

法政大学工学部土木工学科 正会員 西谷 隆亘

法政大学工学部土木工学科 正会員 牧野 立平

1. はじめに

移動床において、限界掃流力を超えた流れでは、水理条件に応じて種々の河床形態が存在する。すなわち、掃流力の大きさと流れの規模により縦すじ、砂漣(Ripples)、砂堆(Dunes)、砂レキ堆(Alternate bars)などが形成される。掃流力の大きさは、水路の規模が同じであれば河床の勾配と水深の組合せにより決まるが、流れの規模は、水路の規模と流量あるいは水深と水路幅の比と河床材料の大きさなどに関係する。水流の幅に較べて水深の極度に薄い流れでは、水流が分裂していくつかの水脈ができ乱流する、いわゆる『網状流』(Braided flow)となるが、その場合にも各水脈が限界掃流力を超えた流れであれば、流れに応じた河床形態が発生する。

これらの河床形態は水路の横方向に変化の乏しい二次元的な河床波(小規模河床形態)、左右交互に規則正しい三次元的な河床波や比較的規模の大きい二次元的な河床波(中規模河床形態)に分類されている(文献1)。しかしながら、これは定性的な分類であり、しかも形態変化の連続性ないしは不連続性については十分な研究は、未だなされているとは言えない。

河床波の形成過程を実験でみると、所与の水理条件に適合した河床波が行き成り、生成されるのではなく、砂粒が動き始めてから或るプロセスを辿って流れの規模と掃流力に見合った形態ができる。途中に見られる河床変動の形態は、他の水理量を設定した別の実験により最終の姿として見る事ができる。斜め格子縞模様やウロコ状砂レキ堆、複列砂レキ堆などである。これらの形態はフラクタルなパターンであり、最小のものがいくつか統合されて、水理量に応じた規模の形態が顕れる『あぶり出し効果』であると考えられる。このことは既に、H. Engelsや木下らにより指摘されている(文献2,3,4)。

ところで、三次元河床波である砂レキ堆が形成される時の水流は、蛇行している。複列砂レキ堆では数条の蛇行している主流線が見られる。一方、二次元の小規模河床形態である砂漣や中規模河床形態である砂堆では、水流は直進性が強く、殆んど蛇行してなくて、水路幅一杯に広がる波高の低い孤立した転波が一定間隔で水面上を奔っている。転波列は砂レキ堆形成時にも見られるが、この時のものは当初は水路幅の転波が間欠的に現われ、主流が蛇行しだすと砂レキ堆の瀬の上に河床の凹凸を反映した幾本かの線状跳水《竜の背骨》となって現われる。

いずれの場合にも河床には斜め格子縞が生成され、それが大きく統合される時は三次元の砂レキ堆が形成され、水流は蛇行するが、水流が蛇行しないで、斜め格子縞が横方向に崩れる時は二次元の砂漣や砂堆となる。このように見ると、規模の大小による小規模河床形態と中規模河床形態の区分は明せきではない。

限界掃流力の付近の流れでは、水深の約2倍の間隔で「縦すじ」が形成される。これは流れが水深規模の螺旋流の細胞から成っている構造の間接的な証明である。流れの基本的構造を反映した縦すじが河床波の基本パターンの1つであることは間違いないと思われるが、斜め格子縞との関係は判らない。縦すじが節を作って変形した結果が斜め格子縞となるのではないかと疑いも持たれるけれども、縦すじと水深の約2倍の規模の斜め格子縞とは共存する。

このような移動床実験では長い水路に水理的条件を均一につくり出すことは不可能で、様々な河床形態が同一実験で形成される。また、砂レキ堆の背の上に砂堆が載ったり、斜め格子縞ができたりしていく種々の河床形態が共存する。各種形態の共存は河川でも見られる現象である。従って、各形態の形成区分を実験で一意には定め難いと思われる。

本稿は様々な河床形態形成の実験報告である。

2. 実験概要

実験装置は文献3)と同様である。河床勾配は著者らの経験で単列砂レキ堆ができる典型的な勾配である約1/130に固定し、流量を1.8 l/sから順次約1 l/sずつ増加させ、掃流力と流れの規模を大きくした(図-1)。

流量が増すにつれて複列砂レキ堆、単列砂レキ堆から砂堆へと形態が変化している様子がよく判かる。この勾配では単列砂レキ堆の形成範囲が可成り広く、砂粒が動き始めると即ぐに単列砂レキ堆ができ、斜め格子縞やウ

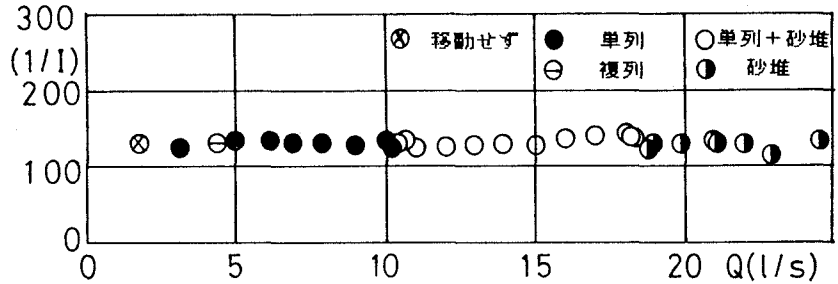


図-1. 実験範囲と結果

ロコ状砂レキ堆の形成は最終的な姿としては見られない。しかし、砂粒の動きに側方より光線を当て陰影を付け観察すると、斜め格子縞やウロコ状砂レキ堆の形を経て、単列砂レキ堆が形成されるのが見られる。また、単列砂レキ堆と複列砂レキ堆との不安定な移行区間は狭い。流量の大きな単列砂レキ堆と砂堆との移行区間も同様である。

3. 各形態の特徴

次に当該実験で観察された河床形態の特徴の要約を記す。

網状流 流量を少なくして薄い流れをつくろうとしても困難で、すぐこの形態ができる。

複列砂レキ堆 安定なものではにくい。

単列砂レキ堆 移行区間では隣り合った形態と混在しやすく、前縁部分には縦すじや斜め格子縞あるいは線状跳水を伴った砂堆が瀬の部分に載り易い。水面には二次元的な孤立波に近い転波が部分的に奔る。

砂堆 水面には水路幅一杯に広がる二次元的な低い孤立波に近い転波が一定間隔で奔る。

4. おわりに

河床形態に対応する水理条件を実験で把握することは難しい。実験の当初に平坦にした河床の砂は通水後は時間の経過と共に凹凸を生じ、水深や勾配などの水理量は場所的に不均等になる結果、局所的に種々の形態が発生する。これらの諸形態の中の何れと平均的な水理量に関連づけるかの判定は、微妙になる。理論的な厳密さを要求するならば、局所的な形態と局所的な水理量に関連づける必要があるだろう。

【参考文献】

- 1) 水理委員会移動床流れの抵抗と河床形状研究小委員会, 「移動床流れにおける河床形態と粗度」, 土木学会論文報告集, 第210号, 1973
- 2) 木下良作, 「大井川牛尾地区河道計画検討報告書」, 建設省中部地建, 1976
- 3) 拙著, 「砂レキ堆の形成の初期段階について」, 土木学会第37回年講, 第II部門, pp.565-566, 1982
- 4) 拙著, 「砂レキ堆の形成の初期段階の水理量について」, 土木学会関東支部第10回年研, pp.67-68, 1983