

建設省 正員 松本直也
京都大学工学部 正員 祢津家久
京都大学工学部 正員 中川博次

1. まえがき

近年せん断乱流場を支配する構造が大規模で比較的規則性をもつことが明らかにされ、南水路でも乱流発生機構の中心である *bursting* 現象がその代表例として注目されている。この現象は定性的には流れの可視化観測によってかなり詳細に検討されているが、定量的な把握はまだ不十分であり、著者らは2成分ホットフィルム流速計を2台用いた同時計測に条件付サンプリング法を適用して *bursting* 現象の時間・空間構造の解明を試みた。*bursting* 現象の揺がり特性に関する前報に引続き¹⁾、本報ではその移流過程を考察し、簡単な乱流モデルを提示する。

2. 実験 および 条件付データ解析

実験は1台のホットフィルム流速計を $y=0.4\text{ cm}$ ($y^+=yU_\tau/\nu=38$) の位置に固定し(固定プローブ)、他の1台を水深方向と流下方向の種々の位置に変化させ(移動プローブ)、合計222測点で同時計測を行った。

水深は8cm, Re 数は 1.2×10^4 ($R_* \equiv U_* h/\nu = 774$)¹⁾であり、詳しい実験条件は前報を参照されたい。

条件付データ解析は固定プローブでの区分された瞬間レイノルズ応力変動 $w_s(t) \equiv -u_s(t) \cdot v_s(t)$ を *bursting* の検出基準として用い、*ejection*, *sweep* 事象の条件付平均 $\langle u \rangle_e, \langle v \rangle_s$ がそれぞれ次式で定義された。

$$\langle b \rangle_e(\tau) = \int_T b(t+\tau) w_s(t) I_e(t) dt / \int_T w_s(t) I_e(t) dt$$

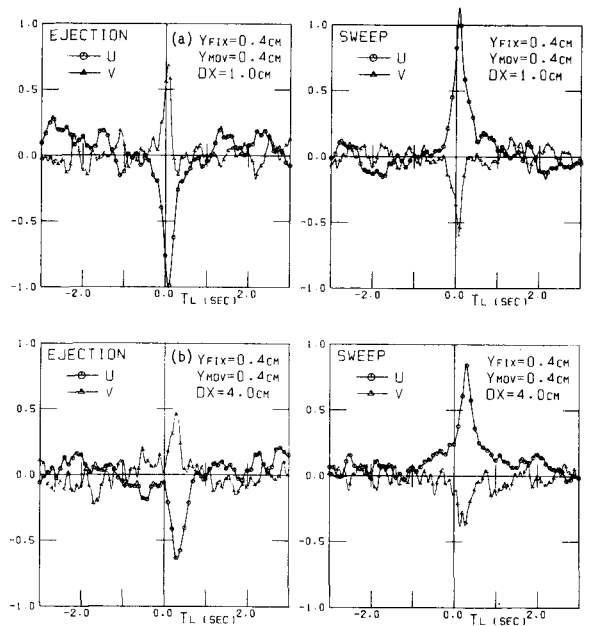
$$\langle b \rangle_s(\tau) = \int_T b(t+\tau) w_s(t) I_s(t) dt / \int_T w_s(t) I_s(t) dt$$

ここで、 $I_e(t) \equiv \begin{cases} 1: u_s < 0, v_s > 0 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases}$, $I_s(t) \equiv \begin{cases} 1: u_s > 0, v_s < 0 \\ 0: \text{otherwise} \end{cases}$

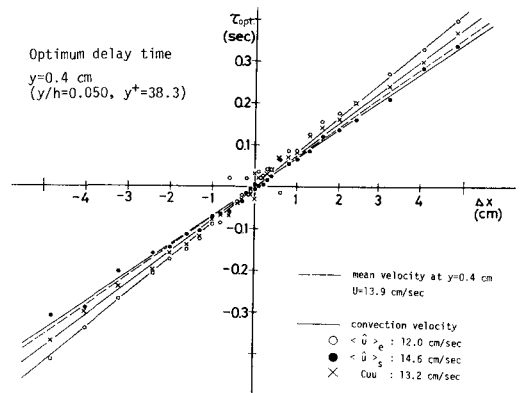
$b(t)$ は移動プローブでの流速成分、 τ は遅れ時間である。上式から、固定プローブで各事象が生起するときの時間・空間構造が任意性が入らずに解析できる。

3. *bursting* 現象の移流過程

図・1に $\langle \hat{u} \rangle_e(\tau), \langle \hat{v} \rangle_e(\tau), \langle \hat{u} \rangle_s(\tau), \langle \hat{v} \rangle_s(\tau)$ (ここで、 $\hat{\cdot}$ 符号はその r.m.s 値での規格値を表わす) を X-Y プロットで図化した一例を示す。各図には固定プローブとの距離 Δx に応じた遅れ時間にピークが現われ、*bursting* 現象の移流が示されている。両プローブ間の距離が小さいほどピークは鋭く、離れるにつれてピーク値が小さくなり裾が広がることがわかる。図・2にはこのように $\langle \hat{u} \rangle_e, \langle \hat{u} \rangle_s$



図・1 *ejection*, *sweep* 事象の条件付平均 (a) $\Delta x = 1\text{ cm}$, (b) $\Delta x = 4\text{ cm}$



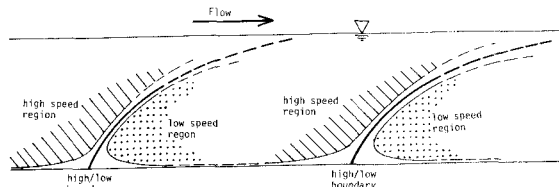
図・2 最適遅れ時間と各事象の移流速度

及び通常の時空間相関係数 $C_{uu}(\tau)$ がピークを示す最適遅れ時間 τ_{opt} が移動距離 Δx に対して図示された。実験値の勾配が流速であり、Sweep 事象の方が ejection 事象より若干大きい、両者ともほぼ平均流速に等しい。移動プロブの y の位置が大きくなると $\langle \hat{u} \rangle$ の位相は進むが、 $\langle \hat{v} \rangle$ の位相の進みはなく、 u 変動の空間構造が下流側に大きく傾いたものであるのに対し、 v 変動は垂直方向にほぼ同時に起こることがわかった。¹⁾ 図・3 は固定プロブで各事象が生じたときの空間構造を条件付平均値の等値線で示したものであり、図・4 はその $\tau = 1.0$ 秒後の結果である。これらの図から以下のことが判明した。(1) ejection 事象の空間的広がり下流側に大きく、Sweep 事象は上流側に大きい。このため、Euler 計測では ejection から Sweep への移行の方が急激に起こり、従来の多くの観測結果と一致する。(2) bursting 構造はあまり変形せずに流下方向に移動され、これに伴う u 変動の Lagrange 的な寿命時間は相当長いと考えられる。

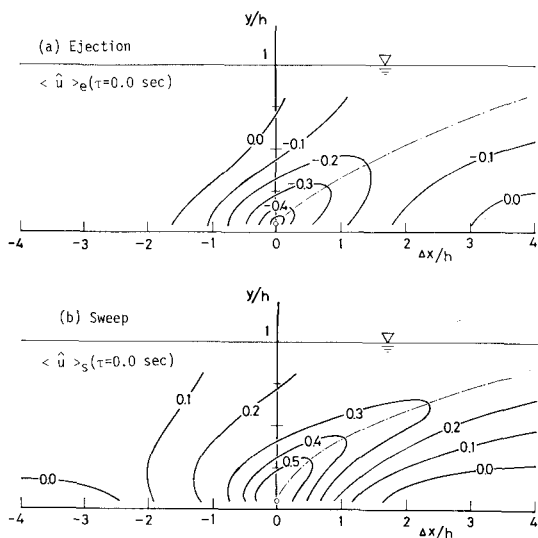
4. bursting 構造の定性的モデル

以上の結果から図・5 に示すモデルが考えられる。高速域と低速域とが交互に移動されるが、上流側から高速域 $\rightarrow$ 低速域と変化する場合に急激で、顕著な境界面が形成されるのに対し、低速域 $\rightarrow$ 高速域という変化はゆるやかである。この境界面に集った移動座標上では図・6 に示す流体運動が考えられ、bursting 構造を良好に説明できる。すなわち、上流側からの高速流体 (A) は境界面で ejection 流体 (B) とぶつかり、一部は運動量を相殺し、両側に流出する (C)。残りの流体 (D) は T.V. によって下流側に運ばれ再び壁面に向かい (E)、両側からの流入流体 (C') と混合し、(A') と (F)、(H) となる。また、(C)、(C')、(G) は S.V. を形成し、T.V. と S.V. の結合から馬蹄形渦が生まれると考えられる。しかし、水路横断方向の変化はまだ不明であり、現在研究中である。

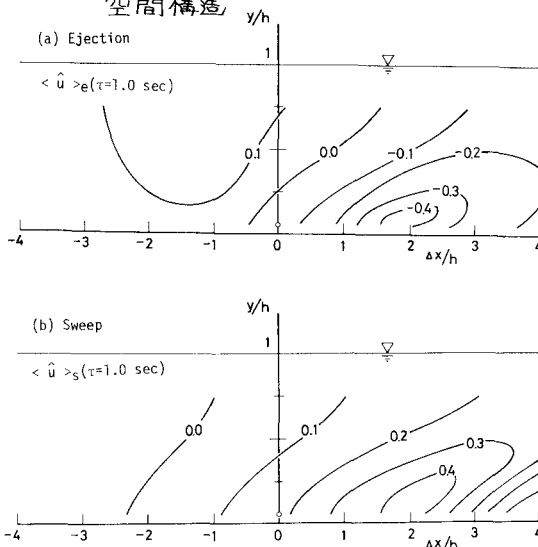
参考文献 1) 中川・津津花本 (1979), 関西交部年講, II-10.



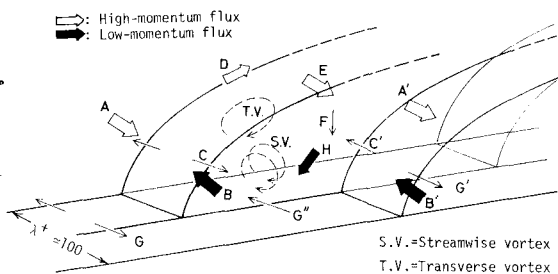
図・5 高速域・低速域のモデル



図・3 固定プロブ ($y^*=38$) で各事象が生じたときの空間構造



図・4 固定プロブ ($y^*=38$) で各事象が生じてから $\tau = 1$ 秒後の空間構造



図・6 bursting 構造の定性的モデル (移動座標上から見られている)