

流量変化を伴う砂州形成後の水みちの形成過程に関する実験

Formation process of channel under varying flow in bar formed rivers

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 工藤拓也 (Takuya Kudo)

独立行政法人寒地土木研究所 正員 渡邊康玄 (Yasuharu Watanabe)

北海道大学大学院工学研究科 正員 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

近年、日本では短期間の激しい出水により、特に谷底平野における中小河川での洪水被害が増加している。このような地域においては、居住や農業を行うための土地が十分ではないため、人々はかつての氾濫原を居住地や農地へと変化させてきた。多くの河川は過去に発生した大規模な洪水の後に形成された水みちを基にしているため、再び洪水が起きたときに周辺の農地などが大きな被害を受ける。したがって、水みちの形成過程やその機構を明らかにすることは、洪水の制御や減災において非常に重要である。図-1は平成15年8月の台風によって起きた洪水後の厚別川の写真であるが、この洪水によって谷底平野における土地利用とそれによる洪水被害の関係が明確になった。

水みちの形成については上流からの土砂供給の変化の視点で三輪ら¹⁾が、砂州と平水時流量との関係から寺本ら²⁾が、砂州の形状変化の視点で渡邊ら³⁾が実験的に又は数値解析を用いて検討を行っている。この他多くの実験では現象を把握するために水路の条件や水理条件を単純化しているが、本研究では粒度分布と洪水の減衰期間に着目し、より実際の河川の条件に近づけることによる影響を過去の実験と比較して示し、その有効性を検証する。

第一に、河床材料の珪砂の配合比を変化させ、より水みちが発達する条件を見出し、第二に洪水時の出水（大流量と呼ぶ）から平常時の流量（小流量と呼ぶ）への減衰過程に洪水ハイドロを用いることにより、大規模な洪水によって形成された砂州地形が、その後の減衰過程を経て水みち形成にいたる過程を明らかにする。

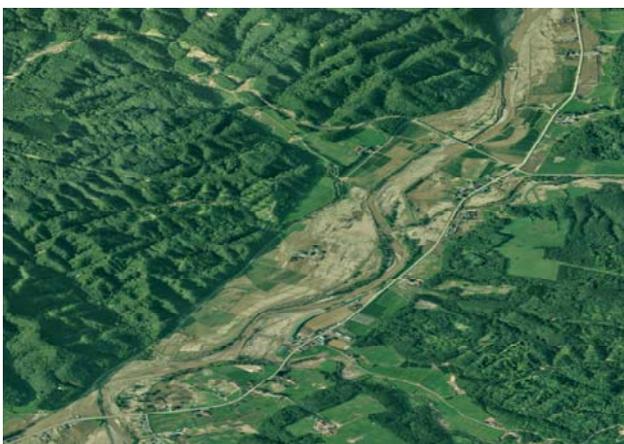


図-1 谷底平野の土地利用と洪水被害

2. 予備実験

洪水時、実際の河川では様々な粒径の砂が動いているが、流量の低下に伴い掃流力が小さくなり、礫のように大きなものから順に移動から停止に移行している。それらによって水みちの位置が固定され、より小さな砂の動きによって河床が低下し、より水みちが発達すると考えられる。本実験では簡単のため4号、7号珪砂の2種類による混合砂を用いるが、先に述べたとおり細粒成分が重要であると考えられるため、その最適な配合比を求めることを目的としている。

(1) 実験条件

粒度分布を変化させることが側岸侵食と河床低下にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするため、初期河床として形成した複断面水路に一定流量 $Q=0.11$ (l/s) を通水し、時間ごとに水路の幅 (B) と高水敷から低水路河床までの距離の横断平均値 (D) を求める。その結果から、より側岸侵食が抑えられ河床低下が進行する配合比を求める。

実験に用いた水路は、長さが8m、幅が0.5mの直線水路である。水路に砂を敷き詰め後、中央に幅100mm、深さ15mm、側岸の勾配が1:1となるような断面を形成し、これを初期河床とした。河床材料は4号珪砂 ($dm=0.765$ mm) と7号珪砂 ($dm=0.154$ mm) を3:1, 5:1, 6:1で配合する。異なる掃流力で比較するため、勾配は1/60, 1/80の2種類とした。表-1はそれぞれのケース名と条件である。各ケースの通水開始から40分, 120分, 165分で通水を停止し、レーザー砂面計を用いて河床を計測する。上流の河床低下, 下流の低下背水の影響を考慮して水路下流端から1m上流を測定区間の下流端とし、そこから3mの区間を測定区間とした。また、縦横断方向にそれぞれ10cm, 5mmごとに計測を行った。

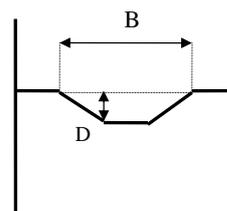


図-2 BとDの定義

ケース名	配合比	勾配
Case A	3:1	1/60
Case B	5:1	1/60
Case C	6:1	1/60
Case D	3:1	1/80
Case E	5:1	1/80
Case F	6:1	1/80

表-1 ケース名と条件

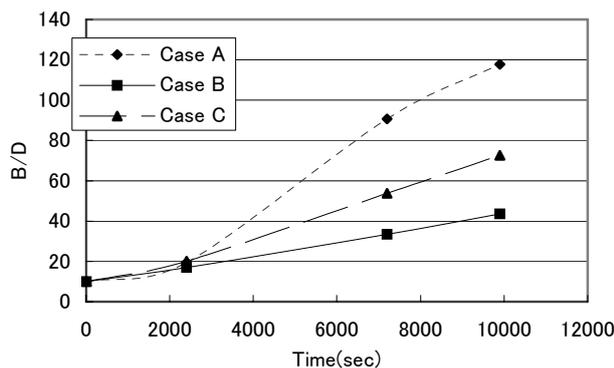


図-3 拡幅と河床低下の時間変化

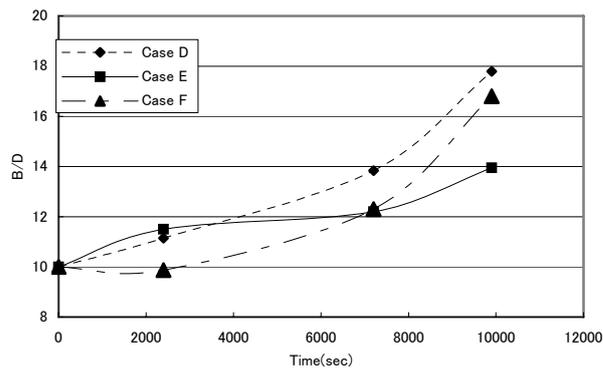


図-5 実験の様子

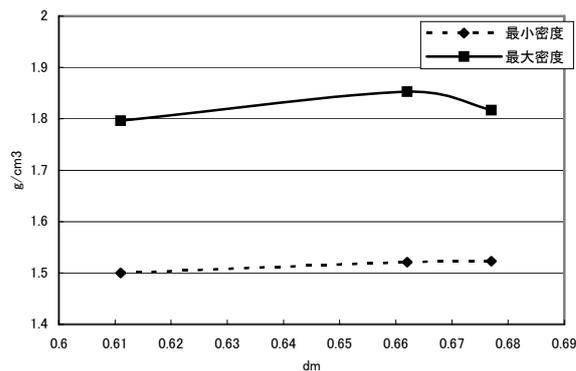


図-4 平均粒径と密度の関係

全てのケースにおいて浮き州が発生していないことを確認しているため、図-2 に示すように河床データから高水敷よりも低い部分の幅をBとし、その区間における高水敷から低水路河床までの距離の平均値をDとする。また、図-5 に実験の様子を示す。

(3) 実験結果

図-3 は各粒径ごとに時間と B/D の値を比較したものである。この値が小さいほど水路の拡幅が抑えられ河床が低下していることになる。勾配が小さいと掃流力も小さくなるため水路の拡幅や河床の低下が共に緩やかに進行する。勾配が同一である CaseA, B, C また CaseD, E, F を比較すると、それぞれ配合比が 5:1 のときに最も B/D の値が小さくなるのがわかる。

図-4 は各配合比における混合砂の密度試験⁵⁾結果の最大値と最小値をプロットしたものである。横軸は平均粒径である。図より、B/D の値が最も小さかった配合比 5:1 のときに最も最大密度が大きくなっていることがわかる。実際に実験を行ったときの河床材料の密度は計測していないため不明であるが、初期河床形成時に水締めを行っているため、それぞれのケースにおける河床の密度も図-4 のような傾向を見せると考えられる。

CaseB, CaseE の実験において拡幅が比較的抑えられた理由として、配合比の影響で河床が密になったことにより、側岸の強度が増したことが考えられる。この結果は条件が限定されており、検証した配合比のパターンも 3 種類であるため今後も更なる検討の余地を残しているが、ここではこの結果を以降の実験に反映させることとする。

3. 本実験

本実験は予備実験の知見を生かし、また大流量から小流量への減衰期間を考慮することによって大流量通水中に形成された砂州形状が、どのような過程で水みち形状に至るのかを把握することを目的としている。実験に用いた水路は、長さ 50m、幅 0.9m の直線水路であり 4 号、7 号珪砂を 5:1 で配合した混合砂を勾配が 1/80 となるように敷き詰め初期河床としている

(1) 実験条件

流量については洪水ハイドロを用いるが、洪水時の水みち形成に着目していることから、安定した砂州が形成されるまでは一定の流量を通水することとした。その後の減衰過程については渡邊ら⁶⁾が用いた式を参考にし、図-6 のようなハイドロを与えることとする。表-2 は流量とその通水時間である。Case1 は今回行った実験の条件、Case2 は減衰期間の影響を比較するため近藤ら⁷⁾が行った実験の条件を記した。Case1 の水みち形成流量の通水時間 t の中には減衰期間 45 分が含まれている。給砂に関しては減衰期間が終了するまで行うこととし、その量は図-6 のハイドロから 5 分毎の平均流量を算出し、その流量に対応した掃流砂を上流から供給している。所定の時間通水した後、水路下流端の 10.5m 上流から 25.5m までの縦断距離 15m の区間について縦横断方向についてそれぞれ 15cm, 5mm 間隔で河床を測定した。レーザーによる河床の測定には通水を一旦停止する必要がある。しかし、通水を停止、再開するとき生じる流量の

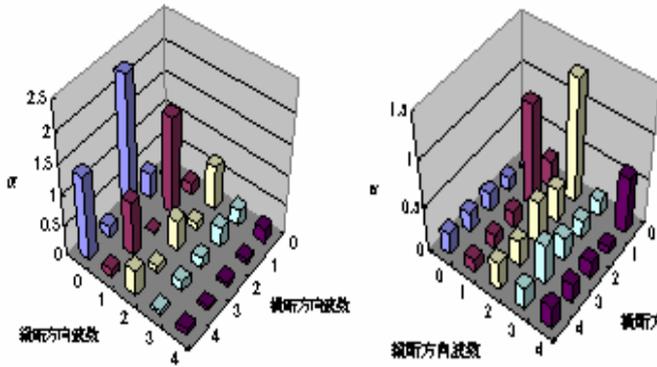


図-9 砂州形状と水みちの波数解析

$$z = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \alpha_{ij} \sin\left(i \frac{2\pi}{2B_v} n - \frac{\pi}{2} \frac{1+(-1)^i}{2}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{L} s - \sigma_{ij}\right) \quad (1)$$

ここで、 z は河床勾配を考慮した基準面からの平均水深で無次元化された河床高さ、波数 i および j はそれぞれ横断方向 y および縦断方向 x の波数、 α_{ij} は波数 i, j の

波成分の振幅、 σ_{ij} は波数 i, j の位相である。解析対象区間は図-8 に一点鎖線で示されている。各河床形状を解析した結果、さまざまな成分が存在したが、ここでは砂州形状を特徴付けるといわれている(1,1), (2,0), (3,1), (2,2), (4,0)を抽出して検討を行うこととする。また解析で(3,3)が比較的大きな値を示したのであわせて検討を行う。カッコ内の2つの数字は(i,j)を意味している。

図-9 の左側は砂州形成後、また右側は減衰期間終了後の解析結果である。また、図-10 は同じ区間置ける波数成分を時間ごとに求めプロットしたものである。砂州形成直後は単列砂州を特徴付けている(1,1), (2,0), (3,1)が卓越している。しかし、減衰期間を経るとそれらの成分は小さくなる。また、複列砂州の特徴である(2,2)成分は時間的にあまり変化しなかった。本実験における大流量の水理条件は複列砂州の区分であり、複列砂州から単列砂州に移行させてから小流量を通水している。したがってその影響が表れているものと考えられる。今後は、水理条件が単列砂州の形成区分である条件や、大流量通水後に形成される河床が複列砂州である条件で水みちの形成過程についても検討する必要がある。

5. 結論

本研究の結論を以下に示す。

(1) 混合砂の配合比によって拡幅や河床低下に大きく影響を及ぼし、また流路が安定する最適な比が存在する。

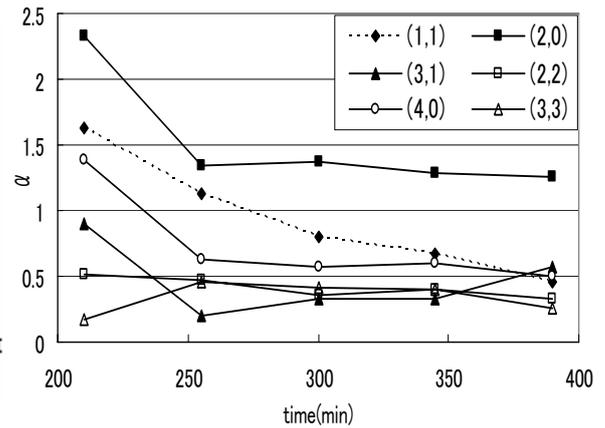


図-10 波数成分の時間変化

(2) 大流量から小流量への減衰期間を考慮することによって明瞭な水みちが形成されることが明らかとなった。なお、本研究ではその期間を45分としたが、その長さの違いによって水みちの形成にどのような影響を与えるか、今後検討する必要がある。

参考文献

- 1) 三輪浩, 大同淳之, 横川純: 交互砂州における水みちの形成過程に及ぼす土砂供給と砂礫の分級の影響, 土木学会水工学論文集第49巻, pp949-954, 2005.
- 2) 竹林洋史, 江頭進治: 自己形成流路の形成過程と形成水理条件, 土木学会論文集, Vol. 677, pp75-86, 2001.
- 3) 寺本敦子, 辻本哲郎: 砂州形状の特性と平水時の流路構造, 土木学会水工学論文集第50巻, pp961-966, 2006.
- 4) 渡邊康玄, 安田浩保, 島田友典: 中規模河床波の低流量時における形状変化過程に関する水理実験, 土木学会水工学論文集第51巻
- 5) 地盤工学会: 土質試験基本と手引き, 第一回改訂版, pp59-64
- 6) 渡邊康玄, 佐藤耕治, 大山史晃, 非定常流下での砂州形成実験: 土木学会水工学論文集第46巻 2002.
- 7) 近藤祐介, 渡邊康玄, 野上毅, 清水康行: 水みちの形成要因とその挙動に関する水理実験, 土木学会北海道支部論文集,
- 8) 長谷川和義, 山岡勲: 発達した交互砂州の性状に関する実験と解析, 土木学会, 水理講演会論文集, 第26巻, pp. 31-38, Feb, 198