

資料 1 - 2

泊発電所 3 号炉審査資料	
資料番号	DB05 r. 3. 40
提出年月日	令和6年1月11日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について
(設計基準対象施設等)

第5条 津波による損傷の防止

令和 6 年 1 月
北海道電力株式会社

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。

泊発電所 3 号炉
耐津波設計方針について

- I. はじめに
- II. 耐津波設計方針
 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
 - 1.4 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
 2. 設計基準対象施設の津波防護方針
 - 2.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
 - 2.2 敷地への流入防止（外郭防護1）
 - 2.3 漏水による重要な安全機能への影響防止（外郭防護2）
 - 2.4 重要な安全機能を有する施設の隔離（内郭防護）
 - 2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止
 - 2.6 津波監視
 3. 重大事故等対処施設の津波防護方針
 - 3.1 敷地の特性に応じた津波防護の基本方針
 - 3.2 敷地への流入防止（外郭防護1）
 - 3.3 漏水による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止（外郭防護2）
 - 3.4 重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離（内郭防護）
 - 3.5 水位変動に伴う取水性低下による重大事故等に対処するために必要な機能への影響防止
 - 3.6 津波監視
 4. 施設・設備の設計・評価の方針及び条件
 - 4.1 津波防護施設の設計
 - 4.2 浸水防止設備の設計
 - 4.3 津波監視設備の設計
 - 4.4 施設・設備等の設計・評価に係る検討事項

(添付資料)

1. 基準津波に対して機能を維持すべき設備とその配置
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
3. 基準津波による敷地周辺の遡上・浸水域について
4. 港湾内の局所的な海面の励起について
5. 管路解析の詳細について
6. 入力津波に用いる潮位条件について
7. 津波防護対策の設備の位置づけについて
8. 内郭防護において考慮する溢水の浸水範囲，浸水量について
9. 海水ポンプの水理試験について
10. 貯留量の算定について
11. 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策の設置位置，実施範囲及び施工例
12. 基準津波に伴う砂移動評価について
13. 泊発電所周辺海域における底質土砂の分析結果について
14. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について
15. 津波漂流物の調査要領について
16. 漂流物の評価に考慮する津波の流速・流向について
17. 津波の流況を踏まえた防波堤の取水口到達及び閉塞可能性評価について
18. 燃料等輸送船の係留索の耐力について
19. 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について
20. 津波監視設備の監視に関する考え方
21. 耐津波設計において考慮する荷重の組合せについて
22. 防潮堤及び貯留堰における津波荷重の設定方針について
23. 基準類における衝突荷重算定式及び衝突荷重について
24. 耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて
25. 防潮堤の設計方針及び構造成立性評価結果について
26. 貯留堰の構造及び仕様について
27. 鋼管矢板継手部の漏水量評価について
28. 水密扉の運用管理について
29. 屋外排水路に関する設計方針について
30. 輸送物及び輸送車両の漂流物評価について
31. 1号及び2号炉取水路流路縮小工について
32. 1号及び2号炉放水路逆流防止設備について
33. 3号炉放水ピット流路縮小工について
34. 発電所敷地外の車両について
35. 取水性への影響評価及び衝突荷重の設定に用いる対象漁船について
36. 3号炉取水ピットスクリーン室防水壁及び水密扉の設計方針について
37. 水位変動・流向ベクトルについて

38. 3号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備について
39. 津波発生時の運用対応について
40. モニタリングポスト及びモニタリングステーションについて
41. 構外海域の漂流物が施設護岸及び取水口へ到達する可能性について
42. 入力津波に対する水位分布について
43. 審査ガイドとの整合性（耐津波設計方針）

（参考資料）

- － 1 泊発電所3号炉津波評価について

管路解析の詳細について

1. はじめに

外海から取水路及び放水路を経て各評価地点までの水路の水理特性を考慮した管路解析を以下の基準津波を入力波形として計算を実施した。

3号炉取水路（上昇側）	：波源B，波源E，波源F
1，2号取水路（上昇側）	：波源C，波源E，波源G，波源H
放水路（上昇側）	：波源D
3号炉取水路（下降側）	：波源I，波源J，波源K，波源L

追而

2. 管路解析に基づく評価

管路解析を行う上での不確かさの考慮として，表1に示す各項目についてパラメータスタディを実施し，入力津波の選定及び津波水位への影響を確認した。

管路解析の計算条件を表2に，貝付着を考慮する範囲を図1に示す。取水路及び放水路の構造図を図2-1～図2-10に示す。また，基礎方程式等の数値計算手法は，土木学会(2016)に基づき次頁以降に示すとおりとする。

取水経路・放水経路は開水路区間と管路区間が混在するため，微小区間に分割した水路の各部分が，開水路状態か管路状態かを逐次判定し，管路区間はその上下流端の開水路区間の水位（自由水面の水位）を境界条件として流量計算を行い，開水路区間は，開水路の一次元不定流の式により流量・水位を計算する。また，水槽及び立坑部は，水面面積を鉛直方向に積算した水位－容積関係を用いて，水槽及び立坑部に接続する水路の流量合計値から水位を算定する。なお，解析には先行審査で実績のある解析コード「SURGE」を使用した。

解析モデルについて，管路は管路延長・管路勾配・管径を考慮したモデル化とし，各管路モデルで摩擦による損失を考慮する。摩擦損失以外の損失は次頁以降の解析モデルに示す各節点において考慮する。また，水槽及び立坑部は，水槽及び立坑部の面積を鉛直方向の分布に応じて考慮し，次頁以降の解析モデル図に示す池としてモデル化を行うこととする。

管路解析モデルを図3-1～図3-4，モデル設定の考え方を表3-1～表3-4に示す。

管路解析は，取水口・放水口における水位の時刻歴波形を入力条件として実施する。

なお，放水施設に関しては放水池周辺の津波水位が放水池天端を上回ることから，放水池周辺から放水池内への流入も考慮する。入力条件とする水位の抽出位置，放

水池断面図を図4及び図5に示す。放水口及び放水池の評価範囲は、放水口及び放水池前面位置として設定し、3号炉取水口及び1, 2号炉取水口の評価範囲は、最大水位下降量を評価できるよう、最大水位下降量よりも水深が深くなる範囲まで評価範囲としている。入力波形については、上記の評価範囲の中で最大の水位変動量となる波形を抽出している。

表4～表7及び図6～図10に管路解析モデルに用いた各損失を示す。また、表8-1～表8-4に各取放水施設の損失水頭表の整理結果、図11-1～図11-4に損失水頭発生位置を示す。

水位上昇側の評価結果を表9-1～表9-2に、水位下降側の評価結果を表10に示す。また、基準津波の各評価地点の最大の時刻歴波形をそれぞれ図12及び図13に示す。

表 1 条件設定

	計算条件
1	貝付着の有無
2	スクリーン損失の有無※ ※取水施設のみを対象

表 2 管路解析における計算条件

項目	計算条件
計算領域	【取水施設】 1号及び2号炉 取水口～取水路～取水ピット※ ¹ 3号炉 取水口～取水路～取水ピット 【放水施設】 1号及び2号炉 放水口～放水路～放水ピット※ ² 3号炉 放水口～放水路～放水ピット
計算時間間隔	0.005 秒
取水ピット側境界条件 (ポンプ取水量)	1号及び2号炉：4.0m ³ /s (水路1連当たり 1.0m ³ /s) ※ ¹ 3号炉：2.0m ³ /s (水路1連当たり 1.0m ³ /s)
放水ピット側境界条件 (ポンプ放流量)	1号及び2号炉：4.0m ³ /s (水路1連当たり 1.0m ³ /s) ※ ² 3号炉：2.0m ³ /s
摩擦損失係数 (マンニングの粗度係数)	【取水施設】 (貝付着なし)：0.014m ^{-1/3} ・s※ ³ (貝付着あり)：0.020m ^{-1/3} ・s※ ³ 【放水施設】 (貝付着なし)：0.014m ^{-1/3} ・s※ ³ (貝付着あり)：0.020m ^{-1/3} ・s※ ³
貝の付着代	点検結果を踏まえ 10cm を考慮
局所損失係数	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- 千秋(1967)：発電水力演習 土木学会(1999)：水理公式集(平成 11 年版)による
想定する潮位条件	水位上昇側：朔望平均満潮位 T.P. 0.26m に潮位のばらつき +0.14m, 泊発電所と 岩内港の潮位差 +0.01m を考慮 水位下降側：朔望平均干潮位 T.P. -0.14m に潮位のばらつき -0.19m を考慮
地殻変動条件	水位上昇側：基準地震動に伴う地殻変動による 0.18m の沈降及び津波波源の地震動に伴う地殻変動による 0.21m の沈降の合計である 0.39m の沈降を考慮する。 水位下降側：基準地震動に伴う地殻変動による 0.96m の隆起, 津波波源の地震動に伴う地殻変動による 0.07m の隆起及び余効変動による 0.12m の隆起の合計である 1.15m の隆起を考慮する。
計算時間	地震発生後 3 時間まで

※ 1 : 1号及び2号炉取水路流路縮小工を計画中であり, 計算条件は, 必要に応じて見直す。

※ 2 : 1号及び2号炉放水路逆流防止設備を計画中であり, 計算条件は, 必要に応じて見直す。

※ 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-に基づき設定。

※基礎方程式

管路解析では、非定常の開水路及び管路流の連続式・運動方程式を用いた。

【開水路】

- ・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

- ・連続式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

【管路】

- ・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

- ・連続式

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

ここに、 t ：時間、 Q ：流量、 v ：流速、 x ：管底に沿った座標、 A ：流水断面積
 H ：圧力水頭+位置水頭（管路の場合）、位置水頭（開水路の場合）
 z ：管底高、 g ：重力加速度、 n ：マンニングの粗度係数、 R ：径深
 Δx ：水路の流れ方向の長さ、 f ：局所損失係数

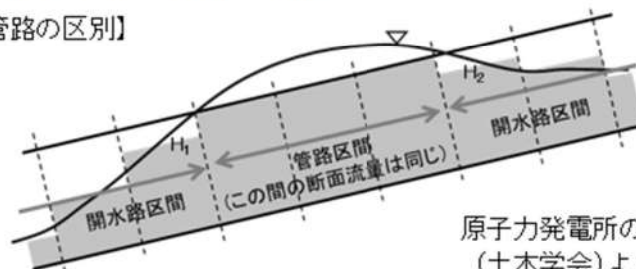
【水槽及び立坑部】

- ・連続式

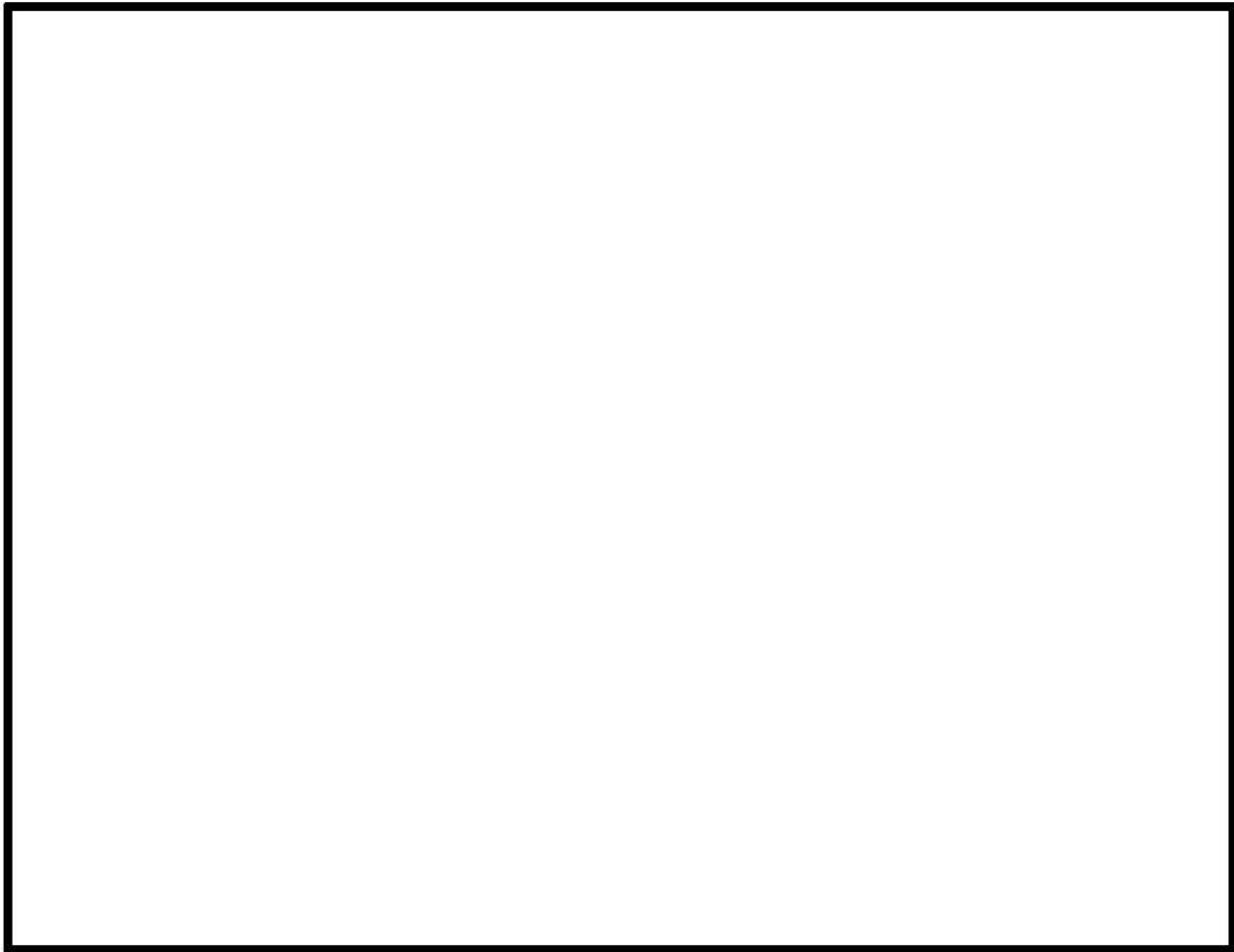
$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q_s$$


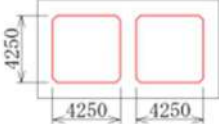
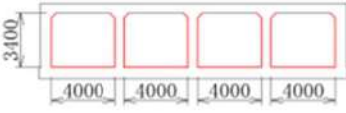
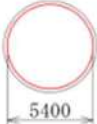
ここに、 A_p ：水槽の平面積（水位の関数となる）、 H_p ：水槽水位
 Q_s ：水槽へ流入する流量の総和、 t ：時間

【開水路・管路の区別】



原子力発電所の津波評価技術 2016
 (土木学会)より引用




1号及び2号炉取水路 A-A断面	
3号炉取水路 B-B断面	
1号及び2号炉放水路 C-C断面	
3号炉放水路 D-D断面	

— 貝付着考慮範囲

※1号及び2号炉取水路流路縮小工，1号及び2号炉放水路逆流防止設備を計画中であり，必要に応じて見直す。

図1 貝付着考慮範囲

 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。

5条—別添1—添付5—5



図 2 - 1 1号及び2号炉取水施設平面図

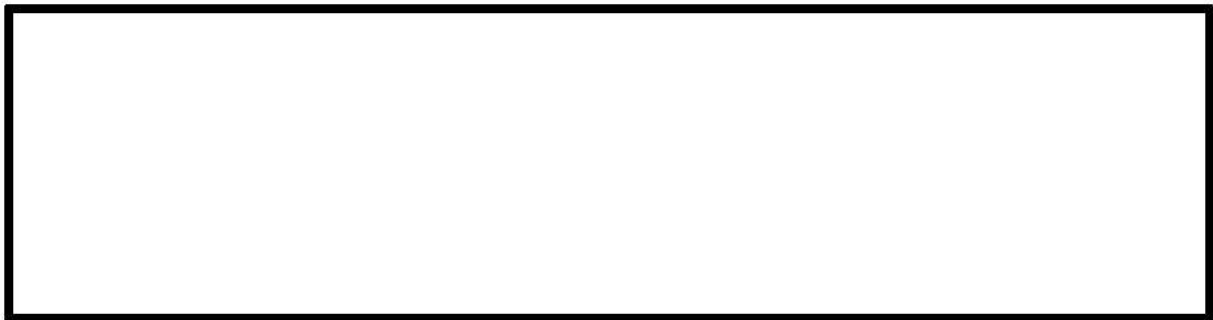


図 2 - 2 1号及び2号炉取水施設断面図

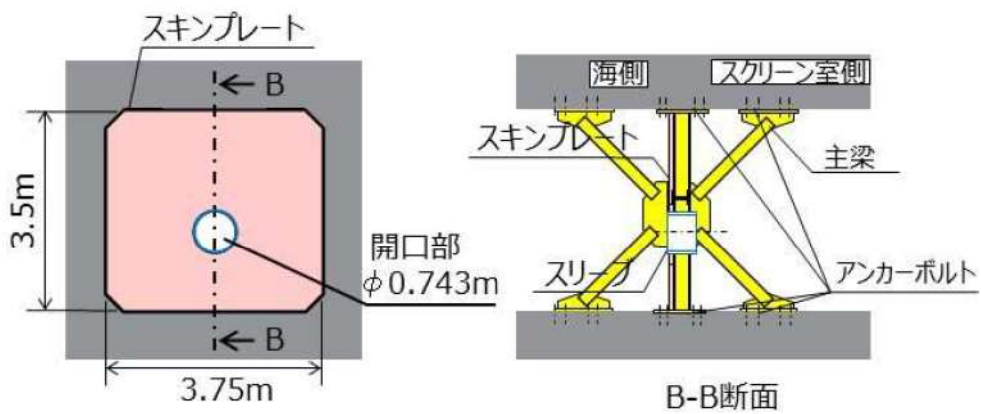


図 2 - 3 1号及び2号炉取水路流路縮小工概念図

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。



図 2 - 4 3号炉取水施設平面図



図 2 - 5 3号炉取水施設断面図

 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。

5条-別添1-添付5-7

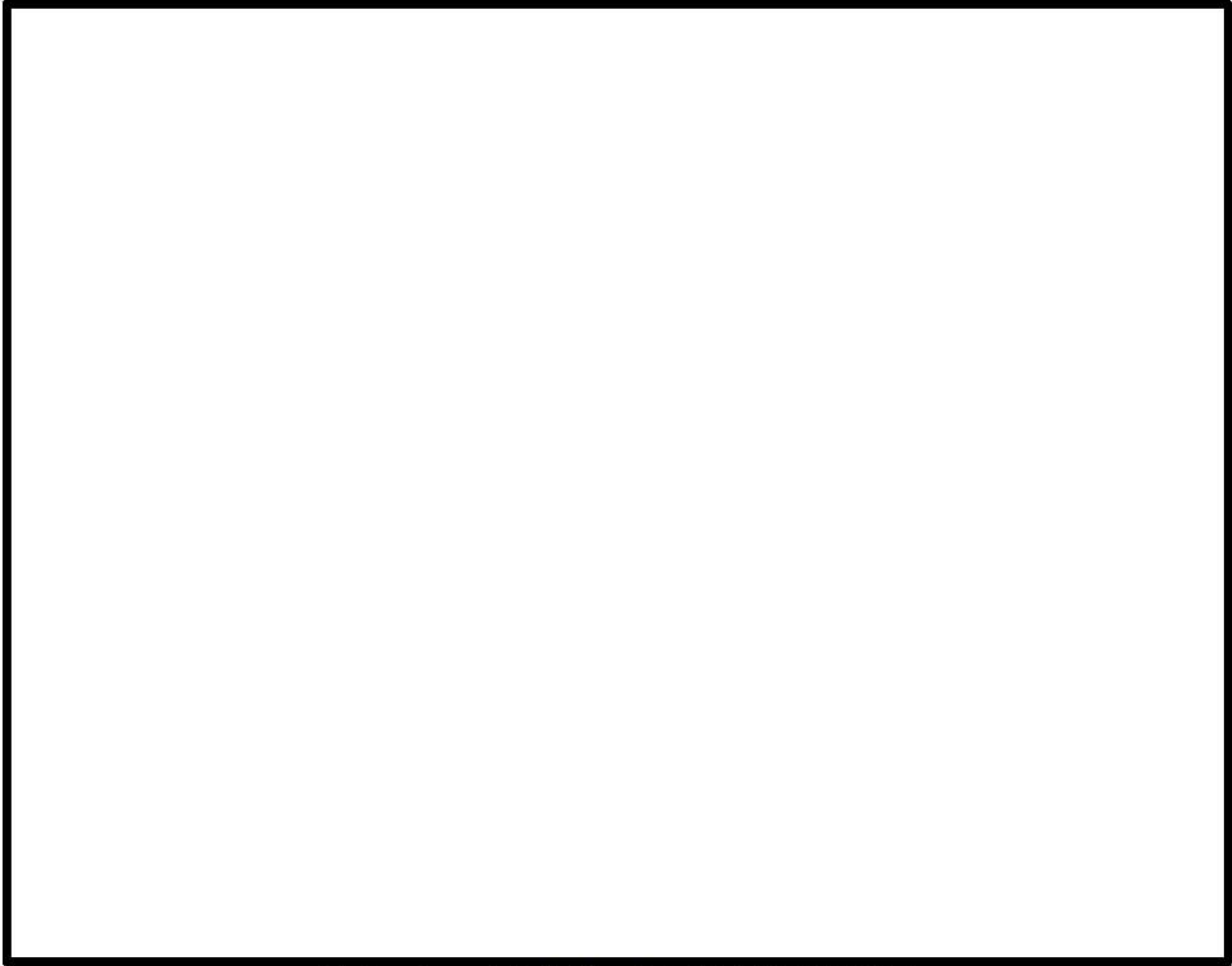



図 2 - 6 1号及び2号炉放水施設平面図



図 2 - 7 1号及び2号炉放水施設断面図

(上図：1号炉放水施設，中図：2号炉放水施設，下図：放水口)

 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。

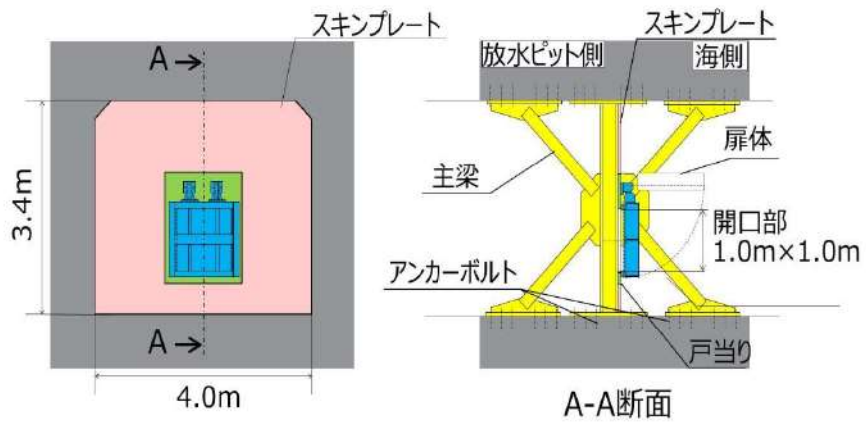


図 2 - 8 1 号及び 2 号炉放水路逆流防止設備概念図

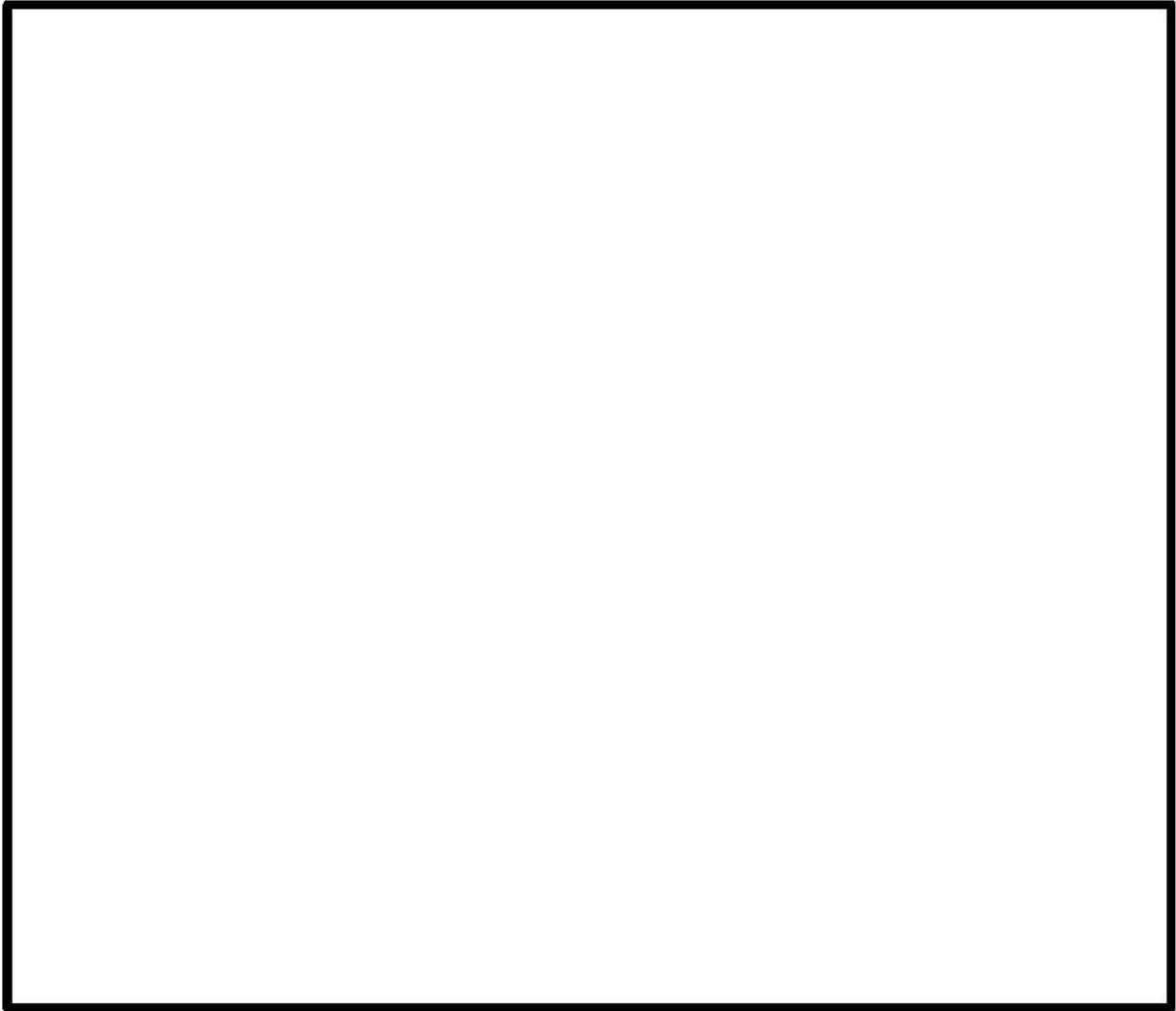



図 2 - 9 3号炉放水施設平面図



図 2 - 10 3号炉放水施設断面図

 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。

5条-別添1-添付5-10

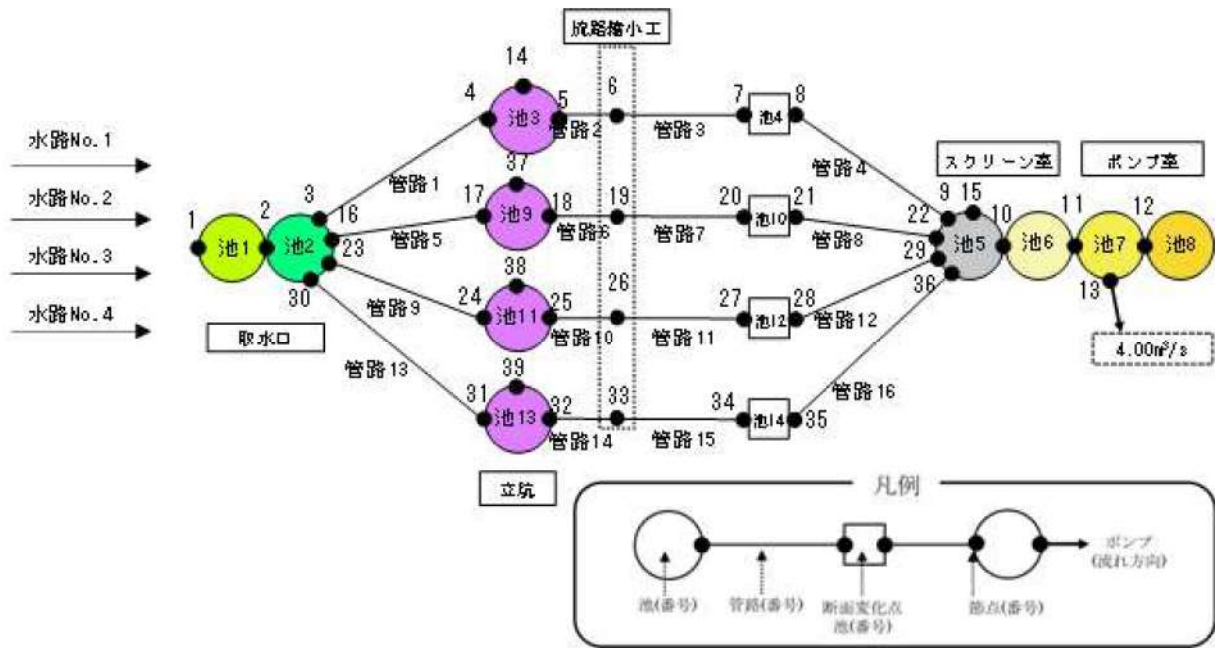


図 3-1 1号及び2号炉取水施設の管路解析モデル図

表 3-1 1号及び2号炉取水施設のモデル設定の考え方

箇所		設定の考え方
取水口	池 1, 2	貯留堰による水位差を再現するため、池 1 と池 2 に分けて設定している。 池 1 は取水口における水位の時刻歴波形を入力条件として与えている。
立坑	池 3, 9, 11, 13	—
断面変化点	池 4, 10, 12, 14	断面変化点として、池を設定している。
流路縮小工	節点 6, 19, 26, 33	流路縮小工の水路形状はモデル化せず、流路縮小工による急縮・急拡を、流路縮小工設置位置となる節点に断面換算した損失係数として考慮している。
スクリーン室及びポンプ室	池 5, 6, 7, 8	スクリーン室及びポンプ室内の各地点の評価を詳細に行うため、池 5 ～池 8 に分けて設定している。 なお、トラッシュピットは池 5 の中で考慮している。

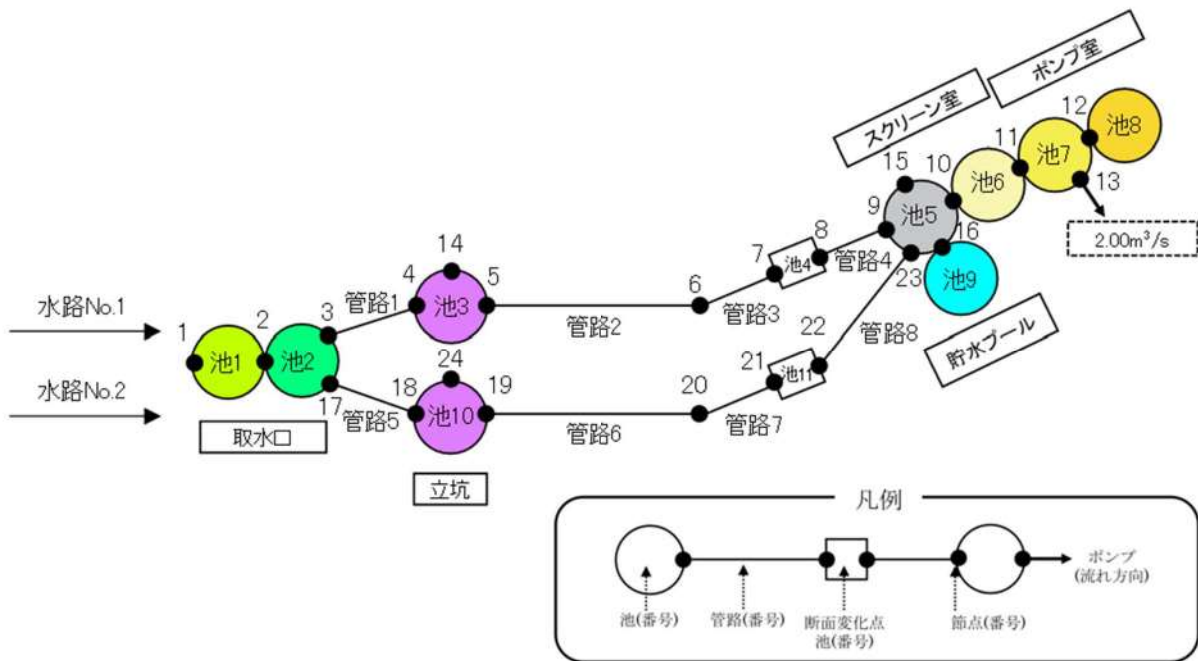


図 3-2 3号炉取水施設の管路解析モデル図

表 3-2 3号炉取水施設のモデル設定の考え方

箇所		設定の考え方
取水口	池 1, 2	貯留による水位差を再現するため、池 1 と池 2 に分けて設定している。 池 1 は取水口における水位の時刻歴波形を入力条件として与えている。
立坑	池 3, 10	-
断面変化点	池 4, 11	断面変化点として、池を設定している。
スクリーン室及びポンプ室	池 5, 6, 7, 8	スクリーン室及びポンプ室内の各地点の評価を詳細に行うため、池 5～池 8 に分けて設定している。 なお、トラッシュピットは池 5 の中で考慮している。
貯水プール	池 9	<水位上昇時> スクリーン室（池 5）の水位が上昇し、I.P.10.3m を超えた直後、貯水プール（池 9）の I.P.10.3m 以深に流入する。その後、貯水プール（池 9）の水位が I.P.10.3m に到達した場合は、スクリーン室（池 5）及び貯水プール（池 9）の水位が I.P.10.3m から同時に上昇する（取水ピットスクリーン室防水壁内）設定としている。 <水位下降時> I.P.10.3m に到達するまでは、スクリーン室（池 5）及び貯水プール（池 9）の水位が同時に下降し、その後、スクリーン室（池 5）のみの水位が I.P.10.3m 以深まで下降する。このとき、以下に示す排水管をモデル化せず、貯水プール（池 9）の水位は I.P.10.3m のまま下降しない設定とすることで、保守的な評価条件としている。
貯水プールから取水ピットスクリーン室へと繋がる排水管	-	排水管仕様・ルートについては検討中であるが、取水ピットスクリーン室（池 5）の鉛直方向の開口面積と比較して、十分に小さい設計とする。 そのため、排水管からの津波の流入の影響は十分に小さく、評価結果に影響しないと考えられるため、排水管はモデル化しない。

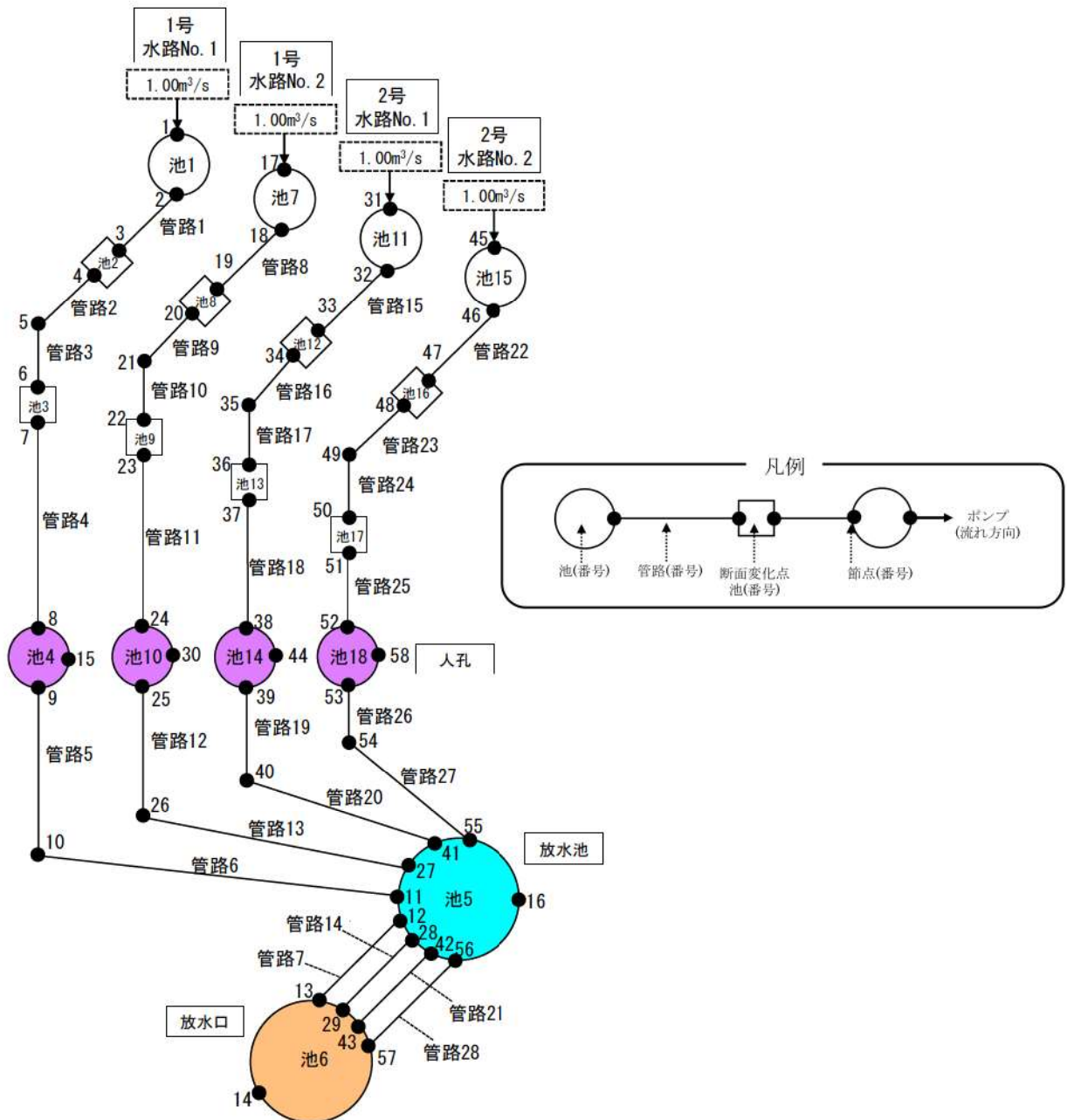


図 3-3 1号及び2号炉放水施設の管路解析モデル図

表 3-3 1号及び2号炉放水施設のモデル設定の考え方

箇所		設定の考え方
放水口	池 6	放水口における水位の時刻歴波形を入力条件として与える。
放水池	池 5	—
人孔	池 4, 10, 14, 18	—
断面変化点	池 3, 9, 13, 17 池 2, 8, 12, 16	既設防潮堤下部に放水路の補強を実施しており、断面が変化するため、補強部前後に断面変化点として、池を設定している。
逆流防止設備 設置位置	池 1, 7, 11, 15	逆流防止設備設置位置における波圧を算定するため、水頭を確認できるように、池を設定している。

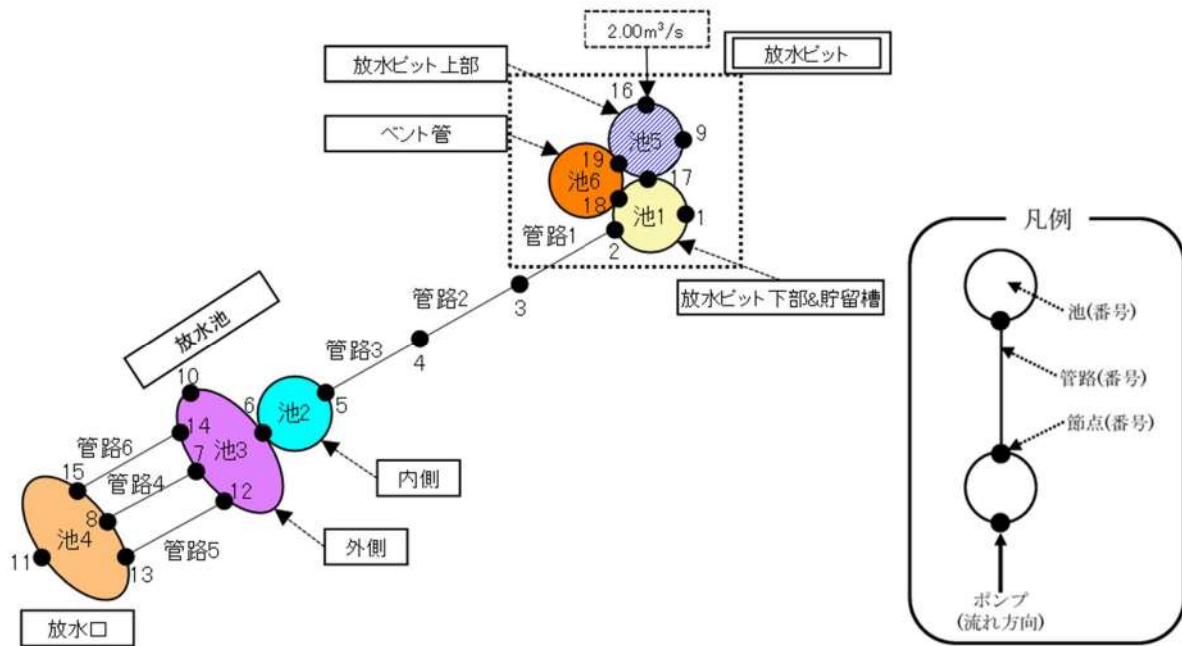
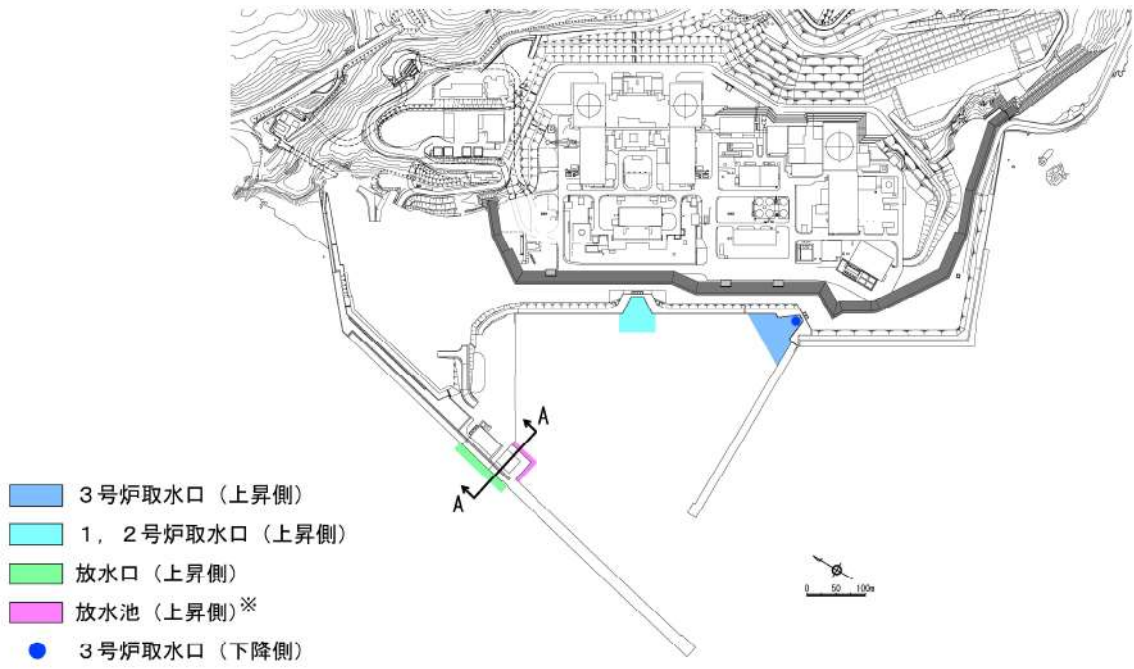


図 3-4 3号炉放水施設の管路解析モデル図

表 3-4 3号炉放水施設のモデル設定の考え方

箇所		設定の考え方
放水口	池 4	放水口における水位の時刻歴波形を入力条件として与える。
放水池	池 2, 3	放水池内側と放水池外側の間にある堰による水位差を再現するため、池 2 と池 3 に分けて設定している。
放水ピット (3号炉放水ピット流路縮小工)	池 1, 5	放水ピット下部～開口部～貯留槽を池 1, 放水ピット上部を池 5 として設定する。
3号炉放水ピット流路縮小工におけるベント管	池 6	ベント管はφ0.4m の2本を想定しているが、解析モデルでは1つの池モデルとして取り扱う。



- 3号炉取水口（上昇側）
- 1, 2号炉取水口（上昇側）
- 放水口（上昇側）
- 放水池（上昇側）※
- 3号炉取水口（下降側）

※港内から放水池への入力波形抽出範囲は、放水池への津波流入方向を考慮し、放水池近傍の海域として設定した。

図4 入力波形の抽出位置

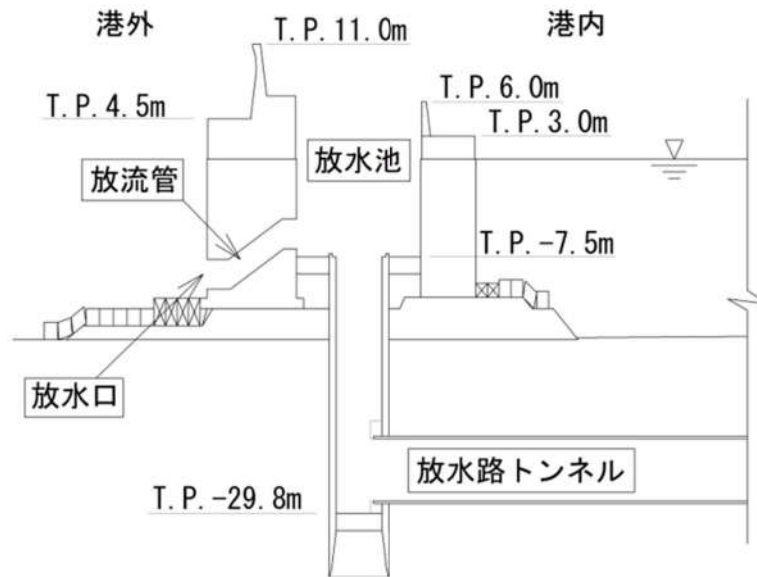


図5 放水池断面図（A-A断面）

表4 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
流入損失	$h_e = f_e \frac{V^2}{2g}$	f_e : 流入損失係数 (管路断面による値) V : 管内流速(m/s)	土木学会(1999) p.374-375【図6参照】
流出損失	$h_o = f_o \frac{V^2}{2g}$	f_o : 流出損失係数=1.0 V : 管内流速(m/s)	土木学会(1999) p.375
摩擦損失	$h_f = n^2 \cdot V^2 \frac{L}{R^{4/3}}$	V : 平均流速(m/s) L : 水路の長さ(m) R : 水路の径深(m) n : 粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	電力土木技術協会 (1995) p.788, 806, 829【表5及 び表6参照】
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)	電力土木技術協会 (1995) p.829
急縮損失	$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{sc} : 急縮損失係数 (管路断面による値) V_2 : 急縮後の平均流速(m/s)	電力土木技術協会 (1995) p.829-830【表7参照】
漸拡損失	$h_{ge} = f_{ge} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$	f_{ge} : 漸拡損失係数 (管路断面による値) A_1 : 漸拡前の管断面積(m ²) A_2 : 漸拡後の管断面積(m ²) V_1 : 漸拡前の平均流速(m/s)	電力土木技術協会 (1995) p.830【図7参照】
漸縮損失	$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{gc} : 漸縮損失係数 (管路断面による値) V_2 : 漸縮後の平均流速(m/s)	千秋(1967) p.83-84【図8参照】
屈折損失	$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g}$ $f_{be} = 0.946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2.05 \sin^4 \frac{\theta}{2}$	f_{be} : 屈折損失係数 V : 管内流速(m/s) θ : 屈折角(°)	千秋(1967) p.88【図9参照】
曲がり損失	$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \frac{V^2}{2g}$ $f_{b1} = 0.131 + 0.1632 \left(\frac{D}{\rho}\right)^{7/2}$ $f_{b2} = \left(\frac{\theta}{90}\right)^{1/2}$	f_{b1} : 曲がりの曲率半径 ρ と管径 D との比によって決まる損失係数(90°の場合) f_{b2} : 任意の曲がり中心角 θ の場合の損失と中心角 90° の場合の損失との比 V : 管内平均流速(m/s) θ : 曲がり中心角(°)	千秋(1967) p.86-87【図10参照】
可動式スクリーン損失	$h_{ec} = f_{ec} \frac{V_0^2}{2g}$	f_{ec} : 管内オリフィスの損失係数 V_0 : オリフィス通過流速(m/s)	電力土木技術協会 (1995) p.832-833

※引用文献を以下に示す

- ・土木学会(1999):土木学会水理公式集(平成11年版)
- ・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-
- ・千秋(1967):発電水力演習

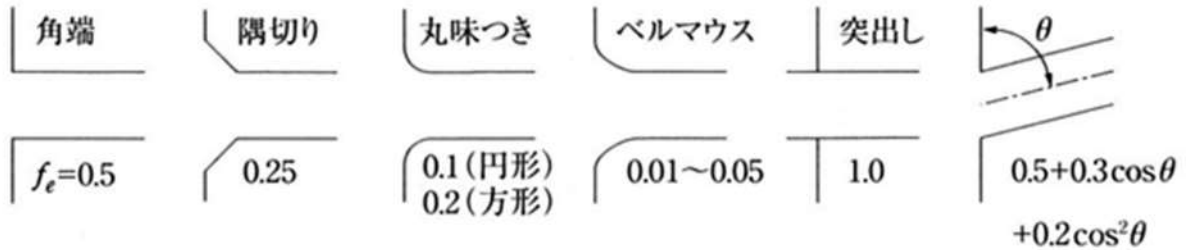


図6 入口形状と損失係数
(土木学会(1999)p. 375)

表5 取水路の貝等の付着代と粗度係数
(電力土木技術協会(1995)p. 788)

取水路の形式	断面流速	貝等の付着代	粗度係数
暗渠	0.8~2.2m/s	0~20cm (0, 5, 10cmが多い)	0.014~0.027 (0.015, 0.020が多い)
管路	2.0~3.6m/s	0~10cm	0.015~0.018

表6 放水路の貝等の付着代と粗度係数
(電力土木技術協会(1995)p. 806)

取水路の形式	断面流速	貝等の付着代	粗度係数
暗渠	1.6~3.6m/s	0~20cm (0cmが多い)	0.014~0.027
トンネル	1.8~3.0m/s	0~20cm (0cmが多い)	0.014~0.027

表7 急縮損失係数
(電力土木技術協会(1995)p. 830)

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)

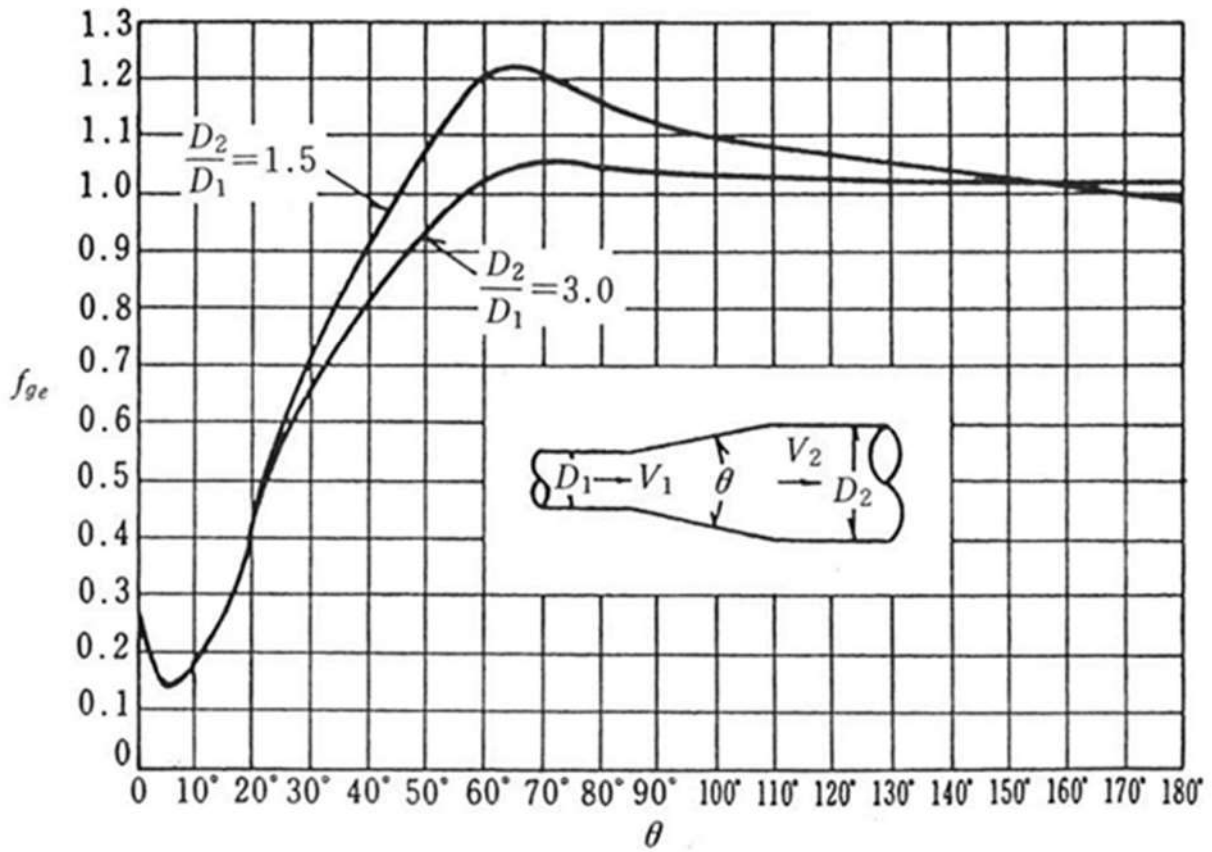


図7 漸拡損失係数
(電力土木技術協会(1995)p. 830)

D_1, D_2 : 漸拡前後の管径(m), V_1, V_2 : 漸拡前後の平均流速(m/s), θ : 漸拡部の開き (°)
 (※本施設では, 円形断面管と矩形断面管の漸拡に上記の図による値を適用する。矩形断面管の場合, 矩形断面と同様の断面積を持つ円管を仮定して, 管径 D_1, D_2 を算出した。)

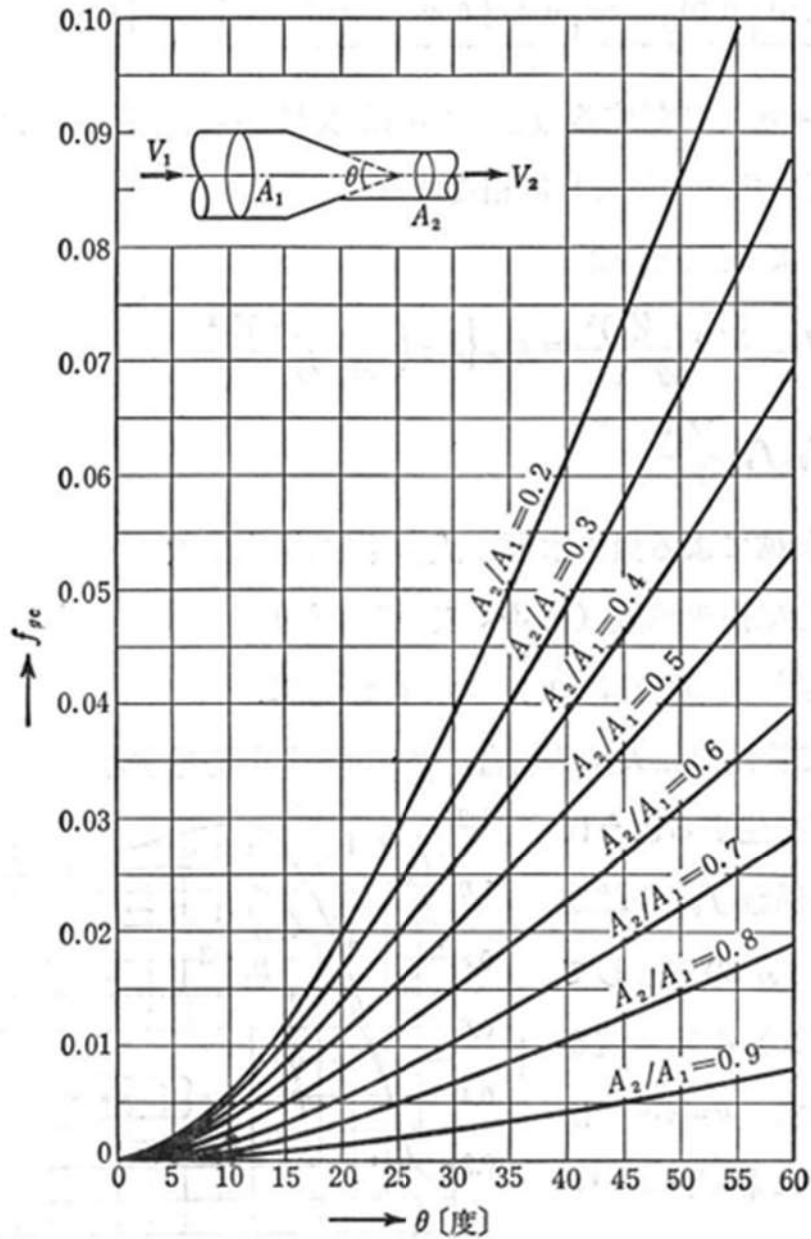


図8 漸縮損失係数
(千秋(1967)p. 84)

A_1, A_2 : 漸縮前後の管断面積 (m^2), V_1, V_2 : 漸縮前後の平均流速 (m/s) θ : 漸縮部の開き ($^\circ$)
(※本施設では, 円形断面管と矩形断面管の漸縮に上記の図による値を適用する。)

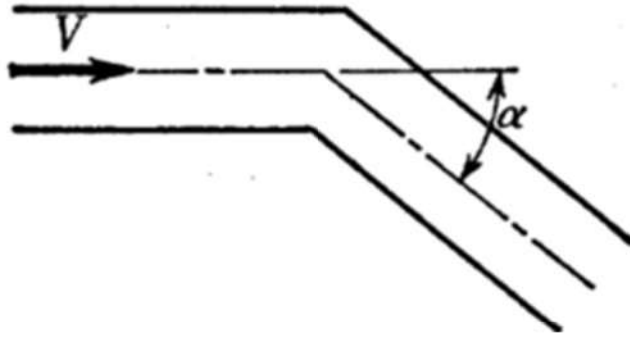


図9 屈折角
(千秋(1967)p. 88)

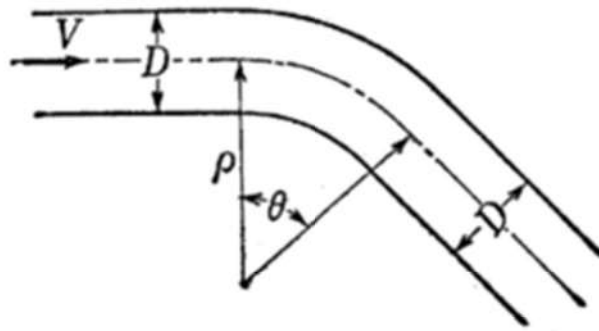


図10 曲がり, 曲率半径
(千秋(1967)p. 87)

表 8-1 1号及び2号炉取水施設の損失水頭表
(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	
貯留堰	4.000	①堰	越流係数	1.550	97.200	0.00010	節点2	0.00010	節点2	
			堰幅(m)	32.400						
			定数 γ	2.600						
取水口	1.000	②漸縮 ^{※3}	F	0.058	35.000	0.00000	節点3,30	0.00000	節点16,23	
		③急縮 ^{※3}	F	0.288	12.945	0.00009	節点3,30	0.00009	節点16,23	
取水路	1.000	④摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	12.945	0.00001	管路1,13	0.00001	管路5,9	
			長さ(m)	6.200						
			径深(m)	0.938						
		⑤摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	12.945	0.00002	管路2,14	0.00002	管路6,10	
			長さ(m)	12.663						
			径深(m)	0.938						
		⑥急縮 ^{※3}	F	0.492	0.433	0.13389	節点6,33	0.13389	節点19,26	
		⑦急拡 ^{※3}	F	0.934						0.25416
		⑧摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	12.945	0.00007	管路3,15	0.00007	管路7,11	
			長さ(m)	56.337						
			径深(m)	0.938						
		⑨屈折	F	0.034	12.945	0.00001	節点7,34			
		⑩摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	17.077	0.00001	管路4,16	0.00001	管路8,12	
			長さ(m)	10.000						
			径深(m)	1.057						
⑪摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	19.435	0.00001	管路4,16	0.00001	管路8,12			
	長さ(m)	12.000								
	径深(m)	0.813								
⑫屈折	F	0.034	22.740	0.00000	節点9,36					
⑬漸拡 ^{※3}	F	0.043	12.945	0.00001	節点9,36	0.00001	節点22,29			
⑭急縮 ^{※3}	F	0.101	16.129	0.00002	節点9,36	0.00002	節点22,29			
⑮流出 ^{※3}	F	1.000	22.740	0.00010	節点9,36	0.00010	節点22,29			
取水槽	スクリーン	4.000	⑯トラベリン グスクリーン	F(前面)	1.380	71.109	0.00022	節点10	0.00022	節点10
				F(背面)	1.380	71.109	0.00022		0.00022	
	中間 スラブ	- ^{※4}	⑰急縮 ^{※3}	F	0.402	163.304	- ^{※4}	池5	- ^{※4}	池5
		- ^{※4}	⑱急拡 ^{※3}	F	0.450	176.880	- ^{※4}		- ^{※4}	
天端	- ^{※4}	⑲急縮 ^{※3}	F	0.189	409.620	- ^{※4}	- ^{※4}			
開口部	- ^{※4}	⑳急拡 ^{※3}	F	0.594		- ^{※4}	- ^{※4}			
合計							0.38893	0.38892		

※1：損失水頭は、取水口から取水ビ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①～⑳は図 11-1 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、取水口から取水ビ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。



図 11-1 1号及び2号炉取水施設の損失水頭発生位置
(上図：平面図，下図：断面図)


 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。

表 8-2 3号炉取水施設の損失水頭表
(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		水路No.2	
						損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化
貯留堰	2.000	①堰	越流係数	1.550	79.200	0.00004	節点2	0.00004	節点2
			堰幅(m)	19.800					
			定数 γ	2.600					
取水口	1.000	②漸縮 ^{※3}	F	0.063	40.000	0.00000	節点3	0.00000	節点17
		③急縮 ^{※3}	F	0.262	17.883	0.00004	節点3	0.00004	節点17
取水路	1.000	④摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	17.883	0.00000	管路1	0.00000	管路5
			長さ(m)	6.300					
			径深(m)	1.097					
		⑤摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	17.883	0.00003	管路2	0.00003	管路6
			長さ(m)	60.458					
			径深(m)	1.097					
		⑥曲がり	F	0.076	17.883	0.00001	節点6	0.00001	節点20
		⑦摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	17.883	0.00001	管路3	0.00001	管路7
			長さ(m)	13.744 (管路3) 16.539 (管路7)					
			径深(m)	1.097					
		⑧摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	24.547	0.00001	管路4	0.00001	管路8
			長さ(m)	12.000					
			径深(m)	1.263					
⑨摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	31.486	0.00001	管路4	0.00001	管路8		
	長さ(m)	14.500							
	径深(m)	1.030							
	⑩漸拡 ^{※3}	F	0.064	17.883	0.00001	節点9	0.00001	節点23	
	⑪急縮 ^{※3}	F	0.062	25.931	0.00000	節点9	0.00000	節点23	
	⑫流出 ^{※3}	F	1.000	37.040	0.00004	節点9	0.00004	節点23	
取水槽	スクリーン	2.000	⑬トラペリン	1.280	56.619	0.00008	節点10	0.00008	節点10
			グスクリーン	1.280	56.619	0.00008		0.00008	
	中間スラブ	— ^{※4}	⑭急縮 ^{※3}	F	0.433	86.208	— ^{※4}	池5	— ^{※4}
			⑮急拡 ^{※3}	F	0.518	93.280	— ^{※4}		— ^{※4}
天端開口部	— ^{※4}	⑯急縮 ^{※3}	F	0.319	190.620	— ^{※4}	池5	— ^{※4}	
		⑰急拡 ^{※3}	F	0.697		— ^{※4}		— ^{※4}	
合計						0.00035		0.00035	

※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①～⑰は図11-2の損失水頭発生位置を示す。

※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。



図 11-2 3号炉取水施設の損失水頭発生位置（上図：平面図，下図：断面図）


 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。

表 8-3 1号及び2号炉放水施設の損失水頭表
(貝付着無し)

場所	流量 ^{※1} (m ³ /s)	種類 ^{※2}	係数				断面積 (m ²)	1号水路No.1		1号水路No.2		2号水路No.1		2号水路No.2		
			1号No.1	1号No.2	2号No.1	2号No.2		損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化	
放水口 ～ 放水池	1.000	①流入 ^{※3}	F	0.558	0.558	0.558	0.558	4.909	0.00118	節点13	0.00118	節点29	0.00118	節点43	0.00118	節点57
		②屈折	F	0.019	0.019	0.019	0.019	4.909	0.00004	節点13	0.00004	節点29	0.00004	節点43	0.00004	節点57
		③屈折	F	0.019	0.019	0.019	0.019	4.909	0.00004	節点13	0.00004	節点29	0.00004	節点43	0.00004	節点57
		④摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	4.909	0.00031	管路7	0.00031	管路14	0.00031	管路21	0.00031	管路28
			長さ(m)	20.281	20.281	20.281	20.281									
径深(m)	0.625		0.625	0.625	0.625											
⑤流出 ^{※3}	F	1.000	1.000	1.000	1.000	4.909	0.00212	節点12	0.00212	節点28	0.00212	節点42	0.00212	節点56		
合計								0.00369		0.00369		0.00369		0.00369		

場所	流量 ^{※1} (m ³ /s)	種類 ^{※2}	係数				断面積 (m ²)	1号水路No.1		1号水路No.2		2号水路No.1		2号水路No.2		
			1号No.1	1号No.2	2号No.1	2号No.2		損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化	損失水頭 (m)	モデル化	
放水池 ～ 逆流防止 設備	1.000	⑥摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	3.584	0.00229	管路6	0.00224	管路13	0.00218	管路20	0.00213	管路27
			長さ(m)	79.173	77.290	75.408	73.525									
			径深(m)	0.619	0.619	0.619	0.619									
		⑦曲がり	F	0.095	0.095	0.095	0.095	3.584	0.00038	節点10	0.00038	節点26	0.00038	節点40	0.00038	節点54
			粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	3.584	0.00176	管路5	0.00170	管路12	0.00165	管路19	0.00159	管路26
		長さ(m)	60.702	58.819	56.936	55.054										
		径深(m)	0.619	0.619	0.619	0.619										
		⑧摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	3.584	0.00220	管路4	0.00220	管路11	0.00220	管路18	0.00220	管路25
			長さ(m)	75.965	75.965	75.965	75.965									
			径深(m)	0.619	0.619	0.619	0.619									
		⑨摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	2.850	0.00020	管路4	0.00020	管路11	0.00020	管路18	0.00020	管路25
			長さ(m)	3.000	3.000	3.000	3.000									
			径深(m)	0.514	0.514	0.514	0.514									
		⑩漸縮 ^{※3}	F	0.000	0.000	0.000	0.000	2.116	0.00000	節点6	0.00000	節点22	0.00000	節点36	0.00000	節点50
			粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	2.116	0.00385	管路3	0.00348	管路10	0.00311	管路17	0.00273	管路24
		長さ(m)	26.612	24.042	21.473	18.904										
		径深(m)	0.408	0.408	0.408	0.408										
		⑪曲がり	F	0.111	0.111	0.111	0.111	2.116	0.00126	節点5	0.00126	節点21	0.00126	節点35	0.00126	節点49
			粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	2.116	0.00298	管路2	0.00261	管路9	0.00224	管路16	0.00187	管路23
		長さ(m)	20.609	18.040	15.471	12.902										
		径深(m)	0.408	0.408	0.408	0.408										
		⑫漸拡 ^{※3}	F	0.002	0.002	0.002	0.002	2.116	0.00002	節点4	0.00002	節点20	0.00002	節点34	0.00002	節点48
			粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	2.850	0.00020	管路1	0.00020	管路8	0.00020	管路15	0.00020	管路22
長さ(m)	3.000	3.000	3.000	3.000												
径深(m)	0.514	0.514	0.514	0.514												
⑬摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	0.014	0.014	0.014	3.584	0.00304	管路1	0.00304	管路8	0.00304	管路15	0.00304	管路22		
	長さ(m)	105.012	105.012	105.014	105.014											
	径深(m)	0.619	0.619	0.619	0.619											
合計								0.01818		0.01733		0.01648		0.01562		

※1：損失水頭は、放水口から放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①～⑬は図11-3の損失水頭発生位置を示す。

※3：流入・流出損失、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、放水口から放水ピットへ流れる方向を正として整理）。

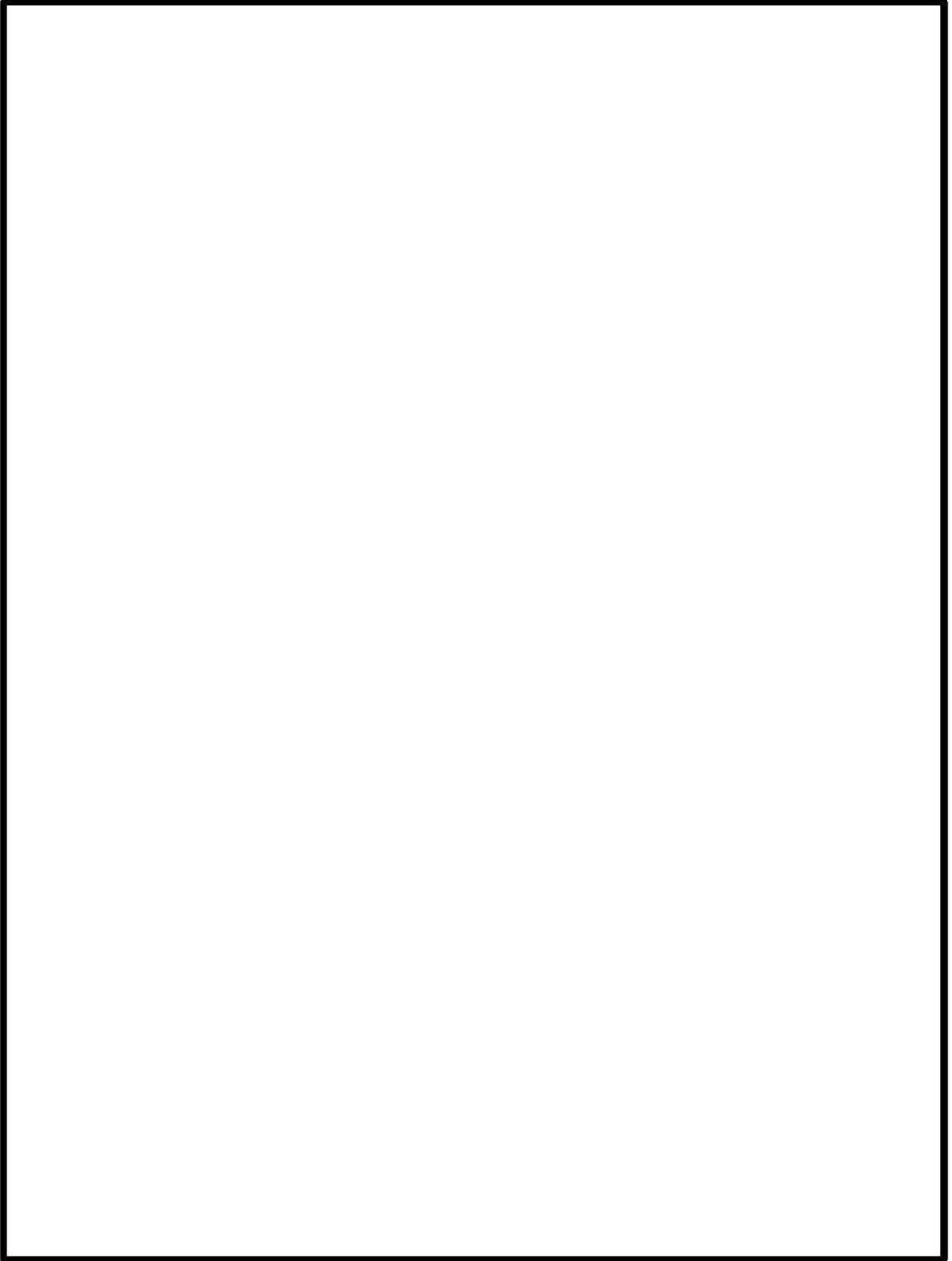


図 11-3 1号及び2号炉放水施設の損失水頭発生位置


 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。

表 8 - 4 3号炉放水施設の損失水頭表 (貝付着無し)

場所	流量 ^{※1} (m ³ /s)	種類 ^{※2}	係数		断面積 (m ²)	損失水頭 (m)	モデル化
放水口 ～ 放水池	0.667	①流入 ^{※3}	F	0.558	5.309	0.00045	節点8
		②屈折	F	0.020	5.309	0.00002	(節点13)
		③屈折	F	0.020	5.309	0.00002	(節点15)
		④流出 ^{※3}	F	1.000	5.309	0.00080	節点7 (節点12) (節点14)
		⑤摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	5.309	0.00011	管路4 (管路5) (管路6)
長さ(m)	20.309						
径深(m)	0.650						
放水池 ～ 放水ピット	2.000	⑥堰	流量係数C	1.550	247.755	0.00000	節点6
			定数γ	2.600			
			堰幅(m)	36.442			
		⑦摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	78.540	0.00000	節点5
			長さ(m)	18.500			
			径深(m)	2.500			
		⑧急縮 ^{※3}	F	0.487	78.540	0.00002	節点5
		⑨急縮 ^{※3}	F	0.410	22.902	0.00016	節点5
		⑩屈折	F	0.986	22.902	0.00038	節点5
		⑪曲がり	F	0.018	22.902	0.00001	節点4
		⑫曲がり	F	0.018	22.902	0.00001	節点3
		⑬急拡 ^{※3}	F	0.576	22.902	0.00022	節点2
		⑭屈折	F	0.986	22.902	0.00038	節点2
			粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	22.902	0.00062	管路1 ～ 3
長さ(m)	617.100						
径深(m)	1.350						
放水ピット	2.000	⑯摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	95.033	0.00000	池1
			長さ(m)	16.400			
			径深(m)	2.750			
		⑰急拡 ^{※3}	F	0.213	95.033	0.00000	池1
		⑱摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	176.715	0.00000	池1
			長さ(m)	2.000			
	径深(m)		3.750				
	2.000	⑲急縮 ^{※3}	F	0.500	1.767	0.03268	池1
		⑳屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池1
		㉑屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池1
		㉒急拡 ^{※3}	F	0.738	1.767	0.04824	池1
		㉓屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池1
		㉔摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	1.767	0.01555	池1
			長さ(m)	16.750			
径深(m)			0.375				
㉕摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.014	12.566	0.00002	池1		
	長さ(m)	3.250					
	径深(m)	1.000					
㉖急拡 ^{※3}	F	0.891	12.566	0.00115	節点17		
合計						0.29419	

※1 : 損失水頭は、放水口から放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①～⑯は図 11-4 の損失水頭発生位置を示す。

※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、放水口から放水ピットへ流れる方向を正として整理)。

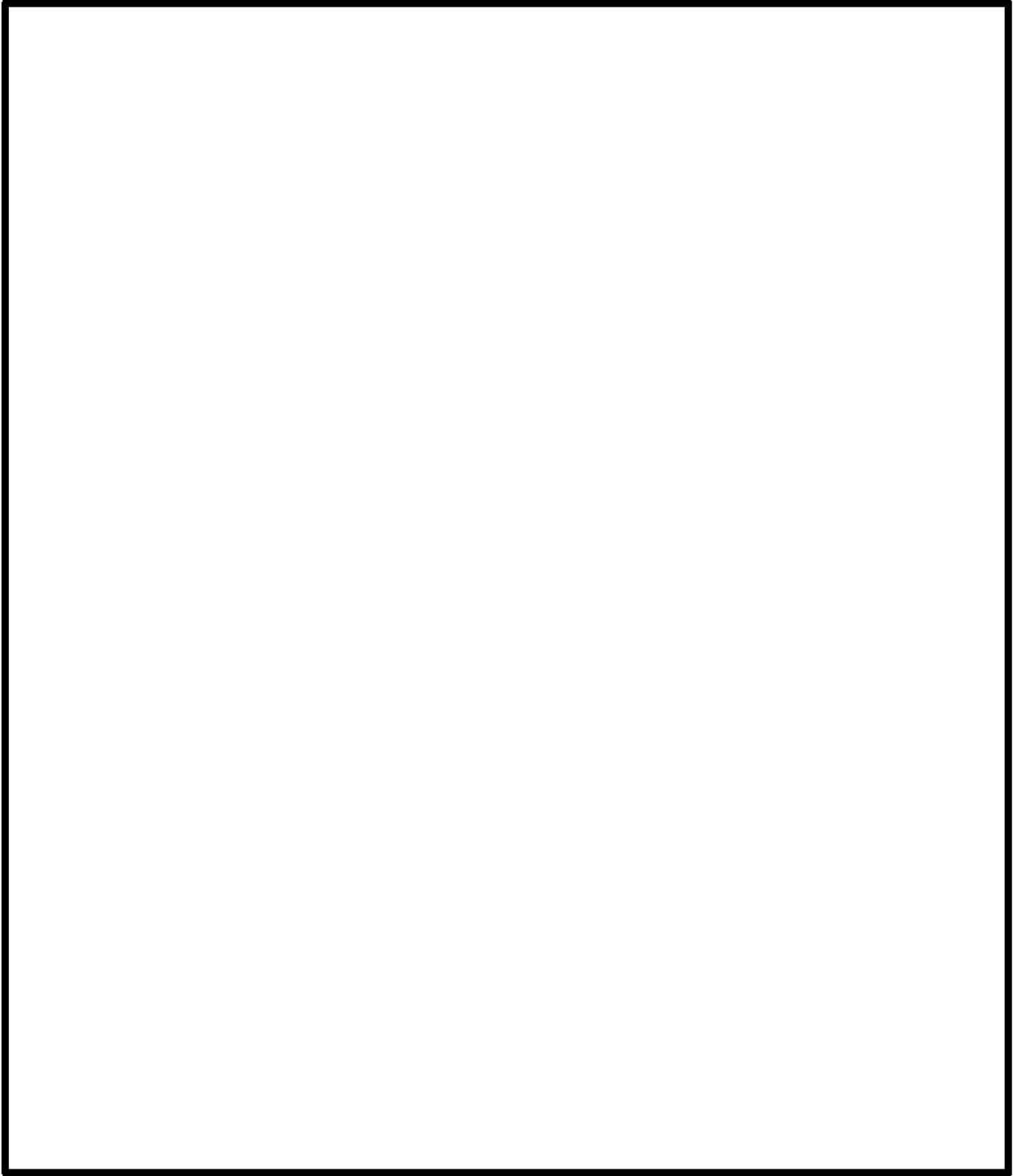



図 11-4 3号炉放水施設の損失水頭発生位置
(上図：平面図，下図：断面図)

 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。

5条-別添1-添付5-28

表9-1 水位上昇側の評価結果（取水施設）（1/2）（1, 2号炉取水施設）

検討対象波源	地形変化		1, 2号炉取水口水位変動量(m)	潮位変動			地震による地殻変動(m)	管路状態		1,2号炉取水ピットスクリーン室水位(T.P. m)
	防波堤	地滑り地形①の崩壊		朔望平均潮位(T.P. m)	潮位のばらつき(m)	観測地点の潮位差(m)		貝付着	スクリーン状態	
波源C	健全	現地形	9.34				健全	有	追而	
	健全	崩壊					健全	無	5.5	
波源E	損傷	現地形	12.74				健全	有	追而	
	損傷	崩壊					損傷	無		4.9
波源G	健全	現地形	12.01	0.26	0.14	0.01	健全	有	追而	
	損傷	崩壊					損傷	無		5.0
波源H	損傷	現地形	11.50				健全	有	追而	
	健全	崩壊					損傷	無		4.9
			11.52				健全	無		

表9-1 水位上昇側の評価結果（取水施設）（2/2）（3号炉取水施設）

検討対象波源	防波堤		地形変化		3号炉取水口水位変動量(m)	潮位変動			地震による地殻変動(m)	管路状態		3号炉取水ピット室水位(T.P. m)	3号炉取水ピット室水位(T.P. m)	
	北防波堤	南防波堤	陸地の地盤沈下5m	海域の地盤沈下2m		土捨場の崩壊	眺望平均潮位(T.P. m)	潮位のばらつき(m)		観測地点の潮位差(m)	貝付着			スクリーン状態
波源B	健全	健全	現地形	現地形	10.45					有	健全	追而		
			沈下	崩壊						無	健全			10.9
波源F	損傷	損傷	現地形	現地形	13.14					有	健全	追而		
			沈下	崩壊						無	損傷			12.8
波源E	健全	損傷	現地形	現地形	13.79	0.26	0.14	0.01	沈降を考慮 0.39	有	健全	追而		
			沈下	崩壊						無	損傷			12.1
波源B	損傷	健全	現地形	現地形	12.89					有	健全	追而		
			沈下	崩壊						無	損傷			12.1
波源B	損傷	健全	現地形	現地形	13.72					有	健全	追而		
			沈下	崩壊						無	損傷			

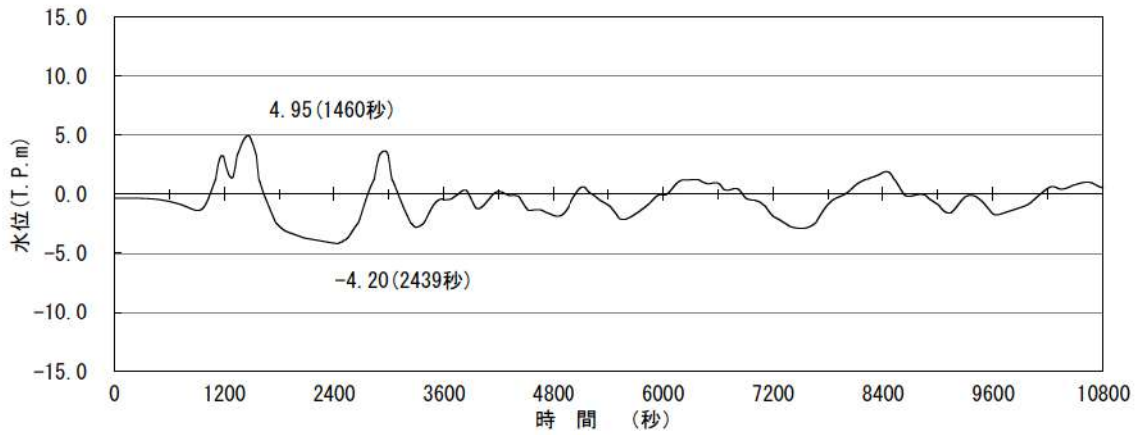
※3号炉取水ピットポンプ室水位は、津波来襲時に満水になることから、3号炉取水ピット室水位で代表させる。

表9-2 水位上昇側の評価結果（放水施設）（3号炉放水施設）

検討対象 波源 ※1	地形変化			3号炉 取水口 水位 変動量(m)	潮位変動			地震による 地殻変動 (m)	管路状態			
	防波堤 北防 波堤	防波堤 南防 波堤	土捨場 の崩壊		朔望平均 潮位 (T.P. m)	潮位の ばらつき (m)	観測地点 の潮位差 (m)		貝付着	3号炉放水ビット 水位(T.P. m)		
波源 D	健全	健全	現地形	10.91	0.26	0.14	0.01	沈降を 考慮 0.39	有	追而		
	健全	健全	崩壊	10.93					無	7.0		
	損傷	損傷	現地形	10.84					有	追而		
	損傷	損傷	崩壊	10.84					無	6.5		
	健全	健全	現地形	10.85					有	追而		
	健全	損傷	崩壊	10.86					無	7.0		
	損傷	健全	現地形	10.66					有	追而		
	損傷	健全	崩壊	10.66					無	6.6		
									有	追而		
									無			
									有			
									無			

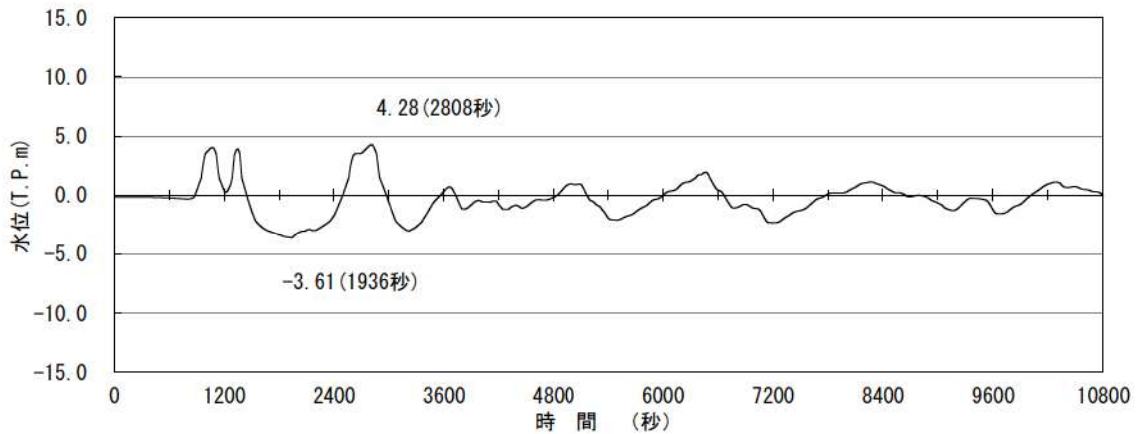
表 10 水位下降側の評価結果（3号炉取水施設）

追而 (解析結果を記載する)



※最大水位上昇量 4.95+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 5.5m

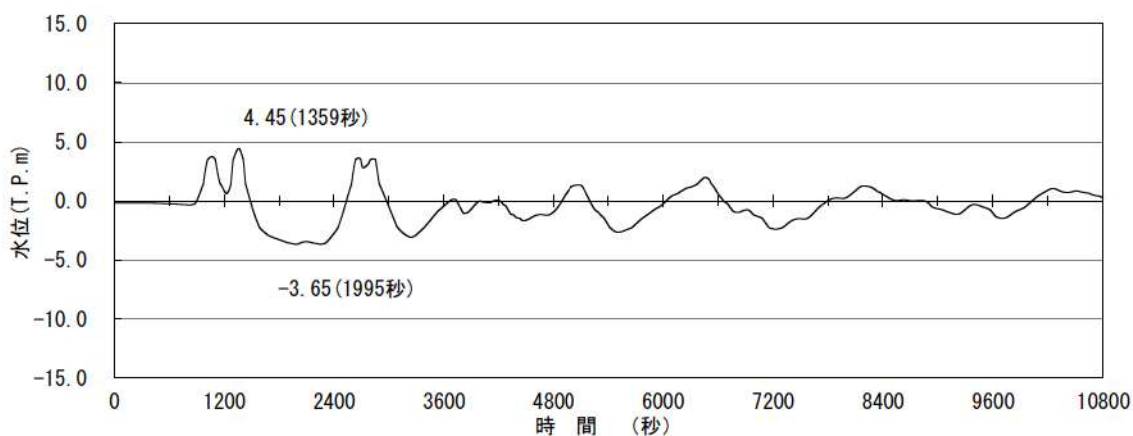
波源C，防波堤健全（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）



※最大水位上昇量 4.28+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 4.9m

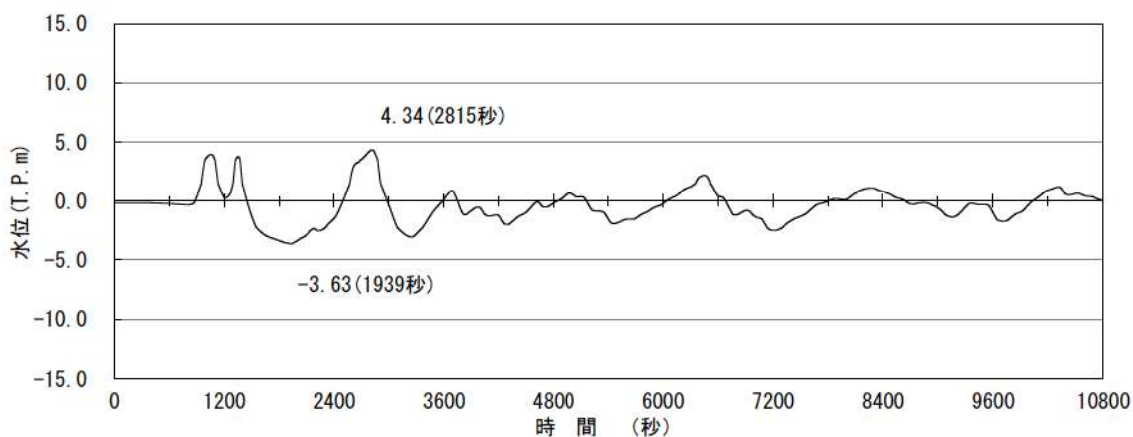
波源E，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）

図 12-1 水位上昇側の時刻歴波形（1，2号炉取水ピットスクリーン室）
 （1 / 2）



※最大水位上昇量 4.45+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 5.0m

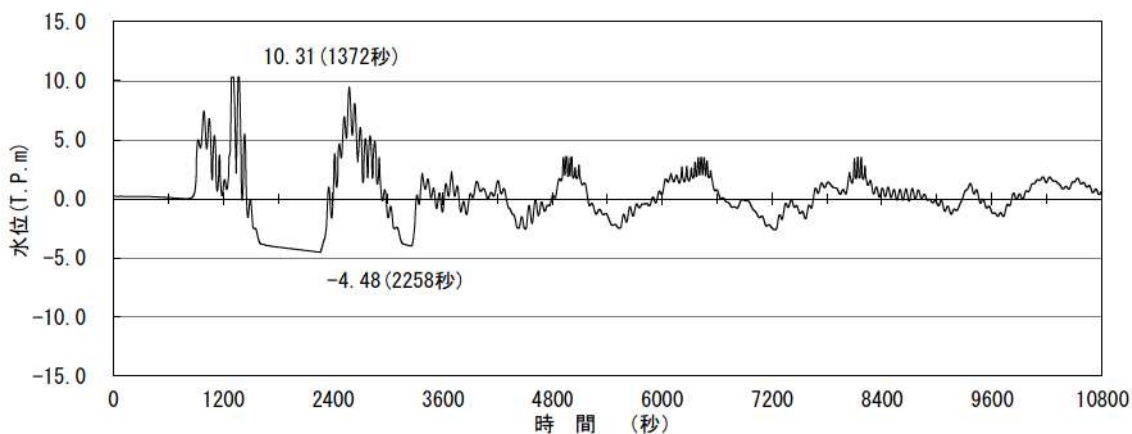
波源G, 南防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し, スクリーン健全)



※最大水位上昇量 4.34+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 4.9m

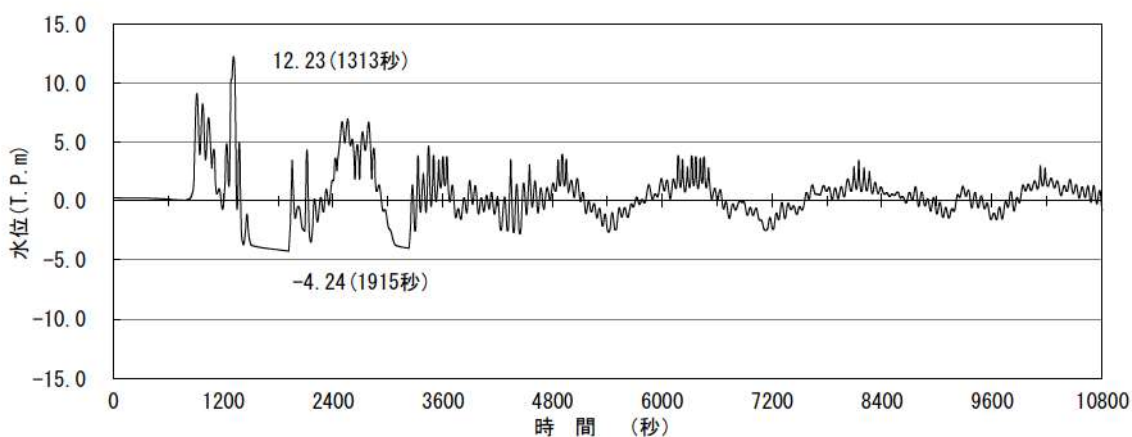
波源H, 北防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し, スクリーン健全)

図 12-1 水位上昇側の時刻歴波形 (1, 2号炉取水ピットスクリーン室)
 (2/2)



※最大水位上昇量 10.31+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 10.9m

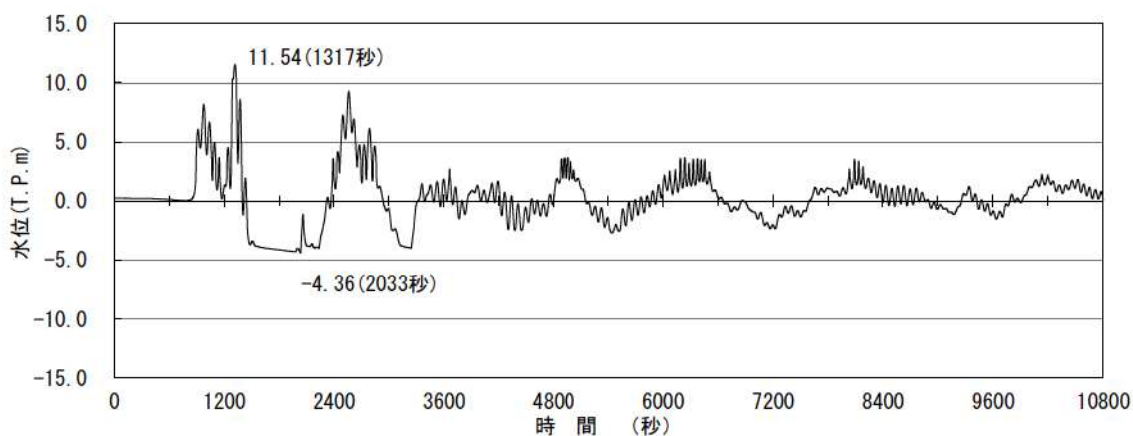
波源B, 防波堤健全 (現地形, 貝付着無し, スクリーン健全)



※最大水位上昇量 12.23+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 12.8m

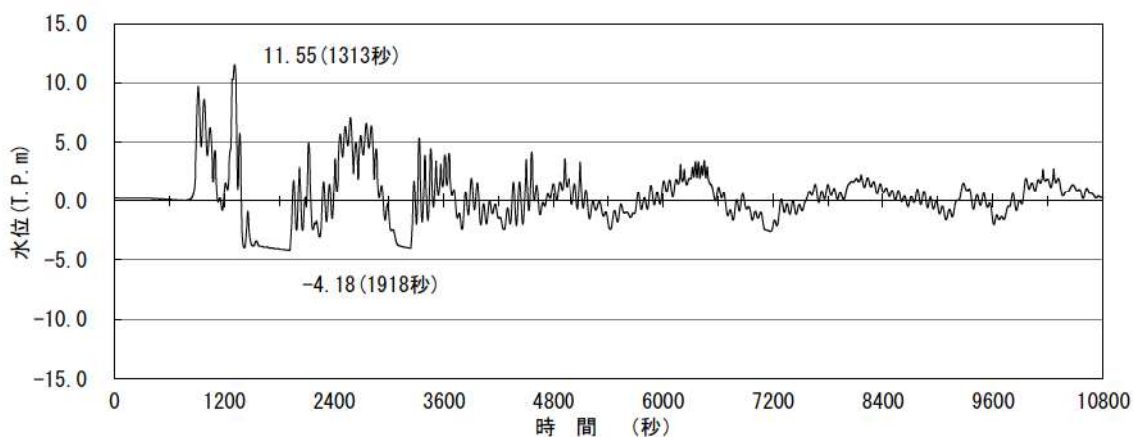
波源F, 北及び南防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し, スクリーン健全)

図 12-2 水位上昇側の時刻歴波形 (3号炉取水ピットスクリーン室)
 (1/2)



※最大水位上昇量 11.54+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 12.1m

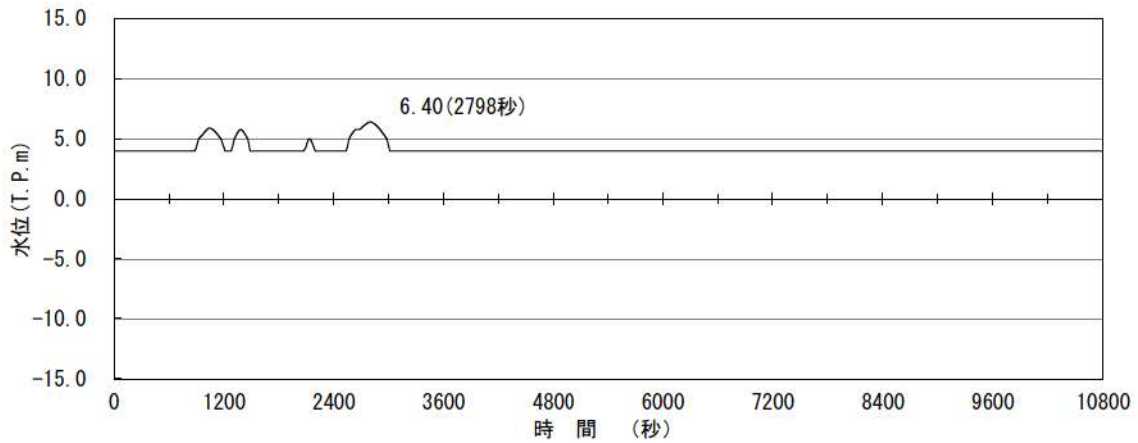
波源E, 南防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し, スクリーン健全)



※最大水位上昇量 11.55+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 12.1m

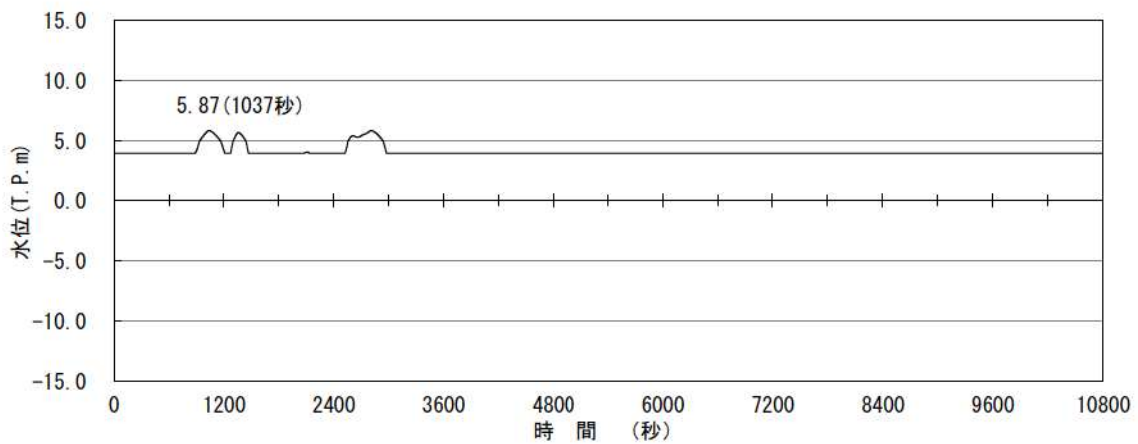
波源B, 北防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し, スクリーン健全)

図 12-2 水位上昇側の時刻歴波形 (3号炉取水ピットスクリーン室)
 (2/2)



※最大水位上昇量 6.40+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 7.0m

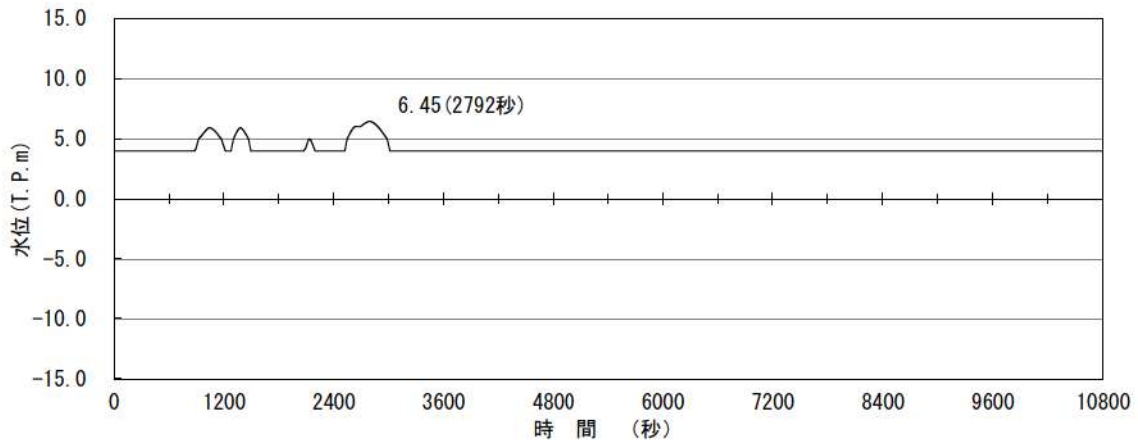
波源D, 防波堤健全 (現地形, 貝付着無し)



※最大水位上昇量 5.87+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 6.5m

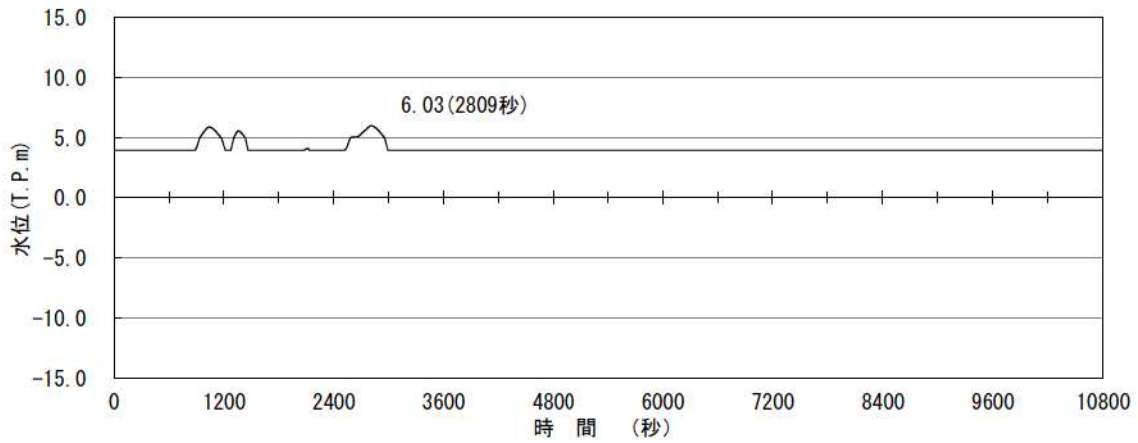
波源D, 北及び南防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し)

図 12-3 水位上昇側の時刻歴波形 (3号炉放水ピット)
 (1/2)



※最大水位上昇量 6.45+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 7.0m

波源D, 南防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し)



※最大水位上昇量 6.03+潮位のばらつき 0.14+観測地点の潮位差 0.01+地殻変動量 0.39
 ≒T.P. 6.6m

波源D, 北防波堤損傷 (現地形, 貝付着無し)

図 12-3 水位上昇側の時刻歴波形 (3号炉放水ピット)
 (2/2)

追而
(解析結果を記載する)

図 13 水位下降側の時刻歴波形

地震による建造物の損傷に係る管路解析の評価

1. はじめに

管路解析の構造モデルを構成する建造物を対象に、基準地震動による被害想定を行い、建造物の損傷が管路解析を用いた入力津波の設定に及ぼす影響について検討を行う。

2. 対象建造物


管路解析の対象水路は、1, 2号取・放水設備及び3号取・放水設備である。そのうち、1, 2号取水設備及び3号取水設備は基準地震動に対して耐震性を有することから対象外とし、基準地震動に対して耐震性を有していない1, 2号放水設備及び3号放水設備を対象に被害想定を行う。

3. 放水系設備概要

1, 2号放水設備及び3号放水設備の平面図を参考図1, 1, 2号放水設備縦断面図を参考図2, 3号放水設備縦断面図を参考図3, 1, 2号放水路及び3号放水路トンネルの標準断面図を参考図4, 1, 2号・3号放水池断面図を参考図5に示す。



参考図1 放水設備の平面図

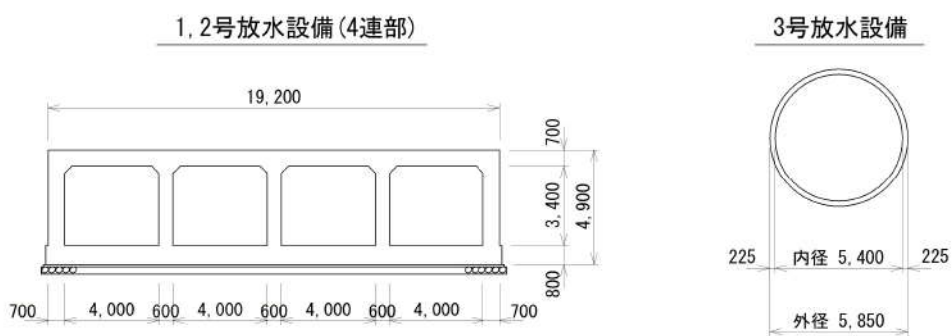
 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。




参考図2 1号放水設備の縦断図（縦横比 5.0 : 1.0）

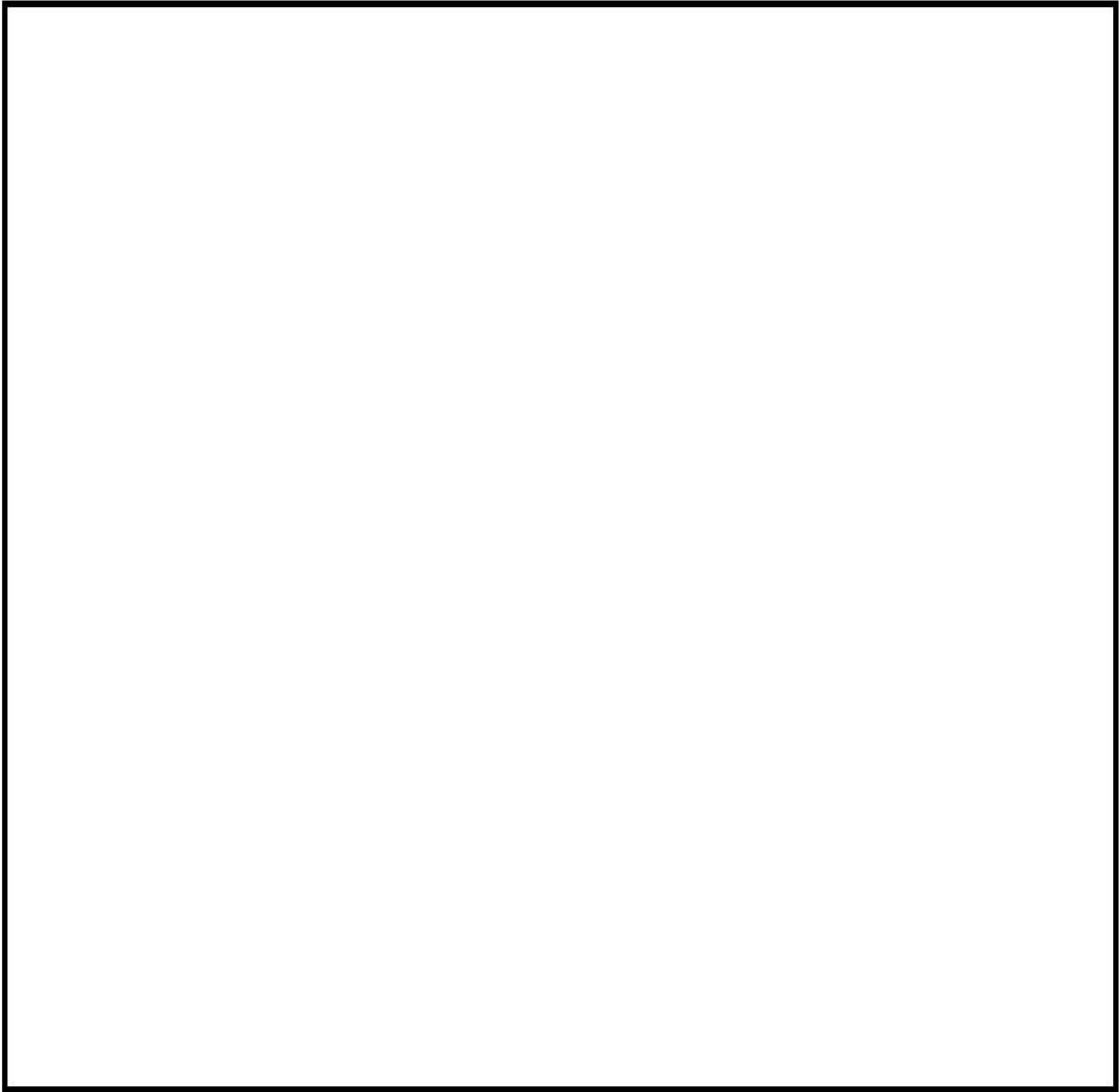


参考図3 3号放水設備の縦断図（縦横比 2.5 : 1.0）



参考図4 1, 2号放水路及び3号放水路トンネルの標準断面図

 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。



参考図 5 1, 2号放水池及び3号放水池の断面図

 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。

4. 地震時の被害想定

1, 2号放水設備は、砂層境界から海側の放水路及び放水池の支持地盤は砂・砂礫層であり、基準地震動による液状化に伴う側方流動及び沈下が生じる可能性がある。

3号放水設備も同様に、岩盤境界から放水池にかけて放水路トンネル及び放水池の支持地盤は砂・砂礫層であることから、基準地震動による液状化に伴う側方流動及び沈下が生じる可能性がある。

それに伴い、放水路・放水池は変形及び不同沈下による段差、各構造物の変形に伴う部材の損傷が想定される。

よって、被害想定としては、基準地震動による液状化に伴う沈下が発生し、耐震性を有していない、1, 2号放水路及び3号放水路が損傷することが想定される。

5. 地震による被害想定を反映した管路解析の必要性

被害想定である地震時の放水路・放水池の変形及び不同沈下による段差、各構造物の変形に伴う部材の損傷を考慮した場合は、1, 2号放水路及び3号放水路ともに通水断面の減少、もしくは閉塞されることから、津波の遡上が抑制されることにより、流入量は健全時よりも小さくなる。

よって、損傷時ではなく健全時での管路解析を実施する場合の方が、津波の遡上を保守的に評価することができることから、地震による損傷を考慮した管路解析は不要と考えられる。

(参考資料2)

3号炉放水ピット流路縮小工への一次元解析適用の妥当性

1. 概要及び検討方針

(1) 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不定流解析の解析条件及び損失水頭等の適用性及び妥当性を確認する。

(2) 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解析条件及び損失水頭等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、検証する方針とする。

I. 損失係数の確認

- ・三次元解析が、実現象を模擬した水理模型実験と整合しているか損失係数の比較により確認
- ・実機スケールによる損失係数を算出

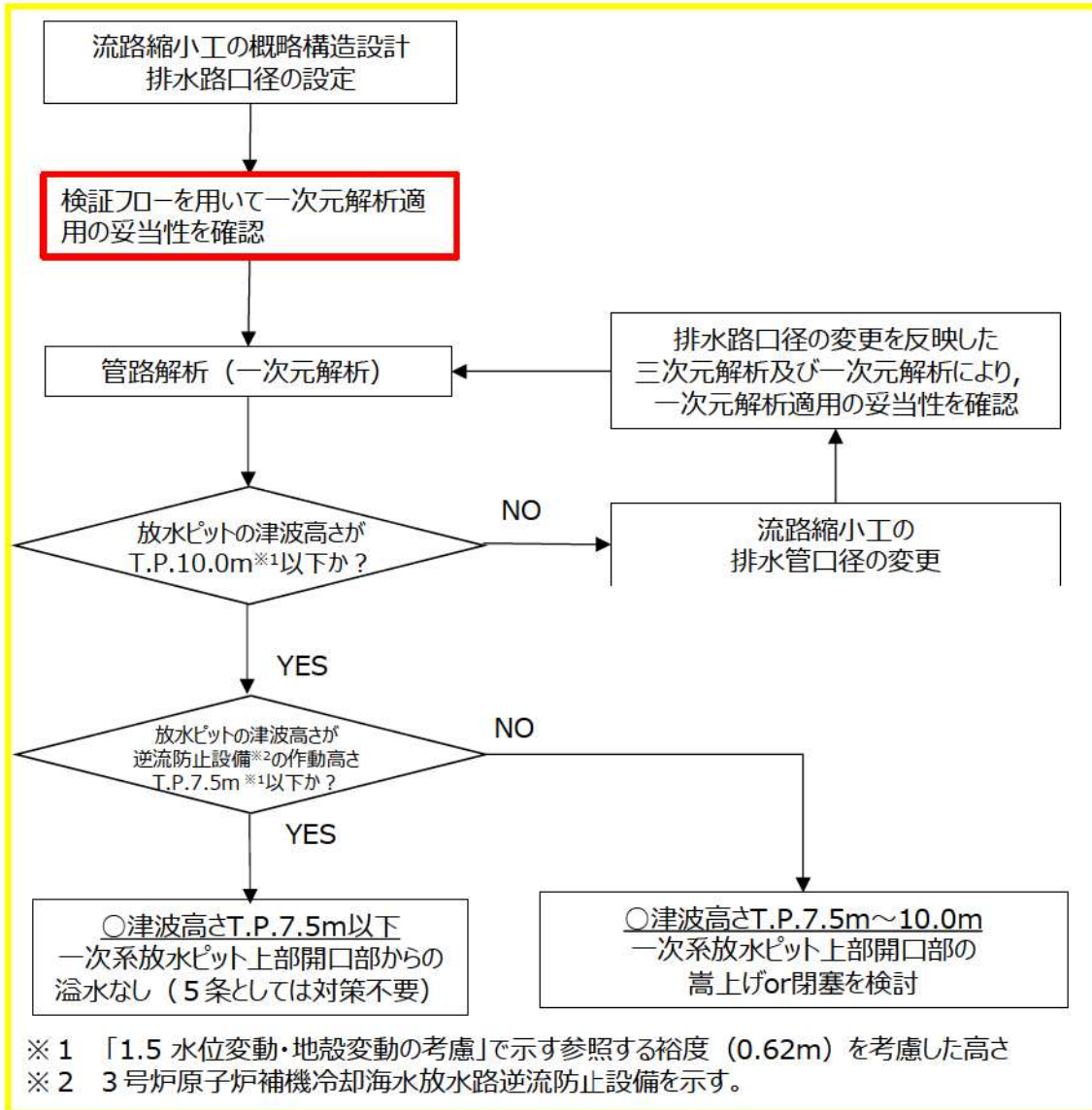
II. 三次元解析と一次元解析の水位比較による検証

- ・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比較

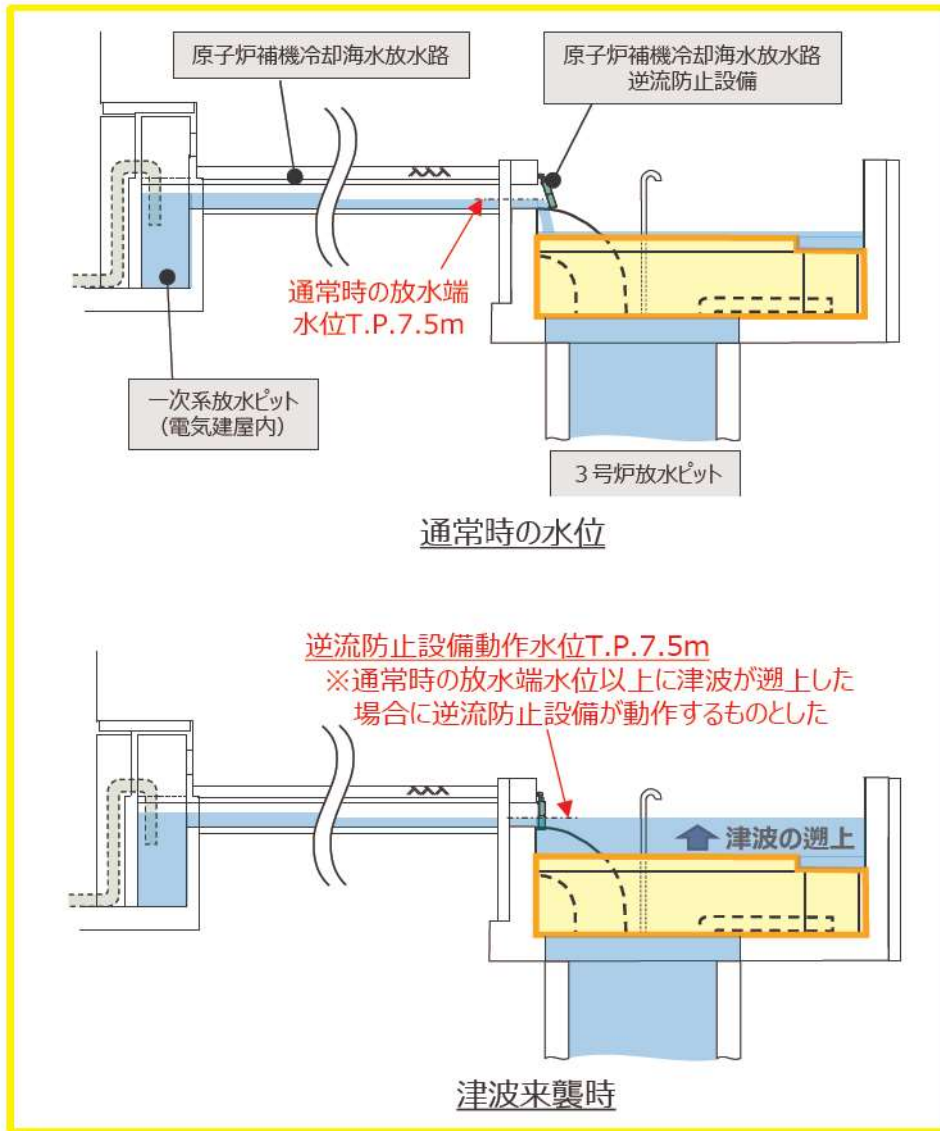
今回は、検討方針のみを示すが、解析及び実験の結果については、設置許可段階で今後お示しする。

(3) 設計評価フロー

3号炉放水ピット流路縮小工への一次元解析適用の妥当性の検証を行った後に、次頁に示す3号炉放水ピット流路縮小工の設計評価フローを踏まえて、溢水等の評価を行っていく。



参考図1 3号炉放水ピット流路縮小工の設計評価フロー

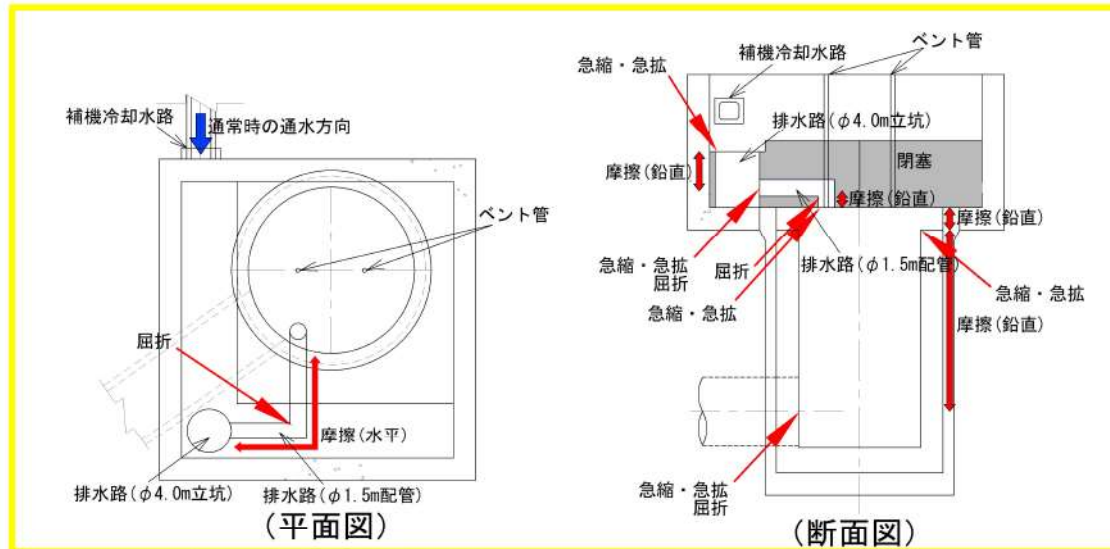


参考図2 津波来襲により逆流防止設備が動作する水位について

2. 一次元解析における3号炉放水ピット流路縮小工のモデル化及び課題

(1) 3号炉放水ピット流路縮小工の構造

3号炉放水ピット流路縮小工は、放水ピット上部工に津波防護施設として設置され、通常時は、原子炉補機冷却海水放水路を流下してきた水が放水ピット（上部）～排水路（立坑部Φ4.0m、延長5m及び水平部Φ1.5m、延長16.75m）～放水ピット（下部）へと通水する。参考図3に放水ピット周辺詳細図を示す。



参考図3 3号炉放水ピット及び流路縮小工詳細図

(2) 一次元解析における3号炉放水ピット流路縮小工の損失係数の設定方法

3号炉放水ピット流路縮小工のうち形状変化点には、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，屈折損失）を設定している。また、排水路には電力土木技術協会（1995）に基づき摩擦損失を設定している。

(3) モデル化上の課題

(1) に示すように、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。複雑な三次元構造に一次元解析モデルを適用していることから、損失を適切に再現できているかが課題である。

そのため、複雑な三次元構造を三次元解析及び水理模型実験により再現し、損失の算出を行い、一次元解析と比較・検証することで保守性及び妥当性を確認する必要がある。

3. 妥当性検証方法の概要，対象範囲およびモデル化の考え方

(1) 概要

一次元解析の流路縮小工のモデル化に関する課題に対し，参考表 1 に示す特徴を有する三次元解析及び水理模型実験を行い，損失係数を算出した上で，三次元解析と一次元解析における放水ピット内の水位等を比較し，一次元解析の妥当性を検証する。

参考表 1 三次元解析及び水理模型実験の特徴

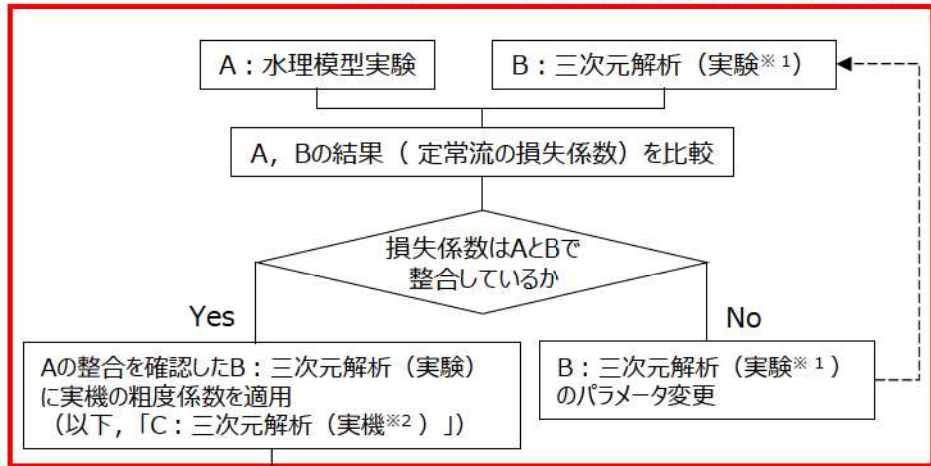
水理模型実験	実現象を模擬でき，複雑な三次元構造に対する実際の流況を確認できる一方で，水位や圧力の測定位置及びスケールの大きさが制限される。
三次元解析	実機スケールで実施でき，複雑な三次元構造に対する流況を再現できる。実験では測定できない地点における水位や圧力についても算定ができる。

(2) 検証フロー

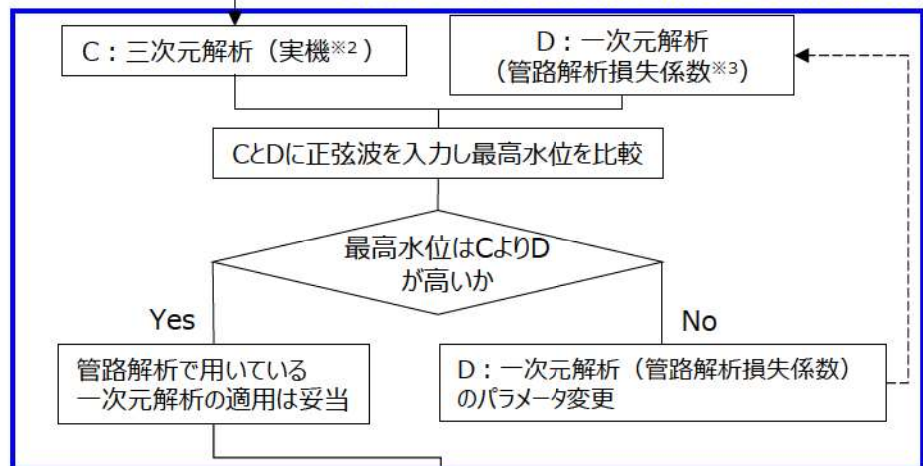
a. 検証フロー

検証フローを参考図 4 に示す。

I. 損失係数の確認
 (目的) ・水理模型実験と三次元解析の損失係数が整合しているか確認



II. 三次元解析と一次元解析の水位比較による検証
 (目的) ・放水ピット内水位の比較により一次元解析の適用性を確認



一次元解析モデルに実波形を入力し、流路縮小工の効果を確認

- ※1 : 実験 (アクリル相当) の粗度係数を設定
- ※2 : 実機の粗度係数を設定
- ※3 : 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

参考図4 検証フロー

b. 損失係数の確認

損失係数の確認は、以下のとおり行う。

- ・ A：水理模型実験及びB：三次元解析（実験^{※1}）を行い、それぞれ損失係数を算出し比較する。
- ・ 損失係数に対しては、A：水理模型実験とB：三次元解析（実験）で整合しているかを確認する。
- ・ A：水理模型実験の整合を確認したB：三次元解析（実験）に実機の粗度係数を適用する（以下、「C：三次元解析（実機^{※2}）」という。）。

c. 三次元解析と一次元解析の水位比較による検証

三次元解析と一次元解析の水位比較による検証は、以下のとおり行う。

- ・ C：三次元解析（実機）とD：一次元解析（管路解析損失係数^{※3}）に正弦波を入力する。
- ・ 放水ピットの最高水位が、D：一次元解析（管路解析損失係数）の方が高くなれば、管路解析で用いている一次元解析モデルの適用は妥当と判断する。

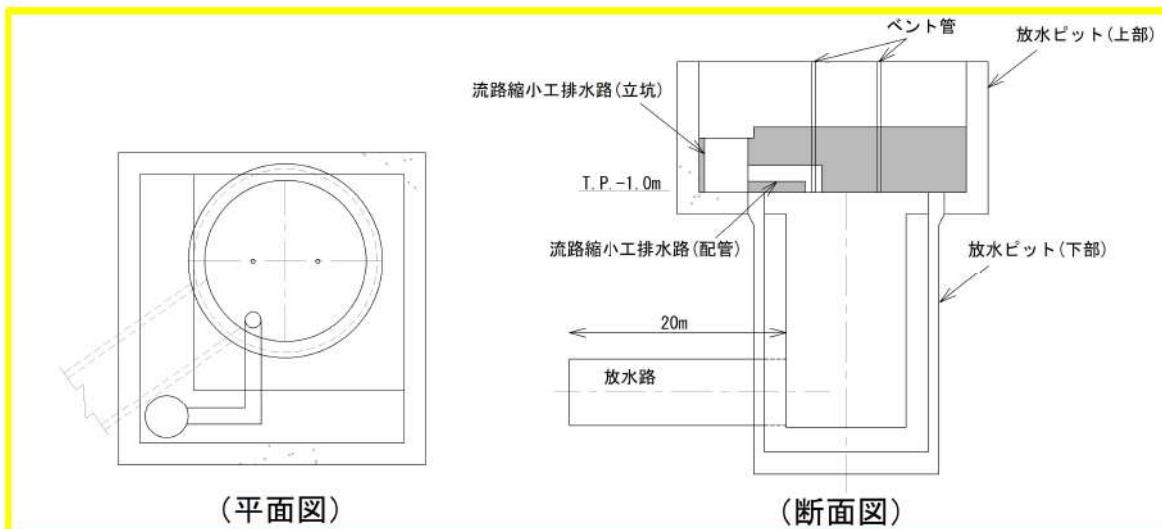
※1， ※2， ※3は参考図4 検証フロー参照

(3) 対象範囲及びモデル化の考え方

検証の対象範囲は、参考図5に示す放水路、放水ピット（上部・下部）及び流路縮小工とし、複雑な三次元構造を有する3号炉放水ピット流路縮小工部を対象に損失係数を確認する。

モデル化に当たっては、3号炉放水ピット流路縮小工周辺の排水路の形状は複雑な三次元構造を有しているため、実際の構造を模擬する必要があるものの、その他の放水路延長、放水ピット高さについては、三次元解析、水理模型実験及び二次元解析が同一の条件であれば損失係数及び放水ピット内水位の結果の比較が可能となる。

そのため、放水路から放水口については、同一断面が続き流路縮小工のような複雑な構造ではないことから放水ピット端部から20mの範囲を、放水ピット（上部）は水位上昇を測定できるように実際の放水ピット（上部）より高くなるようにモデル化した。



参考図5 検証の対象範囲

4. 損失係数の確認

(1) 損失係数の確認方法

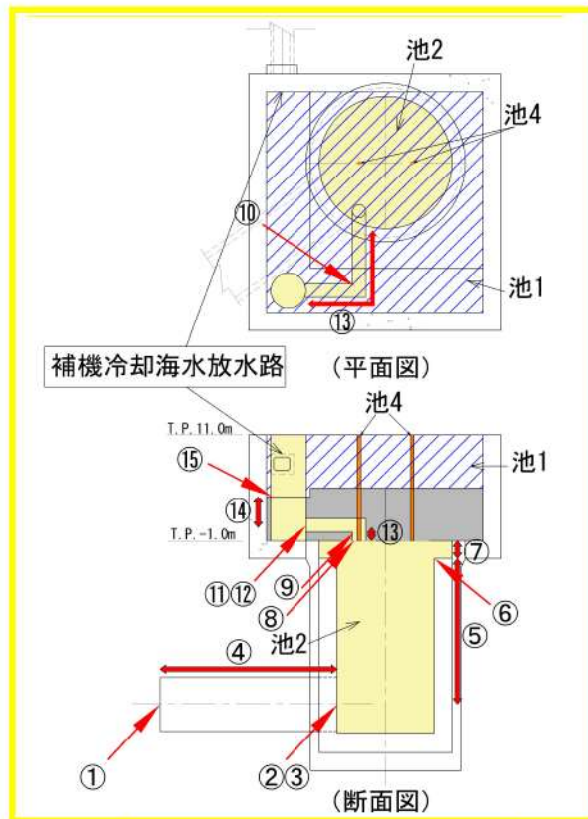
損失係数の確認については、定常流を用いて行う。

定常流の水理模型実験及び三次元解析は、放水路、放水ピット（上部・下部）及び流路縮小工で生じる損失水頭から、損失係数を算出するために行う。

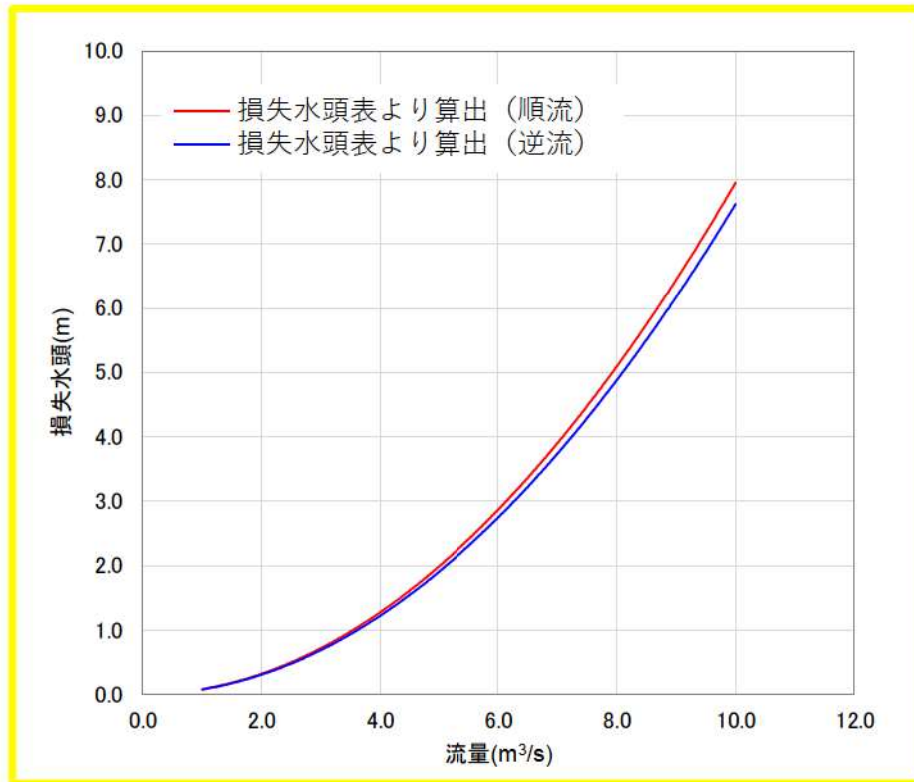
3号炉放水ピット流路縮小工の形状損失及び摩擦損失の発生箇所を参考図6に、三次元解析と電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）に基づいた損失係数から算出した流量と損失水頭の関係を示す。

損失水頭は、参考図7のように流量により変化することから、流路縮小工を通過する流量の大小の影響も踏まえた検討を行う。

なお、損失水頭算定公式を参考表2に、算定した結果のうち $2\text{m}^3/\text{s}$ の結果を代表として参考表3及び参考表4に示す。



参考図6 損失の発生箇所



参考図 7 流量と損失水頭の関係

参考表 2 損失水頭算定公式

	公式	係数	根拠
流入損失	$h_e = f_e \frac{V^2}{2g}$	f_e : 流入損失係数 (管路断面による値) V : 管内流速(m/s)	土木学会(1999) p.374-375
流出損失	$h_o = f_o \frac{V^2}{2g}$	f_o : 流出損失係数 = 1.0 V : 管内流速(m/s)	土木学会(1999) p.375
摩擦損失	$h_f = n^2 \cdot V^2 \frac{L}{R^{4/3}}$	V : 平均流速(m/s) L : 水路の長さ(m) R : 水路の径深(m) n : 粗度係数($m^{-1/3} \cdot s$)	電力土木技術協会(1995) p.788, 806, 829
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)	電力土木技術協会(1995) p.829
急縮損失	$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{sc} : 急縮損失係数 (管路断面による値) V_2 : 急縮後の平均流速(m/s)	電力土木技術協会(1995) p.829-830
漸拡損失	$h_{ge} = f_{ge} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$	f_{ge} : 漸拡損失係数 (管路断面による値) A_1 : 漸拡前の管断面積(m^2) A_2 : 漸拡後の管断面積(m^2) V_1 : 漸拡前の平均流速(m/s)	電力土木技術協会(1995) p.830
漸縮損失	$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2}{2g}$	f_{gc} : 漸縮損失係数 (管路断面積による値) V_2 : 漸縮後の平均流速(m/s)	千秋(1967) p.83-84
屈折損失	$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g}$ $f_{be} = 0.946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2.05 \sin^4 \frac{\theta}{2}$	f_{be} : 屈折損失係数 V : 管内流速(m/s) θ : 屈折角($^\circ$)	千秋(1967) p.88
曲がり損失	$h_b = f_{b1} \cdot f_{b2} \frac{V^2}{2g}$ $f_{b1} = 0.131 + 0.1632 \left(\frac{D}{\rho}\right)^{7/2}$ $f_{b2} = \left(\frac{\theta}{90}\right)^{1/2}$	f_{b1} : 曲がりの曲率半径 ρ と管径 D との比によって決まる損失係数 (90° の場合) f_{b2} : 任意の曲がり中心角 θ の場合の損失と中心角 90° の場合の損失との比 V : 管内平均流速(m/s) θ : 曲がり中心角($^\circ$)	千秋(1967) p.86-87
可動式スクリーン損失	$h_{ec} = f_{ec} \frac{V_0^2}{2g}$	f_{ec} : 管内オリフィスの損失係数 V_0 : オリフィス通過流速(m/s)	電力土木技術協会(1995) p.833

参考表 3 流量 2.0m³/s 時の損失水頭表 (順流)

場所	流量 ^{※1} (m ³ /s)	種類	係数		断面積 (m ²)	損失水頭 (m)	モデル化
放水路	2.000	①流出 ^{※2}	F	1.000	22.902	0.00039	節点4
		②急縮 ^{※2}	F	0.433	22.902	0.00017	節点3
		③屈折	F	0.986	22.902	0.00038	節点3
		④摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	22.902	0.00004	管路1
長さ(m)	20.000						
径深(m)	1.350						
放水ビット	2.000	⑤摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	95.033	0.00000	池2
			長さ(m)	16.400			
			径深(m)	2.750			
		⑥急縮 ^{※2}	F	0.254	95.033	0.00001	池2
		⑦摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	176.715	0.00000	池2
			長さ(m)	2.000			
	径深(m)		3.750				
	2.000	⑧急拡 ^{※2}	F	0.980	1.767	0.06406	池2
		⑨屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池2
		⑩屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池2
		⑪急縮 ^{※2}	F	0.468	1.767	0.03059	池2
		⑫屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池2
		⑬摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	1.767	0.02865	池2
			長さ(m)	16.750			
			径深(m)	0.375			
⑭摩擦		粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	12.566	0.00003	池2	
	長さ(m)	3.250					
	径深(m)	1.000					
⑮急縮 ^{※2}	F	0.490	12.566	0.00063	節点2		
合計						0.31830	

※1：放水ビットから放水口へ流れる方向を正とし、ポンプ流量を用いて損失水頭を算出
 ※2：流入・流出損失，急拡・急縮損失は，時々刻々の流れの方向に応じた損失を考慮

参考表 4 流量 2.0m³/s 時の損失水頭表 (逆流)

場所	流量 ^{※1} (m ³ /s)	種類	係数		断面積 (m ²)	損失水頭 (m)	モデル化
放水路	2.000	①流入 ^{※2}	F	0.500	22.902	0.00019	節点4
		②急拡 ^{※2}	F	0.576	22.902	0.00022	節点3
		③屈折	F	0.986	22.902	0.00038	節点3
		④摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	22.902	0.00004	管路1
長さ(m)	20.000						
径深(m)	1.350						
放水ビット	2.000	⑤摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	95.033	0.00000	池2
			長さ(m)	16.400			
			径深(m)	2.750			
		⑥急拡 ^{※2}	F	0.213	95.033	0.00000	池2
		⑦摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	176.715	0.00000	池2
			長さ(m)	2.000			
	径深(m)		3.750				
	2.000	⑧急縮 ^{※2}	F	0.500	1.767	0.03268	池2
		⑨屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池2
		⑩屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池2
		⑪急拡 ^{※2}	F	0.738	1.767	0.04824	池2
		⑫屈折	F	0.986	1.767	0.06445	池2
		⑬摩擦	粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	1.767	0.02865	池2
			長さ(m)	16.750			
			径深(m)	0.375			
⑭摩擦		粗度係数(m ^{-1/3} ・s)	0.019	12.566	0.00003	池2	
	長さ(m)	3.250					
	径深(m)	1.000					
⑮急拡 ^{※2}	F	0.891	12.566	0.00115	節点2		
合計						0.30493	

※1：放水ビットから放水口へ流れる方向を正とし、ポンプ流量を用いて損失水頭を算出
 ※2：流入・流出損失，急拡・急縮損失は，時々刻々の流れの方向に応じた損失を考慮

(2) 解析及び実験に用いる流量及び波形等の条件

損失水頭を測定するために行う定常流の水理模型実験及び三次元解析では、流量が変化することによる損失水頭への影響を確認するため、以下の流量・流向のケースを実施する。

流量については、流量が多い場合における損失水頭を確認するため、流路縮小工下端 (T.P. -1.0m) を津波が通過する際の最大流量相当である 10.0m³/s を、流量が少ない場合における損失水頭を確認するため、原子炉補機冷却海水ポンプ流量と同等の 2.0m³/s を設定した。

流向については、実際の津波における津波の流入時及び流出時の影響を確認するため順流 (放水ピット→放水口)・逆流 (放水口→放水ピット) を実施する。

以上より、定常流では、参考表 5 に示す 4 ケースを実施する。

参考表 5 定常流の実施ケース

ケース	流量 (m ³ /s)	流向	備考
定常流①	2.0	順流 (放水ピット→放水口)	津波流出時流量：小
定常流②		逆流 (放水口→放水ピット)	津波流入時流量：小
定常流③	10.0	順流 (放水ピット→放水口)	津波流出時流量：大
定常流④		逆流 (放水口→放水ピット)	津波流入時流量：大

(3) 水理模型実験の目的、概要及び条件

a. 目的

水理模型実験は、1/50 スケールの条件下において実現象を模擬し、損失係数を確認するために行う。

b. 概要

損失係数は、ポンプ及び流量計を用いて流量を制御し、水槽から一定の流量の入力を行い、得られた損失水頭から算出する。

水理模型実験イメージ図を参考図 8 に示す。

水槽内の水位と放水ピット (上部) の水位を測定し全体の損失水頭を確認する。また、放水ピット (下部) の 2 箇所に圧力計を設置し、放水ピット (下部) における損失水頭を参考として測定する。

参考表7 水理模型実験の実施ケース

ケース	流量（実機） (m ³ /s)	流量（模型） (m ³ /s)	流向
定常流①	2.0	0.11×10 ⁻³	順流
定常流②			逆流
定常流③	10.0	0.57×10 ⁻³	順流
定常流④			逆流

(4) 三次元解析の目的、概要及び条件

a. 目的

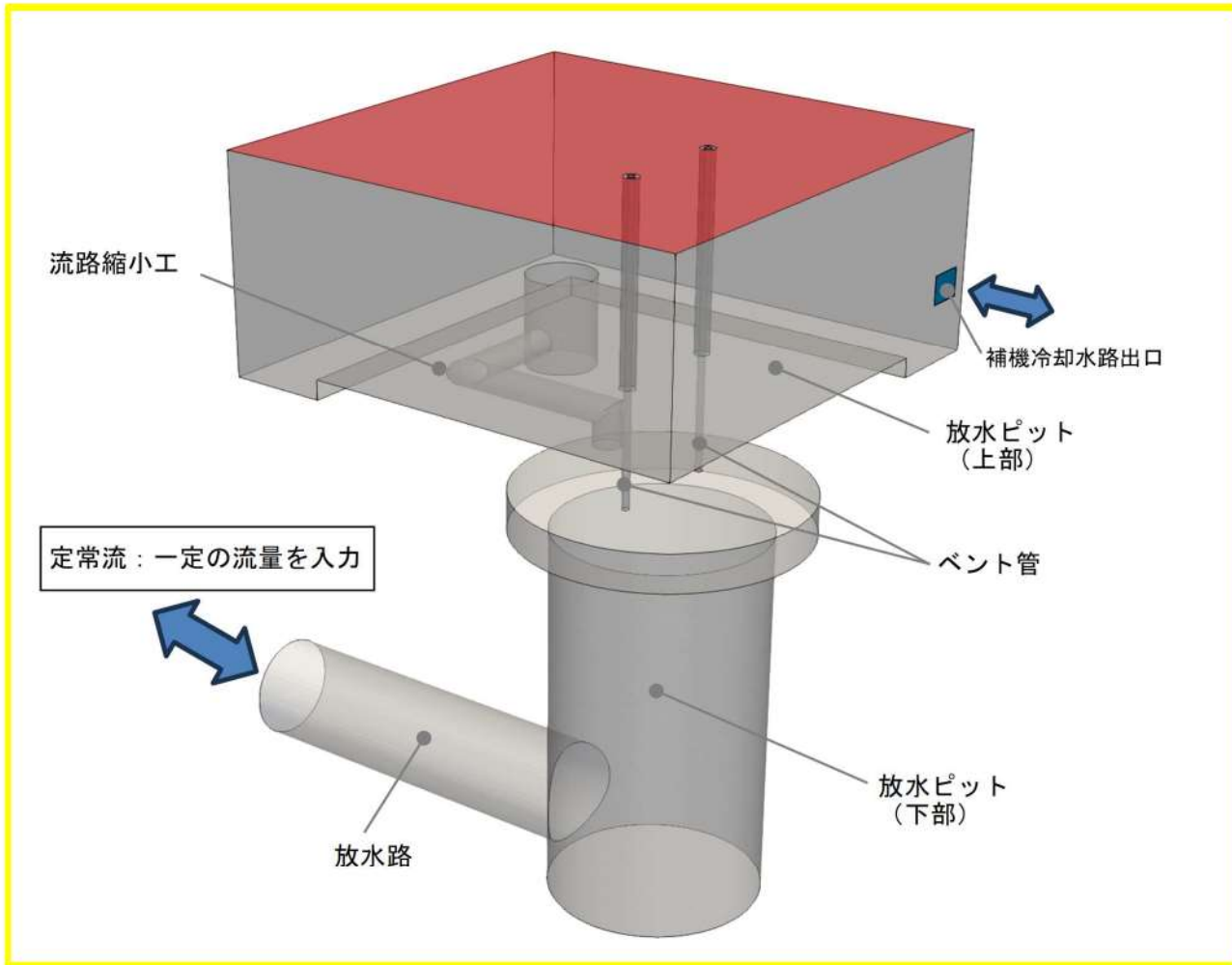
三次元解析は、実現象を模擬した水理模型実験が 1/50 スケールの条件下であることを踏まえ、実スケールを再現した解析により損失係数を算出するために行う。

b. 概要

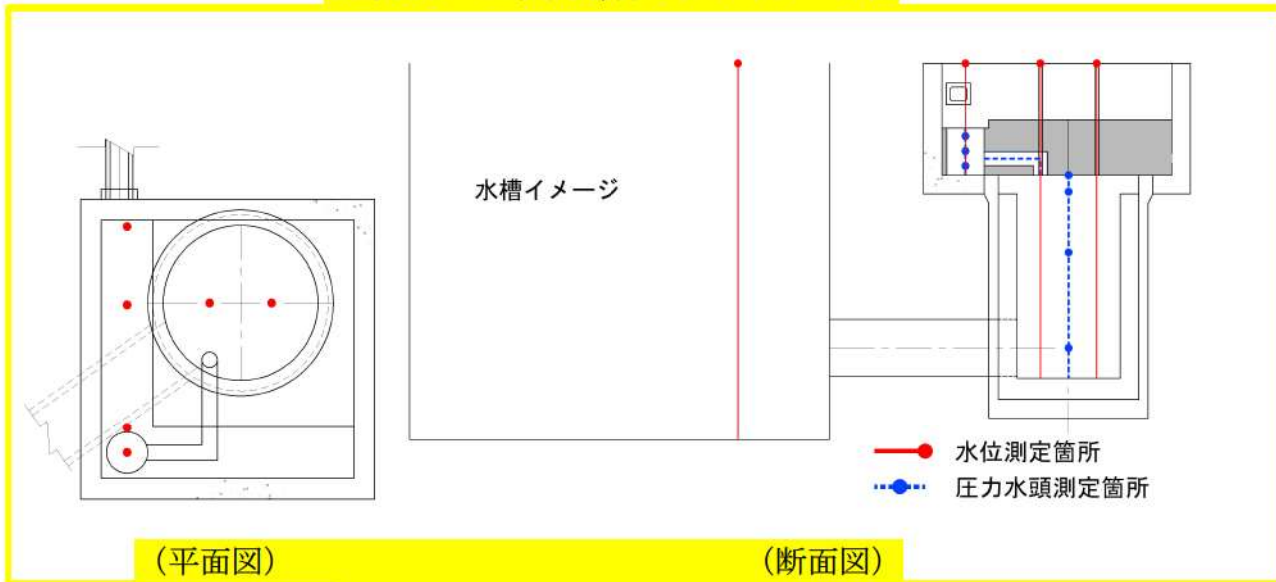
損失係数については、放水路端部に水槽を設置し、水槽から一定の流量の入力を行い、得られた損失水頭から算出する。

三次元解析に用いる解析モデルイメージ、水位測定箇所及び圧力水頭測定箇所を参考図9、参考図10に示す。

定常流を用いた解析では、水槽内の水位と放水ピット（上部）の水位差により全体の損失水頭を算出する。また、水理模型実験では損失水頭の測定ができない参考図10の圧力水頭測定箇所に測定点を設け損失水頭を参考として測定する。



参考図 9 三次元解析モデルイメージ図



参考図 10 三次元解析水頭算出位置図

c. 条件

損失係数の算出では、流量及び流向の影響を確認するために、参考表8の4ケースを実施する。

水理模型実験と同条件での比較をするために、実験の粗度係数（アクリル相当）を実機スケールに換算した粗度係数（0.019）として入力する。

解析コードは、OpenFOAM（Ver. 2.4.0）を用いる。

参考表8 定常流の実施ケース

ケース	流量 (m ³ /s)	流向
定常流①	2.0	順流
定常流②		逆流
定常流③	10.0	順流
定常流④		逆流

5. 三次元解析と一次元解析の水位比較による検証

(1) 検証方法，入力波形の条件

a. 検証方法

三次元解析と一次元解析の水位比較による検証については，正弦波を用いて行う。正弦波の解析は，実機の粗度係数を適用した三次元解析と，電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）に基づいた損失係数を設定した一次元解析の放水ピット水位を比較するために行う。

b. 正弦波の波形，周期及び振幅

三次元解析と一次元解析の放水ピット水位の比較における入力波形は，一次元解析結果で放水ピット水位が最大となった波源D（南防波堤損傷）を参考とした波形を模擬した正弦波とする。

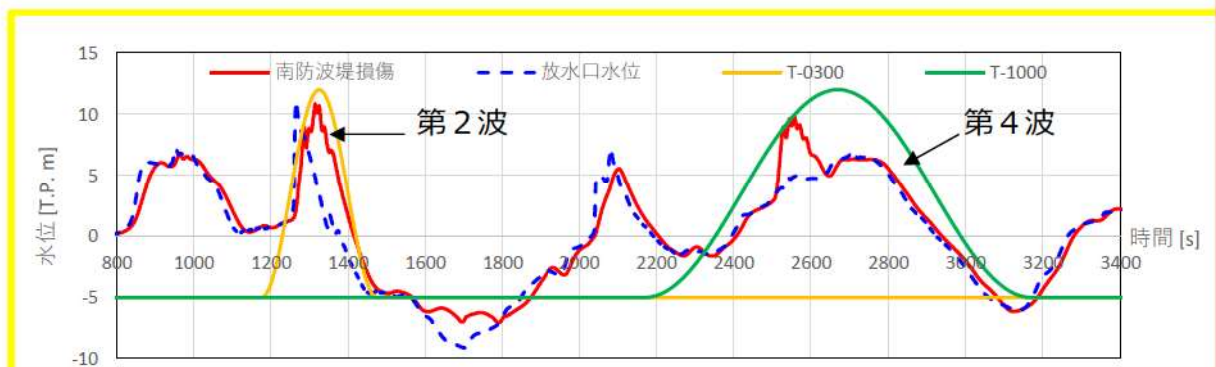
検証に用いる波形の周期及び振幅は，実波形の再現性及び保守性を考慮し以下のとおりとする。

- ・入力波形は，周期の短い第2波及び周期の長い第4波を参考とする。
- ・周期は，第2波と概ね合うように 300 秒，第4波と概ね合うように 1000 秒とする。
- ・振幅は，第2波及び第4波の波形の最大振幅が概ね T.P. -5.0m から T.P. 12.0m となっているため，片振幅 8.5m（全振幅 17.0m）とする。

なお，今回の検証では正弦波を用いるが，一次元解析の妥当性を検証した後に入力津波の実波形を入力した一次元解析により流路縮小工効果を確認する。

参考表9 正弦波の実施ケース

ケース	周期 (s)	片振幅 (m)
正弦波①	300	8.5
正弦波②	1000	8.5



参考図 11 入力波形選定に用いた波形「波源D（南防波堤損傷）」

(2) 三次元解析の目的, 概要及び条件

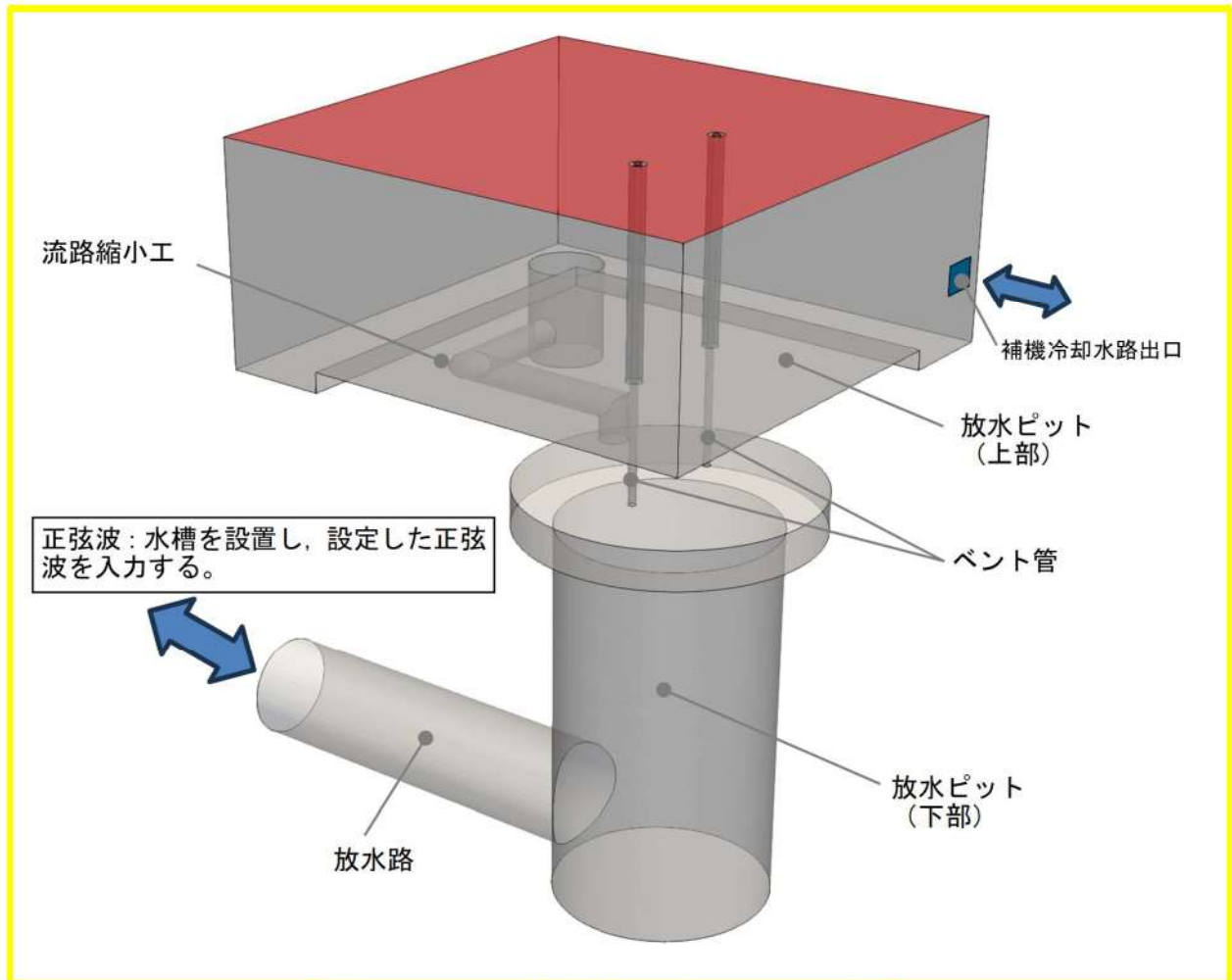
a. 目的

三次元解析は, 実機の粗度係数を考慮した上で, 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比較し, 一次元解析の妥当性を検証するために行う。

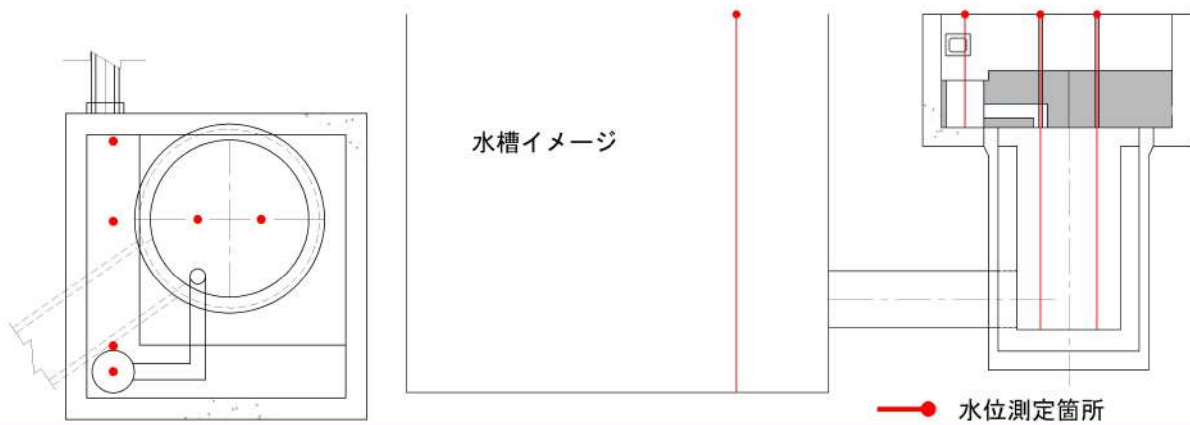
b. 概要

放水ピット内水位は, 放水路端部に水槽を設置し, 設定した正弦波となるように水槽より波形の入力を行い比較する。

三次元解析に用いる解析モデルイメージ, 水位測定箇所を参考図 12, 参考図 13 に示す。



参考図 12 三次元解析モデルイメージ図



(平面図)

(断面図)

参考図 13 三次元解析水位測定箇所位置図

c. 三次元解析条件

正弦波を用いた放水ピット内の水位の確認については、周期の影響を確認するため、参考表 10 に示す 2 ケースを行う。

一次元解析と同条件で比較するため、実機の粗度係数 (0.014) とする。

解析コードは、OpenFOAM (Ver. 2.4.0) を用いる。

参考表 10 正弦波の実施ケース

ケース	周期 (s)	片振幅 (m)
正弦波①	300	8.5
正弦波②	1000	8.5

(3) 一次元解析の目的、概要及び条件

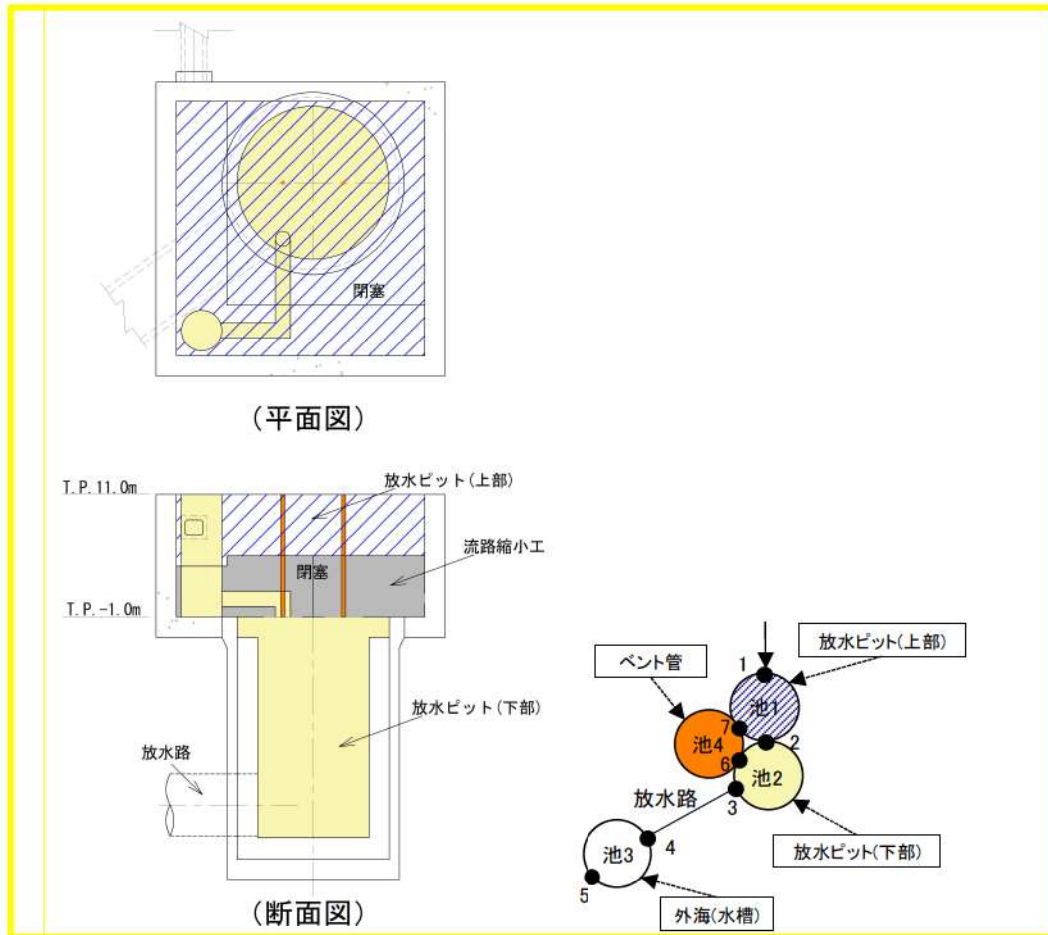
a. 目的

一次元解析は、水理模型実験と整合を確認した上で、実機の粗度係数を考慮した三次元解析と放水ピット内の水位を比較し、一次元解析の妥当性を検証するために行う。

一次元解析に用いる検討対象範囲とモデル図を参考図 14 に示す。

b. 概要

解析は、放水路端部に池モデルを設置し、正弦波を入力し、池モデル内の水位を算出する。



参考図 14 検討対象範囲とモデル図

c. 一次元解析条件

実施ケースは、三次元解析と同様に、周期の影響を確認するため、参考表 11 の 2 ケースを行う。

モデル化範囲は、三次元解析と同じ範囲とする。

解析コードは、SURGE (Ver. 2.8.7) を用いる。

参考表 11 正弦波の実施ケース

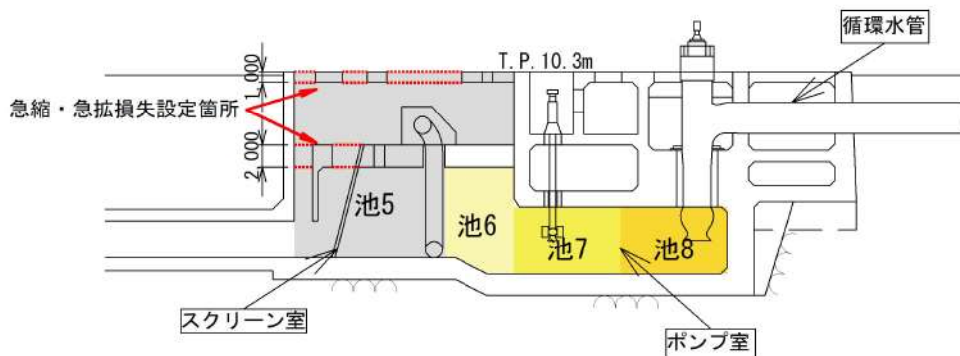
ケース	周期 (s)	片振幅 (m)
正弦波①	300	8.5
正弦波②	1000	8.5

取水ピット中間スラブ及び天端開口部の損失係数設定の妥当性について

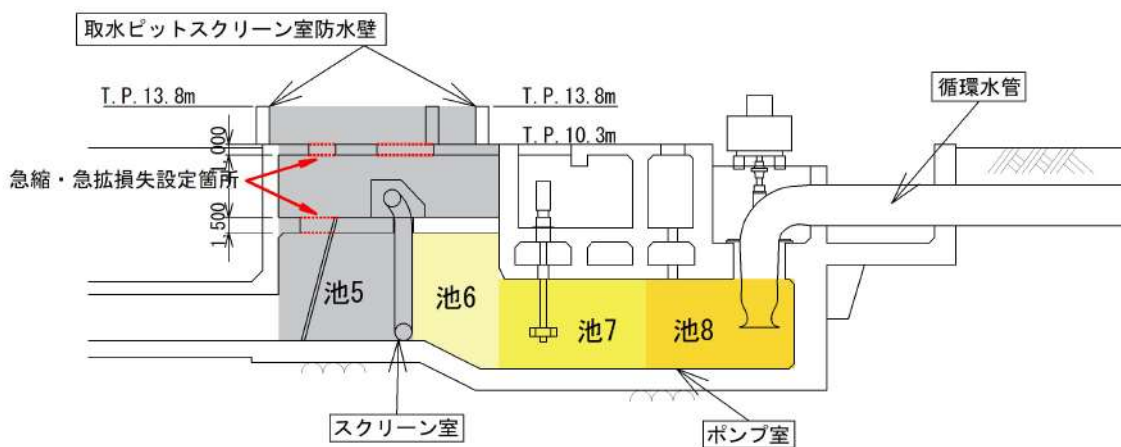
1. 概要

1号及び2号炉並びに3号炉取水施設では、取水ピット内部に中間スラブ及び天端開口部の狭窄部を有している。これらの箇所は、津波来襲時に取水ピット内に流入した海水による水位変動によって、鉛直方向の狭窄部に自由水面を有する水流が発生する。管路解析では、電力土木技術協会(1995)を参照し、各狭窄部について急縮損失と急拡損失を適用している。取水ピット内部の急縮・急拡損失設定箇所を参考図1及び参考図2に、電力土木技術協会(1995)における急縮及び急拡による損失水頭の算出方法について参考図3に示す。

ここでは、鉛直方向の狭窄部に自由水面を有する水流が生じる構造物の損失係数に関する既往文献の実験値を確認し、泊発電所で適用している電力土木技術協会(1995)による損失と比較することで、その妥当性を確認する。



参考図1 1号及び2号炉取水ピットスクリーン室断面図



参考図2 3号炉取水ピットスクリーン室断面図

i 急拡による損失水頭

$$h_{se} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \frac{V_1^2}{2g} \left\{ 1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right\}^2$$

$$= f_{se} \frac{V_1^2}{2g} \dots\dots\dots (17.9.5)$$

ここに,

- V_1, V_2 : 急拡前後の平均流速 (m/sec)
- A_1, A_2 : 急拡前後の管断面積 (m²)
- f_{se} : 急拡損失係数 (表 17-9-3による)
- D_1 : 急拡前の管路の径
- D_2 : 急拡後の管路の径

表 17-9-3 急拡損失係数 f_{se}

D_1/D_2	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	(1.0)
f_{se}	1.00	0.98	0.92	0.82	0.70	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04	(0)

ii 急縮による損失水頭

$$h_{sc} = \frac{V_2^2}{2g} \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g} \dots\dots\dots (17.9.6)$$

ここに,

- V_2 : 急縮後の平均流速 (m/sec)
- C_c : 縮流係数
- f_{sc} : 急縮損失係数 (17-9-4による)
- D_1 : 急縮前の管路の径
- D_2 : 急縮後の管路の径

表 17-9-4 急縮損失係数 f_{sc}

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

参考図 3 急縮及び急拡による損失水頭の算出, 電力土木技術協会(1995)

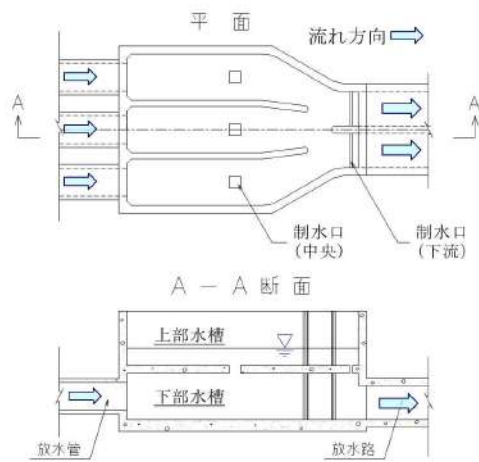
2. 既往文献の確認

取水ピット中間スラブ及び天端開口部等の鉛直方向の狭窄部に自由水面を有する場合の損失係数の設定の妥当性を確認するため、文献を確認した。

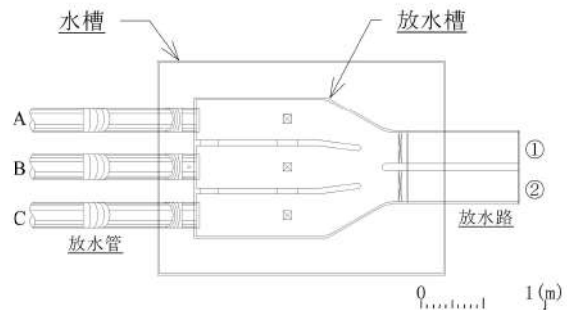
(1) 川崎ほか(2005)

川崎ほか(2005)では、汽力発電所における制水口型放水槽のサージング時抵抗特性を実験的に検討・評価している。制水口型放水槽は、参考図4(a)に示すように、上部水槽と下部水槽とが制水口により連結されたものである。通常運転時は下部水槽を放流水が流下し、ポンプ起動・停止時には上部水槽と下部水槽を放流水が移動し、サージタンクとしての役割を果たす。実験は、参考図4(b)に示すように放水槽模型を水槽内に設置し、参考図4(c)のように、アップサージ(下部水槽 → 上部水槽)およびダウンサージ(上部水槽 → 下部水槽)を再現し、その際の上下水槽間の水頭差を計測したものである。

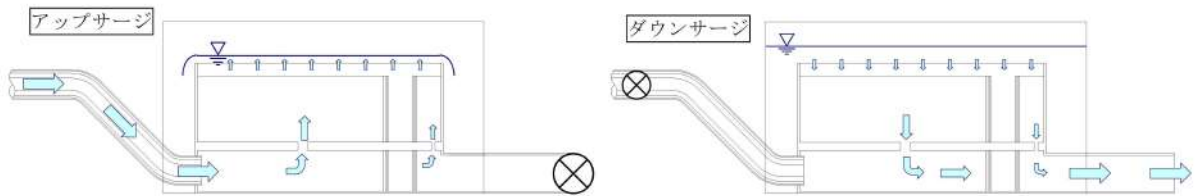
開口率 1.50%, 1.64%, 1.80%, 1.94%を検討した結果、参考図4(d)よりアップサージ(流入時)とダウンサージ(流出時)ともに流量係数 C_d は約0.75である。



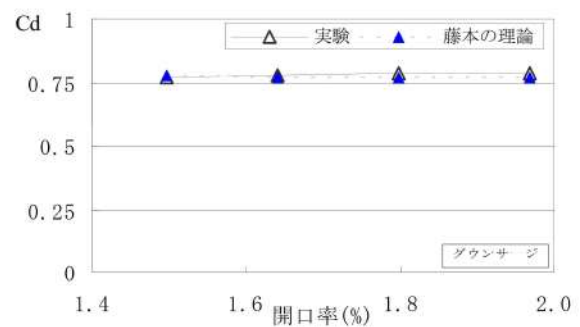
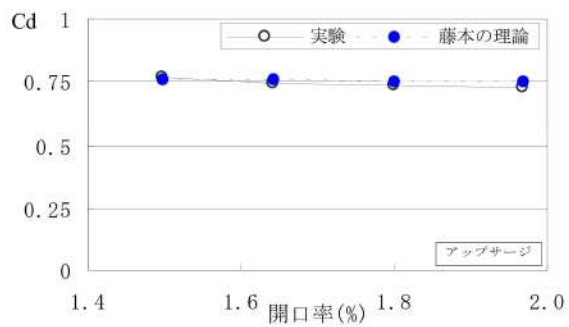
参考図 4 (a) 制水口型
放水槽概念図



参考図 4 (b) 実験模型



参考図 4 (c) アップサージ及びダウンスージ



参考図 4 (d) アップサージ (均等流入) 及びダウンスージ (均等流出) の Cd 値

(2) 土木学会(1999)：水理公式集(平成11年版)

川崎ほか(2005)に示される流量係数 C_d と電力土木技術協会(1995)による損失係数 f' を比較するため、流量係数 C_d と損失係数 f' の関係式($f' = \frac{1}{C_d^2}$)を土木学会(1999)より導出する。

土木学会(1999)では、鉛直方向の狭窄部に自由水面を有する場合の損失の適用例として、制水口型サージタンクが挙げられる。参考図5に、制水口型サージタンクにおける管水路の運動方程式及び連続式を示す。

参考図5において、鉛直方向の狭窄部の損失は、式(3-4.28)に示される制水口抵抗 k によって表される。式(3-4.28)において、制水口の通過流量 $fv - Q = Q_p$ 、制水口断面での流速を v_a とすると、 $v_a = Q_p/F_p$ となるため、参考図5の式(3-4.28)は以下のように示される。

$$k = \frac{Q_p|Q_p|}{2g(C_d F_p)^2} = \frac{1}{C_d^2} \frac{v_a|v_a|}{2g} = f' \frac{v_a|v_a|}{2g}$$

ここに、 f' ：制水口断面流速による損失係数 ($f' = \frac{1}{C_d^2}$)

4.3.3 制水口型サージタンク (図3-4.9 参照)

(a) 管水路の運動方程式：

$$\frac{dv}{dt} = \frac{z - cv|v| - k}{L/g} \dots\dots\dots(3-4.27)$$

$$k = \frac{v_p|v_p|}{2g} = \frac{(fv - Q)|fv - Q|}{2g(C_d F_p)^2} \dots\dots\dots(3-4.28)$$

ここに、 k ：制水口抵抗、 v_p ：制水口通過流速、 C_d ：制水口の流量係数、 F_p ：制水口の断面積。

(b) サージタンクの連続式：

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q - fv}{F} \dots\dots\dots(3-4.29)$$

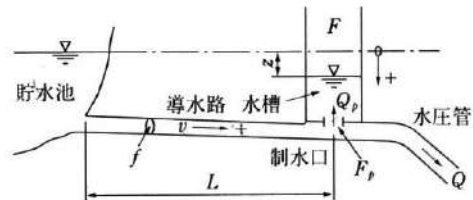


図3-4.9 制水口型サージタンク

ここに、 v ：導水路内平均流速(貯水池からサージタンクに向かう流れを正とする)、 z ：サージタンク水位(貯水池水位を基準として鉛直下向きを正とする)、 c ：損失水頭係数($=h/v^2$, h ：全損失水頭)、 L ：導水路の長さ、 t ：時間、 g ：重力加速度。

参考図5 制水口型サージタンクにおける管水路の運動方程式及び連続式、土木学会(1999)

3. 文献を踏まえた損失係数の算出

(1) 川崎ほか(2005)の損失係数

泊発電所で適用している電力土木技術協会(1995)による損失係数 f' と川崎ほか(2005)の実験における制水口による流量係数 C_d を比較するため、流量係数 C_d と損失係数 f' の関係($f' = \frac{1}{C_d^2}$)により以下のとおり川崎ほか(2005)の流量係数 $C_d = 0.75$ を用いて損失係数 f' を算出した。

$$f' = \frac{1}{0.75^2} \doteq 1.778$$

(2) 電力土木技術協会(1995)の損失係数

泊発電所で適用している電力土木技術協会(1995)により急縮・急拡損失については、参考図3及び参考図4(d)の開口率1.50%、1.64%、1.80%、1.94%を用いた。

参考表1 電力土木技術協会(1995)により算出した損失係数 f'

対象施設	開口率(%)	各損失係数	損失係数の合計値
制水口型放水槽 (模型実験)	1.50	0.498 (急縮)	1.468
		0.970 (急拡)	
	1.64	0.497 (急縮)	1.464
		0.967 (急拡)	
	1.80	0.497 (急縮)	1.461
		0.964 (急拡)	
	1.97	0.496 (急縮)	1.457
		0.961 (急拡)	

4. 損失係数の比較及び妥当性について

(1) 損失係数の比較

電力土木技術協会(1995)と川崎ほか(2005)より算出した損失係数 f' の比較結果を参考表2に示す。

川崎ほか(2005)の実験より求まる損失係数 f' は約 1.778 であるが、電力土木技術協会(1995)により算定した急縮・急拡損失係数の合計値は 1.46~1.47 程度であり、泊発電所で適用している電力土木技術協会(1995)より算出した損失係数が小さい値となった。

参考表2 川崎ほか(2005)と電力土木技術協会(1995)より算出した損失係数 f' の比較結果

対象施設	損失係数 f'	
	川崎ほか(2005)に基づく設定値	電力土木技術協会(1995)に基づく設定値
制水口型放水槽 (模型実験)	約 1.778	1.457~1.468

(2) 泊発電所の損失係数設定の妥当性

鉛直方向の狭窄部に自由水面を有する水流が生じる構造物の損失係数に関する既往文献の確認を行い、川崎ほか(2005)の損失係数と、泊発電所で適用している電力土木技術協会(1995)より算定した急縮・急拡損失係数と比較したところ、電力土木技術協会(1995)を用いた急縮・急拡損失係数の方が小さい値となった。

取水ピット内の狭窄部により急縮・急拡損失が小さい場合、津波来襲時にピット内水位がより上昇すると考えられることから、川崎ほか(2005)と比較して、電力土木技術協会(1995)により算定した急縮・急拡による損失係数は、保守的な設定である。

以上より、泊発電所で適用している電力土木技術協会(1995)より算定した損失係数は、妥当であることを確認した。

【参考文献】

- 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) 川崎昌三, 新庄高久 (2005)：複数配列した制水口型放水槽の抵抗特性に関する実験的研究, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, Vol. 32-2, 145-146