

II-180 開水路粗面乱流の構造の解明

京都大学大学院 学生員○村瀬 勝彦
京都大学工学部 正 員 中川 博次
京都大学工学部 正 員 梶津 家久

1.はじめに 開水路における乱流構造の研究は、おもに滑面を中心に行われてきたが、実際の河川等では粗面である。そこで本研究では、理想的な粗面と考えられるNikuradse粗面を用い、滑面との比較を通して、その乱流構造を解明する。同時に、従来2成分レーザー流速計では測定が困難であった自由水面付近についても、光軸回転モジュールを用いて自由水面近傍の乱れ低減効果を解明しようとするものである。

2.実験方法 全長10m、幅40cmの勾配可変型水路を用いて、3種類($ks=0.0, 0.4, 1.2\text{cm}$)に粗度を変えて実験を行った。実験条件は、二次流の発生しないようにアスペクト比(水路幅/水深) ≈ 8 に固定し、Froude数を与えて河床勾配を決定した。また、Froude数が0.1, 0.5, 0.7, 1.1(滑面は0.1, 0.7, 1.1)のケースについては乱れエネルギーを検討するため、Hot Film流速計との同時計測を行い、 w' も測定した。

3.実験結果とその考察

a) Reynolds応力分布について；本研究では、摩擦速度 U_τ はReynolds応力分布を用いて求めたが、滑面では底面付近で多少ばらついた他は流速が小さいと、ほぼ従来の理論曲線に一致した。また、粗面では、水面付近で滑面同様直線になっているものの、底面付近では滑面よりも早くReynolds応力は低減することがわかる。これは後の乱れのところで述べるように、底面の影響と考えられ、流速が大きいとみられなくなった。底面付近では、滑面においても理論曲線よりもReynolds応力は早く低減する傾向がみられた。(図1)

b) 平均流速分布について；図2を見てわかるように、滑面では、従来、示されてきたとおり、粘性底層域、対数域、Wake域、それぞれの理論式とほぼ一致している。また、粗面では流速が小さいと滑面同様、底面付近において粘性底層が現れるが、流速が大きくなると、この底層が小さくなっていく。これは粗度が流れの中で渦などの発生源になっているためと考えられる。次に、対数分布式の、各定数であるが、 k については滑面同様、ほぼ0.41となった。積分定数については、滑面での A は、今回の実験については、 $A=5.3$ を中心、 $4.63 < A < 8.38$ とばらつき、粗

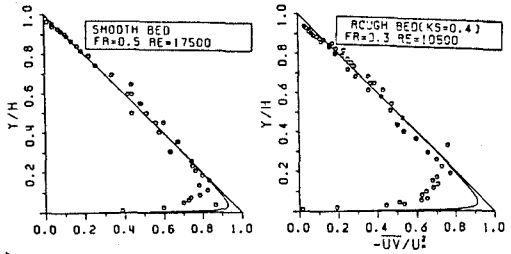


図1 Reynolds応力分布

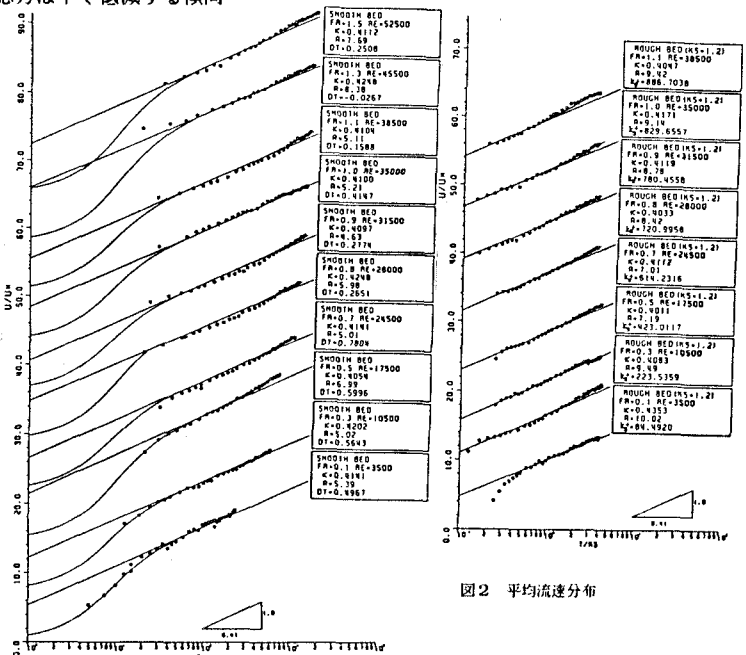


図2 平均流速分布

面における B も、完全粗面（ $k_s^+ = ksU_* / \nu > 70$ ）では、 $B=8.5$ （管路）とされていたが、そのような傾向はみられない。その原因としては、本実験では、開水路のNikuradse粗面であったため、管路のデータと若干相違したものと考えられる。

c) 乱れ強度について；（図3）

① 水面付近について：まずFroude数の影響であるが、Froude数の増加にしたがって、 u' , v' , w' が増加していくことがわかる。特に v' は、Froude数の小さいとき水面付近では大幅に低減していたのに、Froude数が大きくなると、 v' は大きくなってグラフが立ち、水深によって v' が変化しなくなっている。これは、水面付近を観察しても明らかのように、水面に発生する波の影響と考えられ、楠津¹⁾（1977）によって述べられているように、自由水面近くでは、乱れ自身の変動のほか、水面波による変動が関係し、測定された乱れが、乱流本来の乱れか水面変動による乱れかに厳密に分けることが困難であるためと考えられる。Froude数の小さい

ときに限ると、波の影響がそれほど大きくないため、変動は乱れ自身によるものと思われるが、この時、 v' は大幅に低減し、 u' がわずかに大きくなり、 w' が u' よりも目立った形で増加していることがわかる。 v' の低減による乱れエネルギーは、従来他の成分（ u' や w' ）に配分されるのか、乱れエネルギーそのものが熱逸散等によって減少しているのか、のいずれかが問題にされ、種々のモデルが考えられてきたが、今回の実験結果では v' の低減による乱れエネルギーは、主に w' に再配分されたものと考えられる。さらに u' に対して v' の変化をみるため、図5に v'/u' を示した。この図から、粗度が大きくなるほど、 v'/u' の変化が緩やかになることがわかる。すなわち、水面に近づくにつれて急激に v' が小さくなるという傾向は、滑面において強く、粗度が大きくなるにつれて弱くなるということであり、粗度が大きいほど、乱れの等方化指向が大きくなるといえる。

② 底面付近について：底面では当然、粗度の影響が大きくなることが予想される。確かに、Froude数が小さく流速の小さいときは、粗度が大きくなるほど、壁面の影響により乱れが小さくなっていく。しかし、流速が大きくなると、 $k_s=0.4$ のケースは壁面の影響により相変わらず乱れが小さくなっているが、滑面だけでなく、 $k_s=1.2$ のケースも乱れが大きくなり、粗度の影響がなくなっていることがわかる。これは、粒径がある程度大きくなると、粗度自体が乱れの発生を促進するためと考えられる。

4. おわりに 今回は、開水路乱流の粗面、水面付近における構造を定性的にみてきたが、さらに乱れエネルギーの発生、熱逸散および拡散を調べて、エネルギー収支を検討し、定量的に解明していく必要がある。

〔参考文献〕1) 楠津家久：開水路乱流の乱れ強度に関する研究、土木学会論文報告集、第261号、1977

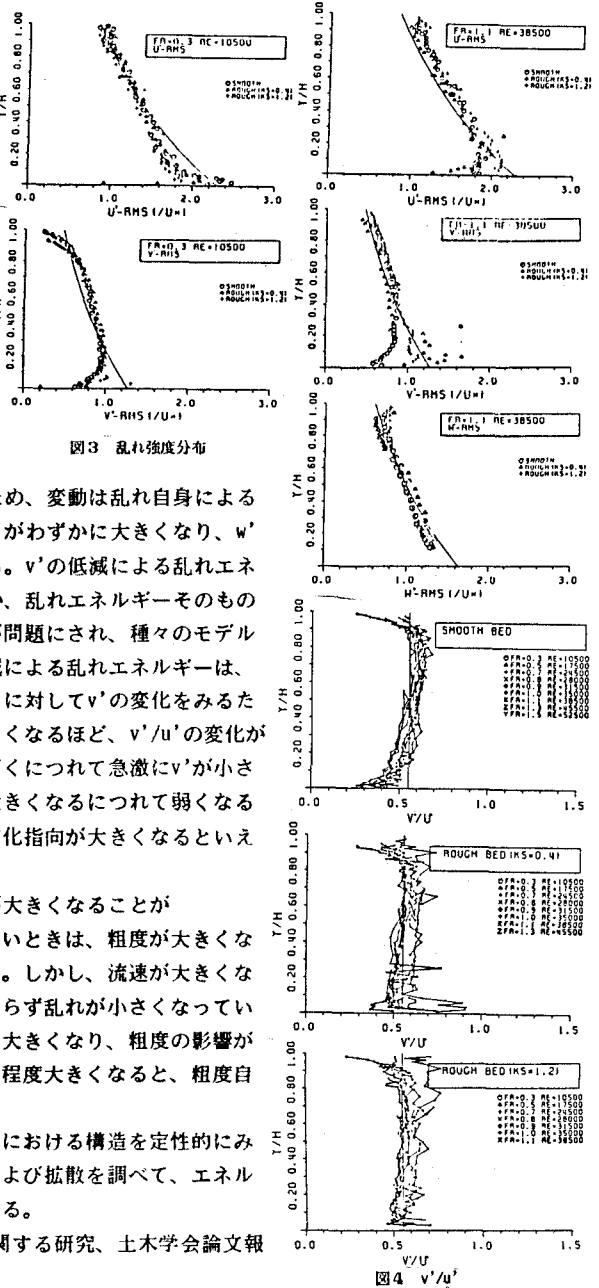


図3 乱れ強度分布

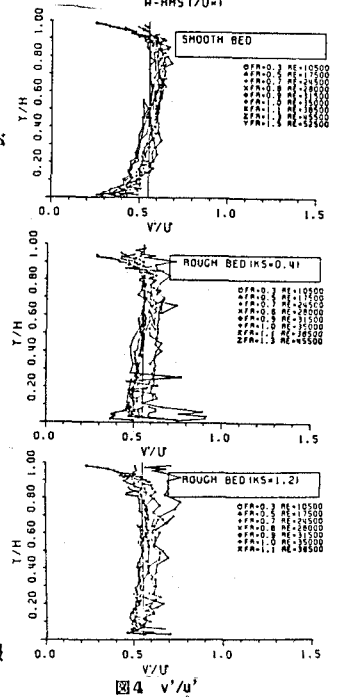


図4 v'/u'