

蛍光 X 線分析法を用いた養浜材の移動追跡

永井 健二*・星 典行**・浅野 剛***・高木 利光****

養浜材の移動を追跡する方法としてはこれまでに蛍光砂など別途トレーサーを投入する方法などが実施されてきたが、トレーサーとする材料を大量に必要とし不経済な場合が多かった。そこで、ここでは養浜材自体をトレーサーと考え、蛍光 X 線分析装置を用い、養浜材と現地採取した底質を構成する元素の構成比率から養浜材の移動範囲を追跡する方法を、富士海岸で実施している養浜工の追跡に用いることで、その適用の可能性について検討したものである。その結果、元来の海浜材料と異なる元素の構成比率をもつ養浜材を使用する場合、現地底質の元素を蛍光 X 線分析により検出することで、養浜材の移動範囲を把握することが可能であることが判った。

1. はじめに

近年、海岸の防護・利用・環境の観点から砂浜の重要性が再認知されるとともに、養浜工が海岸保全施設として位置付けられるようになってきている。しかし、養浜により創出された砂浜は、その材料の移動により変形し、ときには流失して戻らないことも少なくない。養浜材は貴重な資源でもあることから、養浜工の計画のためには移動状況を把握しておくことが重要である。養浜材の移動を追跡する方法として、これまでにトレーサー（砂の場合は蛍光砂、礫の場合は現地と異質な材料）による方法（例えば、首藤ら（1977）はビー球を使用）、礫に発信機を埋め込む方法（田中ら、1997）などが実施されてきた。しかしながら、トレーサーによる方法ではトレーサーとする材料を大量に必要とし不経済な場合が多く、また発信機を埋め込む方法では細砂の移動までは把握できない。

駿河湾の湾奥に位置する富士海岸（図-1）では、昭和放水路東側（図-2）の侵食対策として動的養浜が1996年から実施されてきており、その効果等が検討されている（佐藤ら、1999）。しかし、養浜材の移動範囲、特に沖合への流出実態については不明なことが多い。そこで、投入されてきた累計約70万 m^3 （2003年3月現在）の養浜材の多くが、現地海浜と異なる岩種であることに着目し、養浜材そのものをトレーサーとみなして養浜材の移動範囲を直接把握する方法の可能性について検討した。養浜箇所（沖合および下手で採取した底質のうち粒径20mm未満について）蛍光X線分析により元素を検出し、その構成比率から養浜材の特定を試みた。なお、粒径20mm以上の底質については、目視による岩種判定を行った。

2. 蛍光 X 線分析の概要

X線は一般的に知られている性質に「物質を透過する性質」と「物質を構成する元素によって吸収される性質」があるが、これ以外に「原子核の周囲を回る電子がX線のエネルギーをもらい、よりエネルギー準位の高い外側の軌道に移る（物質を構成している元素のX線を励起する）性質」がある。励起されたときに放出される物質固有のX線が蛍光X線である。この蛍光X線の波長を測定することで各元素の特定が可能であり、またその固有X線の強度から各元素の含有率の特定が可能となる。

このことから、養浜材特有の元素に着目してその元素含有率の分布状況を調べることで、養浜材の分布状況すなわち移動状況を把握することを試みた。

蛍光X線測定装置には、日本電子（株）製エネルギー分散型蛍光X線分析システム（JSX 3201）を用いた。本装置ではC（カーボン）からU（ウラン）までの元素が検出可能である。なお、蛍光X線による分析対象粒径を20mm以下としたのは、X線の照射領域が最大径で20mmであることと、礫が小さくなると目視での岩種判別が困難と

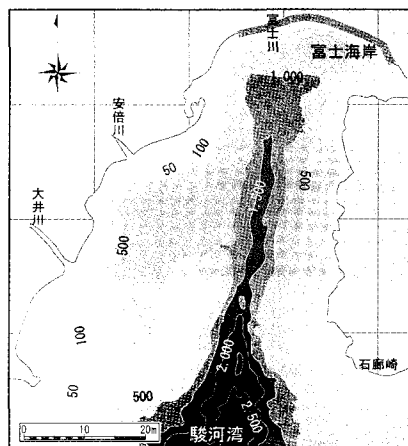
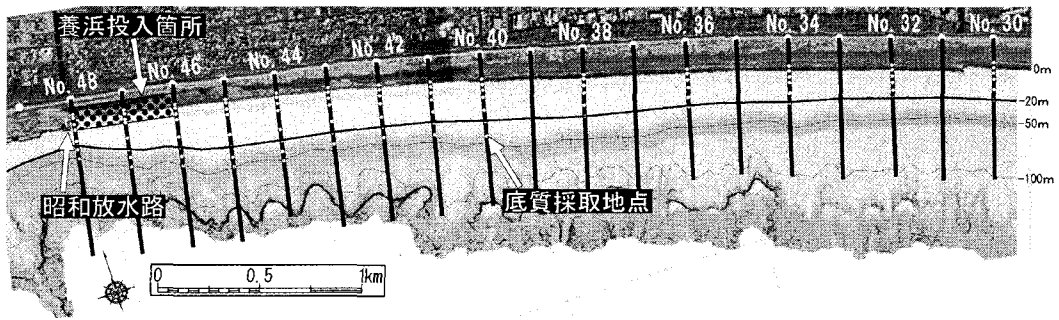


図-1 富士海岸

* 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所
調査第一課長
** 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所
調査第一課係長
*** (株)アイ・エヌ・エー 海岸部
**** 正会員 博(工) (株)アイ・エヌ・エー 海岸部 部長



図一2 養浜投入箇所と底質採取地点

なるからである。

3. 養浜材および現地砂礫サンプルの分析結果

当初養浜材の粒径は現地粒径より大きめの50~150 mmとしていたが、近年は50 mm以下の土砂も含んだ150 mm以下としている。これら養浜材には、鳥羽産(鳥羽石)および伊豆産(伊豆石)の粒径50~150 mmの礫と、富士扇状地の堆積土砂(富士山スコリア)のうち粒径150 mm以下を有効利用してきた。この鳥羽石、伊豆石、富士山スコリアと、富士川河口の砂礫をサンプルとして採取した。

(1) 粒径20 mm未満の砂礫

表一1に、養浜材として投入している砂礫と、富士海岸由来の土砂であると考えられる富士川河口部周辺で採取した現地砂礫を20 mm未満に破砕したサンプルの蛍光X線分析結果を示す。養浜材サンプルおよび現地砂は、

表一1 養浜材サンプルおよび現地砂礫元素含有率

元素	養浜材			現地砂礫 富士川河口
	富士山スコリア	鳥羽石	伊豆石	
Na ₂ O	0.707	0.220	1.112	0.900
MgO	2.367	29.921	4.070	2.127
Al ₂ O ₃	15.034	1.240	13.706	13.017
SiO ₂	42.183	38.991	60.867	59.373
P ₂ O ₅	0.959	0.185	0.532	0.699
SO ₃	0.000	0.017	0.000	1.903
K ₂ O	0.702	0.018	1.797	3.866
CaO	14.232	1.037	5.276	4.777
TiO ₂	2.072	0.100	0.938	1.110
V ₂ O ₅	0.136	0.000	0.038	0.068
Cr ₂ O ₃	0.000	0.734	0.000	0.000
MnO	0.398	0.377	0.394	0.248
Fe ₂ O ₃	21.089	26.479	11.217	11.826
NiO	0.000	0.672	0.000	0.000
Rb ₂ O	0.005	0.005	0.006	0.016
SrO	0.115	0.003	0.048	0.056
ZrO ₂	0.000	0.000	0.000	0.015
total	100.000	100.000	100.000	100.000

単位：%

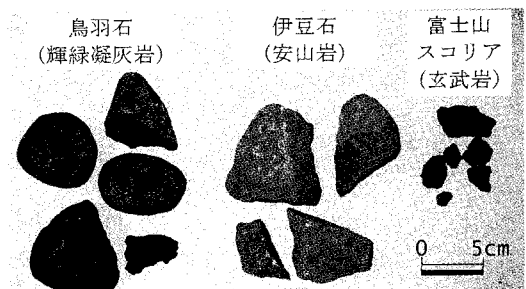
それぞれ3検体入手してその平均値を用いた。

養浜材のうち、特徴的であった元素についてグレーで示した。粒径50 mm以下の土砂も養浜材として用いている富士山スコリアにはCaO(カルシウム)が多く含まれ、全体の約15%を占めており、他のサンプルおよび現地砂の1~5%程度と比べ含有率が高いことが判る。TiO₂(チタン)およびV₂O₅(バナジウム)も、現地砂の2倍程度の含有率となっている。また、鳥羽石にはMgO(マグネシウム)が非常に多く含まれ、全体の約30%を占めているが、他のサンプルおよび現地砂には2~4%程度しか含まれていない。Cr₂O₃(クロム)とNiO(ニッケル)は含有率は低いものの、他のサンプルおよび現地砂からは検出されなかった。なお、伊豆石は各元素の含有比率が現地砂礫に近く、際立った違いは見られなかった。

よって、富士山スコリアについてはCaO、TiO₂、V₂O₅の、また、鳥羽石についてはMgO、Cr₂O₃、NiOの元素含有率を養浜材移動状況の指標とする。

(2) 粒径20 mm以上の砂礫

写真一1に、投入している養浜礫の写真と岩種を示す。鳥羽石は輝緑凝灰岩(Sch)、伊豆石は赤みがかった安山岩(An)、富士山スコリアは玄武岩(Ba)であった。昭和放水路東側への養浜が開始される直前の平成8年7月に実施された岩種分析結果によると、富士海岸は砂岩(Ss)、泥岩(Ms)が全体の約70%を占めており、玄武岩



写真一1 投入している養浜礫のサンプル

および安山岩は全体の数%程度しか含まれておらず、また輝緑凝灰岩は検出されていないことから、それぞれ養浜材移動状況の指標となりうると判断した。

4. 現地砂礫の分析結果

図-2で示した地点から採取した現地砂礫をふるい分けし、サンプルと同様に粒径20mm未満については蛍光X線分析を、20mm以上については岩種分析を行った。

(1) 蛍光X線分析

富士山スコリアに特徴的であったCaO, TiO_2 , V_2O_5 および鳥羽石に特徴的であったMgO, Cr_2O_3 , NiOについて、元素含有率平面分布を図-3~図-5, 図-6~図-8に各々示す。

CaOは、富士山スコリアのサンプル中に平均約14.2%含まれ、現地砂礫のサンプル中には平均約4.8%含まれていた。そこで、約4.8%以上の含有率を示す範囲を養浜材の影響範囲とし、図中に約4.8%のラインを図示した。測線No. 40のT.P.+2mから測線No. 38のT.P.-5m付近を通り、T.P.-15mで測線No. 34とNo. 32の中間付近へ延びた後、再び測線No. 34のT.P.-20m付近を

通過するような形状となっている。これと同様に、 TiO_2 , V_2O_5 についても境界線を図示すると、CaOに近い形状の境界線となった。したがって、この境界線(1.1%, 0.1%)が養浜材の顕著な移動状況を表すものであると推定される。なお、含有率の高い範囲、例えばカルシウムの含有率10%程度以上の分布範囲は、水深の浅い方が沿岸方向の分布範囲が広く、水深が深くなるにつれ先細りになっている。

MgOは、鳥羽石のサンプル中に平均約29.9%含まれているのに対し、現地砂礫のサンプル中には平均約2.1%しか含まれていない。ここで、富士山スコリアと同様に平面分布図で約2.1%のラインを図示すると、同じような分布形状となっていることがわかる。しかし、 Cr_2O_3 , NiOは検出箇所がばらついており明瞭な分布形状は確認できなかった。

(2) 岩種分析

図-9~図-11に、養浜材である鳥羽石(Sch), 伊豆石(An), 富士山スコリア(Ba)の採取質量平面分布を示す。各養浜材とも、養浜投入箇所に近い測線No. 45の水深T.P.+2m~T.P.-5m付近からは比較的多く検出され

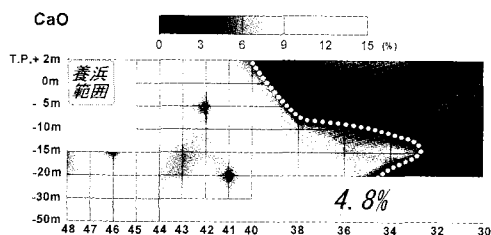


図-3 元素含有率平面分布 (CaO)

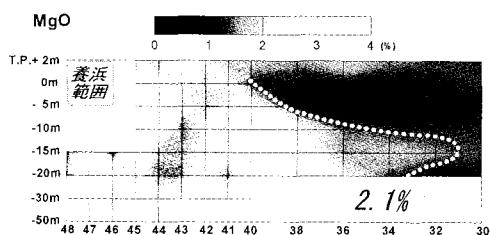


図-6 元素含有率平面分布 (MgO)

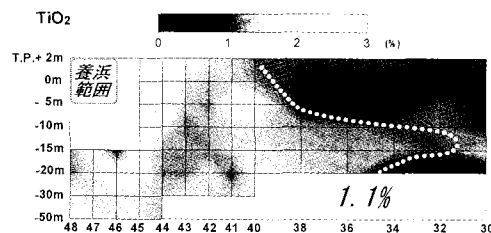


図-4 元素含有率平面分布 (TiO_2)

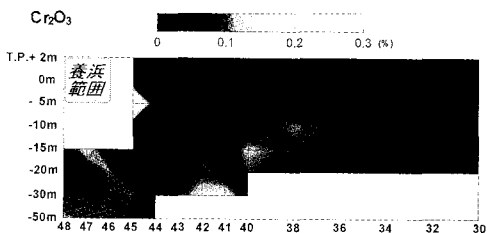


図-7 元素含有率平面分布 (Cr_2O_3)

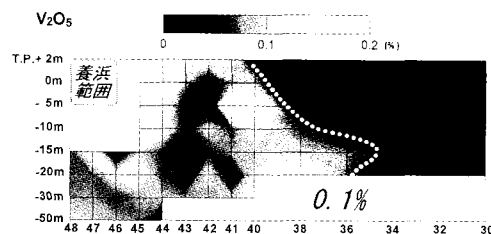


図-5 元素含有率平面分布 (V_2O_5)

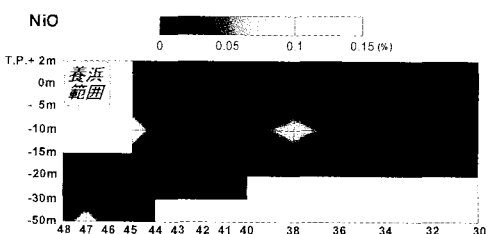


図-8 元素含有率平面分布 (NiO)

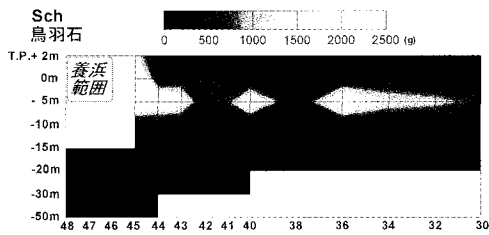


図-9 鳥羽石の質量平面分布

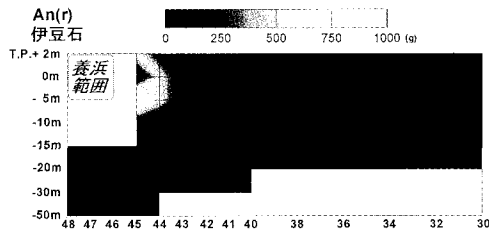


図-10 伊豆石の質量平面分布

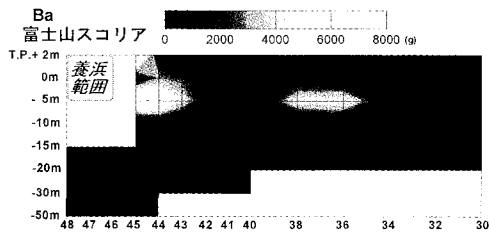


図-11 富士山スコリアの質量平面分布

ているが、鳥羽石と富士山スコリアについては、測線 No. 30～No. 44 の水深 T.P.-5 m 付近でも顕著に検出されていることが判る。

ここで、図-12～図-14 に採取した底質から検出した鳥羽石、伊豆石、富士山スコリアの砂礫一個あたりの平均質量平面分布を示す。各養浜材ともに測線 No. 45 が突出して多く、No. 47 から急激に小さくなっていることがわかる。これより、粒径の大きな礫は No. 45～No. 44 あたりまでしか移動しておらず、粒径の小さな養浜材のみが移動していることが推察される。

5. 考 察

粒径 20 mm 未満の底質を対象とした蛍光 X 線分析により、富士山スコリアについては、特徴的であった CaO 、 TiO_2 、 V_2O_5 の元素含有率平面分布を把握することで、養浜材が投入地点から東方向に移動するとともに、一部は沖方向にも移動している状況を比較的明瞭に確認することができた。これに対し、鳥羽石は特に Cr_2O_3 、 NiO がスポット的にしか検出されず、移動状況はあまり明瞭ではなかった。これは、富士山スコリアが 50 mm 以下の細粒

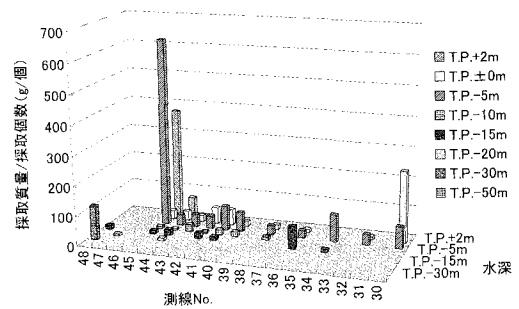


図-12 鳥羽石 1 個あたり平均質量平面分布

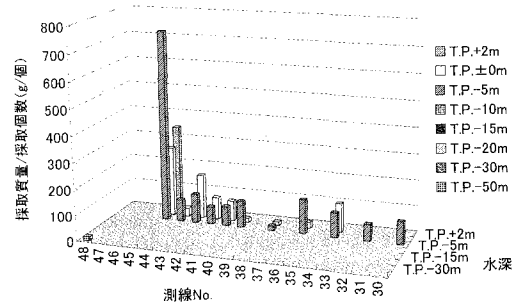


図-13 伊豆石 1 個あたり平均質量平面分布

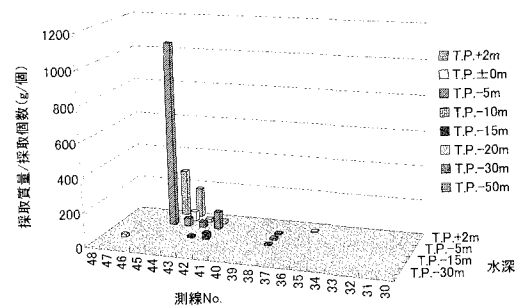


図-14 富士山スコリア 1 個あたり平均質量平面分布

分も養浜材として投入されてきたこと、また岩石自体が多孔質で比較的脆く破碎しやすいことから、粒径 20 mm 未満の細粒分の絶対量が多く発見されやすかったのに対し、鳥羽石は養浜材が 50～150 mm の礫であり、また緻密で堅硬な岩質であることから、粒径 20 mm 未満の細粒分が少なかったためと推察される。また、伊豆石については、そもそもの元素構成が富士海岸元来のものと近いものがあり、判別が困難であった。

6. ま と め

図-15 に、蛍光 X 線分析による粒径 20 mm 未満の養浜材と、岩種分析による粒径 20 mm 以上の養浜材の養浜材の分布範囲を示す。養浜投入箇所から東側では、水深 T.P.-20 m から沖が大小いくつもの海底谷が切れ込ん

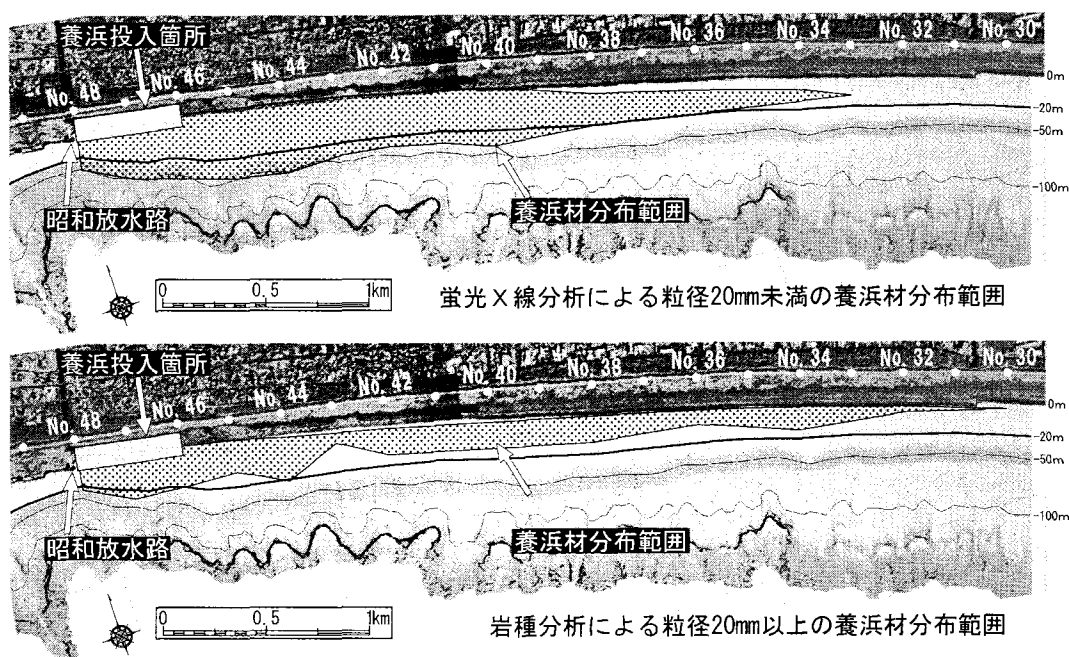


図-15 養浜材の分布範囲

だ急勾配海底地形(海底勾配約1/5)となっている。粒径20mm以下の養浜材細粒分については、養浜投入箇所から沿岸方向東側へと移動しているが、その沖の海底谷へと流出している状況も見られる。粒径20mm以上の養浜礫については、養浜投入箇所の前面から海底谷へと流出する分が若干あるものの、粒径20mm以下よりは浅い範囲に分布しており、概ねT.P.-5m付近を沿岸方向東側へと移動しているものと推察される。

本研究より、現地砂礫と構成元素含有率の異なる養浜材を投入している場合、蛍光X線分析により、元素含有率の分布から養浜材の移動範囲を推定することができ、養浜材自体をトレーサーとして利用できる可能性がある

ことが判った。

今後、この成果を用いて適切な養浜材の選定を含めた養浜計画に資することが可能と考えられる。

参考文献

- 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29回海岸工学講演会論文集, pp. 221-225.
- 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.
- 佐藤慎司・山本幸次・桜井 亘・村野幸宏・高木利光・厚坂祐次(1999): 富士海岸における侵食対策としての動的養浜の効果, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 676-680.