

1. はじめに 沖積蛇行の発達は、流速分布の平面的偏りによってうながされるが、その偏りは、河床の交互起伏と流路の曲りによって生ずるものといえる。したがって、蛇行の発達を論ずるためには、各流路条件のもとでの平衡河床形状やその移動速度を知ることが重要になるが、これらの性状を理論的に求めようとすれば、逆に河床波上の流れの詳しい知見が必要になることは当然である。本報告は、直線および蛇行流路内の発達した砂州上の流れを、実験と理論から調べ、着目すべき流れの特質がいかなる場所にどのような現われ方をするかを見ようとするものである。

2. 実験 実施実験の概要は、表-1に示すとおりである。蛇行流路の平面形状は、(4)式において $1/R = \omega \cdot \pi / 6$ としたもの(すなわち最大偏角 30° の S.G.C.) である。河床形状は、ポイントゲージにより、横断方向1cm間隔に31点、流下方向10cm間隔に22点(1波長)測定し、流速は径3mmのプロペラ式流速計によって各横断測線ごとに、横断方向3cm間隔に11点、水深方向3mm間隔に1~5点測っている。結果の河床形状は、図-1,4に示すとおりである。同図中には底面流速のベクトルも描かれている。水深方向に平均した実測流速のベクトルは、図-2,5に示すとおりである。

表-1 実験の主要水理量

	直線水路実験	蛇行水路実験
水路長 (cm)	680	770
水路幅 $\bar{B}$ (cm)	30	30
蛇行最小曲率半径 $\bar{R}$ (cm)	—	66.87
蛇行長 $\bar{L}$ (cm)	220	220
平均河床勾配	1/70.9	1/70.9
平均水深 H_0 (cm)	0.77	0.89
平均流速 U_0 (cm/s)	32.55	32.21
摩擦係数 f	0.020	0.024
$\omega = 2\pi \cdot H_0 / \bar{L}$	0.022	0.025
$\varepsilon = 2H_0 / \bar{B}$	0.051	0.059
$F = U_0 / \sqrt{gH_0}$	1.185	1.091

3. 二次元浅水流式による解析 昨年³⁾と同様に流れの基礎式を(1)~(3)式にて表わす。式中の記号の意味は全て昨年と同じである。ただし、河床形状は実測の砂州形状をあたえるために、(5)式のような二重フーリエ級数表示をおこなう。同式中の A_{sij}, A_{cij} は河床波の成分振幅(フーリエ係数)であって、 η の実測値から計算される。さて、従来と同じ方法で M. W. R. による解を求めることにすれば、 u, v, ξ の試行関数は、(6)~(8)式にて表わされる。方程式(1)~(3)から(6)~(8)中の未知係数 $a_{ij} \sim f_{ij}$ の満すべき条件を求めると(9)式となる。ここで、 δ_{1j} および δ_{ik} は、それぞれ $j=1, i=\text{奇数}$ のときのみ1をとり、他は0となることを意味する。式(9)の解は、文献2)に示すとおりであるが、 $i=j=1$ とすれば昨年の結果と一致する。以上の方法によって得た解のベクトルを描くと、図-3, 6のようになる。ただし、図の(a)は河床の成分振幅のうち最大値を示す A_{c11} に対して実測最大波高をあたえ、他の成分を全て省略した場合の結果を示すものであり、昨年と同一条件下の流速解を示している。(b)は、全振幅成分を用いた結果を示すものであり、実測河床をあたえたときの流速解を意味する。

4. 砂州上の流れの特質 得られた流速解は、二次元線形化方程式の、しかも近似解であって、自から内容に制約があることは明らかであるが、河床起伏による摩擦力の変化に対しては敏感

$$\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{1}{F^2} \frac{\partial \xi}{\partial s} + f(u - \frac{1}{2}(\xi + \eta)) = 0 \quad (1) \quad \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\varepsilon}{F^2} \frac{\partial \xi}{\partial n} + \frac{1}{n} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial \xi}{\partial s} + \varepsilon \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{\partial \eta}{\partial s} = 0 \quad (3) \quad \frac{1}{n} = \frac{1}{R} \cos \omega s \quad (4)$$

$$\eta = \sum_{i=1,3,5,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \sin \frac{i\pi}{2} n (A_{sij} \sin j\omega s + A_{cij} \cos j\omega s) + \sum_{i=0,2,4,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \cos \frac{i\pi}{2} n (A_{sij} \sin j\omega s + A_{cij} \cos j\omega s) \quad (5)$$

$$u = \sum_{i=1,3,5,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \sin \frac{i\pi}{2} n (a_{ij} \sin j\omega s + b_{ij} \cos j\omega s) + \sum_{i=0,2,4,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \cos \frac{i\pi}{2} n (a_{ij} \sin j\omega s + b_{ij} \cos j\omega s) \quad (6)$$

$$v = \sum_{i=1,3,5,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \cos \frac{i\pi}{2} n (c_{ij} \sin j\omega s + d_{ij} \cos j\omega s) + \sum_{i=0,2,4,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \sin \frac{i\pi}{2} n (c_{ij} \sin j\omega s + d_{ij} \cos j\omega s) \quad (7)$$

$$\xi = \sum_{i=1,3,5,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \sin \frac{i\pi}{2} n (e_{ij} \sin j\omega s + f_{ij} \cos j\omega s) + \sum_{i=0,2,4,\dots} \sum_{j=0,1,2,\dots} \cos \frac{i\pi}{2} n (e_{ij} \sin j\omega s + f_{ij} \cos j\omega s) \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} j\omega & f & 0 & 0 & \frac{j\omega}{F} & -\frac{f}{2} \\ f & -j\omega & 0 & 0 & -\frac{f}{2} & -\frac{j\omega}{F} \\ 0 & 0 & j\omega & 0 & 0 & -(-1)^i \frac{i\pi \varepsilon}{2F^2} \\ 0 & 0 & 0 & j\omega & (-1)^i \frac{i\pi \varepsilon}{2F^2} & 0 \\ j\omega & 0 & 0 & (-1)^i \frac{i\pi \varepsilon}{2} & j\omega & 0 \\ 0 & j\omega & -(-1)^i \frac{i\pi \varepsilon}{2} & 0 & 0 & j\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{ij} \\ b_{ij} \\ c_{ij} \\ d_{ij} \\ e_{ij} \\ f_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f}{2} A_{sij} \\ \frac{f}{2} A_{cij} \\ -\frac{(-1)^{(i+1)/2}}{\varepsilon} \delta_{1j} \omega^2 k^2 \frac{4}{\pi R} \\ 0 \\ -j\omega A_{sij} \\ -j\omega A_{cij} \end{bmatrix} \quad (9)$$

であり、起伏にあわせた速度変化すなわち水流の蛇行性が、直線・蛇行のいずれの流路についても明りょうに現われている。このことは、砂州上の流れの大局的性質が、二次元流としてまず把握しうることを示すが、しかし実測の流れは次の点で異なる性質を示す。(Ⅰ)砂州の前縁部、とくに最大の深掘れが生ずる流れの曲頂部(水衝部)附近においては底面流線と表面流線の向きが明らかに異なっており、三次元的流れが生じている。この現象は、直線・蛇行のいずれにも見られるが、結果的に横断方向流速を大きくしており、二次元解との違いを際立たせている。(Ⅱ)蛇行流路においては、凸岸頂部の下流において平面的はく離が見られる。この部分は、堆積の最も顕著なところでもあり、水衝部での洗掘の進行とともに生ずる水位の低下によって、やがて水面上に浮き上がることが多い。このことは、水流の一層の集中を生みだし、(Ⅰ)の現象を強めるものとなる。図-7,8は、蛇行流路における流れの転向部(St. 15)および水衝部(St. 21)について、理論と実測の結果を詳しく見たものである。上述の(Ⅰ)(Ⅱ)の現象が弱いSt. 15では、二次元理論と実測結果はよく一致しているのに対し、これらの現象の明りょうなSt. 21では両者はかなりかけ離れたものとなっている。

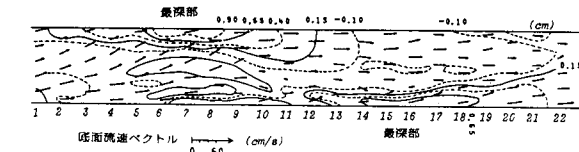


Fig. 1 直線流路における河床形状および底面流速ベクトル図

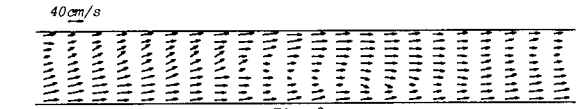


Fig. 2

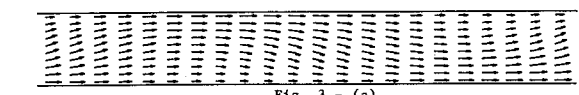


Fig. 3 - (a)

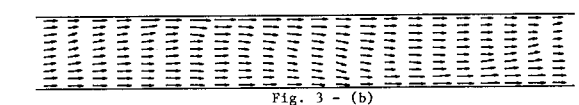


Fig. 3 - (b)

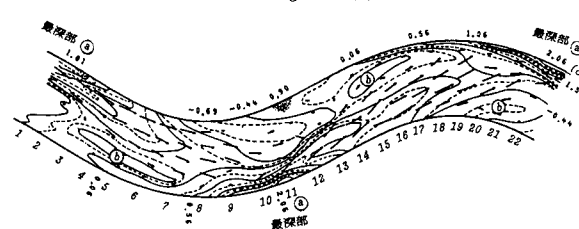


Fig. 4 蛇行流路における河床形状および底面流速ベクトル図

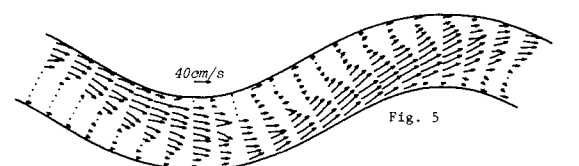


Fig. 5

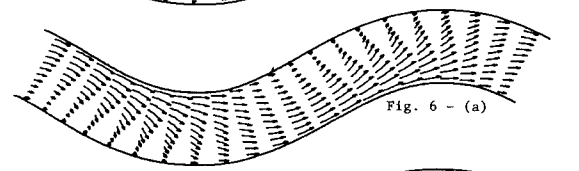


Fig. 6 - (a)

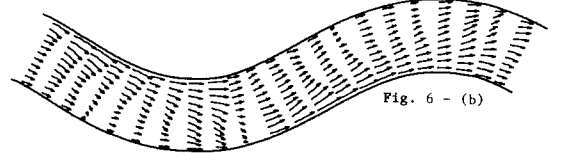


Fig. 6 - (b)

および水衝部(St. 21)について、理論と実測の結果を詳しく見たものである。上述の(Ⅰ)(Ⅱ)の現象が弱いSt. 15では、二次元理論と実測結果はよく一致しているのに対し、これらの現象の明りょうなSt. 21では両者はかなりかけ離れたものとなっている。

- 参考文献 1)長谷川・山岡・岡：昭和55年度土木学会北海道支部論文報告集Ⅱ-16,1981
2)長谷川・山岡・岡地：同上Ⅱ-17,1981
3)長谷川：土木学会第35回年講概要Ⅱ-139, 1980

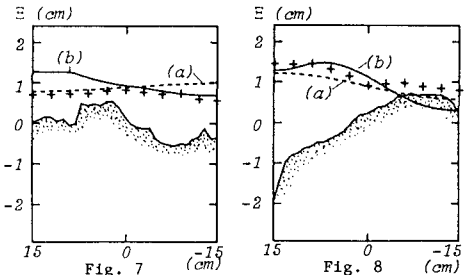
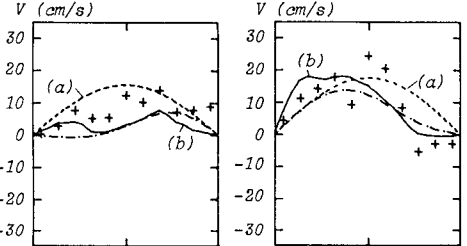
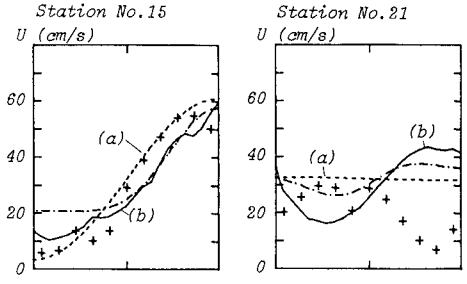


Fig. 7

Fig. 8