

# 浚渫及び流れの変化による、堆積土砂の河床形態への影響

The impact of dredging and flow variability on alluvial bed forms

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 久原愛加 (Aika Hisahara)

北海道大学大学院工学研究院 正員 Adriano Coutinho De Lima

## 1. はじめに

河床では流れによって砂の移動が起こり、浸食と堆積により河床波のような河床形態が形成されることがある。流れによって形成された河床形態は、今度は流れを変化させる。水面の形状も変わり、流れの速いところで浸食が、遅いところで堆積が起こっていくことでさらに河床形態の変化が起こっていく。河床に形成される河床形態の種類のひとつに、デューンとアンチデューンがある。デューンは比較的フルード数が小さいときに、アンチデューンはフルード数が大きいときに現れることで知られている。デューンは下流方向に進行し、アンチデューンは上流方向に進行するものと下流方向に進行するものの両方が存在する。また、河床だけでなく海底でも同様に堆積土砂による形態が生じることがある。

河床や海底に堆積土砂による形態が形成されることで起こる弊害として、洪水時の流量の変化によって河床に河床形態が形成されると河床での摩擦が増大してしまうことや、堆積土砂による凹凸が船の運航の妨げとなることなどがある。香川県の備讃瀬戸では航路の海底に形成されたサンドウェーブによって航路の最低水深よりも水深が低い場所が出てきてしまう事例<sup>1)</sup>が起きた。対策として、形成されたサンドウェーブの上部を取り除く浚渫工事が行われたが、10年経過した後に再びサンドウェーブが発達し、航路の最低水位を下回ってしまった。その後は維持浚渫が行われている。また、ドイツのGerman Bightで行われた浚渫<sup>2)</sup>では10年より短く、数か月で再生している。このように、航路に大規模な河床形態が形成されて物流に影響が出ると、経済的な損失につながってしまう。特にミシシッピ川などのような川では経済面で大きな役割を担っており、河床の状態はとても重要なものとなる。

形成された河床形態に対して浚渫工事が行う場合に、取り除いた土砂の処理の問題も出てくる。また河床を削り取るということは、環境や生態系への影響も考慮しなければならない。そのうえ一度浚渫工事を行ってもしばらく経った後に再び形成されてしまうこともあり、河床形態の形成について調べることは非常に重要であるといえる。

## 2. 実験概要

本実験では砂を敷き詰めた実験用水路に水を流し、そこにできる河床形態を観察する。実験では以下の2つの観点から観測を行う。

### 1. 流量と河床の初期条件による違い

様々な流量の水を流すことで、流量が河床形態形成に

与える影響を調べる。また河床の初期条件について、異なる条件下で同じ流量の水を流したときにできる河床形態の違いを観察する。

### 2. 浚渫による影響

形成された河床形態の一部を平らにしたときの、再生までの過程を観察する。

## 3. 実験方法

長さ 4m, 幅 5cm 或いは 20cm の実験用水路に砂を 5cm の深さで敷き詰め、そこにポンプで吸い上げた水を流すことで河床形態を形成する。水路の勾配は変化させることができ、今回は実験 1 では 1/1000, 実験 2 では 1/100 に設定している。砂は東北硅砂 5 号(粒径:約 0.52mm, 絶乾密度:2.62g/cm<sup>3</sup>)を使用。最下流には高さ 5cm の堰を設置し砂止めとした。砂床は粒子の移動によって上流から浸食していくため、度々上流部への砂の補充を行っている。水深はポイントゲージを使用して計測する。



図1 実験装置

## 4. 実験

### (実験 1)

流す水の流量を変化させながら、その流量ごとに形成された河床形態を観察していく。ここでは水路幅を 20cm, 勾配を 1/1000 に設定している。

#### ・実験 1-1

流す流量を変化させながら 180 分間水を流し、発生した河床形態の波長を観測した。実験の間は一度も流れを止めることなく連続して流量を変化させていった。最初の流量で流し始めるときの河床の初期状態は平坦床である。計測した流量、河床形態を観測した位置でのフルード数、形成された河床形態の波長について以下の表にま

とめる。

表 1 実験 1-1 観測結果

| 時間(分)   | 流量(m <sup>3</sup> /s) | フルード数 | 波長(cm) | 観測時刻(分) |
|---------|-----------------------|-------|--------|---------|
| 0~20    | 0.0013                | 0.84  | 6      | 9       |
| 20~40   | 0.0016                | 0.99  | 7      | 30      |
| 40~60   | 0.0019                | 0.99  | 6      | 45      |
| 60~100  | 0.0022                | 1.01  | 8      | 72      |
|         |                       | 0.95  | 8      | 84      |
| 100~180 | 0.0024                | 0.81  | -      | 106     |
|         |                       | 1.13  | 12     | 123     |
|         |                       | 0.85  | 6.5    | 146     |
|         |                       | 0.78  | 7      | 172     |

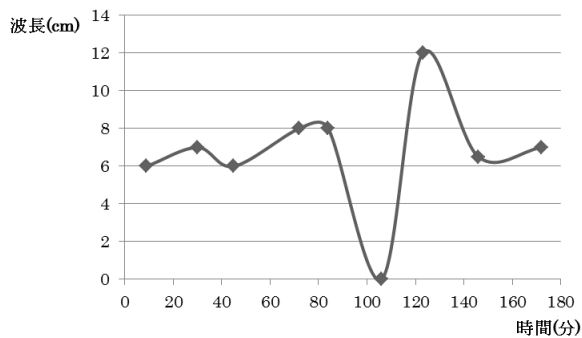


図 2 実験 1-1 河床形態の波長の変化



図 3 123 分経過後の河床形態

#### ・実験 1-2

実験 1-1 と同様に 120 分間水を流して発生した河床形態の観測を行った。河床形態の初期条件は平坦床である。実験の間は一度も流れを止めることなく連続して観測を行っている。フルード数については河床形態を観測した地点付近の値を算出した。結果は実験 1-1 と同じく以下の表にまとめる。

表 2 実験 2-2 観測結果

| 流量(m <sup>3</sup> /s) | フルード数 | 波長(cm) | 観測時刻(分) |
|-----------------------|-------|--------|---------|
| 0.0025                | 1.05  | 10     | 8       |
|                       | 0.68  | 11     | 26      |
|                       | 0.93  | 8.5    | 45      |
|                       | 0.94  | 9.5    | 65      |

|  |      |   |     |
|--|------|---|-----|
|  | 0.91 | 8 | 90  |
|  | 0.99 | - | 106 |

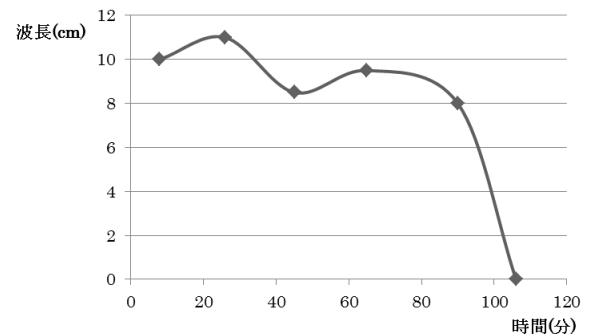


図 4 実験 1-2 河床形態の波長の変化



図 5 26 分経過後の河床形態

#### ・実験 1-3

実験 1-1,1-2 と同様に 60 分間水を流して発生した河床形態の観測を行った。河床形態の初期条件は平坦床であり、実験の間は一度も流れを止めることなく連続して観測を行っている。フルード数については、河床形態を観測した地点付近の値を算出している。

表 3 実験 1-3 観測結果

| 流量(m <sup>3</sup> /s) | フルード数 | 波長(cm) | 観測時刻(分) |
|-----------------------|-------|--------|---------|
| 0.0025                | 0.83  | 10     | 6       |
|                       | 0.80  | 8      | 24      |
|                       | 0.77  | 7.5    | 46      |

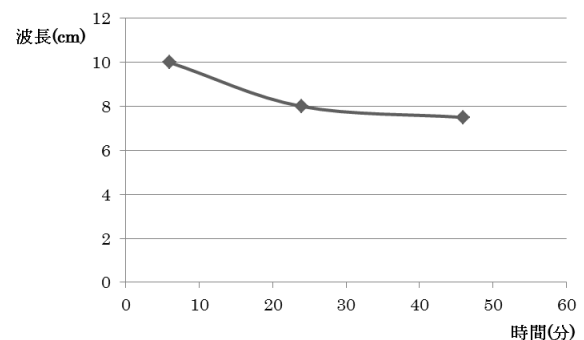


図 6 実験 1-3 河床形態の波長の変化



図7 6分経過後の河床形態

## (実験2)

実験2では水路幅を5cm、勾配を1/100に設定した。ここではいくつかの流量の水を流し、それぞれに対して形成された河床形態の波の一部を均したとき、その河床形態が再び形成されるまでの過程を観察する。河床波の一部を均すには細い棒の先に小さな円柱型の突起が付いたものを使用し、抵抗を小さく抑えてできるだけ河床の砂や水の流れを妨げないようにした。

実験の条件と、形成された河床形態の大きさを以下の表にまとめる。水深とフルード数については、観測した河床形態の発生した地点付近の値である。

表4 実験条件と形成された河床形態の大きさ

|                       | ①                     | ②                     | ③                     | ④                     |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 水深(cm)                | 1.54                  | 2.03                  | 2.54                  | 2.46                  |
| 流量(m <sup>3</sup> /s) | $2.86 \times 10^{-4}$ | $5.71 \times 10^{-4}$ | $1.30 \times 10^{-3}$ | $4.96 \times 10^{-4}$ |
| フルード数                 | 0.88                  | 1.14                  | 1.86                  | 0.75                  |
| 河床波の波長(cm)            | 7.5                   | 11                    | 17                    | 11                    |
| 高さ(cm)                | 0.5                   | 1                     | 1.2                   | 1.1                   |

ここからは上記①～④で形成された河床形態の河床波の一部を均した後、再生されるまでの過程の結果について述べる。

各流量において形成された河床形態の河床波の一部を均したところ、少しの時間経過後、再び波形が形成される前に、均した波形よりも下流側の波形も消滅する様子が見られた。その過程について以下の図を使って説明する。

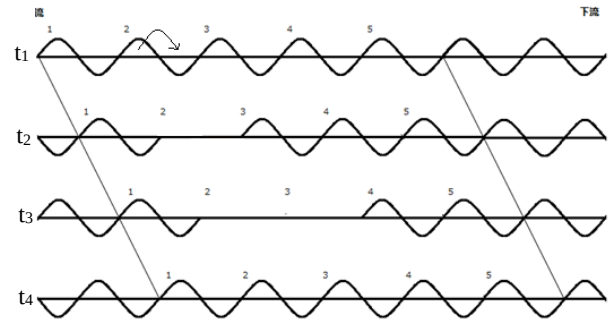


図8 浚渫後から再形成までの過程

図の  $t_1 \sim t_4$  は時間の経過を表しており、下段に進むほど時間が経過している。各波形に振られている番号を見てわかるように、形成された河床波は上流側から下流側へ移動している。ここで、波形2の山側を谷側へ均したところ、下流側の波形3も消滅し、その後波形が再生された。

下流側の波形への影響範囲や波形の再生までにかかる時間については、流す水の流量によって異なっていた。その結果を以下の表にまとめる。

表5 再形成までの時間と影響範囲

| 流量 | No. | 再形成までの時間(秒) | 影響範囲(波数) |
|----|-----|-------------|----------|
| ①  | 1   | 21          | 2        |
|    | 2   | 15          | 1        |
| ②  | 1   | 27          | 2        |
|    | 2   | 22          | 1        |
|    | 3   | 23          | 1        |
| ③  | 1   | 15          | 1        |
|    | 2   | 13          | 1        |
|    | 3   | 14          | 1        |
| ④  | 1   | 40          | 3        |
|    | 2   | 28          | 3        |

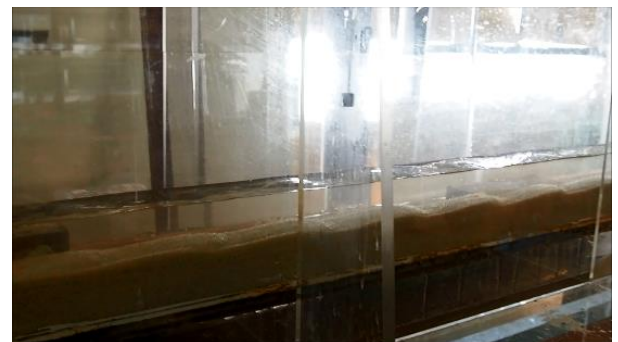


図9 流量①での浚渫前の河床





図 10 流量①で浚渫後、下流側の波形が消滅



図 11 流量①で浚渫後再び河床形態を形成

## 5. 考察

### (実験 1)

実験 1-1 において、実験開始から 123 分経過頃までの間、流量の増加につれて形成される河床形態の波長も大きくなっていることが読み取れる。また、その後一定の流量( $0.0024(\text{m}^3/\text{s})$ )で流し続けたときに見られた河床形態の波長を比較すると、だんだんと短くなっていくことがわかる。実験 1-2, 1-3 でも同様に、一定の流量( $0.0025(\text{m}^3/\text{s})$ )を流し続けた結果、初期段階に観測されえた河床形態の波長に比べて、事件経過後の波長は比較的短くなっていった。このことから、一定の流量で水を流し続けた場合に形成される河床形態の波長は、時間がたつにつれて小さくなっていくと考えられる。

さらに、実験 1-1 と実験 1-2 で形成された河床形態の波長について、特に初期段階に形成されたものを比較してみると、同じ長さの波長をもつ河床形態が形成されていることがわかる。このことから、形成される河床形態の波長の大きさは流量によって決まるといことも考えられる。

### (実験 2)

この実験では、形成された河床形態の波形の一部を均した場合に下流側の手を加えていない部分まで影響し、波形が消滅することと、その後数十秒たった後に再び波形が形成される様子が観測された。また、河床波の影響で水面にも波形が生じていたが、河床波の一部が平坦になったときには水面の波形もまた波高が小さくなり、平坦に近づいていた。さらに、表 5 を見てわかるように流量によって河床形態が再び形成されるまでにかかる時間や、波形を均すことによる影響の範囲が異なることが読み取れる。

まずは波形の一部を均したときにその下流側の波形までも消滅する理由について考察する。河床波が存在しているところでは波形の山側と谷側で水深に違いが生じ、流速に差が出る。すると山の山側上流側の流速の速くなる場所では浸食が起き、下流側の流速が遅くなる場所では堆積が起き、それによって河床波は下流方向へ移動していく。その河床波の一波長分を均したあと、下流側に隣り合っていた波形は依然として山側で浸食され谷側に堆積していき、その結果としてその部分も平坦になったと考えられる。

その後再び河床波が形成される理由については、河床が平坦になっても水面は不安定であり完全な水平ではなく、前後の河床波による水面の波形の影響を受けている。そのため水深にわずかな差が生じ、それが元で再び浸食と堆積がすこしずつ起こり始め、その浸食と堆積によって生じた河床の波形がさらに水深の差を生み、流速の速いところで浸食して遅いところで堆積し、下流へと移動していく河床波を再び形成していくのではないかと考えられる。

## 6. 今後の予定

今後の実験では新たに、河床の初期条件の違いによって形成される河床形態への影響を調べるため、流量を変化させて実験を行う。たとえば、最初に平坦床から開始して形成された河床形態と、その後流量を大きく上げることで違う大きさの河床形態を形成したのちに再び元の流量に戻したときにどういった河床形態を形成するかを観察する。同じ流量で水を流した場合でも、河床の初期状態が違えば水深にばらつきが生じ、それによって浸食と堆積の起こり方に違いが出てくるのではないかと考えられる。

これに加えて、今回はすべて東北珪砂 5 号を使用して実験を行ったが、砂の粒径を変えた場合の実験も行っていきたい。

## 7. 参考文献

- 1) 加藤一正, et al. 備讃瀬戸航路のサンドウェーブと航路保全. 海岸工学論文集, 1997, 44: 686-690.
- 2) Wienberg, Claudia, and Dierk Hebbeln. "Impact of dumped sediments on subaqueous dunes, outer Weser Estuary, German Bight, southeastern North Sea." *Geo-Marine Letters* 25.1 (2005): 43-53.
- 3) GUY, Harold P.; SIMONS, Daryl B.; RICHARDSON, Everett V. Summary of alluvial channel data from flume experiments, 1956-61. 1966.
- 4) Nelson, J. M., et al. "Bedform response to flow variability." *Earth Surface Processes and Landforms* 36.14 (2011): 1938-1947.