

ウロコ床粗度上の流れの秩序構造の特徴

徳山高専 正員 大成 博文

" " 佐賀 孝徳

" " 渡辺 勝利

山口大学 " 斎藤 隆

1. はじめに

洪水時の水位上昇期には、川面に幾本もの縦筋が観察され、洪水流の内部構造が並列らせん流と呼ばれる水深規模の上昇流と下降流が交互に横方向に並ぶ特徴が明らかにされている¹⁾。この並列らせん流は、ウロコ床粗度上の流れで最も顕著に見出され、粗度の幾何学的スケールと水深の相対的な関係がその形成に重要な役割を果たすことがすでに明らかにされている²⁾。このように並列らせん流の存在や構造的な基本的特徴は明らかであるが、その形成機構や水量の変化に伴う構造的な特徴の変化についてはいまだ未解明の点が少ない。本研究では、これらの課題を解明するために、ウロコ床粗度上に形成された秩序構造の特徴が詳しく検討された。可視化法には断面視法が用いられ、その結果、並列らせん流の形成機構に関するいくつかの重要な知見が得られた。

2. 実験方法

実験には、幅60cm、長さ10m、深さ15cmの開水路が用いられた。ウロコ床粗度には、木下²⁾と同タイプのもので採用され、各ウロコ片のサイズは縦横9cm、厚さ1cmで、このウロコ片が水路の床に約500枚固定されて敷きつめられた。実験は、木下の実験²⁾とは逆に比較的高水深で行われ、ウロコ床粗度上で並列らせん流が形成されにくい条件が選択された。これは、並列らせん流を構成する流体運動の素過程を究明するためであり、水深を一定にして ($H=6.5\text{cm}$) 流れのレイノルズ数を4種類変える実験および流量一定で水深を4種類変える実験の2通りが行われた。可視化法には蛍光染料注入による断面視法³⁾や平面視法、さらにはアルミ粉法が用いられた。撮影には主にビデオテレビカメラが用いられ、可視化画像が連続的に収録された。

Table 1に本実験条件が、図1に実験装置の概略がそれぞれ示されている。

3. 秩序構造の特徴

図2には、蛍光染料注入法による平面視の結果の一例が示されている。流れ方向は左から右で、ウロコの中央部に染料が集中している様子が蛍光ランプの照射の下で一際鮮明に写し出されている。ウロコ床粗度近くに発生した筋状のstreakは、水表面に向かうにしたがって発達し大規模化していくようである。図3には

Table 1 実験条件

CASE	Re	H (cm)	$bn^{2/3}/H$
A-1	800	7.5	0.4
A-2	1000	7.5	0.4
A-3	2000	7.5	0.4
A-4	4000	7.5	0.4
B-1	4000	3.0	1.0
B-2	4000	5.0	0.6
B-3	4000	10.0	0.25

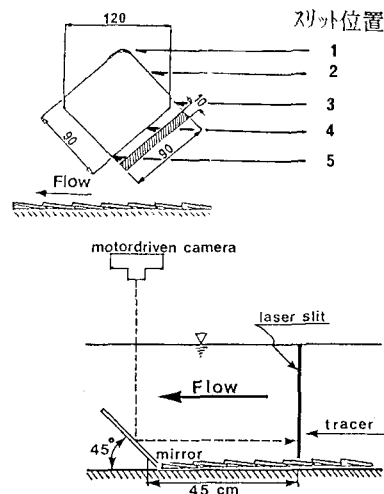


図1 実験装置の概略

ウロコ床近傍に滞留したアルミ粉の可視化形象が示されている。アルミ粉はウロコ頂部の下流とウロコの稜線下流に滞留し、白い線状に写し出されている。これらの特徴的な形象は、すでに木下によって指摘されている²⁾ように、各種の渦の存在を示唆している。

そこで、レイノルズ数を変えてウロコ片の各位置における横断面視がなされた。図4には、レイノルズ数1000のウロコ前端部の地点における横断面視の一例が示されている。これより、壁縦渦対³⁾が水深方向に3つ連なって形成されている様子が明らかである。これを「階段構造」と呼ぶことにすると、図4は3階構造となる。横断面可視化の連続画像を注意深く観察すると、ウロコ中央部にはこの壁縦渦の階段構造がかなりの頻度で形成されることが認められる。この構造の持続時間および発生頻度は、平滑面上の流れと比較してより長くまたより高いようであり、ウロコ床粗度上に形成された秩序構造の重要な特徴のひとつと考えられる。図5はレイノルズ数2000における横断面可視化画像のスケッチの一例であるが、図4と比較して渦径の実寸は減少するが、階段構造は一つ増して4段となっている点が興味深い。このように、レイノルズ数の変化と階段数には重要な関係があり、レイノルズ数800や4000においても同様の法則性の存在が確かめられた。これらの階段構造は、水深規模の大規模な上昇流の形成に寄与し、それを挟む両側には下降流の形成も推測され（下降流の部分にはトレーサが存在しない）得ることから、並列らせん流の形成機構に非常に重要な役割を果たしていると考えられる。また、この構造は、ウロコ床粗度が秩序構造を制御することによって形成されたと考えられ、乱流制御の一事例として注目されるべきものであると言えよう。

並列らせん流の形成機構に関係するもうひとつの重要な特徴として、ウロコ床粗度上での渦構造の左右への「揺動現象」が存在するが、これが水深変化と重要な関係を有するようである。これらの詳しい考察については紙数の関係で省略し、当日の発表に換える。

参考文献

- 1) 木下良作：土木学会論文集，第345号／II-4，1984.
- 2) 木下良作：石狩川開発研究部，1978.
- 3) 大成博文他：土木学会論文集，第363号／II-4，1985.

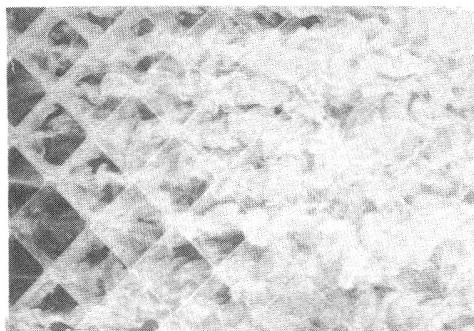


図2 蛍光染料注入法による平面視 (CASE A-4)

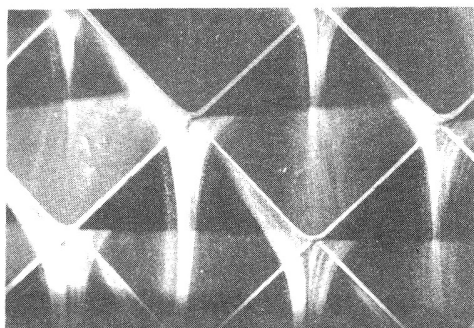


図3 アルミ粉法による平面視 (CASE A-2)



図4 横断面視 (CASE A-2, スリット位置: 1)

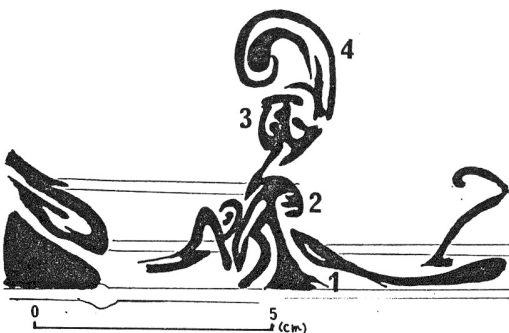


図5 横断面視のスケッチ (CASE A-3, スリット位置: 4)