

泊発電所 3 号炉 耐津波設計方針について (管路解析の妥当性に係る指摘事項回答)

令和6年5月23日
北海道電力株式会社

無断複製・転載等禁止

これまでの審査経緯と本日の説明事項

＜これまでの審査経緯＞

- 泊発電所 3 号炉の審査工程において入力津波の解析工程がクリティカルパスとなっていることから、基準津波が確定する前であるが、入力津波の解析条件・解析モデルに係る事項について優先してご説明している。
- 第1076回審査会合(令和 4 年 9 月29日)において、耐津波設計方針の概要についてのご説明の中で入力津波解析の条件についてご説明した。
- 第1098回審査会合(令和 4 年12月 6 日)において、第1076回審査会合(令和 4 年 9 月29日)における 2 件の指摘事項(入力津波の影響要因に関する指摘事項)に関する回答をご説明した(一部回答を含む)。
- 第1111回審査会合(令和 5 年 2 月 2 日)において、第1076回審査会合(令和 4 年 9 月29日)における 1 件の指摘事項(管路解析に関する指摘事項)に関する回答をご説明した(一部回答を含む)。
- 第1201回審査会合(令和 5 年10月31日)において、審査会合時点での上昇側の基準津波候補に基づき、5 件の指摘事項(入力津波の影響要因及び管路解析に関する指摘事項)に関する回答をご説明した(一部回答を含む)。

＜本日の説明事項＞

審査会合指摘事項に対する回答

- 入力津波の設定に係る第1111回審査会合(令和 5 年 2 月 2 日)において頂いた1件の指摘事項及び第1201回審査会合(令和 5 年10月31日)において頂いた 1 件の指摘事項について、本資料P.5～25にて回答する(一部回答を含む)。

本日の説明事項の位置付け

基準津波及び耐津波設計
方針に係る審査ガイド

泊発電所3号炉
第5条 耐津波設計方針(まとめ資料)

審査会合における
指摘事項

基準
津波

I. 基準津波

II. 耐津波設計方針

3. 基本事項

3.1 敷地及び敷地周辺にお
ける地形及び施設の配
置等

3.2 基準津波による敷地周
辺の遡上・浸水域
3.2.1 敷地周辺の遡上・浸
水域の評価
3.2.2 地震・津波による地形
等の変化に係る評価

3.3 入力津波の設定

3.4 津波防護方針の審査に
あたっての考慮事項
(水位変動, 地殻変動)

入力
津波

泊発電所3号炉の耐津波設計方針 別添

1. 基本事項

1. 1 津波防護対象の選定

1. 2 敷地及び敷地周辺に
おける地形及び施設の
配置等

1. 3 基準津波による敷地
周辺の遡上・浸水域
(1) 敷地周辺の遡上・浸水
域の評価
(2) 地震・津波による地形
等の変化に係る評価

1. 4 入力津波の設定

1. 5 水位変動・地殻変動
の考慮

1. 6 設計又は評価に用い
る入力津波

添付2 津波シミュレーション
に用いる数値計算
モデルについて

添付3 基準津波による敷
地周辺の遡上・浸
水域について

添付4 港湾内の局所的な
海面の励起について

添付5 管路解析の詳細に
ついて

添付43 流路縮小工における
損失水頭の評価方
法の検証

添付6 入力津波に用いる
潮位条件について

指摘事項 230202-08
指摘事項 231031-01
⇒管路解析に関するご指摘

本資料でご指摘に
対する回答を行う

津波
防護

4. 津波防護方針

2. 設計基準対象施設の津
波防護方針

はじめに

基準津波について

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

- 1.1 審査会合における指摘事項と回答概要
- 1.2 敷地及び敷地周辺の特徴の整理
- 1.3 審査ガイド(3.2.1)の確認内容と検討結果
- 1.4 審査ガイド(3.2.2)の確認内容と検討結果
- 1.5 管路解析の解析条件・解析モデル
- 1.6 放水施設の損傷の考慮について

- 1.7 流路縮小工における損失水頭の評価方法の検証 P.7
 - 1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 P.9
 - 1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 P.19
 - 1.7.3 取水施設における取水槽の中間スラブ及び天端開口部の損失係数の設定 P.24

2. 入力津波の評価条件について

- 2. 1. 入力津波の検討フロー(全体概要)
- 2. 2. 基準津波に基づいた検討対象の整理
- 2. 3. 入力津波の設定に当たり考慮する影響要因の検討
- 2. 4. 入力津波の設定
- 2. 5. まとめ

参考文献

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.1 審査会合における指摘事項と回答概要(1/2)

ID	指摘事項	回答概要	回答頁
2 3 0 2 0 2 - 0 8	令和5年2月2日審査会合 ⑧ 3号炉放水ピット流路縮小工付近等の鉛直方向の急激な断面変化部における管路解析について、当該管路解析で使用している一次元不定流解析において仮定している条件及び損失水頭算定公式の根拠となっている条件を踏まえ、解析手法の適用性及び妥当性を説明すること。	3号炉放水ピット流路縮小工付近等の鉛直方向の急激な断面変化部における管路解析において、当該管路解析で使用している一次元不定流解析の解析条件及び損失水頭算定公式の適用性及び妥当性について、以下の2ステップで検証する方針とする（今回は方針の説明を行い、結果は今後説明予定）。 なお、入力津波の設定に用いる損失係数の設定に当たっては、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を踏まえ、三次元解析及び水理模型実験で得られた損失係数に対して裕度を持たせた保守的な設定を行う（津波の流入防止及び通常時の放水機能への影響の観点で保守的となるよう設定）。 <u>I. 三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性の確認による三次元解析モデルの構築</u> - 実機と相似な流況を再現した水理模型実験（縮尺：1/50）で得られた損失水頭及び損失係数と、水理模型実験と同じ縮尺の三次元解析から得られた損失水頭及び損失係数との整合性を確認することで、流路縮小工に生じる流況を再現できる三次元解析モデル（縮尺：1/50）を構築する。 <u>II. 三次元解析と一次元解析の水位比較による一次元解析を用いた損失水頭評価の妥当性検証</u> - Iで構築した三次元解析モデル（縮尺：1/50）を実機スケール（縮尺：1/1）に変更し、実機相当の粗度係数を反映した三次元解析モデルを構築する。実機を模擬した三次元解析と一次元解析における放水ピット内の水位を比較し、一次元解析の水位が三次元解析の水位を上回ることを確認することで、一次元解析を用いた損失水頭評価が妥当であるか検証する。	P.7 ～18

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.1 審査会合における指摘事項と回答概要(2/2)

ID	指摘事項	回答概要	回答頁
2 3 1 0 3 1 - 0 1	令和5年10月31日審査会合 ① 以下に示す箇所に用いている損失水頭の算定方法について、当該算定方法の引用元の文献における実験又は理論の前提条件を踏まえ、適用性又は妥当性を説明すること。 ✓ 急縮後の断面の長さが短いなど、引用文献の実験の前提条件と異なっている可能性が否定できない、オリフィスのような形状をしている1号及び2号炉取水路流路縮小工。 ✓ 鉛直方向の水流であって自由水面を持つなど、引用文献の理論の前提条件と異なっている可能性が否定できない、1号及び2号並びに3号炉取水施設の取水槽の中間スラブ及び天端開口部。	以下に示す箇所に用いている損失水頭の算定方法について、当該算定方法の引用元の文献における実験又は理論の前提条件を踏まえ、適用性又は妥当性を説明する。 ✓ 1号及び2号炉取水路流路縮小工について、スリーブ長さによる損失係数への影響が小さいことを確認した。また、1号及び2号炉取水路流路縮小工の構造体の影響を考慮した損失係数を確認するために水理模型実験を実施するとともに、実験により得られた差圧と水理模型実験を模擬した一次元解析による差圧を比較することで、一次元解析が適用可能か検証する。入力津波の設定に用いる損失係数には、裕度を持たせる方針とし、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を踏まえ、水理模型実験で得られた損失係数に対して保守的な設定を行う（津波の流入防止及び通常時の取水機能への影響の観点で保守的となるよう設定）。（今回は方針の説明を行い、結果は今後説明予定） ✓ 1号及び2号並びに3号炉取水施設の取水槽の中間スラブ及び天端開口部については、引用文献の理論の前提条件と異なっている可能性が否定できないため、急縮・急拡の損失水頭による津波の流入防止効果の有無による取水ピットスクリーン室水位への影響を確認し、保守的な損失係数を設定する方針とする。	P.7~8, P19 ~25

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7 流路縮小工における損失水頭の評価方法の検証(1/2)

- 流路縮小工の構造及び流れの状況に応じて、次ページのフローに従い、1号及び2号炉取水路並びに3号炉放水ピットそれぞれの流路縮小工に対して評価手法の検証を行う。
- 1号及び2号並びに3号炉取水施設の取水槽の中間スラブ及び天端開口部については、流路縮小部に津波の流入防止効果の有無による取水ピットスクリーン室水位への影響を確認し、保守的な損失係数を設定する方針とする。

【検証項目】

- 3号炉放水ピット流路縮小工

- 三次元解析と一次元解析における水位を比較することで、一次元解析が適用可能か検証する。

3号炉放水ピット流路縮小工における津波時の流れについては、流路縮小工内部が津波来襲時に一時的に満管ではない状態が生じること、鉛直及び水平方向に連続で急縮部、急拡部等がある複雑な三次元構造であることから、必ずしも損失水頭算定公式の引用文献の実験条件と同様の環境とはならない。そのため、3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価手法の検証に当たっては、短い間隔で繰り返し来襲する津波時の波形及び複雑な三次元構造を模擬した三次元解析を行う。

また、本検証において一次元解析に用いる損失係数は、初期値として文献等を用いて設定し、水理模型実験と損失水頭及び損失係数の整合性を確認した三次元解析との放水ピット水位比較結果を踏まえて、必要に応じ変更を行う。なお、入力津波の設定に用いる損失係数については、前述の検証で得られた損失係数に対して保守的な設定を行う。

- 1号及び2号炉取水路流路縮小工

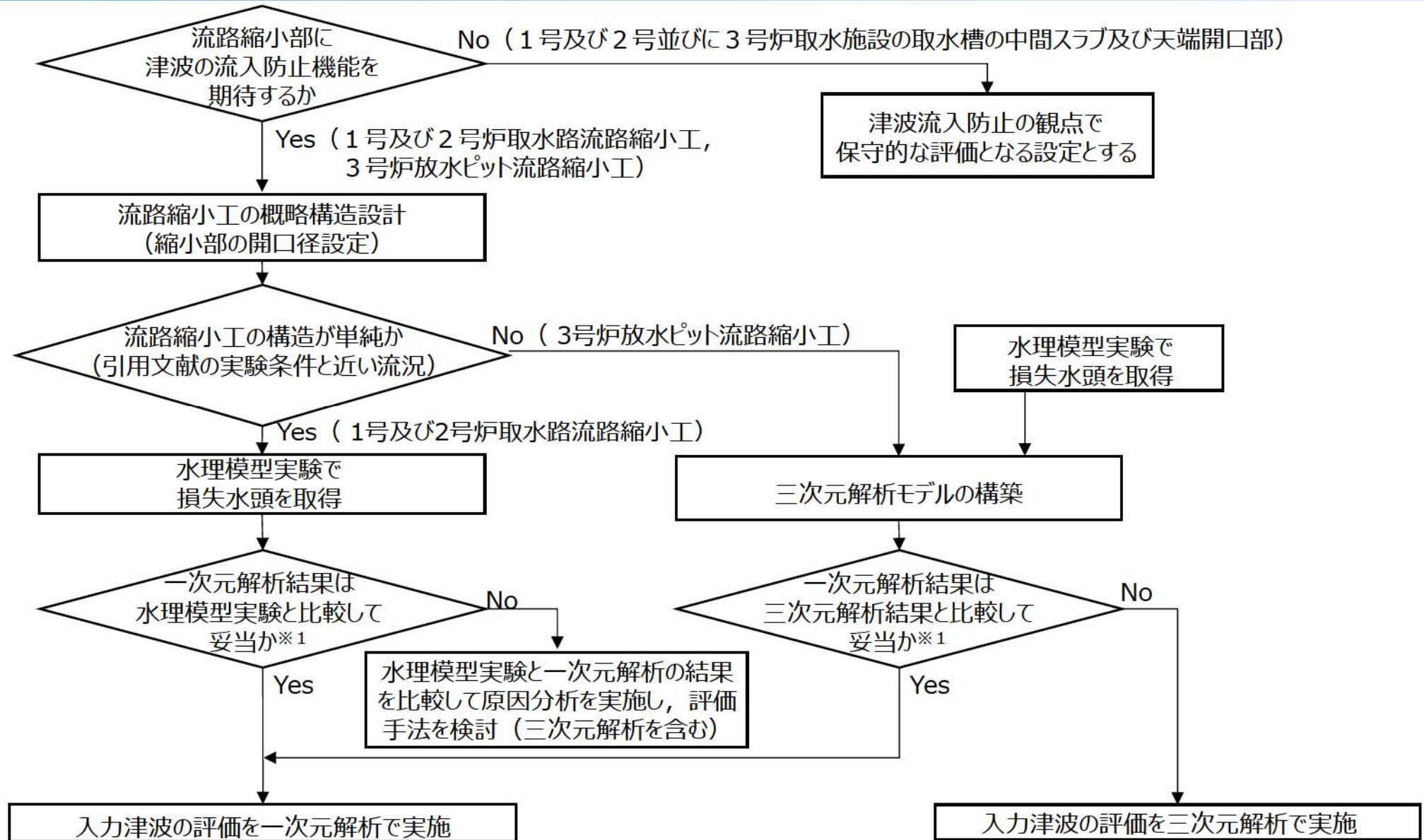
- 水理模型実験と一次元解析における損失水頭を比較することで、一次元解析が適用可能か検証する。

常に満管状態であり、損失水頭算定公式の引用元文献の実験条件に近い環境となる。そのため、一次元解析で損失水頭を評価できることを確認するため、水理模型実験結果と水理模型実験により得られた損失係数を適用した一次元解析を比較する。

また、入力津波の設定に用いる損失係数については、水理模型実験で得られた損失係数を踏まえて設定する。

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7 流路縮小工における損失水頭の評価方法の検証(2/2)



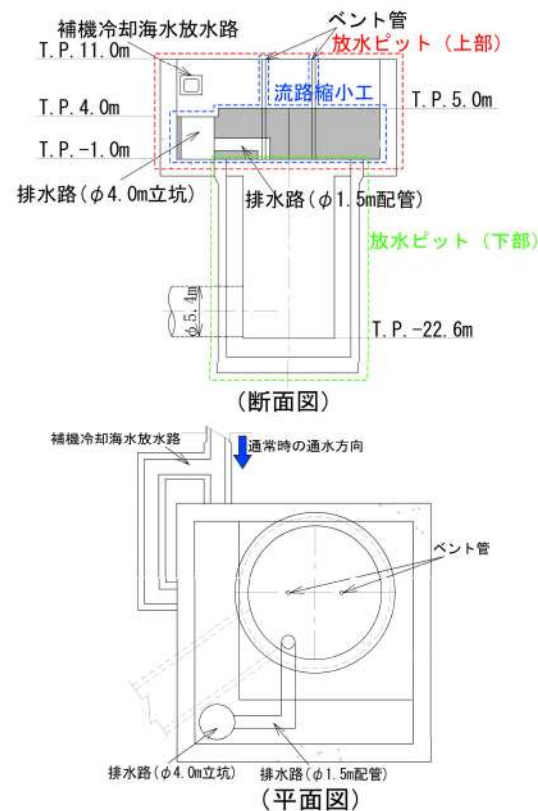
※1：妥当性の確認については、水理模型実験や三次元解析結果をもって判断する。

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (1/10)

なお、入力津波の設定に用いる損失係数の設定に当たっては、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を踏まえ、三次元解析及び水理模型実験で得られた損失係数に対して裕度を持たせた保守的な設定を行う（押し波時には損失係数を小さく設定し、引き波時に損失係数を大きく設定）。

- ・Ⅱの検証において、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を考慮した任意の連続波形を用いて行うが、水理模型実験では連続波形の入力が困難であるため、定常流を用いて水理模型実験と損失水頭及び損失係数の整合性を確認した三次元解析モデル（縮尺：1/50）の構築を行う。
- ・三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性を確認できない場合、三次元解析のメッシュ分割等を見直す。

- ・放水ピット内の水位の比較結果を踏まえ損失係数を変更する場合は、実機を模擬した三次元解析の放水ピット内の水位の時刻歴波形と一次元解析が大きく乖離しないことを確認する。



3号炉放水ピット流路縮小工 構造概要図

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（2/10）

3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の課題及び検証方法

- 【損失水頭の評価方法の課題】
- 3号炉放水ピット流路縮小工は、鉛直及び水平方向に連続で急縮部、急拡部等がある複雑な三次元構造であるため、一次元解析モデルに電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）による形状損失（急縮損失、急拡損失、屈折損失）並びに電力土木技術協会（1995）による摩擦損失を適用することで、複雑な三次元構造の損失水頭を評価できているかを確認する。
- 【検証方法】
- 検証は、三次元解析、水理模型実験及び一次元解析を用いて行う。
 - 検証フローを次頁に、検証フローの各実施項目及び目的を下表に示す。

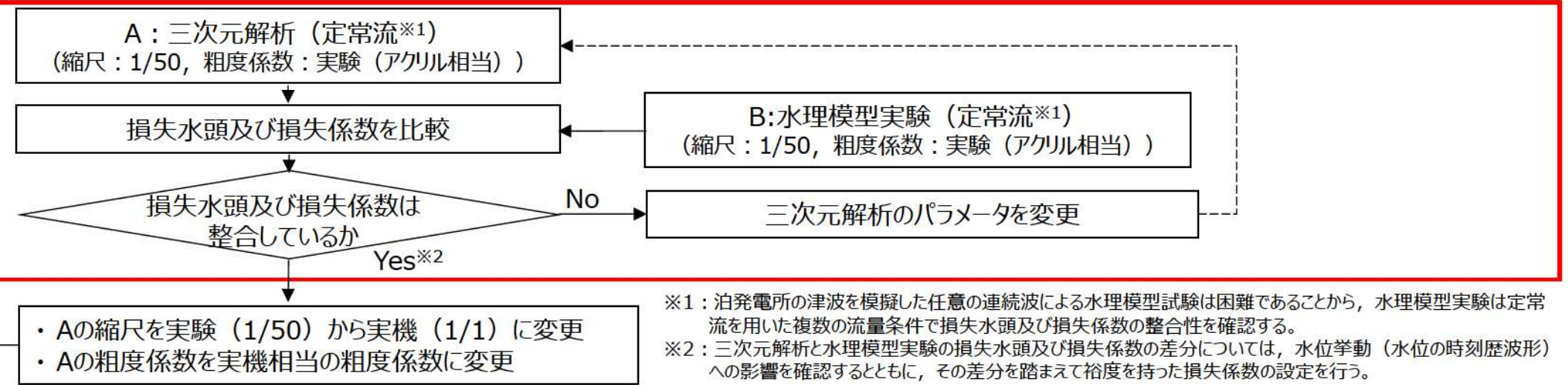
実施項目及び目的

	実施項目	目的	
定常流	A：三次元解析 (縮尺：1/50, 粗度係数：実験（アクリル相当）)	泊発電所の津波の特徴を考慮した模擬波（以下、「模擬波」という。）を用いたC：三次元解析を行うために、B：水理模型実験で算出した損失水頭及び損失係数と整合性を確認した3号炉放水ピット流路縮小工の三次元解析モデルを構築する。	損失水頭及び損失係数を比較
	B：水理模型実験 (縮尺：1/50, 粗度係数：実験（アクリル相当）)	A：三次元解析モデルの妥当性を確認するために、3号炉放水ピット流路縮小工の模型を用いたB：水理模型実験を行い、複雑な三次元構造を有する流路縮小工を含む放水ピットから放水路に至る全体の損失水頭及び損失係数を算出する。	
非定常流（模擬波）	C：三次元解析 (縮尺：1/1, 粗度係数：実機相当)	一次元解析を用いた損失水頭評価の妥当性を検証するために、B：水理模型実験と損失水頭及び損失係数の整合性を確認したA：三次元解析モデルの縮尺を実験（1/50）から実機（1/1）に変更し、実機相当の粗度係数を反映したC：三次元解析を実施し、流路縮小工の効果が再現された流況における放水ピット内の水位を算出する。	放水ピット内の最高水位を比較
	D：一次元解析 (縮尺：1/1, 粗度係数：実機相当)	三次元解析による模擬波での放水ピット内の水位比較により、一次元解析を用いた損失水頭評価の妥当性を検証する。	

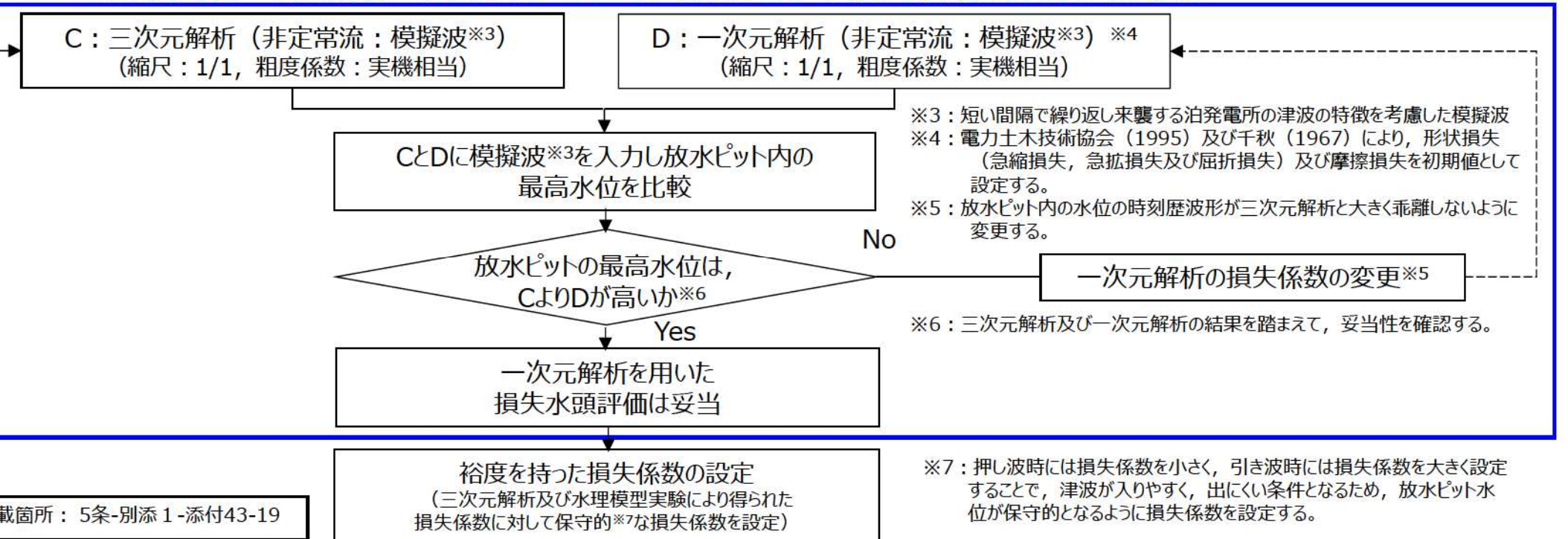
1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (3/10)

I. 三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性の確認による三次元解析モデルの構築



II. 三次元解析と一次元解析の水位比較による一次元解析を用いた損失水頭評価の妥当性検証



1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（4/10）

I. 三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性の確認による三次元解析モデルの構築（1）

【目的】

- 三次元解析及び水理模型実験の損失水頭及び損失係数の確認を行い、水理模型実験と損失水頭及び損失係数の整合性を確認した三次元解析モデルを構築する。
- 三次元解析及び水理模型実験の目的は以下のとおりである。
 - ・ 三次元解析：泊発電所の津波の特徴を考慮した模擬波を用いた三次元解析を行うために、水理模型実験と同じ縮尺（1/50）で算出した損失水頭及び損失係数と整合性を確認した三次元解析モデルを構築する。
 - ・ 水理模型実験：三次元解析モデルの妥当性を確認するために、3号炉放水ピット流路縮小工の模型（縮尺：1/50、アクリル製）での水理模型実験により、複雑な三次元構造を有する流路縮小工含む放水ピットから放水路に至る全体の損失水頭及び損失係数を算出する。

【方法】

- 損失水頭は、流量及び対象区間の水位差より算出することから、流量と水位差の対比が可能な定常流を用いる。
- 損失係数は、算出された損失水頭を代表位置（流路縮小工排水路（配管））における速度水頭で除すことにより算出する。
- 三次元解析及び水理模型実験による損失水頭及び損失係数の算出方法は以下のとおりである。
 - ・ 三次元解析：三次元解析モデルを構築し、放水路端部の水槽から、流量の入力条件を設定し、定常流（一定の流量）を流して水位が安定した状態で得られた水槽と放水ピット（上部）の水位差から損失水頭及び損失係数を算出する。
 - ・ 水理模型実験：水理模型を作成し、放水路端部の水槽から、ポンプ及び流量計を用いて流量を制御し、定常流（一定の流量）を流して水位が安定した状態で得られた水槽と放水ピット（上部）の水位差から損失水頭及び損失係数を算出する。

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（5/10）

I.三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性の確認による三次元解析モデルの構築（2）

【流量及び流れ方向の条件】

- 損失水頭及び損失係数を確認するために行う定常流の設定流量※1は下表のとおり設定した。
- 実験縮尺及びフルード相似則を適用し，縮尺1/50とした流量を下表に示す。
- 流れ方向による損失水頭及び損失係数の変化を確認するため引き波方向及び押し波方向を実施する。

※1：津波時流量の算出に当たっては，基準津波18ケースを参考とした。

【縮尺及び流量等の条件】

- 三次元解析及び水理模型実験による縮尺等の条件は以下のとおりである。
 - ・三次元解析：縮尺は実験と同様に1/50とし，また，粗度係数は実験を模擬するためアクリル相当とする。
 - ・水理模型実験：実験縮尺（幾何縮尺）は1/50とし，材質はアクリルとする。
- 流量及び流れ方向の条件を下表に，3号炉放水ピット流路縮小工のイメージ図及び構造概要図をP.14に，水理模型実験の模型イメージ図をP.15に示す。

流量及び流れ方向の条件

ケース	実機縮尺の 流量 (m ³ /s)	縮尺1/50の 流量 (m ³ /s)	流れ方向※2	備考
定常流①	2.0	0.11×10 ⁻³	引き波方向	津波来襲前の 設定流量
定常流②			押し波方向	
定常流③	12.0	0.68×10 ⁻³	引き波方向	津波時の 設定流量
定常流④			押し波方向	

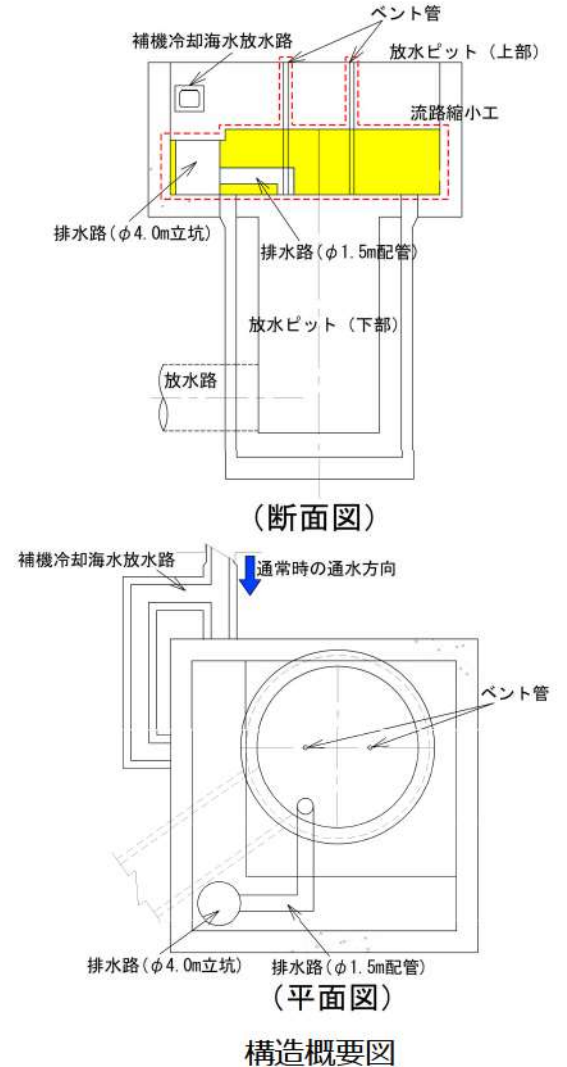
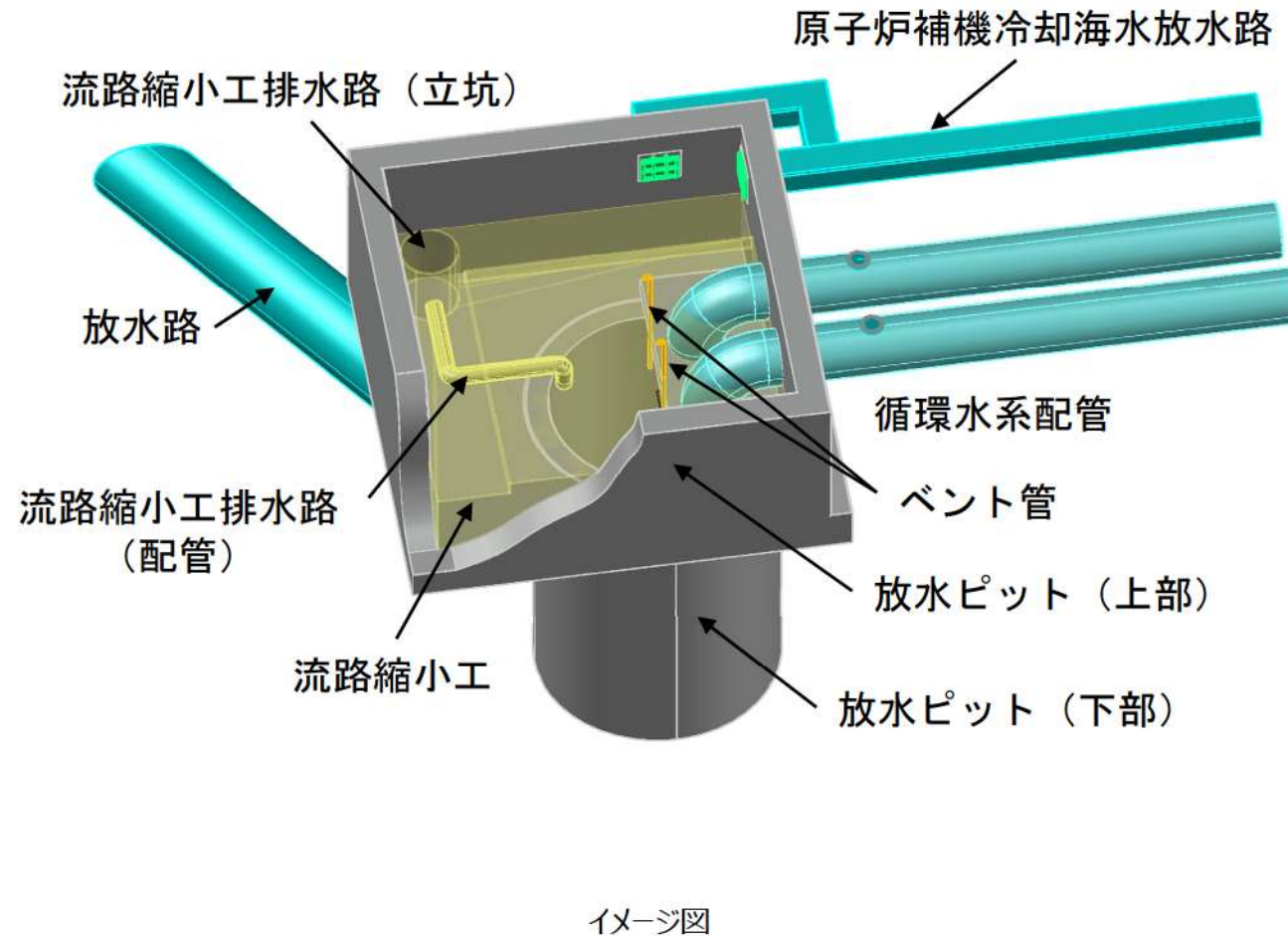
※2：引き波方向は放水ピットから放水口，押し波方向は放水口から放水ピット方向とした

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (6/10)

I. 三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性の確認による三次元解析モデルの構築 (3)

- 3号炉放水ピット流路縮小工のイメージ図及び構造概要図を下図に示す。



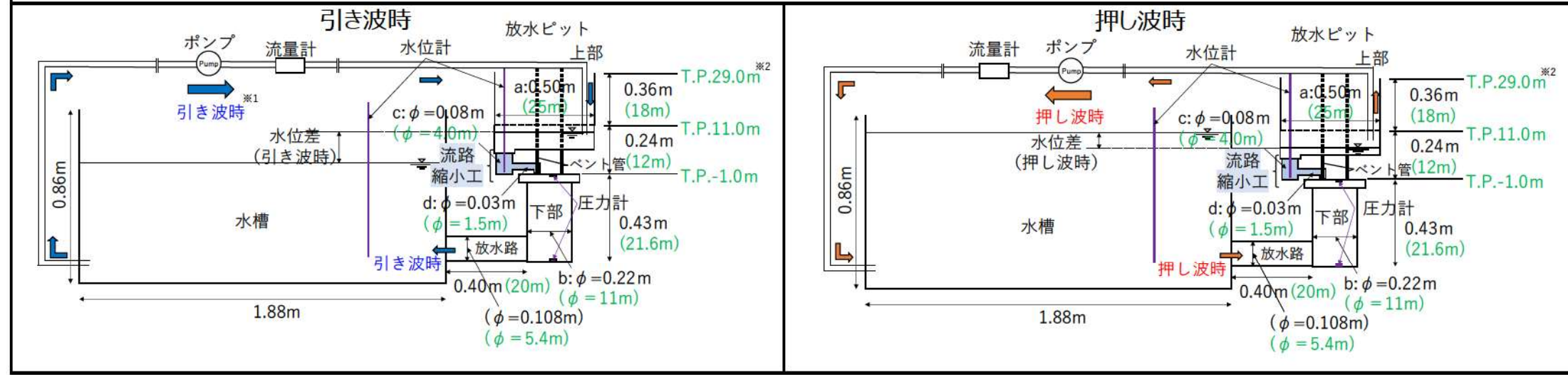
1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（7/10）

I. 三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性の確認による三次元解析モデルの構築（4）

- 水理模型実験の引き波時の模型イメージを左図に、押し波時の模型イメージを右図に示す。

水理模型実験（縮尺：1/50，粗度係数：実験（アクリル相当））



- ※1：押し波時・引き波時の流向は、ポンプ・流量計の配管区間の接続方向を変えることで設定する。
 ※2：損失水頭を確認するため放水ピット天端高さ（T.P.11.0m）より高く設定
 ※3：緑字は実機寸法

寸法等の条件

項目	実機 (縮尺：1/1)	水理模型実験及び 三次元解析 (縮尺：1/50)
a：放水ピット上部寸法 (m)	幅：25.0×奥行：24.5	幅：0.50×奥行：0.49
b：放水ピット下部内径 (m)	11.0	0.22
c：流路縮小工排水路（立坑）内径 (m)	4.0	0.08
d：流路縮小工排水路（配管）内径 (m)	1.5	0.03

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（8/10）

Ⅱ.三次元解析と一次元解析の水位比較による一次元解析を用いた損失水頭評価の妥当性検証（1）

【目的】

- 模擬波を入力した三次元解析と一次元解析の放水ピット内水位の比較により、一次元解析モデルを用いた損失水頭評価の妥当性を検証する。
- 三次元解析及び一次元解析の目的は以下のとおりである。
 - ・ 三次元解析：一次元解析モデルの損失水頭評価の妥当性を検証するために、水理模型実験と損失水頭及び損失係数の整合性を確認した三次元解析モデル（縮尺：1/50）を用いて、実機と同様の縮尺及び粗度係数を考慮した三次元解析を実施し、流路縮小工効果が再現された流況における放水ピット内の水位を算出する。
 - ・ 一次元解析：三次元解析との放水ピット内の水位比較により、一次元解析を用いた損失水頭評価が妥当であるか検証する。

【方法】

- 妥当性検証は、三次元解析と一次元解析の放水ピット水位を比較し、一次元解析により算出した放水ピット水位の方が高くなることを確認することで行う。
- 入力波形は、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴（流入した津波が放水ピット上部に滞水した状態で次の津波が流入し、当該箇所水位が高くなる可能性のあること）を踏まえた模擬波を用いて行う。

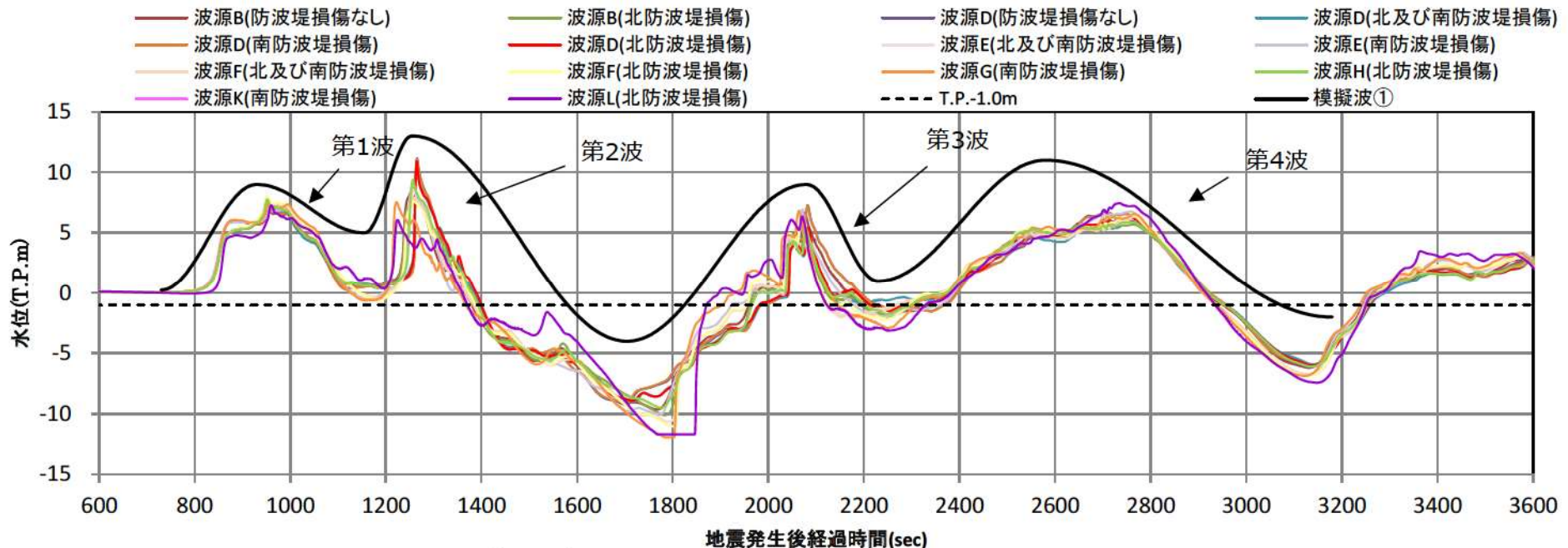
1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (9/10)

Ⅱ. 三次元解析と一次元解析の水位比較による一次元解析を用いた損失水頭評価の妥当性検証 (2)

【条件】

- 入力波形は、基準津波18ケースを類似の波形グループごとに4分類し作成した模擬波①～④とする。
- 模擬波は、下図に示すとおり、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を踏まえ、第1波～第4波の波形を参考に設定した。
- 模擬波の再現性及び保守性は以下のとおりである。
 - ・ 再現性： 短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を踏まえ、流入した津波が放水ピット上部に滞水した状態で次の津波が流入し、当該箇所の水位が高くなる挙動を再現するため、時刻歴波形が基準津波の波形と概ね合うように設定する。
 - ・ 保守性： 三次元解析及び一次元解析の放水ピットの水位が保守的となるよう、基準津波の波形より水位が高く、流路縮小工下端 (T.P.-1.0m) 以上の水位の継続時間が長くなるように設定する。
- 検証に用いる模擬波①を下図に示す。
(模擬波②～④はまとめ資料の添付資料43 (流路縮小工における損失水頭の評価方法の検証) 4.5 (1) 参照)
- 三次元解析及び一次元解析は、実機の縮尺及び粗度係数を適用する。



波形グループ① (14波) の各波形と模擬波①(放水口水位)

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（10/10）

【まとめ】

- 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証は、以下の2ステップで行う。

I. 三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性の確認による三次元解析モデルの構築

○ 実施内容

- ・ 実機と相似な流況を再現した水理模型実験で得られた損失水頭及び損失係数と、水理模型実験と同じ縮尺の三次元解析から得られた損失水頭及び損失係数との整合性を確認することで、流路縮小工に生じる流況を再現できる三次元解析モデル（縮尺：1/50）を構築する。

○ 実施条件

- ・ IIの検証において、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を考慮した任意の連続波形を用いて行うが、水理模型実験では連続波形の入力が困難であるため、定常流を用いて水理模型実験と損失水頭及び損失係数を整合性を確認した三次元解析モデル（縮尺：1/50）の構築を行う。
- ・ 三次元解析と水理模型実験の損失水頭及び損失係数の整合性を確認できない場合、三次元解析のメッシュ分割等を見直す。

II. 三次元解析と一次元解析の水位比較による一次元解析を用いた損失水頭評価の妥当性検証

○ 実施内容

- ・ Iで構築した三次元解析モデル（縮尺：1/50）を実機スケール（縮尺：1/1）に変更し、実機相当の粗度係数を反映する。実機を模擬した三次元解析と一次元解析における放水ピット内の水位を比較し、一次元解析の水位が三次元解析の水位を上回ることを確認することで、一次元解析を用いた損失水頭評価が妥当であるか検証する。

○ 実施条件

- ・ 放水ピット内の水位の比較結果を踏まえ損失係数を変更する場合は、実機を模擬した三次元解析の放水ピット内の水位の時刻歴波形と一次元解析が大きく乖離しないことを確認する。

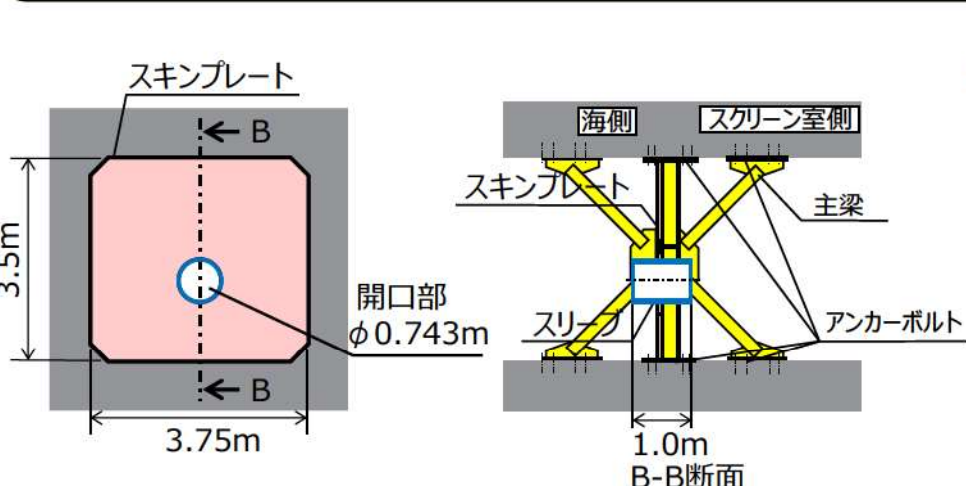
- 検証結果は、次回、ご説明する。

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（1/5）

【概要】

- 急縮後の断面の長さの影響について、1号及び2号炉取水路流路縮小工のスリーブ形状※¹ではスリーブ長さによる損失係数への影響が小さいことを文献により確認する。
 - 1号及び2号炉取水路流路縮小工を模擬した水理模型実験（実験縮尺（幾何縮尺）は1/6程度）を行い、流路縮小工の構造体の影響を考慮した損失水頭及び損失係数を確認する。（今回は実験の計画のみ説明）
 - 水理模型実験を模擬した次元解析を行い、流路縮小工部の損失水頭※²を実験結果と比較することで、次元解析が適用可能か検証を実施する。（次回説明予定）
 - 入力津波の設定に用いる損失係数の設定に当たっては、短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を踏まえ、水理模型実験で得られた損失係数に対して保守的※³な損失係数を設定する。（次回説明予定）
- ※¹：主梁等の構造体による流路抵抗を軽減することを目的としてスリーブを用いる。
 ※²：水路内の流路縮小工前後の差圧として算出。
 ※³：押し波時には損失係数を小さく、引き波時に損失係数を大きく設定することで、津波が入りやすく、出にくい条件となるため、保守的な設定となる。



1号及び2号炉取水路流路縮小工 構造概要

流路縮小工の損失係数

（電力土木技術協会(1995) 火力・原子力発電所土木構造物の設計-増補改訂版-を適用）

	算出式	設定値
急拡大損失	$h_{se} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$ $f_{se} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$	f_{se} : 急拡大損失係数 V_1 : 急拡大前の平均流速(m/s) A_1 : 急拡大前の管断面積(m ²) A_2 : 急拡大後の管断面積(m ²) $f_{se} = 0.934$
急縮損失	$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{sc} : 急縮損失係数(下表参照) V_2 : 急縮後の平均流速(m/s) $f_{sc} = 0.492$

急縮損失係数

D_2/D_1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
f_{sc}	0.50	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07	0

D_1, D_2 : 急縮前後の管路の径(m)

記載箇所：5条-別添1-添付43-7～8, 52～53

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

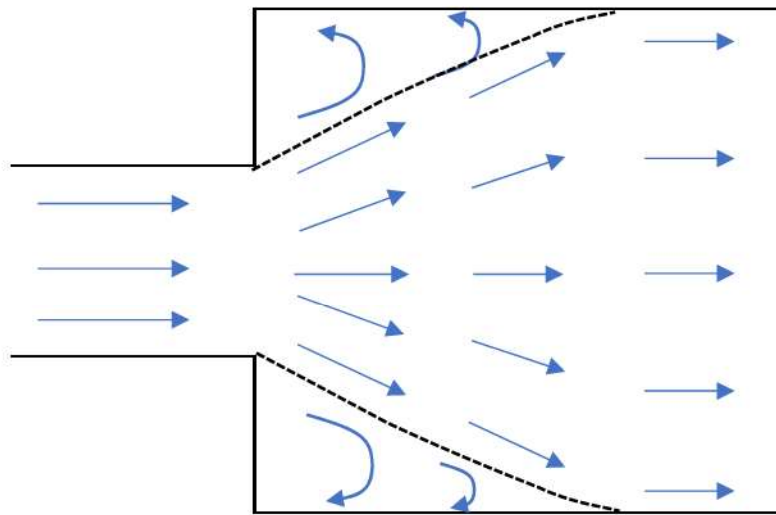
1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (2/5)

【損失係数算出式の適用条件について】

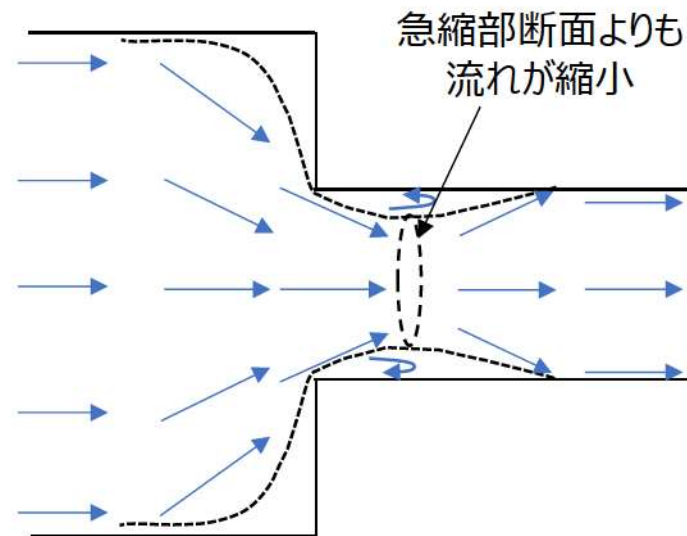
- 急拡による損失係数の算出式※¹は、文献中には明確な適用条件の記載はないものの、断面が急拡することで生じる損失水頭をベルヌーイの定理と運動量方程式から求めたものであることから、急拡前後の流れが「一様流となること」が考えられる。
- 急縮による損失係数の算出式※¹は、文献中には明確な適用条件の記載はないものの、急縮部で流れが収縮し、流れがいったん急縮部の断面よりも縮小したのちに急縮部の断面に拡大することで損失水頭が生じており、急拡と同様に「一様流となること」が考えられる。
- 流路縮小工の上流側及び下流側は十分長い直線の水路となっていることから、急縮の上流側及び急拡の下流側は一様流の状態となっている。
- スリーブの長さが短いと一様流ではない状態で急拡部に達することが考えられることから、スリーブの長さの影響を考慮した損失係数の算出式※²を確認することで、その影響について考察する。

※ 1 : 電力土木技術協会(1995) 火力・原子力発電所土木構造物の設計-増補改訂版-に基づき算出

※ 2 : Handbook of Hydraulic Resistance に基づき算出



急拡部の流れのイメージ



急縮部の流れのイメージ

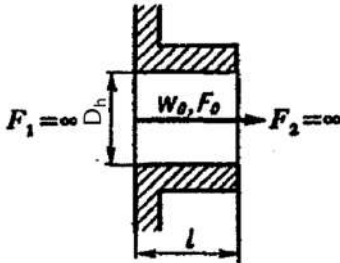
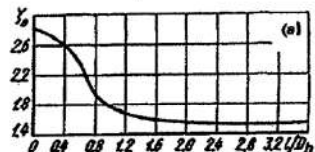
1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (3/5)

【文献に基づく損失係数の設定の考え方】

- スリーブの長さを考慮したオリフィスによる損失係数の算出式※1, 2（算出方法は下表参照）では、スリーブの長さが短いと損失係数は大きく（ $\ell/D_h=0$ の時、損失係数 $\zeta=2.85$ ）、長くなるほど小さくなり一定値（ $\zeta=1.55$ ）に近づく。これは、スリーブの長さが短いと入口側で急縮した流れがスリーブ内で一様流となる前に出口から噴出するためである。
- 下表のグラフより $\ell/D_h=1.2$ より大きい範囲では、スリーブの長さによる損失係数の変化が小さくなり、[1/2号機の流路縮小工のスリーブ形状（ \$\ell/D_h=1.35\$ ）](#)では、[スリーブ長さによる影響は小さい](#)。流路縮小工設置によって発生する損失係数として、急縮及び急拡以外に流路縮小工の構造体の抵抗等が想定されることから、[水理模型実験を行い、損失水頭を計測し損失係数を算出する](#)。

※1：Handbook of Hydraulic Resistance に基づき算出
 ※2：水路径が十分大きい場合を対象としたスリーブの損失係数を求めた試験結果（適用条件は $Re \geq 10^4$ ）

Orifice edges	Configuration	Resistance coefficient																												
Thick-walled (deep orifice) $\ell/D_h>0.015$	 流路縮小工の仕様 Dh（開口径）:0.743m ℓ（オリフィス長さ）：1.0m	$Re \geq 10^4 \quad \zeta = \zeta_0 + \lambda(l/D_h)$, where $\zeta_0 = f(\bar{l})$ or $\zeta = 1.5 + (2.4 - \bar{l}) \times 10^{-\phi(\bar{l})} + \lambda l/D_h$, $\phi(\bar{l}) = 0.25 + 0.535 \bar{l}^8 / (0.05 + \bar{l}^7)$, for λ, see Chapter 2.  <table><tr><td>$\bar{l} \equiv l/D_h$</td><td>0</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.8</td><td>1.0</td></tr><tr><td>ζ_0</td><td>2.85</td><td>2.72</td><td>2.60</td><td>2.34</td><td>1.95</td><td>1.76</td></tr><tr><td>$\bar{l} \equiv l/D_h$</td><td>1.2</td><td>1.4</td><td>1.6</td><td>1.8</td><td>2.0</td><td>4.0</td></tr><tr><td>ζ_0</td><td>1.67</td><td>1.62</td><td>1.60</td><td>1.58</td><td>1.55</td><td>1.55</td></tr></table>	$\bar{l} \equiv l/D_h$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	ζ_0	2.85	2.72	2.60	2.34	1.95	1.76	$\bar{l} \equiv l/D_h$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	4.0	ζ_0	1.67	1.62	1.60	1.58	1.55	1.55
$\bar{l} \equiv l/D_h$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0																								
ζ_0	2.85	2.72	2.60	2.34	1.95	1.76																								
$\bar{l} \equiv l/D_h$	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	4.0																								
ζ_0	1.67	1.62	1.60	1.58	1.55	1.55																								

スリーブ形状オリフィスの損失係数算出方法
 出典：Handbook of Hydraulic Resistance

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証（4/5）

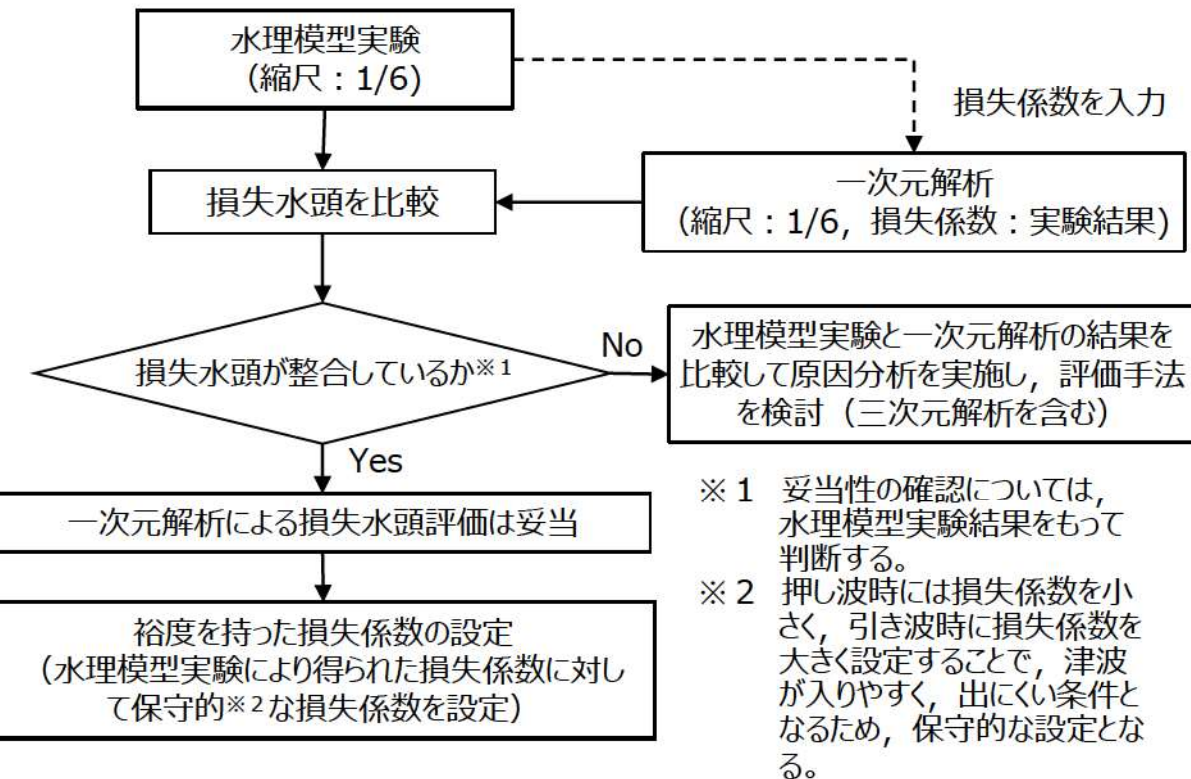
1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の課題及び検証方法

【損失水頭の評価方法の課題】

- 1号及び2号炉取水路流路縮小工は、流路縮小部がスリーブ形状となるためオリフィスのような構造であり、流路縮小工の主梁は流路内に設置される構造である。そのため、1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失係数については、これらの構造物による影響を考慮した値を確認するとともに、津波時の1号及び2号炉取水路流路縮小工に生じる損失水頭の評価手法の検証を行う。

【検証方法】

- 検証は、水理模型実験及び一次元解析を用いて行う。
- 検証フロー並びに検証フローの各実施項目及び目的を下記に示す。



実施項目及び目的

実施項目	目的
水理模型実験 (縮尺：1/6)	実機を模擬した水理模型を作製し、一定流量の条件で流路縮小工（模型）に発生する損失水頭から損失係数を評価することで、津波時に実機で生じる損失係数を確認する。
一次元解析 (縮尺：1/6, 損失係数：実験結果)	水理模型実験で得られた損失水頭と水理模型実験を模擬した一次元解析で評価した損失水頭を比較することにより、一次元解析が適用可能か検証を実施する。

損失水頭を比較

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (5/5)

【水理模型実験の概要及び条件】

【目的】

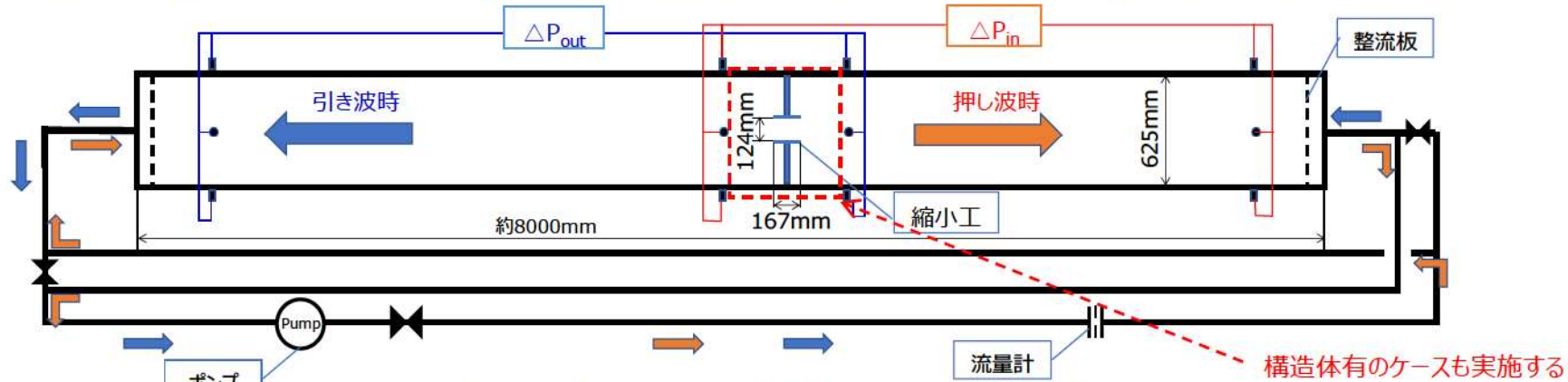
- 流路縮小工の損失水頭の計測

【方法】

- 模型の再現範囲は、取水路及び流路縮小工とし、水理模型実験のイメージ図を下図に示す。
- ポンプ及び流量計を用いて流量の制御を行い、定常流を生じさせた状態で、前後差圧から損失水頭を計測し損失係数を算出する。

【条件】

- 下表のとおり、流量（津波来襲前及び津波時の設定流量）、流れ方向、構造体影響の有無を考慮した試験ケースを実施する。
- 水理模型実験の相似則は、フルード則を適用し、実験縮尺（幾何縮尺）は1/6程度とし、設定した実験条件を下表に示す。



水理模型実験イメージ図（構造体無しのケース）

流量及び流れ方向の条件

流量（実機） [m³/s]	流量（模型） [m³/s]	流れ方向※1	構造体 影響※2	備考
1.0	0.0120	引き波方向	有／無	津波来襲前の 設定流量
		押し波方向		
6.6	0.0749	引き波方向		津波時の設定流量
		押し波方向		

寸法等の条件

項目	実機	模型
取水路の材質	コンクリート	炭素鋼
流路縮小工の材質	炭素鋼	炭素鋼
取水路サイズ（m）	幅：3.75 高さ：3.5	幅：0.625 高さ：0.58
流路縮小工開口径（m）	φ0.743	φ0.124

※1 引き波方向は取水ピットから取水口、押し波方向は取水口から取水ピット方向とした。

※2 流路縮小工の主梁を模擬した構造体を設置して影響を確認する。

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.3 取水施設における取水槽の中間スラブ及び天端開口部の損失係数の設定（1/2）

【概要】

- 1号及び2号並びに3号炉取水施設の取水槽の中間スラブ及び天端開口部については、引用文献の理論の前提条件と異なっている可能性が否定できないため、急縮・急拡の損失水頭による津波の流入防止効果の有無による取水ピットスクリーン室水位への影響を確認し、保守的な損失係数を設定する方針とする。

【1号及び2号炉取水施設の場合（3号炉取水施設も同様）】

1号及び2号炉取水施設の損失水頭表（取水槽部抜粋）
（貝付着無し、スクリーンによる損失あり）

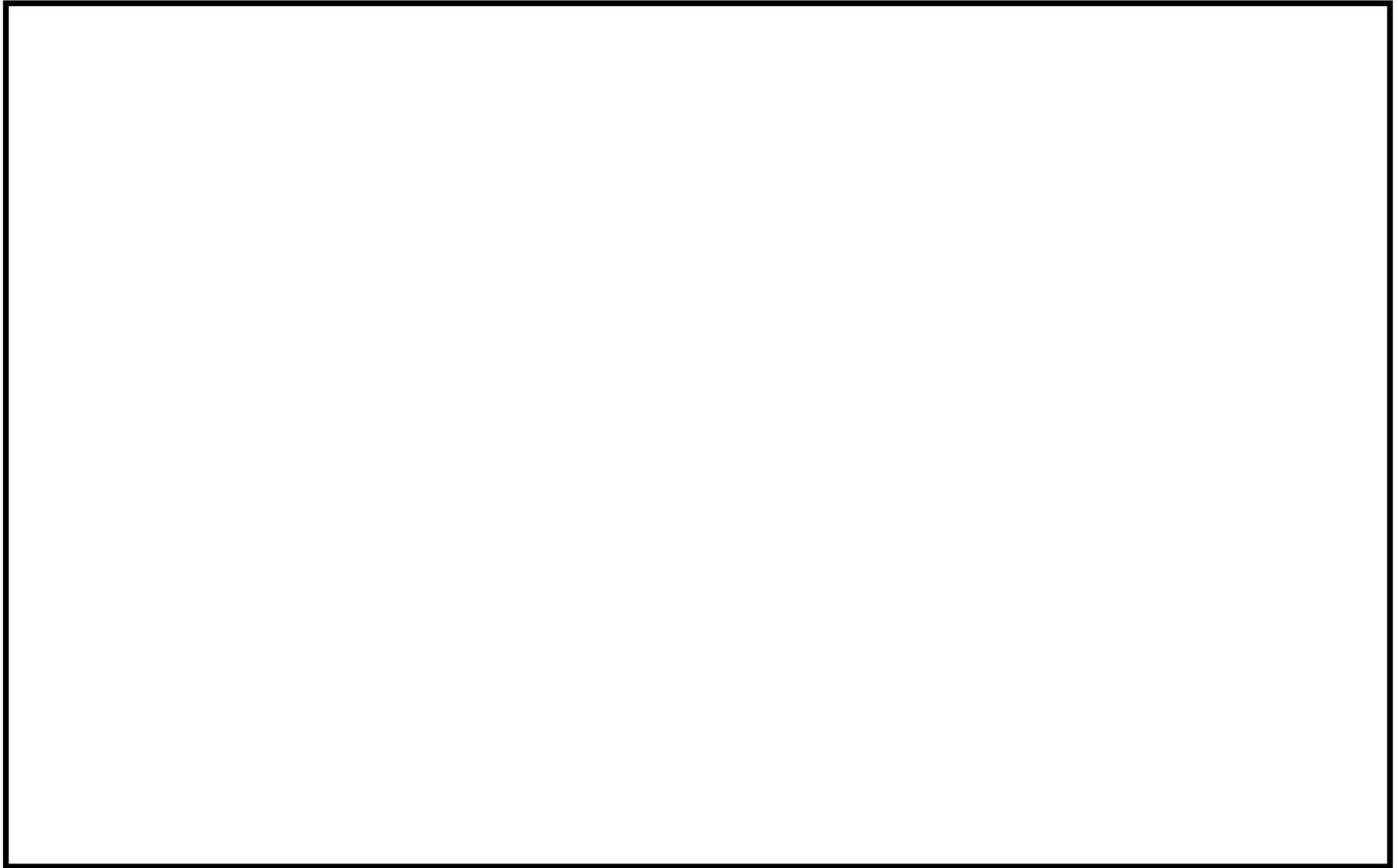
場所		流量※ ¹ (m ³ /s)	種類※ ²	係数		断面積 (m ²)	水路No.1, No.4		水路No.2, No.3	
							損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化
取水槽	スクリーン	4.000	⑯トラベリン グスクリーン	形状損失係数(前面)	1.380	71.109	0.00022	節点10	0.00022	節点10
				形状損失係数(背面)	1.380	71.109	0.00022		0.00022	
	中間 スラブ	—※ ⁴	⑰急縮※ ³	形状損失係数	0.402	163.304	—※ ⁴	池5	—※ ⁴	池5
		—※ ⁴	⑱急拡※ ³	形状損失係数	0.450	176.880	—※ ⁴		—※ ⁴	
	天端 開口部	—※ ⁴	⑲急縮※ ³	形状損失係数	0.189	409.620	—※ ⁴		—※ ⁴	
		—※ ⁴	⑳急拡※ ³	形状損失係数	0.594		—※ ⁴		—※ ⁴	

損失係数設定の有無による
取水ピットスクリーン室への
影響を確認し、保守的な
損失係数を設定する。

※1：損失水頭は、取水口から取水ピットへ流れる方向を正とし、ポンプ流量を用いて算出している。
 ※2：表中の⑯～⑳は次頁に示す損失水頭位置を示す。
 ※3：流入・流出損失、急拡・急縮損失及び漸拡・漸縮損失は、時々刻々の流れの方向に応じた損失を考慮する（上記の表では、取水口から取水ピットへ流れる方向を正として整理）。
 ※4：津波来襲時以外（ポンプ流量時等）には、損失水頭は発生しないため、「—」としている。

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7.3 取水施設における取水槽の中間スラブ及び天端開口部の損失係数の設定 (2/2)



1 号及び 2 号炉取水施設の損失水頭発生位置



枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません