

盤洲干潟における河川出水期の地形変化と漂砂特性について

内山 雄介*・中 島 剛**・上岡 智志***

1. はじめに

豊かな生態系を育み、水質浄化機能を有する干潟域は、特に富栄養化スパイラルに陥った内湾水域の水質・生態環境の保全に対して極めて重要な役割を果たしていることが指摘されており、その維持、修復、創造に関する技術の確立が急務となっている(例えば、栗原, 1980)。干潟の生態系を取り巻く環境を定量的に評価するためには、そこでの物質輸送や生化学過程の解明とともに、生態系の生息基盤となる干潟地盤の変形予測を、底質粒径、褶筋などの微地形等を含めて正確に行うことが求められる。しかしながら、波浪条件の比較的穏やかな海域に存在する干潟では、通常は侵食等の問題が顕在化していないため、干潟の漂砂特性やそのメカニズムに関する知見は、例えば砂浜のそれと比較して著しく不足していた。

これに対して著者らのグループでは、首都圏に残された数少ない自然干潟の一つである東京湾の盤洲干潟において現地観測を実施し、干潟地盤の短期変動特性、流動構造ならびに浮遊砂生成機構の一端を明らかにしている(内山ら, 2000; 内山, 2001. 以下, 「前報」)。前報では干潟上の海水流動と漂砂特性に対する潮汐の重要性が指摘されており、とりわけ干潟地盤の侵食や浮遊砂の生成に対して、潮汐と波浪の位相関係が重要な意味を持つことなどが報告されている。河口域に発達した盤洲干潟では、河川からの土砂供給により地盤の安定が維持されているものと考えられるが、前報では干潟の地形変化に対してキーとなる河川からの出水イベントを捉えられてはいなかった。そこで本研究では、盤洲干潟において河川出水期の波、流れ、浮遊砂、地形に関する現地観測を実施し、河川流出イベントを伴う期間の地形変化、および漂砂特性を把握することを目的とした。

2. 観測の概要

千葉県木更津の小櫃川河口部に広がる盤洲干潟において、2000 年 8/29~10/11 の約 1 ヶ月半にわたって現地観

測を実施した。観測海域の概要については前報を参照されたい。図-1 中に示されているように、小櫃川河口部左岸側に観測ラインを 2 本設け(測線 A, B)、両測線に沿った断面地形測量を約 2 週間毎に計 4 回実施した。さらに、各測線ごとに海岸線から 0 m 等深線付近の距岸約 1200 m 地点まで約 500 m 間隔で 3 点、合計 6 点の測点を設けて Stn. 1~6 と名付けた。これら 6 地点では 8/29 に底質採取を行い、また、そのうち Stn. 2, 3, 5 には有線および自記式の各種測定機器を投入して連続計測を行った(図-2)。本観測では、干潟特有の周期 2~3 秒程度の短周期波と、高周波の乱流成分を解像するために、流速計、濁度計、波高計は 5~10 Hz の高速サンプリングを行った。また、参照データとして、富津地先の第二海堡における沖波(有義波高と有義波周期)、風向風速、潮位、および小櫃川 7.8 km 地点の小櫃堰における流量データを使用した。

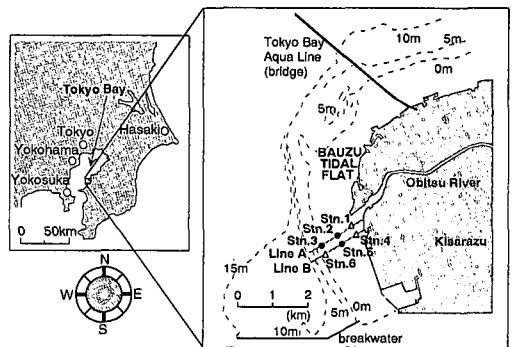


図-1 調査海域 (千葉県木更津・盤洲干潟)

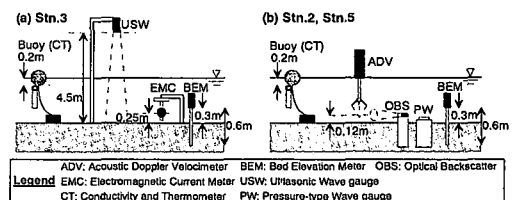


図-2 観測機器の設置概況 (Stn. 2, Stn. 3 および Stn. 5)

* 正会員 博(工) (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部漂砂研究室
** 正会員 国土交通省中国地方整備局広島技術調査事務所
*** 正会員 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部漂砂研究室

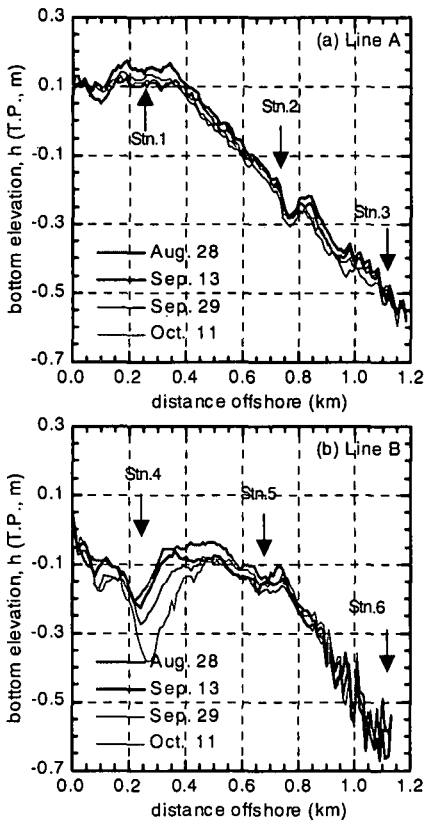


図-3 (a) 測線 A および (b) 測線 B における地形断面。図中には Stn. 1~6 の位置を併せて示している。

3. 観測結果と考察

3.1 断面地形変化と底質分布

測線 A と B における 4 回の断面地形測量結果を図-3 に示す。測線 A と B は高々 200 m しか離れていないが、断面形状や変動特性に有意な差が見られる。全体的に断面地形はほとんど変化していないように見えるが、測線 B の距岸 200~300 m (Stn. 4 付近) に大規模な溺筋が形成され、それが時間とともに深くなっており、この領域では最大で 20 cm 以上の侵食が生じていることが分かる。なお、各測点における底質は $d_{50}=0.17\sim0.19$ mm の比較的均質な細砂であったが、Stn. 4 のみシルト分が多く、 d_{50} は 0.147 mm であった。

3.2 外力特性

このような地形変化を引き起こす外力の特性について検討する。まず、図-4 に第二海堡における潮位、有義波高、有義波周期、風向風速を示すが、観測開始直後の 9/1~9/6 に最も波高が高く、このとき有義波高は最大で 0.7 m、周期 5 秒程度となっている。その後は比較的静穏であり、9/7 以降の平均的な波高レベルは約 0.3 m、周期は約 3 秒である。9/1~9/6 の荒天期の途中で風速の反転

が生じており、9/3 に南風から強い北風が変わっている。一旦波高が減少する 9/6 以降、数日間にかけて小瀬川の流量が増大しており、その後も 9/11~12、9/24~25 などの期間に流量が増加していることが分かる (図-5)。雨量データから、これらの期間では大規模な降雨があったことが確認されており、前報では見られなかった有義な河川出水が観測されたものと判断される。

このような外力の下に形成される干潟上の流れを、1 時間平均の水平流速ベクトルとして表示したものが図-6 である (流速計センサー干出時と欠測時のデータは除外してある)。干潟上の 3 地点の全体的な流動パターンは概ね良く似ており、流速レベルは沖側の Stn. 3 が最も大きく、続いて Stn. 2、Stn. 5 の順に小さくなっている。干潟上の流動構造を支配する因子として、潮汐、風、波浪等が考えられるが (例えば、内山, 2001)、実際に得られた流速ベクトルにも、潮汐に対応して半日程度の周期で反転を繰り返すパターン、9/3 に流向が反転するイベントにも見られるように、風速値の増大とともに卓越風向に向かって流れが発達する傾向などが表れている。

3.3 地形および濁度の変動特性と底面シアとの関係

次に、以上のような状況下で生じる短期的な地形変動と浮遊砂の生成過程を調べる。図-7 は、Stn. 2, 3, 5 における砂面計による地盤高の時間変動を示したものであり、9/1~9/6 の荒天時に対応して 3 測点の地盤が著しく低下し、その最大低下量は Stn. 3 では約 10 cm に達していることが分かる。また、9/6 以降の静穏期には、低下した地盤が徐々に回復している様子が示されており、観測終了時には初期地盤高と同程度まで堆積が進行している。そこで、侵食により最も地盤が低下した 9/5 を境界にして、それ以前と以後の期間における侵食・堆積速度を求めたところ、Stn. 2 では 9/5 以前が -0.516 cm/day (以下同じ)、9/5 以降が $+0.014$ 、同様に Stn. 3 では $-0.574 \rightarrow +0.075$ 、Stn. 5 では $-0.408 \rightarrow +0.028$ と見積もられた。このことから、Stn. 3 は最も侵食されやすく、同時に堆積しやすい傾向にあり、岸側の Stn. 2, 5 は同程度であるが、Stn. 2 よりも Stn. 5 の方が若干侵食されにくく、反対に堆積しやすいことが分かる。

顕著な侵食が生じていた 9/1~9/6 などの期間は、波高と流速が大きい期間に対応しているため、大量の浮遊砂が生成されている可能性が考えられる。そこで、Stn. 2 と 5 における海底面上約 12 cm での OBS による濁度の時系列を見ると (図-8)、濁度は 9/1~9/6 ではそれほど高い値を示してはおらず、むしろ 9/13 頃や 9/25 頃にピークを持つことが確認される。濁度の主たる成分である浮遊砂の濃度は、波、流れ、乱れによる底面せん断応力 (シア) によって測定点直下で pick-up されたものと、他の地点で巻き上がり、それが移流されたものによって構成さ

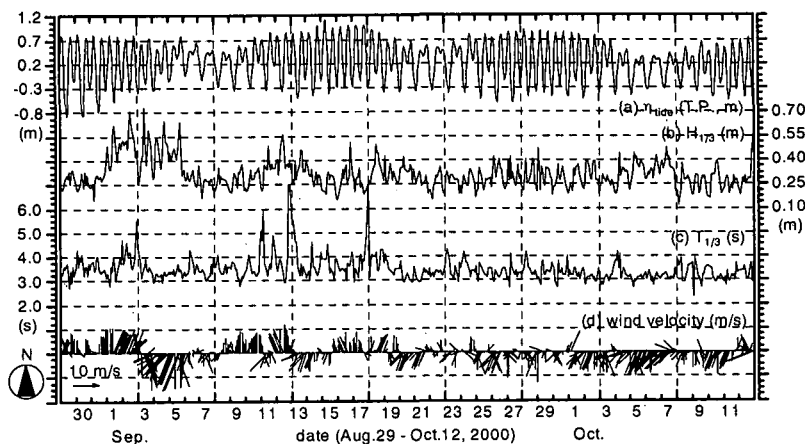


図-4 第二海壁における (a) 潮位, (b) 有義波高, (c) 有義波周期, (d) 風向風速

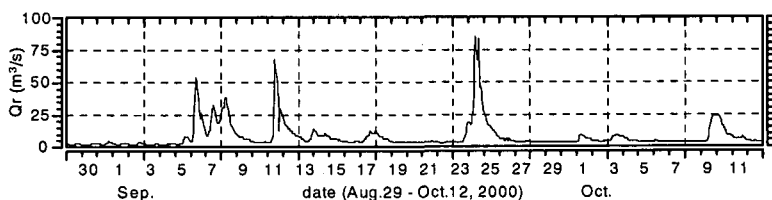


図-5 小櫃川 7.8 km 地点 (小櫃堰) における流量

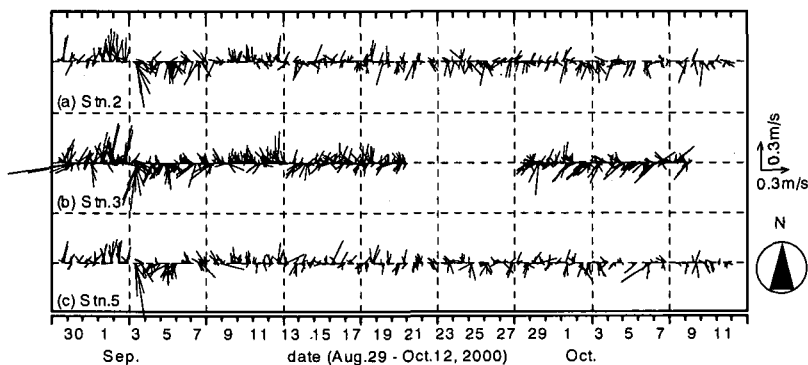


図-6 干潟上の1時間平均水平流速. (a) Stn. 2, (b) Stn. 3, (c) Stn. 5.

れている。つまり、濁度上昇が直近での pick-up に対応したものであれば、濁度と底面シアの相関が高くなるはずである。そこで次に、各測点における底面シアを求め、時系列表示した (図-9)。図を見ると、顕著な侵食が生じていた 9/3 前後の期間で底面シア τ_b が最大となり、そのピーク値は $0.6 \sim 0.8 \text{ N/m}^2$ 程度まで上昇しているが、その後は 0.2 N/m^2 付近の低い値で推移している。このような τ_b の長期変動は、濁度よりもむしろ図-7 に示した地盤高さの変動に対応している。なお、図-10 に示すように、OBS による濁度と底面シアとは殆ど無相関である。

3.4 高濃度の濁質生成と河川出水との関係

この不一致の原因の一つとして、河川から供給されるシルト・泥分の影響が考えられる。そこで次に、ADV の後方散乱強度を用いて濁度を推定し、OBS データと比較することを試みる。一般に、OBS のような光学式後方散乱濁度計は、かなり幅広い粒径レンジの粒子に反応するため、細砂を想定した設定で計測を行っている場にシルトや泥分が混入すると、濁度を過大評価する傾向がある (Conner and de Visser, 1992)。一方、超音波式後方散乱計では、測定音波の波長の $0.7 \sim 1.0$ 倍程度の粒径を持つ粒子に最も強く反応する性質を持っている (Vincent ら、

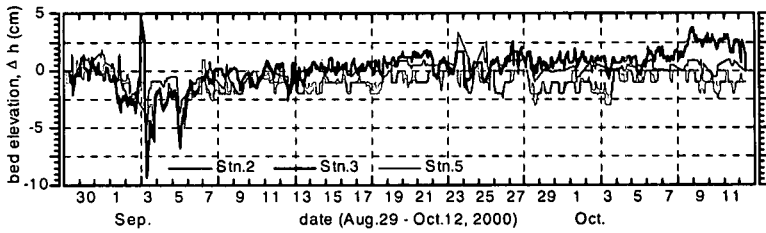


図-7 Stn. 2, 3, 5における地盤高変動 (初期高さを0とした変動成分)

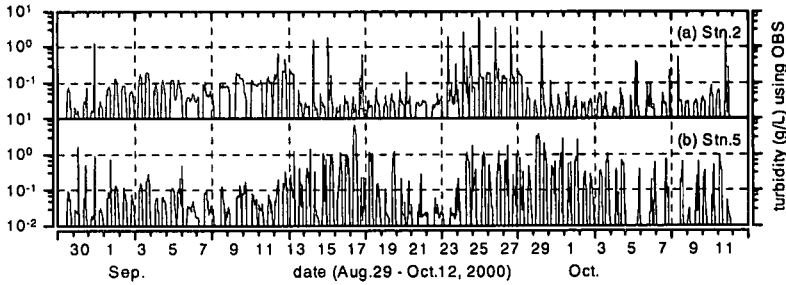


図-8 OBSによる濁度の時系列. (a) Stn. 2, (b) Stn. 5.

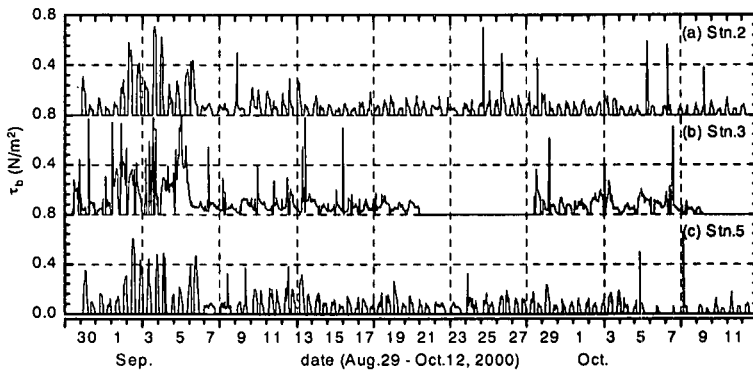


図-9 波・流れ・乱れによる底面せん断応力 (底面シア) の時系列. (a) Stn. 2, (b) Stn. 3, (c) Stn. 5.

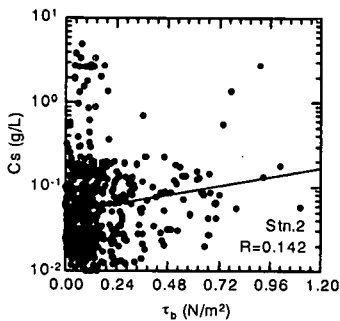


図-10 OBSによる濁度と底面シアとの相関 (Stn. 2)

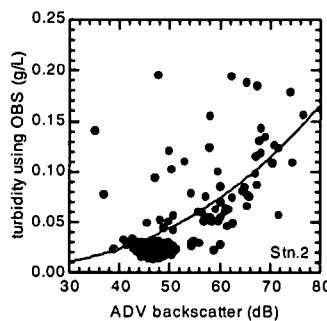


図-11 ADV後方散乱強度とOBSによる濁度との相関 (Stn. 2)

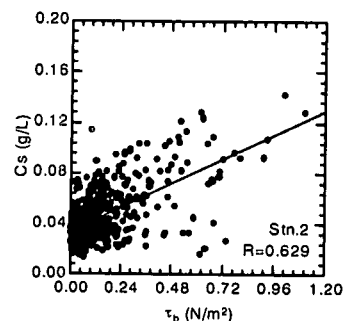


図-12 ADVから推定された濁度と底面シアとの相関 (Stn. 2)

1991). 測定周波数が6 MHzのADVの場合, このレンジに相当するのは粒径0.176~0.252 mmの粒子であり, これは底質の主構成材である細砂の粒径にほぼ対応する。

そこで, 河川流量がほぼゼロ ($3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下) のときのOBS濁度と, ADVの後方散乱強度の相関を調べた(図-11). 両者の間には良好な相関関係が得られているので,

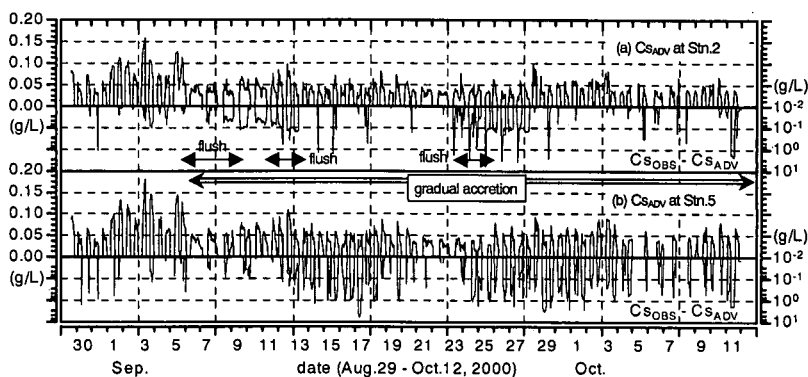


図-13 (a) Stn. 2, (b) Stn. 5におけるADVによる濁度 C_{sADV} とOBSによる濁度との差 $C_{sOBS} - C_{sADV}$ の時系列

図中の曲線をADVの検定曲線として用いることによりADVによる濁度を計算し、底面シアとの相関を観測期間全体にわたって改めて求めたものが図-12である。図-10と比較するまでもなく、明確な相関が得られおり、ADVによる濁度推定値が細砂を主体とした浮遊砂濃度を反映したものであると判断される。以上のことから、河川出水時の濁質濃度は主にシルト・泥質を、底面シアが増大する期間の濁質濃度は主に細砂分を反映したものと考察される。一方、OBS濁度 C_{sOBS} とADV濁度 C_{sADV} の差は、細粒分による濁度を表す指標となることが期待される。そこで、図-13にStn. 2, 5における両者の差 $C_{sOBS} - C_{sADV}$ を、 C_{sADV} とともに時系列で示した。これを見ると、河口により近いStn. 2において、河川流量が増大する期間（図中⇐の期間）およびその直後の数日間に、 $C_{sOBS} - C_{sADV}$ 、すなわち細粒分の濃度が上昇していることが分かる。なお、Stn. 5における $C_{sOBS} - C_{sADV}$ は、河川流量とは直接対応しておらず、堆積期（図中⇐の期間）を通じて全般的に濁度が高くなっている。この理由としては、Stn. 5のすぐ沖側で9/13以降に進行したトラフ部の拡大（滞筋の形成、図-3(b)）による大規模な侵食の発生に伴い、この地点に多く分布している細粒分が輸送されてきたことが考えられる。

4. おわりに

以上の結果から盤洲干潟における河川出水期の地形変化と漂砂特性について考察すると、以下のようなものである。

まず、荒天時には、風、潮汐、波浪の影響を複合的に受けて生成される底面シアの増大によって、数日間で10 cm程度という速度で干潟地盤の侵食が生じている。堆積期には河川流出や滞筋の形成に伴うものと思われる濁質濃度が増大するが、連続計測を実施した3測点における底質の構成材料は細砂であること、反対に、このときの濁質の主たる構成材は細砂ではなく、より微細なシル

ト・泥質であることから、河川や系内起源の土砂が地形変動（堆積）に直接寄与している可能性は低いものと考えられる。一方、各測点間における堆積速度の差は、堆積期の底面シア τ_b の値とその作用時間に対応している。すなわち、堆積速度が最も速いStn. 3では τ_b は概ね0.2 N/m²であり、しかも冠水時間が相対的に長いため、 τ_b の作用時間も長い。これに対して、堆積速度が遅いStn. 2や5では τ_b は0.1 N/m²前後であり、かつ冠水時間も短い。 $\tau_b = 0.2$ N/m²が掃流移動限界を与える概略値（前報参照）であることを考えると、静穏時における堆積の進行は、河川から排出されて一旦沖へと流出した土砂の一部が、掃流状態で徐々に岸側へ輸送された現象を反映したものである可能性がある（例えば、内山ら, 2001）。これに関しては、滞筋の形成メカニズムの解明と併せて、今後の検討課題であると考えている。

最後に、現地観測にご協力いただいた（株）エコーの山田貴裕氏、港湾空港技術研究所の柳嶋慎一主任研に深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 内山雄介・加藤一正・栗山善昭・古川恵太（2000）：東京湾盤洲干潟の漂砂特性について，海岸工学論文集，第47巻，pp. 521-525.
- 内山雄介（2001）：冬の東京湾盤洲干潟における浮遊砂生成機構および短期地形変動について，土木学会論文集，No. 677/II-55，pp. 129-140.
- 内山雄介・栗山善昭・波多野敦史（2001）：蒲生干潟前面海浜地形の中期変動特性，海岸工学論文集，第48巻，pp. 601-605.
- 栗原 康（1980）：干潟は生きている，岩波書店，219 p.
- Conner, C. S. and A. M. De Visser (1992)：A laboratory investigation of particle size effects on an optical backscatterance sensor, *Mar. Geol.*, Vol. 108, pp. 151-159.
- Vincent, C. E., D. M. Hanes and A. J. Bowen (1991)：Acoustic measurements of suspended sand on the shoreface and the control of concentration by bed roughness, *Mar. Geol.*, Vol. 96, pp. 1-18.