

霞ヶ浦における 養浜砂の移動限界水深と安定勾配の検討

THRESHOLD DEPTH OF SEDIMENT MOVEMENT AND EQUILIBRIUM SLOPE AT ARTIFICIAL BEACH IN LAKE KASUMIGAURA

五十嵐 昇¹・横田 雅良²・太田 敦司¹・村井 大介³
Noboru IGARASHI, Masayoshi YOKOTA, Atsushi OOTA and Daisuke MURAI

¹正会員 独立行政法人水資源機構 利根川下流総合管理所 (〒300-0732 茨城県稲敷市上之島3112)

²正会員 独立行政法人水資源機構 利根川下流総合管理所長

³独立行政法人水資源機構 利根川下流総合管理所

Japan Water Agency has performed artificial beach nourishment at some areas in Lake Kasumigaura using dredged sand for maintenance of waterways and so on. We studied threshold depth of sediment movement and equilibrium slope at the artificial beach from investigation of the beach profiles and so on after the nourishment.

As a result, the relational expression between threshold depth of sediment movement and energy average of wave height was able to be found. Moreover, it was confirmed that the past expressions for equilibrium slope are able to apply in Lake Kasumigaura. These results are useful for improvement in accuracy of design for artificial beach nourishment.

Key Words : Lake Kasumigaura, artificial beach nourishment, threshold depth of sediment movement, equilibrium slope

1. はじめに

霞ヶ浦では、霞ヶ浦開発事業（1971～1995年度）により、所定の治水・利水効果が発現している。一方、事業で築造した湖岸堤等の影響により、湖岸植生および砂浜が大きく減少した。そこで、関係機関がそれらを復元するための環境保全対策を試みている。

水資源機構では、霞ヶ浦湖岸に数多くある舟溜等の機能維持のために航路等の維持浚渫を行っていることから、その浚渫土の処分と環境保全対策を兼ねて2002年度から浚渫土を用いた養浜を行っている。この養浜で期待する環境保全効果は湖岸植生の復元とワカサギ等の産卵環境の改善である。

上記の環境保全効果を得るために、養浜工には沿岸漂砂を制御する突堤方式を採用し、養浜の前面に離岸堤や人工リーフ等は設置しない方針としている。それは、ワカサギは、ある程度の流れがある砂礫床に産卵するため、離岸堤等はそれらの環境を阻害する可能性があるからである¹⁾。

突堤だけを用いた養浜工では岸沖漂砂による地形変化を考慮する必要があり、それには、養浜砂の移動限界水

深と安定勾配の考えを用いることが妥当である。

2004年度までに行った養浜では、移動限界水深と安定勾配の考えを十分に設計に反映していなかったため、多くの箇所で汀線が大きく後退し、植生基盤となる陸域がほとんど消失した箇所も少なくない（写真-1）。

2005年度は、移動限界水深と安定勾配の考えを反映させた養浜¹⁾を行った結果、これまでに、汀線の大きな後退はなく、所定の環境保全効果が得られている²⁾（写真-2）。

今後のさらなる設計精度向上のために、本報では、2004年度および2005年度に行った養浜箇所で地形変化の追跡調査等を行い、それらの分析から、霞ヶ浦における養浜砂の移動限界水深と安定勾配について検討した結果を述べる。

2. 地形変化等の調査

(1) 調査項目

養浜砂の移動限界水深と安定勾配を検討するために、養浜後の地形変化の追跡調査、養浜砂の粒度試験を行っ



写真-1 2004年度 安飾地区の養浜後約4ヶ月の状況



写真-2 2005年度 安飾地区の養浜後約6ヶ月の状況

た。また、波浪との関係を検討するために、波浪推算を行った。それらの内容を以下に記す。

(2) 調査箇所

調査は、図-1に示すとおり、2004年度の養浜4箇所および2005年度の養浜3箇所の計7箇所で行った。これらの箇所の中には、霞ヶ浦の中で波高が特に大きい浮島地区、波高が小さい上根地区を含む。

(3) 地形変化の追跡調査

地形変化の追跡は、測線間隔が10～25mの横断測量により行った。横断測量は、2004年度の養浜箇所においては、養浜後約1年4ヶ月までの4回または5回行った。また、2005年度の養浜箇所においては、本検討では、養浜後約3ヶ月までの2回の横断測量結果を対象とする。

(4) 養浜砂の粒度調査

養浜砂の粒度調査は、各養浜箇所毎に上記の測線のうち代表測線を数測線選定し、1測線につき陸域、汀線付近および汀線と移動限界水深の中央付近の計3箇所で試

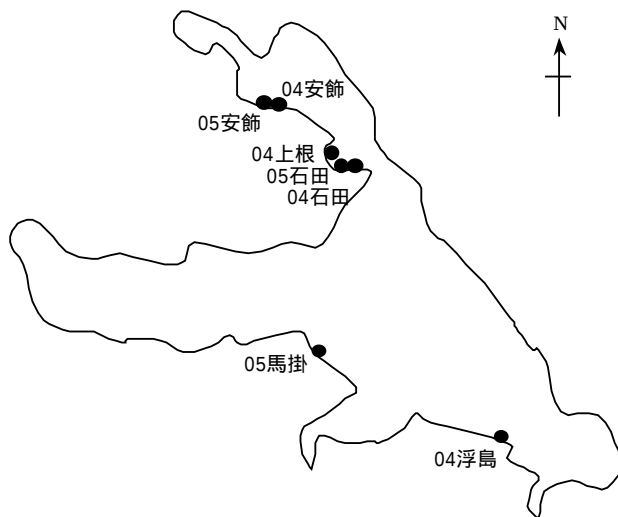
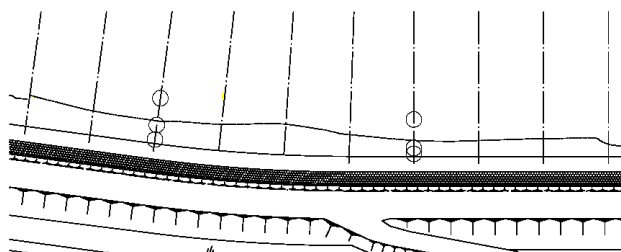


図-1 調査箇所

(注：「04浮島」は2004年度に養浜した浮島地区を示す。)



— 横断測線（12.5m間隔） ○ 粒度調査箇所

図-2 横断測線の配置と粒度調査箇所（04安飾の例）

料を採取し、ふるい分け試験（JIS A 1204）により行った。本検討では、3箇所/測線のうち汀線と移動限界水深の中央付近の結果を用いる。なお、調査時期は、最終横断測量時期に概ね合わせた。

横断測線の配置と粒度調査箇所の事例を図-2に示す。

(5) 波浪推算

各養浜箇所の波浪特性を把握するために、養浜完了日から最終横断測量日までの期間の波浪を推算した。波浪推算は、霞ヶ浦湖心観測所の風向・風速データと各養浜箇所の有効吹送距離を用いてSMB法により、毎時波浪を推算した。

3. 移動限界水深の検討

(1) 移動限界水深の算出

養浜後の地形変化の追跡調査の結果から、各測線毎に移動限界水深を算出した。算出は、宇多ら³⁾を参考に、地形変化の不動点を移動限界水深とした。

移動限界水深の算出例を図-3、図-4に示す。

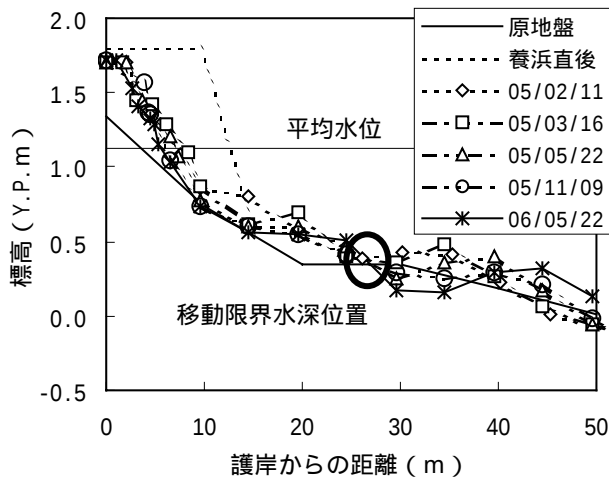


図-3 04浮島における移動限界水深の算出例

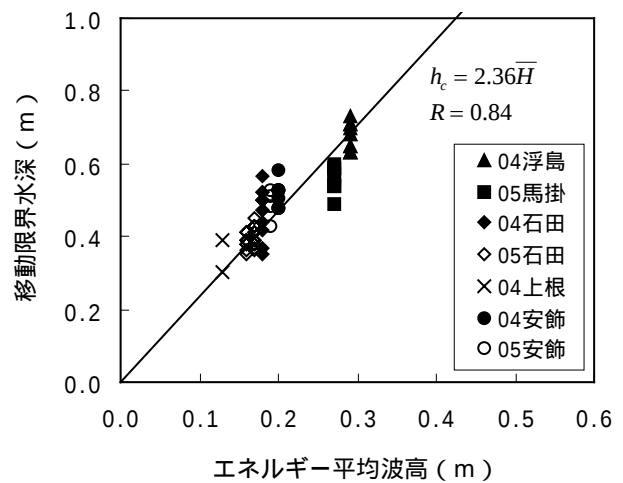


図-5 エネルギー平均波高と移動限界水深の関係

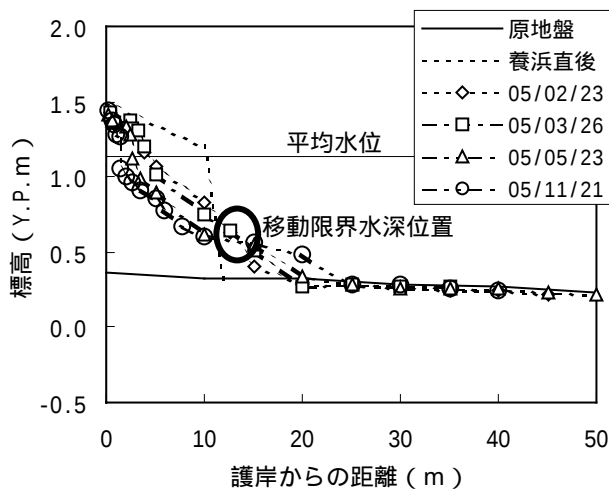


図-4 04安飾における移動限界水深の算出例

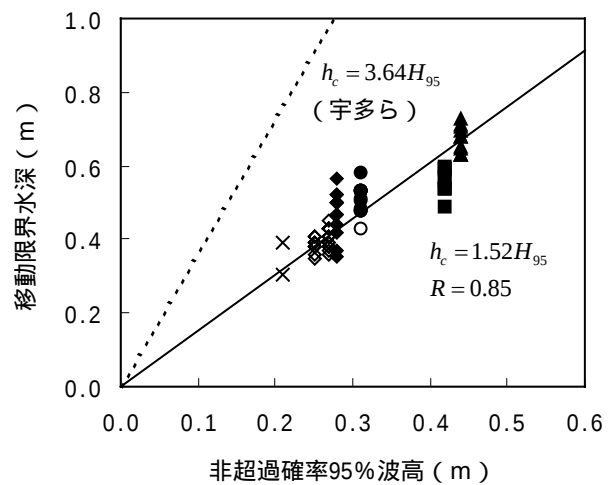


図-6 非超過確率95%波高と移動限界水深の関係

(2) 波高と移動限界水深の関係

波浪推算で求めた波高と移動限界水深の関係を検討した。ここで、代表波高には養浜完了日から最終横断測量日までの期間におけるエネルギー平均波高(式(1))を用いた。

$$\bar{H} = \sqrt{\frac{\sum(H_i^2 T_i)}{\sum T_i}} \quad (1)$$

ここに、 H_i 、 T_i は、有義波高と周期である。

その結果、図-5に示すとおり、相関係数が0.84で式(2)を得た。

$$h_c = 2.36\bar{H} \quad (2)$$

また、宇多ら⁴⁾が全国の海岸の資料から導いた式と比較するために、代表波高に非超過確率95%波高(H_{95})を用いると、移動限界水深との間に図-6の関係が得られた。すなわち、同じ波高で、霞ヶ浦の移動限界水深は、海岸の移動限界水深の約40%であることがわかる。

4. 安定勾配の検討

(1) 実測による安定勾配の算出

地形変化の追跡調査における最終地形から各測線毎に安定勾配を算出した。ここで、安定勾配(I_s)は、汀線位置と移動限界水深位置を結ぶ直線の勾配とする。すなわち、最終横断測量日における汀線位置から移動限界水深位置までの水平距離(x_c)と移動限界水深(h_c)から、 $I_s = h_c/x_c$ とした。

なお、本検討では、養浜後十分に時間が経過している2004年度の養浜箇所限定し、前後の地形変化および粒度(細粒分を多く含んでいないこと)から地形が安定しているとみなせる測線だけを対象とした。

(2) 安定勾配の算出式

Deanは、世界各地の海岸の資料から砂質海浜の平衡断面を式(3)で表した⁵⁾。

$$h = Ax^{2/3} \quad (3)$$

ここに、 h は水深、 x は汀線から沖向きの水平距離である。また、係数 A の値は、Kriebelらが式(4)を示している⁶⁾。

$$A = 2.25 \left(w_s^2 / g \right)^{1/3} \quad (4)$$

ここに、 w_s は沈降速度で、これにRubeyの式⁷⁾を用いると式(5)である。

$$w_s = \sqrt{sgd} \left(\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{sgd^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{sgd^3}} \right) \quad (5)$$

ここに、

s : 砂粒の水中比重 (標準値 = 1.65)

g : 重力加速度 (980cm/s²)

d : 砂粒の粒径 (cm)

ν : 水の動粘性係数 (0.01cm²/s)

したがって、平衡断面の式(3)は、ほぼ粒径だけの関数となる。

式(3)から安定勾配 (I'_s) を(1)と同様に求めると式(6)となる。

$$I'_s = A / h_c^{0.5} \quad (6)$$

(1)で算出した実測による安定勾配 (I_s) と式(6)で求めた安定勾配 (I'_s) を比較すると図-7のとおりである。なお、式(6)で用いる h_c は実測の移動限界水深とし、粒径は前述した粒度調査結果から求めた中央粒径とした。

図-7のとおり、両者は概ね一致する。したがって、霞ヶ浦においても既出の式(3)～(5)を採用できると判断する。

5. おわりに

霞ヶ浦における養浜砂の移動限界水深をエネルギー平均波高で表す式を導出できた。また、安定勾配は既出の式を活用して求めることができることを確認できた。

したがって、一定期間のエネルギー平均波高と養浜砂の中央粒径から移動限界水深と安定勾配を求め、養浜の最終安定形状を導くことができる。その最終安定形状に相当する土量が養浜土量の目安となる。

しかし、上記は、砂質土で成立し、シルト以下の細粒土は沖に流出すると考えられる。これまでの浚渫土には約20～30%の細粒分が含まれている。したがって、養浜は、最終安定形状に相当する土量に細粒分含有量を加えた土量で施工する必要がある。

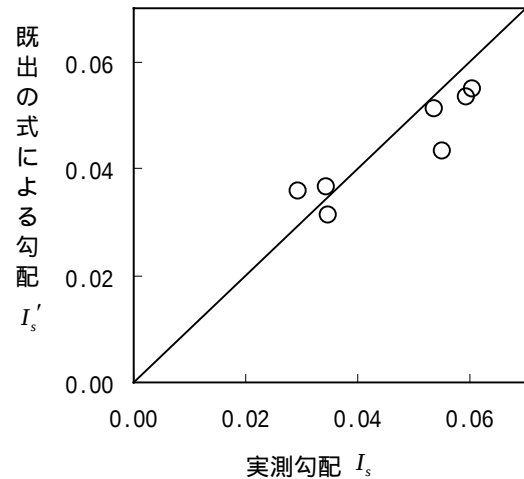


図-7 実測勾配と既出の式による勾配の比較

上記の設計により養浜を行い、事後調査で養浜形状を確認する計画である。また、植物調査とワカサギ等の産卵調査を継続して行い、養浜による環境保全効果の検証も行う計画である。

参考文献

- 1) 太田敦司, 五十嵐 昇: 霞ヶ浦における前浜造成計画, 平成17年度関東ブロック技術研究発表会資料集, 独立行政法人水資源機構技術管理室, pp.113-120, 2005.
- 2) 太田敦司, 五十嵐 昇, 村井大介: 霞ヶ浦湖岸における養浜形状について, 平成18年度関東ブロック技術研究発表会資料集, 独立行政法人水資源機構技術管理室, pp.133-138, 2006.
- 3) 宇多高明, 小菅 晋, 林 義之, 渡邊貴裕: 霞ヶ浦における急勾配養浜時の湖浜変形と等深線変化モデルによる再現, 海洋開発論文集, Vol.17, pp.529-534, 2001.
- 4) 宇多高明, 芹沢真澄, 熊田貴之, 加留部亮太, 三浦正寛: 沿岸漂砂量、波による地形変化の限界水深および波候特性の関係, 海洋開発論文集, Vol.18, pp.803-808, 2002.
- 5) Dean, R.G.: Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coast, Ocean Eng. Rep. No.12, Univ. of Delaware, 1977.
- 6) Kriebel, D.L., Kraus, N.C. and Larson, M.: Engineering methods for predicting beach profile response, Coastal Sediments '91, ASCE, pp.572-587, 1991.
- 7) Rubey, W.W.: Settling velocities of gravel, sand and silt particles, Amer. J. Sci., Vol.25, pp.325-338, 1933.

(2006.9.30受付)