

富士海岸における礫養浜の現地実験

宮田年耕* ・ 宇多高明**・ 高垣美好***
森岡泰裕****・ 五十嵐竜行*****

1. ま え が き

一般に、各地で行われている養浜では、材料として細砂が用いられている。一方、礫浜は優れた消波効果をもつことから、最近では礫による養浜も試みられるようになった。実例としては、青森海岸（村岡ほか，1990）や、東播海岸の西島地区（門松ほか，1991）での現地実験があげられる。ところで、駿河湾内に位置する富士海岸の吉原地区では、田子の浦港の防波堤によって沿岸漂砂が阻止されたために近年侵食が進んできており、その対策として消波堤が設置された。しかし、これらの消波堤は沈下散乱が著しい（河野ほか，1985）。このため消波堤の沈下・散乱をわずかでも防ぎ、前浜を広げることで越波防止を図るため、上述の例と同様、富士海岸においても試験的な礫養浜が計画された。しかしながら、細砂による養浜と比較して、礫養浜を行った場合の礫の挙動については十分明らかではないのが現状である。そこで本研究では富士海岸の現地実験を通じて、これらの問題点について検討することとした。

2. 礫養浜の現地実験

2.1 現地実験の概要

現地実験を行った富士海岸は、駿河湾の湾奥に位置する延長約 19 km の砂礫海岸である（図-1）。富士海岸は全体的に侵食傾向にあるが、特に近年では田子の浦港の東に隣接する吉原地区で侵食が著しい。このため田子の浦港から昭和放水路までの約 3 km 区間は消波堤によって守られているが、消波堤のブロック散乱が問題となっている（河野ほか，1985）。富士海岸では東向きの沿岸漂砂が卓越しており、昭和放水路付近における沿岸漂砂量は約 $12 \text{万 m}^3/\text{yr}$ と推定されている（河野ほか，1986）。養浜実験区域の海底地形を図-2 に示す。汀線から -10 m までは海底勾配が約 1/7 と急であるが、-10 ~ -20 m で

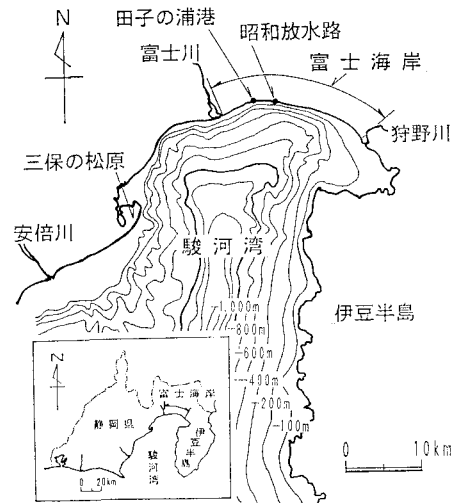


図-1 富士海岸の位置図

は約 1/10 とやや緩くなり、さらに -20 m 以深は約 1/3 と非常に急になる。この地区の海岸線は沿岸方向にほぼ直線的であり、また浅海域の等深線は海岸線にほぼ平行に走っている。養浜は、図-2 に示す通り昭和放水路の東側の No. 48 付近と、消波工設置区域内の No. 58 付近の 2 ケ所において 1988 年と 1989 年に行われ、各年とも約 1万 m^3 (No. 48), 約 2万 m^3 (No. 58) の礫が投入された。

土砂投入後、深浅測量や底質調査をくり返して行くと

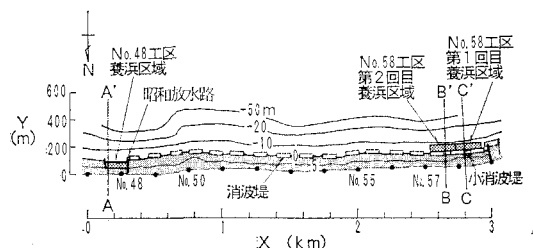


図-2 調査区域と養浜箇所

* 建設省中部地建沼津工事事務所長
** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
*** 建設省中部地建沼津工事事務所副所長
**** 建設省中部地建沼津工事事務所
***** 建設省土木研究所海岸研究室
部外研究員（株）INA

ともに、礫の拡がり範囲の外縁調査や着色礫の拡散状況調査を実施した。図-2 には以下で断面比較を行う3測線(A-A', B-B', C-C')の位置も示した。図-3 には、礫の投入時期と田子の浦港沖で観測された2 m以上の有義波高の出現状況、および深浅測量と底質採取の実施日も示した。有義波高2 m以上の波は月に1~2回の割合で出現している。これらの中で、1989年10月29日の波は台風28号によるものであり、 $T_{1/3}=14.7$ s ($H_{1/3}=2.54$ m)と周期が長かった。また、調査期間中の最も波高の高い波は、1990年2月11日の $H_{1/3}=3.56$ m ($T_{1/3}=8.5$ s)の波である。

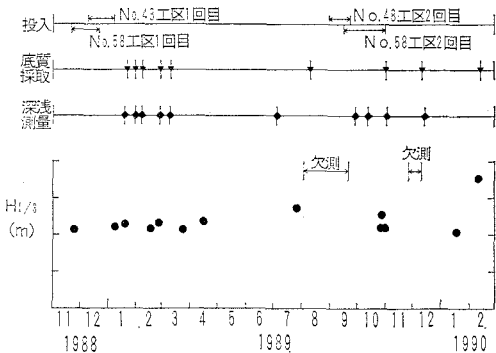


図-3 土砂投入、深浅測量および底質調査の実施時期と調査期間中の2 m以上の有義波高の出現状況

2.2 底質特性

No. 57における第1回養浜時における養浜材の粒径加積曲線を図-4に示す。粒径は5~200 mmの間に分布し、 d_{50} は33 mmである。図には、養浜完了後約1ヶ月の1989年1月19日において、C-C'断面の西25 mの水深4 m地点において採取された底質の粒径加積曲線を併せて示す。両者を比較すると、50 mm以下の細粒分が養浜後急速に失われたことが分かる。これは、後述するように50 mm以上の粒径は漂砂の下手(東)方向へ流出してしまい、養浜礫は投入点付近の前浜を広げ、養浜効果を創出するにはあまり役立たないことを意味する。そこでNo. 48における第1回養浜(1988年)では、 $d_{50}=70$ mmの礫を投入した。また、1989年には30~120 mmの粒径分布を持つ $d_{50}=101$ mmの礫(No. 48)と、60~120 mmの粒径分布を持つ $d_{50}=109$ mmの礫(No. 58)を投入した。

1989年1月22日~1990年2月13日の間に、B-B', C-C'断面の西25 mに設定された測線上において、延べ9回行われた底質採取のデータより、 d_{50} の水深分布を求めると図-5となる。図には礫投入前の1988年11月の底質中央粒径の分布も破線で示す、これによると、-5

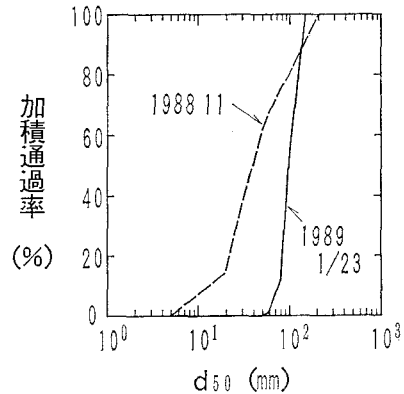


図-4 1988年1月養浜時の養浜材の粒度分布

m以浅では $d=100$ mmと調査期間を通じてほぼ一定であり、大粒径の礫が-5 m以浅に留まっていたことがわかる。また、-5~-10 mでは養浜前の分布に比べて現地実験中の d_{50} がやや大きくなっており、ほぼ-10 m以浅で大粒径の礫の移動が活発であった。さらに、-12 mを境にして $d_{50}=1$ mmと細粒となり、その変動も小さい。このように-12 m以深において d_{50} の特性が大きく変わることは、地形変化の限界水深がほぼ-12 mにあることを意味していると考えられる。そしてこの水深は、海浜断面形の変化より求められた地形変化の限界水深(河野ほか, 1986)とも対応する。

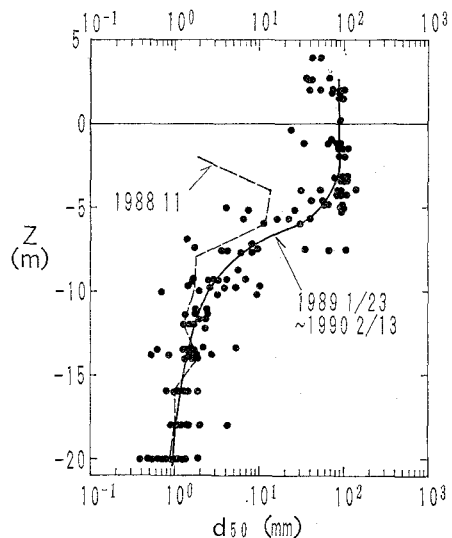


図-5 d_{50} の水深方向分布(養浜材の投入前と投入後)

2.3 海浜断面変化

養浜前の1988年10月の断面を基準として、養浜区域の海浜断面形の経時変化を調べてみる。まず、No. 48の東

75mに位置する A-A' 断面の変化を図-6に示す。1989年1月19日は第1回養浜より約2週間後の状況であり、 $Z=4\sim0$ m に投入された礫が小高い丘状に堆積している。2月27日には前浜が侵食され、 $Z=2\sim0$ m 区間が投入前の断面形にほぼ戻った。その後、7月5日までに後浜の一部を除き、前浜の大部分が侵食された。9月29日は第2回養浜後約1週間であって、 $Z=4\sim-3$ m では礫の投入により上に凸形の断面形となった。しかし、10月13日には養浜域の海側斜面が再び侵食され、そして1990年2月13日では高さ5mに至るバームが形成された。昭和放水路の東側にあって沿岸漂砂を阻止する構造物のない No. 48 付近では、 $Z=2$ m 以上に礫が残されたものの、これより海側に養浜された礫は次第に流出した。このときの前浜面積の減少割合は、1989年1月19日～7月5日で $0.10\text{ m}^2/\text{day}$ 、1989年9月29日～1990年2月13日で $0.09\text{ m}^2/\text{day}$ であった。

No. 58 の東100mに位置する B-B' 断面の経時変化を図-7に示す。ここは、第1回養浜区域の東側に位置する。そのため投入完了後約1ヶ月の1989年1月19日には養浜礫が堆積してバームが形成された。写真-1は、1988年12月26日撮影の海岸状況である。バームの形成状

況がよく表われている。2月27日にはバーム高は約3mに達した。その後、7月5日までバームはその高さが次第に高まった。この間、断面内でバームの堆積に見合う侵食が生じていないことから、この断面より西側に養浜された礫が沿岸漂砂によって浅海域を移動し、B-B' 断面の陸上部にうちあげられたことが明らかである。第2回養浜では、1989年9月16日～10月31日において $Z=0\sim-9$ m に $d_{50}\approx 109\text{ mm}$ の礫が投入された。その後、台風28号来襲後の11月3日には約6mに達する高いバームが形成された。このとき、養浜材は旧バームを乗り越え、新しいバームが成長した。バームのピーク位置はほぼ安定しているが、バーム前面から汀線付近までの $Z=2\sim-4$ m 区間で徐々に侵食が進行した。断面形の変化を見ると、バーム頂より海側は上方にやや凹形となりつつ侵食が進んだが、バーム背後の $Z=2$ m 以上の部分では変化が少ない。この断面は消波堤に挟まれているため、バームは高くかつ安定であった。

同様に C-C' 断面の経時変化を図-8に示す。C-C' 断面は消波工開口部に位置するものの、 $Y=80\sim 95$ m には小規模な消波工が設置されている。第1回養浜では $Z=0\sim-9$ m 区間に $d_{50}\approx 67\text{ mm}$ の礫が投入され

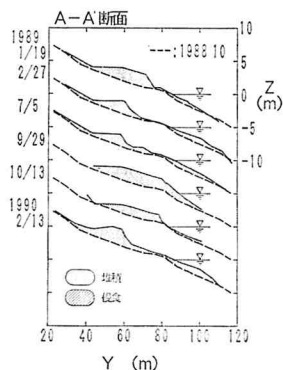


図-6 A-A' 断面の経時変化

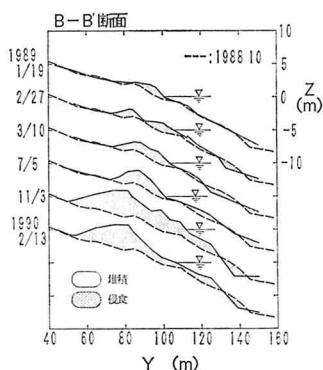


図-7 B-B' 断面の経時変化

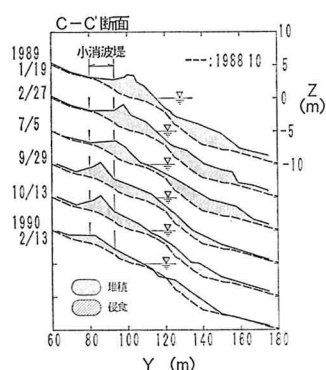


図-8 C-C' 断面の経時変化



写真-1 B-B' 断面付近における養浜材のうちあがり状況 (1988年12月26日撮影)

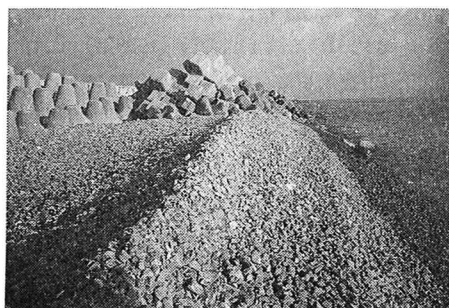


写真-2 C-C' 断面付近における養浜材のうちあがり状況 (1988年12月26日撮影)

た。投入完了後1ヶ月の1989年1月19日には、すでに $Z=0\sim-3\text{m}$ 区間の養浜材が陸上にうちあがり、高さ3.5mのバームが形成された。1988年12月26日撮影の写真1-2を見ても、すでにこの段階でバームが形成されていることが分かる。2月27日の断面形は1月19日の断面形とあまり変わらないが、7月5日にはバームが全体的に削られ、バーム高は約3mとなった。9月29日は2回目の養浜中であるが、バームは陸側に移動してピーク位置は消波工内へと移り、高さは約5mと高くなった。一方、 $Z=-2\sim-8\text{m}$ 区間では侵食が生じた。その後、1990年2月13日までは $Z=2\sim-2\text{m}$ 区間で徐々に侵食が生じ、断面内の土砂量が減少した。

2.4 礫の平面的拡がり

養浜材の平面的な流出状況を調べるために、養浜工の外縁として明瞭に見分けられる境界線の分布調査を1989年に実施した。調査結果を図-9 (No. 48)、図-10 (No. 59) に示す。外縁位置は目視により調べた。なお、海中調査にはダイバーを用いた。No. 48では、養浜区間で突出していた外縁部が汀線と平行に、東へと広がった。このことは、養浜礫は沖方向には移動せず、沿岸方向に急速に移動したことを意味する。No. 58においても、陸域を含む狭い帯状の区域において養浜礫は東へと広がった。また消波堤の開口部ではその背後に比べて大きく陸側へと礫が堆積していることがわかる。図-5 に示した d_{50} の水深方向分布と、図-6~8の断面変化を考慮すると、投入礫は沿岸方向に細長く、東へと流出したことが明らかである。

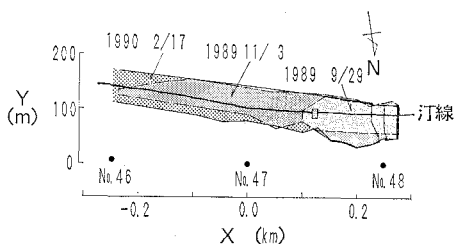


図-9 礫の存在範囲の外縁分布 (No. 48 付近)

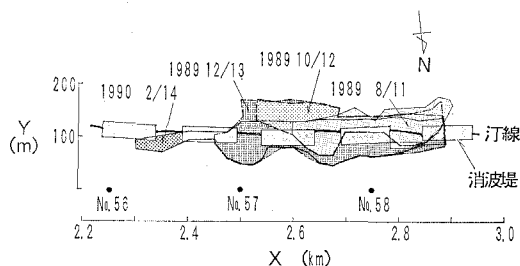


図-10 礫の存在範囲の外縁分布 (No. 58 付近)

1989年1月21日より3月11日までの間、 $d_{50}=37\text{mm}$ 、150mmの礫をそれぞれ赤、黄色に着色して1:1の割合で混合し、No. 48の汀線付近に投入して拡がり状況を調査した。現地調査では深さ0.2m、0.5m四方の範囲内における着色礫の発見個数を計測した。得られたトレーサの重心移動距離の変化を図-11に示す。トレーサの重心は時間とともに東へと移動し、2種類のトレーサとも移動速度は約4m/dayであった。また、1990年2月11日の高波浪時には、1日で約80m動いたトレーサも確認された。

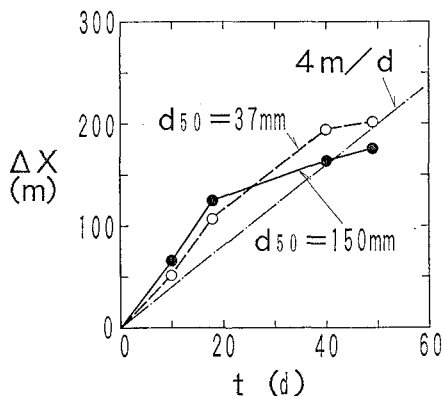


図-11 トレーサの重心点の移動

2.5 バーム高

バーム高の沿岸分布を図-12に示す。 $X=0\sim0.3\text{km}$ の区間では、バームはほぼ養浜区域でのみ形成されており、バーム高は4~5mではほぼ安定している。一方、 $X=2.2\sim3.0\text{km}$ の区間においては、特に養浜区域の開口部でバーム高が4~6mと高い傾向がある。これは、波の回折等により開口部で波が収斂し、波高が高まったためと考えられる。第1回の養浜区域の下手側隣接部の $X=2.6\sim2.7\text{km}$ では、1989年1月~3月の間に最高4mまでバームが成長した。これに対し、養浜区域の漂砂上手側に位置する $X=2.8\sim2.9\text{km}$ 付近では、1989年3月時に形成されていた約3.5mのバームが1989年7月には

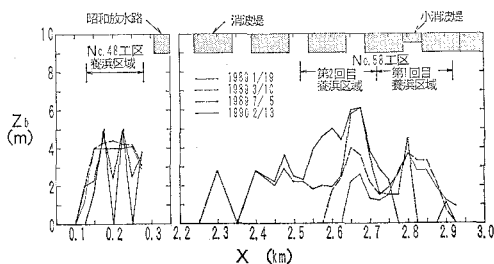


図-12 バーム高の沿岸分布

消失した。以上のことから、バームは投入礫が十分ある断面でのみ発達すること、すなわち礫の絶対量がバームの形成を大きく左右することがわかる。投入された礫は全体として沿岸方向に緩やかに移動しつつ、拡散するから、バームの形成される位置は東側と移りつつ、しかもバームは次第に形成されにくくなると言える。

2.6 バーム高算定式の適合性検討

ここでは、バーム高に関する種々の算定式の、礫海岸への適合性検討を試みる。比較的使用頻度の高いRector (1954)、砂村 (1975) および武田・砂村 (1982) の式を対象とする (表-1 参照)。計算値と観測値を表-2 に示す。実測値としては、各測量時の最高バーム高を読み取るとともに、バームの形成されている全測線のバーム高の平均値を求めた。波条件は、田子の浦港の観測値であり、各回の測量期間中の最大有義波を用いた。海底勾配には、 $-2 \sim -9\text{m}$ の平均勾配 $\tan \alpha = 1/6$ を使用した。また碎波波高 H_b は、Sunamura and Horikawa (1974) の式で与えた。実測値と計算値により誤差の自乗平均値を求めると、Rector、砂村、武田・砂村の順にそれぞれ 2.6 m, 1.6 m, 2.0 m となる。このことよりバーム高は砂村 (1975) の式が最も近い値を与えることがわかる。

さらに、前浜付近の海浜変形タイプを堀川ほか (1974)

の提案した C 値により検討した。バームが形成された区域で波高、周期、底質中央粒径および海底勾配をもとに次式より値を求め、結果を表-2 に示す。

$$C = (\tan \beta)^{0.27} (d_{50}/L_0)^{-0.67} (H_b/L_0) \dots\dots\dots (1)$$

表-2 に示すように $C=1.1 \sim 2.2$ となる。これは堀川らの海浜変形のタイプⅢに相当する値 ($C \leq 2$) を満足しているが、実測の断面形もタイプに分類された。このことは、 $d_{50} \approx 100\text{mm}$ と大粒径の礫の場合にも、堀川ほかのタイプ分類が十分適合することを示す。

3. 結 論

本研究の主要な成果は以下に要約される。

① 富士海岸の吉原地区での礫養浜の現地実験によると、粒径 50 mm 以上の投入礫は水深ほぼ 12m 以浅の領域を沿岸方向東向きに緩やかに移動し、それ以深への流出はほとんどなかった。養浜材は投入区域を含む漂砂の下手側区間にかなり長期間留まったことから、養浜効果を持つと言える。また、トレーサー調査によると礫の移動速度は平均で約 4 m/day であった。

② 観測されたバーム高は、砂村 (1975) の式による値と最も適合性が高かった。また、前浜の変形タイプは堀川らのタイプⅢ型であったが、これは C 値より判定されたタイプと一致し、礫海浜での海浜変形のタイプ分類に堀川らの式が適用可能であることが分かった。

参 考 文 献

- 門松 武・宇多高明・大杉広徳・伊藤弘之 (1991): 東播海岸の西島地区における礫養浜の現地実験, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 301-305.
- 河野 宏・宇多高明・藪崎義之・水野益宏 (1985): 離岸堤、消波堤の異形ブロックの散乱実態, 第32回海岸工学講演会論文集, pp. 475-479.
- 河野 宏・宇多高明・藪崎義之・水野益宏 (1986): 富士海岸の侵食実態と地形変化予測, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 287-291.
- 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋 (1975): 波による二次元汀線変化に関する一考察, 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 329-334.
- 村岡憲司・宇多高明・渥美雅裕 (1990): 青森海岸における礫養浜および礁石斜面の打ち上げ高・飛沫に関する現地実験, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 76-80.
- 武田一郎・砂村継夫 (1982): バームの形成条件と高さ, 地形, Vol. 3, No. 2, pp. 145-157.
- 砂村継夫 (1975): Static relationship among beach slope, sand size and wave parameters, 地理評, 第48巻, 第7号, pp. 485-489.
- Rector, R. L. (1954): Laboratory study on equilibrium profiles of beaches, B. E. B., Tech. Memo, No. 41.
- Sunamura, T. and Horikawa, K. (1974): Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th ICCE, ASCE, pp. 920-938.

表-1 バーム高を与える公式一覧

提 案 者	バーム高: Z_b (m)	
Rector (1954)	Z_b/L_0	
	≈ 0.024 ($H_b/L_0 \geq 0.018$)	
	$\approx 0.18 \left(\frac{H_b}{L_0} \right)^{0.5}$	($H_b/L_0 < 0.018$)
砂村 (1975)	$Z_b \approx 1.1 H_b$	
武田・砂村 (1982)	$Z_b \approx 0.125 H_b^{0.8} \cdot (gT^2)^{0.8}$	

(*) H_b : 沖波波高(m), L_0 : 沖波波長(m), T : 周期(s),
 d_{50} : 底質中央粒径(m), H_b : 碎波波高(m).

表-2 バーム高の実測値と計算値の比較

測量日	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	測位 (T.P. ± m)	バーム高 (T.P. + m)					C 値
				最大	平均	①	②	③	
'89 1/19	2.23	8.8	0.55	4.1	2.5	3.5	5.2	4.3	1.3
3/10	2.33	8.5	0.40	4.1	2.7	3.1	5.1	4.0	1.4
7/ 5	2.37	7.7	-0.27	4.4	2.8	2.0	4.3	3.0	1.5
11/ 3	2.54	14.7	0.19	4.4	2.9	5.5	6.8	7.0	1.1
12/15	1.91	5.5	0.32	6.1	3.5	1.5	3.6	2.4	1.5
'90 2/13	3.56	8.5	0.33	6.1	3.4	3.0	6.8	4.8	2.2

①: Rector (1954), ②: 砂村 (1975), ③: 武田・砂村 (1982)