

# 軽量な河床材料が中規模河床形態に及ぼす影響に関する基礎的研究

広島大学大学院工学研究科  
 広島大学大学院工学研究科  
 広島大学大学院工学研究科

学生会員 ○田中俊介  
 フェロー会員 河原能久  
 正会員 椿 涼太

## 1. 序論

通常、水理実験を行う場合、実河川と実験水路のフルード数を合わせることで、流れの状態を合わせることで実河川における流況を実験水路において再現するように行われる。しかし、土砂輸送の模型実験を行う場合、フルード数を実河川と一致させるだけでは不十分である。土砂の比重は実河川と変わらないため、フルード数を一致させるだけでは掃流力が不十分であり、土砂は実河川と同じような挙動を起こさない。そのため、既往の研究では水路の勾配を実河川に比べて急勾配に設定することや、流量を大きくすることで掃流力を大きくして、河床の土砂の動態を把握している。実河川と異なる条件での実験では、実際に生じる河床形態などを把握することが困難である。本研究では、軽量であり粒形の大きな河床材料が河床形態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

ールに設置された台車で移動し、水路中央 4m 区間の撮影を行った。その動画を水路横断方向に約 4mm、水路縦断方向に約 3mm の格子を作るようにデータを解析し、三角補間を行った後、コンター図を作成した。本実験における座標系は、計測区間の上流端の右岸端を原点として流下方向に X 軸、右岸から左岸への横断方向に Y 軸、河床から鉛直上向きに Z 軸と設定した。

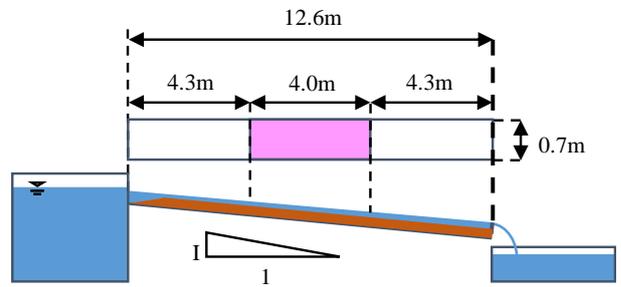


図-1 実験水路

## 2. 実験の概要

本実験では図-1 に示すように長さ 12.6m、水路幅 70cm の直線水路で行った。ピンク色で覆った区間は計測区間である。河床勾配、流量を変えて実験を行った。勾配に関しては 1/112, 1/300, 1/600 の 3 種類で行った。図-2 に示すように黒木・岸<sup>1)</sup>による砂州の形成領域区分において単列砂州や複列砂州などの予測されるであろう河床形態を形成することを目的として、流量も変化させた。それぞれの通水時間、勾配、流量、平均水深の関係を表-1 に示す。

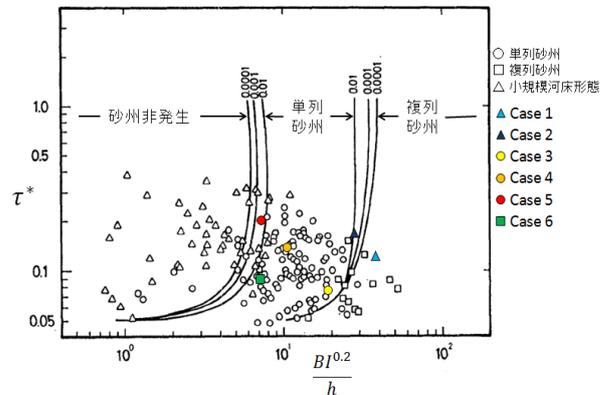


図-2 黒木・岸による砂州の領域区分図

表-1 実験ケース

実験ケース	勾配 I	通水時間 T(min)	流量 Q(l/s)	平均水深 h(cm)	河床形態
Case 1	1/112	80	1.3	0.7	複列砂州
Case 2		30	2.3	1.0	複列砂州
Case 3	1/300	90	2	1.2	単列砂州
Case 4		150	4.7	2.2	単列砂州
Case 5		180	9.3	3.2	砂堆
Case 6	1/600	170	5.9	2.8	縦筋

河床材料は比重  $s=1.4g/cm^3$ 、代表粒径  $d_R=1.3mm$  のシャモットを用い、水路床に 5cm の厚さで敷き均した。また、通水中に下流端から流出する材料は、そのまま上流から供給し、極端な河床低下や上昇がないように行った。通水時間は最長を 3 時間として行ったが、河床の洗掘が激しく水路床が露出した場合には、再度実験を行い露出する以前で停水を行い、河床変動の計測を行った。

河床変動は水路中央の 4.0m の区間で行い、高出力レーザーマーキング(ネオアーク社製)を用いて河床の起伏をレーザーシートで照射し、ビデオで撮影を行った。このとき、レーザーシートとビデオは水路上のレ

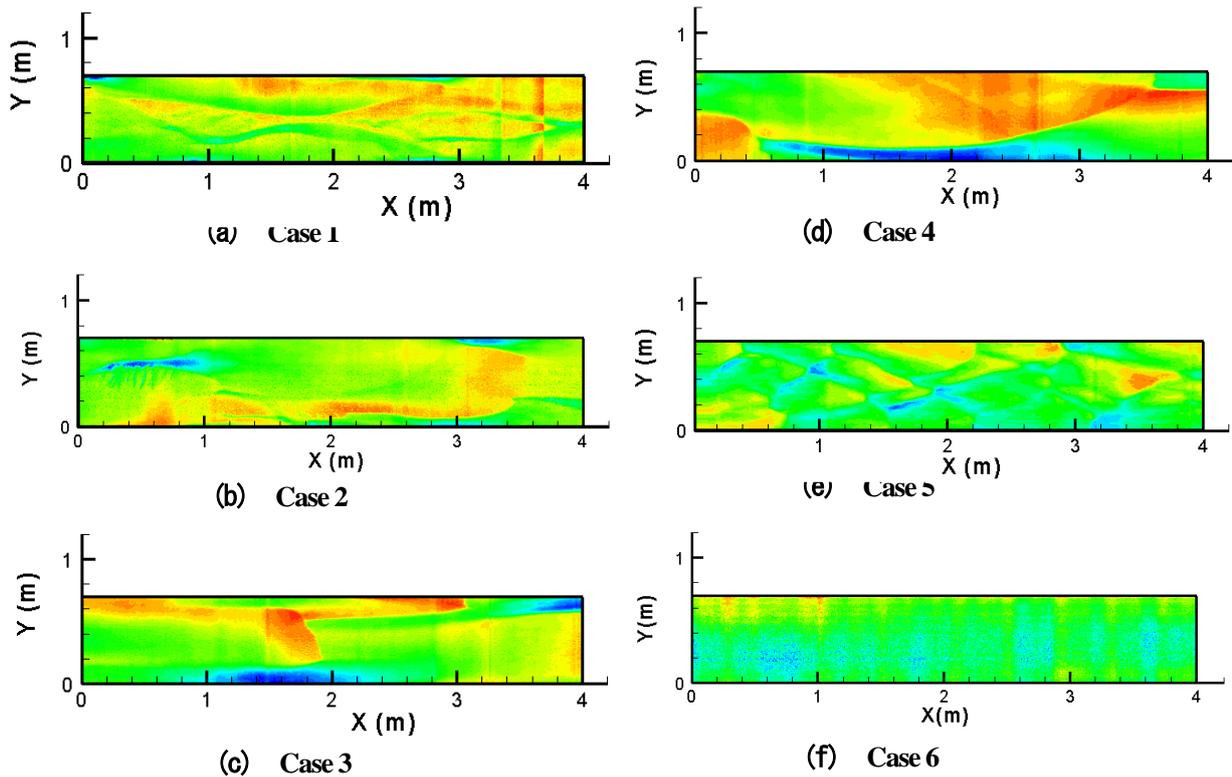


図-3 河床形態

### 3. 実験結果と考察

表-1 にそれぞれの実験ケースの条件, 発生した河床形態を示す. 図-3 にそれぞれの実験ケースで発生した河床形態のコンター図を示す. 以下では, それぞれの実験ケースで発生した河床形態の説明や比較を行う.

#### 3.1 Case 1

図-3(a) に Case 1 の河床形態を示す. 他のケースに比べると, 流量も小さく, 勾配も大きかったため, 平均水深は最も小さかった. 黒木・岸による砂州の形成領域区分図では, 複列砂州の領域に属するが, 流路の集中や流路の分岐が見られた. 滞筋部分が大きく洗掘され流れが集中し, それ以外の部分では砂州が水面上に出ることもあった. シャモットの水中安息角はほぼ同一粒径の土砂が 32 度であるのに対して 39 度であった. 水中安息角の大きさが流路の集中, 大きな洗掘を招いていると考えられる.  $X=2.0\text{m}$  付近では, 水路中央付近を境にして二つに流れが分岐している様子が観察できる.

#### 3.2 Case 2

図-3(b) に Case 2 の河床形態を示す. 波長の短い複数の砂州が重なっている様子が観察され, 複列砂州が形成されている様子が見られる. Case 2 も勾配が大きく, 流量は小さめであり, 平均水深も小さいが河床の

洗掘は大きかった. 既往の土砂による河床変動の研究では, 平均水深と砂州の波高はほぼ等しい. しかし Case 1 と同様に Case 2 にでも流量が小さい時に大きな洗掘が起きた.

#### 3.3 Case 3

図-3(c) に Case 3 の河床形態を示す. 図-2 の領域区分図通りに単列砂州の形成が確認できた. 砂州前縁線が多少いびつな形をしており, 水路側岸沿いに生じる細いものと, 水路中央付近に生じる膨らんだものの 2 つに分かれて発達しているように見ることができる. 通水中に観察された粒子の移動について述べる.  $X=1.5\text{m}$  付近の膨らんだ砂州では右岸側で洗掘が起きている. 洗掘された地点から粒子が供給され, 水路中央部の前縁線に多くの粒子が堆積していく様子が確認できた.  $X=2.5\text{m}$  付近の左岸側に近傍に生じる細い砂州では, 1 波長前の洗掘された地点から, そのまま粒子が下流に輸送されている様子が確認できた. この砂州の分岐に関しては, 粒子が軽量であるために砂州上の流速分布の影響が顕著に表れたように思われる.

#### 3.4 Case 4

図-3(d) に Case 4 の河床形態を示す. 瀬, 淵がはっきりしており, 交互砂州の発達が顕著であることが確認できる. 図-2 の領域区分図に従っていると言える. Case 3 との砂州の形状の比較を行うと, 砂州の前縁

線が2つに分岐する様子が少しは見られるが、Case 3ほどの差は見られない。これはCase 3と比較して砂州の波長が長いために、図-3(d)の $X=3.5\text{m}$ 付近の左岸側において半波長上流に位置する洗掘している地点からの材料の供給の影響が小さくなっているためではないかと考えられる。またCase 3に比べ、流量も大きいいため $X=2.0\text{m}$ 付近の右岸側の洗掘された地点の材料が砂州の波長の先端のほうまで輸送されたためではないかと考えられる。

### 3.5 Case 5

図-3(e)にCase 5の河床形態を示す。河床形態は図-2の領域区分図では砂州非発生と単列砂州の境にプロットしている。全ケースの中で最も流量が多いが、波高の分布に大きな差は見られず、交互砂州は形成されていない。砂州の形状だけを見るならば複列砂州のような河床形態を引き起こしているが、水深も大きいいため小規模河床形態の砂堆であると考えられる。この河床波は通水直後から河床全体に形成され、通水終了時刻まで残存している。既往の研究や実河川においても無次元掃流力が大きい場合に砂堆が形成されることは確認されている。Case 5は今回の実験ケースの中で最も大きな無次元掃流力であり、実験結果は妥当であるといえる。

### 3.6 Case 6

図-3(f)にCase 6の河床形態を示す。河床形態は図-2の領域区分では単列砂州の領域に入る。河床を注意深く見ると、縦筋の模様が見られた。図-3.6では $X=0.0\text{m}$ から $X=1.0\text{m}$ において顕著にみられるが、これは測定する側のレーザーマーキングや台車等の振動が影響している。実際は水路上流端から下流端まで波高 $5\text{mm}$ 程度の縦筋模様は形成されている。大本ら<sup>2)</sup>はこの縦筋に関して詳細に研究を行っており、領域区分としては砂粒レイノルズ数 $Re_* \geq 8$ で、かつ、掃流力が限界掃流力の3倍程度の値の範囲で形成されることを検証している。今回のケースでは砂粒レイノルズ数 $Re_* = 26.8$ であり、無次元掃流力は $0.09$ であり、無次元限界掃流力 $0.03$ の3倍である。したがって、シャモットでも十分に領域区分を満たしている。

## 4. 結論

本研究では軽量な河床材料を用いた実験として、シャモットを用いて様々な条件での実験を行った。それらのデータから読み取ることのできる知見を以下に示す。

1) シャモットを用いても、黒木・岸による砂州の形

成領域区分を概ね満足している。

- 2) 流量が小さい時に流れが集中し、洗掘が大きくなる。この時の洗掘の大きさは既往の土砂で行われた実験と比較しても大きい。これはシャモットの水中安息角は砂よりも大きいためと考えられる。
- 3) 砂州の前縁線には特異な形状が見られた。シャモットの水中安息角等の固有の値がどのように影響を及ぼしているかを詳細に検証する必要がある。

## 参考文献

- 1) 黒木幹夫・岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究，土木学会論文報告集，第342号，87-96，1984。
- 2) 大本照憲，平野宗夫：縦筋河床の形成領域と掃流力の分布特性に関する研究，土木学会論文集，第399号，75-84，1988。