

振動流場での二枚貝の放出限界と潜砂限界

Critical flow conditions for release and burrowing of bivalves in oscillatory flows

山下 俊彦*・木下 大也**・和田 彰**・明田 定満***・谷野 賢二***

Toshihiko Yamashita, Hiroya Kinoshita, Akira Wada, Sadamitsu Akeda and Kenji Yano

Surf clam (*Pseudocardium sybilla*) which live in sandy beaches along the open sea in northern Japan are important fishery resources. Bivalves are forced out of the sand into the water due to waves. This movement is dangerous for the bivalves, and is thought to be the first phase in the mortality process. To understand the first phase of the mortality process, ① the critical condition for which bivalves forced out of the sand into the water by oscillatory flow, ② the critical flow velocity at which bivalves can burrow into the sand, ③ the burrowing rate of bivalves, ④ bed erosion velocity under where sand ripples are formed, ⑤ the release probability of the bivalves, are experimentally studied by use of a U-shaped oscillatory flow tube.

Keywords: bivalves behavior, oscillatory flow, bed erosion, burrowing rate of bivalves

1. はじめに

北海道沿岸の開放性砂浜域には寒海性二枚貝であるウバガイ (*Pseudocardium sybilla*) 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抑える必要がある。二枚貝に関する資源量調査¹⁾から、二枚貝が減耗に至る主要因として波浪が挙げられている。又、水温が低下すると二枚貝の活力も低下する^{2) 3)}ことから、特に冬季の高波浪が大きな減耗要因となっていることが考えられる。波浪による生物の挙動を調べる際に問題となるのは、生物の能動的行動(二枚貝の場合は潜砂など)である。著者らの研究^{4) 5)}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変動が生ずると、砂上へと放出され減耗の第一段階となる。

そこで本研究では、減耗過程の初期段階に関係するウバガイ稚貝の放出限界、一度砂上へ出された貝が再度潜砂できる限界流速、貝の潜砂速度への水温の影響、砂漣形成時の地形侵食速度、貝の放出確率を明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置及び方法

実験は、海底の流速場を再現できるアクリル製U字管振動流装置(図-1)を用いて行った。実験用生貝には苫小牧で採取したウバガイ(8mm~30mm)稚貝を用い、実験条件は表-1の通りである。調査項目は、①貝の砂中から水中への「放出限界」、②一度砂上へ出された貝が再度潜砂できる限界流速を求める貝の「潜砂限界」、③水温低下が貝の活力に与える影響を調べる各水温における貝の「潜砂速度」、④砂漣形成過程での「地形侵食速度」、⑤貝の砂中から水中への「放出確率」である。放出限界については、貝を自ら潜砂させた状態から振動流を作用させ、様々な速度の地形侵食を発生させて、地形変化に対する貝の挙動をビデオカメラで撮影し解析

流速振幅	Um=15~80cm/sec
実験周期	T=3.0 or 3.5sec
水温	t=16~22℃
底面砂	粒径0.3mm珪砂
使用海水	石狩で採取

表-1 実験条件

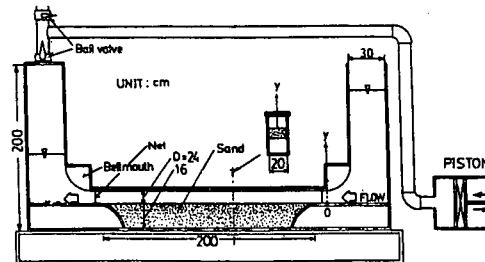


図-1 U字管振動流装置

* 正会員 北海道大学工学部 (060 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)
 ** 学生会員 北海道大学大学院工学研究科
 *** 正会員 北海道開発局開発土木研究所

することにより貝が放出する時の地形侵食速度を求めた。また、潜砂限界については様々な流速で安定した砂礫を形成した後に貝を投入し、潜砂可能な限界流速を求めた。次に潜砂速度については、定温室を 20℃～5℃まで 5℃ずつ変化させて貝の潜砂速度を測定した。それぞれの水温における潜砂実験では三日間貝をその温度に馴致させ、水温と潜砂速度の関係について調べた。地形侵食速度については、振動流によって平坦床から砂礫が形成される過程での侵食速度をビデオ解析により求めた。放出確率については砂礫形成時の侵食速度と貝の放出限界とを合わせることで、貝が放出される確率の推定値を求めた。また、実際に平坦床中に貝を潜砂させた状態から振動流を作用させて、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

1) 貝の放出限界

図-2にウバガイを用いた場合の地形変化と貝の挙動の実験結果の代表例を示す。図中には地形の時間的変化から計算した地形侵食速度 V_e も示してある。図-2(a)は、貝が潜砂している場所での地形は侵食されたにもかかわらず、貝の潜砂速度 V_b よりも地形侵食速度 V_e が小さかったため、貝はずっと砂中に留まった例である。また、図-2(b)は実験の初期に貝の潜砂速度を超える地形侵食が発生したために貝が殻長の 1/5 程度砂中より出されたが、その後地形侵食速度が貝の潜砂速度よりも小さくなったため、貝が砂中に留まった例である。図-2(c)は、実験初期には貝の潜砂速度とほぼ同程度の地形侵食が発生したものの貝はずっと潜砂し続け砂中に留まり、実験開始後 43 秒から後に起こった潜砂速度を超える地形侵食により、貝は砂中より一部を出され、最終的には貝全体が砂中より水中に出された例を示している。これらの図より、貝の放出には貝の潜砂速度 V_b と貝が潜砂している場所における地形侵食速度 V_e が関係している事が分かる。

図-2を一例とする約 80 ケースのデータを基に、ウバガイの放出限界を求めるため地形侵食速度と貝の潜砂速度との関係をグラフにしたものが図-3である。図中において、ある潜砂速度 V_b の貝がある地形侵食速度 V_e の侵食を受けた時、貝全体が留まった場合には○印、貝全体が水中に放出された場合には×印で示している。貝は殻長の 1/2 程度砂中より出されると貝全体が砂中より出され易くなることから、地形侵食速度としては、貝の殻長の 1/2 だけ地形侵食が進む場合の平均侵食速度の、流れ作用中での最大値を採用した。また、貝の潜砂速度 V_b は、貝の殻長 L を潜砂行動に要した時間(潜砂開始後、殻長分層するまで)で割った値とした。

図-3によりウバガイの放出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、その比 V_e/V_b は約 1.1 であることが分かる。また、本研究で求めた生貝の放出限界は、死貝を砂上に置いた時の結果よりもかなり大きく、砂上への放出には貝の能動的行動(潜砂)の効果が大きいことがわかった。

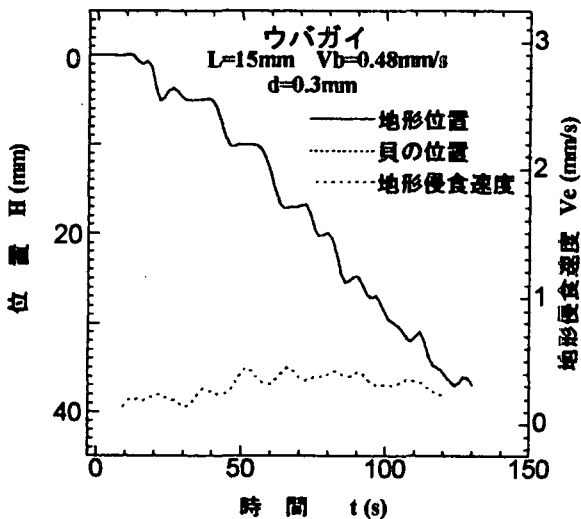


図-2(a) 地形変化と貝の挙動

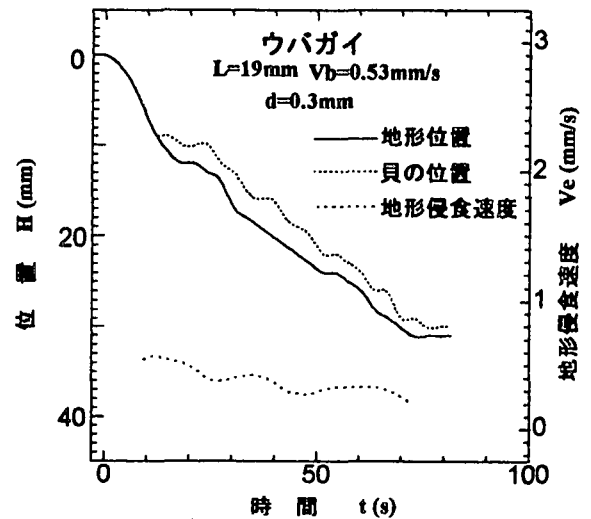


図-2(b) 地形変化と貝の挙動

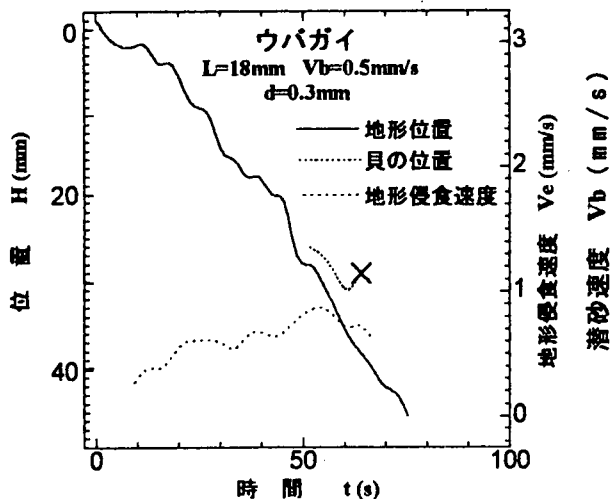


図-2(c) 地形変化と貝の挙動

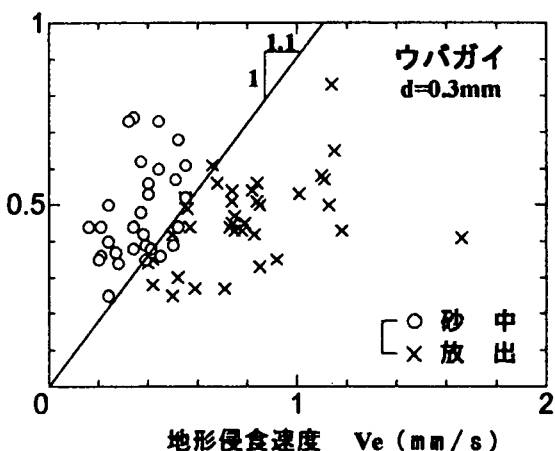


図-3 ウバガイの放出限界

2) 貝の潜砂限界

ウバガイの潜砂限界の実験結果を図-4に示す。ある潜砂速度の貝が流れ作用時に潜砂できたものは○印、潜砂できなかったものは×印で示す。グラフ中の斜線より潜砂限界が決定され、ある潜砂速度をもつ貝の潜砂限界流速を定量的に求めることができる。この結果、潜砂速度の大きい貝ほど大きい流速に対して再潜砂が可能であることが明らかになった。

今回の実験により得られた潜砂限界流速は、実海域においては日常的に生じている流速であることを考慮すると、波浪により一度砂上に出された貝は、数日間時化が続くような状況下では再潜砂は難しいと思われる。この場合、放出後の貝は生存不可能な場所へ輸送されるか、もしくは振動流にさらされ続けることで減耗へと至ることが考えられるが、これらについては今後の課題としたい。

3) 貝の潜砂速度

前述の様に貝の放出限界と潜砂限界には、貝の能動的行動である潜砂の速度が重要である。そこで図-5に、ウバガイについて水温を20℃～5℃まで下げた条件での潜砂速度の実験結果を示す。図中の直線は各水温についての原点を通る重回帰直線であり、その傾きをKとする。この図より、今回の実験の範囲では、各水温についてみると潜砂速度は殻長にほぼ比例し、水温が低いほど潜砂速度が小さいことが分かる。

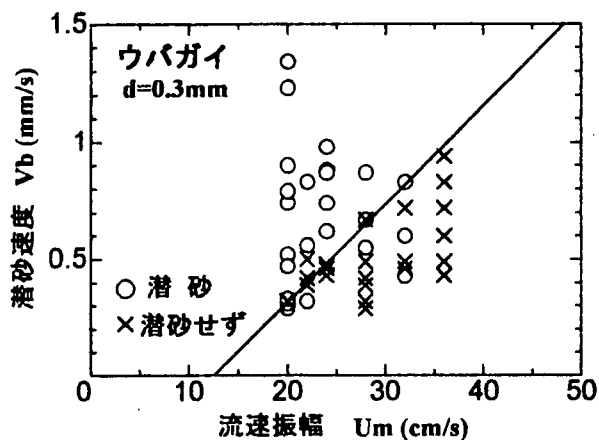


図-4 ウバガイの潜砂限界

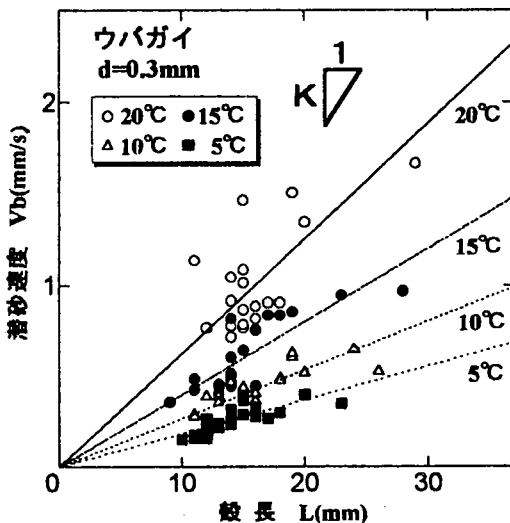


図-5 殻長、水温と潜砂速度

4) 砂漣の形成による地形侵食速度

貝の放出限界には、地形侵食速度 V_e が関係していることが前述のように明らかとなった。ここで問題となる地形侵食は、貝の殻長程度の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漣の形成・移動によるものが考えられる

a)。本研究ではその第一歩として、振動流による砂澁形成時の地形侵食速度を調べた。そこで、流速振幅 U_m が 20、40、60、80 (cm/s) の場合にそれぞれ平坦床から砂澁が形成されていく時の地形侵食速度を調べた。図-6 (a) に、 $U_m=40$ (cm/s)で最終的に安定した砂澁ができた時の砂澁頂部付近についての、砂澁形成時の地形変化を、図-6 (b) に、砂澁谷部付近での地形変化を示す。図-6 (a)より、砂澁の山部は一定の堆積でできるのではなく、砂澁の発達に伴う砂澁同士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することが分かる。図-6 (b)の砂澁の谷部についても同様である。地形変化のパターンは、50 秒～2000 秒程度の広い範囲の変動があることも分かる。

次に、砂澁が形成される過程での、場所ごとの侵食速度の最大値の例を示したのが図-7である。図中の位置 2～11 が砂澁一波長に対応する。この図は、流速振幅が 60(cm/s)の場合で、殻長が 10mm、20mm、30mm の 3 種類の貝を想定して侵食速度の最大値を求めている。同じ地形変化が発生しても、殻長が異なる貝の放出には異なる作用を及ぼす。すなわち、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易くなることから、殻長の半分の距離の侵食に対する平均侵食速度が貝の放出に影響する。そこで、殻長 10 mm、20 mm、30 mm の貝については各々 5 mm、10 mm、15 mm の距離の侵食に対する平均侵食速度の砂澁形成過程の最大値を場所ごとに求めた。この図より、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。

次に、それぞれの流速振幅における殻長別の侵食速度の最大値を示したのが、図-8である。この図より、どの流速でも殻長が小さいほどその貝の放出限界に影響を与える侵食速度は大きくなることが分かる。また、流速が大きいほどどの殻長の貝にとっても最大侵食速度は大きくなることが定量的に分かる。

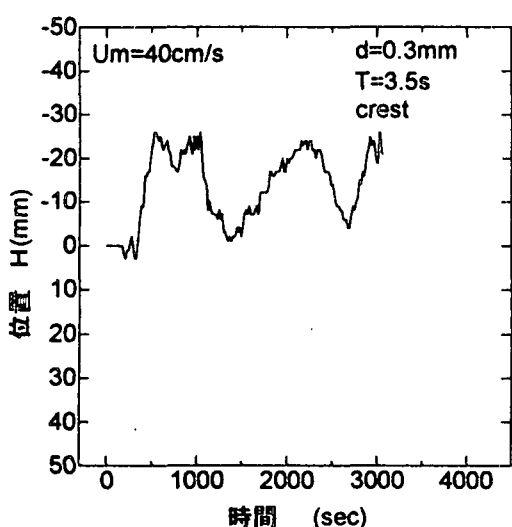


図-6(a) 砂澁形成時の地形変化

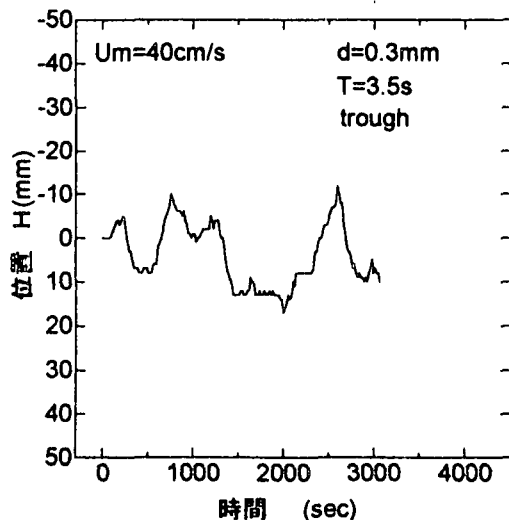


図-6(b) 砂澁形成時の地形変化

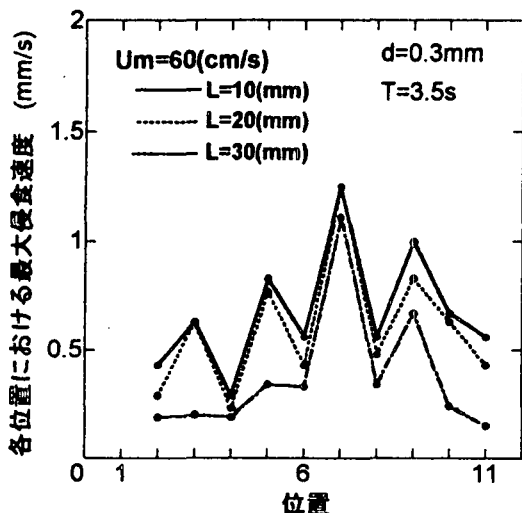


図-7 砂澁形成時の各位置における最大侵食速度

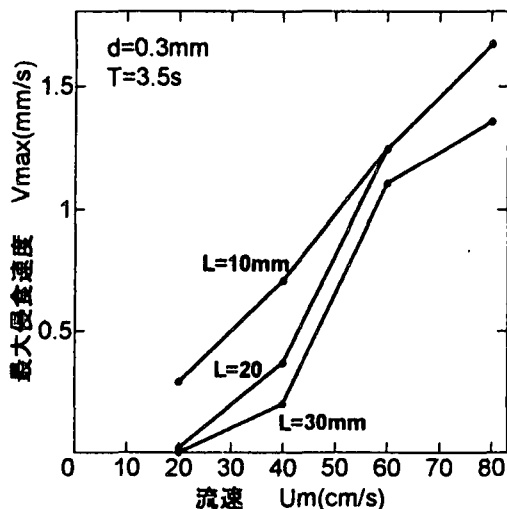


図-8 最大侵食速度

5) 貝の放出確率

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-9である。図-9(a)は、殻長が10mmの貝について整理したもので、(b)は30mmの貝についてである。図-9(a)より、流速が大きくなるほど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、図-9(a)(b)を比較すると、殻長が大きくなると、一定の流速の下でもその貝の放出限界に関係する同じ侵食速度の起こる確率は下がることが分かる。

次に、図-9を用いて最大侵食速度が貝の放出限界を超える場所の確率、すなわち貝の場所的な放出確率を求めたのが図-10の推定値である。また、平均殻長10mm、20mm、30mmのウバガイを等間隔に平坦床に潜砂させた状態で振動流を作用させ、砂礫が安定するまでに放出した貝の数から求めた放出確率が図-10の実験値である。実験は水温15℃で行いこの時、 $K=(\text{潜砂速度})/(\text{殻長})=0.026$ (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。すなわち、殻長が小さいほどまた流速が大きいくほど放出確率は高くなることが分かる。また、実験値よりも推定値の方が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。

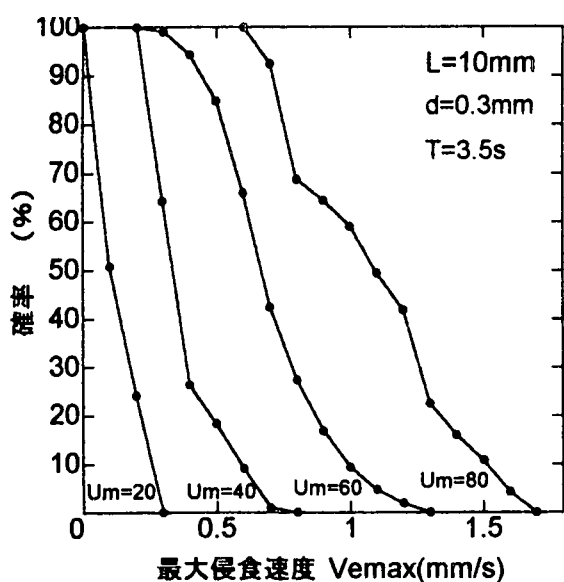


図-9(a) 最大侵食速度の発生確率

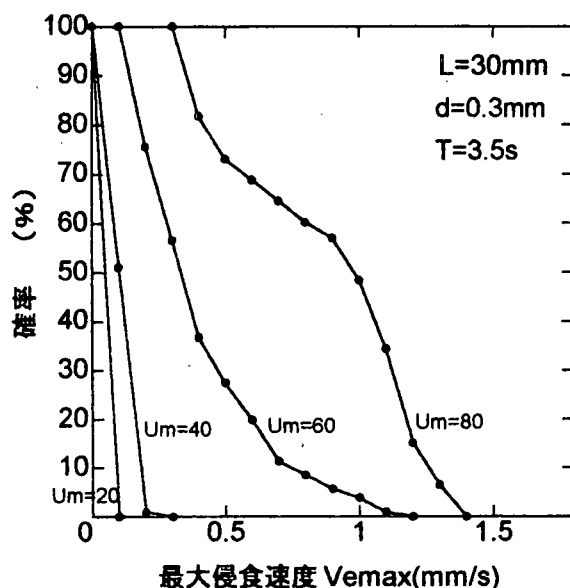


図-9(b) 最大侵食速度の発生確率

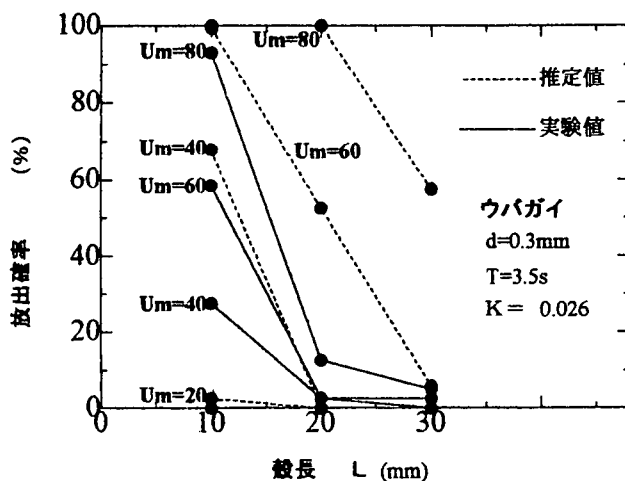


図-10 貝の放出確率

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) ウバガイの放出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、その比 V_e/V_b は約 1.1 であることが分かった。
- 2) 貝の潜砂限界流速は、潜砂速度の大きい貝ほど大きいことが定量的に分かった。
- 3) 貝の放出限界と貝の潜砂限界には、貝の潜砂速度が関係し、両限界には貝の能動的行動(潜砂)の効果が重要であることが確認された。
- 4) 貝の潜砂速度は一定水温の下では殻長に比例し、水温 $5^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲では水温低下とともに潜砂速度は減少することが定量的に分かった。
- 5) 砂澁形成時の侵食速度の発生確率を貝の殻長ごとに求め、貝の放出限界を考慮することにより貝の放出確率の推定値を求めた。
- 6) 砂澁形成時の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。
- 7) 貝は殻長が小さいほど、波高が高いほど、また水温が低いほど、砂上へ出され易くこれが冬季波浪による稚貝の減耗の重要な要因の 1 つと考えられる。

最後に、研究を進めるにあたり、二枚貝の生態についての助言ならびに二枚貝の採取に協力していただいた北海道立中央水産試験場、函館水産試験場室蘭支場、水産庁水産工学研究所の方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 例えば渡辺栄一(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) 日向野純也・木元克則・安永義暢(1993): 潜砂行動と物理環境の関係からみたチョウセンハマグリとコタマガイの分布特性、水産工学研究所研究報告、No.14, pp.65-87
- 3) 山下俊彦・松岡 学(1994): 波浪による二枚貝の挙動と減耗に関する実験的研究、海洋開発論文集、vol.10, pp.119-122
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 松岡 学・山下俊彦(1995): 振動流場での砂澁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