

## 第2章 混成堤マウンドの被覆工

### 2.1 概要

混成堤における構造形式は、「**参考図書 p.393 第5編 第2章 2.2.7 混成堤**」に示されるように、自然条件、材料条件、施工条件、地盤特性、経済性等を考慮し、適切なものを選定することを原則とする。天端高の算定にあたっては、背後の水域の利用等、求められる機能等を考慮して決定することを原則とする。

混成堤は、捨石部の上に直立壁を設けたもので、波高に比べ捨石の天端高が浅い場合には傾斜堤の機能に近く、深い場合には直立堤の機能に近くなる。特徴としては、直立堤に比べて荷重分散ができることから比較的軟弱な地盤にも適用できること、捨石部の厚さの調整により水深に応じて経済的な断面にできる等の長所がある。一方で堤体直立壁で反射した波によって捨石部が洗掘されやすいという短所がある。

### 2.2 構造諸元の設定

#### 2.2.1 基礎マウンドの法面勾配

法面の勾配は「**参考図書 p.392 第5編 第2章 2.2.6 傾斜堤 (3) 構造細目**」に示されるように、性能照査により決定するが、一般的に港外側 1 : 2 程度、港内側 1 : 1.5 程度で実施している例が多い。

#### 2.2.2 基礎マウンド肩幅

混成堤におけるマウンドの肩幅については、「**参考図書 p.393 第5編 第2章 2.2.7 混成堤 (2) 構造細目**」に示されるように、円形すべり等に対して安全性が確保できる幅以上の十分な長さとするを原則とする。また、マウンドの被覆の必要性がある場合には被覆ブロックの個数、幅等を考慮に入れる必要がある。

ただし、港外側において捨石マウンドの肩幅を極端に広くとると、マウンド高、波形勾配等によっては、衝撃砕波圧の発生原因となるので十分な注意が必要である。

なお、基礎マウンドの肩幅は、一般に設計波高に応じて**表-2.1**のように行っているケースが多い。

表-2.1 基礎マウンドの一般的な天端幅

設計波高 $H$	基礎マウンド肩幅	
	港外側	港内側
$H < 3.5\text{m}$	3m 以上	2m 以上
$H \geq 3.5\text{m}$	5m 以上	3m 以上

なお、偏心傾斜荷重の性能照査でビショップ法を用いる場合には、ビショップ法で計算された所要の肩幅を満足することを標準とする。

### 2.3 波力に対する被覆ブロック等の安定質量

波力または流れの力に対する被覆ブロックおよび捨石等の所要質量は、「参考図書 p.97 第2編 第4章 4.4 波力に対するブロック等の安定質量」に示されるように、被覆ブロックおよび捨石等の形状、諸元および設置状況に応じて、適切に算定するものとする。

### 2.3.1 被覆ブロックの安定質量算定

波力に対する被覆ブロック、被覆材、捨石の安定質量は、「参考図書 p.97 第2編 第4章 4.4 波力に対するブロック等の安定質量」に示されるように、個々の安定性ととも、施設全体の安定性および機能性を考慮して、適切に算定する。一般的に、斜面上のブロック等の波力に対する安定質量は、式 (1-2-1) のハドソン式により算定する。また、水平面上に置かれた被覆材のような  $K_D$  値を用いたハドソン式が適用できない場合は、式 (1-2-2) の  $N_S$  値を用いたハドソン式（ブレブナー・ドネリー式）<sup>1)</sup> によって算定することができる。

#### (1) ハドソン式

$$W = \frac{\rho_r H^3}{K_D \cot \theta (\rho_r / \rho_0 - 1)^3} \quad (1-2-1)$$

ここに、

$W$  : ブロック等の安定質量 (t)

$H$  : 設計波高 (m)

$\rho_r$  : ブロック等の密度 ( $t/m^3$ )

$\rho_0$  : 海水の密度 ( $t/m^3$ )

$\theta$  : 法面が水平面となす角

$K_D$  : ブロック等の安定数

#### (2) ハドソン式（ブレブナー・ドネリー式）

$$W = \frac{\rho_r H^3}{N_S^3 (\rho_r / \rho_0 - 1)^3} \quad (1-2-2)$$

ここに、

$W$  : ブロック等の安定質量 (t)

$H$  : 設計波高 (m)

$\rho_r$  : ブロック等の密度 ( $t/m^3$ )

$\rho_0$  : 海水の密度 ( $t/m^3$ )

$N_S$  : ブロック等の安定数

#### (3) マウンド天端水深による使用算定式の使い分け

$K_D$  値および  $N_S$  値は、水理模型実験により適切に設定することが望ましいが、「参考図書 p.99 第2編 第4章 4.4 波力に対するブロック等の安定質量 (2) 構造形式別の安定質量 ②混成堤捨石マウンド」に示されるように、以下を参考にして設定してもよい。

混成堤捨石マウンドの港外側の被覆材の安定質量は、一般的に  $N_S$  値を用いたハドソン式により算定し、 $N_S$  値は混成堤捨石マウンドを想定した信頼できる水理模型実験に基づく値を使用する。この際、当該設計条件が、 $N_S$  値を算出した水理模型実験の実験条件の範囲内かどうか確認した上で使用する必要がある。捨石マウンド天端水深が浅いなど、実験条件の範囲外となる場合には、表-2.2などを参考に決定してもよい。

捨石マウンドの捨石は、被覆材が有る場合には波の作用も弱まるので、質量の小さいものを使用することができるが、波力によって被覆層を通り抜けて吸い出されないよう配慮する。

港内側の被覆材の安定質量については、既往の設計例などを参考にするとともに、港内波や施工時の波の条件、越波などを考慮し、必要に応じて水理模型実験により決定することが望ましいが、一般的には港外側の被覆材の安定質量の概ね 1/2 としている場合が多い。

表-2.2 被覆石等の安定質量の算定式

マウンド天端の水深	適用式
-1.5H 以浅	ハドソン式を使用
-1.5H ~ -2.5H [T>10s にあつては -1.5H ~ -3.0H]	ハドソン式での所要質量×(1/10~1/20)とブレブナー・ドネリー式での所要質量のうち大きい方を適用
-2.5H 以深 [T>10s にあつては -3.0H 以深]	基礎部に作用する波の影響が小さくなることから、一般には被覆材を設置していないが、波や流れ等の状況が特殊な箇所においてはブレブナー・ドネリー式より算定

ただし、表中の H はブロック等の法先水深における進行波としての有義波高 ( $H_{1/3}$ ) である。

### 2.3.2 防波堤の堤頭部・港内側の被覆ブロックの質量

防波堤の堤頭部は、「参考図書 p.372 第5編 第2章 2.1.5 防波堤の性能照査 (2) 安全性に関する性能照査 ①防波堤の堤頭部」に示されるように、波の集中や巻波の発生および地形条件等による急激な流れ等が発生することがあり、標準部に比べて基礎の洗掘や被覆ブロックの飛散等が生じる可能性が高い。したがって、堤頭部の被覆石・被覆ブロックの質量は標準部の質量を割り増したものをを用いることが望ましい。なお、異形ブロックで覆われた被覆石・被覆ブロックが、異形ブロックの間隙からの抜け出しや飛散の恐れがない場合には、被覆石・被覆ブロックの質量の割り増しは行わなくてもよい。

堤頭部の検討にあたっては、次の事項を参考にしてもよい。

- 1) 堤頭部の被覆石・被覆ブロックや異形ブロックの質量は、標準部の質量の 1.5 倍以上としている事例が多い。
- 2) 消波工なしの直立堤や混成堤における被覆石・被覆ブロックの割り増し (1.5 倍以上) の範囲については堤頭函分以上としている例が多い。

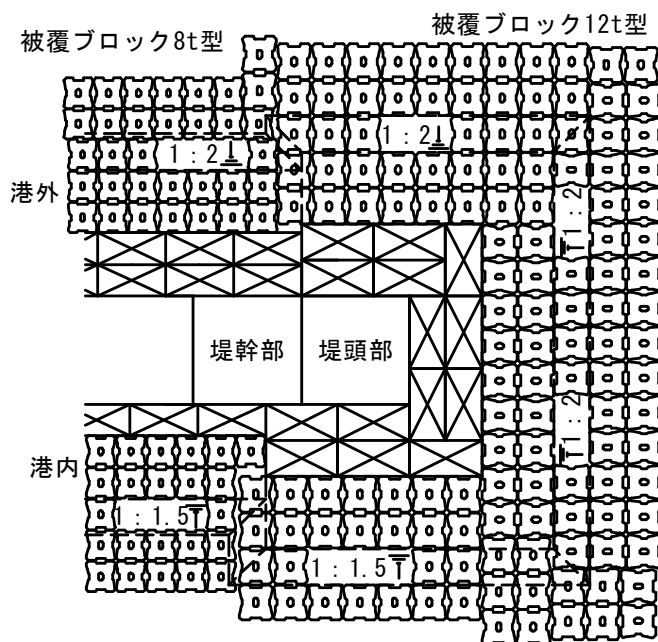


図-2.1 防波堤堤頭部における被覆ブロックの被覆方法

### 2.3.3 消波工下の被覆ブロックの質量

消波工付き混成堤の消波工下の捨石および被覆ブロックの必要質量は、「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 (2) 構造形式別の安定質量 ①傾斜堤 c)」に準じて図-2.2 を参考に決定しても良い。

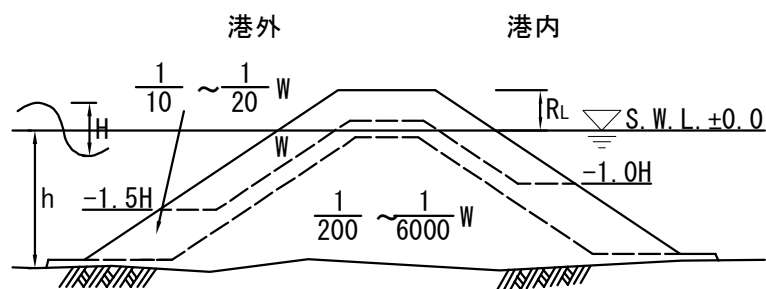


図-2.2 傾斜堤標準断面図

## 2.4 設計計算例

### 2.4.1 混成堤の被覆ブロックの安定質量

図-2.3 に示す漁港の混成堤の被覆ブロックの安定質量の計算例を示す。  
混成堤は消波工の無い断面形式とし、設計波の算定やケーソンの安定計算等は省略する。

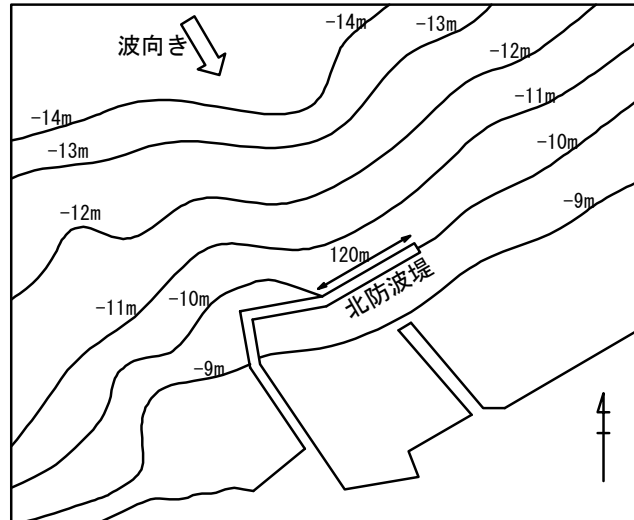


図-2.3 漁港防波堤計画位置図

(1) 設計条件

1) 設置条件

- a) 防波堤の設計延長：120.0m
- b) 設置位置の水深：-10.0m
- c) 海底勾配：1/20
- d) 漁船等の利用の有無：防波堤の内側は特に利用しないものとする。

2) 海象条件

- a) 潮位：H.W.L.+0.60m L.W.L.±0.00m
- b) 設計波： $H_0'=4.4\text{m}$ 、周期  $T_0=10.0\text{sec}$ 、波長  $L_0=156.0\text{m}$   
波高  $H=4.1\text{m}$ 、周期  $T=10.0\text{sec}$ （被覆ブロック質量算定に用いる波）
- c) 波の入射角：防波堤の法線の垂線に対して  $\beta=5^\circ$

マウンド被覆に使用するブロックは図-2.4 に示す A ブロックとする。A ブロックの性能値から決まるブロック構造諸元を表-2.3 に示す。

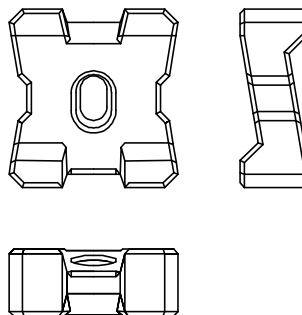


図-2.4 A ブロックの形状

表-2.3 A ブロックの構造諸元

項目	値	備考
斜面勾配	1 : 2.0	1 : 1.5~1 : 2.0 の範囲
$K_D$ 値	13.0	

Ns値		カタログを参照
公称トン数 (規格)	2t, 3t, 4t, 5t, 6t, 8t, 10t 等	一部抜粋 (最小 0.5t、最大 75t)

図-2.5 の堤体断面における被覆ブロックの安定質量を算定する

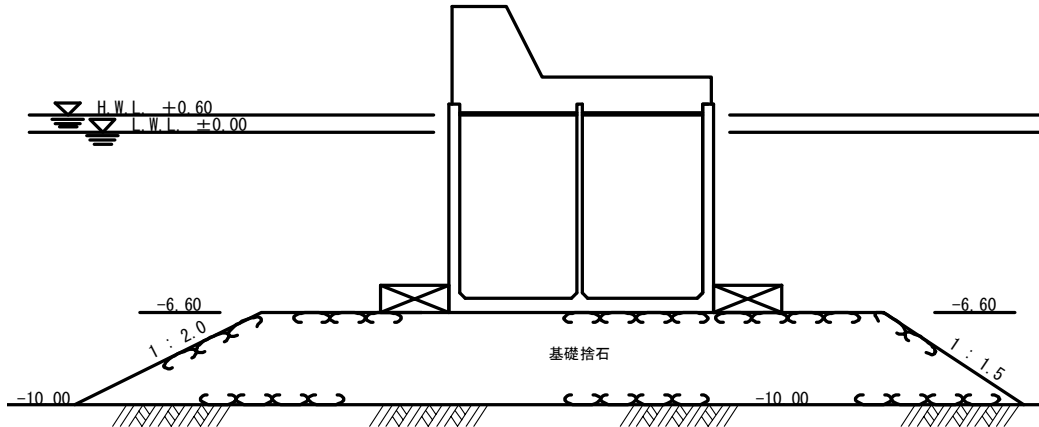


図-2.5 堤体断面図

(2) 衝撃砕波力の検討

堤体断面を図-2.6 のとおり仮定し、「参考図書 p.88 図 2-4-3 衝撃砕波力の発生についての簡易的判定フロー」により衝撃砕波力が生じないかどうか検討する。

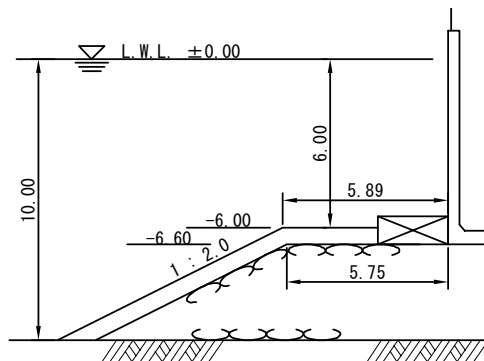


図-2.6 衝撃砕波力の検討諸元

1) 波の入射角  $\beta$

$\beta=5^\circ \leq 20^\circ \rightarrow$  YES (衝撃砕波力発生危険性あり)

2) 被覆ブロック上の水深  $d=6.0\text{m}$

(A ブロック 2t 型を想定し高さを 0.6m、マウンド前肩幅を 5.89m に仮定)

マウンド法先水深  $h=10.0\text{m}$

マウンド前肩幅  $B_f=5.89\text{m}$

法先水深  $h$  での波長  $L=92.33\text{m}$

したがって、

$$\frac{d}{h} = \frac{6.0}{10.0} = 0.6 > 0.6$$

$\rightarrow$  NO

$$3) \quad \frac{d}{h} = \frac{6.0}{10.0} = 0.6 (\leq 0.6)$$

水深  $h$  の 50% の深さでのマウンド幅 ( $B_{50}$ ) =  $B_1$  = 5.89m

$$\left( h_{50} = \frac{-10.0}{2} = -5.0\text{m} \right)$$

(注)  $0.5 < d/h \leq 0.6$  のときは  $B_{50}$  を  $B_1$  と置き換えて、 $B_{50} = B_1$  とする。

$$\frac{B_{50}}{L} = \frac{5.89}{92.33} = 0.064$$

→ NO ( $B_{50}/L$  が 0.1 より小さいので NO)  
衝撃砕波力発生の危険性 小

### (3) 被覆材の質量の算定

捨石マウンド天端高 -6.60m、波高  $H=4.1\text{m}$  (L.W.L.時) より、 $-1.5H$  ( $=-6.15\text{m}$ )  $\sim -2.5H$  ( $=-10.25\text{m}$ ) となることから表-2.2 を参照し、以下の算定式により検討を行い、大きい方を適用する。

- ・ハドソン式での所要質量  $\times (1/10 \sim 1/20)$
  - ・ブレブナー・ドネリー式での所要質量
- } 大きい方を適用

なお、石材については、現地で入手可能な最大質量は約 2t/個と仮定する。

#### 1) 石材の場合

##### a) ハドソン式

式 (1-2-1) により決定する。

安定数  $K_D$  は「参考図書 資 66 資料 2.9 捨石等の  $K_D$  値 表 2-9-1 捨石等の  $K_D$  値」を参照し、 $K_D=3.5$  とする

$$W_1 = \frac{\rho_r H^3}{K_D \cot \theta (\rho_r / \rho_0 - 1)^3}$$

$$= \frac{2.55 \times 4.1^3}{\{3.5 \times 2.0 \times (2.55/1.03 - 1)^3\}} = 7.812\text{t}$$

ここに、

$W_1$ : 捨石・被覆石の安定質量

$H$ : 設計波高  $H = 4.1\text{m}$

$\rho_r$ : 捨石・被覆石の密度  $\rho_r = 2.55\text{t/m}^3$

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

$\theta$ : 法面が水平面となす角度  $\cot \theta = 2.0$

$K_D$ : 捨石等の安定数  $K_D = 3.5$

$$W_1 \times \left( \frac{1}{10} \sim \frac{1}{20} \right) = 0.781 \sim 0.391\text{t}$$

##### b) ブレブナー・ドネリー式

式 (1-2-2) により決定する。被覆ブロック上の水深  $d=6.0\text{m}$ 、マウンド法先水深  $h=10.0\text{m}$   
安定数  $N_S$  は「参考図書 p.99 図 2-4-14 捨石・被覆石の安定数」を参照し、 $N_S^3=20$  とする。

$$W_2 = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (\rho_r / \rho_0 - 1)^3} = \frac{2.55 \times 4.1^3}{20 \times (2.55 / 1.03 - 1)^3} = 2.734t$$

ここに、

$W_1$  : 捨石・被覆石の安定質量

$H$  : 設計波高

$$H = 4.1 \text{ m}$$

$\rho_r$  : 捨石・被覆石の密度

$$\rho_r = 2.55 \text{ t/m}^3$$

$\rho_0$  : 海水の密度

$$\rho_0 = 1.03 \text{ t/m}^3$$

$N_s^3$  : 捨石・被覆石の安定数

$$N_s^3 = 20$$

以上より、 $W_1 \times (1/10 \sim 1/20) < W_2$  より被覆石の質量は 2.734t 以上が必要となる。

現地で入手可能な石材が最大 2t である事から、条件を満たせないで被覆材として被覆ブロックの検討を行う。石材を使用することが可能な場合においても、被覆ブロックと経済比較を行い経済的な被覆材を採用することが望ましい。

## 2) 被覆ブロックの場合

### a) ハドソン式

式 (1-2-1) により決定する。

$$W_1 = \frac{\rho_r H^3}{K_D \cot \theta (\rho_r / \rho_0 - 1)^3}$$

$$= \frac{2.3 \times 4.1^3}{\{13.0 \times 2.0 \times (2.3 / 1.03 - 1)^3\}} = 3.252t$$

ここに、

$W_1$  : ブロックの安定質量

$H$  : 設計波高

$$H = 4.1 \text{ m}$$

$\rho_r$  : ブロックの密度

$$\rho_r = 2.3 \text{ t/m}^3$$

$\rho_0$  : 海水の密度

$$\rho_0 = 1.03 \text{ t/m}^3$$

$\theta$  : 法面が水平面となす角度

$$\cot \theta = 2.0$$

$K_D$  : ブロックの安定数

$$K_D = 13.0$$

$$W_1 \times \left( \frac{1}{10} \sim \frac{1}{20} \right) = 0.325 \sim 0.163t$$

### b) ブレブナー・ドネリー式

式 (1-2-2) により決定する。

被覆ブロック上の水深  $d=6.0\text{m}$ 、マウンド法先水深  $h=10.0\text{m}$

安定数  $N_s$  は A ブロックのカタログを参照し、 $N_s^3=75$  とする。

$$W_2 = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (\rho_r / \rho_0 - 1)^3} = \frac{2.3 \times 4.1^3}{75 \times (2.3 / 1.03 - 1)^3} = 1.128t$$

ここに、

$W_2$  : ブロックの安定質量

$H$  : 設計波高

$$H = 4.1 \text{ m}$$

$\rho_r$  : ブロックの密度

$$\rho_r = 2.3 \text{ t/m}^3$$

$\rho_0$  : 海水の密度

$$\rho_0 = 1.03 \text{ t/m}^3$$



$N_s^3$  : ブロックの安定数

$N_s^3=75$

以上より、 $W_1 \times (1/10 \sim 1/20) < W_2$  より A ブロック 2t 型 (実質量 2.056t) を使用する。

- 3) 防波堤の堤頭部・港内側の被覆ブロックの質量  
堤頭部は港外側所要質量の 1.5 倍以上とする。

$$W' = W_2 \times 1.5 = 1.128 \times 1.5 = 1.692t$$

より A ブロック 2t 型 (実質量 2.056t) を使用する  
港内側は港外側所要質量の 1/2 程度とする。

$$W' = W_2 \times \frac{1}{2} = 1.128 \times \frac{1}{2} = 0.564t$$

より A ブロック 1t 型 (実質量 1.051t) を使用する  
上記計算より被覆ブロックを設置した標準部の断面は図-2.7 のようになる。

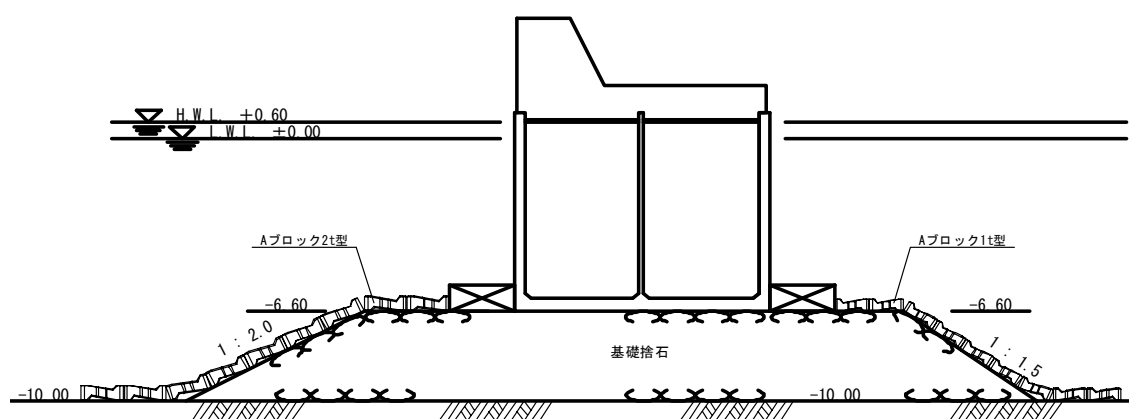


図-2.7 完成堤体標準断面図

#### 2.4.2 異形ブロック被覆混成堤の被覆ブロックの安定質量

図-2.8 に示す漁港の消波工付き混成堤の異形ブロックおよび被覆ブロックの計算例を示す。  
ここでは、設計波の算定やケーソンの安定計算、消波工の異形ブロックの質量計算等は省略する。

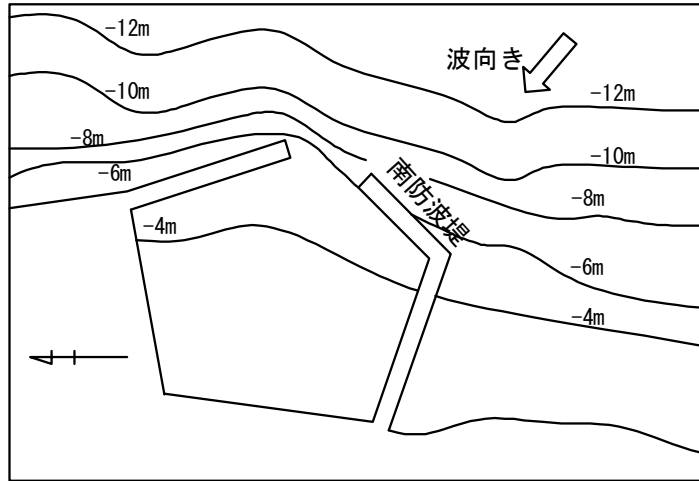


図-2.8 漁港防波堤計画位置図

- (1) 設計条件
- 1) 設置条件
    - a) 設置位置の水深：-6.0m
    - b) 海底勾配：1/30
  - 2) 海象条件
    - a) 潮位：H.W.L.+1.50m L.W.L.±0.00m
    - b) 設計波： $H_0'=5.29\text{m}$ 、周期  $T_0=11.0\text{sec}$ （換算沖波）  
波高  $H=4.89\text{m}$ 、周期  $T=11.00\text{sec}$ （異形ブロック質量算定に使用する波）
  - 3) その他  
消波工の異形ブロック：10t型（実質量9.577t）

図-2.9 に想定する堤体断面を示す。

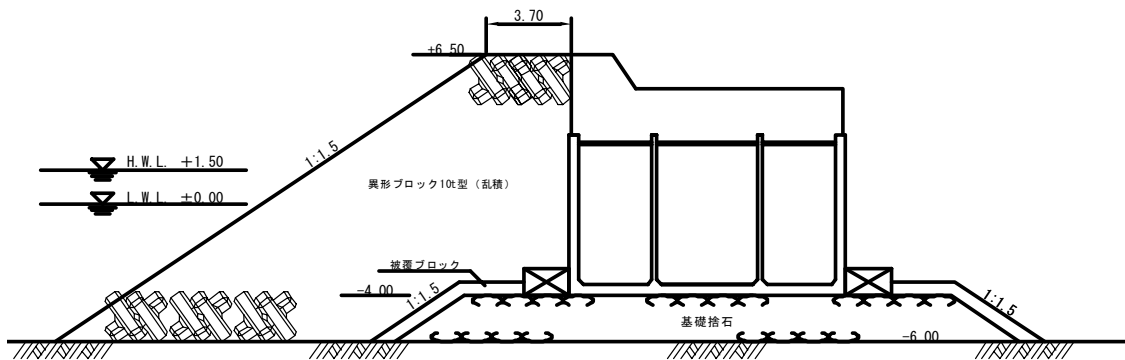


図-2.9 堤体断面図

- (2) 消波工下の被覆ブロックの質量
- 消波工の異形ブロックの質量は式 (1-2-1) により  $W=9.565\text{t}$  となる（計算過程は省略する）。  
被覆ブロックの質量は「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 (2) 構造形式別の安定質量 ①傾斜堤 c)」に準じて消波工の異形ブロックの 1/10～1/20 程度とすることができることより、異形ブロックの 1/10 程度を想定し、

$$W' = W \times \frac{1}{10} = 9.565 \times \frac{1}{10} = 0.957t$$

より、前述の図-2.5 表-2.3 に示した A ブロック 1t 型（実質量 1.051t）を採用する。上記計算より消波工（天端 2 個以上）および被覆ブロックを設置した断面は図-2.10 のようになる。

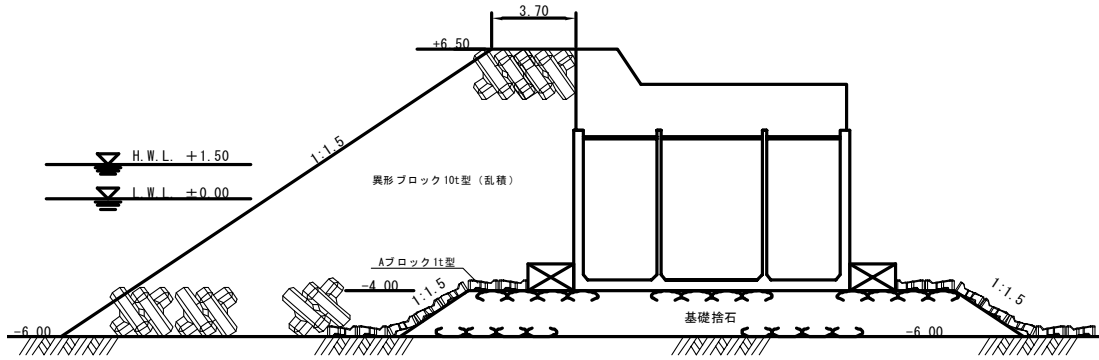


図-2.10 標準断面図

## 2.5 参考文献

- 1) Brebner, A. and D. Donnelly: Laboratory study of rubble foundations for vertical breakwaters, Proc. 8<sup>th</sup> Conf. Coastal Eng. (1962)