

太田川放水路における河床の変化特性と 干潟の安定機構に関する考察

CHARACTERISTICS OF GEOGRAPHICAL FEATURES AND CONSIDERATION
ON THE MECHANISM OF STABILIZATION OF TIDAL FLATS IN OTAGAWA
DISCHARGE CHANNEL

大沼克弘¹・藤田光一²・望月貴文³・天野邦彦⁴・佐藤泰夫⁵・阿部徹⁶
Katsuhiko ONUMA, Kou-ichi FUJITA, Takafumi MOCHIZUKI, Kunihiro AMANO,
Yasuo SATOU and Toru ABE

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)

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流域管理研究官(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 工博 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)

⁵正会員 農修 元 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
(現いであ株式会社沖縄支店 〒900-0003 沖縄県那覇市安謝2-6-19)

⁶正会員 工修 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所所長
(〒730-0013 広島県広島市八丁堀3-20)

We organized the characteristics on the geomorphological features and historical change of the Otagawa Discharge Channel based on the cross-section surveying after the construction and showed the geographical features of tidal flats are stable and less changeable than those of low water channel. And based on the physical characteristics, we classify the tidal flats in the Otagawa Discharge Channel and the Kyuotagawa River that is one of the branch of the Otagawa Discharge Channel.

Based on the above-mentioned result and the result of the test of strength against erosion etc., we consider the mechanism of stability of tidal flats in every type in Otagawa Discharge Channel.

Key Words : *mechanism of stability of tidal flats, historical change of discharge channel, classification of tidal flats*

1. はじめに

近年異常多雨の出現頻度が高まるとともに、長期的には地球温暖化により懸念される海面上昇により、河口部の河道改修の必要性が高まることが予想される。しかしながら、河口部において河道改修を行った場合、干潟の消失等環境への影響が懸念される。治水と環境の調和のとれた河道管理を行っていくためには、このようなインパクトレスポンスについて予測の精度を高めていく必要がある。とりわけ、環境面で重要な役割を果たしている干潟について、その形成機構についての研究の進展が期待される。

干潟は、前浜干潟、河口干潟、入江干潟、潟湖干潟の

4つのタイプに分類できる¹⁾。本研究ではこれらのうち、河口部や河川干潮域に形成される河口干潟を対象としているが、河口干潟を対象とした形成機構に関する研究は少ない。横山ら²⁾は、筑後川の感潮河道を対象として地形・底質の季節的な変動特性を調べ、洪水によって河床に堆積している軟泥が洪水によりフラッシュされ、河床に古い時代の底質が出現し、平水期には高濁度水塊により下流域から浮泥が輸送され、約1ヶ月という短期でも河床面が50~100%復元していることを観測しているが、ここで変動しているのは主に干潮位以下であり、所謂干潟では大きな変動は確認されていない。末次ら³⁾は、多摩川の人為要因による浚渫及びそれによる河床変動と、洪水や平水時の高濁度水塊の移動による土砂動態との関連について考察を行っている。

これらの研究は、河床の変動特性を整理し、その要因として主に土砂動態に着目して考察を行っているが、一連区間について干潟を類型化し、類型ごとの形成機構の違いに着目して調査・考察を行った例は見られない。

本研究では、干潟の安定機構解明に向けて、佐藤ら⁴⁾が示した予備的検討を踏まえてこれをさらに発展させるべく、干潟地形が低水路部等の地形の影響を受ける可能性を鑑み、0.2kmピッチで行われている横断測量成果を用いて放水路全体の地形の特徴を整理するとともに、その横断形状の変遷を人為的インパクトや自然インパクトと関連づけながら整理した。次に、干潟の標高、横断形状、主要構成材料等の特徴から干潟を類型化し、前段の整理を踏まえてその類型ごとに干潟の安定機構について考察した。これらのうち、形成機構が不明な一類型の干潟に着目し、安定機構の仮説を検証すべく、流速等の連続観測等の現地調査や干潟材料の粘着力調査等を行い、これらを踏まえた考察を行った。

なお、本研究では、朔望平均干潮位（約T.P.-1.8m）と朔望平均満潮位（約T.P.2.0m）の間にある一定のまとまりを持った砂あるいは泥からなる河床場を干潟と定義した。本論でいう低水路とは、所謂低水路部からこの干潟の部分を除いた部分を言うものとする。

2. 太田川放水路の地形の特徴と変化特性

本章では、干潟の安定機構解明の前段として、干潟だけでなく干潟地形に影響を及ぼす可能性がある低水路と対比させながら、地形の現況とその変化の特徴を整理し、変化の原因について考察する。

太田川放水路は1967年に完成した。分派地点の直下流では、太田川放水路には祇園水門が、旧太田川には大芝水門が設置されている（図-1）。平常時には、祇園水門は3門のうち1門のみ30cm開けて流し、大芝水門は全開して流している。洪水時は、上流から400m³/s以上流れてきた時に両水門とも全開し、計画高水流量が入ってきた時には自然分派により放水路に4,000m³/s、旧太田川に3,500m³/s流れる設計になっている。

(1) 太田川放水路の地形の特徴

図-1は、太田川とその派川である旧太田川の干潟の分布を示している（この図にある干潟のタイプについては次章で述べる）。太田川放水路は、2.2k付近より上流では蛇行し、その湾曲の内岸側に干潟が分布している。2.2k付近より下流は直線状となっており、干潟は概ね両岸に分布している。干潟の横断形状の特徴については3章で述べる。

図-2は、2006年の横断測量成果をもとに現況の放水路の標高分布について、横断距離0（左岸堤防の法肩）を縦方向にそろえて、上を上流にして順次並べたものであ

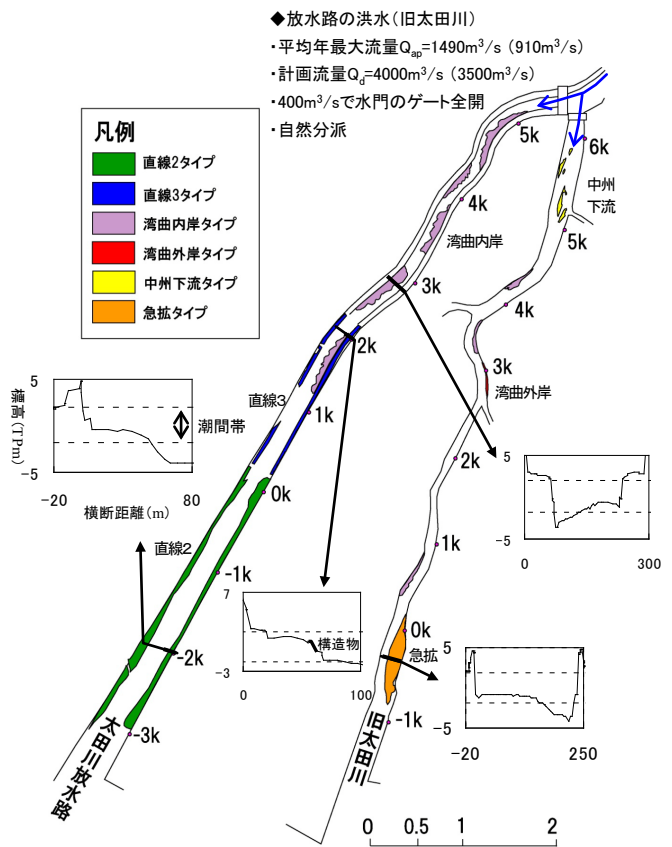


図-1 干潟の分布と類型化

る（そのため左側が右岸となっている）。先述の干潟の定義から、この図では、概ね茶色から薄い水色の範囲が干潟に相当する。放水路の蛇行区間は蛇行に沿って湾曲外岸側が赤丸のように深く掘れている様子が見てとれ、さらに直線区間に入ってもなお、蛇行区間よりは緩やかであるが桃色の丸に示すように左右岸交互に掘れている傾向が見てとれる。

(2) 太田川放水路への人為的インパクト及び自然インパクトと横断形状の変遷の全体像

太田川放水路完成（1967年）以降の河道変化の全体像を、既往の横断測量成果を用いて整理した。図-3に太田川放水路及び旧太田川の代表横断面の経年変化を示す。なお、使用した横断図の年は、1972年、1986年、1994年、2002年、2005年、2006年である。全体の傾向として低水路の変化が大きいのは、1972年～1986年である。この期間は、人為的インパクトとしては、-1.4k付近までしかなかった右岸側の埋め立て（西部開発）が、現在の河口まで延伸されたことが挙げられる。これにより、例えば図-3の-2.2kや-2.0kのように、以前は海であった部分が放水路となり、出水等における掃流力が大きくなり、低水路が掘れて河積が大きくなったと推測できる。低水路に比べ干潟は安定している。さらに、0.2k付近から2.2k付近の間では干潟の上に緊急河川敷道路が左岸は1994年測量と2002年測量の間に、右岸は2002年測量と2005年

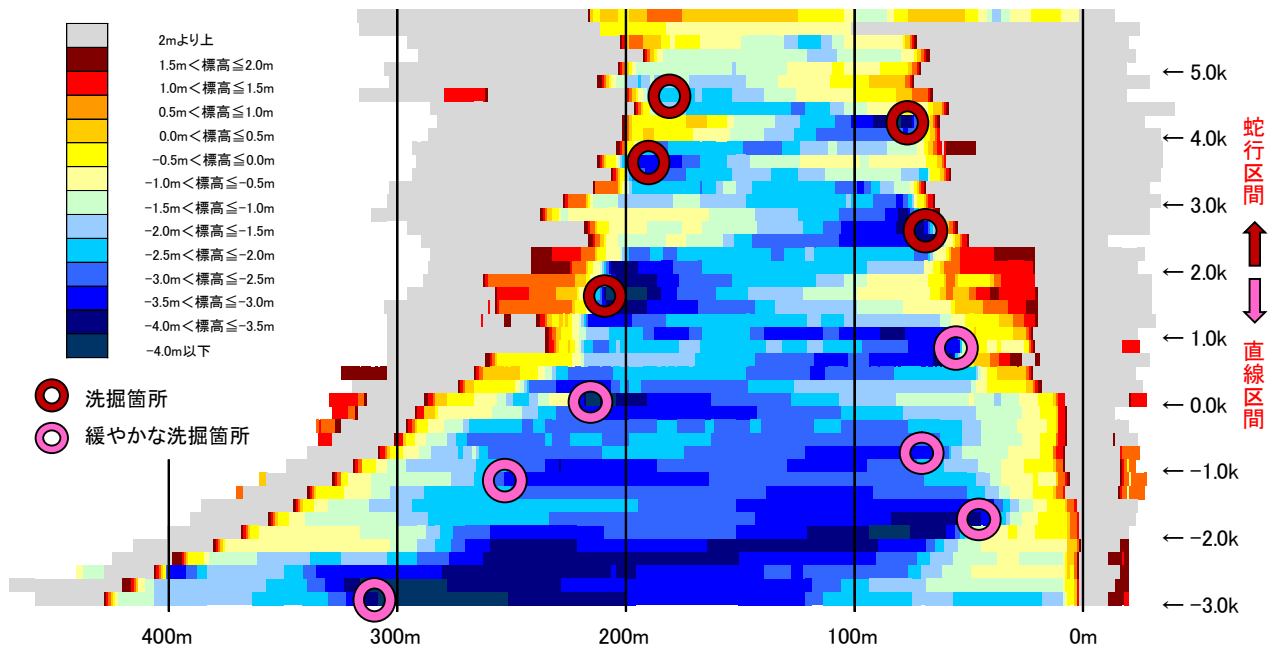


図-2 太田川放水路の2006年の標高分布

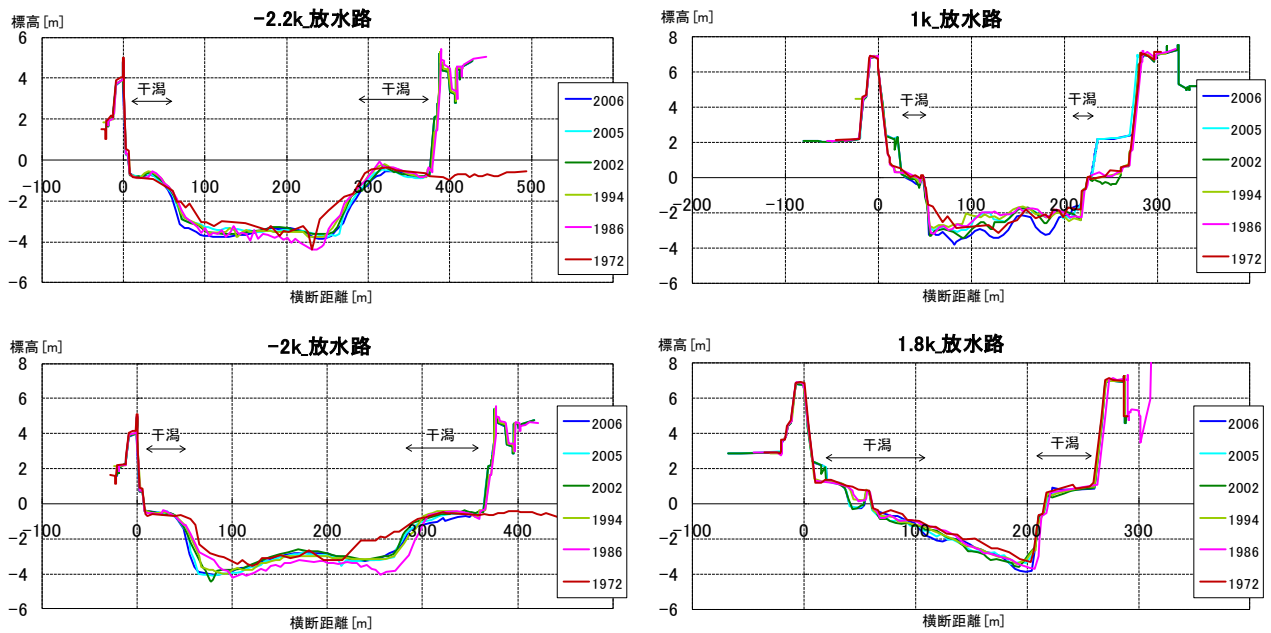


図-3 太田川放水路の横断形状の変遷例

測量の間に造成されていること、中でも右岸は0.8k付近から1.2k付近のふれあいの水辺が整備されていることが、人為的インパクトとして挙げられる。自然インパクトとしては、分流前の流量が $4,000\text{m}^3/\text{s}$ を越える比較的大きな洪水がこの2006年までの間に4回発生しているが、中でも2005年9月洪水は既往最大で $7,000\text{m}^3/\text{s}$ を越えていた。緊急河川敷道路の整備後の2005年洪水の後に行われた2006年の測量結果とその前の2005年とを比較すると一部でかなり大きく河床が動いたところがあるので、以下に詳述する。

(3) 2005年洪水による地形変化

図-4は放水路を対象に、2005年と2006年の横断測量成果の差分を測線ごとに算出して、侵食を寒色系、堆積を暖色系に着色し、それらを横断距離0（左岸堤防の法肩）を縦方向にそろえて上を上流にして、順次貼り付けたものである。土砂の仮置き等人為的改変と見られる不自然な変化も一部に見られるが、洪水前後の河床高の変化を俯瞰することができる。この図で背景が、①やや黒ずんでいる部分と、②白い部分、があるが後者は干潟の部分に相当する。そのため、左右両岸に干潟がある断面では、②の部分の間にある①の部分が低水路、その他の

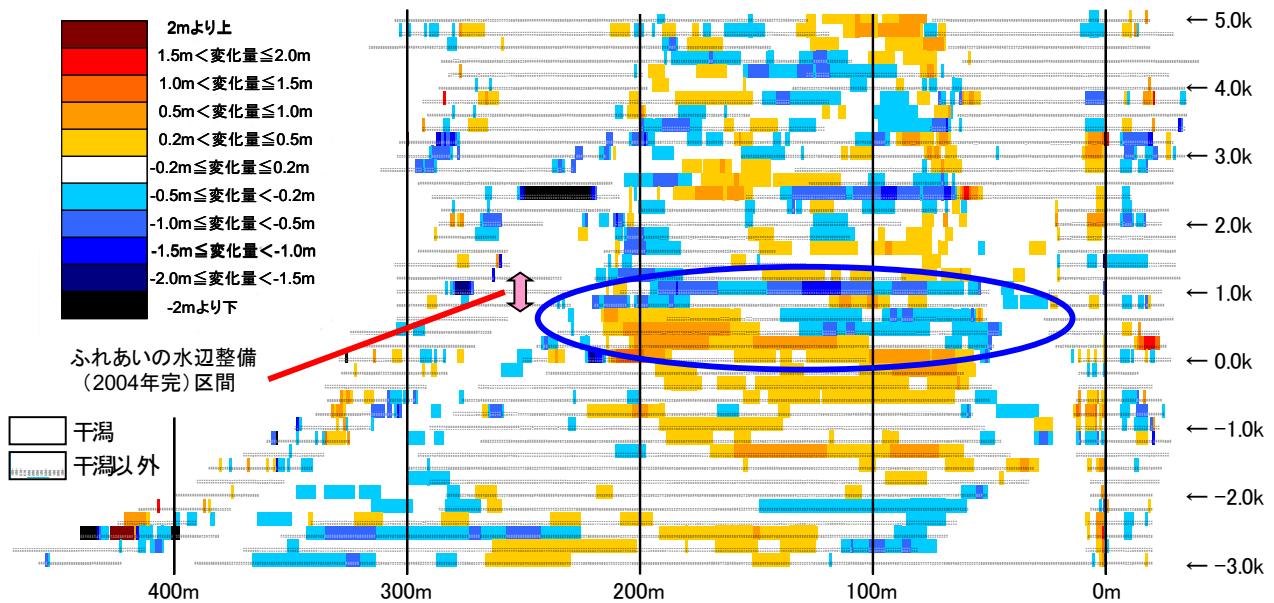


図-4 太田川放水路の2006年の2005年に対する地形変化

両側の①の部分は堤防・高水敷・護岸等に相当する。

まず全体的な傾向としては、色の濃い部分、すなわち変化が大きい部分は低水路部に多いことがわかる。干潟は全体的に変化が小さいが、上流側の干潟（後述する湾曲内岸タイプ）はやや変化が大きく、下流側の干潟（後述する直線2タイプ）は変化が特に小さい傾向が見られる。また、0.0kより下流の区間は干潟のみならず、低水路部も比較的動きが小さいことがわかる。

変化が最も目立つのは1.0k付近の青の楕円の部分である。図には2004年に右岸側に整備されたふれあい水辺の区間を示している。図-3からもわかるように、この整備により河積が小さくなったことにより洪水時の掃流力が増大し、低水路部の侵食が起きたと推測できる。低水路部以外で侵食がほとんど見られないのは、このふれあい水辺の整備箇所と低水路の両岸が人工構造物になっているためである。その下流の0.4k付近は特に低水路右岸側で堆積が目立っているが、上流で侵食した土砂がここに堆積した可能性がある。

このように、人為的インパクトや洪水のインパクトが放水路の地形に影響を及ぼしていると考えられるが、干潟は低水路に比べ安定している傾向が見られる。

3. 太田川放水路及び旧太田川の干潟の類型化と

その特性

著者らは、デルタ河道の中で、特徴が異なる干潟が分布していることに着目し、河道の管理に役立てるためにも、その安定機構を解明する最初のステップとして干潟

の類型化を試みた⁴⁾。

太田川放水路とその比較対照としての旧太田川について、各干潟の平面的な分布の特徴や、標高、横断形状、主要構成材料等の物理的な類似性に着目して、干潟を大局的に類型化した。

既に示した図-1は、上記において類型化した干潟の平面分布を示したものである。太田川放水路については、まず直線的に分布する干潟を主にその地盤の高さに着目して、最も低いものから順に、直線1タイプ（-3k付近に存在するが、干潮時でも水没しているため、以降扱わないこととする）、直線2タイプ（-2.8k～0.0kに左右岸に直線的に分布）、直線3タイプ（0.2k～2.2kに敷石護岸と堤防に挟まれたエリアに分布）とした。

その他については、平面的な分布の特徴に主に着目し、湾曲部の内岸側に形成され、放水路、旧太田川に見られる「湾曲内岸タイプ」、湾曲部の外岸側に形成される「湾曲外岸タイプ」、旧太田川5k～6k付近の中州後流域に形成する「中州下流タイプ」、旧太田川河口付近の川幅急拡部に形成する「急拡タイプ」である。

放水路及び旧太田川の河床高（平均、最深）と各干潟タイプの平均標高の関係を図-5に示す。特徴を整理すると以下のとおりである。

- ・直線2タイプの干潟は、その標高が低水路の平均河床とは関係なく T.P.-1m を中心に形成されている。横断形状は2章で述べた左右岸交互に出現する深掘れに近い側は水際の勾配が大きく、その対岸は勾配が小さい傾向がある。また、図-3 の-2.2k や-2.0k のように水際部に比べ堤防側は勾配が緩やかなところが多い。干潟の材料は、粗砂から中砂が中心であるが場所によりばらつきがある。

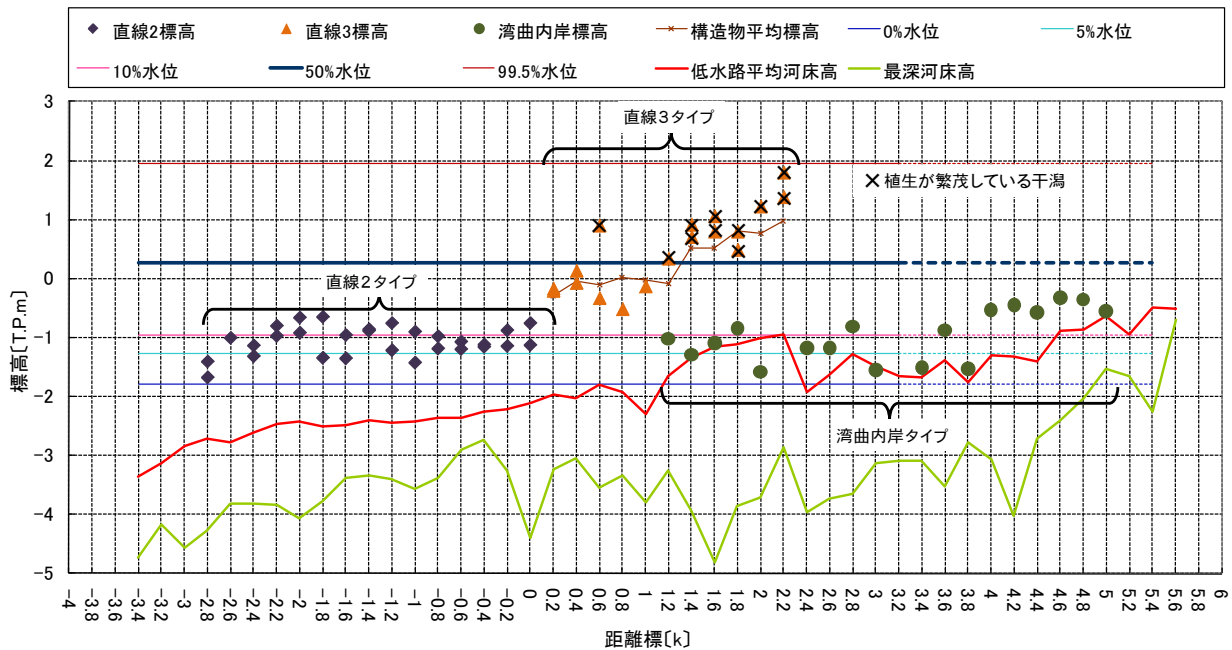


図-5 太田川放水路の干潟等の河床高

- ・ 図-5 からわかるように、直線3タイプの干潟は、敷石護岸の高さに沿った高さになっている。図-3 の 1.0 k のように、水際は勾配が急であるが、これは低水路の敷石護岸によるものである。横断形状を見ると、1972 年以降、敷石護岸から緊急河川敷道路の法尻にかけて干潟は安定しているが、図-3 の 1.8 k のように、植生が繁茂していない横断距離 40~50m 付近では侵食が起きている。植生が繁茂しているのは放水路ではこのタイプだけである。干潟の材料は粗砂から中砂が中心だが、地被状況等に応じてばらつきがある。
 - ・ 湾曲内岸タイプは低水路平均河床高より 50cm から 1m 程度の高さになっている。横断形状を見ると低水路部分の勾配の延長が干潟の部分の勾配となっている。干潟の材料は 1mm 程度の粗砂が中心でシルト以下はほとんどない。材料の地点によるばらつきは小さい。
- なお、1.6 k 付近左岸は、低水路の敷石護岸を境に 2 つのタイプが並存しており、高さや粒度組成が異なっていることが特徴となっている。

4. 太田川放水路における考えられる干潟安定機構

以上を踏まえて、太田川放水路の干潟の安定機構について、類型ごとに考察する。

(1) 直線2タイプ

放水路建設時の掘削形状が複断面で高水敷に相当する

箇所が潮間帯に位置していたため干潟化したと考えられる。直線3タイプに見られるような低水路護岸はないにも関わらず、2005年のような既往最大の出水後でも、あまり変化は見られない。図-3の-2.0 k は中でも比較的变化が大きかった断面であるが、それでも最大34cmの侵食に止まっている。

著者ら⁴⁾ が示したように、耐侵食力を付与する粘着性の存在がないとすると、平均年最大流量 (1,490m³/s程度) の洪水でも干潟を構成する材料は優位に移動してしまうことを勘案すると、耐侵食力や土砂動態のバランスが干潟の安定性に寄与していることが考えられる。そこで、干潟形状の安定的に維持されている要因として、耐侵食力を付与する粘着性の存在 (静的安定)、洪水時のフラッシュと浮遊土砂の供給 (動的安定1)、平常時の引き潮時の侵食と上げ潮時の堆積等潮汐による細粒土砂の堆積と侵食の均衡 (動的安定2)、参考文献2) の筑後川の事例のような、洪水時のフラッシュとその後の平常時の潮汐による細粒土砂の堆積 (動的安定3) が考えられた。2・3章で述べたような地形的特徴から推察すると、放水路が直線になっている当該干潟区間においても上流の蛇行による偏流の名残が見られ、洪水時の土砂の動態が干潟地形に影響している可能性がある。綿谷ら⁵⁾ は、太田川放水路右岸の-2.1 k 付近で砂面変動計を用いて2006年6月14日~10月7日の間の砂面変動の経日変化を測定し、この間の3回の増水の前前後で8~10cm砂面が低下したが、その後元の水準まで回復したことを観測している。また、川西ら⁶⁾ は、太田川放水路を対象に超音波ドップラーによる3ヶ月間浮遊砂泥の観測等を行い、潮の干満による浮遊土砂の正味移動量は上流に向いていることを示した。

本研究では、まず、先述の仮説の一つである耐侵食力を付与する粘着性の存在（静的安定）について検証すべく、干潟材料のサンプルの移動開始流量を測定し、それを摩擦速度に換算し、平常時の連続観測に基づく摩擦速度や平均年最大流量時の不等流計算による干潟上の摩擦速度と比較することとした。

直線2タイプの干潟材料の耐侵食力を把握するため、現地で河床材料を乱すことなく、サンプラーを用いて縦30cm×横15cm×深さ10cmで採取し、水路幅15cm×水路長2mの水路の中央部に採取した供試体を据え付け、一定時間（約10分間）通水し、表層が剥離したり砂等が全面的に掃流し始める移動開始流速を把握するとともに、通水後の侵食状況を記録した。なお、ここで流速は底面より3cm上で測定している。採取した地点は、①-0.2k左岸干潟水際、②-0.8k左岸干潟水際、③-2.0k左岸干潟水際、④-2.0k右岸干潟水際、⑤-2.2k右岸干潟中央部であり、あらかじめ粒度分析を行っている。その結果、移動開始流速は、それぞれ、51cm/s、50cm/s、47cm/s、41cm/s、40cm/sであった。流速分布が滑面での対数分布則で表されるとし、水温10℃として摩擦速度に換算すると、最大2.2cm/s、最小2.0cm/sとなる。シルト以下の含有率は、17.6%、19.3%、26.2%、13.2%、2.6%であった。

これらのうち、③、④については、2009年2月23日から3月10日の16日間にわたり10分間隔で底面から30cmの高さでの水温、流向流速、濁度の連続観測を行っている。この間の最大流速は、③については13cm/s程度で、④については40cm/s程度であった。流速が大きい④について、対数分布則に基づき摩擦速度を算出すると1.5cm/sとなり、水路での耐侵食力試験の移動開始流速41cm/sに対する摩擦速度2.0cm/sを下回っていた。今回の実験で対象とした供試体については、耐侵食力に大きなバラつきがなく、今回把握した連続観測での最大の外力を上回っていることから、少なくとも連続観測を行っていた期間については、流れに耐えられるだけの耐侵食力を有していると考えられる。

平均年最大流量を流した時の不等流計算結果によると、流速が最も小さくなる河口の潮位が朔望平均満潮位のケースでも、直線2タイプの干潟が存在する-2.8k~0.0kの間の干潟上の摩擦速度は最小でも3.7cm/sであり、移動限界の摩擦速度を大幅に上回っている。このことから、少なくとも平均年最大流量程度の出水では干潟は変動していると考えられ、先述の耐侵食力を付与する粘着性の存在により静的安定状態にあるという仮説の成立は困難と考えられる。

残る先述の動的安定仮説を検証するためには、出水前後の河床変動や土砂動態等について調査を行う必要があるが、2007年以降太田川放水路で出水がなく、検証に至っておらず、今後の課題である。

(2) 直線3タイプ

3章で述べたような干潟地形の変遷や敷石護岸の設置状況を踏まえると、以下のような機構で干潟が形成されていると推察できる。

・当該干潟区間では敷石護岸が設置され、その高さは他のタイプの干潟面より高いため、直線2タイプと比べて干潟が露出している時間が長くなる。これは直線3タイプのみ植生が繁茂している要因と考えられる。

・図-5に示すように、干出時間が年間の50%を越える干潟では植生が繁茂するようになり、植生による土砂の侵食防止効果により洪水時においても侵食が起きにくくなる。裸地の箇所では侵食が起きるところもあるが、敷石護岸により守られ、侵食し続けるところはない。

(3) 湾曲内岸タイプ

3章で述べたような地形的特徴や、現地の干潟と低水路の河床材料が類似していることから、二次流による土砂の横断方向の輸送が干潟形成の大きな要因となっていると推察できる。

5. おわりに

太田川放水路の地形の特徴とその変化特性を整理するとともに、放水路とその比較対象としての旧太田川の干潟の類型化とその特性を整理し、これらを踏まえて類型ごとに干潟の安定機構について考察を行った。このうち、直線2タイプの干潟については、安定機構に不明の点が多いことから、出水時の土砂動態や地形変化等の調査を行っていく所存である。

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，pp.12, 2008.
- 2) 横山勝英，山本浩一，一寸木朋也：筑後川感潮河道における地形・底質の季節変動に関する研究，海岸工学論文集，第53巻，pp.471-475, 2006.
- 3) 末次忠司，藤田光一，諏訪義雄，横山勝英：沖積河川の河口域における土砂動態と地形・底質変化に関する研究，国土技術政策総合研究所資料第32号，pp.147-163, 2002.
- 4) 佐藤泰夫，藤田光一，大沼克弘：太田川放水路における河川内干潟の河川工学的観点からの類型化，土木学会年次学術講演会講演概要集，第62巻II部門，pp.127-128, 2007.
- 5) 綿谷慎一，中野陽一，今井剛，中井智司，西嶋渉，岡田光正：太田川放水路における汽水干潟生態系に及ぼす増水の影響，環境工学研究論文集，第45巻，pp.59-64, 2008.
- 6) 川西澄，筒井孝典，中村智史，西牧均：太田川放水路における河川流量と潮位変動に伴う浮遊砂泥の輸送特性，水工学論文集，第49巻，pp.649-654, 2005.

(2009. 9. 30受付)