

成層密度流の流速分布に関する実験

京都大学工学部 正員 井上 和也

京都大学大学院 学生員 O竹村 征三

1. はしがき

成層密度流における流速分布特性は、内部境界面におけるせん断応力を通じてその安定性や混合現象にも関連した基礎的な問題と考えられ、従来よりKeulegan, 奥田, 椎貝らによって研究がなされている。しかし、これらの研究においては、多くの場合、流れは層流と仮定されており、境界面に変動の存在する場合については十分に究明されていない。本報は、淡水を用いた成層密度流における、上のような場合の流速分布の測定結果より、その特性について、三の考察を行なったものである。

2. 実験装置および測定方法

実験水路は全長6m, 幅25cm, 境界面の長4mで、上、下層の水深は任意に変化させることができる。実験にあたっては、下層を静止させ、また、境界面において混合のあるときは、塩水を補給して、境界面の高さが一定になるようにした。

本実験では、流速は最大10%程度であって、通常のピトー管による測定は不可能なため、南の開発したサーミスタ流速計¹⁾を試作し、これによって測定を行った。すなわち、高さ3cm, 幅3cm, 長さ1.5cmの直方体の筒の前方にニクロム線のヒーター、後方に温度補償用ダイナミックサーミスタをとりつけたものである。ヒーターに25Vの電流を約0.2秒通じ水を暖め、サーミスタの温度変化(電気抵抗の変化)をペンオットロにより記録した。ヒーターに電流を通じた瞬間から、サーミスタの抵抗変化のピークの現われるまでの時間 ΔT より流速が求められる。較正は、パラフィン製固体粒子の速度によって行なった。図-1は、較正の結果である。なお、この流速計による測定可能な範囲は、20cm/s ~ 0.2%程度であった。

境界面の変動は、淡水と塩水で電導度が著しく変化することを利用し、1cm隔てた二本の白金線間の電気抵抗の変化を、ペンオットロで記録させた。測定は、すべて、淡水の流入端より1~2m下流で行なった。

3. 実験結果および考察

図-2は、境界面のこう配より求められた境界面における抵抗係数 f_i と、Keulegan数($\psi = U^3/\varepsilon g \nu$, $\varepsilon = (p_2 - p_1)/\rho_2$)の関係を示したものである。図中実線、破線および鎖線は、それぞれ椎貝, 岩崎および金子の導いた関係式である。図-3に、境界面のこう配より求められた摩擦速度 $U_{*h} (= \sqrt{f_i/2} U)$ と上層の平均流速 U_1 との関係を示す。同一の ε については U_1 の増加に伴ない U_{*h} は増加し、 U_1 のある範囲では若干減少してその後再び増加することがみられる。 f_i が ψ に逆比例するとすれば、 U_{*h} は $\sqrt{U_1}$ に逆比例

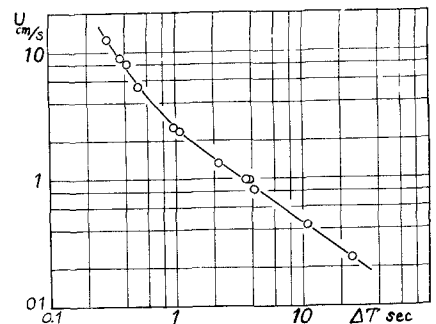


図-1 サーミスタ流速計較正図

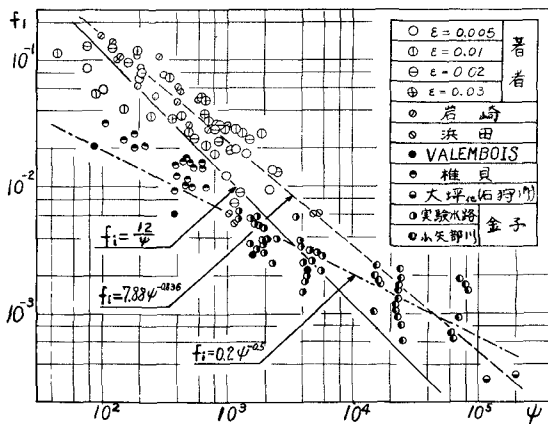


図-2 抵抗係数

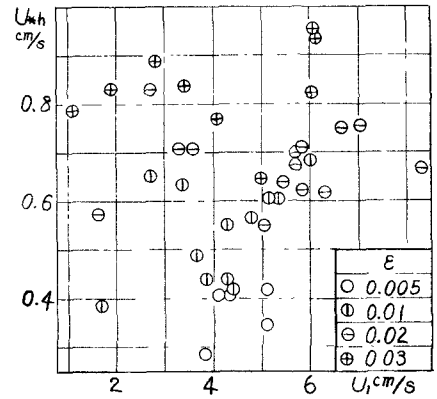


図-3

することになる。 $f_i \sim 1/U$ は、内部波の造波抵抗のみを表わす関係式であるが、以上のことより、境界面の抵抗を表わすのに、造波抵抗だけでなく、たとえば内部波の砕波(混合)による抵抗などを考慮に入れる必要があると思われる。

図-4は、上層の流速分布に対数則が適用できるとして、 $Re > 3000$ の場合について、 $du/dz = U_{xt}/Kz$ ($K=0.4$, z は境界面より上層にとった距離)から求めた U_{xt} を示したものである。これらの値は、図-2の U_{th} に比べてかなり小さい。対数則の適用にも疑問があるが、このことから、内部波や混合などが、境界面のせん断応力と流速分布との関係に大きな影響を与えているということができよう。

つぎに、図-5は、次式から求まる C_r と $U_{xt}k/\nu$ との関係を示したものである。

$$C_r = \frac{U - U_i}{U_{xt}} - \frac{1}{K} \ln \frac{U_{xt} z}{\nu}$$

ここで、 U_i は境界面における流速、 k は粗度高さである(z は 1cm とする)。本実験では k として便宜上、波高に対応する境界面の変動の標準偏差をとった。図中実線は、 k を粗度高さとしたときのColebrookの関係を示す曲線である。 C_r は、 $U_{xt}k/\nu$ の増加とともに減少することが見られ、このことより、内部波は、ある程度粗度としての効果を有するものと思われる。

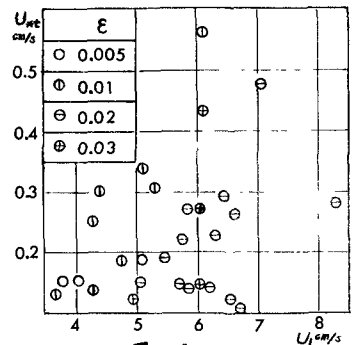


図-4

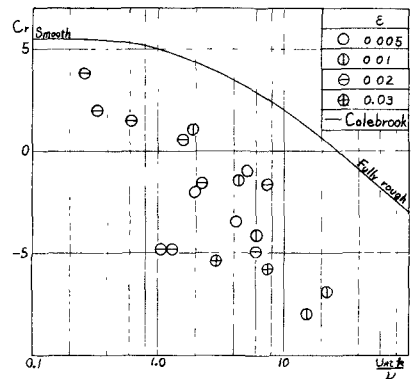


図-5

参考文献 1) I. Minami, "Study on the new measurement method of underground water velocity by electric current meter" Memoirs of the College of Agriculture, Kyoto Univ., No. 87