

砂漣形成時の地形侵食速度と潜砂性二枚貝の放出確率

山下 俊彦* ・金子 寛次** ・和田 彰***
山本 明**** ・北原 繁志***** ・谷野 賢二*****

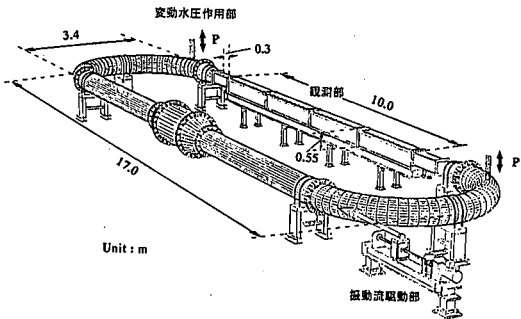
1. はじめに

北日本沿岸の開放性砂浜域には潜砂性二枚貝であるウバガイ (*Pseudocardium sybillae*) が生息している。ウバガイは重要な水産資源であり、その増殖技術の開発のためには、まず稚貝段階での著しい減耗を押さえる必要がある。ウバガイの資源量を減少させる重要な要因として波浪による減耗が指摘されている(例えば、渡辺, 1980)。山下ら (1994, 1995) の研究によると、潜砂性二枚貝は波が作用すると潜砂することで砂中に留まろうとするが、高波浪により急激な地形侵食が生ずると、砂上へと放出され減耗の第一段階となる。山下ら (1995) の研究により、ウバガイ稚貝の放出限界 (貝が砂中から水中へと放出される限界) は、地形侵食速度 V_e と貝の潜砂速度 V_b の比で決定され、 V_e/V_b は約 1.0 であること、また稚貝の潜砂速度は殻長が小さいほど、水温が低いほど小さくなることが定量的に明らかにされている。一方、稚貝が主に生息する碎波帯外で、放出限界に関係する波による瞬間的に大きな速度の地形侵食としては、波による砂漣の形成・移動 (最大 $1\text{ mm/s}=3.6\text{ m/hour}$ 程度の侵食速度) が考えられる。しかし、この場合の侵食深さは小さく、構造物の安定等を考える際には問題とならないため、松岡・山下 (1995)、山下ら (1996a, 1996b) の研究しか行われておらず、定量的把握は十分にされていない。そこで本研究では、振動流装置を用いて砂漣形成時の地形侵食速度を系統的实验より定量的に明らかにする。次に、地形侵食速度の場所的な発生確率を計算し、稚貝の放出限界 $V_e/V_b=1.0$ を考慮することにより稚貝の放出確率 (砂中の貝が水中へと放出される割合) の推定値を求め、実験値と比較検討する。

2. 実験装置及び方法

実験は、海底の流速場を再現できる 2 台の振動流装置

- * 正 会 員 工博 北海道大学助教授 工学研究科環境資源工学専攻
- ** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科
- *** 正 会 員 工修 (株)建設技術研究所
- **** 工修 (株)大阪ガス
- ***** 正 会 員 北海道開発局開発土木研究所 水産土木研究室
- ***** 正 会 員 工博 北海道東海大学教授 工学部海洋開発工学科



図一 任意波形振動流装置

表一 実験条件

硅砂粒径 (d)	0.3 mm, 0.15 mm
周期 (T)	3.5 s, 6 s, 10 s
流速振幅 (U_m)	15~80 (cm/s)
水温	15°C

(山下ら (1995a) で用いた装置と図一に示す装置)を用いて行なった。底面には粒径 $d=0.3\text{ mm}$ と 0.15 mm の硅砂を敷いた。実験用生貝には殻長 $L=10\sim30\text{ (mm)}$ のウバガイの稚貝を用い、周期 $T=3.5, 6, 10$ 秒、流速振幅 $U_m=15\sim80\text{ cm/s}$ 、水温 15°C で実験した。調査項目は、①「地形侵食速度」、②稚貝の砂中から水中への「放出確率」である。地形侵食速度については、振動流によって平坦床から砂漣が形成される過程での侵食速度をピデオ解析により求めた。侵食速度は 3 cm 間隔で 12 地点、または 3.5 cm 間隔で 14 地点測定し、解析には砂漣一波長分用いた。放出確率については砂漣形成時の侵食速度と稚貝の放出限界とを合わせることで、稚貝が放出される確率の推定値を求めた。また、実際に平坦床中に稚貝を潜砂させた状態から振動流を作用させて、砂漣を形成させ、稚貝が放出する確率を実験的に調べ、推定値と比較検討した。

3. 実験結果及び考察

3.1 砂漣の形成による地形侵食

貝の放出限界に関係する地形侵食は、貝の殻長程度の

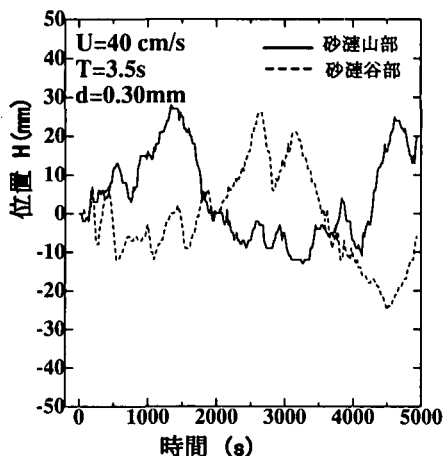


図-2 地形の時間変化

距離を侵食する際の短時間平均の大きな地形侵食速度を持つ侵食である。波浪によるこのような地形変化としては、碎波の大規模渦による侵食及び砂澱の形成・移動によるものが考えられる。本研究では稚貝を対象として、その第一歩として、振動流による砂澱形成時の地形侵食速度を調べた。そこで、粒径 0.3 mm について流速振幅 U_m が 20, 40, 60, 80 (cm/s) 周期 $T=3.5$ 秒と U_m が 40 (cm/s), 周期 6, 10 秒, 粒径 0.15 mm について流速振幅 U_m が 15, 30, 45, 60 (cm/s), 周期 $T=3.5$ 秒の場合についてそれぞれ平坦床から砂澱が形成されていく時の地形侵食速度を調べた。粒径 0.3 mm については砂澱が安定するまで、粒径 0.15 mm については安定した砂澱が形成されなかったため、大きな地形侵食速度が発生する最初の 1 時間を解析に用いた。

図-2 に最終的に砂澱山部、谷部になった位置での砂澱形成時の地形変化の一例を示す。この図から、砂澱の山部、谷部は一定の堆積、侵食でできるのではなく、砂澱の発達に伴う隣り合った砂澱の合体などにより堆積と侵食を複雑に繰り返しながら形成されることが分かる。また、地形変化のパターンは、50 秒～4000 秒程度の広い範囲の変動があることも分かる。

3.2 地形侵食速度

図-3(a), (b), (c) に例として粒径 0.3 mm , $U_m=40\text{ cm/s}$, $T=3.5\text{ s}$, 6 s , 10 s の時の砂澱が形成される過程での、場所ごとの侵食速度の最大値を示す。貝は殻長の半分程度が砂上に出されると貝全体が砂上に出されやすくなることから、貝の放出に影響する侵食速度として、殻長の半分の距離の侵食に対する平均侵食速度をとった。すなわち殻長 L が 10 mm, 20 mm, 30 mm の 3 種類の貝を想定しているが、各々侵食深さは、5 mm, 10 mm, 15 mm となり、これらの距離の侵食に対する平均侵食速

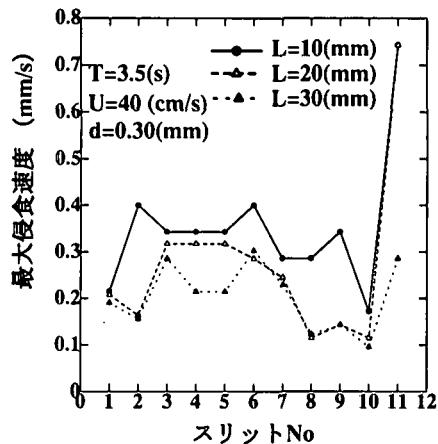
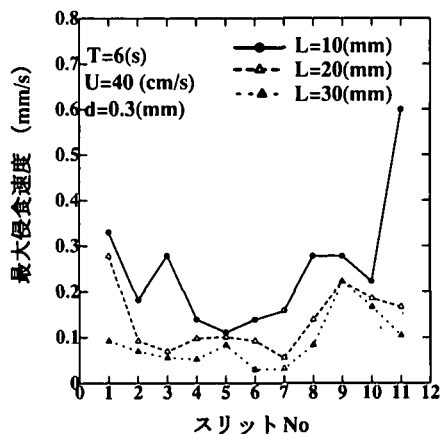
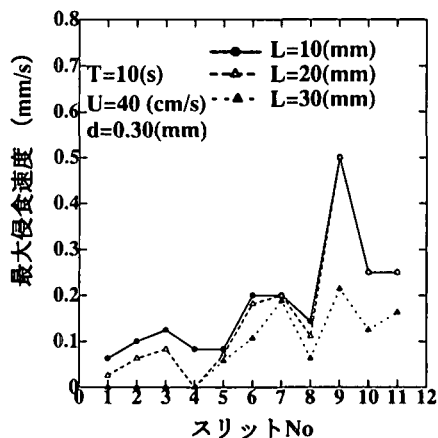
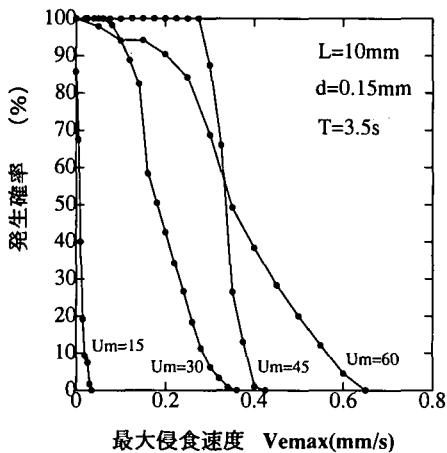
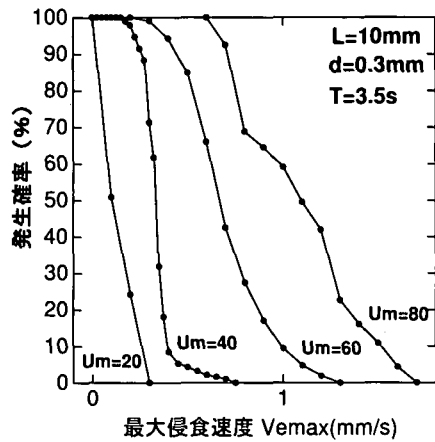
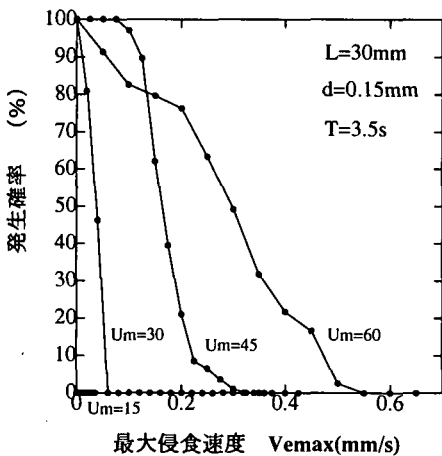
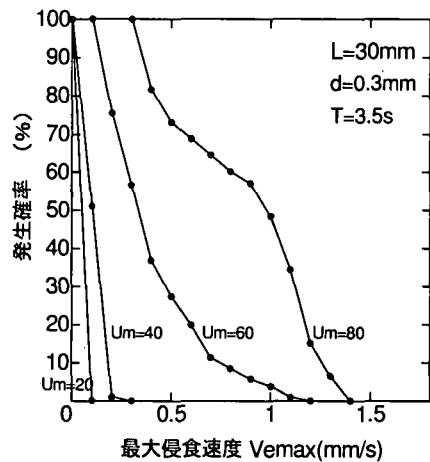
(a) $T=3.5\text{ s}$ (b) $T=6\text{ s}$ (c) $T=10\text{ s}$

図-3 各地点での最大侵食速度

(a) $L=10\text{ mm}$, $d=0.15\text{ mm}$ (b) $L=10\text{ mm}$, $d=0.3\text{ mm}$ (c) $L=30\text{ mm}$, $d=0.15\text{ mm}$ (d) $L=30\text{ mm}$, $d=0.3\text{ mm}$ 図-4 最大侵食速度の発生確率 (U_m , L , d の効果)

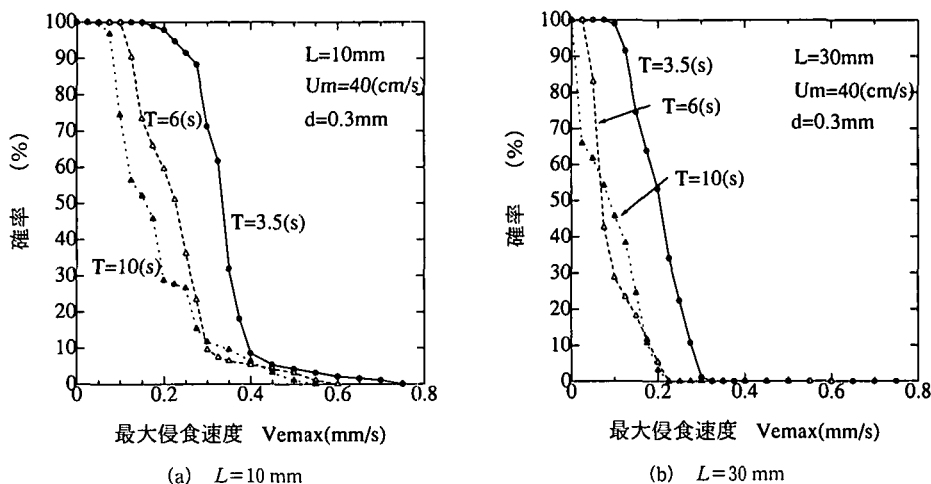
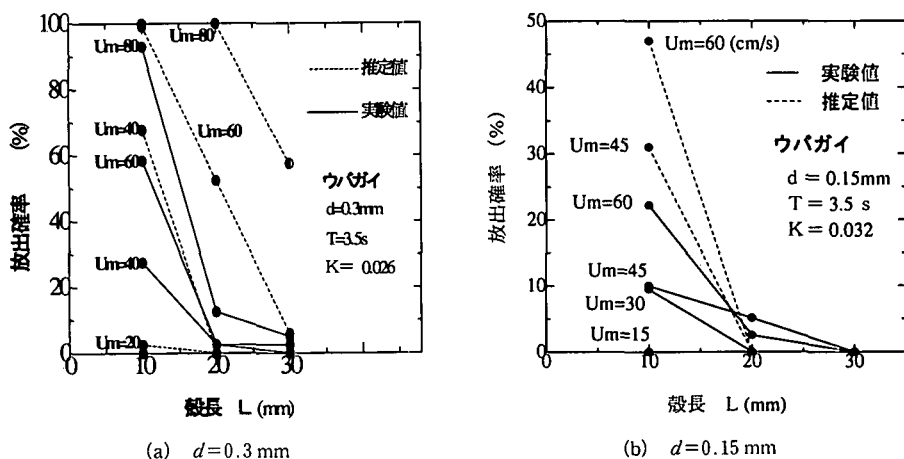
度の砂澱形成過程の最大値を場所ごとに求めた。この図より同じ地形侵食が発生しても、殻長が小さいほど、その貝の放出限界に影響を与えるだけの侵食深さをもつ地形侵食速度は大きくなることが定量的に分かる。また同じ流速でも周期が短い方が周期が長い方より大きな地形侵食速度が発生していることがわかる。

貝が砂上に放出されるかどうかは、貝が潜砂している場所での最大侵食速度が貝の放出限界を超えているかどうかの問題となる。従って、いろいろな場所に潜砂している貝が放出される確率は、この最大侵食速度の場所的な発生確率に関係している。そこで、最大侵食速度がある侵食速度以上の値をとる場所的な確率を求めたのが図-4(a), (b), (c), (d)である。図-4(a)は粒径0.15 mm, $T=3.5\text{ s}$, 図-4(b)は粒径0.30 mm, $T=3.5\text{ s}$ について、それぞれ殻長10 mmの貝を想定して流速ごとに

最大侵食速度の発生確率を求めたものであり、図-4(c)は粒径0.15 mm, $T=3.5\text{ s}$, 図-4(d)は粒径0.30 mmについて、それぞれ殻長30 mmの貝を想定して流速ごとに最大侵食速度の発生確率を求めたものである。また、図-5(a), (b)は、流速 $U_m=40\text{ (cm/s)}$ について各周期ごとに最大侵食速度の発生確率を求めたものである。図-5(a)は殻長10 mmの貝について、図-5(b)は殻長30 mmの貝について求めたものである。これらの図より、流速が大きくなるほど各場所で最大侵食速度が大きな値を取る確率が高くなることが定量的に分かる。また、同じ流速でも周期が短い方が、また粒径0.15 mmよりも粒径0.3 mmの砂の方が侵食速度が大きくなることが定量的にわかる。

3.3 貝の放出確率

図-4等を用いて最大侵食速度が貝の放出限界を超え

図-5 最大侵食速度の発生確率 (T の効果)図-6 貝の放出確率 (d の効果)

る場所の確率, すなわち貝の場所的な放出確率を求めたのが図-6(a), (b) の推定値である。ここで, 図-6(a) は粒径 0.3 mm について, 図-6(b) は粒径 0.15 mm についてそれぞれ周期 3.5 s で求めたものである。また実際に, 10 mm , 20 mm , 30 mm のウバガイを平坦床中に等間隔に潜砂させた状態で振動流を作用させ, 粒径 0.30 mm の場合については, 安定した砂漣が形成するまで, 粒径 0.15 mm の場合については大きな地形侵食速度が発生すると思われる最初の 1 時間までに放出した貝の数の, 全ての貝の数に対する割合を, 貝の放出確率の実験値として示した。放出確率には水温低下による貝の活力低下も重要であるが, 今回の実験は水温 15°C で行い, 粒径 0.3 mm のとき $K=(\text{潜砂速度})/(\text{殻長})=0.026\text{ (1/S)}$, 粒径 0.15 mm のとき $K=0.032\text{ (1/S)}$ であった。この図から, 推定値も実験値もほぼ同じ傾向を示している

ことがわかる。すなわち, 殻長が小さいほどまた流速が大きいほど放出確率は高くなることが分かる。また, 粒径 0.15 mm , 0.3 mm の両方で実験値よりも推定値の方が少し大きな値をとっている。このことについては, 殻長の半分以上の距離の平均侵食速度を用いることである程度解決されると考えられるが, これについては今後の課題としたい。粒径 0.3 mm よりも粒径 0.15 mm の方が低い放出確率になっているのは, 粒径 0.15 mm の方が最大侵食速度が小さく, 貝の潜砂速度が大きいためである。

4. 結 論

本研究で得られた主要な結果は以下の通りである。

- (1) 砂漣形成時には砂漣の合体により堆積と侵食を複雑に繰り返しながら砂漣は発達することが分かった。
- (2) 平均侵食速度を求める際に, 侵食深さが小さい

ほど大きな平均侵食速度になること、また、流速振幅が大きいほど、周期が短いほど大きな平均侵食速度になることを定量的に明らかにした。

(3) 砂漣形成時の侵食速度の発生確率を稚貝の殻長ごとに求め、稚貝の放出限界を考慮することにより稚貝の放出確率の推定値を求めた。

(4) 稚貝は殻長が小さいほど潜砂速度が小さく、その貝の放出に影響を与える地形侵食速度が大きく、その結果稚貝の放出確率の推定値が大きくなることを定量的に明らかにした。

(5) 砂漣形成時の稚貝の放出確率の推定値は、実験値より少し大きめとなるが、全体的傾向はよく一致する。

最後に、本研究を進めるにあたり、二枚貝の採取にご協力いただいた北海道立函館水産試験場室蘭支場の堀井貴司氏、二枚貝及び餌料プランクトンをお送りいただいた(財)海洋生物環境研究所の磯野良介氏に深く感謝の

意を表します。

参 考 文 献

- 松岡 学・山下俊彦 (1995): 振動流場での砂漣の形成による地形変化速度に関する実験的研究, 土木学会第 50 回年次学術講演会講演概要集, 2-B, pp. 878-879.
- 山下俊彦・松岡 学・谷野賢二・明田定満 (1994): 往復流場での二枚貝の挙動と減耗に関する実験的研究, 平成 6 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 57-58.
- 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.
- 山下俊彦・木下大也・和田 彰・明田定満・谷野賢二 (1996a): 振動流場での二枚貝の放出限界と潜砂限界, 海洋開発論文集, Vol. 12, pp. 467-472.
- 山下俊彦・金子寛次・和田 彰・木下大也 (1996b): 砂漣形成時の地形侵食速度と寒海性二枚貝の放出確率, 寒地技術論文, 報告集 Vol. 12-No. 1, p p. 135-13.
- 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.