

徳山高専 正員 大成 博文  
 徳山高専 正員 佐賀 孝徳  
 山口大学 正員 斎藤 隆

1. はじめに

Bursting現象は、乱雑な流れ構造内から見いだされた秩序運動のひとつであり、乱れの発生機構を支配し、壁面領域内乱流構造の基本骨格を構成する重要な現象のひとつである。これまでにも、可視化法を用いて多くの研究がなされてきているが、依然としてその発生因、横断方向構造、大規模運動との相互関係など重要な課題の解明が残されている。<sup>1),2)</sup>

著者らは、これまで一種の混合トレーサー法(AMD法)を用いて壁面領域内の乱流構造の可視化を行ない、その挙動がいくつかの点で従来のBursting現象の理解とほぼ矛盾しないことを明らかにしている。<sup>3)</sup>なかでも、可視化された「鱗形状」の横幅スケールがlinear sublayer内のstreak幅 $\lambda_z = 100 \frac{\nu}{u_*}$ に等しいこと、またその流れ方向通過周期が従来のBursting現象の通過周期と内部変数および外部変数表示の両方においてかなりの精度で一致することは興味深く、その構造的解明が必要とされる。

本論の目的は、開水路流れの壁面領域内乱流構造の空間的組織性を究明することであり、とりわけ、Bursting現象の横断方向構造に注目するものである。本論は、AMD鱗形状の特徴を整理して提示すること、さらには水素気泡法の結果との比較検討を行なったものである。また、KlineによるBursting processモデルとの比較を試みる。

2. Bursting process モデル<sup>1)</sup>

Kline(1978)は、Bursting現象に関して「最近、解釈の範囲、疑問、差異がかなり成長し、混乱の度を増している。」と断りながら、Bursting processを「lift-up現象からoscillationと続いてbreak up現象までの一連の組織的過程」と定義している。それらをFig.1に示す。また、三つの組織的過程について、以下の規定を行なっている。

① lift-up: low speed streaksがlinear sublayer外端で上昇を開始し、その向きは鋭く外側の方を示している。lift-upの流れ方向長さは短かく、境界層厚さよりもかなり小さい。この現象の非定常性は、linear sublayer内のstreaksの非定常性と本質的に異なる挙動を示す。

② oscillation: lifted low speed streaksの激しい三次元的な揺れが生ずる。この揺れは、2~3サイクルが典型的である。

③ break-up: streakは急激に崩壊し、その中により小さいスケールの、より混沌とした運動を含む。追跡は難しい。

続いて、Klineは最後のbreak-upのときに高レイノルズ数の生成が行なわれると説明しているが、いずれにしてもこのBursting processモデルは、低速部のstreaksを追跡しているところに特徴があると言えよう。

また、linear sublayer内から出現したstreaksがBuffer層内まで一応その組織的過程を終了するとしている点も興味深い。このモデルには、Sweep-ejection現象は盛り込まれていない。

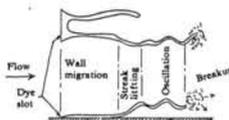


Fig.1 Schematic of wall layer bursting by Kline (1978)

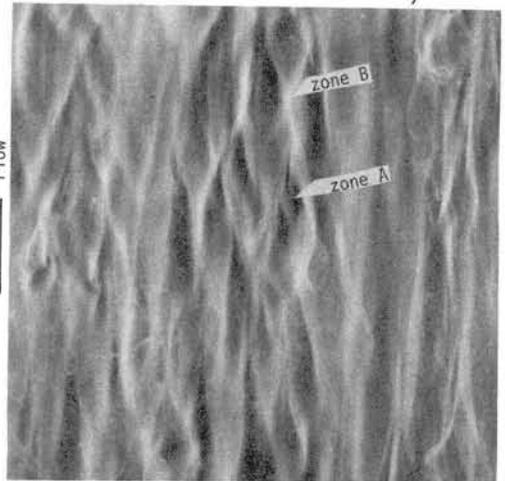


Fig.2 Plan view of AMD imbricate shape  $\lambda_z = 100 U_*$   
 $H = 6.84 \text{ cm}, U_m = 6.52 \text{ cm s}^{-1}, U_* = 0.63 \text{ cm s}^{-1}, Re = 3857, \rho = 1.02$

### 3. AMD 鱗形状特性

アルミ粉、コンデンスミルク、染料(ア=リンブルー)の三者によって構成される AMD 法は、壁面近傍の乱流構造の可視化に優れた豊富な情報を提供してくれる。(Fig.2) 三者の流体中でのトレーサーとしての機能の複合化の他、流況の条件に応じてその成分比(比重)を設定し、さらには注入量を調節することによってかなりの適用範囲を有する。以下、AMD 鱗形状の特徴を示す。(AMD 法の詳細については、参考文献3)に述べたが省略する)

オ一は、画面全体の立体的挙動である。この基本構造は、黒く映った高速流体の侵入による堀込みおよび床底面の露出部分(zone A)と白く映った低速部に該当する隆起した部分<sup>(zone B)</sup>によって構成されている。AMD 液厚が平均1mm程度であるにもかかわらず立体化を増して見せる理由は、トレーサーの機能に加えて、「堀込み」と「隆起」のコントラストによるものと思われる。オ二は、水路床全体にわたって非常に安定して出現することである。強制的な擾乱を与えても、その擾乱流の流下とともに鱗形状はすぐに再現される。オ三は、鱗形状同士の相互作用が存在する点である。一個の鱗片に注目すれば、最も一般的に隣鱗片に影響を及ぼすものは、斜め下流の二つと直下流の一つの鱗片程度であり、流況方向にはその連続的な相互影響範囲が11すれども2~3に留まっている。これは、Klineらのoscillation現象のサイクルと一致し、興味深い。オ四は、鱗形状自身が発生から消滅までの歴史的過程を示す点である。オ五は、その横断方向および流下方向に11かなる断面をとろうと不均一な点である。この鱗形状がなんらかの乱流構造の反映の結果とすれば、固定床の条件付検出法においてその全体像を把握することが容易な点<sup>1)</sup>のことがわかるであろう。オ六は、鱗形状自身が集団的に不均一に分布し、集団的にも規則的なパターンと不規則なパターンとが共存していることである。大規模運動との相互作用を考えると興味深い。

### 4. 水素気泡法による結果との比較

水素気泡のタイムライン法は、乱流構造の解明に従来から広く用いられてきた方法である。ところが、

Bursting現象のような複雑で激しい視察には、低速と高速の総模様は描けてもその可視化の情報の不足から、それ以上の究明ができない。著者らは、可視化の情報を豊富にするために水素気泡膜を形成させ、陰極線よりかなり下流の挙動に注目した。Fig.3はその一例を示すものであるが、非常に興味深いいくつかの特徴が存在している。オ一は低速部で複数の水素気泡の糸線が複雑にからみあっている点である。オ二は糸線の集中度が高いほど、水塊の上昇過程に似た挙動がみられることである。オ三は、糸線が必ず対になって構成されている点であり、横断方向幅は $100\mu\text{m}$ よりも小さく、 $20\sim 30\mu\text{m}$ 程度の値をいすれも示している。(Kline(1967)も同様の観察をして11る。)

ところが、このような水素気泡膜法による糸線の挙動と同様のものが、AMD法による可視化写真からも確認できることである(Fig.4) 前者は、上昇流体の可視化に適し、後者は逆に高速流体の侵入状態の可視化に適していると言え、両者の情報は相補うことになる。Klineのlift-up機構は、この糸線の対の挙動と関係づけられるものと思われる。今後の検討課題のひとつとした11。

(参考文献) 1) Kline他: JFM(1967, 1971, 1974) AFOSR (1978), 2) Cantwell: A.R.J.M. (1981), 3) 大塚他: 26回水理講演会論文集 AMDP=104 Fig.4

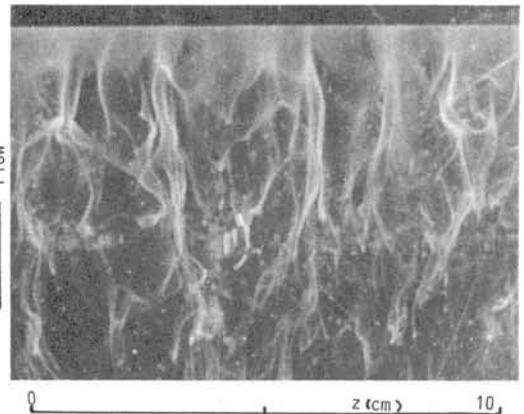


Fig.3 Plan view of streaks line by hydrogen bubbles  
H=6.88cm,  $U_m=7.56\text{cm/s}$ ,  $U^*=0.75\text{cm/s}$ ,  $Re=4578$ ,  
wire height=1.6mm.

