

新日本製鐵 正会員 川端規之  
 東京工大            日野幹雄  
 東京工大            山田 正

1. はじめに

著者らは浸透性粗面上の乱流を測定し、浸透性粗面上の乱流の抵抗が通常の粗面上の乱流の抵抗よりも大きくなる事を見出している<sup>(1)</sup>。同時に、浸透性粗面上の乱流の乱れ強度  $u'/\bar{u}$ ,  $w'/\bar{u}$  を測定し、これらが幾何学的に同じ粗度をもち非浸透性の粗面よりも大きくなっており、抵抗の増大が乱れ強度の増加に起因している事を明らかにした。本研究では上記の結論を踏まえ、マクロな流れのレイノルズ数が等しい非浸透性の通常の粗面と浸透性の粗面上の流れで実験を行い、乱れエネルギーの収支を比較した。また、乱れの自己相関関数を測定する事によってレイノルズ応力の発生に関する burst 現象の検討を行った。

2. 実験装置および測定方法

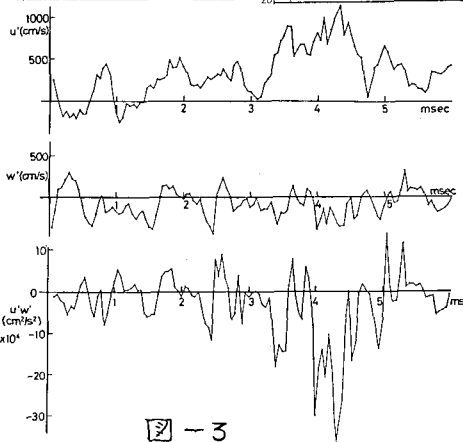
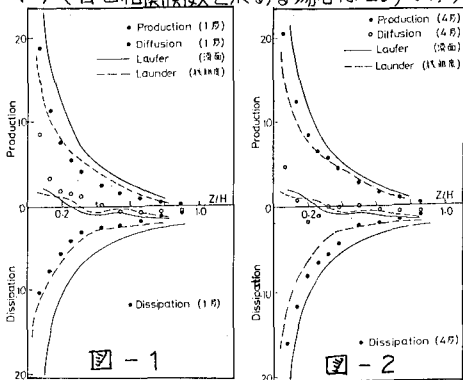
実験は 20 cm X 4.8 cm X 4.0 m の風洞で行った。粗度として直径 2.4 mm の鉛玉を用い、風洞の片面に1層だけ敷いて非浸透性の通常の粗面とし、これを4層に積上げて浸透性の粗面とした。流速の測定にはI型およびX型の熱線流速計を用いた。熱線流速計の出力は波形記憶解析装置によって任意の時間間隔でA/D変換する事ができる。乱れのスバクトルを計算する場合は 50  $\mu$ s の間隔でデータをとり、上記装置に内蔵されている相関器によって自己相関関数も求める場合は 20  $\mu$ s のサンプリング時間間隔で行った。

3. 乱れエネルギー収支

図1、図2は鉛玉を1層および4層にした場合の乱れエネルギーの収支である。ここに Production は流速分布とレイノルズ応力の測定値から直接計算し、Dissipation は変動速度の波数スバクトルを求め、これにコルモゴロフの  $-5/3$  乗則をあてはめる事によって推算した。また Production と Dissipation は  $\bar{u}^3/H$  で無次元されている。図より浸透性粗面上の乱流で乱れエネルギーの消散が大きくなっている事がわかる。乱れエネルギーの Production と Dissipation は断面全体でつり合うから、浸透性粗面上の流れでは壁近傍で大きな乱れエネルギーが発生している事が予想される。これが抵抗の増大の原因であると考えられる。

4. 変動速度の波形

X型の熱線流速計と波形記憶解析装置を用いて流下方向の変動速度  $u'$  と壁面に垂直方向の変動速度  $w'$  を 50  $\mu$ s の時間間隔で測定した。図3は鉛玉を1層とした場合の粗面上で測定した一例であるが、 $u'$  の変動周期に比べ  $w'$  の変動周期が小さく、その結果瞬間レイノルズ応力  $u'w'$  の変動周期は  $w'$  の変動周期と類似している。また、瞬間レイノルズ応力は  $u'$  が大きい時にその絶対値が大きくなっている。ところで burst 発生時にレイノルズ応力が瞬間的に大きくなる事が知られているが、レイ



ノルズ応力に時折出現する大きな変動は $w'$ の変動よりも $u'$ の周期の長い変動と対応している。

### 5. 変動速度の自己相関係数

burst発生周期は $Re_0^{(2)}$ によって自己相関係数のsecond mild maximumにほぼ一致する事が知られている。ところでGrass<sup>(3)</sup>は粗面上の剪断乱流でburst現象的な変動パターンを可視化しているが、その発生周期までは計測しておらず、一般に粗面上での計測例は少ないように思われる<sup>(5)</sup>。本研究では $u'$ の自己相関に注目してburst発生周期を求めた。図4は $u'$ と $w'$ および $u'w'$ の自己相関係数である。一般に自己相関係数のsecond mild maximumは計測時間間隔と計測時間長によって適当な形をフィルターがかかり、顕著に現れない場合もある。顕著に現れない場合でも全データ2048個を10分割して200個のデータで自己相関係数をつくると図5のようになりsecond mild maximumが現れる。もちろん、このような操作をしても現れない場合もあるが、second mild maximumが現れるのは遅れ時間が1~10ms程度である。

### 6. burst発生周期

上記の自己相関係数は大型計算機によって計算したものであるが、測定解析器に内蔵された自己相関器とオシロスコープによって自己相関関数を直接測定できる。写真はその一例である。何回も連続して自己相関関数を求めて顕著にヒックが現れる場合を採用し、この20個の平均値をburst発生周期 $T_B$ とした。 $U_B^2 T_B / \nu$ とRe数の関係を図7にまとめた。Kline<sup>(4)</sup>らは、

$$U_B^2 T_B / \nu = 0.65 Re^{0.73} \quad (\text{滑面}) \quad (1)$$

を提案しているが、本実験では最小2乗法によって

$$U_B^2 T_B / \nu = 0.00037 Re^{1.33} \quad (\text{粗面}) \quad (2)$$

を得た。(1)式は滑面上の水流中で実験しており、本研究の(2)式と直接比較する事はできないが、 $U_B^2 T_B / \nu$ の値は両者で同程度である。(2)式は $U_B^2 T_B$ がRe数の1.33乗に比例しているからburst発生周期 $T_B$ はRe数の増加に伴って減少している事がわかる。図6には測定点が2点であるが鉛五層の場合の測定結果も示してある。この場合もburst発生周期はほぼ(2)式で表わされると思われる。

### 7. おわりに

本研究において粘性底層を持たない粗面上でも滑面と同様なburst現象が存在する事がわかった。上記に示した手法を用いて今後は浸透層上の乱流の発生機構を明らかにするつもりである。

本研究は文部省科学研究費の補助のもとに行われた。ここに謝意を表します。また、実験、計算に尽力してくれた太田明彦君(清水建設)に深く感謝します。

### 参考文献

- (1)日野・山田・川端・太田：第24回水理講演会論文集(1980)；(2) Rao, K.N. et. al. : J.F.M. vol. 48, 339, (1971)；(3) Grass, A.J. : J.F.M. vol. 50, part 2, 233 (1971)；(4) Kim, H.T. et. al. : J.F.M. vol 50, 133 (1971)(5) Sabot, J. et al. : Phys. Fluids, vol. 20, p. 2, 1977

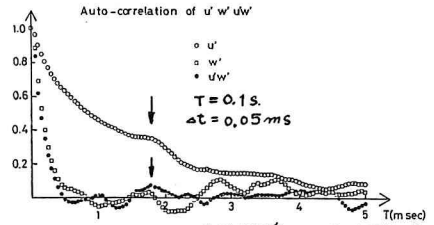


図-4 (直接計算による長時間相関)

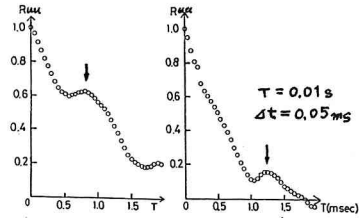


図-5 (直接計算による短時間相関)

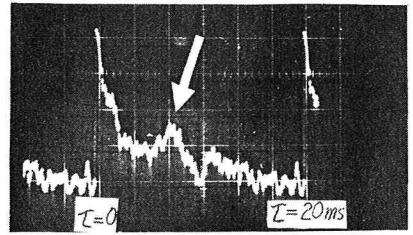


写真-1 (相関器による $\Delta t=20\mu s$ )

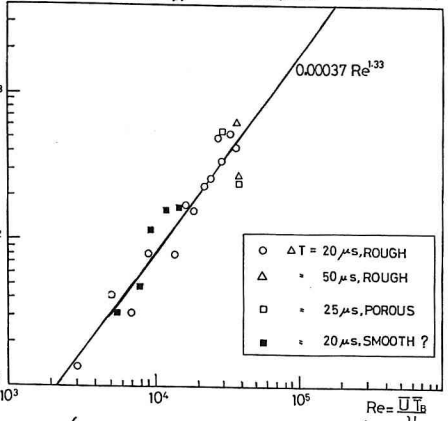


図-6 (○, ■は配相関器, △, □は直接計算による)