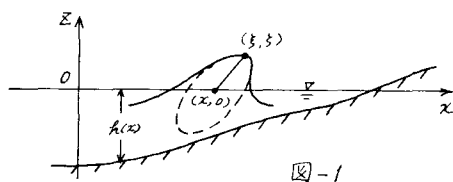


東京大学工学部 正会員 堀川 清司
 東京大学工学部 正会員 西村 仁嗣
 建設省東北地方建設局 正会員 福井 直治

1. 緒言 斜面上を進行する波の変形は工学的見地から興味深い問題であつて、碎波に到る現象は多くの研究者によつてとり上げられて来た。Biesel¹⁾は微小振幅の進行波に及ぼす底勾配の影響を調べて、ある程度の成果を挙げている。もとより非線型現象に関して微小振幅の仮定の下に充分な解析を行ふことは望むべくもないが、このようなとり扱ひの限界を探る意味で、三考察を試みたのでその結果を報告する。

2. Bieselの理論 Bieselはいく分変則的な振動によつて速度ポテンシャル ϕ に関する Laplace の方程式を解き、水深 h の変化にともなう2次元の微小振幅波の変形を求めた。境界条件は水表面で $\frac{1}{g} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$ となること、および底面で境界に垂直な流速が0となること



との2つである。座標軸のとり方等については図-1を参照されたい。水深の変化は緩やかであるものとして、底勾配 α の高次の項を無視すると、 ϕ は次式のように得られる。

$$\phi(x, z, t) = -\frac{a_0 k e}{k \sinh kh \sqrt{2\pi \tanh kh}} \left[\cosh k(z+h) \sin(\alpha t - \int k dx) \right. \\ \left. + \alpha \left\{ \frac{k(z+h) \sinh k(z+h)}{4\pi^2 \tanh kh} - k(z+h) \cosh k(z+h) + \frac{k(z+h)^2 \cosh k(z+h)}{4\pi \sinh kh \cosh kh} \right\} \cos(\alpha t - \int k dx) \right]$$

ただし、 a_0 は深海波の振幅、 k は波数で、 $\pi = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{kh}{\sinh kh \cosh kh} \right)$, $gk \tanh kh = \alpha^2$ である。

これを x , z もしくは ξ で偏微分すれば、それぞれ水平、鉛直方向の速度成分 u , w を求めることができる。またこの解を Lagrange 風に解釈することにより、水粒子の運動を追跡することも可能である。とくに水面の位置 (ξ, ζ) は

$$\xi = x + a_0 [A_x \sin(\alpha t - \int k dx) + \alpha B_x \cos(\alpha t - \int k dx)]$$

$$\zeta = a_0 [A_z \cos(\alpha t - \int k dx) - \alpha B_z \sin(\alpha t - \int k dx)]$$

の形で与えられる。上式中の係数はいずれも kh のみの関数であつて、その性状は図-2に示した通りである。

3. 波形の変化 筆者らは底勾配 α が一様で $\alpha = 0.01 \sim 0.1$ 、深海における波形勾配 $2a_0/L_0 = 0.005 \sim 0.1$ なる範囲の波について前節の計算式を適用し、斜面上の波形を計算した。結果の一部が図-3に示

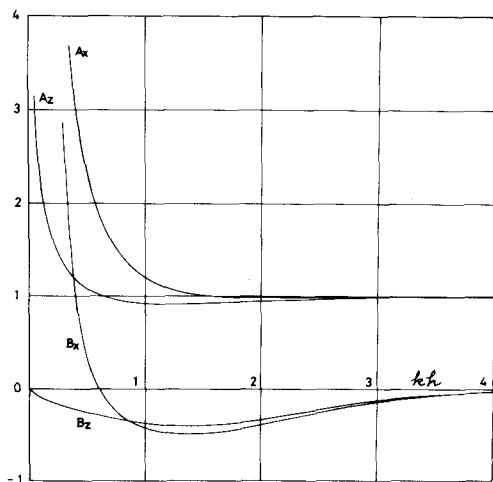


図-2

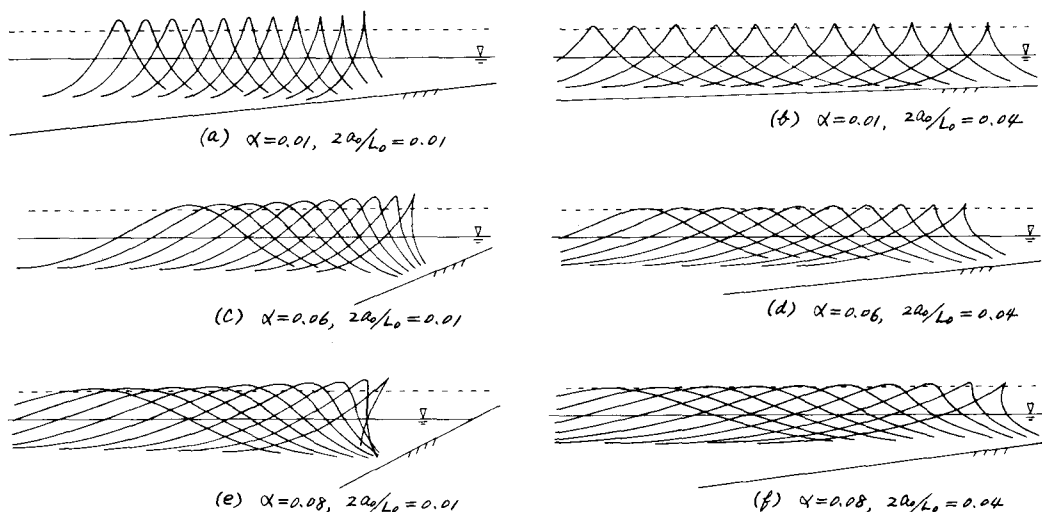


図-3

されている。ただし、同図において縦横の尺度は適宜歪ませてある。底勾配が大きくなるに従って、かつまた波形勾配が小さくなるに従って波形の非対称性が著しくなり、spilling型からplunging型の碎波に移行する傾向は実際の現象と合致している。当初、計算結果によって碎波形態を分類することを企図したが、その判定規準が明確でなかったために果さなかった。しかし Iversen, Hayami²⁾の碎波形式分類図によれば、 $\alpha=0.01$ の場合 $2a_0/L_0 \approx 0.03$ 、 $\alpha=0.06$ の場合 $2a_0/L_0 \approx 0.04$ 、 $\alpha=0.08$ の場合 $2a_0/L_0 \approx 0.05$ をそれぞれ境として spilling 型と plunging 型に区分されており、計算結果はこれに対してほぼ首肯できるものである。図-3中の点線は深海波の振幅 a_0 に対応しているが、波高増大の状況は実際の現象とかなり異なっている。また碎波水深も極めて小さく、現実離れた結果となっており、これらの点に微小振幅波理論の限界が伺われる。

4. 流速分布 図-4は上記の理論に基づいて算出された内部流速分布であり、同じく図-5は実験によって得た類似の条件下の流速分布である。両者を比較すると、とくに鉛直面内の流速分布の状況が異なっている。また実験結果においては鉛直上方への流速の卓越する領域が理論値の場合よりも波の山の位置に近くなっている。Bieselの理論では進行波のみが考えられており、戻り流れのような現象は全く考慮されていないので、これらは当然の結果と言えよう。なお、実験においては高速度カメラによって水中のトルエンフロートを追跡し、これを解析して流速を求めた。得られた流速場から戻り流れを抽出し、その影響を考察することをも試みたが、現時点では十分な精度の結果を得ていない。

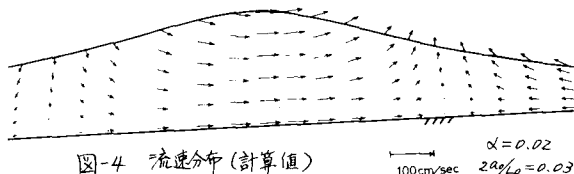


図-4 流速分布 (計算値)

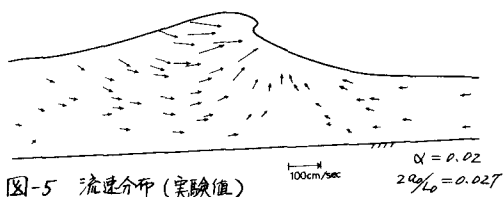


図-5 流速分布 (実験値)

参考文献

- 1) Biesel, F.: Study of Wave Propagation in Water of Gradually Varying Depth, U.S. National Bureau of Standards, Gravity Waves, N.B.S. Circular 521, 1952.
- 2) Hayami, S.: Type of Breakers, Wave Steepness and Beach Slope, Coastal Engineering in Japan, Vol. 1, 1958.