

後浜の地形および底質粒径変化に及ぼす汀線変化の影響

有働恵子*・山脇秀仁**・伊東啓勝***

茨城県波崎海岸において、2003年10月～2005年2月の期間、1ヶ月に1回の頻度で後浜の地形および底質粒径の平面データを取得し、これらの空間変化特性を調べた。2004年9月～2005年2月の期間においては、毎日の後浜の地形および底質粒径の点データをも取得することにより、詳細な時空間解析を行った。汀線が後浜まで後退した場合には、波の遡上域で漂砂により急激に地形が変化していた。底質粒径の空間変化には、漂砂による前浜もしくは後浜への粗粒砂の供給により、後浜底質の粗粒化が生じる様子が捉えられていた。

1. 緒 言

近年、海面上昇による汀線の後退やウォーターフロント開発の需要の増加等に伴い、後浜に対する関心が高まっている。汀線は、波浪および潮位の影響を受けて数10 m～数100 mの変動を繰り返しており、後浜変形はこの影響を受けると考えられる。荒天時に波が後浜まで遡上する場合には、その遡上域では漂砂によって地形および底質粒径が変化する可能性がある(加藤ら, 1989; 宇多ら, 1989)。

波が及ばない領域の地形は飛砂によって変形するが、飛砂の限界摩擦速度および飛砂量は砂の粒径に依存することが報告されている(Bagnold, 1941; Dong ら, 2004)。前浜から後浜へ輸送される砂の粒径が後浜のそれと大幅に異なれば、後浜変形はその影響を受ける。また、飛砂による後浜変形は、汀線変化に伴う風の吹送距離の変化(Jackson・Cooper, 1999)や土壌水分量の変化の影響を受けると考えられる。

以上のように、汀線変化は後浜地形および底質粒径の変化に影響を及ぼすと考えられる。山脇ら(2005)は汀線付近の測点を含む岸沖方向測線上の4測点で地盤高および底質粒径データを取得し、その変化特性について検討しているが、空間的な変化特性や汀線変化のこれらへの影響については不明である。本研究では、後浜の地形および底質粒径に及ぼす汀線変化の影響を明らかにするため、鹿島灘に面する茨城県波崎海岸の後浜において地形および底質粒径の平面データを取得し、風向風速および汀線変化との関係を調べた。

2. 現地調査の概要

現地調査は鹿島灘に面する茨城県波崎海岸(波崎海洋研究施設 HORS, 図-1)で行った。波崎海岸は前浜勾

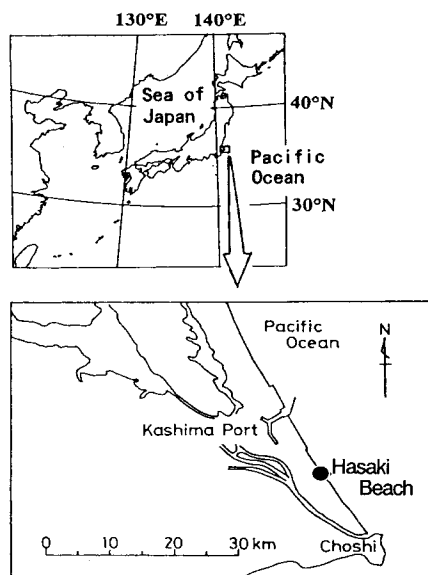


図-1 調査地の位置

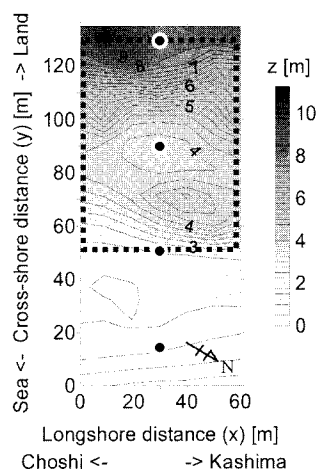


図-2 茨城県波崎海岸の2004年12月17日の地形
(基準: TP-0.687 m, 等高線間隔: 0.25 m, 点線
枠内: 平面データ取得領域, 黒点: 短期データ
取得測点(第4章参照))

* 正会員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 漂砂研究室
** 正会員 (独法)港湾空港技術研究所 地盤・構造部 地盤改良研究室
*** 正会員 修(工) (株)エコー 沿岸デザイン本部調査解析部主任

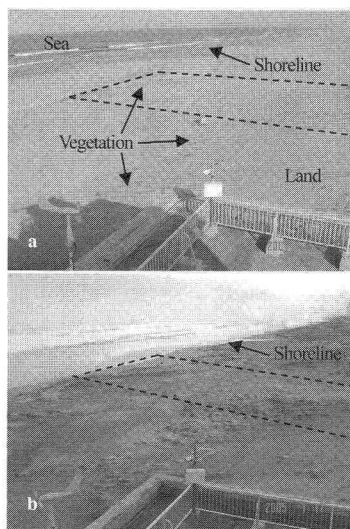


図-3 (a) 汀線前進時 (2004年7月8日) および(b)後退時 (2005年1月17日) の調査領域 (点線枠内：平面データ取得領域)

配1/25~1/50, 砂浜幅約150 mの遠浅の海岸で (図-2), 底質中央粒径 D_{50} は $170\text{ }\mu\text{m}$ ~ $300\text{ }\mu\text{m}$ 程度である。岸沖方向80 m および沿岸方向60 m の領域 (図-2 および図-3 点線枠内) に10 m 間隔で計63点の測点を設定し, 2003年10月から2005年2月まで1年半の間, 1ヶ月毎の頻度で各測点における地盤高計測および底質粒度解析を行った。 $x=0\text{ m}$ はHORS 栈橋の銚子側160 m の位置である。 $y=60\text{ m}$ ~ 70 m および 100 m から陸側に存在する砂堆および砂丘付近には植生が繁茂するが, それ以外の領域においては繁茂量が比較的少ない。2004年12月17日の地盤高データをそれぞれ沿岸方向に平均した平均断面地形を図-4に示す。 $y=60\text{ m}$, 70 m , 100 m , 120 m , ならびに 130 m では地形の3次元性が高い。

地盤高の計測は, トータルステーション (光波測距機) を用いて行った。砂面から約1 cm 厚の砂浜表面の砂を採取し, 呼び寸法 $75\sim 355\text{ }\mu\text{m}$ の9つのふるいを用いて粒度試験を行い, 底質の中央粒径 D_{50} を調べた。

3. 後浜地形および底質粒径の空間変化特性

本章では, 2003年10月17日, 11月26日, 12月17日, 2004年1月16日, 2月16日, 3月16日, 4月30日, 5月19日, 6月15日, 7月15日, 8月18日, 9月10日, 10月15日, 11月16日, 12月17日, 2005年1月19日, ならびに2月17日の計13回の調査より得られた地盤高および底質粒径データを用いて, これらの空間変化特性を明らかにする。これと風向風速および汀線変化との関係を調べる。

(1) 後浜地形の空間変化

2003年10月~2005年2月の平均地形, ならびに地盤高

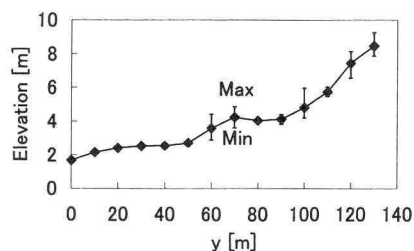


図-4 波崎海岸の2004年12月17日の平均断面地形 (Max, Min: 各測線上の最大および最小地盤高)

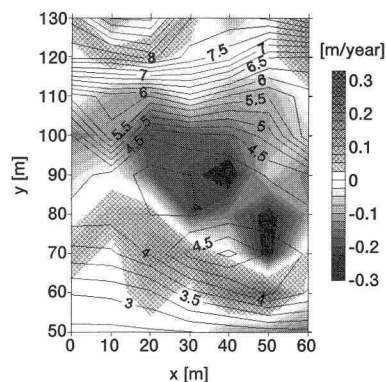


図-5 2003年10月17日~2005年2月17日の地盤高変化のトレンド r_e および平均地形 (r_e : 濃淡表示, 平均地形: コンター線)

変化のトレンド r_e を図-5に示す。 $y=80\text{ m}$ ~ 100 m の比較的平坦な領域に位置する測点においては, 最大 0.27 m/year の割合で侵食傾向にあった。 $(x, y) = (40\text{ m}, 70\text{ m})$, $(20\text{ m}, 130\text{ m})$ を頂部とする砂堆および砂丘の海側面では最大 0.23 m/year および 0.08 m/year の割合で堆砂傾向にあった。砂丘鞍部に位置する $(x, y) = (40\text{ m}, 130\text{ m})$ では, 0.09 m/year の割合で侵食傾向にあった。

2003年10月17日の地形を基準とした, 2003年10月から2005年2月にかけての $y=50\text{ m}$, 60 m , および 130 m における地盤高, 波の日最大遡上位置の時系列, ならびに日降雨量を図-6に示す。2003年10月17日~11月26日を期間Aとし, それ以降の各調査日から調査日までの期間をそれぞれ期間B~Pとする。最大遡上位置 y_s は, 平均汀線から40 m 海側地点の波高計データより得られる最大水位 η_{max} を用いて推定した。2004年9月~2005年1月の7調査日 ($y_s=5\text{ m}$ ~ 60 m) について, η_{max} と目視による $x=30\text{ m}$ 測線上の最大遡上位置を比較したところ, これらはほぼ線形の関係 ($y_s=118.7\eta_{\text{max}}-146.4$, 相関係数 $r=0.98$) にあった。前浜変形の影響を考慮すると, y_s には最大20 m 程度の誤差が含まれており, y_s が40 m より陸側まで後退する場合の誤差は小さいが, 海側にある場合には大きいと考えられる。2005年2月の y_s については目視観測データを用いた。日降雨量データとしては,

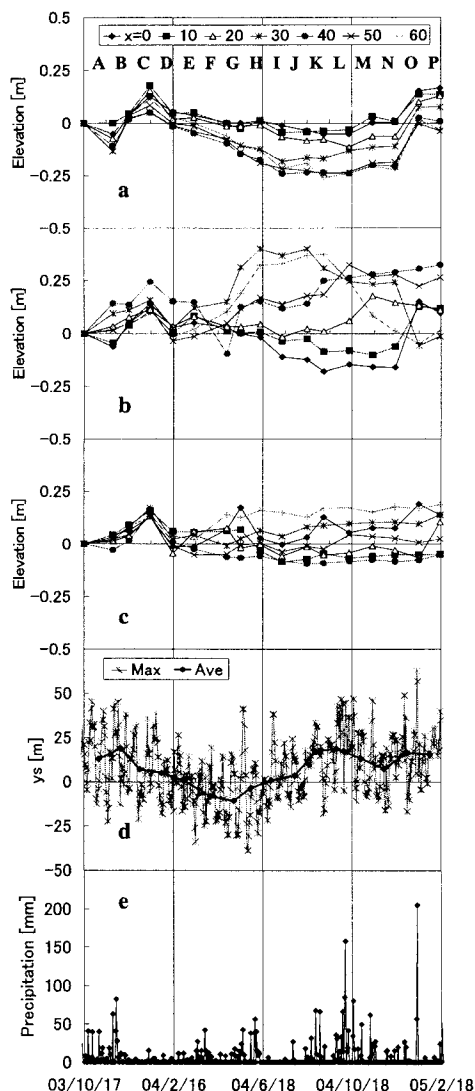


図-6 2003年10月17日～2005年2月17日の(a) $y=50$ m, (b) $y=60$ m, および(c) $y=130$ mの各測点における地盤高, (d)波の日最大遡上位置, ならびに(e)日降雨量の時系列

(地盤高: 2003年10月17日基準
Ave: 期間 A～P における日最大遡上位置の平均)

観測地に最も近い「銚子」のアメダスデータを用いた。

期間 A～P における各期間の風配図を図-7 に示す。平均汀線から HORS 栈橋に沿って 385 m 沖の海上 10 m の高さにおける毎正時前 10 分間の平均風速が、後浜の底質 ($D_{50}=0.2$ mm) が移動し得る限界風速 (7 m/s) を越える場合に、風向別および風速階級別に出現時間を積算した。限界風速は、有働・武若 (2001) を参考にして求めた。

$y=50$ m, ならびに $y=60$ m の $x=0\sim10$ m の測点 (図-6(a) および (b)) においては、春季から夏季にかけて (期間 E～J) 概ね侵食傾向にあり、その侵食量は地盤

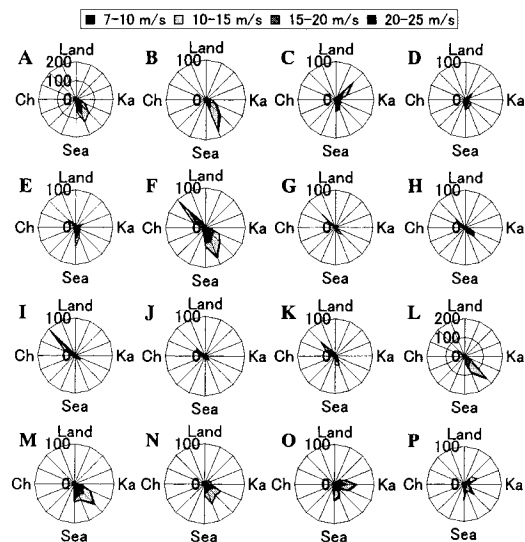


図-7 期間 A～P における各風向の風速階級別出現時間 [hr] (Ka: 鹿嶋方向, Ch: 銚子方向, 図-6の期間 A～P 参照)

高が低くなるにつれて小さくなっていた。期間 A および O においては、他の測線と異なり侵食および顕著な堆砂傾向にあった。堆砂海側に位置する $(x, y) = (30$ m, 60 m), (60 m, 60 m) では期間 G～H に急激に砂が堆積し、その後侵食されていた。砂丘鞍部の海側に位置する $(x, y) = (40$ m, 120 m), (50 m, 120 m) の測点においても、地形の変動が大きかった。

$y=50$ m, ならびに $y=60$ m の $x=0\sim10$ m の測点では、期間 O において顕著に堆砂していた。2005年1月19日の調査前日に $y=60$ m まで汀線が後退しており、漂砂により堆砂が生じたと考えられる。

堆砂側面海側の $(x, y) = (30$ m, 60 m), (60 m, 60 m) では、陸風が卓越する期間 G～H に急激に堆砂していた。これはバルハン (三日月型) 砂丘の形成と類似したメカニズムによるものと推察される (例えば Bag-nold, 1941)。砂丘鞍部海側の $(x, y) = (40$ m, 120 m), (50 m, 120 m) の測点においては、主に海風のみが卓越する期間 A, B, E, L, M, ならびに N において堆砂傾向にあり、他の期間は侵食傾向にあった。

いずれの測点においても、期間 C および D に急激な堆砂および侵食がみられた。期間 C の堆砂については、この期間のみ 1 月 16 日の調査前約 3 日間にわたり継続的に鹿嶋寄りの陸風が卓越しており、この陸風に起因するものと考えられる。一方、期間 D においては風の外力は小さかった。期間 C の急激な堆砂後降雨量は小さく、目視観測によれば地盤が締め固められていなかったことから、侵食されやすい状態にあったと推察される。

$y=80$ m～100 m の平坦部分においては通年侵食傾向であったのに対し、同様に平坦な $y=50$ m においては

春季から夏季にかけてのみ侵食傾向にあった。秋冬季には春夏季と比して汀線が大幅に後退しており、これが何らかの影響を及ぼした可能性があるが、現時点では合理的に説明できない。

(2) 底質粒径の空間変化

特徴的な変化がみられた2003年9月12日～2004年1月16日の地形および底質粒径 D_{50} と、全調査期間の平均地形および D_{50} の標準偏差の平面分布を図-8に示す。2003年9月12日については地形データが取得されていないため、10月17日の地形を表示する。9月12日～10月17日の間に、 $250\mu\text{m}$ 以上の比較的粒径の大きい砂が概ね $z=3\text{m}$ の等高線の海側に分布しており、粗粒化が生じていた。最大粒径は $(x, y) = (10\text{m}, 50\text{m})$ における $370\mu\text{m}$ であった。11月26日には、より陸側の領域まで大粒径の砂が分布しており、特に堆砂領域で粒径が大きくなる傾向にあった。11月26日から翌年1月16日にかけて、後浜全域で堆砂傾向にあったが、これに伴って後浜全域の平均底質粒径 D_{ave}

も小さくなっていた。この後2月16日までに顕著な侵食が生じたが、このときには D_{ave} に大きな変化はみられなかった。

期間 O においては2005年1月19日の調査前日に $y=60\text{m}$ 程度まで汀線が後退し、急激な堆砂が生じたが、底質粒径に大きな変化はみられなかった。その後期間 P において、概ね $z=4\text{m}$ 等高線の海側で、堆砂に伴い粗粒化（最大粒径 $212\mu\text{m}$ ）が生じていた。

底質粒径の粗粒化が生じた2003年9月12日～10月17日の期間、 $y=50\text{m}$ の測点では波と風の両方の作用を受けていた。9月21日から22日にかけて台風0315号が銚子沖を通過し、 $y=60\text{m}$ 程度まで汀線が後退した。また、この期間には期間 A と同程度以上の強い海風が卓越していた。期間 O～P においては海風が比較的弱かったものの、同様の粗粒化がみられた。一方、 D_{50} の標準偏差は砂堆および砂丘の海側に位置する $y=50\text{m}$ および 100m で大きかった。以上を総合的に判断すると、汀線の後退に伴う漂砂により後浜へ粗粒砂が輸送されたか、もしくは漂砂により前浜で粗粒化が生じた後、その粗粒砂が海風により後浜まで輸送されたと考えられる。いずれにしても、後浜の底質粒径の粗粒化は、漂砂による前浜もしくは後浜への粗粒砂輸送の影響を受けて生じると考えられる。

期間 B においては、期間 A と同様に海風が卓越し堆砂傾向にあったが、細粒化が生じていた。これは飛砂により粗粒砂が拡散したためと考えられる。期間 C においては陸風が卓越しており、さらに細粒化が進んでいた。

4. 地盤高および底質粒径の短期変化特性

本章では、汀線変化の後浜変形および底質粒径への影響をより詳細に調べるため、図-2に示す4測点において2004年9月～2005年2月（期間 L～O）の休日を除く毎日地盤高および底質粒径データを取得し、これらと風向風速および汀線変化との関係調べた。

地盤高および底質粒径の時系列変化を図-9に示す。地盤高は設置杭高さをスタッフで計測して求めた。 $y=15\text{m}$ の測点においてはしばしば波の外力を受けており、他測点と比較して地盤高変化が大きかった。 $y=15\text{m}$ とそれ以外の測点で図の縦軸スケールが異なることに留意されたい。

$y=50\text{m}$ の測点では2005年1月14日～18日の間に 0.2m 程度顕著に堆砂していた。飛砂による地盤高の日変化は最大でも 0.03m/day 程度でこの期間のみ汀線が $y=60\text{m}$ まで後退していることを考慮すると、漂砂によりこの堆砂すなわち期間 O の堆砂（図-6(a), $x=30\text{m}$ ）が生じたと判断される。

調査期間中の平均底質粒径は、 $y=50\text{m}$ では $200\mu\text{m}$ 、 $y=130\text{m}$ では $170\mu\text{m}$ 程度で、海側に向かって若干大き

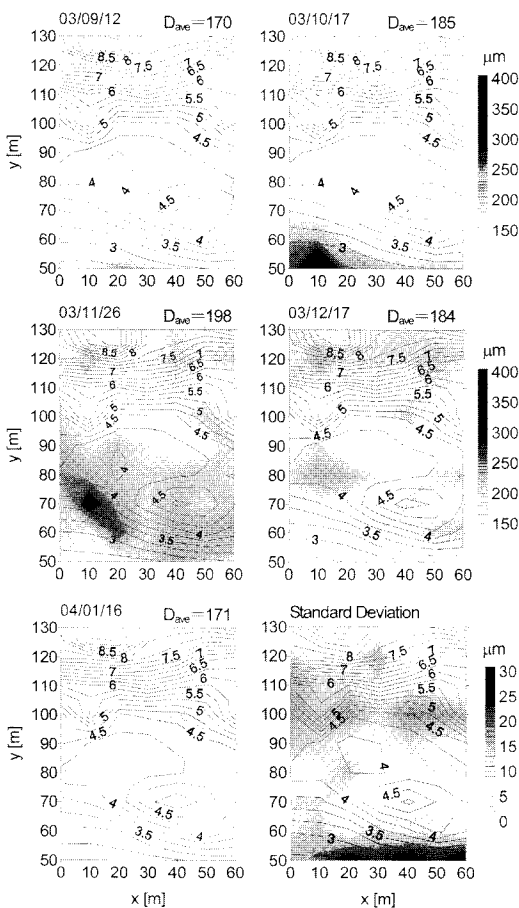


図-8 2003年9月12日～2004年1月16日の底質粒径と全調査期間における底質粒径の標準偏差の平面分布 (D_{ave} : 後浜全域の平均底質粒径 [μm])

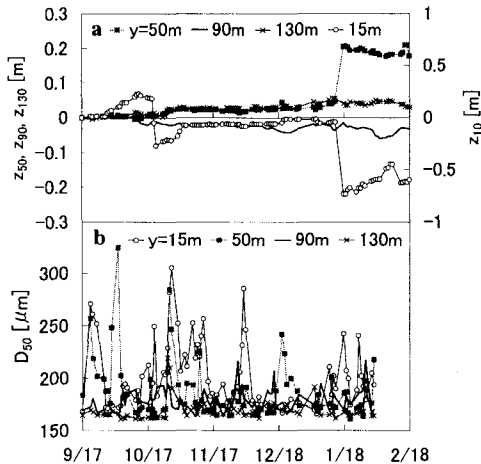


図-9 2004年9月17日～2005年2月17日における(a)地盤高、(b)飛砂による地盤高変化、ならびに(c)底質中央粒径
(y : 岸沖方向距離, $z_{10} \sim z_{130}$: $y=15\text{ m} \sim 130\text{ m}$)
における地盤高

表-1 粗粒化発生時の最大風速とその風向, 飛砂発生時間, ならびに波の最大遡上位置

Date	D_{50} [μm]	Vel [m/s]	Ang [deg]	T [hr]	y_s [m]
2004/09/30-10/01	176→248	15.7	314	8	35
2004/10/26-10/27	170→206	17.3	308	21	20
2004/10/27-10/28	206→285	13.0	315	22	20
2004/11/10-11/11	171→225	4.6	113	0	5
2005/01/27-01/28	163→197	9.2	359	10	30
2005/01/31-02/01	176→218	11.6	240	6	17

Ang: 汀線に直角に吹込む海風を0度とし時計回りに正
T: 風速が限界風速 (7m/s) を越えた時間数

くなっていた。底質粒径の標準偏差は, $y=15\text{ m}$, 50 m , 90 m , ならびに 130 m においてそれぞれ $31\mu\text{m}$, $26\mu\text{m}$, $11\mu\text{m}$, ならびに $9\mu\text{m}$ で, 図-8の結果とほぼ一致する。

$y=50\text{ m}$ において $30\mu\text{m/day}$ 以上の粗粒化が生じた調査日における最大風速とその風向, 飛砂発生時間, ならびに波の最大遡上位置を表-1に示す。いずれの調査日においても波の遡上はなかった。粗粒化が生じた6ケースのうち, 4ケースで強い海風が卓越していた。2004年10月26日～27日には $y=130\text{ m}$ において, 2005年1月27日～28日には $y=90\text{ m}$ および 130 m において, $y=50\text{ m}$ と同時に粗粒化が生じていた。2004年11月10日～11日には風が弱いにもかかわらず粗粒化が生じていた。これは, 砂の粒径と限界摩擦速度は正の相関関係にあるため (Bagnold, 1941), この期間に吹いた風が輸送し得る小粒径の砂のみが運び去られたことに起因すると考えられる。2005年1月31日～2月1日の変化の原因については

不明である。

以上の結果は, 第3章で示した汀線変化による後浜変形および底質の粗粒化メカニズムに関する考察を裏付けるものである。

風の吹送距離は飛砂による後浜変形に影響を及ぼすと考えられることから, 海風が作用する場合の $y=50\text{ m}$ および 90 m における地盤高変化と最大遡上位置から求めた吹送距離との関係を調べた。しかしながら, 飛砂による地盤高変化は小さく, 測定誤差の影響を無視できなかったこともあり, 明確な相関関係は得られなかった。

5. 結 論

本研究の主要な結論は以下の通りである。

- 1) 砂丘鞍部では侵食傾向に, 砂丘および砂堆海側では堆砂傾向にあった。漂砂の影響を受けない後浜の平坦な部分では侵食傾向にあった。
- 2) 汀線が後浜まで後退する場合には, これに伴う漂砂の影響を受けて地形が変化した。
- 3) 漂砂による前浜もしくは後浜への粗粒砂の供給の影響により, 後浜底質の粗粒化が生じた。

謝辞: 研究のとりまとめに際して, (独法) 港湾空港技術研究所 栗山善昭室長および柳嶋慎一主任研究官より有益な助言を頂いた。本研究は, 科学研究費若手研究B (課題番号16760417, 研究代表者 有働恵子) の援助を受けて行われた。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 宇多高明・小俣篤・竹淵勉(1989): 前浜における底質粒径の時空間変化とバームの形成機構, 海工論文集, 第36巻, pp. 359-363.
- 有働恵子・武若聡(2001): 後浜の地形変動に関する研究, 土木学会論文集, No.677/Ⅱ-55, pp. 175-187.
- 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯山知良(1989): 荒天時のバーム地形の侵食-長周期波に注目した現地観測-, 海工論文集, 第36巻, pp. 354-358.
- 山脇秀仁・有働恵子・栗山善昭(2005): 波崎海岸における前浜から後浜にかけての底質粒径の変化特性, 第32回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, Ⅱ-259.
- Bagnold (1941): The Physics of Blown Sand and Desert Dunes, Methuen, London, 265 p.
- Dong, Z., X. Liu, X. Wang, F. Li, and A. Zhao (2004): Experimental investigation of the velocity of a sand cloud blowing over a sandy surface, Earth Surface Processes and Landforms, 29, pp. 343-358.
- Jackson, D. W. T. and J. A. G. Cooper (1999): Beach fetch distance and aeolian sediment transport, Sedimentology, 46, pp. 517-522.