

金沢大学工学部 正会員 石田 啓
金沢大学大学院 学生員 ○山口 登

1. まえがき 砕波特性を解明することは、底質移動の問題にとって極めて重要である。前報¹⁾では、楕円筒座標表示を用いることにより、斜面上の波動場をストークス波理論と同様の形の境界値問題に変換し、その第2近似解を求め、オイラー的に砕波時の水面波形や水粒子速度について検討を行った。本報では、さらに、ラグランジェ的に砕波時の水面波形を求め、Gaughan^{5,23)}およびIverson⁴⁾の結果と比較検討する。

2. 理 論 水平座標 x および鉛直座標 y を沖波の波数 k_0 を乗じて無次元化し、時間 t を角周波数 ω を乗じて無次元化する。図1のように設定した (x', y') 座標と楕円筒座標 (ξ, η) との対応は、 $x' = \cosh \xi \cos \eta$, $y' = \sinh \xi \sin \eta$ で与えられる。 k_0/ω を乗じて無次元化した速度ポテンシャル ϕ' の第2近似解は、

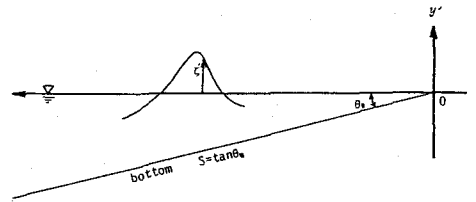


図1 斜面上の波の座標のとり方

$$\phi'_{2nd} = -a_0' \left\{ \cosh m(\eta + \theta_0) / \cosh m\theta_0 \right\} \sin(m\xi + t') - (a_0'/2)^2 \left\{ \cosh 2m(\eta + \theta_0) / \cosh 2m\theta_0 \right\} \sin 2(m\xi + t') \quad \text{----- (1)}$$

となる。ここに、 θ_0 は斜面の角度であり、 m は水面における運動学的条件式から決定されるパラメーターである。また、 a_0' は k_0 を乗じて無次元化した有限振幅深水波の振幅である。式(1)を用いて、平均水面上 $(x', 0)$ における水粒子の水平移動量 X' および鉛直移動量 Y' を求めると、

$$X' = \int \frac{\partial \phi'_{2nd}}{\partial x'} dt' = \left\{ -a_0' m \sin(m\xi + t') - \frac{1}{4} (a_0')^2 m \sin 2(m\xi + t') \right\} / \sinh \xi \quad \text{----- (2)}$$

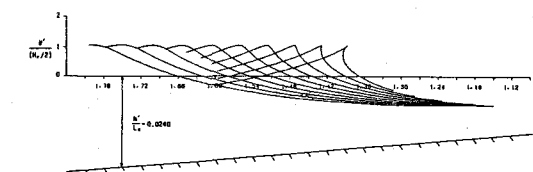
$$Y' = \int \frac{\partial \phi'_{2nd}}{\partial y'} dt' = \left\{ a_0' m \tanh m\theta_0 \cdot \cos(m\xi + t') + \frac{1}{4} (a_0')^2 m \tanh 2m\theta_0 \cdot \cos 2(m\xi + t') \right\} / \sinh \xi \quad \text{----- (3)}$$

となる。水面形の座標 (x^*, y^*) は、

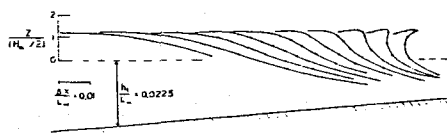
$$(x^*, y^*) = (x', 0) + (X', Y') \quad \text{----- (4)}$$

により求まる。

3. 計算例と考察 図2には、時間間隔 $\Delta t' = 0.24 \text{ rad.}$ 、沖波波形勾配 $H_0/L_0 = 0.0155$ 、底勾配 $S = 0.086$ の時の砕波点付近での水面波形の変化を示す。(a)には本計算結果、(b)にはGaughan^{5,23)}の計算結果、(c)にはGaughan⁵⁾の実験結果を示す。いずれの場合も、波の進行に伴い波が前傾化し、砕波点付近で波の前面が切り立ち、波峰が前に飛び出す巻き波型砕波となっている。図3には、底勾配 $S = 0.1$ とし、沖波波形勾配 H_0/L_0 を変えた時の本計算による波形変化を示す。(a)の $H_0/L_0 = 0.01$ の場合は、波の進行に伴い波が前傾化するが、波峰の先鋭化が見られず、砕け寄せ波型砕波となる。(b)の $H_0/L_0 = 0.02$ の場合は、図2の場合と同様、巻き波型砕波となる。(c)の $H_0/L_0 = 0.05$ の場合は、波の進行に伴い波峰が先鋭化してくるが、波の前傾化は見られずに波峰から砕ける崩れ波型砕波となる。図4には、沖波波形勾配 H_0/L_0 と底勾配 S による砕波形態区分を示す。図中の○印、△印および□印は本計算による崩れ波型砕波、巻き波型砕波および砕け寄せ波型砕波を示し、それぞれ



(a) Calculation by Authors
($H_0/L_0=0.0155, S=0.086, at'=0.24$ radians)



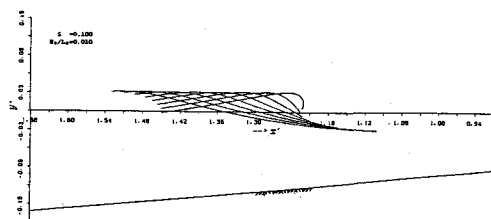
(b) Calculation by M.K. Gaughan and P.D. Komar
($H_0/L_0=0.0155, S=0.086, at'=0.24$ radians)



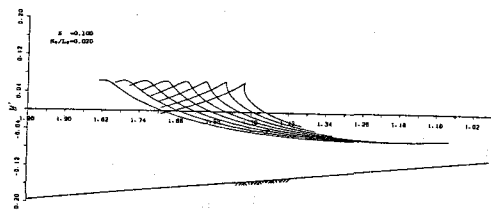
(c) Experimental data by M.K. Gaughan et al.
($H_0/L_0=0.0155, S=0.086, at'=0.24$ radians)

図2 砕波時の波形変化の比較

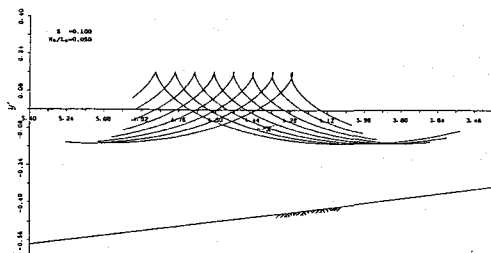
に移る限界を更線で示す。また、点線は Iverson⁴⁾ による分類の限界を示す。砕け寄せ波型砕波から巻き波型砕波に移る H_0/L_0 の限界値は、本計算結果が Iverson⁴⁾ による結果より大きい値を示し、巻き波型砕波から崩れ波型砕波に移る H_0/L_0 の限界値では、本計算結果が Iverson⁴⁾ による結果より小さい値を示している。しかし、 H_0/L_0 が大きいほど、あるいは S が小さいほど砕け寄せ波型砕波から巻き波型砕波、崩れ波型砕波に移る傾向は一致している。以上より、本計算により斜面上を進行し砕波に至る波形の変化を表現することができ、波高の増加特性などについては、今後さらに検討を加える必要があると言える。



(a) $H_0/L_0 = 0.01$



(b) $H_0/L_0 = 0.02$



(c) $H_0/L_0 = 0.05$

図3 沖波波形勾配の相違による波形変化

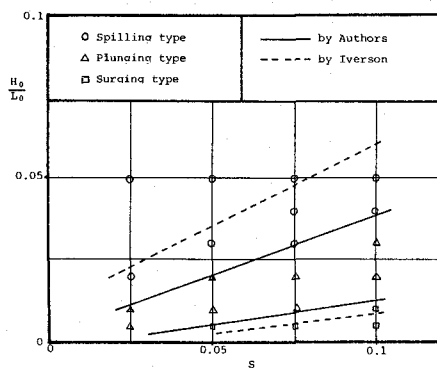


図4 砕波形態区分

《参考文献》

- 1) 石田啓・山口登：斜面上のストークス波理論試算，第37回年次講演概要集，p855～856，1982。
- 2) Gaughan, M.K. and P.D. Komar: The Theory of Wave Propagation in Water of Gradually Varying Depth., J.G.R., pp 2991~2996, 1975.
- 3) Gaughan, M.K., P.D. Komar and J.H. Nath: Breaking Wave, A review of theory and measurements, Ref.73-12, p45, 1973.
- 4) Iverson, H.W.: Studies of wave transformation in shoaling water, including breaking, Gravity Waves, Circ. 521, pp 9~32, 1952.