

波の遮蔽構造物建設に起因して 阿字ヶ浦・那珂海岸で進みつつある大規模侵食

LARGE-SCALE BEACH EROSION TRIGGERED BY CONSTRUCTION OF OFFSHORE BREAKWATER ON AJIGAURA AND NAKA COASTS

宇多高明¹・清野聡子²・熊田貴之³・星上幸良⁴・芹沢真澄⁵・三波俊郎⁶
Takaaki UDA, Satoquo SEINO, Takayuki KUMADA, Yukiyooshi HOSHIGAMI,
Masumi SERIZAWA and Toshiro SAN-NAMI

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター審議役なぎさ総合研究室長
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 (タカラビル))

²正会員 工博 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学科助手
(〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1)

³学生会員 工修 日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

⁴正会員 国際航業(株)海洋エンジニアリング部(〒191-0065 東京都日野市旭が丘3-6-1)

⁵正会員 海岸研究室(有)(〒160-0011 東京都新宿区若葉1-22 ローヤル若葉208号)

⁶海岸研究室(有)(同上)

Large-scale beach erosion and accretion triggered by the construction of an offshore breakwater on the Ajigaura and Naka coasts in Ibaraki Prefecture was investigated through field observation and analysis of aerial photographs. The shoreline retreated largely outside the wave shadow zone, leaving gravels on the foreshore zone by selective erosion of bed materials and devastating famous bathing beach of mild slope. In contrast, in the wave shadow zone, a large amount of fine sand accumulated. The measured shoreline configuration was well predicted by the Hsu model to forecast a stable shoreline. On the Naka coast, the same phenomenon was occurred and seawall was heavily damaged.

Key Words : Beach erosion, shoreline recession, wave sheltering effect, Ajigaura beach

1. まえがき

沖合に規模の大きな防波堤が延ばされて波の遮蔽域が形成されると、波の遮蔽域外から遮蔽域内へと沿岸漂砂が生じ、それによって波の遮蔽域外では侵食が、遮蔽域内では堆積が起こることはよく知られたことであり、この機構によって侵食・堆積が起きた海岸は全国に多数ある¹⁾。太平洋に東面する茨城県の阿字ヶ浦海岸では、北側隣接域において常陸那珂港の建設工事が進められており、直線的に延ばされた沖防波堤による波の遮蔽域形成に伴って著しい海浜変形が生じ、砂浜が大きく削り取られて海水浴場の機能がほとんど失われている。この海岸における基本的な漂砂の移動機構は上述のようであるが、今後の対応を考える際には現地海岸で起きている現象の十分な理解が必要である。この海岸については数多くの研究が行われてきているが、沖防波堤の建

設が始まって以降の海浜変形については佐藤ら²⁾がまとめている。この研究では汀線の変化予測計算の結果も示されている。しかし地域住民にとってこの種の解析結果のみでは侵食の実態を実感できないと思われる。地域住民が侵食実態を実感として理解可能とするには、空中写真や現地踏査写真が役立つと考えられる。そこで、ここでは過去の空中写真と現地踏査資料をもとに侵食・堆積実態の取りまとめを行い、それをもとに阿字ヶ浦海岸の侵食の意味することについて考察を加える。なお常陸那珂港を挟んで北側の、対照的な場所にある那珂海岸でも阿字ヶ浦海岸と同種の海浜変形が生じているので、その状況についても同様に検討する。

2. 阿字ヶ浦海岸と那珂海岸の空中写真の判読

図-1は1998年撮影の阿字ヶ浦海岸と那珂海岸の空



図-1 阿字ヶ浦海岸と那珂海岸の空中写真（1998年）

中写真である。この区域の海岸線は磯崎漁港から久慈川河口の間に伸びた延長約10kmの海岸線であったが、北部には東海港が建設され、さらに海岸中央部には常陸那珂港が建設中である。とくに常陸那珂港は規模が大きく、沖合約2.4kmに長さ約3.6 km(1998年当時：2002年11月現在はP点まで4.3km)の沖防波堤が建設されたためにこの海域の波浪状況は建設以前と大きく変わった。沖防波堤の建設に伴って周辺域ではかなり大きな海浜変形が生じているが、沖防波堤南端より南側に位置する阿字ヶ浦海岸と、沖防波堤北端より北側に位置する那珂海岸の海浜変形について調べてみる。

阿字ヶ浦海岸では南端の磯崎岬には磯崎漁港があり、この防波堤北側の波の遮蔽域では砂が堆積してフック状海浜が形成されている。しかしそのすぐ北側では1998年当時でも砂浜幅が狭く、護岸線まで約38mの砂浜があったのみである。一方、常陸那珂港の作業基地の南防波堤の基部では砂が堆積しているが、沖防波堤による波の遮蔽効果が阿字ヶ浦海岸にあまり及んでいないため汀線の前進量はそれほど大きくはなかった。

那珂海岸では1998年時点で既に沖防波堤による波の遮蔽効果が顕著に現れ、港湾のすぐ北側に流入する新川の河口導流堤の北側に三角形の前浜が形成されている。三角形の前浜の海岸線延長は約1kmであり、三角形前浜の北端部以北では護岸が波に晒されている。三角形前浜の汀線をそのまま延長すると、この線は東海港の南側隣接部の護岸線に対し約12°反時計回りに回転している。これより、沖防波堤による波の遮蔽効果が現れて東海港の南側隣接域で護岸前面が侵食され、その砂が南向きに移動して新川河口導流堤の北側に堆積したことが明らかである。那珂海岸の護岸が直接波に晒されている場所では、今回の調査においては護岸が倒壊し、背後地盤が流失していることが見出された。

3. 海岸の現地踏査

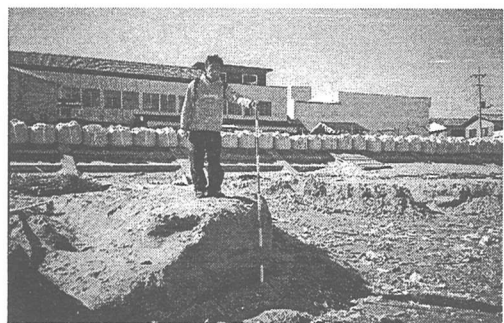


写真-1 磯崎漁港隣接部の海岸状況

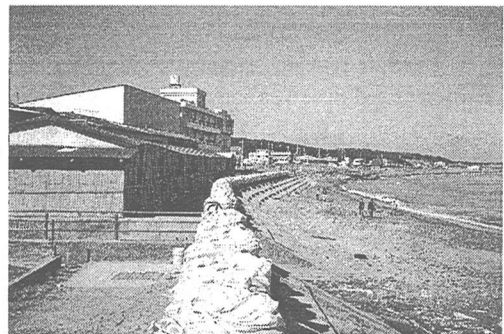


写真-2 土嚢袋上から北側を望む

(1) 阿字ヶ浦海岸

2002年11月4日、阿字ヶ浦海岸の現地踏査を行った。現地踏査では海岸線に沿って磯崎漁港から常陸那珂港の作業基地の防波堤の付け根まで徒歩で調査した。以下観察結果について述べる。写真-1は磯崎漁港隣接部の海岸状況である。海浜に高さ約0.8mの浜崖が形成されている。浜崖の露頭を見ると海浜の構成材料は全て細砂であり、また層状構造も見える。このことから、もともと磯崎漁港の防波堤背後の静穏域へと細砂分が運ばれ堆積した後、改めて侵食されて写真-1に見るような浜崖が形成されたことが分かる。なお、写真-1において背後に見える護岸上には多数の土嚢袋が設置されているが、これは護岸背後にある旅館街への越波防止のために緊急に設置さ

れたものである。写真-2は土嚢袋上から北側を望んで撮影したものである。土嚢袋は傾斜護岸の天端上に設置してあるが、護岸線は撮影位置の北側で「く」の字形に折れている。これと同時に汀線が次第に護岸線に接近しているのが見て取れる。

写真-3は、写真-2において前浜幅が狭まって汀線が護岸ののり先に一致する付近の海岸状況である。傾斜護岸の下半分は上半分と比較して明らかに色が白く、つい最近まで砂に埋まっていたことが観察された。写真に示すようにポールによる測定では、海浜地盤高が現況と比較して約1.2m低下していることが分かった。

写真-3において傾斜護岸の法線が北側で「く」の字形に曲がっている。この曲がった護岸の中央部では、10月末に陥没災害が起き応急措置が取られていた。写真-3で全体的に黒ずんで見える場所が災害区域であり、災害区域の拡大写真は写真-4である。傾斜護岸前面の砂が北向きの沿岸漂砂によって運び去られた結果、前面水深が増大して基礎から裏込め土砂が流出し、のり面が陥没したものである。のり面の陥没は本来直線であるべきステップの肩を連ねる線が曲がっていることから分かる。災害護岸の前面には応急的にコンクリートブロックと碎石を詰めたカゴマットが設置されていたが、カゴマットは既に鉄線が破断して中込めの一部は流出し、切れた鉄線が露出して危険な状況を呈していた。

護岸の被災箇所を過ぎると汀線は後退したものの再び前浜が現れる。しかしその前浜は、従来構成材料は細砂が主であったが、写真-5に示すように前浜は全面的に礫で覆われていた。写真撮影地点において礫のスケールを撮影したのが写真-6であるが、径は数cm～十数cmである。このように阿字ヶ浦海岸では近年の激しい侵食によって南部では細砂分が大量に消失し、前浜は大きな礫で覆われた。地元の人話によれば、このように海浜が大量の礫で覆われたことはかつてなかったとのことである。また最近訪れる海水浴客はこのことを知らずに海に入りケガ人が多数出ているという。

これと対照的に常陸那珂港の沖合防波堤による波の遮蔽域内では、大量の細砂が堆積して汀線が前進している。堆積域においてこの状況を撮影したのが写真-7である。阿字ヶ浦海岸南部で観察された浜崖や砂鉄分の露出した海岸状況、さらには一面が大きな径の礫によって覆われた海岸状況と著しい対比を示す。北部では汀線が前進して幅広い前浜が形成され、しかもその構成材料が細砂であって前浜勾配が非常に緩やかである。さらに作業基地の防波堤に接近して、堆積域の広い前浜上から汀線付近を撮影したのが写真-8であるが、細砂が大量に堆積して形成された緩勾配の広い前浜の状況が良く分かる。さらに作業基地の南防波堤の隣接域を遠望したのが写真-9であるが、防波堤基部に大量の土砂が堆積していることが良く分かる。また汀線側からの波の打ち上げによってバームが形成されつつある状況が汀線

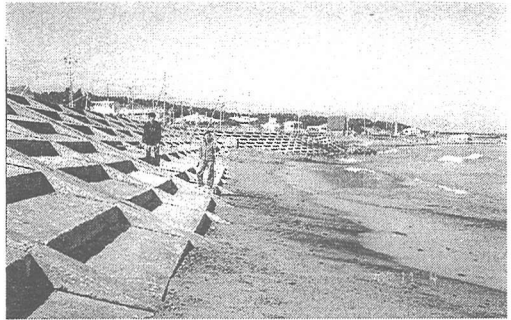


写真-3 汀線が護岸ののり先に一致する付近の海岸状況



写真-4 災害区域の状況



写真-5 礫で覆われた前浜

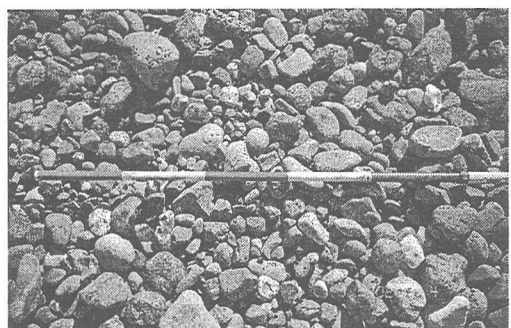


写真-6 礫のスケール



写真-7 沖合防波堤による波の遮蔽域内の海岸状況

から陸側への砂浜上に残された模様から見て取れる。

(2) 那珂海岸

那珂海岸は常陸那珂港を挟んで北側の、阿字ヶ浦と対照的な場所に位置する。阿字ヶ浦海岸に続いてこの海岸でも現地踏査を行った。那珂海岸の南端には新川が流入しているが、新川河口には図-1に示したように「く」の字形の河口導流堤が設置されている。この導流堤の北側には常陸那珂港の沖合防波堤による波の遮蔽効果によって三角形の広い前浜が形成されている。これと対照的に、波の遮蔽域方向へと砂が流出した北部海岸（東海港の南側隣接部）では砂浜が消失して直立護岸が波に晒されるとともに護岸の倒壊も起きている。

まず、写真-10は新川河口導流堤の北側の三角形の海浜の中央部から北向きに撮影したものである。海浜は手前側ほど広く、前方では海浜幅が狭まり、やがて護岸線と汀線とが重なりを示す。直立護岸と汀線との接点付近の状況を示すのが写真-11である。次第に狭まった前浜が写真の観測者が立つ付近では護岸線と完全に重なっている。またその前方では直立護岸に波が這い上がっているのが見て取れる。その前面には消波堤が設置してあるがそれらの大部分は沈下し、ほとんど消波効果が失われている。護岸の背後は保安林区域であり、管理用通路を挟んで木製階段で保護された土堤となる。更にこの場所を境に、ここより北側では局所的な狭い砂浜は別として連続的な砂浜はなくなる。写真-11では前方において直立護岸の前に大量の消波ブロックが積み上げられた場所が見える。このように積み上げられた消波ブロック設置区域を過ぎた更に北側では、写真-12の状況が観察された。すなわち護岸背後に土砂の吸い出された跡が見られたのである。この陥没口では、護岸背後への深い窪みは見出されなかった。しかしそのわずか前方では、写真-13に示すように約2m規模の大きな陥没穴が発見された。この陥没穴では護岸の基礎へと続く非常に深い穴が空いているのが見えた。写真に示すように直立護岸の背後を直線的に歩くのは危険であった。なおこれらの直立護岸は1985年頃に災害復旧で造られたものである。一連の陥没穴の生じている区域を過ぎると写真-14のように海岸護岸が完全に倒壊し、背後地が侵食されて高い浜崖が形成され、海岸背後の保安林が深く侵食されたのである。同様に護岸線の延長上を撮影したのが写真-15である。手前側の直立護岸の延長上に北側へと続く護岸の一部が見える。またその前面には消波堤が設置されており護岸前面には前浜は全く存在しない。また護岸背後では浜崖が著しく高くなっているが、これは写真-16に示すように自然の砂丘地の前面で盛土が行われ、その前面に管理用通路と直立護岸が建設されたものである。



写真-8 堆積域の広い前浜上から汀線付近を望む



写真-9 作業基地の南防波堤の隣接域を遠望する



写真-10 新川河口導流堤付近から北側を望む



写真-11 直立護岸と汀線との接点付近の状況



写真-12 護岸背後での土砂の吸い出された跡



写真-13 約2m規模の大きな陥没穴



写真-14 護岸の倒壊と背後地の侵食状況



写真-15 護岸線の延長上を望む



写真-16 護岸背後の著しく高い浜崖

4. 安定汀線の計算

阿字ヶ浦・那珂海岸の将来汀線形状を把握するために、波の遮蔽構造物を有する海浜の安定形状予測に実績のある修正Hsuモデル³⁾をこれら海岸に適用した。P点は、図-2に示すように2002年の沖防波堤端部とした。初期汀線は1998年のものとした。両海岸の初期Q点は、波浪特性から決定した。この海岸に入射する波浪は波形勾配が比較的大きいので $S_{max}=25$ とすると、防波堤の遮蔽効果の発揮される

範囲は、P点を基準とした波向線から約 45° までの範囲となる⁴⁾。したがって図-2に示すように、P点を基準とした波向線から約 45° の線と現況汀線の交差する位置を初期Q点とした。最終Q点は、初期Q点から波向線上に点を移動させ、土砂収支を満足する位置とした。両海岸の主波向は、遮蔽域外の海浜中央部の汀線が安定形に至っていると仮定し、それぞれの汀線の法線方向(21° , -4°)として与えた。土砂収支境界は、図-2に示す太い点線とした。両海岸端部の港湾・漁港防波堤は波の遮蔽効果が小さいため、本計算では特に考慮しなかった。

図-2に将来の安定汀線形状を示す。阿字ヶ浦海岸では南部から砂が削り取られ、防波堤による波の遮蔽域方向へとさらに移動する。阿字ヶ浦南部では、磯崎漁港を考慮していないため、若干過大に予測されているが、汀線後退量100m以上の大規模侵食が予想される。一方、阿字ヶ浦海岸北部では、さらに約250m汀線が前進すると予測された。現況の汀線変化は予測値よりも小さいが、このことは侵食がさらに進むことを意味する。同様に那珂海岸では海浜中央部で大きな汀線後退が見込まれるが、この位置は写真-14に示した激しい侵食箇所とよく一致し、今後さらなる汀線後退を引き起こす潜在能力を有していると判断される。

5. 考察

(1) 海浜砂の粗粒化

過去、阿字ヶ浦海岸には広い砂浜があり前浜上には局所的に礫も見られたが、写真-5に示すように海岸が全面的に礫で覆われることはなかった。この理由は、常陸那珂港の沖合防波堤の建設によってその背後に広い波の遮蔽域が形成され、波の遮蔽域内へと遮蔽域外(阿字ヶ浦海岸南部)から沿岸漂砂によって土砂が運ばれたが、その際、熊田ら⁵⁾がモデル化したように侵食域から細砂分が選択的に流出したためと考えられる。その証拠として、北部の波の遮蔽域には大量の細砂が堆積していた(写真-9参照)ことがあげられる。また阿字ヶ浦海岸での大量の礫の打ち上げは、主に細砂分が流出して汀線付近の水深が増大したため、細砂で覆われていた海底面の下層に含まれていた礫が現れ、その礫が波の作用で急速に汀線へと打ち上げられたことに対応すると推定される。

(2) 越波対策と従来型の侵食対策

阿字ヶ浦海岸での対策は、主に越波対策と侵食対策とに分かれる。緊急対応が必要なのは、護岸前面の水深が増大していることから越波対策である。現在、土嚢袋が設置されているが、それらの耐久性は高々1年程度であろう。したがって土嚢袋による対策は、今年夏までの応急対応としては成立するが、長期的な意味での耐久性はないと考えられる。

侵食対策として従来から用いられてきた手法には、

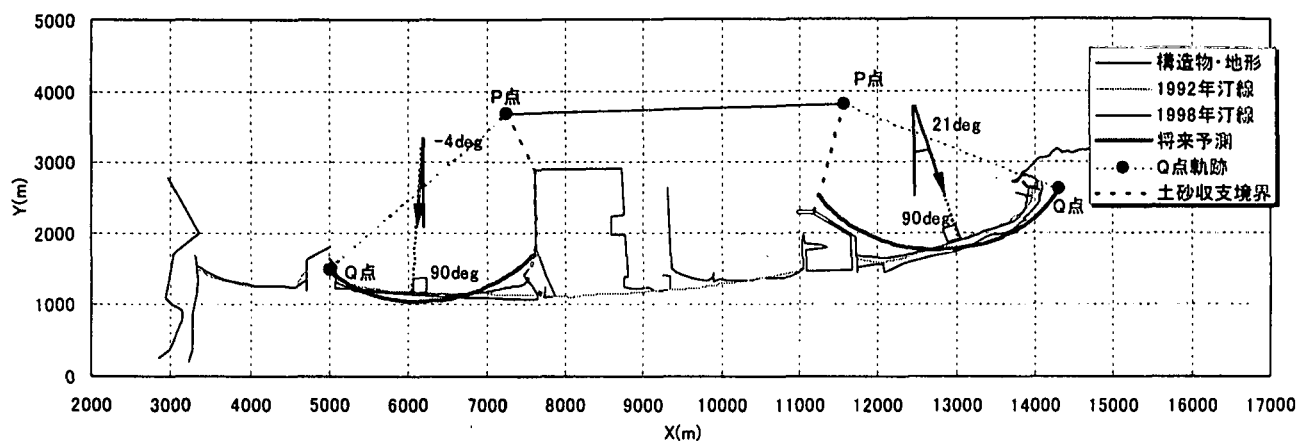


図-2 将来の安定汀線形状

離岸堤、突堤（ヘッドランド）、人工リーフなどの施設を作る手法と、養浜を行う手法などがある。離岸堤・人工リーフによればその背後に舌状砂州を形成させることは可能であるが、設置水深以深の地形の安定化能力はない。一方、突堤（ヘッドランド）の機能は先端水深によって決まる。この海岸における波による地形変化の限界水深 h_c （約7m）に対し、先端水深が小さければ突堤の南側に養浜した土砂は突堤（ヘッドランド）の先端と h_c の間の海底面を通過して北向きの沿岸漂砂によって次第に流出することになる。すなわちこれらの対策は確実な効果は見込めない。大規模な防波堤の影響を打ち消すには、それと同等の規模を有する大規模構造物が必要となる。侵食が進めば海水浴場としての価値は阿字ヶ浦海岸の大部分では失われ、利用可能な砂浜は磯崎漁港の隣接部のみとなる。長く海水浴場として有名であった阿字ヶ浦海岸の砂浜は消失することになる。

(3) 根本的な対策

このほか、その実現性は別にすれば真の意味の対策も考えられる。例えば、沖防波堤による波の遮蔽効果に応じて南側の海岸線のセットバックを許し、海岸線が陸に下がるのを認めることである。この場合、予測結果にあるように民有地が侵食されるが、その分は北側に新しく形成された海浜地（国有地）との等価交換を行うのである。これは従来、採択されることが全くなかった方法である。従来の方は、固定された海岸保全区域内でのみ問題を処理しようとする点にどうしても無理があり、結果として次々と激しくなる越波に対して海岸線に沿って消波ブロックを山積みされ、海岸の人工化が急速に進んだのである。この点を真に改善するためには海岸線のセットバックという選択枝がある。これには関係者の合意形成を必要とする。

(4) 海岸侵食の意味と合意形成

昭和50年代頃まで阿字ヶ浦海岸に存在した細砂からなる広い砂浜は、常陸那珂港の沖合防波堤の建設

に伴って消失した。また、修正Hsuモデルによる安定汀線の予測結果によれば、阿字ヶ浦海岸での護岸被災箇所は汀線の著しい後退箇所と一致すると同時に、現状よりさらに汀線が後退することが予測された。このことは、現在生じている様々な問題が今後も続く可能性が高いことを意味している。とくに、阿字ヶ浦海岸は北関東で有名な海水浴場であると同時に、良好なサーフスポットがあることでも有名であったこと、および2000年に施行された新海岸法では、情報公開と地域住民との合意形成が求められていることを考えると、長らく海水浴場として繁栄してきた阿字ヶ浦海岸の旅館業を営む人々や海岸利用者が、激しい侵食によってその営業の基盤や利用場所である砂浜を失った理由を十分明らかにすることが必要となるであろう。

今後、住民参加による情報公開や合意形成を考える場合、背後地住民は専門的な知識や経験を持たないことから、納得のいく合意形成には分かりやすい説明が必要となる。その際、本研究で示したように侵食実態を実感として理解可能な現地状況写真や空中写真の活用が有効と筆者らは考えている。

参考文献

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，p.442，1997。
- 2) 佐藤孝夫・八木橋貢・黒木敬司・片野明良・栗山晋昭：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.621-625，1999。
- 3) 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池剛・神田康嗣：修正HSUモデルによるヘッドランド周辺の最適安定海浜形状の計算法，海岸工学論文集，第43巻，pp.646-650，1996。
- 4) 芹沢真澄・Abdelaziz Rabie・三波俊郎・五味久昭：回折領域の不規則波浪場の簡単な計算法，海岸工学論文集，第40巻，pp.76-80，1993。
- 5) 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・星上幸良・増田光一：混合粒径砂の分級過程を考慮した海浜変形モデルの開発，海岸工学論文集，第49巻，pp.476-480，2002。