

鯨川河口砂州の変形と勿来海岸の地形変化過程に関する現地観測

阿部真人*・福山貴子*・佐藤愼司**
磯部雅彦***・熊谷隆宏****

約 20 年前に河口位置が付け替えられた鮫川と勿来海岸において、波・流れ場と河口砂州の変形を計測するとともに、汀線部で採取した鉛直コア試料を分析した。砂州変形の計測では、簡易砂面計を用いて最大侵食深を計測し、2 方向からの高波により砂州が侵食された際に、高波到来要直後に観測した地盤高よりさらに約 1 m の深さまで侵食が及んでいたことが明らかになった。さらに、鉛直コア試料の粒度の鉛直分布、Pb-210 に由来する自然放射能測定および深浅測量結果を分析することにより、河口位置の変更に伴う漂砂特性と海岸地形の長期的な変化過程を解明した。

1. はじめに

河川からの土砂供給が主要な漂砂源である海岸では、海岸侵食の根本的な対策は流砂系全体の土砂問題として検討する必要がある。河川流域での土砂採取や砂防ダム建設等による土砂環境の変化が海岸への土砂供給を減少させ、河口周辺の汀線後退を引き起こしている事例も指摘されているが、海岸侵食は多くの原因の複合で発生することが多く、広範囲の長期にわたる土砂移動実態とその変遷を理解した上で対策を講じることが重要である。

このような場合には、河川と海岸を一連の系として捉え、連続した流砂系での土砂移動実態を解明する必要があるが、その際には、河川からの土砂供給の変化と河口及び周辺海岸の地形応答との関係を解明することが本質的な課題のひとつとなる。本研究では、河口砂州と仕切堤を有する河川が流入するポケットビーチを対象として現地観測を実施し、出水と波浪による砂州の変形機構を把握するとともに河口位置の変更に伴う土砂環境の変化が海岸の長期的な漂砂・変形特性に与えた影響を解明することを目的とした。

2. 鮫川・勿来海岸流砂系の概要

本研究の対象は、図—1 に示した福島県の鮫川・勿来海岸流砂系である。鮫川は阿武隈山系朝日山にその源を持ち、勿来海岸において太平洋に注ぐ流域面積 600 km²、流路延長 58 km の二級河川である。その上流には高柴ダムがあり、さらに支流に四時ダムを有する。それぞれの総貯水容量は、高柴ダムが 12,700 千 m³、四時ダムが 12,100 千 m³ であり、ともに洪水調節と工業用水の供給、さらに後者に関しては上水道用水の供給目的を加え、前者が 1962 年に、後者が 1984 年に完成した。

空中写真の比較から海岸線の変化を検討した梶村ら(2001)によると、1960年代頃から南端部に位置する勿

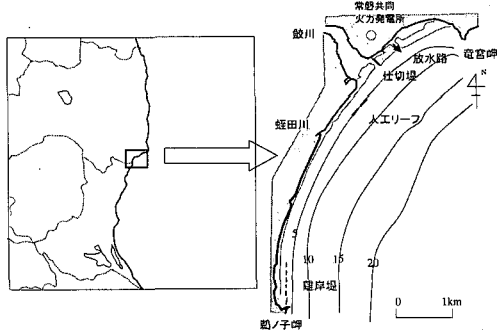
来・平潟漁港の防波堤建設に伴い南部で汀線が後退した。そのため、図-1にあるように、南部において1970年代から離岸堤が建設され、また近年侵食が顕在化した鮫川河口右岸側では人工リーフが1998年から建設された。

梶村ら (2001), 藤田ら (2001) の研究により, 土砂は主として北向き沿岸流により北側へ輸送され堆積していると確認されたため, 河口から海岸北端の龍宮岬までを本研究の主たる対象領域とした。北部海岸の空中写真を写真-1 に示す。河口部近くでは, 1970 年代までは土砂採取が行われており, 右岸側の中州が 1966 年から 1976 年にかけて消失している様子が見て取れる。さらに左岸に立地する発電所からの温排水が鮫川内水面漁業に与える影響を軽減するため, 1982 年に左岸に仕切堤, 1983 年には左岸砂州に排水用の放水路が相次いで建設された。鮫川は, 平水時には南から延びる砂州の背後を北へ流れ, 北端の龍宮岬のつけ根付近で海へ注ぐことが多かったが, 仕切堤の建設に伴い河口位置が現在の位置に固定された。写真-1(c) の空中写真ではその様子が確認できる。

3. 波・流れと河口砂州周辺の土砂移動

3.1 波・流れの集中観測

集中観測は2001年8月から10月にかけて実施した。河口から海岸北端の龍宮岬までを集中観測領域とし、沖合から河口部までの5地点(図-2)で波浪と底層流を連続観測(9/14~10/16)した。図-3に底層の平均流速を示す。河口砂州形状の計測は8月23, 24日に実施したが、



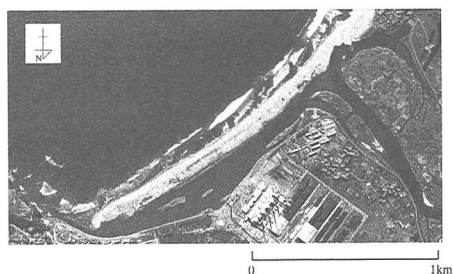
図一1 勿来海岸と海岸施設

・学生会員 東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻

**** 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**

*** フェロー 工博 東京大学教授 新領域創成科学研究科環境学専攻

**** 正會員 Ph.D. 五洋建設技術研究所



(a) 1966年3月



(b) 1976年3月



(c) 1998年2月

写真-1 駿川河口から北部海岸の変遷

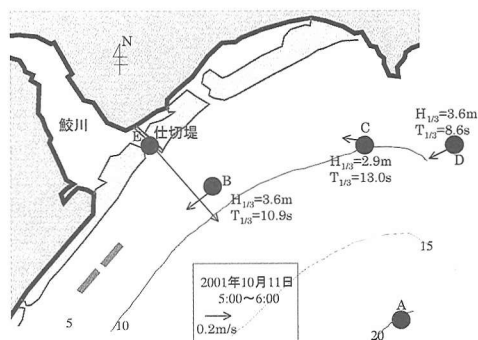


図-2 計測器の設置位置

その後荒天が続いたため、波浪流速計は9月14日まで投入できなかった。その期間中の9月11日には台風15号が来襲し、砂州形状が大きく変化した。同台風による波浪は計測されていないが、天気図および小名浜における風の記録から判断すると、来襲波浪は南よりから入射したのと考えられる。波・流れの計測期間中では、図-2に示したように10月11日に低気圧通過により有義波高3mを超える高波浪と出水が記録されており、図-3に示した様な出水と南向きの強い流れが観測されている。

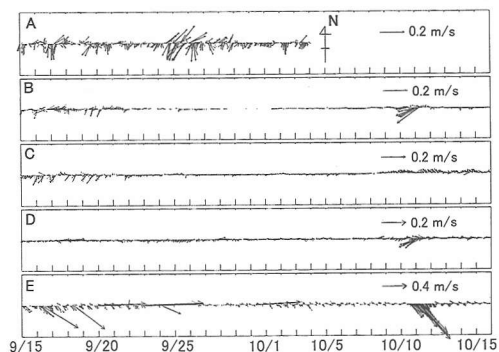


図-3 流れ観測データ

(地点Aのデータには途中から異常が見られるが、取得されたデータは全て図示してある)

3.2 河口砂州の変形及び最大侵食深の測定

河口砂州の変形は8月23, 24日と10月19日に地形を測量するとともに、直径4cmのプラスチック製穴あき球を縦につないだ長さ1.5mの簡易砂面計を砂層に鉛直に埋め込み、地形変化後に地盤を掘り返し流されなかった球を回収することで最大侵食深を測定した。写真-2は簡易砂面計埋め込みの様子である。砂面計の埋め込みは、まず内径4.3cm、長さ2mの塩ビパイプを砂層に打ち込み、内部の砂を排除して砂面計を挿入した後に砂を埋め戻すという手順でおこなった。砂面計は、図-4のAA'断面に10地点、BB'断面に6地点埋め込んだ。図-4は8月23, 24日および10月19日の砂州形状であり、図-5は河口部横断面(図-4中AA'断面)における地形変化と最大侵食深の分布を示したものである。観測期間内に左岸側の小規模砂州が消滅し右岸側砂州も侵食されたことがわかる。左岸側砂州は9月14日には既にほぼ消滅していたことが観測されており、これは9月11日の台風15号による南からの波浪による北向きの沿岸漂砂によるものである。一方、右岸の砂州の侵食は10

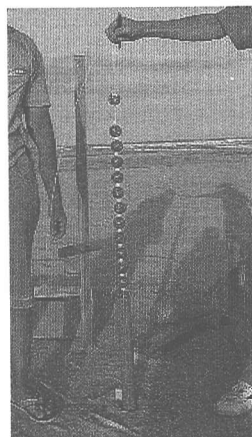
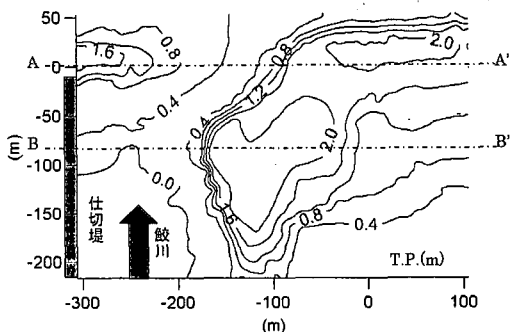


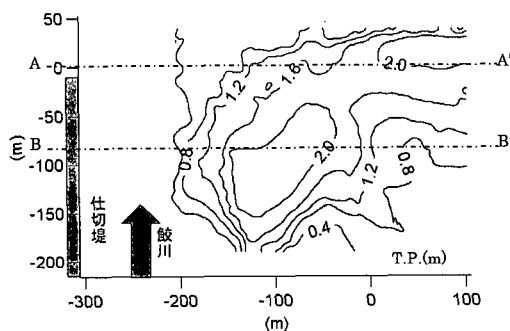
写真-2 簡易砂面計埋め込みの様子

月11日の低気圧の来襲による北よりからの高波浪が主な外力と考えられ、図-2で確認されるように南向きの沿岸漂砂が引き起こした地形变化である。期間中大規模な砂州のフラッシュは生じなかったが、砂州頂部を越えて一部の波が打ち上げたため、砂州の地形は平坦化された。

図-5の最大侵食深を見ると、最も侵食が進んだ時点では10月19日の地盤よりさらに約1mの深さまで侵食されていたことがわかる。BB'断面でも同様に1mを超える最大侵食深が確認された。最大侵食は10月11日



(a) 8月23, 24日



(b) 10月19日

図-4 砂州形状の変化

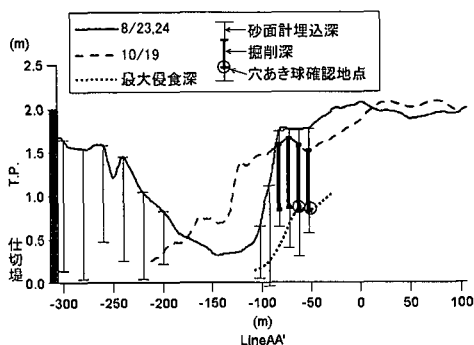


図-5 河口断面地形と最大侵食深

の高波浪の来襲時に生じたと考えるのが自然であり、砂州の回復過程は比較的短期間であることがうかがえる。

4. 勿来海岸の長期的な海浜過程

4.1 コア試料の採取と分析

河口砂州での観測にあわせて、同海岸の長期的な漂砂過程の変遷を解明することを目的として、汀線部砂層の鉛直コア試料を採取した。コア試料は内径4.3cm長さ2mの塩ビパイプを地中に打ち込み、上部を水密にしたうえで栓をして引き抜く方法で、図-6に示したように北端の龍宮岬から南端の鶴ノ子岬までの計28点で採取した。パイプの側面を切断し、半割りとしたうえで断面の写真撮影及びスケッチを行い、その後深さ方向に5cmごとに分割し、粒度分布と自然放射能の測定を実施した。粒度分布は、粒径3mm以上はふるいわけ試験、3mm以下はレーザー粒度測定器により測定した。

4.2 粒度分析

図-7は北端部付近の地点1～6の中央粒径分布を示したものである。1m以深では全地点で類似した粒径分布を示すのに対し、1m以浅では1及び2で表層近くほど細くなる傾向がある。これは、地点1及び2が旧河口付近に位置することと関係していると考えられ、これらの地点の表層付近の砂層は、旧河口閉塞後にそれまでとは異なる機構で堆積した可能性がある。地点6で特に粗い層が存在するのは、放水路の強い流れの影響と考えられ、粗粒化は梶村ら(2001)が示した表層のみならず1m程度の深さまで進んでいることが確認できた。

河口部では別途採取した長さ約10mの鉛直コア試料も分析対象とした。図-8は河口砂州コアの中央粒径分布を示したものである。同図によると深さ約2mの位置にやや粗い砂層が存在し、4～8mには径5mmを超える

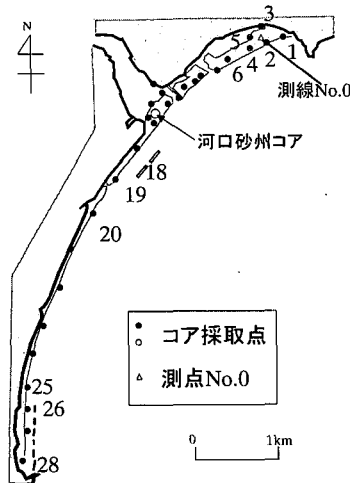


図-6 コア試料採取地点

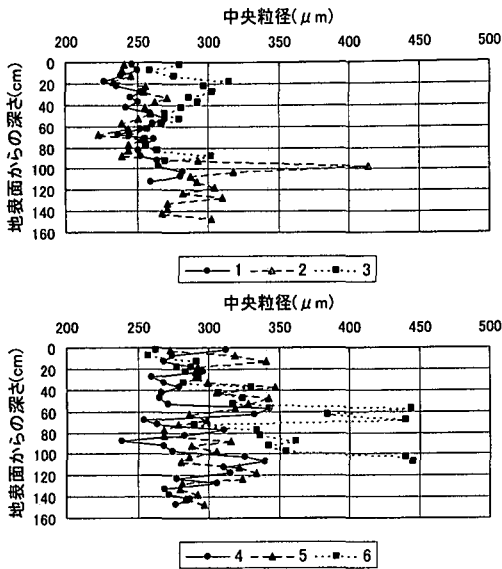


図-7 北側の中央粒径分布

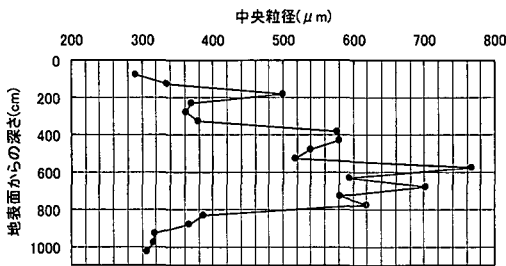


図-8 河口砂州コアの中央粒径分布

礫を含む厚い粗砂層がみられるなど、粒径の変化が激しい。河口砂州コアの採取地点は砂州のつけ根付近にあたることから、これらの粗砂層は砂州のフラッシュを伴う過去の大規模出水に対応しているものと考えられる。

また、図-9は鮫川河口南部の粒径分布を示したものである。地点18は1998年から建設が進められた人工リーフ背後であり、地点19は蛭田川河口、地点20は近年侵食が最も進行している地点に相当する。同図によると、人工リーフ背後では表層で細粒化、侵食が進んだ地点で

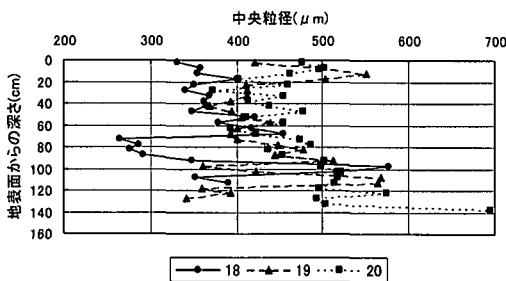


図-9 河口南部の中央粒径分布

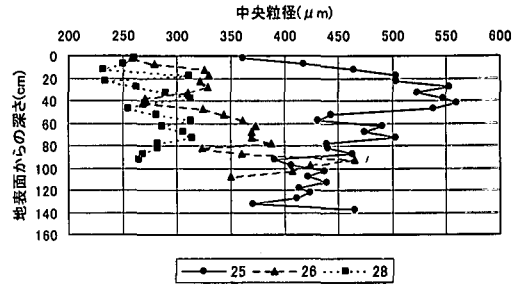


図-10 南側の中央粒径分布

は粗粒化が進んでおり、地形変化および構造物の設置が粒径に与える影響が大きいことが確認できる。

図-10は南部の地点25, 26, 28の粒径分布である。地点26及び28はいずれも離岸堤の遮蔽域に位置し、表層部の粒径が細かいのに対し、遮蔽域でない地点25では地点26とはわずかに150 m程度しか離れていないにも関わらず粒径が極めて大きくなっている。地点25と26の粒径分布を比較すると、北端部の粒径分布と同様に、深さ100 cm程度で収束する傾向があり、これより上層が離岸堤の建設以後に堆積した砂層である可能性がある。

4.3 砂層の自然放射量測定による堆積年代推定

4.3.1 Pb-210 法の原理

Pb-210は、地盤中に普遍的に存在するRa-226に由来している。まずRa-226が1600年の半減期で、気体であるRn-222に崩壊する。Rn-222は大気中に拡散し、その後数回の崩壊を経て約数日のオーダーで金属であるPb-210に遷移し、これが地上に降下して一定量ずつ堆積していく。Pb-210の半減期は22.3年であるため、その崩壊により放出される46.5 keVのγ線量を測定すれば、数十年スケールの土砂の堆積過程を推定することができる。

4.3.2 γ線測定結果

図-11は北端部付近の地点1～5のコアと河口砂州コアに対して、Pb-210に相当するγ線量を測定した結果である。γ線測定は、佐藤ら(2000)と同様に10 cmごとに分割した試料を直径8 cm、高さ5.5 cmのアクリル容器に厚さ4 mmに整形して実施した。自然放射能は極めて微弱であるので、一試料につき約10万秒の測定時間を確保した。図-11によれば、地点1, 2のコアでは深さ約1 m程度まで強度がほぼ単調に減少しており、近年の堆積過程が比較的穏やかであったこと、及び、約1 m以深の層は数十年前以前の堆積層であることが推定される。これは、図-7で示した粒度分布が深さ約1 mを境に異なる性質を示していることとも整合する。

また、現在の砂州の裏側で、閉塞した旧河口部に位置する地点3, 5では、砂層内でのγ線強度の変化が小さく、これは旧河口閉塞後の砂州裏側の地形変化が小さい

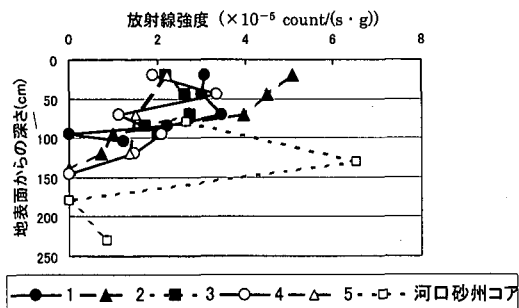


図-11 Pb-210の放射線強度

ことと対応している。

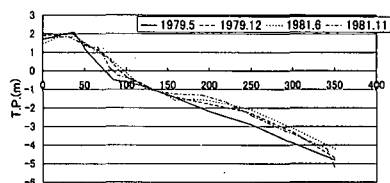
さらに、河口砂州コアの強度変動は大きく約180 cmの深さで急減している。これは、出水に伴う激しい土砂移動に対応しており、最近数十年間での最大侵食深は現地盤より深さ約180 cmにまで及んでいると考えられる。これも図-8に示した粒径分布と整合する結果である。

4.4 深浅測量データの分析

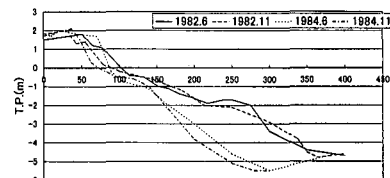
海岸北部で推定された深さ約1 mを境界とする堆積過程の変化についてさらに詳しく検討するために、福島県による深浅測量データを分析した。図-12は、北端部付近の測線 No. 0 (図-6 参照) の海浜断面の経年変化を示したものである。コア採取地点2はほぼ同測線の汀線付近に位置している。北端部の海浜断面は1981年以前には安定していたがその後一時的に侵食し、1987年以降に堆積傾向になったことがわかる。これは1982年に建設された河口仕切堤により旧河口が閉塞し、河川流出と入退潮に伴って発達していた流れの特性が急変し、周辺地形も河口前面に特有の浅瀬を有する地形から通常の見浜断面に遷移したこと、及び平均的に北向きである沿岸漂砂により、北端部の岬周辺が堆積傾向となったことが原因と考えられる。北端部では現在も堆積傾向にあり、コアの粒度分布や自然放射能の測定結果も合わせて考え、河口仕切堤建設後の堆積層は汀線付近では現地盤から約1 mまでの深さに閉じ込められていることがわかる。

5. おわりに

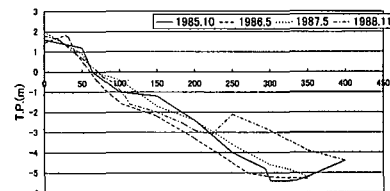
鯨川・勿来海岸流砂系の漂砂過程を、短期的な視点と長期的視点の両面から考察した。波・流れの観測と砂州変形の観測により、2方向から来襲した波浪により砂州が侵食された過程を検討した。その際、独自に作成した簡易砂面計が、最大侵食深の推定に非常に有効な調査方法であるということも実証した。また、長期的な土砂移動に関しては、長さ約1.5 mの鉛直コア試料の粒度分析と自然放射能計測を深浅測量データ解析と組み合わせることにより、約20年前の河口位置の変更に伴う漂砂環境



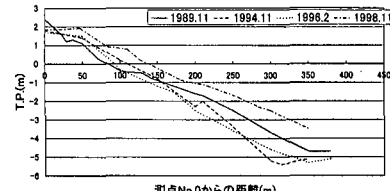
(a) 1981年以前



(b) 1982年～1984年



(c) 1985年～1988年



(d) 1989年以降

図-12 測線 No. 0 の深浅測量データ

の変化の影響が、現地盤から約1 mの深さまでの層に閉じ込められていることが確認された。今後の課題としては、砂州を含めた河口周辺の地形変化と長期的な漂砂過程との関連を明らかにすること、及び、南部海岸の堆積年代を推定することが挙げられる。

謝辞：現地調査では、国土技術政策総合研究所海岸研究室の方々、及び茨城大学工学部都市システム工学科の信岡尚道助手の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 梶村 徹・佐藤慎司・中村匡伸・磯部雅彦・藤田 龍 (2001): 鯨川・勿来海岸流砂系の土砂動態と長期海浜過程, 土木学会論文集, No. 691/II-57, pp. 121-132.
- 佐藤慎司・前田 亮・磯部雅彦・関本恒浩・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, No. 663/II-53, pp. 89-99.
- 藤田 龍・熊谷隆宏・佐藤慎司・磯部雅彦・梶村 徹 (2001): 勿来海岸における波・流れと土砂移動機構に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 651-655.