

泊発電所3号機 内部溢水影響評価について (その1)

平成25年11月26日
北海道電力株式会社

目次

1. 評価の概要
2. 溢水影響評価の流れ
3. 溢水源の抽出
4. 防護対象設備の選定
5. 溢水防護区画の設定
6. 溢水経路の設定
7. 地震に起因する溢水影響評価
 - 7-1 地震に起因して溢水源となる耐震B, Cクラス設備の抽出
 - 7-2 耐震B, Cクラス設備の耐震評価
 - 7-3 地震に起因する溢水量低減対策
 - 7-3-1 地震に起因する機器の破損による溢水量低減対策
 - 7-3-2 湧水による溢水防護対策
 - 7-4 使用済燃料ピットスロッシング評価
 - 7-5 地震に起因する機器の破損および使用済燃料ピットスロッシングによる溢水量評価
 - 7-6 地震による溢水影響評価
 - 7-6-1 地震による没水影響評価
 - 7-6-2 屋外タンクからの溢水影響評価
 - 7-6-3 低耐震建屋からの溢水影響評価
 - 7-6-4 湧水による溢水影響評価
8. 消火活動による放水に伴う溢水影響評価
 - 8-1 消火水による没水影響評価
 - 8-2 消火水による没水防護対策
9. 想定破損による溢水影響評価
10. 被水影響評価

次回ご説明範囲

1. 評価の概要

■ 泊発電所3号機の溢水影響評価については、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」(以下「ガイド」という。)に従って、発電用原子炉施設内に設置された機器の破損、消火活動に伴う消火水の放水、地震に起因する機器の破損(使用済燃料ピットのスロッシングを含む)により発生する溢水に対して、原子炉施設の安全性を損わないよう、適切な防護措置が講じられていることを確認する。

■ 溢水防護の基本方針

泊発電所3号機の原子炉施設内における溢水による機器の損傷を防止するために、以下を基本方針とし、必要に応じて水密扉・止水板の設置、機器の耐震補強、被水対策等、適切な防護措置を講じることで、原子炉施設の安全性を損わないことを確認する。

- ▶ 地震に起因する機器の破損等により生じる溢水(使用済燃料ピットのスロッシングを含む)に関して、耐震B,Cクラス機器・配管のうち基準地震動Ssによる耐震性が確保できない機器を溢水源とし、これらの機器から発生する溢水によって原子炉施設の安全性を損わないことを確認する。
- ▶ 消火活動によって発生する消火水の放水により生じる溢水に対して、その溢水によって原子炉施設の安全性を損わないことを確認する。
- ▶ 想定する機器の破損等(想定破損)により生じる溢水に対して、その溢水によって原子炉施設の安全性を損わないことを確認する。

上記、溢水防護の基本方針に基づき、ガイドに従った溢水影響評価の流れを「2. 溢水影響評価の流れ(溢水影響評価フロー)」に記載する。

2. 溢水影響評価の流れ

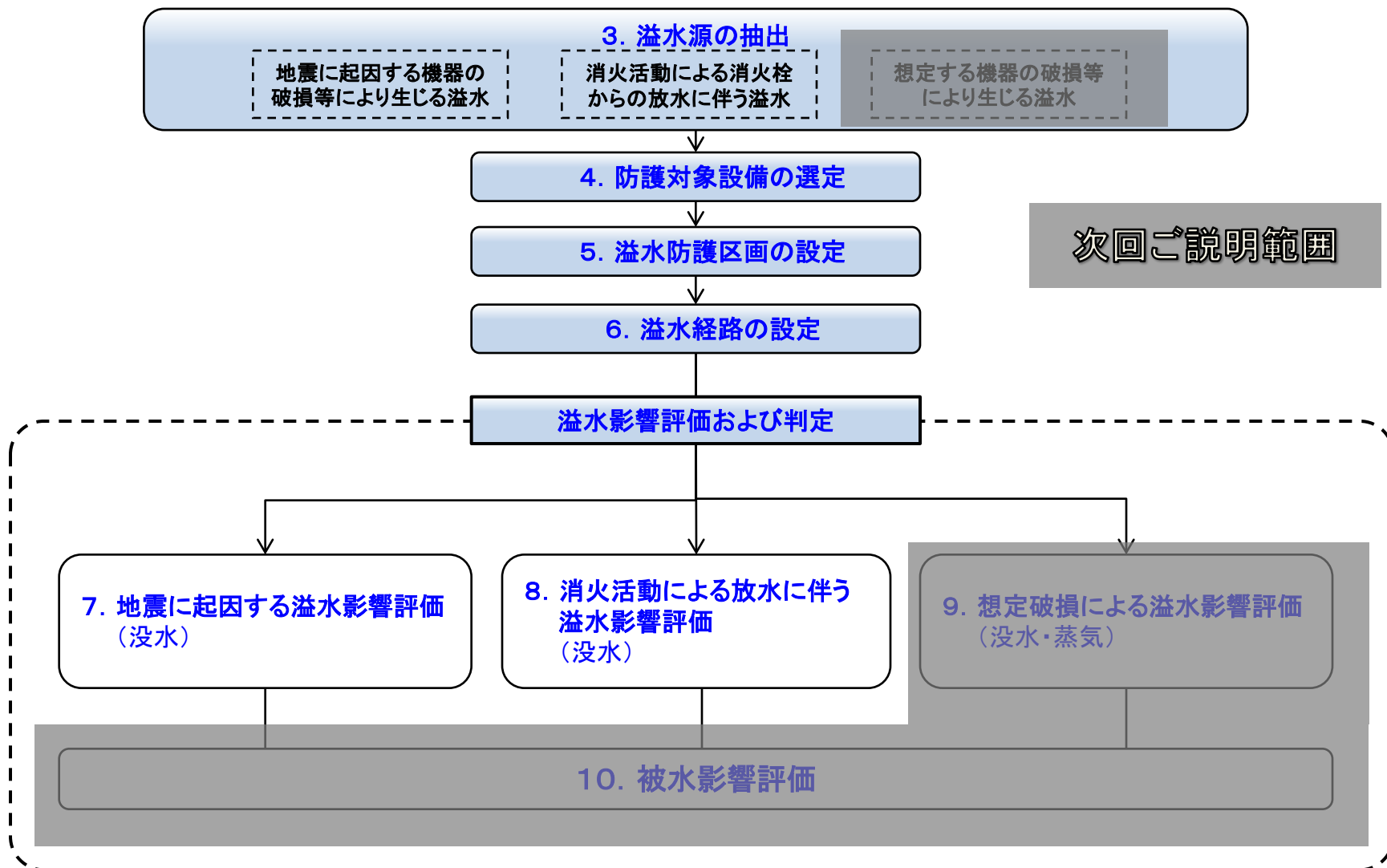


図 溢水影響評価フロー

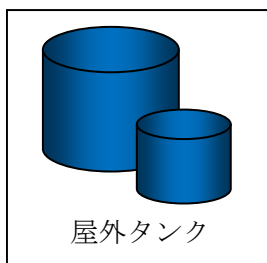
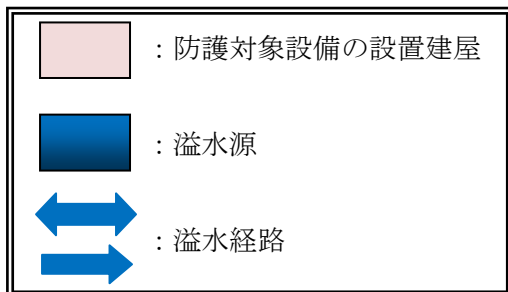
3. 溢水源の抽出

■防護対象設備が設置されている建屋・エリアに対する溢水源を検討

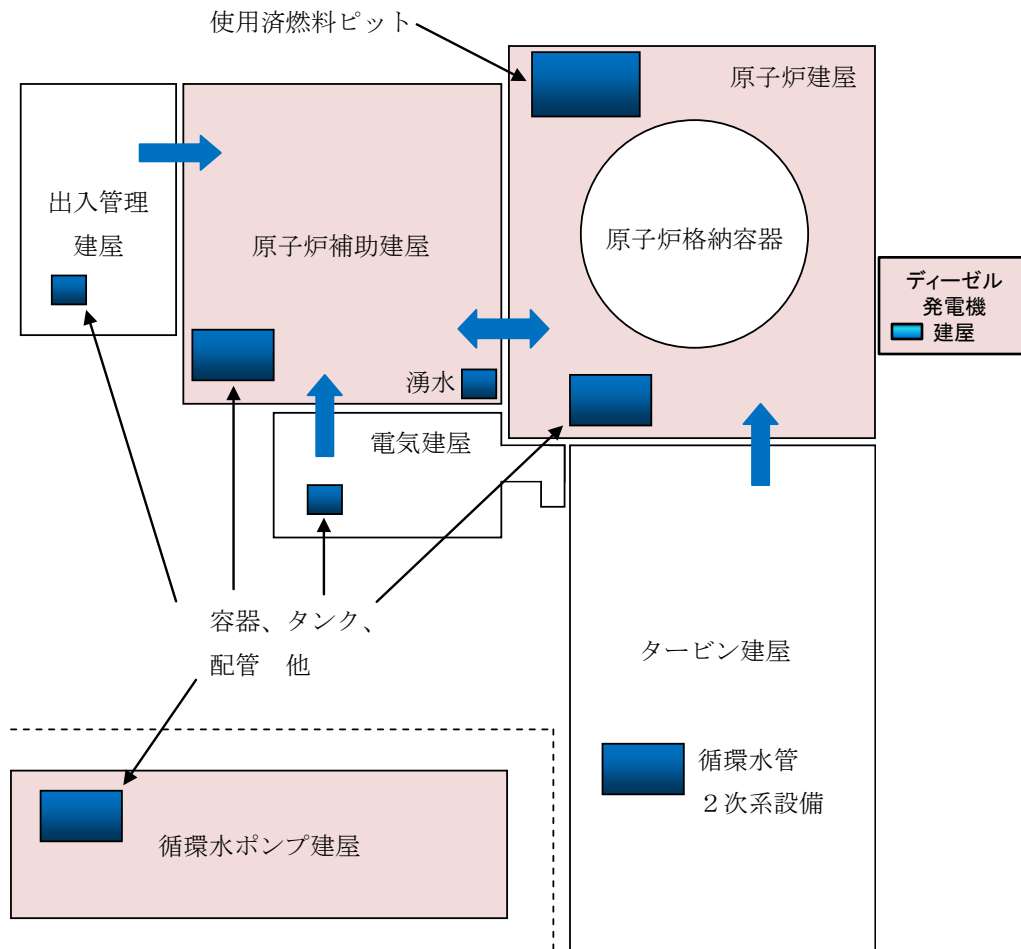
防護対象設備の設置建屋：原子炉建屋、原子炉補助建屋、循環水ポンプ建屋、ディーゼル発電機建屋

溢水源：機器の破損および消火栓からの放出による溢水、使用済燃料ピットのスロッシング、津波、湧水、屋外タンク

<凡例>



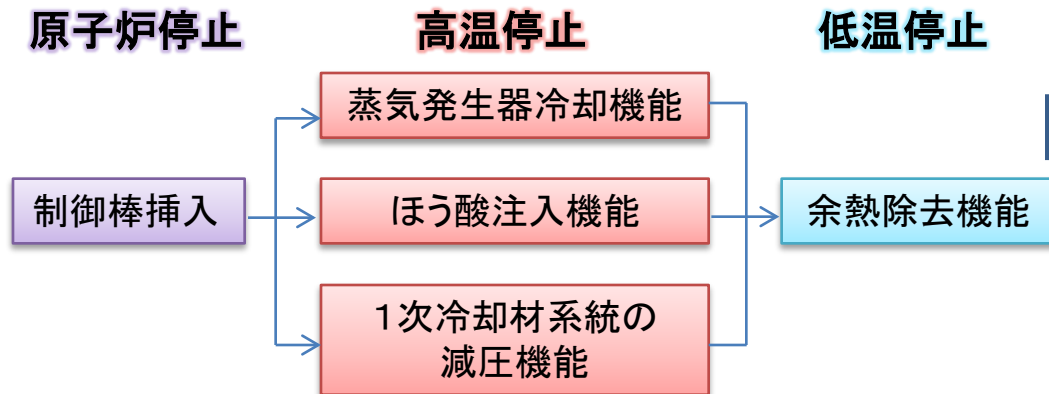
津波に伴うタービン建屋と循環水ポンプ建屋への海水流入を考慮した評価については、基準津波確定以降に別途説明する



4. 防護対象設備の選定

溢水に起因する原子炉外乱に対処するために必要な設備

原子炉の高温・低温停止に必要な機器



使用済燃料ピットの冷却・給水に必要な機器

防護対象設備リスト

以下の系統の設備を対象として防護対象設備を抽出

- 安全保護系
- 補助給水系統
- 化学体積制御系統
- 余熱除去系統
- 原子炉補機冷却水系統
- 原子炉補機冷却海水系統
- 制御用空気系統
- 換気空調系統(安全系)
- 非常用電源系統
- 高圧注入系統
- 格納容器スプレイ系統
- 主蒸気系統
- 使用済燃料ピット冷却系統
- 燃料取替用水系統
- 一次冷却材系統

5. 溢水防護区画の設定

- 全ての防護対象設備に対し、評価対象区画として溢水防護区画を設定する。
- 防護対象設備が設置されているフロアにおいて、平坦な床面は同一区画として考え、境界は壁や扉の敷居部、堰等流入の障壁となる段差がある箇所区画境界としている。

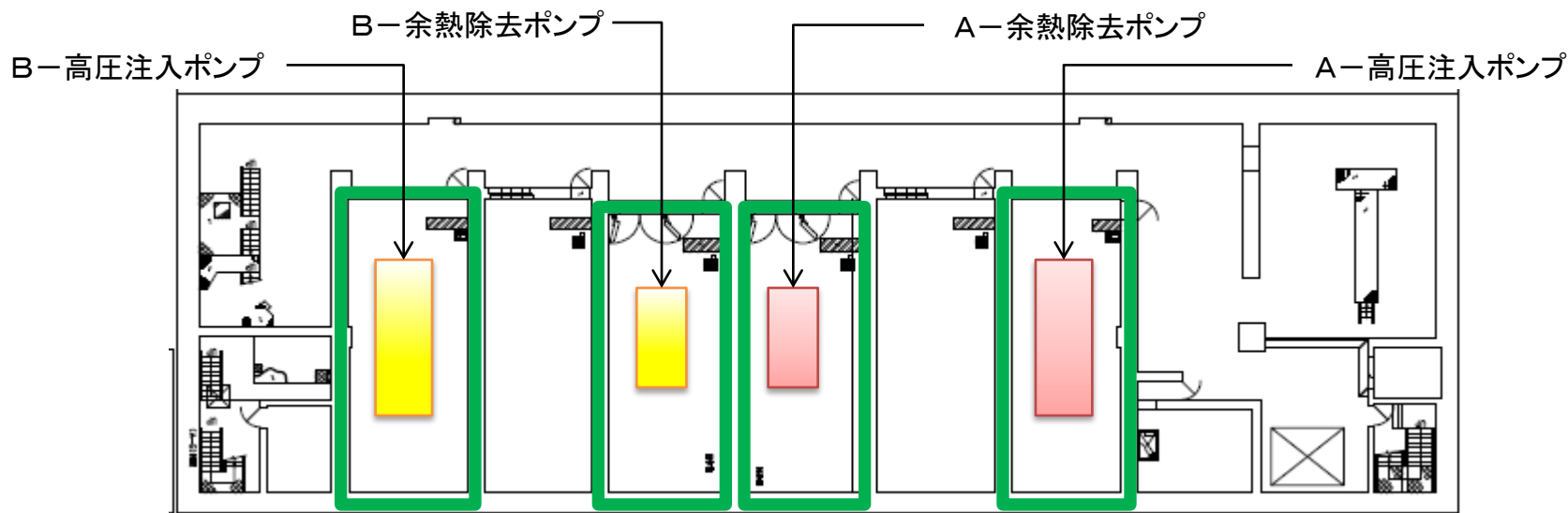
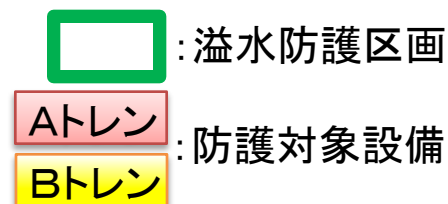


図 原子炉補助建屋T. P -1.7m



6. 溢水経路の設定

原子炉補助建屋(例)

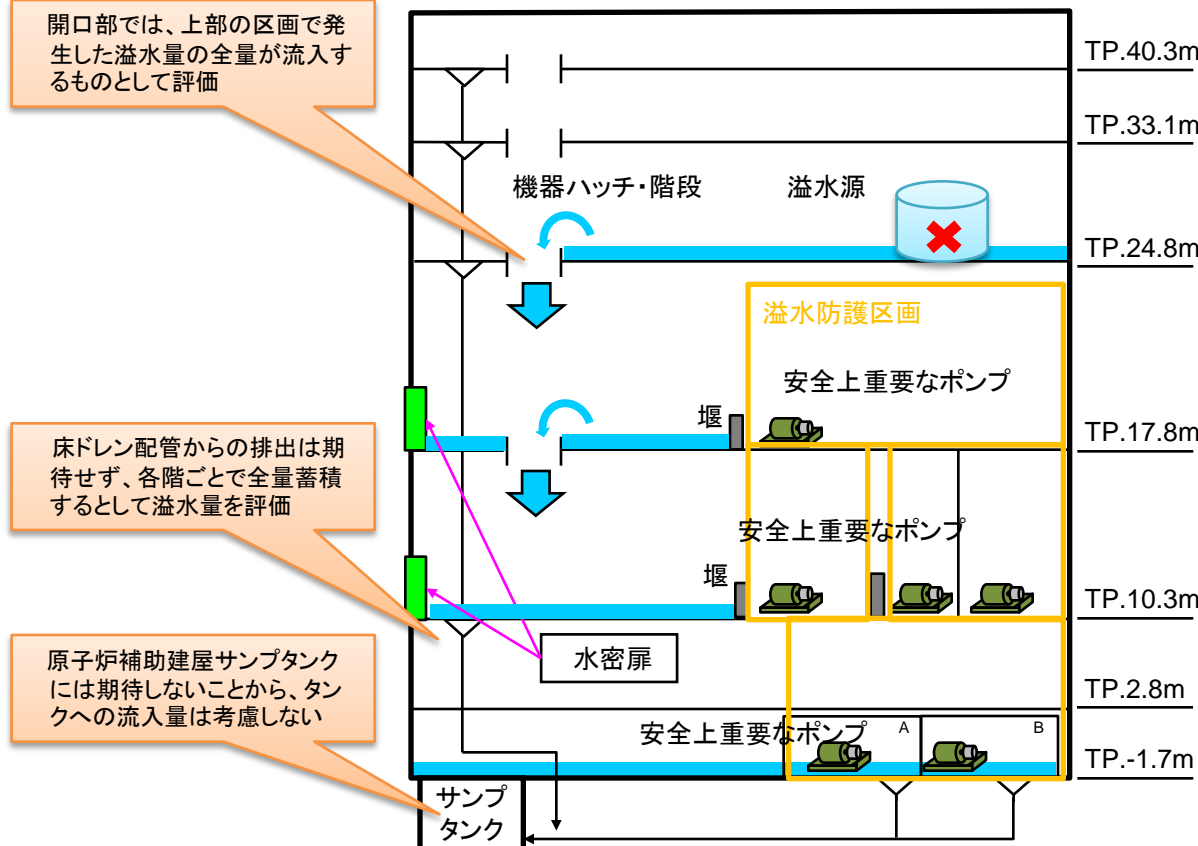
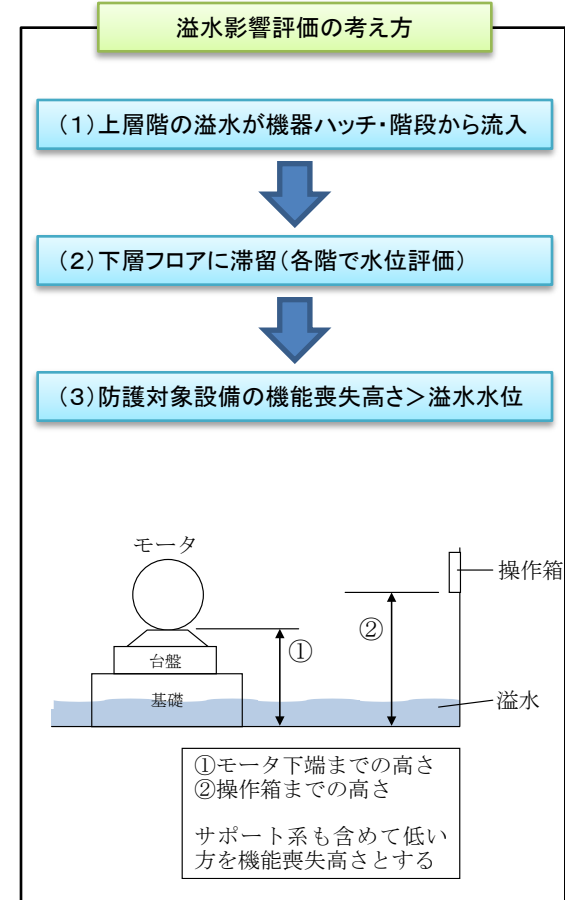


図 溢水経路イメージ図

× : 機器の破損



7-1 地震に起因して溢水源となる耐震B, Cクラス設備の抽出(1/2)

■ 耐震評価の基本方針

➤ 溢水量の低減

溢水量の低減を目的に、防護対象設備の設置された原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機建屋、循環水ポンプ建屋の耐震B、Cクラス配管および単体で10m³以上の容器等について、基準地震動S_sに対する耐震性を確認する。

耐震評価を実施し、耐震性を確認出来ない機器については耐震補強を実施する。

屋外タンクについても耐震評価を行った上で、破損する位置を適切に設定し、溢水影響を評価する。

➤ 溢水伝播の防止

低耐震建屋(タービン建屋、出入管理建屋、電気建屋)で生じる溢水に対しては、原子炉建屋、原子炉補助建屋との境界の耐震建屋側に水密扉や隔離弁を設置し、溢水伝播を防止する。

7-1 地震に起因して溢水源となる耐震B, Cクラス設備の抽出(2/2)

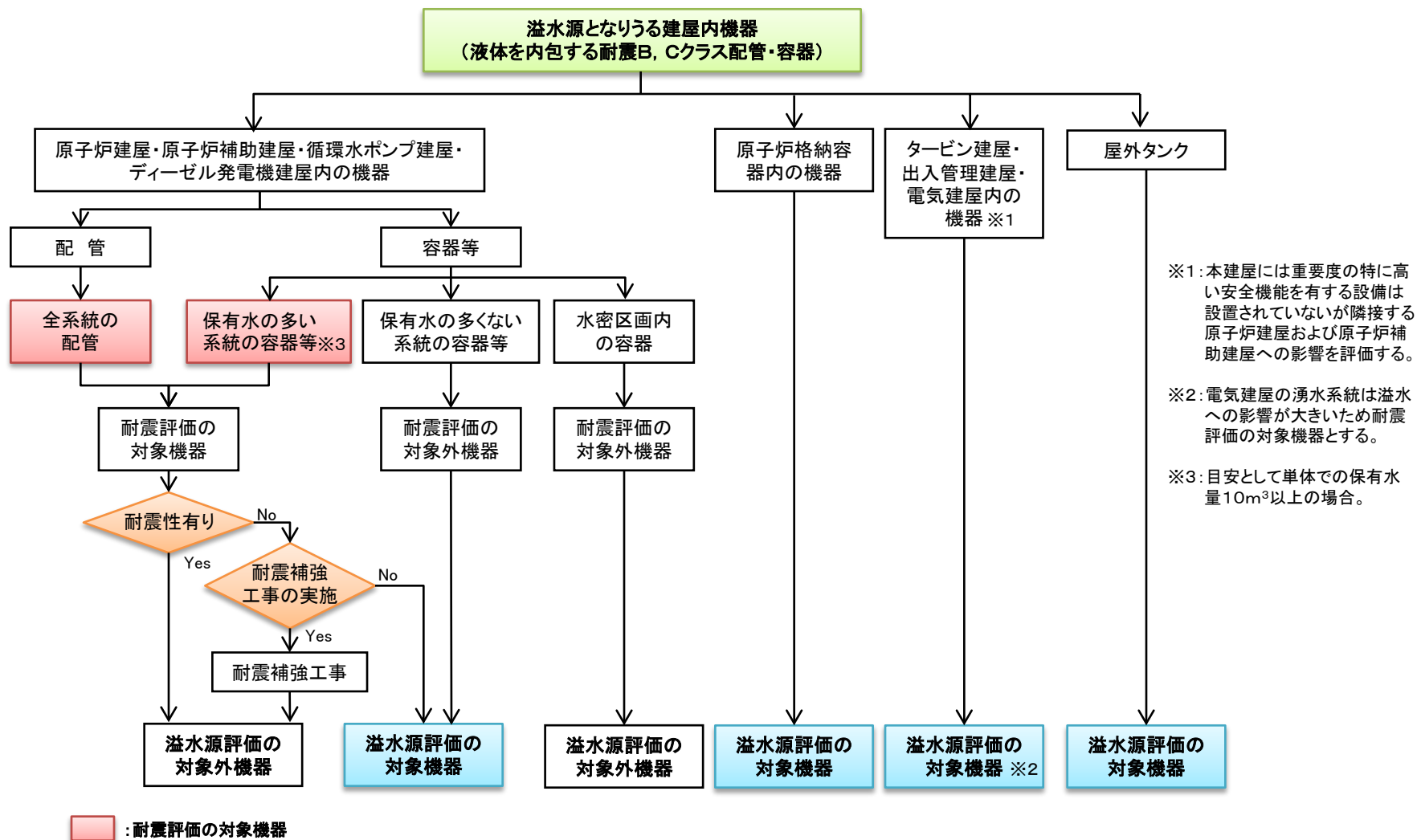
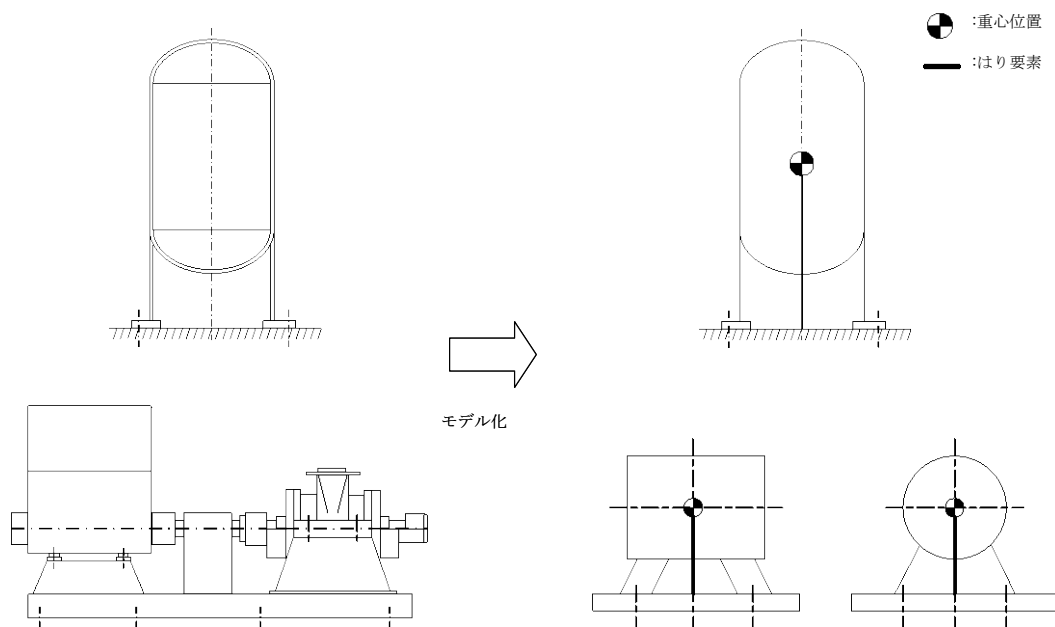


図 耐震評価対象機器の抽出

7-2 耐震B, Cクラス設備の耐震評価(1/4)

- 基準地震動 S_s による耐震評価(構造強度評価)を実施し、地震時に漏水が発生しないことを確認する。
- 評価手法等は、原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601等の規格基準または必要に応じ試験等で妥当性が確認されたものを用いる。



地震応答解析モデル(容器・ポンプの例)

表 解析条件

	B, Cクラス容器等 (溢水波及影響評価)
手法	JEAG等に基づく 構造強度評価
地震波	基準地震動 S_s
床応答曲線 (FRS)	$\pm 10\%$ 拡幅
応力の組合せ	絶対値和または二乗和平方根
減衰定数	水平: 1.0%、鉛直: 1.0%
許容応力状態	IV_{AS}
評価項目	JEAG等に基づくSクラス 容器等の評価項目 (例)胴本体、支持部、基礎ボルト

7-2 耐震B, Cクラス設備の耐震評価(2/4)

■以下のフローに基づき配管の耐震評価を実施する。

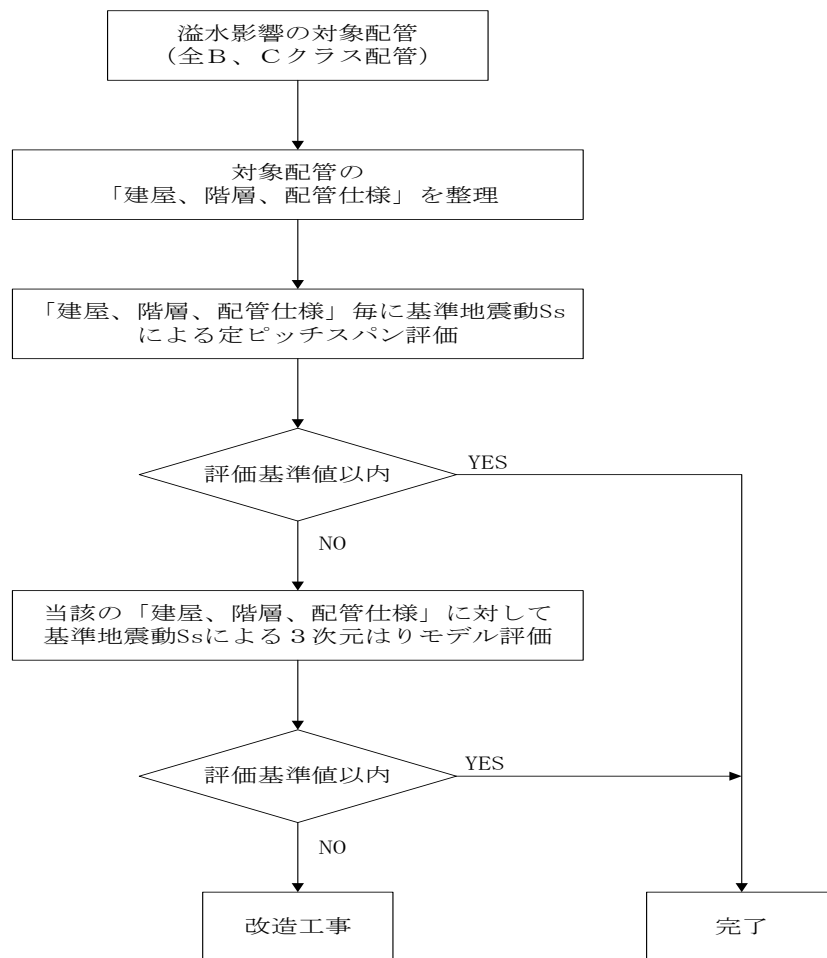


図 配管の評価フロー

7-2 耐震B, Cクラス設備の耐震評価(3/4)

■ 基準地震動 S_s を活用して標準支持間隔表を作成し、耐震B, Cクラス配管の実支持間隔と比較することで健全性を確認する。

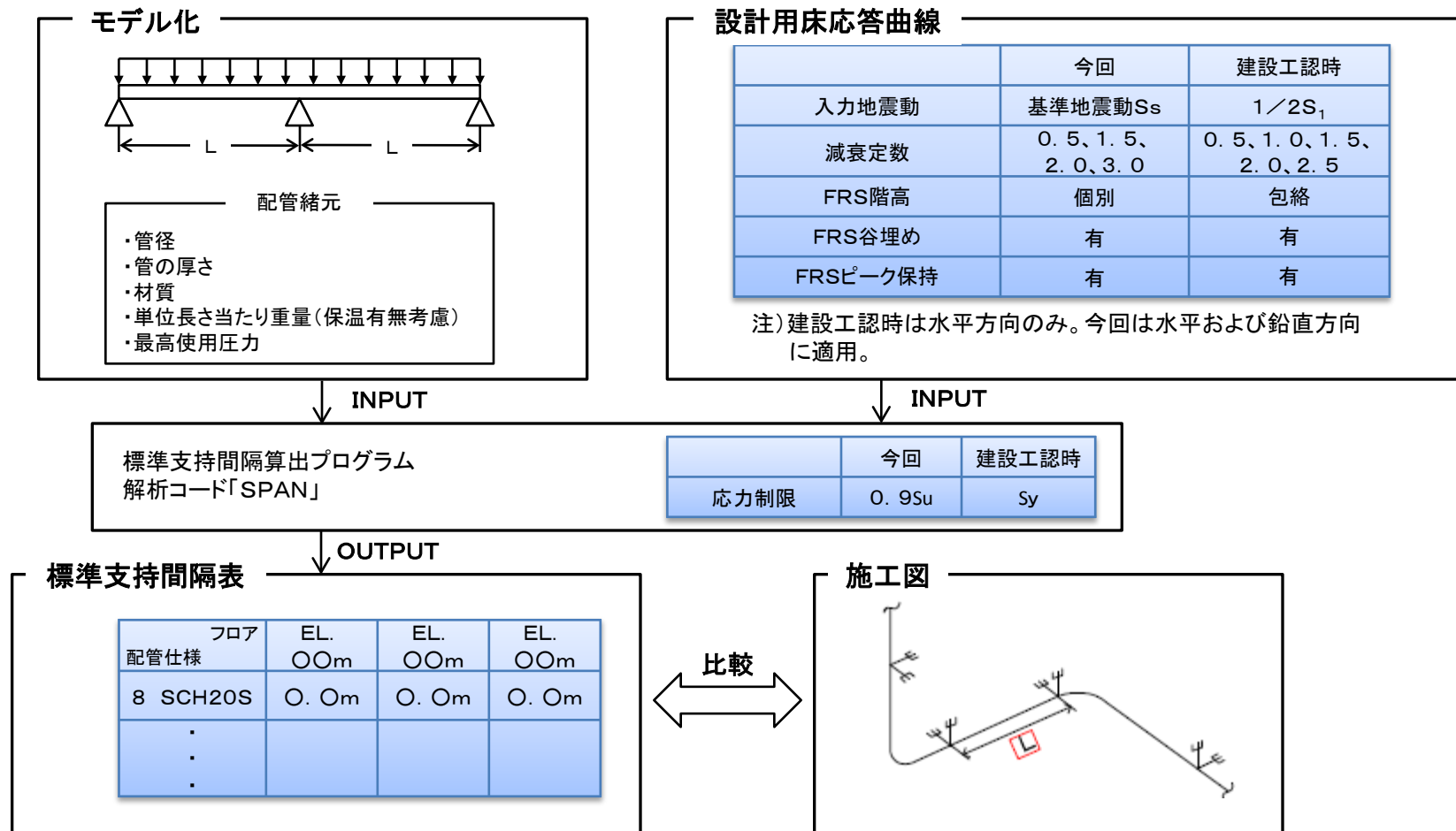
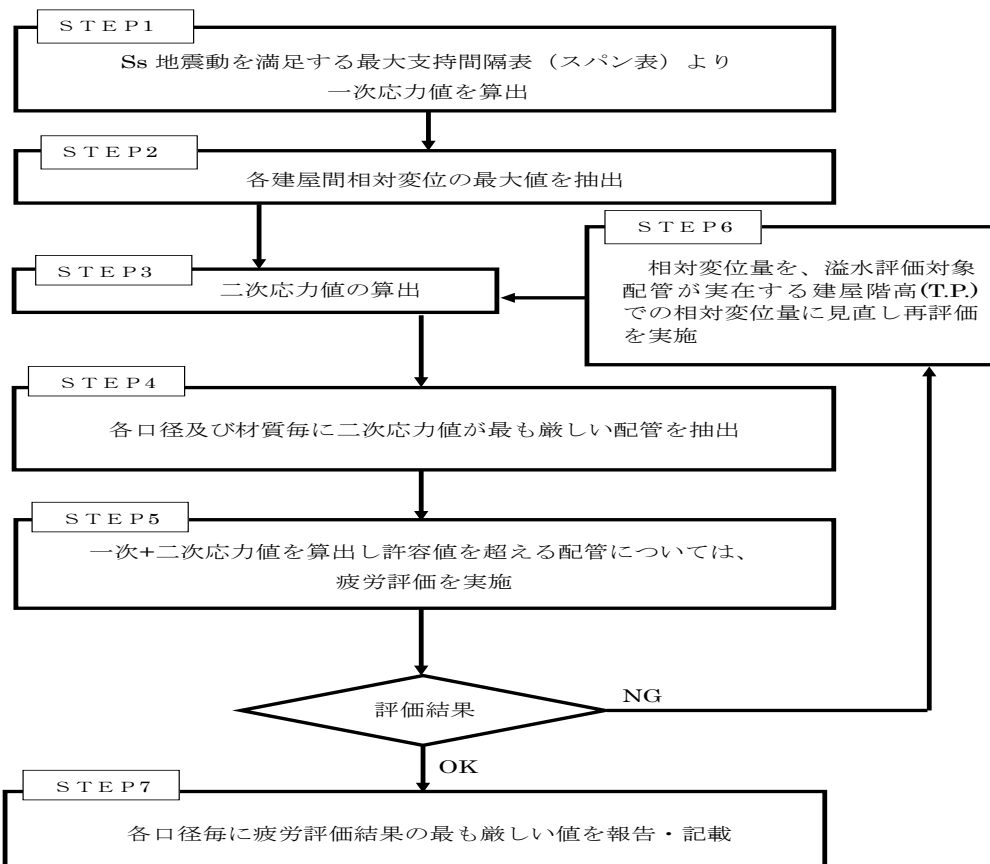


図 定ピッチスパン法を用いた具体的な評価手順

7-2 耐震B, Cクラス設備の耐震評価(4/4)

■地震に起因する建屋相対変位の影響を評価するために、下記のフローで一次+二次応力評価を行う。



【検討課題】

以下の課題については検討評価を別途説明する。

1. 一次+二次応力が許容値を超えた場合の、3次元はりモデル評価
2. 配管支持構造物の健全性確認
3. 高温配管の、3次元はりモデル評価

7-3-1 地震に起因する機器の破損による溢水量低減対策

- 耐震評価の結果、耐震性が確保できない機器については、溢水量の低減を図るため耐震補強工事を実施した。

例) SGブローダウン冷却器の耐震補強



補強前



補強後

7-4 使用済燃料ピットスロッシング評価(1/2)

基準地震動Ssによる溢水量の推定

- 使用済燃料ピットのあるフロアレベルの燃料取扱棟をモデル化範囲とし、スロッシングによる溢水量を保守的に評価するために、使用済燃料ピット、燃料取替チャンネル、キャスクピット、燃料検査ピットの全てが水張りされた状態として3次元流動解析により溢水量を算定する。
- 燃料取扱棟(T. P. 33. 1m)の使用済燃料ピット周辺の概要を図-1に示す。

モデル化範囲	使用済燃料ピットのあるフロアレベル全体
境界条件	シャッター位置の出入口からは水が流出するものとする。 また、建屋上部は開放とし、他は壁からの跳ね返りを考慮する。
水位	T. P. 32. 73m (溢水を多めに算出するため高水位警報レベルを初期条件とする。)
評価用地震波	燃料取扱棟 T. P. 33. 1mにおける地震波を使用
解析コード	FLOW-3D(流体解析ソフトウェア):3次元流動現象を精度良く計算することを特徴としている。一般産業施設の主要な解析実績としては、液体燃料やLNGタンクのスロッシング解析、インジェット解析、鑄造湯流れ凝固解析など
その他	使用済燃料ラックは考慮せず、ピット内の水が全て揺動するとした。また、ピット周りに設置されているフェンスは考慮しない。

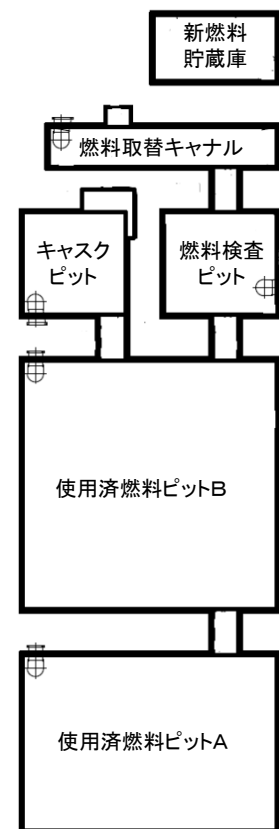


図-1

7-4 使用済燃料ピットスロッシング評価(2/2)

1. 使用済燃料ピットのスロッシング評価

基準地震動S_sにおける使用済燃料ピットのスロッシングによる最大溢水量

最大溢水量	12.6m ³
-------	--------------------

2. 使用済燃料ピットの遮へい機能維持等の確認

スロッシングによる使用済燃料ピット外への溢水が生じ得ない上限水位(=使用済燃料ピット堰位置-使用済燃料ピット内流体のスロッシング時の初期位置からの最高到達高さ)>「遮へいに必要な水位」又は「冷却系の運転可能水位」を満たしており冷却機能、遮蔽機能を維持可能である。

	スロッシングによる溢水が生じない上限水位(T. P.)	制限値(T. P.)
冷却系の運転可能水位	31.78m	31.46m
遮へいに必要な水位	(=33.15m-1.37m)	29.74m

7-5 地震に起因する機器の破損および使用済燃料ピットスロッシングによる溢水量評価

原子炉建屋、原子炉補助建屋、ディーゼル発電機室建屋、循環水ポンプ建屋で生じる溢水

■耐震B, Cクラス設備の耐震(構造強度)評価結果

耐震評価対象として設定した耐震B, Cクラス設備について、基準地震動 S_s による構造強度評価(耐震補強を実施した設備は補強後の仕様に基づく評価)を実施し、応力等の発生値が評価基準値を下回ることを確認している。

■地震時に想定する溢水量評価結果

耐震評価結果を踏まえ、以下を地震時の溢水源として考慮する。

○耐震B, Cクラス機器のうち保有水量の多くない機器等からの溢水量

・系統中の容器等の保有水量

・機器破損時、自動または手動による隔離完了までの溢水量

○使用済燃料ピットスロッシングによる溢水量

表 地震に起因する機器の破損等による溢水量評価結果

《循環水ポンプ建屋》

耐震B, Cクラス機器 からの溢水量
86m ³ ※

《原子炉建屋・原子炉補助建屋》

耐震B, Cクラス機器 からの溢水量	使用済燃料ピットスロッシング による溢水量	合計
114.9m ³	12.6m ³	127.5m ³

※ 循環水ポンプ建屋内の
海水ポンプ室に流入する溢水量

7-6-1 地震による没水影響評価(1/2)

■ 没水影響評価

地震に起因する溢水に対する各防護対象区画への評価した結果、防護対象設備が溢水によって機能喪失に至らないことを確認した。

表 没水影響評価結果(抜粋)

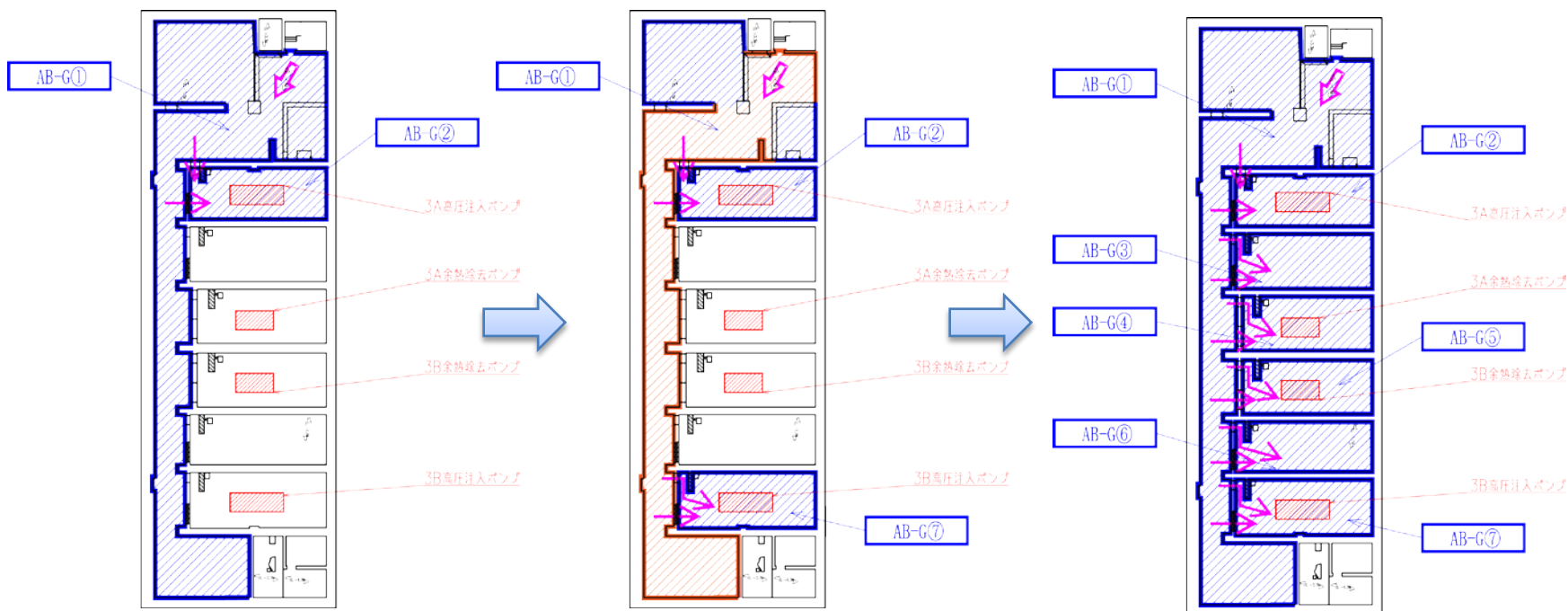
建屋	設置高さ(T. P)	防護対象設備	溢水水位	機能喪失高さ	裕度
原子炉建屋	24.8m	燃料取替用水ポンプ	0.090m	0.530m	0.440m
	10.3m	使用済燃料ピットクーラ冷却水出口弁・入口弁	0.018m	0.500m	0.482m
原子炉補助建屋	17.8m	ほう酸注入タンク入口弁	0.207m	0.400m	0.193m
	2.8m	高圧注入ポンプ出口連絡弁	0.168m	0.500m	0.332m
	-1.7m	高圧注入ポンプ	0.288m	0.300m	0.012m ※
循環水ポンプ建屋	2.5m	原子炉補機冷却海水ポンプ	1.1m	1.5m	0.4m

※ A/Bの高圧注入ポンプ室だけに溢水が流入した場合の評価であり、さらに現実的に原子炉補助建屋T. P. -1.7mフロア全体への溢水伝播を考慮すると、溢水水位は0.220mへ低下し、裕度は0.080mとなる。

7-6-1 地震による没水影響評価(2/2)

■ 詳細評価

標準評価においては、防護対象設備の機能喪失高さに対して溢水水位が高くなる場合は、評価の余裕を確保しつつ、より実際に即した詳細な評価条件で伝播する溢水量を再設定し、再評価を行うこととしている。



《標準評価》

1台の高圧注入ポンプ室への流入を想定

《詳細評価①》

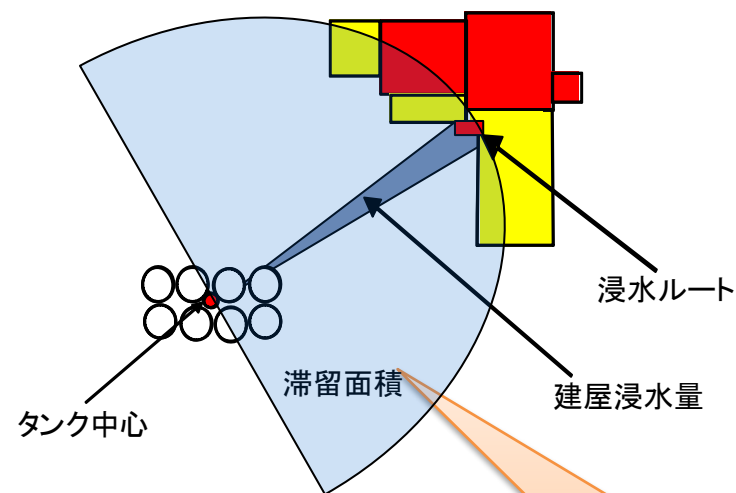
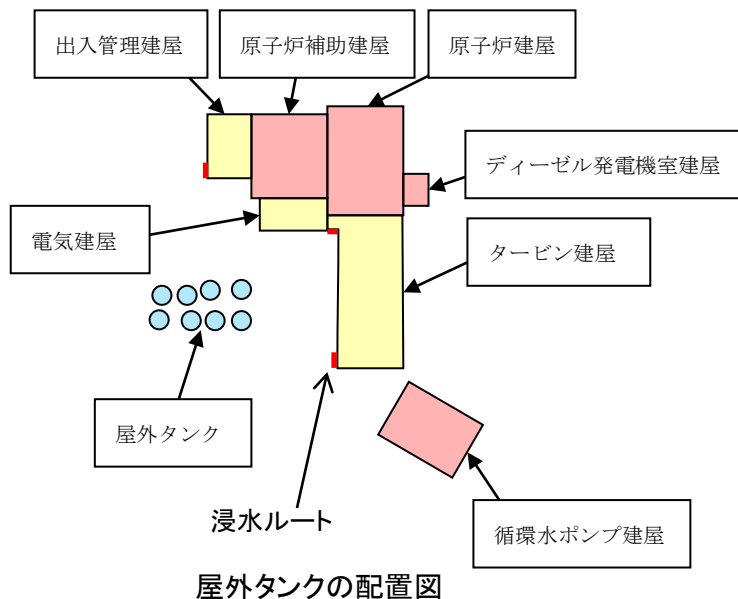
2台の高圧注入ポンプ室への流入を想定し、両ポンプが同時に機能喪失しないことを確認

《詳細評価②》

より現実的に扉の仕様が同じ全室への伝播を想定

7-6-2 屋外タンクからの溢水影響評価

- 8基の屋外タンクは、水位を制限することにより基準地震動Ssで健全性は確保されるが、すべりにより接続配管は破損する評価となるため、全数の破損を想定して溢水影響評価を行った。なお、水位を制限する運用については、保安規定で管理することとする。
- 破損した接続配管からの漏れい水の地表面での伝播を簡略的手法で評価し、地震時においては、出入管理建屋、電気建屋およびタービン建屋に浸水が生じる結果となった。尚、同手法の保守性については、詳細解析結果と比較し、十分な保守性があることを確認した。
- 漏れい水が浸水する建屋について、この影響を評価した結果、浸水高さが浸水対策設備(水密扉等)の設計条件である15m未満であることなどを確認した。



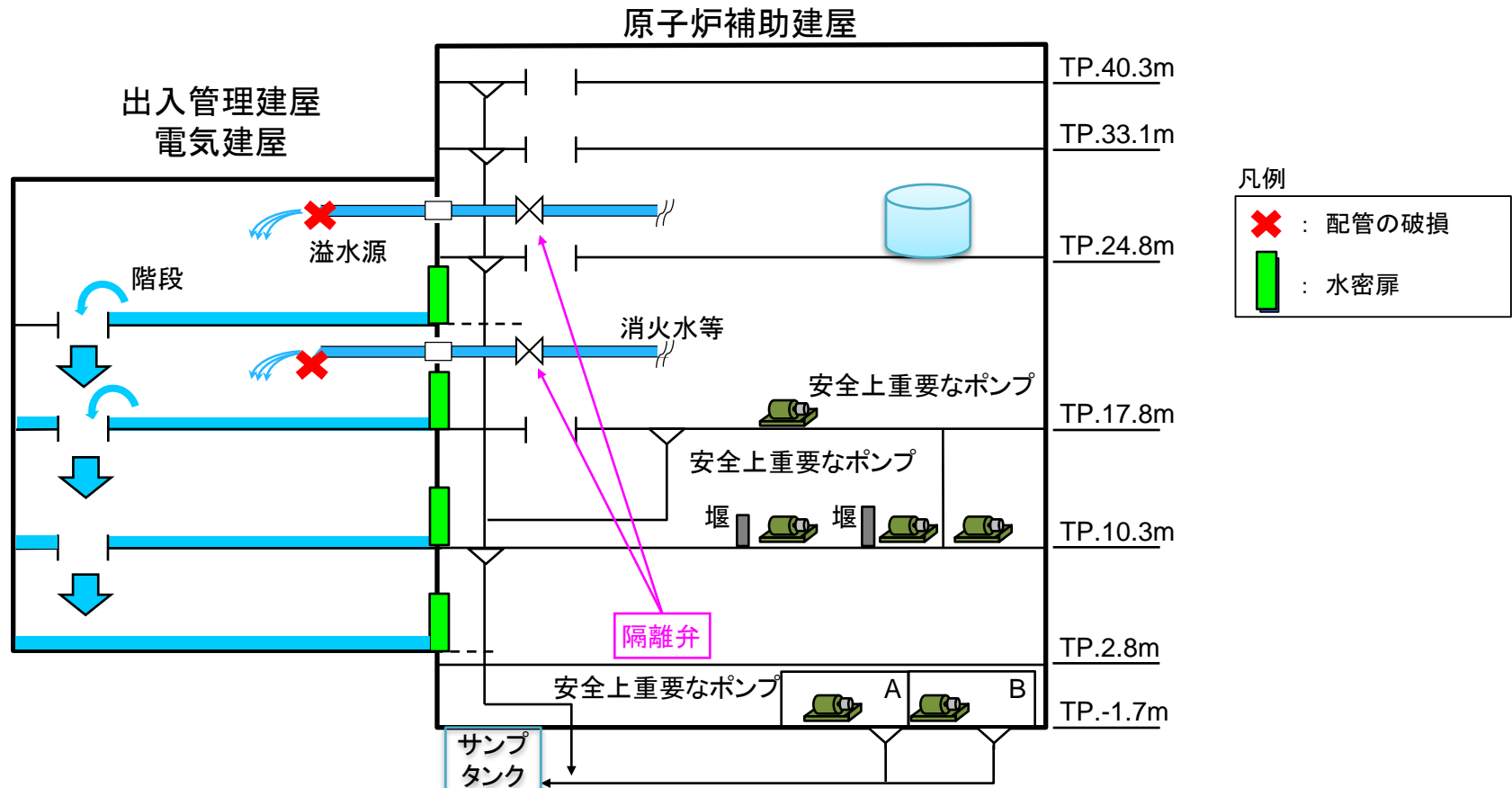
- 半円内にタンク8基からの全溢水が滞留するものとして、溢水水位を算出
- 溢水水位が建屋浸水高さを超える場合は、半円の弧長さと建屋浸水ルート幅(横幅)の比に漏れい量を乗じた値を、建屋浸水量として評価

7-6-3 低耐震建屋からの溢水影響評価(1/2)

■ 出入管理建屋・電気建屋からの溢水影響評価

出入管理建屋と電気建屋に設置の溢水源から、原子炉補助建屋に伝播しないように、水密扉、系統隔離弁を設置

⇒溢水が生じる建屋における浸水高さを求め、これを防止するための浸水対策設備（水密扉）の設計条件（許容浸水高さ）を定める。



7-6-3 低耐震建屋からの溢水影響評価(2/2)

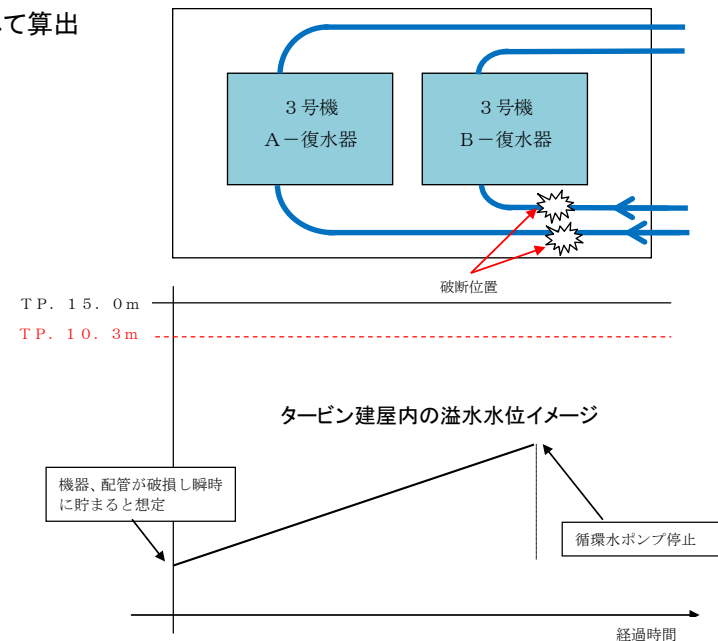
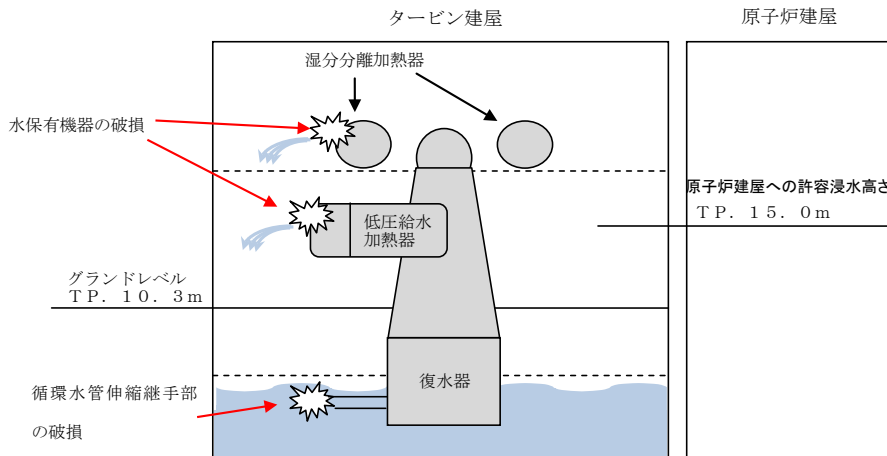
■ タービン建屋からの溢水影響評価

⇒地震加速度大トリップ時に循環水ポンプが自動停止するまでの間に生じる溢水量およびタービン建屋内の保有水量を合算して求めた結果、タービン建屋に滞留する溢水の水位は、原子炉建屋への許容浸水高さを下回ることから問題はない。

	開口部	循環水管からの溢水※1	機器配管からの溢水※2	合計溢水量	<	空間容積 (T.P.10.3m)	原子炉建屋の許容浸水高さ
地震時	伸縮継手部の全周(リング)状破損	6,100m ³	11,970m ³	18,070m ³			61,500m ³

※1 地震過速度大信号により循環水ポンプが自動停止するまでの時間を考慮して算出

※2 配管貯蔵量



8-1 消火水による没水影響評価(1/3)

- 消火活動による放水量については、ガイドに従い消火栓による消火活動を想定する。
- 原則として3時間の消火活動を想定して溢水量を算定し、溢水量が防護対象設備の機能喪失高さを上回らないことを確認する。

火災による消火活動の影響評価の流れ

(1) 消火活動による放水量の算定



(2) 溢水経路を設定し、溢水水位を算出

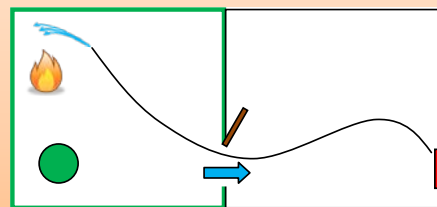


(3) 防護対象設備の
「機能喪失高さ > 溢水水位」
の確認

消火活動における放水量については、評価ガイドに従い、消火装置が作動する時間を原則3時間と想定して評価を実施するとともに、火災荷重が小さい区画については等価火災時間により放水時間を設定した。

評価区画で想定される溢水量よりも、上層階で想定される放水量が多い場合は、評価区画に上層階の溢水量全量を流入させて評価を行う。

区画境界の扉を開放して消火活動を行う場合には、開放扉からの溢水伝播を考慮する。



- : 消火栓
- : 防護対象設備
- : 扉
- : 溢水伝播
- : 溢水防護区画

8-1 消火水による没水影響評価(2/3)

■ 没水影響評価

消火活動による放水量をもとに消火栓からの放水による溢水影響を各防護対象区画について評価した結果、防護対象設備が溢水によって機能喪失に至らないことを確認した。なお、原子炉建屋の非管理区域において、溢水水位が防護対象設備の機能喪失高さを超える溢水防護区画が2箇所あり、当該区画への溢水流入防止を目的とした止水板を設置した。

表 没水影響評価結果(抜粋)

建屋	設置高さ(T. P)	防護対象設備	溢水水位	機能喪失高さ	裕度
原子炉建屋	17.8m	原子炉トリップ遮断機盤	0.078m	0.240m ※1	0.162m
	10.3m	ディーゼル発電機制御盤	0.046m	0.075m	0.029m
原子炉補助建屋	17.8m	安全系現場制御監視盤	0.038m	0.045m	0.007m ※2
	10.3m	パワーコントロールセンタ	0.046m	0.063m	0.017m ※2
循環水ポンプ建屋	2.5m	原子炉補機冷却海水ポンプ	0.3m	1.5m	1.2m

※1 没水防護対策として設置する止水板の高さ

※2 評価対象の防護対象設備が設置される溢水防護区画内の消火活動では水消火設備は使用しないため、溢水水位は区画外放水による溢水が、当該の溢水防護区画だけに伝播した場合を想定した水位である。

8-1 消火水による没水影響評価(3/3)

■ 裕度が小さい区画の補足説明

「溢水水位>機能喪失高さ」とはならないものの、裕度が小さい箇所について、溢水伝播経路を一部見直して評価（詳細評価）した結果を参考に記載する。

評価結果は何れも溢水水位が機能喪失高さ未満であり、かつ、床ドレンによる排水を一切考慮していない等、評価自体に十分な余裕が含まれていることから、防護対象設備への溢水影響は他設備と同等であると考えられる。

表 没水影響評価結果(抜粋)

建屋	設置高さ(T. P)	防護対象設備	溢水水位	機能喪失高さ	裕度
原子炉建屋	10.3m	ディーゼル発電機制御盤	0.046m 0.042m	0.075m	0.029m 0.033m
原子炉補助建屋	17.8m	安全系現場制御監視盤	0.038m 0.032m 0.023m	0.045m	0.007m ※ 0.013m 0.032m
	10.3m	パワーコントロールセンタ	0.046m 0.029m	0.063m	0.017m ※ 0.034m

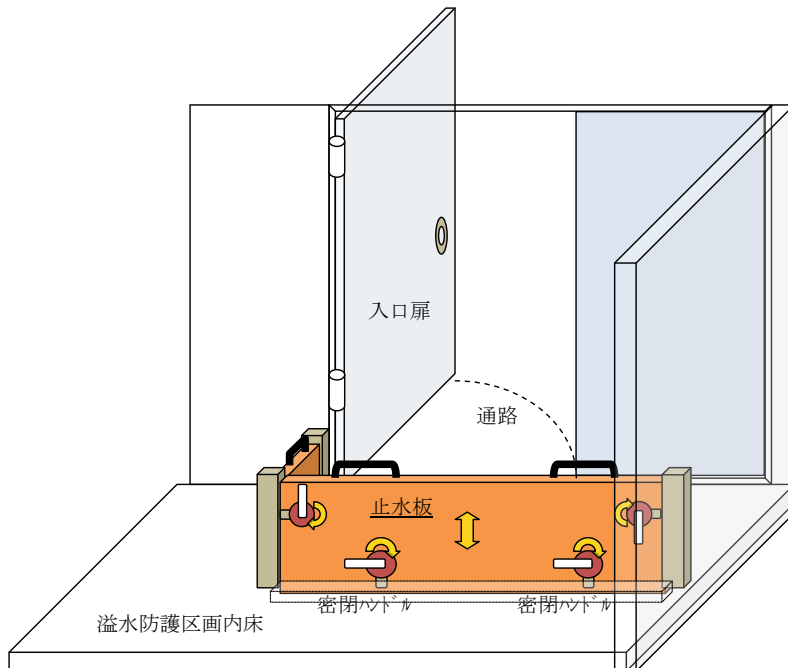
赤字はA・B両トレンの溢水伝播を想定した場合の水位

紫字はA・B両トレン+MCR(機能喪失高さ0.2m)の溢水伝播を想定した場合の水位

※ 評価対象の防護対象設備が設置される溢水防護区画内の消火活動では水消火設備は使用しないため、溢水水位は区画外放水による溢水が、当該の溢水防護区画だけに伝播した場合を想定した水位である。

8-2 消火水による没水防護対策(1/3)

- 以下に記載する部屋の入口に溢水伝播を防止する目的で止水板を設置している。
 - ・「溢水水位>機能喪失高さ」となる原子炉建屋T. P 17. 8mの原子炉トリップ遮断機盤室と、同T. P 10. 3mの1次冷却材ポンプ母線計測盤室
 - ・「溢水水位<機能喪失高さ」であるが裕度が小さいパワーコントロールセンタが設置されている安全補機開閉器室
- 止水板は常時設置とし、防護対象盤のメンテナンスに伴う物品運搬等の際は取外す運用とする。また、止水板の取付け・取外し訓練を定期的を実施することとし、訓練計画を策定する。運用については、社内マニュアルに規定して管理する。



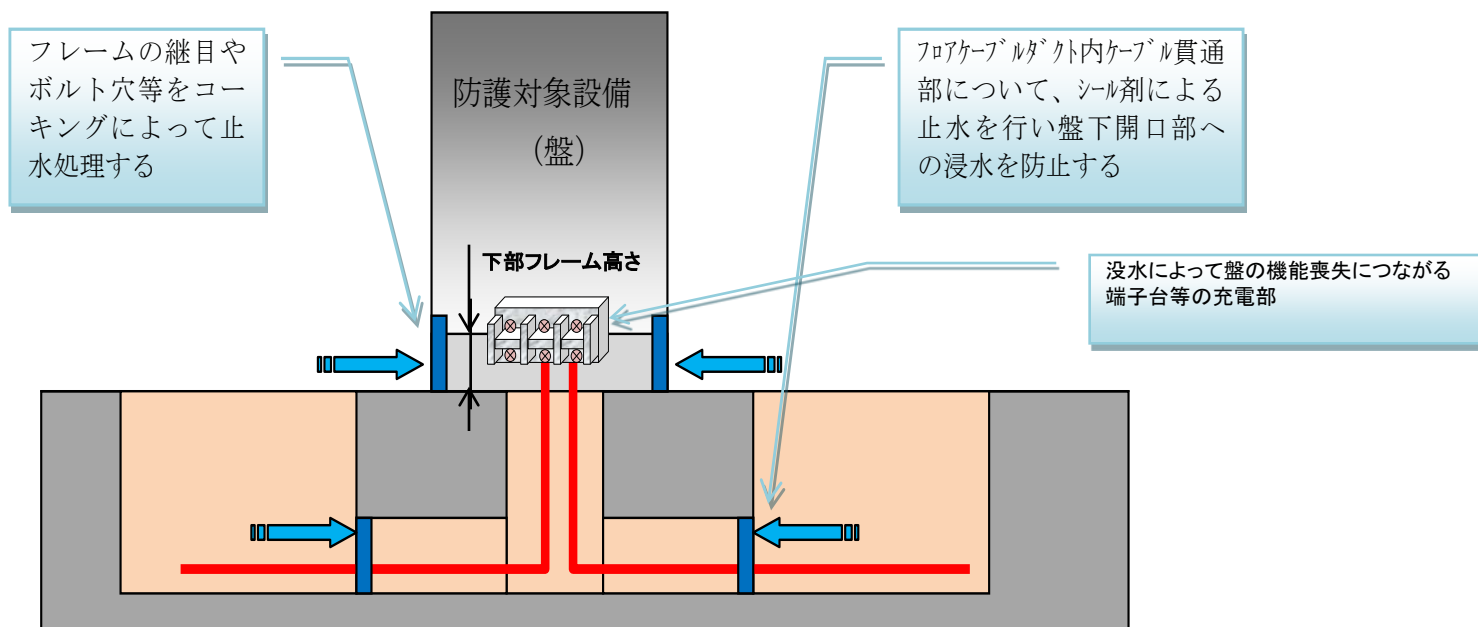
止水板概要図



止水板サンプル写真

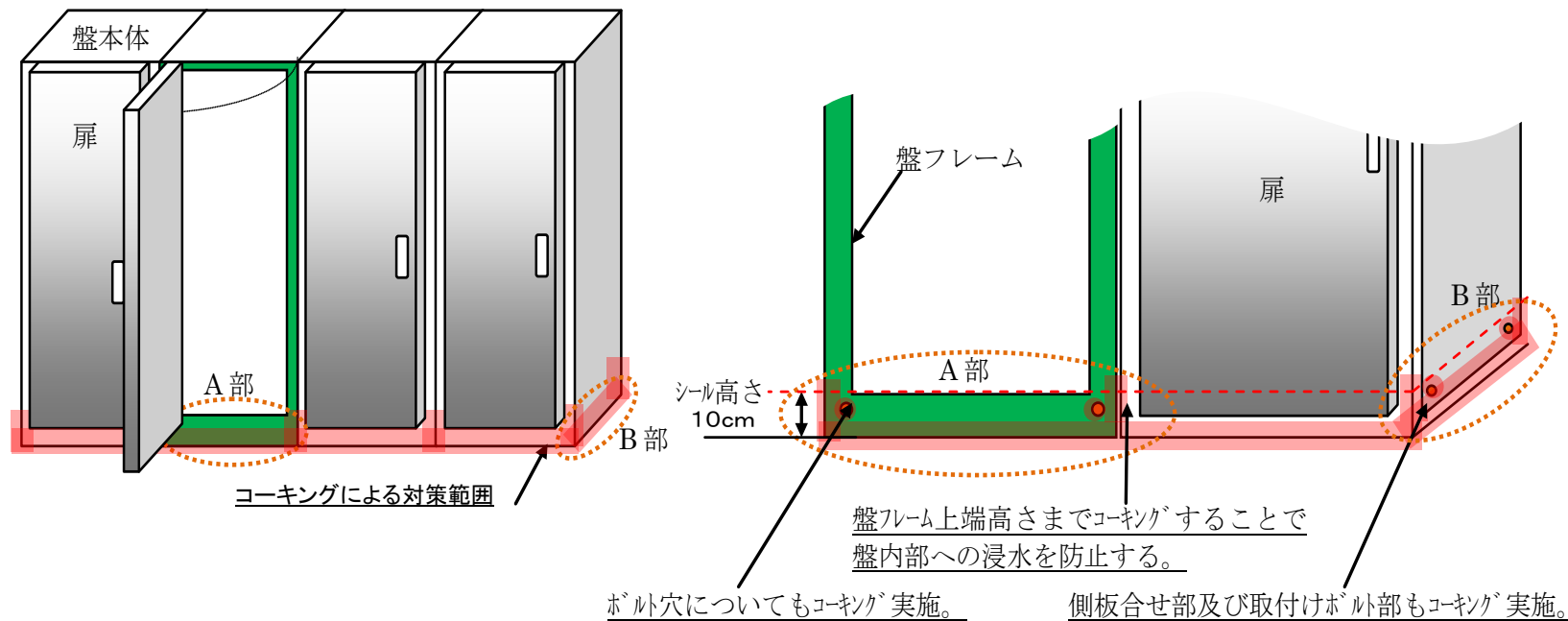
8-2 消火水による没水防護対策(2/3)

- 以下に記載する電気盤に対し、盤フレームに対する止水対策を施している。
 - ・「溢水水位<機能喪失高さ」であるが、裕度が小さい原子炉補助建屋 T. P 17. 8mの安全系計装盤室内の電気盤（安全系現場制御監視盤他）、原子炉建屋 T. P 10. 3mのディーゼル発電機制御盤



盤フレームに対する止水対策概要図(その1)

8-2 消火水による没水防護対策(3/3)



盤フレームに対する止水対策概要図(その2)