

有明海における人工巣穴による 干潟海域環境改善効果の評価

EVALUTION OF ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT BY USING
“ARTIFICIAL NEST HOLE” IN ARIAKE BAY

岩尾大輔¹・五十嵐学²・増田龍哉³・滝川清⁴・森本剣太郎⁵
Daisuke IWAO, Manabu IGARASHI, Tatsuya MASUDA,
Kiyoshi TAKIKAWA and Kentaro MORIMOTO

¹学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 (〒860-8555熊本市黒髪2-39-1)

²正会員 工修 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター (同上)

³正会員 博(工) 熊本大学特任助教 大学院先導機構 (同上)

⁴フェロー 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター (同上)

⁵正会員 博(工) 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒239-0826神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Recently, various environmental degradations, like a red tide and a hypoxic water mass, are reported in Ariake Bay, and it becomes a problem. In particular, the sediment deterioration is caused the habitat environmental degradation, and it requires any action. To solve the issue, field experiment has been performed by using “Artificial nest hole”, which uses the water level difference and the upper layer of water into the sediment since 2006. The experiment shows that “Artificial nest hole” has the sediment purification effect not only by the penetration but by the bioturbation.

Key Words : Ariake Bay, artificial nest hole, sediment, benthos, standing crop

1. はじめに

近年、有明海では赤潮の頻発化や貧酸素水塊などの環境悪化に伴う諸現象が顕在化してきており、大きな問題となっている。これらは水質・底質の悪化が原因であると考えられており、特に底質の泥化・嫌気化といった底質環境の悪化は直接的にも間接的にも生物生息環境の悪化につながると考えられている。このような状況の中、2001年11月に「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」が施行されるなど、干潟海域環境の回復・改善のための効果的な対策の実施が強く求められている。

このような背景の下、筆者らは水位差や潮流を利用し、堆積物内へ上層水を輸送することで底質の改善を図る「人工巣穴」を考案し、2006年より現地実証試験や室内実験を行ってきた¹⁾²⁾³⁾。

本研究では、増田ら²⁾及び丸山ら³⁾の報告にその後の追跡調査結果を加え、人工巣穴による底質及び生物生息環境の改善効果について考察した。さらに、浸透流解析を試行し、その結果と増田らの室内浸透実験結果とを比較して、人工巣穴の改善効果が及ぶ影響範囲を浸透流速から評価することを試みた。

2. 現地実証試験

(1) 現地実証試験概要

人工巣穴は、干潮時に干出する干潟域では水位差、干出しない海域では潮流を利用し、底泥内部へ新鮮な上層水を輸送することで設置地点周辺の底質を好気化し、底質環境を改善する技術である。2006年に3タイプ(写真-1)、2007年に4種5タイプ(写真-2)を製作し、図-1に示す熊本県西部の坪井川河口北側にある百貫港西側の干潟域とその沖合約1kmの海域に設置した。それらの底質改善効果を把握するため、底質調査(粒度組成、含水率、硫化物、ORP、COD_{sed}・強熱減量、pH、泥温)及び底生生物調査(マクロベントス種数、個体数、湿重量)を行なった。前者は、泥深約40cmのコアサンプリングにより表層(0~1cm)、上層(7~13cm)、中層(17~23cm)、下層(27~33cm)の底質を分析・測定し、後者は、干潟域では25cm×25cmのコドラートで2回採泥(0.125m²)、海域は15cm×15cmの港研式コドラートでダイバーを介し6回採泥(0.135m²)して、それらを1mm目の篩いにかけて、残った底生生物を採取及び同定した。調査期間は、2006

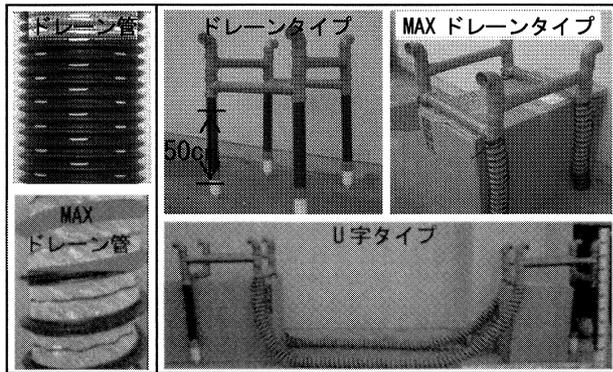


写真-1 2006年設置の人工巣穴

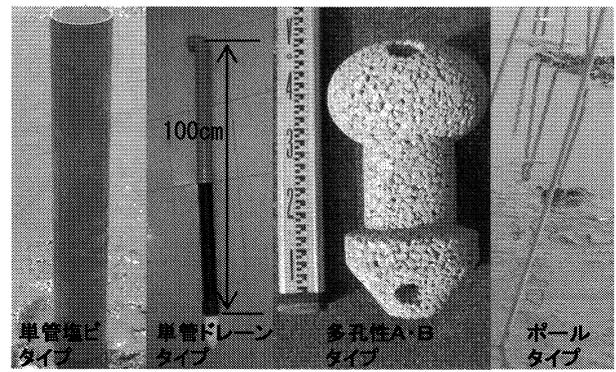


写真-2 2007年設置の人工巣穴

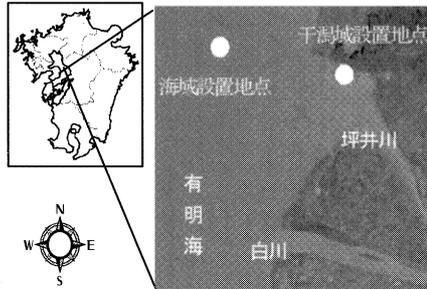


図-1 人工巣穴設置場所

表-1 人工巣穴設置日及び調査日程

	2006年設置	2007年設置
設置前	2006/02/14	—
設置日	2/15	2007/05/14
2週間後	2/27	5/28
3ヶ月後	5/25	8/10
6ヶ月後	8/25	11/07
9ヶ月後	11/20	2008/02/06
12ヶ月後	2007/02/02	5/19・6/04
15ヶ月後	5/14	—
18ヶ月後	8/10	11/11
21ヶ月後	11/07	—
24ヶ月後	2008/02/06	—

表-2 人工巣穴設置による主要な改善効果一覧

設置時期	対象域	巣穴のタイプ	改善効果			報告論文
			発現時期	項目	内容	
2006年	海域	ドレーン	3~6ヶ月後	底質	硫化物の抑制（表層・上層）	増田ら
			9ヶ月後	生物	個体数（サルボウガイ稚貝等）の増加	
			9~15ヶ月後		多様度指数の増加	丸山ら
	干潟域	ドレーン MAXドレーン	8ヶ月後	底質	硫酸還元菌の減少（上層・中層・下層）	増田ら
		ドレーン	9~12ヶ月後	生物	軟体動物（アサリ等）の優占 種数の増加	
			6~15ヶ月後		懸濁物食の現存量の増加	丸山ら
9~15ヶ月後	多様度指数の増加					
2007年	海域	多孔性A	9ヶ月後	生物	懸濁物食の現存量の増加	丸山ら
	干潟域	単管ドレーン	6~9ヶ月後	生物	堆積物食・懸濁物食の現存量の増加	

年の人工巣穴は設置 24 ヶ月後まで、2007 年の人工巣穴は設置 18 ヶ月後まで行なった（表-1）。なお、現地実証試験方法の詳細については丸山らにより取りまとめられており、そちらを参照にされたい。

(2) 人工巣穴に関する既往の知見

表-2 に既知の主要な改善効果一覧を示す。増田らは 2006 年に設置した人工巣穴の 12 ヶ月後調査まで、丸山らは 2006 年に設置した人工巣穴の 15 ヶ月後調査及び 2007 年に設置した人工巣穴の 9 ヶ月後調査までの結果について報告している。以下に、これまで得られている知見の概略を述べる。

a) 2006 年設置の人工巣穴

海域・干潟域ともにドレーンタイプ設置地点で改善効果が多く見られた。効果の持続期間については、

底質項目で 3~8 ヶ月、生物項目で 6~15 ヶ月であった。特に底質改善効果の持続期間が比較的短いことの要因としては、現地では人工巣穴内部への生物の付着や浮泥の堆積が確認されていることから、海水輸送機能が阻害され、時間経過と共にその機能が失われているためと考えられる。

生物に関しては、海域・干潟域ともに、人工巣穴本体が生物の着床、希少種生息の場及び魚類の産卵の場等として機能するなど、波及的な効果が確認された。またそれに付随して、干潟域における人工巣穴設置地点の多様度指数は、設置 9 ヶ月後以降に比較地点のそれを上回った。

b) 2007 年設置の人工巣穴

底質改善効果がほとんど見られなかったものの、一部人工巣穴で生物現存量が設置 6~9 ヶ月後に増

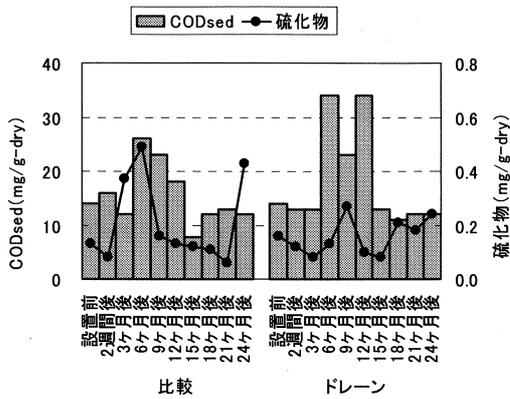


図-2 海域のCODsed及び硫化物の変化(2006)

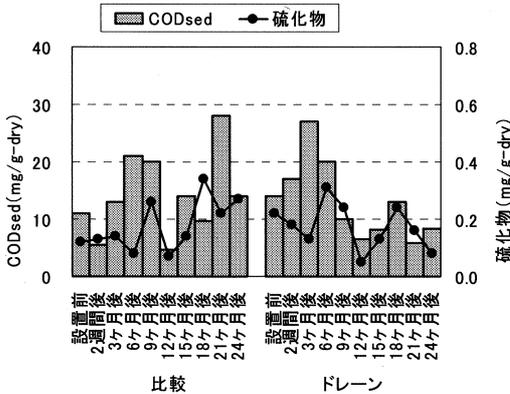


図-3 干潟域のCODsed及び硫化物の変化(2006)

加するなど、生物生息環境の改善効果が見られた。

(3) 底質調査結果

ここでは、底質調査項目のうち、これまでの調査で人工巣穴設置による改善効果が見られた硫化物と、その発生に起因する CODsed の結果について述べる。図-2、図-3 に 2006 年に設置した人工巣穴による海域及び干潟域の表層での経時変化を示す。

海域では、比較地点とドレーンタイプ設置地点の CODsed について明確な差は見られなかった。しかし、硫化物については 3 ヶ月後 (5 月)、6 ヶ月後 (8 月) 及び 24 ヶ月後 (2 月) に比較地点でそれぞれ 0.37mg/g-dry, 0.49 mg/g-dry, 0.43 mg/g-dry と高い値を示したのに対し、ドレーンタイプ設置地点ではそれぞれ 0.08mg/g-dry, 0.13mg/g-dry, 0.24mg/g-dry と低い値を示した。

干潟域では、CODsed について 21 ヶ月後 (11 月)、24 ヶ月後 (2 月) に比較地点でそれぞれ 28.0mg/g-dry, 14.0 mg/g-dry を示したのに対し、ドレーンタイプ設置地点ではそれぞれ 5.8 mg/g-dry, 8.3mg/g-dry と比較地点より低い値で推移していた。硫化物については 24 ヶ月後 (2 月) に比較地点で 0.27mg/g-dry を示したのに対し、ドレーンタイプ設置地点で 0.08mg/g-dry と比較地点より低い値を示した。

なお、2007 年に設置した人工巣穴では、海域・干潟域の表層いずれにおいても、CODsed・硫化物ともに調査期間を通して比較地点と人工巣穴設置地点

の値に明確な差は見られなかった。

(4) 生物調査結果

a) 2006 年設置の人工巣穴

図-4、図-5 に海域及び干潟域における生物個体数と生物湿重量の変化を示す。

海域では、生物個体数については比較地点とドレーンタイプ設置地点とで同程度の値もしくは比較地点がドレーンタイプ設置地点を上回っているのに対し、生物湿重量についてはドレーンタイプ設置地点が比較地点と同等もしくはそれを上回った。これは、比較地点でゴカイなど小型の底生生物が出現し、ドレーンタイプ設置地点ではサルボウガイや大型のゴカイなど大型の底生生物が出現したためである。なお後者では、設置 9 ヶ月後 (11 月) にサルボウガイの稚貝が 90 個体/0.135m² 確認された。

干潟域では、生物個体数についてはばらつきはあるものの、比較地点とドレーンタイプ設置地点とで概ね同程度の値を示した。生物湿重量については、ドレーンタイプ設置地点が 6 ヶ月後以降比較地点を上回った。これは、ドレーンタイプ設置地点でアサリなど大型の底生生物が多く出現したためである。

b) 2007 年設置の人工巣穴

図-6、図-7 に海域及び干潟域における生物個体数と生物湿重量の変化を示す。

海域では、比較地点と人工巣穴設置地点の生物湿重量については多孔性 A タイプ設置地点で 9 ヶ月後 (2 月)、多孔性 B タイプ設置地点で 9 ヶ月後以降に比較地点を上回った。これは、前者がガリシケタイラギの出現によるもの、後者がサルボウガイや棘皮動物のトゲイカリナマコの出現によるものであり、比較地点に比べて大型の底生生物が生息していたことに起因する。

干潟域では、生物個体数について単管塩ビタイプ、単管ドレーンタイプ及び多孔性 A・B タイプ設置地点では比較地点と概ね同程度であった。生物湿重量については、単管ドレーンタイプ設置地点が 3 ヶ月後以降比較地点の生物湿重量を上回った。これは、単管ドレーンタイプ設置地点においてアサリなどの大型の底生生物が多く出現したためである。なお、ポールタイプ設置地点は 3 ヶ月後 (8 月) 及び 6 ヶ月後 (11 月) にドロフジツボが優占し、生物個体数・湿重量ともに比較地点を上回った。

(5) 生物の多様度

図-8、図-9 に 2006 年に設置した人工巣穴における海域及び干潟域の多様度指数の変化を示す。

海域では、設置 6 ヶ月後までドレーンタイプ設置地点及び比較地点いずれも規則的な変化は見られなかった。一方、9 ヶ月後以降は、ドレーンタイプ設置地点は多様度指数が 3 前後の値で推移していたのに対し、比較地点では 15 ヶ月後 (5 月) に値が約 1.5 となるなど、ドレーンタイプ設置地点と比べて不安定な傾向が見られた。

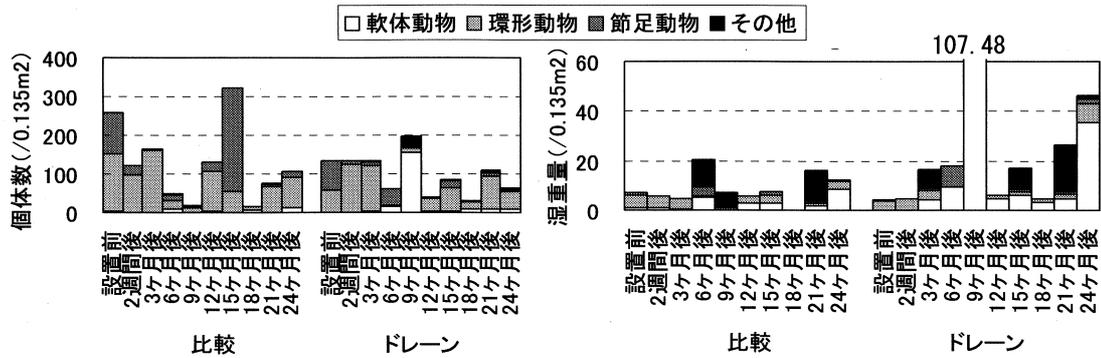


図-4 海域の生物個体数及び生物湿重量(2006)

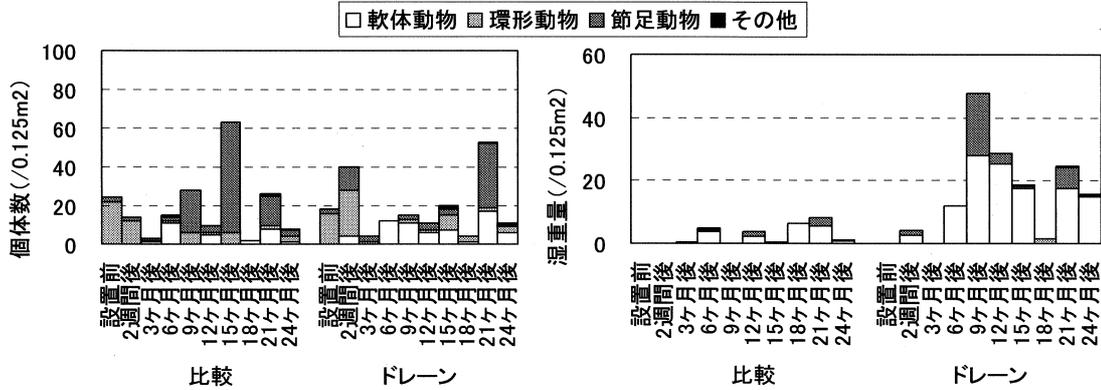


図-5 干潟域の生物個体数及び生物湿重量(2006)

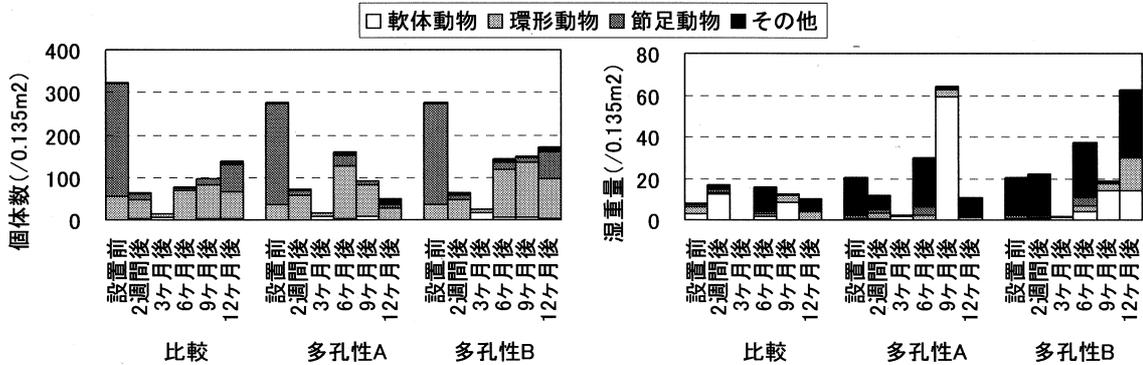


図-6 海域の生物個体数及び生物湿重量(2007)

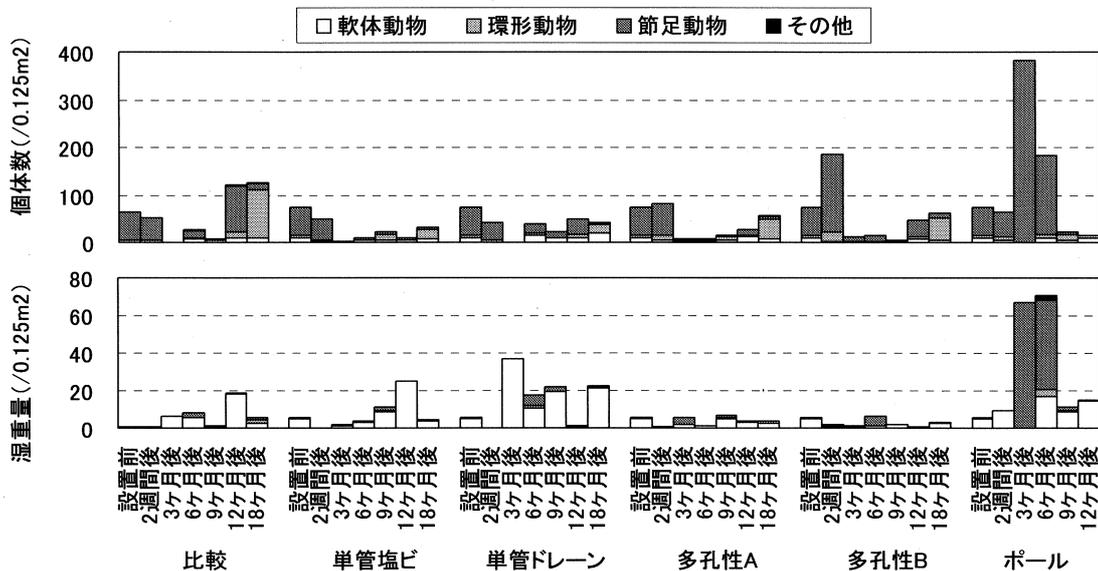


図-7 干潟域の生物個体数及び生物湿重量(2007)

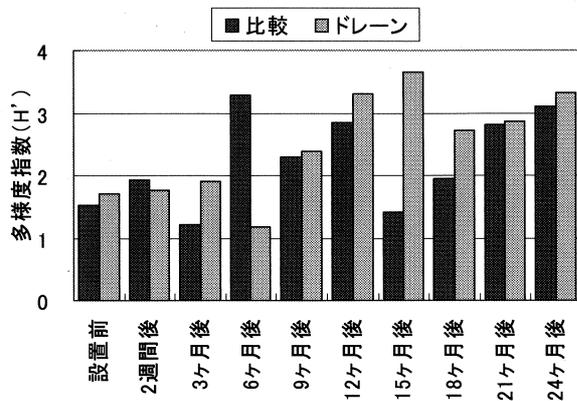


図-8 海域の多様度指数変化(2006)

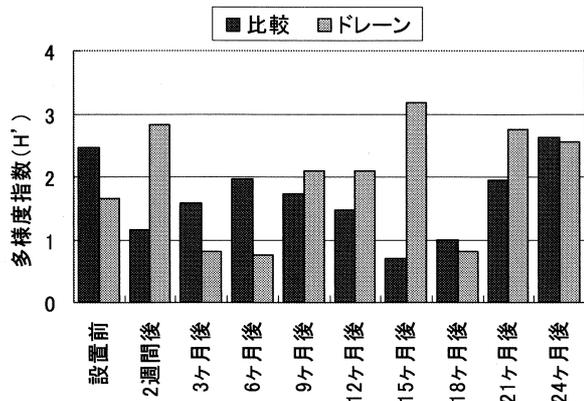


図-9 干潟域の多様度指数変化(2006)

干潟域においても海域と同様に、設置 6 ヶ月後まではドレーンタイプ設置地点及び比較地点いずれも規則的な変化は見られなかった。9 ヶ月後以降では、18 ヶ月後(8 月)にドレーンタイプ設置地点及び比較地点の両者の値が約 1 となったが、それ以外ではドレーンタイプ設置地点の多様度指数が 2~3 の安定した値で推移していたのに対し、比較地点では 15 ヶ月後(5 月)に値が約 0.8 となるなど、ドレーンタイプ設置地点と比べて不安定な傾向が見られた。

なお、2007 年設置の人工巣穴では、海域・干潟域いずれにおいても、調査期間を通して人工巣穴設置地点と比較地点の間に明確な差や規則的な変化は見られなかった。

(6) 考察

a) 2006 年設置の人工巣穴

本研究及びこれまでに得られた主要な知見を整理すると、ドレーンタイプ設置地点において、①海域では 3~6 ヶ月後に比較地点と比べて硫化物が抑制されていたものの、その後は比較地点との間に明確な差は見られなかった。しかし、24 ヶ月後(2 月)には海域・干潟域ともに比較地点と比べて硫化物が抑制されていた、②海域で 3~6 ヶ月後に比較地点と比べて硫化物が抑制されていたのは、人工巣穴による上層水浸透効果によるものである、③海域・干潟域ともに 6~9 ヶ月後以降サルボウガイやアサリなどの大型の底生生物が出現した。以上を踏まえ、海域及び干潟域のドレーンタイプ設置地点で確認された 24 ヶ月後(2 月)における硫化物の抑制は、大型の底生生物の定着及びそれに伴う生物攪乱による間接的な底質改善効果によるものと推察される。

また、生物多様性について、ドレーンタイプ設置地点で比較地点に比べ安定した多様性に富んだ場を維持していたのは、人工巣穴の生物着床基盤としての機能によるものと考えられる。

b) 2007 年設置の人工巣穴

2007 年設置の人工巣穴においては、明確な底質改善効果は見られなかった。この要因について丸山らは、人工巣穴の設置間隔が大きい(100cm)こ

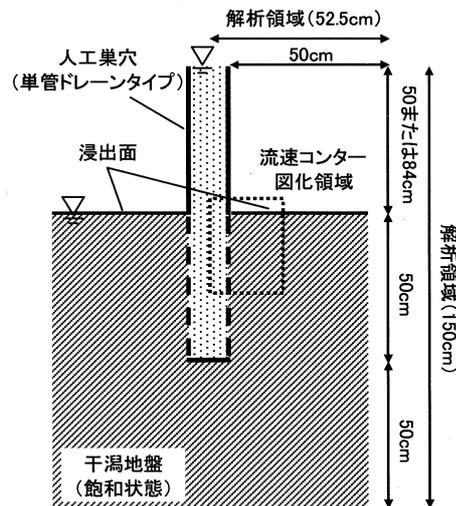


図-10 解析領域

とを指摘している。

一方、生物生息環境の改善効果として、海域の多孔性巣穴設置地点では 9 ヶ月後以降、干潟域の単管ドレーンタイプ設置地点では 3 ヶ月後以降にサルボウガイやアサリなど大型の底生生物が出現したことから、今後時間経過と共に生物攪乱が進み、間接的な底質改善が促進される可能性がある。

3. 浸透流解析

(1) 解析概要

飽和・不飽和断面 2 次元浸透流解析プログラム「AC-UNSAF2D」⁴⁾を用いて、干潟域における断面 2 次元非定常解析を行なった。図-10 に解析領域を示す。

解析では、干出時の干潟においてドレーンタイプの人工巣穴と干潟地盤面との間に水位差が生じている状況を想定し、干潟地盤を飽和状態及び不圧帯水層と仮定して、12 時間経過後の干潟地盤内の浸透流速を求めた。解析領域は、高さ 150cm×幅 52.5cm であり、不等間隔格子を 0.5~2.0cm 間隔で設定した。境界条件は、人工巣穴と干潟地盤面との水位差を固定、干潟地盤面を浸出面とし、右端を定水位境

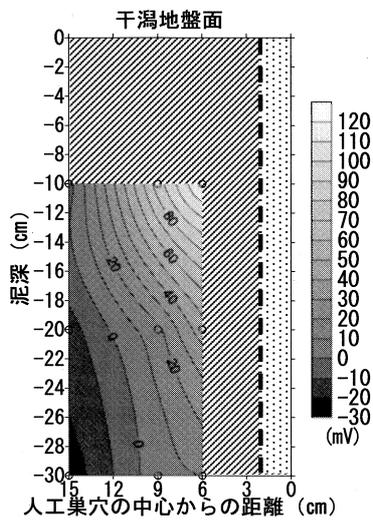
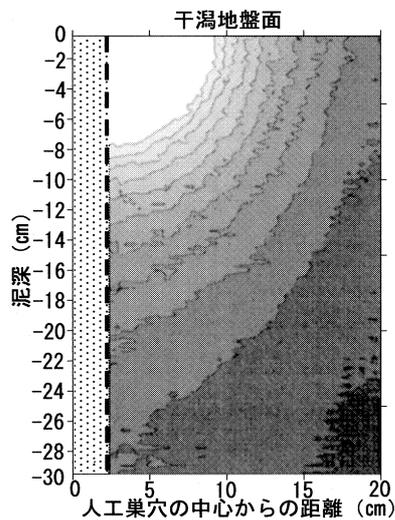
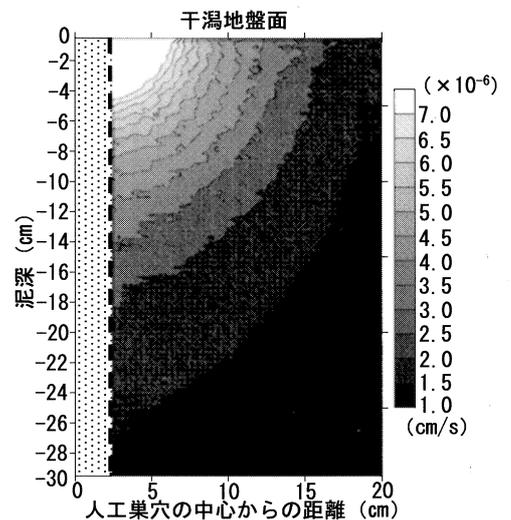


図-11 室内浸透実験のORP分布



(a) 水位差84cm



(b) 水位差50cm

図-12 浸透流解析による浸透流速分布

界とした。干潟飽和土の浸透特性値は、現地実証試験対象干潟の含泥率がシルト主体で概ね 60~80%であることを踏まえ、既往の知見⁵⁾⁶⁾より各軸方向の透水係数 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 、有効空隙率 0.2、比貯留係数 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ とした。

(2) 解析結果及び考察

増田らは、ドレーンタイプの人工巣穴に水位差 84cm を与えて室内浸透実験を行ない、人工巣穴周辺における 89 日後の酸化還元電位 (ORP) 分布を示している (図-11)。それを踏まえ本解析は、まず増田らと同一の水位差 (84cm) で解析を行ない、ORP 分布と解析で得られた浸透流速分布とを比較し、底質改善に寄与する浸透流速のしきい値を求めた。次に、現地実証試験における水位差 (50cm) にて解析を行ない、前述のしきい値から現地 (干潟域) での底質改善効果の影響範囲を評価した。

室内浸透実験による ORP 分布から、酸化状態と還元状態のしきい値 (0mV) は、泥深-14cm までは人工巣穴中心からの距離 (以下、水平距離) 約 15cm にあり、泥深-30cm では水平距離約 10cm に位置していた。次に、図-12(a)に水位差 84cm における浸透流速分布 (図-10 破線内) を示す。これより、0mV の分布に対応する浸透流速は、概ね $2.5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ であると考えられ、この値を底質改善に寄与する浸透流速のしきい値とした。

図-12(b)に水位差 50cm における浸透流速分布 (図-10 破線内) を示す。求めた浸透流速のしきい値から、現地での底質改善効果の影響範囲は、泥深約-14cm、水平距離約 15cm であると示唆された。

4. おわりに

本研究により得られた主要な結論を以下に示す。
(1) 人工巣穴が有する底質改善機能は、上層水浸透

効果による直接的な底質環境改善効果に加え、大型の底生生物の定着及びそれに伴う生物攪乱による間接的な底質環境改善効果も示唆された。

- (2) 人工巣穴本体の生物着床基盤としての機能により安定した生物の多様性が維持されるなど、生物生息環境の改善効果が見られた。
- (3) 浸透流解析により、底質改善に寄与する浸透流速のしきい値は $2.5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ と考えられ、その影響範囲は人工巣穴と地盤面との水位差が 50cm の時に泥深約-14cm、人工巣穴の中心からの距離約 15cm であることが示唆された。

謝辞：本研究は、文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究等の推進「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験 (平成 17 年~21 年度)」の補助によるものであり、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 滝川清, 増田龍哉, 森本剣太郎, 松本安弘, 大久保貴仁: 有明海における干潟海域環境の回復・維持へ向けた対策工法の実証試験, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 1206-1210, 2006.
- 2) 増田龍哉, 滝川清, 森本剣太郎, 丸山繁, 木田建次, 大久保貴仁: 有明海干潟海域環境改善へ向けた人工巣穴による底質改善技術の現地実証試験, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp. 1131-1135, 2007.
- 3) 丸山繁, 滝川清, 増田龍哉, 森本剣太郎: 有明海の再生に向けた人工巣穴による底質及び生物生息環境改善効果, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp. 711-716, 2008.
- 4) 岡山地下水研究会: AC-UNSAF2D バージョン 2007, http://www.igeol.co.jp/okayama/kaiseki_pro.htm, 参照 2009-1-11.
- 5) 土木学会: 水理公式集 (平成 11 年版), pp. 339-345.
- 6) 朴鐘和, 中山哲殿, 瀬口昌洋: 沿岸干潟域における底泥の環境特性, 水工研報, 18, pp. 1-19, 1997.