

第4章 緩傾斜堤（階段工）

4.1 概要

緩傾斜堤は、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波および波浪から防護するとともに、陸域の侵食を防止することに加えて、海岸の利用性などの向上を目的として、表法勾配を 1:3.0 よりも緩くして設置される海岸保全施設である。このうち、特に海浜利用上望ましい場合や親水性の要請などが高い場合には、法面を階段状にする工法が用いられる。図-5.1 に緩傾斜堤（階段工）の模式図を示す。

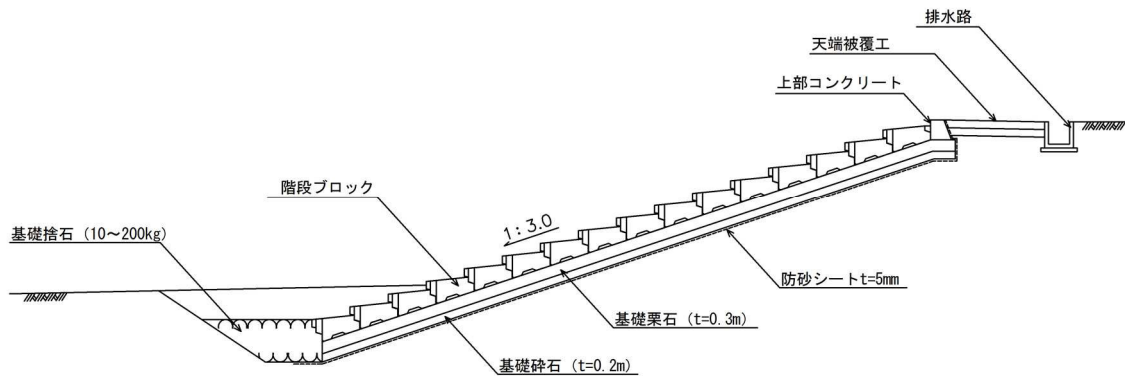


図-5.1 緩傾斜堤（階段工）の模式図

4.2 設計条件の決定

4.2.1 設計潮位

緩傾斜堤の設計に用いる潮位は、「参考図書 p.442 第5編 第3章 3.4 護岸の性能照査 3.5.1 利用性に関する性能照査」に示されるように、既往最高潮位（H.H.W.L.）あるいは朔望平均満潮面（H.W.L.）に既往の最大潮位偏差（実測値又は推算値）を加えたものを用いる。

4.2.2 設計波

設計波の諸元は、「参考図書 p.35 第2編 第3章 3.2 設計に用いる波の決定方針」により定める。異形ブロックなどの安定質量算定に使用する波高は、「参考図書 p.98 第2編 第4章 4.4 波力に対するブロック等の安定質量」を参照する。

4.2.3 海底勾配

設計波などの算定で用いる海底勾配は、 $1.0 \leq h/H_0' \leq 2.5$ の範囲の平均海底勾配を採用することとする。ただし、 $1.0 \leq h/H_0' \leq 2.5$ の範囲で急激に海底勾配が変化する場合は、急勾配の勾配を採用することを基本とする。

4.3 構造諸元の設定

4.3.1 法線

法線は、原則として海岸線に沿って設定し、高潮・波浪などの進入を有効に防止でき、かつ経済性に優れるように設定する。なお、法線計画については、「**漁港海岸手引き p.64 第3章 3-2-2 設計の方針 (2) 配置・法線計画**」を参照。

4.3.2 表法勾配および堤脚水深

表法勾配は、堤体の安全性、水理条件、海浜の利用状況、土質、地形条件などを考慮して定める。前面水深が大きく海浜勾配が急な場合は、堤体の安全性および洗掘に対する配慮が必要である。

緩傾斜堤（階段工）の表法勾配は、1:3 よりも緩い勾配とするとともに、打ち上げ高を低減させるためには、法尻位置をできるだけ陸側として堤脚水深を小さくする必要がある。

4.3.3 天端高

(1) 天端高の考え方

天端高さは、「**参考図書 p.442 3.5.1 利用性に関する性能照査**」に示すように、自然条件や背後の利用状況、要求される機能および構造形式を考慮し、適切な算定式又は水理模型実験により決定することを原則とする。

天端高の算定は以下を標準とする。

天端高 = 設計高潮位 + 設計波に対する必要高 + 余裕高

余裕高は、「**参考図書 p.443 3.5.1 利用性に関する性能照査 (4) 余裕高**」に示すように地盤の沈下傾向や背後の重要度に応じて設定してもよい。

(2) 設計波に対する必要高

設計波に対する必要高さは、「**漁港海岸の手引き p.73 第3章 3-2-5 目的達成性能の照査 (3) 設計波に対する必要高の算定手法について**」に示すように、海岸保全施設の設置位置により算定手法が異なるので注意が必要である。必要高の算定手法の目安としては、次のとおりである。

- ① 設置水深が換算沖波波高 H_0' の1倍程度もしくはこれより深い場合は、越波流量から決定する。
- ② 設置水深が設計高潮位もしくは陸上の場合は、打ち上げ高から決定する。
- ③ 設置水深が換算沖波波高 H_0' の1倍程度以下で設計高潮位より海側の場合には、原則として、打ち上げ高および越波流量の二方法で計算し、両方の結果と既存施設または隣接施設の過去の越波状況などを勘案して決定する。
- ④ 打ち上げ高及び越波流量より所要天端高を決定することが困難な場合には、簡便方により天端高を求め、判断基準としてもよい。

ここで、特に注意しなければならないのは、計算式で求めた数値に固執するのではなく、隣接する構造物との関係、あるいは背後地の条件等を考慮して余裕高を加える等、広い見地から最終的な所要天端高さを決定することである。

4.3.4 表法被覆工

表法被覆工は、「**緩傾斜手引き p.53 第5章 5.2 表のり被覆工**」に示すように波浪による侵食および摩耗ならびに堤体土砂の流失を防止し、波力などの外力に対して安定した構造としなければならない。表法被覆工にブロックなどを用いる場合には、予想される洗掘深を考慮

した海浜地形に対して、ブロックなどの質量の算定を行う必要がある。この際、あまり小さなブロックを用いることは安定性、施工性、海浜の利用面から見て好ましくないため、ブロックの最低質量は2ton程度とする場合が多い。また、ブロックの厚さは、強度や摩耗を考慮して50cm以上とする場合が多い。なお、質量の算定方法は、「参考図書 p.98 第2編 第4章 4.4 波力に対するブロック等の安定質量」を参照とする。

法先においてブロックを水平に設置すると先端ブロックが波を反射し、洗掘を助長するおそれがあるため、同一勾配でブロックを地盤1mまで根入れする(図-5.2)。なお、施工ができない場合は反射波を小さくするため、法先に捨石を設置するなど対処工を施す場合が多い。

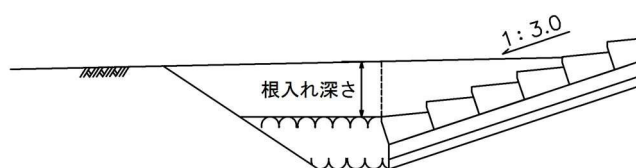


図-5.2 根入れ深さの概念図

4.3.5 裏込め工

裏込め工は、「緩傾斜手引き p.53 第5章 5.3 裏込め工」に示すように現地盤上に栗石・碎石層を敷設することによって、その地耐力・支持力を強化し、表法面からの浸透水や堤体からの浸出水に対するフィルターとしての機能を確保するために設置される。一般的には、上層に栗石を30cm以上、下層に碎石を20cm以上とする場合が多い(図-5.1)。

4.3.6 天端被覆工

天端被覆工は、「漁港海岸手引き p.135 第3章 3-2-6 (6) 水叩工及び天端被覆工」に示すように越波した海水を排水させること、および越波により堤体土砂が流出するなどの堤体破壊から防護することを目的として設置される。その構造は、コンクリート舗装を原則とし、厚さは20cmとし、排水のために2~3%の片勾配をつける場合が多い。天端幅は、波返工などを除き3.0m以上とする場合が多い。これは越波による天端水平面の越流に抗するためにはなるべく広い方が効果的なためである。

4.3.7 基礎工

基礎工は、「漁港海岸手引き p.103 第3章 3-2-6 (1) 基礎工」に示すように上部構造物を支えると同時に、波による急激な法面洗掘に十分に耐え得るように根入れを確保する必要がある。岩盤、砂利、砂、粘土、またはそれらの混合物など、堤体の基礎としての支持力が比較的良好な場所では、一般に地盤上に直接基礎を設けることが可能である。図-5.3に捨石基礎工、図-5.4に岩盤掘削形式の基礎工の例を示す。

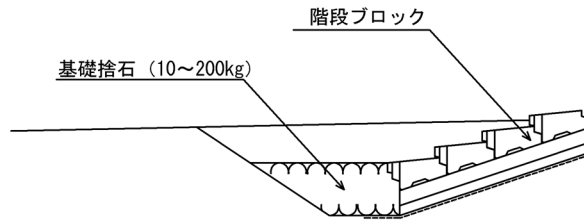


図-5.3 捨石基礎工の例

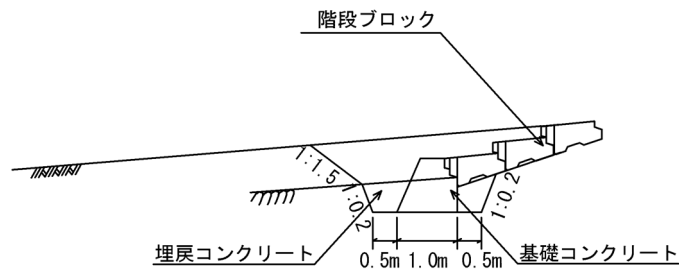


図-5.4 岩盤掘削方式の基礎工例

4.3.8 根固工

根固工は、「[緩傾斜手引き p.60 第5章 5.6 根固工](#)」に示すように適切な深さの根入れが確保できない場合にのみ設置する。根固工の設置方法は、表法被覆工の法先または基礎工前面に接続するものとし、単独で沈下または屈とうできるように、表法被覆工や基礎工と絶縁しなければならない。

4.4 設計計算例

4.4.1 設計例 I

A 漁港海岸では、緩傾斜堤を採用した保全計画が策定されている。ここでは、[図-5.5](#)に示す現況断面を対象に緩傾斜堤の構造諸元および異形ブロックの計算例を示す。

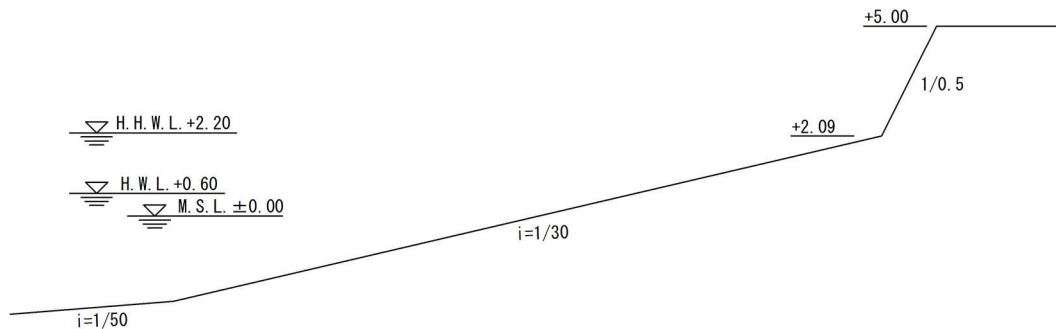


図-5.5 計画平面図

(1) 設計条件

1) 設置条件

- a) 海底勾配：1/30
- b) 地盤条件：砂地盤

2) 海象条件

- a) 潮位：H.H.W.L.+2.20m H.W.L.+0.60m M.S.L.±0.00m
- b) 設計波： $H_o'=4.80\text{m}$ 周期 $T_o'=10\text{sec}$ 波長 $L_o=156.0\text{m}$ (換算沖波)

3) その他条件

本計算例では、背後地に被害が予想される場合の許容越波流量 q として、背後地が「その他重要な地区」の場合である $0.02\text{m}^3/\text{sec}$ で設計する。

(2) 構造諸元の算定

1) 使用ブロック

緩傾斜堤（階段工）に使用する異形ブロックは、図-5.6 に示す A ブロックとする。表-5.1 に A ブロックの性能値を示す。

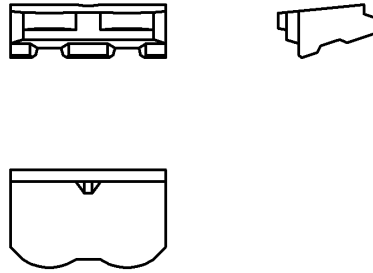


図-5.6 Aブロックの形状図

表-5.1 Aブロックの性能値

項目	値
適用勾配	1:2.0 ~ 1:5.0
K_D 値	7.6
公称トン数（規格）	2トン、3トン

2) 表法勾配

本計算例では、海浜利用者の通行・休憩場所としての機能を考慮した上で、緩傾斜堤を設置することによって覆われる砂浜部分を極力小さくするため、表法勾配は 1:3.0 とする。

3) 天端高

本設計事例では、はじめに打ち上げ高 R の検討を行なう。打ち上げ高 R から設定した天端高から求まる緩傾斜堤の設置水深が、換算沖波波高 H_o' の 1 倍程度以下で設計高潮位より海側の場合には、越波流量に対する検討を実施し、その結果を踏まえて天端高を決定する。

a) 打ち上げ高

波の打ち上げ高は改良仮想勾配法を用いて設計する。以下に改良仮想勾配法の計算手

順を示す。

- ① 設計波に対して碎波水深 h_b を求める。
- ② 打ち上げ高 R を仮定し、 $\cot \alpha$ を求める。
- ③ 設計波の沖波波形勾配 H'_0/L_0 と、法面勾配 $\cot \alpha$ から波の打ち上げ高 R を求める。
- ④ 仮定した打ち上げ高と算定図から求めた打ち上げ高が一致するまで繰返し計算する。

はじめに、波形勾配 H'_0/L_0 と碎波水深の関係から碎波水深 h_b を求める。

$$\begin{aligned}
 H'_0/L_0 &= 4.80/156.0 = 0.031 && (\text{海底勾配 } i=1/30) \\
 h_b/H'_0 &= 1.53 && (\text{波形勾配 } H'_0/L_0 \text{ と碎波水深の関係より}) \\
 h_b &= 1.53 \times 4.80 = 7.34\text{m}
 \end{aligned}$$

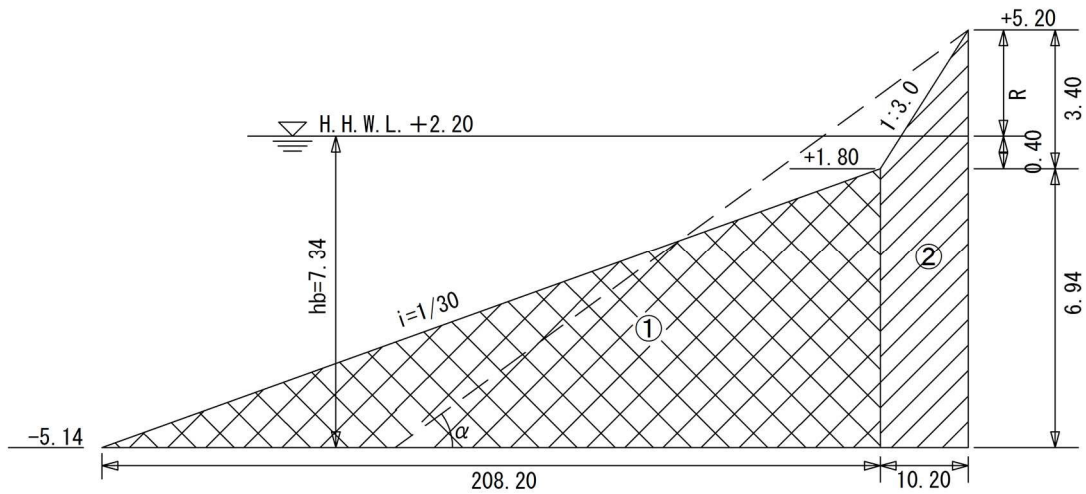


図-5.7 改良仮想勾配法の考え方

次に、打ち上げ高 R を 3.00m と仮定し、 $\cot \alpha$ を求める (図-5.7)。斜線部①と②の面積は以下のとおりとなる。

$$A = \frac{208.20 \times 6.94}{2} + \frac{(6.94 + 6.94 + 3.40) \times 10.2}{2} = 810.582\text{m}^2$$

次に、仮想勾配 $\cot \alpha$ を以下の式で求める。

$$\cot \alpha = 2A/(h_b + R)^2 = 2 \times 810.582 / (7.34 + 3.00)^2 = 15.2$$

求めた値を用いて、「漁港海岸手引き p82 第3章 3-2 護岸・堤防 3-2-5 目的達成性能の照査」に示されている改良仮想勾配法による打ち上げ高算定図より打ち上げ高 R を求めると、 $R/H'_0=0.61$ が求まる。

$$R = 0.61 \times H'_0 = 0.61 \times 4.80 = 2.93\text{m} \doteq 3.00\text{m}$$

仮定した打ち上げ高さと同じのため、本計算例で用いる打ち上げ高 R は 3.00m とな

る。この際、緩傾斜堤の設置水深は+1.80m となり (図-5.7)、換算沖波波高 H'_0 の 1 倍程度以下で設計高潮位より海側となるため、越波流量について検討する。

b) 越波流量

「漁港海岸設計手引き p91 第3章 3-2 護岸・堤防 3-2-5 目的達成性能の照査」に示されている直立護岸の越波流量算定図の 1/30、 $H'_0/L_0=0.036$ のグラフを用いて、越波流量 q を求める。算定に必要な変数を以下に示す。

$$h = \text{H.H.W.L.} - 1.80 = 2.20 - 1.80 = 0.40\text{m}$$

$$h_c = 5.20 - \text{H.H.W.L.} = 5.20 - 2.20 = 3.00\text{m}$$

$$h/H'_0 = 0.40/4.80 = 0.083$$

$$h_c/H'_0 = 3.00/4.80 = 0.625$$

グラフより、

$$\frac{q}{\sqrt{2 \times g \times (H'_0)^3}} = 1.2 \times 10^{-5}$$

$$q = 1.2 \times 10^{-5} \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 4.80^3} = 0.000559\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$$

となる。以上より、本設計例での許容越波流量 $0.02\text{m}^3/\text{m}/\text{sec}$ よりも小さな値となる。

c) 天端高

緩傾斜堤の天端高は、H.H.W.L.に a)で求めた打ち上げ高 R と余裕高として加えた値とする。本設計例では、余裕高として 0.50m を見込むものとする。

$$\begin{aligned} \text{天端高} &= \text{H.H.W.L.} + R + \text{余裕高} = +2.20 + 3.00 + 0.50 \\ &= +5.70\text{m} \end{aligned}$$

4) 異形ブロック質量の算定

ブロック質量を算定するために、堤前の有義波高 $H_{1/3}$ を求める。この際、水深 h は、法尻の洗掘を考慮して、H.H.W.L.から基礎工天端までの深さとする (図-5.8)。

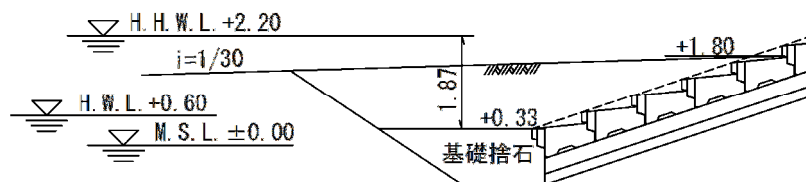


図-5.8 水深の考え方

$$h = 2.20 - 0.33 = 1.87\text{m}$$

$$H'_0/L_0 = 4.80/156.0 = 0.03$$

設定水深が $0.5H_0'$ 以下となるため、「**海岸基準 p2-47 第2章 2.3 波 2.3.5 波力**」により換算沖波波高 H_0' の $1/2$ である $h=2.40\text{m}$ を設定水深とする ($h/H_0'=0.50$)。「**参考図書 p.62 3.5.3 不規則波を考慮した水深のみによる波高の変化 (1) 波高の算定 図 2-3-12 水深による波高変化**」より、堤前の有義波高 $H_{1/3}$ を求める。海底勾配 $1/30$ のグラフより、

$$H_{1/3}/H'_0 = 0.400$$

$$H_{1/3} = 0.400 \times H'_0 = 0.400 \times 4.80 = 1.92\text{m}$$

となる。

「**参考図書 p.97 4.4 波力に対するブロックの安定質量**」に従い、ハドソン式で緩傾斜堤のブロック安定質量を求める。

$$W = \frac{\rho_r H^3}{K_D \cot\theta (\rho_r / \rho_0 - 1)^3} = \frac{2.30 \times 1.92^3}{7.6 \times 3.0 \times \left(\frac{2.30}{1.03} - 1\right)^3} = 0.381 \quad (\text{t})$$

ここに、

W : ブロックの安定質量

H : ブロックなどの法先水深における進行波としての有義波高 $H = 1.92\text{m}$

ρ_r : ブロックなどの密度 $\rho_r = 2.30 \text{ t/m}^3$

ρ_0 : 海水の密度 $\rho_0 = 1.03 \text{ t/m}^3$

θ : 法面と水平がなす角度 $\cot\theta = 3.0$

K_D : ブロックの安定数 $K_D = 7.6$

となり、公称 2ton 型 (実質量 = 2.27t) で安定である。

5) 裏込め工

表法面上に波が遡上した場合に堤体土砂の吸出しが発生しないように、裏込め厚さは 0.5m (栗石 $t=0.30\text{m}$ 、クラッシュラン $t=0.20\text{m}$) とする。

6) 天端被覆工

天端被覆工は、厚さ 20cm のコンクリート舗装し、背後に設けた側溝へ排水するために陸側へ 3% の片勾配を設ける。

7) 基礎工

本設計例における地盤条件は良好な地盤であるため捨石基礎工とする。

8) 根固工

本設計例においては、洗掘など想定される地盤変動に対して適切な深さの根入れを確保できているものとし、根固工は設置しない。

(3) 標準断面図

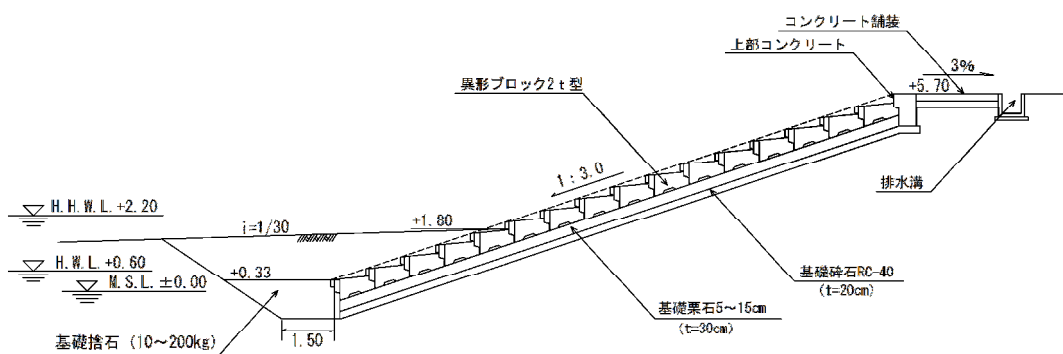


図-5.9 標準断面図