

低レイノルズ数 k - ω モデルによる非平衡開水路流の予測

神戸大学大学院自然科学研究科 正会員 中山昭彦
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○中瀬幸典

1. はじめに

近年乱流の数値解析法と使用されるモデルの改良が盛んに提案された結果、個々の応用ではどの手法・モデルを用いるのが良いかの判断が困難になるほど多くの手法・モデルがある。全体的に精度が向上し、適用範囲が広がっているが、必ずしも双方が同時に改良されている訳ではない。水工学の応用では複雑な流れが多く、単純な流れで検証された方法がどの程度の信頼性をもって応用できるのか不明である。精度の向上を重視し、基礎的な流れで検証された新モデルの一般的应用には注意が必要である。逆に適用範囲を広げる目的で一般化されたモデルは複雑になり過ぎたりし、必ずしも必要ではない場合もある。こういった状況で、著者ら¹⁾は線形渦粘性モデルを用いた比較的簡単なモデルの汎用性を基礎的な流れで検証している。ここでは、簡単ではあるが汎用性で優れていると評価された低レイノルズ型 k - ω モデルを空間的に変化する非平衡乱流に適用しその予測性を検証する。

2. 低レイノルズ数 k - ω モデル

低レイノルズ数 k - ω モデルは著者らにより幾つかの基礎的な流れで予測精度が良く、しかも汎用性があると判断したものである。その概要は表-1 に示してある。このモデルはせん断能力の壁面漸近性は再現しないが、等流、段落ち流れ、キャビティー流れでの予測性が良いことが分かっている。

3. 計算ケース

計算は開水路粗面流、段落ち流れ、加速、減速流、非定常流などについて行われたが、ここでは流れ方向に水路床勾配が変わり、それにより加速・減速する漸変流についての結果を示す。この流れ（図-1）は鬼束ら²⁾により計測されたものを基にしたもので、水理条件の詳細は表-2 に示す通りである。 U は断面平均流速、 D は水深で、添え字 u は上流側、添え字 d は下流側を表す。

表-1 低レイノルズ数 k - ω モデルの概要

$$\begin{aligned} \nu_t &= \alpha^* \frac{k}{\omega} \\ \frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} &= P_k - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} &= \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \frac{\beta}{\beta^*} \frac{\omega}{k} \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \\ P_k &= -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad \varepsilon = \beta^* \omega k \\ \alpha^* &= \frac{\alpha_0^* + R_t / R_k}{1 + R_t / R_k}, \quad \alpha = \frac{5}{9} \frac{\alpha_0 + R_t / R_\omega}{1 + R_t / R_\omega} (\alpha^*)^{-1} \\ \beta^* &= \frac{9}{100} \frac{5/18 + (R_t / R_\beta)^4}{1 + (R_t / R_\beta)^4}, \quad R_t = \frac{k}{\omega \nu} \\ \beta &= 3/40, \sigma_k = 2.0, \sigma_\omega = 2.0, \alpha_0^* = \beta/3, \alpha_0 = 1/10 \\ R_\beta &= 8, R_k = 6, R_\omega = 27/10 \end{aligned}$$

表-2 加速・減速流計算条件

加速流 AC	$Re_d = U_d D_d / \nu$	Fr_d	D_u / D_d	U_u / U_d	L / D_d	H_s / D_d
	10640	0.202	1.451	0.688	65.89	6.494
減速流 DC	$Re_u = U_u D_u / \nu$	Fr_u	D_d / D_u	U_d / U_u	L / D_u	H_s / D_u
	10448	0.211	1.470	0.677	64.25	0.466

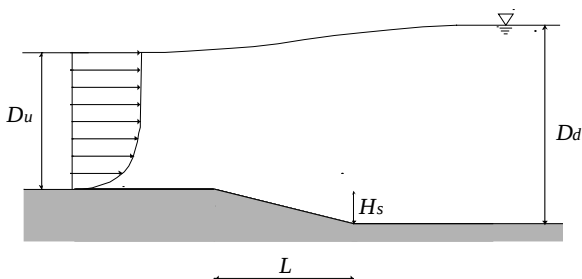


図-1 加速・減速流計算ケース

キーワード 開水路流，低レイノルズ数乱流モデル，数値計算

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

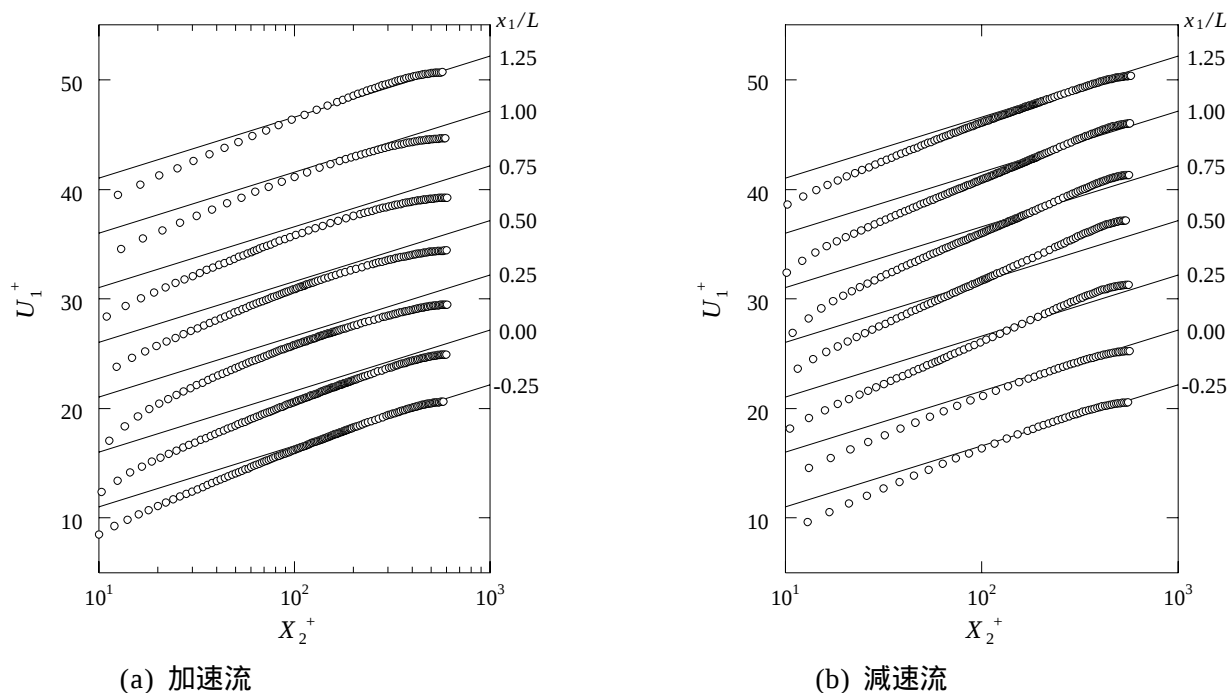


図-2 平均流速の計算結果

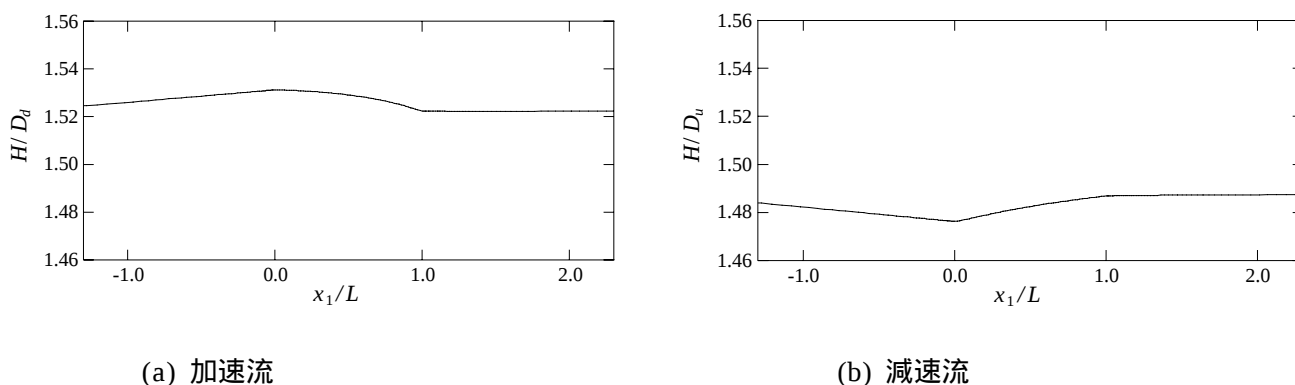


図-3 水面形の計算結果

4. 計算結果

図-2 は、主流方向平均流速の計算結果を内部変数表示したものである。 $x_1/L=0$ が渐变部のはじまり（初期断面）、 $x_1/L=1$ が渐变部の下流端である。加速流では、渐变部において対数則分布よりも下方にずれ、逆に減速流では伴流成分を生じることが、既往の実験により示されているが、本計算でもその傾向が現れていることがわかる。同時に、標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いた計算を行ったが、減速流の渐变部中央付近において、伴流成分が顕著に現れ、逆にそれより壁面近傍の領域では対数則よりも大きく下がる傾向が見られた。実験ではこの傾向は、渐变部の終点まで続くが、渐变部中央を境に、減速の効果はおさまっていく。また加速流のケースにおいても伴流成分が現れ、実験に見られる特性は再現されない。次に図-3 に水面形の計算結果を示す。流下するにしたがって、加速流では水面位置が低下し水深も浅くなるのに対し、減速流では水面位置が上昇し水深も深くなっている。これは既往の実験結果に見られる水面形であり、妥当な結果である。

5. 結論

低レイノルズ数 $k-\omega$ モデルは線形渦粘性モデルを用いた比較的簡単であるが、標準 $k-\varepsilon$ モデルなどのように壁面相似則を仮定しない一般的なモデルで、非平衡な開水路流の予測にも適用できることが分かった。

参考文献

- 1) 中山 昭彦・横嶋 哲 土木学会論文集 No.628/11-48, pp.131-148, 1999.
- 2) 鬼束幸樹・浦勝・秋山壽一郎・岡本智和・松岡定和 土木学会論文集 No.558/11-38, pp71-79, 1997.