養浜土砂が 2 次元海浜断面地形に与える影響 に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF VARIOUS GRAIN SIZE
FOR BEACH NOURISHMENT

澁谷容子¹・八尾規子²・砂後聡子³・松原雄平⁴・黒岩正光⁵

Yoko SHIBUTANI, Noriko YAO, Satoko ISAGO,
Yuhei MATSUBARA, and Masamitsu KUROIWA

¹正会員 博(工) 日本学術振興会特別研究員PD (鳥取大学) (〒680-8552 鳥取市湖山町南4 - 101)

²学生会員 鳥取大学大学院 工学研究科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4 - 101)

³ 京都府警

⁴正会員 工博 鳥取大学教授 大学院工学研究科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4 - 101)

⁵正会員 博(工) 鳥取大学准教授 大学院工学研究科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4 - 101)

Recently, coarser sand nourishments have been noticed as effective defense works against beach erosion. In this study, laboratory experiments were conducted on the performance of beach nourishment of three types of grain size sand on a fine sand beach ($d_{50}=0.23\text{mm}$). The median grain sizes of the nourished sand are $d_{50}=0.23\text{mm}$, 0.70mm and 3.75mm . The nourished sands were placed at near breaking point. After that the three types of irregular wave were acted. The waves were introduced, such as the erosion type, the accretion type and intermediated type condition. The wave types were selected by C parameter suggested by Sunamura and Horikawa (1974). The changes of the beach profile were measured.

Key Words : Beach nourishment, Cross-shore sand, Coarse sand

1. はじめに

海岸侵食対策として、養浜工法などのソフト的な対策が施されることが多くなっている。最近では礫材(粒径 3~15mm)を養浜材に用いることで、根固め機能を発揮し砂浜が安定したという報告がなされている(松浦ら¹⁾、古谷ら²⁾)。また、養浜を行う場合、他から土砂を運び入れるのではなく、同じ流砂系の港湾や河口に堆積した浚渫土砂を海上輸送し、侵食域の沖合に土砂投入されることもしばしばである。このような状況から田中ら^{3),4)}は沖合養浜工法の検討を、浅野ら⁵⁾は陸上養浜の検討をそれぞれの室内実験により行っている。さらに、宇多ら⁶⁾は現地実験においてナローマルチビームを用いて養浜土砂の動きを把握する試み行っている。養浜砂の粒径が大きいと侵食を緩和する効果があることや沖合養浜を行うことで、養浜材が潜堤のような役割をし、汀線が前進することなどが明らかになってきている。また、澁谷ら⁷⁾は養浜砂がどのように移動するのかという観点から 2 次元移動床実験を行っている。しかし、養浜後の詳細な地形変化は不明であり、養浜土砂量や位置、養浜砂の粒径の違いによ

る影響など多くの検討課題が残されている。そこで、本研究では、2 次元波動水槽を用いた移動床実験によって養浜砂の粒径や量および養浜位置が 2 次元海浜断面地形に与える影響を実験的に明らかにするものである。

2. 実験装置および実験条件

長さ 25m、幅 0.6m、深さ 1.0m の 2 次元断面水槽の一端に 1/10 勾配の固定床の上に移動床(中央粒径 $d_{50}=0.23\text{mm}$ の珪砂を層厚 15cm 敷き詰めた)を設置し、不規則波を作用させ実験を行った。水深は 0.6m とし、実験装置の概要を図-1 に示す。

図-1 実験水槽(断面図)

本実験では海浜断面形状が侵食型，中間型および堆積型となる様に不規則波浪条件を決定した．海浜断面の区分は Sunamura and Horikawa⁸⁾による無次元パラメータ C によった．

$$C = \frac{Ho / Lo (\tan \beta)^{0.27}}{(d_{50} / Lo)^{0.67}} \quad (1)$$

ここに， Ho/Lo は沖波の波形勾配， $\tan \beta$ は初期の海底勾配， d_{50} は底質の中央粒径である．

用いた波浪条件および，設置した移動床の粒径 ($d_{50}=0.23\text{mm}$) に対する C パラメータを表-1 に示す．また，Sunamura and Horikawa により提案されている無次元パラメータ C と平衡断面地形の関係を表-2 に示す．

表-1 波浪条件

	侵食型	中間型	堆積型
$Ho(\text{cm})$	8.62	6.43	4.43
$T(\text{s})$	0.87	1.58	1.70
C	12.06	6.08	3.99

表-2 無次元係数 C と平衡断面地形の関係

	侵食型	中間型	堆積型
室内	$C > 8$	$8 > C > 4$	$4 > C$
現地	$C > 18$	$18 > C > 9$	$9 > C$

地形変化はレーザー変位計を用いて計測するとともに，遡上域に設置した定点カメラの画像から，バームの幅，高さおよび汀線変化を読み取った．図-2 に示すように，汀線からバーム頂部までの距離をバーム頂点位置 L_a ，汀線からバーム後方の初期断面との交点までの距離をバーム幅 L_b ，静水面からバーム頂点までの高さをバーム高 z とした．

図-2 バームの概要

3．実験内容と結果

本研究では養浜土砂が地形変化に与える影響や養浜材の違いがその後の地形変化にどのような影響を及ぼすかを検討するため，大きく分けて以下の2つの実験を行った．

(1) 養浜砂の粒径および養浜の有無が遡上域に与える影響について

初期状態の平行等深線断面に養浜を行い，それぞれの波浪を作用させ，養浜の有無および養浜砂の粒径や養浜位置の違いが地形変化に及ぼす影響を調べた．養浜材には中央粒径0.23mm，0.70mmおよび3.75mmの3粒径の砂を用い，養浜は碎波帯より岸側に0.005m³(Case岸)，沖側に0.005m³(Case沖)および0.01m³(Case沖)の土砂を投入した．土砂投入位置は碎波点の岸側に養浜を行う場合，水深 $h=4\text{cm}$ の地点とし，碎波点の沖側に養浜を行う場合，水深 $h=9\text{cm}$ の地点とした(図-3)．なお，ここでの碎波点は目視で確認した平均的な碎波点とする．また，養浜土砂は水と砂を混合し，あらかじめ間隙空気を抜き，土砂投入する際には水平方向に平行な形状になるよう水面から静かに自由落下させた．

図-3 養浜位置

図-4および図-5に各波浪条件および各養浜砂の粒径に対するバーム幅およびバーム高の時間的变化を示す．図中の凡例は養浜砂の中央粒径を示し，凡例の左端に設置した移動床 ($d_{50}=0.23\text{mm}$) に対する波浪条件を示す．図-4より養浜砂の粒径の大きさ，養浜位置や波浪条件に関わらず，養浜を行わない場合，バーム幅は一番大きくなった．バーム高は設置された移動床と同じ粒径の砂 ($d_{50}=0.23\text{mm}$) を養浜した場合が一番高くなる結果となった(図-5)．また，波浪作用開始から1時間後までは養浜土砂量によってバームの成長具合が若干異なるが，それ以降は大きな違いはみられない(図-4(b)，(c)および図-5(b)，(c))．図-4および図-5を波浪条件別に見ると，侵食型波浪(図中青線)および中間型波浪(図中黄緑線)作用下では，養浜の有無および養浜砂の粒径の違いによるバームの形成過程の違いはみられない．しかし，堆積型波浪(図中赤線)作用下においては，養浜砂の粒径によりバームの形成過程に違いが認められ，養浜砂の粒径が大きいとバーム高は小さくなる(図-5)．図-6に堆積型波浪下において中央粒径0.23mmおよび3.75mmの砂を碎波点の沖に0.01m³養浜した場合(Case沖)の断面地形の時間的变化の例を示す．養浜材に小さい粒径のものをを用いると，養浜砂が移動しやすく，バームの成長に寄与していることがわかる(図-6(a))．逆に大きな粒径の砂は移動しにくいため，養浜位置に留まり，バームの成長が遅いことが確認できる(図-6(b))．

図-4 バーム幅の時間的变化

図-5 バーム高の時間的变化

(a) 中央粒径0.23mm砂養浜

(b) 中央粒径3.75mm砂養浜

図-6 堆積型波浪下における養浜後の地形変化
(Case沖)

図-7に侵食型波浪下において養浜した場合（Case 沖）の断面地形の時間的変化を示す．図-7(a)より養浜砂の中央粒径が小さいと侵食型波浪の作用により養浜土砂が沖に運ばれている様子がわかる．中央粒径0.70mmの砂を養浜した場合，養浜砂が養浜位置に留まっていること，一方3.75mmを養浜材に用いた場合は養浜土砂が岸側に運ばれている様子が確認できる．3.75mmの砂を養浜材に用いた場合，遡上域にバームが形成されていることも確認できる．

図-8に各波浪条件および養浜砂の粒径に対する汀線の時間的変化を示す．汀線変化は初期状態の汀線位置を原点とし沖方向の変化量を正とする．ほぼ全てのケースにおいて，養浜を行った場合，養浜を行わなかった場合よりも汀線が前進する結果となった．特に侵食型（図中青線）では養浜を行わなかった場合，波浪作用開始から4時間後，汀線は後退しているが，養浜を行うことで汀線の後退を緩和させる結果が得られた．さらに，養浜材に粒径の大きなものを用いた方が汀線の後退をより緩和させていることが確認できる．よって粗粒材養浜は汀線付近の侵食を緩和させる直接的な機能を有していると考えられる．また，養浜土砂量の違いは汀線変化量の差に比例していることが確認された（図-8(b)および(c)）．

(b) 中央粒径0.70mm砂養浜

(a) 中央粒径0.23mm砂養浜

図-7 侵食型波浪下における養浜後の地形変化
(Case 沖)

(c) 中央粒径3.75mm砂養浜

図-7 侵食型波浪下における養浜後の地形変化
(Case 沖)

図-8 汀線の時間的变化

(2) 侵食性海岸に対する養浜効果について

侵食性海岸に対する養浜効果を検討するため、初期断面に侵食型波浪を10時間作用させ、侵食型の平衡海浜断面を形成させた。そこに養浜を行い、再び侵食型の波浪を作用させた。養浜砂の粒径は(1)と同様に、中央粒径0.23mm、0.70mmおよび3.75mmの3粒径とし、初期断面の侵食型波浪下の実験において粒径の違いが一番認められたCase沖（碎波点の沖側に0.01m³土砂投入）の実験を行った。

図-9に侵食型の平衡断面地形に養浜を行い、再び侵食型の波浪を作用させた場合の断面地形の時間的变化を示す。中央粒径0.23mmの砂を養浜した場合、波作用直後から養浜砂が拡散し10分後には投入地点に土砂はほとんど残っていない（図-9(a)）。一方、養浜材に3.75mmの砂を用いた場合、投入地点に養浜土砂が留まり、3時間後も養浜砂が投入地点に残っていることが確認できる。

図-10に侵食型断面に養浜を行い侵食型の波浪を作用させた場合の汀線の時間的变化を示す。侵食型波浪下であっても養浜土砂が汀線前進に寄与している様子がわかる。浅野ら⁵⁾は養浜材の粒径に対するC値により波浪条件を分類できていることから、図-11に養浜砂の粒径に対するC値を示す。設置した移動床の粒径に対するC値は侵食型の波浪条件であるが、中央粒径が3.75mmの養浜砂に対するC値は堆積型に分類されている。このことから、沖合養浜を行った場合も養浜効果が持続している間は養浜砂に対するC値で波浪条件を分類することが可能であることがわかる。

(a) 中央粒径0.23mm砂養浜

(b) 中央粒径3.75mm砂養浜

図-9 侵食型断面における養浜後の地形変化
(侵食型波浪作用下)

図-10 侵食型波浪下における養浜後の汀線変化

図-11 養浜砂の粒径に対するC値

4. おわりに

本研究では、養浜土砂の粒径や養浜位置および養浜土砂量がその後の地形変化にどのような影響を及ぼすのかを調べるため、2次元移動床実験を行った。得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 養浜砂の粒径および養浜の有無が遡上域に与える影響について
 - ・ 中間型および侵食型波浪作用下においては、養浜の有無および養浜砂の粒径の大きさはバームの成長に有意に影響しない。
 - ・ 堆積型波浪作用下では、養浜砂に粒径の小さいものを用いると養浜土砂が動きやすく、バームは成長する傾向を示す。
 - ・ 養浜砂の粒径の違いおよび養浜の有無は汀線変化に大きく影響し、養浜砂の粒径が大きいほど汀線の後退を緩和もしくは汀線の前進をもたらす。

(2) 侵食性海岸に対する養浜効果について

- ・ 養浜材に粗な粒径の砂を用いると、養浜位置に留まる時間が長く養浜効果は持続する。
- ・ 沖合養浜時においても、養浜砂の粒径に対するC値で波浪条件を分類することができる。
- ・ 侵食型波浪下においても、C値が堆積型に分類されるような養浜材を用いることで、一時的に堆積型波浪となり、汀線は前進する。

謝辞：本研究は日本学術振興会特別研究員奨励費（22・2128）の援助ならびに、国土交通省中国地方整備局日野川河川事務所との共同研究の一部として行われました。ここに記して感謝を表します。

参考文献

- 1) 松浦健朗，宇多高明，諏訪義雄，山田浩次，福本崇嗣：砂浜の海岸保全施設指定にむけた粗粒材養浜の有効性の検討，海洋開発論文集，第 25 巻，pp.1119-1124，2009。
- 2) 古谷真広，小林昭男，宇多高明，野志保仁：明石海岸における礫養浜後の海岸状況変化，海洋開発論文集，第 26 巻，pp.1053-1057，2010。
- 3) 田中博通，本田秀樹，鈴木操，川口達矢：潜堤式養浜工法の検討，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.671-675，2006。
- 4) 田中博通，川口達矢，本田秀樹，鈴木操：沖合養浜工法の断面実験に関する研究，海洋開発論文集，第 23 巻，pp.1087-1091，2007。
- 5) 浅野泰史，佐藤慎司，劉海江，高川智博：粗粒径材を用いた養浜の効果に関する実験的研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.66，No.1，pp.631-635，2010。
- 6) 宇多高明，田代洋一，長山秀樹：ナローマルチビーム測量による沖合養浜時の土砂移動観測，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.776-780，2008。
- 7) 澁谷容子，松原雄平，黒岩正光，八尾規子，谷口隼也：波浪条件が養浜土砂の移動に及ぼす影響とその効果に関する実験的研究，海洋開発論文集，第 26 巻，pp.1047-1052，2010。
- 8) Sunamura, T., and Horikawa, K.: Two-dimensional beach transformation due to waves, *Proc. 14th Int. Conf. on Coastal Engineering*, pp.920-938, 1974.