

○ NKK 正会員 加藤 真志
UMIST B. E. Launder

1. まえがき 近年の計算機の発達に伴い、静止角柱、さらには振動角柱周りの流れ数値解析が試みられているが、工学上問題視される乱流を解くためには、何等かの乱流モデルが必要となる。村上ら¹⁾は、LESによる角柱周りの乱流計算を行い、高精度な計算には、角柱軸方向も考慮した3次元計算が必要であることを指摘した。本研究では、平均型乱流モデルであるk-ε、その改良モデルを用いて、簡便な2次元計算を行い、静止角柱の空力係数、振動角柱の非定常空気力について検討する。さらに、若干の角柱空力振動の計算も行う。

2. 計算法の概略 計算プログラムは、TEAM (Turbulent Elliptic Algorithm Manchester) をベースに機能を拡張したものである。空間差分は、U、V方程式にQUICK、k、ε方程式にPLDS、圧力修正スキームにSIMPLE法、乱流モデルに壁関数k-ε法²⁾を用いた。従来より指摘されているk-εの問題点に対処するため、修正k-ε³⁾⁴⁾⁵⁾による計算も併せて行った。なお、時間増分を十分に小さくしたFully-Implicit法を用いている。計算メッシュは、流入口を左側として図1に示す。Reynolds数は本研究の計算値全て約2万である。

3. 計算結果：静止角柱周りの流れ 表1(a)(b)に静止角柱の計算結果を示す。標準的なk-εによる結果は、一様流中でまずまずであるが、乱流中で抗力係数 C_D が過小評価される。なお、Franke⁶⁾らの壁関数k-εによる計算では、渦放出は得られていない。k方程式の生産項における等方渦粘性仮定が、角柱のよどみ点前方に、過大な乱流エネルギーを生成するのがその一因であり、その解決策として生産項を修正した修正k-εが考えられた。修正k-εは、乱流中の C_D を著しく改善し、揚力変動 C_{Lmax} を増加させ、一様流中でも C_D 、 C_{Lmax} を、実験値、LESの値に近づけた。揚力変動が大きくなると、ストロム数 St がやや大きめに評価されるのが問題点と言えよう。

4. 計算結果：振動角柱周りの流れ ここでは、図1の上下方向の振動を対象とした。振動を与える方法として、文献4では解析領域内のメッシュ形状を変化させず、風速を角柱に対する相対風速で定義したが、ここでは、上下境界を固定し、角柱の振動によるメッシュ形状変化を導入した。このため、振動に伴う角柱両側の流路幅の変化が考慮される。図2は、角柱幅10%振幅強制振動による非定常空気力係数の、修正k-ε計算結果と実験値である。係数の定義は文献9に従った。ここでは、 38×34 の格子を用いており、 C_D 1.94、 C_{Lrms} 1.36、 St 0.13が角柱静止時空力係数として得られている。粗いメッシュの計算ではあるが、 $1/St$ 付近での $|C_L|$ の上昇、虚数部 C_{LI} 、位相遅れ β の負から正への変化が良好に捕らえられた。図3は、角柱が弾性支持された場合の空力振動計算結果である。実験と同様な諸係数で運動方程式を解いた。実験と必ずしも合致するものではないが、振幅/角柱幅30%以上にまで発達する振動が計算された。この時、固有振動数成分が、カラムン渦成分よりも卓越する自励的な加振力が得られている。

参考文献

- (1) Murakami, S, Rodi, W. et al, "Large ...", ASME Fluids Eng. Conf., Washington DC, 1993 (投稿中)
- (2) Launder BE, Spalding DB, "The numerical computation ...", Comp. Meth. Appl. Eng., 3, 1974
- (3) UMIST, Proc. 5th Biennial Colloq. on CFD, Dept. of Mech. Eng. UMIST, 1992
- (4) Kato M, Launder BE, "Modelling ...", ASME Fluids Eng. Conf., Washington DC, 1993 (投稿中)
- (5) Kato M, Launder BE, "The modelling of ...", 9th Turbulent Shear Flows, Kyoto, 1993 (投稿中)
- (6) Franke R, Rodi W, "Calculation of vortex ...", 8th Turbulent Shear Flows, Munich, 1991
- (7) Bearman PW, Trueman DM, "An investigation of the flow ...", Aeronautical Quarterly, 1972
- (8) Nakamura Y, Mizota T, "Unsteady lifts and wakes ...", J Eng. Mech. Div., EM6, ASCE, 1975
- (9) Ito M, Miyata T, Fujisawa N, "Characteristics of ...", 30th Annual Conf. JSCE, 1975
- (10) Takeda K, Kato M, "Wind tunnel blockage effects on ...", J Wind. Eng. Ind. Aero, 41-44, 1992

表1 静止角柱：計算結果

(a) 一様流中

	乱流モデル	格子	C_D	C_{Lmax}	St
Bearmanら ⁷⁾ (実験値)	——	——	2.19	—	0.123
Nakamuraら ⁸⁾ (実験値)	——	——	——	1.40	0.125
Murakamiら ¹⁾	3D-LES	104×69×10	2.10±0.12	1.58	0.132
本研究計算値	k-ε	104×70	2.05±0.02	1.11	0.146
本研究計算値	修正 k-ε	104×70	2.07±0.05	1.31	0.147

(b) 2%乱流中

Lyn (実験値) ⁶⁾	——	——	2.14±0.09	—	—
Franke & Rodi ⁶⁾	k-ε	70×64	1.55	定常	定常
本研究計算値	k-ε	104×70	1.66	0.10	0.127
本研究計算値	修正 k-ε	104×70	2.05±0.03	1.16	0.145

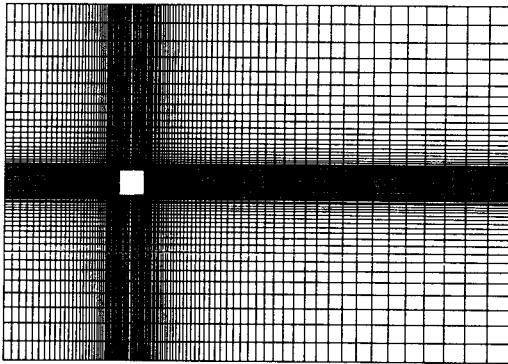


図1 計算メッシュ (104×70)

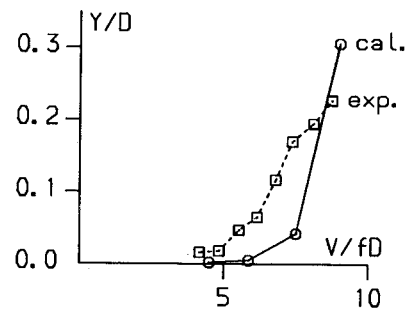
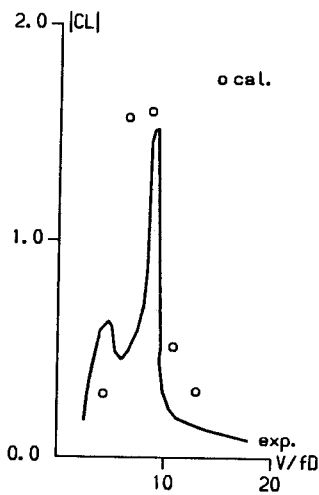
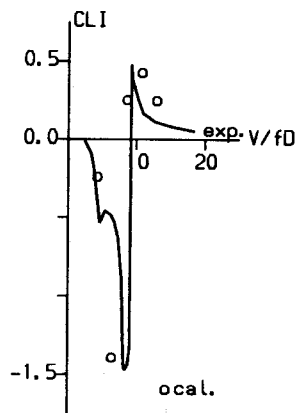


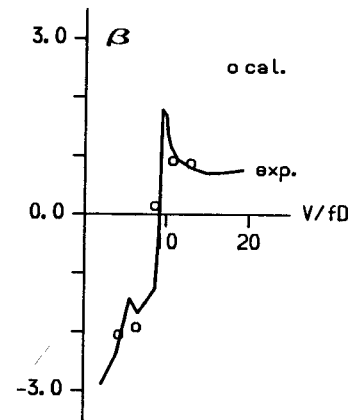
図3 空力振動計算結果



(a) 絶対値



(b) 虚数部



(c) 変位に対する位相差

図2 10%角柱振幅強制振動角柱の空気力係数