

富士海岸における侵食対策としての動的養浜の効果

佐藤 慎司* ・山本 幸次** ・桜井 亘***
村野 幸宏**** ・高木 利光***** ・厚坂 祐次*****

1. はじめに

富士海岸 (図-1) においては, 1970 年頃から富士川河口部付近から東へと侵食が始まり, また 1967 年に田子の浦港防波堤がほぼ完成するに至り, 港湾の東側汀線の後退も始まった (宇多ら, 1994). そのような侵食に対して, 離岸堤, 消波堤を中心とした対策が実施され, 効果を発揮してきた. しかし, 田子の浦港以東については, 沿岸漂砂の供給がほとんど見込めないことから, それら構造物によりその背後汀線は守られても, それは問題を下手へ先送りするだけで, 根本的な対策ではない. 現実に, 1980 年頃から消波堤群の東端に位置する昭和放水路から東へと侵食が広がってきている.

そのような侵食に対し, 現在緊急対策として昭和放水路東海浜において, 養浜が 1996 年から 10 万 m³/年の割合で実施されている. 養浜は, 沿岸漂砂の不足分を補うとともに, 構造物と異なり, 景観を損なうことはなく, また漂砂環境の変化に柔軟に対応できることから, ソフトな侵食対策工法として位置づけられてきている. このような養浜は, 継続的な養浜を基本的には行わない静的養浜と異なり, 沿岸漂砂の供給が減少して侵食が生じている海岸において養浜により供給量を補給する意味で, 動的養浜と呼ばれる. 富士海岸においては, 過去において 1~2 万 m³/年の礫養浜が実験的に実施され, それらの追跡解析が実施されている (宮田ら, 1992). また, 駿河海岸においてサンドバイパスとしての土砂投入が年間 6 万 m³, 2 年間で合計 12 万 m³ 実施され, その追跡調査が実施されている (滝澤ら, 1986). しかし, 10 万 m³/年, 3 年間で計 30 万 m³ と大量で, また現地底質よりも大粒径の礫のみの養浜を実施した事例はなく, また当海岸のように水深 20 m 以深が 1/2 勾配と急勾配斜面が海岸線に迫っている海岸において実施した例はない. そのような海岸において動的養浜を実施する場合, 養浜材料 (粒

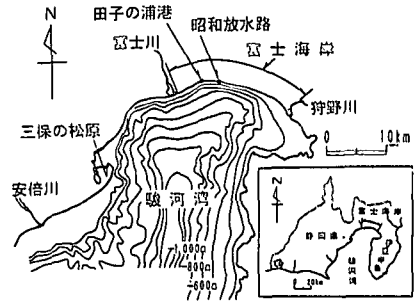


図-1 調査位置

径等) の選択, 養浜材の流出量, 異常波浪時の対応などさまざまな問題がある. ここでは, 1996 年から 3 年間実施してきた動的養浜およびそれに伴って実施した現地調査結果を基に, 侵食対策としての動的養浜の効果についてさまざまな角度から総合的に検討した.

2. 富士海岸の概要

富士海岸における漂砂特性は, 首藤ら (1977), 河野ら (1986), 宇多ら (1994), 田中ら (1997) により紹介されている. ここでは, 現在侵食が顕在化してきている昭和放水路近傍での調査結果を基に当海岸の漂砂特性を示す.

図-2 に 1997.11 に実施したナローマルチビームによる精密深淺測量により得られた等深線図, 図-3 に代表測線での断面地形を示す. 図からもわかるように, 水深 20 m 付近を境に, 浅い方は約 1/10 勾配に対して, 以深は約 1/2 勾配と急峻な地形となっており, 駿河トラフへと続いている. また, No. 44 の水深 20 m の等深線は汀線から平均約 200 m 沖合い位置にあるのに対し, 昭和放水路前面付近の No. 48 ではその半分の約 100 m しかなく, 大規模な海底谷が海岸近くに迫っていることがわかる. なお, これと同様な範囲で計 7 回測量が実施されている. また, 図-2 中に示す St. 47-20 地点において波浪・流速観測が, 1996.9~1997.12 と 1998.9~1999.1 と 2 回にわたって実施されている. この地点での 1997.9~1998.12 の波浪データを統計処理した結果を図-4 に示す. これによると, 卓越波向は SSW であり, 当地点の汀線の法線

* 正会員 工 博 東京大学大学院助教授 工学系社会基盤工学 (前建設省土木研究所海岸研究室室長)
** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室
*** 建設省中部地方建設局沼津工事事務所調査課長
**** 建設省中部地方建設局沼津工事事務所調査係長 (株)アイ・エヌ・エー 海岸部次長
***** 正会員 博(工) (株)アイ・エヌ・エー 海岸部

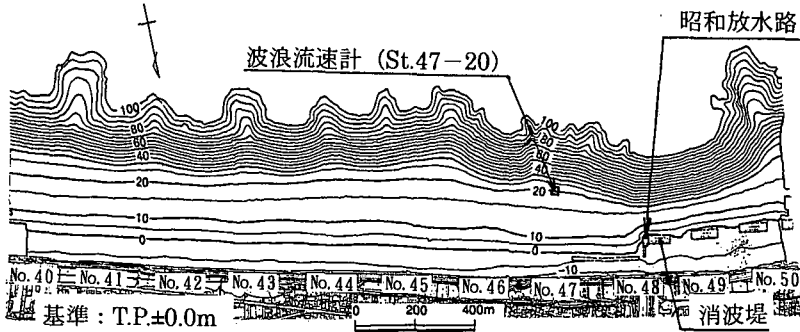


図-2 等深線図 (1998.11 測量)

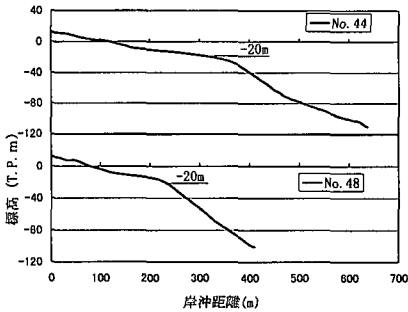


図-3 代表断面地形 (1998.11 測量)

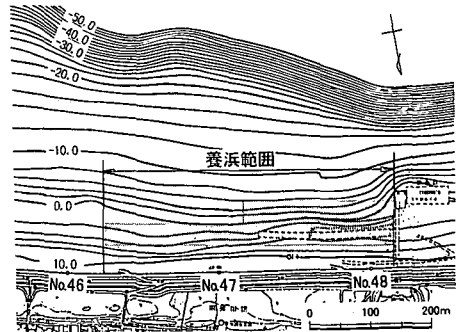


図-6 養浜範囲

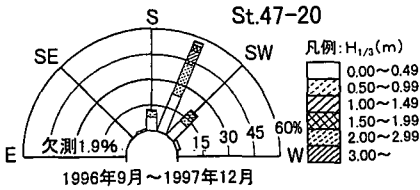


図-4 波向別波浪頻度 (1996.9~1997.12)

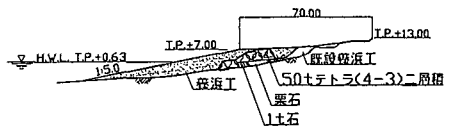


図-7 養浜標準断面

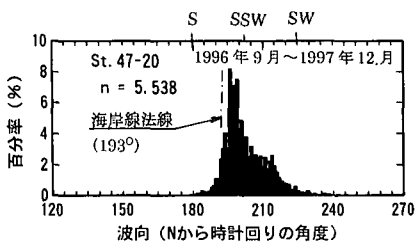


図-5 波向別波浪エネルギー (1996.9~1997.12)

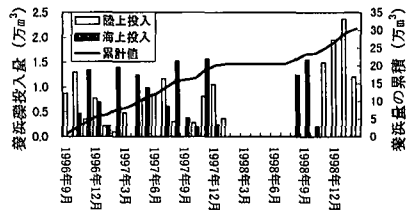


図-8 養浜実績

方向に対し、やや西方向から入射している。波浪エネルギーのピークも N-195°~200°と法線方向 N-193°に対し 2°~7°西側に傾いている(図-5)。

3. 養浜の概要

養浜は昭和放水路東側約 480 m 区間、標高 T.P.+7~-5 m (図-6) において、図-7 に示す断面で実施さ

れている。本格的な養浜は 1996.9 から実施され、年間約 10 万 m³ の礫が投入され、現在その量は約 30 万 m³ に達している(図-8)。養浜材料は図-9 に示す粒度分布を有する粒径 50~150 mm (平均粒径 100 mm) の砕石(角張っているので識別可)であり、陸上からダンプトラックでの巻出しと海上から台船での投入により実施されている。

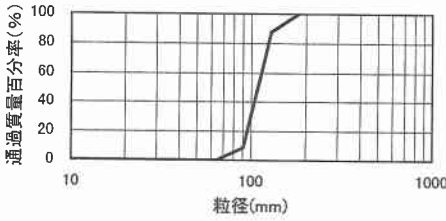


図-9 養浜材料粒度

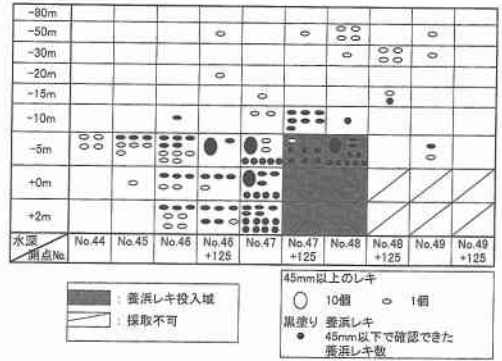


図-11 養浜礫の検出状況 (1997.1 採取)

4. 養浜礫の追跡調査

養浜した礫を追跡するため、底質採取を養浜域を中心に沿岸方向2.5 km、水深方向80 mまでの範囲で1996.9~1998.11の間に計6回実施し、粒度の変化を把握するとともに、目視により養浜礫の識別を実施した。図-10に採取地点の中から選んだ代表地点での粒度分布の時間変化を示した。水深5 m地点を沿岸方向に見た場合、養浜投入域に当たるNo. 48地点では、養浜礫が平均粒径100 mmであることから、ほぼそれに近い中央粒径となっており、また粒径分布も養浜材料と同様、中央粒径付近にそろった分布形である。養浜域の東側に当たるNo. 46, No. 44地点では時間の経過とともに粗粒化傾向が見られる。一方、養浜域の西側に当たるNo. 50地点では、時間的な粒度分布の変化は小さく、顕著な粗粒化は見られない。水深10 m地点で見た場合、No. 48, No. 46, No. 44と昭和放水路より東側では当初粗かった粒度が一旦細粒化している。その後、No. 48, No. 46では粗

粒化するのに対し、No. 44はほとんど変化が見られない。一方、No. 50では、時間的変動は小さい。水深15 m地点で見た場合、No. 50, No. 48では時間的変動が小さく、No. 46, No. 44は弱い細粒化傾向が見られる。水深20 m地点で見た場合、No. 50, No. 48では細粒化、No. 46では当初細かったが、その後粗粒化、No. 44およびNo. 50ではほとんど変化していない。以上から、昭和放水路以東の水深5 mでは養浜の影響と思われる粗粒化傾向がNo. 44付近まで見られる。水深10 mでは岸沖方向の底質移動に伴う粒度変化に加えて、やはり養浜の影響がNo. 48~No. 46付近にまで及んでいると思われる。しかし、水深15 m以深にまで養浜礫が移動した状況は粒度変化からは伺えない。また、昭和放水路の西側への移動も認められない。

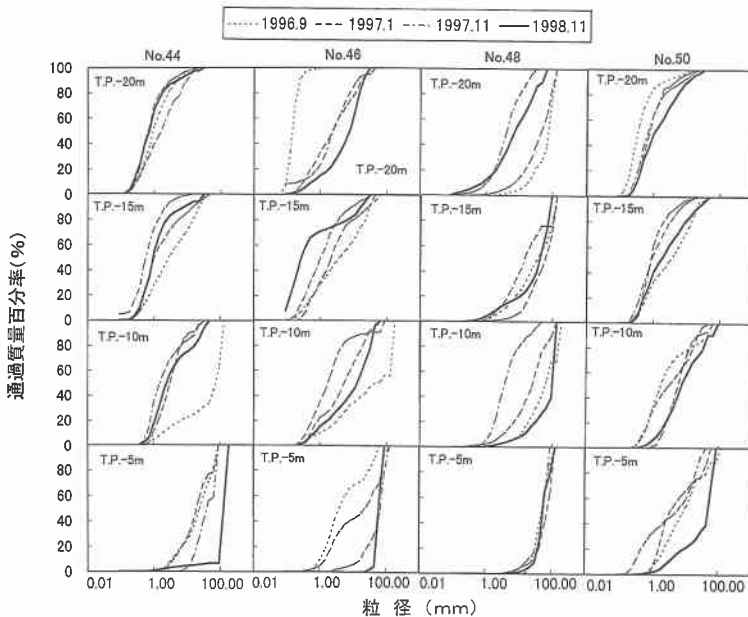


図-10 粒径分布比較

採取した底質のうち礫について目視により識別した養浜礫は、投入範囲の東側の水深5m以浅で多く検出されており、水深10m以深ではほとんど検出されていない(図-11)。また、検出範囲の東端はNo.45付近まで及んでいる。以上の結果から、投入した養浜礫は水深10m以深にはほとんど流出しておらず、多くが東方向へ移動していることがわかった。この移動傾向は宮田ら(1992)の養浜礫の追跡結果と一致する。

5. 養浜礫流出量の推定

精密深浅測量の比較により土量変化を解析した。図-12に1996.11~1998.11の2年間の水深変化量分布を示す。養浜域は2m以上の堆積域となって現れている。養浜域の東に隣接したNo.45~46では1m以下の堆積域が見られるものの、No.45より東域の水深20m以浅では1m以下の侵食となっている。また、養浜域の沖合い水深5~20mでも1m以下の侵食となっている。この水深変化量をブロックに分けて土量変化を求めたものを図-13に示す。ただし、水深20m以深は測量精度に問題があることから、以後の解析の対象外とした。対象領域で見た場合、養浜範囲では2年間で約10万m³の堆積が見られるものの、その沖合いおよび東海域で13.5万m³の侵食となっており、対象領域全体では約3.5万m³の侵食となる。

次に、上記の土量変化解析結果と養浜実績(図-8)を用いて、養浜礫の流出量を推算し、波浪との相関を調べ

た、養浜礫の流出量の推算に際しては、養浜礫と現地底質の空隙率の違いを考慮した。すなわち、養浜礫は粒径がそろっているため、空隙率が $\lambda_0=48\%$ と、現地底質の空隙率 $\lambda=30\%$ より大きい。したがって、両者が混合した場合、体積が変化するため、土量変化解析から求めた流出量を次式で補正した。

$$V' = \Delta V + V_0 \frac{1-\lambda_0}{1-\lambda} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 V' は砂礫の流出量、 V_0 は養浜量、 ΔV は養浜範囲であるNo.46~48、水深10m以浅の範囲での変化土量、 λ_0 は養浜礫の空隙率、 λ は現地底質の空隙率である。なお、養浜礫はすべて現地砂礫と混合し、その結果、現地砂礫と同様の空隙率となるとしている。

図-14には波浪エネルギーフラックス F と流出量 V' の相関関係を示す。波浪エネルギーフラックスと流出量との間には、

$$V' = 3.19 \times 10^{-4} F \dots\dots\dots(2)$$

の関係が見られる。また、1996.11~1998.11の2年間の流出土量を実測値より推定すると、約7万m³となる(図-14中△印)。この期間全てにわたっての波浪観測データはないものの、1996.9~1997.8の1年間の波浪エネルギーフラックスを2倍した値で、先に示した相関式で流出量を推定すると、約6.5万m³となり(図-14中□印)、先に測量成果より推定した流出量とほぼ一致する。

次にCERCの沿岸漂砂量公式(Shore Protection Manual, 1984)に従い、波浪エネルギーフラックスの沿岸方

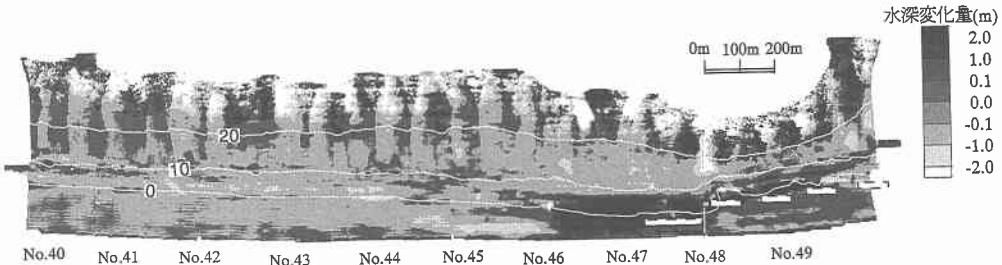


図-12 水深変化量分布 (1996.11-1998.11)

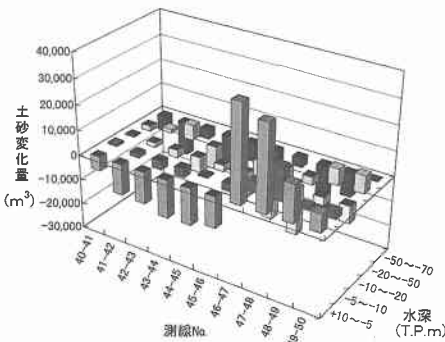


図-13 ブロック別土量変化

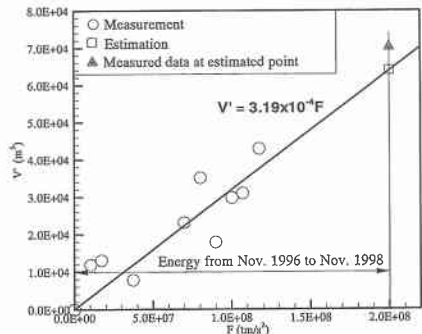


図-14 波浪エネルギーフラックスと養浜礫流出量の相関

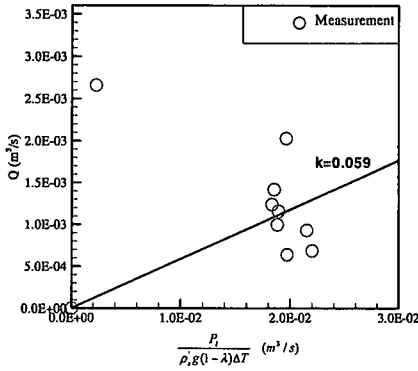


図-15 波浪エネルギーの沿岸方向フラックスと養浜礫流出量の相関

向成分 P_1 と単位時間当たりの流出量の相関関係を見ると (図-15), 次のような関係式が得られる.

$$\frac{V'}{\Delta T} = 5.90 \times 10^{-2} \frac{P_1}{\rho_s g (1-\lambda) \Delta T} \dots (3)$$

ここに, ΔT は観測期間, $g=9.8 \text{ m/s}^2$, ρ_s は底質の水中共比重で 1.65 とした. この結果から漂砂量係数 $K=0.059$ が得られる. CERC 公式では $K=0.77$ が提示されているが, ここで求めた値はそれよりも 1 オーダー小さい. CERC 公式で評価した場合の底質粒径と漂砂量係数について, Komar (1988) は粒径が $0.18 \sim 0.6 \text{ mm}$ の範囲では $K=0.77$ としており, さらに清水ら (1996) は粒径が大きくなるに従い係数値は小さくなるとしている. 当地点の現地粒径は No. 48 測線の水深 5 m 付近で $10 \sim 100 \text{ mm}$ であり, 養浜礫は 100 mm の粒径である. このことから, 粒径 $10 \sim 100 \text{ mm}$ 程度の礫の場合の沿岸漂砂量係数は 0.05 程度であり, 粒径の依存性が高いと考えられる.

以上の解析結果より, 年間の波浪エネルギーフラックスを $1.0 \times 10^8 \text{ (tm/s}^2)$ 程度, あるいはその沿岸方向成分を $7.8 \times 10^6 \text{ (tm/s}^2)$ 程度であるとすれば, 流出量は $3.2 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ 程度と推定される. この量は現地砂礫と混合した後の体積であることから, 投入する前の養浜礫の空隙率を考慮して割り戻すと, 約 4.3 万 m^3 となる. したがって, 年間 10 万 m^3 投入している養浜礫の約半分が流出し, 残り半分が投入地点付近に残っていることとなる.

一方, 流出土砂量が約 $3.2 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ (現地砂礫換算) であることから, 動的養浜として沿岸漂砂量に寄与した量は 3.2 万 m^3 (投入養浜換算として約 4.3 万 m^3) と推定される. 土量変化解析によると, 養浜域の下手側では約 $5.5 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ の侵食が生じていることから, No. 40~46 付近の沿岸漂砂量としては, 両者の合計の約 8.7 万 m^3 と推定される. この量は先に求めた養浜礫流出量の約 2.7 倍である. この違いは, No. 40~46 地点の底質粒径が $1 \sim 10 \text{ mm}$ と 1 オーダー養浜礫より小さいことに原因していると考えられる. ただし, ここでは沿岸漂砂のみを考え,

沖合への流出量はないものと仮定している.

6. 結 論

富士海岸昭和放水路の東海浜で 1996 年度から 3 年間わたって実施された礫養浜に関し, 波・流れ, 地形変化, 底質粒径について総合的な観測を行うことにより, 以下の結論を得た.

① 養浜域における海岸線の法線に対し西に $2^\circ \sim 7^\circ$ 傾いた方向から入射する波浪が卓越している.

② 養浜礫は水深 10 m 以浅を東方向へ移動しており, 水深 10 m 以深への移動は見られない.

③ 養浜礫は現地底質よりも粒径が大きいことから, 移動範囲である東海浜水深 10 m 以浅では粒径の粗粒化が見られる.

④ 養浜礫の流出量は, 年間約 5 万 m^3 (養浜礫換算) であり, 投入量の約半分が投入地点付近に残っている.

⑤ 養浜礫の流出量と来襲する波浪エネルギーおよびその沿岸方向フラックスとの間には式 (2), (3) で示される相関関係がある.

⑥ 養浜礫の流出量を沿岸漂砂量と見なした場合, 波浪エネルギーの沿岸方向フラックスとの間の相関関係より, 漂砂量係数 0.059 が推定され, Komar (1988) が提案している 0.77 と比べ 1 オーダー小さい値が得られた.

今後は, さらに効率的な養浜手法を検討するとともに養浜礫が生態系に与える影響についても検討していく予定である.

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次・張 達平 (1994): 富士海岸の海岸侵食とその対策, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 525-530.
- 河野 宏・宇多高明・波崎義之・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.
- 清水琢三・山田晶子・渡辺 晃 (1996): 沿岸漂砂量の岸沖分布と漂砂量係数, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 571-575.
- 首藤伸夫・田口二郎・遠藤泰司 (1977): 富士海岸における砂礫の移動について, 第 24 回海岸工学講演会論文集, pp. 221-225.
- 滝澤俊二・宇多高明・堤 博志・中山 修 (1986): 駿河海岸におけるサンドバイパスの現地実験, 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 302-306.
- 田中茂信・山本幸次・伊藤仁志・有澤俊治・高木利光 (1997): 新型トレーサーを用いた富士海岸海底谷への土砂移動機構調査, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 611-615.
- 宮田年耕・宇多高明・高垣美好・森岡泰裕・五十嵐竜行 (1992): 富士海岸における礫養浜の現地実験, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 356-360.
- Coastal Engineering Research Center (1984): Shore Protection Manual, Vols. 1 & 2.
- Komar, P.D. (1988): Environmental controls on littoral sand transport, Proc. 21st Int. Conf. On Coastal Eng., pp. 1238-1252.