

II-181 粗・滑面水路の乱れ特性について (2)

京都大学 工学部 正員 中川 博次
 京都大学 工学部 学生員 〇赤津 家久
 運輸省 港湾局 正員 上田 寛

1° まえがき

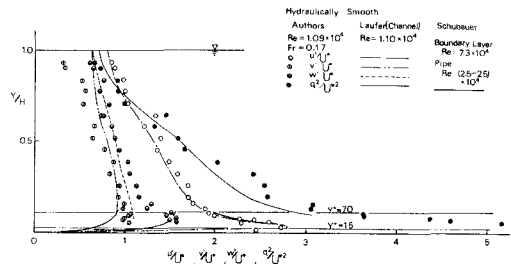
近年、優れた乱れ計測器やデータ解析法が開発された結果、wall turbulenceの研究が飛躍的に進み、bursting現象で代表される乱れの発生機構がかなり明らかにされ、これらの現象を説明しうる適切な乱流モデルも次第に提案されて来ている。しかし、これらの研究はほとんど滑面乱流に限られ、しかも多くの場合風洞での境界層流や管路流であって、実際の水工学上の問題にみられる粗面乱流とりわけ開水路せん断乱流の研究は数少ない。Re数(レイルス数)やFr数(フルード数)などの水理特性および等価粗度 R_s で代表される壁面の特性によって、乱れの構造がいかに影響を受け乱れ発生機構等がどのように変化するかを研究することは、現象自体もまた実際上からも興味ある問題である。この意味で著者は滑面および粗面の開水路乱流特性について1成分および2成分rot-film流速計で系統的に計測し、その乱れ構造を明らかにしようとしたが、ここでは得られた結果の一部として基本的な乱れ強度特性について述べる。

2° 実験方法 および解析方法

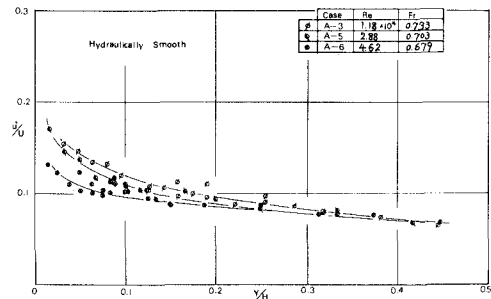
幅50cm、高さ40cm、長さ15mの滑面水路に一樣な球形ガラスビーズを密にはり付け、不完全粗面や完全粗面などを作った。Re数、Fr数および $R_s = U_*^2/\nu$ のパラメータのうち1つだけを変化される様に水理条件を設定した。rot-film流速計からの出力電圧は、サンプリング周波数100Hz、データ数2100個でA/D変換を行なったのち、電算機にかげられた。各ケースとも2次元流であることが確かめられ、平均流速分布はNikuradseの対数則分布に非常によく従い、またそのように座標原点($y=0$)を決定した。

3° 滑面乱流の乱れ強度分布

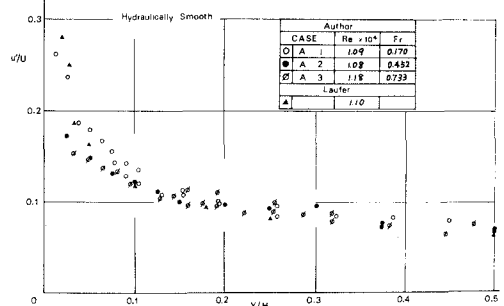
図・1は、乱れ強度 u' , v' , w' (それぞれ主流方向、壁に垂直方向、横断方向の乱れ変動のr.m.s.値) および乱れエネルギー $\gamma^2 = \frac{1}{2} \frac{u'^2 + v'^2 + w'^2}{U_*^2}$ を摩擦速度 U_* で無次元表示したものであり、Lauferによる同じRe数での管路流(channel)の実験値も併示している。 u'/U_* に関しては両者の一致はかなり良好であって、1成分rot-filmでの壁近傍の計測結果から $y^+ = yU_*/\nu \approx 15$ で最大値 $u'/U_* \approx 2.8$ をもちことがわかり、Schubauer²⁾がまとめた境界層流や円管路流のinner layer内の特性とほぼ完全に一致し、outer flowの境界条件にはほとんど依存しないと思われる。一方、 w'/U_* は壁面近くで、 v'/U_* は水面近くでそれぞれLauferの値と異なる結果を示した。 v'/U_* が水面近くで管路流のものより小さいのは水面が存在するためにy方向の運動が抑えられることによるものと考えられる。壁面近くの w'/U_* はむしろ



図・1 滑面乱流での乱れ強度分布



図・2 滑面乱流のRe数の影響



図・3 滑面乱流のFr数の影響

Schubauerの普通曲線に一致するような結果となった。また、他の滑面実験でも常に $u' > w' > v'$ なる関係が示され、うずモデルから予想される結果と一致する。乱れエネルギー $\overline{u'^2}/U_\infty^2$ は急激に変化し、壁近くでは水面近くでの値の約5倍も大きく、乱れエネルギーのdiffusionが無視できないことがこれから推測される。

次に、図2および3は u' についてのみそれぞれRe数およびFr数の影響を示したものである。本実験の範囲内では、 u'/U_∞ に対するこれらのパラメータの影響は顕著でなく、データのバラツキ内におさまって明解な特性を把握することはできなかった。Re数に関してはLauferの結果にも見られる特性であって、近似的にもRaynolds相似が成立しているためであろう。しかし、相対乱れ強度分布 u'/U は図2および3に示すように明らかにRe数およびFr数の影響を受ける。すなわち、Fr数がほぼ一定のとき、Re数が増加すれば u'/U は漸減する傾向があり、壁面近くの分布はより平坦なものになり、Lauferの得た変化特性と一致した。逆に、Re数がほぼ一定のときのFr数の影響もほぼ同様な変化特性をもつことが理解される。しかし、壁面近くで漸減を示すもののそれほど顕著な変化ではなく、本実験のFr数ぐらの範囲内では圧力流である風洞実験の結果から重力流である南木路乱流の特性を類推して u' に関する限り妥当のように思われる。 v' および w' についてもデータに若干のバラツキがあってRe数やFr数の影響を明らかにすることができなかった。特に水面近くでFr数が増えれば、水面波の変動の影響があらわれデータのバラツキも大きく、今後の研究に待たねばならない。

4° 粗面乱流の乱れ強度分布

図4および5はそれぞれ不完全粗面および完全粗面の範ちゅうに属する乱れ強度分布である。全体的な変化特性は図1の滑面でのそれとまったく同様であって $u' > w' > v'$ が成立している。この関係は境界層流や管路流でも同様であって、一樣境界面でのWall turbulenceの一般的特性と考えられる。図4の不完全粗面流は $Re=9.1$ であって木理学的滑面($Re \leq 5$)の範ちゅうに比較的近いために、図1の滑面乱流での変化特性とほとんど一致したものになっている。しかし、 Re が増して粗度の効果がきいてくると同じ不完全粗面流の範ちゅうに属する $Re=48$ の実験結果では(図面割愛)y方向の変化もかなり平坦になり、むしろ図5の完全粗面流のそれに近づいてくる。完全粗面流では壁面近くで急激な変化特性を示さずかなり一定な強度分布をもち、 u'/U_∞ の最大値も2以下になる。このような粗度による変化特性をGrassの木果気泡法を用いて報告している³⁾。滑面乱流は2方向にSpacingを伴った流れ自体の不安定さから生成されるのに対して、粗面乱流はむしろ様な粗度によるwakeによって壁近くでより様なうずが生成されるためと思われ、これらの内部機構の解明が急がれる。

しかし、相対乱れ強度はこれと逆であって図6に示すように粗度が増えるほど u'/U も大きくなる。 $(v'/U, w'/U)$ についてもまったく同様であった。これらの粗度の効果も壁面からなれると弱くなり、次第に滑面乱流のそれに近づいてくる。

5° 参考文献 1) Laufer, J., NACA TR-1053, 1951 2) Schubauer G.B., Jour. of Applied Phys., vol. 25, 1954, pp.188-196 3) Grass, A.J., Jour. of Fluid Mech., vol. 50, 1971, pp. 233-255

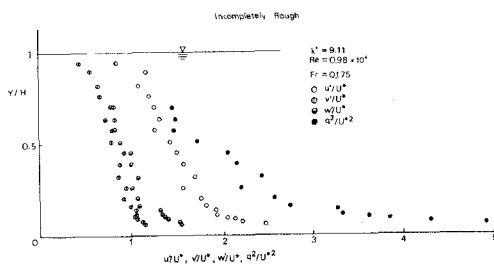


図4 不完全粗面乱流の乱れ強度分布

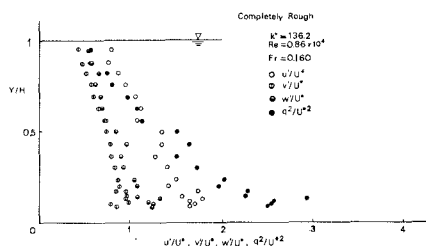


図5 完全粗面乱流の乱れ強度分布

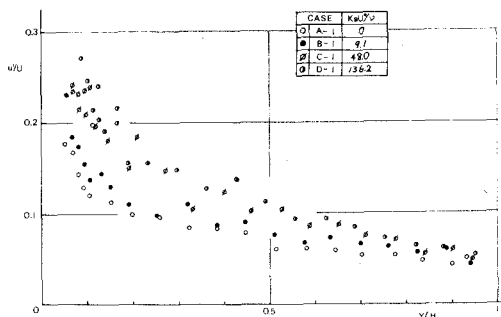


図6 粗度の影響 ($Re=1.0 \times 10^4$, $Fr=0.17$)