粗粒材を用いた沖合養浜の効果とその影響に関する実験的研究

Experimental Study on Effect of the Offshore Nourishment Using the Coarser Sand

澁谷容子¹・八尾規子²・松原雄平³・黒岩正光⁴・砂後聡子⁵

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

On Yuyama Coast facing on the sea of Japan, the artificial beach nourishment as the defense work against beach erosions have been conducted. Though the annual nourishments have been carried out, the shoreline is eroded from the autumn to the winter and is restored between spring and summer as the seasonal change. In this study, the experiment was executed for beach profile change induced by the combination of wave type after the beach nourishment. Another series of experiments were performed for following up the nourished sand and the bottom topographic change after the nourishment. The beach profile was measured by laser displacement meter, and the neighborhood of the run-up area was photographed using the fixed point camera. The experimental results show that nourishments using coarser sand in offshore area decrease erosional bottom topographical change.

1. 緒言

鳥取県では、総合的な土砂管理を行っており、鳥取砂丘海岸や皆生海岸においてサンドリサイクルが行われている。また、鳥取県が位置する日本海側の自然海岸では、春季から夏季にかけて堆積、秋季から冬季にかけて侵食という季節変化を繰り返す傾向にあり、鳥取沿岸のサンドリサイクルは波浪が穏やかな春から夏に土砂投入が行われている。

このように海岸侵食対策として、ソフト的な対策が全国的にも注目されており、養浜工法の現地実験や室内実験が多く行われるようになってきている。例えば、田中ら（2006, 2007）は2次元水槽および平面水槽を用いて沖合養浜工法の検討を、浅野ら（2010）は2次元水槽により陸上養浜の検討をそれぞれ行っている。しかし、波浪条件や養浜材が地形変化に及ぼす影響、養浜の効果などは明確ではない。また、養浜事業を実施する事業者にとって、投入した土砂が等深線あるいは汀線の回復にどの程度寄与するかは非常に重要である。このような状況から、澁谷ら（2010, 2011）は養浜土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い、また養浜材そのものが2次元海浜断面に与える影響に関する実験も行っている。

本研究では、鳥取県のサンドリサイクルの現状を踏まえ、波浪の季節変化に伴う養浜砂の影響や粗粒材養浜の効果および有用性を調べることを目的とし、2次元波動水槽を用いて実内実験を行った。

2. 室内実験

本研究で用いた実験装置の概要を図-1に示す。水槽は長さ25m、幅0.6mであり、水深は0.6mとした。図に示す水槽の一端に1/10勾配の移動床を設置し、不規則波を作らせ実験を行った。移動床は1/10勾配の固定床の上に中央粒径 $d_{50}=0.23\text{mm}$ の珪砂を層厚15cmで敷ならし形成した。

図-1 実験装置の概要

本実験は海浜断面形状が侵食型および堆積型となる様な不規則波浪を用いた。波浪条件を決定する際、海浜断面の区分はSunamura and Horikawa（1974）の無次元パラメータ C によった。

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

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、

1 正会員	博(工)	日本学術振興会 特別研究員 (PD)
		鳥取大学
2 学生会員		鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
3 正会員	工博	鳥取大学教授大学院工学研究科社会基盤工学専攻
4 正会員	博(工)	鳥取大学准教授大学院工学研究科社会基盤工学専攻
5		京都府警

表-1 波浪条件

	侵食型	堆積型
H_0 (cm)	8.62	4.43
T (s)	0.87	1.70
C	12.06	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	$C > 18$	$18 > C > 9$	$9 > C$

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。

本実験において、養浜は砕波点の沖側に 0.01m^3 の土砂を投入するものとし、養浜材には中央粒径 $d_{50}=0.23\text{mm}$ 、 0.7mm および 3.75mm の3粒径を用いた。なお、便宜的に本稿では移動床の粒径に対する波浪条件を本実験での波浪条件とする。例えば $d_{50}=0.23\text{mm}$ に対する侵食型波浪をここでは侵食型波浪として扱う。

地形変化はレーザー変位計を用いて計測するとともに、測上域に設置した定点カメラの画像から汀線変化を読み取った。

3. 実験内容と結果

(1) 日本海沿岸の季節変化の再現

日本海沿岸の季節変化を再現するため、侵食型の波浪を作用させ平衡断面を形成させた後、堆積型の波浪を作用させた。鳥取県で行なわれているサンドリサイクルは、春季から夏季（堆積型波浪作用時）にかけて土砂投入されていることから、養浜を行なう場合、堆積型波浪を作用させる前に土砂投入を行った。この時、養浜材の粒径の違いおよび養浜の有無が地形変化に及ぼす影響について検討した。なお、事前の実験において、養浜土砂が海浜断面に及ぼす影響は波浪作用開始から4時間程度であるとい結果を得たことから、ここでも、養浜後の堆積波浪の作用時間は4時間とした。

図-2は侵食型の海浜断面に養浜を行った後、堆積型波浪を作用させた際の断面地形の時間的変化の例である。養浜砂に中央粒径 0.23mm の砂を用いた場合、養浜土砂は10分後には殆ど拡散し、1時間後から4時間後の間に汀線が前進している。 0.7mm の砂を養浜した場合、波浪作用開始から1時間後くらいまでは、養浜土砂を養浜位置付近で確認することができ、その後汀線が前進している。 3.75mm の砂を養浜した場合は、4時間後まで養浜位置に養浜土砂を確認することができる。波浪条件は同じであるが、汀線変化量およびバームの消失過程は大きく異なり、投入土砂の移動にも違いがみられた。

(a) 中央粒径 $d_{50}=0.23\text{mm}$ 砂養浜 (b) 中央粒径 $d_{50}=0.70\text{mm}$ 砂養浜

図-2 季節変化に伴う断面地形変化

図-3に養浜砂の粒径の違いによる汀線の時間的変化を示す。図中の凡例は養浜砂の中央粒径を表す。堆積型波浪の作用により汀線が回復し、さらに養浜土砂がより、汀線回復に寄与していることが確認できる。中央粒径

図-3 粒径毎の汀線変化量

3.75mmの砂を養浜した場合、波作用開始直後から1時間後までは顕著に汀線が前進しているが、粗粒材はあまり移動しないため、その後の汀線前進速度は緩やかである。波作用開始から4時間後では、0.7mmの砂を養浜した場合が汀線が一番前進している。よって、侵食型断面に養浜を行い、堆積型の波浪が作用すれば汀線の回復は顕著であり、養浜砂の粒径がある程度大きい方が効果的であるといえる。

(2) 粗粒材養浜の効果および有用性について

粗粒材を用いた沖合養浜の効果および有用性を検討するため、堆積型および侵食型の波浪で平衡海浜断面を形成させた後、養浜を行い再び同一波浪を作用させた。一度、平行海浜断面を形成することにより、養浜土砂自体の動きおよび、土砂が海浜地形にどのように影響するかを調べた。

図-4および図-5に堆積型および侵食型の平衡断面に養浜を行い、さらに同一波浪を作用させた場合の地形変化を示す。図-4(a)より養浜砂に中央粒径が0.23mmの砂を用いた場合、養浜土砂は動きやすく堆積型波浪の作用により、岸へ運ばれ汀線が前進していることが確認できる。中央粒径3.75mmの砂を養浜した場合も養浜土砂が若干岸側へ移動している様子は見受けられるが、汀線の前進は明らかではない。

図-5(a)より侵食型波浪作用下において、中央粒径0.7mmに砂を養浜した場合、養浜砂が時間と共に拡散している様子が、図-5(b)より中央粒径3.75mmの砂を養浜砂に用いた場合、養浜土砂が少しずつ岸側に移動している様子が確認できる。また、どちらも汀線の変化は明確ではない。

図-6に平衡断面に養浜を行い、同一波浪を作用させた際の汀線の時間的変化を示す。中央粒径 $d_{50}=0.23\text{mm}$ に対する波浪条件が堆積型の波を作用させた場合、養浜砂の粒径が細かいほど動きやすく汀線は前進していることがわかる。図-6(b)より侵食型波浪作用下でも汀線は前進し、養浜土砂は汀線の前進に寄与していることが確認できるが、養浜砂の粒径が小さい場合、汀線は一時的に前

図-4 養浜後の断面地形変化(堆積型波浪作用下)

進するものの、すぐに後退している。一方、養浜砂の粒径が大きい場合、汀線を前進させる効果がある程度持続している。3.75mmの砂を養浜した場合、養浜砂はほとんど動かないが、一部は海底面を這うようにして陸域へ遡上したため汀線は一時的に前進し、その後後退した。

(a) 中央粒径 $d_{50}=0.70\text{mm}$ 砂養浜 (b) 中央粒径 $d_{50}=3.75\text{mm}$ 砂養浜

図-5 養浜後の断面地形変化 (侵食型波浪作用下)

写真-1および写真-2は養浜位置付近の養浜土砂の様子である。養浜砂の中央粒径が 0.7mm の場合、投入された土砂は移流拡散し、時間の経過とともに元の地形になじんでいるが、 3.75mm の砂を養浜した場合、1時間たっても殆ど移流拡散していない。養浜砂の粒径が大きすぎると養浜砂が移動しないため、元の断面地形に影響を及ぼしていることが図-5 (b) の1時間後および4時間後からも推測できる。

(a) 堆積型波浪作用下

(b) 侵食型波浪作用下

図-6 養浜後の汀線の時間的变化

図-7に養浜砂の粒径に対する C 値を示す。移動床の粒径に対して侵食型に分類される波浪を、 3.75mm の養浜砂に対する C 値で分類すると堆積型波浪に分類できる。このことから、養浜位置付近で堆積型の波浪となり汀線が前進したと考えられる。また、中央粒径 0.7mm の砂を養浜した場合、移流拡散しながら、養浜土砂は汀線に寄与し、粒径が粗いため比較的汀線に留まることができたと考えられる。一方、 3.75mm を養浜した場合、粒径が大きすぎるため養浜位置から動かず、養浜土砂そのものは汀線前進に寄与しないが、養浜土砂が潜堤のような役割を果たすことで汀線が若干前進したと推測される。浅野ら (2010) は粗粒材で陸上養浜を行なった場合、養浜材に対する C 値で波浪条件を分類することができるとしているが、本研究より沖合養浜を行った場合も同様に養浜砂に対する C 値で波浪条件を分類することが可能であり、沖合養浜時についても粗粒材養浜は有効な手段といえる。

5. 結語

本研究では、実験水槽を用いて日本海側の季節変動に伴う養浜効果および粗粒材の有用性について室内実験を行った。得られた結果を以下に示す。

- 1) 侵食型の海浜断面地形に養浜を行い、堆積型波浪を作用させると養浜効果は顕著に現れる。また、養浜砂の粒径が大きいとより汀線の前進に寄与する。
- 2) 構成されている粒径に対する波浪条件が侵食型であっても、養浜砂の粒径を大きくすることで、侵食は緩和できる。さらに、ある程度移流拡散する

写真-1 養浜位置付近の養浜土砂の様子
(侵食型波浪作用下, 0.7mm 砂養浜)

写真-2 養浜位置付近の養浜土砂の様子
(侵食型波浪作用下, 3.75mm 砂養浜)

図-7 養浜砂の粒径に対するC値

粒径で、C値が堆積型に分類されるような養浜砂を用いるとより効果的である。養浜土砂が移動しないような粗粒材を用いると、養浜土砂自体が潜堤の役割を果たすことで侵食を緩和させる。

謝辞：本研究は日本学術振興会特別研究員奨励費（22・2128）の援助を受け行われました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 浅野泰史・佐藤慎司・劉 海江・高川智博（2010）：粗粒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.
- 田中博通・本田秀樹・鈴木 操・川口達也（2006）：潜堤式養浜工法の検討，海岸工学論文集，第53巻，pp.671-675.
- 田中博通・川口達也・本田秀樹・鈴木 操（2007）：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.
- 澁谷谷子・松原雄平・黒岩正光・八尾規子・谷口準也（2010）：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研究，海洋開発論文集，第26巻，pp.1047-1052.
- 澁谷谷子・八尾規子・砂後聡子・松原雄平・黒岩正光（2011）：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，土木学会論文集B3（海洋開発）第26巻（印刷中）.
- Sunamura, T., and Horikawa, K. (1974)：Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th Int. Conf. on Coastal Engineering, pp. 920-938.