

柱状コア採取と音波探査に基づく鹿島灘沿岸の堆積物特性の把握

山本幸次*・鳥居謙一**・笠井雅広***・佐藤慎司****

1. はじめに

近年、我が国では海岸侵食が著しく、自然な砂浜の消滅が危惧されている。宇多（1997）によれば、海岸侵食の一因として河川からの流出土砂の減少があげられ、流砂系における適切な土砂輸送の確保が海岸侵食問題の解決のために必要であるとされている。この流砂系一貫した土砂管理のもとで沿岸を保全し、良好な自然環境である砂浜を次世代に遺すためには、河川からの流出物質の移動・拡散現象と沿岸域への堆積過程を明らかにすることが重要である。このためには、沿岸域における堆積物特性の調査が必要とされるが、その調査手法はまだ確立されていないのが現状である。

沿岸域における堆積物の調査手法や解析法については、対象とする特性別にいろいろな方法が提案されている。例えば、砂子ほか（1996）は海浜砂の粒径と透水係数の間には密接な関係があることに着目して、透水試験装置を開発するとともに現地調査を行い、透水係数と粒径の関係などについて考察している。また、西ほか（1996）は海浜・砂丘の締めり度も重要であるとし、締めり度の現地計測装置を考案するとともに現地調査を行い、堆積傾向または侵食傾向にある海浜と締めり度の関係などについて言及している。

さらに、辻ほか（1999）は底質の強熱減量に着目し、堆積型地形では汀線付近で強熱減量が上昇し、侵食型地形では砕波帯付近のバー地形岸側で強熱減量が急激に低下するとしている。李ほか（1999）は宮崎海岸を対象として行った鉱物組成の分析から漂砂特性の把握を試み、長年にかけて蓄積されてきた深淺測量から得られる海底地形の変動特性と比較した。その結果、重鉱物分析とその統計的な解析を漂砂特性の把握手法として提案している。佐藤ほか（1999）は、音波探査機により駿河海岸においては静穏時の表層の砂層の下に複数の礫混じり砂層が存在することを示し、表層音波探査を用いた3次元海

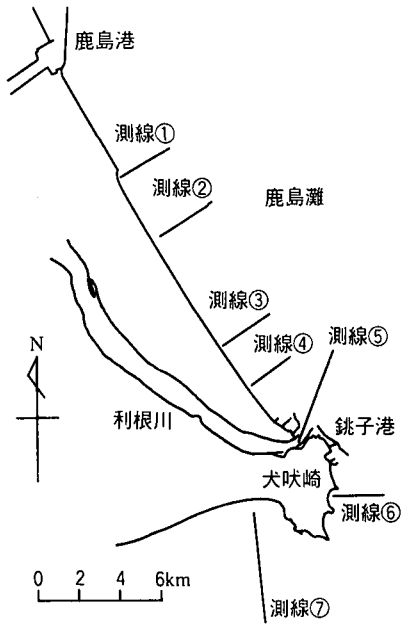


図-1 調査地域と測線位置

床構成の分析手法が漂砂機構の検討に有効であるとしている。

しかし、これらの堆積物調査手法を組み合わせた調査は少なく、柱状コア採取による堆積構造の把握などはほとんど行われていない。そこで、本研究では利根川と那珂川が土砂供給源と考えられる鹿島灘沿岸において、深淺測量、堆積物の柱状コア採取、音波探査などを行い、海岸保全の観点から堆積物特性の把握を試みた。特に、採取した堆積物の柱状コアは目視観察と軟 X 線写真により堆積構造を調べるとともに、5 cm ごとの層に分割して粒度組成分析と強熱減量分析、写真による岩石種の判別を行った。さらに、これらの調査方法と解析結果をとりまとめて、沿岸域における海岸保全の観点からの堆積物調査について検討する。

2. 調査方法

調査対象範囲は、図-1 に示すように鹿島灘沿岸のうち鹿島港より南側の沿岸と利根川河口沖とした。この範

* 正会員 建設省土木研究所河川部海岸研究室
** 正会員 工修 建設省土木研究所河川部海岸研究室長
*** 正会員 工修 建設省河川局防災・海岸課
**** 正会員 工博 東京大学教授 大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

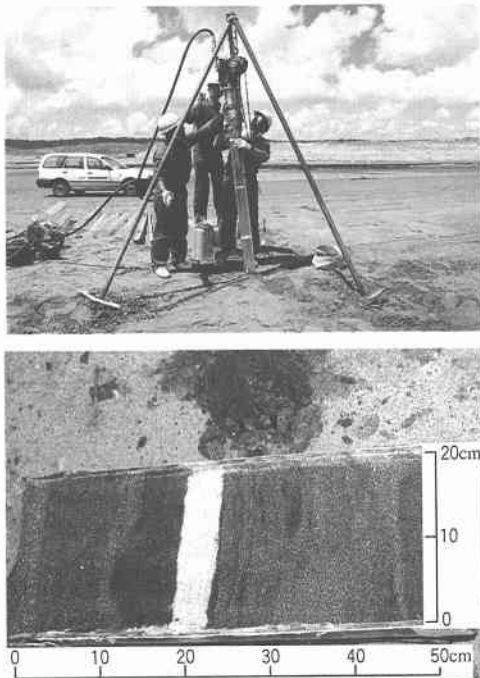


写真-1 バイブレーション・コアサンプラーによる試掘状況

図に7本の測線を設置し、音波探査による地層と断面形の調査を行うとともに、各測線上の水深3, 7, 20 m地点で堆積物の柱状コア（直径10 cm、長さ最大2 m）を採取した。堆積物の柱状コアはバイブレーション・コアサンプラーにより採取することとし、海底部からの採取に先立ち汀線部で白色の珪砂を埋め戻して写真-1の上段に示すように試掘を行った。この結果、写真-1の下段に示すようにコアの周縁部を除く大部分で白色の珪砂層を乱さず採取でき、この手法が堆積物の柱状特性調査に有効であることを確認した。

音波探査による海底面形状と地層の調査には、発振方式が電歪式で、発信周波数が1.5~10 kHz、発振エネルギーが最大60ジュールの探査機を用いた。これによれば、可探深度は100 m以浅で、指向角は22.5度、分解能は最良7.5 cmで地層の探査が可能である。柱状コア採取および音波探査での測量船の位置測定はDGPSで行ったが、この場合の位置精度は水平1 m以下とされている。また、測線①~⑦での柱状コアの採取は1999年8月11~25日の間に、音波探査は8月18~19日に行ったが、この調査期間中の8月15日に利根川から流量5,000 m³/sを越える大規模な出水があった。

3. 調査解析結果

バイブレーション・コアサンプラーにより採取した柱状コアは、半割りにして半割り面の中央部から層序を保

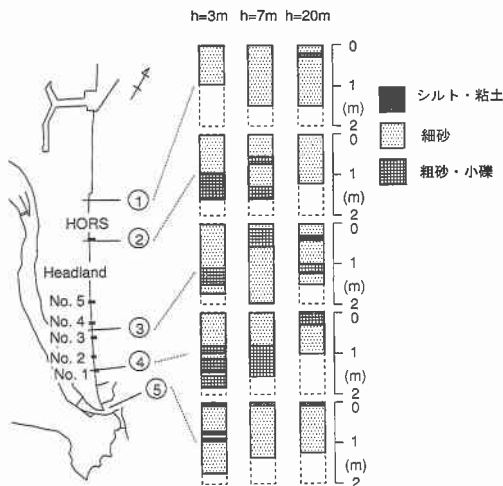


図-2 柱状コアの構成成分

存するための短冊状のサンプルを採取し（有田, 1983）、その後海底面から5 cm毎に分割して粒度、構成成分などを分析するための試料を得た。図-2は測線①~⑤で採取した柱状コアの構成成分を、目視観察と粒度分析結果をもとに図示したものである。コアを構成する底質は、ほとんどが細砂であるが、ところどころに粗砂や小礫を含む層が見られる。粗砂層の存在は水深が浅くなるほど多くなり、また、過去に侵食を受けた区域である測線③、④のコアほど多くなる傾向がある。シルト・粘土質成分は、利根川河口前面の測線⑤を中心に存在するが、層の厚さはきわめて薄く、物理的な海岸形成の主体とはなっていないと言える。

図-3は測線①~⑤の各測線のコア試料の中央粒径の分布を示したものである。測線③、⑤のコア試料については、5 cmごとにスライスした全試料の粒度を分析したが、そのほかの測線については、コアの目視観察結果を参考にして特徴的な層を抽出して分析を行った。コア試料の中央粒径は、そのほとんどが0.14~0.22 mmの領域に集中するため、0.1~0.3 mmの部分を拡大して図-3の下段に示してある。同図から、海岸を構成する主要な成分は粒径0.14~0.22 mmの細砂と判断されるが、それに中央粒径1~3 mmの粗砂が層状に挟まれていることが分かる。

主要な構成成分である細砂の中央粒径は、水深が深くなるほど均一化する傾向にあるが、測線⑤の水深3 mの粒径が著しく小さいことを除いて、場所や水深による系統的な違いは見られない。また、特に従来の調査で粘土質が多いとされる河口前面においても、水深7 mや20 m地点では、粘土成分は表層の10 cm程度の薄い領域にのみ存在し、その下は細砂で構成されていることは注目に

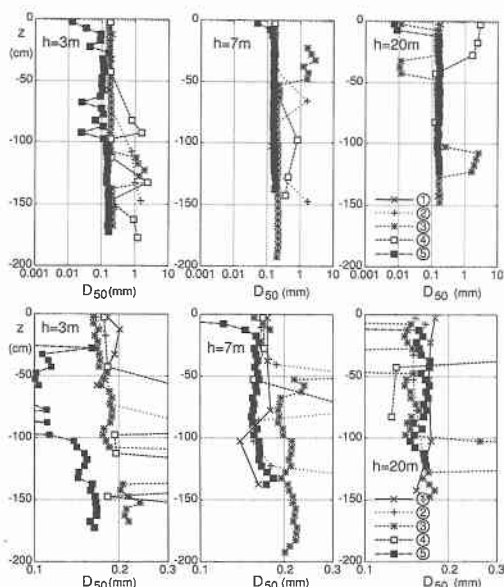


図-3 柱状コアの中央粒径の分布

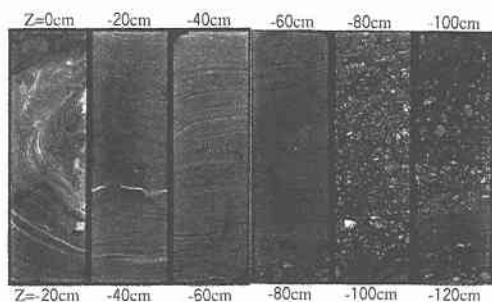


写真-2 測線④, 水深3mの底質の軟X線写真

値する。すなわち、利根川から供給される粘土質成分粒子は、河口前面に一時的には堆積するものの、波や流れの作用により容易に再浮遊させられるため、安定した地形構成要素とはならないと推定できる。

次に、柱状コア採取試料の軟X線写真解析について述べる。X線の透過力は波長が短いほど大きく、X線の吸収度は物質の原子量が大きいほど、物質が高密度なほど、また物質の厚みが厚いほど大きい。軟X線とは長い波長域のX線のことで、物質に対してのX線の吸収の差は波長が長いほど大きい。このことから、軟X線はわずかな密度差や厚みの違いに応じた透過度を示し、微細構造を解析するのに適するとされている。この軟X線を堆積物に照射して、透過した影像をフィルムや印画紙に記録することによって、目視では判別できない堆積構造などを観察することができる。

一例として、測線④の水深3mの海底面から120cm

堆積物の強熱減量(数字の単位: %)

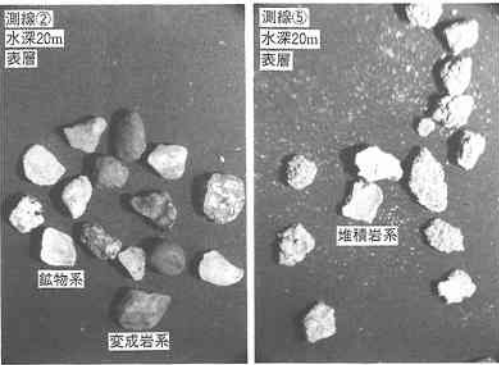
粒径 1mm, 0 ~ 5cm				粒径 1mm, 50 ~ 55cm			
水深				水深			
測線	3m	7m	20m	測線	3m	7m	20m
①	2	4	3	①	3	3	6
②	2	3	5	②	3	4	4
③	3	2	6	③	2	6	3
④	3	3	4	④	3	3	6
⑤	14	6	18	⑤	4	3	2
⑥	5	3	5	⑥	7	5	2
⑦	—	—	2	⑦	—	—	3

図-4 強熱減量の分布

深部までの堆積物を撮影した結果を写真-2に示す。これによれば、海底面から約60cm深部までは全体的に白色で、いくつかの白線が見られ、密度や含水量の異なる物質が層状をなして堆積しているようである。60~80cm深部ではそれらが明確でなくなり、80~120cm深部では砂礫層と細砂層が互層をなしていることが分かる。また、この堆積構造は図-3に示した中央粒径の分布とよく対応している。海底面から60cm深部までに見られた白線に対応する物質の特定はできないが、これが乱れた形状でないことから測線④の水深3mの海底面から約60cm深部では、静穏時に物質がゆっくりと堆積して層序を形成したと推定できる。

写真-2に示した軟X線写真の白線がどのようなものに対応するか調べるために、粒径2mm以下の堆積物を対象として強熱試験を行った。鉱物の融点は石英が1,500度、長石が900度なので約870度で2時間の強熱試験とし、強熱した試料は希塩酸で処理し有機物を除去した。なお、試料を強熱すると岩石種によっては酸化し赤色化するものもあった。強熱減量の沿岸方向および水深方向の分布を図-4に示すが、特徴的な傾向が見られないことから、強熱減量と軟X線写真との関連は明確ではない。ただし、図-4に示すように、利根川河口部の測線⑤の水深3, 20mの表層のみで強熱減量が10%以上と高く、これは有機物が付着しているためと言える。

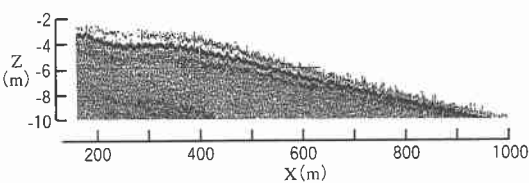
強熱処理後の堆積物試料は粒径2mm以下のものについては粒径毎に分別して拡大写真を撮り、岩石種や鉱物種の推定を行った。一例として、測線②と⑤の水深20mで採取した、柱状コア表層(海底面下0~5cm)の粒径1mmの岩石粒を写真-3に示す。岩石粒は堆積岩系や変成岩系および鉱物などからなることが判読できる。この拡大写真から読みとれる堆積岩系岩石粒の含有率をまとめたのが図-5である。水深3mでは測線①~④、⑥で0%、河口部の測線⑤で100%の含有率である。水深7m



写真—3 代表測線における粒径 1 mm の底質の拡大写真

堆積岩系岩石粒の含有率(数字の単位: %)												
粒径 1mm, 0 ~ 5cm				粒径 1mm, 50 ~ 55cm								
水深				水深								
測線	3m	7m	20m	測線	3m	7m	20m					
①	0	85	90	①	0	0	41					
②	0	0	64	②	0	0	73					
③	0	0	100	③	0	0	100					
④	0	82	0	④	0	0	67					
⑤	100	100	100	⑤	87	17	7					
⑥	0	14	100	⑥	0	47	0					
⑦	—	—	33	⑦	—	—	56					

図—5 堆積岩系岩石粒の分布特性



図—6 音波探査の一例(測線④, 水深 10 m まで)

らの出水に伴い供給される土砂の大部分がこの種の岩石粒とすると、鹿島灘沿岸では海浜形成に寄与する土砂供給は今後は望めないといわれ、利根川の影響が少ないと考えられる測線⑥、⑦でも堆積岩系岩石粒は見られ、測線①～⑤との岩石粒や鉱物の組成の違いは写真からは確認されないため、供給源を特定する場合には地質学的な鉱物分析も必要とされる。

音波探査結果の一例として測線④の水深 10 m までを図—6 に示すが、海底面から約 1 m の深部で反射面が見られ、粒度分析や軟 X 線写真で判読できる細砂層と砂礫層の互層に対応する。そこで、音波探査結果から海底面形状と反射面形状を判読した結果をまとめると次のようになる。海岸線にほぼ直交する測線①～④の海底面と反射面の特徴は、①水深 5 m までのトラフ・バー地形の形成領域では反射面はほとんどなく、②水深 12～15 m の海底勾配はほぼ一様で、これに平行に 1 m 深部に反射面が見られることである。また、③水深 12～15 m 以深では海底勾配がやや緩くなり、反射面は 0～3 m の深部に見られる。

測線②付近のボーリングデータによると、海底面下約 20 m までの地質の特性は次のように区分されている。第 1 層は均一な細砂で構成され、 N 値は 10 以下と緩い層で、第 2 層は不均一な中細砂で貝殻片を混入し、 N 値は 20～40 と深度が深くなると N 値が高くなる層である。また、第 3 層は N 値が 50 以上の均一な細砂層となっている。このことから、海底面と反射面が挟まれる層は第 1 層の緩い細砂層と推定した。また、測線①～④の水深 12～15 m 以深では波の作用が弱いことから、利根川から供給された堆積岩系岩石粒も磨耗されずに堆積していると推定できる。

4. 堆積物特性からの海岸過程の推定

測線①～④の鹿島灘沿岸の海浜特性について、音波探査から得られた海底面形状と反射面形状を模式的に示し図—7 をもとに考察する。ここでは、水深 5 m 以浅の変形が激しい領域、水深 5～12 m の平衡領域、水深 12 m 以深の堆積領域に区分する。変形領域では、波の作用による堆積物の攪乱が大きいため反射面は明確でなく、利根川起源の堆積岩系岩石粒は磨耗してしまうために分布し

では測線②、③で 0%、測線①、④で 85%、82%、測線⑤で 100%、測線⑥で 14% の含有率を示す。水深 20 m では測線④で 0% であったのを除けば、各測線とも 100% 近い含有率であった。

この堆積岩系岩石粒は河口部の測線⑤に多く、河口から遠くなると少なくなる傾向にある。また、水深方向には波の作用が大きい水深 3 m で少なく、波の作用が小さい水深 20 m では多くなる傾向を示す。このことから、この堆積岩系岩石粒は利根川からの流出土砂に含まれた岩石粒で、波の作用で磨耗してなくなる種類の岩石粒と考えられる。ところで、測線⑤においては堆積岩系岩石粒の含有率が水深によらず 100% であった。これは、測線⑤では 8 月 25 日の大出水後に柱状コアが採取されたことによると考えられ、強熱減量が高かったことと一致する。

このことは、測線⑤の堆積岩系岩石粒は 8 月 15 日の大出水時に利根川から供給されたもので、大出水前の 8 月 11～14 日に採取された測線①～④の柱状コアに含まれる堆積岩系岩石粒とは供給時期が異なる可能性を示す。また、測線①～④において水深 3 m 以浅に堆積岩系岩石粒がほとんど含まれないことは、この岩石粒は鹿島灘沿岸の浅海の構成材料とはならないと推定される。利根川か

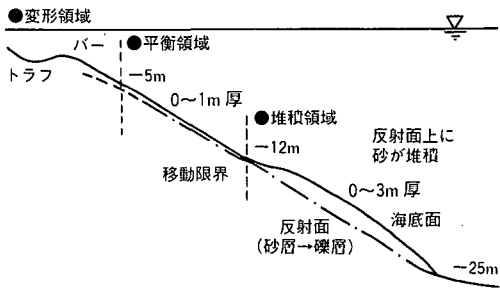


図-7 堆積物特性から推定した海岸過程

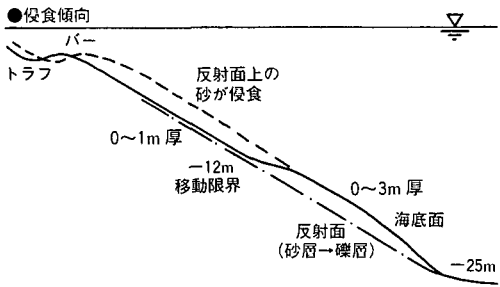


図-8 侵食傾向と仮定した場合の海岸過程

ない。平衡領域では堆積物が変形領域と堆積領域に移動するために、反射面上には薄い砂層しか形成されない。利根川起源の堆積岩系岩石粒は、波の作用が小さいので磨耗せずにまばらに分布する。

堆積領域には利根川や周辺海浜から堆積物が移動してくる。このため、反射面上に比較的厚い砂層が形成される。この場合、利根川起源の堆積岩系岩石粒は、波の作用がほとんどないので磨耗されずに残され、地形形成の一要素となる。しかし、平衡領域で浅の主な構成材料は磨耗されにくい変成岩系岩石粒や石英などの鉱物なので、この種の岩石粒が利根川から現状において供給されているか把握することが必要とされる。従来は河川からの流出土砂の量と粒径を把握すれば問題は少なかったが、今後は流域の地質や岩質と海浜を構成する堆積物の岩石種や鉱物の含有量も調査する必要がある。

また、鹿島灘沿岸が長期間安定した海岸であって、利根川からの供給土砂が減少して侵食傾向にあると、図-8に示すような海岸過程となる。すなわち、もともと地形が反射面であって、その後長期間かけて土砂が堆積して、破線で示す砂層厚3m程度の反射面に平行な海岸が形成された。この場合には、利根川起源と考えられる堆積岩系岩石粒も広く分布していた。その後、利根川か

らの土砂供給がなくなり、図-7の平衡領域が侵食されはじめ、平衡領域では砂層厚が薄くなり、変形領域では反射面まで波の攪乱を受けるようになった。その結果、堆積岩系岩石粒は運び去られてしまった。

5. おわりに

今回の調査で用いた手法についての評価は、次のように要約される。

① 柱状コア採取とそれを分割して粒度組成を分析することは、海浜の堆積過程を推定する上で有効である。

② 堆積物の軟X線写真から堆積構造を明確に把握できる。また、柱状コアの粒度分析を効率的に行うためには軟X線写真解析を参考にするが良い。

③ 強熱減量試験や粒径別の底質の拡大写真観察によれば、岩石粒や鉱物の含有量を概略把握できる。これにより、底質の移動や供給源が推定できる。

④ 電歪方式の1.5~10 kHzの音波探査によると、数十cmの精度で地層の判読が可能と言える。しかし、音波探査からは層序は判別できるが、構成堆積物の種類は特定できないので柱状コア採取と組み合わせるのが望ましい。

謝辞：運輸省港湾技術研究所海洋環境部漂砂研究室の栗山善昭室長には、測線②付近のボーリングデータを提供していただいた。また、通商産業省工業技術院地質調査所海洋地質部海洋堆積研究室の斎藤文紀主任研究官には、軟X線写真解析法を指導していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 有田正史 (1983): 堆積物の軟X線撮影法—その2—, 地質ニュース, 第350号, pp. 46-56.
- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, 442 p.
- 佐藤慎司・笠井雅広・河野龍男・諸田 勇・加藤俊夫・桜庭雅明 (1999): 駿河海岸和田島地先における砂礫の粒径別移動特性, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 526-530.
- 砂子 浩・泉宮尊司・石橋邦彦 (1996): 現位置透水試験装置の開発および海浜の透水係数と海岸侵食の関係について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 531-535.
- 辻本剛三・加地智彦・日下部重幸・原田紘一郎 (1999): 底質の強熱減量に着目した人工海浜の代表粒径の与え方に関する研究, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 736-740.
- 西 隆一郎・大見真治・佐藤道郎・宇多高明・N. C. Kraus (1996): 海浜と砂丘の締まり度に関する研究, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 681-685.
- 李 在炯・入江 功・小野信幸・村上啓介 (1999): 底質分析による広域の漂砂特性調査法について, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 656-660.