

$$P_a = \sum \gamma h + w - 2c$$

ただし P_a : 壁面に働く主働土圧 (kN/m³)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

h : 地表面からの深さ (m)

w : 地表面単位面積当たりの載荷重 (kN/m³)

c : 土の粘着力 (kN/m³)

なお、本式は、ある深さまでの主働土圧が負となり、これを無視して土圧を 0 と仮定しているが、次の式で算定される圧密平衡土圧が最低限加わるものとし、二つの式で算定される土圧のうち構造物に危険となる方を採用する。

$$P_a = K_c (\sum \gamma h + w)$$

ただし K_c : 圧密平衡係数 (通常 0.5 を用いる。)

4 波 力

- (1) 波力の算定式の分類には、表 4-4-11 に示すものがあり、潮位やその偏差を考慮して最も適切なものを選定する。この場合、合田式以外は、図 4-4-17 に示すように構造物の前面にマウンドがあり、マウンドの前面幅 B_1 が水深 h における有義波の波長の 1/2 より広い場合には、マウンド天端上の水深 d を h として算定する。

表 4-4-11 波力算定式の分類

領 域			算 定 式	
碎波領域 $h < 2H_{1/3}$	碎波帯内		広 井 式	合田式
	汀線付近	汀線の海側	本間・堀川・長谷 の式、富永・久津 見の式	
		汀線の陸側	富永・久津見の式	

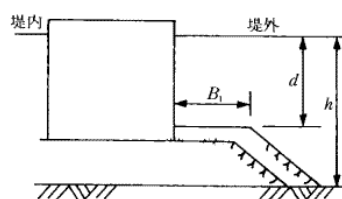


図 4-4-17 波力算定に用いる水深の説明図

- (2) 直立型の防潮堤・護岸の前面に異形ブロック等による消波工を設ける場合には、壁体に作用する波力が低減するので、設計条件に応じた適切な算定式で算定する。

この場合の波力の変化は、消波工の天端厚、消波ブロックの種類等によって異なるが、消波工が十分な厚さと天端高を有する場合には、波力をかなり緩和することができる。しかし、消波工の天端が設計高潮位より低い場合には、碎波衝撃となつてかえって波力を増大させることが多いので注意する。

- (3) 波力の算定式は次のとおり。

① 重複波及び碎波の波圧式 (合田式)

合田式は、直立壁が汀線より海側にある場合に、重複波、碎波の区別なく適用で

きる。

ア 直立壁の前面に波の山がある場合の波圧

この場合の波圧は、図 4-4-18 に示す分布であり、次の式で算出する。

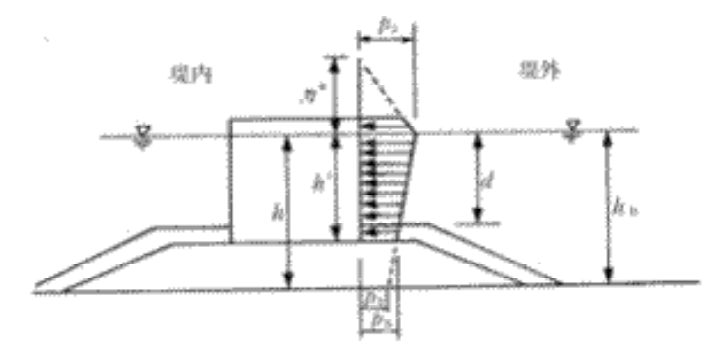


図 4-4-18 合田式による波圧分布

$$\eta^* = 1.5H_D$$

$$p_1 = (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot W_0 \cdot H_D$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

$$p_3 = \alpha_3 \cdot p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right\}^2$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \cdot \left[\frac{H_D}{d} \right]^2, \frac{2d}{H_D} \right\}$$

ただし、 $d \leq 0$ の場合は、 $\alpha_2 = 0$ とする。

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right\}$$

ただし η^* : 静水面上波圧強度が 0 となる高さ (m)

p_1 : 静水面における波圧強度 (t/m^2)

p_2 : 海底面における波圧強度 (t/m^2)

p_3 : 直立壁底面における波圧強度 (t/m^2)

h : 直立壁前面における水深 (m)

h_b : 直立壁前面から沖側へ有義波高の 5 倍だけ離れた地点での水深 (m)

h' : 直立壁底面の水深 (m)

d : 根固工又はマウンド被履工天端のいずれか小さい方の水深 (m)

W_0 : 海水の単位体積重量 (t/m^3)

H_D : 設計計算に用いる波高 (ただし、この式の H_D は、 $H_{\max} = 1.8H_{1/3}$ に対応する設計波高を用いる。) (m)

L : 水深 h における設計計算に用いる波長 (m)

$\min \{a, b\}$: a 又は b のいずれか小さい値

なお、ごく汀線付近では、波圧を過小に見積もるおそれがあるため、設計に際して水深が H_0 の 0.5 倍以下の場合には、 $0.5H_0$ の水深における波高を用いるのがよい。

イ 直立面に波の谷がある場合の波圧

この場合の波圧は、負の波圧となり、図 4-4-19 に示すように静水面で 0、静水面下 $0.5H_0$ で p_n 、以下底面まで一様の直線分布の波圧が海側に向かって働くものとし、次の式によって算定する。

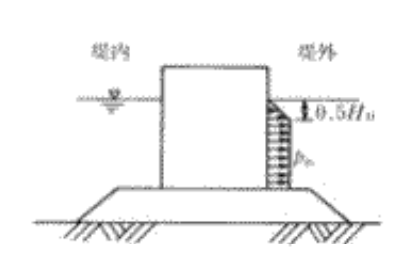


図 4-4-19 負の波圧分布

$$p_n = 0.5w_0 \cdot H_D$$

ただし p_n : 一様部における波圧強度 (t/m^2)

w_0 : 海水の単位体積重量 (t/m^3)

H_D : 設計計算に用いる波高 (ただし、この式の H_D は、 $H_{\max} = 1.8H_{1/3}$ に対応する設計波高を用いる。) (m)

② 砕波の波圧式

ア 広井式

広井は、砕波に対する波圧算定式を入射波の波圧の動圧に基づいて導いている。その波圧は、図-4-4-20 に示すように、静水面上 $1.25H_0$ 又は堤頂のいずれか低い方の高さまで一様に作用する。

$$p_b = 1.5w_0 \cdot H_D$$

ただし p_b : 砕波に対する波圧強度 (t/m^2)

w_0 : 海水の単位体積重量 (t/m^3)

H_D : 設計計算に用いる波高 (m)

なお、この式は、直立壁に作用する砕波の平均的な波圧強度を、簡単に波高の関数で表したもので、波の周期等の条件によっては過小な値を与えることがある。

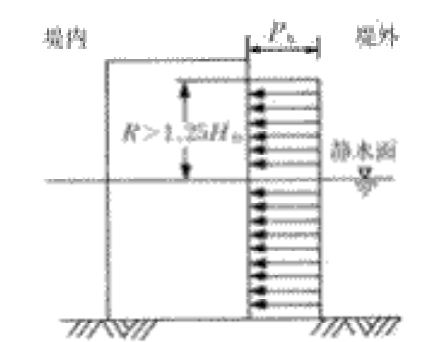


図 4-4-20 広井式による波圧分布

イ 汀線付近の波圧式

(ア) 直立壁が汀線の海側にある場合

a) 本間・堀川・長谷の式

海底勾配が急（1/15 ～ 1/30）で、ある程度の前面水深を有し、砕波後の波が作用する場合の波圧の算定式で、動圧、静圧ともに図 4-4-2 1 に示すように三角形分布する。

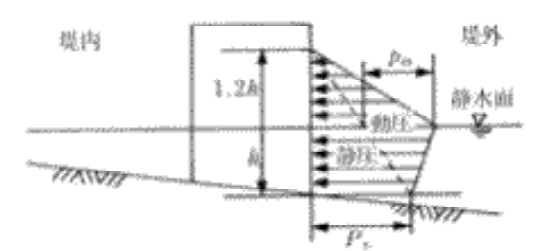


図 4-4-2 1 本間・堀川・長谷の式

$$p_m = 1.6w_0 \cdot h$$

$$p_s = 2.2w_0 \cdot h$$

ただし p_m : 動圧 (t/m^2)

p_s : 静圧 (t/m^2)

h : 前面水深 (m)

w_0 : 海水の単位体積重量 (t/m^3)

b) 富永・久津見の式

本式は、水深の浅い領域での波による水位の上昇を考慮した算定式で、 h/H_0' が 0.5 以下の場合に適用する。波圧は、図 4-4-2 2 に示すように分布し、次式で算定する。

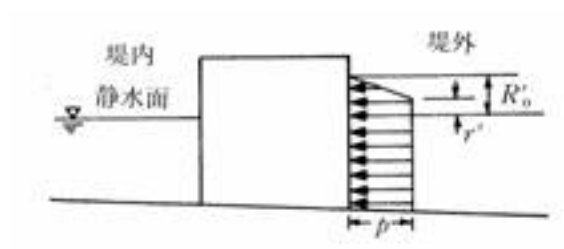


図 4-4-2 2 富永・久津見の式による波圧分布（直立壁が汀線の海側にある場合）

$$p = 4w_0 \{0.45 (H_0' \cdot L_0)^{1/2} \tan \theta + 0.8h\}$$

$$r' = 0.4h$$

$$R_0' = 2h + 1.68 (H_0' \cdot L_0)^{1/2} \tan \theta$$

砕波帯内、または汀線の海側にある直立壁に作用する波力については、主に合田の式及び広井の式を用いる。

また、合田式は緩勾配で水深がやや大きい領域、富永・久津見の式は汀線近傍の領域、本間・堀川・長谷の式は急勾配のときで水深が中間領域の場合に対して適用性が高いといえる。

(イ) 直立壁が汀線の陸側にある場合

この場合の波圧分布は、図 4-4-2 3 に示すような三角形分布をし、次式

で算定する。

$$p = 1.8w_0 \cdot \tan\theta \{ (H_0' \cdot L_0)^{1/2} - x \}$$

$$R_0 = 1.7 \tan\theta \{ (H_0' \cdot L_0)^{1/2} - x \}$$

ただし θ : 海底勾配 ($^\circ$)

x : 汀線から直立壁までの距離 (m)

H_0' : 換算沖波波高 (m)

L_0 : 沖波の波長 (m)

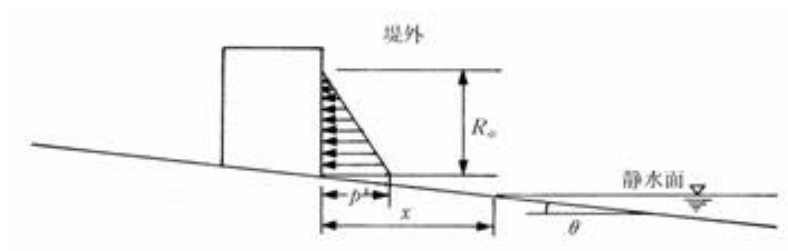


図 4-4-23 富永・久津見の式による波圧分布（直立壁が汀線の陸側にある場合）

(ウ) 衝撃砕波力

直立壁が勾配の急（1/30）な海底上にあり、沖波の波形勾配が 0.03 程度の場合、海底勾配が緩やかであってもマウンドが比較的高い場合には、巻き波状の砕波が発生しやすく、異常に大きな衝撃波圧が局所的に作用することが多い。衝撃波圧は、波高相当の静水圧の数倍から数十倍の値となることもあるので、このような衝撃波圧が想定される場合には、模型実験等で波圧に対する検討を行う。

ウ 波向による補正

波向が直立壁に対して傾斜している場合には、設計波力の補正を行う。この場合の波の入射角（ β ）は、図 4-4-24 に示すように、波向の不確実性を考慮して、直立壁法線の垂線と波の主方向から $\pm 15^\circ$ の範囲で最も危険な方向となる角度とする。

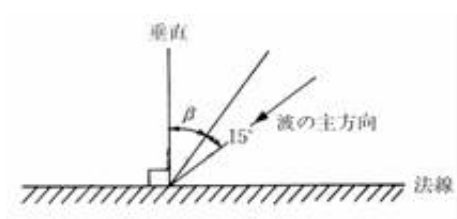


図 4-4-24 波の入射角 β

波力の補正は、前出「①の「ア」の合田式」及び「②の「ア」の広井式」において与えられる η^* 、 p_1 及び p_b の代わりに、次式を用いて補正する。

(ア) 合田式の補正

式中の η^* 、 p_1 について、次式により補正をする。

$$\eta^* = 0.75 (1 + \cos\beta) H_D$$

$$p_1 = 0.5 (1 + \cos\beta) (\alpha_1 + \alpha_2 \cdot \cos^2\beta) w_0 \cdot H_0$$

(イ) 広井式の補正

式中の p_b について、次式により補正する。

$$p_b = 1.5w_0 \cdot H_D \cdot \cos^2\beta$$

③ 揚圧力の算定式

直立壁の基礎が透水性で圧力が伝播すると考えられる場合には、揚圧力を考慮する。

直立壁底面に作用する揚圧力は、直立面に波の山がある場合には図4-4-25(a)に示すように上向きに作用し、直立面に波の谷がある場合には図4-4-25(b)に示すように下向きに作用する。

揚圧力の算定式には、次の諸式を用いるが、設計条件に応じて適切な式を選定する。

なお、浮力は、設計潮位における静水中の排除体積に対するものである。

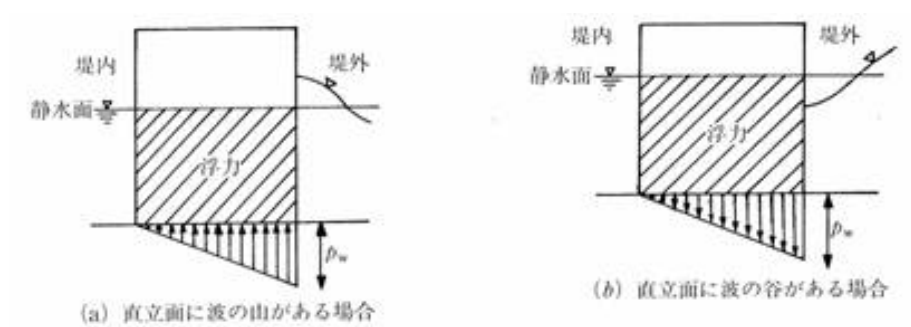


図4-4-25 揚圧力の説明図

ア 合田式の揚圧力算定式

(ア) 直立面に波の山がある場合

$$p_u = 0.5 (1 + \cos\beta) \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot w_0 \cdot H_D$$

ただし、 p_u ：揚圧力 (t/m^2)

β ：波圧の算定で用いる波向の入射角 (図-4-4-24 参照)

α_1, α_3 ：「①の「ア」の垂直壁の前面に波の山がある場合の波圧の計算式」の係数

w_0 ：海水の単位体積重量 (t/m^3)

H_D ：設計計算に用いる波高 (m)

(イ) 直立面に波の谷がある場合

$$p_u = 0.5w_0 \cdot H_D$$

イ 砕波の揚圧力算定式

(ア) 直立面に波の山がある場合

$$p_u = 1.25w_0 \cdot H_D$$

(イ) 直立面に波の谷がある場合

$$p_u = 0.5w_0 \cdot H_D$$

5 残留水圧

- (1) 防潮堤・護岸が、水密な構造である場合、例えば裏込または裏埋土の透水性が小さい場合には、前面の水位の変化に対して背面の水位変化に遅れが生じる。このため、防潮堤・護岸の前面に作用する水圧と背面に作用する水圧は等しくならない。設計では、防潮堤・護岸の前面と背面の水位の差に相当する水圧が防潮堤・護岸に作用して

いると考えることができる。この水圧を残留水圧という。

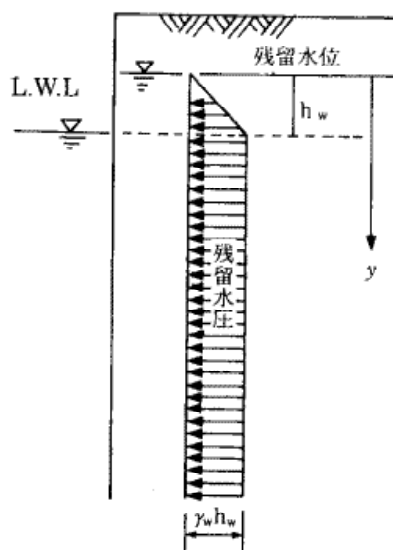


図 4-4-26 残留水圧

(2) 残留水圧は、図 4-4-26 に示す分布をするものとして、次式により算定する。

$$0 \leq y < h_w \text{ のとき } P_w = \gamma_w \cdot y$$

$$y \geq h_w \text{ のとき } P_w = \gamma_w \cdot h_w$$

ただし、 P_w : 残留水圧 (kN/m³)

h_w : 残留水位差 (m)

(裏込めまたは裏埋土内の水位が L.W.L. より高い場合で、その時の最大水位差)

y : 裏込めまたは裏埋土内の水面から残留水圧を求めるまでの深さ (m)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

残留水位差 (h_w) は、通常、次式で求められる。ただし、 α の値は、表 4-4-12 に示した。

$$h_w = \alpha (H.W.L. - L.W.L.)$$

表 4-4-12 α の値

裏込材・中詰材	排水が良好な構造 (重力式など)	排水が不良な構造 (矢板式など)
割石・砂岩	1 / 3	2 / 3
砂	1 / 3	2 / 3
粘土	2 / 3	1

6 地震力

地震力を考慮する場合には、以下のとおり設定する。なお、地震動のレベル区分については、本章 4-4-1-6-2 「防潮堤の安定条件」〔参考〕1、2 を参考にする。

(1) 設計震度（レベル1地震動）

防潮堤等の設計に用いる設計震度は、地域別震度に地盤種別係数、重要度係数など補正係数を乗じる形などで示される。地域別震度は、我が国沿岸域を大きく区分し設定されたものである。これに事業対象地位置の地盤条件による補正、対象構造物の重要度による補正を行い、対象施設の設計震度が算定される。

震度法による検討において、地震力は以下に示す式のいずれかによって与えられるもので、構造物に対し危険な方をその重心に作用させる。

① 自重×設計震度

② (自重＋上載荷重＋背面土圧＋残留水圧等) ×設計震度

防潮堤等施設の標準的な設計震度を、表4-4-13に示す。レベル1地震動に対する検討を震度法により行う際にはこれを用いる。

表4-4-13 防潮堤（護岸）等の設計震度

適用地域 構造物の区分	北海道(根室, 釧路, 十勝, 日高), 関東(千葉県, 東京都の八丈島及び小笠原諸島を除く地域, 神奈川県), 中部(福井県, 静岡県, 愛知県), 近畿(三重県, 滋賀県, 大阪府, 兵庫県, 和歌山県)	東北(青森県の尻屋崎以南の太平洋岸, 岩手県, 宮城県, 福島県), 関東(茨城県), 近畿(京都府), 四国(徳島県, 高知県)	北海道(胆振, 渡島, 檜山), 東北(青森県の尻屋崎以南の太平洋岸を除く地域, 秋田県, 山形県), 中部(新潟県, 富山県, 石川県), 中国(鳥取県, 広島県), 四国(愛媛県), 九州(熊本県, 大分県, 宮崎県, 鹿児島県の奄美諸島)	北海道(網走, 後志, 石狩, 空知, 留萌), 中国(島根県, 岡山県), 四国(香川県), 九州(佐賀県, 長崎県の五島列島, 壱岐及び対馬を除く地域, 鹿児島県の奄美諸島を除く地域, 沖縄県の大東諸島を除く地域)	北海道(宗谷), 関東(東京都の八丈島及び小笠原諸島), 中国(山口県), 九州(福岡県, 長崎県の五島列島, 壱岐及び対馬, 沖縄県の大東諸島)
水門	0.18(0.22)	0.16(0.19)	0.14(0.17)	0.13(0.16)	0.10(0.12)
樋門・樋管・陸こう	0.15(0.20)	0.13(0.16)	0.12(0.14)	0.11(0.13)	0.08(0.10)
胸壁	0.18(0.22)	0.16(0.19)	0.14(0.17)	0.13(0.16)	0.10(0.12)
護岸・堤防 親水性護岸	0.18(0.22)	0.16(0.19)	0.14(0.17)	0.13(0.16)	0.10(0.12)
緩傾斜護岸	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)
その他護岸	0.15(0.20)	0.13(0.16)	0.12(0.14)	0.11(0.13)	0.08(0.10)
基盤の最大加速度 (Gal)	350	250	200	150	100

注 1) 第四紀層（沖積層、洪積層）の厚さが、下記のいずれかの場合は（ ）書きの震度を用いる

① 一般の砂及び粘土地盤の厚さが 25m 以上の場合

② 軟弱地盤の厚さが 5m 以上の場合

ここでいう軟弱地盤とは、N 値が 4 以下の砂地盤、または q_u （一軸圧縮強度）が 20kN/m² 以下の粘土地盤であり、通常いわれている軟弱地盤の概念とは若干異なる。

注 2) 防潮堤と隣接する突堤等（取付部）については、隣接護岸・堤防の設計震度を考慮

する。

(出典) 漁港海岸事業設計の手引 (公社)全国漁港漁場協会 H25.11

(2) 設計入力地震動 (レベル 2 地震動)

設計入力地震動は、過去の地震観測結果、活断層の調査結果、地盤の地震応答解析等に基づき求める。

レベル 2 地震動に対する検討において、地盤や施設の地震応答解析を行う際には、設計入力地震動を適正に求めることとする。設計入力地震動の設定手順は次のとおり。

① 想定地震の設定

地域防災計画等により、想定地震がある場合はそれに設定する。ただし、地域防災計画等がない場合は、以下の手順からレベル 2 地震動を設定する。

② レベル 2 地震動の設定及びプレート境界型地震 (海洋型) かプレート内陸地震 (内陸型) かの判定

ア 過去の地震発生記録や活断層分布図により事業対象地地点に大きな基盤加速度を与えると予測される地震を抽出し、想定地震とする。

イ 抽出した地震による事業対象地地点の基盤加速度を求める。基盤加速度は、断層面距離とマグニチュードより、次式で求められる。

$$\log_{10}(a_{\max}) = 0.53M - \log_{10}(X + 0.0062 \times 10^{0.53M}) - 0.00169X + 0.524$$

ただし、 $a_{\max}$: 基盤最大加速度 (Gal) (cm/s²)

X : 断層面距離 (km)

M : 地震マグニチュード

ウ 求めた基盤最大加速度のうち、最も基盤最大加速度が大きくなる地震をレベル 2 の設計地震動とする。

エ 過去の地震発生記録や日本周辺のプレート境界の位置から、設計地震動がプレート境界型地震 (海洋型) かプレート内陸地震 (内陸型) かの判定を行う。

③ 入力地震動の設定

ア 基盤最大加速度

②で求めた基盤最大加速度を設定する。

イ 地震波形

- ・プレート境界型地震 (海洋型) の場合 : 八戸、大船渡波を用いる。
- ・プレート内陸型 (内陸型) の場合 : ポートアイランド基盤波形を用いる。

レベル 2 地震動については、以上の一般的な耐震設計の考え方の他、防潮工の機能・構造物特性等を考慮して設定する。

近年、地震動に関する知見が増えているので、例えば下記に示すような手法との併用や代替を行うことが望ましい。

- ・現地のサイト特性や位相特性の反映
- ・継続時間の長い地震動 (東日本大震災) の考慮
- ・想定される M6.5 の直下型地震 (どこにでも起こりうる地震動) の考慮

なお、レベル 1 地震動に対する液状化の判定等において、地震応答解析に必要な設計入力地震動を求める際にも、上記の方法による。

(3) 防護対象となる規模の津波を生じさせる地震動 (以下、「対象津波の地震動」と略

称する)

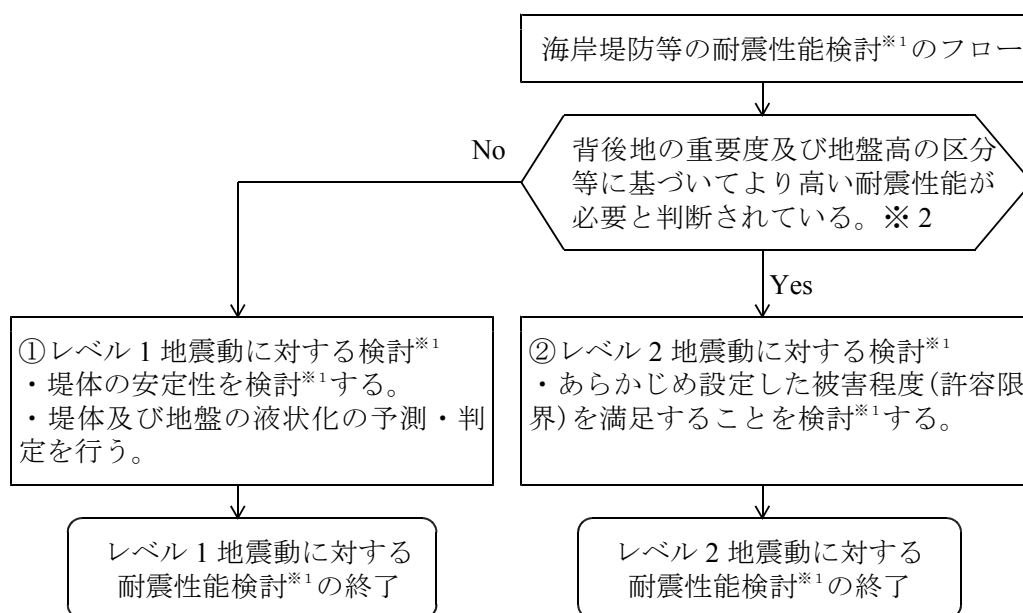
津波に対する防護を目的とする防潮堤等の設計においては、対象津波の地震動に対する検討を行う。

対象津波の地震動の強度がレベル1地震動を越える場合、対象津波の地震動を設定して検討を行う。

近年、中央防災会議、地震調査研究推進本部、地方自治体等により活断層の調査、断層を特定した上での地震動の評価が進められ、南海トラフの巨大地震モデルをはじめとして、その結果が公表されてきている。そこで、そのような結果に基づいた適切な方法で、対象津波の地震動を設定する。

なお、地震動の強度がレベル1地震動を越え、かつ上記の方法により対象津波の地震動がない場合には、レベル2地震動により検討を行う。

図4-4-27に前述(1)、(2)に示したレベル1、レベル2地震動及び対象津波の地震動に対する耐震性能検討のフローを示す。



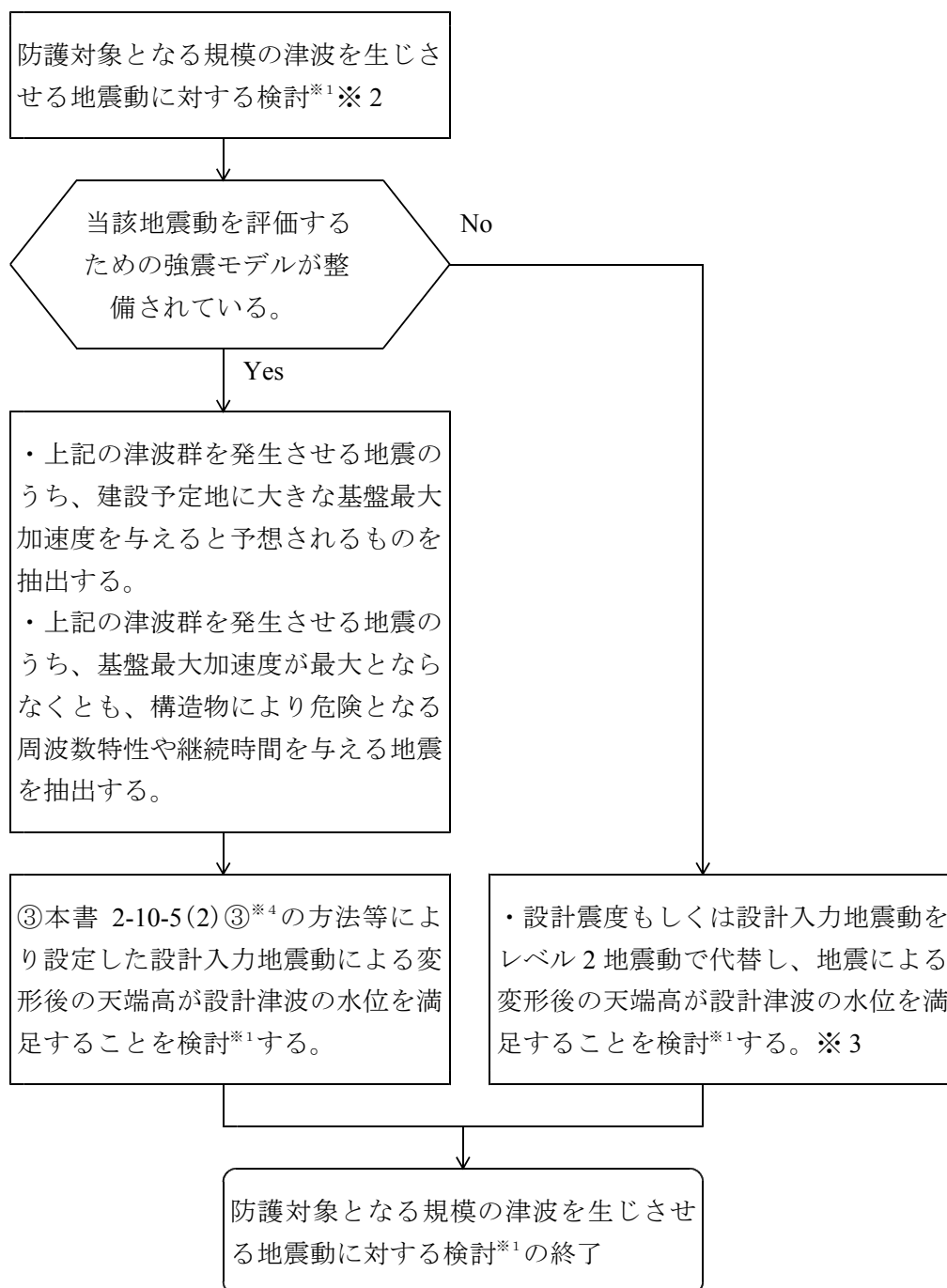
※1 出典では「照査」となっているが、本基準での照査の考え方（本章4-1「総説」〔参考〕2「性能の照査」）を踏まえ、「検討」と書き換えた。

※2 漁港海岸の海岸保全施設の耐震性能については、背後地の重要度及び地盤高の区分により設定されるが、この基本的な考え方について、「漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン（案）」（水産庁漁港漁場整備部）p.14以降を参照するものとする。

（a）レベル1、レベル2地震動を考慮する場合

図4-4-27 耐震性能検討^{※1}のフロー(1)

（出典）漁港海岸事業設計の手引（公社）全国漁港漁場協会 H25.11（^{※1}加筆）



- ※ 1 出典では「照査」となっているが、本基準での照査の考え方（本章 4-1「総説」〔参考〕 2「性能の照査」）を踏まえ、「検討」と書き換えた。
- ※ 2 津波に対する防護を目的とする海岸保全施設の設計において、防護対象となる規模の津波を生じさせる地震動の強度がレベル1地震動を超える場合、防護対象となる規模の津波を生じさせる地震動に関する検討※¹を行うものとする。
- ※ 3 耐震性能検討※¹のフロー(1)のレベル2地震動に対する検討※¹と同じことを行うものである場合には省略できる。
- ※ 4 本基準では本章 4-1-6-1「防潮堤の安定計算に用いる荷重」〔参考〕 6(2)を

参照する。

(b) 対象津波の地震動を考慮する場合

図 4-4-27 耐震性能検討^{*1}のフロー(2)

(出典) 漁港海岸事業設計の手引 (公社)全国漁港漁場協会 H25.11 (^{*1,4}加筆)

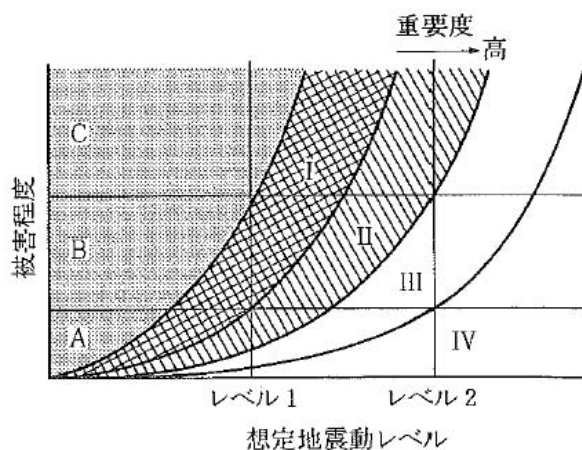
4-4-1-6-2 防潮堤の安定条件

1 防潮堤等施設の耐震・耐津波の基本的な考え方

(1) 耐震設計

1995 年兵庫県南部地震を契機として、構造物の耐震設計法に関する根本的な見直しがなされてきた。従来の耐震設計体系では、想定される地震外力に対して力の釣り合い等を検討し、所要の安全率を確保することとしていたが、新たに導入された耐震性能の概念では、入力地震動をレベル 1、レベル 2 の 2 段階として想定地震動に幅を持たせるとともに、各々の地震動レベルに応じた適切な許容被害程度を設定することにより、構造物の持つ耐震性を総合的かつ具体的に規定するものである。

耐震性能の概念は図 4-4-28 のように示すことができる。同図の横軸は想定地震動レベルを、縦軸は構造物の許容被害程度を示している。許容被害程度は定性的な表現により 3 段階 (A ~ C) を規定しているが、具体的には構造形式毎に構造物の機能低下の影響及び本格復旧の難易度 (費用・時間) の 2 つの要因を考慮し規定する。耐震性能はこれらの地震動レベルと許容被害程度の両座標上で規定され、4 段階の耐震性能グレード (I ~ IV) を示している。



被害程度

A：無被害または軽微な被害

B：短期間の応急復旧で機能回復

C：著しい被害を受けるが崩壊はしない

図 4-4-28 耐震性能概念

(出典) 海岸施設設計便覧 2000 年版 (社)土木学会 H12.11

(2) 対津波設計

東北地方太平洋沖地震は、これまでの地震と比較し特に規模が大きいものの発生頻度は低く、こうした地震により発生する津波をすべて防潮堤で防ぐことは現実的では

ないことから、発生頻度の違いにより、数十年～百数十年程度に一度の頻度で発生する頻度が高いもの（レベル1津波）と千年以上に一度の頻度で発生する頻度が低いもの（レベル2津波）に分けて対策を講じることが提言された（中央防災会議）。

発生頻度の高い津波（レベル1の津波）に対しての要求性能は、海岸防潮堤により確実に津波から保全対象を防御することが求められる。そのためには、地震発生時に施設が損傷しないことが求められる。

最大クラス津波（レベル2の津波）に対しては、被害の最小化を主眼とする減災の考え方にに基づき、住民等の避難を軸に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策の確立が必要である。

そのためには、最大クラス（レベル2の津波）に対する要求性能として、地震発生時に施設が致命的な損傷を受けないことや、早期に機能を回復することが求められる。

更に、レベル2津波に相当する東北地方太平洋沖地震で発生した津波では、押し波の越流により裏法尻部の洗掘が発生、洗掘をきっかけとして裏法被覆工が損壊・流失し、さらに天端被覆工や堤体土が流失した事例や、津波の越流時に裏法被覆工が流出し、続いて天端被覆工の流失や被覆工の隙間からの堤体土の吸い出し等が発生した事例など、津波が防潮堤を越流する際に発生する被災メカニズムが報告されている。

最大クラス津波が発生した際には越流した津波により防潮堤が致命的な損傷を受けず、要求性能を満たすことが必要である。

具体的な構造として、上部構造については、三面張り構造（表法、天端、裏法被覆）、天端・裏法被覆の流出防止（被覆厚の増厚）、裏法尻洗掘の防止（根入れの確保、止水矢板の採用）、堤体応力集中箇所の強化、構造上の弱点の排除等の対策を講じ、下部構造については、設計高水位以下の堤体土への礫質材料の採用、地盤の液状化及び軟弱化の防止対策を講じることが必要である。

① 設計対象とする地震動と設計目標

表4-4-14 設計対象地震、施設の設計目標

地震動の分類	地震動の規模及び発生頻度	設計目標
レベル1地震動	施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動	所要の構造の安全を確保し、かつ、海岸保全施設の機能を損なわない
レベル2地震動	現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動	生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なもの

（出典）平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的考え方
（平成25年8月30日 水産庁通知）

② 津波の分類と津波対策の考え方

(参考として、漁港における各レベルの津波への対策の考え方については、以下の表 4-4-15 のとおりである。)

表 4-4-15 津波の分類と津波対策の考え方

津波の分類	漁港（防波堤・岸壁）の津波対策の考え方	中央防災会議報告における津波対策の考え方
発生頻度の高い津波	漁業活動の安定化や効率的な生産・流通拠点の確保から、防波堤、岸壁の整備による対策 ※これにより、漁港施設の被害を最小限に抑えるとともに、津波発生後の波浪等に対して漁港施設の機能を維持し、漁業活動の早期かつ安定した再開を図る。また、津波に対する安定性確保により漁港利用者の安全確保にも努める。	人命保護に加え、住民財産の保護、地域の経済活動の安定化、効率的な生産拠点の確保の観点から、海岸保全施設等の整備による対策（堤内地の保護）
最大クラスの津波	漁港利用者等の避難を軸としたソフト対策を中心に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な対策	住民等の避難を軸に、土地利用、非難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策

(出典) 平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的考え方
(平成 25 年 8 月 30 日 水産庁通知)

2 防潮堤等の耐震設計

(1) 耐震設計手順

防潮堤等施設の耐震設計にあたっては、図 4-4-29 に示すとおり、第一段階として、適切に耐震性能を設定する。第二段階として、レベル 1 地震動を対象に震度法による構造物の安定性を検討する。さらに、液状化の予測・判定を行い、液状化が発生すると判定された場合には、液状化対策を検討する。レベル 2 地震動を考慮する必要がある施設の場合は、第三段階として、変形量を予測し耐震性能を評価する。

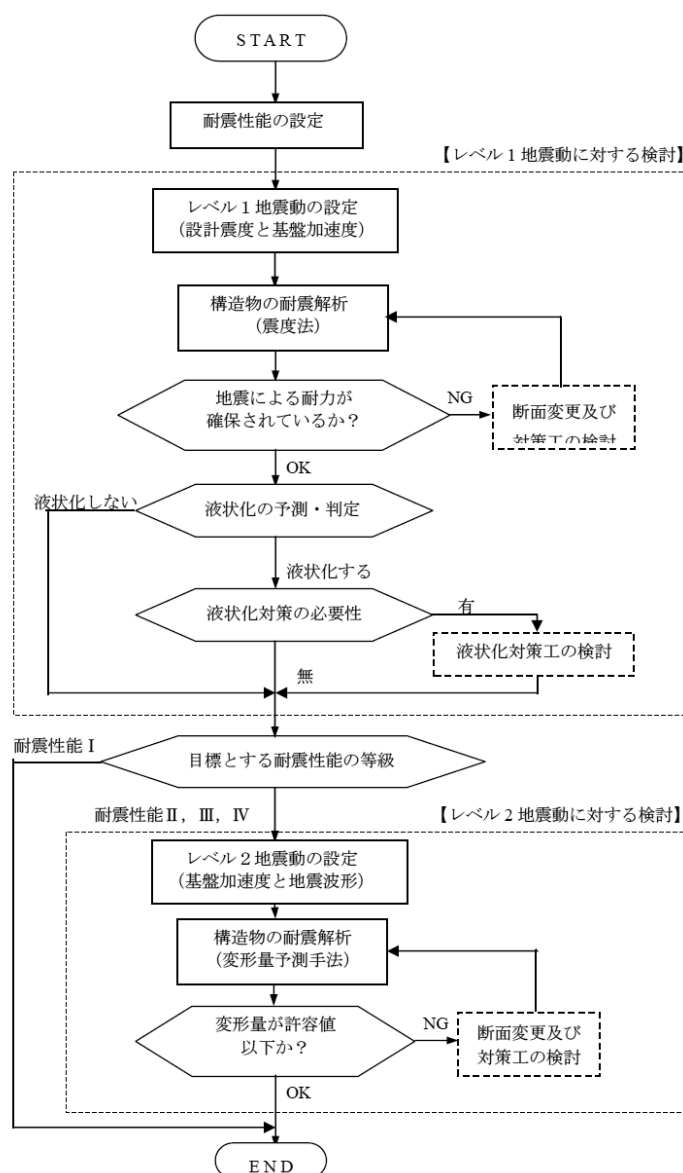


図 4-4-29 防潮堤耐震設計手順

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.3 (抜粋)

(2) 耐震性能の設定

防潮堤等施設の耐震性能の等級の設定に当たっては、特に重要と判断される条件として、「施設背後地の重要度」と「施設背後地の地盤高」を考慮する。

① 耐震性能の設定フロー

防潮堤の耐震性能は、施設背後地の重要度及び地盤高を考慮して、図 4-4-30 に基づき設定する。

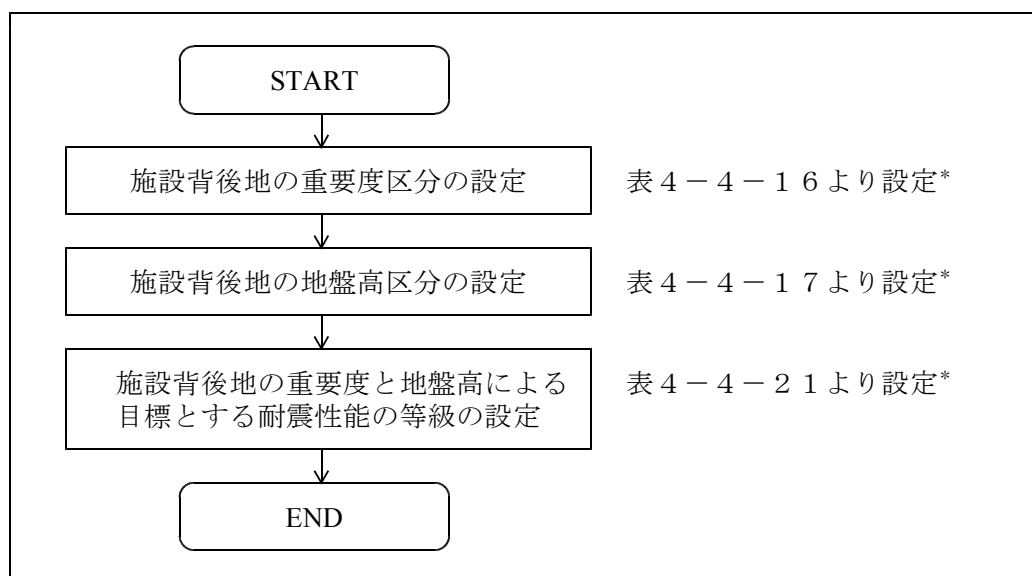


図4-4-30 耐震性能の設定フロー

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.3
(*加筆)

② 背後地の重要度の区分

防潮堤背後地の重要度は、事業対象地背後地に位置する保全対象（家屋の密集の度合い、資産（家屋、家財など）の集積度）、防災拠点となるべき施設の有無などのことであり、施設が被災した場合に地域経済・生活活動が受ける影響の程度が異なることから、表4-4-16のように区分することを標準とする。

表4-4-16 施設背後地の重要度区分

施設背後地の 重要度 A	以下のいずれかに該当する地域 ・ 背後に住宅が集積し、地震後の浸水により多大な人命・財産・生活を喪失する地域 ・ 公共施設や公共用地など、震災の復興に重要な役割を果たす地域 ・ 施設背後に他地区と通じる唯一の道路があり、地震後の崩壊又は浸水により道路が遮断され孤立する地域 ・ 背後に加工場、水産倉庫などの地域の漁業活動に重要な役割を果たす施設がある地域 ・ 施設背後地の地形の傾斜が急になっており、地震による施設被害の結果、高潮、波浪などにより地形の安定性が損なわれ、人命・財産・生活が喪失する可能性の高い地域
施設背後地の 重要度 B	・ 重要度 A 以外の地域

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.

③ 防潮堤背後の地盤高の区分

防潮堤は、背後地への浸水を防止する機能を有しており、施設背後地の地盤高が低い場合は、より高い耐震性能を設定することを標準とする。

施設背後地の地盤高は、浸水に対する危険性を考慮し、表 4-4-17 のように区分する。

なお、防潮堤の背後地の地盤高が地震により大きく沈下すると想定される場合は、沈下後の地盤高により区分する。

表 4-4-17 施設背後地の地盤高区分

低地盤高	・施設背後地盤高が、朔望平均満潮位よりも低いため、施設の被災により浸水が予想される地域
高地盤高	・施設背後地盤高が、朔望平均満潮位よりも高いため、施設が被災しても即座に浸水しない地域

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.3

④ 目標とする耐震性能

防潮堤等施設においては、構造の安定性及び修復の容易性等を考慮し、目標とする耐震性能を、表 4-4-18 に示す 4 等級の区分とすることを標準とする。図 4-4-29 の防潮堤等の耐震設計手順に示すように、耐震性能Ⅰは、レベル 2 地震に対する耐震検討が必要なく、耐震性能Ⅱ、Ⅲ、Ⅳは、レベル 2 地震動に対する検討を行う。

表 4-4-18 目標とする耐震性能の等級

目標とする耐震性能の等級	検討対象地震動レベルと許容被害程度	耐震性能のレベル
耐震性能Ⅰ	レベル 1 地震動に対して被害程度 a にとどまる。 レベル 2 地震動は考慮しない。※	低い
耐震性能Ⅱ	レベル 1 地震動に対しては被害程度 a にとどまる。 レベル 2 地震動に対しては被害程度 c にとどまる。	↑
耐震性能Ⅲ	レベル 1 地震動に対しては被害程度 a にとどまる。 レベル 2 地震動に対しては被害程度 b にとどまる。	耐震性能 ↓
耐震性能Ⅳ	レベル 1 地震動に対しては被害程度 a にとどまる。 レベル 2 地震動に対しては被害程度 a にとどまる。	高い

※ レベル 2 地震動を対象としないため、被害程度の評価は行わない。

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.

表 4-4-19 防潮堤被害程度の設定例

機能被害	構造被害	復旧期間※ 1	被害程度
機能維持	無被害または復旧が必要ない程度の軽微な被害		⇒ a
機能低下	簡単な復旧で対応できる程度の被害	短期間	⇒ b
	構造物の一部が崩壊	中期間	⇒ c
機能停止	構造物の大部分が崩壊	長期間	⇒ d

※ 1 機能回復のための構造物復旧に必要な期間。

注) は、本基準*での対象範囲を示す。

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.3

(*加筆)

表 4-4-20 被害程度概念図

被害程度	a 無被害または復旧が必要ない程度の軽微な被害	b 簡単な復旧で対応できる程度の被害 (防波機能や安全性、使用性、環境に関する性能が一定以上確保できている)	c 構造物の一部が崩壊 (防波機能や安全性、使用性、環境に関する性能が確保できない)
堤防			
護岸			
胸壁			
緩傾斜型堤防(階段)			

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.3

⑤ 背後地の重要度と地盤高による目標とする耐震性能の等級の設定

耐震設計で考慮する地震動は、レベル1地震動（施設の供用期間内に1～2度発生する確率を持つ地震動）と、レベル2地震動（現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動）の2段階の地震動とし、施設背後地の重要度及び地盤高により設定される目標とする耐震性能の等級を考慮して、対象とする地震動を選定する。

なお、目標とする耐震性能の等級は、標準として表4-4-21のように設定する。

表4-4-21 施設背後地重要度と地盤高による目標とする耐震性能等級の設定

施設背後地の重要度 施設背後地の地盤高	A	B
低地盤高	耐震性能Ⅲ (耐震性能Ⅳ)	耐震性能Ⅰ (耐震性能Ⅱ)
高地盤高	耐震性能Ⅱ (耐震性能Ⅲ)	耐震性能Ⅰ

(出典) 漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン (案) 農林水産省水産庁 H22.3

ア 施設背後地の重要度Aで低地盤高

施設背後地の重要度が高く、浸水による被害が大であるため、耐震性能Ⅲを満足することを標準とするが、大きな被害が想定される地域では、耐震性能Ⅳとしてもよい。

イ 施設背後地の重要度Aで高地盤高

浸水による被害は小であるが、施設背後地の重要度が高いため、耐震性能Ⅱを満足することを標準とするが、大きな被害が想定される地域では、耐震性能Ⅲとしてもよい。

ウ 施設背後地の重要度Bで低地盤高

浸水による被害は大であるが、施設背後地の重要度が低いため、耐震性能Ⅰを満足することを標準とするが、大きな被害が想定される地域では、耐震性能Ⅱとしてもよい。

エ 施設背後地の重要度Bで高地盤高

施設背後地の重要度が低く、浸水による被害も小であるため、耐震性能Ⅰを満足することを標準とする。

(3) 耐震性能等級がⅠと設定された場合の検討

レベル1地震動及び液状化に対する安定検討を行う。

① 堤体の安定検討

堤体の安定検討の目標安全率は次表のとおり。

表 4-4-22 防潮堤等目標安全率一覧表（レベル1地震動の場合）

	検討事項	常時	地震時	備考
重力式等	堤体の滑動	1.2 以上	1.0 以上	
	堤体の転倒	1.2 以上	1.1 以上	
	地盤の支持力※	2.5 以上※	2.5 以上※	
	円弧すべり	1.2 以上	1.0 以上	
矢板式	根入れ（砂質土地盤）	1.2 以上	1.0 以上	
	根入れ（粘性土地盤）	1.2 以上	1.1 以上	
	控え式	1.2 以上	1.0 以上	
杭式基礎	押込杭基礎（支持杭）	2.5 以上	1.5 以上	
	押込杭基礎（摩擦杭）	2.5 以上	2.0 以上	
	引抜杭	3.0 以上	2.5 以上	

（出典）漁港海岸事業設計の手引 （公社）全国漁港漁場協会 H25.11

※ 漁港・漁場の施設の設計の手引 （社）全国漁港協会 H15.10

② 堤体及び地盤の液状化の予測・判定

防潮堤の堤体及び地盤の液状化の予測及び判定については、本章 2-7 「地震・液状化調査」に準ずる。

（4）耐震性能等級がⅡ～Ⅳと設定された場合の安定検討

耐震性能等級がⅡ～Ⅳと設定された場合、堤体の耐震性能検討においては、地場に施設の地震応答解析により、防潮堤の地震時の挙動を評価し、あらかじめ設定した被害程度（許容限界）を満足するか否かを検討する。解析法の選定に際しては、耐震性能検討に適した解析法を用い、一般に要求する耐震性能が高い施設には、高度な解析手法を用いる。

① 耐震性能の検討のための解析方法

変形量の解析手法は、その難易度、解析能力によって、ア 液状化による変形量の簡便な推定手法、イ 簡易動的解析による手法、ウ 静的検討法による手法、エ 動的解析による手法がある。それぞれの特徴を考慮して、適切な方法を用いる。

② 高潮防潮堤の天端高を決定する際の余裕高分の変形を許容する方法

この余裕高は、設計潮位、設計波等の設計値に対する若干の不確実性を考慮して設定されているものであり、最大 1.0m 程度の余裕高が見込まれている。したがって、この余裕高分程度は変形しても機能面で問題は無いと判断できる場合は、この余裕高を軽微な被害による許容変形量とすることができる。

$$\text{天端高} = \text{設計高潮位} + \text{設計波に対する必要高} + \text{余裕高}$$

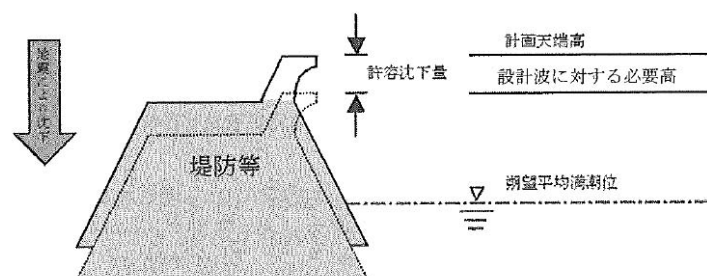


図 4-4-3 1 高潮堤防の天端高を決定する際の余裕高分を許容沈下量とする場合の概念図

(出典) 漁港海岸事業設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H25.11

- ③ 天端沈下量の変形量を復旧に要する確率波を考慮した許容沈下量以下とする方法
天端沈下量を変形量の代表的検討項目として、その場合の許容沈下量を高潮及び波浪に起因する浸水を防ぐものとして、次式を参考とする。

$$\text{許容沈下量} \leq \text{計画天端高} - (\text{潮望平均満潮位} + 10 \text{ 年確率波に対する必要高})$$

ただし、復旧に要する期間により確率波を適切に設定してもよい。

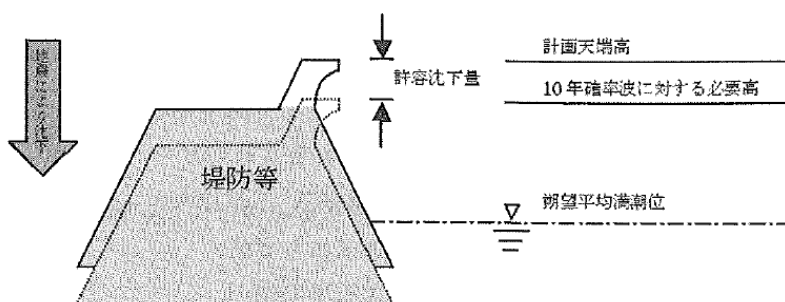


図 4-4-3 2 復旧に要する確率波を考慮した許容沈下量の概念図

(出典) 漁港海岸事業設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H25.11

- ④ 防護対象の津波が生起する地震動による変形後の天端高を必要高以上とする方法
津波対策としての津波防潮堤では、地震発生の際、主に地殻変動に伴う地盤沈下と地盤の液状化による堤体の沈下の影響を受ける。このため、津波に対する防護を目的とする防潮堤等施設では、防護対象となる津波を生起させる地震動による変形後の天端高が、設計津波に対する必要高を満足することを確認する。

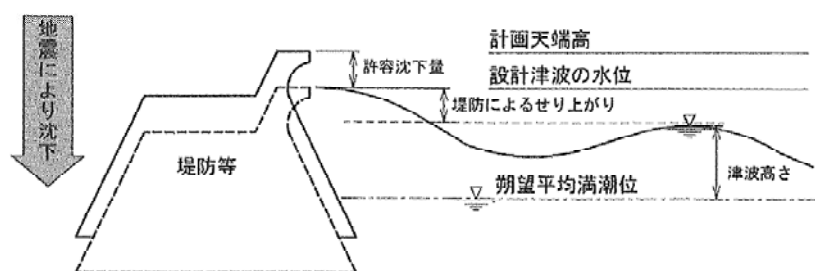


図 4-4-33 防護対象の津波が生起する地震動に対する許容沈下量の概念図
(出典) 漁港海岸事業設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H25.11

表 4-4-23 使用上の観点から見た変形照査の参考値
(レベル 2 地震動の場合)

	項目	変形量
防潮堤等の 構造物本体	沈下量 傾斜角 法面の出入り	25cm 3 度 25cm

(出典) 漁港・漁場の施設の設計の手引 (社) 全国漁港漁場協会 H15.10 (抜粋)

3 防潮堤等の耐津波設計

(1) 耐津波設計手順

防潮堤等施設の耐津波設計にあたっては、図 4-4-34 に示すとおり、耐震性能を満たす上で、発生頻度の高い津波による構造物の安定性を検討する。更に必要に応じて発生頻度の高い津波を超えた津波に対しても、粘り強く施設の機能を維持し減災効果を期待する観点から、「粘り強い構造」を検討する。

防潮堤等施設の耐津波性能の等級の設定に当たっては、特に重要と判断される条件として、「施設背後地の重要度」と「施設背後地の地盤高」を考慮する。

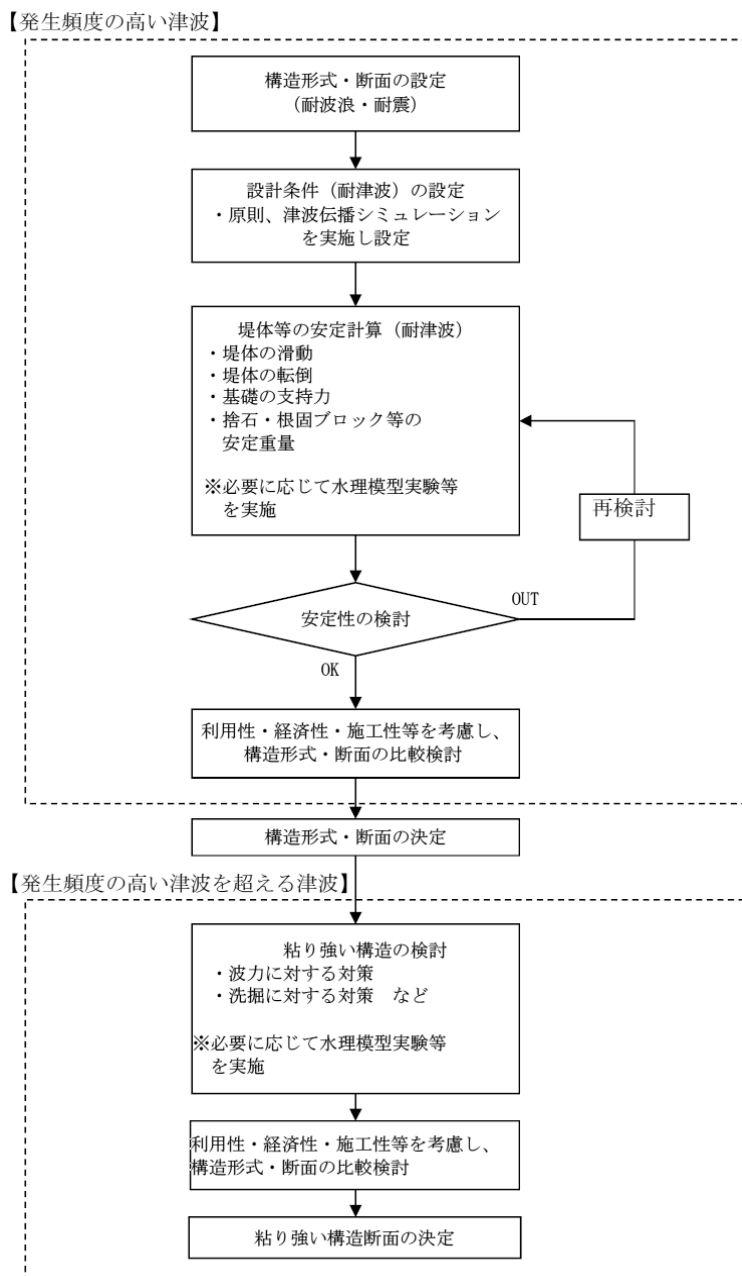


図 4-4-34 岸壁の設計フロー図

(出典) 平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
(平成 25 年 8 月 30 日 水産庁通知)

(2) 設計条件の設定方法

防波堤の耐津波対策における津波高または水位の設定において、格子間隔 5m 以下の既往の調査結果がない場合には、津波伝播シミュレーションを実施することが望ましい。

津波波圧の算定には、現状では非越流時の算定方法として実績のある谷本式を標準式として用いる。一方で、谷本式の適応範囲を超えた施設背後に越流するような場合は背後水位の変動を考慮していないため波力を過大に算定する場合もある。したがって、前面波圧分布を静水圧と仮定し背後水位の変動を考慮した水工研提案式による波

圧算定手法と比較検討した上で、防潮堤に作用する波圧を決定する。

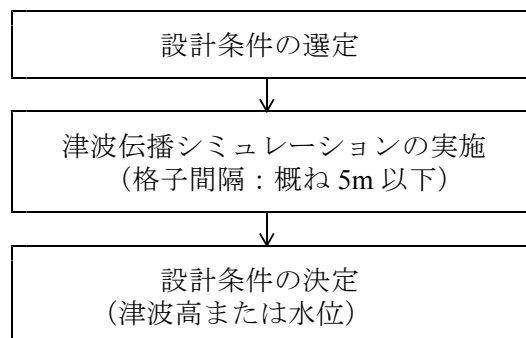


図4-4-35 設計条件選定フロー図

(出典) 平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
(平成25年8月30日 水産庁通知)

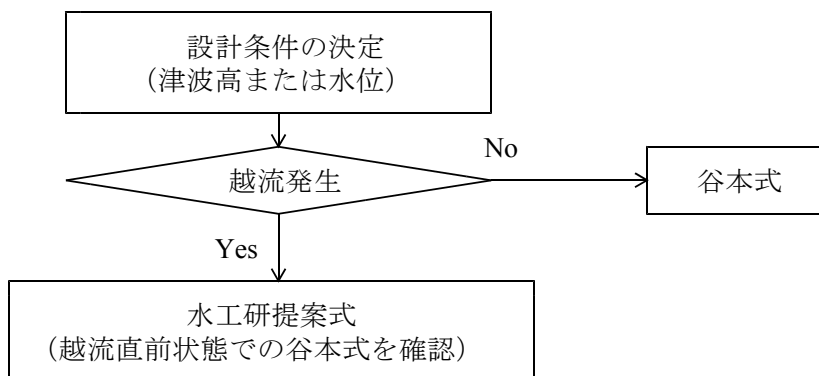


図4-4-36 津波波圧算定フロー図

(出典) 平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
(平成25年8月30日 水産庁通知)

ここで、津波波圧を算定する際に設定する基準水面は、堤体の安定性が最も低くなる場合とする。一般的には、朔望平均満潮面（H.W.L.）とする場合が多い。

また、引き波時に堤体前面の水位が大きく下がることで堤体の安定性が危険となる場合があるように、堤体の安定性が最も低くなる状態は、必ずしも堤体前面の水位が最高の時点とは限らないことに留意する。

このため、津波伝播シミュレーションにより時々刻々と変化する前面及び背後の水位の組み合わせ（押し波から引き波まで）の中から、堤体の安全率が最も低くなる状態を抽出して設計計算を行う。

(3) 堤体の安定計算

① 堤体に作用する波圧の算定

ア 谷本式による波力の算定方法（「港湾の技術基準・同解説」参照）

直立壁に作用する波力は、作用点を $\eta^*(p=0)$ とし、静水面で $p_1 = 2.2 \rho_0 g a$ となる直線分布で、静水面以下は一律な波圧分布となる。

$$\eta^* = 3a$$

$$p_1 = 2.2\rho_0 g a$$

$$p_2 = (1 - h^* / \eta^*) p_1$$

$$p_u = p_1$$

$$h^* = \min(h_c, \eta^*)$$

ここで、

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

a : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

h' : 堤体の前面における水深 (m)

h_c : 堤体の静水面上の高さ (m)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m³)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/ m²)

p_2 : 堤体上端部における波圧強度 (kN/ m²)

p_u : 前面下端における揚圧力 (kN/ m²)

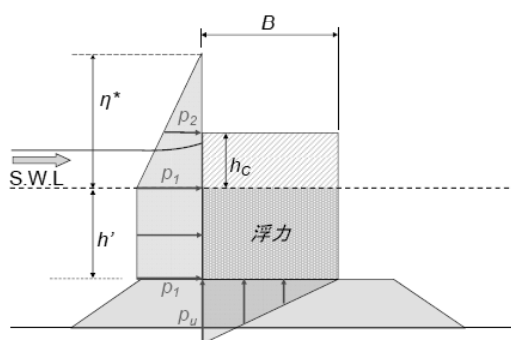


図 4-4-37 防波堤に作用する波圧分布図 (谷本式)

(出典) 平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
(平成 25 年 8 月 30 日 水産庁通知)

なお、ソリトン分裂が発生し分裂波による波圧の増加が考えられるような条件下 ($h/L \geq 0.005$ 、 h は静水位時の水深、 L は津波の波長) においては、 $p_1 = 3.0\rho_0 g a$ として設定する (津波評価手法の高精度化研究、原子力土木委員会 津波評価部会、土木学会論文集 B Vol.63 No.2)。津波波長 L は、次図に示すように最大波の波形の静水位上の時間を半周期($T/2$)としてより算定する。

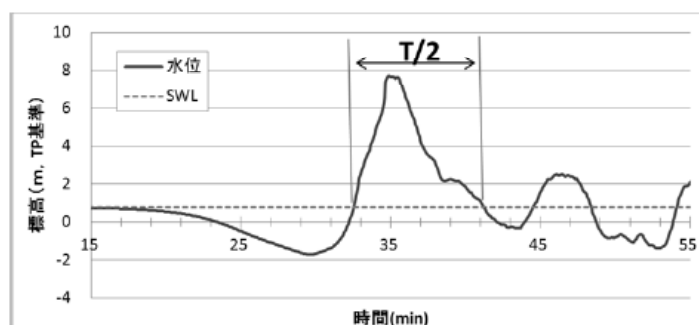


図 4-4-38 周期 T の設定方法

(出典) 平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
(平成 25 年 8 月 30 日 水産庁通知)

防波堤がある条件での津波伝播シミュレーション結果を用いる場合には、堤体前面では反射波により津波波高は、防波堤のない場合のほぼ 2 倍（重複波）になるため、 η （堤前の静水面からの津波高）= $2a$ として取り扱う。設定水位は、津波来襲時の水位を基準とする。

イ 背後水位の上昇を考慮した波圧分布算定式の提案（水工研提案式）

直立壁に作用する波力の算定の際に、施設前後における波圧分布を静水圧分布形（三角形分布）と仮定し、前面及び背面における水位変動を考慮した圧力バランスを検討することとする。

ここで、流れの影響等による動水圧による影響は、係数（ a_I 及び a_{IB} ）により与えることとし、これまでの調査結果や港湾等の水理模型実験により、施設前面の波圧は $a_I = 1.1$ 、背後圧は $a_{IB} = 0.9$ として設定する。

この提案式は、非越流時・越流時に同様の波圧式を用いる形となっている。また、堤体上面と下面に作用する圧力を直接評価することで、浮力及び越流時に流れの作用によって生じる揚力は、揚圧力合力 P_u として一体として評価される形となっており、別途、浮力や揚力を評価する必要はない（揚圧合力に浮力、揚力が含まれる）。また、引き波時の波圧の算定にもこの波圧式を用いることができる。その場合、引き波時の主方向側を前面波圧側とし、津波伝播シミュレーションより求められる施設前後の水位から波圧を算定する。

○前面波力 P_I の算定（非越流時は $p_2=0$ ）

$$p_1 = \rho_0 g (h' + \eta) \times a_I, \quad p_2 = (\eta - h_c^*) / (h' + \eta) p_1, \quad h_c^* = \min(\eta, h_c)$$

$$P_I = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (h' + h_c^*)$$

○背面波力 P_B の算定（非越流時は $p_4=0$ ）

$$p_3 = \rho_0 g (h' + \eta_B) \times a_{IB}, \quad p_4 = (\eta_B - h_{CB}^*) / (h' + \eta_B) p_3, \quad h_{CB}^* = \min(\eta_B, h_{CB})$$

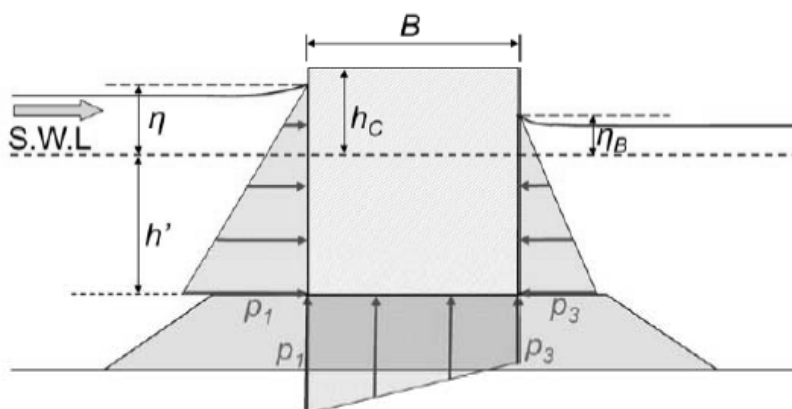
$$P_B = \frac{1}{2} (p_3 + p_4) (h' + h_{CB}^*)$$

○揚圧力合力 P_U の算定（浮力、揚力を含む）

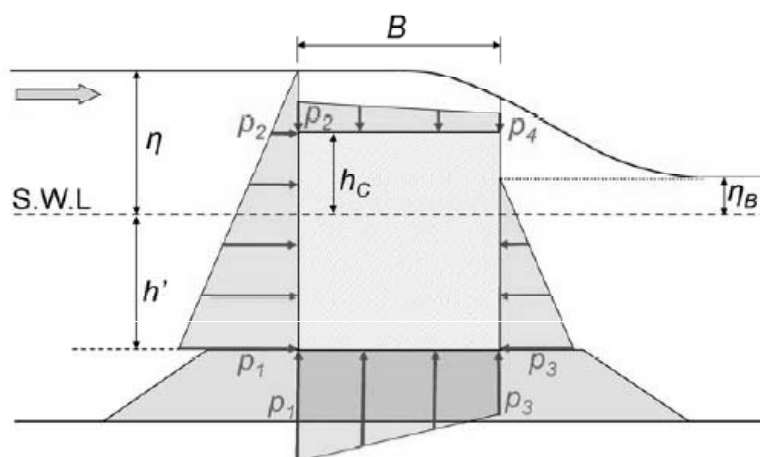
$$P_U = \frac{1}{2}(p_1 + p_3)B - \frac{1}{2}(p_2 + p_4)B$$

ここで、

- η : 静水面上の前面の津波高さ (m)
- η_B : 静水面上の背面の津波高さ (m)
- h' : 堤体の前面における水深 (m)
- ρ_{0g} : 海水の単位体積重量 (kN/m³)
- p_1 : 静水面における前面波圧強度 (kN/m²)
- p_2 : 堤体上端部における前面波圧強度 (kN/m²)
- p_3 : 静水面における背面波圧強度 (kN/m²)
- p_4 : 堤体上端部における背面波圧強度 (kN/m²)
- B : 堤体幅 (m)



(a) 非越流時



(b) 越流時

図 4-4-39 防波堤に作用する波圧分布図

（出典）平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
（平成 25 年 8 月 30 日 水産庁通知）

越流時における堤体背面の静水面上の水位 η_B は津波水塊の落下位置よりも後ろの水面が平らとなる位置での水位を与える。

また、堤体上面に作用する水圧（ p_2 及び p_4 からなる台形分布）は、上図では堤体の前面から背面において変化する水位を考慮した形として示しているが、津波伝播シミュレーションのメッシュサイズと構造物の寸法から考えて p_2 及び p_4 を精度よく算出することが難しいと判断される場合は、防波堤上の平均的な水位による一様分布として扱ってよいものとする。

なお、津波波力や段波・ソリトン分裂の影響等については知見が十分でないことから、今後も水理模型実験または数値シミュレーション（断面）による検証事例の蓄積を図る。

② 安定性能の検討方法

①で算出された波圧合力を用いた堤体の滑動と転倒に対する安定検討に必要な式を以下に示す。

ア 堤体の滑動

津波を外力とした場合でも波浪を外力とした場合と同様に取り扱いし、以下の式を用いて検討する。

$$F \leq \frac{\mu(W - P_u)}{P}$$

ここに、 W ：堤体重量（kN）（谷本式を用いる場合は浮力を差し引いた重量とする。水工研提案式を用いる場合は、揚圧力合力に浮力も考慮されているので、堤体重量から差し引く必要はない。）

P ：堤体に働く波圧合力（kN）

P_u ：堤体底面に働く揚圧力合力（kN）

μ ：静止摩擦係数

F ：安全率

イ 堤体の転倒

津波を外力とした場合でも波浪を外力とした場合と同様に取り扱いし、以下の式を用いて検討する。

$$F \leq \frac{Wt_1 - P_u t_2}{Pl}$$

ここに、 W ：堤体重量（kN）（谷本式を用いる場合は浮力を差し引いた重量とする。水工研提案式を用いる場合は、揚圧力に浮力が考慮されているので堤体重量から差し引く必要はない。）

P ：堤体に働く波圧合力（kN）

P_u ：堤体底面に働く揚圧力合力（kN）

t_1 ：堤体後趾より W の作用線までの距離（m）

t_2 ：堤体後趾より P_u の作用線までの距離（m）

l ：堤体の底面から堤体に働く波圧合力の作用点までの距離（m）

F ：安全率

③ 求められる安全率と許容値

求められる滑動と転倒に対する安全率を下表に示す。

表 4-4-24 求められる安全率一覧表

滑動安全率	転倒安全率
1.2 以上	1.2 以上

(出典) 平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
(平成 25 年 8 月 30 日 水産庁通知)

(4) 根固・被覆ブロックの安定性能の検討

① 津波流速の算定

津波の流速は、沿岸地形の影響などによる流速の変化を考慮できる津波伝播シミュレーションによって算定する。ただし、津波伝播シミュレーションの流速算定の精度についてはまだ知見は十分ではないため、今後も水理模型実験や数値シミュレーションによる検証事例の蓄積を図る。

防潮堤等を越流する場合の防潮堤陸側の流速については、津波伝播シミュレーションでは越流現象が考慮されず適正な流速とならない場合が多いことから、水理模型実験又は水理実験で十分に精度を検証された数値波動水路によって求めることが望ましい。

② 安定計算の方法

根固め・被覆ブロック等の安定質量は、イスバッシュにより提案されている捨石等の安定質量算定式（以下、イスバッシュ式という）又は水理模型実験によって定めることができる。

津波が防波堤を越流しない場合の根固・被覆ブロック等の安定質量については、イスバッシュの式によって算定することができる。

イスバッシュ式を用いて防潮堤等の根固・被覆ブロック等の安定質量を算定する場合、潜堤マウンドの被覆材における岩崎らの検証結果を参考とすることができ、イスバッシュの定数 1.08 を用いることができる。本式が適用できる捨石法面の角度は、 $\theta = 45^\circ$ よりも緩い場合（法勾配 1:1.0 よりも緩い勾配）に限られる。また、防波堤等を越流する場合の根固・被覆ブロック等の安定質量については、堤体の前面では津波の流れの上昇に伴い流れが複雑となり、堤体の背面では防波堤を越流した津波水塊の打ち込み等が生じることとなるため、水理模型実験によって設定することが望ましい。

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3}$$

ここに、M：安定質量（t）

ρ_r ：捨石等の密度（t/m³）

U：捨石等の上面における水の流れの速度（m/s）

g：重力加速度（m/s²）

y：イスバッシュの定数

S_r : 捨石等の水に対する比重

θ : 水路床の軸方向の斜面の勾配 ($^{\circ}$)

津波の流れに対する防波堤等の根固・被覆ブロック等の安定質量算定へのイスバッシュ式の適用については、イスバッシュ定数第1章や流速など、まだ知見は十分ではないため、今後も水理模型実験や数値シミュレーションによる検証事例の蓄積を図る。

さらに、根固・被覆ブロック等の安定性は、部材の構造や形状、積み方などに大きく依存するため、最新の知見を参考にする。

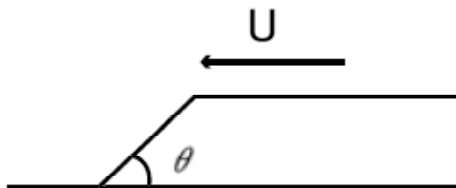


図4-4-40 根固・被覆ブロックの概念図

(出典) 平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
(平成25年8月30日 水産庁通知)

4-4-1-7 防潮堤の構造細目

4-4-1-7-1 防潮堤の堤体材料

4-4-1-7-2 防潮堤の表のり被覆工

4-4-1-7-3 防潮堤の天端及び裏のり被覆工

1 天端及び裏のり被覆工の断面構造

(1) 高潮防潮堤

高潮防潮堤で天端及び裏のりをコンクリートで被覆する場合、コンクリートの厚さは20cmとする場合が多い。また基礎厚さは、砕石は20cm、栗石の場合は30cmとする場合が多い。標準図を図4-4-42に示す。

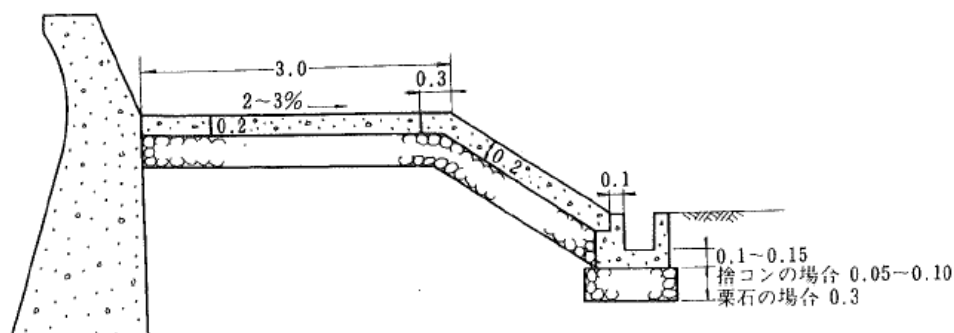
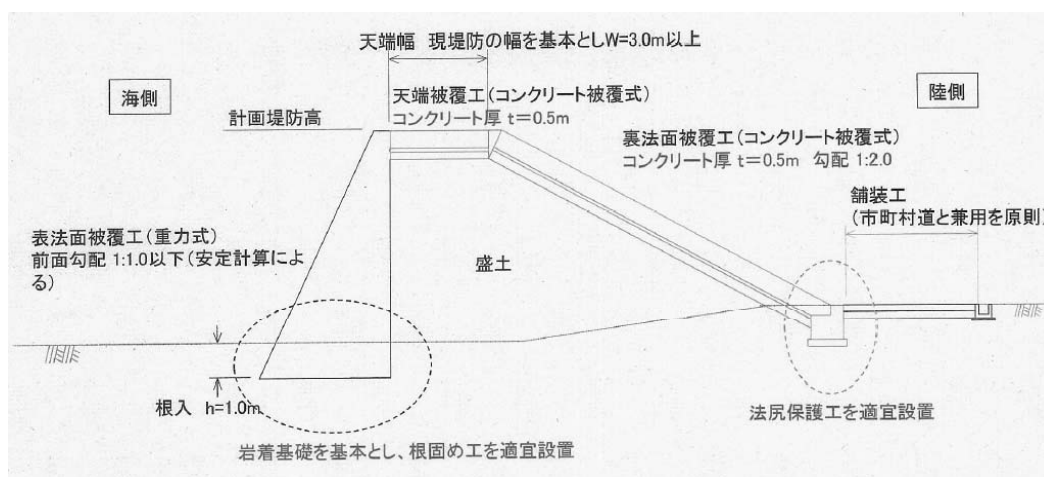


図4-4-42 天端及び裏のりの標準断面図(高潮防潮堤の場合)

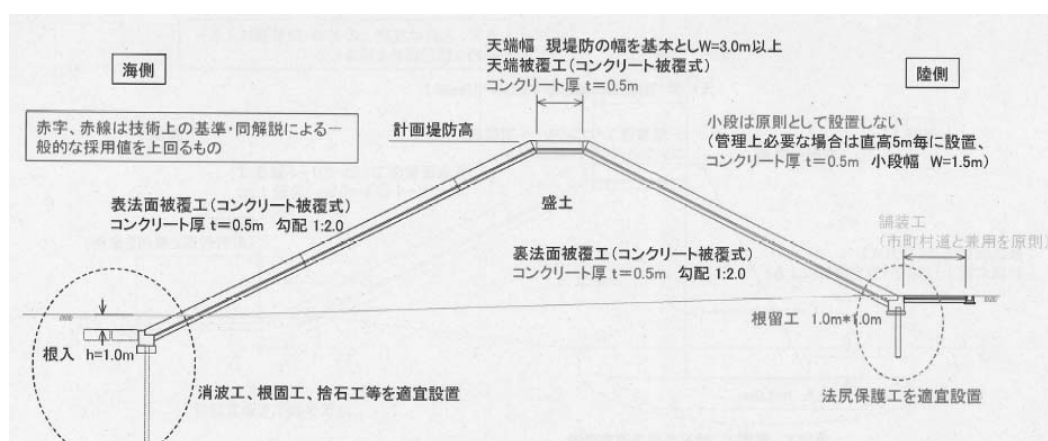
(出典) 漁港海岸事業設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H25.11

(2) 津波防潮堤の場合の断面構造例

津波防潮堤で天端及び裏のりをコンクリートで被覆する場合、コンクリートの厚さは 50cm とする。また基礎の厚さとして裏込コンクリート 10cm、裏込砕石 20cm とする。直立型及び傾斜型津波防潮堤の標準図をそれぞれ図 4-4-4 3 の(a)及び(b)に示す。また、のり被覆の断面構成を図 4-4-4 4 に示す。



(a) 直立型の場合



(b) 傾斜型の場合

図 4-4-4 3 天端及び裏のりの標準断面図(津波防潮堤の場合)

(出典) 災害復旧事業で嵩上げする岩手県・宮城県・福島県の建設海岸堤防設計の考え方
H24.5

コンクリート被覆 t=50cm	
裏込コンクリート t=10cm	
裏込碎石	t=20cm

図 4-4-4 4 (a) のり面被覆構成 (不透過型コンクリートにより被覆する場合)
(出典)

災害復旧事業で嵩上げる岩手県・宮城県・福島県の建設海岸堤防設計の考え方 H24.5

コンクリートブロック被覆 t=50cm	
裏込栗石	t=30cm
裏込碎石	t=20cm

← 吸出防止材

図 4-4-4 4 (b) のり面被覆構成 (透過型コンクリートブロックにより被覆する場合)
(出典) 緩傾斜堤の設計の手引き (改訂版) (社) 全国海岸協会 H18.1

4-4-1-7-4 防潮堤の基礎工

1 液状化対策

基礎地盤が液状化すると判定された場合、地盤の特性、施設の重要度などに応じて適切な液状化対策の検討を行う。

(1) 検討項目

液状化対策を設計に当たっては、以下の事項について検討を行う。

- ① 対策工法・工種
- ② 対策工法の施工範囲
- ③ 対策工の具体的設計

(2) 対策工法の種類

液状化対策工の種類としては、表 4-4-2 5 のような工法がある。

表 4-4-25 液状化対策工法の特徴 (1)

工 法	工法の原理と概要	工法の特徴	環境条件		地盤条件		経済性 A:高い B:普通 C:安い	留意事項	参考事項	
			振動・騒音による地盤変動	粒 径	液状化履歴	適用深度 (m)			液状化による被害	施工期間
サンドコンパクションバイフル工法	鋼管ケーシングを先端部まで地中に貫入させた後、ケーシング内に砂を入れる。引き抜き時に砂を圧入して締固めた砂杭を打設し、同時に周辺地盤を側方に締め固める。	・大深度の高密度化が可能。 ・施工工程が簡便。 ・補給材を砕石に換えれば、ドレーン効果も期待できる。	大	大	厚くても効果あり	30	C	・細粒分が多い地盤では、改良後のN値が上昇しにくい。 ・騒音・振動が大きい。	多い	強い
振動棒工法	ロードを振動圧入し、地表から補給材を充填することにより地盤を締め固める。	・簡易機械が機動性に富み、施工能力が高い。 ・補給材として珪砂土砂も可能。	中	中	厚くても効果あり	20	C	・細粒分が多い地盤では、改良後のN値が上昇しにくい。	やや多い	強い
バイブロフローテーション工法	偏心荷重を内蔵した振動体によって水平振動と先端ノズルからの射水によって周部の地盤を締め固め、間隙に補給材を充填する。	・水締め効果も期待できる。	小	小	厚くても効果あり	13	C	・細粒分が多い地盤では、改良後のN値が上昇しにくい。 ・試錐施工にて改良仕様を決定する必要がある。	やや多い	強い
低振動締め固め工法	高周波のバイブロや高周波の大容量バイブロフロッツを用いて周辺地盤や補給材を締め固め、地盤の密度を高める。	・締め固め効果がサンドコンパクションと同程度期待できる割に振動・騒音は少ない。	中	小	厚くても効果あり	20	C	・細粒分が多い地盤では、改良後のN値が上昇しにくい。	やや多い	強い
重錘落下工法	98～294kNの重錘を自由落下させ衝撃荷重で地盤を締め固める。	・通常は10m以上の改良に用いられる。	大	大	厚くても効果あり	10	C	・細粒分が多い地盤では、改良後のN値が上昇しにくい。 ・周辺地盤との間に、かなり距離が必要である。	やや多い	強い
静的締め固め工法	特製石灰とセメント、石膏、砂の混合材料をバレル状に造成し、その時の圧力と材料の膨張圧によって、地盤の静的締め固め、密度の増大、地盤の側方圧の増大を図るものである。	・振動・騒音が少ない。	小	小	厚くても効果あり	15	C	・地下水汚染に注意。 ・大騒がれれば不適。	少ない	強い

(出典) 漁港・漁場の施設の設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H15.10

表 4-4-25 液状化対策工法の特徴 (2)

工 法	工法の原理と概要	工法の特徴	環境条件		地盤条件		留意事項	参考事項	
			振動・騒音	施工による地盤変位	径 径	液状化履歴	適用深度 (m)		
グラベルドレーン工法	ケーシングを所定の位置まで貫入させた後、砕石を入れ、ケーシングを抜き取り砕石パイルを造る。地震時に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑制する。	- 施工実績が豊富である。 - 振動・騒音が少ない。 - 閉鎖式によれば、周辺地盤の時間的効果も期待できる。	小	小	大断不	25	- 細粒分含有率が多く、低透水性の時には適用が困難。 - 振動後にある程度沈下が生じる。	多い	弱い
		- 人工材料を用いているため品質が一定している。 - 施工機械が小型。 - 振動・騒音が少ない。	小	小	大断不	25	- 細粒分含有率が多く、低透水性の時には適用が困難。 - 振動後にある程度沈下が生じる。	やや多い	弱い
深層混合処理工法	セメント系の固化材と原土盤を攪拌混合して、地盤を固化する。	- 施工の信頼性が高い。 - 非土式にすれば、施工に伴う地盤変位が小さい。	小	中	大断不	30	- 施工時に周辺地盤に変位が生じる場合がある。 - 大断があれば不適。 - 地下水汚染に注意。	やや多い	強い
注入工法	ボーリング孔を利用し、セメントグラウトなどを注入し、地盤を固化する。	- 振動・騒音が少ない。 - 狭い空間でも施工可能。	小	中	細粒分に注意	ボーリング可能深度	- 細粒分が多いときには不通。 - 地下水汚染に注意。 - 施工管理が難しい。	少ない	強い
事前混合処理工法	埋立土時に事前にセメント系に安定剤を添加混合しておき、埋立を行う。	埋立後の液状化対策が不要。	小	無	無	試験施工により判断	- 試験施工にて改良仕様を決定する必要がある。 - 地下水汚染に注意。	少ない	強い
置換工法	液状化の可能性のある地盤を液状化しない材料に置き換える。	良質材で置換でき施工の信頼性が高い。	小	無	無	5	改良すべき地層が表層にあり、広さも限られている場合に用いる。	少ない	強い

(出典) 漁港・漁場の施設の設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H15.10

2 軟弱地盤対策

基礎地盤が軟弱地盤と判定された場合、施設の規模、重要度、荷重強度および地盤を構成する軟弱土の性質などに応じて、適切な軟弱地盤対策の検討を行う。

(1) 軟弱地盤の定義

軟弱地盤とは、特別の処置を施さなければ構造物の基礎地盤として信頼できないものという。一般には高含水比の粘性土地盤が軟弱地盤といわれるが、水で飽和した緩い砂地盤も地震時の液状化現象の可能性を考えると軟弱地盤に含まれる。

防潮堤等施設において軟弱地盤として判定する概ねの目安は、画一的に定めること

は難しいが、重力式、扶壁式の防潮堤の場合は、下表によることが多い。

なお、表 4-4-26 の値は、砂質土層の液状化の問題は考慮されていない。

表 4-4-26 軟弱地盤として判定する目安

土質	含水比	N 値	一軸圧縮強度
砂質土層	30%以上	4 ～ 8 以下	—
沖積層粘性土	50%以上	4 以下	39 ～ 59kN/m ² 以下

(出典) 漁港・漁場の施設の設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H15.10

(2) 軟弱地盤の対策工法

軟弱地盤の問題点としては、次の 4 つがある。

- ① 安定問題
- ② 沈下問題 (連れ込み沈下等他の構造物に対し影響を与えるものも含む)
- ③ 液状化問題
- ④ 透水性問題 (クイックサンドやパイピングなど)

十分な地耐力がないまま構造物を施工すると、沈下や円弧すべり及び地震時の液状化が発生する恐れがあるため、地盤改良など軟弱地盤の対策工法をとり、地盤の地耐力を増して、安定な構造物を施工することが求められる。

軟弱地盤対策は、次の 3 種類の基本的工法に大別される。

- ① 置換
- ② 高密度化または密度増大 (ア 脱水を主体、イ 締固めを主体)
- ③ 固結化 (ア 物理的反応、イ 化学的反応、ウ 電気化学的反応)

主な軟弱地盤対策工法の分類と概要を表 4-4-27 に示す。

表 4-4-27 軟弱地盤対策工法の分類

対策の手法	工法名称	改良の目的	適用土質
構造物の形式の変更	押さえ盛土工法	すべり破壊防止	粘性土
	荷重軽減工法（発泡スチロールなど）	すべり破壊防止、沈下低減	粘性土
	補強土工法	盛土の破壊防止	砂質土、粘性土
	矢板工法	周辺地盤の変形、沈下抑制、すべり破壊防止	砂質土、粘性土
除去・置換	置換工法	すべり破壊防止、沈下低減	砂質土、粘性土
圧密・排水	載荷盛土工法 （プレローディング工法など）	残留沈下の低減、地盤の強度増加	粘性土
	バーチカルドレーン工法 （サンドドレーン、ペーパードレーンなど）	圧密促進、残留沈下の低減、地盤の強度増加	粘性土
	砕石パイル工法 （グラベルドレーン工法など）	液状化防止	砂質土
締固め	サンドコンパクションパイル工法	液状化防止、沈下低減、地盤の強度増加	粘性土、砂質土
	ロッドコンパクション工法	液状化防止、沈下低減、地盤の強度増加	砂質土
	バイプロフローテーション工法	液状化防止、沈下低減、地盤の強度増加	砂質土
	グラベルコンパクションパイル工法	液状化防止、沈下低減、地盤の強度増加	砂質土
固結・熱処理	表層混合処理工法	トラフィカビリティ確保	粘性土
	深層混合処理工法	すべり破壊防止、沈下抑止・低減、せん断変形抑止、ヒービング防止	粘性土、砂質土
	薬液注入工法	同上	粘性土、砂質土
	凍結工法	同上	粘性土、砂質土
その他（補強など）	覆土工法	トラフィカビリティ確保	粘性土
	沈床工法	すべり破壊防止、応力分散	粘性土

注 1) 粘性土：砂(粒径 0.075mm)以上の粒子が 80%未満

2) 砂質土：砂(粒径 0.075mm)以上の粒子が 80%以上

（出典）漁港・漁場の施設の設計の手引 （公社）全国漁港漁場協会 H15.10

4-4-1-7-5 防潮堤の止水工

4-4-1-7-6 防潮堤の根固工

4-4-1-7-7 防潮堤の波返工

1 波返工設計の留意事項

(1) 波返工の高さ

波返工を高くすると、作用する波力に対して不安定となるため、波返高は、1 m 程度を限度とする。

(2) 波返工の断面

波返の天端厚は、作用する波圧に対して十分な抵抗力を有する必要があるため、一般的には0.5 m以上とする。

波返工の前面部の形状は、一般に入射波又は遡上流を上方又は沖方向に効果的に規制する曲面とする。

また、その曲率半径は、1.5 ～ 2.0 m、曲面が天端において水平面となす角度は、60°を標準とする。作用する入射波の波長が大きい場合には曲率半径の大きいものが効果的である。

波返工の標準断面図は、図4-4-50に示すとおり。

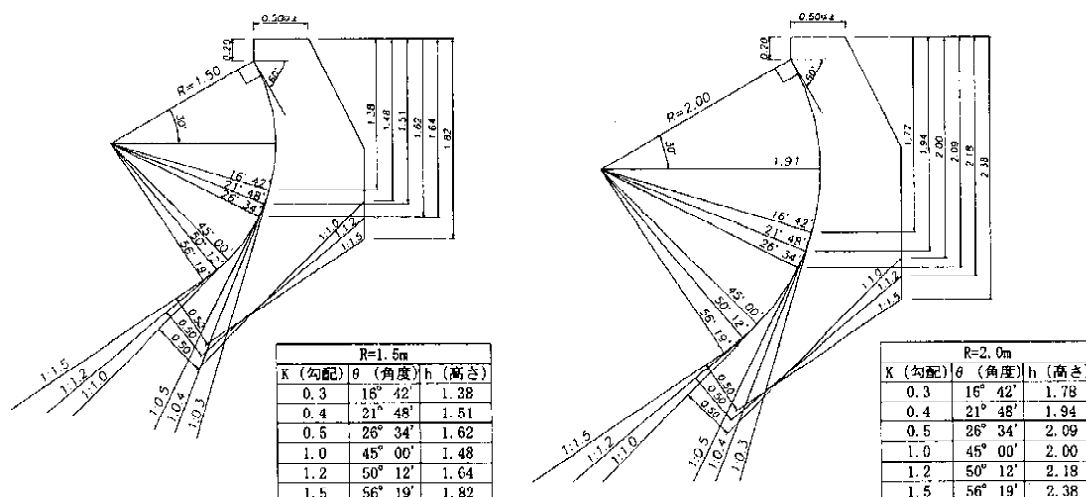


図4-4-50 波返工の標準断面図

(3) 波返工と表のり被覆工との接続部

波返工と表のり被覆工との接続部の前面は、なめらかな曲線とし、できるだけ衝突する波の遡上流がスムーズに流れ又は遡上するようにする。

また、波返工に強力な波力が作用すると、波返工は片持ちばりとして応力が発生するので、波返工と表のり被覆工との継目には鉄筋を配置して補強するが、鉄筋の配置に当たっては、波返工断面の沖側に生じる引っ張り応力を考慮して、図4-4-51に示すような三角形の組み鉄筋とすることが望ましい。

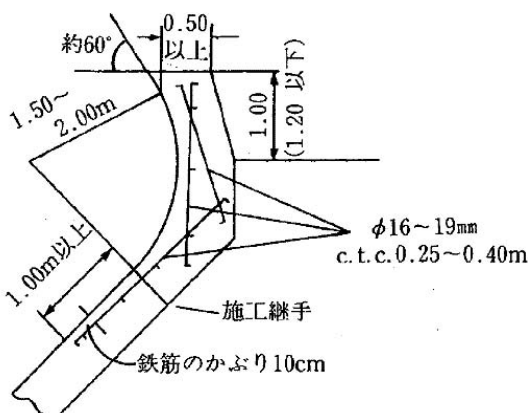


図4-4-51 波返工の配筋

(4) 波返工の伸縮目地

波返工は、表のり被覆工と一体に取り付けることから、伸縮目地の位置は被覆工の伸縮目地と一致させる。

(5) 津波防潮堤の場合

津波防潮堤の場合は、本章 4-4-1-2 「防潮堤の型式及び種別の選定」〔参考〕「津波越流による堤防破壊メカニズムの推定と構造上の工夫の方向性」に準じ、波返工を設けない。

やむを得ず、波返工の設置が避けられない場合には津波の波圧を考慮する。津波の波圧は、本章 4-4-1-6-2 「防潮堤の安定条件」〔参考〕3 「防潮堤の耐津波性能設計」(3) の波圧式に準じ、津波が非越流の場合は谷本式、津波が越流の場合は水工研提案式による。

4-4-1-7-8 防潮堤の根留工

4-4-1-7-9 防潮堤の排水工

4-4-2 防潮護岸

4-4-2-1 防潮護岸の目的

4-4-2-2 防潮護岸の型式及び種別の選定

津波越流に対する対策

津波越流に対する対策については、本章 4-4-1-2 「防潮堤の型式及び種別の選定」〔参考〕「津波越流による堤防破壊メカニズムの推定と構造上の工夫の方向性」に準ずる。

4-4-2-3 防潮護岸の位置及び法線

4-4-2-4 防潮護岸の天端高

4-4-2-5 防潮護岸の断面

4-4-2-6 防潮護岸の安定の検討

1 裏込めの土圧軽減効果

裏込めを設置した場合は、安定計算において土圧を軽減することができる。

(1) 裏込めの形状が三角形の場合

壁体底面の後趾を通る鉛直線と地表面の交点から、裏込材の安息角 α ($\phi = 40^\circ$ の場合 1 : 1.2 の傾斜) で三角形に施工した場合は、壁体背後を全部その裏込材で埋立てたものと考えて良い。

(2) 裏込めの形状が長方形の場合

裏込材料の安息角より急な傾斜に行った三角形の裏込め、その他、異形の裏込めは、これと面積の等しい長方形の裏込めに準じる。長方形の幅 b が壁体の高さ h より大き

いときは(1)の三角形の場合と同様と考えてよく、幅 b が壁体の高さ h の $1/2$ に等しいときは、裏込材による土圧と埋立土砂による土圧の平均の土圧が加わる。幅 b が壁体の高さ h の $1/5$ 以下であれば、裏込材による土圧減少効果は考えなくてもよい。

4-4-2-7 防潮護岸の構造細目

4-4-3 消波工

4-4-3-1 消波工の目的

4-4-3-2 消波工の型式及び種別の選定

4-4-3-3 消波工の位置及び法線

4-4-3-4 消波工の天端高

防潮工の天端高を低減する密着型消波工の天端高等

消波工付き防潮堤・護岸の所要天端高を、打ち上げ高による方法、簡便図法を用いる方法によって求めた場合の消波工の天端高・天端幅は、表 4-4-8 による。

4-4-3-5 消波工の断面

4-4-3-6 消波工に使用するコンクリートブロック等の所要質量

4-4-3-7 消波工の基礎

1 捨石基礎の構造

捨石による基礎を行う場合には、余裕幅、のり勾配、厚さ及び捨石の規格等、構造は波高、地盤、設置水深を考慮して決定する。

- | | | |
|--------------------|---|-------------|
| (1) 基礎工マウンドの余幅 | 海側：2m 以上 | 陸側：1m 以上 |
| (2) 基礎工マウンドののり勾配 | 海側：1:2 程度 | 陸側：1:1.5 程度 |
| (3) 基礎工マウンドの敷厚 | 1m 以上、又は捨石代表径の 2 倍程度 | |
| (4) 基礎工マウンドの捨石等の規格 | 200kg ～ 500kg、又はハドソン式によって得られた値の $1/10 \sim 1/20$ とする。 | |

2 被覆材料の所用質量

捨石の規格が所用質量に満足できない場合、又は設置水深が大きい場合、被覆石や被覆ブロック等の施工が必要である。

水深が大きい箇所（海側 $1.5H_b$ 、陸側 $1.0H_b$ 以深（ H_b : のり先位置設計波高、m））では、ハドソン式によって得られた値の $1/10 \sim 1/20$ とするか、安定数によるハドソン式によって得られた値の $1/10 \sim 1/20$ の大きい方の所用質量を採用する。

3 基礎工の省略

基礎地盤が岩盤あるいは比較的締まった砂礫等で、沈下及び洗掘等の恐れが全くない場合は基礎工を省略してよい。

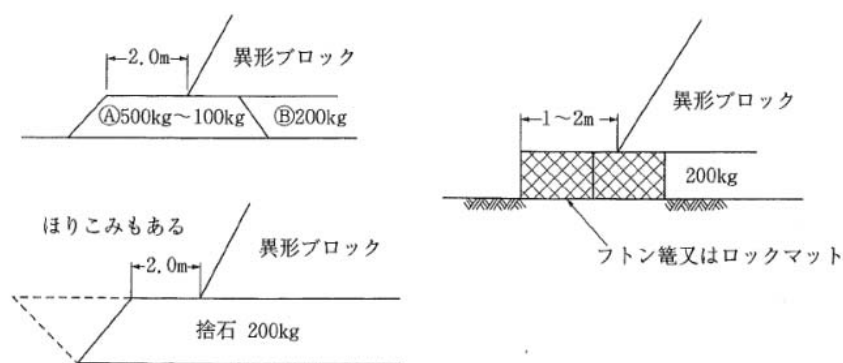


図 4-4-59 捨石基礎工の標準断面

(出典) 漁港海岸事業設計の手引 (公社) 全国漁港漁場協会 H25.11

4-4-4 消波堤

4-4-4-1 消波堤の目的

4-4-4-2 消波堤の型式及び種別の選定

4-4-4-3 消波堤の位置及び法線

4-4-4-4 消波堤の天端高

4-4-4-5 消波堤の断面

4-4-4-6 消波堤の基礎

4-4-5 突堤

4-4-5-1 突堤の目的

4-4-5-2 突堤の型式及び種別の選定

4-4-5-3 突堤の方向

4-4-5-4 突堤の長さ

4-4-5-5 突堤の間隔

4-4-5-6 突堤の天端高

4-4-5-7 突堤の断面

4-4-5-8 突堤の基礎

4-4-6 防潮工の付帯施設

4-5 砂丘造成

4-5-1 堆砂工

1 前砂丘と主砂丘

砂丘は、砂浜が発達している広い海岸では、海側に前砂丘を、陸側に主砂丘を造成する場合もある。

2 砂丘造成の順序

砂丘造成の順序は、陸側から着手して順次海側に及ぶのが一般的である。

4-5-1-1 砂丘の位置

4-5-1-2 砂丘の方向

汀線の方が主風向と直角となっていない場合

汀線の方が主風向に直角となっていない場合が多く、この場合、砂丘の方向を主風向に直角に設定すると堆砂垣が汀線と斜交することとなり、施工が困難となる。

したがって、堆砂工は、汀線に平行に設けることが多いが、汀線の方角と主風向とが著しく異なる場合には、汀線方向に平行に主垣を設け、さらに主風向に直角に短い補助垣（翼垣）を設けて堆砂効果をあげることが望ましい。この場合、風の強い海岸では、主垣と翼垣との接続点付近の主垣の風上側で深掘れが生じる欠点があるので注意する。

4-5-1-3 砂丘の高さ

複数の砂丘を配置する場合

複数の砂丘を配置する場合は、経験的に、前砂丘の頂部と陸側の天然砂丘との頂部を結ぶ直線上に主砂丘のそれぞれの頂部があるように高さを決定することが望ましい。

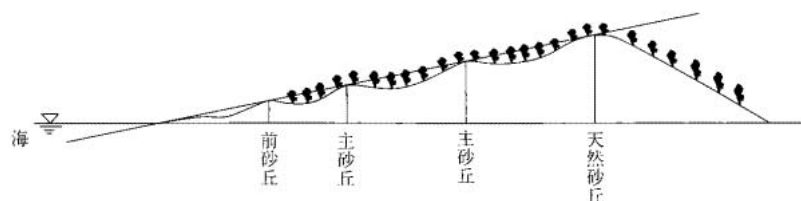


図4-5-1 砂丘の配置と高さ

4-5-1-4 砂丘の構造

人工砂丘頂部の形状

人工砂丘の頂部に凹凸があると、風が鞍部を通過するときに風を収れんして風圧を増し、

凹部をさらに侵食して風溝や風盆が生じる。また、凹凸のある砂丘の頂部を吹き通る風は風下面に一様に分派しないので、風下面の形状が極めて不規則となる。したがって、頂部に凹部が生じた場合は補修する。

人工砂丘の頂部は、風圧に対して効果的な形を造るために一般に2～3mの幅を持たせる。

4-5-1-5 堆砂垣工

1 堆砂垣の目の粗さ

堆砂垣の目の粗さは、ある程度の風の透過性（通風性）を有するものが良く、その度合いは、施工地の平均最大風速時に飛砂の生じない風速（地上1mの風速6m/s）以下に抑制し得る程度のものであるとする。

堆砂垣による砂の堆砂状況は、風速が大きいほど、また、目が粗いほど砂丘の頂点が堆砂垣から後退するので、目の粗さは地域の実例によって決めることが望ましい。

堆砂垣の目があまり密に過ぎて遮風体（ヨシ、竹等）と間隙の割合が2：1よりも密な場合や、また、目の粗さは適当であっても施工後堆砂しない間に強い風雪に見舞われると、垣に砂が付着して目をふさぎ、風圧によって押し倒される場合がある。遮風体の透過度合（通風度合、間隙割合）は、造成しようとする砂丘の形状、風力、砂の粒径等によって異なるが、通常では1：1とし、場合によっては1：2とすることもある。

2 堆砂垣の透過性と屈とう性

砂の堆砂状況は、堆砂垣の屈とう性とも関係する。その一例を示せば次のとおりであるが、堆砂垣は透過性があり、屈とう性のないものが適している。

- (1) 板垣のように透過性、屈とう性のない場合、板垣に沿う流れが生じるために板の基部に溝をつくる。砂は、この風上に堆積する（図4-5-2（a））。
- (2) 草本類のように透過性と屈とう性に富んでいる場合、風速が弱められるが、砂はこれを通過して堆積する（図4-5-2（b））。
- (3) 透過性があり、屈とう性のないそだ垣のような場合、透過性の程度に応じて砂は垣を中心として堆積する（図4-5-2（c））。

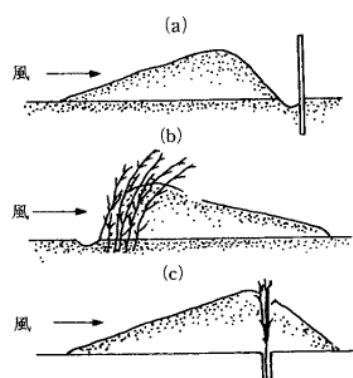


図4-5-2 堆砂垣の種類と砂の堆積

3 堆砂垣の位置及び施工順序

堆砂垣の位置は、計画する砂丘の頂部の鉛直線よりやや陸側から開始する。

図4-5-3は、堆砂垣の位置及び施工の順序の一例を示したものである。

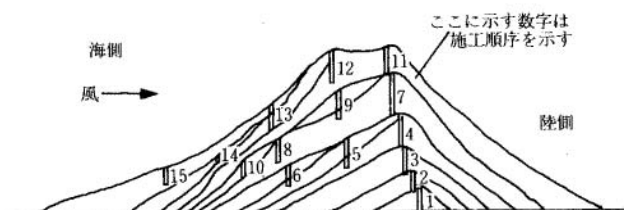


図4-5-3 堆砂垣の施工順序の一例

(出典) 庄内海岸の国有林 林野庁 東北森林管理局 庄内森林管理署 H15

第1回目の堆砂垣は、図の施工順序の1の位置とし、第2回目の堆砂垣の位置は、前回の堆砂垣の真上かやや海側(0.5～1.0m程度)とする。陸側に設置すると堆砂が膨軟で、かつ勾配が急であるので風で倒れやすく、また、堆砂状態も不安定なもの(陸側の斜面が急なネコ背型)となる。やむを得ず陸側に設置する場合には、その陸側に支柱をたてるかまたは海側に控綱を張って風倒を防止する。

4 堆砂垣の使用材料

堆砂垣の使用材料は、堆砂が終わるまでの耐久性のあるものを選定する。一般に、杭材料としては、クロマツ、アカマツ、カラマツ、スギ、雑木等が用いられ、遮風材としては、そだ、シダ、ヨシ、竹、プラスチック網等が用いられているが、その土地で入手しやすく、必要な耐久性のあるものを選定する。

5 堆砂垣の高さ

堆砂垣の高さは、風力、飛砂量等によって決めるが、一般には強風による風倒を避けるために1.0m程度としている。

また、堆砂垣下部の埋め込みが不足すると、風穴が生じた場合に堆砂垣が破壊されるので、埋め込みは十分に行う。

堆砂垣の構造の一例は、図4-5-4のとおり。

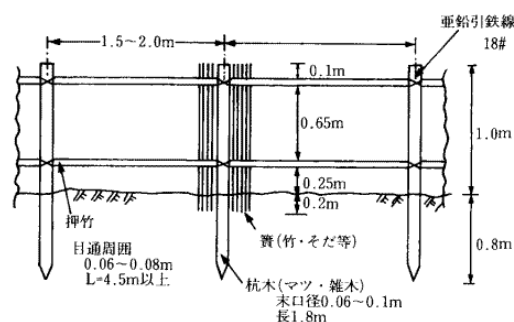


図4-5-4 堆砂垣の構造の一例

4-5-1-6 丘頂柵工

4-5-2 砂丘造成盛土工

1 砂丘造成盛土の留意事項

砂丘造成盛土を行う場合は、次のことに留意する。

- ① 盛土の両側のり勾配は、盛土材料の安息角より緩やかとする。
- ② 盛土の表面は、侵食防止のために粘性を有する土で 20cm 以上の厚さで被覆し、緑化する。
- ③ 海側ののり面は、跳波等により侵食されるおそれがある場合、コンクリート等で被覆する。
- ④ 盛土の材料として海側の砂を採取すると、砂浜が後退して波浪による盛土脚部の侵食を受けるので注意する。

2 砂丘造成盛土の例

砂丘造成盛土の一例は、図 4-5-5 のとおり。

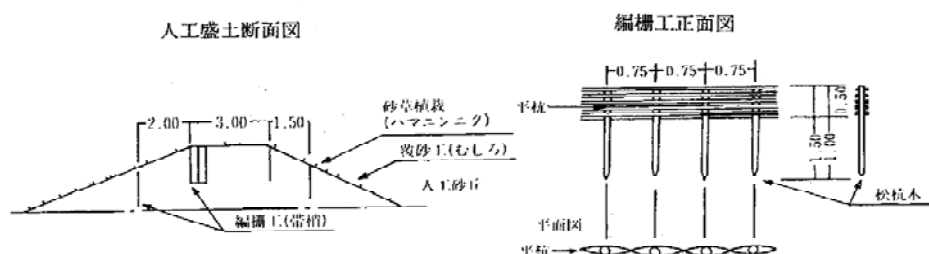


図 4-5-5 砂丘造成盛土の一例

3 砂丘造成盛土の津波に対する効果

背後の林帯保全を目的として津波被害の軽減を図るためには、林帯全ての前面に砂丘造成盛土を配置する必要があると、盛土の規模が大きくなることが想定される。

一方で施設や民家等の直接的な保全対象等が明確な場合には、その前面（海側）に孤塁を単独もしくは千鳥格子状に配置することで、小規模の盛土であっても背面の保全対象への被害軽減効果が見られる。しかし、孤塁の周辺では流速が増し、津波の侵食エネルギーが増加する危険性があることに留意する。

また、砂丘造成盛土は、防潮堤等と比べると、生態系への影響を軽減できる。

4-5-3 覆砂工

4-5-3-1 伏工

1 伏工の例

伏工の一例は、図 4-5-6 のとおり。

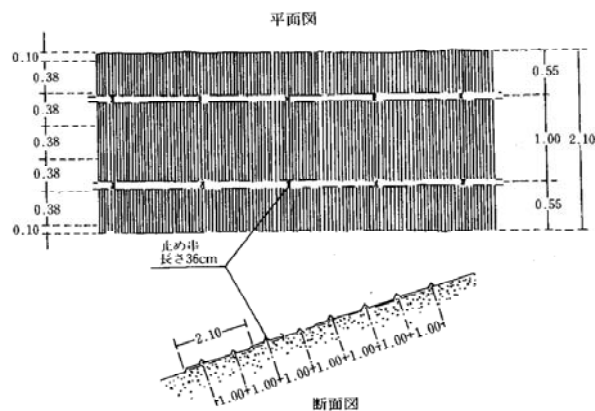


図 4-5-6 伏工の一例

4-5-3-2 砂草植栽

1 砂草植栽及び砂丘造成に関連する工種・工法の配置

砂草植栽、及び堆砂垣などの砂丘造成に関連する工種の一般的な配置事例は以下のとおり。

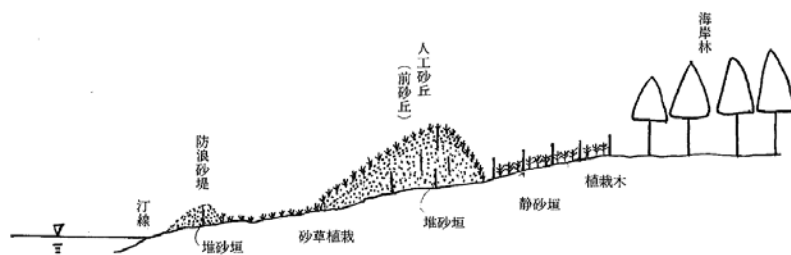


図 4-5-7 砂草植栽及び砂丘造成関連工種・工法の配置模式図

(出典) 日本の海岸林 (株)ソフトサイエンス社 H4.9

2 砂草植栽の方法

植栽の方法には、列状植栽と網状植栽とがあるが、いずれの場合でも海側を密にし、陸側にいくにしたがって疎にするのが一般的である。

また、風によって運ばれた砂が砂丘の海側全面に一樣に堆積するように、砂丘の下方では植栽を疎にして砂の通過をよくし、上方にいくにつれて密にする。

3 植栽する砂草類

砂地造林で用いる砂草類としては、表 4-5-1 のものがある。これらの多くは、砂に埋まっても新たな根を茎から伸ばして上にあがっていくことから、砂の堆積によって枯死することが少ない。

表 4-5-1 実績のある海岸砂草類

コウボウムギ、ケカモノハシ、ハマニンニク、オニシバ等

4 施肥

海岸砂地は、植物の腐植質に乏しいことから、施肥を行うことが砂草の生育を促進させることに有効な場合がある。しかし施肥の実施により、生育する砂草種が限定される場合があることに十分に留意する。

5 砂草植栽の配置の例

砂草植栽の配置の一例は、図4-5-8のとおり。

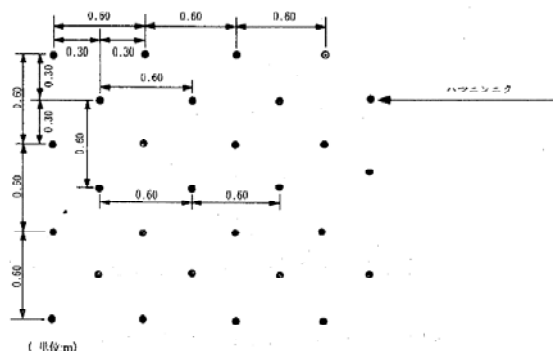


図4-5-8 砂草植栽配置の一例

4-5-3-3 実播工

4-5-4 防浪工

4-5-4-1 防浪工の位置、方向及び高さ

4-5-4-2 防浪工の種別

1 防浪工の種別

防浪工の種別としては、従来から編柵が最も多く用いられており(図4-5-9参照)、一般に山腹編柵工と同程度の構造、材料を用いている。しかし、編柵工は、耐久性に劣ることから、コンクリート板、異形コンクリートブロック等の二次製品や鉄線かごが用いられている場合がある。

2 防浪工の例

編柵工等を計画する場合は、波浪による洗掘が生じないように十分な長さを埋め込む。

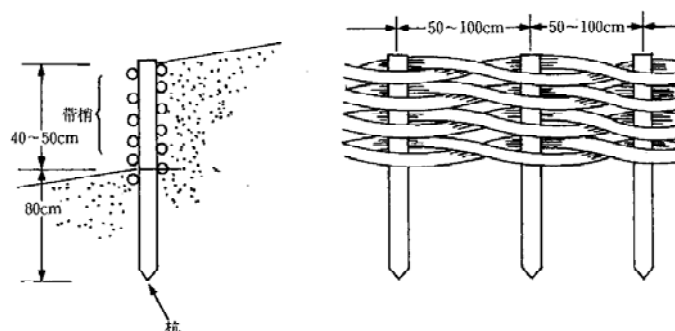


図4-5-9 防浪工の一例

4-6 森林造成

4-6-1 生育基盤盛土工

1 林齢と根系の成長との関係

標高 1～3 m 程度の低湿地におけるクロマツの林齢と根系深さとの関係は図 4-6-1 に示すとおり、林齢が高いほど根系は深い。

地下水位が低く乾燥状態にある海岸砂地では、クロマツ根系の最大深さは林齢 50 年生で 3 m 近くまで発達する (刈住、1979)。

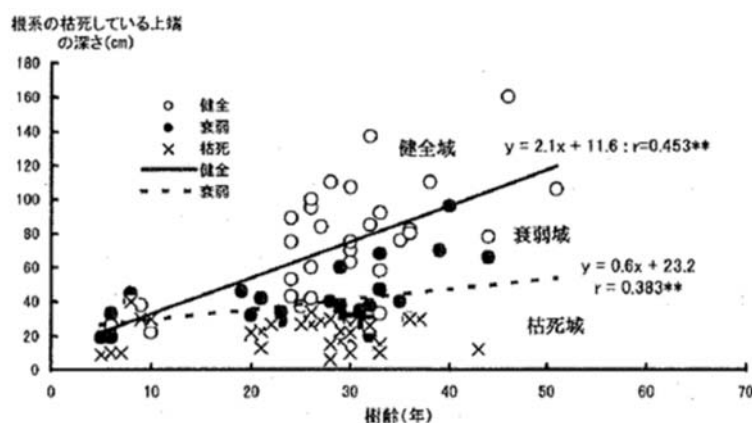


図-38 クロマツの樹齢と根系の枯死上端の深さとの関係

Relationship between *Pinus thunbergii* age and depth of the highest dead roots (**:Significant at 1 % level).

: 1 %水準で有意。樹齢約 20 年生以降に限ると、健全; $r=0.453^{}$, 衰弱; $r=0.465^{**}$, 枯死; $r=-0.132$ 。

図 4-6-1 林齢と根系の成長との関係 (小田、2001)

2 生育基盤厚さと津波耐性等との関係

東北地方太平洋沖地震による大津波が来襲した森林における生育基盤の厚さと樹木の津波耐性等との関係は、図 4-6-2 に示すとおり、生育基盤が厚くなるほど津波耐性は高くなる。

津波被害の防止又は軽減を目的とする場合、計画基準地下水位から生育基盤の頂部までの厚さを 2～3 m 確保することが望ましいが、必要に応じ、表 4-6-1 を参考として生育基盤の厚さを検討するものとする。

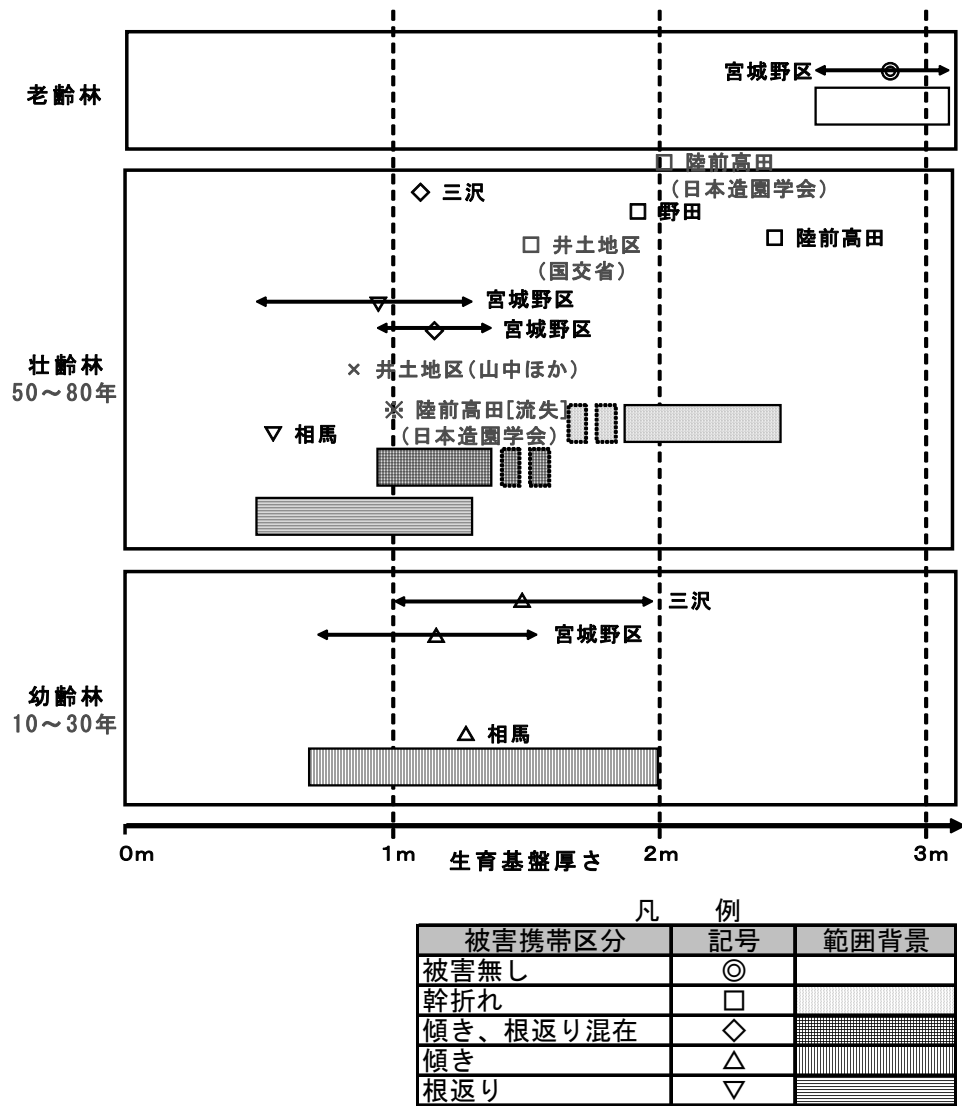


図4-6-2 生育基盤厚さと津波による被災状況区分模式図
(今後における海岸防災林の再生について 林野庁 H24.2 に加筆)

表 4-6-1 生育基盤厚さと津波耐性等との関係

生育基盤厚さ	マツを中心とした樹木の生育と津波耐性（傾き・根返り、流失）	生育基盤厚さの選択条件
0 ～ 0.5 m	・根系が健全に生育することが困難 ・砂地盤であれば地震動で液状化、また地盤沈下の影響が考えられ、津波による傾き・根返りや流失の危険性が非常に高い	盛土をすべきであるが、特に重要な自然環境の保全を部分的に考慮する場所では盛土をしない選択が可能
0.5 ～ 1 m	・ある程度の樹高まで生育可能 ・津波による傾き・根返りや流失の危険性が高い	できる限り盛土した方がよい
1 ～ 1.5 m	・対象地の最大樹高程度まで健全に生育する ・津波により傾き・根返りする可能性がある	できれば盛土した方がよい
1.5 ～ 2 m	・津波により傾き・根返りや流失する可能性は低い	根返りを防止する目標であれば、この範囲での選択が可能
2 ～ 3 m	・樹木の幹折れについては、津波の流体力や津波を受けた林帯条件、単木の樹齢、樹形、直径、形状比等との関係もあるので、生育基盤厚さだけでは判断できないが、津波耐性は高い	特に対応の必要なし

3 盛土区域

盛土区域は、例えば、次の事項を参考にして検討する。

- ・河川の左右岸などで計画基準地下水位が変化する境界
- ・根系の耐水性が高く、現状で根系の発達が十分な樹種の林分境界
- ・十分な津波エネルギーの減殺効果を発揮する林分の陸側との境界
- ・林帯幅が極狭い土地
- ・病害虫が蔓延している林分及び蔓延が予測される林分
- ・住宅密集地、文化財など脆弱な重要構造物の有無
- ・林内に到達する津波エネルギーを十分に減殺させる砂丘や防潮堤の有無
- ・林帯の陸側にある津波防御施設の機能
- ・重要な自然環境の分布と保全対策 など

4 盛土材料

盛土材料は、透水性に優れたものとし、砂質土を標準とする。

なお、再生資材等を盛土材料として使用する場合は、化学性の分析を事前に行い、植栽木や周辺環境へ与える影響が少ないことを確認した上で使用する。

4-6-2 排水工

4-6-3 防風工

4-6-3-1 防風工の配置及び方向

1 主風向に対する防風工の配置・方向

防風工の方向は、主風向に直角とするのが最も効果的であるが、一般に汀線は主風向に直角でない場合が多く、造成する林帯の方向も主風向に直角とならない場合が多い。このような場合には、防風工を林帯に平行として、主風向に直角に補助的な防風工を設けるかまたは防風工を短くして主風向に直角に数段設ける等の方法を検討する。また、海側からの風だけではなく、陸側からの季節風等についても必要に応じ検討する。

2 主風向の季節的变化

主風向は、季節によって変化し一定していないので、防風工の端部は補助防風工を直角に設けると効果的である。また、短い防風工を断続的に設ける場合には、その切れ目では風が収束して速度を増し、被害を増大させることになるので、両端を重複させる。

4-6-3-2 防風工の高さ、構造等

1 防風工の高さ

防風工の高さは、一般に、2～3 mで設計される。

2 防風工の風速の減少効果範囲

適度な遮風率を有する防風工は、一般に、風速の減少効果範囲については風下側で高さの35倍程度まで及ぶとされている。

3 防風工の遮風材及び遮風率

防風工の遮風材には、一般に、防風柵にはヨシ、竹、木材等が、防風ネットには各種繊維、合成樹脂、金属等が用いられる。

防風工の遮風率は、風洞実験の結果より、60 %程度を標準とする。

4 防風工に必要とされる耐久性

海岸防災林の造成にあつては、植栽木の初期生育を促進し、成林しやすい環境を確保するために設けるものであるから、防風工は半永久的な構造を必要としない場合が多い。また、必要とする期間を通じた耐久性を有するものとするか、補修を前提として簡易な施設にするかは、事業対象海岸の主風の特性等を考慮して経済的なものを選定する。

5 防風工の使用材料及び構造

防風工の使用材料は、一般に木材、合成樹脂、軽量鋼材等が用いられている。使用材料の選定に当たっては、風圧だけでなく、潮風による錆の発生にも留意する。特に鋼材類を使用する場合には、潮風によって錆びないような加工を検討する。

防風工の支柱、支柱の構造には、支柱のみの単柱型、支柱と支柱を組み合わせた控え柱型があるが、現地の状況に適したものを選択する。

4-6-4 静砂工

静砂工の形状

静砂工は、一般に、静砂垣工で植栽予定地を正方形または長方形に比較的大きく区画し、さらに必要に応じてその内部を静砂立工で細かく区画し、植栽木の風上に衝立工を設ける。静砂垣工、静砂立工及び衝立工の一般的な配置関係は、図4-6-3のとおり。

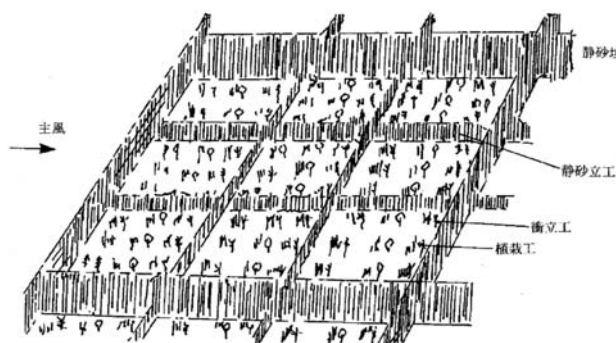


図4-6-3 静砂工の配置

4-6-4-1 静砂垣工

1 静砂垣の高さ等

静砂垣の高さは、防風工の高さ、静砂垣の区画の大きさ、植栽木の高さ等を考慮して決定するが、一般にはその有効高を 1.0 ～ 1.2 m とする場合が多い。また、その区画の大きさは、一辺の長さが 10 ～ 20 m の正方形または長方形とするのが一般的である。静砂立工、衝立工を設けない場合には、4 × 4 m の正方形または 2 × 4 m 程度の長方形とする場合が多い。

2 静砂垣の構造等

静砂垣の構造等は、堆砂垣とほぼ同様であるが、静砂垣工は風速を弱めて砂の移動を防止するとともに植栽木に対する風害、塩害等の防止効果も期待しているので、これらの効果の期待できる構造とする。また、静砂垣の使用材料は、植栽木の要保護期間までの耐久性を考慮して決定する。

4-6-4-2 静砂立工

1 静砂立工の配置

静砂立工の配置は、地形、静砂垣の配置の状況等によっても異なるが、通常は一辺 2 ～ 4 m の正方形または 2 × 4 m 程度の長方形あるいは 2 m 間隔の列状とし、その一辺（長方形の場合は長辺）を主風向に直角とする。

2 静砂立工の高さ

静砂立工の高さは、地上 30 ～ 50cm とするのが一般的であるが、その下部を 20 ～ 30cm は砂地に埋め込み、これを伝わって雨水等が地中に浸透するようにする。

3 静砂立工の材料

静砂立工の材料は、砂地に水分を供給し、また、周辺林地から飛来する植物の種子を捕捉してその発芽を促す副次的な効果を期待して、麦わら、アシ、そだ、シデ、カヤ等が一般に用いられている。

4-6-4-3 衝立工

衝立工の位置

衝立工の位置は、植栽木から 15cm 程度離れた風上とし、幅 30cm 程度、高さ 40cm 程度とするのが一般的であるが、苗木の大きさによって決定する。

衝立工の一例は、図 4-6-4 のとおり。

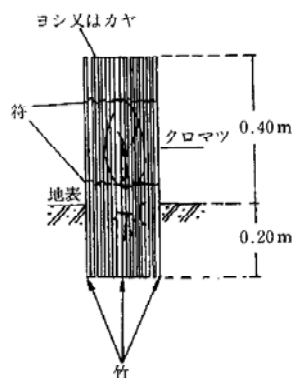


図 4-6-4 衝立工の一例

4-6-5 植栽工

4-6-5-1 植栽計画

津波エネルギーの減殺効果を発揮する樹木の形状等に関する留意点

- 1 根系が発達し、胸高直径が太く頑丈な樹幹を持つ樹木は被害を受けにくく、漂流物の捕捉を期待できる。
- 2 枝下高が高い樹木は樹冠部分への影響が少ないため津波の被害を受ける可能性が低い。一方、津波エネルギーの減殺効果は幹だけでなく枝・葉の効果も確認されており、枝下高が低い方が減殺効果を期待できる。
- 3 小径木は津波被害を受けても、傾いてその場にとどまることが多いことから、被災した場合でも津波エネルギーの減殺効果を期待できる。

4-6-5-2 植栽樹種

- 1 海岸防災林造成の植栽木として使用されている主な樹種

海岸防災林造成の植栽木として使用されている主な樹種は次のとおり。

表 4-6-2 近年、海岸防災林造成の植栽木として使用されている主な樹種

針葉樹	クロマツ、アカマツ、トドマツ、エゾマツ、カラマツ等
広葉樹	カシワ、ケヤキ、シナノキ、エゾイタヤ、タブノキ、マサキ、エノキ、ヤマモモ、ヤシャブシ、ネムノキ、トベラ、シャリンバイ、ウバメガシ、ヤブツバキ、アカテツ、テリハボク、モクマオウ等

注 1：太字は最前線でも活着の実績のある樹種

注 2：平成 25 年度山地保全調査（海岸防災林現況調査）林野庁

2 海岸防災林造成の肥料木として使用されている主な樹種

海岸砂地は、土壌の理学的条件が極めて悪いことから主林木の成長を助長させるためには肥料木を混植することがある。海岸防災林で用いている肥料木は次のとおり。

表 4-6-3 近年、海岸防災林造成の肥料木として使用されている主な樹種

肥料木	アキグミ、ヤマハギ、ハンノキ、ケヤマハンノキ、ヤマハンノキ、ヤシャブシ、ヤマモモ、エニシダ、ネムノキ等
-----	---

3 希少種等の取り扱い

生物多様性保全の観点から、事業対象地に生育する希少種の取扱いに留意する。また、植栽木を選定する際は、同種であっても地理的に遺伝的形質が異なる場合があることに留意する。

4-6-5-3 植栽本数

1 汀線及び林帯前縁からの距離等による植栽本数

汀線に近い林帯前縁部等、樹高成長が期待できない箇所では、主林木及び肥料木の合計の植栽本数を 10,000 本/ha 程度としている。林帯幅が広い場合、林帯前縁から風の影響の少ない内陸部にいくに従い、本数を 2,500 本/ha 程度まで減少させている例がある。

2 肥料木の混植

生育良好な肥料木による主林木の被圧及び主林木が所期の生育を遂げた後の肥料木に対する除伐の実施の必要性などが報告されている（出典：庄内海岸林施業管理指針 庄内海岸松原再生計画策定委員会 H20.3）。肥料木の混入にあたっては、これらについて留意して決定する。なお、肥料木は、植栽本数の 20～30% 程度を混植している。

4-6-5-4 植栽方法

1 植付の深さ及び植穴の大きさ

植付の深さは、夏期における砂地の異常高温の影響が小さくなるように 20cm 以上の深さとする。

また、植穴の大きさは、直径、深さともに 30cm 以上とする。

2 埋わら及び敷わら

埋わらは、砂の粒径が大きく乾燥が激しい箇所で、砂中水分を一時保留して植栽木に水分を供給するなどの保水対策が必要な場合に設置する。

埋わらの設置に当たっては、植栽木の根系がわらに直接触れないようにわらの上を砂で被覆して、その上に植栽する。

埋わらの量は、植栽木1本当たり 400g 程度とする。

敷わらは、砂の移動を防止するとともに砂中の水分の蒸発を防止し、地温の極端な上昇、低下を防止する必要がある場合に、植栽木の周囲または植栽地全面に施工する。

敷わらの量は、植栽木の周囲に施す場合には 300g/本程度、植栽地全面に施す場合には 6,000 ～ 10,000kg/ha 程度とするが、わら以外の素材にも利用可能なものがある。

3 木材チップ

木材チップは、マルチング材や雑草抑制材として使用される。クロマツ植栽地では、植栽木の生育に過湿による悪影響が確認されている例があることから、盛土材料の透水性に留意して、木材チップの使用の有無や敷厚を検討する。

4 客土

客土は、土壌条件が極めて悪い場合に施工する。

客土を行う場合は、一定の厚さで全面的に行うのではなく、長期的な根系の発達を考慮して、現地の砂等と混入する等の配慮をする。

5 苗木

苗木の苗齢は、根系が発達し、樹種、気象条件に応じて活着がよく、生育のよい苗齢を選定する。

土壌条件等が極めて悪い場合や植栽工の不適期にまで植栽時期を拡大する必要がある場合には、ポット苗やコンテナ苗の使用等を検討することとするが、いずれの場合にも、根系の健全な発達に留意して選択する。

6 天地返し（地ごしらえ）

天地返しは、機械施工により、植栽地の表層部に存在する腐植に富んだ土壌や、灌木、草本類の根系を地中に埋めて、クロマツ等植栽木と草本等の周辺植生との競争を緩和する方法である。

飛砂の発生のおそれのないクロマツ植栽地など、条件により天地返しの有効性が確認されている例があることから、条件を満たす場合には、施工を検討する。

4－6－5－5 施肥

肥料の種類

肥料の種類は、植栽地の状態によって異なるが、遅効性のものを基肥として用い、必要に応じて即効性のものを併用する。

海岸砂地での植栽に用いる肥料の一般的な具備条件は、次のとおり。

- 1 効果が早く、遅くまで肥効のあるもの。
- 2 流亡しがたいもの。
- 3 他の成分と結合しがたいもの。
- 4 使用に便利なもの。

また、必要に応じて追肥を行う。

4-6-6 保育

4-6-6-1 補植

4-6-6-1-1 補植の目的

4-6-6-1-2 補植の方法、時期等

補植時の留意事項

新植地における補植は、新植後あまり期間をあけず行う。長期間を経過した後の補植は、補植した樹木の成長が追いつかず、植栽計画に適合した林型が形成されなくなるので、植栽後1～2年の間に行う。補植に用いる苗木は、新植時に用いたものより苗齢が1～2年高い、形状が大きく根系が健全に発達しているものとするのが望ましい。

4-6-6-2 下刈り

4-6-6-2-1 下刈りの目的

4-6-6-2-2 下刈りの方法

下刈りの方法と適用

全国的には全刈りで実施しているところが多いが、事業対象地の条件を踏まえ総合的に判断する。全刈り、筋刈り、坪刈りについての適用の目安は以下のとおり。

表 4-6-4 下刈りの方法と適用

方法	内 容	適用
全刈り	全面的に雑草木を刈り払う	植栽樹種が被圧に弱い場合 ササ等の地下茎を持つ植物が多い場合 寒風等の気象害や表土の流亡等が発生するおそれが少ない場合 野鼠等の生息を抑制する必要がある場合
筋刈り	植栽木の植栽列に沿って一定の幅を刈り払う	比較的被圧に強い樹種の場合 雑草木の量が比較的少ない場合 寒風等の気象害や表土の流亡等に配慮する必要がある場合
坪刈り	植栽木の周辺のみを方形または円形に刈り払う	風衝、寒風などから植栽木または林地を保護する必要がある場合 表土の流亡等を阻止する必要がある場合 雑草木の量が少なく、目的とする樹木が被圧に強い場合

4-6-6-2-3 下刈りの期間、回数、時期

下刈りの回数及び時期

下刈りの回数は、全国的には年1回で実施されているところが多いが、クロマツ、アカマツ等の陽樹が被圧による害を受けるおそれがある場合などには、年2回実施されている。

なお、寒風害を受ける地域では、9月以降の下刈りは避ける。

4-6-6-3 除伐

4-6-6-3-1 除伐の目的

クロマツは、強い潮風など海岸の厳しい環境下でも生育でき、かつ、最大樹高が大きい樹種であるが、一部の地域を除き、全国各地で松くい虫被害が進行している。松くい虫被害の防除には多大なコストがかかることから、その対策の一つとして、既に侵入している広葉樹と置きかえる方法も有効である。

4-6-6-3-2 除伐の方法

侵入広葉樹を活用する場合の伐採対象木の選定方法

クロマツ林において広葉樹等を活用する場合、単一樹種でクロマツと同等の樹高をもった海岸防災林をつくることは難しい。そのため、潮風や埋砂等に対する耐性が重要なゾーンと、高い樹高が必要なゾーンに区分して、ゾーンごとに適切な樹種を選ぶ必要がある。

広葉樹を活用することが可能かどうかについて判断するにあたり、まずクロマツ林と同等の林冠高を維持できるか（防災上必要な林冠高を維持できるか）について予想する必要がある。樹種ごとの樹高は、気象条件や微地形、方位等の様々な環境要因で決まるので、単純に汀線から内陸に向かった距離に基づいて林冠高の変化を予測できるものではない。そこで、その場の限界樹高^{*}に達しているクロマツの樹高を、海岸の環境要因を評価する指標として用いることにより、簡便でかつ汎用性のある広葉樹選木の指針化が可能であると考えられる。

^{*} 限界林冠高と同義。現場において限界樹高に達したかどうかの厳密な判断は難しいが、実用上は樹形などから判断できる。

(1) 対象林分

下記の3要件に該当する林分が適用対象である。

- ・ 広葉樹が自然侵入している林分、または林内に広葉樹が植栽され活着に成功している林分
- ・ クロマツ一斉林であるが、広葉樹林化あるいは混交林化を検討されている林分。
- ・ すでに限界林冠高（上長成長の頭打ちにより風衝林形を呈したときの林冠高）に達している林分

(2) 対象地の状況把握

- ① 図4-6-5のように、クロマツの限界林冠高が2m、同5m、同10m、同15m、同20mで区分する。
- ② クロマツの限界林冠高を基準に図4-6-6のように現地を区分（ゾーニング）する。
- ③ 自然侵入している広葉樹について、図4-6-6（2）のように種ごとに分布範囲等を記録する。
- ④ 高茎草本、ツル植物、ササなど樹木の生育をおさえる植物の繁茂の有無、地下水位及びシカ食害や病虫害などの生物被害の有無等を調査し、図4-6-6（3）のような見取り図を作成する。

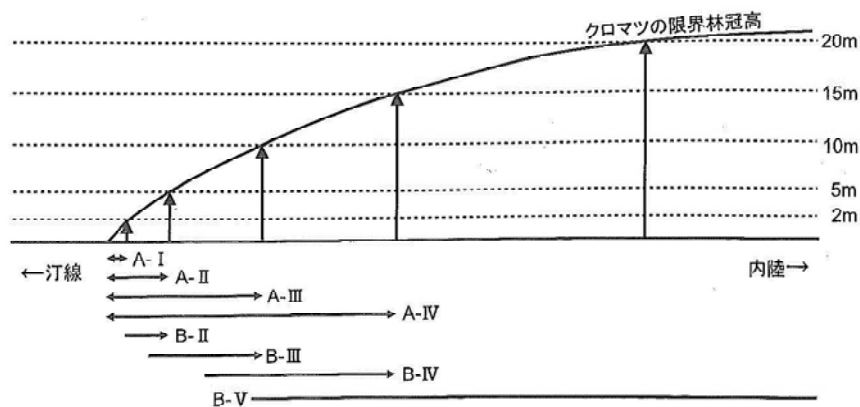


図 4-6-5 クロマツの限界林冠高を基準にしたゾーニングと対応樹種との関係
A-I、II・・・B-Vの記号は、表 4-6-5 を参照。

表 4-6-5 ゾーニングに対応して区分した樹種の一例

			A: 最前線で耐性がある	B: 最前線で耐性はないが、海側に樹木または工作物等があれば生育する	C: 海岸で生育困難
最大樹高区分	I	2m	マルバグミ、クコ、ハマナス、ハマゴウ、ハイネズ	ヤツデ、ガクアジサイ	キハギ、ノイバラ、ヤマハギ
	II	5m	オオバマサキ、シャリンバイ、トベラ、ハマヒサカキ、マサキ、マルバシャリンバイ、アキグミ	アズマネザリ、オオバイボタ、ネズミモチ	カマツカ、ニシギ、ニワトコ
	III	10m	ウバメガシ	サンゴジュ、ヒメユズリハ、ヤブツバキ、ネムノキ	ヒイラギ
	IV	15m	カシワ、ダケカンザシ	モッコク、カクレミノ、シロダモ、ヒサカキ、ユズリハ、アカメカシワ	
	V	20m以上	クロマツ	アカガシ、クロガネモチ、スダジイ、タブノキ、モチノキ、オオシマザクラ、エゾイタヤ、エノキ、コナラ、ハリギリ、ミズナラ、ヤチダモ(適性地)、ヤマザクラ、アカエゾマツ、アカマツ、トドマツ	ヤマモミジ、コブシ、シラカシ、スギ、ヒノキ、モミ

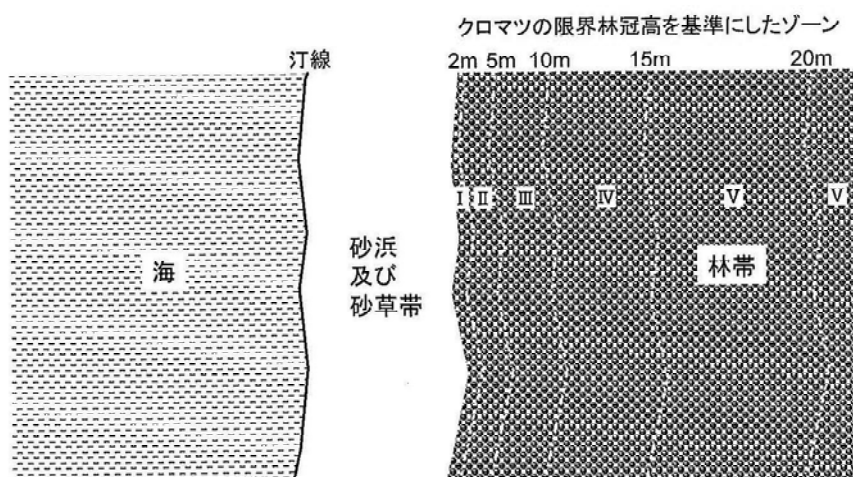


図4-6-6 見取り図①（クロマツ林冠高の分布）の例
図中の破線はクロマツの限界林冠高が2m、5m、10m、15m、20mのラインを示す。
I～Vは、図4-6-5、表4-6-5と対応

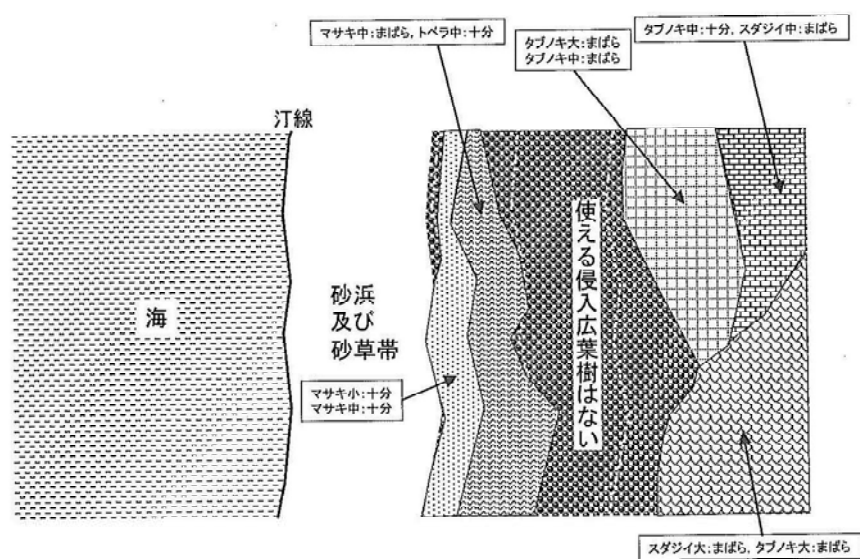


図4-6-6 (2) 見取り図②（広葉樹の侵入状況）の例
図中の破線はクロマツの限界林冠高が2m、5m、10m、15m、20mのラインを示す。

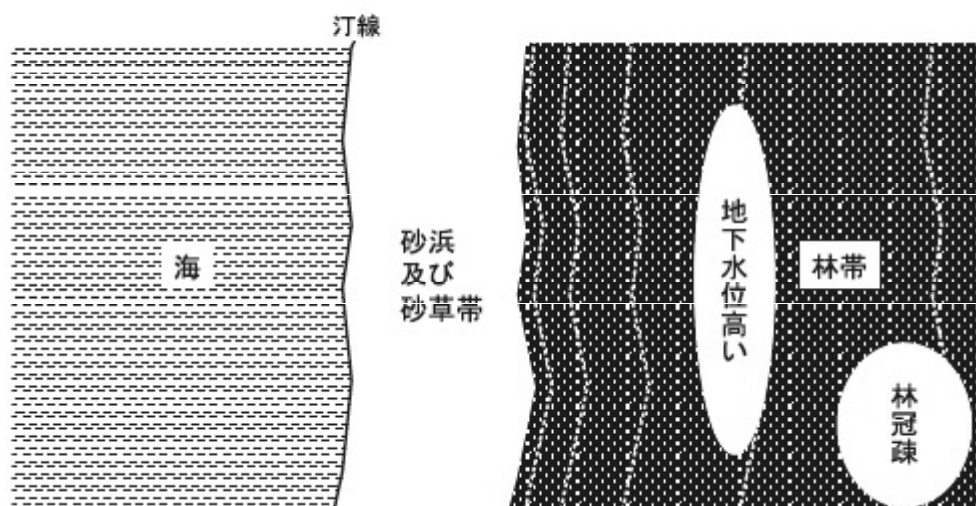


図4-6-6 (3) 見取り図③ (生育阻害要因等の概況)

図中の破線はクロマツの限界林冠高が2m、5m、10m、15m、20mのラインを示す。

(3) 施業区分図の作成

(2)の調査結果を踏まえ、図4-6-7のような施業区分図を作成し、施業区分ごとに目標とする林型等について検討する。

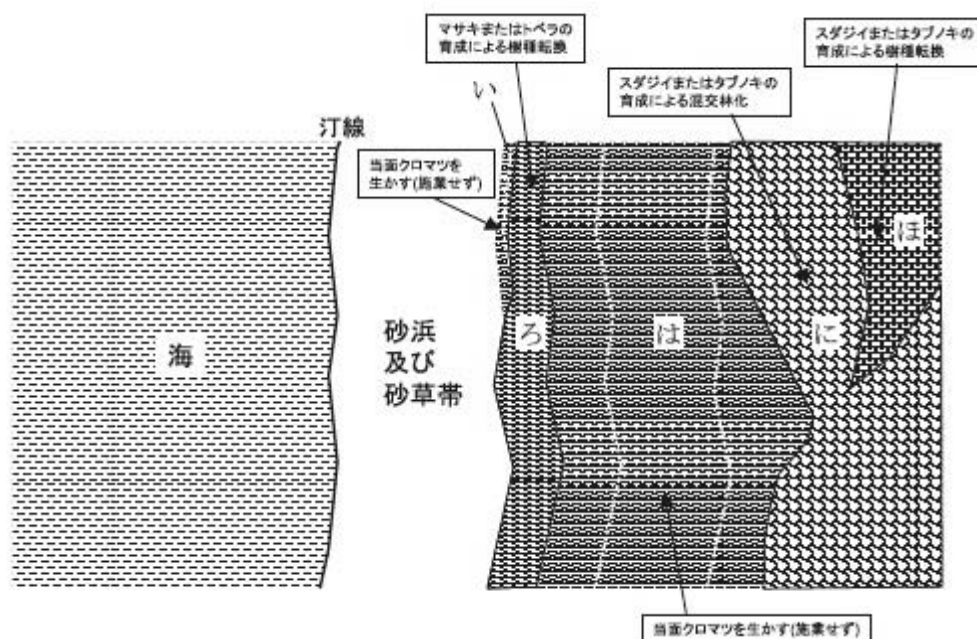


図4-6-7 施業区分図の例

(4) 広葉樹の選木方法

- ・自然侵入している樹種を表4-6-5のように、海岸における耐性ランク（A～C）と、種として到達しうる最大樹高区分（I～V）をもとに、利用可能かどうかを判定する。
- ・この判定作業をクロマツの樹高に基づいて分けたゾーンごとに行い、適正な広葉樹を選ぶ。
- ・自然侵入している樹種の中から、できるだけ自生種を優先して残す。
- ・外来種（帰化種）、国内外来種は原則として除去する。
- ・先駆性樹種は初期成長が早く早期に林冠をつくることができるが、比較的寿命が短い。そのため、遷移後期種を先駆樹種が被圧してしまうおそれがある場合は、競合する先駆性樹種を間引き、寿命の長い遷移後期種を活かす。
- ・以上の手順による選木を行っても、まだ混みすぎていて共倒れになりそうなところは、空間配置と樹勢をみてさらに間引く。

（出典）クロマツ海岸林に自然侵入した広葉樹の活用法－松枯れから防災機能を守るための広葉樹林化－ 森林総合研究所 H26.3

4-6-6-3-3 除伐の回数等

1 除伐の実施時期

1回目の除伐は、林分がうっ閉し植栽木等の下枝に衰弱が生じたころに実施する。通常は1回目を行えば、その後における雑木等の侵入や萌芽の発生は少なく、それ以降の除伐の必要性は少ない。2回目の除伐は、植栽木と雑木等の競合が激しくなった場合に実施する。

2 除伐を行う季節

除伐を行う季節は、伐倒した樹木のその後の萌芽力を弱めることと、保残した樹木が十分に枝葉を拡張できる夏季が適切である。

4-6-6-4 つる切り

4-6-6-4-1 つる切りの目的

4-6-6-4-2 つる切りの方法、時期

つる切りの方法

つる切りの方法には、刃物等で切断する切離し法、薬剤を注入、塗布または散布する薬剤処理法、掘り取り法などがある。またクズ等に対しては、このほかに実生の引抜き、切り株への糸状菌や特殊の植物種子を蒔く生物的防除法も考案されている。

一般的に用いられる方法は、切離し法である。クズのように途中から根を出しながら成長する植物は、一部を切ってもなかなか枯死しないので、薬品を注入する等の方法をとるのが効果的である。

4-6-6-5 本数調整伐

4-6-6-5-1 本数調整伐の目的

4-6-6-5-2 本数調整伐の方法、時期、回数

クロマツ林の本数調整伐の方法

1 適正本数

(1) 過密状況の判断

- ・対象の海岸林が適正な本数密度にあるかどうかは、相対密度を指標表 4-6-6 を利用しておおよその見当をつけることができる。
- ・対象林分の上層樹高（林冠高）と立木本数とが交差したセルの数値（相対密度）が 60～70 の場合（太枠）は過密気味であり速やかに本数調整を計画・実行する必要がある。相対密度が 70 を超えている場合は過密林分である。

表 4-6-6 過密状況早見表

平均 胸高直径	林冠高	相 対 密 度											
		Cm	m										
24	16.8												80
23	16.1											94	75
22	15.4											88	70
21	14.7											80	64
20	14.0									95		76	61
19	13.3									87		69	56
18	12.6								96	80		64	51
17	11.9								88	74		59	47
16	11.2								79	66		53	42
15	10.5								95	71		60	48
14	9.8								84	63		53	42
13	9.1								95	76		57	48
12	8.4								83	67		50	42
11	7.7								88	73		59	44
10	7.0								88	75		63	50
9	6.3								74	64		53	42
8	5.6								80	62		53	44
7	4.9								86	64		50	43
6	4.2								86	62		51	40
5	3.5								85	64		51	38
4	2.8								85	64		51	38
立木本数密度（本/ha）		10,000	7,500	6,000	4,500	3,500	3,000	2,500	2,000	1,500	1,250	1,000	800

※ここでは、形状比 70 を採用した。

(2) 目標本数（表 4-6-7、図 4-6-8）

小田（1984、1992）の相対密度管理表を調整したものから、平均胸高直径に形状比※を介して上層樹高（林冠高）に読み替えることにより、林冠高に応じた目標本数の見当をつけることができる。

(3) 伐採本数

- ・表 4-6-6 から求められる相対密度が 70 までであれば、後述「2 クロマツ林の本数調整手順」に従い、相対密度が 70 を超えている場合、本数調整遅れとなっているため後述「3 過密林の取り扱い方」に従う。

表 4-6-7 林冠高に対応した目標本数密度

林冠高	平均 胸高 直径	形状比70のとき		形状比60のとき		
		立木本数		立木本数		
		55 %	65 %	55 %	65 %	
m	cm	本/ha	本/ha	cm	本/ha	本/ha
3.0	4.3	8,300	9,800	5.0	6,500	7,700
3.5	5.0	6,500	7,700	5.8	5,100	6,000
4.0	5.7	5,300	6,200	6.7	4,100	4,900
4.5	6.4	4,400	5,200	7.5	3,400	4,100
5.0	7.1	3,700	4,400	8.3	2,900	3,400
5.5	7.9	3,200	3,800	9.2	2,500	3,000
6.0	8.6	2,800	3,300	10.0	2,200	2,600
6.5	9.3	2,400	2,900	10.8	1,920	2,300
7.0	10.0	2,200	2,600	11.7	1,710	2,000
7.5	10.7	2,000	2,300	12.5	1,530	1,810
8.0	11.4	1,770	2,100	13.3	1,390	1,640
8.5	12.1	1,610	1,900	14.2	1,260	1,490
9.0	12.9	1,470	1,740	15.0	1,150	1,360
9.5	13.6	1,350	1,590	15.8	1,060	1,250
10.0	14.3	1,240	1,470	16.7	980	1,150
10.5	15.0	1,150	1,360	17.5	900	1,070
11.0	15.7	1,070	1,270	18.3	840	990
11.5	16.4	1,000	1,180	19.2	780	930
12.0	17.1	930	1,100	20.0	730	870
12.5	17.9	880	1,040	20.8	690	810
13.0	18.6	820	970	21.7	650	760
13.5	19.3	780	920	22.5	610	720
14.0	20.0	730	870	23.3	570	680
14.5	20.7	690	820	24.2	540	640
15.0	21.4	660	780	25.0	520	610
15.5	22.1	620	740	25.8	490	580
16.0	22.9	590	700	26.7	470	550
16.5	23.6	570	670	27.5	440	520
17.0	24.3	540	640	28.3	420	500
17.5	25.0	520	610	29.2	400	480
18.0	25.7	490	580	30.0	390	460

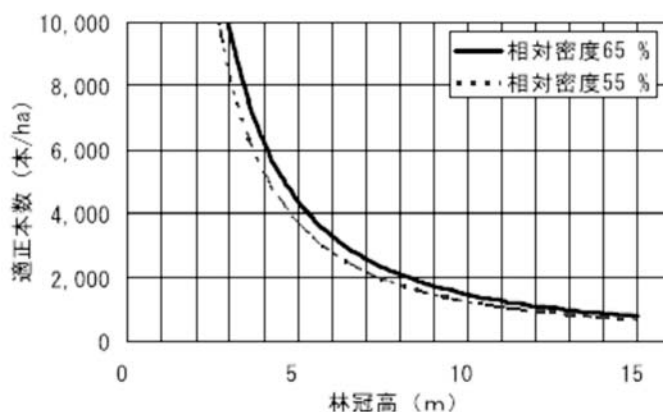


図 4-6-8 林冠高に対応した目標本数密度（形状比 70 の場合）

2 クロマツ林（10,000 本/ha 植栽）の本数調整手順（表 4-6-8）

(1) 初期は列状伐採

- ・上層樹高（林冠高）が、3.0m に達するまでに初回の本数調整（1 伐 3 残）を実施する。この時期を逃さないことが、後々の本数調整を無理なく進めるために重要である。
- ・林冠高が 3.5m までに、2 回目の調整として、初回に残した 3 列の中間列を伐採。
- ・林冠高が 4.5m までに、それまでの伐採列に直行する形で 1 伐 3 残の伐採。
- ・林冠高が 5.5m までに、4 回目の調整として、前回に残した 3 列の中間列を伐採。

- ・ 1つの伐採列の長さは10～20mに止める。
 - ・ 伐採列は主風に直交、あるいは汀線に平行するように設定することで、伐採跡を風が吹き抜けないようにする。
- (2) 定性伐採
- ・ 4回に分けた列状伐採の後は、定性的な伐採に移る。
 - ・ 優勢木の中から将来の海岸林を構成すると期待される個体（仕立て木）を選び、仕立て木の成長を妨げるような個体から選択的に伐採する。
 - ・ 表4－6－8に示した林冠高に達した段階で林冠が閉鎖していなければ、林冠が閉鎖するまでは本数調整伐を見合わせる。
- (3) 前縁部での本数調整
- ・ 海風環境の厳しい前縁部においても上述の手順に従った本数調整手順を適用する。逆に言えば、上長成長が頭打ちになって風衝林型を呈し、林冠高が3 mを超えない箇所については、本数調整を実施しないことになる。なお、本数調整を実施する場合、初回の列状伐採の際には、海側の3列を残す。

※ここでは、10,000 本/ha 植えられたクロマツ林を対象としているが、それより植栽本数が少ない場合も、表4－6－8より残存本数を目安に適用することができる。

表4－6－8 植栽初期からの本数調整手順

林冠高 m	伐採対象	残存本数 本/ha	伐採率 %
2.5～3.0	1伐3残	7,500	25
～3.5	列状伐採	3残の中間列	5,000
～4.5		1伐3残（直交列）	3,750
～5.5		3残の中間列	2,500
～7.0	定性伐採	仕立て木の成長を妨げている個体	1,875
～8.5			1,406
～10.0			1,055

10,000本/ha植栽時

3 過密林の取り扱い方

(1) 基本的な考え方

- ・ 過密クロマツ林では、一度に林分全体の過密状態を緩和するのではなく、将来の林冠を構成する個体（仕立て木）を選定し、まずは仕立て木に対する過密状態を緩和する手順をとる。

(2) 仕立て本数

- ・ 仕立て木の本数は、最終的な林冠高（上長成長の頭打ちによる風衝林形を呈したときの林冠高）に対応した適正本数とし、周辺の林分等を参考に決定する。

(3) 仕立て木の選定

- ・ 仕立て木は優勢木（林冠を構成する個体のうち、とくに枝をしっかりと張った形状比の低い個体）を優先して選定する。

(4) 伐採

- ・本数調整の手順は実施時期の過密程度によって異なる。過密程度はそのときの林冠高に対応するので、林冠高に応じた手順となる。

(5) 本数調整の継続

- ・一連の本数調整の実施後は、表4-6-8に示した林冠高を目安として、仕立て木の生育空間を確保する定性伐採を実施する。

(出典) クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方ー本数調整と侵入広葉樹の活用ー 森林総合研究所 H23.3

(<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/2nd-chuukiseika24.html>)

4-6-6-6 枝落し

4-6-6-6-1 枝落しの目的

4-6-6-6-2 枝落しの方法、密度

1 枝落しの留意事項

- ・枝落しは、一般に力枝より下についている枝を対象とする。
- ・枝の切り落としは、切り口が早期に癒合するようにする。そのためには、細い枝の場合には付け根から切り落とし、太い枝の場合には、枝の付け根にあるブランチカラーと呼ばれる盛り上がり部を傷つけないように切断する。
- ・林縁木の枝落しは行わない。
- ・広葉樹の中には、枝を強く切ると幹の下部から不定芽が出るものもある。

2 枝落しの事例

内陸部の比較的条件の良好な地区（クロマツ2,500本/ha植栽など）では、枝下率を樹高の1/3程度で概ね2m以下、車枝を最低4段以上残し、生育上重要な役目を持つ「力枝」を切り過ぎないなどの目安を設けて実施されている例がある。

4-6-6-6-3 枝落しの時期

枝落しの時期

林分がうっ閉し樹木の下枝が枯れ始める時期が1回目の枝落しを行う適期である。この時期に行う枝落しは、光環境や風通しの改善のほか山火事の危険性の回避、林内の作業性の向上等を図ることもできる。

2回目以降の枝落しは、林分の状態や将来の植栽計画に適合した林型等を勘案して時期を決定する。

枝落しは、対象木の生育阻害を防止又は軽減するため、成長の休止期に実施し厳寒期は避ける。

4-6-6-7 追肥

4-6-6-7-1 追肥の目的

4-6-6-7-2 追肥の方法等

追肥の方法

施肥の方法には、植穴底投入、3ヶ所点状、半円溝状、地表ばら播き等がある。

このうち、植穴底投入と3ヶ所点状は植栽時に用いられる方法で、追肥においては半円溝状または地表ばら播きによることが効果的である。

4-6-6-8 病虫害防除

4-6-6-8-1 病虫害防除の目的

4-6-6-8-2 病虫害防除の方法、時期

1 病虫害を受けた場合の処理方法

病虫害を受けた場合の処理方法としては、捕殺、こも巻き、焼却、薬剤散布等がある。農薬には殺菌剤、殺虫剤、殺線虫剤等の種類がある。

2 病虫害に対する予防方法

予防方法としては、耐病虫害性樹種の使用、抵抗力を増強させるための肥培管理等があるが、クロマツの場合、施肥によりクロマツと共生する菌根の発育を阻害することもあることから、使用には注意する。

3 薬剤散布の留意事項

薬剤散布は、林内に生息する無害な昆虫や小動物類、ときには周辺の人畜や水質等にも影響を及ぼすことがあるので、これを実施する場合は、散布方法、範囲、実施時期、時間、風向等について、十分な検討と配慮を行う。

4 松くい虫被害のメカニズムを踏まえた対策

松くい虫被害の防除については、松くい虫被害のメカニズムを踏まえた対策を行うことが重要である。対策を行うに当たっての参考資料としては、『松くい虫』の防除戦略（独立法人 森林総合研究所 H18.3）」がある。

（<http://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/1st-chukiseika-11.pdf>）

5 落ち葉かき

(1) 「マツ林を健全に保つには、低灌木や草の刈り取りと落ち葉かきが必須ですが、それにはいくつかの理由があります。1つは落ち葉の量を減らして落葉層を薄くし、それによって菌根菌の邪魔になる微生物や小動物を除くこと。2つ目は土をひっかいて細根を切り、根を再生させて菌根菌が付きやすくすること。3つ目は土を痩せさせて菌根菌の増殖を促すことです。このようにして地下部を健全に保つと、病虫害に対する抵抗性が増して、マツ林自体が健全に保たれるようになります。」

（出典）海岸林再生マニュアル 築地書館 2012.11

(2) 落ち葉かきは、クロマツの生育に適した貧栄養な環境を人為的に維持し、クロマツの健全な生育を促進することを目指して実施されている。

(3) 落ち葉かきの方法は、地表面に堆積した落葉・落枝を取り除き、林外へ搬出することにより、貧栄養な条件を維持させる。また、落枝については、マツノザイセンチュウを媒介するマツノマダラカミキリの幼虫が生息している場合があり得ることから、焼却、粉碎等適切な処理を行う。

(4) ただし、落ち葉かきの手法のみでは、松くい虫被害を防ぐことはできないことから、

松くい虫被害が既に発生している場合には、被害木の伐倒駆除等の適切な防除を行う。
 (5) 落ち葉かきの実施は、林床の景観をスッキリと整然としたものにするため、修景的な効果も考えられる。またボランティアなどを活用した実施事例もある。

4-6-6-9 獣害防除

4-6-6-9-1 獣害防除の目的

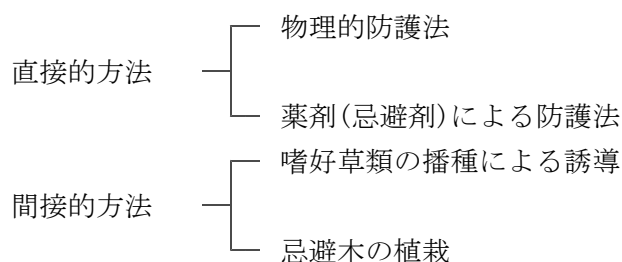
大型獣類による踏み荒し

獣害は、単に樹木等の生育障害や地表被覆力の低下につながるだけでなく、大型の獣類の場合には、その箇所に出入りすること(踏み荒し)によって土層の破壊、移動を引き起こす可能性がある。

4-6-6-9-2 獣害防除の方法

獣害防除の方法と体系

獣害防除の方法には、物理的防護法、薬剤(忌避剤)による防護法、植物を利用した誘導、忌避による防護法などがあり、その体系は次のように示される。



物理的防護法とは、防護柵の設置や樹木に防護ネット等の被覆を行うものである。

薬剤による防護法は、樹木に忌避剤を塗布し、またはそれに浸したテープを巻くことによって樹木の味覚を落とし、その効果によって防除しようとするのが狙いである。

嗜好草類の播種は、嗜好度の高い牧草類を播種して餌場を造成し、これを食餌として与えることによって植栽木の害の軽減を図ろうとする方式であり、忌避木の植栽は逆に動物が嫌悪する樹種を植栽して遠ざけようとするものである。

4-6-6-10 植栽木掘り起こし

4-6-6-10-1 植栽木掘り起こしの目的

4-6-6-10-2 植栽木掘り起こしの方法、時期

植栽木掘り起こしの留意事項

植栽木掘り起こしに当たっては、砂の置き場所に留意する。事業対象地の周辺は同様の植栽地であったり、砂草植栽が実施されているなどのケースが想定され、これらに対して悪影響を与えない場所を選定する。また置き場所によっては、再びもとの植栽地に砂が侵入してくることも考えられる。これらを総合的に勘案して砂の置き場所を選定する。

第4章 防風林造成

第1節 防風林造成の目的

第2節 調査

2-1 総説

2-2 調査項目

2-3 調査手順

2-4 地形調査

2-5 土壌・土質・地質調査

2-6 林況・植生調査

2-7 気象調査

2-8 風害調査

2-9 環境調査

2-10 社会的特性調査

第3節 防風林造成の計画

3-1 総説

3-2 計画規模

3-3 林帯の配置、規模及び構造

3-3-1 林帯の配置

3-3-2 林帯の長さ

3-3-3 林帯の横断形状

林帯の横断形状は、防風効果を左右する因子の一つである。林帯の横断形状とその防風効果について、ヒノキの小枝を用いた田中のモデル実験の結果は次のとおり（図 3-3-1 参照）。

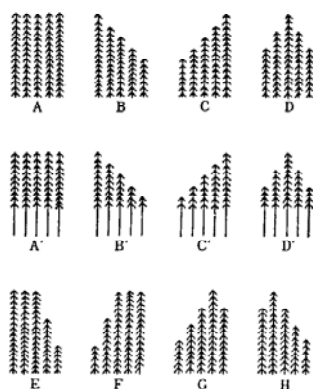


図 3-3-1 林帯の横断形状（風は左側から吹く：田中、1956）

長方形のもの(A)、風下側に傾斜するもの(B)、風上側に傾斜するもの(C)、山形のもの(D)を基本型とした場合、

- (1) A、A'、E 型が最大の防風効果を示すが、成林過程で風上側が被害を受けやすい。
- (2) B 型も A 型とほぼ同じ短所を持つ。
- (3) 風下に最も高い木のある C 型は、有効範囲は、やや低下するが、風による障害が少なく、成林しやすい。

また、風を透過しにくいモデルを用いた外国の実験では、風下で風速が半減する距離は、縦に長い長方形では $15.5H$ 、三角断面では $15H$ 、頭部が丸い形では $9H$ であるという結果が得られている（ただし：H はモデルの高さ）。

このことから、防風林の効果が最も大きいのは、長方形の断面を有する林帯であるといえる。

3-3-4 林帯の幅

林帯の防風効果

樹高 1.5m のスギを列間 1m、苗間 0.78m の間隔で正三角形に配置し、林帯の幅を樹高の約 10 倍、約 5 倍、約 3 倍と変えて風速を観測した調査では、林帯の幅が樹高の約 5 倍のときに防風効果が最大になるとされている。

3-4 防風林造成の工種

第4節 防風林造成の設計

4-1 総説

4-2 測量

4-2-1 測量の範囲

4-2-2 測量の種類

4-2-3 平面測量

4-2-4 縦断測量

4-2-5 横断測量

4-3 防風工

4-4 水路工

4-5 暗きょ工

4-6 植栽工

4-6-1 植栽計画

4-6-2 植栽方法

4-6-3 植栽樹種

一般に防風林に用いられる樹種を、表 4-6-1 に示す。

表 4-6-1 防風林に用いられる植栽樹種

	常緑樹	落葉樹
針葉樹	クロマツ、アカマツ、スギ、 ヒノキ、トドマツ、エゾマツ、 アカエゾマツ、モミ、ツガ、 カヤ、ヒバ、ドイツトウヒ、 イヌマキ、サワラ等	カラマツ、メタセコイヤ、 イチョウ等
広葉樹	アラカシ、アカガシ、シラカ シ、スダジイ、イスノキ、ク スノキ、ヤブツバキ、マサキ、 ヤマモモ等	ケヤキ、エノキ、ハルニレ、 ポプラ、バッコヤナギ、ナ ガバヤナギ、エゾヤナギ、 エゾノキヌヤナギ、イヌコ リヤナギ、タライカヤナギ、 ミズナラ、コナラ、カシワ、 クリ、クヌギ、イタヤカエ デ、ヤチダモ、ハンノキ、 シラカバ等

4-6-4 植栽本数

1 植栽本数

一般的に、成長の比較的早い樹種及び肥沃な場所では、3,000 本/ha、成長の比較的遅い樹種及びやせ地では、5,000 本/ha 程度である。

2 植栽本数と列間及び苗間との関係

三角形植えにおける植栽本数と列間及び苗間との関係は、次のとおり。

$$N=A/(a \cdot b)=A/0.866a^2$$

ただし N：植栽本数（本）

A：植栽面積（m²）

a：苗間（m）

b：列間（m） $b=\sqrt{3} \cdot a/2=0.866a$

4-6-5 施肥

4-6-6 保育

1 林帯の密閉度の測定方法

林帯の密閉度の測定法としては、次のような方法がある。

- (1) 林帯の前方に、細かく区切った方眼をもつ枠を置き、各方眼ごとに樹体の占める面積を目測する。この場合、林帯を樹冠層、枝下層というように、高さ別に分けて測定し、林帯全体の密閉度は、高さの重みをつけて算出する。

（例）林帯高 9.2m の林帯で目測した場合の算出例

林帯高	列 数	構成樹種	高さによる密閉度	
			高さ (m)	密閉度 (%)
9.2	5	コナラ等	0 ～ 1	20
			1 ～ 8	97
			8 ～ 9.2	60

$$\text{密閉度} = \{(1-0) \times 20 + (8-1) \times 97 + (9.2-8) \times 60\} / 9.2 = 84 \%$$

- (2) 林帯の前方正面から写真（モノクロ写真が明瞭）を撮り、写真上でシルエットとなった樹体部分の面積を求め、密閉度を算出する。

（出典）森林の公益機能解説シリーズ⑩ 森林の防風機能 （社）日本治山治水協会 S63.9

2 防風林の形状比

形状比が大きくなると、強風による幹折れが発生しやすくなる。防風林の管理の目安として、形状比 70 ～ 80 が上限とされている。

（出典）防風林の多面的機能と造成管理のための解説書 北海道立林業試験場 H19.4

第5章 なだれ防止林造成

第1節 なだれ防止林造成の目的

第2節 調査

2-1 総説

2-2 調査項目

2-3 調査手順

2-4 地形調査

2-5 土壌調査

2-6 土質・地質調査

2-7 林況・植生調査

2-8 気象調査

一般に、気象となだれとの間には、次のような関係がある。

1 気温

気温は積雪の変態と融解に関係する。一般に、気温が0℃以上になれば積雪は表面で融解する。氷点下の場合は積雪内に温度勾配が形成され、雪粒子の昇華によってしもぎらめ雪が発達することがある。

2 日射

日射は積雪を融解させるエネルギーとなる。日射に対する雪面の反射率（アルベド）は大きく、乾いた新雪で0.75～0.9、湿ったぎらめ雪で0.4～0.6となる。反射率が大きいほど、日射の融雪に対する寄与は小さくなる。

3 雨

雨が積雪を融解するエネルギーは大きくはない。雨水の浸透によって、積雪の収縮や融解変態によるぎらめ化が促進される。積雪が水を含むと重量が増加する一方で、一般に強度は低下し、積雪底面の摩擦力も減少する。従って、斜面においては、全層雪崩が発生しやすくなる恐れがある。

4 風

風は、積雪の運搬、破碎、圧縮、侵食などの諸作用のほか、昇華、蒸発、融解などの作用も助長する。また、風のために地形や障害物によって雪びや吹きだまり等の積雪形態を生ずるが、これらもなだれ発生に直接関係する。

5 積雪深

積雪深は、積雪の表面から地表面までの鉛直方向の厚さをいい、なだれの発生、規模、

各種防止施設の構造の決定に密接な関係がある最も重要な因子である。

2-9 なだれ調査

2-9-1 なだれの種類

1 なだれの現象

斜面における積雪は、重力の斜面方向成分と積雪内部のせん断抵抗又は地面との摩擦抵抗等の支持力の間に一定のつり合いが保たれていれば安定している。なだれは、このつり合いが破れ、ある広さの積雪層が急激に崩落する現象である

2 なだれの種類

なだれの種類は、なだれの発生地点における形態と運動形態によって、一般に次のように分類される。

(1) 形態を主とする分類

目視によって確認できる①なだれ発生 の形、②崩れ落ちる積雪（なだれ層）の乾湿、③積雪層におけるすべり面の位置を分類要素（表 2-9-1、図 2-9-1 参照）として、表 2-9-2 のように分類される。

なお、なだれには、次のような場合があるから注意して調査する。

- ① 同一箇所でも時期を違えて表層、全層なだれが発生することがある。
- ② 点発生なだれの流下途中から、面発生なだれが発生することがある。
- ③ 稀に、大きな点発生湿雪全層なだれが発生することがある。

(2) 運動形態による分類

- ① 煙り型なだれ：雪煙を高く巻き上げて走るなだれ。高速の乾雪表層なだれに多く見られる形態である。
- ② 流れ型なだれ：雪煙を上げることなく、雪粒が流体のように流下するなだれ。湿雪全層なだれはほとんどが流れ型である。
- ③ 混合型なだれ：下層が流れ型なだれで、それをおおうように上層や先端が雪煙（煙り型なだれ）となって運動するなだれ。

表 2-9-1 なだれの分類要素（日本雪氷学会 1998 を一部修正）

分類要素	区 分	定 義
なだれ発生 の形	点発生	一点からくさび状に動き出し、一般に小規模である。
	面発生	かなり広い面積にわたりいっせいに動き出し、一般に大規模である。
なだれ層の乾湿	乾 雪	崩れ落ちる積雪（なだれ層）が水気を含んでいない。
	湿 雪	崩れ落ちる積雪（なだれ層）が水気を含んでいる。
すべり面の位置	表 層	なだれ層のすべり面が積雪内部である。
	全 層	なだれ層のすべり面が地面である。

表 2-9-2 なだれの分類（日本雪氷学会 1998 を一部修正）

		なだれ発生 の形			
		点 発 生		面 発 生	
なだれ層の乾湿	乾 雪	点発生乾雪表層なだれ	点発生乾雪全層なだれ	面発生乾雪表層なだれ	面発生乾雪全層なだれ
	湿 雪	点発生湿雪表層なだれ	点発生湿雪全層なだれ	面発生湿雪表層なだれ	面発生湿雪全層なだれ
		表 層	全 層	表 層	全 層
		すべり面の位置			

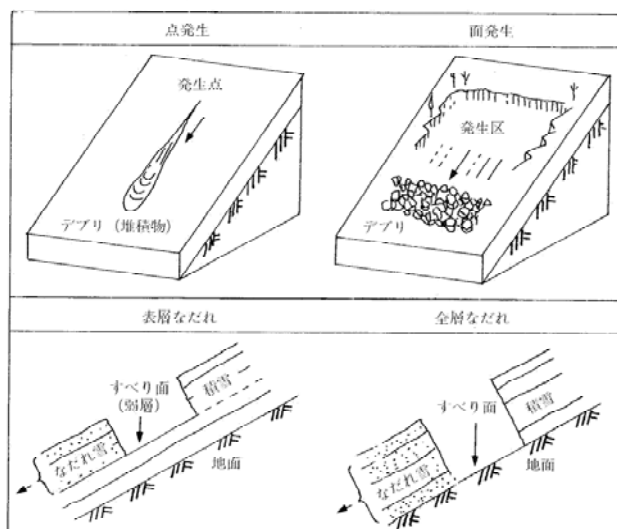


図 2-9-1 なだれの分類要素

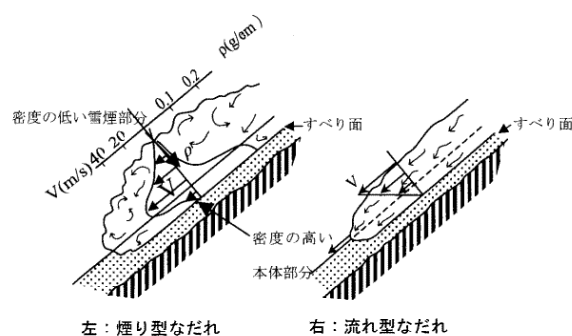


図 2-9-2 なだれの内部構造の模式図

(3) その他のなだれ現象

- ① スラッシュなだれ：大量の水を含んだ雪が流動するなだれ
- ② 雪泥流：スラッシュなだれと同様の現象で、主に溪流内を流下するもの
- ③ ブロックなだれ：雪び・雪渓等の雪塊の崩落

3 主かなだれの特徴

(1) 点発生乾雪表層なだれ

点発生乾雪表層なだれは、気温が低いとき、降雪中や降雪後に起こりやすい。雪び、樹枝、露岩等から落ちた小雪塊がきっかけになることが多い。斜面上の一点から楔状に動きだし、小規模なものが多い。雪煙は必ずしも伴わず、少し時間が経ればなだれ跡も判明しにくい。

(2) 点発生湿雪表層なだれ

点発生湿雪表層なだれは、20～30cm 積もった新雪が、好天暖気にさらされた時に起こりやすい。スノーボール等がきっかけとなり、表層の湿雪層が楔状に縮まるように動きだす。斜面が長ければ、崩れて流れるような運動をする。春、表面のざらめ雪が、十分な暖気にさらされた時にも起こりやすい。

(3) 面発生乾雪表層なだれ

面発生乾雪表層なだれは、気温が低いとき、すべり面となる弱層の上に、数十 cm 以上の新雪があるときに起こりやすい。斜面のかなり広い面積にわたる積雪が、いっせいに動きだすなだれで、大規模なものが多い。巨大な雪煙を伴い、山麓から数 km にまで達することがある。

面発生乾雪表層なだれのすべり面となるのは、次の場合等である。

① 変態の進行によって形成される弱層

しもざらめ雪層、こしもざらめ雪層、ぬれざらめ雪層

② 堆積時の結晶形が保存されて出来る弱層

あられ層、静かに積もった広幅六花の降雪結晶層、表面霜

(4) 面発生湿雪表層なだれ

面発生湿雪表層なだれは、気温が高いときの降雪中、降雪後又は降雨中に発する。乾いた雪が積もった後、日射や気温により湿り気を帯びたときにも発生する。運動の形態は流れ型である。

(5) 面発生乾雪全層なだれ

面発生乾雪全層なだれは、冬季、寒冷な気候のもとで発生する全層なだれで、地面でのゆっくりとした雪の動き（グライド）の結果として起こる場合と、積雪底面に成長したしもざらめ層の崩壊によって起こる場合がある。前者は、ササやカヤ、低木等で覆われた斜面で発生しやすく、後者は、厳しい寒さの続く北海道や高山地帯で発生する。乾いた新雪は、雪煙となり、旧雪は、流れるように走る。走行距離はかなり長い。

(6) 面発生湿雪全層なだれ

面発生湿雪全層なだれは、春先の融雪期に多いが、冬でも気温の高い日が続いたり、激しい降雨があると発生しやすい。気温の上昇や、融雪水、雨水の浸透により積雪の強度が低下し、地面での雪の動き（グライド）が激しくなると発生する。

比較的大規模なものが多く、なだれ層の硬い雪が時には山肌を削っていく。デブリ（堆積物又は堆積）は、主として湿雪の大きな雪塊からなり、土砂、樹木、樹枝を含む。発生場所や走路は、おおむね決まっている。

4 なだれの衝撃力

なだれが構造物に衝突するときの衝撃力と破壊効果の目安は、表 2-9-3 のとおりである。面発生乾雪表層なだれでは 1000kN/m^2 以上の衝撃力が実測されている。

表 2-9-3 なだれの衝撃力がもつ破壊効果の目安（Perla ほか 1976 を一部修正）

衝撃力 (kN/m^2)	破壊効果の目安
1	窓を破壊
5	ドアを吹き倒す
30	家の木組みを破壊
100	トウヒの成木を根こそぎ倒す
1,000	鉄筋コンクリート構造物を破壊

2-9-2 なだれの発生状況

なだれの運動の数値シミュレーションは、以下に示す運動モデルを利用して、雪崩の動きを再現しようとするものであり、到達距離や設計速度を予測するために用いられる。これまでは、一次元断面におけるなだれの到達範囲やエネルギーの検討が行われてきたが、近年は、面的ななだれの移動氾濫範囲を求める解析事例も増えてきている。

1 流体モデル

なだれを流体としてみなしたモデルであり、フェルミー (Voellmy 1955) が最初に発表した。フェルミーによると、なだれの速度 (V) は、次式で表され、なだれの厚さが増せば、速度も増加する。

$$V = \sqrt{\xi h (\sin \psi - \mu \cos \psi)}$$

ただし、V：なだれの速度

ξ ：乱流摩擦係数（一般に $300 \sim 3000 \text{ m/s}^2$ ）

h：なだれの厚さ (m)

μ ：動摩擦係数（一般に $0 \sim 0.5$ ）

ψ ：斜面勾配（度）

2 質点モデル

なだれの全質量が一点に集中した剛体と仮定したモデルで、ペイラー (Perla 1980) ほかのモデルがある。ペイラーらは、なだれの駆動力に対する抵抗力を、①滑走面に生じる底面摩擦、②なだれ全面に作用する空気抵抗、③滑走面の積雪を排除あるいは圧密する圧密抵抗と考えて、運動方程式を解いている。

3 その他

その他、次のようなモデルがある。

密度流モデル：煙型なだれを流体の運動が周囲との密度差によって影響を受ける密度流として仮定するモデル

粒子流モデル：なだれを雪粒子の集まりであるとして、個々の粒子の運動や衝突を計算するモデル

2-9-3 なだれ発生時期の積雪状況等

2-10 環境調査

2-11 社会的特性調査

第3節 なだれ防止林造成の計画

3-1 総説

3-2 なだれ防止林造成の計画規模

3-3 なだれ防止林造成の工種

3-4 工種の選定及び組合せ

第4節 なだれ防止林造成の設計

4-1 総説

4-2 測量

4-2-1 測量の範囲

4-2-2 測量の種類

4-2-3 平面測量

4-2-4 縦断測量

4-2-5 横断測量

4-3 設計積雪深

4-4 雪び予防工

土塁工

古くは、雪び予防工として土塁が用いられたが、近年は、施工性、用地の問題から柵に替わり、最近の採用事例はない（図 4-4-1 参照）。土塁工には、次の2つの考え方がある。

- 1 分散法：土塁によって気流を変化させて積雪を分散させることにより、雪びの形成を防止する方法。土塁は尾根上の風衝地点に設ける。
- 2 捕捉法：土塁によって雪を捕捉し堆積させることにより、雪びの形成を防止する方法。土塁は、風上斜面に設ける。

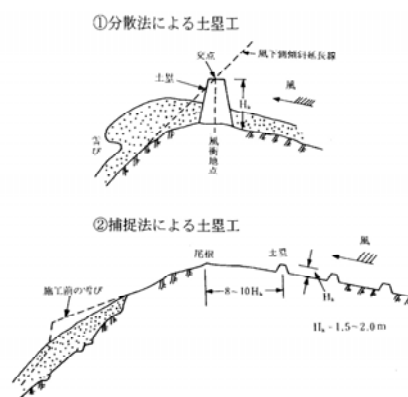


図 4-4-1 土塁工の模式図

4-4-1 雪び予防柵工

4-4-1-1 雪び予防柵工の位置

1 分散効果を期待した吹きだめ柵

大倉地区（新潟県守門村）において、昭和 56 年の表層なだれ災害後、透過率の小さい吹きだめ柵（15 %程度）を尾根に沿って、3 ～ 5m 風上側に設置して良好な成果を得ている。

2 吹雪による雪の移動量

吹雪による雪の移動量については、次の Dyunin の式が実験的に確認されている。移動する雪の量は、風速の 3 乗に比例するから、風速のわずかな変化にも影響される。

$$Q = \frac{1}{200} \left(\frac{V_1}{3} - 1 \right)^3$$

ただし Q：移動する雪の質量（k g/m・s）

V₁：地表から 1m の風速（m/s）

4-4-1-2 雪び予防柵工の高さ

4-4-1-3 雪び予防柵工の構造

4-4-1-4 雪び予防柵工の設計荷重

積雪の沈降力

積雪は上部に加わる積雪荷重によって粒子の再配列が起こり圧縮変形する。これを積雪の沈降現象と言う。積雪中に施設や樹木等があると、これらは積雪の沈降を妨げ雪の層は褶曲する。その際に積雪中に埋没した深さや施設の形に応じて、しゅう曲部の大部分の積雪重量が沈降力として埋設物に作用する。

4-4-1-5 雪び予防柵工の種別

4-4-1-6 雪び予防柵工の基礎

4-5 発生予防工

4-5-1 階段工

4-5-1-1 階段工の配置

階段工の配置間隔

高橋の経験式では、階段間の直高（高低差）は階段の幅員の 5.5 ～ 6.0 倍程度が良いとし、7.0 倍は、なだれ防止機能の限界とされている。

4-5-1-2 階段工の構造

4-5-2 予防柵工

4-5-2-1 予防柵工の配置

列間斜距離の最大値

列間斜距離の目安は、次式によっても求められ、斜面勾配が緩くなるほど列間斜距離が長くなる傾向にある（スイスの指針）。次式で求められる値を超えた列間斜距離をとると、4-6-2-4 解説に示した斜面雪圧の式が適用できなくなり、列間斜距離が増すにつれて雪圧が大きくなることから、列間斜距離を次式で求められた値以下とする。

$$L = f_L \cdot H$$

$$f_L = \frac{2 \tan \phi}{\tan \phi - \tan \phi}$$

ただし L：列間斜距離（m）

H：設計積雪深（m）

f_L ：距離係数（L/H）

ϕ ：斜面傾斜角（度）

Φ ：雪と地面との摩擦角（度、 $\tan \phi = 0.5 \sim 0.6$ ）

4-5-2-2 予防柵工の高さ

4-5-2-3 予防柵工の構造

鋼材の許容応力度

鋼材の許容応力度は、下記のとおり。

表 4-5-1 構造用鋼材の許容応力度 (N/mm²)

区 分	SS400 SM400 SMA400W	SM490	SM490Y SM520 SMA490W	SM570 SMA570W
基準降伏点	235	315	355	450
許容軸方向引張応力度	140	185	210	255
許容曲げ引張応力度				
許容せん断応力度	80	105	120	145

4-5-2-4 予防柵工の設計荷重

1 積雪の設計単位体積重量

一般的に、積雪の設計単位体積重量として、積雪全層の平均的な単位体積重量(γ)をとる。

(1) 表層なだれを対象とする場合

最大積雪深時の平均単位体積重量として 3.0 ～ 3.5kN/m³（積雪密度 300 ～ 350kg/m³）

(2) 全層なだれを対象とする場合

最大積雪重量時の平均単位体積重量として 4.0 ～ 4.5kN/m³ 前後（積雪密度 400 ～

450kg/m³ 前後)

2 荷重の算出方法

以上の設計荷重の算出方法は、次の手順による。

- (1) 雪圧（スノープリズムを除く）の斜面に平行な成分（SN）及び斜面に垂直な成分（SQ）を求める。
- (2) スノープリズム荷重の斜面に平行な成分（GN）及び斜面に垂直な成分（GQ）を求める。
- (3) (1)及び(2)の荷重の合力（R）を次式によって求める（図 4-5-1 参照）。

$$R = \sqrt{R_N^2 + R_Q^2} \quad (\text{kN / m})$$

$$R_N = S_N + G_N \quad (\text{kN / m})$$

$$R_Q = S_Q + G_Q \quad (\text{kN / m})$$

$$\varepsilon = \tan^{-1} \frac{R_Q}{R_N} \quad (\text{度})$$

荷重の合力（R）は、斜面と支持面に直角な面内にあり、その作用点は、支持面の高さの 1/2H にとる。

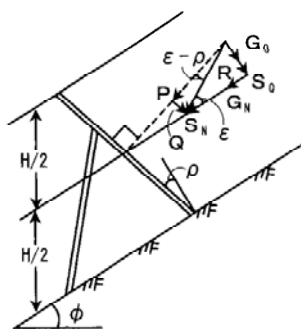


図 4-5-1 荷重の合力

- (4) 合力（R）の支持面に直角な成分（P）及び平行な成分（Q）を、次式によって求める。

$$P = R \cdot \cos(\varepsilon - \rho) \quad (\text{kN / m})$$

$$Q = R \cdot \sin(\varepsilon - \rho) \quad (\text{kN / m})$$

- (5) 支持面に直角な単位雪圧（p）及び平行な単位雪圧（q）を次式によって求める。

$$p = \frac{P}{B_K} \quad (\text{kN / m}^2)$$

$$q = \frac{Q}{B_K} \quad (\text{kN / m}^2)$$

ただし B_K ：支持面に沿った柵の高さ（m）（=====参照）

- (6) 辺縁効果による荷重の単位雪圧を、次式によって求める。

$$p^e = \frac{S_R}{B_K} \quad (\text{kN / m}^2)$$

- (7) 壁材の設計では、(5)、(6)で求めた単位雪圧を 30 %増加させるとともに、付加荷重（ $p \times 0.25 \times 1.30 = 0.325p$ ）を考慮する。

以上により求められた荷重を整理すると、表 4-5-2、表 4-5-3 のとおりである。

表 4-5-2 骨組及び基礎の設計に用いる荷重

荷重名	大きさ	作用方向	作用範囲
単位雪圧	p (kN/m ²)	支持面に直角	支持面全体
	q (kN/m ²)	支持面に平行	
辺縁雪圧	p_e (kN/m ²)	支持面に直角	支持面の左右両端作用幅(Δl) $\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D}{3}$

表 4-5-3 壁材の設計に用いる荷重

荷重名	大きさ	作用方向	作用範囲
単位雪圧	$1.3p$ (kN/m ²)	支持面に直角	支持面全体
	$1.3q$ (kN/m ²)	支持面に平行	
付加荷重	$0.325p$ (kN/m ²)	支持面に直角	支持面の下端 $1/4 B_K$
辺縁雪圧	$1.3p_e$ (kN/m ²) その他は表-9に同じ		

4-5-2-5 予防柵工の種別

主柱、支柱の材料

主柱、支柱には、H形鋼又は角鋼管、軽量形鋼、構造用鋼管等を用い、壁材（支持面）には角鋼管、H形鋼、溝形鋼等の条鋼類か又はプランクシート、トレンチシートのような広幅の鋼材を用いる。

部材の接合部は、施工上からボルト接合が多い。

4-5-2-6 予防柵工の基礎

予防柵工の基礎

- 1 なだれが発生する山腹斜面は、傾斜が急で岩盤が露出していたり、土層があっても薄く、良好な地盤が得られる場合が多いので、図 4-5-2 (A)型、(B)型のようなコンクリートの独立基礎又は山側基礎を一体化した連続基礎が用いられることが多い。
- 2 (A)型の基礎は、(B)型に比べて掘削量が少なく、施工もしやすいが、山側基礎の谷側の地山の地耐力が小さく、斜面雪圧が大きい場合は、基礎が底面に沿って谷側に移動しやすい。
- 3 土層が深く軟弱で、良好な地盤が得られない斜面では、山側と谷側の基礎を一体化した(C)型の基礎が用いられることがある。この場合、コンクリート量・床掘量は大きくなる。
- 4 表層下に良好な地盤がある斜面では、アンカーによる補強を行い、また、地盤条件が良好な斜面では、(D)切型のようなアンカー基礎が用いられることがある。

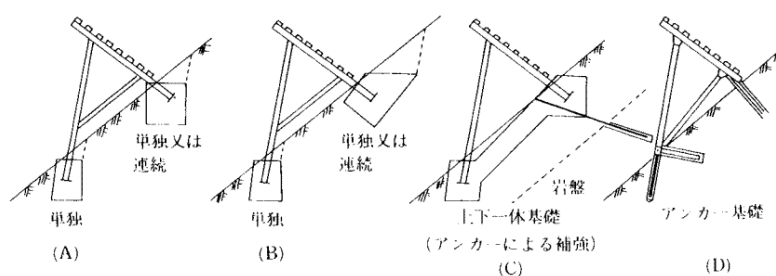


図 4-5-2 予防柵工の基礎の配置方法

- 5 基礎前面に十分な水平土被りを確保する等、基礎が侵食を受け浮き上がらないよう留意する。

4-5-3 吊柵工

スノーネット

スノーネットは、全層又は表層なだれの防止を目的として設置されるもので、積雪を支えたり、なだれの流下を防止するためにたわみやすいネットを用いたものである。部材が簡単で軽量であることから、険しい斜面にも運搬施工ができ、解体も容易であるため、反復使用又は仮設用に適しているが、施工斜面は、相当堅固な地盤が必要であること、落石除去等の維持管理費がかかる等の欠点がある。全層なだれ用スノーネットの構造は、ネットのほか、回転支柱及び控え綱からなり、雪圧がかかると支雪面がたわみ、雪圧が軽減される仕組みになっている（図 4-5-3 参照）。表層なだれ防止用のスノーネットは、狭い谷に設置されることが多く、落石防止を兼ねる場合もある。

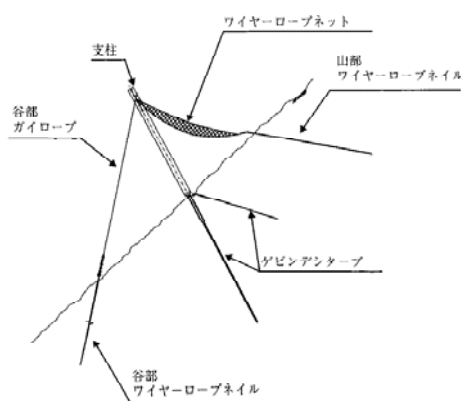


図 4-5-3 スノーネットの模式図

4-5-3-1 吊柵工の配置

4-5-3-2 吊柵工の高さ

4-5-3-3 吊柵工の構造

4-5-3-4 吊柵工の設計荷重

4-5-3-5 吊柵工の種別

4-5-3-6 吊柵工の吊索及びアンカー基礎

4-5-4 予防杭工

4-5-4-1 予防杭工の配置

4-5-4-2 予防杭工の高さ

4-5-4-3 予防杭工の構造

4-5-4-4 予防杭工の設計荷重

4-5-4-5 予防杭工の種別

4-5-4-6 予防杭工の基礎

予防杭の打込み深さ

予防杭の打込み深さは、50cm 以上とし、主柱 1 本のみの構造の場合は、杭の長さの 2/3 程度を打込む。

4-5-5 吊枠工

4-5-5-1 吊枠工の配置

4-5-5-2 吊枠工の高さ

4-5-5-3 吊枠工の構造

4-5-5-4 吊枠工の設計荷重

4-5-5-5 吊枠工の種別

4-5-5-6 吊枠工の吊索及びアンカー基礎

4-6 誘導工

1 誘導柵

小規模ななだれを対象に、鋼製の誘導柵が用いられることがあるが、大きな偏荷重がかかることやなだれが背後に漏れ出し誘導機能が果たせない場合が多いので、一般的に

は採用されない。

2 なだれ割り

なだれ割りは、流下するなだれの進行方向を2分割することにより、下方の保全対象をなだれの災害から防護する誘導工で、なだれの方向、規模又は地形の関係から他の誘導工では不適当な場合に採用される工法である（図 4-6-1 参照）。一般にこの工法は、電柱、トンネル等のいわば点的な保全対象を防護する場合に用いられることが多い。

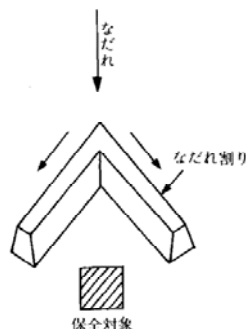


図 4-6-1 なだれ割りの模式図

4-6-1 誘導工の位置

4-6-2 誘導工の高さ

1 煙型なだれの厚さ

煙型なだれの場合は、雪煙の高さが数十mに達することもある。こうした大規模ななだれに対しては、雪煙部分を含めてすべての部分を阻止することは困難であることから、雪面付近の比較的密度が高く速度の速い本体部分を主たる対象とする。この場合、高さ決定するために用いるなだれの厚さは、雪煙部分を除いた本体部分の厚さとする。

なお、過去の実施例では、本体部分の厚さを崩落した積雪の厚さと同等と想定しているものが多い。

2 なだれ層厚の推定方法

なだれ発生層厚は表層なだれと全層なだれでは設定の方法が違う。表層なだれの発生層厚は、対象となる斜面になだれ発生履歴があり、その年月日が明確に把握できていれば、近くにある観測点の気象推移から求めることができる。

またなだれ発生履歴がない場合又は発生年月日が明確に把握できない場合は、積雪深が最大となる頃の気象の推移から求める。

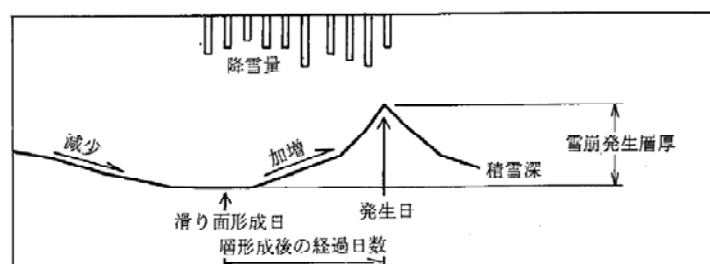


図 4-6-2 表層なだれの滑り面の形成状況

表層なだれは、積雪深がある程度以上多いときに更に多量の降雪があり、かつ、その降雪中の気温が低く、積雪深が急激に増加したときに発生しやすいと考えられる。そこで図 4-6-2 のように、無降雪期間が続き積雪深が減少している状態から急激な降雪により積雪深が増加し始める日を表層なだれの滑り面形成として、下式によって発生区でのなだれの深さを求める。これは、種々の観測データに基づく回帰分析により求めたものである。

$$h_0 = h_{\max} (0.5612 - 0.0513 \log_{10} D)$$

ここに D : 層形成後の経過日数 (日)

h_0 : D 日後の層厚 (cm)

$h_{\max}$: 層形成時の層厚 (cm)

なお、ここで層形成後の経過日数については、過去における各地域の一連続降雪日数の出現頻度について検討を行い、なだれ発生との関係から決定する。

表層なだれの発生層厚の一般的な値としては概ね1～2m前後が妥当である。

全層なだれの発生は、発生時期が融雪期であり、積雪全層がなだれとなるため、融雪期の積雪深から推定することが妥当である。

(出典) 集落雪崩対策工技術指針 (案) 本編・資料編 建設省河川砂防部監修・
(社) 雪センター H8.2

4-6-3 誘導工の衝突角度及び勾配

4-6-4 誘導擁壁工

4-6-4-1 誘導擁壁工の構造

4-6-4-2 誘導擁壁工の設計荷重

1 フェルミー式によるなだれ速度の算出

フェルミー式は、なだれを開水路の2次元的な流れとして取り扱ったフェルミー (Voellmy) の運動方程式から導かれた式で、3次元モデル式のように任意の地形上で運動するなだれの速度を計算することはできないが、なだれの走路は特定できることが多いので、簡単なこの式がよく用いられる。

(1) なだれ速度

$$V = \sqrt{\xi h (\sin \phi - \mu \cos \phi) - \{ \xi h (\sin \phi - \mu \cos \phi) - V_0^2 \} \exp(-2gs/\xi h)}$$

ただし V : なだれの速度 (m/s)

ξ : 乱流摩擦係数 (m/s²)

h : なだれの厚さ (深さ) (m)

ϕ : 傾斜角 (度)

μ : 動摩擦係数

V_0 : 初速度 (m/s)

g : 重力の加速度 (9.8m/s²)

s : 斜距離 (m)

(2) 動摩擦係数

動摩擦係数 μ は、なだれの底面摩擦を示す係数である。 μ の値は0～0.5で、特に0.14～0.33の範囲に集中するとされているが、次のSchaererの経験式を用いることが多い。この式を用いれば、一つのパラメータ ξ でVが計算できる。

$$\mu = \begin{cases} -0.01V + 0.6 & (0 < V < 10 \text{ m/s}) \\ 5/V & (V \geq 10 \text{ m/s}) \end{cases}$$

(3) 乱流摩擦係数

- ① 乱流摩擦係数 ξ は、なだれ層内部の乱れによる流動抵抗を示す係数で、 ξ の値が大きくなればなるほどなだれの流動性は増加し、速度は大きくなる。 ξ の値はなだれの種類、規模、運動形態のほかに発生区域や走路の地形等によっても変化し、300～3,000m/s²局所的には4,000m/s²になることもあるが、一般には次の値をとることが多い。

全層なだれ： $\xi < 1,000 \text{ m/s}^2$ で、おおむね400～600m/s²の範囲

表層なだれ： $1,000 \leq \xi \leq 3,000 \text{ m/s}^2$

- ② なだれの発生点、走路、到達点がわかっている場合は、走路を ϕ の変化に応じて適当な間隔に分割し、 ξ の値を仮定してなだれ速度式で到達点のVが0になるように試算を繰り返し、 ξ の値を決める。 ξ の値が決まれば走路途中のVが求められる。なだれの到達点がわかっていない場合は、降積雪、地形等の条件、種類、規模等の似たなだれについて得られた ξ の値を用いて速度を計算する。

2 補助柵の設計荷重

擁壁の天端に設置する補助柵の設計荷重は、適切な資料がない場合には、次の値をとってよい。

- (1) 煙型なだれの雪煙部分に対応する場合は、なだれの密度、速度を、擁壁本体におけるなだれ（本体部分）の1/2程度として、なだれの衝撃力を算出する。
(2) なだれの飛沫を防ぐ場合は、設計荷重を5kN/m²とする。

4-6-4-3 誘導擁壁工の種別

4-6-4-4 誘導擁壁工の基礎

4-6-5 誘導盛土工

4-6-5-1 誘導盛土工の構造

4-6-5-2 誘導盛土工の設計荷重

4-6-5-3 誘導盛土工の種別

4-7 減勢工

1 減勢擁壁

減勢擁壁は、コンクリート擁壁になだれを衝突させることによって、なだれのエネルギーを減少させるものである。構造は、防護擁壁工に類似しているが、透過性を持たせるために壁体に空間をあける場合がある。

2 減勢土塁

減勢土塁は、円形等の盛土を列状又は群状に配置し、なだれを衝突させることにより、なだれのエネルギーを減少させるものである。減勢土塁の前面は、できるだけ急勾配にし、なだれに対する抵抗を大きくする。また、表面は、雨水侵食等を防止するため、張芝等で保護し、上流側の表面をコンクリート又はコンクリートブロックで補強する。

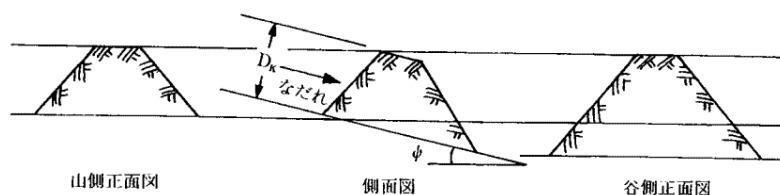


図 4-7-1 減勢土塁の模式図

3 減勢杵組

杵状に組んだ鋼管の横桁を主体とする型で、横桁になだれを衝突させ、空中に飛散させることによって、なだれのエネルギーを減少させる。表層なだれにも有効であるが、雪が飛散するため保全対象との間に十分な距離を確保する。

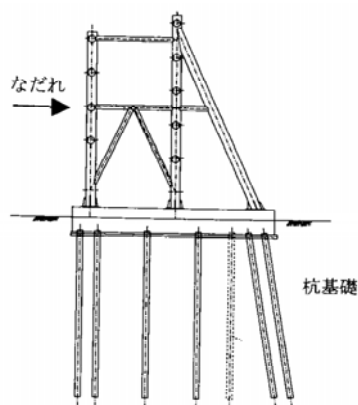


図 4-7-2 減勢杵組の模式図

4 減勢群杭

千鳥に配置した鋼管杭を主体とする型で、杭になだれを衝突させることによって、なだれのエネルギーを減少させる。構造が比較的簡単で飛雪は少ないが、乾雪表層なだれは通り抜けやすいので、杭間隔を密にする。

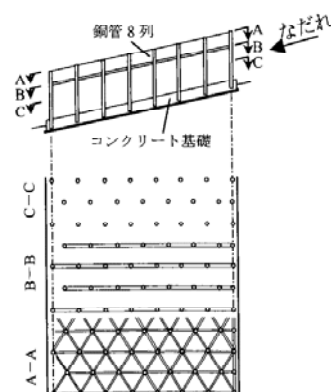


図 4-7-3 減勢群杭の模式図

4-7-1 減勢柵工

4-7-1-1 減勢柵工の位置

4-7-1-2 減勢柵工の高さ

4-7-1-3 減勢柵工の構造

4-7-1-4 減勢柵工の設計荷重

雪塊衝撃力の算出における雪塊の大きさ

雪塊の大きさを推定するのは困難なので、通常は、 $A=0.1\text{m}^2$ （断面を円とした場合、直径35cm）程度と考えてよい。

4-7-1-5 減勢柵工の種別

4-7-1-6 減勢柵工の基礎

4-7-2 減勢盛土工

4-7-2-1 減勢盛土工の位置

4-7-2-2 減勢盛土工の高さ

4-7-2-3 減勢盛土工の構造

4-7-2-4 減勢盛土工の設計荷重

4-7-2-5 減勢盛土工の種別

4-7-3 減勢杭工

4-7-3-1 減勢杭工の配置

4-7-3-2 減勢杭工の高さ・構造

4-7-3-3 減勢杭工の設計荷重

4-7-3-4 減勢杭工の種別

4-7-3-5 減勢杭工の基礎

4-8 防護工

4-8-1 防護擁壁工

4-8-1-1 防護擁壁工の位置

4-8-1-2 防護擁壁工の高さ

4-8-1-3 防護擁壁工の構造

4-8-1-4 防護擁壁工の設計荷重

4-8-1-5 防護擁壁工の種別

4-8-1-6 防護擁壁工の基礎

4-8-2 防護柵工

4-8-2-1 防護柵工の位置

4-8-2-2 防護柵工の高さ

4-8-2-3 防護柵工の構造

防護柵工によるなだれの捕捉

なだれが防護柵工に衝突した場合の捕捉性能については明確ではないが、模型実験により次の結果が得られている。

- 1 空隙率が大きくなると、阻止率は下がる。

- 2 水平部材が角である方が、丸より阻止率が高い。
- 3 衝突角度が直角の場合が阻止率が高い。

ただし、

空隙率：防護柵壁面の空隙の割合

阻止率：防護柵壁面を通過しなかった雪量の割合

衝突角度(α)：なだれが防護柵壁面に衝突する角度

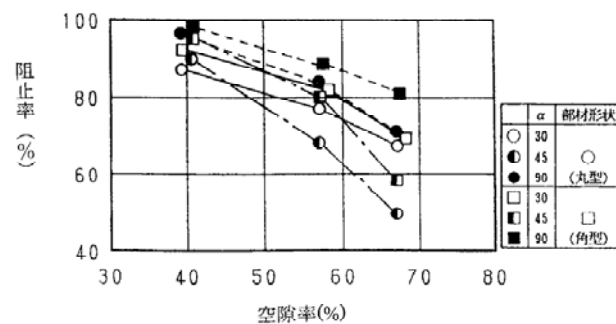


図 4-8-1 防護柵の空隙率と阻止率の関係(土木研究所1992を一部修正)

4-8-2-4 防護柵工の設計荷重

4-8-2-5 防護柵工の種別

4-8-2-6 防護柵工の基礎

4-8-3 防護盛土工

4-8-3-1 防護盛土工の位置

4-8-3-2 防護盛土工の高さ

4-8-3-3 防護盛土工の構造

4-8-3-4 防護盛土工の設計荷重

4-8-3-5 防護盛土工の種別

4-9 グライド防止工

4-9-1 グライド防止木柵工

4-9-2 丸太枠組工

4-9-3 木柵階段工

1 木柵階段高の構造

木柵階段工の高さは、50cm程度とし、グライド防止効果を高めるために階段幅が1m程度の切盛階段型とする。杭の打ち込み角度は、鉛直方向とする（図 4-9-1 参照）。

2 木柵階段工に用いる杭

杭は、一般に木杭を用いるが、耐久性のある鋼製のパイプを用いることもある。

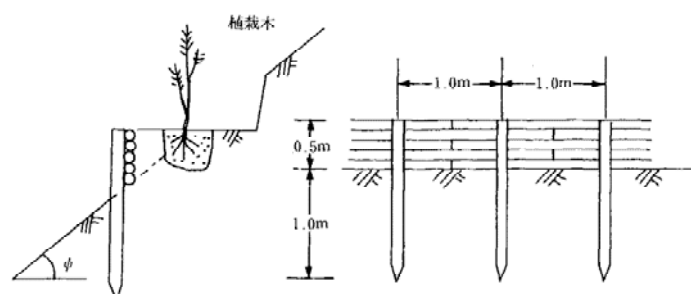


図 4-9-1 木柵階段工の模式図

4-9-4 杭工

1 杭工の構造

杭工の構造は、地上部の高さを50cm程度とし、杭を山腹斜面に鉛直に直接打ち込む簡単な形式とする（図 4-9-2 参照）。

2 杭工に用いる杭

杭は一般に末口9~12cm、長さ1.5m程度の木杭を用いる。木杭は、防腐処理をしても植栽木が成長する前に腐朽することがあるので、鋼製パイプを使用することもある。

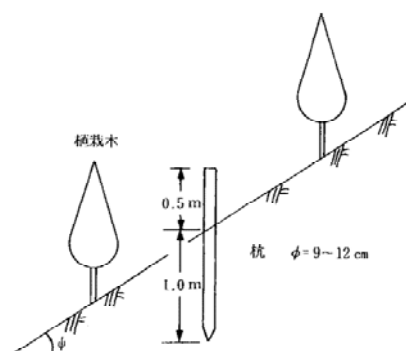


図 4-9-2 木杭工の模式図

4-10 森林造成

4-10-1 植栽工

4-10-1-1 植栽計画

4-10-1-2 植栽樹種

一般になだれ防止林に用いられる樹種を、表4-10-1に示す。

表 4-10-1 防風林に用いられる植栽樹種

針葉樹	スギ、モミ、トウヒ、エゾマツ、トドマツ、アカマツ、ヒメコマツ
広葉樹	クリ、オニグルミ、ホオノキ、ミズナラ、コナラ、ケヤキ、ブナ、イタヤカエデ等

4-10-1-3 植栽本数

1 植栽本数

なだれ防止林の植栽本数は、一般的に2,500～3,000本/haを標準とする。

2 全層なだれと立木密度

東北地方の積雪深1.5～2.0mの地帯における調査例によると、全層なだれが発生しない立木密度は次式で示される（石川ら, 1969）。

$$n=12,500 \frac{(\phi - 30) \cdot \sec \phi}{D^2}$$

ただし n：ha当たりの立木本数

ϕ ：斜面の傾斜（度，50度以下）

D：胸高直径（cm，5～20cm）

4-10-1-4 植栽方法

4-10-1-5 施肥

4-10-1-6 保育