

貝殻基質周辺の流れに関する研究報告

穴口 裕司¹・片山 真基²・田中 丈裕³・永松 公明⁴・大久保 賢治⁵

¹海洋建設株式会社 水産環境研究所 (〒711-0921 岡山県倉敷市児島駅前1丁目75番地)
E-mail: yanaguch@kaiyoh.co.jp

²海洋建設株式会社 水産環境研究所 (〒711-0921 岡山県倉敷市児島駅前1丁目75番地)
E-mail: mkatayam@kaiyoh.co.jp

³NPO法人里海づくり研究会議 (〒700-0921 岡山県岡山市北区東島田町2丁目7番20-501号)
E-mail: satoumiken@gmail.com

⁴水産大学校 海洋生産管理学科 (〒759-6595 山口県下関市永田本町2-7-1)
E-mail: nagamatu@fish-u.ac.jp

⁵正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究所 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中3-1-1)
E-mail: okubo@cc.okayama-u.ac.jp

近年、港湾構造物を建設する際にも周辺の生態系に対する配慮が望まれ、そのために様々な取組が行われている。カキ等の貝殻を活用した基質は、多種多様な無脊椎動物の生息基盤として優れ、海藻類の着定基盤としても高い機能を発揮する。本研究では、無脊椎動物の幼生や海藻類の胞子が貝殻基質に着生しやすい要因の一つとして、貝殻基質周辺の流れに着目し、水理実験により基質周辺の流れの可視化と流速分布の測定を行ったものである。実験の結果、水中を漂う胞子や幼生は流れが貝殻基質に当たることによって内部に取り込まれ、複雑な内部空間を通過する過程で貝殻表面に付着しやすくなることで、無脊椎動物の着底場や藻場の着定基質としての機能が促進されるものと推定された。

Key Words : shell substrate, velocity profile, seaweed, harbor area, hydraulic experiment

1. 貝殻基質の特徴と研究目的

カキ、アコヤガイ等の貝殻をメッシュパイプにランダムに充填した貝殻基質は、内部空間を有し複雑な空間構造(直径15 cm, 長さ30 cm, 目合25 mmのメッシュパイプ使用で空隙率82~85 %, 約1 m²の表面積を有する)となっているため¹⁾, 一般的なコンクリート製構造物等と比べ多種多様な無脊椎動物が生息し^{2), 3)}, カジメ類やホンダワラ類など藻場の着定基質としても優れている⁴⁾。この貝殻基質は、餌料培養効果の高い人工魚礁や藻礁として水産基盤整備事業等に広く利用されているほか、港湾水域の環境改善を目的とした水質改善礁⁵⁾としても実用化されている。

貝殻基質に生物が着生しやすい要因の一つとして、流れが基質内部を通過するとともに、貝殻によって形成された複雑な空間構造により、基質内部における幼生や胞子の滞留時間が長くなることが考えられる。透過性基質としては、ポーラスコンクリート表面場の流れに関する研究報告⁶⁾があるが、より空隙率が高く多孔質である貝殻を使用した構造体についての定量的な評価はほとんどされていない。本研究では、回流水槽

を使用した水理実験で水中を浮遊する幼生や胞子が基質周辺でどのような挙動を示すのかを再現することによって、前述の要因を検証することを目的とした。水理実験では、懸濁法により貝殻基質周辺の流れを可視化して粒子の挙動を観察するとともに、詳細な流況を精査して流動特性を明らかにするためにADVを用いて基質周辺の流速分布の測定を行った。

2. 水理実験の方法

(1) 流れの可視化

流れの可視化については、水道水を満たした垂直循環式回流水槽(図-1 観測部幅30 cm, 長さ70 cm, 高さ20 cm)内に、直径15 cm, 長さ28 cmのメッシュパイプ(目合約25 mm)を用いて実施した。供試体として、マガキ殻をランダムに詰めた貝殻基質(写真-1)とともに、対照区として同形同寸のコンクリートシリンダーを使用した。これらの両供試体は、回流水槽観測部中央の水底に設置した。

本実験においては、流れの可視化法として懸濁法を

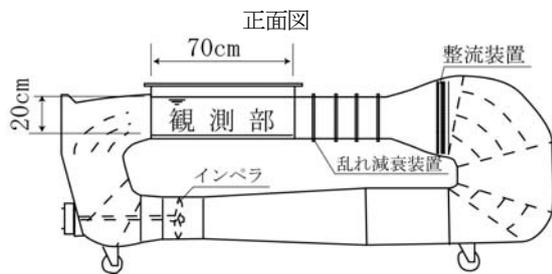


図-1 垂直循環式回流水槽の概要

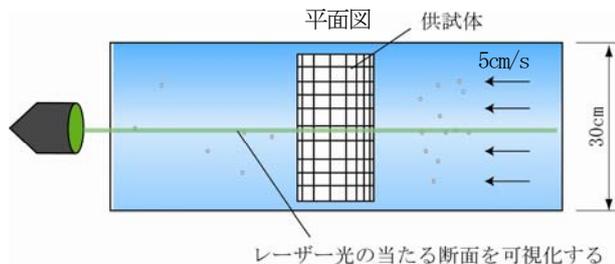


図-2 流れの可視化実験の模式図



写真-1 貝殻基質 (直径 15cm, 長さ 28cm)

採用した。懸濁法とは、水中に目印となる物質（トレーサ）を混入し、トレーサの挙動を観察することによって流れを可視化する手法である⁷⁾。トレーサには、アルミニウム粉末を使用した。使用したアルミニウム粉末は、大きさ数十～数百 μm 、比重2.7で、界面活性剤とともに水道水に混ぜて24時間静置した後、水中に浮遊している懸濁態の粉末のみ抽出して実験に供した。したがって、懸濁したアルミニウム粉末は水の流れを確実にトレースできる。さらに、アルミニウム粉末の挙動を確実に捉えるため、緑色のレーザーライトシートを上方より照射し、デジタルカメラ及びビデオで撮影した（図-2）。なお、回流水槽内の流れは、水槽と供試体の大きさとの関係から限界があるため5 cm/sの定常流とした。

(2) 流速分布測定

流速分布の測定は、水平循環式大型回流水槽（図-3）長さ13.6m×幅5.1m、高さ1.9m）を用いて実施した。供試体には、直径15 cm、長さ98 cmの貝殻基質（メッシュ

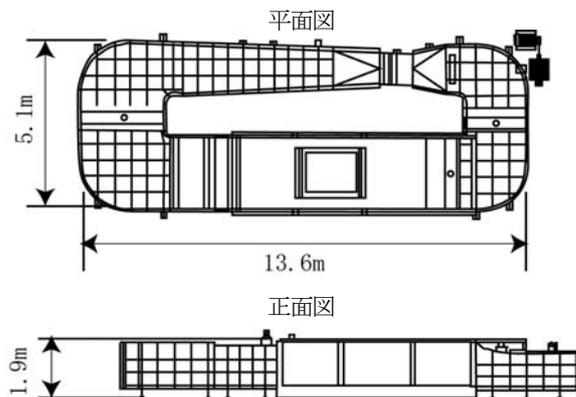


図-3 水平循環式大型回流水槽の概要

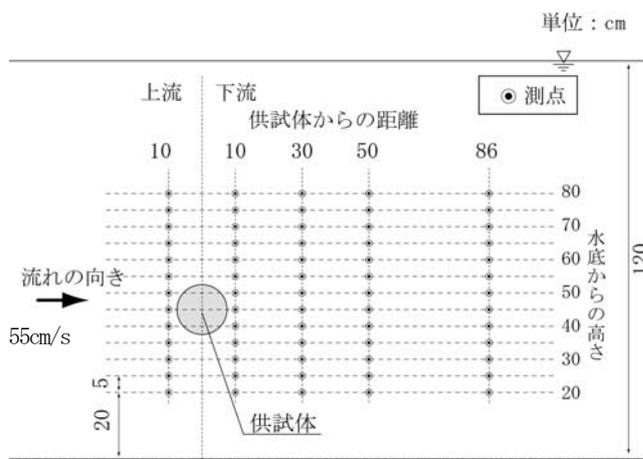


図-4 流速測定点

パイプの目合は流れの可視化と同じ）及び対照区として同形同寸の塩ビパイプを使用した。供試体は、両端部に2本のステンレス棒を取り付け、水槽横幅中央の底から45 cmの位置に固定した。流速の測定には、ADV（超音波ドップラー式3次元精密流速計 Nortek社製）を用い、詳細な流況を確認するためにサンプリング周波数を80 Hzに設定して各点で約1分間の測定を行った。流速の測点は、供試体の前後5断面（基質中央部から上流側10 cm、下流側10 cm、30 cm、50 cm、86 cm）においてそれぞれ底から20 cm～80 cmまで5 cm毎の位置（図-4）に設定した。なお、回流水槽内の流れは、流速55 cm/s（実測平均53.3 cm/s）の定常流とした。

3. 水理実験の結果

(1) 流れの可視化

貝殻基質及び対照区のコンクリートシリンダー周辺の流れの軌跡（流線）を写真-2, 3に、それぞれの流線

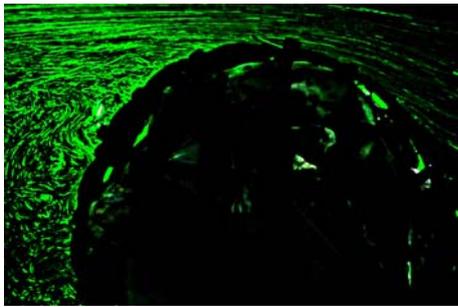


写真-2 貝殻基質直近の流れ

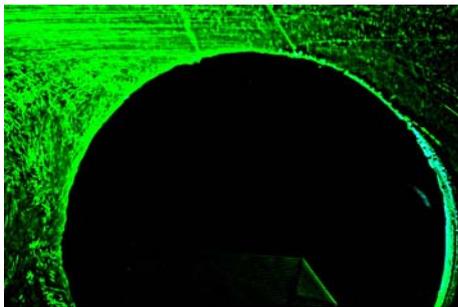


写真-3 コンクリートシリンダー直近の流れ

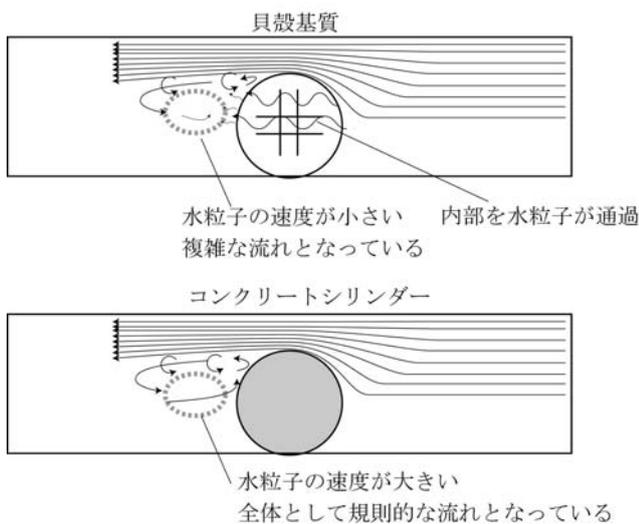


図-5 供試体周辺の流れの模式図

(上: 貝殻基質, 下: コンクリートシリンダー)



写真-4 マガキ殻に付着したアルミニウム粉末

において、内部を通過した流れが噴出して境界面から剥離した後流渦と混ざることによって不規則な乱流となり、流速の小さい流れの停滞域が形成されている状況が確認された。また、アルミニウム粉末が貝殻基質内に取り込まれていたことから、実験後に貝殻基質を解体したところ、内部のカキ殻表面にアルミニウム粉末が付着しているのが視認された(写真-4)。一方で対照区では、下流側において境界面から剥離した後流渦による逆方向の流れがコンクリート表面に沿って上昇し、上層の流れに取り込まれるような循環流が形成されており、アルミニウム粉末の挙動は、貝殻基質と比べて速く規則的であった。

(2) 流速分布測定

貝殻基質及び塩ビパイプの各測点における水平方向の平均流速を表-1に、測定値を基に作成した流速分布および両供試体の各測点における流速ベクトル分布を図-6に示す。下流側の高さ40~60 cmの測点(表の太枠内)では、両供試体間の流速値に差が特に顕著であり、貝殻基質では水平流速が15 cm/s以下の流域が下流側86 cmまで見られるのに対し、塩ビパイプでは下流50 cmまでにとどまっていた。また、下流10 cmの高さ45~55 cmの測点においては、塩ビパイプでは-8.6~-13.6 cm/sと逆向きの流れが大きいのに対し、貝殻基質では±5 cm以下と小さく、下流30~50 cmの測点では貝殻基質の方が逆向きの流れが大きくなっていた。下流86 cmにおいては、両供試体ともに逆向きの流れはないものの、流速値においては、貝殻基質が10.6~15.9 cm/sであったのに対し、塩ビパイプでは23.2~26.7 cm/sと2倍前後の流速値であった。貝殻基質と塩ビパイプ下流側における乱流特性を比較するため、任意の位置における水平流速(瞬間値)を時間平均からの偏差として表示した(図-7)。その結果、下流側10 cm、水底からの高さ40 cmの位置で両供試体の差が顕著となり、塩ビパイプの方が流速変動値が大きくなった。また、仮に水底から80 cmの高さの位置を水面と仮定し、式(1)により下流側10 cm-30 cm間の運動量フラックスの流下方向変化を求めると、せん断応力(τ)の絶対値は塩ビパイプの方が大きく、流速変化が大きいものと考えられた(図-8)。

$$\tau(z) = \frac{d}{dx} \int_{-h}^z \rho u v dz \quad (1)$$

ここで、

- $\tau(z)$: 高さ z におけるせん断応力 ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
- ρ : 水の密度 (単位体積質量) $1,000 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- u : 摩擦速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- h : 水面からの距離 (m)

の模式図を図-5に示す。貝殻基質では、下流側側面に

4. 流れと幼生・孢子着生の関連性

可視化実験により、貝殻基質では流れが内部を通過し、境界面から剥離した渦と基質側面から噴出する乱流により流速の小さな停滞域を形成することが確認された。また、基質内部のカキ殻にはトレーサとして使

用したアルミニウム粉末の付着が確認された。アルミニウム粉末は、水中を浮遊し水の流れを確実にトレースするものであり、流水下においては海中に浮遊する幼生や孢子と同様の動きを示しているものと考えられる。

流速分布測定では、供試体下流側の流れの停滞域は

表-1 各測点における水平方向の平均流速 (左: 貝殻基質, 右: 塩ビパイプ)

水底からの高さ (cm)	貝殻基質 供試体からの距離					塩ビパイプ 供試体からの距離				
	上流10cm	下流10cm	下流30cm	下流50cm	下流86cm	上流10cm	下流10cm	下流30cm	下流50cm	下流86cm
	(単位: cm/s)									
80	53.2	61.0	62.2	60.7	55.0	53.5	60.3	59.2	57.5	52.0
75	53.8	61.5	62.3	59.8	50.1	54.3	61.6	59.5	57.3	47.2
65	49.1	62.9	62.8	41.4	26.0	49.7	60.0	57.3	33.2	31.3
60	47.7	35.9	23.1	8.1	13.1	47.0	26.2	48.1	15.2	25.0
55	45.4	2.8	-6.7	-0.9	14.8	43.6	-8.6	12.4	6.3	26.7
50	44.2	-4.3	-6.9	-4.6	11.6	41.3	-12.7	-2.0	6.2	23.2
45	45.6	2.5	-1.8	-3.1	10.6	43.4	-13.6	-2.9	6.6	24.2
40	45.8	28.0	16.6	3.2	15.9	45.3	2.0	1.7	9.6	25.0
35	47.6	63.1	60.3	22.2	24.9	48.0	52.4	22.4	18.4	29.7
30	47.7	61.8	62.0	56.7	31.7	48.7	61.3	52.2	36.6	32.5
20	47.8	57.1	57.2	55.2	50.9	49.7	56.1	54.9	52.0	48.5

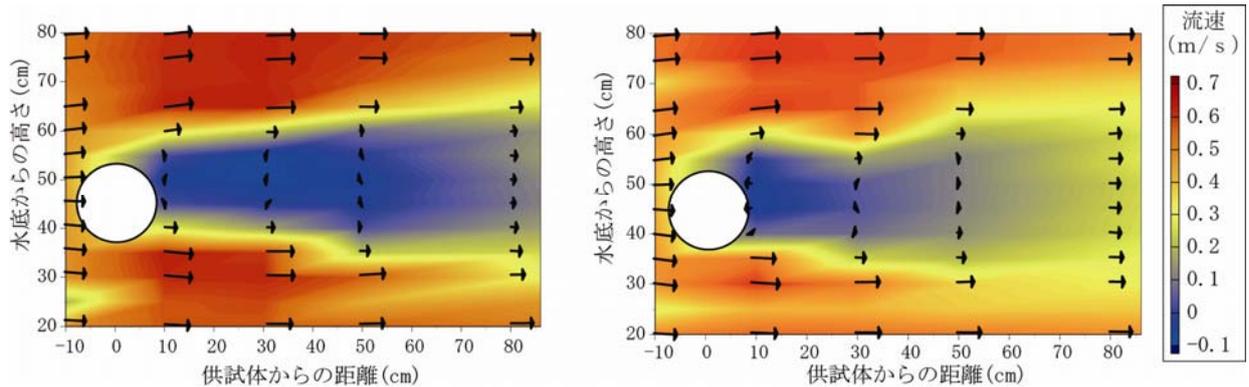


図-6 供試体周辺の水平流速分布と流速ベクトル分布 (左: 貝殻基質, 右: 塩ビパイプ)

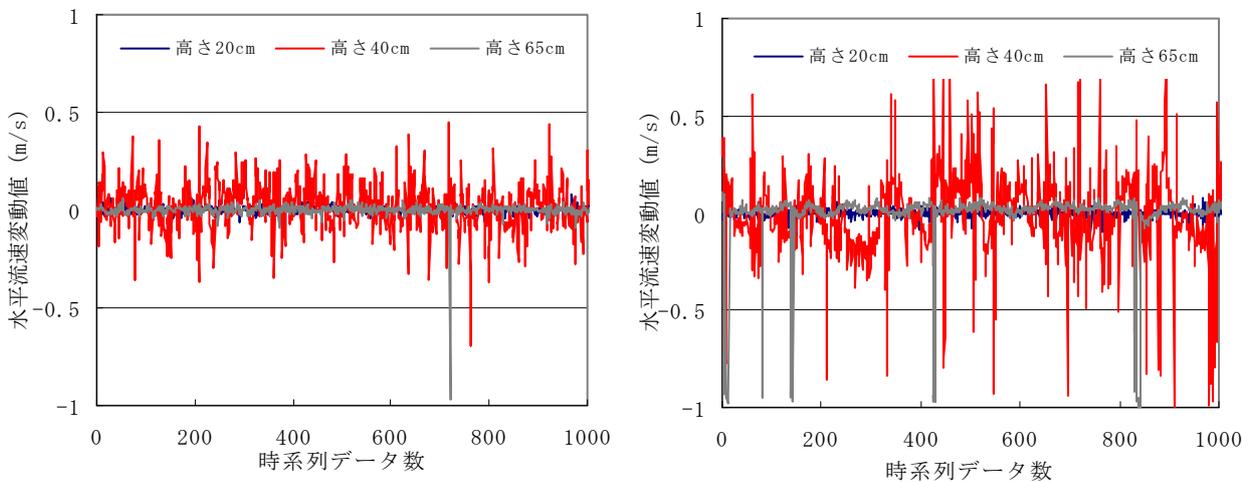


図-7 水底から20~65cmにおける水平流速変動値 (左: 貝殻基質, 右: 塩ビパイプ)

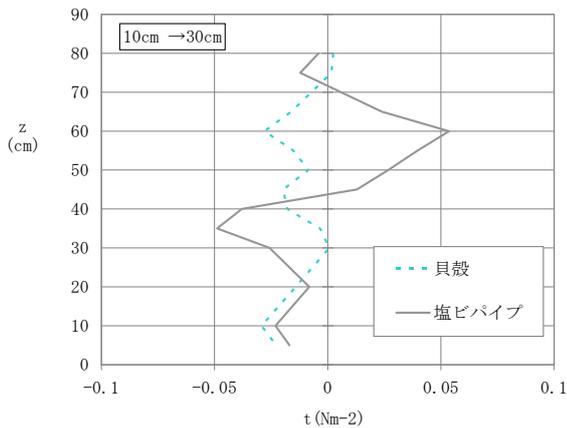


図-8 運動量フラックスの流下方向変化による乱流せん断応力分布 (下流側 10-30cm)

貝殻基質の方が長く、供試体下流域における逆方向の流速が小さいことが確認された。瞬間流速と平均流速の差分からは、対照区の方が流速値の乱れが大きく、運動量フラックスの流下方向変化においても乱流せん断応力値に差が見られた。これは、貝殻基質では前から流れが当たるとその一部が基質内に吸い込まれ後方に噴出し、境界面から剥離した後流渦と混じりあうことにより、不透過性の部材と比較すると下流側の絶対流速は小さくなり、より後方まで流れに対する影響が及ぶためであるためであると考えられた。また、貝殻基質後方では広い範囲で流れが停滞することにより幼生・胞子が留まりやすく、基質への遭遇機会を増やすことにつながるものと考えられた。

これらのことから、水中で漂う胞子や幼生は潮流や波浪等による流れが貝殻基質に当たることによって基質内部に取り込まれ、貝殻の重なりによって形成された複雑な内部空間を通過する過程で貝殻やメッシュパイプ表面に付着しやすくなるため、無脊椎動物の着床場や藻場の着定基質としての機能が促進されるものと考えられた。

5. おわりに

本研究では、海中を浮遊する幼生や胞子が貝殻を使用した透過性基質にどのように着生するかという視点で、流れの可視化実験および流速分布の測定と考察を行った。今後は、流速測定データを精査し、周波数スペクトルやレイノルズ応力等の解析を進めることによって、貝殻基質周辺における乱流特性の更なる解析を進め、より定量的な評価に結び付けていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 吉田創, 田原実, 片山貴之, 片山敬一, 柿元皓: 貝殻を利用した餌料培養基質の特性 - 基質の表面積, 空隙率と着生量との関係 -, 平成 13 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 19-22, 2001.
- 2) 野田幹雄, 田原実, 片山貴之, 片山敬一, 柿元皓: 内部空間を持つ管状基質が無脊椎動物, 特に魚類餌料動物の加入に与える効果, 水産増殖, 50(1), pp. 37-46, 2002.
- 3) 田中丈裕: 沿岸の環境圏, pp. 1226-1243, 平野敏行監修, フジテクノシステム, 1998.
- 4) 片山貴之, 吉田創, 田原実, 片山敬一, 柿元皓: 基質によるカジメの固着力の変化, 平成 14 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 65-68, 2002. i
- 5) 加村聡, 藤澤信也, 片山貴之, 齊藤達昭, 岸本英昭, 田原実: 港湾施設へ付加した生物生息機能の水質浄化機能の定量化, 土木学会論文集 (海洋開発) 67(2), pp. 304-309, 2011.
- 6) 門田章宏, 新家研蔵, 鈴木幸一: 微生物膜形成場としてのコンクリート表面場の流れの可視化に関する研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会概要集 第 63 巻, pp. 433-434, 2008.
- 7) 流れの可視化学会: 新版 流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店, pp. 184-198, 1986.

THE REPORT OF RESEARCH THE CURRENTS AROUND THE SHELL SUBSTRATE

Yuji ANAGUCHI, Masaki KATAYAMA, Takehiro TANAKA, Kimiaki
NAGAMATSU and Kenji OKUBO

In recent years, when constructing structures in harbor, various measures are demanded with consideration for the surrounding ecosystem. We expect a shell substrate is an improvement material since this is good base as habitats for a variety of invertebrate and seaweed. In this report, we tried to visualize the currents around the substrate and measure velocity profiles by the hydraulic model experiment to prove the mechanism. As a result, particles in the drift were taken into aperture of the substrate with the current broken. It is presumed that those processes get boost a variety of invertebrate and seaweed settling down to the shell passing through complicated interior space more efficiently.