

波動場における底面乱流境界層の解析

熊本大学工学部 正会員 滝川 清、田淵 幹修

学生員○伊藤 健彦、五ノ谷 清一

1、はじめに 海浜の変形機構を解明するためには、とくに底面近傍に発生、発達する境界層内での流速やせん断応力の変動特性を明らかにし、底質に作用する流体力を正しく評価する必要がある。本研究は底部波動境界層に対する層流および乱流の支配方程式をF. E. M解析し、傾斜面上を含む波の有限振幅性の効果と、層流、乱流境界層内の流体場の変動特性について検討を加えたものである。

2、基礎方程式とF. E. M解析 波の進行方向にx軸、底面から鉛直上方にz軸を取り、各方向の速度成分をu, wとする。2次元の境界層の連続式および運動方程式は、境界層近似により次式で与えられる。

$$\partial u / \partial t + u \cdot \partial u / \partial x + w \cdot \partial u / \partial z = -1/\rho \cdot \partial P_b / \partial x + 1/\rho \cdot \partial \tau / \partial z \quad (1)$$

$$\partial u / \partial x + \partial u / \partial z = 0 \quad (2) \quad \text{ここに(1)式中の} P_b \text{は境界層外縁での圧力を意味する。}$$

さて、式(1)の右辺の摩擦応力項を $\tau/\rho = \nu \cdot K(z) \cdot \partial u / \partial z$ (3) とすると、層流および乱流の各場合に適用され、この解析方法はすでに文献¹⁾に示した通りである。しかしながらこの方法では乱流の場合に対し、近似的にしか表現できず、K(z)をいかに与えるかが問題となる。ここではさらに乱流状態に対し、Prandtl理論を導入し、

$$\tau/\rho = (\kappa z^*)^2 \left| \partial u / \partial z \right| \cdot \partial u / \partial z \quad (4) \quad \kappa: \text{Karman定数、} z^*: \text{底面からの距離}$$

とした解析を行う。いまGalerkin法を適用し、三角形要素による補間関数を用いて定式化すると、次の離散化方程式を得る。

$$\begin{aligned} \sum \int \int_e \phi \phi^T dx dz (\dot{U} - P_b) + \sum \int \int_e \phi \phi^T (U \phi_x^T + W \phi_z^T) dx dz \cdot U \\ + \sum \int \int_e \text{sign}(u_z) \cdot (\kappa z^*)^2 \phi_z (\phi_z^T U)^2 dz dx - \int [\text{sign}(u_z) \{ (\kappa z^*)^2 \phi (\phi_z^T U)^2 \}]_0^6 dx = 0 \quad (5) \end{aligned}$$

$$\sum \int \int_e (\phi \phi_x^T U + \phi \phi_z^T W) dx dz = 0 \quad (6)$$

ただし $u_z = \partial u / \partial z$ であり、 $\text{sign}(u_z)$ は u_z の符号を意味する。式(5)は非線形式であるため線形化に際してはNewton-Raphson法を用い、また時間方向に対しては差分法により解析を行う。

3、計算結果 図-1、図-2および図-3の各図は、水深30.0cm、周期1.67sec、波高8.22cmに対する正弦波およびstokes3次波を境界層外縁で与えた時の底面境界層内部の流速分布を各図中の波形の位相に対応してプロットしたものである。図-1は摩擦応力項を式(3)で評価し、2次元の層流解析($K(z)=1$)結果である。境界層厚は、両図ともshear-waveの1波長 $\delta = 2\pi / (\sigma / 2\nu)^{1/2}$ をとり、鉛直方向に10分割、進行方向に $\Delta x = L/40$ として20分割、時間刻み $\Delta t = T/48$ として計算した。流速分布は、有限振幅波の影響により非対称となり、層流境界層内においても峰の位相でのover-shooting現象がみとめられる。また正弦波の場合においても2次元解析の結果、移流慣性項 $u \cdot \partial u / \partial x$ の効果により完全には対称な分布とはならない。図-2は τ/ρ を式(4)で評価し、式(1)の左辺の非線形項を略した1次元乱流解析結果であり、また図-3は式(1)の非線形項を考慮

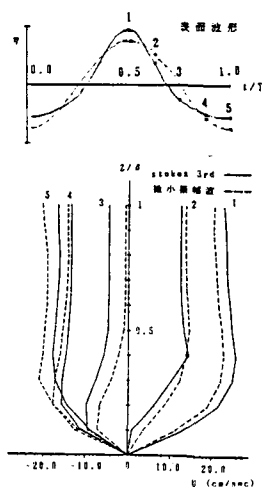


図-1 2次元層流解析

した2次元乱流解析結果である。両図中の実験値は浅野ら²⁾によるものである。

1次元乱流解析では $u \cdot \partial u / \partial x$ を考慮していない為正弦波およびstokes波の両者に対しほぼ同様の流速分布形状となり、層流解に近い分布となる。図-3に示すように2次元乱流解析を行うと、実験値と良く一致した結果が得られ、特にstokes波による結果は良好である。またこれら図-1、2、3よりovershooting現象は入射波の有限振幅性および粘性項の非線形性よりむしろ、移流慣性項の影響が主であると考えられる。図-4および図-5は、勾配 $i = 1/20$ の傾斜面での2次元乱流解析結果の流速分布(u/C_e : C_e は沖波波速)を示したものである。各計算ケース5、6は文献³⁾のケースと同一である。別途F. E. M解析を行って求めた斜面底部での流速変動を計算データとして用い、解析した結果である。図-4(a), (b)は各ケースの砕波点における流速分布の位相変化であり、図-5は図中に示す波位相での空間的流速分布を示した。表面波形から分かる様にCase 6は巻波、Case 5は崩れ波に近い巻波砕波であり、岸、沖方向分布の非対称性が砕波形態に対応している事が分かる。

4、おわりに 底面せん断力の評価に関する摩擦係数 f_w ($\tau_{max}/\rho = f_w \cdot u_p^2/2$, u_p : 水粒子速度振幅)は、今回の斜面のケースでは従来の算定公式よりも大きな値が得られているが、他の結果とあわせ、詳細は講演時に発表予定である。最後に、本研究は62年度文部省科学研究費による研究の一部である事を記し、ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 滝川 清、田淵 幹修 有限要素法による波の変形に伴う底部波動境界層の解析 第32回 海講論文集 (1985)
- 2) 浅野 敏之、岩垣 雄一 有限振幅波動下における底面境界層の数値解析 京大防災研年報29号 (昭和 61)
- 3) 滝川 清、岩垣 雄一、中川 正博 有限要素法による斜面上の波の変形と内部機構の解析 第30回海講論文集 pp20~24, (1983)

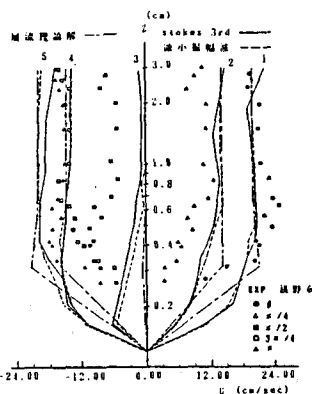


図-2 1次元乱流解析

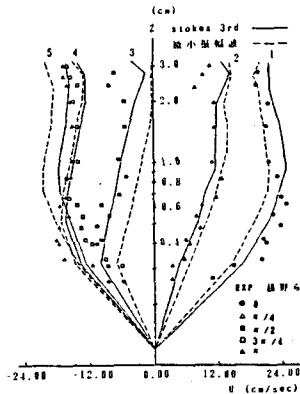
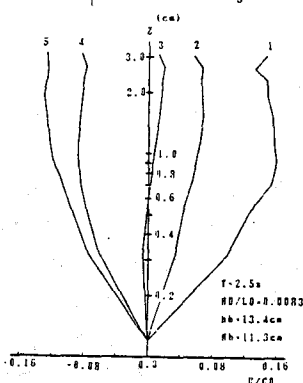
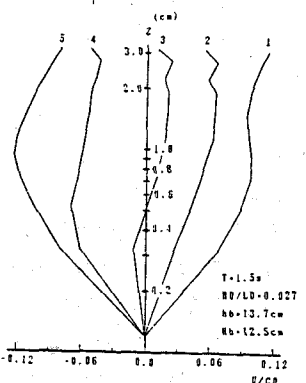
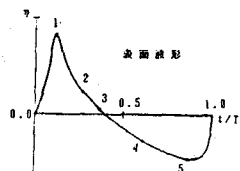
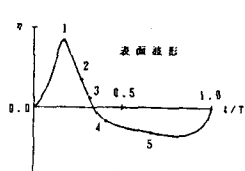
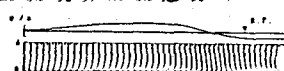


図-3 2次元乱流解析



(a) Case 5 (b) Case 6
図-4 砕波点での乱流境界層流速分布



(a) Case 5 (b) Case 6
図-5 斜面上乱流境界層の流速分布