

## 直接数値計算による波状粗面乱流特性の研究

神戸大学大学院自然科学研究科  
(株)ソフトウェアクレイドル

正会員 中山昭彦  
崎尾幸司

### 1. はじめに

実河川流れや実地形上気流など自然環境での流れは複雑な境界上を流れる。流動や変形を伴う場合もあるが、固定していると見なされる場合でも、形状は大小さまざまな凹凸からなる複雑なものである。一般に流れスケールに比べ小さいスケールの形状変化は乱れを発生させ抵抗を増加させる粗度と考えることが出来る。流れスケールに近い形状は流れ全体に影響する。数値計算予測する場合、前者の小スケール変動の影響はモデル化する必要がある。本研究ではスケールの異なる形状変動を有する境界上の乱流を、境界形状、流れの全てのスケールの変動を解像する数値計算を行い、小スケール境界形状がない場合の流れと比較することにより小スケール形状が流れに与える影響を調べた。レイノルズ数には制限があるが、基礎的モデル流について調べる事によりある種の普遍的特性は捉える事が出来ると考えられる。

### 2. 対象流れ場と数値計算法

直接数値計算は図-1 に示すように、波状境界上に、小スケール波がある場合(Case2)とない場合(Case1)の流れの数値計算を行なうことにより粗度と見なされる小スケール変動の影響を調べた。滑らかな正弦波状面上の乱流は Hudson et al.<sup>1)</sup>により実験的に、また Maass & Schumann<sup>2)</sup>により数値計算により研究されている。本計算はこの正弦波上に更に小波長、小振幅の正弦波が粗度として加わったものと考えることが出来る。数値計算は横嶋・中山<sup>3)</sup>のものと同一で、一般座標系にコロケートグリッドを用いた計算法である。流れは完全発達したゼロフルード数開水路乱流で、計算格子のサイズは表-1 に形状は図-2 に示されてある。

表-1 境界形状及び計算格子

Case	Grid cells	$L_x \times L_y \times H$	$\lambda$	$\delta$	$\lambda'$	$\delta'$	$U_m H / \nu$
Case 1	192x128x96	3x2x1	1.0	0.05	-	-	6760
Case 2	384x128x96	3x2x1	1.0	0.05	0.2	0.02	6760

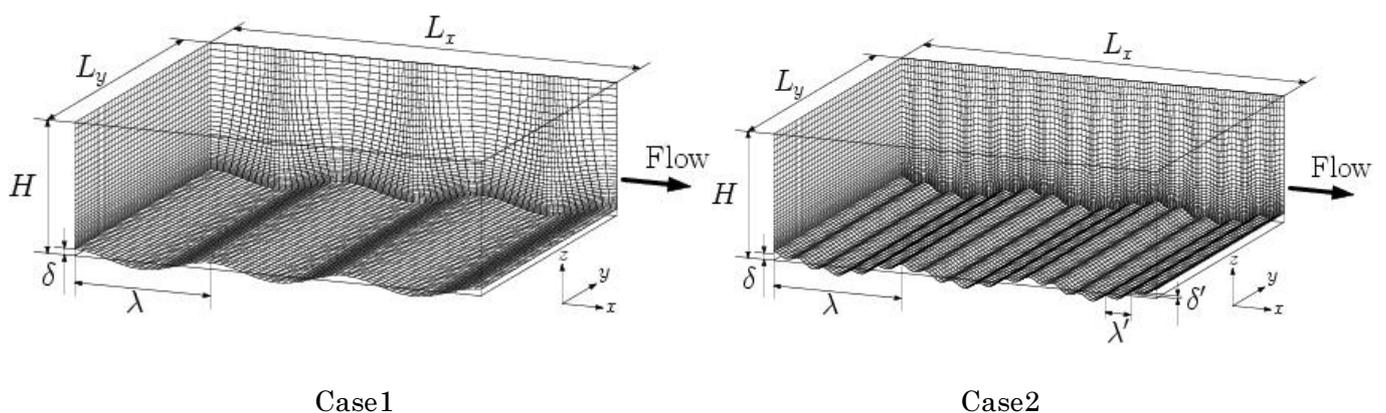


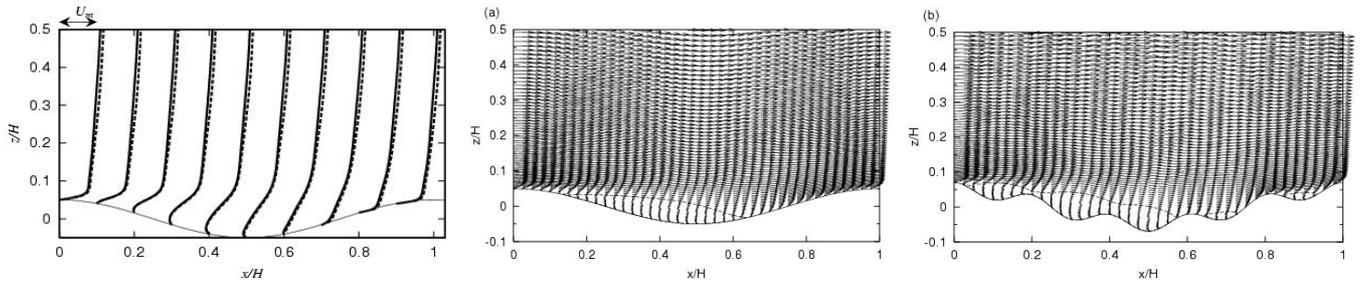
図-1 計算ケース

### 3. 計算結果

図-2 に平均流速分布を示す。Case1 は上端境界がすべり面である以外 Maass & Schumann<sup>2)</sup>による波状境界のチャンネル流直接シミュレーションと同じ条件である。図-2(a)に両者を比較しているように、本計算は Maass

キーワード DNS, 波状境界, 粗面, 乱流渦

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



(a) Case1, Maass & Schumann<sup>2)</sup>との比較 (b) 流速ベクトル, Case1 (c) 流速ベクトル, Case2

図-2 流れ領域中心 1/3 の領域での平均流速の計算結果

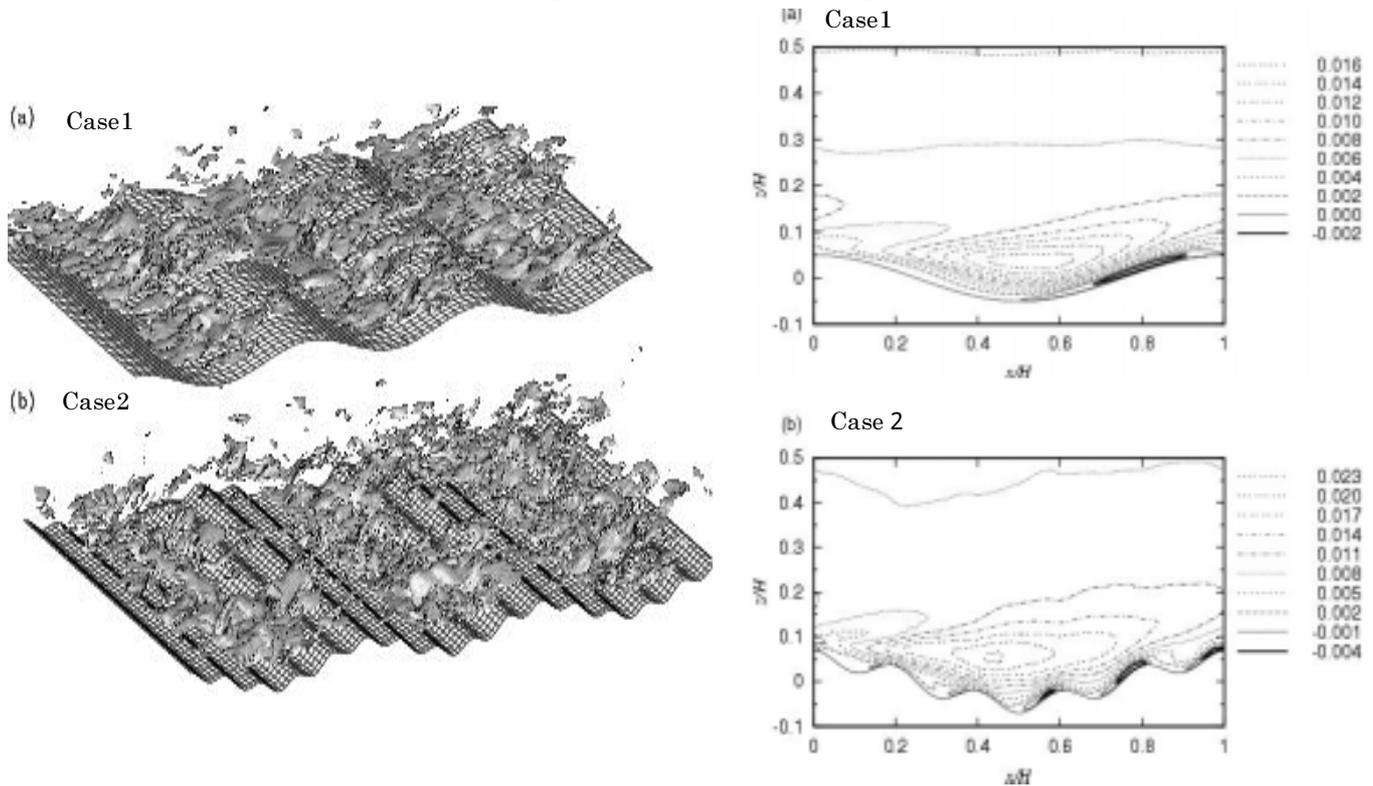


図-3 速度勾配テンソルの第 2 不変量の等値面

図-4 Reynolds せん断応力分布

& Schumann<sup>2)</sup> の結果とよく合っている．図-2(b),(c)の破線は剥離流線で，Case1, Case2 とも流れは剥離していることが分かる．Case2 の場合流れに小スケール変動が見られる．図-3 は瞬時流れ場の渦構造を表わすとされる速度勾配テンソルの第 2 不変量の等値面図である．Case1 では山下流から谷にかけて見られる縦渦が，Case2 の場合小さく乱されているのが分かる．図-4 はそれぞれのケースの乱流せん断応力( $-\overline{uw}/U_m^2$ )の分布である．小スケール波のある Case2 では全体的に波打つような分布になっており，Case1 にくらべ最大値は大きく，さらに最大をとる位置は上流側に移動している．

4 . 結論

直接数値計算により小スケール境界形状が流れに与える影響を調べた．小スケール境界形状は乱れの渦構造を小さく分解し，レイノルズ応力を増加させること等が分かった．更に詳しいデータの解析により粗度効果のモデル構築・検証等に活用できる．

参考文献

- 1) Hudson, J.D., Dykhno, L. & Hanratty, T.J., Exp. Fluids, 20, pp.257-265, 1996.
- 2) Maas, C. and Schumann, U., Direct and Large-Eddy Simulation, pp.287-297, Kluwer Academic, 1992.
- 3) 横嶋 哲, 中山 昭彦 土木学会論文集, No.712/II-60, pp.57-72, 2002.