

涸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

宇多高明*・小菅 晋**・松田 勝***・篠崎 剛****

1. ま え が き

茨城県東部に位置する涸沼の親沢鼻砂嘴では、近年その東岸で侵食が著しい。現地調査（宇多・山本，1986；宇多ほか，1992）によると、湖内で発達する風波により親沢鼻砂嘴の東岸より西岸に向かう沿岸漂砂が生じ、これにより侵食が進んでいる。親沢鼻は涸沼に残された唯一の砂州であり、近隣の水戸市民の格好のレクリエーションゾーンとして利用されてきていることから、その重要性は高く、できる限り自然的風景を保持したまま海岸保全を進めることが求められている。これにはまず風波による湖岸周辺での漂砂特性について十分な理解が必要である。このため、本研究では砂嘴全体の空中写真撮影を行うとともに、砂嘴への漂砂供給源となる流入小河川の河口部で深浅測量や底質調査などを行った。次に、それにもとづき、砂嘴の西側に流出・堆積した土砂を東側へ戻して養浜砂として用いるサンドパイパスの現地実験を試みた。本研究では、これらの現地データの分析を通じて親沢鼻砂嘴の今後の対策について考察するものである。

2. 涸沼親沢鼻の地形概況と空中写真の判読

調査対象の親沢鼻は図-1に示すように茨城県東部に位置する涸沼の北岸にあり、水戸の南約10 km、大洗港の西約5 kmに位置する。親沢鼻は涸沼の西端近くにあり、対岸の弁天鼻と対をなす砂嘴である。涸沼の周辺には関東ロームにより覆われた高度約30 mの台地が発達しているが、その中に小河川により開析された谷が発達している。この小河川は砂嘴の東側で涸沼へ流入している。

1994年3月16日、親沢鼻砂嘴の空中写真撮影を行った。空中写真は宇多ほか（1995a）に示されているが、これによると親沢鼻は湖内に三角形に突き出ており、三角形の底辺長は約300 m、三角形の高さが約250 mである。親沢鼻の先端部は砂州のまま残されているが、北東端より東側、および北西端より西側は矢板基礎をもつコ



図-1 涸沼親沢鼻周辺の地形図

ンクリート護岸と根固め捨石により覆われており、漂砂の出入りはない。親沢鼻の北東端の護岸のとり付け部より約40 m南側には上述の小河川が流入し、河口部の汀線が東側に突出している。親沢鼻では、東風に起因する風波により砂嘴の先端を回り込む沿岸漂砂が卓越することが過去の研究により明らかにされている。このことを考慮すると、この流入小河川からの供給土砂が南向きの沿岸漂砂により砂嘴の先端方向へと運ばれる条件にあることがわかる。

3. 流入小河川の河口部の湖浜地形特性

写真-1には流入河川の河口部の状況を示す。護岸の延長上の湖岸堤上より撮影したため、河口を見下ろす写真が撮影された。小河川の河口部は湖内へと大きく突出し、河川水が湖へ流入している状況が見てとれる。河口を挟んで南北の汀線の形を比較すると、北（手前）側の汀線は河口へ向かってほぼ直線状であるのに対し、南側の汀線は大きくフック状に湾入している。

小河川の河口部の地形を調べるために、1994年9月3日に深浅測量を行った。深浅測量の基点Aと終点Bは、河口部の汀線となだらかに接する線を引き、この直線上相互に65 m離れた地点とした。測量の



写真-1 流入河川の河口状況

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川管理総括研究官

** 正会員 工博 東海大学海洋学部海洋土木工学科

*** (株)三水コンサルタント

**** (株)小島組

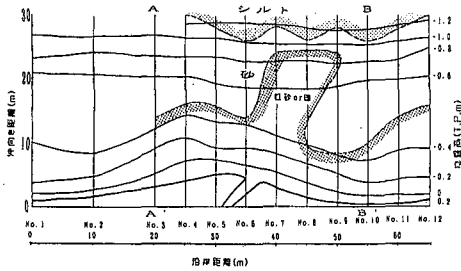


図-2 流入河川の河口平面深浅図

基準点は親沢鼻の先端部にあるので、ここより測量開始時の湖面の高さを調べ、これを基に深浅測量時の仮 B.M. の標高を定めた。測量結果は T.P. 基準で求めたが、平均湖面はほぼ T.P.+0.2 m に位置する。

図-2 に示すように小河川の河口部では汀線より T.P.-0.4 m までの等深線が三角形に緩やかに突出している。-0.4 m ~ -0.6 m の間はほぼ平坦であるが、-0.6 m 以深では急深となる。そして -0.6 m 以深の等深線は沿岸方向にほぼ一様である。

深浅測量時、ダイバーの役目を果たした筆者の一人(松田)によれば、スタッフを移動中に海底の底質が極端に異なる場所が見い出された。これは、測量時、運動靴で湖内に入ったが、足裏および足の側面での感覚によるものである。そこで、各測線ごとに粗砂または礫、砂、および粘着性のシルトの範囲を定め、図-2 に併せて表示した。これによると、汀線近傍と現河口の延長上には粗砂または礫が分布し、その沖は砂、そして沖合で勾配が急変し、-1.2 m 付近ではシルトとなっており、湖底の底質の淘汰が水深に合わせて進んでいることが分かった。宇多ほか(1992)では、親沢鼻周辺の深浅データをもとに湖浜縦断面の重ね合わせを試み、これにより地形変化の限界水深に深の断面形が重なること、また堆積域で陸上部に堆積平坦面が形成されることを明らかにした。ここでも同様な見地より河口部の深浅データより縦断面形の重ね合わせを行ったのが図-3 である。河口から離れた測線はいずれも一つの断面形に漸近し、河口部ではほぼ -0.5 m 以浅に変化が集中していることが明らかである。河口より

離れた測線での漸近縦断面形状は、汀線付近より鉛直上方に凹状となったあと $y \approx 14$ m で平坦となり、 $y \approx 18$ m より

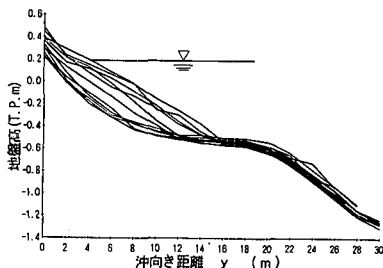


図-3 河口部湖浜の縦断面

逆に上に凸な形状となる。そして河口部の地形変化は -0.5 m の平坦面上でほぼ収束しており、-0.6 m 以深では変動はあるものの有意な地形変化は見られない。この小河川の流入する地域は漂砂の上手端付近であって、河川流の影響を除けば漸近断面は侵食断面の特徴を示すはずである。このことから図-3 によれば、全般に上に凹な侵食断面形が発達する区域において、特に河口部で土砂堆積があるため、汀線付近が突出した断面形になったと考えられる。

図-3 に示した湖浜縦断面形によれば、河口部湖浜は基準線より沖合 16 m までの範囲で上方に凹な断面形の上に土砂が堆積し、そのため河口部が全体に突出しているように見える。すなわち、この小河川の河口は親沢鼻砂嘴の最も上手側に流入しているために縦断面形は侵食域における上に凹な形状を示すが、河川からの流入土砂があるために河口部が全体的に突出していると見なされる。この場合、図-3 において汀線より沖合の 16 m までの範囲で、最も地盤高の低い位置を連ねた一つの断面を想定すると、この断面は河川流出土砂が完全に 0 となったときの各断面が漸近する断面形になるはずである。したがって逆にこの断面を基準として地形変動量を計算すると、河口があることにより過剰に堆積している土砂量の分布が求められる。そこで各測線ごとにこの基準断面より鉛直変位を求め、平面分布として整理すると図-4 となる。

図には現況汀線と各等深線も記入してある。これによると、最も堆積厚が大きい位置は現河口の北側 6 m である。河口は 1994 年 3 月 16 日には現況より北側を流れていたことから、河口位置は南北の変動を有する。このことを考慮すると、現河口近傍の汀線付近で最大の堆積厚(40 cm)が得られた点は十分理解できる。土砂の堆積量は水深の増大とともに急激に減少し、-0.4 m 以深では堆積量はほとんど 0 である。また、河口前面では堆積量が急減し、ほぼ 0 となる位置が -0.4 m の等深線と非常によい一致を示すことが注目される。また、堆積厚の沿岸分布は南北で非対称であり、河口より南側にはなだら

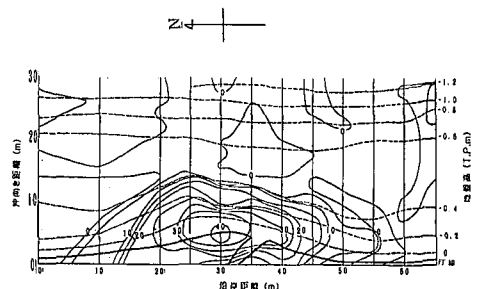


図-4 河口部地形変動量の平面分布

かに、逆に北側では急に減少している。この分布は、河口の北側では汀線が緩やかに突出し、南側では大きく凹状になっている点とよい対応を示し、河口からの土砂が南向きの沿岸漂砂によって流出していることを示している。

また、図-4によれば、河口前面での総堆積土砂量を求められる。地形変動量に測線間隔を乗じて土砂量を求めると 178 m^3 となる。宇多ほか (1992) では親沢鼻砂嘴の先端部を東側から西側へ回り込んでいる沿岸漂砂量を約 $100 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定したが、これによると河口前面には沿岸漂砂量で約 1 年 9 ヶ月相当の土砂が堆積していることになる。

宇多ほか (1992) は、親沢鼻の先端部での深浅測量データをもとに、湖浜断面積の変化量と汀線変化量の相関関係より、漂砂の移動高が 1.34 m であることを明らかにした。この場合、断面形の変化は経時的に得られたものと、場所的に得られたもの両者を用いてもほぼ同じ値になることを示した。そこでここでは後者の方法により漂砂の移動高を求めてみる。すでに図-3に示した各測線の断面の場所的变化より、河口部から十分離れた測線での下限値の包絡線を基準として見かけ上の汀線変化量 (Δy) と断面積の変化量 (ΔA) を求めると、両者の間には $\Delta A \approx 1.0 \Delta y$ の関係が成立する。両者の回帰係数は漂砂の移動高 (h) に等しい。したがってこの小河川の河口部での移動高は 1.0 m となる。この値は前報で求めた値 (1.36 m) より約 30% 小さい。この理由として、前報で移動高を求めたのは砂嘴の先端部であるのに対し、本研究の対象区域は砂嘴のつけ根部であって、東側からの作用波の波高が波の屈折効果により砂嘴先端部より平均的に低くなること、そして砂嘴の先端部では急勾配をなして土砂が深い部分へと落ち込むため、見かけ上移動高が大きくなること、などが考えられる。

4. 河口部の底質の岸沖分布

湖底の底質調査では、図-2に示すように A-A' および B-B' 測線を設定した上で、基準線より岸沖方向に 4 m 間隔で底質サンプリングを行い、それらの粒度組成を調べた。A-A'、B-B' 測線は現河口を中心に南北ほぼ対称的な位置に設定したが、これは南向きの沿岸漂砂の卓越する場での河口の左右岸での底質の粒度組成の違いを調べるためである。結果を図-5に示す。田中には T.P. 基準での測定地盤高を上段に示す。粒度組成については、礫からシルトまで 5 段階の区別がなされている。図-2を参照し、図-5の特徴を調べると、まず A-A' 測線では礫と粗砂の含有率が $0 \leq y \leq 8 \text{ m}$ で増大したあと、 $8 \leq y \leq 16 \text{ m}$ で急減している。この区域は図-2によれば等深線が河口デルタ状に突出している位置とよく対応する。また、

$20 \text{ m} \leq y$ での微細砂およびシルトの分布は、図-2によれば 0.6 m 以深で再び勾配が急になる斜面と対応している。さらに、細砂分はいずれの区間にも出現しているが、最も多く出現するのは -0.4 m と -0.6 m の間の平面上である。同様に B-B' 測線の組成を調べると、礫・粗砂の含有率の高い部分は $y=4 \text{ m}$ までで

あり、 4 m から 8 m の間で含有率の急減が見られる。図-2によると、ここでは -0.4 m 以浅の等深線が湾入している。このことから粗な粒径は汀線近くの斜面に集中していることがわかる。また、河口の左岸側では礫・粗砂の含有率が高い部分の沖に細砂の含有率が高い部分が続いていたが、B-B' 測線では細砂、微細砂およびシルトがほぼ一定割合で沖方向に広がっている。このように A-A'、B-B' 測線とも汀線近くで粗な粒径が表われ、沖合では急激に細粒となり、粒度の変化点が著しい地形変化が収束する限界の水深 (地形変化の限界水深) T.P. 約 -0.5 m で区分されていることが特徴であって、淘汰が非常に進んだ分布形となっていることが分った。ここで得られた底質の粒度含有率の岸沖分布は、波の作用を強く受ける場所では粒径が粗く、水深方向の掃流力の減少とともに細砂となり、さらに地形変化の限界水深以深ではシルト質と、非常に細粒となるものであった。そして湖浜の底質組成は波による淘汰作用を非常に強く受けてそれに応じた分布形となっていることが判明した。図-5に示した湖浜材料の粒度分布より中央粒径を求め、その水深方向分布をまとめたのが図-6である。これによると、 -0.6 m 以浅の浅海域では $0.4 \text{ mm} \sim 6 \text{ mm}$ と粗な粒径であるが -0.6 m 以深ではほぼ 0.15 mm と非常に細くなる。一方、図-3に示した縦断面形において顕著な断面変化の見られる測線 No.4~No.9 を選び、各断面ごとに等深線の水平方向の変位量を求め、それらの最大値で規準化した等深線の水平変位の鉛直分布を求めた結果を図-7に示す。この分布は沿岸漂砂量の水深方向分布に近似的に等しいと考えられるが、図-7によると沿岸漂砂量の鉛直分布は -0.2 m 付近で最大値となり、 -0.6 m

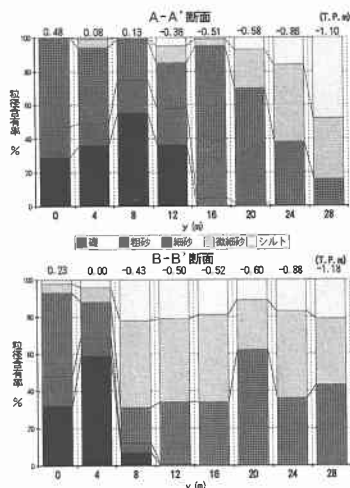


図-5 A-A'およびB-B'測線に沿う底質の粒度別含有率

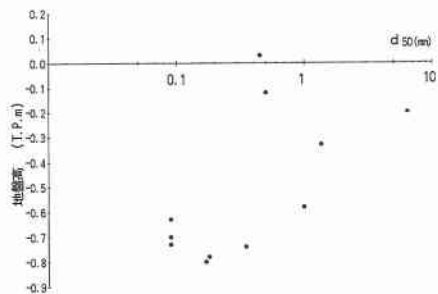


図-6 A-A'およびB-B'測線上における d_{50} の水深方向分布

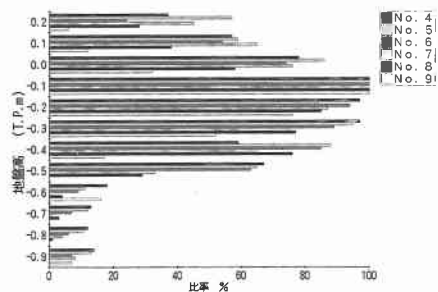


図-7 標準化された等深線の水平変位の鉛直分布

でほぼ0となる。この分布形と図-6の d_{50} の分布とを比較すると、漂砂量が大きな値を取る部分では d_{50} が大きく、 d_{50} が0.15 mm 以下になる限界と漂砂量がほぼ0となる限界の水深とはよい一致を示している。

5. 湖岸保全のための養浜実験

親沢鼻砂嘴では、風波により東側が侵食され、沿岸漂砂によって砂嘴の西側に砂礫が運ばれる。したがって砂嘴をこのまま放置すると、砂嘴の東側は益々ひどく侵食されることになる。考えられる対策は2通りある。第1は、サンドバイパスであって西側より砂を採取して東側に投入するものである。西側に堆積した砂はもともと砂嘴の東側より運ばれたものであるから、これにはかなりの合理性がある。第2は、砂を投入するのみでは砂は再び西側へ戻ってしまうと考えられるので、砂嘴の汀線上の数箇所である程度砂移動を抑制する施設を設置した上で養浜を行い、砂の流出速度を低下せよとするものである。いずれにしても砂嘴周りでの漂砂について十分な検討が必要である。そこで養浜実験を行った。砂は砂嘴の西側の汀線で採取することとし、年間の漂砂量が前述のように $100 \text{ m}^3/\text{yr}$ と想定されるので、半年分に相当する量として 50 m^3 とした。

土砂投入は1995年4月21日に行った。図-8には砂投入直後の砂嘴の深淺図を示す。

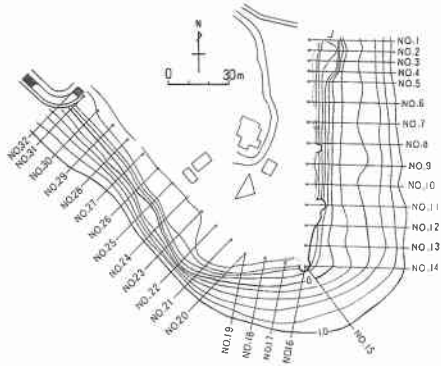


図-8 瀬沼親沢鼻の深淺図 (1995年4月21日測量)

砂の採取域は砂嘴の西側の測線 No. 22~No. 24 の汀線付近である。砂の投入位置は砂嘴の最も漂砂上流端の No.1~No.5 とし、ブルドーザーで汀線より押し出した。図-8に示すように、養浜によりほぼ T.P.-0.2 m (平均水深 0.4 m) までの等深線が沖向きに突出している。図-7に示した沿岸漂砂量の水深方向分布によれば、漂砂がほぼピークとなる水深まで砂が押し出されたことになる。養浜後東風により発達した風浪の作用を受けた。図-9には養浜直後の4月21日より5月19日までの汀線の経時変化を示す。矩形状の初期汀線は南側の隅より急速に削り取られ、なだらかな形状に変化した。しかし、5月19日現在、砂は岸方向に拡散したものの、投入域周辺に留まっており、この付近の湖浜を緩勾配化する上で役立っている。図-10には、湖浜の縦断形の変化を示す。砂の投入箇所の測線 No.2 では、浜崖を形成しつつ汀線は後退したが、5月19日には緩い勾配で汀線付近にも堆積している。また、養浜箇所の沖では全く地形変化は見られないことから、縦断面形の変化は沿岸漂砂によるものであって、急勾配で汀線より土砂を押し出しても沖向きの土砂移動は起こらず、養浜砂は湖浜形成に役立つことが分かる。養浜域の南側境界に近い測線 No.4 でも No.2 と良く似た変化が見られる。一方、養浜区域の南側の No.6 では汀線付近でゆるやかな砂の堆積が見られる。以上のように、砂嘴の西側に堆積した砂礫はもとも

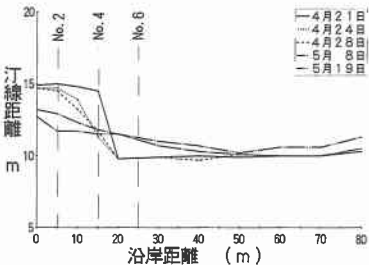


図-9 養浜後の汀線変化

と東側より沿岸漂砂によって運ばれたものであるために、サンドバイパスによりその砂礫を東側の湖浜へ投入しても、その砂礫は冲向きには流出せず、再び波の作用下で緩やかに西側へと移動することが分かった。

6. 考 察

親沢鼻砂嘴では砂嘴の東側が削られ、侵食土砂が西側へと運ばれてきている。したがってサンドバイパスにより西側に堆積した砂礫を東側へ運び、養浜を行うことは有意義である。しかし、宇多ほか (1995b) に述べたように、東側は侵食により木製の環境護岸が倒壊するなどの被害が出ており、早期の対策が求められている。また、この場合養浜のみ行う方法では、必要砂礫量が多く、西側の地形改変量が大きくなって、折角安定している西側湖浜の景観を台無しにする恐れが大きい。このことから、宇多ほか (1995b) にも述べたように、砂嘴周りの3カ所程度に小規模な突堤を配置し、そこで沿岸漂砂量を低減させ、その上でサンドバイパスによる養浜を行うことが望ましい。この場合の突堤は捨て石あるいは木杭と捨て石の組み合わせとして、景観に配慮するとともに、天端高は沿岸漂砂の移動範囲の上限のT.P. 0.3 m程度と低くし、またその先端水深はT.P. -0.3 mと余り深く取らず、過剰な砂礫が下手方向へ流出しうるようにすることが望ましい。ここでは湖内の漂砂について述べたが、沿岸漂砂について現地海岸と

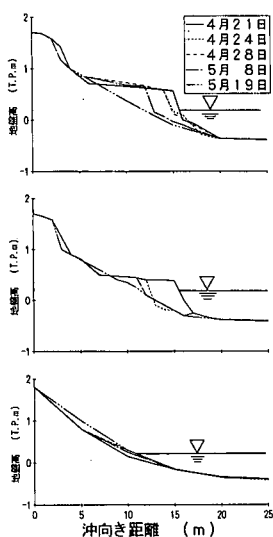


図-10 養浜実験における測線No.2, 4, 6の湖浜縦断形の経時変化

の比較を行うことも興味深い。そこで、具体的に、静岡県駿河湾にある規模の大きな砂嘴である三保松原を例に比較してみる。本研究によれば、親沢鼻周辺では漂砂の移動高が1.0-1.3 m、そして地形変化の限界水深が約0.8 mと得られた。一方、清水海岸では漂砂の移動高が約11 m、地形変化の限界水深が約7 mにある (宇多ほか, 1991)。このことは、親沢鼻では清水海岸の約1/10の幾何学的スケールの現象を調べていることになる。そして親沢鼻では沿岸漂砂量が約100 m³/yrと推定されたが、これを幾何学的スケールに合わせて10³倍すると約10⁵ m³/yrとなるが、これは清水海岸で地形変化量より実際に推定された沿岸漂砂量 (13×10⁴ m³/yr) とよく対応する。

7. あとがき

瀬沼親沢鼻の侵食対策について述べたが、ここで採用の可能性の高い工法は天の橋立で行われた対策と同じ基本理念にもとづいている。親沢鼻の場合は作用波の波高が低いので漂砂量が小さい点異なるが、それは汀線変化で見れば時間スケールが異なるのみで、長期的に見ればかなり大きな汀線変化が生じることから、計画を十分に練っておくべきと考える。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次 (1986): 湖および湾内に発達する砂嘴地形の変形特性, 地形, Vol. 7, No. 1, pp. 1-22.
- 宇多高明・山本幸次・畑中達也 (1992): 瀬沼北岸, 親沢鼻砂嘴の1983年~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・山本幸次・河野茂樹 (1991): 砂嘴地形周りの海浜変形-三保松原を例として-, 地形, Vol. 12, No. 2, pp. 117-134.
- 宇多高明・小菅 晋・松田 勝・篠崎 剛 (1995a): 瀬沼親沢鼻砂嘴の湖浜特性に関する一考察, 海洋開発論文集, Vol. 11, pp. 55-60.
- 宇多高明・小菅 晋・松田 勝・篠崎 剛 (1995b): 台風26号に起因する湖水位の上昇と風波による瀬沼親沢鼻の護岸の被災, 海洋開発論文集, Vol. 11, pp. 61-66.