

2次元開水路落差工流れの数値解析における $k-\omega$ モデルと $k-\varepsilon$ モデルの比較

神戸大学大学院自然科学研究科

学生員 ○岡部 功

神戸大学大学院自然科学研究科

正会員 中山 昭彦

1. はじめに

河川など、自然界の開水路乱流現象の数値予測は、現在、RANS 法が主流な手法である。本研究では、複雑な内部構造を持ち、ある程度大きな水面変動を含む 2 次元開水路落差工流れ（トレンチ流れ）を対象に、水面効果を考慮した関数を導入した低レイノルズ数型 $k-\omega$ モデルと、現在、2 方程式モデルでは用いられる頻度の最も高い $k-\varepsilon$ モデルを用いて数値解析を行い、Fujita¹⁾ による実験と比較することにより、これらのモデルの予測精度、適用範囲などの検証を行う。

2. 基礎式と計算法

基礎方程式は連続の式、運動方程式、乱流エネルギー k の輸送方程式、及び、エネルギー散逸率 ε 、比エネルギー散逸率 ω の輸送方程式である。水面計算法には、高さ関数法を用いた。

数値計算には、差分法を用いて基礎方程式を離散化した。対流項に UTOPIA スキーム、その他の空間微分項には 2 次中心差分を用いた。時間進行には、2 次精度 Adams-Bashforth 法を採用した。圧力解法には HSMAC 法、格子には直交スタaggerドメッシュを用いた。

境界条件は、自由水面上での圧力は大気圧と等しくし表面張力と粘性を考慮、水面上でのせん断応力がゼロとなるようにし、また k , ω , ε については対称条件とした。壁面における境界条件として、流速には粘着条件を与えた。流入流速分布は、Spalding の三層モデル式より求めた。流出条件については放射流出とした。初期条件として、流れ場全体に流入速度分布を与え、時間発展計算を行った。

3. トレンチ付落差工流れ

計算対象のトレンチ付落差工流れは Fujita¹⁾により計測されている。計測は長さ 7.5m, 幅 0.3m, 高さ 0.2m の側壁, 壁面ともガラス張りの循環式可変勾配水路で行われた。画像解析には定常状態の解析には PTV 法, 非定常状態の解析には PIV 法を用いている。図-1 に対象流れ場, 表-1 に実験の水力条件を示す。

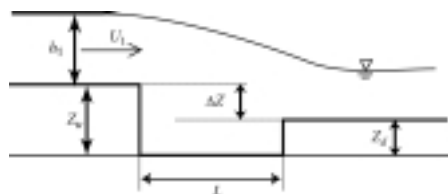


図-1 対象流れ場

表-1 実験の水理条件

	caseA	caseB
流量: Q (m ³ /s)	0.00227	
勾配: I	1/500	
流入水深: h_1 (cm)	1.95	
上流側トレンチ高 Z_u (cm)	2.0	
下流側トレンチ高: Z_d (cm)	1.0	
流入平均流速: U_1 (cm)	38.9	
流入フルード数: Fr	0.889	
Reynold 数: Re	7590	
トレンチ間の長さ: L (cm)	3.5	6.0
アスペクト比: As ($L/\Delta Z$)	3.5	6.0

表-2 計算の水理条件

	caseA	caseB
勾配: I	1/500	
上流側トレンチ高: Z_u	1.0	
下流側トレンチ高: Z_d	0.5	
レイノルズ数: $Re (=U_1 Z_d / \nu)$	8100	
流入フルード数: Fr	0.92	
トレンチ間の長さ: L	1.5	3.5
アスペクト比: $As (L/\Delta Z)$	3.0	7.0

4. 計算結果

上記の実験に対し数値計算を行った。実験の **caseA**, **caseB** に対応する計算条件は表-2 に示されている。図-2 は **caseA** の流速ベクトルの比較、図-3 は **caseB** の流速ベクトルの比較である。図-2(a)に実験結果、(b)に $k-\omega$ モデルによる計算結果、(c)に $k-\epsilon$ モデルによる計算結果を示す。図-2、図-3 では(b)、(c)の計算結果の図に、水面位置と、剥離流線も併示してある。ここで水面の外側に速度ベクトルが表れているが、これは、水面の一つ外側のグリッドに仮定された速度ベクトルであり、計算過程で必要となる。(b)は(c)に比べ、トレンチ幅の変動による水面形の変化や、剥離位置を良好に示している。しかし(b)の $k-\omega$ モデルも、トレンチ下流の水面上昇の位置が実験値に比べ下流にずれていることや、

キーワード：RANS, 水面変動, トレンチ, $k-\omega$, $k-\varepsilon$

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 TEL 078-803-6011 FAX 078-803-6011

トレンチ下流の段上がり上端部の剥離は表れていない。図4、図5はそれぞれ、caseA, caseBの実験及び、 $k-\omega$ モデルでの計算による乱流エネルギー k の結果の比較である。実験結果で、段落ち部上流で k が大きくなっているが、これは画像処理による誤差である。図4は、 $k-\omega$ モデルの結果が実験とはほぼ一致している事を示している。CaseBでは、トレンチ内の乱流エネルギー分布の傾向は良好に計算されているが、実験値に見られるトレンチ下流の水面近傍での乱流エネルギーの増加は、計算されていない。

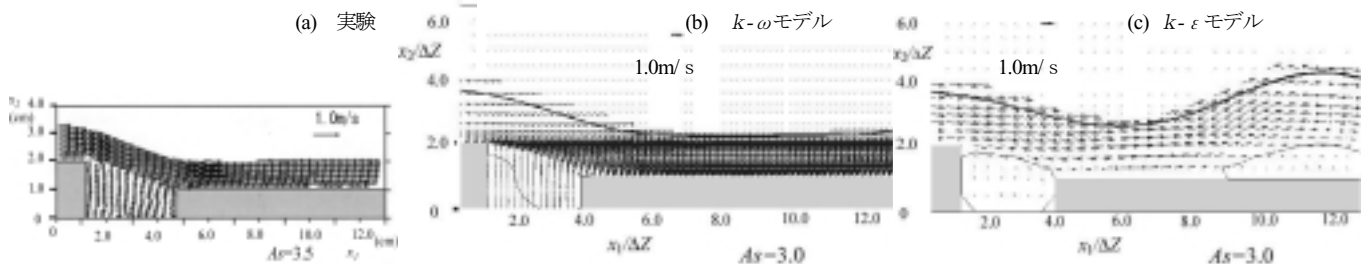


図-2 caseAにおける流速ベクトル分布の(a):実験, (b): $k-\omega$ モデル, (c): $k-\epsilon$ モデルの比較

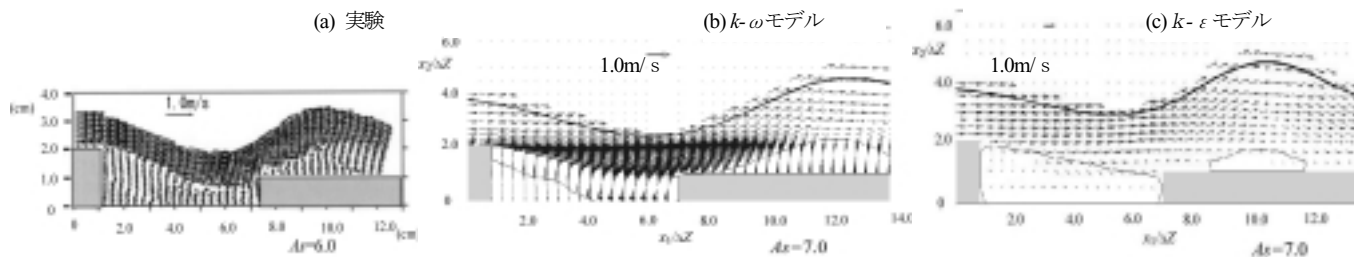


図-3 caseBにおける流速ベクトル分布の(a):実験, (b): $k-\omega$ モデル, (c): $k-\epsilon$ モデルの比較

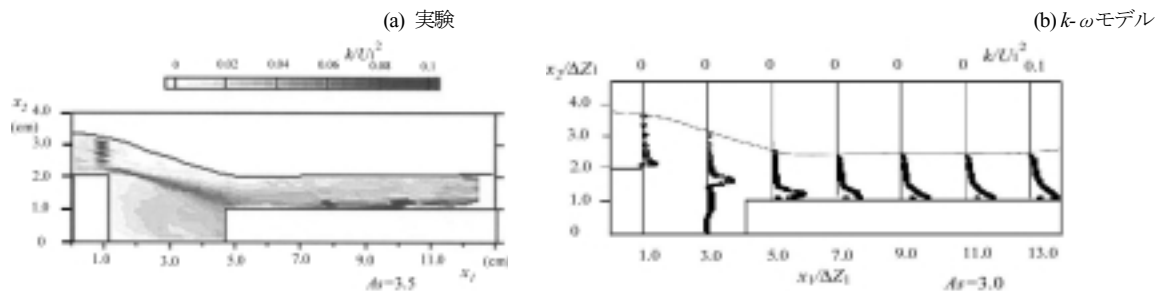


図-4 caseAにおける乱流エネルギー、水面形の(a):実験, (b): $k-\omega$ モデルの比較

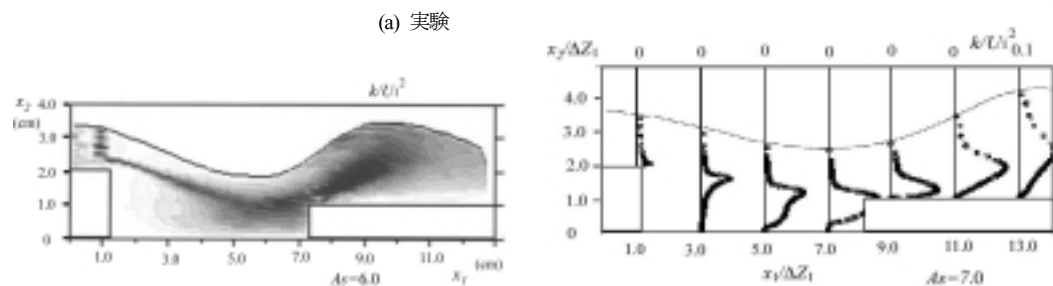


図-5 caseBにおける乱流エネルギー、水面形の(a):実験, (b): $k-\omega$ モデルの比較

5. おわりに

常流と射流が混在する複雑な内部構造を持ち、且つ、水面の変動が大きな落差工流れに対して、 $k-\omega$ モデルでは、段落ち下流で射流のまま流れる場合と波状跳水が起こり常流に遷移する場合の共に、水面形、剥離、乱流エネルギー分布について、ある程度良好な結果が得られた。標準 $k-\epsilon$ モデルでは段落ち下流で射流のまま流れる場合にはうまく計算されず、適用範囲に制限が見られた。トレンチ下流の段上がり上端部の剥離が計算で再現されていないが、これは今後乱流モデルの検討により改良されていくと考えられる。

参考文献

- 1) Fujita, I. : Particle Image Analysis of Open-channel Flow at a Backward Facing Step Having a Trench, *Journal of Visualization*, Vol.5, No.4, pp335-342, 2002.