

## 7. 離岸堤



## 7. 離岸堤

### 7.1 総則

#### 7.1.1 総説

本章は、東北地方太平洋沖地震を踏まえて整備する離岸堤を設計する上での具体的な技術的事項についてとりまとめたものである。

本マニュアルに記載がない事項については、関連基準や参考資料に準拠するものとする。

#### 解説

本マニュアルで対象とする離岸堤は、主に消波ブロック等を海底に積み上げて設置する構造形式のものであり、設置水深は5m未満の比較的浅い場合を対象とする。

水深が8～20mに設けられる大水深向けの有脚式、鋼板セル式などの新型離岸堤は、対象としていない。

## 7.1.2 機能と構造

### (1) 機能

離岸堤は、海岸背後にある人命や資産を高潮及び波浪から防護すること、若しくは海岸侵食の防止、軽減及び海浜の安定化を図ること又はその両方を目的とし、汀線の沖側に設置される天端高が海面よりも高い海岸保全施設である。

離岸堤は、消波することにより越波を減少させる機能、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のいずれかの機能又はその両方の機能を有するものとする。

### 解説

離岸堤は、天端が海面よりも高く、通常、沖合いに汀線と平行に設置される構造物で、海岸背後にある人命・資産を高潮及び波浪から防護すること、もしくは、海岸侵食の防止・軽減及び海浜の安定化を図ること、あるいはその両方を目的として設置された海岸保全施設である。

#### 1) 波浪制御機能

離岸堤は、波浪を制御する構造物であり、同時に陸側域の漂砂制御や越波対策の役割も担う。波高や越波の低減を目的とした離岸堤の機能を期待する場合には、離岸堤背後に生じる水位上昇や開口部の存在などにより、必ずしも有効な消波効果をできない場合があるので留意する必要がある。一方、離岸堤背後に堆砂しトンボロが形成された場合には、より高い消波効果が期待できる。

#### 2) 漂砂制御機能

離岸堤は、波の回折及び消波によって沿岸方向又は岸沖方向の漂砂を制御する効果を持つ。

離岸流背後の循環流の発達によって、沿岸流が分断され強い沿岸流が生じにくくなるため、沿岸漂砂量を小さくでき、離岸堤設置範囲において侵食を抑えられる。

一方、消波効果の高い離岸堤の開口幅を広くとって設置することにより、静的に安定的な海浜を形成することもできる。

このように離岸堤は、供給土砂が減少した海岸では沿岸漂砂量を減少させる上で有効な対策となるが、離岸堤によって沿岸漂砂を完全に止めてしまうと離岸堤の下手側で侵食が発生する可能性があるため、十分な検討が必要である。

また、前浜が完全に侵食された海岸や漂砂源が枯渇した海岸では、離岸堤を設置しても前浜の復元は困難であり、周辺の海岸侵食のみが現れる場合があるので、対象海岸の漂砂特性を十分に検討した上で選定の可否を判断する必要がある。

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月」による。

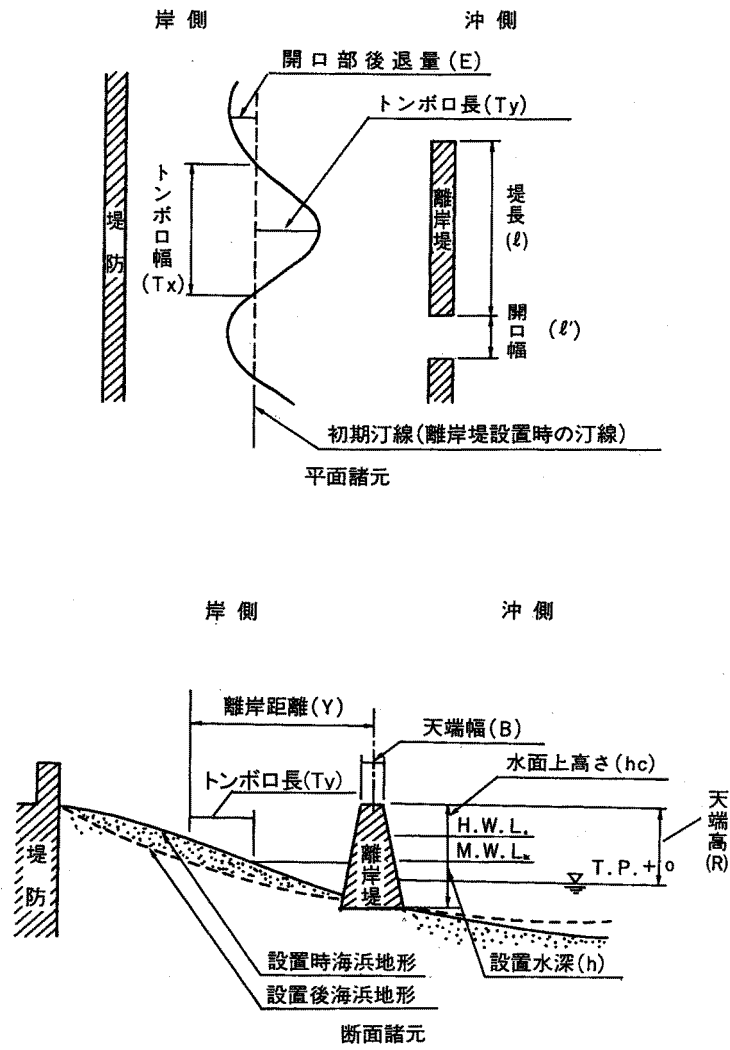


図 7.1.1 離岸堤に関する用語の定義

出典：「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月」3・87

## (2) 構造

所定の機能が発揮されるよう、離岸堤の形式、天端高、天端幅、長さ及び汀線からの距離並びに離岸堤相互の間隔を定めるものとする。

### 解説

離岸堤は、消波ブロック等を海底に積み上げし、水深 5m 未満の比較的浅い場所に設置される海岸保全施設である。

離岸堤の断面形状の例を、図 7.1.2 離岸堤の断面の例に示す。

離岸堤は、海底を砂利や採石などで敷均した上に数十～数百 kg/個の捨石でマウンドを作り、捨石の表層を消波ブロックで被覆する構造が多い。捨石やブロック間の空隙が大きいと基礎地盤の砂が吸い出され洗掘を生じる。このような洗掘を防止するために、基礎地盤上には必要に応じて洗掘防止用のシート・マットなどを敷設する。

離岸堤の構造としては、不透過性のものと透過性のものがある。

波高の減衰を目的とする場合には不透過性を、砂の堆積を目的とする場合には透過性の構造が採用されることが多い。

また、波の透過を抑える機能を持つ不透過性の構造もある。不透過堤には、方塊、混成堤、捨石堤、石張堤等があり、波の打ち上げ高・越波流量の低減を目的に砕波帯の沖側に設置されることが多い。

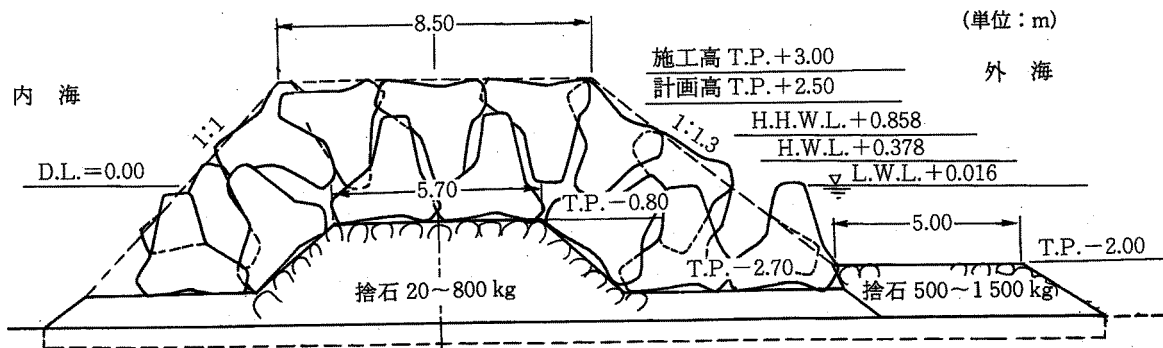


図 7.1.2 離岸堤の断面の例

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成 16 年 6 月」による。

### 7.1.3 設計フローチャート

設計は、以下のフローに従い行うものとする。

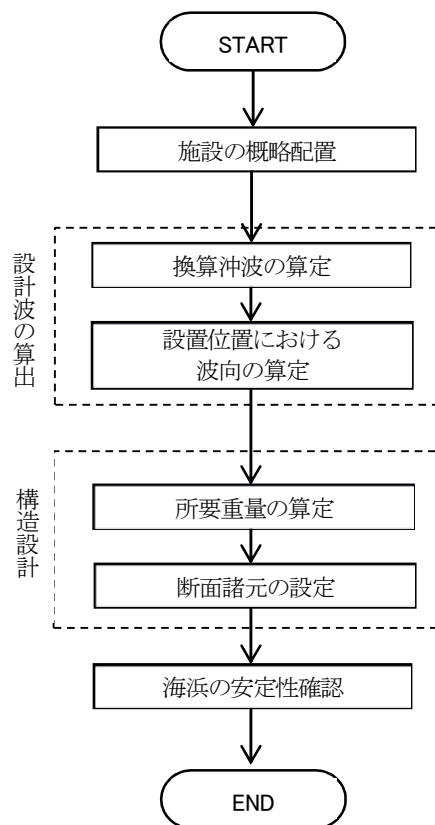


図 7.1.2 設計フローチャート

## 7.2 設計条件

離岸堤の設計は、以下を考慮するものとする。

- ・ 自然条件として、潮位と波、流れ及び漂砂、海底地形及び海浜地形、地盤について適切に設定する。
- ・ その他の条件として、背後地の重要度、海岸の環境、海岸の利用及び利用者の安全、船舶航行条件、施工条件について考慮する。

### 解説

離岸堤の構造形式や構造諸元の決定にあたっては、以下の条件を考慮するものとする。

#### (1) 自然条件

##### 1) 潮位と波

消波を目的として設置する場合の離岸堤の諸元は、潮位に当該海岸の設計高潮位を、波に設計波を用いて検討を行う。

漂砂制御を目的として設置する場合の離岸堤の諸元は、堆砂現象が長期的な漂砂の積分であることから、潮位に当該海岸の平均潮位を、波にエネルギー平均波を用いる。ただし、天端高の検討にあたっては、潮位に **HWL** を用いるものとする。

##### 2) 流れ及び漂砂

一連の海岸において、導流堤や突堤あるいは防砂堤等の構造物によって沿岸漂砂が遮断されたり、河川等からの供給土砂が減少すれば海岸は侵食されることになる。海岸の侵食あるいは堆砂現象に最も大きな影響を与える条件は、土砂の供給量及び対象海岸付近の漂砂の移動特性である。

離岸堤の設計にあたっては、これらの事項を把握するために、供給源の性状、河川流出土砂量、流況、漂砂の卓越方向と連続性などについて十分調査する必要がある。

##### 3) 海底地形及び海浜地形

海底地形及び海浜地形は、離岸堤の安全性及び構造諸元を検討するための設計波の変形、波の打ち上げ高や越波量などを計算する際に必要となる条件であり、離岸堤の平面形状の検討においても重要である。設計においては、標準的な海底地形、海浜地形の断面形状を設定することが一般的であり、断面地形の設定では、平面的及び時間的に変化する断面形状の重ね合せを行い、平均的あるいは侵食された断面地形などを選定することが考えられる。

##### 4) 地盤

地盤は、離岸堤の構造形式の選定、安全性の検討及び施工の立案において重要な条件であることから、十分に調査を行う必要がある。



## (2) その他の条件

### 1) 背後地の重要度

波浪制御を目的とする離岸堤は、波の打ち上げ高または越波流量が所定の値を上回らないことを満足する必要がある。その値は背後地の重要度によって異なり、背後地に人口、資産の集中するような重要度の高い場合には、小さな値をとることが望ましい。

また、背後の地盤高も十分考慮する必要がある。

### 2) 海岸の環境、海岸の利用及び利用者の安全

海岸保全施設に対して海岸域の景観や生態系等の自然環境及び利用に配慮を求められる場合には、離岸堤の設計においても、将来の海岸利用計画、現在の海岸域の利用及び自然環境などに考慮する。

### 3) 船舶航行条件、施工条件

海上工事となる場合には、種々の施工上の制約を受ける場合がある。

船舶の航行、波浪、潮汐、潮流の影響を強く受け作業時間が制限されたり、施工による海水の濁り問題が生じたりする場合があるため、考慮が必要である。

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成 16 年 6 月 (p3-89～90)」による。

### 7.3 離岸堤の構造

離岸堤は、堤長、天端高、離岸距離、構造形式の組合せにより、波浪制御機能、あるいは漂砂制御機能を満足する構造とするものとする。離岸堤群として機能させる場合には、離岸堤相互の間隔も加えるものとする。

#### 解説

機能を照査するにあたっては、潮位及び波浪条件等を適切に設定し、波の打ち上げ高あるいは越波流量が、所定の値を上回らないこと、浜幅が所定の幅を満たしていること、又はその両方を確認するものとする。

波浪制御機能は、天端高、天端幅、堤長、汀線からの距離（離岸距離）、構造形式に支配される。特に、離岸堤の透過率は波の周期、天端高、天端幅、設置水深（離岸距離）、ブロックの代表寸法の関数となる。また、離岸堤群として機能させる場合には、離岸堤相互の距離（開口幅）にも規定される。

漂砂制御機能は、主に堤長、離岸距離、天端幅、天端高に支配され、離岸堤群として機能させる場合には、開口幅にも規定される。ただし、天端幅は、消波ブロックの種類、質量及び積み方など堤体の安全性を満たすことで十分な機能を果たす場合が多い。

これらを設定するにあたっては、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月（p3-91～96）」などに準拠して良い。

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月（p3-96）」による。

## 7.4 設計波の算出

### 7.4.1 外力条件

海岸の沖波波浪は、「宮城県における計画波浪・計画潮位概要書」による。

#### 解説

計画高潮位を用いるものとし、沖波の発生確率は30年とする。

潮位と波向は、「2.6.2 高潮（計画高潮位）と高潮による波圧」を参照のこと。

### 7.4.2 設計波

設計波は、施設ののり先位置の水深における波高を基本とする。

#### 解説

必ずしも最高潮位で最大波力を示すとは限らないので、設計高潮位と最低潮位の間で最大波力が生じる潮位を求めて、構造設計を行うものとする。

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月 (p3-96)」による。

## 7.5 構造設計

### 7.5.1 必要重量

材料（ブロック及び捨石）は、波浪等の作用に対して安全な重量を確保するものとして、原則ハドソン式により算定するものとする。

#### 解説

「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月 (p2-54)」には、ハドソン式を用いて算定できるとされていることから、ハドソン式を原則とする。

被災事例がある海岸においては、所要の質量の1.5倍程度の質量のブロックを使用する事が望ましい。

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月 (p2-54)」による。

## (2) ハドソン式

傾斜堤などの斜面被覆材は、内部の捨石を保護するものであり、それ自体が散乱しないように安定な質量を確保する必要がある。この安定な質量(所要質量)の算定には、適切な算定式を用いることができる。Hudson (ハドソン) は、Iribarren-Hudson (イリバレン-ハドソン) 式に代わる斜面被覆材の所要質量算定式として、次式で表されるハドソン式を発表した<sup>96)</sup>。

$$M = \frac{\rho_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \quad (2.3.5.16)$$

ここに、

- $M$ ; 斜面被覆材の所要質量(t)
- $\rho_r$ ; 斜面被覆材の密度(t/m<sup>3</sup>)
- $H$ ; 設計計算に用いる波高(m)
- $K_D$ ; 被覆材の形状及び被害率などによって決まる定数( $K_D$ 値)
- $S_r$ ; 斜面被覆材の海水に対する比重( $\rho_r/\rho_\theta$ )
- $\rho_\theta$ ; 海水の密度(1.03t/m<sup>3</sup>)
- $\alpha$ ; 斜面が水平面となす角

波高としては、有義波高を用いることを標準とする。

ハドソン式は、広範囲の室内実験の結果に基づいており、また現地における使用実績も高いので、斜面被覆材の所要質量の算定は、この $K_D$ 値を用いたハドソン式によって行われてきた。最近では、 $K_D$ 値の代わりに安定数 $N_s$ を用いた式が用いられている。安定数によるハドソン式は、後で述べる混成堤のマウンド被覆材の所要質量算定式としてすでに用いられており、また潜堤など他の構造物の被覆材についても用いられているため、従来の $K_D$ 値を用いた式より一般的な式である。

安定数によるハドソン式は次式で示される。

$$M = \frac{\rho_r H^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} \quad (2.3.5.17)$$

安定数は、ある波高 $H$ に対して必要な被覆材の大きさ(代表径)と直接対応している。すなわち代表径を $D_n = (M/\rho_r)^{1/3}$ とし、 $\Delta = (S_r - 1)$ として式(2.3.5.16)に代入すると

$$H/(\Delta D_n) = N_s \quad (2.3.5.18)$$

と、より簡単な式になり、波高と代表径は比例し $\Delta N_s$ がその比例定数となることがわかる。

式(2.3.5.16)と式(2.3.5.17)を比較すると、 $N_s^3 = K_D \cot \alpha$ の関係がある。実績のある $K_D$ 値であって通常の斜面角度であれば、 $K_D$ 値と斜面が水平面となす角 $\alpha$ から、安定数 $N_s$ の値を求めることができる。ただし、これまで得られている $K_D$ 値は、その多くが構造物や波の特性などの種々の要因を十分には含んでいないものであるため、より適切な所要質量の算定には、条件に対応した実験結果を用いるか、適切な算定式等を用いることが望ましい。

### 図 7.5.1 重量算定式の例

出典：「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月」

p2-48～51

(3) 波の特性などを考慮した傾斜堤被覆材の安定性

Van der Meer (ファン・デル・メーヤ) は, 高天端傾斜堤の斜面被覆石に関する系統的な実験を行い, 斜面勾配だけでなく, 波形勾配や波の数, そして被害の程度を考慮できる次の安定数の算定式を提案している<sup>97)</sup>.

$$N_s = \max(N_{spi}, N_{srr}) \quad (2.3.5.19)$$

$$N_{spi} = 6.2 C_H P^{0.18} (S^{0.2} / N^{0.1}) I_r^{-0.5} \quad (2.3.5.20)$$

$$N_{srr} = C_H P^{-0.13} (S^{0.2} / N^{0.1}) (\cot \alpha)^{0.5} I_r^P \quad (2.3.5.21)$$

ここに,

$N_{spi}$  ; 巻き波砕波に対する安定数

$N_{srr}$  ; 砕け寄せ波に対する安定数

$C_H$  ; 砕波効果係数 (=1.4 / ( $H_{1/20} / H_{1/3}$ ))  
非砕波領域では 1.0

$H_{1/3}$  ; 有義波高 (m)

$H_{1/20}$  ; 1/20 最大波高 (m)

$P$  ; 被覆層下部の透水指数

(図 2.3.5.4 参照)

$S$  ; 変形レベル ( $S = A / D_{n50}^2$ )

(表 2.3.5.1 参照)

$A$  ; 侵食部の面積 (m<sup>2</sup>) (図 2.3.5.5 参照)

$D_{n50}$  ; 被覆石の 50%質量に相当する粒径 (m)

(=  $(M_{50} / \rho_r)^{1/3}$ )

$M_{50}$  ; 被覆石の 50%質量 (t) (被覆石の所要質量)

$N$  ; 作用する波の数

$I_r$  ; イリパレン数 ( $\tan \alpha / s_{om}^{0.5}$ )

サーフシミュラリテイパラメータともいう

$\alpha$  ; 斜面が水平面となす角度 (°)

$s_{om}$  ; 波形勾配 ( $H_{1/3} / L_0$ )

$L_0$  ; 深海波長 (m) ( $L_0 = g T_{1/3}^2 / 2\pi$ ,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ )

$T_{1/3}$  ; 有義波周期 (s)

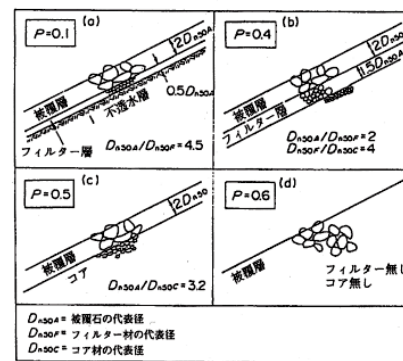
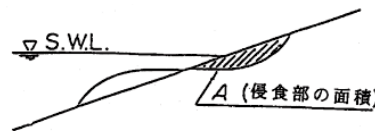


図 2.3.5.4 透水指数 P



なお, 変形レベルは, 被覆石などの変形量を表す指数であり, 被害率の一種である。これは図 2.3.5.5 の波によって侵食された面積  $A$  を被覆石の 50%粒径  $D_{n50}$  の 2 乗で除したものである。被覆石の変形レベルは, 表に示すように初期被災と中間被災, そして被災の三つの段階が定義され, それぞれの変形レベル  $S$  によって表される。通常的设计では, 波数  $N$  が 1000 波に対して初期被災の変形レベルを用いことが多いが, ある程度変形を許容する設計では, 中間被災の値を用いることも考えられる。

表 2.3.5.1 二層被覆の場合の初期被災と被災に対する変形レベル S

斜面勾配	初期被災	中間被災	被災
1 : 1.5	2	3 ~ 5	8
1 : 2	2	4 ~ 6	8
1 : 3	2	6 ~ 9	12
1 : 4	3	8 ~ 12	17
1 : 6	3	8 ~ 12	17

図 7.5.1 重量算定式の例

出典: 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成 16 年 6 月」

## 7.5.2 洗堀

材料（ブロック及び捨石）は、洗堀に対して安全な構造とする。

### 解説

離岸堤の先端部（堤頭部）では、その角付近に波による速い流れとそれによる渦が発生する。こうした流れは、周期が長いほど大きく、先端部に洗堀を生じる場合が多い。

また、離岸堤の開口部も洗堀が発生しやすい場所である。これは、越波によって堤体背後の水位が上昇し、沖側との水位差が生じ開口部から流れが出るためである。

海浜における構造物の設置位置によって波の作用状況が異なるため、洗堀機構や規模も異なってくることから、洗堀防止対策工の選定に際しては十分注意する必要がある。

なお、堤体前面が、戻り流れにより洗掘される場合もあるので留意を要する。

また、表法勾配は緩勾配化、複断面化したほうが、反射による離岸堤前面の洗掘を防ぐとともに、堤体の安全性が高まる。

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成 16 年 6 月（p3-97）」による。

## 7.5.3 基礎地盤のせん断破壊

離岸堤は、波力、地震力の作用に対して安全な構造とする。

### 解説

離岸堤を設置する基礎地盤が軟弱な場合には、離岸堤の設置に伴って基礎地盤にせん断破壊が生じ、全体が滑り出すおそれがある。すべりを生ずる原因のうち重要なものは、自重、水圧、地震力、波力などである。

基礎地盤のせん断破壊に対する検討は、通常 2 次元問題として取り扱われ、すべり面を円または直線に仮定して計算される。

離岸堤の基礎地盤のせん断破壊は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成 16 年 6 月（p3-32）」に準じて、修正フェレニウス法を用いても良い。

$$F = \frac{R \sum (c\lambda + W \cos \alpha \tan \phi)}{\sum Wx + \sum Qa}$$

ここに、

$F$  ; 円形すべりに対する安全率

$R$  ; すべり円の半径 (m)

$c$  ; 土の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\phi$  ; 土の内部摩擦角

$\lambda$  ; 分割片の底辺長 (m)

$w$  ; 分割片の有効重量 (水中部分の土については水中単位体積重量を考慮) (kN/m)

$\alpha$  ; 分割片の傾き角 (図 3.2.6.1 に示す場合を正とする)

$x$  ; 分割片の重心とすべり円中心との距離 (m)

$Q$  ; すべり円内の土塊に働く水平外力 (水圧, 地震力, 波圧など) (kN/m)

$a$  ; 外力の

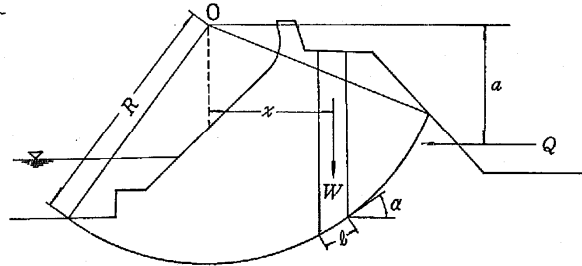


図 7.5.2 円弧すべり

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成 16 年 6 月 (p3-32)」による。

## 7.6 海浜の安定性

### 7.6.1 対象波浪

離岸堤の漂砂制御機能を確認する場合の対象波浪は、年数回波とする。

#### 解説

「ビーチ計画・設計マニュアル改訂版 平成 17 年 10 月 31 日 国交通省港湾局監修 (p112)」に、海浜検討に用いる波浪条件が以下のように設定されている。

- ・ 海浜断面の検討に用いる波浪条件は、高波浪に対して安定性を確保することが望まれるより、対象海域に年間あたり数回来襲する波浪を対象として設計される。
- ・ 潮位条件は、波の遡上等に考慮して、朔望平均満潮位と設定される。
- ・ 年数回来襲する波浪の算定方法に確立されたものはないが、以下の方法により求めることが妥当と考えられる。
  - ①年間上位波高 5 波の平均波向及び平均周期
  - ②波向階級別頻度において出現累積値 99%相当の波の波向及びその波向の最多出現周期。
  - ③1 年確率波高及びその波高の最多出現周期

これらを踏まえ、対象波浪を年数回波として、海浜の安定性を判定するものとする。



## 7.6.2 安定性の照査

対象波浪に対して静的に安定的な海浜の形成を目的とし、砂浜の安定性を照査するものとする。

### 解説

海浜の安定性は、以下に示す手法などで照査を行い、総合的に評価するものとする。

この他に、適切な照査方法がある場合には、それによることもできるものとする。

#### ①武田・砂村（1983）の安定条件による照査

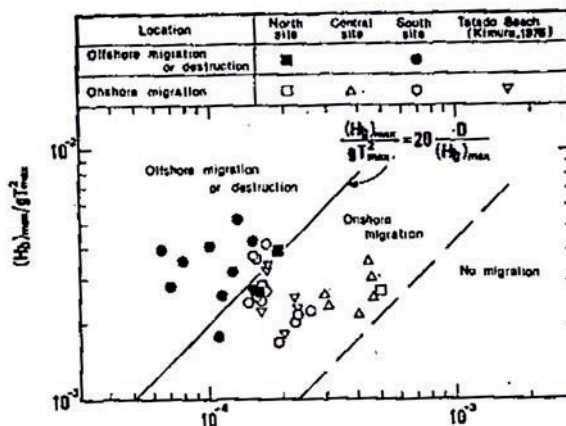


図 7.6.1 バームと沿岸砂州の発生区分

出典：「武田・砂村 砂浜海岸の堆積過程における地形変化  
第30回海岸工学講演会論文集(1983)」p255

#### ②宇多・小俣・竹淵（1989）の安定条件による照査

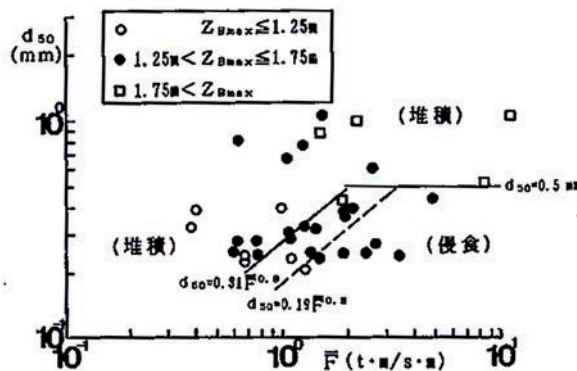


図 7.6.2 前浜の侵食と堆積区分

出典：「宇多・小俣・竹淵 前浜地形変化の支配要因とバームの形成過程  
土木学会論文集 第411号/II-12 1989年11月」p234

③堀川・砂村他（1975）の安定条件による照査

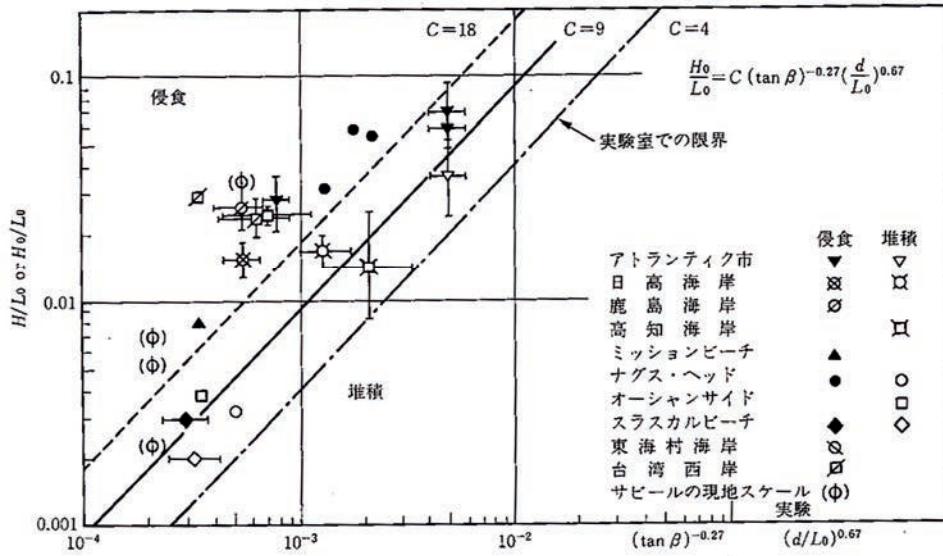


図 7.6.3 前浜の浸食と堆積区分

出典：「堀川・砂村他 波による二次元汀線変化に関する一考察  
第 22 回海岸工学講演会論文集(1975)」 p333

④平面配置における安定条件による照査

離岸堤の堤長  $l$  (横軸、m) と汀線から設置位置までの離岸距離  $x_{off}$  (縦軸、m)、HWL 時における堤脚水深  $h_i$  (縦軸、m) の関係図。

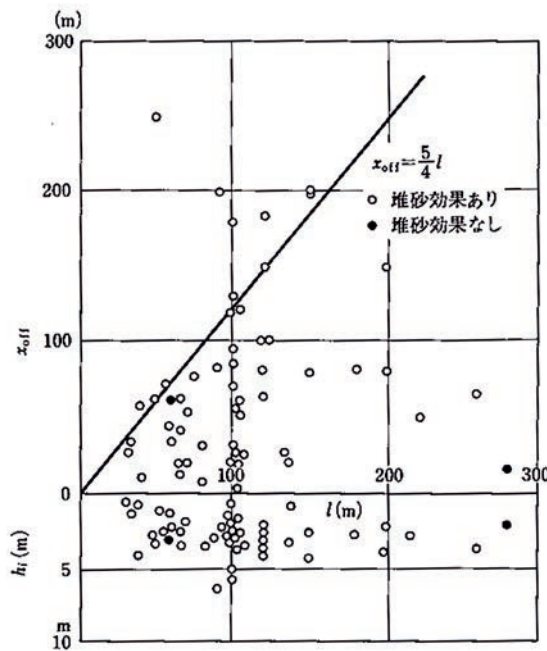


図 7.6.4 既設離岸堤の諸元

出典：「波と漂砂と構造物 1991 年 5 月 榎木亨」 p257