

神戸大学工学部 正員 笹 源 亮
 神戸大学工学部 正員 〇 梅田 眞三郎
 神戸大学工学部 学生員 福永 陽 一

(1) まえがき

急勾配の水路を流れる水流においてはしばしば空気混入現象がみられる。この現象は開水路水流における乱流境界層が発達して水面に達すると、水面は非常に激しく乱れてこの地味から泡立った真白な流れとなる現象であるといわれている。

そこでこのような空気混入が起る必要条件の把握検討及び混入過程の力学的機構の把握を目的に、鉛直に近い急勾配水路を用いて空気混入の実験的解析を行った。

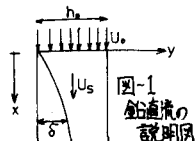
(2) 急勾配水路の流れ

急勾配水路の流れとして鉛直流の開水路水流を考える。境界条件として上流端に水深 h_0 、等流速分布 U_0 を与える。(図-1) 上流側においては開水路底面より境界層が発達し、境界層外の主流速 U_s は重力加速度の影響において流下方向に増加していくと考える。

いま、流れを非圧縮、定常流と考えると境界層の運動量方程式は摩擦速度を次のようにおくと、

$$-\frac{d}{dx} \int_0^{8(x)} U(x) dy + U_s \frac{d}{dx} \int_0^{8(x)} U(x) dy + g \delta(x) = \frac{\tau_0}{\rho} = \frac{U_s^2}{m^2} \quad \dots\dots 1)$$

連続の式は $\int_0^{8(x)} U(x) dy + U_s [h(x) - \delta(x)] = \delta \quad \dots\dots 2)$



ここで境界層流の流速分布に指数法則の $1/4$ 乗則を用い、境界層外の流速 U_s はベルヌーイの定理を応用すると、

$$\frac{U(x)}{U_s} = \eta^{1/4} \quad (\eta = \delta/\delta) \quad \dots\dots 3)$$

$$U_s = (U_0^2 + 2gx)^{1/2} \quad \dots\dots 4)$$

1) 2) 3) 及び 4) より限界点までの距離 x は

$$x = \frac{U_0^2}{2g} \left[\left(\frac{86m^2 g h_0}{63 U_0^2} \right)^{3/4} - 1 \right] \quad \dots\dots 5)$$

ただし、 m は粗面円管内のニクラゼの実験結果を用いて、限界点より上流側の泡立ち開始点の径深を使って算定した。

(3) 実験の概要

今回は図-2のような断面 5×5 cmのアクリル板水路をほぼ垂直に近い急勾配にたてて実験を行った。上流端を矩形断面の管路によるオリフィス型のゲートによって初期水深 h_0 を1cm～5cmの5種類に変えて実験を行った。水路床には平均粒径0.2mm, 2mmの2種類の砂をはりつけて粗度を上げてみた。なお、流速は水路下流端で流量を測定し上流端の断面積で除して初期流速を求めた。限界点とは境界層が水面に達したと思われる非常に泡立った真白な地味(白濁点)とした。

(4) 実験結果と考察

実験による測定結果と5)式による理論値より、限界点の位置 x と流量 $Q = U_0 h_0$ の関係を図-3に示す。粗度により限界点位置が異なることが明らかである。このような鉛直に近い急勾配流れにおける限界点の位置は図-4の理論値及び実験値が示すように $F_r = U_0 / \sqrt{gh_0}$ に大いに関係していると言える。図-3及び図-4から境界層方程式を

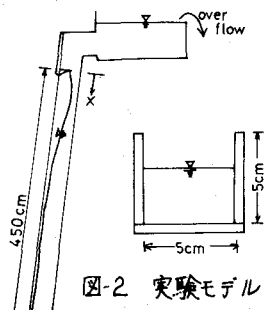


図-2 実験モデル

解くにあつて粗度に応じて摩擦速度を一定にとり、境界層内の流速分布を1/乗則に仮定してもかなりよい結果が得られるであらう。

また初期水深 $h_0=3\text{cm}$ のときの限界点とそのときの水深を基準にして図-5、図-6の両軸に示すように限界点一致するようにノルマライズすると、各水面形はそれぞれ此図のようになる。図-7は限界点における水深に対する限界点の位置との比と $Fr=U/\sqrt{gh_0}$ の関係を示す。粗度の大きい $k=0.2$ のうの実験値は理論値と Fr が大きくなるにつれて違っているのは、おそらく空気混入による流水断面が大きく変化しているため、すなわち $k=0.02$ に比べて空気混入量が多いために読みとり誤差が大きくなったのではないかと考える。以上の図-5、6、7及び実験観察から境界層の発達、当然であるが水路床粗度によって異なり、粗度が小さいほどその境界層の発達は遅く、限界点までの水面形の変化はよく似ているが、おそらく粗度があつたときと境界層の発達に著しく空気混入量も増えるがために水面形の変化は大きい。

今回の実験観察によると境界層の発達が水面に達したと思われる付近から完全に白濁し空気混入現象がみられる点を限界点として読みとったが、その点より上流側20~40cm付近から空気混入が始まり、しかもそれが水路床から気泡の泡立つのがみられ、除々に限界点までの間で気泡の泡立っていくのが激しくなる感じで、特に粗度のあつた場合にはその現象が著しかった。確かに境界層の発達は高速水流への空気混入の必要条件であるが、その他のメカニズムによる空気混入現象も検討する余地があるのではないかと考える。

なお、実験条件及び実験ケースを変えて別定中であるので発表時に追加補足する予定である。

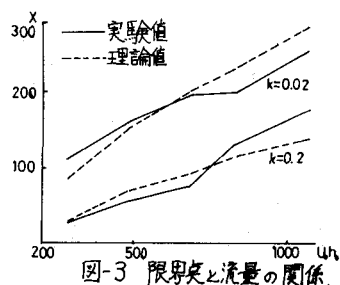


図-3 限界点と流量の関係

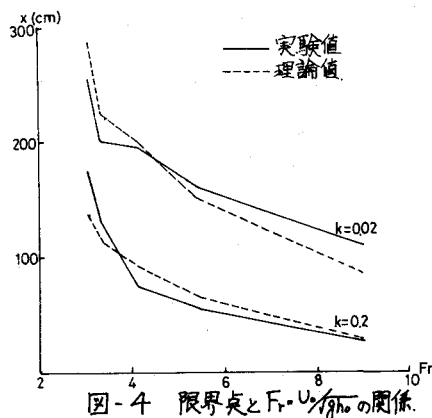


図-4 限界点と $Fr \cdot U / \sqrt{gh_0}$ の関係

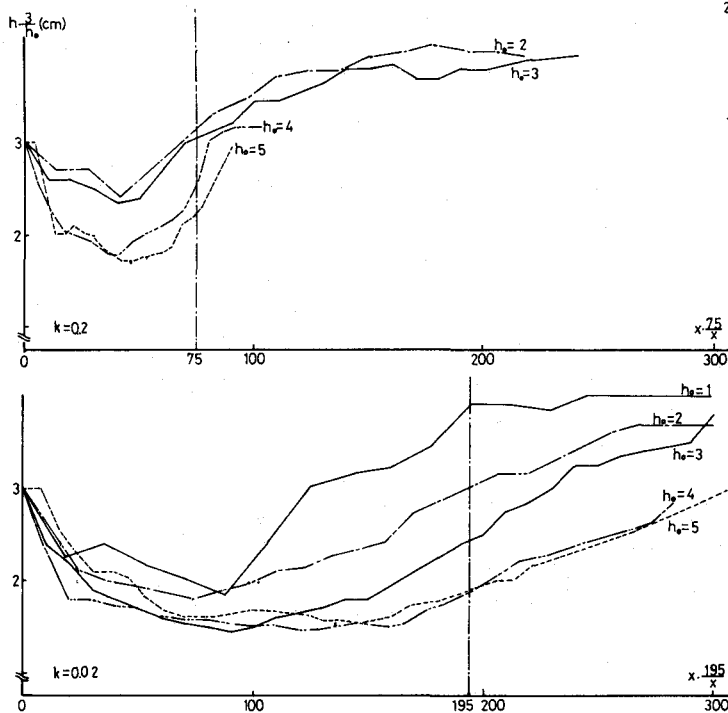


図-5、図-6 水面形と限界点

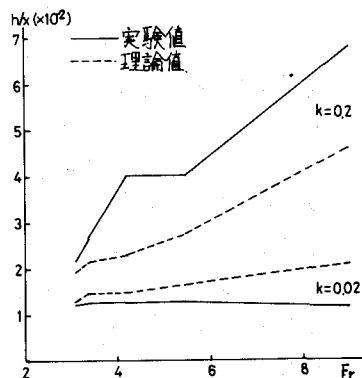


図-7 Fr と限界点と水深比の関係