

神戸大学工学部

学生員○ 高橋香織

神戸大学大学院自然科学研究科

学生員 中瀬幸典

神戸大学大学院自然科学研究科

正会員 中山昭彦

1. 序論

河川の流れは自由水面を持ち、複雑な形状をしており、予測は困難で内部構造に不明な点が多い。その現象を解明することは水工学的・地球環境的に重要である。しかし、複雑な開水路乱流の精度ある数値予測は未だ確立されていない。そこで本研究では2方程式乱流モデルのうち、標準 $k-\epsilon$ モデル(SKE)と低レイノルズ数 $k-\omega$ モデル(LOW)を用いて2次元開水路落ち流れについて計算し、丸山¹⁾による実験との比較によりその精度、問題点などの検討を行う。実験との比較は、路床が滑面と粗面の場合について行う。

2. 計算法

数値計算には、差分法を用いて基礎支配方程式を離散化した。対流項にUTOPIAスキーム、その他の空間微分は2次中心差分、時間進行法には2次の精度のAdmas-Bashforth法、圧力解法にはHSMAC法、格子には直交スタッガードメッシュを用いた。水面計算法には、高さ関数法を用いた。

境界条件は、流出条件については自由流出とし、初期条件、流入条件は適当に与え、定常になるまで計算を行った。自由水面上での圧力を大気圧と等しくし、さらに自由水面上でのせん断応力がゼロとなるようにした。 k, ϵ, ω は対象条件とした。壁面における境界条件として、流速に粘着条件を課した。流入条件の流速と摩擦速度は、滑面のケースではvon Karmanの壁関数の式より求め、粗面のケースではNikuradseの式によって求めた。

3. 実験概要

実験は、水路長6.0m、水路幅0.15mの循環式開水路を用いて行なわれた¹⁾。画像計測は、PIV画像計測システムを用い、全計測区間は約24cmであった。 x_1 を路床に平行な流れ方向の座標、 x_2 を鉛直上向きの座標として、段落ち部は $x_1=0.141\text{cm}$ の位置に設定された。フルード数とレイノルズ数は、段落ち高さ H_s と流入平均流速によって定義した。図3-1に段落ち流れの諸元を、表3-1に実験の水理条件を示す。なお、粗面のケースでは、砂粒を超密に接着させたアルミ板を敷くことにより、相当粗度 k_R は0.35cmとなった。

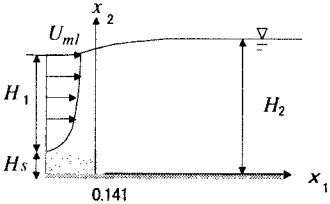


図 3-1 段落ち流れの諸元

表 3-1 実験の水理条件

	滑面	粗面
流量 : $Q(\text{m}^3/\text{s})$	7.26×10^{-4}	7.13×10^{-4}
勾配 : I	1/1000	1/1000
上流水深 : $H_1(\text{cm})$	2.2	2.2
下流水深 : $H_2(\text{cm})$	3.3	3.4
段落ち高さ : $H_s(\text{cm})$	1.0	1.0
流入平均流速 $U_{ml}(\text{cm/s})$	22.0	21.6
フルード数 : Fr	0.703	0.690
レイノルズ数 : Re	2200	2160

4. 計算結果

本計算では水面の位置は未知として計算している。ステップの位置での水面の位置からの増分として、図4-1に計算結果を示す。実験データがないのでモデル間の比較のみである。水面上昇高は、粗面のSKEが最

も大きくなっている。 (U_1, U_2) を (x_1, x_2) 方向の平均流速成分とし、動粘性係数を ν 、摩擦速度を u_τ とする。図4-2は、滑面のSKEによる U_1 の計算結果と、壁関数を対数則プロットしたものである。 x_1^+ 、 x_2^+ 、 U_1^+ は、それぞれ x_1 、 x_2 、 U_1 を u_τ 、 ν で無次元化したものである。図4-3は、滑面のSKEによる U_1 の計算結果と実験結果の比較で、結果は全て U_{ml} と H_s で無次元化している。SKEではステップの鉛直壁も含め、壁関数を適用している。壁関数は x_2^+ （ステップ鉛直壁では x_1^+ ）の値が30以上でないと成立しない。図4-2からわかるように、この条件は鉛直壁、再付着点近辺では、壁からかなり離れなければならないか、あるいは全く満たされない。それでも計算は可能であるので、下流端で壁から第1点目の計算格子が $x_2^+=30$ 程度になるような格子をとっている。それにも拘わらず、SKEによる再付着点近辺の結果は悪くはない。しかし、逆流領域での速度は大きくなり、実験データからずれた結果となっている。図4-4は滑面のLOWによる U_1 の比較で、逆流領域のステップ高さより上で、速度の予測値は大きくなっている。図4-5は粗面のSKEによる U_1 の比較結果である。計算結果は壁面近傍では実験値より小さく、その他では大きくなっている。

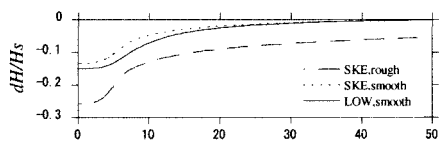


図 4-1 水面形

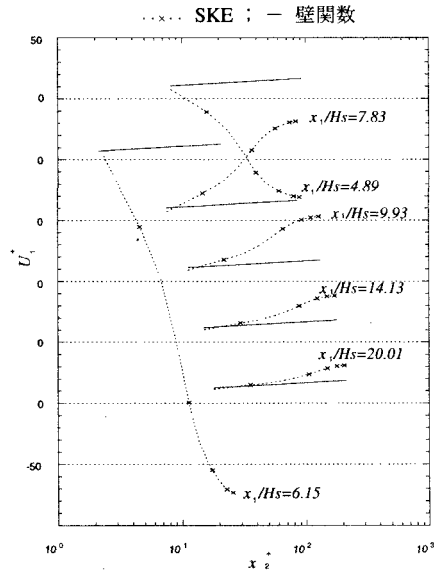


図 4-2 滑面の SKE による U_1 の対数則プロット

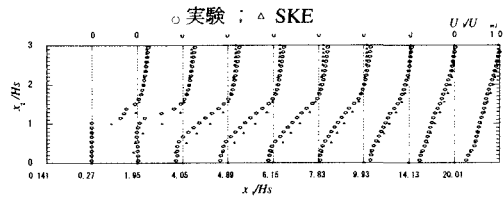


図 4-3 滑面の SKE による U_1 の分布

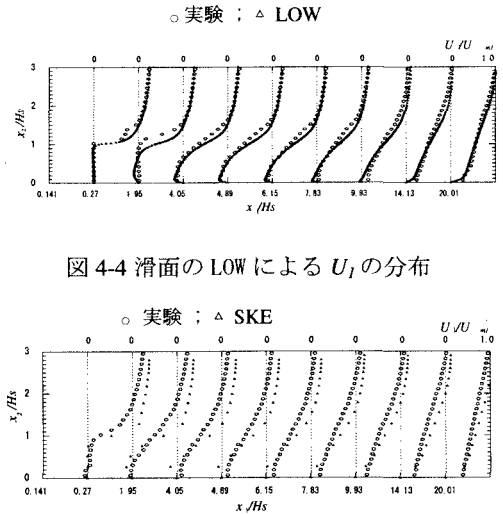


図 4-4 滑面の LOW による U_1 の分布

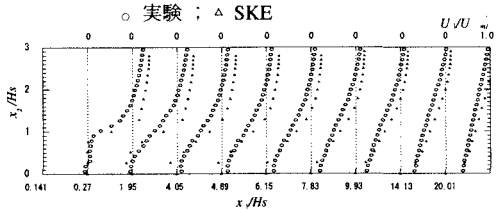


図 4-5 粗面の SKE による U_1 の分布

5. おわりに

ステップ高さと水深の比が 1/3 と比較的大きい複雑な流れ場でも、水面形と、滑面のケースの平均流速は妥当な結果となった。また、SKE モデルに壁関数を適用することは必ずしも適切でない点が指摘される。路床が粗面の場合、逆流域が小さくなる傾向は実験と一致しているが、逆流域より水面側で過大予測となっている。

参考文献

1) 丸山達弥：局所的な河床変化を有する開水路流れに関する研究，神戸大学大学院建設学専攻修士論文，2002。