

防衛大学校 学生会員○正寶 敏彦

〃 正 会 員 藤 間 功 司

〃 正 会 員 林 建 二 郎

〃 正 会 員 重 村 利 幸

1. はじめに

これまで風波の発達機構を解明するために数多くの研究がなされている。しかし、精度のよい現地観測や水理実験が困難なため、風の場の構造でさえ十分に分かっていない。そこで数値実験が有効な研究手段となる。藤間ら¹⁾は、k-εモデルを用いた計算を試みているが、その際、剝離の再現が重要な課題であるため、壁関数を用いずに底面まで拡張されたモデルを用いた。そのため粗度の取り入れ方に問題が残っていた。そこで本報では粗度の影響を取り入れやすいk-ωモデルを用いて数値実験を行い、風洞実験の結果と比較検討する。なお、k-εモデルとの性能の比較のため、ここでは滑面を対象とする。

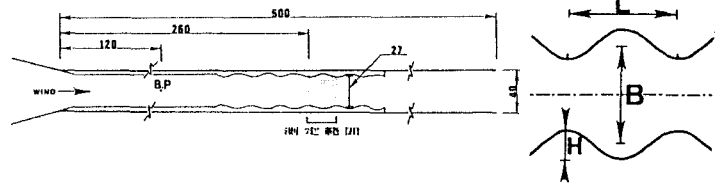


図-1 実験風洞

藤間ら¹⁾は、k-εモデルを用いた計算を試みているが、その際、剝離の再現が重要な課題であるため、壁関数を用いずに底面まで拡張されたモデルを用いた。そのため粗度の取り入れ方に問題が残っていた。そこで本報では粗度の影響を取り入れやすいk-ωモデルを用いて数値実験を行い、風洞実験の結果と比較検討する。なお、k-εモデルとの性能の比較のため、ここでは滑面を対象とする。

2. 風洞実験の概要

実験は、図-1に示す風洞（長さ 5.0m，幅 40cm，高さ 38cm）の中に、波高・波長比が 1/10，2/10の2種類のSIN形波状曲面を風洞の両側壁に設置して行った。流速分布をピトー管で、底面圧力分布を底面に取り付けたマンオメーターで測定した。実験条件を表-1に示す。U_cは風洞中心での風速、Bは曲面中心間の距離である。なお予備実験の結果、上下方向に関してはほぼ対称な流れであることが確認されている。

3. 数値実験の概要

k-ωモデルは、k-εモデルに比べて物理的イメージが不明確だが、底面近傍においても減衰関数が不必要で、粗度も取り入れやすいという長所がある。計算の手順は藤間ら¹⁾と同一である。k-εモデルと異なるkとωの式のみを以下に示す。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j k) = \frac{1}{\rho} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta^* \omega k + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \sigma^* \nu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j \omega) = \frac{1}{\rho} \frac{\gamma \omega}{k} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \sigma \nu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right]$$

$$\nu_t = \gamma^* \frac{k}{\omega}, \quad \frac{\tau_{ij}}{\rho} = 2\nu_t S_{ij} - \frac{2}{3} k \delta_{ij}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

$$\beta = \frac{3}{40}, \quad \beta^* = \frac{9}{100}, \quad \gamma = \frac{5}{9}, \quad \gamma^* = 1, \quad \sigma = \frac{1}{2}, \quad \sigma^* = \frac{1}{2}$$

境界条件としては次式を用いた。

$$y=0 \quad (\text{底面}) : k=0, \quad \omega = \frac{6\nu}{\beta y^2}$$

$$y=\delta \quad (y=\frac{B}{2}) : \frac{\partial h}{\partial y} = \frac{\partial \omega}{\partial y} = 0$$

4. 考 察

CASE A-Mの流速分布と圧力分布の比較を図-2，3に示す。

同様にCASE C-Mの比較を図-4，5に示す。図-2～5中、

表-1 実験条件

CASE	A-M	C-M
L (m)	0.3	0.2
H (m)	0.03	0.04
B (m)	0.27	0.27
U _c (m/s)	16.7	19.5

○印が実験値、実線がk-εモデルの計算結果、破線がk-ωモデルの計算結果である。

CASE A-Mでは、流速、圧力ともk-εとk-ωの計算結果には顕著な差異は見られず、いずれもほぼ実験結果を再現している。ただし、いずれの計算でも圧力分布の非対称性は十分には再現できていない。

CASE C-Mではk-ωの方が、剝離領域が大きく出ている。このことから、同一条件下では、k-ωの方が剝離を起こしやすい特性があると言えるであろう。実験値と比較するとk-εモデルの方が実験値に近い結果を与えているが、いずれもあまり一致していない。

圧力分布から下式で定義した抵抗係数C_Dを計算したものを表-2に示す。表-2より、k-εとk-ωはほぼ同等なC_D値を与えていることが分かる。圧力分布がほぼ再現されているCASE A-Mよりも、CASE C-Mの方が実験値と一致しているのは、圧力分布の左右非対称な成分がC_Dに寄与するからである。

表-2 抵抗係数C_D

CASE	C _D	
	A-M	C-M
k-ε	4.92×10 ⁻³	1.57×10 ⁻²
k-ω	5.38×10 ⁻³	1.63×10 ⁻²
実験	1.25×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²

$$C_D = \frac{-\frac{1}{L} \int_0^L P \frac{\pi H}{L} \sin \frac{2\pi x}{L} dx}{\frac{1}{2} \rho U_c^2}$$

5. おわりに

- k-εとk-ωの両モデルを比較して以下のことが分かった。① k-ωの方がやや剝離しやすい性質がある。
- C_D値に関してはほぼ同等な性能を持つ。ただし必ずしも圧力分布が正確に再現されているわけではない。

参考文献

1) 藤間ら：水面波上の風場の数値計算，第37回海講，1990

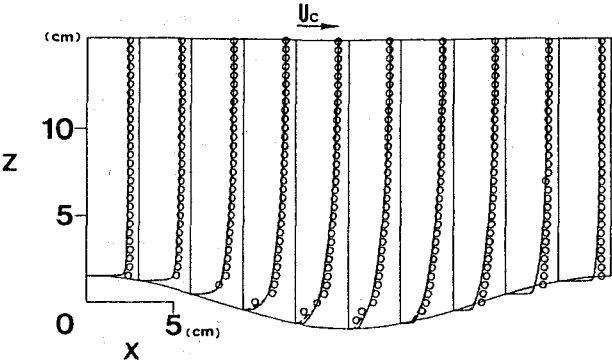


図-2 流速分布 (A-M)

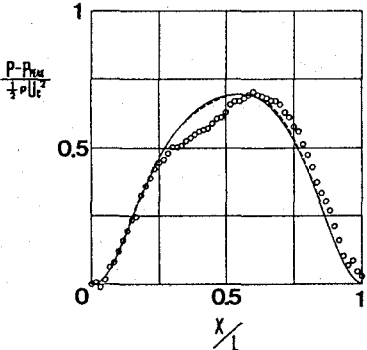


図-3 底面圧力分布 (A-M)

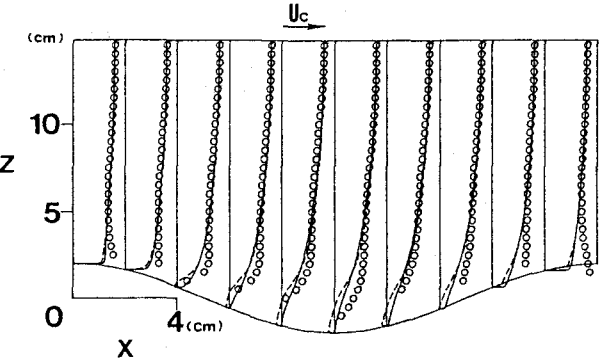


図-4 流速分布 (C-M)

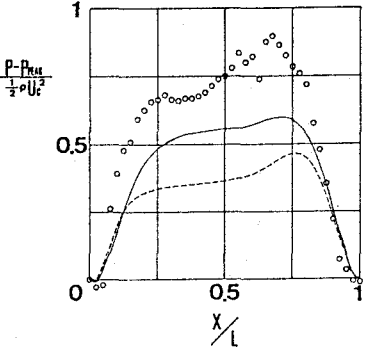


図-5 底面圧力分布 (C-M)