

展開座標を用いた汀線変化モデルによる親沢鼻砂嘴の 地形変化予測

宇多高明*・住谷廸夫**・矢澤 肇***
大谷靖郎****・厚坂祐次*****

1. はじめに

茨城県東部にある涸沼(図-1 参照)には、親沢鼻として知られる砂嘴が発達している。親沢鼻は、涸沼においては湖浜利用やウインドサーフィンなどが可能な唯一の場所であり、景観が優れていることから茨城百景に選ばれている。この砂嘴は、東西に細長い湖の西端近くにあり、砂嘴の東側に流入する小河川からの供給土砂が、湖内で発達する風波に伴う沿岸漂砂によって運ばれ堆積して形成されたものである。しかし、近年では、干拓の影響により東西方向の沿岸漂砂の均衡が失われたため、砂嘴に著しい変形が生じた(宇多, 1997)。砂嘴の先端および東側では、侵食によって護岸や樹木等に被害が発生し、背後の湖浜公園の良好な環境が危機的な状態に陥っている。

このような侵食に対して、護岸などの侵食対策施設を造ることは容易であるが、それでは湖浜利用が不可能となるとともに、景観面からも失うものが大きい。そこで、養浜と併せて小規模な突堤を建設することにより侵食を制御する計画を立案した。この侵食対策の効果を定量的に評価するためには、養浜時の湖浜変形予測が不可欠であるが、著しく屈曲した砂嘴の汀線変化予測には、直線的な海岸線を対象とする従来型の汀線変化モデルは適用できない。このため、屈曲した汀線を直線に展開する汀線変化予測モデルを開発し、現地データによる検証を行うとともに、侵食対策の将来予測を行った。

2. 砂嘴地形の変化状況

親沢鼻砂嘴の地形特性については、過去の研究成果の総括的な報告として宇多(1997)が参照できる。これによると、汀線変化の原因は、涸沼の西側で行われた干拓により西側からの風波の作用が減少したことに起因するものであり、砂嘴先端部における沿岸漂砂量は約 100 m^3/yr であることが明らかとなっている。

図-2 に 1961 年 9 月の汀線を基準とした 1994 年 3 月までの親沢鼻砂嘴の汀線変化を示す。砂嘴周辺の汀線は、砂嘴の東側から西側に向かう沿岸漂砂によって、東側では侵食されて汀線が後退し、西側では土砂が堆積して汀線が前進したことが明らかである。また、汀線の最突出部は、時間の経過とともに北側へと次第に押し込められ、先端部がつぶれていく形となっている。

このような砂嘴の東側の著しい侵食によって、湖岸に設置された木製護岸の越波による被害が度々発生している。写真-1, 2 は、1996 年 9 月 22 日に来襲した台風 17 号による砂嘴先端部付近の被害状況を 9 月 26 日に撮影したものである。台風の来襲時の水位上昇と波浪によって木製護岸への越波が生じ、写真-1 に示すように護岸の背後が激しく侵食されている。また、写真-1 の前方に見える松の木の周辺を撮影した写真-2 によれば、松の

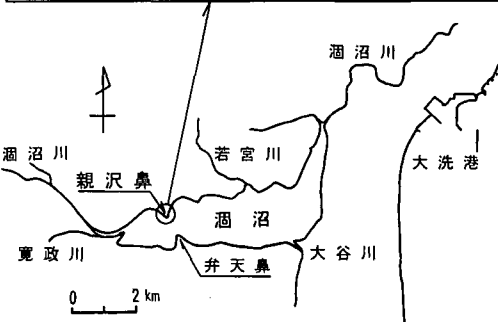
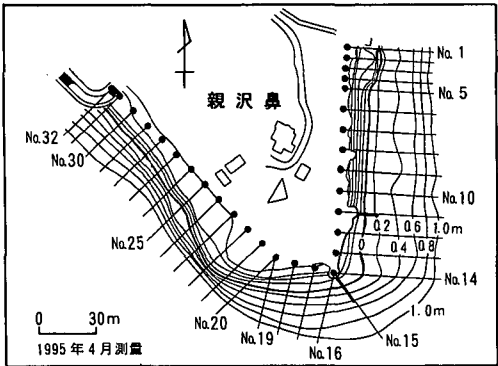


図-1 涸沼親沢鼻砂嘴の位置図

* 正会員 工博 建設省 土木研究所 河川部長
** 正会員 茨城県 土木部 河川課長補佐
*** 茨城県 水戸土木事務所 河川整備課係長
(株)アイ・エヌ・エー 海岸部
**** 正会員
(株)アイ・エヌ・エー 海岸部

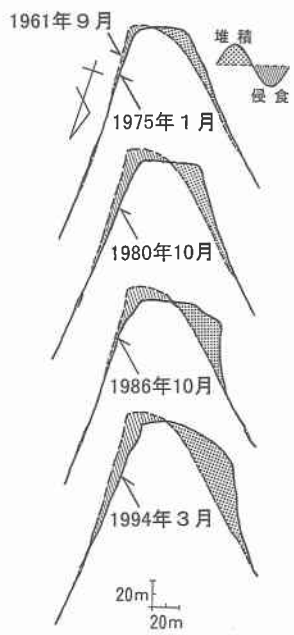


図-2 空中写真による代表時期の汀線変化



写真-1 親沢鼻先端の木製護岸と背後の侵食状況



写真-2 親沢鼻東岸の木製護岸と背後の松の被害状況

根周辺が洗掘されていることが分かる。その後の現地踏査によれば、写真-2で中央に立っていた松は、枯れたため切り倒された。図-3は、宇多ら(1996)が示した養浜実験時の深浅測量データから作成した水深変動量の水深方向分布である。顕著な地形変化は、侵食域と堆積域ともに T.P.+0.5 m~-0.7 m 付近で生じており、平均汀線に相当する T.P.+0.2 m 付近で水深変動量が最大となり、それよりいずれの方向にも変動量は減少傾向を示す。

図-4は、1983年と1988年の深浅測量をもとに、測線毎に断面積変化量と汀線変化量を求め、砂嘴の汀線方向の沿岸方向分布として示したものである。砂嘴先端部の測線 No. 14 を境として、東側では汀線が後退し、西側では前進しているが、汀線変化量と断面積変化量の間にはかなり高い相関関係が認められる。このことは、砂嘴周りの湖浜変形の予測計算に対して、汀線変化モデルの適用性が高いことを示している。

3. 海浜変形モデルの基本的な考え方

親沢鼻砂嘴の汀線形状は、ヘアピンのように大きく屈曲しているため、直線的な海岸線を対象とする従来型の汀線変化モデルでは、海岸線に対する波の入射角が大き

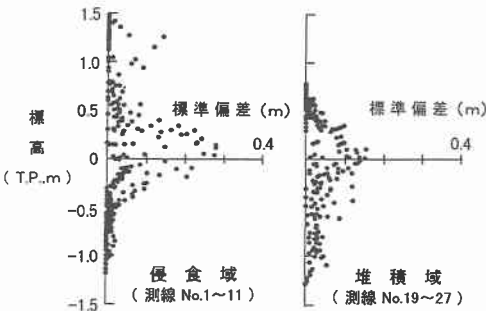


図-3 水深変動量の水深方向分布

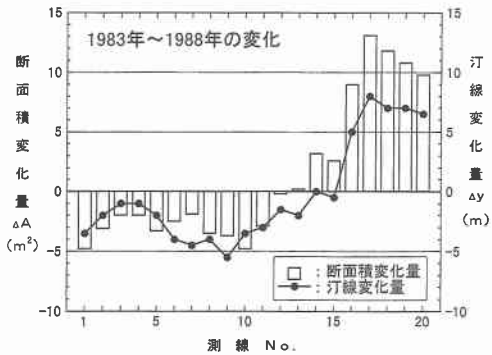


図-4 断面積変化量と汀線変化量の沿岸分布

くなり過ぎ、モデルが成立するための近似が成立しない。また、このような場合に適用可能な宇多(1982 a)の時間的に移動する発展系の座標を用いたモデルでは、従来型の汀線変化モデルと比較して計算が複雑になることが問題点として指摘できる。

図-2に示した親沢鼻周辺の汀線変化について考えてみると、先端部の汀線の曲率半径が約40 mであるのに対して、後述するように入射波高は10 cm程度(周期1 s程度)、湖浜勾配が約1/20であることから、碎波帯幅は約2 mと小さい。したがって、汀線の曲率半径と碎波帯幅の比は、0.05と非常に小さくなる。この条件は、海岸線が円弧状の海岸を対象とした宇多(1982 b)の海浜流計算の条件と同様であることから、曲線座標系を用いなくても、砂嘴の汀線を直線的に伸びていると仮定した汀線変化計算によって近似的には同様の計算結果を得ることができる。この場合には、砂嘴の汀線形状に沿った形で座標系(展開座標)を設定し、その座標系における碎波波高および碎波波向の沿岸方向分布が定められれば、従来型の汀線変化モデルによる計算が可能である。なお、碎波波高および碎波波向の沿岸方向分布は、別途に定めた座標系により計算すればよい。

4. 汀線変化の再現計算

汀線変化モデルの検証計算では、1975年1月を初期値として1994年3月までの約19年間の汀線変化を再現した。沿岸漂砂量公式には、小笹・Brampton(1979)の式を用いており、漂砂量係数は $K_1=0.02$ 、 $K_2=1.62$ とし

た。計算範囲は図-5に示す290 m、計算格子間隔は5 mであり、河川からの流出土砂を考慮して東端境界では $40 \text{ m}^3/\text{yr}$ の漂砂供給を与えた。また、波浪条件には、エネルギー平均波($H_0=0.13 \text{ m}$ 、 $T_0=1.35 \text{ s}$)を用い、波向は、親沢鼻に作用する風の主方向であるENEとした。

漂砂の移動高さ h については、1983年と1988年の深淺測量データを侵食域と堆積域に区分して、汀線変化量と湖浜断面積変化量の相関分析を行った結果、侵食域では $h=0.88 \text{ m}$ 、堆積域では $h=1.61 \text{ m}$ が得られた。このように堆積域において、侵食域に比べて大きな移動高さを用いることにより、土砂が沖合の深い部分に落ち込む現象を再現できるようにした。

始めに、Karlsson(1969)の方法によりエネルギー平均波の波高分布計算を行い(図-6参照)、宇多(1996)の現地観測結果を考慮して、汀線変化モデルの入力波浪の沿岸分布を設定した。次に、1975年1月から1994年3月までの汀線変化の再現計算を行った。図-7に汀線変化計算の再現計算結果を示し、図-8に碎波波高と波向および沿岸漂砂量の沿岸方向分布を示す。なお、沿岸漂砂量は、再現計算期間を3つの時期に分けて示した。

再現計算結果によると、全域において沿岸漂砂は西向きであり、砂嘴の先端を越えると沿岸漂砂量は急激に減少する。また、沿岸漂砂量の最大値は、 $X=170 \text{ m}$ 付近の砂嘴先端で現れており、先端部の沿岸漂砂量は、宇多ら(1992)の解析結果による約 $100 \text{ m}^3/\text{yr}$ とほぼ一致している。このように計算領域の東端から先端に向かって沿岸漂砂量が次第に増加することから、砂嘴の東側では侵食が起り、西側では堆積となる。1986年10月までの汀線変化では、砂嘴東側の汀線後退量は、実測値に比べて計算

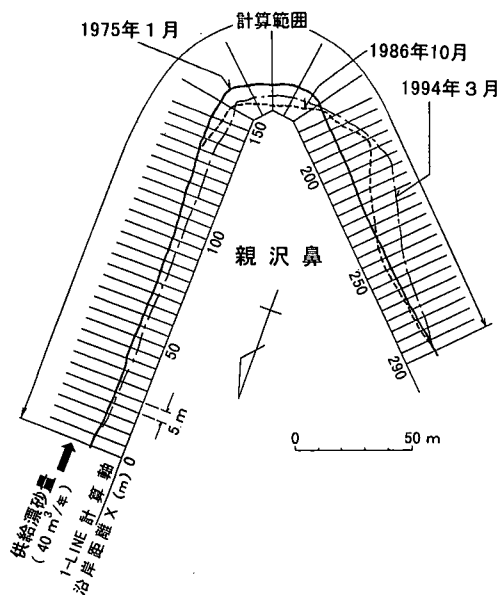


図-5 展開座標系と検証汀線

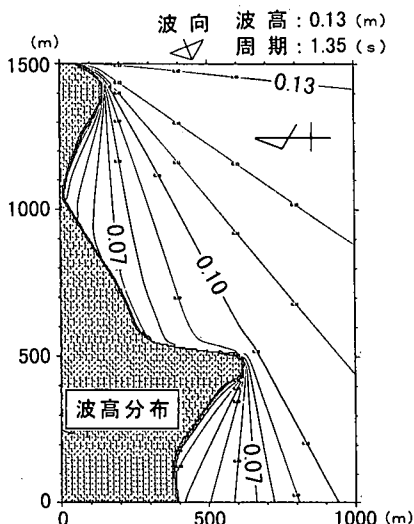


図-6 波高分布の計算結果

値が過大となっているが、西側では、汀線の前進量および汀線の前進量が最大となる位置などはほぼ再現されている。また、1994年3月の計算結果では、実測値と計算値は非常に良く適合している。このことから、長期的な汀線変化を予測する上では、本モデルの再現性および境界条件の設定はかなり良好であると判断できる。

5. 侵食対策の将来予測計算

将来予測計算では、1994年3月の実測汀線を初期値として20年後までの汀線変化予測を行った。予測計算は、以下に示す4ケースを行った。ケース①は、養浜や突堤などの対策を実施しないで現状のまま放置する場合であり、ケース②以下との比較の基準となるものである。ケース②、③、④は、養浜工と突堤の組み合わせた対策を実施した場合である。

① 現況 (対策なし)

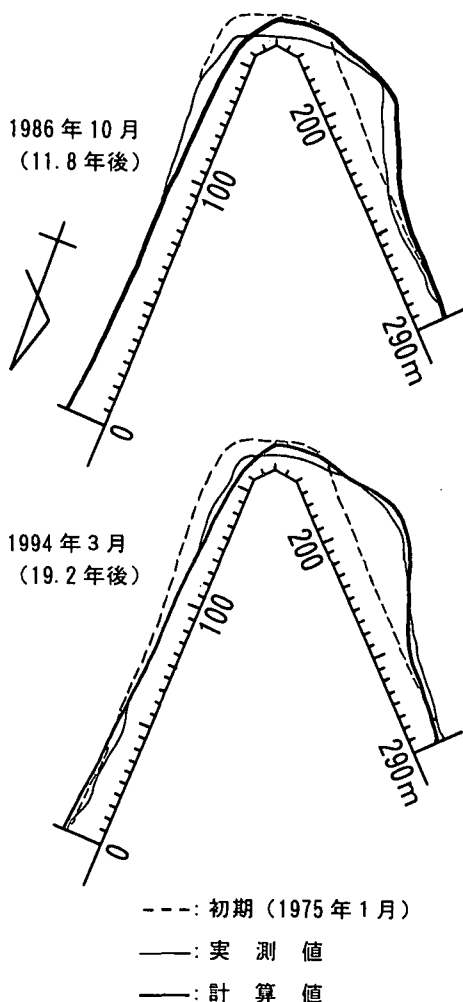


図-7 汀線変化の再現計算結果

② 養浜工 (540 m³) のみ

③ 養浜工 (540 m³) + 突堤 (堤長 8 m)

④ 養浜工 (540 m³) + 突堤 (堤長 10 m)

突堤のような施設は、湖浜線に不連続を生じさせるため、設置基数を最小限にすることが望ましいことから、予備計算結果に基づきいずれのケースも1基のみの配置とした。突堤の計画位置は、親沢島先端部に設置されている土葦製の突堤の位置とした突堤による沿岸漂砂の捕捉率は、図-3に示した侵食域における地形変動量を水深方向に積分した値に対して、突堤の先端水深以浅の部分がカットされるとして捕捉率を定めた。また、養浜土砂量は、砂嘴の東側 ($X=0\text{ m} \sim 160\text{ m}$ 区間) の汀線が著しく後退する以前の1975年当時の砂浜を回復するために必要な土砂量である約 540 m^3 とした。なお、沿岸漂砂量の境界条件は、検証計算と同様に東側からの供給土砂量を $40\text{ m}^3/\text{yr}$ とした。

図-9に4ケースの予測計算の結果を示す。いずれのケースも、初期から20年後の計算結果を示している。①現況のケースでは、砂嘴の東側では汀線の後退が、西側では汀線の前進が著しく、現状のままでは、親沢島で最も利用が盛んな東側の湖浜の侵食が今後も進むことは明らかである。②養浜工では、1975年当時の汀線まで砂浜を回復する形で養浜を行ったものであるが、土砂の流出防止策が取られていないために、20年後には養浜前の1994年の汀線位置まで後退する。また、養浜砂の大部分は、砂嘴の先端部を回り込んで西側に堆積する。④養浜工 + 10 m 突堤では、養浜砂を維持するために砂嘴の先端部 ($X=160\text{ m}$ 地点) に長さ 10 m の突堤を設置したものである。突堤によって東側の砂浜は維持されるが、突堤が長すぎるために突堤の下手側への漂砂供給が妨げられ、先端から $X=190\text{ m}$ の区間において著しい侵食が生じる。③養浜工 + 8 m 突堤では、突堤による沿岸漂砂の阻

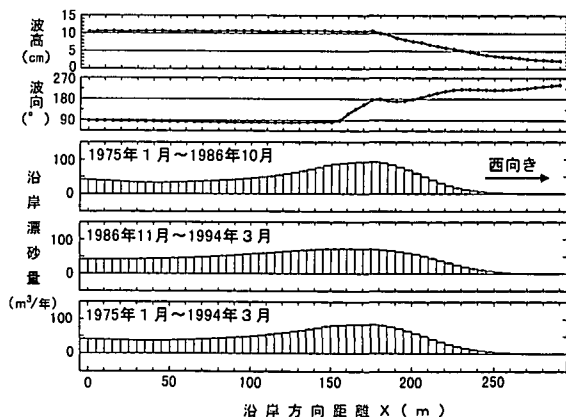


図-8 波高、波向および沿岸漂砂量の沿岸分布

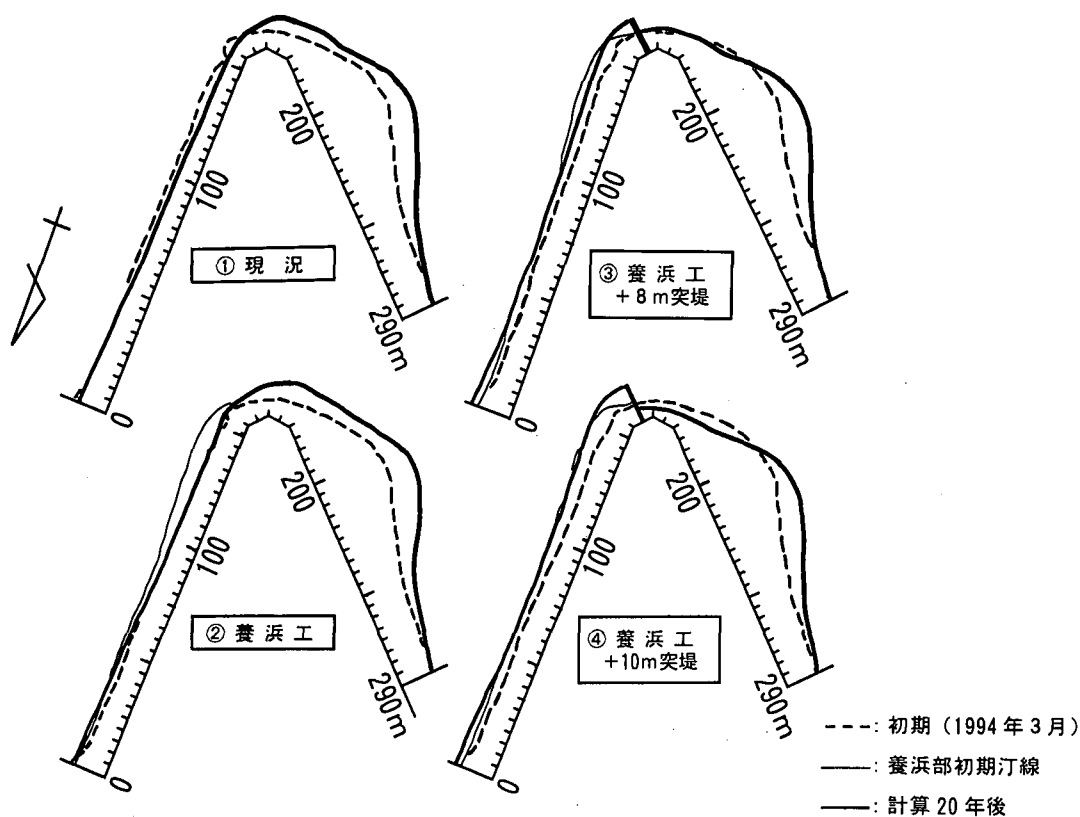


図-9 侵食対策工の将来予測計算結果

止率を減少させるために、突堤長を10mから8mに短くしたケースである。砂嘴東側では、養浜砂がほぼ初期の状態で維持されるとともに、西側への漂砂供給もある程度確保されることから、突堤の下手側においても現状の砂浜の維持が図れている。このことから、ケース③の養浜工+8m突堤が砂嘴の侵食対策として最適であると判断できる

6. まとめ

本研究では、ヘアピンのように大きく湾曲した砂嘴周辺の汀線変化を展開座標系を用いて予測するモデルを提案した。このモデルは、汀線の沿岸方向の曲率半径に対して、碎波帯幅が十分小さいという仮定のもとに作られている。現地海岸の砂嘴（例えば、静岡県三保松原や北海道東部の野付崎など）の海浜変形においても、多くの場合この仮定が成立することから、本モデルは、親沢鼻以外の砂嘴地形の汀線変化予測に対しても適用性が高いものと考えられる。

また、親沢鼻砂嘴の変形が東側からの入射波によるも

のであることを明らかにした上で、現況の汀線に沿った展開座標を用いて汀線変化を計算し、侵食対策としての養浜および突堤の効果について定量的に明らかにすることができた。

参考文献

- 宇多高明 (1982 a): 新しい海浜変形モデルによる河口砂州の変形予測, 土木学会論文報告集, 第320号, pp. 77-87.
- 宇多高明 (1982 b): 円弧状および大規模カスプを有する海岸における海浜流循環, 土木学会論文報告集, 第326号, pp. 77-87.
- 宇多高明・山本幸次・畑中達也 (1992): 酒沼北岸親沢鼻砂嘴の1983~1990年における変形特性, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 386-390.
- 宇多高明・小菅 晋・松田 勝・篠崎 剛 (1996): 酒沼親沢鼻への流入河川の河口部地形特性と養浜の現地実験について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 601-605.
- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, p. 442.
- 小笹博昭・Brampton, A. H. (1979): 護岸のある汀線変化計算, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第4号, pp. 77-104.
- Karlsson, T. (1969): Refraction of continuous ocean wave spectra, Proc. Of ASCE, Vol.95, No. WW 4, pp. 437-448.