

II-206

正弦波床上的乱流特性に関する k - ϵ モデルによる数値計算

京都大学大学院 学生員 〇賀 建勲
 京都大学工学部 正 員 欄津家久
 京都大学大学院 学生員 門田章宏

1. はじめに

実際の河川では、複雑な境界条件によって、不等流が発生している。中でも、河床波上の流れは、水面形の変化によって圧力勾配を有するため、定常等流時と比べて、平均流速および各種の乱流統計量の分布が異なり、これらを数値的に予測することは非常に重要である。また、これは流砂の浮遊機構や流砂量など土砂水理学上でも興味深い問題である。本研究においては、河床を簡単な正弦波にモデル化し、緩やかな圧力勾配を伴った流れについて、標準型 k - ϵ モデルによる数値計算を行い、レーザー流速計を用いて計測した実験値と比較するとともに、流れの平均流速および乱れ統計量について検討した。

2. k - ϵ 乱流モデルによる数値解析

本研究では、一般座標系の基礎式および標準型 k - ϵ モデルを用いて解析を行った。時間差分について、2次精度のAdams-Bashforth法を用い、さらに数値解析の安定化のために粘性項と圧力勾配項を別々に計算するFractional Step法によって解析した。移流項は、武本によるGQ(Generalized Quickスキーム)法を適用し、粘性項および他の項の差分は中心差分法を用いた。圧力はS.O.R.法により、ポアソン方程式を解いた。なお、計算はRegular Grid系を採用するために、流速と圧力場の定義点は全て同一点の格子配置とした。

流入条件としては、上流端において対数則を用いた。また流出条件としては、下流端で流量の連続式を満足するように補正した。壁面の境界条件には、第一計算点の値を壁関数によって与えた。自由水面では、圧力はゼロ、流速、乱れエネルギー k および散逸率 ϵ は対称条件を使った。

3. 解析結果

本研究においては、正弦波半波長の加速流および減速流の解析を行った。計算の座標系および水理条件は、図-1に示している。今回の計算は乱れが十分に発達していると考えられる100,000回のイタレーションを行った($t=1000\text{sec}$)。ここで、半波

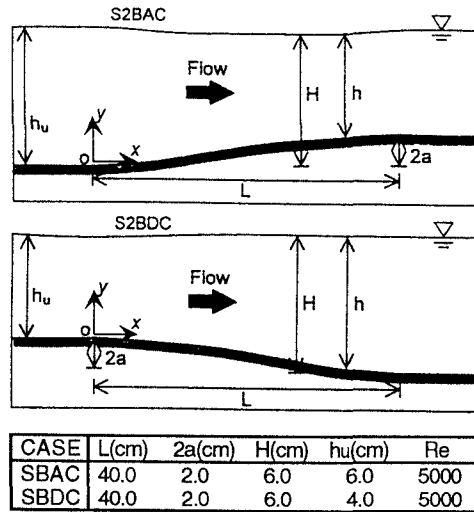


図-1 座標系および水理条件

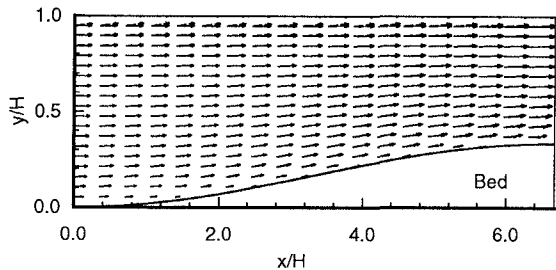


図-2 加速流の平均流速のベクトル(U,V)

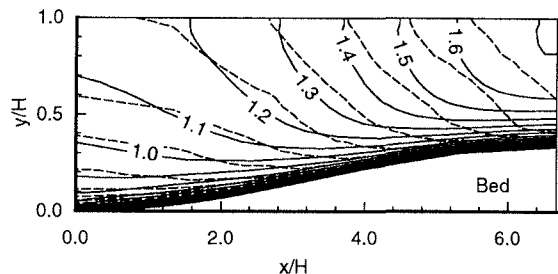


図-3 加速流の主流方向平均流速Uのコンター

長の加速流(CASE:SBAC)と減速流(CASE:SBDC)の2つケースの計算結果と実験結果との比較を行うとともに、正弦波上の乱流特性について検討する。

図-2は、加速流の平均流速 U, V のベクトルを示している。平均流速は、初期断面($x/H=0.0$)における断面平均流速 U_{m0} で無次元化されている。計算値は実験値をよく再現している。図-3は、主流方向の平均流速 U のコンターである。図中の実線は計算値、破線は実験値を示している。これより、下流側の底面付近で、コンターの間隔が密になっており、鉛直方向の流速勾配が大きくなっている。しかし、自由水面近くでは、境界条件が対称であったために良好な一致が見られない。図-4は、加速流の乱れエネルギー k のコンターである。 k の値は U_{m0} で無次元化されている。

図-5は、減速流の平均流速 U, V のベクトルを示したものである。自由水面付近では、鉛直方向の流速 V は実験値より小さくなる。自由水面付近を除いて、計算値は実験値とよく一致していることが分かる。図-6には、主流方向の平均流速 U のコンターを示している。下流側の底面付近で、コンターの間隔が大きくなっていく様子が良好に再現できている。図-7は、乱れエネルギー k のコンターである。加速流同様に、底面近傍の領域での等値線の分布が実験値ではより底面側に沿うような形状を示しており、底面付近の乱れの非等方性が再現できない $k-\epsilon$ モデルの特徴が現れている。

4. おわりに

今回の研究では、河床を正弦波状に緩やかに変化させ、剥離を伴わずに圧力勾配流れにおける、標準型 $k-\epsilon$ モデルを用い、数値解析を行った。また、平均流速 U および乱れエネルギー k について、実験値と比べることによって、圧力勾配流れの乱流特性を検討した。計算値は実験値をよく再現できるが、まだ一致しない点もあった。今後、自由水面の効果を考え、また、圧力勾配の大きさを定量的に表す指標および圧力勾配の影響を考慮した壁法則を用いた乱流モデルを使って、圧力勾配流れの乱流特性をより高精度に数値予測して行きたい。

参考文献：

- 1)武本行正ら(1989)：一般座標系 $k-\epsilon$ 乱流モデルによる二次元乱流場解析コード，京都大学大型計算機センター広報，1989。
- 2)長野靖尚，服部博文(1993)： $k-\epsilon$ 乱流モデルのよる圧力勾配を伴う流れの乱流解析，日本機学会論文集，59-560,B(1993)。

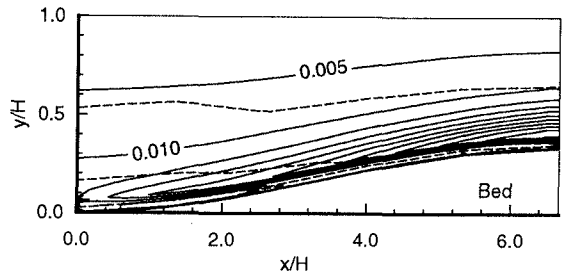


図-4 加速流の乱れエネルギー k のコンター

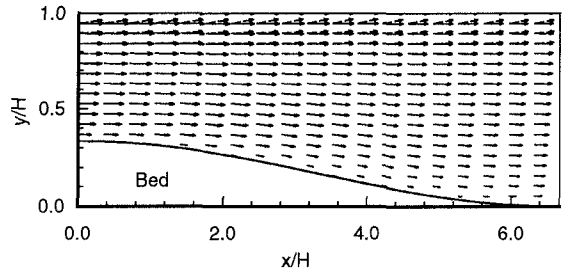


図-5 減速流の平均流速のベクトル(U, V)

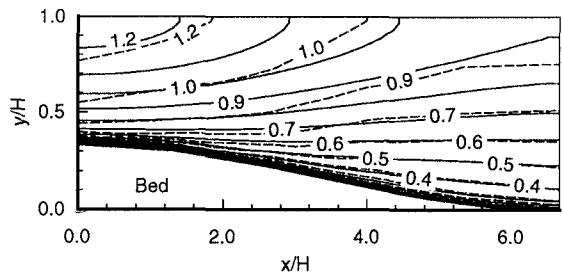


図-6 減速流の主流方向平均流速 U のコンター

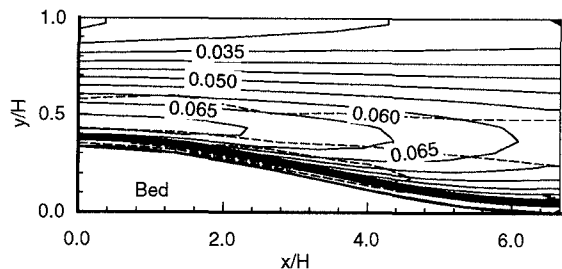


図-7 減速流の乱れエネルギー k のコンター