

第2章 離岸堤

2.1 概要

海岸保全施設の離岸堤は、沖側の海面に汀線とほぼ平行に設置される構造物である。高潮対策では、沖からの進入波を減衰させ、護岸・堤防の越波量や波の打ち上げ高の低減を図るとともに、その背後に静穏な水域を確保して海浜の利便性の向上を図る目的で設置される。また侵食対策では、離岸流を減衰させることにより、その背後に砂を堆積させ、海浜の侵食防止を図り、場合によっては汀線を積極的に前進させ海浜の造成を図ることを目的として設置される。特徴は「本書 p.1-3-1 第1編第3章 傾斜型異形ブロック式防波堤 3.1 概要」を参照する。

離岸堤の機能としては、

- ・ 進入波のエネルギーを減衰させるとともに、離岸流を減衰させる。
- ・ 波高の減衰効果により、波形勾配を小さくして侵食型から堆積型の波に変える。
- ・ 波高の減衰効果により、沿岸漂砂量を減少させる。
- ・ 上記の効果により、トンボロ現象を発生させて汀線の前進を図る。

などがあげられる。図-2.1 に、離岸堤によってトンボロができる一例を示す。

離岸堤群を設置すると、その水理特性から沿岸漂砂量を減少させることができる。このため図-2.2 のようにトンボロを形成する。ただし、沿岸漂砂量が減少するため、漂砂下手側では逆に汀線が後退する場合があるので注意しなければならない。「漁港海岸手引き p.169 第3章 3-5-1 目的と機能」

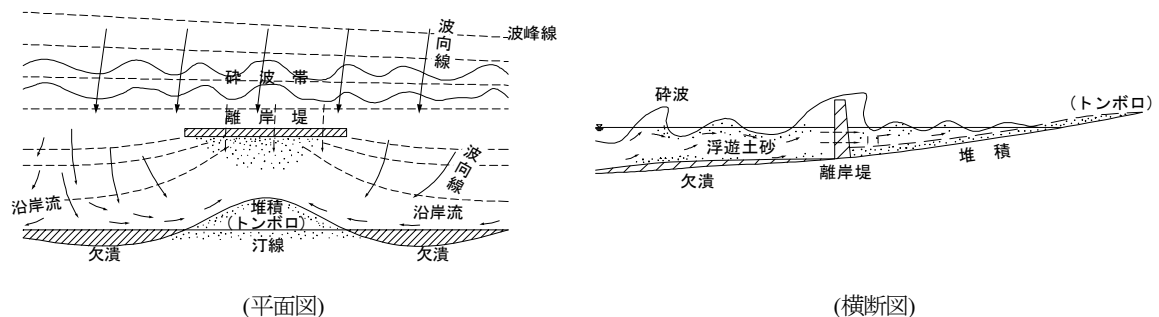


図-2.1 トンボロが形成される状況の例

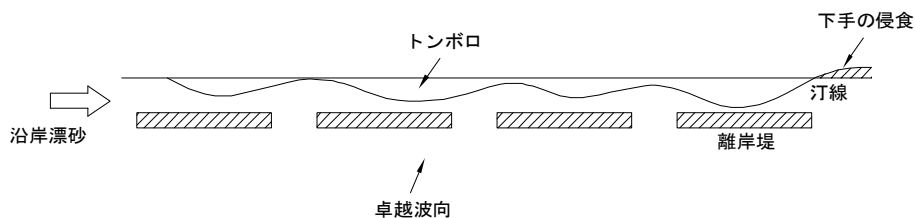


図-2.2 沿岸漂砂が存在する場合のトンボロの形成

2.2 堤体構造の選定

離岸堤は、消波ブロック等を海底に積み上げて設置し、設置水深は5m未満の比較的浅い場合が多い。構造としては、不透過性のものと透過性のものがあるが、波高の減衰を目的とする場合には不透過性を、砂の堆砂を目的とする場合には透過性の構造が採用される場合が多い。

2.3 設計条件の設定

2.3.1 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。

2.3.2 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。「漁港海岸手引き p.173 第3章3-5-4 照査において考慮すべき条件」より一般的には、図-2.3のように設計波算出時の離岸堤の設置水深 h は、砕波圧領域及び重複波圧領域を問わず、異形ブロック法先とし、基礎マウンドタイプの場合は堤体法先前面下の水深（堤脚水深）としている。

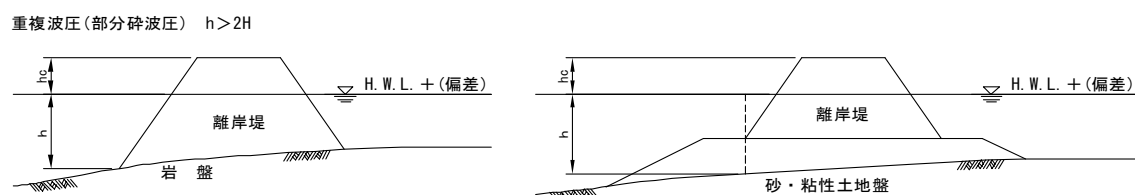


図-2.3 離岸堤の安定性の検討に用いる設計波高

2.3.3 流れ及び漂砂

海岸の侵食・堆砂現象は、土砂の供給量及び対象海岸付近の漂砂の移動量分布の変化によって大きな影響を受ける。よって、侵食あるいは堆砂現象を把握するためには供給源の性状、河川流出土砂量、流況、漂砂の卓越方向、連続性等について十分に調査する必要がある。

2.3.4 海底地形及び海浜地形

離岸堤を海底勾配の急な場所や地形変化の著しい場所に設置すると、来襲する波が急速に増大したり、局部的に収れんしながら堤体と衝突することがあるため、基礎捨石や異形ブロックの飛散等が発生しやすくなる。このため、詳細な検討が必要である。局所洗掘及び堤体の不同沈下、または離岸堤前面の侵食を引き起こす可能性があるため、このような場所に離岸堤を設置することは避けることが望ましい。ただし、やむを得ず設置する場合は地形変化を十分調査し、基礎部の補強等を講じるなど、詳細な検討が必要である。

2.3.5 地盤

堤体の安定計算や施工計画を立案するために、土質状況を十分に把握しておく必要がある。粘性土または中間土の土質地盤上に設置せざるを得ない場合は、十分な検討を行う必要がある。

2.4 構造諸元の設定

離岸堤は、消波することにより越波を減少させる機能（越波減少機能）、漂砂を制御することにより汀線を維持し若しくは回復させる機能（汀線維持回復機能）のいずれかの機能またはその両方の機能を有するものとする。

2.4.1 越波減少機能

(1) 平面配置

1) 離岸堤の長さ及び離岸距離

離岸堤背後の波高はほぼ堤長で決まる。離岸堤の長さが、離岸堤設置位置での波長(L)の半分より短くなると離岸堤背後に波が回り込み消波効果は低くなる。

2) 開口幅

開口部背後の波高は、開口幅によってほとんど規定され、開口幅を波長の0.6倍以下にすれば開口部背後の波高の低下がみられる。ただし堤長が波長の3倍程度長くなると開口部の影響は小さい。また、設置水深が深くなると開口部の影響は小さくなる。

堤長が波長の2倍以上の離岸堤では、開口部の影響が小さく、堤体の透過率によって消波効果がほとんど規定されるため、たとえば、離岸堤を連続堤として伝達波高を求めることができる。

(2) 天端高

離岸堤の消波能力は、堤体幅を同一としたとき天端高が高いほど消波効果は高くなる。よって、消波効果を目的とする離岸堤の天端高は、伝達波高が目的とする背後の民家や公共施設の高さ、または既設あるいは新設される護岸・堤防の天端高を満足できるように、離岸堤天端高を決定しなければならない。さらに、このとき離岸堤による内水面の水位上昇や、開口部の幅等についても考慮する必要がある。

波高伝達率の算定手法を以下に示す。

1) 沼田の式¹⁾「本書 p.1-3-4 第1編第3章傾斜型異形ブロック式防波堤 3.4.5 波高伝達率」を参照する。

2) 田中による算定図

波高伝達率の結果は「漁港海岸手引き p.178 第3章 3-5-5 目的達成性能の照査 (3)天端高 算定グラフ H_t/H_o' と R/H_o' の関係」に示されている。ただし、この実験条件は海底勾配 1/10、離岸堤の法勾配は 1 : 2.0 であり、実際の条件が異なる場合には注意を要する。

3) 離岸堤群としての簡易式

伝達波高を算出する場合、それぞれの開口部と離岸堤背後の透過波を合成することが望ましいが、次式にて概略設計の目安程度として、離岸堤群の伝達波高を簡易的に算定してもよい。

$$\frac{H_{in}}{H_{out}} = \sqrt{\frac{\ell}{\ell + \ell'} K_t^2 + \frac{\ell'}{\ell + \ell'} K_G^2} \quad (2-2-1)$$

ここに、

H_{in} : 離岸堤背後の平均的な代表波高

H_{out} : 入射波高
 K_t : 離岸堤の波高伝達率
 K_G : 開口部の透過率(0.7~0.9)
 ℓ : 離岸堤長
 ℓ' : 開口部長

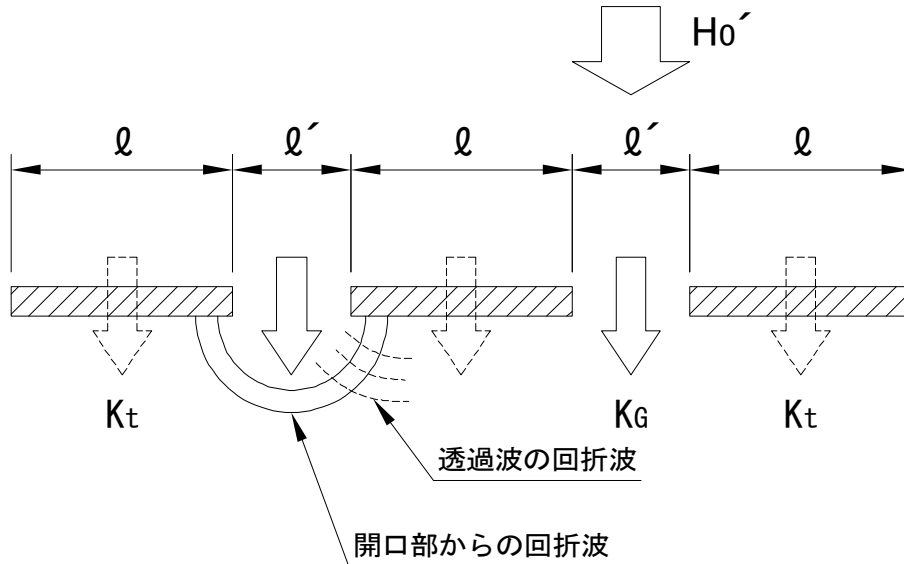


図-2.4 離岸堤背後の伝達波高

- (3) 天端幅
 「本章 p.3-2-5 2.4.6 天端幅」を参照する。

2.4.2 汀線維持回復機能

(1) 平面配置

堆砂を目的とした離岸堤の配置計画に明確な決定方法はないが、経験的判断に基づく目安として次のような堤長 ℓ と開口幅 ℓ' の関係がある。

- ・ 設置水深 1m 以下 $\ell = (3\sim 5)L$ 、 60m~100m
 (群堤) $\ell' = L$ 、 10m~30m
- ・ 設置水深 2~4m 以下 $\ell = (2\sim 6)L$ 、 60m~200m
 (群堤) $\ell' = L$ 、 20m~50m

ここに、 L は、離岸堤設置位置での波長を示す。

1) 離岸堤の長さ及び離岸距離

設置水深における波長よりも離岸堤が長い場合に堆砂効果が高い。碎波水深より浅い設置水深の場合に堆砂効果が高いことが多い。

堤長と離岸距離の比が大きくなるにしたがい開口部汀線は基本的に前進するものの、その変位は小さくなる。

2) 開口幅

開口幅と堤長の比が 0.5 以上では、開口部汀線は後退する場合がある。

(2) 天端高

堆砂効果を目的とした場合は、常時波浪に越波しない程度の天端高があれば十分な効果を期待できる。

一般的には、下記算定式にて決定されるが、設置水深、潮位、使用材料、工法等の条件を勘案して決定してよい。

- ・天端高= $H.W.L + (1.00 \sim 1.50)m + \text{予想沈下量}$
- ・天端高= $H.W.L + 1/2H(\text{設計波高}) + \text{予想沈下量}$
(H は設置水深における進行波として年数回波程度の有義波高とする。)

(3) 天端幅

「**本章 p.3-2-5 2.4.6 天端幅**」を参照する。

2.4.3 異形ブロックの斜面勾配

斜面勾配は「**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 異形ブロックの斜面勾配**」により定める。

2.4.4 異形ブロックの所要質量算定

異形ブロックの所要質量算定は「**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 3.4.2 異形ブロックの所要質量算定**」により定める。

2.4.5 天端高

天端高は「**本章 p.3-2-3 2.4.1 越波減少機能**」により定める。

2.4.6 天端幅

天端幅は、「**漁港海岸手引き p.179 第3章 3-5-5 目的達成性能の照査 (4)天端幅**」によると、異形ブロックを用いた場合の天端個数は、漁港海岸では整積の場合2個並び、乱積の場合3個並びを標準としているが、特に必要な場合は広げてよいとしている。

2.4.7 構造項目

(1) 基礎工

離岸堤には、原則として基礎工（捨石マウンド）を設置する。ただし、基礎地盤が岩盤あるいは比較的締まった砂礫等で、沈下及び洗掘等のおそれが全くない場合は基礎工を省略してよい。

基礎工の敷幅は、**図-2.5**のように堤体下幅に余裕幅を加えたものとする。余裕幅は波高、地盤、設置水深を考慮して決定するが、港外側で2m、港内側で1～2m程度の実施例が多い。基礎工には、フトン籠が多く用いられ、合わせて洗掘防止マットや防砂シート類を使用する例も多い。

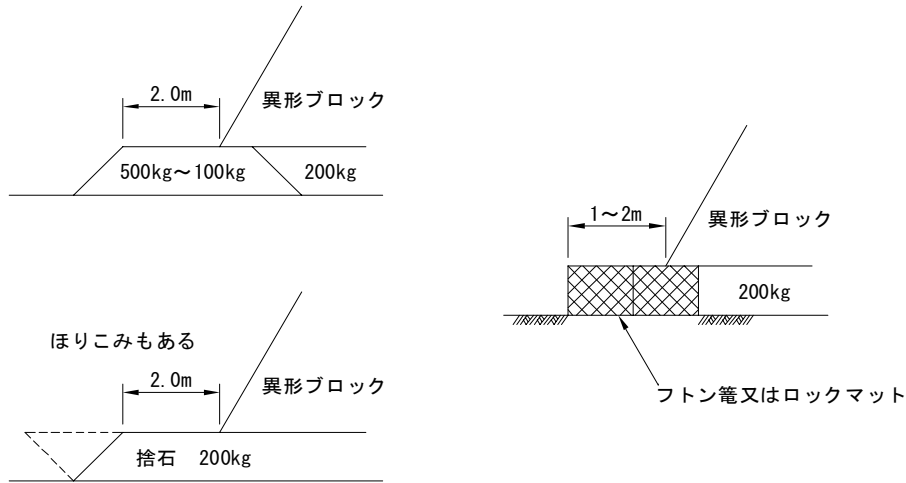


図-2.5 離岸堤捨石基礎工の標準的施工法

(2) 堤体工

離岸堤に用いるブロック 1 個当りの必要質量は「**本章 p.3-2-5 2.4.4 異形ブロックの所要質量算定**」より算出する。なお、過去において被災実績のある海岸では、1.5 倍程度まで割増する場合が多い。表-2.1 に割増率を示す。

表-2.1 各割増率

事例	割増率
堤頭部割増し	離岸堤には採用しない
被災実績が多い	1.5 倍程度とする場合が多い

(3) 整積及び乱積工法

離岸堤において、異形ブロックを整積工法とするか乱積工法とするかは、設置地盤の地形、既設構造物の有無、景観上の配慮の有無により異なる。

表-2.2 整積工法と乱積工法

工法	採用例
整積工法	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が平坦もしくは不陸があっても捨石等によりマウンドを設ける場合。
乱積工法	<ul style="list-style-type: none"> 既設ブロック嵩上げあるいは流用ブロックを用いる場合。 地盤が強固である場合。

ただし、ブロックによっては整積工法と乱積工法によって必要質量が異なることがあるため、両者の比較検討により経済性を考慮して決定することが望ましい。

2.5 設計計算例

図-2.6 に離岸堤の設計例を示す。

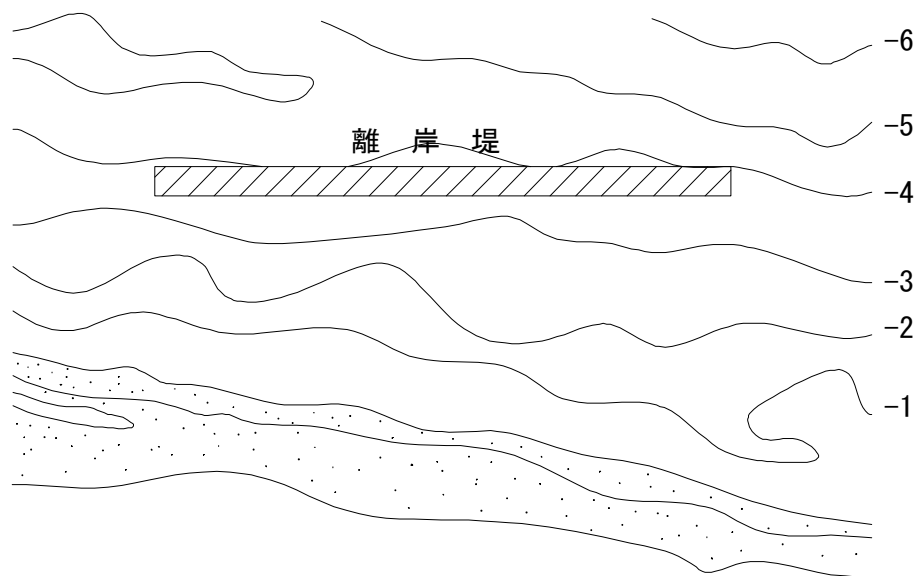


図-2.6 海岸平面図

2.5.1 設計条件

(1) 設置条件

- 1) 設置目的：海岸保全施設の離岸堤として、堆砂を目的とする。
- 2) 離岸堤の設計延長：100m
- 3) 設置位置の水深：-4.00m
- 4) 海底勾配：1/50

(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 $Ho' = 7.00m$ 、周期 $To = 11.0sec$ 、沖波波長 $Lo = 188.76m$ 、波形勾配 $Ho'/Lo = 0.037$ 、 $h/Ho' = (4.00 + 1.50)/7.00 = 0.79$ 、 $H_{1/3}/Ho' = 0.55$ 、よって $H_{1/3} = H = 3.85m$

(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) ~ -3.0m は砂質土、-4.0m 以深は岩盤とする。

(4) その他

堤体の割増：被災実績が多いことからブロック割増率を 1.5 倍程度とする。

2.5.2 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-2.7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、斜面勾配等の構造諸元を表-2.3に示す。

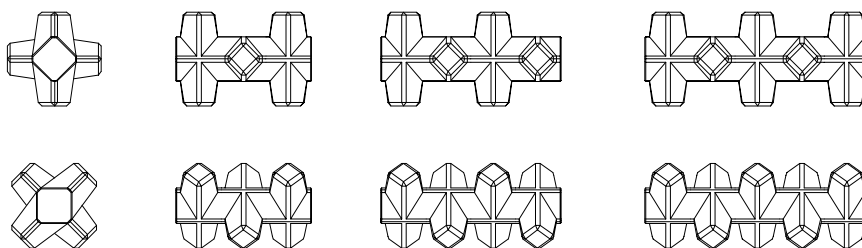


図-2.7 Bブロックの形状図

表-2.3 構造諸元

項目	値	備考
斜面勾配	1 : 1.34	1 : 0.37~1 : 2.23 の範囲
K_D 値	8.3	整積

(2) 異形ブロックの所要質量算定

$$W = \frac{2.30 \times 3.85^3}{8.3 \times 1.34 \times \left(\frac{2.30}{1.03} - 1\right)^3} = 6.296t$$

ただし、被災実績が多いことから所要質量を1.5倍し算定する。

$$W \times 1.5 = \frac{2.30 \times 3.85^3}{8.3 \times 1.34 \times \left(\frac{2.30}{1.03} - 1\right)^3} \times 1.5 = 9.443t$$

したがって、必要質量を超えるBブロック直近の規格10.170tを使用する。

2.5.3 天端高

天端高は「**本章 p.3-2-3 2.4.1 越波減少機能**」に準じるものとする。また、本箇所は基礎地盤が岩盤のため予想沈下量はないものとする。

- ・天端高 = $H.W.L. + (1.0 \sim 1.5) + \text{予想沈下量}$
 $= 1.50 + (1.00 \sim 1.50) + 0.00 = +2.50 \sim +3.00m$
 - ・天端高 = $H.W.L. + 1/2 H$ (設計波高) + 予想沈下量
 $= 1.50 + 1/2 \times 3.85 + 0.00 = 3.425 = +3.50m$
- 本例では、天端高を+3.50mとする。

2.5.4 天端幅

天端幅はブロック 2 個並びとし、Bブロックのカタログより $B=5.02\text{m}$ とする。

2.5.5 のり止め工及び沈下防止のための基礎工

基礎マウンドを設置する。マウンド厚は 1m 以上を標準とする。

2.5.6 余裕幅

本例では 2.00m とする。

2.5.7 離岸堤の長さ

設置水深が -4.00m であるから、「**本章 p.3-2-4 2.4.2 汀線維持回復機能**」より

- ・設置水深 2~4m 以下 $l=(2\sim6)L$ 、60m~200m

設置位置での波長 $L=78.29\text{m}$ 、 $l=(2\sim6)\times 78.29=158.58\sim 475.74\text{m}$ 、または 60m~200m となるため設計離岸堤長 100m はそのままとする。

2.5.8 標準断面図

標準断面は図-2.8 のようになる。

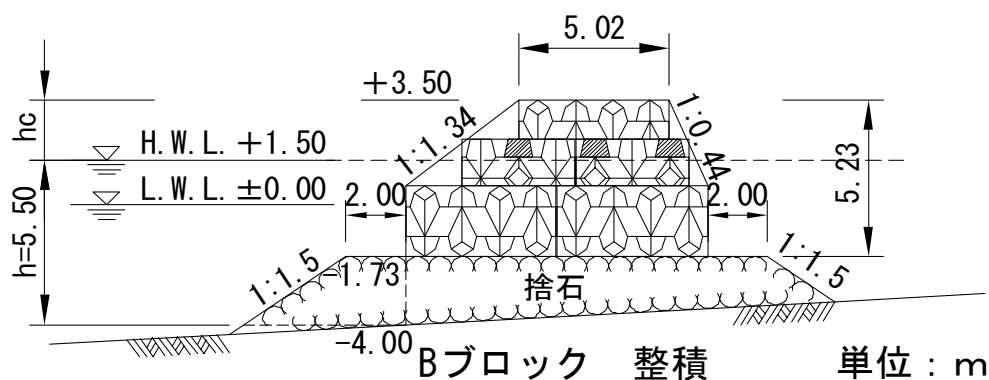


図-2.8 標準断面図

2.6 参考文献

- 1) 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