

II-7

急斜面上での波による流速場とラディエーションストレス

埼玉大学大学院 学生員 中村 茂

埼玉大学大学院 学生員 趙 群

埼玉大学工学部 正 員 谷本勝利

埼玉大学工学部 正 員 中村廣昭

1. はじめに

人工リーフ等の急斜面を有する構造物における波平均現象の解明には、そうした条件における radiation stress を正しく検討する必要がある。急斜面を考慮した理論としては、Biesel (1952) による摂動展開法および日野・灘岡 (1983) による等角写像法がある。しかし、radiation stress の検討までは行われていない。そこで、本研究では、急斜面上での流速場の特性および radiation stress を水底勾配の項を考慮した等角写像法および実験によって検討するものである。ただし、研究の第一段階として、非砕波領域を主な対象としている。

2. 基礎方程式

①等角写像法：図-1 のような一様斜面の波動場を対象領域としてまず考える。この物理面 (z 平面) を等角写像により図-2 のような水平床上の領域 (ζ 平面) に変換する。写像関数 f は $f(\zeta) = \ln z$ として与える。

まず、以下のような無次元化を行う。

$$(\alpha', \beta') = (\delta\alpha, \beta) \frac{\omega^2}{g}, \quad t' = \omega t,$$

$$(\tilde{\eta}', \beta'_0) = (\tilde{\eta}, \beta_0) \frac{\omega^2}{g}, \quad \phi' = \phi \frac{\omega^2}{g}$$

δ : 水深変化に対する水平方向の比率、 ω : 角周波数、 g : 重力加速度、 t : 時間、 $\tilde{\eta}$: ζ 平面上での水面波形、 ϕ : 速度ポテンシャル、 β_0 : ζ 平面上での水深。

ζ 平面上での基礎方程式は

$$\delta^2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial \beta^2} = 0$$

となり、また境界条件は以下ようになる。

$$\frac{\partial \tilde{\eta}}{\partial t} - s_0^2(\alpha) \frac{\partial \phi}{\partial \beta} = 0, \quad \beta = 0$$

$$\tilde{\eta} + s_0(\alpha) \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0, \quad \beta = 0$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \beta} = 0, \quad \beta = -\beta_0$$

ここに、 $s_0(\alpha)$ は変換に伴う scale factor で $\beta=0$ としたものである。

次に波数 k を導入し、

$$(\alpha, \beta, t) \Rightarrow (\alpha, \beta, \xi), \quad \xi = \delta^{-1} \int k d\alpha + t \text{ とする。}$$

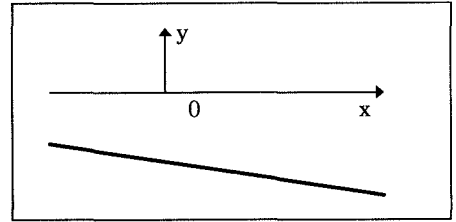


図-1 z 平面

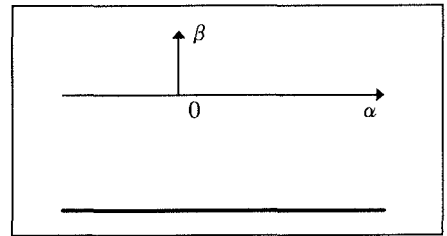


図-2 ζ 平面

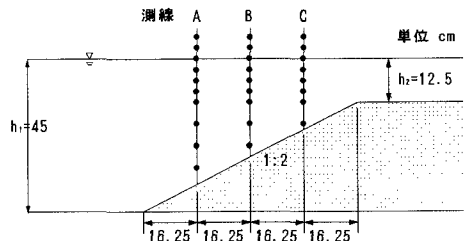


図-3 人工リーフ模型

未知数 $\phi, \tilde{\eta}, k$ をパラメーター δ について摂動展開し、基礎方程式と境界条件に代入し、 δ^0 のオーダーについてまとめると、次式を得る。

$$\begin{aligned}\phi_0 &= \alpha \cdot \cosh k_0 (\beta + \beta_0) \cdot \sin \xi \\ \tilde{\eta}_0 &= \alpha \cdot s_0(\alpha) \cdot \cosh k_0 \beta_0 \cdot \cos \xi \\ s_0(\alpha) \cdot k_0 \cdot \tanh k_0 \beta_0 &= 1\end{aligned}$$

② radiation stress : radiation stress は次式を用い計算した。

$$S_{xx} = \rho \left\{ \frac{g \bar{\eta}^2}{2} + \int_{-h}^{\bar{\eta}} (\bar{u}^2 - \bar{v}^2) dy + \int_{-h}^{\bar{\eta}} dx \frac{\partial}{\partial x} \int_y^{\bar{\eta}} \bar{u} \bar{v} dy \right\}$$

ρ : 流体の密度、 $\bar{\eta}$: 波平均水位

3. 実験および計算結果の比較

実験は、図-3のような斜面勾配 1/2、沖側水深 45cm、リーフ水平棚上での水深は 12.5cm の人工リーフの模型を対象とした。測線 A、B、C についてレーザードップラー流速計、波圧計、波高計を用い斜面上での流速、波圧、波高を測定し、流速の鉛直分布、radiation stress が求まるようにした。波はすべて規則波で、周期 T を 1.2、1.6、2.0sec の3種に変化させ、リーフへの入射波高 H_I は 4~14cm の範囲で6種に変化させた。

斜面中央における実験値と計算値の結果を図-4~7に示す。図-4~6は水平流速および鉛直流速の振幅、水平流速と鉛直流速との位相差の鉛直分布。図-7は radiation stress である。いずれも $T=1.6\text{sec}$ の例である。図中、参考のために、水平床上の微小振幅波理論による値も示してある。水平床理論との大きな違いは、水底における鉛直流速と位相のずれであるが、等角写像法では急斜面上のこれらの流速の特性をよく表している。水面付近の位相のずれが少し合わないのは、測定における誤差の影響にもよる。radiation stress については、水平床上の微小振幅波理論による値より小さくなり、斜面勾配を考慮した理論による評価が必要である。

4. おわりに

等角写像法を用い、実験値と比較を行った。水底における運動学的境界条件を満足させることにより、 δ^0 のオーダーにもかかわらず、急斜面上での流速の特性を表している。また、radiation stress についても等角写像法の有効性を確認できた。

<参考文献>

- 1) 日野幹夫・灘岡和夫 (1983) : 共形変換を用いた任意断面地形上の波動場の解析法、第30回海岸工学講演会論文集、pp.89~93
- 2) 中村茂・Harshinie Karunaratuna (1995) : 急斜面上での波による流速場に関する研究、土木学会第50回年次講演会講演概要集、pp.778~779

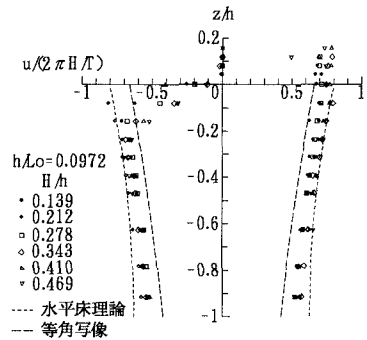


図-4 水平流速の振幅

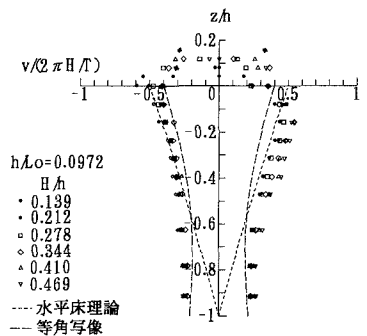


図-5 鉛直流速の振幅

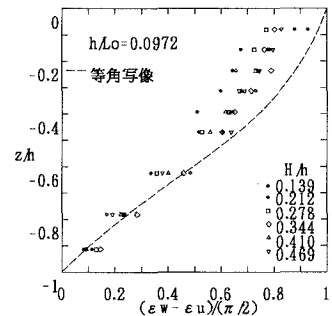


図-6 水平流速と鉛直流速の位相差

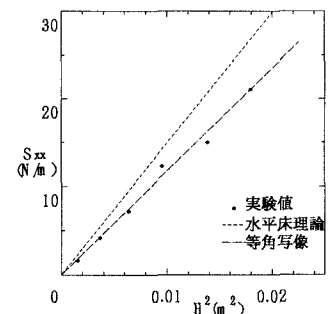


図-7 radiation stress