

湖浜地形変化から見た霞ヶ浦全域の漂砂特性

宇多高明*・赤穂俊作**・大谷靖郎***

1. ま え が き

湖は閉水域であるが故に、湖岸には湖内を吹く風によって発達した風波が作用する。我が国各地にある湖は一般に有効フェッチが短く、また湖の地理的条件によって風向風速の季節特性がほぼ定まっていることなどから、作用する波高の絶対値に限りがあり、また入射方向もほぼ定まっている。このように比較的条件が一定している作用波の下でも湖浜に沿う漂砂が生じ、特徴ある地形特性が見られる。例えば茨城県東部にある潟沼では1対の砂嘴の形成¹⁾が見られ、また霞ヶ浦では浮島地区に大規模な砂嘴(和田岬)の形成が見られる²⁾。さらに同浮島地区では一方向への卓越した漂砂による地形変化に止まらず、波の入射方向が季節的に変化することによる周期的な地形変動も見出されている³⁾。

以上に例示した湖浜変形の問題は、外洋に面した海岸と比較すると作用する波高の絶対値は1オーダー小さいものの、外洋に面した海岸における現象と良く似た状況を呈している。このためこの種の問題を研究することはスケール効果を調べる上で重要と考えられる。本研究では、代表例として霞ヶ浦を選んで湖浜の地形変化特性を実測データをもとに把握する。

2. 霞ヶ浦の地形、気象、底質特性

霞ヶ浦(西浦)は面積 171 km²、最大水深 7 m、平均水深 4 m の湖である(図-1)。本研究では、この霞ヶ浦に関して湖岸に存在する樋門、樋管や舟溜の周辺において深浅測量を繰り返す行うとともに、空中写真を撮影することによって、顕著な地形変化の見られた11地点(図-1の●印)における漂砂特性を把握した。また、湖岸の代表7地点において波浪推算を行った。

霞ヶ浦における風波の原因となる風の特性は次のようである³⁾。すなわち春期(3~5月)はNEまたはNNEの風が卓越する。夏期(6~8月)はNEまたはENEの頻度が高く、またSSE方向の風もやや高頻度である。

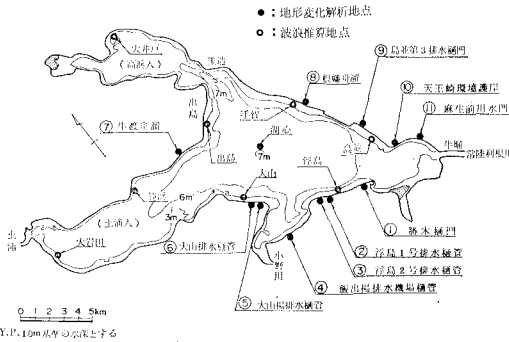


図-1 霞ヶ浦における水門、樋管の位置

秋期(9~11月)ではN, NNE方向が高い頻度となる。冬期(12~2月)ではN方向が圧倒的に高頻度であり、それにW方向が続いている。年間ではN, NNE, NE3方向が卓越している。

霞ヶ浦の湖浜に沿う底質の平均粒径 d_m は、一般に約 0.2~0.5 mm の間が高頻度となっている。

3. 湖浜地形特性

以下では霞ヶ浦沿岸の代表地点における湖浜地形の変化特性を把握する。地形特性を論ずるに際しては、霞ヶ浦の南東部の浮島にある勝木樋門より湖岸を時計回りの方向に見た順に各地点の特性把握を行う。また、深浅図を示す場合、水深の基準面は霞ヶ浦の平均水位にほぼ相当する Y.P. 1.0 m にとった。

(1) 勝木樋門周辺

勝木樋門は浮島地区の東端近くにある(図-1 参照)。東端には和田岬の砂嘴が発達していることから明らかなように、当地点の沿岸漂砂の卓越方向は東向きである²⁾。樋門周辺の湖浜形状を図-2に示す。樋門への漂砂の侵入を防ぐために樋門の両側には長さ 30 m の矢板が打ってある。矢板の西側では広い前浜が存在し、しかも汀線は矢板に近接するほど沖に位置している。逆に矢板の東側では矢板付け根部分を除くと前浜はほとんど存在せず、波が直立護岸を直接洗っている。矢板の東西での汀線形の大きな相違は、当地点の沿岸漂砂の卓越方向が東向きであることを意味する。また、図-2において、左

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
** 正会員 建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所
*** 正会員 (株)アイ・エス・エー新土木研究所

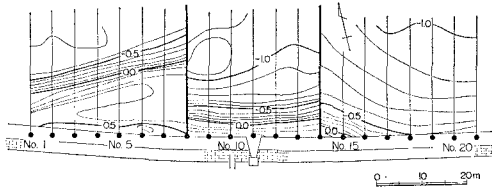


図-2 勝木樋門周りの深浅図(1986年3月)

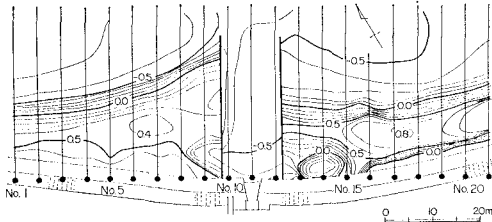


図-3 浮島1号排水樋管周りの深浅図(1986年3月)

岸矢板の西側の等深線形に着目すると、陸上部の0.3mより-0.6mまで約0.9m間の等深線形が互いにはほぼ平行となっているのが特徴的である。このような等深線形は、これらが汀線とほぼ平行移動したため形成されたと考えられる。

当地区においては、著しい地形変化が見られたために、断面積の変化量と汀線変化の相関より漂砂の移動高が求められる。前報³⁾によると、移動高 h は平均で $h=1.1$ m と与えられる。

(2) 浮島1号排水樋管周辺

浮島1号排水樋管は勝木樋門の西約2.6kmに位置し、勝木樋門と同様浮島地区にある。この地区の地形変化の詳細については既に前報³⁾で述べたので、ここでは概要を述べるに止める。最初に浮島1号排水樋管周りの湖浜形状を図-3に示す。樋管の左右岸には漂砂の侵入を防止するために矢板が設置されている。左岸矢板の西側では矢板に近接するほど汀線が沖に位置している。また、陸上部の0.3mより-0.6mまでの範囲の等深線は汀線とほぼ平行であって、その他の等深線形と著しい相違を示す。このように等深線が平行となったのは、この間の等深線が汀線とほぼ平行移動したためと考えられる。一方、右岸矢板の東側の汀線形は沖方向に凹形状を有する。以上のように、矢板を挟んだ左右岸での汀線形は明らかに相違し、西側で前進、東側で後退していることから、当地点の漂砂の卓越方向も東向きであるといえる。

次に、左岸矢板の西側の区域を選んで断面形状の変化を調べた。1984年と1986年の測量データをもとに断面形状の変化比較を行うと図-4となる。いずれの断面においても約-0.7m以浅の区域において土砂が堆積し、汀線が前進している。また、湖浜断面は互いにはほぼ平行移動していることは明らかである。

(3) 浮島2号排水樋管周辺

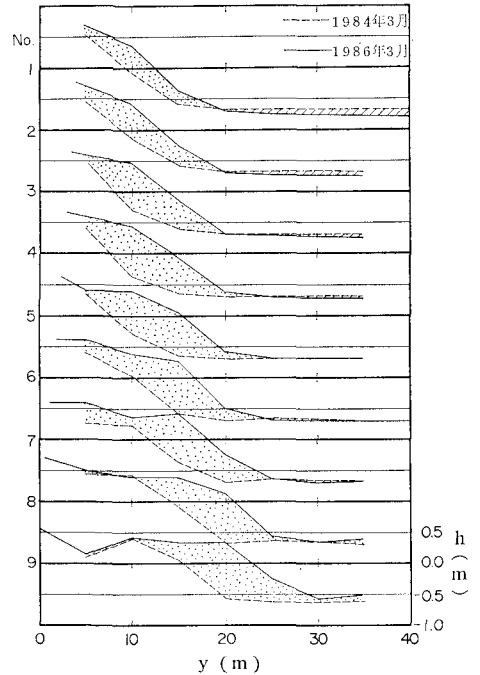


図-4 浮島1号排水樋管左岸側の断面形状の変化

浮島2号排水樋管は浮島1号排水樋管の西約0.7kmに位置する(図-1参照)。この排水樋管周辺の地形変化に関しても浮島1号排水樋管周りと同様に前報³⁾で詳しい分析を行った。排水樋管周りの深浅図を図-5に示す。樋管出口の左岸側には漂砂侵入防止を目的として長さ20mの矢板が設置されている。その西側では広い前浜が存在する。また、矢板に近接するほど汀線は沖に位置する。さらに、地盤高が0.3mより-0.6mまでの範囲の等深線は互いにはほぼ平行である。これらの特徴は浮島1号排水樋管周りで見られた特徴と良く一致し、この地点での沿岸漂砂の卓越方向が東向きであって、かつ活発な漂砂の見られる範囲が、基準となる平均湖面上約0.3mより湖面下約0.6mの範囲であることがわかる。当地点での漂砂の移動高については前報³⁾で求められており、 $h=0.89$ mとなる。

(4) 飯出揚排水機場樋管周辺

飯出揚排水機場樋管は、霞ヶ浦が小野川河口へ向かって漏斗状に入り込んでいる湾入部のほぼ中央に位置している(図-1参照)。最初に樋管周りの湖浜形状を図-6

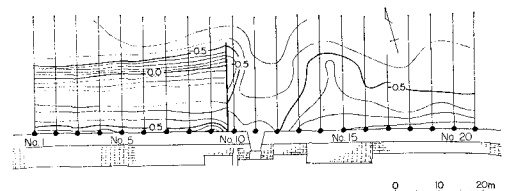


図-5 浮島2号排水樋管周りの深浅図(1986年3月)

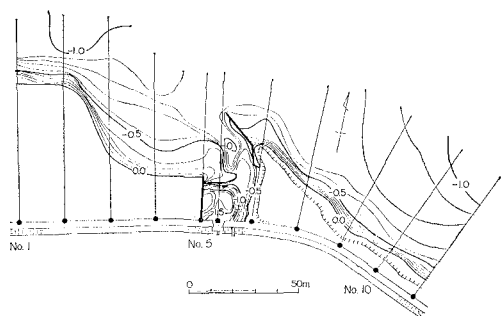


図-6 飯出揚排水機場樋管周りの深浅図 (1986年3月)

に示す。樋管出口の右岸側には防砂突堤が存在する。左岸側にも防砂突堤が存在するが、その長さは右岸側のそれに比較すると短い。地形の特徴としては、右岸突堤の右側では、0m～-0.7mまでの等深線が沖方向へ突き出ている。逆に樋管の左岸側では0m～-0.6mの等深線が沖側に対し凹状となっている。このような地形特性より、この地点における漂砂の卓越方向は右岸から左岸方向、すなわち西向きであることがわかる。実際、飯出揚排水機場の位置する小野川河口沖周辺地区は、霞ヶ浦の地形特性より北東を中心とする方向にのみ長いフェッチを有している(図-1参照)。そのため当地点では漂砂の卓越方向が西向きとなったといえる。

当地区では顕著な断面形状の変化が見られた。そこで湖浜断面積の変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)の関係を調べることで漂砂の移動高を調べた。使用したデータは樋管左岸の測線 No.1～No.4 のデータであり、1984年10月を初期地形とし、それより1986年3月までの地形変化量より ΔA , Δy を算出した。データ量は少ないが、両変数の間には $R=0.99$ で次式が成立した。

$$\Delta A = 1.32\Delta y + 0.28 \quad \text{.....(1)}$$

ここに、 ΔA , Δy の単位は各々 m^2 と m である。式(1)より漂砂の移動高は $h=1.32\text{m}$ となる。

(5) 大山排水樋管周辺

大山排水樋管は、大山地区の中央やや東側に位置し、本研究で対象とする沿岸の各地点のうちでは最も湖心に近い(図-1参照)。当地点と湖心の間の距離は約4.2kmである。最初に、当地点の湖浜形状を図-7に示す。樋管出口の両側には漂砂の侵入を防止するために2本の長さ30mの矢板が打ってある。湖浜の特徴としては、

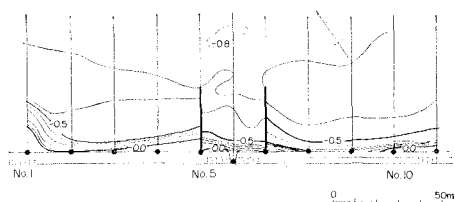


図-7 大山排水樋管周りの深浅図 (1986年10月)

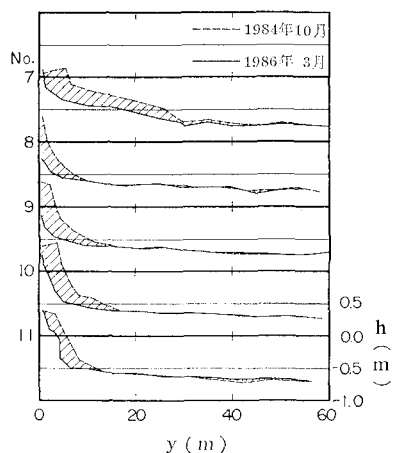


図-8 大山排水樋管右岸側の断面形状の変化

左右岸ともに -0.5m 以浅は勾配が急であるが、その沖には大変緩い勾配の平坦面が続いている。矢板の西側区域では矢板に近接するほど汀線が沖に突出している。逆に右岸矢板の東側では前浜が存在せず、湖岸堤前面が深くなっている。この地形形状から判断すると、長期的に見た当地点の漂砂の卓越方向は東向きと考えられる。

次に、矢板の東側地区の断面形の変化を図-8に示す。いずれの断面とも著しく侵食され、汀線が後退した。No.8～No.11ではいずれもほぼ一定の断面形を保ったまま平行移動している。また、著しい地形変化が生ずる範囲は、約0.3m～-0.6mの間であって、浮島1, 2号排水樋管周りの地形変化と良く一致する。

更にこれらのデータを用いて漂砂の移動高を算出した。1984年10月の値を初期値として1986年10月までの断面形の変化より断面積の変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)を求め、両者の相関を調べた。この結果 ΔA と Δy の間には相関係数 $R=0.96$ で次式が成立した。

$$\Delta A = 1.32\Delta y + 0.58 \quad \text{.....(2)}$$

ここに、 ΔA , Δy の単位は m^2 と m である。式(2)より、漂砂の移動高は $h=1.32\text{m}$ となる。

(6) 島並第3排水樋門周辺

島並第3排水樋門は霞ヶ浦の東部に位置する(図-1参照)。当地点と以下で述べる天王崎環境護岸は互いに隣接しており、霞ヶ浦の北岸にある。

最初に、湖浜の地形を図-9に示す。排水樋門はNo.7に位置する。樋門周辺の湖岸線は複雑に入り組んでおり、またNo.10には不透過の突堤がある。さらに、No.4, No.13近傍の破線表示は小規模な水路を表わしている。地形的には、汀線より-0.5mまでの等深線の間隔が密であり、それより沖合は平坦である。前浜付近の勾配が急で、その沖が平坦である点より、この地点で漂砂の活発な範囲の限界は約-0.5m付近であると推定される。平面的にはNo.4地点が岬状に突き出ている

表—1 代表地点における有義波高, 周期, 波向の推算値

地点名	波 高 $H_{1/3}$ (cm)	周 期 $T_{1/3}$ (s)	波 高 α
浮 島	19	1.3	N18°NNE
大 山	20	1.3	NNE21°NE
大岩田	17	1.1	NE17°ENE
崎 浜	16	0.8	SE11°SSE
出 島	17	1.1	ESE6°SE
大井戸	12	0.6	SSE7°S
手 賀	19	0.8	SW1°SSW
島 並	18	1.0	WSW21°W

表—2 6地点における漂砂の移動高の一覧表

地点名	漂砂の移動高 (m)
勝 木	1.10
浮島1号	0.95
浮島2号	0.89
飯 出	1.32
大 山	1.32
島並第3	0.63

を示す。エネルギー平均波の波高は, 12~20 cm の間にある。エネルギー平均波高が最も大きいのは大山の 20 cm であり, 次いで浮島および手賀の 19 cm となる。したがって大山, 浮島および手賀ではエネルギーが大きいことから砂移動も激しいと考えられる。さらに, エネルギー平均波は約10年間の観測結果から求めたものであるから, エネルギー平均波の波向より沿岸漂砂の卓越方向を推定することができる。図—12に示した沿岸漂砂の卓越方向は実測地形より求めた漂砂の方向と良い一致を示すことがわかる。

次に漂砂の移動高とエネルギー平均波高との関係を調べた。最初に, 前節の検討によって求められた6地点における移動高の値をまとめて表—2に示す。移動高は

0.63 m~1.32 m の間で変化している。最も大きな値は大山, 飯出で見られ, 島並が最も小さい値となっている。先に波浪推算を行った地点に関し, 移動高の大きい順に並べると, 大山, 浮島, 島並の順になり, これは表—1に示したエネルギー平均波高の大きい順と一致している。このことから, エネルギー平均波高と移動高についてもかなり良い対応関係が存在することが分かる。

5. 結 論

①霞ヶ浦の代表11地点における地形変化状況, 漂砂の卓越方向および漂砂の移動高が明らかになった。これによると, 漂砂の活発な地域は浮島地区, 大山地区および天王崎周辺地区であって, いずれも長期的には東向きに漂砂が卓越することがわかった。

②深浅測量データをもとに漂砂の移動高(h)の算定を行った。求められた移動高は大山地区が $h=1.32$ m と最も大きく, 次いで浮島地区が $h=1.1\sim0.89$ m であり, 天王崎地区で $h=0.63$ m となった。

③湖心における1976年~1985年の気象データをもとに, 波浪の推算を行い, エネルギー平均波高やその入射方向を定めた。波浪推算より得られた漂砂の卓越方向は実測データより得られた結果と良い一致を見た。また, エネルギー平均波高と移動高の間にも対応関係が見られた。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明・山本幸次: 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, 1986.
- 2) 宇多高明・古川博一・竹渕 勉: 湖内にできた砂嘴の変形過程, 第39回年講講演概要集, pp.187~188, 1984.
- 3) 宇多高明・赤穂俊作・今井武雄: 霞ヶ浦における風波による湖浜変形の実態, 土木学会論文集, 第381号/II-7, pp.161~170, 1987.