

岩礁性底棲生物の波浪環境下における棲み場の評価……ウニ稚仔について

Estimation on the habitat of rocky-benthos in wave environment

町口 裕二^{1*}・山下 卓也^{2*}・伊東 公人^{3*}・谷野 賢二^{4*}

Yuji Machiguchi, Takuya Yamashita, Kimihito Ito, Kenji Yano

The effect of cobble and boulder zone for the juvenile sea urchin (*Strongylocentrotus intermedius*) in wave environment was experimentally studied. The experiment was observed in oscillation water flow tunnel with 8.9cm- 60.0cm diameter columns as models of cobble stones and boulders. The settlement ratio of the juvenile sea urchins in oscillatory flow depended on the size of the column diameter. The bigger diameter column model was lower the settlement ratio.

The current velocity in the gap among columns did not increase in spite of accelerating the current velocity on their surface. Even with increased current velocity, the juvenile sea urchins' settlement ratio among the columns was so high that it proved an effective habitat. However, the ratio dropped in increased current velocity for the biggest model of diameter (60.0cm).

Key word: sea urchin, cobble, boulder, oscillatory flow

1. 目的

沿岸の砕波帯から暫深帯にかけてのごく水深の浅い部分は、波浪の影響を強く受けているのにも関わらず、多様な生物が生息しており、生物生産の最も盛んな場所の一つである。特に岩礁域の海岸形状(底質)は強固な「岩盤」から「転石」や「玉石」と表現されるものまで変化に富んでおり、コンブ類など大型海藻ならびにウニ類やアワビ類などの有用な底棲生物の漁場として重要である。岩礁域の多様な底質の中でも比較的直径の小さな石が集まっている「玉石 Cobble」(直径 6-25cm)から「転石 Boulder」(同 25-100cm)域は、これまで経験的にウニ類をはじめとする底棲生物の幼稚仔の好適な棲み場として知られている。エゾバフンウニでは変態着底後の稚ウニ期から成体までの発育段階によって棲み場が変化することが明らかにされ、稚仔期のウニは転石帯に多く分布することが報告されている¹⁾。しかし、このような基質が棲み場としてなぜ適しているのか、また棲み場をどのように評価したら良いのか、といった知見はきわめて乏しい。山下²⁾ および町口³⁾ は、振動流中におけるエゾバフンウニ稚仔の行動と基質形状について実験を行い、振動流中のウニの隠れ場としての有効性が基質形状とサイズに大きく影響されることを明らかにしたが、岩礁域の持つ生物に対する「効果」を理解するためにはより多くの知見の収集が必要である。本研究ではウニ稚仔の棲み場を例に、構成基質の大きさと空隙について波浪環境を想定した室内実験を通じて、岩礁性底棲生物の棲み場を評価する手がかりを得ることを目的としている。

2. 材料及び方法

北海道開発局開発土木研究所の任意波形振動流発生装置の水槽底面に、直径の異なるウニの付着基質を配置すると共に、エゾバフンウニ稚仔を収容し、以下の条件下において稚ウニの行動および固着個体数、固着部位を観察記録した。振動流の周期は 7 秒、静水圧は 0.2kg/cm²、設定流速は 20cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm/sec の 5 段階とした。流速は低流速から高流速へと暫時変化させ、それぞれの実験流速を 1 時間継続した。設定流速は、振動流水槽内の基質を設置した観測部において、最大流速が 20cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm/sec となるよう、鎖管路におけるエネルギー方程式(水理公式集 1985)を基本式としてコンピューターによってピストンを制御して発生させた。振幅波形は正弦波とした。

水槽内には、「玉石」から「転石」を模式化した稚ウニの付着基質を配置した。付着基質および振動流水槽の概要を図-1, 2 に示す。基質は塩化ビニール及びアクリル円柱を用いて作成し、高さ 5.0cm、の同じ直径の円柱を密着させて配置した。円柱の直径は 8.9cm, 21.4cm, 31.8cm, 60.0cm の 4 条件とした。このとき図-1 に示

* 1 水産庁北海道区水産研究所

* 2 正会員：パブリックコンサルタント(株)

* 3 正会員：北海道開発局開発土木研究所

* 4 正会員：北海道東海大学工学部

のように、基質は3個の円柱が接してできる空隙を有することとなり、その空隙は円柱の直径及び高さで表現できる相似形となる。基質は水路幅にあわせて整形し、幅30cm、長さ100cmとした。

基質空隙内の流速を DANTEC 社製2次元レーザードップラー流速計にて測定した。実験に用いた直径8.9cm、21.4cm、31.8cmの付着基質では直接測定が不可能だったため、所定の空隙一つを有する透明アクリル模型を用いて、直径60.0cmの基質では直接、基質空隙内の流速を測定した。基質空隙内の流速測定部位を図-3に示す。流速測定部位は、空隙底面、空隙角部（各基質上5mm）とし、一測点につき0.01秒毎で28秒間（4波長）の測定を行った。また、直径60cmの基質中心直上（5mm）でも流速を測定し、各設定流速に対する基質直上流速の代表値とした。

実験に用いた稚ウニは、殻径10.0~14.0mm、殻高5.0~5.5mmのエゾバフンウニ人工種苗で、付着基質の空隙及び周辺に100-200個体を放流した。所定の流速を与える直前と直後、および所定流速に達してから30分後に基質上の稚ウニの位置を記録した。基質上の稚ウニの位置は図-4に示したように、基質上面、空隙内、水槽壁面、水槽底面と側面との角の4部位に分けて計数し、供試個体数に対する固着数を固着率として表した。また、基質間の空隙内についても、空隙底面（ウニは底面のみに接触）、同側面（ウニは底面と側面の2点に接触）、同角部（ウニは底面と両側面の3点に接触）の3部位に分け、稚ウニの位置を記録計数した。実験期間中は水温を $10 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に調整し、無給餌とした。

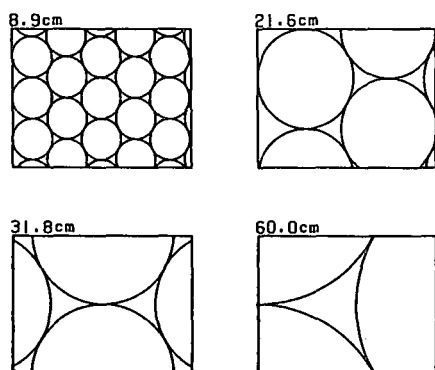


図-1 ウニ付着基質の概要

同じ直径の円柱を密着させて配置

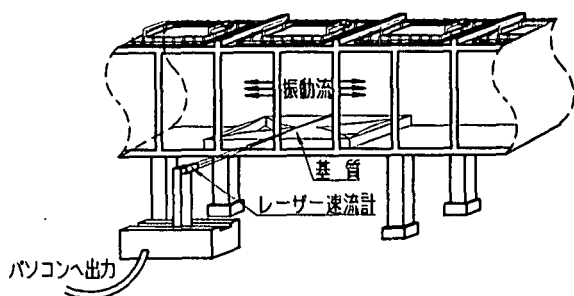


図-2 振動流水槽および流速測定の概略

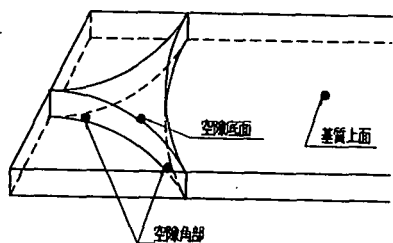


図-3 付着基質上の流速測定点

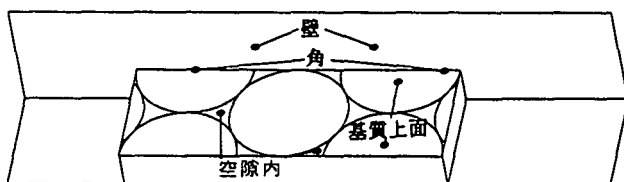


図-4 付着基質上の固着位置

3. 結果

基質空隙内の流速

各基質の空隙底面、空隙角部および基質直上の設定流速に対する実測流速の最大値を図-5に示した。

設定流速に対する基質直上での最大流速は、13.4cm/sec から 237.2cm/sec の値を示した。設定流速 20cm/sec 時で設定値の 66.0%と低い値であったが、他の設定流速では設定値の 117-120%の値を示し、設定流速の増加とともにほぼ直線的に増加した。空隙底面の設定流速に対する実測最大流速は、基質直上の流速と比較して常に低い値を示し、基質径の小さな基質ほど流速が大きく低下した。設定流速の最大値である 200cm/sec 時の各基質径 8.9、21.6、31.8、60.0cm における空隙底面の最大流速は、それぞれ 17.5 cm/sec (設定流速の 8.7%)、52.5 cm/sec (同 26.2%)、62.5 cm/sec (同 31.2%)、137.5 cm/sec (同 68.7%) の値を示した。

空隙角部における設定流速に対する実測最大流速は、空隙底面より更に低い値を示した。実測流速は空隙底面と同様に基質径 60.0cm でもっとも高い値で推移したが、基質径 21.6cm と 31.8cm では両者ともほとんど同じ流速を示した。なお、基質径 8.9cm では測定できなかった。設定流速 200cm/sec 時の各基質径 21.6、31.8、60.0cm における空隙角部の最大流速は、それぞれ 42.5 cm/sec (設定流速の 21.2%)、47.5 cm/sec (同 23.7%)、87.5 cm/sec (同 43.7%) の値を示した。設定流速 200cm/sec において、基質上面、空隙底部および空隙角部で測定した 4 波長

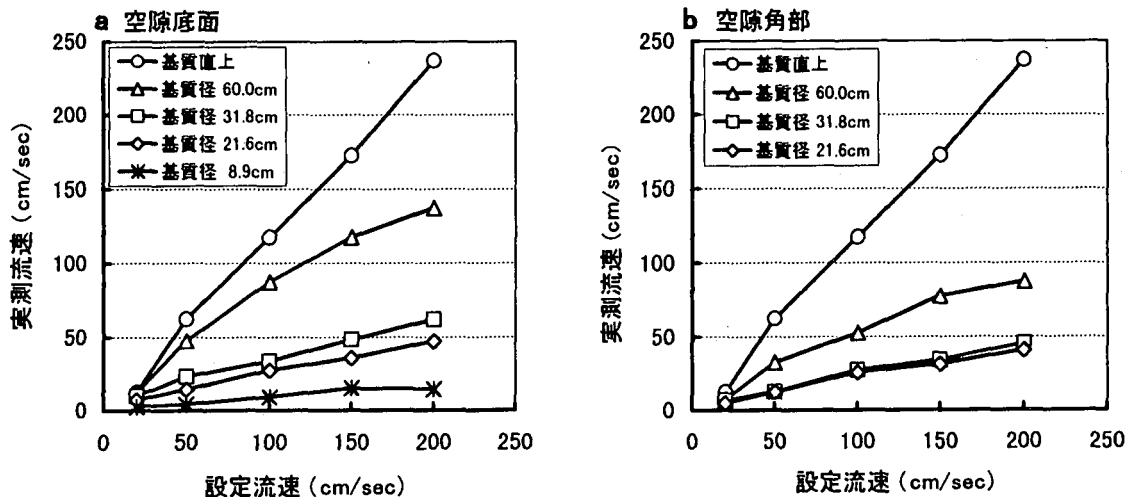


図-5 基質径別の空隙底面および角部の実測流速

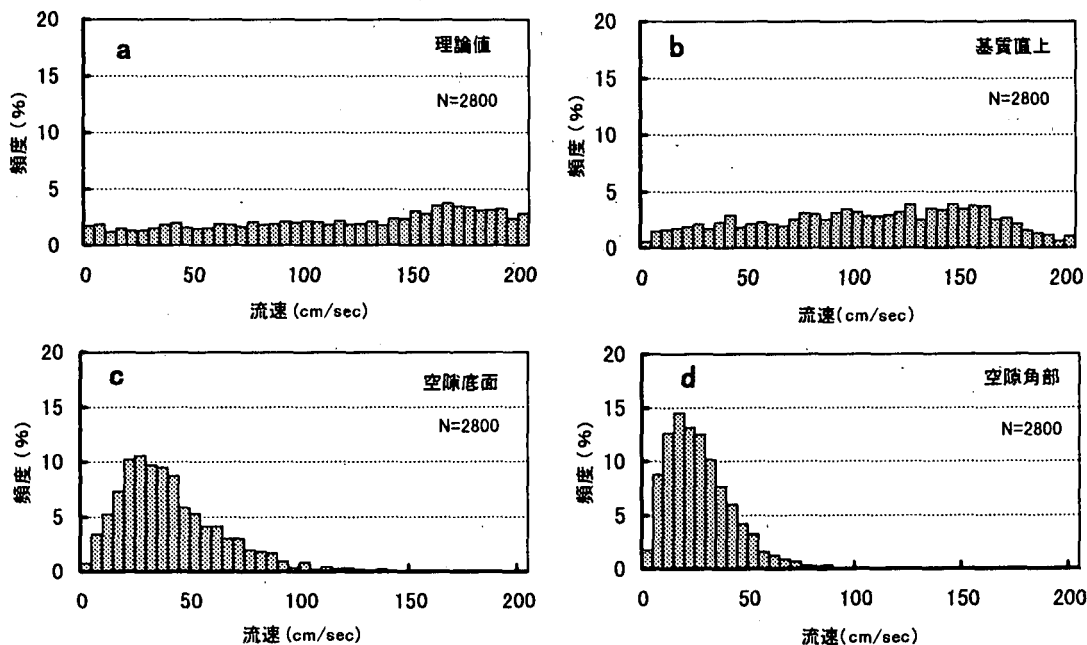


図-6 基質径60.0cm、設定流速200cm/sec時の各部位における流速分布

0.01秒間隔で28秒(4波長)測定した全データを用いた
理論値は最大流速200cm/sec、周期7秒の正弦波に20%のノイズを加えて得た流速分布を示す

2800 個の流速データのヒストグラムを図-6 に示す。基質上面における流速ヒストグラムは、0 から最大流速までの範囲でほぼ一様な頻度分布となり 160cm/sec 付近にモードが認められ、流速変化が正弦波形である場合の特徴をよく表していた (図-6 a,b)。一方、空隙底面では低流速側に頻度分布が偏り、140cm/sec 程度の高流速まで長く尾を引いたヒストグラムが得られた (図-6 c)。また、空隙角部では更に低流速側に頻度分布が集中し、60cm/sec 未満の流速の出現頻度が 95%で 17.5cm/sec にモードを持つヒストグラムが得られた (図-6 d)。

付着基質上における稚ウニの挙動

基質上に稚ウニを放流後直ちに水槽の密閉作業および注水を行ったが、水槽の構造上から水槽内に振動流を与えるまでの所用時間は 25-30 分を要した。その間振動流水槽内は静水状態となり、水槽内に收容した稚ウニは放流された場所から移動を始めた。水槽内での稚ウニの移動方向はランダムであり、放流点を中心に水槽側面や上面まで広く移動した。流速が加わると、基質上面や水槽壁面に位置していた稚ウニは水槽底面あるいは付着基質の空隙内に向かって移動する個体が観察された。しかし、設定流速 100cm/sec 以上では、水層壁面や基質上面を移動する個体は認められなかった。また、設定流速 20cm/sec 以上の振動流が加わった後に基質空隙内へ移動した稚ウニは、静水状態に戻して 60 分経過後も空隙内に留まっていた。

稚ウニの固着部位と固着率

実験に用いた4基質について、設定流速に対する固着部位別の稚ウニ固着率の変化を図-7に示す。

いずれの基質も、稚ウニは設定流速が 50cm/sec を超えると基質および水槽表面から剥離されはじめ、さらに流速が増加すると剥離される個体が増加した。本実験の最大設定流速 200cm/sec 時における各部位合計の固着率は、基質径 8.9cm で供試個体数の 86.8%、以下同様に 21.6cm で 84.4%、31.8cm で 76.0%、60cm で 62.0% となり、基質径が増加するほど固着率は低下した。

図-7 a-c に示したように基質径が 8.9cm、21.6cm、31.8cm の3基質では、流速が加わると同時に固着部位別の稚ウニの固着率は大きく変化した。静水状態から設定流速 20cm/sec の時点で基質上面に位置する個体は急速に減少した。設定流速 50cm/sec 以上での基質上面の固着率は基質径 31.8cm で 7.5% あったのみで、設定流速 100cm/sec 以上では基質上面にできた個体は皆無であった。一方、前述の3基質とも基質空隙内の固着率は基質上面の場合とは全く逆の変化を示し、静水状態から流速の増加にともなって固着率は大きく増加した。設定流速 50cm/sec に時点での固着率は、基質径 8.9、21.6、31.8cm でそれぞれ 42.9、69.7、71.0% の値を示した。その後設定流速 100cm/sec 以上で基質空隙内の固着率はほぼ一定の値となり、設定流速 200cm/sec でも固着率は低下しなかった。また、この3基質では、基質径の大きな基質ほど基質空隙内の固着率が高かった。一方図-7 d に示したように、基質径 60cm の実験区では実験開始時に供試個体のほとんどが基質間の空隙に入ったため、このような固着部位の顕著な変化は認められなかった。また前述の3基質とは異なり、基質径 60cm の空隙内では流速の増加とともに剥離流出する個体が増加し、基質空隙内の固着率は減少した。

設定流速 200cm/sec 時における稚ウニ固着率は、基質直径に関わらず空隙内で最も多かった。特に基質径 31.6cm、60.0cm の2基質ではそれぞれ全固着個体の 96.7%、93.5% が空隙内に位置していた。

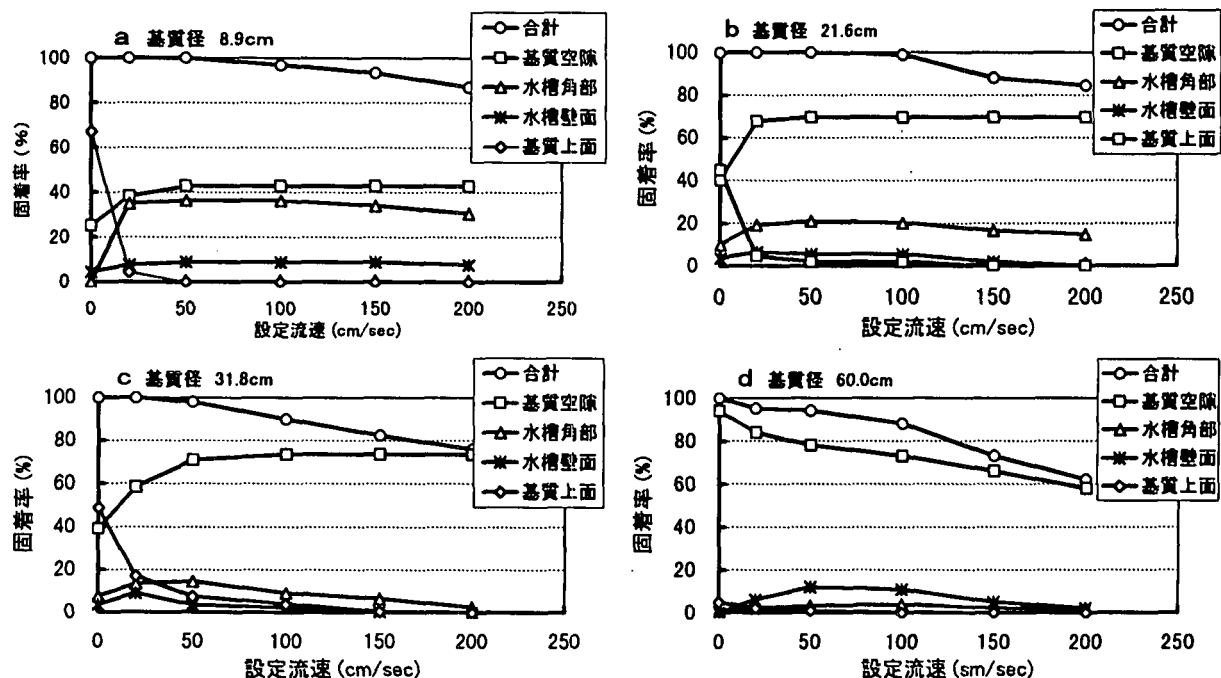


図-7 基質および部位別の稚ウニ固着率と設定流速との関係

固着率は実験開始時の全供試個体数に対する百分率で示した

基質空隙内における稚ウニの挙動

各基質の空隙内における、部位別の稚ウニ固着率の変化を図-8に示す。ここでの固着率は、設定流速 0 時点での空隙内各部位に位置していたそれぞれの稚ウニ個体数に対する百分率で示した。

基質空隙内に位置した稚ウニにおいても、流速の増加とともに空隙内での固着部位に変化が見られた。質径 8.9-31.8cm の基質では、静水状態から設定流速 20cm/sec の時点で基質上面に位置した稚ウニが空隙内へ移動してきたため空隙全体での稚ウニ固着率は増加し、その後設定流速 50cm/sec 以降で一定の値となった(図-8 a-c)。しかし、基質径 60cm では、稚ウニは静水時から設定流速 20cm/sec の間に空隙内より逸散し水槽壁面へと移動する個体がみられたため空隙全体の固着率は減少し、設定流速の増加とともに固着率は減少しつづけた(図-8d)。また、基質径 8.9cm の基質では設定流速 50cm/sec 以上での各部位による固着率の変化は小さかった(図-8a)。

図-8 a-c に示したように空隙内における固着部位の変化は、基質径 21.6、31.8、60.0cm の基質に顕著に現れた。これら3基質では設定流速 50cm/sec の時点で、基質底面の稚ウニ固着率が0となり、同時に空隙角部あるいは空隙壁面で固着率が大きく増加した。その後、基質径 21.6および 31.8cm の空隙角部では設定流速 200cm/sec まで固着率は増加しつづけたが、これはすべて空隙壁面より角部へと移動してきた結果であった。

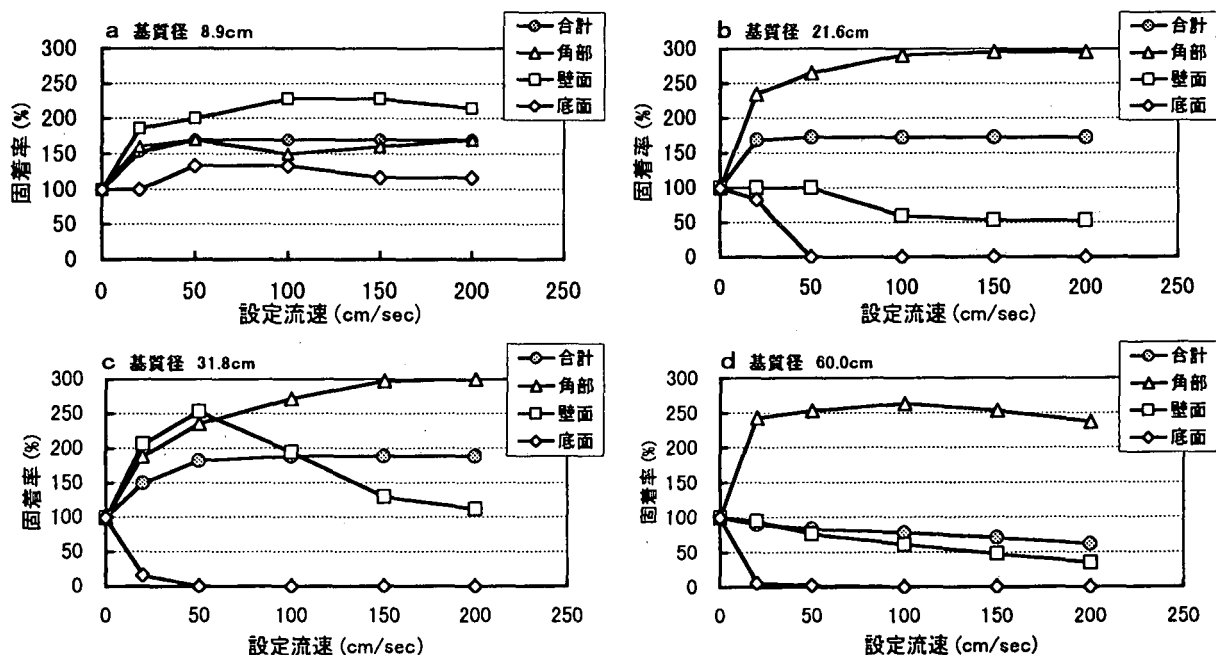


図-8 基質空隙内の各部位における稚ウニ固着率の変化

固着率は設定流速0の時点で基質内各部位に位置していた個体数に対する百分率(相対値)で示した

稚ウニ固着率の変化の大きかった空隙角部と空隙底面について、それぞれの部位での設定流速に対する実測流速(図-5)と稚ウニ固着率との関係を図-9に示した。基質径 8.9cm では、設定流速 0-200cm/sec 範囲で空隙内の流速が 17.5cm/sec 以上にならず部位による固着率と実測流速との関係は明瞭でなかった。しかし、他の 3 基質では固着部位と実測流速および稚ウニ固着率との関係が明瞭に示された。基質径 21.8-60.0cm では、空隙内の流速がおおよそ 10cm/sec 以上になると空隙底面の固着率は 0 となったのに対し、空隙角部では流速 50cm/sec 付近まで流速の増加とともに固着率も増加した。基質径 60.0cm では最大 87.5cm/sec と他の基質に比較して速い流速が測定されたが、固着率の低下は僅かであった。

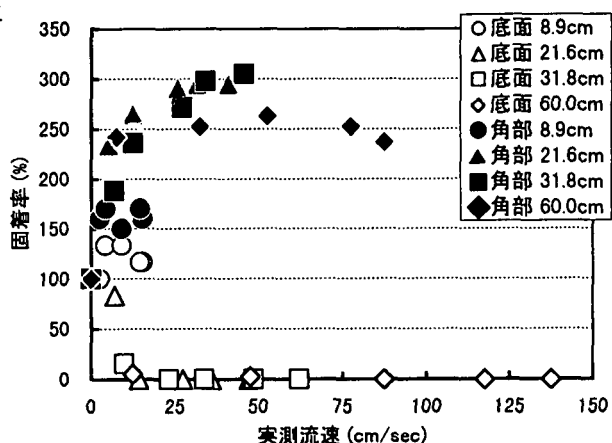


図-9 基質空隙内各部位におけるウニ固着率と実測流速との関係

固着率は設定流速0の時点で基質内各部位の個体数に対する百分率で示した

4. 考 察

本研究では波浪環境下におけるウニ稚仔の棲み場を例に、振動流水槽を用いて「玉石」や「転石」をモデルとした基質の大きさと空隙について検討を行った。その結果、基質上に放流された稚ウニは、流速が加わると基質空隙内へと移動し、さらに流速が増大すると空隙内の角部へと移動した。設定流速 200cm/sec でも基質の空隙内に入り込んだ稚ウニは剥離流出する個体は全くなかったが、それとは逆に振動流によって剥離流出した稚ウニのほとんどは基質上面や水槽壁面に位置していた個体であった。本実験において、高流速の振動流中で剥離された稚ウニは再度基質に固着することは不可能であり、剥離流出した個体のほとんどは水流による基質との接触によって脱棘、斃死した。振動流中(波浪環境)において、安定して固着できることは稚ウニの生残を左右する極めて重要な要素となる。

ウニはほぼ半球形の体表面にある伸縮自在の管足先端の吸盤で基質に固着し、また移動を行っている。稚ウニの固着と基質との関係を考えると、基質に接することのできる管足が多いほど安定して固着できることになる。本実験で基質上面や水槽壁面で固着率が低かった理由の一つとして、稚ウニの体と基質との接触面の少ないことが考えられる。一方、基質空隙内は底面から直立する壁面で囲まれており稚ウニと基質との接触面が多くなり、稚ウニは体と基質との間に複数の接点を持つことになる。特に固着率の高かった空隙角部では基質内にはまり込むように固着できることから、稚ウニにとってより強固な固着部位といえる。

今回実験に用いた基質における流速の実測値から、基質空隙内では基質直上の流速と比較して大きく減衰し、設定流速 50cm/sec 以上の流速において基質径 8.9cm では基質直上の流速の 10%程度、基質径 21.6-31.8cm でも同 20-40%程度にまで減衰していることが明らかとなった。また、基質直上、空隙底面および空隙角部における流速分布はそれぞれ異なったヒストグラムが得られ、特に空隙角部のヒストグラムは低流速域に大きなモードが出現した。このことは、空隙内での水流が大きく変化していることを示していると考えられる。

稚ウニは振動流中において安定して固着でき

る場所を探索、移動するが、一定流速以上で移動できなくなることが観察された。町口ら³⁾は稚ウニの移動限界流速を 50cm/sec 以下と報告しており、本実験においても空隙内での固着位置の変化と実測流速の関係からみてほぼ同じ値と考えられる。基質径 8.9-31.8cm の空隙底面において最大流速が 50cm/sec を越えるのは基質径 31.8cm の設定流速 200cm/sec 時のみであり、設定流速の範囲内では稚ウニは十分に移動可能だったと思われる。

これらの結果は、基質間にできる空隙は稚ウニの「固着面を増す」とともに「流速を大きく減衰」させ、穏やかな流れ環境を保っていることを示しており、実海域での玉石や転石帯が作り出す基質相互間の小空間は、波浪環境下においてもウニ稚仔にとって有効な棲み場所となっていることを強く示唆している。

一方、直径 60.0cm の円柱を用いた実験では、設定流速 100cm/sec 以上の流速下で空隙内より剥離流出する個体が現れた。このことは、基質の大きさが、波浪環境における棲み場としての空隙の有効性を左右する重要な要素といえよう。基質径の増加は空隙の開口面積を増し、空隙内の流速減衰効果が低下することが考えられ、基質径 60.0cm での基質空隙内の実測流速はこれを示している。さらに、基質の大きさは空隙の大きさを一義的に決定するのみならず、単位面積当たりの空隙の数も決定することになる。本実験でモデル化したように基質形状を円柱とした場合、基質の直径と単位面積当たりの空隙数および空隙面積との関係は図-10 のように表すことができ、基質直径が増すと空隙数は急速に減少し空隙面積が増大することがわかる。このことは、基質が大きくなると棲み場としての空隙が減少するとともに、空隙面積が増大し棲み場としての有効性が低下することを示している。一方で過度に基質が小さくなると空隙数は多くなるものの空隙面積が小さくなるとともに海底面での安定性が乏しくなるため、棲み場としての有効性が低下することも容易に推測できる。したがって、一口に「玉石」や「転石」といってもその機能は一様でなく、生物の棲み場として評価するには対象生物との関係の中からより詳細な定義が必要であろう。

本実験では振動流と基質とのハードの面から「玉石」や「転石」のもつ空隙を考えた。しかし、実海域においては基質の大きさや安定性、波浪の強さ、生物の発育段階や構成種、餌料や溶存酸素、栄養塩供給など、物理・化学環境と生物環境が複合的に作用し、生物の棲み場として機能している。今後は「玉石」や「転石」空隙内の流動環境の解析を進めるとともに、「空隙」のもつ生物学的な意味との関連を明らかにしていく。

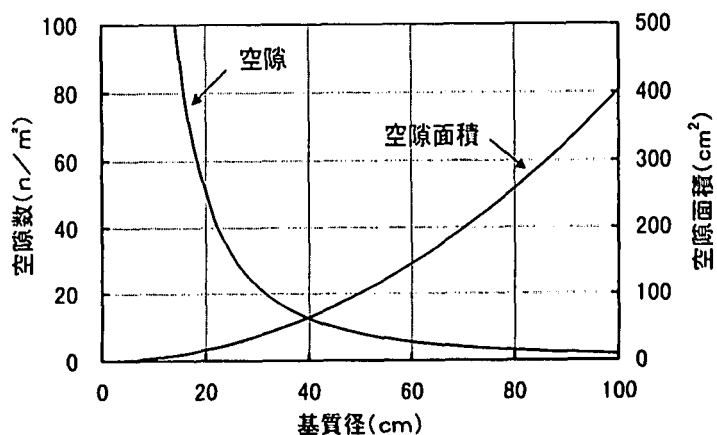


図-10 基質径と単位面積当たりの空隙数との関係

5. 参考文献

- 1) 川村一廣 (1973) : エゾバフンウニの漁業生物学的研究. 北海道立水産試験場報告, 16, 1-54
- 2) 山下卓也・谷野賢二・町口裕二・山下俊彦 (1997) : 沿岸構造物の魚礁機能に関する一考察. 土木学会北海道支部論文報告集 第53号 (b), 142-147
- 3) 町口裕二・山下卓也・阿久津孝夫・山下俊彦・南村尚明・谷野賢二 (1997) : 振動流中のエゾバフンウニ稚仔の行動と基質形状に関する一考察. 海洋開発論文集 Vol.13, 699-704