

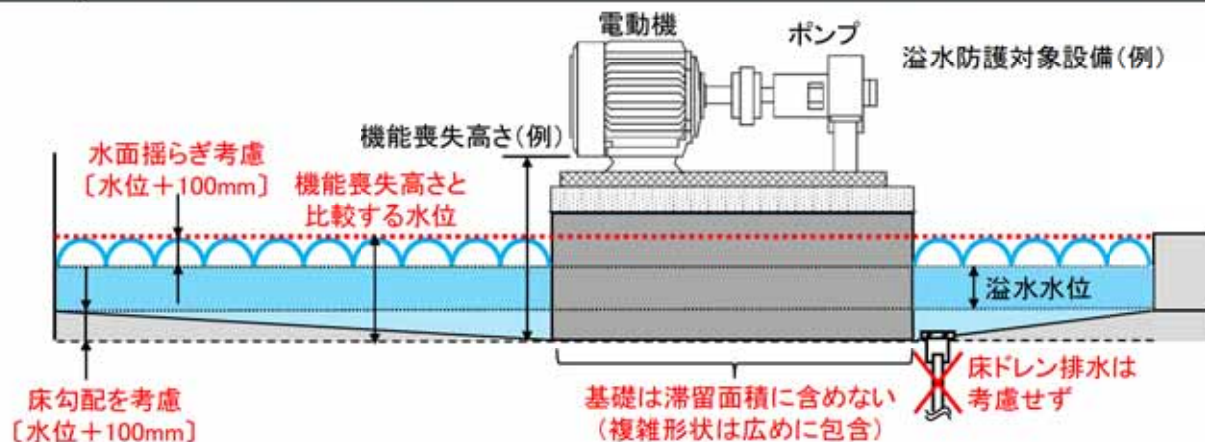
発生要因別に分類した溢水の想定に関する保守性について

【説明概要】

溢水の想定及び評価では、機器の偶発的な破損に伴う溢水、地震等の自然現象に伴う溢水、火災時消火活動等、種々の起因事象による溢水を想定し、溢水評価にて溢水発生時の実現象を十分包含するよう、溢水源、滞留面積、溢水水位等をそれぞれ保守的に扱っている。

○溢水の想定及び評価では、機器の偶発的な破損に伴う溢水、地震等の自然現象に伴う溢水、火災時消火活動等、種々の起因事象による溢水を想定し、溢水評価にて溢水発生時の実現象を十分包含するよう、溢水源、滞留面積、溢水水位等をそれぞれ保守的に扱っている。〈別紙参照〉

項目	溢水想定・評価における主な保守性
①想定破損による溢水(溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水)	
溢水源	・溢水源となる系統の 保有水量は1.1倍 とする。
滞留面積	・溢水した水位の算出に用いる床の滞留面積には、 機器の基礎等の占有面積は含めない 。 ・評価で用いる 床の滞留面積は0.7倍 とする。
溢水水位	・床ドレンによる排水が期待できる場合でも、 当該区画の溢水評価上は排水を考慮しない 。 (一方で、上層階からの流入の可能性がある場合は流入水を考慮する。) ・ 床勾配を考慮して最も高い場所を起点とする考えから、溢水水位を一律100mm上昇 (下図参照) ・ 水面の揺らぎを考慮し、溢水水位を一律100mm上昇 (下図参照) (溢水の流入状態や溢水源からの距離、人のアクセス等による一時的な水位変動)



没水による機能喪失
評価条件イメージ

項目	溢水想定・評価における主な保守性
②消火による溢水(発電所内の火災等の異常事態の拡大防止のため設置される系統からの放水による溢水)	
溢水源	・消火設備からの放水の想定として2箇所同時に3時間の連続放水(屋内;合計放水量約47m ³)を仮定しており、消防法上で要求される消火継続時間(20分間)に比べ長めの見積もりをしている。
滞留面積 溢水水位	・「①想定破損による溢水」と同様の保守性を考慮している。
③地震による溢水(地震に起因する機器の破損等により生じる溢水)	
溢水源	・耐震B, Cクラスで基準地震動Ssの地震力に対する耐震性が確認されていない系統を溢水源とし、内包する水の全量放出を仮定。この系統の保有水量は1.1倍とする。
滞留面積 溢水水位	・「①想定破損による溢水」と同様の保守性を考慮している。
④その他の溢水(地下水の流入, 降水, 屋外タンクの破損, 機器の誤作動や人的過誤による漏えい等)	
溢水源	<p>【地下水の流入, 降水】 ・建屋の止水措置により, 地下水は浸水防護区画に浸水しない。 ・想定する降水(雨水)強度は127.5mm/hであり構内排水路で排水可能</p> <p>【機器誤作動による漏えい】・前頁表「①想定破損による溢水」の溢水量で包含される。</p> <p>【人的過誤による漏えい】 ・漏えい検知システムによる早期検知・隔離対応が可能</p>
滞留面積 溢水水位	<p>【屋外タンクの破損の評価】</p> <p>・滞留面積として, 敷地高さの低いエリアへの流出を考慮しない。</p> <p>・水位評価として, 構内排水路への流入や地中への浸透は考慮しない。</p>

溢水源は、発生要因別に分類した以下の溢水を想定し、保守的な量にて評価を行う。

○溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等(以下「想定破損」という。)により生じる溢水

- ・配管は、内包する流体のエネルギーに応じて溢水評価ガイドに従い高エネルギー配管、低エネルギー配管の2種類に分類し、溢水評価ガイド附属書Aの規定による評価から、許容応力の状態に応じた破損形状を想定
- ・破損は、単一故障として評価
- ・漏水量は、配管の破損形状を考慮した流出流量に漏水箇所との隔離までに必要な時間を乗じて設定
(溢水量は想定する系統により異なるが、最大約380m³)

○発電所内で生じる異常事態(火災を含む)の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水

- ・自動作動するスプリンクラーは設置されていないことから、消火栓からの放水を考慮。ただし、ガス消火設備や消火器等を用いて消火活動を行うことを前提としている区画については、当該区画における放水を想定しない。
- ・消火設備等からの単位時間当たりの放水量(130L/min:屋内)と放水時間(一律3時間、2箇所同時放水)から溢水量を設定。(溢水量は火災時に消火を想定する各区画で同じ46.8m³)

○地震に起因する機器の破損等により生じる溢水

- ・水、蒸気、油等を内包する系統のうち、基準地震動Ssによる地震力に対する耐震性が確認されていない耐震B、Cクラスに属する系統を溢水源とし、内包する水の全量放出を想定
(原子炉棟内の全破損溢水量は約 520 m³ ⇒ 耐震補強により約125m³に低減)
- ・地震による使用済燃料プール等のスロッシングについても地震時の溢水として想定。
(溢水量は、約89m³ (通常運転中)、約247m³ (定期事業者検査中))

○その他の溢水

- ・地下水の流入、降水、屋外タンクの破損等に伴う漏えい等の地震以外の自然現象やその波及的影響に伴う溢水
- ・機器の誤作動や弁グランド部、配管フランジ部からの漏えい事象も考慮。(上記以外の少量漏えいを想定)
- ・人的過誤による漏えいを考慮

○没水の影響に対する評価及び対策方針(機能喪失高さの設定)

- ・発生した溢水による水位が、溢水の影響を受けて防護対象設備の安全機能を損なうおそれがある高さ(以下「機能喪失高さ」という。)が**最も低い設備を選定し、機能喪失高さ**と溢水水位を比較し水位が上回らない設計とする。その際、溢水の流入状態、溢水源からの距離、人のアクセス等による**一時的な水位変動を考慮した裕度を確保した設計とする**。また、**溢水源となるシステムの保有水量の算定にあたっては、10%の裕度を確保する**。
- ・水位の算出に用いる床の滞留面積は、**機器等の占有面積を除外し、更に30%の裕度を考慮して算出する**。

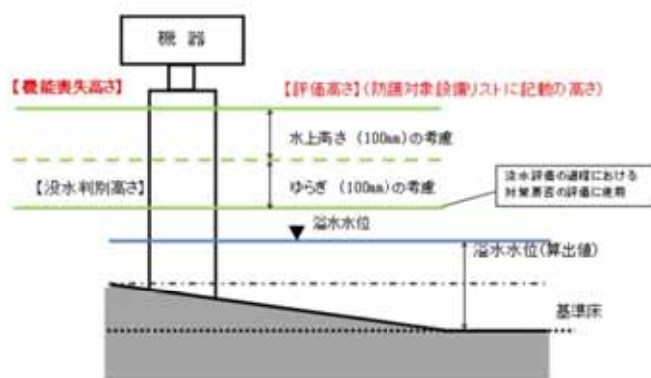


図1 内部溢水評価に用いる高さの関連図
(評価高さを機能喪失高さとする場合)

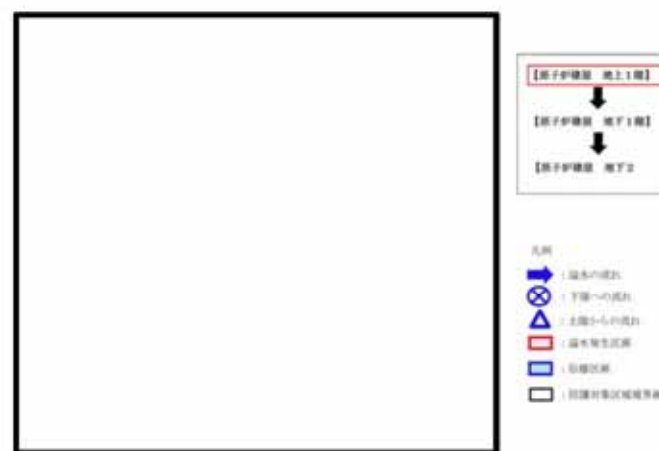


図2 溢水伝播経路概略図(例)

○被水の影響に対する評価及び対策方針

- ・溢水源からの直線軌道及び放物線軌道の飛散による被水、及び天井面の開口部若しくは貫通部からの被水の影響を受ける範囲内にある**防護対象設備が被水により有害な影響を生じないように、保護構造※を有する設計とする**。
- ・実機での被水試験等により確認した**保護カバーやパッキン等により、被水防護措置を実施**
 ※「JIS C 0920電気機械器具の外郭による保護等級(IPコード)」における第二特性数字4以上相当の保護等級

○蒸気の影響に対する評価及び対策方針

- ・防護対象設備の仕様(温度、湿度およびその継続時間等)と建設時に求めた蒸気漏えい発生時の環境条件を比較し、想定破損発生区画内での漏えい蒸気による防護対象設備への影響及び区画間を拡散する**漏えい蒸気による防護対象設備への影響が、蒸気曝露試験又は机上評価によって防護対象設備の健全性が確認されている条件(温度、湿度及び圧力)を超えない対策を行う**。

【論点No.70】

発生要因別に分類した溢水の想定に関する保守性について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

No.64

p2-3-9で想定する溢水について、溢水量や溢水が発生する場所等、具体的にどのぐらい保守的な想定となっているか。

溢水対策に係る防護対象機器の多重性, 多様性及び独立性について

【説明概要】

溢水対策では, 多重性又は多様性及び独立性を確保して設置した原子炉の安全停止に係る系統に対して, 一つの系統に溢水に伴う没水等による機能喪失を想定しても, もう片方の系統機能を維持可能とするように対策を施す。

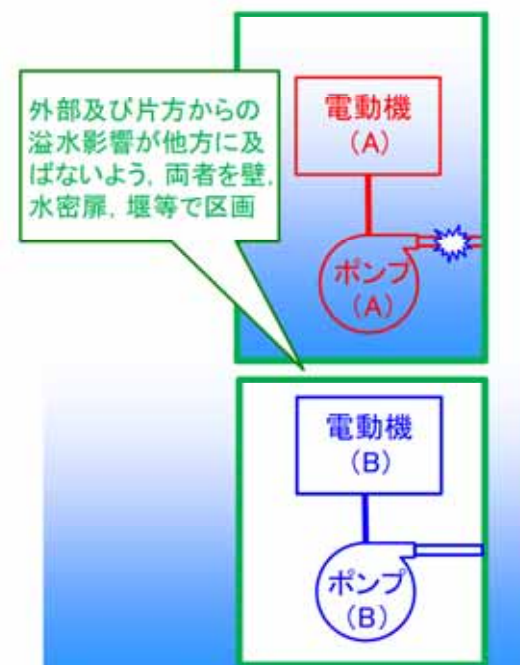
(1) 安全機能の多重性又は多様性及び独立性の確保

- 原子炉の安全確保に際して、**原子炉の高温及び冷温停止(原子炉の安全停止等)を達成・維持**するため要求される機能として、「**バウンダリの健全性**」、「**止める**」及び「**冷やす**」と、これらに「**関連する電源供給や計測制御**」の機能が必要であり、**それぞれの機能を確保するために必要となる系統について、多重性又は多様性及び独立性を確保して設置する。**
- 仮に、**多重化等を施した系統の1つが使用できない状態であっても、残りの系統により要求されている機能を確保可能とする。**

(2) 安全機能の考え方を踏まえた溢水防護対策 <別紙参照>

- (1)の安全機能確保の考え方を踏まえた溢水防護対策として、**溢水防護対象設備**を定め、それぞれに**溢水防護区画**を設定し、溢水が生じた場合でも**原子炉の安全停止等を確保できる**ようする。
 - ・**特定の区画で溢水が発生し、当該系統・設備の機能喪失を想定しても、多重化された系統が同時に機能喪失しないように溢水防護の観点から対策***を施すことで、**原子炉の安全停止等に必要なもう片方の系統機能を維持可能**とする。
 - ・**上記の防護対象として使用済燃料プールの冷却・給水機能も対象**

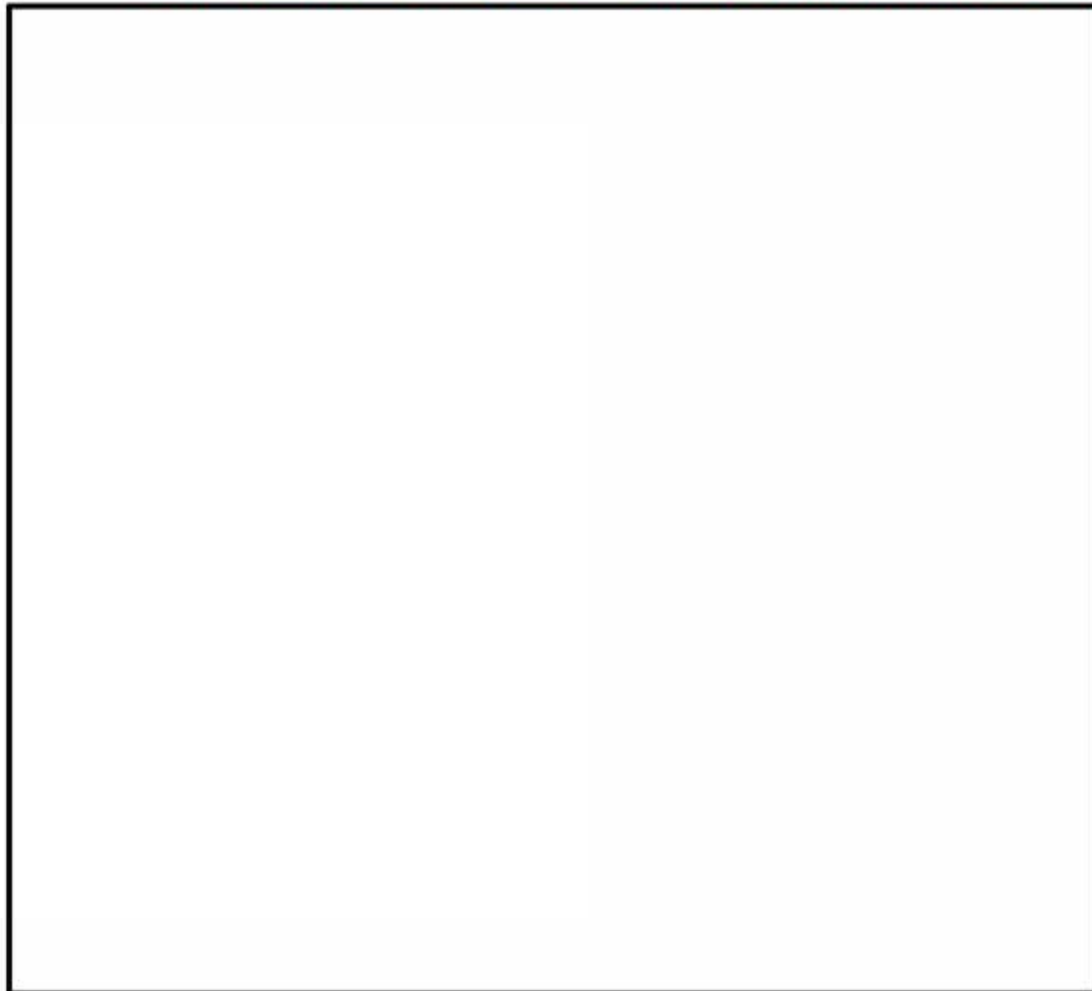
*溢水防護区画(壁, 水密扉, 堰の設置), 防滴仕様・蒸気耐性機器への取替, 等



同じ機能を有する
2系統のポンプ・電動機の
溢水防護対策イメージ

(3) 溢水防護対象設備と溢水防護区画の設定

- 溢水防護区画(壁, 堰, 扉, 階段等の段差又はそれらの組合せ)により他の区画と分離し, 溢水により多重化された溢水防護対象設備の機能が喪失しても, もう片方の系統機能を維持可能とする。
- 溢水防護区画は, **多重化・多様化した系統・設備毎にそれぞれ設定**。具体的な対策は以下参照



安全機能と溢水防護区画の対応(原子炉建屋地下2階)

機能	主な溢水防護区画	系統
電源供給機能	①非常用ディーゼル発電設備(2C) ②非常用ディーゼル発電設備(2D) ③高圧炉心スプレイ系(HPCS) ディーゼル発電設備	3
	④6.9kV電源盤(2C) -6.9kV電源盤(2D)(他階設置) ⑤6.9kV電源盤(HPCS)	3
原子炉注水機能	⑥原子炉隔離時冷却系ポンプ ⑦高圧炉心スプレイ系ポンプ ⑧低圧炉心スプレイ系ポンプ ⑨残留熱除去系ポンプ(A) ⑩残留熱除去系ポンプ(B) ⑪残留熱除去系ポンプ(C)	6
除熱機能	⑨残留熱除去系ポンプ(A) ⑩残留熱除去系ポンプ(B)	2

(4) 溢水評価における安全機能の確保の判定

- 溢水影響評価では溢水防護区画毎に溢水防護対象設備の没水等による機能喪失の有無を判定し、最終的に原子炉の安全停止等の達成に必要な安全機能が確保されていることを確認する。
- 安全機能の判定は、原子炉の停止、注水、除熱等の機能毎に設定した以下の判定基準を用いる。

評価対象	原子炉施設																		
安全機能	緊急停止機能		未臨界維持機能				高温停止機能						原子炉隔離時注水機能		手動逃がし機能				
機能判定	*1		*1				*1						*1		*1				
主たる系統	水圧制御ユニット (HCU)		水圧制御ユニット (HCU)		ほう酸水注入系 (SLC)		自動減圧系 (ADS)	残留熱除去系 (RHR)	低圧炉心スプレイ系 (LPCS)	自動減圧系 (ADS)	残留熱除去系 (RHR)	高圧炉心スプレイ系 (HPCS)	原子炉隔離時冷却系 (RCIC)	高圧炉心スプレイ系 (HPCS)	逃がし安全弁 (SRV)	自動減圧系 (ADS)			
系列 (安全区分)	— (I系)	— (II系)	— (I系)	— (II系)	A系 (I系)	B系 (II系)	A系 (I系)	A系 (I系)	— (I系)	B系 (II系)	B系 (II系)	C系 (II系)	— (III系)	— (I系)	— (III系)	— (I・II系)	A系 (I系)	B系 (II系)	
系列の判定	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*	*2	*2	*2	
安全機能の維持	機能維持 HCU(I) and HCU(II)		機能維持 [HCU(I) and HCU(II)] or [SLC(A) and SLC(B)]				機能維持 ADS(A) and [RHR(A) or LPCS]			機能維持 ADS(B) and [RHR(B) or RHR(C)]			機能維持 HPCS	機能維持 RCIC or HPCS		機能維持 SRV(I・II) or ADS(A) or ADS(B)			
機能維持 2区分以上																			

評価対象	原子炉施設										使用済燃料プール						中央制御室		
安全機能	冷温停止機能		閉じ込め機能				監視機能				冷却機能				給水機能		中央制御室換気機能		
機能判定	*1		*1				*1				*1				*1		*1		
主たる系統	残留熱除去系 (RHR)		隔離弁機能 (PCIS)		非常用ガス処理系 非常用ガス再循環系 (FRVS-SGTS)		可燃性ガス濃度制御系 (FCS)		事故時計装系		燃料プール冷却浄化系 (FPC)		残留熱除去系 (RHR)		燃料プール補給水系 (CST)	残留熱除去系 (RHR)		中央制御室換気空調系 (MCR-HVAC)	
系列 (安全区分)	A系 (I系)	B系 (II系)	— (I系)	— (II系)	A系 (I系)	B系 (II系)	A系 (I系)	B系 (II系)	A系 (I系)	B系 (II系)	A系	B系	A系 (I系)	B系 (II系)	—	A系 (I系)	B系 (II系)	A系 (I系)	B系 (II系)
系列の判定	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2	*2
安全機能の維持	機能維持 RHR(A) or RHR(B)		機能維持 PCIS(I) or PCIS(II)		機能維持 FRVS-SGTS(A) or FRVS-SGTS(B)		機能維持 FCS(A) or FCS(B)		機能維持 A系 or B系		機能維持 FPC(A) or FPC(B) or RHR(A) or RHR(B)				機能維持 CST or RHR(A) or RHR(B)		機能維持 MCR-HVAC(A) or MCR-HVAC(B)		
機能維持 PCIS and FRVS-SGTS and FCS																			

*1: *2の判定結果より、最終的に機能判定がすべて○になることを確認する。
 *2: 各区画の溢水影響を評価し、系列毎に○又は×を判定する。

「溢水防護対象設備」を以下のとおり設定する。

○重要度の特に高い安全機能を有する系統がその安全機能を適切に維持するために必要な設備

- ・「重要度分類審査指針」より、「止める」「冷やす」「閉じ込める」に必要な構造物、系統及び機器を抽出

○使用済燃料プールの冷却・給水機能を適切に維持するために必要な設備

- ・燃料プール冷却浄化系、残留熱除去系を抽出

◆ 防護対象設備のうち溢水影響評価対象の選定

- ・上記で抽出した系統、設備について、図のフローに従い溢水影響評価の対象となる設備を抽出
- ・溢水影響評価の対象外とする考え方は表のとおり。

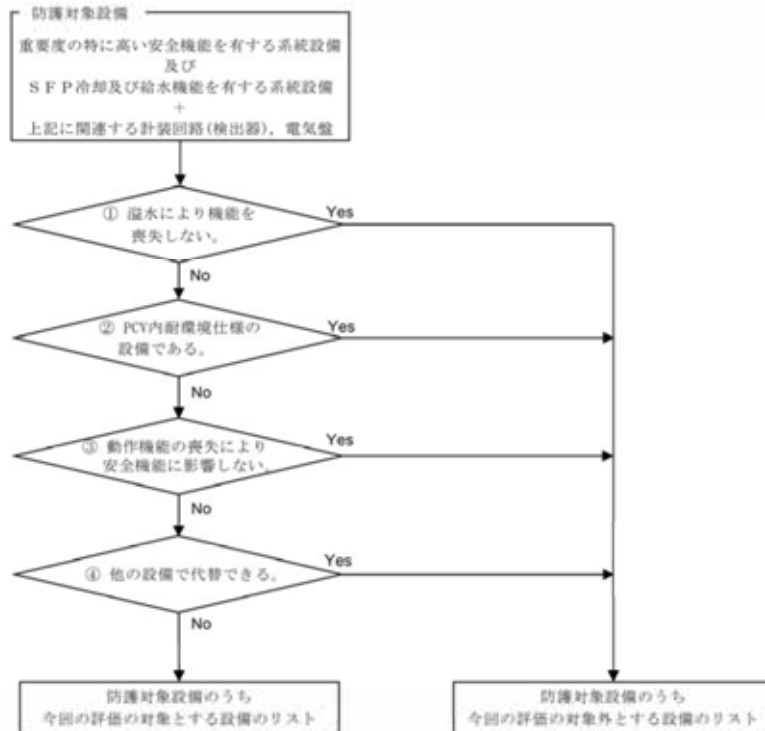


図 防護対象設備のうち溢水影響評価対象の選定フロー

表 溢水影響評価の対象外とする理由

各ステップの項目	理由
① 溢水により機能を喪失しない。	容器、熱交換器、ろ過塩析器、フィルタ、安全弁、逆止弁、配管等の静的機器は、構造が単純で外部からの動力の供給を必要としないことから、溢水により機能喪失はしない。
② PCV内耐環境仕様の設備である。	PCV内設備のうち、温度・圧力条件及び溢水影響を考慮した耐環境仕様の設備は、溢水により機能喪失しない。 なお、対象設備が耐環境仕様であることの確認は、メーカー試験等で行った事故時の環境条件を模擬した試験結果を確認することにより行う。
③ 動作機能の喪失により安全機能に影響しない。	機能要求のない電動弁及び状態が変わらず安全機能に影響しない電動弁等は、機能喪失しても安全機能に影響しない。
④ 他の設備で代替できる。	他の設備により要求機能が代替できる設備は、機能喪失しても安全機能に影響しない。

※フェイルセーフ設計となっている機器であっても、電磁弁、空気作動弁については、溢水による誤動作等防止の観点から安全側に防護対象設備に分類。

【溢水防護対象設備等の選定】

(1)「発電用軽水炉型原子力施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針」(以下「重要度分類審査指針」)に基づき、発電用原子炉施設において溢水が発生した場合に、原子炉の高温停止及び冷温停止を達成し維持するために必要な機能及び放射性物質の閉じ込めに必要な機能を抽出し、溢水による影響を考慮して、これらの機能に必要なポンプ、電動機、弁、計器等、およびこれらに関連する電源盤、制御盤等を抽出

◆ 原子炉の緊急停止機能や原子炉停止後の除熱機能及び放射性物質の閉じ込めに必要な機能として、これらを達成するために必要な系統等を抽出

原子炉の安全停止及び放射性物質の閉じ込めに必要な機能の抽出	安全停止及び放射性物質の閉じ込めに必要な機能を達成するための系統
原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	原子炉冷却材圧力バウンダリ
原子炉の緊急停止機能	原子炉停止系(制御棒及び制御棒駆動系(スクラム機能))
原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧防止機能	逃がし安全弁(安全弁機能) [※] ※:非常時に原子炉の圧力を下げるための安全弁
原子炉停止後の除熱機能 他	自動減圧系 ^{※1} , 逃がし安全弁(手動逃がし機能) ^{※2} ※1:原子炉水位低値等により逃がし安全弁を動作させ炉心の圧力を下げるための系統 ※2:逃がし安全弁を手動で動作させる機能
	原子炉隔離時冷却系 [※] ※:原子炉で発生した蒸気を駆動源として原子炉に外から注水する系統
	残留熱除去系(停止時冷却モード) [※] ※:原子炉から崩壊熱を除去し冷温停止させるための系統
	高圧炉心スプレイ系 [※] 他 ※:事故時に外から原子炉に注水する系統(非常用炉心冷却系の一部)
放射性物質の閉じ込め機能 他	原子炉格納容器
	非常用ガス処理系 [※] 他 ※:事故時に原子炉建屋の負任を維持し、放射性物質の拡散を防止する系統

(2)使用済燃料プールの冷却及びプールへの給水機能を維持するために必要な機能・系統

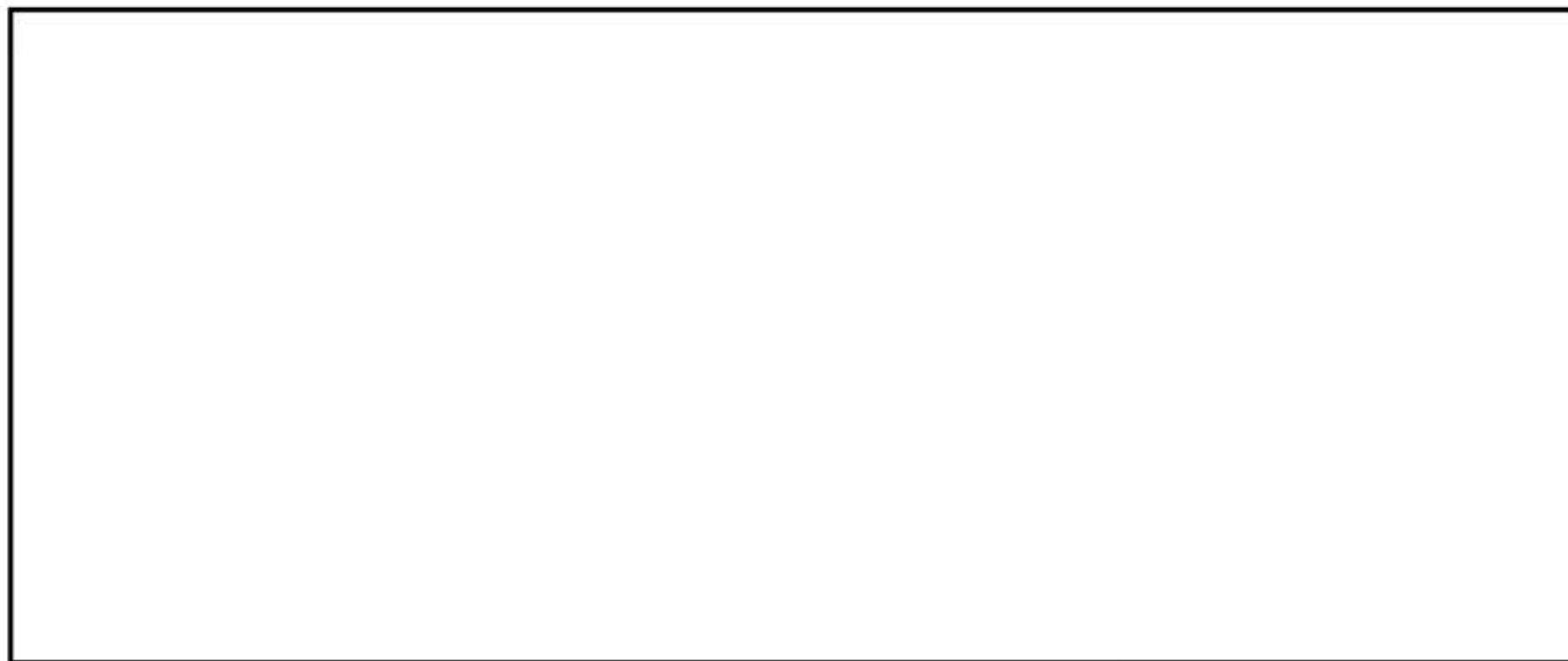
◆ 使用済燃料プールの冷却及び給水に必要な系統として残留熱除去系等を選定

使用済燃料プールの冷却及び給水に必要な機能の抽出	使用済燃料プールの冷却及び給水に必要な機能を達成するための系統
使用済燃料プールの冷却及び給水機能	燃料プール冷却浄化系
	残留熱除去系他

◆ 上記の防護対象設備が設置されている区域、区画を「評価エリア」として区分し、溢水影響評価を行い、多重化された系統が同時に機能を失うことなく、発電所の安全機能が維持できる設計であることを確認する。

◆ 地震時の評価については、同時に溢水防護対象機器の単一故障も想定して評価を実施する。

- 防護対象設備が設置され、浸水防護を行う建屋、区域等を耐津波設計において、「浸水防護区画」として設定し、基準津波の流入防止や地下水等の浸水防止対策を実施する。(内部溢水の評価においても、建屋外で発生する津波等の影響を防止する必要があることから同様の対策を実施する)
- 浸水防護区画を、以下の観点から「溢水防護区画」として区分する。
 - ・ 溢水防護対象設備が設置されている全ての区画、並びに中央制御室及び現場操作が必要な設備へのアクセス通路
 - ・ 溢水防護対象設備が設置されている区画で、壁、堰、扉、階段等の段差又はそれらの組合せによって他の区画と分離され、溢水防護の観点から1つの単位と考えられる区画



区域・区画区分図 (原子炉建屋 地下2階)
論点No.71-7

【論点No.71】

溢水対策に係る防護対象機器の多重性, 多様性及び独立性について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

No.65

溢水対策であるが、区画を水密化しているが、区画を決める方針というのは、機器のリダンダンシーを考慮して決めているのか。

①東日本大震災時の使用済燃料プールのスロッシングについて

【説明概要】

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震により東海第二発電所の使用済燃料プールはスロッシングが発生してプール水位は通常水位より20cm低下し、これは約25m³の水量に相当する。このスロッシングによっても、原子炉の安全停止への悪影響は生じていない。

②スロッシング周期の算定結果及び東海第二発電所敷地における地震動周期に係る検討結果について

【説明概要】

使用済燃料プールのスロッシングの1次固有周期は約4秒である。スロッシングによる溢水量の評価は汎用熱流体解析コードで使用済燃料プールを3次元でモデル化し、発電所で想定される基準地震動Ss8波でそれぞれ評価を行い、最も溢水量が多い結果を地震による溢水の評価に用いている。

1. 東北地方太平洋沖地震による使用済燃料プールスロッシング発生と冷却状況

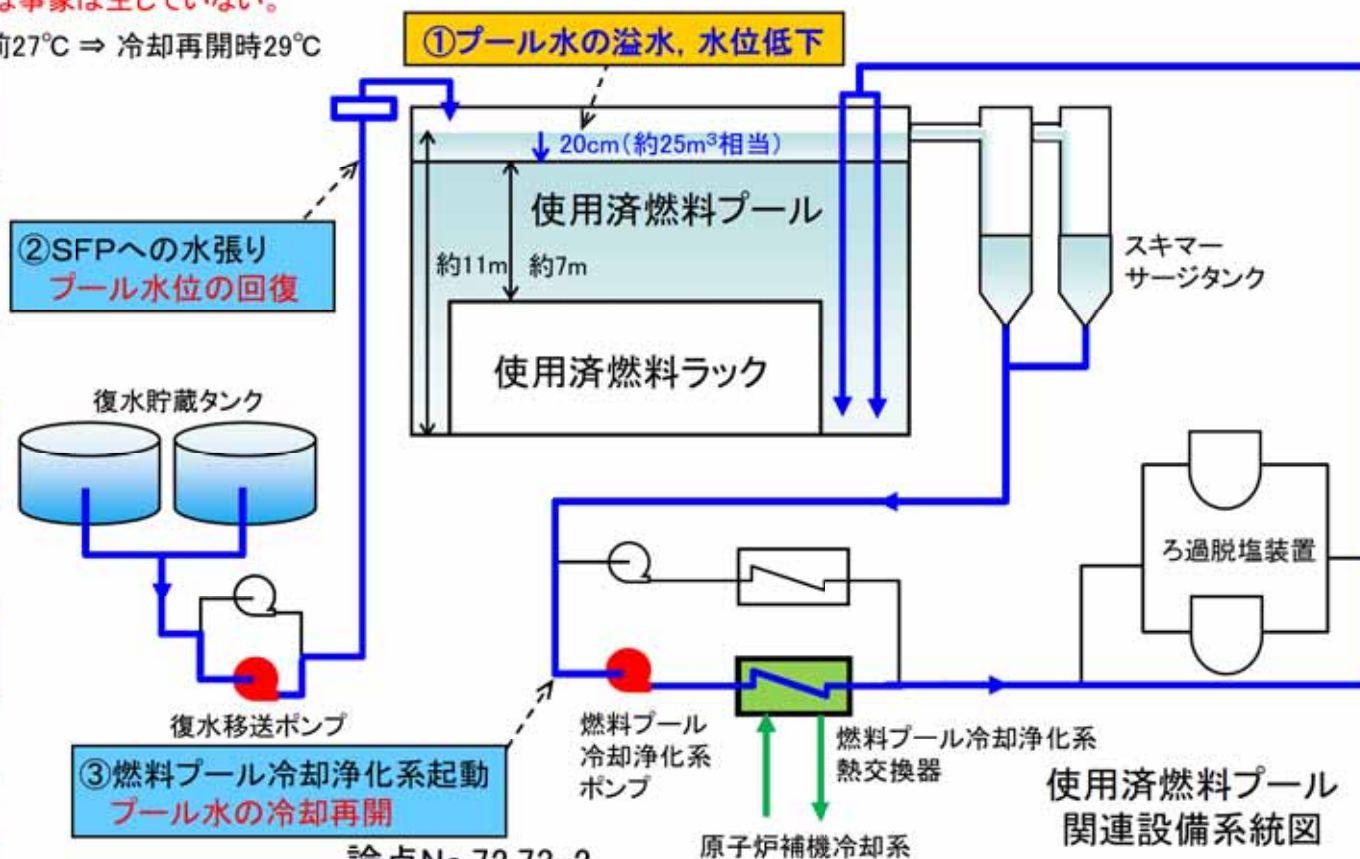
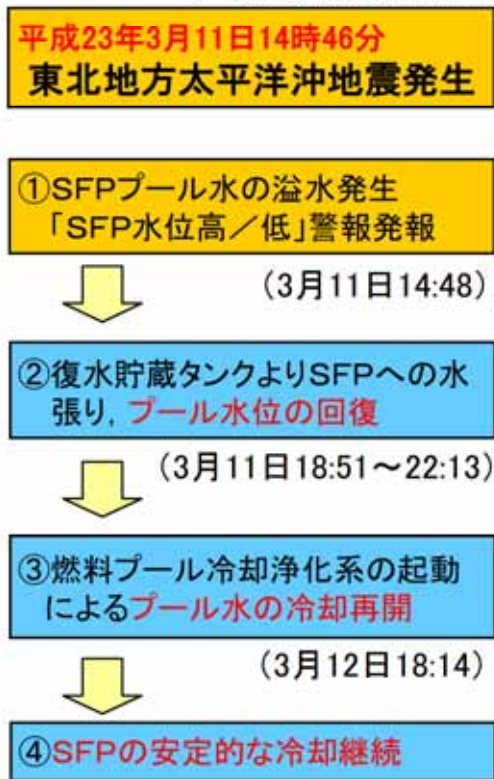


○東北地方太平洋沖地震発生以降の使用済燃料プール(以下「SFP」という。)の燃料体の冷却状況(2011/3/11～)

- ・地震によるSFPプール水スロッシング(揺動)による溢水発生, プール水位は通常水位より20cm低下(約25m³相当)*1
- ・外部の水源(復水貯蔵タンク)からSFPに水張りをを行い, プール水位の回復
- ・外部電源喪失で停止した燃料プール冷却浄化系を起動して, プール水の冷却再開*2
- ・SFPの水張り, 冷却用の設備の電源は, 非常用ディーゼル発電機(2C又は2D)からの給電で確保
- ・以上の対応により, SFPの安定的な冷却を継続

*1 「使用済燃料プール水位高/低」警報発報。この水位低下時も燃料頂部より約7mの水位が確保され, 燃料冠水や放射線遮蔽への影響はなし。原子炉建屋6階のSFP周りでスロッシングによる溢水が生じたが, 溢水は床ドレンファンネル等を流下し下階タンク等に収集され, 原子炉の安全停止に影響を与えるような事象は生じていない。

*2 プール水温度: 冷却停止前27℃ ⇒ 冷却再開時29℃



論点No.72,73-2

2. 使用済燃料プールのスロッシング周期及び発電所で想定する地震動の影響 (1/2)

(1) 使用済燃料プールのスロッシングの特性

- ・一般に**矩形水槽のスロッシングの固有振動数は下式**のとおり。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \tanh \left\{ \frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot H}{L} \right\}}$$

f_n : n次の固有振動数(Hz)

g : 重力加速度(9.8m/s²)

L : プールの幅(m)

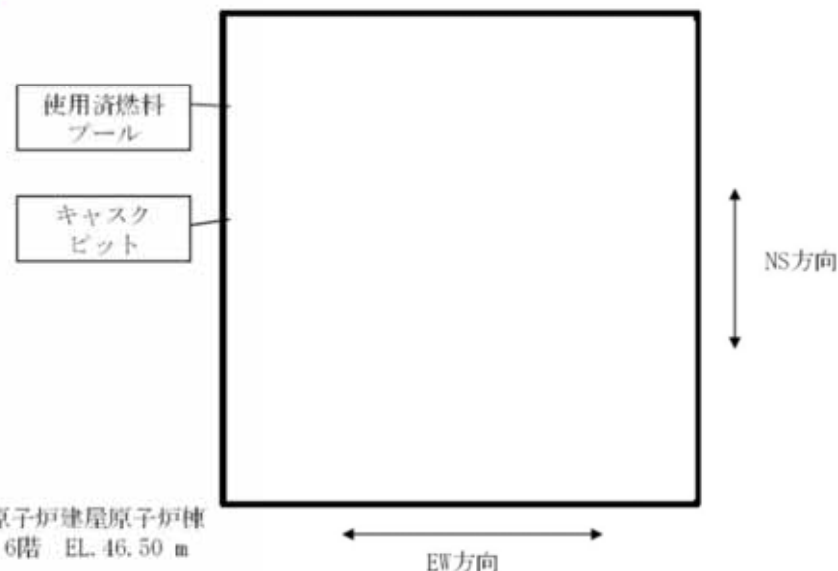
H : プールの深さ(m)

出典: 藤田勝久: タンクのスロッシング(その: 2矩形)タンク),
三菱振動マニュアル, 1976.7

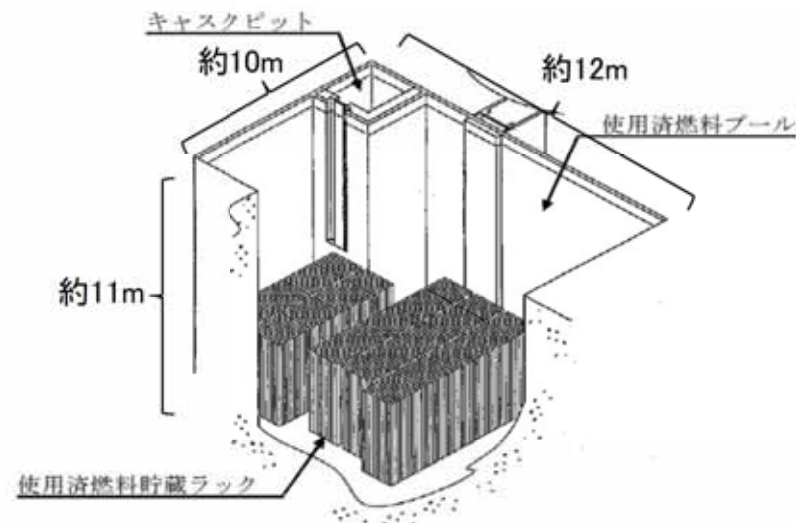
- ・東海第二発電所の使用済燃料プールは矩形水槽に該当する。使用済燃料プールの仕様より上式を用いてスロッシングの固有振動数・固有周期を求めると、**以下のとおり**となる。

プール大きさ	プール水深	固有振動数／固有周期*	
		1次	2次
約12m × 約10m	約11m	約0.25Hz／ 約3.9秒	約0.44Hz／ 約2.3秒

* 代表長さとしてプール長尺側(12m)で算出



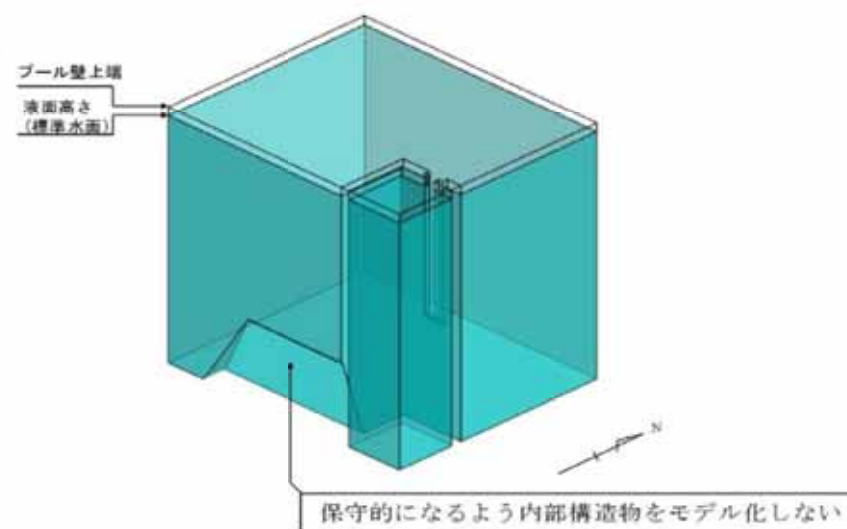
原子炉建屋原子炉棟
6階 EL. 46.50 m



(2) 基準地震動による使用済燃料プールのスロッシング評価 <別紙参照>

- ・東海第二発電所の使用済燃料プールのスロッシング評価は、汎用熱流体解析コードSTAR-CDを用いて使用済燃料プールを3次元でモデル化し、基準地震動 S_s による時々刻々の応答加速度を入力してプール水のスロッシングによる溢水量を3次元流動解析で評価している。
- ・基準地震動 S_s は東海第二発電所で起こり得る種々の地震を包含するよう8波を想定しているが、それぞれ周期や継続時間等の特性が異なり、スロッシングに最も影響する地震波を特定することは難しいため、すべての地震波のプールの応答加速度を用いてスロッシング評価を行った。
- ・各地震波による評価の結果、 S_s-13 で最もスロッシングによる溢水量が多くなる結果(81.49m^3)が得られた。この結果に基づき地震による溢水の評価を実施している。

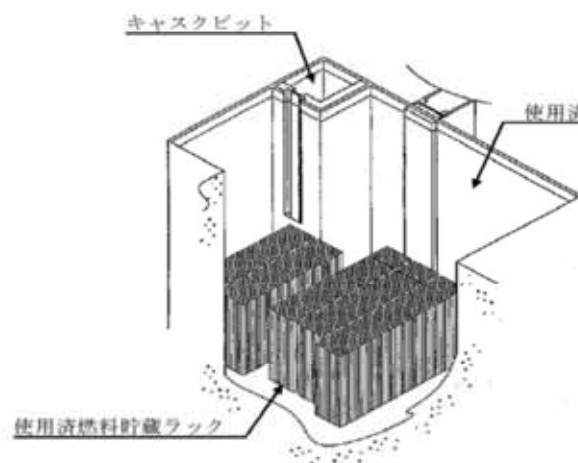
ケース名	入力地震動 (基準地震動)	スロッシングによる 溢水量(m^3)	地震による溢水 評価上の扱い
ケース1			最も溢水量が多い ケース4の 81.49m^3 に基づき、これに保 守性を考慮して1.1 倍した 89.64m^3 を地 震による溢水評価 に用いる。
ケース2			
ケース3			
ケース4			
ケース5			
ケース6			
ケース7			
ケース8			



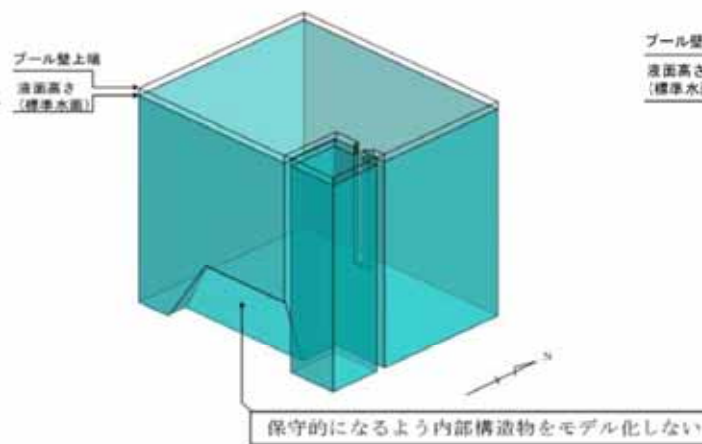
使用済燃料プールのモデル概要図

○使用済燃料プール溢水量の評価

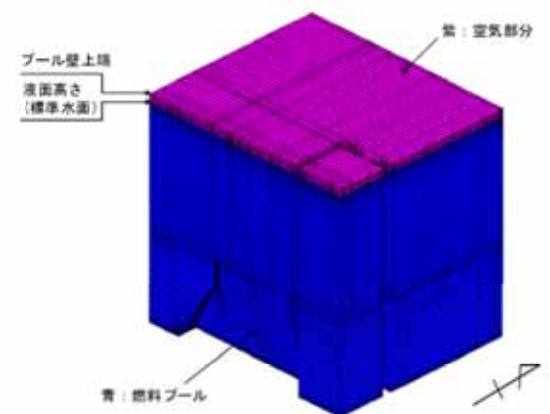
- ・基準地震動Ssにおけるスロッシングによる使用済燃料プール溢水時の水位を求め、プール冷却機能及び使用済燃料の遮蔽機能に必要な水位が確保されていることを、3次元流動解析により算定。



使用済燃料プール概要図



使用済燃料プールのモデル概要図



解析モデルメッシュ概要図

○使用済燃料プールの冷却機能及び遮蔽機能維持の確認

- ・基準地震動Ssによるスロッシングに伴う水位低下時も、**使用済燃料の遮蔽に必要な水位が維持されること及び冷却機能維持への影響はないことを確認**

使用済燃料プールの水位評価

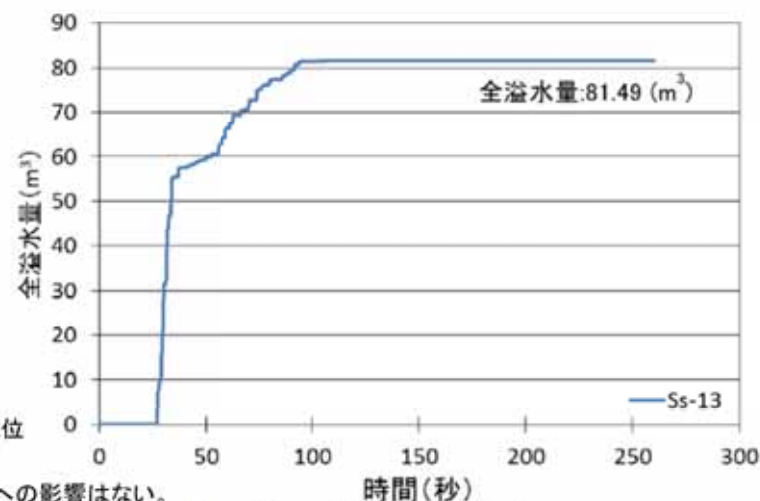
地震後の使用済燃料プール水位(m) ※1	遮蔽に必要な水位(m) ※2	循環に必要な水位(m) ※3
10.75 (EL.45.495)	10.45 (EL.45.195)	11.337 (EL.46.082)

※1 地震によるスロッシング水量分の水位低下を反映

※2 保安規定で定めた管理区域内における特別措置を講じる基準である線量率(≤1.0mSv/h)を満足する水位

※3 スキマサージタンクに流入するオーバーフローに必要な水位

一時的にオーバーフロー水位を下回るが、残留熱除去系による給水・冷却が可能であり、冷却機能維持への影響はない。

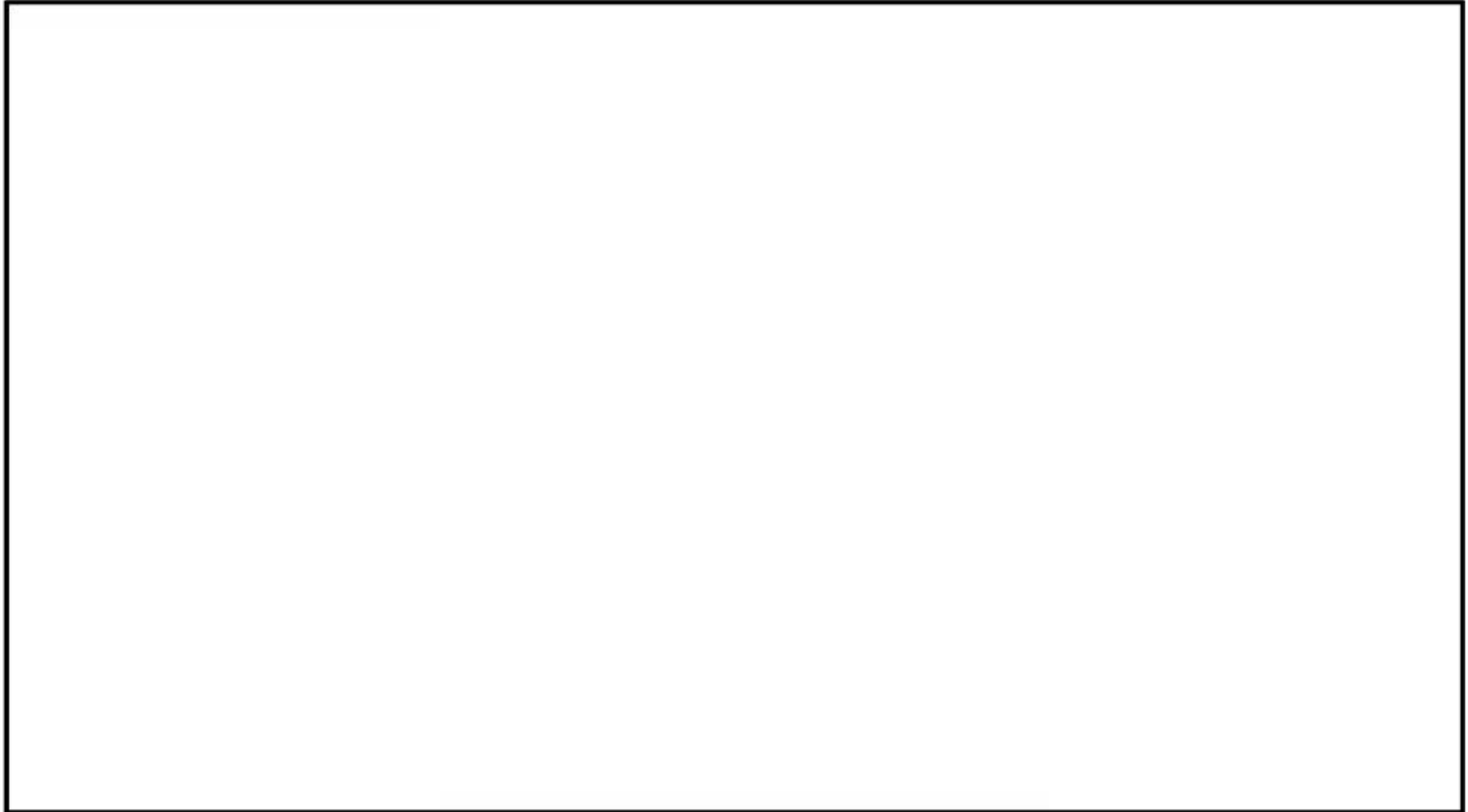


論点No.72,73-5

時間ごとの溢水量の変化(ケース4)

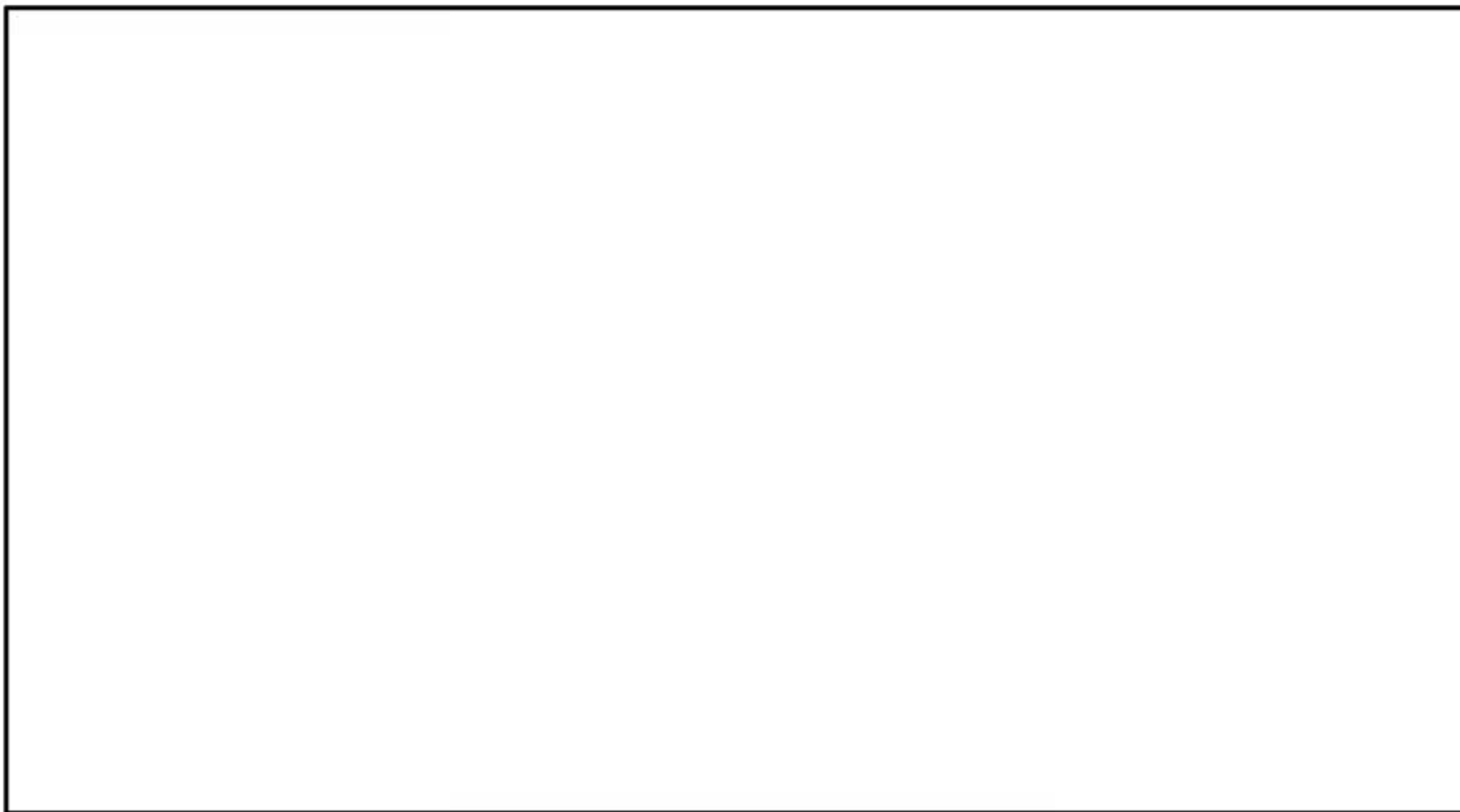
使用済燃料プールのスロッシング評価 (1/8)

OS_s-D1による応答加速度



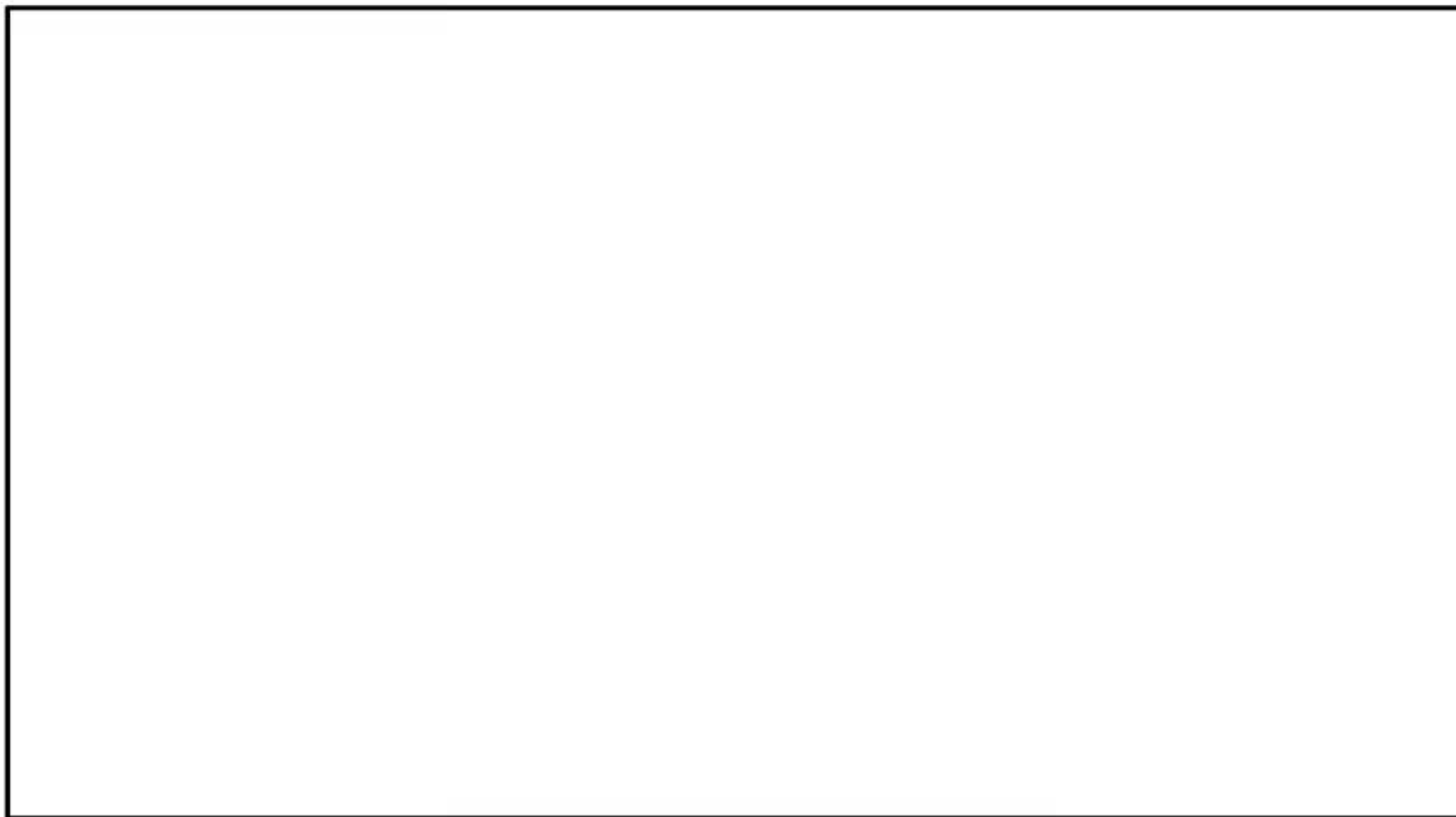
使用済燃料プールのスロッシング評価 (2/8)

OS_s-11による応答加速度



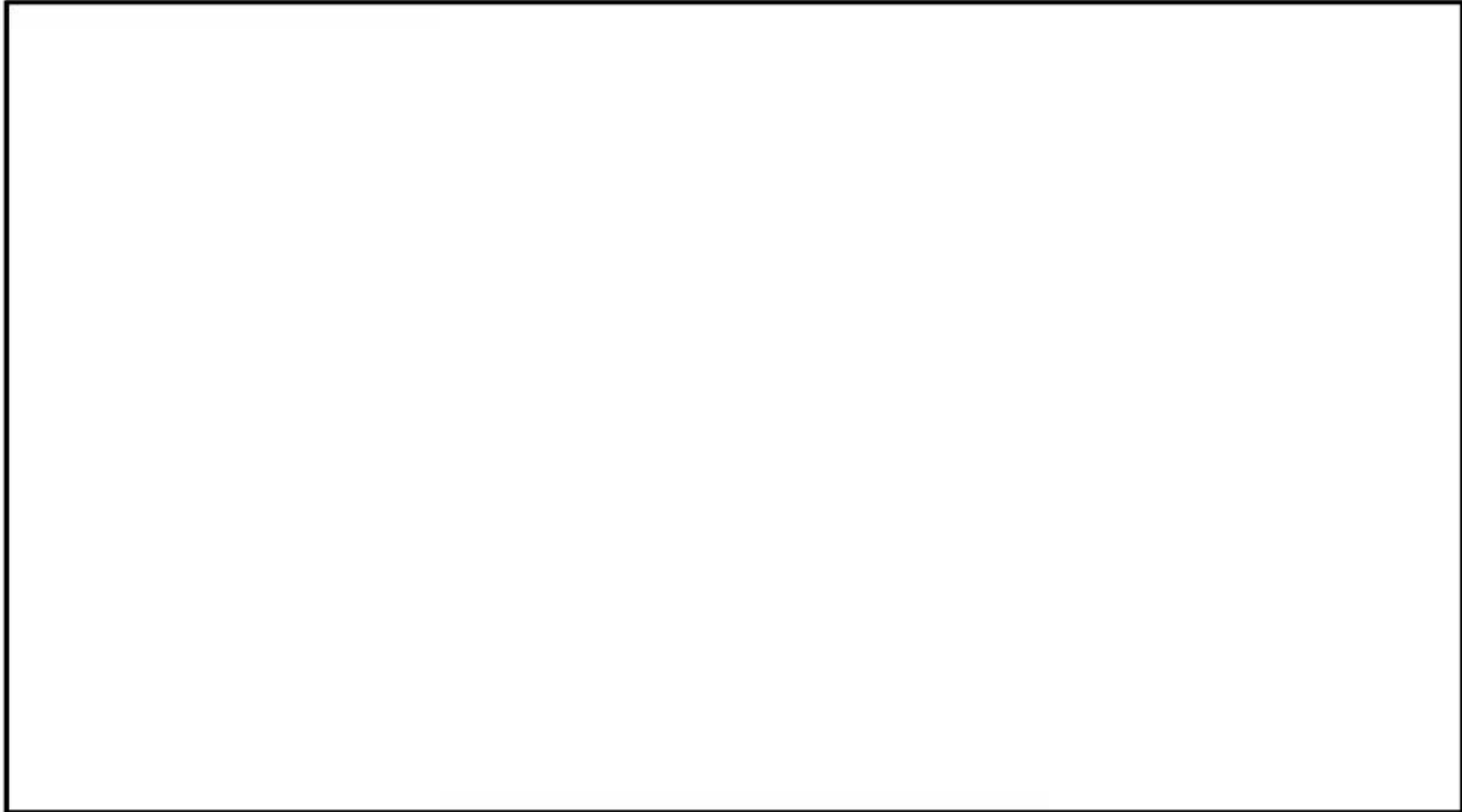
使用済燃料プールのスロッシング評価 (3/8)

OS_s-12による応答加速度



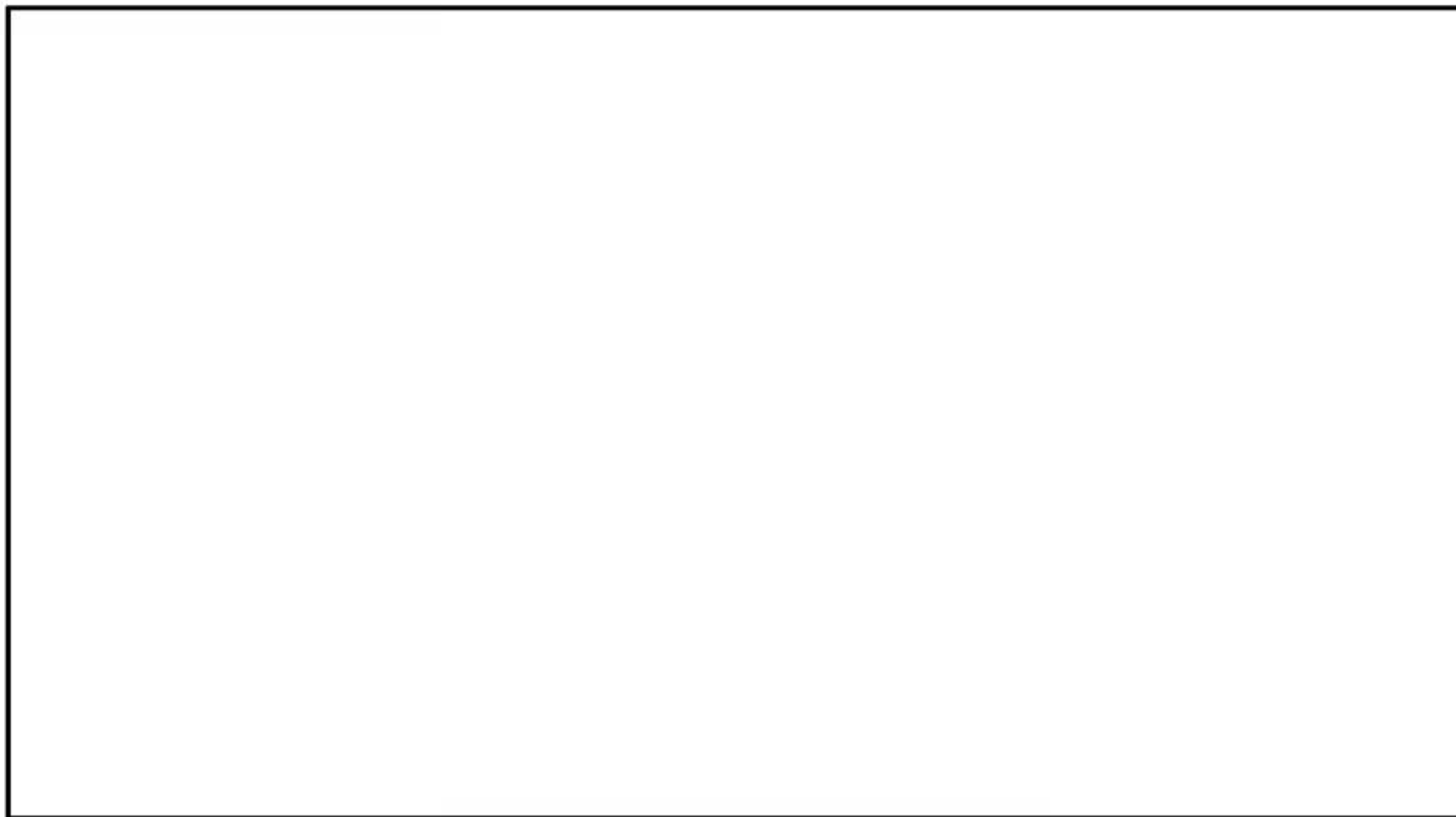
使用済燃料プールのスロッシング評価 (4/8)

OS_s-13による応答加速度



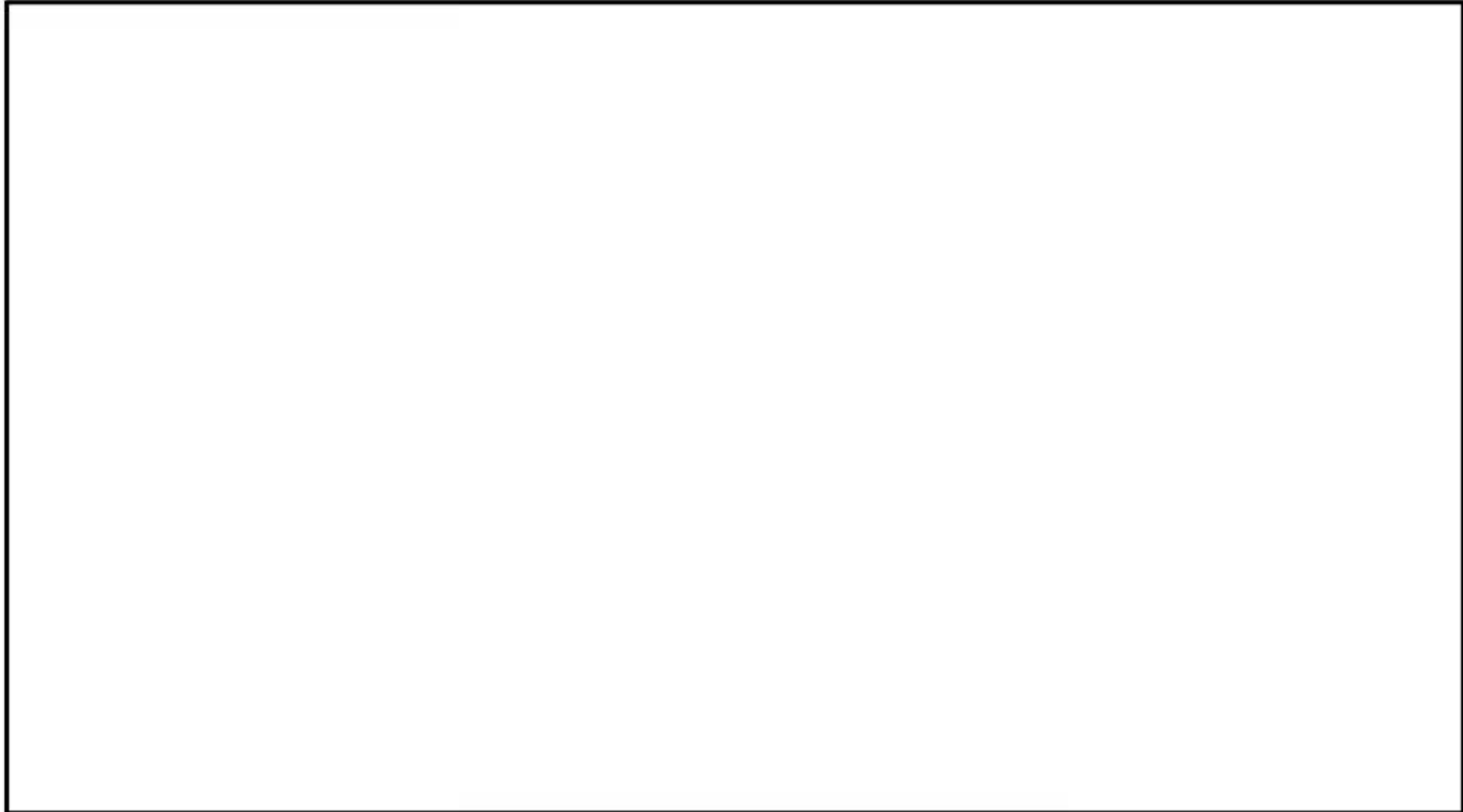
使用済燃料プールのスロッシング評価 (5/8)

OS_s-14による応答加速度



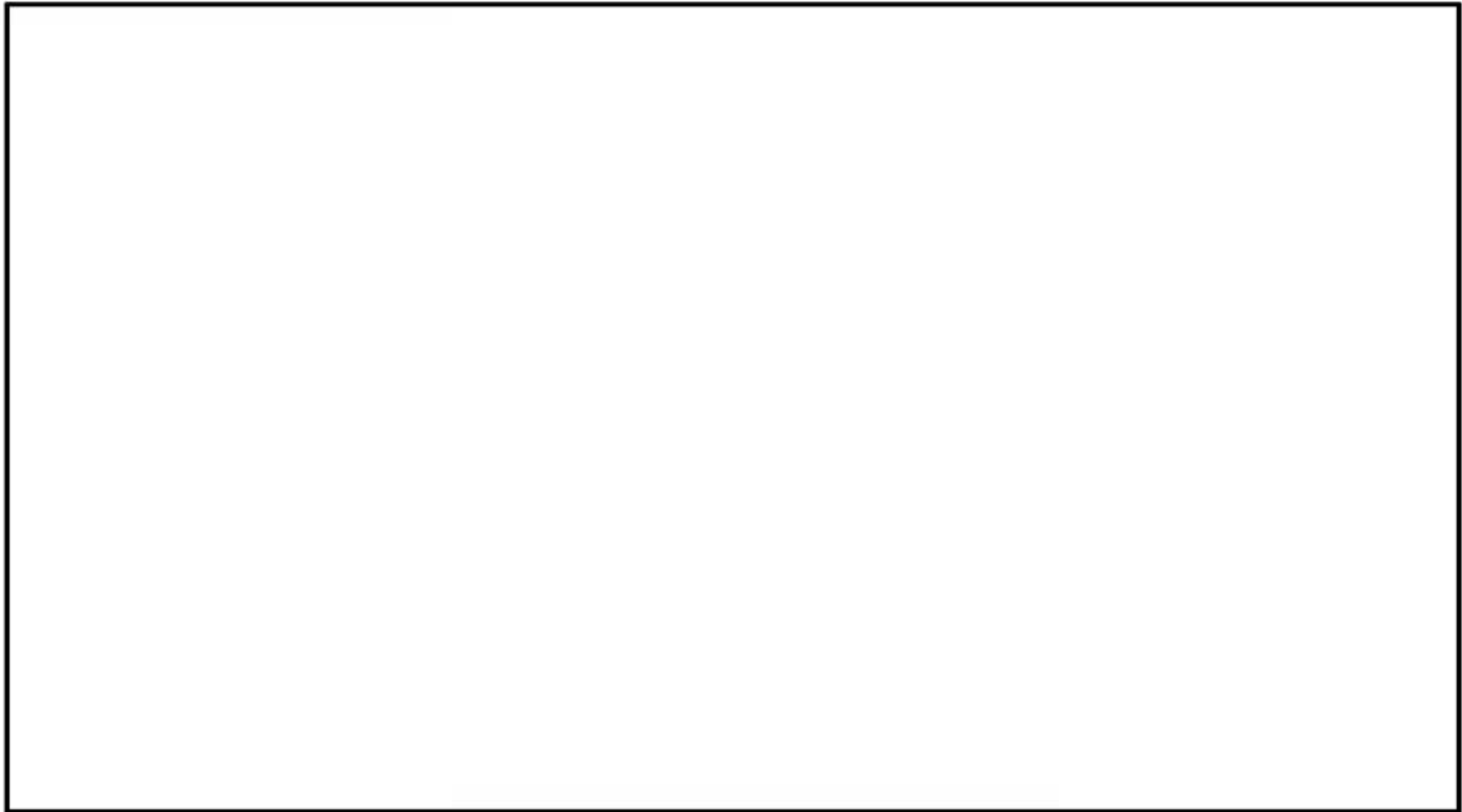
使用済燃料プールのスロッシング評価 (6/8)

OS_s-21による応答加速度



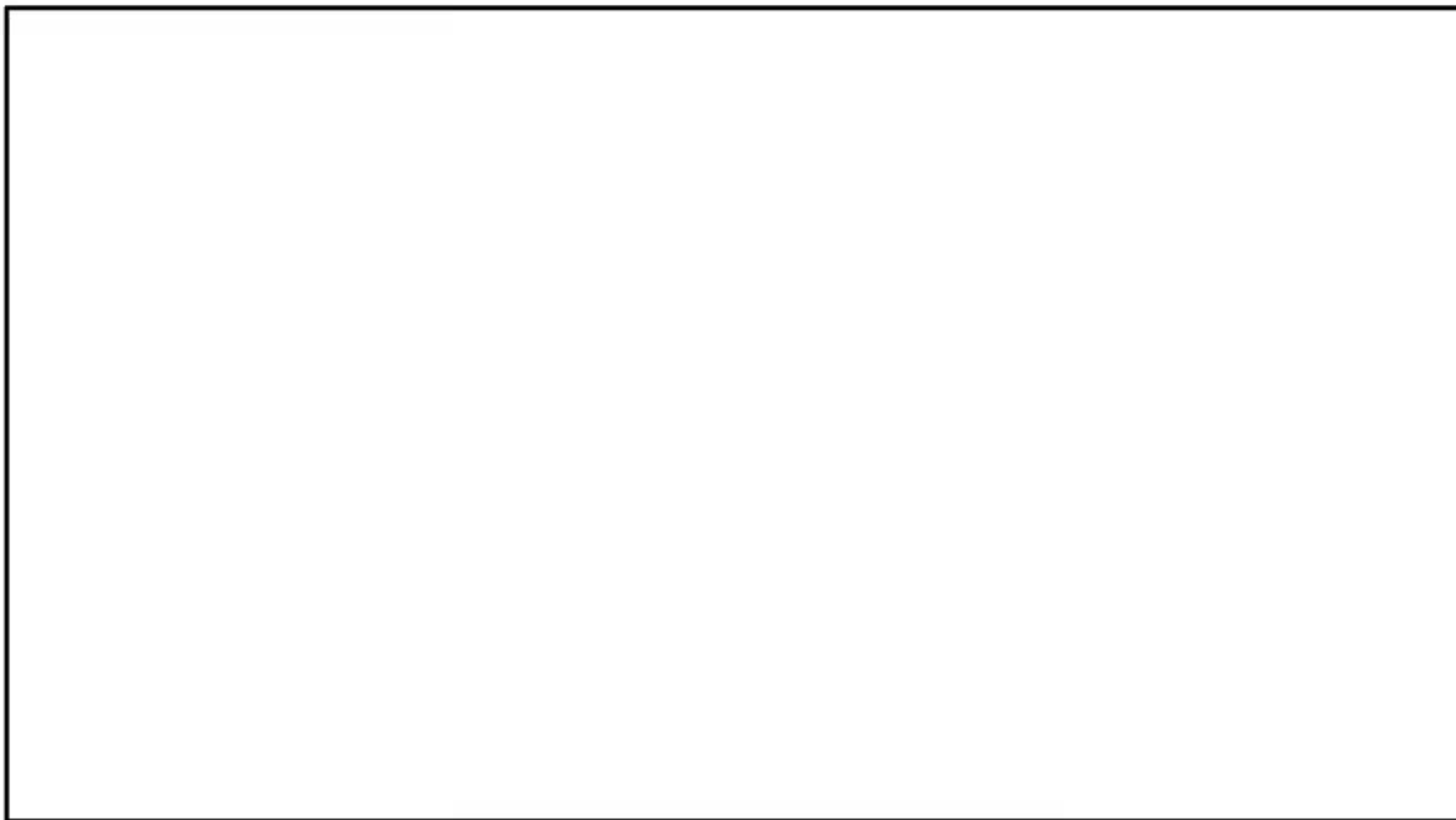
使用済燃料プールのスロッシング評価 (7/8)

OS_s-22による応答加速度



使用済燃料プールのスロッシング評価 (8/8)

OS_s-31による応答加速度



【論点No.72】

東日本大震災時の使用済燃料プールのスロッシングについて

【委員からの指摘事項等】

No.66

使用済燃料プールのスロッシングについて、平成23年3月11日の東日本大震災のときは、どの程度のスロッシングが生じたのか。

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

【論点No.73】

スロッシング周期の算定結果及び東海第二発電所敷地における地震動周期に係る検討結果について

【委員からの指摘事項等】

No.67

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

スロッシングの周期はどの程度か。東海第二発電所の地盤において、そのような周期の地震動は生じるのか。巨大地震でなくても発生する可能性があるため、慎重に検討する必要があると考える。

①使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水に対する具体的な対策について

【説明概要】

使用済燃料プール水面上部の空調ダクト閉鎖による流入防止対策に加え、堰、排水開口、閉止処置等で原子炉建屋6階の溢水の下層階への流下を制御する。通常運転中は溢水を建屋西側の区画に流下させ、定期事業者検査中はすべての開口部を閉止して下層階に流下させず溢水を各プールに戻す。

②使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水を階下に導く床ドレン配管等の溢水対策に係る設備の健全性確認結果及び健全性維持のための今後の対策について

【説明概要】

使用済燃料プールスロッシング等に係る各溢水対策の設備については、保安規定等に運用方法、点検計画等を定め、また、床ドレンファンネル及び床ドレン配管は定期的に通水試験を実施し、設備の健全性を確認していく。

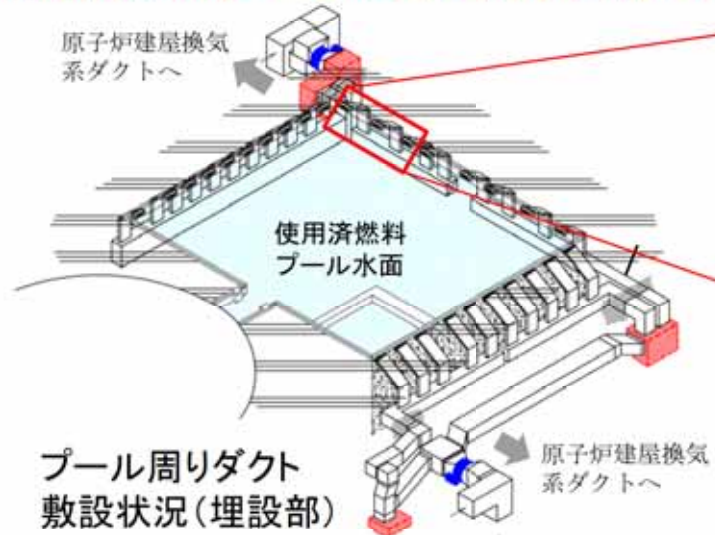
1. 使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水に対する主な対策 (1/2)



(1) 通常運転中のプラント状態の溢水対策

使用済燃料プールからのスロッシングによる溢水に対して、以下の対策を実施する。

①使用済燃料プール壁面上部の空調ダクトへの流入防止対策 <別紙1参照>



* 空調ダクト換気口の対策

- ・対策前: 通常開でスロッシング時には波圧で蓋が閉止する機構
- ・対策後: 閉止板により完全閉止

【対策内容】

- ・使用済燃料プール側の換気口を完全閉止
- ・原子炉建屋換気系への空調ダクト接続部を切離し、埋設ダクト出口側の躯体壁面へ閉止板を設置

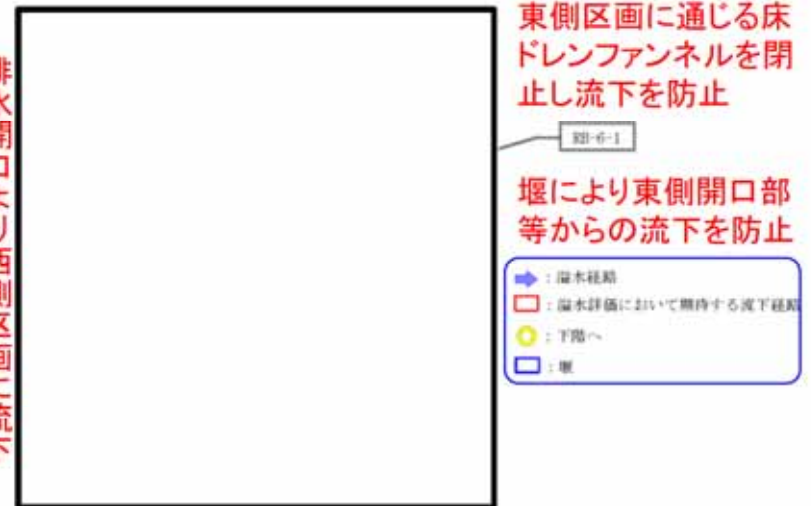
②原子炉建屋6階から下層階への流下対策* <別紙2参照>

- ・原子炉建屋東側区画に通じる開口部等に堰を設置
- ・原子炉建屋東側区画に通じる床ドレンファンネル閉止
- ・溢水は新設する排水開口より西側区画に流下

* 溢水を原子炉建屋の東側の区画に流下させない対策

原子炉建屋6階の使用済燃料プールのスロッシングによる溢水は、対策を実施しない場合、各所の床ドレンファンネル・配管、階段、床開口部等を経由して下階に流下し、最終的に建屋最下層の地下2階に滞留する。地下2階は東側の区画が比較的狭隘であり、溢水水位が高くなるため、上層階から東側区画への流下を抑制する。

排水開口より西側区画に流下



東側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止し流下を防止

堰により東側開口部等からの流下を防止

1. 使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水に対する主な対策 (2/2)

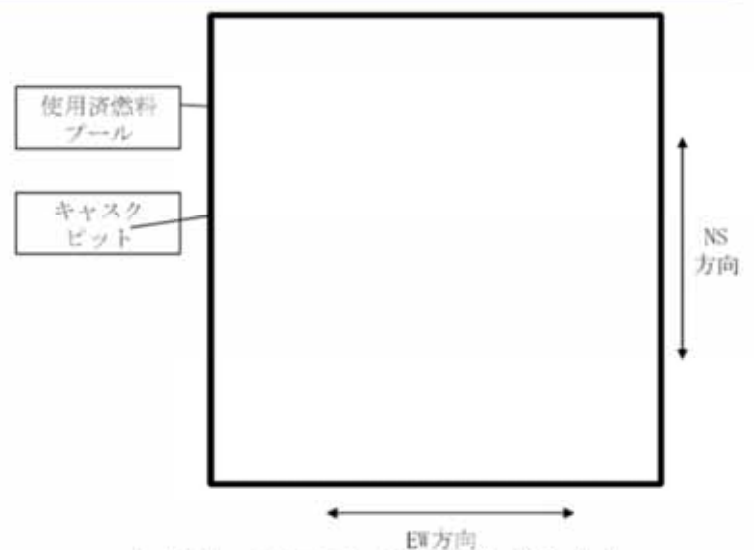


(2) 定期事業者検査中のプラント状態の対策<別紙3,4参照>

- 定期事業者検査中には、原子炉運転中と比べて原子炉建屋6階により多くの水プールが構成される時期がある。具体的には、原子炉圧力容器蓋の開放、圧力容器内部のドライヤ・セパレータの取り出し、燃料の取替等に際しては、**原子炉ウェル及びドライヤセパレータプールに水張りを行う。**
- このため使用済燃料プールに加え原子炉ウェル及びドライヤセパレータプールが水で満たされた状態でモデル化し、スロッシングの溢水量を3次元流動解析で評価した。
- 評価の結果、これらのスロッシングによる溢水量は合計で**約247m³**となり、**原子炉運転中のスロッシング溢水量(約81m³)**と比べて大幅に増加することを確認した。
- これより、原子炉建屋6階から下層階の溢水影響がより厳しくなることから、**原子炉運転中の対策に加えて定期事業者検査中の溢水対策***を以下のとおりとした。

- 原子炉建屋**西側区画に通じる床ドレンファンネル閉止**
- 原子炉建屋**西側区画に通じる排水開口(2箇所)閉止**
- 上記対策で溢水を**6階から流下させず各プールに戻す**

* 溢水を下層階に流下させない対策
 下層階へ溢水影響を及ぼさないよう、原子炉建屋6階から下層階への溢水伝播をすべて防止する。6階に滞留した溢水は、ほぼ全量が使用済燃料プール、原子炉ウェル及びドライヤセパレータプールへ流下して戻るため、原子炉建屋6階に滞留し続けることはない。



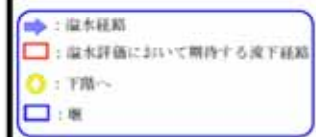
東海第二発電所 定期事業者検査中に有り得る使用済燃料プール等の状態概要図

西側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止し流下を防止

排水開口を閉止し流下を防止

東側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止し流下を防止

堰により東側開口部等からの流下を防止



論点No.74,75-3 溢水経路概要(原子炉建屋6階)

2. 溢水対策設備の運用方法, 点検計画, 健全性確認



(1) 溢水対策設備の運用方法, 点検計画等

＜別紙5参照＞

- ・1.に示したとおり, 使用済燃料プールのスロッシングに対する溢水対策設備は, 発電所の**通常運転中又は定期事業者検査中の状態**に応じて溢水対策を一部切り替える必要があるため, これらの**運用方法を保安規定に定め, 詳細を社内規程に記載して管理・運用していく。**

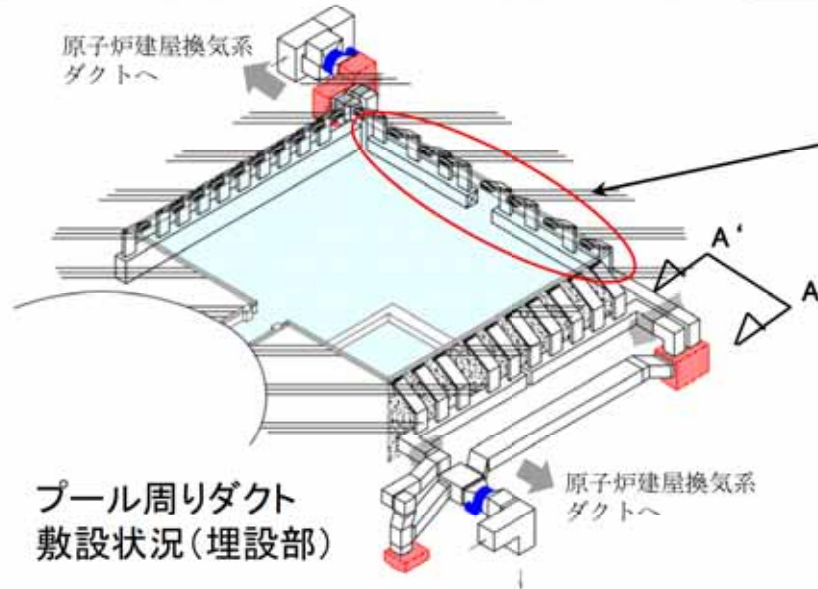
溢水対策設備	通常運転中	定期事業者検査中	運用方法の説明
①溢水拡大防止堰 (エレベータ等用)	設置	設置	プラントの状態に関わらず常時設置
②溢水拡大防止堰 (大物機器搬入口側)	設置/取外し	設置	使用済燃料輸送容器, 使用済燃料乾式貯蔵容器等を原子炉建屋6階に搬出入する際に干渉するため, 通常運転中に一時的に取外し
③残留熱除去系熱交換器 ハッチ止水板	*	*	* 殆どの期間はハッチを閉止して水密性を確保しているが, 熱交換器の補修作業等によるハッチ開放時(10年に1回程度)に限り, ハッチ周囲に止水板を設置
④床ドレンファンネル(主に西側) 排水開口	開運用	閉止運用	・通常運転中 : 開放し, 溢水の下階への排水を許容 ・定期事業者検査中 : 閉止し, 溢水の下階への排水を防止
⑤床ドレンファンネル(主に東側) (常時閉止)	閉止	閉止	プラントの状態に関わらず常時閉止。閉止板・モルタル等により完全閉止

(2) 床ドレンファンネル及び床ドレン配管の健全性確認

＜別紙5参照＞

- ・内部溢水評価では, 流入した区画の床ドレン配管からの排水に期待せず溢水水位を評価しており, その条件でも原子炉の高温停止及び冷温停止の達成が可能になるよう対処している。 ＜論点No.70, 71参照＞
- ・上記の評価上の取り扱いに関わらず, **開口部の閉止を行わず排水を考慮する床ドレンファンネル及びドレン配管については, 保安規定等で点検計画を定め, 年1回の通水試験を行い, 健全性の確認を行っていく。**
- ・また, 内部溢水事象静定後のプラント復旧作業に際しては, これらの床ドレン配管に閉塞が生じて溢水が滞留している場合も想定して, 排水ポンプ・仮設ホース等を配備して排水処理が行えるよう対応していく。

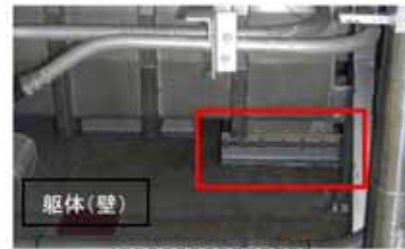
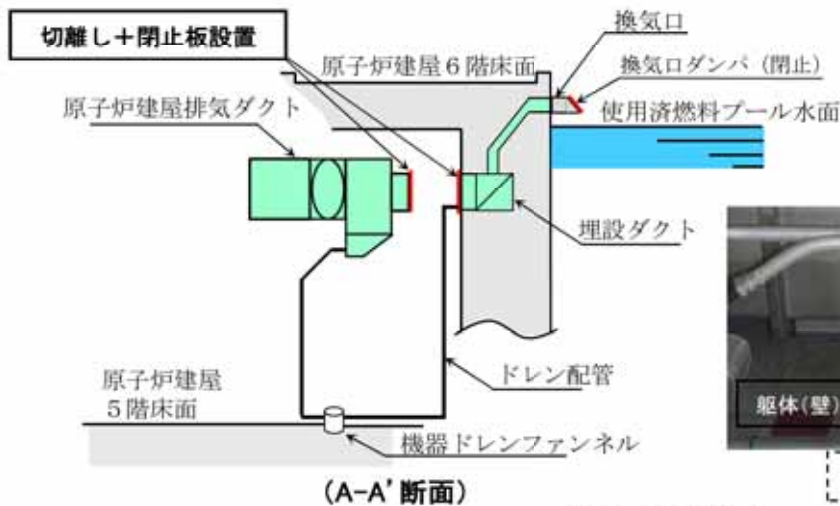
○スロッシングに起因する使用済燃料プール水のダクト流入による下層階等への溢水影響を防止



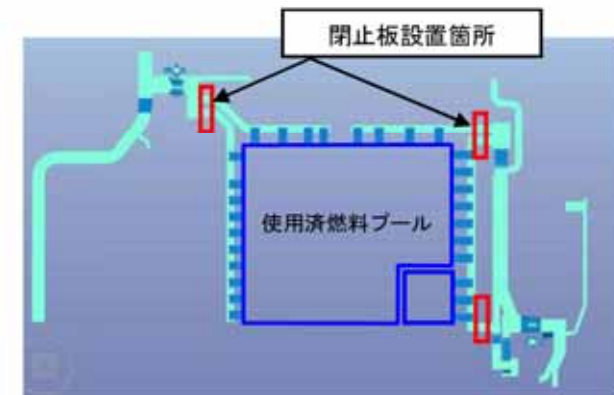
【対策内容】

- ・プール側換気口の閉止
- ・空調ダクトから切離し埋設ダクト出口側の躯体壁面へ閉止板を設置

プール側ダクト換気口(現状)



下から見た状況



ダクト敷設状況(平面図)

○スロッシングによる原子炉建屋6階から下層階への溢水の流下対策(通常運転中)*

- ・原子炉建屋東側区画に通じる開口部等に堰を設置する。
- ・原子炉建屋東側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止する。
- ・溢水は6階西側の新設する排水開口より西側区画に流下させる。

* 溢水を原子炉建屋の東側の区画に流下させない対策

原子炉建屋6階の使用済燃料プールのスロッシングによる溢水は、対策を実施しない場合、各所の床ドレンファンネル・配管、階段、床開口部等を経由して下階に流下し、最終的に建屋最下層の地下2階に滞留する。地下2階は東側の区画が比較的狭隘であり、溢水水位が高くなるため、上層階から東側区画への流下量を抑制する。

排水開口より西側区画に流下



東側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止し流下を防止

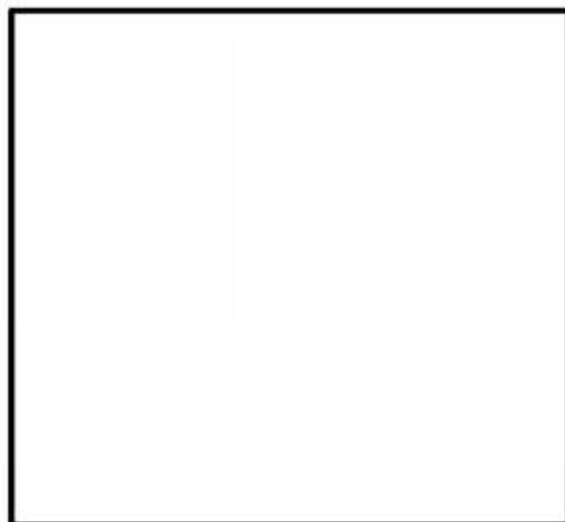
RB-6-1

堰により東側開口部等からの流下を防止

- ➡ : 溢水経路
- : 溢水評価において期待する流下経路
- : 下階へ
- : 堰

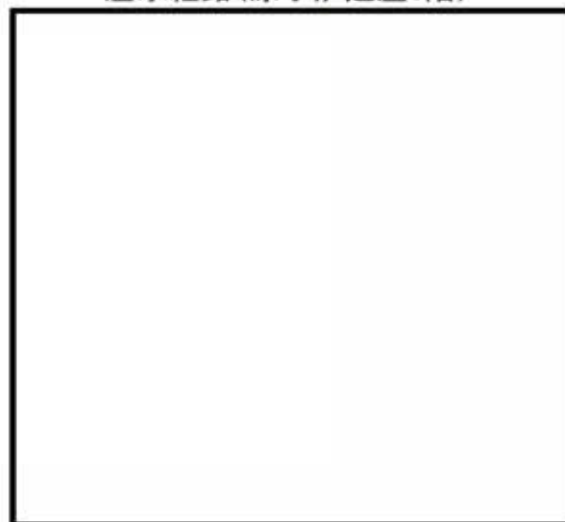
溢水経路(原子炉建屋6階)

地震による溢水
 ・溢水量 : 123.26m³
 ・溢水水位 : 0.64m
 (6階対策実施後)



溢水経路(原子炉建屋地下2階西側区画)

地震による溢水
 ・溢水量 : 0.5m³
 ・溢水水位 : 0.01m
 (6階対策実施後)

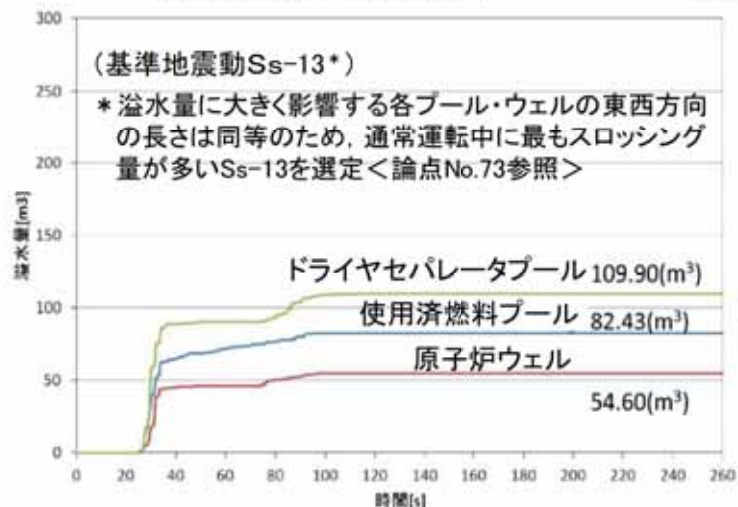
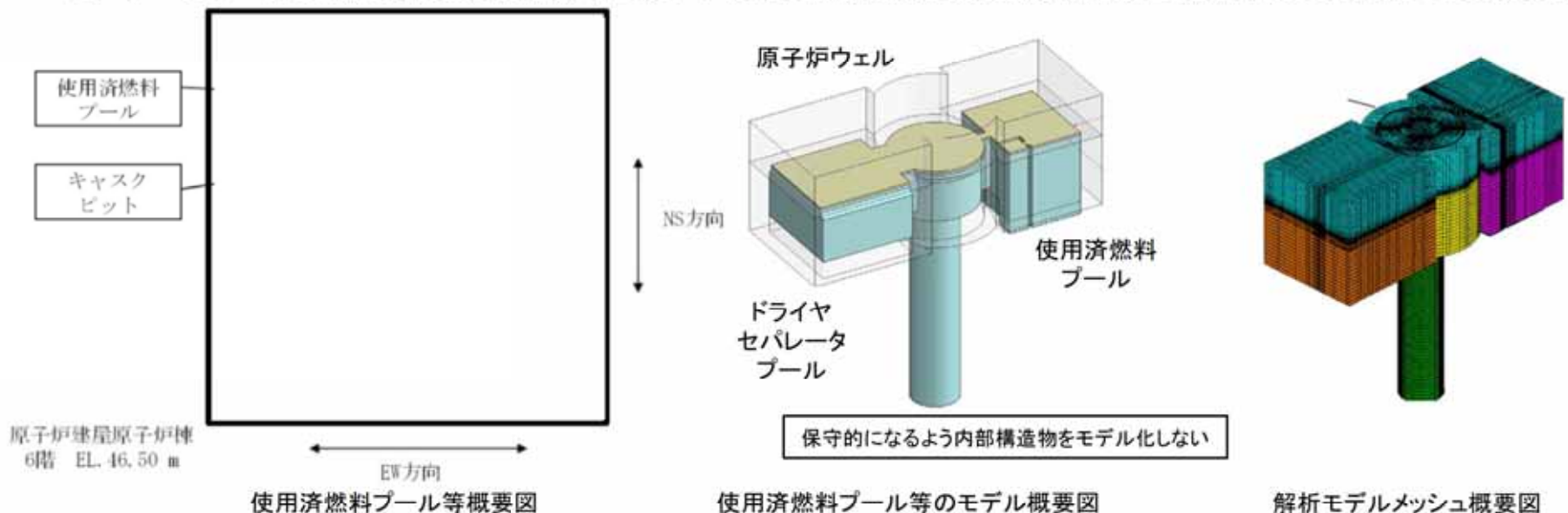


溢水経路(原子炉建屋地下2階東側区画)

- 凡例
- ➡ : 溢水の流れ
 - ⊗ : 下階への流れ
 - △ : 上層からの流れ
 - : 溢水発生区画
 - : 区画区画
 - : 防護対象区域境界線

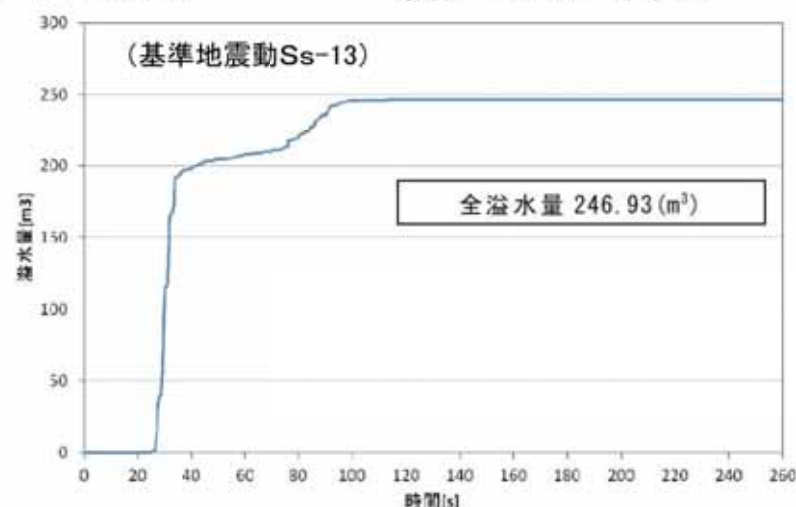
○定期事業者検査中の使用済燃料プール等のスロッシングによる溢水量の評価

・定期事業者検査中において、基準地震動 S_s によるスロッシングに伴う使用済燃料プール、原子炉ウェル及びドライヤセパレータプールの溢水量を求め、流下により下層階の溢水防護対象設備の安全機能を損なわないよう対策を行う。



時間ごとの溢水量の変化(各プール)

論点No.74,75-7



時間ごとの溢水量の変化(合計)

○スロッシングによる原子炉建屋6階から下層階への溢水の流下対策(定期事業者検査中)*

- ・原子炉建屋西側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止する。
- ・原子炉建屋西側区画に通じる排水開口(2箇所)を閉止する。
- ・上記の対策より溢水を6階から流下させず各プールに戻す。

* 溢水を下層階に流下させない対策

下層階へ溢水影響を及ぼさないよう、原子炉建屋6階から下層階への溢水伝播をすべて防止する。6階に滞留した溢水は、全量が使用済燃料プール、原子炉ウェル及びドライヤセパレータプールへ流下して戻るため、原子炉建屋6階に滞留し続けることはない。

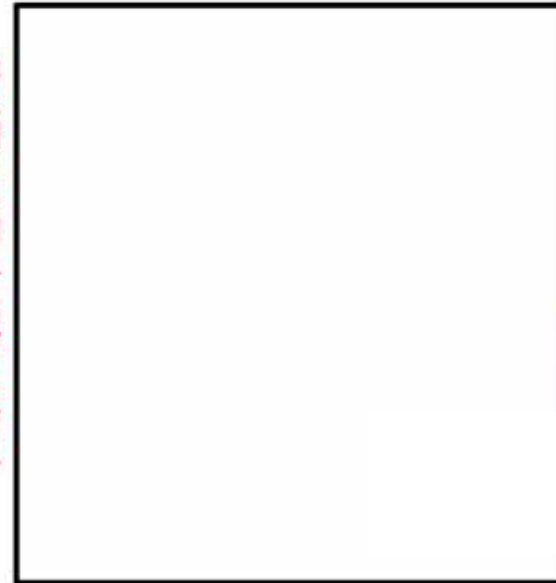
西側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止し流下を防止

排水開口を閉止し流下を防止

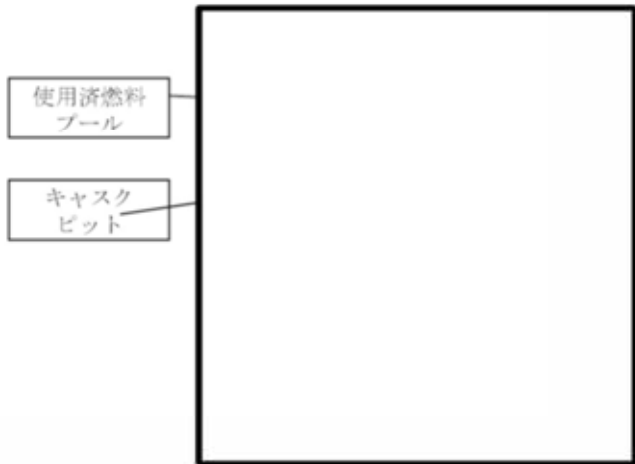
東側区画に通じる床ドレンファンネルを閉止し流下を防止

堰により東側開口部等からの流下を防止

- ➡ : 溢水経路
- : 溢水評価において期待する流下経路
- : 下階へ
- : 堰



溢水経路概要(原子炉建屋6階)

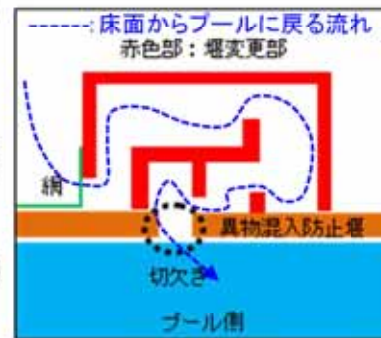


原子炉建屋6階の各プールの堰の高さ

異物混入防止堰有り (高さ10cm)

異物混入防止堰なし (床面からウェルに落水)

異物混入防止堰有り (高さ10cm)



異物混入防止堰の切欠き部処理(平面図)

- ・使用済燃料プールとドライヤセパレータプールには、床との境に10cm高さの縁石(異物混入防止堰)がある。
- ・床面の水位が10cm以下に低下しても溢水をプールにより戻り易くするため、異物混入防止堰に切欠きを設け、迷路構造と網を設置する。

使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水対策を図1に示す。

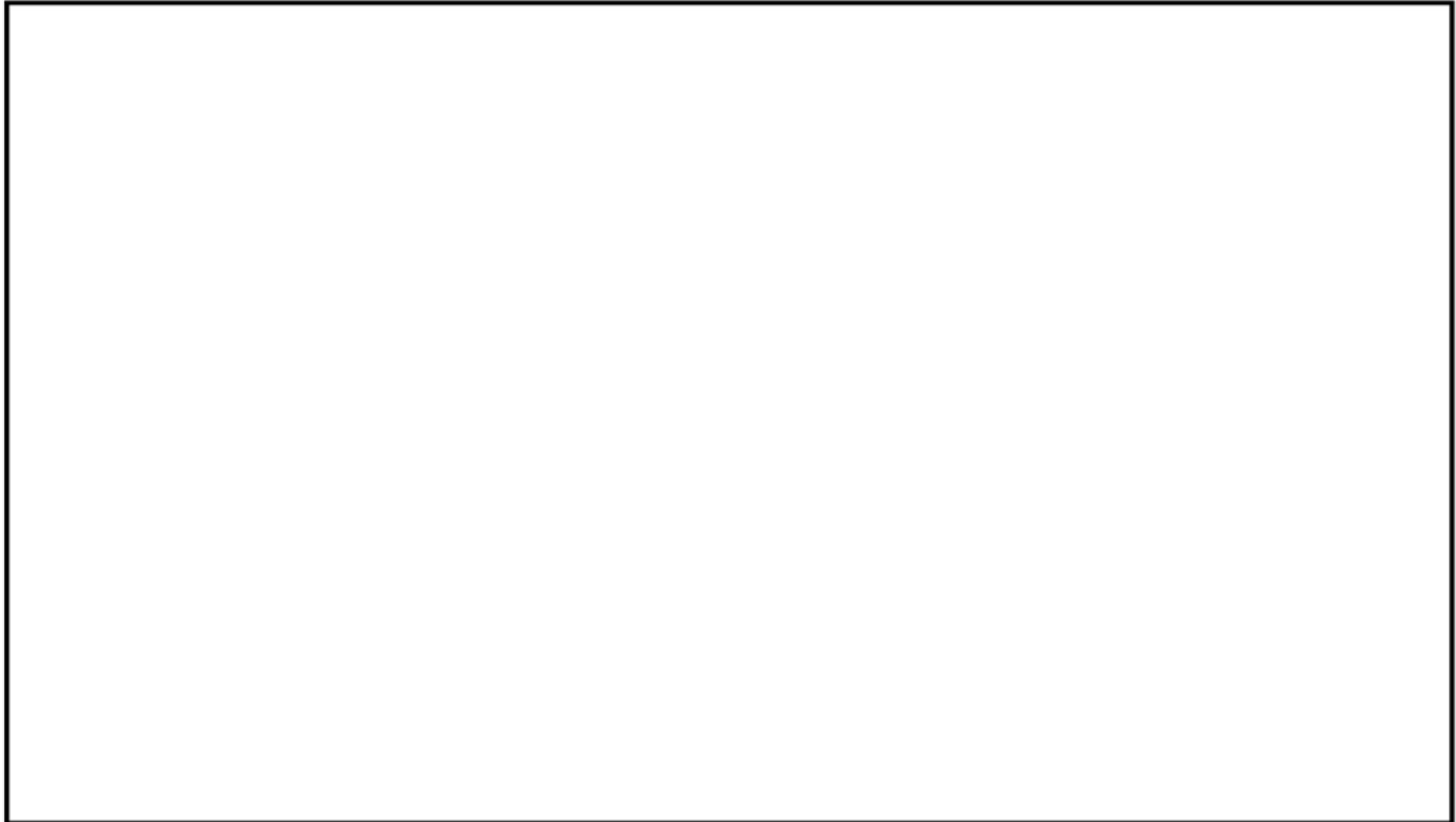


図1 原子炉建屋6階での溢水対策

論点No.74,75-9

使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水対策の運用を以下に示す。

	① 溢水拡大防止堰 (緑色)	② RHR熱交換器ハッチ 止水板(青色)	③ 溢水拡大防止堰 (赤色)	床ファンネル及び排水開口	
				●床ファンネル ○:排水開口	●床ファンネル
保安規定 及び 社内規程	・通常運転時, 定期事業者 検査時ともに常時設置とす るため, 設置・取り外しに 関する運用はなし。	・ハッチ開放時(1回/10年程 度)に設置し, ハッチ閉止後 に取り外す運用とする。	・通常運転中のキャスク搬出入 時に鋼板部の設置・取り外し を行う運用とする。 ・定期事業者検査時には, 確 実に常時設置する運用とする。	・通常運転中は閉止し ない運用とする。 ・定期事業者検査中は 閉止する運用とする。	・通常運転中及び定期 事業者検査中ともに常 時閉止措置を行うため, 運用はなし。
運用 概念図	<p>通常運転時及び 定期事業者検査時</p>	<p>ハッチ閉止時</p> <p>コーキング処理</p> <p>ハッチ開放時</p>	<p>通常運用状態</p> <p>ドライキャスク搬出入時</p> <p>キャスク</p>	<p>通常運転中</p> <p>閉止板取付用ボルト穴</p> <p>定期事業者検査中</p> <p>以下のうち施工性を考 慮し, 実施可能な閉止 措置を行う。</p>	<p>以下の閉止板, モルタル, 閉止キャップ等のう ち, 施工性を考慮し, 実 施可能な閉止措置を行 う。</p> <p>閉止板 モルタル</p> <p>閉止 キャップ</p> <p>溶接処理</p> <p>閉止プラグ</p> <p>接続配管移設</p>

➤ 堰(止水板)の施工について(図2)

構造強度: 堰のボルト取付位置(メス側)は躯体側に固定されることから, 運用による設置時のボルト間の寸法と耐震/強度計算書の評価モデルが同様となり, 基準地震動 S_s に対しても構造強度を確保することは可能であるため, 本施工方法を保安規定に定める。*

止水性能: 鋼板部同士の接合部はゴムパッキンにて止水性を確保する構造であり, モックアップ試験にて止水性を確認した締め代寸法を管理することを保安規定に定める。鋼板部と躯体との接合部はシーリング処理にて止水性を確保する構造であり, モックアップにて確認したシーリング処理の厚さ・脚長を管理することを保安規定に定める。*

* 堰及び止水板の設置時には, 外観点検, ボルトの締め付け力, ゴムパッキンの締め代寸法, シーリング処理の厚さ・脚長等を管理することで, 地震を想定した止水性能を確保できる。



設置前状況



支柱レールの取付状況例



堰設置状況

図2 堰(止水板)の設置例)

➤ 床ファンネル及び排水開口について

(1) 保守管理

- ・排水を考慮する床ドレン配管については，点検計画を定め，年1回の通水試験を行い健全性の確認*を行う。

(2) 逆流防止装置の設置及び管理

- ・堰や壁等で区画され溢水発生時に開口部等からの排水を期待しない浸水防護区画の床ドレンファンネルについては，排水ラインの詰まり等から他区画のドレン水の逆流により浸水するおそれがあるため，床ドレンファンネルに逆流防止装置を設ける。なお，当該装置については，点検計画を定め保守管理を行う。

*ドレン配管の定期的な健全性確認

タンクベント処理装置室内の各ドレンファンネル配管に鉄さび等による閉塞部位や狭隘化した部位を確認したことから，管理区域内で放射能を含んだ液体を排水する各ドレンファンネル配管については，定期的に健全性を確認するため，通水確認することを点検計画に反映している。また，その排水状況により修繕を行う。

(3) 閉止板の施工について(図3, 図4)

構造強度: 取付ボルトの設置位置(メス側)は躯体側に固定されることから, 運用による設置時のボルト間の寸法と耐震性及び強度の評価モデルと同様となり, 構造強度を確保することは可能であるため, 本施工方法を保安規定に定める。*

止水性能: 鋼板部同士の接合部はゴムパッキンにて止水性を確保する構造であり, モックアップ試験にて止水性を確認した締め代寸法を管理することを保安規定に定める。*

* 閉止板の設置時には, 外観点検, ボルトの締め付け力, ゴムパッキンの締め代寸法等を管理することで, 地震を想定した止水性能を確保できる。

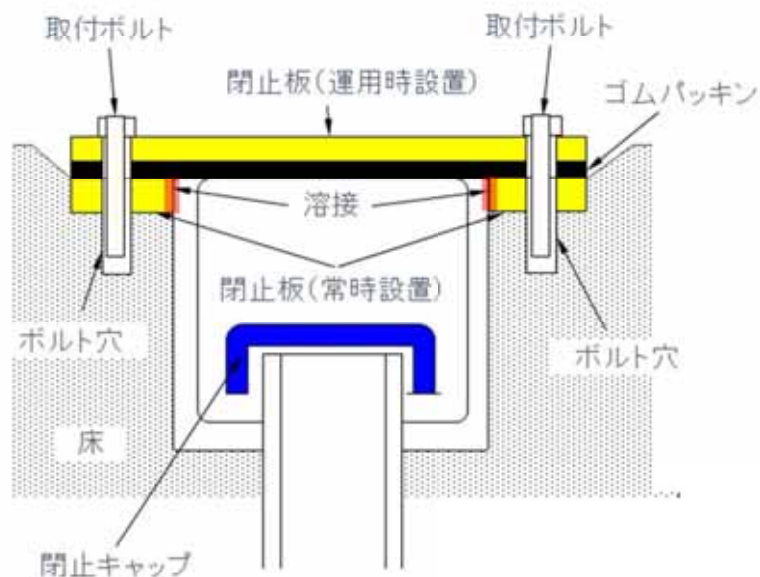


図3 閉止板の概要

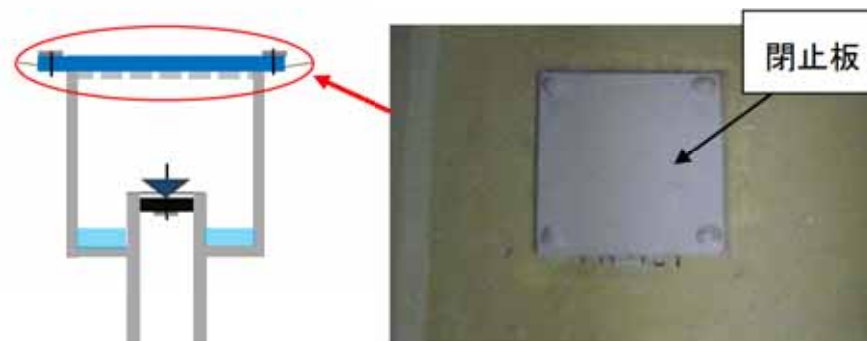


図4 床ファンネルへの閉止例

＞その他

(1) 溢水の滞留に対する措置について

- ・原子炉棟6階において、溢水の滞留に対する措置として、プール廻りには異物混入防止を目的とした縁石（高さ約0.10m）を設置している（図5）。滞留する水位が0.10 m以下となった場合においても、溢水が各プールへ戻りやすくするよう、使用済燃料プール及びドライヤセパレータプール廻りの縁石の一部に切欠きを設置している。（図6）
- ・切欠きについては、従来の異物混入防止を考慮するだけでなく、スロッシング水の越流による物品の流入や作業における仮置物品などの流入を防止するために迷路構造とし、また流入部には異物混入防止の網を設置する。
- ・上記の措置に加えて、原子炉建屋6階エリアは、社内規程に従い特定異物混入防止管理区域として管理し、持込み工具や資機材と消耗品等物品の搬出入管理、機材の固縛や固定等の実施及び監視人の配置や表示による管理を行い、これに加えてスロッシング等の溢水を考慮した物品の固定や保管管理を行い、溢水時のプール等への物品の流入を抑制していく。

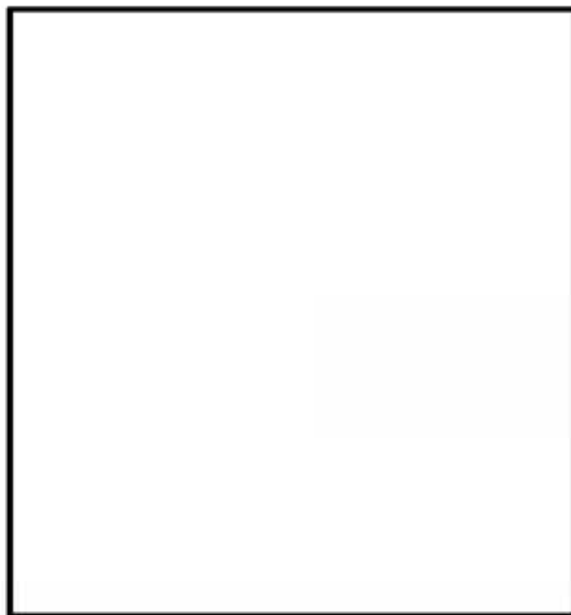


図5 使用済燃料プール及びドライヤセパレータプール縁石位置
論点No.74,75-14

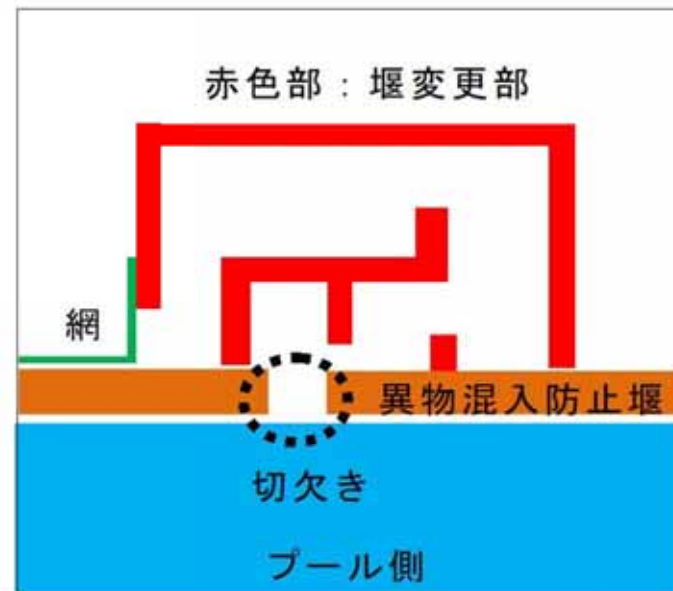


図6 切り欠き概要(平面図)

(2) 排水ライン閉塞時における排水処理について

- ・原子炉棟6階において、排水開口及びプール廻りの縁石の切欠き部に閉塞が発生した場合を想定し、滞留水が発生する場合は、排水ポンプ等にて他フロアの既設ファンネルを利用し排水を実施する。具体的には、ドレンラインや排水受入れ先の廃棄物処理系設備の復旧、若しくは健全性の確認後、各階段室を通して下層階に仮設ホースを設置し、健全が確認されたファンネルに排水を行う。必要な排水作業について図7に示す。
- ・溢水したスロッシング水を再びプール側に戻す場合、水質悪化等による燃料等への影響が考えられるが、各浄化系統を復旧することで、設備等への大きな影響はないと考える。なお、異物の有無を確認するため燃料や炉内の点検を実施する。

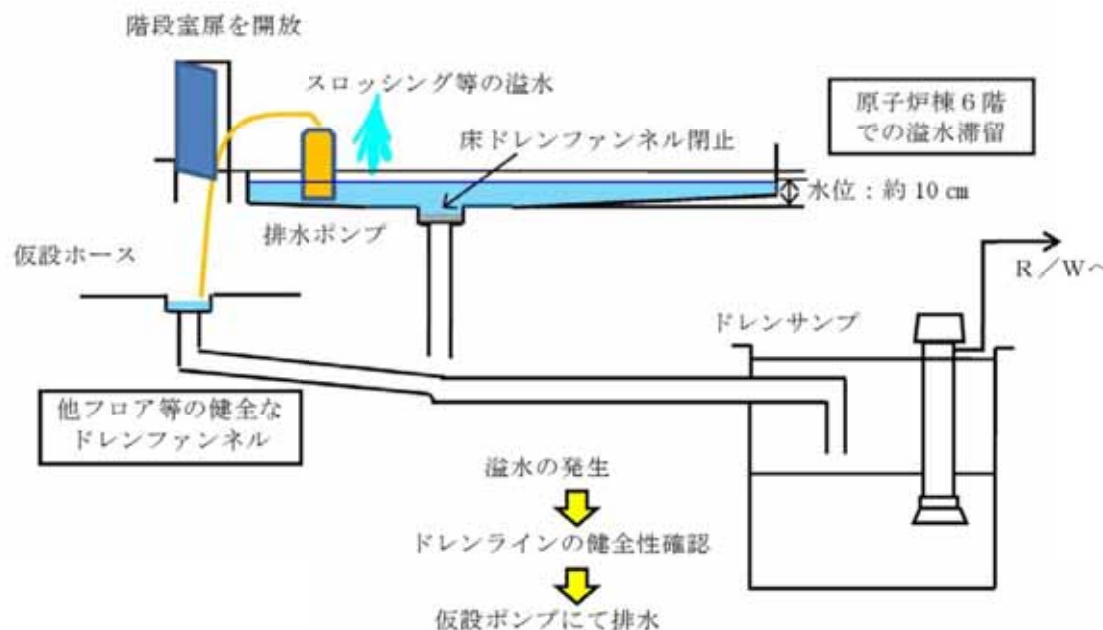


図7 排水作業概要

【論点No.74】

使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水に対する具体的な対策について

【委員からの指摘事項等】

No.68

スロッシングによりオーバーフローしたときに、具体的にどのようなシステムで階下に導くのか、確認したい。

P.2,3,5-8

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

【論点No.75】

使用済燃料プールのスロッシングに伴う溢水を階下に導く床 dren 配管等の溢水対策に係る設備の健全性確認結果及び健全性維持のための今後の対策について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載
対応する資料頁数等を 内に記載

No.69

平成28年度に発生したタンクベント処理装置室内での廃液漏えいでは、床 dren ファンネルが詰まり、下層へ流れなかったということが経験されたかと思うが、溢水対策では、床 dren 等が健全であることが前提となっている。原子炉建屋等において、閉塞の度合いの高い dren ファンネル等はないか。また、その対策について、どのように考えているか。

P.4,9-15, 論点No.70参照

