

北下工 正 員 森 明 巨
 “ “ 岸 力
 “ 学生員 柳屋 圭 吾

はじめに

移動床流れにおける河床波の谷には間欠的に激しい乱れが発生し、その擾乱のあるものは水面にまで達し *Boil* と呼ばれている。この乱れは谷から浮遊砂を発生させ、又、河床波の発達時において、谷の洗掘を行い河床波の形成に強く関与しているものと思われる。本研究は、この様な乱れの基本的性質を実験的に明らかにし、移動床問題解明の一助としようとしたものである。

実験方法

巾10cm, 長さ8mの水路に平均粒径0.42mmの砂を一様に敷いて通水し、河床波が充分発達した時점에서セメントで河床を固定し、表面に上述の砂を張り付けた。河床固定前後における同流量に対する水深の差は1mm以内であった。水理条件は、水面勾配=0.0027, 流量=2.4/sec, 平均水深 $h=6.04$ cmである。crest下流の流れの挙動を河床固定後の一つの河床波(波高 $\Delta=1.5$ cm, 波長=21.0 cm)に着目し、流れに染料を注入し16mm filmに撮影して解析した。

Crest下流の流れの pattern

crestにローミンB, 再付着点附近にメチレンブルーを注入して観察すると図-1に示す様な流れのパターンが認められた。剥離渦上に擾乱Aが発生し再付着点附近まで流下すると、その上流側に強い上昇流が発生し擾乱の規模は急激に増大する(B)。この擾乱は徐々に大きくなりながら流下し、下流側のcrest附近で水面に達する(C)。図-2はBからCに至る擾乱の一部の軌跡を擾乱の中心を原点に取って示したものである。この擾乱は乱れ成分が強いが、図からわかる通り回転運動を行っており、BからCに至る間に1/2程度回転する。図-3は再付着点($x=70$ cm)附近における染料の挙動を示したものである。擾乱Aは剥離渦と干渉しながら流下し、再付着点附近に達すると規模が急激に増大するのかわかる。

再付着点附近における上昇流発生機構について

擾乱Aの運動特性は、周囲水が同じ色で着色されており、又、乱れ成分が強いため明確に判別出来ない場合が多いが、いくつかの例では渦運動を行っているように見える。又、流速を遅くすると渦が次々に発生するのが認められる。crest下流の流れは一つの二次元混合局と考えられるが、二次元混合局では *Helmholtz* の不安定により渦が次々に発生し、これらの渦同士は重合を繰り返えし、渦径は重合前の倍程度になることが知られている⁽¹⁾。これらのことから擾乱Aは渦列或いは渦が重合したものと考えられる。この様な擾乱の再付着点附近における規模の急激な増大は、二次元混合局に関する最近の知見及びA, Bが渦であることを考慮すると、再付着点下流に発達する境界層内の *vorticity* との相互干渉の結果と思われる。このような流れのパターンは、*Offen*⁽²⁾による

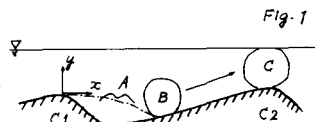


Fig. 1

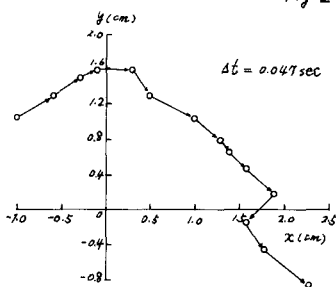


Fig. 2

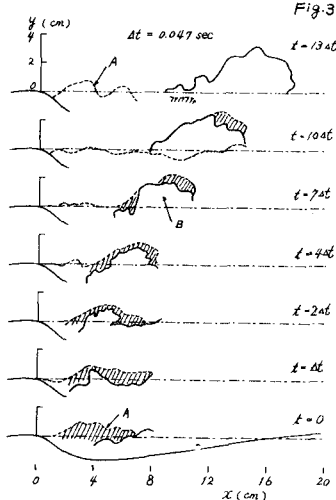


Fig. 3

Bursting のモデルと本質的に一致し、又、Praturl ⁽⁴⁾ による ejection 前後の流れのパターンと多くの共通点を持つことから、平坦な境界面における Bursting 或いは ejection と類似な現象と思われる。このことから、本報告においてもこの現象を Bursting と呼ぶことにする。

Bursting と水理量の関係

表-1 に示す 5 種類の水理量で Bursting の特性の変化を調べた。

Bursting の軌跡；図-1 に示す様に crest を座標の原点に取り、 $x=x_b$ において個々の Bursting による染料の最大到達高 y_{max} が $y_{max} \leq y_b$ となる割合を $P(x_b, y_b)$ とおくと、 $P=1$ となる y_b の最小値は、水面近傍を除いて $\bar{u}$ によらず $y_b = 0.25x_b$

で近似できた。図-4 に示す流れの乱れの拡散域は Tollmien の理論によると $y_1 = 0.088x$ 、 $y_2 = 0.184x$ であり $y_b(P=1)$ は y_1 の 2.8 倍である。crest を通過する乱れがそれほど大きくなることを考慮すると Bursting が y_{max} に大きな影響を与えていることがわかる。図-5 は RUN-1 及び 5 の $P=0.12, 0.8, 1.0$ となる x_b と y_b の関係を示したものである。図からわかる通り $x \leq 40m$ で両者は良く一致し、原点を通る直線で近似できる。このときの直線の傾き α と P の関係は図-6 に示す様に対数正規分布で近似できる。図中の直線から次式の関係が得られる。

$$P(x, y) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{y - \alpha x}{\sigma}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \alpha x}{\sigma} \right)^2} d\left(\frac{y - \alpha x}{\sigma} \right), \quad \alpha = 6.2, \quad \sigma = 0.23$$

Bursting の発生周期；Winant ⁽⁴⁾ によると二次元混合局において、ある地点における渦の単位時間当りの通過個数と f 、同地点の境界層厚を δ 、上下層の初期速度差を Δu とおくと $Re = \Delta u \delta / \nu = 10^3 \sim 10^5$ の範囲で $Sh = f \delta \Delta u = 0.17 \sim 0.21$ である。本実験では crest 下流の流れに対して、 $\Delta u = \bar{u}$ 、 $\delta = \Delta$ とすると $Sh = f \Delta / \bar{u} = 0.11 \sim 0.18$ であり、二次元混合局に比べ小さい目であるが同程度の値を取る。Jackson ⁽⁵⁾ は、河床波の谷に発生する同尺的な強い乱れは平坦な乱流境界面に発生する Bursting と同じ現象であり、その発生回数も後者と同じで $\bar{u} / f \delta = 5$ であると述べているが、今回の実験では表-1 に示す様に $\bar{u} f \delta = 0.9 \sim 2.3$ であり値が小さく、かつ、散らばりが大きい。以上のことを考えると、Bursting のものは平坦な乱流境界面のものと類似な現象であるが、その発生回数は混合局の特性に依存しているように思われる。

以上述べたことから、河床波上の流れは、二次元混合局及び平坦な壁面上の乱流境界面の両者の特性を持った流れと考えられる。

今後の課題

ここで述べたモデルは、染料による流れの可視化のみによって得られたもので、ラフなものであり、著者が最も興味を持つ再付着点附近の乱れについては不明な点が多い。crest 下流の流れは、二次元混合局及び乱流境界面に對し分離渦を伴うのが特徴であり、Nanayanan ⁽⁶⁾ によると圧力変動を極めて大きく Bursting の強度及び規模などに大きな影響を与えているものと予想される。この様な流れは非常に複雑であるが、今後、実験方法を工夫し Bursting に関する力学的な面を明らかにしたい。

謝辞；実験装置の製作、実験及び資料の整理に關し、本学大学院生濱部英二君の熱心な協力を得た。ここに、謝意を表します。

参考文献；1) Davies & Yule; JFM, vol. 69, 1975, 2) Offen & Kline; JFM, vol. 70, 1975, 3) Praturl & Brodkey; JFM, vol. 89, 1978, 4) Winant & Browand; JFM, vol. 63, 1974, 5) Jackson; JFM, vol. 77, 1974, 6) Nanayanan & Reynolds; ASCE, HY5, 1972

Table 1

RUN	δ	$\bar{u}$	f	$\bar{u} \delta / \nu$	$f \Delta / \bar{u}$	$\bar{u} / f \delta$
1	6.0 cm	33.1 cm/s	2.4 1/s	5.0 x 10 ³	0.18	1.6
2	6.8	29.3	1.9	4.4	0.11	2.3
3	7.7	26.1	1.7	3.9	0.11	2.0
4	8.7	23.0	1.8	3.5	0.13	1.5
5	12.2	16.4	1.6	2.5	0.16	0.87

