

洪水に伴う利根川感潮域の底質変化

BED MATERIAL CHANGE BY FLOOD IN THE TONE RIVER ESTUARY

鈴木伴征¹・大作和弘²・石川忠晴³
Tomoyuki SUZUKI, Kazuhiro OSAKU and Tadaharu ISHIKAWA

¹正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 工修 国土交通省中部地方整備局 愛知国道工事事務所 調査課
(〒464-0066 愛知県名古屋市中千種池下町2-62)

³フェロー 工博 東京工業大学教授 大学院総合理工学研究科 環境理工学創造専攻
(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

Field surveys were conducted in the Tone river estuary to examine the bed material change by floods. Bed materials were sampled at several points along the deepest line of the channel before and after the floods, and grain size distribution and ignition loss was analyzed for the samples. The analyzed data showed that the bed material before the floods was mainly composed of fine sediment having the mean diameter of about 10 μ m, however after the large scale flood with the peak discharge of 8000 m³/s, the bed materials changed into fine sand having the mean vales of around 200 μ m in the whole estuary. Furthermore, the data also showed that the sandy bed started to be covered with the fine sediment again from the downstream end to the upstream when the saltwater regularly intruded into the channel after the flood. This phenomenon might be caused by the estuarine residual circulation.

Key Words : river estuary, flood, saltwater intrusion, bed material change, fine sediment, field survey

1. はじめに

河川感潮域では塩水遡上によって微細粒子の凝集沈降が促進されやすく、感潮域特有の底質が形成される。堆積した微細粒子は有機物や栄養塩を多く含んでいるため、感潮域の物質循環や水質形成等に重要な役割を果たしているものと考えられる。

しかし、このような底質環境は常に安定しているわけではない。洪水によって流失することもある。微細粒子の流失は水と底質の間の物質交換を変化させるため、水質や生物活動にも少なからず影響があるものと考えられる。また、底質の変化する領域や底質が安定状態へ戻るまでに要する時間は、洪水規模により大小様々であろう。

したがって洪水による底質変化の時空間スケールを洪水規模と関連づけて把握しておくことは、洪水のインパクトが河川感潮域に及ぼす影響を総合的に理解するうえで貴重な情報を提供するものと思われる。

本研究では利根川感潮域を対象水域として半年間にわたる河道縦断的な底質調査を実施した結果、洪水による底質変化とその後の回復過程を連続的に捉えることができたので報告する。

2. 対象水域の概要

図-1, 2に対象水域の平面形、最深・平均河床縦断形状を示す。調査区間は図-1に示す4KP～18KPまでの16km区間である。図中の“KP”は河口からの距離を表しており、例えば4KPとは河口から4km上流の地点を意味する。河道は緩やかな湾曲部を有するが概ね直線的である。河床は平均的にはほぼ水平で勾配は一万分の一以下である。低水路幅は約600m、水深は約5mである。

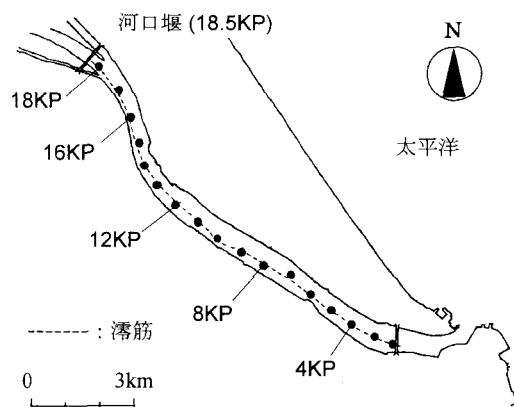


図-1 観測サイト

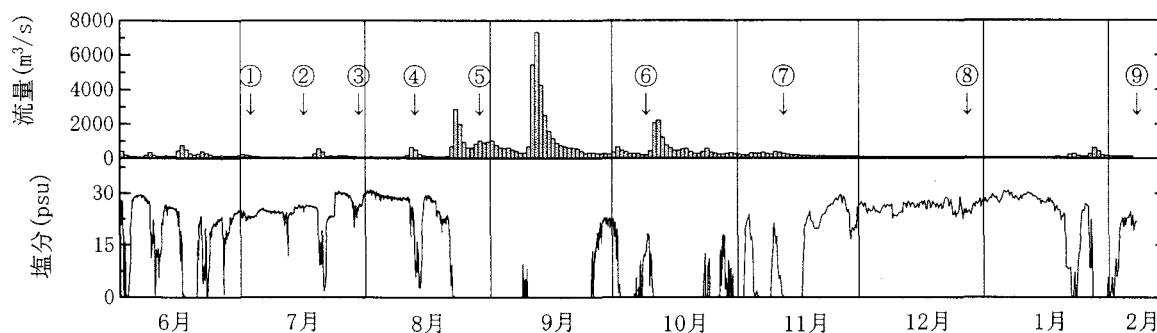


図-3 調査期間中の日平均流量(布川地点;58KP)と堰直下流部(16.5KP)の底層塩分(2001年6月～2002年2月)

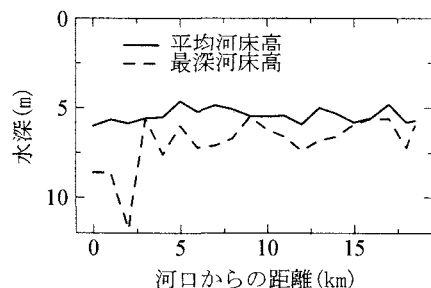


図-2 河床縦断面図

対象水域の特徴のひとつに河口堰の存在が挙げられる。利根川河口堰は18.5KPに位置し、塩害防除と新規利水開発を目的とした可動堰で、昭和46年に完成した。平常時は堰上下流の水位に応じて開閉操作がなされており、下流側水位が高いときは全閉、低いときは半開となる。筆者らの現地観測¹⁾によれば、平常時の場合、塩水楔は潮位変動にほとんど関係なく堰近傍まで遡上し停滞していることが多い。洪水時には堰は全開となり塩水楔は後退する。ある程度の洪水が一定時間継続すると塩水楔は河道から完全に押し出される¹⁾。

3. 現地調査の概要

(1) 調査期間の流況

底質調査は2001年7月～2002年2月の約半年間にわたって9回実施された。

図-3に調査期間中の日平均流量(布川地点;58KP)および堰より2km下流にあたる16.5KPの底層塩分の時系列を示す。図中の①～⑨は各調査日を表している。調査期間中に3回の洪水が生じた。1回目は8月下旬に生じ、ピーク流量は3400m³/s、2回目は9月上旬でピーク流量8300m³/s、3回目は10月上旬でピーク流量2600m³/sである。3回の洪水は約1ヶ月半の間に集中して生じており、その前後の調査期間に洪水は特に生じなかった。以下ではこれらの洪水を8月洪水、9月洪水、10月洪水と呼ぶことにする。

洪水に伴い、塩分も大きく変動している。8月洪水前までの期間、堰付近の塩分は概ね20psu以上を保っており、塩水楔はほとんどの期間堰付近まで遡上していた

様子が伺える。しかし3回の洪水の間、塩分がゼロになっている期間が長く、塩水楔は下流へ後退または完全に河道から押し出されていたと考えられる。そして洪水後、流量が平常レベルに戻ると塩分は回復しており、塩水楔は再び堰まで遡上している。

このような流況のもと、底質調査は、洪水前は2週間おきに4回、8月洪水以後は1ヶ月～1ヶ月半おきに5回実施された。

(2) 調査方法

底質調査は、8月洪水の前までは18KP、16.5KP、15KPの最深部で、8月洪水以後は4KP～18KP区間の最深部において河道縦断的に多地点で実施された。調査に際し、採泥地点の緯度経度を予め調べておき、現地ではDGPS(古野電気製:GP-1650FD)を用いて各採泥地点へ移動した。採泥には8月洪水の前まではコアサンプラー(離合社製)が、それ以降はエクマンバージ採泥器(離合社製)が用いられた。

以上のような方法で採取された底質の表層3cmを試料として実験室へ持ち帰り、粒度分布と強熱減量を分析した。粒度分析にはレーザー回折式パーティクルカウンター(島津製作所製:SALD-3000)を用いた。試料を純水に溶かして超音波分散処理を十分な時間施し、分析結果が安定したことを確認したうえで最終的な粒度分布を得た。

4. 調査結果

(1) 洪水前の底質²⁾

表-1に8月洪水以前の調査結果を示す。表の①～④は図-3の①～④の各調査日に対応している。前述のようにこの期間は洪水はなく塩水もほぼ定期的に堰まで遡上しており、いずれの地点とも平均粒径(d_m)は約10 μ mで安定していた。強熱減量(IL)は平均粒径ほど安定していないが平均9.4%であった。

図-4にこの期間の代表的な粒度分布として2001年7月30日の16.5KPのデータを示す。1～100 μ mの比較的に広い分布を有する一峰性の粒度分布であることがわか

表-1 洪水前の底質分布

	調査日 (2001年)	18KP		16.5KP		15KP	
		dm (μm)	IL (%)	dm (μm)	IL (%)	dm (μm)	IL (%)
①	7月3日	-	-	9.8	7.8	8.9	6.1
②	7月16日	7.2	13.0	8.3	9.6	8.9	9.4
③	7月30日	8.2	10.2	7.7	5.9	7.9	9.8
④	8月13日	-	-	7.3	12.0	-	-

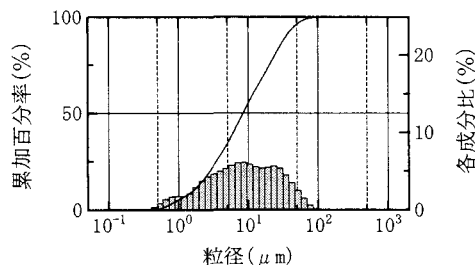


図-4 洪水前の底質粒度分布
(採泥日: 2001年7月30日, 16.5KP)

る。その他の調査日・調査地点においても底質は図-4とほぼ同じ分布形を示していた。よって、このようなシルト・粘土主体の微細粒子が現地の安定状態における主な底質材料と考えられる。

(2) 洪水後の底質縦断分布

図-5に8月洪水以降の底質の平均粒径(d_m)の縦断分布を示す。図のa)～e)は図-3の⑤～⑨の各調査に対応している。

図-5-a)は8月洪水直後(⑤)の調査結果である。3000 m^3/s 規模の洪水では河道全域にわたる変化は生じなかった。上流端付近で d_m が大きくなり底質の粗粒化した様子が見られるが、下流側は洪水前の底質の d_m と比べて特に大きな変化は見られない。

図-5-b)は9月洪水後(⑥)の調査結果である。8000 m^3/s 規模の洪水によって底質はほぼ全域で一変した。粒度分布は16KPを除くすべての地点で概ね一様に200 μm 程度まで粗粒化している。

図-5-c)は10月洪水から約1ヶ月後(⑦)の調査結果である。4KP, 6KPの下流部で d_m が小さくなり始めている。図-3によれば塩水遡上が断続的に生じており、この影響で微細粒子が再び堆積し始めたことが考えられる。なお12KPでも d_m が10 μm まで小さくなっているが、採泥時の写真から判断すると底質は明らかに固く締まった粘土で、洪水後に堆積した微細粒子とは考えにくい。元々存在していた粘土層が洪水で露出したものと推測される。

図-5-d), e)は10月洪水から2ヶ月半(⑧)、4ヶ月後(⑨)の調査結果である。この期間中、1月下旬に塩水の後退がしばらく見られるものの、その前まで約2ヶ月にわたって塩水が継続して遡上していた。上流部の底質は依然として粗いが、10月洪水後2ヶ月半で中～下流部(12-4KP)は細粒化し始め、洪水後4ヶ月で底質の d_m は8月洪水前の状態まで戻っている。

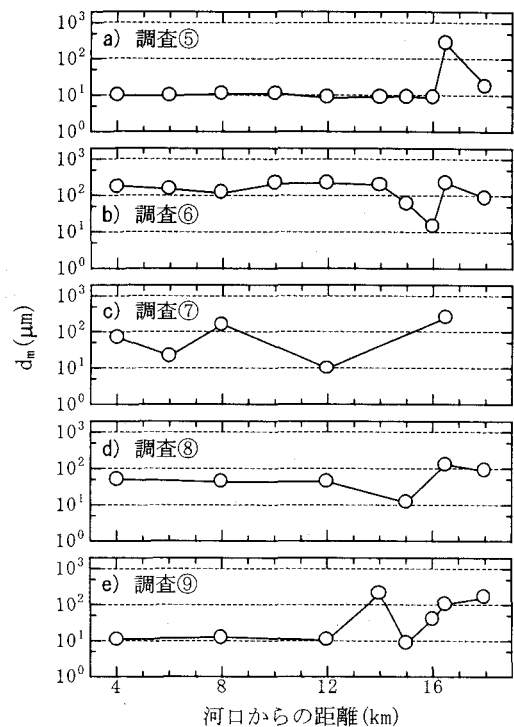


図-5 8月洪水以降の平均粒径 d_m の縦断分布

次に図-6に8KPで採取された8月洪水以降の各調査の底質粒度分布を示す。8月洪水直後の粒度分布(⑤)は図-4で示した安定状態の底質材料とほぼ同じ分布形を示している。その後、9月の8000 m^3/s 規模の洪水で底質は平均粒径200 μm の細砂に置き換わり(⑥)、塩水が再び遡上し始めるとシルト・粘土の微細粒子と細砂の混在した二峰性の粒度分布が見られ(⑧)、⑨の時点では洪水前の分布形にかなり近づいている。洪水後の底質変化は、粒度分布の変化を調べることでより明確になったと思われる。

(3) 微細粒子の再堆積

図-6の8KPの粒度分布から、洪水で流失した微細粒子が洪水後に再び堆積する様子が見られた。そこでこの現象の機構を調べるために底質中に含まれる微細粒子の割合(R_b)に着目してみる。なお、ここで言う微細粒子とは粒径74 μm 以下(シルト以下)の成分を指している。

図-7に8月洪水以降の調査における R_b の縦断分布を示す。a)～e)は図-3の⑤～⑨の調査に対応している。

⑤、⑥の R_b は前節で述べた洪水と底質変化の関係がそのまま見て取れる。すなわち、9月洪水の前は、 R_b は16.5KPを除いてほぼ100%であり表層底質は微細粒子で構成されているが、洪水後、大部分の河床で R_b はゼロに近くなり表層底質は細砂に置き換わっている。

次に⑦～⑨であるが、前述のように⑦の12KPの底質は写真によれば固い粘土であり洪水後に堆積したものと考える。そこでこの地点を除いて全体の傾向を見ると、微細粒子が下流から上流へ向かって再堆積していくような傾向が見られ、この期間は塩水が再び遡上

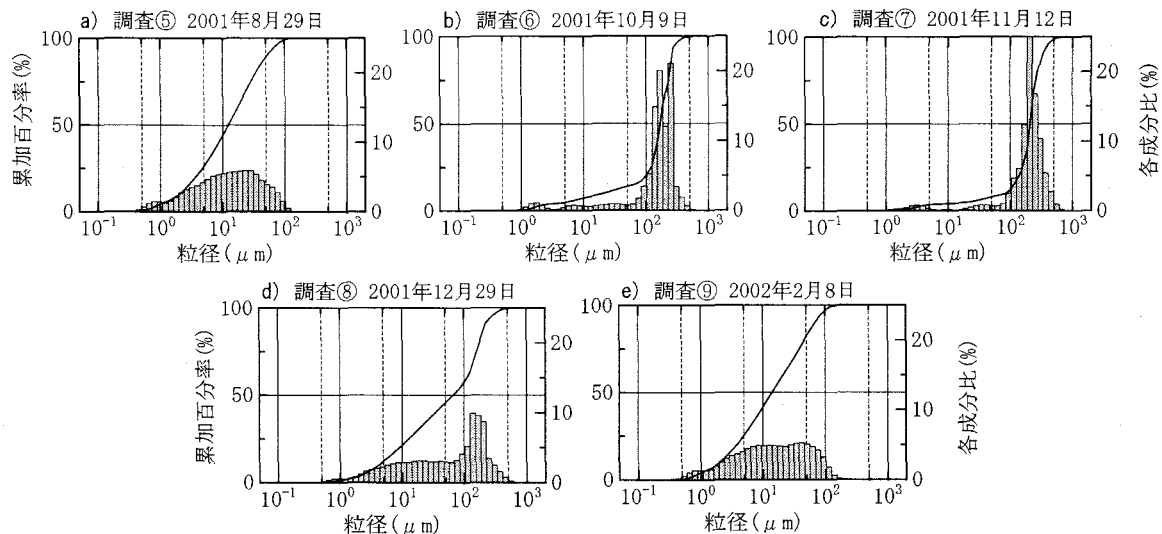


図-6 8月洪水以降の底質粒度分布の変化 (8KP)

し始めた期間とよく一致している。一般に河川感潮域では塩水の遡上する範囲において下層で上流方向、上層で下流方向の残差循環流(エスチュアリー循環)が形成されると言われていることから³⁾、微細粒子の堆積はエスチュアリー循環によって微細粒子が上流へ輸送されることで生じたことが考えられる。しかし、採泥地点が少なく最深部のみの調査結果であるから、感潮域全体の傾向を十分代表しているとは必ずしも言えず、この点については今後詳細に調査する必要があると思われる。

5. まとめ

利根川感潮域を対象として半年にわたる河道縦断的な底質調査を実施した結果、洪水に伴う底質の長期的な変化が連続的に捉えられた。洪水前、底質表層部は平均10 μ mのシルト・粘土で構成されていたが、流量規模8000m³/sの洪水後、感潮域全域にわたって平均200 μ mの細砂に置き換わった。しかしその後、塩水が再び定常的に遡上するようになると約3ヶ月で底質表層の粒度分布は洪水前の状態まで回復した。底質の微細粒子含有率を調べたところ、微細粒子は下流部から上流に向かって堆積域を拡大していくような傾向が見られ、これは塩水遡上時に形成されるエスチュアリー循環によって微細粒子が上流へ輸送されるためと考えられた。なお、流量規模3000m³/sの洪水では堰直下流部を除いて表層底質にあまり変化は見られなかった。以上から、現地の底質特性に対する洪水の影響は流量規模3000～8000m³/sの間で大きく変化するものと考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省関東地方整備局利根川下流工事事務所、水資源開発公団利根川河口堰管理所に多大の便宜をはかっていただいた。記して謝意を表する。

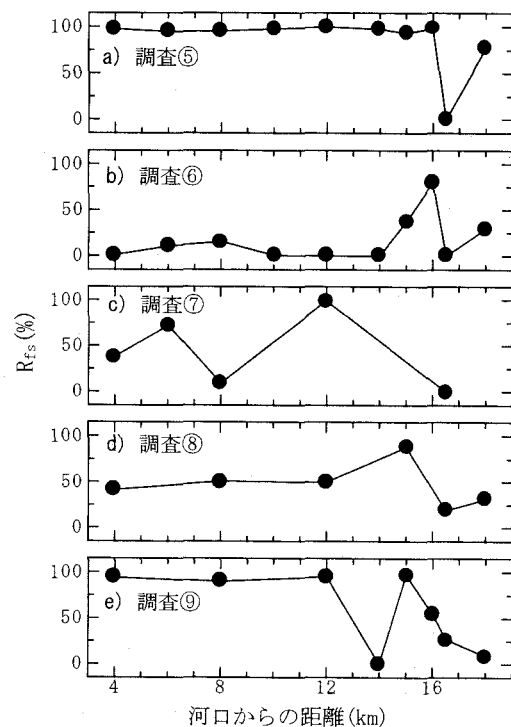


図-7 8月洪水以降の微細粒子含有率(R_{fs})の縦断分布

参考文献

- 1) 鈴木伴征, 若岡圭子, 石川忠晴: 利根川河口堰下流部における嫌気水塊の運動について, 水工学論文集, 第42巻, pp.769-774, 1998.
- 2) 鈴木伴征, 大作和弘, 横山勝英, 石川忠晴: 利根川河口堰下流部における濁質の浮上とそれに伴う酸素消費, 水工学論文集, 第46巻, pp.917-922, 2002.
- 3) 西條八束, 奥田節夫: 河川感潮域—その自然と変貌—, 名古屋大学出版会, 1996.

(2003. 4. 11受付)