

振動流場でのウバガイ稚貝の潜砂に関する実験的研究

Experimental study on the burrowing behavior of young Surf clam under oscillatory flow

山下俊彦*・和田彰**・鳴海日出人***・渥美洋一****・櫻井泉*****

Toshihiko Yamashita, Akira Wada, Hideto Narumi, Youichi Atsumi, Izumi Sakurai

Surf clam (*Pseudocardium sybilla*) which live in sandy beaches along the open sea in northern Japan is an important fishery resources. There is a high mortality rate among young bivalves, which must be minimized to ensure their propagation.

In this study, the burrowing behavior of young bivalves under oscillatory flow was experimentally investigated in order to understand the mortality process. The critical condition at which bivalve can burrow back into the sand was clarified. Also, the burrowing rates of bivalves with varying water temperature and sand diameter were clarified quantitatively.

Keywords : bivalve, mortality, burrowing, oscillatory flow

1. はじめに

ウバガイは北日本沿岸の開放性砂浜域に生息する潜砂性二枚貝で、ホタテガイに次ぐ重要な貝類の水産資源である。稚貝段階での著しい減耗が増殖の障害となっており、この原因として冬季の高波浪が指摘されている¹⁾。また、港の建設（防波堤の延長）とともに稚貝の生息分布域が移動したり、建設後にその静穏域に稚貝の増加例が報告²⁾されるなど、海岸構造物との関係の深い生物でもある。

潜砂性二枚貝であるウバガイは、高波浪により砂中から水中に放出され、流れにより振動させられたり、生存不可能な場所へ運ばれたりして減耗に至ることが知られている。これ迄の現地調査により、天然海域においても稚貝の生息分布の移動や成長に伴う分布水深の変化などが見られることから、稚貝期のウバガイは放出と再潜砂を繰り返しながら生存していることが予想される。よって、減耗過程を明らかにする上では砂中から水中への貝の放出問題と放出された貝の再潜砂について明らかにする必要がある。さらに、このウバガイの再潜砂条件は、増殖を目的とした種苗放流の際の水深と波浪条件を考える上でも重要である。山下ら（1995）³⁾の研究により、波による貝の砂中から水中への放出条件は明らかにされている。しかし、水中に放出された貝の再潜砂条件については、山下ら（1995）⁴⁾、櫻井ら（1997）⁵⁾により研究されているが、砂漣形成下での汎用的な再潜砂条件式は提案されていないのが現状である。そこで本研究では、振動流場でのウバガイ稚貝の再潜砂条件について定量的に求めることを目的として実験を行った。

2. 実験装置及び方法

本研究では砂中から水中へと放出された貝を想定し、振動流場における再潜砂可能な限界流速を定量的に求めることを目的として実験を行った。実験には、平成8年12月中旬に苫小牧沖で採取したウバガイ稚貝（殻長 $L=5\sim30\text{mm}$ ）を用いた。水温一定条件の下で周期と流速を変化させ、平坦な状態から砂漣を形成し、安定した砂漣の形成後に貝を一つずつ投入して、①潜砂の可能性、②砂漣上での潜砂位置、③流れの方向に対する潜砂方向を目視で記録した。実験に用いた鉛直循環式小型振動流水槽（装置内に粒径 0.31mm の珪砂を厚さ 15cm に敷く）を図-1に、また、実験条件を表-1に示す。

また潜砂に関連して、この実験とは別にウバガイの潜砂速度に及ぼす水温、底質粒径の影響を定量的に調べる系統的实验を行い、実用潜砂速度式を求めた。この実験でも、上の実験同様に12月中旬に苫小牧沖で採取したウバガイ稚貝（殻長 $L=4\sim32\text{mm}$ ）を用いた。温度制御が可能な恒温室内に、底質が中央粒径 $d=0.10, 0.17, 0.31, 0.75\text{mm}$ の4種類の水槽を用意し、水温を $5^{\circ}\text{C}\sim20^{\circ}\text{C}$ まで 5°C づつ変化させて実験を行った。また、それぞれの水温には貝を3日間馴致させ、実験期間中は餌として人工培養した適当量のパブロバとテトラセルミスを与え続けた。

*正会員 北海道大学大学院工学研究科（060札幌市北区北13条西8丁目）

**正会員 （株）建設技術研究所

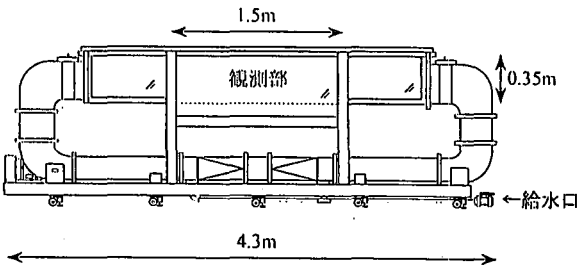
***正会員 日本データサービス（株）

**** 北海道開発局苫小牧港湾建設事務所

***** 北海道立中央水産試験場

表－１　ウバガイ潜砂限界実験の実験条件

底質粒径	中央粒径　d = 0.31mm
水　温	15℃（制御）
周　期	T= 4，6，8 秒
流速振幅	T=4s　Um = 15, 20, 25, 30　cm T=6s　Um = 15, 20, 25, 30　cm T=8s　Um = 20, 25, 30, 35　cm
使用海水	余市沖で採取



図－１　鉛直循環式小型振動流水槽

3. 実験結果及び考察

3-1. 潜砂限界実験

(1) 潜砂位置と潜砂方向

全実験を通して、潜砂した個体数 80 個の全てが砂漣谷部で潜砂し、砂漣の頂部や傾斜部で潜砂する個体は一つも見られなかった。これは、潜砂できるか否かに、砂漣表面で貝が静止する時間の長短が影響していると思われる。主流反転時 (U=0cm/s) に砂面と完全に接している貝は全て砂漣の谷部に位置し、逆にその瞬間に砂漣谷部に存在しない貝は、砂漣付近の渦に巻かれて浮遊状態にあったため、潜砂できない結果となった。

次に、流れの向きに対する潜砂方向についての結果を示す。まず潜砂方向については、ウバガイが潜砂行動を開始して砂上に直立した時のチョウツガイの向きが、①流れの方向に対して同じ向きに潜砂した場合、②流れの方向に対して 45° の向きに潜砂した場合、③流れの方向に対して直角の方向に潜砂した場合の 3 通りに分けて記録した。全潜砂個体数 80 個の潜砂方向別割合を求めた結果、流れ方向を向いた個体は 16%、流れ方向に 45° は 29%、流れ方向と直角は 55% となり、流れ方向に対して垂直の向きに潜砂する個体が多いことが判った。潜砂方向のほとんどは、主流反転時 (U=0cm/s) に貝が谷部で静止した瞬間の貝の向きによって決定され、静止した瞬間の貝が流れ方向を向くことはほとんどなかった。これは、貝が流れにより底面を転がる場合に、貝の慣性モーメントの小さい流れの直角方向に軸をもつ回転が多くなるためと考えられる。

よって今回の実験条件下では、貝が自ら潜砂位置や潜砂方向を選択する様子は見られず、静止した瞬間の方向、すなわち物理的な要因 (貝の比重、形状等が影響) によって決まることが明らかになった。

(2) 潜砂限界流速

ウバガイの潜砂限界の実験結果を図－2～4 に示す。

図－2 は周期 4 秒の場合、図－3、図－4 は 6 秒、8 秒の場合の結果を示している。ある潜砂速度の貝が砂漣上で潜砂できたものは○印、潜砂できなかったものは×印で示す。

この結果より、潜砂速度が大きい貝程大きい流速でも潜砂できること、周期が大きくなる程同じ流速条件下では潜り易くなることが明らかになった。

(3) 潜砂限界流速式

以上の結果をもとに、周期 T と潜砂速度 Vb をパラメータとした実用的なウバガイ稚貝の潜砂限界流速算出式を求めると次式となる。なお、図－2～図－4 の中の直線は、この式より得られた潜砂限界流速を示している。

$$U_m = 20 \cdot V_b + 6.9 \cdot T^{1/2}$$

Um : 流速振幅 (cm/s)

Vb : 潜砂速度 (mm/s)

T : 周期 (s)

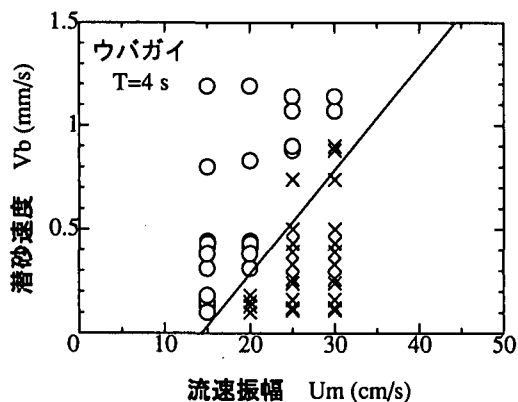


図-2 ウバガイの潜砂限界 (T=4s)

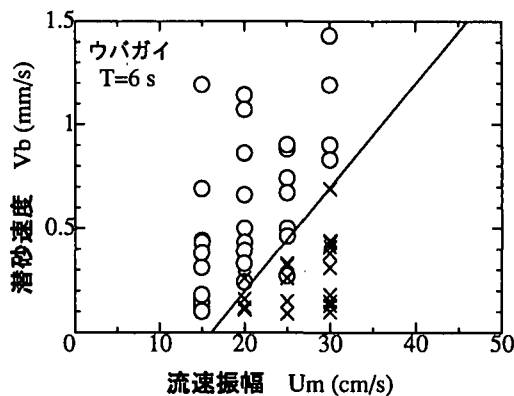


図-3 ウバガイの潜砂限界 (T=6s)

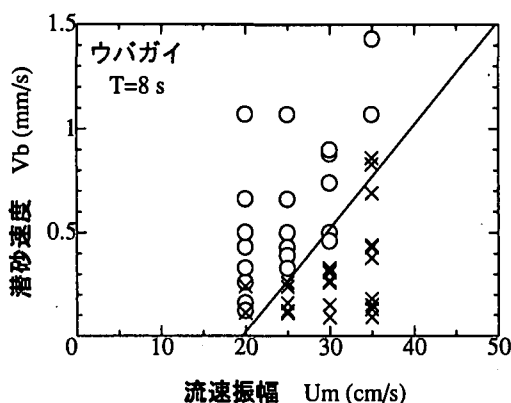


図-4 ウバガイの潜砂限界 (T=8s)

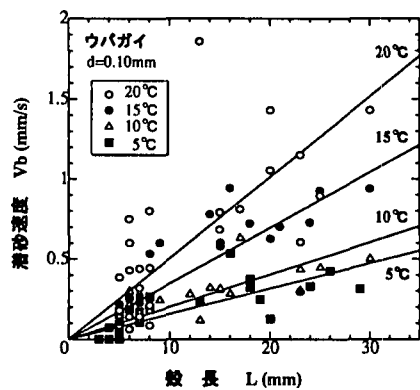
3-2. 潜砂速度実験

(1) 殻長と潜砂速度

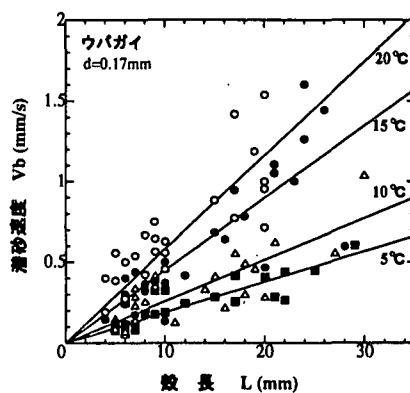
図-5 (a) ~ (d) は、各粒径ごとに5℃~20℃までの潜砂速度の測定値をまとめてプロットしたものである。図中には、最小二乗法により求めた原点を通る一次直線を示してある。この図から粒径0.10mm, 0.17mm, 0.31mmについては高水温程個体差が大きくなるが、潜砂速度は殻長に比例して大きくなるのが分かる。しかし、粒径0.75mmに関しては途中で潜砂行動を止める個体（この場合の潜砂速度は、 $V_b=0\text{mm/s}$ とした）がほとんどを占め、他の粒径に見られるような結果は得られなかった。ここで得られた原点を通る一次直線の傾きをKとして、各グラフより得られた比例定数Kを用いて、潜砂速度に及ぼす水温、底質粒径の影響について次に示す。

(2) 水温と潜砂速度

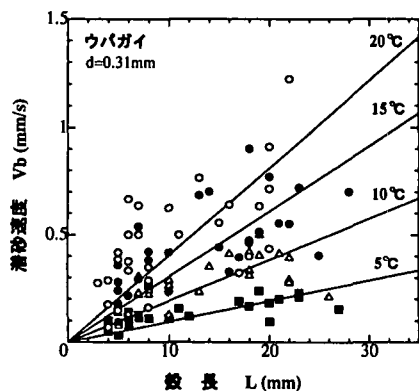
図-6は、比例定数Kと水温 t の関係を示したものである。このグラフより、先ほど述べた粒径0.75mmを除き、水温上昇とともに比例定数Kすなわち潜砂速度も増加することが分かる。ウバガイの生息する水深帯では、夏の高水温時には20℃以上に、また冬場の低水温時には約1℃まで達する⁶⁾が、今回の実験条件は十分その変化の範囲内にある。水温5℃と20℃で潜砂速度にして3~4倍の差があることから、冬季水温低下時の顕著な活力の低下がこの実験より明らかになり、潜砂限界が貝の潜砂速度で決まることを考慮すると、冬季間は一度砂上へ放出された貝が再度潜砂することは難しいことがわかる。この結果より、この活力低下が、冬場の著しい減耗率に寄与していることがこの結果からも予想される。



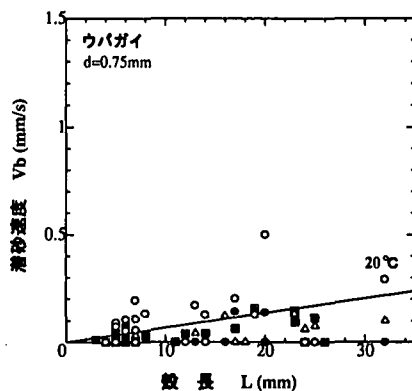
(a)



(b)



(c)



(d)

図-5 各粒径ごとの殻長と潜砂速度

(3) 粒径と潜砂速度

図-7は、比例定数 K と底質粒径 d との関係を示したものである。このグラフより、水温によらず粒径 0.17mm をピークとして、粒径の粗粒化及び細粒化とともに潜砂速度が小さくなることわかる。この実験結果と、現地におけるウバガイ生息域の底質粒径⁷⁾(細砂～極細砂)を考え合わせると、特に粒径 0.1mm から 0.3mm 程度がウバガイ稚貝に適した底質条件であると思われる。

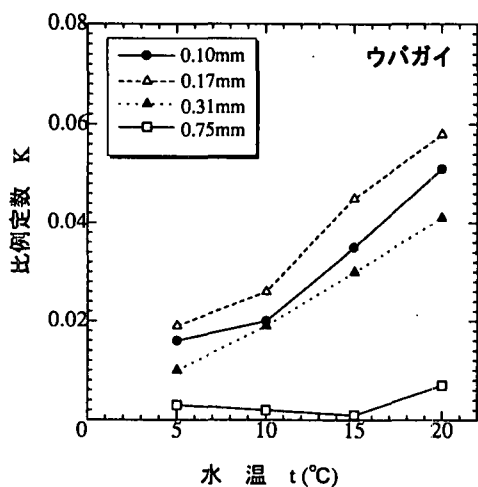


図-6 水温と比例定数 K

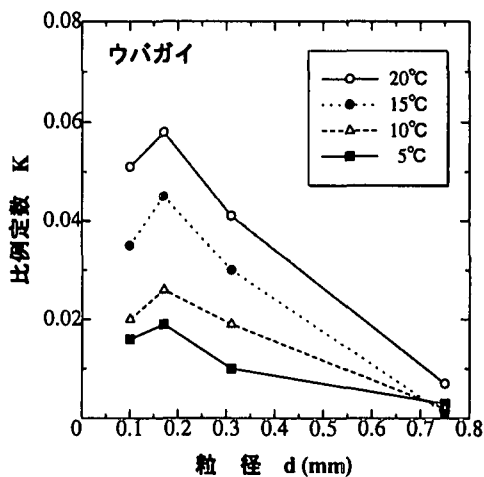


図-7 底質粒径と比例定数 K

(4) ウバガイの潜砂速度算出式

本実験で得られた結果をもとに、貝の殻長 L (mm)、底質粒径 d (mm)、水温 t (°C) をパラメータとした実用的なウバガイ稚貝の平均潜砂速度式を求めた。方法は、図-6を用いて、各粒径ごとに最小二乗法による一次直線を求め、最も潜砂速度が大きい粒径 $d=0.17\text{mm}$ を基準として、他の粒径の直線勾配が粒径 $d=0.17\text{mm}$ の α 倍であるとし、比例定数 K を粒径 d と水温 t の関数として求めた。ある殻長 L の貝の平均潜砂速度 V_b は $V_b=KL$ で与えられることから、ウバガイの平均潜砂速度式 $V_b(L, t, d)$ は次式ようになる。

ウバガイの平均潜砂速度式

$$V_b(L, t, d) = f(d) K_{d=0.17}(t) L \quad \text{ただし、} \quad f(d) = \begin{cases} 2.64d+0.55 & (d \leq 0.16) \\ -1.55d+1.21 & (d \geq 0.16) \end{cases}$$

V_b : 潜砂速度 (mm/s)
 t : 水温 (°C) $5 \leq t \leq 20^\circ\text{C}$
 d : 粒径 (mm) $0.10 \leq d \leq 0.75\text{mm}$
 L : 殻長 (mm) $4 \leq L \leq 32\text{mm}$

$$K_{d=0.17}(t) = 0.00272t + 0.003$$

4. 結 論

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) 潜砂個体は全て砂漣谷部で潜砂し、砂上で転動する貝が潜砂できるか否かは、砂漣表面に貝が静止する時間の長短が影響していることが判った。主流が $U=0\text{cm/s}$ の瞬間も砂漣近傍の渦に巻かれている貝は潜砂できず、谷部に静止するか否かは物理的な問題（貝の比重、形状等）で決定され、また、静止後はその貝の活力（潜砂速度、潜砂行動開始時間等）が影響することが判った。
- (2) 流れの向きに対する貝の潜砂方向は、流れと垂直方向に向くものが多く、これは貝の能動的な選択というよりはむしろ、貝が流れ作用中で静止した位置での方向によって決まることが明らかになった。この原因としては、貝が流れによって底面を転がる場合には、貝の慣性モーメントの小さい流れの直角方向に軸をもつ回転が多くなるためと考えられる。
- (3) ウバガイ稚貝 ($L=5\sim 30\text{mm}$) の潜砂限界流速は、貝の潜砂速度 V_b (mm/s)、周期 T (s) の時、潜砂限界流速 U_m として $U_m = 20 \cdot V_b + 6.9 \cdot T^{1/2}$ を得た。
- (4) ウバガイ稚貝の潜砂速度に関する系統の実験により、潜砂速度は一定水温下では殻長に比例して大きくなることが明らかになった。また水温と潜砂速度の関係は、 $5^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ の範囲では水温上昇とともに潜砂速度も大きくなること、また粒径については $d=0.17\text{mm}$ をピークとして粗粒化及び細粒化とともに潜砂速度は小さくなることが明らかになった。又、これらの結果を用いてウバガイの実用潜砂速度式を求めた。

5. 参考文献

- 1) 渡辺栄一 (1980) : 「ホッキガイの減耗と環境要因について」 北海道開発局土木試験所月報 No. 325, pp. 1-12
- 2) 早瀬吉雄、宮本義憲 (1985) : 「海岸構造物によるホッキ貝漁場形成機構に関する研究」 北海道開発局土木試験所月報 No. 386, pp. 1-11
- 3) 山下俊彦、和田彰、松岡学、谷野賢二、明田定満 (1995) : 「振動流場での二枚貝の挙動に関する実験的研究」 海岸工学論文集第42巻 (1), pp. 506~510
- 4) 山下俊彦、和田彰、松岡学、木下大也、谷野賢二、明田定満 (1995) : 「振動流場での寒海性二枚貝の放出現界と潜砂限界」 寒地技術論文・報告集 vol. 11, pp. 350~355
- 5) 櫻井泉、中島幹二、山下俊彦、瀬戸雅文 (1997) : 「振動流場におけるウバガイの潜砂行動に関する実験的研究」 平成9年度日本水産工学会学術講演会講演論文集
- 6) 「平成6年度苫小牧港水質調査業務報告書」 北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾建設事務所
- 7) 櫻井泉、宮本建樹、高橋和寛 (1991) : 「北海道苫小牧沿岸におけるホッキガイ漁場の環境特性と二枚貝幼稚貝の分布」 北海道立水産試験場研究報告、第36号 pp. 39-59