

電源開発株式会社
大間原子力発電所

津波の検討

—津波来襲時の補機冷却系ピットの水位変動—

平成17年1月
原子力発電安全審査課

目 次

1. 検討目的	1
2. 検討条件	2
3. 数値シミュレーションの手法	4
4. 計算結果	6
5. 評価	7
6. 参考文献	8

1. 検討目的

津波来襲時の補機冷却系ピット内の水位変動について検討し、原子炉補機冷却海水ポンプの取水が確保されることを確認する。

2. 検討条件

申請者は、発電所の通常運転中に津波が来襲した場合の、各取水ピット室内の水位変動について検討している。取水路、取水ピット室等の取水設備の概要、ポンプの運転条件、並びに検討対象津波について、以下のとおりとしている。

(1) 取水設備の概要

取水路、取水ピット等の取水設備概要図を図-1 に示す。主取水路はA系、B系及びC系と3つに分かれており、各々の主取水路から取水された冷却水は循環水ポンプ（以下「CWP」という。）から復水器へ送水される。

補機冷却系取水路は主取水路から分岐し、補機冷却水は原子炉補機冷却海水ポンプ（以下「RSWP」という。）及びタービン補機冷却海水ポンプ（以下「TSWP」という。）から、それぞれ熱交換器へ送水される。

また、各海水ポンプの設置標高及び取水可能最低水位を図-2 に示す。各海水ポンプの取水可能最低水位は、CWP が T.P. -3.1m, RSWP が T.P. -5.7m, TSWP が T.P. -4.3m であるとしている。

(2) 海水ポンプの運転条件

通常運転時には、CWP が 3 台、RSWP が 3 台、TSWP が 2 台で稼動し、約 $91\text{m}^3/\text{s}$ の冷却水を取水するとしている。津波来襲時に CWP ピット水位が T.P. -3.0m を下回る場合には CWP を停止し、RSWP が 3 台、TSWP が 2 台稼動する計画であるとしている。

(3) 検討対象津波

本検討の対象とする津波は、大間原子力発電所の意見聴取会資料

「津波の検討」(04-大間設C-47)で最大水位下降量を与える津波とされている,土木学会(2002)⁽¹⁾に基づきチリ沖に波源を設定した津波(以下「チリ沖の想定津波」という。04-大間設C-47の図-34を参照。)を選定している。

また,チリ沖の想定津波は遠地津波であり周期が140~150分程度と長く水位変動が緩やかであるため,周期が20分程度以下と短く水位変動が急な近地津波についても検討対象としている。日本海東縁部及び日本海溝沿いで発生する近地津波のうち,水位下降量が最大となるのは土木学会(2002)⁽¹⁾に基づき日本海東縁部に波源を設定した津波(以下「日本海東縁部の想定津波」という。)であることから,本検討対象として選定している(04-大間設C-47の図-31を参照。)

チリ沖の想定津波の取水口スクリーン前面の波形を図-3に,同様に日本海東縁部沖の想定津波の波形を図-4に示す。

3. 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションは、取水口スクリーン室から CWP ピット室までの主水路と、補機冷却系水路分岐部から TSWP 及び RSWP ピット室までの補機冷却系水路とに分けて検討している。

主水路における数値シミュレーションの計算条件を表-1 に、補機冷却系水路における計算条件を表-2 に示す。

主水路内では、津波による水位変動により開水路状態と満管状態が現れるためスロットモデル⁽²⁾⁽³⁾による計算を行っている。また、補機冷却系水路では、常に満管状態であるため、土木学会(1999)⁽⁴⁾によるサージング計算を行っている。

数値シミュレーションの計算条件の設定は、以下のとおりとしている。

発電所の運転開始後（経年時）は通常のケースでは水路内に貝の付着（以下「^{かいしろ}貝代」という。）が認められることから、貝代を考慮しモデル化を行っている。実際には、貝が付着しないように水路内の頂版及び側壁に防汚塗料を塗布する計画であるが、モデル化の際には、保守側の計算結果が得られるように防汚塗料の効果を考慮せず、電力土木技術協会編(1995)⁽⁵⁾による既設発電所水路を対象とした設計条件の調査結果を参考として、水路内の全周に0.1mの貝代を考慮し通水断面を低減させている。

摩擦による水路の損失は、粗度係数を設定することにより考慮している。水路内の粗度係数 n は、電力土木技術協会編(1995)⁽⁵⁾による、普通コンクリート貝類付着水路を参照し、補機冷却系海水ピット室の水位が低下する傾向となるよう、上限値を採用したとしている。

次に、取水口スクリーンによる損失については、機器の設計条件に基づき、スクリーンの前後で0.5mの水頭差を考慮したとしている。

また、取水路内の局所損失については、一般的な構造である流入、急拡・急縮、漸拡・漸縮、曲がり、屈折、流出等は、電力土木技術協会編(1995)⁽⁵⁾、土木学会(1999)⁽⁴⁾及び千秋(1997)⁽⁶⁾を参照して損失係数を設定したとしている。さらに、主取水路から補機冷却系水路への各分岐部（A系、B系、C系）の損失については、水理模型実験結果に基づき損失係数を設定したとしている。ただし、津波による水位低下時に補機冷却系水路から主取水路へ水が逆流する場合には、補機冷却系海水ポンプ取水ピット等の水位が低下する傾向となるよう、各分岐部の損失係数を0として設定している。

なお、津波来襲時の潮位条件は、朔望平均干潮位を用いている。

4. 計算結果

チリ沖の想定津波及び日本海東縁部の想定津波を対象とした RSWP 各ピット室の最低水位を図-5 に示す。また、チリ沖の想定津波の検討における RSWP ピット室の水位低下量が最大となるケースの水位変動を図-6 に、同様に日本海東縁部の想定津波の水位変動を図-7 に示す。

以上の検討の結果、RSWP ピット室の最低水位はチリ沖の想定津波のケースで発生し、B系水路の RSWP (B,E) において T.P. -4.2m 程度であるとしている。一方、RSWP の取水可能最低水位は T.P. -5.7m であることから、津波により水位が低下した場合でも、RSWP の取水は可能であると評価している。

さらに、図-2 に示すように、RSWP 等の各取水ポンプは建屋内に設置されており、各取水ピット上の海水ポンプが貫通するこれらの床には、水圧に十分耐えることのできるようにシール等を施し、建屋内への海水の漏出を防止する設計とするとしている。

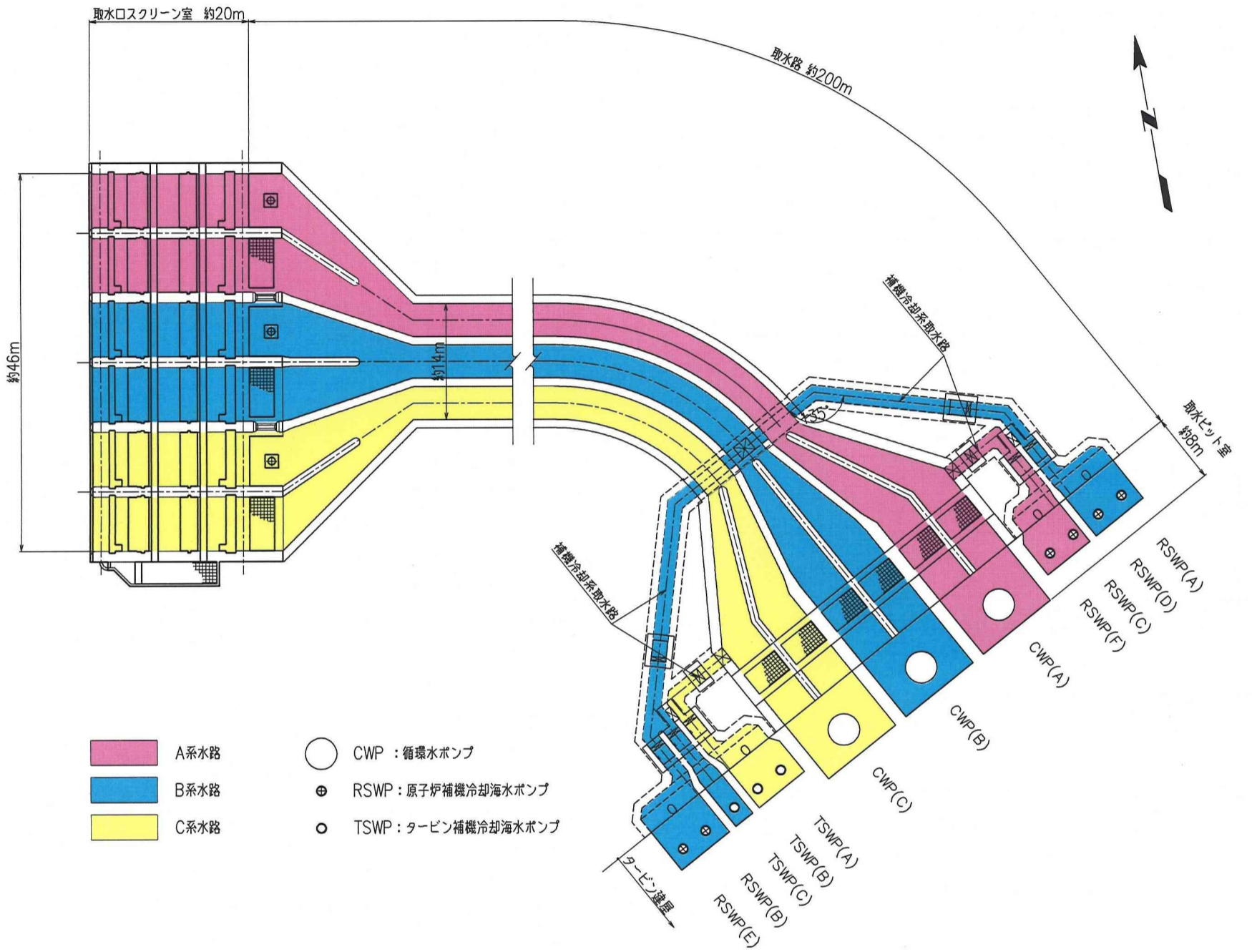
5. 評価

以上のことから、申請者が実施した津波来襲時の RSWP ピット室の水
位変動の検討結果は、妥当なものと判断した。

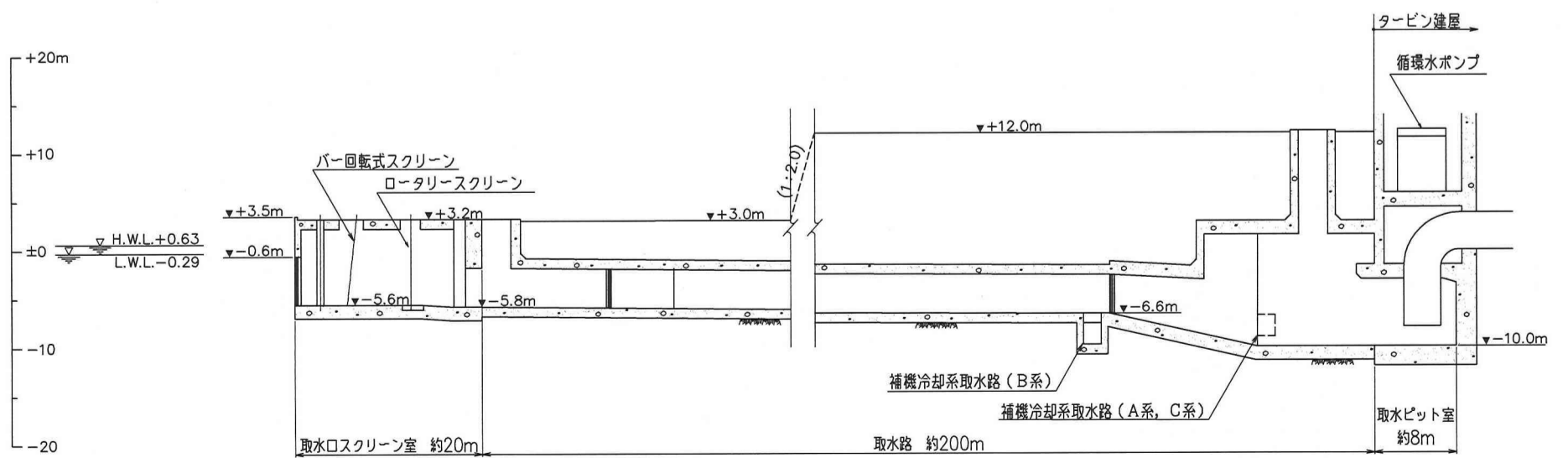
6. 参考文献

- (1) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会(2002)：原子力発電所の津波評価技術, 321p.
- (2) 大谷英夫・酒井雅史・石野和男・荒川茂樹・水向直人(1998)：放水路内の段波による立坑の水位変動現象と段波の抑止方法, 水工学論文集, 第42巻, pp.667-672.
- (3) 大谷英夫・東江隆夫・石野和男(1999)：放水槽を有する放水路の水位変動特性とその計算方法, 水工学論文集, 第43巻, pp.467-472.
- (4) 土木学会(1999)：水理公式集 [平成11年版] , 713p.
- (5) 電力土木技術協会編(1995)：火力・原子力発電所土木構造物の設計 (補強改訂版) , 1102p.
- (6) 千秋信一(1997)：発電水力演習, 学術社, 423p.

平面

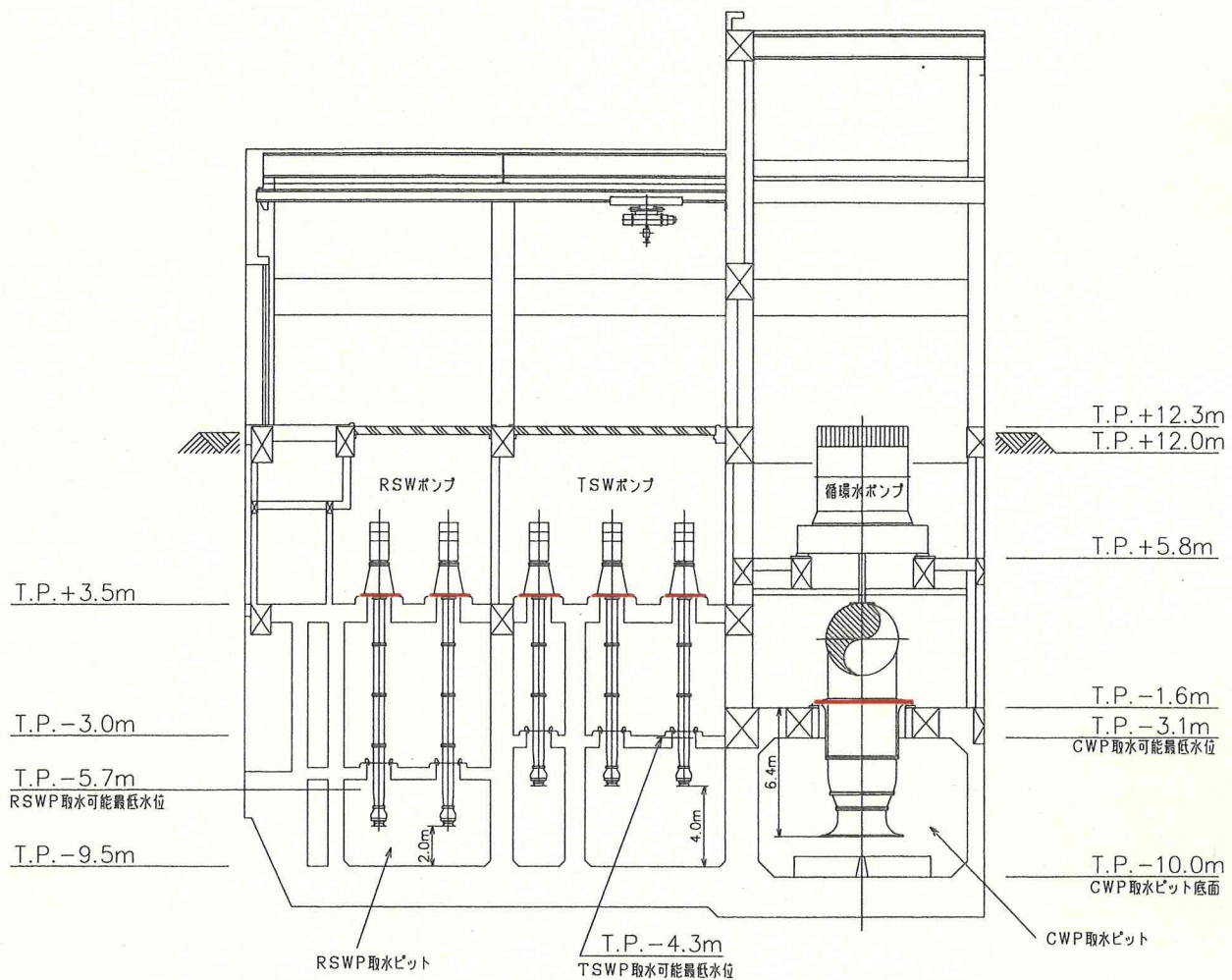


縦断面



※ 潮位及び構造物の標高は、東京湾平均海面 (T.P.) を表す。





■ シール施工
 原子炉補機冷却海水ポンプ (RSWP)
 タービン補機冷却海水ポンプ (TSWP)
 循環水ポンプ (CWP)

図-2 原子炉補機冷却海水ポンプ等の設置標高

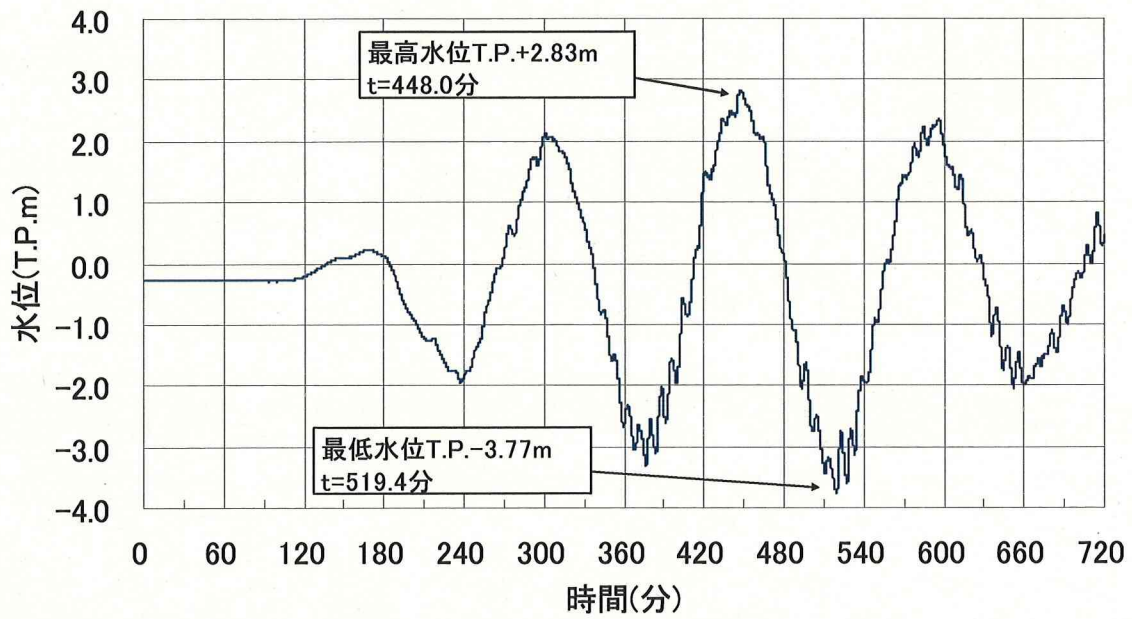


図-3 取水口スクリーン前面における水位 (チリ沖)

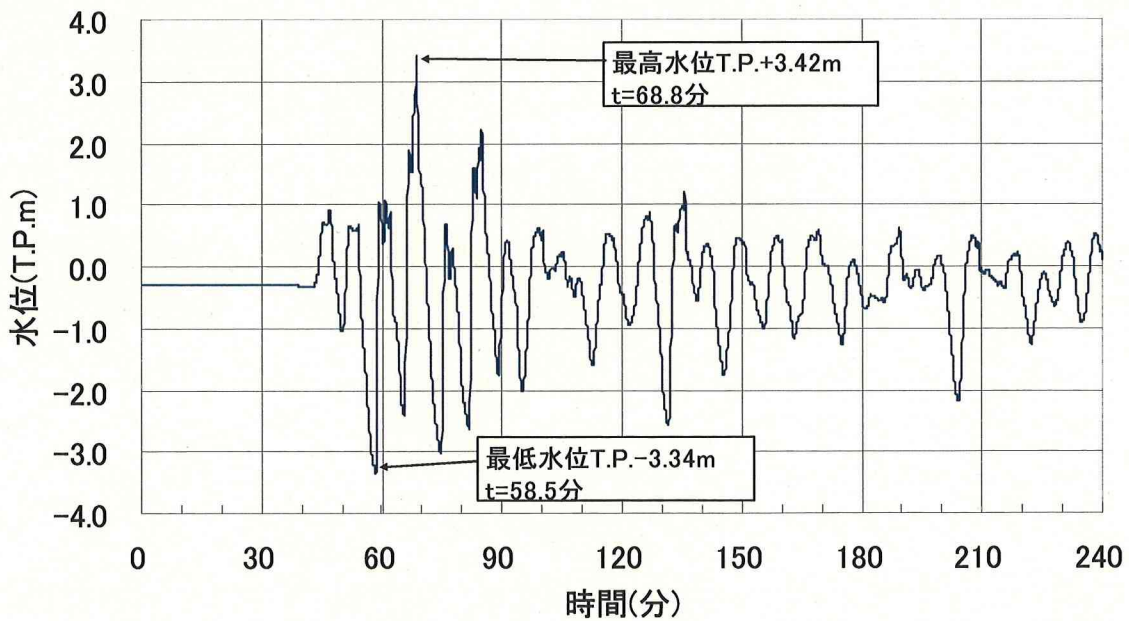


図-4 取水口スクリーン前面における水位 (日本海東縁部)

表-1 主取水路の計算条件一覧

項目 \ 取水路	A系	B系	C系
計算領域	取水口スクリーン室～CWPピット室		
計算格子間隔Δs	0.5m		
計算時間間隔Δt	0.001秒		
基礎方程式	非定常開水路・管路流の連続式及び運動方程式 ⁽²⁾⁽³⁾		
取水口側の境界条件	津波計算結果における取水口スクリーン前面の水位を与えている		
取水ピット側の境界条件※	通常運転時:32.64m ³ /s CWP停止時:0.55m ³ /s	通常運転時:34.05m ³ /s CWP停止時:1.96m ³ /s	通常運転時:33.81m ³ /s CWP停止時:1.72m ³ /s
取水路の摩擦損失係数	マンニングの粗度係数n=0.020(経年時:水路全周に0.1mの貝代を考慮)		
局所損失係数	土木学会(1999) ⁽⁴⁾ 等による		
潮位条件	朔望平均干潮位T.P.-0.29m		
計算時間	日本海側近地津波:地震発生後4時間 遠地津波:沖合波形入射後12時間		

※取水量は定格の110%を採用している。

基礎方程式:非定常開水路・管路流の連続式及び運動方程式⁽²⁾⁽³⁾

・連続式

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

・運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left(\frac{p}{\rho} \right) + \frac{Q^2}{A} \right\} = gA(i - i_f)$$

ただし,

$$p = B \frac{\rho g h^2}{2}$$

$$i_f = \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}}$$

・スロットの幅

$$B_s = \frac{g A_0}{c^2}$$

ここに,

t:時間

A:流積

p:圧力項

g:重力加速度

i_f:摩擦項

h:水深

R:径深

c:粗密波の伝播速度(100m/s)

x:流下方向の座標

Q:流量

ρ:水の密度

i:底勾配

B:水路幅もしくはスロット幅B_s

n:マンニングの粗度係数

A₀:水路断面積

表-2 補機系取水路の計算条件一覧

項目 \ 取水路	A系	B系	C系
計算領域	補機系分岐部～補機系取水ピット		
計算時間間隔Δt	0.001 秒		
基礎方程式	非定常管路流の連続式及び運動方程式		
補機系分岐部の境界条件	補機系分岐部の水位を与えている		
取水ピット側の境界条件※	通常運転時：0.55m ³ /s CWP 停止時：0.55m ³ /s	通常運転時：1.96m ³ /s CWP 停止時：1.96m ³ /s	通常運転時：1.72m ³ /s CWP 停止時：1.72m ³ /s
取水路の摩擦損失係数	マンングの粗度係数 n=0.020 (経年時：水路全周に0.1mの貝代を考慮)		
局所損失係数	土木学会(1999) ⁽⁴⁾ 等による		
潮位条件	朔望平均干潮位 T.P. -0.29m		
計算時間	日本海側近地津波：地震発生後4時間 遠地津波：沖合波形入射後12時間		

※取水量は定格の110%を採用している。

基礎方程式：サージタンクの連続式及び運動方程式⁽⁴⁾

・連続式

$$A_i \frac{dz_i}{dt} = a_i v_i - a_{i+1} v_{i+1} + Q_i$$

・運動方程式

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{z_i - z_{i-1} - c v_i |v_i| - k}{L_i / g}$$

ただし、

$$k = \frac{v_p^2}{2g} = \frac{|a_i v_i - a_{i+1} v_{i+1}| (a_i v_i - a_{i+1} v_{i+1})}{2g (C_d F_p)^2}$$

ここに、

t：時間

z_i：ピット水位

a_i：管路断面積

L_i：管路長

g：重力加速度

v_p：制水口通過流速

C_d：制水口流量係数

A_i：ピット断面積

Q_i：ピットにおける流量

v_i：管路内流速

c_i：摩擦損失係数

k：制水口抵抗

F_p：制水口面積

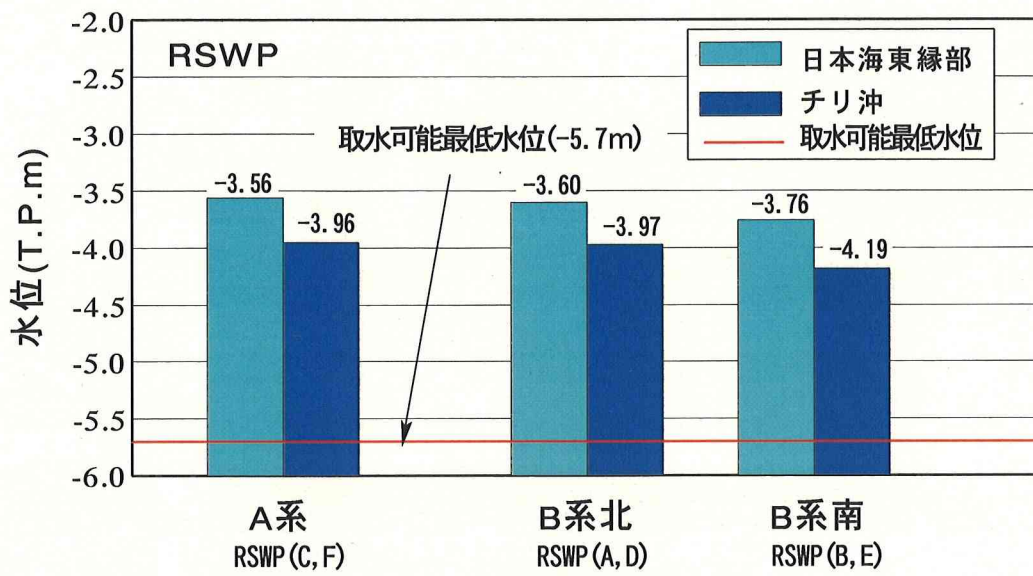


図-5 RSWP ピット室における最低水位

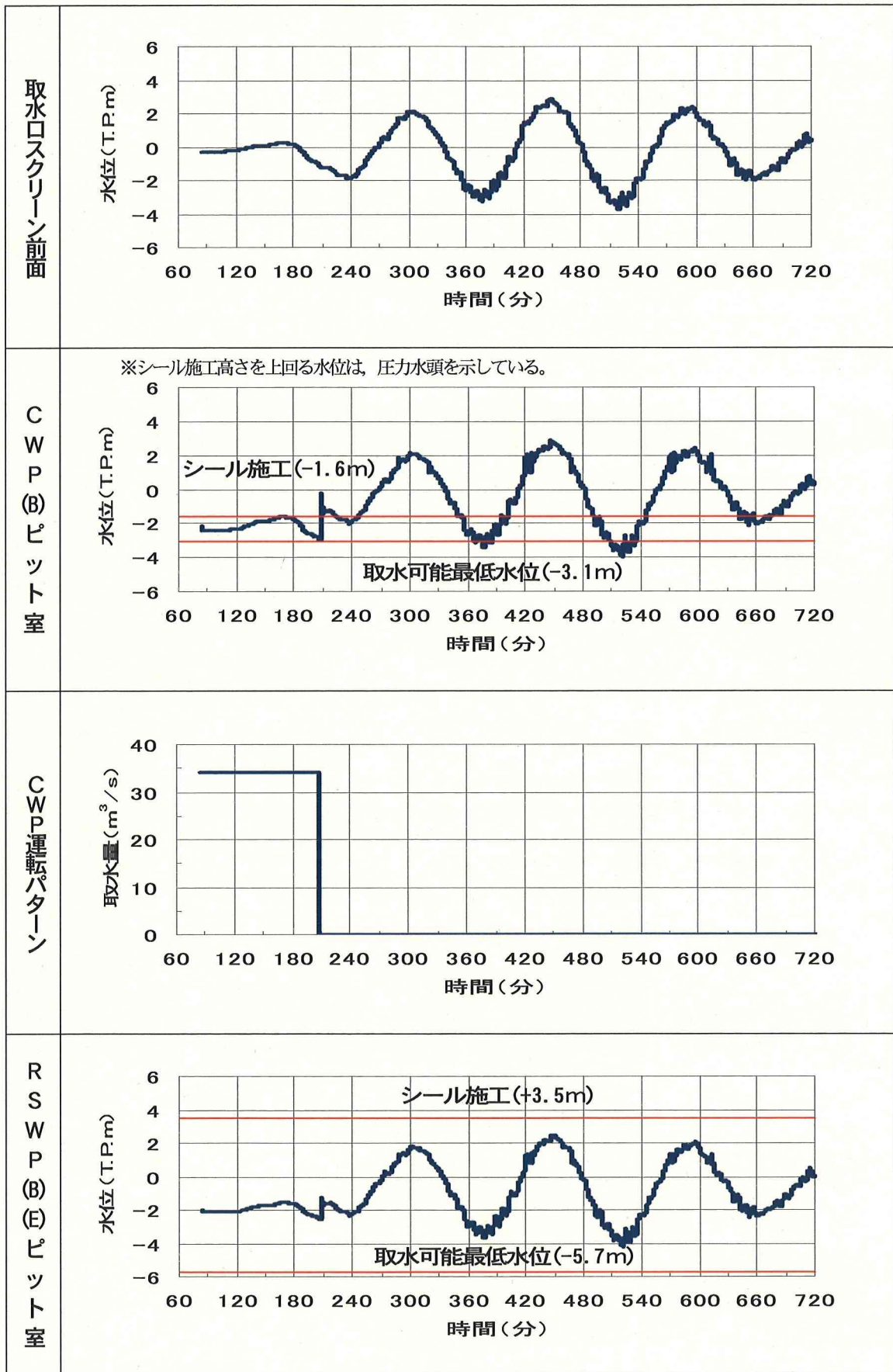


図-6 CWP(B)及びRSWP(B,E)ピット室の水位変動(チリ沖)

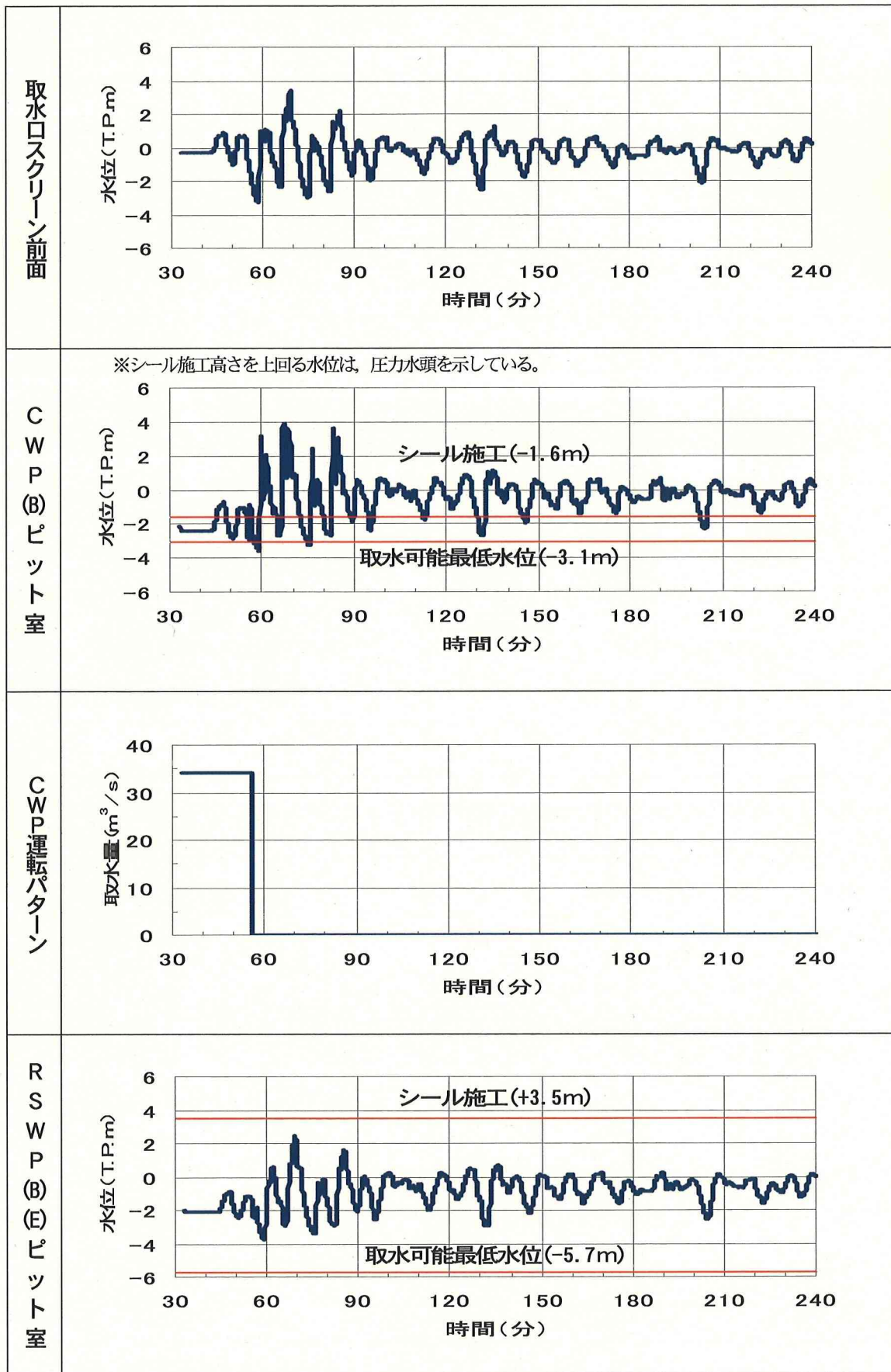


図-7 CWP(B)及びRSWP(B,E)ピット室の水位変動 (日本海東縁部)