

粗粒材養浜による砂浜の安定化に関する現地実験

石井秀雄¹・中村友和²・宇多高明³
高橋 功⁴・大木康弘⁵・熊田貴之⁶

鹿島港近傍の神向寺海岸において、礫を含む粗粒材養浜を考え、粒径変化が予測可能なモデルを用いて粗粒材養浜の可能性を検討した。その上で粗粒材投入の現地実験を行い、追跡調査により粗粒材が護岸前面に集中的に帯状に堆積することを確認した。粗粒材養浜によれば、汀線より岸側における養浜砂の歩留まり率が高く、また、現在水深 3 m 以深の海底に生息するチョウセンハマグリ（成貝）の漁場に影響を及ぼさことなく海岸保全効果が発揮されることが分かった。

1. はじめに

鹿島港近傍の神向寺海岸では、1985 年からヘッドランド（以下、HL）による侵食対策が実施されたが、依然として侵食が続いている。このため航路浚渫土砂を用いた養浜も行われたが、投入土砂は波の作用で急速に運び去られ、期待された養浜効果が出なかった。このことは投入した浚渫土砂の粒径が 0.15 mm 程度と小さく、汀線付近で安定しないものであったことが要因と考えられた。そこで、本研究では、侵食・高潮対策にも役立つと考えられる礫を含む粗粒材養浜を考え、粒径変化が予測可能なモデルを用いて粗粒材養浜の可能性を検討し、その上で粗粒材養浜に関する現地実験を行い、追跡調査によりその効果を確認する。

2. 現地調査の概要

鹿嶋海岸では南向きに大量の細砂が流出した結果、前浜勾配が急となって粗粒化が進み、海岸が全体に急深になっている。このため侵食以前、当海岸に存在したと同じ粒径砂を投入してもそれらが消失する可能性が高く、粒径など質から見た工夫が必要である。そこで粗粒材を用いた場合の海浜変形について、熊田ら（2004）の粒径分級を考慮した海浜変形モデルを当海岸に適用し、No. 6, 7 号 HL 間に留まる砂の粒径について調べた。計算は、平行等深線形状を与えて現況再現を行った上で、養浜材料として 2 mm の礫（平衡勾配 1/8 と仮定）を用いた場合の海浜変形予測を行った。数値計算については既に（石井ら，2006）で発表したものでその詳細については省略するが、モデル海岸の縦断面は 2003 年 10 月の深淺図をもとに、陸上部の海浜勾配を $\tan \beta = 1/30$ 、0 ~ -5 m が 1/60、そして -6 m 以深が 1/150 と定めた。養浜

工は、盛土高 3.5 m、初期勾配を $\tan \beta = 1/6$ とし、養浜幅を 60 m とした。養浜量は、約 80,000 m³ とした。波は年数回波の H_b を 4 m、周期を 9 s とし、海岸線に対して直角入射させた。なお、地形変化の水深範囲は、バーム高 ($h_R = 3$ m) ~ 波による地形変化の限界水深 ($h_c = 6$ m) までとした。本計算では、ほぼ安定状態にある海浜に、新たに投入した養浜材料が投入海域に残るかどうかにについて検討することを主目的とするため、長期的意味から波の遮蔽域へと向かう緩やかな南向きの沿岸漂砂は再現対象とせず、投入材の波への応答にのみ主眼を置いた。

図-1 はヘッドランドに挟まれた海底地形の再現計算結果のうち実測汀線と計算汀線を比較したものであるが、汀線は中央部では護岸線と完全に重なり、前浜はヘッドランドの隣接部で三角形状にのみ残されており、2003 年の実測と予測汀線は良好な一致を示している。HL 背後での汀線前進は、ヘッドランドによる波の遮蔽域形成に

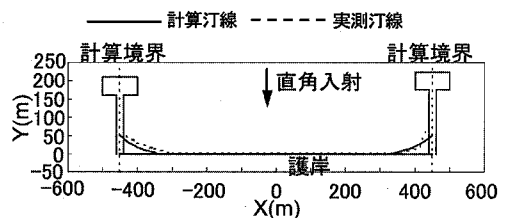


図-1 実測と計算汀線の比較

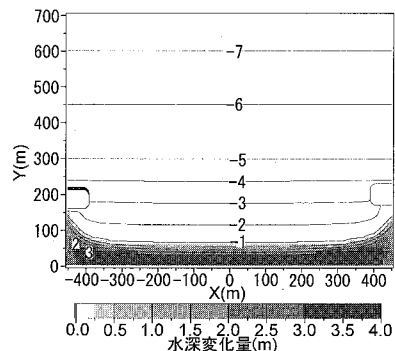


図-2 礫養浜の広がり予測結果 (5×10⁴ステップ)

1 茨城県潮来土木事務所道路河川整備第二課 課長
2 茨城県潮来土木事務所道路河川整備第二課
3 正会員 工博 (財)土木研究センター理事 なぎさ総合研究室長
4 (財)土木研究センター 研究開発一部
5 (株)水圏科学コンサルタント
6 正会員 博(工) (株)水圏科学コンサルタント

伴う、波の遮蔽域外から遮蔽域内へと向かう沿岸漂砂に起因する。

このことから海底形状が数値計算によりほぼ再現できると判断し、そこで得られた安定海浜形状を初期値として、岸沖方向に50mの一定幅で礫（粒径約2mm）を養浜した場合の移動を予測した。波作用後 5×10^4 ステップ（ $\Delta t = 0.01$ hr）での海浜変形の予測結果が図-2である。なお、計算時間については、当海岸における礫の挙動に関するデータがないため、ステップ表示を基本としている。養浜礫は、ほぼ水深1m以浅に集中的に堆積し、沖合への流出はほとんど見られず汀線付近で安定化することが分かる。

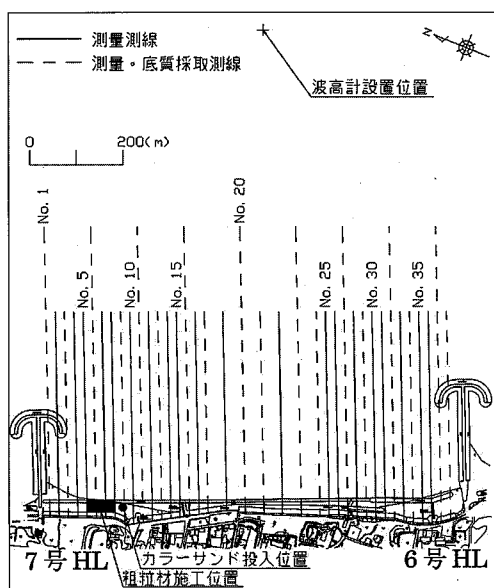


図-3 底質粒度調査測線の配置

表-1 モニタリング調査計画

調査項目	調査時期
深淺測量	施工前、直後、2週間、1月、2月後
底質調査	施工前、直後、2週間、1月、2月後
カラーサンド(2mm単粒径)追跡調査	施工後1月間に6回(1,3,5,7,14,30日)
写真による定点観測	施工後2月間に10回
波高観測	施工後5カ月間

予測計算により粗粒材養浜の効果が確認されたことから、図-3に示すように、No. 6号HLとNo. 7号HLの間で、粗粒材養浜の現地実験を行うこととした。現地実験では、冬季波浪の影響を最も受け厳しい波浪条件下にある、2005年12月15日～2006年2月10日に、 d_{50} が2～13mmの細礫・中礫7,000 m^3 （計算の1/10程度の土砂量）をNo. 7号HLの近傍に投入し、表-1に示すよ

うに深淺測量、底質調査、カラーサンドの追跡調査、写真による定点調査、および波浪観測の5項目からなるモニタリング調査を行って粗粒材の移動状況を調べた。本実験は、計算のように最終的な砂浜の安定化を目指すにあたって、事前に少量の礫を最も厳しい環境下に置いて移動状況を確認することを主眼とした。

3. 礫養浜の追跡調査の結果

(1) 波浪観測

養浜後の礫の移動をもたらす外力について図-3に示したように、海岸線の沖約1kmに自記式の水圧式波高計を設置し、2006年2月11日以降波浪観測を実施した。図-4は、2月11日から3月15日までの波高・周期・波向の観測結果を示す。波高については有義波高と1/10最大波高を示す。また波向については北から時計回り（右回り）に測った方向角を示す。観測期間中、2月26、27日、3月1、2日および3月11、12、13日には有義波高2m以上の高波浪が襲来した。それぞれの期間における最大有義波高は、それぞれ2.79m（周期10.3s）、2.73m（周期11.3s）、2.92m（周期9.6s）であった。また、これら高波浪の襲来時の波向はそれぞれN78.6°E、N56.3°E、N50.6°Eであり、東寄りの入射波が卓越した。6、7号HL間の平均的な海岸線方向に対する法線方向はN68.6°Eなので、2月26、27日には北向きの沿岸漂砂が、3月1、2日および3月11、12、13日には南向きの沿岸漂砂が卓越する条件にあった。

(2) 深淺測量

養浜後の礫の挙動を調べるために、養浜前後にNo. 6、7HLに挟まれた延長約900m区間において、海岸線から沖方向に水深7m付近までの深淺測量を実施した。図-3に示すように、深淺測量は38測線で行ったが、礫投入と関連する地形変化は投入点周辺でのみ顕著であり、沖合での地形変化は通常の波による地形変化となった。そこで礫の投入点周辺での海浜変形に注目して測量結果を整

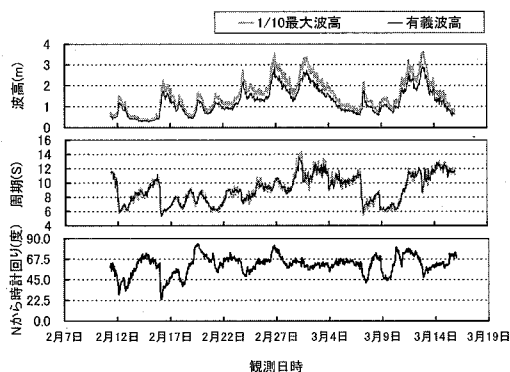


図-4 波高周期波向の連続観測の結果

理した。図-5(a), (b), (c), (d)は11月26日, 2月13日, 3月6日, 3月26日の測量結果である。なお測量には波浪条件に依存して数日を要しているので上記の測量日は測量の最終日を示す。これによれば, 2005年12月15日~2006年2月10日の礫投入とともに, 護岸前面の細長い区域で地盤高が次第に上昇したことが分かる。

図-6は主な測線に沿った縦断形の変化である。測線No. 5, 7は投入点を横切る測線であり, 測線No. 9, 11, 13は投入点の南側に位置する測線である。投入点では台形状に礫投入が行われたが, その海側に急勾配の浜崖を形成しつつ礫が運ばれた。沿岸方向に見ると護岸前面ではいずれも時間経過とともにのり先の地盤高が増加し, 波の打ち上げ高の低下に役立つような断面変化が生じた。このことから投入礫は汀線付近に沿って運ばれ, 護岸前

面に帯状に堆積することが分かった。

(3) 底質粒度調査

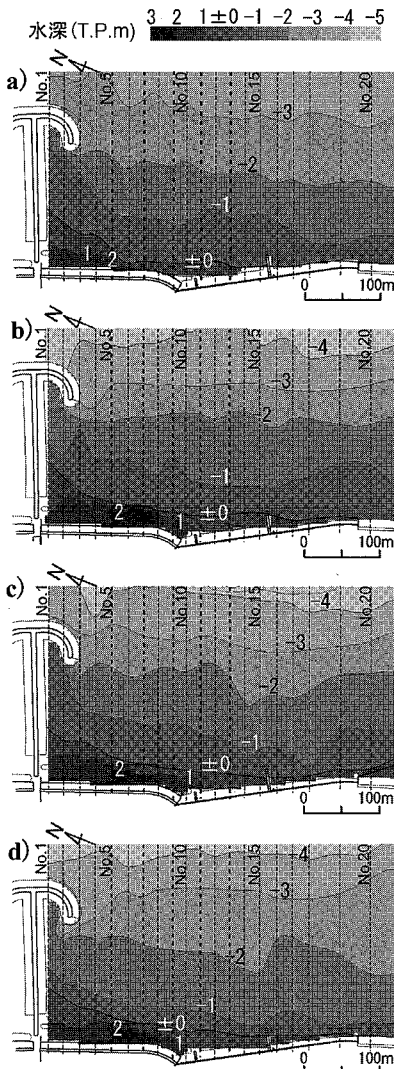


図-5 礫養浜周辺の地形変化

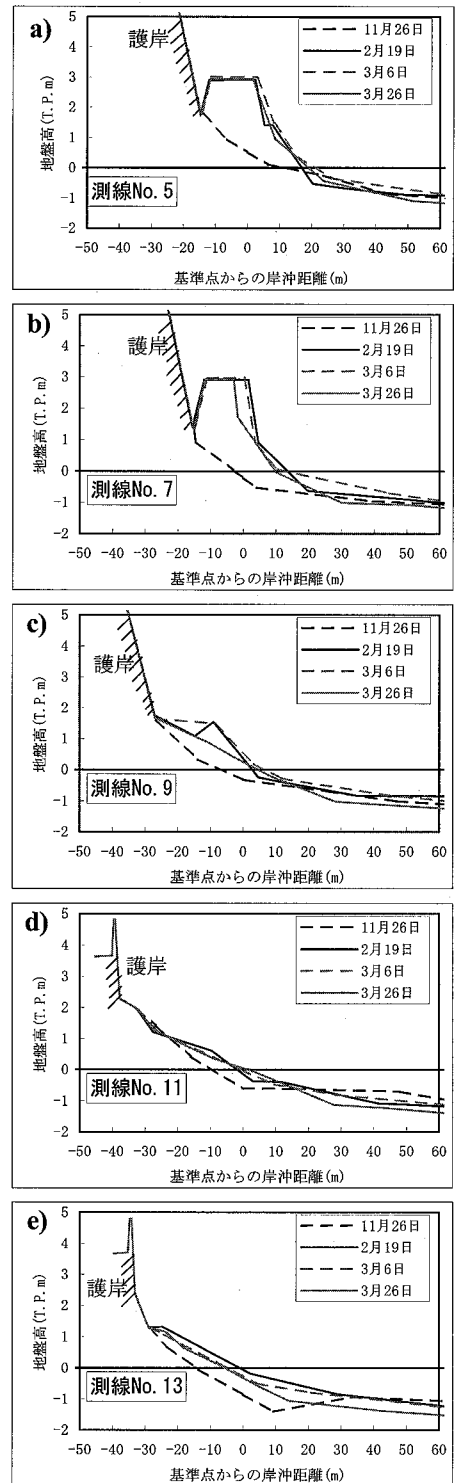


図-6 海浜縦断形の変化

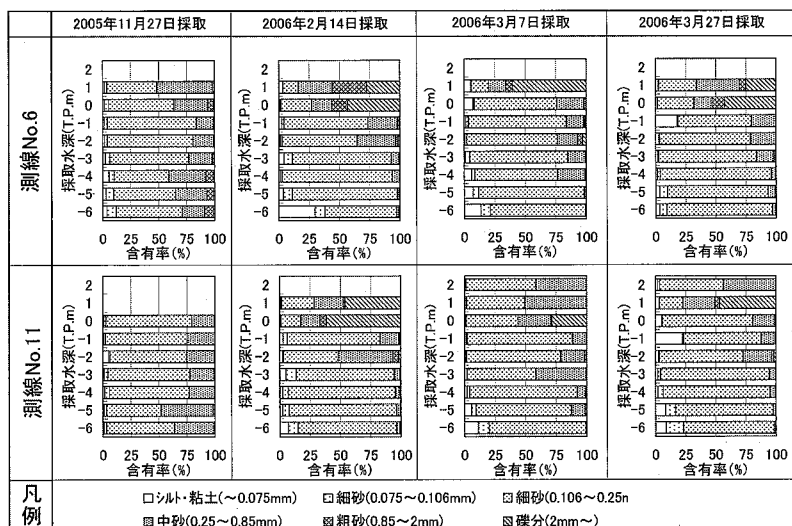


図-7 底質粒度分析の結果

礫の投入は図-3に示す測線 No. 5～8 において行われた。予測計算の結果から、投入礫は沖方向の広がり小さく、主に沿岸方向に移動すると考えられたが、実際にこれが成立するかを底質粒径の変化から調べた。まずバックランドの底質を調べるために、事前調査を2005年11月26日に行った。また礫の投入直後、1週間、1ヵ月、2ヵ月後に底質を採取した。採取位置は、6、7号HL間の約900m区間において図-3に示すように水深6mまでの測線を9本、水深4mまでの測線を9本設定し、各測線に沿って1m間隔で行った。

図-7には、礫の投入開始地点の南約20m、および100mに位置する測線 No. 6, No. 11 における各回、各水深の粒度組成を示す。No. 6では、礫の投入前細砂または中砂で構成されていた。そこに礫が投入され、汀線より陸側に礫が集中的に堆積した。時間が経過してもこの特徴にはほとんど変わらなく、投入礫が集中的に汀線付近に堆積したことが分かる。No. 11では2月14日までに礫が現れ、その後時間経過とともにばらつきが大きくなったが、礫はここでも汀線より陸側に集中的に堆積している。以上より、投入礫は底質粒径調査からも汀線付近に集中的に堆積することが分かる。

(4) カラーサンドの追跡

追跡調査では、粒径2.0～3.36mm(2号碎石)の細礫1m³を黄色に着色して汀線付近に投入した。投入位置は測線 No. 9上、基点から沖へ35m地点とした。投入に際しては、試験材が投入地点以外に散乱しないよう試験材を袋詰めして運び、投入地点で開袋した。投入後試験材の移動特性(移動方向および移動量)を把握するため、投入(2006年2月11日)後1, 3, 5, 7, 14, 32

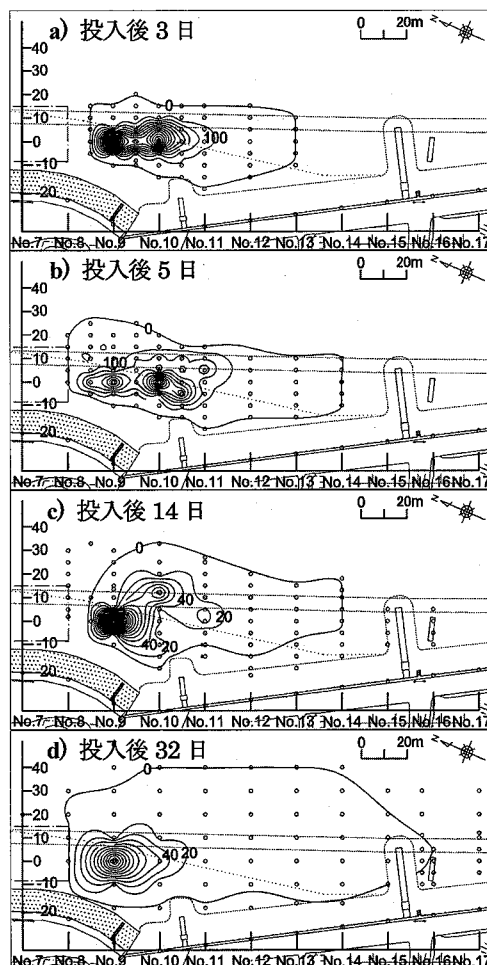


図-8 カラーサンドの拡散状況

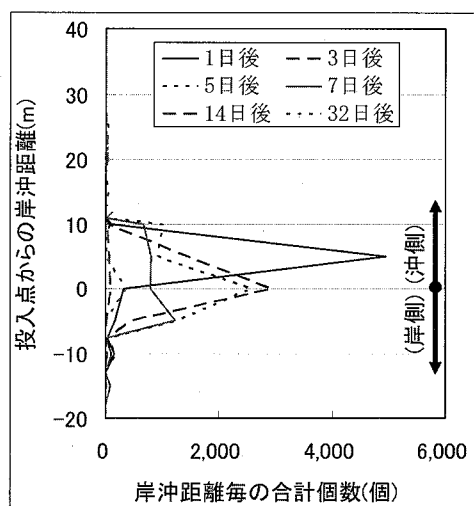


図-9 岸沖方向に積分したカラーサンドの発見個数の沿岸方向分布（投入地点を除く）

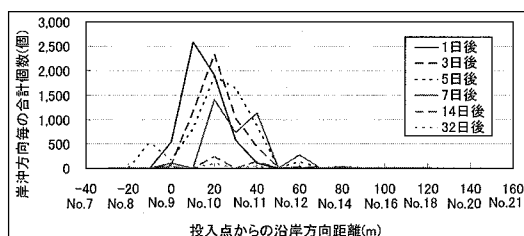


図-10 沿岸方向に積分したカラーサンドの発見個数の岸沖方向分布（投入地点を除く）

日に海底砂を採取し、採取砂の中に含まれる試験材を検出した。砂の採取位置は、投入点を中心に沿岸・岸沖方向に10mピッチを基本とし、採取個数が1個または0個となる地点までとした。1mmメッシュの袋網を付けた「ジョレン」を用い、表面より約10cm下まで採取した。採取したサンプルについては、目視により試験材が少ない場合は現地で計測し、試験材が多いサンプルについては持ち帰り標準バット中に薄く広げ計測した。

図-8(a), (b), (c), (d)には投入後3, 5, 14, 32日後のカラーサンドの拡散状況を示す。3日後ではカラーサンドは投入点から南向きに帯状の区域を形成しつつ沿岸方向に移動し、その先端は投入点の南約100mにあった。投入5日では3日後と比較して投入点の南に運ばれる状況は同様であるが、発見個数が大きくなった。この場合にもまた、カラーサンドは沖方向にはほとんど移動せず、沿岸方向帯状に運ばれている。投入14日では発見個数が小さくなった。その主な原因は、観察によれ

ば礫の上に細砂が載り、サンドイッチ状に多くの礫が下層に挟まれたことによる。投入32日では発見個数は減少したが、沿岸方向には投入点の南約130mにあるボックスカルバート（不透構造のため一種の突堤効果を有する）の先端を越え、その南側にまで到達した。

図-9には、投入地点を除く全地点で発見されたカラーサンドを沿岸距離ごとに積算した合計発見個数の岸沖分布を示す。投入初期には鋭いピークが投入地点より沖へ5mにあったが、時間経過とともにやや岸方向にピーク位置がずれ、同時にピーク値が小さくなったこと、また投入地点から沖へ10mを境としてそれより陸側に集中して堆積していることが分かる。

図-10は、同じく岸沖方向に合計した発見個数の沿岸分布である。投入後1, 3, 5, 7日における重心点の南向きの移動距離（移動速度）は、14m（14m/day）、21m（7m/day）、23m（4.6m/day）、29m（4.1m/day）となる。以上の結果より、投入礫は汀線に沿って南向きに移動し、汀線付近に堆積することがカラーサンド調査から明らかになった。また漂砂の移動方向は、観測期間中の卓越した高波浪の入射方向から推定される沿岸漂砂の方向と一致した。

4. おわりに

本研究では、粒径変化も予測可能なモデルを用いて粗粒材養浜の可能性を検討し、その上で粗粒材養浜に関する現地実験を行い、追跡調査によりその効果を確認した。その結果、有義波高で3m近い高波浪の作用を受けたにもかかわらず、深浅測量調査、底質粒度調査、カラーサンド追跡調査のいずれにおいても、投入礫は汀線付近に沿って運ばれ、汀線付近から護岸前面に集中的に帯状に堆積し、水深2m以深の沖合への流出はほとんど見られず、図-2の予測結果と同様、岸側にとどまることが明らかとなった。これより、粗粒材を用いた養浜は、汀線より岸側における歩留まりが高く、また、現在水深3m以深の粒径0.15mm程度の海底に生息するチョウセンハマグリ（成貝）の漁場に大きく影響することなしに保全効果をあげられることが分かった。

参考文献

- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・野志保仁(2004)：粒度組成の3次元変化を考慮した等深線変化，海岸工学論文集，第51巻，pp. 441-445。
- 石井秀雄・中村友和・宇多高明・大木康弘・熊田貴之・芹沢真澄(2006)：茨城県神向寺海岸での粗粒材養浜による砂浜の安定化，海洋開発論文集，第22巻，印刷中。