

治山技術基準 第 3 編 防災林造成事業 解説

26 林整計第 895 号
平成 27 年 4 月 1 日
林野庁森林整備部長通知

第 1 章 定義及び目的

- 1 防災林造成は、森林の有する機能によって、主に次の目的を達成するためのものである。
 - (1) 飛砂の防備：林木の樹冠、林床植生等によって海岸の砂地を被覆して飛砂の発生の防止及び風速を軽減して、飛砂が保全対象に侵入することを防止する。
 - (2) 潮害の防備：主として林木の樹幹によって波のエネルギーを減殺して高潮又は津波の害を防止する。また、樹幹及び枝葉によって空気中の塩分を捕捉し、風速を緩和して海水塩分の侵入を防止する。
 - (3) 霧害の防備：林木の樹幹及び枝葉によって空気の渦乱流を発生させて霧を拡散し、霧粒を捕捉する。
 - (4) 風害の防備：林木の樹幹及び枝葉によって風に渦乱流を生じさせ、エネルギーを減殺し、風速を緩和する。
 - (5) 雪害の防備：林木の樹幹及び枝葉によって吹雪の発生、被害を防止する。
 - (6) なだれの防止：林木の樹幹及び枝葉によってなだれの発生の原因となる雪びの発生を防止するとともに山腹斜面の摩擦抵抗を大きくしてそれを抑止する。また、発生したなだれを林木の樹幹等により減勢又は阻止する。
- 2 防災林造成の対象地は、自然条件が厳しい箇所が多く、そのままでは森林の造成が困難な場合が多いため、防潮施設、防風施設、なだれ防止施設等により補完、保護し、森林の造成を図るものである。

第 2 章 区分

防災林造成の区分のうち、海岸防災林造成は、前述の解説 1 の(1)、(2)、(3)及び(4)、防風林造成は、(3)、(4)及び(5)、なだれ防止林造成は、(5)及び(6)の目的を主とするものである。

第3章 海岸防災林造成

第1節 海岸防災林造成の目的

- 1 我が国は、四方を海に囲まれて海岸線が長いことに加えて、夏は台風が頻繁に来襲し、冬は日本海側では北西の季節風が強く、飛砂、潮風、波浪、高潮等の被害を受けやすい。また、日本列島及びその周辺は世界的にも地震の多発地帯であり、津波災害もしばしば発生する。
- 2 海岸防災林造成は、海岸に防潮工を設けて波浪等による海岸の侵食を防止し、海岸砂地等を緑化し、森林帯を造成して飛砂の害、風害、潮害、霧害等を防止又は軽減するために実施する。
- 3 海岸付近は、良好な自然環境を持ち、レクリエーションの場としても価値が高いことから、自然環境の保全、レクリエーション活動にも配慮する。

第2節 調査

2-1 総説

- 1 海岸は、陸上及び海底地形、海象、気象、土壌条件等が局所的に大きく異なるため、その特性を把握し難い事項が多い。
このため、事業を合理的かつ経済的に実施するために、その目的、内容に即した調査計画をたて、これに基づいて適切な調査を実施し、必要な基礎資料を収集整備する。
- 2 調査の実施に当たっては、海岸防災林造成予定地及びその保全対象地区を区分し、計画地区と保全対象との関係を明らかにする。

2-2 調査項目

- 1 調査項目は、施工区域の決定、工法の選択、基礎地盤の把握等、事業の計画及び設計に直接必要な事項のほか、他事業との調整等の事業の円滑な推進を図るために必要な事項とする。調査に当たっては、事業の目的、内容に応じて必要最小限の項目で効率的に実施する。
- 2 海岸防災林造成の種別は、波浪、高潮及び津波の侵入並びに海岸の侵食を防止・軽減する防潮工、飛砂を防止し防風を図る砂丘造成・森林造成に大別され、その調査内容も自ら選定される。
- 3 標準的な調査項目は次のとおり。
 - (1) 地形調査
 - (2) 土壌調査
 - (3) 土質・地質調査
 - (4) 地震・液状化調査
 - (5) 地下水位等調査
 - (6) 気象調査
 - (7) 海象・漂砂調査
 - (8) 林況・植生調査
 - (9) 荒廃現況調査

- (10) 環境調査
- (11) 社会的特性調査
- (12) その他の調査

表2-2-1 主な種別と調査項目

調査項目 種別	地形	土壌	土質 地質	地震 ・ 液状化	地下 水位等	気象	海 象 ・ 漂 砂	林 況 ・ 植 生	荒廃 現況	環境	社会 的 特 性
防 潮 工	○		○	○		○	○	○	○	○	○
砂丘造成	○		○			○	○	○	○	○	○
森林造成	○	○			○	○	○	○	○	○	○

2-3 調査手順

- 1 予備調査は、現地調査を効率的に実施するため、既存の資料・文献の収集を行う。潮位、風速、波高等については、その使用目的に合致した精度のものを収集する。
- 2 現地調査は、現地の状況を把握するため、より詳細に踏査を行い、必要に応じて地元住民からの聴き取り、観測、測定、測量等を行う。
- 3 調査資料の取りまとめに当たっては、各種調査の結果を総合的に検討し、海岸防災林造成の計画及び設計に必要な基礎資料を作成する。

2-4 地形調査

地形調査は、防潮工、砂丘造成、森林造成の配置(位置、方向等)、規模、構造等を決定するために行うものであり、陸上地形の調査と海底地形の調査とに分けられる。

特に海底地形は、波の屈折、波高変形を通じて設計波高等と密接な関係を有しており、防潮工の計画及び設計に当たっての重要な事項である。

一般に、図2-4-1に示す範囲について基準点を設けて調査を行う。工種、事業の目的を十分に把握して、調査範囲を適切に決定する。

2-5 土壌調査

- 1 土壌調査は、事業対象地への植生導入の可能性、導入植生の種類の決定を検討する上で重要な調査である。
- 2 土壌調査は、第2編山地治山事業第2章第4節「土壌調査」に準ずるが、海岸防災林造成においては、特に砂の粒径、塩分含有量等について留意して調査する。

2-6 土質・地質調査

- 1 土質・地質調査は、砂地への植生導入の可能性、防潮工等の構造及び基礎の安定性等を検討する上で重要な調査である。

- 2 防潮工は、砂質土や粘土質の軟弱地盤に設けることが多い。特に透水係数の大きい砂質地盤や河口部付近、河跡地等の干潮位付近のシルト質地盤では、構造物の沈下、破壊が生じやすい。

また、地下水位が高いと植栽木の根系の生育に支障を生ずる原因となる。

したがって、調査に当たっては、地盤の成層状態、せん断特性、圧密特性、液状化特性、その他の土質試験、透水性、及び地下水位（残留水位）等の試験・調査を実施する。

- 3 調査は、第2編山地治山事業第2章第3節「土質、地質調査」に準ずるが、海岸の調査では一般に次のような調査が用いられている。

(1) オープンカット調査

オープンカット調査は、調査深度が比較的浅い場合に人力又は機械を用いて試掘を行い、土質の観察や試料を採取する最も簡単かつ確実な方法である。

(2) ボーリング調査

ボーリング調査は、地盤の土質・地質特性を把握するために、コアの採取・判読とともに、標準貫入試験により地盤の特性を把握する方法である。また、必要に応じてサンプラーを併用して試料を採取する。防潮工の基礎地盤を調査する場合には、支持力が確認できる深度まで行う。

(3) サウンディング調査

サウンディング調査は、土層の貫入、回転、引き抜き等の抵抗を計測し、地盤の土質特性を把握する方法である。

(4) 土質試験

土質試験は、採取された試料の力学的特性、物理的特性を調べるために実施する室内試験である。

2-7 地震・液状化調査

- 1 地震・液状化調査は、耐震、耐津波性能を考慮する防潮堤、防潮護岸及びそれに準じる重要度の高い構造物について行う。
- 2 地震調査は、事業対象地周辺で発生した過去の地震について、地震の規模、発生位置、発生頻度等について資料の収集・整理を行う。
- 3 液状化調査は、事業対象地周辺で発生した過去の液状化被害について、被害の規模、発生位置、発生範囲、被害後の対策等について資料の収集・整理を行う。
- 4 液状化の判定手法には、粒径分布、等価N値等による簡易判定法と、振動三軸試験による判定法がある。一般的には、簡易判定法によって液状化判定を行うが、重要ゼロメートル地帯等、重要度の高い構造物については、振動三軸試験による方法を併用することが望ましい。

簡易予測手法では、標準貫入試験、土の粒度試験、土の液性限界・塑性限界試験を、振動三軸試験による予測法では、繰り返し三軸試験を実施する。

2-8 地下水位等調査

- 1 地下水位等調査

地下水位等調査は、海岸防災林造成箇所において、植栽木の根系、特に津波等の外力

に抵抗するために必要な鉛直根の十分な発達が可能か否かを確認するため、必要な生育基盤の厚さの基準となる下面の高さ（以下「計画基準地下水位」という。）を検討する調査である。

2 調査の種類

地下水位等の調査は、直接観察調査、間接的調査、塩分濃度調査があり、海岸防災林造成範囲、地形、表層地質、土壌、防潮堤や護岸工等の地下水位を規制する構造物などを考慮して必要な調査を実施する。

(1) 直接観察調査

直接観察する方法は、根系及び土壌の掘削調査、地下水位観測調査などがある。

(2) 間接的調査

間接的調査は海岸防災林造成地内の池沼の水位、近接する河川の水位、潮位などから計画基準地下水位を推定する方法があるほか、観測した地下水位の変動解析を行い観測期間前後の地下水位を推定する方法がある。

(3) 塩分濃度調査

塩分濃度調査は計測器により塩分濃度を直接計測する方法と電気伝導率から換算する方法、水素イオン指数（pH）から地下水の性質を判断する方法などがある。

3 根系及び土壌の掘削調査

一般的な樹木の根系は土壌の過湿や滞水の影響で根系の回りの土壌中の酸素が不足すると新しい根の発生が不可能となる。過湿や滞水が短期であれば地下水位で根系の先端が奇形するなどして鉛直方向への成長が停止するにとどまるが、長期にわたると枯死する。また、硬度が高い層にあたった場合も根系の成長は阻害される。

掘削調査による鉛直根の発達状態、グライ層や斑鉄の状況、土壌硬度を直接観察することで最も適切に計画基準地下水位を把握できる。

4 地下水位観測調査

観測孔を設置して地下水位の変動を把握する場合は、次による。

(1) 調査深度

計画基準地下水位からの生育基盤厚さが最大で3m程度必要とされることから、水位観測孔による調査深度は地表から3mを最深とし、観測機器設置等に必要な余掘は別途考慮する。

(2) 観測時期、観測期間

梅雨や秋雨の霖雨、台風等による集中豪雨が発生しやすい時期、潮位の季節変動及び融雪時期等を含む適切な調査時期並びに降水量の多寡を考慮して、地下水位の変動を把握できるよう必要な調査期間を検討する。

(3) 観測間隔

日単位の最高・最低・平均水位等が分析可能な間隔で観測する。なお、潮位の影響が大きい位置における日1回程度の観測の場合、観測値が過小又は過大となる可能性が高いため、観測間隔は1時間程度が望ましい。

(4) 調査位置、調査間隔及び調査箇所数

地下水位の変動に影響を与える次の点に考慮して調査位置、調査間隔及び調査箇所数を検討する。

- ① 汀線に近い箇所では潮汐の影響
- ② 起伏のある箇所では動水勾配の把握
- ③ 河口付近では河川水の流入、旧河道の位置
- ④ 防潮堤、河川護岸、その他の人工構造物による規制
- 5 周辺の水位調査

海岸防災林造成地内の池沼の水位、近接する河川の水位及び潮位等を参考とする場合、陸域で生じる毛細管現象等による地下水位上昇を考慮して計画基準地下水位を検討する。
- 6 地下水位の変動解析

霖雨や豪雨などが反映されず計画及び設計に必要な地下水位を十分に観測ができなかった場合は、

 - ・ タンクモデルやシミュレーションにより地下水位の変動を解析することで、降水量や潮位など地下水位に影響を与える要因の時系列データがあれば観測期間及び観測期間以前の地下水位の再現
 - ・ 確率降水量を用いることで、任意の降水量に対する地下水位の予測が可能である(以下「解析地下水位」という。)

タンクモデルによる再現又は予測計算方法を用いると、その観測が困難な融雪量も地下水位に反映することが可能である。
- 7 塩分濃度調査

地下水や土壌の塩分濃度が高いと根系の鉛直方向への十分な発達が見込めないことから必要に応じて塩分濃度を調査する。

塩分濃度が高い場合には、最高水位を計画基準地下水位とする必要があるため、最高水位を調査する。
- 8 排水工の効果

地下水位を低下させるための暗きょ工などを計画する場合は、計画基準地下水位の決定にその効果を反映させる。

2-9 気象調査

- 1 気象調査の調査項目は第2編山地治山事業第2章第6節「気象調査」に準ずる。
- 2 海岸防災林造成においては、特に風向、風速等の風に関する調査が重要であり、風速は、10分間平均風速、最大瞬間風速等を調査する。

また、風向は、16方位で表し、卓越風向を明らかにする。
- 3 高潮の最大潮位偏差の推算を行う場合、台風や低気圧が事業対象地に接近、通過した時の最低気圧、最大風速、風向について調査する。

2-10 海象・漂砂調査

- 1 海象とは、海水の運動であり、その運動現象は次のように分類される。
 - (1) 周期的に変化する現象
 - ① 潮波、慣性波：周期が約1日
 - ② 潮汐、潮汐流（潮流）、内部潮流：周期が約半日

- ③ 波浪、内部(動力)波：周期が半日以下
 - (2) 突発的な現象
高潮、津波等
 - (3) 非周期的な現象
海流、吹送流、湧昇流
- 2 漂砂とは、波や潮の流れ等の外力により海浜底質が移動する現象又は移動物質をいう。広義には、風による砂の移動現象又は移動物質（飛砂）を漂砂の中に入れて定義する場合もある。

2-10-1 潮位調査

1 調査する潮位

海面の水位は、潮汐、高潮、津波等によって変動することから、その実測値又は推定値に基づいて、事業対象地の朔望平均満潮位、朔望平均干潮位、既往最高潮位などを求める。

2 潮位の基準面と各潮位の関係

- (1) 海岸防災林造成の場合は、国土交通省河川局・農林水産省農村振興局による海岸工事と同様に、陸上工事などとの関連で、東京湾平均海面（T.M.S.L.又はT.P.）を基準面とする。
- (2) 海図の水深は、船舶の航行を考慮して、海上保安庁長官が公示した最低水面からの深さが示されており（平成14年4月1日施行、水路業務法施行令）、基本水準面（C.D.L）が基準となっている。
- (3) 国土交通省港湾局・水産庁による海岸工事は、港湾、漁港施設との関連で、国土交通省令で定められた基本水準面（C.D.L）を基準面として用いているので、これに隣接して計画する場合には双方の基準面の関係に注意を要する。なお、河川工事等においては、河川ごとの基準面を使用しているので注意を要する。
- (4) 主な潮位・基準面の定義は、次のとおりである。

表 2-10-1 主な潮位・基準面の定義

名称 (略号)	定 義
既往最高潮位 (H. H. W. L.)	過去において観測された最高の水面の高さであり (Highest high water level)、潮汐のみ起因せずに、高潮・津波などの影響を受けている。
朔望平均満潮位 (H. W. L.)	潮汐により朔(新月)の前2日、望(満月)の日から4日以内に表れる各月の最高潮位を平均した水面の高さであり (High water level)、各月の最高満潮位の平均値である。
朔望平均干潮位 (L. W. L.)	潮汐により朔(新月)の前2日、望(満月)の日から4日以内に表れる各月の最低潮位を平均した水面の高さであり (Low water level)、各月の最低干潮位の平均値である。
東京湾平均海面 (T. M. S. L.、T. P.)	東京湾における平均水面 (Tokyo mean sea level)。国土地理院の地形図における高さの基準として用いられる。T. P. は、オランダ語の水準面 (Tokyo Peil) の略である。
平均潮位 (M. S. L.、M. W. L.)	ある期間の海面の平均高さをその期間の平均潮位をいう (Mean sea level、Mean Water Level)。
平均満潮位 (M. H. W. L.)	ある期間の満潮時の潮位を平均した海面の高さをいう (Mean Height Water Level)。
平均干潮位 (M. L. W. L.)	ある期間の干潮時の潮位を平均した海面の高さをいう (Mean Low Water Level)。
基本水準面 (C. D. L.)	海図で海の深さを表す基準面を基準水準面という (Chart Datum Level)。平均水面から主要4分潮(主太陰半日周潮、主太陽半日周期、日月合成日周潮、主太陰日周期)の振幅の和だけ下方にとった水面として定義されている。

注) S. W. L. : 静水面 (Still Water Level)

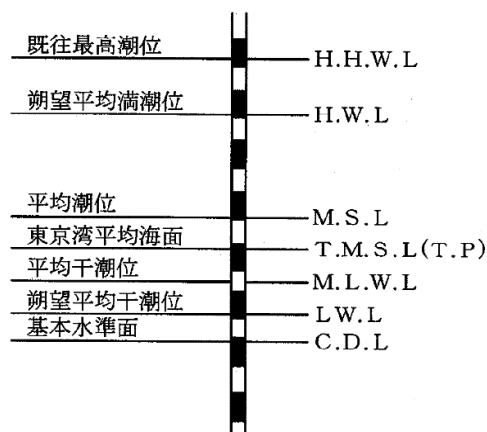


図2-10-1 東京湾平均海面と各潮位との関係

3 潮汐（天文潮）

- (1) 海面の水位は、天体による潮汐のほか、気圧の変動、長周期の波浪、水面の振動、風の吹き寄せ等によって変化しており、これを潮という。
- (2) 潮汐とは、主に月や太陽の引力が合成されて起潮力となり、海面が周期的に昇降する現象で、これを天文潮という。また、潮汐によって生ずる流れを潮流という。
- (3) 満潮と干潮の差である潮差は、地域的に差があり、日本海沿岸では小さく、太平洋沿岸では大きい。日本各地の潮汐の予報には、海上保安庁海洋情報部が作成している潮汐表と気象庁が作成している潮位表がある。潮汐表第1巻には、日本各地の標準港（71港）における毎日の満干潮の潮時・潮位の予報値と746港の予報値を得るための資料が掲載されている。潮位表には、全国66箇所における毎日の満干潮の潮時・潮位の予報値が掲載されている。
- (4) 海岸防災林の造成を計画する地点は、潮汐表の標準港又は潮位表の検潮所から離れ、しかもその地点での過去の潮位記録がない場合がある。こうした場合は、次の方法によって潮汐を求める。
 - ① 計画地点に検潮標を仮設して、近傍の標準港又は検潮所の潮位記録との関係を求める。この場合は、少なくとも一週間以上連続して観測を行う。
 - ② 前記(①)の方法が採用できない場合には、簡便法として、標準港又は検潮所との距離から潮位の改正数（標準港又は検潮所の潮位に対する補正数）を求めて、潮位を計算する。

4 高潮

- (1) 高気圧、低気圧の通過に伴う気圧変動や風などの気象に起因する海面の変動を気象潮というが、このうち、台風や低気圧による気圧の降下と暴風による吹き寄せ効果のために発生する異常潮位を高潮（たかしお）と呼んでいる。また、異常潮位の観測潮位から、推定天文潮位を差し引いた値を潮位偏差という。
- (2) 高潮による最大潮位偏差は、気圧降下量による静的な海面上昇量と風の吹き寄せによる上昇量の和として、次式で推定できる。

$$\zeta = a(p_0 - p) + bW^2 \cos \theta + c$$

ただし ζ : 高潮による最大潮位偏差 (cm)

p_0 : 基準気圧 (1,013hpa)

p : 最低気圧 (hpa)

W : 最大風速 (m/s)

θ : 主風向と最大風速の風向のなす角 (度)

a、b、c : 各地点ごとに定まる定数であり、表2-10-2のように求められている。

表2-10-2 最大潮位偏差を与える実験式の定数

地 名	a	b	主風向	統計期間	資料 個数	地 名	a	b	主風向	統計期間	資料 個数
稚 内	0.516	0.149	WNW	'60~'68	38	大 阪	2.167	0.181	S.6.3°E	'29~'53	28
網 走	1.296	0.036	NW	'61~'68	29	神 戸	3.370	0.087	S24°E	'41~'87	31
花 咲	1.12	0.02	SE	'70~'79	38	洲 本	2.281	0.026	SSE	'50~'60	10
釧 路	1.316	0.016	SW	'54~'68	33	宇 野	4.109	-0.167	ESE	'50~'60	8
函 館	1.262	0.023	S	'55~'68	35	呉	3.730	0.026	E	'51~'56	4
八 戸	1.429	0.015	ENE	'57~'60	7	松 山	4.303	-0.082	SSE	'50~'56	7
宮 古	1.193	0.012	NNW	'58~'60	6	高 松	3.184	0.000	SE	'50~'56	9
鮎 川	1.346	0.020	SE	'45~'59	9	小松島	1.720	0.019	SE	'50~'60	10
銚 子	0.622	0.056	SSW	'51~'59	6	高 知	2.385	0.033	SSE	'50~'60	8
布 良	1.935	0.012	SW	'57~'60	7	上佐清水	1.428	0.022	S	'50~'57	10
東 京	2.332	0.112	S29°W	'17~'87	22	宇和島	2.330	-0.012	SSE	'50~'56	7
伊 東	1.128	0.005	NE	'51~'66	30	油 津	1.005	0.036	SE		6
内 浦	1.439	0.024	SW	'51~'66	29	鹿児島	1.234	0.056	SSE		6
清水港	1.350	0.016	ENE	'51~'66	36	枕 崎	0.973	0.040	S		4
御前崎	1.324	0.024	NE	'51~'66	18	那 覇	1.117	0.015	N9°E	'69~'87	19
舞 阪	2.256	0.080	S	'51~'66	29	三 角	1.185	0.154	SSW		11
名古屋	2.961	0.119	S33°E	'50~'87	29	富 江	1.094	0.027	SE		5
鳥 羽	1.825	0.001	ESE	'50~'59	7	下 関	1.231	0.033	ESE		10
浦 神	2.284	0.025	SE	'50~'61	6	浜 田	1.17	0.021	NNW	'50~'59	6
串 本	1.490	0.036	S	'50~'60	10	境	0.48	0.027	ENE	'50~'59	6
下 津	2.000	0.022	SSW	'34~'60	13	宮 津	1.43	-0.014	NE	'50~'59	14
和歌山	2.608	0.003	SSW	'30~'60	12						
淡 輪	2.552	0.004	SSW	'53~'60	8						

定数cは、浜田-12.9、境+15.4、宮津-4.8を除き零(0)である。
主風向の「S29°W」は南から29°西寄りの方向であることを示す。

5 セイシュ・副振動

周囲の閉じられた湖水や入口の狭い湾等で、内部の水が外力の変化に応じて起きる一定の周期をもった自己振動をセイシュという。また、湾の端が外海に通じ、自由に水の出入りができるような場合に湾内に現れる振動を副振動という。海岸施設で問題となるのは、副振動であり、設計に際して考慮する副振動の諸元は、振動周期及び振幅であるが、実測で求めることが望ましい。

2-10-2 波浪調査

1 波の種類

(1) 波は、外力の種類によって、重力波、表面張力波、内部波及び潮波等に分類されるが、海岸防災林造成で対象とするのは周期が数秒から数十秒の重力波である。

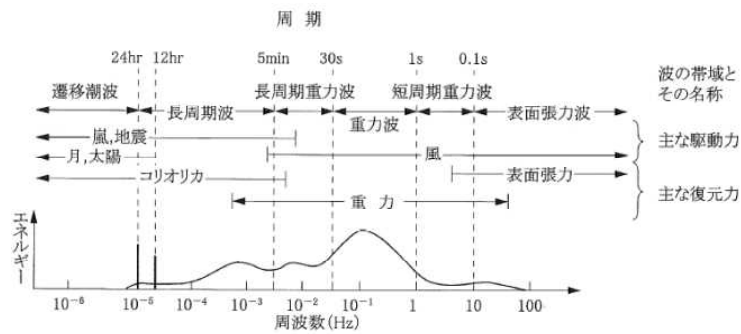


図 2-10-2 波の分類

(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

(2) 重力波は、風、地震、海底の隆起又は陥没等によって起こる波を総称したもので、次の二つに分類される。

①風波：観測地付近の風によって、直接発生した波をいう。

②うねり：遠隔地で風等によって発生した波が伝わってきたものをいう。

重力波は、海面上で観測される水面は不規則な波動をしており、このような波を不規則波という。これに対して、図 2-10-3 の(a)(b)で示すように、一定の水深(h)の場所を、一定の波高と周期で進行する理想的な波を規則波と称している。また、規則波を非線形性の観点からみると、正弦波に近い波形を示す微小振幅波(a)は、波形勾配が非常に小さい場合に出現する。これに対して、上下非対称な有限振幅波(b)は、波形勾配が大きい場合に出現する。

2 波の基本的性質(波の諸元)

波の基本的性質は、次のように波高、波長、周期、波速、波向及び波形勾配で表す。

波高(H)：連続する波の山と谷の高さの差をいう。

周期(T)：連続する波の山と山又は谷と谷との時間間隔をいう。

波長(L)：連続する波の山と山又は谷と谷との距離をいう。

波速(C)：波の伝わる速度をいう。

波向(α)：波の進行方向で、一般に真北を基準として東周りに16方位で表す。

波形勾配：波高を波長で除した値(H/L)をいう。

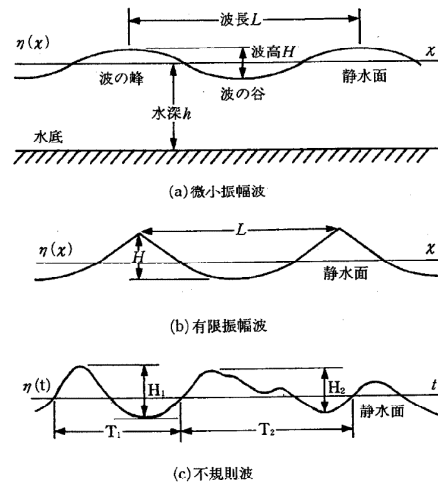


図 2-10-3 波の形

3 波の定義

海岸防災林造成の計画及び設計に用いる波は、次のような定義の波を用いる。

(1) 有義波

有義波は、一波ごとに変化する波高、周期を、統計的な代表値で表した仮想的な波であり、ある海域で定常的な観測期間の不規則な波群を統計処理して求められたものである。

有義波高 ($H_{1/3}$) は、ある波群中、約100波以上の連続した波（一般に10～20分連続した波）の観測記録の中から波高の大きい順に並べて全波数の1/3を選び出して、それらの波高を平均したものである。有義波周期 ($T_{1/3}$) は、選び出した波の周期を平均したものである。

(2) 最高波

最高波は、ある波群中で最大の波高を持つ波をいう。最高波の持つ波高を最高波高 ($H_{\max}$)、最高波の持つ周期を最高波周期 ($T_{\max}$) とする。

(3) 1/10最大波

1/10最大波は、有義波と同様な方法で波高の最も大きいものから順に並べて全波数の1/10を選び出して、それらの波高及び周期の平均値に等しい波高及び周期を有する仮想的な波をいう。1/10最大波の波高を1/10最大波高 ($H_{1/10}$)、その周期を1/10最大波周期 ($T_{1/10}$) とする。

(4) 平均波

平均波は、ある波群中で、波高又は周期を全体の波数で平均した値の波をいう。平均波の波高を平均波高 (H_{mean})、その周期を平均波周期 (T_{mean}) とする。

(5) 有義波高、最高波高、1/10最大波高及び平均波高等相互の関係

有義波高 ($H_{1/3}$)、最高波高 ($H_{\max}$)、1/10最大波高 ($H_{1/10}$) 及び平均波高 (H_{mean}) の間には、ほぼ次のような関係があることが認められている。なお、 $H_{\max}/H_{1/3}$ の値は、観測波数 (N) が多くなるにつれて大きくなり、表 2-10-3 のようになる。

$$H_{1/3} = 1.60 H_{\text{mean}}$$

$$H_{1/10} = 1.27 H_{1/3} = 2.03 H_{\text{mean}}$$

$$T_{1/10} = T_{1/3} = T_{\max} = 1.2 T_{\text{mean}}$$

表2-10-3 $H_{\max}/H_{1/3}$ の最多値とNとの関係

N	50	100	200	500	1,000	10,000
$H_{\max}/H_{1/3}$	1.42	1.53	1.64	1.77	1.86	2.15

ただし、 $H_{\max}$ は、N波中の最高波高である。

(6) 不規則波のスペクトル

多方向不規則波のスペクトルは、周波数スペクトル $S(f)$ と方向関数 $G(\theta, f)$ の積として表現される。

まず、波の不規則性を表す周波数スペクトルとしては、ブレットシュナイダー・光易 (Bretschneider-Mitsuyasu) 型やジョンスワップ (JONSWAP) 型など様々な式が提案されており、数値計算等で用いられている。このうち、ブレットシュナイダー・光易型スペクトルは、次式で表される。

$$S(f) = 0.258H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3}f)^{-4}]$$

なお、水理模型実験では、修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトルを用いることがある。

一方、波の多方向性を表現する方向関数としては、SWOP型や光易型などがある。ここでは、光易型方向関数を示す。

$$G(\theta, f) = G_0 \cos^{2S} [(\theta - \theta_0)/2]$$

$$G_0 = 1 / \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \cos^{2S} [(\theta - \theta_0)/2] d\theta$$

$$f_p = 1/(1.05T_{1/3})$$

$$f < f_p \text{ の時 : } S = S_{\max} (f/f_p)^5$$

$$f \geq f_p \text{ の時 : } S = S_{\max} (f/f_p)^{-2.5}$$

$$S_{\max} = 11.5 (2\pi f_p U_{10}/g)^{-2.5}$$

ここに、 θ : 波向、 θ_0 : 方向関数のピーク波向、 S : 方向集中度パラメーター、 $S_{\max}$: 方向集中度パラメーターの最大値、 f : 周波数 (1/s)、 f_p : ピーク周波数 (1/s)、 $\theta_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$: 波の来襲範囲で $\theta_0=0^\circ$ の時 π 、 $-\pi$ 、 U_{10} : 海面上10mの風速 (m/s)、 g : 重力加速度 (m/s²)。

ただし、太平洋側の台風によるうねりを伴った波浪、日本海側の冬期風浪による波浪、内湾の吹送距離が短い波浪など、施設の設計対象海域によって波の特性は異なる。したがって、設計対象海域の波浪観測データに基づいて、適切なスペクトルを設定する。

(7) 沖波

波が海底の影響をほとんど受けず変形することなく進行する波で、水深が波長の1/2以上の海域における波をいう（深海波）。なお、水深が波長の1/2より浅い海域の波は浅海波とよばれ、海底の影響を受けて波長、波高が変化する（浅水変形）。沖波の波高を沖波波高（ H_0 ）、その周期を沖波周期（ T_0 ）とする。また、沖波の波長（ L_0 ）は、微小振幅波理論により次式で表される。

$$L_0 = (g/2\pi)T_0^2 = 1.56 \cdot T_0^2 \quad (\text{m})$$

ただし、 L_0 ：沖波の波長（m）

T_0 ：沖波の周期（s）

(8) 換算沖波波高

換算沖波波高（ H_0' ）は、沖波波高（ H_0 ）に平面的な地形変化による屈折及び回折の効果を補正した仮想的な波高である。海岸防災林造成では、沖波波高（ H_0 ）、換算沖波波高（ H_0' ）として有義波高（ $H_{1/3}$ ）を用いる。

(9) 砕波

砕波とは、波が海岸に近づき、水深が浅くなると波形が次第に前傾して空気を含むようになり、ついには波形が保てなくなり波が碎ける現象である。砕波点付近の波高（ H_b ）は、波が沖合から岸に伝わる過程において、最大の波高をもち、構造物の設計上重要となる。

4 沖波の推算

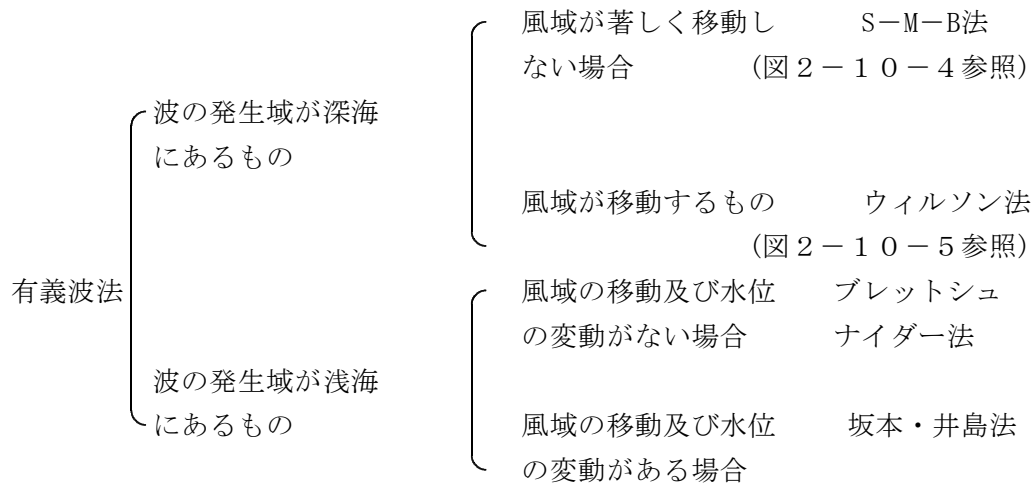
(1) 沖波は、信頼できる実測値に基づいて決定する。実測値が得られない場合には、近傍隣接地等で気象条件（風速、風向、気圧の特性）及び海象条件（波浪、潮汐、潮流の特性）の類似した箇所の実測値又は気象条件等（主として風）に基づく推算値等によって合理的に決定する。

(2) 沖波の推算は、一般には有義波法とスペクトル法に大別できる。

① 有義波法による沖波推算の方法

有義波法には深海において、一定の風が吹く場合に適したS-M-B法、風が時間的、空間的に変動する場合に適したウィルソン法、浅海域での推算に拡張したブレットシュナイダー法、浅海での変動風域に対応できる坂本・井島法等がある。

その種類と適用範囲は次のとおりである。



具体的な例では、日本海側等において冬季季節風により発達する波に対しては、S-M-B法が、また、台風及び移動性低気圧によって発達する波については、ウィルソン法等が用いられる。ただし、日本海側でも低気圧の進行経路によってはうねりの影響を考慮する必要がある。

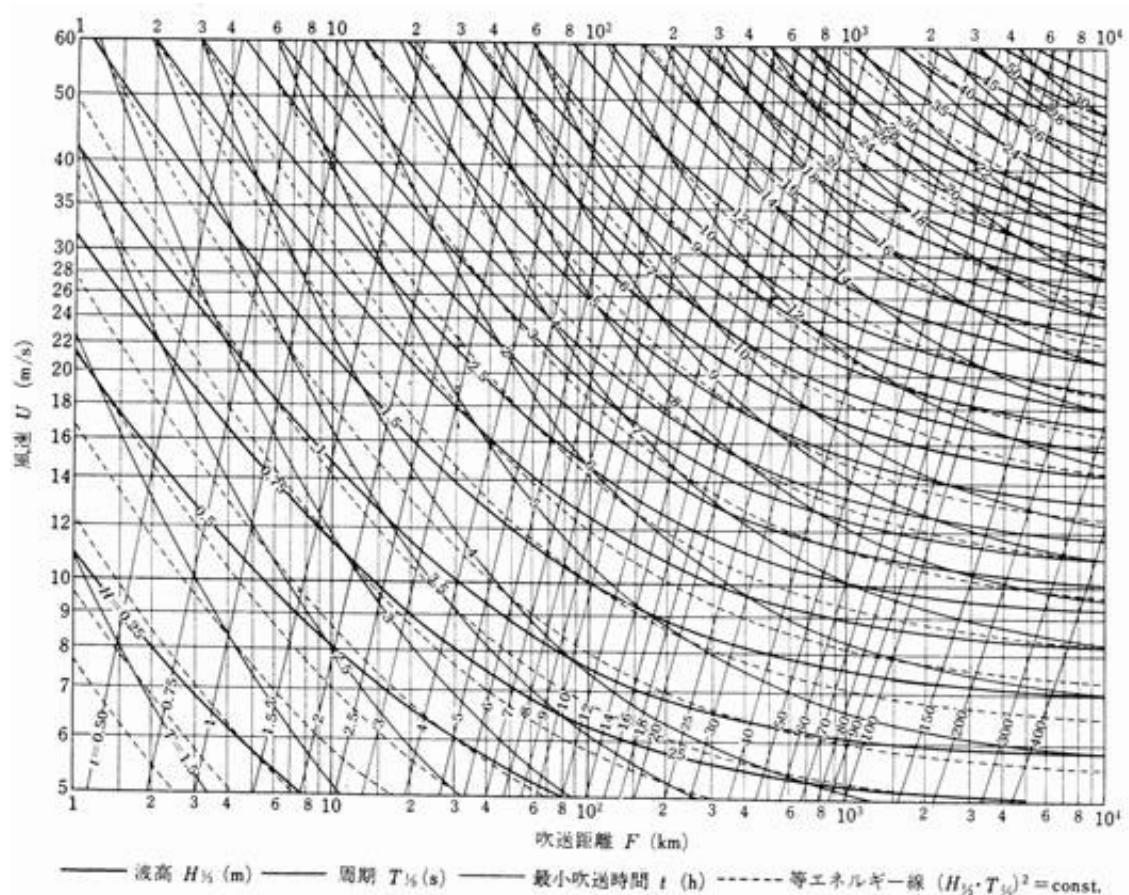


図2-10-4 S-M-B法による波浪予知曲線

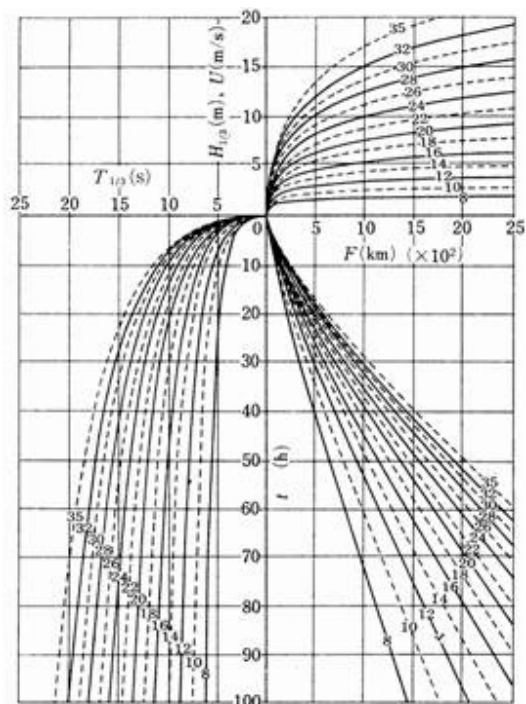


図 2-10-5 ウィルソン法による $H_{1/3}$ - t - F - $T_{1/3}$ 図

② スペクトル法による沖波推算の方法

波浪スペクトル法は、波の不規則な性質をスペクトルで表し、単一の周波数に対応する成分波の方向スペクトルの発生・発達・減衰・伝播過程を計算した後、周波数と方向について2重積分を行うことにより全エネルギーを求め、これに基づき波浪諸元を算出する推算法である。

代表的な解析モデルの概要を表 2-10-4 に示す。

表 2-10-4 代表的な平面波浪場の解析モデルの概要

波の不規則性及び多方向性並びに各種変形現象 代表的な波浪変形解析モデル	浅水変形	屈折	回折	多重反射	碎波	多方向性	不規則性	特記事項
エネルギー平衡方程式	◎	◎	▽	×	○	◎	◎	・定常状態の解析法 ・一次反射は考慮可能
高山の方法	×	×	◎	◎	×	◎	◎	・定常状態の解析法 ・水深を一定とした簡便法
非定常緩勾配方程式 数値波動解析法	◎	◎	◎	◎	○	○	○	・規則波の時系列解析法 ・不規則性及び多方向性は、成分波重ね合わせ法とした場合
非定常緩勾配不規則波動方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	・多方向不規則波の時系列解析法
ブシネスク方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	・多方向不規則波の時系列解析法 ・弱非線形性及び弱分散性を考慮

◎:基本形で適用可能 ○:応用形で一般的適用可能 ×:適用不可能
▽:基本理論では考慮されていないが実用上可能

(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

このうち、「エネルギー平衡方程式」は、施設に対する設計波高として不可欠である換算沖波波高の算定で一般的に用いる。この方法は、多方向不規則波として取り扱いができ、計算時間も少ないことから、実務に適している。

エネルギー平衡方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial S(f, \theta)}{\partial t} + C_g \nabla S(f, \theta) = F_{\text{net}}(f, \theta)$$

上式は、風によって発生・発達し、減衰する波浪の方向スペクトルの時間的・空間的变化をエネルギー平衡方程式の数値解として求めるものである。ここに、左辺の第1項はスペクトルエネルギー $S(f, \theta)$ の局所的な時間変化を表し、第2項はスペクトルエネルギーの移流効果による変化を表す。 C_g は群速度である。また右辺の $F_{\text{net}}(f, \theta)$ はスペクトル成分の変化に関わるエネルギーの入出力を表す項でエネルギーソース関数と呼ばれ、一般に、次の3つの物理機構に分けて扱われる。

$$F_{\text{net}} = F_{\text{in}} + F_{\text{n1}} + F_{\text{ds}}$$

F_{in} は風波が発達するための外力となる風から波へとエネルギーが輸送される効果を表す。 F_{in} は一般にPhillipsの共鳴理論とMilesのせん断流理論によるものを加えて、

$$F_{\text{in}} = \alpha + \beta S(f, \theta)$$

と表現され、パラメータ α と β は種々の観測データと照合することによって定式化されている。

F_{n1} は波数の異なる4つの成分波間でエネルギーがやりとりされて、波浪のエネルギーの再配分を行う非線形相互作用を表す。4波の非線形相互作用は、波浪のエネルギーの総和を変えることはないが、方向スペクトルの形状を変化させる。

F_{ds} は砕波や内部粘性等により波浪のエネルギーが消散する効果を表す。

これらのソース項が与えられれば、エネルギー平衡方程式を差分方程式に変換できる。すなわち、対象海域を適当な格子間隔でメッシュに分け、外部条件として風を与えて、適当な初期条件と境界条件のもとに、差分方程式を解けば、方向スペクトルの時間的・空間的変動を求めることができる。

(3) 有義波法と波浪スペクトル法

有義波法は波浪スペクトル法に比べ、多くの観測値に基づく検証結果や過去の計算実績による裏付けのある実用的な波浪の推算法である。有義波法と波浪スペクトル法とではピーク波高の推定精度に関して両者に大きな差異はない。しかしながら波浪スペクトル法は、波浪の物理的な取り扱いにおいて有義波法より優れている点が多く、有義波法で問題となる以下の点を考慮する際には、波浪スペクトル法を用いた方がよい。

- ① 本来不規則である波を単一の有義波で代表させ、その発達状況を追跡させるものであるから、風域条件によっては、実際の波とはかなりの差異が生じる場合がある。
- ② 波の発達過程では、風域が波の伝播速度と同じ速度で波の伝播方向へ移動する場合には、異常に大きな波高の推算値が得られる。
- ③ 風波とうねりが混在する場合、それぞれ異なる推算法を用いなければならない。
- ④ うねり性の波浪に関し、精度が低くなる。

⑤ 風域が変動する場合、吹送距離や吹送時間を設定しなければならない。

5 浅海における波の変化

波は浅海域において、水深の変化、構造物の存在、流れの影響などによって変形し、その波高、周期と波向を変化させる。ただし、碎波した波が浅い海域で長い距離を伝搬する場合や、天端水深が小さい潜堤上で碎波した波を取り扱う場合を除いては、波の周期の変化は小さく、沖波の周期を設計に用いてもよい。浅海域における波の変形の諸要素を図2-10-6に示す。

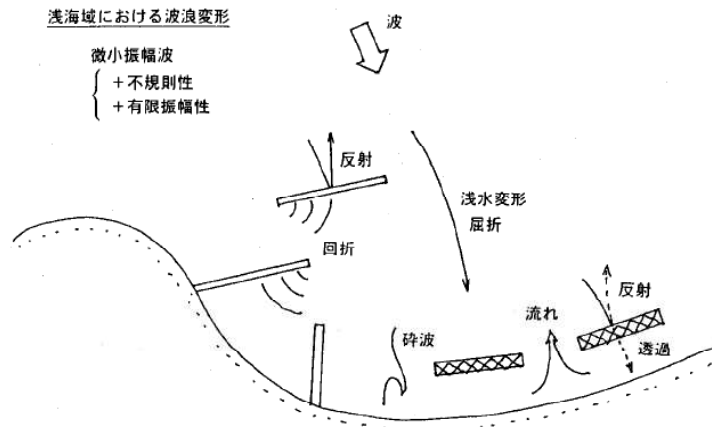
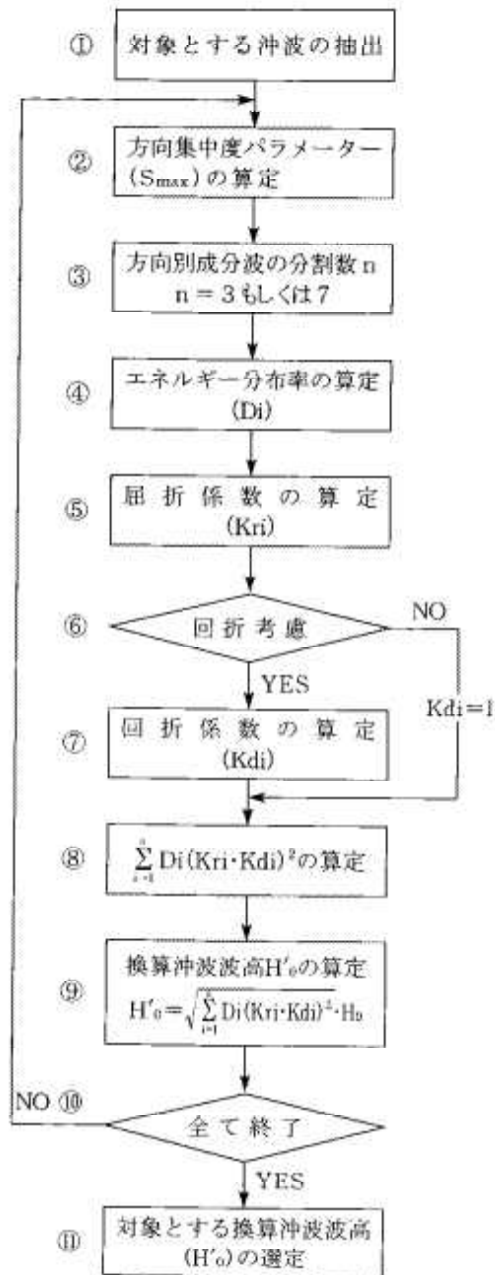


図2-10-6 浅海域における波浪変形の諸要素

(出典) 海岸保全施設の技術上の基準・同解説 海岸保全施設技術研究会 H16.6

6 換算沖波波高

換算沖波波高の算定フローを図2-10-7に示す。



- ① 沖波の抽出は、最も危険と考えられる波向を中心として3方向程度
- ② 沖波条件 (H_0/L_0) から方向集中度パラメーター (S_{max}) を算定
- ③ 方向別成分波の分割数 n は、3ないし7分割
- ④ $L_0/2$ 以深の水深にある島、半島など沖からの波の来襲が考えられない地形条件を考慮してエネルギー分散法により対象地点に来襲する各方向別成分波のエネルギー分布率 (D_i) を算定する。すでに、沖波算定時にこれら島、半島の影響を考慮している場合があるので注意を要する。
- ⑤ 各方向別成分波の屈折図を描き、波向に対する屈折係数 (K_{ri}) を算出
- ⑥ エネルギーカットを行っていない遮蔽物(防波堤、半島等)の有無の確認
- ⑦ エネルギーカットを行っていない遮蔽物(防波堤、半島等)により遮蔽される場合は、回折図を用いて回折係数 (K_{di}) を算出
- ⑧ 対象地点の波のエネルギーの沖波に対する比を算定
- ⑨ 換算沖波波高の算定
- ⑩ 対象となる全沖波について、終了したかについての確認
- ⑪ 検討する事項に対して最も厳しい条件となる換算沖波波高を選定

図2-10-7 換算沖波波高の算定フロー

(1) 換算沖波波高の算定

構造物の高さ、規模等を決定するときの基礎となる換算沖波波高は、抽出した数種の沖波の各方向別成分波について、それぞれ屈折、回折係数を算定し、次式によって求める。

$$H'_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i (K_{ri} \cdot K_{di})^2 \cdot H_0}$$

H_0' : 換算沖波波高
 n : 方向別分割数
 D_i : 方向別エネルギー分布率
 K_{ri} : 方向別成分波の屈折係数
 K_{di} : 方向別成分波の回折係数
 H_0 : 沖波波高

また、反射波がある場合は、そのエネルギーを加算する。

$$H_0' = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i (K_{ri} \cdot K_{di})^2 + \sum_{i=1}^n D_i (K_{ri}' \cdot K_{di}' \cdot K_R)^2} \cdot H_0$$

K_{ri}' : 反射波の屈折係数
 K_{di}' : 反射面を開口部とみなした時の回折係数
 K_R : 反射率

(2) 方向集中度パラメーター($S_{\max}$)の算定

抽出した数種の沖波の条件と表2-10-5により、各波向の沖波の方向集中度パラメーター($S_{\max}$)を算定する。

表2-10-5 沖波条件(H_0/L_0)と方向集中度パラメーター($S_{\max}$)の関係

	H_0/L_0	$S_{\max}$
風 波	$H_0/L_0 > 0.03$	10
減衰距離の短いうねり	$0.03 \geq H_0/L_0 > 0.015$	25
減衰距離の長いうねり	$0.015 \geq H_0/L_0$	75

ただし、 $L_0 = 1.56T^2$ (T: 沖波の周期)

(3) 方向別成分波の分割数 (n)

方向別成分波の分割数は1つの波向の沖波に対して通常3分割とするが、前面に島や岬等があり各方向別の屈折係数や回折係数に極端な差が生じる場合には7分割とする。

(4) 方向別エネルギー分布率

方向別エネルギー分布率 D_i は、表2-10-6を用いて算定する。また、島や岬などの遮蔽物がある場合には、図2-10-8を用いて入射するエネルギーのカット量を算定する。

表 2-10-6 方向別エネルギー分布率 (Di)

分 割 数	3分割 (n=3)			7分割 (n=7)						
区分/主方向との偏角	-45°	0°	45°	-67.5°	-45°	-22.5°	0°	22.5°	45°	67.5°
$H_0/L_0 > 0.030$	0.26	0.48	0.26	0.05	0.11	0.21	0.26	0.21	0.11	0.05
$0.030 \geq H_0/L_0 > 0.015$	0.17	0.66	0.17	0.02	0.06	0.23	0.38	0.23	0.06	0.02
$0.015 \geq H_0/L_0$	0.06	0.88	0.06	0.00	0.02	0.18	0.60	0.18	0.02	0.00

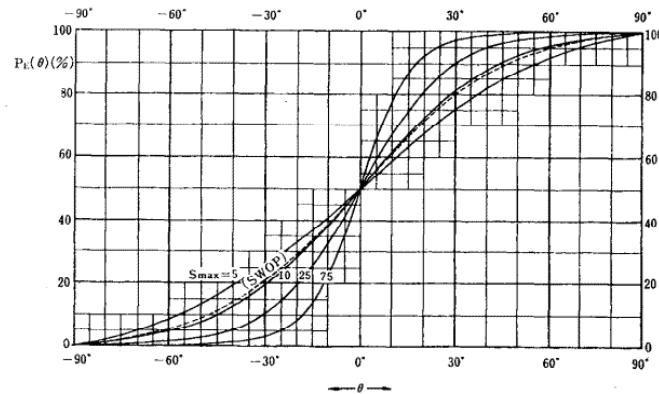


図 2-10-8 方向別エネルギー累加曲線

(5) 屈折係数の算定方法

水深が沖波波長の1/2程度よりも大きい深海域では、波は海底地形（水深）に影響されることなく伝播するが、波が浅海域に達すると水深変化に伴う波速の場所的变化によって屈曲するようになる。これを波の屈折と呼び、設計には屈折による波高及び波向の変化を考慮する必要がある。屈折係数の算定方法には、屈折図を作成する図式解法（波向線法、波線線法）と波の方程式を数値的に解く数値計算法などがあるが、一般的には数値計算法（エネルギー平衡方程式法が用いられている）。

① 規則波の屈折係数の算定

屈折図を使用して屈折係数 (K_r) を算定する場合は、次式による。

$$K_r = \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

K_r : 屈折係数

H : 屈折後の波高 (m)

H_0 : 屈折前の波高 (m)

b : 屈折後の波向線間隔 (m)

b_0 : 屈折前の波向線間隔 (m)

② 不規則波の屈折係数の算定

微小振幅波であれば不規則波に対しても、方向スペクトルにしたがった振幅を有する規則波の重ね合わせによって計算することができる。

周波数 f 及び波向 α_0 の入射波が屈折し、ある地点で波向が α になったとする。この時、入射波の方向スペクトルと着目地点での方向スペクトルとの間には次式の関係が成立する。

$$S(f, \alpha) = S_0(f, \alpha_0) K_s^2(f) K_r^2(f, \alpha_0) \frac{d\alpha_0}{d\alpha}$$

あるいは、方向スペクトルの場所的变化を直接求めるための方程式として、エネルギー平衡方程式が導かれている。

$$\nabla_h (S c_g) + \frac{\partial}{\partial \alpha} (S c_{ga}) = 0$$

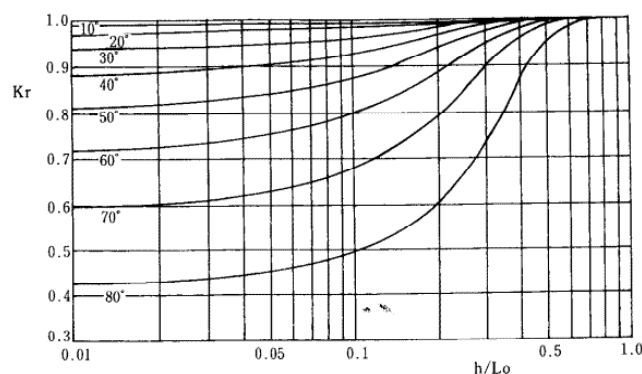
$$c_{ga} = \frac{\partial \alpha}{\partial s} c_g = -\frac{1}{c} \frac{\partial c}{\partial n} c_g = \frac{c_g}{c} \left(\frac{\partial c}{\partial x} \sin \alpha - \frac{\partial c}{\partial y} \cos \alpha \right)$$

ここに、 $c_g = (c_g \cos \alpha, c_g \sin \alpha)$ 、 c は波速、 c_g は群速度、 $\nabla_h = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 、平2方向への微分作用素である。

エネルギー平衡方程式は、屈折のみならず回折も含む波浪場の計算への適用が試みられ、多くの場合に妥当な結果を得ている。これは回折による波のエネルギーの回り込みよりも、不規則波の方向分散性によるものが支配的であることが多いためであり、防波堤直背後など回折効果なしには波が進入しない場所の計算には回折を含む方程式を使う。

不規則波の屈折係数 $(K_r)_{\text{eff}}$ は通常、屈折変形後の全エネルギーと、屈折（による波向線間隔の変化）がなかったとした場合に浅水変形のみから求められる全エネルギーとの比の平方根として定義される。

$$(K_r)_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\int_0^\infty \int_{\alpha_{0\min}}^{\alpha_{0\max}} S(f, \alpha_0) K_s^2(f) K_r^2(f, \alpha_0) d\alpha_0 df}{\int_0^\infty \int_{\alpha_{0\min}}^{\alpha_{0\max}} S(f, \alpha_0) K_s^2(f) d\alpha_0 df}}$$



(a) 規則波の屈折係数

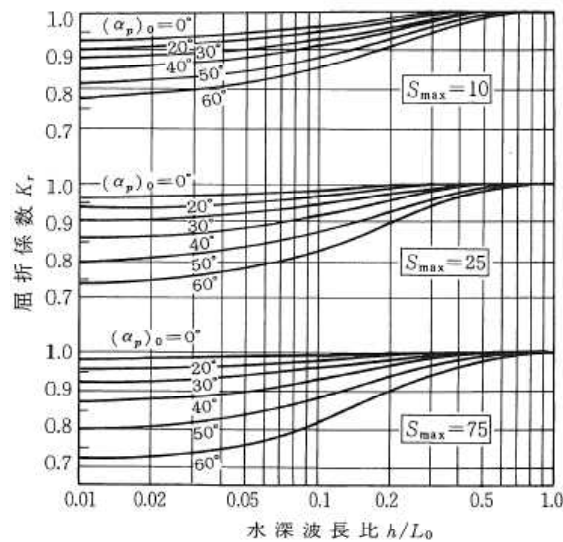
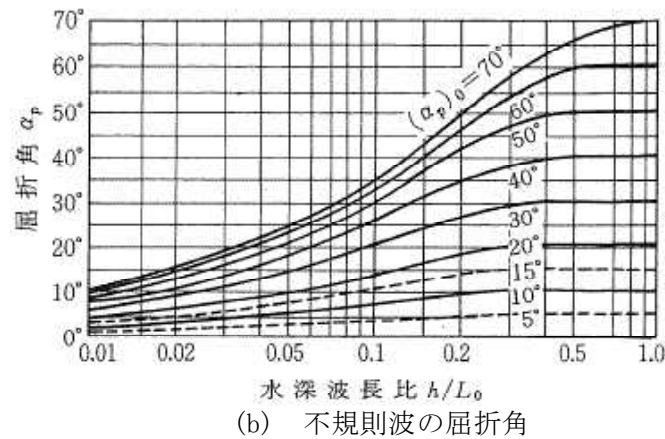


図2-10-9 直線平行等深線海岸における波の屈折係数の算定図

(出典) 海岸保全施設の技術上の基準・同解説 海岸保全施設技術研究会 H16.6

③ 直線平行等深線海岸の場合、波向の変化及び屈折係数 (K_r) は、図2-10-9の直線平行等深線海岸における規則波の波高の変化図を用いて算定することができる。

④ 水深が沖波波高の0.5倍以下の地点では、波としての性質より、流れとしての性質が卓越するので、屈折に関する計算式の適用範囲は、水深が沖波波高の0.5倍以上の場合とする。これより岸側では他の方法による。

(6) 回折係数の算定

島、半島、構造物等の遮蔽物で遮られた区域内に波が回り込む現象を、回折といい、これが予想される場合の波高は回折図や回折計算などによって算定する。

① 規則波の回折係数の算定

一般的に規則波の回折による変化は、回折図から回折係数を求めて次式で算定する。

なお、回折図は、水深が一定であるという仮定のもとに作られている。

$$K_d = \frac{H}{H_i}$$

K_d : 回折係数

H_i : 進行波の波高

H : 回折後の波高

② 不規則波の回折係数の算定

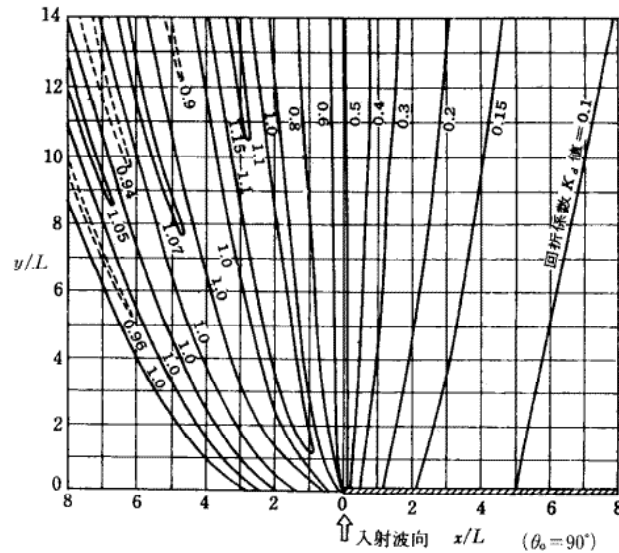
不規則波の回折係数 $(K_d)_{\text{eff}}$ は、回折波の全エネルギーと入射波の全エネルギーとの比の平方根として定義される。

$$(K_d)_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\int_0^\infty \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} S(f, \alpha) K_d^2(f, \alpha) d\alpha df}{\int_0^\infty \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} S(f, \alpha) d\alpha df}}$$

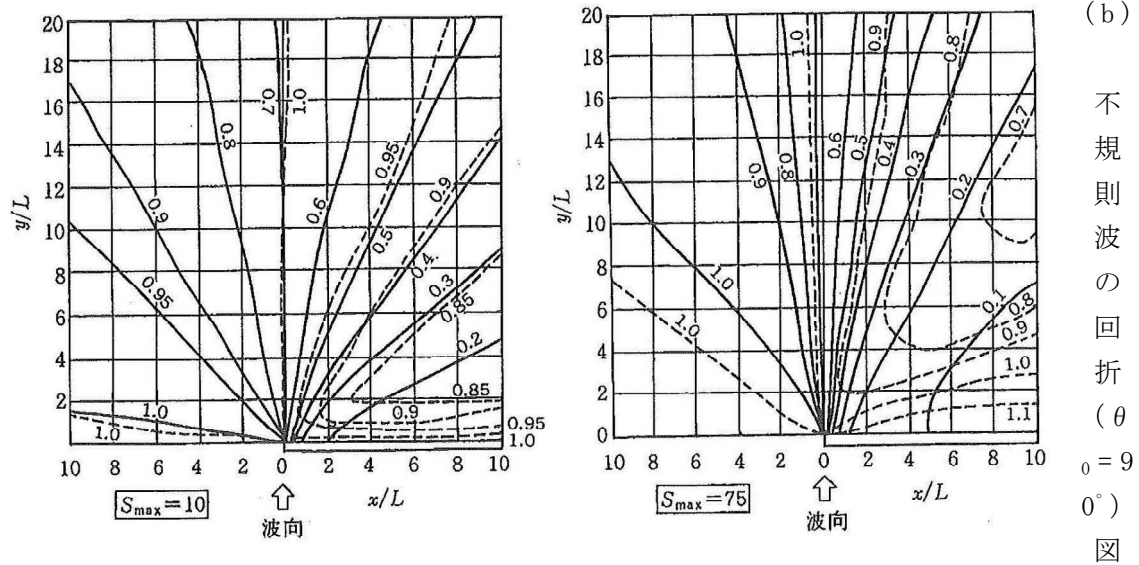
ここに、成分波毎の回折係数 $K_d(f, \alpha)$ は規則波に対するものである。

ア 半無限堤先端部による回折

図2-10-10によって回折係数を算定する。また、この図2-10-10は入射角 θ_0 が 90° のものであるが、入射角が 45° から 135° 程度の場合、この図を入射方向に回転させて使用することもできる。ただし図中の L は遮蔽物先端での波長である。



(a) 規則波の回折 ($\theta_0=90^\circ$)

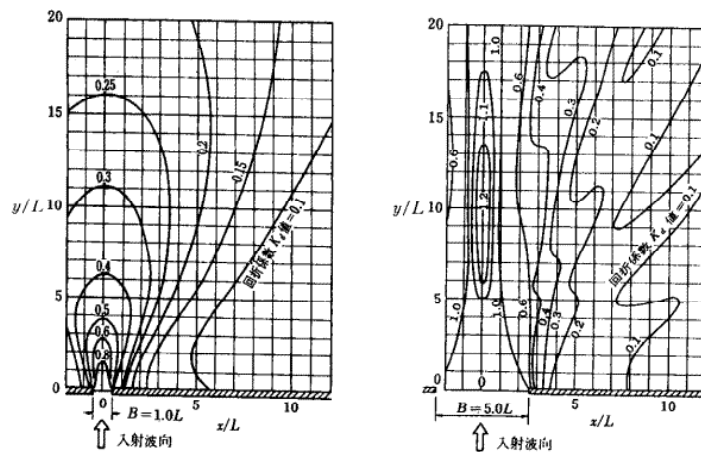


2-10-10 半無限防波堤による波の回折図

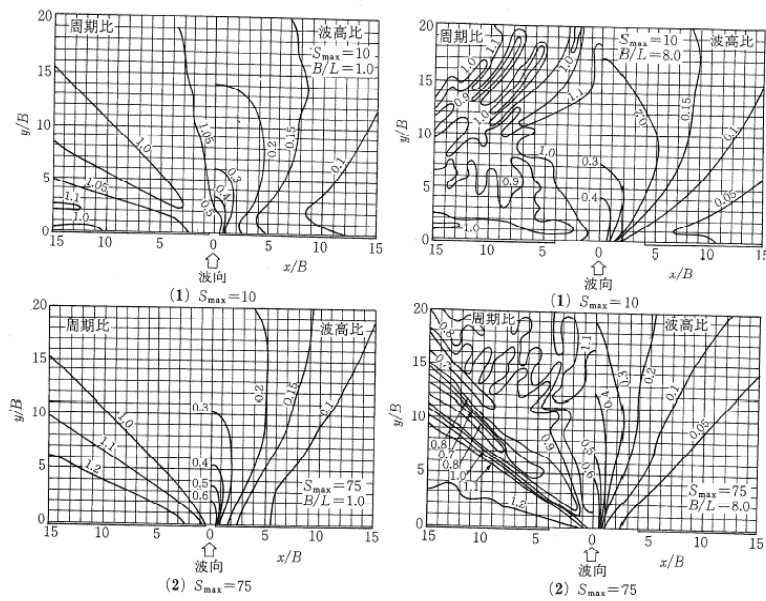
(出典) 海岸保全施設の技術上の基準・同解説 海岸保全施設技術研究会 H16.6

イ 開口部における回折

波が開口部に直角に入射する場合は、図2-10-11の開口部における回折図によって回折係数を算定する。また、波の入射角が開口部に直角でない場合は、図2-10-12に示す仮想開口幅を考えて近似的に算定する。



(a) 規則波の回折 ($B/L=1.0, 5.0$)



(b) 不規則波の回折 ($B/L=1.0, 8.0$)

図 2-10-11 防波堤開口部からの波の回折図

(出典) 海岸保全施設の技術上の基準・同解説 海岸保全施設技術研究会 H16.6

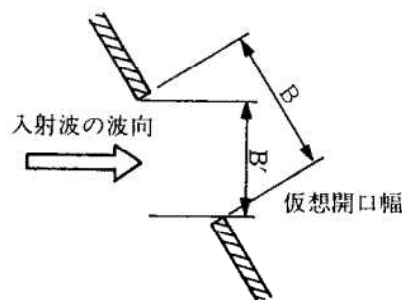


図 2-10-12 仮想開口幅の求め方

③ 島堤による回折

この場合の回折は、両端部をそれぞれの先端とする二つの半無限堤の回折係数の和として算定する。しかし、島堤の長さが5波長以下の場合、両端からの回折波の干渉効果が高まるので、その他の方法による。

(7) 反射による波高の変化 (反射率 K_R の算定)

半島、島、構造物があると、波がそれらに反射して波高が変化する。また、入射波と反射波が重なり合って重複波となる。構造物等による反射波の波高は次式で算定する。

また、反射率の概略値として、表 2-10-7 がある。

$$K_d = \frac{H_R}{H_i}$$

K_R : 反射率

H_R : 反射波高 (m)

H_i : 入射波高 (m)

表 2-10-7 反射率の概略値

構 造 様 式	反 射 率
直立壁(天端は静水面上)	0.7~1.0
直立壁(天端は静水面下)	0.5~0.7
捨石斜面(2~3割勾配)	0.3~0.6
異形消波ブロック斜面	0.3~0.5
直立消波構造物	0.3~0.8
天 然 海 浜	0.05~0.2

7 水深による波の変形

水深が浅くなると、海底地形(水深)の影響を受け、波長は短くなり、波速は遅くなることから浅海域においては水深による波の変形を考慮する必要がある。水深のみによる波長及び波速の変化は、図 2-10-13 又は次式により算定される。

$$\frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tanh \frac{2\pi h}{L}$$

$$L_0 = 1.56T^2$$

L : 水深 h における波長 (m)

L_0 : 深海域における波長 (m)

C : 水深 h における波速 (m/s)

C_0 : 深海域における波速 (m/s)

T : 周期 (s)

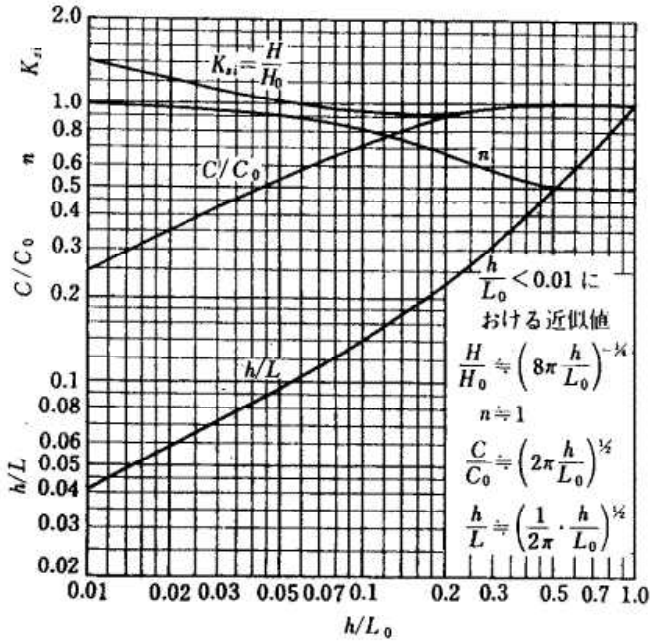


図 2-10-13 浅水における波の特性

表2-10-8 周期—水深—波長—波速の関係 (1)

周期(s) 波長、波速 水深(m)	3		4		5		6		7		8		9		10	
	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
0.5	6.39	2.13	8.67	2.17	10.92	2.18	13.16	2.19	15.39	2.20	17.62	2.22	19.84	2.20	22.07	2.21
1.0	8.69	2.90	11.99	3.00	15.23	3.05	18.44	3.07	21.62	3.09	24.78	3.10	27.94	3.10	31.10	3.11
1.5	10.22	3.40	14.37	3.59	18.40	3.58	22.37	3.73	26.28	3.75	30.19	3.77	34.08	3.79	37.95	3.79
2.0	11.30	3.76	16.22	4.05	20.94	4.19	25.58	4.26	30.14	4.31	34.70	4.33	39.19	4.35	43.68	4.37
2.5	12.10	4.03	17.71	4.43	23.10	4.52	28.31	4.72	33.46	4.78	38.56	4.82	43.63	4.85	48.67	4.87
3.0	12.68	4.23	18.95	4.74	24.91	4.98	30.71	5.12	36.37	5.20	42.01	5.25	47.58	5.29	53.23	5.31
3.5	13.10	4.37	19.99	4.99	26.52	5.30	32.83	5.47	39.03	5.57	45.13	5.64	51.18	5.69	57.19	5.72
4.0	13.40	4.47	20.84	5.21	27.93	5.59	34.75	5.79	41.42	5.92	47.98	6.00	54.48	6.05	60.92	6.09
4.5	13.61	4.54	21.58	5.39	29.18	5.84	36.49	6.08	43.61	6.23	50.61	6.33	57.53	6.39	64.40	6.44
5.0	13.76	4.59	22.18	5.55	30.29	6.06	38.07	6.34	45.63	6.52	53.05	6.63	60.38	6.79	67.64	6.76
6.0	13.92	4.64	23.12	5.78	32.17	6.43	40.84	6.81	49.24	7.04	57.47	7.18	65.58	7.28	73.58	7.37
7.0			23.76	5.94	33.67	6.73	43.18	7.20	52.38	7.49	61.39	7.67	70.20	7.80	78.91	7.89
8.0			24.19	6.05	34.86	6.97	45.20	7.53	55.15	7.88	64.87	8.11	74.36	8.26	83.77	8.38
9.0			24.47	6.12	35.81	7.16	46.89	7.82	57.60	8.23	68.01	8.50	78.18	8.69	88.24	8.82
10.0			24.65	6.16	36.56	7.31	48.38	8.06	59.80	8.54	70.85	8.86	81.67	9.08	92.33	9.23
12.0			24.81	6.21	37.61	7.52	50.69	8.45	63.46	9.06	75.82	9.48	87.86	9.76	99.63	9.97
14.0					38.22	7.64	52.38	8.73	66.36	9.48	79.96	9.99	93.13	10.35	106.10	10.61
16.0					38.57	7.71	53.57	8.93	68.63	9.81	83.36	10.42	97.75	10.86	111.80	11.17
18.0					38.85	7.75	54.42	9.07	70.49	10.07	86.30	10.79	101.70	11.30	116.70	11.67
20.0							54.99	9.17	71.91	10.27	88.71	11.09	105.10	11.68	121.20	12.11
23.0									73.50	10.50	91.65	11.46	109.50	12.16	126.90	12.70
25.0									74.23	10.61	93.21	11.65	112.00	12.44	130.30	13.03
28.0									75.03	10.72	95.03	11.88	115.00	12.78	134.70	13.47
30.0									75.41	10.77	95.98	12.00	116.70	12.97	137.20	13.72
35.0											97.65	12.20	120.00	12.34	142.40	14.24
40.0													122.30	13.59	146.20	14.63
45.0															149.10	14.91
50.0															151.20	15.12
55.0															152.60	15.26
60.0															153.70	15.37
65.0															154.40	15.44
70.0																
75.0																
80.0																
90.0																
100.0																
120.0																
深 海 波	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.43	10.92	99.82	12.78	126.30	14.04	156.00	15.60

表2-10-9 周期—水深—波長—波速の関係 (2)

周期(s) 波長、波速 水深(m)	11		12		13		14		15		16		18		20	
	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)	波長 (m)	波速 (m/s)
0.5	24.27	2.21	26.53	2.21	28.71	2.21	30.94	2.21	33.13	2.21	35.37	2.21	39.80	2.21	44.22	2.21
1.0	34.23	3.11	37.37	3.12	40.54	3.12	43.65	3.12	46.81	3.12	49.91	3.12	56.24	3.12	62.51	3.13
1.5	41.80	3.80	45.66	3.81	49.53	3.81	53.41	3.82	57.23	3.82	61.09	3.83	68.77	3.82	76.49	3.82
2.0	49.06	4.46	53.63	4.47	57.10	4.39	61.51	4.39	66.00	4.40	70.48	4.41	79.33	4.41	88.22	4.41
2.5	53.69	4.88	58.69	4.89	63.69	4.90	68.72	4.91	73.65	4.91	78.62	4.91	88.63	4.92	98.58	4.93
3.0	58.61	5.33	64.15	5.35	69.62	5.36	75.11	5.37	80.57	5.37	86.05	5.38	96.97	5.39	107.90	5.40
3.5	63.61	5.75	69.11	5.76	75.07	5.78	80.98	5.79	86.88	5.79	92.83	5.80	104.60	5.81	116.40	5.82
4.0	67.33	6.12	73.69	6.14	80.08	6.16	86.42	6.17	92.92	6.20	99.11	6.20	111.70	6.21	124.30	6.22
4.5	71.20	6.47	77.98	6.50	84.72	6.52	91.71	6.55	98.25	6.55	105.10	6.57	118.30	6.57	131.80	6.60
5.0	74.86	6.80	82.05	6.84	89.19	6.85	96.32	6.88	103.40	6.90	110.60	6.91	124.70	6.93	138.90	6.94
6.0	81.55	7.41	89.44	7.45	97.31	7.48	105.10	7.51	113.00	7.53	120.70	7.55	136.30	7.57	151.80	7.59
7.0	87.56	7.96	96.14	8.01	104.60	8.05	113.20	8.08	121.60	8.11	130.10	8.13	146.90	8.17	163.70	8.18
8.0	93.06	8.46	102.30	8.52	111.40	8.57	120.60	8.61	129.60	8.66	138.70	8.67	156.90	8.71	174.70	8.74
9.0	98.13	8.92	108.00	9.00	117.70	9.05	127.40	9.10	138.70	9.14	146.70	9.17	166.00	9.21	185.00	9.25
10.0	102.80	9.35	113.40	9.44	123.60	9.50	133.80	9.56	144.00	9.60	154.20	9.64	174.50	9.69	194.70	9.73
12.0	111.30	10.15	122.80	10.23	134.20	10.37	145.60	10.40	156.80	10.45	168.00	10.50	190.30	10.58	212.60	10.62
14.0	118.50	10.80	131.30	10.94	143.80	11.06	165.10	11.15	168.30	11.22	180.50	11.28	204.80	11.37	228.80	11.42
16.0	125.50	11.41	139.00	11.58	152.40	11.72	165.70	11.83	178.80	11.92	191.90	11.99	217.90	12.11	243.70	12.18
18.0	131.40	11.95	146.00	12.16	160.30	12.33	174.50	12.46	188.50	12.56	202.40	12.65	230.20	12.78	257.60	12.87
20.0	136.80	12.44	152.30	12.69	167.60	12.88	182.50	12.90	197.50	13.15	212.20	13.26	241.50	13.42	270.80	13.53
23.0	144.00	13.09	160.70	13.40	177.30	13.63	193.60	13.83	209.70	13.93	225.70	14.10	257.30	14.29	288.60	14.43
25.0	148.20	13.48	165.90	13.82	183.20	14.11	200.20	14.30	217.20	14.47	233.80	14.62	267.10	14.84	300.00	14.99
28.0	153.90	13.99	172.70	14.40	191.30	14.71	209.50	14.97	227.60	15.17	245.60	15.34	280.80	15.60	315.70	15.78
30.0	157.30	14.29	176.90	14.74	196.30	15.10	215.30	15.38	234.10	15.61	252.70	15.79	289.60	16.08	325.60	16.28
35.0	164.40	14.95	186.00	15.50	207.20	15.94	228.10	16.29	248.80	16.52	269.00	16.81	309.10	17.17	348.60	17.43
40.0	170.10	15.46	193.50	16.12	216.50	16.65	239.20	17.08	261.40	17.43	283.30	17.71	326.70	18.15	369.30	18.46
45.0	174.50	15.86	199.50	16.64	224.40	17.26	248.30	17.77	272.60	18.17	296.20	18.51	342.60	19.03	388.20	19.41
50.0	178.00	16.18	204.70	17.06	231.00	17.77	256.90	18.35	282.50	18.83	307.60	19.23	357.00	19.83	405.40	20.27
55.0	180.70	16.43	208.90	17.40	236.50	18.20	264.10	18.86	291.10	19.41	317.90	19.86	370.10	20.56	421.30	21.06
60.0	182.80	16.61	212.20	17.68	241.40	18.57	270.20	19.31	298.80	19.92	326.90	20.43	382.10	21.22	435.90	21.80
65.0	184.30	16.75	214.80	17.90	245.30	18.87	275.70	19.69	305.60	20.37	335.20	20.95	393.00	21.83	449.30	22.48
70.0	185.50	16.86	216.90	18.08	248.60	19.13	280.30	20.02	311.50	20.77	342.50	21.40	402.80	22.39	462.10	23.11
75.0	186.30	16.94	218.70	18.22	251.50	19.34	284.30	20.30	316.80	21.12	349.10	21.81	412.20	22.91	473.80	23.69
80.0			220.00	18.33	253.80	19.52	287.60	20.55	321.40	21.43	345.80	22.18	420.50	23.36	484.70	24.23
90.0					257.20	19.78	293.10	20.93	329.00	21.94	364.90	22.80	435.40	24.19	504.10	25.20
100.0					259.50	19.96	296.90	21.21	335.00	22.32	372.80	23.30	447.80	24.88	521.00	26.06
120.0					262.00	20.15	301.60	21.54	342.70	22.83	383.90	23.99	467.00	25.94	549.00	27.43
深 海 波	188.70	17.16	224.60	18.72	263.60	20.28	305.70	21.84	350.90	23.40	399.30	24.96	505.30	28.07	623.90	31.19

8 砕波による波高変化

(1) 砕波指標

浅水変形により波高が高くなると、ある水深で波が砕け、波高が急激に小さくなる。この現象を砕波と呼び、沿岸施設に作用する波を設定する場合には重要な要素である。砕波水深及び砕波波高は砕波指標によって求める。規則波に対する砕波指標（合田）を図2-10-14、図2-10-15に示した。

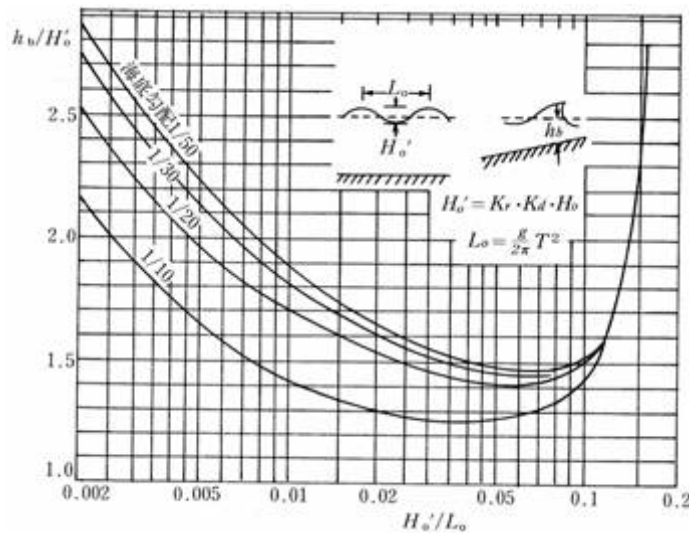


図2-10-14 波形勾配と砕波水深との関係

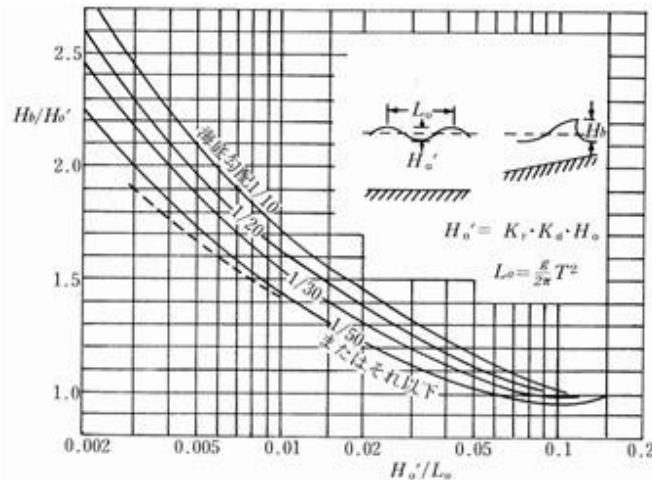


図2-10-15 波形勾配と砕波波高との関係

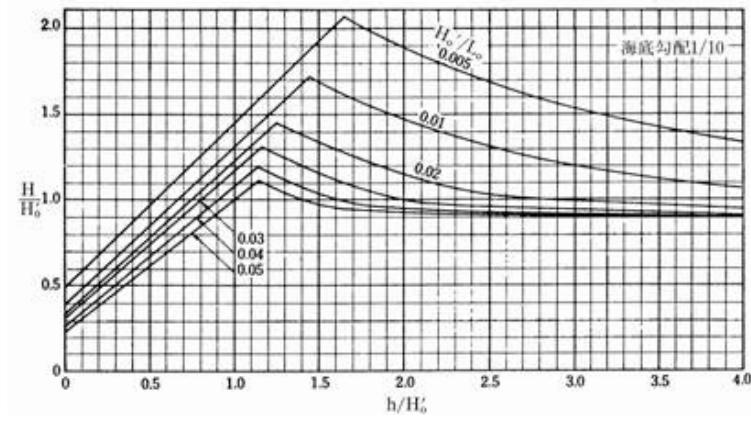
ただし H_0' : 換算沖波波高 (m)

h_b : 砕波水深 (m)

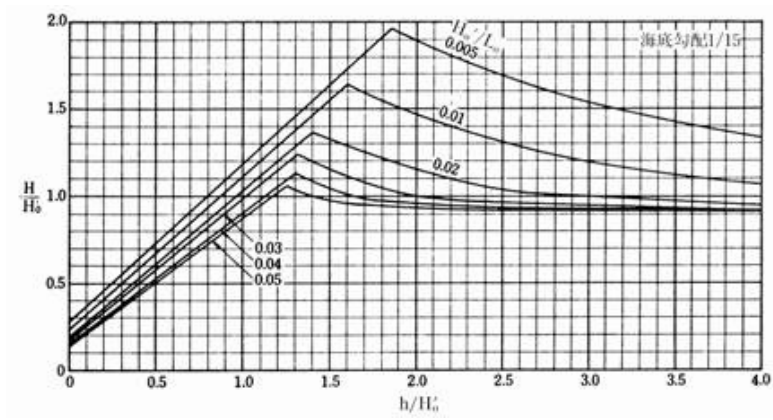
H_b : 砕波波高 (m)

(2) 規則波の砕波後の波高変化

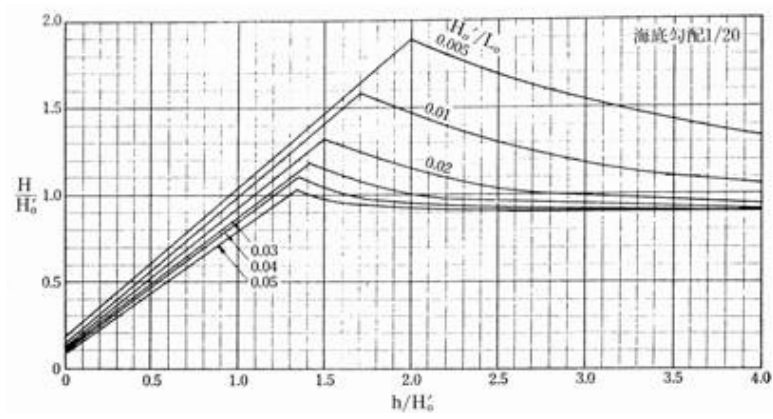
砕波後の波高 (H) は、海底勾配（ここでは、水深 $h=1.5 \sim 2.5H_0'$ の範囲の平均海底勾配）、沖波波形勾配の影響を受ける。波高変化図（山本、菅原）を図2-10-16に示した。本図は、砕波点以浅の領域での平均水位の上昇を考慮しているので汀線での波高は0とはならない。



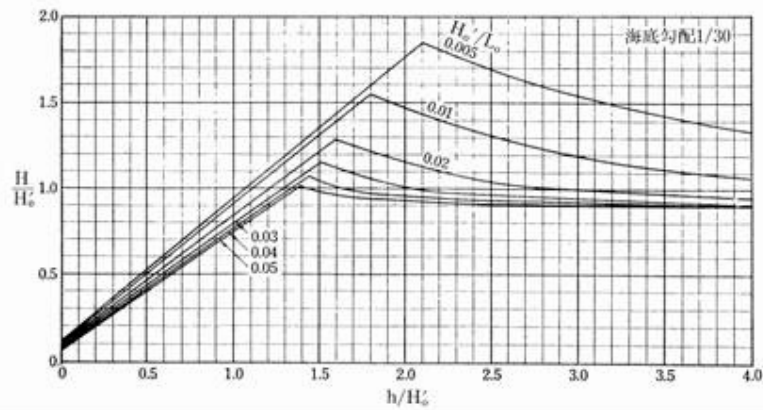
(a) 海底勾配1/10



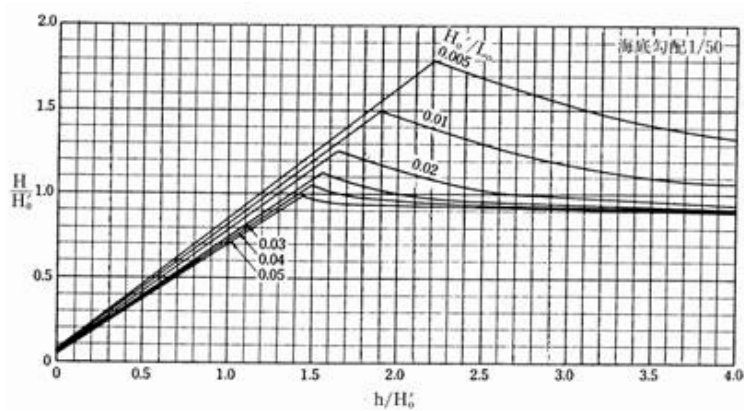
(b) 海底勾配1/15



(c) 海底勾配1/20



(d) 海底勾配1/30



(e) 海底勾配1/50

図2-10-16 規則波の砕波後の波高変化図

(3) 不規則波の砕波後の波高変化

① 波の不規則性の考慮

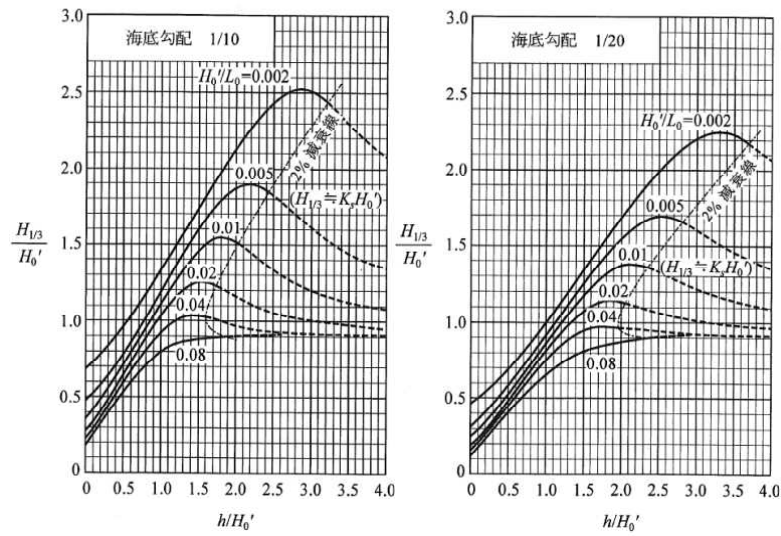
水深が換算沖波波高のおおむね3倍以下の地点では、砕波による波高変化を考慮する必要がある。砕波による波高変化の算定には、波の不規則性を考慮することが一般的である。

② 砕波点及び砕波帯

規則波では砕波する場所が常に同一であり、これを砕波点と呼ぶ。不規則波の場合には、個々の波の波高、周期によって砕波する場所が異なり、ある範囲で砕波が生じる。これを砕波帯という。

③ 砕波による波高変化

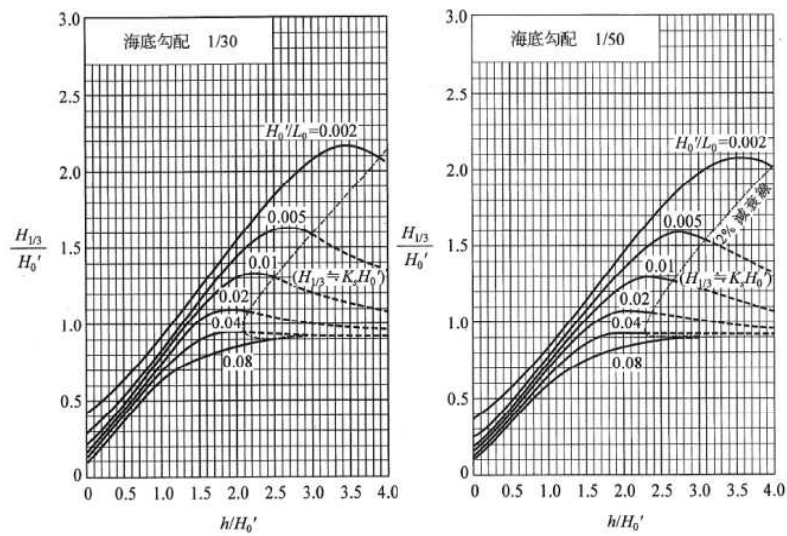
図2-10-17は、合田が砕波の理論モデルによって計算した不規則波の砕波帯内における波高変化を示したものである。図中の一点鎖線より右の領域における波高変化は、浅水係数を用いて計算する。一点鎖線より左の領域における波高変化は、砕波による波高変化が卓越するので、これらの図を用いて波高を決定する。海底勾配としては、水深換算沖波波高比 h/H_0' が1.5~2.5の範囲における平均海底勾配を用いるのが適当である。



(a) 海底勾配1/10

(b) 海底勾配1/20

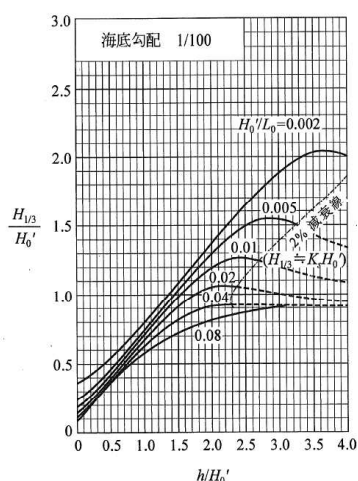
図2-10-17 砕波帯内の有義波高の算定図(1)



(c) 海底勾配1/30

(d) 海底勾配1/50

図2-10-17 砕波帯内の有義波高の算定図(2)



(e) 海底勾配1/100

図2-10-17 砕波帯内の有義波高の算定図(3)

(出典) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (社)日本港湾協会 H19.7

④ 波高変化グラフの適用範囲

水深が換算沖波波高の0.5倍程度以下の地点では、波としての水位変化よりも流れとしてのエネルギーが大きい。よって、施設に働く波力などの算定にあたっては、施設の重要度が高い場合には、水深が換算沖波波高の0.5倍の地点の波高を用いることが望ましい。

⑤ 砕波波高の略算式

砕波の理論モデルによる波高変化の計算は、一般に計算機による演算を必要とする。しかし、現象の変動性や総合的な精度を考慮するなら、1/10～1/75勾配程度の一様な勾配を有する海浜に限っては、以下の簡便な式を用いて波高変化を計算してもよい。

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_0' & (h/L_0 \geq 0.2) \\ \min\{\beta_0 H_0 + \beta_1 h, \beta_{\max} H_0', K_s H_0'\} & (h/L_0 < 0.2) \end{cases}$$

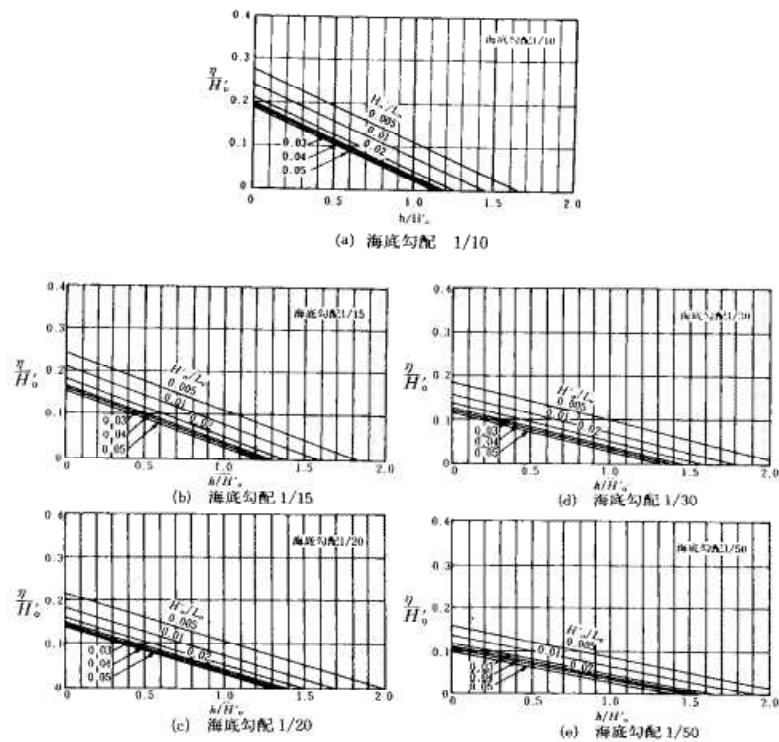
ここに、

$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0.028(H_0'/L_0)^{-0.38} \exp\{20 \tan \theta\}^{1.5} \\ \beta_1 &= 0.52 \exp(4.2 \tan \theta) \\ \beta_{\max} &= \max\{0.92, 0.32(H_0'/L_0)^{-0.29} \exp(2.4 \tan \theta)\} \end{aligned}$$

浅水係数 K_s は図2-10-13で求める。 $\min\{ \}$ 及び $\max\{ \}$ はそれぞれ $\{ \}$ 内の最小値と最大値を示す。また、 $\tan \theta$ は海底勾配を示す。

(4) 砕波による水位上昇

砕波帯内においては、平均水位の上昇が生じる。このような所に防潮工を築設する場合の天端高の算定には、水位上昇を考慮する。この砕波による平均水位の上昇量は、図2-10-18により算定される。



ただし η : 水位上昇量 (m)
 H'_0 : 換算沖波波高 (m)
 h : 算定地点の静水面下の水深 (m)
 L_0 : 沖波の波長 (m)
 海底勾配: 砕波点以浅の平均海底勾配

図 2-10-18 砕波による平均水位の上昇量

2-10-3 津波調査

- 1 津波とは、海底地震による海底隆起陥没、海底火山爆発等に起因する地盤変動がその付近の海水に衝撃を与え、周期性の波動となって各方面に伝わる長波をいう。
- 2 津波の潮位や遡上高は、既存の文献や過去の津波の痕跡から求めるが、津波の起こった過去の地形と現在の地形とが大きく異なる場合等には、数値計算等によって求める。
- 3 津波調査は、耐震、耐津波性能を考慮する防潮堤、防潮護岸及びそれに準じる重要度の高い構造物について行う。

2-10-4 流れ・漂砂調査

1 流れ調査

海岸付近には、潮汐流（潮流）、吹送流、波浪流及び河口密度流等の流れが混在する。特に波浪流は、沿岸流と離岸流に分けられる。流れ調査においては、これらの潮の流れを調査するが、計算によって把握することは、潮汐流以外は困難であるので、現地で観測する。

(1) 潮汐流（潮流）

潮汐流は、月及び太陽の引力によって生じる潮汐力による流れで、流速の変化の周期は、潮汐周期と同じであり、半日周期、一日周期が最も卓越している。潮汐流の強い所では海底付近に渦流ができ、海底の泥砂が運搬されて流れの弱い所に堆積するので、海底地形の変化が激しい。

潮汐流の流速は、流速計又はブイにより測定する。

(2) 吹送流

風が海面に及ぼす応力によって生じる流れである。

(3) 波浪流（海浜流）

海岸の侵食、堆積に大きく影響する流れであって、離岸流発生の結果、一つの海浜流セルを構成する。

(4) 河口密度流

河口では、潮汐の干満により、海水が河川水に混入する。この際、海水と河川水の密度差が原因で、河口密度流が発生し、種々な混合型の流れとなる。これは、潮位差の大きい場合に顕著である。

2 漂砂調査

砂浜海岸に海岸防災林造成を行う場合、漂砂の移動量、水深、卓越方向等を把握して、今後の侵食性、堆積性を検討し、構造物等に対する影響を十分考慮する。

漂砂は、ミクロ的にみると砂や礫が転動、浮遊によって他の場所に移動することであるが、マクロ的にみると一夜にして広大な砂浜が出現したり、海岸が大きく削り取られたりするように海岸地形を大きく変化させる場合がある。

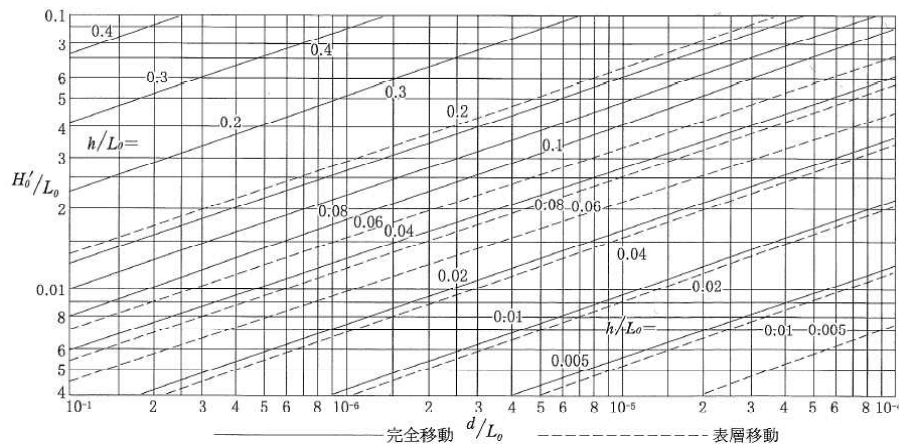
漂砂は、移動状態から浮遊漂砂と掃流漂砂に分けられ、また、移動方向より汀線に直角方向の漂砂（岸沖漂砂）と汀線に平行方向の漂砂（沿岸漂砂）に分解される。

また、海浜は、沿岸砂洲の有無により、それぞれバー型海岸、ステップ型海岸に分類される。前者を暴風海岸（冬型海岸）、後者を正常海岸（夏型海岸）といい、砂洲後方の海底勾配についてみると、後者の方が急である。

漂砂の調査に当たっては、底質、風、波等の資料をもとに、漂砂の卓越方向、供給源、供給量、損失量、移動分布等を調査するが、漂砂は、季節による相違、暴風時と平常時との差があるので、連続的な調査を行う。

(1) 漂砂の移動限界水深

波によって底質が動き始める水深を、その波に対する底質の移動限界水深といい、図2-10-21によって推定できる。ここで表層移動とは、海底における表層の砂が波向の方向に集団的に掃流される場合の限界をいい、水深の変化が明瞭に現れる顕著な移動を完全移動という。



ここに、 H'_0 : 換算沖波波高 (m)

L_0 : 沖波波長 (m)

d : 底質粒径 (平均粒径又は中央粒径) (m)

h : 移動限界水深 (m)

図2-10-2 表層移動及び完全移動の限界水深

(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

(2) 漂砂の卓越方向

漂砂の卓越方向を推定するには次のような方法がある。

- ① 継続的な深浅測量を行い、海浜、河口の地形変化から推定する。
- ② 波浪資料の解析によって推定する (波の卓越方向に漂砂が生じる。また、波形勾配の大きい波は、沖への漂砂が生じ、小さい波は岸への漂砂が生じる)。
- ③ 突堤、防波堤等の既存の構造物による汀線変化によって推定する。
- ④ 流れの卓越方向から推定する。
- ⑤ 底質の粒径 (一般に、粒径は、漂砂の卓越方向に小さくなる)、鉱物組成 (ある鉱物組成が多いものから少ない方向に変化しておれば、その方向に漂砂が卓越している) の分析によって推定する。
- ⑥ トレーサー (蛍光砂、放射性ガラス砂) を用いた底質の移動観測から推定する。
- ⑦ 数値シミュレーションから推定する。
- ⑧ 水理模型実験から推定する。

(3) 漂砂の供給源、供給量

漂砂の供給源としては、河川、隣接海岸等があげられる。

河川からの供給量は、流出土砂量の直接観測、河床変動の把握、又は水位、流量等の水理量から流出土砂量の計算を行って推定する。隣接海岸からの供給量は、地形、地質、外力等の調査から定性的に把握し、沿岸漂砂量公式又は海岸の侵食量から推定する。断崖海岸からの侵食量は、海崖の後退速度から推定できる。

(4) 沿岸漂砂量の推定

沿岸漂砂の存在する海岸では、侵食、堆積による長期的な海浜の変化が生じる。全沿岸漂砂量 (汀線に直角方向の断面を通過する沿岸漂砂の総量) の推定は、次の方法により総合的に判断する。

① 地形変化の解析

汀線に直角方向の深浅測量を行い断面積の変化を調査して推定する。

ア 断面積が減少している場合は、沿岸方向の漂砂が存在する。

イ 断面積の変化がなくとも汀線が前進又は後退して、岸向きあるいは沖向きの移動がある。

ウ 断面積の変化と汀線の変化が対応しておれば、沖方向の移動はなく、沿岸方向の移動が卓越している。この逆の場合は、汀線に直角方向の移動が卓越している。

② 漂砂量公式

沿岸漂砂量公式は、サベージの公式を用いる。

$$Q = \alpha E_b^n$$

$$E_b = \frac{1}{16} \rho g (H_b^2 \cdot L_b / T) \sin 2\theta_b$$

ただし Q : 全沿岸漂砂量 ($\text{m}^3/\text{日}$)

H_b : 碎波波高 (m)

L_b : 碎波点での波長 (m)

θ_b : 碎波点での入射角 (度)

α 、 n : 定数で実測等によって求められる (表2-10-8参照)

ρ : 海水の密度 (t/m^3)

g : 重力加速度 ($9.8\text{m}/\text{s}^2$)

T : 入射波の周期 (s)

表2-10-10 沿岸漂砂量公式の α と n の値

公 式	α	n	Q の単位	E_b の単位	公式の算出条件
サベージ (Savage)	0.217	1.0	m^3/day	$\text{T} \cdot \text{m}/\text{day}/\text{m}$	各種現地観測及び実験地
井島・佐藤 青野・石井	0.130	0.54	m^3/day	$\text{T} \cdot \text{m}/\text{day}/\text{m}$	渥美半島福江海岸の資料による $H=1.5\text{m}$ 以下 d (粒径) $=1\sim 2\text{mm}$
佐藤・田中 (文献より算定)	0.06	1.0	m^3/day	$\text{T} \cdot \text{m}/\text{day}/\text{m}$	鹿島港海岸の資料による $H=5\text{m}$ 以下 d (粒径) $=0.15\text{mm}$ 前後
マノハ (Manohar)	0.59	0.91	m^3/day	$\text{T} \cdot \text{m}/\text{day}/\text{m}$	多種現地観測及び実験値 d (粒径) は mm 単位

(5) 漂砂の損失先、損失量

一般に、漂砂の損失先としては、隣接海岸、対象海岸の沖等が考えられる。漂砂の損失先、量の推定は、漂砂の供給源、量の推定と同様の方法による。

2-10-5 飛砂調査

1 飛砂とは、海浜陸上部において風によって生じる砂の移動現象、あるいは移動する底質物質を表す。

2 飛砂量の算定は、以下に示す方法がある。目的に応じて適切な方法を選定する。

(1) 現地飛砂観測

風速計と補砂装置により、事業対象地における風速と飛砂量を観測する方法。

(2) 測量

飛砂による地形変化を測量により把握し、飛砂量を推定する方法

(3) バグノルドの式による推定

風速と飛砂量の関係を表すものに次のバグノルドの式があり、飛砂量は、地上1 mの風速から4m/sを引いた値の3乗に比例する。

$$Q=7.1 \times 10^{-3} C(V_{100}-4)^3$$

Q:単位幅、単位時間当たりの飛砂の質量 (t/m・day)

V_{100} :地上1 mの風速 (m/s)

C:砂の粒径分布によって変わる定数 (1.5~2.8)

2-1-1 林況・植生調査

海岸は、植生の生育には特殊な環境にあることから、既存の植生の種類、生育状況等の調査のほか、現在の状態にいたるまでの施業の経過等の調査が重要である。

林況・植生調査の項目、方法等は、第2編山地治山事業第2章第5節「林況、植生調査」に準ずる。

2-1-2 荒廃現況調査

1 海岸の荒廃現況調査は、荒廃の原因、形態、被害範囲について調査する。

(1) 荒廃の原因、形態

荒廃の原因、形態は次のとおりである。

① 海岸侵食

波浪、津波等によって海岸が侵食され、汀線の後退によって砂丘が崩壊又は海崖の脚部が侵食される現象である。

② 荒廃砂地

潮風、寒風、飛砂、津波等によって植生が埋没、枯損し、裸地化した砂地である。

③ 海岸斜面崩壊

海崖が崩壊又は地すべりを起こすもので、波浪が海崖の脚部を侵食して生ずる波浪侵食型、浸透水型及び地すべり型がある。

(2) 被害区域

被害区域調査は、海岸防災林の施工予定地又は背後地の風害、潮害、飛砂害、越波の害等の範囲を調査する。

2 荒廃地現況調査の調査項目、方法等は、第2編山地治山事業第2章第8節「荒廃現況調査」に準ずる。

2-1-3 環境調査

自然環境調査の調査方法等は、第2編山地治山事業第2章第10節「環境調査」に準ずる。

るが、海岸という特殊な環境を考慮した場合、以下の項目のうち必要な事項について調査を実施する。

- (1) 陸上の植物・動物
- (2) 海中の植物・動物（造礁サンゴ類を含む）
- (3) 景観
- (4) 地形
- (5) その他
- (6) レクリエーションの状況

2-14 社会的特性調査

調査方法等は、第2編山地治山事業第2章第11節「社会的特性調査」に準ずる。

第3節 海岸防災林造成の計画

3-1 総説

- 1 日本列島は、四方を海に囲まれており、海岸に沿った地域では、次のような被害が生じている。
 - (1) 砂丘が発達しているところでは、季節風等による飛砂が発生し、人家、公共施設、農耕地等に多大な被害を与えている。
 - (2) 海岸では、絶えず潮風が吹き、強風時には濃い塩分を含んだ潮風が内陸深くまで進入して農作物や果樹に多大な被害を与えている。
 - (3) 日本列島の周辺海域には、太平洋、日本海側ともに地震帯が存在しているため、地震がしばしば発生しているが、規模の大きい場合には津波が誘発されて沿岸に押し寄せ大きな被害が発生している。
 - (4) しばしば来襲する台風による高潮が発生し、海岸における船舶、各種の施設、人家、農耕地等に壊滅的な被害を与えている。
- 2 海岸防災林造成は、これらの被害に対して、適切な規模の林帯を確実に造成して、安全水準の向上が図られるように計画する。
- 3 近年、我が国の経済発展、国土開発の進展に伴い、海岸防災林の持つすぐれた生活環境や風致の保全・形成機能並びに保健休養機能についても大きな期待が寄せられている。海岸防災林造成の計画に当たっては、これらの機能の向上が図られるように適切な工種・工法を選定する。
- 4 海岸防災林造成の計画に当たっては、現地の生態系、自然景観に十分留意して、策定する。
- 5 海岸防災林造成の計画に当たっては、地球環境問題への対応、健全な森林の育成、地域の振興等のために、積極的に木材、木製品の利用を図る。

3-2 計画規模

- 1 侵食のおそれのある海岸施設の規模

侵食のおそれのある海岸にあつては、陸域の侵食を防ぎ、海岸防災林又は海岸防災林予定地を保護並びに砂丘及び森林造成の基礎とすること等を目的として施設を計画する

ことになるが、その計画規模は、これらの目的、保全対象、経済性、効果等を総合的に勘案して決定する。

2 飛砂の防止に望ましい林帯の規模

(1) 森林の飛砂防止機能としては、次の3つがある。

- ① 林床植生又は落葉、落枝によって砂地の表面を被覆して、飛砂の発生を防止する機能。
- ② 砂地の粗度を大きくして、飛砂の発生する限界風速以下に抑える機能。
- ③ 発生した飛砂を林帯によって捕捉して、前線部で堆積させ、後方への移動を防止する機能。

(2) 風によって砂が動き始める時の速度（限界風速）は、砂の粒径、密度、砂の静止摩擦角等によって異なる。

(3) 飛砂の運動は、次の3つに区分される。バグノルドによると、浮遊は無視できるほど少なく、跳躍は全体の4分の1程度で、残りの4分の3は転動であるとしている。

- ① 浮遊：主として直径0.1～0.05mm以下の砂粒が、風に乗って移動する運動
- ② 跳躍：主として0.2～0.3mmの砂粒が、砂面を跳躍しながら移動する運動
- ③ 転動：比較的大粒の砂粒が、砂面を飛び上からしないで、滑走、転動する運動
したがって、飛砂の水平方向の分有は、地上付近が多いことから、比較的低い構造物や植生によって砂の移動は阻止される。荒巻によると、飛砂量の90%以上が地上30cm以内の範囲に集中するとしている。

(4) 風速と飛砂量の関係を表すものに次のバグノルドの式があり、飛砂量は、地上1mの風速から4m/sを引いた値の3乗に比例する。

$$Q=7.1 \times 10^{-3} C (V_{100}-4)^3$$

Q：単位幅、単位時間当たりの飛砂の質量（t/m・day）

V_{100} ：地上1mの風速（m/s）

C：砂の粒径分布によって変わる定数（1.5～2.8）

また、飛砂量は、砂の粒径分布、含水比によっても異なり、砂の粒径分布の範囲が広いほど急増し、含水比が増加するほど急激に減少する。

(5) 森林の飛砂防止機能は、各種の実験の結果から樹高の低い数列の林帯においても発揮される。しかし、強風時にほぼ完全に飛砂の発生を防ぎ、進入した飛砂を捕捉、堆積させて後方への害を防止するには、一定の樹高、林帯幅が必要である。また、海岸地帯での森林は、前線部では飛砂、潮風、強風、寒風等の害を受け樹木が正常に生育せず、内陸部に行くにしたがって林分の樹高が前線側の犠牲のもとに次第に高くなっていくことを考慮すると、飛砂防止機能を持つ健全な森林を造成するためには、林帯幅はできるだけ広くして内陸側の樹高を漸次高めることが望ましい。

3 潮風害の防止に望ましい林帯の規模

(1) 海面で発生した微小な海水の水滴（数十ミクロン以下）は、風によって運ばれる過程で次第に水分を失い、塩分濃度が高くなり塩の結晶となる（これを空中塩分という）。空中塩分は、台風等の一過性のものを除くと、太平洋側では夏季に、日本海側では冬季に多く発生する。

また、空中塩分は、風によって運ばれる途中で拡散、落下するが、空中塩分の分布は、海からの距離に応じて指数関数的に減少し、汀線付近では地表に近いほど多く、高さが増すとともに急激に減少する。

- (2) 林帯による空中塩分を減少させる機能は、林帯による気流のかく乱作用と枝葉による塩分の捕捉作用とによる。

林帯が塩分を捕捉する機能は、針葉が密なクロマツなどで大きい。また、幅の広い林帯での枝葉の単位当たりの塩分の捕捉量は、林帯の海側で多く、内陸に向かって次第に減少する。青森県下の海岸防災林（クロマツ林、林帯幅200m、樹高は海側40mは2～6m、陸側は平均12m）での調査結果では、風速6～8mの場合で、林帯を通過する塩分量の約88%を捕捉し、林帯の風下での影響範囲は樹高の約25倍であったと報告している。

4 津波、高潮による被害の軽減、防止に望ましい林帯の規模

津波と高潮とは、発生原因が異なるが、いずれも高波となる点で林帯が作用する機能はほぼ同じであると考えられる。

- (1) 林帯が津波、高潮に作用する機能は、主に次のとおり。

- ① 樹幹の摩擦抵抗等によって、林内に侵入する津波、高潮の流速やエネルギーを低下させる。
- ② 漂流物の移動を阻止し、移動による2次的災害を防止し、軽減させる。
- ③ 跳波による破壊の防止機能がある。

- (2) 防潮堤等に海水が衝突すると跳波を生じ、時には数十メートルに達する。特に強風を伴う高潮時では、砂、石礫を含んだ跳波によって防潮堤背後の家屋、農耕地等に甚大な被害を与えている。

林帯は、跳波破壊力を軽減し、石礫等を捕捉して、跳波による被害を防止、軽減する効果があることは、過去の事例が示している。

- (3) 防潮機能を効果的に発揮するためには、ある程度の林帯幅が必要である。数列の狭い林帯であっても漂流物の阻止効果、跳波の被害の軽減効果はあるが、津波、高潮等による破壊力を効果的に軽減させるためには、相当幅が必要である。さらに、林帯前線部分での犠牲林帯、更新幅を確保することが望ましい。

3-3 海岸防災林造成の工種

- 1 海岸防災林造成の工種は、波浪による侵食を防止するとともに、砂丘造成及び森林造成の基礎とする防潮工、飛砂及び風害を軽減する砂丘造成並びに事業の最終目的である森林造成に分けられる。

標準的な工種は次のとおり。

- (1) 防潮工

- ① 防潮堤
- ② 防潮護岸
- ③ 消波工
- ④ 消波堤
- ⑤ 突堤

(2) 砂丘造成

① 堆砂工

ア 堆砂垣工 イ 丘頂柵工

② 砂丘造成盛土工

③ 覆砂工

ア 伏工 イ 砂草植栽 ウ 実播工

④ 防浪工

(3) 森林造成

① 生育基盤盛土工

② 防風工

③ 排水工

④ 静砂工

ア 静砂垣工 イ 静砂立工 ウ 衝立工

⑤ 植栽工

2 海岸防災林造成は、森林の有する機能によって、飛砂、潮風、霧、津波、高潮等の害を防止、軽減することを最終目的としている。したがって、林帯は森林の機能が十分に発揮できる幅を確保する。

3 侵食、高波、高潮及び津波の浸水のおそれのある海岸では、森林の着実な造成若しくは維持のために、防潮工を必要とする場合が多い。

防潮工の工種選定に当たっては、海岸の状況、侵食等の原因、保全対象との関連等を考慮し、総合的に検討する。

第4節 海岸防災林造成の設計

4-1 総説

1 海岸防災林造成の設計に当たっては、植栽区域の確定、防潮工等の位置・構造等の決定に必要な測量を行う。

2 海岸防災林造成の設計に当たっては、森林造成を行うために、現地の状況に応じて、適切な工種を選定するとともに、必要に応じて、砂丘造成、防潮工を設置する。

3 海岸防災林造成に係る施設の設計に当たっては、造成計画に基づく施設の設置目的(要求性能等)を明確にしておくとともに、その設置目的を満たすことを検証又は照査する。また、設置目的について設計説明書に明記する。

4-2 測量

1 海岸防災林造成の計画及び設計における測量は、本章2-4「地形調査」のうち、一般地形測量、汀線測量及び深淺測量の一部の成果により構造物の位置、法線、植栽区域等の概略を決定したものについて、正確に測量し確定する。

2 測量精度は、構造物の方向、位置及び諸元の算定が正確に行えるような精度で測量する。

3 基準点は、本章2-4「地形調査」の際に設置した基準点を使用し、必要に応じて補助的な基準点を増設する。

4-2-1 測量の範囲

海岸防災林造成の計画及び設計における測量は、汀線を中心として、陸側及び海側に、構造物設置又は森林造成に必要な範囲を測量する。

4-2-2 測量の種類

海岸防災林造成における測量は、陸上地形を把握するために、一般地形測量と汀線測量を行い、海底地形を把握するために、深浅測量を行う。

4-2-3 一般地形測量

- 1 測量に関する事項は、第2編山地治山事業第5章第1節「測量」に準ずる。
- 2 一般地形測量は、防潮工、砂丘等の位置、方向、規模及び構造、植栽区域等を決定するために行き、汀線測量、深浅測量と関連づけて行う。

4-2-4 汀線測量

- 1 汀線測量の法線は、防潮工又は人工砂丘等を設ける位置を考慮して、全体の地形が把握できる位置とし、法線を基準線として縦横断測量を行う。
- 2 測量の種類は、平面測量、縦断測量（汀線に平行方向）及び横断測量とし、横断測量の測線は、一般に海岸法線20～50m毎に設けるほか、地形の変化点、曲線の起終点等にも必要に応じて設ける。
- 3 法線には、基準点を設ける。基準点は、波浪等により侵食されない地点に設けるものとし、止むを得ず滅失するおそれのある地点に設ける場合は、引照点を設置する。
- 4 測量の精度等は、第2編山地治山事業第4章第1節「測量」に準ずる。

- 5 測量結果は、次の縮尺を標準とした図面を作成する。

- | | |
|----------|----------------|
| (1) 平面図 | 1/1,000又は1/500 |
| (2) 縦断面図 | 1/1,000又は1/500 |
| (3) 横断面図 | 1/100 |
| (4) 構造図等 | 1/20～50 |

4-2-5 深浅測量

- 1 深浅測量は、防潮工等の海岸構造物の建設計画においては最も基礎的な調査であり、海底地形の地域的、時間的变化の状況を把握することを目的とする。
- 2 測線の方向は、汀線に対して直角を標準とする。
- 3 深浅測量の方法は、水深の浅いところではロッド（水深4m未満）及びレッド（水深4m以上10m以下）を用いる。深いところでは、音響測深器によることが多い。
- 4 深浅測量における誤差は、測深誤差と測位誤差である。測深誤差は、レッドでは水深10mで20～50cm、音響測深器では水深10mで10～12cm程度である。また、測位誤差は、通常、水深10m、距岸600～800mで水平距離で1.5～3.0m程度である。
- 5 測線の間隔は、一般に50m以上100m以内とし、汀線測量の横断測量の位置と合わせ、