

第 3 編 海 岸 保 全 施 設

第1章 護岸・堤防の消波工

1.1 概要

海岸保全施設における護岸・堤防の消波工は、施設に作用する波力の低減や越波の防止を目的として施設前面、または一定の遊水部距離を置いた位置に設置される異形ブロックを積み上げた構造物である。図-1.1 に消波工の模式図を示す。なお、護岸と堤防は目的と機能を同一とし、原地盤をコンクリート等によって被覆したものを護岸、原地盤を盛土またはコンクリート打設等によって嵩上げたものを堤防とする。

異形ブロックで被覆された直立壁に作用する波圧は「**海岸基準 p.2-44 第2章 2.3.5.2 直立壁に作用する波力**」に示されるように、波圧補正係数を用いて波力を低減することができる。また、消波工付護岸や遊水部付き消波工を有する護岸では、「**漁港海岸手引き p.91 第3章 3-2-5 (5) 6 護岸・堤防における越波流量推定図**」で示されるように、越波量や波の打ち上げ高を低減することができる。



図-1.1 消波工の模式図

1.2 消波工構造の選定

消波工の断面の形式には、「**本書 p.1-1-1 第1編第1章 防波堤及び漁港護岸の消波工 1.2 消波工構造の選定**」に示すように、全断面式と中詰式があり、施工性や経済性を考慮して選定する。

1.3 設計条件の設定

1.3.1 設計潮位

消波工の設計に用いる潮位は照査項目により異なり、消波工天端高の算定では「**漁港海岸手引き p.70 第3章 3-2-5 (1) 1 天端高**」に示されるように朔望平均満潮面 ($H.W.L.$) に潮位偏差の最大値の実測または推算値 (η) を加えた潮位を用いる。

なお、既往最高潮位 ($H.H.W.L.$) が設定されている水域では、異形ブロックの質量算定を行う場合、 $H.H.W.L.$ を設計潮位としてもよい。

1.3.2 設計波

設計波の諸元は「**漁港海岸手引き p.15 第2章 2-3-2 構造物設置位置での設計波**」により定める。護岸・堤防の消波工では、「**漁港海岸手引き p.66 第3章 3-2-4 照査において考慮すべき条件、p.225 3-7-6 安全性能の照査**」より、壁体前面水深での進行波としての有義波高の5波高沖までの区間で

の最大波高とする。ただし、壁体前面の水深が著しく小さい場合は、その地点の波高を用いて計算すると過小になるおそれがあるため、水深が換算沖波 H_0' の 0.5 倍となる地点での波高を用いる。

1.3.3 波の入射角

護岸・堤防に作用する波圧の算定では、入射角 β を確認して補正を行う。入射角とは波の主方向と防波堤の法線の垂線とのなす角度であり、「**海岸基準 p.2-45 第2章 2.3.5.2 (1) 直立壁に作用する重複波及び碎波の波力**」より、碎波あるいは消波工付きの防波堤に作用する波力を算定する場合には、 $\pm 15^\circ$ の範囲において危険側の角度に補正して用いる。なお、通常は消波工の安定質量の検討においては、入射角 β の補正は行わない。

1.4 構造諸元の設定

1.4.1 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。一般的には 1 : 1.3 ~ 1 : 1.5 程度のものが多い。この点については「**本書 p.1-3-3 第1編第3章 傾斜型異形ブロック式防波堤 3.4.1 斜面勾配**」を参照。

1.4.2 異形ブロックの質量算定

異形ブロックの1個あたりの質量は、式 (3-1-1) のハドソン式¹⁾により算定する。式中の安定数 K_D は、水理模型実験により適切に設定することが望ましい。各ブロックの K_D 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などにおいて、ハドソン式に拠りがたい場合には、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)

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

ここに、

W : ブロックの安定質量 (t)

H : 設計波高 (m)

ρ_r : 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

1.4.3 天端高

(1) 護岸・堤防の消波工

護岸・堤防の消波工の天端高は、「**漁港海岸手引き p.142 第3編 3-2. 護岸・堤防 (11) 消波工**」に示されるように、 $0.8hc$ (hc : 護岸の天端高) を標準とする。また、護岸・堤防の天端高 h_c を波の打ち上げ高により決定する際に、消波工の効果を期待する場合には表-1.1、図-1.2 を満足することを原則とする。護岸・堤防の天端高 h_c を波の越波流量で決定する際は消波工の天端高は護岸・堤防天端高 h_c から $0.1H_0'$ 程度下げた高さにする²⁾。

表-1.1 護岸・堤防の消波工の所要天端高 h_m (護岸・堤防天端高を打ち上げ高により決定する場合)

異形ブロックの天端幅 B	消波工の所要天端高 h_m
ブロック 2 個並び	$0.8h_c$ 以上
ブロック 3 個並び	$0.7h_c$ 以上
ブロック 4 個並び	$0.5h_c$ 以上

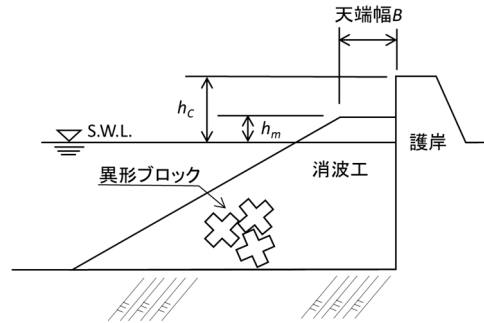


図-1.2 護岸・堤防の消波工の模式図

護岸・堤防の天端高 h_c の算定は、式 (3-1-2) を標準とする。

$$\text{天端高 } h_c = \text{設計潮位 } (H.W.L. + \eta) + \text{設計波に対する必要高} + \text{余裕高} \quad (3-1-2)$$

設計潮位については「**本章 p.3-1-11.3.1 設計潮位**」に示すように $H.W.L. + \eta$ とする。設計波に対する必要高は「**漁港海岸手引き p.73 第3章 3-2-5 (3) 設計波に対する必要高の算定手法について**」を参照とするが、越波量、打ち上げ高、又は簡便法により必要高を算定する。なお、必要高を波の打ち上げ高、又は簡便法で算定する場合、消波工の天端幅・天端高が表-1.1 を満足する場合は護岸の天端高 h_c を必要高の 70% まで下げてもよい。なお、表-1.1 で用いる h_c は低減された天端高を対象とする。

(2) 遊水部付き消波工

遊水部付き防波堤の消波工の天端高は、原則として設計潮位 ($H.W.L. + \eta$) に式 (3-1-3) に示す高さ (R_L) を加えた高さ以上とする。

$$R_L = 0.55H \quad (3-1-3)$$

ここに、

R_L : 朔望平均満潮面 (+偏差) 上の天端高

H : 護岸前面から 5 波高沖までの区間の最大波高 (波高算定時の潮位 = $H.W.L.$)

1.4.4 天端幅

護岸の消波工の天端幅は、「**漁港海岸手引き p.142 第3章 3-2-6 (11) 2 天端幅及び天端幅**」に示されるようにブロック 2 個並びを標準とする。また、波の打ち上げ高の算定図、または簡便法で求めた所要天端高の低減を期待する場合は表-1.1 に示すように消波工の天端高 h_m に応じてブロック

2～4個並びとする。

遊水部付き消波工の天端幅は、ブロック3個並びとする。

1.4.5 遊水部付き消波工の設置位置

越波流量の低減を目的として用いられる遊水部付き消波工の設置位置は、**図-1.3**に示すように直立堤前面水深 h における波長 L の0.1倍程度の距離が適切とされている。ただし、碎波帯内では碎波に伴う水位上昇が生じるため、**図-1.3**の手順により消波工の位置を決定する。

設計条件下での遊水部における平均水位の上昇量は、同じ設計条件下で同一海底勾配斜面上の汀線での平均水位上昇量 $\bar{\eta}$ に等しいとみなし、これを算出する。次に堤体前面水深 h と $\bar{\eta}$ の合計値に応じた波長 L を算定し、消波工の位置（遊水部長 l ）を決定する。

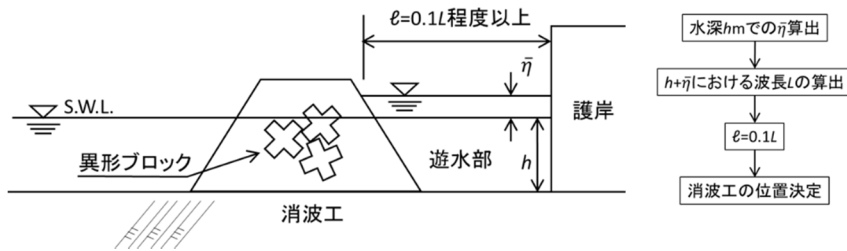


図-1.3 遊水部長さの模式図と決定手順

1.4.6 中詰材

中詰式の消波工の細部検討（被覆ブロックの層厚、中詰材の質量など）については「**本書 p.1-3-6 第1編第3章 傾斜型異形ブロック式防波堤 3.4.7 中詰式**」を参照。

1.5 設計計算例

図-1.4に示す直立型護岸の越波流量の低減を目的とした消波工の設計例を示す。なお、本設計例では護岸本体（天端高を除く）及び基礎捨石などについては対象外とするため、**図-1.4**ではそれらの形状は簡略化して示す。

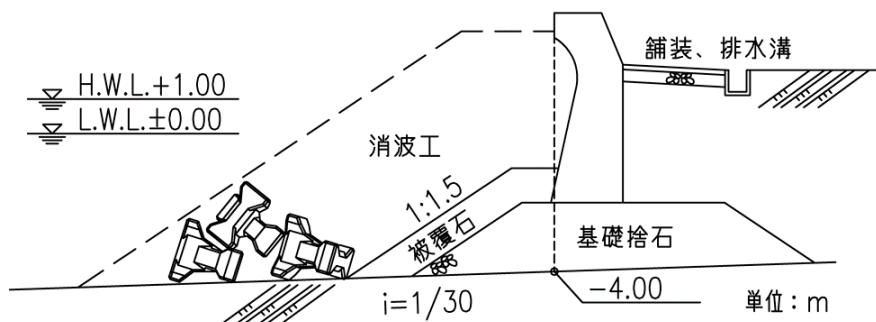


図-1.4 護岸検討図

(1) 設計条件

- 1) 設置条件
 - a) 設置目的：越波流量の低減
 - b) 許容越波流量： $q=0.02\text{m}^3/\text{m/s}$ （「**漁港海岸手引き p.88 第3章 3-2-5.目的達成性能の照査 (5) 越波流量による必要高の算定法**」より、護岸・堤防、天端舗装の場合の限界越波流量を適用する。）
 - c) 施工延長：50m
 - d) 堤脚水深：-4.00m
 - e) 海底勾配：1/30
- 2) 海象条件
 - a) 潮位：H.W.L.+1.00m L.W.L.±0.00m
 - b) 設計波： $H_0'=5.00\text{m}$ 、 $T_0=9.0\text{sec}$ 、 $L_0=126.4\text{m}$ 、 $L_0 (=1.56 \times T_0^2) =126.36\text{m}$
 $H_0'/L_0=0.040$ 、 $h/H_0'=(4.00+1.00)/5.00=1.00$
 - c) 潮位偏差の最大値： $\bar{\eta}=0.06\text{m}$ （既往の潮位偏差の最大値）
 - d) 護岸前面位置での有義波： $H=3.48\text{m}$ 、 $T=9.0\text{sec}$ （「**海岸基準 p.2-35 砕波帯内の最大波高と有義波高の変化**」より。 $H_{1/3}/H_0'=0.695$ ）
 - e) 5H 区間で最大となる有義波： $H=3.77\text{m}$ 、 $T=9.0\text{sec}$ （「**海岸基準 p.2-35 砕波帯内の最大波高と有義波高の変化**」より。水深 $h=4.58\text{m}$ 地点、 $h/H_0'=(4.58+1.00)/5.00=1.12$ 、 $H_{1/3}/H_0'=0.754$ ）

(2) 護岸天端高

本計算例における消波工は越波流量の低減を目的としており、なおかつ、「**漁港海岸手引き p.73 3-2-5.(3) 設計波に対する必要高の算定方法について**」による照査の目安によっても、本計算例の護岸の天端高は越波流量から決定することになる ($h \geq 1.0 \times H_0'$)。

「**海岸事業の手引 p.933-2-5(6) 護岸・堤防の越波流量推定図**」に従い、許容越波流量 q を $0.02\text{m}^3/\text{m/s}$ とした場合、 $\frac{H_0'}{L_0} = 0.040 (\cong 0.036)$ （安全側を見込んで $H_0'/L_0=0.036$ の推定図を適用する）、

$$\frac{q}{\sqrt{2g(H_0')^3}} = 4.04 \times 10^{-4}、\frac{h}{H_0'} = 1.01 \text{ となり、グラフより } \frac{h_c}{H_0'} = 0.73 \text{ となる。よって、消波工付き護}$$

岸の天端高 h_c は $h_c=3.65\text{m}$ となる。なお、護岸天端の標高は $H.W.L. + \bar{\eta} + h_c$ となるため、 $+4.71\text{m}$ となるが、10cm 単位で切り上げて $+4.80\text{m}$ とする。

(3) 構造諸元の算定

1) 使用ブロック

消波工に使用する異形ブロックは図-1.5 に示す B ブロックとする。B ブロックの性能値から決まる、斜面勾配などの構造諸元を表-1.4 に示す。

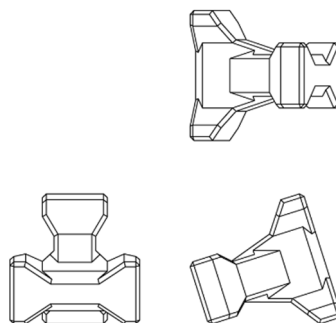


図-1.5 Bブロックの形状図

表-1.2 ブロック性能値から決まる構造諸元

項目	値	備考
斜面勾配	1 : 1.5	1 : 1.3~1 : 1.5 の範囲
K_D 値	13.0	乱積
公称トン数 (規格)	2、4、10 トン	

2) 天端高

護岸の消波工の天端高 h_m は、護岸の天端高 (=3.74m) から $0.1H_0'$ (=0.5m) 下げた高さとして、 $h_m=3.24\text{m}$ となる (標高としては+4.30m)。

3) ブロック質量の算定

異形ブロックの質量算定における設計波高は、護岸前面における有義波高の5倍の水平距離の区間で生じる有義波のうち、最も大きい値を用いる。ブロック質量は式 (1-1-1) より、

$$W = \frac{\rho_r H^3}{K_D \cot \theta \left(\frac{\rho_r}{\rho_0} - 1 \right)^3} = \frac{2.3 \times 3.77^3}{13.0 \times 1.5 \times \left(\frac{2.3}{1.03} - 1 \right)^3} = 3.371 \quad (t)$$

ここに、

W : ブロックの安定質量 (t)

H : 設計波高 (護岸前面での有義波高の5倍の水平距離の区間で生じる有義波のうち、最も大きな値) $H = 3.77 \text{ m}$

ρ_r : ブロックの密度 $\rho_r = 2.3 \text{ t/m}^3$

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

θ : 法面が水平面となす角度 $\cot \theta = 1.5$

K_D : ブロックの安定数 $K_D = 13.0$

となり、表-1.4 より、公称4トン型 (実質量=4.004t) で安定である。

4) 天端幅

護岸の消波工の天端幅 B は、天端でのブロック並び個数が2個となる $B=2.70\text{m}$ とする (Bブロックカタログより)。

(4) 標準断面図

標準断面図は図-1.6 のようになる。図中、護岸本体 (天端高を除く) 及び基礎捨石などについては概略で示している。

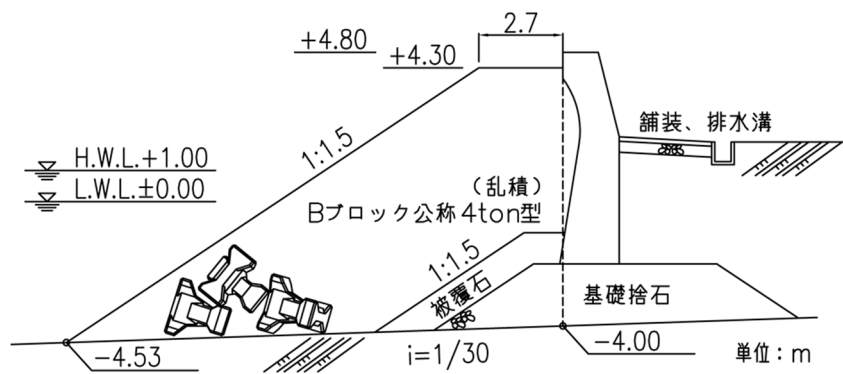


図-1.6 標準断面図

1.6 参考文献

- 1) Hudson, R.Y. : Laboratory study of rubble-mound breakwaters, Proc. ASCE, Vol.85, WW3, 1959.
- 2) 合田良實 : 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版社, 1990 増補改訂, pp.124.