

II-107 用水路で見いだされた二次流に関する実験

北海道大学工学部 正員 〇 森 明 巨

〃 〃 黒 木 幹 男

〃 〃 岸 力

はじめに

昭和44年、巾30cm、長さ10mの水路で小型フロペラ流速計を用いて流速変動を測定したところ、図-1に示すような記録が得られた。図に示す流速変動は数十秒程度の長周期変動を含んでいる。記録は1秒間の平均値を30分間測定したものであるが、

$TE \cdot \bar{U} / H$ (TE : Integral time scale, $\bar{U}$: 平均流速, H : 水深) は20~50となつた。水路 upstreamに設置されているタンクの水位変動を測定したが有意なものは見られなかった。

木下⁽¹⁾は、洪水時における航空写真の解析から図-2に示すような水の動きを考え、これを並列ラセン流と呼んだ。並列ラセン流の沈み込む部分は、湧き上がる部分に比べ10~20%流速が早く、この部分は河川の縦断方向に連なっており、木下はこの線を収斂線と呼んでいる。

木下の実験によると収斂線は流下方向に直線に甘らずに曲線を描いており、又、流速分布は横断方向に早い部分と遅い部分が交互に現われている。

これらのことから著者等は、長周期変動発生モデルとして、上述の収斂線がゆっくりた右に振動するようものも考えてみた。

木下は、移動床水路で適当な水理条件の時にたて筋が発生することを報告しているが、著者等の使用した水路でも明確なたて筋の発生がみられ、いわゆる並列ラセン流が発生していることを暗示している。

本報告は、上述のモデルの妥当性を確かめるために、基礎的な実験として、横断方向に平均流速分布(図-4)を測定し、その分布の変動の大きさと水理条件との関係を調べ、更に、特定の水理条件で横断面で流速、skewness, σ^2 (流速変動の分散)の分布を測定し、結果を整理したものである。

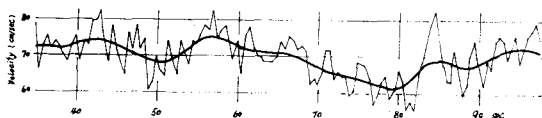


Fig-1

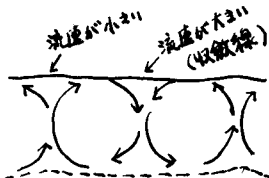


Fig-2

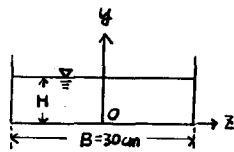


Fig-3

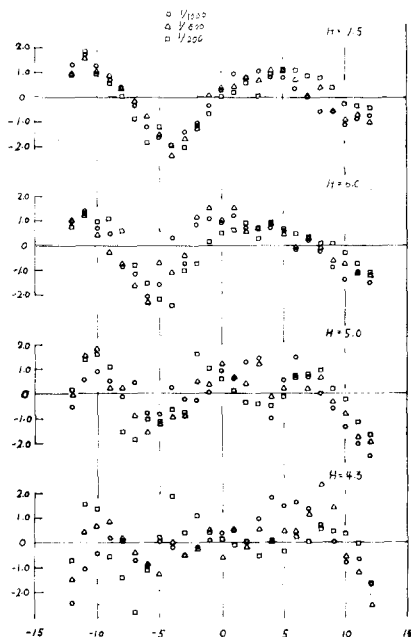


Fig-4

水路横断面の座標軸を図-3の様に取、流下方向の平均流速を $U(z)$ とおく。 $U(z)$ の横断方向の平均値を $\bar{U}$ とおき、 $\{(U(z) - \bar{U})^2\}^{\frac{1}{2}} = \bar{U}'$ とおく。

実験結果

実験に使用された水路は巾 30 cm、長さ 10 m の鋼鉄製可変勾配水路で、側壁はガラス張りになっており水路床には直径 2 mm の粗度をほりつけてある。測定は水路上流端より 5 m の所で行なわれた。

$U(z)$ は $z = -12$ cm から $z = 12$ cm まで / cm 毎に 25 点測定した。 z は 1.2 cm に固定し、測定時間は 100 秒である。流速測定は直径 18 mm のフロペウ流速計とユニバーサルカウンタに接続して行なった。実験の概況を表-1 に示す。

表-1

RUN	河床勾配 S	H	水面勾配 I	流量 Q (l/sec)	平均流速 $\bar{U} = Q/B \cdot H$ (cm/sec)	エネルギー勾配 I_e	径深 R_b (cm)	摩擦速度 $U_* = \sqrt{g R_b I_e}$ (cm/sec)	粗さ数 Fr	$\bar{U}'$ (cm/sec)
1	1/1000	7.5	0.00354	10.4	46.22	0.00280	6.20	4.12	0.59	2.99
2	"	6.0	0.00274	7.1	39.44	0.00224	5.04	3.33	0.56	1.98
3	"	5.0	0.00251	4.9	32.67	0.00218	4.39	3.06	0.50	1.57
4	"	4.3	0.00249	3.7	28.68	0.00220	3.87	2.89	0.47	1.21
5	1/600	7.5	0.00377	11.2	49.78	0.00299	6.13	4.24	0.64	3.23
6	"	6.0	0.00296	7.5	41.67	0.00268	5.06	3.68	0.59	2.17
7	"	5.0	0.00266	5.3	36.33	0.00240	4.36	3.20	0.54	1.50
8	"	4.3	0.00265	4.5	34.88	0.00237	3.75	2.95	0.53	0.83
9	1/200	7.5	0.00683	16.6	73.78	0.00515	5.85	5.43	0.97	4.36
10	"	6.0	0.00625	11.2	67.22	0.00509	4.97	4.98	0.89	3.02
11	"	5.0	0.00517	8.3	55.33	0.00507	4.29	4.62	0.85	1.72
12	"	4.3	0.00505	5.2	42.31	0.00503	3.97	4.39	0.65	1.10

表-2

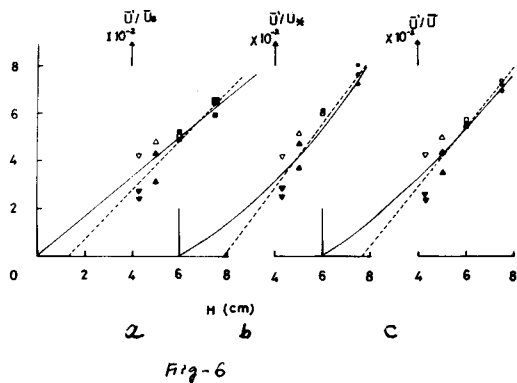
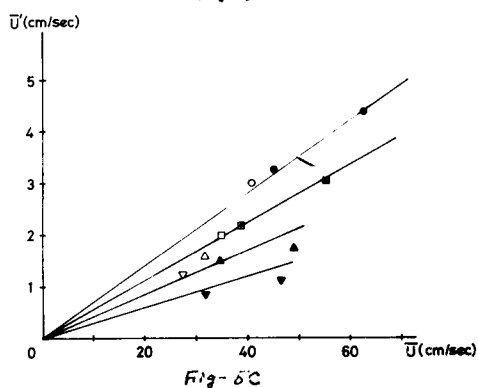
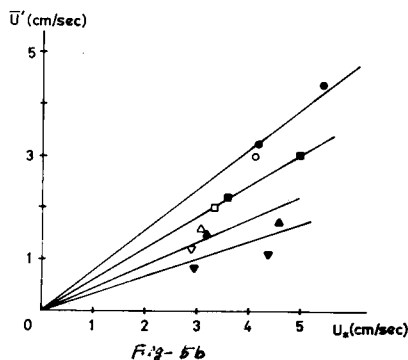
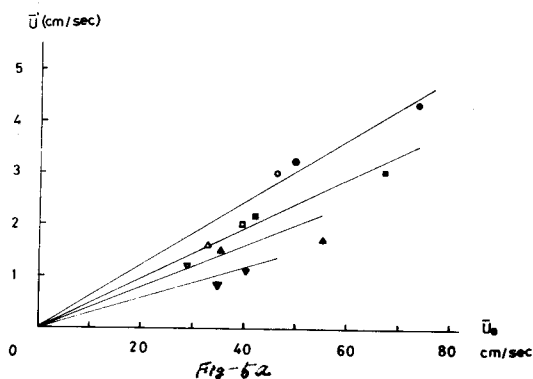
S \ H	7.5	6.0	5.0	4.3
1/1000	○	□	△	▽
1/600	◎	⊠	▲	▼
1/200	●	■	▲	▼

図-4 に $U(z)$ が規準化された量 $(U(z) - \bar{U}) / \bar{U}'$ で示されている。

図は水深が $U(z)$ の分布に大きな影響を写していることを示しているが、 H が小さくなるとそれぞれの流れの $U(z)$ の分布形は、おおよその形は一致しているが、細かき点で多少の差がりを見せている。これは、 $\bar{U}'$ の値が小さいために測定誤差が拡大されているためと思われる。

図-5 a, b, c (図-5. b で使用されている記号の意味は表-2 に示されている。) に $\bar{U}'$ と $\bar{U}_B$, U_* 及び $\bar{U}$ との関係を示す。図中に示された実線は、図-4 に示された結果から考えて、水深毎に $\bar{U}'$ との関係を適当な直線で結んだものである。 $H = 7.5, 6.0$ は比較的良好な直線で近似されているが、 $H = 5.0, 3.0$ ではバラツキが大きい。これは、水深が小さくなると、 $U(z)$ の測定誤差が $\bar{U}'$ に大きく影響するためと思われる。

図-6 a, b, c に $\bar{U} / \bar{U}_B$, $\bar{U} / U_*$ 及び $\bar{U} / \bar{U}$ と H の関係を示す。図中の実線は $H = 7.5, 6.0$ と重視



してひいたものであり、実線は総てのデータと均等にみて適當な直線に近似したものである。実線の様な関係であるならば、 $H=1\sim 2\text{ cm}$ で $\bar{U}'=0$ となる。

図-6aに示される実線は次式で表わされる。

$$\bar{U}'/\bar{U}_B = 0.27 H/B - 0.014 \quad \text{-----} (1)$$

実線は次式で表わされる。

$$\bar{U}'/\bar{U}_B = 0.25 H/B \quad \text{-----} (2)$$

(1), (2) 式に流量 $Q = \bar{U}_B \cdot H \cdot B$ を用いると次式の様になる。

$$\bar{U}' = 0.27 Q/B^2 - 0.014 \bar{U}_B \quad \text{-----} (1')$$

$$\bar{U}' = 0.25 Q/B^2 \quad \text{-----} (2')$$

(1'), (2') 式は $\bar{U}'$ が流量 Q とともに増大することを示している。このことは、自然河川において木下(1)の指摘する、いわゆる $B=0$ が、平水時よりも増水時においてよりさかんである、ということを考えると興味ある結果である。

次に RUN-1 の流れで、横断方向に 25 点、水深方向に 6 点、全断面で 150 点それぞれ 30 分間流速変動を測定し、得られた平均流速、分散及び Skewness の等高線を図-7a, b, c に示す。

図-7a から流れに二次流の発生していることが推察される。

図-7b, c に示された結果は、次の様に考えられる。

a 図に示される平均流速の大きい所では、平均流速の小さい所から流速の遅いものが同散的に流れ

込み Skewness を負にし、平均流速の小さい所では、この逆となる。中間部では、両者の勢力が同じくらいになり Skewness は 0 に近すぎ、分散は中ない流速の分布があり大きくなる。

図-8a,b に RUN-1 で水深を替えたときの $U(x)$ (規準化されている) の分布及び U' の変化が示されている。

$U(x)$ の分布は $x=-11$, $x=4$ に 2 つのピークがあるが、河床に近づくとともに $x=-11$ のピークが $x=4$ のピークに比べわずかに大きくなっている。

U' は河床及び水面近くで小さく、水面からほぼ 6 割のところで最大となっている。

この結果は Fig-7a に示される様に、平均流速の最大の位置が必ずしも水面ではないことから推察される。

以上の実験結果から、並列ラセン流のようなものが発生しているならば、例えば RUN-1 では図-9 に示したような水の動きを考えることができる。

謝 辞

本研究における実験に、当時の本学学生 米田川隆吉君 (現在大林組勤務) の熱心の協力を得た。深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 木下良作; “航空写真による洪水流の解析” “写真測量” vol.6 No1 1967

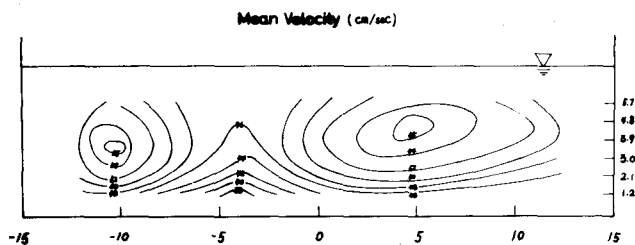


Fig-7a

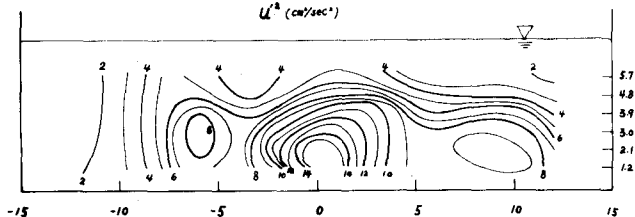


Fig-7b
Skewness

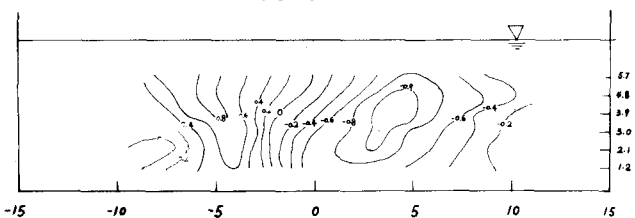


Fig-7c

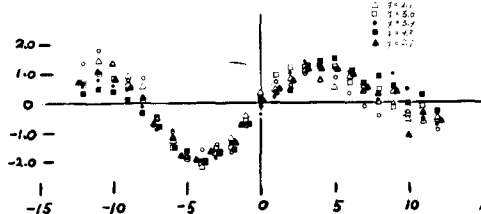


Fig-8a

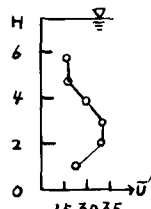
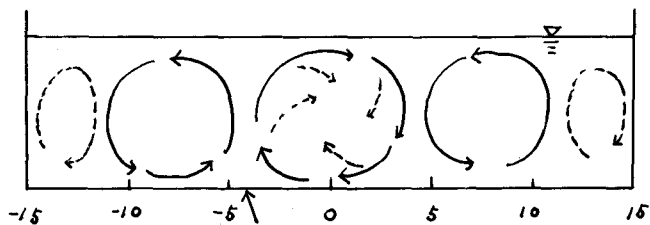


Fig-8b



たて筋の発生した所
Fig-9