

中津干潟大新田海岸の保全施設計画時における護岸端部の侵食と 河口砂州変動モニタリング

清野 聡子 *・宇多 高明**・佐保 哲康***
安田 英一****・平野 芳弘*****・足利由紀子*****

中津干潟に流入する舞手川の河口には複雑な形状の汽水域ラグーンが発達しており、河口干潟、砂州、塩性湿地、ラグーンがエコトーンとして連続的に残存するという環境上非常に重要な空間となっている。一方隣接海岸では高潮・侵食対策が進められてきたが、河口部での工事においては防護と環境保全との調和が必要とされた。このため護岸末施工区域の一部では 2000 年に工事が行われたが、残りの工事は 2 年間の検討期間を設けてさらなる検討が行われることになり各種モニタリングが行われた。モニタリングの結果、河口部砂州については洪水流による砂の流出と波による回帰という安定化機構が見出され、砂州をそのまま存置できることが分かった。

1. ま え が き

戦後、全国各地で干潟の消失が進み、近年は背後地からの連続性も含めその保全が問題となっている。こうした状況下で大分県中津干潟は多様な生物が生息し、良好な干潟環境がよく残されている干潟である（清野ら、2002）。この中津干潟に面した大新田海岸は、過去には海岸線に沿って松林と砂浜が広がる白砂青松の海岸であったが、近年背後地を高潮や侵食から防護するために砂浜海岸に階段護岸が設置されて人工化が進んできた（清野ら、2003）。護岸の建設工事は段階的に行われ、2000 年には既設護岸の東端から中津港の護岸に隣接して流入する舞手川河口まで約 160 m 区間を残すのみとなった。しかしながら舞手川河口には複雑な形状を有する汽水域ラグーンが発達しており、しかもそれが河口前面の干潟と一体的に発達し、河口干潟、砂州、塩性湿地、ラグーンがエコトーンとして連続的に残存するという環境上非常に重要な空間となっている。このため高潮・侵食対策と環境保全との調整が必要とされた。この場合、環境を重視して施設を造らなければ民地の侵食を防ぐことができず、一方護岸をそのまま延長すれば干潟から河口砂州、そして河口砂州背後の汽水域ラグーンへと続く良好な環境が分断されることになる。そこで 2000 年には護岸末施工区域のうち、民地で既に侵食が発生した約 60 m 区間でのみ護岸を延長することとし、残り約 100 m については 2 年間の検討期間を設けて、地元協議会で議論を重ねさらなる検討が行われることになった（池田、2002；清野ら、2002）。護岸延長工事は 2001 年 1 月 23 日～7 月 13 日に実施され、その後各種モニタリングが行われ、海岸保全施設の計画の基礎資料となった。

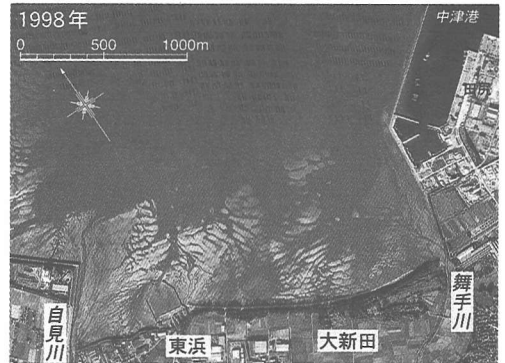


写真-1 大分県中津干潟大新田地区の空中写真

2. 中津干潟大新田海岸と舞手川河口の概要

当地区は大分県北部に位置し周防灘に北面している。写真-1 は 1998 年撮影の空中写真である（清野ら、2001）。写真に示すように大新田地区の海岸線は東浜漁港の東側に延びている。その東端の中津港（田尻地区）との境界に舞手川が細く流れ込んでいる。舞手川は中津港の埋め立て地の護岸に沿うようにして流れ、河口への北東側からの入射波の作用は完全に遮蔽されている。これと対照的に西側は大きく開いているために、全体として東向きエネルギーフラックスが卓越する条件下にある。中津港の埋め立て護岸が河口部河道の延長線上にあるため河川流は西側のみ拡散し、河口から流出した土砂は護岸に沿った区域に集中的に堆積している。なお、空中写真に基づく舞手川河口部の詳細な地形変遷の判読については清野ら（2003）で述べたのでここでは触れない。

3. 台風 0115 号による大新田地区の護岸端部における侵食

大新田地区では護岸延長後の海浜変形を調べるために県土木事務所と地域住民が写真撮影を繰り返し行った。舞手川の流路は護岸と平行に流入し、海に流入後も護岸

* 正会員 工博 東京大学助手大学院総合文化研究科広域システム科学科

** 正会員 工博 (財)土木研究センター審議役なごさ総合研究室長

*** 大分県中津土木事務所

**** 大分県土木建築部河川課

***** 大分県土木建築部

水辺に遊ぶ会



写真-2 上流から望んだ舞手川河口



写真-3 大新田海岸護岸端部の状況

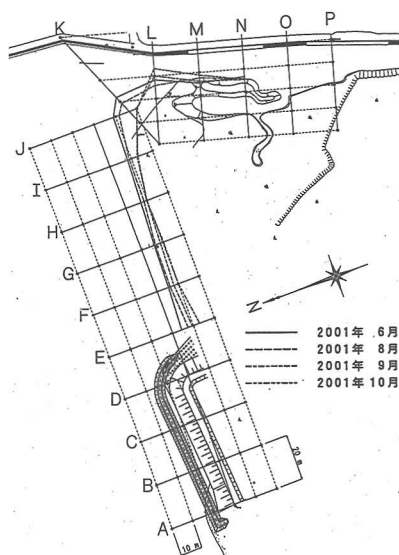


図-1 勾配急変点（浜崖）位置観測のための測線

に沿って流路が形成されている。対岸の高木で覆われた場所は砂丘であり、その背後には低地が広がり、優れた汽水域環境となっている。砂丘地は高潮位・高波浪時には浸水が起これと同時に侵食も進んでいる。このため高潮・侵食対策が必要とされているが、直線的な護岸を建設することは干潟～植生帯～湿地と続く連続した自然環境を分断することになることから、この区域の自然環境の喪失を招かない手法の検討が必要とされた。

写真-2は舞手川河口である。右岸には河川堤防とその延長線上にある中津港の護岸が延びている。左岸側には砂州が延びて来ており、河道とは急勾配の斜面で交差している。河道内の大きな礫が露出した河床材料と明らかな相違を示す。左岸側に発達している砂州は海側から沿岸漂砂の作用によって河口内へと運び込まれたものである。運び込まれているのは主に細砂である。

写真-3は大新田地区に建設された自然石積み護岸の端部付近の状況である。自然石積み護岸の端部は侵食さ

れる危険度が高いことが当初から予想されていたために、端部にはコンクリートブロックが敷き並べられていた。一方、コンクリートブロックの未設置区域では高さは低いものの背後地に生育する樹木の根が露出している。また木の茂る区域と前面の干潟の間には緩勾配の斜面が広がっている。写真は干潮時に撮影されたものであるが、このように根が露出した状況はこの付近が侵食されてきたことを表している。

この状況下において8月21日に台風15号が来襲した。写真-3の右端に見える自然石積み護岸と樹林帯との接点付近では樹木の根が著しい波浪の作用を受けた。

一方、台風前には礫床と砂州の間に水路があったが、8月21日午後3時の干潮時には河道の礫床が完全に露出し、礫床の一部が砂州によって埋まった。このことから波の作用によって砂州が成長したことが確認された。

4. 海浜モニタリング測量データの分析

2001年6月16日、8月27日、9月1日および10月19日に海浜モニタリングのための海浜測量を実施した。図-1には測量結果から求めた勾配急変点（浜崖）位置の変化を示す。護岸の延長後護岸端部では汀線が後退し、端部での最大汀線後退量は約8mであった。護岸隣接区域では勾配急変点はほぼ平行に後退しているが、河口部との境界に位置する測線Jでの最大後退量は約11mと最も大きい。このような汀線の後退と対照的に、河口砂州を横切る測線Lでは汀線が前進している。大局的に見れば護岸端部から河口砂州の汀線の急変点までが侵食され、侵食土砂が河口内へと押し込まれたことがよく分かる。

図-2には海浜縦断形の変化を示す。護岸との接点の測線Eでは、高さ約0.6mの浜崖が後退していく状況が表れている。一方河口砂州を切る測線Lでは砂が堆積して砂州の発達が続いている。

図-3は各測線のデータをもとに作成した汀線（D.L. 3.5m）の経時変化である。護岸に隣接する測線Eでは初

期に急速な汀線の後退が生じたが、2002年1月8日頃にはほぼ安定状態に至った。Eより河口に近接した測線では次第に汀線後退量が小さくなる一方、変動が大きくなる。図-4は測線Eにおける汀線変化に対し指数関数への当てはめを行ったものである。汀線変化 y は、経過時間を t (日)としたとき、

$$y = -3.91(1 - e^{-0.01t}) \dots\dots\dots (1)$$

と表される。この場合10年後の汀線後退量は3.9mとなる。

図-5は、測線A~JとA~P区間における海浜土砂量の時間変化である。両区域とも台風に起因する洪水によって土砂量が減少したが、その後波浪の作用によって10月19日まで土砂量が増加した後、再び減少している。また2001年6月~2002年3月の約9カ月間で測量区域内の総土砂量は約600 m^3 減少した。これは出水により河口部およびその沖へ土砂が拡散・堆積したことに起因する。またA~J(海側のみ)の土量と、A~P(海側および河道)の土量を比較すると、河道内の土量は夏~秋に減少し、その後回復する傾向が見られる。現地状況の観察によれば、河口砂州の河道側は夏~秋には台風などの

出水によって侵食されるが冬季にかけて回復することが知られており、これと整合的である。

5. 河口沖への流出土砂量調査

大新田地区の海浜断面はD.L.+2.0~2.5m付近を境に勾配が大きく変化し、沖側は約1/1000勾配、岸側は1/7~1/10勾配となる。沖側の緩斜面は粒径が細かい泥質からなり、岸側の急斜面は粗砂からなる。ところが舞手川河口部周辺では、沖側の緩斜面(干潟上)にも汀線付近と同様の粗砂が堆積していることが見出された。この砂の表面を掘ると、表層が砂質で下層が泥質になっていた。そこで河口前面に堆積した砂量を概算するために2002年6月8日に現地踏査を行い、測線Iから沖側に10mピッチで砂層厚を測定した。層厚の計測は、干潟面をスコップで掘り目視で砂層と泥層の境界を判別し、砂層の厚さを測定した。結果を図-6に示す。測線Iでは沖合約80mで砂の分布が不明瞭になった。分布域が仮に河口を中心に4分円の範囲に堆積しているものと考えると、土量の概算が可能であり、堆積量は約500 m^3 と推定された。この値は図-5に示した海岸部での砂量の減少量約600 m^3 とかなり近い。これより海岸部で消失した砂の大部分は河口前面に堆積していると判断された。

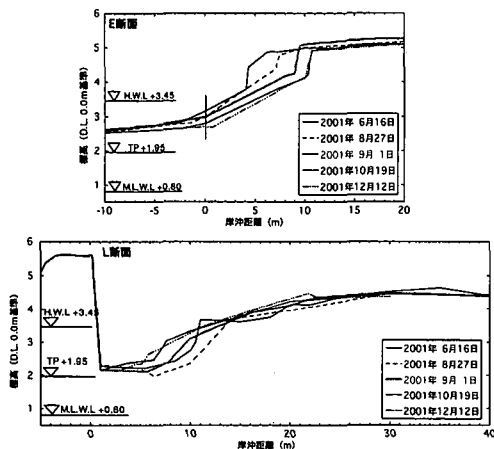


図-2 海浜縦断面の変化

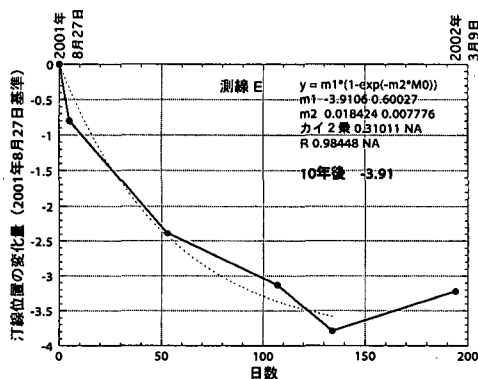


図-4 測線Eにおける10年後の汀線後退量の予測

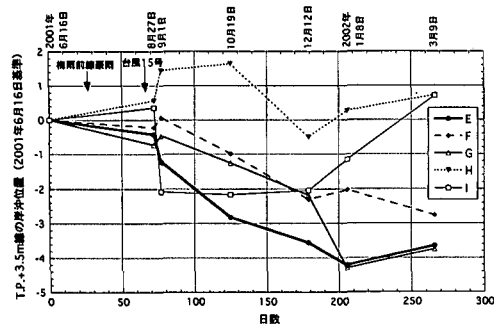


図-3 汀線(D.L.3.5m)の経時変化

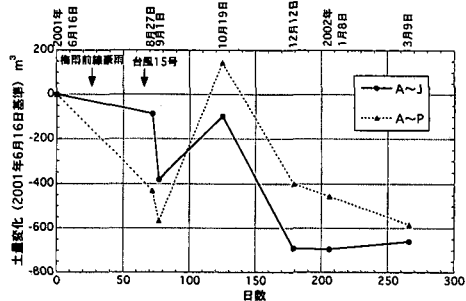


図-5 測線A~JとA~P区間における海浜土砂量の時間変化

台風15号の襲来に伴う一連の現地状況写真と海浜測量の結果によれば、護岸端部と河口砂州の変形は、満潮時と台風に伴う高波浪の作用が重なったことによって生じ、護岸端部から侵食された土砂は河口へと向かう沿岸漂砂によって運ばれ、そこに堆積して河口砂州の伸長をもたらしたと言える。さらに海岸部から消失した土砂の多くは洪水によって運ばれ、河口前面に堆積していると推定された。

6. 波浪・海浜流計算による侵食機構と河口への土砂回帰機構の検討

波浪・海浜流場を数値計算により検討した。まず入射波浪条件については、当海岸では沖合に広大な干潟面があるため、高波浪はこの平坦面上で碎波し減衰する。平坦面上の波高は水深により強く規定されるので、堀川編(1985)をもとに限界波高は水深の約0.4倍とした。干潟面の地盤高はD.L.2.5m程度であるからH.W.L.時の水深は約1mとなり、入射波高は0.4mとなる。周期は当海岸の設計波と同等の波形勾配(0.04程度)となるよう、 $T=2.5$ sとし、また波向は護岸法線方向の $N6^{\circ}W$ とした。波浪場の計算には磯部(1986)の放物型モデルを用いた。海浜流の計算には2次元運動方程式・連続式を用いた。

波高・波向分布を図-7, 8に示す。碎波減衰により汀線付近の波高が低減している。しかし、護岸前面では護岸が沖出しされているため前面水深が大きく、入射波が碎波せず高波高がそのまま護岸に作用している。河口左岸前面では洪水流により河口砂州の一部がフラッシュされ、それが堆積して舌状地形が形成されている。そこで入射波が緩やかに碎波減衰している。その背後に位置する河口内では、波の遮蔽により静穏度が高まっている。波高は河口から上流方向に低下し、左岸砂嘴の最奥部での波高は0.1m以下となる。

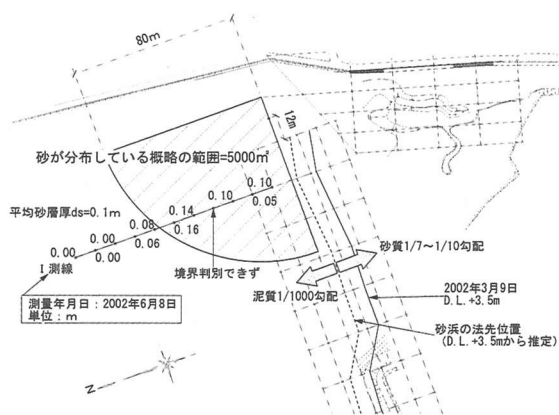


図-6 河口沖砂堆積エリアと砂層厚の状況

図-9に示す海浜流の輸送量流れ関数分布によれば、護岸端部で汀線に沿って河口方向へと向かう強い沿岸流が生じ、全体として反時計回りの循環流が形成されている。護岸端部は浜崖侵食が最も激しく進んだ場所であるが、護岸端部での強い流れの発生は侵食状況をよく説明している。さらに護岸下手からは汀線に沿って河口に向う流れが形成されている。浜崖侵食で削り取られた土砂はこの流れにより河口方向へと運ばれたと考えられる。河口では左岸砂州に沿って河道奥に向かう強い流れが

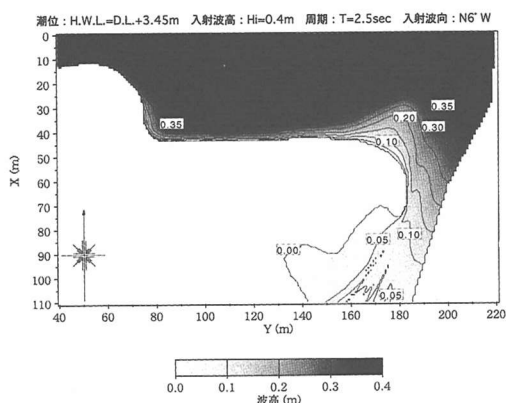


図-7 舞手川河口近傍の波高分布

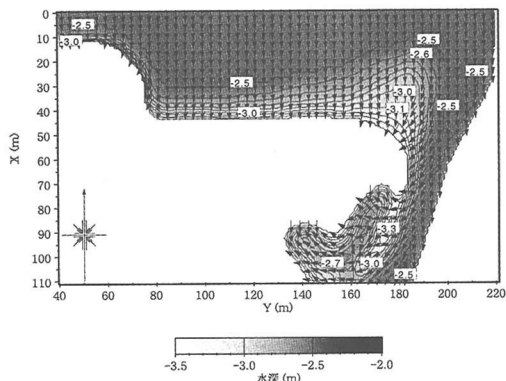


図-8 舞手川河口近傍の波向分布

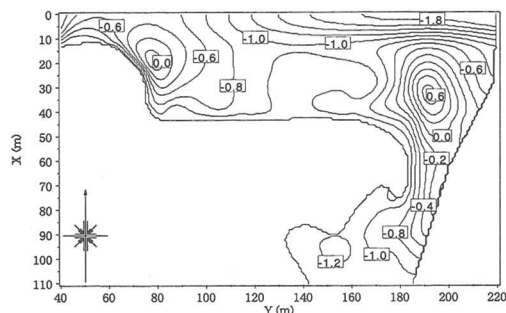


図-9 舞手川河口近傍の流れ関数の分布

形成されている。この流れにより海浜の土砂が河口内に押し込まれ、砂嘴の発達が進むと考えられる。しかし砂嘴奥では急激に静穏になり流れも弱まる。このためそこで土砂を運ぶ営力が失われ砂嘴の発達は現況部分で止まる。

砂嘴の発達により河口が閉塞すると、洪水時には砂嘴の一部のフラッシュが起こり、流出土砂は河口前面沖に堆積する。河口左岸前面の舌状砂州はそうにしてできたものと考えられるが、計算によればこの舌状砂州上では碎波減衰と同時に岸向流が生じている。すなわち舌状砂州の土砂が岸向きに移動し河口左岸の汀線に打ち上げられると考えられる。河口左岸に打ち上げられた土砂はさらに沿岸漂砂により砂嘴の発達を促す。結局、河口部では河口部周辺の土砂が循環するような動的な安定化機構が内在していると推定される。

7. 護岸端部の汀線変化予測

汀線変化モデルを用いて河口部海浜の地形変化予測を行った。モニタリング期間で著しい侵食の生じた2001年8月27日～2002年3月9日の汀線変化を検証データに用いた。波浪・潮位条件は、当海岸の侵食が台風による高波と満潮が重なった場合顕著となることから、潮位を $H.W.L. = D.L. + 3.45\text{ m}$ とし、これに入射波高 0.4 m 、周期 2.5 s 、波向 $N 6^\circ W$ (護岸線と直角方向) の波を作用させた。海底地形条件は2001年8月27日の深浅図を与えた。漂砂量公式には小笹・ブランプトン式を用い、係数は $K_1 = 0.013$ 、 $K_2 = 1.62$ とし、移動高は 1.5 m ($D.L. + 2.5\text{ m} \sim +4\text{ m}$)、境界条件として西端では沿岸漂砂の供給量が小さいため固定境界とし、東端部では汀線変化の不動点が見出されたので、この点での汀線位置を与えた。

図-10には汀線変化量の予測結果を示す。また図-11は侵食が最も著しい測線Eの汀線変化量の経時変化を示す。護岸下手側の汀線が湾入しつつ後退する特徴が再現されている。また護岸端部の侵食量の経時変化も良好に再現された。今後侵食は安定化に向かい、約3年で収束する傾向にある。測線Eでの最大汀線後退量は2002年3月基準で約3mとなった。

8. あとがき

計算結果を受けて、大新田海岸では舞手川河口へと護岸を延長せずに、現況の護岸端部から直角に法線を曲げた堤防を造り、この堤防と現況の舞手川河口の間に広がる湿地の存置のため“引堤”の手法が採択された。現況の汀線は今後も数m後退するが、その後退があっても堤防が壊れないような防護・根固めを行ない、河口と干潟の連続性を確保した。

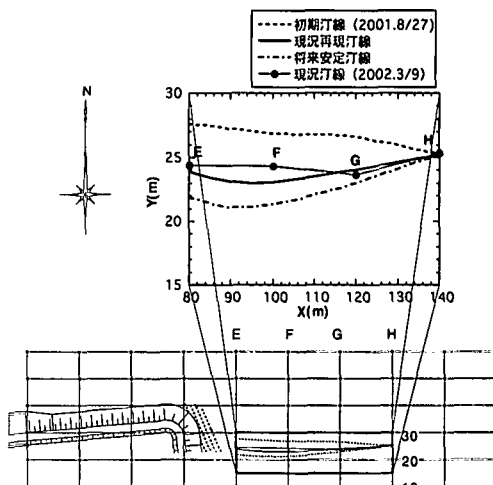


図-10 汀線変化量の予測結果

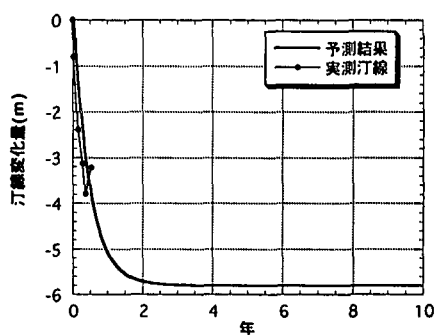


図-11 測線Eの汀線変化量

謝辞：本検討には、中津干潟大新田海岸の懇談会に関わる地域住民、技術者、行政など多くの方々のご議論とご理解をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 磯部雅彦 (1986): 放物型方程式を用いた不規則波の回折・屈折・碎波変形の計算法, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
- 池田 薫 (2002): 大分県中津港大新田地区の海岸事業における住民参加の取り組み, 海洋開発論文集, 第18巻, pp. 55-58.
- 清野聡子・塩崎正孝・宇多高明・後藤 隆・黒木利幸・中村利行 (2001): 空中写真による干潟の微地形判読と現地踏査を組み合わせたカブトガニ生息地・産卵地調査法, 水工学論文集, 第45巻, pp. 1021-1026.
- 清野聡子・足利由紀子・山下博由・土屋康文・花輪伸一 (2002): 大分県中津干潟における市民計画型干潟生物調査と海岸環境保全策の提案, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1136-1140.
- 清野聡子・足利由紀子・安倍元子・宇多高明 (2003): 大分県中津干潟における海岸の変遷—写真資料に基づく解析—, 海洋開発論文集, 第19巻, pp. 261-266.
- 堀川清司編 (1985): 海岸環境工学—海岸過程の理論・観測・予測方法, 東京大学出版会, 582 p.