

密度流による「超高流領域プレーンベッド」形成実験 Experimental study of "supercritical-flow plane bed" formed by density currents

成瀬 元^{1*}, 泉 典洋², 武藤 鉄司³, 横川 美和⁴
Hajime Naruse^{1*}, Norihiro Izumi², Tetsuji Muto³, Miwa Yokokawa⁴

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 北海道大学大学院工学研究院, ³ 長崎大学大学院生産科学研究科, ⁴ 大阪工業大学情報科学部

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Faculty of Engineering, Hokkaido University, ³Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, ⁴Osaka Institute of Technology

プレーンベッド(平滑床)とは, 平滑でほぼ平面的形状のベッドフォームであり, 自然界では様々な環境で形成されている。特に, 混濁流が形成する堆積物(タービダイト)の下部~中部にはプレーンベッドが作る平行葉理がしばしば発達し, Bouma sequence の Tb division としてよく知られている。これまで, プレーンベッドは常流の一方向流で形成されるものと考えられており, 形成条件としては粗粒かつ低フルード数で特徴づけられる低流領域プレーンベッドと, 高フルード数(ただし1以下)で特徴づけられる高流領域プレーンベッドの2種類が知られてきた。しかしながら, 本研究は, 新たにもう一つのプレーンベッド形成条件が存在する可能性を指摘する。密度流の水槽実験の結果, 極めて高いフルード数を示す射流領域であってもプレーンベッドが形成されることが明らかになった。この発見は, 従来行われてきた平行葉理からの古水理条件復元に再考を迫ることにつながる可能性がある。

本研究の水槽実験では, 塩水(比重1.01-1.04)およびプラスチック粒子(比重1.5・粒径80 μ m・粒子レイノルズ数1.57)の混合流体を用いて密度流を発生させた。この場合, 塩水は自然界の混濁流に含まれる泥粒子の代用であり, プラスチック粒子は沈降速度の速い砂粒子のアナログ物質である。実験には, 長崎大学環境科学科武藤研究室の実験水槽(長さ6.0m, 幅1.8m, 深さ1.2m)を用いた。この水槽の中に, 塩水を貯めるためのビニール製の袋を設置した。実験中, 実験水槽とビニール製の袋はどちらも淡水で満たされている。さらに, ビニール袋の内部には長さ4.0m, 幅2.0cm, 高さ50cmの亚克力製一方向水路を設置した。水路の傾斜は実験開始前に一定の角度に固定し, 実験中には変化させない。水路の下流端には堰が設置され, 堆積物が蓄積されて水路全体に移動床が形成されるように設定された。実験開始後, プラスチック粒子と塩水の混合物は水路上流端のノズルから一定の混合比・流量・流速で放出され, 密度流を形成する。下流端の堰から流出した塩水およびプラスチック粒子はサイフォンにより回収され, 水路内は定常条件に保たれた。ベッドフォームの観察は, 堰が十分に埋積され, 流入堆積物と流出堆積物の量が釣り合う平衡状態が実現されたのちに実施された。実験条件は, 密度フルード数が1.5-4.2程度, シールズ無次元せん断応力が0.2-0.8程度であった。

実験の結果, 従来では認識されていなかった超高流領域でプレーンベッドが形成されることが明らかになった。今回の実験で形成されたプレーンベッドは, 平滑な形状ではあるものの, 全体として緩やかに上へ凸な形態を示した。これは, 密度流が周囲の流体を連行することで流体条件を変化させながら流下していることを反映したものと考えられる。このプレーンベッドは擾乱に対して極めて安定であり, 実験の再現性も高かった。ベッドフォームの安定形成条件について検討するにはまだ実験回数が不足しているものの, 今回の実験で超高流領域プレーンベッドが形成されたのは, 上流端でのフルード数が4.2程度, シールズ数が0.8程度の領域である。これは, 通常の高流領域のプレーンベッドとは明らかに異なる形成条件である。

今後の慎重な検証が必要だが, このプレーンベッドはこれまで知られていなかった全く新しいタイプのベッドフォームである可能性があるだろう。ベッドフォームの安定性に関する従来の理論を適用する限り, このような超高流領域ではプレーンベッドは安定ではない。したがって, 「超高流領域プレーンベッド」の成因を考えるためには, これまで理論に組み込まれていなかった要因を考慮する必要がある。例えば, 通常のプレーンベッドでは traction および suspension による堆積物移動が卓越するのに対し, 「超高流領域プレーンベッド」は sheet flow (traction carpet) が卓越する条件で形成されている。また, 流れが開水路1方向流ではなく密度流である点も, 従来の実験・理論とは異なる点である。これらの要因がどのようにベッドフォームの形成に関連しているかについては, 今後のより詳細な研究が必要となるだろう。

キーワード: 混濁流, ベッドフォーム, 水槽実験, 平滑床

Keywords: turbidity current, bedform, flume experiment, plane bed