

II-119

人工粗面流れの二次元非定常解析

岐阜大学工学部 正員 藤田 一郎

岐阜大学工学部 正員 河村 三郎

中日本コンサル

福田 信夫

1. はじめに

人工粗面上の流れは各粗度要素から剥離した剥離渦の存在によって特徴づけられる。一つの粗度要素で発生した剥離渦は下流側粗度要素の剥離渦と相互に影響を及ぼし合い、非常に複雑な流れ場が生じる。剥離渦同士の相互干渉の程度は粗度間隔にも大きく影響されるが、その特性については不明な点が多いと考えられる。そこで本研究では、非定常な乱流場の解析手法として用いられるようになってきているLESをこのような複雑な境界条件を有する粗面上の流れに適用し、その有用性について検討してみた。

2. 計算方法

本解析では、図-1の格子分割の例に示すような正方形の二次元浅粗度の流れを対象とし、 $L/D=10, 20$, $H/D=5$, $Re(=U_{max}H/\nu)=1.0 \times 10^4, 2.0 \times 10^4$ の各ケースについて計算を行った。従来の粗度要素周辺の流れの解析では周期境界を用いることが多いが¹⁾、実際の流れは必ずしも周期的に変動しているのではないと考えられるので、7あるいは13の粗度要素を含む $H \times 3.3H$ の鉛直二次元領域を計算対象とした。計算は不等間隔のスタッガード格子上で行い、SGS乱流モデルを二次元場に適用した。上流端では十分に発達した乱流の流速分布、下流端では自由流出($\partial/\partial x=0$)の条件を与え、固体壁面の境界条件はnon-slipとした。移流項の差分にはQUICKESTスキーム、圧力緩和にはSOLA法を採用し、最小の格子間隔は $0.02H$ 、時間ステップは $\Delta t=0.001$ とした²⁾。

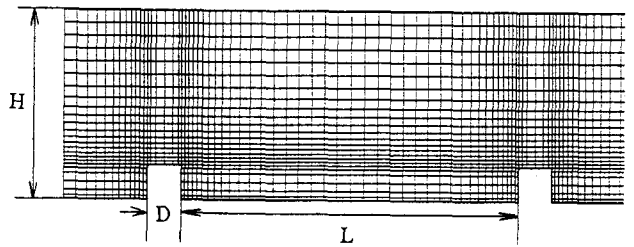
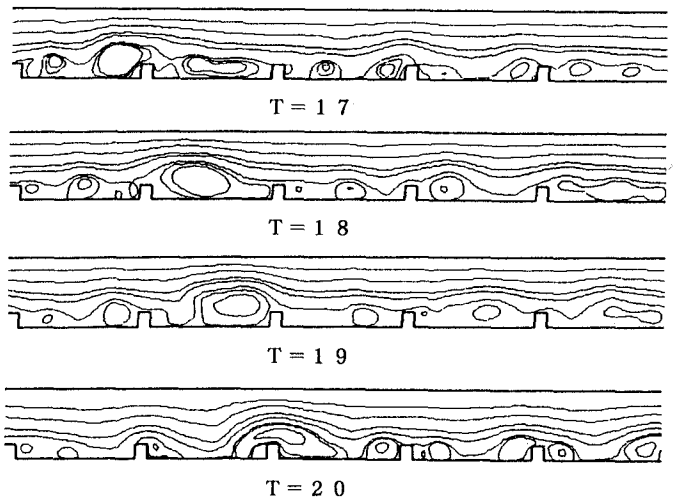


図-1 格子分割と粗度要素の定義図

3. 計算結果

図-2に無次元時刻 $T=17 \sim 20$ における流線を示す。一つの剥離渦が粗度要素を乗り越えて移動している様子が良好に得られている。各粗度要素間の流線はそれぞれ異なったパターンを示しており、周期境界を用いた計算では得ることができない複雑な流況を得ることが可能となっている。

図-3には $Re=1.0 \times 10^4$ のケースの平均流の流線を示す。 $L/D=20$ の場合は粗度要素間に再付着点が生じ、孤立粗度的である。再付着距離は約 $7D$ でバックステップで得られている値とほぼ一致している。

図-2 流線の変化 ($L/D=10, Re=20000$)

$L/D=10$ のケースでは再付着距離は多少長くなって下流側の粗度にまではほぼ到達しており、平均的には粗度要素間が循環流で満たされたような状態になっていることがわかる。栈粗度の流れに関しては、一般的に $L/D=6\sim 10$ の場合に水理学的な抵抗が大きいと言われているが、この値は粗度要素の再付着点距離にはほぼ一致しており、再付着点付近の流れと下流側粗度との相互干渉が流れの抵抗に大きく関与しているものと思われる。流下方向成分に関する乱れ強度分布を図-4に示すが、粗度要素直上では剥離渦の移動の影響が強いため、大きなピーク値が現れているものの、中間の断面においては粗度要素の間隔によらず、ほぼ類似した分布形を示している。

図-5には初期状態からの渦の発達・移動の様子を調べるために、 $y/H=0.46$ の水平断面（検査線）における鉛直方向流速の符号の変化を時系列で示した。下降流($v < 0$)の領域をハッチングしている。初期の段階では各要素の生成する流れのパターンは相似だが、時間発展にともなって渦の分裂（白筋の枝分れ）・合体（白筋の結合）などを含んだ複雑な流況に変化していく様子が示されている。白筋の勾配は剥離渦の移流速度を示しているが、平均的には最大流速（一様流速）の60%程度であり、バックステップの流れ等で得られている値とほぼ一致した。

4. おわりに

二次元のSGSモデルを用いて栈粗度の流れの解析を試み、定性的には良好な結果が得られることがわかった。今後は実験値との比較および三次元計算によってさらに詳細な検討を行う考えである。

参考文献

- 1) 狩野ら, 日本機械学会論文集 (B編) 51巻464号, pp. 1166-1174, 1985.
- 2) 河村・藤田ら, 第46回年次学術講演会講演概要集, pp. 750-751, 1991.

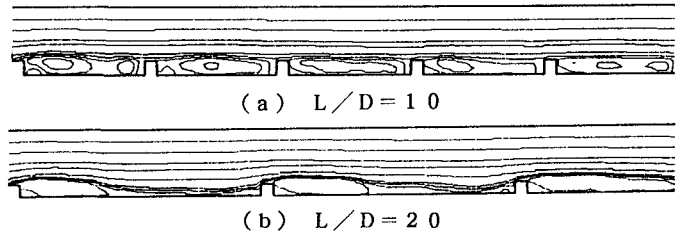


図-3 平均流の流線 ($Re=20000$)

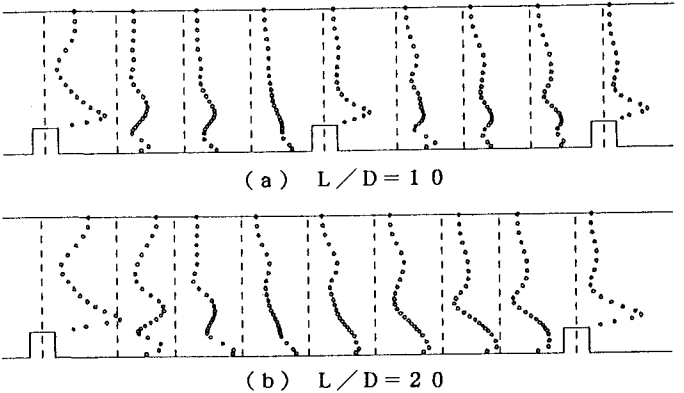


図-4 乱れ強度の分布 ($Re=20000$)

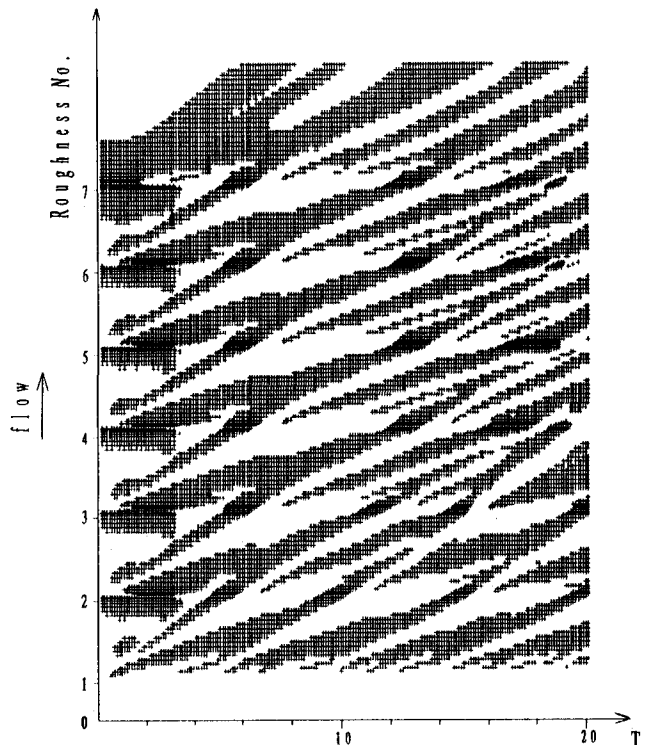


図-5 剥離渦の発達・変形過程 ($L/D=20, Re=10000$)