

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2月15日
北海道電力株式会社

無断複製・転載等禁止

: 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。

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.4～27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

①
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

今回提出範囲

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.6
 - 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.7
 - 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.16
- 1.8 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.21

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

追而とする項目と今後の説明予定時期

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 | <p>令和5年2月2日審査会合</p> <p>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。</p> | <p>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つの項目を行い、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）。</p> <p>I. 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合確認による三次元解析モデルの構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・3号炉放水ピット流路縮小工の構造を模擬した乱流条件下での水理模型実験により、実機と相似な流況を再現し損失係数を得る。 ・三次元解析による損失係数が、水理模型実験による損失係数と整合することを確認することで水理模型実験を再現できる三次元解析モデルを構築する。 <p>II. 三次元解析と次元解析の水位比較を用いた次元解析による損失水頭評価の妥当性検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実機を模擬した三次元解析と、電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）に基づいた損失係数を適用した次元解析における放水ピット内の水位を算出する。 ・次元解析の放水ピット内の水位が実機を模擬した三次元解析における放水ピット内の水位を上回ることを確認することで、次元解析モデルに電力土木技術協会（1995）他の損失係数を適用した場合の損失水頭評価が妥当であるか検証する。 | <p>P.7 ~15</p> |

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 | <p>令和5年10月31日審査会合</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 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。 | <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 1号及び2号炉取水路流路縮小工について、スリーブ長さを考慮した損失係数は、スリーブ長さによる損失係数への影響が小さく、急縮・急拡による損失係数の合計値と同程度であることを確認した。1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失係数計測のために水理模型実験を実施し、実験により得られた損失係数を用いた管路解析よりも、急縮及び急拡のみの損失係数を考慮したほうが保守的な結果となることを確認する（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を通過する際の損失水頭の算定については、保守的に損失係数を考慮しない方針とする。 | <p>P.16 ~22</p> |

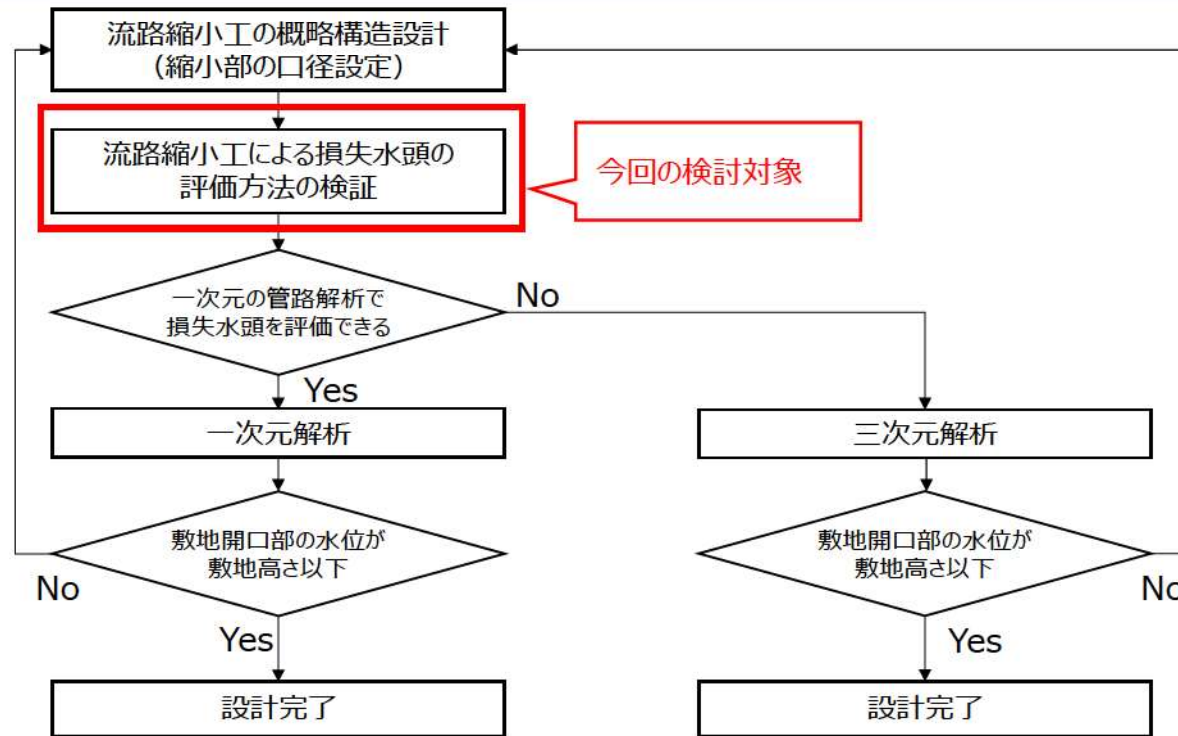
1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

1.7 流路縮小工における損失水頭の評価方法の検証

- 津波の敷地到達評価については、下記フローに示すとおり、管路解析にて水位を適切に評価するためには、流路縮小工で発生する損失水頭を適切に評価する必要がある。
- 流路縮小工の構造及び流れの状況に応じて、流路縮小工で発生する損失水頭の評価方法は異なることから、1号及び2号炉取水路並びに3号放水ピットそれぞれの流路縮小工に対して評価方法の検証行う。

【検証項目】

- 1号及び2号炉取水路流路縮小工は、常に満管状態で一様な流れであることから、一次元解析の適用性の三次元解析による検証は不要であるが、3号炉放水ピットの流路縮小工は必ずしも満管状態ではないことから、一次元解析の適用性の検証のために三次元解析を実施する。
- 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ても、損失係数の設定が妥当であることの検証については、1号及び2号炉取水路流路縮小工並びに3号炉放水ピットの流路縮小工に対して実施する。



津波の敷地到達評価フロー

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 (1/9)

【概要】

- 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解析の損失水頭の評価方法の適用性及び妥当性を確認する。

【検討方針】

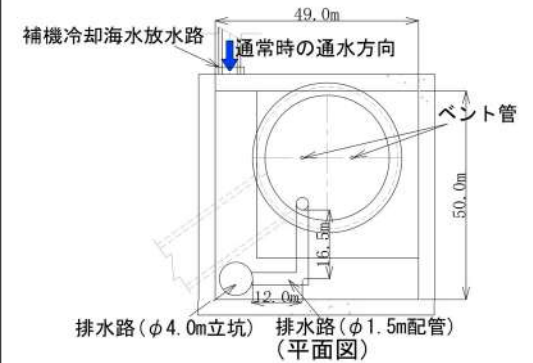
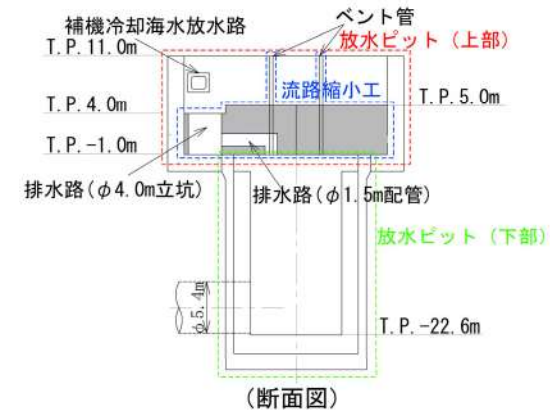
- 3号炉放水ピット流路縮小工の管路解析で使用している一次元解析の損失水頭評価の適用性及び妥当性については、以下の2つの項目で検証する方針とする。

I. 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合確認による三次元解析モデルの構築

- ・ 3号炉放水ピット流路縮小工の構造を模擬した乱流条件下での水理模型実験により、実機と相似な流況を再現し、損失係数を得る
- ・ 三次元解析による損失係数が、水理模型実験により算出される損失係数と整合することを確認することで、水理模型実験を再現できる三次元解析モデルを構築する

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による損失水頭評価の妥当性検証

- ・ 実機を模擬した三次元解析と、電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）に基づいた損失係数を適用した一次元解析における放水ピット内の水位を算出する
- ・ 一次元解析の放水ピット内の水位が、実機を模擬した三次元解析における放水ピット内の水位を上回ることを確認することで、一次元解析モデルに電力土木技術協会（1995）他の損失係数を適用した場合の損失水頭評価が妥当であるか検証する



3号炉放水ピット流路縮小工 構造概要

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 (2/9)

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号炉放水ピットの流路縮小工は、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の確認が必要である。

【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 |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A : 三次元解析 (縮尺 : 1/1, 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。) を用いた三次元解析を行うために, 水理模型実験より算出した損失係数と整合させた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。 |
| B : 水理模型実験 (縮尺 : 1/50, 粗度係数 : 実験 (アクリル相当)) | 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 (1/50スケール, アクリル製) を用いた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から損失係数を算出する。 |
| C : 三次元解析 (縮尺 : 1/1, 粗度係数 : 実機相当) | 一次元解析モデルに電力土木技術協会 (1995) 他の損失係数を適用した場合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係数を整合させた三次元解析モデルを用いて, 実機相当の粗度係数を考慮した場合の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。 |
| D : 一次元解析 (縮尺 : 1/1, 粗度係数 : 実機相当) | 実機相当の粗度係数を考慮した三次元解析モデルによる模擬波での放水ピット内の水位比較により, 一次元解析モデルに電力土木技術協会 (1995) 他の損失係数を適用した場合の損失水頭評価の妥当性を検証する。 |

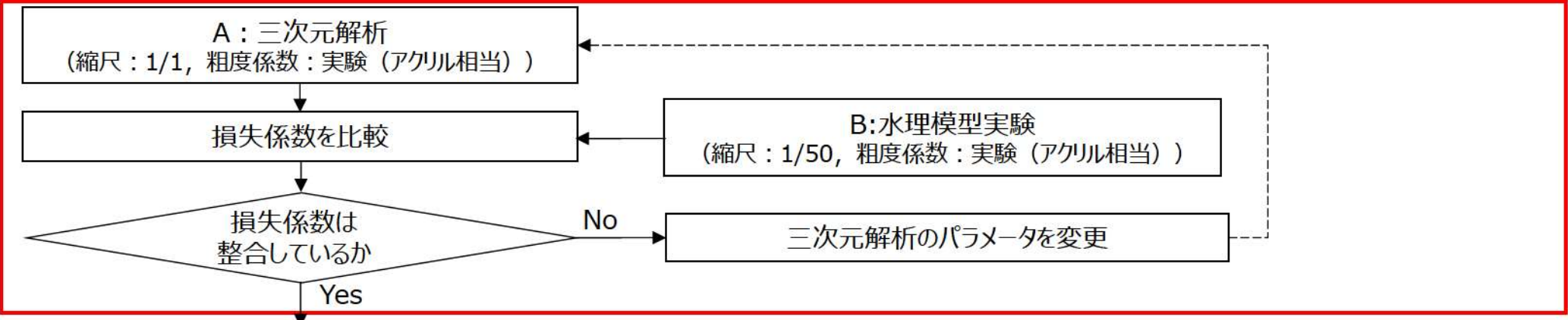
損失係数を比較

放水ピット内の最高水位を比較

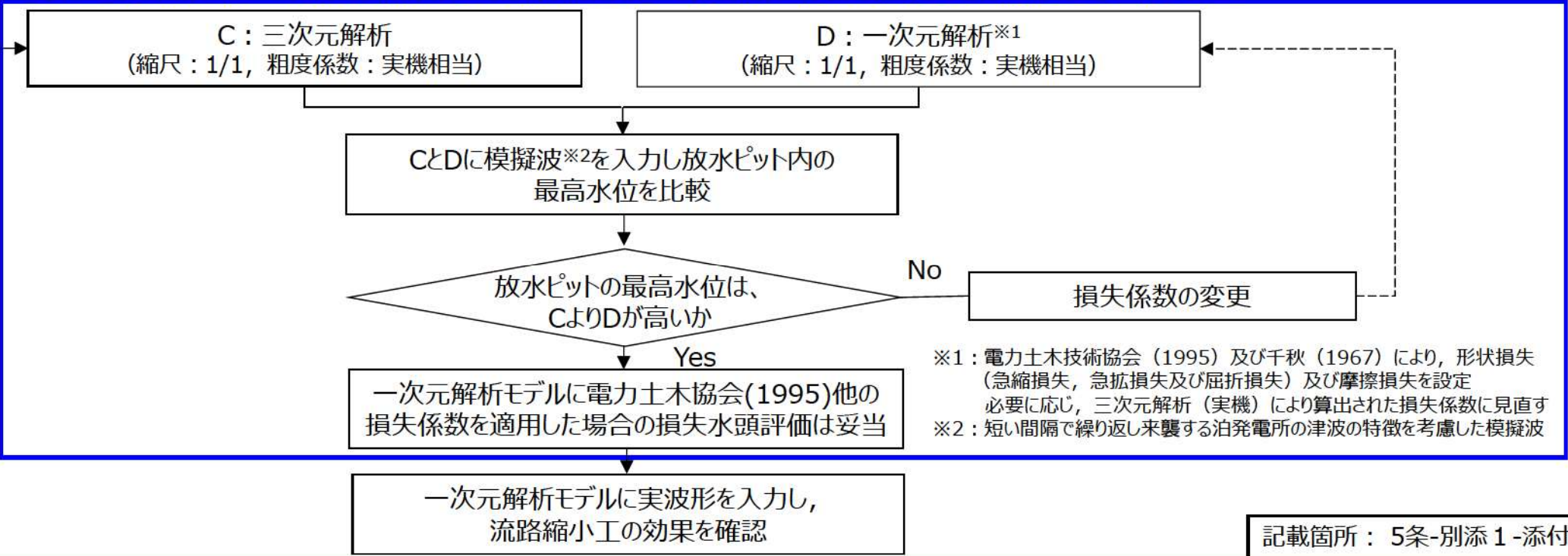
1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

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 (3/9)

I. 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合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を用いた一次元解析による損失水頭評価の妥当性検証



※1: 電力土木技術協会 (1995) 及び千秋 (1967) により, 形状損失 (急縮損失, 急拡損失及び屈折損失) 及び摩擦損失を設定
必要に応じ, 三次元解析 (実機) により算出された損失係数に見直す
※2: 短い間隔で繰り返す来襲する泊発電所の津波の特徴を考慮した模擬波

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 (4/9)

I. 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合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係数を確認を行い、水理模型実験と損失係数を整合させ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、水理模型実験で算出した損失係数と整合させ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(1/50スケール、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係数を算出する。

【方法】

- 損失係数は、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。
- 三次元解析及び水理模型実験による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 (5/9)

I. 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合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】

- 損失係数を確認するために行う定常流の設定流量は、損失水頭から算出する損失係数が異なる流量において一定となることを確認するため、幅を持たせて設定することとし、実機での津波時の最大流量相当として $10.0\text{m}^3/\text{s}^{\ast 1}$ 、原子炉補機冷却海水ポンプ流量の定格流量である $2.0\text{m}^3/\text{s}^{\ast 1}$ を設定した。
- $2.0\text{m}^3/\text{s}$ は、原子炉補機冷却海水ポンプ流量の定格流量。
- $10.0\text{m}^3/\text{s}$ は、津波来襲時に流路縮小工内を通過する想定流量の最大流量相当 $\ast 2$ 。
- 流れ方向による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 : 水理模型実験においてはフルード相似則に基づく1/50スケールでの流量を下表に示す。

※ 2 : 最大値相当の流量の算出に当たっては、放水口で選定された基準津波の波源Dを参考とした(詳細はまとめ資料4.2 (2) 参照)。

【寸法等の条件】

- 三次元解析及び水理模型実験による寸法等の条件は以下のとおりである。
 - ・ 三次元解析 : 縮尺は実機 (1/1) スケールとし、粗度係数は、実験(アクリル相当)とする。
 - ・ 水理模型実験 : 実験縮尺(幾何縮尺)はフルード相似則を適用した上で、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、三次元解析のモデルイメージ図及び水理模型実験のモデルイメージ図を次頁に示す。

流量及び流れ方向の条件

| ケース | 三次元解析 流量 (m^3/s) | 水理模型実験 流量 $\ast 1$ (m^3/s) | 流れ方向 $\ast 2$ | 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 | 10.0 | 0.57×10^{-3} | 引き波方向 | 津波時流量 |
| 定常流④ | | | 押し波方向 | |

寸法等の条件

| 項目 | 三次元解析 | 模型 |
|-------------------------|--------|-------|
| 損失係数 | アクリル相当 | アクリル |
| 放水ピット 下部内径 (m) | 11.0 | 0.220 |
| 流路縮小工排水路 (立坑) 内径 (m) | 4.0 | 0.080 |
| 流路縮小工排水路 (配管) 内径 (m) | 1.5 | 0.030 |

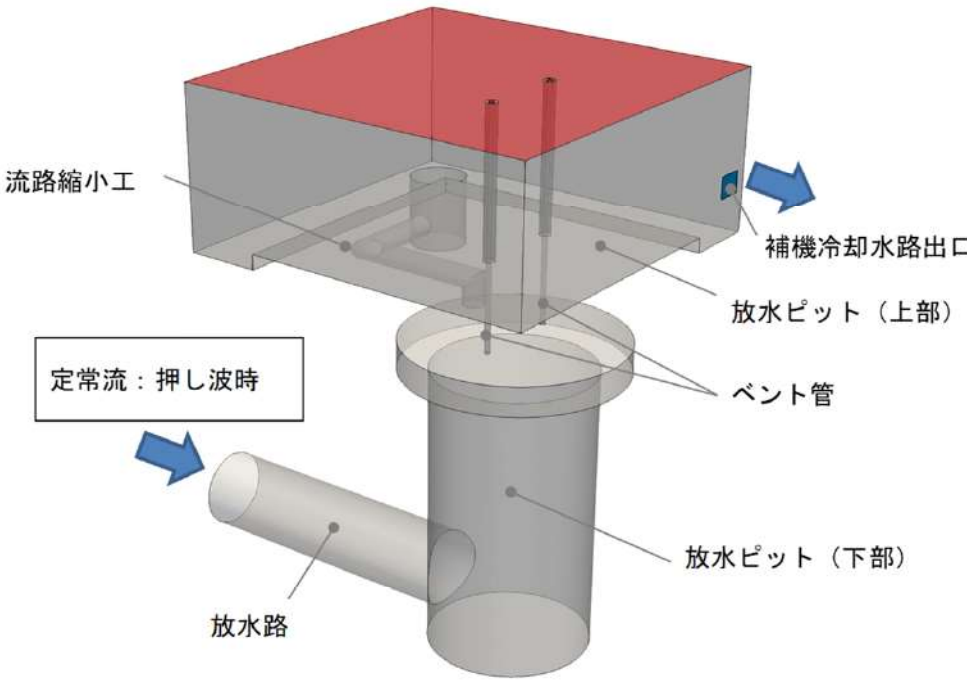
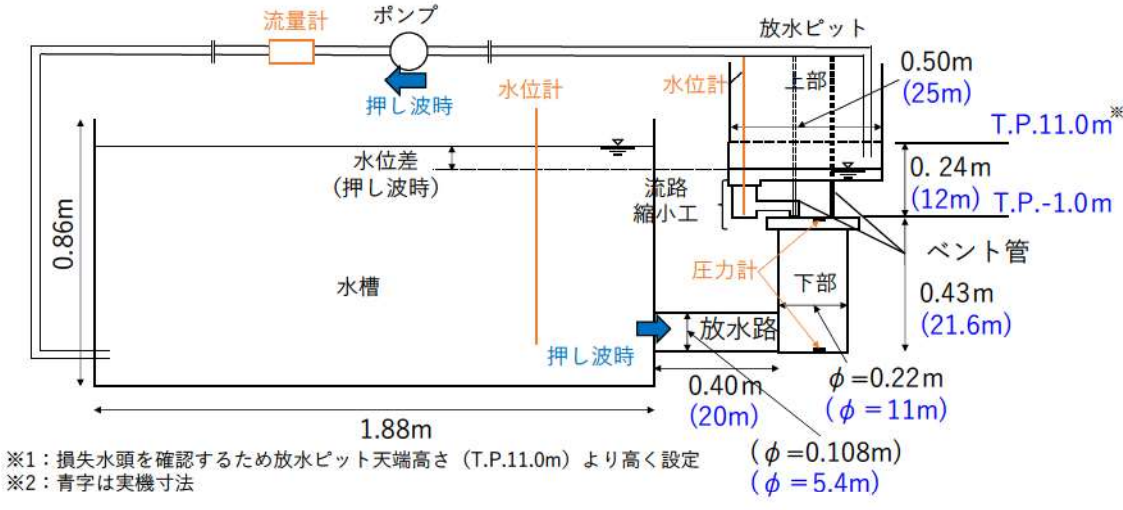
※ 1 : フルード則より, $Q_m = Q_p / 50^{5/2} \approx Q_p / 17,700$ (Q_m : 模型の流量, Q_p : 実機の流量)

※ 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 (6/9)

I. 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合確認による三次元解析モデルの構築 (3)

| <p>三次元解析 (押し波時) (縮尺: 1/1, 粗度係数: 実験 (アクリル相当))</p> | <p>水理模型実験 (押し波時) (縮尺: 1/50, 粗度係数: 実験 (アクリル相当))</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>モデルイメージ図</p> |  <p>模型イメージ図</p> |

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 (7/9)

Ⅱ. 三次元解析と一次元解析の水位比較を用いた一次元解析による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、一次元解析モデルに電力土木技術協会（1995）他の損失係数を適用した場合の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：一次元解析の妥当性及び適用性を検証するために、水理模型実験と損失係数を整合させた三次元解析モデルを用いて、実機相当の粗度係数を考慮した場合の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：実機相当の粗度係数を考慮した三次元解析モデルによる模擬波での放水ピット内の水位比較により、一次元解析モデルに電力土木技術協会（1995）他の損失係数を適用した場合の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、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）を踏まえた波形を用いて行う。
- 模擬波での解析により三次元解析と、電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）に基づいた損失係数を設定した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。

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

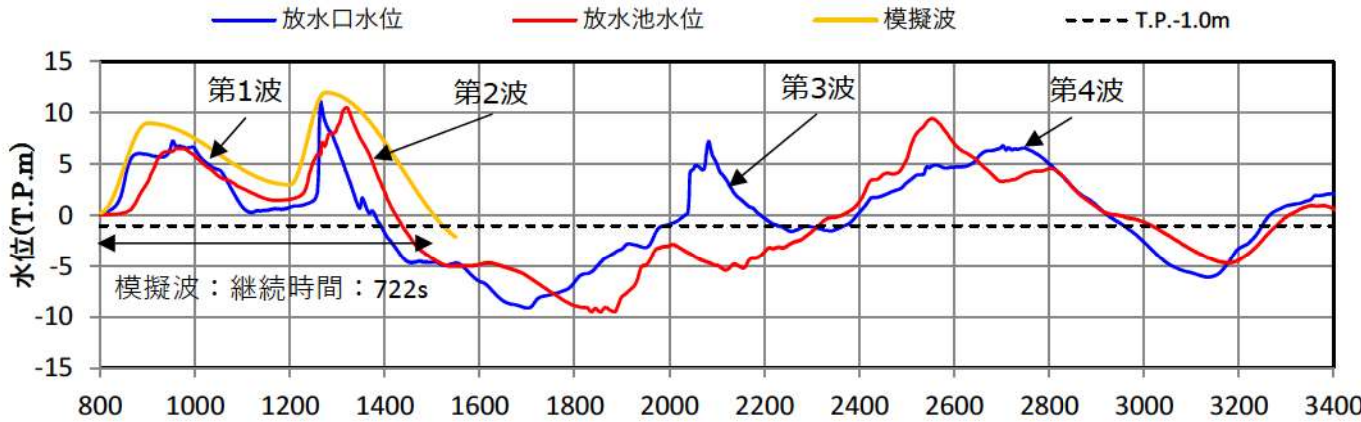
1.7.1 3号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (8/9)

II. 三次元解析と一次元解析の水位比較を用いた一次元解析による損失水頭評価の妥当性検証 (2)

【条件】

- 入力波形は、放水口の最大ケースとして選定された基準津波である波源Dの波形を参考とした模擬波とする。
- 模擬波は、放水ピット水位が高くなるように、下図に示す第1波～第4波の連続波の中で放水口及び放水池の水位が最も上昇し、短い間隔で連続して来襲する第1波と第2波の連続波を対象とした。
- 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：時刻歴波形は実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、波源Dの波形より水位は高く、流路縮小工下端 (T.P.-1.0m) 以上の水位の継続時間^{※1}が長くなるように設定する。
- 検証に用いる模擬波を下図に、波形が流路縮小工下端 (T.P.-1.0m) 以上の水位の継続時間を下表に示す。
- 三次元解析及び一次元解析は、実機 (1/1) スケールの解析モデル及び同様の粗度係数を適用する。

※1：模擬波の継続時間の開始は、津波による水位変動が開始する800sとした。



模擬波と波源D (南防波堤損傷) の放水口及び放水池水位

流路縮小工下端 (T.P.-1.0m) 以上の水位の継続時間

| 波形 | 継続時間 (s) |
|---------------------|----------|
| 模擬波 | 722 |
| 放水口水位 ^{※2} | 592 |
| 放水池水位 ^{※2} | 637 |

※2 波源D (南防波堤損傷) の水位を示す。

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 (9/9)

まとめ

- 3号炉放水ピット流路縮小工の管路解析で使用している一次元解析の損失水頭評価の適用性及び妥当性については、以下の2つの項目を行い、検証する。

I. 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合確認による三次元解析モデルの構築

- ・ 3号炉放水ピット流路縮小工の構造を模擬した乱流条件下での水理模型実験により、実機と相似な流況を再現し損失係数を得る
- ・ 水理模型実験を模擬した三次元解析による損失係数が、水理模型実験による損失係数と整合することを確認することで、水理模型実験を再現できる三次元解析モデルを構築する

II. 三次元解析と一次元解析の水位比較を用いた一次元解析による損失水頭評価の妥当性検証

- ・ 実機を模擬した三次元解析と、電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）に基づいた損失係数を適用した一次元解析における放水ピット内の水位を算出する
- ・ 一次元解析の放水ピット内の水位が実機を模擬した三次元解析における放水ピット内の水位を上回ることを確認することで、一次元解析モデルに電力土木技術協会（1995）他の損失係数を適用した場合の損失水頭評価が妥当であるか検証する

- 検証結果は、今後、ご説明する。

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

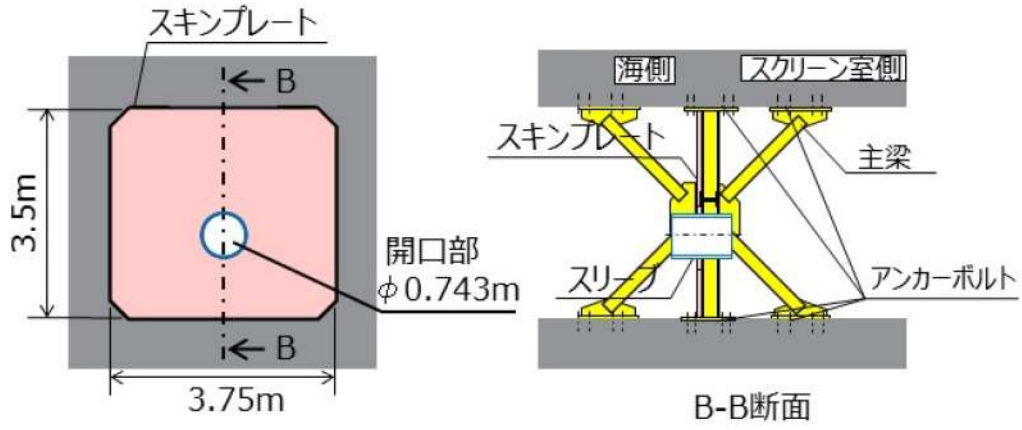
1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (1/5)

今回説明する事項

【概要】

- 押し波時と引き波時の損失係数が同等となるように、1号及び2号炉取水路流路縮小工のスリーブ形状をスキンプレートに対して対称とする計画であり、その構造を踏まえても適用する算出式が適切であることを確認する。
- 急縮後の断面の長さの影響について、スリーブ長さによる損失係数への影響が小さく、急縮・急拡による損失係数の合計値と同程度である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を行い、構造体の影響を考慮した損失係数を確認する。(今回は実験の計画のみ説明)
- 水理模型実験で得られた損失係数を用いた管路解析を行い、急縮と急拡のみを考慮した損失係数※¹を用いた評価が保守的となることを確認する。(次回説明予定)

※ 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



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} :急拡損失係数 V_1 :急拡前の平均流速(m/s) A_1 :急拡前の管断面積(m ²) A_2 :急拡後の管断面積(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) | $f_{sc} = 0.492$ |

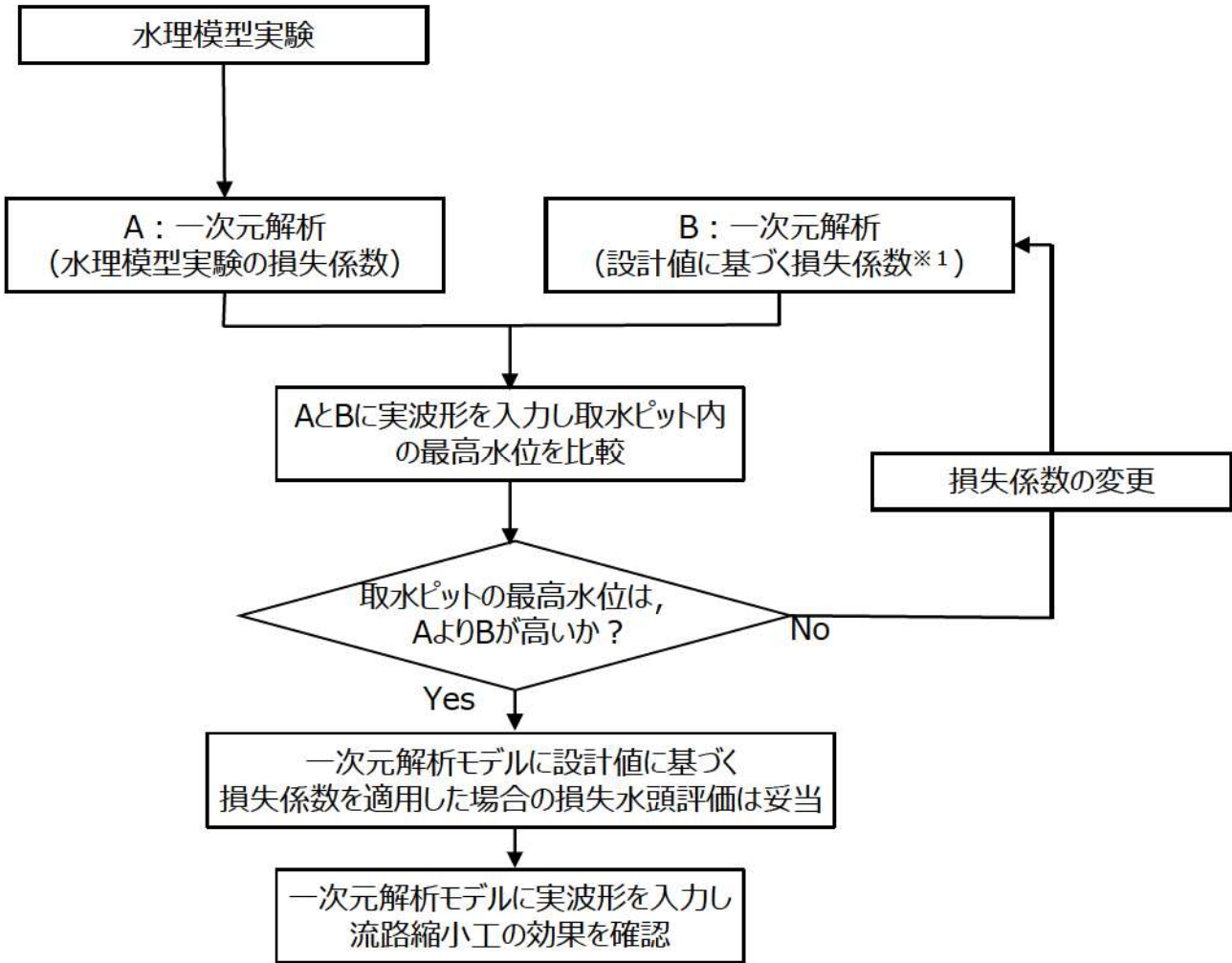
急縮損失係数

| 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)

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)



※1 電力土木技術協会（1995）により、形状損失（急縮損失，急拡損失）を設定した損失係数 必要に応じ損失係数を見直す

1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭評価方法検証フロー

1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

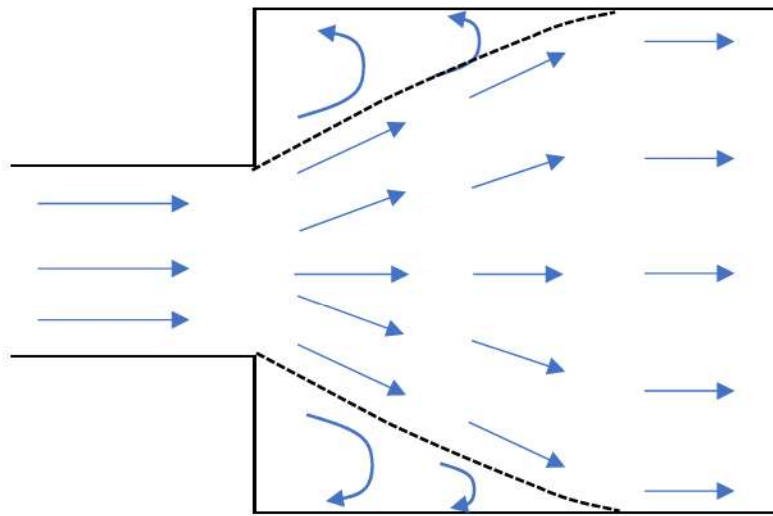
1.7.2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価方法の検証 (3/5)

【損失係数算出式の適用条件について】

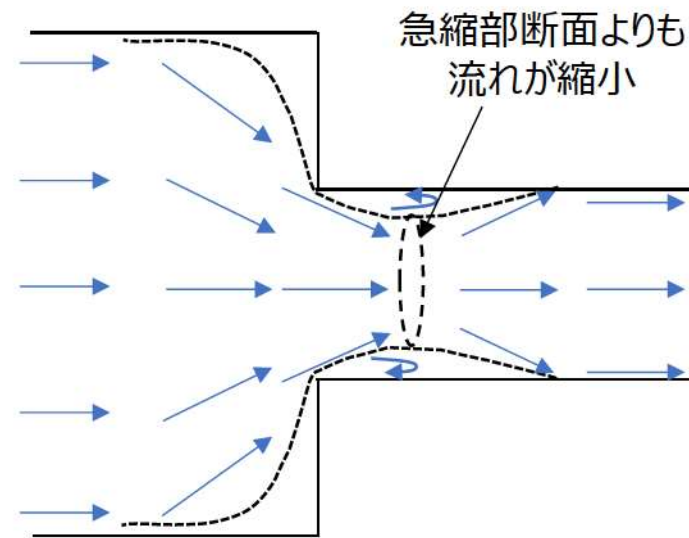
- 急拡による損失係数の算出式^{※1}は、文献中には明確な適用条件の記載はないものの、断面が急拡することで生じる損失水頭をベルヌーイの定理と運動量方程式から求めたものであることから、急拡前後の流れが「一様流となること」が考えられる。
- 急縮による損失係数の算出式^{※1}は、文献中には明確な適用条件の記載はないものの、急縮部で流れが収縮し、流れがいったん急縮部の断面よりも縮小したのちに急縮部の断面に拡大することで損失水頭が生じており、急拡と同様に「一様流となること」が考えられる。
- 流路縮小工の上流側及び下流側は十分長い直線の水路となっていることから、急縮の上流側及び急拡の下流側は一様流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}と比較することで、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

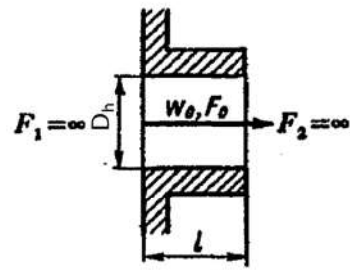
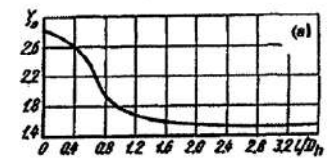
1. 入力津波の設定に係る指摘事項回答

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 (4/5)

【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 ($l/D_h=0$ の時, 損失係数 $\zeta=2.85$), 長くなるほど一定値 ($\zeta=1.55$) 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 $l/D_h=1.2$ より大きい範囲では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 ($l/D_h=1.35$) では, スリーブ長さによる影響は小さく, 損失係数は $\zeta=1.63$ となる。
- 急縮・急拡による損失係数の合計値 (1.426) ※3と比較した結果, スリーブ長さを考慮した損失係数と同程度であることを確認した。
- 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, 損失係数を計測する。

※1 : Handbook of Hydraulic Resistance に基づき算出
 ※2 : 水路徑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 $Re \geq 10^4$)
 ※3 : 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

| Orifice edges | Configuration | Resistance coefficient | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----------|------|------|------|------|------|------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|------|------|------|------|------|------|
| Thick-walled (deep orifice) $l/D_h > 0.015$ |  <p>流路縮小工の仕様 D_h (開口径) : 0.743m l (オリフィス長さ) : 1.0m</p> | <p>$Re \geq 10^4 \quad \zeta = \zeta_0 + \lambda(l/D_h)$, where $\zeta_0 = f(\bar{l})$ or $\zeta = 1.5 + (2.4 - \bar{l}) \times 10^{-\varphi(\bar{l})} + \lambda l/D_h$, $\varphi(\bar{l}) = 0.25 + 0.535\bar{l}^3 / (0.05 + \bar{l}^7)$, for λ, see Chapter 2.</p>  <table border="1" data-bbox="1444 1300 1892 1452"> <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 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

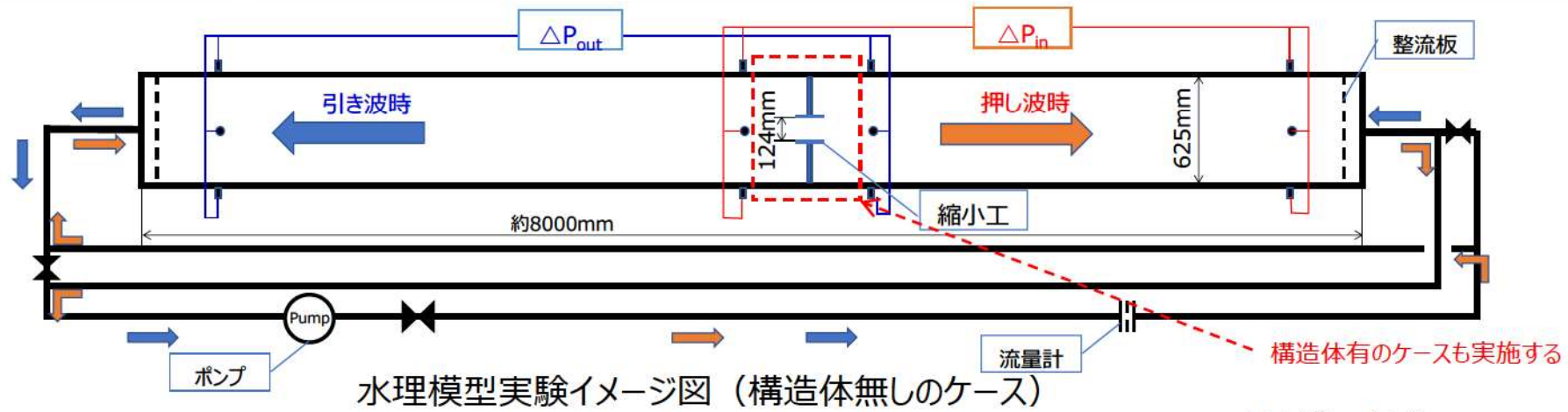
スリーブ形状オリフィスの損失係数算出方法
 出典 : Handbook of Hydraulic Resistance

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 (5/5)

【水理模型実験の概要及び条件】

- 【目的】
- 流路縮小工の損失係数の計測
- 【概要】
- 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、前後差圧から損失係数を計測する。
- 【条件】
- 下表のとおり、流量（津波来襲前の設定流量、津波時流量）、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（構造体無しの場合）
流量及び流れ方向の条件

寸法等の条件

| 流量（実機） [m ³ /s] | 流量（模型）※1 [m ³ /s] | 流れ方向※2 | 構造体影 響※3 | 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 | | |
| 5.5 | 0.0624 | 引き波方向 | | 津波時流量 |
| | | 押し波方向 | | |

| 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 フルード則より、 $Q_m = Q_p / 6^{5/2} = Q_p / 88$ (Q_m : 模型の流量, Q_p : 実機の流量)
 ※2 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
 ※3 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

1.8 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

【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を通過する際の損失水頭の算定については、保守的に損失係数を考慮しない方針とする。
- 詳細は、添付資料5（管路解析の詳細について）のまとめ資料参照。

【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）

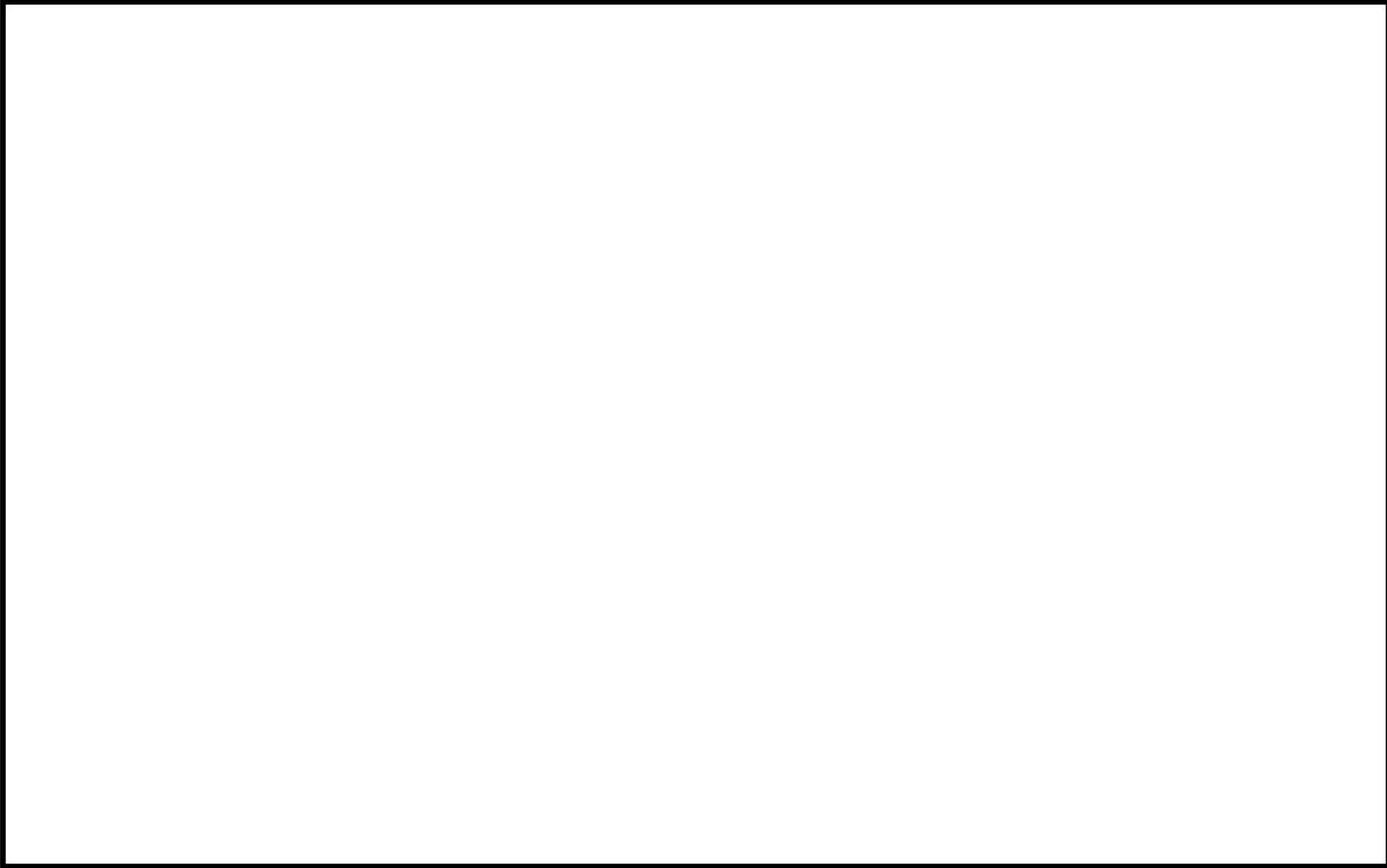
| 場所 | 流量 ^{※1} (m ³ /s) | 種類 ^{※2} | 係数 | | 断面積 (m ²) | 水路No.1, No.4 | | 水路No.2, No.3 | | |
|-----|-----------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | | 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 | 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 | | | | 0.00022 | | |
| | 中間 スラブ | ⑰急縮 ^{※3} | 形状損失係数 | 0.402 | 163.304 | — ^{※4} | 池5 | — ^{※4} | 池5 | |
| | | | ⑱急拡 ^{※3} | 形状損失係数 | | | | 0.450 | | — ^{※4} |
| | 天端 開口部 | — ^{※4} | ⑲急縮 ^{※3} | 形状損失係数 | 0.189 | 409.620 | — ^{※4} | 池5 | — ^{※4} | 池5 |
| | | | | ⑳急拡 ^{※3} | 形状損失係数 | | | | 0.594 | |

保守的に損失係数を
考慮しない方針に見直す

※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：津波襲来時以外（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

1.8 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

- 1)土木学会(2016)：原子力発電所の津波評価技術2016，公益社団法人土木学会原子力土木委員会津波評価小委員会
- 2)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-
- 3)千秋(1967)：発電水力演習
- 4)土木学会(1999)：水理公式集(平成11年版)
- 5)保坂幸一，松山昌史，加藤勝秀（2021）：2次元・3次元ハイブリッド津波解析手法に関する研究，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.77，No.2，2021
- 6)立花規良・小池哲(1997)：管オリフィスを通る流れと損失，福井大学工学部研究報告，45巻，2号，p.339-355
- 7)I.E.Idelchik,*HANDBOOK OF HYDRAULIC RESISTANCE*,begell house inc.,4th Ed.,

追而とする項目と今後の説明予定時期

○2023.10.31の審査会合時点で追而とした項目について、対応状況及び今後の説明予定時期は、以下のとおり。

| No. | 追而とする項目 | 対応状況 | 記載箇所 | 追而の解消予定時期 (審査会合時期) |
|-----|----------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1 | 下降側の基準津波の波源及び「貯留堰を下回る時間」の評価値 また、下降側津波に関連した入力津波の設定 | 現時点の設定を 反映済 | PPT・まとめ資料全般 | 2024年4月 |
| 2 | 地山斜面の基準地震動及び基準津波に対する健全性評価結果 | 今後反映予定 | PPT P.23 5条-別添1-添付3-110,111 | 2024年4月 |
| 3 | 地滑り地形②の基準地震動による健全性評価 | 今後反映予定 | 5条-別添1-添付3-117 | 2024年4月 |
| 4 | 地滑り地形③の崩壊範囲の設定及びその根拠の説明 | 反映済 | 5条-別添1-添付3-118,559~569 | 2024年4月 |
| 5 | 基準津波の検討を踏まえた地殻変動量の設定 | 現時点の設定を反 映済 | PPT P.67~72,76~78 5条-別添1-Ⅱ-1-58~67 | 2024年4月 |
| 6 | 海域の洗掘における入力津波への影響評価 | 反映済 | PPT P.22 5条-別添1-添付3-128,551~555 | 2024年4月 |
| 7 | 放水施設の入力津波の設定において考慮する放水池からの流入による影響が大 きい評価項目の具体化 | 反映済 | 5条-別添1-添付2-28~30 | 2024年4月 |
| 8 | 茶津入構トンネル・アクセスルートトンネルに対し大きな影響を及ぼす波源及びその 評価値。 また、これらの津波に関連した影響評価 | 今後反映予定 | PPT・まとめ資料全般 | 2024年4月 |
| 9 | 管路解析結果及び管路解析を踏まえた入力津波の設定及びその結果 | 一部反映済 | PPT P.69~72,76~78 5条-別添1-Ⅱ-1-70,71,73~79 5条-別添1-添付5-29~39 | 2024年4月 |
| 10 | 敷地地盤の洗掘において考慮する基準津波の代表ケースの整理 | 反映済 | 5条-別添1-Ⅱ-1-26~29 | 2024年4月 |
| 11 | 津波による港湾内の局所的な海面の固有振動の励起に関する説明 | 反映済 | 5条-別添1-Ⅱ-1-39 5条-別添1-添付4全般 | 2024年4月 |
| 12 | 1号及び2号炉放水施設の管路解析モデル・解析条件の説明 | 反映済 | PPT P.47 5条-別添1-添付5-8,9,13,25,26 | 2024年4月 |
| 13 | 津波高さ以外の入力津波の評価結果の記載 (該当資料の呼び込みを含む) | 一部反映済 | 5条-別添1-Ⅱ-1-80~86 | 2024年4月 |