

不規則波浪の越波量について

アイサワ工業(株) 正員 ○ 山田敏彦
鳥取大学工学部 正員 木村 晃
鳥取大学工学部 正員 瀬山 明

1. はじめに: 最近になり不規則波の越波量に関する研究が規則波の越波量に関する結果と不規則波の確率特性を結合するという形で行なわれるようになり、合田による期待越波流量の提案、高田による越波流量の確率分布の決定などの成果が得られている。しかし、これらの結果からは長時間の平均的な越波特性が推定できるにすぎない。現地の波では波高の大きな波が間欠的に現れることは少なく、いくつかの群をなすことが多く、越波量は時間的に集中する傾向のあることが報告されている。そこで、本研究は波の連なりの理論を導入してこの短期的な越波量の確率特性について検討を行なったものである。

2. 計算方法: 本研究も従来と同様、規則波の研究結果と不規則波の確率特性を結合するという形で研究を進めた。規則波の越波量算定式としていくつかのものが提案されているが、ここでは以下に示すように越波量と波高、周期を含めた関数として定義し、実験的にこの妥当性を立証した吉川の越波量算定式を用いる。ただし、砕波点より沖側に設置された鉛直堤からの越波を対象とする。

$$\frac{Q}{T \cdot B \cdot H_0 \cdot \sqrt{2gH_0}} = \frac{2}{15} m \ell^{3/2} \left(1 - \frac{Z_0}{\ell H_0}\right)^{5/2} \quad (2.1)$$

ここで、 H_0 : 測定地点の波高、 T : 周期、 B : 堤幅、 Q : 堤幅 B 当たり1周期当りの越波量、 Z_0 : 静水面からの堤高、 m : 定常流の場合の越流係数、 ℓ : 波形勾配などによって決まる定数、である。鉛直堤の場合には $m=0.5$ 、 $\ell=0.4$ とした場合の実験値と理論値の対応が良好であることが指摘されているのでここでもこの値を用いる。式(2.1)において $H=H_0$ 、 $\ell=H/\bar{H}$ 、 $\ell=L_0/\bar{L}_0$ とおき、整理して無次元化表示すると最終的には次のようになる。

$$q' = \frac{2\pi q}{\bar{H} \cdot \bar{L}_0} = \frac{8}{15} (\pi \ell \ell)^{3/2} \cdot \ell^{1/2} \cdot m \cdot \left(\frac{H}{\bar{L}_0}\right)^{1/2} \left\{1 - \frac{1}{\ell \ell} \left(\frac{Z_0}{H}\right)\right\}^{5/2}, \text{ただし } \ell > Z_0/\ell \bar{H} \quad (2.2)$$

従って、 ℓ 、 ℓ および $H/\bar{L}_0$ 、 $Z_0/\bar{H}$ が与えられると越波量を算定することができる。この研究ではゼロアップクロス法で定義した波は波高・周期の等しい規則波と同じ越波特性を示すと仮定して研究を進める。従って、波高と周期の結合分布がわかれば不規則波全体の越波特性を把握することができる。1例として示した図-1は $Z_0/\bar{H}$ も0.2、 $\bar{H}/\bar{L}_0$ も0.06とし、式(2.2)を用いて求めた等越波量線図であり、図中の線上では越波量が等しい。次に、不規則波の波高と周期の結合分布を導入し、図-1と組み合わせて越波量の確率分布を求める。波高・周期の結合分布としては著者らの提案した2次元Weibull分布を用いる。これによると ℓ 、 ℓ の結合分布は次式のように表わされる。

$$P(\ell, \ell) d\ell d\ell = \frac{m n}{8A} \cdot \ell^{m-1} \cdot \ell^{n-1} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2A} (\phi_2 \ell^m + \phi_1 \ell^{n/2})\right] \cdot I_0\left\{\frac{\ell^{n/2} \cdot \ell^{m/2}}{A}\right\} d\ell d\ell, \text{ただし } \ell, \ell \geq 0 \quad (2.3)$$

ここで、 I_0 : 第1種変形Bessel関数、 ρ : ℓ と ℓ ($T/\bar{T}$)の相関に関するパラメーター、 m 、 n : 波高、周期の周辺分布の形状母数、

$$A = \phi_1 \phi_2 - \rho^2, \quad \phi_1 = \frac{1}{2} \left[\Gamma\left(\frac{1+m}{m}\right) \right]^m, \quad \phi_2 = \frac{1}{2} \left[\Gamma\left(\frac{1+n}{n}\right) \right]^n, \quad \Gamma: \text{ガンマ関数, である。}$$

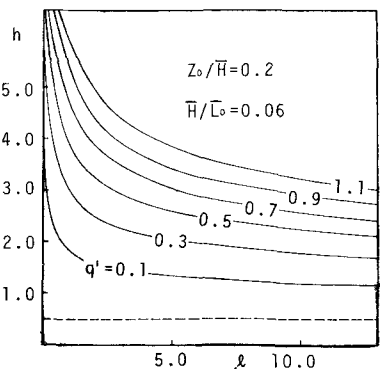


図-1 等越波量線

本研究では1例として、十分発達した風波のスペクトル形である Pierson 型のスペクトルにほぼ対応する $m=2.9$ $n=4.0$, $\rho=0.40$ を用いた。図-1で任意の等越波量線 q と $q+dq$ ではさまれる領域を S とすると越波量の確率密度関数は次式で与えられる。

$$P(q)dq = \iint_S P(r, l) dr dl \tag{2.4}$$

式(2.4)を解析的に表現するのは困難であったのでここでは数値計算によった。次に、短期的な越波量の分布を知るために不規則波の連なりの理論を導入し以下の手順で解析した。周期の連なりについては波高・周期の平面分布においてみられるように波高の大きな波の周期は平均周期の1.1倍付近に集中する。従って、越波する程度の波高の大きな波の周期はほぼ一定と考えてさしつかえない。一方、波高の連なりに関しては著者らの提案した理論を用いた。まず、 R の分布としてはレーリー分布を仮定し、これを次のようにランク分けする。すなわち、ランク1; $0 < R \leq R_*$, ランク2; $R_* < R \leq R_* + \Delta R$, ..., ランク $n+1$; $R_*(n-1)\Delta R < R \leq R_* + n\Delta R$, である。ここで、ランク1は非越波の波が入るため、 $R_* = Z_0/H$ とした。このように分割した任意のランクに属する波の越波量は同一であるとする。 ΔR はこの仮定が成立する程度に小さくとればよい。いま、連続する波高が $R_1, R_2, \dots, R_{n-1}, R_n$ とするとこの出現確率 P は次式で求められる。 $P(1, 2, \dots, n-1, n) = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_{n-1}$ (2.5)

ここで、 P_1 は最初の波の出現確率であり、 P_n は隣り合う波高がランク n ランク $n+1$ となる確率である。式(2.2)からこの連続する n 波の総越波量を求めるとこの越波量の出現確率は式(2.5)で与えられる。出現し得るすべての波の組み合わせについて同様に計算し、整理すると短期越波量の確率分布が求められる。

3. 結果および考察：図-2は式(2.4)を用いて求めた不規則波の1波ごとの越波量の確率分布の図であり、図-3, 4はそれぞれ式(2.5)を用いて求めた波の連なりが2波, 6波の場合の1波当りの平均越波量の確率分布の図である。これらの図を見ればわかるように、波の連なりが長くなるほど確率分布のピークの位置が右に移動しかつピークの形状も少し丸味を帯びたものとなり、平均的に越波量が増えるようになる。以上のことから得られる結論を要約すると、短期的な越波量は長期間の平均越波量に比して平均越波量付近の越波量の出現確率がかなり大きくなる。従って、越波の排水対策を施す場合には不規則波の連なりも考慮してより正確に不規則波の越波量を推定する必要があり、この場合に基づいて許容越波量などを算定し、排水能力を勘案した上で相当の余裕を見込んで排水施設の設計を行なう必要があると考えられる。

4. おわりに：本研究はより面勾配が比較的急で堤脚水深の大きな場合の越波量について検討を行なったが、前の波のもどり流れが次の波の打上げに影響を及ぼすような場合は波高、周期がわかって一義的に打上げ高、越波量も決定することはできない。この場合には波の組み合わせによる打上げのメカニズムから新たに検討してゆく必要がある。最後に、この研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを記して感謝の意を表す。

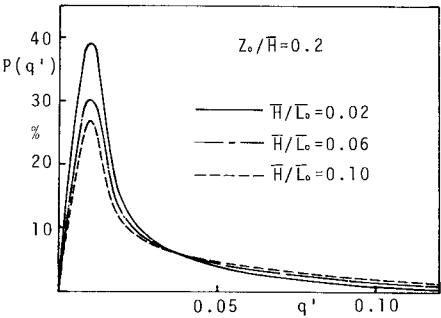


図-2 越波量の確率分布 (1波)

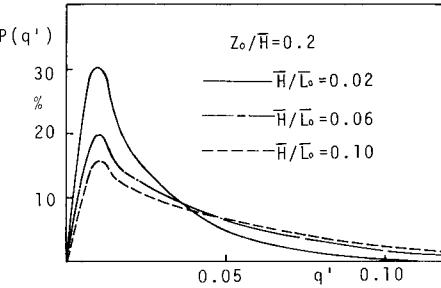


図-3 越波量の確率分布 (2波)

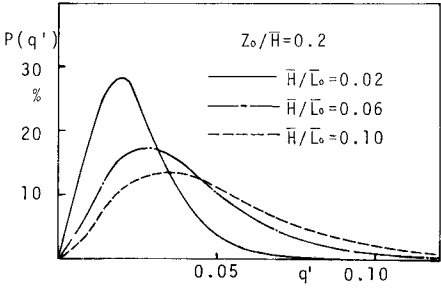


図-4 越波量の確率分布 (6波)