

人工マウンド礁の 効率的な築造方法に関する研究

EFFICIENT CONSTRUCTION METHOD OF ARTIFICIAL RUBBLE REEF

琴浦毅¹・佐貫宏²・熊谷隆宏³・小宮一成⁴・清水英久⁵
Tsuyoshi KOTOURA, Hiroshi SANUKI, Takahiro KUMAGAI,
Kazunari KOMIYA and Hidehisa SHIMIZU

- ^{1,2}正会員 修(工) 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)
³正会員 Ph.D. 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)
⁴ 五洋建設(株) 九州支店 (〒812-8614 福岡県福岡市博多区博多駅南1-3-11)
⁵ 五洋建設(株) 土木営業本部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

In the construction of artificial rubble reef, rubble materials are usually dumped from a barge into the sea directly. The diffusion of materials in the longitudinal direction becomes large in use of the conventional method, which makes accurate construction difficult. In this study, the construction method which uses diffusion-reducing sheets in the longitudinal direction was developed. As a result of laboratory experiment, the effectiveness of the diffusion-reducing sheets became clear. This method was applied to actual construction site with water depth of 85m. As a result, the diffusion in the longitudinal was reduced clearly and the effectiveness of this method was demonstrated.

Key Words : artificial fish reef, artificial mound, barge, dumping method, diffusion

1. はじめに

近年, 沿岸域では人工マウンド礁の造成事業が積極的に行われている。たとえば, 長崎県や鹿児島県では石材やコンクリートブロックを用いた人工マウンド礁が平成9年から順次整備されており, 事業の成果も報告されている¹⁾。これらの築造は全て土運船からの直投方式によるものであるが, ブロックを用いた人工マウンド礁の効率的な施工方法はすでに検討されている²⁾。材料に石材を用いた場合, 土運船の開口部が細長いことから, 直投方式では特に土運船の長手方向の材料の拡散が大きくなり, 大水深海域における人工マウンド礁の築造に多量の材料を必要となる問題があった。この問題に対し, 著者らは土倉上端部に柔軟性のある適当な長さシートの一端を固定し, 土倉下部にシートを敷設した上に石材を積載し, 土運船が底開する際, 図-1のようにシートが開開口部から下に展開し, 長手方向の拡散を抑える投入方法(以下, シート工法)を考案した。シート工法は従来の土運船を利用しながらも, 長手方向の拡散を抑え, 効率的な人工マウンド礁の築造を可能とすることをねらいとしている。本研究では, このシート工法について水理模型実験で拡散特性, 堆積特性を確認し, 実際に現地に適用した結果から, シート工法の有効性を明らかにした。

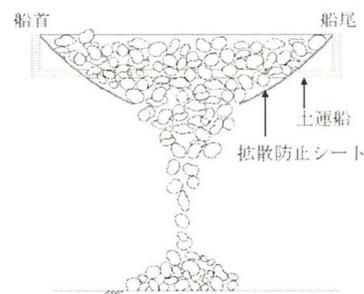


図-1 シート工法イメージ図

2. 実験概要

(1) 実験条件

実験は2面ガラス張りの水槽(1.0m)の中央部に土運船模型を設置し, 水深, 開扉時間, シートの有無, シートの敷設範囲をパラメータとして, 縮尺1/100で実施した。シート材は市販のポリエチレンシート(厚さ0.03mm)を用いた。表-1に実験条件を示す。開扉時間に関する条件は, 標準的な時間と, 施工性を考慮した短い時間の2ケースを選定した。なお, 実験結果の平面写真における1格子は20cmである。

(2) 拡散特性

開扉時間, 水深, 拡散防止シートによる拡散特性

を把握するために、青、黄、赤に着色した石材を用いて投入を行った(写真-1)。表-2は実験ケース、写真-2は各ケースの拡散状況写真である。なお、この図の左右方向が土運船の船首尾方向であり、この時のシート敷設範囲は土倉幅の50%、土倉長さ50%とした。

a) 水深 50cm のケース

case1, case3 を写真-2 によって拡散の程度を比較した場合、五明ら³⁾に示されるように、開扉時間が短いと石材の拡散が大きいことが分かる。また、シートを取り付けた case2, case4 の拡散状況から、シートの拡散抑制効果があると定性的に評価できる。

同様に、case2 と case3 を比較すると、同程度の拡散状況である。このことから、シートを取り付けた場合、施工性を考えて開扉時間を短くしても、石材の拡散範囲が広がらないと判断できる。

a) 水深 85cm のケース

水深 50cm の結果と同様に、開扉時間が短い条件ではと、拡散が大きくなることが確認された。しかし、水深が深くなったため、同じ開扉時間でも拡散は大きくなった。拡散状況を詳細に見ると、シートが無い場合、石材は土運船に積載した位置の直下付近を中心に広く拡散している。一方、シートを使用した場合、船首尾に積載されていた青、赤の石材が中央に集中して堆積していることが特徴的である。つまり、シートの有無によって、ピンポイント投入に近い投入形態になることが分かった。また、case6 の開扉時間が短い条件でシートを使用したケースと、case7 の開扉時間が長い条件でシートを使用しないケースで、拡散性を比較すると、case6の方が長手方向の拡散性が小さいことがわかる。すなわち、シートの拡散抑制効果が非常に高いことが明らかになった。

表-1 実験条件(実験縮尺 1/100)

		実験諸元	現地諸元
水深		50cm, 85cm	50m, 85m
捨石質量		約1g/個	1t内外
土運船形状	土倉形状	長さ30cm 幅 10cm 深さ 5cm	長さ30m 幅 10m 深さ 5m
	開口幅	4cm	4m
開扉時間		3秒, 8秒	30秒, 80秒
シート形状	長さ	40, 50, 60 (開口長を100とする)	
	幅	50, 100 (土倉幅を100とする)	

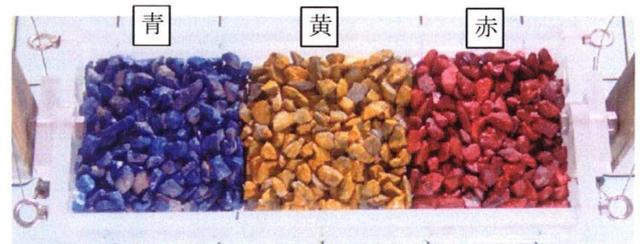


写真-1 着色石材の積載状況

表-2 拡散特性実験ケース

ケース名	水深	開扉時間	シート
case1	50cm	3秒	なし
case2			あり
case3		8秒	なし
case4			あり
case5	85cm	3秒	なし
case6			あり
case7		8秒	なし
case8			あり

シート	開扉時間3秒		開扉時間8秒	
	なし	あり	なし	あり
水深 50cm	case1	case2	case3	case4
	case5	case6	case7	case8
	船首尾方向 ←→			
	船首尾方向 ←→			

写真-2 拡散状況図

(3) シート工法のメカニズム

シート工法の優位性は定性的に評価できたが、シート工法の拡散をさらに詳細に検討するために、実験状況を水中から撮影した。写真-3 はシートを敷設していない場合の画像である。このケースでは開口直後、投入量最大時ともに、開口部全体から石材が落下している。このため、投入面積が大きくなり、拡散が大きくなることが推測される。写真-4 はシートを敷設した場合の画像である。(1)の開口直後はシートが無い箇所の石材が落下し、残った石材がシートに沿って、中央に向けて落下している。この投入状況は、図-1 の投入イメージに一致し、シートを用いると、よりピンポイント投入に近い形となり、長手方向の材料の拡散が小さくなることが期待できる。

また、case8 において土倉中央に位置していた黄色の石材の上に、端部に位置していた青、赤の石材が堆積したのは、中央部からのピンポイント投入に近い形となるためと考えられる。

シートを使用すると、拡散を小さくすることが可能になることが明らかになり、シート工法の有効性が確認できた。

(4) シート工法による堆積特性

次に、複数回投入した時のシート工法の効果と、シートの敷設面積が堆積に及ぼす影響について検討する。表-3 に実験ケースを示す。この時の水深は85cm とし、開扉時間、シートの敷設面積をパラメータとして実験を行った。図-2～図-5 は各条件の5投終了時の船首尾方向の堆積形状である。

表-3 堆積特性実験ケース

ケース名	水深	開扉時間	シート幅	シート長
case9	85cm	3秒	なし	
case10-1			100%	40%
case10-2				50%
case10-3				60%
case11-1			50%	40%
case11-2				50%
case11-3		60%		
case12		8秒	なし	
case13-1			100%	40%
case13-2				50%
case13-3				60%
case14-1			50%	40%
case14-2				50%
case14-3				60%

a) シートなしの堆積形状

図-2 の case9 と case12 の堆積形状が、シートなしの条件での開扉時間の相違によるものである。堆積高は case9 が 3.5cm, case12 が 5.5cm となり、およそ 1.6 倍程度の堆積高さになった。これは、前述したように、開扉時間が短いと拡散が大きくなる



(1) 開口直後

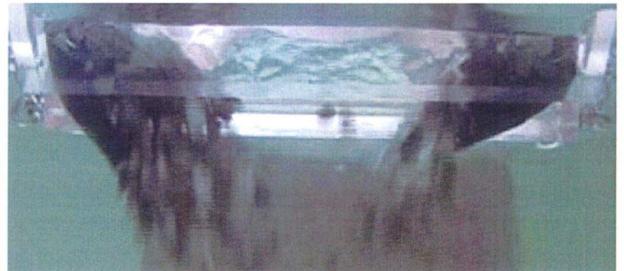


(2) 投入量最大時

写真-3 投入状況 (シートなし)



(1) 開口直後



(2) 投入量最大時

写真-4 投入状況 (シートあり)

ためである。

b) シートありの堆積形状

いずれのシートの条件でも、シートなしの堆積形状より堆積高さは増加し、船首尾方向の拡散は抑えられていることが分かる。これは、拡散特性で確認したように、シートにより船首尾方向の拡散が抑えられた結果であることは明白である。

次に、シートの相違による堆積形状を検証する。いずれのケースでも、同じシート幅であれば、シート長は長い方が効果的であることが確認できる。ただし、図-5 ではシート長 50%の方が堆積高は大き

い、この時のシート幅は 100%であり、case13-3 の敷設面積が今回の実験ケースの中では最大となる。開扉速度が遅いため単位時間当たりの流出量が小さくなり、シートに作用する力が小さくなるのに対し、最大の敷設面積であるために摩擦を最も受けるため、シートが開口部から下に展開しないケースが発生した。その結果、落下しない石材が発生したため、シート長 50%の方が堆積高は大きくなった。次に、シートの幅による堆積高さの相違であるが、図-3、図-4 の比較からも分かるように、いずれのシート長に対して、シートの幅 100%の方が船首尾方向の拡散は抑えられ、堆積高さは大きくなるものの、その差は 1 割程度である。

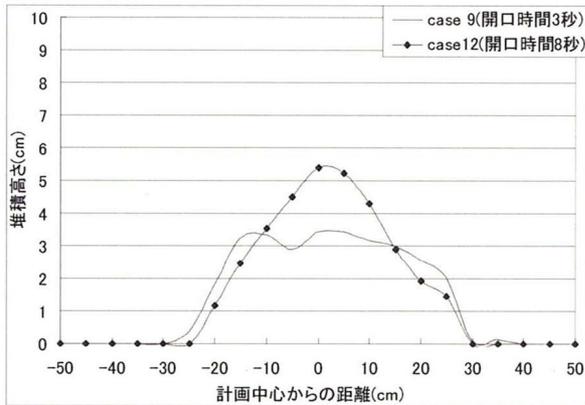


図-2 堆積図 (シートなし)

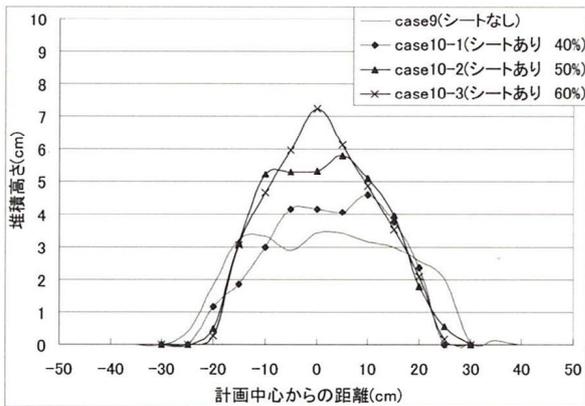


図-3 堆積図 (開扉時間 3 秒, シート幅 : 100%)

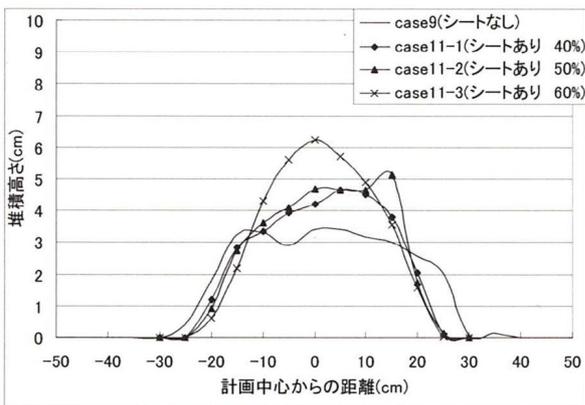


図-4 堆積図 (開扉時間 3 秒, シート幅 : 50%)

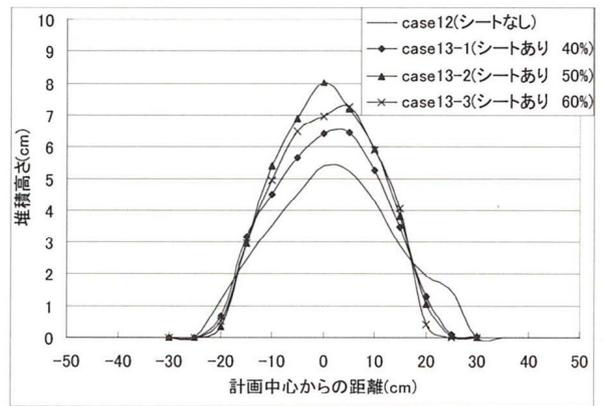


図-5 堆積図 (開扉時間 8 秒, シート幅 : 100%)

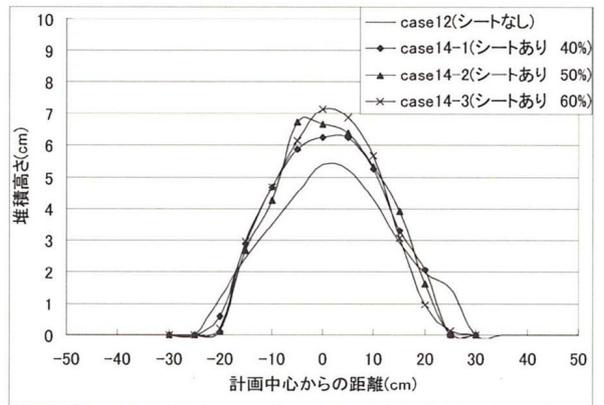


図-6 堆積図 (開扉時間 8 秒, シート幅 : 50%)

(5) 最適シート寸法の検討

以上の結果から、敷設面積が大きければ、拡散は抑えられ、堆積高さは大きくなることが明らかとなった。しかし、case13-3 のように、シートがあるために石材が落下しないケースが発生した。この現象を現地で発生させることは避けなければならない。また、シート幅についての検討から、シート幅の 100%と 50%による効果の差は 1 割程度であることも考慮すると、シート幅は 50%が最適であると考えられる。次に、シート幅 50%の堆積結果である図-6 から、シート長の 50%、60%の差は 1 割も無い。また、シート長の 50%であっても、堆積高についてはシートなしと比較すると 2 割程度の増加が期待できる。

以上の施工上の安全面、現地での取り扱い、シート工法の効果を考慮した結果、最適シート寸法について、シート長は開口長の 50%、シート幅は船倉幅の 50%となった。

3. シート工法の現地への適用

(1) 工事概要

2007 年秋に長崎県西部地区五島列島西側に捨石を使用した人工マウンド造成工事を行う機会を得た。この工事は水深 85m の海域に 1t 内外の石材を使用し、全開式土運船を用いた直投方式で施工を行うも

のである。34回の投入のうち、シート工法を1回の投入に適用した。

(2) 現地でのシートについて

実験での検討を踏まえ、現地で使用するシートの寸法は、幅 10.0m×長さ 30.0m の土倉寸法に対して、1枚あたり幅 6.0m×長さ 14.0m、96.0m²とした。シートの取り付けは、土倉上部に固定することにしたため、シート長は土倉高さ、取り付け部分を考慮した長さとなっており、実際の開口長に対する比は50%に相当する。

現地で使用するシートの材質を検討するにあたり、求められる性能は、以下の事項だと考えた。

a) 比重

シート工法は、石材投入後に土運船開口部から海中に水没する。使用後の回収を容易にするため、また、陸上での取り扱いを容易にするためにも比重は1.0より小さい方が良い。

b) 強度

1t程度の石材が5.0m程度積み上がった状態で、その荷重が開口時にシートに作用する。そのため、その荷重に耐えられるだけの強度が必要となる。また、写真-4(2)の様に石材がシート上を落下する際に、シートと石材間の摩擦から、シートに下方方向の荷重が作用する。これらの荷重を概算するとシート強度は0.24(MPa)以上が要求される。

c) 摩擦係数

b)の強度にも記載したが、摩擦係数は石材が落下する時にシートに作用する力に影響する。このため、シートの摩擦係数は小さいことが望ましい。

d) 曲げ剛性

堆積特性実験の case13-3 のように、シートが開口部から下に展開しない状態は避けなければならない。そのため、開口部から確実に展開できるように、シートの剛性は小さく、変位しやすいことが必要である。

e) 接合強度

今回の必要なシート幅(6.0m)を考慮すると、複数枚のシートを接合することが予想される。そのため、接合部が弱点とならないように、接合部の強度も求められる。

f) 水分吸収性

シート敷設時は土運船上のため、取り扱いは容易である。しかし、石材投入後は海中に没したシートを回収する必要がある。その際に、シートが水分を吸収しては回収時の作業が困難になる。そのため、水分吸収はしない素材が望まれる。

これらの要求内容を満足するシートとして、今回採用したシートの諸元を表-4に示す。写真-5はシートに土運船を取り付けて、石材を積載している状況である。

表-4 現地シートの諸元

シート種類	メタロセン触媒ポリエチレンシート
素材	メタロセン触媒場を用いた気相法重合技術で製造したポリエチレンシート
厚さ	1.5(mm)
比重	0.919
引張強さ	42.1(MPa)
摩擦係数	0.25



写真-5 シート取り付け状況

(3) 現地におけるシート工法

写真-6はシート工法を用いた施工状況であり、船尾側から撮影している。この時、投入に要した時間は80秒であった。なお、船首、船尾に拡散防止シートを取り付けて施工したものの、船尾側では、投入中にシートが破断し、期待された効果が十分に発揮できなかった。写真-6は投入開始から50秒程度が経過した時の状況である。シートが破断した船尾側では、すべての石材が落下してしまっているものの、船首側では、実験で観察された状況と同様に、シートによって端部の石材が保持されていることが確認できる。なお、シートの破断は、石材の鋭角部との接触によって生じた傷から引き裂かれるという形態で発生した。



写真-6 現地投入状況(シート工法)

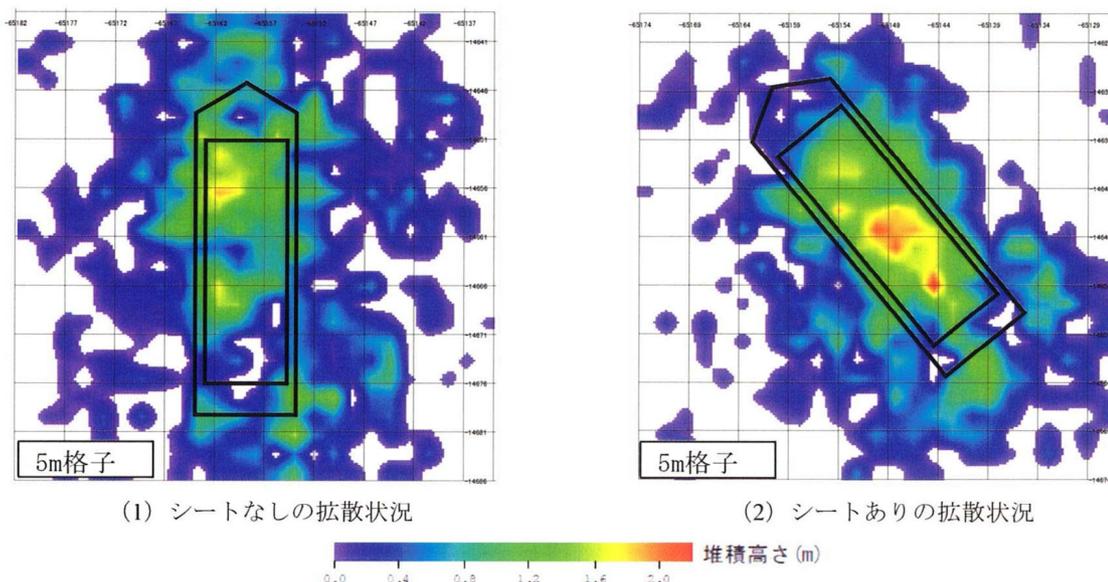


図-7 現地での投入結果

図-7は現地における拡散状況である。シートなしの投入では船首尾方向の拡散はおよそ50mの範囲であり、船首側の開口端から15m程度は拡散していることから船首尾方向の拡散が大きいことが確認できる。一方、シート工法を適用した投入では、船首尾方向の拡散は、およそ40mの範囲に収まり、投入石材の拡散が抑えられ、効率的に積み上がったことを確認できる。ただし、前述したように、船尾側ではシートが破断したため、船首側に比べて、拡散抑制効果が十分に発揮されなかった。

4. まとめ

土運船から石材を直投方式で行う人工マウンド造成は、長手方向である船首尾方向の拡散が課題となる。それに対し、著者らはシート工法を開発し、実験を実施し、定性的にその効果を確認した。また、シート工法を現地にも適用し、その拡散抑制効果が現地でもあることを明らかにした。しかし、今回の施工で問題点も明らかになった。シートを敷設する際に、強風が吹くとシートがあおられ、取り扱いが

困難になることがあった。また、シートの必要強度を事前に検討したものの、想定していなかった石材の鋭角部との接触によって生じた傷からの引裂きによって、シートが破断した。そのため、シートの必要強度評価方式、シートの材質、シートの保護方法などについては今後の課題である。

また、この技術は、使用する土運船、シートも一般的に使用されるものであり、砂などの他材料に適用できるため、精度の要求される埋立工事などにも適用が期待できる。

参考文献

- 1) 吉塚靖浩：長崎県における人工マウンド礁野整備について，海洋開発論文集，第23巻，pp.7-10, 2007.
- 2) 熊谷隆宏，山本省吾，平山達也，真鍋匠，清水英久，川口毅，平田賢治，小宮一成，小林一美：ブロック直投方式を用いた人工海底山脈築造に関するブロックの落下挙動および拡散特性に関する研究，海岸工学論文集，第51巻，pp.801-805, 2004.
- 3) 五明美智男，松田信彦，浅沼丈夫，関根信寛：人工湧昇流マウンド造成のための捨石投入の管理と最適化，海洋開発論文集，第23巻，pp.381-386, 2007.