

侵食海岸の前浜に見られる砂鉄高含有率砂層の形成機構

野 志 保 仁* ・ 熊 田 貴 之** ・ 宇 多 高 明***
小 林 昭 男**** ・ 星 上 幸 良***** ・ 和 田 信 幸*****

侵食性海浜では、従来と比べて砂浜全体が黒く変色し、浜崖前面に黒い砂層が沿岸方向に帯状に連続するという現象がしばしば観察される。これは砂鉄層が前浜の表層を覆っているためである。しかしその集積機構は十分に解明されていなかった。この現象は、交換層内の鉱物毎の含有率が、比重の差異に起因する砂粒の動きやすさに依存すると考えれば、粒径変化の場合と同様にして予測可能と考えられる。そこで熊田らの混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルを拡張し、鉱物毎の分級を考慮した海浜変形モデルを開発し、侵食域の砂鉄高含有率層の形成機構を明らかにする。

1. はじめに

一般に、様々な要因で侵食されつつある砂浜では、従来と比べて砂浜全体が黒く変色し、浜崖前面に黒い砂層が沿岸方向に帯状に連続するという現象がしばしば観察される。現地でその黒い砂層を掘ってみると、砂鉄層が前浜の表層を覆っており、波による砂の交換層内では砂鉄の含有率が著しく高まっていることが分かる(宇多ら, 2004)。しかし、その集積機構は十分に解明されておらず、予測モデルも存在しないのが現状である。

一方、熊田ら(2002)は、交換層内の粒径毎の含有率を、粒径毎の動きやすさを考慮した漂砂量式を提案することによって予測可能なことを示したが、筆者らは現地海岸での観察の結果、交換層内の鉱物毎の含有率が、比重の差異に起因する砂粒の動きやすさを考慮すれば粒径変化の場合と同様な手法で予測可能と考えた。本研究では、現地海岸での実証データに基づき、熊田ら(2002)の混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルを拡

張して、鉱物毎の分級を考慮した海浜変形モデルを開発し、侵食域の砂鉄高含有率層の形成機構を明らかにする。

2. 侵食域の前浜に見られる砂鉄の調査・分析

まず砂鉄層形成の実態を明らかにするため、作用波浪の異なる内海および外海に面する2海岸を対象に、空中写真の判読、空中写真による汀線変化解析、砂のサンプリング調査を行った。対象海岸は、図-1に示すように、太平洋に面する千葉県南九十九里海岸の木戸浜から夷隅川河口付近までと、東京湾に面する千葉県大賀海岸であり、いずれの海岸も沿岸漂砂卓越海岸であり、沿岸漂砂による鉱物の分級が顕著な海岸である。

(1) 大賀海岸での調査・分析

千葉県館山市の大賀海岸(図-1)は館山湾南側に位置する延長800mのポケットビーチである。波の卓越入射方向角はN36°Wである。写真-1(a)に示すように、南西端には香漁港の防波堤が、また北東端には西向きに延長100mの蟹田川河口導流堤が延び、ポケットビーチ全体はなだらかな汀線形状を有していた。詳細に観察すると、岩礁Aの中心部やや南西側に小河川Bが流入していたが、この小河川は右に蛇行して波浪の静穏な岩礁域の背後で海へ流入していた。一方、蟹田川河口導流堤の背後では波の遮蔽域が形成されたために湾入汀線が形成されている。

写真-1(b)では1980年と比較して香漁港の防波堤は約75m、蟹田川河口導流堤は約45m延長され、またポケットビーチの中央部沖約200mには延長約105mの離岸堤が建設されたため、波の遮蔽域への砂の堆積と同時に、その構造物周辺部では侵食が起きた。本研究で最も注目するのは東部の蟹田川河口導流堤とその近傍の岩礁部分の汀線変化である。岩礁A付近では大きく汀線が後退し、逆に蟹田川河口導流堤の背後では汀線が顕著に前進した。すなわちその背後にかなり大きな波の遮蔽域を形成する導流堤が延びたためにその背後での堆砂が促進され、土砂供給のために岩礁A周辺で著しく汀線が後退したのである。岩礁A付近では1980年には小河川がその中央部に接近しながら海へ流入していたが、侵食の

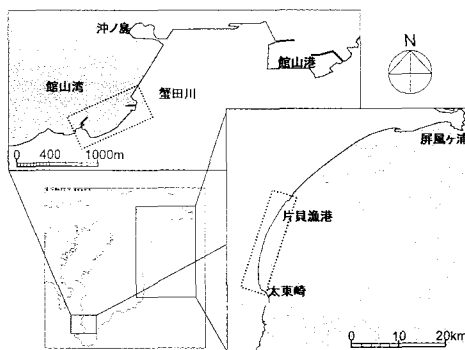


図-1 千葉県南九十九里海岸および大賀海岸の位置

- | | |
|-----------|------------------------------|
| * 学生会員 | 日本入大学大学院工学研究科海洋建築工学科専攻 |
| ** 正会員 | 博(工) (株)水圏科学コンサルタント 技術部 |
| *** 正会員 | 工 博 (財)土木研究センター審議役 なぎさ総合研究室長 |
| **** 正会員 | 工 博 日本大学助教授 理工学部海洋建築工学科 |
| ***** 正会員 | 国際航業(株) 海洋エンジニアリング部 |
| ***** | 日本大学理工学部海洋建築工学科 |

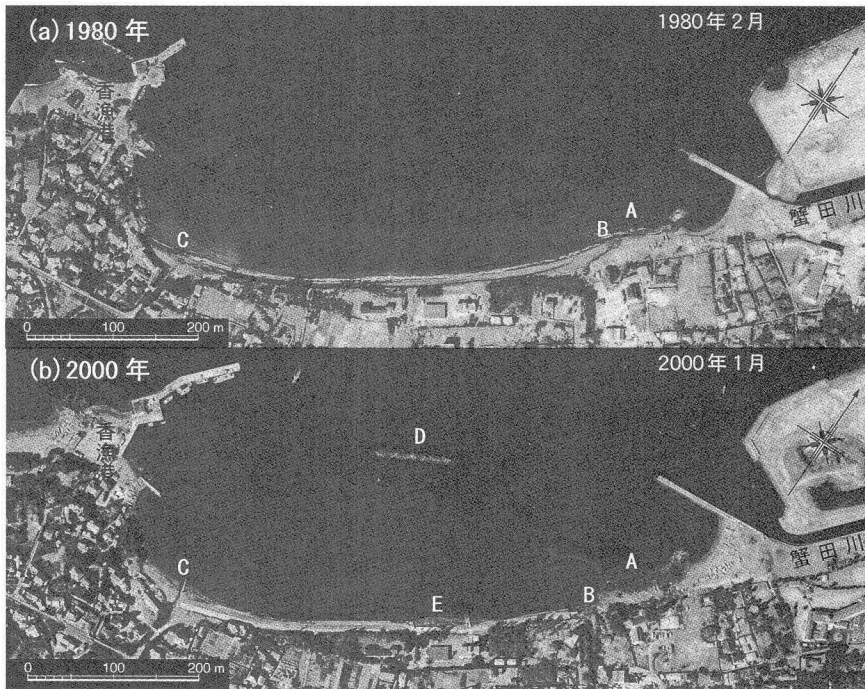


写真-1 大賀海岸の空中写真

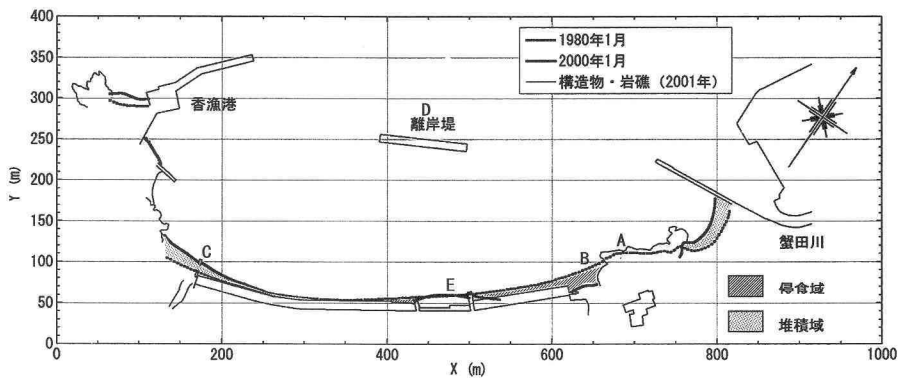


図-2 大賀海岸の汀線形状比較

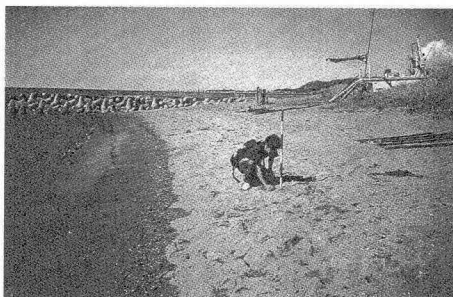
結果岩礁 A 付近では前浜が消失し、河川は直線的に海に注がれる状況となった。

図-2 に 2 時期の汀線変化を示すが、導流堤の背後では最大約 20 m 汀線が前進し、岩礁 A 周辺では最大 20 m 汀線が後退した。

2002 年 9 月 1 日、こうした状況を調査するため大賀海岸の現地踏査を行った。写真-2 は堆積域と侵食域での海浜砂の構成材料の違いを調べるために行った前浜構成材料調査のうち、導流堤付け根の堆積域での海浜砂の採取状況を示す。ここでは比重の軽い貝殻分を多く含んだ白っぽい砂が堆積している。

一方、岩礁 A 周辺の侵食域の前浜状況を写真-3 に示

す。この付近は導流堤の付け根方向へと砂が運び去られたために著しい侵食を受けた場所である。海浜には重量の大きな石が散乱すると同時に、前浜全面が砂鉄で覆われている。写真で観測者が指差す場所でコアサンプリングを行った結果の一例を示すのが写真-4 である。表面から約 2 cm が砂鉄で覆われており、下層とは明瞭な違いを示す。この付近は写真にも示したように侵食されて海浜地盤高が低下した場所である。その際、海浜中に含まれた重量の大きな石およびコンクリート塊が残されると同時に、比重の大きな砂鉄分もまた集中的に残されたと考えられる。写真に示すコアの上層の約 2 cm に集中した砂鉄層は約 0.9 m 厚の砂層（現地で計測された浜崖



写真一2 導流堤近傍の前浜上における底質採取



写真一3 砂鉄で完全に覆われた前浜



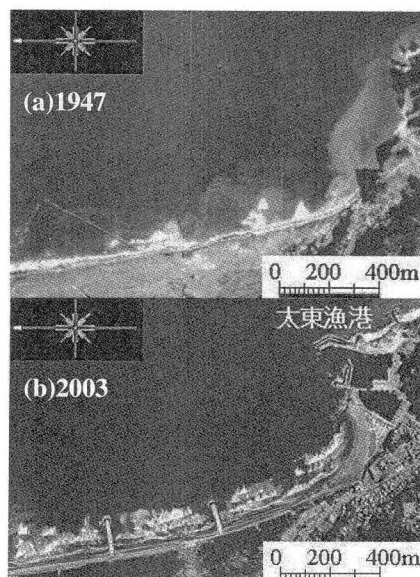
写真一4 コアサンプル（表面から約2cmは砂鉄が集積している）

高さ)が削り取られる際、砂層の構成土砂内の砂鉄の体積含有率に応じて表層に砂鉄の層が集まったためと推定される。

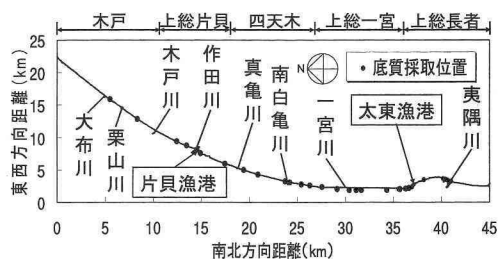
(2) 九十九里海岸での調査・分析

写真一5に千葉県南九十九里海岸の南端部に位置する太東漁港周辺の砂浜の空中写真(a:1947年, b:2003年)を示す。当海岸では戦後に進められた太東崎の崖侵食防止工事や太東漁港の建設により、漂砂上手からの土砂供給が絶たれ、急速に侵食が進んでいる地域である。1947年には白砂の海浜であったが、侵食の進んだ2003年には砂浜が黒く変貌していることがわかる。

2004年1月24日、図一3に示す大布川から夷隅川河口までの範囲で現地調査を行い、図中の各地点において汀線付近の砂を採取した。図一4には採取砂に含まれる砂鉄の含有率の沿岸分布と、1947年を基準とした2003年



写真一5 太東崎周辺の空中写真



図一3 調査範囲および底質採取位置

の汀線変化量を示す。漂砂下手(堆積域)側の片貝漁港周辺では砂鉄の含有率が低いのにに対し、漂砂上手(侵食域)側の太東漁港付近では砂鉄含有率が高いことが明瞭に読み取れる。これは、比重の大きな砂鉄分は比重の小さな砂に比べ動きにくいために、北向きの沿岸漂砂によって侵食傾向にある太東漁港付近に集中的に残されたためと考えられる。また、砂鉄の d_{50} と採取砂全体の d_{50} との比較を行ったところ、両者の間には決定係数 $R^2=0.825$ で比例関係が見出された。すなわち砂の粒径は同じであるが、比重のみが異なるため沿岸方向の含有率に差異が生じたと考えられる。

3. 鉱物毎の分級を考慮した汀線変化モデルの構築

以上の調査結果をもとに砂鉄層の形成を再現することにした。現象を再現するために、鉱物毎の分級を考慮した汀線変化モデルを新たに構築した。鉱物組成の分級過程を考慮するためには、混合状態の鉱物毎の沿岸漂砂量の算定が必要である。従来のCERC型漂砂量式には、鉱

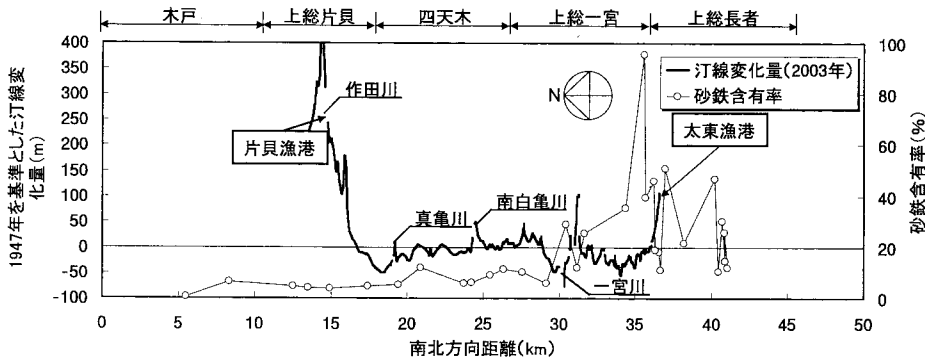


図-4 砂鉄含有率と汀線変化量の比較

物の密度は考慮されているが、鉱物組成の分級過程は考慮できなかった。そこで、熊田ら(2002)にならい、CERC型漂砂量式に波が作用する交換層内の鉱物毎(N 種類)の含有率 $\mu^{(K)}$; $K=1 \sim N$ を新たに考慮して次式を考案した。

$$Q^{(K)} = \mu^{(K)} \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_s^{(K)} - \rho} \right) \cdot K \cdot (EC_g)_b \cos \alpha_{bs} \sin \alpha_{bs} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 ρ は海水の比重、 $\rho_s^{(K)}$ は鉱物毎の比重を示す。ここでは、モデルの単純化を図り単粒径を仮定し、砂の空隙率は一定とした。鉱物毎の汀線変化量は鉱物毎に連続式で算定し、混合状態の汀線変化量はこれらを合計した。交換層内での鉱物毎の含有率算定は、熊田ら(2002)の交換層内での粒径毎の土砂収支式を準用した。交換層厚さはKrausに従って定義した。計算は以上の式を連立して解いた。

4. モデルの検証

(1) 仮想海岸への適用

砂鉄層の集積が見られた区域は、隣接する蟹田川河口導流堤による波の遮蔽効果によりその背後へと沿岸漂砂によって運び出された場所である。現象の本質部分は、沿岸漂砂によって土砂が運び出されるとき砂鉄層が残され、逆に土砂が堆積する場合には軽い砂が堆積するというものである。そこで現象をできるだけ単純化し、卓越した沿岸漂砂が突堤によって阻止される場合を想定した。いま $H_b=1\text{ m}$, $\theta=10^\circ$, 初期勾配 1/10 の海岸の両端に突堤があって沿岸漂砂が阻止されるとする。混合の鉛直深さを 2.7 cm, 砂の比重を 2.5, 砂鉄の比重を 5 (合田・佐藤, 1972), 砂と砂鉄の構成比を 1:1 とする。

図-5 は汀線変化である。突堤の下手側では汀線が後退し、上手側では前進するという通常の結果が得られる。図-6 は、交換層内の鉱物の鉛直深さの経時変化を示す。なお、交換層の位置は汀線の変化と共に変化するため、

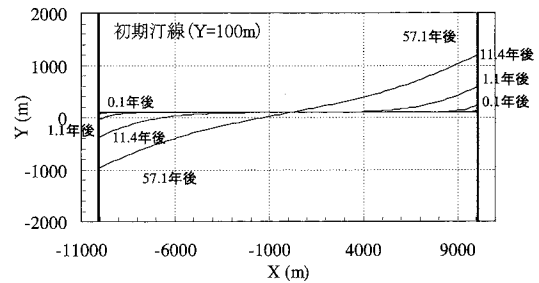


図-5 仮想海岸の汀線変化 (計算結果)

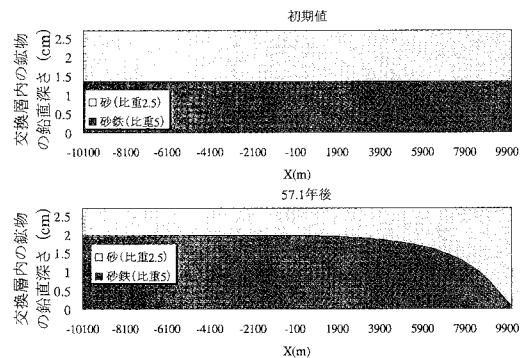


図-6 仮想海岸交換層内の鉱物の鉛直深さ

図-6 の交換層内では鉱物毎の土砂収支は満足していないように見えるが、海岸全体としての土砂収支は満足している。初期状態では砂と砂鉄の構成比が同一と仮定したが、沿岸漂砂の作用で右向きに砂が運ばれ、侵食域では砂鉄の構成比が増大する。十分長い時間 (57.1 年) が経過した後、堆積域周辺を除いてかなり広い範囲が砂鉄で覆われ、現地での現象をかなり良く再現できる。

(2) 九十九里海岸への適用

九十九里海岸においては、砂と砂鉄との関係は比重のみが異なることから粒径は同一とし、比重のみを変えて計算を行った。比重試験の結果から砂鉄の比重は 4.8, その他の砂の比重は長石, 石英を想定し 2.5 とし、砂鉄とそ

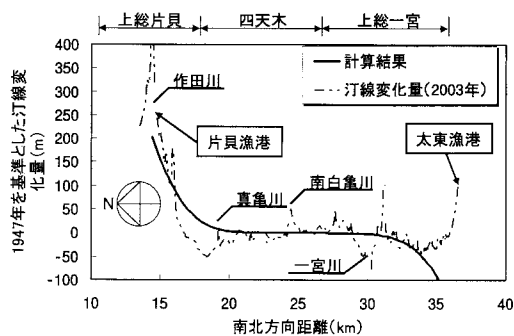


図-7 実測の汀線変化量と予測結果

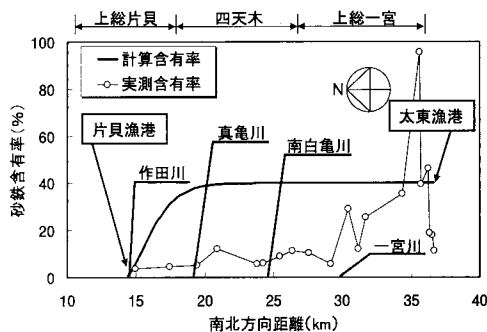


図-8 実測と計算による砂鉄含有率の沿岸分布

他の砂の構成比は調査結果から砂鉄全体の含有率の平均値を考慮し1:4とした。

図-7は九十九里海岸における実測汀線変化量と予測結果の比較である。片貝漁港付近での汀線前進と、太東漁港付近での後退という実測を計算は良く再現している。

図-8は実測と計算による砂鉄含有率の沿岸分布である。沿岸漂砂の作用によって左向きに比重の軽い砂が多く運ばれ、侵食域(太東漁港)では比重の重い砂鉄が多く残されるため砂鉄含有率が高くなり、堆積域(片貝漁港)では比重の軽い砂が多く堆積するため砂鉄の含有率が減少するという実測の傾向を計算は比較的良く再現できている。

5. ま と め

調査によれば、厚い砂鉄層が見られた区域は沿岸漂砂によって侵食された区域である。すなわち現象の本質は、沿岸漂砂によって土砂が運び出されるときに砂鉄層が残され、逆に土砂が堆積する場合には比重の低い砂が堆積するという点である。本研究では、この調査結果に基づき、熊田ら(2002)の混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルを拡張し、鉱物毎の分級を考慮した海浜変形モデルを開発した。

前報(熊田, 2002)と本研究の結果を合わせれば、砂粒の大きさと比重は沿岸漂砂量公式を経由して同種の効果を生じさせるもの、すなわち砂粒が小さいか比重が小さければ砂は運ばれやすいという特性があることが明らかである。これは海岸の現地踏査でしばしば観察される点でもある。すなわち、一般に波の遮蔽構造物の背後では砂の粒径が小さく、貝殻片を多く含んで白っぽい砂が多くなるのに対し、侵食されて土砂が流出した場所では大粒径(コンクリートブロックやそのかけらなどを含む)

となるのみではなく、本研究で明らかにしたように浜崖基部に黒い砂が多く残されるのである。

このことは海岸の利用面にも大きな影響をもたらす。侵食されて凹状となり、かつ異様に黒い砂浜は海水浴に向かない色彩と思われるからである。実際、本研究で砂鉄層の形成された九十九里浜南部の一宮海岸は、写真-5に変遷を示したように、過去には広い砂浜があり、海水浴場として有名であったが、現況では侵食が進んで海水浴も困難となっている。また、全国の数多くの場所で発生している海岸侵食の現地踏査(宇多, 2004)においても、多くの場所で同様な風景が観察された。

本研究では、砂鉄の比重が大きいうことをモデル化したが、それとは別に、本研究で得られた結果を、従来から言われている沿岸漂砂阻止が起きた場合一般に浜崖が形成される、という事実と考え合わせて海岸状況を調べる手段とすることも有効と考えられる。海浜の色彩は現地踏査のみでなく空中写真にも写されているので、色彩の変化、すなわち、黒ずむ→侵食性、白っぽい→堆積性という変化を空中写真から読み取り、侵食調査に役立てることである。これは筆者らにとっての今後の課題である。

参 考 文 献

- 宇多高明 (2004): 「海岸侵食の実態と解決策」, 山海堂, 304 p.
- 宇多高明・熊田貴之・芹沢真澄・星上幸良・三波俊郎・小林起男 (2004): 侵食域の前浜上における砂鉄層形成のメカニズム, 海洋開発論文集, 第20巻, 印刷中。
- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・星上幸良・増田光一 (2002): 混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルの開発, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 476-480.
- 合田良實・佐藤昭二 (1972): 「海岸・港湾」, pp. 191-193.
- Kraus, N. C. (1995): Field experiments on vertical mixing of sand in the surf zone, J. Sedimentary Petrology, Vol. 55, pp. 3-14.