

神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○吉良 貴紀

神戸大学大学院自然科学研究科 正会員 中山 昭彦

1. はじめに

近年単純境界，低レイノルズ数ではあるが乱流の直接数値シミュレーション（DNS）が行われ，そのデータベースにより乱流モデルが改良され精度が向上しているがこれらは土木工学で重要である高レイノルズ数でしかも不規則粗面上の流れには応用できない．粗面境界予測計算法の向上には精度ある系統的实验データが必要である．しかしこれまでの粗面境界層の研究で確立されているものは平坦で圧力勾配の無い場合についてが殆どである．圧力勾配の影響に関してはPerry & Joubert¹⁾が角柱粗度上の減速流の平均流の測定を行っているが乱流モデルの検証には十分ではない．またColeman et al. ²⁾が球を敷き詰めた面上で順圧力勾配の影響を受ける境界層の測定を行っている程度である．本研究ではサンドペーパー及び発泡スチロール球を平坦な壁面に設置した粗面に発達する乱流境界層に順圧力勾配及び逆圧力勾配の影響がある場合について平均流速分布及び乱流応力の相似性，特性を調べた．

2. 実験

実験は断面60×60cm，測定部長さ5mの吹き出し型低速風洞で行われた．測定する境界層は風洞測定部の片側壁に砂粒高さ $h \approx 0.5\text{mm}$ の40番サンドペーパー及び粒径 $h \approx 5\text{mm}$ の発泡スチロール球を貼り付け生成した．反対側の壁は可動性の薄板を設置することで圧力勾配を調節した（図-1）．平均流速はピトー管を境界層内で流れ速度はX型プローブを定温度型熱線流速計で作動させ計測した．平均流速及び乱流応力の測定ケースを（表-1）に示す．無次元粗度高さ hu_v/ν はサンドペーパーのケースで10から20程度で遷移領域，発泡スチロールのケースで100程度で力学的に十分粗い面である．図-2にそれぞれの測定ケースでの流れ方向の圧力分布を圧力勾配の影響のない上流での静圧を基準に同位置の動圧で無次元化した圧力係数 C_p で表してある．

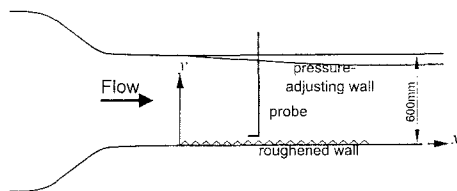


図 - 1 風洞概念図

			$Re\theta$	st. 1	st. 2	st. 3	st. 4	st. 5
サンドペーパー	case A	ゼロ圧力勾配	1000	$x = 0.60\text{m}$	0.765m	0.93m	1.095m	
	case B	順圧力勾配	800					
	case C	逆圧力勾配	1800					
発泡スチロール	case D	ゼロ圧力勾配	2000	$x = 0.8\text{m}$	1.25m	1.7m	2.15m	2.6m
	case E	逆圧力勾配	3500					

表 - 1 測定ケース

実験結果

壁面摩擦速度の算定には運動量バランスから求める方法，対数則を仮定する方法，壁面近傍でのレイノルズせん断応力の値より求める方法などがある．運動量積分式より求める方法は実験値の流れ方向微分が必要で精度は良くない．対数則を仮定するのはそれ自身を検討するには好ましくない．以下の計測結果のプロットではレイノルズせん断応力よりもとめた値を用いている．図-3に圧力勾配パラメー $\beta \equiv \delta^* / \tau_w \cdot dp/dx$ を

プロットしてある．ここで δ^* は排除厚， τ_w は壁面せん断応力である．圧力勾配パラメータ β は流れ方向に増加しているが下流ではほぼ一定である．以下の結果はこの下流点での計測結果を示す．図-4は上記のように求められた摩擦速度で無次元化した平均流速のプロットである．y座標の原点は粒径の中心にとってある．本実験の範囲内では内層での平均流速分布はほぼゼロ圧力勾配の対数則に沿っている．図-5-7は乱流諸量を摩擦速度で無次元化したものである．レイノルズ応力成分は滑面の場合と同様に順圧勾配では減少し，逆圧勾配では増加するが一般に滑面境界層に比較し壁近くの乱れ場はより等方的になっている．

3. おわりに

粗度による主な影響は壁面近傍で乱れを起こすことにより抵抗が増加し平均流速が減少することである．また壁近傍での異方性は滑面に比べ弱くなることが認められたがこれは粗面壁近傍の乱流モデル化で従来の滑面低レイノルズ数モデルはそのまま適応できないことを示唆しているといえる．

参考文献

- 1) A. E. Perry & P. N. Joubert, *J. Fluid Mech.* 17(1963)193
- 2) H. W. Coleman, R. J. Moffat, and W. M. Kays, *J. Fluid Mech.* 82(1977)507

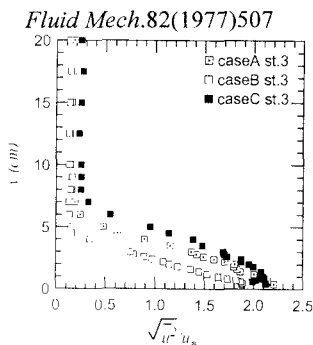


図-5 流れ方向乱流強度

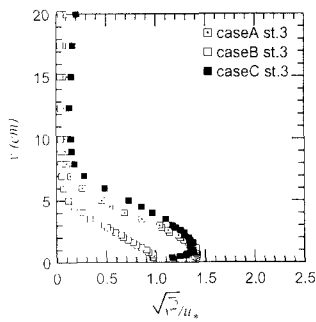


図-6 壁垂直方向乱流強度

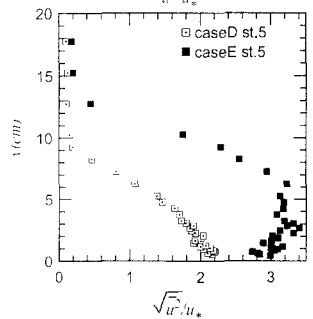


図-7 レイノルズせん断応力

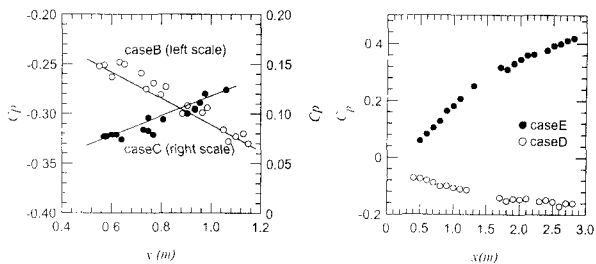


図-2 圧力係数

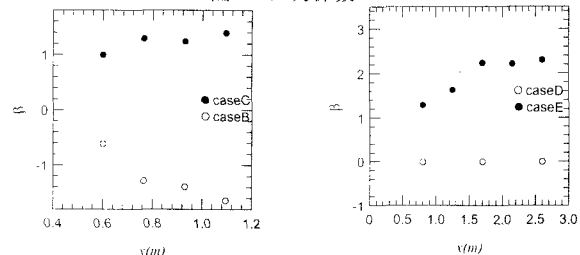


図-3 圧力勾配パラメータ

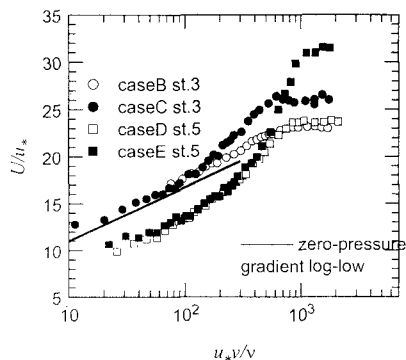


図-4 平均流速分布

