

太田川放水路を事例とした河口干潟の 設計・管理方法の枠組みに関する研究

CASE STUDY ON FRAMEWORK OF THE WAY OF DESIGN AND MANAGEMENT OF ESTUARINE TIDAL FLATS IN THE OTA RIVER FLOODWAY

大沼克弘¹・藤田光一²・望月貴文³・天野邦彦⁴

Katsuhiro ONUMA, Kou-ichi FUJITA, Takafumi MOCHIZUKI and Kunihiko AMANO

¹正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 主任研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 部長(同上)

³正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 研究官(同上)

⁴正会員 博(工) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 室長(同上)

Based on existing various kinds of knowledge, we have considered a framework of the way of design and management of estuarine tidal flats. In the Ota River Floodway, estuarine tidal flat was designed in three types of cross section and was completed on March in 2010. We surveyed the change of landform and bed material and found that the pattern of change was different in every cross section. Sand was gradually piled up at the area where the gradient changed, eroded in the flood on July in 2010, and was piled again. Behind the band of sand, fine grained soil was piled up. We considered the mechanism of these changes and the effect of microtopography for physical environments and creature.

Key Words: *design of estuarine tidal flats, change of landform and bed material, microtopography, physical environments*

1. はじめに

干潟では、絶えず変化する流況や波浪、水質や底質等の影響を受け、干潟全体の地形や漥や凹凸のある微地形が形成され、それぞれの環境に対応した多様な生物が生息し、生物生産機能や物質循環機能等様々な機能を有する干潟生態系が成立している。しかし、こうした複雑な干潟生態系に関する体系的な把握は不十分で、実施される事業に伴って干潟生態系にどのような影響が及ぼされ、どのように保全したら良いかという予測や保全の手法は確立していない¹⁾。

一方、近年、豪雨による河川災害が頻発する中で、治水の重要性も改めて認識され、環境と治水との整合性がより求められるようになっていく。そのため、従来治水と環境に分けて考えがちであった河川技術を、両方の達成を支える統合的技術として本格的に進化させていくことが川づくりを進めていくには重要であり、戦略的に河

道を管理していく上でも治水・環境機能の変化をあらかじめ見越した河道整備・管理方法の検討に資する技術体系の確立が求められている¹⁾。

しかしながら、河口域では、河川だけでなく海域との双方からの外力による土砂の移動があり、淡水だけでなく海水の挙動によって現象が生起して複雑であり、例えば平常時においては、潮汐に伴う細粒土砂等の物質輸送や、波浪による河床の底泥細粒分の巻き上げや移送等が起き、このような現象も河床・河岸形成に影響する²⁾。

さらに、河口域周辺は人為活動が集中するところであり、河道改修、高水敷の整備、侵食防止対策工等の人為的インパクトも多く、このようなことが現象をより複雑化させており、河口干潟の設計・管理を行う上で十分かつ体系的な学術的な知見・情報の整備がなされていないのが現状である。

河口干潟の設計・管理を適切に行うためには、河口域の河道形成機構に関する研究の進展が望まれるが、先述のように海からの影響も加わって複雑な現象が生じてい

る河口域では、微地形も含めた河道形成機構はわかっていないことが多い。そのため、河口干潟の設計・管理方法は確立されておらず、干潟の設計・管理の枠組みが求められる。

本研究では、まず、既存の知見や干潟設計に関する図書を参考にして、河口干潟の設計・管理方法の枠組みについて考察した。その枠組みを、干潟再生試験が行われその後の応答について様々な項目について調査が実施されている太田川放水路をケーススタディとしてあてはめ、施工後の変化の調査結果に基づいて、部分的ではあるが実証を試みた。

2. 河口干潟の設計・管理方法の枠組み

河口干潟の設計・管理方法を検討するにあたって参考となる知見は様々あるが、ここでは、物理環境や植生に関するものを中心に、ケーススタディとして後述する太田川放水路を対象とした研究成果を優先して示すとともに、既存の干潟設計に関する図書も参考にして、それを踏まえて、枠組みについて考察する。

(1) 関連する知見の例

竹林は、参考文献3)で、中下流域の河道地形について簡潔にまとめており、堤防間距離・水深比の小さい順に、「平坦」、「交互砂州」、「網状流路」となり、湾曲部では、この河床・河道地形に湾曲内岸砂州が重ね合わされた地形となるとしている。また、山本は、河口より少しでも上流であれば、潮汐流の影響の大きい有明海湾奥に流出する河川（河道の形・スケールが潮汐流に規定されている）を除けば、河道部の小セグメントの川幅、水深等は平均年最大流量、河床材料、河床勾配により規定されており、洪水時に形成される地形面のうち干潮位と満潮位との部分が干潟面になるとしている⁴⁾。後藤らは太田川放水路では約1kmの波長の交互砂州が形成されていることを指摘し、黒木・岸らによる交互砂州の形成領域区分図に平成17年9月洪水及び平成11年6月洪水時の水理量から求めた値をプロットし、交互砂州の領域に位置する時間帯が比較的長いことから、このような洪水により交互砂州が形成されていることを示した⁵⁾。

大沼ら⁶⁾は、太田川放水路の干潟を類型化し、類型ごとにその安定機構について考察を行った。その中で、一部の干潟では敷石護岸が安定に寄与していることを示した。さらに、埋め立ての延伸や高水敷の整備等の人為的インパクトや自然インパクトである洪水が河道変化に及ぼした影響について考察を行った。さらに、塩生植物やヨシに限られたエリアの干潟にしか繁茂していない理由について推察した。

大沼らは、特徴の異なる6河川の汽水域沿岸を対象に、植生と地盤高との関係性を分析し、ヨシが多く繁茂する

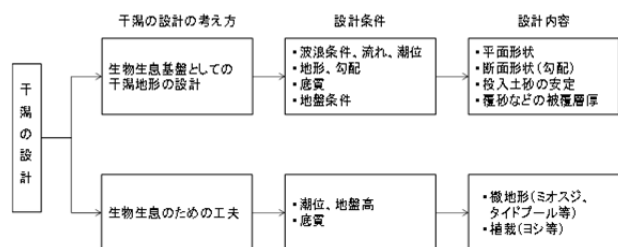


図-1 干潟の設計に含まれる内容⁹⁾

地盤高は平均冠水水深が15cm～30cmに集中していること等を示した⁷⁾。荒木らは、太田川放水路の1.2k付近での調査結果から、標高がT.P.0.4～1.3mの緩い勾配の斜面部、T.P.1.3～1.5mの平坦部に塩生植物群落が繁茂していることを示した⁸⁾。

このように、河口干潟の設計・管理に関連する知見が徐々に積み上がりつつある。

(2) 既存の干潟の設計論

干潟の設計についてまとまっている文献としては、例えば参考文献9)が挙げられる。本書は河口干潟だけではなく、前浜干潟や潟湖干潟も含めた干潟について記述しているものである。

本書では、干潟の設計の考え方として、「干潟造成の設計には、干潟地形の維持を目的とした地形及び生物生息の基盤に相当する部分の設計と、干潟の生物の生息条件を満たすための方策や、生物の加入・定着を促進する方策としての設計がある。」としており、さらに「これらの設計は分離しているものではなく、たとえば、生物の生息条件を考慮して設定した中央粒径や地盤高を維持できるように干潟の勾配や外力を制御する構造物を設計する等のように、実際の設計にあたっては「生息基盤」と「生物生息のための工夫」の両者を勘案しながら検討を行う。」と記述されている。このような考え方に基づき、参考文献9)では、干潟の設計に含まれる内容として図-1が示されている。

(3) 河口干潟の設計・管理の枠組み

以上のような知見を踏まえ、未だ十分な裏付けとなる知見がないものもあるが、概ね河口干潟の物理環境や植生環境は以下のように形成されると推測する。ただし、これはどの河川の河口域にもあてはまるものではなく、例えば、筑後川や六角川のように、潮汐に伴い海域からの土砂供給が相当程度河道地形や河床材料に影響を及ぼすと考えられるような河川ではあてはまらない可能性がある。

① 河道の形状の骨格や河床材料の基質は洪水が規定する（川幅水深比等で大きく影響する平坦、交互砂州等の河床、相対的に外力が大きいところで侵食が進行し、小さいところで堆積が進行する等）。そしてこれらは、供給土砂、洪水等の営力のスケール、河

表-1 各試験区の特徴¹⁰⁾

試験区	距離標	特 徴	横断イメージ
斜面区	0k050 ～ 0k100	・干潟前面に捨石護岸があることで地形的に安定しており、現状で塩生植物群落が発達している1k400左岸(リファレンス)をモデルとした干潟形状を創出し、自然状態の変化を検証する試験区。 ・タイドプールは造成せず、自然の変化による形成を期待する。 ・干潟の安定性や塩生植物の定着過程等に注目する。	
平坦区1	k105 ～ 0k125	・塩生植物群落が定着しやすいと考えられる地盤高T.P. 1.3mの平坦部を設ける試験区。 ・干潟と捨石護岸のすり付け部に、タイドプールを創出する。	
平坦区2	0k130 ～ 0k150	・地盤高T.P. 0.8mの平坦部を設け、平坦区1とは種子の漂着や浸水の条件等の違いによる塩生植物の定着状況を比較する試験区。 ・干潟と捨石護岸のすり付け部に、タイドプールを創出する。	
底質処理区	0k150 ～ 0k155	・盛土は行わず現状の干潟地盤高を維持する試験区。 ・底生生物の生息環境の改善の観点から、アサリが定着しやすいと考えられる底質に入れ替える。 ・構造物(捨石)や底質改善による底生生物相の変化等に注目する。	
底質未処理区	0k155 ～ 0k160	・盛土は行わず現状の干潟地盤高を維持する試験区。 ・底質処理区の対照区として、底質は入れ替えない。	

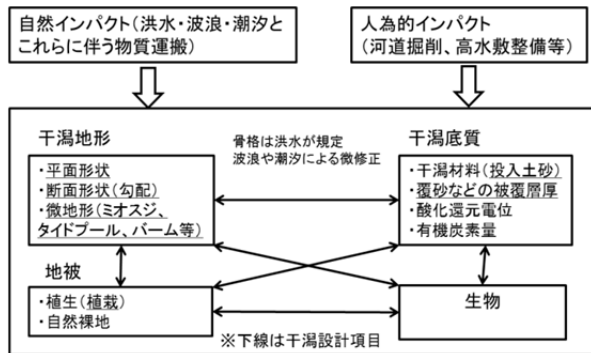


図-2 干潟の設計内容と環境要素の相互関係

道平面形状等を境界条件として、あるシステムを介して決まる。

- ② ①により形成された河道が、潮汐によりそれらの露出状況が決まり、潮間帯などの基本的な汽水環境(裸地干潟、塩生植物の繁茂等)が決まる。
- ③ ①、②による基盤の上に、平常時の潮汐や河道内波浪と物質運搬が合わさって、表面の形状や材料に微修正が加わる(クリーク、タイドプール等の微地形の形成とそれによる材料の変化)。
- ④ 場合によっては、護岸等の人工構造物が上記に影響を与える。
- ⑤ 河道掘削や高水敷整備等のインパクトがあると、新たなバランスを作ろうと状態変化を起こす。
- ⑥ 平常状態が継続してできた物理環境は、洪水によって変化する。洪水後の平常状態の継続により、復元する場合もあれば、不可逆となる場合もある。

以上のような河口干潟の形成機構の大枠を踏まえ、設計内容と環境要素との相互関連について、物理環境を軸

として簡略的にまとめたのが図-2である。後述するように、干潟の断面形状が微地形に影響を及ぼし、微地形が底質や干潟地形に影響を及ぼす。植生は干潟地形等と関連がある。また、出水により、地形や底質が変化し、植生や生物にも影響を及ぼす。

3. 干潟再生試験区の設計の考え方と施工後の物理環境等の変化

(1) 干潟再生試験区の設計の考え方

国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所では、将来の緊急用河川敷道路の延伸整備に関して、良好な干潟環境を保全・再生するための知見を得るため、太田川放水路の旭橋下流左岸において干潟再生試験区を造成した(2010年3月1日完成)。試験区では、前章で示した研究成果等を参考にして、表-1のように試験区内にいくつかの条件の異なる区域を設定した。塩生植物群落の定着をねらった試験区を設ける等の干潟再生試験の設計がなされた。なお、詳細は参考文献10)を参照されたい。

(2) 施工後の物理環境の調査内容

本研究では、干潟再生試験区において、横断測量及び河床材料調査を行った。

a) 横断測量

図-3のように、0k060(斜面区)、0k080(斜面区)、0k120(平坦区1)、0k140(平坦区2)、0k160(現況区)の5測線において、2010年の4月30日、6月24日、7月27日、12月25日の計4回実施した(このうち6月24

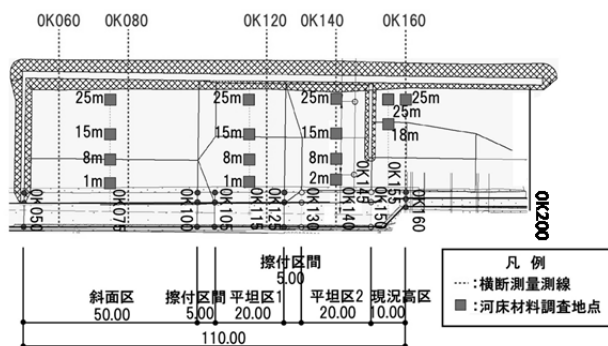


図-3 調査地点

日は太田川河川事務所が実施)。

b) 河床材料調査

表層の材料の平面的な分布を記録するとともに、ハンディジオスライサーを用いた堆積物調査を図-3の地点で行った。なお、この図に表示している○mという表記は、護岸際からの距離を示している。実施した地点の距離標は0k044(試験区直下流で、後述する7月出水以降に土砂が堆積したため実施)、0k075(斜面区)、0k115(平坦区1)、0k140(平坦区2)、0k155(現況区)、0k160(現況区)である。調査は、2010年の4月30日、6月29日、7月26日、12月25日に実施した。

さらに、干潟再生試験区の下流の干潟では、リング法による河床変動量調査を行った。リング法は、あらかじめリングを通した杭を打設しておき、後にリングと地盤面を計測することにより、その間の河床の侵食量及び堆積量を把握する方法である¹⁾。

c) 河床変動量調査

C0k200(左右岸各3点)、C0k800(左右岸各3点)、C1k400(左右岸各3点)、C2k000(左右岸各3点)、C2k200(右岸のみ4点)、C2k400(左右岸各3点)、C2k600(左岸のみ)において、2007年10月24日から2008年2月28日、2008年7月11日から2008年10月1日、2008年10月1日から2009年3月11日、2009年6月8日から2010年1月31日、2010年1月31日から2010年5月28日、2010年5月28日から2010年8月13日、2010年8月13日から2011年3月6日の間の干潟の侵食量、堆積量、河床高変動量について調査を行った。

(3) 施工後の出水の状況

旧太田川分派点より上流の矢口第一での流量観測によると、3月以降では、5月24日と6月27日に小規模な出水があり、7月14日に4480 m³/sもの最大流量を記録している(1954年以降で、4000 m³/sを越える出水は6回しかない)。その後、2011年3月31日まで出水はない。

(4) 調査結果

まず、試験区の変化の概況を図-4写真(太田川河川事

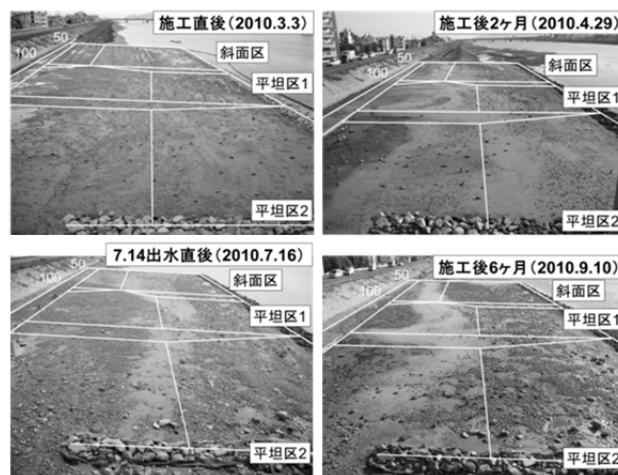


図-4 試験区写真

務所提供)で示す。施工直後はほぼ一様な材料で構成されていたが、完成後59日後である4月29日の段階で既に帯状に砂の堆積物が見られた。砂浜海岸では、汀線に平行に微高地が形成され、バームと呼ばれている。河口干潟でもこのような帯状の微地形があることはあまり指摘されていないが、砂浜海岸のバームに類似していることから、ここでは以後バームと呼ぶこととする。なお、この間は③で述べたように出水はない。その後5月、6月の小規模出水を経て、7月14日の大規模出水後にはバームの多くが流出している様子が見てとれる。その後、出水がない状況が続いたが、しだいに砂の帯が復活している。変化の傾向としては、①7月出水前、②7月出水直後、③その後の三段階に整理できる。

各測線での横断形状の重ね合わせを上段に、各期間の変化量を下段に整理したものが図-5である。先述の①の期間では、勾配の変化点付近を中心に砂の帯の堆積の進行が斜面区、平坦区ともに見られ、平坦区2についてはその後背地にシルト質砂が堆積していた。さらに平坦区1のタイドプールにはシルト分の堆積が見られた。4月29日から6月24日の間には小規模な出水が一度あったが、その間の横断形状の変化は小さい。その後、7月出水により、バームのかんりの部分がなくなるとともに、平坦区のタイドプールの部分には砂が堆積していた。また、図-6からわかるように、この間の侵食量が大きいの相対的に地形が前に張り出しているところを中心になっている。③の期間では再びバームが復活し、砂の堆積が進行するとともに、現況区ではシルトの堆積が見られた。

試験区下流の干潟の河床変動量調査のうち、2010年5月28日から2010年8月13日について、図-7にその例を示す。それぞれの地点について3本の棒グラフは、左から順にこの期間の河床変動量、侵食量、堆積量を示している。先述のように、河床変動量調査は2007年10月以降に行っている。2010年7月出水以外は2009年に矢口第一で約2000 m³/sの出水があった以外は大きな出水がなかったが、各期間ほとんどの地点で河床変動量は数cm

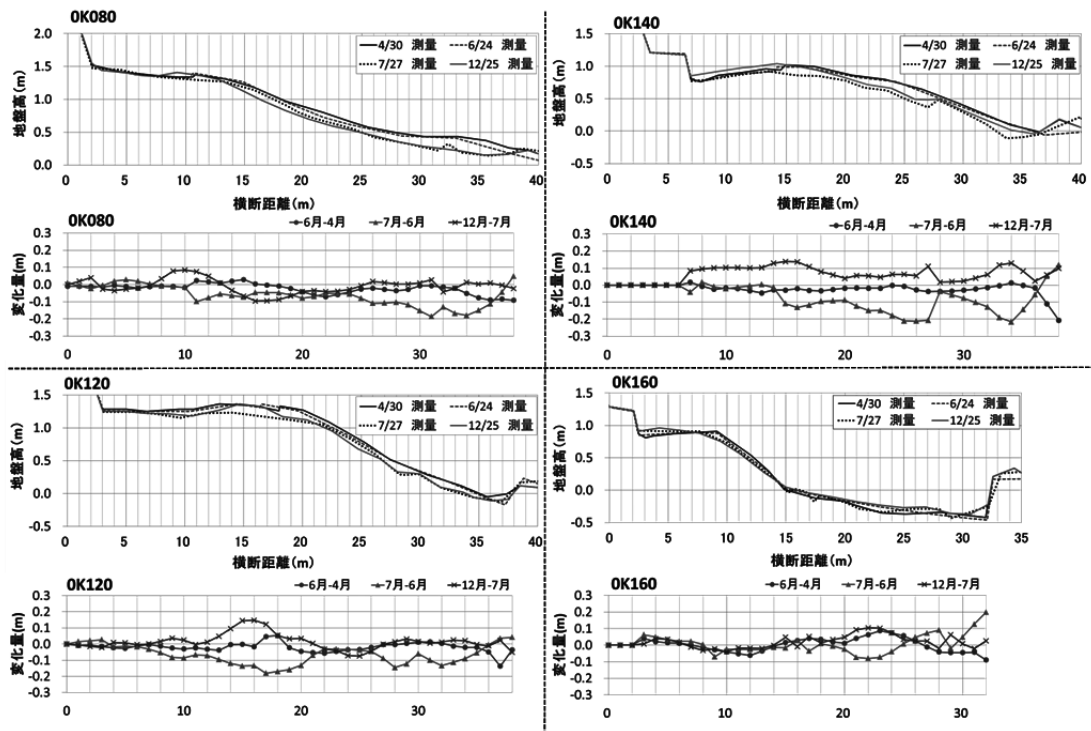


図-5 横断形状の変化

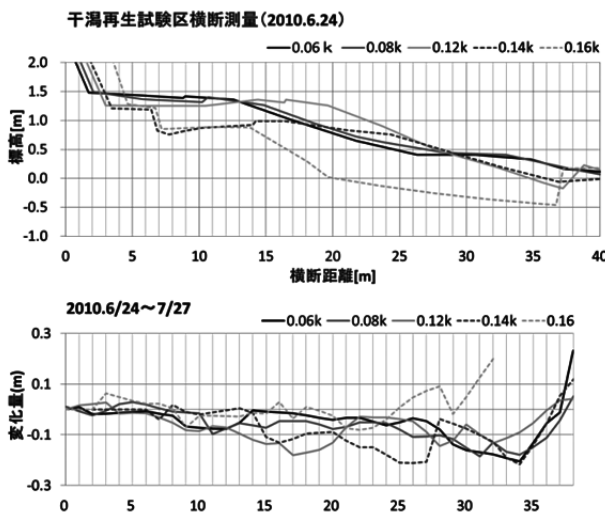


図-6 7月出水前の横断形状と7月出水後の標高の変化量

に留まっていた。しかし、図-7のように、2010年7月出水後には、大きな河床変動が起きているところがあった。その後の2010年8月13日から2011年3月6日の間では、C1K400左岸中間の -17.2cm 、C2K600左岸岸側の -10.4cm を除き数cmの微変動となっている（全地点の平均 -1.4cm 、標準偏差 4.7cm ）。つまり、7月出水後約8ヶ月経た時点でも、7月出水により大きく変化した河床が元に戻っていない傾向が見られる。

4. 太田川放水路の物理環境形成機構に関する考察

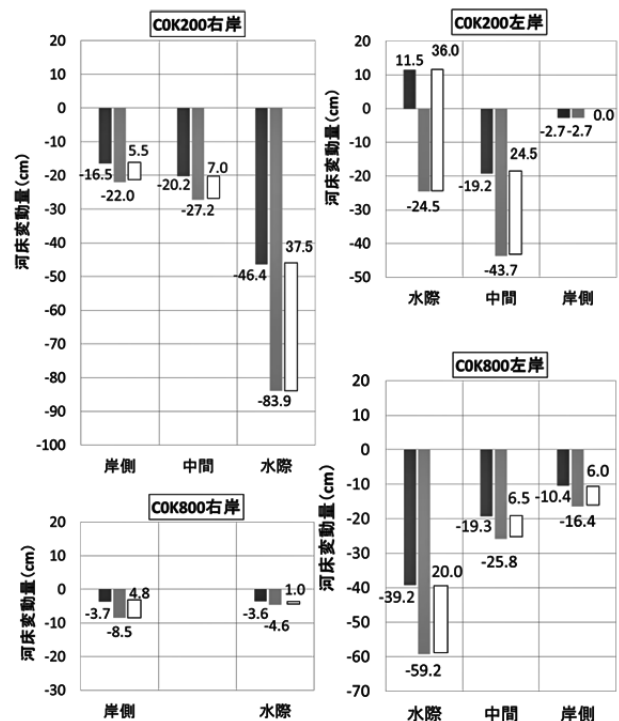


図-7 7月出水前後の干潟の河床変動量

以上の調査結果を踏まえ、2章(3)で述べた物理環境の形成機構について検証してみると以下ようになる。

干潟の河床変動量調査に見られるように、太田川放水路の干潟の河床は比較的大きな出水により規定されると推測することができ、①を裏付けるものといえる。

試験区に見られる砂が帯状に堆積する現象は、勾配が

変化するところを中心に見られることや、堆積しているところで平常時に砕波が観測できることから、砕波によるエネルギー減衰や細粒分の巻き上げにより起きていると考えることができるが、今後その機構解明を行っていく必要がある。いずれにしても、③の実例として挙げられるであろう。また、7月洪水直後は細っていたバームが、その後再び復活していることから、この現象は⑥でいう可逆的な方に相当する。

このようなバームの後背地のうち、とりわけ平坦区2で細粒分の堆積が顕著なのは、図-6の上側の図の0k140のように、この部分が逆勾配となっていて水がたまりやすく、そのため普段の潮汐により少しずつ細粒分が堆積していったためと考えられる。さらに、バームの存在によりその後背地で波による攪乱が小さくなることも寄与していると考えられる。タイドプールで細粒分が多いところが見られるのも同様の理由によるものと考えられる。以上のような砂分が多いバームと細粒分が多い後背地という構造は、試験区だけでなく、その対岸や下流の左岸C2k000付近等でも見られた。さらに、多摩川等の河川にも見られた。

現況区でシルトの堆積が進行しているところが見られるが、これは平坦区2のバームの後背地のプールから滲ができてここに流入していることから、プールにたまった細粒分を含む水がここに流入していることも影響していると考えられる。

このように、微地形と河床の材料との間には深い相関が見られ、③の実例の一つとして挙げられよう。

また、このような粒径の違いにより、バームの部分にはコメツキガニが、平坦区2のバームの後背地にはチゴガニが見られる等、カニの棲み分けも見られた。

また、比較的大規模な2010年7月出水後でも、試験区の形状の変化は小幅に留まっており、干潟前面の敷石護岸が干潟の安定に寄与していたと考えられ、④の実例となろう。しかしながら、小幅とは言え、全体的にはこの洪水で侵食が起きており、干潟造成により河積が多少なりとも小さくなった影響が出たとも考えられ、⑤の実例の一つとして挙げられよう。

5. 今後の干潟設計に向けて

以上を踏まえ、今後干潟の設計を行っていく上で考えられる手順を以下に示す。

まず、生物目標を踏まえて、求められる物理環境の大枠と治水上の要求（流下能力、河道の安定性、維持管理労力の限度）の大枠を設定し、求められる潮間帯面積や高さ（裸地干潟や塩生植物、ヨシ等の立地条件と関連）から、両岸のテラスの設定や湾曲部の二次流等の自然の営力による砂州の形成の予測をする（①、②が関連）。次に、低水路幅とその安定性、テラス上の土砂移動の安

定性、交互砂州が側岸侵食に与える影響等の、マクロな安定性のチェックを行う（①、⑤が関連）。一方、求められる河床材料やその分布が実現できるよう、前提となる波浪の設定やテラス勾配とその組み合わせを設定し、次に波浪によるバーム形成予測を行うとともに、潮汐による物質輸送とバーム後背地の表面材料の細粒化の予測を行う（③が関連）。さらに、洪水外力による河床変動のチェックを行い、変化が可逆的か不可逆的か判定する（⑥が関連）。以上の場を前提に、生物生活史を勘案した評価を行い、課題があれば上記と合わせ統合的にフィードバックする。また、必要に応じて構造物による対処も検討する（④が関連）。なお、以上の前段で、堤防間川幅、洪水時や平水時に流況、土砂供給（川、海両方）等が所与の条件で与えられるが、場合によってはこれらの所与の条件にまで戻って設計することもありうる。

以上のような設計の流れが確立できるよう、個々の研究が進展することにより、あらかじめ治水・環境機能の変化を見越した干潟の設計・管理ができるようになる。

参考文献

- 1) 環境省総合環境政策局環境影響評価課発行：干潟生態系に関する環境影響評価技術ガイド，2008。
- 2) 財団法人河川環境管理財団編：汽水域の河川環境の捉え方に関する手引き書，2004。
- 3) 竹林洋史：河川中・下流域の河道地形，ながれ，第24巻第1号，pp.27-36，2005。
- 4) 山本晃一：河川汽水域，pp.67-79，技報堂出版，2008。
- 5) 後藤岳久，福岡捷二，阿部徹：太田川放水路と旧太田川への洪水流量配分及び感潮域の河床変動，水工学論文集，第54巻，pp.757-762，2010。
- 6) 大沼克弘，藤田光一，望月貴文，天野邦彦，佐藤泰夫，阿部徹：太田川放水路における河床変動特性と干潟の安定機構に関する考察，水工学論文集，第54巻，pp.781-786，2010。
- 7) 大沼克弘，遠藤希実，天野邦彦，岸田弘之：河川汽水域沿岸の植生分布と潮位の関係解析，水工学論文集，第55巻，pp.1345-1350，2011。
- 8) 荒木悟，國井秀伸，陶山俊一：河口域沿岸の断面形状と塩生植物の生育・繁殖の関係，応用生態工学会，2008。
- 9) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブックその計画・技術・実践―第2巻干潟編，pp.58-99，ぎょうせい，2003。
- 10) 後藤勝洋，内藤正彦，竹本進，阿部徹：太田川放水路における河口干潟の生態工学研究，応用生態工学会第14回研究発表会講演集，pp.129-132，2010。
- 11) 植木真生，福島雅紀，山下武宣：河道掘削および砂礫の敷設供給に対する河床の応答，河川技術論文集，第13巻，pp.381-386，2007。

(2011.5.19受付)