

神戸大学工学部

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 法が最もよく用いられている方法である。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、この計算法の予測精度、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、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、格子には直交スタッガー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 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⁾ により画像計測されている。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、水路部での光膜照射幅は約 15m である。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。

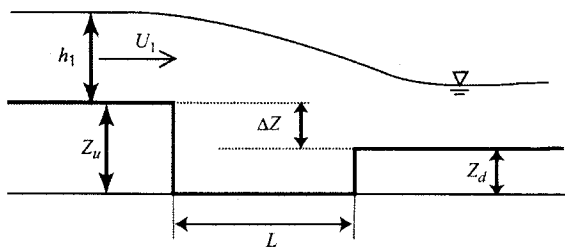


図-1 対象流れ場

表-1 実験の水力条件

	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 計算の水力条件

	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 ($=U_1/\nu$)	8100	
流入フルード数: Fr ($=U_1/(g\Delta Z)^{1/2}$)	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。条件を表-2 に示す。計算は実験ケースの、アスペクト比 3.5 (caseA)、及び、7.0 (caseB) について比較し検討を行う。

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。計算結果の図では、計算過程で必要な、水面の一つ外側のグリッドで仮定された速度ベクトルも表示されている。caseA においては、水面形状、流速ベク

トル、共に良好な一致が見られる。caseB も水面の概形、速度ベクトルは、ある程度の一致が見られる。しかし実験値に比べ計算値は、トレンチ下流の水面上昇の位置が下流にずれている。図-4、図-5 は、それぞれ、caseA、caseB の、乱流エネルギー k の比較である。同図には、正確な水面の位置が示されている。実験結果の図で、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。caseA では、実験値と計算値はほぼ一致した分布となっている。caseB は計算値と実験値を比較して、トレンチ内の乱流エネルギー分布の傾向は良好に現れているが、実験値に見られるトレンチ下流の水面上昇部での乱流エネルギーの増加は、計算値には見られない。

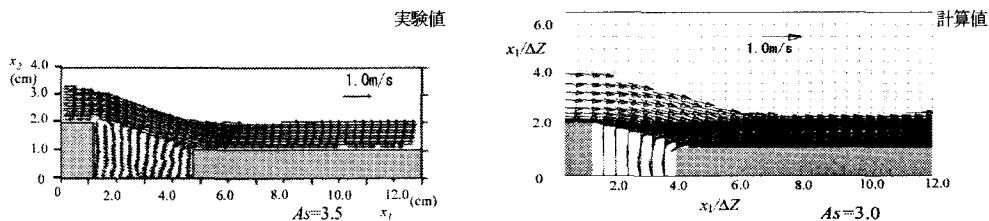


図-2 caseA における流速ベクトル分布の実験値と計算値の比較

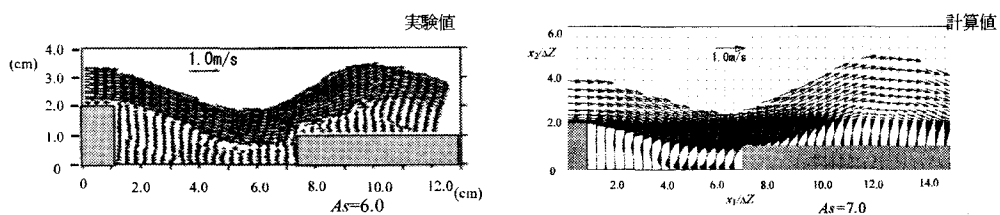


図-3 caseB における流速ベクトル分布の実験値と計算値の比較

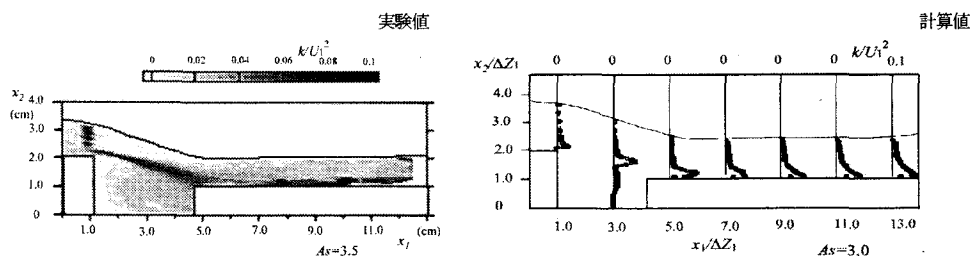


図-4 caseA における乱流エネルギー、水面形の実験値と計算値の比較

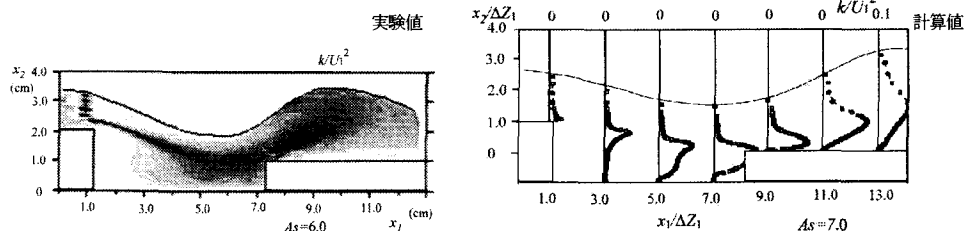


図-5 caseB における乱流エネルギー、水面形の実験値と計算値の比較

5. おわりに

常流から射流に遷移する複雑な内部構造を持ち、且つ、水面の変動が、ある程度大きな落差工流れに対して、本研究で用いた $k-\omega^2$ 方程式乱流モデルでは、水面形、流速ベクトル、乱流エネルギー等、妥当な結果が得られた。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.