

人工粗度上の流れの大規模乱流構造について

京都大学防災研究所 正員 宇民正, 正員 O上野鉄男

1 大規模乱流構造が coherent な特性をもつという Laufer の指摘¹⁾をもとにして, 著者らは, 従来別の概念として扱われていた境界層内の大規模乱流構造と 2 次流との関係を明らかにし, 両者の発生・発達機構を統一的に説明するモデルを提案した²⁾。本モデルは, 渦度の変形と集中という力学的な概念を基礎にして構成されており, その特徴は, 開水路の大規模乱流構造が, 第 1 次渦, 第 1 次渦が集中させられた形で発達した第 2 次渦および 2 次流という 3 つの階級から成っているということにある。本研究の目的は, それぞれの階級の渦運動の相互の関係と安定性を検討することである。

木下は, らせん流(2次流)の規模に応じたさまざまな河床形(固定床)を与えて, それぞれの場合について水面写真から流況を検討した結果, らせん流が最も安定的に形成されるのはタテスジとナナメに交錯する凹凸の路床の場合であることを見だした³⁾。この事実は上記の研究目的を達成するうえで, 路床の形態が重要な役割を果たすことを示している。本研究においては, 各種の路床形態に関して, 各階級の渦運動の相互の関係と安定性を路床近傍の流況特性および水面渦の特性から検討する。

2 実験に用いられた路床形態は図-1 に示すようであって, ①平坦路床(type F), ②流下方向に棧を設置した路床(type L, 3mm×3mm の棧を 5cm 間隔で設置), ③横断方向に棧を設置した路床(type T, 棧を 10cm 間隔で設置) および ④斜め格子状路床(type X, 直径 2.6mm の針金を各格子点間の流下方向および横断方向の距離を同じ 10cm として設置) の 4 種である。水理条件は水路幅 40cm, 流量 0.5 l/sec, 水深 2.5cm が各路床形態とも同一に設定されており, 水路勾配は 1/500 で, 水深を 2.5cm にするため下流端でせき上げ状態となっている。このときの断面平均流速は 5cm/sec, 水面での流速は 7cm/sec であり, 断面平均流速と水深を用いたレイノルズ数は約 1200, フールド数は 0.10 である。

3 写真-1(a), (b), (c), (d) はそれぞれ type F, L, T および X の路床形態のもとでの水路床近傍の流況を水素気泡法によって捉えたものである。水素気泡発生用白金線の水路床面からの高さは 0.5cm で, 水素気泡は 10Hz のパルス状に発生している。写真には, 各路床形態の場合に共通して, 流速の大きい部分と小さい部分(水素気泡の模様がくびれている部分で, いわゆる (low speed) streaks に相当し, そこでは上昇流が存在する)が現われており, また bursts の存在も認められる。しかし, streaks の配置には各路床形態に対応して差が認められる。

図-2 は上と同じ条件のもとで, 流況を 1 秒毎に連続写真撮影したときの流速分布の模様をずらして並べたものである。図で横方向に延びたすじは各写真に現われた streaks を結んだものであり, 部分的には bursts をも含んでいる。

まず, 平坦路床の場合について検討する。(a)図において, streaks の配置には長く続くものや短時間に消滅するものがあり, また隣り合う streaks が非常に接近したものがある。このことから, streaks は必ずしも 2 次流によつてのみ形成されるのではなく, 第 1 次渦が集中させられた第 2 次渦によつても形成されると考えられる。ここで, 2 次流と第 2 次渦の特徴を整理する。①スケールについては, 2 次流は

水深方向および横断方向に水深程度の広がりをもち、流下方向には水深に比して十分大きい、第2次渦は水深方向および横断方向には水深に比して十分小さく、流下方向には水深程度の大きさをもつ。②渦軸の方向については、2次流は水路床と平行であるのに対して、第2次渦は水路床に対して一定の傾きをもつ。以上の観点のもとに図を理解すると、間隔の小さい streaks の一方あるいは両方が第2次渦によるものであり、短時間に消滅する streaks も第2次渦による、さらに、2次流による streaks の中の bursts も第2次渦によるものと考えられる。以上のように、平坦路床の場合には第2次渦が比較的不規則に形成されるため、2次流は整然としたものとはなっていない。

type L の路床形態において、棧間隔は木下のらせん流モデルと一致するように選ばれている。この場合には、第2次渦は棧の部分に集中して比較的整然と形成され、2次流も比較的安定していることがわかる。type T の場合には、第2次渦の発生は非常に不規則で2次流も大きく変形させられている。type X の場合には、路床の格子点を通る流下方向の線上で第2次渦による bursts が発生し、これにともなう規則的で安定した2次流が存在することがわかる。

以上のように、第2次渦の発生仕方、すなわち、第1次渦の集中の仕方が流れの構造を決定するうえで非常に重要な役割を果たすことが明らかとなった。

4 Tietjens らあるいは著者が示した水面における渦運動は、水路床近傍において形成された第2次渦が持ち上がり水面に到達したときの回転運動の現われであると考えられる。写真-2 および図-3 はそれぞれ前述の水理条件のもとでの移動カメラによる水面渦の撮影結果およびそれを図化したものである。これらからつぎのことがわかる。①水面渦の配置は、type X の場合が最も規則的で同方向に回転する渦が流下方向に比較的整然と並んでおり、type T の場合が最も不規則である。②平坦路床の場合の水面渦の配置は、type X と type T との中間的な性質を示し、この場合に流れの構造がある程度の規則性をもつことを示している。③第2次渦の水面における運動としての水面渦が、水面における流下方向流速の大きさを決定し、type X の場合には、流速の大きな部分と小さな部分が交互に比較的整然と流下方向に帯状に分布する。

参考文献 1) Laufer, J; Ann. Rev. Fl. Mech., Vol. 7, 1975. 2) 牟民・上野; 京大防災研究所年報, 第19号B, 1976.
3) 木下・遠藤・石坂; 日本写真測量学会年講, 1976. 4) 牟民・上野; 土木学会年講, 1976.

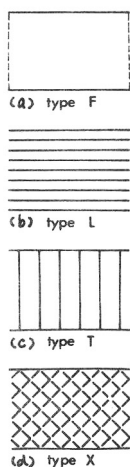


図-1

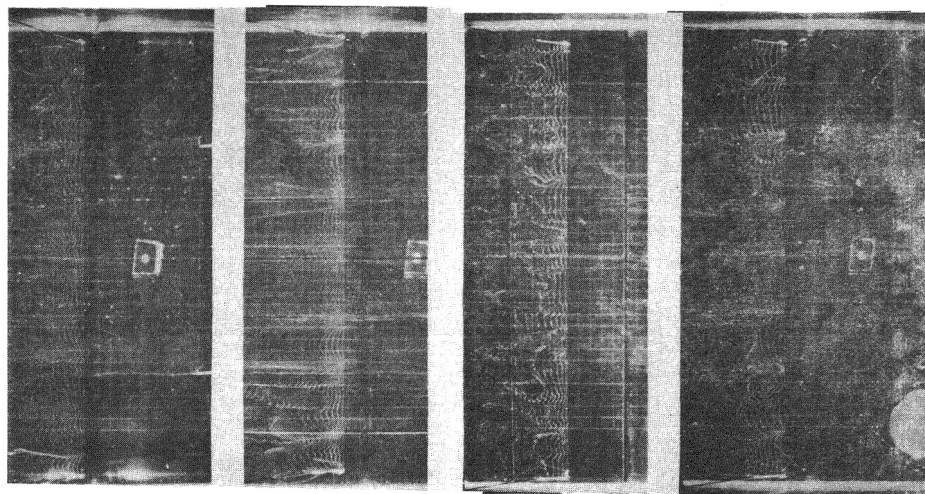
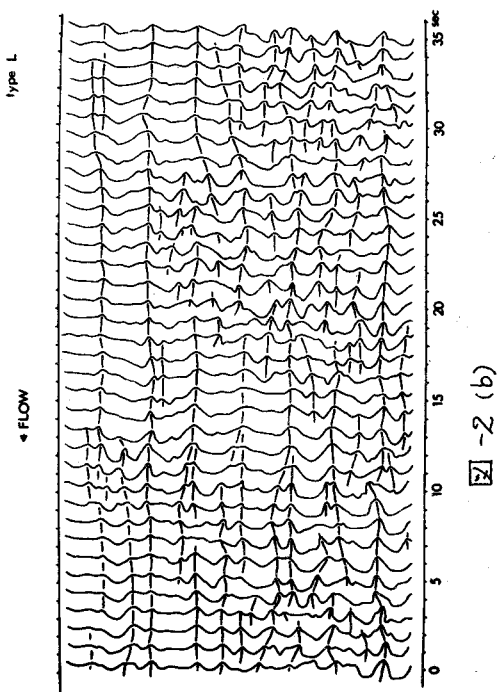
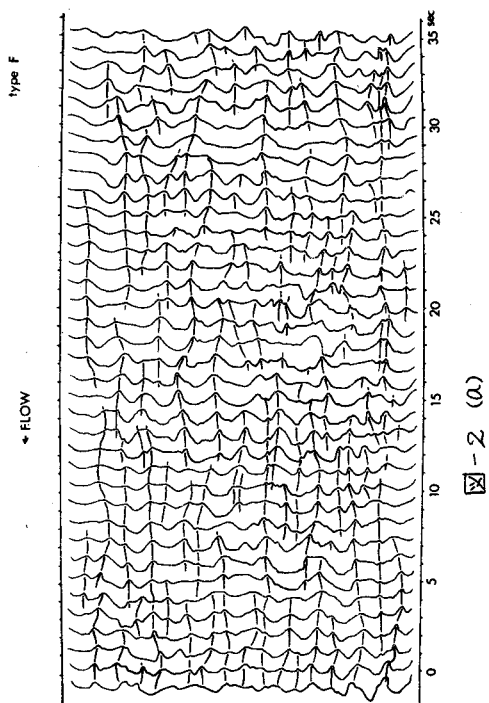
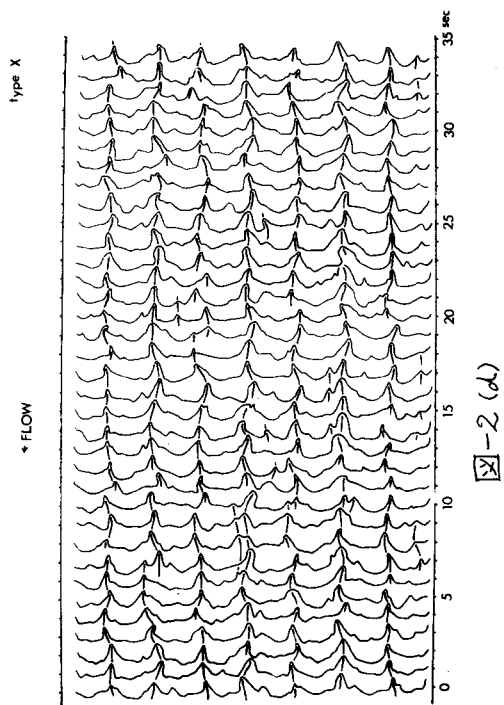
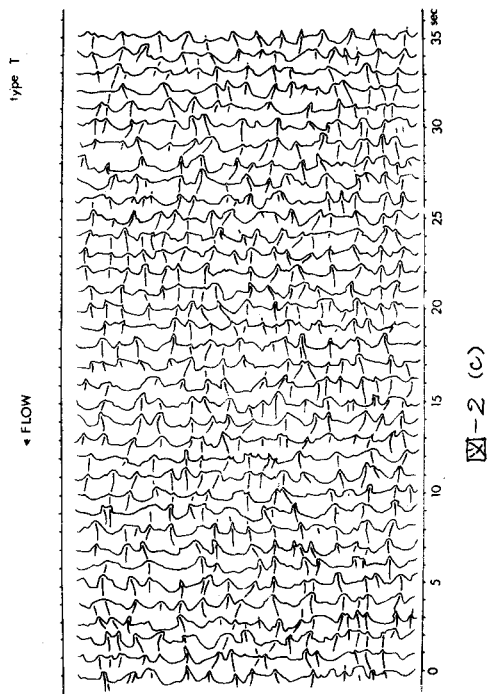


写真-1 (a)

(b)

(c)

(d)



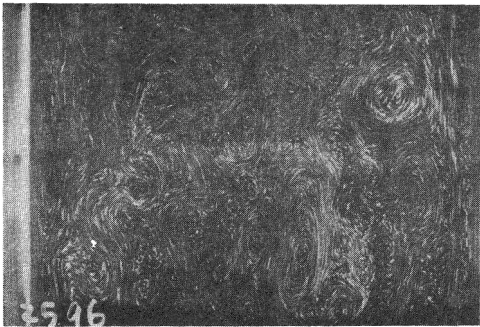


写真-2 (a) Type F

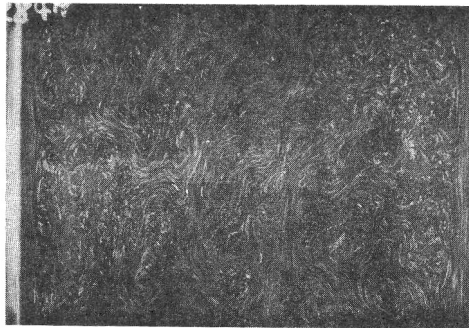


写真-2 (c) Type T

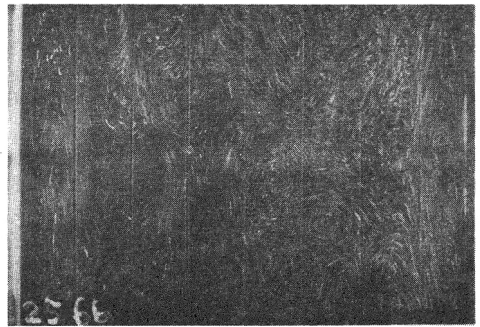


写真-2 (b) Type L

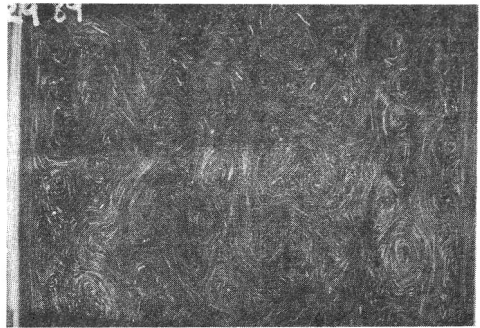


写真-2 (d) Type X

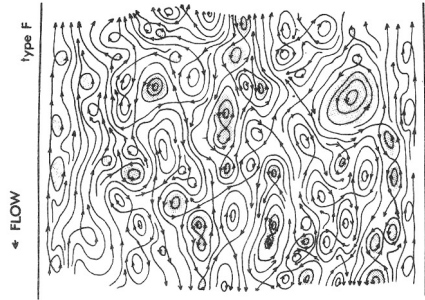


図-3 (a)

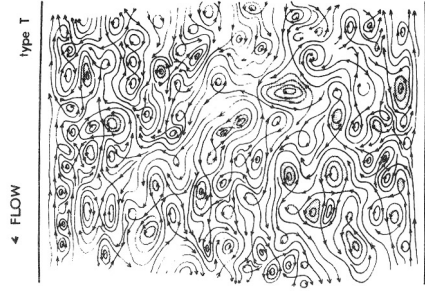


図-3 (c)

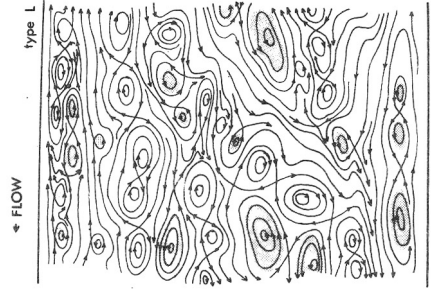


図-3 (b)

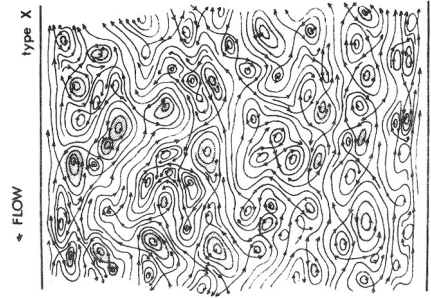


図-3 (d)