

II-368

砂漣上の波動底面乱流境界層の特性

熊本大学工学部 正 員 滝川清 山田文彦 外村隆臣
 熊本大学大学院 学生員 ○西山宏一
 五洋建設 正 員 矢沢岳

1. はじめに

漂砂移動の解明上、波作用下での境界層内の流体運動特性を把握することは、極めて重要である。従来、その研究の多くは振動流の条件下で行われてきたが、実際の波動場は時間的にも空間的にも変化していることを考慮する必要がある。本研究は、底面剪断力を実測すると共に、水面波形からDeanの流れ関数理論により得られる流速を境界層外縁の境界条件に用いて有限要素法解析を行い、より現実に近い波の作用下における砂漣上の境界層の特性について検討を加えるものである。

2. 乱流境界層の有限要素法解析

底面に沿って波の進行方向にx軸、鉛直上向きにy軸の2次元領域を考える。基礎式として、N-S方程式をx, y方向に微分し圧力項を消去した渦度方程式と、渦度と流れ関数で表した連続の式を用いる。

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} = (\nu + \nu_T) \nabla^2 \omega \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (2)$$

ここで、 ν は動粘性係数、 ν_T は渦動粘性係数である。渦動粘性係数はPrandtlの混合距離理論で表されるものとして、次式で評価する。

$$\nu_T = l^2 \left| \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \frac{\partial v}{\partial y} \right|^{1/2} \quad (3)$$

$$l = \kappa y^* \quad (4)$$

ここで、 κ はKarman定数、 y^* は底面からの距離である。上の2つの基礎式を用いてGalerkin法により数値解析を行う。なお、Galerkin法による基礎式の定式化は文献(1)に詳しい。

3. 壁面摩擦係数

壁面摩擦係数の表現を次のように定義する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{正の摩擦係数} \quad f_{w+} = \frac{2}{\rho} \frac{\tau_{0\max}}{\hat{u}_b^2} \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{負の摩擦係数} \quad f_{w-} = -\frac{2}{\rho} \frac{\tau_{0\min}}{\hat{u}_b^2} \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{摩擦係数の差} \quad f_{w0} = f_{w+} - f_{w-} \end{array} \right. \quad (7)$$

ここで、 $\tau_{0\max}$ 、 $\tau_{0\min}$ はそれぞれ1周期中の底面剪断力の最大値、最小値であり、 $\hat{u}_b$ は微小振幅波の層流解による境界層外縁流速の振幅である。

4. 結果と考察

実験は幅50cm、長さ38mの2次元造波水槽を用いて、底面形状が平坦な場合と、水路床に砂漣長12cm、砂漣高さ2cmの波の条件に対して安定した固定砂漣を設置した場合の2通りについて行った。波の条件は周期2秒、波高12cm、水深40cmとした。

数値解析は、この時の水面波形の実測値をもとに、Deanの流れ関数法を用いて境界条件を作成した。左右の仮想境界上では、1次元乱流境界層のFEM解析を別途行い、これを入力条件としている。また、底面においては流速0cm/sとし、渦度はBrileyのラグランジュ多項式に基づいて与えた。解析領域は、水平方向に40cm、鉛直方向に12cmとし、水平方向に80分割、鉛直方向に20分割し、底面近傍では細かく分割した。時間ステップ間隔は1/100sとした。

図-1-(a)は底面形状が平坦な場合の、図-1-(b)は底面が砂漣形状である場合の砂漣頂部での底面剪断力の数値解析値と、水用剪断力計による実測値を1周期にわたって示したものである。(a)より水面波形に対して、位相が進んでいる事がみとれる。(b)は(a)に比べ、底面に大きな剪断力が働いている事がわかる。また、波の進行方向に対して負の掃流力が大きく働いていると思われる。なお、剪断力の実測と数値解析結果の差異については、砂漣上での渦の発生、消滅等、流況と密接に関連しており、さらに詳細な検討が必要である。

図-2は、砂漣の図中の位置における水平流速、剪断力の鉛直分布を各位相ごとに示したものである。横軸については、それぞれ微小振幅波理論を用いたときの線形層流解による境界層外縁流速と底面剪断力の振幅に対する比で表している。(b)の砂漣頂部では、底面近傍の流速の最大値はかなり大きな値となっており、大きな掃流力が働いていると思われる。また、(a)に示す砂漣の谷では、砂漣高さ付近の位置で大きな剪断力が作用しており、渦による乱れ、エネルギー逸散が顕著であると思われる。

図3-(a)、(b)は、それぞれ波の条件に対して安定した砂漣と不安定な砂漣（砂漣長7.2

cm, 砂漣高1.2 cm)での摩擦係数の差 f_{wo} の水平分布を示したものである。ほぼ砂漣の頂点を境として、岸側斜面では“負の摩擦係数”が、沖側斜面では“正の摩擦係数”が卓越している。ただし、沖側で“正の摩擦係数”が卓越するのは斜面の途中までであり、砂漣の谷付近では“負の摩擦係数”が卓越している。このことから、もし底質移動があれば、砂漣は沖側斜面で侵食し岸側に堆積するであろう。したがって、砂粒子の移動に伴い、砂漣の峰は岸側に移動する事になる。(b)の(a)との相違点は、沖側斜面に対して岸側斜面の“摩擦係数の差”の絶対値が大きい事である。これは、波の条件に対して小型の砂漣である(b)では、安定形状である(a)よりも激しく砂粒子が移動し、徐々に安定した砂漣に近づく事を意味する。

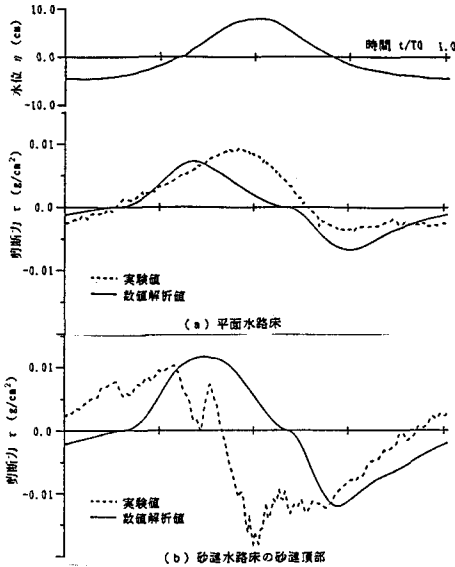
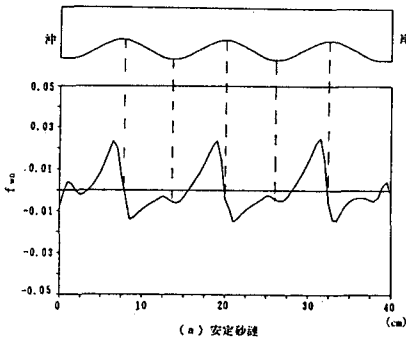


図1 底面剪断力の時間変動



5. おわりに

砂漣上の境界層の特性についていくつかの興味ある結果が得られた。他の詳細な結果は講演時に発表の予定である。今後はさらに境界層の内部特性を定量的に評価する予定である。

<参考文献>

- (1) 滝川 清、米村 浩介、前田 孝久：砂漣形成過程における底面境界層の特性
海岸工学論文集 第38巻(1), 1991, pp.1~5

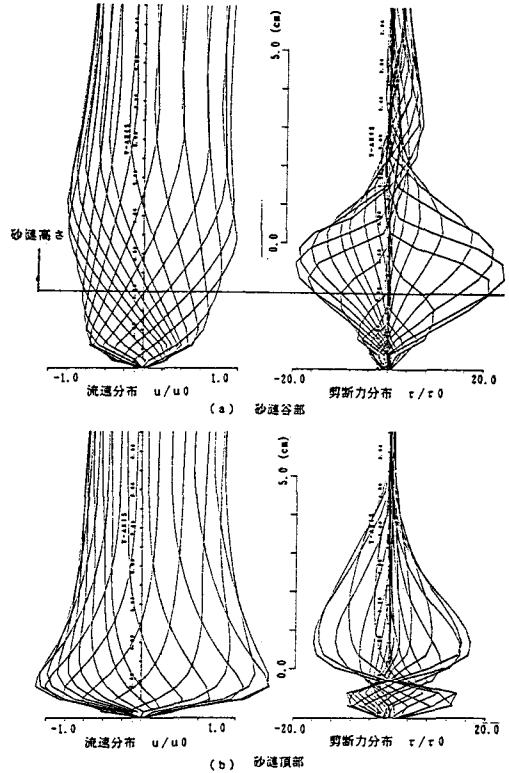


図2 流速, 剪断力の鉛直分布

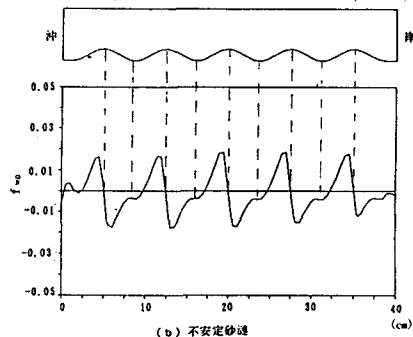


図3 摩擦係数の差の水平分布 f_{wo}