

粗、滑面の乱れ特性について

京都大学工学部	正 員	中川 博次
京都大学大学院	学生員	柿津 家久
運 輸 省	○正 員	上田 寛

1. まえがき

開水路の流れを考える場合、自然現象として現われる流れは粗面を境界としてもつのが普通であり滑面の条件を満足するような現象はきわめて稀であろう。もちろん従来から平均流の特性については、粗面の場合も滑面同様、多くの研究がなされ数々の成果があげられているが、事、乱れの研究についてはほとんど粗面上のものは研究されていないようである。最近では移動床上の流れについての研究が非常に盛んに行なわれているが、ここにおいても流れの乱れ特性と移動床の変化状態との相互作用を知ることは重要な興味深い課題であり、筆者らはその第1段階として、境界を固定粗面としてもつ開水路流れの乱れを計測し、かつその結果について若干の考察を行なってみた。

2. 実験条件および方法

実験条件としては、大きく A, B, C, D の4ケースにわけられ、A は水理学的滑面、B は不完全粗面、D は完全粗面、C は1ケースのみ不完全粗面、残り2ケースが完全粗面となっている。さらに細分すると A は6ケース、B は4ケース、C, D はそれぞれ3ケース、4ケースを合計17のケースについての実験を行ない、 Re , Fr , h による乱れの変化が系統的にわかるようになっている。粗度としては一様な球形ビーズを用い、これを密に敷きつめて粗面を形成した。粗度の粒径は B, C, D がそれぞれ 1.28 mm, 5.14 mm, 12.50 mm となっている。計測器としては2成分 hot film 流速計を用いた。

3. K の変化についての考察

K の値は、粗度の影響を受けず一定であるとされているが、それに伴ない、いくつかの矛盾点が出てくる。もし K の値が粗度にかかわらず一定であるとすれば、Prandtl の仮定にある $l = K y$ によって、等しい高さでは、粗面と滑面が同じ混合距離をもつことになる。ここで $l = K y$ とおくのは、 l に対し流体粒子の行動範囲のような概念を与えているわけ、たとえば、壁近くでは非常に行動範囲がせまめられ、離れるにしたがって大きくなってゆくわけである。jet や wake のような自由乱れでは各断面で l が一定であり、 $l = K x$ で変化するという仮定もまた、この概念が適用されているわけ、この事から l を渦のスケールと比例関係にあると仮定するのは自然に思える。この仮定にもとづけば、 K が等しいことは、粗、滑面においては、同じ位置では同じ平均スケールをもつという結論になり現象と矛盾する。平均渦スケールの粗度による変化については、すでに R.A. Antonia & R.E. Luxton により検討されている。その結果から、粗面においては滑面より平均渦のスケールが小さくなっていく傾向が明らかである。この事実は上の仮定を考えると結局、粗度がつけば K が減少することを意味している。この考えが正しいか否かを検討するため以下においては、実験結果から K の値をおめ、粗度の変化によ

る K の値の変化状態を示してみよう。

4. K の決定方法とその結果

ここでは、 K の決定方法について述べるために、その方法にもとづいて得られた結果を示すことにする。 K の値は平均流流速分布を対数表示した場合の勾配をおめることにより得られるが、そのためには摩擦速度 U^* を K と独立におめることが必要である。等流状態においてはもうろん水面勾配から U^* をおめることができるはずであるが、この方法は実際には非常に困難である。したがってここではその方法によらず、Reynolds 応力の分布から U^* をおめる方法を採用した。この方法は二次元等流状態における Navier-Stokes の式から直接 U^* をおめることができ、もうろん K とは独立に U^* が決定できる。

$$(1) \quad \frac{-\overline{uv}}{\hat{U}^{*2}} = 1 - \frac{y}{\kappa} \quad (\kappa \text{ は水深})$$

(1) は Reynolds 応力と摩擦速度の関係を示す式であり、 $\hat{U}^*$ はこの方法によっておめた摩擦速度を意味する。図1は一例として滑面のケースの Reynolds 応力分布を示している。図中、併示している3本の曲線は粘性の影響を考慮した場合の Reynolds 応力の分布を示すものである。平均流流速分布が対数則に従うとすれば、

$$(2) \quad \frac{-\overline{uv}}{\hat{U}^{*2}} = \left(1 - \frac{y}{\kappa}\right) - \frac{\nu}{\kappa \hat{U}^* y}$$

で与えられる。(2)式の第2項は Re の逆数を意味し、 Re が大きくなれば、ついに(1)式は(1)式に一致し、Reynolds 応力が直線分布をするが、図はその傾向を示している。図2は上述の方法により $\hat{U}^*$ を求め、対数分布の勾配から K の値をおめた結果について示したものである。これによれば、滑面の場合には $K=0.4$ であるから、粗面の場合には若干、値が小さくでている傾向がわかる。ただしこれだけでは実験ケースも少なく、特に粗度の大きさによって K の値がどのように変化するかを知るためには、さらに数多くの実験を行なってゆく必要がある。

(参考文献) R.A. Antonia & R.E. Luxton: The Response of a Turbulent Boundary Layer to a Step Change in a Surface Roughness, J. Fluid Mech. 1971, vol. 48.

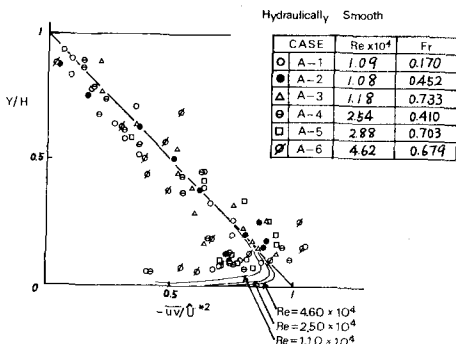


図1. Reynolds 応力分布の一例

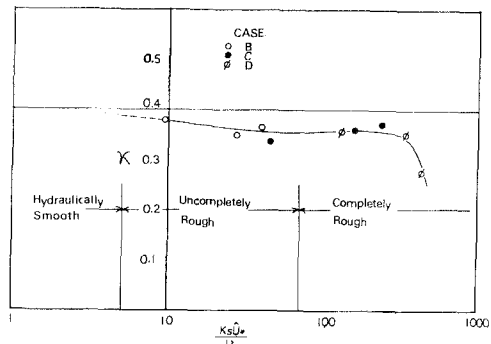


図2. 粗度による K の値の変化