

京都大学防災研究所 正員 上野鉄男, 宇民正

1. はじめに 最近, 流れの可視化実験による大規模乱流構造の研究が注目されるようになってきた。これは, 乱流現象をLagrange的に把握しようとするところにその特徴を有しており, 従来のEuler的な取り扱いにおいて複雑極まりないものとして把握されてきた乱流構造が, かなりの規則性をもつものとして理解され, 乱流の発生・発達機構もこのような観点からの力学的な理解が可能となってきた。著者らも, 上のような立場から, 前報¹⁾において, 境界層乱流構造のモデル化を試みた。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, σ 1次渦, σ 1次渦が集中させられた形で発達した σ 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。本研究においては, 各種の人工的な路床形態を用いて, 上記の各階級の渦運動の相互の関係と安定性と路床近傍の流況特性および水路横断面内の流況特性から検討する。さらに, 上のモデルを一層発展させる。

2. 路床近傍の流況特性 実験に用いられた路床形態は図-1に示す4種であって, 高さ3mmの粗度要素が4mにわたって設置されている。水理条件は, 水路幅40cm, 流量0.5ℓ/sec, 観測点での水深2.5cmが各路床形態とも同一に設定されている。このときの断面平均流速は5cm/sec, レイノルズ数は約1000である。

写真-1は各種の路床形態のもとでの水路路床近傍の流況を水素気泡法によって捉えたものであり, 観測点の高さは0.5cmである。図-2は上と同じ水理条件のもとで, 流況を1秒毎に連続写真撮影したときの横断方向の流速分布の模様をずらして並べたものである。図で横方向にのびたすじは各写真に現われた低速縞を結んだものである。

まず, 平坦路床の場合について検討する。図-2(a)において, 低速縞の配置には長く続くものや短時間に消滅するもの, 隣り合う低速縞が接近したものがある。一方, 長く継続する低速縞は短い低速縞の連続したものともみなせる。これらから, 低速縞は σ 2次渦によって形成されること, および長く継続する低速縞の周辺には比較的安定した一對の2次流が存在することが推察される。このように考えると, 平坦路床の場合には σ 2次渦の発生の仕方は規則性と不規則性の入り混ったものとなっている。つぎに, L型路床の場合には, 浅間隔を水深の2倍の大きさに設定すると, σ 2次渦は浅の部分に集中して比較的整然と

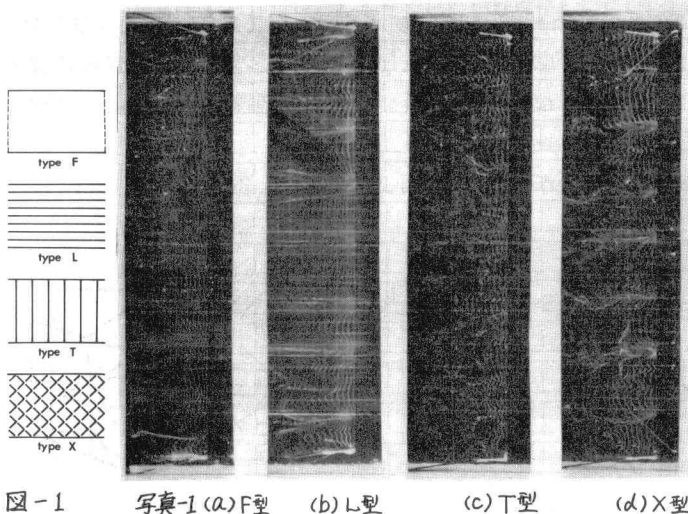


図-1 写真-1 (a) F型 (b) L型 (c) T型 (d) X型

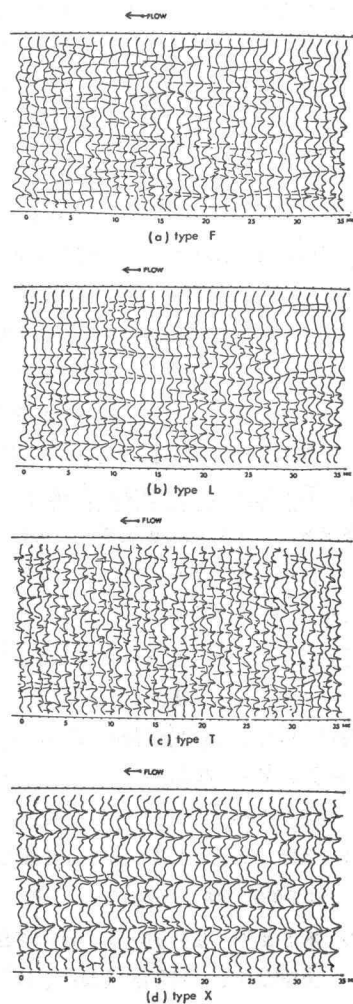


図-2

形成され、2次流も比較的安定している。丁型路床の場合には、 σ 2次渦の発生は非常に不規則である。X型路床の場合には、路床の格子点を流下方向に連ねる線上で低速帯が現われており、これにともなう、規則的で安定した2次流が存在すると考えられる。

以上の検討から、 σ 2次渦は本来比較的不規則的に発生するようであるが、水路床形態によってはそれにある程度規則性を与えることができるようであり、しかもその場合には安定した2次流が形成されていると考えられる。さらに、 σ 2次渦によって形成される2次流が逆に σ 2次渦の発生に規則性を与えるという側面もあるといえそうである。

3. 横断面内の流況特性 写真-2は平均流速とともに移動するカメラによる水路横断面内の流況の連続撮影(周期0.3秒)結果の一例である。カメラを搭載した台車には気泡発生用電極、照明用スポットライト、反射鏡が設置され、カメラと共に移動するようにしている。これらの写真がうづつのことがわかる。

①各写真とも流下方向に軸をもつ回転運動があり、回転速度の最大値は1~2 cm/secである。②(a)では、上昇流の間隔は水深の2倍程度であり、2次流の大きさは水深と同程度で比較的安定している。③(b)では、上昇流は比較的不規則に発生しており、その一部は水深規模の2次流を形成しているが、断面全体にわたって規則的に配列された2次流を形成していない。④(c)では、格子点を流下方向に連ねた線上で上昇流が生じ、それによって安定した2次流が形成されている。⑤横断面内で立上った条線は低速帯と1対1の対応を示すが、それと2次流は1対1の対応を示さず、これらの条線が何本か束ねられた状態で1対の2次流に対応している。また、水面近傍にも比較的小スケールの回転運動が存在し、2次流を構成する空間内には複数の小スケールの渦運動が存在する。

以上の観察にもとづくと、2次流とは1つの軸のまわりの単純な回転運動ではなく、流下方向に軸をもついくつかの渦運動(σ 2次渦)の総合されにものと考えることができる。木下²⁾も人工的に形成されたウロコ状路床上の流れの観察から、横断面内の渦運動が図-3のようであるという結果を得たが、著者らの認識もこれと一致する。

4. 開水路流れの大規模乱流構造 以上の考察および水面観察に基づき、大規模乱流構造の検討の結果³⁾から、開水路流れの3次元的な乱流構造のモデルとして図-4を提案する。その説明はつぎのようである。① σ 1次渦が集中して Π 型渦管(σ 2次渦)が発生する¹⁾、②それが各渦の相互作用および平均流によって上下方流側へと引き伸ばされる、③その頭部が水面に達してボイルを発生させる、④水面に接近した渦管部分は急激に伸長させられて渦度の減衰をもたらし、 Π 型渦管はその頭部を切り取られた形となる、⑤その残りの部分が水面渦を形成する、というサイクルをつぎつぎとくり返す。また、2次流は、引き伸ばされた Π 型渦管が空間的に接近して同時に複数渦存在し、それらの総合的な作用として形成されると考えられる。

参考文献

- 1) 上野・宇民：大スケール乱れの発生・発達機構に関する研究、 σ 31回土木学会年講、1976。
- 2) 木下良作：並列らせん流に関する実験的研究、北海道開発局石狩川開発建設部、1977。
- 3) 宇民・上野：水面観察にもとづく大スケール乱れの研究、 σ 31回土木学会年講、1976。

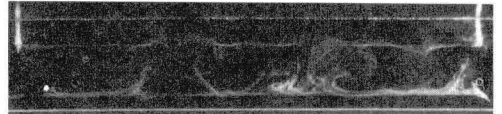


写真-2(a) 平坦路床
(水深3.8cm, 流量0.82L/sec, カメラ移動速度5.6cm/sec)

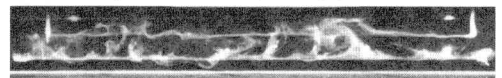


写真-2(b) 平坦路床
(水深2.5cm, 流量0.52L/sec, カメラ移動速度5.6cm/sec)

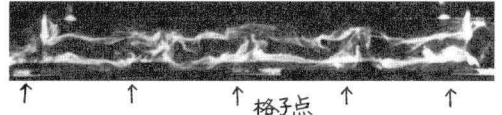


写真-2(c) X型路床
(水深2.5cm, 流量0.52L/sec, カメラ移動速度1cm/sec)



図-3

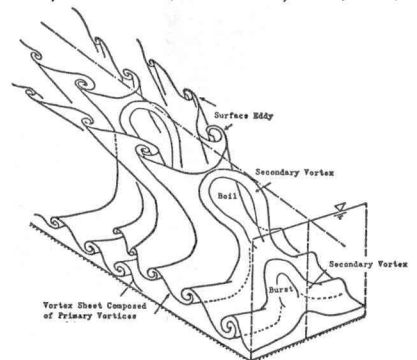


図-4