

波動場における底面乱流境界層の特性について

熊本大学 工学部 正会員 滝川 清

熊本大学 工学部 学生員 ○米村 浩介、前田 孝久、金 南亨

1 まえがき

砂漣の様な複雑な形状を有する海底面近傍では、波の運動と共に流れの剥離、渦の発生、放出、乱れが生じこれらが時間、空間的に変動する複雑な乱流場が形成されており、境界層内でのエネルギー逸散や底質の移動機構を解明するためには、より実際の波及び境界形状の条件下における境界層の変動特性を把握することが重要である。本報告は実験により実測された砂漣上での乱流境界層を対称に、これのF.E.M計算を行い、砂漣形成過程における特性について若干の検討を行ったものである。

2 有限要素法による乱流境界層の解析

底面上に原点を置き、水平方向にX軸、鉛直方向にY軸の2次元領域での任意海底形状の境界層流れを考える。解の安定性及び取扱易さからここでは圧力項を微分により消去して得られる渦度方程式を用いた解析を行う。流れ関数 ϕ 及び渦度 ω を用いて乱流の支配方程式を次のように考える。

$$\nabla^2 \phi = -\omega \quad (1)$$

$$\partial \omega / \partial t + \partial \phi / \partial y * \partial \omega / \partial x - \partial \phi / \partial x * \partial \omega / \partial y = (\nu + \nu_T) \nabla^2 \omega \quad (2)$$

ここに ν は動粘性係数、 ν_T は渦動粘性係数である。この ν_T は乱れのレイノルズ応力をPrandtlの混合距離理論で取り扱えるものとして次式で評価する。

$$\nu_T = \kappa^2 [(\partial u / \partial y + \partial v / \partial x) * \partial u / \partial y]^{1/2} \quad \kappa = \kappa y^*$$

κ はカルマン定数、 y^* は底面からの距離である。 u 、 v は解析の時間ステップ毎に求められる第 n 近似解の値を用いて計算する。

なお、基礎方程式のGalerkin法による定式化は、文献(1)に詳しい。

3 適用計算結果と考察

表 1 計算 ケース

実験ケース	波高(cm)	周期(s)	水深(cm)
ケース1	10	2.4	30
ケース2	10	1.9	30
ケース3	12	1.4	30

数値シミュレーションの対象とした実験の条件は表-1に示すとおりである。実験は2次元造波水槽中の一部に豊浦標準砂を厚さ10cm、長さ2mに渡り平坦に敷ならし波の入射にともなう変動する流況及び砂漣形状をビデオ撮影により収録した。実験の各ケースに対して砂漣形成途中と形成後の安定した状態の底面形状を読み取り、数値解析の対象とした。解析領域は水平方向に40cm、鉛直方向に15cmとしこれを水平に40分割、鉛直に20分割した。また計算の時間刻みは周期の1/200として計算した。以下の各図は実験ケース1を対象とした数値計算結果で各図の(a)砂漣形成途中(2分後)、(b)形成後(15分後)の底面形状に対するものである。

図-1は波峰および波谷の通過位相での流速ベクトルを図示したもので、波は図の左から右へ進行する。この位相では砂漣間を中心とした時計回り、および反時計回りの渦の形成、発達が実験と一致して認められる。これらの流況は、波の位相と共に空間的にも大きく変化する。図-2及び図-3は水粒子の1周期間の運動をラグランジュ的に追跡したもので図-2は鉛直面内の水粒子の軌跡を、また図-3は破線内に配置された粒子の1周期後の位置を図示したものである。底面近傍では渦の発生、消滅にともない水粒子も複雑な軌跡をたどるが、比較的平坦な砂漣形成途中では渦の発生が顕著でないため、底面に沿った移動をする。図-3に示すように、水粒子は平均的に岸がはへ輸送されるが、砂漣形成後では比較的分散される傾向にある。

図-4は定常流況場を示したもので、砂漣形成後は、明確な渦対が生じていることが分かる。

図-5は図中の位置における水平流速及びせん断力の分布を各位相ごとに示したもので、それぞれ線形層流解との比で表している。砂漣形成途中では底面近傍での流速勾配が大きく底面には大きなせん断力が作用することが分かる。また、砂漣形成後には底面せん断力は前者程ではなく、砂漣高さを中心として大きなせん断力が働き、渦の発生、消滅に伴うエネルギー逸散が顕著であることを意味する。すなわち、砂漣形状は波からの供給エネルギーと境界層内逸散エネルギーとがバランスする様に形成される事を示唆するものと思われる。

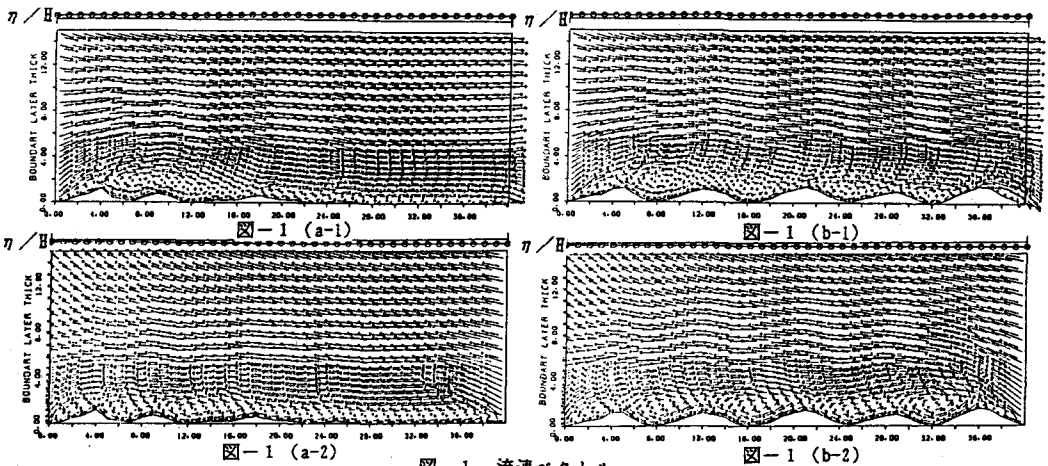


図-1 流速ベクトル

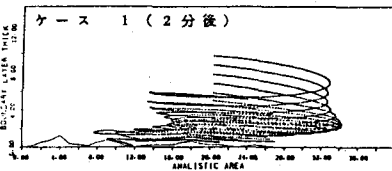


図-2 (a)

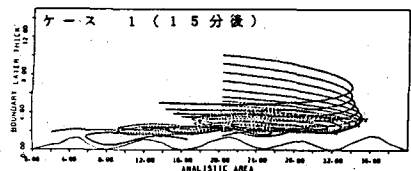


図-2 (b)

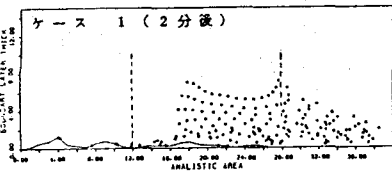


図-3 (a)

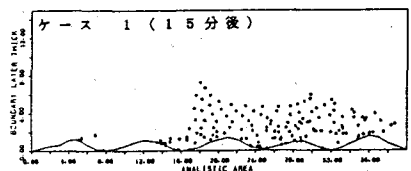


図-3 (b)

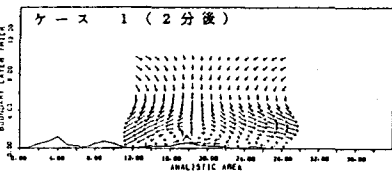


図-4 (a)

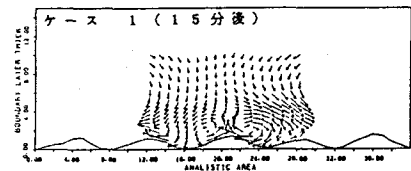


図-4 (b)

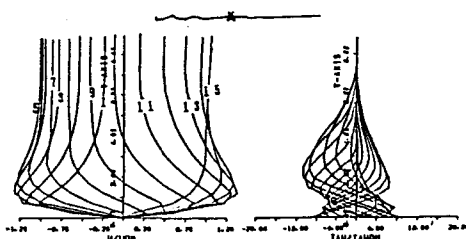


図-5 (a)

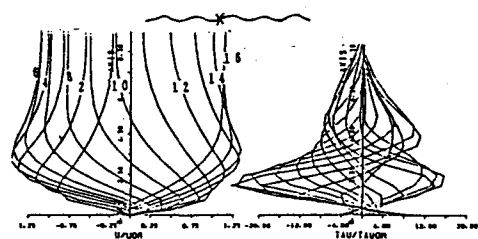


図-5 (b)

4. おわりに 図-5 (a) 図-5 流速分布、せん断力分布

F. E. M解析によって、砂澱の形成途中と形成後の境界層特性について、いくつかの興味ある結果が得られた。他の結果と共に詳細は講演時に発表の予定である。

<参考文献>

(1) 滝川 清、金 南亨、五ノ谷 清一：波動場における任意海底面上の境界層の解析 第36回海岸工学論文集 p11~15、1989