

5.3. 「漁港海岸事業の設計の手引き（改訂版）」案の作成

「漁港海岸事業の設計の手引き（改訂版）」について、記載内容を作成した。

次ページ以降に、第2回の検討委員会（令和2年2月20日開催）の議題とした取り上げた以下の6項目の改訂内容について示す。

①改訂区分：B03 ②改訂項目：巻末資料-1 数値解析と水理模型実験【現手引：p.286】

③改訂内容：アンケートによる補足を行う。

巻末資料-1 数値解析と水理模型実験

1. 数値解析

(1) 波浪変形の数値モデル

浅海域の波の変形の要素で基本的なものは、屈折と回折である。屈折計算では、同時に浅水変形が計算されることが一般的である。回折計算では、構造物による波の回折を取り扱う。

図 1-1 は、屈折と回折の各方程式の関係を模式的に示したもので、最も基本的な波向線法とヘルムホルツ方程式から出発して、波の不規則性と有限振幅性（非線形）をどのように取り入れていくかを示したものである。

表 1-1 は各方程式の適用範囲を示すもので、この表を用いて、与えられた問題に適した方程式を適用すればよい。

なお、波浪変形の数値モデルについては、「海岸施設設計便覧 2000 年版」（土木学会）p. 56 以降の「2.5 波浪変形の数値モデル」を参照するものとする。

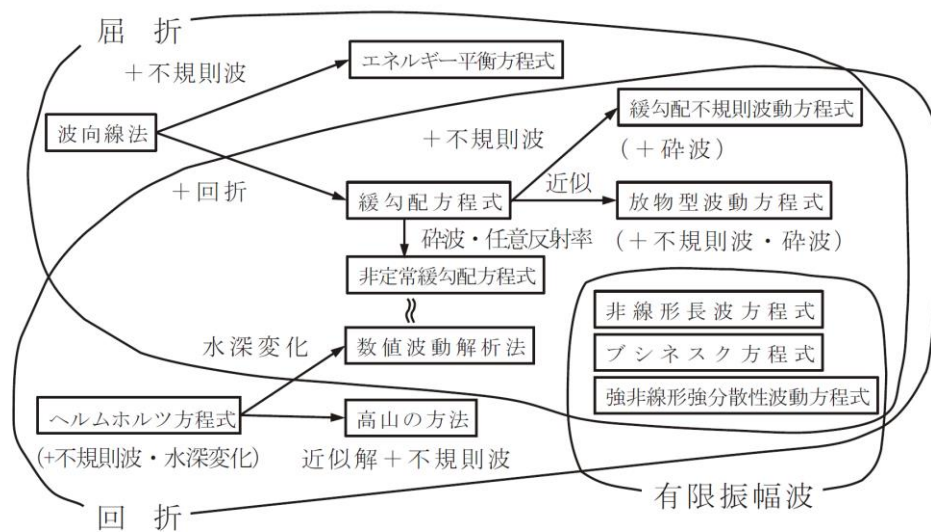


図 1-1 屈折と回折を中心としたモデル方程式の関係図
（「海岸施設設計便覧 2000 年版」（土木学会）より引用）

表 1-1 波浪変形モデル方程式の理論内適用範囲

モデル方程式	浅水変形	屈折	回折	反射	碎波モデル	任意水深	流れの影響	不規則性	非線形性	計算領域			備考
										広	中	狭	
波向線法	○	○	×			○	○	○	△	○	○	○	波速に非線形性を含められる
エネルギー平衡方程式	○	○	▽	△	○	○	○	○	×	○	○	○	
ヘルムホルツ方程式	○	○	○	○	×	○	×	○	×			○	領域ごとに一様水深のみ
簡便法（高山法）			○	○	×	○	×	○	×		○	○	一様水深のみ
緩勾配方程式	○	○	○	○	○	○	○	○	△			○	
非定常緩勾配方程式	○	○	○	○	○	○	○		×			○	碎波モデル・境界条件処理が容易
数値波動解析法	○	○	○	○		○			×			○	
緩勾配不規則波動方程式	○	○	○	○	○	○		○	×			○	
放物型波動方程式	○	○	○	△	○	○	○	○	△		○	○	
非線形長波方程式	○	○	○	○	○	×		○	○			○	極浅海域に限定される
ブシネスク方程式	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	原方程式は浅海域に限定される
強非線形強分散性波動方程式	○	○	○	○		○		○	○			○	

○：基本形で適用可能 ○：応用形で一般的適用可能 △：応用形で部分的適用可能

▽：基本理論では考慮されていないが実用上可能 空白：研究により適用できる可能性あり

×

計算領域＝広：深海から浅海を含む程度，中：構造物周辺の海域程度，狭：港内程度

ここでは、これまでの使用実績等から幅広く設計で活用できる実用的なモデルを例示する。

a) エネルギー平衡方程式

不規則な波形を位相的に平均化された諸量の 1 つである波エネルギーとして扱い、その空間的な変化を解くモデルを位相平均モデルといい、その代表的なものがエネルギー平衡方程式である。定常の波浪場を仮定して碎波等によるエネルギー減衰項を加えたエネルギー平衡方程式は次式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial x}(Sv_x) + \frac{\partial}{\partial y}(Sv_y) + \frac{\partial}{\partial \theta}(Sv_\theta) = -\varepsilon_b S$$

ここに、

v_x, v_y, v_θ : 特性速度

S : 波のスペクトル

(x, y) : 水平座標

θ : x 軸から反時計回りに測った波向き角

ε_b : エネルギー減衰係数

もともとエネルギー平衡方程式には波の回折効果が考慮されていない。最近、波のエネルギーが伝播する速度に回折の効果を導入して、屈折と回折を同時に考慮する試みがなされている。また、エネルギー平衡方程式は、位相平均量の釣り合い式を解くだけなので、時間的に変化する項を含まない。波の位相を必要としないエネルギーを変数としているので、格子間隔を大きく取れるため、大領域における波浪変形を計算することに適している。時間的な変化や周辺からのエネルギーのやり取りを考慮できるようにエネルギー平衡方程式を発展させたものが第三世代波浪推算モデルと呼ばれる WAM 及び SWAN モデルである。

エネルギー平衡方程式等のモデルは大領域の計算には適しているが、波の位相情報が無いので、波形や厳密な反射波の影響等が考慮できない。したがって、浅い海域で詳細な解析が必要な場合は、次に述べるブシネスク方程式等を用いた計算法が必要になる。

b) 非定常緩勾配方程式

微小振幅波の屈折と回折を解析するための方程式として緩勾配方程式が導かれている。緩勾配方程式の詳細と適用範囲については「海岸波動(1994)」((社)土木学会海岸工学委員会、(社)土木学会)、「海岸施設設計便覧[2000 年度版]」(土木学会海岸工学委員会海岸設計便覧章委員会、(社)土木学会)及び「環境圏の新しい海岸工学(1999)」(榎木亨監修、フジテクノ出版)等に総合的な説明がされている。緩勾配方程式は、楕円型の偏微分方程式であり、周囲の境界条件をすべて設定しなければならないため、適用が難しい。そこで、波の進行方向への変化が少ないと仮定して、波の進行方向に座標を取って直交曲線座標で近似化したのが放物型方程式である。放物型方程式は波の進行方向に計算していくので計算時間が大幅に短縮され、広範囲の領域を計算できるので実用的であり、これまでも現場で活用された例が多い。ただし、波の進行が座標軸とずれてくると誤差が大きくなる。

浅海域では、適切な波浪変形モデルの選択と同時に砕波の取り扱い方が重要である。個々の波の砕波状況を考慮した段階的砕波係数を導入した多方向不規則波の砕波変形計算モデルを適用する場合には、成分波毎に波高減衰項が設定できる放物型方程式が適しており、合田(2003)は人工リーフでの波高伝達率が解析できることを示している。

理論的な仮定は緩勾配方程式と同じであるが、2 階の楕円型偏微分方程式である緩勾配方程式と 1 階の連立偏微分方程式に書き換えたものである非定常緩勾配方程式がある。非定常緩勾配方程式の適用範囲は緩勾配方程式と同じであるが、砕波モデルの組み込み、開境界条件の処理が容易であり、浅海域で想定される波浪変形要素である浅水変形、屈折、回折、反射、砕波を全て同時の取り扱えるため、平面波浪場の計算手法のうち、最も適用範囲が広いモデルのひとつである。

c) 非線形長波方程式

長波(水深に比べ波長が非常に長い波)の数値解析に用いる方程式として線形長波方程式がある。長波は深海域でも水粒子の運動が海底面まで達するため、海底地形により屈折や浅水変形などの変形をする。長波が更に水深が浅い領域に伝播してくると、水深に比べて波高が無視できなくなり、非線形性が効いてくる。したがって、浅海域での長波の伝播解析には、非線形長波方程式が用いられる。

長波として取り扱いができる高潮や津波では、非線形長波方程式が用いられていることが一般的であり、長周期波のような周期が長い波浪に対しても使用される場合もある。

d) ブシネスク方程式

1903年にブシネスク (Boussinesq) が流体運動の基礎方程式を鉛直方向に積分して簡略化する手法を提案した。水深方向の流速分布を仮定し、平面的に波浪の基本的な変形を時間領域で計算するモデルをブシネスク方程式を用いた波浪変形計算法と呼ぶ。従来から用いられている手法は、ペレグリン (Peregrine) が提案した手法である。この手法では、水深が比較的浅い領域の波の分散関係しか表現できないため、適用範囲は水深が比較的浅い領域に限定される。そこで、これまでに多くの研究者がブシネスク方程式の適用範囲を拡張し、より深い海域への適用範囲を拡大することを試みてきた。その中の一つとして、マドセン (Madsen) による拡張型ブシネスクモデルがある。このモデルを原型として、港湾や海岸の構造物の設計に活用できるように境界条件を整備し、砕波の影響、構造物の反射や透過を考慮できるようにモデルを発展させたものが、平山 (2002) による砕波項と消波工反射波処理を含んだ NOWT-PARI (Nonlinear Wave Transformation model by Port and Airport Research Institute) である。このモデルは、プログラム及びデータ例を含んだパッケージが利用できるため、今後人工干潟や人工海浜等の浅い海域での海岸保全施設の設計に広く活用できると考えられる。ブシネスク方程式を用いた波浪変形計算では、波の屈折、回折を同時に取り扱えるだけでなく、波の非線形性による変形も取り扱うことができる。したがって、より広い範囲への適用ができれば、うねりや風波の拘束波として長周期波の生成過程を推定でき、今後活用範囲が広がるものと思われる。

ただし、ここで紹介したモデル以外にも、計算結果等を判断して、実務的に妥当な範囲で計算結果を与えることができるモデルは採用してもよい。波浪変形計算モデルの種類と適用範囲については、「海岸波動 (1994)」(土木学会海岸工学委員会、(社) 土木学会)、「海岸施設設計便覧 [2000 年度版]」(土木学会海岸工学委員会海岸設計便覧章委員会、(社) 土木学会) 及び「環境圏の新しい海岸工学 (1999)」(榎木亨監修、フジテクノ出版) を参照されたい。

最近では、海岸施設からの越波流量や作用波圧を直接的に計算が可能な 3 次元流体モデルも活用される機会が増えつつあり、その代表的な解析モデルの例として CADMAS-SURF (数値波動水路) の概要を以下に示す。

e) CADMAS-SURF (数値波動水路)

時間ステップ毎に水面形を計算する非定常な解析法をベースに、物理実験における波動水路と同様に数値的に水路内での波の変形や越波の状況を調べることができる「数値波動水路」が近年実用化されている。流体の運動方程式を水深方向の近似をせずに使用するため波の強非線形性と強分散性を考慮できる。数値波動水路の概念や基本的な性能については「環境圏の新しい海岸工学 (1999)」(榎木亨監修、フジテクノ出版) 等を参考にできる。断面 2 次元水路における波の変形や越波、斜面への波のうちあげ、構造物や地盤へ作用する波の圧力等を数値的に求めることが

可能となっており、その適用性に関する研究会の活動報告が活用できる。ただし、数値波動水路の計算に要する時間は大きく、長時間の造波による平均的な結果を得ることが困難である。したがって、本書で示された設計公式等で構造物の大まかな設計を行った後に、性能照査の段階で数値波動水路を適用し、越波水塊の到達距離や構造物・地盤の変形等の予測をあらかじめ実施しておく場合に数値波動水路を用いることが望ましい。なお、表 1-1 中に示す「数値波動解析法」は、ここで示した数値波動水路とは異なり、1970 年代に発表された線形の平面 2 次元の表面波モデルであることに注意する。

(2) 気象 GPV と局地気象モデル

日本の気象庁、ヨーロッパ中期予報センターECMWF、アメリカ環境予測センターNCEP 等では、3 次元に配置した計算格子に対して気象の数値計算モデルで、気圧、風速・風向、水蒸気量等の値を計算し、その各格子点における値 GPV (Grid Point Value) を保存している。前述の風の推算の代わりにこの GPV を使用しても良い。ただし、気象の計算で用いた時間及び空間解像度が粗い場合には、台風の中心付近等気象の空間的な変化の著しいところで気圧や風が十分に再現されていない場合もある。したがって、気象 GPV を使用するに当たっては、観測値によって精度を検証しておくことが望ましい。さらに、これらの気象 GPV を初期値・境界値として数値モデル（局地気象モデル：MM5 や WRF 等）を用いて気象場を推算する場合もある。局地気象モデルによって対象海域周辺の陸地（標高・土地利用）が気象場に及ぼす影響を考慮した、より細かな時間及び空間解像度の気象場を推算（ダウンスケール）することが可能である。この場合も観測値と比較することで、局地気象モデルで得られた気象場の精度を検証しておくことが望ましい。このように局地気象モデルで推算された気象場を用いることで、特に内湾域における波浪や高潮の推算精度の向上が期待される。

(3) 海浜地形変形の数値モデル

～（略）～

(4) 海岸環境・生態系の数値モデル

～（略）～

2-4-5 津波の波力

(1) 一般

堤防等の海岸保全施設に作用する津波の波力には未解明な部分が多く、津波の波高が同じであってもその波形によって波力が大きく異なることが知られている。Shuto (1972) は、一様斜面に作用する波力を、斜面上で砕波しないという仮定の下で理論的に求めている。谷本らは実験によって直立壁に作用する津波の波圧を求めている。また、中山らに提案された波力算定式である水工研提案式がある。

海岸保全施設に作用する津波の波力を算定する際には、来襲する津波の波形や海岸保全施設の設置水深等に応じて適切な算定式を選定する必要がある。

以下に、津波防波堤及び胸壁に作用する津波の波力の算定方法を示す。なお、堤防については、直立堤での遡上津波の反射波高をもとに津波波力を算定している事例、堤防での津波のせり上がりを考慮した津波の高さでの静水圧を採用した事例があるが、津波防波堤や胸壁に対する算定方法も参考になる。

(2) 防波堤に作用する津波の波力

防波堤等の直立壁に作用する津波の波圧は、図 2.4.1.8 に示す手順に従い、波状段波や越流の発生の有無を考慮して算定するのがよい。算定式としては非越流時の谷本式と修正谷本式（式 (2.4.1.5) ～式 (2.4.1.10)、および越流時の静水圧差による算定式（式 (2.4.1.11) ～式

(2.4.1.13) を用いる。静水圧差式では、堤体の前面と背面それぞれに静水圧補正係数 α_f と α_r が必要であり、それぞれ 1.05, 0.9 とする。なお、波状段波の発生の有無の判定に用いる海底勾配は、施設周辺の勾配ではなく、波状段波が発達する可能性のある施設より沖側の海底勾配である。また、消波ブロック被覆堤に波状段波が作用する場合には、消波工による津波波力の低減を考慮するため、丸山らの算定式を用いることもできる。

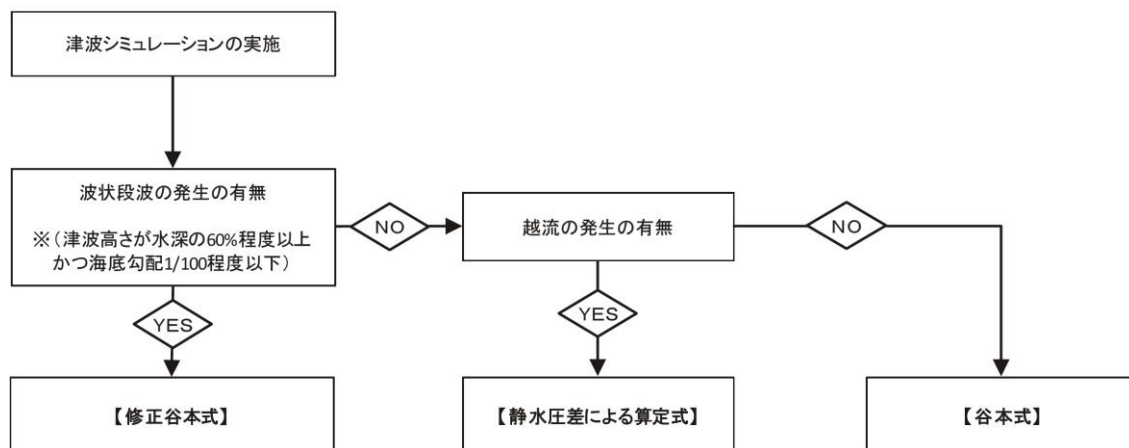


図 2.4.1.8 防波堤に対する津波波力算定手順

【谷本式・修正谷本式】

$$\eta^* = 3.0a_I \quad (2.4.1.5)$$

$$p_1 = 2.2\rho_0ga_I \quad [\text{谷本式}] \quad (2.4.1.6)$$

$$p_1 = 3.0\rho_0ga_I \quad [\text{修正谷本式}] \quad (2.4.1.7)$$

$$p_2 = \rho_0g\eta_B \quad (2.4.1.8)$$

$$p_u = p_1 \quad (2.4.1.9)$$

$$p_L = p_2 \quad (2.4.1.10)$$

ここに,

η^* : 静水面上の波圧作用高さ (m)

η_B : 直立壁背面で静水面から下がった水位 (m)

a_I : 入射津波の静水面上の高さ (振幅) (m)

ρ_0g : 海水の単位体積重量 (kN/m^3)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m^2)

p_u : 直立壁前面下端における揚圧力 (kN/m^2)

p_2 : 直立壁背面における負圧 (kN/m^2)

p_L : 直立壁背面下端における揚圧力 (kN/m^2)

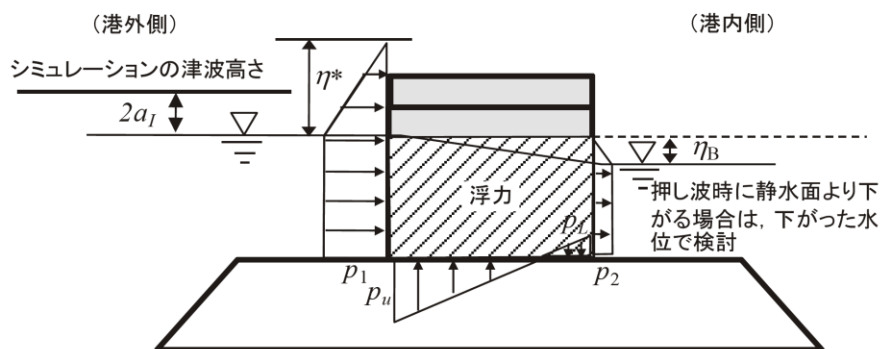


図2.4.1.9 修正谷本式の考え方²²⁾

【静水圧差による算定式】

$$p_1 = \alpha_f \rho_0 g (\eta_f + h') \quad (2.4.1.11)$$

$$p_2 = \frac{\eta_f - h_c}{\eta_f + h'} p_1 \quad (2.4.1.12)$$

$$p_3 = \alpha_r \rho_0 g (\eta_r + h') \quad (2.4.1.13)$$

ここに,

p_1 : 直立壁前面の底面における波圧強度 (kN/m²)

p_2 : 直立壁前面の天端面における波圧強度 (kN/m²)

p_3 : 直立壁背面の底面における波圧強度 (kN/m²)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m³)

h' : 直立壁の底面の水深 (m)

h_c : 静水面から直立壁天端面までの高さ (m)

η_f : 直立壁前面の静水面からの津波高さ (m)

η_r : 直立壁背面の静水面からの津波高さ (m)

α_f : 直立壁前面の静水圧補正係数

α_r : 直立壁背面の静水圧補正係数

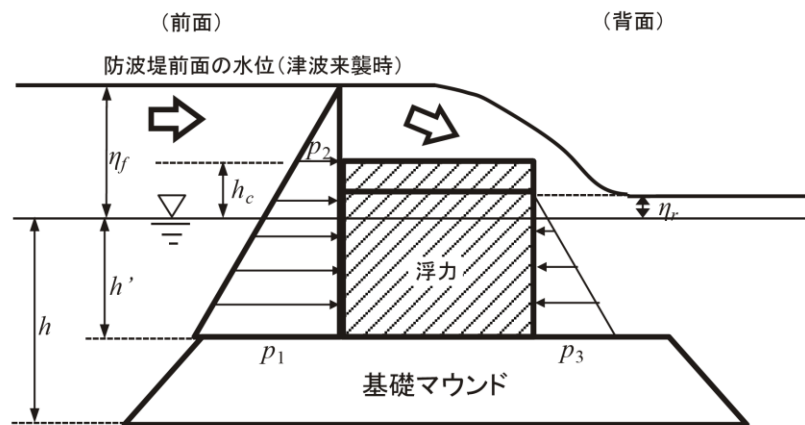


図2.4.1.10 静水圧差による算定式の考え方²²⁾

浮力については水没している堤体全体（前面水位を背面まで考慮した場合の容積：斜線の部分）として計算し、揚圧力については考慮しない。ただし、パラペットが大きい場合等は、揚圧力が大きくなり、また、越流流速が大きい場合にはケーソン天端部前面側で水塊に遠心力が働いて圧力が低下するため、浮力以上に越流による鉛直下向きの力が小さくなる場合があるので、水理模型実験を行うことが望ましい。

若干越流した状態に静水圧差による算定式を適用する場合は、越流直前の状態に谷本式を適用した場合と比較し、堤体の安定性に対して不利となる方を採用する。

(3) 水工研提案式による津波の波力

平成 23 年度に水産工学研究所(中山ら)は、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考える式を提示した。ここで、流れの影響等による動水圧の影響を考慮するため、前面の波圧に 1.1、背面の波圧

に 0.9 の係数を乗じるものとしている。これにより、越流時や引き波時において堤体の背面に静水位よりも高い水位が生じる状態を評価することが可能となった（図 2-4-5-2 を参照のこと）。

- 前面波力 P_I の算定（非越流時は $p_2=0$ ）

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

$$P_I = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (h' + h_C^*) \quad (2.4.5.4)$$

- 背後圧力 P_B の算定（非越流時は $p_4=0$ ）

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

$$P_B = \frac{1}{2} (p_3 + p_4) (h' + h_{CB}^*) \quad (2.4.5.5)$$

- 揚圧力 P_U の算定（浮力を含む）

$$P_U = \frac{1}{2} (p_1 + p_3) B - \frac{1}{2} (p_2 + p_4) B \quad (2.4.5.6)$$

- 堤体重量

$$W = W_{dry} \quad (2.4.5.7)$$

ここで、

- η : 堤体前面の静水面上の水位(m)
- η_B : 堤体背面の静水面上の水位(m)
- h' : 堤体の前面における水深(m)
- $\rho_0 g$: 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 : 静水面における背後波圧強度 (kN/ m²)
- p_4 : 堤体上端部における背後波圧強度 (kN/ m²)
- B : 堤体幅 (m)
- W_{dry} : 堤体重量 (kN)

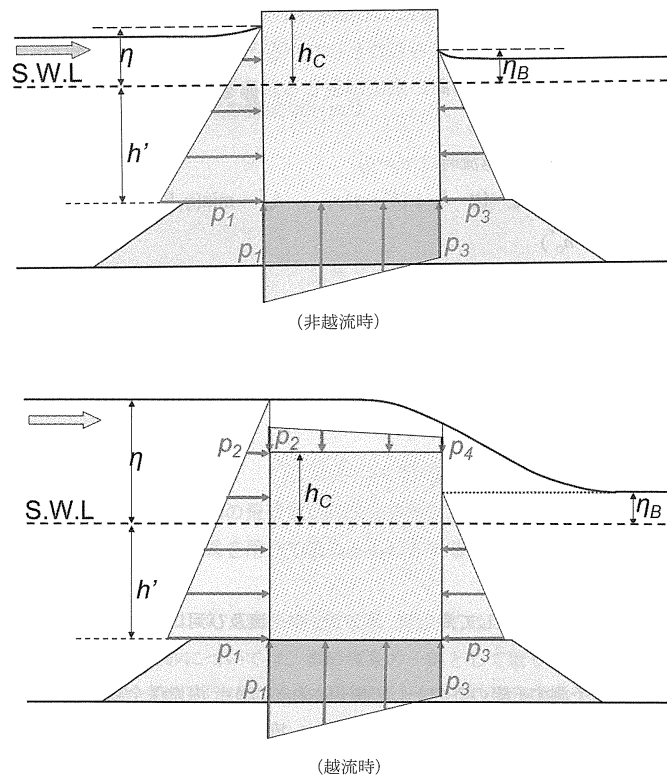


図 2-4-5-2 水工研提案式による津波波力

津波高さ又は水位は、漁港や海岸保全施設等の配置(地形及び構造物のデータ)や越流の影響が考慮された津波シミュレーションにより求めることを基本とし、時々刻々と変化する前面及び背後の水位の組み合わせの中から、堤体の安全率が最も低くなる場合を対象として設計する。

(4) 胸壁に働く津波波力

① 非越流時の津波波力

胸壁については、越流しない場合の波力算定式としては、i) フルード数による津波波力算定法、ii) 津波浸水深による津波波力算定法がある。いずれも水理模型実験結果に合致する数式として示されたものである。

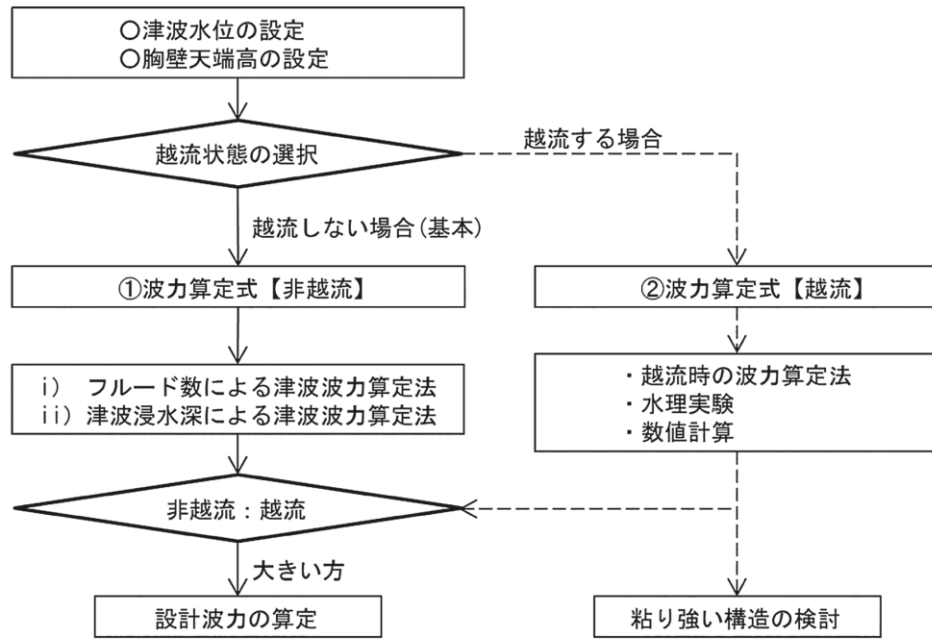


図2.4.1.11 胸壁に対する津波波力算定手順²⁶⁾

i) フルード数による津波波力算定法

胸壁がない場合の津波遡上シミュレーションにより，進行波の津波水位を算定し，胸壁設置箇所フルード数により，津波波力を算定する方法である．フルード数 Fr は次式で定義される．

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g\eta_{\max}}} \quad (2.4.1.14)$$

ここで， U は水平流速， $h_{\max}$ は進行波の最大遡上浸水深， g は重力加速度である．フルード数 Fr が $0.0 \leq Fr \leq 1.5$ の範囲において，波圧作用高さは進行波の浸水高の α' 倍とする．作用する水圧は α 倍とする．

$$\frac{p_{\max}}{\rho_0 g \eta_{\max}} = \alpha \left(1 - \frac{Z}{\alpha' \eta_{\max}} \right) \quad (2.4.1.15)$$

$$\alpha' = \max \{3, \alpha\} \quad (2.4.1.16)$$

ここで， Z は波圧作用位置の地盤からの高さ， $p_{\max}$ は最大波圧， ρ_0 は海水の密度である．無次元波圧係数 α は，以下の関数として与える．

$$\alpha = 1.0 + 1.35 Fr^2 \quad (2.4.1.17)$$

ただし、フルード数 Fr が 1.5 程度を超える場合は、既往研究成果及び水理模型実験や数値計算等を用いて無次元波圧係数 a （波圧作用高さ a' は 3 とする）を検討する。

なお、フルード数 Fr が不明な場合は、 h_{max} として汀線際（0m 位置）の最大水深 h_{0max} を利用し、谷本式（ $a'=3.0$ 、 $a=2.2$ ）を用いて波力を算定する。

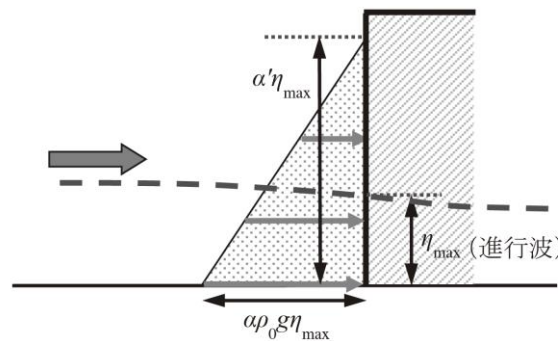


図2.4.1.12 非越流時の津波波力算定式（フルード数による方法）の概念²⁶⁾

ii) 津波浸水深による津波波力算定法

フルード数による算定法 i) では、胸壁を置かない状態で浸水シミュレーションを行い、通過波としての津波の浸水深と流速が必要となる。この際、津波は周期が長いいため、特に常流状態では下流側の地形や建築物（粗度）によって胸壁設置位置の水深や流速が変化し、波力算定に支障を来す場合がある。そのため、浸水シミュレーション実施時には胸壁背後の地形をフラットにし、かつ粗度が無い状態にする必要がある。

または、以下に示すように胸壁がある場合の津波遡上シミュレーションにより、胸壁前面の津波浸水深を算定し、浸水深から波力を算定する。

波圧作用高さは胸壁設置時の浸水深とする。作用する水圧は静水圧の 1.1 倍とする。

$$p_1 = \rho_0 g \eta a_I, \quad a_I = 1.1 \quad (2.4.1.18)$$

ここで、 h は胸壁設置時の浸水深、 p_1 は下端部における波圧、 a_I は静水圧の波圧係数である。

ただし、胸壁基部側では、静水圧を大幅に上回る最大波圧が発生することがある。また、段波砕波が発生する場合等、波圧係数が 1.1 倍を上回ることがあることに留意する。

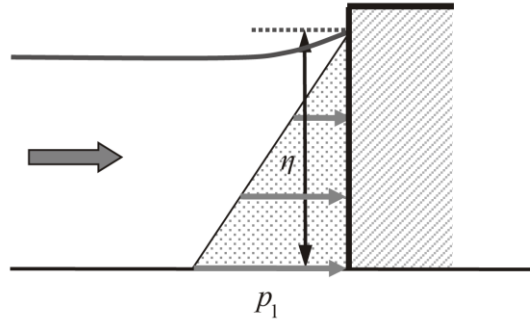


図 2.4.1.13 非越流時の津波波力算定式（浸水深による方法）の概念²⁶⁾

②越流時の津波波力

胸壁がある場合の津波遡上シミュレーションを実施し、胸壁前面、背面の津波水位を算定し、その水位を用いて津波波力を算定する。波力の算定にあたっては、水理模型実験、実験で検証された数値シミュレーション、又は以下の式を用いて算定することができる（式に用いるパラメータについては図 2.4.1.14 参照）。

i) 前面

$$p_1 = \alpha_I \rho_0 g \eta \quad (2.4.1.19)$$

$$p_2 = \frac{\eta - h_C}{\eta} p_1 \quad (2.4.1.20)$$

α_I は、前面法先の浸水深 η を使用する場合は、以下の通りとする。

$$\alpha_I = -0.17 \frac{h_C}{\eta} + 1.27, \quad 0.4 \leq \frac{h_C}{\eta} < 1.0 \quad (2.4.1.21)$$

また、 η の代わりに前面沖合（水面変動の小さい位置）の浸水深 η_0 を使用する場合は、以下の通りとする。

$$\alpha_I = 1.1 \quad (2.4.1.22)$$

ii) 背面

$$p_3 = \alpha_{IB} \rho_0 g \eta^* \quad (2.4.1.23)$$

$$p_4 = \frac{\eta^* - h_{CB}^*}{\eta^*} p_3 \quad (2.4.1.24)$$

$$h_{CB}^* = \min\{\eta^*, h_C\} \quad (2.4.1.25)$$

ここで、浸水深 η^* として、背後浸水深 η_B を使用する。津波シミュレーションにおいて法先前面の波力算定に、法先前面の浸水深を η として使用する場合には、背面の波力算定には、浸水深 η の発生時刻の背後浸水深を η_B として用いる。前面沖合（水面変動の小さい位置）の浸水深 η_0 を使用する場合は、胸壁に作用する水平波力（胸壁前面と背面の波力の差）が最も大きくなる時刻の背後浸水深とする。波圧係数 a_{IB} は、 $h_C/\eta_B < 0.8$ で 0.4、 $h_C/\eta_B \geq 0.8$ で 0.0（背面波圧を考慮しない）である。なお、背面波圧は、背後の地形等の影響により異なるため留意が必要である。

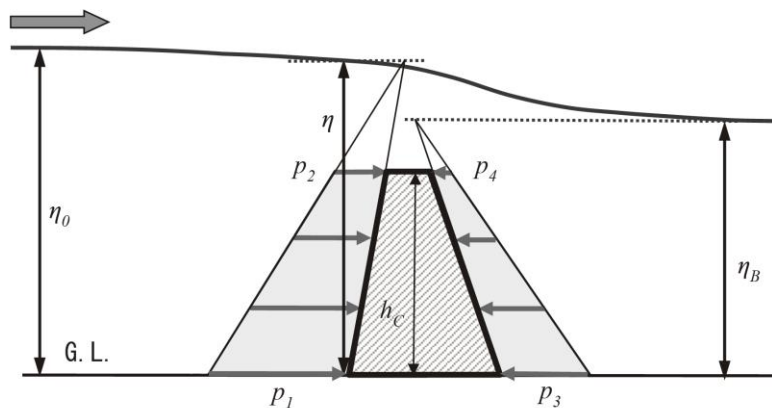


図2.4.1.14 越流時の波圧分布²⁶⁾

背面水位 η_B の算出が困難である時に、 η^* として天端上水位 η_2 を用いて背面波圧の波圧係数 a_{IB} を算定する方法を以下に示す。水位 η_2 の算出にあたっては、前面水位と天端高の差による h_1 から本間の公式より算出する。

$$\eta_2 = h_2 + h_C = 0.45h_1 + h_C \quad (2.4.1.26)$$

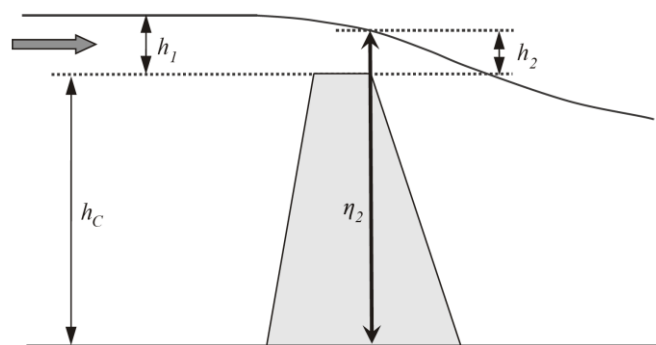


図2.4.1.15 天端上水位 η_2 の定義²⁶⁾

このとき波圧係数 a_{IB} は、 $h_C/\eta_2 < 0.8$ で 0.4、 $h_C/\eta_2 \geq 0.8$ で 0.0（背面波圧を考慮しない）とする。

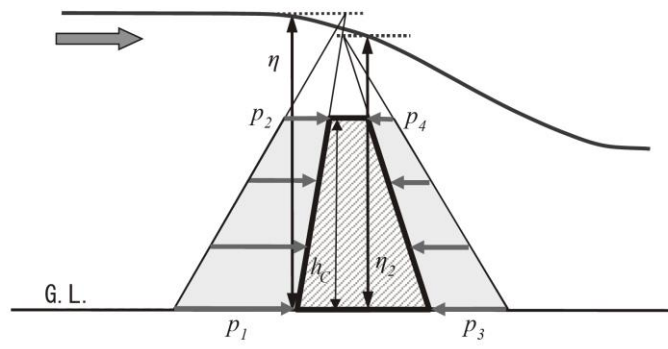


図 2.4.1.16 越流時の波力算定式の概念（天端上水位 η_2 を用いる方法）²⁶⁾