

第3章 傾斜型異形ブロック式防波堤

3.1 概要

沖防波堤は、航路や泊地の静穏度の確保を図り漁船等の安全の確保、施設背後にある人命、資産を高潮及び波浪から防護すること等を目的とする構造物である。

漁港施設としての沖防波堤は、港口を遮断し、港内への侵入波の減殺と漁船等の出入港の安全を図ることを目的として設置される構造物である。

防波堤の構造形式で大別すれば、「**参考図書 p.367 第5編第2章 2.1 防波堤の基本 2.1.3 防波堤の性能照査の基本**」より、重力式傾斜堤透過式捨てブロック式に該当する。その特徴を表-3.1に示す。

表-3.1 沖防波堤の特徴

沖防波堤	
配置条件	堤敷きが大きいので、港口の幅や利用水域が狭くなる。反射波は少ない。全断面ブロックの場合は透過波が大きくなる。
自然条件	地盤の凹凸、軟弱度合いにさほど関係なく施工できる。ある程度以上強大な波力を受ける箇所では、材料の制約により適さなくなることがある。
材料条件	水深が大となると多量の石材を必要とする。
施工条件	ヤード、積出し施設等が必要となる。

3.2 堤体構造の選定

沖防波堤は断面の構造によって、その全部を同一質量の異形ブロックにした全断面式と、中詰を捨石等で代替した中詰式とに分けることができる。それぞれの特徴については、「**本書 p.1-1-1 第1編第1章 防波堤及び護岸の消波工 1.2 消波工構造の選定**」を参照する。また、異形ブロックの据付においては、様々な方向に不規則に設置する乱積と、規則性を持たせて設置する整積がある。選定のための各形式の一般的な特徴を参考として表-3.2に、また、乱積と整積の模式図を図-3.1に示す。

表-3.2 乱積と整積の比較

	乱積	整積
外観	・出来形は不整形になる。	・整然として外観が美しい。 ・ブロックを追加補充すると不陸が目立つ。
自然条件	・地盤が比較的良い場所に適する。また、急勾配に適さない。	・基礎工を必要とする際に適する。
施工性	・施工地盤に凹凸があっても、ブロック据付に支障はない。 ・乱雑に積上げるので、施工中は設計断面になるよう所要個数のチェックが必要。 ・据付作業能率がよく、工程が短縮できる。	・施工地盤や捨石面をかなりきれいに均さないとブロックが安定せず、また、外観が悪くなる。 ・据付作業能率が悪い。
必要個数	・断面形成に必要な個数が多い。	・条件に応じて最少断面を形成できる。

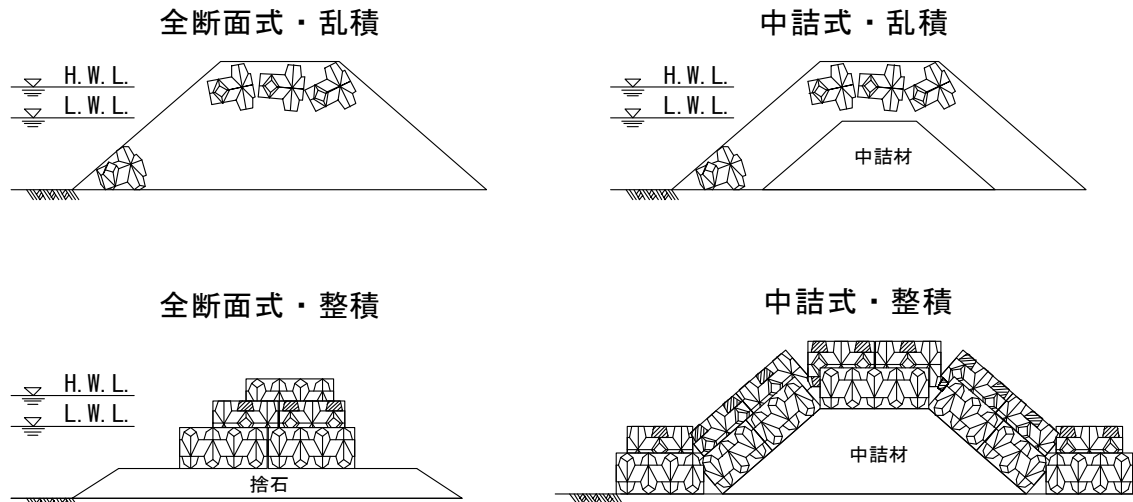


図-3.1 乱積・整積模式図

3.3 設計条件の設定

3.3.1 設計潮位

設計潮位は「**本書 p.1-1-3 第1編第1章 防波堤及び護岸の消波工 1.3 設計条件の設定 1.3.1 設計潮位**」により定める。なお、天端高の算定に使用する潮位は、朔望平均満潮面 (H.W.L.) とするが、堤体の安定計算に使用する潮位は安定計算上もっとも危険となる潮位を用いる。

3.3.2 設計波

設計波の諸元は「**本書 p.1-1-3 第1編第1章 防波堤及び護岸の消波工 1.3 設計条件の設定 1.3.2 設計波**」により定める。

3.3.3 海底勾配

設計波等の算定で用いる海底勾配は、「**本書 p.1-1-3 第1編第1章 防波堤及び護岸の消波工 1.3 設計条件の設定 1.3.4 海底勾配**」により定める。

3.3.4 砕波後の平均水位上昇量

沖防波堤が砕波帯内にある場合は、砕波にともなう水位の上昇が生じる。水位の上昇は天端高算定時に考慮し、「**本書 p.1-1-3 第1編第1章 防波堤及び護岸の消波工 1.3 設計条件の設定 1.3.5 砕波後の平均水位上昇量**」を参照する。

3.3.5 地盤条件

基礎地盤の土質条件は原則として土質調査の結果により、地盤の種類や土のせん断定数（内部摩擦角、粘着力等）、地盤の成層状態等を定める。

3.3.6 材料

(1) 単位体積重量は「**参考図書 p.207 第3編第1章 1.2 材料の単位体積重量等**」により定める。

(2) 捨石は「**参考図書 p.226 第3編第4章 4.2 石材**」により定める。

3.3.7 その他

(1) 港内伝達波：全断面が異形ブロックの場合は、ある程度堤外の波が透過することは避けられない。この場合の波の伝達率は、「**参考図書 p.72 第2編第3章 3.7 越波量と打ち上げ高と伝達波高 3.7.3 伝達波高**」により算出する。

(2) 反射率：沖防波堤の特性の一つは、波の反射率が小さいことである。一般的に、異形消波ブロックの斜面の反射率は0.3～0.5程度となる。

3.4 構造諸元の設定

3.4.1 異形ブロックの斜面勾配

異形ブロックには、それぞれブロックの種類に応じた標準勾配があるので、勾配はその使用するブロックによって決定される。一般に使用されている平均的な勾配は1:1.3～1:1.5である。

斜面勾配はこれを緩くすると、ブロック質量が小さくてすみ、波の消波性能が増し、基礎地盤に対する単位面積当りの支圧が小さくなるが、堤体の体積が増加し、工事費が高くなる傾向がある。

3.4.2 異形ブロックの所要質量算定

波力に対する斜面上の捨石または異形ブロックの所要質量は、原則として「**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**」より式(1-3-1)のハドソン式から算定する。各ブロックの K_b 値は「**本書 p.5-1-1 第5編第1章 ブロック別水理特性値一覧**」に一括して示す。また、海底地形が複雑な箇所等において、式(1-3-1)に抛りがたい場合には、水理模型実験により安定性を確認する。水理模型実験については「**本書 p.4-1-1 第4編第1章 水理模型実験**」を参照する。

$$W = \frac{\rho_Y H^3}{K_D \cot \theta \left(\frac{\rho_Y}{\rho_0} - 1 \right)^3} \quad (1-3-1)$$

ここに、

W : ブロックの安定質量(t)

H : ブロックの法先水深における進行波としての有義波高(m)

ρ_Y : ブロックの密度(t/m^3)

ρ_0 : 海水の密度(t/m^3)

θ : 法面が水平面となす角度($^\circ$)

K_D : ブロックの安定数

3.4.3 天端高

天端高は防波堤背後の水域の利用等、求められる機能等を考慮して「**本書 p.1-1-4 第1編第1章 1.4 構造諸元の設定 1.4.3 天端高**」を参照して決定する。

3.4.4 天端幅

背後の航路、泊地の保全あるいは利用漁船、蓄養施設等の安全などについても考慮し、波力等の作用に対し堤体が安定する適切な天端幅とする必要がある。

沖防波堤の場合、越波が著しい箇所では天端部分が弱点となりやすい。異形ブロック式は各種実験結果により、ブロック3個並び以上を標準としている。沖防波堤の伝達波高の算定にあたっては、「**本章 p.1-3-4 3.4.5 波高伝達率**」を参照する。

3.4.5 波高伝達率

消波ブロック堤については沼田²⁾による実験がある。「**参考図書 p.74 第2編第3章 3.7 越波量と打ち上げ高と伝達波高 3.7.3 伝達波高 ②傾斜堤(人工リーフを含む)**」より、実験は規則波を用いて、海底勾配を水平床と1/30勾配、堤体の表のり裏のりともに1:1.3勾配として行っており、越波があるか否かで実験式が使い分けされる。

(1) 越波がない場合($R/H \geq 1$)

$$K_t = \frac{H_t}{H} = \frac{1}{\left\{ 1 + 1.135 \left(\frac{B_s}{d} \right)^{0.66} \left(\frac{H}{L} \right)^{0.5} \right\}^2} \quad (1-3-2)$$

ここに、

K_t : 波高伝達率

H_t : 伝達波高(m)

H : 入射波高(m)

L : 入射波長(m)

B_s : 静水面における堤体幅(m)

d : 消波ブロックの高さ(m)

(2) 越波がある場合($R/H < 1$)

$$K_t = \frac{H_t}{H} = 0.123 \log_e \left[43.12 \left(\frac{u_{max} \eta_c T}{\bar{B} R} \right) \right] \quad (1-3-3)$$

ここに、

K_t : 波高伝達率

H_t : 伝達波高(m)

H : 入射波高(m)

u_{max} : 波頂における最大水平水粒子速度(m/s)

η_c : 静水面上の波頂高(m)

T : 波の周期(s)

\bar{B} : 静水面上における平均堤体幅(m)

R : 静水面上の天端高(m)

なお、 u_{max} の計算は合田の実験式を用いて、次式により算定している。

$$u_{max} = \frac{\pi H}{T} \sqrt{1 + \lambda \left(\frac{H}{h} \right)^{0.5} \left(\frac{h + \eta_c}{h} \right)^3} \frac{\cosh k(h + \eta_c)}{\sinh kh} \quad (1-3-4)$$

ここに、

k : 波数($=2\pi/L$)

L : 入射波長(m)

h : 堤体設置水深(m)

さらに、 η_c 、 λ については次のとおりである。

$$H/h < 0.8 \text{ の時 : } \frac{\eta_c}{h} = \frac{H}{2h} + 0.455 \left(\frac{H}{h} \right)^{2.18} \quad (1-3-5)$$

$$h/L < 0.07 \text{ の時 : } \lambda = 1.50 \quad (1-3-6)$$

$$0.07 < h/L < 0.4 \text{ の時 : } \lambda = -0.646 \log_e(1.562h/L) \quad (1-3-7)$$

$$h/L > 0.4 \text{ の時 : } \lambda = 0.25 \quad (1-3-8)$$

3.4.6 構造項目

(1) 基礎捨石の余裕幅

異形ブロックの下部に捨石を敷く場合には、**図-3.2** のとおり余裕幅を設ける必要がある。幅の値については、基礎地盤の沈下あるいは洗掘状況等に応じて決定することが望ましいが、一般には1~2m程度としている場合が多い。

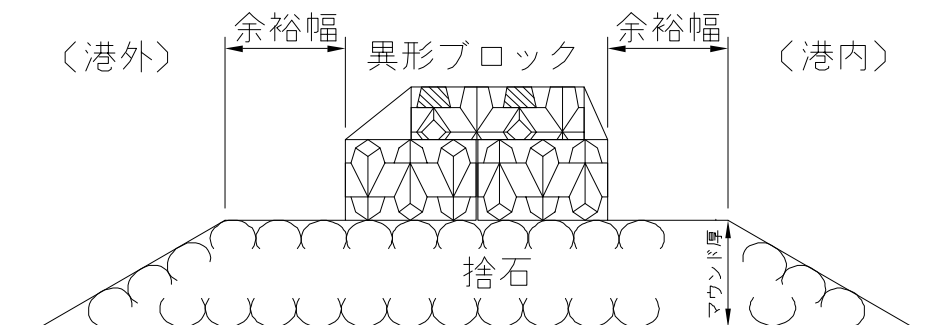


図-3.2 異形ブロック式下部捨石の余裕幅

(2) 堤体内部

「**本章 p.1-3-33.4.2 異形ブロックの所要質量算定**」より、堤体の内部は直接波浪の影響を受けないことから、経済性を考慮して、安定質量より小さい質量のものを使用してもよい。ただし、被覆層については、被覆ブロック等の特性を考慮し、中詰材が吸い出しを受けないような対策が必要である。

3.4.7 中詰式

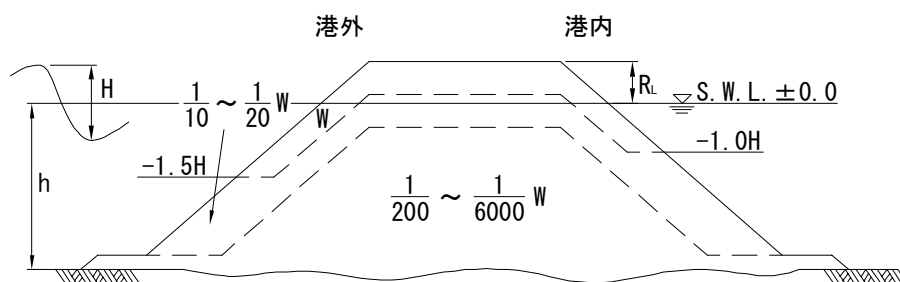


図-3.3 中詰式の模式図

(1) 被覆ブロックの層厚

異形ブロック被覆厚さは2層を標準とする。ただし、異形ブロックの種類によっては、1層被覆を標準とするものもある。

(2) 中詰材の質量

堤体の中詰材は一様な大きさのものでなく、堤体の中心に近くなるほど小さい材料にした方が、透過波を防ぐために有効である。しかし、あまり小さくすると波による吸い出しがあるため、被覆ブロックの空隙の大きさに応じたある程度の大きさが必要となる。

(3) 中詰材の使用量

使用量の算定については、一般に施工中における沈下、散乱があるので、必要に応じて余裕を見込む必要がある。なお、成型後の経年による沈下量等は見込まないものとする。

(4) 3層よりなる中詰式の内部被覆層厚

内部被覆層は2層以上とする必要があり、その層厚(d)は、「**漁港計算例 p.183 第2編第4章 4.2 設計計算の内容及び指針**」より、ほぼ式(1-3-9)で求められる。

$$d = N \left(\frac{W_2}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (1-3-9)$$

ここに、

N : 層数

W_2 : 内部被覆材の質量(t)

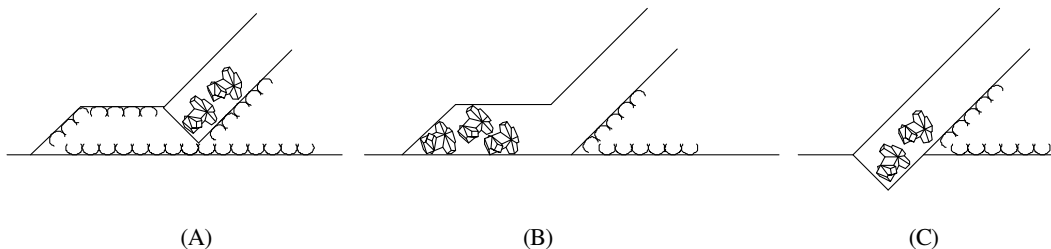
γ_s : 内部被覆材の空隙を含んだ単位体積質量(t/m^3)

(5) のり止め工

堤体のり先の洗掘を防止し、またブロックの脱落を防ぐため、一般に次のような方法を講ずることがある。(図-3.4 参照)

- 1) 捨石でのり止めを行う。(A)
- 2) コンクリート方塊か被覆ブロックを2列程度並べて、のり止めを行う。(B)
- 3) 基礎地盤が岩盤などで滑りやすい場合には、のり先部の一部を切り込んでこれをのり止めとする。(C)

乱積の場合



整積の場合

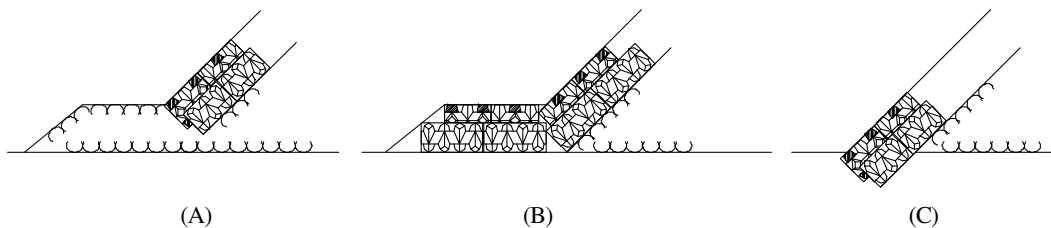


図-3.4 のり止め工

3.5 設計計算例

図-3.5 に沖防波堤の設計例を示す。

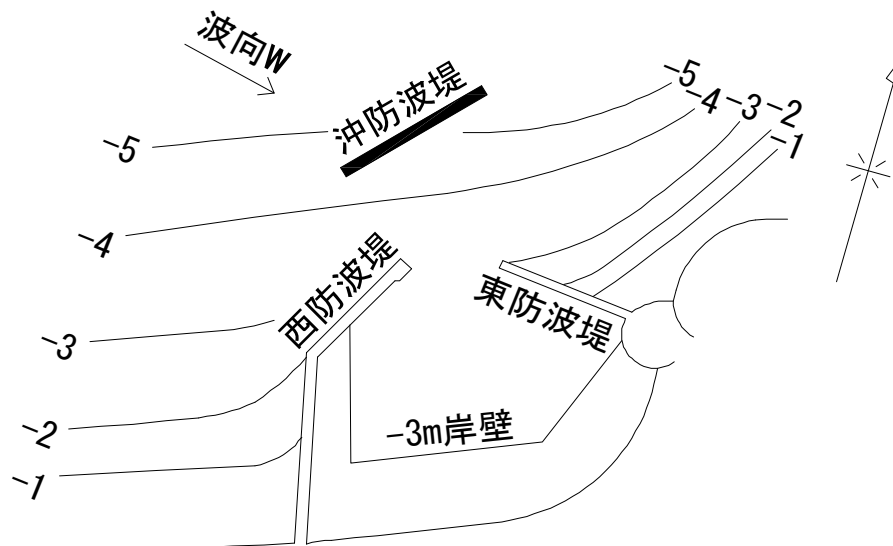


図-3.5 計画位置図

3.5.1 設計条件

(1) 設置条件

- 1) 設置目的：湾口を隠蔽し、港内への侵入波の減殺と漁船等の出入港の安全を図る。
- 2) 沖防波堤の設計延長：75m
- 3) 設置位置の水深：-5.50m
- 4) 海底勾配：1/30

(2) 海象条件

- 1) 潮位： $H.W.L. + 1.50m$ 、 $L.W.L. \pm 0.00m$
- 2) 設計波：換算沖波波高 $Ho' = 3.60m$ 、周期 $To = 11.0sec$ 、沖波波長 $Lo (= 1.56 \times To^2) = 188.76m$ 、波向 W （沖防波堤の法線に直角方向は NW ）、波形勾配 $Ho'/Lo = 0.019$ 、 $h/Ho' = (5.50 + 1.50)/3.60 = 1.94$ 、「参考図書 p.64 水深による波高変化」より、 $H_{1/3}/Ho' = 1.11$ 、よって $H_{1/3} = H = 4.00m$

(3) 地盤条件

基礎地盤の土質条件：砂質土地盤、内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 、成層状態は $-0.5m$ (海底地盤面) $\sim -10.0m$ は砂質土、 $-10.0m$ 以深は岩盤とする。

(4) その他

- 1) 伝達波高：泊地や航路の静穏度に支障がない程度の許容伝達波高として $1.50m$ とする。
- 2) 反射率：考慮しない。

3.5.2 構造諸元の算定

(1) 使用ブロック

本計算例に使用する異形ブロックは図-3.6 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、斜面勾配等の構造諸元を表-3.3 に示す。

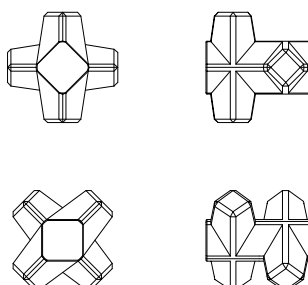


図-3.6 Aブロックの形状図

表-3.3 構造諸元

項目	値	備考
斜面勾配	1 : 1.3	1 : 1.3~1 : 1.5 の範囲
K_D 値	8.3	乱積

(2) 異形ブロックの質量算定

$$W = \frac{2.30 \times 4.00^3}{8.3 \times 1.3 \times \left(\frac{2.30}{1.03} - 1\right)^3} = 7.278t$$

7.278t を超える A ブロックの直近の規格は 8.136t なので、8.136t 以上のものを使用する。

3.5.3 天端高

天端高は「**本章 p.1-3-4 3.4.3 天端高**」に準じるものとする。

$$R_L = 1.0H = 1.0 \times 4.00 = 4.00m$$

(注)なお、泊地や航路の静穏度に対する検討は、「**設計計算例 p.549 第5編第1章 静穏度解析事例**」を参照し、十分な検討が必要である。

ここで、砕波による水位上昇は、海底勾配 1/30、 $Ho' = 3.60m$ とすると、 $Ho' / Lo = 3.60 / 188.8 = 0.019$ 、 $h / Ho' = (5.50 + 1.50) / 3.60 = 1.94$ なので、「**参考図書 p.69 平均水位の上昇量**」より $\bar{\eta} / Ho' = 0$ となり、 $\bar{\eta} = 0$ となる。したがって、

$$\text{天端高} = H.W.L. + R_L = 1.50 + 4.00 + 0.00 = +5.50m$$

3.5.4 天端幅

天端幅はブロック 3 個並びとし、A ブロックのカタログより $B=6.00\text{m}$ とする。

3.5.5 のり止め工及び沈下防止のための基礎工

本例では特に設置しない。

3.5.6 波高伝達率の算定

沖防波堤前面波浪 $H=4.00\text{m}$ 、周期 $T=11.0\text{sec}$ の場合の波高伝達率を算定する。
設置水深 $h=5.50+1.50=7.00\text{m}$ なので、 $L_t=87.59\text{m}$ 。

ここで、ブロック 1 個の高さを $d=2.46\text{m}$ とし、式(1-3-2)、式(1-3-3)により波高伝達率を算定する。

静水面上の天端高

$$h_c = 5.50 - 1.50 = 4.00\text{m}$$

異形ブロック堤の静水面における堤体幅

$$B_s = 6.00 + 4.00 \times 1.3 \times 2 = 16.40\text{m}$$

越波の判定

$$\frac{h_c}{H} = \frac{4.00}{4.00} = 1.00 \geq 1.0 \quad \rightarrow \quad \text{越波がないものとみなす。}$$

波高伝達率

$$K_t = \frac{1}{\left\{ 1 + 1.135 \left(\frac{B_s}{d} \right)^{0.66} \left(\frac{H}{L} \right)^{0.5} \right\}^2}$$
$$K_t = \frac{1}{\left\{ 1 + 1.135 \left(\frac{16.40}{2.46} \right)^{0.66} \left(\frac{4.00}{87.59} \right)^{0.5} \right\}^2} = 0.29$$

入射波高が $H_m=4.00\text{m}$ なので、伝達波高 $H=4.00 \times 0.29=1.16\text{m}$ となり、許容伝達波高 1.50m を満足する。

3.5.7 標準断面図

標準断面は図-3.7 のようになる。

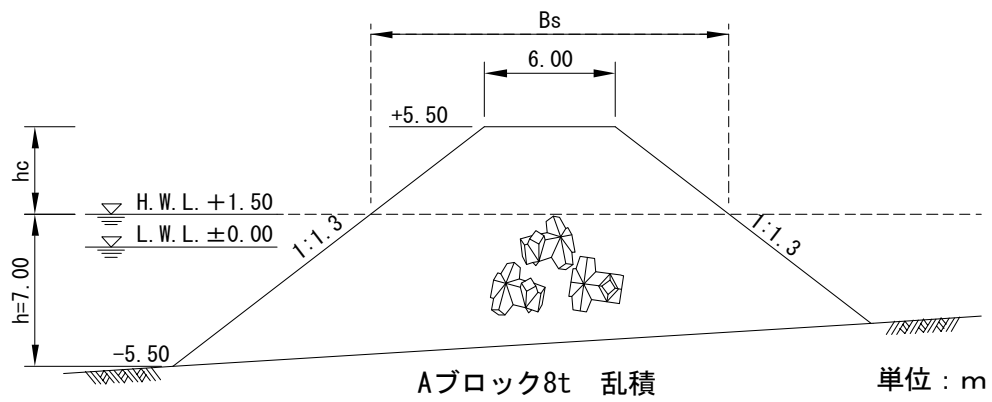


図-3.7 標準断面図

3.6 参考文献

- 1) 山本泰司, 谷野賢二, 木村克俊: 層積の消波ブロック被覆堤の水理特性について, 北海道開発局技術研究発表会, 1992
- 2) 沼田淳: ブロック堤の消波効果に関する実験的研究, 海岸工学講演会論文集, 22 巻, pp501-505, 1975