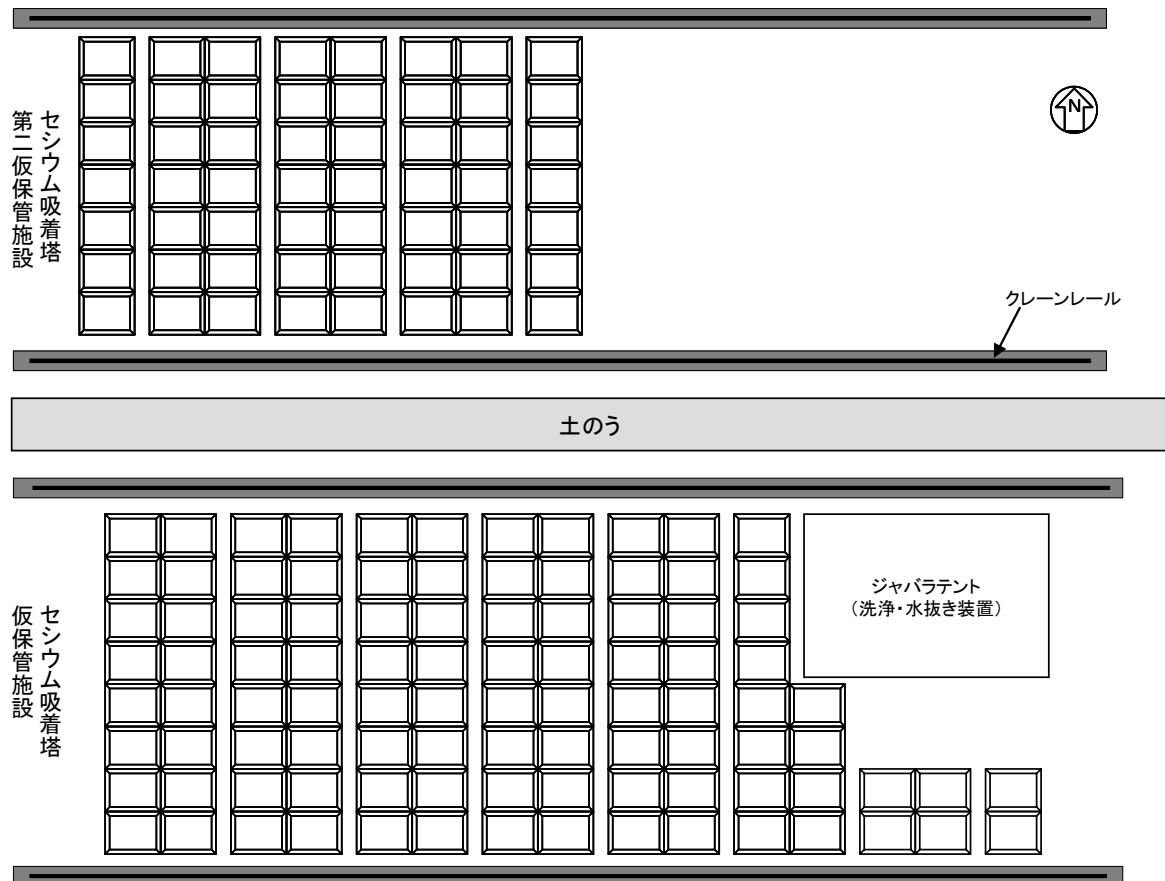


(a) 地下貯水槽概要

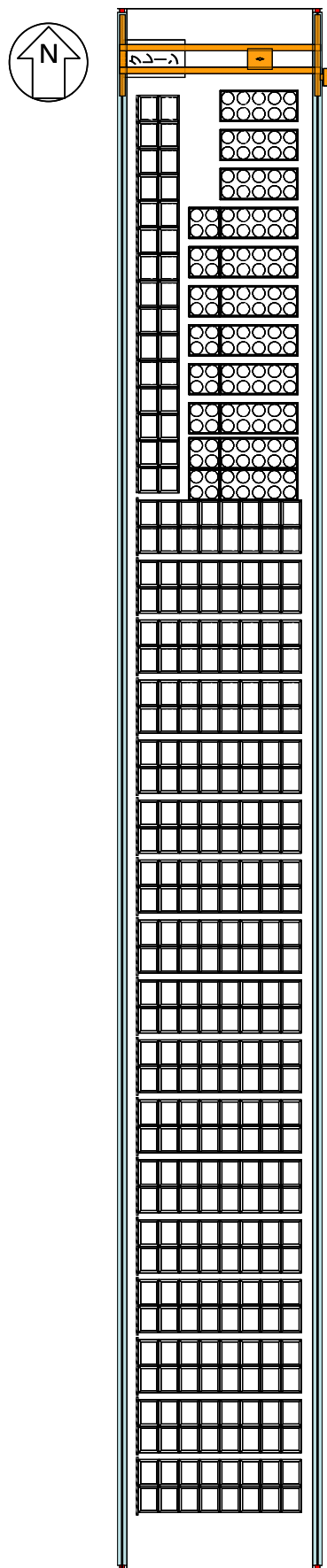


(b) 設置位置

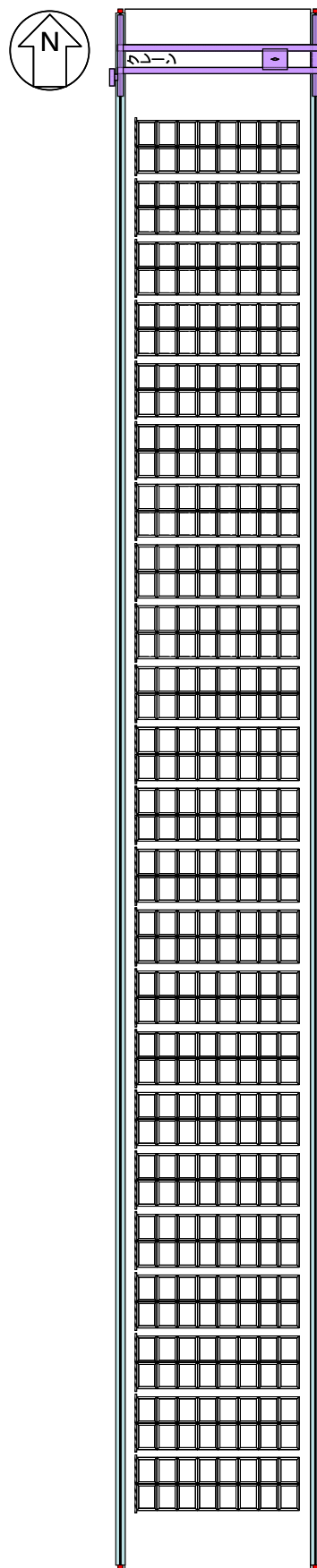
図－3 地下貯水槽概要及び設置位置



図ー4 使用済セシウム吸着塔仮保管施設

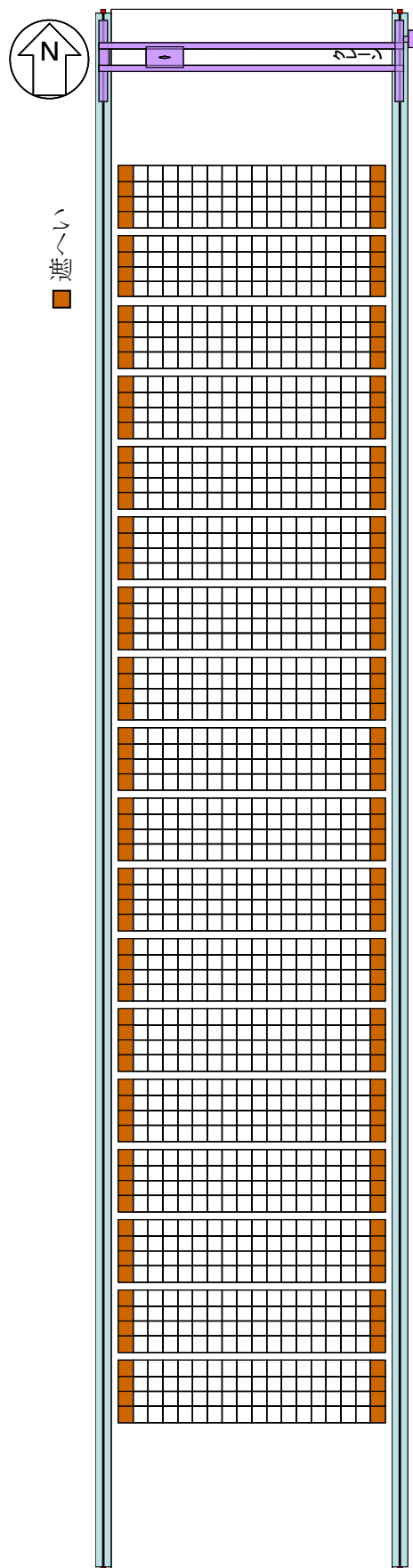


(a) 第一施設

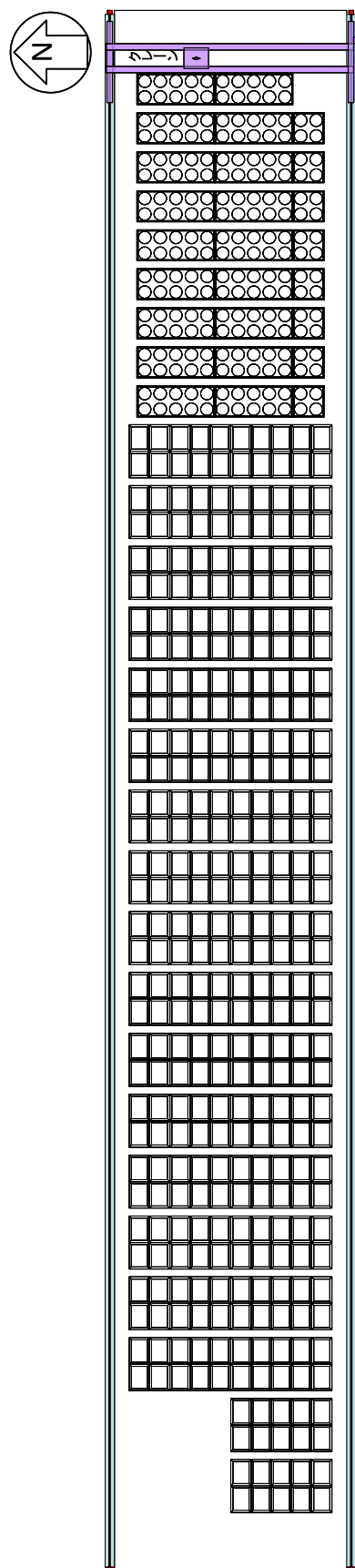


(b) 第二施設

図一5 使用済セシウム吸着塔一時保管施設概要図 (1 / 2)



(c) 第三施設
(計画段階であり、今後の詳細設計により決定)



(d) 第四施設

図-5 使用済セシウム吸着塔一時保管施設概要図 (2/2)

汚染水処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

汚染水処理設備等を構成する設備について、構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性等の評価を行う。

1. 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等）

1.1. 基本方針

1.1.1. 構造強度評価の基本方針

汚染水処理設備、貯留設備及び関連設備を構成する機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、ポリエチレン管等の非金属材料についての基準がない。

従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス 3 機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際、JIS や独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用できるものとし、評価を行う。

また、構造強度に関連して経年劣化の影響を評価する観点から、原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は、他産業での使用実績等を活用しつつ、必要に応じて試験等を行うことで、経年劣化の影響についての評価を行う。なお、試験等の実施が困難な場合にあっては、巡視点検等による状態監視を行うことで、健全性を確保する。

1.1.2. 耐震性評価の基本方針

汚染水処理設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」（以下、「耐震設計技術規程」という。）等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態にあわせたものを採用する。B クラス施設に要求される水平震度に対して耐震性を確保できない場合は、その影響について評価を行う。支持部材がない等の理由によって、耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては、可撓性を有する材料を使用するなどし、耐震性を確保する。

なお、汚染水処理設備等のうち高濃度の滞留水を扱う設備等については、参考とし

て S クラス相当の評価を行う。

1.2. 評価結果

1.2.1. 滞留水移送装置

(1) 構造強度評価

材料証明書がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。従って、滞留水移送装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性評価

移送ポンプは、水中ポンプのため地震により有意な応力は発生しない。

1.2.2. 油分分離装置

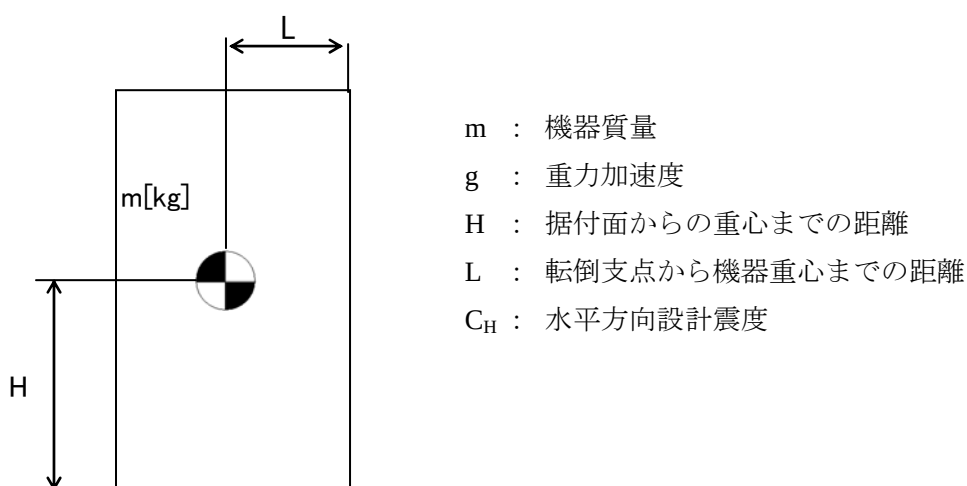
(1) 構造強度評価

材料証明書がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。従って、油分分離装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した（表－1）。

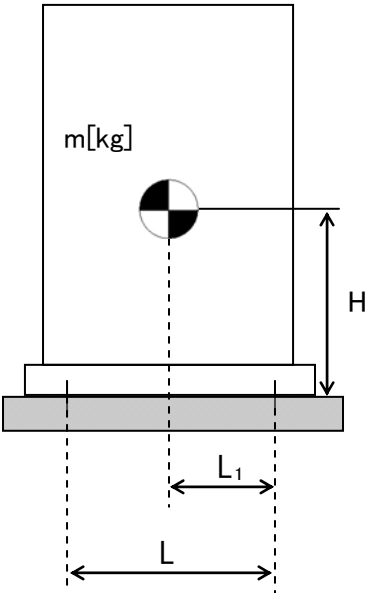


地震による転倒モーメント : $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント : $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果、基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－１）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- L_1 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} \left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1 \right)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表－１ 油分分離装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
油分分離装置	本体	転倒	0.36	50	83	kN・m
			0.57	79		
	基礎ボルト	せん断	0.36	24	129	MPa
			0.57	37		
		引張	0.36	<0	-	MPa
			0.57	<0		

1.2.3. 処理装置（セシウム吸着装置）

(1) 構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。

また，吸着塔の円筒型容器については，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，内圧に耐えられることを確認した（表－2）。

$$t = \frac{PDi}{2S\eta - 1.2P}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ
Di : 胴の内径
P : 最高使用圧力
S : 最高使用温度における
材料の許容引張応力
η : 長手継手の効率

ただし，t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t=3[mm] 以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm] 以上とする。

表－2 セシウム吸着装置構造強度結果

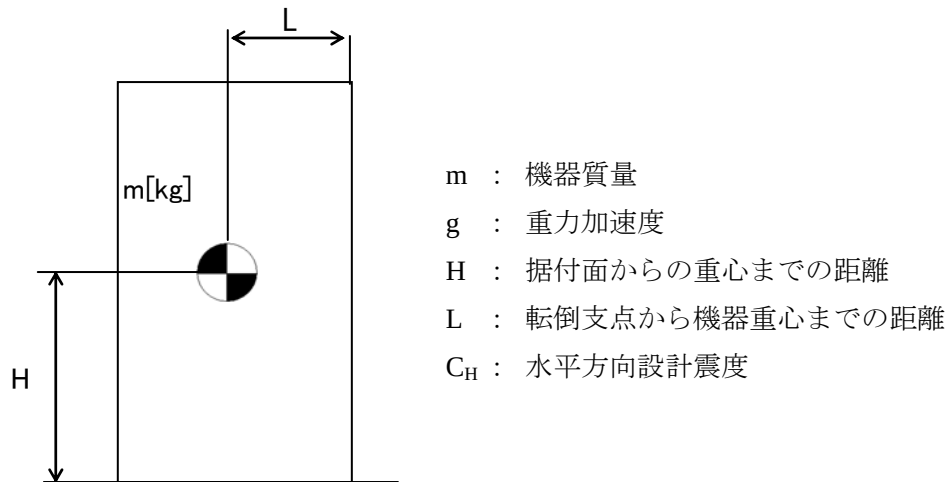
機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
セシウム吸着装置 吸着塔	板厚	6.8	9.5※

※ 最小値

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらと比較することにより転倒評価を行った。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した（表－３）。



地震による転倒モーメント : $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント : $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより、滑動評価を実施した。評価の結果、地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから、滑動しないことを確認した（表－３）。なお、S クラス相当の評価では、セシウム吸着塔において地震時の水平荷重によるすべり力が接地面の摩擦力より大きくなったことから、FEM によるトラニオンとピンガイドの強度評価を行った。

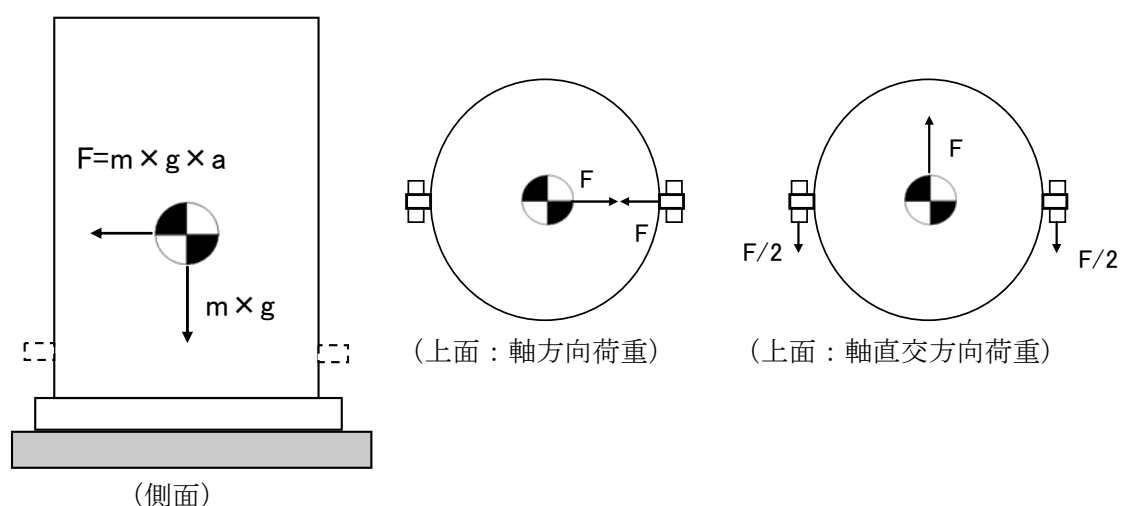
地震時の水平荷重によるすべり力 : $F_L = C_H \times m \times g$
接地面の摩擦力 : $F_\mu = \mu \times m \times g$

m : 機器質量
g : 重力加速度
C_H : 水平方向設計震度
 μ : 摩擦係数

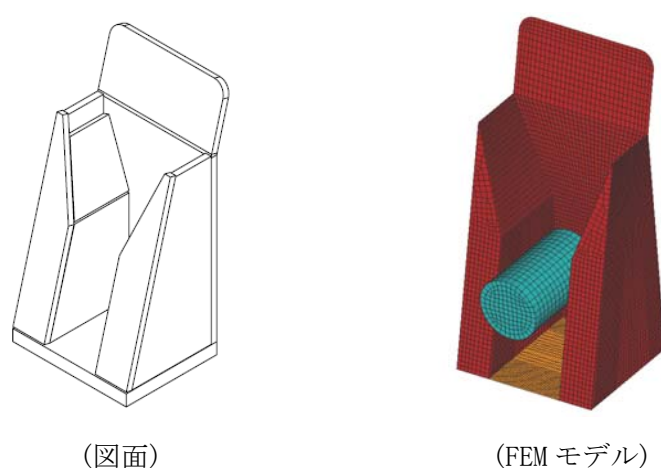
c. FEM によるトラニオンとピンガイドの強度評価

セシウム吸着塔は、本体下部に位置決めのためのトラニオンが施工されており、スキッド側ピンガイドと取合構造となっている（図－1 参照）。

b. 滑動評価において、地震時の水平荷重によるすべり力が接地面の摩擦力より大きくなったことから、軸方向荷重及び軸直交方向荷重を想定し、トラニオンとピンガイドの強度を FEM により確認する。なお、FEM モデルは、ピンガイドについては各部材の中立面にシェル要素で、トラニオンはソリッド要素で作成した（図－2 参照）。FEM による強度評価の結果ピンガイドは破断せず吸着塔を支持することを確認した（表－3）。



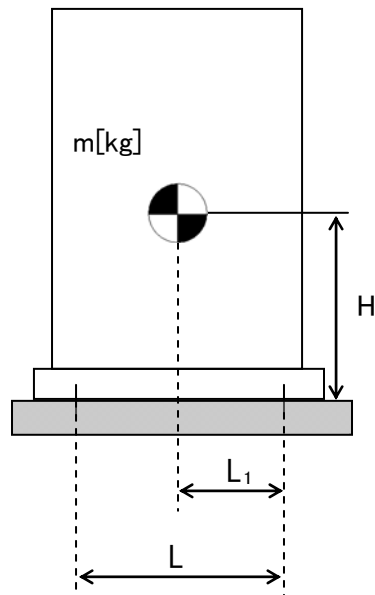
図－1 トラニオン～ピンガイド概要



図－2 FEM モデル形状

d. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－３）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- L₁ : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表－3 セシウム吸着装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
セシウム 吸着塔	本体	転倒	0.36	90	130	kN・m
			0.51	128		
		滑動	0.36	0.36	0.52	－
			0.57	0.57		
	ピンガイド	相当応力	0.57	182	Sy=159 Su=459	MPa
スキッド	本体	転倒	0.36	513	881	kN・m
			0.57	811		
	基礎	転倒	0.36	616	958	kN・m
			0.57	975		
	基礎ボルト	せん断	0.36	33	129	MPa
			0.57	52		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.57	2	152	
セシウム吸着 処理水タンク	本体	転倒	0.36	144	175	kN・m
			0.57	227		
	基礎ボルト	せん断	0.36	19	129	MPa
			0.57	30		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.57	23	168	
セシウム吸着 処理水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	2.1	7.2	kN・m
			0.57	3.4		
	基礎ボルト	せん断	0.36	6	129	MPa
			0.57	9		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.57	<0		

1.2.4. 処理装置（第二セシウム吸着装置）

(1) 構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。

また，吸着塔の円筒形容器については，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，内圧に耐えられることを確認した（表－4）。

$$t = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ
Di : 胴の内径
P : 最高使用圧力
S : 最高使用温度における
材料の許容引張応力
η : 長手継手の効率

ただし， t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。

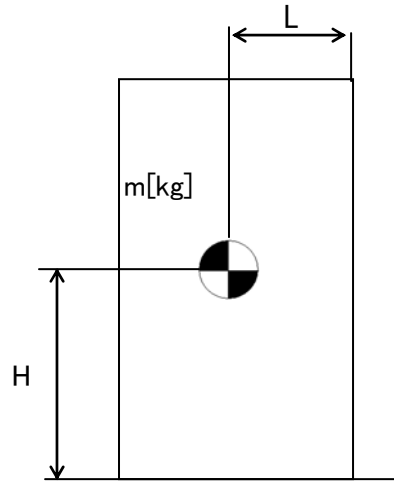
表－4 第二セシウム吸着装置構造強度結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
第二セシウム吸着装置 吸着塔	板厚	9.6	12

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－５）。



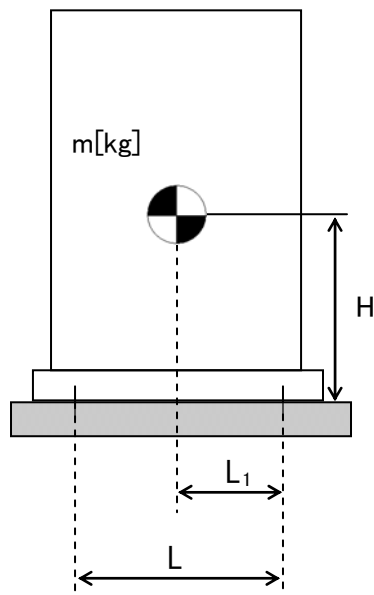
- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離
- C_H : 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－５）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- L_1 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_v) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表－５ 第二セシウム吸着装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第二セシウム 吸着塔	本体	転倒	0.36	144	169	kN・m
			0.42	168		
	基礎ボルト	せん断	0.36	71	133	MPa
			0.55	108		
		引張	0.36	<0	69	MPa
			0.55	68		
ポンプスキッド	本体	転倒	0.36	3.9	6.9	kN・m
			0.60	6.4		
	基礎ボルト	せん断	0.36	4	133	MPa
			0.60	7		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.60	<0		

1.2.5. 処理装置（除染装置）

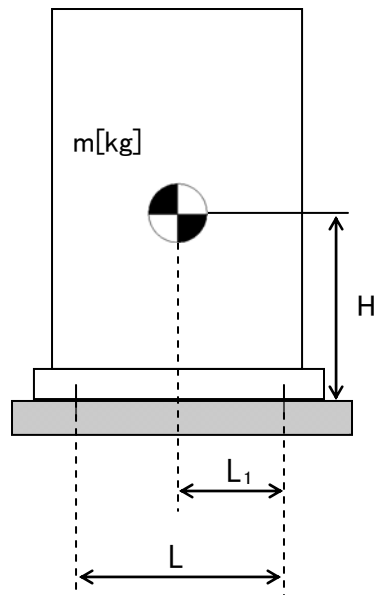
(1) 構造強度評価

材料証明書がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。従って、除染装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果、基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－6）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- L₁ : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

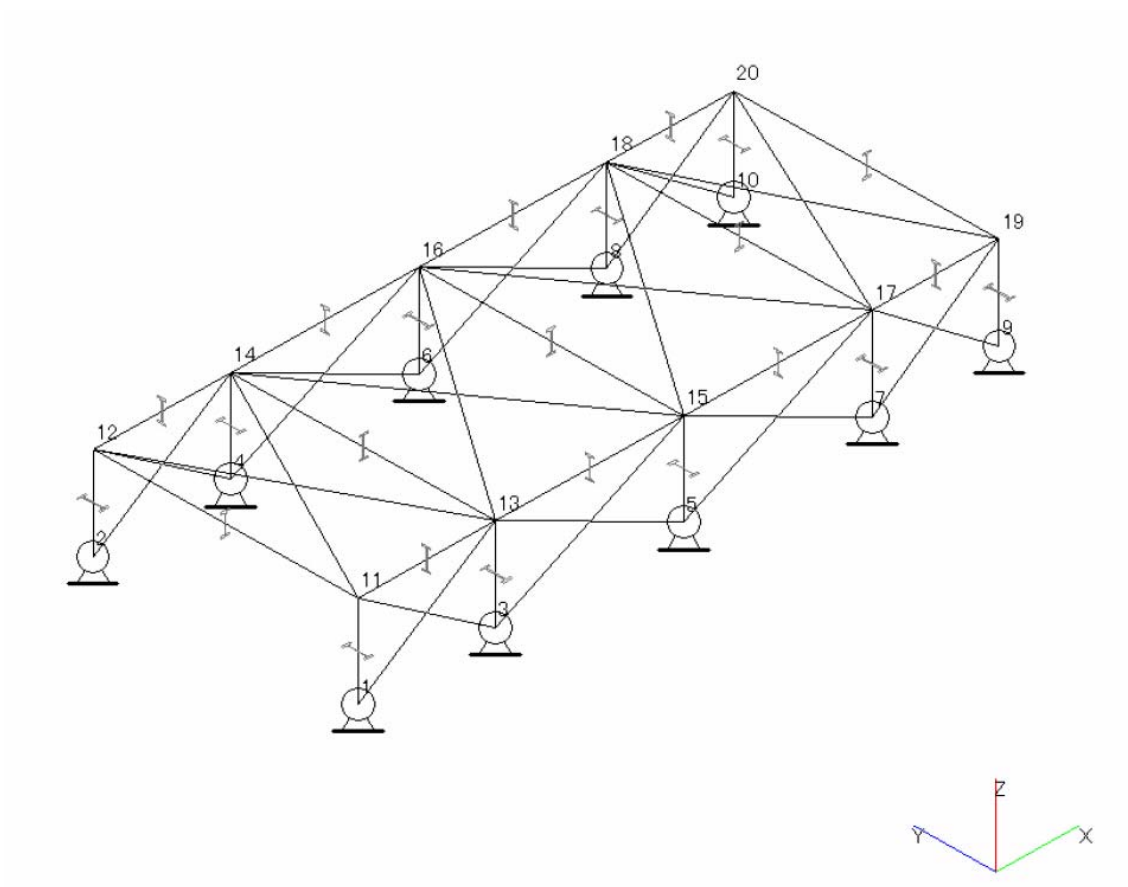
$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

b. 有限要素法によるフレーム構造解析を用いた基礎ボルト強度評価

主要設備についてはコンクリートにアンカーを打った上で架台にて強固に据え付けられていることから，加圧浮上分離装置（DAF），凝集沈殿装置（アクチフロー），ディスクフィルタについて有限要素法によるフレーム構造解析を用いて基礎ボルトの強度評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度に問題がないことを確認した（表－6）。

① 加圧浮上分離装置（DAF）

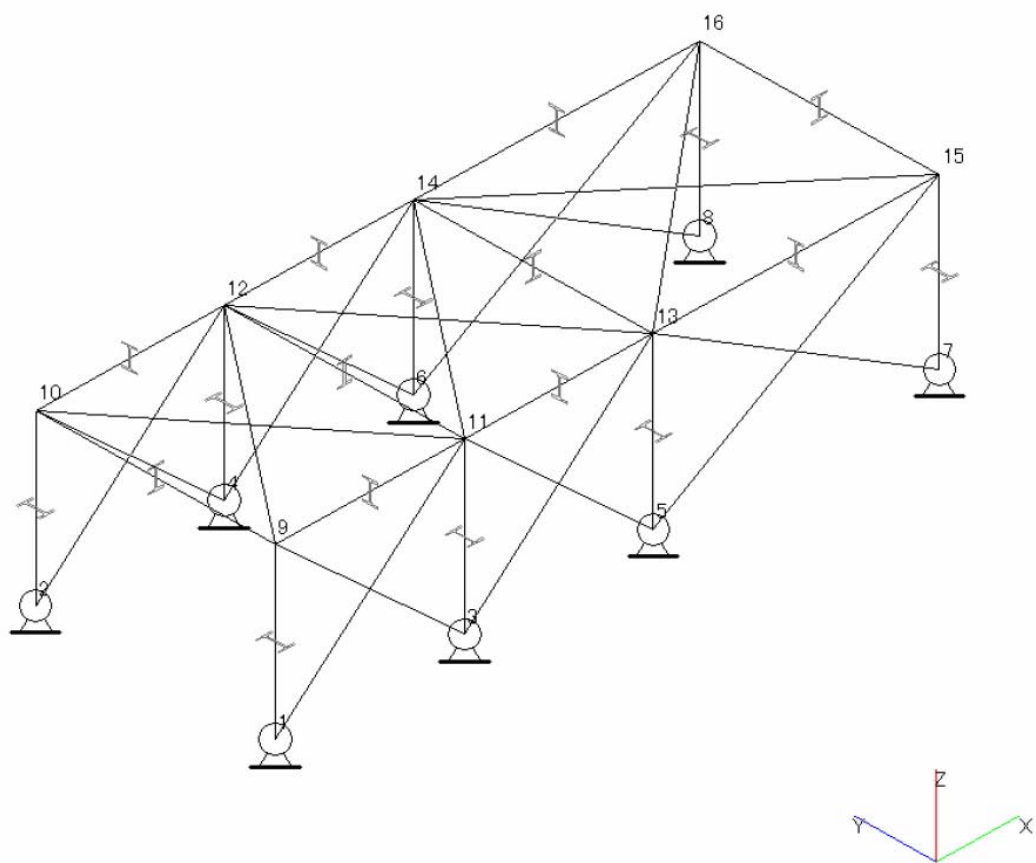
設計用水平震度：0.6G



図－3 加圧浮上分離装置（DAF）解析モデル

② 凝集沈殿装置（アクチフロー）

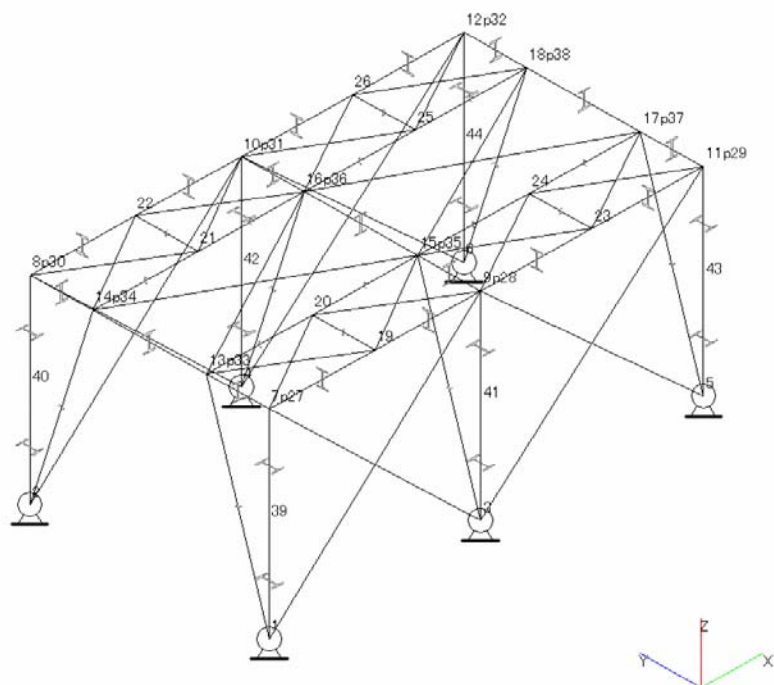
設計用水平震度：0.6G



図ー４ 凝集沈殿装置（アクチフロー）解析モデル

③ ディスクフィルタ

設計用水平震度：0.6G



図－5 ディスクフィルタ解析モデル

c. 架台強度評価

加圧浮上分離装置（DAF）、凝集沈殿装置（マルチフロー）、凝集沈殿装置（アクチフロー）、ディスクフィルタについて有限要素法によるフレーム構造解析を用いて各部材に発生するたわみ量の評価を実施した。評価の結果、架台強度に問題がないことを確認した（表－6）。

表－6 除染装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
加圧浮上分離装置 (DAF)	架台（柱脚）	変位	0.60	1/290	1/120	変位量
	基礎 ボルト	せん断	0.60	27	118	MPa
		引張	0.60	6	153	MPa
反応槽	基礎 ボルト	せん断	0.36	49	118	MPa
			0.50	68		
		引張	0.36	17	135	MPa
			0.50	76	105	
凝集沈殿装置 (マルチフロー)	本体（壁パネル）	変位	0.60	1/515	1/120	変位量
	基礎 ボルト	せん断	0.36	71	135	MPa
			0.60	119		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.60	7	56	
凝集沈殿装置 (アクチフロー)	架台（柱脚）	変位	0.6	1/936	1/120	変位量
	基礎 ボルト	せん断	0.60	38	118	MPa
		引張	0.60	51	153	MPa
ディスク フィルタ	架台（柱脚）	変位	0.6	1/527	1/120	変位量
	基礎 ルト	せん断	0.60	44	118	MPa
		引張	0.60	19	143	MPa

1.2.6. 淡水化装置

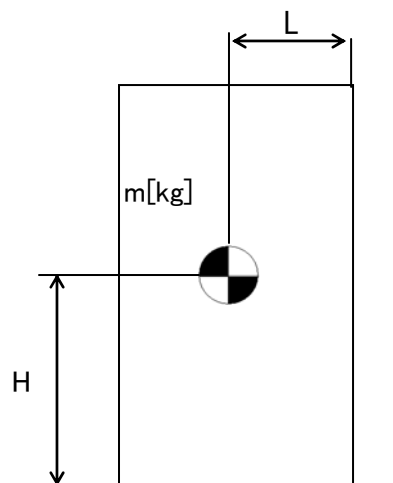
(1) 構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，淡水化装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－7）。



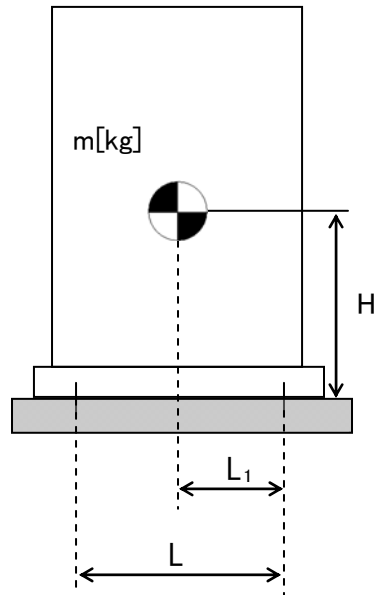
- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離
- C_H : 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント： $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－7）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- L₁ : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

c. 滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果，地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから，滑動しないことを確認した（表－7）。

$$\text{地震時の水平荷重によるすべり力： } F_L = C_H \times m \times g$$

$$\text{接地面の摩擦力： } F_\mu = \mu \times m \times g$$

- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- C_H : 水平方向設計震度
- μ : 摩擦係数

表－ 7 淡水化装置耐震評価結果 (1/2)

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
SPT 受入水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.77	m
廃液 RO 供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.92	m
RO 処理水供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.77	m
RO 処理水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.47	0.77	m
RO 濃縮水供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.77	m
RO 濃縮水貯槽移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.36	0.77	m
RO 濃縮水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.35	0.71	m
濃縮水供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.20	0.78	m
蒸留水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.86	m
濃縮処理水供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.20	0.78	m
濃縮処理水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.35	0.71	m
濃縮水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.20	0.77	m
配管・弁モジュール	本体	転倒	0.36	0.19	0.28	m
逆浸透膜装置 (RO-1A)	基礎 ボルト	せん断	0.36	1,148	23,419	N
		引張	0.36	<0	－	N
逆浸透膜装置 (RO-1B)	基礎 ボルト	せん断	0.36	1,060	23,419	N
		引張	0.36	<0	－	N
逆浸透膜装置 (RO-2)	本体	転倒	0.36	19.1	20.8	kN・m
		滑動	0.36	0.36	0.40	－
逆浸透膜装置 (RO-3)	本体	転倒	0.36	1.70	1.80	kN・m

表－ 7 淡水化装置耐震評価結果（2/2）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
蒸発濃縮装置 (蒸発濃縮-1A)	基礎	せん断	0.36	30	131	MPa
	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置 (蒸発濃縮-1B)	基礎	せん断	0.36	39	131	MPa
	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置 (蒸発濃縮-1C)	基礎	せん断	0.36	36	131	MPa
	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置 (蒸発濃縮-2A, B) (濃縮装置)	本体	転倒	0.36	<0	－	kN
	基礎 ボルト	せん断	0.36	88	108	MPa
		引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置 (蒸発濃縮-3A, B, C) (濃縮装置)	本体	転倒	0.36	<0	－	kN
	基礎 ボルト	せん断	0.36	98	108	MPa
		引張	0.36	<0	－	MPa

1.2.7. 高濃度滞留水受タンク

(1) 構造強度評価

材料証明書がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、気密試験等を行い、漏えいがないことを確認した。

また、設計・建設規格に準拠し、板厚評価を実施し、内圧に耐えられることを確認した（表－8）。

$$t = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ

D_i : 胴の内径

P : 最高使用圧力

S : 最高使用温度における
材料の許容引張応力

η : 長手継手の効率

ただし、t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t=3[mm] 以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm] 以上とする。

表－8 円筒型タンク（横置き）板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
高濃度滞留水受タンク	100t 容量 円筒型（横置き）	タンク板厚	5.4	9.0

(2) 耐震性評価

当該タンクは地中に埋設され、タンク内部に高濃度滞留水を保管するものであり、設備全体としては耐震クラス B に相当することから、地中構造物の耐震 B クラスに要求される水平地震力 Kh=0.3 に対する静的解析により、その耐震安全性を評価した。その結果、B クラスに要求される強度を有するものと評価した（表－9）。詳細は別添－1 に示す。

表－9 円筒型タンク（横置き）耐震評価結果

機器名称		評価項目	作用震度	算出値	許容値	単位
高濃度滞留水 受タンク	100t 容量 円筒型 （横置き）	曲げ	B クラス	21.9	210	N/mm ²
			S クラス	60.0	245	
		せん断	B クラス	0.019	120	N/mm ²
			S クラス	0.311	141	

1.2.8. 中低濃度タンク

(1) 構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，水頭圧による漏えい試験を行い，有意な変形や漏えいがないことを確認した。また，タンクは全て大気開放のため，水頭圧以上の内圧が作用することは無い。

以上のことから，中低濃度タンクは必要な構造強度を有していると評価できる。

また，円筒型タンクについては，主要仕様から必要肉厚を評価し，十分な肉厚を有していることを確認した。

なお，サプレッションプール水サージタンクは，工事計画認可申請書（57 資庁第 2974 号 昭和 57 年 4 月 20 日認可）において確認を実施している。

a. 円筒型タンク

円筒型タンクについては，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－10）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ

Di : 胴の内径

H : 水頭

ρ : 液体の比重

S : 最高使用温度における
材料の許容引張応力

η : 長手継手の効率

ただし，t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は $t=3[\text{mm}]$ 以上，その他の金属の場合は $t=1.5[\text{mm}]$ 以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－１０ 円筒型タンク板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 処理水貯槽	300t 容量	タンク板厚	4.5	9.0
	450t 容量	タンク板厚	4.5	9.0※
RO 濃縮水貯槽	500t 容量	タンク板厚	4.5	9.0※
RO 処理水貯槽 RO 濃縮水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽 <u>多核種処理水貯槽</u>	1100t 容量	タンク板厚	5.7	12.0
<u>RO 濃縮水貯槽</u> 多核種処理水貯槽	1100t 容量（溶接）	タンク板厚	8.8	12.0
濃縮廃液貯槽	100t 容量 （円筒型（横置き））	タンク板厚	3.0	9.0
RO 濃縮水貯槽	120t 容量 （円筒型（横置き））	タンク板厚	3.0	9.0

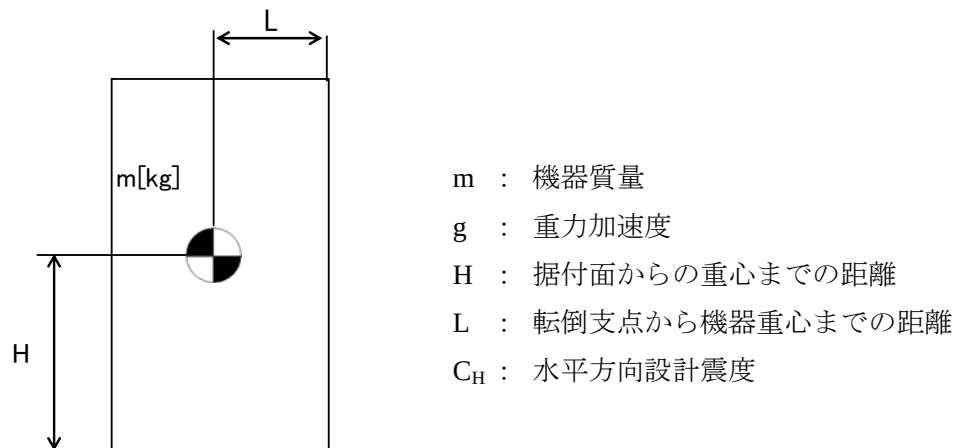
※ 最小値

(2)耐震性評価

サプレッションプール水サージタンクは、工事計画認可申請書(57 資庁第 2974 号 昭和 57 年 4 月 20 日認可)において確認を実施している。その他の中低濃度タンクに関する耐震性評価を以下に示す。

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した（表－１１）。



地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

表－１１ タンク・槽類の転倒評価結果

機器名称		評価部位	評価項目	水平地震動	算出値	許容値	単位
SPT 受入水タンク		本体	転倒	0.36	5.8×10^2	2.9×10^3	kN・m
廃液 RO 供給タンク	35t 容量	本体	転倒	0.36	1.8×10^2	4.2×10^2	kN・m
	40t 容量	本体	転倒	0.36	2.3×10^2	5.4×10^2	kN・m
	42t 容量	本体	転倒	0.36	2.0×10^2	5.5×10^2	kN・m
	110t 容量	本体	転倒	0.36	5.8×10^2	2.9×10^3	kN・m
RO 処理水受タンク		本体	転倒	0.36	5.8×10^2	2.9×10^3	kN・m
RO 処理水 一時貯槽	16t 容量	本体	転倒	0.36	6.9×10^1	1.7×10^2	kN・m
	35t 容量	本体	転倒	0.36	1.6×10^2	3.8×10^2	kN・m
	42t 容量	本体	転倒	0.36	1.9×10^2	5.3×10^2	kN・m
RO 処理水 貯槽	300t 容量	本体	転倒	0.36	5.3×10^3	1.1×10^4	kN・m
	450t 容量	本体	転倒	0.36	6.7×10^3	2.2×10^4	kN・m
	1100t 容量	本体	転倒	0.36	2.1×10^4	7.0×10^4	kN・m
RO 濃縮水受タンク		本体	転倒	0.36	5.8×10^2	2.9×10^3	kN・m
RO 濃縮水 貯槽	120t 容量	本体	転倒	0.36	1.4×10^3	3.2×10^3	kN・m
	500t 容量	本体	転倒	0.36	9.1×10^3	2.5×10^4	kN・m
	1100t 容量	本体	転倒	0.36	2.0×10^4	6.9×10^4	kN・m
多核種処理水貯槽		本体	転倒	0.36	2.0×10^4	6.9×10^4	kN・m
濃縮水受タンク		本体	転倒	0.36	2.1×10^2	5.4×10^2	kN・m
蒸留水タンク		本体	転倒	0.36	2.1×10^2	5.4×10^2	kN・m
濃縮処理水タンク		本体	転倒	0.36	2.1×10^2	5.4×10^2	kN・m
蒸発濃縮処理水貯槽		本体	転倒	0.36	2.1×10^4	7.0×10^4	kN・m
濃縮水タンク		本体	転倒	0.36	2.1×10^2	5.4×10^2	kN・m
濃縮廃液貯槽		本体	転倒	0.36	1.1×10^3	2.3×10^3	kN・m

b. 基準地震動 S_s に対する評価

円筒型タンクに対し，基準地震動 S_s による地震力にて発生する応力等を算出し許容値と比較することにより，タンクの貯水機能維持について評価を実施した。評価の結果，基準地震動による地震力に対して発生する応力等は許容値よりも小さく，機能が維持されることを確認した（表－１２）。

表－１２ 円筒型タンクの基準地震動 S_s に対する評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	算出値	許容値	単位
RO 処理水貯槽 RO 濃縮水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽	側板	膜応力	246	360	MPa
		座屈	0.66	1	－
	接続ボルト (水平方向)	引張	355	525	MPa
	接続ボルト (鉛直方向)	引張	506	525	MPa

1.2.9. 地下貯水槽

(1) 構造強度評価

設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、社団法人雨水貯留浸透技術協会「プラスチック製地下貯留浸透施設技術指針」に準じたプラスチック製枠材及び日本遮水工協会により製品認定を受けている遮水シートを使用することで、高い信頼性を確保する。

(2) 耐震性評価

(2)-1.1. 評価の項目・目的

地下貯水槽の耐震性評価は次の 2 項目について実施する。

- ① 地下貯水槽の地震発生時の止水シートの強度（止水性）の確認
- ② 地下貯水槽に地震が作用した場合の貯水槽内部の貯水枠材の強度の確認
 - a) 地表面載荷荷重として 10kN/m^2 を考慮した場合
 - b) 地下貯水槽の上盤に車両が載った場合

表－13 に、それぞれの評価項目の目的及び内容についてまとめたものを示す。このうち、最も重要なのは①にあげた地震発生時の止水性の確認であり、貯水枠材の強度に関しては、仮に貯水枠材が破壊に至っても不具合事象としては上盤の陥没等が発生する程度と想定され、最も重要な貯水槽の性能である止水性に悪影響はないと考えられる。

表－13 評価項目毎の目的・内容

評価項目	目的・内容	想定不具合事象
①止水シート強度	○ 地震力が作用した場合の止水シートの発生ひずみ量を解析し、シートが破断しないか、即ち漏えい事象が発生しないかを確認する。	○ 止水シートが破断すると、地中に貯水が漏えい拡散するリスクが生じる。
②貯水枠材強度 a) 地表面載荷荷重 10kN/m^2	○ 貯水枠材に地震力が作用した場合の貯水枠材応力度を検討して枠材の強度を確認する。	○ 貯水枠材が破壊すると、枠材が崩れて貯水槽の上盤が陥没する。それにより、上盤に敷設している PE シートが破断する可能性があるが、このシートは雨水混入防止用のものであり、漏えいには直接関係ない。
②貯水枠材強度 b) 車両荷重	○ 貯水槽の上盤に車両が載った場合(自動車荷重を考慮した場合)の貯水枠材の強度を確認する。	

(2)-1.2. 計算条件

各評価項目の作用荷重等の与条件の概要を表－14に示す。

表－14 評価項目毎の与条件

評価項目	作用震度	作用荷重
①止水シート強度	Bクラス：水平震度 0.3 Sクラス：水平震度 0.6	各自重
②貯水枠材強度 a) 地表面載荷荷重 10kN/m ²	Bクラス：水平震度 0.3 Sクラス：水平震度 0.6 鉛直震度 0.3	地表載荷荷重 覆土荷重 貯水枠材荷重 地震時水平土圧
②貯水枠材強度 b) 車両荷重	鉛直震度 0.3	自動車荷重 (T-25) 覆土荷重

(2)-1.3. 照査結果

照査結果を表－15に示す。また各項目の検討の詳細は表－15に示す別添資料に示す。

表－15 評価項目毎の照査結果

評価項目	照査対象	作用震度	計算結果	許容値	詳細
①止水シート強度	止水シートの ひずみ量	Bクラス	0.148%	560%	別添－2
		Sクラス	0.206%	560%	
②貯水枠材強度 a) 地表面載荷荷重 10kN/m ²	貯水枠材の 水平・鉛直 強度	Bクラス	水平：23.0kN/m ²	30.0kN/m ²	別添－3
		Sクラス	水平：46.8kN/m ² 垂直：33.7kN/m ²	52.5kN/m ² 102.1kN/m ²	
②貯水枠材強度 b) 車両荷重	貯水枠材の 鉛直強度	－	77.3kN/m ²	102.1kN/m ²	別添－4

(3) スロッシングに対する評価

地下貯水槽の場合、プラスチック製枠材で構築される水室の中で最も大きなものの寸法は幅 25cm 以下と小規模であり、スロッシングのような長周期問題は顕在化しないと考えられる。なお、検討の詳細については別添－5に示す。

(4) 地下貯水槽を設置する地盤の評価

地下貯水槽は地盤を掘削して設置するため、掘削完了時の地盤は加圧密状態となっている。また設置するプラスチック製枠材と貯留する水の重量は、掘削した土砂（地盤）よりも小さいことから、地下貯水槽が掘削完了後の地盤上に設置されても、地盤が強度破壊等の不具合を発生することはないと考えられる。しかしながら、念のため、表層 0.5m の部分にはセメント系改良材による地盤改良を施し、地盤を補強する。

1.2.10. ポンプ

(1) 構造強度評価

材料証明書がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。従って、ポンプは必要な構造強度を有すると評価した。

なお、海外製の一部ポンプを除き、JIS 規格に準用したポンプを使用している。

1.2.11. 配管等

(1) 構造強度評価

a. 配管（鋼製）

材料証明書がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。従って、配管は必要な構造強度を有すると評価した。

また、配管の主要仕様から設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果、最高使用圧力に耐えられることを確認した（表－16）。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P}$$

t : 管の計算上必要な厚さ
D₀ : 管の外径
P : 最高使用圧力[MPa]
S : 最高使用温度における
材料の許容引張応力[MPa]
η : 長手継手の効率

表－16 配管構造強度評価結果

評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (℃)	必要肉厚 (mm)	肉厚 (mm)
配管①	100A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	0.84	8.6
配管②	200A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	1.6	12.7
配管③	50A	40	SUS316L	1.37	66	0.39	3.9
配管④	80A	40	SUS316L	1.37	66	0.57	5.5
配管⑤	50A	20S	SUS316L	0.3	50	0.14	3.5
配管⑥	80A	20S	SUS316L	0.3	50	0.21	4.0
配管⑦	100A	20S	SUS316L	0.3	50	0.26	4.0
配管⑧	150A	20S	SUS316L	0.3	50	0.38	5.0
配管⑨	200A	20S	SUS316L	0.3	50	0.50	6.5
配管⑩	50A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	0.45	5.5
配管⑪	80A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	0.66	7.6
配管⑫	150A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	1.3	11.0
配管⑬	25A	80	STPG370	0.5	66	0.10	4.5
配管⑭	50A	80	STPG370	0.5	66	0.17	5.5
配管⑮	80A	80	STPG370	0.5	66	0.24	7.6
配管⑯	100A	80	STPG370	0.5	66	0.31	8.6
配管⑰	50A	40	SUS316L	0.97	66	0.28	3.9
配管⑱	80A	40	SUS316L	0.97	66	0.40	5.5
配管⑲	50A	40	SUS316L	1.37	66	0.64	3.9
配管⑳	80A	40	SUS316L	1.37	66	0.94	5.5

b. 耐圧ホース（樹脂製）

設計・建設規格上のクラス 3 機器に対する規定を満足する材料ではないが、系統の温度、圧力を考慮して仕様を選定した上で、漏えい試験等を行い、漏えい、運転状態に異常がないことを確認する。従って、耐圧ホースは、必要な構造強度を有していると評価した。

c. ポリエチレン管

設計・建設規格上のクラス 3 機器に対する規定を満足する材料ではないが、系統の温度、圧力を考慮して仕様を選定している。また、ポリエチレン管は、一般に耐食性、電気特性（耐電気腐食）、耐薬品性を有しており、鋼管と同等の信頼性を有している。また、以下により高い信頼性を確保している。

- ・ 日本水道協会規格に適合したポリエチレン管を採用。
- ・ 継手は可能な限り融着構造とする。
- ・ 敷設時に漏えい試験等を行い、運転状態に異常がないことを確認している。

以上のことから、ポリエチレン管は、必要な構造強度を有するものと評価した。

2. 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

2.1. 基本方針

2.1.1. 構造強度評価の基本方針

使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器のうち放射性物質を内包する機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」で定めるクラス 3 機器と位置づけられ、原則としてクラス 3 機器に要求される基準を満足するように設計する。万一適合しないものがある場合においても、温度、圧力、使用環境等を考慮し、一般民間規格に従う産業品を使用するとともに、機器の設計、製作、設置、検査等の各段階において、適切なものとなっていることを確認し、クラス 3 機器と同等以上の構造強度を持たせる。

2.1.2. 耐震性評価の基本方針

使用済セシウム吸着塔保管施設、廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられる。

使用済セシウム吸着塔保管施設、廃スラッジ貯蔵施設の耐震性に関する評価にあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠することを基本とするが、必要に応じて現実的な評価を行う。

また、配管に関しては、変位による破壊を防止するため、定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定や、可撓性のある材料を使用する。

なお、廃スラッジ一時保管施設等は、高濃度の放射性物質を貯蔵することから参考として S クラス相当の評価を行う。

2.2. 評価結果

2.2.1. 使用済セシウム吸着塔保管施設

(1) 構造強度評価

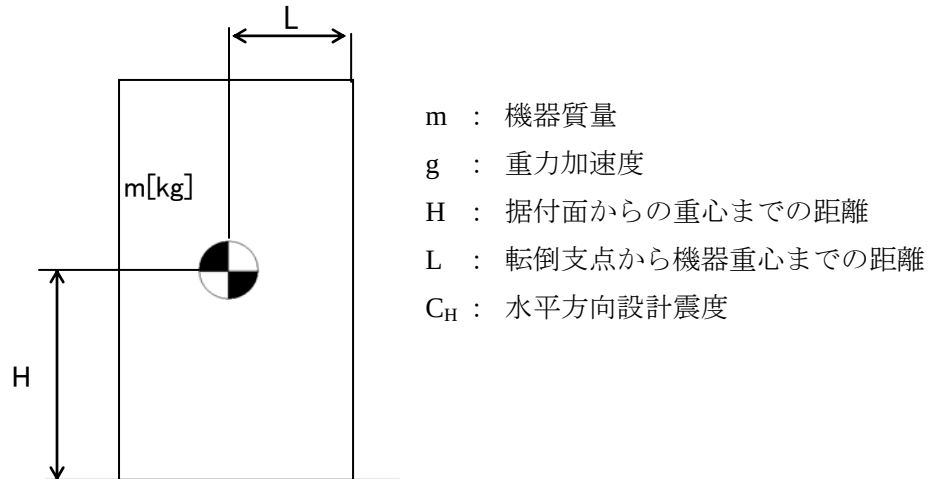
材料証明書がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。また、吸着塔の主要仕様から必要肉厚を評価し十分な肉厚を有していることを確認した。

以上のことから、吸着塔は必要な構造強度を有すると評価した。

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した（表－１８）。



地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果，地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから，滑動しないことを確認した（表－１７）。

表－１７ 使用済セシウム吸着塔仮保管施設耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
ボックス カルバート	本体	転倒	0.30	1.4×10^2	2.9×10^2	$\text{kN} \cdot \text{m}$
		滑動	0.30	0.30	0.40	－
セシウム吸着装置 吸着塔	本体	転倒	0.36	8.2×10^1	1.2×10^2	$\text{kN} \cdot \text{m}$
		滑動	0.36	0.36	0.52	－
第二セシウム 吸着装置吸着塔	本体	転倒	0.36	1.9×10^2	4.2×10^2	$\text{kN} \cdot \text{m}$
			0.60	3.1×10^2		
		滑動	0.36	0.36	0.52	－
			0.52	0.52		

2.2.2. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設

(1) 構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。また，吸着塔の主要仕様から必要肉厚を評価し十分な肉厚を有していることを確認した。

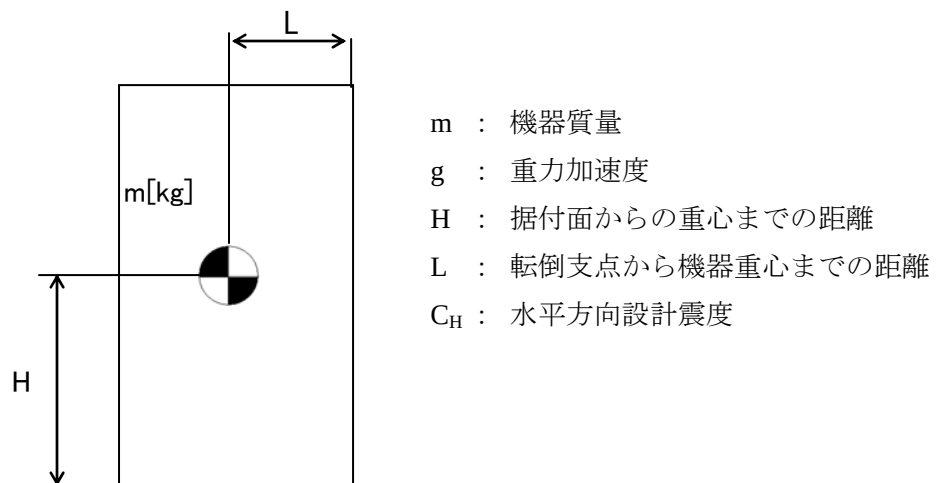
以上のことから，吸着塔は必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。なお，セシウム吸着装置吸着塔はそれを格納するボックスカルバートと合わせて吸着塔 32 塔と蓋付ボックスカルバート 16 基での評価，第二セシウム吸着装置吸着塔はそれを格納する架台と合わせて吸着塔 10 塔と架台 2 台（一組）で評価を実施した。

評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した（表－18）。



地震による転倒モーメント： $M_1[N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント： $M_2[N \cdot m] = m \times g \times L$

b. 滑動評価

セシウム吸着装置吸着塔については、ボックスカルバートとあわせ地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより、滑動評価を実施した。評価の結果、地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから、滑動しないことを確認した（表－１８）。なお、S クラス相当の評価では、地震時の水平荷重によるすべり力が設置面の摩擦力より大きくなり、滑動する結果となったことから、別途すべり量の評価を実施した。

第二セシウム吸着装置吸着塔については、基礎ボルトにて固定していることから基礎ボルトに作用するせん断荷重と許容せん断荷重を比較することより滑動評価を実施した。基礎ボルトの許容せん断荷重は「日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説」に基づき次式を用いた。評価の結果、基礎ボルトの破断による滑動が生じないことを確認した（表－１８）。

$$q = mg(C_H - \alpha) \div n$$
$$q_a = 0.75 \cdot \phi_{s3} \left(0.5 \cdot s_c a \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c} \right)$$

q : アンカーボルト一本に作用するせん断荷重

q_a : アンカーボルト一本当たりの許容せん断荷重

C_H : 水平方向設計震度

m : 機器重量

g : 重力加速度

α : 機器と床版の摩擦係数

n : 機器あたりのアンカーボルト本数

φ_{s3} : 短期荷重に対する低減係数

s_ca : アンカーボルトの定着部の断面積

F_c : コンクリート設計基準強度

E_c : コンクリートのヤング率

c. すべり量評価

吸着塔と架台等の地震時におけるすべり量は、剛体の地震時変形量評価手法であるNewmark法を用いて算出する。評価の結果すべり量が架台間の許容値を超えないことを確認した（表－１９）。

表－１８ 使用済セシウム吸着塔一時保管施設耐震評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔＋カルバート (セシウム吸着装置 吸着塔 32 塔と ボックスカルバート 16 基)	転倒	0.36	7.9×10^3	1.8×10^4	kN・m
		0.60	1.4×10^4		
	滑動	0.36	0.36	0.40	—
		0.60	0.60		
吸着塔＋架台 (第二セシウム吸着装置 吸着塔 10 本と架台 2 台)	転倒	0.36	1.7×10^3	3.7×10^3	kN・m
		0.6	2.9×10^3		
	滑動 (ボルトせん断)	0.36	<0	77	kN
		0.6	8		
高性能容器	転倒	0.36	2.1×10^1	4.5×10^1	kN・m
		0.60	3.4×10^1		
	滑動	0.36	0.36	0.40	—
		0.60	0.60		

表－１９ 使用済セシウム吸着塔一時保管施設すべり量評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔＋カルバート (セシウム吸着装置 吸着塔 32 塔と ボックスカルバート 16 基)	すべり量	0.60	93.3	494	mm

2.2.3. 廃スラッジ一時保管施設

(1) 構造強度評価

スラッジ貯槽について、設計・建設規格に準拠し、板厚評価を実施した（表－２０）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ[mm]
Di : 胴の内径[m]
H : 水頭[m]
ρ : 液体の比重
S : 最高使用温度における
材料の許容引張応力[MPa]
η : 長手継手の効率

ただし、t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm] 以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm] 以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

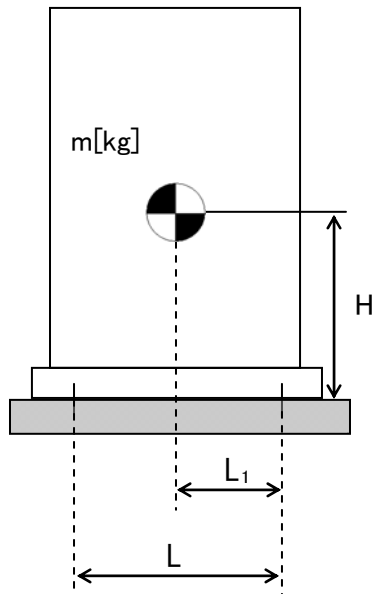
表－２０ スラッジ貯槽板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
スラッジ貯槽	円筒型（横置き）	タンク板厚	3.0	25.0

(2)耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程に準拠して評価を行った結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－２１）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離
- L₁ : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
- n : 基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの軸断面積
- C_H : 水平方向設計震度
- C_V : 鉛直方向設計震度

$$\text{基礎ボルトに作用する引張力： } F_b = \frac{1}{L} (m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1)$$

$$\text{基礎ボルトの引張応力： } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$$

$$\text{基礎ボルトのせん断応力： } \tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$$

表－２１ スラッジ貯槽の基礎ボルトの強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
スラッジ貯槽	基礎ボルト	引張	0.36	11	439	MPa
			0.94	131		
		せん断	0.36	42	337	MPa
			0.94	122		

2.2.4. 配管等

(1) 構造強度評価

a. 配管（鋼製）

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，配管は必要な構造強度を有すると評価した。

また，配管の主要仕様から設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果，最高使用圧力に耐えられることを確認した（表－22）。

$$t = \frac{P D_o}{2 S \eta + 0.8 P}$$

t : 管の計算上必要な厚さ
 D_o : 管の外径
 P : 最高使用圧力[MPa]
 S : 最高使用温度における
 材料の許容引張応力[MPa]
 η : 長手継手の効率

表－22 配管構造強度評価結果

評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (℃)	必要肉厚 (mm)	肉厚 (mm)
配管①	50A	20S	SUS316L	0.3	50	0.09	3.5
配管②	80A	20S	SUS316L	0.3	50	0.13	4.0
配管③	50A	20S	SUS316L	0.98	50	0.27	3.5
配管④	80A	20S	SUS316L	0.98	50	0.40	4.0
配管⑤	50A	40	SUS316L	0.98	50	0.27	3.9
配管⑥	80A	40	SUS316L	0.98	50	0.40	5.5
配管⑦	80A	40	SUS329J4L	0.98	50	0.40	5.5
配管⑧	100A	40	SUS329J4L	0.98	50	0.51	6.0
配管⑨	125A	40	SUS329J4L	0.98	50	0.63	6.6
配管⑩	100A	40	SUS316L	0.98	50	0.51	6.0

b. 耐圧ホース（樹脂製）

設計・建設規格上のクラス 3 機器に対する規定を満足する材料ではないが，系統の温度，圧力を考慮して仕様を選定した上で，漏えい試験等を行い，漏えい，運転状態に異常がないことを確認する。従って，耐圧ホースは，必要な構造強度を有していると評価した。

以上

高濃度滞留水受タンクの耐震性評価

1. 耐震性評価方針

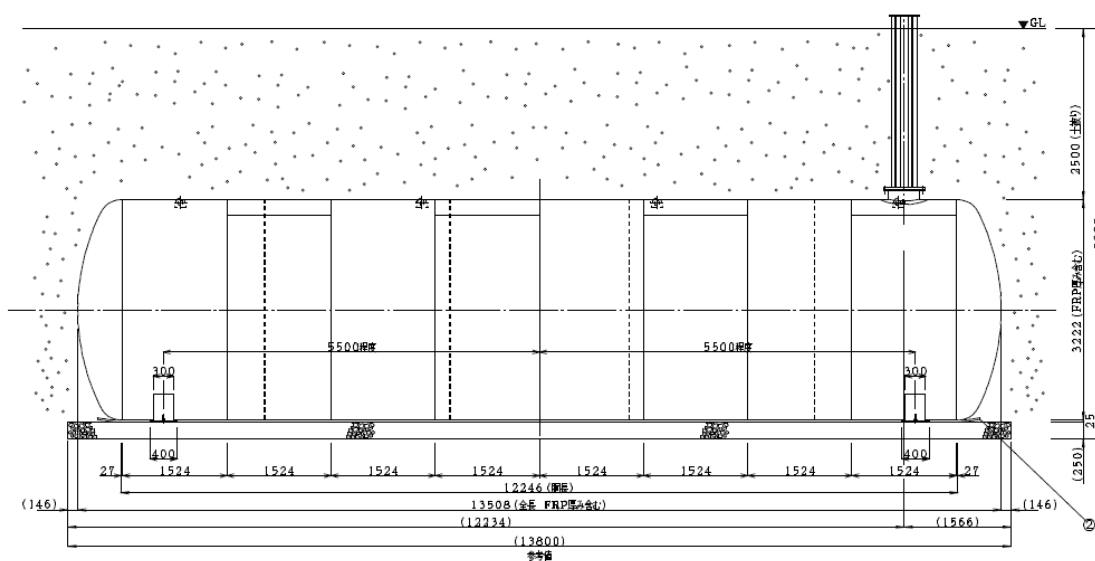
当該タンクは地中に埋設され、タンク内部に高濃度滞留水を保管するものであり、設備全体としては耐震 B クラスに相当することから、地中構造物の耐震 B クラスに要求される水平地震力 $K_h=0.3$ に対する静的解析により、その耐震安全性を評価する。

また、当該タンクは高濃度滞留水を保管するものであることから、万一、大きな地震が発生してもタンクが損傷しないことを確認するため、参考評価として基準地震動 S_s (S_s-1 [水平最大加速度 450Gal, 鉛直最大加速度 300Gal], S_s-2 [水平最大加速度 600Gal, 鉛直最大加速度 400Gal], S_s-3 [水平最大加速度 450Gal, 鉛直最大加速度 300Gal] の 3 波) による地震応答解析についても併せて実施し、その耐震安全性を評価することとする。

2. タンクの概要

タンクの内径は $\phi 3,200\text{mm}$ 、外形寸法は $\phi 3,222\text{mm} \times W13,508\text{mm}$ (容量 100m^3)、材質は SS400、肉厚は 9mm であり、内外面ともに FRP 塗装によって防錆処理されている (内面 1.0mm, 外面 2.0mm)。タンク本体の概要図を図-1 に、タンクの配置図を図-2 に示す。なお、タンクは表層地盤を掘削して基礎砕石上に設置し、盛土によって 2.5m の土被り厚を確保する。

縦断図



断面図

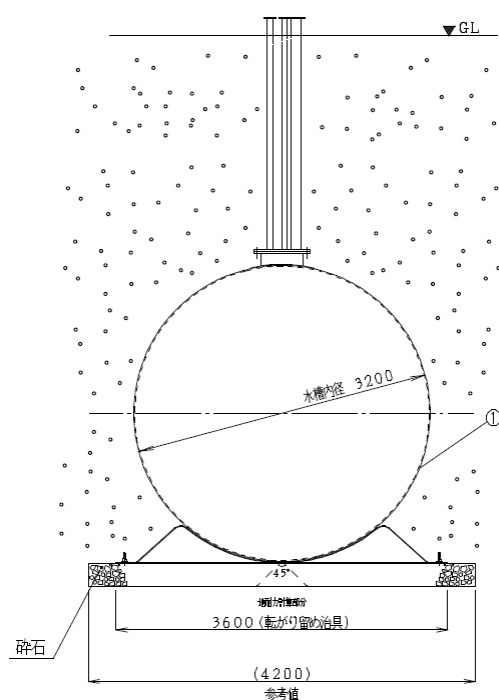
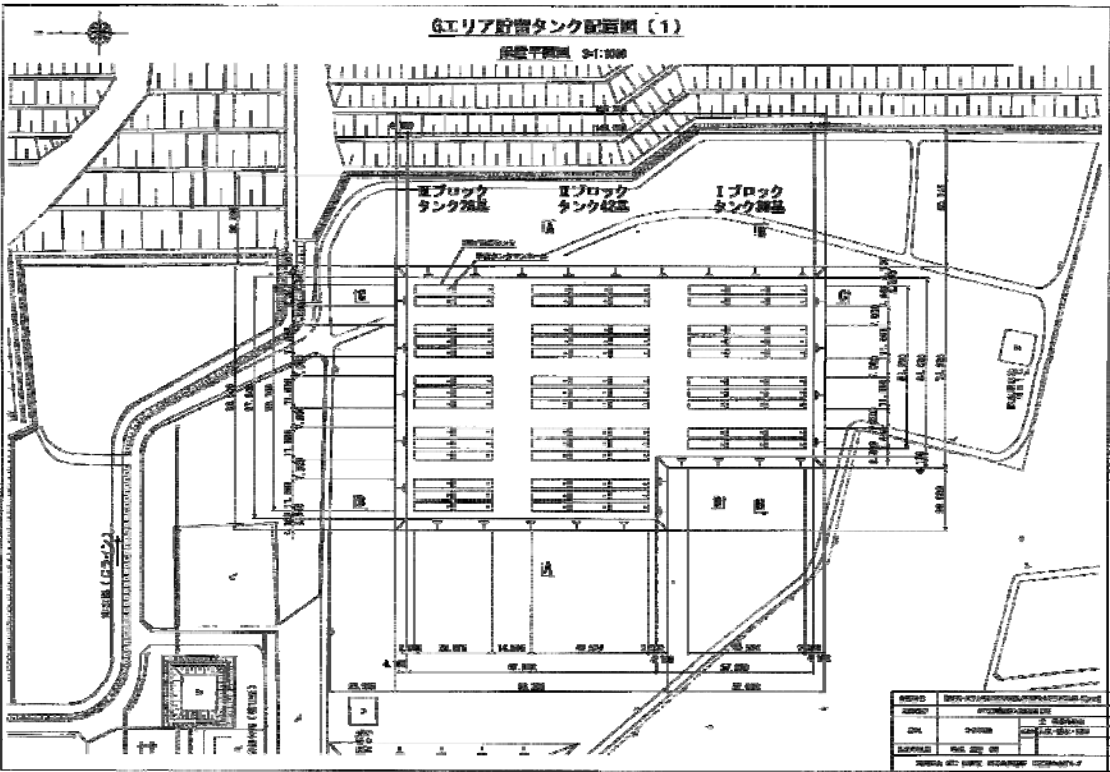


図-1 タンク概要図

タンク配置平面図



タンク配置概略断面図

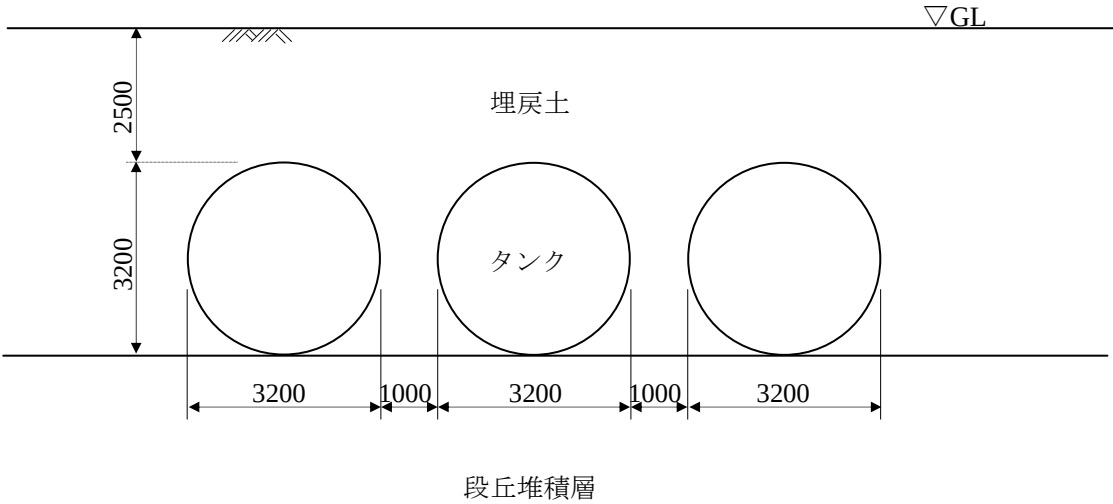
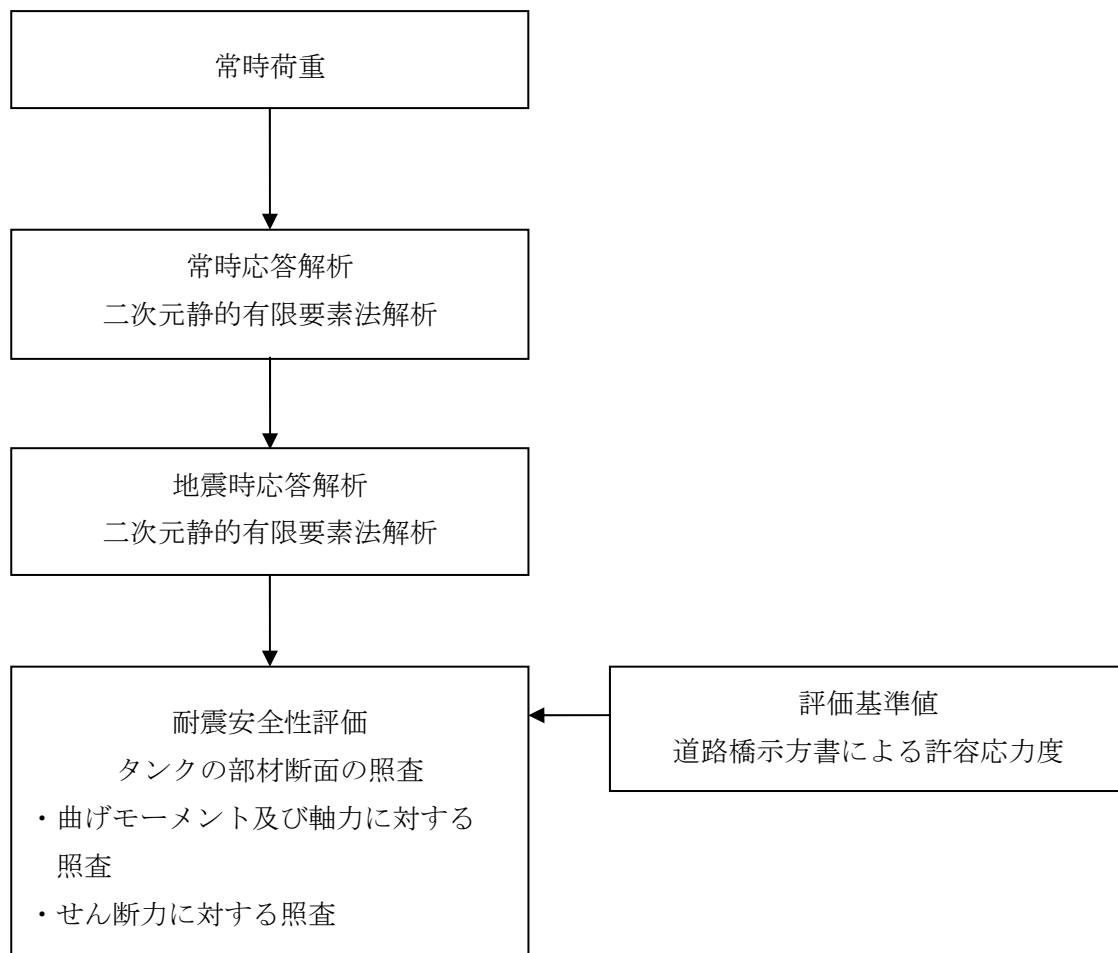


図-2 タンク配置図

3. 耐震 B クラスに対する耐震安全性評価

3. 1. 評価手順

耐震 B クラスに対するタンクの耐震安全性評価手順を図－ 3 に示す。



図－ 3 耐震安全性評価手順（耐震 B クラス評価）

3.2. 評価条件

解析に必要な地盤及びタンクの諸定数，並びに考慮する荷重は以下の通りとする。

3.2.1. タンクの材料物性値

タンクの使用材料及び材料物性値を表－１に示す。

3.2.2. 地盤の物性値

タンク設置エリアでの既存のボーリングデータに基づいて決定した解析用地層構成を表－２に示す。またボーリング位置を図－４に示す。当該設置位置での地層構成は，表層に段丘堆積層が堆積し，その下位は富岡層 T3 部層（砂岩，泥質部，互層部），富岡層 T2 部層，富岡層 T1 部層となり，解放基盤面（先富岡層（b 層））に至る。

耐震 B クラスに対する解析で用いる地盤物性値を表－３に示す。

地下水位は，上記ボーリングデータの孔内水位を参考に O.P. +6.77m（富岡層 T3 部層内）と設定しており，タンク本体に地下水圧は作用しない。

3.2.3. 荷重

a) 常時荷重

常時荷重として，タンク自重，内水圧，土被り荷重，静止土圧を考慮する。

b) 設計用地震力

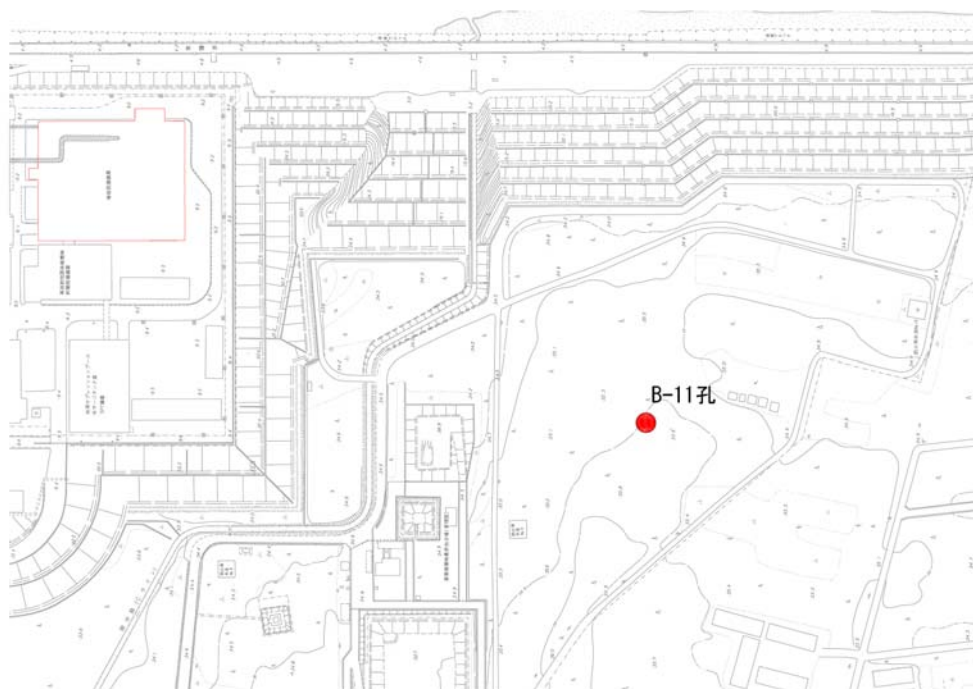
設計用地震力は水平地震力 $K_h=0.3$ のみを考慮する。

表－１ タンクの材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m^3)	ヤング係数 (kN/mm^2)	降伏強度 (N/mm^2)	ポアソン比
タンク SS400 t=9mm	77	200	245	0.3

表－2 解析用地層構成

	標 高 O. P. (m)	層厚 (m)
段丘堆積層	35.77 ～ 25.32	10.45
富岡層 T3 部層 砂岩	25.32 ～ 7.09	18.23
富岡層 T3 部層 泥質部	7.09 ～ 2.33	4.76
富岡層 T3 部層 互層部	2.33 ～ -7.38	9.71
富岡層 T3 部層 泥質部	-7.38 ～ -11.06	3.68
富岡層 T3 部層 砂岩	-11.06 ～ -13.21	2.15
富岡層 T3 部層 泥質部	-13.21 ～ -37.13	23.92
富岡層 T2 部層	-37.13 ～ -143.08	105.95
富岡層 T1 部層	-143.08 ～ -185.23	42.15
先富岡層 (b 層)	-185.23 ～	



図－4 ボーリング位置図

表－3 解析用物性値（耐震Ｂクラス評価）

	埋戻土	段丘堆積層	富岡層					先富岡層
			T3部層 砂岩	T3部層 泥質部	T3部層 互層部	T2部層 *3)	T1部層	
物理特性	ρ_t (g/cm ³)	1.80	1.84	1.71	1.76	1.75-0.000417Z	1.79	1.88
静的変形特性	E_0 (N/mm ²)	17.7	124P+94.4 *1)	506	等価変形係数 *2)	120-5.42Z	675	931
	ν	0.33	0.48	0.47	等価ポアソン比 *2)	0.47	0.47	0.45
動の変形特性	G_0 (N/mm ²)	72.6	210	427	302	254-3.22Z	667	954
	ν_d	0.35	0.48	0.45	0.46	0.467+0.000222Z	0.44	0.42

*1) Pは、地下水位を考慮した圧密圧力 (N/mm2) を示す。

*2) T3部層 互層部の砂岩と泥質部の層厚比 (4 : 6) から等価物性値を設定する。

*3) Z : 標高 (m)

3.3. 静的 FEM 解析

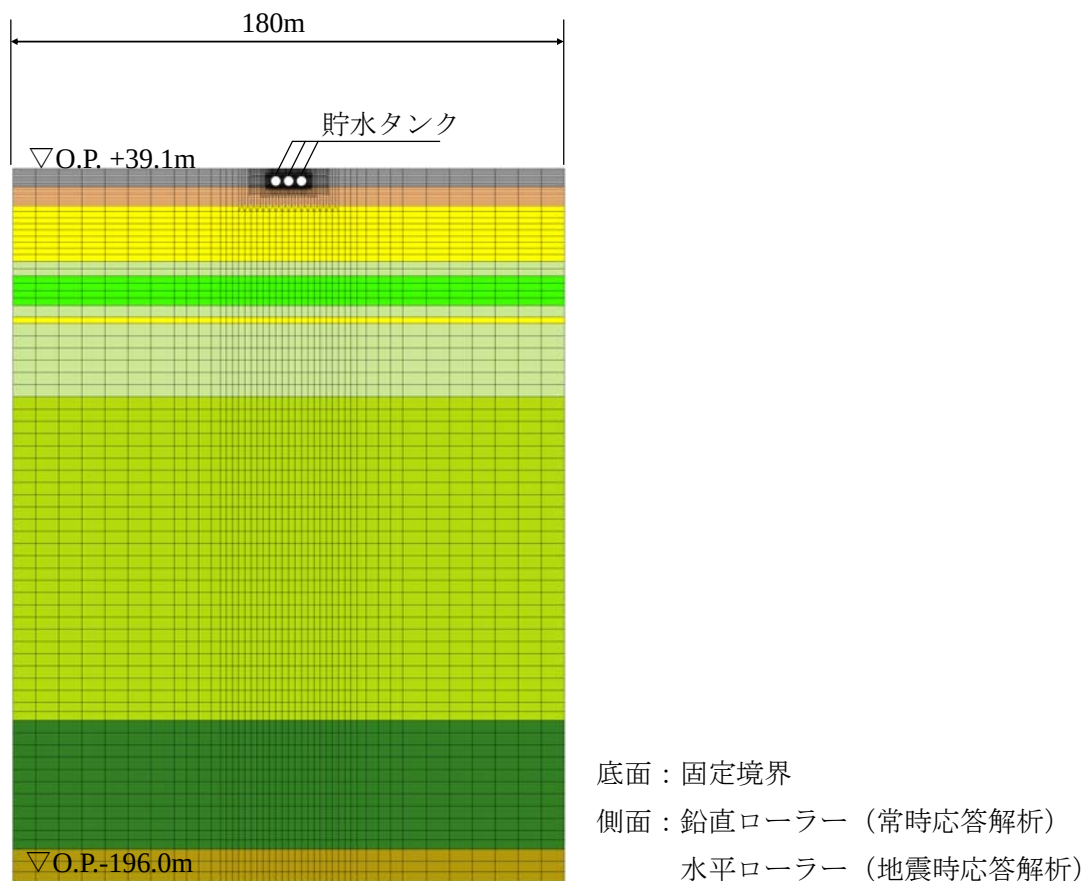
3.3.1. 解析手法

解析手法は、二次元有限要素法解析を用いる。解析では水平地震力 $K_h=0.3$ を作用させた。

3.3.2. 解析モデル

タンクの解析モデルを図ー 5 に示す。解析モデルでは、タンクを線形の線材要素（梁要素）、地盤を平面要素でモデル化した。タンクは 2 基ないしは 3 基をセットとして配置するため、モデルでは 3 基を並べて配置している。

モデルの領域は、底部を解放基盤面（O.P. -196m）までとし、幅を 180m とした。タンク設置レベルより上位は埋戻土とし、設置計画の条件に合わせて、土被り厚を 2.5m としている。



図ー 5 解析モデル（耐震 B クラス評価）

3.3.3. 耐震安全性評価手法

耐震安全性評価では、曲げ及びせん断について評価を行うものとし、水平地震力 $K_h=0.3$ を用いた静的 FEM 解析に基づいた応答値が、評価基準値を満足することを確認する。

照査用応答値は、曲げによる評価では、タンクの部材に発生する曲げモーメント及び軸力による応力度とし、せん断による評価では、タンクの部材に発生するせん断応力度とする。このとき考慮する断面力は、二次元 FEM 解析から求められた断面力（常時断面力＋地震時増分断面力）である。

評価基準値は、「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説Ⅰ 共通編、Ⅳ 下部構造編」に基づく許容応力度とする。

3.3.4. 耐震安全性評価結果

曲げに対する照査結果を表－4 に、せん断に対する照査結果を表－5 に示す。これらの結果より、曲げ、せん断ともに、照査用応答値が評価基準値（許容応力度）を十分に下回っていることが確認できることから、当該タンクは耐震 B クラス相当以上の耐震性を有するものと評価した。

表－4 曲げに対する照査結果（耐震 B クラス評価）

	照査用応答値 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	照査用応答値 ／評価基準値
左タンク	21.9	210	0.10
中央タンク	21.7	210	0.10
右タンク	20.7	210	0.10

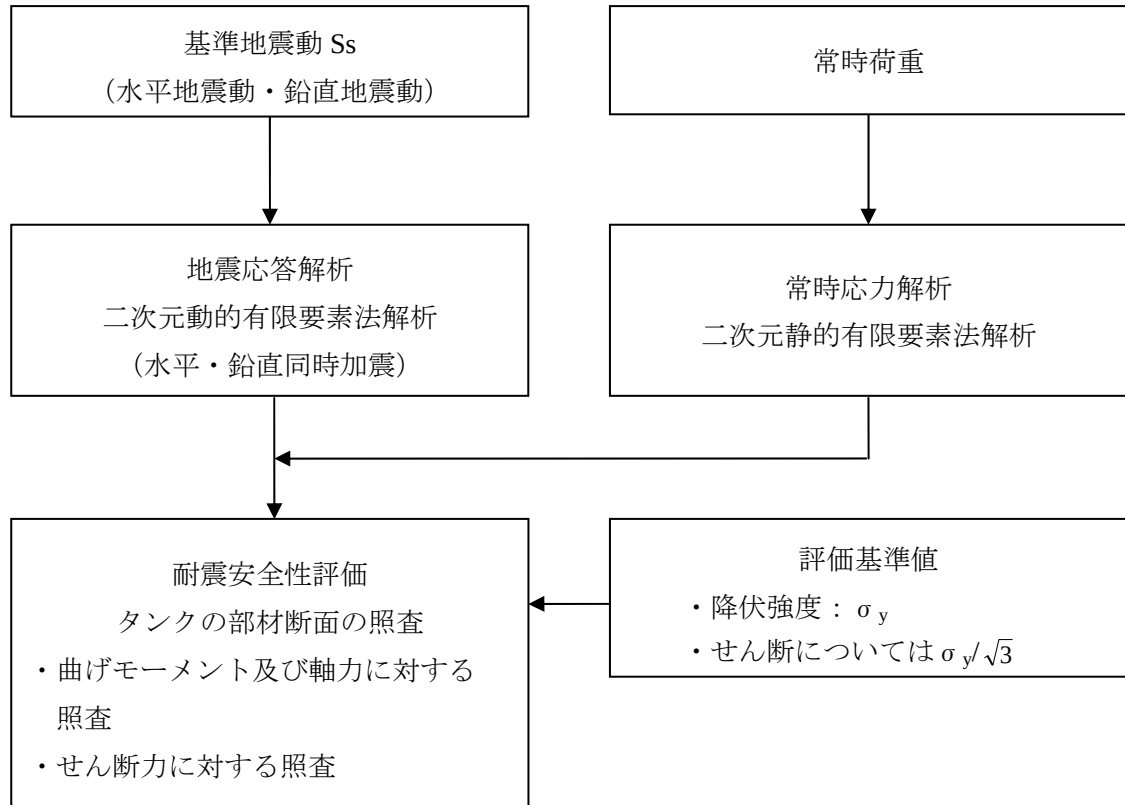
表－5 せん断に対する照査結果（耐震 B クラス評価）

	照査用応答値 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	照査用応答値 ／評価基準値
左タンク	0.018	120	0.00015
中央タンク	0.019	120	0.00016
右タンク	0.019	120	0.00016

4. 基準地震動 S_s に対する耐震安全性評価

4.1. 評価手順

基準地震動 S_s に対するタンクの耐震安全性評価手順を図－6 に示す。



図－6 耐震安全性評価手順（基準地震動 S_s 評価）

4.2. 評価条件

地盤応答解析に必要な地盤及びタンクの諸定数，並びに考慮する荷重は以下の通りとする。

4.2.1. タンクの材料物性値

タンクの使用材料及び材料物性値は表－１に示した通りであり，耐震Ｂクラスに対する評価で用いたものと同じである。

4.2.2. 地盤の物性値

解析用地層構成は表－２に示した通りであり，耐震Ｂクラスに対する評価で用いたものと同じである。

基準地震動 S_s に対する解析で用いる地盤物性値を表－６に示す。

地下水位は，上記ボーリングデータの孔内水位を参考に $O.P. +6.77m$ (富岡層 T3 部層内) と設定しており，タンク本体に地下水圧は作用しない。

4.2.3. 荷重

a) 常時荷重

常時荷重として，タンク自重，内水圧，土被り荷重，静止土圧を考慮する。

b) 地震時荷重

地震時荷重として，基準地震動 S_s ($S_s-1 \sim S_s-3$ の３波) による地震応答解析により求まる荷重を考慮する。

表一 6 解析用物性値 (基準地震動 Ss 評価)

		埋戻土	段丘堆積層	富岡層					先富岡層 (b層)
				T3部層 砂岩	T3部層 泥質部	T3部層 互層部	T2部層 *3)	T1部層	
物理特性	ρ_1 (g/cm ³)	1. 80	1. 59	1. 84	1. 71	1. 76	1. 75-0. 000417Z	1. 79	1. 88
	E_0 (N/mm ²)	17. 7	23. 5	124P+94. 4 *1)	506	等価変形係数 *2)	120-5. 42Z	675	931
静的変形特性	ν	0. 33	0. 21	0. 48	0. 47	等価ポアソン比 *2)	0. 47	0. 47	0. 45
	G_0 (N/mm ²)	72. 6	158	210	427	302	254-3. 22Z	667	954
動的変形特性	ν_d	0. 35	0. 48	0. 48	0. 45	0. 46	0. 467+0. 000222Z	0. 44	0. 42
	$G/G_0 \sim \gamma$ (γ : %)	$\frac{1}{1+10. 65 \gamma^{0. 778}}$	$\frac{1}{1+6. 872 \gamma^{0. 614}}$	$\frac{1}{1+3. 009 \gamma^{0. 604}}$	$\frac{1}{1+3. 600 \gamma^{0. 962}}$	$\frac{1}{1+3. 257 \gamma^{0. 688}}$	$\frac{1}{1+2. 845 \gamma^{0. 918}}$	$\frac{1}{1+2. 586 \gamma^{0. 722}}$	$\frac{1}{1+2. 714 \gamma^{0. 926}}$
	$h \sim \gamma$ (h , γ : %)	$22. 97 \gamma^{0. 289}$	$\frac{14. 79}{1+0. 036/\gamma}$	$\frac{21. 80}{1+0. 122/\gamma}$	$11. 90 \gamma^{1. 086}+1. 617$	$\frac{17. 57}{1+0. 084/\gamma}$	$10. 54 \gamma^{0. 865}+0. 903$	$15. 04 \gamma^{0. 517}$	$14. 69 \gamma^{0. 583}$

*1) P:有効上載圧 (N/mm²)
*2) T3部層 砂岩とT3部層 泥質部の層厚比 (4:6とする) から等価物性値を設定する。
*3) Z: 標高 (m)

4.3. 地震応答解析

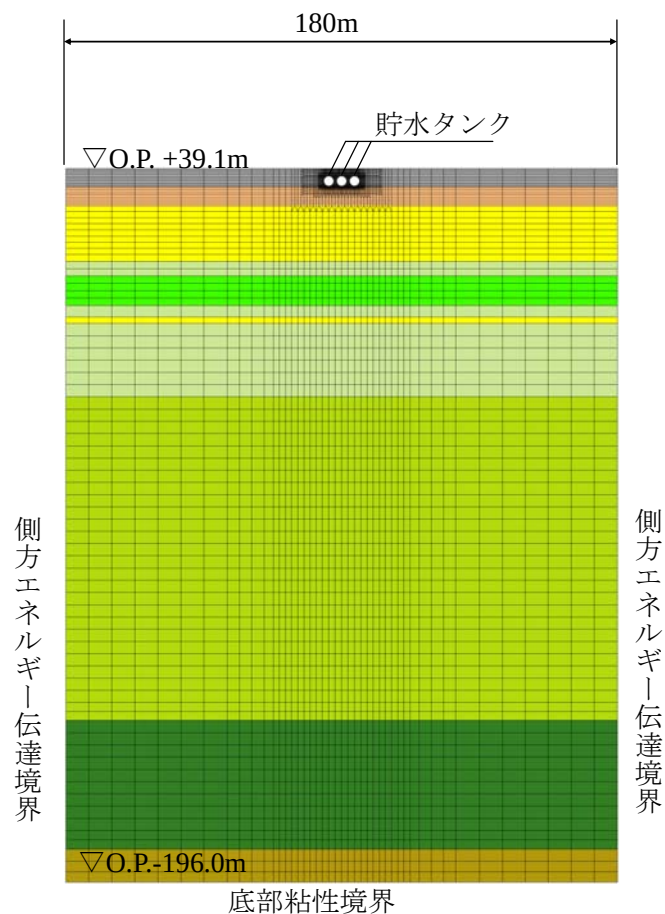
4.3.1. 解析手法

地震応答解析手法は，構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法解析を用いることとし，解析では水平地震動と鉛直地震動を同時入力する。

4.3.2. 解析モデル

タンクの地震応答解析モデルを図－7に示す。地震応答解析モデルでは，タンクを線形の線材要素（梁要素），地盤を平面要素でモデル化し，等価線形化法によって地盤の非線形性を考慮した。タンクは2基ないしは3基をセットとして配置するため，モデルでは3基を並べて配置している。

モデルの領域は，底部を解放基盤面（O.P.-196m）までとし，幅を180mとした。タンク設置レベルより上位は埋戻土とし，設置計画の条件に合わせて，土被り厚を2.5mとしている。モデルの側方はエネルギー伝達境界，底面は粘性境界とし，基準地震動 Ss-1，Ss-2，Ss-3の3波を入力する。



図－7 解析モデル（基準地震動 Ss 評価）

4.3.3. 耐震安全性評価手法

耐震安全性評価では、曲げ及びせん断について評価を行うものとし、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析に基づいた応答値が、評価基準値を満足することを確認する。

照査用応答値は、曲げによる評価では、タンクの部材に発生する曲げモーメント及び軸力による応力度とし、せん断による評価では、タンクの部材に発生するせん断応力度とする。このとき考慮する地震時発生断面力（常時断面力＋地震時増分断面力）は、評価基準値に対する照査用応答値の比（照査用応答値／評価基準値）が最も大きくなる時刻の断面力である。

評価基準値は、曲げによる評価ではタンクの部材の降伏強度とし、せん断による照査では降伏強度の $1/\sqrt{3}$ とする。

4.3.4 耐震安全性評価結果

曲げに対する照査結果を表－7に、せん断に対する照査結果を表－8に示す。これらの結果より、曲げ、せん断ともに、照査用応答値が評価基準値を下回っていることが確認できることから、当該タンクは基準地震動 S_s に対して貯水機能を保持できるものと評価した。

表－7 曲げに対する照査結果（基準地震動 S_s 評価）

		照査用応答値 (N/mm^2)	評価基準値 (N/mm^2)	照査用応答値 ／評価基準値
Ss-1	左タンク	56.3	245	0.23
	中央タンク	59.3	245	0.24
	右タンク	59.5	245	0.24
Ss-2	左タンク	60.0	245	0.24
	中央タンク	59.8	245	0.24
	右タンク	57.2	245	0.23
Ss-3	左タンク	42.2	245	0.17
	中央タンク	43.6	245	0.18
	右タンク	41.1	245	0.17

表－８　せん断に対する照査結果（基準地震動 Ss 評価）

		照査用応答値 (N/mm ²)	評価基準値 (N/mm ²)	照査用応答値 ／評価基準値
Ss-1	左タンク	0.301	141	0.0021
	中央タンク	0.295	141	0.0021
	右タンク	0.300	141	0.0021
Ss-2	左タンク	0.311	141	0.0022
	中央タンク	0.304	141	0.0022
	右タンク	0.308	141	0.0022
Ss-3	左タンク	0.228	141	0.0016
	中央タンク	0.222	141	0.0016
	右タンク	0.226	141	0.0016

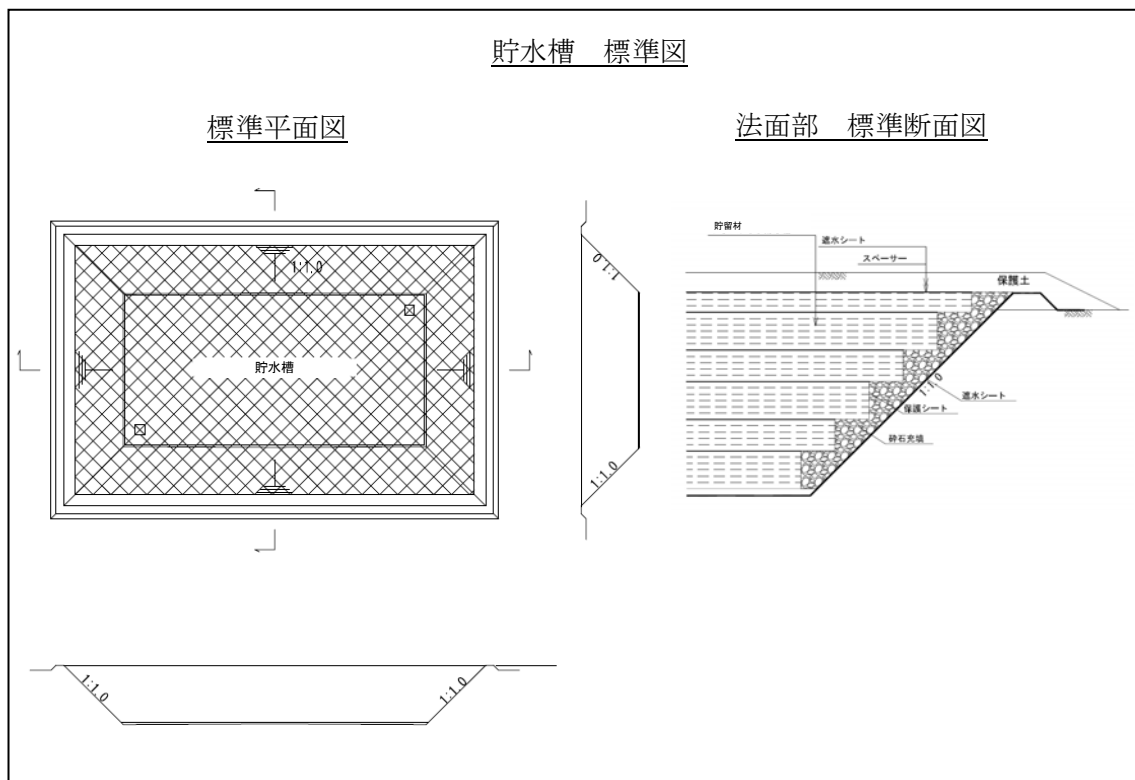
以上

地下貯水槽の遮水シートの耐震性評価

プラスチック製地下貯水槽（以下、「貯水槽」という）の耐震安全性を二次元静的 FEM 解析に基づいて評価し、貯水機能が保持されることを確認する。

(1) 対象とする貯水槽

対象とする貯水槽は、プラスチック製の貯留材（以下、「貯留材」という）と遮水シートで構築される。貯水槽の概要を図－1 に示す。貯水槽は段丘堆積層を掘削して設置し、盛土によって 0.7m の土被り厚を確保する。

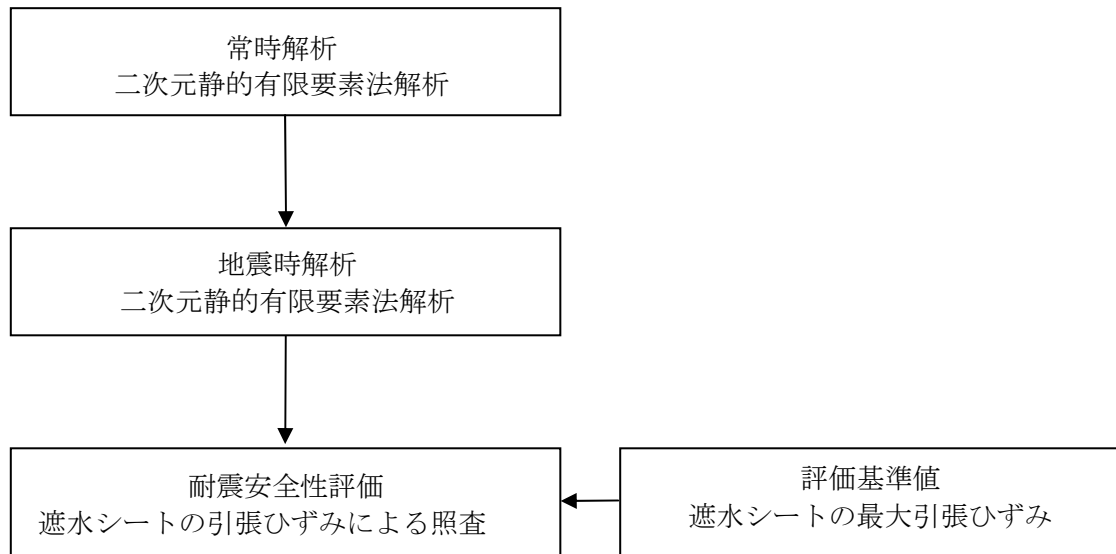


図－1 貯水槽の概要

(2) 耐震安全性評価

a. 評価手順

貯水槽の耐震安全性評価では、地震力によって生じる遮水シートの引張りずみ（照査用応答値）が遮水シートの最大引張りずみ（評価基準値）以下であることを確認する。評価フローを図－2 に示す。



図－２ 貯水槽の耐震評価フロー

b. 評価条件

解析に用いる地盤の物性値，並びに考慮する荷重は以下のとおりとする。

i. 地盤の物性値

貯水槽は，段丘堆積層内に設置される。段丘堆積層の地盤物性値を表－１に示す。
なお，盛土による荷重は上載荷重として扱い，解析では節点力としてモデルに作用させている。

表－１ 地盤の物性値

		段丘体積層
物理特性	ρ_t (g/cm ³)	1.59
静的変形特性	E_0 (N/mm ²)	23.5
	ν	0.21
動の変形特性	G_0 (N/mm ²)	158
	ν_d	0.48

ii. 設計用地震力

設計用地震力は水平地震力のみ考慮することとし，Bクラス相当として水平震度 $K_H=0.3$ 及びSクラス相当として水平震度 $K_H=0.6$ とする。

(3) 評価結果

a. 評価方法

耐震安全性評価では、水平地震力（ $K_H=0.3$ 及び $K_H=0.6$ ）を用いた静的 FEM 解析に基づいた応答値が、評価基準値を下回ることを確認する。

照査用応答値は、遮水シート設置位置における節点変位による引張ひずみとする。
評価基準値は、日本遮水工協会基準に基づく最大引張ひずみとする。

b. 照査結果

照査結果を表－２に示す。照査用応答値は、評価基準値 560%を下回ることを確認した。

表－２ 照査結果

	照査用応答値 ε_d (%)	評価基準値 ε_u (%)	照 査 ($\varepsilon_d / \varepsilon_u$)
$K_H=0.3$ の場合	0.148	560	0.00026
$K_H=0.6$ の場合	0.206	560	0.00037

c. 評価結果

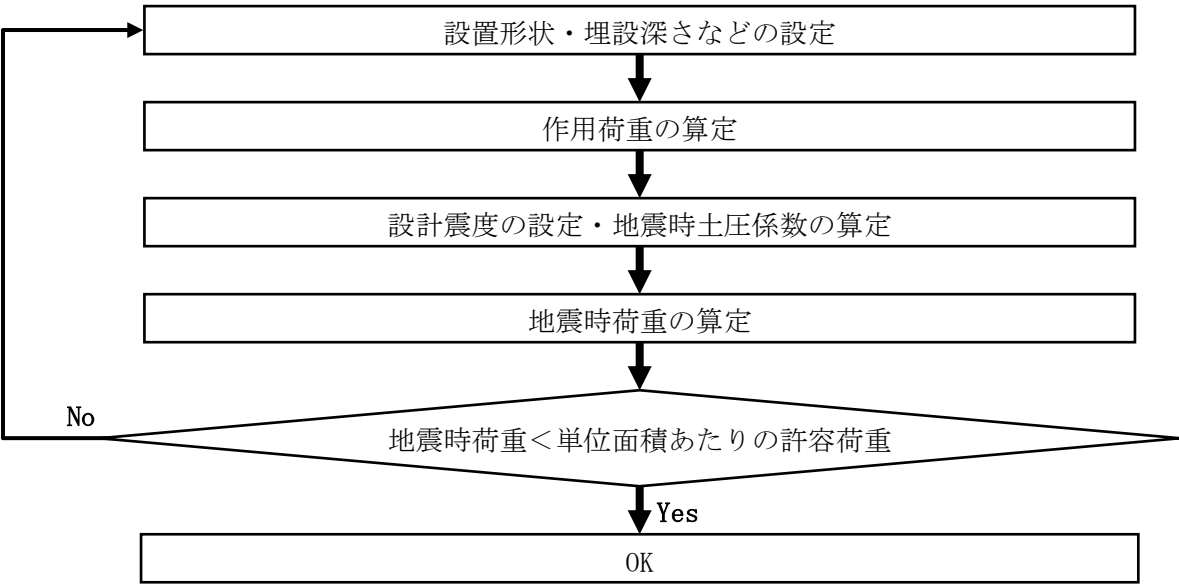
遮水シートの照査用応答値は、評価基準値を下回るとともに十分な裕度を有していることから、貯水機能が保持されるものと評価した。

以上

地下貯水槽のプラスチック製貯水枠材の耐震性評価

(1) 評価手順

プラスチック製貯水枠材の耐震評価のフローを図－1 に示す。



図－1 プラスチック製貯水枠材の耐震評価フロー

(2) 耐震評価（Bクラス）

a. 作用荷重の算定

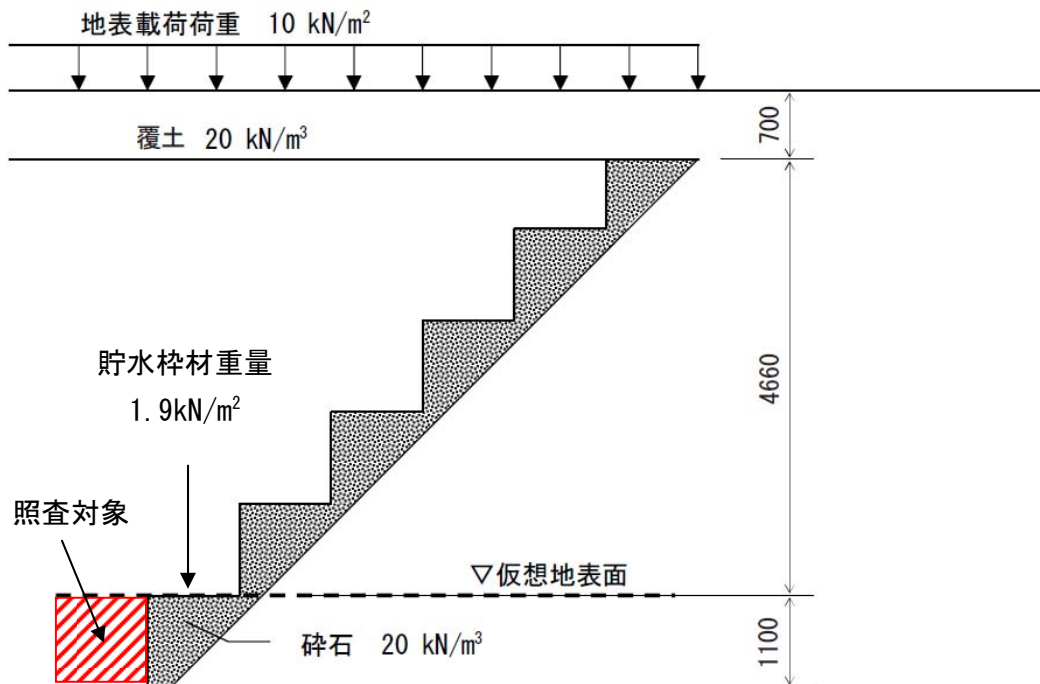
（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルにしたがって、地表載荷荷重 10kN/m^2 を考慮し、貯水枠材の最下部における鉛直方向荷重を求める。覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）を表-1 に、照査対象と作用荷重を図－2 に示す。

なお、覆土材料は砂質土と砂礫の複合材であるが、安全をとって重量の大きい砂礫の単位体積重量を使用することとする。

表－1 覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）

材料名	単位体積重量 (kN/m ³)
盛土（砂及び砂礫）	20.0
盛土（砂質土）	19.0

出典：「道路橋示方書・同解説 I 共通編」 社団法人日本道路協会



図－2 照査対象と作用荷重

貯水枠材を階段状に積み上げたとき、最下部（仮想地表面）の上面に作用する鉛直方向荷重は、仮想地表面より上部の地表載荷荷重・覆土重量・貯水枠材重量の合計荷重 $V1$ となる。

また最下部の側面に作用する水平方向荷重は、 $V1$ と仮想地表面より下部の碎石重量 $V2$ に地震時水平土圧をかけた値となる。

ここで、

$$V1 = 10 + 20 \times 0.7 + 1.9 = 25.9 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$V2 = 20 \times 1.1 = 22.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

b. 設計水平震度の設定と地震時水平土圧の算定

Bクラス評価の場合には、設計水平震度 K_h を 0.3 とする。地震時土圧係数 K_{ea} は、道路などの設計で一般的に用いられている「道路橋標準示方書・同解説（Ⅴ 耐震設計編）」（社団法人日本道路協会）にしたがい 0.48 とする。

c. 地震時荷重（水平方向）の算定

貯水枠材最下部の側面に作用する水平方向荷重 Ph は、

$$Ph = K_{ea} \times (V1 + V2) = 0.48 \times (25.9 + 22.0) = 23.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

d. 耐震評価

今回使用する貯水枠材のうち，最も水平方向の単位面積あたりの許容荷重（許容応力）^{（注1）}が小さいものは次の通りである。

水平方向の単位面積あたりの許容荷重（許容応力） σ_{ha} ：30.0kN/m²

（注1） 貯水枠材の許容荷重は，材料の安全率 1.3 を考慮した許容応力とし，その値は（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルによる。

よって，

$$\sigma_{ha}=30.0>Ph=23.0$$

となり，貯水枠材の強度は十分であると評価できる。

(3) 耐震評価（S クラス）

a. 作用荷重の算定

（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルにしたがって，地表載荷荷重 10kN/m² を考慮し，貯水枠材の最下部における鉛直方向荷重を求める。覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）を表－2 に，照査対象と作用荷重を図－3 に示す。

なお，覆土材料は砂質土と砂礫の複合材であるが，安全をとって重量の大きい砂礫の単位体積重量を使用することとする。

表－2 覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）

材料名	単位体積重量（kN/m ³ ）
盛土（砂及び砂礫）	20.0
盛土（砂質土）	19.0

出典：「道路橋示方書・同解説 I 共通編」社団法人日本道路協会

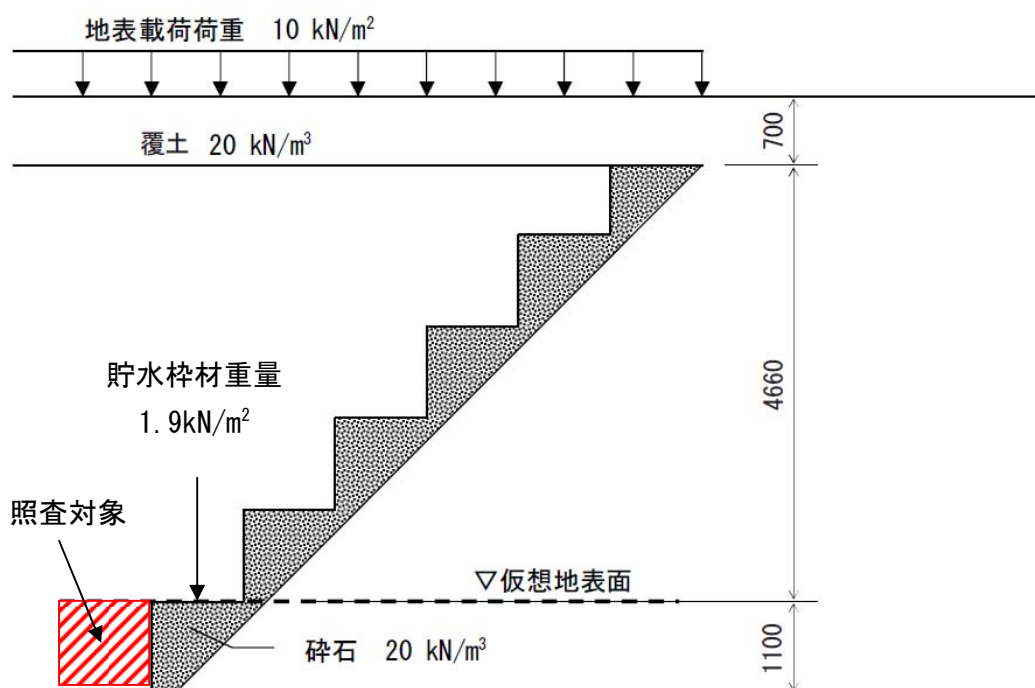
貯水枠材を階段状に積み上げたとき，最下部（仮想地表面）の上面に作用する鉛直方向荷重は，仮想地表面より上部の地表載荷荷重・覆土重量・貯水枠材重量の合計荷重 V1 となる。

また最下部の側面に作用する水平方向荷重は，V1 と仮想地表面より下部の碎石重量 V2 に地震時水平土圧をかけた値となる。

ここで，

$$V1=10+20\times0.7+1.9=25.9 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$V2=20\times1.1=22.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$



図－3 照査対象と作用荷重

b. 設計水平震度・設計鉛直震度の設定と地震時水平土圧の算定

S クラス評価の場合には、設計水平震度 K_h を 0.6，設計鉛直震度 K_v を 0.3 とし、水平方向・鉛直方向地震の組み合わせを考慮する。地震時土圧係数 K_{ea} は、道路などの設計で一般的に用いられている「道路橋標準示方書・同解説（V 耐震設計編）」（社団法人日本道路協会）にしたがい 0.75 とする。

c. 地震時荷重（鉛直方向）の算定

貯水枠材最下部の上面に作用する鉛直方向荷重 P_v は、

$$P_v = (1 + K_v) \times V_1 = (1 + 0.3) \times 25.9 = 33.7 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

d. 地震時荷重（水平方向）の算定

貯水枠材最下部の側面に作用する水平方向荷重 P_h は、

$$P_h = K_{ea} \times (1 + K_v) \times (V_1 + V_2) = 0.75 \times (1 + 0.3) \times (25.9 + 22.0) = 46.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

e. 耐震評価

S クラス評価は比例限界応力^(注2)に基づいて評価を実施する。今回使用する貯水枠材のうち、最も比例限界応力が小さいものは次の通りである。

水平方向の比例限界応力 σ_{hc} : 52.5 kN/m²

鉛直方向の比例限界応力 σ_{vc} : 102.1 kN/m²

(注2) Sクラス評価の場合には求められる性能が機能維持であることから、貯水枠材の許容荷重は材料の安全率を 1.0 とした比例限界応力を用いることとし、その値は（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルによる。

よって、

$$\sigma_{hc}=52.5>P_h=46.8$$

$$\sigma_{vc}=102.1>P_v=33.7$$

となり、貯水枠材の強度機能の維持は可能と評価できる。

(4) 載荷荷重について

上述の強度照査により、貯水枠材の強度は地下貯水槽上に 10kN/m² の荷重を載荷した場合でも十分であることが評価できる。

ただし、地下貯水槽上に物資を搬入する場合には、設計上載荷重との関係を個別に評価する。

以上

(参考) 貯水枠材の強度に関する試験方法

(社) 雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルでは、貯水枠材の圧縮強度に関する試験方法を以下のように定めている。

構造部材の圧縮試験方法 (Arsit A-1:2008)

圧縮試験は、貯留枠材の鉛直方向及び水平方向の耐力を求める重要な試験である。

JIS の試験方法は、材料試験を目的とした試験で、角柱、円柱、管形状の供試体としているが、貯水枠材として必要な強度は構造体としての性能であることに留意すべきである。

1) 引用規格

プラスチック圧縮特性の試験方法 JIS K 7181, JIS Z 0212

2) 供試体

部材には異方性があり、使用状態で鉛直方向と水平方向 (2 方向) の強度が異なると考えられる場合には、3 方向あるいは 2 方向で試験を行う (図-4 (a))。また、図-4 (b) のように異方性の部材を組み合わせることで各方向の強度の均等化を図っている場合は、最小構成単位 (図-4 (b) の場合は 4 個) の単位部材とみなして試験を行うことが望ましい。しかし、試験が大掛かりになる場合は、構成要素の方向別強度を平均するなどの簡略化をしても良い。

鉛直方向の載荷試験では、最小構成単位 (1 段) から始めて、2 段、3 段・・・と積み上げる段数を増やして、各載荷試験での最大応力値が収束することを確認する。水平方向の載荷試験では、鉛直方向で求めた収束段数と同数の積み上げ段数のみの試験で良い。供試体を載荷装置に設置する際や載荷試験時に、供試体が不安定になるなどの理由で外枠あるいは紐状の材料で安定させる場合は、試験結果に悪影響を及ぼさないように配慮する。

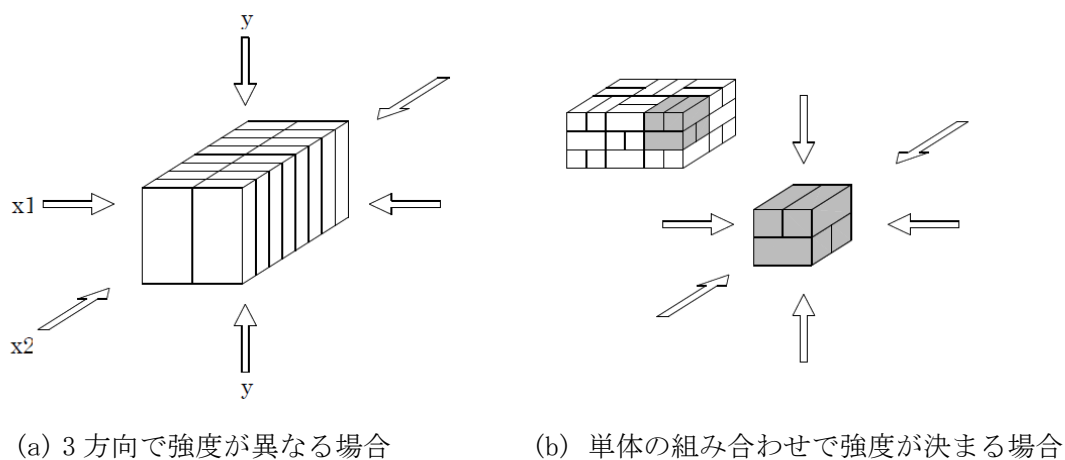


図-4 圧縮強度の異方性

3) 試験方法

载荷は、1 分当り 10mm 程度の一定速度で行う。

供試体は、試験前に载荷方向の長さを 2 箇所以上で測定しておく。試験時は、0.1mm 以上の精度を持つ測定器で、供試体の载荷方向の長さ変化を測定する。

4) 温度

試験は、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 一定の条件で実施することを原則とする。この条件での試験が難しい場合は、供試体を 24 時間以上 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ の条件に置いた後、速やかに試験を実施する。

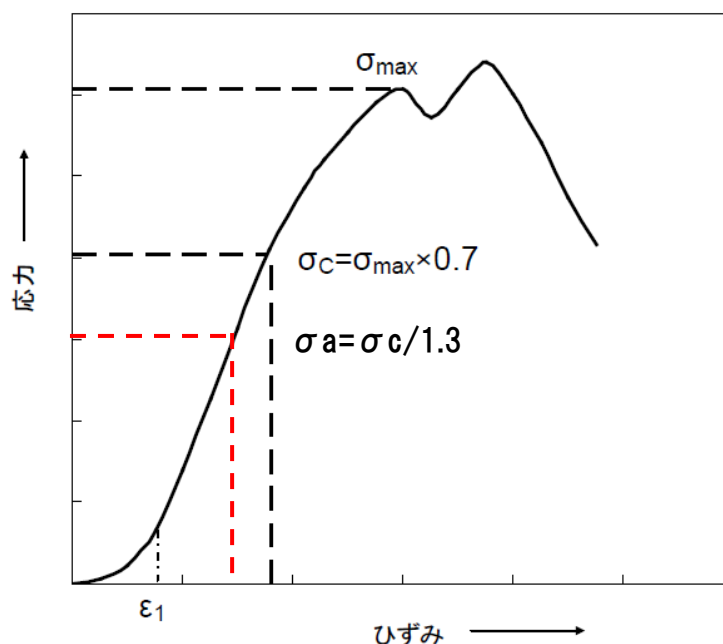
5) 試験結果の整理

試験で得られた供試体の载荷方向のひずみと応力関係（SS カーブ）の例を、図－5 に示す。

ひずみがゼロから ϵ_1 までの勾配の小さい区間は、供試体の初期不整やたわみなどが原因で生じる。その後、ひずみと応力の関係がほぼ一定で推移する区間があり、さらに応力の山が 2 つ以上現れる場合があるが、最初に応力の低下を示す前の最大応力（圧縮強さ）を $\sigma_{\max}$ とする。

最大応力（圧縮強さ） $\sigma_{\max}$ の 70%を「比例限界応力 σ_c 」とすることができる。ただし、その値が SS カーブの直線上にない場合は、直線上にある最も近い値を「比例限界応力 σ_c 」とする。

また、「比例限界応力 σ_c 」に安全率 1.3 を考慮し、 σ_c を材料の安全率（一般的に 1.3）で割った値を「許容応力 σ_a 」とする。



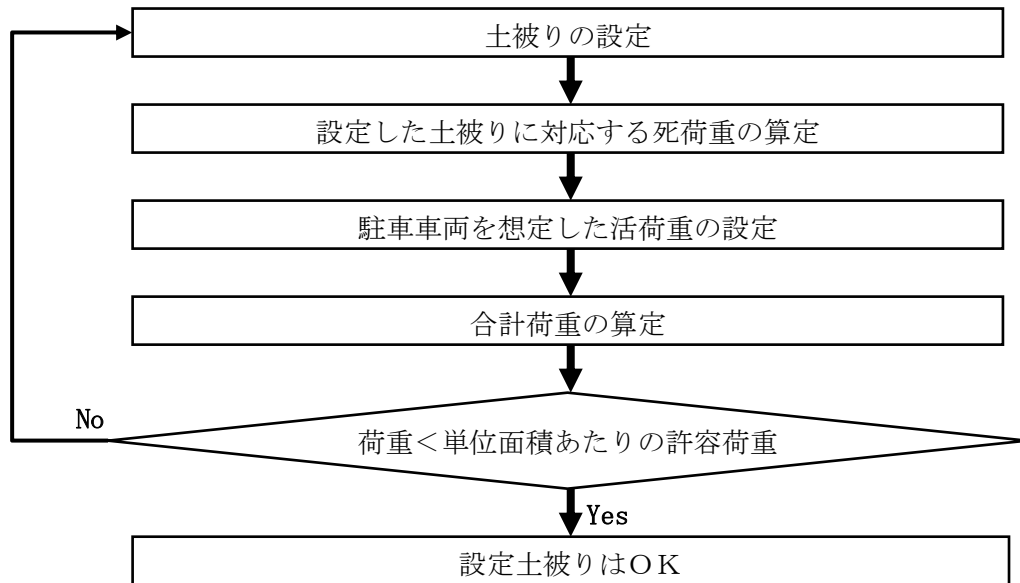
図－5 ひずみと応力の関係例

以上

駐車車両を想定した場合のプラスチック製貯水枠材の強度照査

(1) 評価手順

駐車車両を想定した場合の貯水枠材の強度照査のフローを図－1に示す。



図－1 駐車車両を想定した場合の貯水枠材の強度照査フロー

(2) 荷重条件

a. 死荷重

死荷重としては覆土を 0.7m まで施した場合を想定する。覆土材料は砂質土と砂礫の複合材であるが、安全をとって重量の大きい砂礫の単位体積重量を使用することとする。表－1に覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）を示す。

表－1 覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）

材料名	単位体積重量 (kN/m ³)
盛土（砂及び砂礫）	20.0
盛土（砂質土）	19.0

出典：「道路橋示方書・同解説 I 共通編」 社団法人日本道路協会

死荷重は,

$$BL = \gamma \times h1$$

ここに,

BL : 覆土の上載荷重 (kN/m²)

γ : 覆土材料の単位体積重量 (kN/m³)

h1 : 覆土厚さ (m)

b. 活荷重

活荷重としては、高速自動車国道、一般国道に用いられている T-25 荷重（ただし、駐車スペースなので衝撃なし）を用いる。これは総重量 25 トンの大型トラックの荷重を想定したものである。

貯水槽上面に作用する自動車荷重は道路横断方向に際限なく載荷させるものとして、単位長さ当たりの荷重は次式により求める。

$$P1 = \frac{2T1}{B}(1+i) \quad P2 = \frac{2T2}{B}(1+i)$$

ここに,

P1 : 後輪荷重による横方向単位長さあたりの荷重 (kN/m)

P2 : 前輪荷重による横方向単位長さあたりの荷重 (kN/m)

T1 : 自動車の 1 後輪荷重

T2 : 自動車の 1 前輪荷重

B : 自動車占有幅 (2.75m)

i : 衝撃係数 (0)

また、T-25 荷重の諸元を表－2 に示す。

表－2 T-25 荷重の諸元

自動車荷重	総荷重 (kN)	T1:後輪荷重 (kN)	T2:前輪荷重 (kN)	接地幅 (m)	前後車輪間隔 (m)
T-25	250	100	25	0.2	4.0

なお、輪荷重による活荷重は図－2 のように地表面より接地幅 0.2m で車両進行方向に 45° の角度をもって地中に分散するものとする。

したがって、貯水槽上面に作用する自動車荷重は次のようになる。

$$q1 = \frac{P1}{2h1 + 0.2} \quad q2 = \frac{P2}{2h1 + 0.2}$$

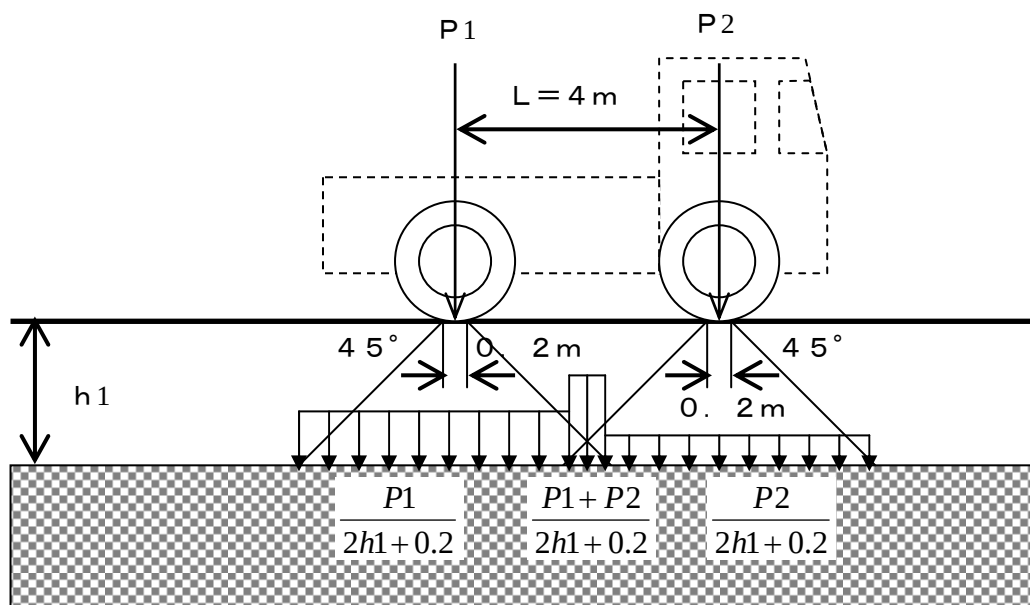
ここに,

q_1 : 後輪の分布荷重 (kN/m^2)

q_2 : 前輪の分布荷重 (kN/m^2)

h_1 : 覆土厚さ (m)

L : 前輪と後輪の中心距離 (軸距 4.0m)



図－２ 輪荷重による活荷重

図－２から明らかなように、自動車荷重の最大値は次のようになる。

$L > 2h_1 + 0.2$ の場合は、後輪荷重のみの $q = q_1$

$L \leq 2h_1 + 0.2$ の場合は、後輪荷重と前輪荷重を考慮した $q = q_1 + q_2$

今回の場合、 $L = 4.0\text{m}$ 、 $2h_1 + 0.2 = 1.6\text{m}$ なので、前者に当たり、自動車荷重としては q_1 のみを考慮することとなる。

(3) 設計震度と許容荷重

検討に用いた設計震度と照査に用いた許容荷重^(注)を表－３に示す。

(注) 求められる性能を機能維持とし、貯水枠材の許容荷重としては材料の安全率を 1.0 とした「比例限界応力」を用いることとし、その値は(社)雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルによる。

表－３ 設計震度と許容荷重

設計震度 (鉛直)	許容荷重 (比例限界応力)
0.3	102.1kN/m^2

(4) 合計荷重の算定

上述の計算手順にしたがい、算定した合計荷重を表－４に示す。

表－４ 合計荷重の計算結果

荷重	条件・計算結果	算定式
【死荷重】		
γ ：覆土単位体積重量	20kN/m ³	
h1：覆土厚さ	0.7m	
BL：死荷重	14kN/m ²	$\gamma \times h1$
【活荷重】		
T1：後輪荷重	100kN	
B：自動車占有幅	2.75m	
P1：後輪単位幅荷重	72.8kN/m ²	$2 \times T1 \times (1+i)/B$
h1：覆土厚さ	0.7m	
q1：活荷重	45.5kN/m ²	$P1/(2 \times h1 + 0.2)$
【合計荷重：常時】： σ	59.5kN/m ²	$BL + q1$

	計算結果	算定式
【合計荷重：地震時】： σt	77.3kN/m ²	$\sigma \times (1+0.3)$

(5) 強度照査

今回使用する貯水枠材のうち、最も単位面積あたりの許容荷重が小さいものは表－３に示した通りである。それに基づき強度照査を実施した結果を表－５に示す。この結果より、貯水枠材の強度は十分であると評価できる。

表－５ 強度照査結果

計算結果	許容荷重（比例限界応力）
77.3kN/m ²	102.1kN/m ²

(6) 載荷荷重について

上述の強度照査により、貯水枠材の強度は地下貯水槽上に T-25 荷重を載荷した場合でも十分であることが評価できる。

ただし、地下貯水槽上に物資を搬入する場合には、設計上載荷荷重との関係を個別に評価する。

以上

地下貯水槽のスロッシング評価

(1) 評価方法

スロッシングはタンク内包水が地震により揺れる現象をいい、地震波の中でもやや長周期のものが、比較的直径の大きなタンクの形状に影響して発生すると考えられている。

地下貯水槽の場合、プラスチック製枠材で構築される水室の中で最も大きなものの寸法は幅 30cm 以下と小規模であり、スロッシングの様な長周期問題は顕在化しないと考えられるが、確認のためスロッシングによる液位上昇量を計算して溢水等が発生しないか確認を行う。

評価方法は容器構造設計指針（日本建築学会）に従うこととする。

【スロッシング計算法】

スロッシング波高の算定は以下の式にて算出する。

$$\eta = 0.802 \times Z_s \times I \times S_v1 \times \sqrt{(D/g \times \tanh(\frac{3.682 \times HL}{D}))}$$

水面動揺の振動周期は以下の式にて算出する。

$$T_s = \frac{2\pi \sqrt{D}}{\sqrt{(3.68 \times g \times \tanh(3.68 \times HL/D))}}$$

ここに、HL： 静水時の水位

D： 配水池の内径

g： 重力加速度 9.800 m/s²

Zs： 地震地域係数で、Zs=1.0とする。

I： 用途係数で、表. 2-1により耐震設計区分はⅢとする

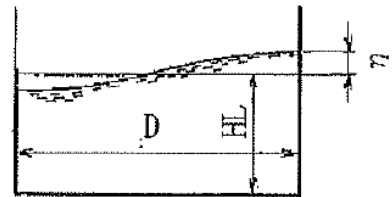


表. 2-1 用途係数I

耐震設計区分	対 象	用途係数 I
Ⅰ	小規模で危険物を収容しない容器構造物	0.6以上
Ⅱ	大または中規模で危険物を収容せず災害の波及効果の少ないもの	0.8以上
Ⅲ	地震災害の重大性が一般建築物と同等の容器構造物	1.0以上
Ⅳ	危険物を収容し、2次災害の要因となり得るもの	1.2以上

T_g： 地盤の臨界周期で、表. 2-2により地盤種別は2種とする

表. 2-2 臨界周期T_g

地盤種別	地 盤 条 件	T _g (s)
1 種	1) 第3紀以前の地盤（以下岩盤と称する） 2) 洪積層 3) 岩盤までの沖積層の厚さが10m未満	0.64
2 種	沖積層の厚さが25m未満かつ軟弱層の厚さが5m未満	0.96
3 種	1) 上記以外の地盤 2) 地盤の特性が不明なもの	1.28

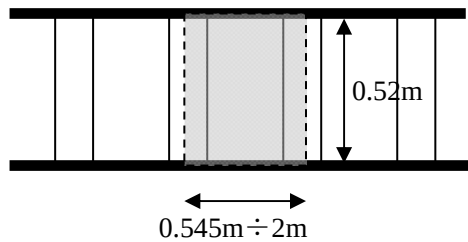
Sv1： スロッシング1次固有周期に対する設計速度応答スペクトル値で以下による

$$T_j < T_g \text{ のとき } S_{vj} = 156 \times T_s \text{ cm/s}$$

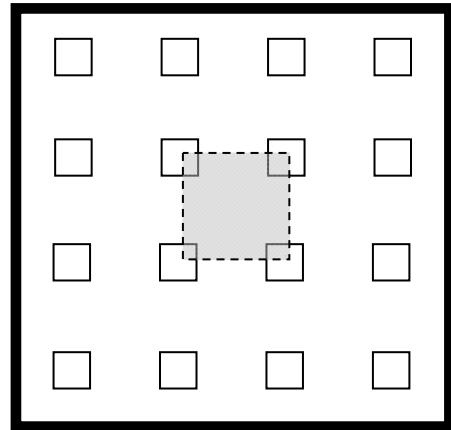
$$T_s \geq T_g \text{ のとき } S_{vj} = 156 \times T_g \text{ cm/s}$$

(2) 評価条件

対象とする水室の形状は次図のものを想定した。スロッシングは共振問題に近い場合、鏡面構造をとると考えられることから、支柱で区切られる 1 ブロックを水室と仮定した。スロッシングは寸法が大きいものの方が、発生する液位上昇がより高くなることが知られているので、使用する貯水枠材の中でも最も大きな水室を構成する枠材を検討対象とした。



図－1 貯水槽断面図



図－2 貯水槽平面図

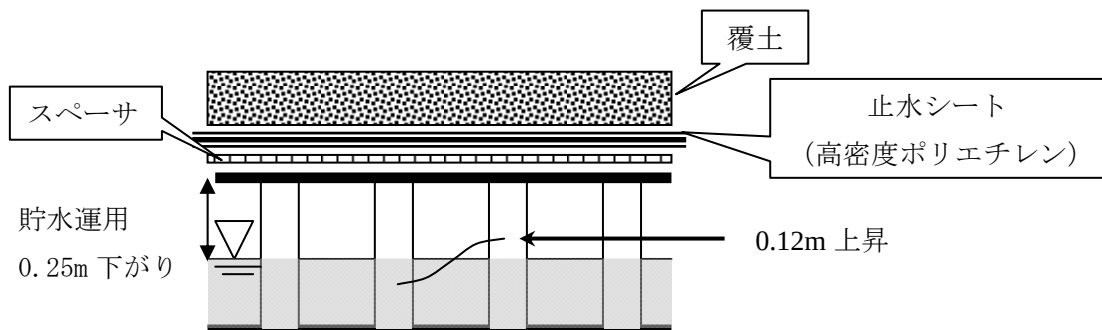
HL：静水時の水位 0.52m
(実運用の水位 0.27m)
D：水室の内径 0.545÷2m

(3) 評価結果

計算の結果は次の通り。

η ：液位上昇量 = 0.12m (実運用水位も同値)

地下貯水槽は貯水枠上面より 0.25m 下がりで運用する計画であるので、0.12m の液位上昇があっても貯水槽外に溢水することはない。仮に液位が貯水枠上面を超えても止水シートが敷設されているので、溢水は防げるものと評価できる。



図－3 スロッシング時の水面変化

以上

円筒型タンク（1100t容量）の基準地震動 S_s に対する耐震性評価結果

円筒型タンク（1100t容量）は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけられるが、当該タンクは大容量であり、設置数量も多く、且つ貯留している逆浸透膜装置の廃水は高濃度のストロンチウムが含まれているため、参考としてSクラス相当の評価として、基準地震動に対する耐震性評価を実施する。

１．解析方針

基準地震動 S_s による地震力に対し、円筒型タンクの側板の座屈、側板及び接続ボルトの損傷の有無を評価することにより貯留機能が保持されることを確認する。解析には、汎用非線形構造解析システム FINAS V20.1を使用し、タンクと内包水の弾塑性・大変形動的応答解析を実施する。解析モデルはタンク寸法を基に天板、側板、底板を４節点四辺形シェル要素でモデル化する。タンクの概略図を図－１、解析モデルを図－２、３に示す。

なお、応力等の算出及び評価は原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）を準用し、側板の座屈は座屈評価式を満足していること、側板は側板で発生する最大ミーゼス応力が許容値を満足していること、接続ボルトは接続ボルトで発生する最大引張応力が許容応力を満足していることを確認する。

２．解析に用いる入力地震動

円筒型タンクへの入力地震動は、「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（原管発官19第603号 平成20年3月31日付け）にて作成した開放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s -1、 S_s -2、 S_s -3を用いることとする。なお、評価に当たっては、これらの基準地震動のうち、タンクの固有周期で卓越する基準地震動 S_s -1を使用する。

３．評価結果

評価結果を表－１，２に示す。また、側板に最大応力が発生した時の応力分布を図－４に示す。評価の結果、各評価部位の算出値は評価基準値以下となり、タンクの保持機能が確保されていることを確認した。

以上

表－１ タンク各部位の評価結果

(Ss-1による評価)

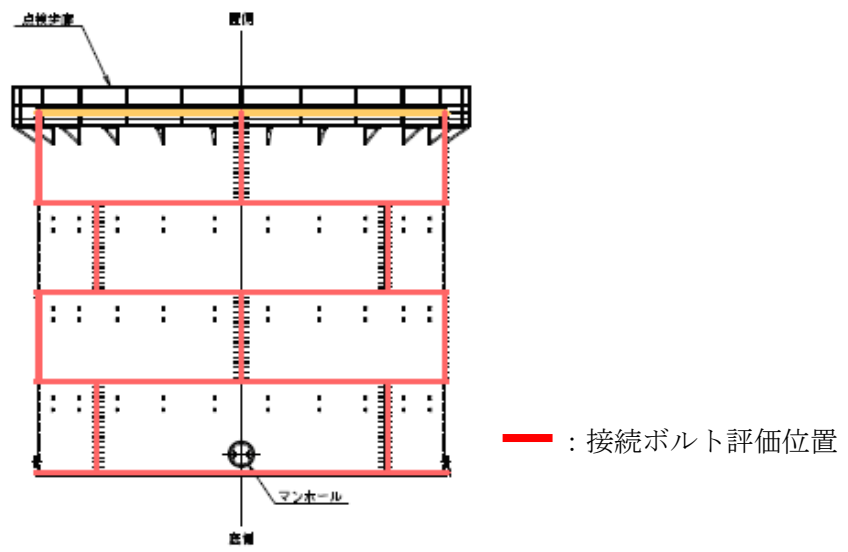
評価対象・部位	応力 分類	評価結果		備考
		算定値	評価基準値	
側板	膜応力	246MPa	360 MPa	図－４
	座屈	0.66	1	表－２
側板間連結ボルト（水平方向）	引張	355MPa	525 MPa	最下端位置
側板間連結ボルト（鉛直方向）	引張	506MPa	525 MPa	最下端位置

表－２ タンク側板の座屈評価結果

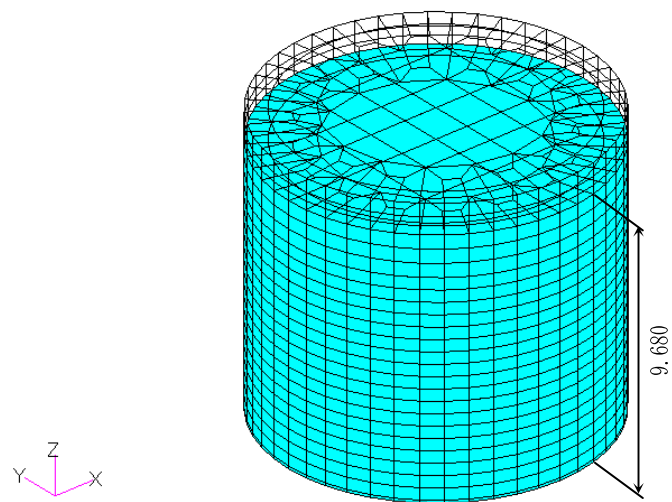
(Ss-1による評価)

発生最大平均 軸圧縮応力	発生最大平均 曲げ応力	軸圧縮に対する 座屈応力	曲げモーメントに 対する座屈応力	安全率	座屈 評価値
P/A [MPa]	M/Z [MPa]	f _c [MPa]	f _b [MPa]	α _B	(※)
2.19	44.8	78.3	109	1.5	0.66

※JEAC4601-2008 より,座屈評価値 $\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b}$ が 1 を超えないことを確認する。



図－1 タンク概略図



図－2 解析モデル(鳥瞰図) 単位:m

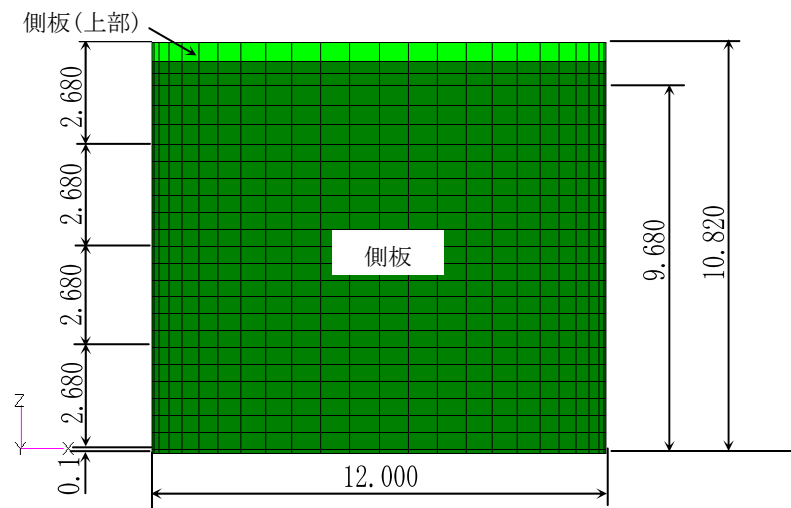


図-3 解析モデル(側面図) 単位:m

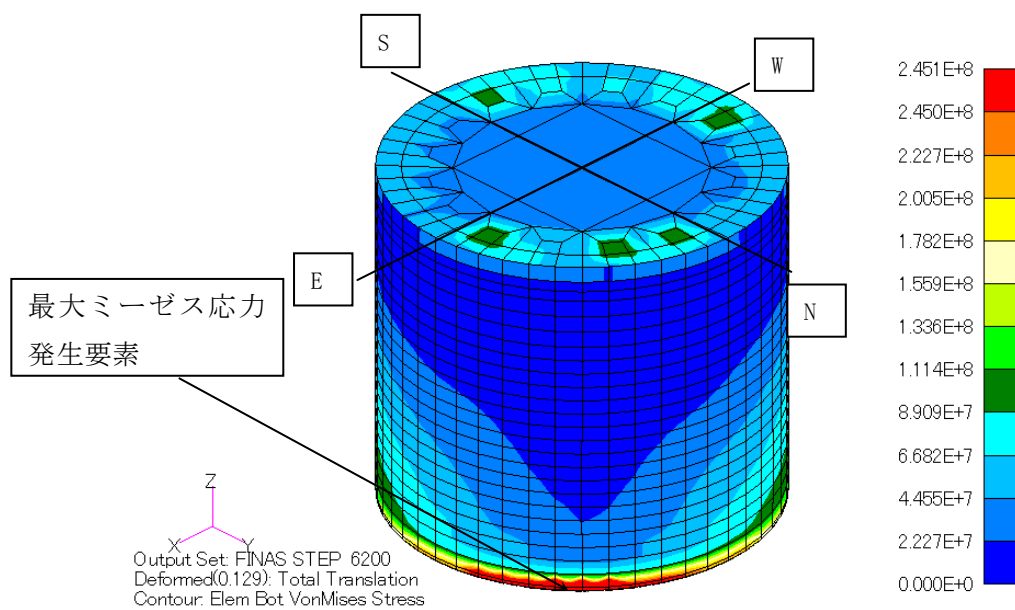


図-4 ミーゼス応力分布 (鳥瞰図)
(Ss-1 内面 : 31.00 秒時 単位:Pa)

廃スラッジ一時保管施設の耐震性に関する検討結果

廃スラッジ一時保管施設を構成するスラッジ棟及び設備棟は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の建物と位置づけられるため、耐震 B クラスとしての評価を実施した。なお、参考として、廃スラッジ一時保管施設等は、高濃度の放射性物質を貯蔵することから参考として S クラス相当の評価を行う。

1. スラッジ棟の耐震性評価

1.1 スラッジ棟の耐震 B クラスに対する評価

1.1.1. 評価方針

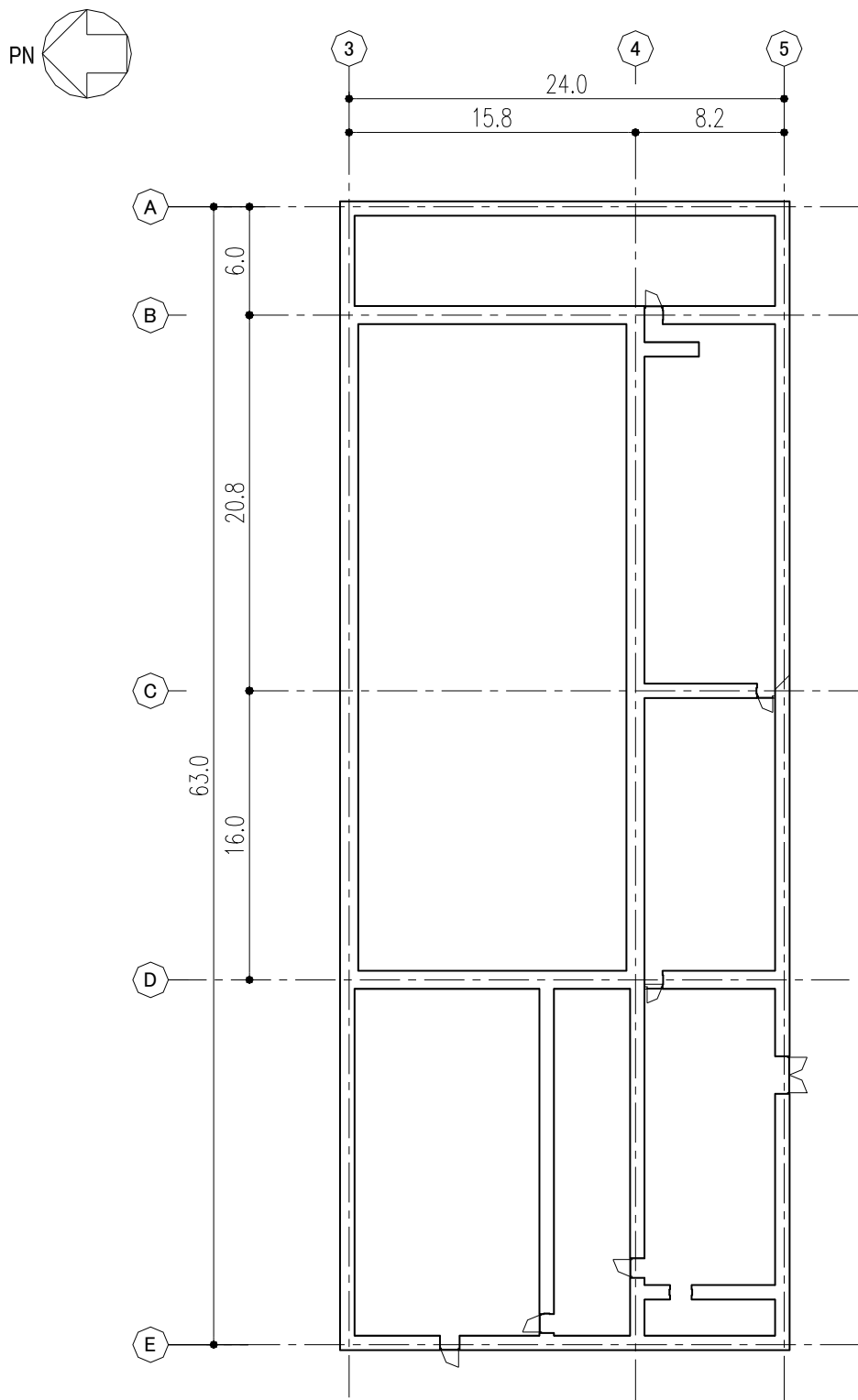
スラッジ棟は、地上 1 階建で平面が 24.8m (NS) × 63.6m (EW) の鉄筋コンクリート造の建物である。基礎底面からの高さは 12.39m であり、地上高さは 11.09m である。

基礎スラブは厚さ 1.5m のべた基礎である。基礎スラブは、厚さ 2.8m～3.8m の改良地盤を介して、N 値 20 以上の地盤に支持させる。スラッジ棟の平面図及び断面図を図－1～図－4 に示す。

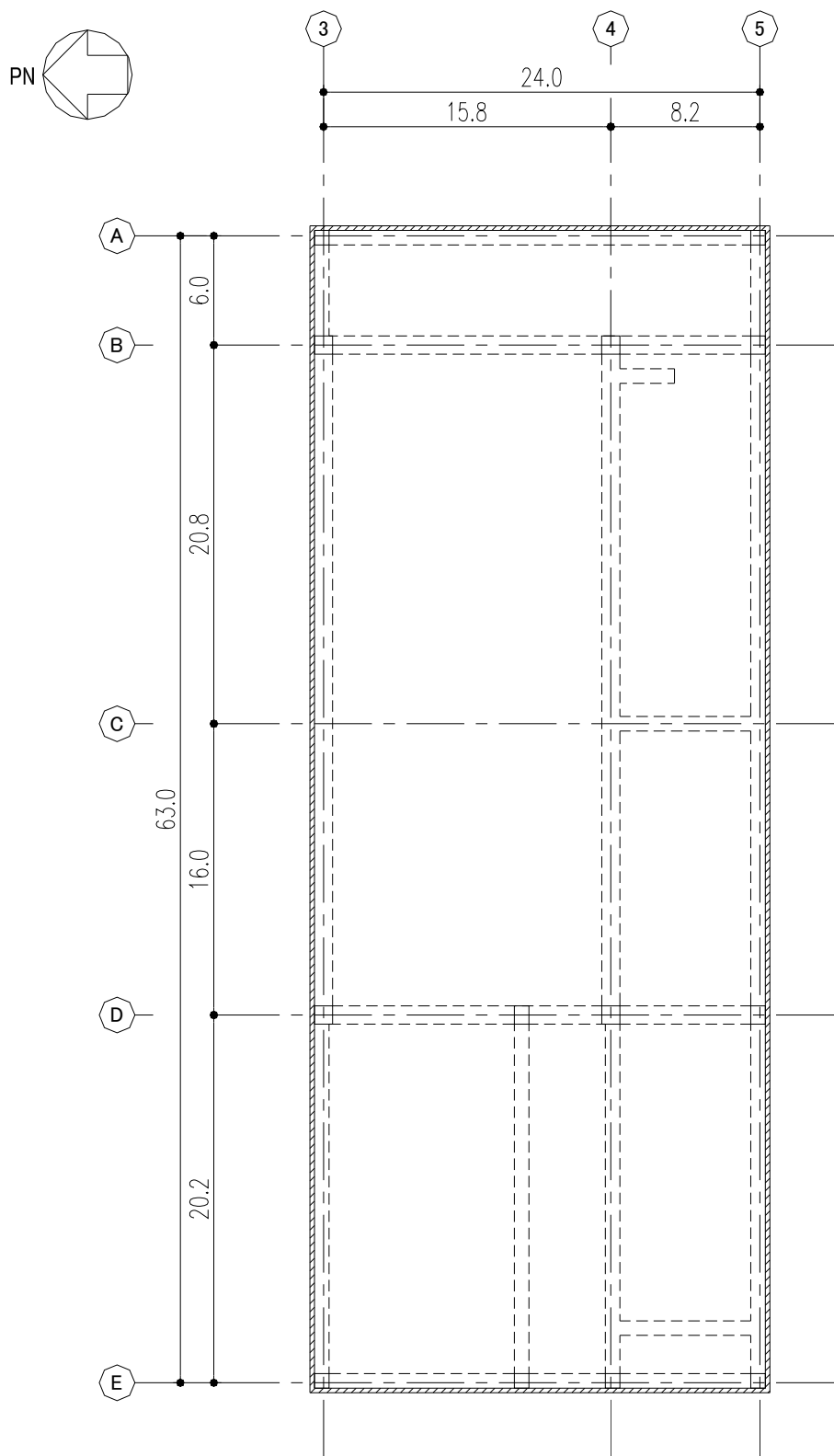
建屋の地震時の水平力は、耐震壁で負担する。なお、建屋内壁には開口が多いため外壁のみを耐震上有効な耐震壁とみなす。

耐震壁の評価は、地上 1 階の層せん断力係数として 0.3 を採用した場合の該当部位のせん断応力に対して行う。但し、耐震壁の設計用せん断力は、本建物の構造計算を NS、EW 方向ともに平成 19 年国土交通省告示第 593 号の構造計算（ルート 1）とするため、層せん断力係数 0.3 に相当する地震力に、耐力壁せん断力の割増し率 2.0（同告示による）を乗じて求める。耐震性の評価は、耐震壁の応力度を短期許容せん断応力度と比較することによって行うこととする。その際、地震時のせん断力はすべて鉄筋が負担するものとする。

スラッジ棟の評価手順を図－5 に示す。



図ー 1 スラッジ棟 建屋平面図 (0. P. 34. 6) (単位 : m)



図ー 2 スラッジ棟 屋根平面図 (0. P. 45. 5) (単位 : m)

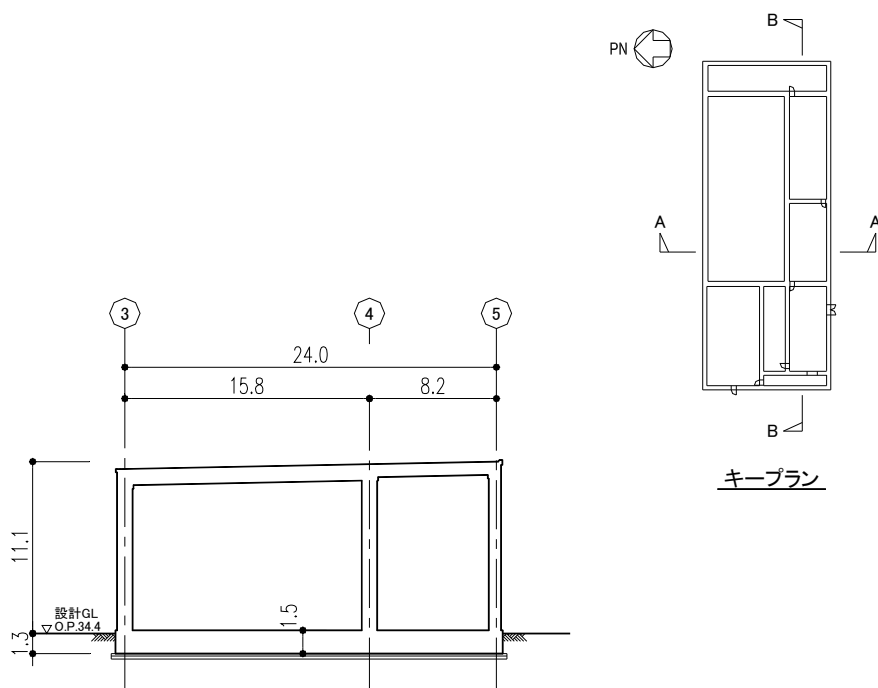


図-3 スラッジ棟 A-A断面図 (NS 方向) (単位：m)

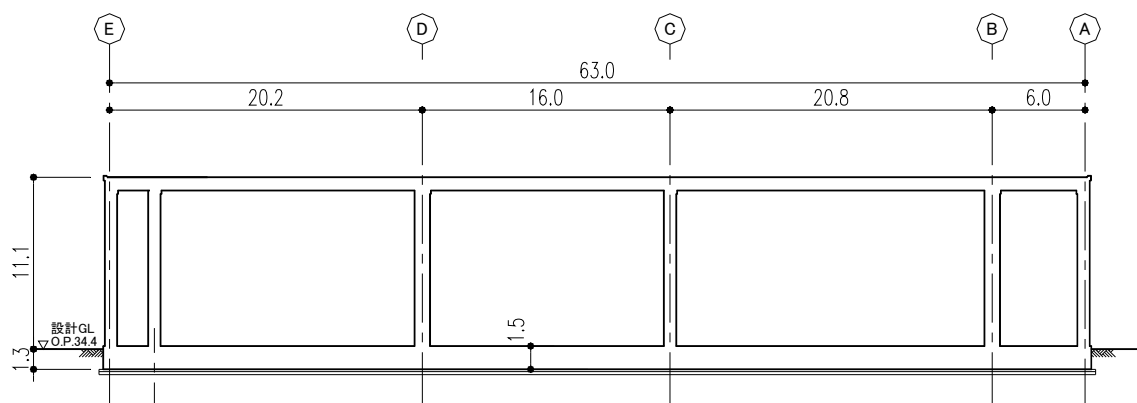
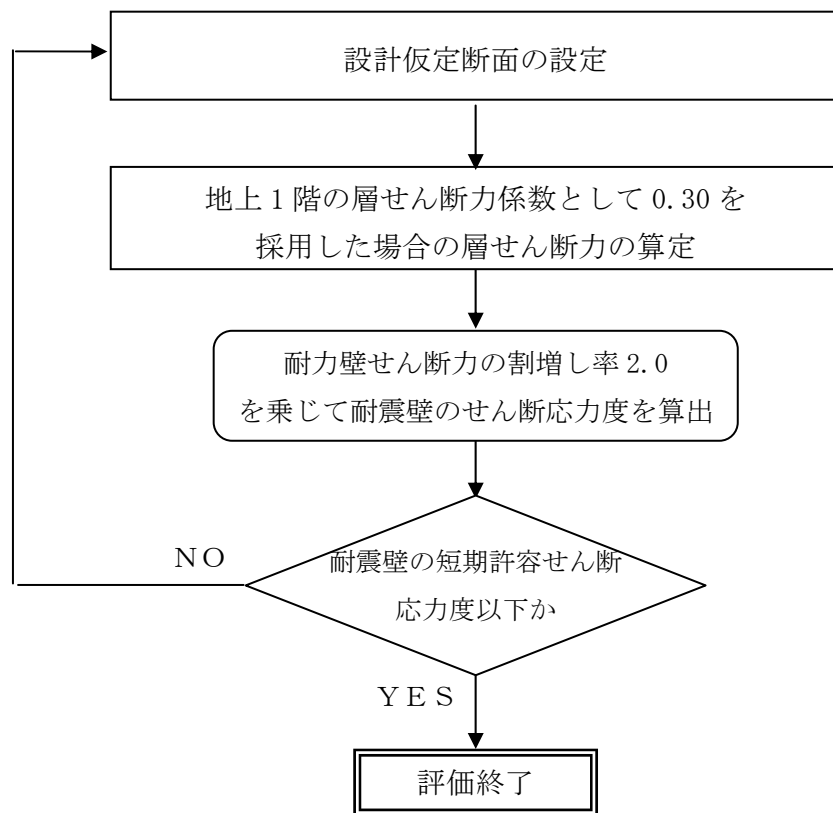


図-4 スラッジ棟 B-B断面図 (EW 方向) (単位：m)



図－5 建屋の耐震安全性評価手順

1.1.2. 評価条件（検討に用いる層せん断力の設定）

層せん断力係数を 0.3 とした場合の層せん断力係数一覧を表－1 に示す。評価に用いる材料の許容応力度を表－2 及び表－3 に示す。

表－1 層せん断力係数一覧

O. P. (m)	W_i (kN)	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$ (K)		設計用地震力 (S_B) ($\times 10^4$ kN)	
		NS	EW	NS	EW
45.49～34.6	74,904	0.30		2.25	

表－2 評価に用いるコンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度	短期		
	圧縮	引張り	せん断
$F_c = 30$	20	—	1.18

表－3 評価に用いる鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

鉄筋種類	短期	
	引張り及び圧縮	せん断補強
SD345	345	345

1.1.3. 評価結果

NS 方向と EW 方向は設計用地震力が同じであり，壁量の少ない NS 方向について検討する。

検討により求められた耐震壁のせん断応力度をもとに，地震時のせん断力をすべて鉄筋が負担するものとして求めた鉄筋の応力度を，鉄筋の短期許容せん断応力度と比較して表－4 に示す。

表－4 耐震壁のせん断による鉄筋応力度

方向	耐震壁のせん断 応力度 (N/mm ²)	鉄筋のせん断 応力度 (N/mm ²)	鉄筋の短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)
NS 方向	1.16	323	345

これより，耐震壁の鉄筋に生じるせん断応力度は，短期許容応力度以下となっており，耐震安全性は確保されている。

1.2 スラッジ棟の基準地震動 S_s に対する評価

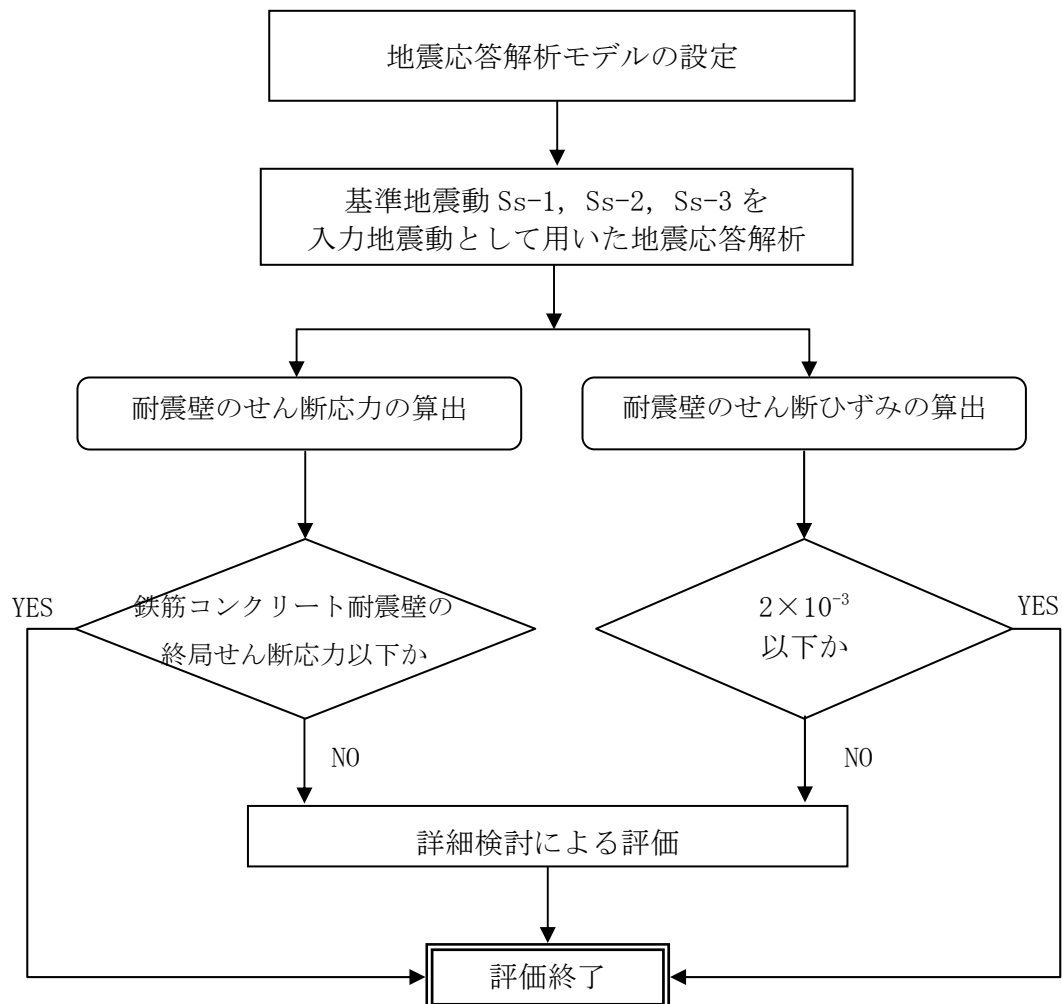
1.2.1. 解析評価方針

スラッジ棟について、基準地震動 S_s による地震力に対し、崩壊しないことを確認する。

解析モデルは、基礎及び地上階について機器を含む建屋全域を NS 方向、EW 方向とも 1 軸質点系モデルとする。

耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位のせん断応力に対して、鉄筋コンクリート耐震壁の終局せん断応力と比較することによって行う。また、地震応答解析により得られたせん断ひずみについても確認を行うこととする。

スラッジ棟の地震応答解析の評価手順を、図－6 に示す。

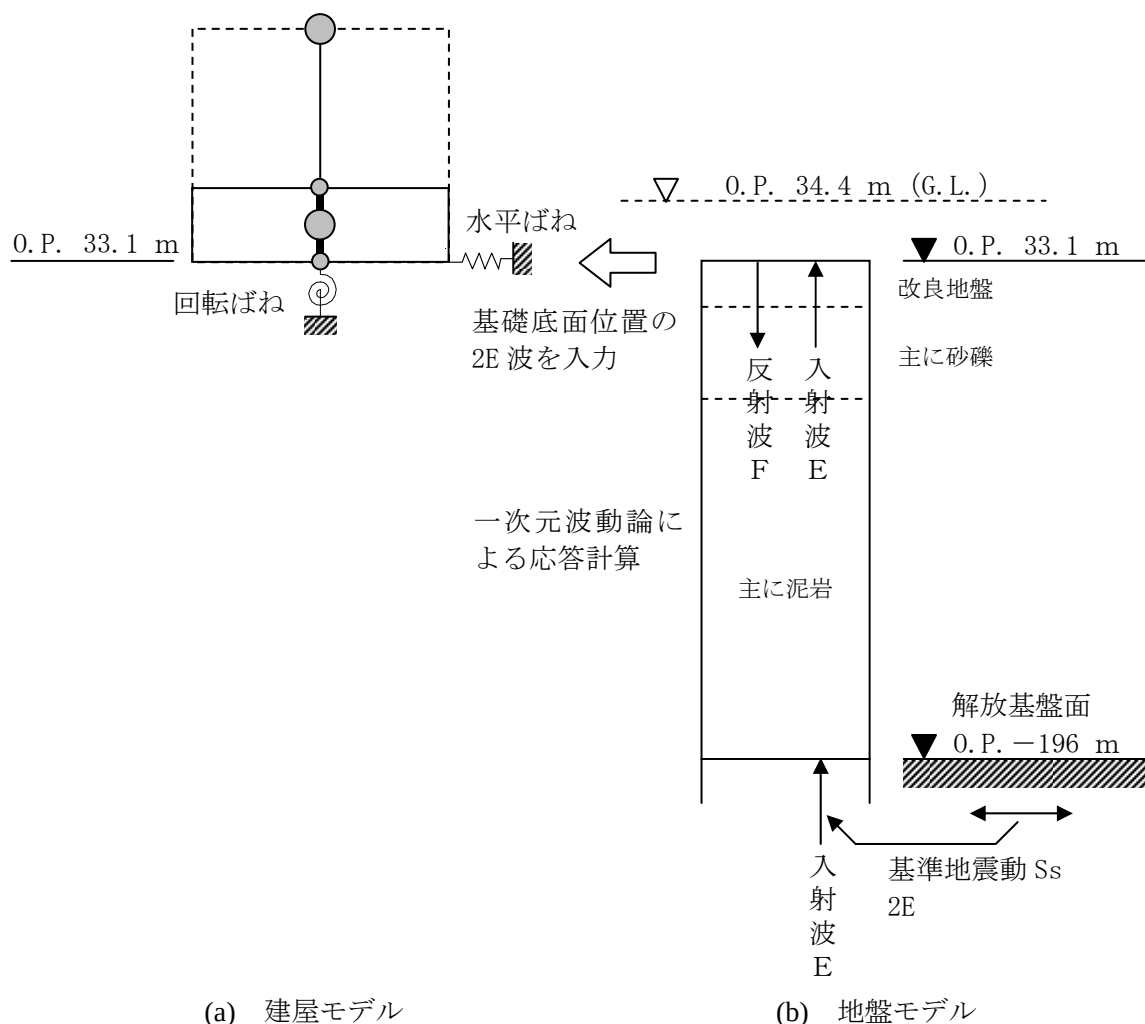


図－6 スラッジ棟の地震応答解析の評価手順

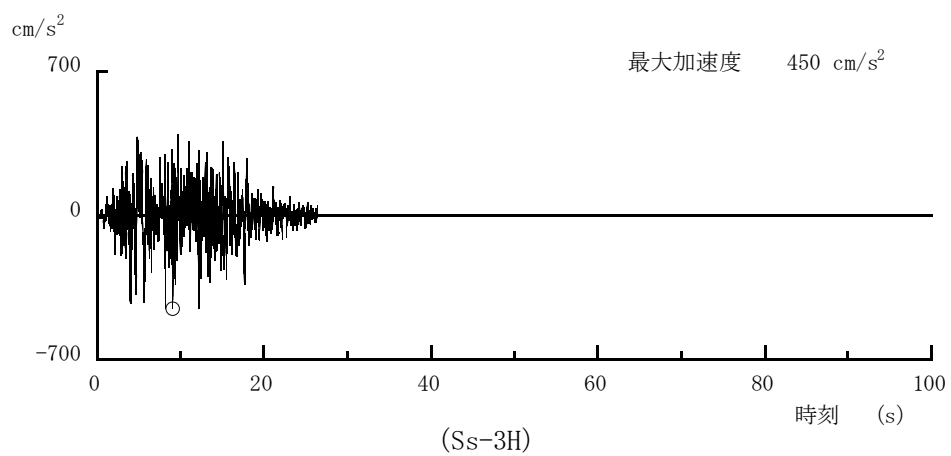
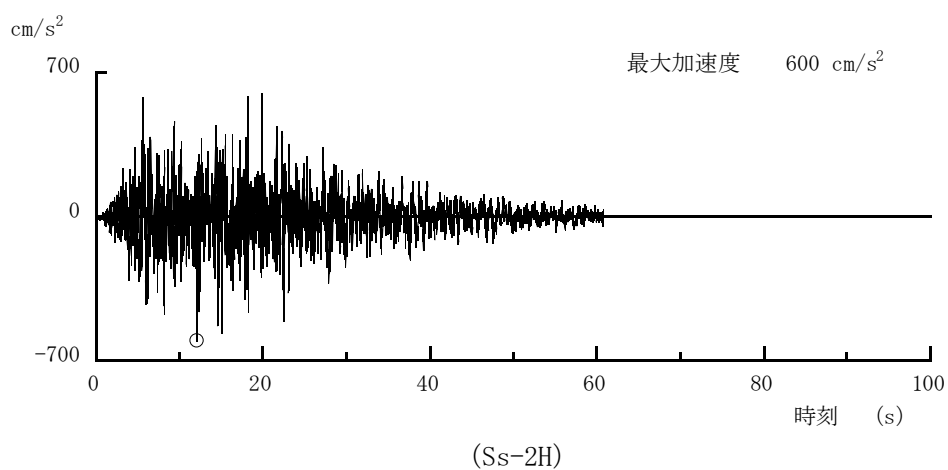
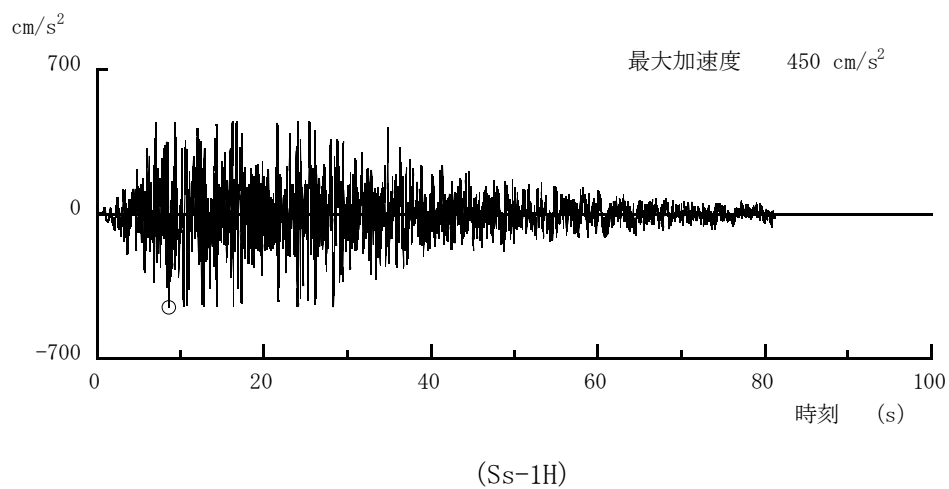
1.2.2. 解析に用いる入力地震動

スラッジ棟への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（原管発官 19 第 603 号 平成 20 年 3 月 31 日付け）にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s-1 , S_s-2 及び S_s-3 を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図－7に示す。このスラッジ棟の解析モデルは建屋－地盤相互作用を考慮したスウェイ・ロッキングモデルである。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。このうち、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 の加速度波形について、図－8に示す。



図－7 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図



図－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）

1.2.3. 地震応答解析モデル

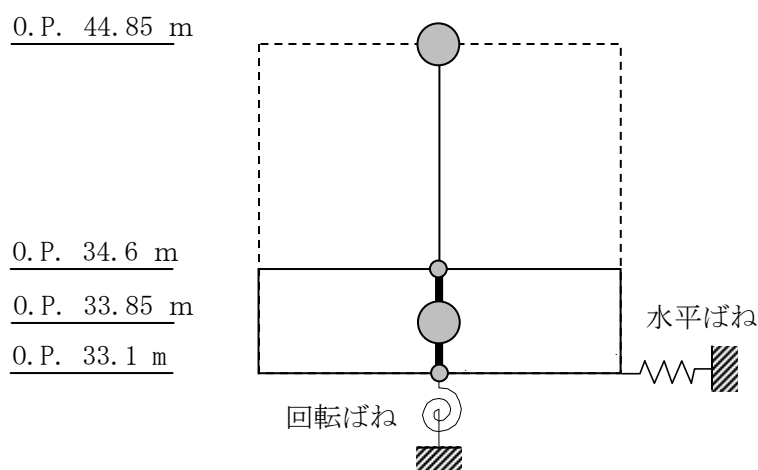
基準地震動 S_s に対するスラッジ棟建屋の地震応答解析は、「1.2.2. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

水平方向の地震応答解析モデルは、図－9に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばねによって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表－5に、建屋解析モデルの諸元を表－6及び表－7に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表－8～表－10に示す。

水平方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規定（以下、「耐震設計技術規定」という。）に示された手法を参考にして、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的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図－10に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の1次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。



図－9 スラッジ棟建屋 地震応答解析モデル（NS 方向・EW 方向）

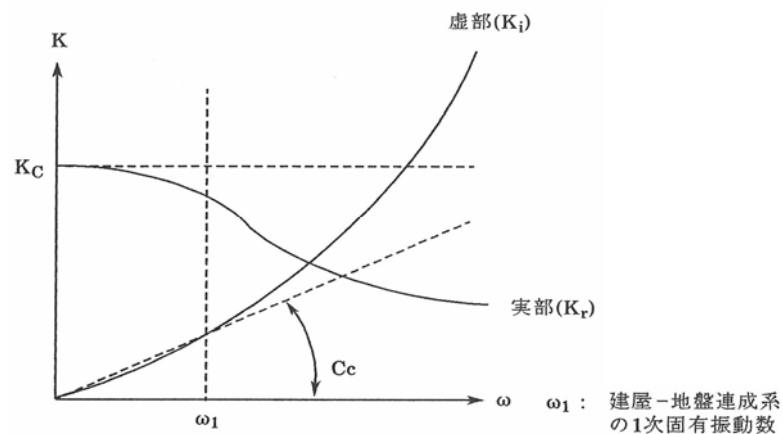


図-10 地盤ばねの近似

表-5 地震応答解析に用いるコンクリートの物性値

材料	設計基準強度 F_c (N/mm^2)	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 (%)
コンクリート	30	2.44×10^4	1.02×10^4	5

表-6 質点重量及び回転慣性重量

	重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^6 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$)	
		NS 方向	EW 方向
O.P. 44.85 m	74904	3.85	25.3
O.P. 33.85 m	108739	5.59	36.7

表-7 せん断断面積及び断面二次モーメント

	せん断断面積 (m^2)		断面二次モーメント (m^4)	
	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
O.P. 44.85 m ~ O.P. 34.6 m	38.8	105.5	4285	53300

表－8 地盤定数 (Ss-1_H地震時)

標高 O. P. (m)	地層	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	密度 γ (g/cm ³)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	初期 減衰定数 h ₀ (%)	Ss-1 _H 地震時		
								剛性 低下率 G/G ₀	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
33.1	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
30.3	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
24.1	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.63	165	8
1.9	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.77	263	3
－10.0	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－80.0	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.77	434	3
－108.0	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.75	490	3
－196.0	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	—	—	924	—

表－9 地盤定数 (Ss-2_H地震時)

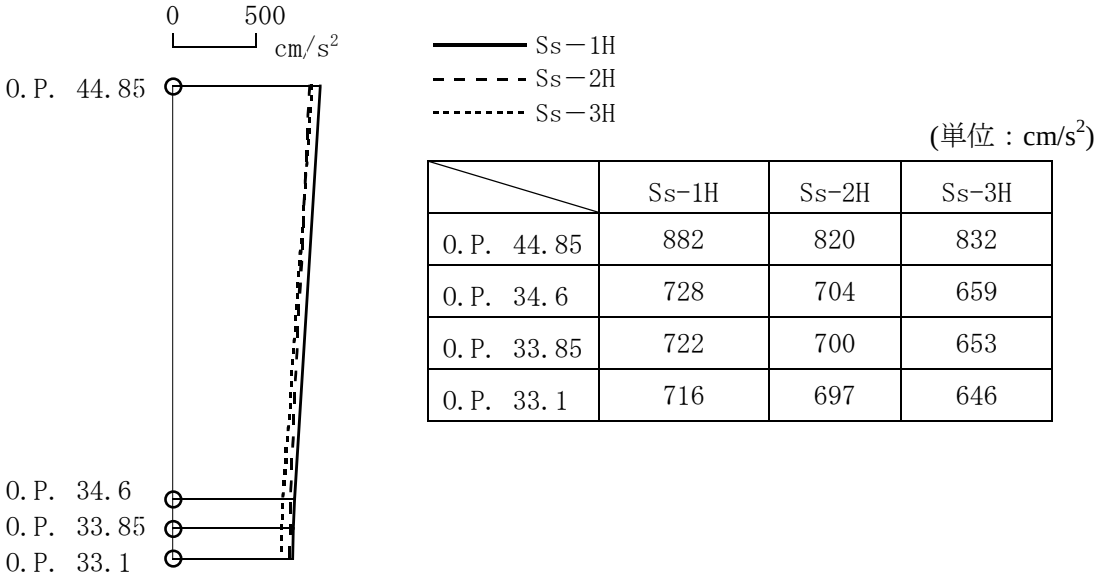
標高 O. P. (m)	地層	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	密度 γ (g/cm ³)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	初期 減衰定数 h ₀ (%)	Ss-2 _H 地震時		
								剛性 低下率 G/G ₀	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
33.1	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
30.3	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
24.1	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.64	168	8
1.9	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－10.0	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.78	340	3
－80.0	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.81	456	3
－108.0	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.81	529	3
－196.0	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	—	—	924	—

表－10 地盤定数（Ss-3_H地震時）

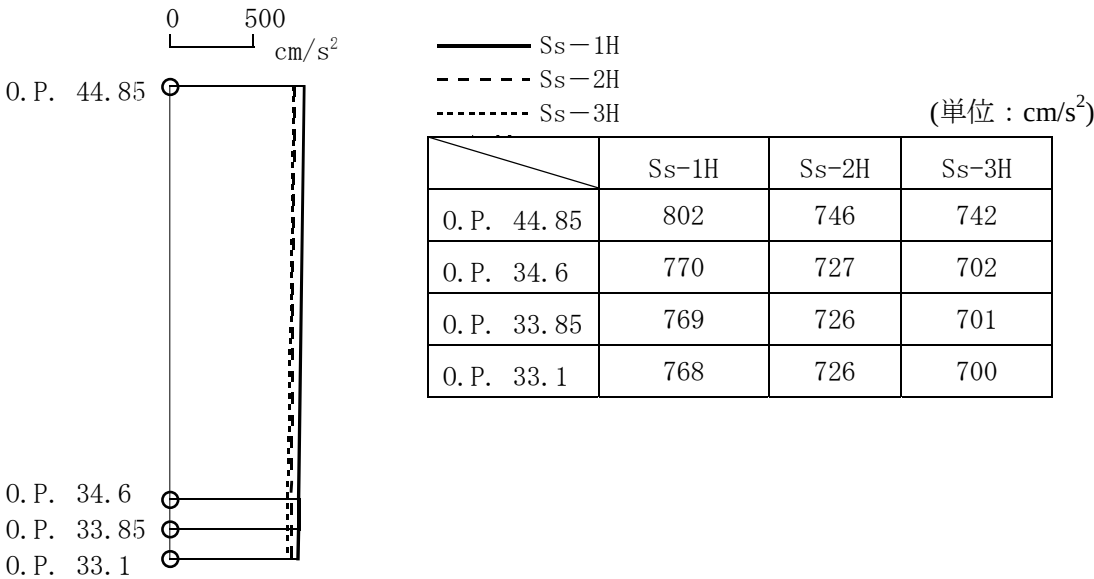
標高 O. P. (m)	地層	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	密度 γ (g/cm ³)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	初期 減衰定数 h ₀ (%)	Ss-3 _H 地震時		
								剛性 低下率 G/G ₀	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
33.1	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
30.3	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
24.1	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.66	173	7
1.9	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－10.0	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－80.0	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.73	411	3
－108.0	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.77	503	3
－196.0	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	—	—	924	—

1.2.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を図－ 1 1 及び図－ 1 2 に示す。



図－ 1 1 最大応答加速度 (NS 方向)



図－ 1 2 最大応答加速度 (EW 方向)

1.2.5. 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られたせん断応力を、鉄筋コンクリート壁の終局せん断応力と併せて表－１１に示す。これより、地震応答解析による応答せん断応力は鉄筋コンクリート耐震壁の終局せん断応力を下回っている。

また、地震応答解析により得られたせん断ひずみを、壁のひずみの許容限界目安値と併せて表－１２に示す。せん断ひずみは耐震設計技術規程に基づく許容限界の目安値（ $\gamma=2.0\times 10^{-3}$ ）に対して十分な安全裕度を有している。

以上のことから、Ss 地震に対する耐震安全性は確保されているものと評価した。

表－１１ せん断応力

	NS 方向		EW 方向	
	せん断応力*1 (N/mm ²)	終局せん断応力*2 (N/mm ²)	せん断応力*1 (N/mm ²)	終局せん断応力*2 (N/mm ²)
0. P. 44.85 ～0. P. 34.6	1.74	4.42	0.58	4.27

注記*1： Ss-1_H, Ss-2_H, Ss-3_H の応答の最大値を示す。

注記*2： 耐震設計技術規程に基づき、鉄筋コンクリート耐震壁のスケルトンカーブの終局時せん断応力 τ_u を示す。

表－１２ せん断ひずみ度

	NS 方向*1 ($\times 10^{-3}$)	EW 方向*1 ($\times 10^{-3}$)	許容限界の目安値 ($\times 10^{-3}$)
0. P. 44.85 ～0. P. 34.6	0.171	0.057	2.0

注記*1： Ss-1_H, Ss-2_H, Ss-3_H の応答の最大値を示す。

2. 設備棟の耐震性評価

2.1 設備棟の耐震 B クラスに対する評価

2.1.1. 評価方針

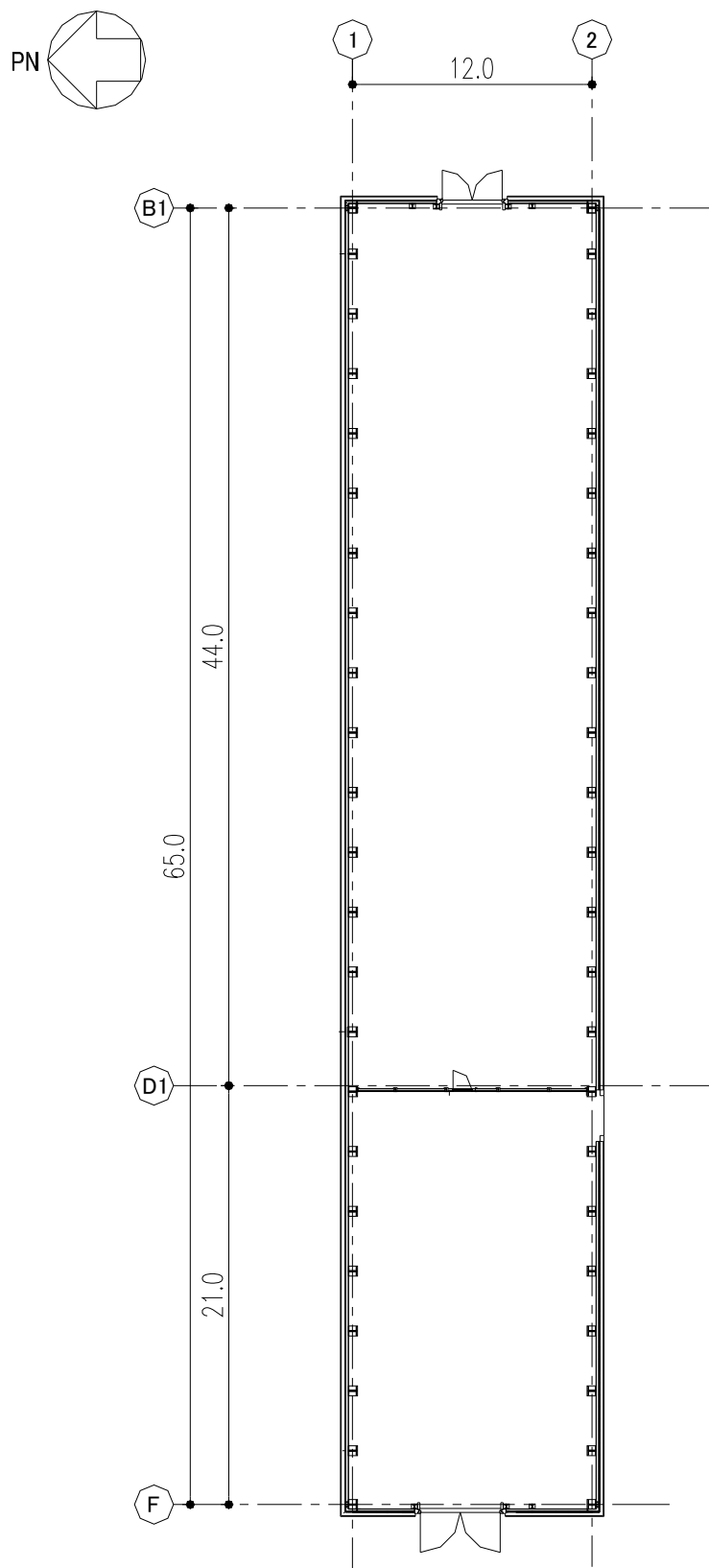
設備棟は、地上 1 階建で平面が 12.0m×65.0m の鉄骨造の建物である。基礎底面からの高さは 7.4m であり、地上高さは 6.6m である。

基礎スラブは厚さ 1.0m のべた基礎である。基礎スラブは、厚さ 3.3m の改良地盤を介して、N 値 20 以上の地盤に支持させる。設備棟の平面図及び断面図を図－13～図－16 に示す。

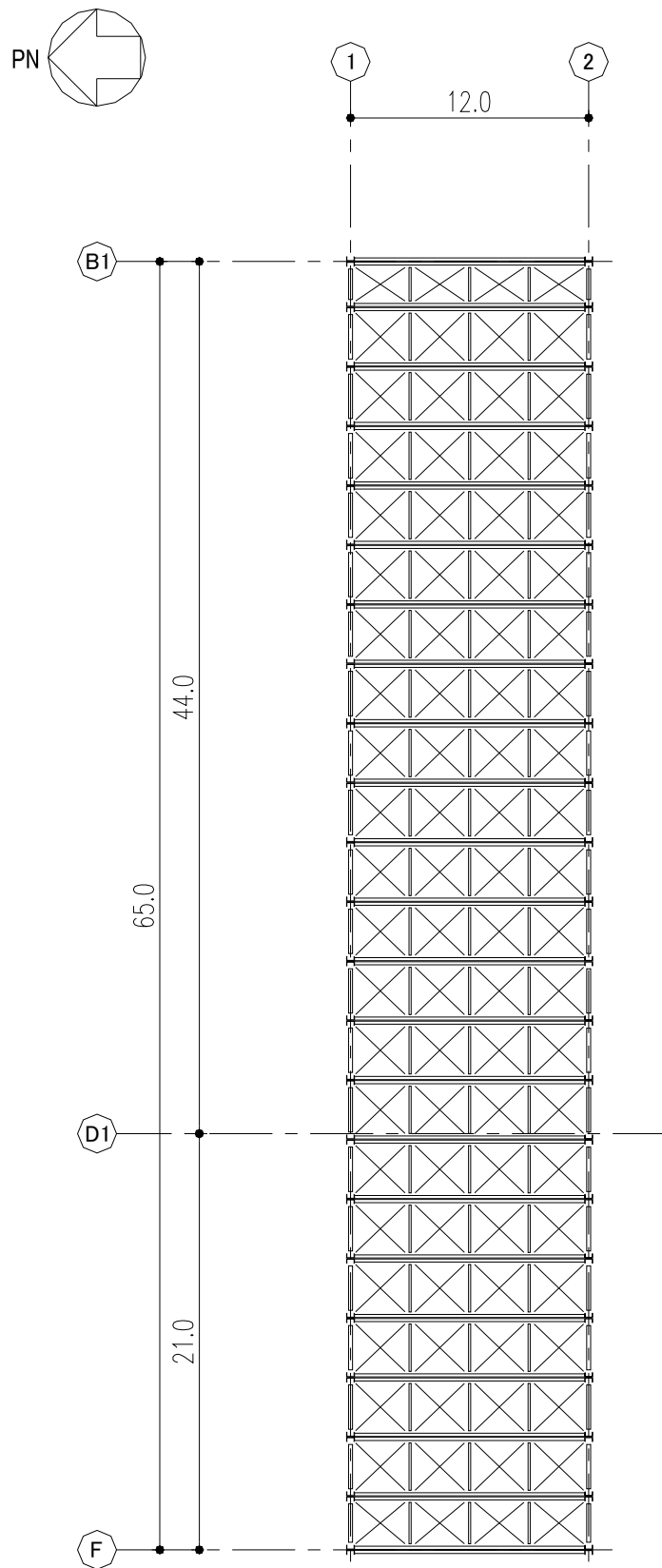
建屋の地震時の水平力に対して、NS 方向は純ラーメン構造、EW 方向はブレース構造とする。

耐震性の評価は、地上 1 階の層せん断力係数として 0.3 を採用した場合の該当部位の応力に対して行う。但し、断面算定に用いる地震荷重時応力は、余裕を見て設計用地震力に対する応力の 1.0/0.3 倍とする。（層せん断力係数 1.0 に相当）

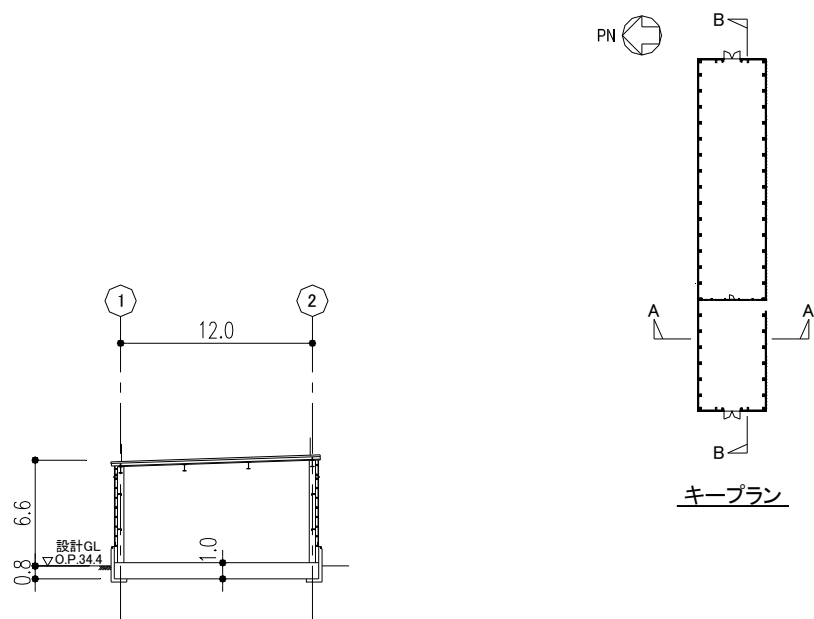
設備棟の評価手順を図－17 に示す。



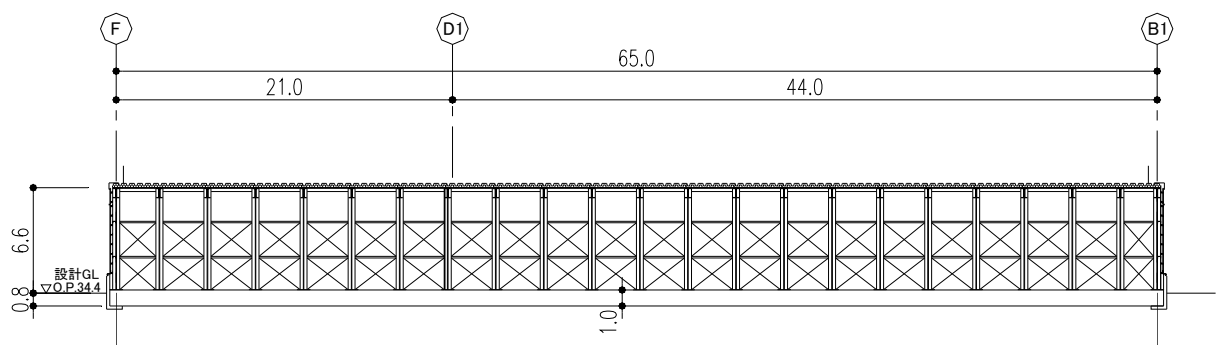
図－1 3 設備棟 建屋平面図 (0.P.34.6) (単位：m)



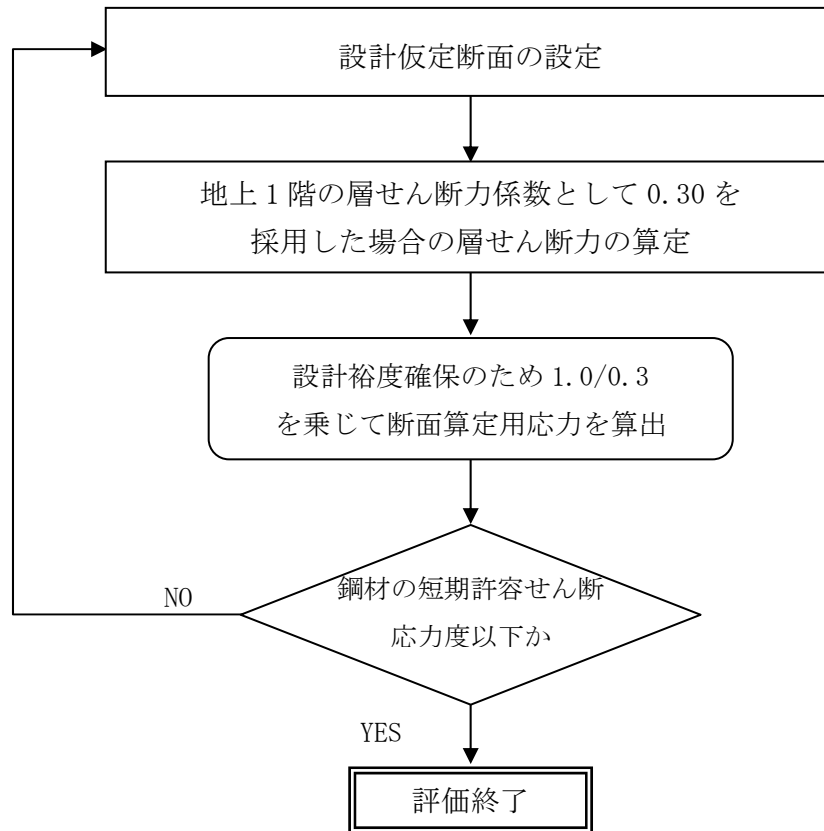
图一 1 4 設備棟 屋根平面図 (0. P. 41. 0) (単位 : m)



図－1 5 設備棟 A－A断面図（NS 方向）（単位：m）



図－1 6 設備棟 B－B断面図（EW 方向）（単位：m）



図－17 建屋の耐震安全性評価手順

2.1.2. 評価条件（検討に用いる層せん断力の設定）

層せん断力係数を 0.3 とした場合の層せん断力係数一覧を表－13に示す。評価に用いる材料の許容応力度を表－14に示す。

表－13 層せん断力係数一覧

O. P. (m)	W_i (kN)	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$ (K)		設計用地震力 (S_B) ($\times 10^2$ kN)	
		NS	EW	NS	EW
41.0～34.6	2,560	0.30		7.68	

表－14 構造用鋼材の許容応力度

(単位：N/mm²)

	板厚	材料	基準強度 F	許容応力度
構造用鋼材	$t \leq 40$ mm	SS400	235	「鋼構造設計規準」に従って左記Fの値により求める。
	$t \leq 40$ mm	SM490A SN490B	325	

2.1.3. 評価結果

NS 方向については、スパン方向の大梁及び柱を線材置換し、柱脚部にはその固定度を考慮した回転ばねを付したモデルにより部材応力を評価する。

EW 方向については、桁行方向の大梁、柱及びブレースを線材置換し、柱脚をピンとしたモデルにより部材応力を評価する。なお、ブレースは引張力に対してのみ有効とする。

検討により求められた鉄骨部材の応力を、短期許容応力度と比較して表－１５に示す。

表－１５ 鉄骨部材の応力と短期許容応力度

部 材	方向	応力 (N/mm ²)	短期許容応力度 (N/mm ²)	応力/許容応力度比
大梁	NS	55.5 (曲げ)	250 (曲げ)	0.22
柱	NS	69.8 (曲げ)	214 (曲げ)	0.34 (軸力と曲げの組み合わせ)
		3.85 (軸力 (圧縮))	292 (軸力 (圧縮))	
	EW	105.2 (曲げ)	325 (曲げ)	0.36 (軸力と曲げの組み合わせ)
		11.7 (軸力 (圧縮))	292 (軸力 (圧縮))	
ブレース	EW	149 (引張)	235 (引張)	0.64

これより、鉄骨部材に生じる応力は、短期許容応力度以下となっており、耐震安全性は確保されている。

2.2 設備棟の基準地震動 S_s に対する評価

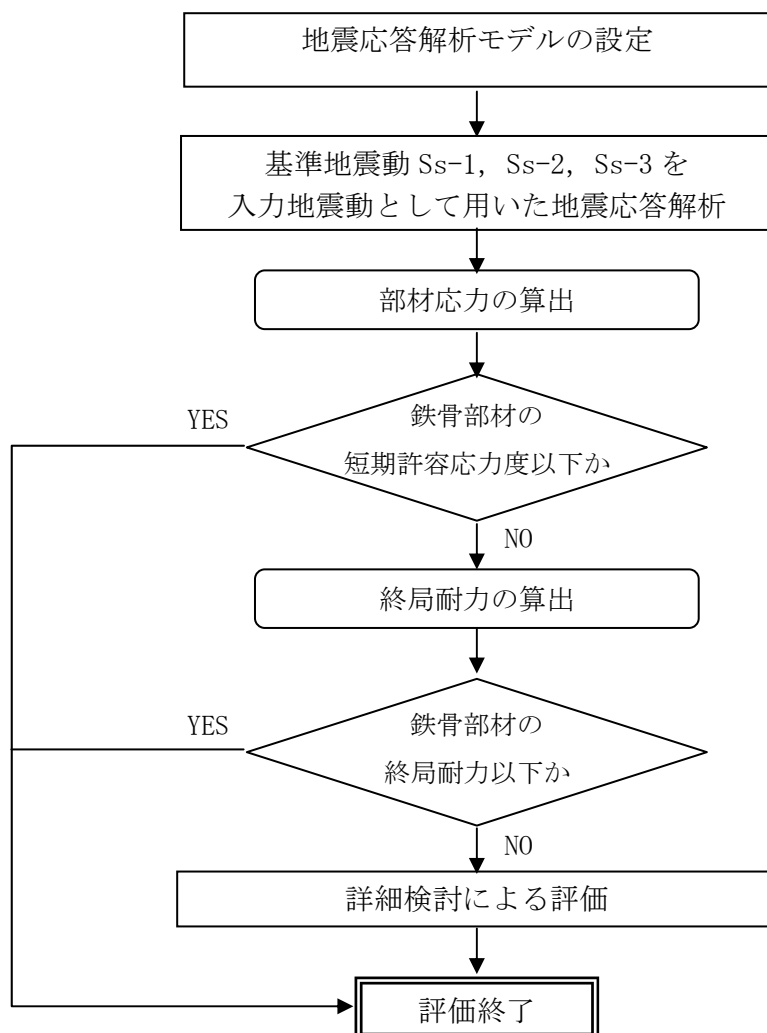
2.2.1. 解析評価方針

設備棟について、基準地震動 S_s による地震力に対し、崩壊しないことを確認する。

解析モデルは、基礎及び地上階について機器を含む建屋全域を NS 方向、EW 方向とも 1 軸質点系モデルとする。

鉄骨部材の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の応力に対して、鉄骨部材の終局耐力と比較することによって行う。終局耐力は、地震応答解析により得られた層間変形角も考慮して算定することとする。但し、部材応力が鋼材の短期許容応力度以下である場合は、終局耐力との比較を省略する。

設備棟の地震応答解析の評価手順を、図－18に示す。

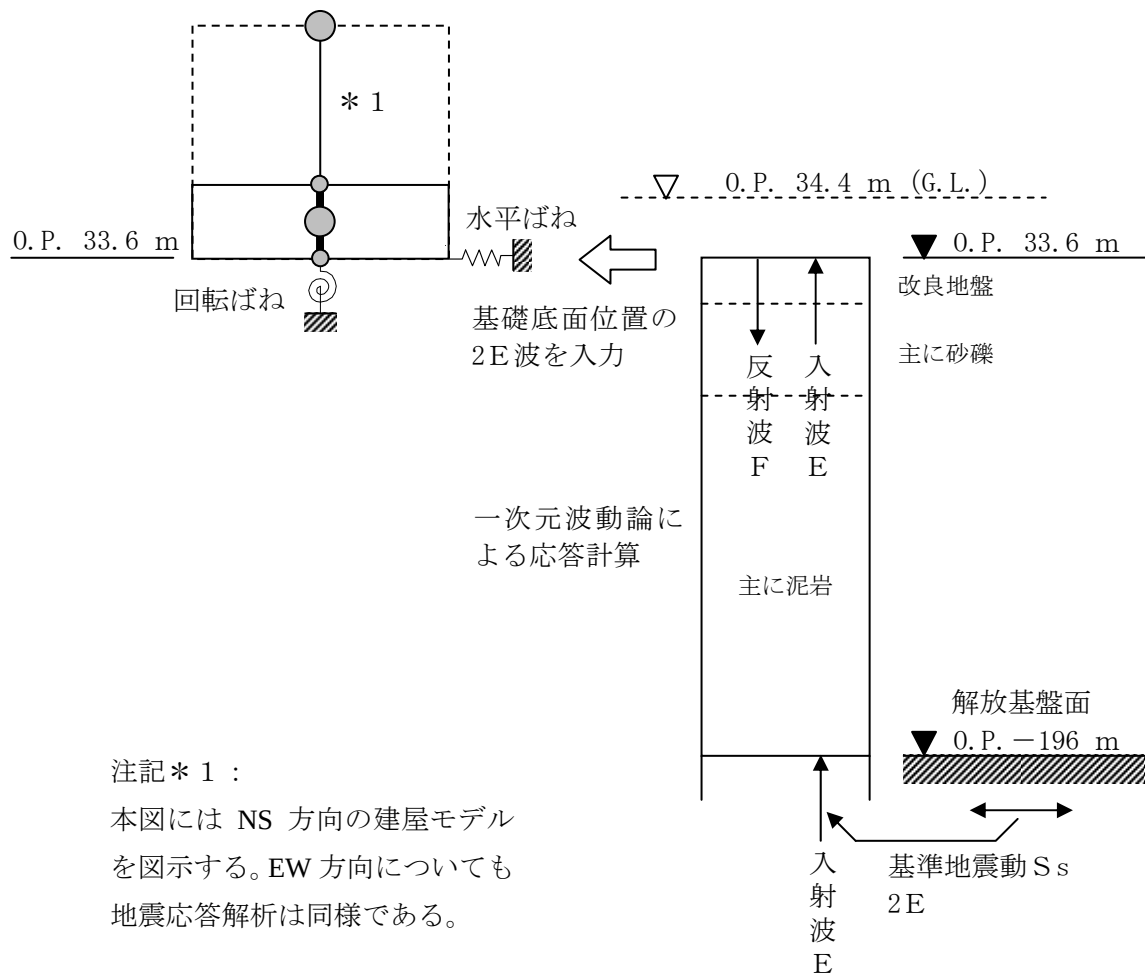


図－18 設備棟建屋の地震応答解析の評価手順

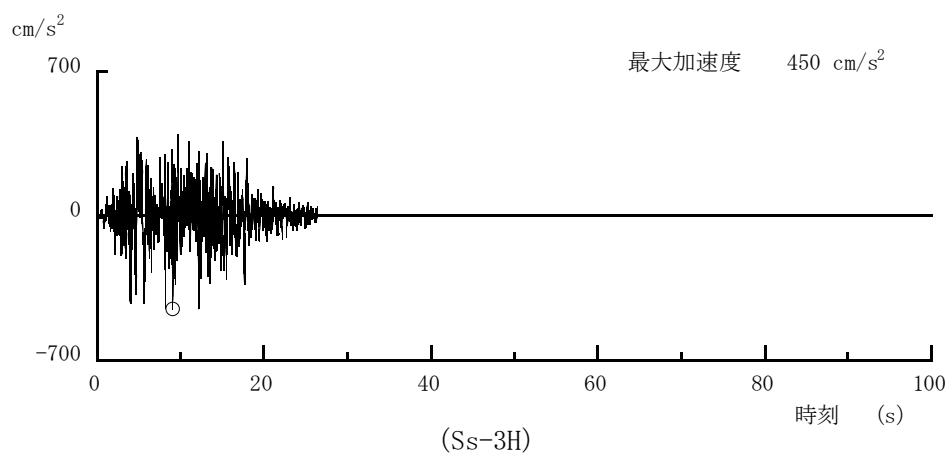
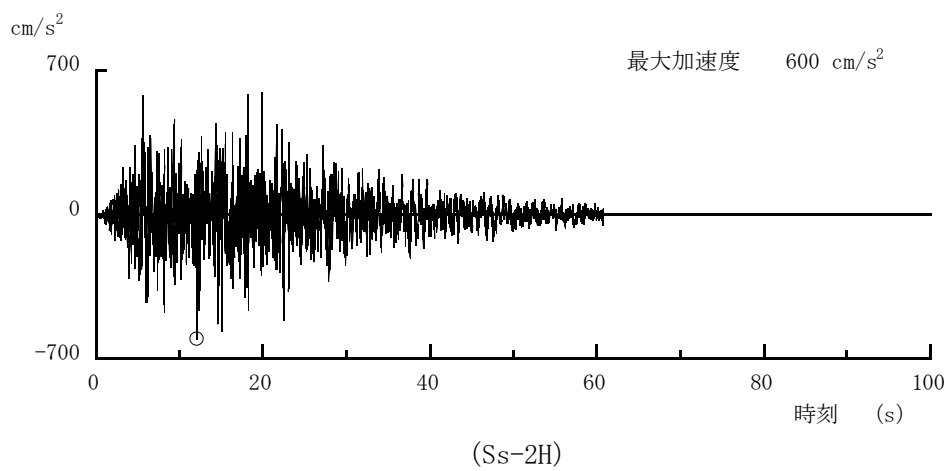
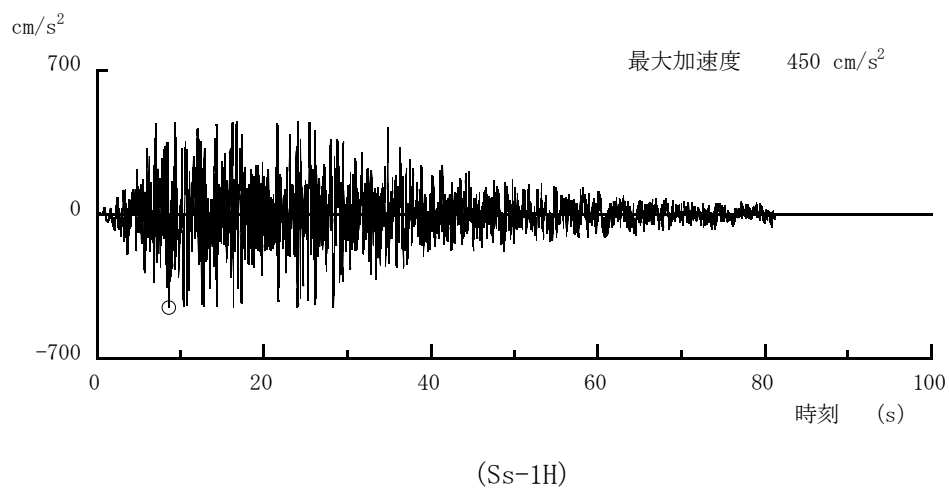
2.2.2. 解析に用いる入力地震動

設備棟建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（原管発官 19 第 603 号 平成 20 年 3 月 31 日付け）にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 S_s -1, S_s -2 及び S_s -3 を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図－19 に示す。この設備棟建屋の解析モデルは建屋－地盤相互作用を考慮したスウェイ・ロッキングモデルである。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。このうち、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 の加速度波形について、図－20 に示す。



図－19 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図



図－ 2 0 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）

2.2.3. 地震応答解析モデル

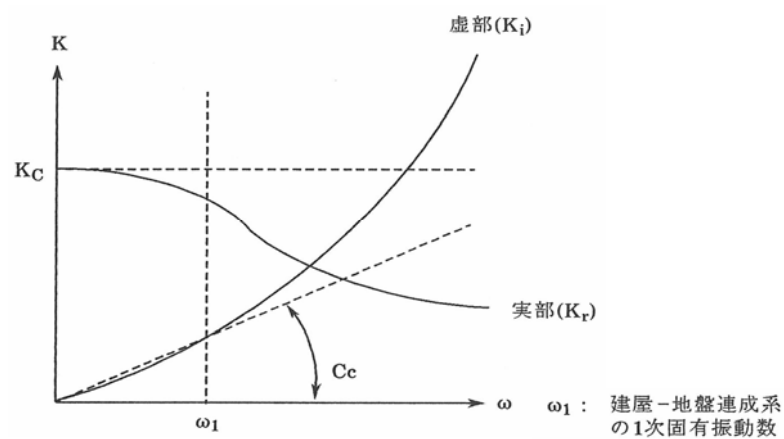
基準地震動 S_s に対する設備棟建屋の地震応答解析は、「2.2.2. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

水平方向の地震応答解析モデルは、図－21及び図－22に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばねによって評価される。解析に用いる鋼材の物性値を表－16に、建屋解析モデルの諸元を表－17～表－20に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表－21～表－23に示す。

水平方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、耐震設計技術規程に示された手法を参考にして、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的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図－23に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の1次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。



図－２３ 地盤ばねの近似

表－１６ 地震応答解析に用いる鋼材の物性値

材料	基準強度 F (N/mm ²)	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 (%)
構造用鋼材	325	2.05×10^5	7.90×10^4	2

表－１７ 質点重量及び回転慣性重量 (NS 方向)

	重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^4$ kN・m ²)
O. P. 40.5 m	2560	3.08
O. P. 34.1 m	25360	34.8

表－１８ 質点重量及び回転慣性重量 (EW 方向)

	重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^4$ kN・m ²)
O. P. 40.5 m	2170	76.4
O. P. 39.3 m	313	14.5
O. P. 36.965 m	414	19.1
O. P. 34.1 m	25023	903.0

表－１９ せん断断面積及び断面二次モーメント（NS 方向）

	せん断断面積* ³ （ $\times 10^{-2} \text{m}^2$ ）
0. P. 40.5 m～0. P. 34.6 m	0.94

注記*3： 建屋と水平剛性が等価な鋼材のせん断断面積。

表－２０ せん断断面積及び断面二次モーメント（EW 方向）

	せん断断面積* ⁴ （ $\times 10^{-2} \text{m}^2$ ）
0. P. 40.5 m ～ 0. P. 39.3 m	5.48
0. P. 39.3 m ～ 0. P. 36.965 m	5.29
0. P. 36.965 m ～ 0. P. 34.6 m	5.29

注記*4： 建屋と水平剛性が等価な鋼材のせん断断面積。

表－2 1 地盤定数（Ss-1_H地震時）

標高 O. P. (m)	地層	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	密度 γ (g/cm ³)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	初期 減衰定数 h ₀ (%)	Ss-1 _H 地震時		
								剛性 低下率 G/G ₀	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
33.6	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
30.3	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
24.1	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.63	165	8
1.9	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.77	263	3
－10.0	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－80.0	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.77	434	3
－108.0	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.75	490	3
－196.0	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	—	—	924	—

表－ 2 2 地盤定数 (Ss-2_H地震時)

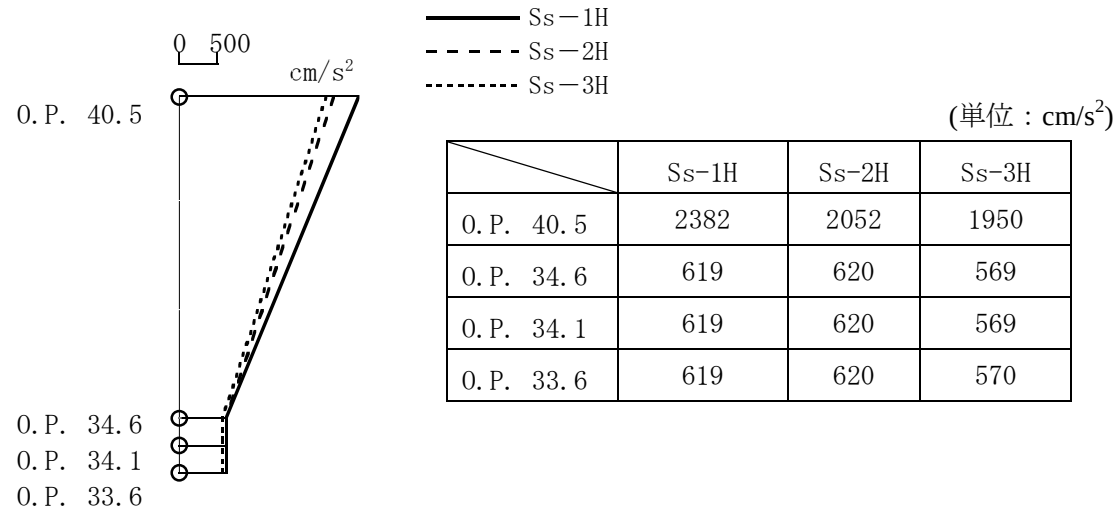
標高 O. P. (m)	地層	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	密度 γ (g/cm ³)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	初期 減衰定数 h ₀ (%)	Ss-2 _H 地震時		
								剛性 低下率 G/G ₀	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
33.6	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
30.3	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
24.1	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.64	168	8
1.9	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－10.0	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.78	340	3
－80.0	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.81	456	3
－108.0	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.81	529	3
－196.0	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	—	—	924	—

表－ 2 3 地盤定数 (Ss-3_H地震時)

標高 O. P. (m)	地層	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	密度 γ (g/cm ³)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G ₀ (N/mm ²)	初期 減衰定数 h ₀ (%)	Ss-3 _H 地震時		
								剛性 低下率 G/G ₀	せん断 弾性係数 G (N/mm ²)	減衰 定数 h (%)
33.6	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
30.3	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
24.1	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.66	173	7
1.9	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－10.0	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－80.0	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.73	411	3
－108.0	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.77	503	3
－196.0	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	—	—	924	—

2.2.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を図－2 4 及び図－2 5 に示す。



図－2 4 最大応答加速度 (NS 方向)

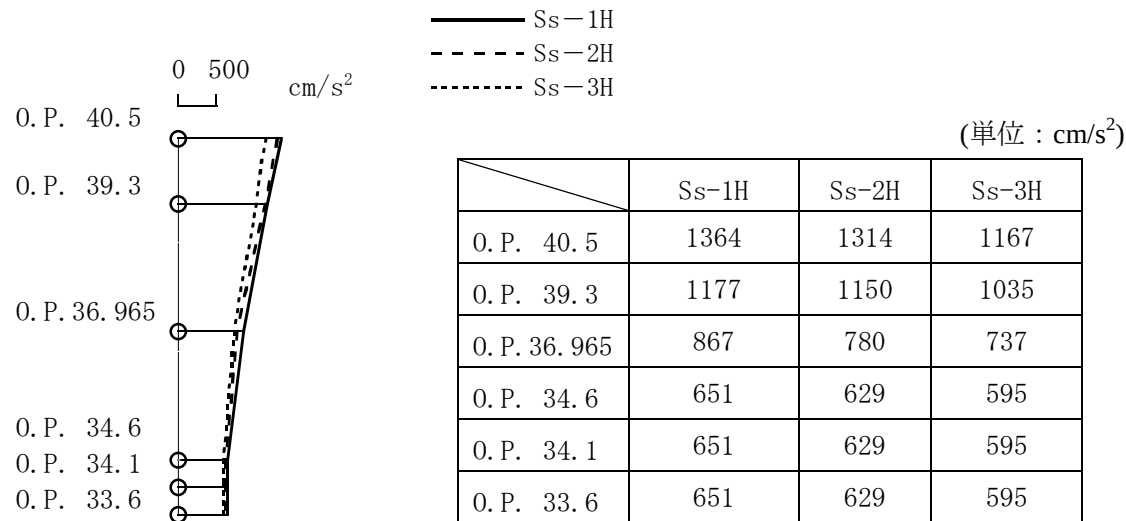


図-2 5 最大応答加速度 (EW 方向)

2.2.5. 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた部材応力を，鋼材の短期許容せん断応力度と併せて表－２４に示す。これより，地震応答解析による応力は短期許容応力度を下回っている。
以上のことから，Ss 地震に対する耐震安全性は確保されているものと評価した。

表－２４ 鉄骨部材の応力と短期許容応力度

部 位	方向	応力 (N/mm ²)	短期許容応力度 (N/mm ²)	応力/許容応力度比
大梁	NS	120 (曲げ)	250 (曲げ)	0.48
柱	NS	151 (曲げ)	214 (曲げ)	0.73 (軸力と曲げの 組み合わせ)
		6.31 (軸力 (圧縮))	292 (軸力 (圧縮))	
	EW	146 (曲げ)	325 (曲げ)	0.50 (軸力と曲げの 組み合わせ)
		16.0 (軸力 (圧縮))	292 (軸力 (圧縮))	
ブレース	EW	208 (引張)	235 (引張)	0.88

以上

汚染水処理設備等の具体的な安全確保策について

高レベル汚染水処理設備，貯留設備，使用済セシウム吸着塔保管施設，及び廃スラッジ貯蔵施設等は，高レベルの放射性物質を扱うため，漏えい防止対策，放射線遮へい・崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止，環境条件対策について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

1. 1. 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 滞留水移送装置は，耐食性を有するポリエチレン管の使用を基本とする。なお，耐圧ホースを使用する箇所は継手部にカムロック構造を採用し，継手部を番線で固縛すること等により，継手が外れない処置を実施する。また，屋外敷設箇所のうち重機による作業や車両の通行がある箇所は，滞留水移送装置を損傷させないための措置を実施する。
- b. セシウム吸着装置吸着塔，及び第二セシウム吸着装置吸着塔の容器は，腐食による漏えい発生を防止するために，耐腐食性，耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材の使用を基本とする。
- c. 除染装置のうち炭素鋼製の槽類の接液部は，腐食による漏えいを防止するために塗装による防錆処理を実施する。また，薬品注入装置のうち強酸性又は強アルカリ性の薬品を扱う箇所は，腐食等を防止するため塩化ビニル系やステンレス系の材料を用いる。さらに，凝集沈殿装置内の水は，強酸性や強アルカリ性とならないように管理する。
- d. 淡水化装置は，耐食性を有するポリエチレン管の使用を基本とする。なお，耐圧ホースを使用する箇所は継手部にフランジ構造を採用し，継手部を番線で固縛すること等により，継手が外れない処置を実施する。
- e. 高濃度滞留水受タンクは，漏えいし難いタンクを適用することとし，防災タンクとして使用され過去に漏えい実績の無いタンクを使用するとともに，タンク上部（気相部）のみに接続口を構造とする。また，十分な腐食代を確保し，タンク内外面に繊維強化プラスチック（FRP）塗装による防錆処理を実施する。FRP 塗装の健全性は，工場での塗装膜厚測定，ピンホール検査，並びに据付後に外観目視点検を実施する。
- f. 中低濃度タンクの内，フランジボルトによる接合により組み立てている円筒型タンクは，漏えいの発生する可能性が高い接合部に対して，毎年冬季の前にフランジボルトのトルク確認を実施する。また，漏えいが発生する可能性が高い接合部に対し，補修塗装等を実施する。

- g. 地下貯水槽は、2重の遮水シートとベントナイトシートの3重のシートにより止水を実施する。
- h. タンク・槽類には必要に応じて水位検出器を設け、オーバーフローを防止する。
- i. ポンプ（水中ポンプを除く）の軸封部は、漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 滞留水移送装置のうち屋外敷設箇所は、線量当量率の監視、巡視点検、並びに移送先の水位を監視することにより系外への漏えいの有無を確認する。屋外敷設箇所の継手部については、ゼオライト入りのビニール袋で覆い、万一継手部から滞留水が漏れた場合にも、セシウム等の核種をゼオライトに吸着させ、汚染の拡大防止を図る。また、漏えい時の系外放出の可能性を小さくする観点から、耐圧ホースは極力建屋内に敷設する。
- b. セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置は、スキッド内部もしくは床面に漏えい検知器を設置する。漏えい発生時はシールド中央制御室（シールド中操）に警報を発し、運転員が停止操作等の必要な措置を講ずる。また、巡視点検等で漏えいがないことを確認する。また、漏えいが発生した場合でも系外に放出させないため装置は建屋内に設置する。
- c. 除染装置は、周囲が高雰囲気線量下となり巡視点検が困難なことから、シールド中央制御室（シールド中操）等から監視カメラにより漏えい監視を実施する。また、漏えいが発生した場合でも系外に放出させないため装置は建屋内に設置する。
- d. 淡水化装置（逆浸透膜装置、蒸発濃縮装置）は、漏えいの早期検知のために床面に漏えい検知器を設置するとともに、漏えい発生時はシールド中央制御室（シールド中操）に警報を発し、運転員が停止操作等の必要な措置を講ずる。合わせて、巡視点検を実施し、漏えいがないことを確認する。また、淡水化装置を設置する仮設ハウス内には漏えい水の拡大防止のための堰を設置し、漏水防水機能を持たせるための塗装を行う。
- e. 高濃度滞留水受タンクは、難透水性の粘土層地盤に設置し、その周囲を遮へいのために盛土を実施する。タンクからの漏えい水は、粘土層と盛土の透水性の違いから粘土層界面を広げると想定されることから、高濃度滞留水受タンク周囲の粘土層に、タンクからの漏えい水を貯留、観測するための観測側溝を設置する。また、観測側溝を区切ることで、漏えいタンクの選定及び汚染範囲を確認できる設計とする。タンクへ貯留後は観測側溝内の水を分析することにより漏えいの有無を確認するとともに、シールド中央制御室（シールド中操）にて各タンクに設置するレベルスイッチの水位低下警報の監視を行う。
- f. 中低濃度タンクは、タンクからの漏えいを早期検知するためにタンク設置エリアに設置するカメラにて監視するとともに、巡視点検にて漏えいの有無を確認する。また、

漏えいの拡大を防止するために、円筒型タンクについてはコンクリート基礎部に鉄筋コンクリート堰、タンク設置エリア外周部に土堰堤等を設置するとともに、貯留中はタンク間にある連結弁を閉じる運用とする。

- g. 地下貯水槽は、3重シート間に漏えい検知器を設けるとともに、地下貯水槽に水位検出器を設け、漏えいの有無を監視する。また漏えいの拡大を防ぐため、3層目のシートに水分を吸収・膨潤することにより難透水性を示すベントナイトのシートを設置する。

1.2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

- a. 滞留水移送装置は、放射線業務従事者が接近する必要がある箇所は、鉛毛マット等による遮へいを設置する。
- b. 処理装置のうち、滞留水もしくは高濃度の廃水を扱う処理装置の配管は、直接、放射線業務従事者が近づく可能性のある箇所を対象に空間線量当量率が数 mSv/h 以下となるように遮へいを設置する。
- c. 淡水化装置（逆浸透膜装置、蒸発濃縮装置）の廃水には、ストロンチウムなどの β 線核種が集約されるため、廃水を直接扱う場合には適切な β 線防護策を実施する。
- d. 高濃度滞留水受タンクは、地中に埋設することにより満水保管時の地表面での線量を低減させる。

(2) 崩壊熱除去

- a. セシウム吸着装置吸着塔、及び第二セシウム吸着装置吸着塔内のゼオライトに吸着した放射性物質の崩壊熱は、処理水を通水することにより除熱する。なお、通水がない状態でも崩壊熱による温度上昇は1時間当たり約1℃である。
- b. 除染装置内の滞留水に含まれる放射性物質の崩壊熱は、通水により熱除去する。なお、通水がない状態でも、セシウム吸着塔、及び第二セシウム吸着塔内のゼオライトに吸着した放射性物質の崩壊熱による温度上昇未満である。

1.3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. セシウム吸着装置では、吸着塔内で水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。通水停止時は可燃性ガスが滞留する可能性があるため、吸着塔にベントを設け、ベント弁を手動で開操作して通気により排出する。なお、水の放射線分解により発生する可燃性ガスはわずかであり、ベント弁を開操作するまでに時間的余裕があることから、手動で実施する。排出された可燃性ガスは、建屋天井・床に設けた開口より建屋外へ排気する。

- b. セシウム吸着装置にて発生する使用済みの吸着塔は、可燃性ガスの発生抑制のため、使用済セシウム吸着塔仮保管施設において内部の水抜きを実施する。なお、吸着塔の内部水は、滞留水を貯留している高温焼却炉建屋の地下階に排出する。
- c. 第二セシウム吸着装置では、吸着塔内で水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。通水停止後は、吸着塔上部に設けたオートベント弁・ベント管を介して可燃性ガスを屋外に排出する。
- d. 第二セシウム吸着装置にて発生する使用済みの吸着塔は、可燃性ガスの発生抑制のため、内部の水抜きを実施する。なお、吸着塔の内部水は、滞留水を貯留している高温焼却炉建屋の地下階に排出する。
- e. 除染装置の塔槽類の気相部は、可燃性ガスが滞留する可能性があることから、排風機により大気へ放出する。排風機のラインには、高性能粒子フィルタ、ヨウ素吸着フィルタを設けており、気相に含まれている放射性物質を捕獲する。さらに、ダストサンブラ等により、必要に応じて放射性物質濃度を測定する。
- f. 高濃度滞留水受タンクでは、タンク内で水の放射線分解により発生する可燃性ガスの滞留を防止するためにベントラインを設置し、フィルタを介してベントラインから排出する。

1.4. 環境条件対策

(1) 腐食

海水による炭素鋼の腐食速度は、「材料環境学入門」（腐食防食協会編，丸善株式会社）より，0.1mm/年程度と評価される。一方，炭素鋼を使用している配管・機器は，必要肉厚に対して十分な肉厚があり腐食代を有していることを確認している。

セシウム吸着装置吸着塔，及び第二セシウム吸着装置吸着塔は，耐腐食，耐応力腐食割れを有する SUS316L 材を用いている。

なお，高濃度の滞留水を扱う機器は，建屋内に設置しており，腐食により万一漏えいが生じたとしても所外に放出するようなことはない。

(2) 熱による劣化

滞留水の温度は，ほぼ常温のため，金属材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

滞留水を移送している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。

滞留水の移送を停止した場合，屋外に敷設されているポリエチレン管等は，凍結による破損が懸念される。そのため，高濃度の滞留水を移送している屋外敷設のポリエチレン管等に保温材等を取り付ける。

(4) 生物汚染

滞留水移送装置の移送ポンプの取水口には、メッシュを設けており、大きな藻等がポンプ内に浸入して機器を損傷させるようなことはない。

また、滞留水を移送している上では有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。ただし、異常な速度で腐食が進み漏えいが生じた場合において、微生物腐食が原因であると判明すれば、生物汚染を考慮した対策を講じる。

(5) 耐放射線性

耐圧ホースの構造部材であるポリ塩化ビニルの放射線照射による影響は、 $10^5 \sim 10^6 \text{Gy}$ の集積線量において、破断時の伸びの減少等が確認されている。過去の測定において、2号機タービン建屋の滞留水表面上の線量当量率が 1Sv/h であったことから、耐圧ホースの照射線量率を 1Sv/h と仮定すると、集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間（11.4 年）と評価される。そのため、耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響により大きく劣化することはない。

ポリエチレンは、集積線量が $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に達すると、破断時の伸びが減少する傾向を示すが、上記と同様にポリエチレン管の照射線量率を 1Sv/h と仮定すると、 $2 \times 10^5 \text{Gy}$ に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため、ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはない。

(6) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管には、紫外線による劣化を防止するためのフィルム等で覆う処置を実施する。なお、これより直接状態を監視することができなくなるが、劣化の程度等については、放射線レベルの低いポリエチレン管を監視することで評価していく。

2. 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

2.1. 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔及び第二セシウム吸着装置吸着塔は、吸着塔内の水を抜いた状態で貯蔵することにより、漏えいの発生を防止する。また、セシウム等の主要核種は、吸着塔内のゼオライトに化学的に吸着させ、吸着塔内の放射性物質が漏えいし難い構造とする。さらに、吸着塔の容器は、耐腐食性、耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材を採用する。
- b. 使用済みの吸着材を収容する高性能容器は、脱水装置により脱水し、水を抜いた状態で貯蔵することにより、漏えいの発生を防止する。さらに高性能容器は、水に耐性を

有するポリエチレン製を使用する。

- c. 沈殿処理生成物を収容する高性能容器は、水分を抜かずに貯蔵するが、耐腐食性、耐久性、耐放射線性、耐薬品性を有するポリエチレン製の容器とし、腐食による放射性物質の漏えいを予防する。
- d. 使用済みの吸着材を収容する処理カラムは、内部の水を抜いた状態で貯蔵することにより、漏えいの発生を防止する。さらに、処理カラムの容器は、耐腐食性、耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材を使用する。
- e. 造粒固化体貯槽 (D) は、プロセス主建屋と一体のピット構造となっているため、建屋外への漏えいの可能性は低いが、念のため漏えい防止策としてコンクリート保護材を塗布し、漏えいの発生を予防する。
- f. 廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽は、貯留水の塩分による腐食を考慮し、十分な肉厚を有する貯槽を使用し漏えいの発生を予防する。
- g. 造粒固化体貯槽 (D)、廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽には水位検出器を設け、オーバーフローを防止する。
- h. 廃スラッジ一時保管施設のポンプ（水中ポンプを除く）軸封部は、漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち高性能容器を保管するボックスカルバートは、床との設置面をモルタルにて閉塞し、ボックスカルバート底部の水抜き穴も閉塞することにより、漏えい水がボックスカルバート外に拡大することを防止する。
- b. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち高性能容器を保管する部分の外周部には堰を設置し、漏えい発生時には排水用の堰の隙間を土のうで塞ぐことにより、外部への漏えいの拡大を防止する。
- c. 造粒固化体貯槽 (D) は、液位をシールド中央制御室（シールド中操）にて監視することで貯蔵しているスラッジの漏えいの有無を監視する。
- d. 廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽は、スラッジ貯槽下部にドリフトトレイ及び漏えい検知器を設け、漏えいを検知するとともに、スラッジ貯槽の液位をシールド中央制御室（シールド中操）で監視する。また、スラッジ貯槽は漏えいの拡大を防止するためにコンクリート製の囲い（セル）の中に設置する。なお、漏えいが発生した場合は漏えいしたスラッジ貯槽内のスラッジは予備のスラッジ貯槽に移送する。

2.2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

- a. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔は、炭素鋼製の遮へい容器及びコンクリート製ボックスカルバートにより放射線を遮へいする。

- b. 使用済みの第二セシウム吸着装置吸着塔は、鉛等を充填した炭素鋼製の遮へい容器により放射線を遮へいする。
- c. 多核種除去設備から発生する使用済みの高性能容器は、使用済セシウム吸着塔一時保管施設にてコンクリート製ボックスカルバートにより放射線を遮へいする。
- d. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設ではスカイシャイン対策としてコンクリート製の蓋を被せる。
- e. 廃スラッジ一時保管施設はスラッジ貯槽からの放射線を遮へいし、建屋外壁での線量当量率が 1mSv/h となるように、スラッジ貯槽を囲うコンクリート厚さ、及び建屋のコンクリート厚さを設定する。

(2) 崩壊熱除去

- a. セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の使用済み吸着塔は、吸着塔内の放射性物質による崩壊熱を、対流、輻射、伝導により大気へ放出する設計とする。
- b. セシウム吸着装置吸着塔の崩壊熱による温度上昇は、コンクリート製ボックスカルバートに納入しない場合、保管時における定常状態での吸着塔中心部の温度は約 360℃となる。また、コンクリート製ボックスカルバートの保温性を考慮した場合、吸着塔中心部の温度は 377℃、炭素鋼製遮へい容器の温度は約 62℃となるが、ゼオライトの健全性（吸着材は 600℃程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉄の遮へい性能に影響を与えるものではない。
- c. 第二セシウム吸着装置吸着塔の崩壊熱による温度上昇は、保管時における定常状態での吸着塔中心部の温度は 450℃となるが、ゼオライトの健全性（吸着材は 600℃程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉛等の遮へい性能に影響を与えるものではない。
- d. 高性能容器及び処理カラムは、容器内の放射性物質による崩壊熱を、対流、輻射、伝導により大気へ放出する設計とする。
- e. 造粒固化体貯槽(D)は、貯槽内部に設置した熱交換器と屋外に設置した空冷チラーによりスラッジに含まれる放射性物質の崩壊熱を除去することで、貯槽内温度を 25℃程度に管理する設計とする。
- f. 廃スラッジ一時保管施設では、造粒固化体貯槽(D)での運用実績からスラッジから発生する崩壊熱を自然放熱により除去する設計とする。また、バブリング管もしくはウォータージェットによりスラッジを攪拌することにより、崩壊熱の集中化を防止する。

2.3. 可燃性ガスの滞留防止

- a. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔、第二セシウム吸着装置吸着塔、及び処理カラムは、可燃性ガスの発生を抑制するために、内部の水抜きを行い保管する。水抜き完了後はベントを空けた状態で保管することにより、可燃性ガスを大気へ放出する設計と

する。

- b. 使用済みの高性能容器は、可燃性ガスの滞留を防止するために圧縮活性炭高性能フィルタを介したベント孔を設け、可燃性ガスを大気に放出する。
- c. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔及び高性能容器を収容するコンクリート製ボックスカルバートの蓋には、内部で可燃性ガスが滞留しないように通気口を設ける。
- d. 造粒固化体貯槽(D)では、貯蔵水の放射線分解により発生する可燃性ガスは、除染装置に設置されている排風機により大気へ放出する。
- e. 廃スラッジ一時保管施設では、貯蔵水の放射線分解により発生するガスは貯槽内に圧縮空気を供給することにより、オフガス処理系を介して大気に放出する。

2.4. 環境条件対策

(1) 腐食

使用済セシウム吸着塔保管施設で貯蔵するセシウム吸着装置吸着塔、第二セシウム吸着装置吸着塔、多核種除去設備の処理カラムは、内部の水を抜いた状態で保管し、容器に耐腐食性、耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材を用いている。また、高性能容器は、耐久性、耐薬品性に優れたポリエチレン材を用いている。

スラッジ貯槽は、想定される腐食速度 0.25mm/年に対して肉厚 25mm を有しており、十分な腐食代を有している。

(2) 熱による劣化

吸着塔中心温度が高い第二セシウム吸着装置吸着塔においても、容器外周部の最大温度は約 160℃であり、金属材料に有意な特性変化は生じない。

(3) 凍結

造粒固化体貯槽(D)は、万一凍結したとしても、気相部を有しているため膨張が問題となることはない。

また、廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽は、スラッジ棟の換気設備により暖房されるため凍結することはない。

(4) 生物汚染

使用済セシウム吸着塔保管施設で貯蔵するセシウム吸着装置吸着塔、第二セシウム吸着装置吸着塔、多核種除去設備の処理カラムは、内部の水を抜いた状態で保管するため、生物汚染が問題となることはない。

造粒固化体貯槽(D)は内面にコンクリート保護材を塗布しており、微生物腐食は発生しない。

スラッジ貯槽は高線量下なので微生物の影響はないと考えられる。ただし、異常な

速度で腐食が進み漏えいが生じた場合において、微生物腐食が原因であると判明すれば、生物汚染を考慮した対策を講じる。

(5) 紫外線

使用済セシウム吸着塔保管施設にて貯蔵する高性能容器は、ポリエチレン製であり、紫外線による劣化が懸念される。そのため、保管施設に収容後はコンクリート製の蓋を設置する。

以上

セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の吸着塔の温度評価

1. 概要

滞留水の処理に伴い、セシウム吸着装置と第二セシウム吸着装置からは使用済セシウム吸着塔、多核種除去設備からは使用済みの高性能容器及び処理カラムが発生する。これらは使用済セシウム吸着塔仮保管施設、及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に保管するが、高濃度の放射性物質を内包していることから崩壊熱による温度上昇を評価し、その吸着塔の機能への影響について確認を行う。

2. セシウム吸着装置吸着塔の温度評価

2.1 評価方法

使用済セシウム吸着塔一時保管施設で保管する際の吸着塔中心温度及び遮へい体の最高温度について評価を行う。

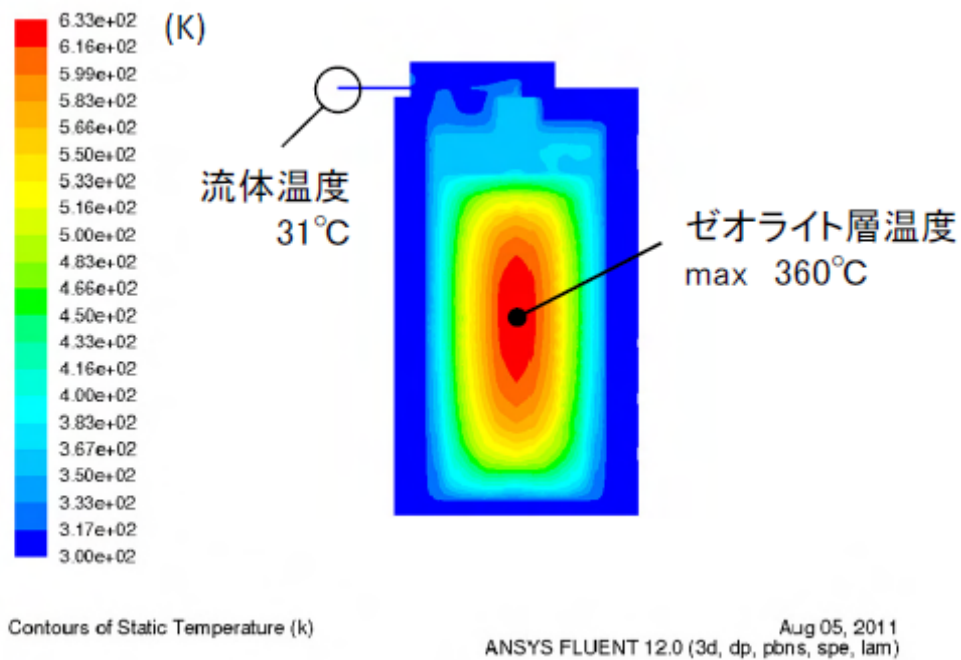
大気への放熱が定常になる際の吸着塔中心部温度は、解析コード FLUENT Ver. 12 を用いて三次元定常解析により計算する。なお評価条件は、発熱量をスキッド表面線量率の上限である 4mSv/h の際のセシウム吸着 (2×10^{15} Bq/塔) による発熱量に相当する 583W とし、遮へい表面温度を 40℃とする。

また、一時保管施設では、コンクリート製ボックスカルバート内に保管されるため、コンクリートによる保温により吸着塔温度が上昇する可能性があるため、上記と同様に解析コード FLUENT Ver. 12 を用いて三次元定常解析により計算する。

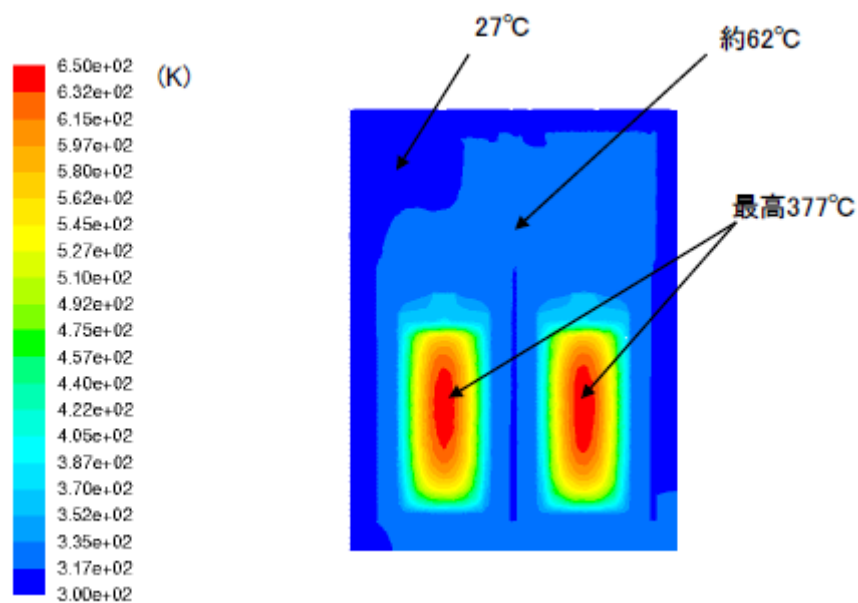
2.2 評価結果

大気への放熱が定常になる際の吸着塔中心部温度は、360℃と評価された。計算による温度分布を図－1に示す。また、ボックスカルバートにより保温された場合の吸着塔の温度は、外気温度を 27℃とすると、塔あたりの発熱量が 583W の場合、吸着塔中心温度は 377℃、遮へい体の最高温度は約 62℃と評価された。計算結果を図－2に示す。

そのため、吸着塔内での発熱はゼオライトの健全性（吸着材は 600℃程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉄の遮へい性能に影響を与えるものではない。



図ー 1 3次元解析計算によるセシウム吸着装置吸着塔の温度分布



図ー 2 ボックスカルバート内のセシウム吸着装置吸着塔の温度分布

3. 第二セシウム吸着装置吸着塔の温度評価

3.1 評価方法

使用済セシウム吸着塔一時保管施設で保管する際の吸着塔中心温度の最高温度について評価を行う。

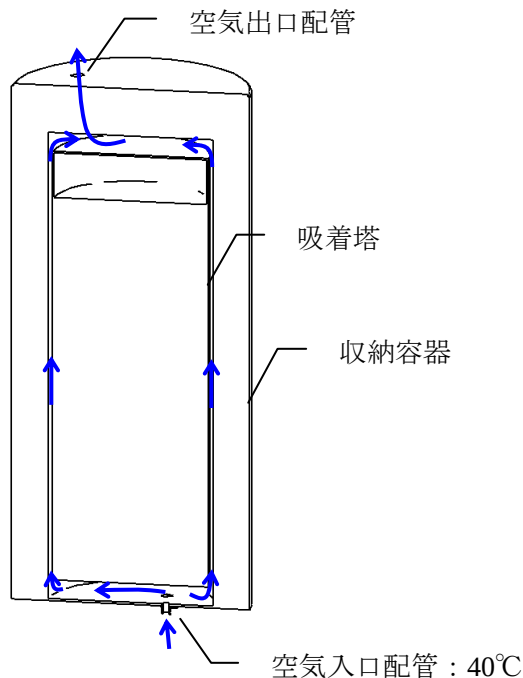
第二セシウム吸着装置の吸着塔は使用済セシウム吸着塔一時保管施設では図－3に示すように鉛遮へい体を含む収納容器内に保管される。収納容器上下には配管があり、内部空気温度が上昇して対流が発生することで外気が入口配管から流入し、吸着塔側面で上昇流となり、出口配管から流出する。これにより吸着塔は空気其自然通風で除熱される。また、収納容器外表面は空気其自然対流で除熱される。

吸着塔の温度は、セシウム吸着 ($6 \times 10^{15} \text{Bq/塔}$) による発熱量、外気温度を 40°C と仮定し、STAR-CD Ver4.08 を用いて三次元解析により求めた。

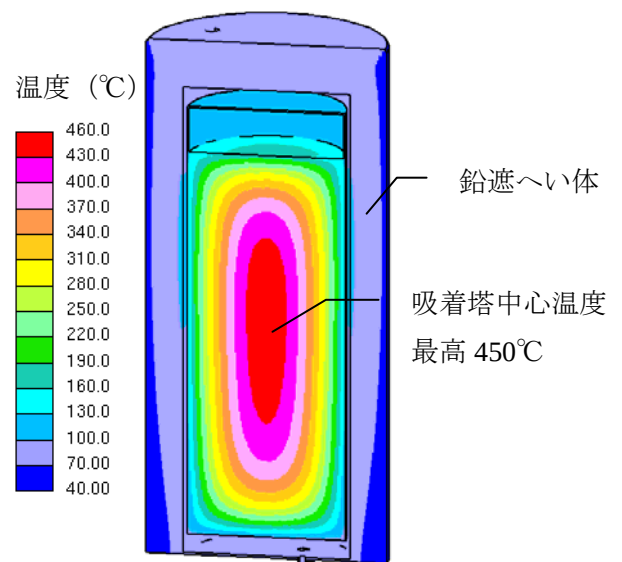
3.2 評価結果

大気への放熱が定常になる際の吸着塔中心部温度は 450°C と評価された。計算による温度分布を図－4に示す。

そのため、吸着塔内での発熱はゼオライトの健全性（吸着材は 600°C 程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉛の遮へい性能に影響を与えるものではない。



図－3 吸着塔と収納容器隙間の自然通風空気の流れ



図－4 三次元解析による第二セシウム吸着装置吸着塔の温度分布

廃スラッジ一時保管施設の崩壊熱評価

廃スラッジ貯蔵施設に貯蔵されるスラッジの崩壊熱については、これまでの水処理設備の運転実績を踏まえて、セシウム吸着装置－凝集沈殿除染装置の順列での処理を想定して評価を行った。

別添に示す評価フローに基づいて評価した結果、廃スラッジの発熱密度は表－ 1 の通りと評価された。

表－ 1 廃スラッジの発熱密度の評価結果

評価項目	評価結果	備考
廃スラッジ量	90 (m ³)	廃スラッジ貯蔵施設内に設置される貯槽 1 基あたりの容量
放射能濃度	3.4×10^8 (Bq/mL)	
発熱密度	3.8×10^{-5} (W/mL)	

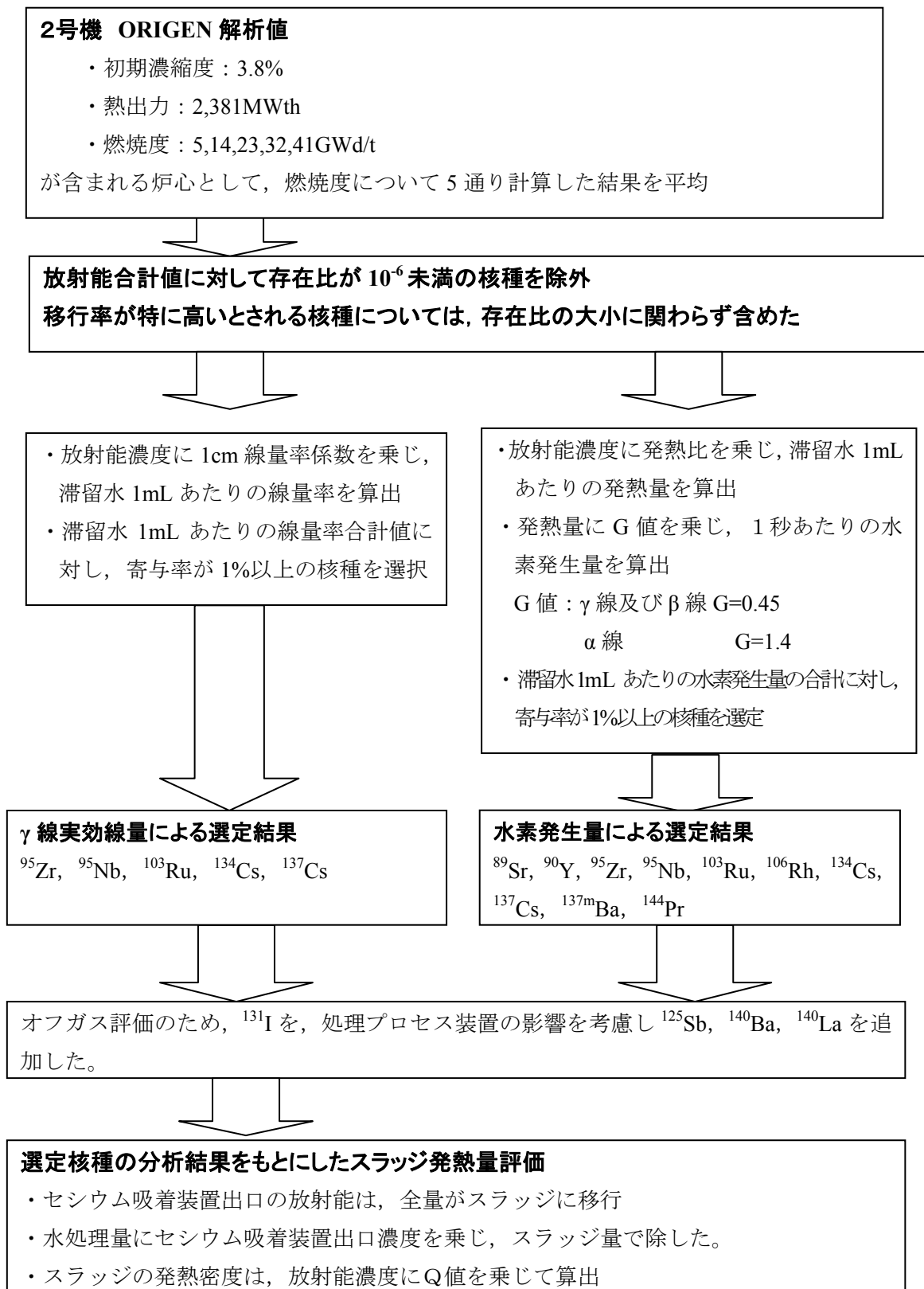
この発熱密度を踏まえて崩壊熱量を算出し、貯槽表面からの放熱及びふく射による除熱量と崩壊熱量が平衡に達する温度を評価した。その結果を表－ 2 に示す。

表－ 2 崩壊熱量と放熱量が平衡となる貯槽温度の評価結果（貯槽 1 基あたり）

評価項目	評価結果	備考
発熱密度	3.8×10^{-5} (W/mL)	
貯槽容量	90 (m ³)	
崩壊熱量	3.42 (kW)	
放熱面積	100 (m ²)	
熱伝達係数	5.46 (W/ m ² K)	自然対流による熱伝達とふく射による熱伝達から算出
雰囲気温度	40 (°C)	機器発熱等を考慮した夏季のセル給気温度に対応するセル排気温度より設定
崩壊熱量と除熱量が平衡となる貯槽温度	46.3 (°C)	

以上の結果から、崩壊熱量と除熱量が平衡となる貯槽温度は雰囲気温度より数℃程度の上昇で平衡になると評価され、廃スラッジから発生する崩壊熱は自然放熱（貯槽表面からの放熱及びふく射による除熱）で除去することができるものと確認された。

以 上



図－1 スラッジ崩壊熱算定の流れ

廃スラッジ一時保管施設の遮へい設計

廃スラッジ一時保管施設に保管される廃スラッジから放出される放射線について建屋外表面で 1mSv/h 以下となるよう建屋要求壁厚を評価する。

1. 評価条件

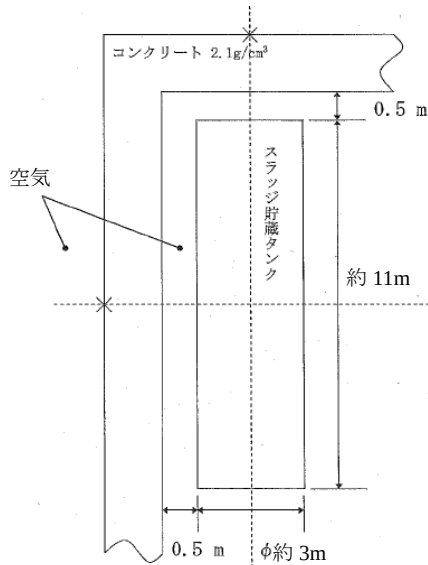
評価にあつては、発生する廃スラッジの元となる廃水に対して、ORIGEN 計算値をもとに想定される組成を求め、核種ごとに γ 線実効線量率に対する比率を算出し、寄与率の高いものを評価対象核種として選定した。選定された核種及び放射能濃度、線源強度は表－1 に示す通り。遮へい体はコンクリートであり、その密度は 2.1g/cm^3 とした。

評価モデルは、 90m^3 のスラッジ貯槽を円柱で模擬し、線源となるスラッジ貯槽と建屋壁との距離を保守的に 50cm とした（図－1）。

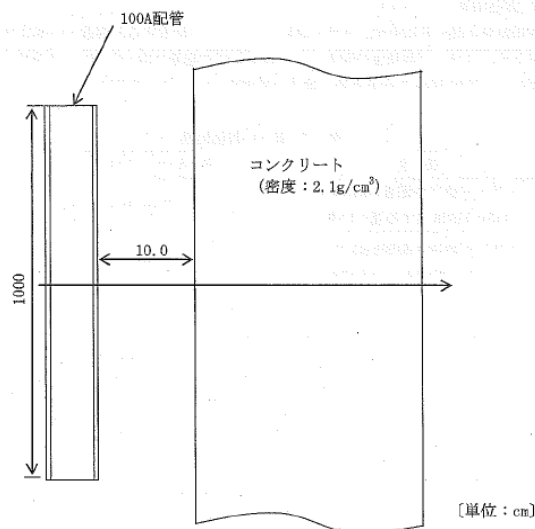
また、スラッジ貯槽のほかにスラッジが内包される機器として移送配管が建屋内にあるため、その配管を対象とした評価も行う。建屋内の配管の口径はいくつかの種類があることから、線源として保守的になるよう 100A 配管で 1m 長さとし、配管と建屋壁との距離を保守的に 10cm とした（図－2）。

表－1 選定された核種及び放射能濃度、線源強度

核種	^{89}Sr , ^{90}Y , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Rh , ^{125}Sb , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , $^{137\text{m}}\text{Ba}$, ^{140}Ba , ^{140}La , ^{144}Pr
上澄液放射能濃度（合計）	$5.4 \times 10^4 \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$
スラッジ放射能濃度（合計）	$1.1 \times 10^9 \text{ (Bq/cm}^3\text{)}$
上澄液線源強度（合計）	$1.2 \times 10^4 \text{ (MeV/sec)}$
スラッジ線源強度（合計）	$7.0 \times 10^8 \text{ (MeV/sec)}$



図－１ 廃スラッジ一時保管施設 建屋外壁評価モデル

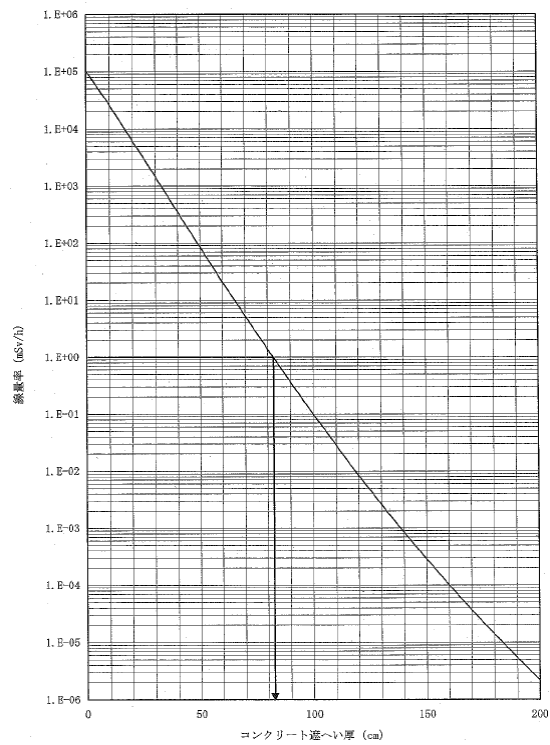


図－２ 配管遮へい評価モデル

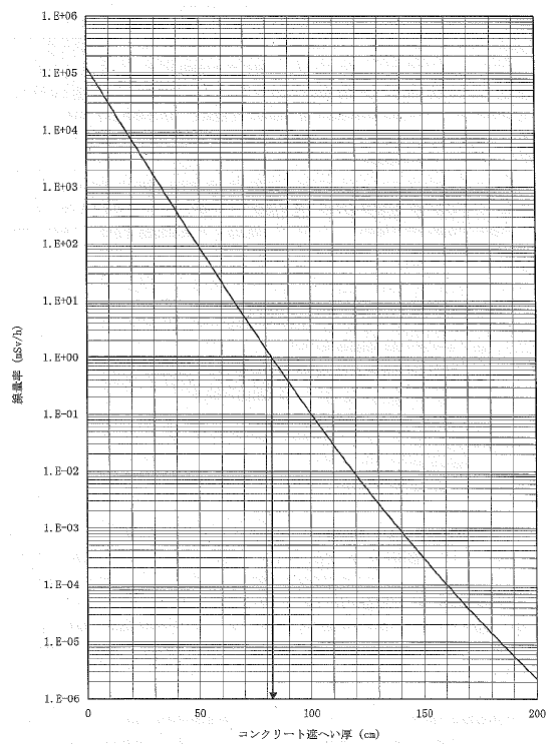
２．評価結果

上記の条件を踏まえて評価した結果、貯槽１基に対して壁外表面の線量率が 1.0mSv/h 以下を満足する壁厚は径方向・軸方向ともに 85cm であるが、実際には複数の貯槽が並ぶことから、余裕を考慮して必要な壁厚を 100cm と評価した。遮へい厚さと壁外表面の線量率の関係を図－３，－４に示す。

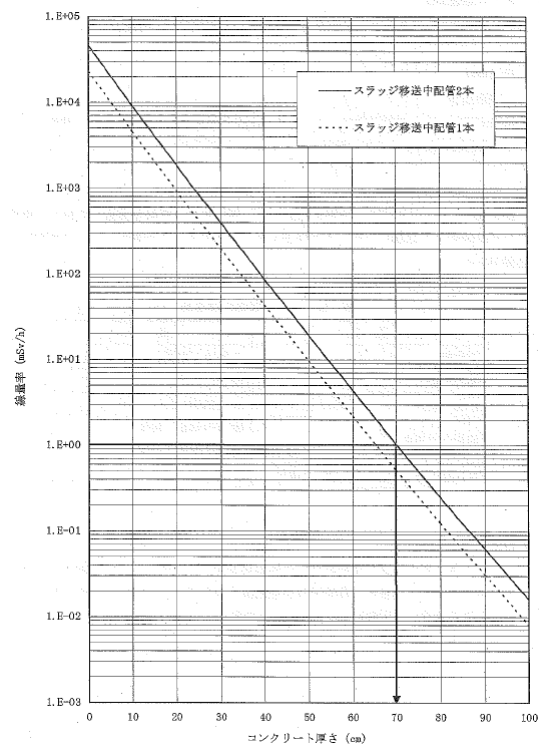
また、配管に対する遮へいについては、壁外表面の線量率が 1.0mSv/h 以下を満足する壁厚は 70cm であるが、保守的な評価として複数の移送配管内にスラッジが移送されることを考慮して必要な壁厚を 80cm と評価した。遮へい厚さと壁外表面の線量率の関係を図－５に示す。



図－3 スラッジ貯槽周りのコンクリート遮へい厚と壁外表面の線量率の関係（径方向）



図－4 スラッジ貯槽周りのコンクリート遮へい厚と壁外表面の線量率の関係（軸方向）



図ー5 配管周りのコンクリート遮へい厚と壁外表面の線量率の関係

以 上

汚染水処理設備等の工事計画及び工程について

高レベル汚染水処理設備，貯留設備，使用済セシウム吸着塔保管施設，及び廃スラッジ貯蔵施設等は，高レベルの放射性物質を扱うため設備の信頼性向上及び敷地境界線量の低減を目的とした以下の工事について計画し，実施する。

1 設備の現状及び工事の概要

1.1 滞留水移送装置移送ラインのポリエチレン管化

滞留水移送装置移送ラインの信頼性向上のため，移送ラインを耐圧ホースからポリエチレン管に取替を行う。現状，主要系統の配管については耐圧ホースからポリエチレン管へ取替済みであり，今後サイトバンカ建屋－プロセス主建屋間の移送ラインについて耐圧ホースからポリエチレン管への取替を行う。

1.2 淡水化装置移送ラインのポリエチレン管化

淡水化装置移送ラインの信頼性向上のため，移送ラインを耐圧ホースからポリエチレン管に取替を行う。現状，主要系統の配管については耐圧ホースからポリエチレン管へ取替済みであり，今後淡水化装置及びポンプ等の機器周り耐圧ホースについて，ポリエチレン管等の信頼性の高い設備への取替を行う。

1.3 タンク増設

汚染水処理設備，多核種除去設備の稼動に合せ，淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置）からの淡水，廃水，並びに多核種除去設備の処理済水を貯蔵する中低濃度タンクの設置を行う。今後は必要となる容量を確認しながら逆浸透膜装置の廃水を貯留する RO 濃縮水貯槽及び多核種除去設備の処理済水を貯留する多核種処理水貯槽について追加設置する。

1.4 使用済セシウム吸着塔一時保管施設増設，及び使用済吸着塔の移動

汚染水処理設備の稼動に合せ，放射性物質を吸着させた使用済みの吸着塔を保管する一時保管施設の設置を行う。現状，セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の使用済みの吸着塔を貯蔵する第一施設，セシウム吸着装置の使用済み吸着塔及び多核種除去設備の高性能容器を貯蔵する第二施設が設置済みである。

今後，多核種除去設備の稼動に伴い，多数発生する二次廃棄物を収納する高性能容器を貯蔵するため第三施設を増設する。また，敷地境界線量の低減のため，敷地中央付近に第四施設を増設し，敷地境界付近の第一施設にあるセシウム吸着装置及び第二

セシウム吸着装置の使用済みの吸着塔を順次移動する。

2 工程

項目	平成25年										平成26年												平成27年						
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3					
滞留水移送装置移送ラインのポリエチレン管化	サイト・バンカー・プロセス主建屋間の移送ライン設計・据付																												
						△																							
淡水化装置移送ラインのポリエチレン管化																													
	設計・据付																												
タンク増設	平成25年9月までに 15.8万トン（順次設置）																												
											必要となる容量を確認しながら追加設置（最大30万トン）																		
使用済セシウム吸着塔一時保管施設増設																													
	第三施設 設計・据付（設計段階のため今後の詳細設計により決定）																												
	部分運用開始（平成25年3月末より）																												
使用済セシウム吸着塔の移動	第四施設 設計・据付																												
	移動																												

No.1 ろ過水タンクへの逆浸透膜装置廃水の貯留について

1. はじめに

平成 25 年 4 月 5 日に確認された地下貯水槽に貯留している逆浸透膜装置の廃水の漏えいを踏まえ、今後、地下貯水槽は使用しない方針とし、地下貯水槽に貯留している逆浸透膜装置の廃水を地上に設置している鋼製タンクへ移送・貯留する。ただし、逐次設置している逆浸透膜装置の廃水用タンクで地下貯水槽に貯留していた逆浸透膜装置の廃水全てを直ちに受け入れる事は出来ないため、地下貯水槽（No.1）の一部を No.1 ろ過水タンクで貯留する。

No.1 ろ過水タンクは、既設設備だが汚染水を貯留するための設備でないため、1 年以内を目途に別の容器に移送することを前提とし、逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合の適合性を評価した結果を以下に示す。

2. ろ過水タンクの仕様等

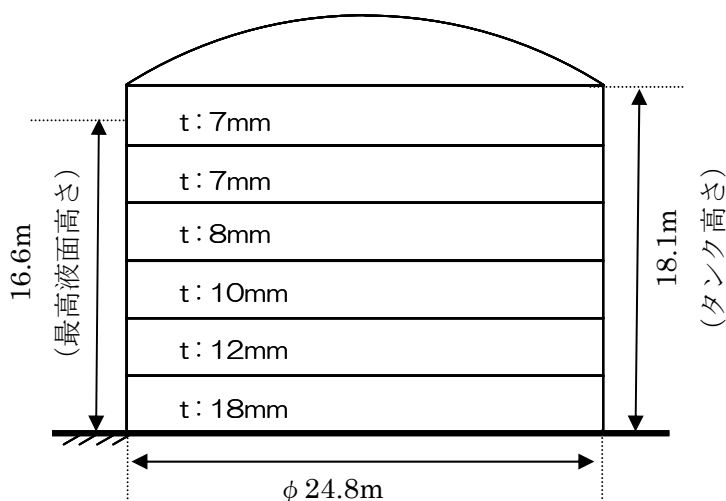
容量：8,000m³/基

基数：2 基

寸法：タンク内径 ϕ 24.8m × タンク高さ 18.1m（最高液面高さ 16.6m）

肉厚：7mm（最上段）～18mm（最下段）

材料：SS400 等（内面塗装有り）



図－1 ろ過水タンク概要（1 / 2）



図－１ ろ過水タンク概要（２／２）

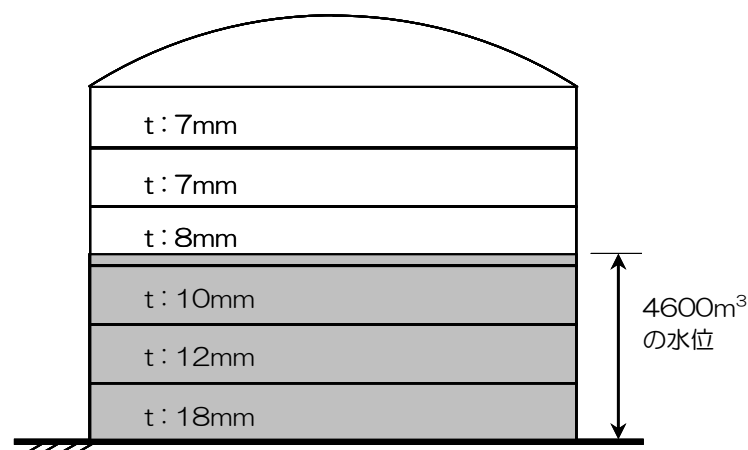
3. 逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合の適合性評価等

(1) 逆浸透膜装置の廃水の貯留量

ろ過水タンクは、炉注水の非常用水源であり保安規定において、No.1 ろ過水タンク、No.2 ろ過水タンクいずれか 1 基の保有水量として 916m^3 以上を要求している。

そのため、逆浸透膜装置の廃水の貯留は No.1 ろ過水タンクのみとする（No.2 ろ過水タンクは炉注水の非常用水源として継続使用）。

また、東北地方太平洋沖地震の際、当該タンクに破損、漏えいは発生していないが、側板の一部に変形が認められたため、座屈強度の低下を考慮し 70%貯水制限（ $5,600\text{m}^3$ ）を設けてタンクを使用してきた（別添－１参照）。そのため、逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合にも当該貯水制限を適用し、下記(2)を踏まえ、貯留する逆浸透膜装置の廃水の量を $4,600\text{m}^3$ とする。



図－２ 貯留水位イメージ

(2) 構造強度・耐震性

a. 板厚評価

ろ過水タンクは、本来ろ過水を貯留するため、発電用原子力設備規格 設計・建設規格に準拠して設計されていない。

今回、逆浸透膜装置の廃水を貯留することから、設計・建設規格への適合性を評価するため、設計・建設規格での胴の板厚評価を実施した。

その結果、設計・建設規格の要求に適合していることを確認した（表－1 参照）。

$$t = \frac{D_i H \rho}{0.204 S \eta}$$

t : 胴の計算上必要な厚さ D_i : 胴の内径 H : 水頭 ρ : 比重
S : 最高使用温度における材料の許容引張応力 η : 長手継手の効率

表－1 No.1 ろ過水タンク 板厚評価結果

評価部位	必要肉厚 [mm]	実厚 [mm]
板厚（最下段）	17	18
板厚（下から4段目）	6※1	8

※1 上式の計算結果に比べて、胴の内径の区分(m)（16を超え35以下）に対する胴の必要厚さ6mmの方が大きい

b. 耐震性評価

逆浸透膜装置の廃水を貯留するため、Bクラス機器を想定して転倒評価を実施した。

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを比較した結果、転倒しないことを確認した（表－2 参照）。なお、Sクラスに適用する水平震度0.72においても転倒は発生しない。

$$\begin{aligned} \text{地震による転倒モーメント} : M_1 [\text{N} \cdot \text{m}] &= m \times g \times C_H \times H \\ \text{自重による安定モーメント} : M_2 [\text{N} \cdot \text{m}] &= m \times g \times L \end{aligned}$$

m : 機器質量
H : 据付面から重心までの距離
L : 転倒支点から重心までの距離
 C_H : 水平震度

表－2 No.1 ろ過水タンク 転倒評価結果

水平震度	転倒モーメント M_1 [kN・m]	安定モーメント M_2 [kN・m]
0.36	9.4×10^4	6.1×10^5

また、逆浸透膜装置の廃水を貯留することを考慮し、地震発生時のタンク内包水のスロッシング評価を実施した。

容器構造設計指針（日本建築学会）を参考にスロッシング波高の評価を行った結果、スロッシング時のタンク内の液位はろ過水タンク高さ以下であることを確認した（表－3 参照）。

表－3 No.1 ろ過水タンク スロッシング評価

スロッシング波高 [m]	スロッシング時液位 [m]	タンク高さ [m]
3.1	12.7※1	18.1

※1 4600m³貯留時の液位 9.6m にスロッシング波高を加えたもの

(3) No.1 ろ過水タンクの点検結果及び処置・対策等

a. No.1 ろ過水タンクの点検結果

No.1 ろ過水タンクの水抜きを行い、内部点検を実施した。その結果を別添－2に示す。

底板、側板に塗装の剥離、浮きが確認され、底板には変形が認められた。また、予備ノズルフランジには腐食が確認された。

b. 処置・対策

No.1 ろ過水タンクの内部点検結果を踏まえ、ろ過水タンクへの逆浸透膜装置の廃水の受け入れにあたり、以下の対応を実施する。

- 塗装の損傷箇所（底板及び側板の一部）は、塗装の除去、手入れを行い、鉄粉が配合されたエポキシ系の金属用補修剤を塗布する。実施結果を別添－3に示す。なお、側板の高所に存在する塗装剥離部は現状維持とするが、c.に示す当該部の肉厚測定評価より問題ない。
- フランジの補修箇所は、フランジ面の手入れを行い、漏えい確認を実施した後、金属用補修剤による漏えい防止措置を施す。
- 底板の変形が材料強度に及ぼす影響について評価した結果、ひずみ量は僅かであり問題ないことを確認した（別添－4参照）。

c. 貯留時の腐食に対する評価

金属の腐食の腐食形態は、一般的に下記の8種類に分類される。

- ① 全面腐食
- ② 孔食
- ③ すき間腐食
- ④ 粒界腐食
- ⑤ 応力腐食割れ
- ⑥ 電位差腐食（ガルバニック腐食）
- ⑦ 流動腐食
- ⑧ 酸化及び高温腐食

上記のうち、今回のろ過水タンク内の構造・環境を考慮した場合、発生する腐食として主として考えられるのは、孔食及びすき間腐食である。

ここで、全面腐食であれば、環境等からおおよその腐食速度を想定できるのであるが、孔食等の場合は、腐食面積が小さく、深さ方向に速く腐食が進むため、腐食速度を想定するのが難しい。

そこで、今回実施したろ過水タンク内面補修時の除去深さデータから想定される腐食速度は、別添－5に示すように、0.32mm／年となり、側板を貫通するまで最短で18年となる。底板の場合には0.37mm／年となり、貫通するまで18年となる。この腐食速度の想定は、全面腐食の場合、海水と淡水の腐食速度に有意な差が見られないことに基づいている。

一方、No.1 ろ過水タンクで貯留した逆浸透膜装置の廃水は1年以内を目途に別の容器に移送することを計画しており、腐食によりNo.1 ろ過水タンクからの逆浸透膜装置の廃水の漏えいが発生する可能性は極めて少ないと考えている。

(4) その他考慮事項

a. 漏えい発生防止、検知・監視及び漏えい発生時の評価

(a) 漏えい発生防止

ろ過水タンクの腐食対策は、管台部分も含めて、全面に防食塗装（タールエポキシ）を施し、孔食及びすき間腐食を防止する。また、フランジ部は、閉止板の面積相当の全面ガスケットとし、シール面にシール剤（ガスケットペースト）を塗布することにより、漏えい及びすき間腐食を防止する。

また、床面やフランジ補修等に用いた金属用補修剤は、鉄粉が配合されたエポキシ系の補修剤で一般に金属材質設備機器の肉盛り、穴埋め等に使用されるものである。

上記に加え、更なる漏えいの発生防止のため、取水用の取り出し口に閉止フランジを取り付けるとともに、漏えいがないことを確認した後、フランジ部に金属用補修剤を塗布する。

(b) 漏えいの検知・監視

ろ過水タンクは溶接構造であり漏えいの可能性は低いが、万一の漏えいを考慮し、ろ過水タンク周囲の堰等を設置する（図－3、表－4 参照）。

堰は、雨水の排水を考慮して排水弁を設置し、常時開とする運用とするが、漏えいが確認された場合に閉じる運用とする。

漏えいの検知方法は、水位計の計器精度が0.5%程度であることから、水位計による水位の常時監視に加えて、ろ過水タンク外周面近傍に約120° 間隔で3台の監視カメラを設置し、また3台の線量計を設置し、監視カメラによるタンク基礎部の確認及び線量計による雰囲気線量の変化を重要免震棟及びシールド中央操作室にて連続監視することにより、漏えいの有無を監視するとともに、1日に1回以上の巡視点検を実施する。また、円周基礎部に設置された雨水排水孔（円周4方向：計4箇所）のドレン水について、ドレン水の発生状況を考慮し、適宜サンプリングを実施し、塩分、全βの濃度を測定する。

水位計及び線量計に有意な変化が確認された場合は、現場にてβ線等を直接測定し、事前に測定した逆浸透膜装置の廃水の線量値と比較することにより、漏えいの判断を行う。線量計の有意な変化等を確認後、現場での直接確認、漏えいの判断までに要する時間は最大でも30分程度と想定している。

また、雨水排水孔ドレン水の分析結果において、塩分、全βの有意な検出がされた場合も、事前に測定した逆浸透膜装置の廃水の線量値と比較することにより、漏えいの判断を行う。

上記の漏えいの検知方法，判断までの想定時間及び，堰による漏えい拡大防止と合わせて，大量の汚染水漏えい発生防止に万全を尽くすこととする。

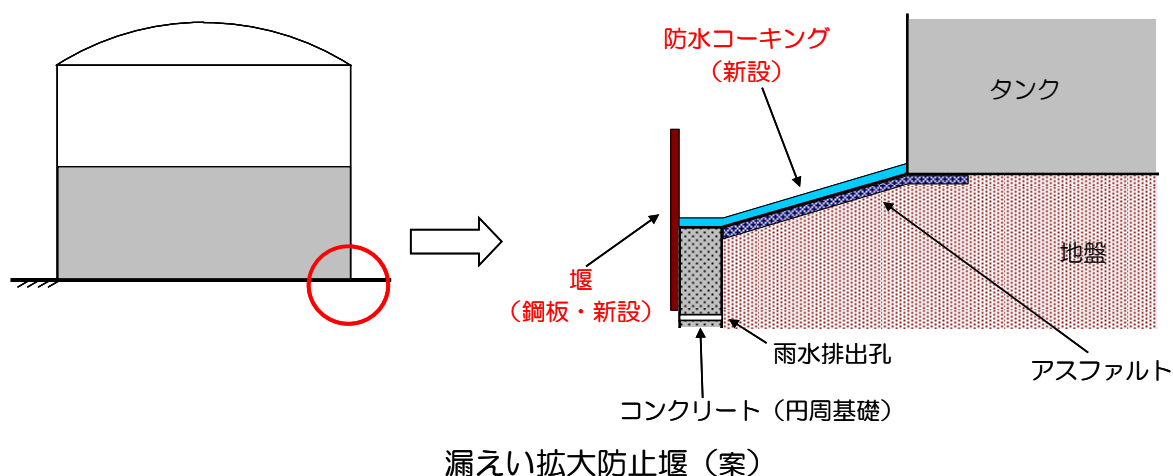


図-3 No.1 ろ過水タンク廻り堰構造概要

表-4 No.1 ろ過水タンク廻り堰 主要仕様

高さ [m]	容量 [m ³]
0.3	38

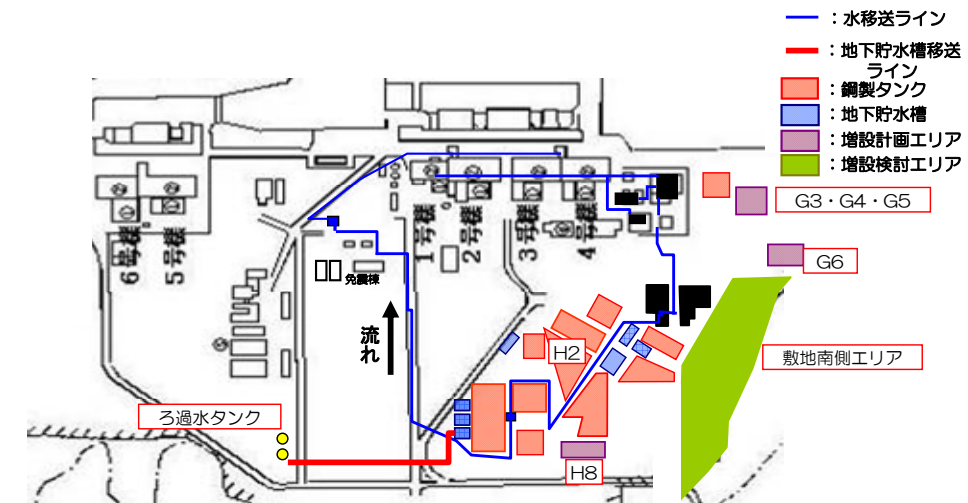
(c) 漏えい発生時の対応

漏えい発生防止や監視・検知に万全を尽くすが，万一漏えいが発生した場合に備え，緊急で補修できる様に鉄粉が配合されたエポキシ系の金属用補修剤等を確保し，板当て補修等を行い，漏えいを防止する。

また，漏えい水の回収は，少量の漏えいであれば吸水材による回収等を行う。一方，大量の漏えいに対しては，堰内にポンプ，吸引車等を設置して漏えい水を回収し，ろ過水タンクに漏えい水を戻すことで漏えい拡大防止を図る。

b. 地下貯水槽から No.1 ろ過水タンクへの移送時の配慮

地下貯水槽から No.1 ろ過水タンクへの移送ラインは図-4 であり，移送にあたってはこれまでの不具合等を鑑みフランジ部の抜け防止，吸水材による養生，移送ホース設置時の注意喚起，ならびに排水路への流出防止（土のう設置）等の対策を行う。また，No.1 ろ過水タンク移送時には現場で常時監視を行う。



図－4 No.1 ろ過水タンクへの移送ライン概略図

c. No.1 ろ過水タンクへの逆浸透膜装置廃水貯留に伴う被ばく線量への影響

(a) 放射線業務従事者等への被ばくの影響

逆浸透膜装置の廃水を貯留している鋼製タンクの表面線量当量率は、主にストロンチウム 90 の濃度に依存し、 $30 \mu\text{Sv/h} \sim 170 \mu\text{Sv/h}$ となっている（高さ約 1m、タンク表面からの距離約 5cm の位置に測定器を近づけて測定）。

ろ過水タンクに逆浸透膜装置の廃水を貯留した場合でも、タンク表面の線量当量率は鋼製タンクと同様に $100 \mu\text{Sv/h}$ 程度であり、ろ過水タンク周辺で作業する放射線業務従事者等へ過度の放射線被ばくのリスクを及ぼすものではない。なお、不要な被ばくを避けるため、区画及びタンク表面に線量表示を行う。

(b) 敷地境界線量評価への影響

ろ過水タンクに逆浸透膜装置の廃水を貯留した場合の敷地境界線量への影響は、「Ⅲ-3.2.2 線量評価」にて確認する。

(c) 漏えい発生時の対応作業に関する線量評価

漏えい発生時の対応作業による被ばく線量を、過去の漏えい事象発生時の実績から評価する。高濃度汚染水の漏えい事象として、代表的な事例を表－5 に示す。

2012 年の事象における被ばく線量が 2011 年の事象における被ばく線量と比較して低いのは、作業体制の整備が進み、漏えいに対して速やかに対応が取れたこと、及び無駄な被ばくがないよう計画的に作業を実施出来たことによる。

No.1 ろ過水タンクへの水移送に際しても、現場で常時監視を行うなど漏えいの早期検知に万全を尽くす。このため万が一漏えいが発生した場合の漏えい水量、作業員の被ばく線量は上述の 2012 年の漏えい事象に比べて同等以下になると考えられる。

表－５ 高濃度汚染水の漏えい事象例

<u>過去の漏えい事象</u>	<u>発生日</u>	<u>回収量</u>	<u>回収方法</u>	<u>作業員被ばく線量 (最大値)</u>
<u>蒸発濃縮缶装置 からの漏えい</u>	<u>2011/12/4</u>	<u>約 14m³</u>	<u>水中ポンプ</u>	<u>γ : 0.78mSv</u> <u>β : 5.3mSv</u>
<u>逆浸透膜装置移送 ホースからの漏えい</u>	<u>2012/3/26</u>	<u>約 10m³</u>	<u>吸引車</u>	<u>γ : 0.14mSv</u> <u>β : 0.9mSv</u>

4. 添付資料

別添－１：No.1 ろ過水タンクの座屈変形評価

別添－２：No.1 ろ過水タンク内部点検結果

別添－３：No.1 ろ過水タンク内部補修結果

別添－４：ろ過水タンク底板の変形が材料強度に及ぼす影響について

別添－５：No.1 ろ過水タンク補修未実施箇所の肉厚評価

以 上

No.1 ろ過水タンクの座屈変形評価

No.1 ろ過水タンクは、僅かな象足座屈変形(45mm 程度の膨らみ)があることを確認している。
本件に対し、当該タンクの健全性を既往の知見等から以下の通り評価し、貯留量約 5,800m³ (水
位約 12m) において本震の ZPA 相当加速度 0.7G で座屈を生じない結果となった。

《既往の知見等》

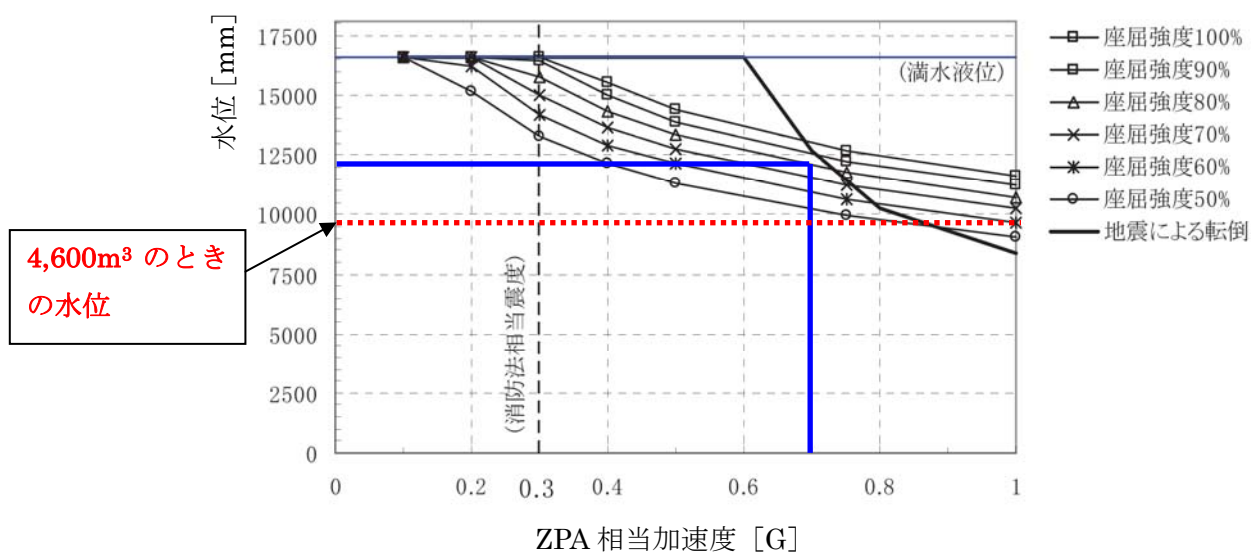
- 座屈強度 (≒タンク崩壊強度) において、おおよそ直径の 1%の変形で、元の強度の 90%
程度に低下
- 消防法の設計基準を満足するタンクであれば、基準地震動 Ss においても機能維持
- 本震における福島第一原子力発電所の敷地内地表面部の最大加速度 (ZPA) は 0.7G 程度

《評価概要》

- 消防法設計加速度により、タンクが健全な状態において、座屈が生じない水位を評価 (水
位をパラメータとし、設計加速度による側板の圧縮応力=許容座屈応力となる水位を算出)
- 上記評価結果に基づき、座屈等による強度低下 (許容座屈応力を 10%刻みで低下) と加速
度をパラメータとして座屈が生じない水位を評価
- 使用可能水位を評価する場合、座屈強度の低下量、想定する地震の加速度を設定して、上
述で算出された使用可能水位を読み取り

《評価結果》

- 評価条件
 - ZPA 相当震度 : 0.7G
 - 座屈等による強度低下 : 座屈によるタンク直径の変化量は 1%よりも十分低いが、
20%の強度が低下している (座屈強度 80%) と想定
- 評価結果 (下図参照)
 - 消防法設計加速度 (ZPA 相当加速度 : 0.3G) では、タンクが健全な状態において
は満水でも座屈を生じない
 - 地震発生時の水位 (ほぼ満水状態) では、本震の ZPA 相当加速度 0.7G において、
座屈を生じる恐れ有り
 - 座屈により 20%の強度が低下している場合 (座屈強度 80%) においても、貯留量
約 5,800m³ (水位約 12m) であれば本震の ZPA 相当加速度 0.7G で座屈を生じな
い。



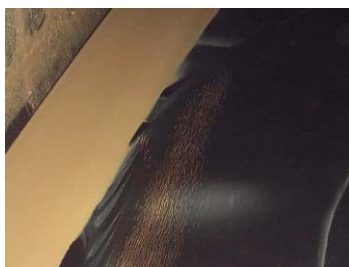
以 上

No.1 ろ過水タンク内部点検結果

底板の塗装はく離



ほぼ全周に塗装の割れ



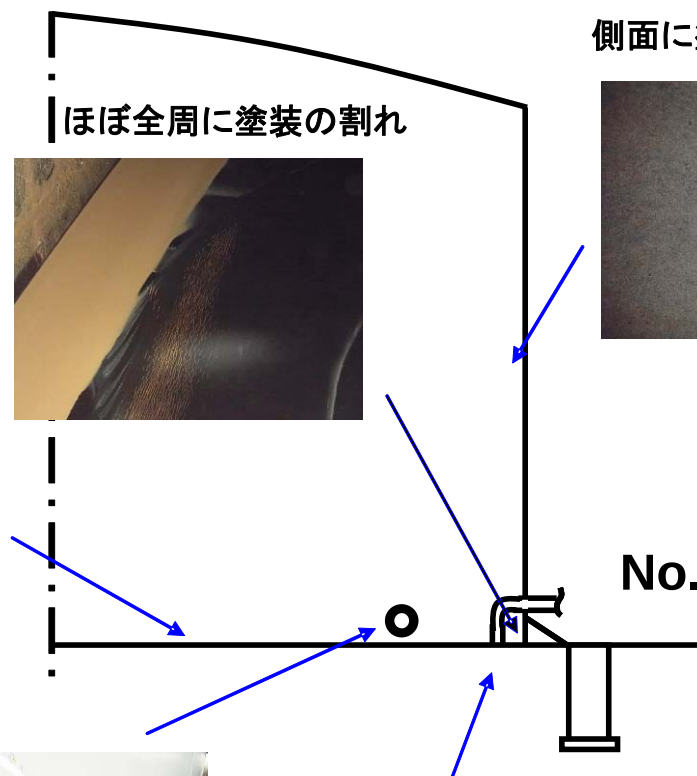
側面に塗装の浮きが点在



底板に塗装の浮きが点在



No.1 ろ過水タンク



予備ノズルフランジ部の腐食



底板にドレン配管の接触痕有り



No. 1 ろ過水タンク内部補修結果



底板



底板



側板



底板ドレン配管近傍

ろ過水タンク底板の変形が材料強度に及ぼす影響について

1. ろ過水タンク底板鉛直方向変位の測定

図 1 に示すろ過水タンク底板の半径方向の経路上で、基準点（タンク中心）に対する鉛直方向変位の測定を実施した結果を図 2 に示す。

タンク底板は、図 2 中に赤の破線で示すような、中心から外周に向かって 1/120 の下り勾配を持つ基礎の上に設置されているが、実測結果は、中心から約 11m の範囲は概ね水平であり、11m 以上外周側の範囲で、基準点からの鉛直方向変位が拡大するという傾向が、いずれの方角に対しても確認された。

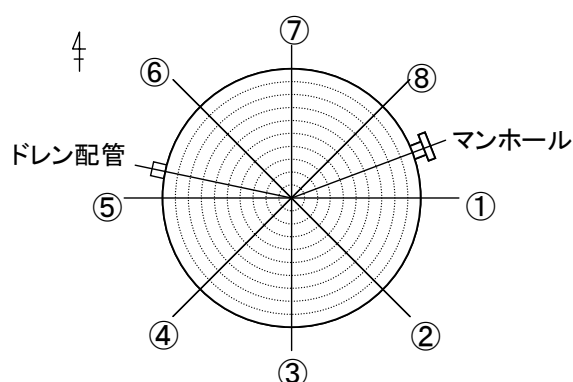


図 1 ろ過水タンク底板鉛直方向変位の測定経路

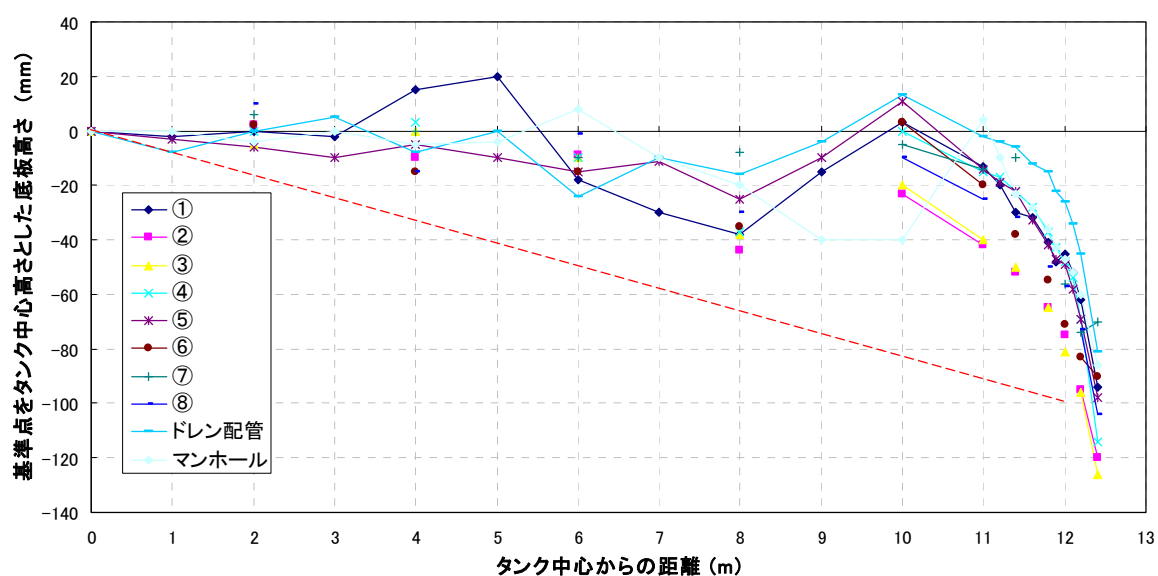


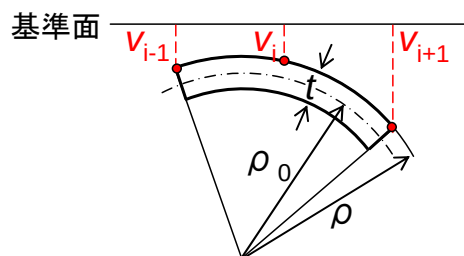
図 2 ろ過水タンク底板鉛直方向変位の測定結果

2. ろ過水タンク底板の残留ひずみの評価

図 2 の測定結果に基づき、底板上面での残留ひずみの評価を実施した。残留ひずみは、図 3 に示すように、基準点からの鉛直方向距離の隣り合う 3 点での測定値 v_{i-1} , v_i , v_{i+1} を通る円弧

の曲率半径 ρ から式 1 を用いて算出した。ここで、タンク底板の板厚には、全域に対してアニュラ板の 12mm を用いた。

$$\text{残留ひずみ: } \varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} \quad \dots (1)$$



v_i : 底板各点の基準面からの垂直方向距離測定値
 ρ : 底板上面の曲率半径
 (隣り合う3測定点を通る円弧の曲率)
 ρ_0 : 曲げの中立軸の曲率半径 ($\rho_0 = \rho - t$)
 ※ 板厚 t には、アニュラ板の値 12mm を用いた

図 3 ろ過水タンク底板鉛直方向変位に基づくひずみの評価方法

ひずみ評価値の半径方向分布を図 4 に、各半径方向における最大のひずみ評価値を図 5 に示す。いずれの方向においても外周部（中心からの距離が 11m 以上の範囲）でひずみが高くなる傾向を示した。

評価されたひずみは、ドレン配管方向の最外周近傍で最大 0.8%，①および④方向の最外周近傍で 0.6%，0.7% を示したが、それ以外では概ね 0.5% 以下となった。

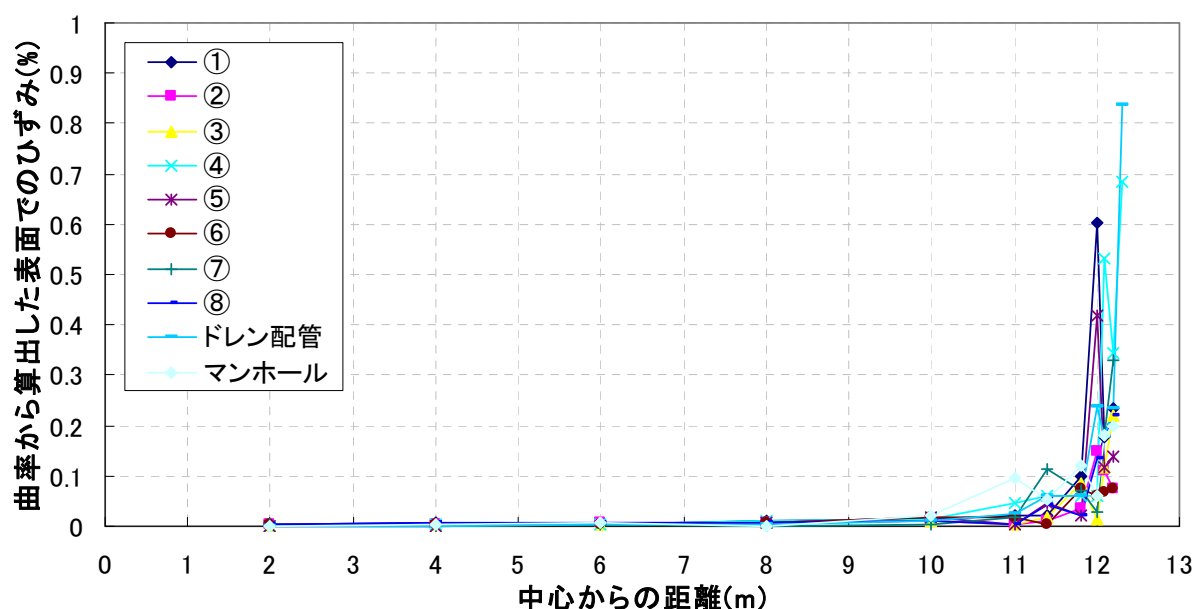


図 4 ろ過水タンク底板上面のひずみの評価結果

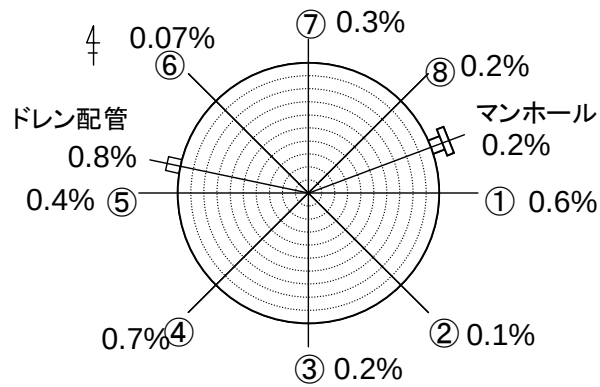


図 4 ろ過水タンク底板上面のひずみの評価結果の各評価経路内の最大値

3. 残留ひずみ評価値に基づくタンク材料特性への影響評価

炭素鋼の強度特性に及ぼすひずみの影響を評価した過去の知見から、±8%の繰返し予ひずみや、10%程度の静的予ひずみを付与した場合、引張強さの増加と、極わずかな破断延性の低下が生じること、また疲労強度については、ほとんどの影響が認められないことが知られている。

以上のことから、ろ過水今回タンク底板に発生した 1%程度のひずみであれば、材料強度に及ぼす影響はほとんどないと判断され、設計時と同様な手法・データに基づく健全性評価の適用が妥当であると判断される。

以 上

No.1 ろ過水タンク補修未実施箇所の肉厚評価

1 段目の欠陥箇所のうち、床面から補修可能な部位（59 箇所）の腐食の除去深さを実測したところ、最大で 1.88mm となった。

前回の内面点検（平成 18 年度）後、平成 19 年 4 月から腐食が始まり、平成 25 年 4 月までの約 6 年間で腐食が進行したものと仮定すると、腐食速度は $1.88\text{mm}/6\text{年} \div 0.32\text{mm}/\text{年}$ となる。

側板厚さ設計値から既に 2mm の腐食があると仮定し、さらに 0.32mm/年で腐食した場合の側板が貫通するまでの期間を評価した結果、下表に示すとおり最短で 18 年となる。

場所	側板厚さ設計値 (mm)	側板厚さ評価値 (mm)	貫通までの期間 (年)
4 段目	8	6	18
3 段目	10	8	25
2 段目	12	10	31
1 段目	18	16	50

なお、底板の腐食部については補修を実施しているが、21 箇所について腐食の除去深さを実測したところ、最大で 2.18mm となった。

上述と同様に約 6 年間で腐食が進行したものと仮定すると、腐食速度は $2.18\text{mm}/6\text{年} \div 0.37\text{mm}/\text{年}$ となる。

底板厚さ設計値から既に 2.2mm の腐食があると仮定し、さらに 0.37mm/年で腐食した場合の底板が貫通するまでの期間を評価した結果、下表に示すとおり 18 年となる。

場所	底板厚さ設計値 (mm)	底板厚さ評価値 (mm)	貫通までの期間 (年)
底板	9	6.8	18

2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋

2.6.1 基本設計

2.6.1.1 設置の目的

既設 1～4 号機の原子炉建屋，タービン建屋（トレンチ，立坑※¹，コントロール建屋含む），廃棄物処理建屋には，高レベル放射性汚染水（以下，「滞留水」という。）が滞留している。また，集中廃棄物処理建屋のうち，プロセス主建屋，雑固体廃棄物減容処理建屋（以下，「高温焼却炉建屋」という。）は，1～4 号機のタービン建屋の滞留水を移送するための受け入れ先とするものであることから，各建屋の滞留水の状況を適切に監視し，放射性物質の建屋外への漏えいを防止するための機能を満足する設備とする。

※1：立坑とは，規模の大きな地中構造物のうち，比較的深い（10 m 程度）「縦の坑道」をいう。

2.6.1.2 要求される機能

- (1) 建屋等に滞留する滞留水の状況を監視できる機能を有し，建屋等の外への漏えいを防止できる機能を有すること。
- (2) 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合にも，建屋等の外への漏えいを防止できるよう水位を管理できること。
- (3) 滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出を抑制・管理できる機能を有すること。
- (4) 建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能を有すること。

2.6.1.3 設計方針

- (1) 建屋等の滞留水の状況を監視できる機能を有し，建屋等の外への漏えいを防止できる機能を有する設計とする。

具体的には，建屋等の滞留水の状況を監視できる機能として，水位計を設置する。また，各建屋からの滞留水の漏えいを防止するために，建屋に滞留する滞留水の水位が地下水の水位よりも低くなるように管理するため，建屋近傍の適切なサブドレン※²に水位計を設置する。

※2：サブドレン水とは，建屋周辺の地下水をいう。

- (2) 汚染水処理設備の長期間の停止，豪雨等があった場合にも，建屋等の外への漏えいが防止できるよう水位を管理する。

具体的には，汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え，タービン建屋等の水位を余裕のある水位に維持することにより管理する。また，プロセス主建屋，高温焼却

炉建屋については、受け入れを停止すれば問題とならない。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

- (3) 滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出を抑制・管理できる機能を有する設計とする。

具体的には、滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、必要に応じて各建屋についてダストサンプリングを実施する。

- (4) 建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能を有する設計とする。

具体的には、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

- (5) 必要に応じて、貯留または滞留している滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理が適切に行える機能を有する設計とする。

具体的には、滞留水を建屋内に貯蔵した後に水素濃度測定を実施し水素の滞留のないことを確認する。また、念のため、必要に応じて換気口を設けるなど水素の滞留を抑制する。

- (6) 環境条件に対する設計上の考慮

海水による影響については、「Ⅲ. 3. 1. 3. 1. 2 (5) 1～4号機原子炉建屋の点検について及び、同 添付資料-6 コメント回答③」を参照。

- (7) 電源停止に対する設計上の考慮

全電源喪失による水位の遠隔監視機能が喪失の場合でも、これまでの実績から地下水の流入量及び原子炉注水による水位の上昇は緩慢なものであり、水位のシミュレーションも可能である。また、交流電源を使用しない別の水位計により電源復旧までの間、手動での水位計測も可能である。以上のことから、漏えい防止の水位監視機能は喪失しないことから、安全上の問題は生じない。

- (8) 信頼性に対する設計上の考慮について

建屋等の外への漏えいを防止できる機能については、多重性を持たないが、滞留水を貯留する機能については、1～4号機各建屋の滞留水をプロセス主建屋、高温焼却炉建屋に移送することができ、更に、高濃度滞留水受タンクにも移送が可能であり、それぞれ独立した設備であることから多重性、独立性を有している。

(9) 検査可能性に対する設計上の考慮について

建屋そのものの構造・強度の健全性については、直接的には、水没部が高線量であり確認することは出来ないが、類似箇所からの類推評価や解析により健全性を評価することが可能である。

また、建屋の滞留水を貯留する能力については、滞留水の水位制御により担保されていることから、水位が規定の値に制御されていることにより能力が保たれていることを確認することが可能である。また、建屋周囲のサブドレンの放射能濃度を計測することにより、漏えいがないことを確認でき、滞留水の地下水への漏えいのないことを確認可能である。

(10) 建屋等内に滞留する滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減にかかる方針について

滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減を図るためには、今後、地下水位を管理し地下水の流入を抑制し滞留水の水位を下げタービン建屋、原子炉建屋、廃棄物処理建屋内にある滞留水を処理する必要がある。このため、地下水バイパス、トレンチ止水等の方策を検討する。

2.6.1.4 供用期間中に確認する項目

(1) 建屋等の外への滞留水の漏えいを防止できる機能を有すること

2.6.1.5 主要な機器

(1) 設備概要

滞留水を貯留している建屋等は、集中廃棄物処理建屋のうち、滞留水を貯留するプロセス主建屋、高温焼却炉建屋と、滞留水が滞留する1～4号機の原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋で構成する。

各号機の建屋等について設計内容を目標ごとに以下に記載する。

(2) プロセス主建屋

プロセス主建屋に貯留する滞留水は、2号機、3号機及び4号機から滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で移送され、汚染水処理設備で処理されることにより水位調整を行う。移送については、移送元の1～4号機の水位や移送先となる集中廃棄物処理建屋の水位の状況を考慮し実施する。

プロセス主建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、水位計を設置し、建屋内水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 貫通部の止水

漏えいの経路となり得る当該建屋の系外への貫通部に適切な止水を実施する。

(b) 外壁，床面等の亀裂からの漏えい対策

亀裂等からの漏えい対策として、外壁，床面等の亀裂や浸潤などにひび割れ補修を実施する。

(c) 建屋に貯留する滞留水の水位管理

建屋に貯留する滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、建屋近傍の適切なサブドレンに水位計を設置する。

(d) コンクリート壁中における放射性物質の拡散について

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

(e) サイトバンカ建屋における滞留水の対応について

プロセス主建屋に隣接するサイトバンカ建屋においては、地下に滞留している水に放射能が検出されていることから、プロセス主建屋に貯留する滞留水が両建屋間を繋ぐ階段室を介し流入した可能性は否定できない。

このため、サイトバンカ建屋の滞留水は適宜プロセス主建屋へ移送する。

また、サイトバンカ建屋近傍のサブドレン水の水位及び放射能濃度を監視する。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、受け入れ元であるタービン建屋等の水位を余裕のある水位に維持する。このことから、プロセス主建屋への受け入れを停止すれば問題とならない。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、可能な限り地下開口部の閉塞を行う。また、必要に応じてプロセス主建屋についてもダストサンプリングを実施する。

なお、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として設置する局所排風機は、チャコールフィルタ、高性能粒子フィルタを通して排気するものとする。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水の

サンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水を建屋内に貯蔵した後に水素濃度測定を実施し、水素の滞留のないことを確認する。また念のため、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として、建屋上部より吸気して排気する局所排風機を設置する。

なお、滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞する部位については、可燃性ガスが滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(3) 高温焼却炉建屋

高温焼却炉建屋に貯留する滞留水は、2号機、3号機及び4号機から滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で移送することにより受け入れ、汚染水処理設備により処理することにより水位調整を行う。移送については、移送元の1～4号機の水位や移送先となる集中廃棄物処理建屋の水位の状況を考慮し実施する。

高温焼却炉建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、水位計を設置し、建屋内水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 貫通部の止水

漏えいの経路となり得る当該建屋の系外への貫通部に適切な止水工事を実施する。

(b) 外壁、床面等の亀裂からの漏えい対策

亀裂等からの漏えい対策として、外壁、床面等の亀裂や浸潤などにひび割れ補修を実施する。

(c) 建屋に貯留する滞留水の水位管理

建屋に貯留する滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理する。そのため、建屋近傍の適切なサブドレンに水位計を設置する。

(d) コンクリート壁中における放射性物質の拡散について

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

(e) 隣接する地下通路への滞留水の漏えい対応について

高温焼却炉建屋の滞留水は、隣接する地下通路に漏えいしていることが確認されたが地下通路部の水位の方が高いことから漏えいは抑制されていると考える。

念のため、高温焼却炉建屋近傍のサブドレン水の水位及び放射能濃度を監視する。

- b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、受け入れ元であるタービン建屋等の水位を余裕のある水位に維持する。このことから、高温焼却炉建屋への受け入れを停止すれば問題とならない。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

- c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、可能な限り地下開口部の閉塞を行う。また、必要に応じてプロセス主建屋についてもダストサンプリングを実施する。

なお、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として設置する局所排風機は、チャコールフィルタ、高性能粒子フィルタを通して排気するものとする。

- d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの監視箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

- e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水を建屋内に貯蔵した後に水素濃度測定を実施し、水素の滞留のないことを確認する。また念のため、水の放射線分解により建屋内に水素が発生した場合の対策として、建屋上部より吸気して排気する局所排風機を設置する。

なお、滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞する部位については、可燃性ガスが滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(4) 1号機

1号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、原子炉建屋から主に廃棄物処理建屋を通して2号機廃棄物処理建屋へ流出するとともに、タービン建屋にも流出する場合があると考えられる。1号機タービン建屋の滞留水については、水位状況に応じて1号機廃棄物処理建屋へ滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）を通じて移送することにより2号機タービン建屋に移送する。

1号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所サブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置した場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、1号機の滞留水が流入する2号機タービン建屋等の水位を、余裕のある水位に維持する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、原子炉建屋上部及び必要に応じてタービン建屋、廃棄物処理建屋についてダストサンプリングを実施する。

なお、原子炉からの放射性物質の飛散抑制の応急措置的対策のため、原子炉建屋にカバーを設置する。本カバーの設置とともに排気設備を設置し、チャコールフィルタ及び高性能粒子フィルタを通して排気することにより、滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出の低減を図る。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水の

サンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(5) 2号機

2号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、各建屋間において水位状況に応じた滞留水の連動があり、2号機タービン建屋から3号機タービン建屋または集中廃棄物処理建屋へ滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）を通じて移送することにより水位調整を行う。移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋水位を考慮し実施する。2号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所のサブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

OP. 4000に開口部を有する立坑については閉塞する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置する場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、タービン建屋等の水位を、余

裕のある水位に維持し、滞留水が急激に増加した場合の海洋への放出リスクの高まるOP. 4000までの余裕を確保する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、原子炉建屋上部及び必要に応じてタービン建屋、廃棄物処理建屋についてもダストサンプリングを実施する。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(6) 3号機

3号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、3／4号機の各建屋間において水位状況に応じた滞留水の連動がある。また、2号機から滞留水移送装置で移送された滞留水が流入する。これらの滞留水は3号機タービン建屋から4号機タービン建屋、3号機または4号機タービン建屋から集中廃棄物処理建屋へ滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で移送することにより水位調整を行う。移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋水位を考慮し実施する。3号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所のサブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

OP. 4000に開口部を有する立坑については閉塞する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置する場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため、拡散評価を行う。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、タービン建屋等の水位を、余裕のある水位に維持し、滞留水が急激に増加した場合の海洋への放出口リスクの高まるOP. 4000までの余裕を確保する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、原子炉建屋上部及び必要に応じてタービン建屋、廃棄物処理建屋についてもダストサンプリングを実施する。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

(7) 4号機

4号機の滞留水については、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に滞留しており、3/4号機の各建屋間において水位状況に応じた滞留水の連動があり、3号機タ

ービン建屋または4号機タービン建屋から滞留水移送装置（移送ポンプ、ポリエチレン管等）で集中廃棄物処理建屋へ移送することにより水位調整を行う。移送については、移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋水位を考慮し実施する。4号機の各建屋について、以下のとおり設計する。

a. 滞留水の監視及び建屋外への漏えい防止

建屋等にある滞留水の状況を監視できる機能として、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋に水位計を設置し滞留水の水位を監視する。

また、建屋からの漏えいを防止する機能として、以下について実施する。

(a) 建屋内滞留水の水位管理

建屋内滞留水の水位がサブドレン水の水位よりも低くなるように管理するため、原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋の滞留水と適切な測定箇所のサブドレンに水位計を設置する。

また、地下水バイパスにより建屋周辺の地下水の水位を低下させる場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

OP. 4000に開口部を有する立坑については閉塞する。

さらに、地下水による海洋汚染拡大防止を図るため1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置する場合においても、建屋内滞留水の水位がサブドレン水位よりも低くなるように管理する。

(b) コンクリート壁中における放射性物質の拡散

建屋のコンクリート壁中を放射性物質が拡散し、漏えいする可能性があるため拡散評価を実施する。

b. 汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等があった場合における建屋等の外への漏えい防止

汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え、タービン建屋等の水位を、余裕のある水位に維持し、滞留水が急激に増加した場合の海洋への放出リスクの高まるOP. 4000までの余裕を確保する。また、1～4号機の滞留水が急激に増加した場合、高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

c. 気体状の放射性物質の放出抑制・管理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、可能な限り地下開口部の閉塞を行い、必要に応じて原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋についてもダストサンプリングを実施する。

d. 地下水の放射性物質濃度の監視

建屋等周辺の地下水の放射性物質濃度を監視できる機能として、サブドレン水のサンプリングの測定箇所を適切に設定し、定期的に測定する。

e. 滞留水から発生する可燃性ガスの検出、管理及び処理

滞留水に起因する気体状の放射性物質の環境への放出低減のため地下開口部を閉塞の後、滞留する可能性がある閉塞部の付近にて水素濃度について上昇傾向のないことの確認のためサンプリングを実施する。それにより水素の滞留が確認された場合、対策を実施する。

2.6.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

津波対策は、「Ⅲ.3.1.3.2 津波への対応」を参照。

(2) 豪雨・台風

豪雨・台風対策は、「Ⅲ.3.1.4.1 台風・豪雨について」を参照。

(3) 竜巻

竜巻対策は、「Ⅲ.3.1.4.2 竜巻について」を参照。

(4) 火災

建屋内の各設備においては、設備毎に必要な火災対策を実施している。また、滞留水を貯留・滞留している建屋地下エリアは、火気作業が無いため火災が発生するリスクが低く、仮に火災が発生したとしても、滞留水の貯留機能に影響はないことから、追加の火災対策は不要である。

2.6.1.7 構造強度及び耐震性

(1) プロセス主建屋

a. 東北地方太平洋沖地震後の地震応答解析、点検による確認

プロセス主建屋は耐震Bクラスであり、今回の東北地方太平洋沖地震及びその余震を経験したものの、弾性範囲の挙動を示したものと考えられるが、構造物としての健全性が維持されていることについて、地震応答解析、点検により確認を行う。

b. 地下階への貯水後における耐震安全性評価

大量（満水）の滞留水を貯蔵する荷重条件に対し、参考に基準地震動 S_s に対し

て、構造強度を満足することを確認する。

(2) 高温焼却炉建屋

a. 東北地方太平洋沖地震後の地震応答解析，点検による確認

高温焼却炉建屋は耐震Bクラスであり，今回の東北地方太平洋沖地震及びその余震を経験したものの，弾性範囲の挙動を示したものと考えられるが，構造物としての健全性が維持されていることについて，地震応答解析，点検により確認を行う。

b. 地下階への貯水後における耐震安全性評価

大量（満水）の滞留水を貯蔵する荷重条件に対し，参考に基準地震動 S_s に対して，構造強度を満足することを確認する。

(3) 1～4号機

a. 東北地方太平洋沖地震後の地震応答解析

原子炉建屋は耐震Sクラス，タービン建屋，廃棄物処理建屋は耐震Bクラスであり，今回の東北地方太平洋沖地震及びその余震を経験したものの，弾性範囲の挙動を示したものと考えられるが，原子炉建屋とタービン建屋は構造物としての健全性が維持されていることについて，地震応答解析により確認を行う。

b. 地下階への貯水後における耐震安全性評価

大量（満水）の滞留水を貯蔵する荷重条件に対し，原子炉建屋について，基準地震動 S_s に対して，構造強度を満足することを確認する。

また，参考に，タービン建屋，廃棄物処理建屋について，基準地震動 S_s に対して，構造強度を満足することを確認する。

2.6.2 添付資料

添付資料－1	系統概略図
添付資料－2	構造強度及び耐震性
添付資料－3	地下水バイパスによる地下水流入量の低減
添付資料－4	プロセス主建屋の貫通部の止水措置
添付資料－5	プロセス主建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策
添付資料－6	プロセス主建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価
添付資料－7	高温焼却炉建屋の貫通部の止水措置
添付資料－8	高温焼却炉建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策
添付資料－9	高温焼却炉建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価
添付資料－10	1～4号機の各建屋外への放射性物質移行量の評価

添付資料－１ １ 建屋等内に滞留する滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減に
かかる方針

系統概略図

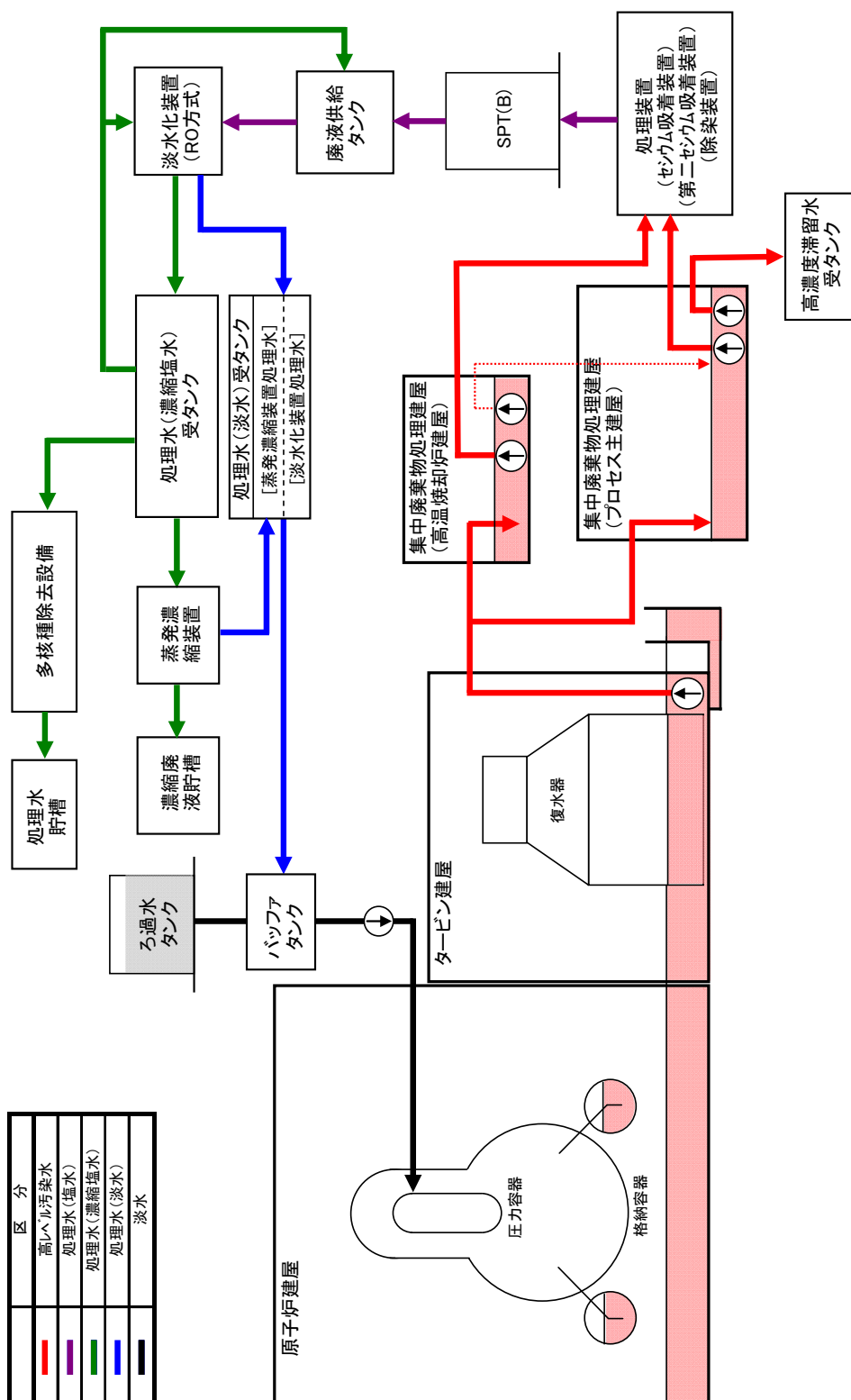
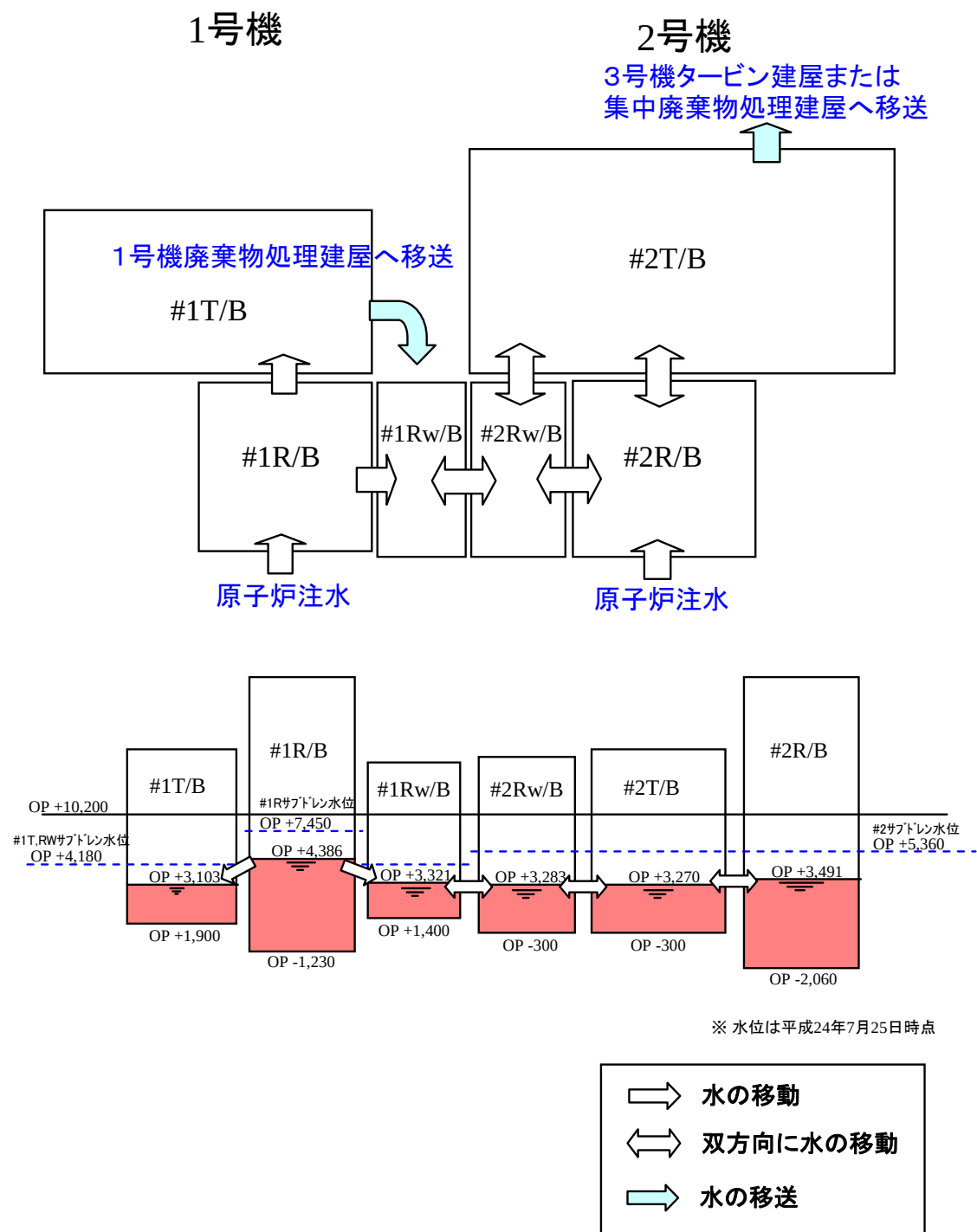
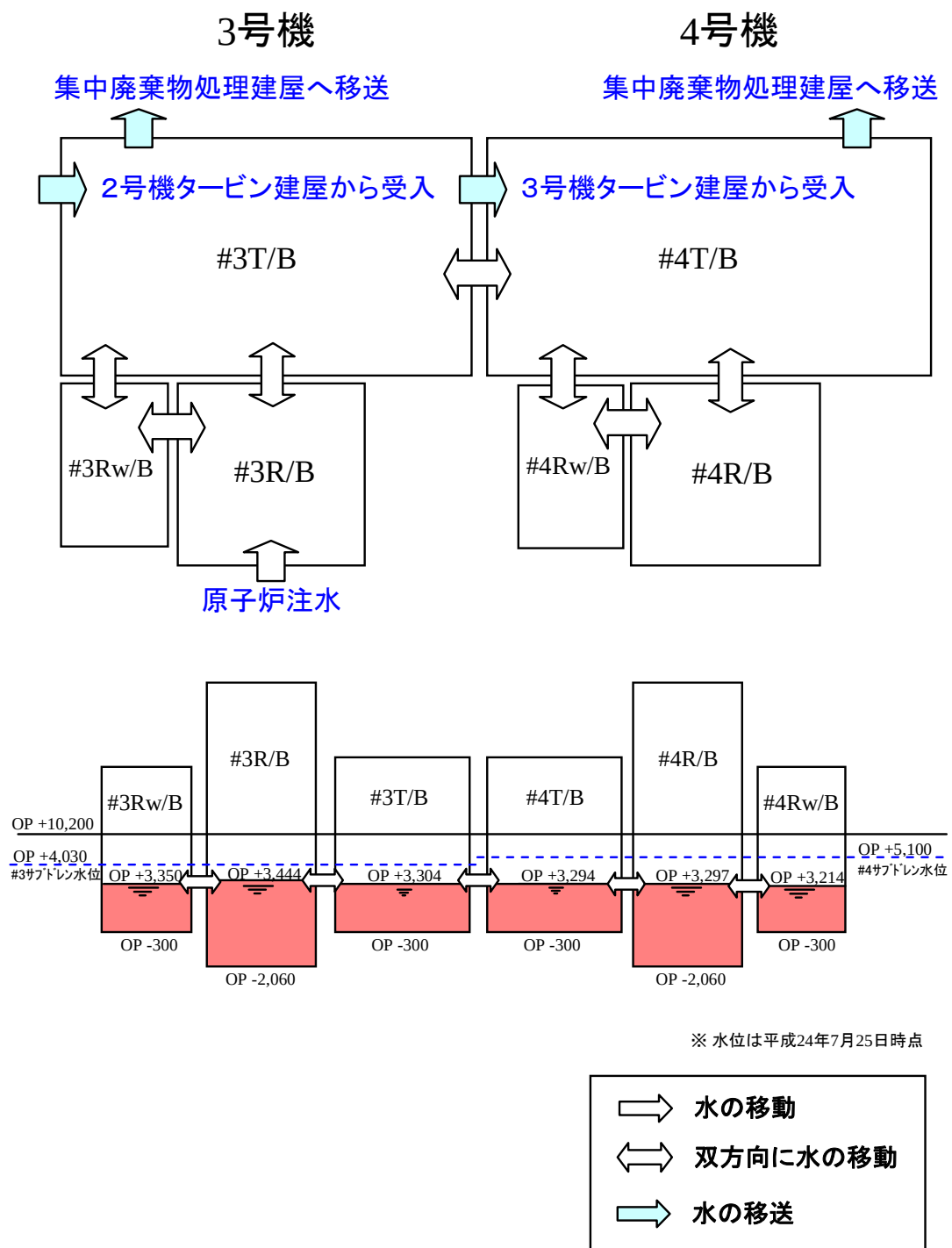


図1 滞留水移送概念図



注 #n: n 号機, R/B:原子炉建屋, T/B:タービン建屋, Rw/B:廃棄物処理建屋

図2 1 / 2号機建屋間における滞留水の流れのイメージ



注 #n: n 号機, R/B: 原子炉建屋, T/B: タービン建屋, Rw/B: 廃棄物処理建屋

図3 3 / 4 号機建屋間における滞留水の流れのイメージ

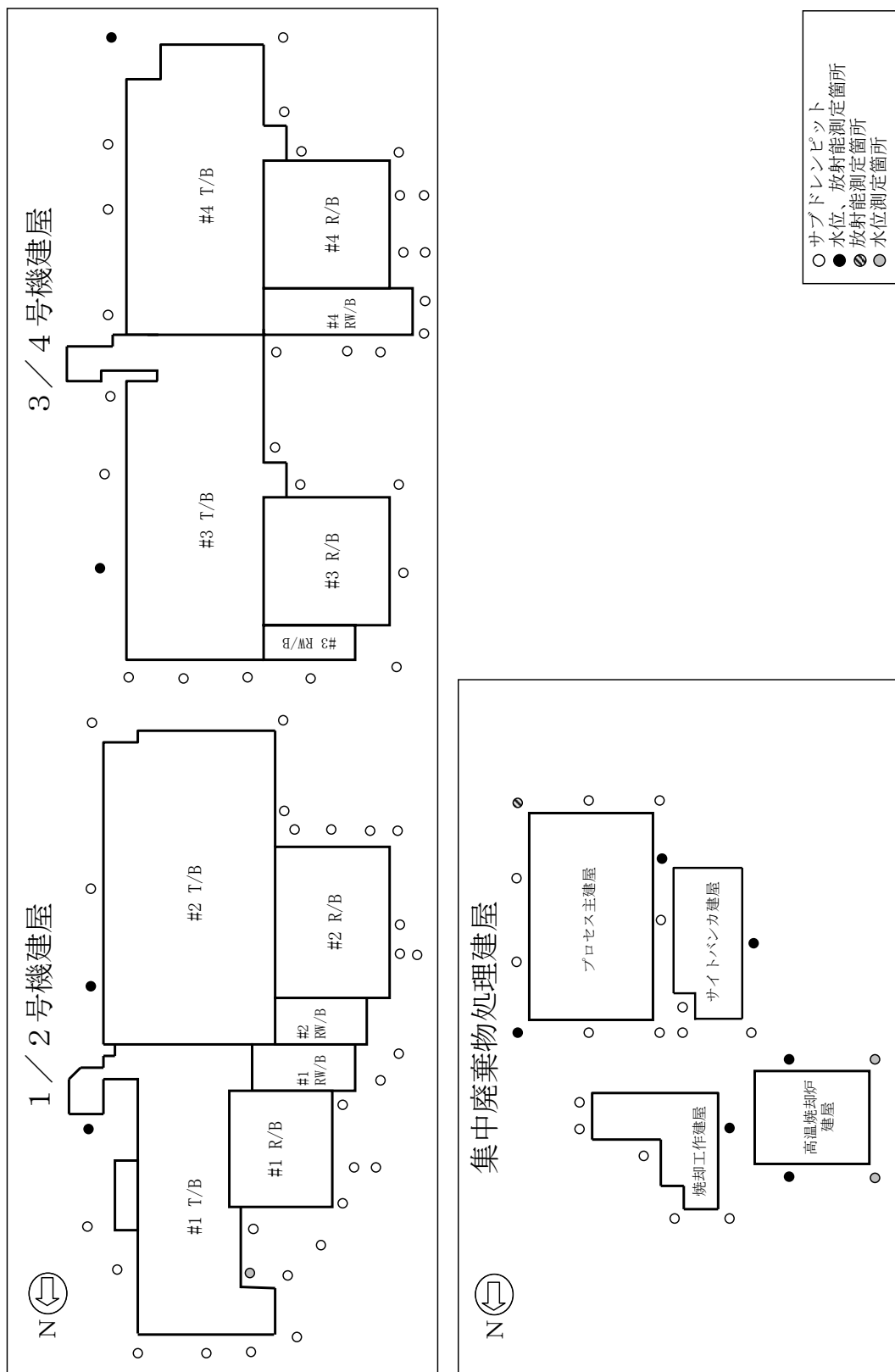


図4 サブドレンピット概略配置図

構造強度及び耐震性
(地下滞留水を考慮した建屋の耐震安全性評価)

1 はじめに

地下に滞留水を貯留する 1～4 号機原子炉建屋，1～4 号機タービン建屋，1～4 号機廃棄物処理建屋及び 1～4 号機コントロール建屋について，地下階に滞留水があることを考慮し，基準地震動 S_s に対し，地下外壁が崩壊しないことを確認する。なお，判定は地下階の耐震壁が終局限界に至らないことを確認する。

1～4 号機原子炉建屋について，基準地震動 S_s に対する地下滞留水を考慮した地震応答解析を実施し，地下外壁の耐震安全性を評価する。（4 号機原子炉建屋については，Ⅲ. 3. 1. 3 添付資料 3 を参照）

また，1～4 号機タービン建屋，1～4 号機廃棄物処理建屋及び 1～4 号機コントロール建屋について，それぞれ代表号機を選定した上で，基準地震動 S_s に対する地下滞留水を考慮した地震応答解析を実施し，地下外壁の耐震安全性を評価する。なお，代表号機以外については，代表号機の耐震安全性評価結果を踏まえ，建屋の類似性等を考慮して，耐震安全性を評価する。ここで，代表号機は滞留水の容量が最大の号機とする。

2 原子炉建屋

2.1 1号機原子炉建屋

2.1.1 解析評価方針

1号機原子炉建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下1階から地上5階に設置された機器を含む建屋全域を NS, EW 方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

1号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 2.1.1-1 に示す。

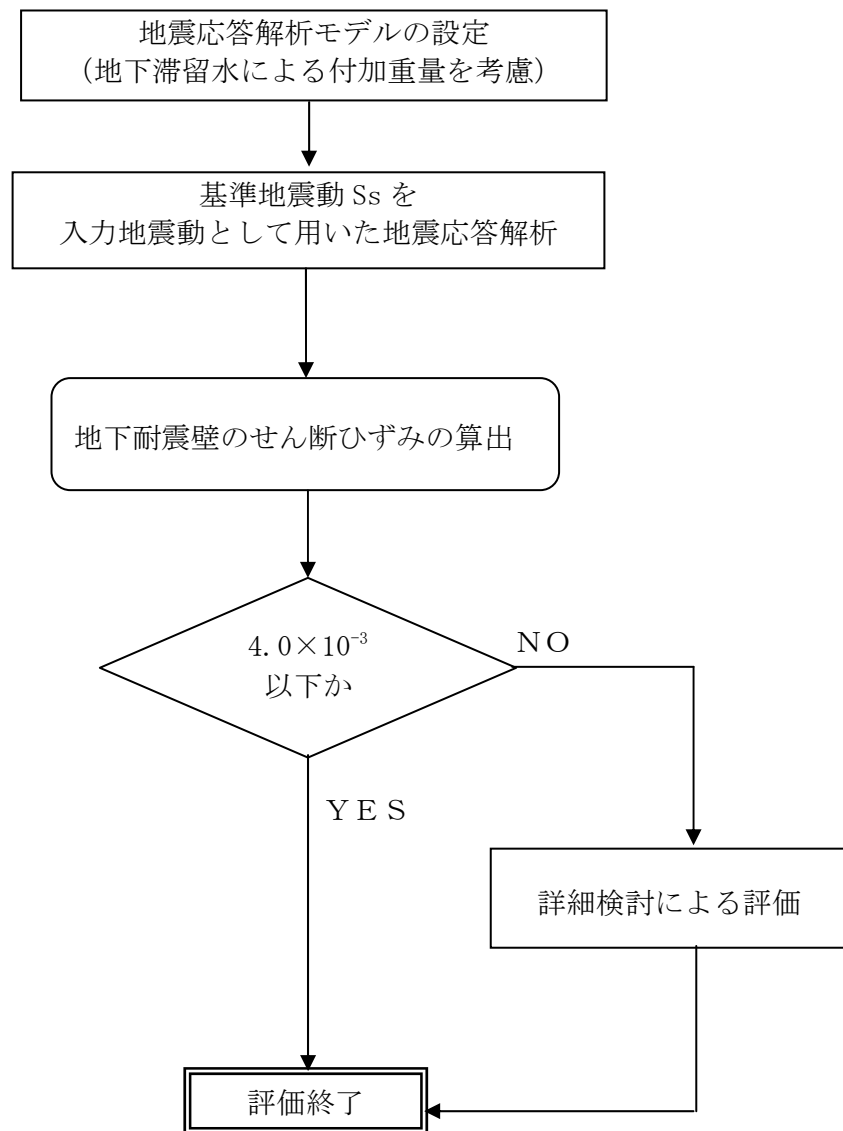


図 2.1.1-1 1号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

2.1.2 1号機原子炉建屋の水位及び地下滞留水量

1号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 2.1.2-1 に示す。

表 2.1.2-1 1号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

	1号機
水位	O.P. 7,000
貯水量	5,600m ³

2.1.3 解析に用いる入力地震動

1号機原子炉建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した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。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図2.1.3-1に示す。この1号機原子炉建屋の解析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 に対する建屋基礎底面レベルの地盤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。

このうち、解放基盤表面位置 (O.P. -196.0m) における基準地震動 S_s の加速度波形について、図2.1.3-2に示す。

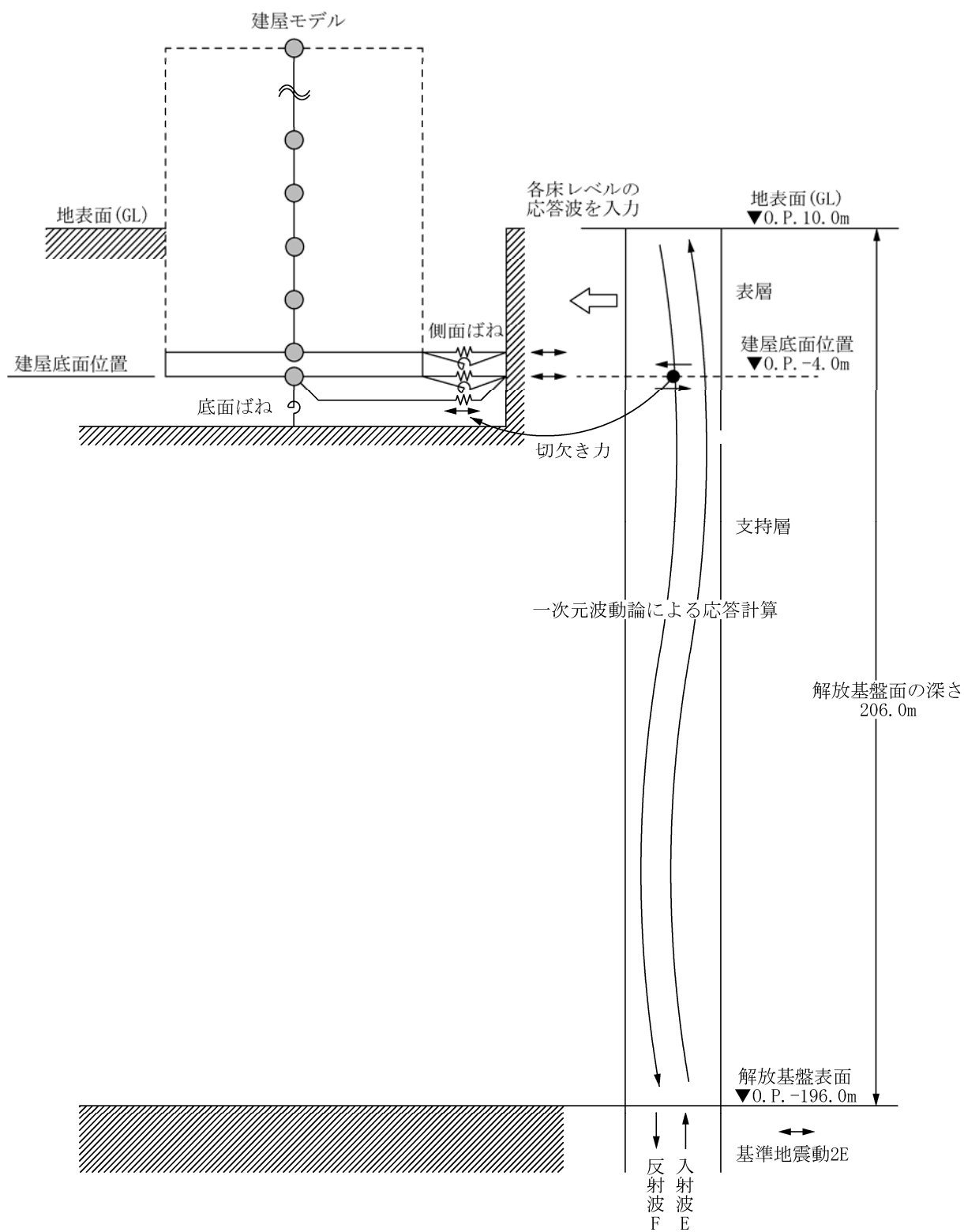
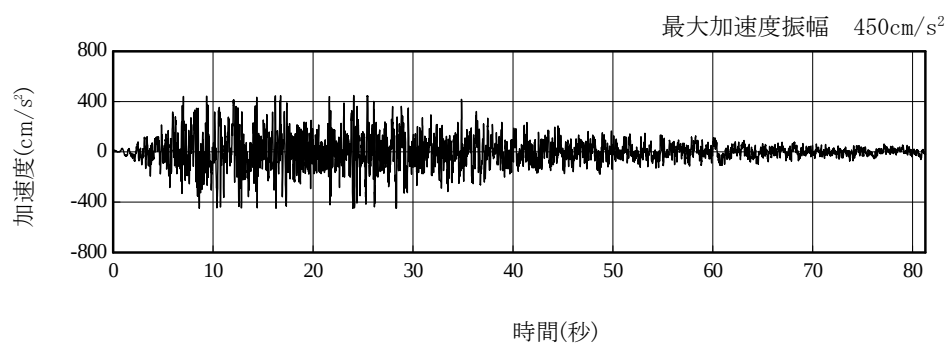
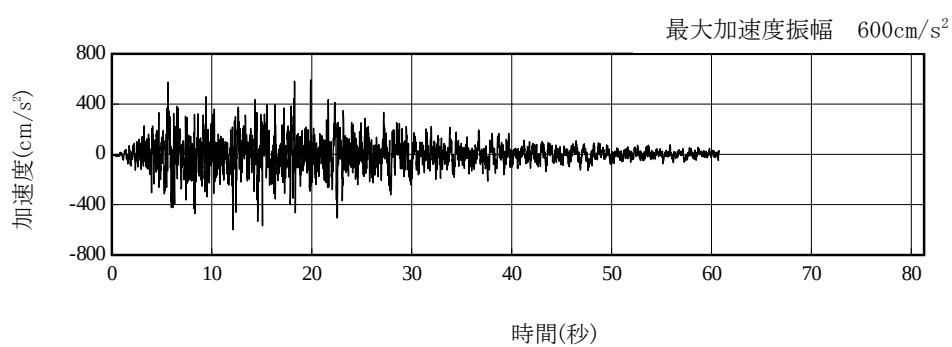


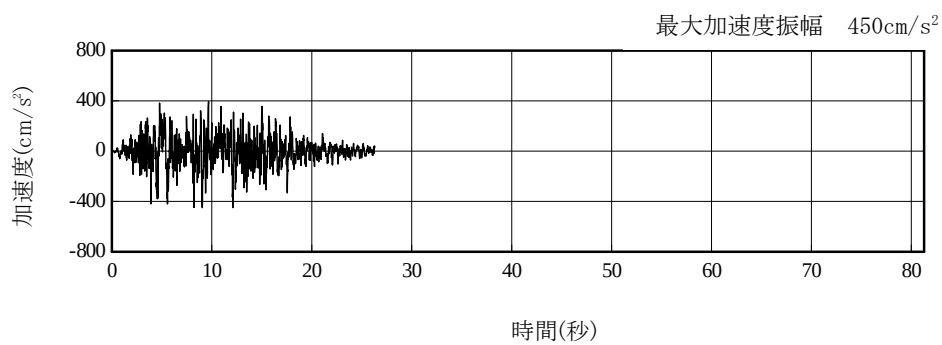
図 2. 1. 3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 2. 1. 3-2 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）

2.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 1 号機原子炉建屋の地震応答解析は、「2.1.3 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 2.1.4-1 及び図 2.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 2.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 2.1.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 2.1.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、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的に評価する。また、埋込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「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 2.1.4-3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

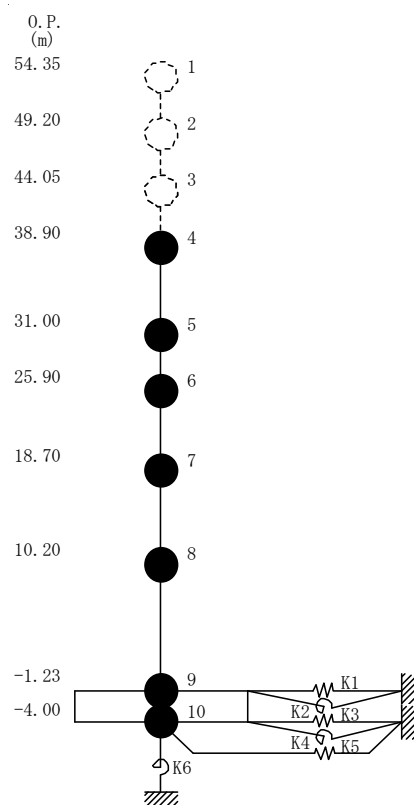


図 2.1.4-1 1号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

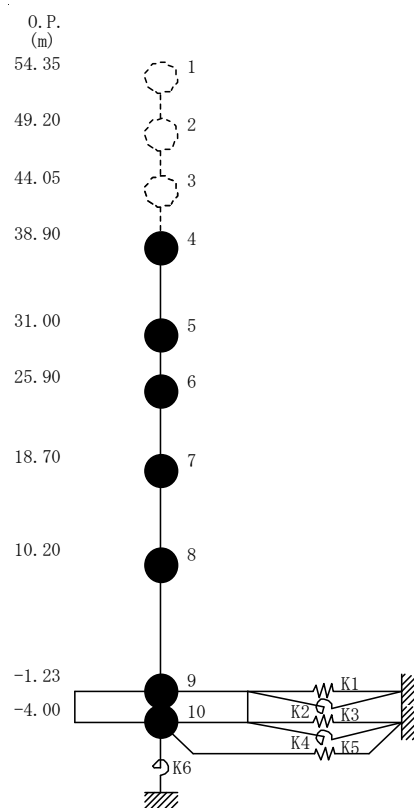


図 2.1.4-2 1号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 2.1.4-1 地震応答解析に用いる物性値

コンク リート	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)
	35.0	2.57×10^4	1.07×10^4	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

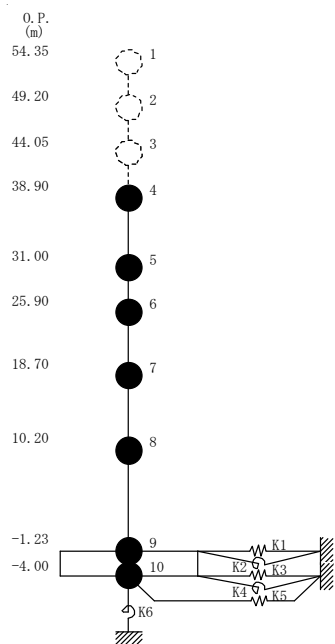
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*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。

表 2. 1. 4-2 建屋解析モデルの諸元

NS 方向

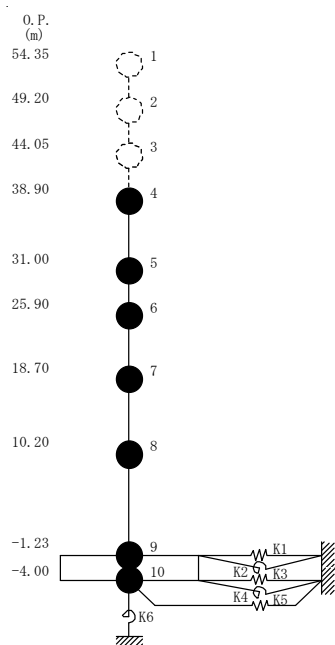


質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	—	—	—	—
4	58,690	84.43	—	—
5	67,910	97.77	135.0	16,012
6	77,220	111.11	160.8	21,727
7	88,440 [1,240]	127.32 [1.79]	132.8	24,274
8	162,800 (16,780)	234.31 (24.15)	155.6	36,481
9	185,210 (38,140)	266.64 (54.91)	294.0	52,858
10	62,400	89.83	1,914.3	275,530
合計	702,670			

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
[]内はカバリング工事による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%
基礎形状 41.56m (NS 方向) $\times$ 43.56m (EW 方向)

EW 方向



質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	—	—	—	—
4	58,690	48.34	—	—
5	67,910	55.90	102.7	9,702
6	77,220	63.55	163.9	13,576
7	88,440 [1,240]	127.32 [1.79]	131.6	14,559
8	162,800 (16,780)	234.31 (24.15)	197.8	36,427
9	185,210 (38,140)	327.39 (67.42)	294.0	52,858
10	62,400	110.32	1,914.3	338,428
合計	702,670			

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
[]内はカバリング工事による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%
基礎形状 41.56m (NS 方向) $\times$ 43.56m (EW 方向)

表 2.1.4-3 (1) 地盤定数

(Ss-1)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 2.1.4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 2.1.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

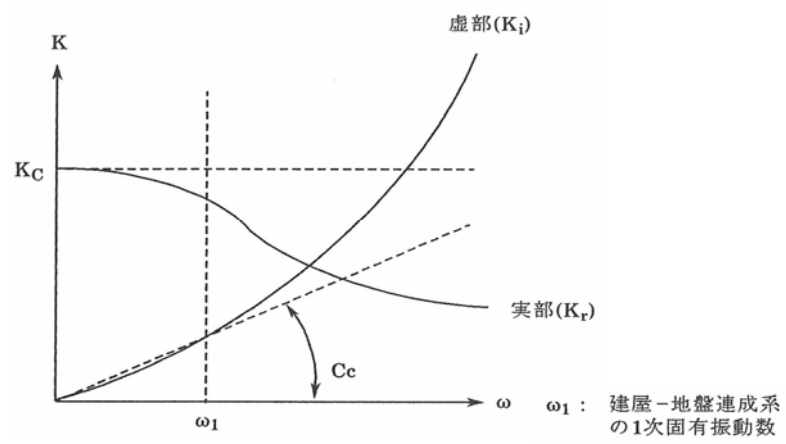


図 2.1.4-3 地盤ばねの近似

2.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向，EW 方向の最大応答加速度を，滞留水を未考慮の場合と比較して*注，図 2.1.5-1～図 2.1.5-6 に示す。

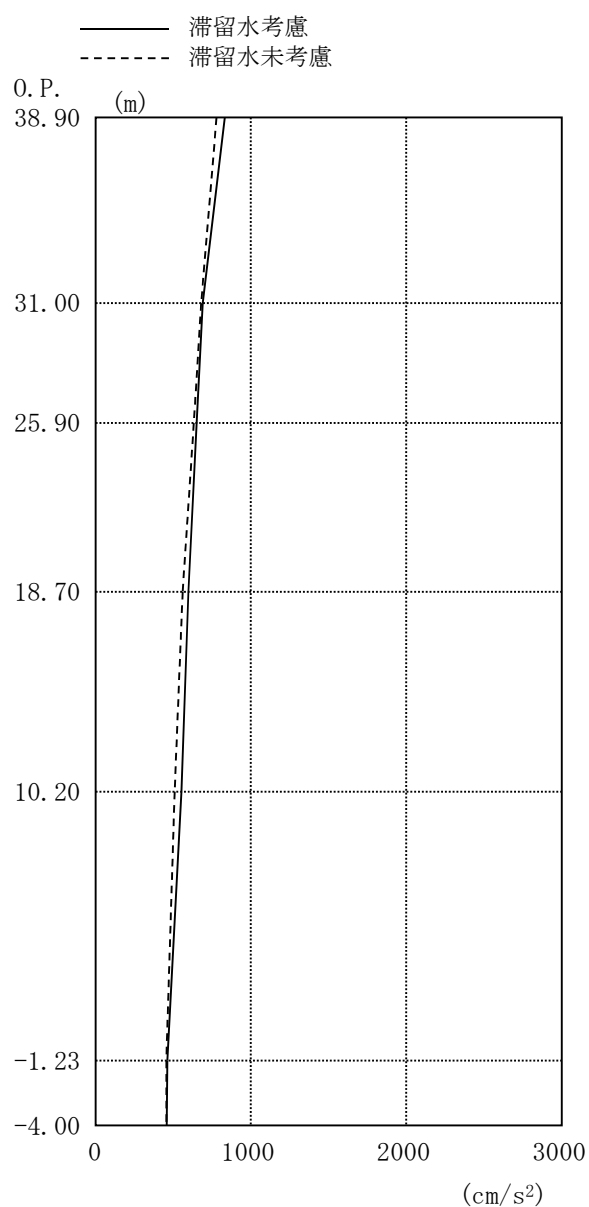


図 2.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

*注：滞留水考慮：本検討における結果であり，滞留水の重量の他，原子炉建屋カバーの重量を考慮したもの。

滞留水未考慮：損傷前の「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書（改訂版）」（原管発官 21 第 110 号 平成 21 年 6 月 19 日付け）の結果。

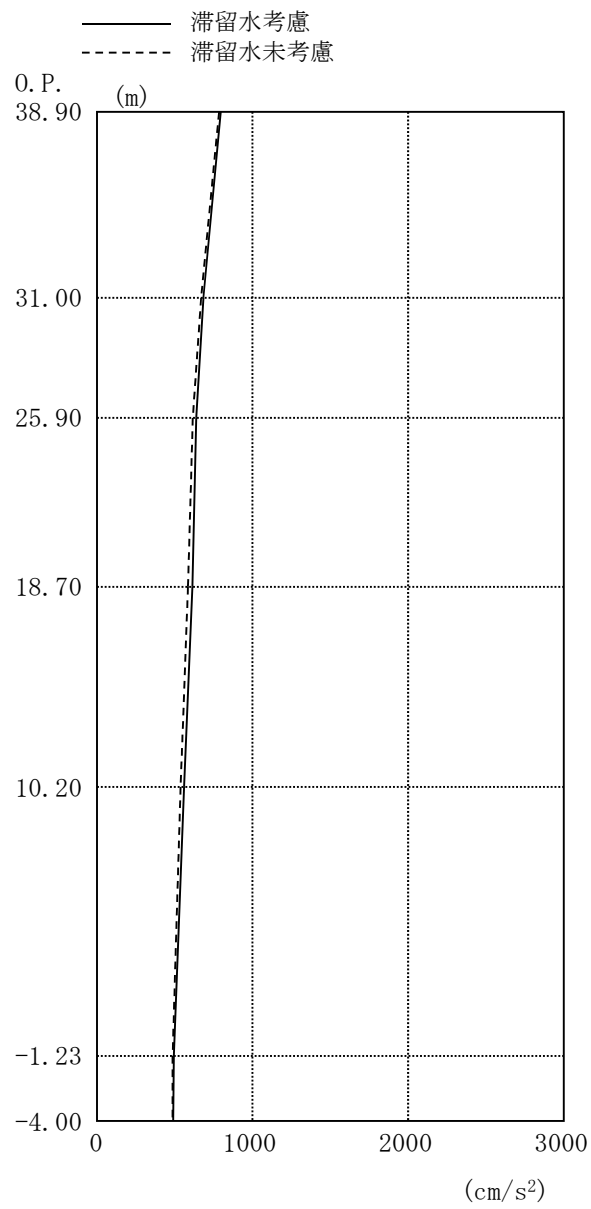


図 2.1.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

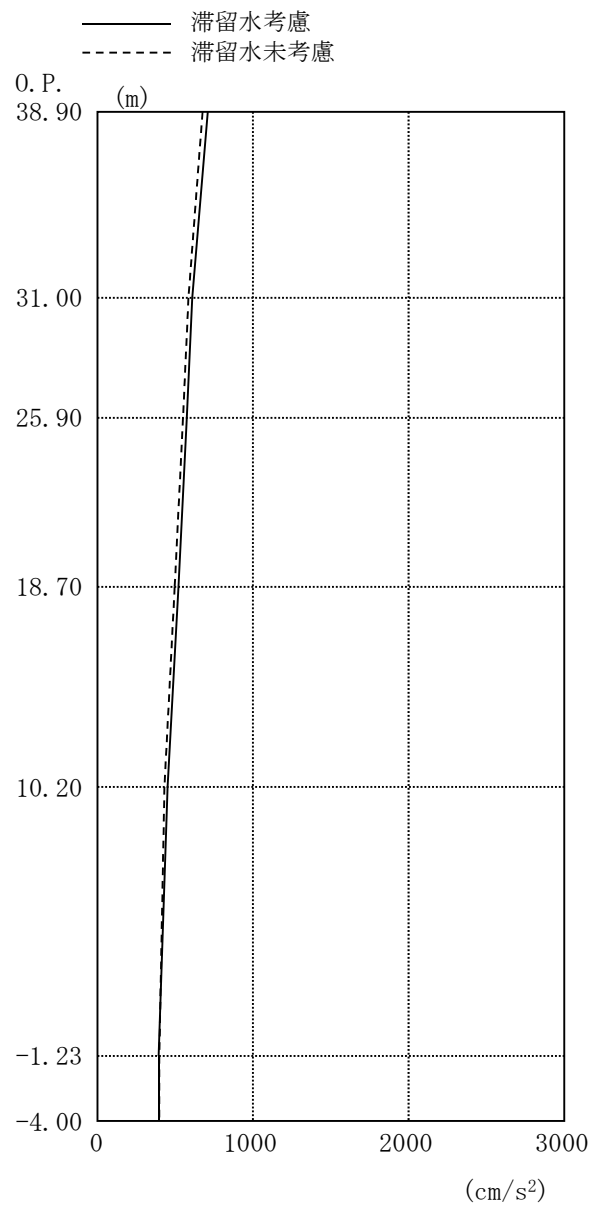


図 2.1.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

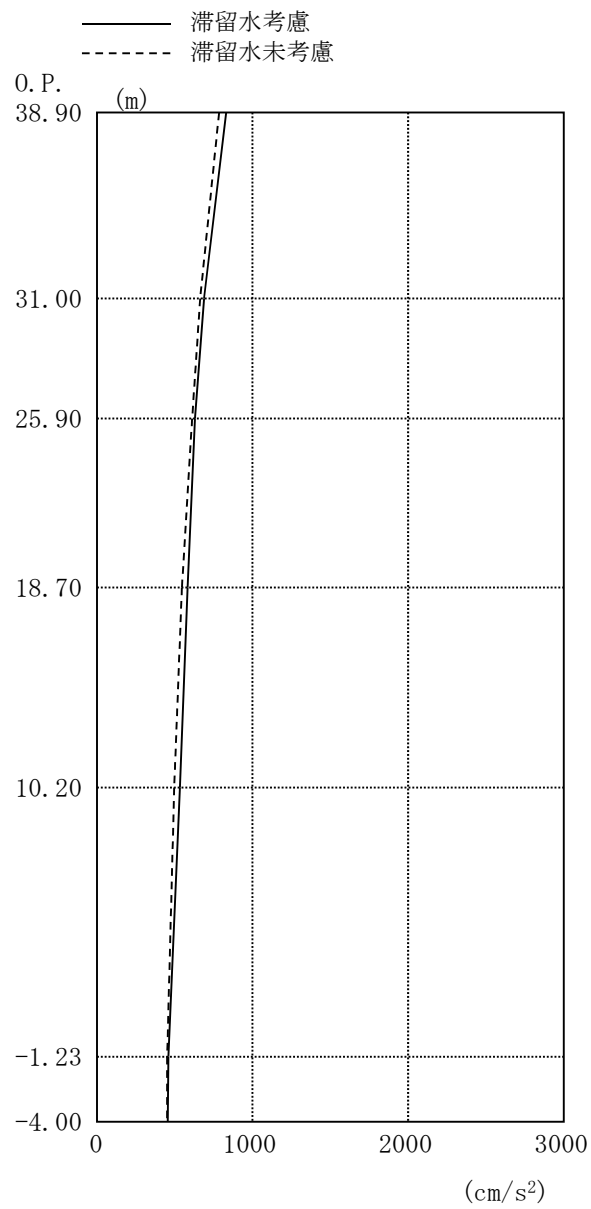


图 2.1.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

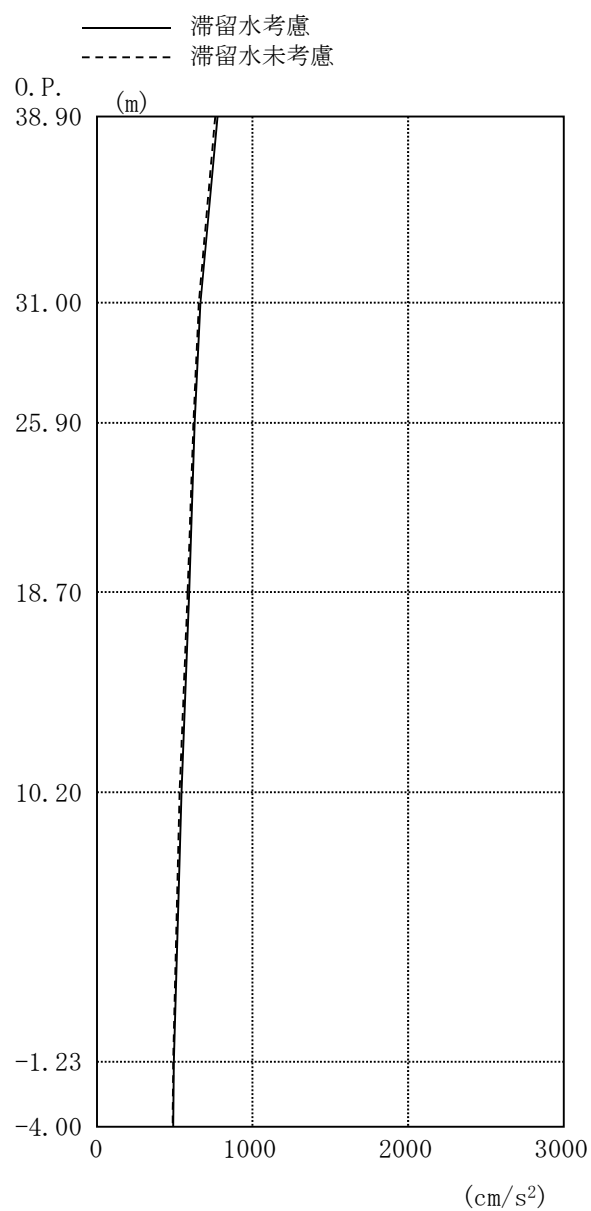


图 2.1.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

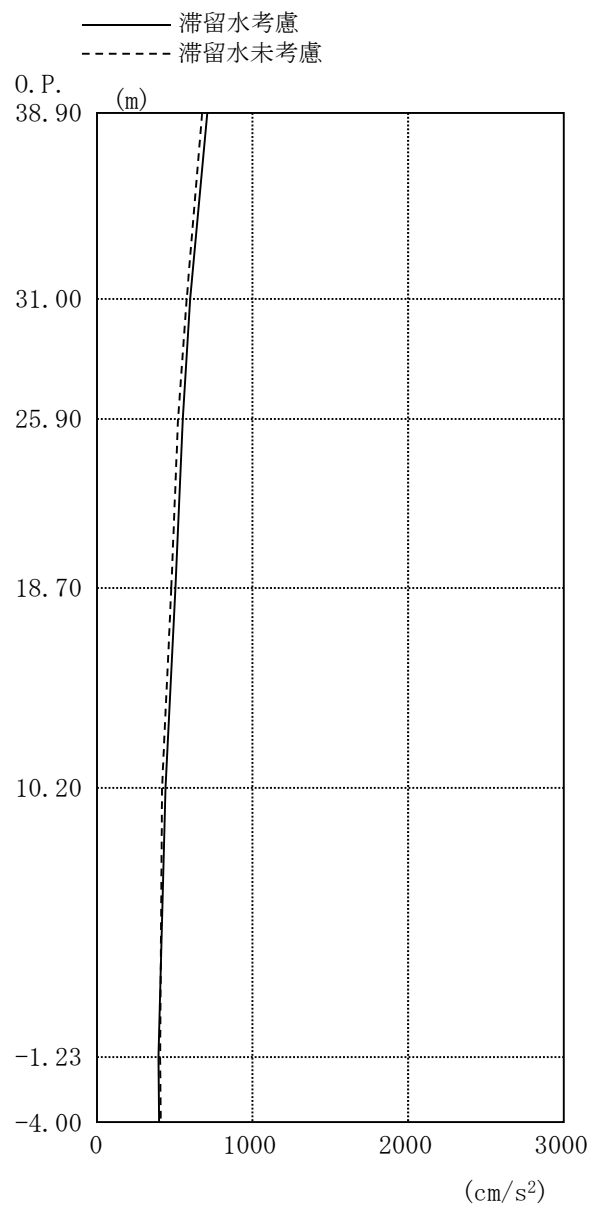


图 2.1.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

2.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を，滞留水を未考慮の場合と比較して，表 2.1.6-1 及び表 2.1.6-2 に示す。また，図 2.1.6-1 及び図 2.1.6-2 に基準地震動 Ss に対する最大応答値を，滞留水を未考慮の場合と比較して，耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは，滞留水を考慮した場合でも，最大で 0.09×10^{-3} であり，評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお，スケルトン曲線は，建屋の方向別に，層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから，1号機原子炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 2.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

(単位： $\times 10^{-3}$)

階	O. P.	滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	10.20～ -1.23	考慮	0.09	0.09	0.08	4.0 以下
		未考慮	0.08	0.09	0.07	

表 2.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位： $\times 10^{-3}$)

階	O. P.	滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	10.20～ -1.23	考慮	0.09	0.09	0.08	4.0 以下
		未考慮	0.08	0.09	0.07	

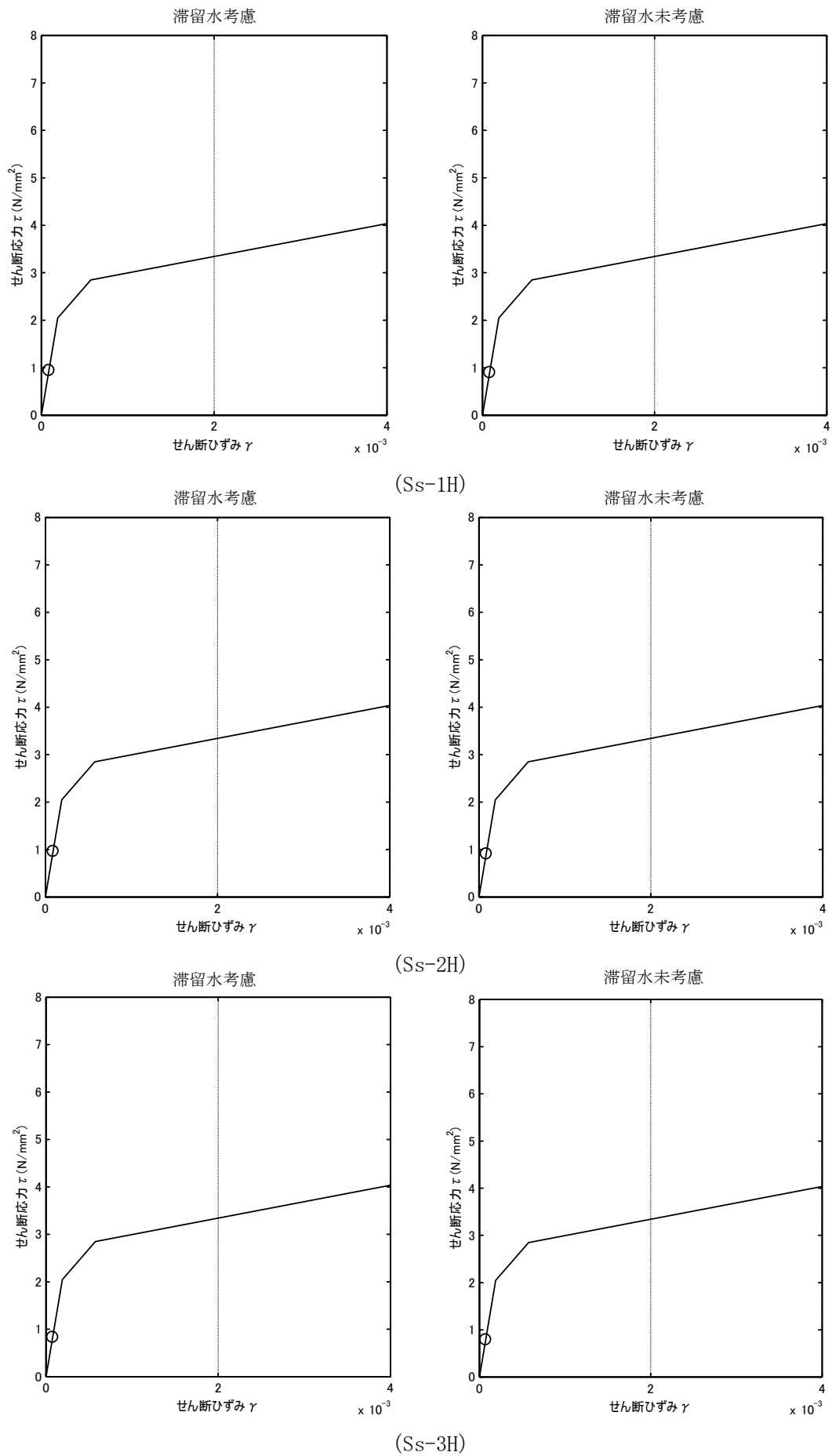


図 2.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)

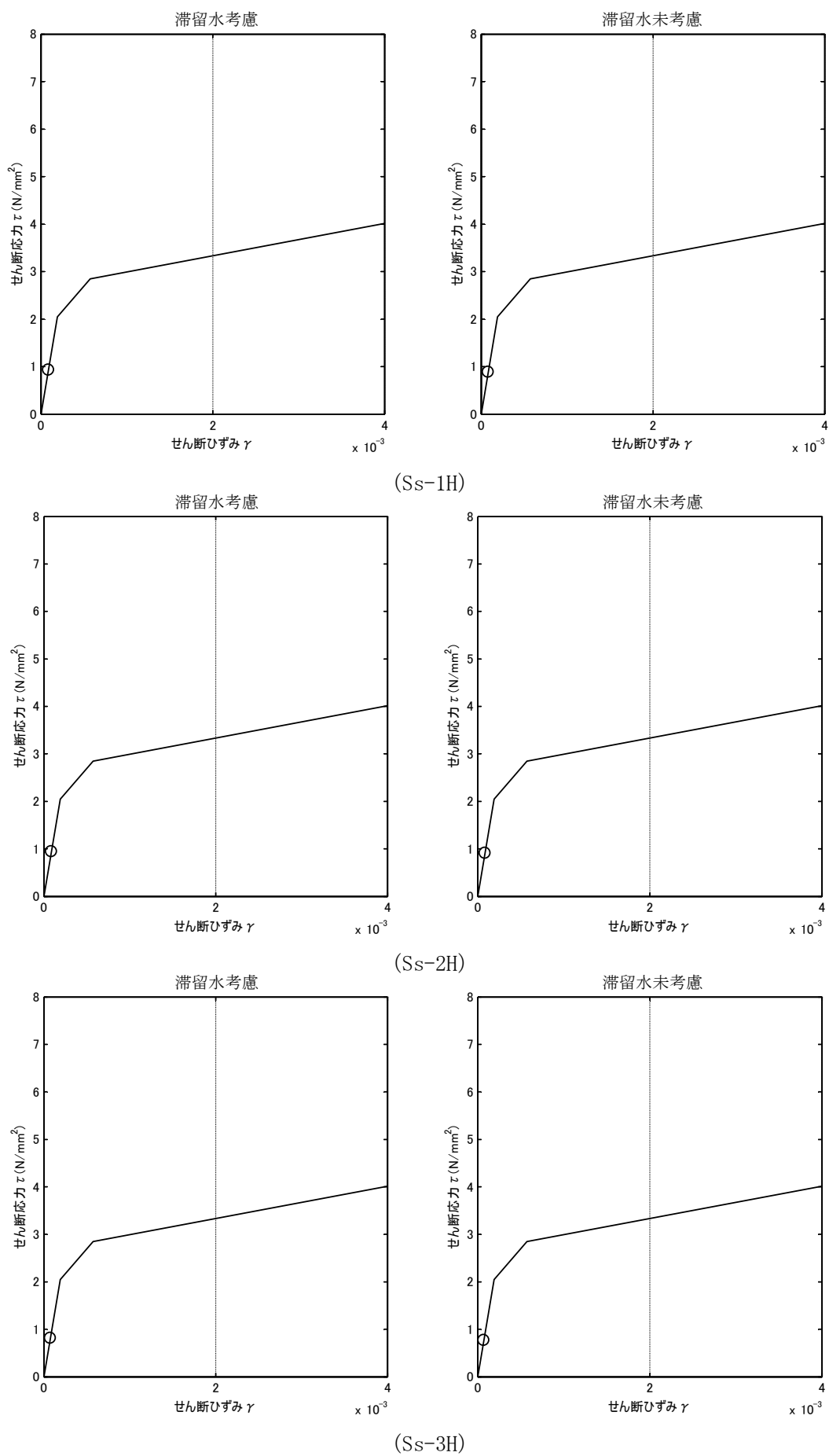


図 2.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

2.2 2号機原子炉建屋

2.2.1 解析評価方針

2号機原子炉建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下1階から地上5階に設置された機器を含む建屋全域をNS、EW方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

2号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 2.2.1-1 に示す。

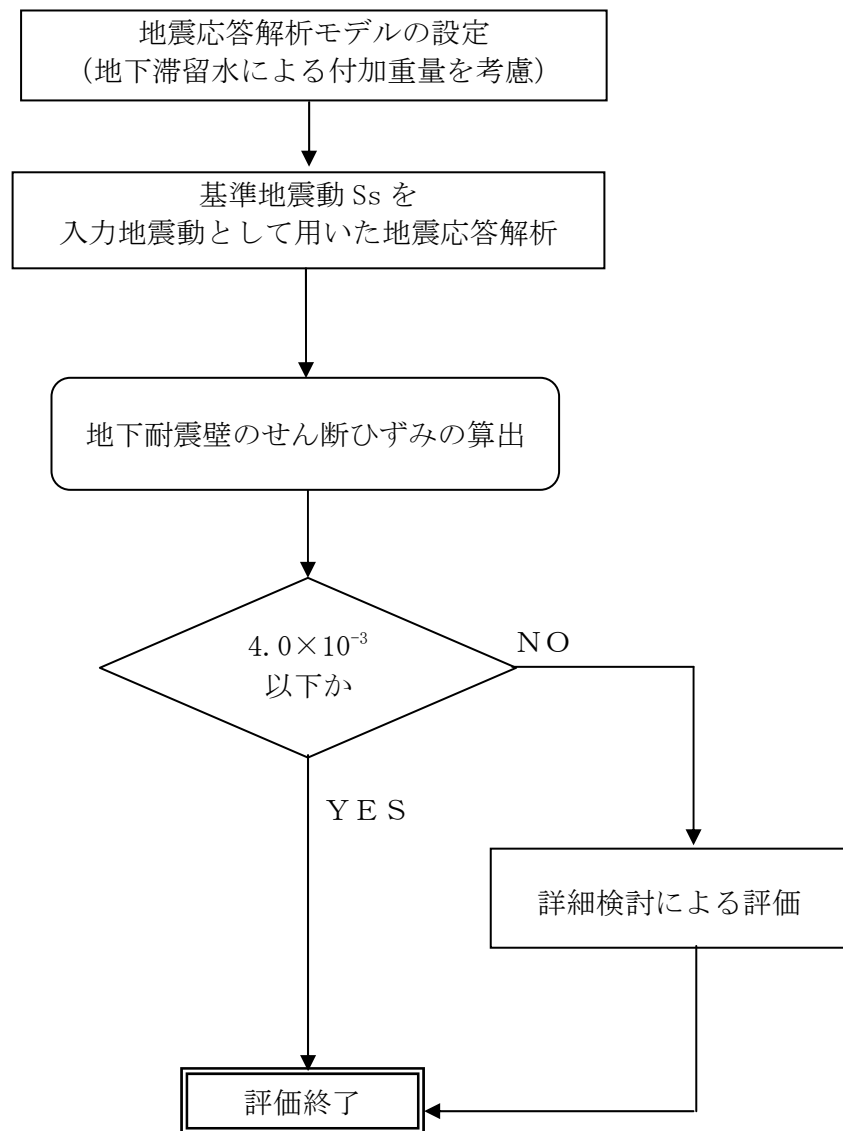


図 2.2.1-1 2号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

2.2.2 2号機原子炉建屋の水位及び地下滞留水量

2号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 2.2.2-1 に示す。

表 2.2.2-1 2号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

	2号機
水位	O.P. 4,000
貯水量	6,500m ³

2.2.3 解析に用いる入力地震動

2号機原子炉建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（原管発官19第603号 平成20年3月31日付け）にて作成した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。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 2.2.3-1 に示す。この2号機原子炉建屋の解析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 に対する建屋基礎底面レベルの地盤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。

このうち、解放基盤表面位置（O.P. -196.0m）における基準地震動 S_s の加速度波形について、図 2.2.3-2 に示す。

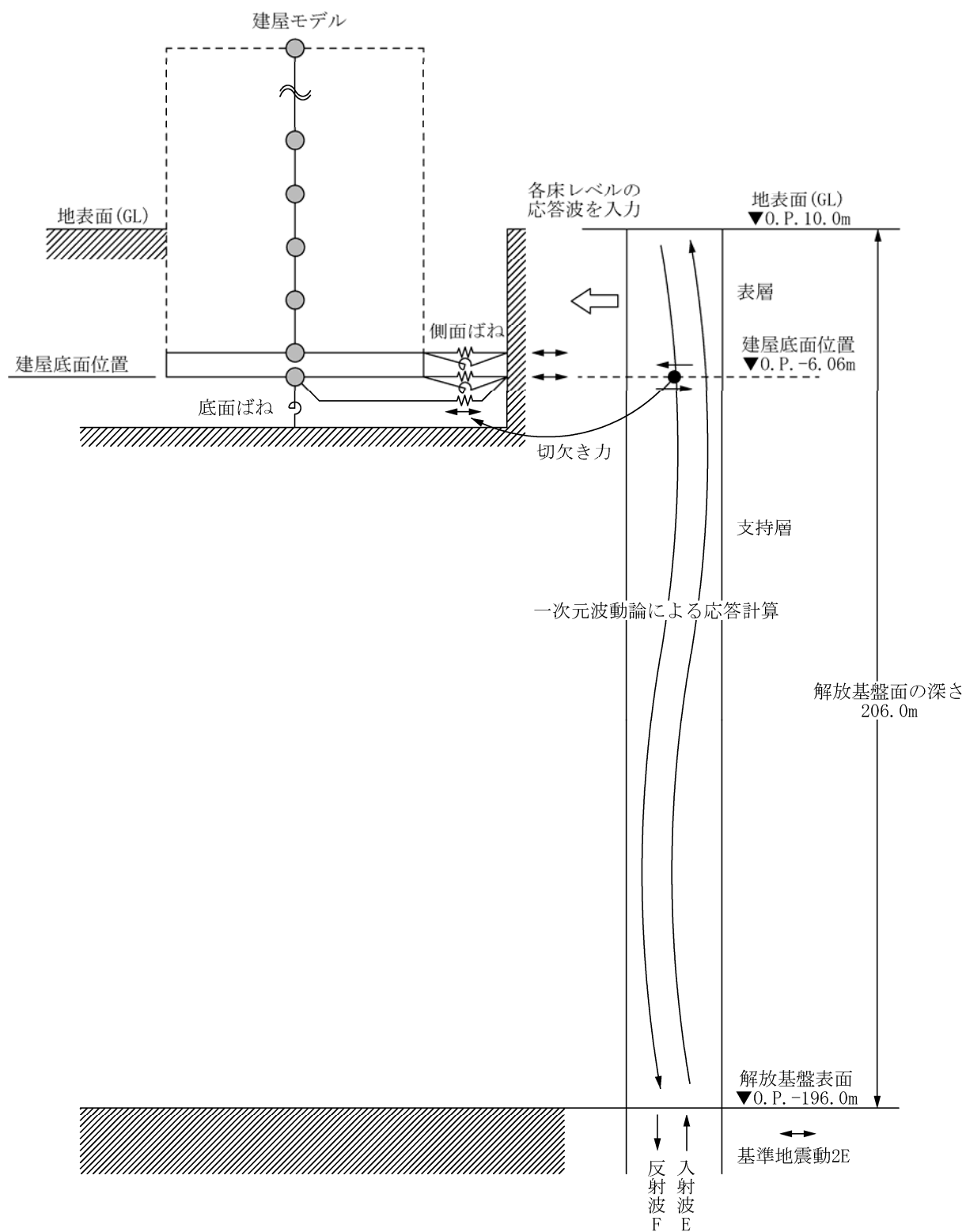


図 2. 2. 3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

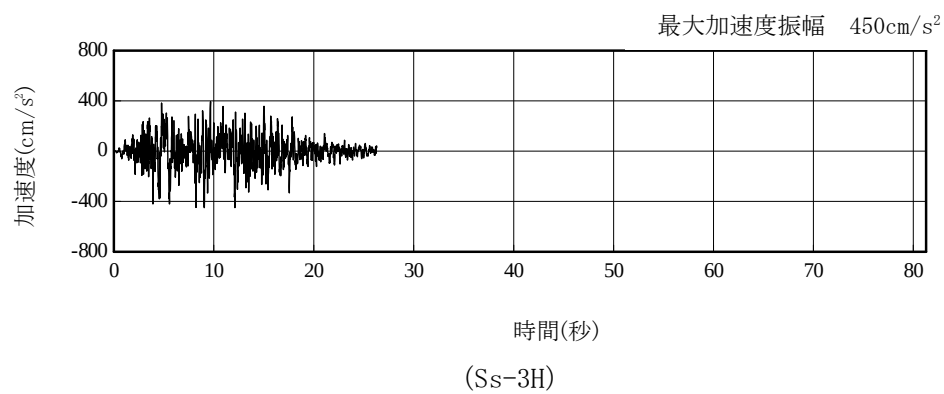
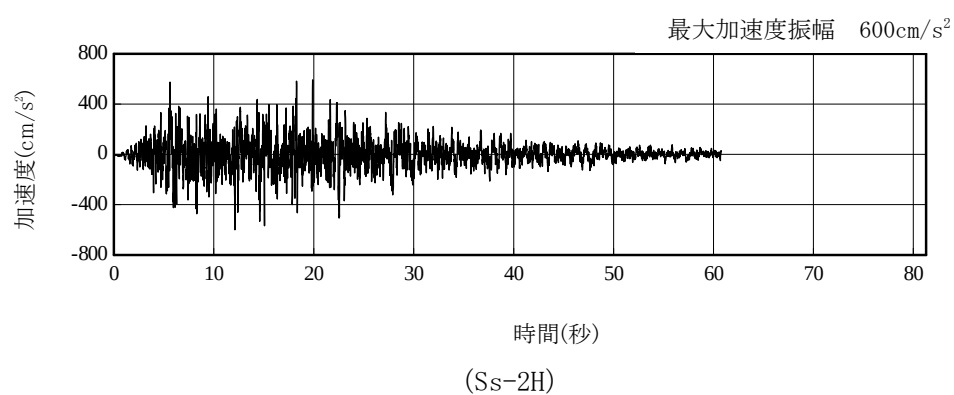
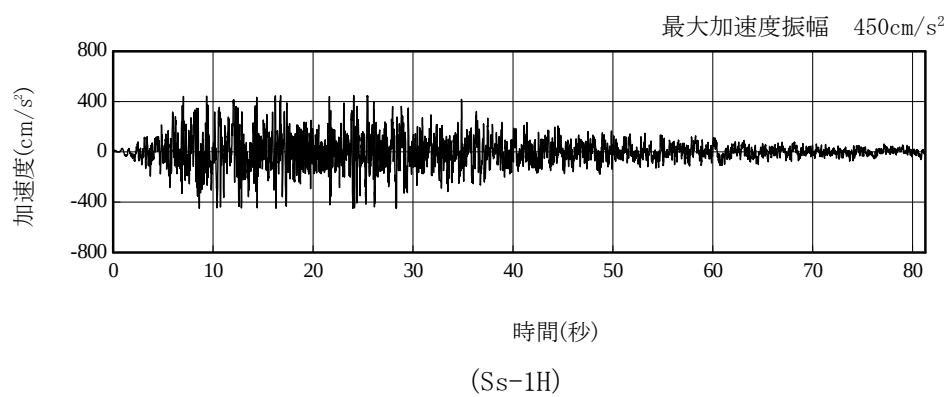


図 2. 2. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

2.2.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 2 号機原子炉建屋の地震応答解析は、「2.2.3 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 2.2.4-1 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 2.2.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 2.2.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 2.2.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、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的に評価する。また、埋込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「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 2.2.4-2 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

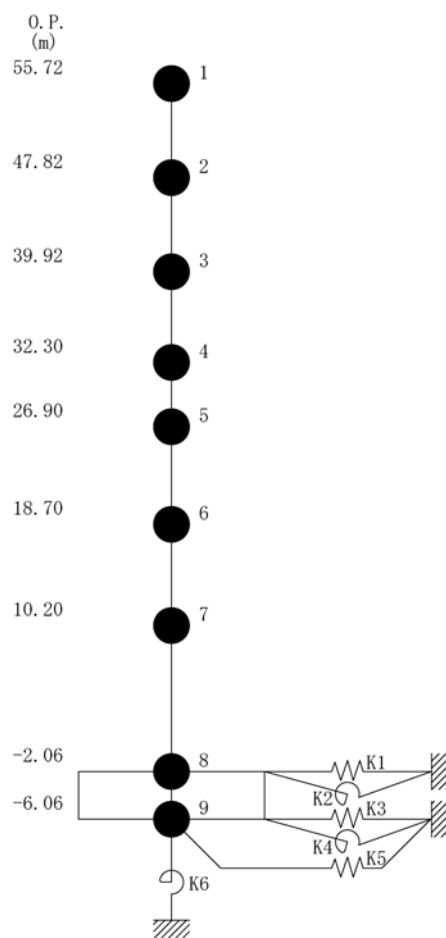


図 2.2.4-1 2号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (NS・EW 方向)

表 2.2.4-1 地震応答解析に用いる物性値

コンクリート	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)
	35.0	2.57×10 ⁴	1.07×10 ⁴	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

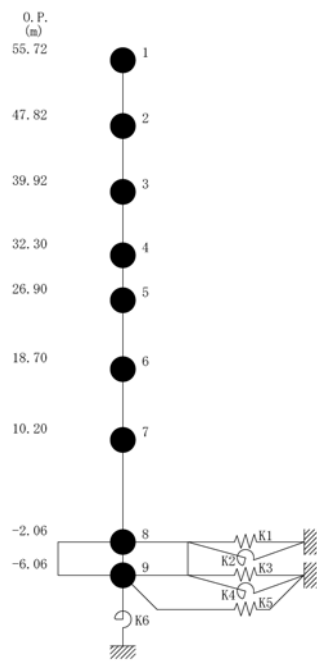
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*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。

表 2. 2. 4-2 建屋解析モデルの諸元

NS 方向

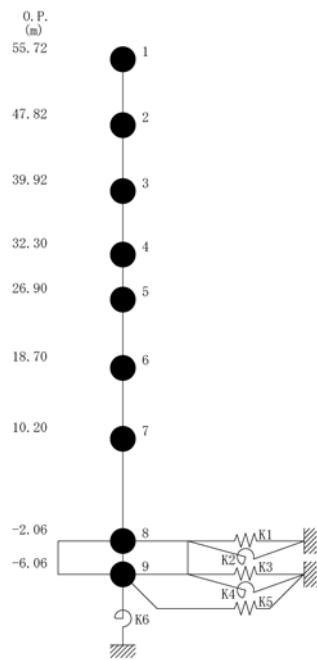


質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント I (m^4)
1	14, 380	25. 99		
2	10, 220	18. 53	18. 6	10, 154
3	58, 470	105. 81	18. 6	10, 675
4	70, 440	127. 49	184. 3	22, 551
5	107, 720	194. 96	166. 8	24, 629
6	116, 670	211. 14	249. 3	44, 401
7	199, 190	360. 49	157. 1	40, 661
8	341, 290 (63, 750)	617. 55 (115. 35)	456. 8	110, 444
9	125, 030	226. 24	2, 656. 2	480, 675
合計	1, 043, 410			

注 ()内は滞留水による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
ポアソン比 ν 0. 20
減衰 h 5%
基礎形状 46. 60m (NS 方向) $\times$ 57. 00m (EW 方向)

EW 方向



質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント I (m^4)
1	14, 380	14. 71		
2	10, 220	10. 40	14. 0	5, 941
3	58, 470	59. 72	14. 0	6, 307
4	70, 440	71. 88	108. 2	11, 927
5	107, 720	194. 96	117. 3	14, 199
6	116, 670	211. 14	185. 7	33, 796
7	199, 190	539. 37	173. 1	41, 960
8	341, 290 (63, 750)	923. 98 (172. 59)	418. 1	132, 121
9	125, 030	338. 53	2, 656. 2	719, 166
合計	1, 043, 410			

注 ()内は滞留水による付加分を示す。

ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN}/\text{m}^2)$
ポアソン比 ν 0. 20
減衰 h 5%
基礎形状 46. 60m (NS 方向) $\times$ 57. 00m (EW 方向)

表 2.2.4-3 (1) 地盤定数
(Ss-1)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 2.2.4-3 (2) 地盤定数
(Ss-2)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 2.2.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

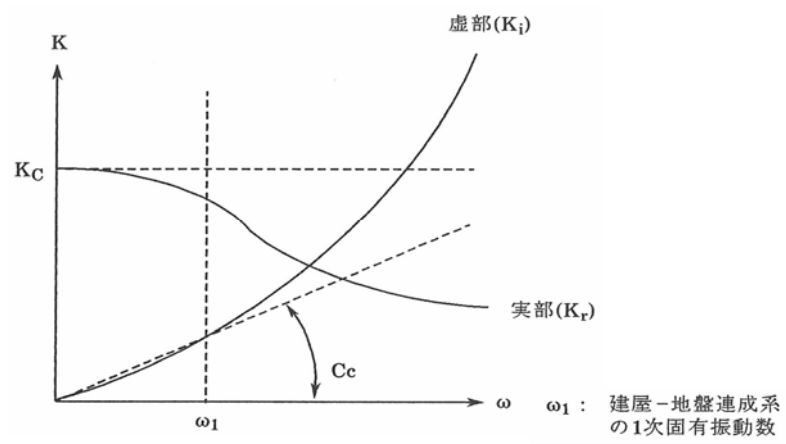


図 2.2.4-2 地盤ばねの近似

2.2.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を, 滞留水を未考慮の場合と比較して, 図 2.2.5-1～図 2.2.5-6 に示す。

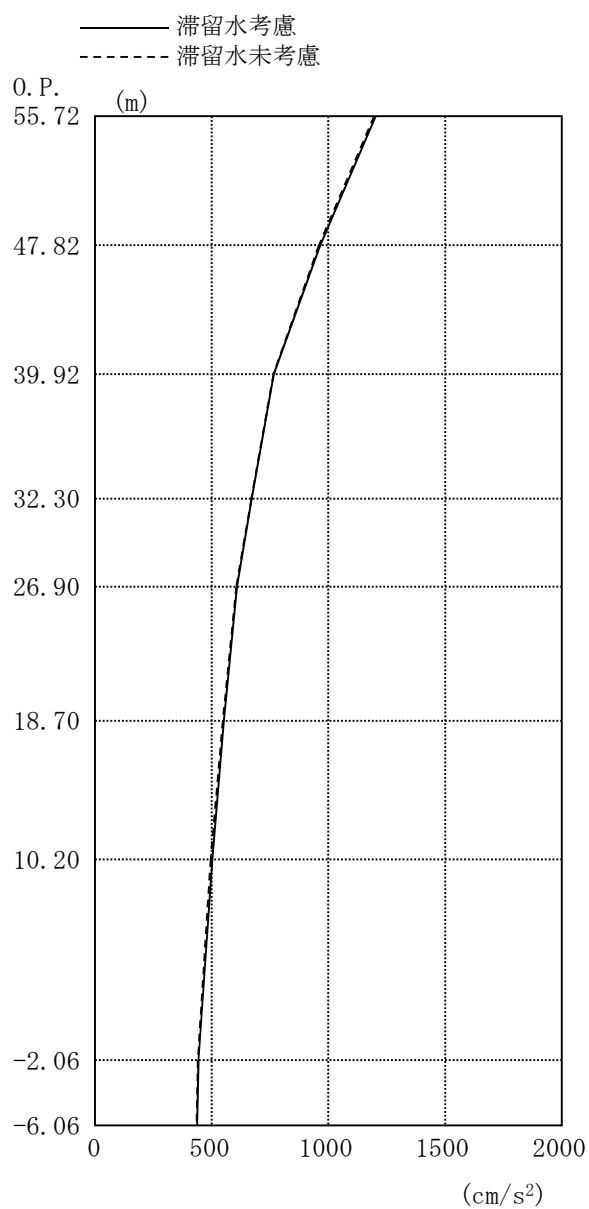


図 2.2.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

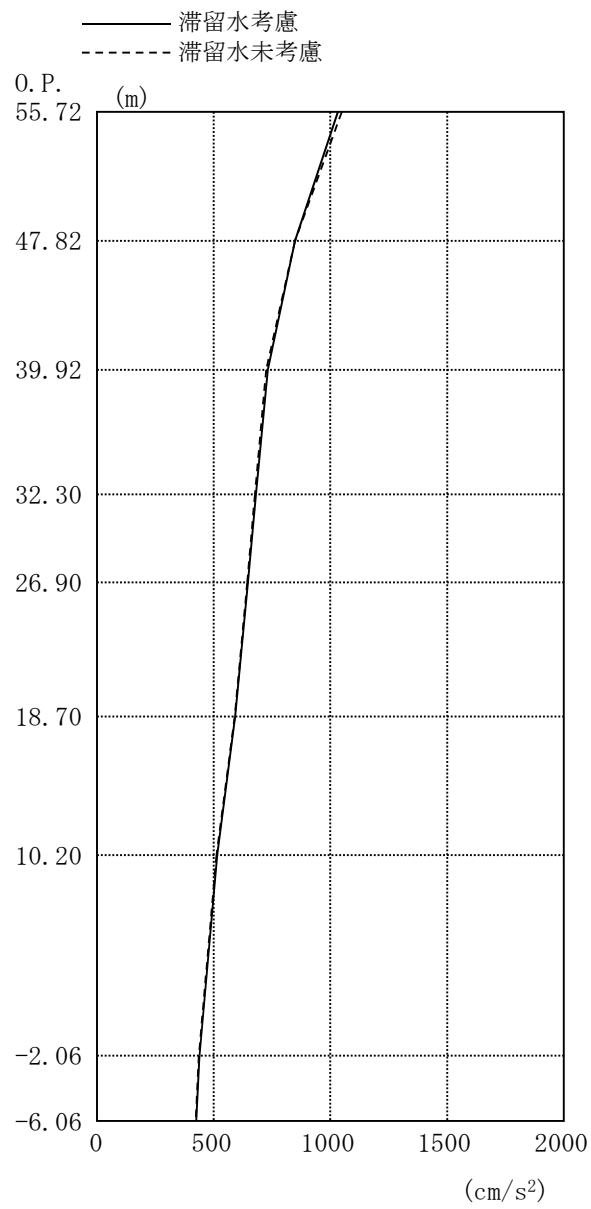


图 2.2.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

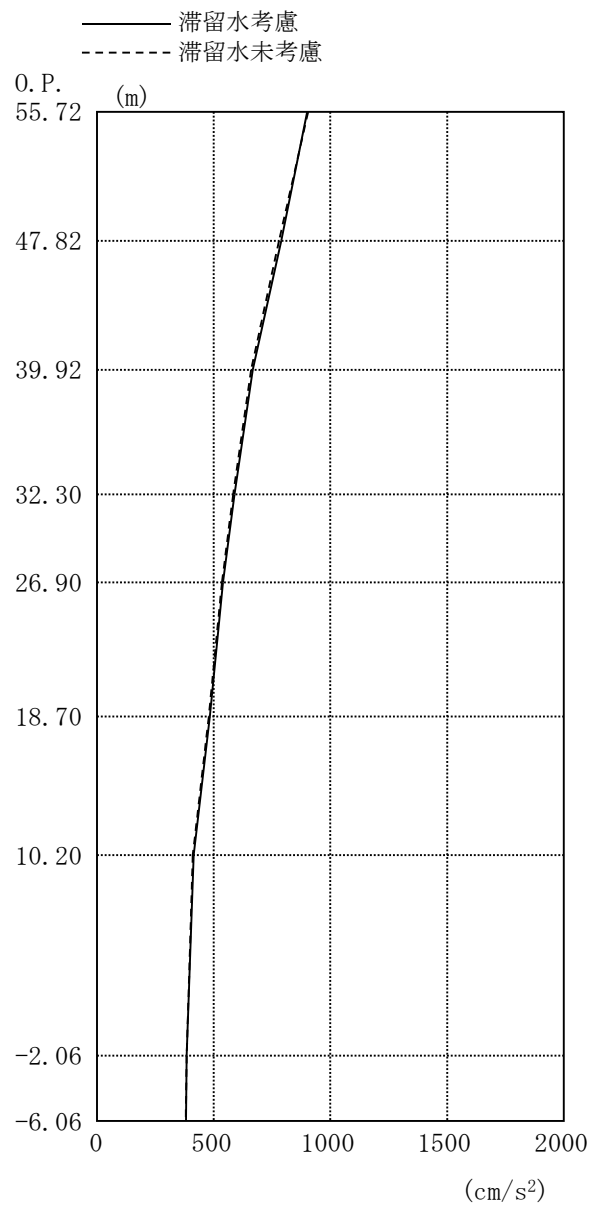


图 2.2.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

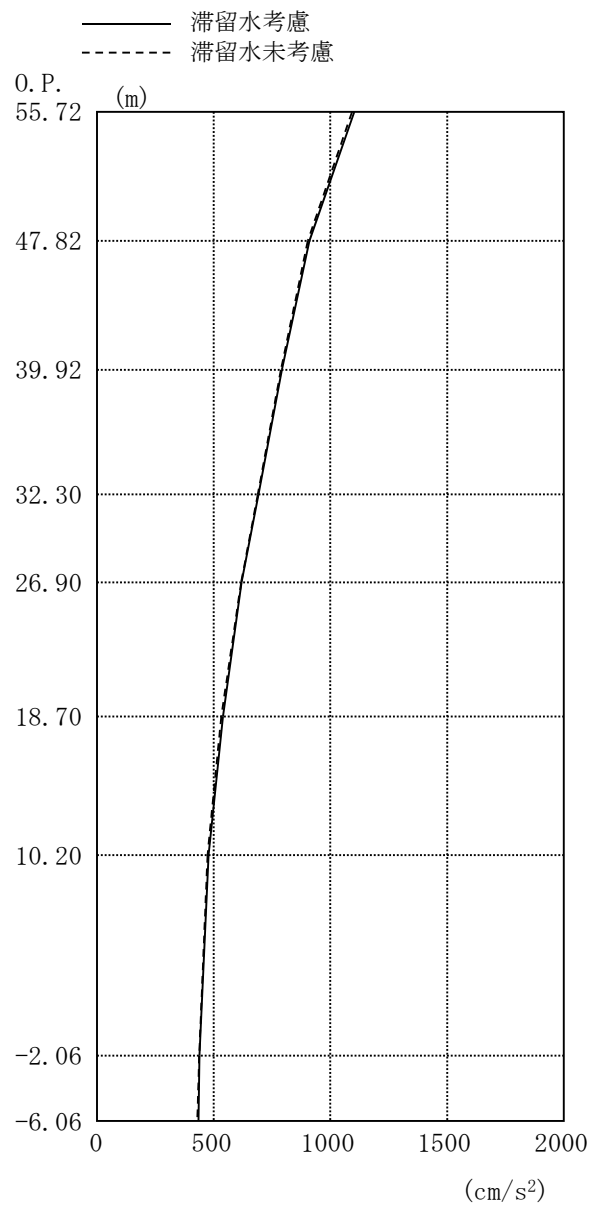


図 2.2.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

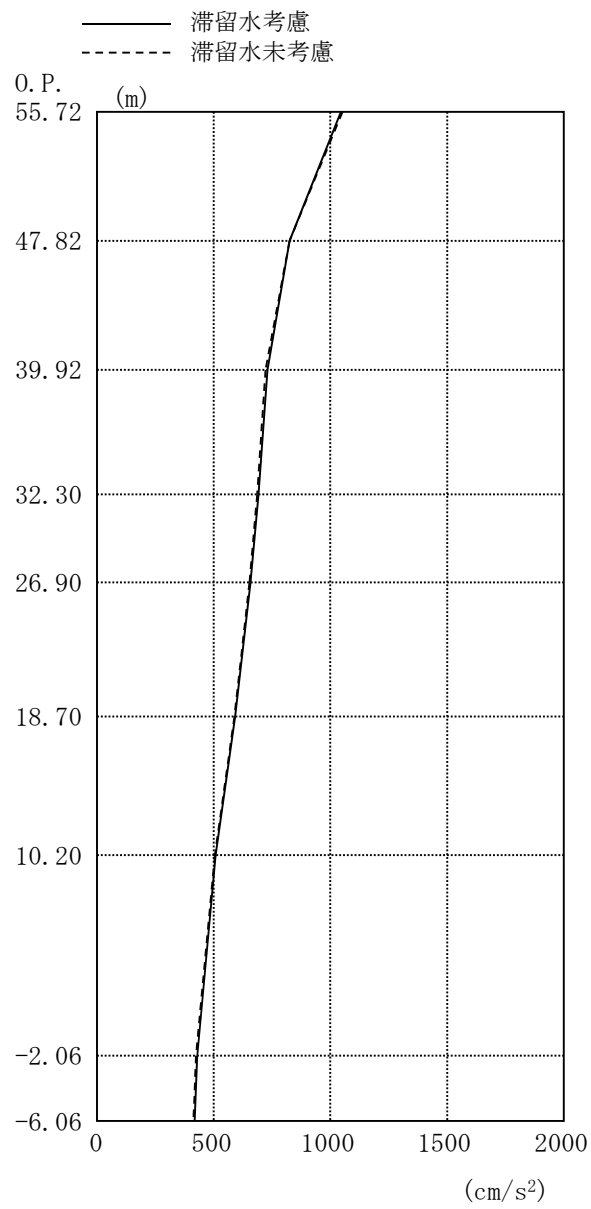


图 2.2.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

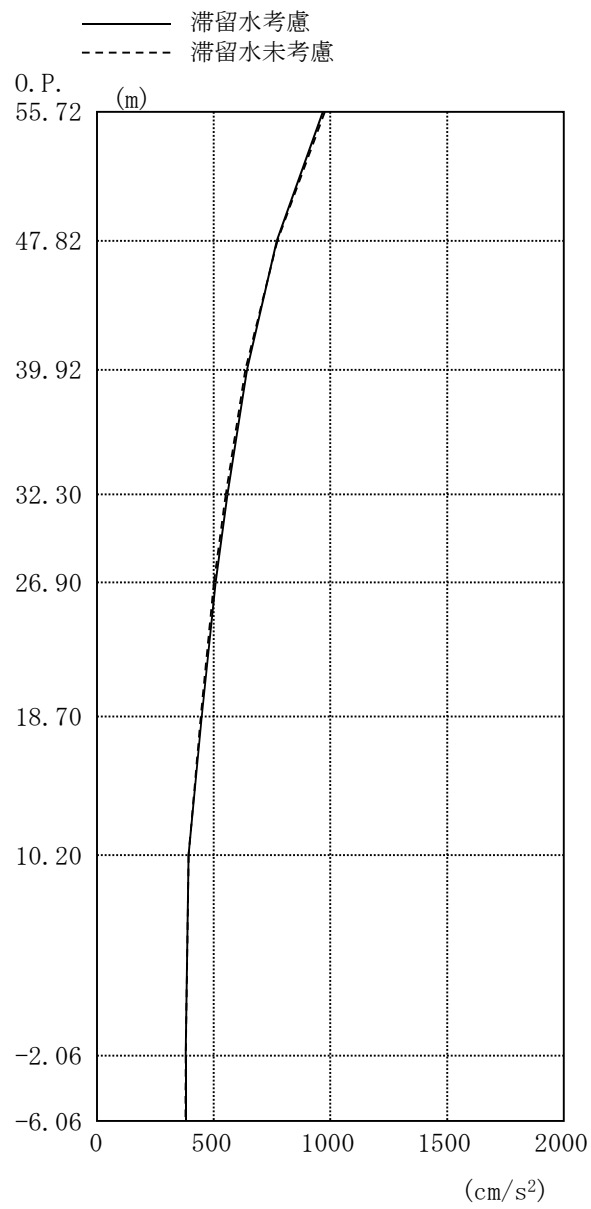


図 2.2.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

2.2.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 2.2.6-1 及び表 2.2.6-2 に示す。また、図 2.2.6-1 及び図 2.2.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.08×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、2号機原子炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 2.2.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

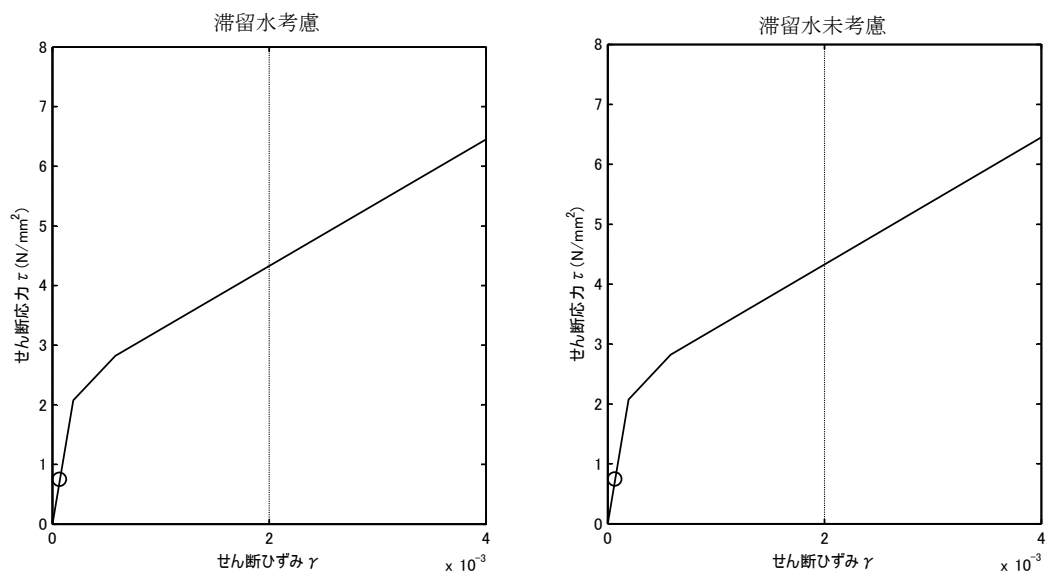
(単位: $\times 10^{-3}$)

階	O.P.	滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	10.20~-2.06	考慮	0.07	0.08	0.07	4.0 以下
		未考慮	0.07	0.07	0.06	

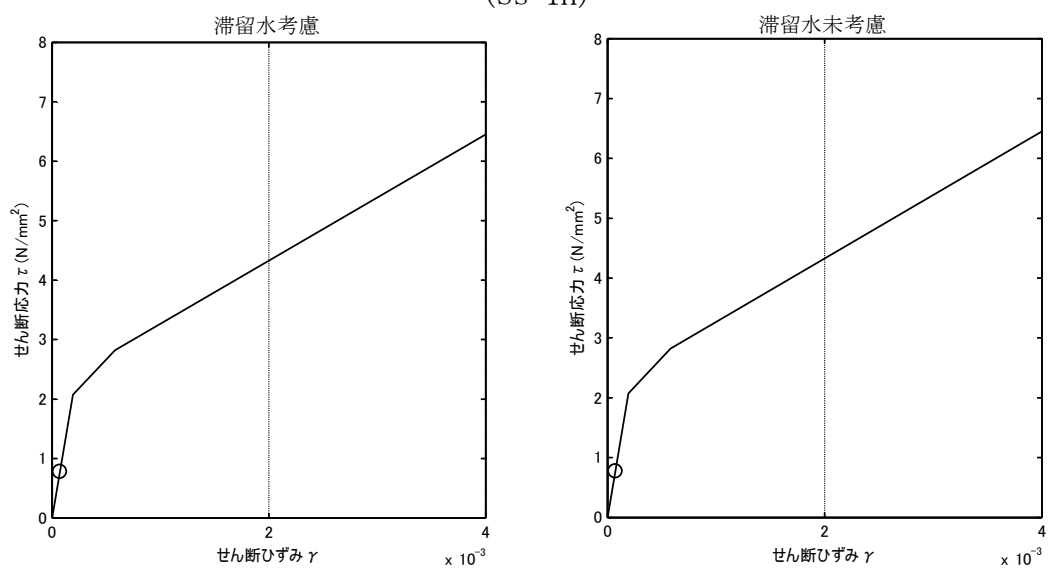
表 2.2.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

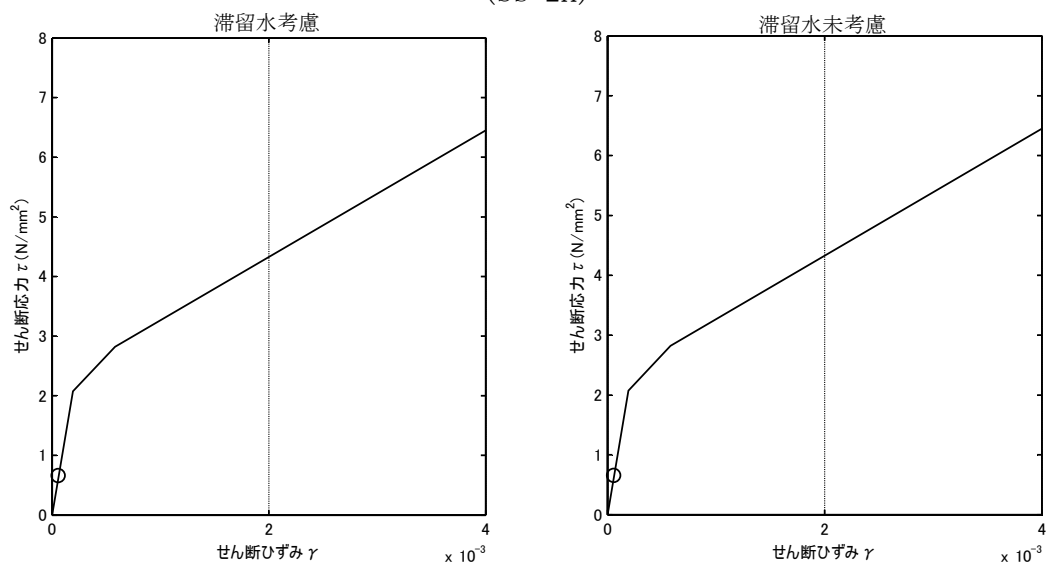
階	O.P.	滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	10.20~-2.06	考慮	0.08	0.08	0.07	4.0 以下
		未考慮	0.07	0.08	0.06	



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 2.2.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)

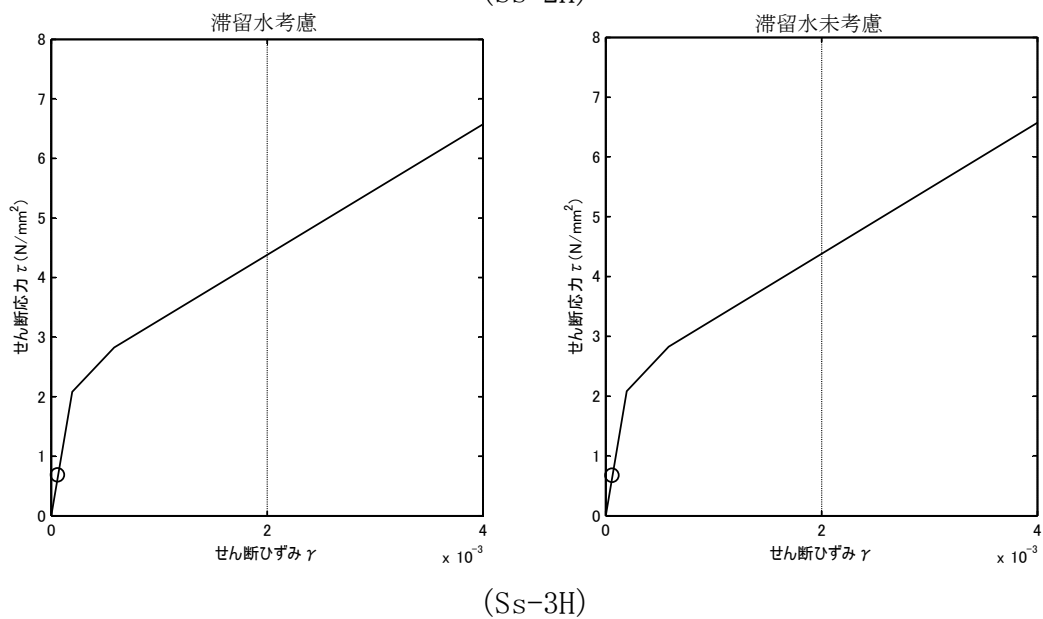
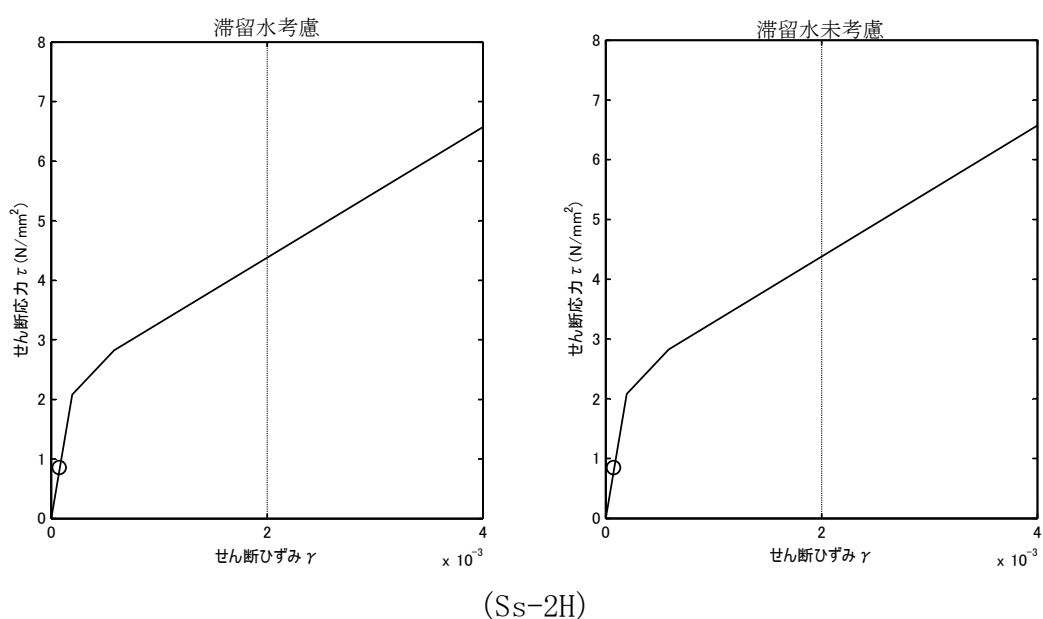
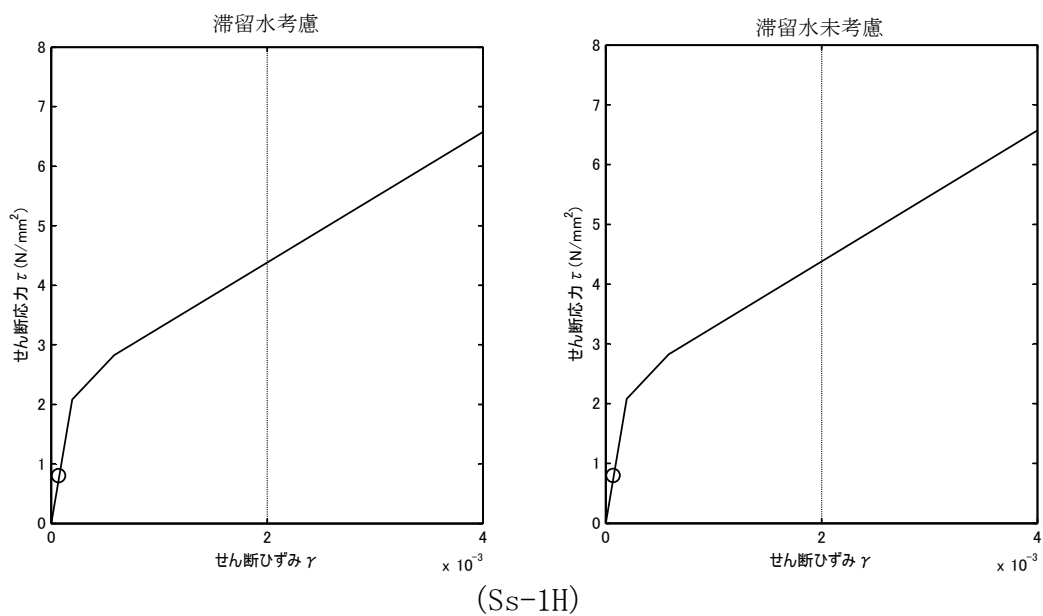


図 2. 2. 6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

2.3 3号機原子炉建屋

2.3.1 解析評価方針

3号機原子炉建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは、地下1階から地上5階に設置された機器を含む建屋全域をNS、EW方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

3号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例を、図2.3.1-1に示す。

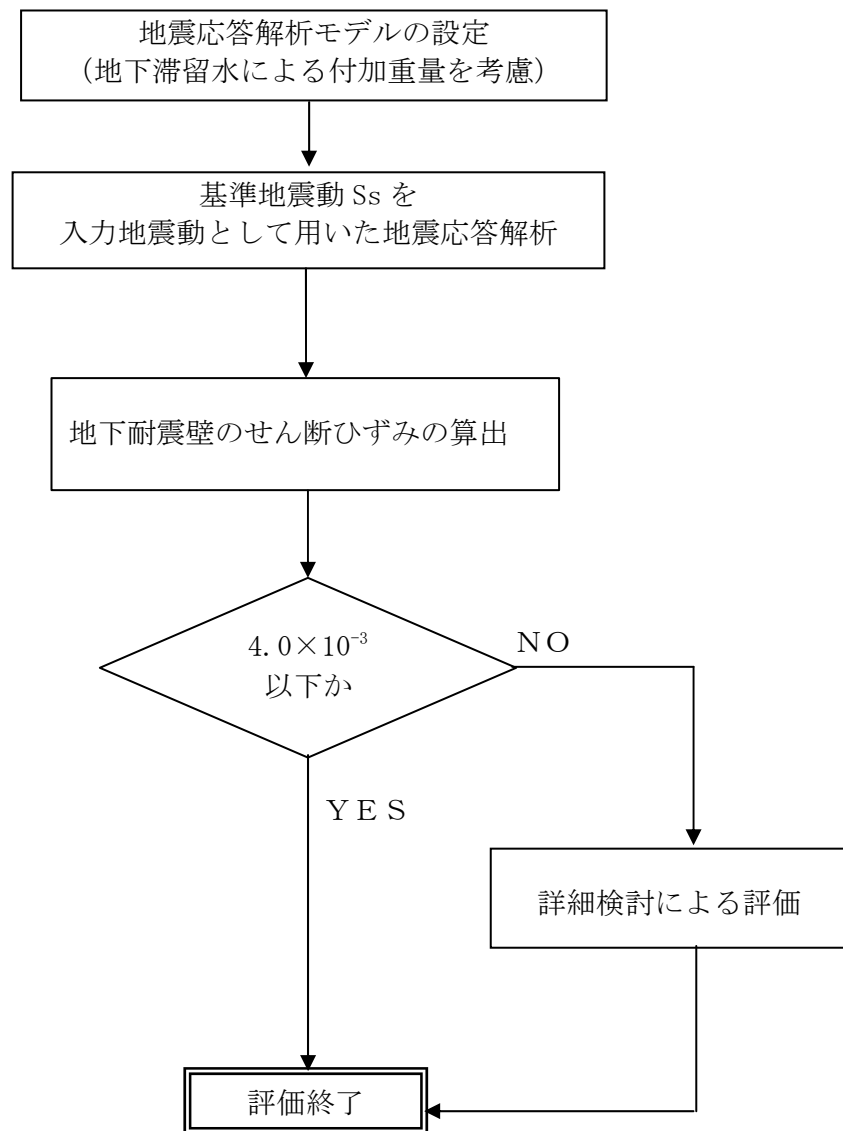


図 2.3.1-1 3号機原子炉建屋の地震応答解析の評価手順例

2.3.2 3号機原子炉建屋の水位及び地下滞留水量

3号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 2.3.1-1 に示す。

表 2.3.2-1 3号機原子炉建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

	3号機
水位	O.P. 4,000
貯水量	6,800m ³

2.3.3 解析に用いる入力地震動

3号機原子炉建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した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。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図2.3.3-1に示す。この3号機原子炉建屋の解析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 に対する建屋基礎底面レベルの地盤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。

このうち、解放基盤表面位置 (O.P. -196.0m) における基準地震動 S_s の加速度波形について、図2.3.3-2に示す。

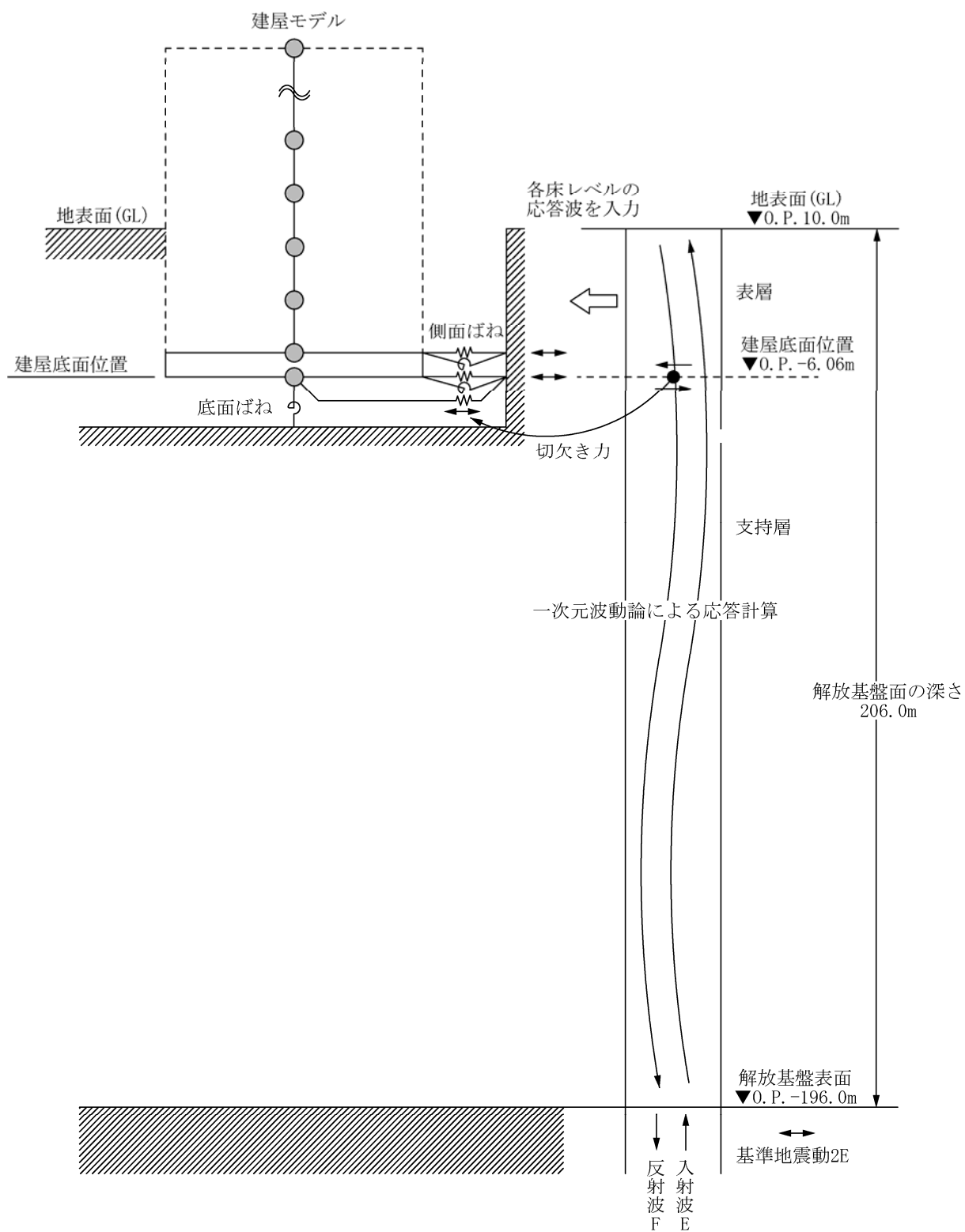


図 2. 3. 3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

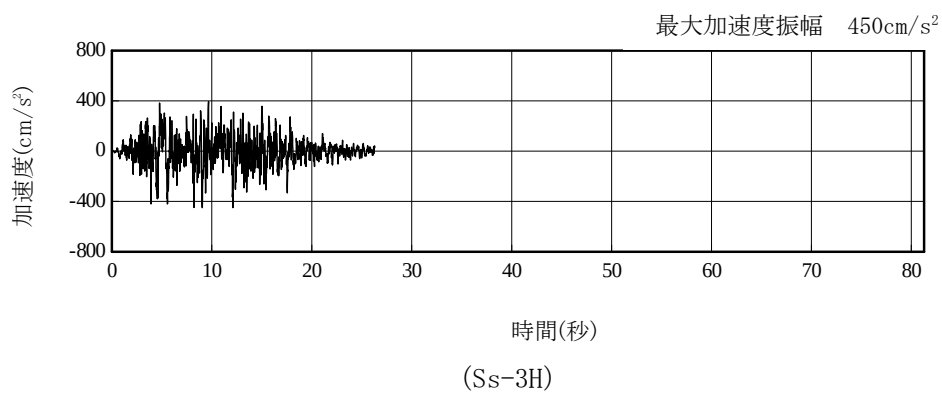
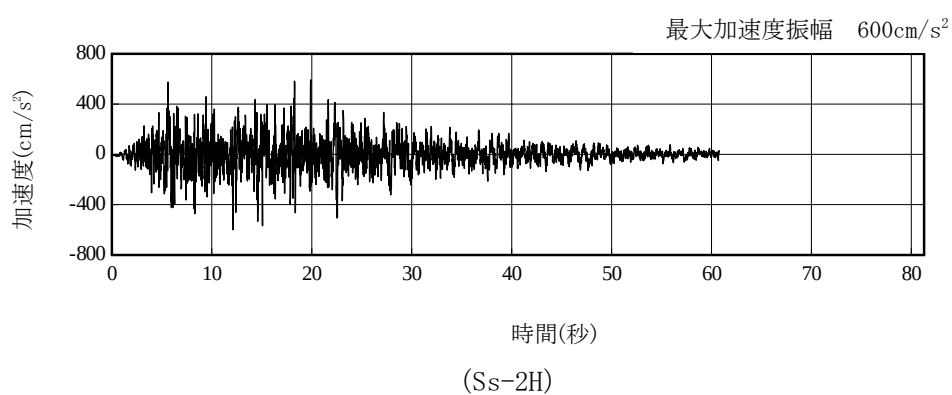
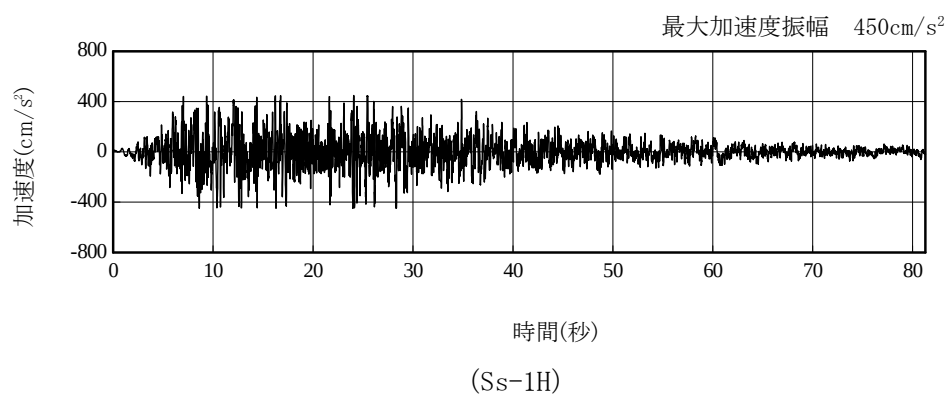


図 2.3.3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

2.3.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 3 号機原子炉建屋の地震応答解析は、「2.3.3 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 2.3.4-1 及び図 2.3.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 2.3.4-1 に、建屋解析モデルの諸元^{*注}を表 2.3.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 2.3.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、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的に評価する。また、埋込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「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 2.3.4-3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

*注：建屋に係る部分の諸元については、「II-2-11 添付資料-4-2 3. 第 3 号機燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性について」において原子炉建屋の耐震安全性評価に用いたモデルに、滞留水による重量増分を付加したものである。

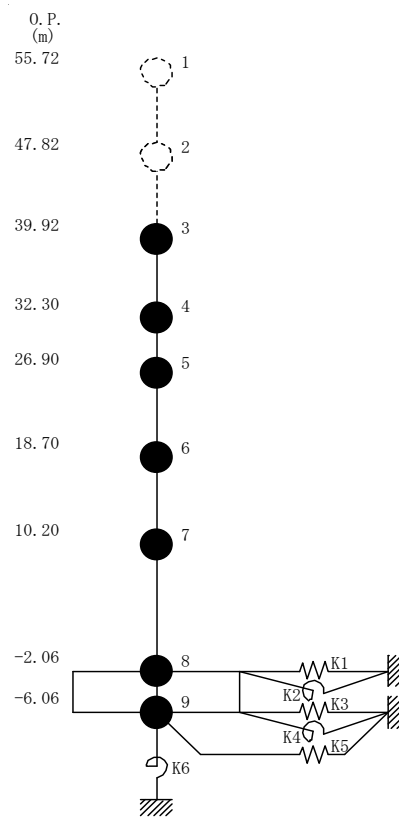


図 2.3.4-1 3号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

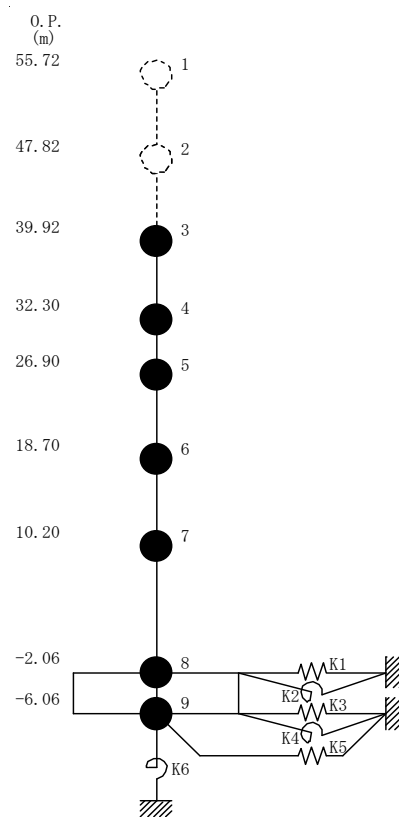


図 2.3.4-2 3号機原子炉建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 2.3.4-1 地震応答解析に用いる物性値

コンクリート	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)
	35.0	2.57×10 ⁴	1.07×10 ⁴	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

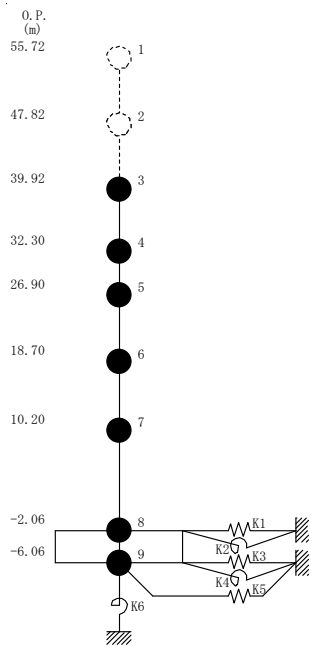
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*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。

表 2. 3. 4-2 建屋解析モデルの諸元

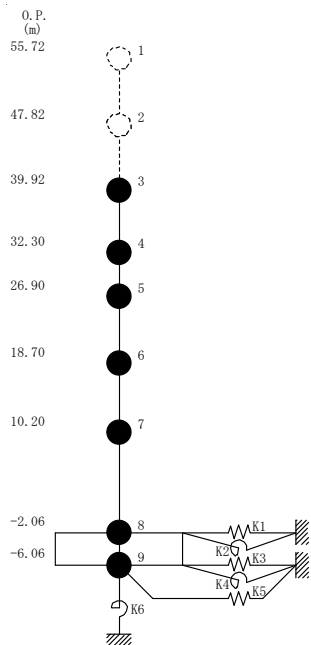
NS 方向



質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	87, 590	92. 34	145. 3	9, 598
4	119, 490	238. 33	146. 1	29, 271
5	111, 340	204. 95	237. 3	56, 230
6	130, 160	239. 58	208. 6	60, 144
7	253, 710	467. 09	458. 7	112, 978
8	367, 710 (66, 690)	676. 94 (122. 77)	2, 697. 8	496, 620
9	127, 000	233. 79		
合計	1, 197, 000			

柱：（ ）内は滞留水による付加分を示す
ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m²)
せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%
基礎形状 47.0m (NS方向) $\times$ 57.4m (EW方向)

EW 方向



質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_S (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	87, 590	67. 32	61. 9	5, 665
4	119, 490	124. 49	123. 4	12, 460
5	111, 340	204. 95	204. 1	41, 352
6	130, 160	239. 58	226. 6	61, 084
7	253, 710	696. 62	431. 3	135, 128
8	367, 710 (66, 690)	1, 009. 61 (183. 11)	2, 697. 8	740, 717
9	127, 000	348. 72		
合計	1, 197, 000			

柱：（ ）内は滞留水による付加分を示す
ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m²)
せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%
基礎形状 47.0m (NS方向) $\times$ 57.4m (EW方向)

表 2.3.4-3 (1) 地盤定数

(Ss-1)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 2.3.4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 2.3.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-10.0	泥岩 (解放基盤)	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

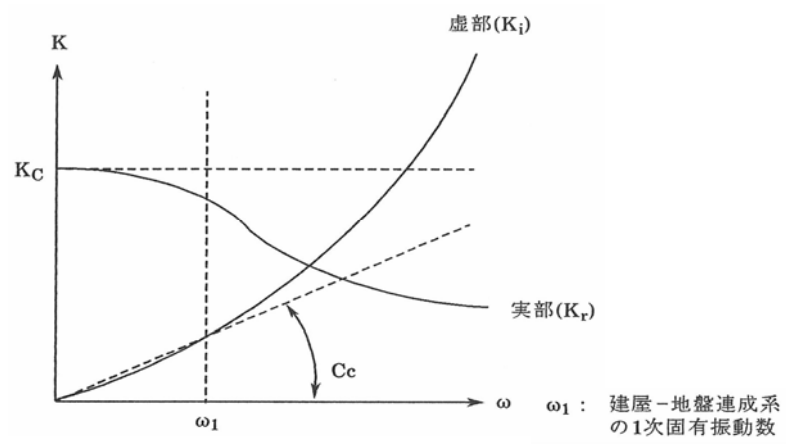


図 2.3.4-3 地盤ばねの近似

2.3.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向，EW 方向の最大応答加速度を，滞留水を未考慮の場合と比較して*注，図 2.3.5-1～図 2.3.5-6 に示す。

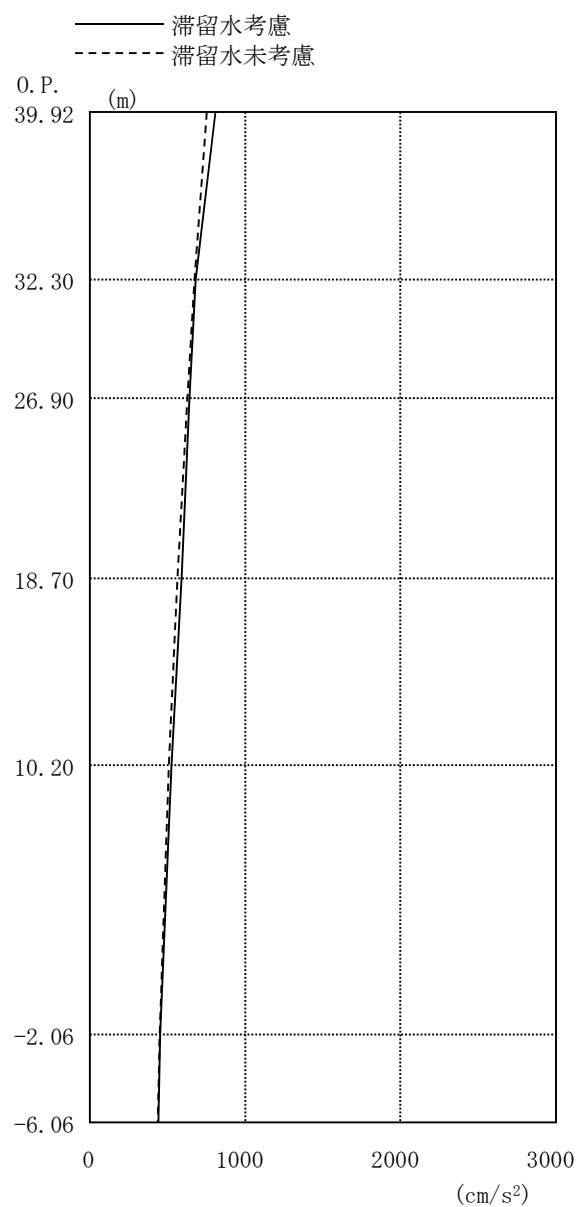


図 2.3.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

*注：滞留水考慮：本検討における結果であり，滞留水の重量の他，瓦礫撤去等による重量増減や燃料取り出し用カ
バーの重量を考慮したもの。

滞留水未考慮：損傷前の「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に
伴う耐震安全性評価結果 中間報告書（改訂版）」（原管発官 21 第 110 号 平成 21 年 6 月 19 日付け）の結果。

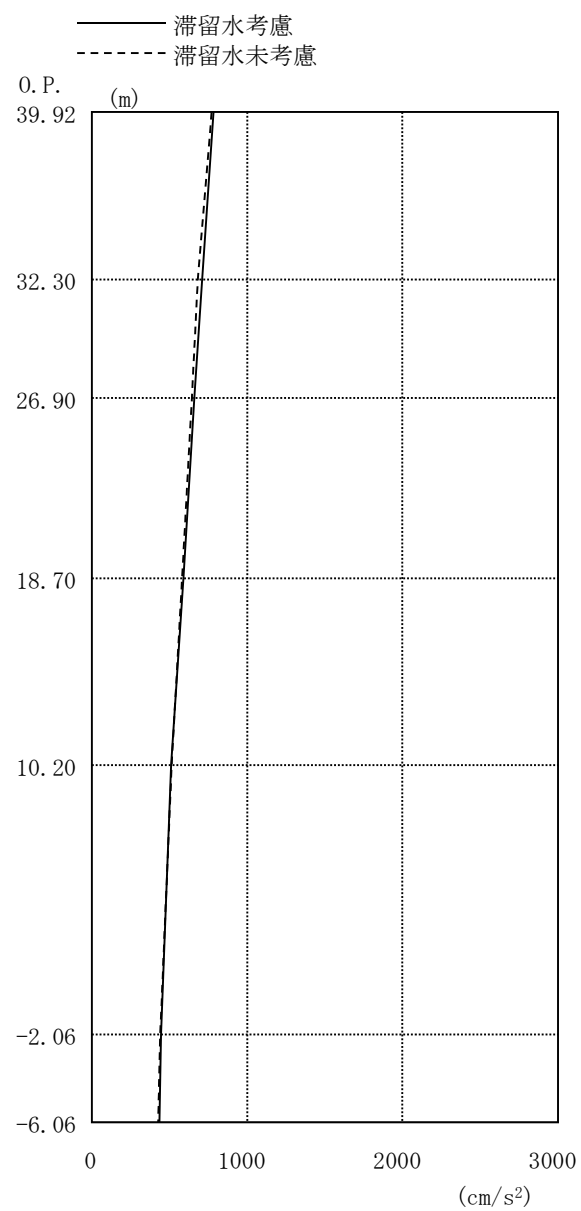


图 2.3.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

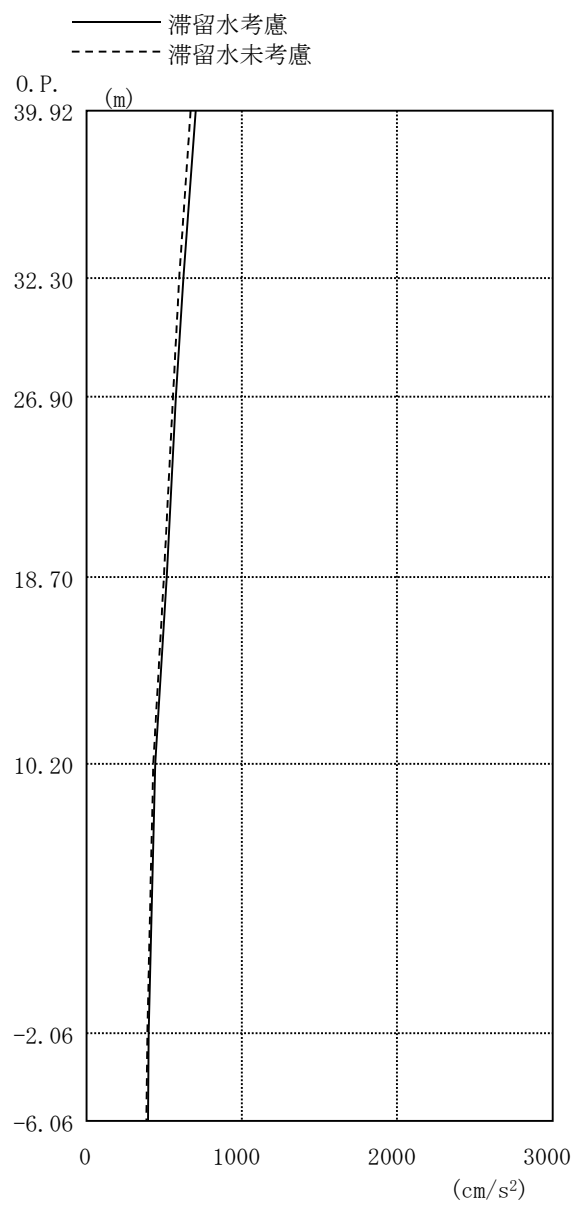


图 2.3.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

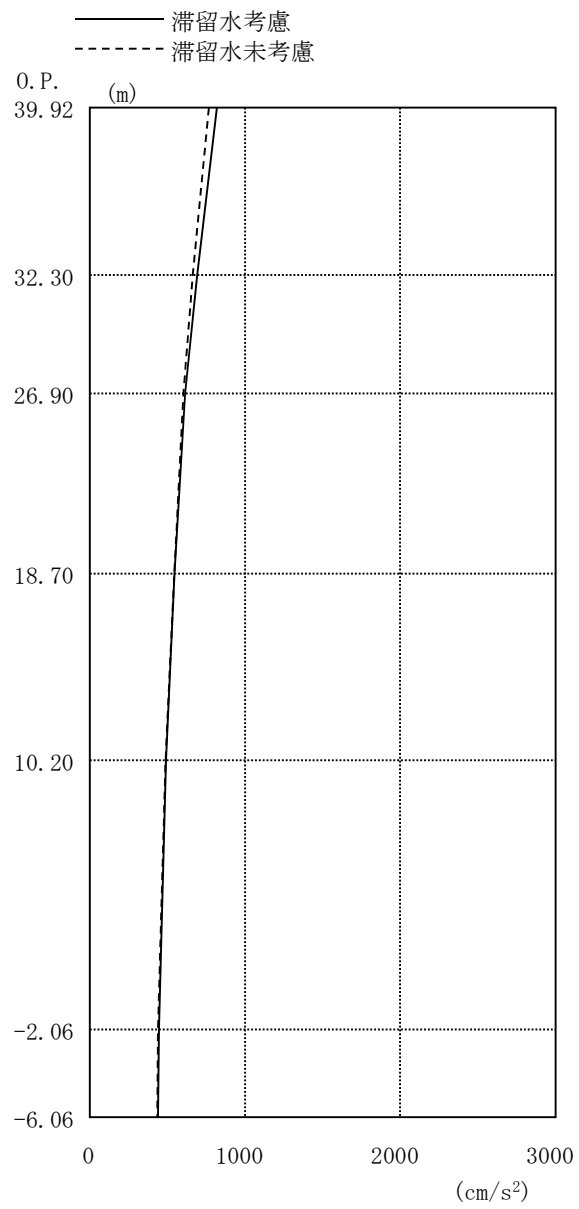


图 2.3.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

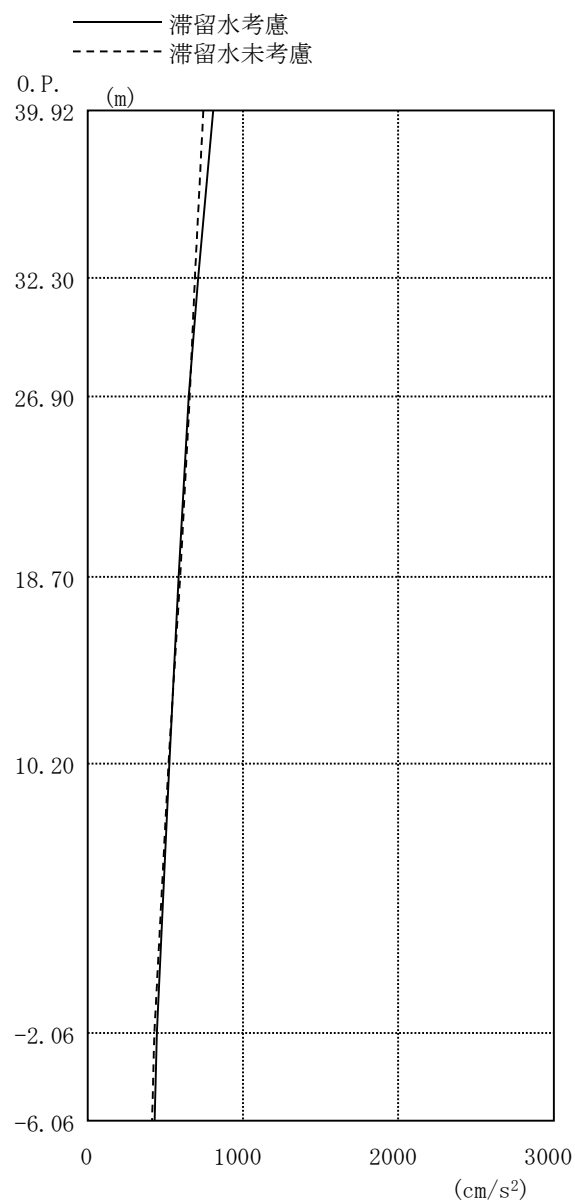


图 2.3.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

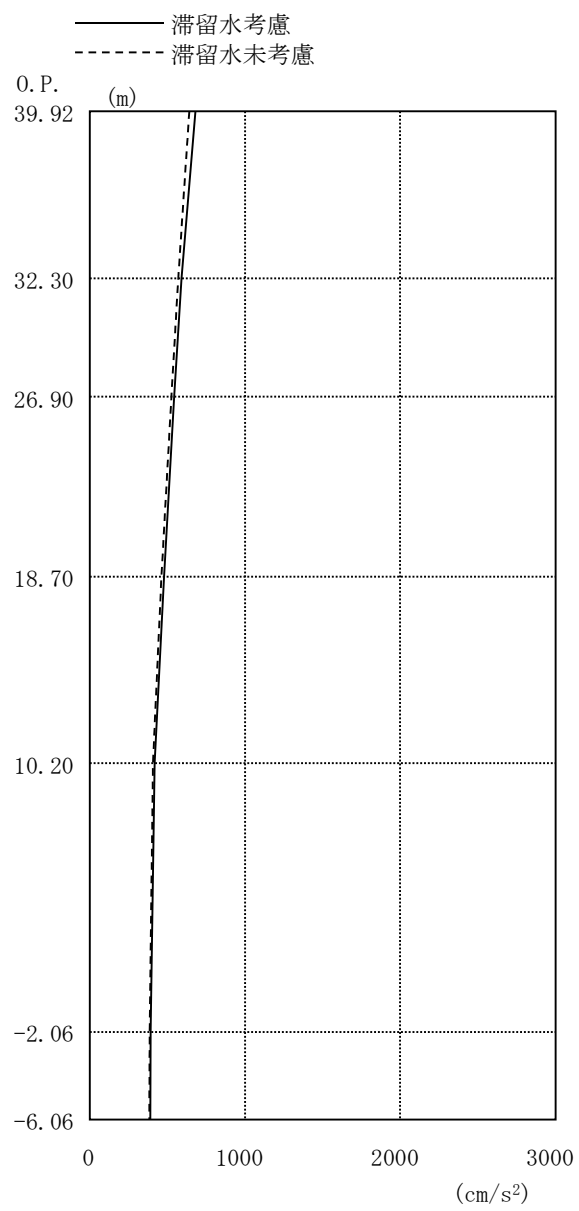


图 2.3.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

2.3.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 2.3.6-1 及び表 2.3.6-2 に示す。また、図 2.3.6-1 及び図 2.3.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.10×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、3号機原子炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 2.3.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)						
階	O. P.	滞留水	S_s -1H	S_s -2H	S_s -3H	評価基準
B1F	10.20～ -2.06	考慮	0.09	0.09	0.08	4.0 以下
		未考慮	0.08	0.08	0.07	

表 2.3.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)						
階	O. P.	滞留水	S_s -1H	S_s -2H	S_s -3H	評価基準
B1F	10.20～ -2.06	考慮	0.09	0.10	0.08	4.0 以下
		未考慮	0.08	0.09	0.07	

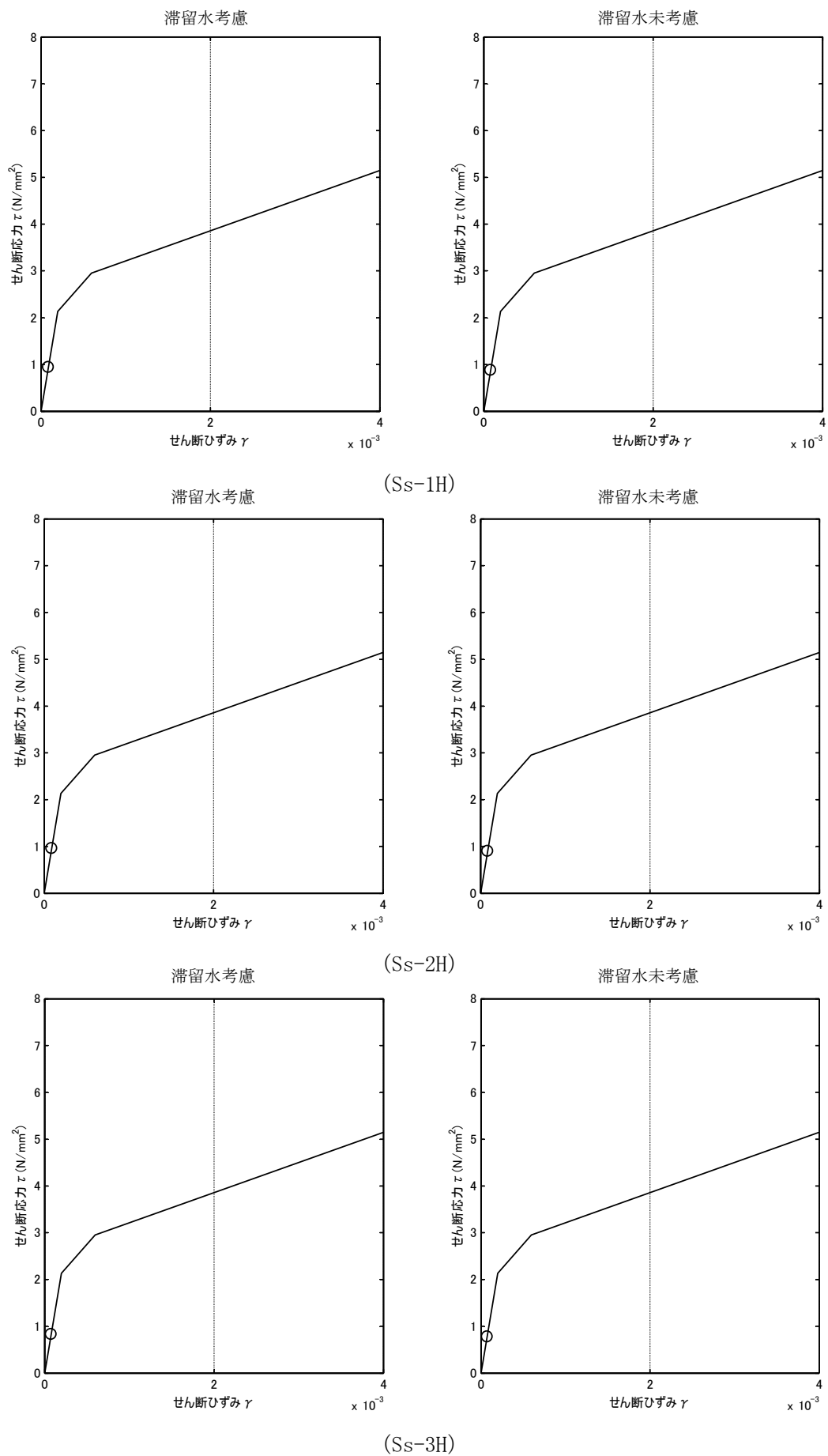


図 2.3.6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)

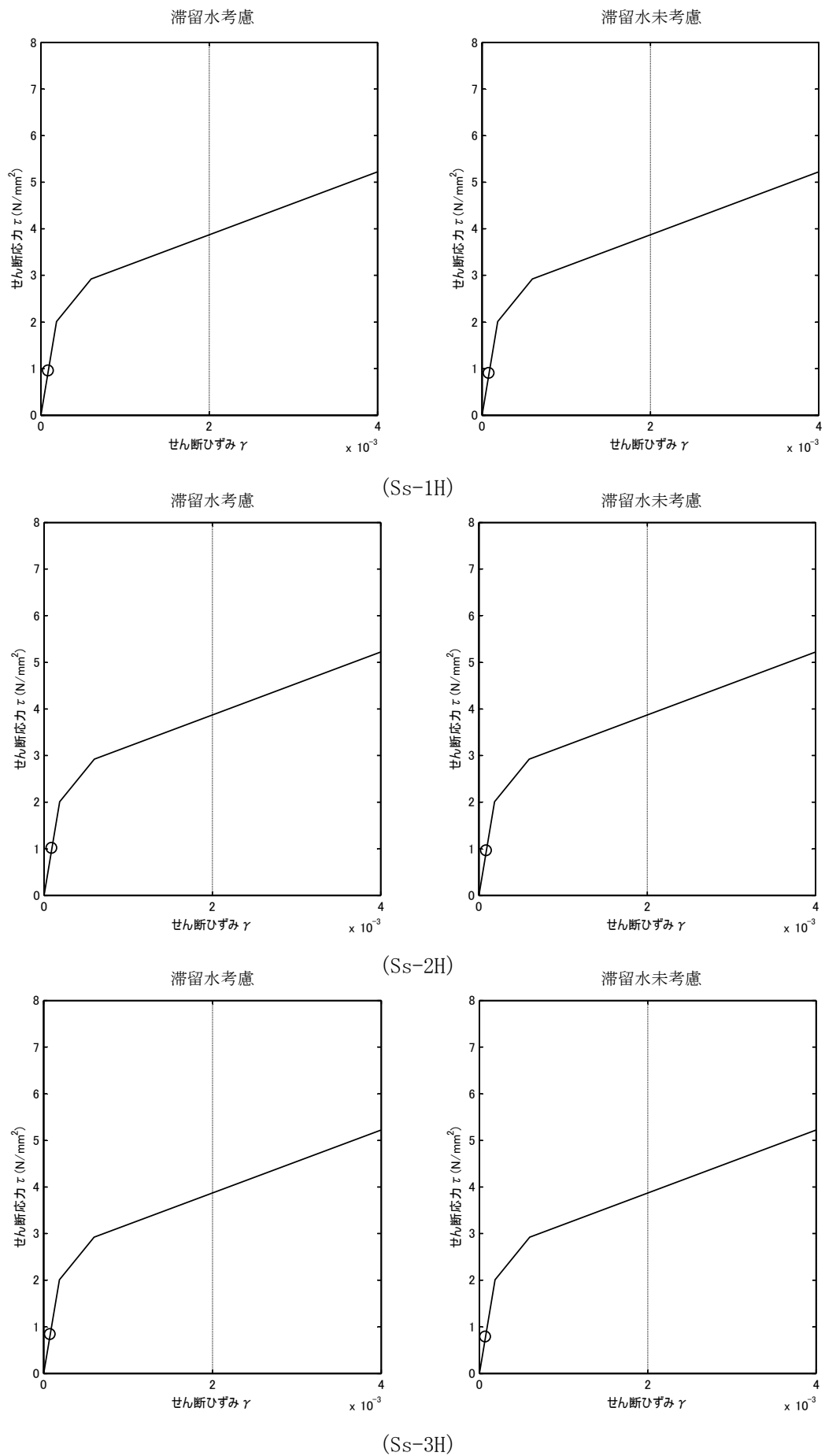


図 2.3.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

3 タービン建屋

3.1 3号機タービン建屋（代表号機）

3.1.1 解析評価方針

タービン建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

タービン建屋については地下滞留水量が最大となる代表号機を選定する。

解析モデルは、地下1階から地上3階に設置された機器を含む建屋全域を NS, EW 方向とも多軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

タービン建屋の地震応答解析の評価手順例を、図-3.1.1 に示す。

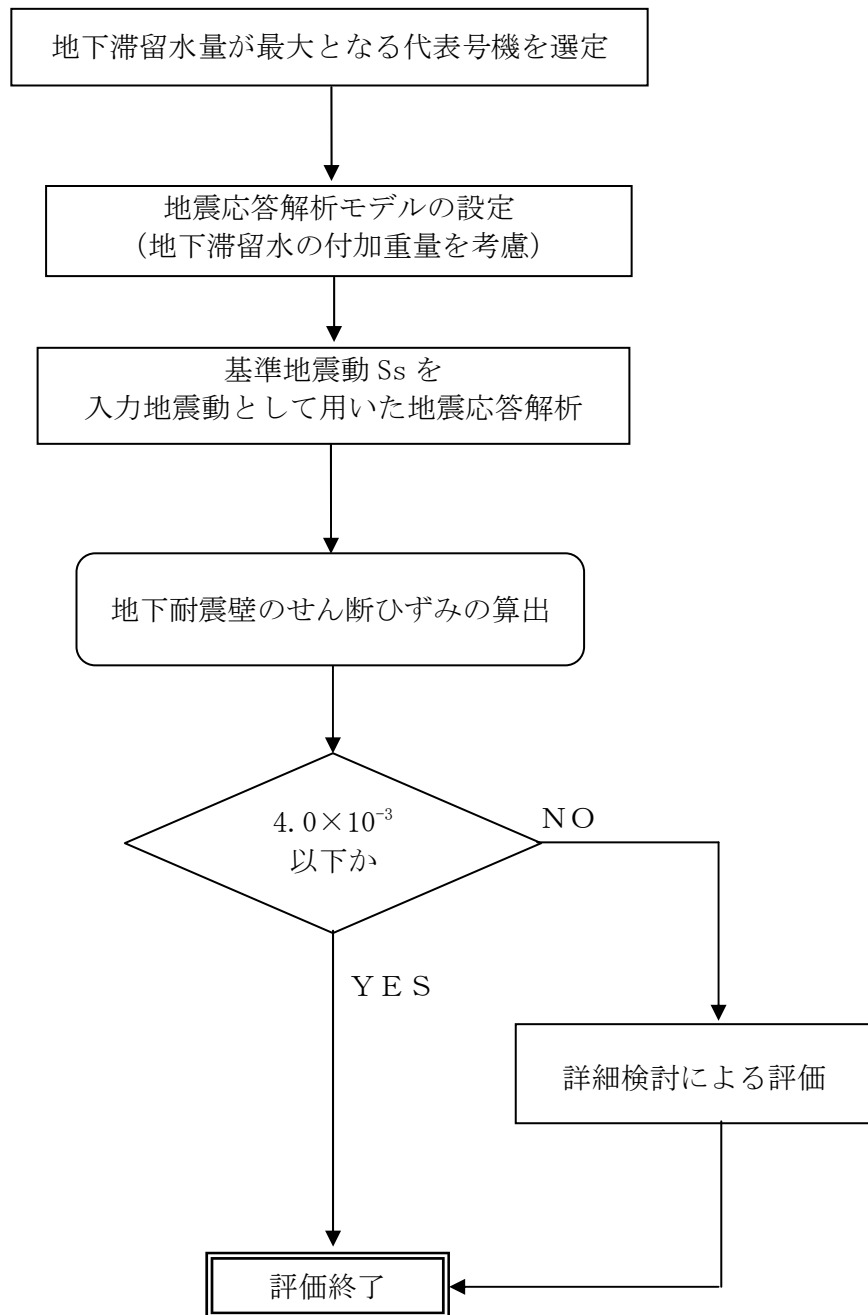


図 3.1.1-1 タービン建屋の地震応答解析の評価手順例

3.1.2 代表号機の選定

タービン建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 3.1.2-1 に示す。表 3.1.2-1 より，貯水量の最も多い 3 号機を代表号機と選定する。

表 3.1.2-1 タービン建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

	1 号機	2 号機	3 号機	4 号機
水位	O. P. 5, 300	O. P. 4, 000	O. P. 4, 000	O. P. 4, 000
貯水量	9, 600m ³	13, 500m ³	16, 400m ³	12, 800m ³

3.1.3 解析に用いる入力地震動

3号機タービン建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した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。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図3.1.3-1に示す。この3号機タービン建屋の解析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 に対する建屋基礎底面レベルの地盤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。

このうち、解放基盤表面位置 (O.P. -196.0m) における基準地震動 S_s の加速度波形について、図3.1.3-2に示す。

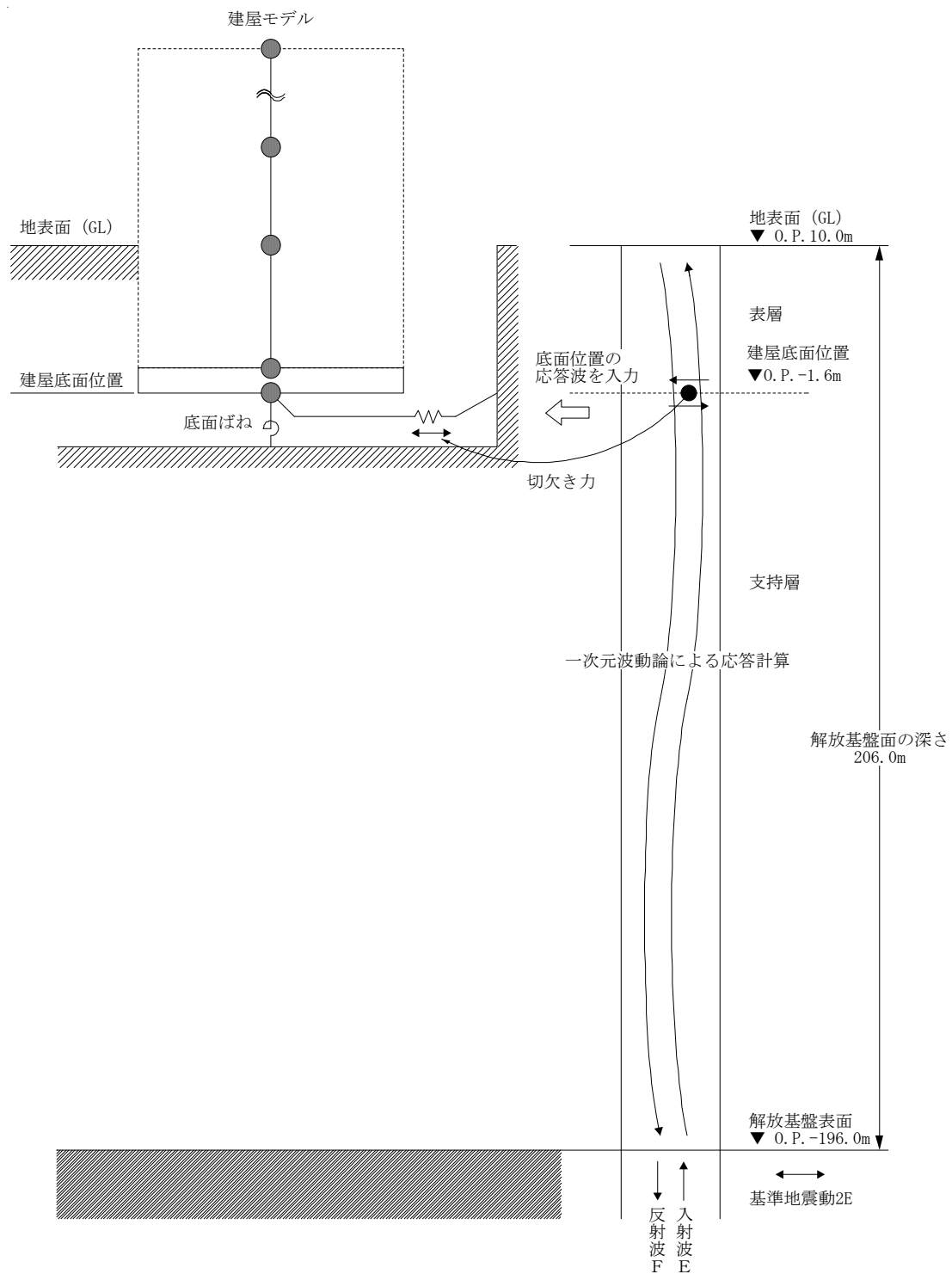


図 3.1.3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

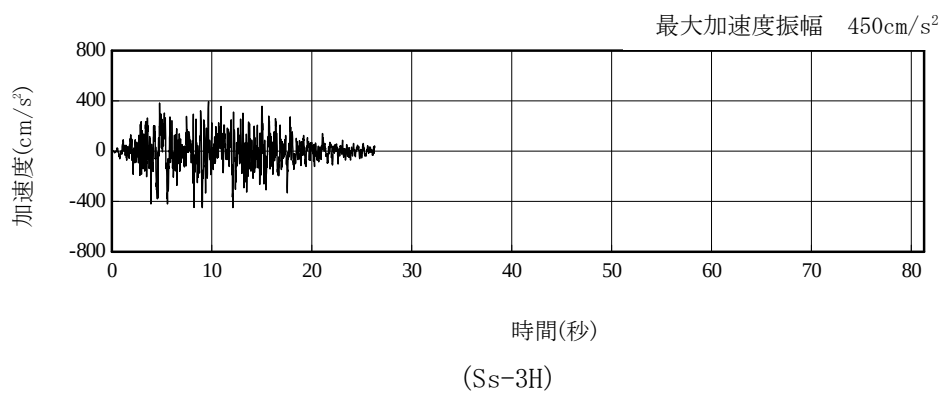
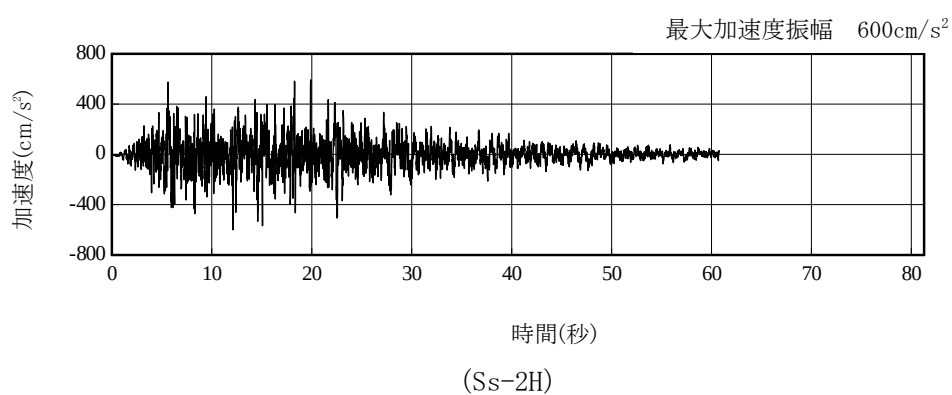
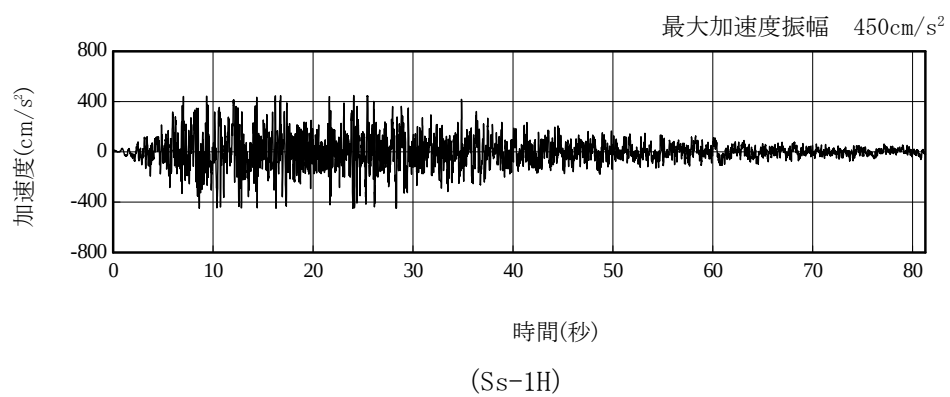


図 3. 1. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

3.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 3 号機タービン建屋の地震応答解析は、「3.1.3. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 3.1.4-1 及び図 3.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 3.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を図 3.1.4-3～図 3.1.4-6 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 3.1.4-2 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にし、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的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 3.1.4-7 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

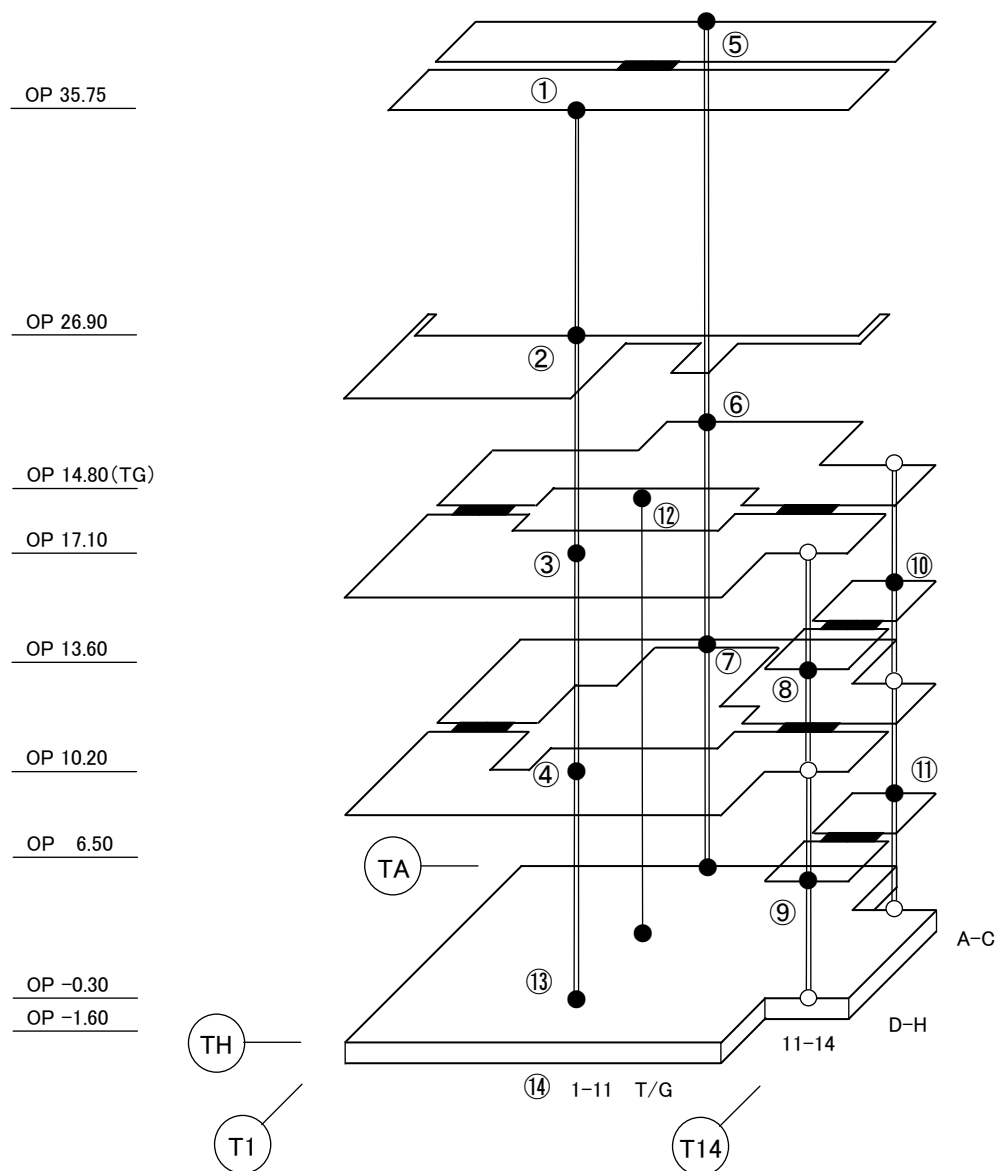


図 3.1.4-1 3号機タービン建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

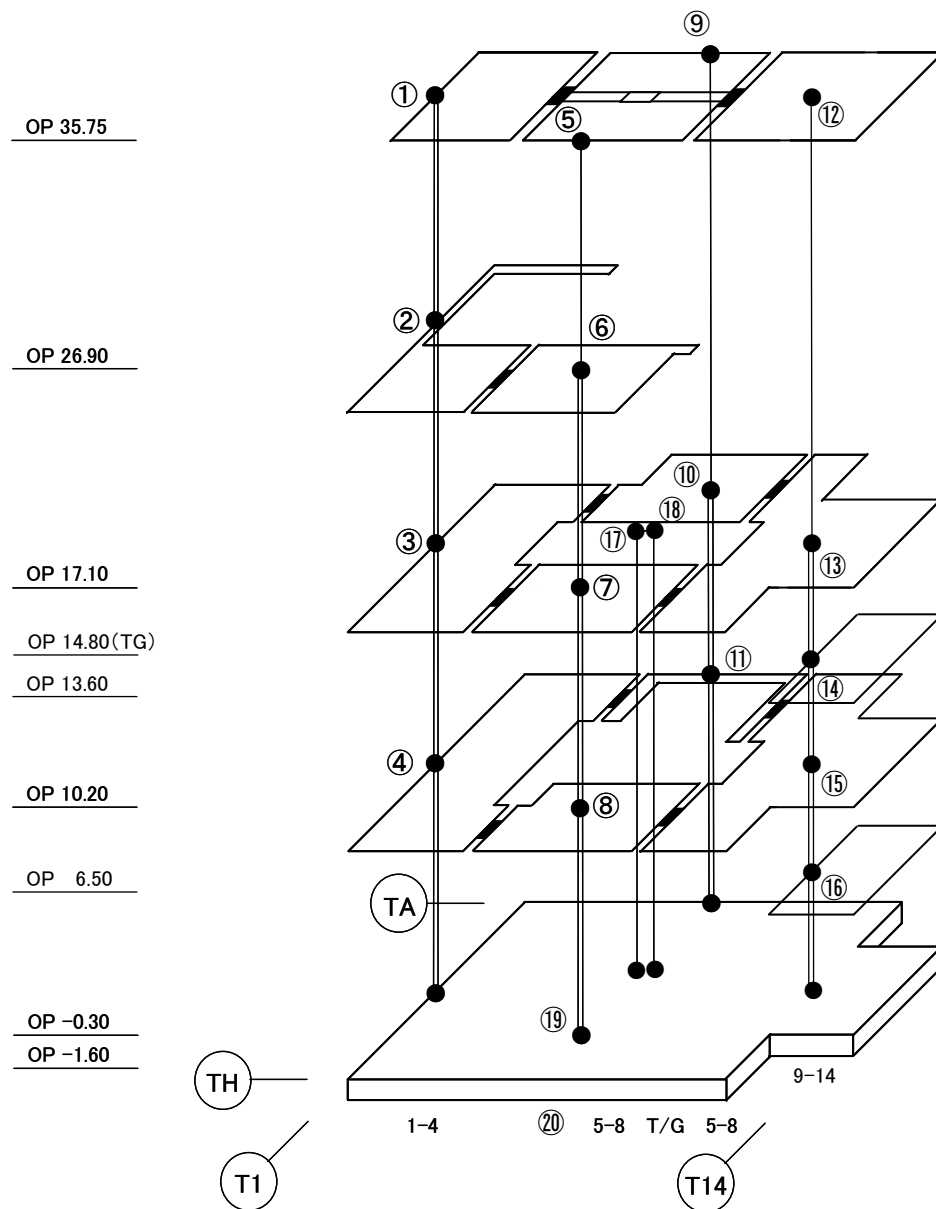


図 3.1.4-2 3号機タービン建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

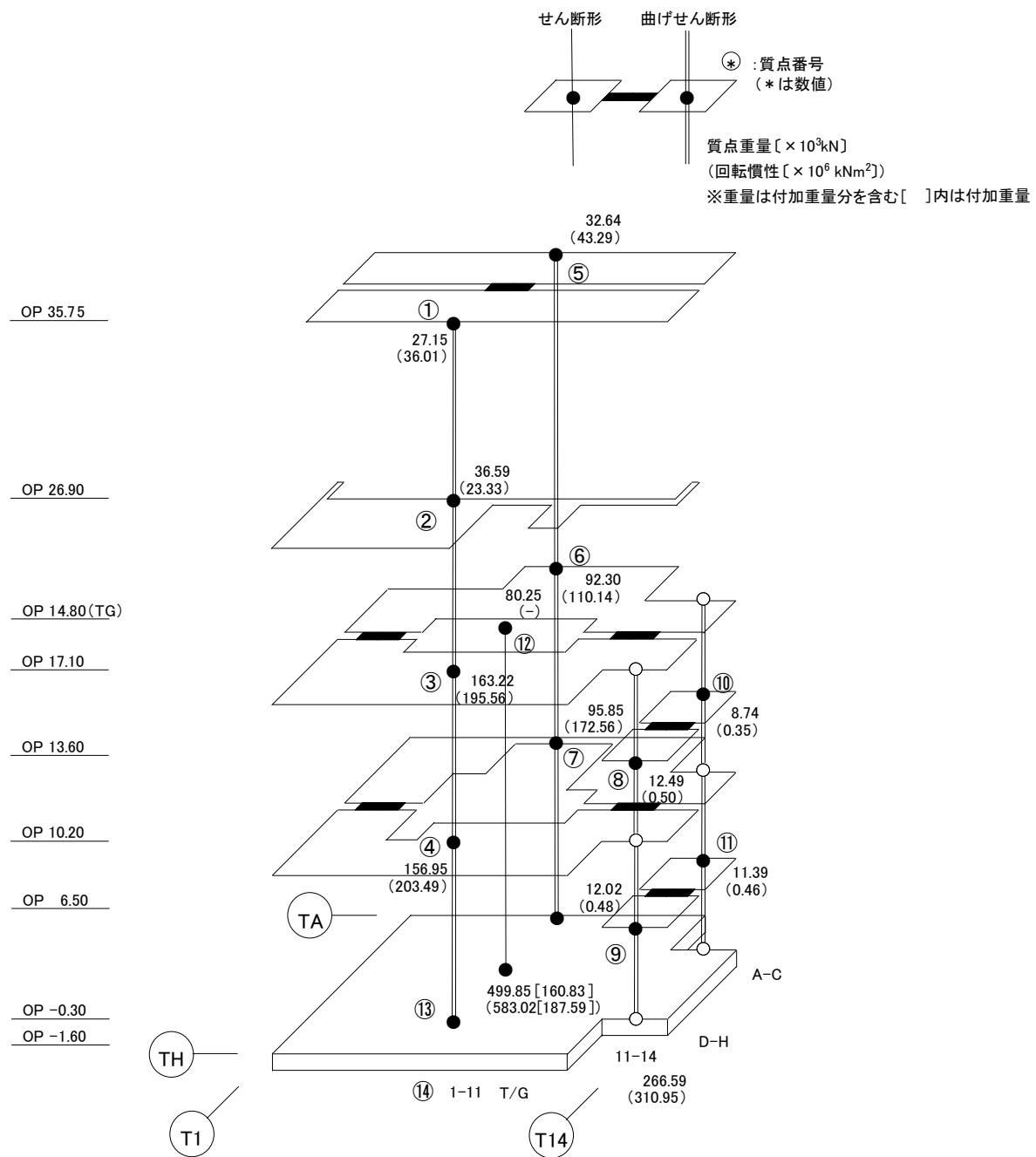
表 3. 1. 4-1 地震応答解析に用いる物性値

コンク リート	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)
	35.0	2.57×10^4	1.07×10^4	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				
鋼材	SS400相当 (SS41)				

*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とめた値とした。

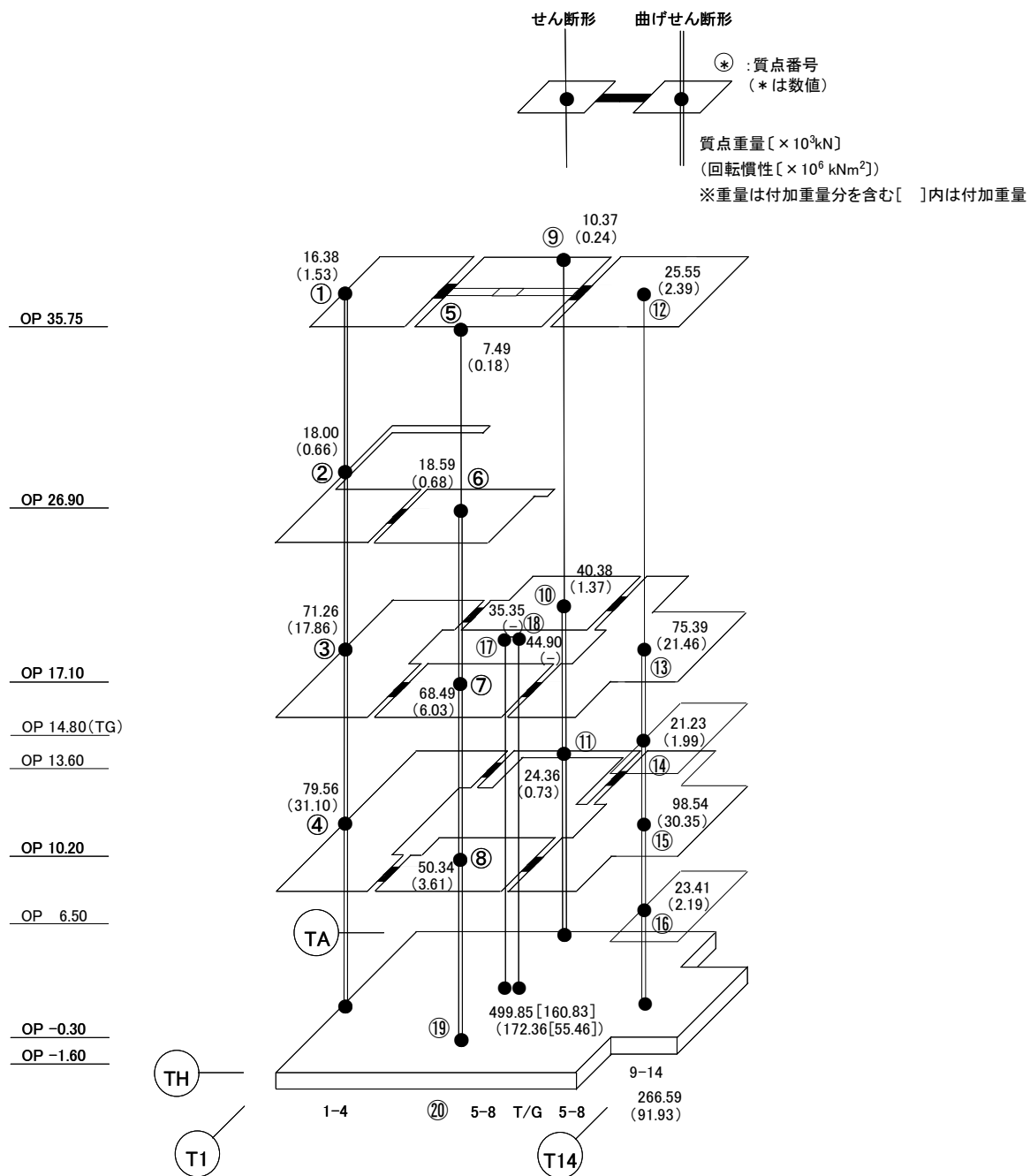
*2：実強度に基づく値を示す。

*3：鉄筋コンクリートの値を示す。



総重量 : 1, 496, 030 kN

図 3. 1. 4-3 建屋解析モデルの諸元 (重量・回転慣性) (NS 方向)



総重量 : 1,496,030 kN

図 3.1.4-5 建屋解析モデルの諸元 (重量・回転慣性) (EW 方向)

表 3.1.4-2 (1) 地盤定数

(Ss-1)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

表 3.1.4-2 (2) 地盤定数

(Ss-2)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

表 3.1.4-2 (3) 地盤定数

(Ss-3)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-
	(解放基盤)									

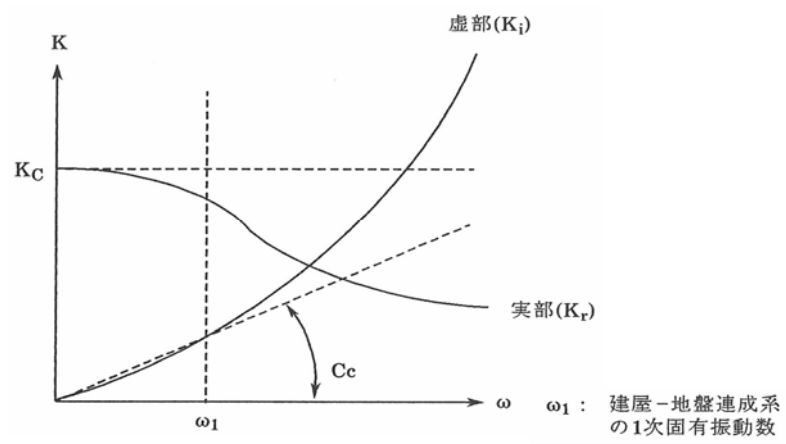


図 3.1.4-7 地盤ばねの近似

3.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を, 滞留水を未考慮の場合と比較して, 図 3.1.5-1～図 3.1.5-6 に示す。

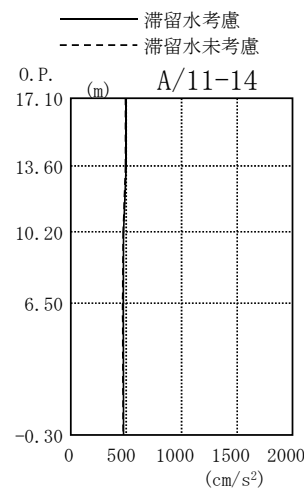
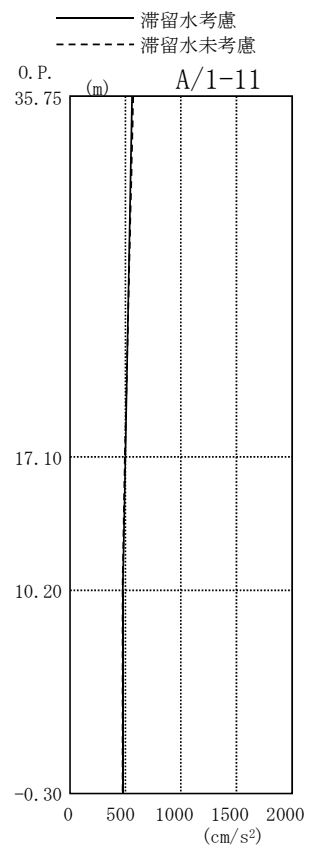
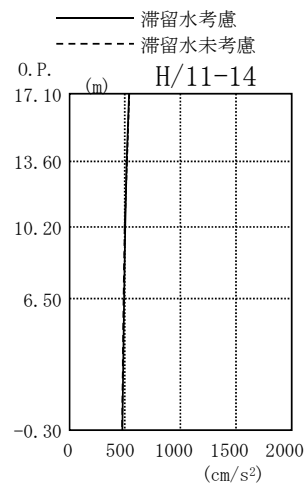
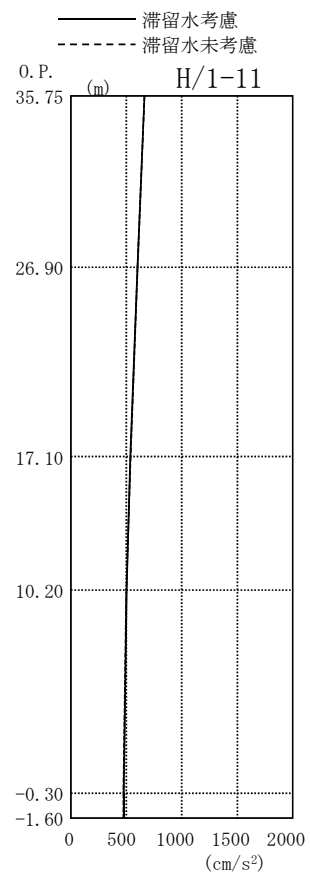


図 3.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

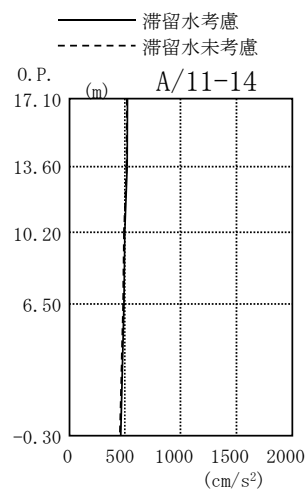
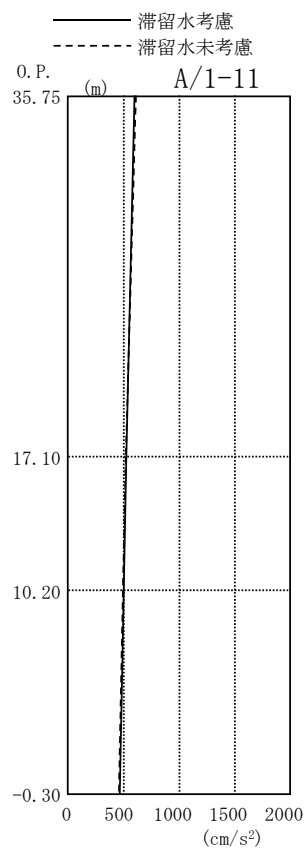
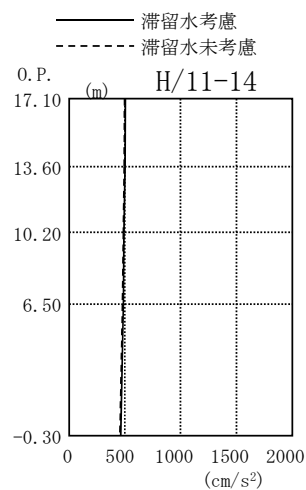
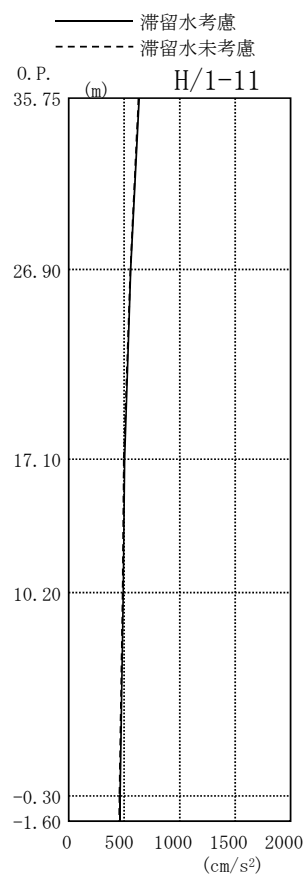


図 3.1.5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

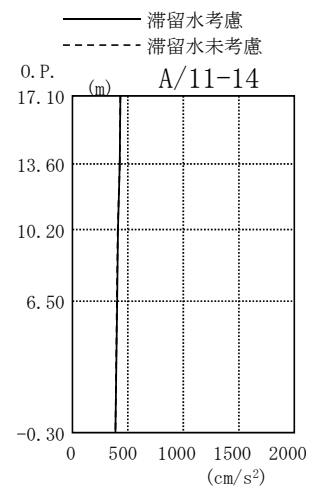
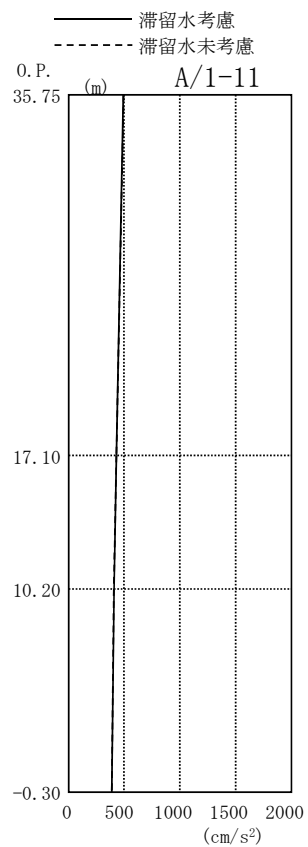
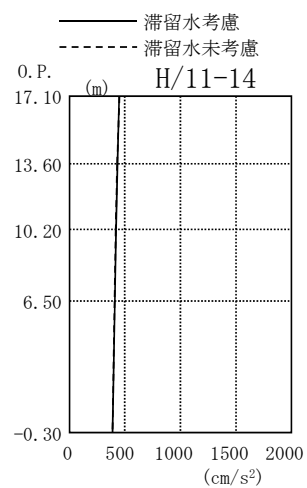
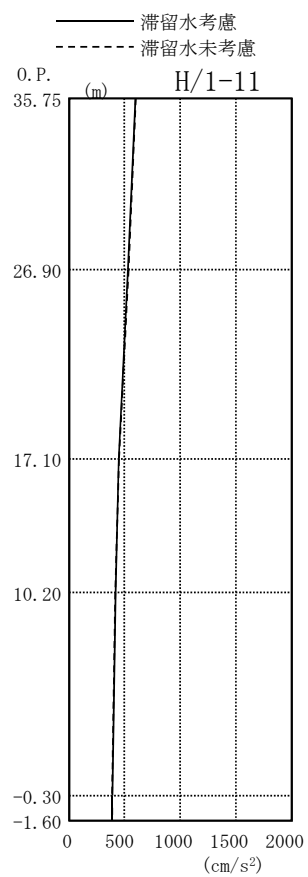


図 3.1.5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

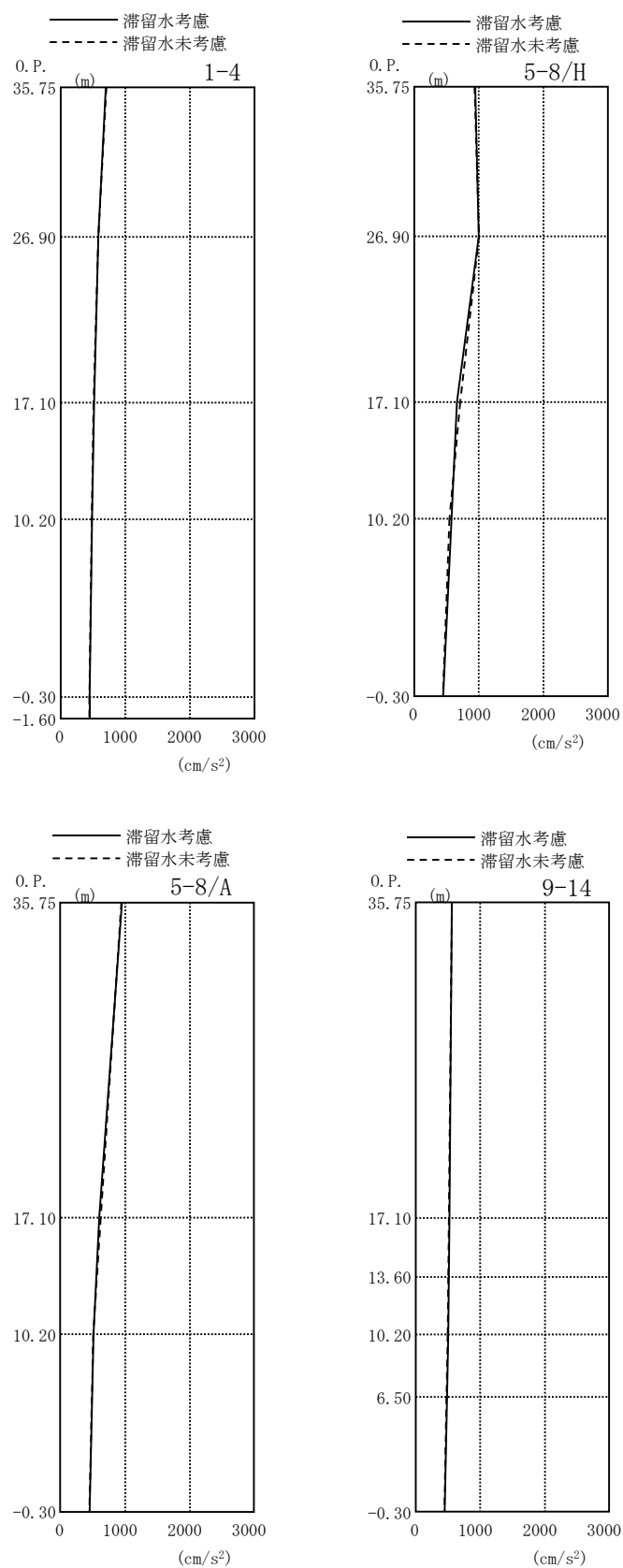


图 3.1.5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

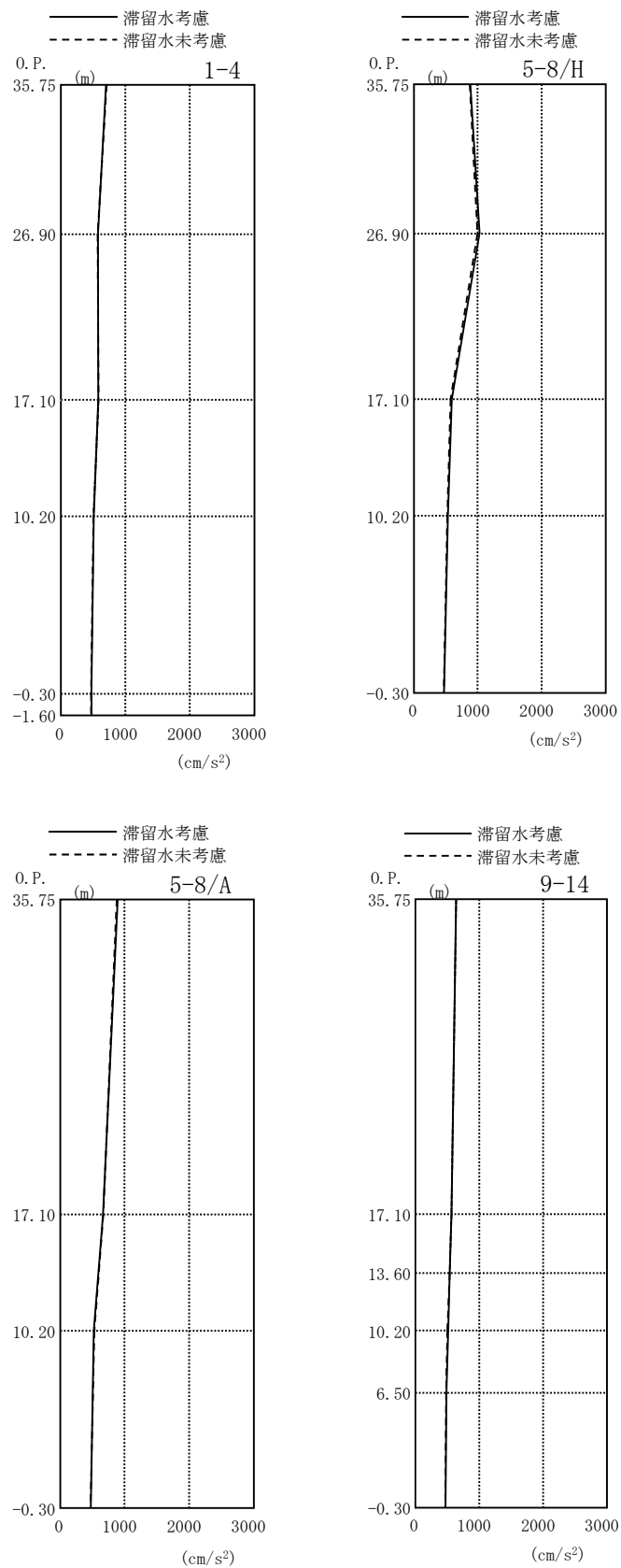


图 3.1.5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

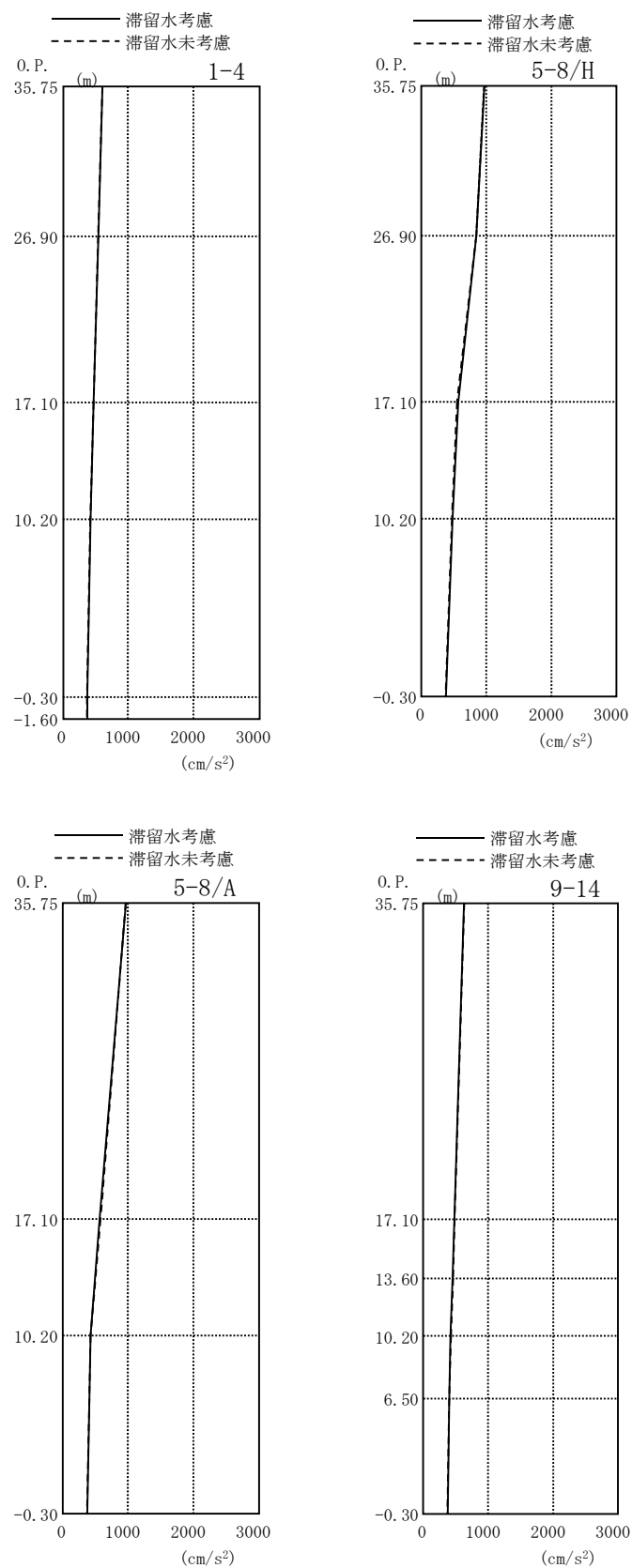


图 3.1.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・SS-3H)

3.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 3.1.6-1 及び表 3.1.6-2 に示す。また、図 3.1.6-1 及び図 3.1.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.15×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、3号機タービン建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 3.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

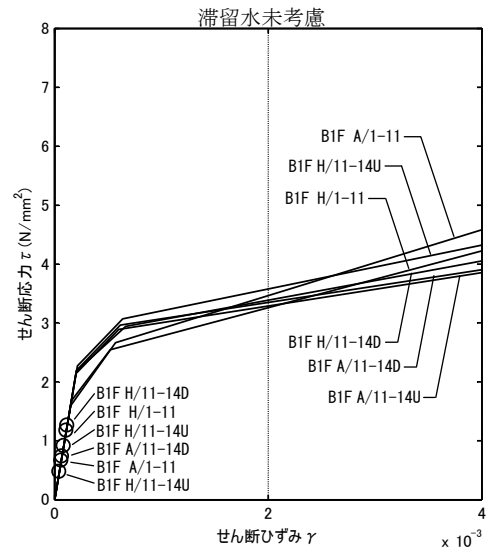
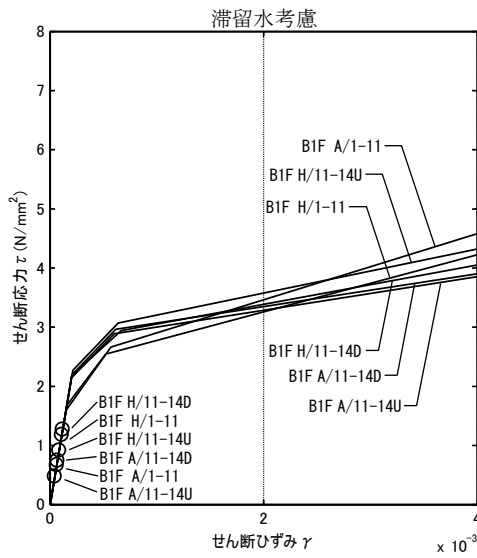
(単位: $\times 10^{-3}$)

階	通り		O. P.	Ss-1H		Ss-2H		Ss-3H		評価基準
				滞留水		滞留水		滞留水		
				考慮	未考慮	考慮	未考慮	考慮	未考慮	
B1F	H/1-11		10.20~-0.30	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	4.0 以下
	H/11-14	U	10.20~6.50	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	
		D	6.50~-0.30	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	
	A/1-11		10.20~-0.30	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	
	A/11-14	U	10.20~6.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	
		D	6.50~-0.30	0.07	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06	

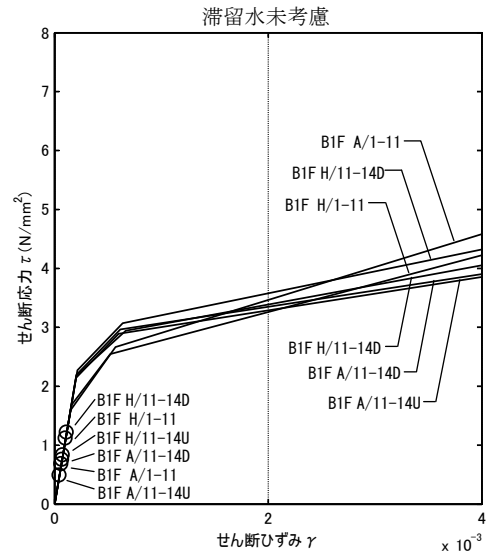
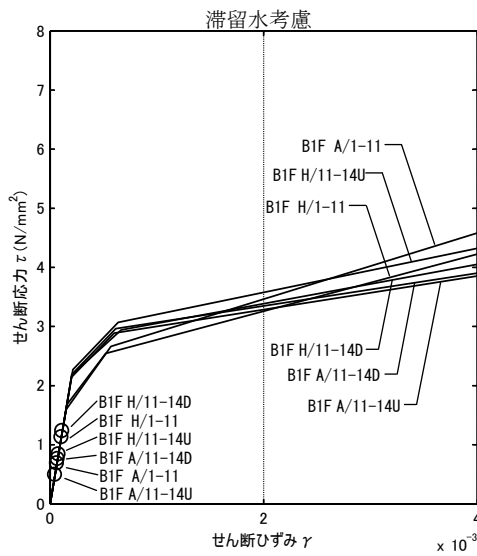
表 3.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

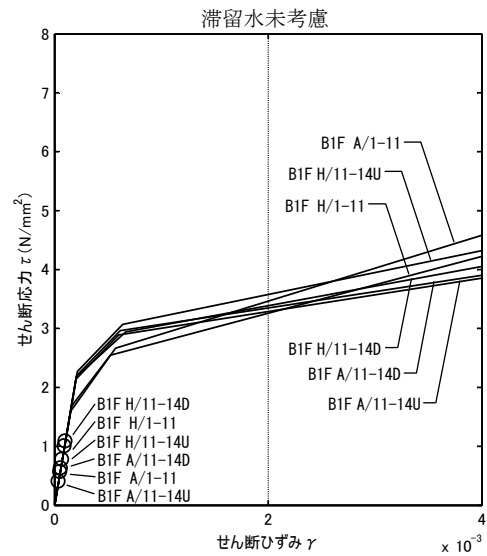
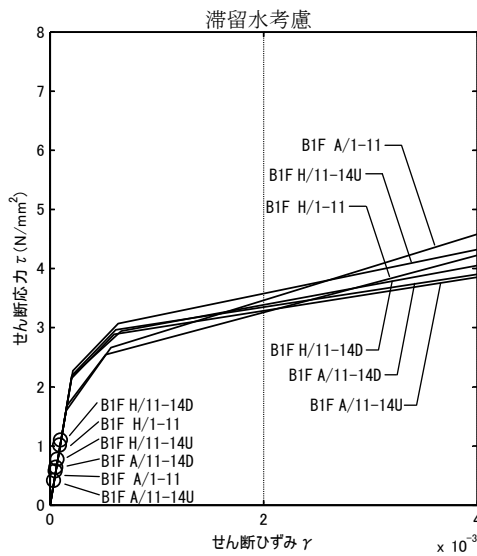
階	通り		O. P.	Ss-1H		Ss-2H		Ss-3H		評価基準
				滞留水		滞留水		滞留水		
				考慮	未考慮	考慮	未考慮	考慮	未考慮	
B1F	1-4		10.20～-0.30	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	4.0 以下
	5-8/H		10.20～-0.30	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	
	5-8/A		10.20～-0.30	0.09	0.09	0.10	0.10	0.08	0.08	
	9-14	U	10.20～6.50	0.13	0.13	0.14	0.13	0.11	0.11	
		D	6.50～-0.30	0.14	0.14	0.15	0.15	0.12	0.12	



(Ss-1H)

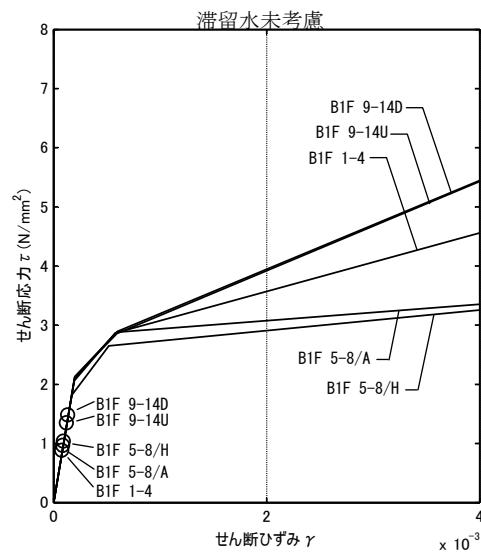
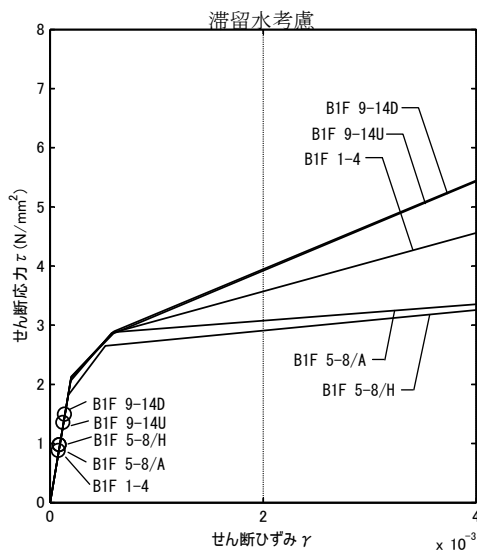


(Ss-2H)

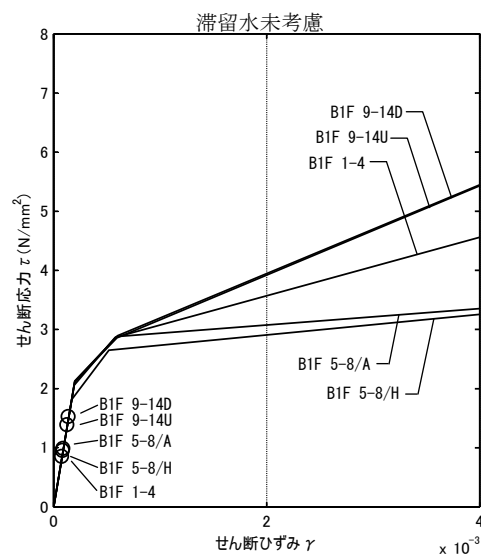
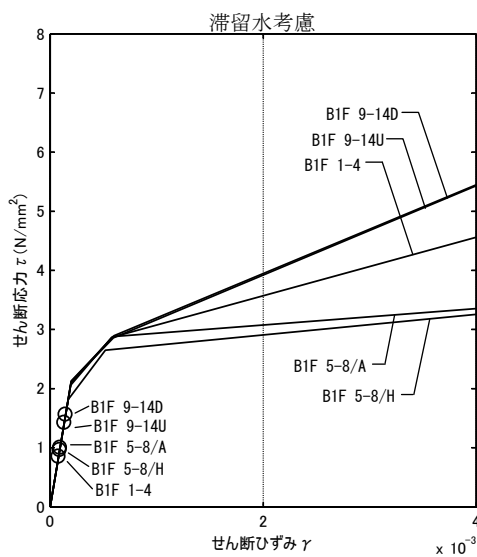


(Ss-3H)

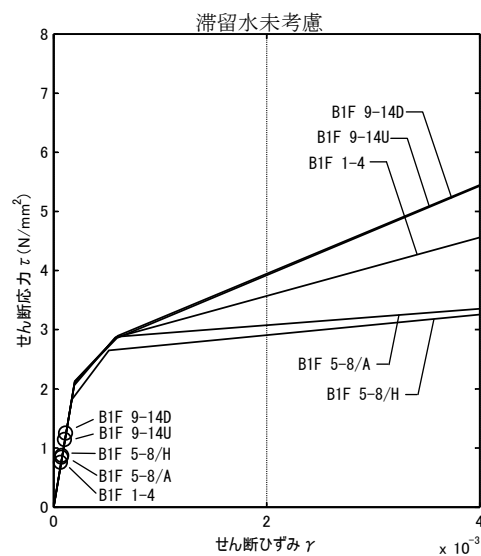
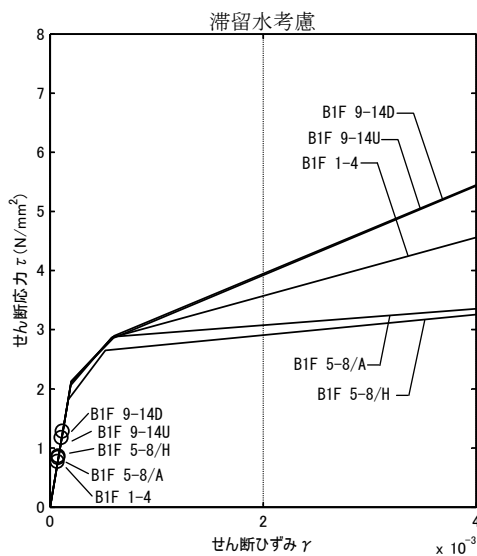
図 3. 1. 6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

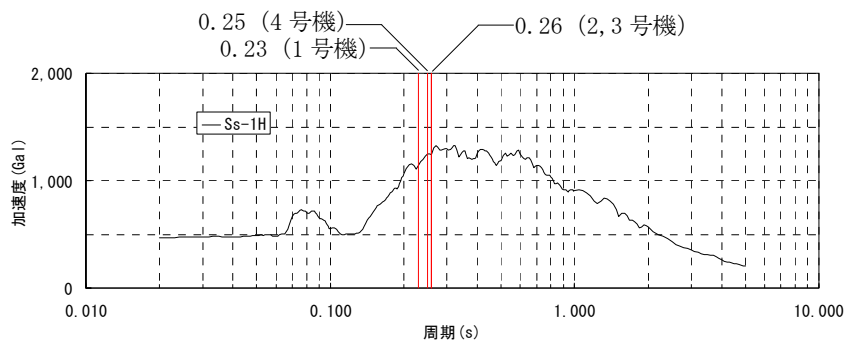
図 3.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

3.2 代表号機以外の検討

滞留水による影響を確認するため、滞留水量が最大であり重量変動が最も大きくなる3号機タービン建屋を代表号機として耐震安全性評価を行った結果、滞留水を考慮しても地下外壁の耐震安全性については十分余裕があることを確認している。

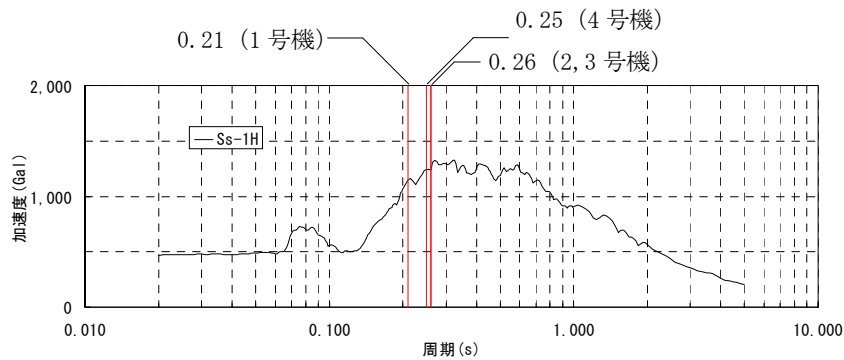
また、タービン建屋は、各号機の機能は同じであることから、構造形式および形状は各号機で同様となっている。各号機のタービン建屋の固有周期を比較した場合、一次固有周期はNS方向で0.23～0.26秒、EW方向で0.21～0.26秒となり、各号機の振動性状に顕著な差はみられない。

代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルに各建屋の一次固有周期を重ね描きしたもの、および代表号機の地下外壁の最大応答せん断ひずみに、代表号機の入力動の応答スペクトルにおける代表号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} と各号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} の比 α_{amp} を乗じた γ_{resp} を図3.2-1～図3.2-3に示す。 γ_{resp} は各号機ともに評価基準値 4×10^{-3} に対して十分に小さいことから、代表号機以外についても地下外壁の耐震安全性は確保されているといえる。



号機	一次固有 周期 T1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.23	1,139	0.92	0.11
#2	0.26	1,238	1.00	0.12
#3	0.26	1,238	—	0.12
#4	0.25	1,247	1.01	0.13

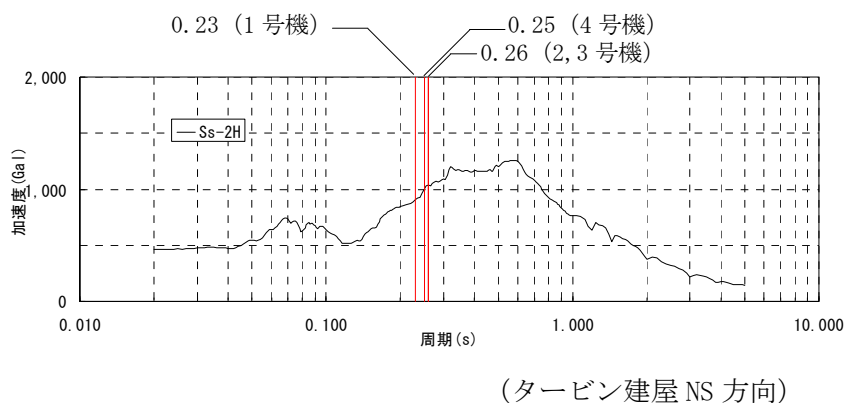
(タービン建屋 NS 方向)



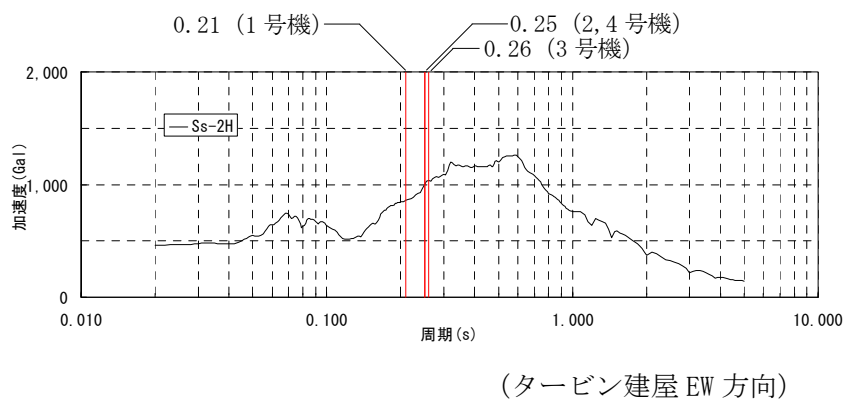
号機	一次固有 周期 T1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.21	1,150	0.93	0.13
#2	0.26	1,238	1.00	0.14
#3	0.26	1,238	—	0.14
#4	0.25	1,247	1.01	0.15

(タービン建屋 EW 方向)

図 3.2-1 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-1H)

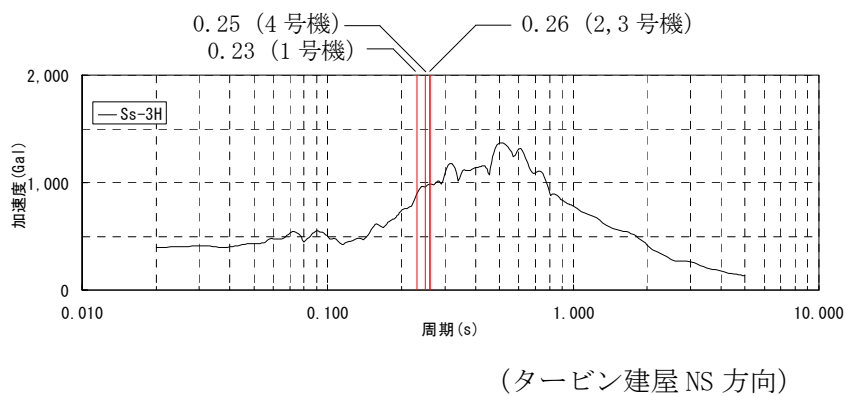


号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.23	909	0.88	0.11
#2	0.26	1,038	1.00	0.12
#3	0.26	1,038	—	0.12
#4	0.25	1,000	0.96	0.12

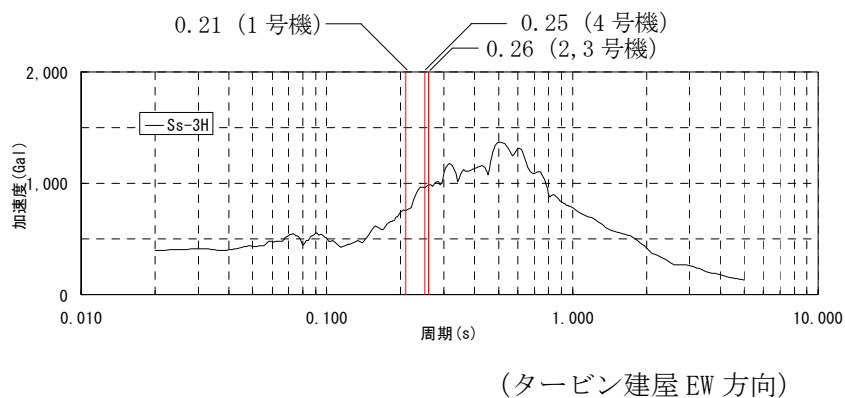


号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.21	860	0.83	0.13
#2	0.25	1,000	0.96	0.15
#3	0.26	1,038	—	0.15
#4	0.25	1,000	0.96	0.15

図 3.2-2 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-2H)



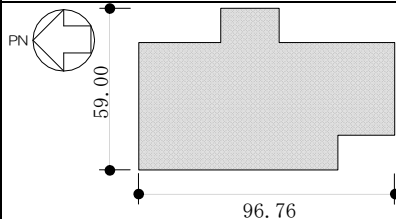
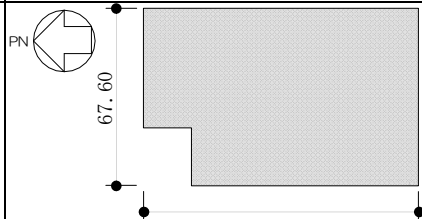
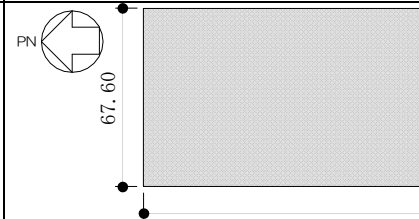
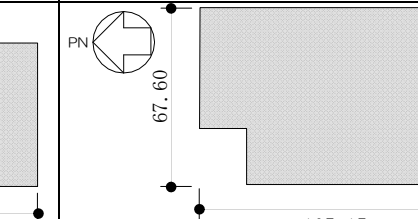
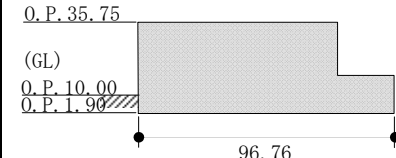
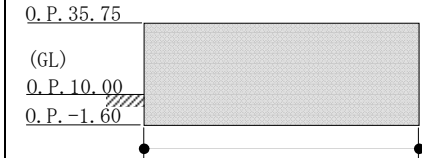
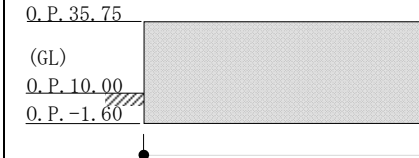
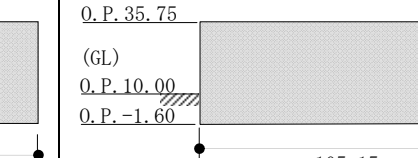
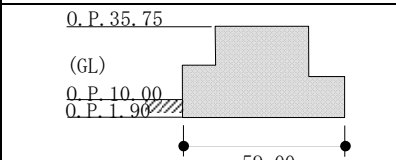
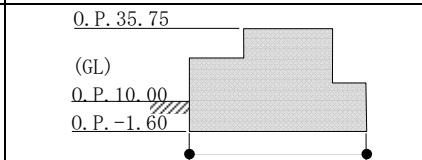
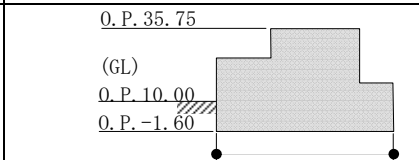
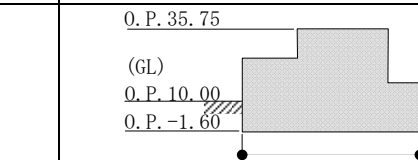
号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.23	898	0.91	0.10
#2	0.26	984	1.00	0.11
#3	0.26	984	—	0.11
#4	0.25	959	0.97	0.11



号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.21	757	0.77	0.10
#2	0.26	984	1.00	0.12
#3	0.26	984	—	0.12
#4	0.25	959	0.97	0.12

図 3.2-3 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-3H)

表 3.2-1 タービン建屋の形状・一次固有周期・滞留水量の比較

			1号機タービン建屋	2号機タービン建屋	3号機タービン建屋（代表号機）	4号機タービン建屋
平面図						
N S 方向断面						
E W 方向断面						
一次固有周期 (s)	N S	Ss-1H	0.23	0.26	0.26	0.25
		Ss-2H	0.23	0.26	0.26	0.25
		Ss-3H	0.23	0.26	0.26	0.25
	E W	Ss-1H	0.21	0.26	0.26	0.25
		Ss-2H	0.21	0.25	0.26	0.25
		Ss-3H	0.21	0.26	0.26	0.25
滞留水量(m³)		9,600	13,500	16,400	12,800	
同一レベルの 貯留比率※		B1F:0.330	B1F:0.313	B1F:0.370	B1F:0.285	

※同一レベルの滞留水重量と質点重量の比率

4 廃棄物処理建屋

4.1 4号機廃棄物処理建屋（代表号機）

4.1.1 解析評価方針

廃棄物処理建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構造物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

廃棄物処理建屋については地下滞留水量が最大となる代表号機を選定する。

解析モデルは、地下1階から地上3階に設置された機器を含む建屋全域をNS、EW方向とも多軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、保守的にその全てを固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

廃棄物処理建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 4.1.1-1 に示す。

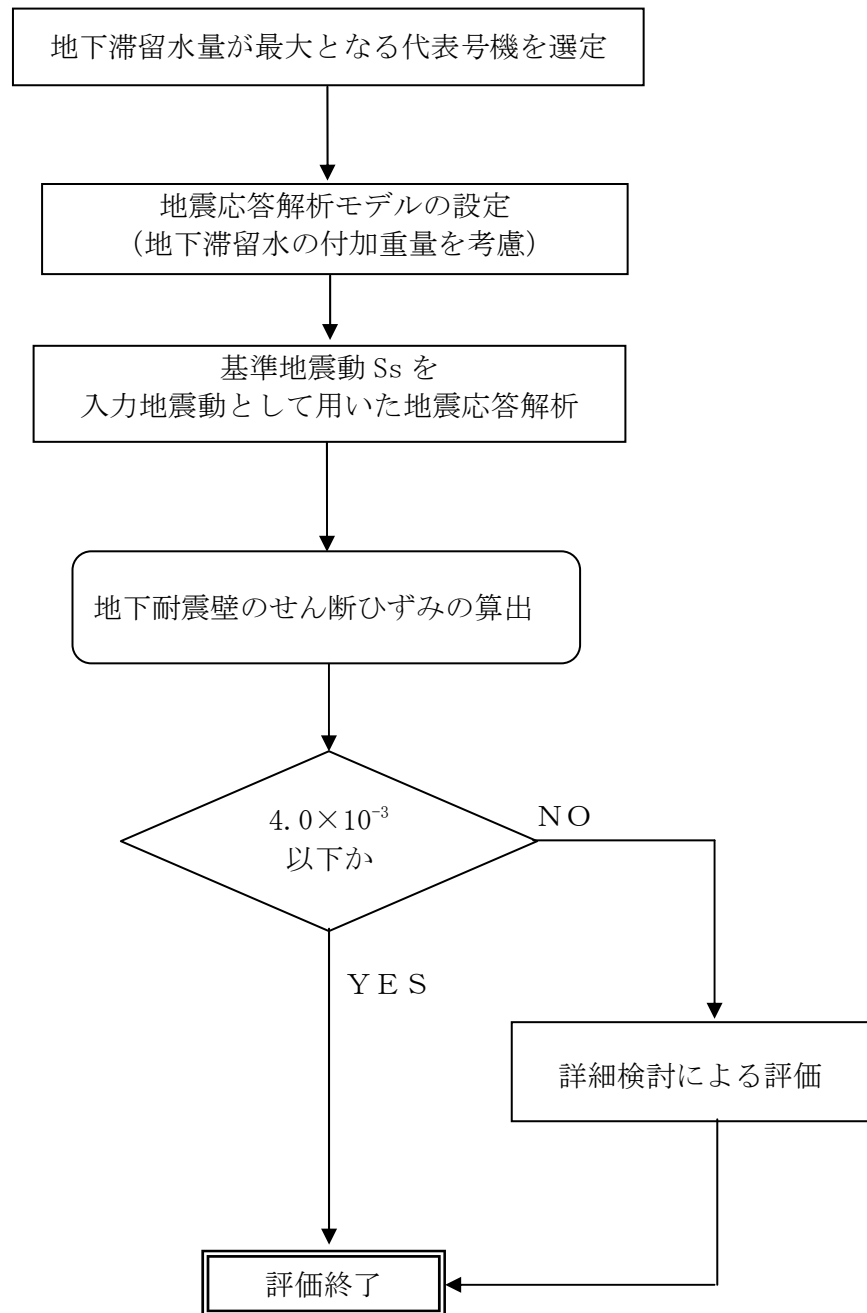


図 4.1.1-1 廃棄物処理建屋の地震応答解析の評価手順例

4.1.2 代表号機の選定

廃棄物処理建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 4.1.2-1 に示す。表 4.1.2-1 より、貯水量の最も多い 4 号機を代表号機と選定する。

表 4.1.2-1 廃棄物処理建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

	1 号機	2 号機	3 号機	4 号機
水位	O.P. 4, 000	O.P. 4, 000	O.P. 4, 000	O.P. 4, 000
貯水量	1, 400m ³	2, 600m ³	2, 600m ³	4, 500m ³

4.1.3 解析に用いる入力地震動

4号機廃棄物処理建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」（原管発官19第603号 平成20年3月31日付け）にて作成した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。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図4.1.3-1に示す。この廃棄物処理建屋の解析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 に対する建屋基礎底面レベルの地盤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。

このうち、解放基盤表面位置（O.P. -196.0m）における基準地震動 S_s の加速度波形について、図4.1.3-2に示す。

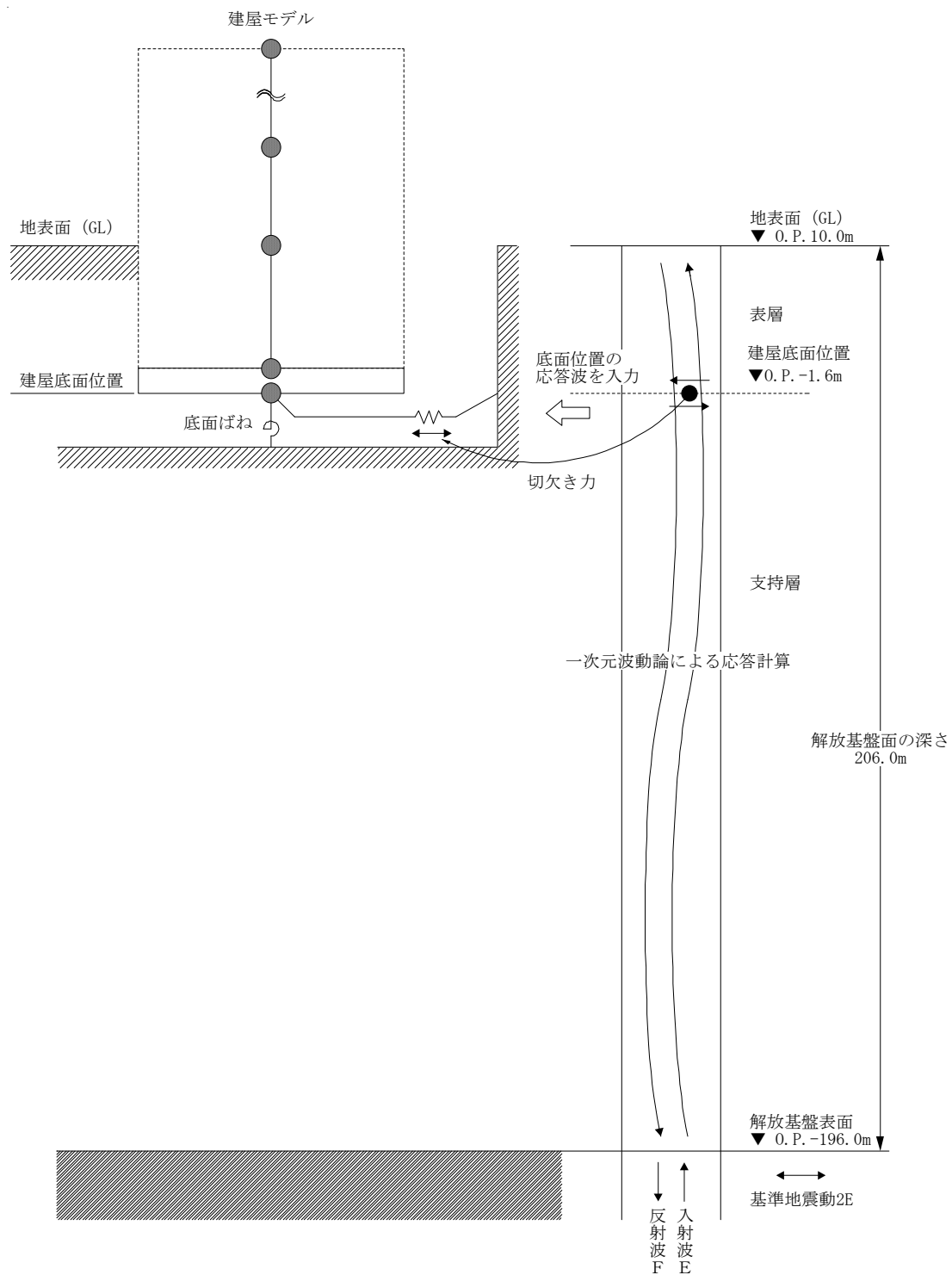


図 4. 1. 3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

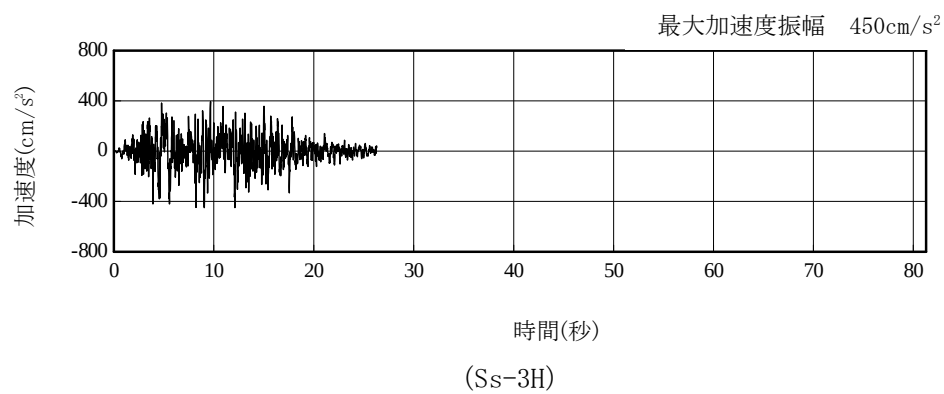
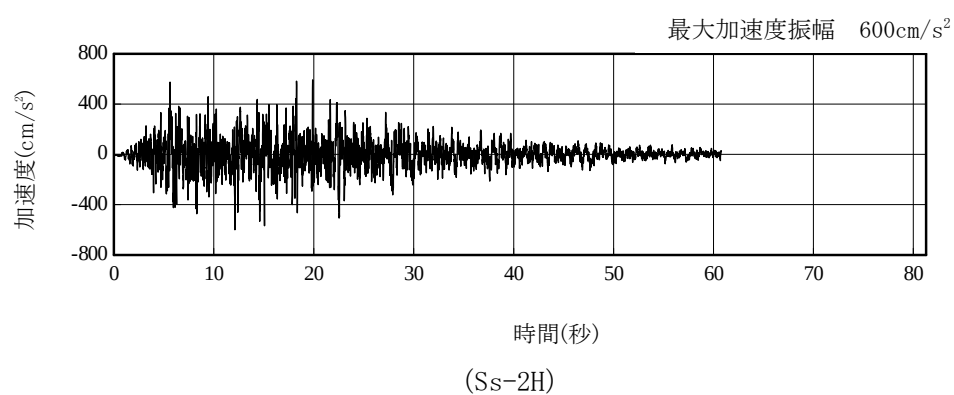
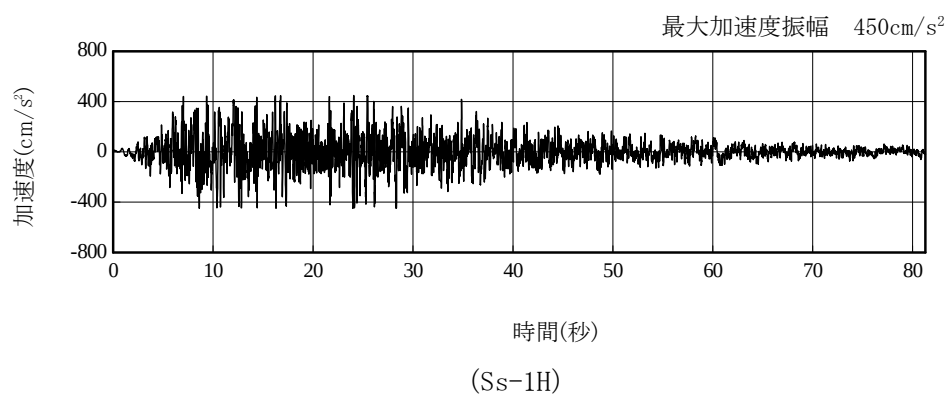


図 4. 1. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

4.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 4 号機廃棄物処理建屋の地震応答解析は、「4.1.3. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは、図 4.1.4-1 及び図 4.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 4.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 4.1.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 4.1.4-3 に示す。

解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にし、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的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図-1.4.3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

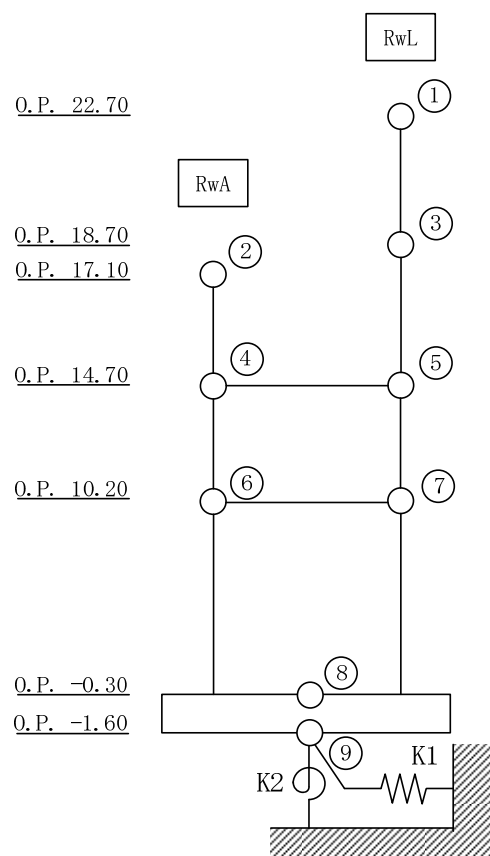


図 4. 1. 4-1 4 号機廃棄物処理建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

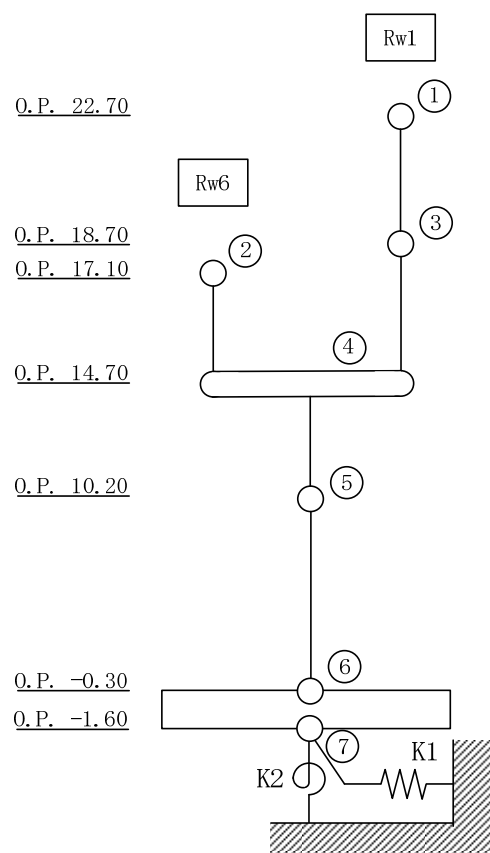


図 4. 1. 4-2 4 号機廃棄物処理建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 4. 1. 4-1 地震応答解析に用いる物性値

コンクリート	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)
	35.0	2.57×10 ⁴	1.07×10 ⁴	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

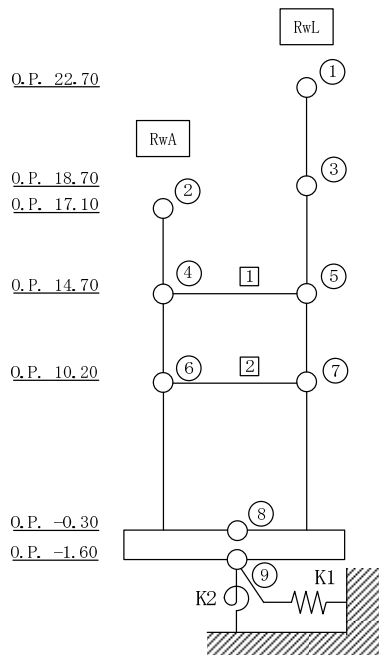
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*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。

表 4. 1. 4-2 建屋解析モデルの諸元

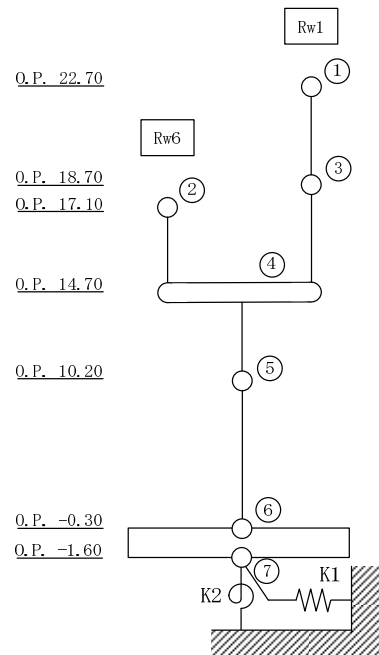
NS 方向



質点 番号	質点位置 O.P. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性 I_R ($\times 10^5$ kN/m ²)	せん断 断面積 As (m ²)	断面2次 モーメント Ib (m ⁴)	質点 番号	質点位置 O.P. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性 I_R ($\times 10^5$ kN/m ²)	せん断 断面積 As (m ²)	断面2次 モーメント Ib (m ⁴)
						①	22.7	4,050	0.69		
②	17.1	1,920	0.65			③	18.7	11,790	2.33	13.2	271
④	14.7	13,110	5.48	16.0	987	⑤	14.7	24,610	10.29	30.6	1,186
⑥	10.2	35,150	14.70	34.3	4,408	⑦	10.2	75,660	63.32	50.9	6,138
⑧	-0.3	129,370 (44,130)	91.69 (31.28)	44.1	6,208					125.7	25,167
⑨	-1.6	28,040	19.87	1,832.6	129,874						
合計		323,700				注 () 内は滞留水による付加分を示す。					

ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m²)
せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%
基礎形状 25.22m (NS 方向) $\times$ 72.65m (EW 方向)
床のせん断ばね定数 K_s ① : 44.48×10^5 (kN/m) ② : 45.21×10^5 (kN/m)

EW 方向



質点 番号	質点位置 O.P. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性 I_R ($\times 10^5$ kN/m ²)	せん断 断面積 As (m ²)	断面2次 モーメント Ib (m ⁴)	質点 番号	質点位置 O.P. (m)	質点重量 W (kN)	回転慣性 I_R ($\times 10^5$ kN/m ²)	せん断 断面積 As (m ²)	断面2次 モーメント Ib (m ⁴)
						①	22.7	4,050	0.52		
②	17.1	1,920	0.08			③	18.7	11,790	5.15	21.2	280
④	14.7	37,730	127.38	5.4	30					45.2	1,824
⑤	10.2	110,800	526.07	151.8	30,007						
⑥	-0.3	129,370 (44,130)	614.23 (209.52)	176.5	66,926						
⑦	-1.6	28,040	133.13	1,832.6	870,078						
合計		323,700				注 () は滞留水による付加分を示す。					

ヤング係数 E_c 2.57×10^7 (kN/m²)
せん断弾性係数 G 1.07×10^7 (kN/m²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰 h 5%
基礎形状 25.22m (NS 方向) $\times$ 72.65m (EW 方向)

表 4. 1. 4-3(1) 地盤定数

(Ss-1)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 4. 1. 4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 4.1.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-10.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
		(解放基盤) 700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-



4.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められた NS 方向, EW 方向の最大応答加速度を, 滞留水を未考慮の場合と比較して, 図 4.1.5-1～図 4.1.5-6 に示す。

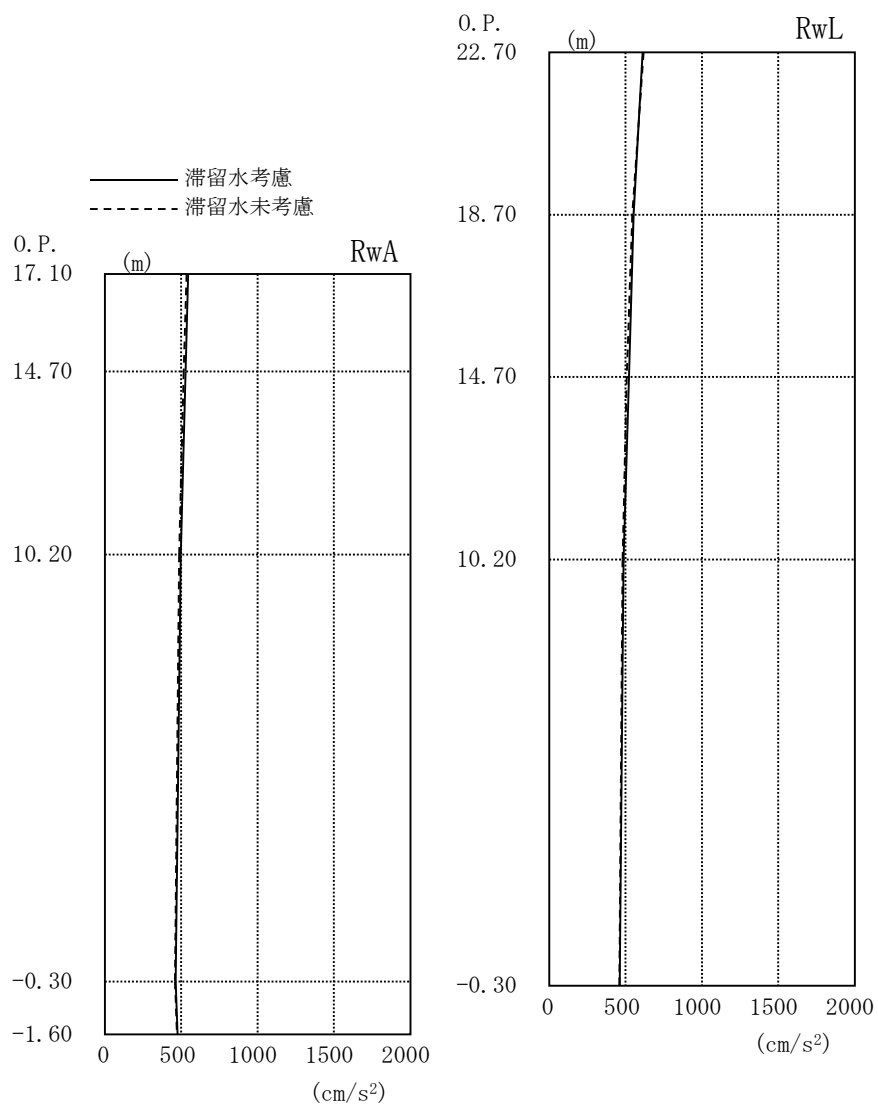


图 4.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-1H)

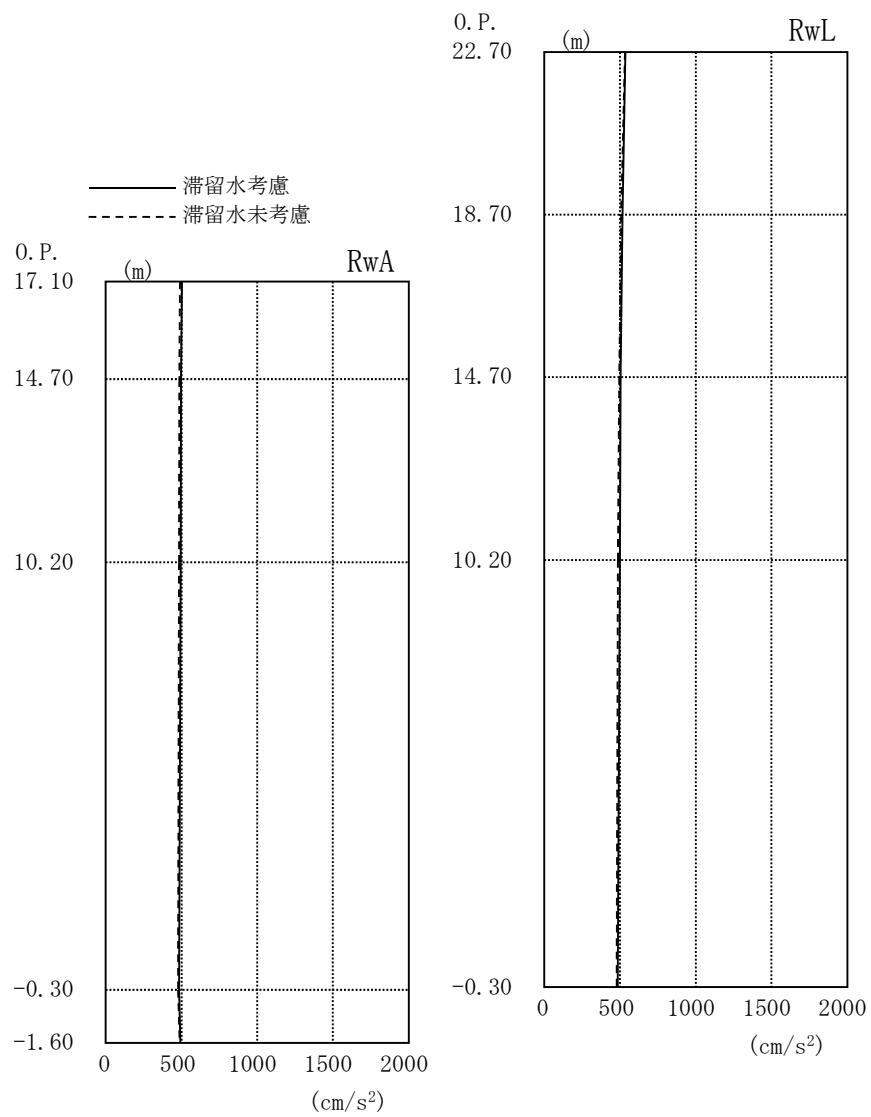


図 4. 1. 5-2 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-2H)

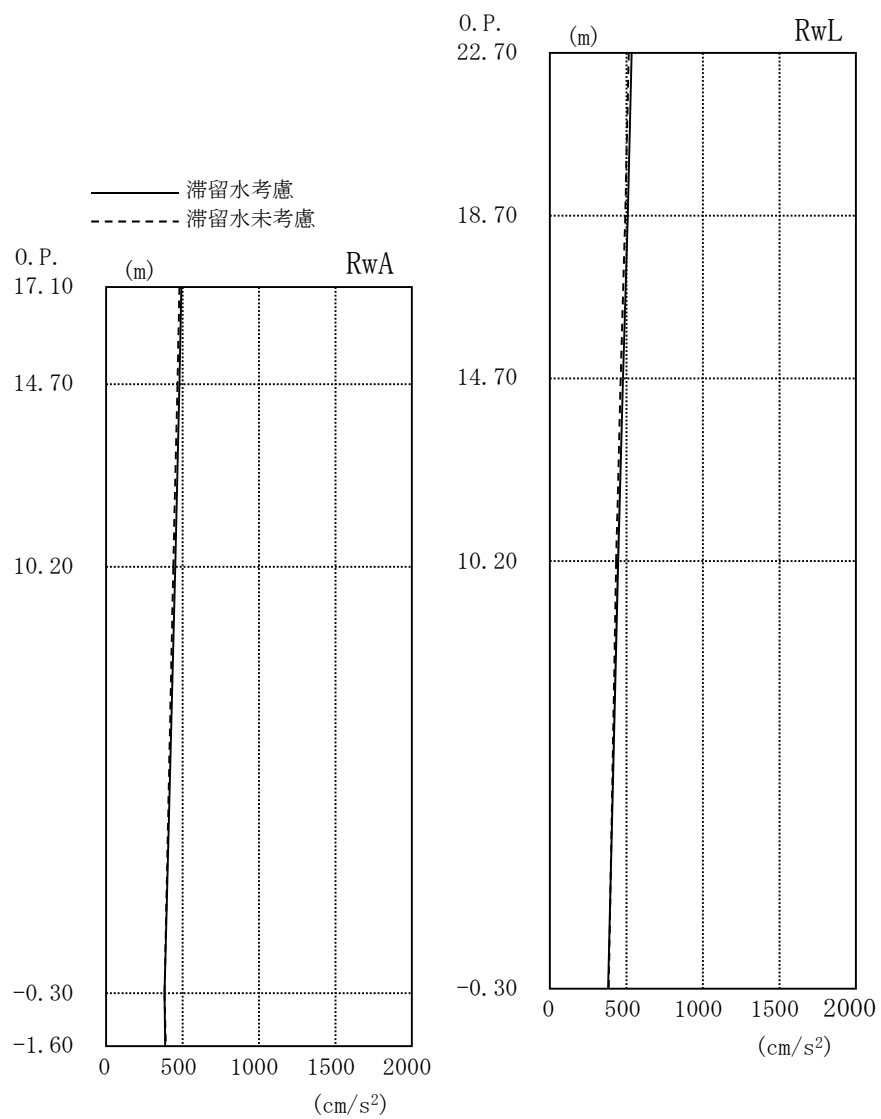


図 4. 1. 5-3 最大応答加速度 (NS 方向・Ss-3H)

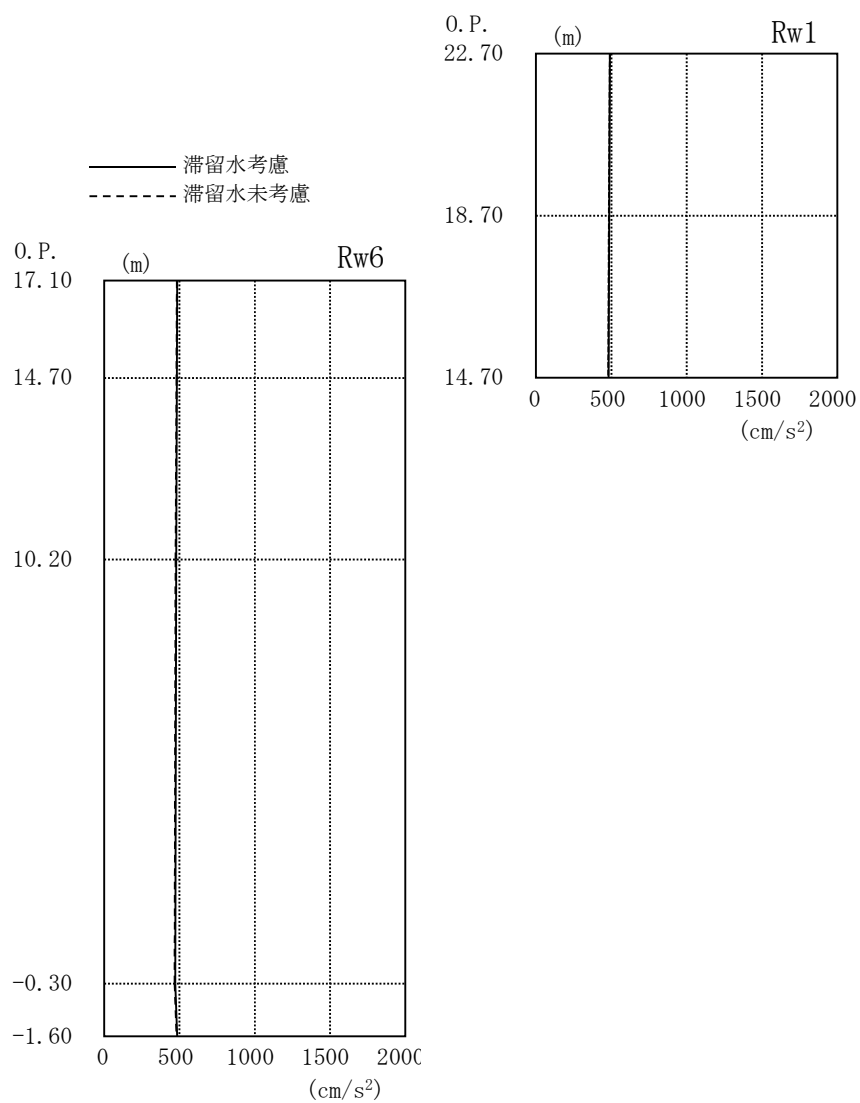


図 4. 1. 5-4 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-1H)

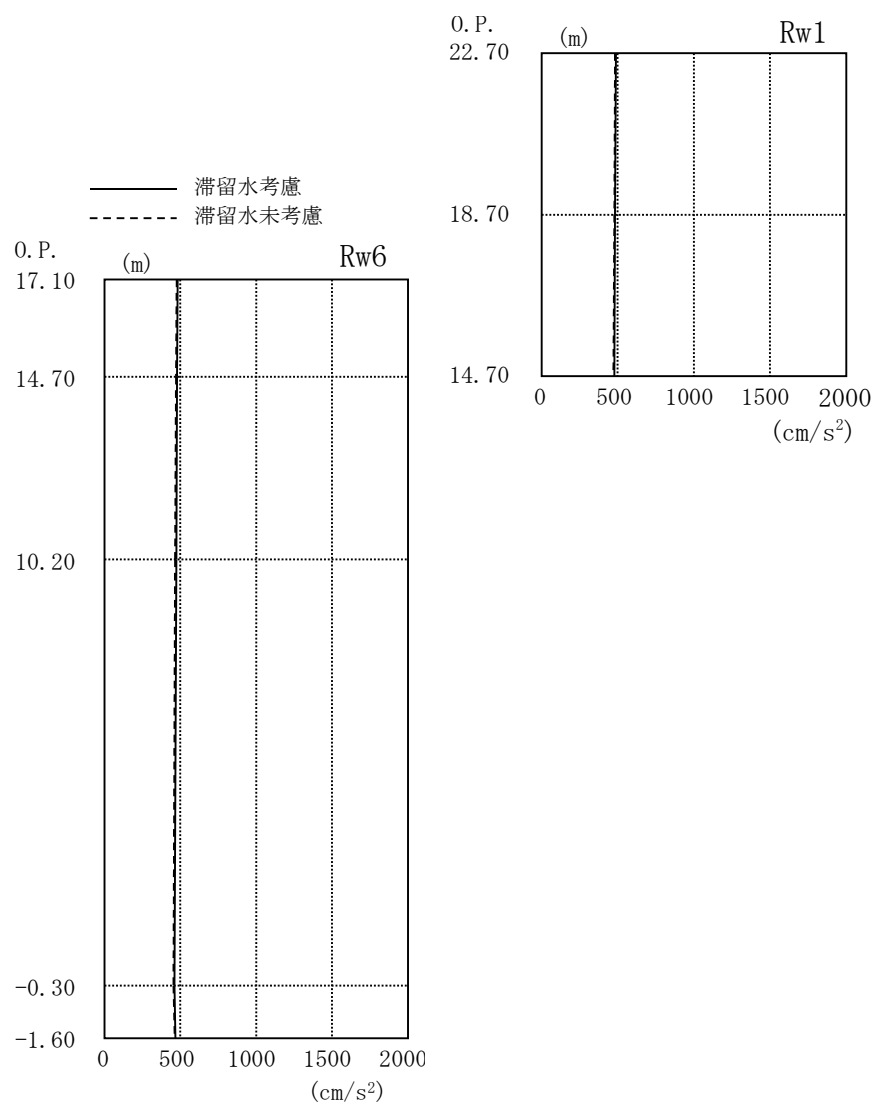


図 4. 1. 5-5 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-2H)

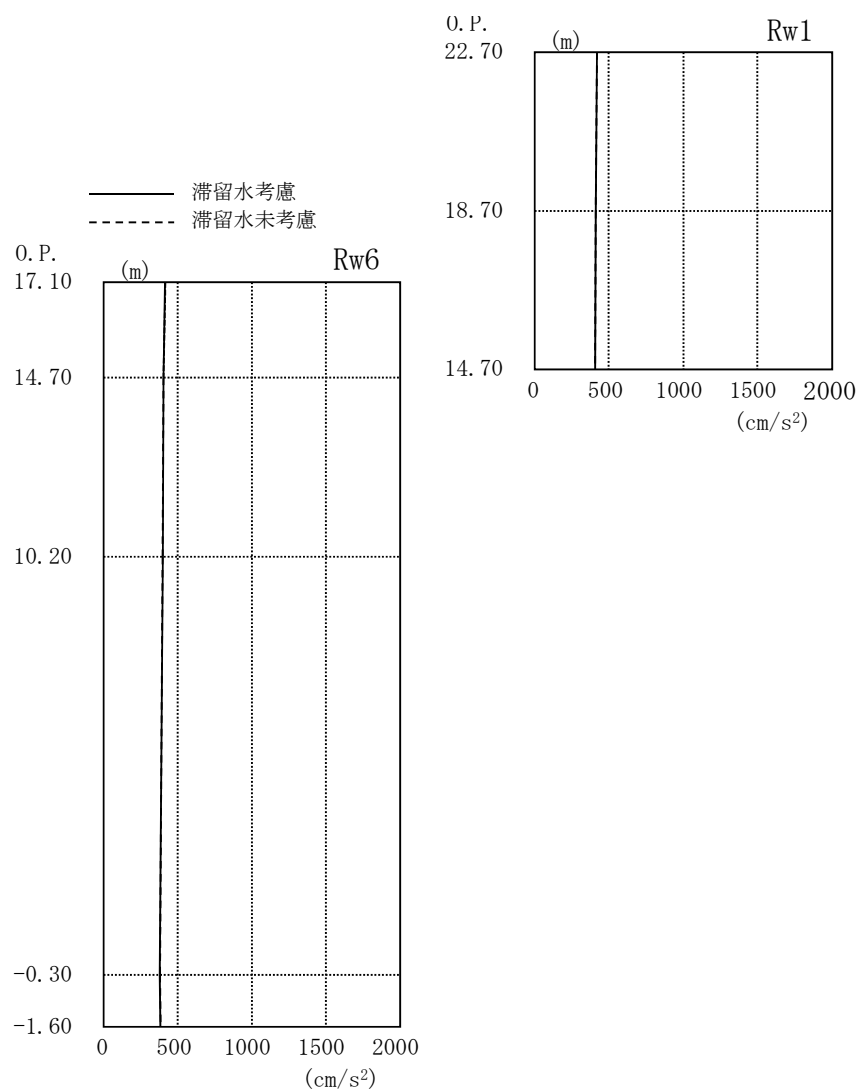


图 4.1.5-6 最大応答加速度 (EW 方向・Ss-3H)

4.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、滞留水を未考慮の場合と比較して、表 4.1.6-1 及び表 4.1.6-2 に示す。また、図 4.1.6-1 及び図 4.1.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を、滞留水を未考慮の場合と比較して、耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、滞留水を考慮した場合でも、最大で 0.06×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、4号機廃棄物処理建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 4.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

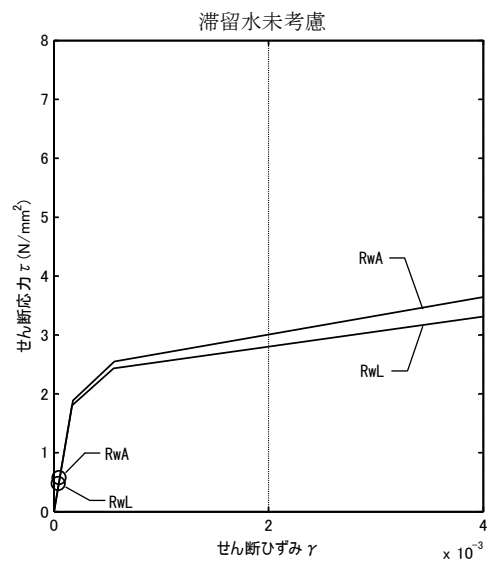
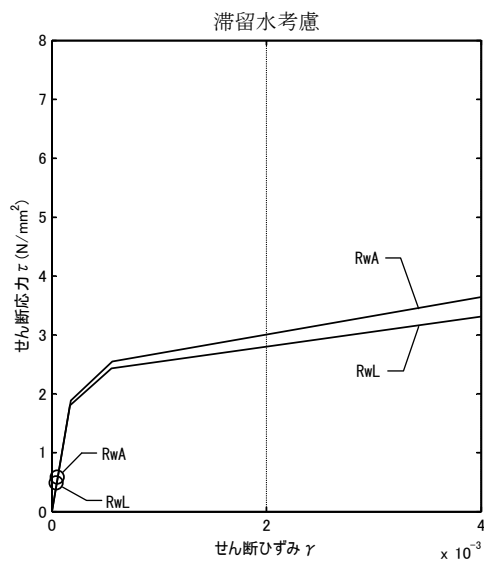
(単位: $\times 10^{-3}$)

階	通り	O. P.	滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	RwA	10.20～ -0.30	考慮	0.06	0.06	0.05	4.0 以下
			未考慮	0.06	0.06	0.05	
	RwL	10.20～ -0.30	考慮	0.05	0.05	0.05	
			未考慮	0.05	0.05	0.04	

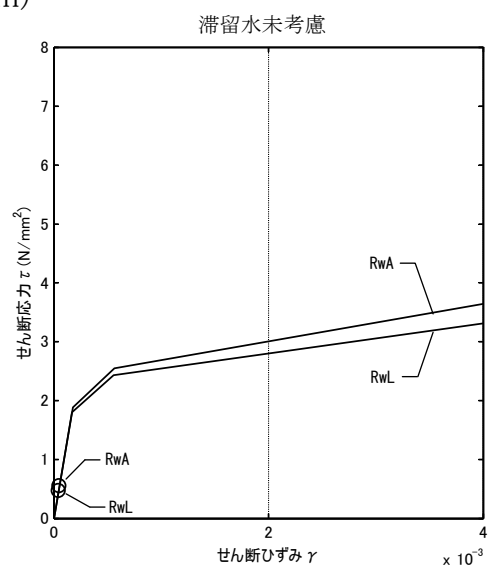
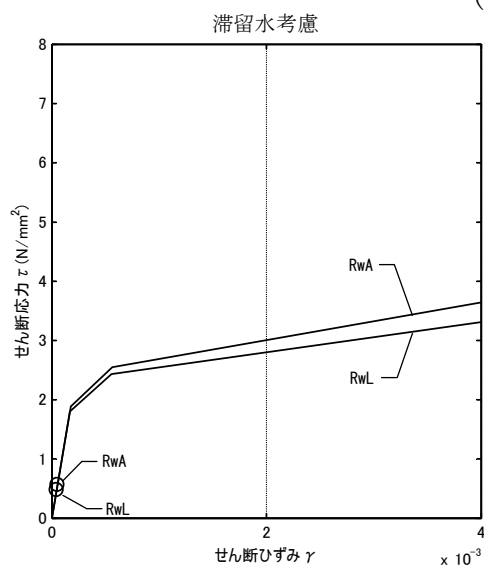
表 4.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

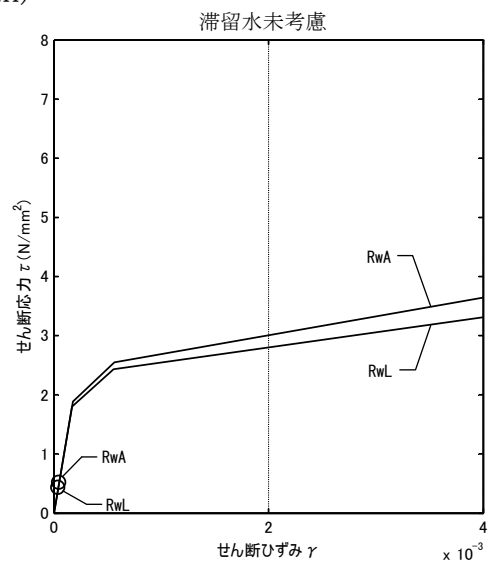
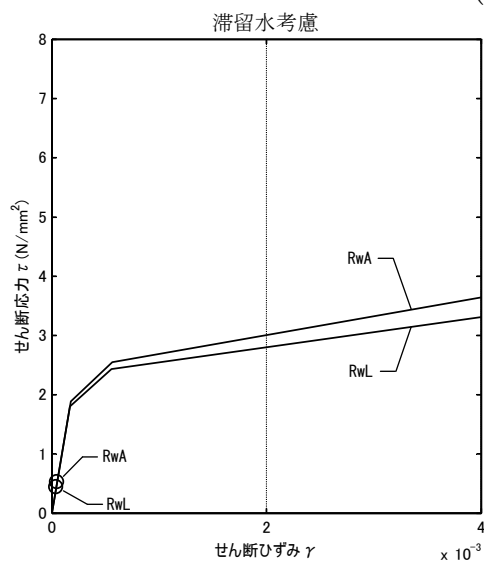
階	O. P.	滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	10.20～-0.30	考慮	0.05	0.05	0.04	4.0 以下
		未考慮	0.05	0.05	0.04	



(Ss-1H)

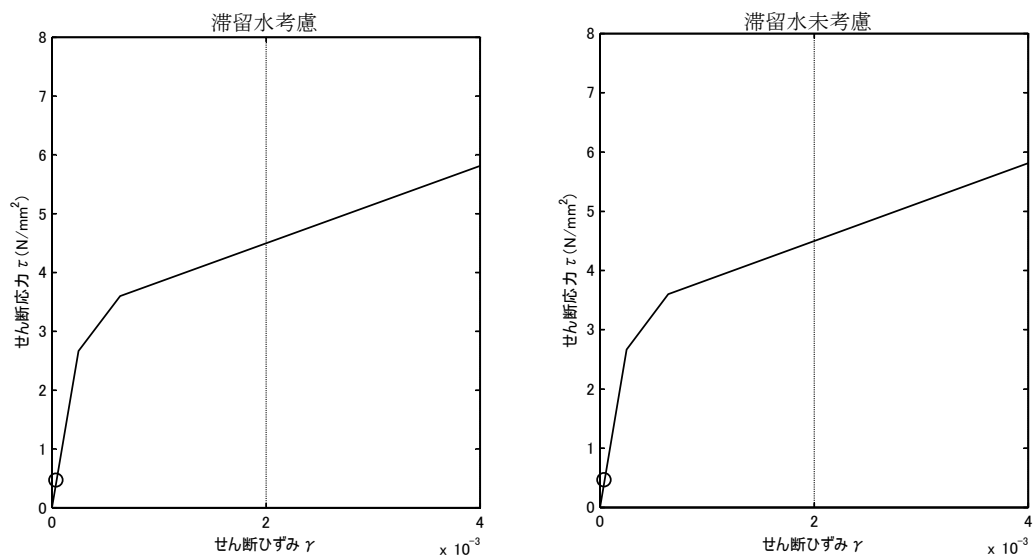


(Ss-2H)

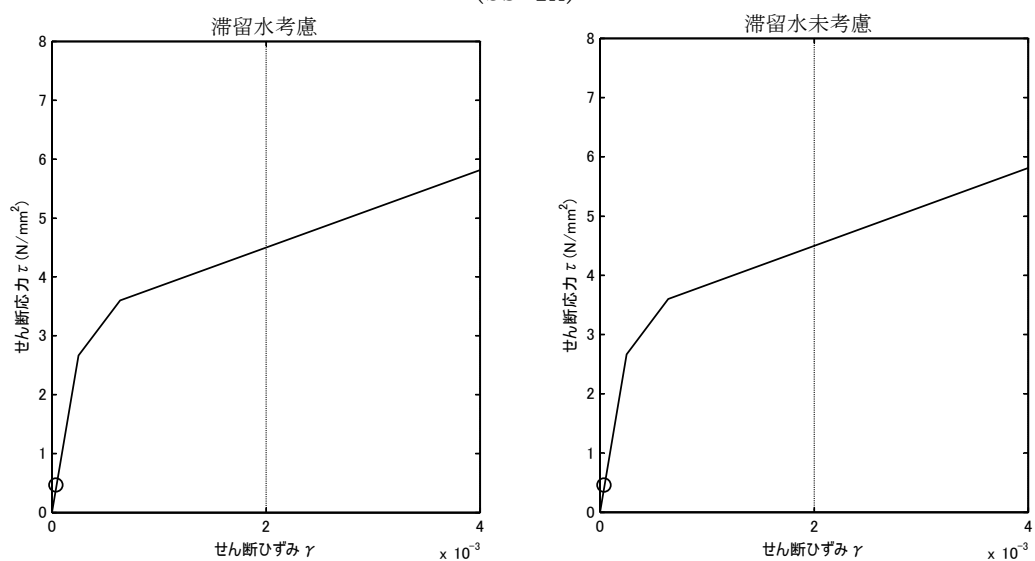


(Ss-3H)

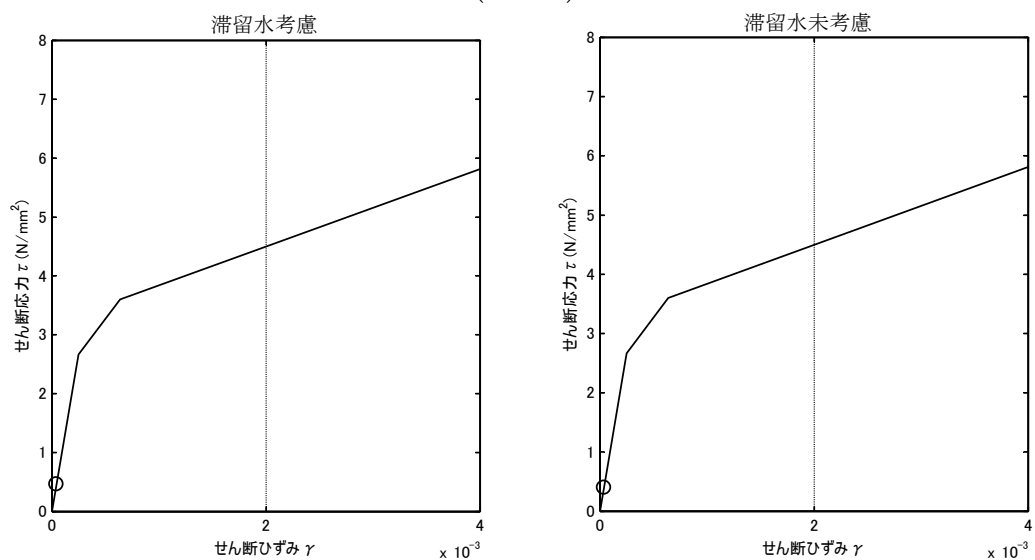
図 4. 1. 6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

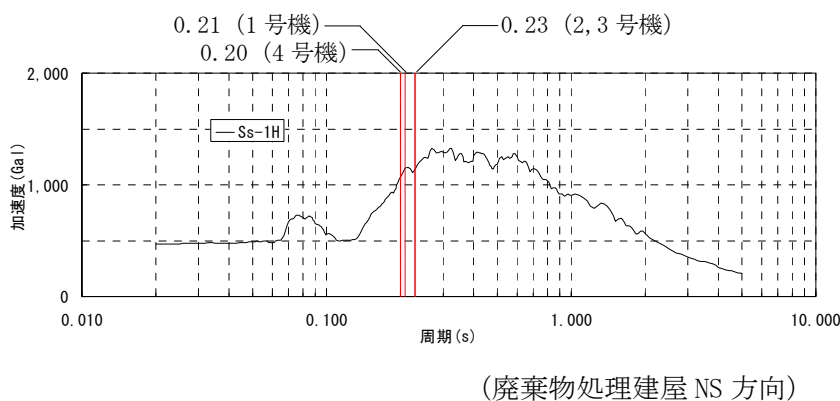
図 4.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

4.2 代表号機以外の検討

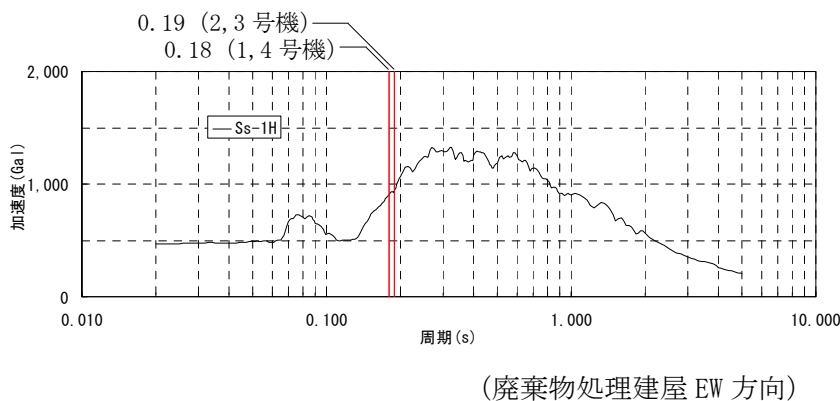
滞留水による影響を確認するため、滞留水量が最大であり重量変動が最も大きくなる4号機廃棄物処理建屋を代表号機として耐震安全性評価を行った結果、滞留水を考慮しても地下外壁の耐震安全性については十分余裕があることを確認している。

また、廃棄物処理建屋は、各号機の機能は同じであることから、構造形式および形状は各号機で同様となっている。各号機の廃棄物処理建屋の固有周期を比較した場合、一次固有周期はNS方向で0.21～0.23秒、EW方向で0.18～0.19秒となり、各号機の振動性状に顕著な差はみられない。

代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルに各建屋の一次固有周期を重ね描きしたもの、および代表号機の地下外壁の最大応答せん断ひずみに、代表号機の入力動の応答スペクトルにおける代表号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} と各号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} の比 α_{amp} を乗じた γ_{resp} を図4.2-1～図4.2-3に示す。 γ_{resp} は各号機ともに評価基準値 4×10^{-3} に対して十分に小さいことから、代表号機以外についても地下外壁の耐震安全性は確保されているといえる。

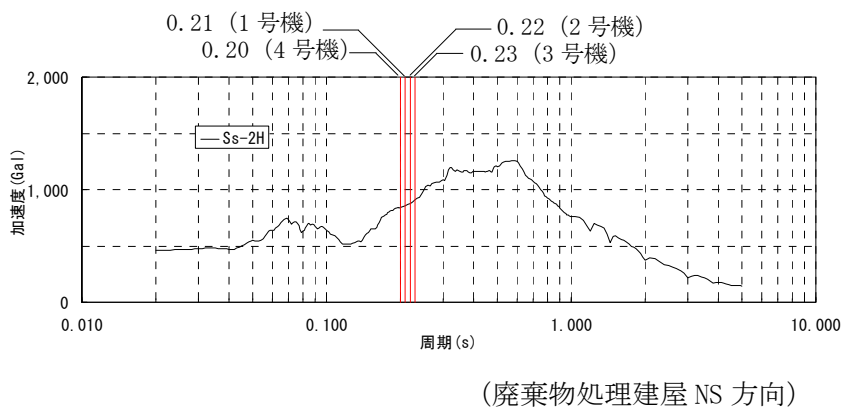


号機	一次固有 周期 T1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.21	1,150	1.08	0.07
#2	0.23	1,139	1.07	0.07
#3	0.23	1,139	1.07	0.07
#4	0.20	1,067	—	0.06

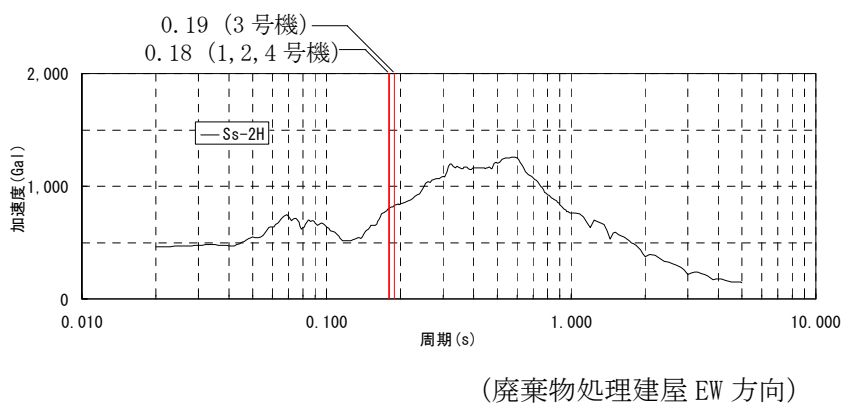


号機	一次固有 周期 T1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.18	903	1.00	0.05
#2	0.19	944	1.05	0.06
#3	0.19	944	1.05	0.06
#4	0.18	903	—	0.05

図 4.2-1 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-1H)

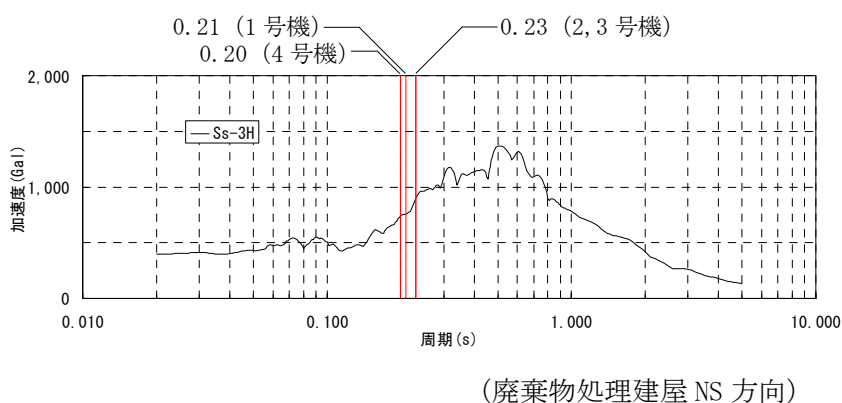


号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.21	860	1.02	0.07
#2	0.22	877	1.04	0.07
#3	0.23	909	1.07	0.07
#4	0.20	847	—	0.06

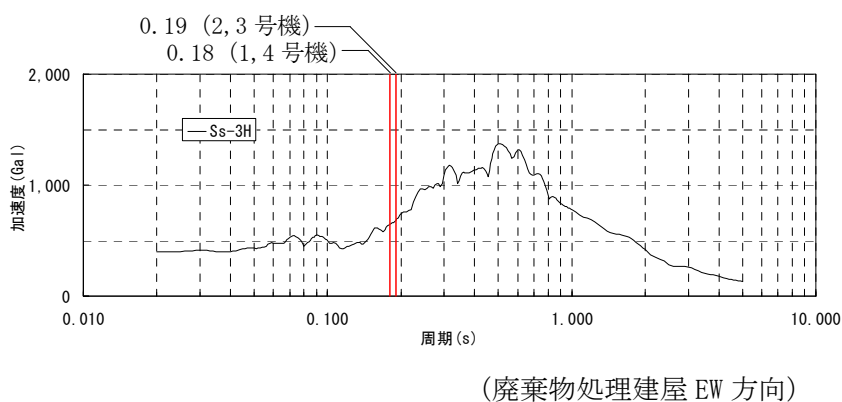


号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.18	805	1.00	0.05
#2	0.18	805	1.00	0.05
#3	0.19	832	1.03	0.06
#4	0.18	805	—	0.05

図 4.2-2 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-2H)



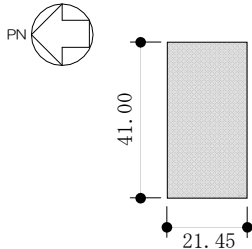
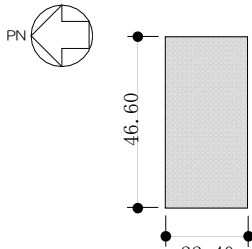
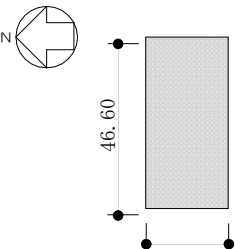
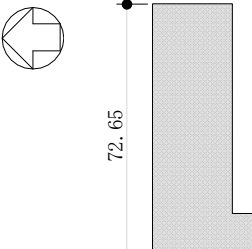
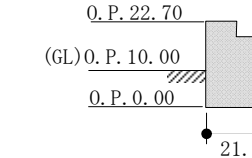
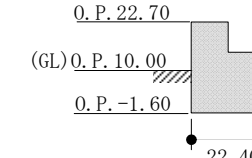
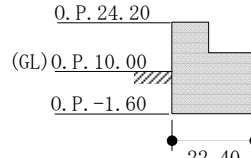
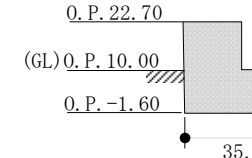
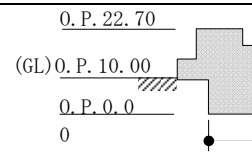
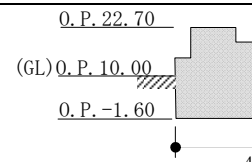
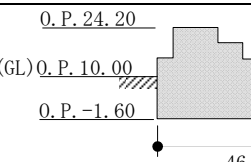
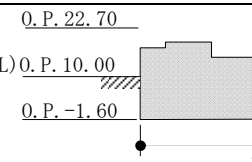
号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.21	757	1.02	0.06
#2	0.23	898	1.21	0.07
#3	0.23	898	1.21	0.07
#4	0.20	742	—	0.05



号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.18	647	1.00	0.04
#2	0.19	683	1.06	0.05
#3	0.19	683	1.06	0.05
#4	0.18	647	—	0.04

図 4.2-3 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-3H)

表 4.2-1 廃棄物処理建屋の形状・一次固有周期・滞留水量の比較

			1号機廃棄物処理建屋	2号機廃棄物処理建屋	3号機廃棄物処理建屋	4号機廃棄物処理建屋
平面図						
N S 方向断面						
E W 方向断面						
一次固有周期 (s)	NS	Ss-1H	0.21	0.23	0.23	0.20
		Ss-2H	0.21	0.22	0.23	0.20
		Ss-3H	0.21	0.23	0.23	0.20
	EW	Ss-1H	0.18	0.19	0.19	0.18
		Ss-2H	0.18	0.18	0.19	0.18
		Ss-3H	0.18	0.19	0.19	0.18
滞留水量(m³)			1,400	2,600	2,600	4,500
同一レベルの 貯留比率※			B1F:0.286	B1F:0.495	B1F:0.512	B1F:0.518

※同一レベルの滞留水重量と質点重量の比率

5 コントロール建屋

5.1 3号機コントロール建屋（代表号機）

5.1.1 解析評価方針

コントロール建屋の地下滞留水を考慮した耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析によることを基本とし、建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

コントロール建屋については、地下滞留水量が最大となる代表号機を選定する。

解析モデルは、地下2階から地上2階に設置された機器を含む建屋全域を NS, EW 方向とも1軸質点系モデルとする。

地下階への滞留水の付加重量は建屋外形寸法・建屋内部の壁厚・機器容積から体積を算定し、固定水として評価する。

地下耐震壁の評価は、地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが、評価基準値 (4.0×10^{-3}) を超えないことを確認することとする。

コントロール建屋の地震応答解析の評価手順例を、図 5.1.1-1 に示す。

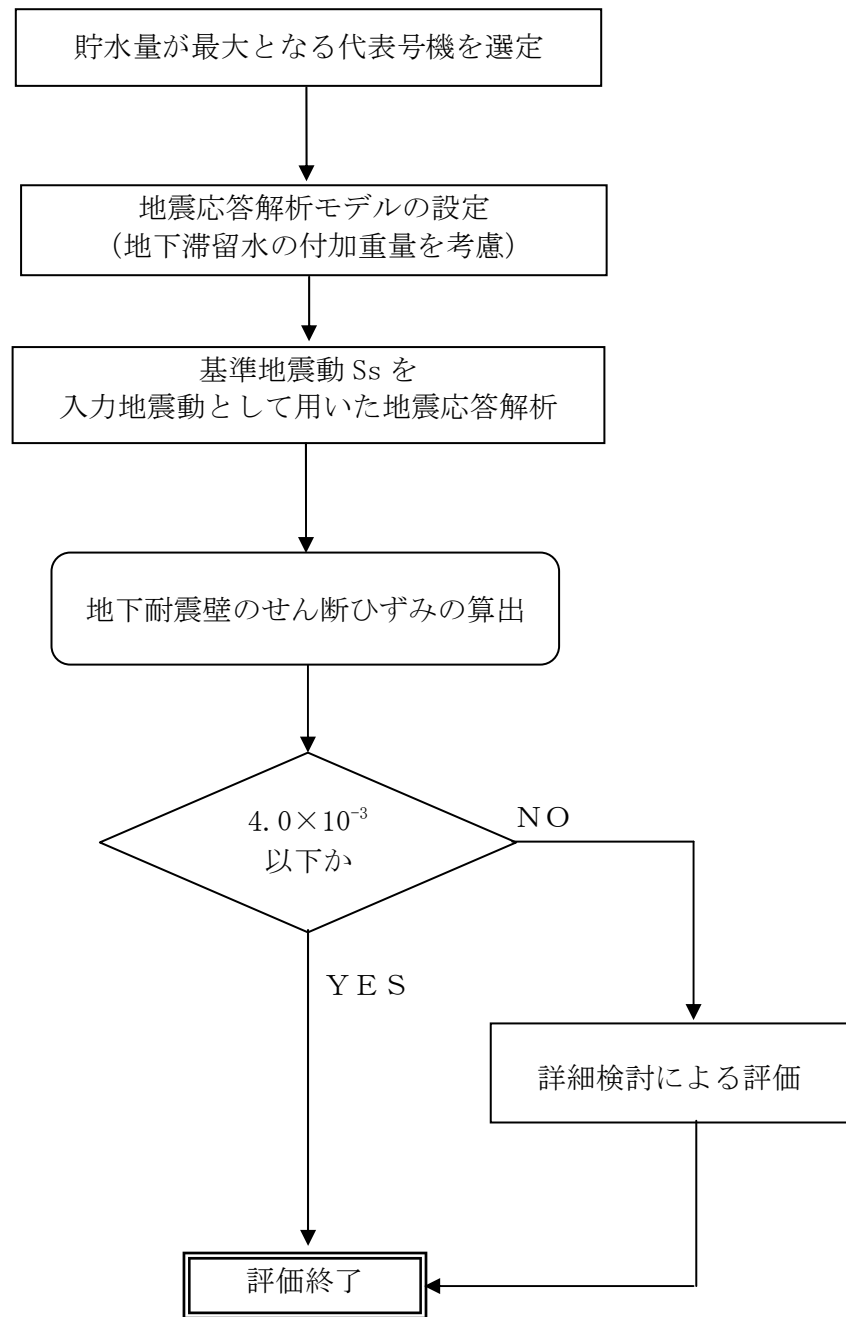


図 5.1.1-1 コントロール建屋の地震応答解析の評価手順例

5.1.2 代表号機の選定

コントロール建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量を表 5.1.2-1 に示す。表 5.1.2-1 より、貯水量の最も多い 3 号機を代表号機と選定する。

表 5.1.2-1 コントロール建屋の満水状態の水位及び地下滞留水量

	1 号機	2 号機	3 号機	4 号機
水位	O. P. 5, 300	O. P. 4, 000	O. P. 4, 000	O. P. 4, 000
貯水量	700m ³	1, 600m ³	1, 900m ³	1, 600m ³

5.1.3 解析に用いる入力地震動

3号機コントロール建屋への入力地震動は、「福島第一原子力発電所 『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果 中間報告書」(原管発官19第603号 平成20年3月31日付け)にて作成した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。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図5.1.3-1に示す。このコントロール建屋の解析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 に対する建屋基礎底面レベルの地盤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。

このうち、解放基盤表面位置 (O.P. -196.0m) における基準地震動 S_s の加速度波形について、図5.1.3-2に示す。

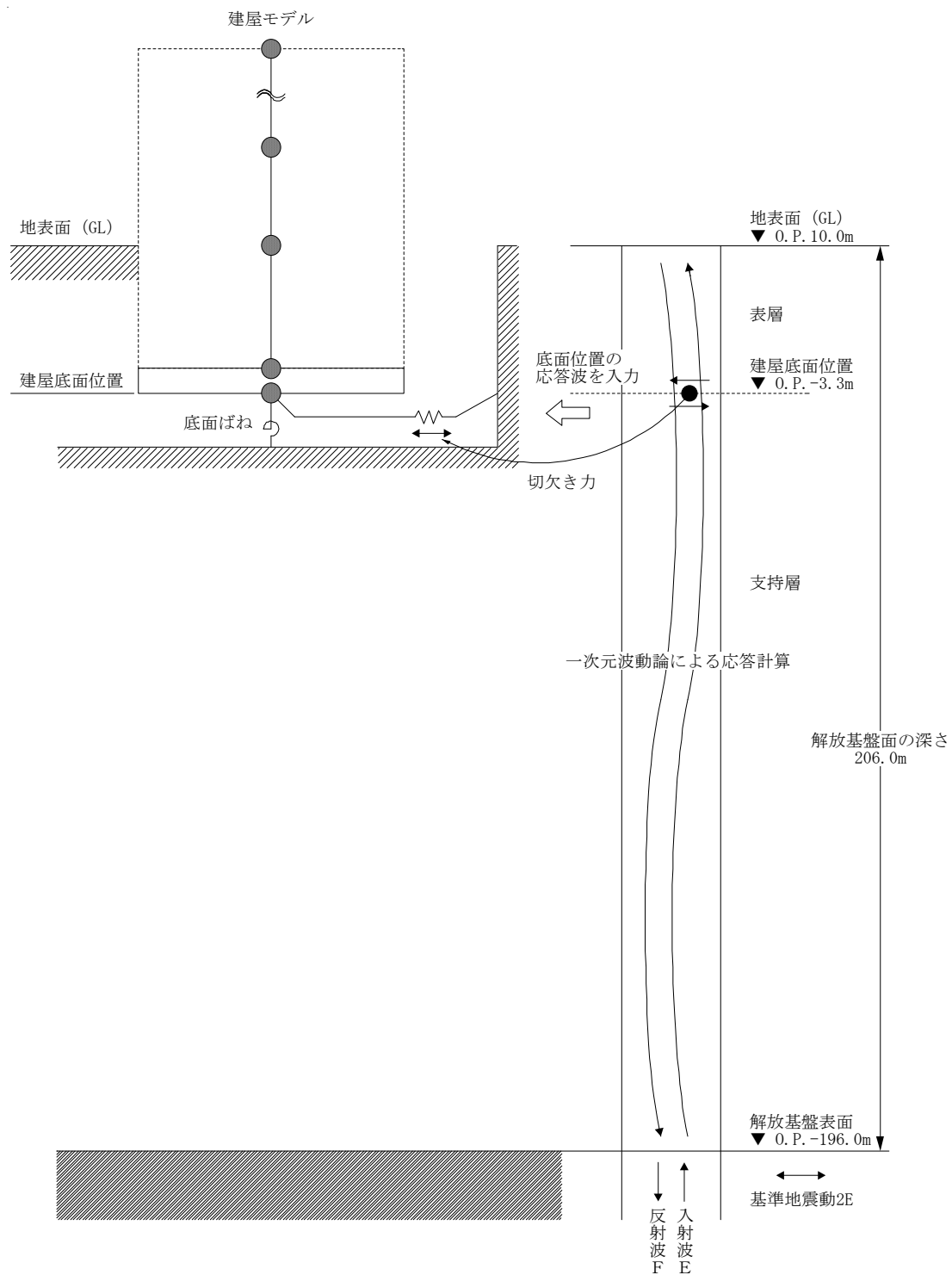


図 5. 1. 3-1 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

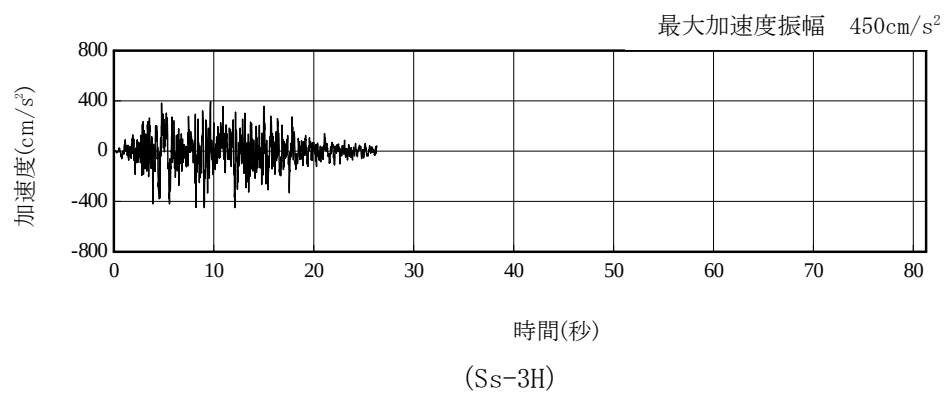
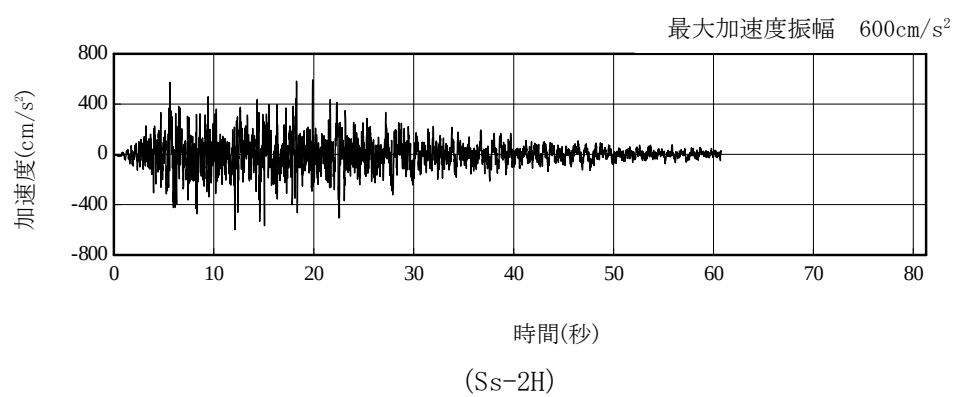
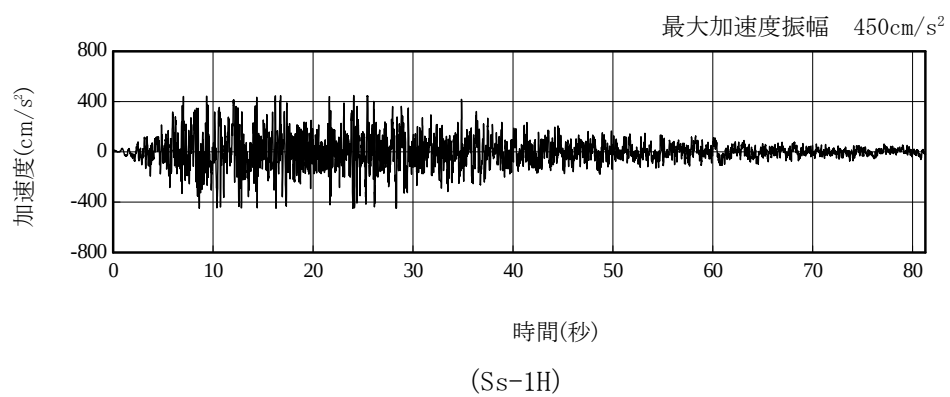


図 5. 1. 3-2 解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

5.1.4 地震応答解析モデル

基準地震動 S_s に対する 3 号機コントロール建屋の地震応答解析は、「5.1.3. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

水平方向の地震応答解析モデルは、図 5.1.4-1 及び図 5.1.4-2 に示すように、建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 5.1.4-1 に、建屋解析モデルの諸元を表 5.1.4-2 に示す。

地盤定数は、水平成層地盤と仮定し、地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 5.1.4-3 に示す。

水平方向の解析モデルにおいて、基礎底面地盤ばねについては、「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして、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的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが、図 5.1.4-3 に示すようにばね定数 (K_c) として実部の静的な値を、また、減衰係数 (C_c) として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

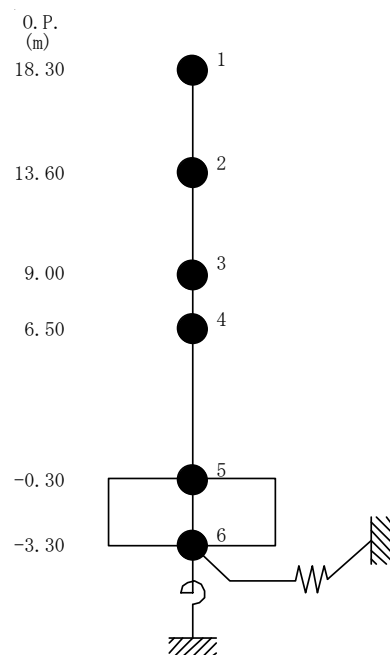


図 5.1.4-1 3号機コントロール建屋 地震応答解析モデル (NS 方向)

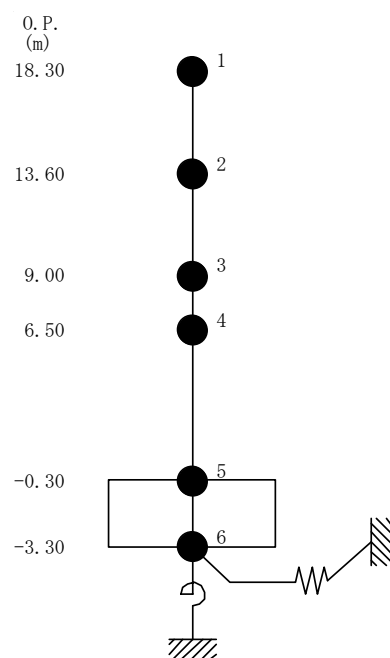


図 5.1.4-2 3号機コントロール建屋 地震応答解析モデル (EW 方向)

表 5. 1. 4-1 地震応答解析に用いる物性値

コンクリート	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)
	35.0	2.57×10 ⁴	1.07×10 ⁴	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

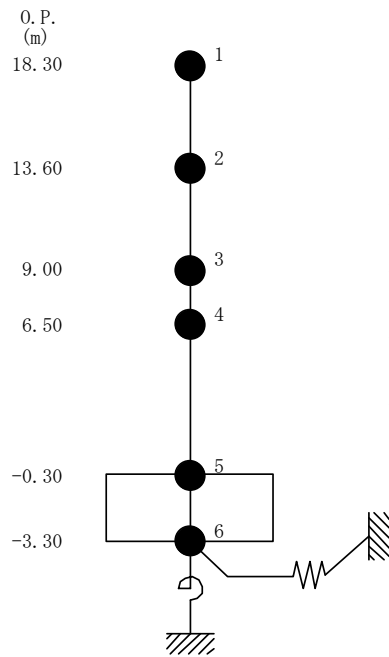
*1：強度は実状に近い強度（以下「実強度」という。）を採用した。実強度の設定は、過去の圧縮強度試験データを収集し試験データのばらつきを考慮し圧縮強度平均値を小さめにまとめた値とした。

*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。

表 5.1.4-2 建屋解析モデルの諸元

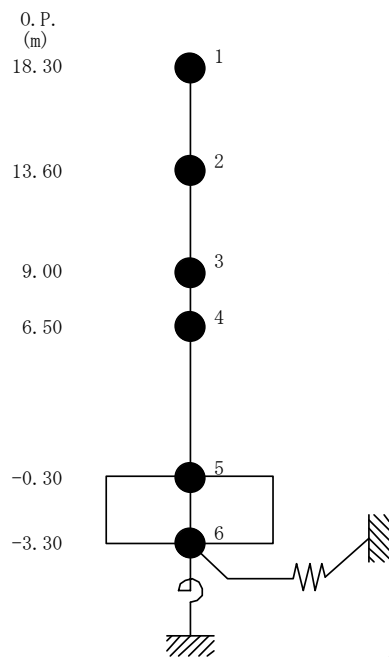
NS 方向



質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	13,620	547		
2	9,160	368	21.5	2,658
3	8,290	333	21.5	3,177
4	15,110 (3,900)	607 (157)	33.8	5,271
5	36,680 (14,740)	1,473 (592)	33.8	5,271
6	16,230	652	459.9	18,463
合計	99,090			

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
 ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 21.95m(NS 方向) $\times$ 20.95m(EW 方向)

EW 方向



質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 $I_G (\times 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}^2)$	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面2次モーメント $I (\text{m}^4)$
1	13,620	498		
2	9,160	335	16.0	2,855
3	8,290	303	20.5	2,957
4	15,110 (3,900)	553 (143)	32.2	4,654
5	36,680 (14,740)	1,342 (539)	32.2	4,654
6	16,230	594	459.9	16,819
合計	99,090			

注 ()内は滞留水による付加分を示す。
 ヤング係数 E_c $2.57 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
 せん断弾性係数 G $1.07 \times 10^7 (\text{kN/m}^2)$
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%
 基礎形状 21.95m(NS 方向) $\times$ 20.95m(EW 方向)

表 5. 1. 4-3(1) 地盤定数

(Ss-1)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩 (解放基盤)	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 5. 1. 4-3 (2) 地盤定数

(Ss-2)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-10.0	泥岩 (解放基盤)	450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表 5.1.4-3 (3) 地盤定数

(Ss-3)

標高 O. P. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (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										
1.9	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-10.0	泥岩 (解放基盤)	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-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
-196.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
		700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

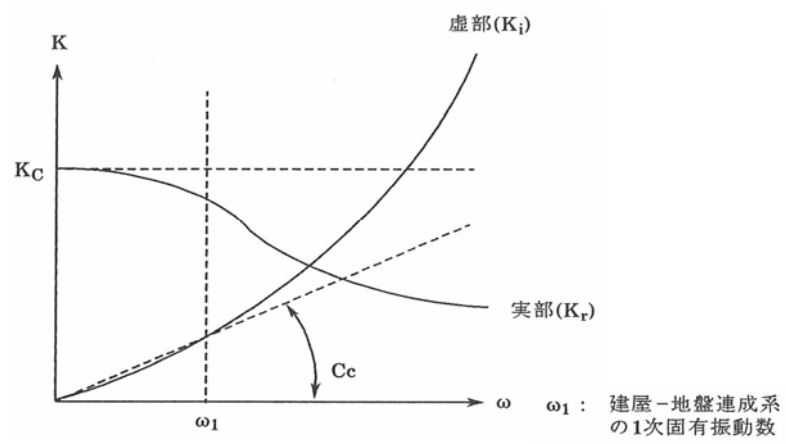


図 5. 1. 4-3 地盤ばねの近似

5.1.5 地震応答解析結果

地震応答解析により求められたNS方向,EW方向の最大応答加速度を図5.1.5-1及び図5.1.5-2に,地下滞留水の影響を考慮しない場合と併せて示す。

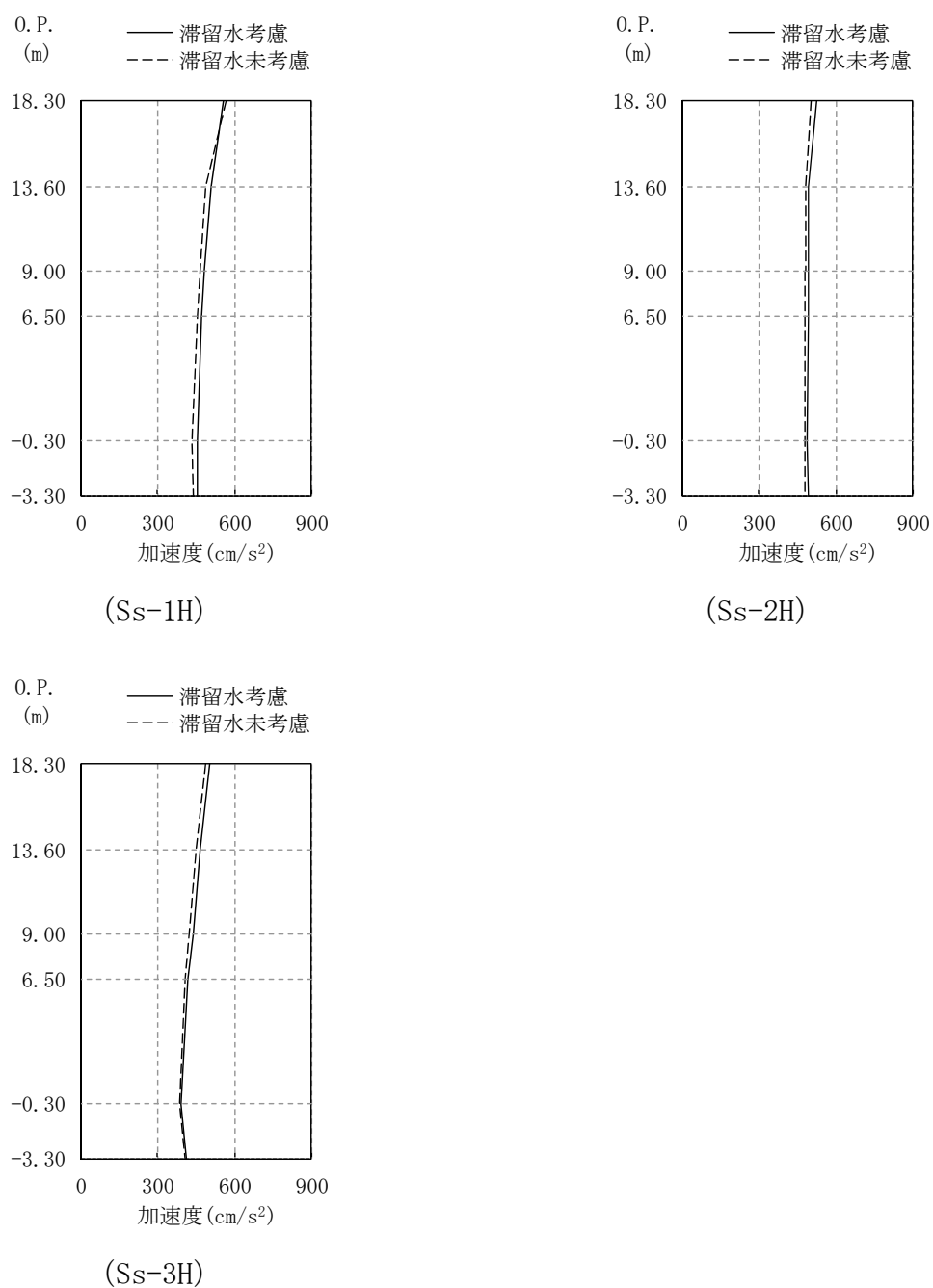
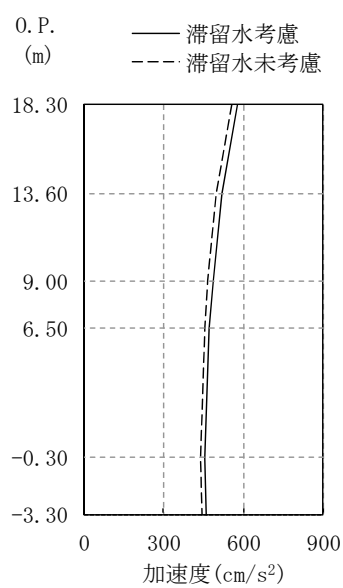
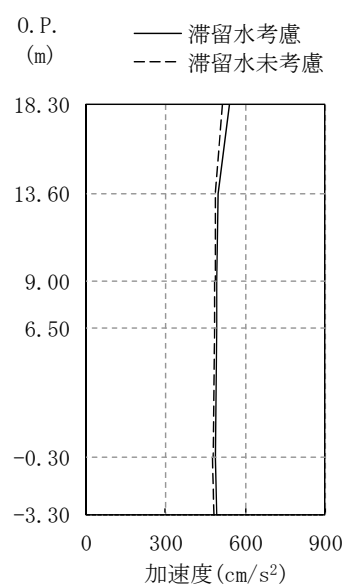


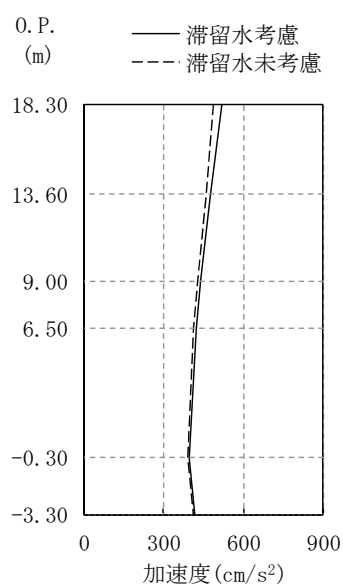
図 5.1.5-1 最大応答加速度 (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 5. 1. 5-2 最大応答加速度 (EW 方向)

5.1.6 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を、表 5.1.6-1 及び表 5.1.6-2 に示す。また、図 5.1.6-1 及び図 5.1.6-2 に基準地震動 S_s に対する最大応答値を耐震壁のスケルトン曲線上に示す。せん断ひずみは、最大で 0.07×10^{-3} であり、評価基準値 (4.0×10^{-3}) に対して十分余裕がある。なお、スケルトン曲線は、建屋の方向別に、層を単位とした水平断面形状より「JEAG4601-1991」に基づいて設定したものである。

以上のことから、3号機コントロール建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表 5.1.6-1 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (NS 方向)

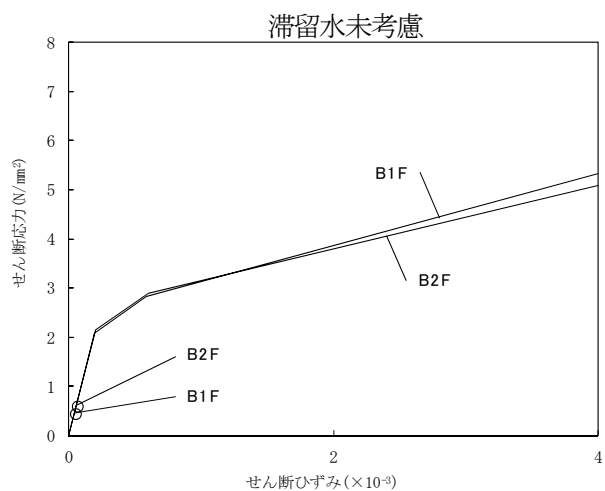
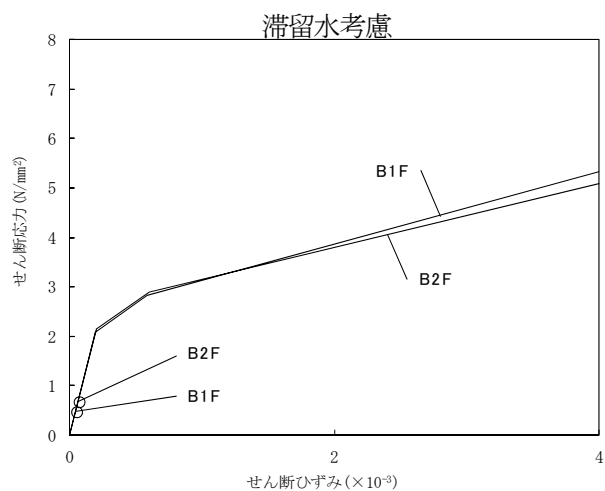
(単位: $\times 10^{-3}$)

階	O. P.	地下滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	9.00～ 6.50	考慮	0.05	0.05	0.05	4.0 以下
		未考慮	0.05	0.05	0.04	
B2F	6.50～ -0.30	考慮	0.07	0.07	0.06	
		未考慮	0.06	0.06	0.06	

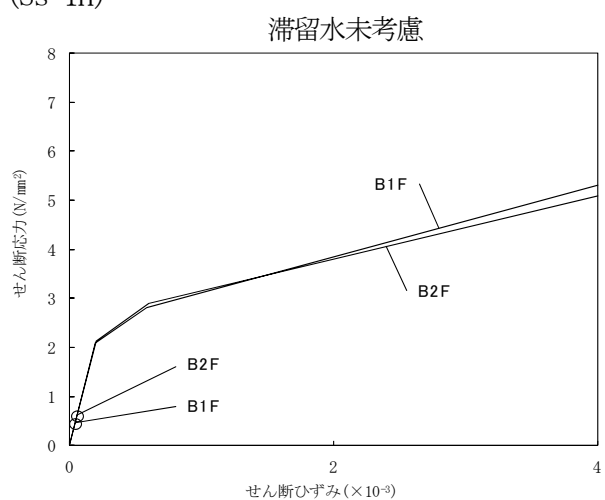
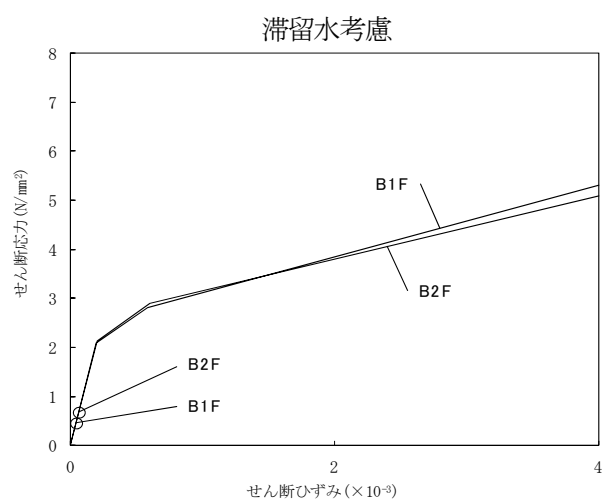
表 5.1.6-2 耐震壁のせん断ひずみ一覧 (EW 方向)

(単位: $\times 10^{-3}$)

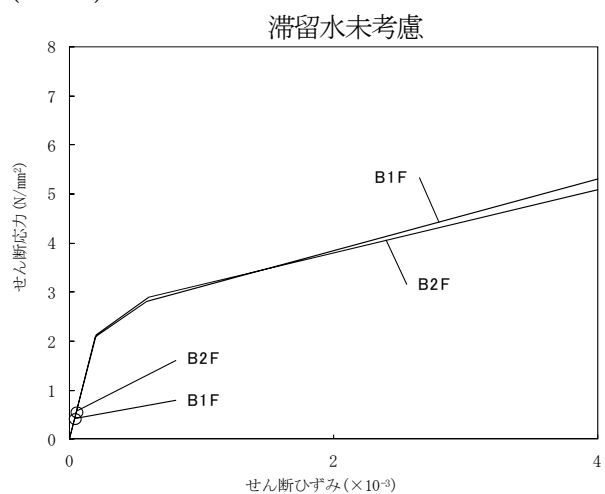
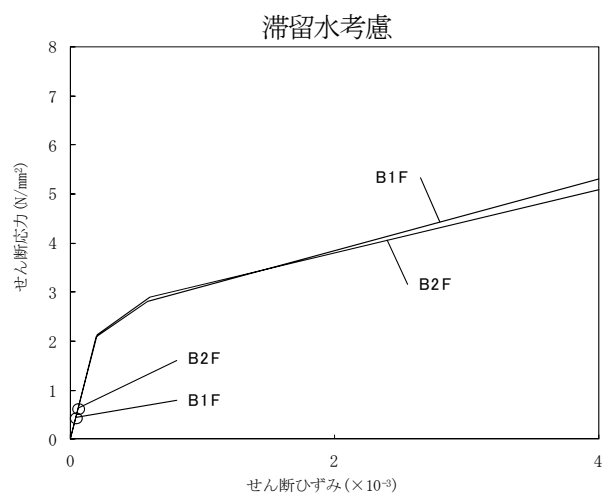
階	O. P.	地下滞留水	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
B1F	9.00～ 6.50	考慮	0.05	0.05	0.05	4.0 以下
		未考慮	0.05	0.05	0.05	
B2F	6.50～ -0.30	考慮	0.07	0.07	0.07	
		未考慮	0.06	0.06	0.06	



(Ss-1H)

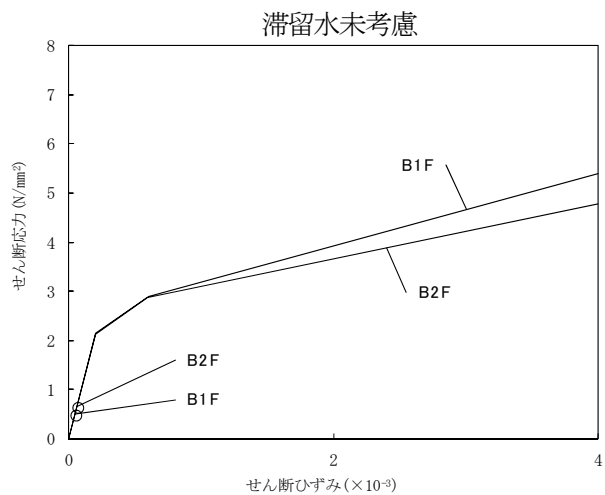
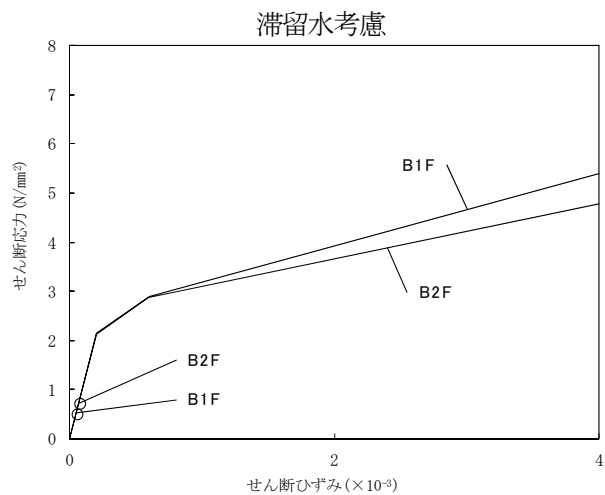


(Ss-2H)

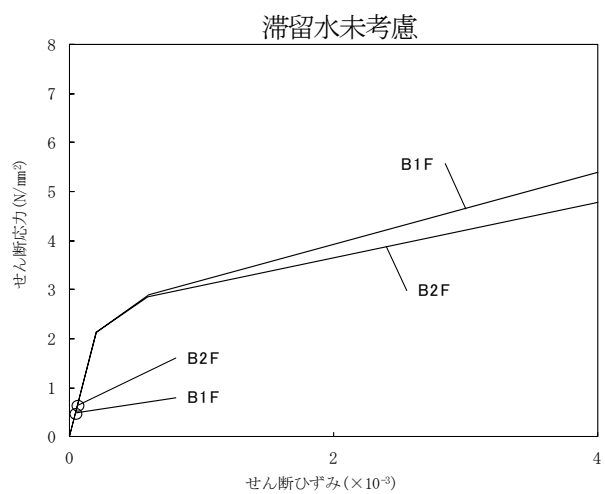
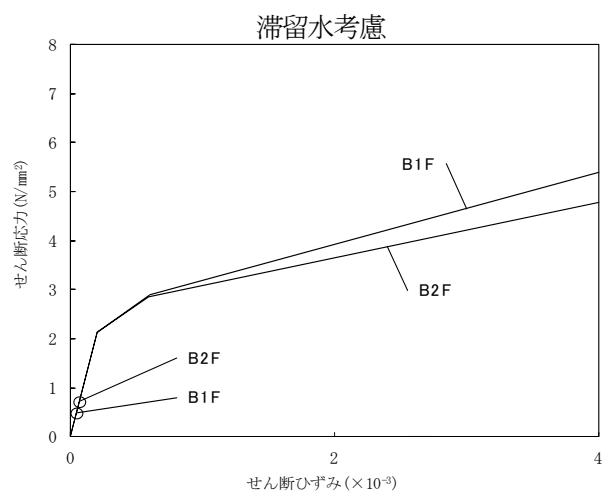


(Ss-3H)

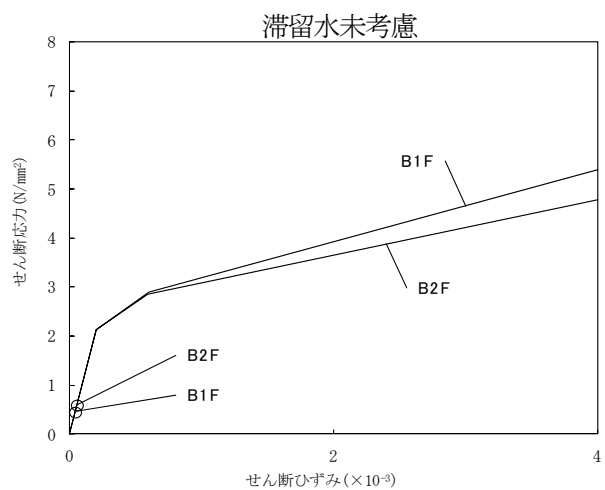
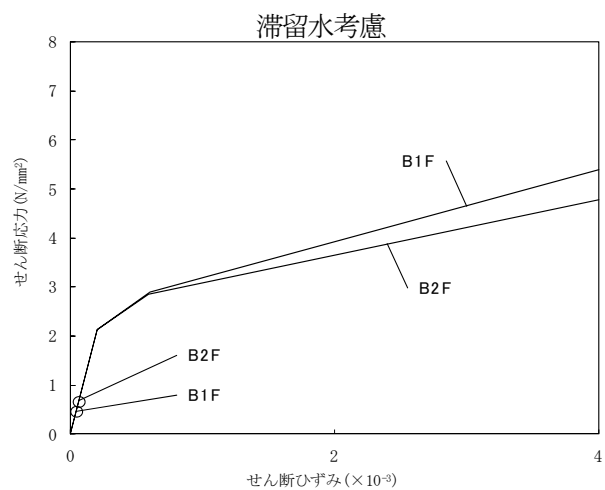
図 5. 1. 6-1 耐震壁のせん断ひずみ (NS 方向)



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

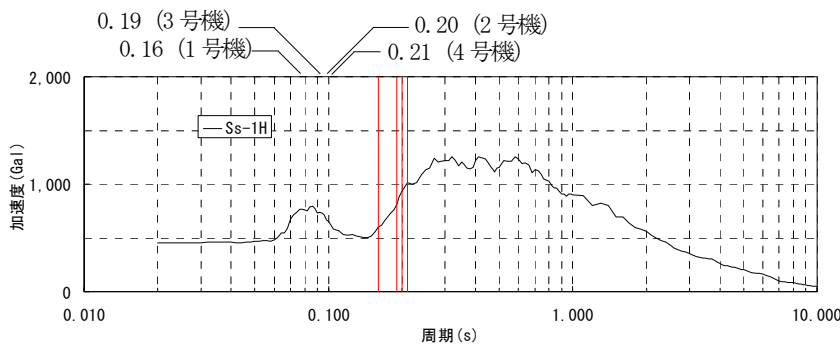
図 5. 1. 6-2 耐震壁のせん断ひずみ (EW 方向)

5.2 代表号機以外の検討

滞留水による影響を確認するため、滞留水量が最大であり重量変動が最も大きくなる3号機コントロール建屋を代表号機として耐震安全性評価を行った結果、滞留水を考慮しても地下外壁の耐震安全性については十分余裕があることを確認している。

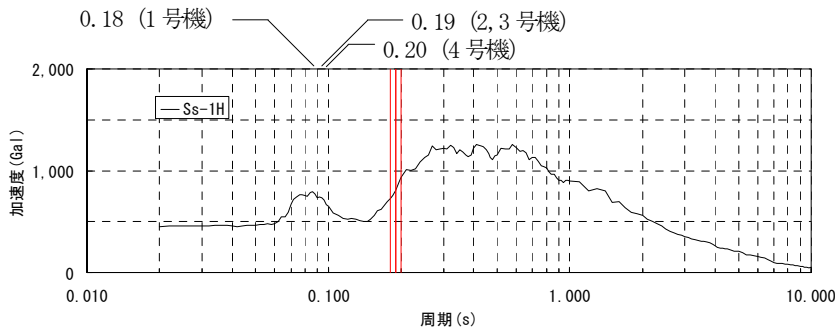
また、コントロール建屋は、各号機の機能は同じであることから、構造形式および形状は各号機で同様となっている。各号機のコントロール建屋の固有周期を比較した場合、一次固有周期はNS方向で0.16～0.21秒、EW方向で0.18～0.20秒となり、各号機の振動性状に顕著な差はみられない。

代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルに各建屋の一次固有周期を重ね描きしたもの、および代表号機の地下外壁の最大応答せん断ひずみに、代表号機の入力動の応答スペクトルにおける代表号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} と各号機の一次固有周期の応答加速度 α_{T1} の比 α_{amp} を乗じた γ_{resp} を図5.2-1～図5.2-3に示す。 γ_{resp} は各号機ともに評価基準値 4×10^{-3} に対して十分に小さいことから、代表号機以外についても地下外壁の耐震安全性は確保されているといえる。



(コントロール建屋NS方向)

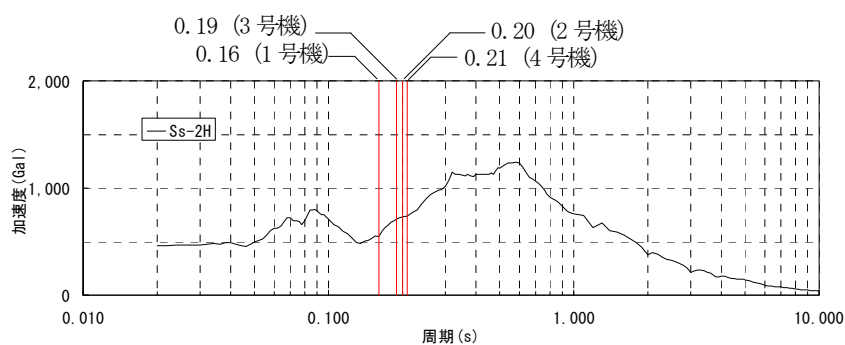
号機	一次固有 周期 T1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.16	606	0.75	0.06
#2	0.20	934	1.16	0.09
#3	0.19	807	—	0.07
#4	0.21	1,012	1.25	0.09



(コントロール建屋EW方向)

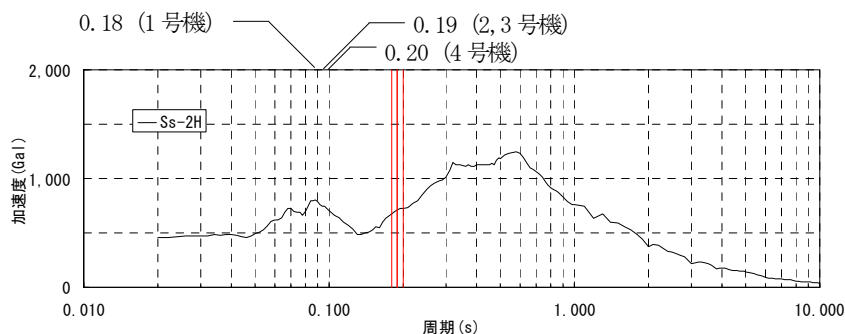
号機	一次固有 周期 T1 (sec)	応答 加速度 α_{T1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.18	728	0.90	0.07
#2	0.19	807	1.00	0.07
#3	0.19	807	—	0.07
#4	0.20	934	1.16	0.09

図5.2-1 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-1H)



(コントロール建屋NS 方向)

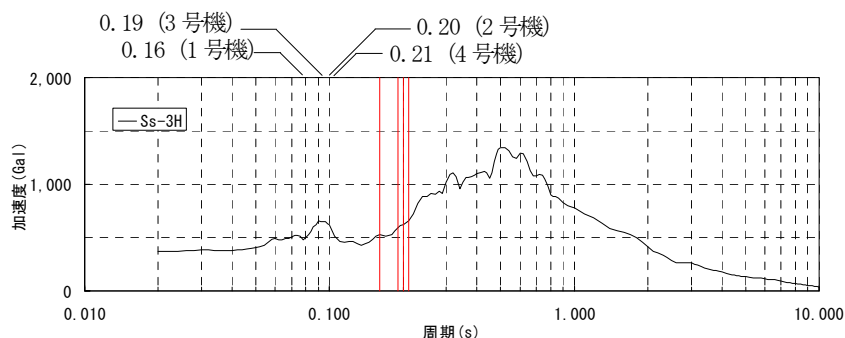
号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T_1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.16	549	0.78	0.06
#2	0.20	728	1.03	0.08
#3	0.19	708	—	0.07
#4	0.21	734	1.04	0.08



(コントロール建屋EW 方向)

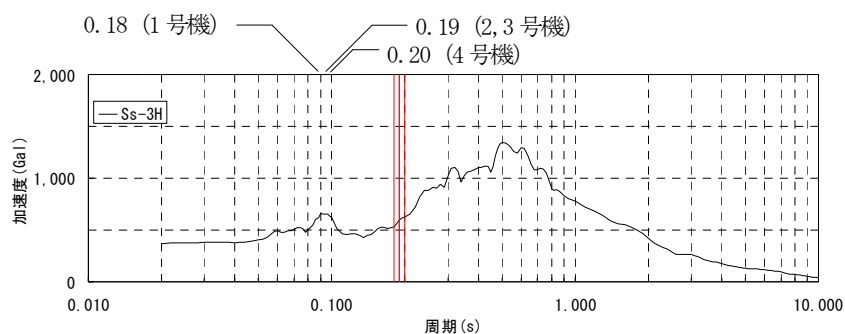
号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T_1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.18	678	0.96	0.07
#2	0.19	708	1.00	0.07
#3	0.19	708	—	0.07
#4	0.20	728	1.03	0.08

図 5.2-2 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-2H)



(コントロール建屋NS 方向)

号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T_1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.16	528	0.89	0.06
#2	0.20	625	1.05	0.07
#3	0.19	594	—	0.06
#4	0.21	655	1.10	0.07

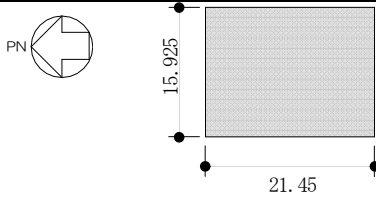
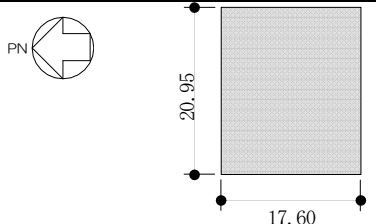
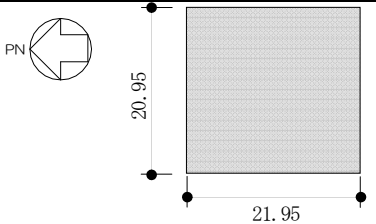
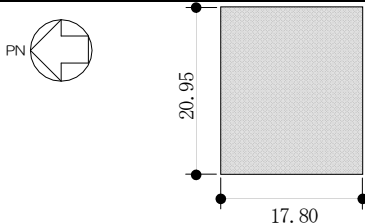
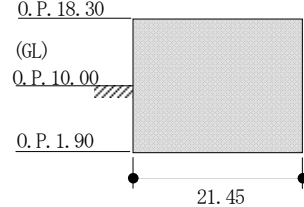
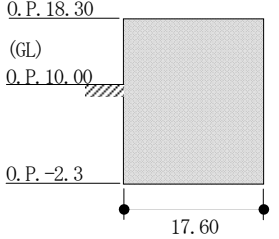
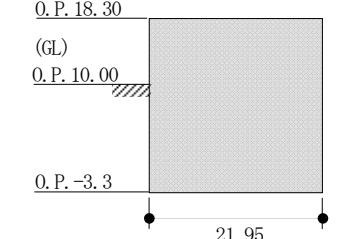
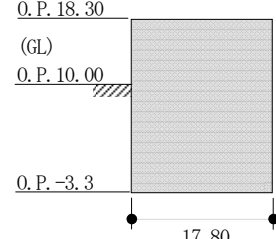
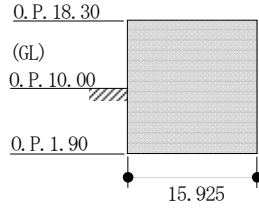
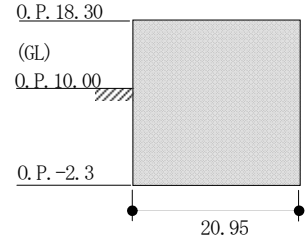
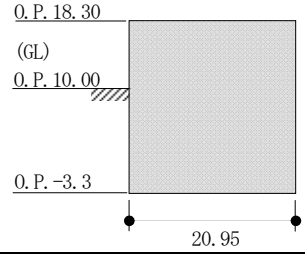
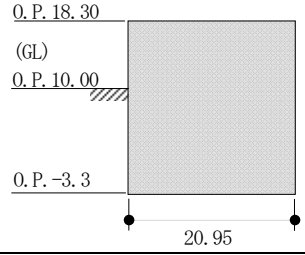


(コントロール建屋EW 方向)

号機	一次固有 周期 T_1 (sec)	応答 加速度 α_{T_1} (Gal)	応答 加速度比 α_{amp}	γ_{resp} ($\times 10^{-3}$)
#1	0.18	532	0.90	0.07
#2	0.19	594	1.00	0.07
#3	0.19	594	—	0.07
#4	0.20	625	1.05	0.08

図 5.2-3 代表号機の基礎下の入力動の応答スペクトルと各建屋の一次固有周期 (Ss-3H)

表 5.2-1 コントロール建屋の形状・一次固有周期・滞留水量の比較

			1号機コントロール建屋	2号機コントロール建屋	3号機コントロール建屋	4号機コントロール建屋
平面図						
N S 方向断面						
E W 方向断面						
一次固有周期 (s)	NS	Ss-1H	0.16	0.20	0.19	0.21
		Ss-2H	0.16	0.20	0.19	0.21
		Ss-3H	0.16	0.20	0.19	0.21
	EW	Ss-1H	0.18	0.19	0.19	0.20
		Ss-2H	0.18	0.19	0.19	0.20
		Ss-3H	0.18	0.19	0.19	0.20
滞留水量(m³)			700	1,600	1,900	1,600
同一レベルの貯留比率※			B1F:0.342	B1F:0.623	B1F:0.348	B1F:0.487
				B2F:0.273	B2F:0.672	

※同一レベルの滞留水重量と質点重量の比率

地下水バイパスによる地下水流入量の低減

1 概要

建屋周辺の地下水は、山側から海側に向かって流れていることから、建屋山側の高台で地下水を揚水し、その流路を変更して海にバイパスすることにより、建屋周辺の地下水位を段階的に低下させ、建屋への地下水流入量の低減を図っていく（図1）。

地下水バイパスの設備は、建屋山側で地下水を汲み上げる揚水井及びポンプ、汲み上げた地下水を一時的に貯留して水質を確認するタンク、地下水を移送するための配管等からなる（図2）。

2 地下水バイパスによる地下水の建屋流入抑制効果

建屋周辺の地下水位は、浸透流解析により検討した結果、地下水バイパスの実施に伴い、現況より原子炉建屋山側で3 m程度（O. P. + 9 m → O. P. + 6 m）、タービン建屋海側で1 m程度（O. P. + 4 m → O. P. + 3 m）低下するものと想定され（図3～5）、これにより、建屋内への地下水流入量は現況の半分程度に低減されるものと考えられる。

3 滞留水の建屋外漏えい防止対策への影響

地下水バイパスの実施にあたっては、地下水低下状況及び水質等をモニタリングし、浸透流解析結果の検証を行いつつ、段階的に地下水位を低下させることで（図6）、建屋内滞留水が建屋外に漏れ出さないように慎重な水位管理を実施していく。

モニタリングにあたっては、原子炉建屋山側のサブドレンを活用するとともに、原子炉建屋と揚水井の間に観測孔を新設する（図7）。

なお、豪雨等の発生による直接的な雨水の流入及び地下水位上昇による地下水流入量の増加時には、地下水位と建屋内滞留水の水位を注意深く監視し、必要に応じて、集中廃棄物処理建屋への移送量を増加すること等により、建屋内滞留水の水位上昇を抑制する。

4 地下水の汲み上げによる地盤沈下

地下水バイパスの実施に伴い地下水を汲み上げるが、O. P. + 10 m盤の原子炉建屋、タービン建屋、運用補助共用施設（共用プール）などの建屋については、直接岩盤に支持されていることから沈下の恐れはないと考えられる。また、建屋周辺の地下水位は、東北地方太平洋沖地震前にはサブドレンが稼働し十分に低下していたことから、地下水バイパスの実施に伴い現況から地下水位が低下しても、建屋周辺の地盤沈下の恐れはないと考えられる。

O. P. + 35 m盤のタンクエリア等の一部については、地下水位が若干低下する

が、その量は2 m程度以下と少なく、また、揚水する地下水は不圧地下水であり、現況の地下水位よりも下の地層は地質年代が古く（新第三紀）、十分圧密されていることから、地下水位の低下に伴う沈下の恐れはないと考えられる。

5 汲み上げた地下水の管理

地下水バイパスの実施に伴い汲み上げた地下水は、念のため放射性物質を有意に含んでいないことを確認するが、東北地方太平洋沖地震前における放射線管理区域内からの排水と同じ管理を行い、免震重要棟等から生じる生活排水と同様に一般排水として扱う。発電所敷地内の観測井における地下水の水質（放射性物質濃度）は、発電所周辺の河川で検出された濃度より低く、告示濃度の数百分の1程度である。

汲み上げた地下水を汚染させない管理については、以下のとおりである。

- ・ 水質確認のための一時貯留タンク（新設）とバイパス用の専用配管を通して移送する。
- ・ 一時貯留タンクエリア周辺の空気は、事故発災後の測定において、管理区域設定基準を超えておらず、現在は基準値の2桁程度低い濃度で安定に推移しているが、万一の空气中放射性物質混入を防止する対策として、一時貯留タンクの吸気管口を汚染のおそれのない管理対象区域に設ける。
- ・ 放水前には一時貯留タンクから採水し、水質を確認する。
- ・ 水質確認の結果、放射性物質の有意な混入が確認された場合には、稼働を停止し、一時貯留タンク内の地下水を浄化处理する。

6 計画工程

地下水バイパスの計画工程を（図8）に示す。

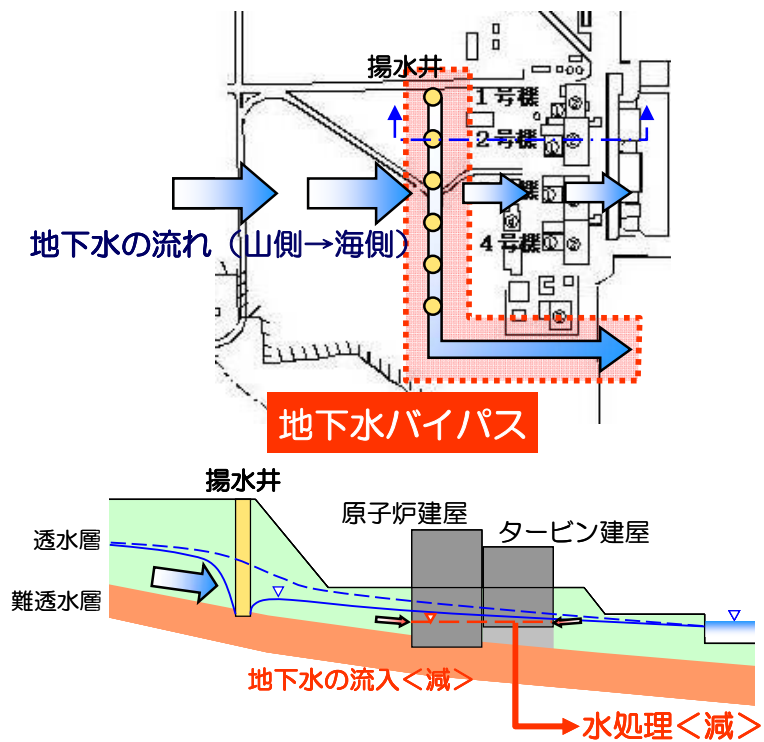


図1 地下水バイパス（イメージ）

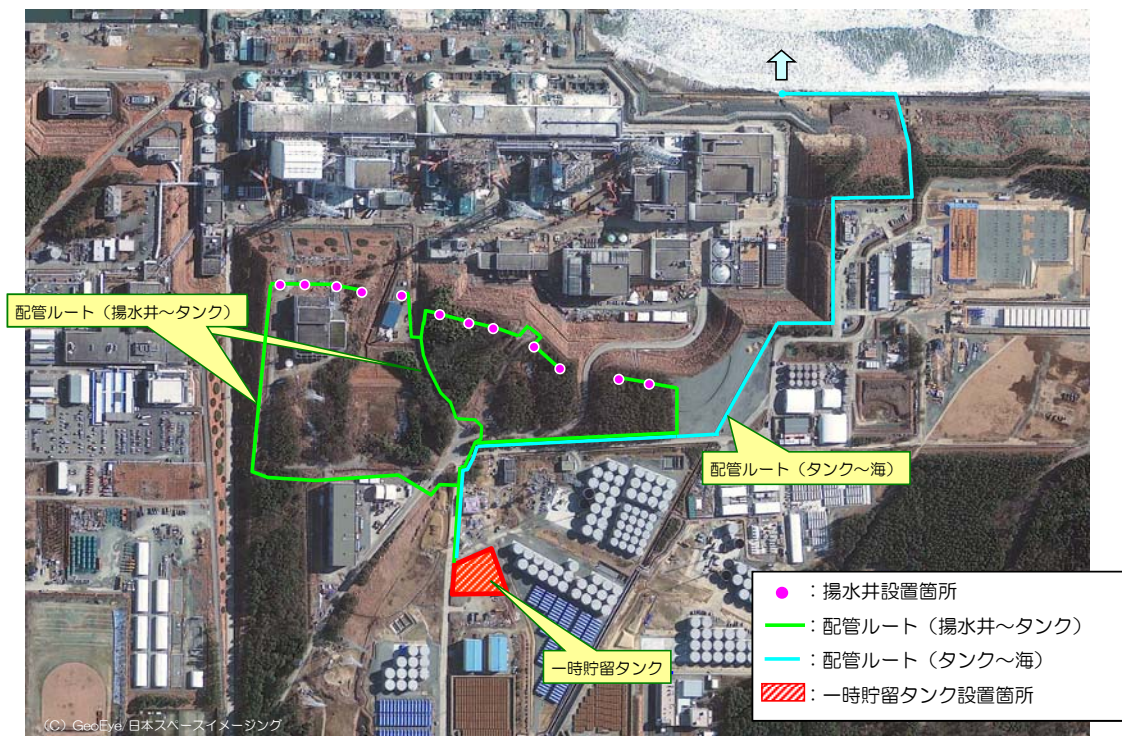


図2 地下水バイパスの設備

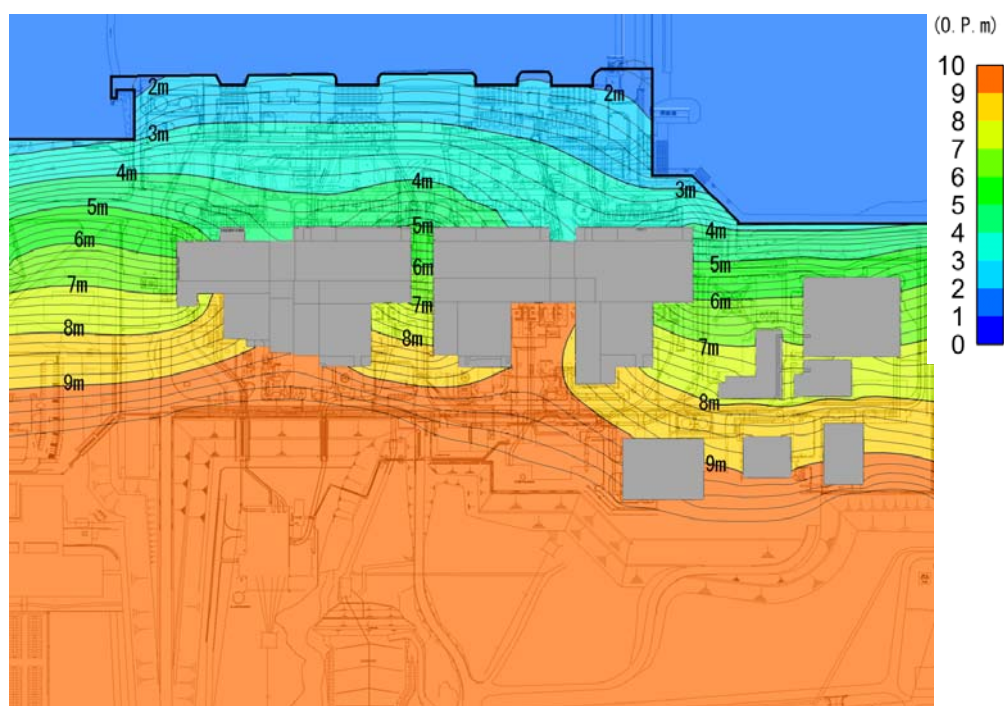


図3 建屋周りの地下水位（現況）

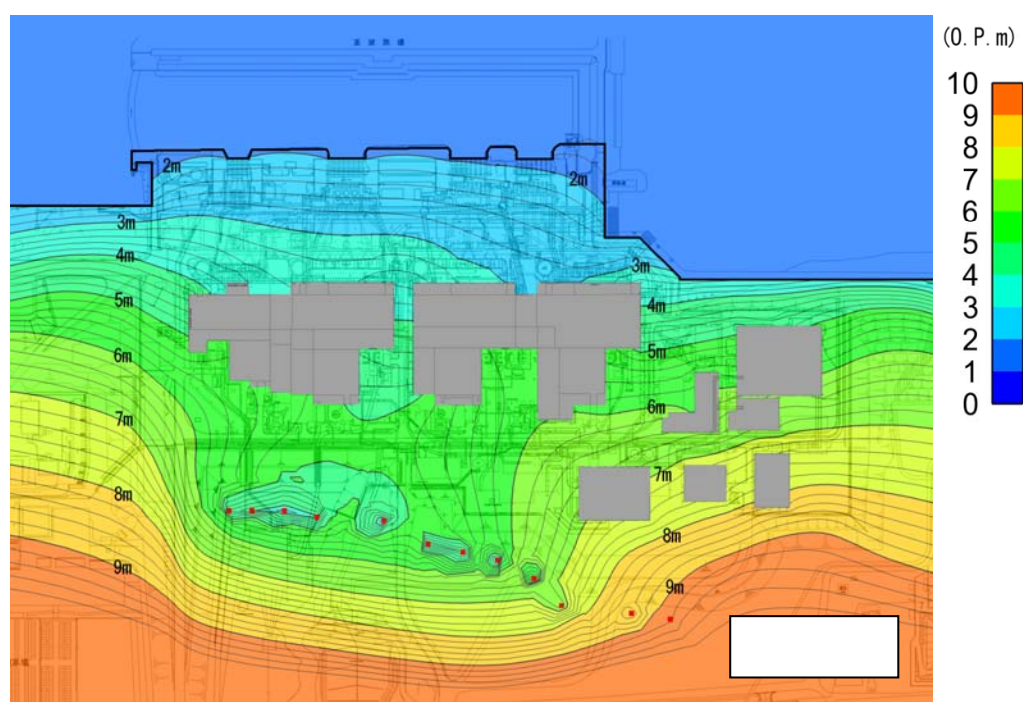


図4 建屋周りの地下水位（地下水バイパス実施後）

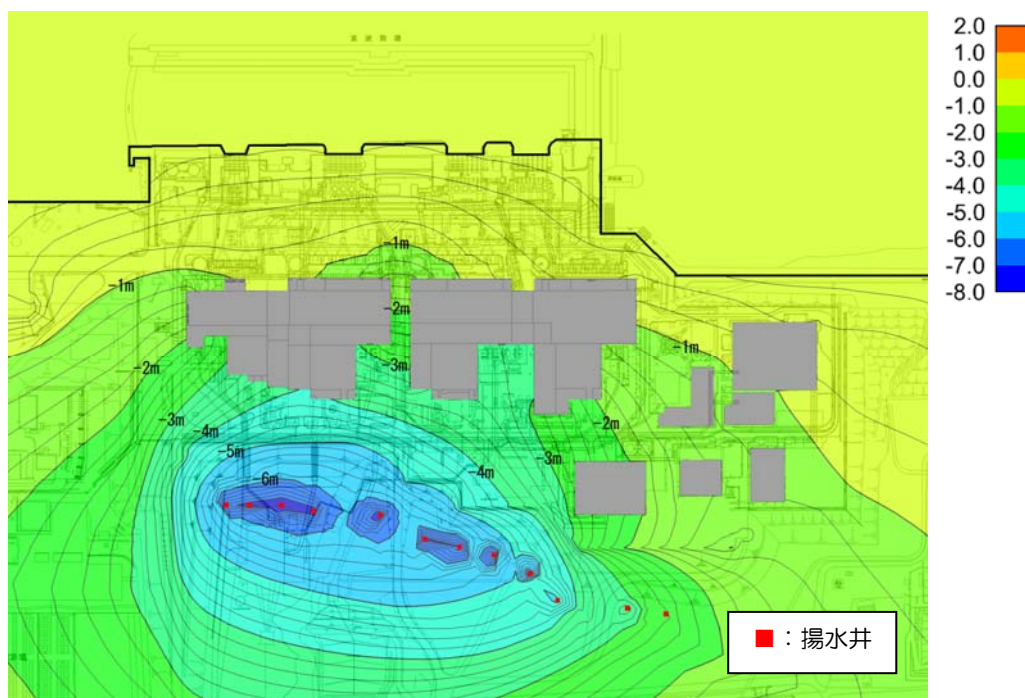


図5 建屋周りの地下水位の低下量（現況と地下水バイパス実施後の差分）

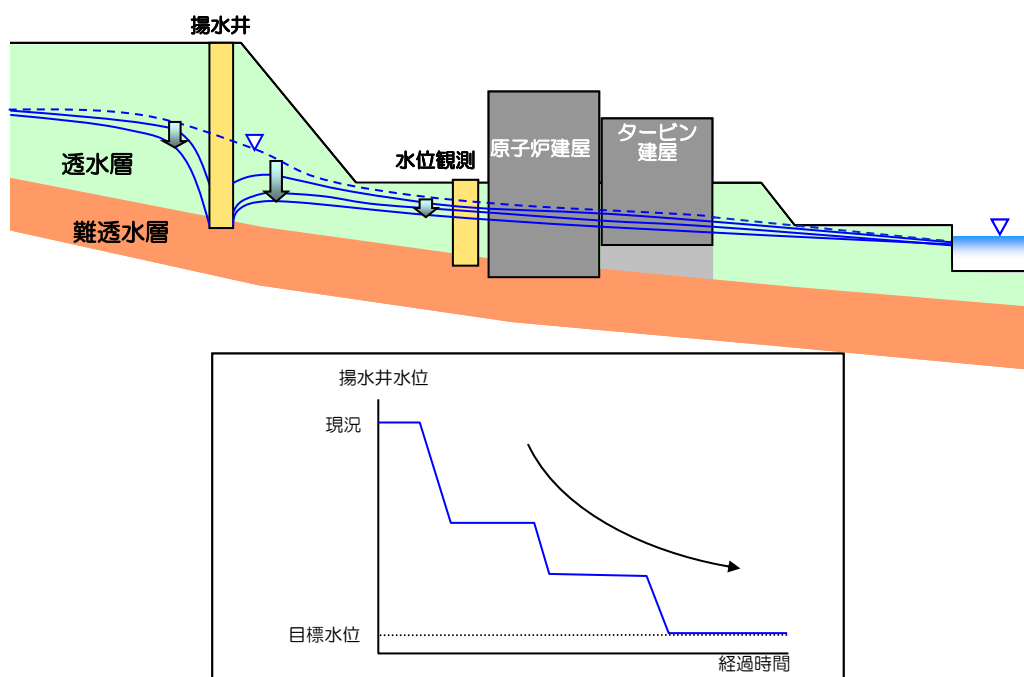


図6 段階的な地下水位低下のイメージ

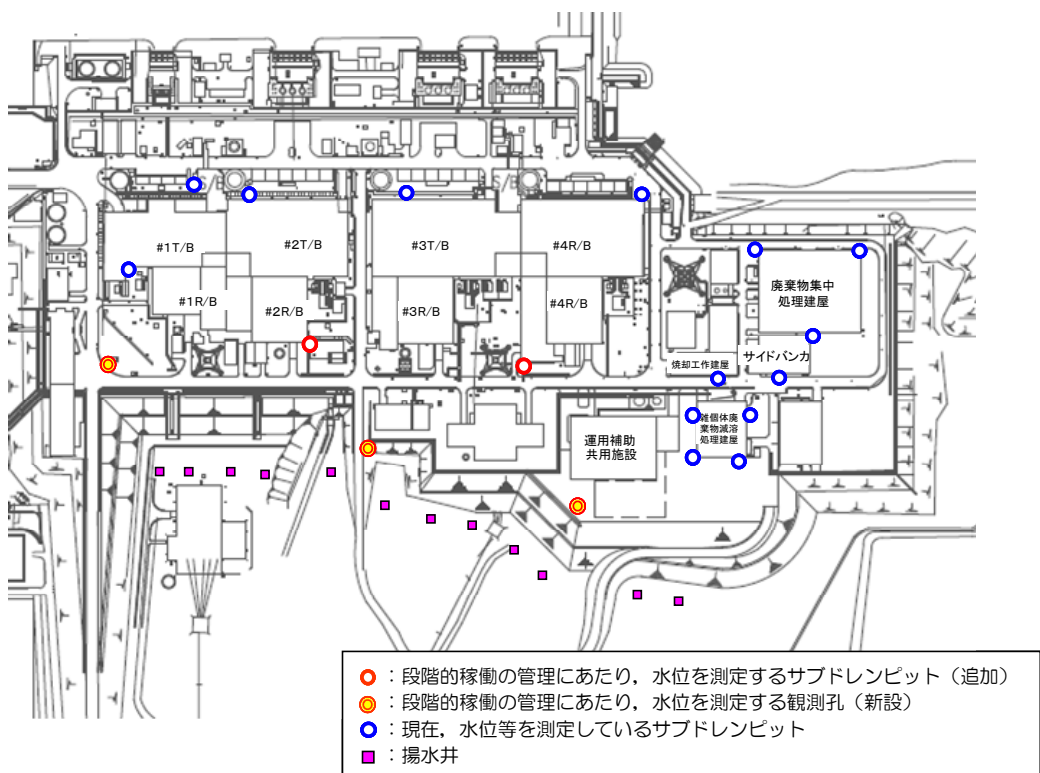
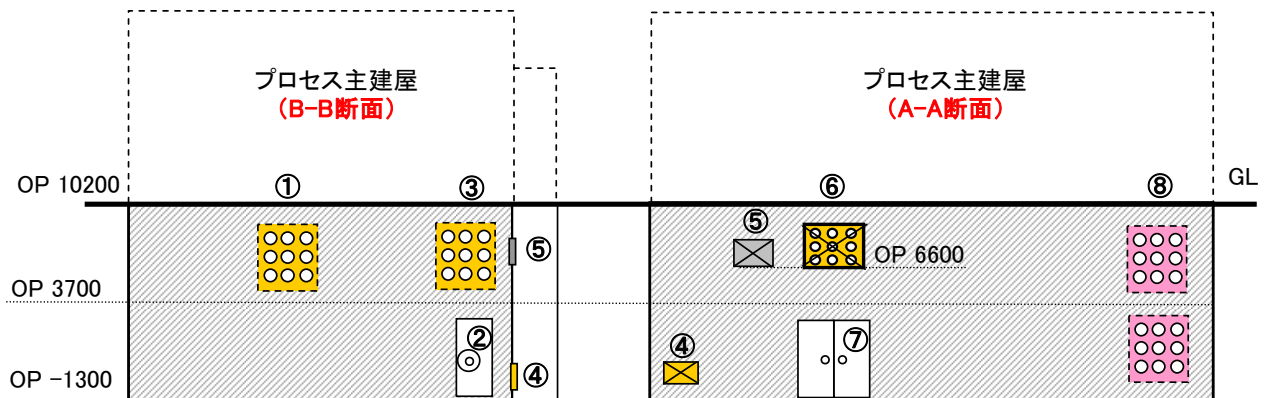
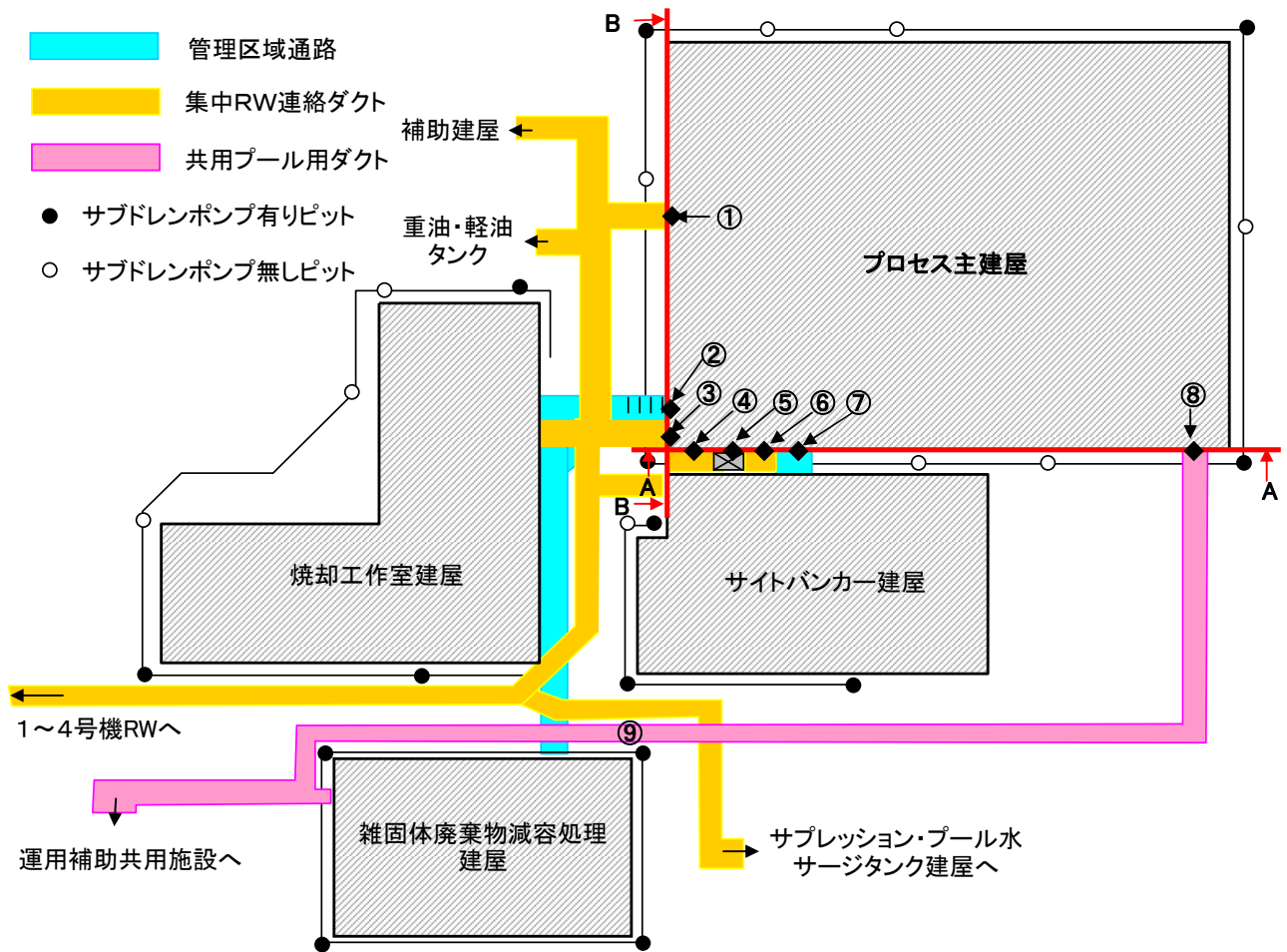


図7 モニタリング計画

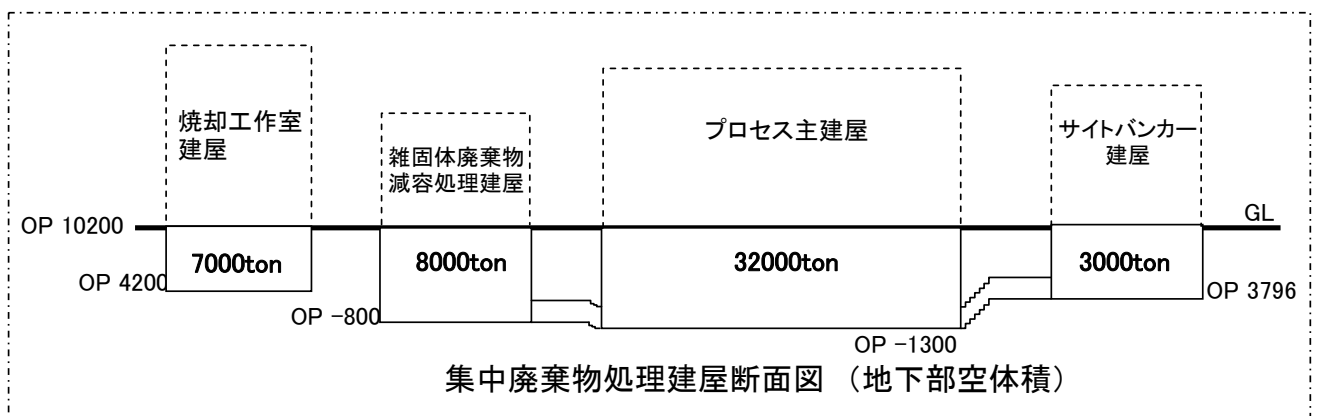
	平成 25 年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
地下水バイパスの設置					現地工事							
					試運転、水質確認							

図8 計画工程

プロセス主建屋の貫通部の止水措置

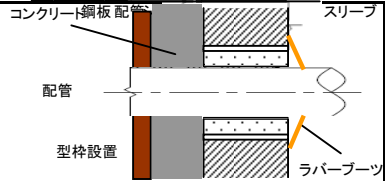
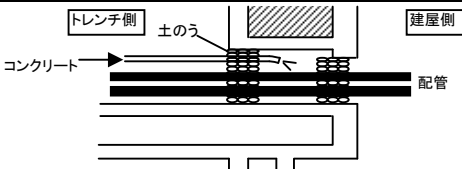
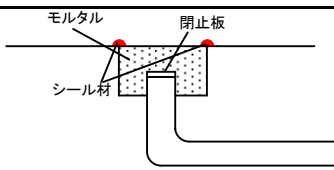
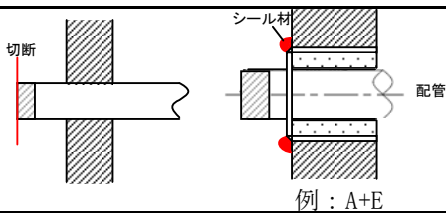
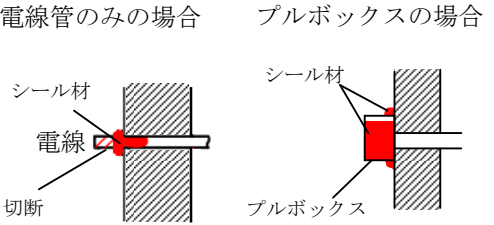
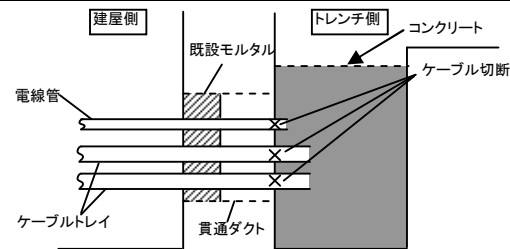


プロセス主建屋位置関係図



集中廃棄物処理建屋断面図 (地下部空体積)

貫通部止水工事 施工方法について

	型枠を設置してコンクリートを充填する。		B
	開口部の両端に土のうを積み開口内部にコンクリートを充填する。		C
	ファンネル流入口に閉止板を設置し、モルタルをファンネル内に充填した後、床面と充填したモルタルの境界表面にシール材を塗布する。		D
	配管を切断し、閉止板を溶接にて取り付けることにより閉塞する。		E
電線管	電線管切断後、シール材を充填する。		F
	トレンチ側の電線を切断し、コンクリートで充填する。		G

設備	処置方法	概要図	記号
ダクト	ダクトを切断し、プレートを取り付けて閉止した後、溶接箇所シーリング材を塗布する。	溶接 プレート シーリング材 ダクト 切断	H1
	ダクトに閉止板を設置し、型枠との隙間にコンクリートを充填する。	コンクリート 閉止板 型枠設置 溶接	H2
煙道	煙道出口に閉止板を設置した後、コンクリートを充填して閉塞する。	コンクリート 煙道 通路 点検用のふた	I
扉	型枠を設置した後、コンクリートを充填することで閉塞する。	コンクリート 煙突 型枠設置 扉	J
トレンチ	地上との貫通部よりコンクリートを充填する。	g 配管等 コンクリート	K
予備スリーブ	予備スリーブの加工箇所の壁面、モルタル充填部表面にシーリング材を塗布	シーリング材	L

プロセス主建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策

1 はじめに

プロセス主建屋の地下躯体部分の水密性を確保する観点から、ひび割れ点検を行うとともに、ひび割れ箇所の補修を行った。

2 現場確認方法

プロセス主建屋のひび割れ点検は、日常点検における記録を基に地震後に新たに生じたと考えられるひび割れについて目視点検を行った。

3 点検結果及び評価

点検では、新たに地震により生じたひび割れは確認されなかった。今回の地震前から存在していたと思われるひび割れは確認されたが、縦方向のひび割れであることから、経年によるコンクリートの乾燥収縮によって生じたひび割れと判断した。

その他のひび割れについても、ひび割れ部分にはエフロッセンス（白華現象）等の変化が見られないことから、通常時には漏水等の問題はなかったものと考えられる。

また、プロセス主建屋は、不透水層である富岡層（泥岩）に基礎マットが設置されていること、地下外壁面周囲にアスファルト防水が施工されていることから、止水性は確保されているものと考えられるが、地下外壁のひび割れ部の補修を行い、水密性を高めるものとする。

4 ひび割れ補修

4.1 補修範囲

ひび割れの補修は、プロセス主建屋の日常点検により記録されたひび割れのほか、目視で確認できる全てのひび割れについて実施した。プロセス主建屋のひび割れの補修本数を表-1 に示す。

表-1 ひび割れ補修本数

	部 位	実施本数 (0.3mm 以上のひび割れ)
プロセス主建屋	地下1階	59
	地下2階	249

4.2 補修方法

- ・ 目視で確認できるひび割れを全て補修する。
- ・ 使用材料：ポリマーセメント系塗膜防水材

5 まとめ

対象となるひび割れについて全て補修を実施し、当社は適切に補修されたことを確認した。

6 ひび割れ調査図（壁展開図・ひび割れ幅 0.3mm 以上のものを記録）



図1 地下2階展開図 東壁，西壁

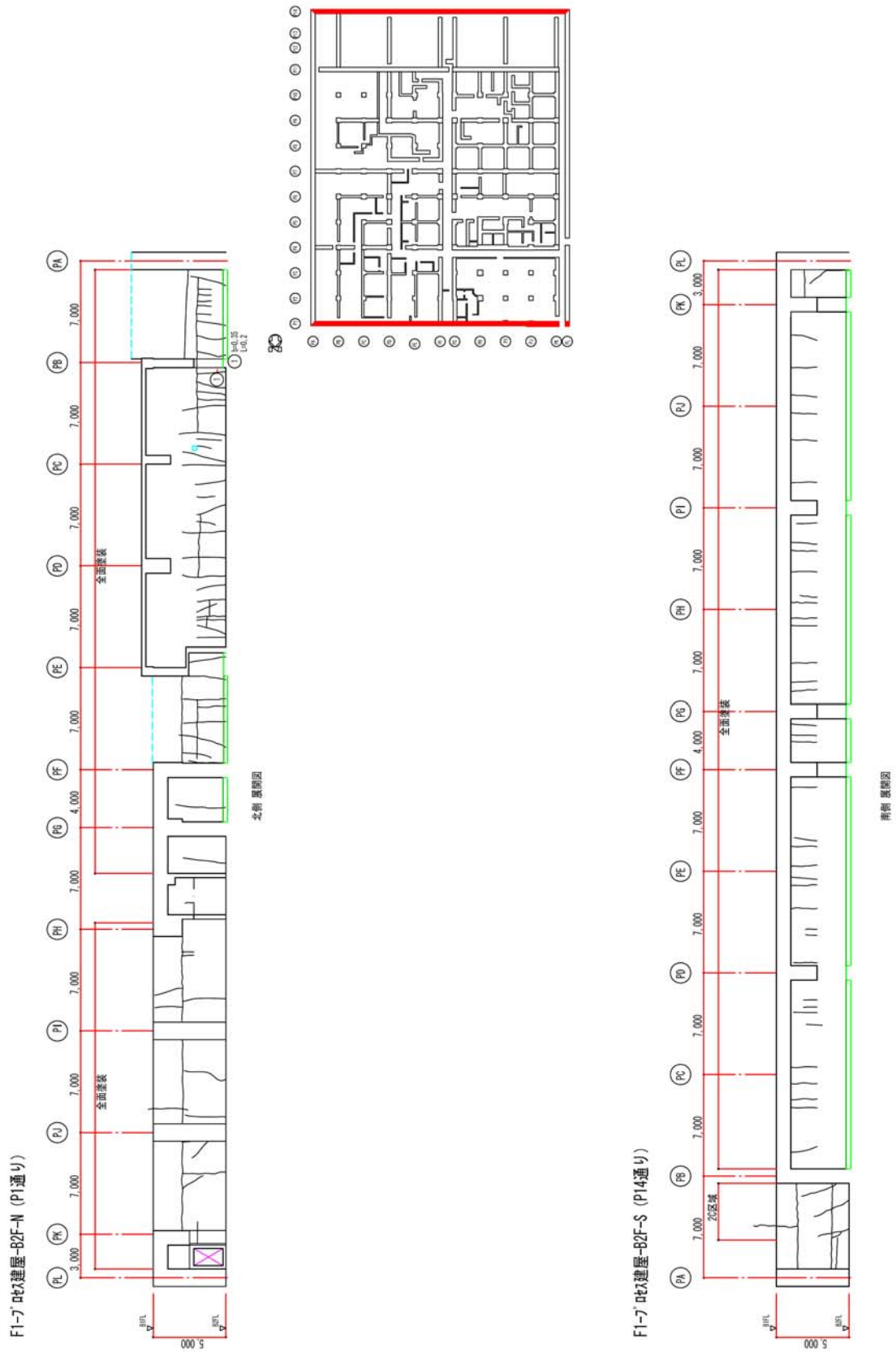
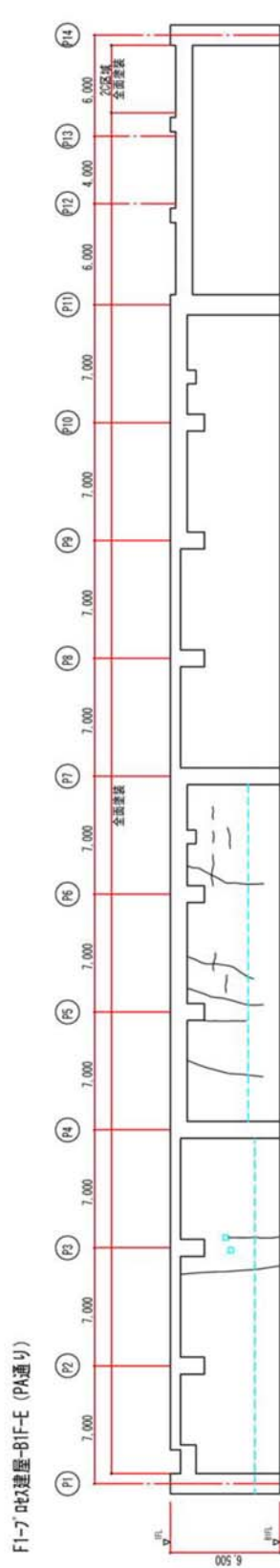
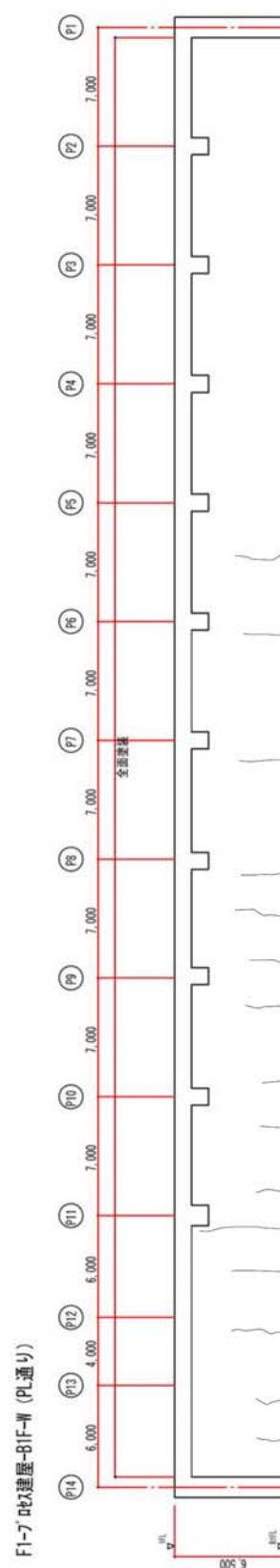
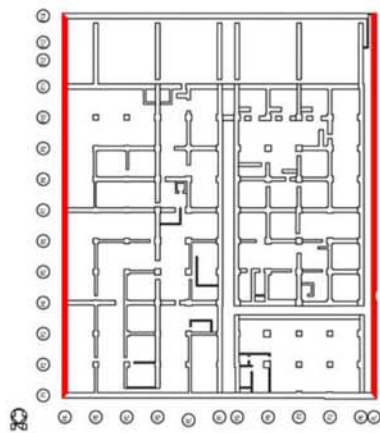


図2 地下2階展開図 北壁, 南壁



東側 展開図



西側 展開図

図3 地下1階展開図 東壁, 西壁

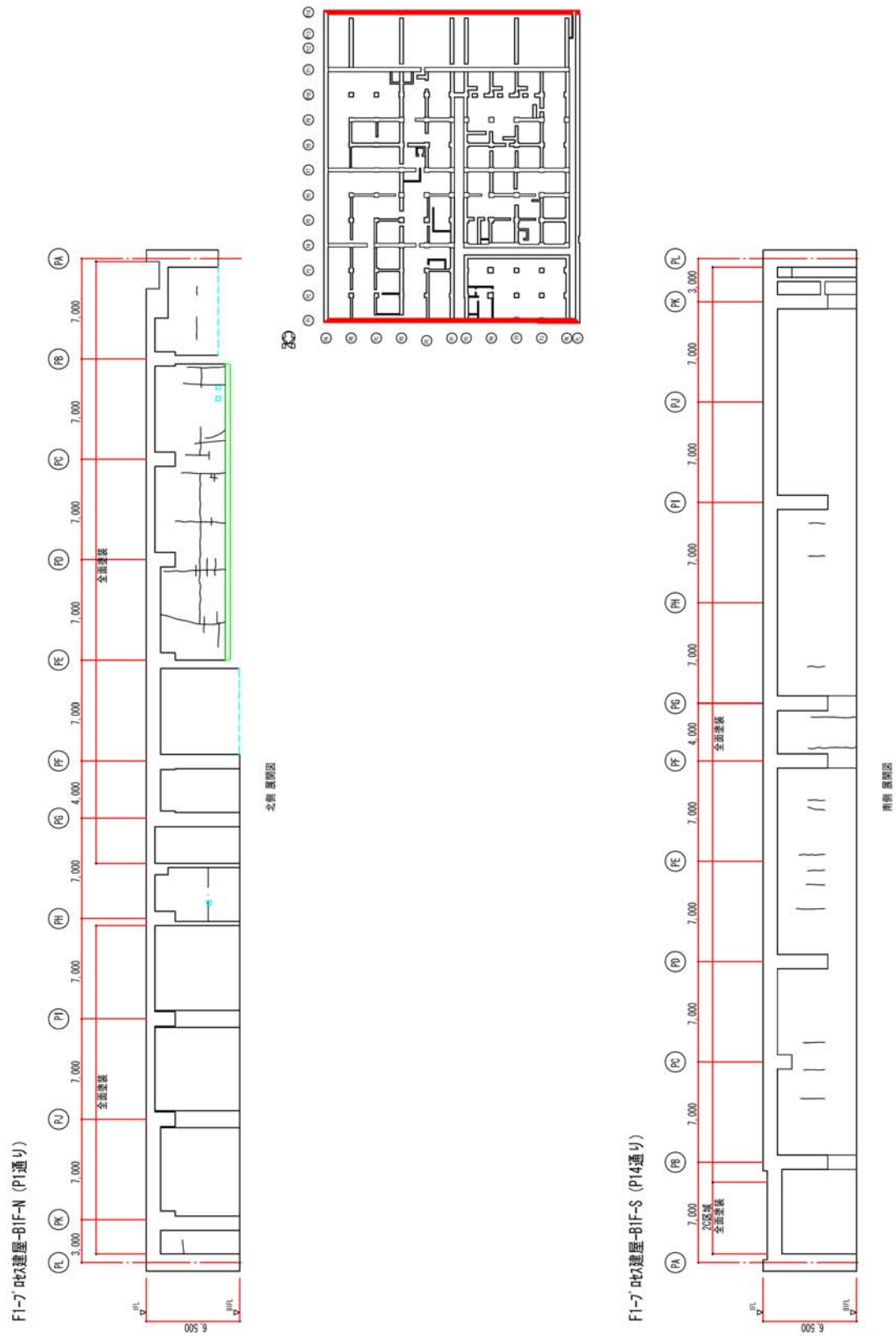
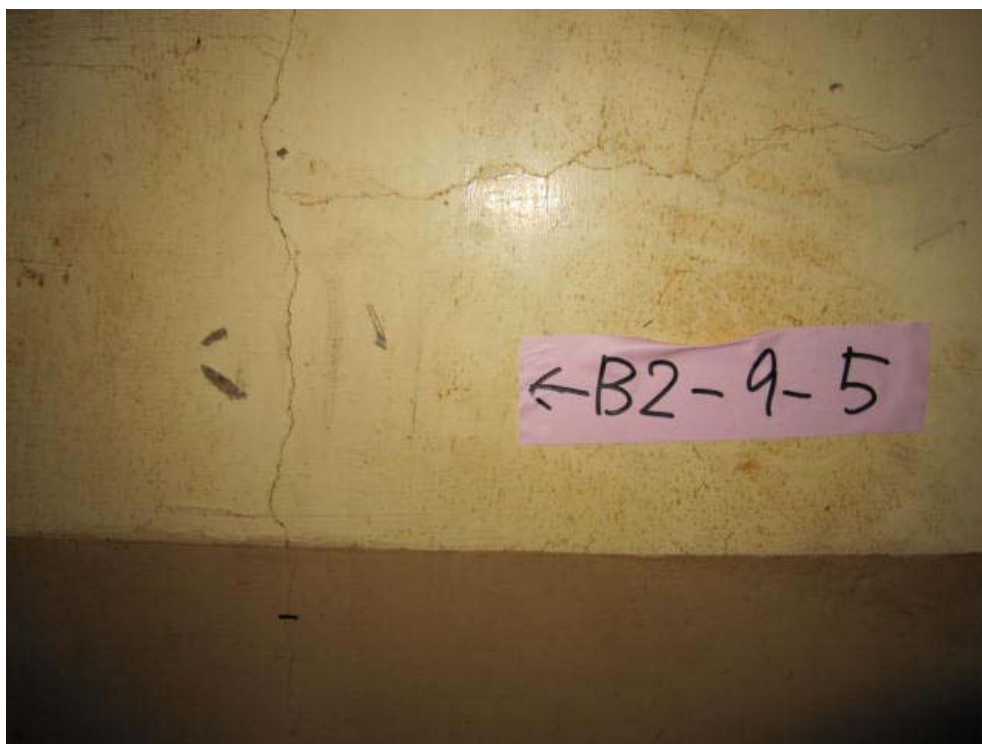


図4 地下1階展開図 北壁，南壁

7 幅 0.3mm 以上のひび割れ補修状況



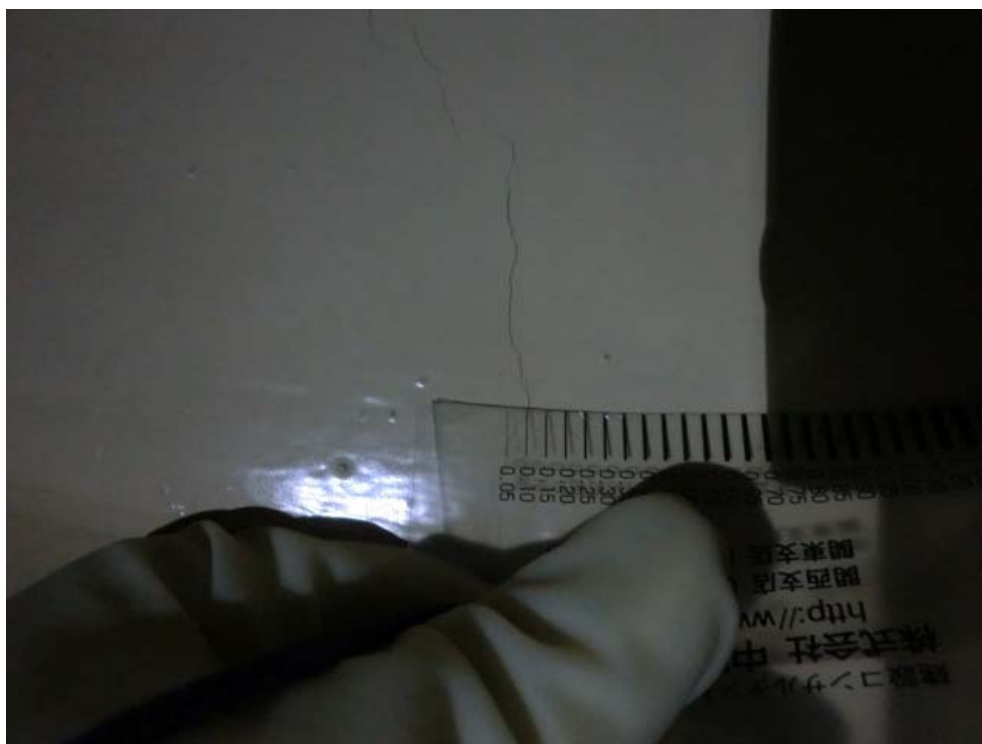
補修前



補修後

図 5 幅 0.3mm 以上のひび割れ補修状況

8 幅 0.3mm 未満のひび割れ補修状況



補修前



補修後

図 6 幅 0.3mm 未満のひび割れ補修状況

プロセス主建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価

1 建屋外への放射性物質の移行

放射性廃液を建屋の地下に貯蔵した場合には、建屋周辺の地下水水頭よりも建屋内部の水頭が高い場合には圧力差による放射性廃液の漏出が考えられる。この圧力差による漏出は建屋内外の水位の管理によって回避することができるが、その場合でも建屋コンクリートの健全部の拡散による移行が考えられるので、ここでは、その移行量を評価する。

2 評価モデルの概念と主要な評価パラメータ

廃液を現状地下水位と同等未満の高さまで貯蔵する場合には、周辺の地下水水頭が建屋内部の水頭よりも大きいので、内向きの流れと拡散による移行が考えられる。ひび割れ部のような透水性の高い開口部では、1 mm程度の水頭差による移流によって拡散移行量が無視小となるので、一定の水位差があれば、健全部の拡散が支配的となる。

地下水位と同等の水頭高さまで貯蔵するケースの建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念を図1に示す。

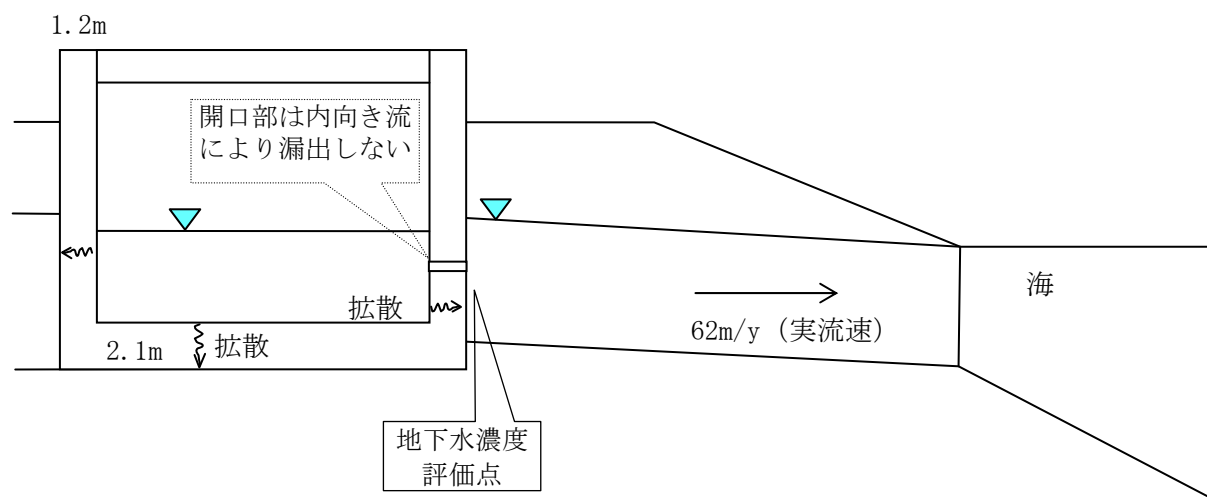


図1 建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念

図1の場合には、建屋からの放射性物質の漏出について、地下水流れが生じないこと及びひび割れ等の開口部の拡散は無視小となるので、健全部の拡散だけを考慮した次式で計算できる。

$$R = -Sc \cdot Dec \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial z} \bigg|_{z=L} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon c \cdot Rfc \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial t} = Dec \cdot \frac{\partial^2 Cc(z,t)}{\partial z^2} - \lambda \cdot \varepsilon c \cdot Rfc \cdot Cc(z,t) \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} Cc(0,t) &= Cw = Cw0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \\ Cc(L,t) &= 0 \dots\dots\dots (3) \\ Cc(z,0) &= 0 \\ Cc(0,t) &= 0, \quad (t > Tc) \end{aligned}$$

- R : 放射性物質の漏出量 (Bq/s)
 Cw : 廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m³)
 $Cw0$: 廃液中の放射性物質の初期濃度 (Bq/m³)
 Sc : 建屋コンクリートの底面積または側面積 (m²)
 Dec : コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m²/s)
 $Cc(z, t)$: コンクリート中の放射性物質の間隙水中濃度 (Bq/m³)
 $\cdot$: 崩壊定数 (1/s)
 L : コンクリートの側面厚さまたは底面厚さ (m)
 Rfc : 放射性物質のコンクリートにおける遅延係数 (-) $= 1 + \frac{1 - \varepsilon c}{\varepsilon c} \cdot \rho c \cdot Kdc$
 $\cdot c$: コンクリートの間隙率 (-)
 $\cdot c$: コンクリートの粒子密度 (kg/m³)
 Kdc : コンクリートの分配係数 (m³/kg)
 Tc : 廃液貯蔵終了時間 (s)

3 評価に用いたパラメータ

評価に用いたパラメータの一覧を表1に示す。

表1 評価に用いたパラメータ一覧

パラメータ	設定値	備考
廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m ³)	I-131 : 1.3E+13 Cs-134 : 3.1E+12 Cs-137 : 3.0E+12	2011/3/27 採水 2号機タービン建屋 滞留水の分析結果に基づく
建屋コンクリートの内面積 (m ²)	底面積 : 5834.24 側面積: 1751.04	底面積 : 84.8W×68.8L 側面積 : 84.8W, 68.8L, 5.7H の4 側面
コンクリート中の放射性物質の 実効拡散係数 (m ² /s)	1E-11	土木学会技術資料より
コンクリートの間隙率 (-)	0.2	
コンクリートの粒子密度 (kg/m ³)	2700	単位体積重量 2.15 t/m ³ と間隙率 0.2より, 2.15/0.8=2.7 (t/m ³)
コンクリートの分配係数 (m ³ /kg)	I : 0 Cs : 0.001	JAEA-Review 2006-011の海水系地 下水のセメントモルタルの値をオ ーダーでまらめた。
コンクリート健全部のダルシー 流速 (m/s)	0	健全部の内向き流は小さいので保 守的に考慮しない。

パラメータ	設定値	備考
開口部面積 (m ²)	実質 0	逆向き流れになるので、拡散に寄与しない。
建屋からの漏出継続期間 (y)	0.25～10 継続	3 ヶ月から 10 年の範囲で検討
帯水層のダルシー流速 (m/y)	25.42	実流速 62 m/y ($2\text{E-}5\text{m/s} \times 0.04 / 0.41$) ダルシー流速 = 実流速 $\times 0.41$
帯水層の厚さ (m)	7	底板下面から地下水面までの高さを保守的に設定

4 評価結果

コンクリートひび割れ部からの流れを内向きになるように管理した場合の評価結果を図 2 及び図 3 に示す。継続期間を 3 ヶ月～10 年及び永年としたケースを合わせて示した。

この結果では、100 年以内に建屋を解体撤去することにより、建屋外への移行は、環境試料の放射能濃度分析における Cs-137 の検出限界である $8 \times 10^{-6} \text{ Bq/cm}^3$ を下回る値となる。

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

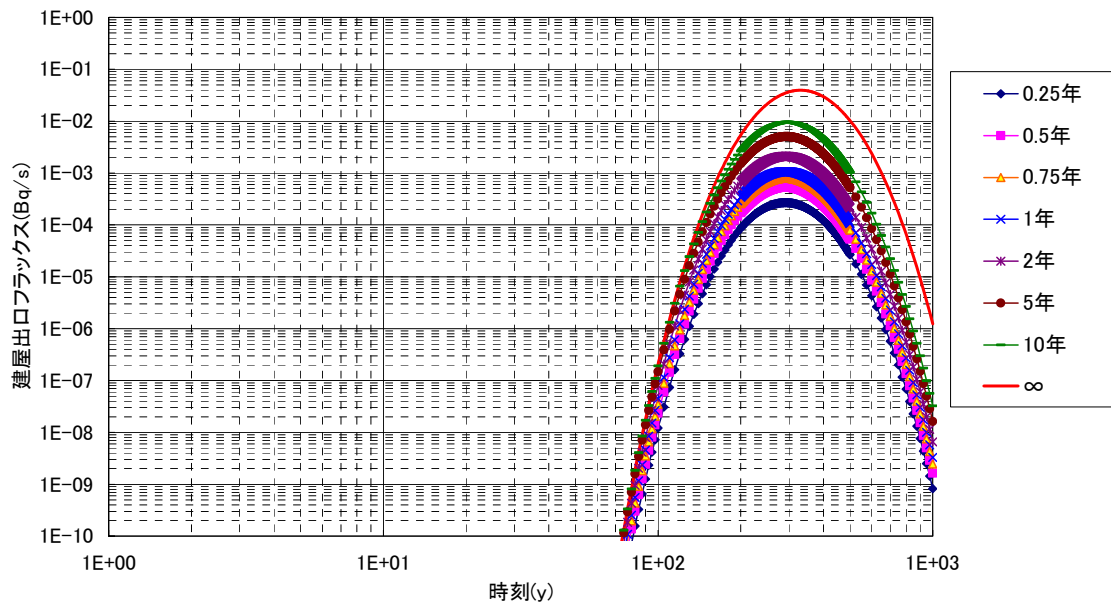


図2 建屋からの流出フラックス
(プロセス主建屋 側壁 1. 2 m)

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

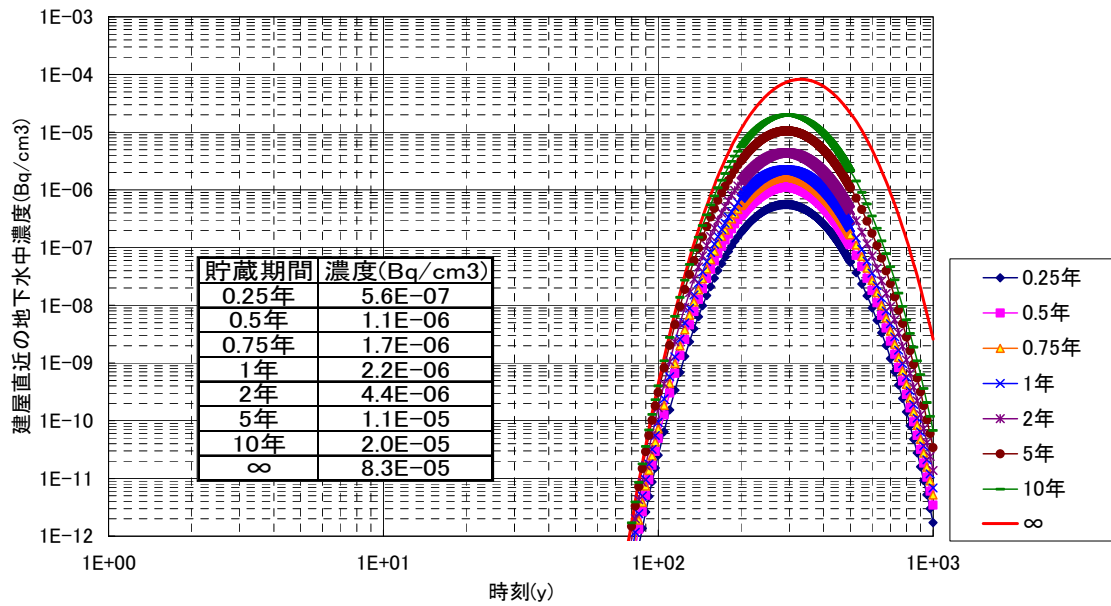
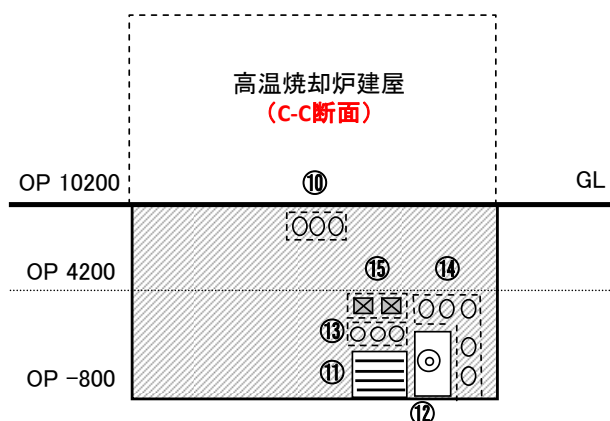
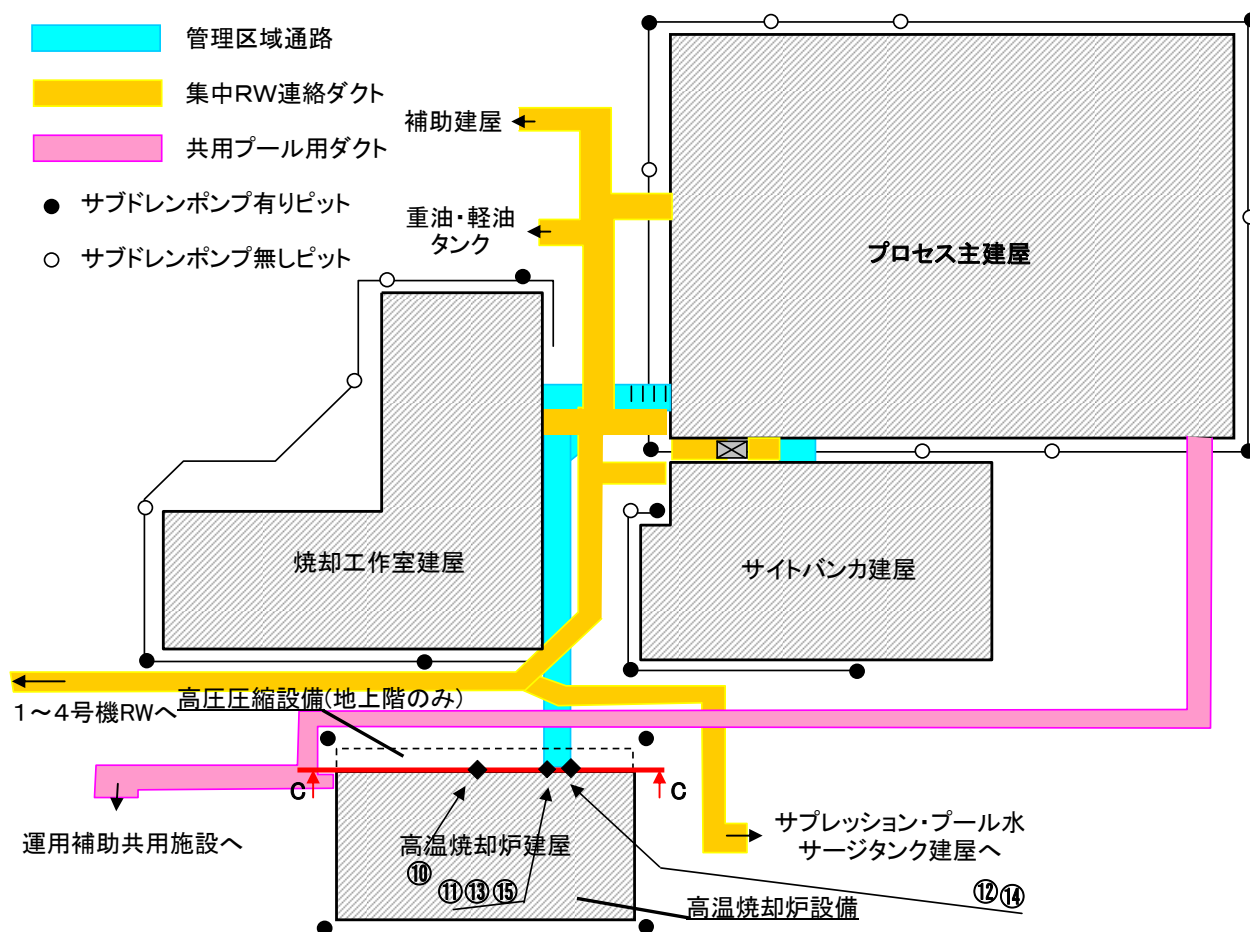
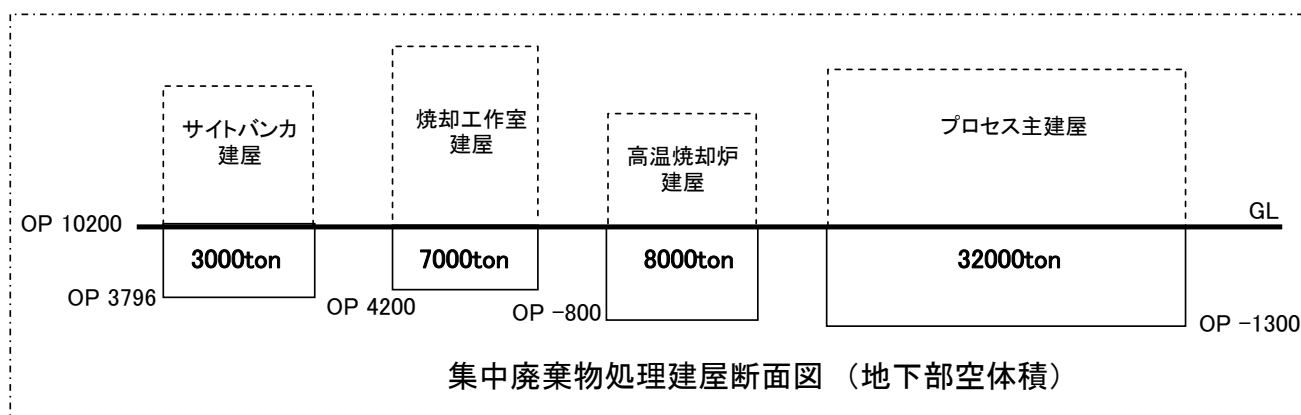


図3 建屋直近の放射性物質の濃度
(プロセス主建屋 側壁 1. 2 m)

高温焼却炉建屋の貫通部の止水措置



高温焼却炉建屋位置関係図



高温焼却炉建屋の健全性 ひび割れ等の漏えい対策

1 はじめに

高温焼却炉建屋の地下躯体部分の水密性を確保する観点から、ひび割れ点検を行うとともに、ひび割れ箇所の補修を行った。

2 現場確認方法

高温焼却炉建屋のひび割れ点検は、地下外壁を対象とし、日常点検における記録を基に地震後に新たに生じたと考えられるひび割れについて目視点検を行った。

3 点検結果及び評価

点検では、新たに地震により生じたひび割れは確認されなかった。今回の地震前から存在していたと思われるひび割れは確認されたが、縦方向のひび割れであることから、経年によるコンクリートの乾燥収縮によって生じたひび割れと判断した。

また、その他のひび割れについても、ひび割れ部分にはエフロレッセンス（白華現象）等の変化が見られないことから、通常時には漏水等の問題はなかったものと考えられる。

また、高温焼却炉建屋は、不透水層である富岡層（泥岩）に基礎マットが設置されていること、地下外壁面周囲にアスファルト防水が施工されていることから、止水性は確保されているものと考えられるが、地下外壁のひび割れ部の補修を行い、水密性を高めるものとする。

4 ひび割れ補修

4.1 補修範囲

ひび割れの補修は、高温焼却炉建屋の日常点検により記録されたひび割れのほか、目視で確認できる全てのひび割れについて実施した。高温焼却炉建屋のひび割れの補修本数を表-1 に示す。

表-1 ひび割れ補修本数

	部 位	実施本数 (0.3mm 以上のひび割れ)
高温焼却炉建屋	地下 1 階	42
	地下 2 階	48

4.2 補修方法

- ・ 目視で確認できるひび割れを全て補修する。
- ・ 使用材料：ポリマーセメント系塗膜防水材

5 まとめ

対象となるひび割れについて全て補修を実施し，当社は適切に補修されたことを確認した。

6 ひび割れ調査図（壁展開図・ひび割れ幅 0.3mm 以上のものを記録）

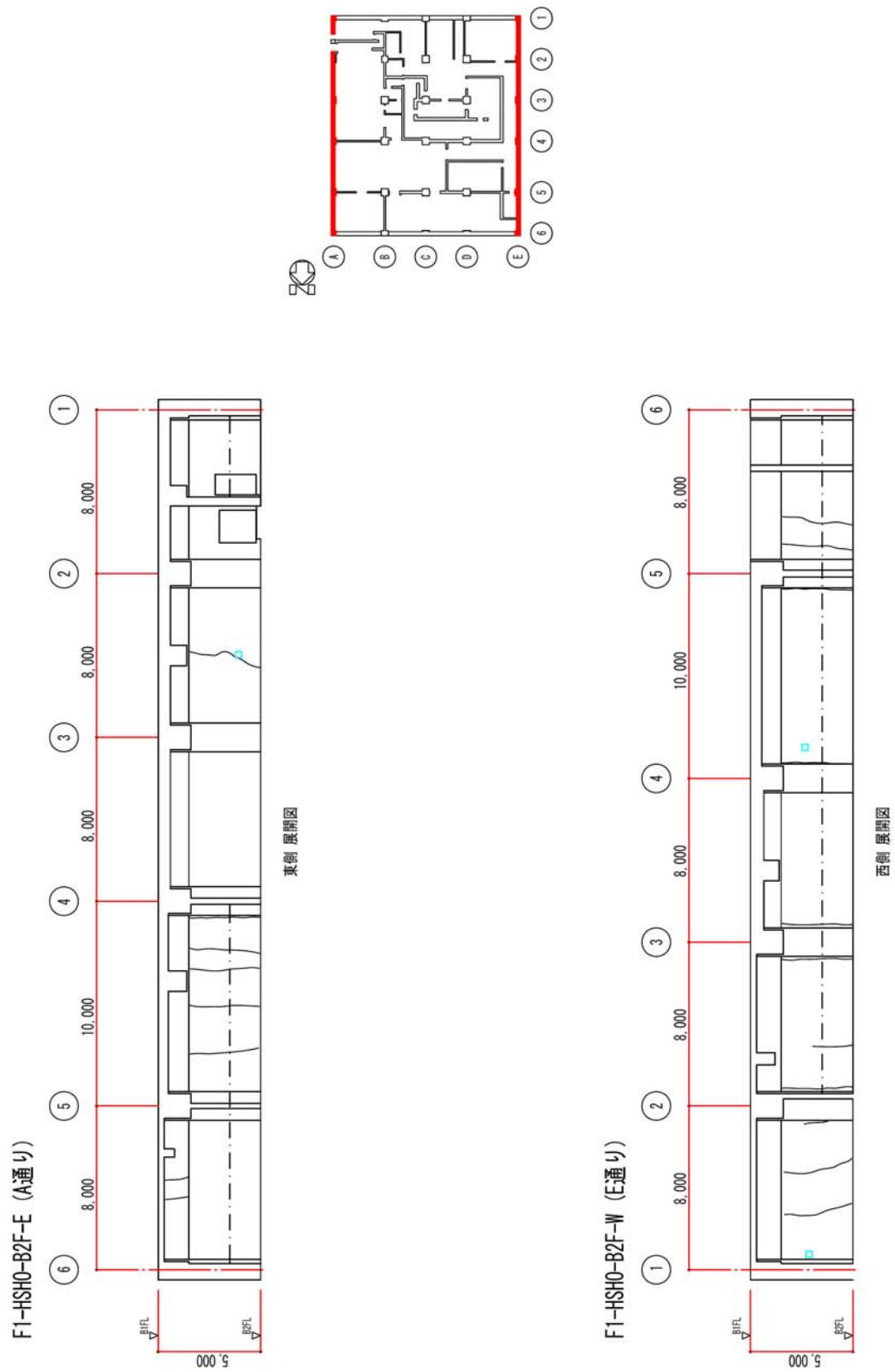


図1 地下2階展開図 東壁, 西壁

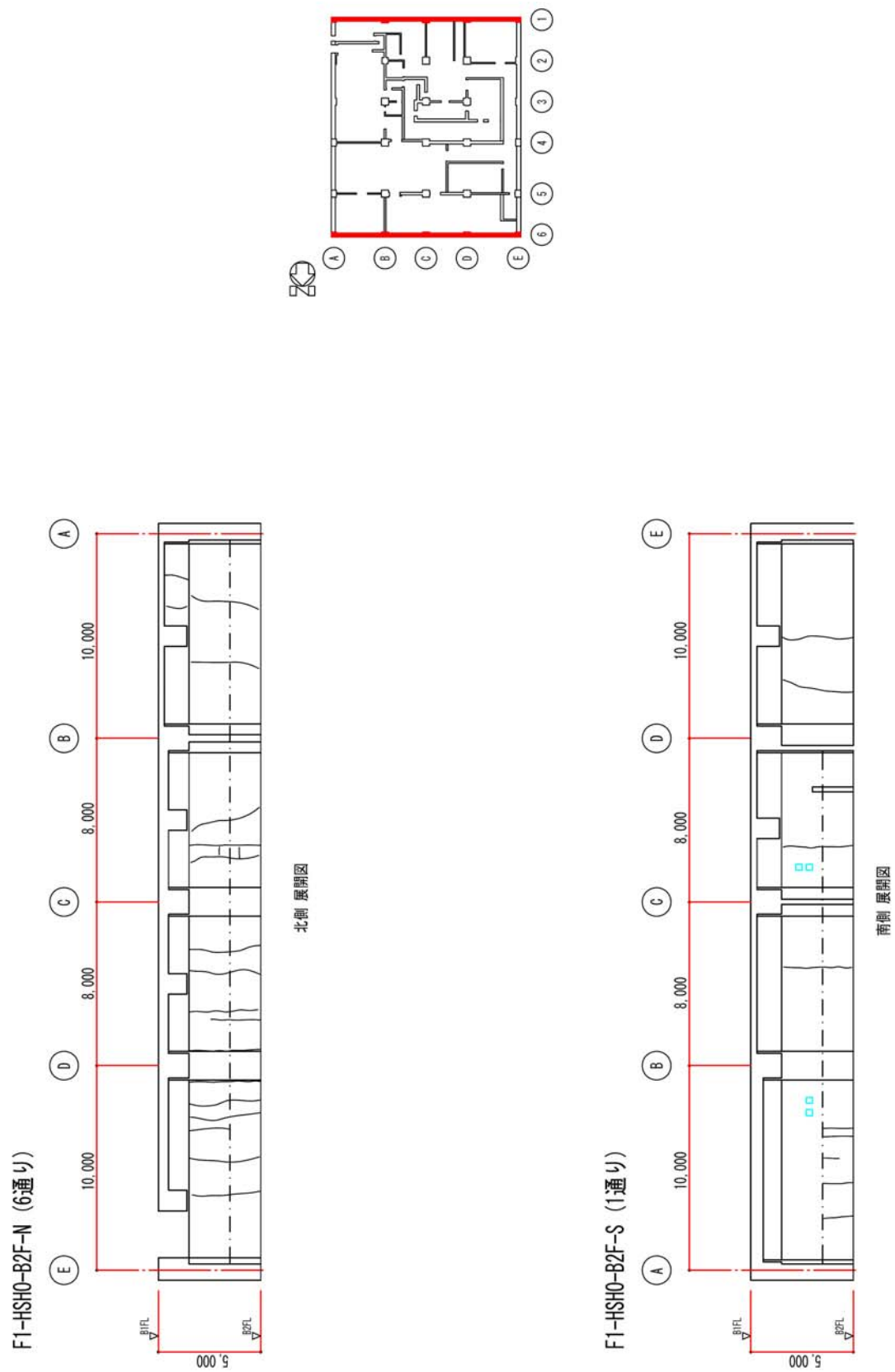


図 2 地下 2 階展開図 北壁，南壁

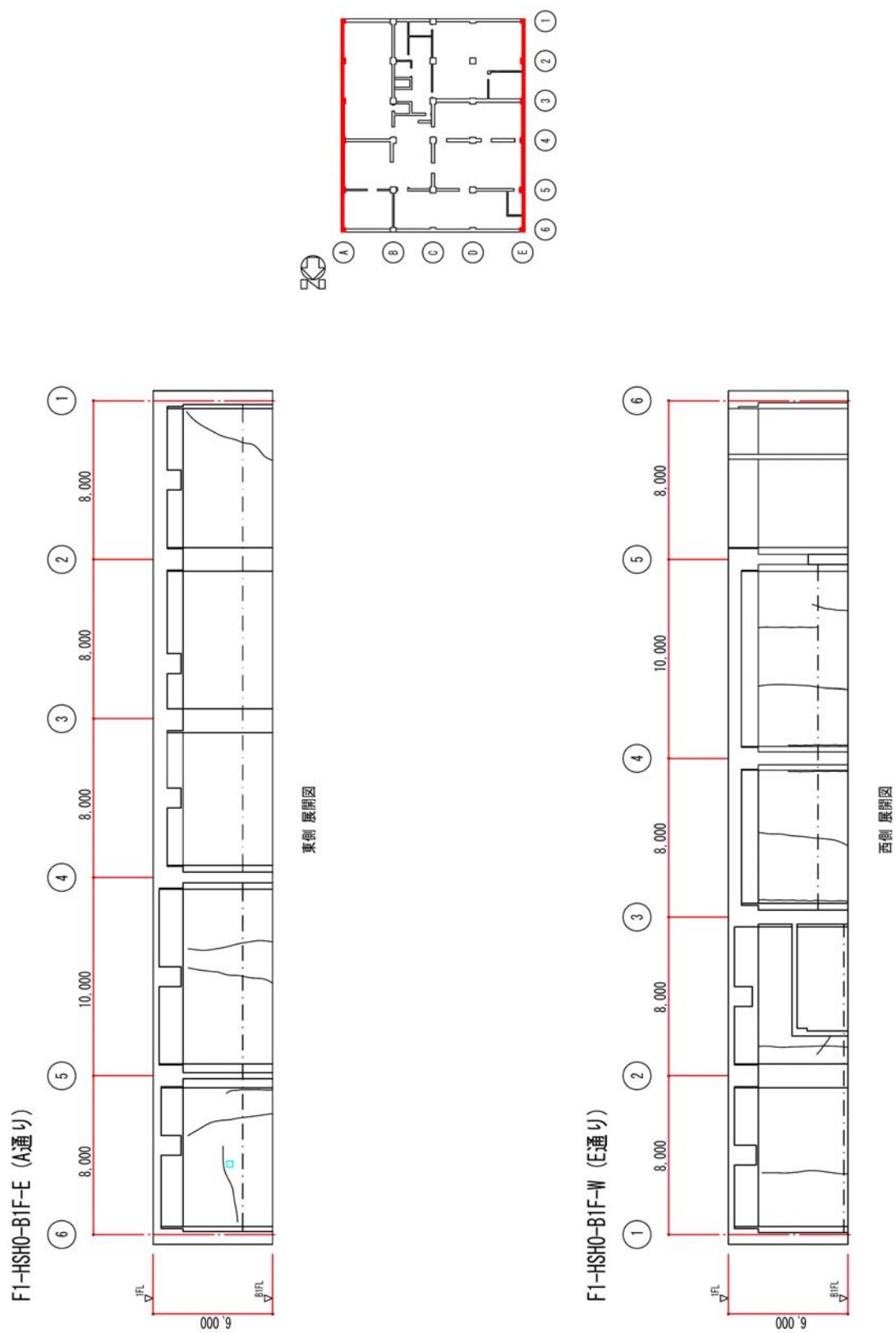


図3 地下1階展開図 東壁，西壁

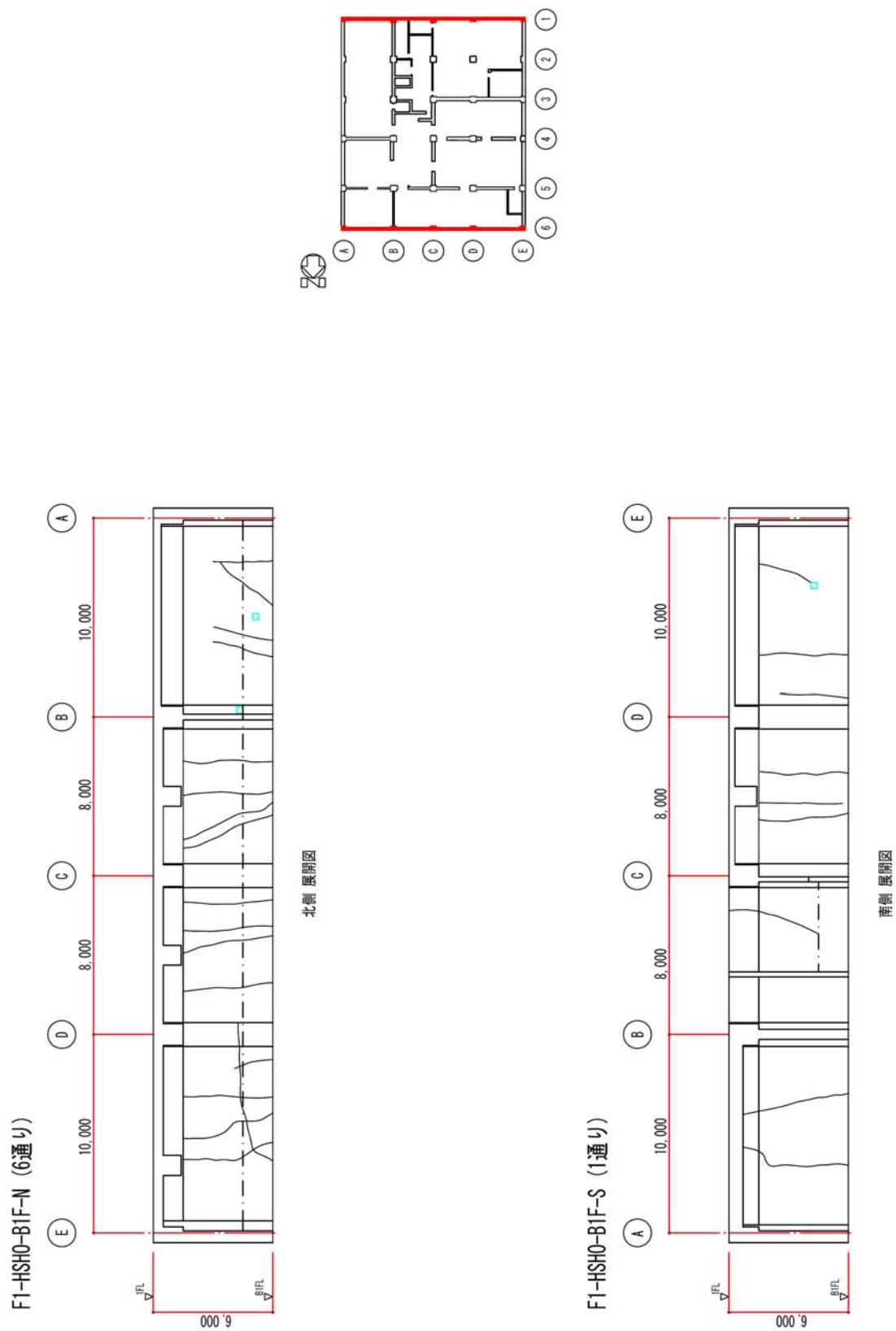
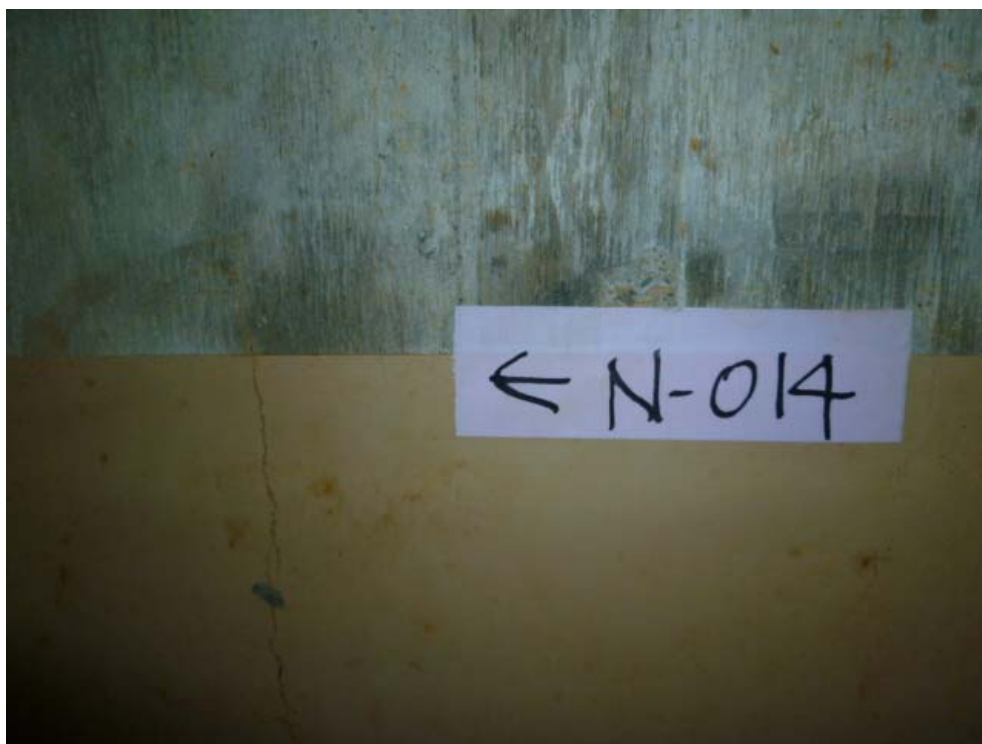
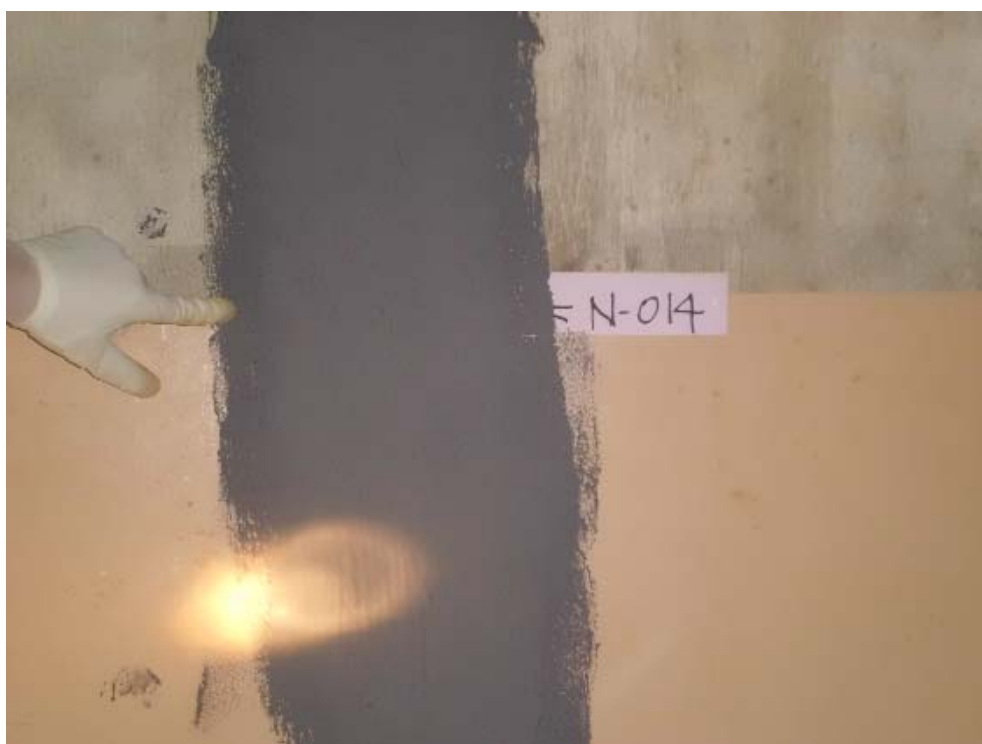


図4 地下1階展開図 北壁，南壁

7 ひび割れ補修状況（幅 0.3mm 以上のひび割れ）



補修前



補修後

図 5 ひび割れ補修状況（幅 0.3mm 以上のひび割れ）

高温焼却炉建屋の建屋外への放射性物質移行量の評価

1 屋外への放射性物質の移行

放射性廃液を建屋の地下に貯蔵した場合には、建屋周辺の地下水水頭よりも建屋内部の水頭が高い場合には圧力差による放射性廃液の漏出が考えられる。この圧力差による漏出は建屋内外の水位の管理によって回避することができるが、その場合でも建屋コンクリートの健全部の拡散による移行が考えられるので、ここでは、その移行量を評価する。

2 評価モデルの概念と主要な評価パラメータ

廃液を現状地下水位と同等未満の高さまで貯蔵する場合には、周辺の地下水水頭が建屋内部の水頭よりも大きいので、内向きの流れと拡散による移行が考えられる。ひび割れ部のような透水性の高い開口部では、1 mm 程度の水頭差による移流によって拡散移行量が無視小となるので、一定の水位差があれば、健全部の拡散が支配的となる。

地下水位と同等の水頭高さまで貯蔵するケースの建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念を図 1 に示す。

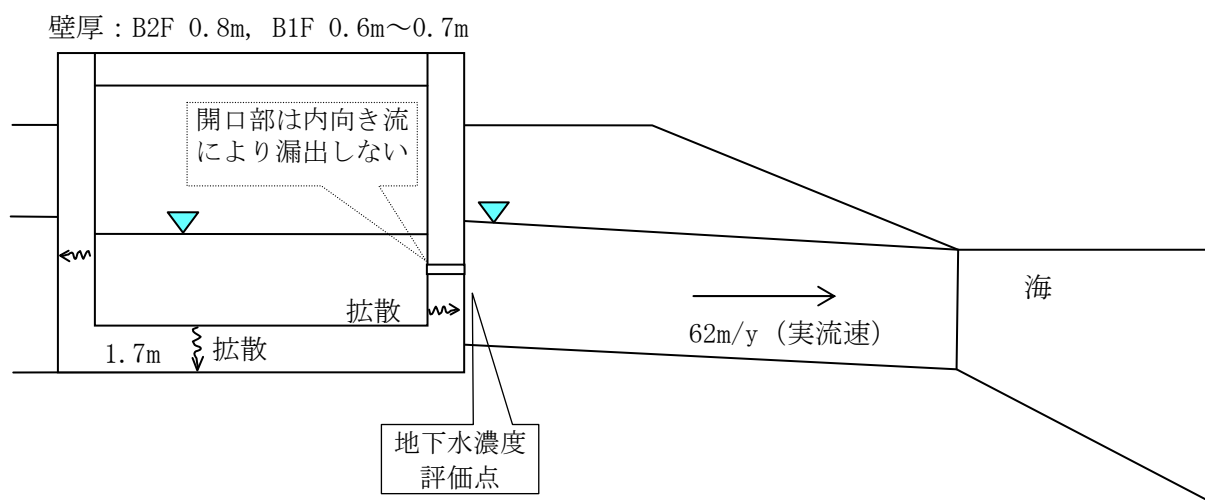


図 1 建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念

図 1 の場合には、建屋からの放射性物質の漏出について、地下水流れが生じないこと及びひび割れ等の開口部の拡散は無視小となるので、健全部の拡散だけを考慮した次式で計算できる。

$$R = -Sc \cdot Dec \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial z} \bigg|_{z=L} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon c \cdot Rfc \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial t} = Dec \cdot \frac{\partial^2 Cc(z,t)}{\partial z^2} - \lambda \cdot \varepsilon c \cdot Rfc \cdot Cc(z,t) \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} Cc(0,t) &= Cw = Cw0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \\ Cc(L,t) &= 0 \dots\dots\dots (3) \\ Cc(z,0) &= 0 \\ Cc(0,t) &= 0, \quad (t > Tc) \end{aligned}$$

- R : 放射性物質の漏出量 (Bq/s)
 Cw : 廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m³)
 $Cw0$: 廃液中の放射性物質の初期濃度 (Bq/m³)
 Sc : 建屋コンクリートの底面積または側面積 (m²)
 Dec : コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m²/s)
 $Cc(z, t)$: コンクリート中の放射性物質の間隙水中濃度 (Bq/m³)
 $\cdot$: 崩壊定数 (1/s)
 L : コンクリートの側面厚さまたは底面厚さ (m)
 Rfc : 放射性物質のコンクリートにおける遅延係数 (-) $= 1 + \frac{1-\varepsilon c}{\varepsilon c} \cdot \rho c \cdot Kdc$
 $\cdot c$: コンクリートの間隙率 (-)
 $\cdot c$: コンクリートの粒子密度 (kg/m³)
 Kdc : コンクリートの分配係数 (m³/kg)
 Tc : 廃液貯蔵終了時間 (s)

3 評価に用いたパラメータ

評価に用いたパラメータの一覧を表1に示す。

表1 評価に用いたパラメータ一覧

パラメータ	設定値	備考
廃液中の放射性物質の濃度 (Bq/m ³)	I-131 : 1.3E+13 Cs-134 : 3.1E+12 Cs-137 : 3.0E+12	2011/3/27 採水 2号機タービン建屋 滞留水の分析結果に基づく
建屋コンクリートの内面積 (m ²)	底面積 : 1465.56 側面積: B2F(壁厚0.8m) 768.0 B1F(壁厚0.6m) 414.96 B1F(壁厚0.7m) 174.42	底面積 : 41.4W×35.4L 側面積 : B2F 41.4W, 35.4L, 5.0H の4側面 B1F(壁厚0.6m) 壁厚0.6m, 0.65m 部分の長さ 109.2×3.8H B1F(壁厚0.7m) 壁厚0.7m 部分の 長さ 45.9×3.8H
コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m ² /s)	1E-11	土木学会技術資料より
コンクリートの間隙率 (-)	0.2	
コンクリートの粒子密度 (kg/m ³)	2700	単位体積重量 2.15 t/m ³ と間隙率 0.2より, 2.15/0.8=2.7 (t/m ³)

パラメータ	設定値	備考
コンクリートの分配係数 (m^3/kg)	I : 0 Cs : 0.001	JAEA-Review 2006-011 の海水系地下水のセメントモルタルの値をオーダーでまるめた。
コンクリート健全部のダルシー流速 (m/s)	0	健全部の内向き流は小さいので保守的に考慮しない。
開口部面積 (m^2)	実質 0	逆向き流れになるので、拡散に寄与しない。
建屋からの漏出継続期間 (y)	0.25～10 継続	3 ヶ月から 10 年の範囲で検討
帯水層のダルシー流速 (m/y)	25.42	実流速 62 m/y ($2\text{E}-5\text{m/s} \times 0.04 / 0.41$) ダルシー流速 = 実流速 $\times 0.41$
帯水層の厚さ (m)	7	底板下面から地下水面までの高さを保守的に設定

4 評価結果

コンクリートひび割れ部からの流れを内向きになるように管理した場合の評価結果を図 2 及び図 3 に示す。継続期間を 3 ヶ月～10 年及び永年としたケースを合わせて示した。

この結果では、30 年以内に建屋を解体撤去することにより、建屋外への移行は、環境試料の放射能濃度分析における Cs-137 の検出限界である $8 \times 10^{-6} \text{ Bq/cm}^3$ を下回る値となる。

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

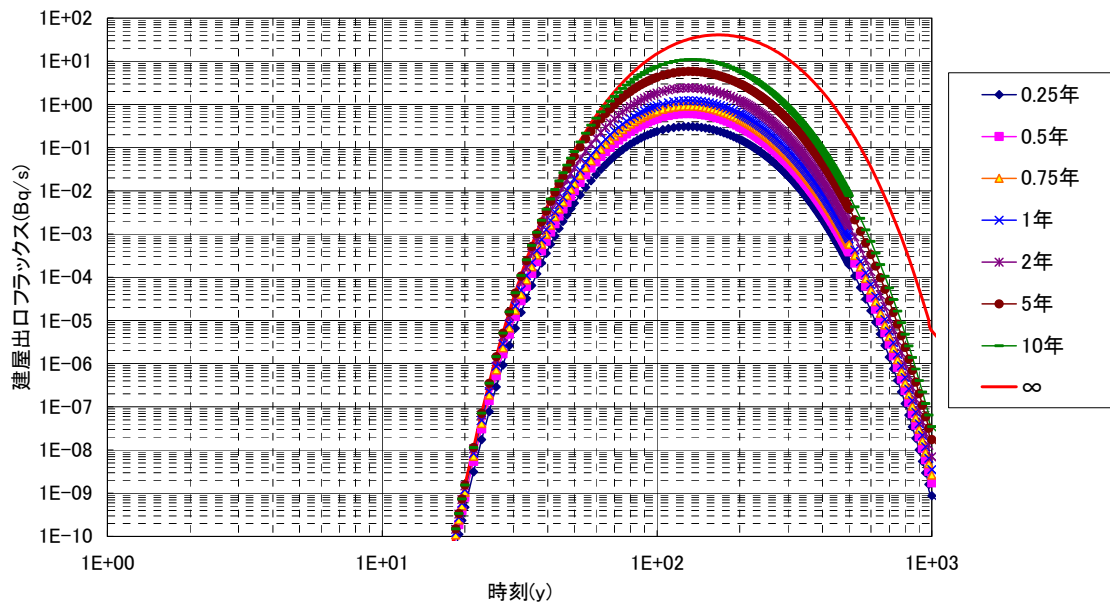


図2 建屋からの流出フラックス
(高温焼却炉建屋)

廃液貯蔵継続年数の影響確認 (Cs-137)

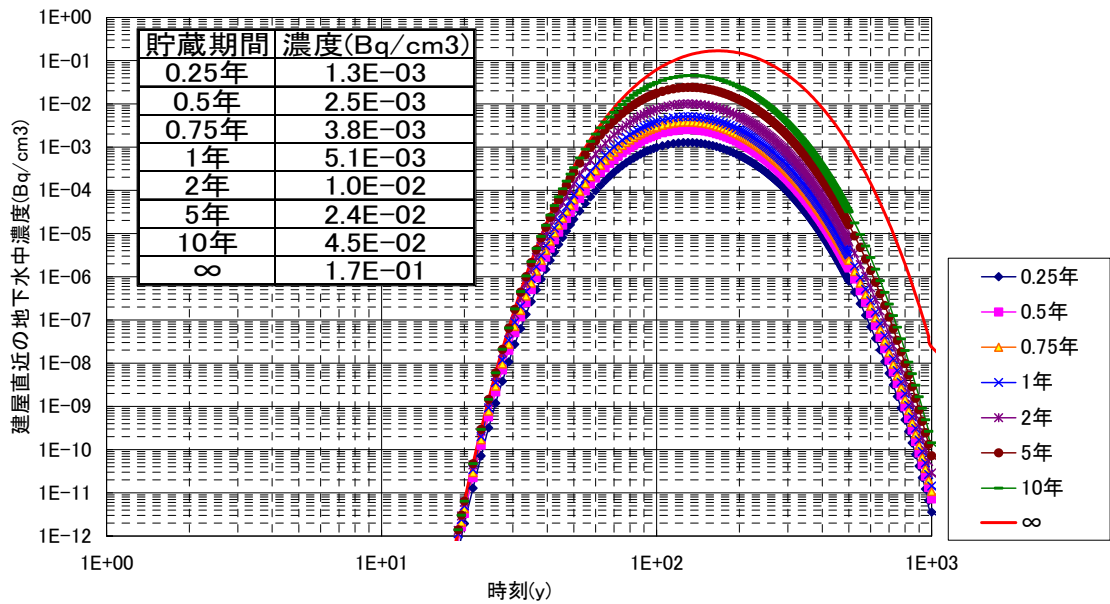


図3 建屋直近の放射性物質の濃度
(高温焼却炉建屋)

1～4号機の各建屋外への放射性物質移行量の評価

1 建屋外への放射性物質の移行

高レベル放射性汚染水（以下、「滞留水」という。）が建屋の地下に滞留した場合、建屋周辺の地下水水頭よりも建屋内部の水頭が高くなったときに圧力差による滞留水の漏出が考えられる。この圧力差による漏出は建屋内外の水位の管理によって回避することができるが、その場合でも建屋コンクリートの健全部の拡散による移行が考えられるので、ここでは、その移行量を評価する。

2 評価モデルの概念と主要な評価パラメータ

滞留水を現状地下水位と同等未満の高さまで貯蔵する場合には、周辺の地下水水頭が建屋内部の水頭よりも大きいので、内向きの流れと拡散による移行が考えられる。ひび割れ部のような透水性の高い開口部では、1 mm程度の水頭差による移流によって拡散移行量が無視小となるので、一定の水頭差があれば、健全部の拡散が支配的となる。

地下水位と同等の水頭高さまで貯蔵するケースの建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念を図1に示す。

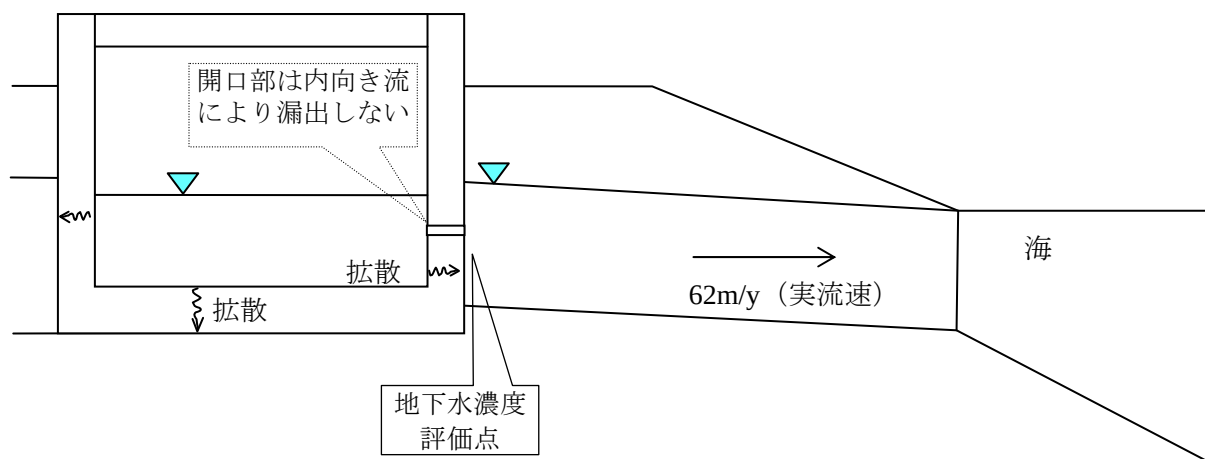


図1 建屋からの漏出と放射性物質の地下水移行の概念

図1の場合には、建屋からの放射性物質の漏出について、地下水流れが生じないこと及びひび割れ等の開口部の拡散は無視小となるので、健全部の拡散だけを考慮した次式で計算できる。

$$R = -Sc \cdot Dec \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial z} \Big|_{z=L} \dots\dots\dots(1)$$

$$\varepsilon c \cdot Rfc \cdot \frac{\partial Cc(z,t)}{\partial t} = Dec \cdot \frac{\partial^2 Cc(z,t)}{\partial z^2} - \lambda \cdot \varepsilon c \cdot Rfc \cdot Cc(z,t) \dots\dots\dots(2)$$

$$\begin{aligned} Cc(0,t) &= Cw = Cw0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \\ Cc(L,t) &= 0 \\ Cc(z,0) &= 0 \\ Cc(0,t) &= 0, \quad (t > Tc) \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$

- R : 放射性物質の漏出量 (Bq/s)
 Cw : 滞留水中の放射性物質の濃度 (Bq/m³)
 $Cw0$: 滞留水中の放射性物質の初期濃度 (Bq/m³)
 Sc : 建屋コンクリートの底面積または側面積 (m²)
 Dec : コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m²/s)
 $Cc(z,t)$: コンクリート中の放射性物質の間隙水中濃度 (Bq/m³)
 λ : 崩壊定数 (1/s)
 L : コンクリートの側面厚さまたは底面厚さ (m)
 Rfc : 放射性物質のコンクリートにおける遅延係数 (-) = $1 + \frac{1-\varepsilon c}{\varepsilon c} \cdot \rho c \cdot Kdc$
 εc : コンクリートの間隙率 (-)
 ρc : コンクリートの粒子密度 (kg/m³)
 Kdc : コンクリートの分配係数 (m³/kg)
 Tc : 滞留水貯蔵終了時間 (s)

3 評価に用いたパラメータ

評価に用いたパラメータの一覧を表1に示す。

表1 評価に用いたパラメータ一覧

パラメータ	設定値	備考
滞留水中の放射性物質の濃度 (Bq/m ³)	Cs-137: 1.5E+12	2011/7/17 採水_2 号機タービン建屋滞留水の分析結果に基づく
建屋コンクリートの内面積 (m ²)	—	表2 (滞留水に接する表面積) 参照
コンクリート中の放射性物質の実効拡散係数 (m ² /s)	1E-11	土木学会技術資料より
コンクリートの間隙率 (-)	0.2	
コンクリートの粒子密度 (kg/m ³)	2700	単位体積重量 2.15 t/m ³ と間隙率 0.2 より, 2.15/0.8=2.7 (t/m ³)
コンクリートの分配係数 (m ³ /kg)	I: 0 Cs: 0.001	JAEA-Review 2006-011 の海水系地下水のセメントモルタルの値をオーダーでまらめた。
コンクリート健全部のダルシー流速 (m/s)	0	健全部の内向き流は小さいので保守的に考慮しない。

パラメータ	設定値	備考
開口部面積 (m ²)	実質 0	逆向き流れになるので，拡散に寄与しない。
建屋からの漏出継続期間 (y)	0.25～10 継続	3 ヶ月から 10 年，継続の範囲で検討
帯水層のダルシー流速 (m/y)	25.42	実流速 62m/y (2E-5m/s×0.04／0.41) ダルシー流速 = 実流速×0.41
帯水層の厚さ (m)	7	底板下面から地下水面までの高さを保守的に設定

4 評価結果

コンクリートひび割れ部からの流れを内向きになるように管理した場合の評価結果を図 2 及び表 2 に示す。継続期間を 3 ヶ月～10 年及び永年としたケースを合わせて示した。

この結果では，今後 3 年間程度に 1～4 号機の各建屋のコンクリート壁中から放射性物質が拡散により建屋外への漏えいする可能性は低いと考える。

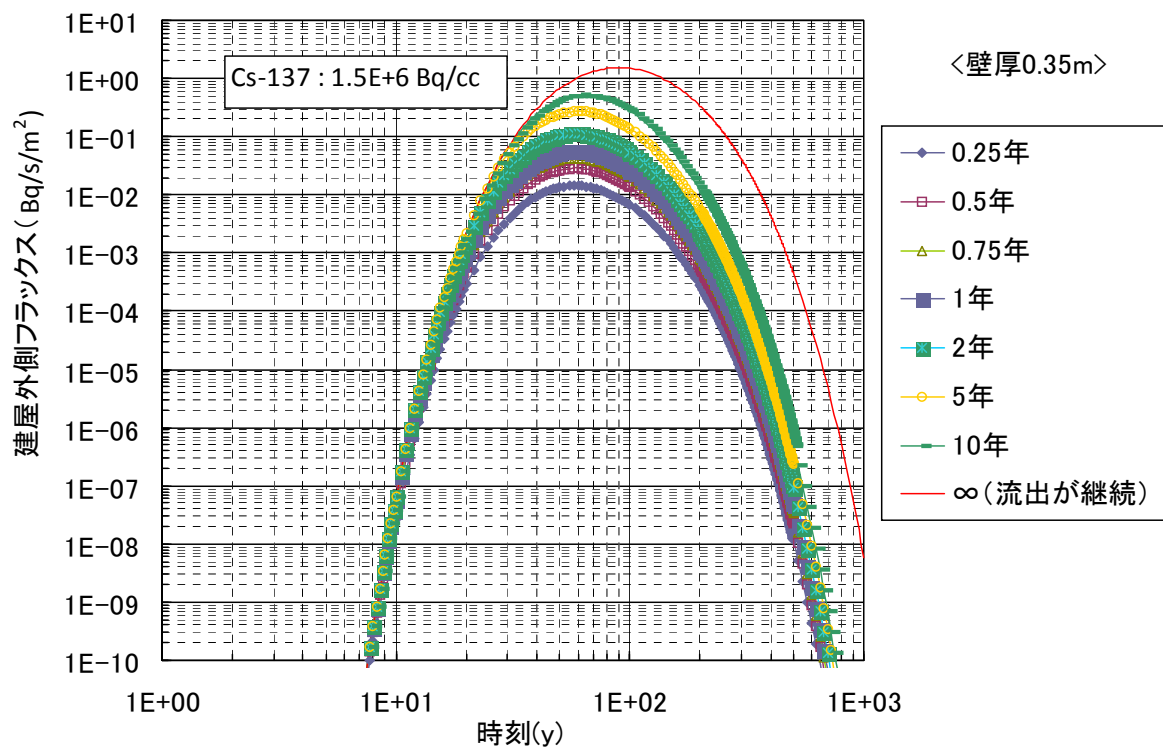


図2 (1) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.35m)

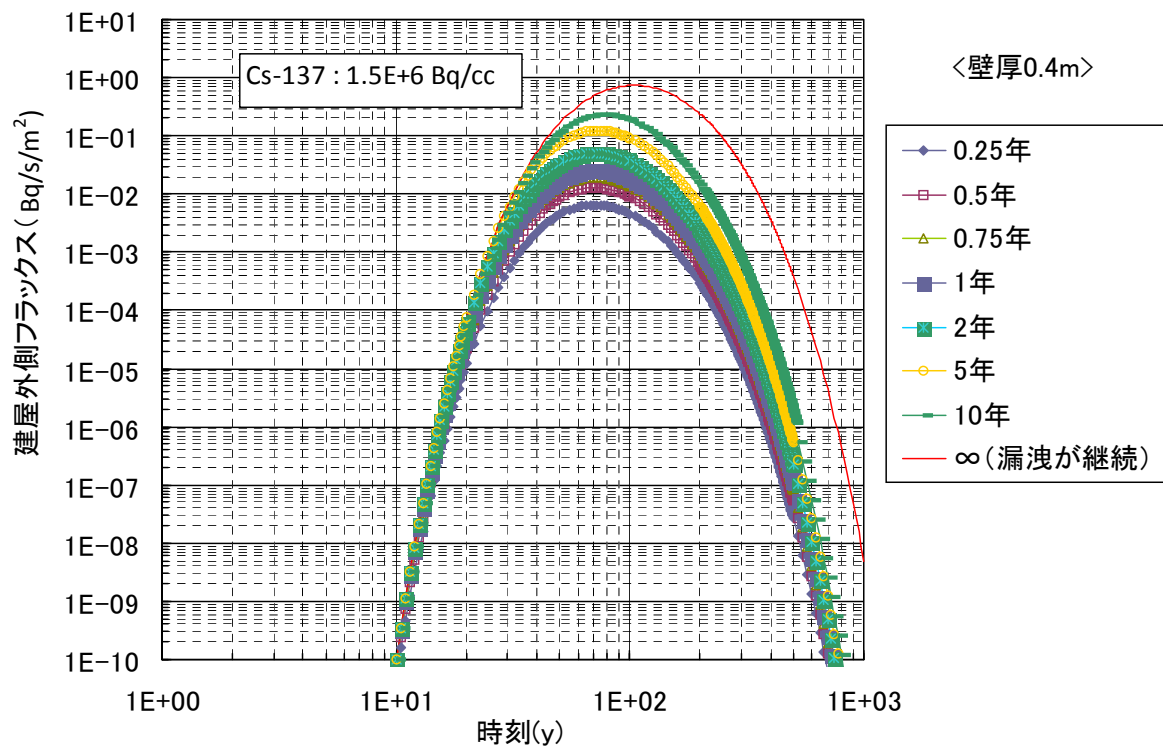


図2 (2) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.4m)

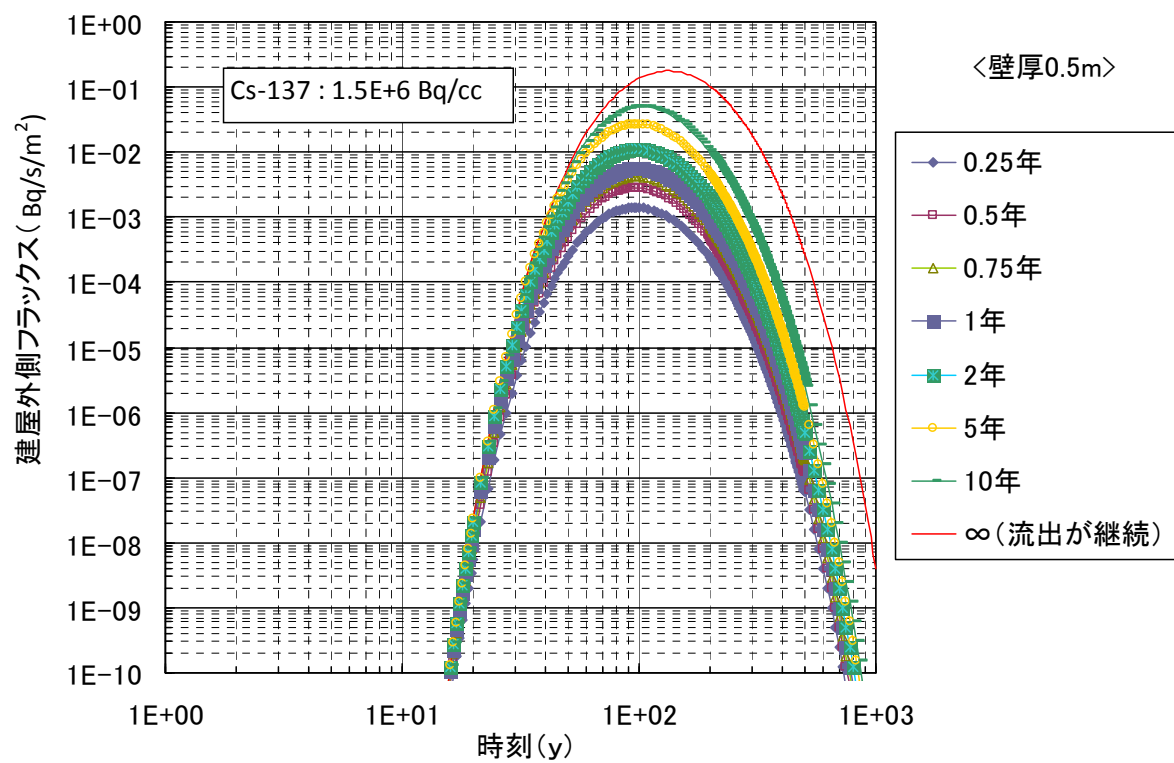


図2 (3) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.5m)

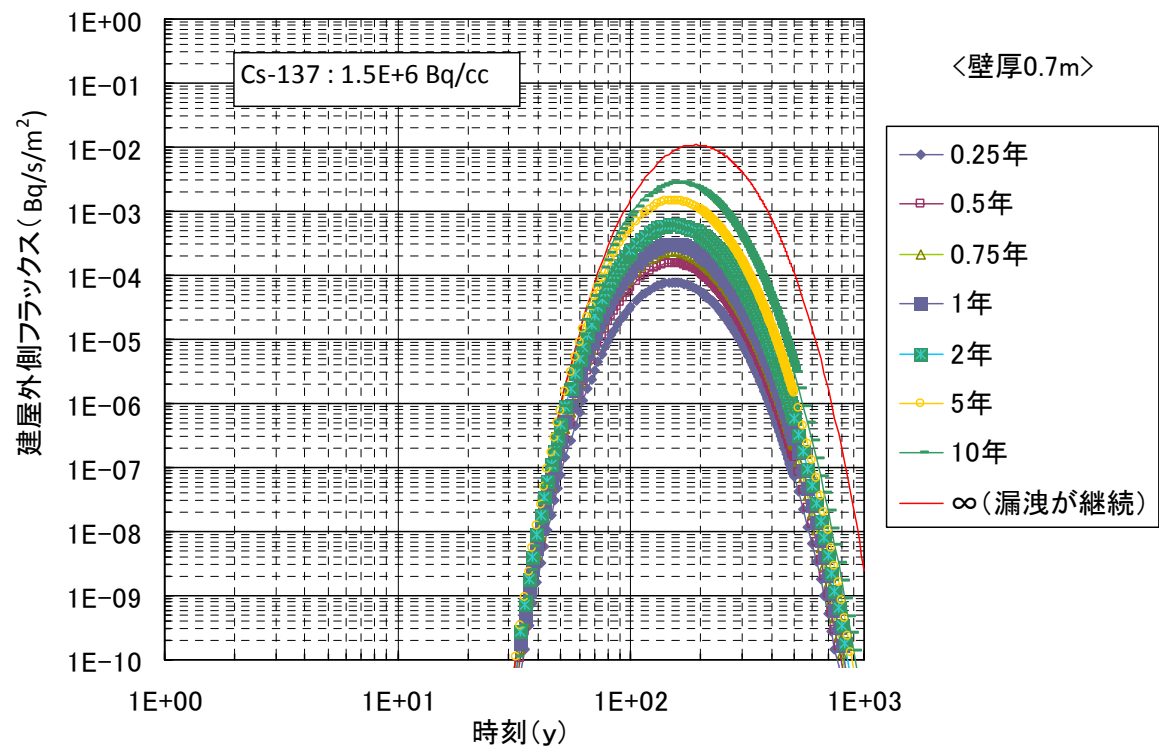


図2 (4) 建屋からの流出フラックス
(側壁 0.7m)

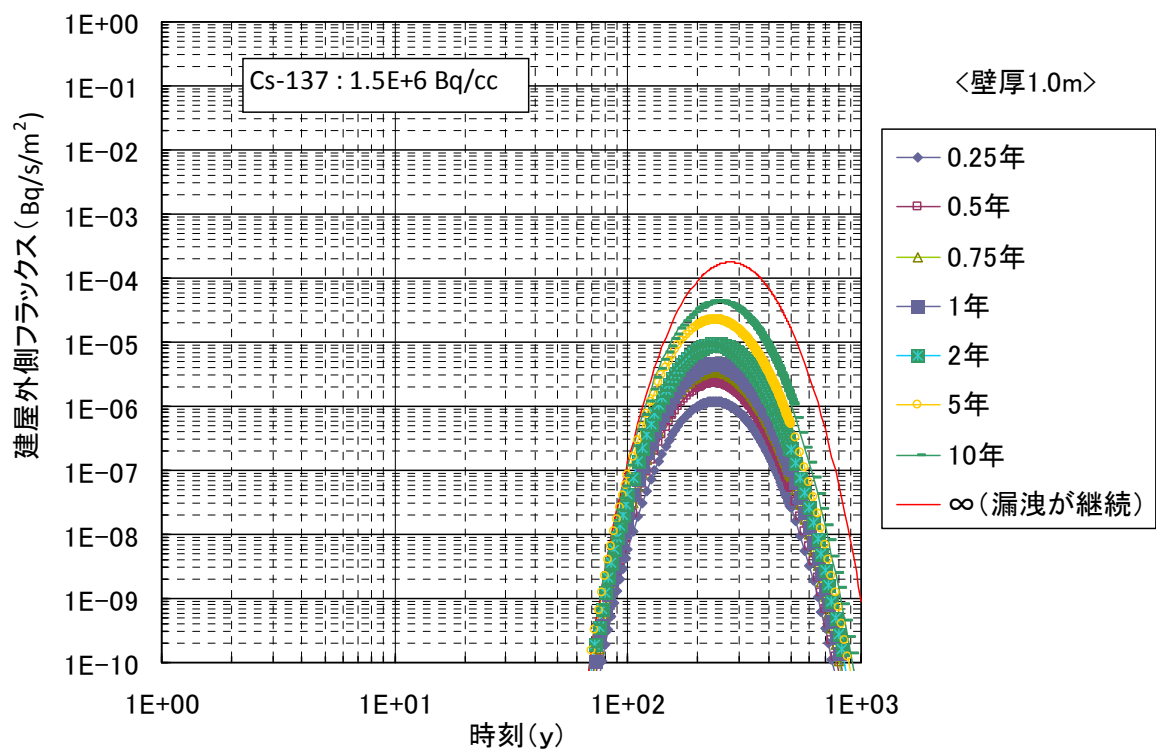


図2 (5) 建屋からの流出フラックス
(側壁 1.0m)

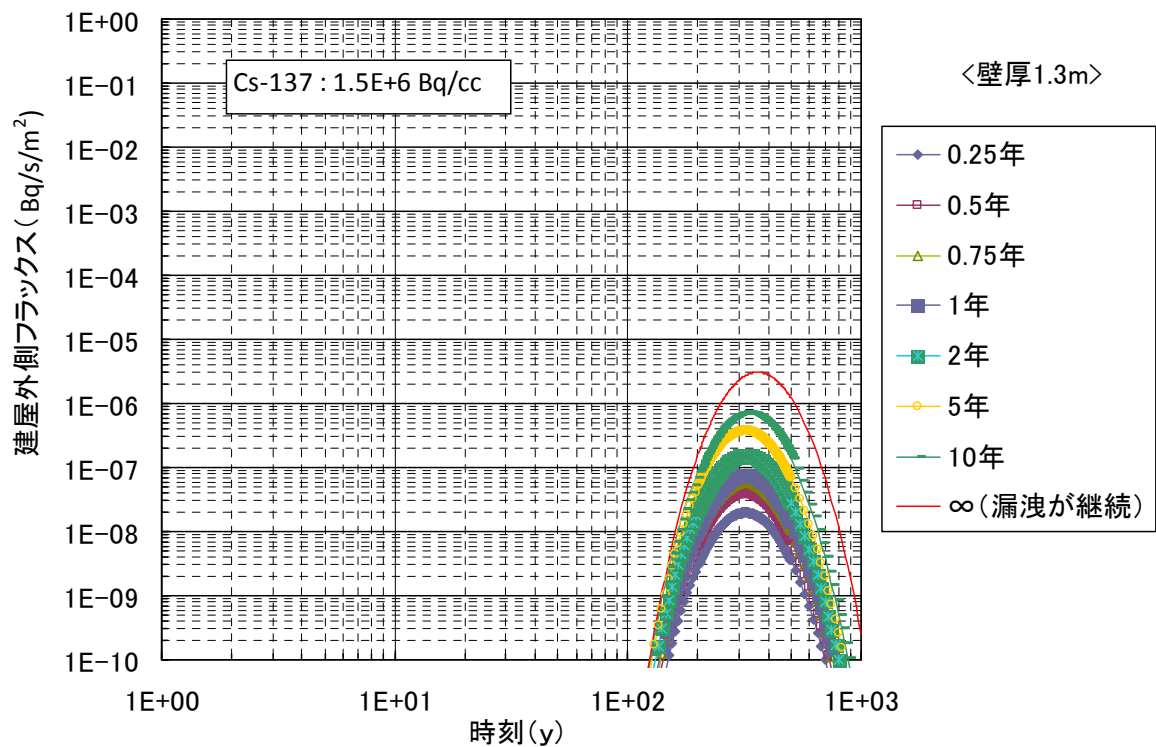


図2 (6) 建屋からの流出フラックス
(側壁 1.3m)

表2 建屋外への放射性物質移行量の評価

1号炉	壁厚(m)	滞留水に接する 表面積(m ²)	建屋の南北長(m)	8E-6Bq/cm ³ となる経過年
R/B	1.3	3040	42	200
T/B	0.5	6250	97	20
RW/B	0.5	1080	22	20

2号炉	壁厚(m)	滞留水に接する 表面積(m ²)	建屋の南北長(m)	8E-6Bq/cm ³ となる経過年
R/B	1.5	3760	47	200 ^{*1}
T/B	0.55	8530	105	20 ^{*2}
RW/B	0.7	1510	23	40

3号炉	壁厚(m)	滞留水に接する 表面積(m ²)	建屋の南北長(m)	8E-6Bq/cm ³ となる経過年
R/B	1.5	3840	47	200 ^{*1}
T/B	0.7	9800	128	40
RW/B	0.7	2050	23	40

4号炉	壁厚(m)	滞留水に接する 表面積(m ²)	建屋の南北長(m)	8E-6Bq/cm ³ となる経過年
R/B	1.5	3840	47	200 ^{*1}
T/B	0.5	8410	106	20 ^{*1}
RW/B	0.7	2760	36	40

	壁厚(m)	滞留水に接する 表面積(m ²)	トレンチの南北長(m)	8E-6Bq/cm ³ となる経過年
2号炉トレンチ	0.4	1380	7	13
3号炉トレンチ	0.4	1180	6	13
4号炉トレンチ	0.35	1090	5	10

*1: 壁厚1.3mで評価

*2: 壁厚0.5mで評価

建屋等内に滞留する滞留水の増加抑制及び滞留水漏えいリスク低減にかかる方針

1 現状及び中期的見通し

現状、1～4号機の滞留水については、建屋内水位を地下水水位よりも低く管理し滞留水の系外流出を防止している。

滞留水の増加抑制及び拡散リスク低減を図るためには、今後、地下水位を管理し地下水の流入を抑制し滞留水の水位を下げタービン建屋、原子炉建屋、廃棄物処理建屋内にある滞留水を処理する必要がある。このため、地下水バイパス、トレンチ止水等の方策を検討する。

2 基本的対応方針及び中期的計画

滞留水の水位を維持するとともに、下記の基本的考え方に基づき、処理を継続していく。将来的には、水位低下に必要となる技術、工法の研究開発を進め、滞留水の減少を図っていく。

滞留水処理の基本的考え方

- ・ 現行水処理設備について、引き続き一部機器の設備改善などを行い、更なる信頼性向上を図るとともに、運転継続・延命化を行い、安定運転を維持する。
- ・ タービン建屋等の滞留水の水位が建屋周囲に設けられたサブドレン水位を上回らないように管理しつつ、サブドレン水位を低下させ、地下水流入量の抑制を図る。
- ・ 今後実施する研究開発成果に基づき滞留水量を減少させていくとともに、これに応じた循環ラインの段階的な縮小化等を検討していく。

中期的には、現行水処理設備の信頼性向上による運転継続、サブドレン水位の低下方法の検討・水位低下を進める。

今後の検討と対策

(1) 建屋等からの漏えい防止

1～4号機建屋内に滞留している高濃度放射性汚染水については、プロセス主建屋、高温焼却炉建屋に移送し、さらに、汚染水処理設備により放射性核種のセシウム及び塩分を除去して淡水を生成し、原子炉への注水に再使用している（循環注水冷却）。ただし、1～4号機の建屋内には地下水が流入しているため、高濃度放射性汚染水が系外に放出しないよう適切に建屋内水位を管理する必要がある。

建屋内の水位については、引き続き管理を継続していく。また、万一、水位が O.P. 4000 に到達するようなことになれば、高濃度放射性汚染水を高濃度滞留水

受タンク等に移送する措置を施す。さらに、滞留水の地下水への流出を防止するため、建屋内の水位をサブドレン水位より低く管理している。

万一、建屋内の水位がサブドレン水位より高くなった場合は、サブドレン水の放射能濃度を確認し、建屋内からサブドレンへの滞留水の流出の有無を確認する。また、当該建屋からプロセス主建屋、高温焼却炉建屋、高濃度滞留水受タンク等へ滞留水を移送することにより、当該建屋内の水位を早期に下げることとする。

今後、地下水の流入量を低減させるため、建屋山側の高台で地下水を揚水し、建屋周辺の地下水の水位を段階的に低下させる計画である（地下水バイパス）。

地下水バイパスの設備は、建屋山側で地下水を汲み上げる揚水井及びポンプ、汲み上げた地下水を一時的に貯留して水質を確認するタンク、地下水を移送するための配管等からなる。地下水バイパスの稼働にあたっては、段階的な稼働とモニタリングにより、水質及び地下水低下状況等を確認し、建屋内滞留水が建屋外に漏れ出さないように慎重な水位管理を実施していく。

(2) 止水・回収方法

①建屋に滞留する汚染水の止水・回収

汚染水の上流側に位置する原子炉建屋（格納容器下部を含む）を止水するためには、漏えい箇所を特定し、漏えい状況に応じた補修（止水）工法や装置を検討する必要がある。現在、漏えい箇所を調査・補修（止水）するための工法と遠隔操作装置を研究開発しているところである。今後、開発成果を活用して漏えい箇所の特定や漏えい状況の確認を行うとともに、補修（止水）工法や装置の開発成果をもって原子炉建屋（格納容器下部を含む）を補修（止水）する予定である。建屋内に滞留する汚染水については、水処理状況を踏まえつつ、原子炉建屋やタービン建屋等への地下水の流入を抑制するため建屋周辺の地下水位を低下させながら回収する。

地下水位を低下させるには、建屋周辺のサブドレン水を汲み上げる方法が有力であるが、一部のサブドレンピット内の水に僅かな汚染が確認されていることから、サブドレンピット内の溜まり水の浄化を行った後にサブドレン設備の復旧を順次実施する。

また、漏えい箇所の調査や止水のための工法・装置開発を進めつつ、建屋間の配管貫通部を対象とした止水工法・材料の検討も行っている。建屋間の配管貫通部からの漏水を模擬した大型試験装置を製作し、基礎試験で選定した止水材料を用いて止水試験を行い、効果を確認している。

なお、建屋内に滞留する汚染水を回収するまでの間、2、3号機立坑、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水の水位を制限値以下に維持し、原子炉建屋及びタービン建屋等の滞留水の水位についても周辺のサブドレン水の水位以下に維持するとともにサブドレン水の放射性物質濃度を監視していく。

②トレンチ等に滞留する汚染水の止水・回収

建屋内と同レベルの高濃度の汚染水が滞留していると想定される2号機、3号機並

びに4号機海水配管トレンチ等については、タービン建屋内の汚染水の水位よりもトレンチの接続高さが低いことから、トレンチ内の汚染水を回収しても、継続的にタービン建屋から汚染水が流入するため、現時点では、汚染水の回収は困難である。

このため、タービン建屋内の汚染水が回収され、海水配管トレンチ等への汚染水の再流入が無い状態になってから、海水配管トレンチ等の汚染水を回収することとしていたが、系外への流出リスクの低減の観点から、海水配管トレンチ等の汚染水の回収をできるだけ早期に実施できるように、タービン建屋と海水配管トレンチの接続部における止水の可能性について検討を進めるとともに、水処理状況等を踏まえ、可能なトレンチ等から順次、止水・回収を実施する予定である。

なお、海水配管トレンチ等から海へ汚染水が流出しないように、ピットの閉塞等の措置は既に実施しており、2、3号機立坑、プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋の滞留水の水位を制限値以下に維持し、原子炉建屋及びタービン建屋等の滞留水の水位についても周辺のサブドレン水の水位以下に維持するとともにサブドレン水の放射性物質濃度を監視していく。