神向寺海岸での粗粒材養浜後の海浜変形の追算と 小宮作・下津海岸における海浜復元計画の検討

Prediction of Topography of Stable Beach Produced by Gravel Nourishment at Jinkoji Coast and Further Nourishment using Medium Sand

土子浩之¹ · 宇多高明² · 今井和敏³ · 日向野 崇⁴ 丹 邦敏⁵ · 野志保仁⁶ · 熊田貴之⁷ · 酒井和也⁸

Hiroyuki TSUCHIKO, Takaaki UDA, Kazutoshi IMAI, Takashi HIGANO Kunitoshi TAN, Yasuhito NOSHI, Takayuki KUMADA and Kazuya SAKAI

On the Jinkoji coast facing the Pacific Ocean, beach nourishment using $8.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ of gravel with grain sizes ranging from 3 to 15 mm had been carried out by April 2008. After beach nourishment, a stable beach was formed between the artificial headlands. In response to the success in recovering a sandy beach, beach nourishment was also planned for the Komiyasaku coast south of the Jinkoji coast along with the Oritsu coast, which is a famous recreational beach. In this case, beach nourishment using gravel is considered to have been avoided for recreational use. Taking these conditions into account, beach nourishment using medium sand was planned. A stable beach topography produced by gravel nourishment was reproduced numerically using the BG model, while incorporating the effect of changing the grain size into the model, and the effectiveness of the model was confirmed. Then the model was applied to gravel nourishment along the Komiyasaku coast and to beach nourishment using medium sand at the Oritsu coast.

1. まえがき

鹿島灘海岸中央部,鹿島港の北側に隣接する神向寺・小 宮作・下津海岸では鹿島港の南防波堤の延伸に伴う波の遮 蔽域形成に伴って南向きの沿岸漂砂が生じ,対象海岸の砂 が流出して侵食が進んできた.侵食対策としてヘッドランド (HL)が造られるとともに,神向寺海岸では浚渫土砂を用い た養浜も行われた.しかし養浜砂の粒径が0.15mm程度と 細かかったため養浜砂は直ちに流出し,砂浜の回復はでき なかった.そこで粗粒材を用いた養浜を計画し,2008年4 月までに87,000m³の養浜を行ったところ安定性の高い砂浜 の回復が可能となった(土子ら,2009a, b).このような神向 寺海岸での海浜復元を受けて,神向寺海岸の南側に位置 し,神向寺海岸と同様侵食の著しい小宮作海岸においても 粗粒材養浜の可能性検討が必要となった.一方,小宮作海 岸の南側に位置する下津海岸は海水浴場として古くから使

1			茨城県潮来土木事務所道路河川整備第二
2	正会員	工博	^課 区 (財)土木研究センター常務理事なぎさ総 合研究室長兼日本大学客員教授理工学部 海洋建築工学科
3			茨城県土木部河川課ダム砂防室
4			茨城県潮来土木事務所河川整備課
5	正会員		茨城県土木部河川課
6	正会員	博(工)	(有)アイコムネット環境コンサルティン
			グ部
7 8	正会員 正会員	博(工) 修(工)	(有)アイコムネット (財)土木研究センター河川・海岸研究部

われてきているが、そこでも砂浜の回復が強く要望されてい る.しかし海水浴場であるため粗粒材養浜は困難であり、 別の方法を模索する必要性が生じた.また当地域において は、従来から離岸堤を併用すれば浚渫土砂を用いても安定 な砂浜を回復できると考える人々が多く、この種の誤解を解 く必要に迫られている.このことから、本研究ではまず野志 ら(2009)の海浜変形モデル(BGモデル)を用いて神向寺海 岸での粗粒材養浜後の海浜変形の追算を行って予測モデル の再現性を確認した上で、このモデルを用いて当該海岸を 対象として中砂養浜と離岸堤設置条件での細砂養浜の効果 検討を行った.

2. 計算条件の設定

計算対象区域は, 鹿島港の北側に隣接する7号HLと平井 地区防砂突堤(以下, 平井突堤と略)に挟まれた総延長



図-1 計算区域(神向寺·小宮作·下津海岸)

2.7kmの神向寺・小宮作・下津海岸である(図-1).6号HLか ら平井突堤までが主な地形変化計算区域である.また6,7 号HL間の神向寺海岸では粗粒養浜が行われたことから,粗 粒材の挙動の再現対象として計算範囲に加えた.波浪場の 計算領域は,鹿島港の南防波堤による波の遮蔽効果を考慮 するため広域に設定し(図-1),酒井ら(2003)の不規則波の 方向分散法により計算した.

沿岸漂砂の境界条件については、2006年以前では、鹿島 灘海岸全体を対象とした1996~2006年の汀線変化解析を もとに設定した.汀線変化解析結果に漂砂の移動高6.5m(字 多、1997)を乗じ、さらに大洗港では沿岸漂砂が0と仮定し て1996~2006年の沿岸漂砂量の沿岸方向分布を求めた結 果が図-2である.これによれば、本計算区域の北側境界と なる7号HL地点では南向きに8.9×10⁴m³/yr、平井突堤では 6.0×10⁴m³/yrの沿岸漂砂となることから、結果的に計算区 域の土砂収支はネットで3.0×10⁴m³/yrの増加となる.計算 ではこれを評価するため北側境界からこの割合でHLより 沖合の*h_c*(8m)までの水深帯において一様分布で砂を強制 的に流入させた.

2006年以降の沿岸漂砂の境界条件については, 鹿島灘海 岸全体を対象として行われた2006年から2026年までの海 浜変形予測の結果(矢沢ら, 2009)をもとに, 2006年の再現 計算結果と2026年の予測結果の差を算出すると, 2006年以 降鹿島港へ1.17×10⁵m³/yr程度の割合で砂が流入するとい う予測結果となったので, 計算領域内の土砂収支は約1.0× 10⁴m³/yrの減少となる.そこでこの量を南側境界から一定割 合で抜き取った.

鹿島港の水深24mでの波浪観測データ(NOWPHAS)によ れば,計算区域に作用する波向は季節的に変動し,冬季は 北寄り,夏季は南寄りとなり、しかも波高が冬季は高く,夏 季は低い(字多ら, 2008), そこで、本研究では季節的に波 向が変動する波浪条件を設定した. 宇多ら(2008)のデータ を再整理し、春は夏に、秋は冬のデータに含めた、図-3は 1°刻みでの方向別出現頻度を示す.夏季は下津海岸への法 線方向から時計回りに23°の入射,冬季は-12°の入射角と なるが、屈折を考慮するとそれぞれの波向はほぼ±4.9°と なった.一方,波高は夏季と冬季のエネルギー平均波高が それぞれ1.49m, 1.85mとなった. この場合エネルギーフラ ックスが同一になるように作用時間を考えると,夏季と冬季 の作用時間比は2:1となる.結局,冬季には左回りに4.9° (α_b=-4.9°)の方向から砕波波高H_b=1.85mの波が、一方夏季 には右回りに4.9°(α_b=4.9°)の方向からH_b=1.49mの波が入 射するとする.

図-4は計算区域の施設配置と養浜区域を示す.計算領域 は7号HLから平井突堤までの2.7km区間である.この間に は北から順に6号HLと3基の小規模突堤が設置されており, また地先海岸は北から順に神向寺・小宮作・下津海岸に区



表-1 計算条件

計算	Bagnold概念に基づいた地形・粒径変化予測モデル (野志ら, 2009)								
計算ケース			2	3	4	5	6		
初期粒径 (mm)			0.13						
養浜線	-	2.0	3.0	2.0	0.1	0.3			
	1/65 (0.13mm)								
312	1/8 (2.0mm)								
-	1/100 (0.1mm)								
	1/20 (0.3mm)								
交換所	0.041								
	新读读读 (m)	1.49 (夏季)							
	9+020210171b (III)	1.85 (冬季)							
入射波条件	萨波波向。(dag)	-4.9 (夏季)							
	PT (2, (2, (r)) a (ucg.)	-4.9 (冬季)							
	潮位条件M.S.L. (m)	0.0							
	抽形変化の限累水深 h (m)	6 (夏季)							
地形変化の水深範囲	ABAD SETEN AND AND A COMP	8 (冬季)							
10/03/10 13/10/1018	バーム高h.(m)	2 (夏季)							
	(log ng (m)	3 (冬季)							
	漂砂量係数A	0.3							
漂砂量係数	小笹ブランプトン項の係数	1.68							
	岸沖·沿岸漂砂量係数比		0.2						
土砂落ち込みの限界勾配	陸域	1/2							
	海域	1/3							
計算範囲	沿岸方向X (m)	2700							
	岸沖方向Y(m)	1000							
計算メッシュ	<u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u><u></u></u>		20						
21 March 19	ΔY (m)		10						
計算時間	1								
年間計算	8,670								

分される.計算は表-1に示すように,養浜の有無,養浜材料 (粗粒材・中粒材・細粒材),構造物(離岸堤)などの条件を



図-9 2006年地形で粗粒材養浜を行った直後の海浜形状と 1996年基準での水深変化量



図-10 粗粒材養浜後2年の2008年の予測地形と1996年基準での水深変化量(ケース2)



汀線の比較結果を図-8に示す.1996年以降6号HLおよび7 号HLのヘッド部を設置しているため,HL背後では堆砂が 急速に進む.また平井突堤北側の広い区域で砂の堆積が続 いている.汀線変化で見ると,6号HL付近での汀線前進量 は実測よりやや過大であるが,平井突堤の北側および7号 HL付近での汀線前進量はほぼ再現できており,同時に波の 遮蔽域外では侵食が進んで護岸が波に曝されている現地海 岸状況も計算することができた.

次に,神向寺海岸で87,000m³の粗粒材養浜(養浜材料の 粒径は2.0mm,平衡勾配は1/8)を行った場合の海浜変形予 測を行った.実際の養浜ではHL間の両端部および中央部 から粗粒材が投入されたが,本研究では水深-1m以浅に一 様厚(1.1m)で養浜を行い(図-9),波の作用を与えて海浜が





図-7 予測された2006年地形と1996年基準での水深変化量 (ケース1)



変え全体で6ケース行った. 構造物の取り扱いについては, 芹沢ら (2002) にならった.

3. 再現計算の結果

平行等深線を与えた上で,1996年当時の鹿島港の港湾施設と突堤群・HLの形状を考慮し,2方向からの波を作用させ1996年地形の再現計算を行った.なおHLについては1996年からヘッド部があるとして計算を行った.図-5は、このようにして求められた1996年当時の海浜形状である.また図-6には実測・予測汀線の比較結果を示す.平井突堤付近での汀線前進や,突堤Cより北側での全く砂浜がない状態など,予測・実測結果はほぼ対応を示す.

同様にして2006年地形の計算結果を図-7に,実測・計算

安定状態に達した後の海浜形状を実測値と比較した.図-10は予測結果である.養浜後の波の作用により,実測と同 様海浜中央部では浜幅が狭まり,その分HL近傍の地盤高 の上昇が起きている.図-11には代表として冬季の実測およ び予測汀線の比較結果を示す.HLの近傍を除けば予測汀 線はほぼ実測値を再現している.ここでは省略したが,夏季 においても同様に実測値が再現された.図-12は,HL間の 中央を切る測線における縦断形比較であるが,沖合側の緩 勾配斜面については若干の差異があるものの,実測と予測 縦断形はほぼ一致している.以上より,粗粒材養浜後の海 浜形状を季節的変動も含めて予測可能なことが分かる.

4. 下津海岸での粗粒材養浜の効果検討

まず現況のまま放置した場合の海浜変形予測を行った. 図-13には予測地形を,また図-14には予測汀線を示す.図-13によれば,将来的に海底地盤の低下が続くが,侵食量は 北側の神向寺海岸で大きく,下津海岸では侵食量が低減す る結果となる.地盤高の低下量は10年間で約70cmとなり, 低下速度は平均で7cm/yrとなる.これと同時に平井突堤の 北側や6号HL南側の堆積域の汀線は50m後退する(図-14). 粗粒材養浜を行った神向寺海岸では最小浜幅20mは確保 されるが,沖合での地盤高の低下が続く.粗粒材は汀線付 近にとどまるものの,沖合では細砂の流出が続くため緩やか な地盤低下が起こる.

5. 小宮作海岸での粗粒材養浜の効果

6号HLから突堤Bまでの区域の背後には住宅が迫る一 方,現況では前浜は全く存在せず海岸線は消波ブロックで 覆われており,環境条件が良くない.そこでこの区域におい ても神向寺海岸と同様の粗粒材養浜を計画した.粗粒材と しては平衡勾配1/8,粒径2.0mmの粗粒材を神向寺海岸と 同程度の90,000m³を投入する計画とした.なお,図-13に示 す突堤Bは歩留まりを高めるために完全不透過構造とした. また突堤Aは撤去した.図-15養浜初期地形を,また図-16 には予測地形を示す.波が作用すると,全体的に岸側へ粗 粒材が押し込まれ護岸前面の標高が高まる.この場合の最 小浜幅は25mとなり,防護に必要な最低浜幅20mが確保さ れる.これより粗粒材養浜はかなり有効なことが分かる.

6. 小宮作海岸での細粒材養浜の効果

前節の検討により,小宮作海岸での粗粒材養浜の効果が 高いことが明らかであるが,現場では離岸堤を設置すれば 細粒材であっても前浜の維持が可能との考えのもとに,離岸 堤を期待する声もある.細粒材養浜ではその平衡勾配が 1/100と小さいため,汀線近傍で養浜しても投入土砂は直ち に流出することは,既に神向寺海岸の粗粒材養浜の計画時 の検討(石井ら,2006)で明らかになっているが,改めて検





討を加えた.

ケース4と同様, 突堤Aは撤去するとともに突堤Bは不透 過構造とした上で,水深2mに長さ100mの不透過性離岸堤 を100mの開口幅を持たせて設置する. その上で養浜を行 うものとする(図-17). 養浜材料は浚渫土砂とし粒径を 0.1mmとする.

図-18に予測地形を示す.細粒材は粗粒材と全く応答が 異なり,前浜は全く形成されず離岸堤直背後で砂の堆積が 一部見られるのみである.一方開口部では侵食が進む.汀 線変化によれば前浜に投入した細砂は全て沖へ流出し,養 浜効果は見られない.これは細粒材の平衡勾配が1/100と 緩いため沖へと流出し,その後鹿島港方面へと逆流したた めである.以上より安定的に前浜を維持するには養浜材の



粒径が極めて重要であり、補助構造物としての離岸堤はほ とんど効果がないことが分かる.

7. 下津海岸での中砂養浜の効果

下津海岸は細砂で構成され1/30と緩勾配の海浜が広が る.平井突堤の近傍では浜幅が広いが,小宮作海岸側では 前浜はほとんど存在せず,満潮時には護岸に波が打ち当た る条件にある.この海岸は,海水浴場として利用されている ため神向寺海岸のように粗粒材養浜を行いにくい.一方細 砂は平井突堤を超えはるかに大きなスケールで鹿島港方面 へと流れていることを考慮すれば,細粒材を用いた養浜も また困難である.そこで中砂を用いた養浜を考えてその効 果を検討した.

突堤Bを不透過とした上で,粒径が0.3mmの中砂(平衡 勾配1/20)9×10⁴m³を突堤Bと平井突堤間の920m区間の 水深-1m以浅に一様に投入すると,突堤B,C間では浜幅が 狭く最小浜幅20mが確保できなかった.そこで養浜量を 14×10⁴m³まで増加させた.図-19はその場合の初期地形を 示す.10年後の予測地形を図-20に示す.養浜量を 14×10⁴m³まで増加させれば突堤B,C間でも浜幅を大きく 広げることができる.

8. 結論

- (1) 野志ら(2009)のBGモデルを神向寺海岸で実施された 粗粒材養浜に伴う海浜復元に適用した結果, 粗粒材が安 定的に堆積する状況が再現できた.
- (2)小宮作海岸での細砂養浜の検討では3基の不透過離岸 堤を配置した条件で細砂養浜を行ったが、養浜砂は全て



図-19 下津海岸の中粒材養浜時の初期地形(2008年)



沖向きに流出し,安定した砂浜は形成されなかった.こ のことは浚渫土砂を用いた養浜では,例え離岸堤を造っ ても海浜の復元ができないことを意味する.

(3)本モデルは等深線変化モデルと異なり、メッシュで計算 するため離岸堤やHLなど各種構造物周辺の地形変化を 詳細に予測可能であり、また突堤の陸側端を沿岸漂砂が 抜け出る現象(図-7,9参照)も再現できる.

参考文献

- 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,pp.887-892.
- 宇多高明(1997):日本の海岸侵食,山海堂, pp.442.
- 字多高明・熊田貴之・芹沢真澄・長山英樹(2008):波向変動場で 生じる漂砂大循環の発生メカニズム,海岸工学論文集,第 55巻, pp.506-510.
- 酒井和也・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之(2003):波 の遮蔽構造物を有する海岸における3次元静的安定海浜形 状の簡易予測モデル,海岸工学論文集,第50巻,pp.496-500.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・熊田貴之 (2002) :海 浜縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル,海 岸工学論文集,第49巻, pp.496-500.
- 土子浩之・宇多高明・松浦健郎・阿部 良・熊田貴之・大木康弘 (2009a):神向寺海岸における粗粒材養浜後の礫層分布の現 地実測,海岸工学論文集,第56巻, pp.736-740.
- 土子浩之・宇多高明・松浦健郎・阿部 良・熊田貴之・大木康弘 (2009b):根固め効果から見た粗粒材養浜の追跡調査,海岸 工学論文集,第56巻, pp.741-745.
- 野志保仁・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之・小林昭男 (2009):粒 度組成を考慮した平衡勾配概念およびBagnold概念に基づ いた地形・粒径変化予測モデル,海岸工学論文集,第56巻, pp.501-505.
- 谷沢 肇・宇多高明・松浦健郎・菊池泉弥・福本崇嗣・熊田貴之 (2009):鹿島灘海岸北部における粗粒材養浜とサンドバイパ スの効果検討,海岸工学論文集,第56巻, pp.716-720.