

利根川河口部の漂砂機構と波崎海岸への土砂供給の実態

佐藤 慎司* ・ 前田 亮** ・ 磯部 雅彦***
関本 恒浩**** ・ 笠井 雅広***** ・ 山本 幸次*****

1. はじめに

流砂系における土砂管理を行うためには、沿岸域における漂砂機構を正しく理解する必要がある。特に、流域における土砂動態の変化は、海岸の変形機構に長期にわたって影響するため、数十年程度の長期にわたる海浜過程を理解することが重要となる。しかし、最も調査実績の多い海岸でも海象情報や深浅測量のデータは 30 年程度しか蓄積されていないのが現状であり、中長期の海浜過程を検討する手法を確立することが急務である。

本研究では、歴史的に流路が東へと変更され、近年においても河口堰の建設などにより流砂特性が大きく変化したと考えられる利根川河口部とその北側の波崎海岸を対象として現地観測を実施し、河川から供給される土砂の量と質の変化が海岸過程に与える影響を解明することを目的とした。波崎海岸では、鹿島港防波堤、波崎漁港防波堤およびヘッドランドの建設により、漂砂特性にもさまざまな変化が生じている。本研究では、底質調査、海底の柱状コアの分析、河口周辺における波・流れ・濁度の観測を総合的に実施することにより、このように特徴的な河口部の漂砂機構と波崎海岸の地形形成過程を解明することを目的とする。

2. 河口周辺の波・流れと濁度の観測

観測は 1999 年 8 月 20 日から一ヵ月間実施し、図-1 に示した A, B, D, E の 4 点の底面付近に波高流速計と濁度計、河道内の I 点に濁度計を設置した。また、8 月 31 日と 9 月 28 日に河口前面の領域で深浅測量を実施するとともに、S1~S8 の各点で表層底質を採取した。さらに、鹿島港南端から屏風ヶ浦にかけての広範な領域に約 5 km 間隔で設置した 7 本の測線上で柱状コアを採取した(山本ら, 2000)。コアの採取は、各測線の水深 3 m,

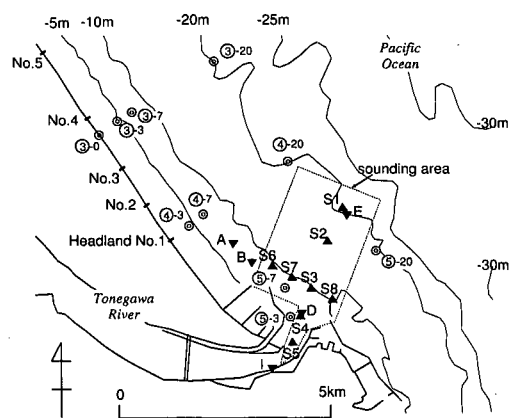


図-1 観測地点および柱状コアの採取地点

7 m, 20 m の地点で実施し、パイプロハンマーによって直径 10 cm, 最大長さ 2 m の柱状コアを採取した。採取したコアは、表面から 5 cm ごとにスライスして分析用の試料とした。本論文では、河口前面の測線⑤と約 5 km 北側の測線③で採取したコアを分析の対象とする。また、測線③の水深 7 m のコアを③-7 と表記することにする。図-1 には、図の範囲内で採取した柱状コアの採取地点も合わせて示してある。

図-2 は、D 点における潮位 η , 有義波高 $H_{1/3}$, 有義波周期 $T_{1/3}$, A~E 点の水温、河道内の I 点の濁度を、取手観測所における利根川流量とともに示したものである。観測開始直前にほぼ 10 年に一度の頻度で起こる規模の流量 $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を超える大規模出水が観測されている。図-2 によると、観測期間は、出水の影響が残り、波高 1~2 m のうねりが持続した期間 I, 河川流量が小さく波浪も静穏であった期間 II, 台風 16 号の影響で有義波高 2 m を超える風波の来襲と小規模な出水が生じた期間 III に分けられる。水温変動記録をみると、期間 I では、A, B, D 点と E 点の水温との間に最大 $2\sim 3^\circ\text{C}$ の差があり、水温差に基づく密度成層が発達していると推定される。さらに、河川水が大量に流入することにより、塩分濃度差による密度場の変化も加わっており、上層を流れる河川水と底層の海水の運動に顕著な差が生じていると考え

* 正 会 員 工 博 東京大学教授 工学系研究科社会基盤工学専攻
** 東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻
*** フェロー 工 博 東京大学教授 新領域創成科学研究科環境工学専攻
**** 正 会 員 博(工) 三洋建設(株)技術研究所
***** 正 会 員 工 修 建設省河川局防災・海岸課
***** 正 会 員 建設省土木研究所海岸研究室研究員

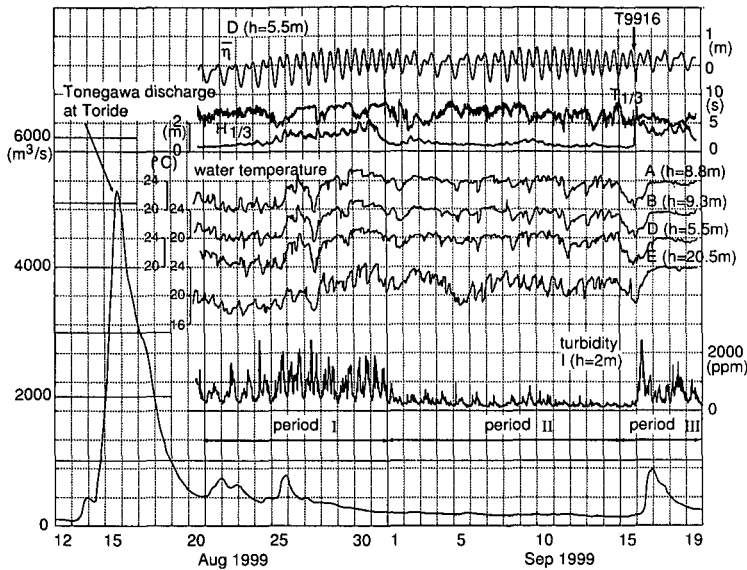


図-2 潮汐、波浪、水温、濁度、利根川流量の経時変化

られる。

図-3は、期間IにおけるD点の潮位 $\bar{\eta}$ 、河川流軸方向の流速 u （沖向きを正）、濁度 c のパワースペクトルを示したものである。流軸の方向は後掲の図-5に一点鎖線で示してある。潮汐は、一日および半日の変動が卓越し、流速や濁度にはこれらの変動に加えてさらに短い周期の変動成分が重なっている。流速と濁度のコスペクトルを示した図-4を見ると、これらの変動成分による輸送フラックスは河口前面であるにもかかわらず岸向きであり、密度成層の影響により、下層では岸向きへ向かう複雑な輸送形態が発達しているものと考えられる。

期間IIIでは、密度成層は発達していないと考えられ、台風16号の通過による波高の増大、同時期に常盤沖に接近した黒潮の反流と考えられる強い南東流の発生、水温の上昇、小規模出水が半日間にこの順に発生し、濁度が增大している（佐藤ら、2000）。図-5は、A、D、E地点における懸濁物の輸送フラックスを期間IおよびIIIに対して示したものである。沖合いのE点では、南東向きの沿岸方向への輸送が卓越し、河口前面のD点においても河川から流出する向きへのフラックスは小さい。観測前後の地形変化は小さく、表層底質からシルト・粘土質成分の割合がわずかに減少していることから、今回の観測で捉えられた濁度の増加は、出水により薄く堆積した微細粒径成分が、波や流れの作用により再浮遊したものと考えられる。また、河口の北側に位置するA点での濁度変動とフラックスはいずれも小さく、出水に伴う微細粒径成分は、北側へはほとんど輸送されていないことが確認された。北側領域で泥質成分が少ないことは安永ら

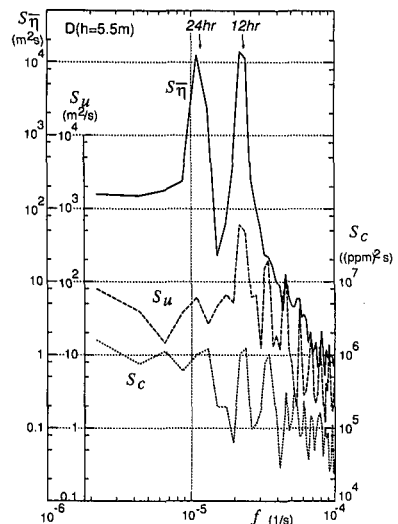


図-3 潮位、流速、濁度のパワースペクトル（期間I）

（1987）による表層底質の調査でも報告されている。

3. 汀線部の底質と柱状コア試料の分析

（1）底質の粒度特性

海岸の底質は一般に、沿岸漂砂の下手に向かうにつれて粒径が小さくなり、淘汰が進むといわれている。沿岸漂砂による分級状況を把握するために、汀線部底質の粒度を分析した。底質は、1999年8月19日に、波崎漁港北端から鹿島港南端までの約18kmの範囲の汀線部満潮位付近で採取した。底質の採取には刃長15cmのスコッ

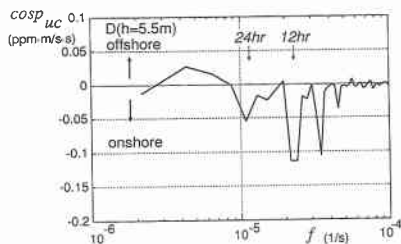


図-4 流速と濁度のコスペクトル (期間 I)

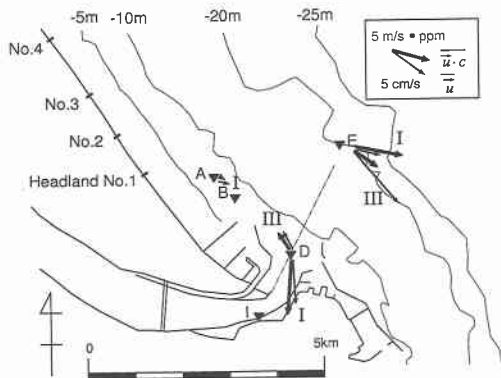


図-5 平均流速および懸濁物の輸送フラックス

ブを用い、表層のごみや貝殻を除いた後、スコップを地盤内に 10 cm 貫入させて採取した。底質の採取間隔は約 100 m としたが、北部の単調な海岸では、200 m 間隔とした。南側海岸のヘッドランド施工区間では、さらに細かく採取することにより、合計 167 地点の試料を取得した。

底質の粒度はレーザ回折式粒度分布測定器で分析した。計測器の測定範囲は 0.1~500 μm であるので、500 μm 以上の粒子が混在する試料については、ふるい分け分析を併用した。図-6 は、底質の中央粒径 D_{50} の沿岸分布を示したものである。過去に同じ領域で取得されたデータも合わせて示してある。加藤ら (1987) のデータは、満潮位と平均潮位の中間で取得されている。図より、1990 年頃までは海岸侵食が著しかったヘッドランド施工区間で粒径が大きいことがわかる。同様の傾向は、宇多ら (1986) の調査による鹿島港北側の海岸でもみられており、侵食により細粒分が流出して粗粒化が進んだ結果であると判断できる。ヘッドランドの施工が進んだ 1990 年頃からは、以前粗粒化が進んだ領域でも細粒化しており、ヘッドランドにより海浜の安定化が図られるとともに微細砂成分が捕捉されるようになったものと考えられる。淘汰度 ($=\sqrt{D_{75}/D_{25}}$) については、全領域でほぼ 1.26 程度で、沿岸方向への変化はみられなかった。

粒径分布をさらに詳しく検討するために、今回採取した底質に対して粒度分布の確率密度を示したのが図-7

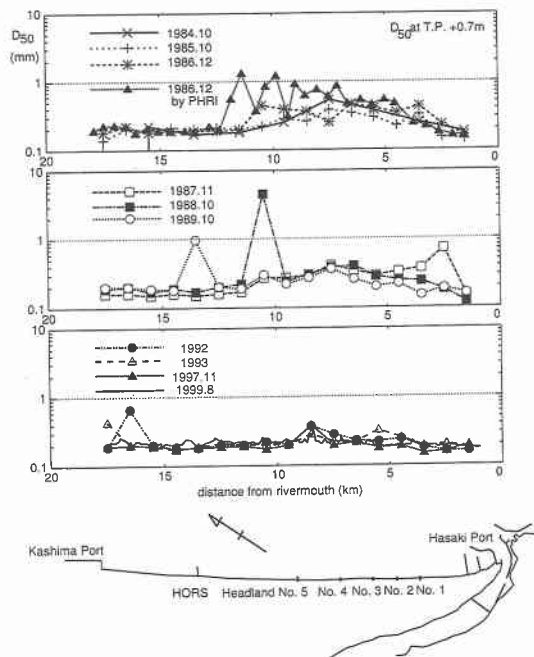


図-6 汀線部満潮位付近の底質の中央粒径

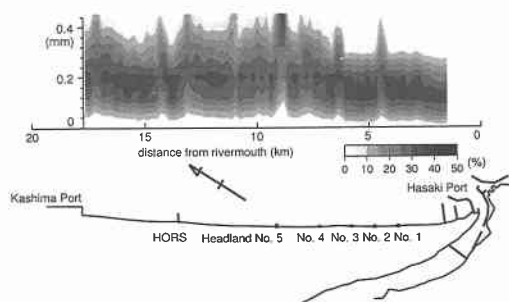


図-7 汀線部満潮位付近の底質粒径の確率密度

である。上部の図で横軸は河口からの距離、縦軸は粒径であり、粒度分布が確率密度の濃淡で示されている。底質粒径は、河口から離れるにつれてわずかに増加する傾向にあることがわかる。このような傾向は、鹿島港での土砂投棄が実施される前の 1962 年 6 月および 12 月に実施された井島ら (1964) の調査でも報告されている。当海岸の平均的な沿岸漂砂の方向が北向きであることを考慮すると、利根川河口から供給された土砂のうち、微細砂成分は北向きへの輸送過程で徐々に沖合いへと流出しているものと推定される。

(2) 堆積年代の推定

数十年の期間における堆積物の堆積年代を放射性降下物に起因する自然放射能の測定により推定する手法としては、Pb-210 (半減期 22.3 年) に注目する方法と Cs-

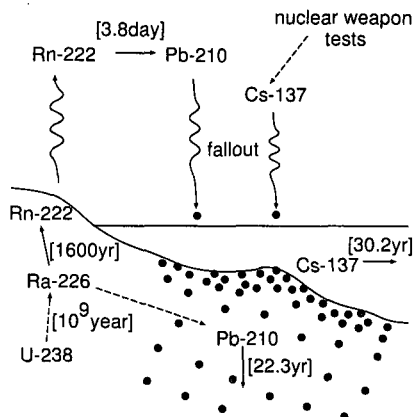


図-8 放射性降下物による堆積年代推定

137 (半減期 30.2 年) による方法が有効である (金井ら, 1995; Mahara et al., 1988). 前者は, ウランの崩壊系列中で発生する気体である Rn-222 が大気中に拡散後崩壊して金属の Pb-210 が発生し, これが図-8 に示すように地表に降り積もることにより生じる放射非平衡を利用するものであり, 後者は, 核実験が多数行われた 1963 年頃に高濃度となった Cs-137 を示準物質として利用するものである。

柱状コアを 5 cm ごとにスライスした試料を低温乾燥し, 直径 8 cm のアクリル製容器に厚さ 4 mm に均一に成形した上で密封して約 30 日間放置し, 半減期 3.8 日の Rn-222 の崩壊過程が十分放射平衡に達する状態にした。これを, 遮蔽体内にセットし, ベリリウムウィンドウ付きの γ 線スペクトロメータで γ 線放出量を計測した。試料から放出される γ 線の量は極めて微量であるため, 一つの試料に最低 24 時間の計測時間を確保するようにした。

本研究で注目した Pb-210 と Cs-137 は崩壊に際しそれぞれ 46.5 keV, 661.6 keV のエネルギーを放出するので, この 2 つのエネルギー帯に注目することにした。計測に先立ち, あらかじめ Pb-210 の含有量がわかっている泥質土を厚さ 4 mm に成形した標準試料を用いて, 測定器の計測効率を測定した。図-9 は, Pb-210 の放射線強度が 15.21 Bq と 5.07 Bq の 2 種類の標準試料および試料をセットしない状態におけるバックグラウンドの γ 線スペクトルを示したものである。試料の計測値からバックグラウンドの計測値を差し引くことにより放射線強度を評価した。測定の対象としたのは, ⑤-3, ⑤-20 のコアおよび③-20 のコアである。いずれの試料からも Cs-137 に対応するエネルギー帯に明確なピークは現れなかったため, Pb-210 のみについて以後の解析を行った。

図-10 は, 利根川河口前面の⑤-20 m のコアに対する

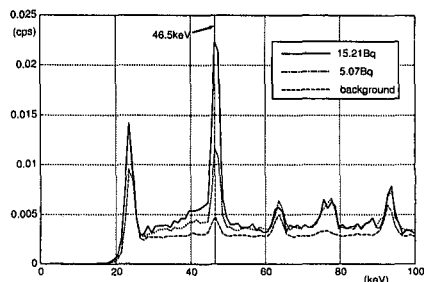


図-9 標準試料の放射線強度

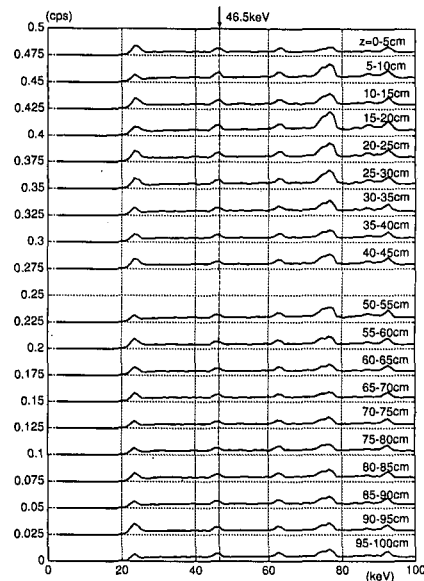


図-10 柱状コアの放射線強度

計測結果を示したものである。海底面から 5 cm ごとにスライスした試料のスペクトルを, 上から順に 0.025 cps のオフセットをつけて並べて示してある。Pb-210 の崩壊に対応する 46.5 keV にピークが見られ, 表面に近いほどピークが高い傾向にある。他のエネルギー帯にもいくつかのピークが見られるが, 本研究では, 起源が明確な Pb-210 のみに注目して解析を行うことにする。

図-11 は, 3 つのコア試料に対する Pb-210 の γ 線強度 γ を示したものである。縦軸は, 海底面 ($z=0$) からの深さであり, 横軸は 1 秒あたりの γ 線検出数である。Pb-210 の含有量は, 海底表層ほど多く, 深部では一定値に漸近していくように見える。深部における漸近値は, 地盤に元々含まれる Pb-210 成分と考えられ, この値との差分が新たに降り積もった Pb-210 の過剰成分と考えられる。水深 20 m の領域の過剰鉛は③-20 では海底面下 60~80 cm, ⑤-20 では海底面下 40 cm の範囲に存在するのに対し, 水深 3 m の⑤-3 では表層 20 cm 程度の薄い傾

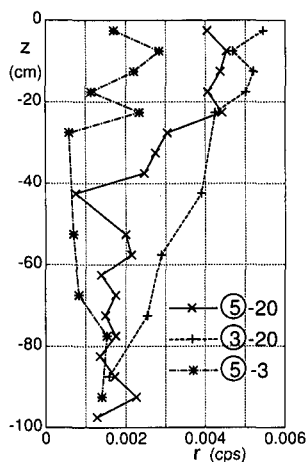


図-11 柱状コアの Pb-210 の放射線強度

域のみにしか見られない。これは、図-12 に示すように、沖合いでは堆積と波浪による混合過程が緩やかに進行しているのに対し、水深 3 m 地点では、侵食と堆積が繰り返され底質の混合が激しいためと考えられる。汀線部底質の粒度分析結果によると、微細砂成分は汀線付近から沖合いへと流出しているものと考えられるが、沖合いでは同成分がゆるやかに堆積するとともに波浪による混合を受けており、数十年の時間スケールにおいては、その厚さは表面から 40~80 cm 程度の深さにまで及んでいると言える。

4. おわりに

本研究では、利根川河口およびその北部の波崎海岸において、汀線部底質の粒度分析、自然放射能の測定、河口部の波・流れ・濁度・地形変化の観測を総合的に実施し、出水直後の河口周辺の漂砂機構を解明するとともに、数十年スケールの土砂移動実態を推定した。古い時期の調査データが少ない海岸においては、本研究で実施したような総合的な検討が、中長期的な海岸過程を把握するうえで、きわめて有効な手法であると考えられる。

謝辞：観測結果の分析に際し、茨城県河川課および(株)INA より底質粒径データを提供していただいた。自然放射能の測定には、(財)電力中央研究所の馬原保典氏、

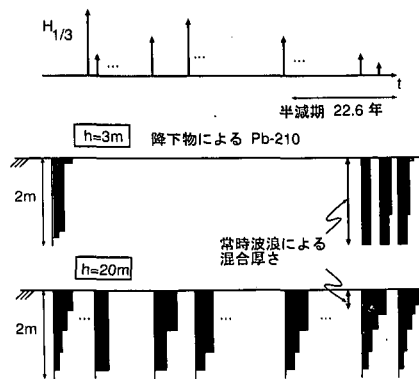


図-12 堆積と混合による放射性降下物含有量の変化

清水隆夫氏、東京大学農学生命科学研究科中西友子助教授、アイソトープ総合センターの野川憲夫助手の協力を得た。また、現地調査には、東京大学、五洋建設(株)技術研究所、建設省土木研究所、水産工学研究所をはじめとする多くの方々の協力を得たことを付記し、謝意を表する。

参考文献

- 井島武士・佐藤昭二・田中則男 (1964): 鹿島港海岸の漂砂について, 第 11 回海岸工学講演会論文集, pp. 175-180.
- 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三 (1986): 茨城県における海浜変形の実態, 地形, 第 7 巻, 第 3 号, pp. 141-163.
- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・浅倉弘敏・村上裕幸・藤田 誠 (1987): 波崎漁港から日川浜海岸にかけての前浜地形と底質粒径, 漂砂研究室レポート, 41 p.
- 金井 豊・井内美郎・片山 肇・斎藤文紀 (1995): ^{210}Pb , ^{137}Cs 法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積り, 地質調査所月報, 第 46 巻第 5 号, pp. 225-238.
- 佐藤慎司・前田 亮・磯部雅彦・関本恒浩・笠井雅広・鳥居謙一・山本幸次 (2000): 鹿島灘南部海岸の地形形成機構に関する現地調査, 土木学会論文集 (投稿中).
- 安永義暢・上北征男・日向野純也・明田定満 (1987): 砂泥性着底基質の解明-III-砕波帯沖合部における底質とベントスの関係調査例一, 水産工学研究所技報, 水産土木, 第 8 号, pp. 43-62.
- 山本幸次・鳥居謙一・笠井雅広・佐藤慎司 (2000): 柱状コア採取と音波探査に基づく鹿島灘海岸の堆積物特性の把握, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 651-655.
- Mahara, Y., A. Kudo, T. Kauri, D. C. Santry and S. Miyahara (1988): Mobile Pu in reservoir sediments of Nagasaki, Japan, *Health Physics*, Vol. 54, No. 1, pp. 107-111.