

4 波浪

【告示】(波浪)

第八条 波浪については、性能規定及び性能照査で考慮する一の作用又は二以上の作用の組合せの状態に応じて、次の各号に定める方法により設定するものとする。

- 一 施設の安定性、構造部材の断面の破壊(疲労によるものを除く。)等の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、気象の状況及び将来の見通しを勘案して、統計的解析等により再現期間に対応した波浪の波高、周期及び波向を適切に設定するものとする。
- 二 構造部材に関する施設の機能の確保及び疲労による断面の破壊の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析により設計供用期間中に高頻度で発生する波浪の波高、周期、波向等を適切に設定するものとする。
- 三 静穏度の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、一定期間の波浪の波高、周期及び波向の相関頻度分布を適切に設定するものとする。

(解釈)

7. 自然条件等の設定

(3) 波に関する事項(基準省令第6条、基準告示第8、9条関係の解釈)

一の作用又は二以上の作用の組み合わせの状態とは、設計状態のことであり、波浪については、性能規定及び性能照査で考慮する設計状態に応じて、以下の規定により適切に設定する。

①施設の安定性の照査及び構造部材の断面の破壊の照査等に用いる波浪

イ) 変動波浪の再現期間

主たる作用が変動波浪の変動状態に対する使用性の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、当該施設の目的や要求性能を満足するとともに、当該施設の設計供用期間及び重要度、並びに当該地点の自然状況等を適切に考慮して、波浪の再現期間を適切に設定する。

ロ) 変動波浪の設定

イ)で再現期間を設定した変動波浪に対しては、気象の状況及び将来の見通しを勘案して設定することを標準とする。

ハ) 偶発波浪の再現期間等

主たる作用が偶発波浪の偶発状態に対する照査において考慮する波浪の設定に当たっては、該当海域で発生しうる波の中で施設に最も不利となる波浪を適切に設定する。

ニ) 実測値又は推算値の期間

長期間の実測値又は推算値とは、30年以上を標準とする。

②構造部材に関する施設の機能の確保及び疲労による断面の破壊の照査に用いる波浪

イ) 構造部材に関する施設の機能の確保の照査とは、しばしば発生する作用によって構造部材に機能上の不都合が生じる限界状態の照査のことであり、また、疲労による断面の破壊の照査とは、繰り返し作用によって構造部材に断面の破壊が生じる限界状態の照査のことである。

ロ) 構造部材に関する施設の機能の確保の照査において考慮する波浪は、設計供用期間にそれ以上の波高の波浪が来襲する回数が10,000回程度の波浪とすることを標準とする。

ハ) 疲労による断面の破壊の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、当該施設の自然状況等の諸条件を考慮して、設計供用期間に発生する波浪の波高と周期に関する出現回数を適切に設定する。なお、実測値及び推算値の期間は、5年程度以上を標準とする。

③静穏度の照査に用いる波浪

長期間の実測値又は推算値とは、5年程度以上を標準とする。また、静穏度の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、必要に応じて、長周期波を適切に考慮する。

4.1 波浪条件の設定

4.1.1 施設の安定性及び構造部材の安全性（断面破壊）の照査に用いる波浪条件の設定

(1) 変動波浪条件の設定

① 総論

港湾の施設の性能照査に当たっては、波高・周期・波向などの波浪条件を適切に設定する。このうち気候変動の影響を考慮しない現在の変動波浪条件は、長期間の観測データに基づいた統計解析によって設定することが望ましいが、観測データが十分でない場合には、過去の事象を再現した波浪推算によってデータの補足を行うことが一般的である¹⁾²⁾³⁾。一方、将来の見通しとして気候変動による波浪への影響を勘案する際には、本項(1)の⑨に示す波浪の将来予測に関する研究成果又は調査結果などを参考に、将来における変動波浪条件を適切に設定するものとする。

港湾の施設の安定性及び構造部材の安全性（断面破壊）の照査に用いる波浪は、一般に、設計供用期間が50年の施設に対しては、再現期間50年の確率波とすることができる。なお、これは、従来の設計において一般的に考慮されてきた波浪の再現期間であり、従来の設計法の考え方との連続性をはかり、かつ、設計実務の混乱を避けるために、従来の設定を踏襲したものである。ただし、このように再現期間を設計供用期間に等しくとったとき、設計外力を上回る波浪に遭遇する確率⁴⁾はほぼ63%に達することに留意すべきである。また、遭遇確率を30%程度に抑えるためには、再現期間を設計供用期間の3倍以上に設定する必要がある。このため、再現期間は当該施設の設計供用期間及び重要度、並びに当該地点の自然状況を考慮して適切に定めてもよい。

なお、従来の設計において一般的に考慮されてきた波浪よりも周期が長いうねりに対しても適切に対応するために、波浪の再現期間はうねりに対しても設定するのがよい。この際には、波浪のうち概ね有義波周期8秒以上でかつ波形勾配が概ね0.025未満のものをうねりとすることができる⁵⁾⁶⁾。また、変動波浪条件としてのうねりと区別する場合には、うねりが混在した波浪に対して設定された変動波浪条件を特に従来の変動波浪条件という。

一方、設計潮位は、天文潮位のうち、当該施設の安定性及び構造部材の終局限界状態にとって最も厳しい作用を生じさせる潮位を用いることを標準とする。ただし、近年の被災例では、満潮位を波力計算の設計潮位としている施設が高潮時に被災していることが多い⁷⁾。したがって、越波に対する性能照査と同様に、波力算定時の設計潮位についても、満潮位に適切な高潮偏差を加えた潮位として設定するなど、波浪との同時生起性を考慮して施設に対して最も厳しい潮位としてもよい。

② 極値波浪

施設の安定性等の検討に用いられる異常時の波浪特性は、極大波について統計処理を行い、確率波高として表すことが望ましい。確率波高に基づく設計波浪に関する資料としては、文献⁸⁾がある。

③ 極値波浪の統計処理

設計の対象となる異常時の波浪に対する波高は、一般に、長期間（30年以上を標準とする）のデータから、極大波について再現期間に対する確率波高として表す。長期間にわたる観測データを利用できる地点は未だ少ないので、一般には過去の事象を再現した波浪推算結果を利用することになる。

確率波高の推定資料である極大波とは、ある一つの気象擾乱において波が発達し、減衰する過程において波高が最大となる時の波（一般に有義波）をいい、サンプリングされた極大波はそれぞれ統計的に互いに独立であると仮定する。確率波高の推定に当たっては、対象期間中において極大波高がある設定値以上のデータを使う場合と、各年で極大波高の最大値を求めておいて、この毎年最大波のデータを使う場合がある。これらの極大波高には対象海域における代表的な高波浪をもれなく含むようにする。なお、データの総数 N_T に対して実際に使われたデータ個数 N の比は、データ採択率 $r=N/N_T$ と呼ばれる。いずれの場合にも、確率波高の母分布関数は一般的には不明であるので、グンベル（Gumbel）分布、ワイブル（Weibull）分布、その他の分布関数をあてはめ、データに最も適合する分布形を見出し、その推定関係式を用いて所要の再現期間（例えば50年、100年など）に対する確率波高を推定する。なお、グンベル分布は他に、二重指数分布、極値I型分布、FT-I型分布とも呼ばれる。

ただし、うねりの極大波データが著しく少なく、十分な信頼性を有する分布関数を推定できないことが明らかかな場合には、うねりに対する確率波高の推定を省略することができる。

なお、こうした推定値にはある信頼区間が存在し、絶対的なものではない。また、その精度は統計処理の方法よりも使用したデータの精度に支配されるものである。したがって、例えば2時間毎に観測された20分間の実測値を用いた場合には、これより大きな波浪が来襲している可能性があることにも留意すべきである。一方、極大波のデータを波浪推算によって作成する場合には、推算法の適切な選択及び推算結果の実測値に基づいた検証を行い、必要な場合には推算値を補正する。

また、確率波高に対応する周期については、確率波高の推定資料である極大波のデータについて波高と周期の関係をプロットし、その相関関係に基づいて適宜決定することがよく行われる。さらに、風波については、ウィルソン (Wilson) の波浪推算式に基づく次式⁹⁾を用いることができる。この場合、波高が小さいときには波形勾配0.04前後、波高が大きいときには波形勾配0.03弱の周期を与える。なお、風波が卓越する日本海沿岸や東シナ海沿岸では、0.035~0.04程度の波形勾配となるようである¹⁰⁾。

$$T_{1/3} \approx 3.3(H_{1/3})^{0.63} \quad (4.1.1)$$

④極値波浪の統計処理の手順

統計処理に当たっては、波高順に並べ替え、各波高値に対する未超過確率を計算する。

データ個数を N 、大きいほうから m 番目の波高を $x_{m,N}$ とすると、波高が $x_{m,N}$ を越えない確率 F_m は次式で計算される。

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta} \quad (4.1.2)$$

上式中の α と β は、表-4.1.1に示す確率分布関数ごとの値を用いる。グンベル分布に対する値は、グリンゴートン (Gringorten) が求めたもので¹¹⁾、順序統計量 x_m の期待値に対応する非超過確率 F を用いて、データの統計的ばらつきの影響が最小になるように定められたものである。ワイブル分布に対する値はペトラウスカス・アガード (Petruaskas・Aagaard) が同様の考え方で求めたものである¹²⁾。また、 N はデータ採択率 $\nu=1$ (全数極値資料) のデータ個数であり、 $\nu<1$ (部分極値資料) に対しては、母分布関数の形状をできるだけ正確に推定するために、 N に代えて極値データの総数 N_T を用いるべきである。

ただし、波高の極大値に関しては長期間にわたるデータの集積が未だ十分でないため、沿岸の各地点で、どのような分布関数に適合するのか明確にはわかっていない。

表-4.1.1 異常波浪の未超過確率計算のためのパラメータ

分布関数	α	β
グンベル (Gumbel) 分布	0.44	0.12
ワイブル (Weibull) 分布 (k=0.75)	0.54	0.64
同上 (k=0.85)	0.51	0.59
同上 (k=1.0)	0.48	0.53
同上 (k=1.1)	0.46	0.50
同上 (k=1.25)	0.44	0.47
同上 (k=1.5)	0.42	0.42
同上 (k=2.0)	0.39	0.37

⑤あてはめ分布関数の提案例

(a) 合田は、文献¹³⁾において、ペトラウスカス・アガードに従い、式(4.1.3)のグンベル分布及び式(4.1.4)のワイブル分布で $k=0.75, 0.85, 1.0, 1.1, 1.25, 1.5$ 及び 2.0 と置いた8種類の分布関数をあてはめ、その中で最もデータに適合する関数を、相関係数を用いて選定する方法を提案している。

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left\{ -\left(\frac{x-B}{A} \right) \right\} \right] \quad (4.1.3)$$