

CS - 47

k-ε/k-ω法による静止角柱周りの流れ解析

○ NKK 正会員 加藤 真志
UMIST B. E. Launder

1. まえがき 角柱周りの流れを数値計算する場合、壁関数を用いる手法は、メッシュ数、メッシュサイズの点で、安定かつ経済的な手法となる。しかし、壁関数法は、対数則の橋渡しにより、粘性底層を解かないものであるため、その実用性を見極めておくことが必要である。前報¹⁾では、壁関数を用いたk-ε法、および修正k-ε法により、静止角柱、振動角柱周りの流れ計算を行った。本報では、特に静止角柱に着目し、粘性底層まで細かいメッシュで解く2-layer 2方程式モデルとその修正モデルの有効性を検討する。

2. 計算手法 解析領域は、角柱壁面近くの粘性底層と、その外側の乱流領域の2-layer に2分割した。乱流領域に用いた乱流モデルは、標準的なk-ε法²⁾、粘性底層領域にはk-ω法³⁾を用いた。k-ω法は、壁近傍における長さスケールの減衰関数が不要で単純な取扱いが可能であるにも拘らず、特に粘性底層の計算精度が良好であることが確認されている⁴⁾。圧力の修正法にはSIMPLE、風速の差分スキームにはQUICK、乱流動エネルギーの差分にはPLDSを用いた。なお、時間差分にはFully-Implicitを用いている。解析領域は、角柱一辺Dに対し、上流側4.5D、下流側14.5D、流路幅14Dである。流入口の乱流強度は2%、レイノルズ数は22,000とした。

3. 計算結果

表1 2%乱流中計算結果

表1に本研究で得られた空力特性と、比較のため、レイノルズ数、流路形状の同一なLyn⁵⁾の実験値、Frankeら⁶⁾の計算値を併せて示す。修正モデルは乱流エネルギーの生産項を、(せん断)²から(せん断×渦度)に置き換えたものである⁷⁾。C_{Lmax}の実験値は不明であるが、一様流中の実験値から、1.5前後であると仮定すると、

	乱流モデル	格子	C _D	C _{Lmax}	St
Lyn (実験値) ⁵⁾	—	—	2.14	—	0.135
Franke & Rodi ⁶⁾	k-ε wall f.	70×64	1.55	—	—
Franke & Rodi	k-ε / 1 eq.	185×156	1.79	0.32	0.124
Franke & Rodi	RSM wall f.	70×64	2.15	2.11	0.136
Franke & Rodi	RSM / 1 eq.	185×156	2.43	1.84	0.159
本研究計算値	k-ε wall f.	104×70	1.66	0.10	0.127
本研究計算値	修正k-ε wall f.	104×70	2.05	1.16	0.145
本研究計算値	k-ε / k-ω	183×156	1.81	0.33	0.125
本研究計算値	修正k-ε / k-ω	183×156	2.36	2.11	0.145

壁関数k-εは、空力特性を過小評価し、それは2-layer モデルを用いて粘性底層まで解いても十分に改善されない。それに対し、修正モデルは結果を大きく改善する。図1、2に角柱後方の流れ直角方向風速成分の分布図を、同一位相で比較したものを示す。標準モデルは風速の変動をやはり過小評価するが、修正モデルは壁関数、2-layer いずれの場合も、計算の困難かつ高価なレイノルズ応力モデルと同等の予測が可能となっている。図3に乱流の総エネルギー分布、図4に平均風速の変動分を差し引いた乱流エネルギー-kの分布を示す。修正k-ε/k-ωは総エネルギーの分布で、応力モデルとほぼ同精度の予測を達成しているが、修正壁関数k-εは十分な予測ができていない。kの分布を見ると、応力モデルでも精度が悪く、2-layer の修正k-ε/k-ωのみ、実験値に比較的近い所を予測している。

4. 結論 (1) 修正モデルは、壁関数法、2-layer のいずれにおいても、風速分布等を良好に予測し、その結果、空力特性予測もますますである。(2) 乱流エネルギー分布という観点から見ると、修正モデルの壁関数法でも予測精度は十分ではなく、2-layer の修正k-ε/k-ωが有効であった。

参考文献 1)加藤, Launder, B. E., "k-ε法による静止角柱...", 土木学会第48回年次学術講演会, 1993

2)Launder, B. E., Spalding, D. B., "The numerical calculation ...", Comp. Meth. Appl. Eng., 3, 1974

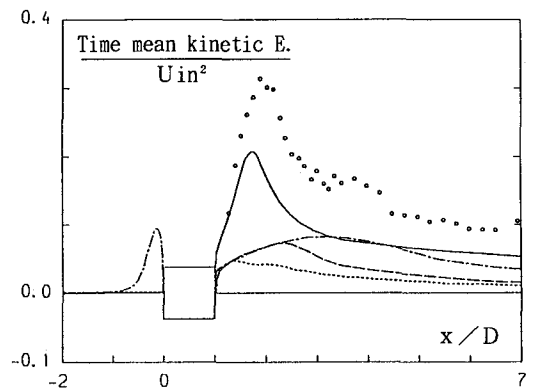
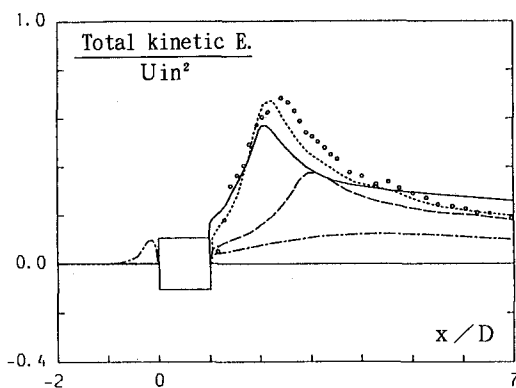
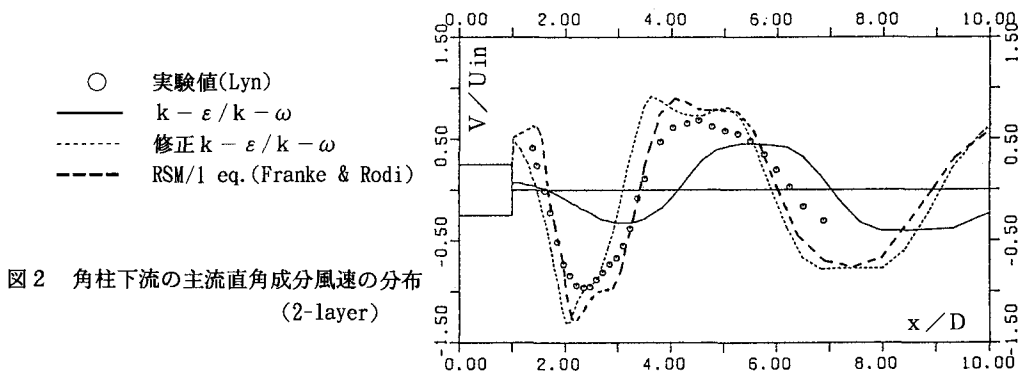
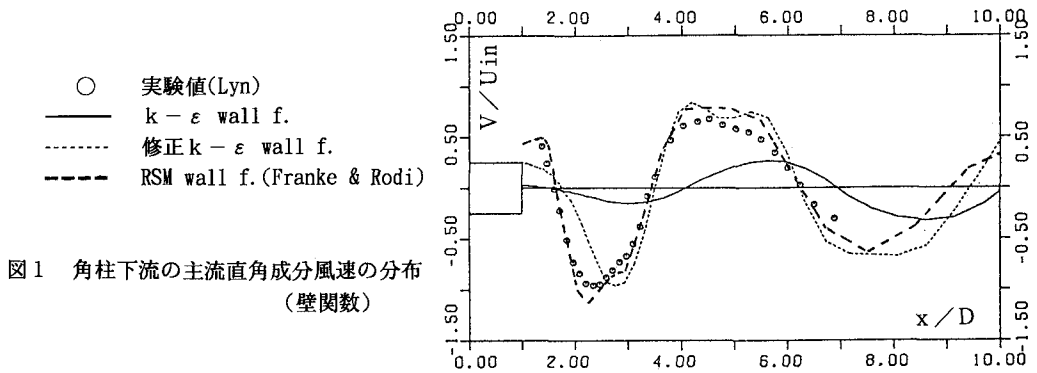
3)Wilcox, D., "Reassessment of the scale-determining equation ...", AIAA, 26, 1988

4)UMIST, Proc. 5th Biennial CFD Colloq., Dept. Mech. 1992

5)Lyn, D. A., Personal communication, 1992

6)Franke, R., Rodi, W., "Calculation of vortex shedding ...", 8th Turbulent Shear Flows, 1991

7)Kato, M., Launder, B. E., "The modelling of turbulent flow ...", 9th Turbulent Shear Flows, 1993



○ 実験値(Lyn)
 — 修正 $k-\varepsilon/k-\omega$
 - - - 修正 $k-\varepsilon$ wall f.
 - - - $k-\varepsilon/k-\omega$
 - - - RSM wall f.

図3 総運動エネルギーの時間平均分布

線および記号：図3に同じ

図4 $k [(\text{総運動エネルギー}) - (\text{平均風速変動分})]$
 の時間平均分布