

開水路粗面乱流の構造と自由水面が果たす 乱れ低減効果の解明

京都大学工学部 正員 中川 博次
新日本製鉄 正員 瀬谷 和彦
京都大学大学院 学生員 〇村瀬 勝彦

京都大学工学部 正員 瀬谷 和彦
京都大学大学院 学生員 鈴木 康弘

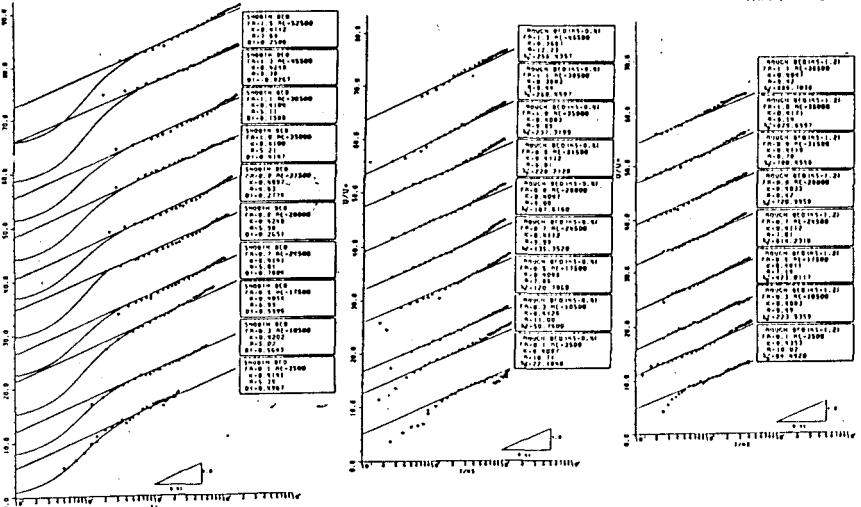
1.はじめに 開水路における乱流構造の研究は、おもに滑面を中心に行われてきたが、実際の河川等では粗面である。そこで本研究では、理想的な粗面と考えられるNikuradse粗面を用い、滑面との比較を通して、その乱流構造を解明する。同時に、従来レーザー流速計では測定が困難であった自由水面付近についても、モジュールを用いてその特性、特に乱れを中心に解明を行った。

2.実験方法 全長10m、幅40cmの勾配可変型水路を用いて、3種類に粗度を変えて実験を行った。実験条件(表1)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)のケースでは乱れエネルギーを見るため、Hot Film流速計との同時計測をした。

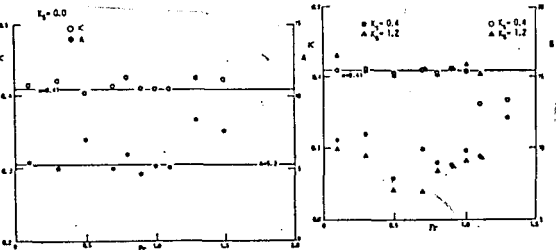
CASE	F_1	F_2	h (cm)	U (cm/s)	$U/\sqrt{g h}$	$U/\sqrt{g h}$	Reynolds No.
SM-1	0.10	2500	7.000	1.000	0.00005	0.00005	200
SM-2	0.50	10000	21.000	4.000	0.00037	0.00037	200
SM-3	0.50	17000	20.000	7.000	0.00053	0.00053	200
SM-4	0.70	13000	15.000	5.000	0.00100	0.00100	200
SM-5	0.70	20000	14.000	11.000	0.00151	0.00151	200
SM-6	0.70	21000	12.000	12.000	0.00200	0.00200	400
SM-7	1.10	20000	10.000	14.000	0.00300	0.00300	400
SM-8	1.10	20000	10.000	18.000	0.00375	0.00375	400
SM-9	1.10	45000	10.000	30.000	0.00656	0.00656	1000
SM-10	1.10	52000	10.000	31.000	0.00656	0.00656	1000

3.実験結果とその考察 a)平均流速分布について; 図1を見てわかるように、滑面では、瀬谷¹⁾(1986)によって示され

ているとおり、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粘性底層があらわれることがわかる。このことから、流速が大きくなると、粘性底層が小さくなっていき、粗度高さよりも低い部分に入っていくといえる。次に、



対数分布の式の、各定数について考えると(図2) k については概ね0.41となっている。ただし、積分定数については、滑面での A は、 $A=5.3$ とされていたが、今回の実験については、 $A=5.3$ を中心に、 $4.63 < A < 8.38$ とばらついている。また、粗面における B は、完全粗面 ($k_s^+ = ks_u/\nu > 70$) では、 $B=8.5$ (管路)だが、そのような傾向はみられない。その



原因として、本実験では、開水路であったため、従来のデーターが使えなくなったためと考えられる。

b)乱れ強度について; 本研究では、滑面、粗面 ($ks=0.4, 1.2$) の3シリーズ全てを水深で統一し、Froude数を変化させたため、Froude数に比例して同時にReynolds数も変化する。そこで、Froude数、粗度 ks^+ に対する乱れ強度の挙動をそれぞれみていく。(図3)

Hiroji NAKAGAWA, Iehisa NEZU, Kazuhiko SEYA, Yasuhiro SUZUKI, Masahiko MURASE

① Froude数の影響：まず、 u' であるが、これは壁面付近を除いてほとんどFroude数の影響はみらず、水面付近のみ u' がわずかに増加している。また、壁面付近では、Froude数の増加にしたがって、 u' が減少していき、 $Fr=0.7\sim 1.0$ で最小値をとり、それ以後は変化しない。次に v' であるが、壁面付近ではFroude数に対して不変であるが、それ以外ではFroude数が大きくなるにつれて、 v' は大きくなってグラフが立ち、水深によって v' が変化しない。特に、水面付近ではこの傾向が顕著であり、乱れの低減が小さくなっていく。これは、水面付近を観察してもわかるように、水面に発生する波の影響と考えられ、禰津²⁾(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に、水面波による変動が関係し、測定された速度変動を乱流本来の乱れと水面変動による乱れとに厳密に分けることは困難であろう。最後に w' であるが、 w' はホットフィルムによって測定しているため、Froude数に対してあまり変化していない。以上の結果をまとめると、Froude数が小さく、波の影響がそれほど大きくない時には、 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する。これは、 v' の低減によるエネルギーが主に w' に配分されたと考えられる。図4の平均渦径をみると L_y が急激に減少しているが、渦動粘性係数 ν_t は、 $-\overline{uv} = \nu_t \partial U / \partial y$ と表示されたが、開水路では混合距離モデルより $\nu_t \sim v' L_y$ となり、この式より自由水面($\xi=1$)で $\nu_t \rightarrow 0$ となり、 v' が抑制される。

② 粗度の影響：当然予想されることであるが、粗度の影響は壁面付近を除いてほとんど見られない。壁面付近では、流速が小さいときは、粗度が大きくなるほど、壁面の摩擦の影響により乱れが小さくなっていく。これは図5の平均渦径をみても明らかである。しかし、流速が大きくなると、 $k_s=0.4$ のケースは、摩擦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。さらに u' に対して v' の変化をみるため、図6に v'/u' を示した。この図から、粗度が大きくなると、 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り、粗度の大きさにしたがって、乱れの等方化傾向が小さくなる。

4. おわりに 開水路乱流の粗面、水面付近での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) Nezu, I. and Rodi, W.: Open-Channel Flow Measurements with A Laser Doppler Anemometer, J. hydraulics eng., ASCE, Vol. 112, NO. 5, May, 1986. 2) 禰津家久: 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

