

北海道大学工学部 正員 ○ 森 明 巨
 “ 学生員 佐々木哲郎

昭和45, 46年に水路床に粗度をほりつけた矩形の水路で並列らせん流に関する実験を行った^{(1),(2)}。今年度は、滑面水路で並列らせん流に関する基礎的実験を行った。使用された水路は長さ10m, 巾30cmで側壁はガラス張りである。水路の上流端には巾0.8m 長さ1.8m 深さ0.8mの整水槽が設置されている。流速測定は、外径6mm 内径3mmのピトー管を用いた。Fig-1に断面の平均流速 U_m と $I^{0.5}R^{3/2}$ の関係が、Fig-2に抵抗係数 f とレイノルズ数 Re の関係が示されている。これらの図から、本実験で使用された水路は水理学的に滑らかなものと考えられる。Iは水面勾配、Rは径深である。

1 水路横断方向の流速分布

Fig-3の様に座標を取る。x座標の原点は、水路上流端である。x方向の平均流速を U_x とおく。河床勾配 $I=1/200$, $H=6.0$ cm, $Q=18.0$ l/sec (RUN-1と呼ぶことにする), $x=5$ m, $y=3.0$ cmで $U_x(x)$ を測定した。RUN-1はFig-4からわかる様に、水路全長にわたってほぼ等流とみなせる。測定された $U_x(x)$ はFig-5に示されている様にuniqueではなかった。uniqueとならなかった原因を調べるために以下に述べる実験を行った。

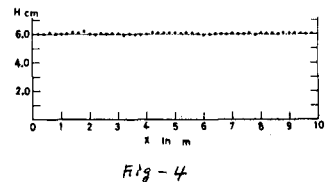
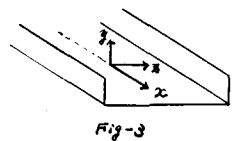
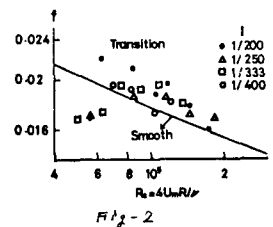
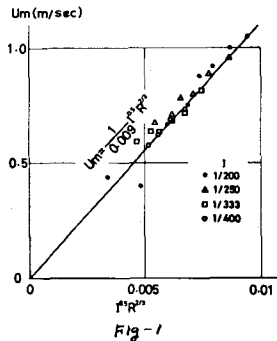
実験1 $I=1/200$, $H=7.2$ cm, $y=3.0$ cmで時間及び水温変化の影響を調べた。結果がFig-6に示されている。図から、時間的に安定であり水温にも影響されなるとはわかる。RUN-1の多くの実験から同じ結果を得た。

実験2 $Q=18.0$ l/secから $Q=22.5$ l/secへ、次に再び $Q=18.0$ l/secへゆくり Q を変化させた後 $U_x(x)$ を測定した。結果がFig-7に示されているが、図から $U_x(x)$ は変わらなるとはわかる。しかし、 Q が急激に変化させると変わるがあった。

実験3 Fig-8に示す様に $x=10$ cmに板を入れ、数秒後に板を取りはずして $U_x(x)$ を測定した。 Q は板を入れる時及びはずす時に急激に変化し、又、水面形が大きく乱れたが、Fig-7に黒線で示される様に $U_x(x)$ は変化しなかった。

以上の実験結果から、らせん流は一度できるとかなり安定なものであることがわかった。

実験4 $Q=0$ から $Q=18.0$ l/secまでゆくり Q を変化させて $U_x(x)$ を測定したが、Fig-9に○, △印で示す様に同じ形の $U_x(x)$ が測定された。しかし、その後19回条件を変えて $U_x(x)$ を測定したがFig-9に×印で示された2回を除いて全2回同じ形の $U_x(x)$ が得られた。



実験 1~3 と 4 では非常に矛盾した結果となった。

2 断面の流速分布

$z=0.27, 1.03, 2.0, 9.0 \text{ m}$ で y - z 面での流速分布を測定した。Fig-10 に等速線が z 軸と対数に取って示されている。 $z=1.03, 2.0, 9.0 \text{ m}$ では等速線がほぼ等間隔で引かれている。図から推定されるせん流の発達の様子が Fig-11 に示されている。すなわち、水路入口の河床で湧き上がりが起こり、流下とともに湧き上がりの位置が変化し、水面に達した後うせん流となる。 $z=2.0, 9.0 \text{ m}$ における実線は、等速線図から予想されるが今回の実験だけから明らかではない。

水路に砂を流すとたて筋が生ずるが、 $z=7.08 \text{ m}$ 付近で乱れが起こり実線の様なせん流が存在する可能性を示している。

3 水路入口における湧き上がり

湧き上がりの位置は時間とともにゆっくり変化するものと思われる¹⁾。したがって、変動流速は Low frequency 成分ととる。Fig-12 は $z=0$ での y を変化させて流速の変化を調べたものである。流速の変化はピトー管で測ったのであまり正確なものではない。Fig-13 に流速の変動の中 ΔU が横軸に y を対数に取って示されている。これらの点を直線で結び、 $\Delta U=0$ とする y を y_c とおくと、 $y \geq y_c$ は湧き上がりが達しない領域と考えられる。得られた y_c が Fig-14 に $\circ$ 印で示されている。 $\bullet$ 印は、平均流速の最大値を U_{max} とおくと、 $0.99 U_{max}$ とする y を示したもので、実線は、Prandtl, Schlichting によって計算された乱流境界層の厚さである。この図から、乱流境界層の発達が水路床からの湧き上がりと密接な関係をもつものと予想される。

y_c を図中に示した直線で表わすと

$$y_c = 0.34 x^{0.54} \quad \text{----- (1)}$$

となる。湧き上がりの速度を $U_y(x, y)$ とおくと

$$U_y(x, y_c) \leq U_x(x, y_c) \frac{dy_c}{dx} = F(x) \quad \text{----- (2)}$$

$y=y_c$ における U_x が Fig-15 に示されている。図からわかる様に $U_x(x, y_c) \approx \text{const.}$ であるから

$$F(x) \approx \text{const.} x^{-0.46} \quad \text{----- (3)}$$

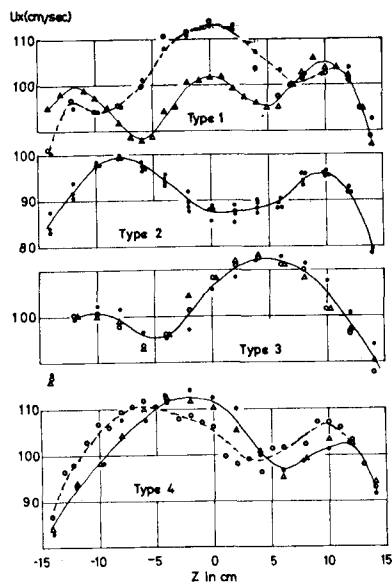


Fig-5

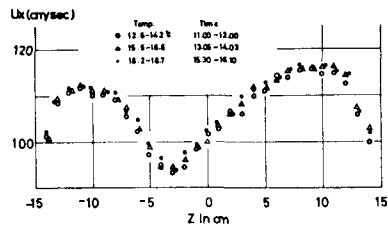


Fig-6

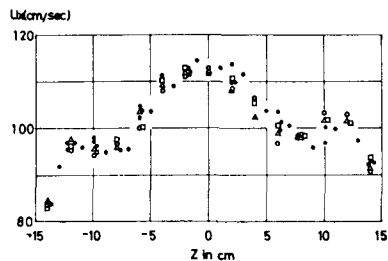


Fig-7

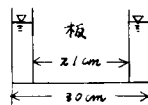


Fig-8

となる。 $U_y(x, y_0) \approx F(x)$ と考えられるから、 U_y は、河床付近で大きな値をもつであろう。

4 ラせん流の強度

U_s を次式で定義する。

$$U_s(y) = \left[\frac{1}{B-2y} \int_{\frac{B}{2}-y}^{\frac{B}{2}+y} \{U_x(y, z) - \bar{U}(y)\}^2 dz \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{U}(y) = \frac{1}{B-2y} \int_{\frac{B}{2}-y}^{\frac{B}{2}+y} U_x(y, z) dz$$

U_s はラせん流の発達の場合、 x は、強度に対応する量である。

RUN-1, $y=3.0$ cm, $x=5$ m について計算された U_s が Fig-16 に示されている。図中に○印で示されたものは、1の実験4において $U_x(z)$ の形が同じとみなされたものである。

Fig-17, 18 に U_s の y 及び x -方向の変化が示されている。

Fig-19 は、 I 及び H を変えて $B/H=0.5$ で得られた U_s/U_x で、横軸に B/H を取って示したものである。

Fig-16, 17, 18 の結果から考えては、まじりたことは無いが、 U_s はほぼ U_x 程度の大きさを持つものと考えられる。

着者が行った実験領域よりさらに上流で、 y が小さいところでは、Kline⁽¹⁾ が示したた渦流の burst が存在するものと思われる。

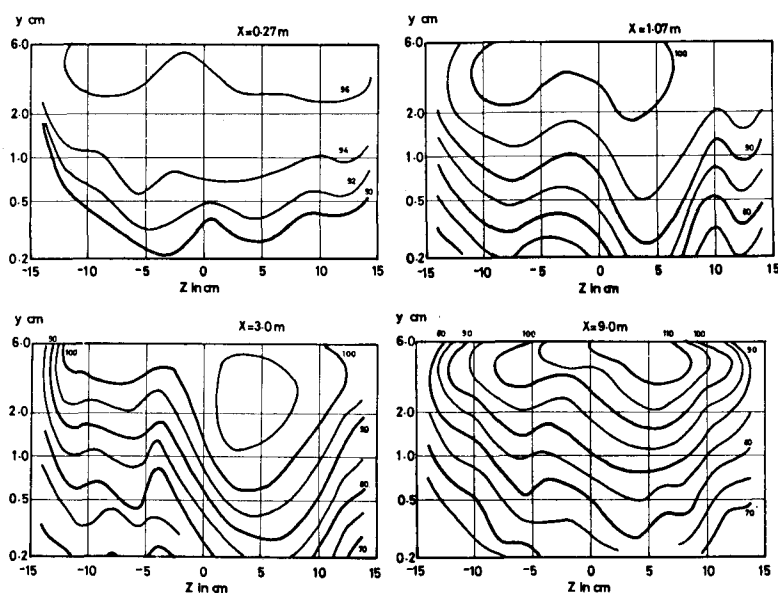
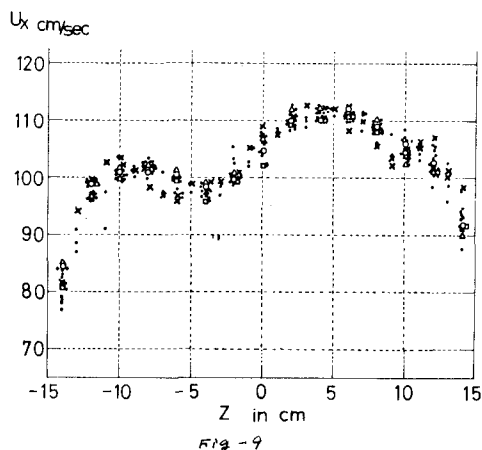


Fig-10

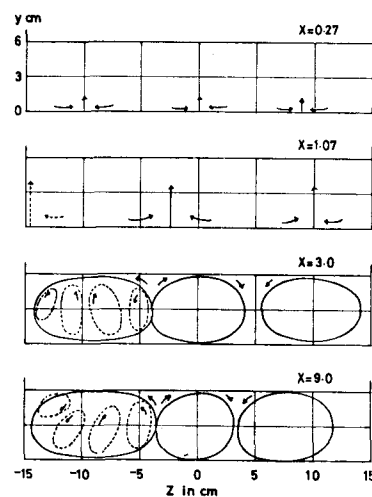


Fig-11

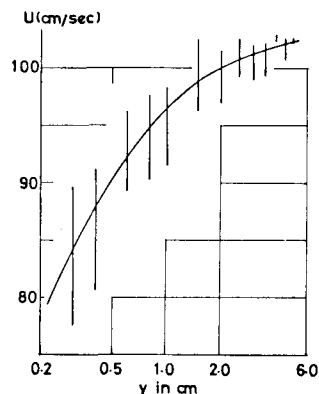


Fig-12

彼等の実験によると、burstの回数は U_x と密接な関係がある。 $U_s \propto U_x$ であることも考えると興味ある結果がある。

以上の実験結果より、 U_x が unique にならない原因は次の様に考えられる。

すなわち、水路入口で強い渦が上がりが起こり、その位置は流下とともに変わるが、変化の仕方は unique ではなく、所定の流量に達するまでの Q の変化の仕方に依存するが、あるいは確率的である。

Fig-20 は、 $I=1/200$ 、 $B/H=0.5$ で H を変えて得られた $U_x(x)$ であるが $H=1 \sim 20$ cm にあつて、うせん流の存在は明らかではない。しかし、木下の自然河川における写真測定⁽¹⁰⁾、E. Levi⁽¹¹⁾ の実験値によると B/H がかなり大きくともうせん流は存在する様がある。

謝辞

土木工学部土木工学科板倉助教教授に有意甘助言をいただいた。謝意を表します。

参考文献

- (1) 森明臣 土木工学部研究報告 中13号
- (2) 森明臣、黒木幹男、岸力
土木学会 中26 周年講 P305
- (3) S. J. Kline, W. C. Reynolds, F. A. Schraub
and P. W. Runstadler
J. Fluid. Mech. (197), vol. 50, part 4 PP 741-773
- (4) 木下良作 写真測量 vol. 6 no. 1 (1967)
- (5) E. Levi Jour. Hyd. Reser. (1965) NO. 3

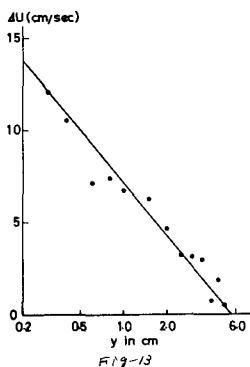


Fig-13

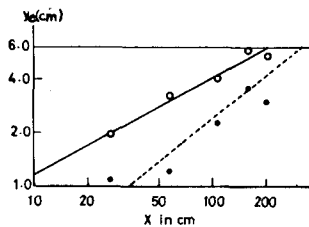


Fig-14

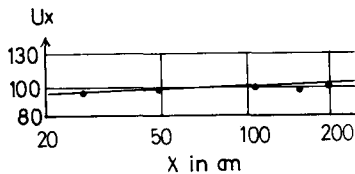


Fig-15

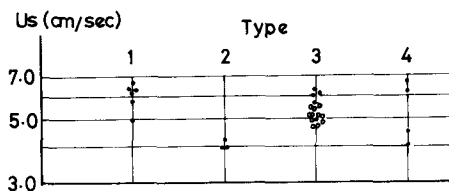


Fig-16

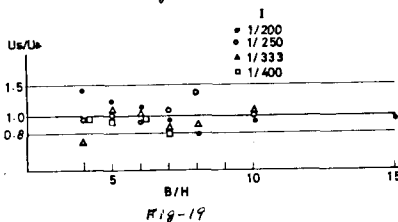


Fig-19

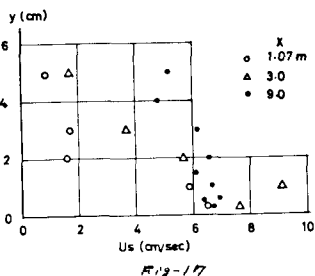


Fig-17

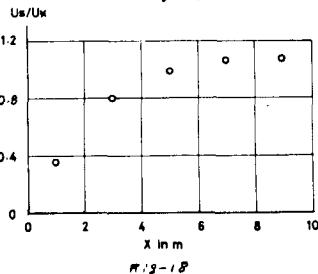


Fig-18

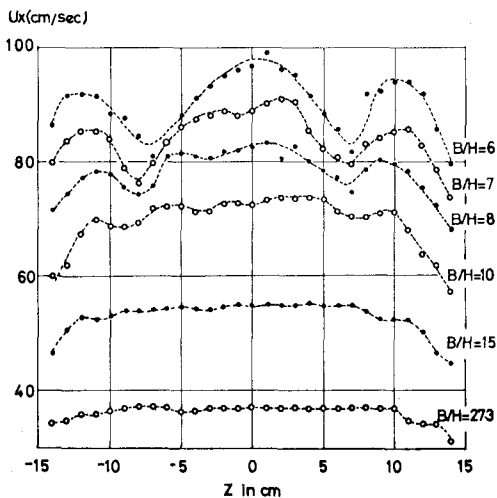


Fig-20