

直線水路における蛇行流について

京大防災研究所 正 田中祐一朗

1. はしがき, 移動床水路では河床面に種々の形の Sand Waves が形成され, これらの一形態である Dunes (砂礫堆) は蛇行流の発生, 発達に密接な関係のあることが認められている。これについてはすでに木下らにより数多くの実証的, 実験的研究が進められ, 多くの特性が明らかにされている。本研究は直線水路における Sand Waves 上の流れの流速分布, 圧力分布などの実測結果に基づいて, 直線水路における蛇行流, とくに砂礫堆の形成について若干の考察を加えたものである。

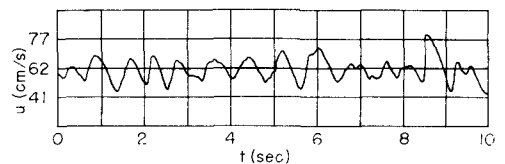
2. 実験およびその結果, 実験に用いた水路は断面 $50 \times 50 \text{ cm}$, 長さ約 18 m の両面ガラス張りのものである。実験用砂は平均粒径 0.73 mm のほぼ均一な川砂である。行な, た実験は表-1に示す通りである。河床こう配を $1/200$ とした後 15 l/s の水を流し, Sand Waves が十分発達して平衡状態に達した後の水面および河床形状をポイントゲージにて測定した。また通水中, 側面からの写真撮影により砂礫堆の移動状況を読み取, た。その後河床をセメントにて固定し, 表-1に示すような5種類の流量について, 流速分布と圧力分布をピ

ット管と差圧計を用いて測定した。圧力分布形は水面形状とよく対応しており, ごくわずかに下流側へ位相がずれているようである。河床には三次元的な極めて複雑な形状の Dunes が形成されており, このため流速分布の測定結果からみると, とくに底面付近の水流は横方向の流れを

実験	流量 $Q (\text{l/s})$	水深 $h (\text{cm})$	平均流速 $U (\text{cm/s})$	フルード数 F	レイノルズ数 $Re \times 10^4$
1	15	4.76	63.0	0.92	3.0
2	4	3.13	25.6	0.46	0.8
3	23.5	6.70	70.2	0.86	4.7
4	30.5	7.98	76.4	0.86	6.1
5	41.2	9.91	83.2	0.84	8.2

表-1. 実験の種類

考えないと連続の関係を満足しない。図-1に流速の測定結果の一例を示す。図に見られるようにかなり顕著な周期的変動が現われている。ピット管による測定ではいわゆる乱れによる変動のような高周波のものは減衰して現われ

図-1. U の測定結果の一例

ない筈である。したが, てここに見られるような変動は河床に Dunes が形成された結果としての境界面の変形に起因するものと考えられる。この流速変動が現われる原因の一つとして横方向の流れによる水面振動が考えられる。このような横方向の流れは Sand Waves の三次元性ひいては蛇行流の生成に重要な影響を及ぼすものと思われるので, この点について若干の検討を行なうことにする。

3. 横断方向の水面振動に関する考察, この問題についてはすでに Anderson によって検討が行なわれている。彼は何らかの原因で平均水位以上に盛り上, た水塊が横断方向に伝わる状態を考え, この振動をバネの場合と同様に考え次式を用い $T = 2\pi \sqrt{M/K}$ ----(1) 7次の関係を得ている。ここに M : 水塊の質量, K : バネ常数, $\lambda/\sqrt{A} = (2\pi/\beta)^{1/2} F^{1/2}$ ----(2)

A: 流水断面積, λ : 波長, F: フルード数, β : 実験常数である。この(2)式は図-2に見るように従来の多くの実験値とは傾向が異なる。一般に振動周期T, 波長 λ , $T = \lambda/C \dots (3)$ 伝播速度Cの関には(3)の関係がある。実験水路および実河川では表面波高に比べて水深があまり大きくないから、浅水波と考えると伝播速度は $C^2 = (g\lambda/2\pi) \tanh(2\pi h/\lambda) \dots (4)$ と与えられる。いま波長としてどのようなものを用いるかが問題であるが、水路中のn倍振動も考えると $\lambda = nB \dots (5)$ となる。したがって(3), (4), (5)式より次式を得る。

$$T = \sqrt{(2\pi n B)/g} \cdot \sqrt{\coth(2\pi h/nB)} \dots (6)$$

図-3は実測の流速変動を用波数分析器によって解析したときの卓越周期と(6)式を比較したもので、実測の周期は上式をほぼ満足しているものと思われる。このようなTなる周期変動をなすものが平均流速 $\bar{u}$ で流下すると流下方向に、

$$L = T \cdot \bar{u} = \sqrt{2\pi n} \cdot \sqrt{Bh} \cdot F \cdot \sqrt{\coth(2\pi h/nB)} \dots (7)$$

なる波長の振動が誘起される。上式を書き直すと次のようになる。

$$F = (1/\sqrt{2\pi n}) \cdot (L/\sqrt{Bh}) \cdot \sqrt{\tanh(2\pi h/nB)} \dots (8)$$

ここでnの値が問題である。図-3では $n \approx 1$ とも見られるが、nは各種の flow condition に対して一定でなく、下および h/B などの影響を受けるものと思われる。いま(6)式から実測のTを用いて $\sqrt{n \cdot \coth(2\pi h/nB)}$ の値を求め、これと $F \cdot \sqrt{\coth(2\pi h/B)}$ との関係を調べてみると、図-4のように両者はほぼ比例関係にあると思われる。そこで比例定数をmとすると、 $\sqrt{n \cdot \coth(2\pi h/nB)} = m \cdot F \cdot \sqrt{\coth(2\pi h/B)} \dots (9)$ となる。図-4から $m: 1 \sim 1.5$ である。(9), (10)式より

$$F^2 = (1/m\sqrt{2\pi}) \cdot (L/\sqrt{Bh}) \cdot \sqrt{\tanh(2\pi h/B)} \dots (10)$$

を得る。(10)式は h/B の値によって次のように簡単になる。

$$(2\pi h/B) \ll 1, \quad F^2 = (1/m\sqrt{2\pi}) \cdot (L/B) \dots (11)$$

$$(2\pi h/B) > 5, \quad F^2 = (1/m\sqrt{2\pi}) \cdot (L/\sqrt{Bh}) \dots (12)$$

(11)式は従来から蛇行波長は L/B とFによって整理されていることに対応し、(12)式はAndersonの(2)式に対応している。図-5は多くの実測値によって(10)式の関係を調べたもので、両者はよく一致している。この資料は実験値の外に河川での実測値も含まれている。Fも $0.2 < F < 2$ とかなりの範囲にわたり、河床形態もRipplesからMeanderにまで及んでいる。このように広範囲の現象が(10)式の関係で一つにまとまることは極めて興味深い。これはSand Wavesの形成に流速変動が極めて重要な役割りを演じ、蛇行もSand Wavesの一形態であることを示唆しているものと思われる。

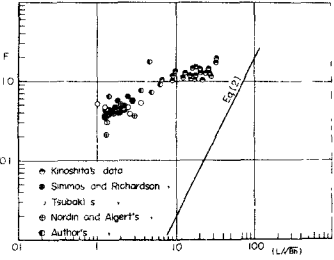


図-2. (2)式と実験値との比較

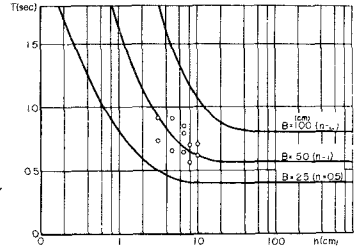


図-3. (6)式と実験値との比較

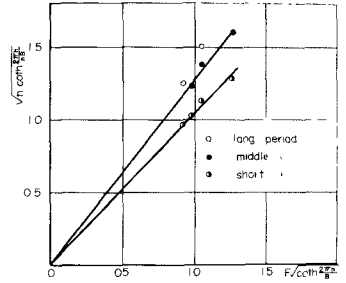


図-4. $\sqrt{n \cdot \coth(2\pi h/nB)}$ と $F \cdot \sqrt{\coth(2\pi h/B)}$ の関係

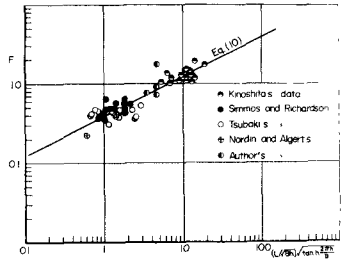


図-5. (10)式と実測値の比較