

3.2 防波堤港内側補強工法「サブプレオフレーム」の設計例

3.2.1 「サブプレオフレーム」の概要

「サブプレオフレーム」は、コンクリート製のフレーム（本体ブロック）内に中詰め石を投入し、フレームにより拘束された中詰め石と下層のマウンド石がかみ合うことで、津波や波浪に対して非常に大きな抵抗力を発揮できる港内側補強工法である¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。図-4.13に設置イメージ、図-4.14にメカニズムを示す。本工法の効果は、(一社)漁港漁場新技術研究会の水産公共関連民間技術確認審査・評価委員会によって評価されている。また、設計手法については「防波堤の耐津波設計ガイドライン【参考資料V】防波堤の粘り強い構造に資する民間企業等の技術」⁵⁾に示されている。

設計で想定した抵抗力は、「サブプレオフレーム」1基での設置から発揮することができるため、

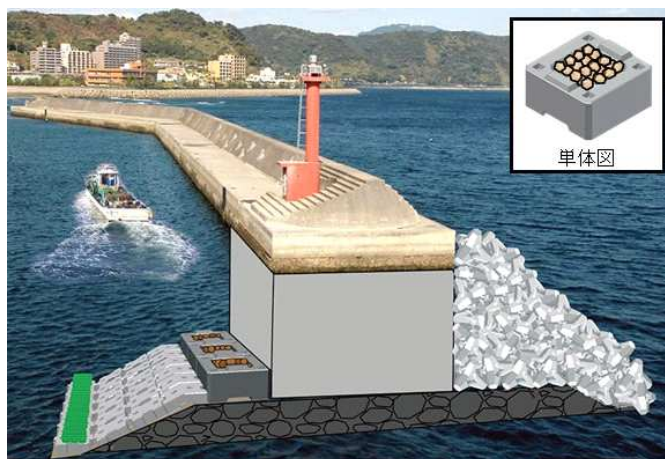


図-4.13 「サブプレオフレーム」の設置イメージ

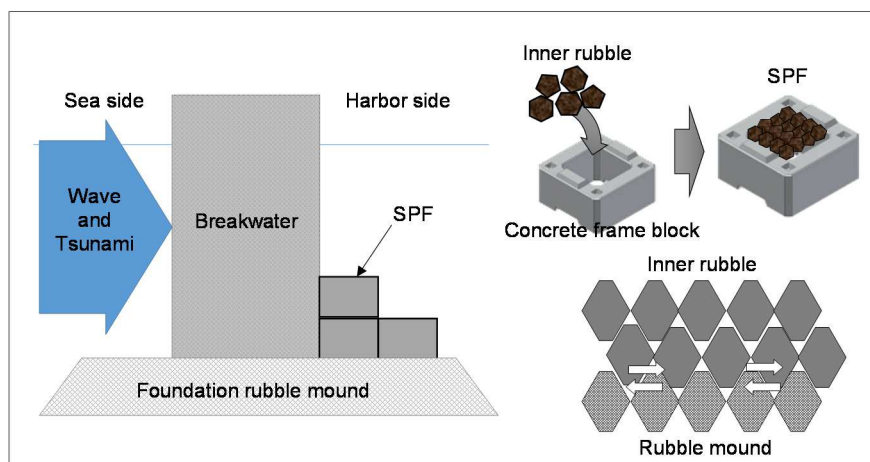


図-4.14 「サブプレオフレーム」のメカニズム

割石による腹付け工法に比べると構造体の高さや幅が短くてすむ事例が多い。このため、必要断面を小さくすることができるのでコスト削減につながる。

3.2.2 設計計算の手順

設計計算は図-4.15によるものとする。図は津波に対する流れになっているが、外力が波浪の場合においても同様の流れで行い、「サブプレオフレーム」を設置することで滑動抵抗力を増し、所定の安全率を満足するように設計する。

安定照査において、「サブプレオフレーム」は以下のように取り扱う。

- ・滑動の照査 ; 滑動抵抗力として耐力に加える。
- ・転倒の照査 ; 考慮しない。
- ・支持力の照査 ; 自重を考慮する（カウンターウェイトとなるため安全側に作用する）。

本設計計算例では、上記を踏まえて滑動に対してのみ安定性照査を実施する。

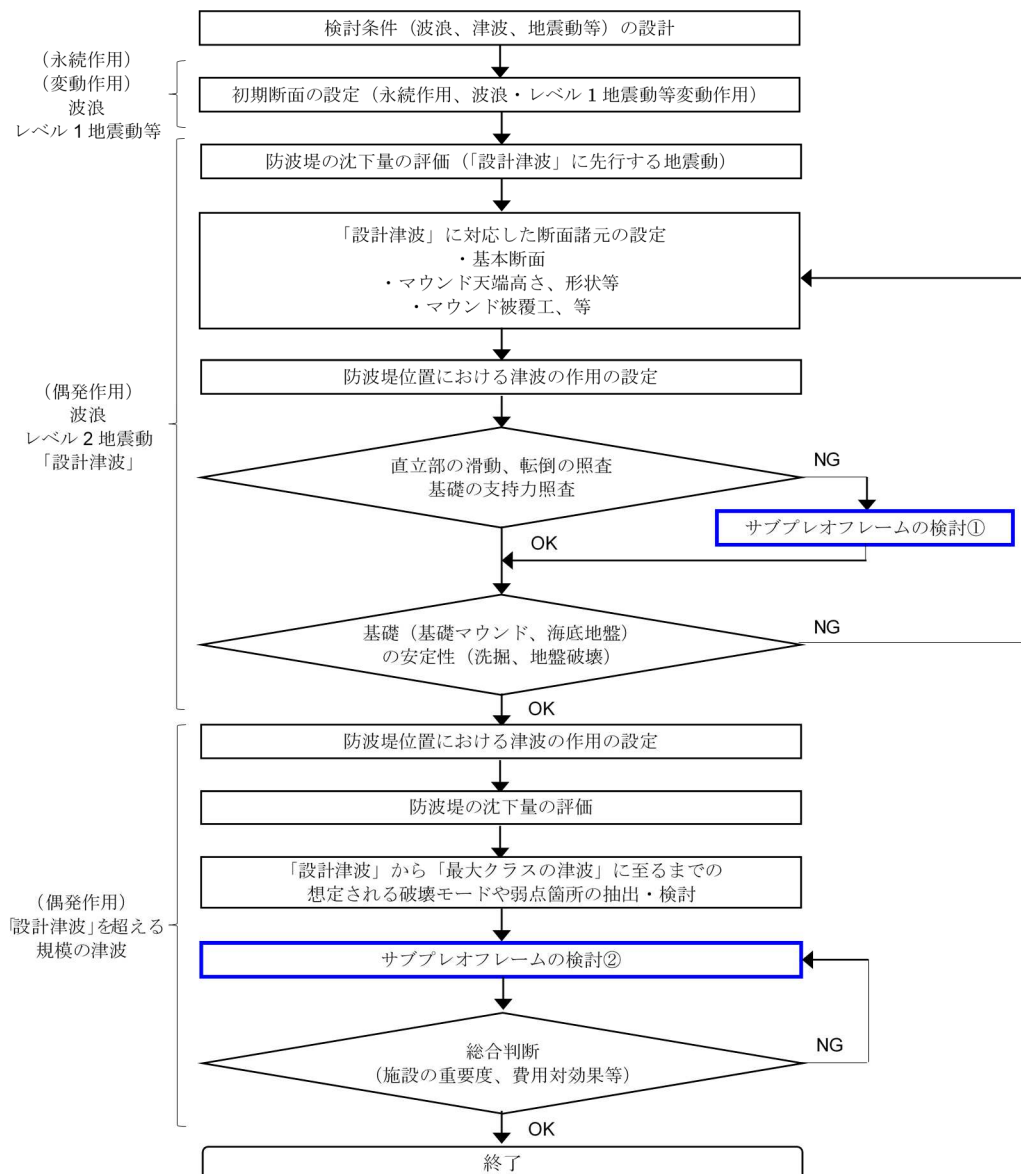


図-4.15 「サブプレオフレーム」の設計フロー

3.2.3 設計条件

設計条件を以下に示す。なお、本検討の外力は津波とする。

防波堤設置位置の地盤高：-13.00m

ケーソンの設置高：-9.00m

ケーソンの天端高：+5.00m

海象条件

設計潮位：H.W.L.+1.50m（ここではH.W.L.の対象とする）

設計津波：港外側水位+6.00m（DL）

港内側水位+0.25m（DL）

図-4.16 に対象とする防波堤断面を示す。

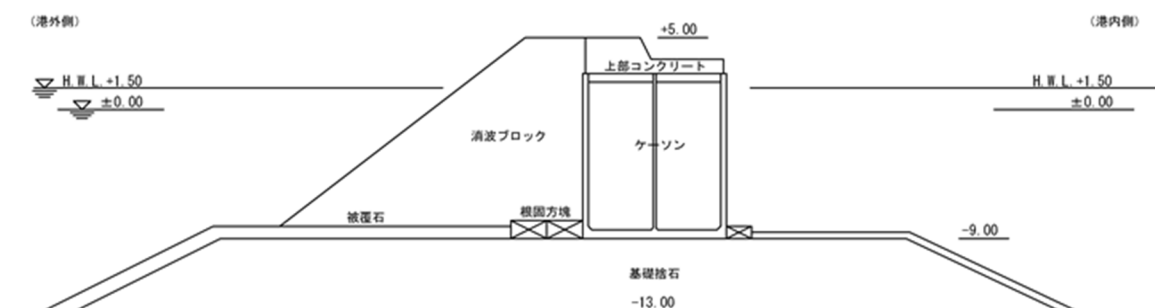


図-4.16 防波堤断面

3.2.4 津波波力の算定

本計算例では、津波が防波堤を越流する条件となっている。よって、「参考図書 p.104 第2編 第5章 5.2 津波の波力 5.2.1 津波波力の算定」を参照に、式 (3-3-5) ～式 (3-3-7) に示す水工研式を用いて津波波力 P_I , P_B , P_U を求める。図-4.17 は水工研式概念図である。

$$p_1 = \rho_0 g (h' + \eta) \times a_1 \quad , \quad p_2 = p_1 (\eta - h_c^*) / (h' + \eta) \quad , \quad h_c^* = \min(\eta, h_c) \quad (3-3-5)$$

$$P_I = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (h' + h_c^*)$$

$$p_3 = \rho_0 g (h' + \eta_B) \times a_B \quad , \quad p_4 = p_3 (\eta_B - h_{cB}^*) / (h' + \eta_B) \quad , \quad h_{cB}^* = \min(\eta_B, h_c) \quad (3-3-6)$$

$$P_B = \frac{1}{2} (p_3 + p_4) (h' + h_{cB}^*)$$

$$P_U = (p_1 + p_2) B - p_3 (p_2 + p_4) B \quad (3-3-7)$$

ここに、

η : 静水面上の前面の津波高さ (m)	$\eta = 4.50$
η_B : 静水面上の背面の津波高さ (m)	$\eta_B = -1.25$
h' : 堤体の前面における水深 (m)	$h' = 10.50$
$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m ³)	$\rho_0 g = 10.10$

p_1 : 堤体下端部における前面波圧強度 (kN/m²)
 p_2 : 堤体上端部における前面波圧強度 (kN/m²)
 p_3 : 堤体下端部における背面波圧強度 (kN/m²)
 p_4 : 堤体上端部における背面波圧強度 (kN/m²)
 P_I : 前面波力 (kN/m)
 P_B : 背面波力 (kN/m)
 P_U : 揚圧力合力 (kN/m)
 B : 堤体幅 (m)
 h_c : 堤体の静水面上の高さ
 W_{dry} : 堤体の空中重量 (kN)
 α_I : 前面の静水圧補正係数
 α_B : 背面の静水圧補正係数
 である。

$B=10.0$
 $h_c=3.50$
 $W_{dry}=2820.000$
 $\alpha_f=1.1$
 $\alpha_r=0.9$

$$p_1 = 10.10 \times (10.50 + 4.50) \times 1.1 = 166.65 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$p_2 = 166.65 \times \frac{4.50-3.50}{4.50+10.50} = 11.11 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$h_c^* = \min(4.50, 3.50) = 3.50 \quad (\text{m})$$

$$P_I = 0.5 \times (166.65 + 11.11) \times (10.5 + 3.5) = 1244.320 \quad (\text{kN/m})$$

$$p_3 = 10.10 \times (10.50 + (-1.25)) \times 0.9 = 84.08 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$p_4 = 84.08 \times \frac{-1.25-(-1.25)}{10.50+(-1.25)} = 0.00 \quad (\text{kN/m}^2)$$

$$h_{cB}^* = \min(-1.25, 3.50) = -1.250 \quad (\text{m})$$

$$P_B = 0.5 \times (84.08 + 0.00) \times (10.50 - 1.25) = 388.88 \quad (\text{kN/m})$$

$$P_U = 0.5 \times (166.65 + 84.08) \times 10.0 - 0.5 \times (11.11 + 0.00) \times 10.0 = 1198.11 \quad (\text{kN/m})$$

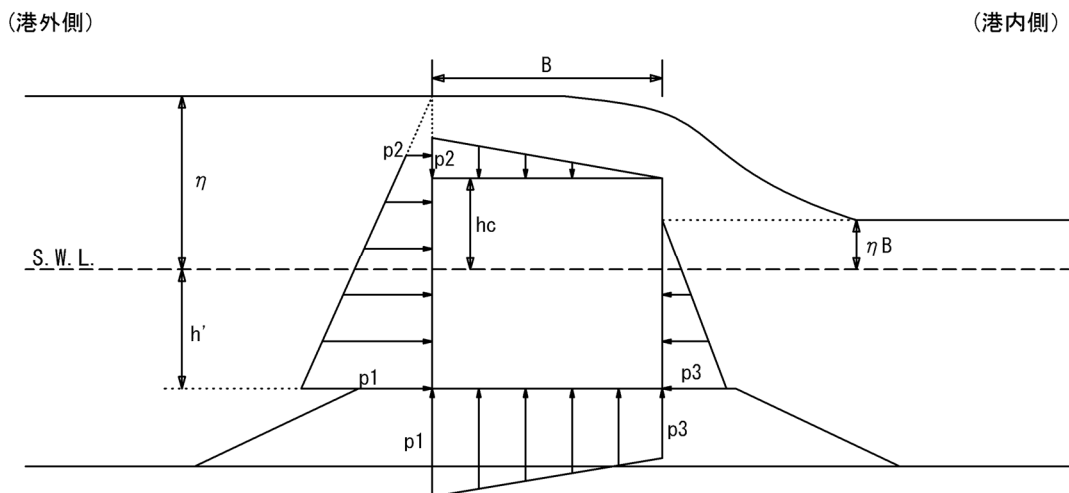


図-4.17 水工研式（越流時）による算定式の概念図

3.2.5 滑動に対する安定性照査

式 (3-3-7) に滑動に対する安定照査式を示す。この式に、求めた津波の水平波力 P_H を代入し、「サブプレオフレーム」が無い状態 ($P_R=0$) での滑動に対して不足する耐力 R_F を求める。

$$f(W_{dry} - P_U) + P_R = \gamma_a(P_I - P_B) \quad (3-3-8)$$

ここに、

f : 堤体底面と基礎との摩擦係数	$f=0.60$
W_{dry} : 堤体の重量 (kN/m)	$W=2820.000$
P_I : 前面波力 (kN/m)	$P_I=1244.32$
P_B : 背面圧力 (kN/m)	$P_B=388.88$
P_U : 揚圧力の合計 (kN/m)	$P_U=1198.11$
γ_a : 構造解析係数	$\gamma_a=1.2$
P_R : サブプレオフレームの滑動抵抗力	$P_R=0.00$

$$R_F = \gamma_a(P_I - P_B) - [f(W_{dry} - P_U) + P_R]$$

$$= 1.2 \times (1244.32 - 388.88) - [0.60 \times (2820.00 - 1198.13) + 0] = 53.394 \text{ (kN/m)}$$

この不足耐力を満たすように、「サブプレオフレーム」の数量 n を決定する。

本体フレーム+中詰め石の水中重量に設計摩擦係数 0.75 を乗じて求めと、サブプレオフレーム 20t 型の滑動抵抗力 R_{20t} は 35.8 (kN/m) となる。

$$n > R_F/R_{20t}$$

$$> 53.394/35.800$$

$$n = 2$$

「サブプレオフレーム」を 2 個設置するものとして、式 (3-3-8) を用いて安定性照査を行う。

$$\gamma_a = \frac{f(W - P_U) + P_R}{(P_I - P_B)}$$

$$= \frac{0.60 \times (2820 - 1198.113) + 35.8 \times 2}{(1244.32 - 388.882)} = 1.22 > 1.20$$

以上より、「サブプレオフレーム」を 2 個設置することで、滑動に対して安定性を満足することができる。

図-4.18 に標準断面図を示す。ここでは、港内側の根固方塊を撤去して「サブプレオフレーム」を設置しているが、根固方塊を撤去せず、背後に「サブプレオフレーム」を設置しても良い。

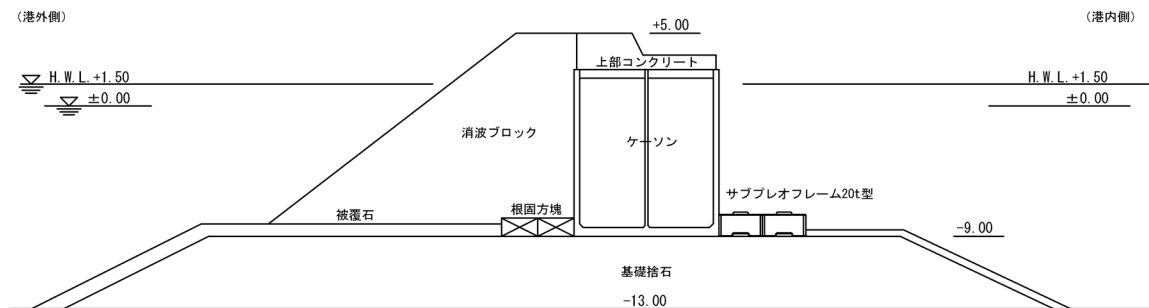


図-4.18 標準断面図

参考文献

- 1) 間瀬 肇, 平石哲也, 川田達也, 行本卓生, 徳永誠之, 松下紘資 : 偶発波浪荷重対策としてのカウンターウェイトブロックの開発, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, pp. I_696- I_700, 2011.
- 2) Hiraishi, T., Mase, H., Kawata, T., Yukimoto, T., Tokunaga, S. and Matsushita, H. : Experimental Study on Counter-weight Blocks for Breakwater Stability, *Proc. of 21st Int. Ocean and Polar Eng. Conf., ISOPE-2011*, Volume 3, pp.1146-1151, 2011.
- 3) Matsushita, H. : Breakwater Reinforcement Method against Large Tsunami, *PIANC Yearbook 2013*, pp.111-130, 2013.
- 4) 松下紘資, 平石哲也, 間瀬 肇, 岸本 治 : 偶発作用に対するカウンターウェイトブロックの性能評価に関する実験的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, pp.I_468-I_473, 2014.
- 5) 港湾局 : 防波堤の耐津波設計ガイドライン, 2015.