

大阪府立工業高等専門学校 正 員 平山 秀夫
大阪大学工学部 学生員○上野 修

1. はしがき：主として砕波にともなって発生する平均水位の上昇や水面渦によって支配される戻り流れは、海岸侵食の要因の一つであって、これまでに理論と実験の両面から多くの研究がなされてきている。この戻り流れのより精度の高い理論的表示を構築するためには、砕波帯内の水表面付近に生じる、回転軸が波峰線に平行な水平軸をもつ大規模渦の渦度等の特性を定量的に把握することが不可欠である。本研究では、瀬岡ら¹⁾の砕波による渦度供給過程のモデル化と類似な方法を適用し、傾斜面上砕波帯内における水面渦度の推定法を提案するものである。また、推定モデル式のより簡便な表示法の確立のために、岩垣・間瀬ら²⁾による波高推定式に代わる代替式として、砕波帯内における波高・水深の関係式 ($H = \alpha h$; ここで α : 定数、 H : 波高、 h : 水深) を適用し、その適合性も検討した。

2. 砕波帯内における大規模渦の渦度の推定式とその定式化：いま、瀬岡らの実験によれば、1波長内での単位時間当たりの砕波による渦の発生個数 (N) は、1個の渦の循環 (Γ_0) を用いて次のように表される。

$$N \approx \frac{q_0}{\pi r_0} = \frac{\Gamma_0}{2(\pi r_0)^2} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 q_0 : 渦外縁の流速、 r_0 : 渦の半径 ($\approx H/2$) である。

次に、砕波帯内の大規模渦をランキン渦でモデル化できるとすれば、1個のランキン渦によるエネルギー損失の計算法にならって¹⁾、1波長内での単位時間当たりの渦によるエネルギー損失 (ε_1) は次式のように表される。

$$\varepsilon_1 = N \cdot e = N \left\{ \frac{\rho \Gamma_0^2}{16\pi} (1 + 4 \ln \frac{a}{r_0}) \right\} = \frac{\rho \Gamma_0^3 b}{32\pi^2 r_0^2} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 ρ : 流体密度、 a : 渦による流速が0とみなせる場合の渦中心からの距離、 $b = 1 + 4 \ln(a/r_0)$ である。

また、1波長内での単位時間当たりの底面摩擦によるエネルギー損失 (ε_2) は、底面摩擦係数 (τ_0) による、単位時間、単位面積当たりに損失される平均エネルギー (D_+) を用いて次のように表される。

$$\varepsilon_2 = L \cdot D_+ = \frac{4\pi^2}{3} \frac{\rho f H^3 L}{T^2 \sinh^2(kh)} \quad \text{----- (3)}$$

ここで、 L : 波長、 T : 周期、 f : 摩擦係数、 $k = 2\pi/L$ である。

次に、定常状態におけるエネルギー保存則は次式のように示される。

$$\frac{\partial}{\partial x} (C_g E) = -\frac{1}{L} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \quad \text{----- (4)}$$

ここで、 $E = 1/8 \rho g H^2$ (g : 重力加速度)、 $C_g = C \{1 + 2kh / \sinh(2kh)\} / 2$ (C : 波速) である。また、砕波帯内では、浅海であるので $kh \ll 1$ より、 $C_g \approx C \sqrt{g/h}$ と近似でき、式(4)に式(2)と式(3)を代入して循環 (Γ_0) についてまとめると次式のように求められる。

$$\Gamma_0 = \left\{ \frac{2\pi^2 g^2 T^2 h}{b} \left(\frac{\partial H}{\partial h} + \frac{H}{4h} \right) \tan \theta - \frac{4\pi^2 f H^3 T g^2}{3hb} \right\}^{1/3} \quad \text{----- (5)}$$

ここで、 $\tan \theta$: 底面勾配である。

次に、瀬岡らの実験結果に基づき、1波長内での単位時間当たりの砕波による渦の発生状況を図示すると、図-1 のようになる。そこで、本研究では、2個の渦間の渦なし領域も含めた1波長内の渦領域に N 個の渦が合成して全体として1個の渦になると想定し、この合成渦の渦度を渦なし領域も含めた1波長内の渦領域での平均渦度 ω として考えると、次式が成り立つ。

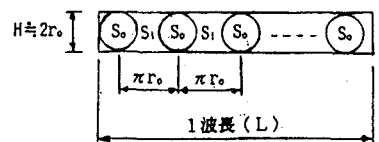


図-1 1波長内での単位時間当たりの渦の発生状況¹⁾

$$\omega_a S = N\Gamma. \dots\dots\dots (6)$$

ここで、S: 渦なし領域も含めた1波長内の渦領域の断面積である。
また、1個の渦あり領域の断面積を πr_o^2 とおけば、1個の渦なし領域の断面積も πr_o^2 となり、Sは近似的に次式のように表される。

$$S \approx (2N-1)\pi r_o^2 \dots\dots\dots (7)$$

さらに、式(6)に式(7)と式(1)を代入し、平均渦度を算定すれば次式のように表される。

$$\omega_a = \frac{8\Gamma_o^2}{\pi H^2(4\Gamma_o - \pi^2 H^2)} \dots\dots\dots (8)$$

したがって、式(5)で表される Γ_o を式(8)に代入すれば、平均渦度が算定されることになる。

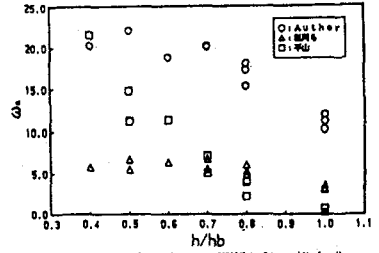
本研究では、波高に岩垣・間瀬による波高推定式と $H=\alpha h$ ($\alpha=0.8$)を適用した場合の2caseについて水面渦度を算定した。また、 $f=0.01$ 、 $b=15$ とし、その他のパラメータについては、岡安ら³⁾の実験結果を用いた。得られた計算結果は、瀬岡ら¹⁾の平均流速分布に基づく場合の計算結果及び平山⁴⁾の計算結果と比較検討した。

3. 解析結果: 図-2は、本解析法に基づいて波高推定式に岩垣・間瀬らの式を適用した場合の渦度の推定結果を示したもので、この図から明らかなように、全ての計算結果は、 h/h_b (h_b : 砕波水深)が小さくなるにつれて渦度が増大する傾向を示し、実際の状況をよく説明していると思われる。また、オーダー的にみても、一般的に知られている水面渦度のオーダー ($1 \sim 10^1$)と一致しており、各計算結果とも適合性は良いようである。図-3は波高推定式に $H=0.8h$ を適用した場合の結果であるが、分布傾向やオーダー的にみても図-2とは顕著な相違がなく、また、各計算法による差異も図-2と同程度である。このことから、本実験条件の範囲内では、砕波帯内の波高推定式は、 $H=0.8h$ を適用しても、水面渦度の推定にはあまり問題はないと思われる。

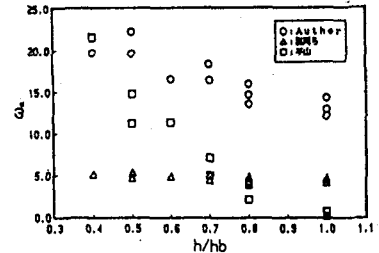
4. 結論: 本研究の主要な結論をまとめて示せば、次のようである。

- 1) 砕波帯内における底面摩擦による波のエネルギー逸散の割合は、砕波による大規模渦によるエネルギー損失の約3~4%程度であって、非常に小さいことが明らかになった。
- 2) 本研究では、渦なし領域を含めた1波長平均渦度 (ω_a)の推定法を提案したが、それに基づく計算結果は、オーダー及び砕波帯内における水平分布傾向とも、これまで提示されている他の推定式による結果とほぼ類似していることから、本渦度推定式でも、砕波帯内における水面渦度の推定は可能であると思われる。

参考文献: 1) 瀬岡和夫・広瀬文人: 砕波の物理過程に基づいた砕波帯内の拡散係数のモデル化, 第33回海岸工学講演会論文集, pp.28-30, 1986. 2) 岩垣雄一・間瀬肇・田中剛: 不規則波の浅海変形モデルについて, 第28回海岸工学講演会論文集, pp.104-108, 1981. 3) 岡安章夫・柴山知也・堀川清司: 砕波帯内定常流速場の鉛直分布に関する研究, 第34回海岸工学講演会論文集, pp.31-35, 1987. 4) 平山秀夫: 砕波帯内における水面渦度の推定式とそれに基づく戻り流れの鉛直分布の理論, 海岸工学論文集 第39巻, pp.71-75, 1992.

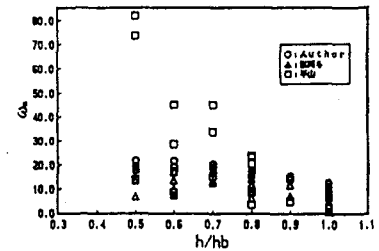


(1) 波高に岩垣・間瀬ら²⁾の推定式を適用した場合

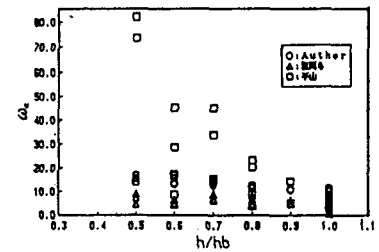


(2) 波高に $H=0.8h$ を適用した場合

図-2 plunging型砕波における水面渦度 (1/sec)の水平分布



(1) 波高に岩垣・間瀬ら²⁾の推定式を適用した場合



(2) 波高に $H=0.8h$ を適用した場合

図-3 spilling型砕波における水面渦度 (1/sec)の水平分布