資料１－２

泊発電所３号炉審査資料	
資料番号	DB05　r.3.44
提出年月日	令和6年2月15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２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。

別添資料１

泊発電所３号炉
耐津波設計方針について

目 次

今回提出範囲

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. 流路縮小工における損失水頭の評価方法の検証
44. 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遂次判定し，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：4.0m³/s（水路１連当たり 1.0m³/s）※１ ３号炉：2.0m³/s（水路１連当たり 1.0m³/s）
放水ピット側境界条件 （ポンプ放流量）	１号及び２号炉：4.0m³/s（水路１連当たり 1.0m³/s）※２ ３号炉：2.0m³/s
摩擦損失係数 （マニングの粗度係数）	【取水施設】 （貝付着なし）：0.014$m^{-1/3}\cdot s$※３ （貝付着あり）：0.020$m^{-1/3}\cdot s$※３ 【放水施設】 （貝付着なし）：0.014$m^{-1/3}\cdot s$※３ （貝付着あり）：0.020$m^{-1/3}\cdot s$※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

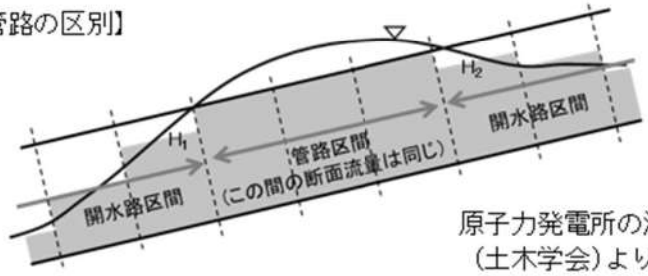
【水槽及び立坑部】

・連続式

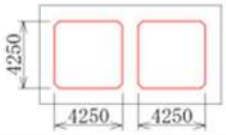
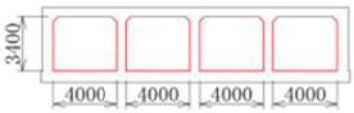
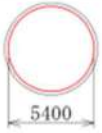
$$A_P\frac{dH_P}{dt}=Q_S$$

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。

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

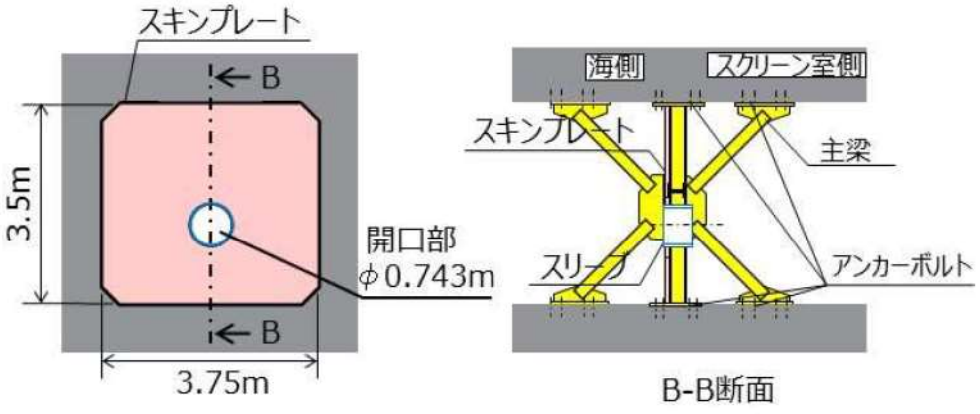


図２－３　１号及び２号炉取水路流路縮小工概念図

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。

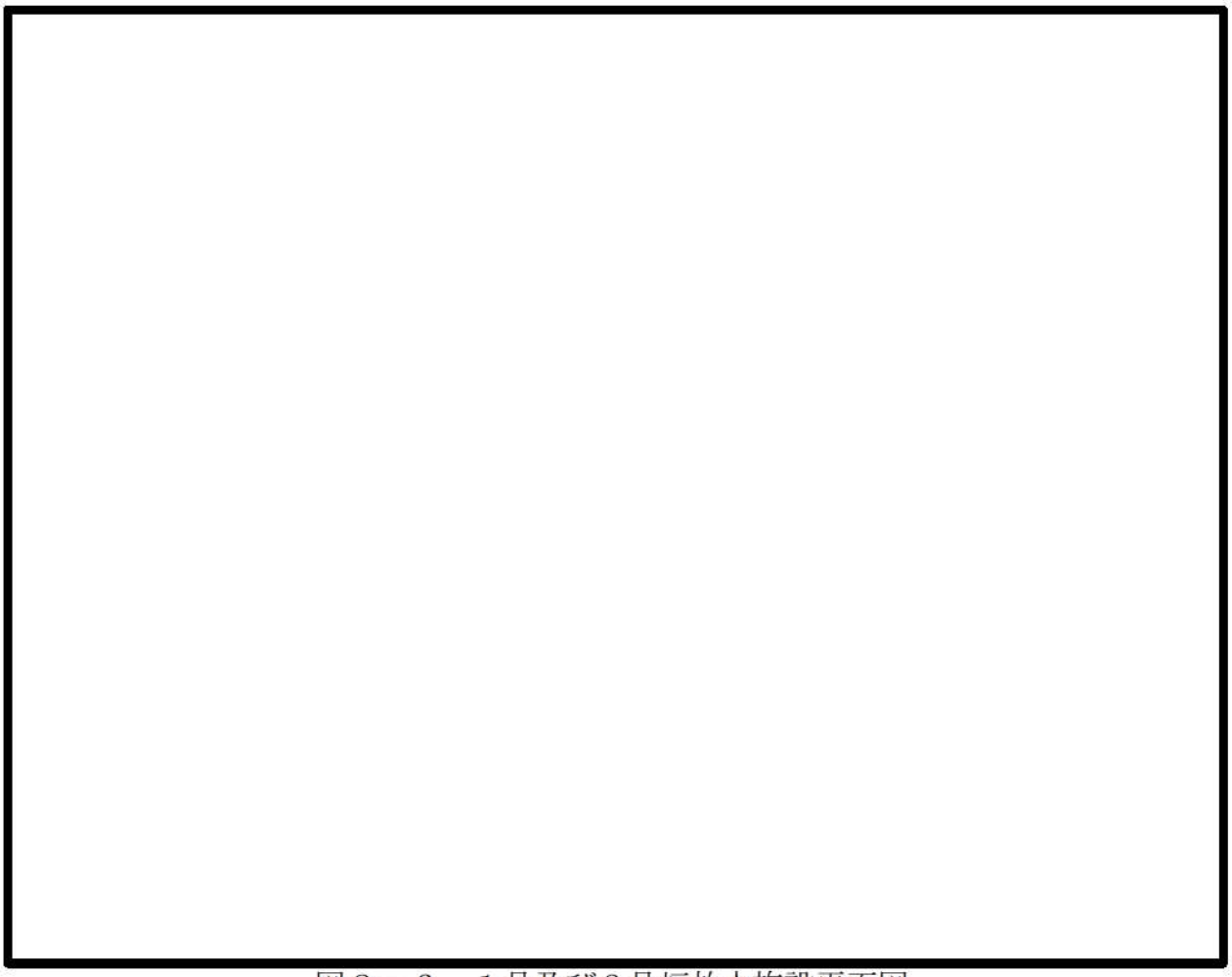


図２－６　１号及び２号炉放水施設平面図

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。

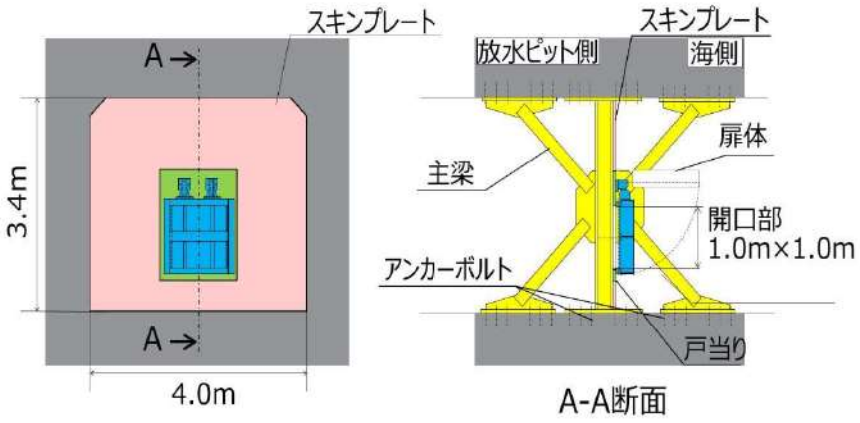


図２－８　１号及び２号炉放水路逆流防止設備概念図

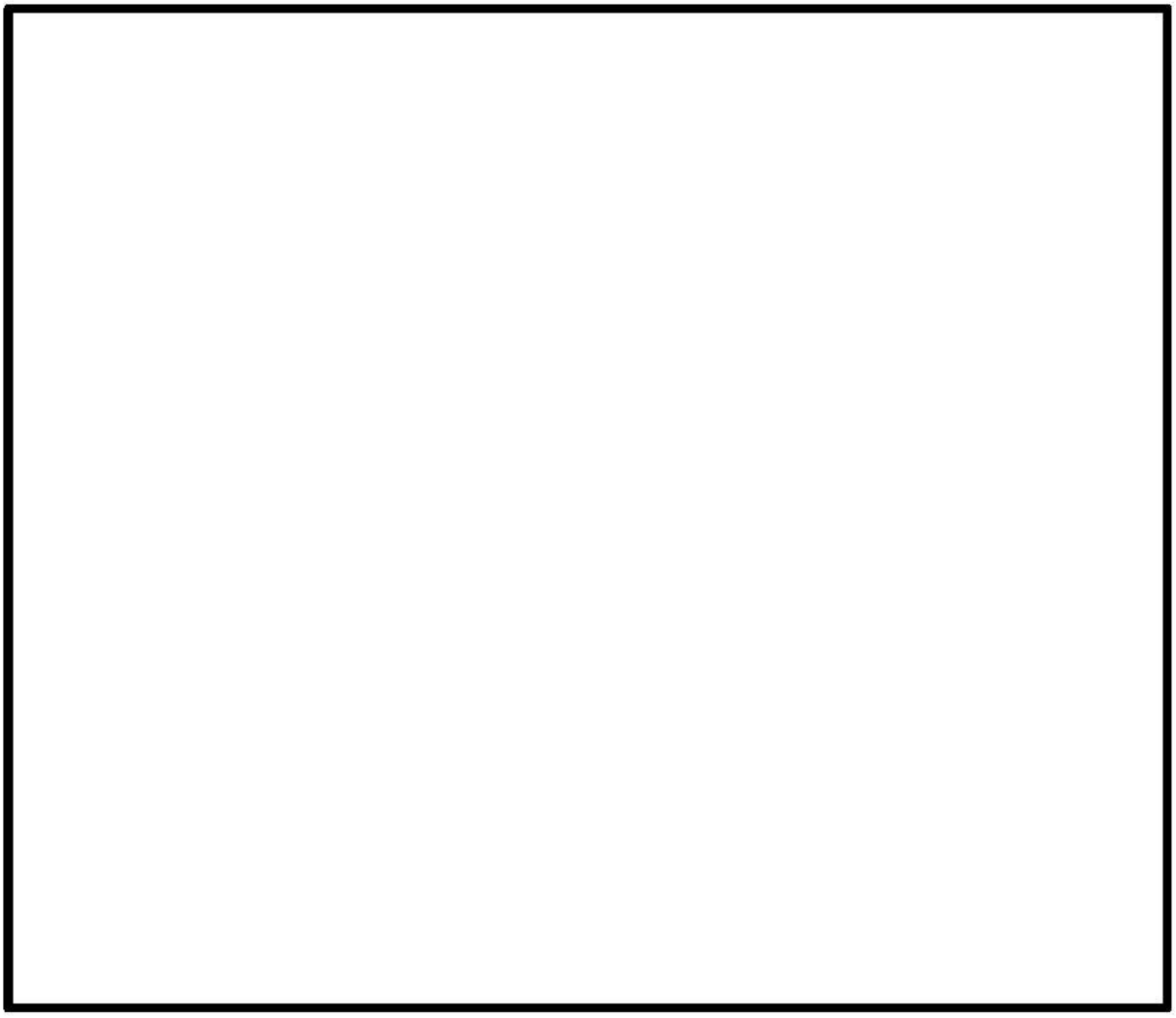


図２－９　３号炉放水施設平面図

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。

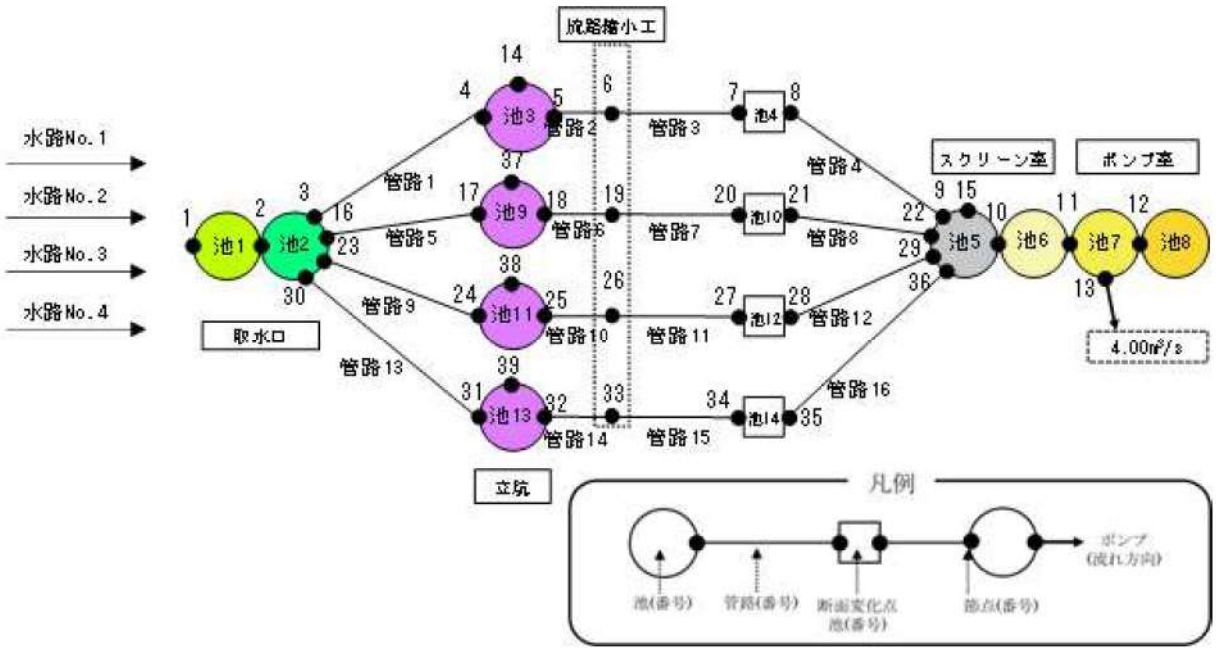


図３－１　１号及び２号炉取水施設の管路解析モデル図

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。

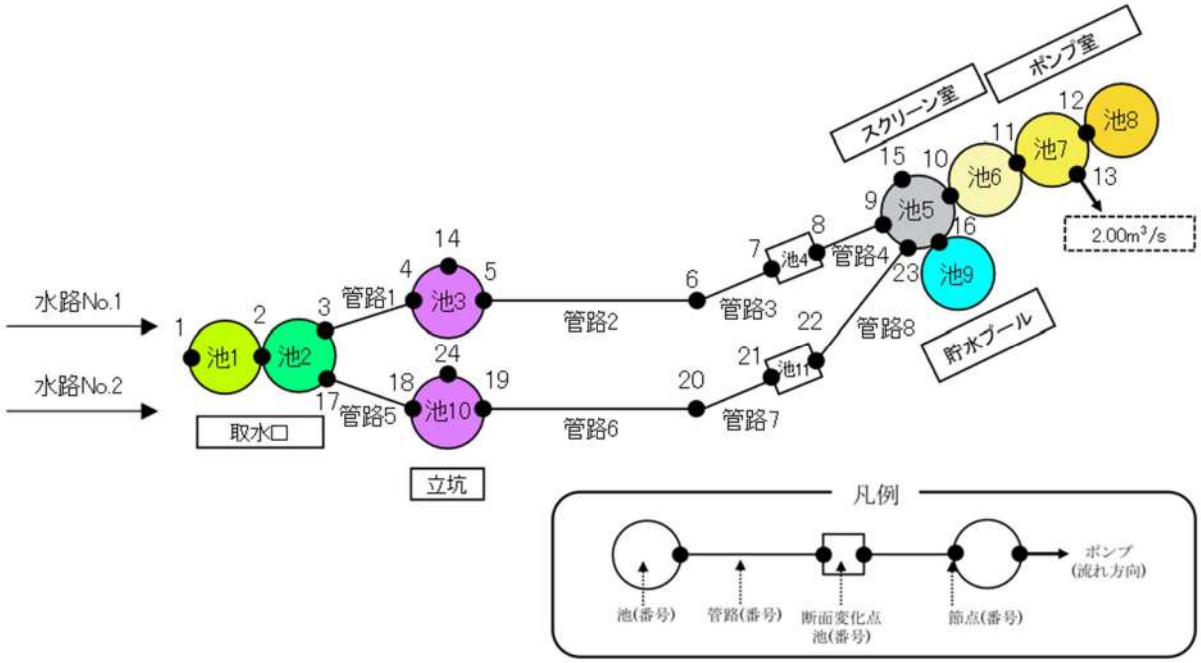


図３－２　３号炉取水施設の管路解析モデル図

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３，10	－
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，T.P.10.3m を超えた直後，貯水プール（池９）の T.P.10.3m 以深に流入する。その後，貯水プール（池９）の水位が T.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 T.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＞ T.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 T.P10.3m 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 T.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。

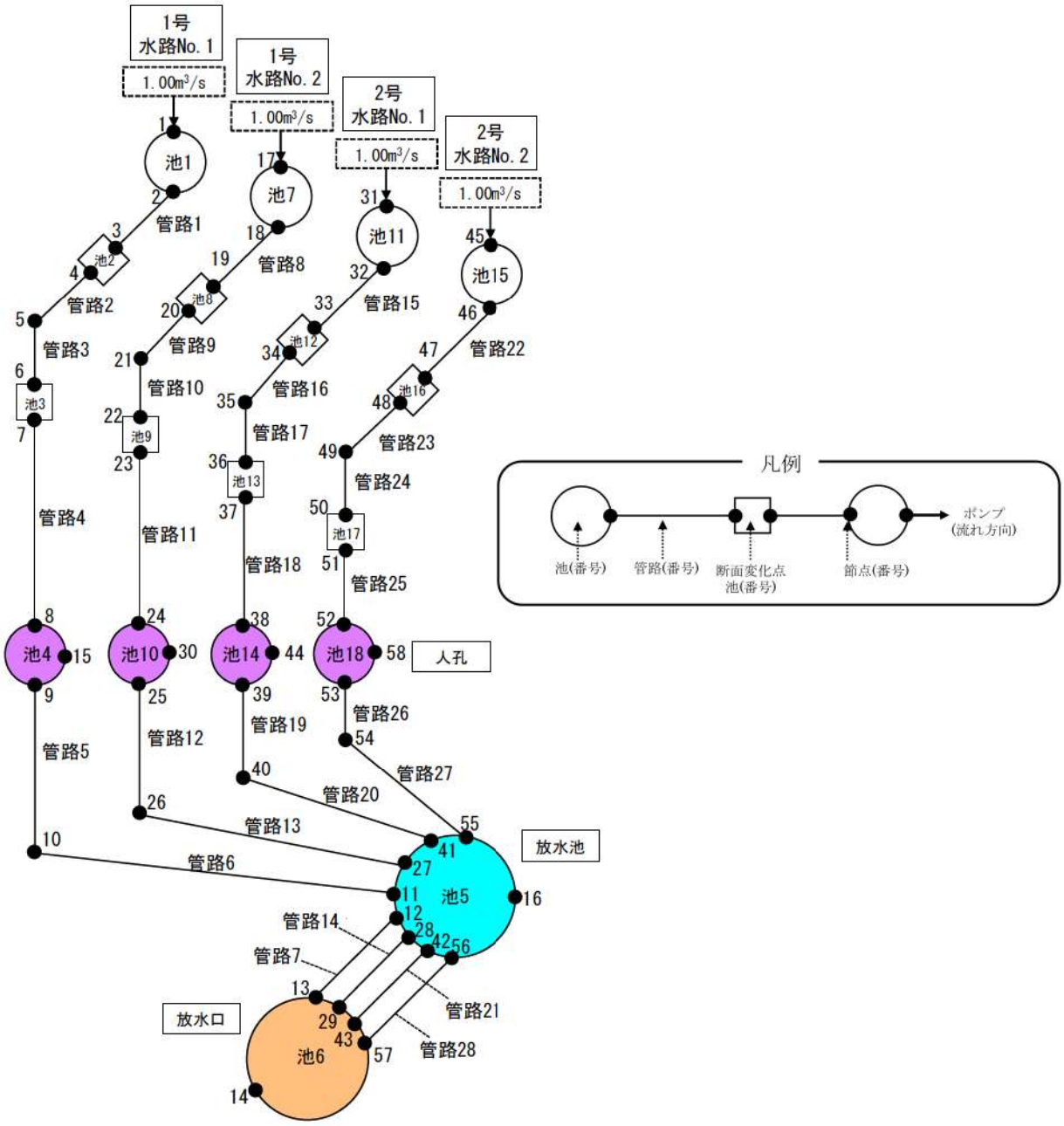


図３－３　１号及び２号炉放水施設の管路解析モデル図

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，池を設定している。

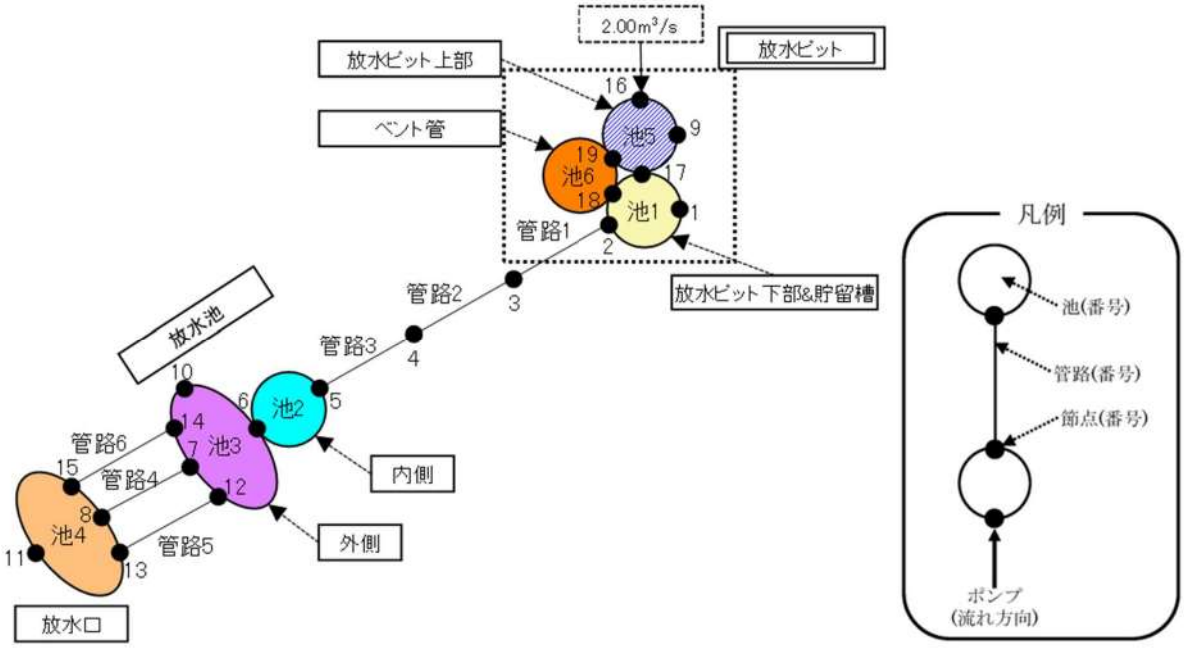


図３－４　３号炉放水施設の管路解析モデル図

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。

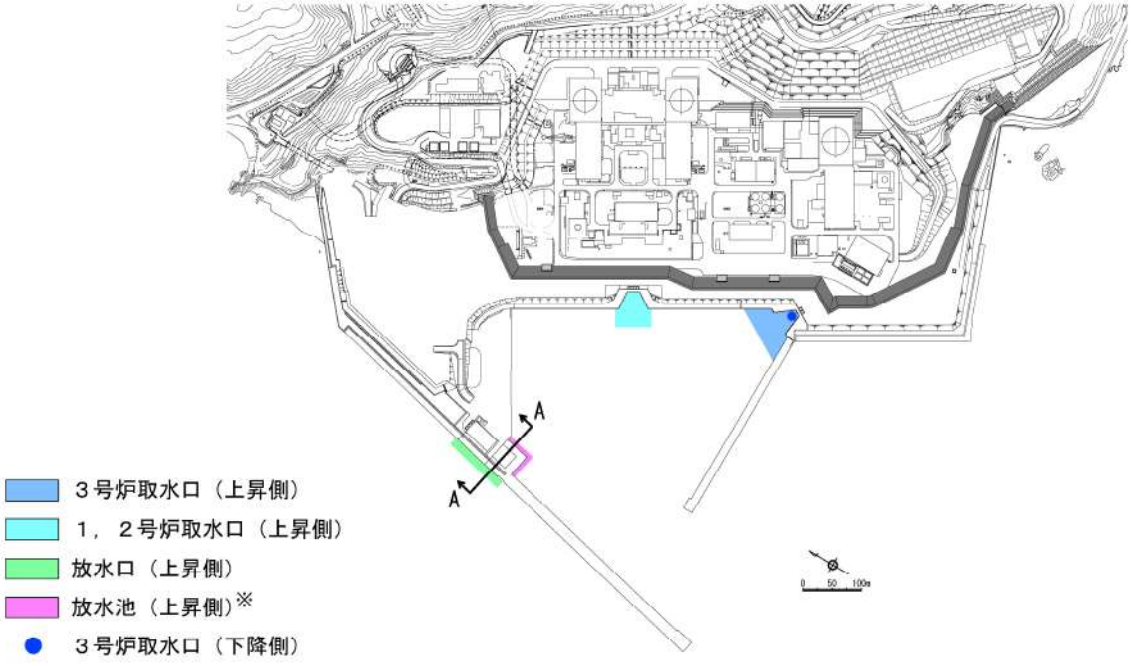


図４　入力波形の抽出位置

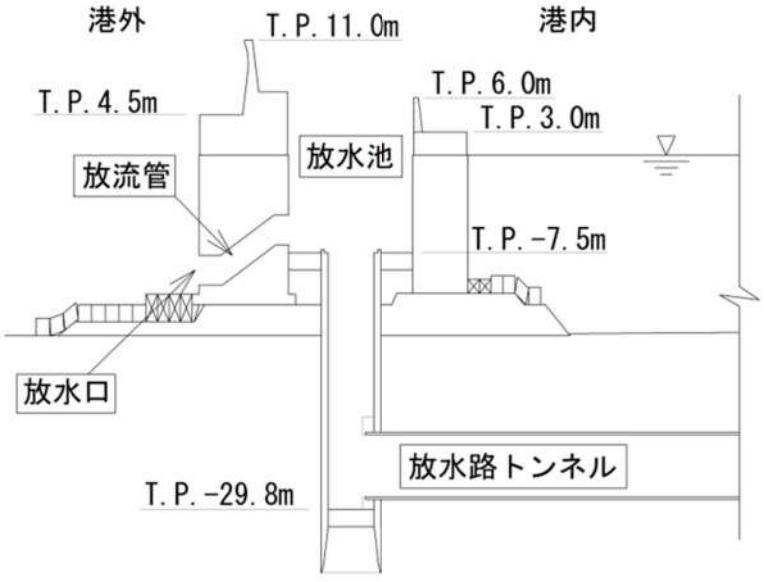


図５　放水池断面図（A-A 断面）

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($m^{-1/3} \cdot s$)	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 （管路断面積による値） 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

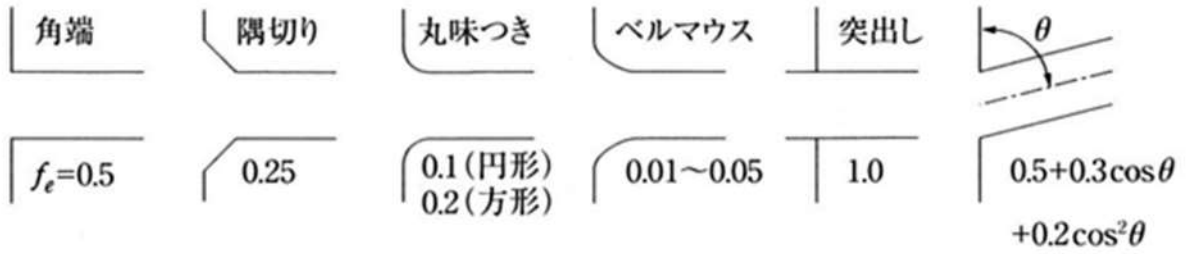


図６　入口形状と損失係数
（土木学会(1999)p. 375）

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 (0 cmが多い)	0.014～0.027
トンネル	1.8～3.0m/s	0 ～20cm (0 cm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)

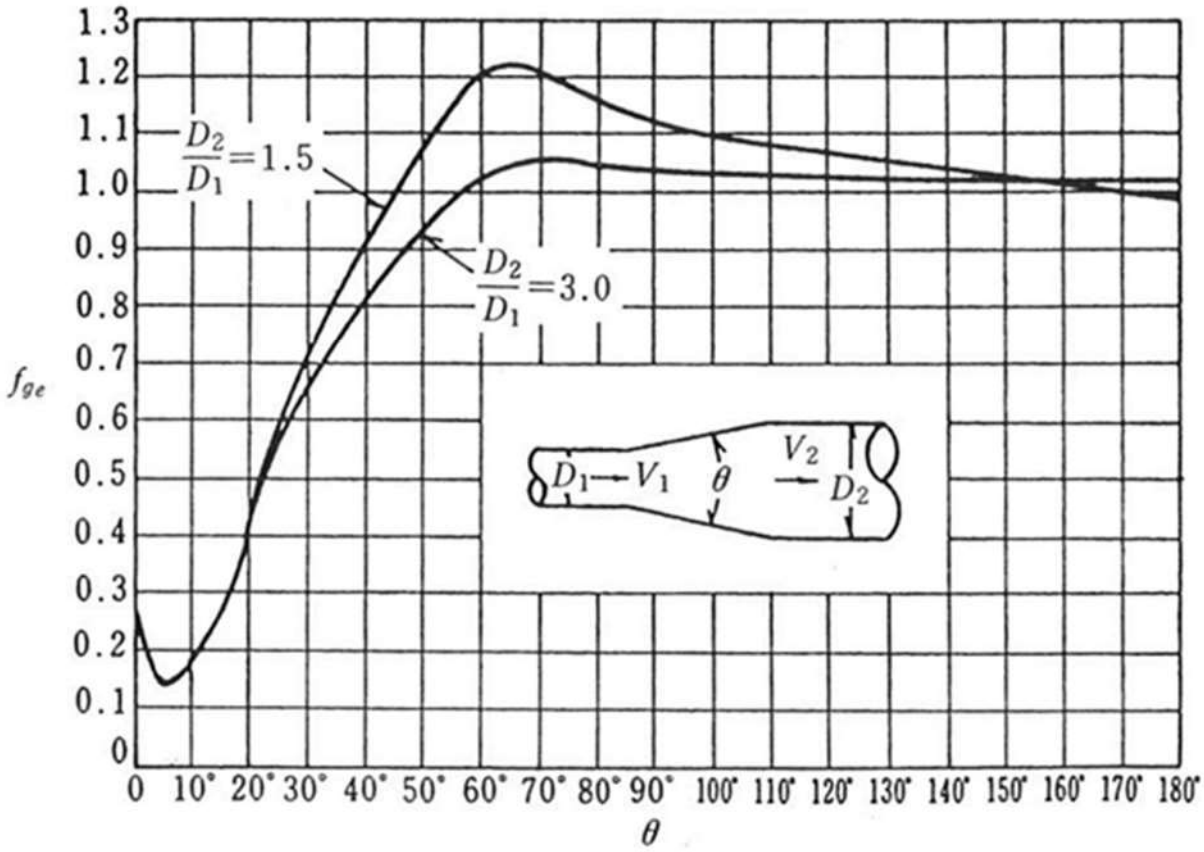


図７　漸拡損失係数

（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。）

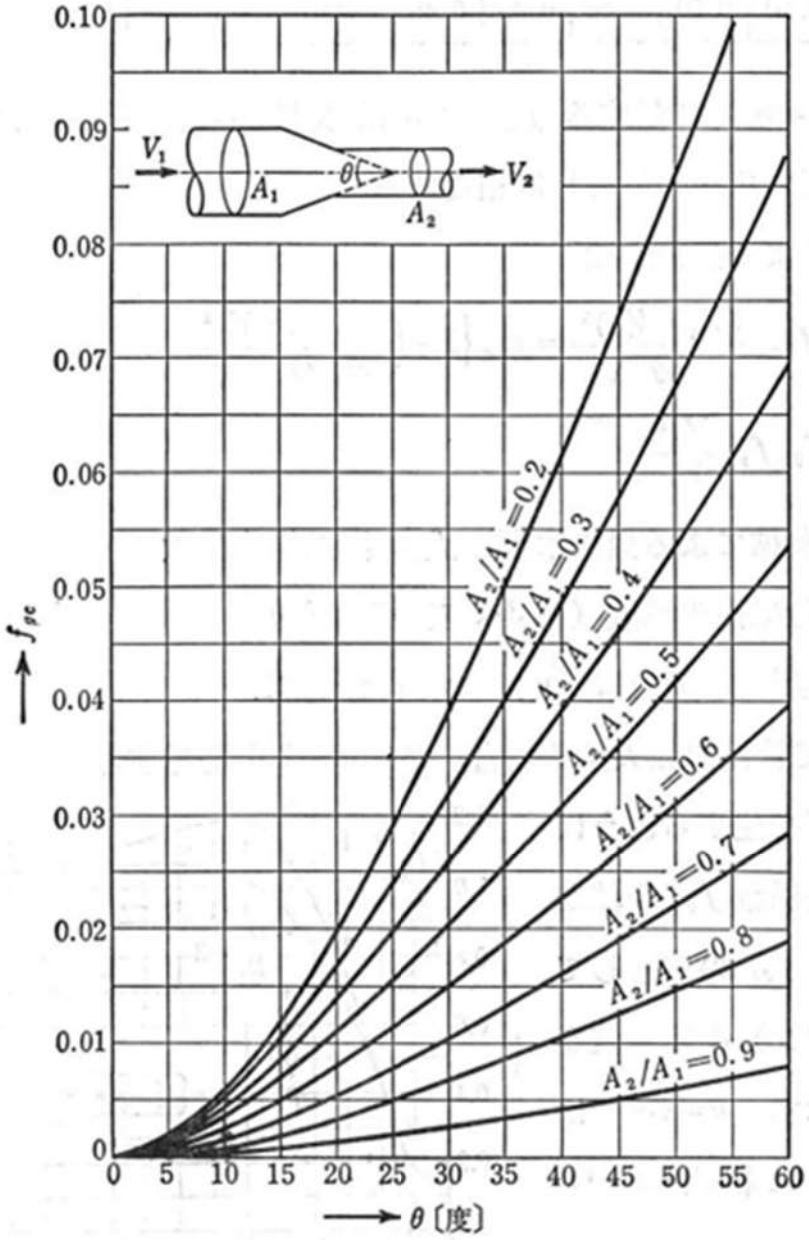


図８　漸縮損失係数
（千秋(1967)p. 84）

A_1, A_2：漸縮前後の管断面積（m²），V_1, V_2：漸縮前後の平均流速（m/s）θ：漸縮部の開き（°）
（※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。）

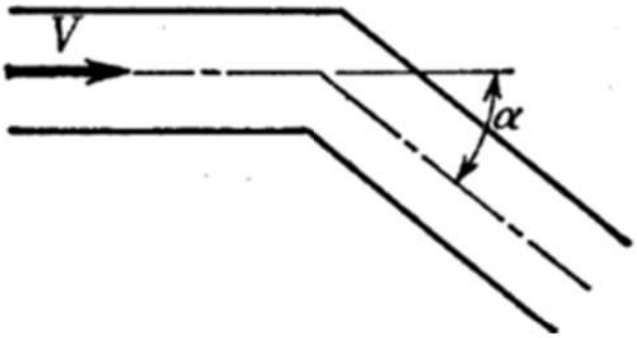


図９　屈折角
（千秋(1967)p. 88）

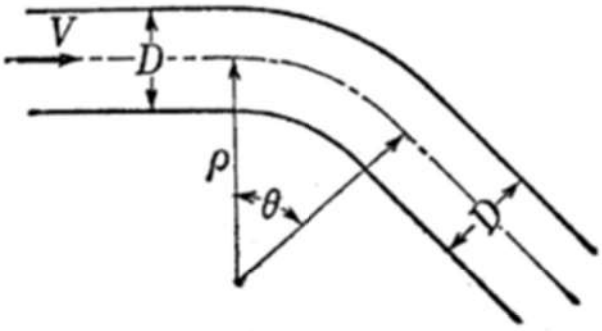


図 10　曲がり，曲率半径
（千秋(1967)p. 87）

今回説明対象

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	形状損失係数	0.058	35.000	0.00000	節点3,30	0.00000	節点16,23
		③急縮※3	形状損失係数	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($m^{-1/3}\cdot s$)	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($m^{-1/3}\cdot s$)	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	形状損失係数	0.492	0.433	0.13389	節点6,33	0.13389	節点19,26
		⑦急拡※3	形状損失係数	0.934		0.25416	節点6,33	0.25416	節点19,26
		⑧摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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	形状損失係数	0.034	12.945	0.00001	節点7,34		
		⑩摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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($m^{-1/3}\cdot s$)	0.014	19.435				
			長さ(m)	12.000					
			径深(m)	0.813					
		⑫屈折	形状損失係数	0.034	22.740	0.00000	節点9,36		
		⑬漸拡※3	形状損失係数	0.043	12.945	0.00001	節点9,36	0.00001	節点22,29
		⑭急縮※3	形状損失係数	0.101	16.129	0.00002	節点9,36	0.00002	節点22,29
		⑮流出※3	形状損失係数	1.000	22.740	0.00010	節点9,36	0.00010	節点22,29
取水槽	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	
合計						0.38893		0.38892	

※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①～⑯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，取水口から取水ピットへ流れる方向を正として整理）。

今回説明対象

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。

今回説明対象

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	形状損失係数	0.063	40.000	0.00000	節点3	0.00000	節点17
		③急縮※3	形状損失係数	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	形状損失係数	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				
			長さ(m)	14.500					
			径深(m)	1.030					
		⑩漸拡※3	形状損失係数	0.064	17.883	0.00001	節点9	0.00001	節点23
		⑪急縮※3	形状損失係数	0.062	25.931	0.00000	節点9	0.00000	節点23
		⑫流出※3	形状損失係数	1.000	37.040	0.00004	節点9	0.00004	節点23
取水槽	2.000	⑬トラベリングスクリーン	形状損失係数（前面）	1.280	56.619	0.00008	節点10	0.00008	節点10
			形状損失係数（背面）	1.280	56.619	0.00008		0.00008	
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①～⑬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）。

今回説明対象

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	形状損失係数	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	形状損失係数	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	形状損失係数	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($m^{-1/3}\cdot s$)	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	形状損失係数	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($m^{-1/3}\cdot s$)	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	形状損失係数	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
		⑧摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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									
		⑨摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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									
		⑩摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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									
		⑪漸縮※3	形状損失係数	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
		⑫摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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									
		⑬曲がり	形状損失係数	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
		⑭摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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									
		⑮漸拡※3	形状損失係数	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
		⑯摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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									
		⑰摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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①～⑰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）。

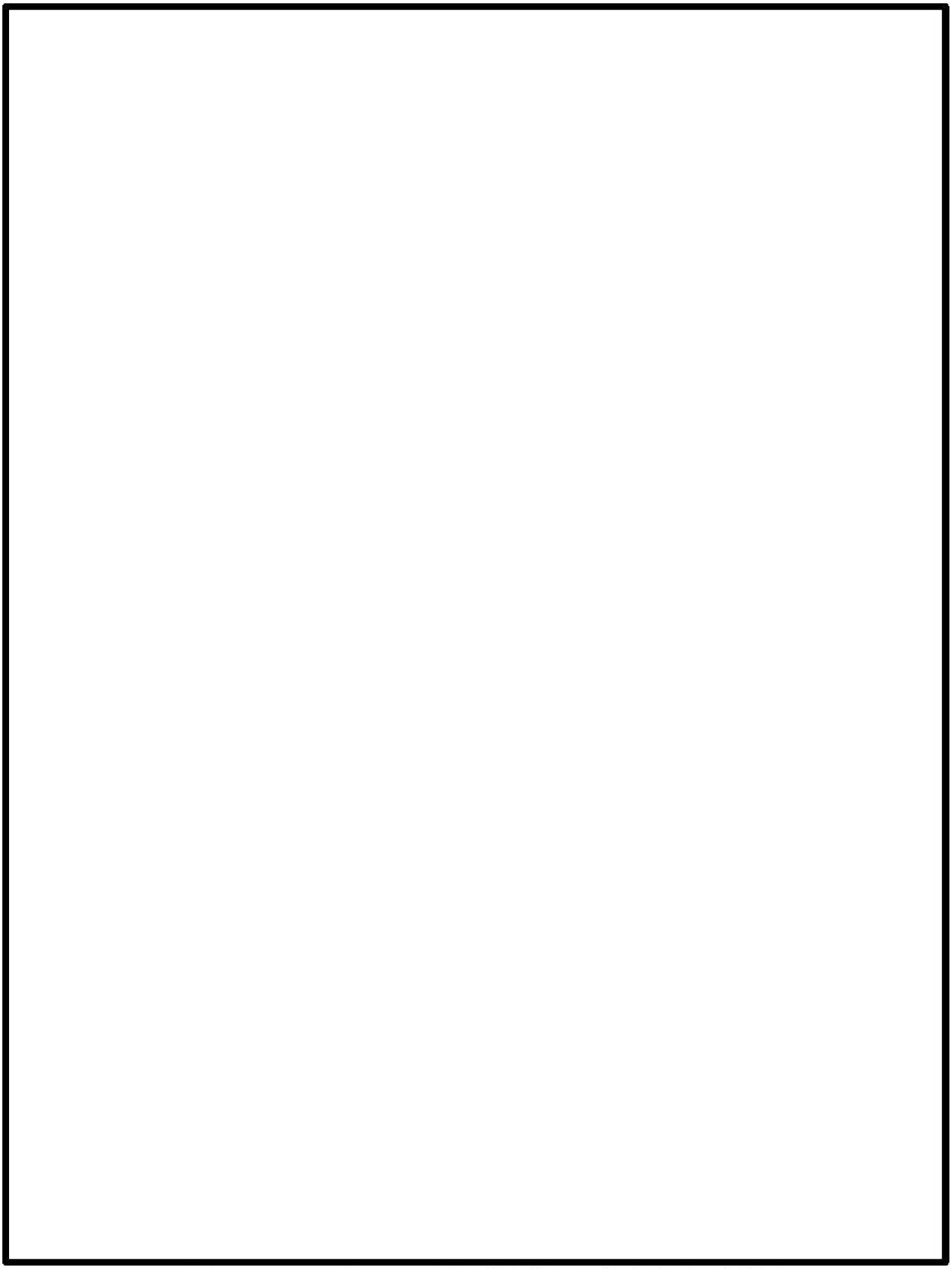


図 11－３　１号及び２号炉放水施設の損失水頭発生位置

□ 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	形状損失係数	0.558	5.309	0.00045	節点8（節点13）（節点15）
		②屈折	形状損失係数	0.020	5.309	0.00002	
		③屈折	形状損失係数	0.020	5.309	0.00002	
		④流出※3	形状損失係数	1.000	5.309	0.00080	節点7（節点12）（節点14）
		⑤摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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($m^{-1/3}\cdot s$)	0.014	78.540	0.00000	節点5
			長さ(m)	18.500			
			径深(m)	2.500			
		⑧急縮※3	形状損失係数	0.487	78.540	0.00002	節点5
		⑨急縮※3	形状損失係数	0.410	22.902	0.00016	節点5
		⑩屈折	形状損失係数	0.986	22.902	0.00038	節点5
		⑪曲がり	形状損失係数	0.018	22.902	0.00001	節点4
		⑫曲がり	形状損失係数	0.018	22.902	0.00001	節点3
		⑬急拡※3	形状損失係数	0.576	22.902	0.00022	節点2
		⑭屈折	形状損失係数	0.986	22.902	0.00038	節点2
		⑮摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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($m^{-1/3}\cdot s$)	0.014	95.033	0.00000	池1
			長さ(m)	16.400			
			径深(m)	2.750			
		⑰急拡※3	形状損失係数	0.213	95.033	0.00000	池1
		⑱摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	0.014	176.715	0.00000	池1
			長さ(m)	2.000			
			径深(m)	3.750			
	2.000	⑲急縮※3	形状損失係数	0.500	1.767	0.03268	池1
		⑳屈折	形状損失係数	0.986	1.767	0.06445	池1
		㉑屈折	形状損失係数	0.986	1.767	0.06445	池1
		㉒急拡※3	形状損失係数	0.738	1.767	0.04824	池1
		㉓屈折	形状損失係数	0.986	1.767	0.06445	池1
		㉔摩擦	粗度係数($m^{-1/3}\cdot s$)	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($m^{-1/3}\cdot s$)	0.014	12.566	0.00002	池1
			長さ(m)	3.250			
			径深(m)	1.000			
		㉖急拡※3	形状損失係数	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①～㉖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）。

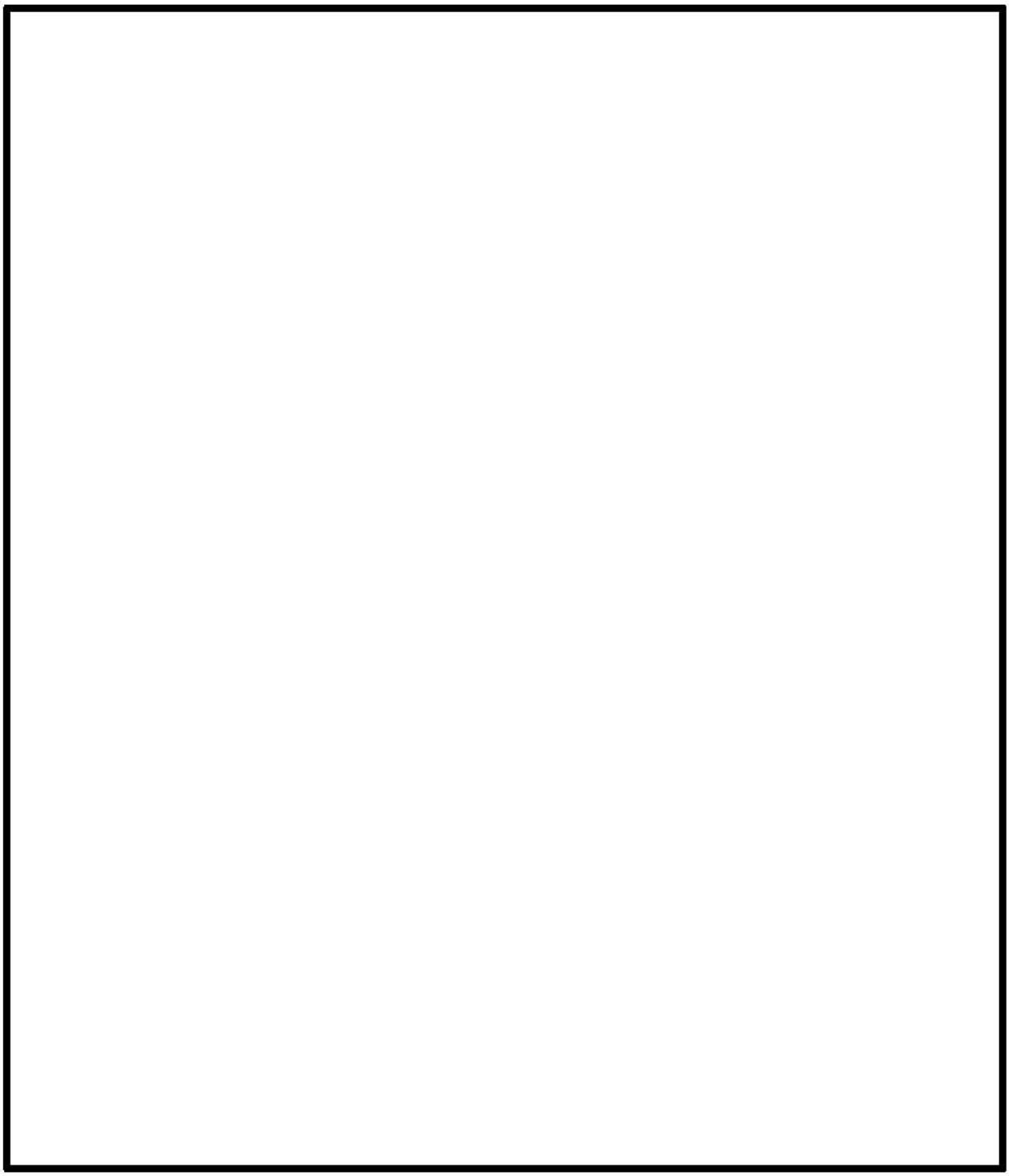


図 11－４　３号炉放水施設の損失水頭発生位置
（上図：平面図，下図：断面図）

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。

今回説明対象

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	
	北防波堤	南防波堤									
波源C	健全	健全	現地形	9.34	0.26	0.14	0.01	沈降を考慮 0.39	有	健全	追而
										損傷	
									無	健全	
										損傷	
			崩壊	9.39					有	健全	
										損傷	
									無	健全	
										損傷	
波源E	損傷	損傷	現地形	12.74					有	健全	
										損傷	
									無	健全	
										損傷	
			崩壊	12.78					有	健全	
										損傷	
									無	健全	
										損傷	
波源G	健全	損傷	現地形	12.01					有	健全	
										損傷	
									無	健全	
										損傷	
			崩壊	12.02					有	健全	
										損傷	
									無	健全	
										損傷	
波源H	損傷	健全	現地形	11.50					有	健全	
										損傷	
									無	健全	
										損傷	
			崩壊	11.52					有	健全	
										損傷	
									無	健全	
										損傷	

今回説明対象

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	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号炉取水ピットスクリーン室水位(T.P. m)	３号炉取水※ピットポンプ室水位(T.P. m)
	防波堤		陸域の地盤沈下5m	海域の地盤沈下2m	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	スクリーン状態		
	北防波堤	南防波堤												
波源B	健全	健全	現地形	現地形	現地形	10.45	0.26	0.14	0. 01	沈降を考慮 0.39	有	健全	追而	
												損傷		
											無	健全		
												損傷		
			沈下	沈下	崩壊	13.44					有	健全		
												損傷		
											無	健全		
												損傷		
波源F	損傷	損傷	現地形	現地形	現地形	13.14					有	健全		
												損傷		
											無	健全		
												損傷		
			沈下	沈下	崩壊	13.79					有	健全		
												損傷		
											無	健全		
												損傷		
波源E	健全	損傷	現地形	現地形	現地形	11.86					有	健全		
												損傷		
											無	健全		
												損傷		
			沈下	沈下	崩壊	13.22					有	健全		
												損傷		
											無	健全		
												損傷		
波源B	損傷	健全	現地形	現地形	現地形	12.89					有	健全		
												損傷		
											無	健全		
												損傷		
			沈下	沈下	崩壊	13.72					有	健全		
												損傷		
											無	健全		
												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号炉取水ピットスクリーン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	３号炉放水ピット水位(T.P. m)
	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	
	北防波堤	南防波堤								
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
									無	7.0
			崩壊	10.93					有	追而
									無	
	損傷	損傷	現地形	10.84					有	
									無	6.5
			崩壊	10.84					有	追而
									無	
	健全	損傷	現地形	10.85					有	
									無	7.0
			崩壊	10.86					有	追而
									無	
	損傷	健全	現地形	10.66					有	
									無	6.6
			崩壊	10.66					有	追而
									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）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（１／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（２／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（３／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｃ，防波堤健全（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（４／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（５／16）

追而
（解析結果を記載する）

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）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）
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）
（６／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，北及び南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，北及び南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）（７／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，北及び南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，北及び南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）（８／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（９／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（10／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（11／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｇ，南防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（12／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（13／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（14／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（15／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源H，北防波堤損傷（地滑り地形①の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（16／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（１／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（２／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）（３／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，防波堤健全（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（４／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｆ，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｆ，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（５／16）

追而
（解析結果を記載する）

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）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｆ，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（６／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｆ，北及び南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｆ，北及び南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（７／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｆ，北及び南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｆ，北及び南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（８／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（９／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（10／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）（11／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｅ，南防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）（12／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（現地形，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）
（13／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（現地形，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）
（14／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン健全）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着有り，スクリーン損傷）

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）（15／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン健全）

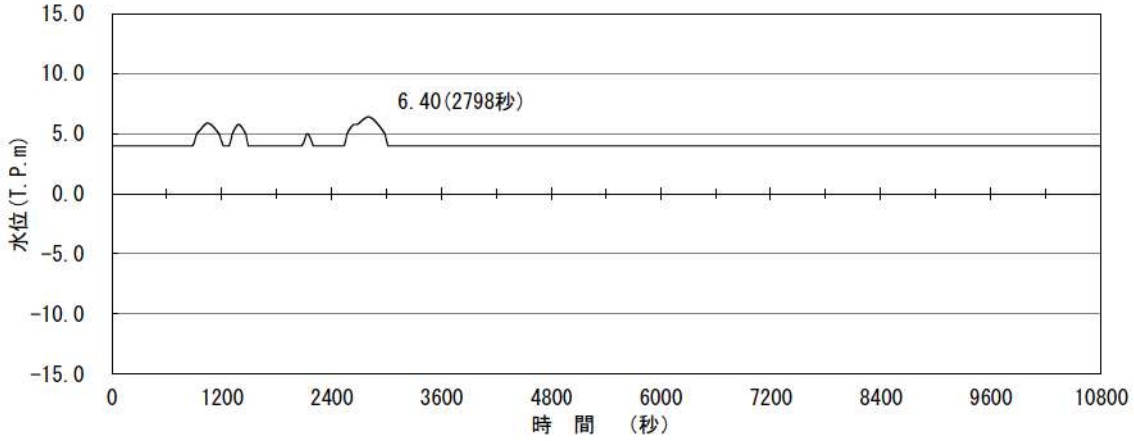
追而
（解析結果を記載する）

波源Ｂ，北防波堤損傷（陸域の地盤沈下５ｍ，海域の地盤沈下２ｍ，土捨場の崩壊，貝付着無し，スクリーン損傷）

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）（16／16）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，防波堤健全（現地形，貝付着有り）



※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）

図 12－３　水位上昇側の時刻歴波形（３号炉放水ピット）
（１／８）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，防波堤健全（土捨場の崩壊，貝付着有り）

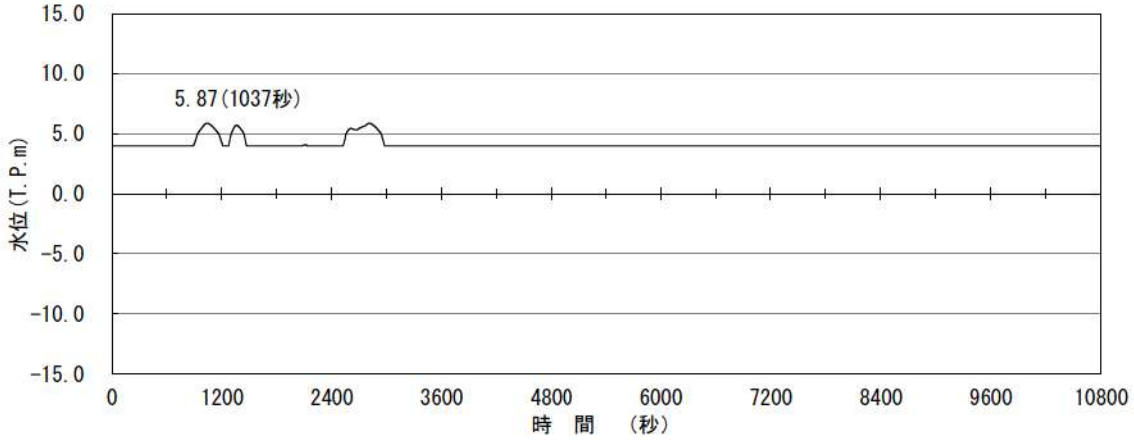
追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，防波堤健全（土捨場の崩壊，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）
（２／８）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，北及び南防波堤損傷（現地形，貝付着有り）



※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）
（３／８）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，北及び南防波堤損傷（土捨場の崩壊，貝付着有り）

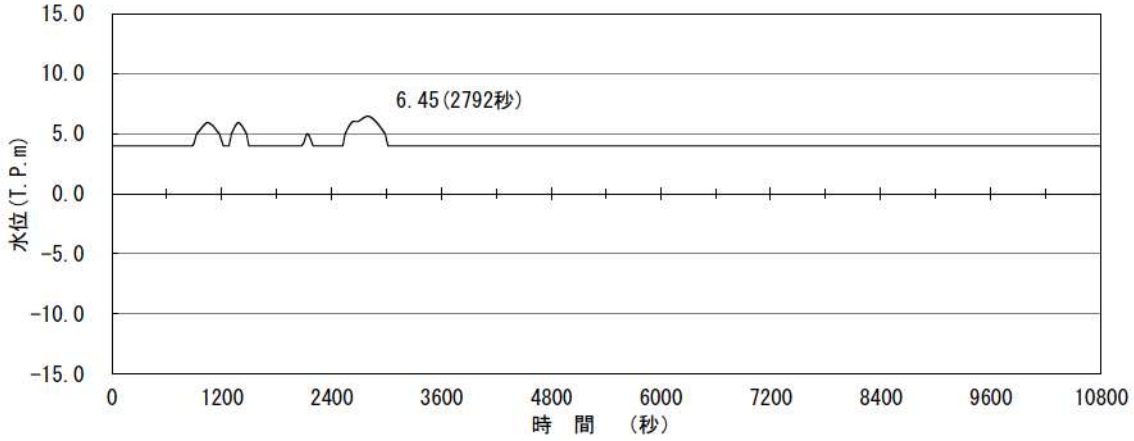
追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，北及び南防波堤損傷（土捨場の崩壊，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）
（４／８）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，南防波堤損傷（現地形，貝付着有り）



※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）

図 12－３　水位上昇側の時刻歴波形（３号炉放水ピット）
（５／８）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，南防波堤損傷（土捨場の崩壊，貝付着有り）

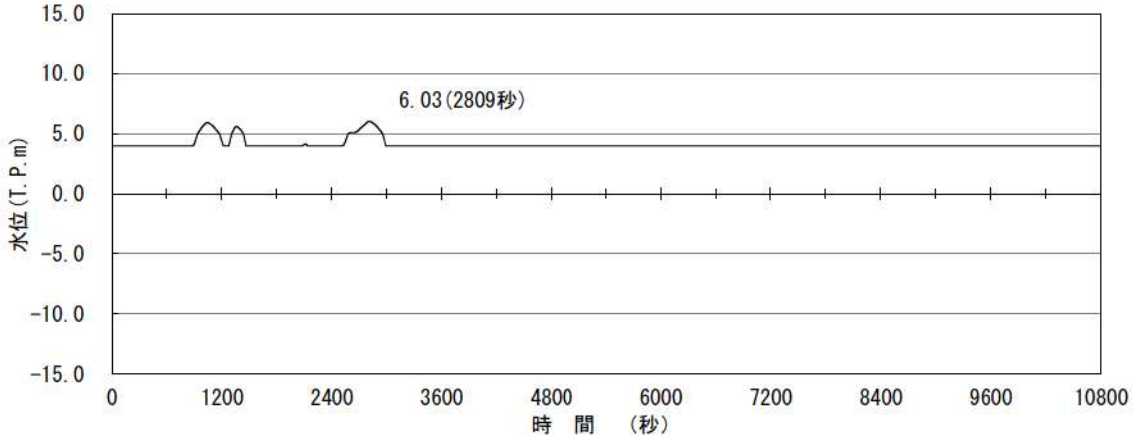
追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，南防波堤損傷（土捨場の崩壊，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）
（６／８）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，北防波堤損傷（現地形，貝付着有り）



※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）
（７／８）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，北防波堤損傷（土捨場の崩壊，貝付着有り）

追而
（解析結果を記載する）

波源Ｄ，北防波堤損傷（土捨場の崩壊，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）
（８／８）

追而
（解析結果を記載する）

図 13　水位下降側の時刻歴波形

（参考資料１）

地震による構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構造物を対象に，基準地震動による被害想定を行い，構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．対象構造物

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

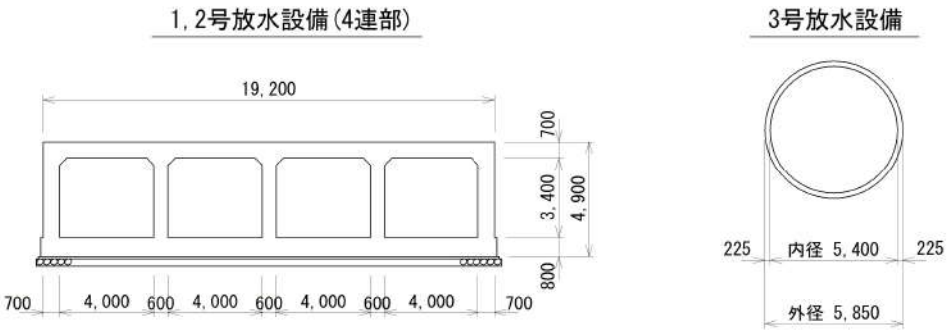
１，２号放水設備及び３号放水設備の平面図を参考図１，１，２号放水設備縦断図を参考図２，３号放水設備縦断図を参考図３，１，２号放水路及び３号放水路トンネルの標準断面図を参考図４，１，２号・３号放水池断面図を参考図５に示す。

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。

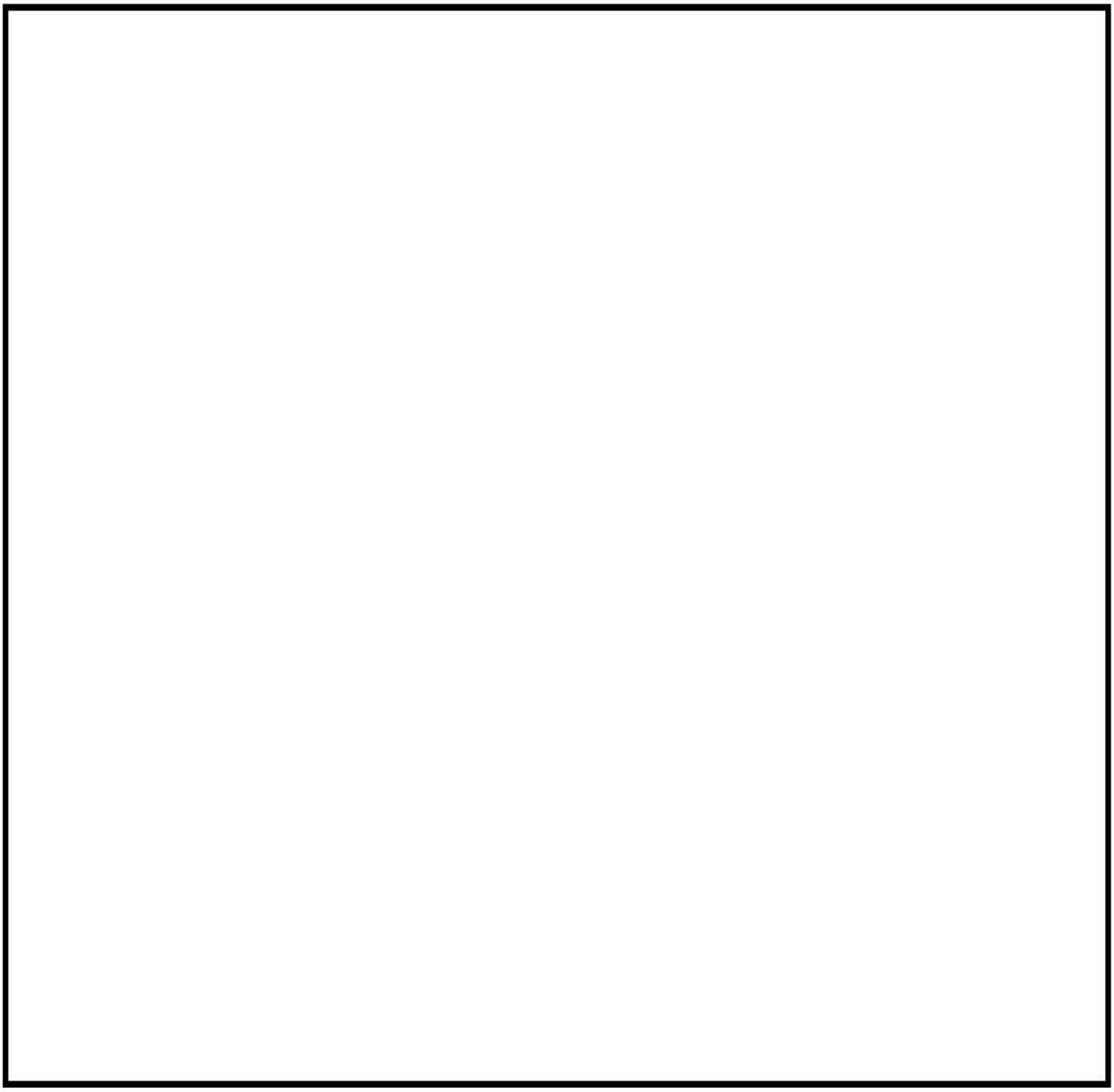
参考図２　１号放水設備の縦断図（縦横比 5.0：1.0）

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)

本添付資料は新規作成。４項については前回からの変更箇所を黄色ハッチングで示す。

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

1. はじめに

１号及び２号炉取水路並びに３号炉放水路を遡上する津波が，敷地開口部から敷地へ到達することを防止するために，水路内に流路縮小工を設け，津波が水路内を通過する際に発生する損失水頭により，敷地開口部の水位上昇を低減させる方針である。

水路内を遡上する津波が敷地に到達するかどうかについては，流路縮小工等で生じる損失水頭を考慮した管路解析にて，敷地開口部の水位を求めることで評価する。

2. 流路縮小工による損失水頭の評価方法について

2.1 流路縮小工部で損失水頭が発生するメカニズム

流体が充満している管路の流れにおいて生じる損失水頭は，①内部構造物や流路の形状により渦や縮流が発生することによる損失（形状損失）と②内部構造物や流路の表面との摩擦による損失（摩擦損失）があり，このうち，①の形状損失は，流れのはく離によるものであり，流体の速度ヘッドの一部が流れの中で損なわれるため，その損失水頭は損失係数を速度ヘッドに乗算した関数として以下の式であらわされる。津波時に生じる流れにあるような乱流領域（高レイノルズ数領域）においては，形状損失の損失係数のレイノルズ数依存性は小さく，水の流れの状態（流量の変化）によらずその構造に対してほぼ一定の値を示す。

$$h = \zeta \frac{v^2}{2g}$$ （h：損失水頭　ζ：損失係数　v：平均流速）

②の摩擦損失は，流れの状態により構造物表面の境界層（構造物と流体の間の粘性作用の大きな領域）の大きさが変化するため，津波時のような流量が時間により変化する場合（流体のレイノルズ数が変化する場合）において，摩擦係数が変化することになるが，流路縮小工のように縮小部の開口が大きく長さが短いような構造においては，流路縮小工全体の損失に対して摩擦損失の寄与は小さいため，流路縮小工を流れる流体の損失水頭は形状損失が支配的となる。したがって，満管流れにおける実機の流路縮小工の損失係数は，重力と慣性力を相似させたフルード相似則を適用した定常流の実験を行うことにより確認することが可能である。

2.2 流路縮小工部で発生する損失水頭の評価方法

１号及び２号炉取水路流路縮小工部における津波時の流れについては，図 2-1 に示すとおり，貯留堰により引き波時の水位低下が制限されるため，流路縮小工部は常に満管状態であり，2.1 項で示した状況と同様となり，添付資料５で示した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，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と設計値の損失係数を適用した一

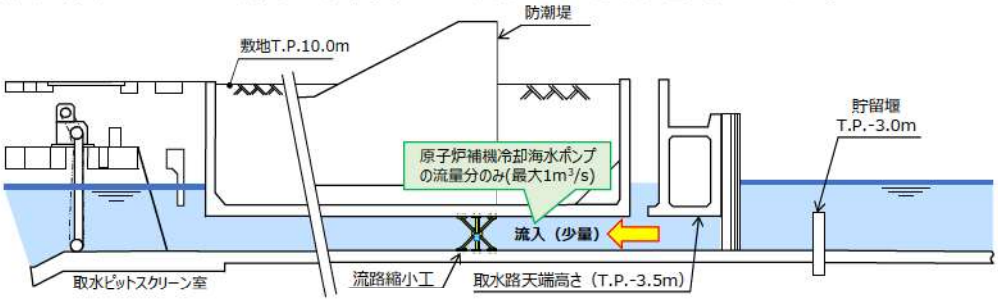
次元解析を比較した上で，津波時に発生する１号及び２号炉取水路流路縮小工の損失水頭の評価を行う。

一方で，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，図 2-2 に示すとおり，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，必ずしも添付資料５で示した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方法の検証にあたっては，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する。

また，水理模型実験では，短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を考慮した任意の連続波形入力が困難であるため，三次元解析を用いて，津波時に発生する３号炉放水ピット流路縮小工を含めた放水ピット内の水位を確認する。ここで得られた結果と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確認した上で，一次元解析を用いて津波時に発生する３号炉放水ピット流路縮小工の損失水頭の評価を行う。

(1) 津波来襲前

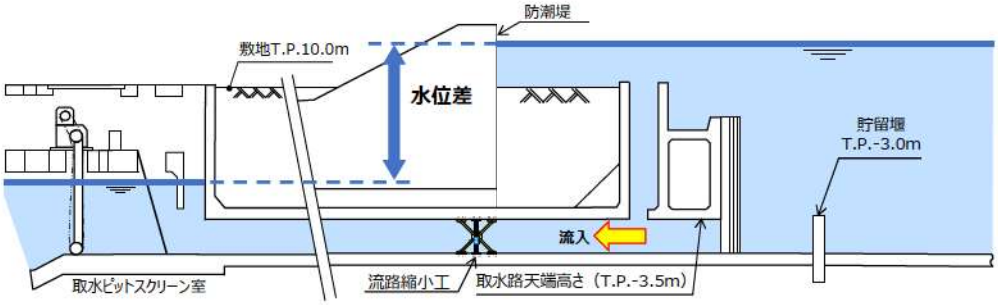
・取水口前面と海水ポンプ室の水位差は同程度であり水路内に大きな流速は発生しない。



(2) 第１波押し波時

・津波の来襲に伴い，取水口前面水位が上昇するが，流路縮小工により取水ピットスクリーン室への津波の流入が抑制される。

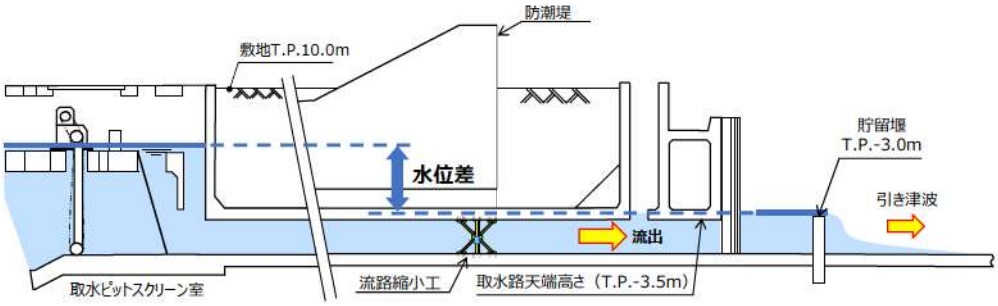
・水路内は満管状態であり，取水ピットスクリーン室と取水口前面の水位差の変動に応じた流速が発生する。取水口前面と海水ポンプ室の水位差は同程度であり水路内に大きな流速は発生しない。



(3) 第１波引き波時

・引き波に伴い取水口前面水位が低下し，取水ピットスクリーン室と取水口前面の水位差により外海へ海水が流出するが，流路縮小工により取水路内の海水の流出が抑制される。

・貯留堰の天端高さが取水路天端高さよりも高いため，引き津波時も取水路内は満水状態となる。



(4) 第２波押し波時

・押し波に伴い取水口前面水位が取水ピットスクリーン室よりも上回ると津波が流入する。

・第１波の津波が取水ピットスクリーン室から抜けきらない場合，初期水位よりも高い状態で津波の流入が発生する可能性がある。

・水路内は常に満管状態であり，取水ピットスクリーン室と取水口前面の水位差の変動に応じた流速が発生する（第１波と同様）。

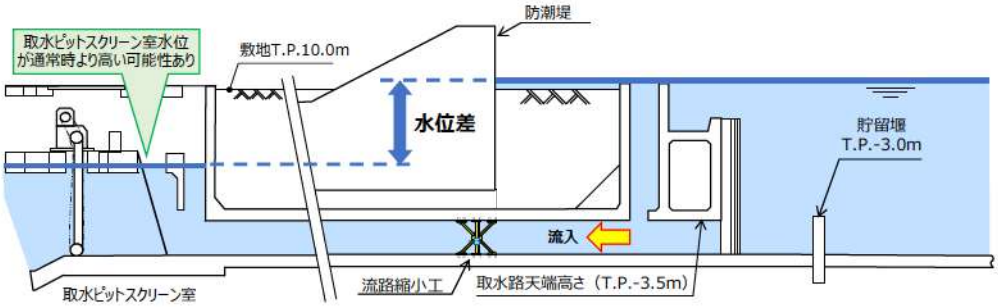
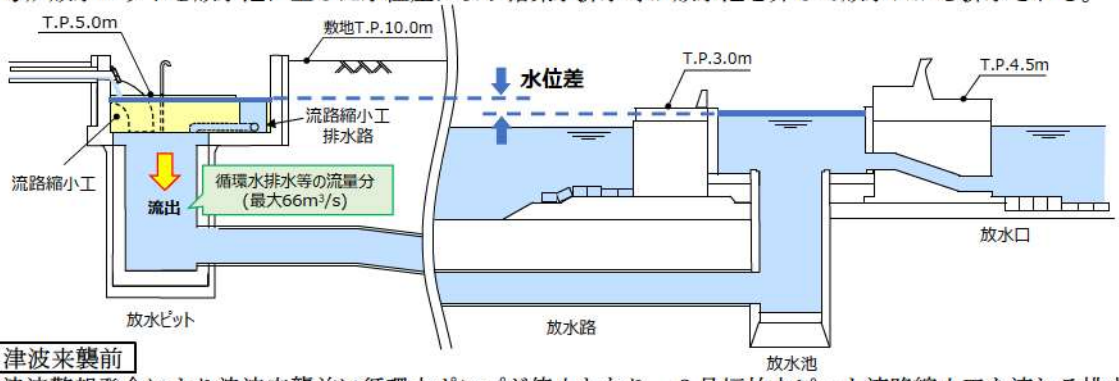


図 2-1　津波来襲時の１号及び２号炉取水路内の流況イメージ図

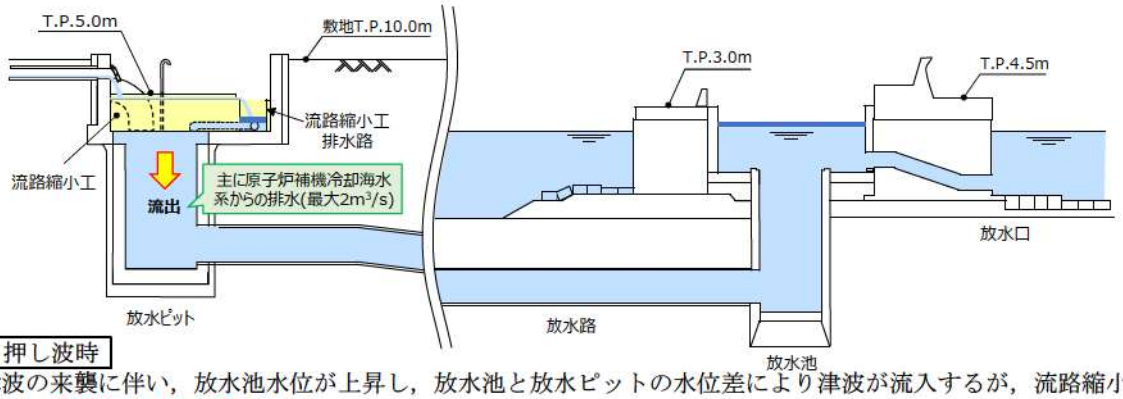
(1) 通常時

・３号炉放水ピットと放水池に生じた水位差により循環水排水等が放水池を介して放水口から排水される。



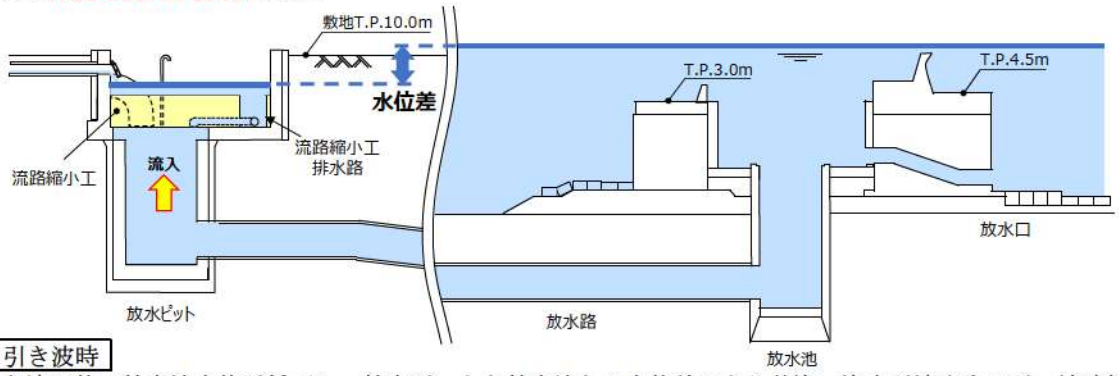
(2) 津波来襲前

・大津波警報発令により津波来襲前に循環水ポンプが停止となり，３号炉放水ピット流路縮小工を流れる排水は原子炉補機冷却海水系からの排水が主体となり，流量が小さいため，３号炉放水ピットの水位は放水池の水位とほぼ同程度まで低下する。



(3) 押し波時

・津波の来襲に伴い，放水池水位が上昇し，放水池と放水ピットの水位差により津波が流入するが，流路縮小工により津波の流入が抑制される。



(4) 引き波時

・引き波に伴い放水池水位が低下し，放水ピットと放水池との水位差により外海へ海水が流出するが，流路縮小工により放水路内の海水の流出が抑制される。

・引き波時の水位低下により流路縮小工下端以下となった場合，排水路内が満管状態ではなくなり，海水の流出抑制効果は発生しない。

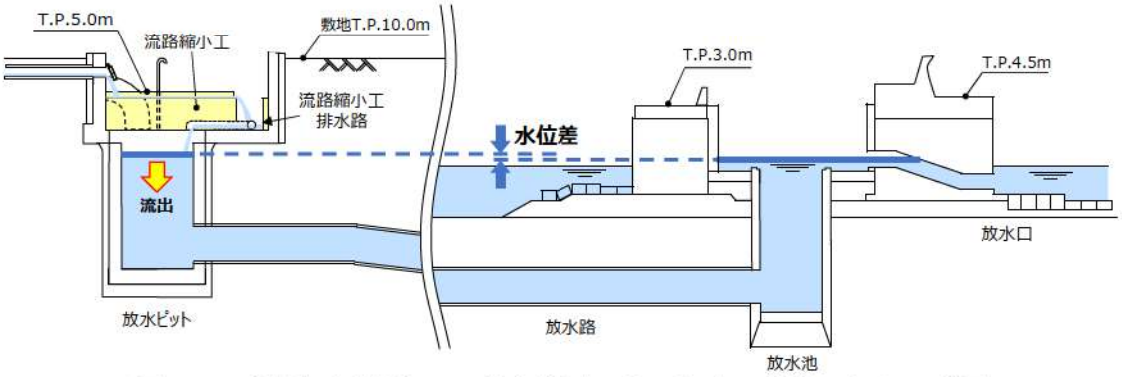


図 2-2　津波来襲時の３号炉放水ピット内の流況イメージ図

2.3 流路縮小工による損失水頭の評価方法の検証項目について

津波の敷地到達評価フローを図 2-3 に示す。管路解析にて敷地開口部の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り，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号炉放水路それぞれの流路縮小工に対して評価方法の検証を行う。

2.2 項に記載の通り，１号及び２号炉取水路流路縮小工は，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ても，常に満管状態であることから，一次元解析に用いる損失係数の適用性の検証を行う。また，３号炉放水ピットの流路縮小工は，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た場合，必ずしも満管状態ではないことから，設定する損失係数も含めた一次元解析の適用性の検証を実施する。

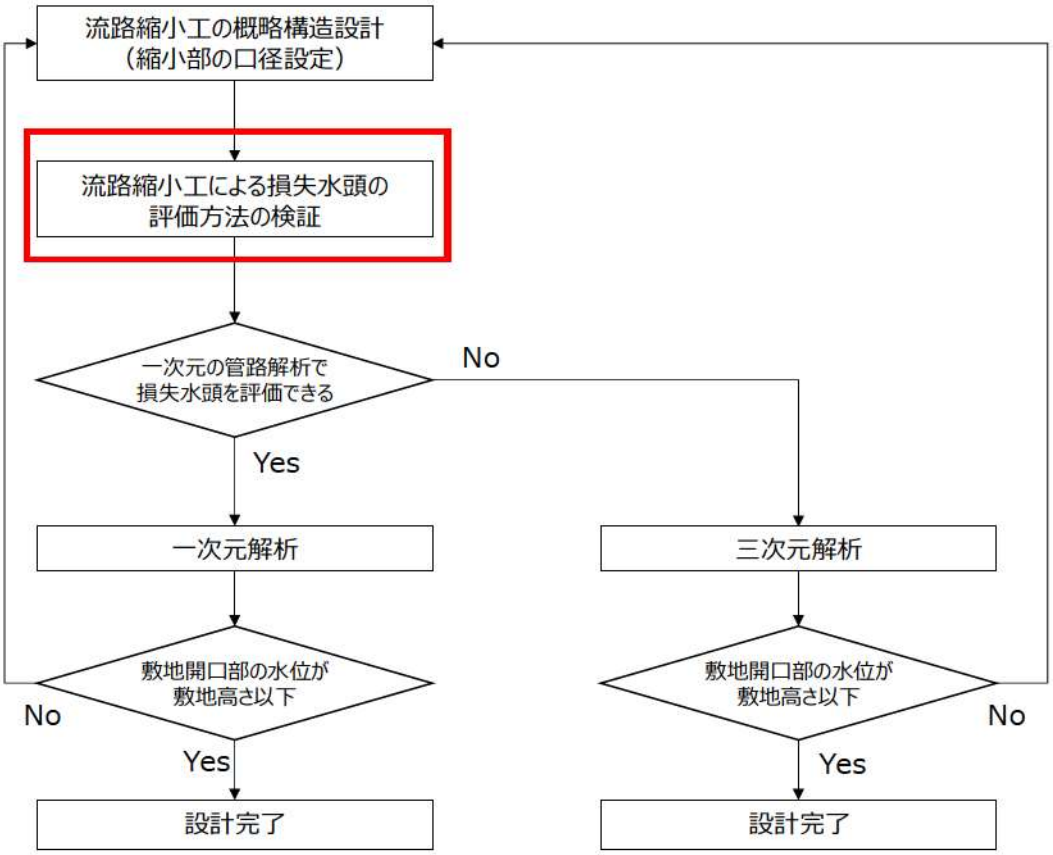


図 2-3　津波の敷地到達評価フロー

3.　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

3.1 設備構造を踏まえた損失水頭の評価方法の課題

(1)　１号及び２号炉取水路流路縮小工の構造

１号及び２号炉取水路流路縮小工は，主梁，スキンプレート，スリーブ及びアンカーボルトから構成する鋼製の構造物とし，岩着の防潮堤直下にある１号及び２号炉取水路内に津波防護施設として設置する。

１号及び２号炉取水路流路縮小工には，１号及び２号炉の原子炉補機冷却海水ポンプに必要な海水を取水するため，開口部（φ0.743m）を設ける。

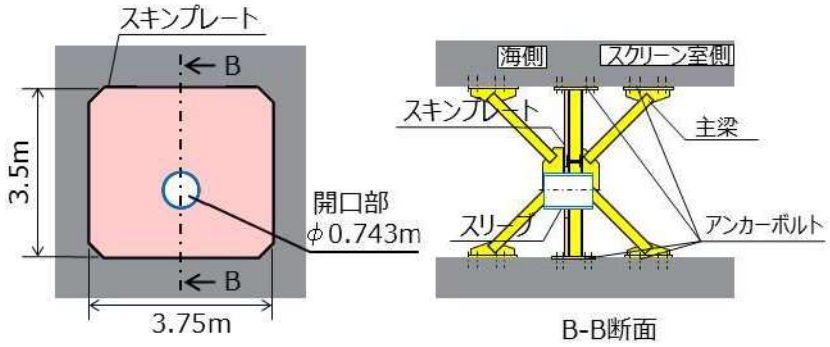


図 3-1　１号及び２号炉取水路流路縮小工構造概要

(2) 損失水頭の評価方法の課題

(1)に示すように，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様な構造であり，流路縮小工の主梁は流路内に設置される構造である。津波時の１号及び２号炉流路縮小工に生じる損失水頭は一次元解析にて評価するが，一次元解析に適用する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設定する必要がある。

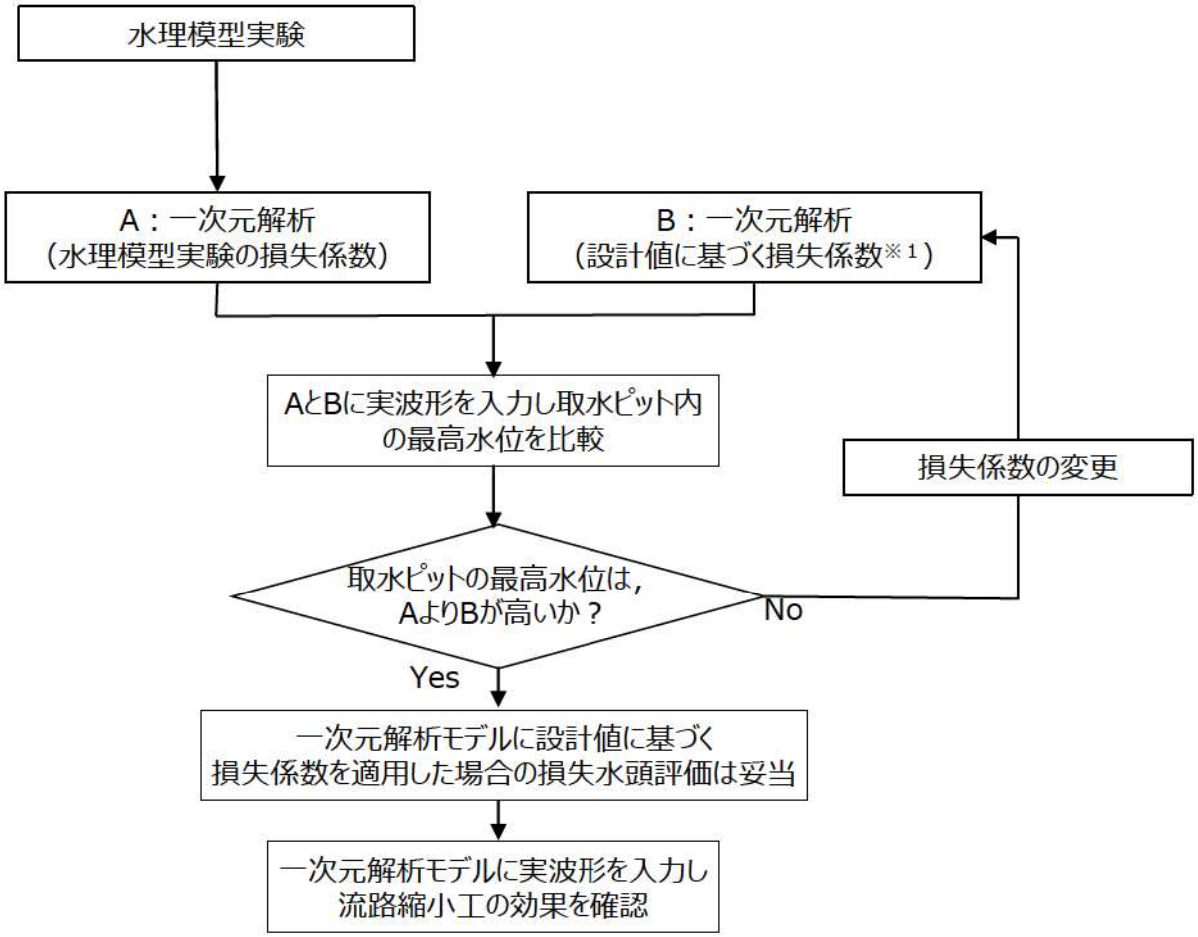
3.2 検証方法

2.1 項で示したとおり，1 号及び２号炉取水路流路縮小工に生じる損失水頭は形状損失と摩擦損失であり，流路縮小工の構造の特徴として，スリーブや梁等の構造物の長さは短く，流路縮小工全体の損失に対して摩擦損失の影響はかなり小さいことから，流路縮小工を流れる海水のエネルギー損失は形状損失が支配的である。形状損失は流れの渦に起因する損失であり，乱流領域においては損失係数のレイノルズ数依存性が小さいことから，流量によらずほぼ一定となる。したがって，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。

また，１号及び２号炉流路縮小工は敷地開口部の水位上昇を低減させる方針であることから，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繰り返しの津波の来襲に対して，水理模型実験で確認した損失係数を適用した一次元解析

と設計値に基く損失係数を適用した一次元解析から得られる取水ピットの最高水位を比較することで，設計値に基く損失係数を適用した一次元解析が保守的な評価であることを確認する。

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は図 3-2 に示すフローに従って確認する。



※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）

図 3-2　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検証フロー

3.3 水理模型実験による損失係数の確認

(1) 実験に用いる流量条件

損失水頭を確認するために行う水理模型実験の設定流量は，損失水頭から算出する損失係数が津波時の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 5.5m³/s※1，津波来襲前の設定流量である 1.0m³/s※1を設定した。

1.0m³/s については，原子炉補機冷却海水ポンプの定格流量（1,900m3/h・台≒0.5m³/s・台）から，外部電源喪失によるブラックアウトシーケンス作動時に取水路あたりのポンプ２台全台が起動することを踏まえ，２台分の流量を見込み設定した。

基準津波の策定においては，津波高さの観点から敷地に対して大きな影響を及ぼす波源を選定し，地形モデル（防波堤の損傷状態を考慮した４ケース）ごとに評価項目（水位上昇側の水位変動量（４地点），水位下降側の貯留堰を下回る時間（１地点））が最大となるように基準津波を策定しており，本検討では 1，2 号取水口水位が最大となる，波源 C（防波堤損傷なし），波源 E（北及び南防波堤損傷），波源 G（南防波堤損傷）及び波源 H（北防波堤損傷）を選定した。1，2 号取水口の基準津波の高さを表 3-1 に示す。

波源 C（防波堤損傷なし），波源 E（北及び南防波堤損傷），波源 G（南防波堤損傷）及び波源 H（北防波堤損傷）を対象として行った一次元解析の結果（図 3-3 参照），１，２号取水ピットスクリーン室水位が最高となった波源 C（防波堤損傷なし）における取水路の最大流量（図 3-4 参照）を基に，津波時の最大流量相当 5.5m³/s を設定した。

※１：水理模型実験においてはフルード相似則に基づく 1/6 スケールでの流量にて実施する。実験における流量は表 3-4 に示す。

表 3-1　１，２号炉取水口の基準津波高さ

評価項目		波源	地形モデル	基本ケース
水位変動量（上昇側）	1,2 号炉取水口	波源Ｃ	防波堤損傷なし	9.34m
		波源Ｅ	北及び南防波堤損傷	12.74m
		波源Ｇ	南防波堤損傷	12.01m
		波源Ｈ	北防波堤損傷	11.50m

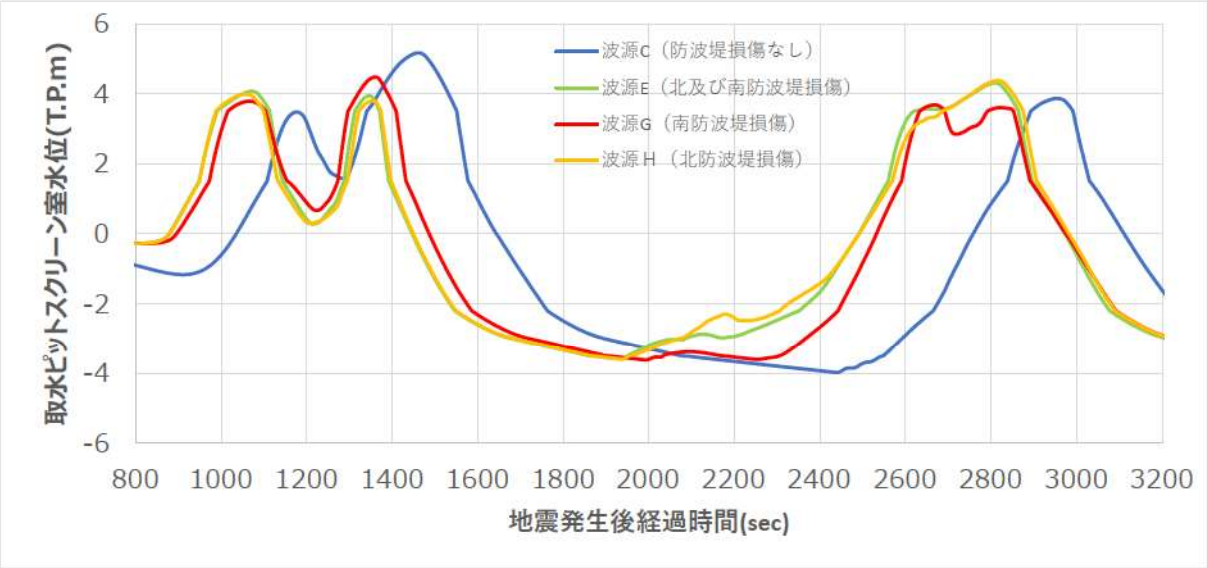


図 3-3　取水ピットスクリーン室の水位比較

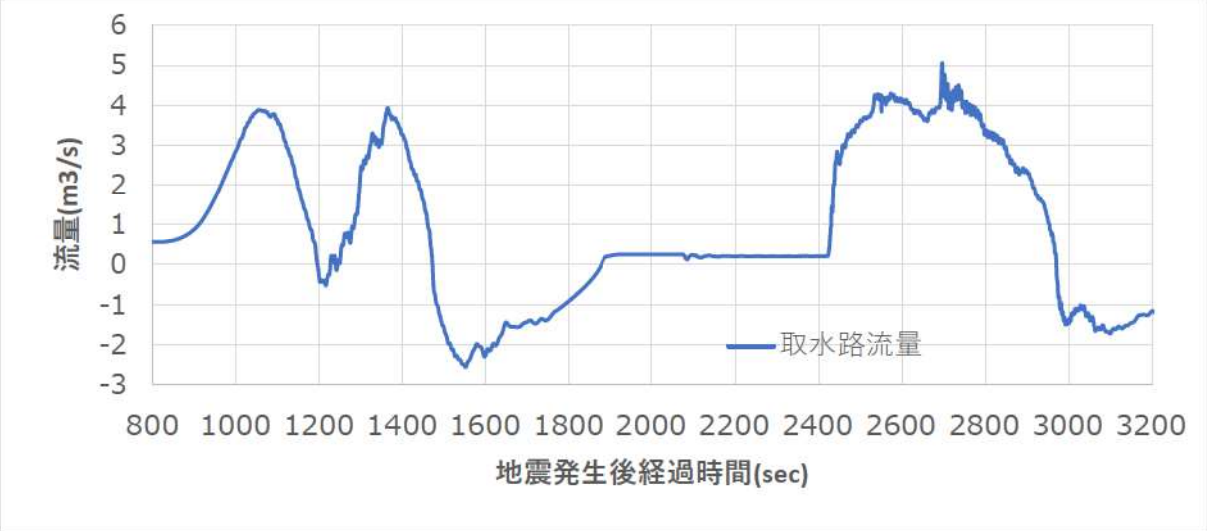


図 3-4　波源 C（防波堤損傷なし）の取水路流量

また，流れ方向については，実際の津波における津波の引き波及び押し波の影響を確認するため引き波方向（取水ピット→取水口）・押し波方向（取水口→取水ピット）を実施し，それぞれのケースにおいて構造体の有無による影響についても確認する。

以上より，水理模型実験で実施するケースを表 3-2 に示す。

表 3-2　水理模型実験の実施ケース

流量 (m^3/s)	流れ方向	備考	構造体影響※
1.0	引き波方向 （取水ピット→取水口）	津波来襲前の原子炉補機冷却海水ポンプ設定流量	有／無
	押し波方向 （取水口→取水ピット）		有／無
5.5	引き波方向 （取水ピット→取水口）	津波時流量	有／無
	押し波方向 （取水口→取水ピット）		有／無

※1 号及び 2 号炉取水路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。

(2) 水理模型実験の方法及び条件

a. 方法

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，前後差圧を計測し損失係数を算出する。

水理模型実験イメージを図 3-5 に示す。

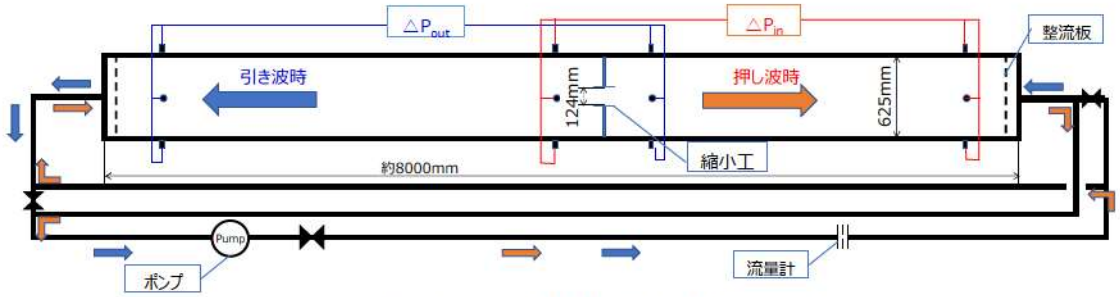


図 3-5　水理模型実験イメージ図

b. 条件

水理模型実験はフルード相似則を適用し，実験縮尺（幾何縮尺）を 1/6 とする。流路縮小工の損失係数は，摩擦損失以外の形状損失が支配的であり，形状損失は乱流状態でほぼ一定値になることから，フルード相似則を適用した実験は実機の損失係数と同等である。

流量（通常取水流量，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。設定した実験条件を表 3-3 に示す。

表 3-3　実験条件

		模型※	実機
取水路の材質		炭素鋼	コンクリート
流路縮小工の材質		炭素鋼	炭素鋼
流量（m^3/s） []内は流路縮小部におけるレイノルズ数を示す。	津波来襲前の原子炉補機冷却海水ポンプ設定流量	0.0120 [1.2×10^5]	1.0 [1.7×10^6]
	津波時流量	0.0624 [6.4×10^5]	5.5 [9.4×10^6]
取水路サイズ（m）		幅：0.625 高さ：0.58	幅：3.75 高さ：3.5
流路縮小工開口径（m）		φ0.124	φ0.743

※　実機と模型のフルード数が同一となるように流量を設定する場合の流量の導出過程については，参考資料３参照

(3) 水理模型実験結果

追而
（水理模型実験の結果を踏まえて記載する。）

3.4 損失係数の保守性の確認

追而
（水理模型実験及び一次元解析の結果を踏まえて記載する。）

3.5 まとめ

追而
（水理模型実験及び一次元解析の結果を踏まえて記載する。）

4.　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

4.1 設備構造及び損失水頭の評価方法の課題

(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 5.0m及び水平部φ1.5m，延長 16.75m）～放水ピット（下部）へと通水する。３号炉放水ピット流路縮小工の構造概要図を図 4-1 に示す。

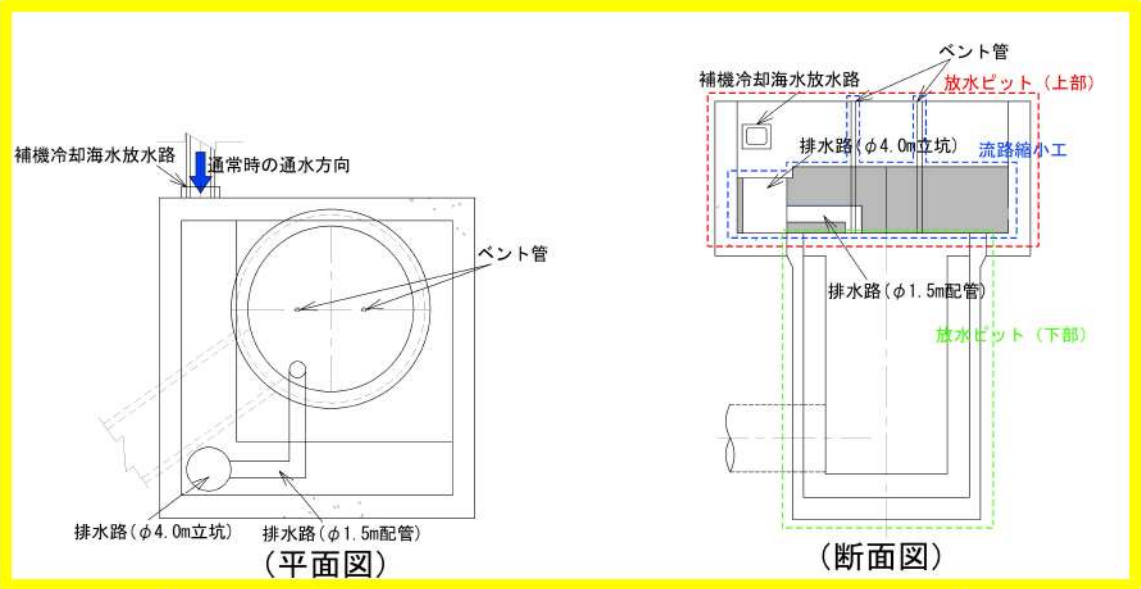


図 4-1　３号炉放水ピット及び流路縮小工　構造概要図

(2)　損失水頭の評価方法の課題

(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。そのため，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した場合，損失水頭を適切に評価できているかの確認が必要である。

4.2 検証方法

(1) 概要

流路縮小工における一次元解析を用いた場合の損失水頭評価に関する課題に対し，以下の２つの項目で検証する方針とする。

検証フローを図 4-2，検証のための各実施目的を表 4-1 に示す。

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

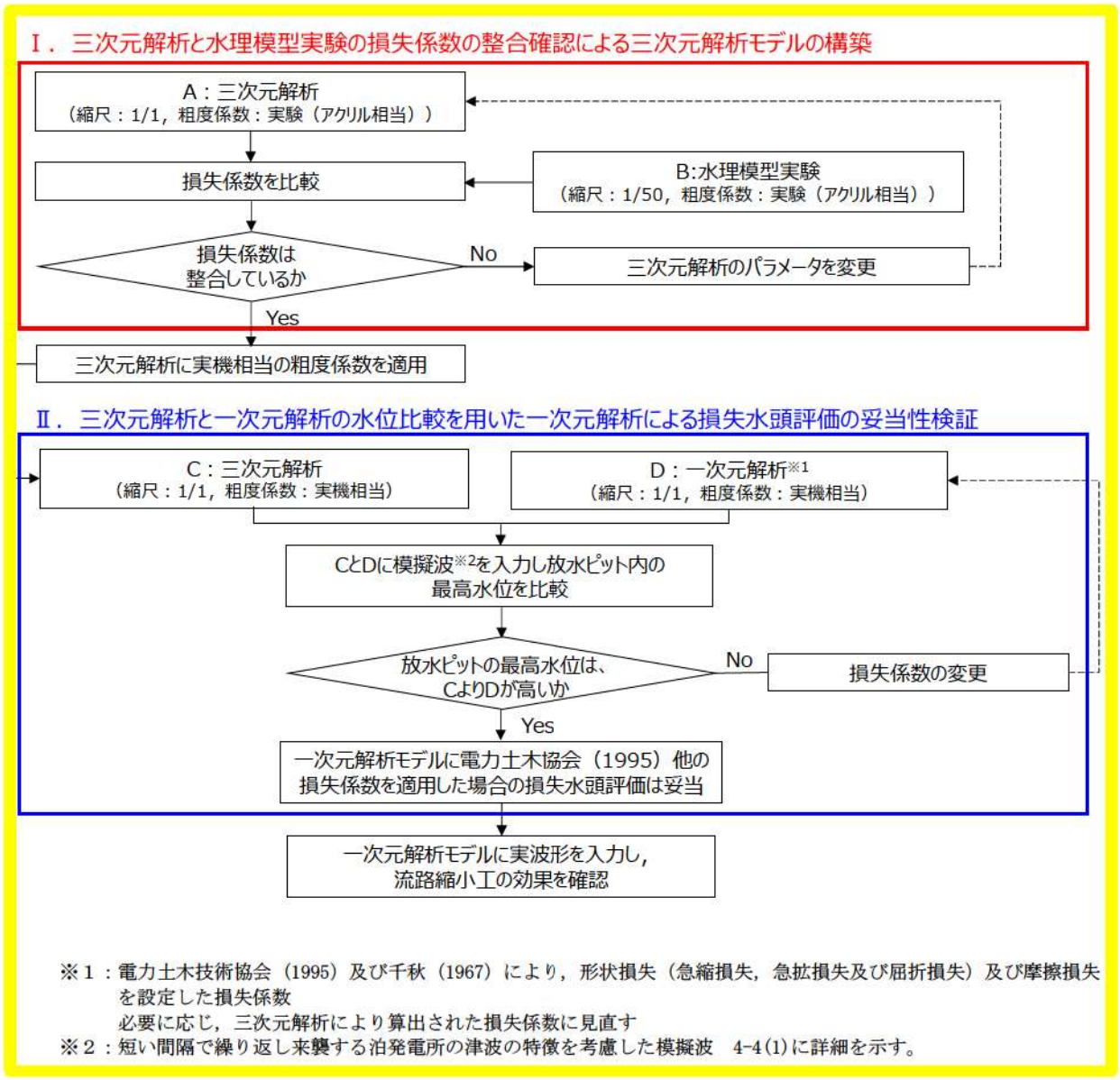
・実機を模擬した三次元解析と，電力土木技術協会（1995）及び千秋（1967）に基づいた損失係数を適用した一次元解析における放水ピット内の水位を算出する

・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

表 4-1　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のための各実施項目と目的

	実施項目	目的
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		
	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実機（1/1）スケールの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係数※を算出する。
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		
	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を用いた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。

※水理模型実験は，フルードの相似則を適用して模型サイズ及び流量を設定した上で，乱流状態で行うため実機と相似な流況を再現できることから，得られる損失係数は実機と同等のものになる。本検討においては，土木学会（1999）を参考に，レイノルズ数が 3000 以上で乱流状態が再現されるとした。



※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した損失係数
必要に応じ，三次元解析により算出された損失係数に見直す
※２：短い間隔で繰り返し来襲する泊発電所の津波の特徴を考慮した模擬波　4-4(1)に詳細を示す。

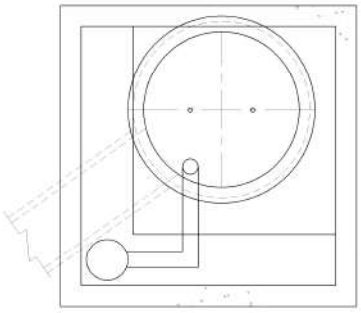
図 4-2　検証フロー

(2) 対象範囲及びモデル化の考え方

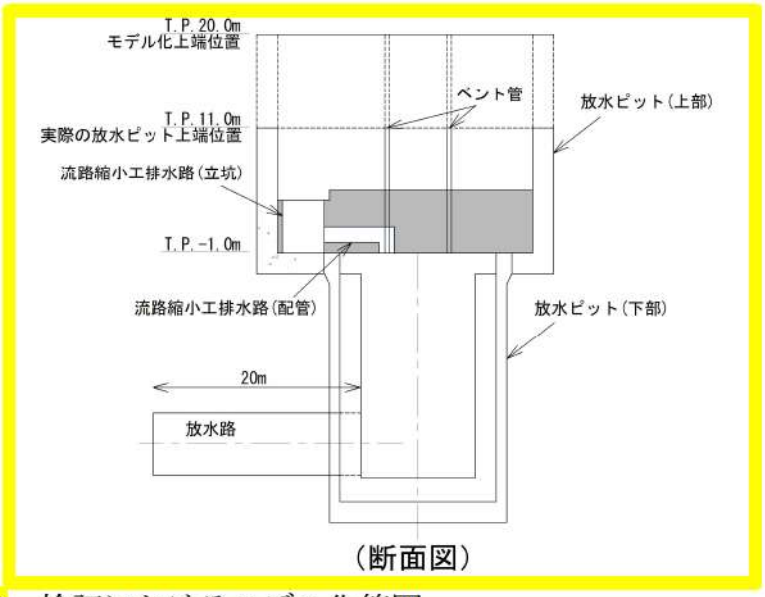
検証におけるモデル化範囲は，図 4-3 に示す放水路，放水ピット（上部・下部）及び流路縮小工とし，複雑な三次元構造を有する 3 号炉放水ピット流路縮小工部を対象に損失係数及び放水ピット内水位を確認する。

モデル化に当たっては，検証の対象である 3 号炉放水ピット流路縮小工周辺の排水路の複雑な三次元構造を模擬する必要がある。一方で，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，水理模型実験及び一次元解析で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，損失水頭及び放水ピット内の水位評価に影響しないことから，放水ピット端部から 20m の範囲をモデル化した。また，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。



（平面図）



（断面図）

図 4-3　検証におけるモデル化範囲

(3) 検討に用いる波源の選定

基準津波の策定においては，津波高さの観点から敷地に対して大きな影響を及ぼす波源を選定し，地形モデル（防波堤の損傷状態を考慮した４ケース）ごとに評価項目（水位上昇側の水位変動量（４地点），水位下降側の貯留堰を下回る時間（１地点））が最大となるように基準津波を策定しており，本検討では，放水口水位が最大となっている波源Ｄを選定した。放水口の基準津波の高さを表 4-2 に示す。

表 4-2　放水口の基準津波の高さ

評価項目	波源	地形モデル	津波高さ
放水口 (3 号炉)	波源Ｄ	防波堤損傷なし	10.91m
	波源Ｄ	北及び南防波堤損傷	10.84m
	波源Ｄ	南防波堤損傷	10.85m
	波源Ｄ	北防波堤損傷	10.66m

4.3 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) 損失係数の確認方法

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ために，三次元解析及び水理模型実験の両方で損失係数を確認する。

損失係数の確認については，流量及び対象区間の水位差より算出するため，流量と水位差の対比が可能な定常流を用いて行う。

一次元解析では，電力土木技術協会（1995）他で示されている定常流を対象とした損失係数を適用している。これは，損失係数の非定常性が全体の流況に与える影響は小さいという考え方に基づいている。

また，流路縮小工の三次元解析及び水理模型実験の損失水頭より算出される損失係数は，乱流領域の定常流ではほぼ一定値になることを確認することから，流量が時間的に変化する場合においても，損失係数は大きく変化しないものとした。

(2) 解析及び実験に用いる流量の条件

損失係数を確認するために行う定常流の三次元解析及び水理模型実験における設定流量は，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 10.0m³/s※1，原子炉補機冷却海水ポンプの定格流量である 2.0m³/s※1 を設定した。

2.0m³/s については，原子炉補機冷却海水ポンプの定格流量（1,700m3/h・台≒0.5m³/s・台）から，外部電源喪失によるブラックアウトシーケンス作動時にポンプ４台全台が起動することを踏まえ，４台分の流量を考慮し設定した。

10.0m³/s については，放水路～放水ピット（下部）を津波が逆流し，放水ピット水位が上昇した場合，水位が T.P.-1.0m 以上になると流路縮小工を津波が通過する。

そのため，通過する時間帯における最大流量を参考として設定した。

最大流量相当の算出に当たっては，放水口の最大ケースで選定された基準津波である波源Ｄを参考とした。

図 4-4～図 4-7 に放水ピット水位及び放水路入口流量の時刻歴波形を示す（図 4-8 より放水ピット水位が T.P.-1.0m より低い時間帯は，流路縮小工を通過する流量の最大値相当算出の対象外とした。）

また，流れ方向よる損失係数の変化を確認するため引き波方向（放水ピット→放水口）・押し波方向（放水口→放水ピット）を実施する。

以上より，定常流で実施する４ケースを，表 4-3 に示す。

※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 スケールでの流量にて実施する。実験における流量は表 4-4 に示す。

表 4-3　定常流の実施ケース

ケース	流量 (m³/s)	流れ方向	備考
定常流①	2.0	引き波方向（放水ピット→放水口）	津波来襲前の原子炉補機冷却海水ポンプ設定流量
定常流②		押し波方向（放水口→放水ピット）	
定常流③	10.0	引き波方向（放水ピット→放水口）	津波時流量
定常流④		押し波方向（放水口→放水ピット）	

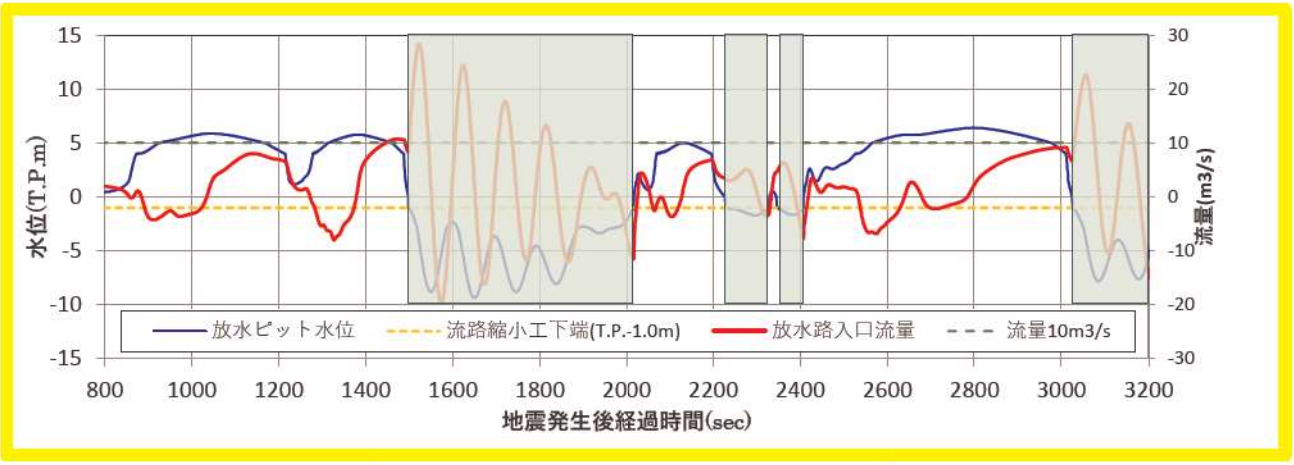


図 4-4　波源D（防波堤損傷なし）

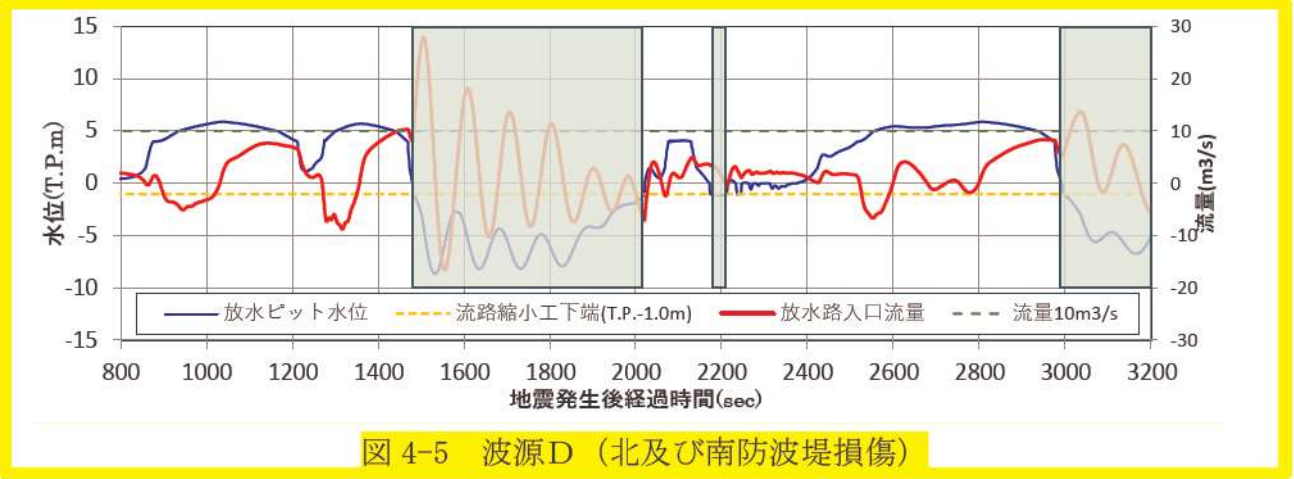


図 4-5　波源D（北及び南防波堤損傷）

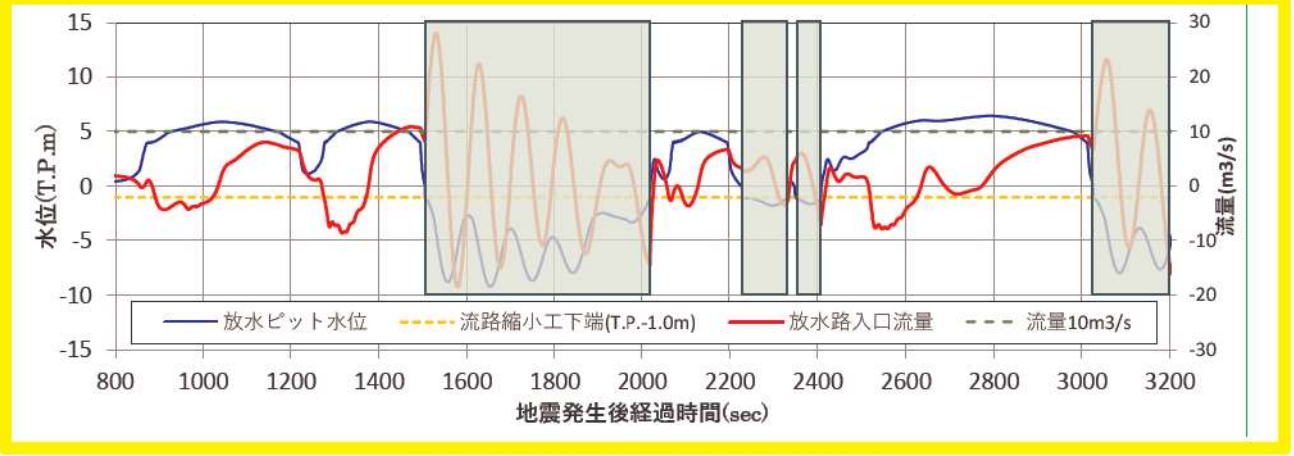


図 4-6　波源D（南防波堤損傷）

※ハッチング部の時間帯は，放水ピットの水位が図 4-8 のように流路縮小工下端（T.P.-1.0m）より下であり，流路縮小工内を通過していない状況であることから，流路縮小工を通過する流量の最大値相当算出の対象外とした。

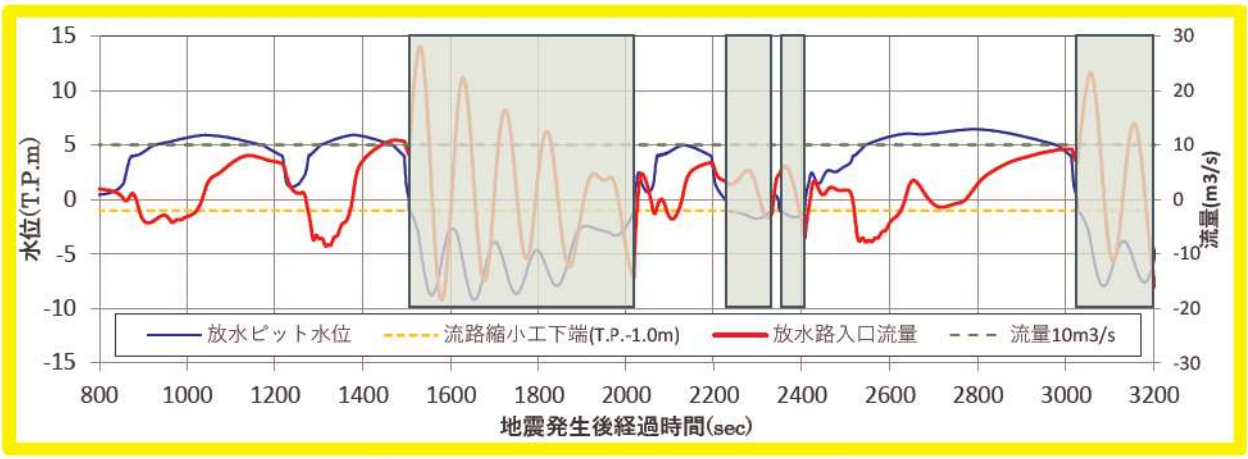


図 4-7　波源Ｄ（北防波堤損傷）

※ハッチング部の時間帯は，放水ピットの水位が図 4-8 のように流路縮小工下端（T.P.-1.0m）より下あり，流路縮小工内を通過していない状況であることから，流路縮小工を通過する流量の最大値相当算出の対象外とした。

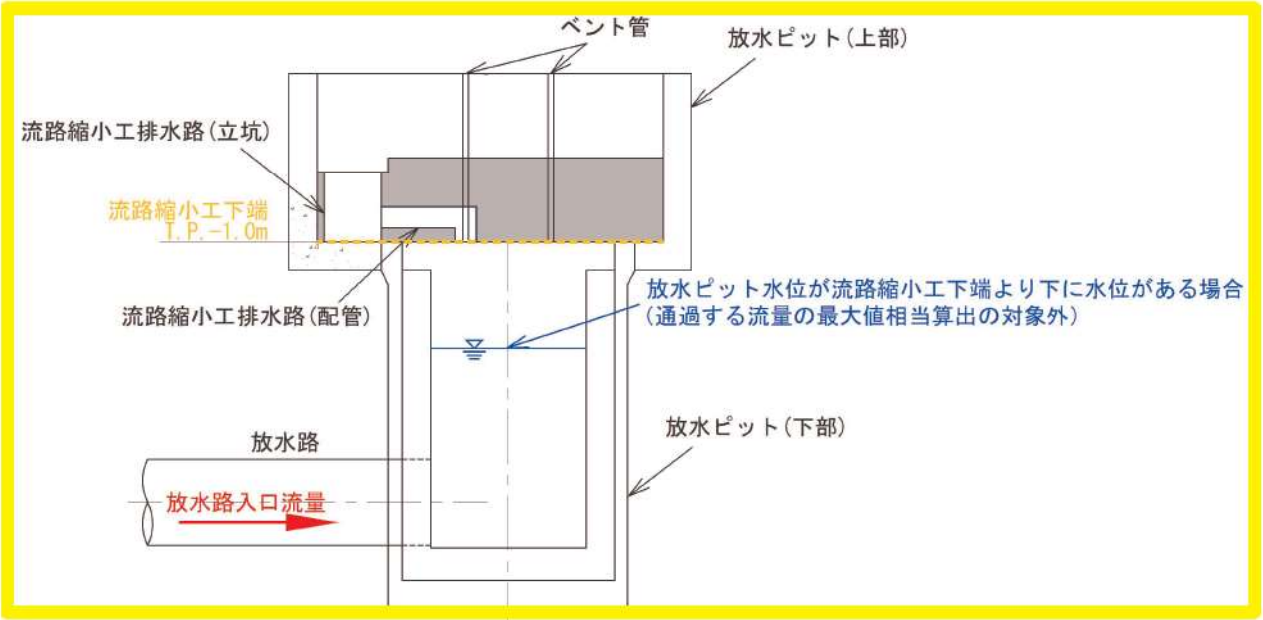


図 4-8　放水ピット水位が流路縮小工より下にある場合のイメージ図

(3) A：三次元解析の方法及び条件

a. 方法

損失水頭については，放水路端部の水槽から一定の流量の入力を行い，得られた水位差から算出する。

A：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図 4-9，図 4-10 に示す。

定常流状態において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圧力水頭測定箇所に測定点を設置し，参考として損失水頭を確認する。

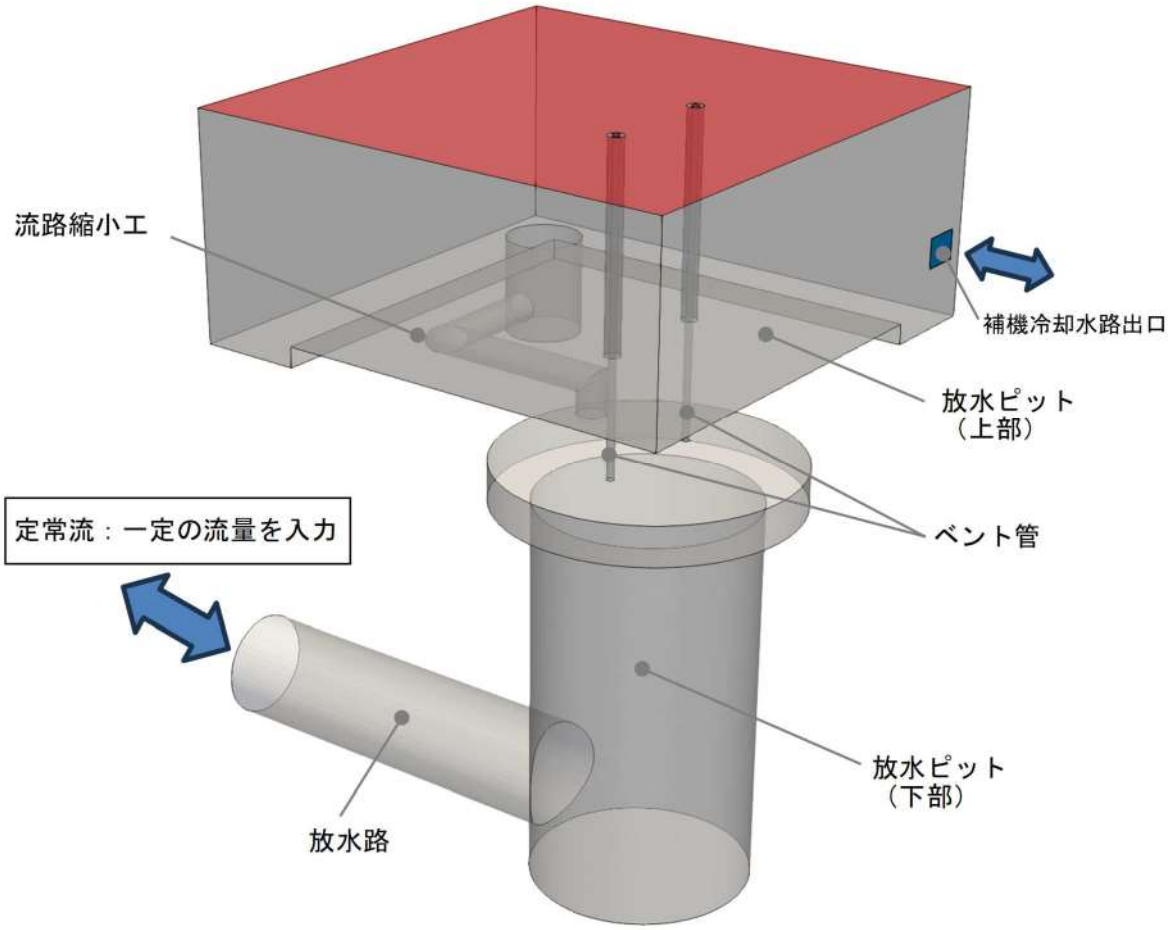


図 4-9　三次元解析モデルイメージ図

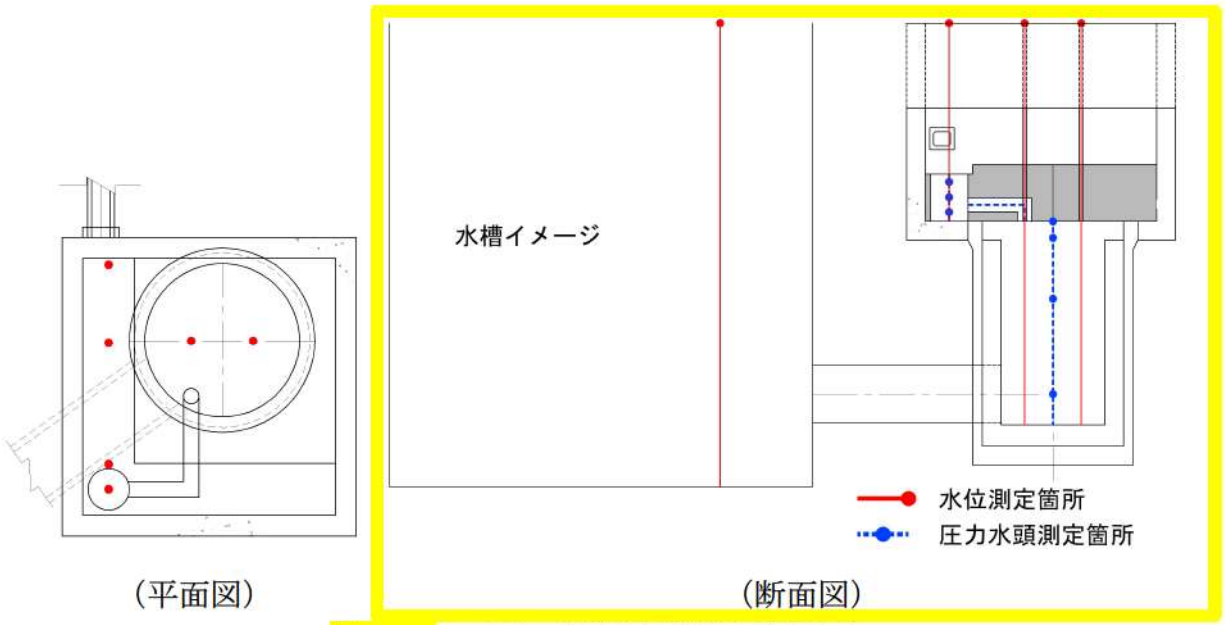


図 4-10　三次元解析水頭算出位置図

b. 条件

粗度係数については，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（1/1）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。

OpenFOAM については，国内外の機械，土木，建築及び気象を含めた様々な分野において，三次元数値流体力学ツールとして使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。また，VOF 法（Volume of Fluid 法）による自由表面解析手法を有し，VOF 法は「原子力発電所耐震設計技術規程　JEAC4601-2008」において，複雑な容器形状や流体の非線形現象を考慮する場合に有効であるとされている。今回，複数の粗度係数（0.014 及び 0.019）を用いて解析を実施するが，保坂ら（2021）では，粗度係数 0.015 を使用し，同程度の値を使用していることから今回使用する粗度係数においても，適用範囲内であると言える。

(4) B：水理模型実験の方法及び条件

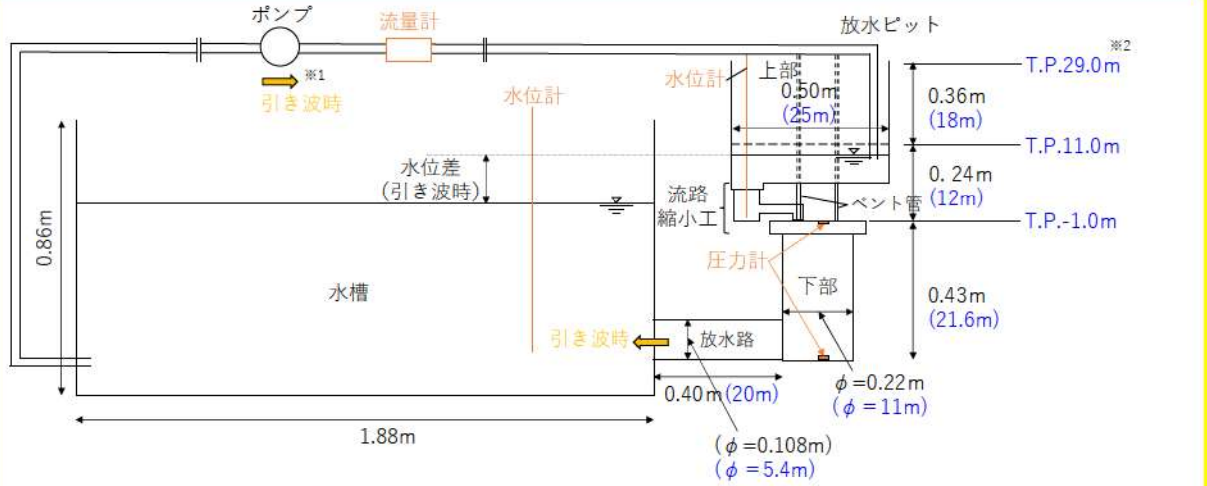
a. 方法

損失水頭は，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，得られた水位差から算出する。

水理模型実験イメージ図（引き波時）を図 4-11 に，水理模型実験イメージ図（押し波時）を図 4-12 に示す。

通水前の放水ピット及び水槽の初期水位は，定常流にて流路縮小工で生じる損失水頭を再現するため，流路縮小工が常時没水するよう T.P.10.0m 程度とする。

水槽内の水位と放水ピット（上部）の水位を測定し，水位差より全体の損失水頭を確認する。なお，流路縮小部に圧力計及び差圧計を設置した場合，圧力計及び圧力検出配管の設置に伴う流れの乱れが発生し，実験結果に影響する可能性があるため，放水ピット（下部）の２箇所に圧力計を設置し，参考として損失水頭を確認する。



※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：青字は実機寸法

図 4-11　水理模型実験イメージ図（引き波時）

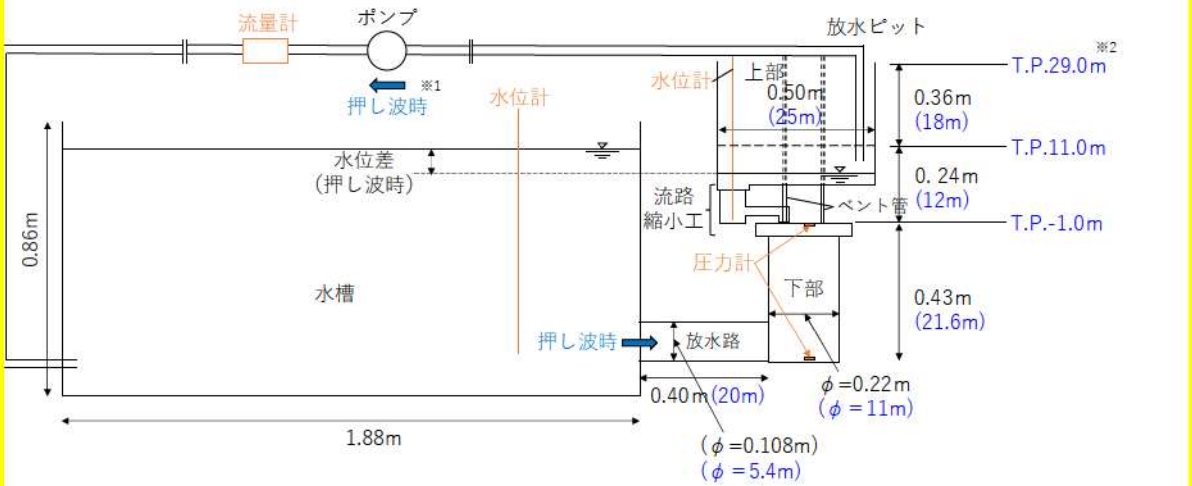


図 4-12　水理模型実験イメージ図（押し波時）

b. 条件

水理模型実験はフルード相似則を適用し，実験縮尺（幾何縮尺）を 1/50 とする。設定した実験条件を表 4-4 に示す。

模型に使用する材料はアクリルとし，粗度係数は 0.010（土木学会（1999）より，同等の素材である強化プラスチックの粗度係数を選定）とする。

模型の再現範囲は，三次元解析と同じ範囲とする。

表 4-4　実験条件

		模型※	実機
材質		アクリル	コンクリート
流量（m^3/s） []内は流路縮小工排水路（配管）におけるレイノルズ数を示す。	津波来襲前の原子炉補機冷却海水ポンプ設定流量	0.11×10^{-3} $[4.8\times10^{3}]$	2.0 $[1.7\times10^{6}]$
	津波時流量	0.57×10^{-3} $[2.4\times10^{4}]$	10.0 $[8.5\times10^{6}]$
放水ピット下部内径（m）		0.220	11.0
流路縮小工排水路（立坑）内径（m）		0.080	4.0
流路縮小工排水路（配管）内径（m）		0.030	1.5

※　実機と模型のフルード数が同一となるように流量を設定する場合の流量の導出過程については，参考資料３参照

(5) 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合確認

Ｂ：水理模型実験で算出した損失係数と整合した三次元解析モデルを構築するため，水理模型実験で得られた流路縮小工を含む，放水ピットから放水路に至る全体の損失係数とこれに対応する三次元解析の損失係数を比較する。

なお，相違が認められた場合は水理模型実験の損失係数と整合するようにＡ：三次元解析のパラメータを変更する。

4.4　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) 検証方法，入力波形の条件

a. 検証方法

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，当該箇所の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。

また，Ｃ：三次元解析とＤ：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。

以上の検証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ことを確認する。

b. 入力波形の条件

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。

入力波形作成に用いた波形「波源Ｄ」全波と模擬波を図 4-13 に示す。

模擬波は，放水ピット水位が高くなるように，図 4-13 に示す波源Ｄの第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。

なお，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：時刻歴波形が波源Ｄの波形と概ね合うように設定する。

・保守性：放水ピット水位が保守的となるように，波源Ｄの波形よりも水位が高く，流路縮小工下端（T.P.-1.0m）以上となる水位の継続時間が長くなるように設定する。

各ケースの流路縮小工下端（T.P.-1.0m）を上回る継続時間の比較を表 4-5 に，入力条件とする水位の抽出位置である放水池及び放水路平面図を図 4-14 に，放水池及び放水路平面図を図 4-15 に示す。

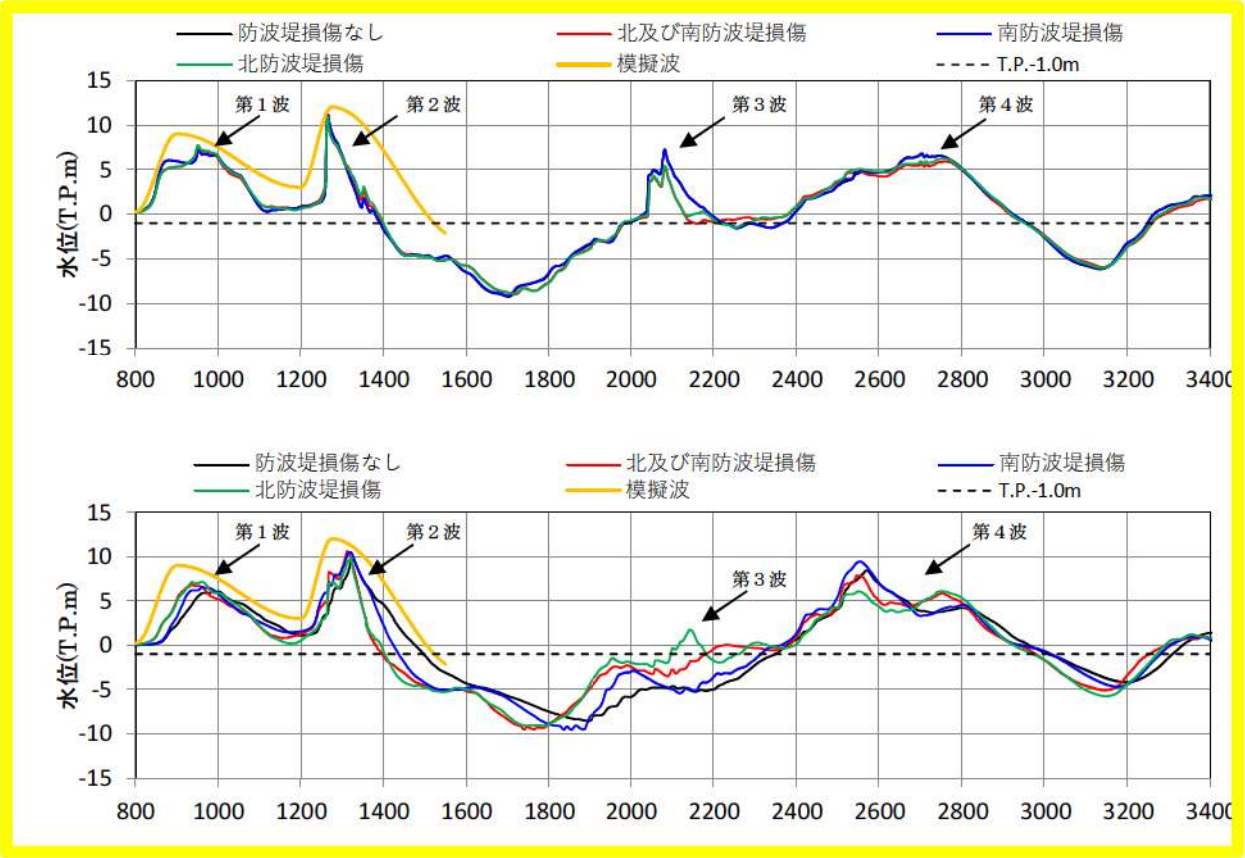


図 4-13　入力波形選定に用いた波形「波源Ｄ」全波と模擬波
（上図：放水口水位，下図：放水池水位）

表 4-5　各ケースの流路縮小工下端（T.P.-1.0m）を上回る継続時間比較

波形	ケース	継続時間(s)
放水口水位	模擬波	722
	防波堤損傷なし	593
	防波堤損傷	597
	南防波堤損傷	592
	北防波堤損傷	600
放水池水位	模擬波	722
	防波堤損傷なし	697
	防波堤損傷	597
	南防波堤損傷	637
	北防波堤損傷	603

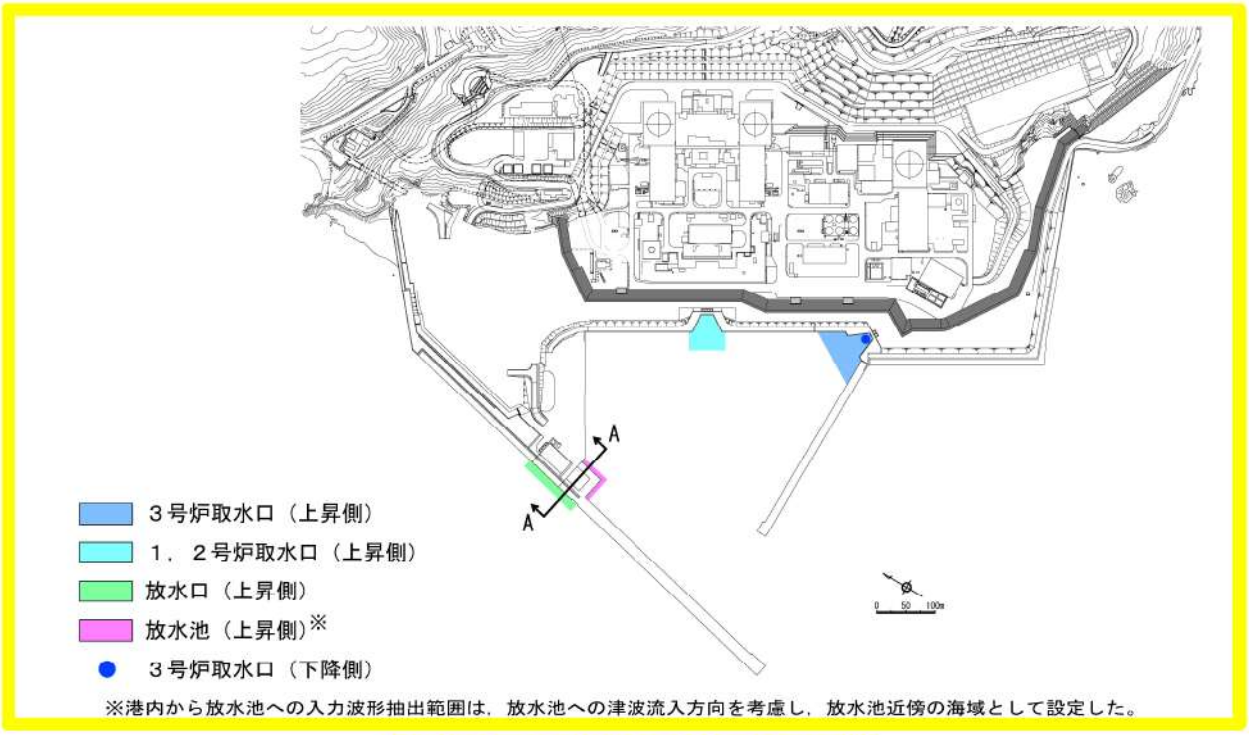


図 4-14　放水池及び放水口平面図

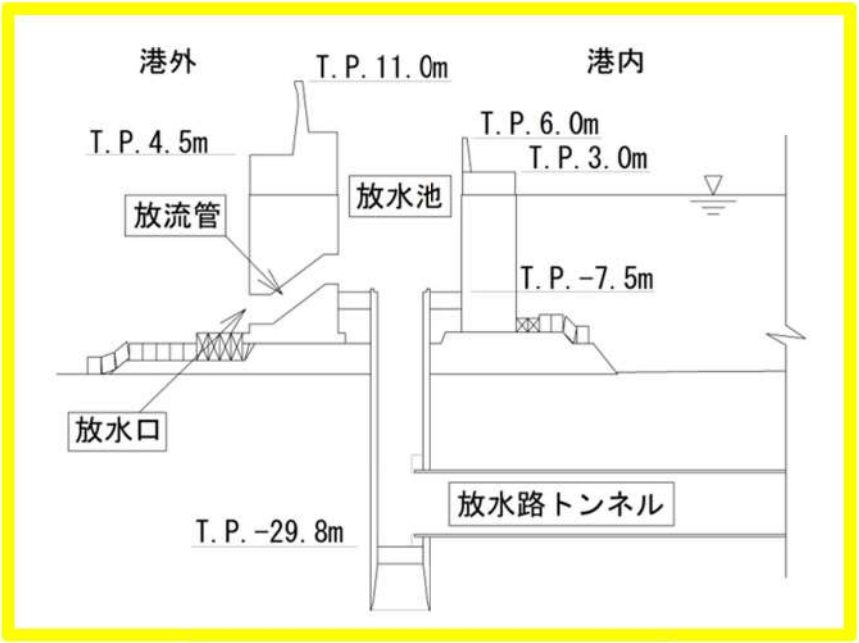


図 4-15　放水池及び放水口断面図

(2) C：三次元解析方法及び条件

a. 方法

放水路端部に入力する流量を変化させることで設定した模擬波の入力を行い，放水ピットの水位を算出する。

C：三次元解析に用いる解析モデルイメージを図 4-16，水位測定箇所を図 4-17 に示す。

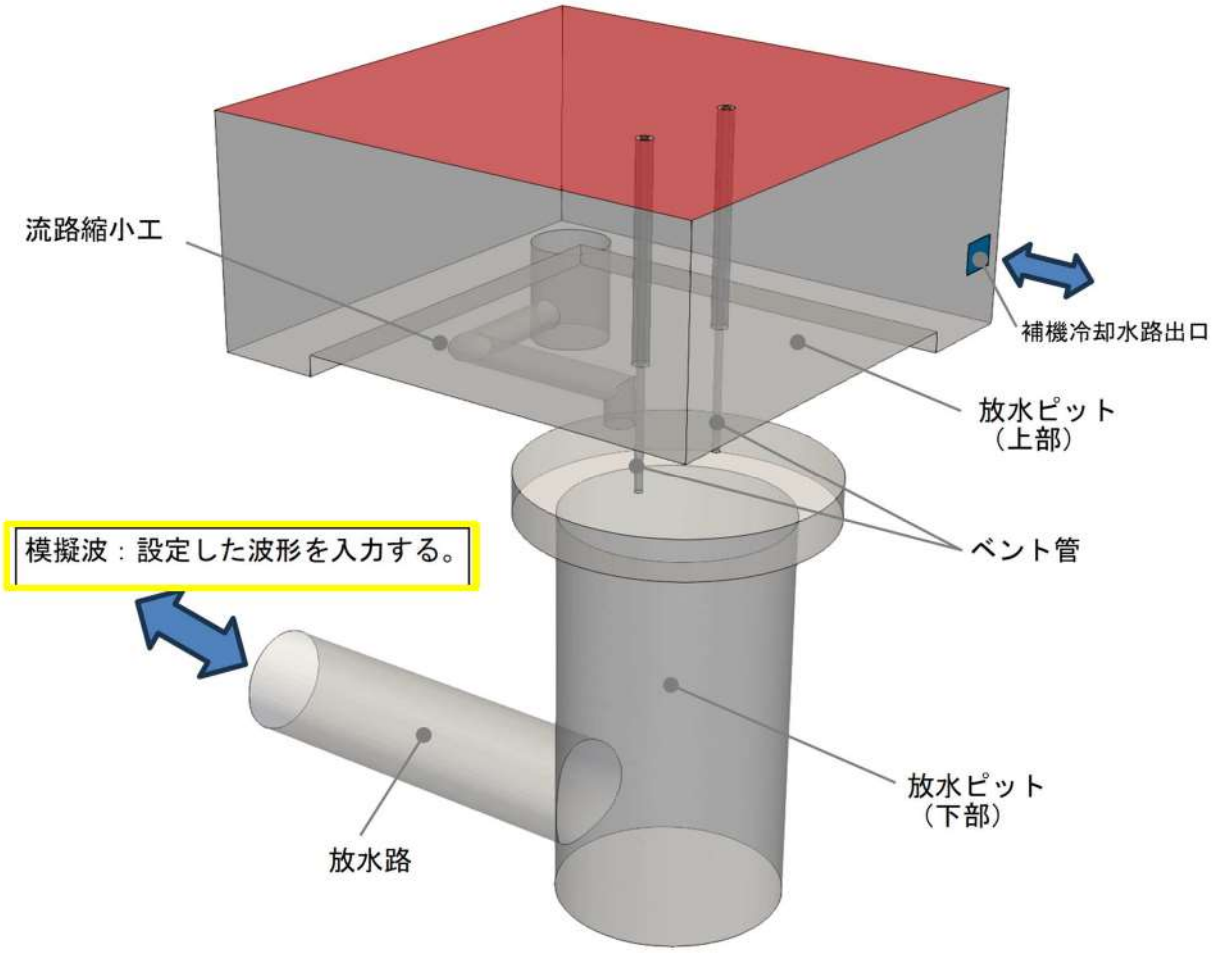


図 4-16　三次元解析モデルイメージ図

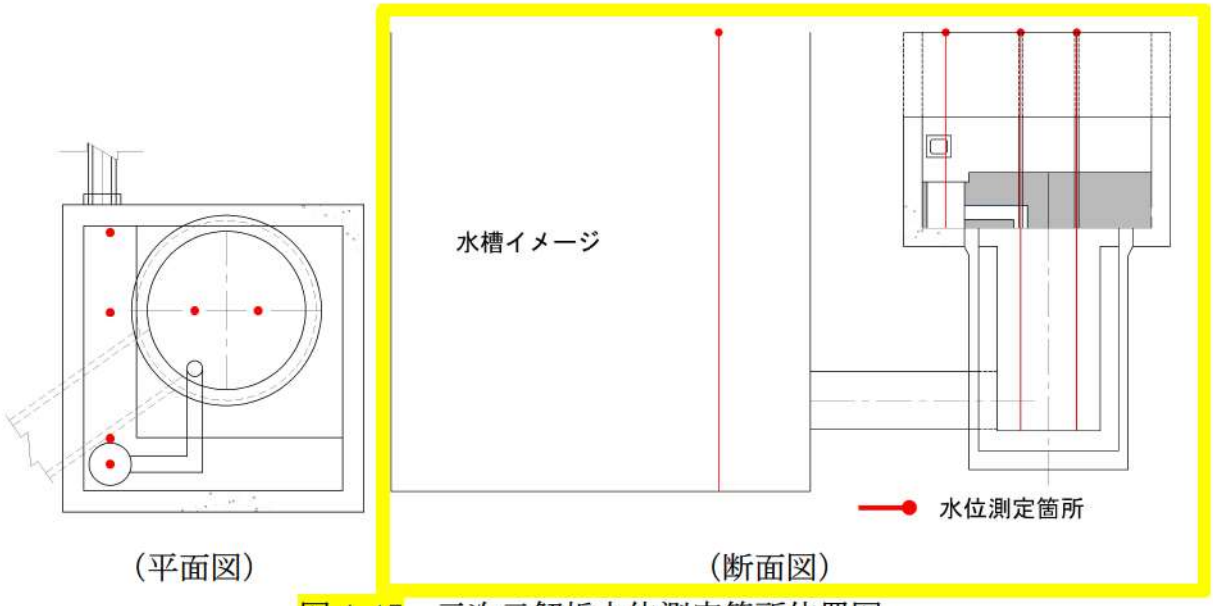


図 4-17　三次元解析水位測定箇所位置図

b. 条件

粗度係数については，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。

(3) D：一次元解析方法及び条件

a. 方法

放水路端部に外洋（水槽）に該当する池モデル３を設置し，模擬波を入力する。津波の流入による放水ピットの水位変動は，放水ピットに該当する池モデル１及び２を設置し，当該池モデル内の水位を算出する。一次元解析の検討対象範囲及びモデル図を図 4-18 に示す。

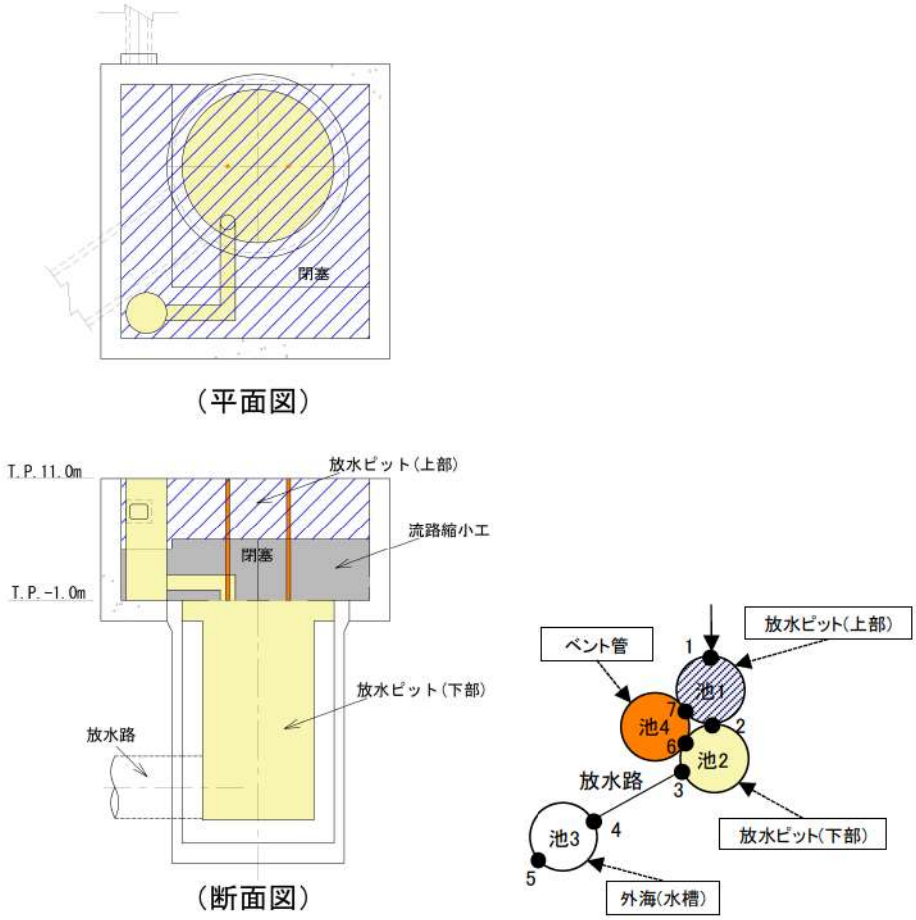


図 4-18　検討対象範囲とモデル図

b. 条件

モデル化範囲は，三次元解析と同じ範囲とし，粗度係数については，入力津波の実波形により流路縮小工効果を確認することを目的に実施する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，SURGE（Ver.2.8.7）を用いる。

(4)　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方法

一次元解析による放水ピット内水位評価の検証として，放水ピットの最高水位をＤ：一次元解析とＣ：三次元解析で比較する。4.3 にて示したように，Ｃ：三次元解析は，放水ピットから放水路に至る全体の損失係数を適切に模擬できるＢ：三次元解析に実機の粗度係数を適用して構築しているため，実機の放水ピット内水位を模擬可能である。そこで，一次元解析による損失水頭評価の妥当性確認として，Ｄ：一次元解析から算出される放水ピット水位がＣ：三次元解析による放水ピット内最高水位よりも高めの水位が算出され，敷地への津波の流入の可能性を保守的に評価できることを確認する。これにより，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は，妥当であると判断できる。

なお，Ｄ：一次元解析の水位がＣ：三次元解析よりも低くなる場合は，表 4-6 で示した流路縮小工の損失係数では，実機の水位を保守的に評価できないと考えられるため，これを見直す。

仮に，実機を模擬したＣ：三次元解析による損失係数をＤ：一次元解析に反映する場合は以下のとおりとなる。

Ｃ：三次元解析で評価された放水ピットから放水路に至る全体の損失係数から流路縮小工以外の損失係数※を差し引くことで，流路縮小工の損失水頭を算出し，流路縮小工の流路（図 4-19，表 4-7 及び表 4-8 における⑧～⑮）に適用する。以上の損失係数を見直したＤ：一次元解析により，放水ピット内水位がＣ：三次元解析よりも高めの水位になることを確認する。

※複雑構造ではない流路に対するものであることから，表 4-6 の損失水頭算定公式を用いて損失係数を算出する。

表 4-6　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($m^{-1/3}$・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(°)	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(°)	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

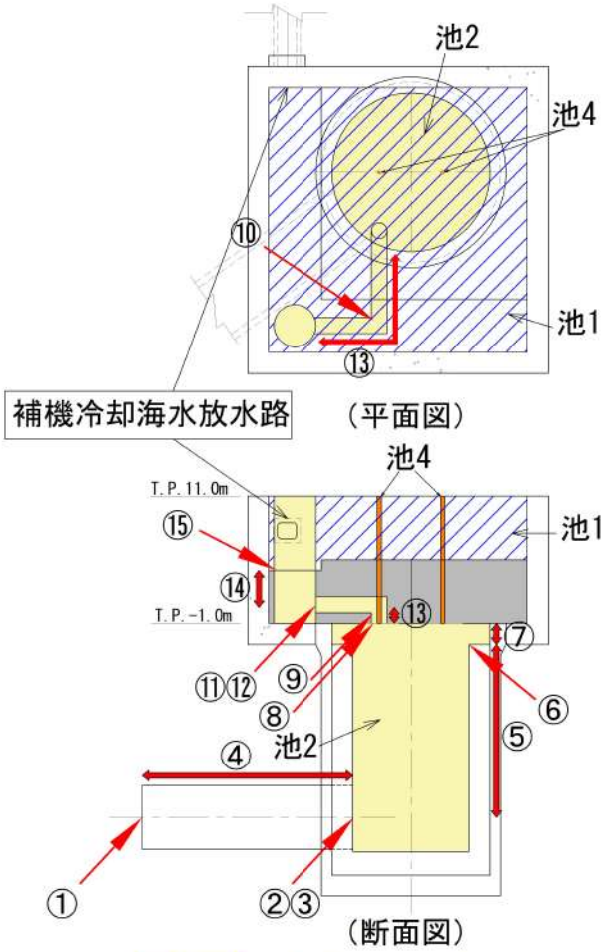


図 4-19　損失の発生箇所

表 4-7　流量 2.0m³/s 時の損失水頭表（引き波方向）

場所	流量※1 (m³/s)	種類※2	係数		断面積 (m²)	損失水頭 (m)	モデル化
放水路	15.000	①流出	形状損失係数	1.000	22.902	0.02189	節点4
		②急縮※3	形状損失係数	0.433	22.902	0.00948	節点3
		③屈折	形状損失係数	0.986	22.902	0.02158	節点3
		④摩擦	粗度係数(m$^{-1/3}$・s)	0.019	22.902	0.00208	管路1
			長さ(m)	20.000			
			径深(m)	1.350			
放水ピット	15.000	⑤摩擦	粗度係数(m$^{-1/3}$・s)	0.019	95.033	0.00004	池2
			長さ(m)	16.400			
			径深(m)	2.750			
		⑥急縮※3	形状損失係数	0.254	95.033	0.00032	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			
	15.000	⑧急拡※3	形状損失係数	0.980	1.767	3.60313	池2
		⑨屈折	形状損失係数	0.986	1.767	3.62519	池2
		⑩屈折	形状損失係数	0.986	1.767	3.62519	池2
		⑪急縮※3	形状損失係数	0.468	1.767	1.72068	池2
		⑫屈折	形状損失係数	0.986	1.767	3.62519	池2
		⑬摩擦	粗度係数(m$^{-1/3}$・s)	0.019	1.767	1.61135	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	0.00167	池2
			長さ(m)	3.250			
			径深(m)	1.000			
		⑮急縮※3	形状損失係数	0.490	12.566	0.03562	節点2
合計						17.90341	

※1：放水ピ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：表中の①～⑮は図 4-19 の損失水頭発生位置を示す。
※3：流入・流出損失，急拡・急縮損失は，時々刻々の流れの方向に応じた損失を考慮

表 4-8　流量 2.0m³/s 時の損失水頭表（押し波方向）

場所	流量※1 (m³/s)	種類※2	係数		断面積 (m²)	損失水頭 (m)	モデル化
放水路	15.000	①流入	形状損失係数	0.500	22.902	0.01094	節点4
		②急拡※3	形状損失係数	0.576	22.902	0.01261	節点3
		③屈折	形状損失係数	0.986	22.902	0.02158	節点3
		④摩擦	粗度係数(m$^{-1/3}$・s)	0.019	22.902	0.00208	管路1
			長さ(m)	20.000			
			径深(m)	1.350			
放水ピット	15.000	⑤摩擦	粗度係数(m$^{-1/3}$・s)	0.019	95.033	0.00004	池2
			長さ(m)	16.400			
			径深(m)	2.750			
		⑥急拡※3	形状損失係数	0.213	95.033	0.00027	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			
	15.000	⑧急縮※3	形状損失係数	0.500	1.767	1.83833	池2
		⑨屈折	形状損失係数	0.986	1.767	3.62519	池2
		⑩屈折	形状損失係数	0.986	1.767	3.62519	池2
		⑪急拡※3	形状損失係数	0.738	1.767	2.71337	池2
		⑫屈折	形状損失係数	0.986	1.767	3.62519	池2
		⑬摩擦	粗度係数(m$^{-1/3}$・s)	0.019	1.767	1.61135	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	0.00167	池2
			長さ(m)	3.250			
			径深(m)	1.000			
		⑮急拡※3	形状損失係数	0.891	12.566	0.06478	節点2
合計						17.15259	

※1：放水ピ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：表中の①～⑮は図 4-19 の損失水頭発生位置を示す。
※3：流入・流出損失，急拡・急縮損失は，時々刻々の流れの方向に応じた損失を考慮

4.5 三次元解析と水理模型実験の損失係数の整合確認結果

追而

4.6 C：三次元解析（実機）とD：一次元解析の水位比較による検証結果

追而

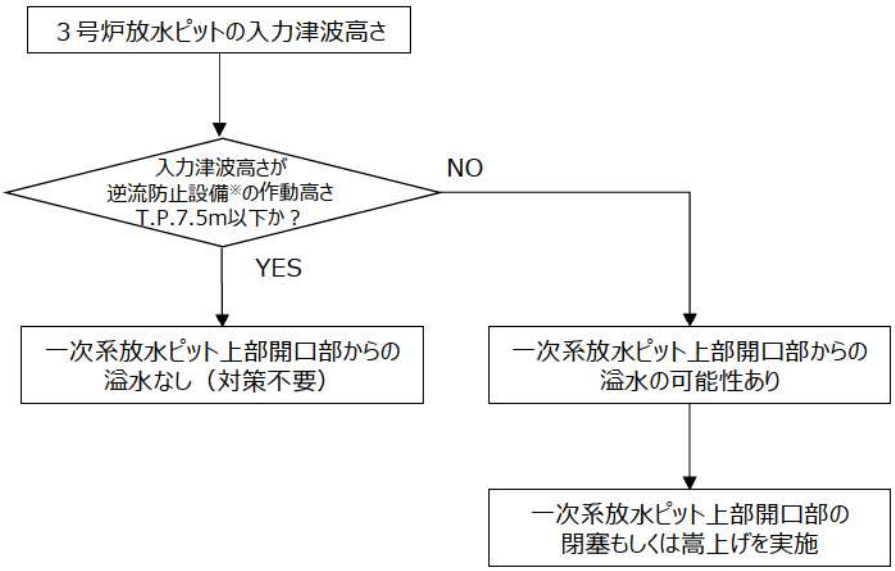
4.7 まとめ

追而

３号炉放水ピット流路縮小工の設計評価フロー

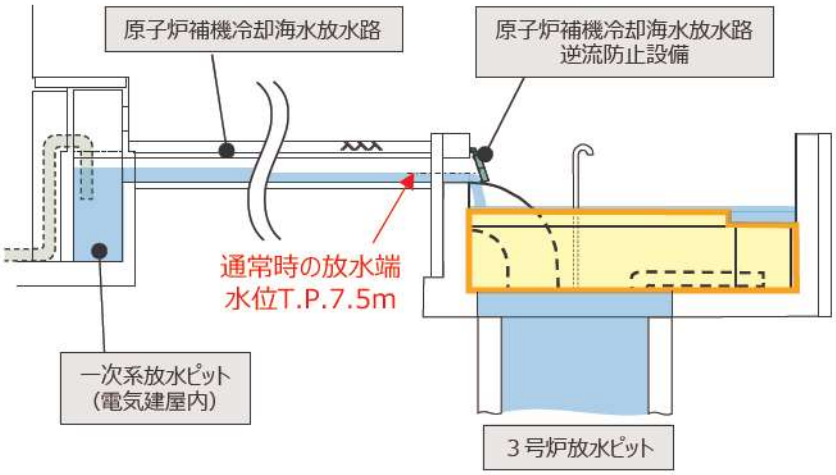
泊３号炉放水路を遡上する津波に対し，図 2-3 のフローに示したとおり，外郭防護１（津波の敷地への流入防止）の観点で，３号炉放水ピットに流路縮小工を設置することにより，３号炉放水ピット上端開口部から敷地へ流入しない方針としている。放水ピットは原子炉補機冷却海水系等からの排水を放水ピットへ放水するための放水路（原子炉補機冷却海水放水路）が接続しており，この経路からの津波の流入を防止するため，３号炉原子炉補機冷却海水放水路が接続される３号炉放水ピット内側壁面に原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備（以下，参考資料１にて逆流防止設備という。）を設置する方針である。

泊３号炉の耐津波設計としては，上述の対策を行うことにより津波防護を達成できるものの，泊３号炉全体の成立性を考えると，３号炉放水ピット流路縮小工上部の水位の上昇により逆流防止設備が動作した場合，放水ピットへ放水できなくなった原子炉補機冷却海水系の排水により原子炉補機冷却海水放水路及びその上流の一次系放水ピットの水位が上昇することから，３号炉放水ピット上部開口部から敷地へ溢水する可能性や水位が上昇したことによる原子炉補機冷却海水系へ影響を確認する必要がある。本内容については，参考図１に示す通り，耐津波設計として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を行った上で，３号炉放水ピットの入力津波高さを評価し，溢水等の評価及び必要に応じて対策を講じる方針としている。

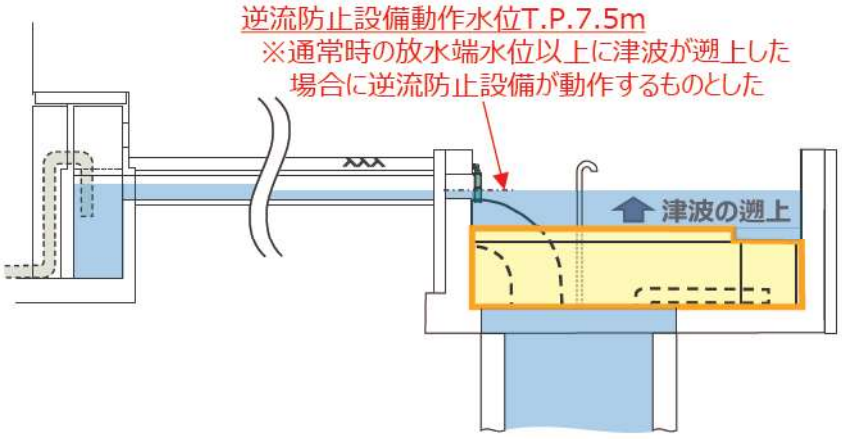


※作動高さについては参考図２を参照。

参考図１　逆流防止設備動作後の一次系放水ピット上部開口部からの溢水と対策



通常時の水位



津波来襲時

※逆流防止設備は，放水ピット側の水位が原子炉補機冷却海水放水路の通常時水位と同等になった際に動作し閉となる。なお，閉動作後，原子炉補機冷却海水放水路内に放水された系統水により放水路内の水位が高くなり，放水ピット水位よりも高くなった場合，逆流防止設備が開き放水ピットとの水位差により放水されるが，一次系放水ピット上部開口部からの溢水量算出の観点では，逆流防止設備が開となることを見込まない方が保守的であるため，放水路の水位によらず，放水ピット水位が T.P.7.5m を超えた場合に逆流防止設備は閉状態が維持されるものとした。

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

スリーブ長さによる損失係数の影響について

1. 一次元解析における１号及び２号炉取水路流路縮小工の損失係数の設定方法

１号及び２号炉取水路流路縮小工うち形状変化点には，電力土木技術協会（1995）により，形状損失（急縮損失，急拡損失）を設定している。

参考表１　１号及び２号炉取水路流路縮小工の損失係数

	算出式		設定値
急拡損失	$h_{se}=f_{se}\frac{{V_1}^2}{2g}$ $f_{se}=(1-\frac{A_1}{A_2})^2$	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(m²) A_2：急拡後の管断面積(m²)	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)

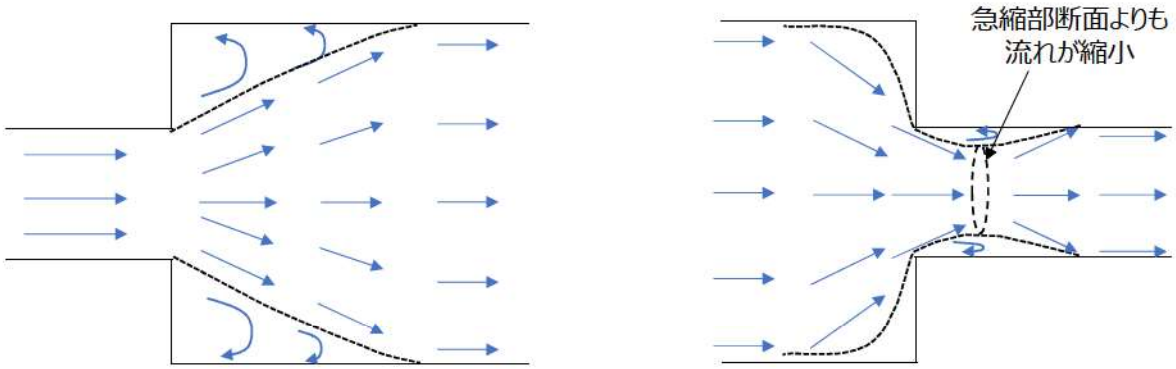
2. 損失係数算出式の適用条件について

一次元解析における急拡による損失係数の算出式は，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。

また，急縮による損失係数の算出式についても，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することによる損失水頭はほとんどなく，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。

１号及び２号炉取水路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と比較することで，その影響について考察する。



急拡部の流れのイメージ　　急縮部の流れのイメージ

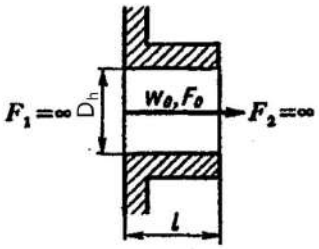
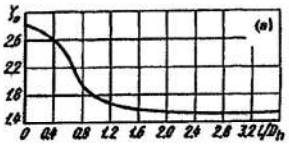
参考図１　急拡・急縮部の流れのイメージ

3. 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（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ζ=2.85），長くなるほど一定値（ζ=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/Dh=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/Dh=1.35）では，スリーブ長さによる影響は小さく，損失係数はζ=1.63 となる。

急縮･急拡による損失係数の合計値（1.426）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。

Orifice edges	Configuration	Resistance coefficient
Thick-walled (deep orifice) ℓ/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	$Re \geq 10^4$ $\zeta=\zeta_0+\lambda(l/D_h)$, where $\zeta_0=f(\bar{l})$ or $\zeta=1.5+(2.4-\bar{l})\times 10^{-\varphi(\bar{l})}+\lambda l/D_h$, $\varphi(\bar{l})=0.25+0.535\bar{l}^8/(0.05+\bar{l}^7)$, for λ, see Chapter 2.  $\bar{l}\equiv l/D_h$ 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

フルード相似則より求めた模型流量の導出について

１号及び２号炉取水路並びに３号炉放水ピットに設置する流路縮小工については，水理模型実験を用いて損失水頭評価の検証を行う。

水理模型実験を行う場合の模型流量の導出過程を以下に示す。

実機と模型のフルード数が同一となるように流量を設定すると，模型の流量は以下の式で求められる。（Fr：フルード数，U：特性速度，L：実機の開口径，g：重力加速度，Qm:模型の流量，Qp：実機の流量）

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{Lg}} \quad U = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}L^2} = \frac{4Q}{\pi L^2} \quad \text{より} \quad Fr = \frac{\frac{4Q}{\pi L^2}}{\sqrt{Lg}} = \frac{4Q}{\pi\sqrt{L^5 g}}$$

縮尺スケールを 1/λとした場合，模型のフルード数 Fr(模型)及び実機のフルード数 Fr(実機)は以下となる。

$$Fr(\text{模型}) = \frac{4Q_m}{\pi\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}L\right)^5 g}} = \frac{4Q_m \times \lambda^{\frac{5}{2}}}{\pi\sqrt{L^5 g}} \qquad Fr(\text{実機}) = \frac{4Q_p}{\pi\sqrt{L^5 g}}$$

ここで，実機と模型のフルード数が同一となるように流量を設定することから，以下の式が成り立つ。

$$\frac{4Q_m \times \lambda^{\frac{5}{2}}}{\pi\sqrt{L^5 g}} = \frac{4Q_p}{\pi\sqrt{L^5 g}}$$

$$Q_m = Q_p \div \lambda^{\frac{5}{2}}$$

【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）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.,