

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

EXPERIMENTAL STUDY ON TOPOGRAPHIC CHANGE FOR BEACH NOURISHMENT

澁谷容子¹・松原雄平²・黒岩正光³・八尾規子⁴・谷口隼也⁵

Yoko SHIBUTANI, Yuhei MATSUBARA, Masamitsu KUROIWA,
Noriko YAO and Junya TANIGUCHI

¹学生会員 修(工) 鳥取大学大学院 工学研究科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

²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)

³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)

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

⁵非会員 土地家屋調査士 谷口展昭事務所 (〒679-5301 兵庫県佐用郡佐用町佐用153-1)

Artificial nourishment method has been accepted as one of the effective countermeasures against beach erosion, and the nourishment projects become a continuous and expensive cycle for the reason that fill sands will be moved by waves and current. Despite the beach nourishment is important problem, the moving of the nourished sands is not clarified, the guideline of the nourishment for the effective works is not established. For the effective beach management, it is needed to estimate the behavior of the sand materials after beach nourishment. In this study, the experiment was performed with regular and irregular wave in order to estimate the velocity of the injected sand and research influence of the bottom topographic change of the nourished sand.

Key Words : Beach nourishment, Cross-shore sand

1. はじめに

海岸法の改正により, 海岸事業は海岸の防護だけでなく, 環境および利用が調和した海岸管理の視点をもって展開されることとなった. これに伴い, 海岸侵食対策は構造物等を設置する従来のハード整備から養浜工法などのソフト的対策が施されることが多くなっている. 澁谷ら^{1), 2)}はこれまで養浜工として海域に土砂投入を行った際の地形変化予測モデルの開発を行ってきた. しかし, モデルの妥当性の検証に適する高精度な海底地形測量データは必ずしも十分ではなく, 実海岸において, 投入された土砂がどのように移流拡散し, どのような影響を及ぼすかは不明確なままである. 予測モデルの開発に極めて重要となる投入後の土砂の移動速度の同定ならびに土砂の粒径区分毎の移動特性等も検討の余地を残している. また, 田中ら^{3), 4), 5)}により, いくつか養浜実験が行なわれているが, 養浜土砂の移動については未解明な部分が多い. そこで本研究では地形変化予測モデルの確立のために, 2次元波動水槽を用いた移動床実験によって養浜土砂の動きを詳細に追跡し, 投入土砂の移動速度と波浪特性との関係, 投

入場所による養浜効果等を実験的に調べることを目的とする.

2. 実験概要

本研究では, 2次元波動水槽を用いて, 養浜による土砂投入実験を行い, 投入土砂の移動速度と波浪特性との関係, 投入場所による養浜効果等を解明する. 図-1に示すように長さ25m幅0.5m(規則波作用時)および0.6m(不規則波作用時)の一端に1/10勾配の移動床(中央粒径 $d_{50}=0.28\text{mm}$ を層厚15cm敷き詰めた)を設置し, 規則波ならびに不規則波を作用させ実験を行なった. ただし, 規則波および不規則のいずれの波においても, 堆積型, 中間型および侵食型の海浜断面となる様に条件を決めている. これらの条件を表-1および2に示す. また, 海浜断面の区分は砂村⁶⁾による無次元パラメータ C によった.

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

ここに、 H_o/L_o 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。

砂村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-3 に示す。

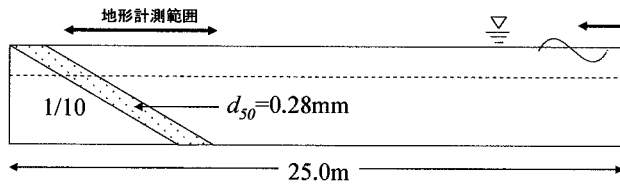


図-1 実験水槽（断面図）

表-1 波浪条件（規則波）

	堆積型	中間型	侵食型
$H_o(\text{cm})$	2.80	3.89	7.31
$T(\text{s})$	1.42	1.08	1.0
C	2.47	4.11	7.18

表-2 波浪条件（不規則波）

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

表-3 無次元係数 C と平衡断面地形の関係

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

3. 実験的検証

堆積型、中間型および侵食型の断面地形に養浜を施した際の養浜砂の移動と地形変化に着目して、以下の二つの観点から実験を行なった。

(1) 移動速度の同定

投入土砂の移動速度と波浪特性との関係を調べるため、まず一定条件の波浪を 10 時間以上連続して作用させ、ほぼ平衡状態海浜地形を形成させた。平衡地形に土砂投入を行った後、同一波浪条件の波を作用させ、地形変化を追跡した。土砂投入位置は碎波点の岸側および沖側とし、投入地点位置の違いによる地形変化についても検討する。

図-2 は表-1 に示す 3 種の規則波を 10 時間作用させて得られた平衡断面地形である。堆積型および侵食型作用時は、 C の分類に対応した地形が得られている。一方、中間型では、無次元パラメータ C は中間型に分類されているが、侵食地形の形状を得た。この平衡断面地形に養浜土砂を投入後、再び、同一条件の波浪を作用させた。養浜は碎波点の岸側およ

び沖側に 0.003m^3 を、それぞれ瞬間投入した。養浜後の堆積型および侵食型の波（規則波）を作用させた時の 5 分後および 1 時間後の断面地形変化を図-3、4 に示す。図中の ↓ 印は土砂投入地点を、▼印は平均的な碎波点を示している。図-3(a) より碎波点より岸側に養浜を行った場合、堆積型の波浪条件下において、投入土砂が若干岸側に移動している様子が確認できる。しかし、堆積、中間および侵食型のいずれの場合も養浜土砂は急速に拡散し、その後の移動の様子および汀線の変化は明確ではなかった。一方、図-4 より碎波点の沖側に養浜した場合、堆積型作用時には、養浜土砂は岸側に移動し(図-4(a))、侵食型の波浪条件では、沖側に移動している(図-4(b))ことが確認できる。

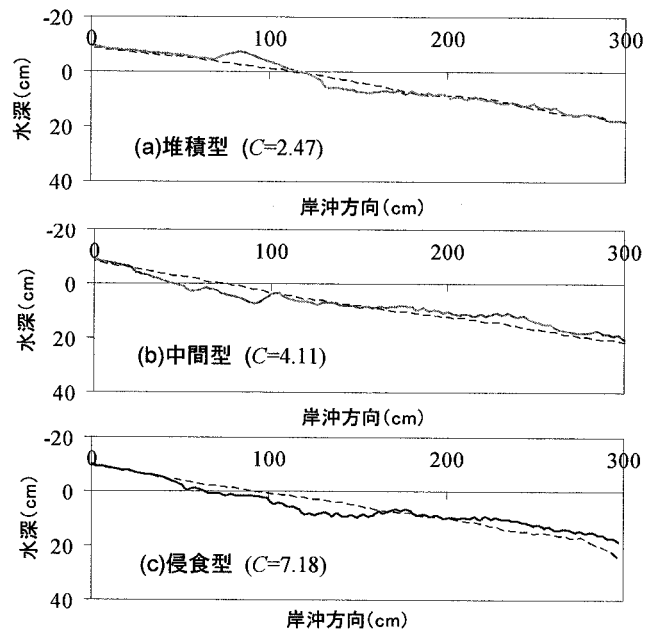


図-2 10 時間後の断面地形（規則波）

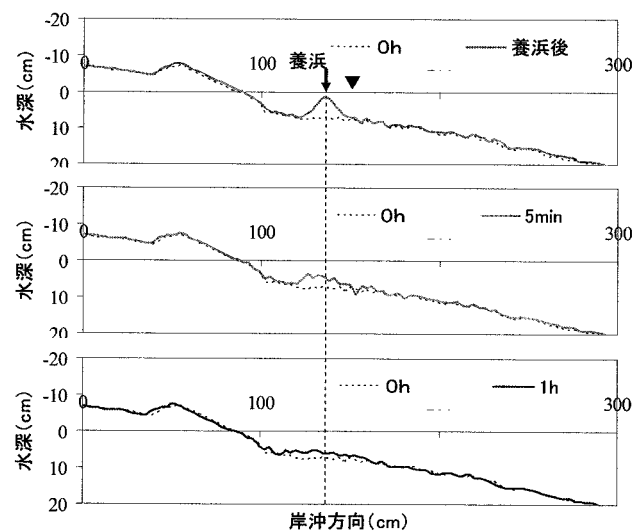


図-3(a) 堆積型波における岸側養浜後の地形変化（規則波）

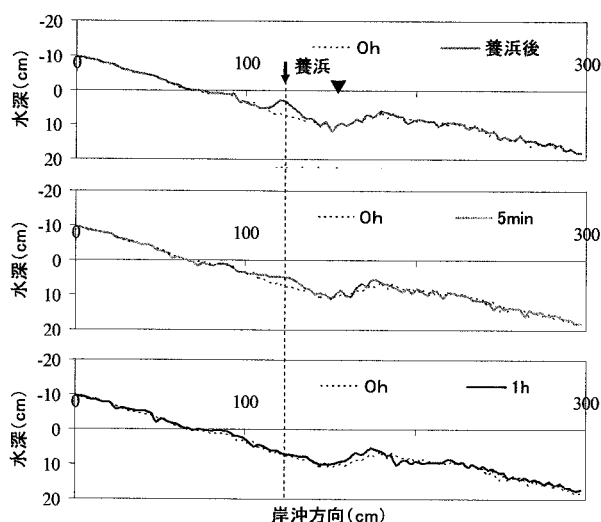


図-3(b) 侵食型波における岸側養浜後の地形変化 (規則波)

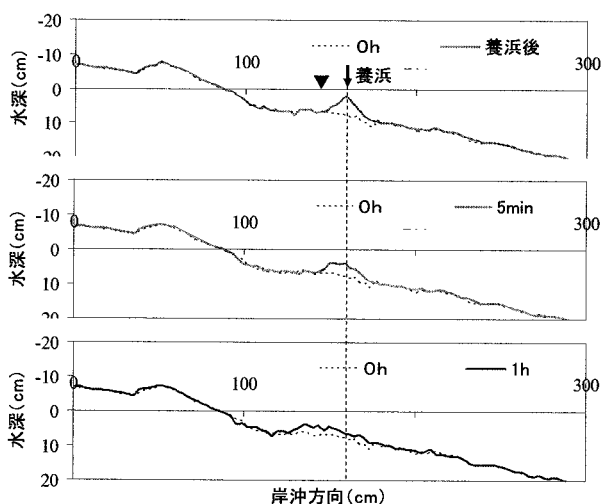


図-4(a) 堆積型波における沖側養浜後の地形変化 (規則波)

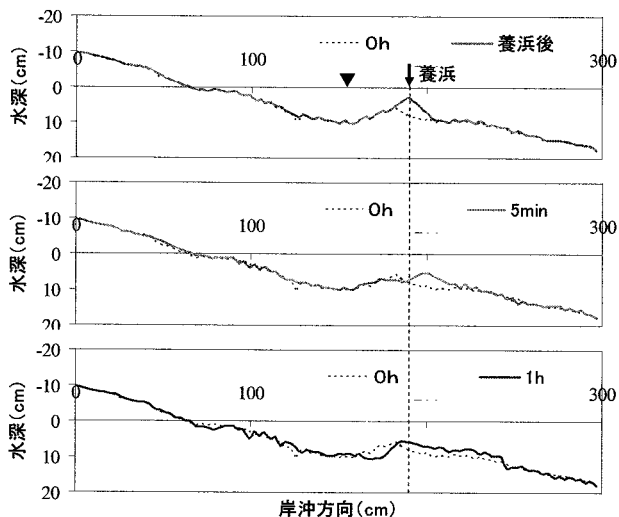


図-4(b) 侵食型波における沖側養浜後の地形変化 (規則波)

さらに、不規則波浪の条件に対しても、同様の実験を行なった。図-5 は、堆積型、中間型および侵

食型の不規則波を 10 時間作用させ得られた平衡海浜の地形を示したものである。規則波作用時よりも波浪特性および無次元パラメータ C に対応した断面地形変化が再現されている。これらの地形に、養浜による土砂投入後の地形の時間的变化を図-6 および 7 に示す。このとき、養浜は碎波点の岸側には 0.005m^3 、沖側には 0.01m^3 それぞれ土砂投入を行なった。図-6(a) より碎波点より岸側に養浜を行った場合、堆積型において、養浜土砂が岸側に移動し、汀線の前進も確認できる。図-6(b) の侵食型においては、拡散しながら、沖側、岸側方向に移動している。また、図-7(a) より、碎波点より沖側に養浜を行なった場合、堆積型では、養浜土砂が岸側に移動する様子は確認できるものの、汀線が前進するまでには至っていないことがわかる。一方、侵食型では養浜直後から養浜土砂が沖向きに移動している(図-7(b))。中間型については、岸側および沖側の両方に投入土砂が移動した。しかし、いずれも汀線の変化については確認できない。

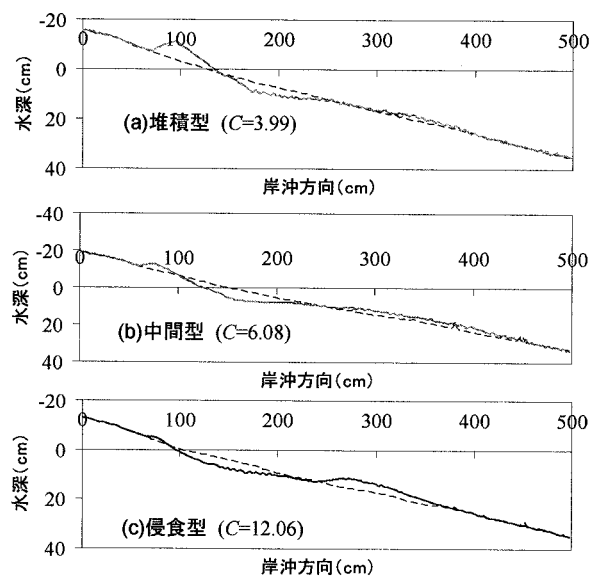


図-5 10 時間後の平衡断面 (不規則波)

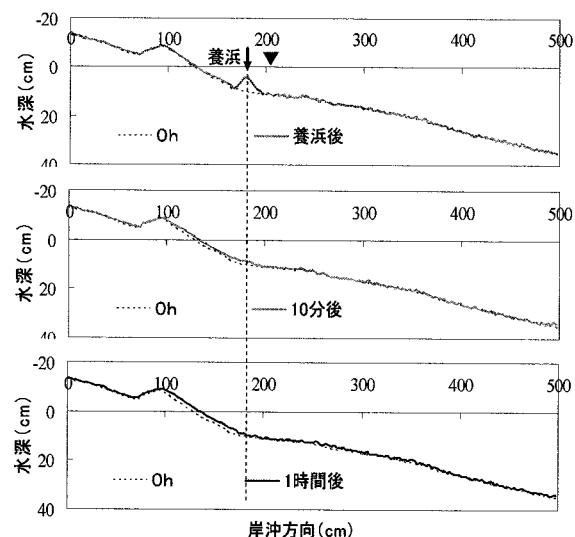


図-6(a) 堆積型波における岸側養浜後の地形変化 (不規則波)

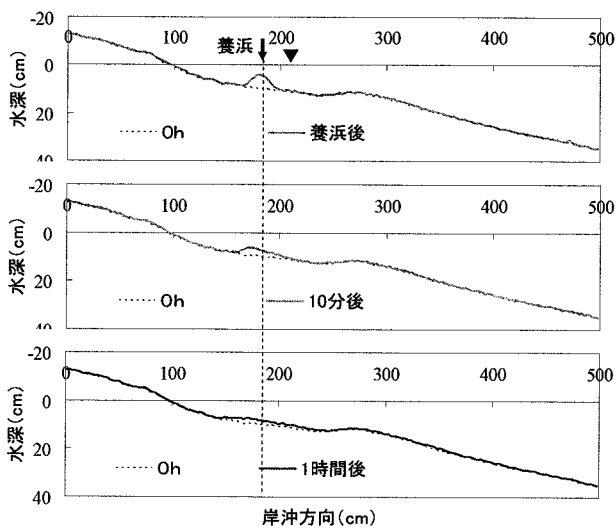


図-6(b) 侵食型波における岸側養浜後の地形変化 (不規則波)

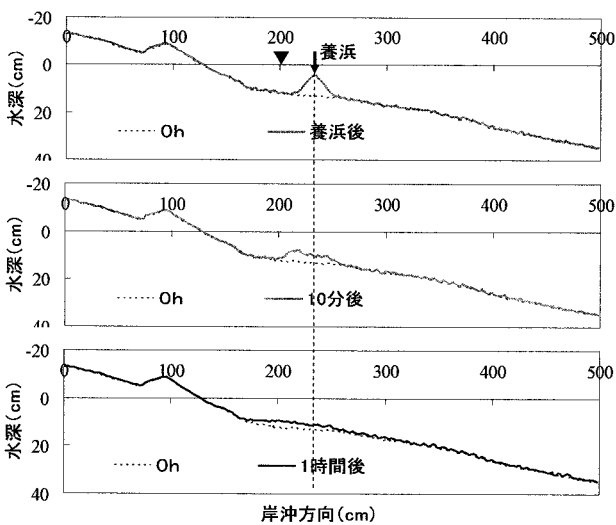


図-7(a) 堆積型波における沖側養浜後の地形変化 (不規則波)

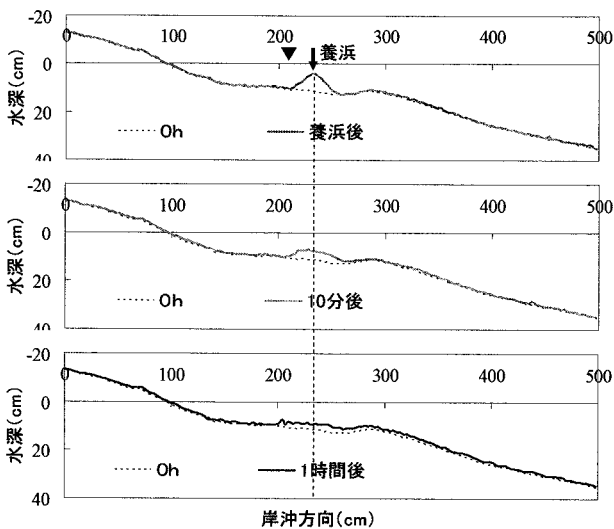


図-7(b) 侵食型波における沖側養浜後の地形変化 (不規則波)

つぎに、養浜土砂の移動方向をより正確に判別するために、地形変化から養浜土砂の重心位置を求め、その移動方向および移動速度を算定した。一般に、平衡断面では、砂の移動は動的平衡にあるが、その地形に土砂を投入すると、養浜土砂は新たな平衡地形を形成する様に移動すると考えられる。このため、10 時間後の平衡断面地形と養浜後の断面地形を比較し、面積モーメントより重心位置を決定し、重心位置が移動する速度を養浜土砂の平均的な移動速度とした。規則波作用時の移動速度と不規則波作用時のその時間的変化を図-8 および 9 に示す。図-8(a) は規則波作用下における平衡断面において碎波点より岸側に養浜した場合の移動速度を示している。移動速度は時間の経過とともに減少し平衡状態を示している。図-8(b) は、同様の条件下で沖側に養浜した場合の移動速度の時間的変化を示している。これにより、碎波点岸側に養浜した場合と比べると移動速度が大きく、徐々に減少する時間が長い。同様、図-9 より、不規則波についても、岸沖を繰り返しながら、その移動速度は 0 に収束している。また、規則波および不規則波ともに、侵食型において、養浜土砂の移動方向は沖向きであり、それ以外では養浜土砂は岸側に移動している。また、投入した土砂は 1 時間程度ではほぼ移動しなくなることがわかる。

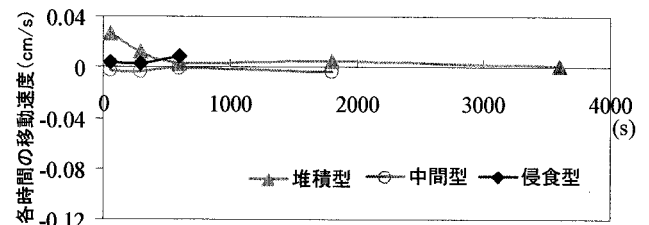


図-8(a) 土砂の移動速度 (規則波: 岸側養浜)

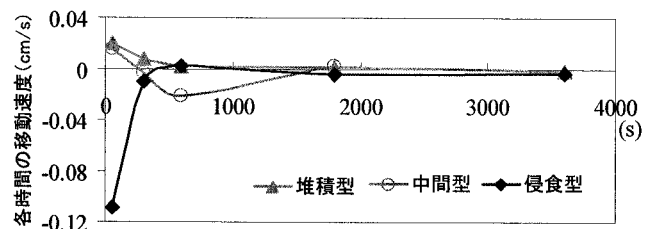


図-8(b) 土砂の移動速度 (規則波: 沖側養浜)

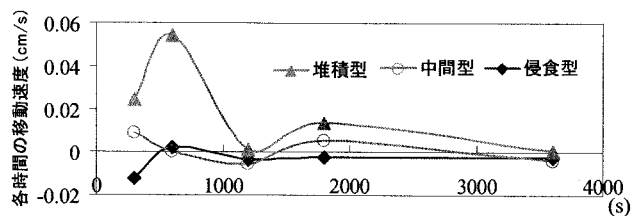


図-9(a) 土砂の移動速度 (不規則波: 岸側養浜)

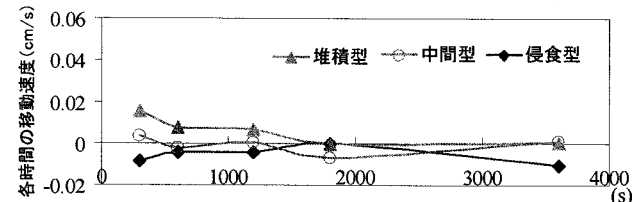


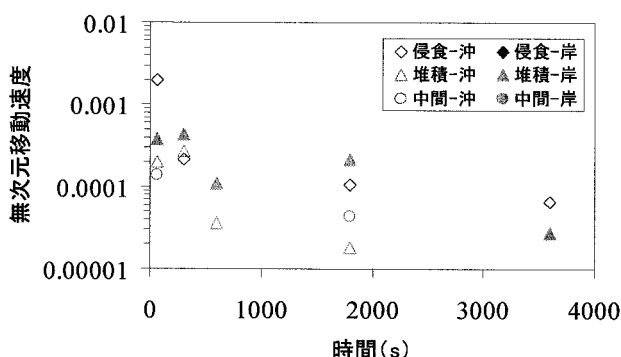
図-9(b) 土砂の移動速度 (不規則波: 沖側養浜)

さらに、土砂の移動速度と波浪特性との関係を調べるために、底面水粒子速度の最大値と重心移動速度との比の時間的変化を図-10にそれぞれ示す。底面水粒速度の最大値は以下で与えた。

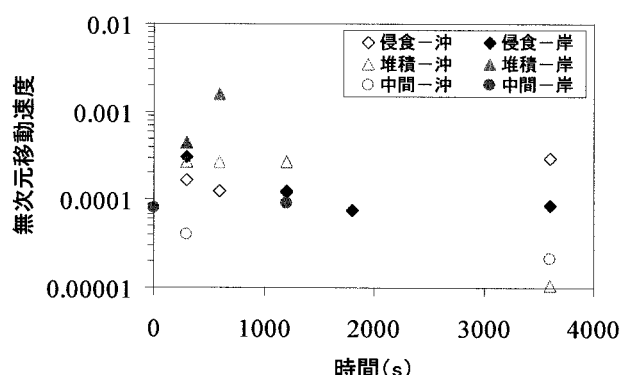
$$U = \frac{\pi H_{sh}}{T_s} \frac{1}{\sinh kh} \quad (2)$$

ここに、 H_{sh} は水深 h に対する有義波高、 T_s は有義波周期、 k は波数である。

図-10の縦軸は、重心の移動速度を底面水粒子速度の最大値で除した無次元移動速度を表している。養浜土砂は規則波、不規則波ともに底面水粒子速度の最大値の $0.00001 \sim 0.0005$ 倍程度のオーダーの速度で動いていることがわかる。また、規則波では無次元移動速度は時間とともに低減するが、不規則波に対しては、低減傾向は見られるものの必ずしも明らかではない。現地海岸においては、穏やかな波浪下では投入土砂はあまり移動せず、台風時などの高波浪時に土砂が動くと考えられる。本実験においても、投入土砂された土砂は多少移流するものの、実験条件の波浪では大きな移動が起こらなかった。



(a) 規則波



(b) 不規則波

図-10 養浜土砂の移動速度と波浪特性との関係

(2) 季節変化の再現に関する検討

日本海側の自然海岸では、人為的外乱が加えられ

ない限り、秋から冬にかけて侵食、春から夏にかけて堆積という季節変化を繰り返す傾向にある。そこで、侵食型の波浪で平衡断面を形成させた後、堆積型の波浪条件に変えた際の海浜断面地形変化の回復過程について実験を行なった。この時、養浜砂の投入の有無によって生じる地形変化の差異についても検討する。

侵食型の波浪で平衡断面を形成した後、堆積型の波浪を作用させ、その後の地形変化を計測した。養浜の有無による地形変化の違いを検討するため、養浜を行なう場合は堆積型の波浪を作用させる前に土砂投入を行うものとする。また、ここでは不規則波のみを対象波浪とした。

養浜の有無の違いによる地形変化を図-11(a), (b)に示す。図-11(a)より、養浜を行なった場合、養浜直後から養浜土砂は岸側に移動し、沿岸砂州も岸側に移動している。また、堆積型の波浪を作用させているため、汀線の前進も確認することができる。図-11(b)の養浜を行なわなかった場合についても、沿岸砂州の岸側への移動および汀線の前進が確認できる。どちらも、波の作用時間に対する汀線前進量に違いがみられた。図-12は汀線前進量の時間的変化を示したものである。波作用直後では養浜を行なわない方が、汀線前進量が多いが、3時間を経過したあたりから、急速に汀線が前進している様子がわかる。これは、土砂投入により地形が変化したことにより碎波点が変わったことが関係していると考えられる。また、平均的な碎波点については、養浜時の方がより沖側となることが観察された。

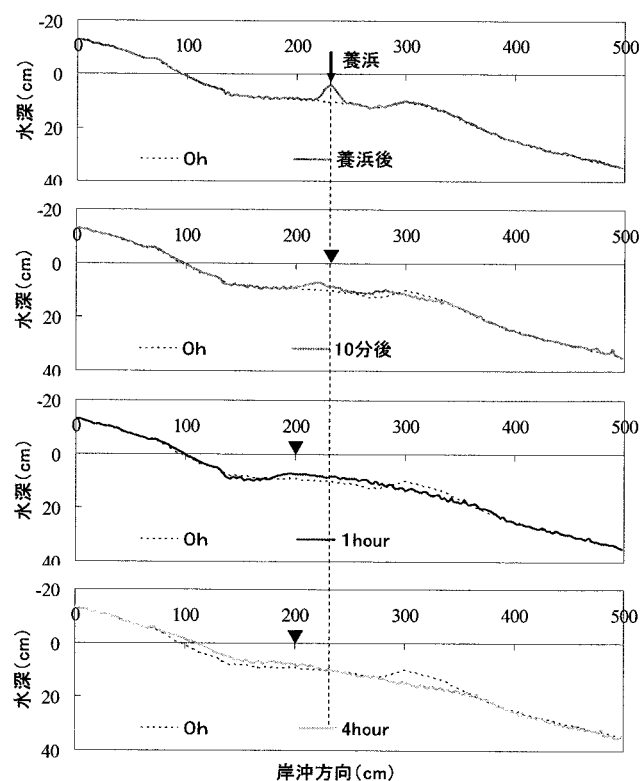


図-11(a) 養浜の有無による地形変化（養浜あり）

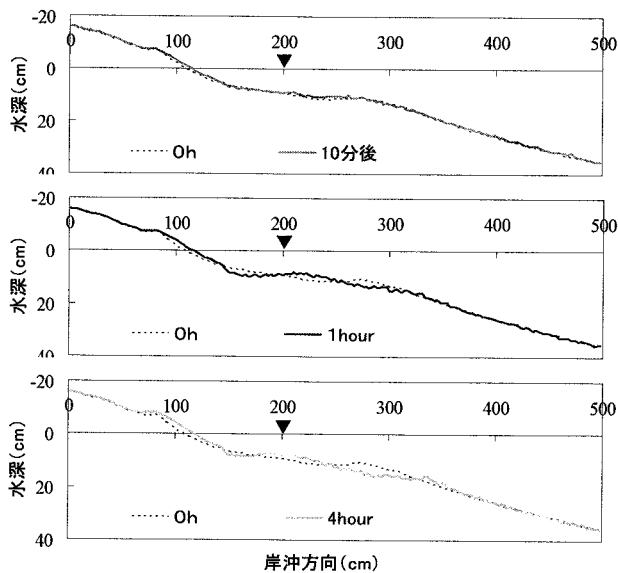


図-11(b) 養浜の有無による地形変化 (養浜なし)

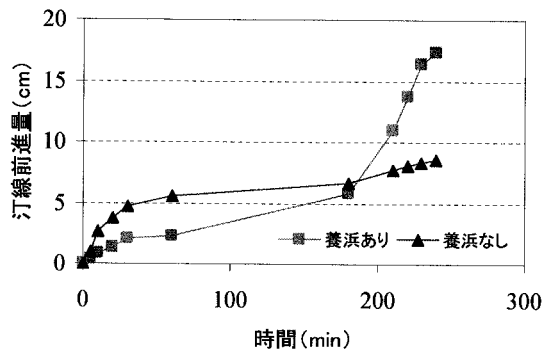


図-12 汀線変化量の時間的变化

4. おわりに

本研究では、養浜土砂の移動と波浪特性との関係

を把握するため、2次元波動水槽を用いて室内実験を行なった。その結果を以下に示す。

- (1) 養浜土砂の移動速度は底面水粒子速度の最大値を用いて推定可能であり、波浪特性と関係づけることができた。また、その移動速度は底面水粒子速度の最大値の $0.00001 \sim 0.0005$ 倍程度のオーダーの速度であった。
- (2) 侵食型の断面地形に養浜を行い、堆積型の波の作用があれば、保全効果がより顕著に表れる。

謝辞：本実験を行なうにあたっては、鳥取大学海岸工学研究室の皆様にご多大なるご尽力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 澁谷容子, 黒岩正光, 松原雄平: 養浜土砂の移流拡散を考慮した汀線変化予測モデルに関する研究, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp. 646-650, 2007.
- 2) 澁谷容子, 黒岩正光, 松原雄平: 養浜土砂の移流拡散を考慮した等深線変化予測モデルに関する研究, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp. 761-765, 2008.
- 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) 田中博通, 宮崎由成, 橋本武典, 一願稔, 亀田満, 兼藤剛: 人工海浜における養浜砂の安定性評価, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp. 1255-1260, 2008.
- 6) 砂村継夫: 自然海浜における汀線位置の時間的变化に関する予測モデル, 第 27 回海岸工学論文集, pp. 225-259, 1980.