海浜の粒径に着目した試験養浜効果の把握とその検証

Evaluation and Verification of the Effect of An Examination of Beach Nourishment Focused on the Grain Size

細井寛昭¹・平野宜一²・神保正暢³

Hiroaki HOSOI, Giichi HIRANO and Masanobu JINBO

The effect of the beach nourishment on the Yamamoto coast which has been suffering from serious beach erosion was evaluated. From the fluorescent sand survey, even medium sand with diameter of about 0.3mm passed over the headland in coming of significant waves higher than 2m. About 80% of sand particles moved out from the injection point within 1 year. According to the Bruun equation, the profile of this beach was identified as the concave and eroded type. Sediment survey showed that sand particles larger than 0.25mm stayed in shallow area with depth less than 2m and remained there for more than 1 year. In addition, Numerical model built to estimate the effectiveness of different grain size on beach nourishment demonstrated availability of gravels for effective nourishment.

1. はじめに

仙台湾南部海岸は、図-1の通り、宮城県と福島県の県境から北側の宮城県沿岸部に位置し、北向きの沿岸漂砂が卓越した海岸となっている。仙台湾南部海岸の南側に位置する山元海岸では、漁港や港湾の建設等によって南の福島県側からの沿岸漂砂が激減し、侵食により砂浜が消失した状態であり、現時点でも侵食が継続している。

当海岸では、北向きの沿岸漂砂が大きいため、養浜のみの対策では投入土砂の流出が大きく効率的ではないため、建設中のヘッドランドと養浜の併用による海岸保全対策を計画している。

そこで、本研究では、試験的に養浜を行い、並行してモニタリング調査を実施することにより、試験養浜効果について検証し、今後の効率的、効果的な養浜計画を策定するための基礎データを蓄積することを目的とする。

2. 山元海岸の現状と試験養浜の実施

山元海岸南端に位置するヘッドランドS2号根元部に試験養浜を実施した。試験養浜の概要および実施位置をそれぞれ表-1、図-2に示す。また、試験養浜と並行して、表-2に示すようなモニタリング調査を実施した。

表-1 試験養浜の概要

養浜材	1.6万m ³ (d50=0.28mm)	<内訳> 荒浜漁港南側のストック土砂 (1.3万m ³ ; d50=0.29mm) 磯浜漁港隣接海岸の堆積土砂 (0.3万m ³ ; d50=0.18mm)
投入地	S2号ヘッドランド南側	
投入時期	平成19年11月3日～12月1日

図-2 試験養浜実施箇所

表-2 観測項目及び目的

観測項目	内容および目的	実施時期
空中写真	養浜実施前後の汀線変化状況を把握。	試験養浜実施前後 (H19.12～H21.2)
深浅測量	海底の底質の変化状況を把握。	試験養浜実施前後 定期深浅測量
蛍光砂調査	蛍光塗料によって着色された土砂を投入し、移動状況を確認。	投入：H20.11.12 採取： H20.11.18 (1週間後), H20.12.11 (1ヶ月後)
底質調査	試験養浜実施前後の底質の変化を把握。	試験養浜実施前1回, 実施後4回の計5回
堆砂高調査	ヘッドランド静穏域の海浜の変化状況を把握。	試験養浜実施前後 (H19.7.9～H21.2.25)

図-1 研究対象海岸位置

1 正会員 工修 (株) 建設技術研究所
2 工修 (株) 建設技術研究所
3 正会員 (株) 建設技術研究所

3. 試験養浜の効果

(1) 空中写真による汀線変化

試験養浜実施箇所を上空から撮影した空中写真より、砂浜が無かったS2号ヘッドランド南側に、試験養浜実施1週間後に三角状の砂浜が形成され、その後やや後退するものの1年後も砂が保たれていることがわかる。これは養浜による土砂投入とヘッドランドによる静穏効果によるものといえる。1年後の写真からヘッドランド北側も砂浜が見られるが、これも同様に養浜によるものである。

(2) 波浪とヘッドランド基部砂浜の応答

試験養浜実施後1年間のS2号ヘッドランド根元部の堆砂状況と波浪との応答について評価した。図-4に示すように、S2号ヘッドランド基部の根元部から沖側85m地点の南側において、ヘッドランド天端から砂浜の堆砂点までの距離を測り、標高(T.P.)に換算することによって堆砂高を算定した。

試験養浜実施直前の2007年10月から試験養浜実施1年後の2008年12月までの有義波高(相馬:ナウファス)および砂浜の堆砂高の経年変化を図-5に示す。

図-3 S2号ヘッドランド周辺の汀線変化状況

図-4 S2号ヘッドランド基部の堆砂高調査地点

図より、3月～4月にかけて2～4mの高波浪が続いた期間に堆砂高が急激に下がり、5月～10月に緩やかに上昇していることが確認できる。これは、高波浪発生時にヘッドランド基部付近の海浜が一時的に侵食し、大きな波浪が発生していない夏季～秋季にかけて徐々に砂が戻ってきたためと推定できる。

(3) 深浅測量成果による地形変化状況の把握

深浅測量成果を踏まえ、試験養浜実施前(2007.9.20)～実施完了4日後(2007.11.7)の地盤高変化の平面分布を図-6に示す。また、養浜材を投入したS2号ヘッドランド南側根元部の100m四方の領域における、投入後の堆積量変化を図-7に示す。

図-6より、試験養浜によって、S2号ヘッドランド根元部で最大2m程度の堆積が見られる。一方で、図-7より、1.6万 m^3 の投入土砂量に対して、投入直後は0.9万 m^3 、投入1年後は0.3万 m^3 が残存し、ヘッドランド背後の1年後の投入砂残存率は約2割という結果となった。つまり、ヘッドランドの漂砂制御効果がある程度発揮されたもの

図-6 試験養浜実施前後の地盤高変化の平面分布

図-7 試験養浜実施箇所の堆積量変化

図-5 有義波高とS2号ヘッドランド基部の堆砂高

の, 8割が流出するということが確認できた。

山元海岸の海浜特性については三浦ら (2008) が侵食型の海岸と評価している。養浜実施箇所付近における平常時の波浪状況において, 砂村ら (1974) の式 (1) によって評価した結果, 三浦らと同様, 侵食型に該当した。

$$\frac{H_0}{L_0} = C(\tan \beta)^{-0.27} \left(\frac{d}{L_0} \right)^{0.67} \dots\dots\dots (1)$$

ただし, 1991～2004年の相馬波浪観測データより求めたエネルギー平均波浪の $H_0=1.2\text{m}$, $T_0=8.5\text{s}$, 海底勾配 $\tan \beta=0.02$, 中央粒径 $d=0.2\text{mm}$ として算定。

また, Bruun (1954) によって提案されている平衡海浜断面を表す式 (2) を用いて, 侵食が顕著なS2号ヘッドランド～磯浜漁港間の中央部の平衡断面形状を求めて現況断面と比較したものを図-8に示す。図より, 現況断面は平衡断面に対して凹状で侵食型の状態であることがわかった。

$$Z = Ay^{2/3} \dots\dots\dots (2)$$

Z: 水深, y: 汀線からの離岸距離, A: 底質粒径により決まる定数 (ここでは, $A=0.1$)

(4) 蛍光砂調査成果による試験養浜の評価

粒度の違いによって移動状況がどの程度異なるのかを把握するために, 粒径の異なる砂【細粒分; 粒径 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$, 粗粒分; 粒径 $0.3 \sim 2\text{mm}$ 以上】の蛍光砂を投入し, その移動状況の調査を行った。このうち, 投入1週間後に採取した粗粒分の検出結果を波向頻度分布とともに図-9に示す。

調査実施前は, ヘッド部先端が水深 4m に位置するS2号ヘッドランドを蛍光砂の粗粒分が越えることはほぼ無いと想定していた。しかし, 調査の結果, 粗粒分がヘッドランドを越えて北側でも検出された。この投入時から採取までの間に, 最大有義波高 2.2m を観測していることから, 0.3mm 程度以上の砂でも, 有義波高 2m 程度の波浪来襲時はヘッドランドを越えて移動することも留意する必要があることが把握できた。

図-8 Bruunの平衡海浜断面と現地の断面形状の比較

図-9 粗粒分の蛍光砂調査結果

図-10 養浜砂の粒径加積曲線と粒径含有率

(5) 底質調査成果による試験養浜の評価

試験養浜で投入した砂の粒径加積曲線および含有率を図-10に示す。また, 試験養浜実施前, 実施1ヶ月後および1年後の底質調査結果による中央粒径の平面分布およびS2号ヘッドランド南側の測線No.2とNo.5における水深毎の粒径含有率をそれぞれ図-11, 図-12に示す。

図-11の中央粒径の平面分布より, 磯浜漁港～小浦川河口の間の汀線際の粒径が試験養浜実施前後で顕著に変化しているのがわかる。一方で, 試験養浜実施1ヶ月後～1年後は同場所で大きな変化は見られない。また, 水深 4m 以深では全体的に変化が見られず, ほとんどが中央粒径 0.2mm 未満となっている。

図-12を見ると, 試験養浜実施1ヶ月後に, 測線No.5では中砂が増大し, 測線No.2では, 事前には見られなかった中砂や細砂がほとんどを占める結果となっている。つまり, 試験養浜の砂が多量に寄与していることがわかる。両測線ともに1年後も1ヶ月後の含有率とほぼ同様の結果となっている。

以上を整理すると, 試験養浜実施後, 投入土砂の細砂・中砂が汀線際に移動することにより, 汀線際の主要な粒度組成が「粗砂～礫」から「細砂～中砂」に変化し, その状態が1年後まで続いた。また, 細砂～中砂がS2号ヘッドランドを越えて北側の汀線際にも移動していることがわかった。これは前節で示した蛍光砂調査結果とも一致している。一方で, 中砂以上の砂は, 水深 4m 以深の粒度組成を変化させるほどは留まっていなかったことから, 多くが汀線際に留まるものと推定される。

図-11 中央粒径の平面分布の変化

図-12 測線No.2, No.5の粒径含有率水深分布の変化

4. 海浜変形モデルによる再現計算

仙台湾南部海岸における養浜計画を策定するために、熊田ら（2003）によって開発された、混合粒径を考慮した等深線変化モデルを構築し、山元海岸の地形変化の再現計算を実施した。計算条件および再現計算結果について以降に示す。

(1) 計算条件

構築する海浜変形モデルの計算条件を表-3に示す。

(2) 再現計算結果

海浜変形モデルの再現性を評価するために、図-13に示すエリア毎の土量変化の再現計算結果と実績値を比較した。各エリアの1998～2008年の11年間の土量再現計算結果を図-14に示し、そのうち、最も侵食が進行しているエリア⑤の土量経年変化の比較を図-15に示す。

図-14より、各エリアで5万 m^3 程度の差はあるものの、全体的な侵食の傾向は概ね再現できている。また、図-15より、1998～2003年で強い侵食傾向が見られ、その後、概ね安定している傾向は良く再現できている。これは、2003年以降にエリア⑤に寄与するS2号、S4号ヘッドラ

表-3 計算条件

計算対象範囲	山元海岸の磯浜漁港から北側約10km	
検証期間	1998 (H10) ～2008 (H20) (10年間)	
波浪条件	季節別に卓越する3方向の波高・波向を設定	卓越波向毎の波高 ENE: 1.24m E: 1.11m ESE: 1.09m
粒度	既往の底質調査成果をもとに6粒径成分で設定	代表粒径 (平衡勾配) 1: 0.09mm (1/200) 2: 0.16mm (1/40) 3: 0.33mm (1/14) 4: 0.60mm (1/9) 5: 1.3mm (1/6) 6: 4.4mm (1/4)
沿岸・岸沖漂砂量係数	沿岸; $A_s=0.03$, 岸沖; $A_s=0.1A_s$	
境界条件	北端: 開境界 南端: 開境界 (ただし、南端は磯浜漁港防波堤を考慮)	
移動高	T.P.+2.0m (陸側), T.P.-8.0m (沖側)	
交換層幅	0.1m	
安息勾配	陸上: 1/2, 水中: 1/3	
計算時間間隔	$\Delta t=4\text{hr}$	
計算断面間隔	$\Delta x=50\text{m}$

図-13 土量変化を評価するエリア区分図

図-14 エリア毎の土量変化再現計算結果 (1998～2008年)

図-15 エリア⑤の土量経年変化の再現計算結果

ンドが建設されており、これらのヘッドランドによる沿岸漂砂の制御効果によるものと考えられる。

5. 試験養浜の評価を踏まえた養浜計画と課題

山元海岸は南からの土砂供給がほぼ期待できない上、侵食が続き被災の危険性が高い状況にあることから、早急な保全対策が必要である。一方で侵食傾向が強く細砂による養浜の効果が得られにくい海岸でもある。そこで、効率的に海浜を回復させるために、粒径2mm以上の粗粒材を含む養浜を行う計画を立案し、構築した海浜変形モデルによって粒径の異なる養浜の効果について評価した。

養浜砂を粗粒材 (2mm) もしくは採取土砂 (0.25mm) とした場合の2ケースの予測計算を行った。各々、年間5万m³を投入し続けた場合の10年後までの等深線予測計算結果を図-16に示す。図より、粗粒材を投入した場合は水深1m等深線が10年後に30mに到達するが、採取土砂の場合は10m程度と、粗粒材養浜による効果が大きいことがわかる。

粗粒材養浜による効果は、石井ら (2006) によって、茨城県神向寺海岸の例で得られている。一方で、生態等の環境への影響が懸念されることから、粗粒材と同一漂砂系内の採取土砂の両者を組み合わせた養浜を行っていくことが重要と考えられる。土砂の確保のためには沿岸域を含む各関係機関との連携を図ることが重要となる。

また、養浜事業を継続するためには効果を定量的に評価し、地域住民や漁業者等への説明責任を果たすことが重要となるが、養浜は定量的な効果が得られにくい事業

図-16 粒径の異なる養浜毎の水深1mの等深線変化

でもあるため、簡易的に実施でき定量評価が可能な効果的なモニタリング手法の開発が今後の課題である。

6. まとめ

以下に、本研究より得られた知見をまとめる。

- 1) 有義波高が2m程度以上の波浪来襲時には、0.3mm程度の中砂もヘッドランドを越えて移動する。
- 2) 試験養浜によって投入した土砂は、投入完了1年後に2割の残存率となり、約8割が投入地点から流出する結果となった。
- 3) 山元海岸は、平衡海浜形状に対して凹型の侵食型の海岸であるとともに、全体的な土砂流出が見られる。
- 4) 中砂以上の砂の多くは、水深2m以浅の汀線際に移動し、1年後もある程度留まっていると推測される。
- 5) 粗粒材を含む養浜を行うことで養浜の効率化が図れ、環境への影響を十分に考慮した上で実施することが望まれる。

謝辞：本研究で使用したデータは、国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所から提供して頂きました。また、海浜変形モデルを構築するにあたって、東北大学災害制御研究センターの真野明教授にご助言を頂きました。ここに謝意を申し上げます。

参考文献

- 石井秀雄・中村友和・宇多高明・高橋 功・大木康弘・熊田貴之 (2006) : 粗粒材養浜による砂浜の安定化に関する現地実験, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 681-685.
- 熊田貴之・小林昭男 (2003) : 沿岸・岸沖漂砂による粒径分級を考慮した等深線変化モデル, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 481-485.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右 (1974) : 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第21巻, pp. 193-199.
- 三浦佑輔・南 将人・有働恵子・真野 明 (2008) : 仙台湾南部海岸におけるヘッドランド周辺の土砂輸送解析, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 571-575.
- Bruun, P. (1954) : Coast Erosion and the Development of Beach Profiles, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. No.44.