

【参考】潜堤付き防波堤の波浪制御機能

第 5 章では藻場造成型漁港施設のいくつかの構造形式を挙げ、漁港施設として行う設計に必要な情報については「漁港・漁場の施設の設計参考図書」の該当箇所を示した。本書で取り上げた藻場造成型漁港施設のなかで、「潜堤付き防波堤」は今般新たに水理模型実験を行い、藻場造成のための設計に必要な施設周辺で生じる流速の算定手法を構築するとともに、漁港施設として設計を行うために必要な機能である波浪制御機能（越波流量、反射波高、伝達波高）を検証した。ここでは、潜堤付き防波堤の波浪制御機能について、施設設計に資する形式で技術情報を示す。

（1）設計上の留意事項

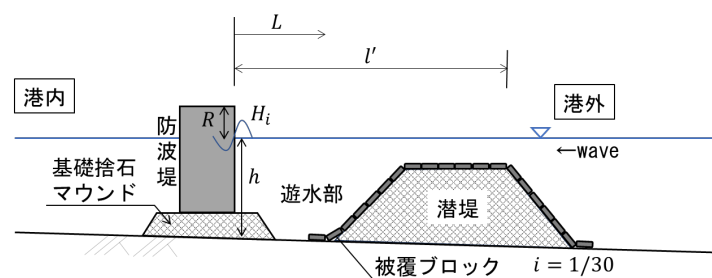
防波堤に作用する波力の増大および衝撃砕波力を避けるための潜堤設置位置については「第 5 章 5.2 (1) i) 設計上の留意点」を参照する。また、本項に示す技術情報は水理模型実験結果に基づいて整理しており、下記に示す実験受験の範囲から外れる場合は適用に留意する。

【実験条件の範囲】

- ① 海底勾配 i : $1/30$ よりも緩い場合 ($1/30$ は含む)
- ② $0.17 \leq l' / L \leq 0.55$
- ③ $0.24 \leq R / H_i \leq 1.55$
- ④ $1.14 \leq h / H_i \leq 11.60$

ここに、

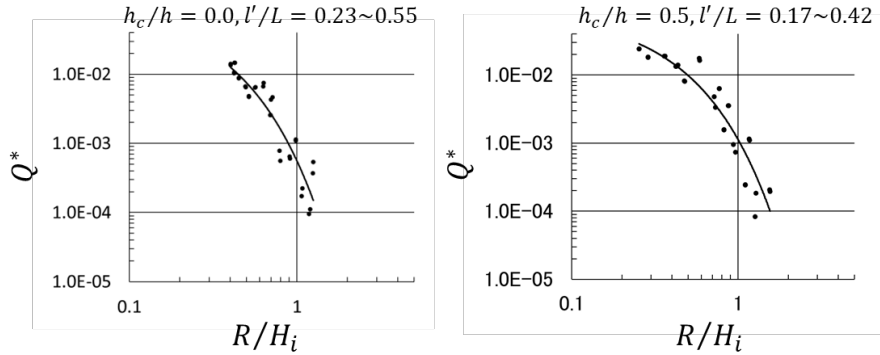
- i : 海底勾配
- l' : 防波堤前面と潜堤天端沖側端までの距離
- L : 防波堤前面位置での進行波の波長
- R : 防波堤天端高
- H_i : 防波堤前面位置での進行波の波高
- h : 防波堤前面水深



参図-1 潜堤付き防波堤の実験範囲を説明するための記号

(2) 越波流量

潜堤付き防波堤の越波流量は参図-2 の算定図、または (式 1、2) の実験式で算定できる。



参図-2 潜堤付き防波堤の越波流量算定図

$[h_c/h = 0.0]$

$$Q^* = 0.1017e^{-5.213(R/H_i)} \quad \text{----- (式 1)}$$

$[h_c/h = 0.5]$

$$Q^* = 0.0861e^{-4.335(R/H_i)} \quad \text{----- (式 2)}$$

ここに、

Q^* : 無次元越波流量 $(= q/\sqrt{2gH_0'}^3)$

q : 単位幅流量

g : 重力加速度

H_0' : 換算沖波波高 (「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版 第 2 編 3.4 換算沖波の算定」参照)

h_c : 潜堤の天端上水深

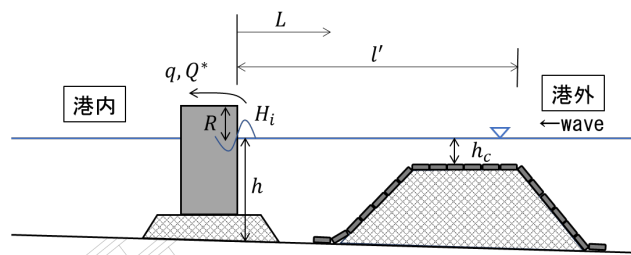
h : 防波堤前面位置水深

l' : 離岸距離 (防波堤前面から潜堤天端沖側端までの距離)

L : 水深 h 地点での波長

R : 防波堤天端高

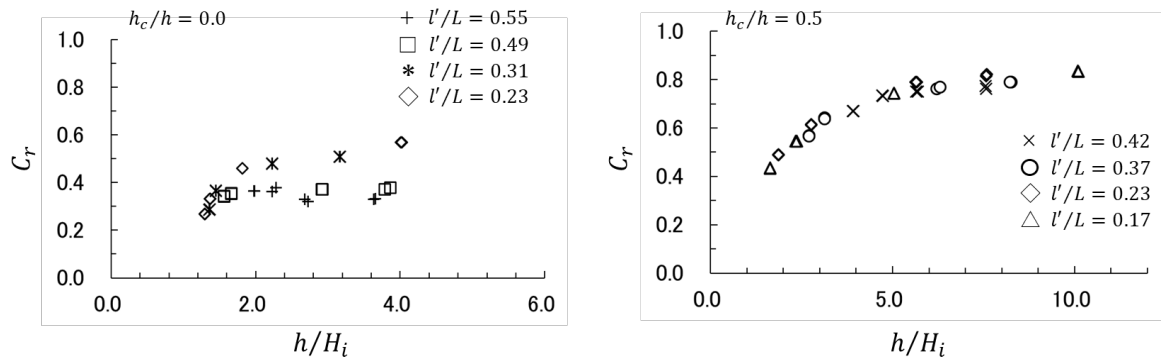
H_i : 防波堤前面位置における進行波としての有義波高



参図-3 越波流量算定に用いる記号

(3) 反射波高

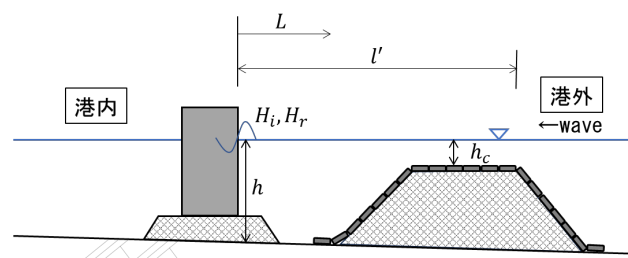
潜堤付き防波堤に入射する波高 H_i と反射する波高 H_r の比率（反射率 $C_r = H_r/H_i$ ）は、参図-4の実験結果から求めることができる。



参図-4 潜堤付き防波堤の反射率

ここに、

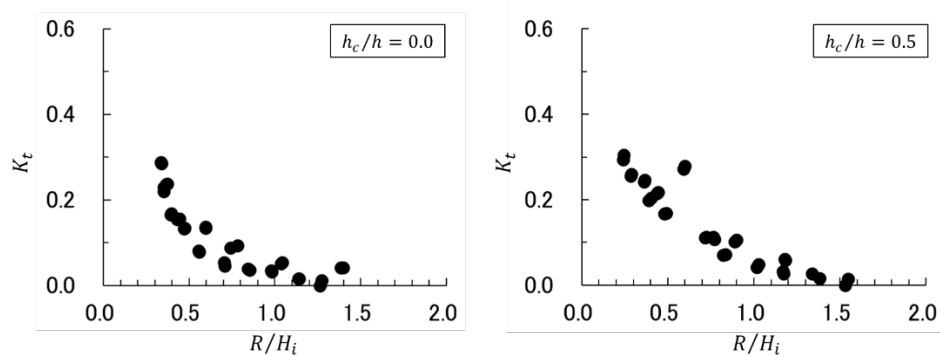
- C_r : 反射率 ($= H_r/H_i$)
- h_c : 潜堤の天端上水深
- h : 防波堤前面位置水深
- l' : 離岸距離 (防波堤前面から潜堤天端沖側端までの距離)
- L : 水深 h 地点での波長
- H_i : 防波堤前面位置における進行波としての有義波高
- H_r : 潜堤付き防波堤から沖側に進む反射波高



参図-5 反射波高の算定に用いる記号

(4) 伝達波高

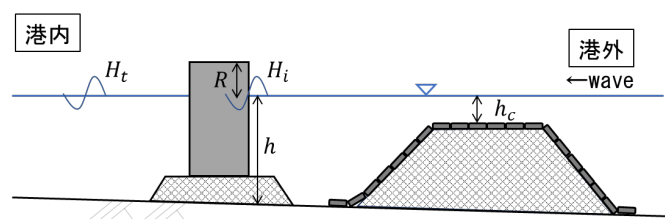
潜堤付き防波堤に入射する波高 H_i と防波堤を越える波高 H_t の比率(反射率 $K_t = H_t/H_i$)は、参図-6 に示す実験結果をもとに算定できる。



参図-6 潜堤付き防波堤の伝達率

ここに、

- K_t : 伝達率 ($= H_t/H_i$)
- h_c : 潜堤の天端上水深
- h : 防波堤前面位置水深
- R : 防波堤天端高
- H_i : 防波堤前面位置における進行波としての有義波高
- H_r : 潜堤付き防波堤から沖側に進む反射波高



参図-7 伝達波高の算定に用いる記号

(5) 波力算定における補正係数

防波堤の前面に潜堤を設置する場合の防波堤に作用する波力は「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版 第 2 編 4.2.1 直立壁に作用する波力」に示される方法（合田式）で算定する。ただし、同手法の中で用いられる補正係数 $\lambda_{1,2,3}$ は構造諸元・波諸元に応じて式（3、4）のように設定する。なお、波力の算定にあたっては潜堤周辺で生じる水位上昇は考慮しないものとする。補正係数の設定にあたっては実海域においては潮位変動があることに留意すること。また、下記の条件に当てはまらない場合は必要に応じて水理模型実験により作用波力を検証することが望ましい。

【 $h_c/h = 0.0$ 】

$$\lambda_1 = \begin{cases} 0.95 & (0.0 \leq h/H_0' \leq 1.4) \\ -0.3(h/H_0') + 1.37 & (1.4 < h/H_0' \leq 2.4) \\ 0.65 & (2.4 < h/H_0') \end{cases}$$

$$\lambda_2 = 0.0$$

$$\lambda_3 = \lambda_1$$

----- (式 3)

【 $h_c/h = 0.5$ 】

$$\lambda_1 = \begin{cases} 1.23 & (0.0 \leq h/H_0' \leq 2.6) \\ -0.15(h/H_0') + 1.62 & (2.6 < h/H_0' \leq 3.8) \\ 1.05 & (3.8 < h/H_0') \end{cases}$$

$$\lambda_2 = 0.0$$

$$\lambda_3 = \lambda_1$$

----- (式 4)

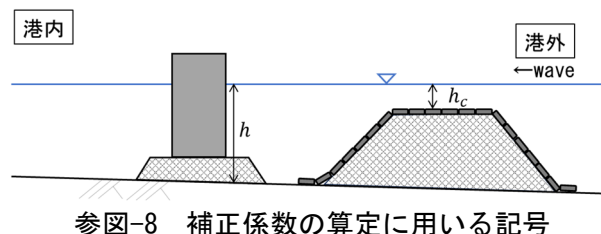
ここに、

$\lambda_{1,2,3}$: 波圧の補正係数

h_c : 潜堤の天端上水深

h : 防波堤前面位置水深

H_0' : 換算沖波波高（「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版 第 2 編 3.4 換算沖波の算定」参照）



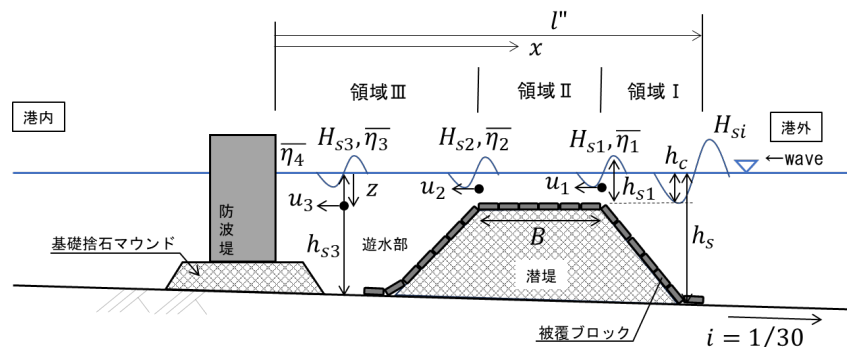
(6) 潜堤周辺の流速の算定

i) 潜堤付き防波堤の潜堤周辺の波高変化

流速の算定に必要な潜堤周辺の波高変化の算定式を（式 5～7）に示す。なお、波高変化は参図-9 の区分で定式化される。

ここに、

- i : 海底勾配
- h_s : 潜堤法先水深
- H_{si} : 潜堤法先位置での進行波の有義波高
- H_{s1} : 領域Ⅰと領域Ⅱの境界上の波高
- H_{s2} : 領域Ⅱと領域Ⅲの境界上の波高
- H_{s3} : 遊水部中央位置の波高
- h_c : 潜堤天端上水深
- B : 潜堤天端幅
- u_1 : 潜堤天端沖側端位置での流速
- u_2 : 潜堤天端岸側端位置での流速
- u_3 : 遊水部中央位置での流速
- $\bar{\eta}_1$: 潜堤天端沖側端位置での水位上昇量
- $\bar{\eta}_2$: 潜堤天端岸側端位置での水位上昇量
- $\bar{\eta}_3$: 遊水部中央位置での水位上昇量
- $\bar{\eta}_4$: 防波堤前面位置での水位上昇量
- h_{s1} : 潜堤天端沖側端位置水深 ($= h_c + \bar{\eta}_1$)
- h_{s3} : 遊水部中央位置水深
- l'' : 防波堤前面から潜堤沖側法先までの距離
- x : 防波堤前面からの距離
- z : 水位上昇分を含んだ静水面位置からの距離



参図-9 潜堤周辺の波高変化の変数区分

$$\text{潜堤天端沖側端での波高} \quad H_{S1} = K_f \cdot H_{Si} \quad \text{-----} \quad (\text{式 5})$$

$$\text{潜堤天端岸側端での波高} \quad H_{S2} = K_b \cdot H_{S1} = K_b \cdot K_f \cdot H_{Si} \quad \text{-----} \quad (\text{式 6})$$

$$\text{遊水部中央位置での波高} \quad H_{S3} = K_e \cdot H_{S2} = K_e \cdot K_b \cdot K_f \cdot H_{Si} \quad \text{-----} \quad (\text{式 7})$$

K_f, K_b, K_e は各区分における波高伝達率を表し、その算定式は（式 8～10）に示す。

- 領域Ⅰにおける波高伝達率 K_f

$$\left. \begin{array}{ll} 1.30 & K_f > 1.30 \\ K_f = 0.179 \times \frac{h_s}{H_{Si}} + 0.537 & 1.30 \geq K_f \geq 0.05 \\ 0.05 & 0.05 > K_f \end{array} \right\} \quad \text{-----} \quad (\text{式 8})$$

- 領域Ⅱにおける波高伝達率 K_b

$$K_b = \left\{ \text{Min} \left(-2.96 \times 10^{-3} \times \frac{h_c}{h_s} + 2.49 \times 10^{-3}, 0.0 \right) \cdot \frac{B}{h_s} + 0.194 \frac{h_c}{h_s} - 8.59 \times 10^{-2} \right\} \cdot \frac{h_s}{H_{Si}} \\ + 0.937 + \frac{-4.21 \times 10^{-2}}{(4.34 \cdot B/h_s - 5.17)} \quad \text{-----} \quad (\text{式 9})$$

- 領域Ⅲにおける波高伝達率 K_e

$$K_e = \text{Max} \left(-0.561 \cdot \frac{h_s}{H_{Si}} + 1.84, 1.15 \right) \quad \text{-----} \quad (\text{式 10})$$

ii) 潜堤付き防波堤の潜堤周辺の水位上昇量

潜堤周辺の水位上昇量は背後の防波堤がない場合の潜堤通過後の水位上昇量 $\overline{\eta}_4$ をもとに実験式により算定する。 $\overline{\eta}_4$ は「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版 第 16 編 8.2.1 波を利用した循環流発生構造物」に記載されている中村らによる運動量保存則に基づく手法で算定できる。なお、同手法では Δh を仮定した繰り返し計算が必要であり、 $h_c = 0.0$ の場合はゼロ割による計算不能を避けるため、 $h_c = 0.001$ 等の微小な値を入力する。また、同手法内で必要となる防波堤がない場合の潜堤通過後の波高 H_t は「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版 第 2 編 3.7.3 伝達波高②傾斜堤（人工リーフを含む）c) 人工リーフ」から求める。このようにして算定した $\overline{\eta}_4$ から（式 11）を用いて潜堤付き防波堤の潜堤周辺の任意地点の水位上昇量 $\overline{\eta}_n$ を求める。

$$\frac{\overline{\eta}_n}{\overline{\eta}_4} = \begin{cases} \cos\left(\frac{\pi x}{2l''}\right)^{0.638} & h_c/h = 0.0 \\ \left(1 - \frac{x}{l''}\right) \left(\cos\left(\frac{2\pi x}{l''}\right) - 1.54 \frac{x}{l''}\right) & h_c/h = 0.5 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \overline{\eta}_4 &= \{\Delta h/H_{Si} + \alpha\} \times H_{Si} \\ \alpha &= -6.0 \times 10^{-3} \cdot \frac{h_c}{h} + 6.0 \times 10^{-2} \end{aligned} \quad \text{----- (式 11)}$$

iii) 潜堤付き防波堤の潜堤周辺の流速の算定

● 潜堤天端上、 $h_c/h = 0.5$ の場合

潜堤天端上で、かつ $h_c/h = 0.5$ の場合は極浅海波の場合の微小振幅波理論による水平水粒子速度の理論式から潜堤天端沖側端または岸側端の底面流速 $u_{1,2}$ が算定できる。

$$u_{1,2} = H_{s1,2} \sqrt{\frac{g}{(h_c + \bar{\eta}_{1,2})}} \quad \text{-----} \quad (\text{式 } 12)$$

ここに、 $H_{s1,2}$: 潜堤天端沖側端または岸側端位置での波高

$\bar{\eta}_{1,2}$: 潜堤天端沖側端または岸側端位置での水位上昇量

● 潜堤天端上、 $h_c/h = 0.0$ の場合

潜堤天端上で、かつ $h_c/h = 0.0$ の場合は本間の越流公式から潜堤天端沖側端と岸側端の底面流速 $u_{1,2}$ が算定できる。

$$u_{1,2} = 2 \times 0.35 \sqrt{2g \left(\frac{H_{s1,2}}{2} + h_c + \bar{\eta}_{1,2} \right)} \quad \text{-----} \quad (\text{式 } 13)$$

ここに、 $H_{s1,2}$: 潜堤天端沖側端または岸側端位置での波高

$\bar{\eta}_{1,2}$: 潜堤天端沖側端または岸側端位置での水位上昇量

● 遊水部の場合

遊水部の場合は浅海波の場合の微小振幅波理論による水平水粒子速度の理論式から遊水部中央の流速 u_3 が算定できる。

$$u'_3 = \frac{\pi H_{s3}}{T_0} \frac{\cosh(2\pi(h_{s3} + \bar{\eta}_3 + z)/L_{t3})}{\sinh(2\pi(h_{s3} + \bar{\eta}_3)/L_{t3})}$$

$$u_3 = 5.0 \times 10^{-3} \times u'_3{}^2 + 0.535 \times u'_3 \quad [hc/h = 0.5]$$

$$u_3 = 8.2 \times 10^{-3} \times u'_3{}^2 + 7.73 \times 10^{-2} \times u'_3 + 3.42 \quad [hc/h = 0.0]$$

----- (式 14)

ここに、 H_{s3} : 遊水部中央位置の波高

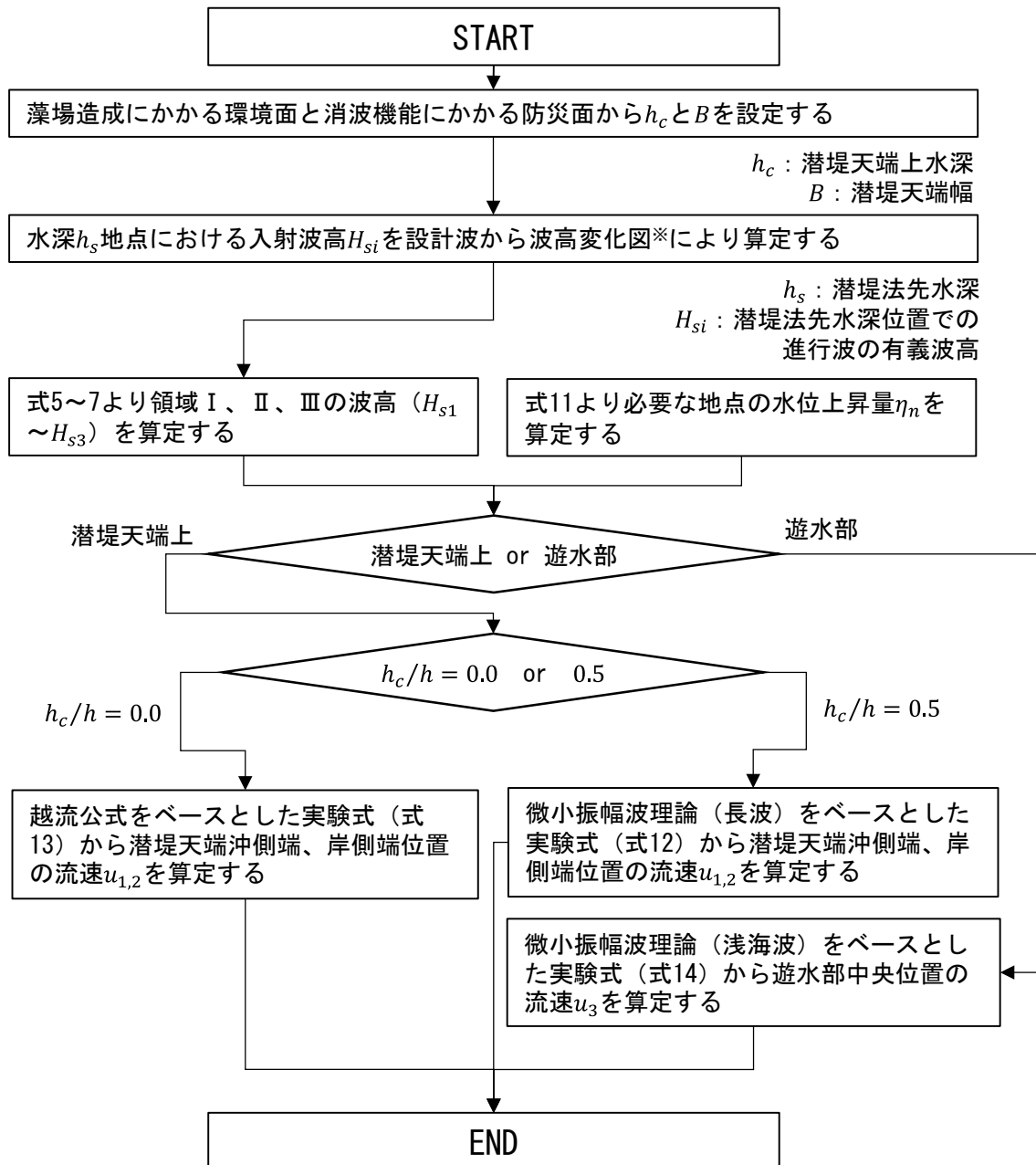
$\bar{\eta}_3$: 遊水部中央位置での水位上昇量

L_{t3} : 遊水部中央位置での波長

z : 水位上昇分を含んだ静水面位置からの距離 [流速を算定する地点の高さ
(水表面=0、底面= $-(h_{s3} + \bar{\eta}_3)$)]

T_0 : 波周期

i) ～ iii) に示した潜堤周辺の流速の算定フローを参図-10 に示す。



※「漁港・漁場の施設の設計参考図書2023年版 第2編3. 5. 2潜水変形(2) 微小振幅波の水深のみによる波高及び波測並びに波長の算定」

参図-10 潜堤周辺流速の算定フロー

【参考文献】

第1章

- 1) 水産庁：漁港施設の有効活用ガイドブック，令和3年8月。
- 2) 秋田谷 肇：北海道北東部の元稲府漁港における藻場調査―二重堤間のリシリコンブ藻場に関する考察―，第22回全国漁港漁場整備技術研究発表会講演集，pp. 19-25, 2024.
- 3) 国立研究開発法人水産研究・教育機構：海草・海藻藻場のCO₂貯留量算定ガイドブック，令和5年11月
- 4) 国土交通省港湾局：生物共生型港湾構造物の整備・維持管理に関するガイドライン，pp. 2-9, 平成26年7月。
- 5) 鈴木 一輝・時田 恵生・山口 圭太：釧路港島防波堤におけるエコポート事業について―整備後10年間における藻場の繁茂状況等に関する一考察―，第59回（平成27年度）北海道開発技術研究発表会，2015.

第2章

- 1) 水産庁：第3版 磯焼け対策ガイドライン，令和3年3月。
- 2) 川俣 茂：北日本沿岸におけるウニおよびアワビの摂食に及ぼす波浪の影響とその評価．水産総合研究センター研究報告，1，pp. 59-107，2001.
- 3) 桑原久実・川井唯史・金田友紀：北海道南西部磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成機構．水産工学，38，pp. 159-165，2001.

第4章

- 1) 島谷 学・中瀬浩太・中山哲厳・太田雅隆・月舘真理雄・星野高士・内山雄介・灘岡和夫：人工リーフ設置による外力場の変化とアマモ分布条件との関係．第48回海岸工学論文集，pp. 1156-1160，2001.
- 2) 水産庁：漁港・漁場の施設の設計参考図書2023年版．pp. 43，2023.
- 3) Jonsson, I. G. : Measurements in the turbulent wave boundary layer, Proc. 10th Congress of IAHR, pp. 85-92, 1963.
- 4) 田中 仁・首藤伸夫：波・流れ共存時の底面摩擦に関する実験．第27回海岸工学論文集，pp. 163-167，1980.
- 5) 田中 仁・Ahmad SANA: 交差する波と流れによる抵抗則の検討．土木学会論文集, No. 533/II-34, pp. 273-277, 1996.
- 6) 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介：アマモ場適地選定手法．第34回海岸工学論文集，pp. 227-231，1987.
- 7) 桑原久実・川井唯史・金田友紀：磯焼け海域の藻場造成礁におけるホソメコンブ群落を維持するために必要な流動条件，水産工学，39，pp. 47-53，2002.

- 8) S.Kawamata: Effect of wave-induced oscillatory flow on grazing by a subtidal sea urchin *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz), J Exp Mar Biol Ecol, 224, pp. 31-48, 1998.

第5章

- 1) 社団法人海洋調査協会：海洋調査技術マニュアル—海洋生物調査編一, pp. 152, 平成 18 年 3 月.
- 2) マリノフォーラム 21:砂泥域における藻場造成に関する実用技術マニュアル. pp. 58-63, 1992.
- 3) 関博・善一章・阿部正美・藤沢孝夫：海水に浸漬したコンクリートのアクに関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 14, 4, pp. 117-132, 1975.
- 4) 綿貫啓：(2) 基質の材質-コンクリートの灰汁による周辺への影響-, (3) 付着基質としてのコンクリートの機能, 藻場の海藻と造成技術 pp. 249-251, 成山堂書店,
- 5) 廣瀬紀一・綿貫啓・川嶋昭二・斎木正道・北尾修二：北海道日本海側磯焼け海域における藻場造成—ウニの食害を排除した藻場造成—, 海洋開発論文集, 第 15 巻, pp. 165-170, 1999.
- 6) 西村博一・中西敬・上月康則・水口祐太・佐藤和博・田保橋建：アミノ酸混和コンクリートを用いた生物多様性向上技術, 平成 23 年度 日本沿岸域学会 第 24 回研究討論会, 2011.
- 7) 寺脇利信：海中林造成技術の基礎的検討第 2 報ガジメ幼体の入植と人工基盤の表面形状. 電力中央研究所研究報告 U88037, 1988.
- 8) 綿貫啓・山本秀一：ツルアラメ幼体の入植に及ぼす基質表面形状の影響. 水産増殖 35 巻 2 号別刷 pp69-75, 1987.
- 9) 安藤亘・山本純道・池上真：海藻の着生に配慮した被覆ブロックの表面処理の効果. 海洋開発論文集 Vol. 14 pp. 53-57, 1998.
- 10) 青田徹・廣瀬紀一・綿貫啓・谷本正和：多孔質コンクリートブロックに付着した生物（その 2）, 平成 8 年度日本水産工学会学術会論文集, pp. 1-2, 1996.
- 11) 北原繁志・佐々木秀郎・竹田義則・鳴海日出人・袖野宏樹・谷野賢二：沿岸構造物における藻場造成手法の開発. 海洋開発論文集 Vol. 14 pp. 59-64, 1998.
- 12) 蓑口百代・小川浩・内山幸之介・大野正夫：大分県別府湾に設置された貝殻混合多孔質の海藻着生基質面付きコンクリート礁における海藻の遷移, 日本応用藻類, 13(2), pp. 171-180, 2020.
- 13) 今野敏徳：海藻群落の構造と遷移. 水産土木 Vol. 15 No. 1 pp. 49-52, 1978.
- 14) 柴田早苗・青田徹・山仲洋紀・山本方人・我原弘昭；長崎県壱岐市大島における磯焼け対策技術の検証（第 2 報）, 日本水産工学会学術講演論文集, pp. 91-94, 2011.

- 15) 漁港漁場新技術研究会：柱状礁(柱状構造) 水産公共関連民間技術の確認審査・評価事業，評価番号第 14-B-002-1 号，2019.
- 16) 水産庁：第 3 版 磯焼け対策ガイドライン，令和 3 年 3 月.
- 17) 静岡県：榛南海域藻場ビジョン，pp. 23，2022.
- 18) 木下淳司・石黒雄一・山本貴一・山本章太郎：人工リーフへのカジメ海中林の造成－平成 5 年から現在までの経過－. 日本水産工学会学術講演会講演論文集 pp. 73-74，2002.
- 19) 水産庁・マリノフォーラム 21：アマモ類の自然再生ガイドライン－豊かな海辺と暮らしの再生のために－，2007.
- 20) 今村均・宝蔵寺保典・石井博・池田省三：アマモ場造成工法の開発（その 4）－移植機会施工法の開発－，五洋建設技術年報，Vol. 27，1997.
- 21) 幡手格一：藻場・海中林. 水産学シリーズNo.38 pp. 93-115，恒星社厚生閣，1981.
- 22) 寺田美香里・伊藤哲文・芳田利春・森 鐘一：播種シートによるアマモ場造成に関する研究（その 3）. 土木学会第 55 回年次学術講演会 CS-1，2000.
- 23) 森田健二・深瀬一之：広島市海域におけるアマモ場造成について. 日本沿岸域会議論文集 vol. 6 pp. 97-102，2000.
- 24) 運輸省港湾局エコポート（海域）技術 WG：港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル. pp. 72-86，（財）港湾空間高度化センター港湾・海域環境研究所，2000.
- 25) 斉藤雄之助：広島県におけるアマモ場造成. 新版・つくる漁業 pp. 705-711，農林統計協会，1976.

第 6 章

- 1) 水産庁：第 3 版 磯焼け対策ガイドライン，令和 3 年 3 月.

第 7 章

- 1) 丸山修治・大橋正臣・梶原瑠美子・三上信雄：漁港施設における藻場創出機能に関する機能診断手法 ～自然環境調和型沿岸構造物の機能保全に向けて～，第 15 回全国漁港漁場整備技術研究発表会，2016.
- 2) 秋田谷肇・木口輝・松本英明：寿都漁港における背後小段の藻場回復効果について－磯焼け対策の効果・検証－，平成 29 年度寒地土木研究所報告，2018.
- 3) 水産庁：第 3 版 磯焼け対策ガイドライン，令和 3 年 3 月.

第 8 章

- 1) 田邊 翔・高橋 博・伊藤 菜美：久遠漁港における藻場機能回復への取り組みについて. 第 66 回(2022 年度) 北海道開発技術研究発表会論文，2022