

富士海岸における養浜砂の波による 沖方向の移動実験

—養浜砂の埋没—

A LABORATORY EXPERIMENT ON-OFFSHORE MOVEMENT OF NOURISHMENT SAND DUE TO
WAVES IN FUJI COAST,
—SETTLING UNDER-SEABED OF NOURISHMENT SAND—

伊藤政博¹・大江謹司²・小島和也³・山下隆男⁴

Masahiro ITO, Kinji OOE, Kazuya KOJIMA, Takao YAMASHITA

1 正会員 工博 名城大学教授 理工学部環境創造学科(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501)

2 (株)いけうち (〒550-0011 大阪市西区阿波座1-15-15)

3 大啓建設(株) (〒460-0071 豊田市東梅坪町10-3-3)

4 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

A two-dimensional laboratory experiment was conducted to investigate the movement on the nourishment-gravel composed of sand, gravel and cobble due to huge waves. As the experimental site, the on-offshore beach profile in the surveying point No.47 in the east side of Showa-hosuiro in the Fuji coast is selected. The experimental scale of horizontal and vertical lengths, and wave conditions are adopted the Froude law. The scale of sand grain size is decided by considering the similitude law of beach profile change, and similitude laws obtained the investigation results on the two-dimensional beach profile and on-offshore sand movement by waves.

In the experiment, waves in a storm event is operated for the beach model of 1/40-scale. The movements of beach sand and nourishment-gravel, and settling under the seabed of nourishment-gravel are measured by using experimental tools of beach profiler, boring cone for taking the sample from the sub-seabed layer, and digital camera. By the arrangement of measured experimental data, it is seen that the nourishment-gravel moves rapidly into the surf zone within 30 minutes after wave operation; and after 1 hour wave operation the moved nourishment-gravel is gradually buried under the seabed by the sedimentation of moved beach sand.

Key Words: Nourishment-gravel, on-offshore movement of nourishment-gravel, Fuji coast, settling under seabed of nourishment-gravel, laboratory experiment

1. はじめに

地域の住民に利用され親しまれ、なおかつ自然の環境および景観などに配慮した砂浜の創造が、計画され、各地で行われている。富士海岸では、田子の浦港の建設以降、昭和35(1960)年頃より田子の浦港の東側へも侵食が拡がってきている。この侵食域は、現在では河口から東側12kmの測点No.40あたりまで拡がっている。その原因として、河口から周辺海岸に排出される流送土砂の減少および田子の浦港の建設に伴う防波堤による沿岸漂砂の防止が挙げられよう。なかでも図-1に示す昭和放水路の東側の砂浜(測点No.47)では、台風による高波浪によって平成8(1996)年8月の台風12号の高浪によって著しい侵食が発生し、海岸堤防近くまで汀線が後退した。この復旧対策として、三重県の鳥羽、静岡県の宇久須および富士山麓の大沢扇状地の砂防ダムに堆積した土砂を運んで、消波ブロックと養浜

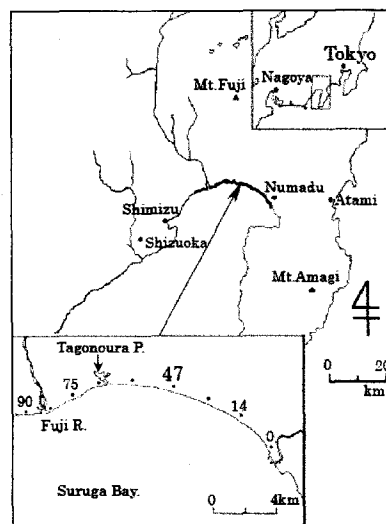
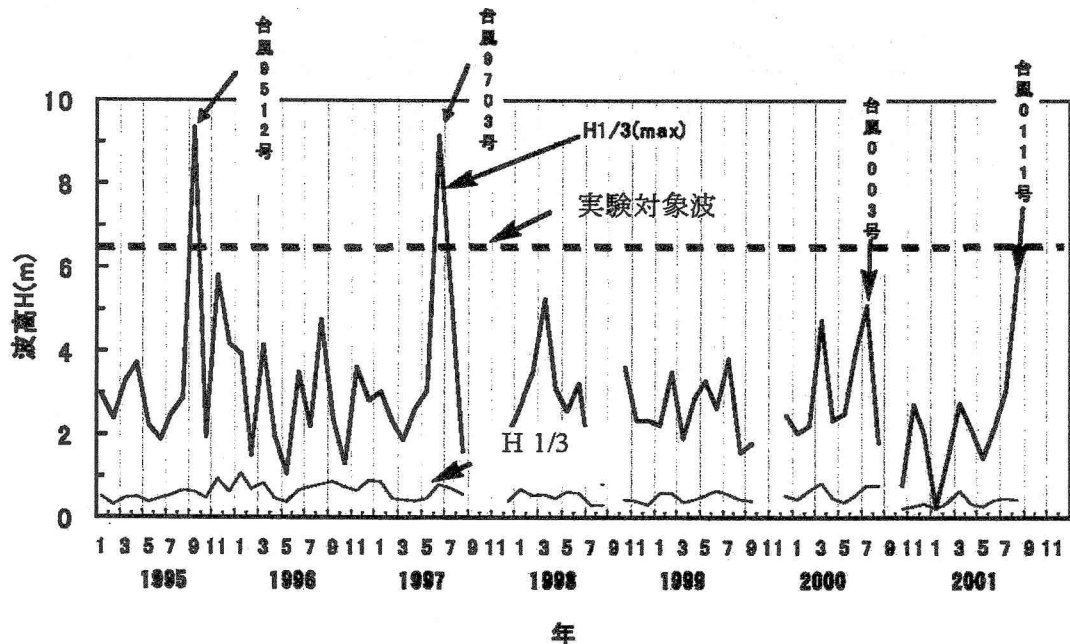


図-1 富士海岸



図一2 富士海岸における入射波の経年変化と模型実験で用いる波高(図中の破線)

を組み合わせた海岸侵食対策が行われている。この養浜は、高波浪によって侵食後退した砂浜を回復させるとともに下手側への漂砂源の役割も兼ねたものである。

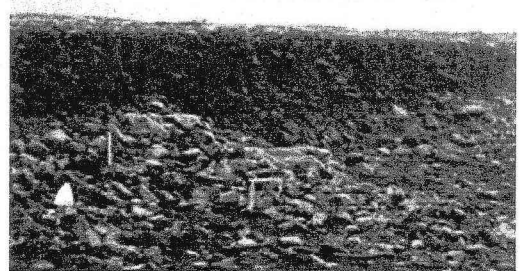
平成 15(2003)年 11 月に筆者らは、この養浜箇所を踏査した折りに、高波浪によって養浜土砂が相当の量が移動して生じた高さ 2～3m の浜崖を汀線近くに見た(写真一)。さらに養浜箇所から東側 6km の測点 No.44 の汀線付近に、養浜土砂特有の赤みを帯びた砂利(20～30mm)の混入が見られた。

高波浪によって侵食された養浜土砂は、どこへどのように移動するかについては、最適な養浜を検討するためにも十分な調査と研究が必要である。

一方、山下ら²⁾は、高知県の仁淀川河口部海岸および新潟県大潟海岸の碎波点沖の海底で、海底砂の下層 1～2m に 1m 程の砂礫層が存在していることをボーリング調査結果から指摘している。その原因として、高波浪時に前浜の粗粒砂が碎波帯を通過して沖に運ばれ、海底下に残された履歴であるとしている。

侵食された海岸を修復復元する方法として、現地海岸の底質より粗粒の土砂で養浜砂する場合、台風時などの高波浪による養浜土砂の沖および沿岸方向への移動散乱と、その後の平穏波による海底砂の移動については、まだ十分な調査研究が行われていない。本研究では、その第一歩として、富士海岸でここ数年前から養浜が行われている昭和放水路の東側の測点 No.47 付近に注目して、現地海浜砂より粒径の粗い砂を養浜として投入した場合、高波浪によって沖方向にどのように移動散乱し、さらには海底面下へ沈下埋没するかについて実験的に検討する。

2. 富士海岸の波浪と養浜



写真一1 高波による養浜砂の侵食

富士海岸は、図一2に示すように有義波の最大波高 4～10m の波が台風時および低気圧の通過に伴って来襲している。高波浪によって侵食する汀線を修復するために、これまで富士河口から東方向にむけて、富士および吉原工区で養浜が徐々に実施されている。測点 No.47 付近では、平成 6(1998)年以降、毎年約 10 万 m^3 の養浜土砂が投入されている。投入土砂は中央粒径 25mm 前後の幅広い粒径分布である。

3. 模型実験

(1) 移動床模型の相似則

波による養浜土砂の散乱移動を調べるために、二次元移動床模型実験を行うことにする。そのためには、現地の現象を相似にしなければならない。そこで、伊藤ら³⁾の海浜変形の相似則、堀川・砂村・近藤⁴⁾の海浜断面タイプの判別図、および Dean⁵⁾の海浜断面および岸沖漂砂移動の判別式に基づいて相似則を求める。

模型実験に水平・鉛直縮尺に歪みを入れないで、波に関わる縮尺は Froude の相似則を適用し、底質砂は現地海岸と同じ比重の砂を用いる。縮尺の表示として、底質粒径の縮尺は $\lambda_d = d_m/d_p$ (模型の底質砂の粒径; d_m , 現地海岸の粒径; d_p)、沖波波高の縮尺は λ_{H_0} 、初期浜勾配の縮尺は $\lambda_{tan\beta}$ 、重力加速度の縮尺は λ_g 、底質の沈降速度の縮尺は λ_ω 、沖波波高、沖波波長および波長の縮尺はそれぞれ λ_{H_0} 、 λ_{L_0} 、 λ_L 、および水平・鉛直縮尺は $\lambda = 1/n$ ($=\lambda_{H_0}=\lambda_{L_0}=\lambda_L$) で表示する。粒径に関する代表的な相似則としては、次の式があげられる。

伊藤・土屋の相似則は、

$$\lambda_d = (1/1.7)\lambda_{H_0}^{0.2} = 0.59n^{-0.2} \quad (1)$$

堀川・砂村・近藤の判定図に基づく相似則は、

$$(4/9)\lambda_d^{0.67}\lambda_{H_0}^{-1}\lambda_L^{0.33}\lambda_{tan\beta}^{-0.27} = 1$$

$$\lambda_d = 1.72/n \quad (2)$$

Dean⁵⁾の海岸断面および岸沖漂砂移動の判別式による相似則は、

$$\lambda_\omega \lambda_{H_0}^{-1} \lambda_{L_0}^{1/2} \lambda_g^{-1/2} = 1$$

$$\lambda_\omega = \lambda_{H_0}^{1/2} \quad (3)$$

ここで、 ω は底質の沈降速度である。 $d=1.1 \sim 5.8\text{mm}$ の場合には Ka'rma'n ($Re=300 \sim 3200$) の式を用いての間系を求めると、 $\lambda_\omega = \lambda_d^{2/3}$ 、同様に $d=5.8\text{mm}$ 以上の場合は、Newton ($Re=3200 \sim 10000$) の式を用いると、 $\lambda_\omega = \lambda_d^{1/2}$ である。従って、現地の粒径が $d_p=1.1 \sim 5.8\text{mm}$ の場合

$$\lambda_d = n^{-3/4} \quad (4)$$

$d_p=5.8\text{mm}$ 以上

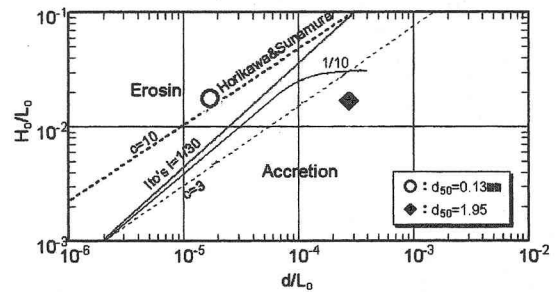
$$\lambda_d = n^{-1} \quad (5)$$

上式(4)は、海岸の底質に対して、また式(5)は養浜砂に適用する。

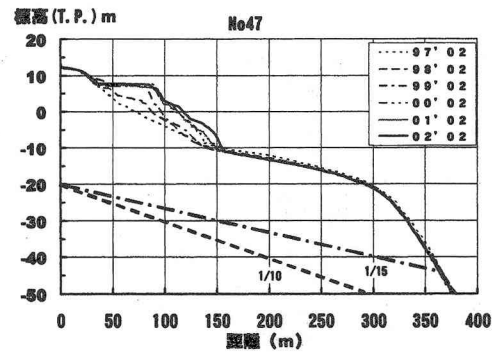
また、実験波は現地の有義波高の最大値を Froude 則に従って定めた。同様、波の作用時間の縮尺についても Froude の時間縮尺が適用できるものとした。以上の相似則、模型実験に使用した比較的均一な底質と養浜砂の粒径、および規則波の波高と周期の一覧が表一にまとめている。現地海岸では沖方向に底質の粒径が変化しているが、模型実験に使用した底質と養浜土砂は、比較的粒径の均一な砂を使用した。また、現地波浪の経年月の変化は、図一2に示すようにならかなり変動している。特に、平成7(1995)と9(1997)年には大きな高波浪が来襲している。実験にはこのような高波浪の来襲も考慮

表一 各相似性則による底質の粒径縮尺と模型実験に使用する粒径

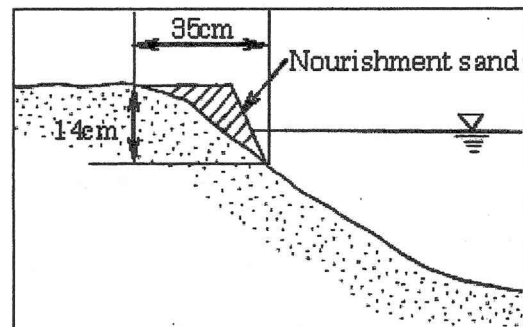
	富士海岸	縮尺 $=1/n$	縮尺	備考 (相似則)			
				伊藤・土屋	堀川・砂村・近藤	Dean1	Dean2
				$\lambda_d = 1/3.54$	$\lambda_d = 1/23.25$	$\lambda_d = 1/15.91$	$\lambda_d = 1/40$
底質 粒径	水深 (m)	d_{50} (mm)		d_{50} (mm)	d_{50} (mm)	d_{50} (mm)	d_{50} (mm)
	0	2.5		0.71	0.11	0.16	
	-4	3.9		1.10	0.17	0.25	
	-10	1.2		0.34	0.05	0.08	
養浜 砂	-30	2.5		0.71	0.11	0.16	
		25	1/40	1.95			
波	H(cm)	624		15.6			
	T(sec)	13.91		2.2			
Froude則							



図一3 汀線の前進後退の限界と海岸断面タイプの判別



図一4 測点 No.47 の海岸断面形状



図一5 実験における養浜砂の投入

に入れて波高と周期を設定し、規則波を用いることにした。この図には実験波高と現地波との対応を示すために、破線が示してある。この図からもわかるように、波の条件は、高波浪に対応していることがわかる。

二次元海浜変形について、伊藤ら⁶⁾による汀線の前進後退の限界曲線と堀川らによる海浜断面タイプの判別を併せて図-3に示してある。この図中には実験で用いる波と底質砂の関係が“○”印で、また養浜砂については“◆”印で示してある。この図によると、実験に用いる底質砂は、汀線が後退するbar型海浜断面に、また模型の養浜砂はstep型海浜で、沖への移動が起こりにくいことになる。

(2) 実験方法と測定

図-4には、養浜が行われている測点 No.47 の海岸断面が示してある。この図中には、参照のために1/10と1/15の勾配が破線と一点鎖線で海岸断面勾配の程度を知るために描いた。海底断面の模型は、平成9(1996)年の沖300mまで区間の海浜断面を縮尺1/40で、 $d_{50}=0.13\text{ mm}$ の珪砂を用いて造波水槽内に作成した。静水時の汀線に、富士海岸から採取した黒砂をふるい分けした $d_{50}=1.95\text{ mm}$ の養浜砂を図-5のように8 kg投入した。一様水深部は60 cm

とし、波高 $H=15.6\text{ cm}$ 、周期 $T=2.5\text{ sec}$ の規則波を12時間作用させた。測定は造波開始後1, 2, 4, 10, 20, 30, 60mins, 2, 4, 6, 12hrsに造波を止め、海浜断面形状、碎波点および波の遡上点などを測定した。さらに、養浜砂が海底面上を沖の方へどのように移動し散乱するかを詳しく調べるために、適宜デジタルカメラで撮影した。

4. 海浜変形に伴う養浜砂の移動

(1) 解析方法と結果

波による養浜砂(黒砂)の移動散乱を量的に表わすために、造波水槽の真上からデジタルカメラで撮影した画像をWin ROOF Ver.3.21を用いて画像処理した。画像処理結果に基づいて図-6には岸側2.6m～初期汀線～沖2.3mの区間について、養浜砂が波の作用開始後24時間までの間、移動散乱する様子が示してある。この図から、養浜砂は、波の作用開始後急激に移動し始め、碎波帯内で散乱する様子がよくわかる。特に、波の作用が30min～60minまでは、養浜砂の移動散乱が確認されるが、これ以後になると養浜砂の散乱が確認できなくなってしまう

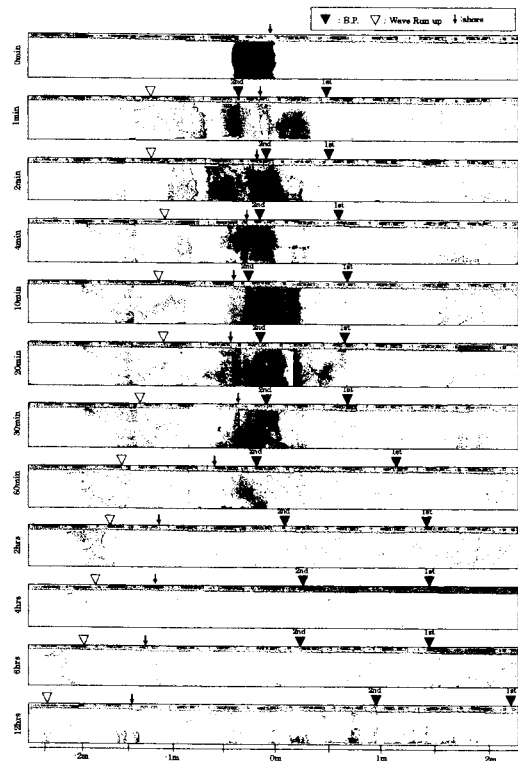


図-6 養浜砂の岸2.6m～初期汀線～沖2.3m区間における移動散乱(↓:汀線位置, ∇:波の波の遡上点, ▼:碎波点)

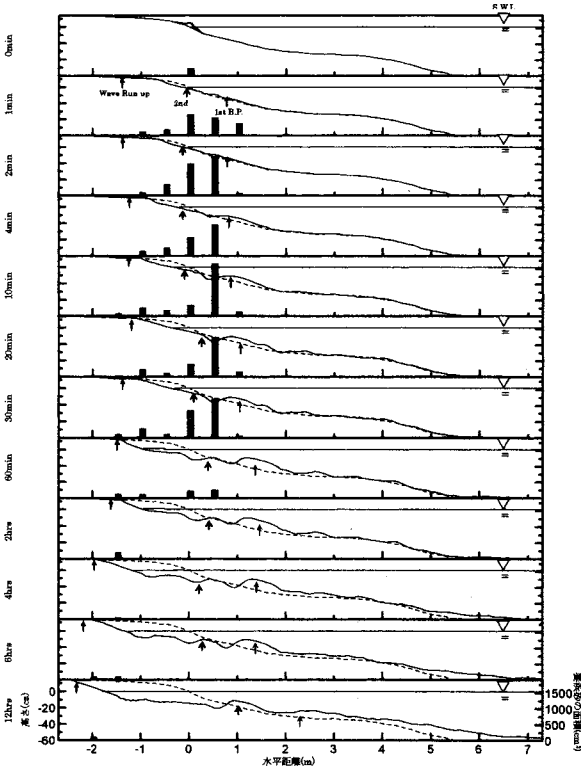


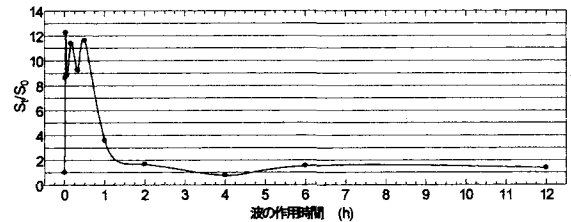
図-7 養浜砂の移動散乱量と海浜変形(↑:波の遡上点, 碎波点)

ことは、興味のあるところである。これは、養浜砂の上に細かい粒径の海浜砂が覆い被さることが考えられる。実験波の作用 0.5 および 1 時間は、Froude 時間縮尺によれば、現地海岸の波の作用時間は 3.2 および 6.3 時間に対応する。

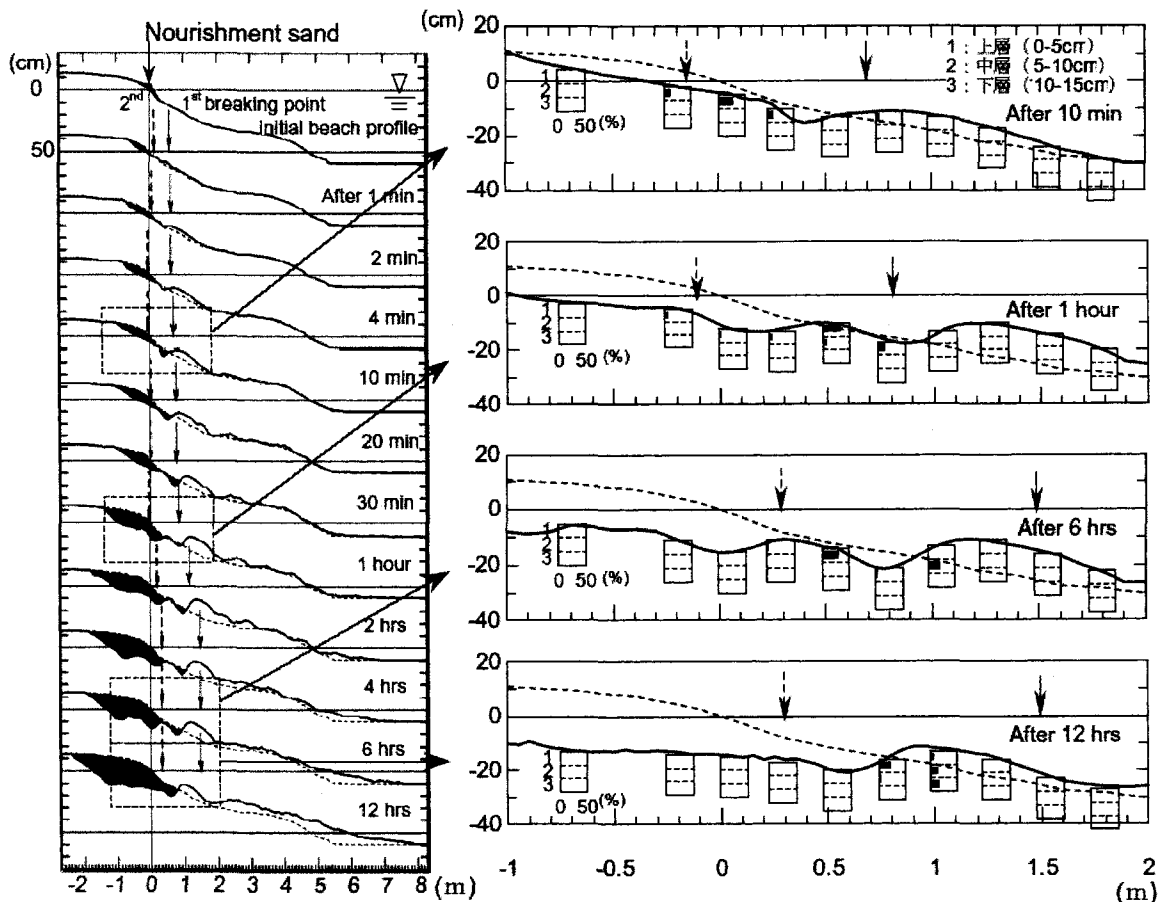
さらに、養浜砂の移動散乱量として、海底砂面上の養浜砂(黒砂)のみの面積を画像処理ソフトで求めた。面積の算出範囲は、岸から沖方向へ 50 cm 間隔に区切って、海底面上の養浜砂の面積を求めた。このように求めた養浜砂の移動散乱量が海浜断面の変形と対応させて整理し、図一 7 に示してある。この図から、汀線に投入した養浜砂は、波の作用 2min ほどで急激に移動散乱し、30min までは第 1 と 2 砕波点の間で移動散乱量が最大になる分布をし、これ以降、波の作用 60min になると、その量は図一 6 で示されるように、かなり少なくなる。図一 7 に砕波点より沖側は表示していないが、砕波点より沖側への養浜砂の移動がかなりある。海底面上の養浜砂の移動散乱は、波の作用に伴って 30min までは

増加し、これ以降 60min から 2hrs にかけて急激に減少している。

波の作用に伴う養浜砂の移動散乱を量的に調べる。そのために、養浜砂を最初に投入した状態を真上から見たときの養浜砂の投影面積を S_0 とし、波の作用に伴って移動散乱した投影面積を S_t とし、養浜砂の相対的な移動散乱 S_t/S_0 で表した結果が、図一 8 にまとめてある。この図から、波の作用に伴う養浜砂の移動散乱の状態がよくわかる。つまり、波



図一 8 波の作用時間と養浜砂の移動散乱



図一 9 海浜の変形

図一 10 養浜砂の移動と埋没

の作用から 30min までは急激な移動散乱が見られるが、これ以降急激に St/So の値は少なくなっている。このことは、養浜砂の海底面下への埋没によるものである。

5. 養浜砂の埋没

図-8 で示したように、養浜砂は高波浪によって初期の段階では急激に移動散乱し、30min 以後になると海底面上から徐々に見えなくなってしまう。これは、養浜砂が海底面下へ埋没、すなわち養浜砂の上に細かい海底砂が堆積し覆い被さるものと推定される。この現象を実験的に詳しく調べる。そのため、図-9 に示した波の作用に伴う海浜断面形状の変化で、特に波の作用 10min, 1, 6, 12hrs において、初期汀線を基準に -1m から 2m までの区間で、海底面から直径 1.5cm のアクリルパイプを深さ 15cm まで差し込んで、砂のコアを取り出した。それぞれ上層、中層、下層の 5cm ずつに分けて、海底砂の中に含まれている養浜砂の重量パーセントを求めた。このように初期汀線を基準に -1m から 2m までの区間における養浜砂の埋没状況が図-10 に整理してある。この図によると、10min では、養浜砂が海底面に移動散乱しており、海底面下へはほとんど埋没していない。しかし、波の作用に伴って、侵食された前浜部の海浜砂が沖に移動しながら移動散乱した養浜砂の上に堆積し、覆い被さり、結果的には養浜砂が海底面下へ埋没して行く状況がわかる。なかでも 6 から 12hrs にかけて 0.5~1.1m 付近で、養浜砂の鉛直方向へ埋没が見られる。これは、6hrs の時点で 0.5m 地点の海底面表層にあった養浜砂が、12hrs には沖側 1m 地点に移動し、その後海浜砂が養浜砂の上に覆い被さり、結果的に埋没したことがわかる。

このように養浜砂の移動は、相対的に細粒の海浜砂の移動と碎波の影響を強く受けることがわかる。

6. まとめ

下手側への漂砂の供給としての役割も兼ねて、平均粒径が粗く、かつかなり幅広い粒度構成の土砂を用いて行われた養浜が、高波浪によって汀線付近が相当侵食された形跡(浜がけ)が現地海岸で見られた。この養浜砂がどのように岸沖方向の移動散乱しているかについて詳しく調べるために、2次元的な実験を行った、その結果次のこと明らかになった。

- (1) 粗粒の養浜砂は波の作用によって急激に碎波帯あるいはこれより沖に移動散乱する。
- (2) 移動散乱した粗粒の養浜砂の上に海浜砂が移動堆積し、養浜砂は相対的に埋没する。
- (3) 養浜砂が埋没する場所は、海浜砂が堆積する碎波帯内の bar である。

参考文献

- 1) 伊藤政博・成川幸宏・伊藤仁士：侵食・堆積域の伝播に対する構造物の阻止効果—富士海岸を対象にして—，土木学会海岸工学論文集，第45巻，pp.651-655, 1998.
- 2) 山下隆男・伊藤政博：河口海岸の変形特性と侵食対策への提言，海洋，流域・河口海岸系における物質輸送と環境・防災，月刊海洋，通巻405号，Vol.36, No.3, pp.224-230, 2004.
- 3) 伊藤政博・土屋義人：二次元海浜変形の相似則について，土木学会論集Ⅱ，No.357/Ⅱ-3, pp.177-186, 1985.
- 4) 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右：波による二次元海浜変形に関する実験的研究，第21回海岸工学講演会論文集，pp.193-199, 1974.
- 5) Dean, R. G. :Heuristic models of sand transport in the surf zone, Proc. Conf. Eng. Dyn. in Surf Zone, pp.208-214, 1973.
- 6) 伊藤政博・土屋義人：重回帰分析による二次元海浜変形実験における汀線移動量の表示について，土木学会論文報告集，第321号，pp.91-101, 1982.