

新しい国際規格案 ISO DIS 21650 「海岸構造物に対する波と流れの作用」 について

横浜国立大学名誉授・(株)エコー顧問 合田良実

新しい国際規格案作成の経緯

- 1999年秋： ノルウェイから新規作成・WG 設置の提案.
- 2001年5月： TC98 会議で WG 設置を決定。座長に Prof. Torum を指名.
- 2001年6月： ISO本部からTC98/SC3/WG8として正式承認.
- 2001年9月～2004年4月： 6回の WG会議開催.
- 2003年11月： WG原案 (ISO WG 21650) を SC3メンバーへ開示, 以後修正作業.
- 2004年10月： ISO CD 21650 を作成し, 正式コメント依頼.
- 2005年10月： SC3メンバーからのコメントに基づく修正案をISO DIS 21650 として登録.
- 2006年6月： TC98/SC3 の投票により ISO DIS 21650 承認.
- 2006年11月： ISO FDIS 21650案を TC98/SC3 へ送付.

2

ISO/TC98/SC3/WG8 メンバーリスト

原案執筆メンバー：

Prof. Alf Torum (Convener)	Norway
Prof. Hans Burcharth	Denmark
Prof. Yoshimi Goda	Japan
Dr. Andreas Kortenhaus	Germany
	(Prof. Hocine Oumeraci代理)
Prof. David Kriebel	U.S.A.

査読メンバー：

Mr. J. F. Kapp	South Africa
Prof. Miguel Losada	Spain
Mr. P. Spehl	Belgium
Dr. Wojciech Sulisz	Poland

3

目次構成 (規格文書:拘束力あり)

No.	表 題	No.	表 題
1.	適用範囲 (1p.)	6.	構造物に対する波と流れの作用
2.	参照する規格文書 (0.5p.)	6.1	傾斜防波堤に対する波の作用 (2.5p.)
3.	用語と定義 (8p.)	6.2	直立および傾斜防波堤に対する波の作用 (1.5p.)
4.	記号 (0.5p.)	6.3	海岸堤防および防波護岸に対する波の作用 (3p.)
5.	波と流れの基本変数	6.4	柱状部材および孤立柱状構造物に対する波と流れの作用 (1p.)
		6.5	浮き防波堤と波の相互作用 (1p.)
5.1	水位 (1p.)	6.6	防波スクリーンへの波の作用 (1p.)
5.2	波浪 (3p.)	7.	波と流れの作用にさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (1p.)
5.3	流れ (0.5p.)		

4

目次構成 (付属文書:情報提供のみ;拘束力なし)

No.	表 題	No.	表 題
A	水位 (2p.)	H	浮き防波堤と波の相互作用 (2p.)
B	波浪作用のパラメータ (14p.)	I	防波スクリーンに対する波の作用 (4p.)
C	流れ (2p.)	J	波と流れの作用にさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (10p.)
D	傾斜防波堤に対する波の作用 (16p.)	J.1	一般 (4p.)
D.1	捨石式傾斜防波堤 (12p.)	J.2	傾斜防波堤 (2.5p.)
D.2	バーム式防波堤 (5p.)	J.3	ケーソン式防波堤の確率論的性能設計 (1.5p.)
E	直立および混成防波堤に対する波の作用 (4p.)	J.4	海岸堤防 (2p.)
F	海岸堤防および防波護岸に対する波の作用 (8p.)		
G	柱状部材に対する波と流れの作用 (13p.)		参考文献 (274 冊:16p.)

1. 適用範囲

- (1) この「国際規格」は、沿岸域およびエスチュアリー内に設置される、下記の種類の構造物に対する波と流れの作用を定める基本を記述するものである。

- ・ 防波堤
 - 捨石式傾斜防波堤
 - 直立および混成式防波堤
 - 防波スクリーン
 - 浮き防波堤
- ・ 海岸堤防
- ・ 防波護岸
- ・ 柱状構造物 (棧橋, ドルフィン, 灯台, パイプライン等)

両括弧内の段落番号は英語版のオリジナルな国際規約案には付けられていないが、利用の便宜のために「日本語版訳注」で付したものである。

6

3. 用語と定義

3.1 定義

3.1.1

Shall “**しなければならない**”

“Shall” は ISO 標準と厳密に合致するよう、絶対的に従うべき事項を示す。

3.1.2

should “**すべきである**”

“Should” は推奨規定を示す。同一の機能と品質を保証する代替方法も受け入れられる。

3.1.3

may “**することができる**”

“May” は ISO 規格の限界内において許容される行為を示す (許容)。

3.1.4

can “**可能である**”

“Can” の記述は条件付きであり、ISO 規格の使用者に開放された可能性を示す。

3.2 用語 (86語を定義)

4. 記号

$H_{1/3}$ = 有義波高すなわち波群中の大きい方から1/3の数の波の波高平均値

$H_{\max}$ = 最高波高

H_{m0} = 波浪スペクトルから推定される有義波高

m_n = 波浪スペクトルの n 次モーメントで m_0 や m_2 など

$T_{1/3}$ = 有義波周期

T_m = 平均周期

$T_{m0.2}$ = 波浪スペクトルの0次と2次のモーメントから推定される平均周期

T_p = 周波数スペクトルのピークに対応する周期

8

5. 波と流れの作用の基本変数

5.1 水位

5.1.1 潮汐

- (3) 海中に建設される構造物の**工事用基準面**は、国際的海図基準面および / あるいは当該国の測地基準面に関連づけて設定しなければならない。

5.1.2 高潮および津波

5.1.3 波と高潮位の結合確率

- (1) 波の作用を算定する際には、**波高と潮位との結合確率**を適正に考慮すべきである。特に、比較的に浅い水域で碎波高が潮位の影響下の水深で規定される地点においては配慮が必要である。
- (2) 最大波高が**水深によって制限されているような地点**で観測された波浪データは、観測地点よりも深い箇所の高波を推定するための極値統計解析に使用すべきではない。

5.2 波浪 (1)

5.2.1 波高および周期

- (1) 波の作用を算定する際の風波およびうねりの代表波高としては、波形記録の**ゼロクロス解析**から求められる有義波高 $H_{1/3}$ および最高波高 $H_{\max}$ とすべきである。波作用の算定に際してその他の代表波高が必要な場合には、それらの波高を用いることができる。
- (2) 波の作用を算定する際の風波およびうねりの代表周期は、波形記録の**ゼロクロス解析**から求められる有義波周期 $T_{1/3}$ および平均周期 T_m ならびに波形記録の周波数領域解析から得られるスペクトルピーク周期 T_p である。平均周期は、波浪スペクトルの0次および2次モーメントに基づき、 $(m_0/m_2)^{1/2}$ に等しいとして算定することができる。
- (3) 風波およびうねりの不規則性のため、所与の海面状況における個々波の波高と周期は広範囲に分布する。浅水域における波作用の算定に当たっては、**個々波の波高と周期の分布**を考慮すべきである (付属文書B.1参照)。

10

5.2 波浪 (2)

5.2.2 波浪スペクトル

- (1) 風波およびうねりの特性は、周波数スペクトル密度関数と方向分布関数の積として表現される**波浪方向スペクトル**を用いて代表させることもできる (付属文書B.2参照)。
- (2) 波の作用を算定する際には、使用した**波浪スペクトルについて明記**すべきである。
- (3) 波の方向分散の度合いは、浅水域においては波の屈折影響によって深水域よりも小くなる。浅水域における波の作用を算定する際には、この**方向分散の度合いの変化**を考慮すべきである。
- (4) 風波とうねりが共存するとき、波浪スペクトルは複数のピークを持つ。波高は**波浪スペクトルの0次モーメント**から推定することができる (付属文書B.1.2参照)。

11

5.2 波浪 (3)

5.2.3 極値波浪統計

- (1) 特定地点における極値波浪統計は、**15年を下回らない**、可能な限り長期間にわたる計器観測データおよび / または波浪追算資料に基づき、所要の屈折 / 浅水変形解析と組ませて策定されるべきである (付属文書B.4.1参照)。
- (2) 波浪追算の手法は、対象地点周辺で得られた計器観測による高波の記録数ケースを対象として**十分な精度で検定された手法**であるべきである。
- (3) 水深が浅い地点では、碎波による減衰によって最大波高がある上限値で制約されるため、**波浪の観測水深**に注意すべきである。
- (4) 極値波浪資料の標本を作成する望ましい方法は**極値時系列法 (POT)** である。年最大値法を使用することもできるが、全数当てはめ法の使用には賛同できない。
- (5) 所定の再現期間に対する波高を推定する際には、標本の統計的変動性起因する**信頼区間を推定**し、報告すべきである。

5.2 波浪 (4)

5.2.4 波の変形

5.2.4.1 一般

5.2.4.2 浅水変形

(1) 波の浅水変形の過程は、**線形理論**を用いて算定することができる。波およびうねりの浅水係数は、規則波計算法あるいはスペクトル法との差異が最大でも数パーセントであるので、どちらを用いても算定可能である。

(2) ……構造物への波浪荷重を算定する際には**非線形効果**を考慮することが望ましい。

5.2.4.3 波の屈折

屈折による波の変形は、**方向スペクトル**計算によって**算定すべき**である。ただし、単純な海底地形においては規則波による計算とスペクトル計算との間の差異が比較的小さいので、予備的解析の段階ではそうした地形に対しては規則波を用いて計算することが可能である (付属文書B.5.2参照)。

5.2.4.4 波の回折

(1) 島や防波堤などの障害物の背後への波の回折変形は、**方向スペクトル**計算によって**算定しなければならない**。予備的解析では、多方向不規則波の回折図表を参照することができる。風波およびうねりの**方向分散特性**は不規則波の回折現象の支配要因であるので、これについては十分に留意すべきである。

5.2 波浪 (5)

5.2.4.5 波の反射と伝達

5.2.4.6 砕波

(1) 外浜帯内の砕波による波高の減衰および変動については、水理模型実験および / または十分に検証された数学モデルを用い、**波の不規則性を考慮して算定**しなければならない。

(2) 外浜帯は、波高の分布関数形の緩やかな変化、波浪作用による平均水位の上昇 (ウェーブセットアップと呼ぶ) と長周期変動 (サーフビートと呼ぶ)、ならびに初期水深ゼロの汀線においても波高が有限値を持つことなどで特徴づけられる。外浜帯での**不規則砕波変形の数値モデル**は、こうした諸特性の再現を可能とすべきである。

5.2.4.7 流れによる波の変形

5.2.4.8 波の変形

波の作用の算定に際しては、必要に応じて海底摩擦、軟弱地盤層による減衰その他による**波高低減の諸過程**を考慮することができる。

5.2 波浪 (6)

5.2.5 波頂水位および波の運動力学特性

5.2.5.1 波頂水位

静水面上の波頂の高さは、波の非線形性のために静水面下の波の谷の深さよりも大きい。設計波の波頂水位を推定する際には、非線形波浪理論および / または信頼できる室内実験データを参照すべきである。波群中の最高の波頂水位を推定する際には、**不規則波中の最高波に対して規則波**の理論および / または実験結果を適用することができる。

5.2.5.2 波の運動力学特性

(1) 波の運動力学特性、すなわち波による水粒子の軌道運動速度と加速度は、**精度の高い非線形波浪理論**に基づいて算定すべきである。線形理論では軌道運動を過小評価し、特に波頂付近でその傾向が著しい。

(2) 波浪作用を算定する地点において**砕波が予測される場合には**、波の形状および水粒子運動が非砕波のときと大きく異なる可能性があるため、特段の注意を払うべきである。この算定には水理模型実験および / または高度な数値モデルの使用が推奨される。

5.2.5.3 波と流れの運動力学特性

かなりの強さの流れが波と共存するときには、流れの速度と波による水粒子速度の**ベクトル和**を用いて水粒子の運動力学特性を算定することができる。

5.3 流れ

5.3.1 一般

(1) 流れは構造物に直接および間接に影響を与える。直接的には構造物に抗力および揚力作用させる。間接的には波に干渉して水粒子運動を修正し、波と流れの作用に影響を及ぼす。したがって流れが微弱でない限り、波と流れの作用を算定する際には**流れと波の干渉**を考慮すべきである。

5.3.2 流れの速度

(1) 流れの速度はその**絶対値 (速さ)**と**方向**、あるいは**座標系の速度成分**を用いたベクトルで表示すべきである。

(2) 設計地点における流れの速度は、望み得れば十分に長期間の現地観測で調査すべきである。潮流が無視できない場所では、**14日以上連続観測**を行うべきである。流れの速度は鉛直方向に変化する、観測は深さ方向の数ヶ所で実施すべきである。

(3) 現地観測が不能な場合には、**数値計算**を行って流れの情報を得ることができる。しかしながら、計算モデルは同一沿岸域の数地点における**現地観測結果を用いて検証**を行っておくべきである。

16

6.1 傾斜防波堤への波の作用 (1)

6.1.1 傾斜防波堤の定義 ……

6.1.2 波の作用の形態 ……

6.1.3 海側被覆材に対する波の作用

(1) 捨石マウンド被覆材については、波浪作用の効果に対する**安定性を吟味**しなければならない。海側の被覆層に対する波の作用は、構造物の反射率に影響される。**被覆材の安定性は空率率と透水性の増大につれて向上する**。さらに、顕著な越波が生じるような低天端の構造物では、高く立ち上がる天端を有するクラウンウォールが波力に直接さらされるような構造物に比べると、他の条件が同じであれば被覆材に対する波力が小さい。

(2) 被覆層に関しては、それぞれの被覆材周辺の流れが複雑であるため、個々の被覆材に対する波の作用を算定することができない。その代わり、個々の被覆材の安定を保持するための必要質量を、半理論的考察に基づいて導いた**安定係数を含む公式で定める方法**が用いられてきた。これらの係数の値は模型実験、ある場合には現地観測によって定められてきた。

(3) 被覆材の安定性は**半経験公式** (付属文書D.1.3参照) に基づいて評価できるが、それが可能なのはその公式の**適用範囲が十分に考慮**され、かつ波浪条件がそれほど厳しくなくて公式の有効適用範囲に入る場合である。そうでない場合には、模型実験を行うべきである。

(4) **バーム式防波堤の安定性**は、その設計供用期間内における、波の作用に対する海側法面形状の平衡状態に依存する。堤幹部が安定性を保持する能力については経験公式でチェックできるけれども、望み得れば水理模型実験で吟味すべきである (付属文書D.2参照)。

6.1 傾斜防波堤への波の作用 (2)

6.1.4 海側法先における波の作用

(1) 捨石マウンドの**海側法先の安定性**は、その支持機能との関係で吟味されなければならない。……

(2) ……

6.1.5 越波

(1) **越波した水塊および飛沫の影響**は、防波堤の機能ならびに防波堤の天端上と背後の諸活動との関連において考慮されるべきである。すなわち、伝達波、防波堤背後の交通や係留船舶への危険性、ならびに背後地の施設や貨物の被害などに注意すべきである。

(2) 模型実験に基づく平均越波流量推定の**経験公式は、その有効範囲内で使用可能**である (付属文書D.1.4参照)。

6.1.6 背後法面被覆材に対する波の作用

(1) **背後法面の被覆材の安定性**についても検討すべきである。……

(2) 背後法面の安定性の評価に当たっては信頼できる公式がないことから、一般に**経験式**によるべきである。

18

6.1 傾斜防波堤への波の作用 (3)

6.1.7 地盤工学的破壊に及ぼす波の作用の影響

- (1) 地盤工学的破壊に対する安全性を吟味する際には、**波の質量ととも**にマウンド内および海底面と海底地盤内の波による**間隙水圧を考慮**すべきである。
- (2) **波の質量**は、設計水位から上の波の峰面までの水塊重量(波の谷にあっては負値)あるいは法面に働く波圧で近似することが可能である。
- (3) マウンド内および海底地盤内の**間隙水圧**は、信頼度が確認された数値モデルで評価可能である。マウンド内の間隙水圧は縮尺効果を適切に考慮した模型実験によって評価可能である。

6.1.8 クラウンウォールに及ぼす波の作用

- (1) クラウンウォール前面の直立部に波が直接にぶつかること、衝撃波力が作用する可能性がある。………クラウンウォール全体の滑動および滑り破壊に対する安定性を評価するためには、同時に発生する**前面波力と垂直力の最も危険な組み合わせ**を考慮すべきである。
- (2) クラウンウォール前面に作用する衝撃波圧は、極めて短時間だけ作用する高いピーク値で特徴づけられる。衝撃波圧がクラウンウォール全体の安定性に及ぼす影響は、**基礎との動的相互作用を適切に考慮**して評価すべきである。………
- (3) クラウンウォールの強度評価に当たっては、クラウンウォールの各部に**最大の引っ張り力をもたらすような荷重分布**を考えるべきである。荷重としては、波圧、クラウンウォール前面の被覆材から伝達される波力、クラウンウォール前面に寄る被覆材の自重、および基礎からの反力がある。
- (4) クラウンウォールへの荷重は、望み得れば斜め波による3次元効果と縮尺効果を適切に考慮した模型実験から求めるべきである。………

6.1 傾斜防波堤への波の作用 (4)

6.1.9 フィルター層に対する波の作用

フィルター層は、波による圧力勾配によって小粒径の石が大粒径のマウンド石層へ移動させられないように設計すべきである。**フィルター層の粒径分布**に関しては、模型実験および現地観測に基づく**経験式**が適用可能である(付属文書D.1.8参照)。

6.1.10 被覆材の内部応力

- (1) 波は被覆材に直接に流体力を作用させ、それによって被覆材は動揺し、あるものは転動させられる。この流体力と被覆材の自重によって発生する**被覆材の内部応力**が部材強度を超えると、被覆材が破断する結果となる。この問題は無筋コンクリート製のスレンダーな形状の被覆材でより多く発生するので、設計段階で吟味すべきである。
- (2) 内部応力に関しては検証済みの**半経験式が適用可能**である(付属文書D.1.9参照)。
- (3) 捨石が波によってひんばんに転動させられる箇所では、捨石の摩滅や折損が起きる可能性がある。その場合には、**捨石の長期挙動**について調査すべきである。
- (4) **バーム式防波堤**にあっては、海側の捨石が波によって多大の距離を転がされ、摩滅や圧壊作用を受けるので、**堅牢でかつ破砕に対して十分な強度の石材**を用いるべきである。

6.1.11 波と流れによる海底洗掘

………

6.2 直立および混成防波堤に対する波の作用 (1)

6.2.1 直立および混成防波堤の定義

6.2.2 直立および混成防波堤に対する波の作用の形態

- (1) 直立および混成防波堤に対する**主要な波の作用**は、堤体の前壁への波圧および底面への揚圧力であり、これらが堤体の滑動、転倒、および基礎の破壊に対する安定性ならびに構造部材の安全性を支配する。
- (2) 直立および混成防波堤は、構造上の安全性を損なうことなく、**ある程度の越波を許容**できる。混成防波堤は、堤体前面の捨石基礎の被覆材が波による流れで不安定になる危険性を有する。波による流れは捨石前面の海底を洗掘し、捨石基礎に損傷を与える可能性がある。

6.2.3 波圧、揚圧力、および浮力

- (1) 直立および混成防波堤の堤体に及ぼす波浪作用は、**不規則波群中の波高最大波の波に対して算定**すべきである。
- (2) 堤体へ作用する波圧と揚圧力は、**水理模型実験あるいは基礎合同式**(付属文書E.2参照)などの**適切な計算式**によって算定すべきである。防波堤の頭部から背後へ回折する波が無視できない大きさのときには、**堤体背後の波圧を考慮**しなければならない場合がある。波圧は、堤体全体の安全性の検討と構造部材の設計とで異なることに注意すべきである。防波堤の安定計算においては、堤体の設計潮位以下の没水部分に対する浮力を考慮しなければならない。
- (3) 波浪条件、防波堤形状、および海底地形の組み合わせによっては、防波堤に衝撃碎波圧が作用する可能性がある。衝撃波圧は強大なピーク値と極めて短い継続時間で特徴づけられる。防波堤の設計において堤体の全体あるいはその構造部材に及ぼす**衝撃波圧の作用を考慮する必要がある場合には、そのピーク値と同時に継続時間も考慮**して評価すべきである。

6.2 直立および混成防波堤に対する波の作用 (2)

6.2.4 越波

直立および混成防波堤の天端高ならびに上部工の形状を定める際には、防波堤背後水域の利用状況に応じ、**越波および防波堤背後への伝達波高の大きさを検討**すべきである。

6.2.5 捨石基礎の被覆材に対する波の作用

捨石基礎の表面を保護する被覆材は、波の作用に抵抗してその位置にとどまる能力を持たなければならない。**被覆材の最小質量**は、望み得れば**水理模型実験**で定めるべきである。堤頭部の被覆材の安定性については、3次元実験が推奨される。所要質量推定のための**経験公式**については付属文書E.3参照。

6.2.6 基礎の支持力に対する波の作用の影響

- (1) 直立および混成防波堤の堤体には、前壁、上部工および後壁への波圧、底面への揚圧力、ならびに没水部分への浮力が作用し、これらがその自重に加わって、捨石基礎表面および海底面に**偏心傾斜荷重**を作用させる。捨石マウンドおよび海底地盤の支持力が不足な場合には、この偏心傾斜荷重によって捨石マウンド内および/または海底地盤内に地盤工学的破壊が発生する可能性がある。
- (2) 直立および混成防波堤の安定計算では、**滑り破壊に対する適切な解析方法**を用いるべきである(付属文書E.4参照)。

22

6.3.1 海岸堤防 (1)

6.3.1.1 海岸堤防の定義

海岸堤防は、背後地を侵食および氾濫から防護するために海岸に平行に人工的に築かれる**傾斜型土質造物**である。海岸線に沿う堤防とエスチュアリー沿いの堤防とがある。これらの堤防は、海側および陸側の**緩やかな斜面**で特徴づけられる。海岸堤防には海側および/または陸側法面に小段(たとえば堤防へのアクセス道路)を設けることが非常に多い。海岸堤防は一般に砂および/または粘土で築かれ、芝、アスファルト、石張り、あるいはコンクリート舗装などさまざまな材料で覆われる。

6.3.1.2 波の作用の形態

- (1) 海岸堤防への**波と流れの作用**には以下のものが含まれる。
 - 堤防の海側法面への波浪荷重(砕波による衝撃荷重を含む)、
 - 堤防の海側法面への波の遡上および遡下(層厚および流速を含む)、
 - 堤防頂部の越波、
 - 波の遡上および遡下による堤防内部への浸透。
- (2) 海岸堤防への波の作用は**前面の水深と潮位変化**を考慮し、設計潮位(DWL)において**設計波高と周期**(5.2節)を対象として算定しなければならない。必要ならば、波スペクトルの形状の影響を考慮すべきである。

23

6.3.1 海岸堤防 (2)

6.3.1.3 海側法面への波の作用

海側法面に関しては波の遡上高が天端高を決定するので、砕波(砕波指標)を考慮して**波の遡上高**を評価すべきである。遡上および遡下の流れ(層厚と流速)、内部浸透、堤防内部の**遡流水位**、舗装あるいは保護層の下に波による**揚圧力**、および堤防の海側法面への**波浪面衝撃荷重**を必要に応じ考慮すべきである(付属文書F参照)。

6.3.1.4 海側法先への波浪作用

海岸堤防の海側法先は、**堤体を十分に支持できるだけの安定性**を保持していることを確認すべきである。したがって、捨石の所要質量は水理模型実験、経験公式、あるいは既往実績で定めるべきである。低潮位における波の遡上と遡下は法先の安定性に影響するであろうから、検討が必要である(付属文書F参照)。

6.3.1.5 越波

海岸堤防を越波した波は堤防の陸側に損傷を与える可能性がある。そのため、**堤頂の越波量**を算定すべきである。越波量の平均およびピーク値の予測については経験公式が使用可能である(付属文書F参照)。海岸堤防が堤防および背後地の地域条件を考慮した許容越波流量に対して設計されている場合は、堤防本体の越波被害あるいは波及被害を避けることが可能である。越波が支配的要因である場合には、堤防本体に損傷を与える個々の波の越波量が平均越波流量から大きく異なるので、水理模型実験が推奨される。

6.3.1 海岸堤防 (3)

6.3.1.6 堤頂部および岸側法面への波の作用

堤防の天端は、設計条件において許容される値を超える**越波流量を防止するのに十分な高さ**とすべきである。越波あるいは越波水塊は堤防の裏法面に相当の損傷を及ぼし、結果として堤防本体の全面崩壊を導くかもしれない。裏法面の安定性を評価するために水理模型実験を行い、平均越波流量、個々の波ごとの越波量、堤防天端および裏法面の越波水流の層厚と流速についての情報を取得すべきである。これらのパラメータを評価するための経験公式は付属文書Fの引用文献に見いだされる。

6.3.1.7 地盤工学的破壊に及ぼす波の作用

海岸堤防への波の作用によって**地盤工学的破壊**が引き起こされることがあると、これによって堤防本体の安定性が損なわれるので、これについての検討が必要である。こうしたプロセスについては半経験および解析モデルが利用できる(付属文書F参照)。

6.3.1.8 波と流れによる海底洗掘

海底が侵食を受けやすい箇所では、構造物の周辺あるいは近隣箇所の海底が波と流れによって洗掘されるかもしれない。**洗掘深について検討**すべきであり、必要に応じて洗掘対策を講ずるべきである。

25

6.3.2 防波護岸 (1)

6.3.2.1 防波護岸の定義

防波護岸は、一般に**海岸線に平行な陸上またはごく浅い海中に築かれた構造物**である。これらは重力式コンクリート壁、鋼矢板またはコンクリート矢板壁、石積み構造物などの直立面を有する構造物、あるいはコンクリートスラブ、コンクリートブロックまたは捨て石で被覆された傾斜構造物として構築される。防波護岸の主要機能は、海岸の横断面の一部を補強し、陸地および社会資本施設を波浪作用と湛水から防護することである。

6.3.2.2 防波護岸の分類と構造要素

防波護岸は波浪作用の観点から(1) **傾斜型と直立型**、(2) **有空間型と非空間型**に差別化されるべきである。防波護岸の分類にかかわらず、3つの主要構造要素を明確化しなければならない。すなわち、本体(前面と内部を含む)、法先、および堤頂(裏法面を含む)である。

6.3.2.3 波の作用の形態

- (1) 防波護岸への波浪作用は、前面の水深と潮位変化を考慮し、**設計潮位(DWL)**において**設計波高と風速**(5.2節)を対象として算定しなければならない。**天理高は許容し得る越波の総量と護岸形状を考慮して算定すべきである。**
- (2) 防波護岸の構造要素である堤体(前面、フィルター層、内部)、法先および堤頂(種々の天端形状と裏法面)の**安定性に関連する事項**としては、以下のものを考慮しなければならない: (i) 水平波力(正および負); (ii) 波の揚圧力; (iii) フィルター層を含む被覆層の物理的安定性; および (iv) 本体内部の内部水圧および浸透流。

6.3.2 防波護岸 (2)

6.3.2.4 波の反射

防波護岸は入射波の一部を反射するであろうし、そうした反射波は護岸前面の波浪状況および海岸域の底質輸送に多大の影響を与えるかもしれない。したがって、防波護岸からの**波の反射の影響について調査**すべきである。波が正面から入射するときの反射率は経験公式で推定することが可能性である(付属文書F参照)。

6.3.2.5 海側法面に対する波の作用

- (1) 防波護岸の海側法面に対する波の作用は、法面保護に用いられる被覆材の種類に大きく依存する。**波候とともに被覆工の種類を調査し**、それにしたがって被覆材料を選定しなければならない。海側法面用に選定された材料の安定性を評価するため水理模型実験が必要となるかもしれない。経験公式もまた使用可能である(付属文書F参照)。
- (2) 波による過大な遡上は護岸頂部を超える著しい越波を招き、また遡上および遡下は海側法面の侵食を引き起こすかもしれないので、**遡上および遡下を推定**する必要がある。付属文書Fに経験公式および半経験公式が引用されている。

6.3.2.6 海側法先への波浪作用

防波護岸の法先構造の主要機能は、本体下部の洗掘防止である。法先の破壊は防波護岸の崩壊を招くことがあるので、**法先に対する波の作用は水理模型実験で**評価すべきである。

6.3.2 防波護岸 (3)

6.3.2.7 越波

防波護岸の越波は護岸構造それ自体あるいは護岸背後の物体に著しい損傷を与えたり、護岸直背後で生活または働いている人々に危険を及ぼすかもしれないので、**越波については詳しく吟味**すべきである。護岸形状が複雑で越波量公式が適用できない場合など、平均越波流量ならびに個々の波の越波量を評価するために水理模型実験あるいは数値モデルが必要となるかもしれない。付属文書Fに水理模型実験と現地調査に基づく経験公式が引用されている。

6.3.2.8 波による力

- (1) **直立あるいは急傾斜の前面を有する防波護岸**は、全体の安定性を脅かすような**波の衝撃**にさらされるかもしれない。設置場所の地形および護岸の前面形状によっては、防波護岸には脈動型および衝撃性の波浪荷重の両者が作用するかもしれない。したがって、波の作用の形態を識別し、滑動、転倒、地盤の滑り、支持力不足などの該当する破壊モードについて徹底的な調査を行うべきである。また、水平力、揚圧力および高潮位の最も厳しい荷重の組み合わせを検討すべきである。波浪衝撃力の継続時間や護岸の強度などの関連事項については6.1.8節を参照。
- (2) 単純な形状の防波護岸(小段付きあるいは小段無しの直立壁)については付属文書Fに述べられているように、2次元の場合には波の力を半経験公式によって評価することができるとは、より**複雑な形状については水理模型実験で**調査する必要がある。

6.3.2.9 波と流れによる海底洗掘 ……………

6.4 柱状構造物と孤立構造物への作用 (1)

6.4.1 柱状構造物の定義

……

6.4.2 波と流れの作用の形態

柱状部材の周りを通過する波と流れは、部材表面の静水圧とは異なる動的な圧力を及ぼす。柱体の全表面にわたってこれらの圧力を積分すると、柱体に働く力となる。波と流れの作用は、**抗力、慣性力、屈折力、および渦放出に起因する作用力**(渦励起振動)からなる。

6.4.3 流れの作用

柱体に働く流れの作用は、適切な抗力係数を用いた**抗力算定式で計算**すべきである。

6.4.4 鉛直柱体に対する非碎波時の波と流れの作用

- (1) 小口径の柱体および柱状構造物材に対する非碎波の波と流れの作用は、基本的には、適切に評価した波の運動力学特性ならびに**抗力および慣性力係数を用いたモリソン式**で算定すべきである。
- (2) **大口徑の柱体**および柱状構造物材に対する非碎波時の波の作用は、回折波理論、数値計算手法または水理模型実験によって算定することができる。

6.4 柱状構造物と孤立構造物への作用 (2)

6.4.5 鉛直、傾斜および水平柱体に対する碎波時の波と流れの作用

浅い海中およびリーフの上の鉛直、傾斜、および水平柱体に碎波がぶつかるときの波と流れの作用は、**適切な算定式**で求めるべきである。波によるスラミング作用については特に考慮すべきである。水深が急変する地形での重要な代替不能な構造物については**水理模型実験**を実施すべきである。

6.4.6 水平および傾斜柱体への波のスラミング作用

波の進行に伴って傾斜および水平柱体が水面に没入したり、また干出するような場合には、柱体に**スラミング力が作用**することを考慮すべきである。

6.4.7 上床板に対する波の作用

プラットフォームあるいは栈橋の上床面が波で叩かれる可能性がある場合には、**スラミング作用を食めた波の作用**を考慮しなければならない。

6.4.8 小口径のバイブラインに対する波の作用

海底近くあるいは海底上に布設された小口径のバイブラインに対する波と流れの作用は、**水平力に關してはモリソン式の算定式、揚力については慣性項を除外した同様の算定式**で求めるべきである。

6.4.9 流れと波による動起振動

固定されていないバイブラインなどの細長な構造物においては、破断および疲労強度の観点から、波および流れが柱体周りに発生させる**渦放出に起因する振動を考慮**しなければならない。

6.4.10 波と流れによる柱体周辺の海底洗掘 ……………

6.5 浮き防波堤と波の相互作用

6.5.1 浮き防波堤の定義

- (1) 浮き防波堤は、港内やマリーナなどに侵入する波の高さを低減する目的で設置される係留浮体である。最も多い断面形状は矩形であり、……………。
- (2) 浮き防波堤の**波高低減効果**は、主として波長と堤体幅の比に依存する。このため浮き防波堤は主に、周期の比較的短い波のみが存在する、**やや浅瀬された水域で利用**される。海洋波浪やうねりのある開放性の海岸では、浮き防波堤は経済的でない、……………。
- (3) 浮き防波堤の係留は、海底のアンカー、杭、あるいはコンクリート塊に固定されたワイヤーおよび/またはチェーンによるのが普通である。これらの**係留系は非線形な質量並位特性**を持つことが多い。

6.5.2 波と流れの作用の形態

- (1) 浮き防波堤に波が作用すると、箱形浮体と係留系に力が働く。このため「浮き防波堤 / 係留系」の動的システムが考慮されなければならない。海底のアンカー、杭、あるいはコンクリート塊は**係留系の重力に対して十分な抵抗力を保持**すべきである。
- (2) 浮き防波堤は**6 自由度の運動**、すなわち前後揺れ、左右揺れ、上下揺れ、横揺れ、船首揺れ、および縦揺れをひき起こす。伝達波ならびに防波堤への波力とその運動は、**係留系の質量並位特性を考慮に入れた数値計算法で解析**すべきである。
- (3) 緩やかに変動する**波運動力**は一般に大きな水平運動を引き起こし、浮き防波堤の係留力を支配する。
- (4) **流れの作用は抗力公式で計算**すべきである。抗力係数の値は喫水と水深の比を考慮しつつ適切に選定すべきである。
- (5) 必要な場合には、波と流れの合成作用を考慮すべきである。

6.6 防波スクリーンへの波の作用 (1)

6.6.1 防波スクリーンの定義

防波スクリーンは、泊地あるいはマリーナを波の作用から防護するための固定あるいは剛な防波堤であり、**1枚あるいは複数枚の薄い鉛直壁で構成される多様な構造物**を含む。防波スクリーンを構成する薄いパネル部分は波の作用を抑えるためのものであり、単杭あるいは独立した杭構造などの支持構造物に取り付けられる。防波スクリーンは**不透水あるいは透過型**であり、海底まで伸ばす場合と海底と透き空けた中間水深でとどめる場合とがある。これらの構造物には波バリアー、波フェンス、波スカート、隔壁防波堤、カーテン防波堤などの名称がある。

6.6.2 波の作用の形態

防波スクリーンに対する主要な波の作用は、スクリーンの前面と後面へ交互に作用する波圧である。これらの波圧を積分した結果が**水平力と関連するモーメント**であり、これらはパネルと支持構造物で受け止められなければならない。波浪荷重は一般に**風速あるいは波一トの航定速**によるものである。

6.6.3 波力

防波スクリーンへの水平波力は、波と構造物の相互作用に関する数学モデルによる動的圧力の積分、検証された経験公式、または物理模型実験の結果からの外挿によって計算することができる。波力は、設計波浪条件における個々の波の**波群中の波高最大の波に対して算定**すべきである（付属文書1参照）。防波スクリーンは直立防波堤や捨石式傾斜防波堤に比べて脆弱性を有すると考えられるので、**安全率を算定するときには適正な考慮**を払うべきである。浮力による鉛直荷重も考慮しなければならない。

6.6 防波スクリーンへの波の作用 (2)

6.6.4 波によるスラミング作用

防波スクリーンは、**スラミング荷重が発生せず**、波浪荷重が周期的に作用する状況に対して設計されるのが普通である。もし砕波によるスラミング作用が予測されるような場合には、物理模型実験によって吟味すべきである。

6.6.5 波の伝達、反射および越波

防波スクリーンの**喫水、空欄率**、および**天端高**に関しては、防波スクリーンの下部あるいはその中を通過する伝達波、波の反射、および越波の度合いを吟味した上で設定すべきである。防波スクリーンの端部からの回折波の影響もまた考慮すべきである。波と防波スクリーンの相互干渉は、数学モデルあるいは水理模型実験を用いて吟味すべきである。算定に際しては**不規則波を対象とし、低水位と高水位の両者について検討**すべきである。

6.6.6 波と流れによる防波スクリーン周辺の海底洗掘

……………

33

7 波と流れの作用にさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (1)

7.1 波と流れの作用に関する不確定性の吟味

- (1) 波と流れの作用は ISO 2394 で与えられる定義により、**変動荷重として分類**される。……………作用の推定方法および作用に対する応答は、水理的基本変数のランダム変動に加える不確定性を包含している。こうした**不確定性の主要原因**は以下の通りである（詳しくは付属文書J.1参照）。
 - ・自然現象である基本変数の統計的変動性
 - ・水理的基本変数の測定、追算、あるいは目視観測に係わる誤差
 - ・基本変数の利用可能データの標本の大きさが制限されていることに起因する変動性
 - ・水理的基本変数へ未知である真の長周期分布の代わりになる分布を当てはめる選択
 - ・基本の水理データへ一つの分布関数を当てはめたときのパラメータ推定の変動性
 - ・高潮時の水位の推算モデルの正確さ
 - ・波浪予測 / 追算モデルの正確さ
 - ・波浪変形など、深海から浅海へ至る波と流れの変形モデルの正確さ
 - ・波と流れの作用の予測モデルの正確さ
 - ・構造物および水理的応答の予測モデルの正確さ
 - ・荷重ならびに構造物および水理適応等の推定のための物理模型実験結果の信頼性
- (2) これらの不確定性のそれぞれについて**偏差および標準偏差を調査**し、それらを波と流れの作用の算定に際して適正に考慮すべきである。

7 波と流れの作用にさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (2)

7.2 構造物の信頼性評価

- (1) 波と流れの作用を受ける構造物は、その経済的および社会的機能、環境影響、および被災時の波及被害を適正に考慮し、**使用限界状態と終局限界状態における信頼性を評価**すべきである。構造物の設計供用期間内における構造物の信頼性を評価する際には、7.1節の不確定性の特性および規模を適正に考慮すべきである。
- (2) 望み得れば**設計供用期間内の破壊確率**を評価すべきであり、それが所定の種類の構造物に対して責任機関によって設定あるいは承認された破壊確率の最小値よりも小さいことを確認すべきである。
- (3) 破壊確率は、**信頼性指標**による方法、あるいは基本変数の**確率密度関数の数値積分**の直接計算または**モンテカルロ法**によって算定できる。
- (4) 使用限界状態および終局限界状態においてある程度の変形を許容する構造物にあっては、望み得れば**変形の期待値を算定**すべきである。

注記： ケーソン防波堤はその堤体が短い距離を滑動した後でも波を遮る機能を保持する。バーム式防波堤は海側法面が安定形状に達するまで波による変形を許容する。

35

付属文書 A 水位

A.1 潮位

- (1) 潮位はどの場所でも時間とともに連続的に変化するので、潮位変化の範囲を指示するために**何らかの代表的潮位**が用いられる。……………。
- (2) これらの高（低）潮位に加えて、朔（新月）および望（満月）の日から5日以内の各月の最高（低）潮位の年間平均である**期望平均高（干）潮位**も、潮汐の高（低）潮位の代表として用いることができる。
- (3) 所定の地点の水位は、高潮、津波、その他によって天文潮汐の範囲を超えて変化する可能性がある。**高潮と津波は非常に高いところまで水面を高めるばかりでなく、最低天文潮位以下に水面を引き下げる可能性**がある。

A.2 設計潮位

- (1) ……設計水位を選定する原則は、構造物および/または施設の安定性ならびに/あるいは安全性にとって**最も不利となる波、流れ、および水位の組み合わせ**を用いることである。
- (2) 土留め壁などある種の構造物では、津波の引き波時に**水位が堤端に下がったとき**、背後の土圧と残留水圧によって海側へ倒壊するかもしれない。構造物前面の海底洗掘が懸念される場合には、**低水位が支配的条件となる可能性**がある。直立または混成防波堤の形状によっては、水位が中間位置あるいは低潮位のときに防波堤に衝撃砕波圧が作用するかもしれない。しかしながら、多くの構造物の設計事例では**設計潮位をむしろ高めの位置に設定**する。
- (3) 設計水位を**高い位置に設定する方法論**は、利用できるデータ、採択されている設計手法、地域条件その他に依存し、**未だ確立されていない**。以下のような数種類の方法が引用できよう。

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (1)

B.1 波浪の変動性とパラメータ

B.1.1 海の波の変動性

B.1.2 短時間内の個別波高の周辺分布

- (1) 短時間内の個別波高の分布はレーリー分布で近似可能である。……
- (2) レーリー分布の仮定により、有義波高がスペクトル情報から次のように推定可能となる。

$$H_{1/3} = H_{m0} = 4.0 \eta_{ms} = 4.0 \sqrt{m_0} \quad (B.. 1)$$

- (3) このレーリー分布は波高の分布に対して良好な近似を与えるけれども、深水域では波高分布の幅がレーリー分布よりも僅かながら狭く、経験的に $H_{1/3} = 3.8 \eta_{ms}$ または $H_{1/3} = 0.95 H_{m0}$ の関係を生んでいる。一方、外浜帯の外側の比較的浅い水域では波の非線形性の影響が強まるため、波高分布の幅はレーリー分布と同程度またはそれよりもさらに広くなる。
- (4) 外浜帯の外縁では、波高の大きい波に対する碎波高の水深規制によって波が不規則に砕け始め、波高の周辺分布の幅はレーリー分布よりもかなり狭くなる。しかしながら、波が汀線に向かって進行するにつれ、平均水位の一定の上昇（ウェーブセットアップ）とその時間的変動（サーフビート）のために波高の分布が再び広くなる。

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (2)

- B.1.3 最高波高と有義波高の関係 ………
- B.1.4 短時間内の個々波の周期の分布 ……

B.2 波浪スペクトル

- B.2.1 波の方向スペクトル
- B.2.2 風波とうねりの周波数スペクトル

- (1) 周波数スペクトルに関しては………、波の作用を算定するためには、周波数スペクトルを波高と周波数の代表値の関数として表すほうがより便利である。
- (2) 十分に発達した風波に対しては、次式のプレットシュナイダー・光島型スペクトル……。
- (3) 単一ピークのスペクトルの広範囲な形状に対しては、以下に示す修正JONSWAP型……。

B.2.3 方向分布関数

B.2.3.1 方向分布関数の標準形

- (1) 風波の方向分布関数についてはいろいろな関数形………。
- (2) 現地データに基づく方向分布関数は以下の光島型である。
- (3) 方向集中度パラメータのピーク値 α_{max} は風波の発達状況によって変化する。……
- (4) 幾つかの多方向模型実験で使用されている方向分布関数は……包み込み正規分布型……。

B.2.3.2 分布関数の標準形相互の関係 ………

B.2.3.3 浅水域での方向分布関数

- (1) 浅水域における風波およびうねりの方向分散は、波の屈折効果のために浅水域よりも狭い……
- (2) 波浪作用の算定においては、……浅水域において適用する値を使用すべきである。

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (3)

B.2.4 複合波浪状況の波高と周期の代表値

- (1) 波浪状況が風波とうねりの……複合海面状態の方向スペクトルは、これらの風波とうねりの方向スペクトル密度を線形に重ね合わせて求められる。……
- (2) 複合波浪状態の代表波高は次のようにして推定可能である。……

B.3 波候統計

B.3.1 波候の統計的記述

B.3.2 波高と周期の代表値の周辺分布

- (1) 波候の波高と周期の代表値の周辺分布に対しては、ワイブル分布と対数正規分布がしばしば当てはめられる。………、波高あるいは周期の代表値の周辺分布に用いられるデータセットは、統計的に独立なデータの積本を構成しない。
- (2) ……金データあてはめ法……は本質的に不正確性を包含しているため、設計波高の算定用として用いるべきではない。

B.3.3 波高と周期の代表値の相関分布

- (1) 波高と周期の代表値の相関分布の様相は、その場所の波候の性質に大きく依存する。……
- (2) 多年にわたる波高と周期の代表値の結合分布は、レーリー分布とのたみ込みによって個々波の波高分布に換算し、海中の構造物の設計供用期間における全個々波の波高、あるいは波作用の周辺分布を生み出すことが可能である。

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (4)

B.4 極値波浪統計

B.4.1 極値波浪統計のためのデータセット

- (1) 極値波浪統計のデータベースは、長期間にわたる波浪の計量観測および/または波浪造成実験の結果である。………
- (2) データは 30 年以上にわたって記録されたものが望ましい。………
- (3) 観測および/または追算された極値波浪は、望み得れば気象観測のタイプごとに分類し、それぞれの高波のタイプごとのデータセットを準備できるようにすべきである。………
- (4) 極値波浪のデータセットは二つの方法……毎年最大値法と……極値時系列法（略して POT）法である。……
- (5) 1年間の高波の平均数すなわち平均発生率は、極値時系列法（POT）を用いて極値波浪解析を行う際の重要なパラメータである。

B.4.2 高波の波高の極値分布関数

- (1) ……極値波高のデータセットに対する当てはめの候補として数種類の分布関数を用いられる。
- (2) 極値波浪解析で通常に用いられる分布関数は、極値 I 型（二重指数またはグンベル）、極値 II 型（フレッシュ）、およびワイブル分布である。……一般化極値分布や対数正規分布……も可能。

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (5)

B.4.3 極値分布関数へのデータ当てはめと分布関数の選定

- (1) ……分布関数への当てはめには最小 2 乗法（LST）、最尤法（MLM）その他を……最小 2 乗法を用いるときには、それぞれの分布関数に対して個々のプロットイング・ポジション公式を用いるように注意すべきである。
- (2) 当てはめの最適分布および/または棄却に関しては、……適切な情報を採択し、……

B.4.4 R 年確率波高と信頼区間

- (1) ……所定の再現期間に対応する波高すなわち R 年確率波高は、極値統計の標準手法で推定……。
- (2) 波浪観測および/または追算で得られた極値波高のデータセット……の変動性のために、それぞれの標本は R 年確率波高として異なる値を推定する。……確率波高の推定に際しては信頼区間の範囲を推定し、表示すべきである。
- (3) さらに、高波の波高の真の母集団分布を知る方法は一般に存在しない。……

B.4.5 最高波高に対する R 年確率波高 ……

B.4.6 R 年確率波高に対する波周期

- (1) 波浪作用を算定する際には、R 年確率波高に伴う波周期……を推定するための方法は未だ確立されていない。波高と周期の有意な関連性を見いだすために、高波時の波高と周波数の結合分布がしばしば準備される。
- (2) 深水域で十分に発達した風波については、次の平均的関係を引用することが可能である。

$$T_{1/3} = 3.3 H_{1/3}^{0.63} \quad (B.17)$$

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (6)

B.5 波浪変形

B.5.1 波浪変形の階過程

B.5.2 浅水変形

B.5.2.1 線形浅水係数

- (1) 線形波浪理論は浅水域における波長、波速、群速度、および浅水係数を計算する基礎を提供する。
- (2) ……不規則波の浅水係数は単一周期波の浅水係数と異なるけれども、多くの場合にその差は高々数パーセントである。

B.5.2.2 非線形浅水係数

- (1) ……非線形波の浅水係数は線形波よりも大きくなる。……
- (2) ……波速着流の算定では非線形浅水係数を使用すべきである。……

B.5.3 波の屈折

- (1) ……屈折変形……は、しばしば波向線法あるいはコンピュータ……で解析されるが、これらは単一の周期と波向を持つ規則波（単色波）に対して開発されたものである。実際の波の屈折では、こうした屈折計算法も予備的解析に利用可能である。
- (2) しかしながら原則としては、波の屈折は方向スペクトルを入力とする多方向不規則波を対象として解析すべきである……
- (3) 3 次元形状のリーフあるいは他の複雑な海底地形……の詳細を解析するには……多方向不規則波を用いるべきである。

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (7)

B.5.4 波の回折

- (1) ……回折係数の結果は規則波と不規則波で大きく異なる……実際の状況で波の作用を算定するときには**規則波**に対する回折解析を**適用すべきではない**。
- (3) 多方向不規則波の回折係数の値は、波エネルギーの方向分散の度合いに大きく依存する。**方向集中度パラメータ**の値は、……適正な注意を払って選択すべきである。

B.5.4 波の反射と伝達 ……

B.5.6 砕波

- (2) 砕波の大半が起きる外浜帯すなわち砕波帯では、個々の波の**波高分布はレーリー分布から逸脱**する。……
- (3) …… $H_{1/3}$ や H_{rms} など波高の代表値の変化を予測する数値モデルがいくつか提案されてきた。そのうち、外浜帯の全体を通して**波高分布の波形をシミュレート**できるモデルは**僅か**である。……

B.5.7 流れによる波の変形

- (1) 波と流れの相互作用は一般に**数値理論で算定**される。……
- (2) 実用目的では幾つかの**数値モデル**が利用できる。……

B.5.8 その他の変形

- (1) ……**産産産産**による波浪減衰の大きさを十分な信頼で算定することはむずかしい。
- (2) ……**産産産産産産**……現地において……波浪減衰を定量的に算定する方法は未だ確立されていない。

付属文書 B 波浪作用のパラメータ (8)

B.6 波の運動力学特性

B.6.1 波頂高

- (1) 最高波の波頂高は……杭支持構造物の設計の基本要素の一つである。……**規則波の非線形理論**がしばしば大きな波の波頂高と波形を計算するのに用いられる。……
- (2) ……表 B.1 は Yamada and Shiotani (1968) によって計算された、一様水深域におけるパーマネント型の**進行波の理論的碎波限界**を示す。

B.6.2 水粒子速度

- (1) ……大波高の波の運動力学の算定には三つのアプローチがとられる。
- (2) 第1のアプローチはゼロクロス法で定義される**個々波に対して規則波の非線形理論**を用いる……
- (3) 第2のアプローチは、表面波の方向スペクトル……から運動力学 (水粒子速度と加速度) ……**スペクトル計算**を行う……
- (4) 第3のアプローチは Dean (1976) による**ハイブリッド法**で……
- (5) 非線形波理論では、ストークス第5次近似理論と Dean (1965) による**流れ展散法**が石油産業界ではしばしば用いられる。

B.6.3 波と流れの運動力学

- (5) **石油産産産産**では、適当な波理論から得られる波による水粒子速度を時々刻々の水位で引き伸ばし、これに流れの速度を単純に加算している。

表 B.1 パーマネント型波の碎波の特性 (Yamada & Shiotani 1968)

H_0/L_0	h_0/L_A	h_0/L_b	C_d/C_A	H_0/L_b	H_0/h_b	$\eta_d H_b$
∞	∞	∞	1.193	0.1412	0	-
0.935	0.935	0.7686	1.189	0.1409	0.1791	0.6706
0.471	0.474	0.4011	1.181	0.1386	0.3456	0.6765
0.286	0.300	0.2597	1.154	0.1277	0.4919	0.6908
0.1856	0.216	0.1885	1.143	0.1115	0.5912	0.7165
0.1117	0.1510	0.1331	1.134	0.08997	0.6683	0.7619
0.0763	0.1198	0.1050	1.141	0.07410	0.7059	0.7939
0.0474	0.0915	0.07915	1.156	0.05771	0.7293	0.8392
0.0284	0.0694	0.05909	1.174	0.04430	0.7496	0.8766
0.01669	0.0525	0.04398	1.193	0.03371	0.7666	0.9061
0.01095	0.0422	0.03499	1.207	0.02720	0.7774	0.9242
0.00575	0.0306	0.02483	1.231	0.01962	0.7904	0.9453
0.00239	0.01953	0.01570	1.244	0.01260	0.8028	0.9649
0.001144	0.01351	0.01075	1.257	0.00871	0.8099	0.9757

記号: H_0 = 碎波高, h_0 = 碎波水深, L_0 = 線形理論による深海波長, L_b = 碎波の波長,
 L_A = 微小振幅波の波長, C_b = 碎波点の波速, C_A = 微小振幅波の波速,
 h_c = 静水面上の波頂高

付属文書 C 流れ

C.1 一般

海底に基礎を置く構造物に対しては、全水深にわたる流速変化を考慮すべきである。……

C.2 流れのパラメータ

- (1) 流れの速度は空間的および時間的に変化する。……
- (2) **潮流**は規則的かつ予測し得るものであり、日最大速度はその日の潮差にほぼ比例する。……
- (3) **循環流**は一般的な海洋循環の一つの様相であり、
- (4) **吹送流**は、風のせん断応力と嵐の際の気圧勾配によって発生する。……開けた海岸線に沿う深海域では、表層の吹送流速は嵐による1時間平均風速の3%に達すると推定できる。……
- (5) 砕波帯内では、波で動起される**潮流**と称する特殊な流れが存在する。

C.3 流れの特性

- (1) ……**流況予測モデル**は必要とされるパラメータを提供する能力において風や波のモデルほど進歩していない。また、既存データセットの外挿に当たっては、流れの3次元構造を考慮する必要がある。
- (3) 波浪が卓越する大半の設計状況に対し、残差流および全流れの極値あるいは異常値は、対象地点での高品質の現地観測によって取得可能である。……流況モデルは対象地点での現地観測データの代理として利用できる。**流況モデル**は、潮流の調和分解を可能とし、残差流を全流れから分離できるよう、十分に長い期間にわたって計算すべきである。近隣の観測値によって流況モデルの計算結果の検証を保證するよう努力すべきである。

C.4 流速の鉛直分布

付属文書 D 捨石式傾斜防波堤への波の作用 (1)

D.1 在来型捨石式傾斜防波堤

D.1.1 序説

D.1.2 捨石式傾斜防波堤の破壊モード

D.1.3 海側被覆材の安定性

D.1.3.1 被覆材の被害の定義

被覆材の被害の度合いの定義は、幾つかの公式で異なっている。現在は**三つの定義**が使われる。

D = 移動させられた個数とある断面の個数との比

N_{od} = 被覆材の名目幅に対応する幅で斜面上に沿うストリップ内の移動個数

$S = A_0 / D_p^2$, ここに A_0 は被覆材の断面プロファイルの侵食面積を表す。

D.1.3.2 被覆材の最小質量

許容される被害範囲内で波の作用に対して安定な被覆材の最小質量は、次の**一般公式**で計算可能である。

$$M = \frac{\rho_s H^3}{N_s \Delta^3} \quad (D.1.1)$$

$$N_s = \frac{H}{\Delta(M/\rho_s)^{1/3}} = \frac{H}{\Delta D_n} \quad (D.1.2)$$

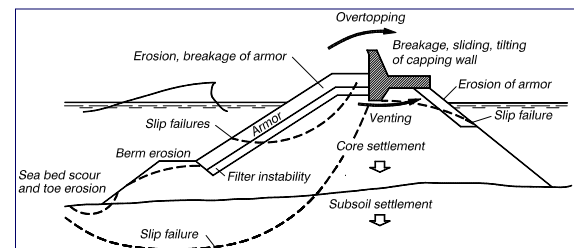


図 D.1.1 捨石式傾斜防波堤の破壊モードの概観 (Burcharth, 1997)

付属文書 D 捨石式傾斜防波堤への波の作用 (7)

D.2.2 バーム式防波堤の安定性と再整形

D.2.2.1 堤幹部の安定性と再整形

- (1) バーム式防波堤の安定性と再整形に関する研究の大半は、均質なバームについて行われてきた。しかし近年は、多層バーム式防波堤の安定性と再整形についても研究が行われている。

- (4) Tørum et al. (2003a) は、ランダムに並べられた石による均質バーム式防波堤および多層バーム式防波堤の平均風次元波高について次の単純な方程式を導いた。この式は概念設計に使用可能である。

$$\frac{Rec}{D_{n50}} = 0,000027(H_o T_o)^3 + 0,000009(H_o T_o)^2 + 0,11(H_o T_o) - f_1(f_g) - f_2\left(\frac{d}{D_{n50}}\right) \quad (D.2.1)$$

- (9) 波がほぼ直角入射の場合、異なるカテゴリーのバーム式防波堤の幹部に対する安定限界の推奨設計基準値は表D.2.1に示されている。

D.2.2.2 バーム式防波堤頭部の安定性と再整形

D.2.2.3 背後法面の安定性

D.2.3 越波

D.2.4 捨石の摩滅と圧壊

付属文書 E 直立・混成防波堤への波の作用

E.1 一般

E.2 防波堤の堤体への波の作用に関する拡張合田公式

- (6) 波圧修正係数 α_1 , α_2 , および α_3 は標準的な直立および混成防波堤では1.0の値を与えるけれども、消波コンクリートブロックで被覆された混成堤に対しては小さな値を指定する。
- (8) 衝撃砕波圧に対する配慮が必要な場合には、係数 α_2 を $\alpha_2^* = \max\{\alpha_2; \alpha_1\}$ で置き換える。ここに α_1 は衝撃砕波圧に対する係数であり、以下で定義される。
- (10) 合田公式は混成防波堤への全波浪荷重を10%ほど過大評価する傾向があり、その変動係数は0.1前後である。混成防波堤の確率論的設計に際しては、こうしたバイアスと不確定性を考慮すべきである。

E.3 捨石マウンドの被覆材の最小質量に対する経験公式

混成防波堤の捨石マウンドの被覆材設計用として利用できる公式の一つはTanimoto et al. (1982) によるもので、以下のように表される。

E.4 捨石マウンドと海底地盤の破壊に対する安定解析

………捨石マウンドと海底地盤の支持力は、**簡易ビショップ法に基づく円形滑り計算**で解析可能である。マウンドを構成している捨石の強度特性は応力レベルに影響されるので、望む得れば大型3軸圧縮試験によって推定する。しかしながら、港湾事業で一般に使われる捨石については、**簡易パラメータ**を見掛け粘着力 $c_d = 20 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi_d = 35^\circ$ で代表させることが可能である。

付属文書 F 海岸堤防・防波護岸への波の作用 (1)

F.1 海岸堤防

F.1.1 序説

- (1) 海岸堤防は背後地を侵食および氾濫から防護するために海岸に平行に人工的に築かれる**傾斜型土被造物**である。海岸線に沿う堤防とエスチュアリー堤防とがある。海岸堤防は海側(普通は1:4またはさらに緩やか)と陸側(普通は1:3またはさらに緩やか)の平たい法面で特徴づけられる。海岸堤防には海側および/あるいは陸側法面に小段(堤防へのアクセス道路)を設けることが非常に多い。海岸堤防は**砂および/あるいは粘土で覆われ**、芝、アスファルト、石張り、あるいはコンクリート舗装などさまざまな材料で覆われる。

F.1.2 海側法面に対する波の作用

- (1) 波の遡上高の決定には、広く用いられている $R_{u,2\%}$ の定義が利用可能である。
- (9) 被覆工または保護層の下に波による揚圧力は、被覆工の引き剥がし破壊に非常に関係しており、したがって適正に考慮する必要がある。……
- (10) 海側の芝と粘土材料の侵食は予測困難であり、今のところ経験公式があるだけである。……

F.1.3 越波

F.1.4 堤防天端および岸側法面に対する波の作用

F.1.5 土質工学的破壊に及ぼす波の作用の影響

3/

波の遡上高 $R_{u,2\%}$ (Van der Meer 1998)

$$\frac{R_{u,2\%}}{H_s} = 1,6 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_t \cdot \gamma_\beta \cdot \zeta_{\text{top}} \quad \zeta_{\text{top}} (= \tan \alpha / s_0^{0.5}): s_0 = H_0 / (L_p)_0$$

：最大値を $3,2\gamma_t\gamma_\beta$ とする。 (F.1)

$$\gamma_b = \begin{cases} 1 - 0,5 \cdot \frac{B_A}{L_{\text{berm}}} \cdot \left(\frac{R_{u,2\%} + h_b}{R_{u,2\%} - H_s} \right) & \text{for } \frac{h_b}{H_s} < -1 \\ 1 - \frac{B_A}{L_{\text{berm}}} \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \left(\frac{h_b}{H_s} \right)^2 \right) & \text{for } \left| \frac{h_b}{H_s} \right| \leq 1 \\ 1 - 0,5 \cdot \frac{B_A}{L_{\text{berm}}} \cdot \left(2 - \frac{h_b}{H_s} \right) & \text{for } \frac{h_b}{H_s} > 1 \end{cases} \quad (F.2)$$

$$\gamma_\beta = 0,35 + 0,65 \cdot \cos \beta \quad (F.3)$$

58

付属文書 F 海岸堤防・防波護岸への波の作用 (2)

F.2 防波護岸

F.2.1 序説

防波護岸は汀線に平行する、陸側あるいはごく浅い水域の構造物である。構造としては、重力式コンクリート壁、鋼矢板またはコンクリート矢板壁、石枠積み工などの**直立型被造物**、あるいは一般的にコンクリートスラブ、コンクリートブロックまたは捨石で被覆された**傾斜型被造物**である。防波護岸の主機能は、海岸の横断面の一部を補強し、陸地と社会資本施設を波浪作用や氾濫から保護することである。

F.2.2 波の反射

防波護岸で反射された波は、構造物前面の海岸水域に重大な影響を与えるかもしれない。特に、直立またはほぼ直立な工作物は波をほぼ全面的に反射し、防波護岸前面の波高を著しく増大させる。波高増大とともに、漂砂移動ポテンシャルも大きくなり、洗掘の危険性が増す……。

F.2.4 海側法先への波の作用

F.2.5 越波

- (1) **波の用法**は水理模型実験では未だ再現されていないので、必要な場合には**技術者の経験**を考慮する必要がある。

F.2.6 波による力

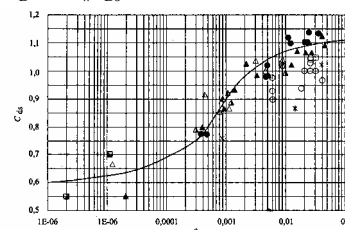
- (1) 防波護岸の形式によっては、天端および/または壁体部が護岸の安定性を脅かすような、水平および鉛直に作用する波力にさらされるかもしれない。したがって、**押ける波と押けない波の区別は不可欠**であり、防波護岸の設計において考慮する必要がある。

付属文書 G 柱状部材・孤立構造物への波と流れの作用 (1)

G.1 流れの作用

- (1) 単一の構造物要素に定常な流れが及ぼす作用は、次の抗力方程式によって求めることができる。

$$F_D = 0,5 \rho_w C_{Ds} D U^2 \quad (G.1)$$



図G.1.1 臨界レイノルズ数領域における定常流中の円形柱体の抗力係数の相対程度 ($e = k/D$) への依存性: 出典ISO/CD 19902 (2001)

付属文書G 柱状部材・孤立構造物への波と流れの作用 (2)

G.2 波の作用

G.2.1 単一の縦長体に対する波の作用

- (1) 対象の部材が比較的にほっそりしているときには粘性効果が重要となる可能性があり、波 / 流れの作用はモリソン公式による抵抗力と慣性力の和として表すことができる。
- (8) ……構造物の横断面の直径は、海成付着物の厚さを考慮して割り増ししなければならない。……NORSOK標準 (1999) では、海成付着物の厚さとして表G.2.1に示す値を推奨している。海成付着物の厚さは他の海域では異なる可能性がある。

表G.2.1 海成付着物の厚さ: 水深は平均海面が基準である。出典NORSOK (1999)

水深	緯度 56° – 59°	緯度 59° – 72°
+ 2 m以上	0	0
+ 2 m ~ - 40 m	100 mm	60 mm
- 40 m以深	50 mm	30 mm

- (10) ……以下はISO/CD 19901 (2001) の規格部分からの引用である
“典型的な設計条件では、構造物への総合的な流体動力学上の荷重は、非被覆の円形柱体に対する流体動力学的係数として下記の値を用い、モリソン式を使って計算することができる。
滑面: $C_D = 0.65$ $C_M = 1.6$
粗面: $C_D = 1.05$ $C_M = 1.2$ ”

付属文書G 柱状部材・孤立構造物への波と流れの作用 (3)

G.2.2 集合した円柱群に対する波の作用

G.2.3 大型物体に対する波の作用

- (1) 体積の大きな物体に対する波の作用は、波流曲折理論に基づいて計算……

- (2) 海底に設置された鉛直な円柱体のように単純な形状の構造物については、MacCamy and Fucks (1954) の理論解が適用できる。……

G.2.4 スラミング作用

G.2.4.1 一般

- (1) 波浪にさらされる構造物において、スプラッシュ帯の部分は部材が波をかぶったり、巻き波砕波にぶつけれられたりしたときにスラミングに起因する力の影響を受けやすい。
- (2) 円柱部材では、スラミング作用は通常次式で計算できる。

$$dF_S = 0.5 \rho_w C_S D V_R^2 dl \quad (G.6)$$

ここに、 dF_S = 速度方向のスラミング力、 ρ_w = 水の密度、 C_S = スラミング力係数、 D = 部材直径、 V_R = 部材表面への水面の相対速度、 dl = 円形柱体要素の長さ。

- (4) 波によるスラミング作用の継続時間に関して、Godaのアプローチ (Goda et al. (1966)) は $\tau = 0.5D / v_r$ を導くのに対し、Wienke and Oumeraci (2004) は理論的に継続時間が $\tau = 0.20D / v_r$ であることを見いだした (図G.2.3)。これはTanimoto et al. (1986) が実験的に見いだした値に近い。

付属文書G 柱状部材・孤立構造物への波と流れの作用 (4)

G.2.4.2 一様傾斜面または水平底面上の直立および傾斜柱体に対するスラミング作用

- (1) 鉛直またはほぼ鉛直な杭に巻き波砕波がぶつかるとき、スラミングは図G.2.4に示すように、波頂から下へかけての限定された区間に作用する。杭への全抵抗力は、次のように表せる。

$$F = F_D + F_I + F_S \quad (G.7)$$

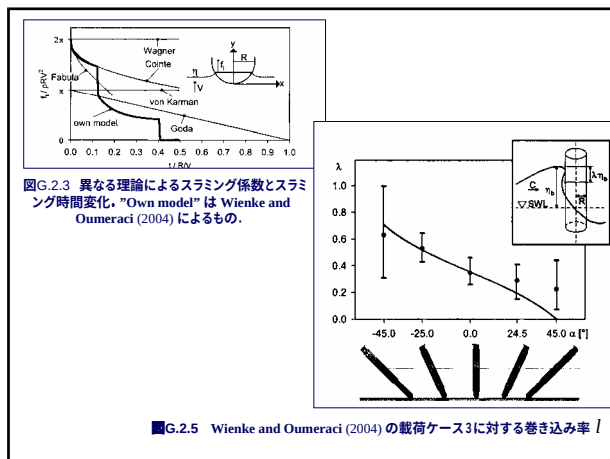
ここに $F_D + F_I$ はモリソン公式による力であり、 F_S がスラミング力である。

- (2) Goda et al. (1966) は鉛直杭への全スラミング力を測定した。『巻き込み率』 λ を導入し、波頂の高さを h_b として、スラミング力が高さ λh_b の範囲に均等に分布すると仮定した。これによって全スラミング力が次のように得られた。

$$F_S = 0.5 \rho_w C_S D C_b^2 \lambda h_b \quad (G.8)$$

ここに、 C_b は砕波点での波速であり、 C_S はvon Karman理論により $C_S = \pi$ と仮定される。Goda et al. は巻き波砕波に対して $\lambda = 0.5$ 、崩れ波砕波に対して $\lambda = 0.1$ の巻き込み率を得た。

- (5) Wienke et al. (2000) およびWienke and Oumeraci (2004) は、彼らの大型水路実験の結果をGodaのアプローチに準じて解析した。……実験を5種類の異なる載荷ケースに区分した。Wienke and Oumeraci は測定結果から、衝撃が前面の異なる高さでほぼ同時に起きることを見いだした (著しい分散を伴う)。巻き込み率 λ は、最大のスラミング力を与えた載荷ケース3について図G.2.5に示すようになった。



付属文書G 柱状部材・孤立構造物への波と流れの作用 (5)

G.2.4.3 岩礁および浅瀬の上の直柱に対する、スラミング作用を含む波浪荷重

- (1) 図G.2.6 のように岩礁上に設置されて、砕波を受ける鉛直構造物には特別の注意を払うべきである。Goda (1973)、Hovden and Tørum (1991)、Kyte and Tørum (1996)、Hanssen and Tørum (1999) 参照。

G.2.5 棧橋およびプラットフォームの上床板に対する波の作用

- (1) 棧橋の設計では多様な波浪荷重を考慮すべきである

G.2.6 動的増幅と振動

- (1) スラミング作用は高いピーク強度と非常に短い継続時間で特徴づけられる。スラミング作用の効果は、スラミング作用を受ける構造物の弾性および減衰特性に依存し、構造物とその地盤の動的応答に影響されて波力のピークが増幅または減衰される。したがって、スラミング作用に対する構造物の動的応答について調査すべきである。

G.2.7 バイブラインに対する波と流れの作用

- (1) バイブラインに対する波と流れの作用は、石油産業が最も広範囲に取り扱っており、DNV (2000, 2002) などさまざまな規程や技術指針で扱われている。

G.2.8 バイブラインの渦動低振動 (VIV)

- (1) 水または他の液体が細長い部材のまわりを流れると、渦放出に起因する不安定な流れのパターンを惹起する可能性がある。ある臨界速度においては、渦放出の周波数が部材運動の固有周波数またはその複数倍に一致し、流れ方向またはそれに直角方向の調和振動またはサブハーモニック振動を励起する可能性がある。

付属文書 H 浮き防波堤と波の相互干渉

H.1 序説

- (1) 浮き防波堤の波高低減効果は防波堤幅と波長との比に支配されるところが非常に大きい。……浮き防波堤はまた、開放された海岸で養魚場の保護用として成功裏に使用されてきた。……
- (2) ……PIANC (1994) は種々の形式の概観を与えている。……

H.2 浮き防波堤の波浪減殺効果

H.2.1 一般

H.2.2 伝達波と反射波ならびに係留力の計算

- (5) 上述のいろいろな力に加えて、入射波のエネルギーフラックスに比例する波漂流力が浮き防波堤に作用し、特に水平運動と係留索張力に影響を及ぼす。係留索張力とアンカーの把持力は、波漂流力とそれによる防波堤の運動を考慮に入れて算定すべきである。
- (6) Stansberg et al. (1988) とStansberg (1996) は、浮き防波堤に関連して係留浮体構造物の非線形な緩やかな漂流運動を扱っている。しかしながら、緩やかな漂流運動を取り扱えるような出来合いの理論はまだできていない。……1) 緩やかな漂流運動は係留力に対して支配的である。2) 緩やかな漂流運動は短い防波堤よりも長い防波堤のほうが大きい。3) 長周期の漂流横揺れ運動は、一方向不規則波に比べて多方向不規則では著しく減少する。しかしながら、水平変位量の平均値は同じである。
- (7) 各種の浮き防波堤の波浪減衰および係留力に関する複数の実験プログラムの結果はPIANC (1994) に引用されている。

付属文書Ⅰ 防波スクリーンに対する波の作用 (1)

1.1 防波スクリーンの種類

…… 防波スクリーンは一般に次の3種類の一つとして建設される。

単一不透過壁：静水面上から、海底との間に水の循環と波の伝達のために隙間を空けて中間水深付近（またはさらに深く）まで降ろした不透過な単一鉛直壁で構成。

単一透過壁：静水面上から、ほぼ海底近く（隙間あり）または海底まで（隙間なし）降ろした透過性の単一鉛直壁で構成。

複数壁：不透過または透過性の2枚またはそれ以上の壁部で構成。最も普遍的な形状は、前面が透過壁で後面が不透過壁である。壁パネルは普通プレキャストコンクリートのパネルで作られる。

1.2 防波スクリーンの適用

防波スクリーンは湾、エスチュアリー、港、湖、その他の閉塞または半閉塞水域で吹送距離が制限された場所の防波堤の1種として利用できる。碎波による衝撃荷重が予測されるような場所には推奨されない。**典型的な設計条件**は、有義波高が1~2 mで、ピーク波周期が6 s以下である。

1.3 波の伝達、反射、および越波の機能設計

- (2) 入射波、伝達波、および反射波は波浪スペクトルの形で記述されるべきであるが、有義波高とピーク波周期で記述してもよい。……港内またはマリーナ内の伝達波高の許容レベルは水域の利用状況によるけれども、普通は**伝達波の有義波高を0.3 m以下に低減**すべきである。

付属文書Ⅰ 防波スクリーンに対する波の作用 (2)

1.4 構造設計に関する考察

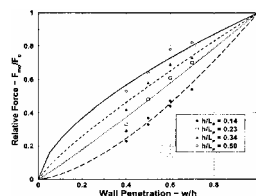
1.4.1 防波スクリーンの構造設計用の波

- (1) 防波スクリーンの構造設計は波スペクトルの全域を考慮し、設計波浪条件における最大波に基づいて行うべきである。Kriebel (1999) は不規則波について、不透過の防波スクリーンに砕けない波が及ぼす波力は、レーリー確率分布に従うことを示している。Goda (2000) に従い、波力と転倒モーメントの計算には**1.8 H_L の設計波高**を用いるべきである。
- (2) 防波スクリーンは砕けない波に対して設計するのが普通であり……
- (3) 防波スクリーンはまた、発生頻度の大きな小規模または中規模の高波による繰り返し波浪荷重の作用を受ける。波高と周期の結合頻度表に基づいて、**構造部材の疲労解析**を実施すべきである。

1.4.2 波による圧力、力、およびモーメント

- (1) ……鉛直壁の前面と後面における波圧は、壁の両側の波の位相を考慮して算定すべきである。
- (2) 海底との間に狭い隙間のある不透過防波スクリーンについては、修正Goda公式（付属文書E）を適用して前面壁に働く波圧を近似的に求めることができる。……
- (4) ……不透過防波スクリーンの場合には、米国工兵隊海岸工学マニュアル（2002）が波力計算用の**経験的設計法**を提示している。有義波力に対する表式は、Kriebel et al. (1998) の大型模型実験データに基づいて導かれたもので、その結果は図I.4.1に示されるとともに、次式でも表示される。

付属文書Ⅰ 防波スクリーンに対する波の作用 (3)



図I.4.1 USACE (2002) による不透過防波スクリーンの無次元波力

1.4.3 壁パネルと支持構造との取り付け部

壁パネルへの波浪荷重は振動する性質であるので、壁パネルを支持構造に取り付ける方法は非常に重要である。接合が緩いと壁パネルと支持構造との間の相対運動を許容し、パネルがロッキングしたり、支持構造物にぶつかったりする。荷重は両方向に働き、接合部は圧縮と引っ張りの両方に対抗しなければならないことを記憶することが大切である。腐食および/または望ましくない部材の運動による損傷を防止するため、**典型的な点検と保守**が要求される。

付属文書Ⅱ 波と流れにさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (1)

J.1 一般

J.1.1 序説

- (1) 確率論的解析の目的は、作用、抵抗、および設計手法に関連する全ての不確定性を適正に考慮し、既往設計の**信頼性を推定**し、または予め設定された安全と性能水準に適合するように構造物を設計することである。信頼性 P （生存または非破壊の確率）は $P_f = 1 - P_f$ として定義される。ここに、 P_f は普通に構造物の供用期間として設定される基準期間の間の破壊確率であり、 P_f は一般に**安全係数**に意味づけられる。
- (2) 構造物の信頼性評価の一般原則はISO 2394で与えられる。構造物の信頼性は、信頼性指標および全ての確率を記述して使用する方で推定することができる。
- (3) これらは、レベルIIおよびIII法としばしば呼ばれる。前者では、基本変数の統計分布がそれらの平均値と標準偏差で特徴づけられる。後者の方法では、基本変数について実際に推定された確率密度関数の多重積分あるいはモンテカルロシミュレーションが用いられる。
- (4) 設計目的では、目標とする安全性水準の選択に対する指針が責任機関によって与えられるべきである。……目標安全性水準は、……**終局限界状態**および**使用限界状態**（ULSとSLS）を考慮すべきであるが、**疲労限界状態**などほかの限界状態も設計プロセスに含めることができる。……ISO 2394は、ULSが荷重受容の最大能力またはある場合には最大作用ひずみまたは変位に対応し、SLSが通常の使用に対応すると述べている。

J.1.2 波と流れの作用に関する不確定性の度合い

J.1.3 構造物の信頼性の差別化

付属文書Ⅱ 波と流れにさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (2)

J.1.4 限界状態に関連する性能（損傷）規範

構造物のそれぞれの種類およびその機能役割に対し、それぞれの限界状態に該当する**破壊モードに関連した損傷水準**の形で、損傷規範を定義すべきである。たとえば、港内側にアクセス道路と係留装置を持つ防波堤では、使用限界状態に対する損傷規範はあるレベルの越波流量であろう。捨石式傾斜防波堤における修繕限界状態に関連する主被覆材の損傷規範は、移動させられた被覆材のある個数または割合であろう。ケーソン防波堤における終局限界状態に関連した損傷規範は、ケーソンのある量の滑動および/または傾斜ならびに/もしくは沈下であろう。捨石式傾斜防波堤の頂部の一体型クラウンウォールでは、終局現状に関連する損傷規範はクラウンウォールの裏側法面への転落であろう。

J.1.5 構造物の設計供用期間

それぞれの構造物に対し設計供用期間を関係づけるべきである。恒久的な海岸構造物では**通常の範囲**は50~100年であろう。**仮設構造物**では1~5年の範囲であろう。

J.1.6 破壊確率の指定

- (1) 構造物はその設計供用期間においてその全体あるいは一部が破壊する確率がある閾値を超えるべきではない。閾値については一致した意見が確立していないとはいえ、**責任範囲によって指定または承認**されるべきものである。

付属文書Ⅱ 波と流れにさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (3)

J.1.7 設計手順

J.1.7.1 繰り返しによる確率設計の手順

……初期の設計を設計結果が目標安全性水準に合致するまで漸次修正する。

J.1.7.2 直線的な確率設計の手順

- (1) 防波堤の設計に関するPIANC**部分安全係数システム**の様式を用いると、在来型の防波堤を繰り返しなしに所定の安全性水準で設計することが可能である。Burcharth and Sørensen (2000) とBurcharth (2002a) を参照。

J.1.7.3 通常の部分安全係数による設計手順

- (1) 部分安全係数システムの体系はISO 2394に示されており、たとえばユーロコードや幾つかの各国標準で用いられている。

J.2 傾斜防波堤

J.2.1 在来型捨石式傾斜防波堤

- (6) 終局限界状態（ULS）と使用限界状態（SLS）のほかにも、捨石式傾斜防波堤の設計では**疲労限界状態**（RLS）を含めるのが適切である。……ULSについては被覆層と法先のブロックの30%の移動……、RLSとしてはブロックの10%の移動……SLSについての間値は、ブロックの5%までの移動……および移働率の低下を最小に抑えて構造的な損傷を与えない程度の越波量
- (7) 恒久的防波堤の**設計供用期間**は25~100年が普通である。これは、その間に構造上および機能上の重要な変化が導入されない期間である。

付属文書 J 波と流れにさらされる構造物の挙動の確率論的解析 (4)

J.2.2 バーム式防波堤

- (1) バーム式防波堤については、捨石式傾斜防波堤という他の形式に対するような系統的な確率論的解析法が**存在しない**。Tørum et al. (1999) は、実験データの散らばりと長期間の波浪統計を考慮したバーム後退量の確率に関する研究を行った。……

J.3 ケーソン防波堤の確率論的性能設計

- (1) 確率論的性能設計法はケーソン防波堤の設計法の一つであり、そこでは設計される防波堤の性能が、基本変数ならびにほかの設計パラメータのさまざまな不確定性を考慮に入れて明白かつ定量的に算定される。ケーソン防波堤の性能は、主としてケーソン部の滑動量と鉛直変位、越波による防波堤背後への伝達波高、および防波堤の構造的完全性で判断される。
- (2) この性能は、幾つかの設計水準で算定されるべきであり、使用、修繕、終局、および崩壊限界状態を可能な限り定量的に設定すべきである。Takahashi and Shimosako (2001) は表 J.3.1 に挙げるような**性能マトリックスを提案**している。期待滑動量の特定の値は日本における防波堤被害の経験から設定されているが、特定の限界状態への割付はやや主観的である。

J.4 海岸堤防

73

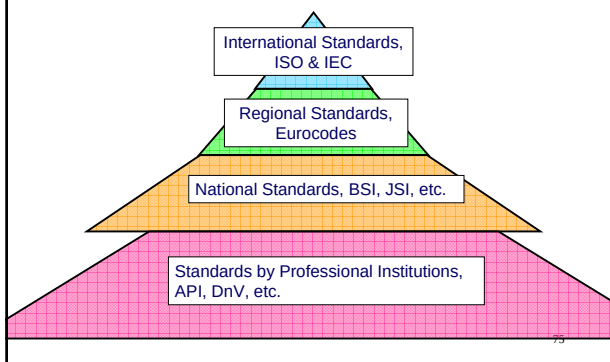
表 J.3.1 混成防波堤のケーソンの性能マトリックス

設計水準	限界状態			
	使用限界状態 (期待滑動量 0.03 m 以下)	修繕限界状態 (期待滑動量 0.10m 以下)	終局限界状態 (期待滑動量 0.30 m 以下)	崩壊限界状態 (期待滑動量 0.03 m 以上)
5年確率波高	B	C		
50年確率波高		B	C	
500年確率波高	A		B	C
5000年確率波高		A		B

注記: A, B, および C の文字は、それぞれ「非常に重要」、「重要」、および「それほど重要でない」などの設計対象の防波堤の重要度を示す。

74

技術基準類の序列 (ヒエラルキー)



75

国際貿易協定における国際規格の取り扱い

WTO/Technical Barriers to Trade Agreements

2.4 *Where technical regulations are required and relevant **international standards exist** or their completion is **imminent**, **Members** (Central Government Bodies) **shall use them**, or the relevant parts of them, as a basis for their technical regulations **except when such international standards or relevant parts would be an ineffective or inappropriate means** for the fulfilment of the legitimate objectives pursued, for instance because of fundamental climatic or geographical factors or fundamental technological problems.*

76

文献抜粋

- API RP 2A WSD 1993. Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms, load and resistance factors design. First edition, API, USA.
- Booij, N., Ris, R.C. and Holthuijsen, L. 1999. A third generation wave model for coastal regions. Part I. Model description and validation. J. Geophys. Res., 104, C4, 7649-7666.
- Burcharth, H.F. and J. D. Sørensen, 2000. The PIANC safety factor system for breakwaters, Coastal Structures '99 (ed. I.J. Losada), A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 1125-1144.
- Burcharth, H.F., d'Angremond, K., van der Meer, J.W., and Liu, Z. 2000. Empirical Formula for Breake of Dolosse and Tetrapods. Coastal Engineering, Elsevier, Vol 40, No. 3, pp 183-206.
- Burcharth, H.F., and Hughes, S.A. 2002. Types and functions of coastal structures. Fundamentals of design. In: Mullen, B. (editor), Coastal Engineering Manual, Part VI, Design of Coastal Projects Elements, Chapters 2 and 5, Engineering Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 319 pages.
- DNV (Det Norske Veritas). 2000. Submarine Pipeline Systems. Offshore Standard OS-F101.
- DNV (Det Norske Veritas). 2002. Free spanning pipelines. Recommended practice DNV-RP-F105, March 2002.
- Forristall, G.Z. and Ewans, K.C. 1998. Worldwide measurements of directional wave spreading, Journal of Atmospheric and Ocean Technology, Vol. 15, pp. 440-469.
- Goda, Y. 1973. Wave forces on circular cylinders erected upon reefs. Coastal Engineering in Japan, Vol. 16, 137 - 146.

- Goda, Y. 1999. A comparative review on the functional forms of directional wave spectrum, Coastal Engineering Journal, Vol. 41, No. 1, pp. 1-20.
- Goda, Y., Haranaka, S., Kitahata, M. 1966. Study of impulsive breaking wave forces on piles. Report Port and Harbour Research Institute, Japan, Vol. 5, No.6, 1 - 30 (in Japanese). Reported in Sawaragi and Nochino (1984)
- Hanssen, A.G. and Tørum, A. 1999. Breaking wave forces on tripod concrete structure on shoal. Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 125, No. 6, November/December 1999.
- Hovden, S.I. and Tørum, A. 1991. Wave forces on a vertical cylinder on a reef. Proc. III Conference on Port and Coastal Engineering in Developing Countries (COPEDEC), Mombasa, Kenya, 16 - 20 September 1991.
- ISO 2394. 1998. General principles on reliability for structures. International Standard, Reference number ISO 2394:1998(E).
- ISO/CD 19902 Petroleum and Natural Gas Industries - Fixed Steel Offshore Structures. Committee, 2001-06-19. Draft report submitted to ISO for review.
- Kriebel, D., 1999. "Performance of Vertical Wave Barriers in Random Seas," Proceedings of Coastal Structures '99 Conference, ed. I. Losada, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, pp.525-532.
- Kriebel, D., Sollitt, C., and Gerkin, W., 1998. "Wave Forces on a Vertical Wave Barrier," Proc. 26th International Conference on Coastal Engineering, Copenhagen, Denmark, ASCE, pp. 2069-2081.
- Kyte, A. and Tørum, A. 1996. Wave forces on vertical cylinders upon shoals. Coastal Engineering, Vol. 27, 263 - 286.
- MacCamy, R.C. and Fuchs, R.A. 1954. Wave forces on piles: A diffractions theory. Tech. Memo 69, Beach Erosion Board, 1954.

Melby, J.A., and Mlaker, P.R. 1997. Reliability Assessment of Breakwaters. Technical report CHL-97-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. NORSOK Standard. 1999. Actions and actions effects. Developed by Norwegian Technology Standards Institute, N-003, Rev. February 1999.

Pedersen, J. 1996. *Experimental Study of Wave Forces and Wave Overtopping on Breakwater Crown Walls*. Series Paper 12, Hydraulics & Coastal Engineering Laboratory, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark.

PIANC, 1992. Analysis of rubble mound breakwaters. Report of PTC II Working Group 12, Supplement to Bulletin 78/79, General Secretariat of PIANC, Brussels, Belgium.

PIANC 1994. Floating breakwaters. A practical guide for design and construction. Supplement to PIANC Bulletin 85. (PIANC Permanent International Association of Navigation Congresses).

PIANC, 2003. Breakwaters with vertical and inclined concrete walls. Report of MarCom Working Group 28, General Secretariat of PIANC, Brussels, Belgium.

PIANC. 2003. State-of-the-art of designing and constructing berm breakwaters. Report of the MarCom Working Group 40. International Navigation Association (PIANC), Brussels, Belgium.

Sørensen, J.D. and Burcharth, H.F., 2000. Reliability analysis of geotechnical failure modes for vertical wall breakwaters. *Computers and Geotechnics* 26, pp 225-245, Elsevier.

Stansberg, C.T. 1996. Motions of large floating structures moored in irregular waves: Experimental study. Proceeding of the International Workshop on Very Large Floating Structures, 25-28 November 1996, Hayama, Japan.

Stansberg, C.T., Krokstad, J.R. and Slaattelid, O.H. 1988. Model tests on non-linear slow-drift oscillations compared to numerical and analytical data. Proceedings of the BOSS'88 (Behaviour of Offshore Structures) conference, Trondheim, Norway, Vol. 2, pp 667-686, 1988.

Takahashi, S. and Shimosako, K. 2001. Performance design for maritime structures and its application to vertical breakwaters – caisson sliding and deformation-based reliability design, *Proc. Advanced Design of Maritime Structures in the 21st Century* (Ed. by Y. Goda and S. Takahashi), Port and Harbour Res. Inst., Yokosuka, Japan, pp 63-73.

Tanimoto, K., Takahashi, S., Kaneko, T. And Shiota, K. 1986. Impulsive breaking wave force on inclined pile exerted by breaking waves. Proceedings International Conference on Coastal Engineering, Houston, Texas, USA.

Tørum, A., Krogh, S.R. Bjørdal, S., Fjeld, S., Archetti, R. and Jacobsen, A. 1999. Design criteria and design procedures for berm breakwaters. Proceedings of the international conference "Coastal Structures'99", Santander, Spain. Editor I.Losada. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield/2000.

Tørum, A., Kühren, F. and Menze, A. 2003a. On berm breakwaters. Stability, scour and overtopping. *Coastal Engineering*, Elsevier. Vol 49/3, pp 209 – 238.

Van der Meer, J. 1988a. Rock slopes and gravel beaches under wave attack. PhD Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands (also Delft Hydraulics Publication No. 396).

Van der Meer, J.W. 1988b. Stability of Cubes, Tetrapodes and Accropode. Proc. of the Breakwaters '88 Conference: design of Breakwaters, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford, London, UK, pp 71-80.

Van der Meer, J.W. and Janssen, W. 1995. Wave Run-Up and Wave Overtopping at Dikes. In *Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures*, Kobayashi and Demirbilek, eds., American Society of Civil Engineers, pp 1-27.

Wienke, J. and Oumeraci, H. 2004. Breaking wave impact force on a vertical and inclined slender pile. Submitted to *Coastal Engineering*, Elsevier.