

流水下における淡水二枚貝の受動的流動

大阪工業大学都市デザイン工学科 学生員 ○佐藤 寛容  
 大阪工業大学都市デザイン工学科 正会員 綾 史郎  
 河川環境管理財団近畿事務所 正会員 中西 史尚

1. はじめに 在来魚の生息環境を保全するためにワンドが造成されることが多いが、イシガイ科の淡水二枚貝を産卵母貝とするタナゴ類がワンド内に定着するには、1)底生魚によって二枚貝のグロギジウム幼生が運ばれてくること、あるいは2)ワンド外から幼貝や成貝が他の生息水域から流水によって運ばれてくること、また3)出水時にはワンド内から流出しないことが必要である。本研究では流水による淡水二枚貝の受動的な移動形式と移動開始流速を実験水路で考察し、調べた。

2. 固定床における貝の流動 揚力を無視して貝に作用する力を図に示すと図-2 のようになる。ここに、 $F$ : 抗力、 $C_D$ : 抗力係数、 $\rho_w$ : 水の密度、 $U_c$ : 移動限界流速、 $A$ : 投影面積、 $W$ : 貝の水中重量、 $R$ : 摩擦力、 $\rho_s$ : 貝の密度、 $g$ : 重力加速度、 $V$ : 貝の体積、 $\mu$ : 静止摩擦係数、 $w$ : 貝の殻幅、 $C_1: C_1HL=A$  になる係数、 $C_2: C_2HLW=V$  になる係数、 $C_3: C_3H=$  貝の腹縁を回転中心とした時の抗力のモーメントの腕の長さになるような係数、 $C_4: C_4H=$  貝の腹縁を回転中心とした時の重力のモーメントの腕の長さになるような係数である。

$F \geq R$  の時に貝は滑動を始め、その時の流速を  $U_c$  とすると

$$\frac{\frac{1}{2} C_D \rho_w U_c^2 A}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) \rho_w g V} = \mu \quad \text{を得る。}$$

辻本らに従い、限界シールズ数  $S_c$  を

$$S_c = F/W \quad (C_D=1, A=\frac{\pi}{4}D^2, D: \text{相当直径})$$

とすると  $S_c$  は  $\mu$  と等しくなければならない。これから、 $\mu$  を実験で求めた。表-4 は辻本らの  $S_c$  と実験値  $\mu$  を比較したものであるが、実験値と計算値で大きな違いがあり、抗力係数  $C_D$  と投影面積  $A$  の仮定値を検討する必要がある。一方転動は貝の回転モーメント  $M_0$  と貝の抵抗モーメント  $M_r$  のつり合いで表され、

$$\frac{M_0}{M_r} = \frac{\frac{1}{2} C_D U_c^2 C_1 HL \cdot C_3 H}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) g C_2 HLW \cdot C_4 H} = 1$$

となる時が移動限界であり、 $M_0 > M_r$  の時転動を始める。

3. 実験で用いた淡水二枚貝 実験対象の貝は淀川産のイシガイ 39 個、ドブガイ類 (幼貝) 5 個、オグラヌマガイ (幼貝) 5 個、芥川産のササノハガイ 7 個である。貝のサイズ (殻長、殻幅、殻高)、湿重量、体積、密度の平均値を表-1 に示した。平均密度はイシガイが 1.55 で一番大きく、ドブガイ類が 1.12 と一番小さかった(表-1)。

4. 実験水路 実験は高さ 0.2m、幅 0.2m、長さ 6.0m の長方形断面開水路を用いて、路床表面に貝が露出した場合を想定した滑面および粗面固定床上の流れでの移動限界流速測定実験と貝の自然下の生息状態を想定した移動床上の流れにおける実験を行った。移動床は 5 号および 6 号珪砂を 5 あるいは 7cm 厚で均一に敷き、二枚貝を自然下に近い状態で埋めた後、通水して砂粒及び貝の移動について観察した。

表-1 貝の測定結果 (平均値) .

|                        | ドブガイ類 | イシガイ  | オグラヌマガイ |        | ササノハガイ |
|------------------------|-------|-------|---------|--------|--------|
|                        | 幼貝    | 成貝    | 幼貝      | 成貝     | 成貝     |
| 殻長(cm)                 | 4.99  | 4.95  | 5.57    | 10.83  | 9.13   |
| 殻高(cm)                 | 3.34  | 2.49  | 4.25    | 7.20   | 2.88   |
| 殻幅(cm)                 | 2.05  | 1.81  | 2.14    | 4.75   | 1.68   |
| 湿重量(g)                 | 15.36 | 15.60 | 21.42   | 144.70 | 30.80  |
| 体積(cm <sup>3</sup> )   | 13.79 | 10.31 | 16.67   | 127.28 | 20.70  |
| 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 1.12  | 1.55  | 1.29    | 1.14   | 1.49   |



図-1 固定床上の貝の流動形式。

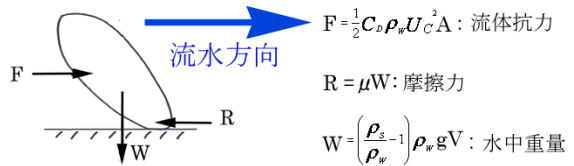


図-2 流水中の貝に作用する力。

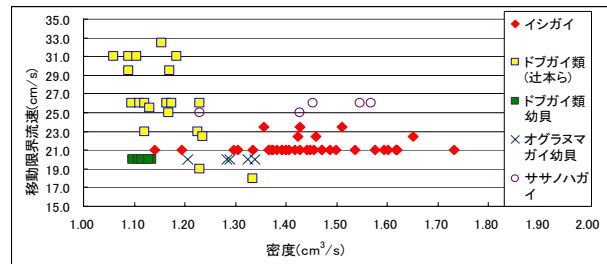


図-3 滑面上の移動限界流速と密度。

キーワード 二枚貝、流動、転動、滑動、浮遊、局所洗堀、砂堆  
 連絡先 (大阪府田区大宮 大阪工業大学都市デザイン工学科 水圏環境研究室 TEL・FAX 06-6954-4184)

6. **固定床実験** 滑面では貝は4種とも、貝近傍の局所流速が20~26cm/sで滑動し流れた(図-3)。粗面では局所流速は15~20cm/sでほとんどの貝が転動した。比重の小さいドブガイ類、オグラヌマガイは大きい流速で浮遊するのが滑面・粗面の両方で見られた。

7. **無次元移動限界流速** 貝の移動限界流速より、

$$\text{無次元移動限界流速} = \frac{U_c^2}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) \rho_w g w}$$

を求めた(図-4)。ここに、無次元移動限界流速が1.0を超えているものは貝の密度が例外的に低いものを除外すると、イシガイ、ササノハガイは滑面、粗面であまり差は見られなかった。しかし、ドブガイ類、オグラヌマガイは0.2~0.4ほど滑面の方が値は小さくなっていった。図-5は粗面及び滑面における無次元移動限界流速の大きさを比べたものである。イシガイは粗面の方が移動限界流速が大きくなるが、他の3種では滑面の方が大きくなっていった。

8. **移動床実験** 実水域で多くの貝は本体を半分砂中に潜らせ、滑面・粗面固定床の実験とは異なった形で生息している。そこで5号、6号珪砂を用いて移動床を作成し、より実態に近い形での流下実験(表-3)を行った。移動床では砂粒子が移動する条件下で通水し続けると貝の周りの砂が洗掘され、その窪みの中で貝が直立した(図-6)。砂の移動で砂堆が形成され、砂堆の移動により貝の露出、埋没が繰り返えされ、洗掘孔の中で貝が能動的に砂中に潜ろうともしていた。しかし、貝全体が完全に露出して倒れると速やかに流されてしまう場合と、凹部にはまって流れにくい場合とがあった。貝の周りの砂がすべて洗掘されてしまい、貝が流されたときの流速は0.58m/sであった。

9. **結論** 滑面実験では大半の貝が滑動し、粗面実験では大半の貝が転動した。また貝は移動床実験が一番流れにくく、粗面実験が一番流れやすかった。砂層内に埋没している貝が流れ出す場合としては、スケールの大きい砂堆の移動により貝全体が路床表面に出してしまう場合や、河床全体が洗掘されたときに流される場合があると考えられる。

参考文献

辻本陽琢、林博徳、島谷幸宏、池松伸也：固定床水路を用いたイシガイ科二枚貝の移動限界流速測定実験、河川技術論文集、第15巻、2009年6月

表-2 静止摩擦係数の実験値(平均値)。

| 貝種      | 静止摩擦係数 $\mu$ | 限界シールズ数 $S_c$ |
|---------|--------------|---------------|
| ドブガイ類   | -            | 0.58          |
|         | 0.600        | 0.997±0.151   |
| イシガイ    | 0.540        | 0.335±0.149   |
| オグラヌマガイ | 0.504        | 0.359±0.077   |
| ササノハガイ  | 0.620        | 0.358±0.129   |

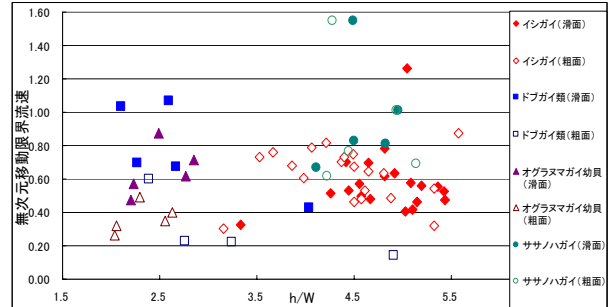


図-4 無次元限界流速の計算結果

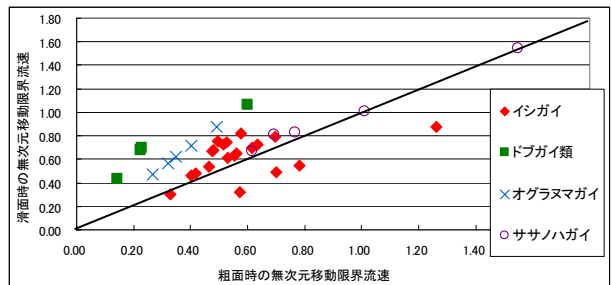


図-5 滑面、粗面の無次元移動限界流速

表-3 移動床の水力条件

| 実験番号 | 流量 × 10 <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> /s) | 水面勾配 (路床勾配) | 平均水深 (m) | 断面平均流速 (m/s) | Fr数   | 局所流速 (m/s) | 摩擦速度 (m/s) |
|------|------------------------------------------|-------------|----------|--------------|-------|------------|------------|
| 1    | 2.61                                     | 0.0031      | 0.0303   | 0.431        | 0.790 | -          | 0.0303     |
|      |                                          |             | 0.0442   | 0.295        | 0.449 |            | 0.0366     |
| 2    | 5.40                                     | 0.0055      | 0.0527   | 0.512        | 0.713 | 0.450      | 0.0533     |
| 3    | 7.71                                     | 0.0076      | 0.0829   | 0.465        | 0.516 | 0.580      | 0.0786     |
|      |                                          |             | 0.0599   | 0.644        | 0.840 |            | 0.0668     |
| 4    | 9.28                                     | 0.0061      | 0.1170   | 0.397        | 0.370 | 0.539      | 0.0836     |
|      |                                          |             | 0.0762   | 0.609        | 0.705 |            | 0.0675     |

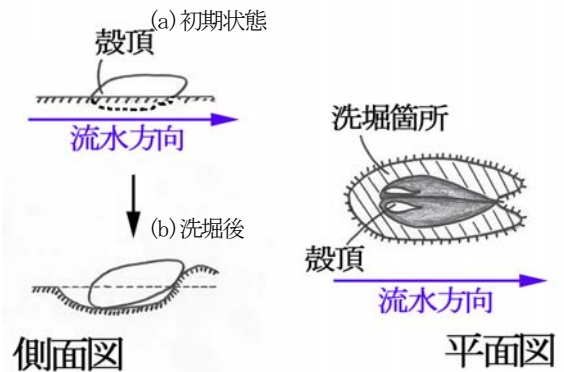


図-6 移動床の局所洗掘図