

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 浅海域における波の特性を知ることが、海岸保全の面や、沿岸構造物の構築の面から極めて重要である。とりわけ、砕波現象は、海浜過程を論ずる場合に不可欠の要素となる。従来、砕波時の波形を理論的に取り扱ったものとして、Biesel¹⁾の研究や、Michael⁵⁾の研究があるが、本報では、斜面上を進行し砕波に至る波を、階円座標表示を用いることにより、ストークス波理論と同様の境界値問題に変換し、その第2近似解を求めることとする。

2. 理 論 水平座標 x および鉛直座標 y を、沖波波数 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、階円座標 (ξ, τ) 座標との対応は、 $x' = \cosh \xi \cos \tau$, $y' = \sinh \xi \sin \tau$ 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 および k_0 を乗じて無次元化した水面の高まり ζ を微小量 ε のべき級数に展開し、これらを階円座標系に変換したラプラスの式および境界条件式に代入すれば、 ε のべきごとに条件式が求まる。速度ポテンシャル ϕ の時間項を単振動の形に仮定すると、第2近似解は、

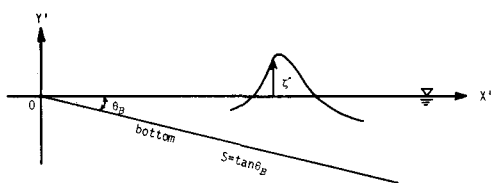


図1 斜面上の波の座標のとり方

$$\phi'_{2nd} = \varepsilon \phi'_1 + \varepsilon^2 \phi'_2 = -a'_0 \{ \cosh m(\tau + \theta_B) / \cosh m\theta_B \} \sin(m\xi + \tau') - (a'_0/2)^2 \{ \cosh 2m(\tau + \theta_B) / \cosh 2m\theta_B \} \sin 2(m\xi + \tau') \quad (1)$$

$$\zeta'_{2nd} = \varepsilon \zeta'_1 + \varepsilon^2 \zeta'_2 = a'_0 \{ \cosh m(\tau' + \theta_B) / \cosh m\theta_B \} \cos(m\xi + \tau') + (a'_0/2)^2 \{ 2 \cosh 2m(\tau' + \theta_B) / \cosh 2m\theta_B - (m/\cosh m\theta_B)^2 / R \} \sin 2(m\xi + \tau') \quad (2)$$

となる。ここに、 τ' は水面を表わす τ 座標、 θ_B 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波の振幅であり、

$$a'_0 = k_0 a_0 = (2\pi/L_0) a_0 = \pi (H_0/L_0) \{ 1 - (3\pi^2/8)(H_0/L_0)^2 \} \quad (3)$$

で与えられる。また、 k_0/ω を乗じて無次元化した水平方向水粒子速度 u および鉛直方向水粒子速度 v は、

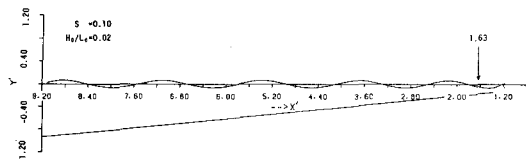
$$u' = \phi'_x = (\phi'_\xi \sinh \xi \cos \tau - \phi'_\tau \cosh \xi \sin \tau) / R \quad (4)$$

$$v' = \phi'_y = (\phi'_\xi \cosh \xi \sin \tau - \phi'_\tau \sinh \xi \cos \tau) / R \quad (5)$$

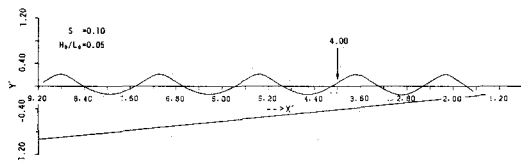
を用いて計算することができる。

3. 計算例と考察 図2および図3は、 $X-Y$ プロッターを用いて自動作図したものであるが、水面変動の値が極めて大きくなる($y' = \zeta' \geq 2$)時には、プロッターペンは $y' = 0$ に戻るよう指示されている。なお、図中の矢印は合田³⁾の砕波点 x' を示す。図2は、底勾配 $S = \tan \theta_B = 0.1$ とし、沖波波形勾配 H_0/L_0 を変えた時の波形変化を示す。 H_0/L_0 の小さい(a)および(b)では、波峰の不安定現象は生じないが、(c)の $H_0/L_0 = 0.08$ の場合には、合田の砕波点近くで波峰が飛散し、計算上からも砕波の発生が説明されると言える。(d)のように H_0/L_0 がより大きい場合には、計算波形は合田の砕波点よりもより沖側から砕れ始めるが、その波形は波頭が崩れながら進行する崩れ波型砕波を示唆していると言える。図3は、 $H_0/L_0 = 0.08$ とし、種々底勾配 S を変えた時の水面波形の時間変化を示す。(a)、(b)、(c)、(d)いずれの場合も、波の進行に伴う波高の増大および波峰の先鋭化が見られ、さらに、合田の砕波点より少し沖側で波峰が飛散することがわかる。図4(a)、(b)および(c)は、斜面上の波の水平方向水粒子速度の鉛直分布を示したものである。図中の丸印、一点鎖線および実線は、それぞれ

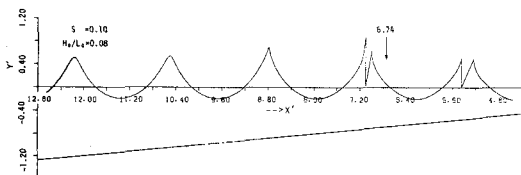
岩垣⁵⁾の実験結果, Biesel の理論による計算結果および本計算結果であり, u_c および u_b は波の峰側および谷側の水粒子速度である。(a), (b), (c)いずれの場合も, 本計算結果と Biesel の理論による計算値は良く一致している。また, (c)の碎波点近傍の u_c には, 実験値と本計算値とのずれが見られるが, それ以外では, 両者は良く一致している。このことは, 本計算方法の妥当性を示唆していると言えるが, 今後さらに検討を加え, より厳密な解を得る必要があると考えられる。最後に, 本研究を行うに際し, 助力を借りました細沼宏之君(現在金沢大学大学院生)に厚く謝意を表す。



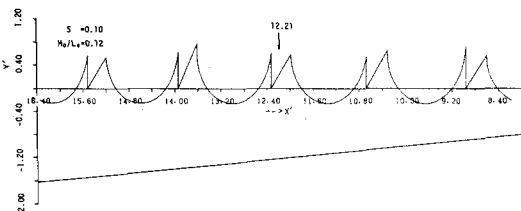
(a) $H_0/L_0 = 0.02$



(b) $H_0/L_0 = 0.05$

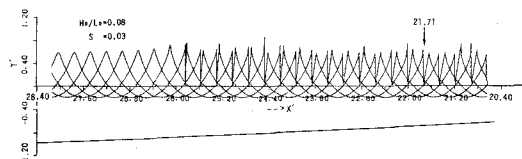


(c) $H_0/L_0 = 0.08$

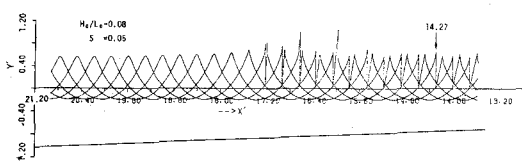


(d) $H_0/L_0 = 0.12$

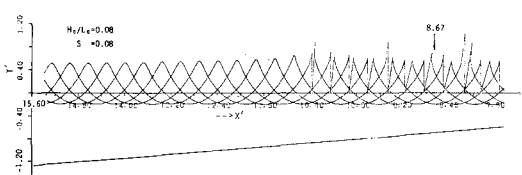
図2 沖波波形勾配 H_0/L_0 の変化による斜面上の波の変化



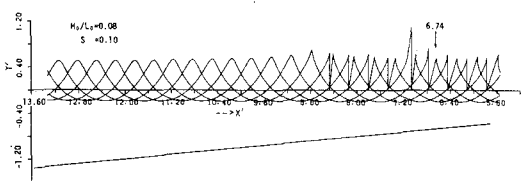
(a) 底勾配 $S = 0.03$



(b) 底勾配 $S = 0.05$

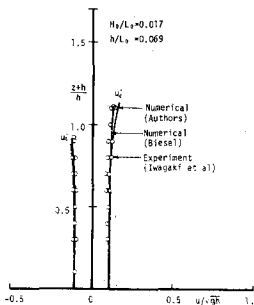


(c) 底勾配 $S = 0.08$

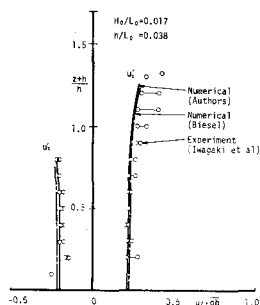


(d) 底勾配 $S = 0.10$

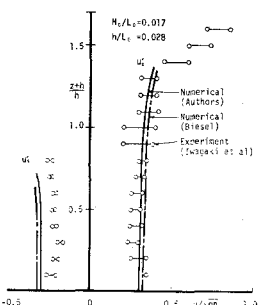
図3 斜面上の波の時間変化



(a) $H_0/L_0 = 0.069$



(b) $H_0/L_0 = 0.038$



(c) $H_0/L_0 = 0.028$

図4 水平方向水粒子速度の鉛直分布の変化

《参考文献》

- 1) Biesel : Gravity Waves, Circ.521, Nat.Bur.of Stand., Gaithersburg, Md., pp.243~253, 1952.
- 2) Michael; J. Geophys. Res., Vol.80, No.21, pp.2991~2996, 1975.
- 3) 分田 : 土木学会論文報告集, 第180号, pp.39~49, 1970.
- 4) 岩垣・酒井・川島 : 第18回海岸工学講演会論文集, pp.93~96, 1971.