

阿字ヶ浦海岸における最近の急激な海岸侵食の実態解明

横木 裕宗*・南 陽 介**・信岡 尚道***

阿字ヶ浦海岸における最近 2 年間の汀線付近の急激な侵食の過程と要因を明らかにするために、深浅測量・汀線測量データ、入射波浪データ、潮位変動データを解析した。その結果、海岸全体の土砂変化量の推移の解析から、1998 年頃から現在までに汀線付近を南部から北部へ約 30 万 m^3 の土砂が移動したことを確認した。また、縦断地形変化と波浪データを解析することで、最近 2 年間の汀線付近の急激な侵食は、南よりの高波浪と前浜の急勾配化による碎波形式の変化の相乗作用によって生じたことが明らかとなった。なお、潮位変動データには最近 2 年間で顕著な変化は見られなかった。

1. 序 論

阿字ヶ浦は近年激しい海岸侵食に見舞われている。沿岸漂砂により海岸の南部では侵食が、北部では堆積が生じている。侵食された海岸では、最近数年間で砂利が大量に打ち上がるとともに、急速に汀線が後退し、昨秋には階段護岸の一部が陥没するという事態に至った。

この阿字ヶ浦海岸の地形変化特性に関しては、これまで様々な研究がなされている。

宇多ら (1993) は、1976 年から 1993 年までの約 17 年間の波浪、地形、底質粒径データを用いて阿字ヶ浦海岸の長期的な地形変化を解析した。その結果、波向きと親潮第一分岐が密接に関連することを見だし、阿字ヶ浦海岸の地形変化が地球規模気候変動と密接に関連していることを明らかにした。また、山本ら (1999) は、1976 年から 1995 年までの約 20 年間の阿字ヶ浦の観測棧橋で観測した縦断面地形測量データを用いて、地形変化の特性と砂層厚の解析を行った。この中で、1981 年以前と 1992 年以降の冬季の地形を比較すると、その特徴がバームの有無に見られるように大きく変化しており、これは、かつて阿字ヶ浦海岸では沿岸漂砂が卓越していたのが、海岸の両端での港湾・漁港整備のためポケットビーチ化し岸沖漂砂が支配的になってきているためであるとしている。

また、佐藤ら (1999) は、深浅測量データの解析を行うとともに、数値モデルを用いて沖合の東防波堤が海岸地形変化に及ぼす影響を検討している。その結果、防波堤背後の回折波や循環流によって、構造物建設の前後で地形変化の様子が異なった可能性を示唆している。

以上のように、阿字ヶ浦海岸では長期的な地形変化の特性やその要因についていくつかの考察がなされているが、これらは、最近数年間の汀線付近での急激な侵食や砂利出現を説明できるものではない。

そこで本研究では、阿字ヶ浦海岸における特に最近数年間の激しい侵食に着目し、海岸で撮影された写真や、定期的実施された深浅測量データを用いてその実態を明らかにするとともに、さらに波浪観測データの解析を交えて、侵食の要因を明らかにすることを目的とした。

2. 深浅測量・汀線測量データ

阿字ヶ浦海岸を含む常陸那珂海岸では、1984、86 年および 1988 年以降、毎年 2 回深浅測量が行われている。測量範囲は沿岸方向約 9 km、岸沖方向約 2 km で、測線は沿岸方向に 100 m 間隔で設定されている。本研究では図-1 に示すように阿字ヶ浦海岸部分 (沿岸方向約 2 km) の 1984 年から 2002 年までの 19 年間の測量データを用いて海岸全体の土砂移動の解析および縦断地形変化の解析を行った。測線の方向は、図-1 の縦軸に平行な方向で、主な測線番号を図中に記入した。

本研究の解析では、各時期の深浅測量データから、すべての時期に共通する範囲のみを取り出して解析を行った。その際、水深データは沿岸方向に 100 m 間隔、岸沖方向には 20 m 間隔になるように補間した。

また、汀線付近の詳細な測量 (汀線測量) が 1990 年から 2 ヶ月に 1 回実施されている。これは深浅測量と同じ測線に沿って陸側基準点から水深約 0.5 m の地点までを測量したものである。本研究では、このデータを用いて汀線位置や汀線付近での水深の経年変化を解析した。

3. 阿字ヶ浦海岸全体の土砂移動

(1) 海岸全体の土砂収支

まず、個々の深浅測量データを比較することにより各期間における海岸全体の土砂の増減を解析した。図-2 に 1980 年代の平均地形を基準とした、各測量年月における海岸全体の土砂変化量の推移を示した。この図から、1993 年までは一様に侵食しており、その後急速に回復し、1995 年 10 月から現在に至るまで海岸全体での土砂量は安定しているといえる。

(2) 土砂移動量

次に、海岸内での土砂移動を解析するために、深浅測

* 正 会 員 博(工) 茨城大学助教授 広域水圏環境科学教育研究センター

** 学生会員 茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻

*** 正 会 員 博(工) 茨城大学助手 工学部都市システム工学科

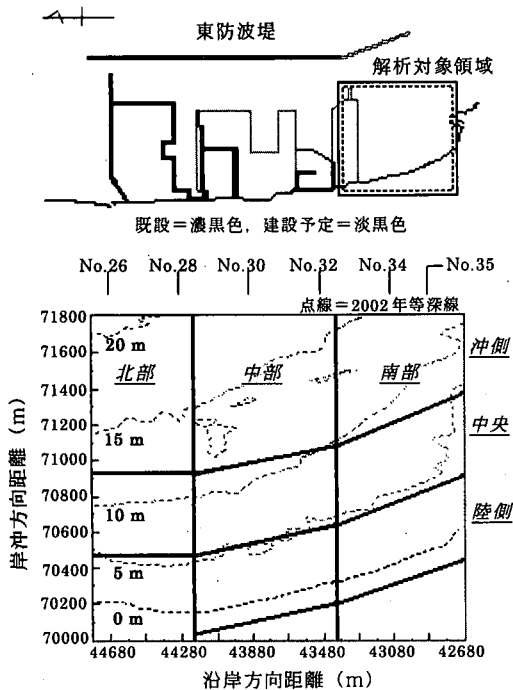


図-1 阿字ヶ浦海岸における深浅測量範囲

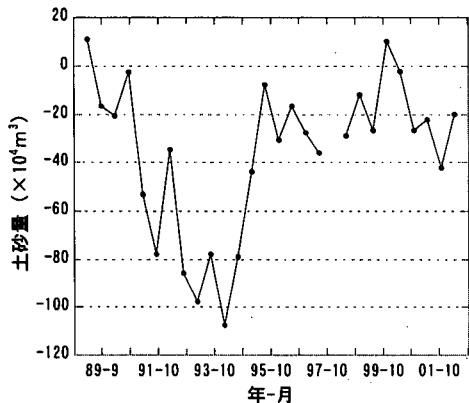


図-2 海岸全体の土砂量の推移

量データの各期間毎の侵食・堆積域を比較検討したところ、全期間を通して侵食・堆積傾向が類似する9の領域（沿岸方向に北部、中部、南部；岸沖方向に陸側、中央、沖側）に分けることができた（図-1）。

そこで9の領域のそれぞれの土砂変化量を解析し、その推移を図-3示した。煩雑を避けるため、グラフは沖側（上図）、中央（中図）、陸側（下図）の3領域ずつに分けている。

これらの図から、沖側では1990年代前半にかけて土砂量が減少したものの、その後回復していることが分かる。これは図-2の海岸全体の土砂変化量の推移とほぼ一致

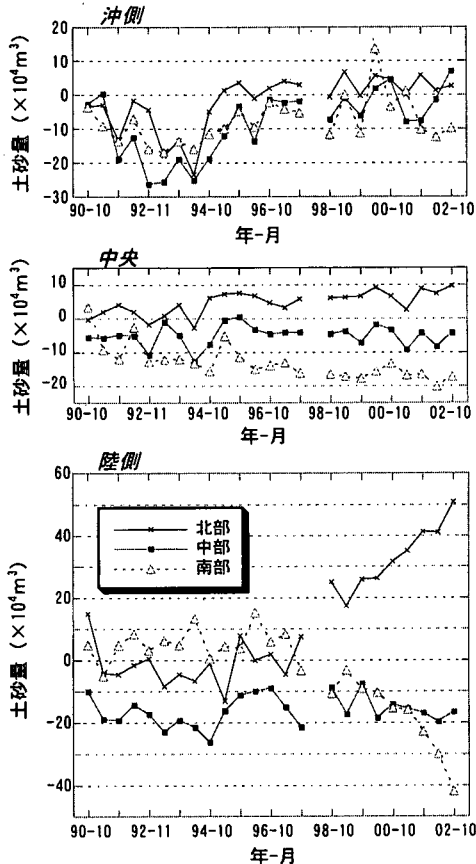


図-3 9領域の土砂変化量推移

することから、海岸全体の土砂変化量の推移で見られた減少・回復は沖側の土砂変化量の推移によるものと考えられる。また、中央部では土砂量はあまり変化していない。

陸側では、1998年までは北部と南部で土砂変化量の推移が逆位相の関係になっており、これらの領域間で土砂の往復移動があったことが示唆される。しかし、1998年以降、南部において侵食傾向が、北部において堆積傾向が顕著に見られるようになった。そして、2000年からの2年間でこれらの領域間を移動した土砂量は約20万ないし30万 m^3 と推定される。

図-4は、主な測線の汀線位置（地盤高が0mの位置）の経年変化を示している。図の縦軸座標は岸沖方向距離を表しており、正方向が沖向きである。この図から1996年ないし97年頃から南部（No. 34, 35）では単調に汀線が後退しており、北部（No. 26, 28）では前進していることが分かる。中部（No. 30, 32）では、汀線位置がほぼ一定となっている。

長期間にわたる侵食・堆積傾向の要因としては、宇多ら（1993）による長期海象変動や山本ら（1999）による

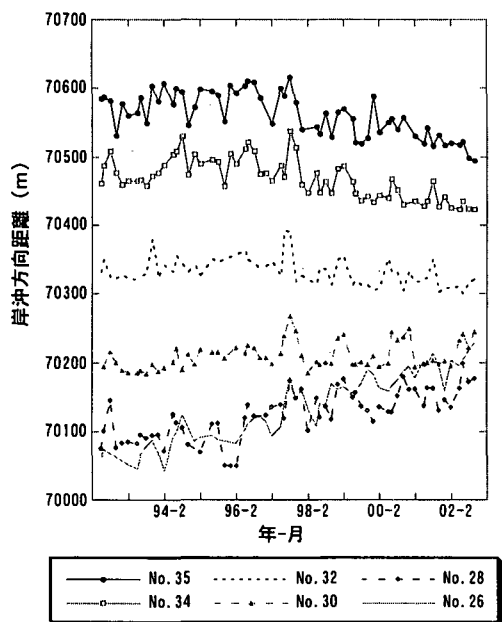


図-4 主な測線上の汀線位置の経年変化

両端の港湾・漁港整備に伴う海岸のポケットビーチ化などがあげられている。しかしこれらは、以上に述べたような最近5年間の侵食・堆積傾向を十分説明できるものではない。沖合では、常陸那珂港の建設進展に伴い東防波堤が延伸されており、その影響で海岸周辺の波浪場特性が変化したことが基本的誘因になっていると考えられる。

4. 縦断地形変化と近年の侵食加速

図-5は、測線 No. 35 (図-1 参照) の基準点から沖へ 20m, 40m, 60m の地点の地盤高の経年変化を示した。この図から季節変動を除いた傾向で見ると3地点とも1997年以降地盤高が単調に下降し、つまり侵食されていることが分かる。さらに、60m地点の方が20m地点より、地盤が下降する時期が若干早くなっている。このことは、まず沖側から侵食されて前浜勾配が急になり、その後より岸側が侵食されたことを示している。

また、20m地点では、2002年6月から約4ヶ月間に地盤高にして約3m侵食されている。さらに40m地点でも同時期に急激な侵食が観測されている。この侵食の直後に砂浜前面の階段護岸の一部が陥没するという事態が生じた。これは、汀線付近の侵食によって碎波形式が大きく変化し、階段護岸の頂部まで波が打ち上がるようになり、その結果護岸の背後から裏込め材が吸い出されたことが原因である。このような急激な侵食がこれまでの傾向の延長上にあるのか、それとも侵食過程のメカニズムに変化が生じたのかを詳しく検討するために、縦断面

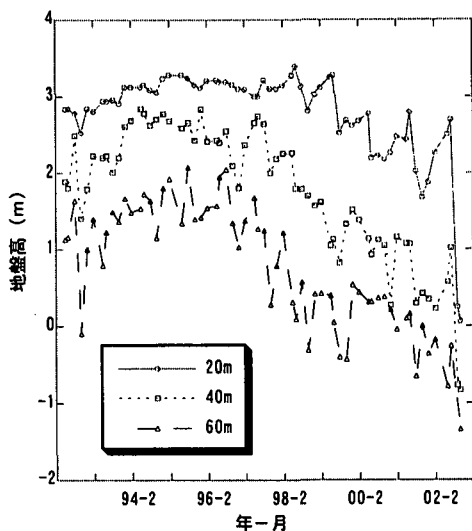


図-5 測線 No.35 上の地盤高変化

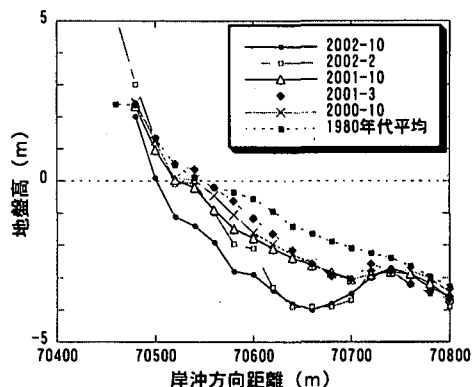


図-6 測線 No.35 の縦断地形変化

地形の変化を調べた。

図-6に、2000年から2002年までの縦断地形と1980年代の平均地形を示した。この図から、汀線から沖側200mの領域は、1980年代はほぼ様な勾配だったのが、約15年後の2001年10月には水深にして約1m侵食されており、それから1年経過した2002年10月にはさらに約1m侵食されていることが分かる。特に最近1年間の侵食は、それまでは侵食されていなかった汀線付近にまで及んでいることが分かる。

以上のことから、汀線付近の侵食過程は、緩勾配の前浜が侵食されて急勾配の侵食面が形成され、それが徐々に岸側に移動して、最後には護岸前面に達するというものであることが分かった。浅野ら(1999)は、波が護岸前面に達した場合に、波浪場が進行波性から部分重複波性に変化することによって戻り流れが受ける影響を検討しているが、ここでは、碎波帯での海底の急勾配化により波浪場が進行波性から部分重複波性に変化して、その

結果砕波形式に影響を及ぼしたと考えられる。つまり、砕波形式が崩れ波砕波から巻き波砕波に変化し、砕波点の汀線に近づくことによって、汀線近傍の侵食がさらに加速したと考えられる。こうした砕波点と砕波形式の変化は、現地の住民ヒアリングによっても裏付けられている。

5. 入射波浪エネルギーの経年変化

これまで述べてきた阿字ヶ浦海岸における海岸侵食の要因を検討するために、まず外力となる波浪データを調査した。本研究では、1981年～2002年に常陸那珂で観測されたNOWPHASデータを入手した。このデータを用いて阿字ヶ浦海岸に与える入射波浪の影響を検討するため、入射波のエネルギーフラックスの経年変化を解析した。ここでは2時間毎に観測された有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ を用いて、2時間に入射する合計のエネルギーフラックス F を次式より求めた。

$$F = \frac{1}{8} \rho g H_{1/3}^2 \cdot c_g \cdot \Delta t \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 c_g は群速度、 Δt は2時間(7200 s)である。ただし、群速度 c_g は、有義波周期から微小振幅波理論の深海波条件の分散関係を用いて計算した。

図-7に、年間合計エネルギーフラックスとその波向成分の、1981年から2002年にわたる経年変化を示した。本研究では、真北から真南までの180度をほぼ等分割して、北寄りから、N系、E系、S系と定義した。この図をみると、阿字ヶ浦海岸に入射するエネルギーフラックスの合計は、1992年から93年にかけて大きく減少したが、これは93年のデータには欠測が多く(約4ヶ月分)、その

影響と考えられる。このことを考慮すると、全期間を通じて顕著な増減はないと考えられる。

波向き成分毎の変化では、E系が全体のエネルギーフラックスのほとんどを占めており、S系、N系からの入射エネルギーはほとんどないことが分かる。ただし、2001、02年には、S系のエネルギーが高くなっており、南よりの高波浪が入射したことが分かる。この結果と、汀線付近の縦断地形変化の結果を合わせて考えると、最近2年間の急激な侵食は、南よりの高波浪と汀線付近の砕波形式の変化の相乗作用によって、引き起こされたといえる。

6. 潮位の経年変化

入射波浪が漂砂の起動力となるのに対して、平均水位は砕波位置を決定して主たる漂砂移動が生じる位置を決める作用を持つ。最近の汀線付近の急激な侵食に関して、平均水位の変動による影響の可能性を検討するため、常陸那珂港で観測された潮位データを調査した。図-8に1999年から2002年までの潮位の経年変化を示した。この潮位データは毎時測定されており、図には24時間移動平均を示している。この図より、季節的には約30 cmの変動があるものの、2001、02年の変動特性が1999、2000年のそれと異なっているとはいえない。つまり、最近の急激な侵食の原因となるような平均水位の変動は見られなかった。

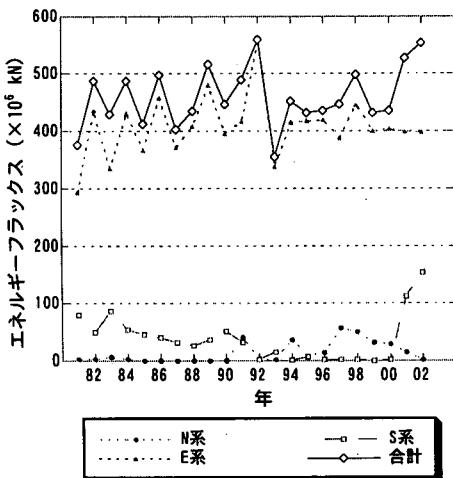


図-7 常陸那珂で観測された波浪エネルギーフラックスの経年変化

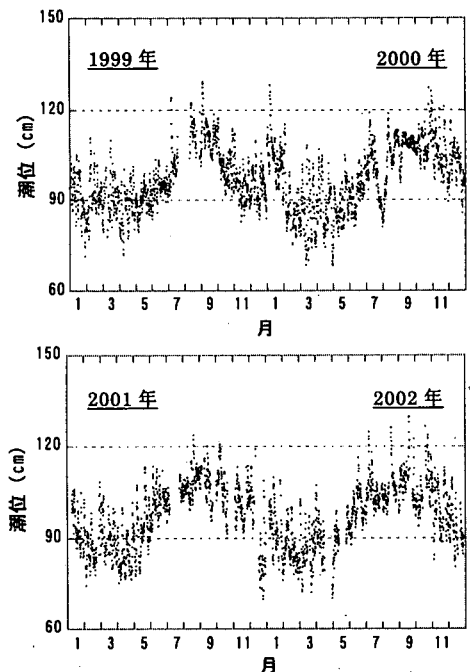
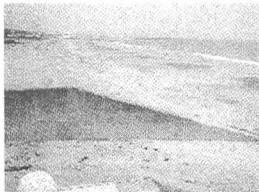


図-8 常陸那珂港での潮位変化



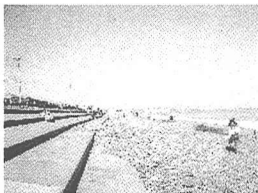
2002年5月27日



2003年3月30日



2002年11月4日



2002年11月4日

図-9 砂利が出現する前後の底質の様子

7. 砂利の出現

最近数年の阿字ヶ浦海岸の特徴として、前浜の底質の粗粒化、砂利浜化があげられる。図-9に汀線付近に砂利が出現する前後の汀線付近の様子を示した。

特に2002年には6月から7月にかけて、約1,200 m³の砂利の撤去や、約4,000 m³の砂が投入されて養浜が行われたが、海水浴シーズンになると再び砂浜が侵食され、汀線付近には大量の砂利が打ち上げられたばかりか、階段護岸の前面にまで砂利が堆積するようになった。著者らが8月に視察した際には、砂利の粒径は数cmから大きいもので30cm程のものもあり、それらが碎波する度に水中で動いている音がはっきり聞こえた。

阿字ヶ浦海岸において、前浜に底質が打ち上げられる過程に関して、宇多ら(1989)は、高波浪と低波浪が交互に来襲すると、前浜に粒径の粗い底質が堆積し比較的高いバームを形成することを明らかにしている。しかし、最近数年間に見られる砂利の粒径はこの調査で得られた粗い底質より遥かに大きいものである。

また、海岸の底質に関しては、山本ら(1999)が測線No. 32(旧建設省観測棧橋)付近でボーリング調査を行っており、その結果、沖合の海底には約1m、汀線付近では約3mの砂層が存在することを確認している。また、棧橋の鋼管内の調査から、砂層の下に砂礫層があり、さらにその下に粘土層があることを確認している。したがって、2002年夏の大規模な砂利浜化は、海岸全体において表層の砂層が侵食によって剥ぎ取られてしまっており、さらに低気圧による高波浪が入射することにより、海底

に露出した砂利が汀線付近にまで運ばれ堆積したものと考えられる。

移動限界水深を越えている沖合では、本来底質移動がないにもかかわらず、砂層が剥ぎ取られるほどの激しい侵食が生じていたことになる。このような海岸全体の底質移動は十分検討されておらず、波浪場や流れ場も含めて、今後さらに詳細な調査が必要である。

8. 結 論

本研究では、約15年間にわたる深淺測量、汀線測量データ、さらに波浪観測データや潮位データを用いて、阿字ヶ浦海岸における近年の海岸侵食の実態を解析し、その要因を検討した。その結果、以下の結論が得られた。

1. 汀線付近において、南部で侵食、北部で堆積が生じており、その傾向は1998年以降顕著になった。
2. 最近2年間の汀線付近の急激な侵食は、前浜勾配の変化に伴う碎波形式の変化と、南よりの高波浪との相乗効果によるものである。
3. 潮位変動は、最近2年間に急激な侵食に結びつくような変化は見られなかった。

本研究では、沖合の東防波堤の影響が阿字ヶ浦海岸全体の波浪場や地形変化に及ぼす影響や、底質粒径の変化過程やその要因については、十分検討できなかった。今後さらに詳細な調査・検討が必要となる。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、茨城県土木部常陸那珂港湾事務所、小島武夫所長、前川直子技師には、深淺測量データ、汀線測量データのご提供頂きました。また、茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター三村信男教授との議論が非常に参考になりました。深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 浅野敏之・M. A. Lashteh Neshaei・Md. Azharul Hoque (1999): 海岸護岸による反射が戻り流れに及ぼす影響, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 191-195.
- 宇多高明・伊藤弘之・岩崎福久 (1993): 地球規模の気候変動と阿字ヶ浦海岸における長期的な海浜地形変動との関連, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 426-430.
- 宇多高明・小俣 篤・竹淵 勉 (1989): 前浜における底質粒径の時空間変化とバームの形成機構, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 359-363.
- 佐藤孝夫・八木橋貢・黒木敬司・片野明良・栗山善昭 (1999): 沖合大規模構造物による海浜変形, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 621-625.
- 山本幸次・福島雅紀・佐藤慎司 (1999): 阿字ヶ浦海岸における長期断面変化と砂層厚, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 636-640.