

8. 根固工・捨石工

8. 根固工・捨石工

8.1 総則

8.1.1 総説

本章は、東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震・津波対策として整備する根固工・捨石工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。

8.1.2 機能と構造

根固工は、波浪や洪水による施設前面の洗掘を防止して、被覆工又は基礎工を防護したり、すべりを防止するために設けられるものである。

解説

根固は、通常、表のり被覆工、又は基礎工の前面に設けられるもので、波浪による前面の洗掘を防止して被覆工、又は基礎工を防護するものである。根固工は、表のり被覆工ののり先、又は基礎工の前面に接続して設ける必要があり、単独に沈下、屈とうできるように被覆工や基礎工と絶縁された構造とする。

根固工の設計にあたっては、波浪や洪水に対して安定した構造と材質をもち、かつ適正な規模となるよう考慮するものとする。また、堤体の滑動を防止するために設けられた根固工には、十分な敷幅と重量をもたせるものとする。

根固工の目的及び機能の面から考えて、捨石、又はコンクリートブロック根固工は、材料の入手が容易で、施工も簡単でありしかも屈とう性に富むことから、従来最も多く用いられている工法である。

なお、根固工は、堤防だけでなく施工における仮設工（捨石、矢板の前面海底地盤）の安定性確保にも適用可能である。ただし、仮設工として用いる場合、潮位や波高は「1.1. 仮設工」に準拠するものとする。

- ・ 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月」、「改訂 護岸の力学設計法 平成19年11月」による。

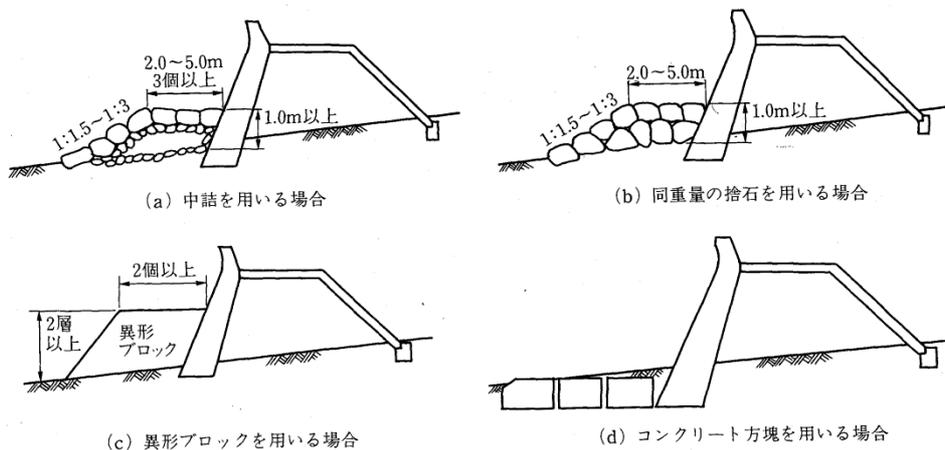


図 8.1.1.1 根固工の種類

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

8.1.3 適用外力

外力は、海岸保全区域に設置する場合には高潮（波浪）とする。

河川区域（高潮対策区間含む）に設置する場合は、高潮（波浪）もしくは洪水時の流体力とする。

解説

海岸保全区域に設置される根固工・捨石工については、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。なお、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。

河川区域に設置される根固工・捨石工については、高潮（波浪）と洪水時の流耐力のいずれか卓越する方を外力として設定すること。なお、洪水に対して設ける根固工・捨石工については、「改訂 護岸の力学設計法 平成19年11月」に準じて流体力に基づいて設計する。

8.1.4 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。

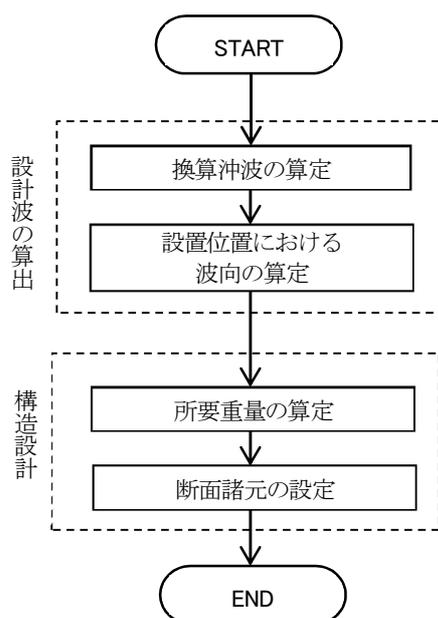


図 8.1.2 設計フローチャート

8.2 設計波・流体力の算出

8.2.1 設計波（高潮の波浪）の算出

(1) 外力

設計に用いる外力は、「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。

(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（HD）を用いる。

解説

根固工・捨石工ののり先水深は、一般的には、計画波高の砕波水深よりも浅くなることから、根固工・捨石工の設計波は、砕波後の波高を用いるものとする。

8.2.2 流体力の算出

流れによる流体力は、計画高水位に基づいて算出するものとする。

解説

流れによって重量を算出する場合には、計画高水位を対象にエネルギー勾配を用いたマニング式から算出することを基本とする。跳水などの発生が予想される場合には、別途考慮するものとする。

算定方法の詳細は、「改訂 護岸の力学設計法 平成19年11月（p34～49）」に準ずる。

8.3 構造設計

8.3.1 高潮に対する構造

(1) 必要重量の算定

材料は、波浪等の作用に対して十分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

算定式としては、ハドソン式と、ファン・デル・メーヤ式がある。「災害手帳」や「災害復旧工事の設計要領」などでは、前者を推奨していることから、ハドソン式を用いることとしている。ファン・デル・メーヤ式は、構造物や波の特性に応じたも算定式であるため、両方を比較して重い方を用いても良いものとする。

捨石マウンド水平部の深さが $-1.5H_{1/3}$ 以深となる場合の安定数（Ns）の算出には、ブレブナー・ドネリー式や高橋らによる拡張谷本式を用い、安全側となる方を採用する。（「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成16年6月(p2-51~53)」）

傾斜堤（傾斜式矢板併用）の矢板前面に用いる被覆材として、根固工（ブロック）を使用する場合には、既設ブロックの被災状況を鑑み2.0t型としても良い。

(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⁹⁶⁾。

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

ここに、

- M ; 斜面被覆材の所要質量(t)
- ρ_r ; 斜面被覆材の密度(t/m³)
- 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(ρ_r/ρ_0)
- ρ_0 ; 海水の密度(1.03t/m³)
- α ; 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 ΔN_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 α 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 8.3.1 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⁹⁷⁾.

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

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

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

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 (m²) (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

α ; 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)

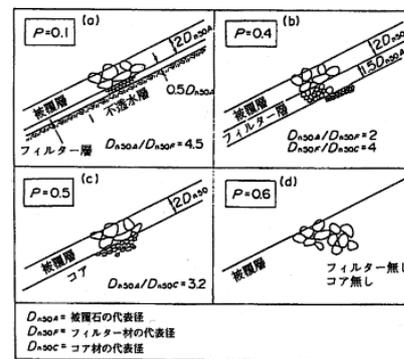
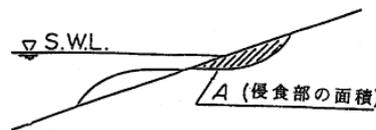


図 2.3.5.4 透水指数 P



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 8.3.1 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」

(2) 断面形状（敷設幅・敷設高）

捨石の場合には、敷設幅 2～5m、敷設高 1m 以上とする。

ブロックの場合には、敷設幅（天端）2 個並び以上、敷設高 2 層以上とする。

解説

根固め工の機能を確保するための断面形状については、明確な設計法が確立されていないので、既往の経験の積み重ねによって検討する必要がある。

なお、傾斜堤（傾斜式矢板併用）の海側（川側）の矢板前面に設けられる基礎捨石被覆ブロックの敷設高は、既設ブロックの被災状況と図 8.3.2 の表面被覆との扱いから 1 層でも良い。

- ・ 「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。

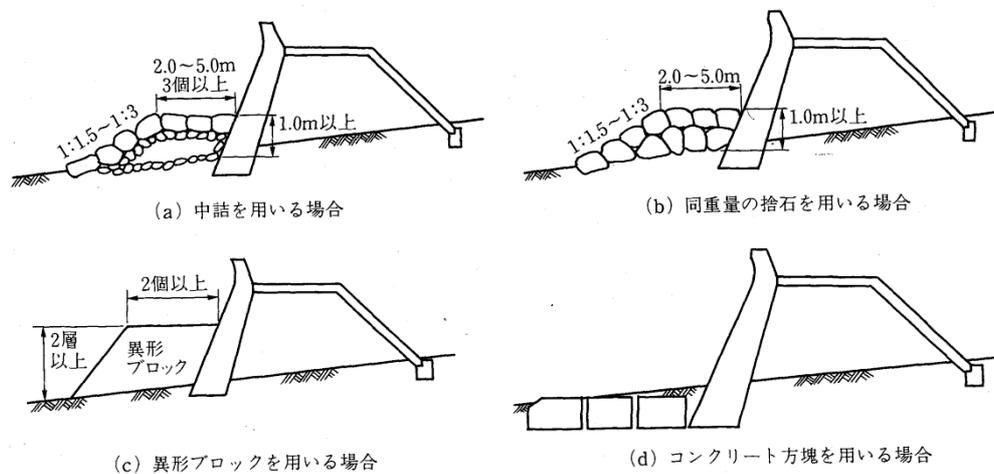


図 8.3.2 根固工の種類

出典：「改訂新版 河川砂防技術基準(案)設計編Ⅱ 平成9年10月」

8.3.2 洪水に対する構造

(1) 必要重量の算定

根固工は、計画高水流量以下の流体力に対し安定を保つことが出来る重量を確保することができると算定する。

解説

重量は、「8.3.1 高潮に対する構造」と整合を図ったものとする。

- ・「改訂 護岸の力学設計法 平成 19 年 11 月」による。

表 8.3.1 洪水に対する構造設計を対象にした構造モデル

NO.	破壊要因	破壊形態	設置状態	構造モデル
①	流体力	滑動, 転動	層積み	「滑動・転動-層積み」モデル
②	流体力	滑動, 転動	乱積み	「滑動・転動-乱積み」モデル
③	流体力	掃流	乱積み	「掃流-乱積み」モデル
④	流体力	掃流	籠詰め	「掃流-籠詰め」モデル
⑤	流体力	掃流	中詰め	「掃流-中詰め」モデル

出典：「改訂 護岸の力学設計法 平成 19 年 11 月」 p101

(2) 断面形状 (敷設幅)

基礎工前面の河床が低下しないよう十分な幅を配置する。

解説

設置される施設によって異なるが、「滑動・めくれモデル」の根固工 (ブロック層積) の場合には、ブロック 1 列もしくは 2m 程度以上の幅と河床低下を考慮した幅を見込むこととする。

「滑動、およびめくれ」モデルの根固め工では、周辺の河床低下や洗掘が進行すると、敷設地点の横断形状は図 5-39 のように変形する。敷設幅は、護岸基礎前面の河床が低下しない幅を確保する必要がある。すなわち、護岸前面に河床低下が生じても最低 1 列もしくは 2 m 程度以上の平坦幅が確保されることが必要とされる。したがって、敷設幅 B_c は、根固め工敷設高と最深河床高の評価高の高低差 ΔZ を用いれば幾何学的に、

$$B_c = L_n + \Delta Z / \sin \theta \quad \dots\dots\dots (5.19)$$

となる。

ここで、 L_n : 護岸前面の平坦幅 (ブロック 1 列もしくは 2 m 程度以上) : (m)
 θ : 河床洗掘時の斜面勾配
 ΔZ : 根固め工敷設高から最深河床高の評価高までの高低差 : (m)

斜面勾配 θ は、河床材料の水中安息角程度になるが、安全を考えると一般に 30° とすればよい。以上より、基礎工天端高が設定できれば、最深河床高を評価することにより、照査の目標とする敷設幅を算定できる。

出典：「改訂 護岸の力学設計法 平成 19 年 11 月」 p106

- ・ 「改訂 護岸の力学設計法 平成 19 年 11 月」による