

第II部門 球状粗面を有する流れのDNS解析における格子解像度の影響

神戸大学工学部 学生員 ○福本 達也 神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田 一郎
 神戸大学大学院工学研究科 学生員 吉村 英人 神戸大学大学院工学研究科 学生員 谷 昂二郎
 神戸大学大学院工学研究科 学生員 能登谷 祐一

1. はじめに

開水路における粗面乱流に関しては従来、数多くの研究が行われているが、その多くは実験的な研究であり、石礫間の浸透流を含めた流れの構造に言及した数値解析による研究は多くない。本研究では千鳥状に密に配置した球から成る粗面を対象とし、浅水状態における流れの詳細をDNS解析により考察する。特に、数値的に厳密な解を得るために格子解像度を变化させた解析を行い、その違いによる影響を調べた。

2. 解析条件概要

本解析では、球の頂点からの水深が直径 D の2倍という浅水状態を対象とした。これは今後粗面で発生した乱れが水面に及ぼす影響を調べるためであるが、本研究ではまず内部流を詳しく調べるために、水面は rigid lid とし、摩擦レイノルズ数 Re_τ が 400 となるように圧力勾配のみで流れを駆動させている。本研究では、速度スケールとして摩擦速度 u^* 、長さスケールとして球の底面から水面までの高さ H で無次元化し、重力項を省略した Navier-Stokes 方程式を用いて解析を行った。球の形状は埋め込み境界法(IBM)で与え、球の表面は non-slip とした。流れの境界としては主流方向 (x 軸) と横断方向 (z 軸) に周期境界条件を与え、解析は二通りの格子、即ち粗格子(CASE1)と密格子(CASE2)で行い比較した。その他の条件は表-1 に示す通りである。

なお計算領域は $4\sqrt{3}H$ (主流) $\times H$ (鉛直) $\times 4.0H$ (横断) とした。

表-1 解析条件

ケース名	CASE1			CASE2		
粗度高さ k^+	133.3					
全格子数	8540160			34160640		
格子数 (N_x, N_y, N_z)	278	192	160	556	192	320
格子解像度 ($\Delta x^+, \Delta y^+, \Delta z^+$)	9.97	0.4~4.0	10	4.98	0.4~4.0	5

3. 各種統計量

まず、時間的・空間的に平均した鉛直流速分布を図-1(CASE1)と図-2(CASE2)に示す。各図には仮想原点を y_a^+ だけ下方に変化させたプロットを示しているが、対数域が直線となる条件は CASE1 では $y_a^+=0.30k^+$ 、CASE2 では $y_a^+=0.25k^+$ であった。流速分布は河床面近くで、滑面における粘性底層と類似した分布形を呈しているのが特徴的であるが、これ

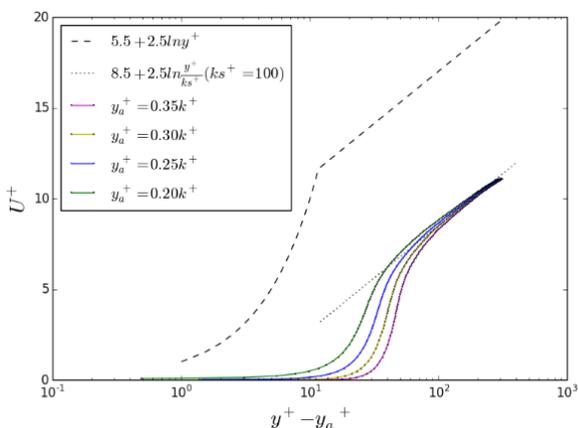


図-1 CASE1 の平均流速分布

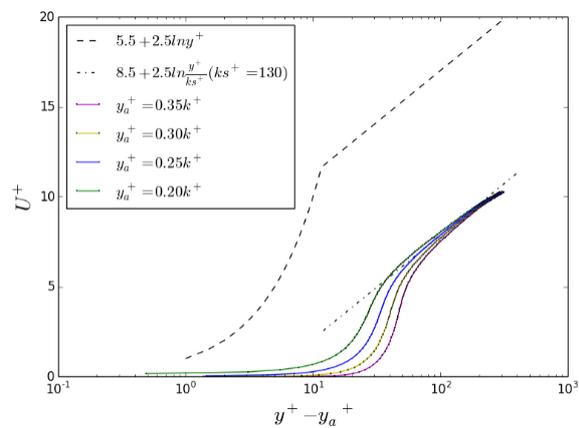


図-2 CASE2 の平均流速分布

Tatsuya FUKUMOTO, Ichiro FUJITA, Hideto YOSHIMURA, Kojiro TANI, Yuichi NOTOYA

ifujita@kobe-u.ac.jp

は粗度間の低速流体塊が主流に連行されるためと考えられる。図-3 に各流速成分の変動強度を示す。格子数の違いによる差はあまり大きくないが、主流方向の乱れ強度は粗度に近づくほど CASE2 の方が減衰している。これは上述の粗度間の流体塊の連行に伴う渦スケールに違いがあるためと思われる。

図-4 にはせん断応力分布を示したが、粘性せん断応力は粗度頂点で最大となるのに対し、レイノルズ応力はその少し上方でピークをとっている。格子解像度の差は粘性せん断応力のピーク値の差として現れている。

4. 粗度間流れ

解析領域の中央縦断面($z=2.0$)における瞬時の流速ベクトル場を図-5 に示す。ベクトルのスケールは粗度頂点より下側では 10 倍している。コンターは鉛直成分である。これより粗度頂点付近ではその上方からの下降流により間隙内に乱れが発生しているが、流れの様子は解像度によって異なっている。実際には他の瞬間データとの比較も行っているが、低解像度の CASE1 では全体的に間隙内の流速変動が小さいのに対し、高解像度の CASE2 では間隙内の底面付近にも有意な流速変動が発生している。CASE2 では粗度境界の界面内に小スケールの渦が発生していることも確認できる。このように、速度スケールは小さいものの、球状粗度間では格子解像度の違いにより、得られる流れ場が若干異なることがわかった。

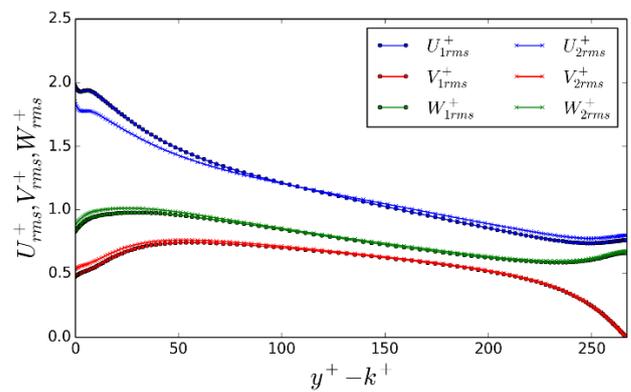


図-3 乱れ強度分布

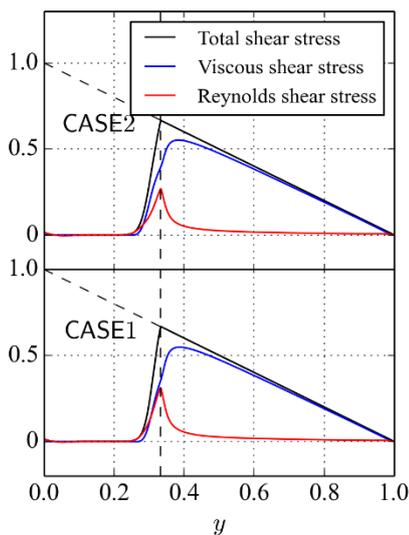


図-4 せん断応力分布

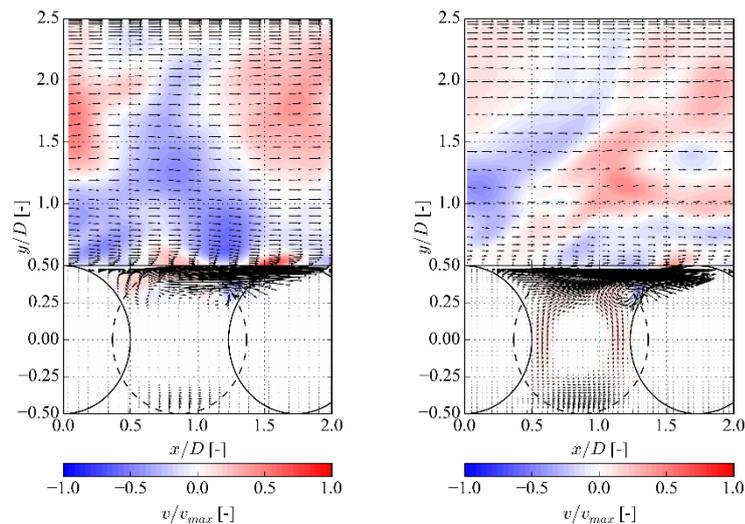


図-5 鉛直断面での u, v ベクトル(CASE1, CASE2)

5. おわりに

本研究では浅水状態における粗面流れに関する基礎研究の一環として、球状粗度上の流れに関する DNS 解析を行った。その結果、格子解像度の違いにより得られる流れに若干の差異が生じることがわかり、DNS 解析においては格子解像度の設定が重要であることを改めて示すことができた。実際には本研究の CASE2 よりもさらに細密な格子でも解析を行っているが(CASE3), その結果は CASE2 とほぼ一致しており、今回の条件下では CASE2 の解像度で十分であることがわかっている。今後は本解析結果を数値的な厳密解とみなして、粗格子での LES による解析や水面変動を考慮した解析などを進めていく予定である。

参考文献

- 1) Chan-Braun, C., Garcia-Villalba, M., Uhlmann, M. : Direct numerical simulation of rough wall open channel flow, Seventh International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena, 2011.