

## モンテカルロシミュレーションによる防波堤前面波の確率分布に関する研究

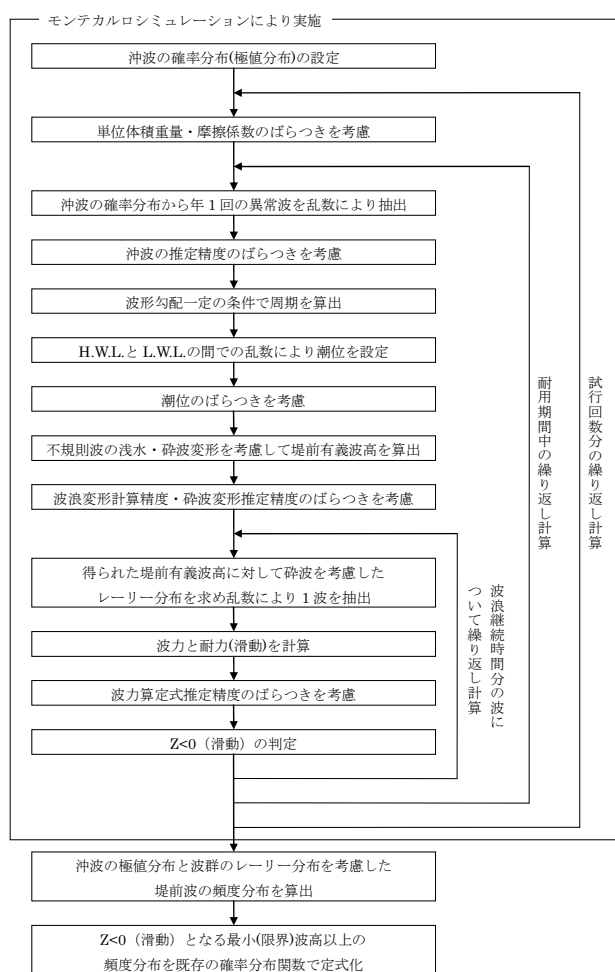
### 研究の目的：

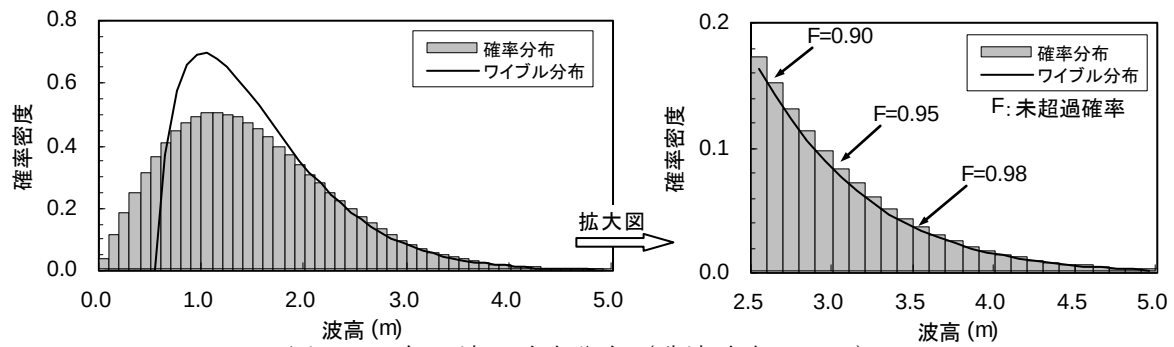
浅海域において、不規則波中の個々波の確率分布は、屈折・浅水変形・砕波などの影響を受けレーリー分布とは異なる確率分布となることが報告されている。そこで本研究では、防波堤設置位置での個々波の確率分布についてモンテカルロシミュレーションを用いて計算を行うとともに、得られた確率分布について既存の分布関数を用いて定式化することを目的とした。この結果を用いて、最終的にはモンテカルロシミュレーションを行うことなく、簡易に防波堤の滑動量を評価することを目指すものである。

### 研究の内容：

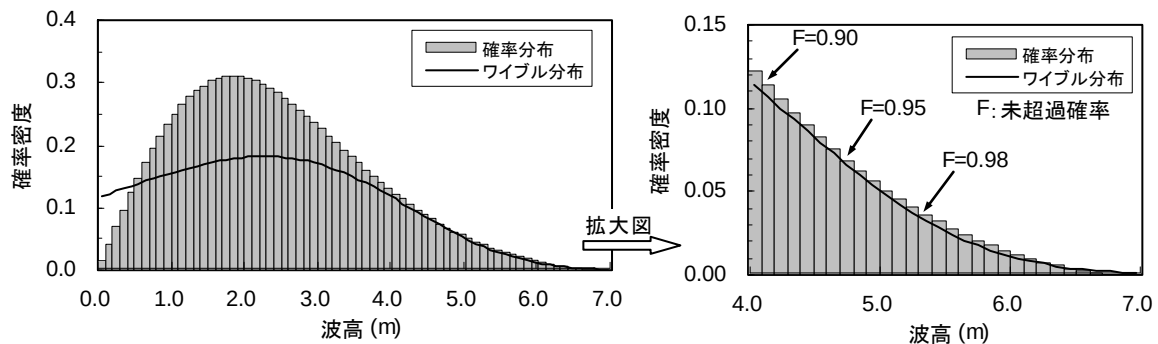
確率分布の計算は、防波堤の期待滑動量の計算手順にならない図-1に示すフローで実施した。このフローに従い、全国 65 例の防波堤について計算を行い、個々波の確率分布を求めるとともに滑動が発生する限界の波高を求めた。既存の確率分布による定式化においては、滑動が発生する高波浪時の分布形状が滑動量算定の際に重要となることから、滑動限界波高以上の範囲を対象とすることとした。計算の結果、1) 砕波の発生頻度が高いケースでは、個々波の確率分布はレーリー分布と比較して高波浪部分のすそ野が短い分布となる、2) 既存の確率密度関数の中ではワイブル分布の適合性が最も高い、3) 滑動限界波高は 65 例の平均で未超過確率 0.874 に相当する波高である、4) 設計波高  $H_{\max}$  と滑動限界波高にはある程度の相関が見られ、その近似曲線の傾きから、設計波高の約 1/2 の波高でも滑動が起きる、ことが分かった。そこで、定式化を行う分布関数をワイブル分布として、未超過確率が 0.90,

0.95, 0.98 に相当する波高を用いて確率分布関数による連立方程式を立て、3 変数  $k$ ,  $A$ ,  $B$  を求めた。計算結果の代表的な例を図-2, 図-3 に示す。この結果より、滑動限界波高以上の個々波の確率分布はワイブル分布によりほぼ近似できることが分かった。ただし、砕波の発生頻度が高いケースほど適合性は低下し、3 変数の近似解が得られないケースも 2 例あった。





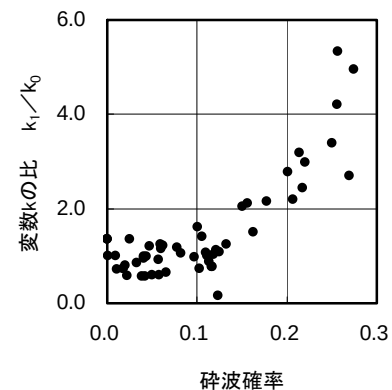
図－2 個々波の確率分布（砕波確率：0.00）



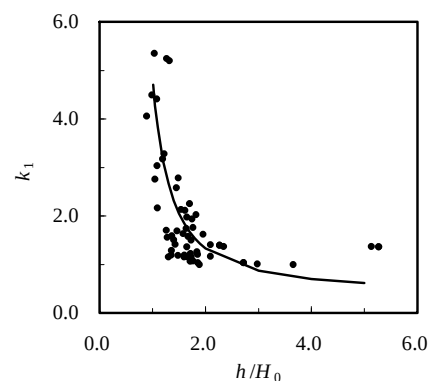
図－3 個々波の確率分布（砕波確率：0.30）

次に、適合させたワイブル分布の定式化を行うために、変数  $k$  に着目して、沖波極値分布の変数  $k_0$  と防波堤位置での変数  $k_1$  の関係を調べた。前述のように防波堤位置での確率分布には砕波の影響が大きいことから、砕波が発生している頻度を砕波確率として、これと  $k_1$  と  $k_0$  の比との関係を求めたものが図－4である。これより、 $k_1/k_0$  には砕波確率との相関性がみられ、砕波確率が大きくなるにつれて変数  $k$  は沖波に比べ防波堤位置で大きくなっていることが分かった。ワイブル分布において変数  $k$  が大きくなることはすそ野が短い分布になることを意味しており、防波堤位置での確率分布が砕波の発生頻度が高いケースほどすそ野が短い分布になる結果との適合性が確認できた。ただし、砕波確率を求めるためには防波堤前面波の確率分布が必要となるため、定式化に用いることはできない。そこで、砕波の影響度合いを表す水深波高比  $h/H_0$  と  $k_1$  との関係を求めたのが図－5である。図－5より、 $h/H_0$  と  $k_1$  には指数関数的な相関関係が認められる。この関係を式で表すと(1)式のようにになるが、まだばらつきが大きいいためフィッティングの関数として用いるには課題が残る。

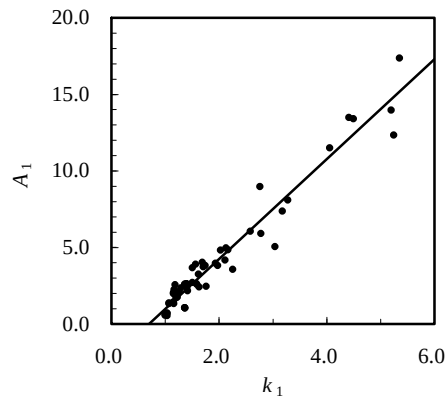
$$k_1 = \exp\left(\frac{2.575}{h/H_0} - 1.0\right) \quad (1)$$



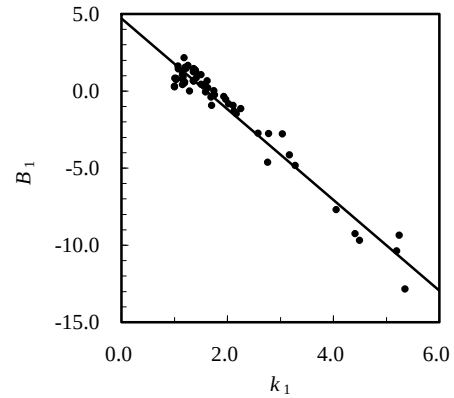
図－4 砕波確率と変数  $k$  の比 ( $k_1/k_0$ ) の関係



図－5 水深波高比  $h/H_0$  と形状母数  $k_1$  の関係



図－6 形状母数  $k_1$  と尺度母数  $A_1$  の関係



図－7 形状母数  $k_1$  と位置母数  $B_1$  の関係

一方、尺度母数  $A_1$ 、位置母数  $B_1$  については  $k_1$  との関係を見ると図－6、図－7に示すように強い相関があることが分かった。これらの近似式は、(2)式及び(3)式ようになる。

$$A_1 = 3.260k_1 - 2.273 \quad (2)$$

$$B_1 = -2.943k_1 + 4.705 \quad (3)$$

#### 主要な結論：

- 1) 防波堤前面波の確率分布は  $h/H_0$  が小さく砕波の発生頻度が高いケースほどレーリー分布との違いが大きく、高波浪部分のすそ野部分で特に大きくなることが分かった。この結果は、既存の実験結果と整合する。
- 2) 滑動限界波高は設計波高  $H_{\max}$  とある程度の相関が見られ、設計波高の約 1/2 の波高でも滑動が起きることが分かった。また、滑動限界波高に対応する確率分布の非超過確率は平均で 0.874 であることが分かった。
- 3) 滑動限界波高以上の範囲での確率分布は、ワイブル分布でほぼ近似できることが分かった。ただし、近似した確率分布の適合性は、最終的には滑動量を含めて判断する必要があると考えられる。
- 4) 適合させたワイブル分布の形状母数  $k$  は、砕波確率が大きくなるにつれて沖波極値分布の  $k$  よりも大きくなり、すそ野が短くなる確率分布形状を再現していることがわかった。また、形状母数  $k$  には、砕波の影響度合いを表す水深波高比  $h/H_0$  との相関関係が認められた。
- 5) 適合させたワイブル分布の尺度母数  $A$  と位置母数  $B$  は形状母数  $k$  との相関が高いことが分かった。