

強混合型河川感潮域での河岸ガタ土堆積と 水際植生管理に関する研究

STUDY ON MUD SEDIMENTATION AND VEGETATION MANAGEMENT OF RIVERBANK IN A WELL MIXED-TYPE TIDAL RIVER

山西博幸¹・白濱祐樹²・山下拡³・北岡嵩規⁴

濱邊竜一⁵・高瀬智⁶・山崎勉⁷

Hiroyuki YAMANISHI, Yuki SHIRAHAMA, Hiromu YAMASHITA, Kohki KITAOKA,
Ryuichi HAMABE, Akira TAKASE and Tsutomu YAMASAKI

¹正会員 博(工) 佐賀大学准教授 低平地沿岸海域研究センター(〒840-8502 佐賀市本庄町1)

²非会員 鹿島市役所(〒849-1391 鹿島市大字納富分2643-1)

³非会員 高崎総合コンサルタント(〒839-0809 久留米市東合川3-7-5)

⁴正会員 中島工業(株)(〒532-0011 大阪市淀川区西中島1-9-20)

⁵非会員 国土交通省九州地方整備局企画部企画課(〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-10-7)

⁶非会員 国土交通省九州地方整備局山国川河川事務所管理課(〒871-0026 中津市高瀬1851-2)

⁷非会員 工修 国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所調査課(〒843-0023 武雄市武雄町昭和745)

The Rokkaku river basin faces to the Ariake bay where the maximum tidal range is about 5m at the river mouth. This estuary is characterized by well mixed tidal area and suspended matters are usually transported by tidal dynamics. Sediment transport induces shoaling of river channel, thus it is important to maintain the cross-section of river for reducing the damage of flooding. In addition, mud sedimentation might be some possibility of accelerating the growth of *Phragmites communis* and vice versa.

In this study, the behaviors of cohesive sediment and the growth of *Phragmites communis* on the banks of river were investigated in the Ushizu river. As a result, it was shown that mud sedimentation was accelerated over the average water level, and the growth rate of *Phragmites communis* and the network structures of the underground stem were measured. The interaction between siltation and vegetation close to the edge of water in the river bank is highlighted, and an idea of vegetation control is suggested.

Key Words : Ushizu river, Field survey, Tidal river, Mud transport, SS Flux, *Phragmites communis*

1. はじめに

強混合型感潮河川である佐賀県六角川水系では、粘着性を有する微細粒子からなるガタ土が河道内に大量に堆積するため、河道断面確保に苦慮している。また、流路河岸にはガタ土とともにヨシが広域にわたって繁茂している。いずれも河道断面の狭小化や流水能の低下を引き起こすものとして、常に河川管理者の課題となっている。

本研究は、河川管理上、必要な治水と環境に配慮しながら、六角川水系の河道管理で特に重要な感潮区間のガタ土堆積とその進行に伴うヨシの植生状況を把握し、適切な河道断面確保と河川生態系維持を実現するため、環境生態工学の視点から新たな方策の提案を目指すことを最終目的としている。具体的には、牛津川感潮域河岸部

を対象としたガタ土堆積のモニタリングとその堆積メカニズムの解明を進め、ガタ土堆積と連鎖しながら繁茂するヨシの植生調査からその生長特性を把握し、適正な植生管理についての考え方をまとめることにある。

ここでは、これらの目的を達成するための取りかかりとして、①ガタ土の長期モニタリング、②河岸ガタ土斜面上での懸濁物輸送調査、③ヨシの植生繁茂の長期モニタリング、といった一連の調査を実施した。また、これらの結果から、④河道断面維持のためのガタ土堆積抑制策と適正な植生管理に向けた一方策の提案を行った。有明海に河口を持つ河川には、六角川水系同様にガタ土堆積による河道管理上の課題を抱える河川が多数存在するため、本研究における成果は六角川水系のみならず、広く他河川においても有用な情報を提供し、かつ活用が可能と考えられる。

2. 調査方法

(1) 傾斜ガタ土面の長期変動に関する調査

図-1は有明海湾奥部に位置する六角川水系牛津川0～7km地点の平面図である。牛津川の感潮域は約12kmで、その流路河岸は主としてガタ土とヨシ群落からなっている。ガタ土の長期堆積モニタリングはこの感潮区間にある4k500m地点で実施した（図-1中の★印地点）。ガタ土面の高さ変化量の測定には現地に固定した標尺を用い、これを4k500m地点の左岸ガタ土斜面上に設置した（図-2参照）。標尺は4k500mを中心に岸側から流心側に5m間隔でP1～P5の測点を設け、また流れ方向±5mにも同様の測線を定め、計3測線（L1～L3）とし、標尺設置は計15地点となった。2010年5月26日に標尺を設置し、標尺の読み取りは、大潮前後でガタ土が干出した後速やかに読み取るようにした。なお、標尺周りの洗掘の影響を避けるため、読み取り時は周辺ガタ土面を延長して読み取った。

(2) 傾斜ガタ土面上の流れとSSの挙動に関する現地実験

河道内のガタ土堆積は、平常時の影響や出水等によるイベント時の影響が加味された結果として変化する。したがって、各イベント下でのガタ土堆積の効果を評価するには、その現象前後を含めたモニタリングが有用である。例えば、年間を通したガタ土堆積は、標尺の読みによってこれを演繹的に知ることができる（前節の調査がこれに当たる）。一方、対象域は大潮～小潮～大潮といった半月周期の変化とともに、満潮～干潮～満潮といった半日周期の水面変動の特徴を有し、これらのガタ土堆積への寄与を明らかにする必要もある。ここでは、ガタ土面上を日々流動する浮泥や懸濁物の挙動特性の理解を第一義とした。また、ここでの結果は平常時でのガタ土堆積メカニズムの理解とその後のモデル構築・検証に引き続くと考えた。

調査地点はガタ土堆積の長期モニタリングと同じ地点とした。また、同地点に図-3で示すように水位計（旧アレック電子社製、COMPACT-TD）、流速計（旧アレック電子社製、COMPACT-EM）及びクロロフィル・濁度計（旧アレック電子社製、COMPACT-CLW）を設置した。水位計の測定間隔は1分毎、流速計及び濁度計のそれは2分毎としてデータを収集するよう設定した。なお、調査期間を2011年1月19日～27日（大潮～小潮）とした。

(3) 河岸ヨシ群落の分布調査

河岸におけるヨシ群落の長期的な生長とその分布特性を明らかにするため、対象区間25mごとにヨシの植生密度を河岸横断方向に測定した。測定には0.5m×0.5m(=0.25m²)のコドラートを用い、コドラート内のヨシの地上茎(葉茎)の本数を計測した。また、測定より算出された植生密度を所定の階層に区分し、これらの経月

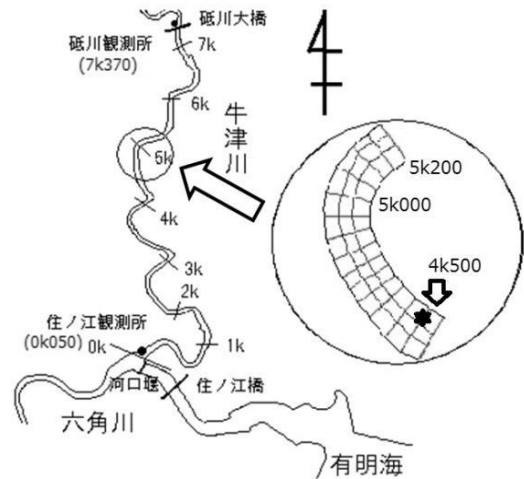


図-1 調査対象地点

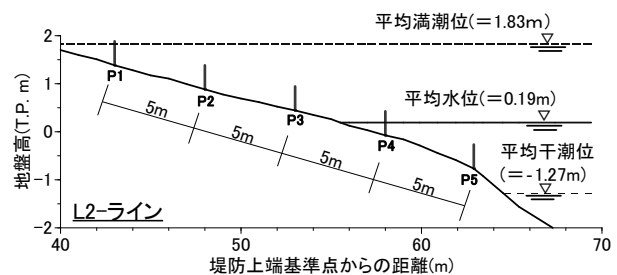


図-2 調査地点のガタ土地形と標尺設置状況

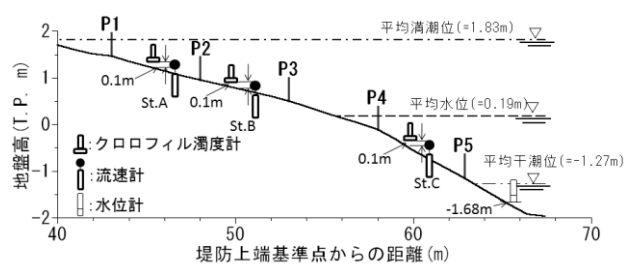


図-3 各種センサー設置場所(L2-line)



写-1 開削状況と各種測定風景 (2010. 11. 30)

変化やヨシ群落面積の拡大速度等を算出した。さらに、対象区間50mごとにヨシの地表面からの高さを定期的に測定した。植生分布調査は2010年6月から2011年1月まで毎月実施した。そのほか、2010年11月30日(小潮)には、4k475m左岸のヨシ群落の水際端から堤防側へ15mにわ

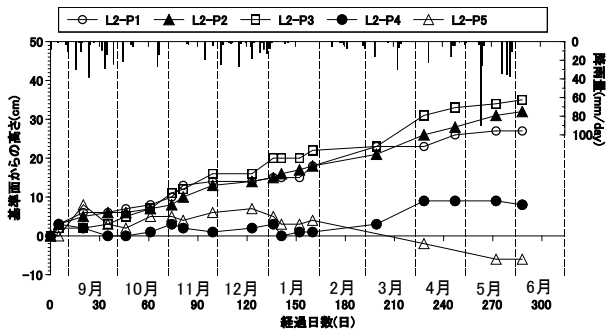


図-4 L2-lineのガタ土面堆積高さの長期変化
(2010. 8. 20-2011. 6. 8)

たつて、幅1m、深さ1.5m程度を重機で掘削し、ヨシの根入れ深さやその分布状況を観察した（写-1参照）。

3. 調査結果及び考察

(1) 牛津川ガタ土の長期変動特性について

図-4は4k500m地点の測線L2における測点（P1～P5）毎のガタ土面の標高変化を示したものである。当初、2010年5月26日をガタ土基準面としてモニタリングを開始したものの、観測期間中、降水量の増大した洪水期に多くの標尺が流出したため、改めて2010年8月20日に標尺を設置し直している。そのため、図-4は再設置後の変化を示している。図より、2010年8月から2011年6月のモニタリング期間中、標尺の設置場所の違いによって、その堆積速度に異なる傾向が観察された。その変化傾向は明瞭で、年平均水位（ここでは、2009年6月から2010年5月の年平均とした）を境に、地盤高が高くなると堆積傾向で、その逆では平衡あるいは減少傾向にあることがわかる。冠水時間の観点からすれば、地盤高のより高い地点ほど滞留時間は短いため、水中懸濁物の沈積総量は少なくなると考えられる。しかしながら、本調査結果ではその逆の結果となった。すなわち、上げ潮から下げ潮に転じる憩流期に水際で高濃度の懸濁物がガタ土斜面上に沈積したものと考えられる。本結果は後述のセンサーによるSS輸送特性とも合致する。なお、測線L1～L3での年平均水位を境としたガタ土堆積速度は、岸側で+1.0～+1.5mm/day、流心側で-0.2～-0.1mm/dayであった。

図-5は、標尺の読みからガタ土面の長期的な変動を示したものである。図より、ここでも年平均水位よりも高い位置でのガタ土堆積が読み取れる。一方、平均水位以下でのガタ土堆積はさほど進んでおらず、むしろ流心側ではやや低下する傾向にあり、流れによるガタ土堆積の抑制と洗掘が生じると言える。

(2) 傾斜ガタ土面上の流れとSSの挙動に関する現地実験

図-6は、調査③（2011年1月19日～27日、大潮～小潮）においてガタ土斜面上に設置した各種センサーより

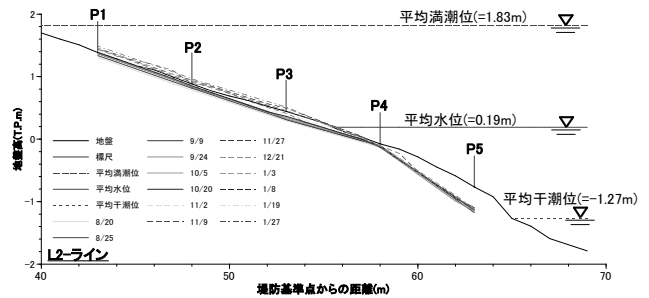


図-5 ガタ土面の変化（L2測線、2010. 8. 20-2011. 1. 27）

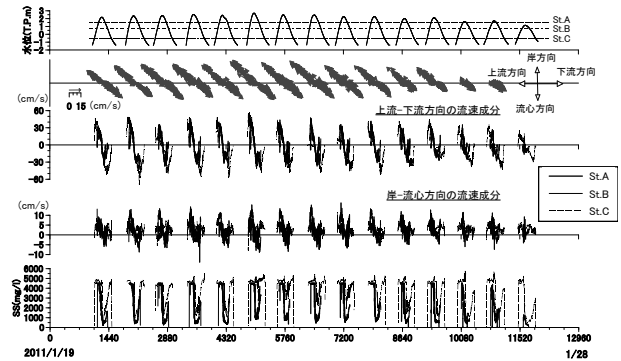


図-6 水位、流向・流速および各測点でのSSの変動特性
(2011. 1. 19-1. 27)

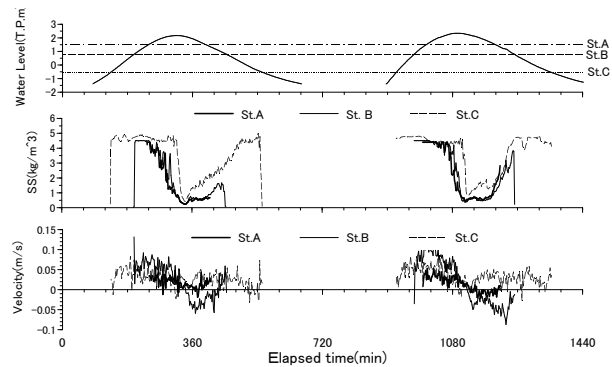


図-7 水位、SSおよび岸一流心方向の流速変動
(2011. 1. 19, 16:00～2011. 1. 20, 16:00)

得られたデータのうち、水位、流向、流速（上流～下流方向成分と岸～流心方向成分）およびSSの長期変動で、このうち、水位、SSおよび岸～流心方向の流速成分（岸方向を正）の一部を示したものが図-7である。両図より、斜面上の流れが上げ潮・下げ潮で斜め方向に入退する流向状況、上げ潮・下げ潮での流れ場の非対称性、憩流時前後での急激なSS低下が観測された。

図-8は、(a)斜面上での測定位置と各水位関係、(b)観測水位とともに岸に対して垂直な方向のSSフラックス成分（岸側を正）と(c)岸に対して平行なSSフラックス成分（上流側を正）の時系列変化である。また、岸に対して垂直な方向については、各センサー設置断面間の正味のSSフラックスを算出した。図-8(b)の斜面各測点でのSSフラックスから河岸方向に向かう正味のSSフラックスが観測された。特に、St.B地点での値が大きく、結果と

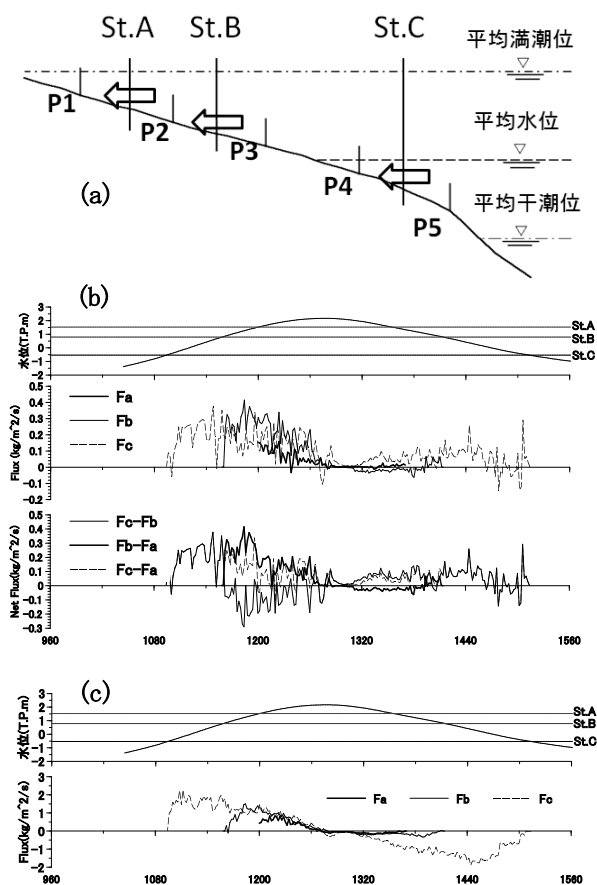


図-8 (a) センサー設置位置, (b)は岸に垂直な方向のSSフラックス, (c)は岸に平行な方向のSSフラックス(2011. 1. 19, 16:00~1. 20, 2:00)

して岸側部分に懸濁物が堆積し, St. B~St. C間は堆積しにくい状況にあると言える. 図-8(c)は岸に平行なSS輸送成分の時系列変化で, 水位上昇とともに各測点で順次SSが輸送され, そのSSフラックス量は岸に対して垂直な方向成分よりも1オーダー大きいものの, いずれの測点もほぼ同じであった. しかし, 水位が下降に転じると水際のSS輸送は急激に減少し, 地盤高の低いSt. Cのみが上げ潮と同程度のオーダーで下流側に輸送されていた. これら一連の結果は, 上げ潮時に大量の懸濁物が岸側に輸送され, 流速減衰が生じる転流時に懸濁物が岸側に沈積することを意味しており, ガタ土堆積が汀線・水際側で促進されるという前節での実測結果とも一致する. つまり, 汀線・水際を基点とした懸濁物の沈積促進と流心方向へのガタ土堆積進行を裏付ける結果といえる. ガタ土堆積の流心方向への進行は, 後述するヨシの水際生息境界端の拡大助長とともに大きく関係することが予想される.

(3) ヨシ群落の分布状況とその季節変化

図-9~11は, 2010年6月2日, 8月18日, 10月19日の4k550m~4k700m区間におけるヨシ群落の繁茂状況を密度

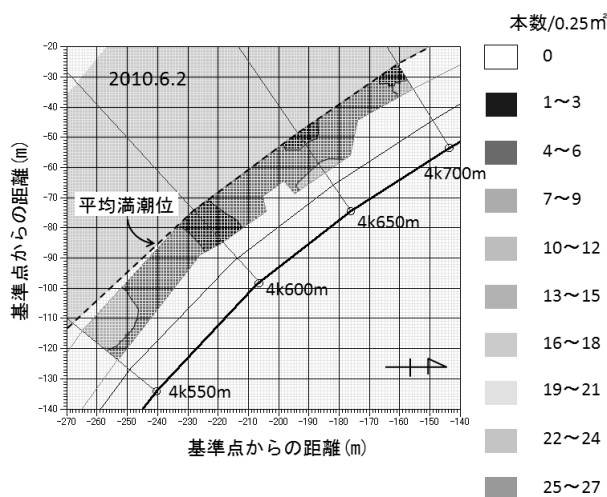


図-9 4k550m~4k700mの植生分布(6月2日)

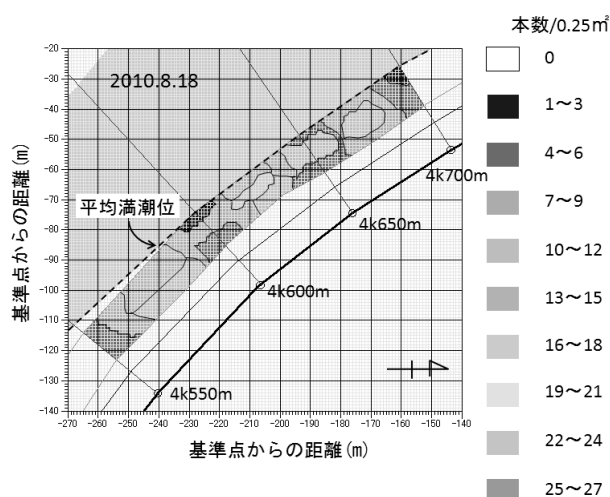


図-10 4k550m~4k700mの植生分布(8月18日)

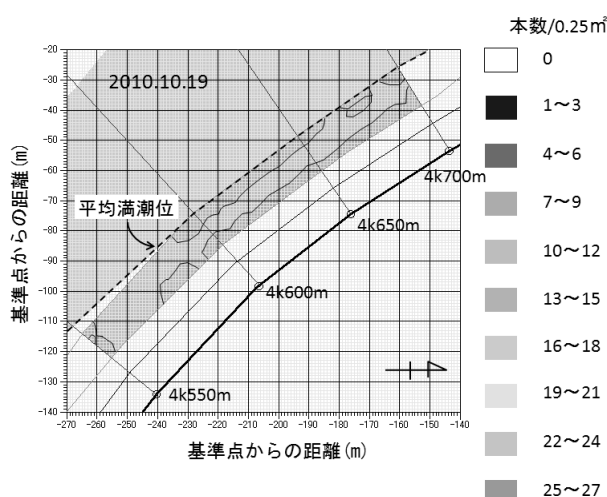


図-11 4k550m~4k700mの植生分布(10月19日)

分布として示したものである. 調査当初, ヨシの背丈は1m弱程度で, その密度は4~6(本/0.25m²)前後の階層区分が最も多かった. その後, ヨシの生長とともに河岸平面内のヨシの分布は平均満潮位を水際端として, 堤防側及び流路縦断方向に生長進行していることがわかる. そ

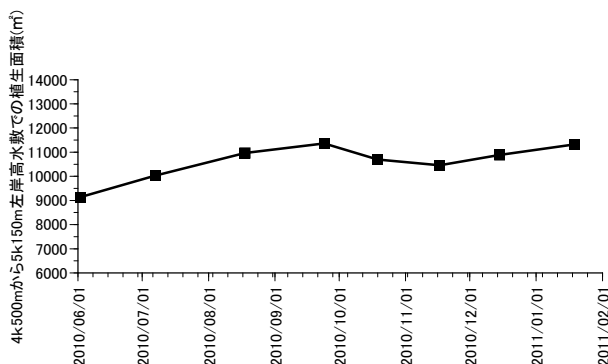


図-12 4k500～5k150左岸での植生面積の経月変化

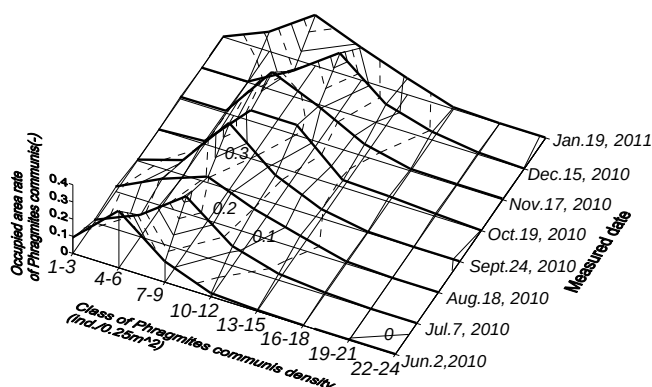


図-13 植生密度の階層化に対する植生繁茂率の分布とその経月変化 (2010. 6～2011. 1)

の拡大速度は、季節、土壌環境および高水敷の境界条件に依存するものの、今回の対象区4k500m～5k150m左岸の6～9月のヨシの成長期で $19.8\text{m}^2/\text{day}$ となった(図-12参照)。また、測定期間内で鉛直地下茎から伸びる葉茎の最大密度は24本/ 0.25m^2 であった。なお、ヨシが全く繁茂していない部分は河岸ガタ土掘削工事時に行われた地盤改良土の残土や砂利敷設による地盤強度の増加、あるいはpHの上昇等でヨシの生長が阻害されていたと思われる。

図-13は、4k500m～5k150m左岸における植生繁茂率(=各階層密度の占める面積/対象域面積)を植生密度階層の分布として表記し、これを経月的に示したものである。図より、植生繁茂率は植生密度の階層に沿った二項分布または最も多い階層を中心とした正規分布に近似される曲線を示す。そして、時間の経過とともにそのピーク値とニッチ幅を増減させながら遷移し、9～10月頃にほぼ密度分布は一定となる傾向を示した。その後、穂の生長と立ち枯れを経由し、最大密度はやや低下し、ニッチ幅も小さく最適密度の周りに収束していく様子を示した。これらは、牛津川感潮域河岸部に繁茂するヨシ群落の季節的な生長過程の特徴の1つと言える。

図-14は対象全域の植生密度と葉茎高の経月変化を示している。図より、植生密度は9～10月頃まで増加し、 $0.0481(\text{本}/0.25\text{m}^2/\text{日})$ の速度であった。また、平衡時の

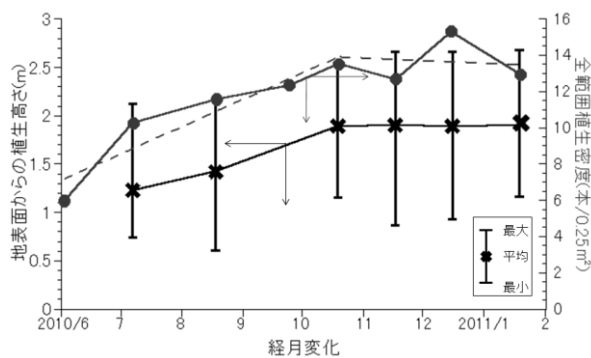
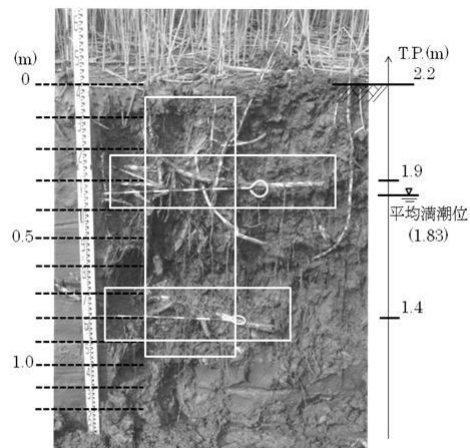


図-14 ヨシ葉茎高さ及び全範囲植生密度の経月変化 (2010. 6～2011. 1)



写-2 水平地下茎の階層化状況 (2010. 11. 30)

植生密度は13～14(本/ 0.25m^2)と推定される。さらに、葉茎高は月を追うごとに増していたが、その平均値は10月で1.9mに到達したのち、ほぼ一定となった。これらの結果より、牛津川におけるヨシは、10月頃までその葉茎高を生長させ、それ以降は葉茎の生長がほぼ終了することがわかる。その後、ヨシは先端に穂を形成し、種子を飛散させ、光合成生産物の地下茎輸送と貯蔵及び新地下茎形成に移行すると考えられる¹⁾。

(4) ヨシの地下茎分布特性

写-2は、ヨシ群落端水際から5m堤防側におけるヨシ地上部と地下茎分布の階層化状況を撮影したものである。写真よりFiala²⁾のヨシ生長モデルでイメージされたように、地下茎の枝分かれや水平地下茎の分布状況が確認される。すなわち、地上部のヨシの葉茎は鉛直地下茎から枝分かれによって派生した地下茎よりなり、前項のヨシの密度はこれらを計測していることになる。また、1つの鉛直地下茎からの群落とは別の群落が鉛直方向の階層構造で形成される。写真より第一層の水平地下茎が地表面下0.3m(1.90T.P.m)付近に、第二層が0.8m(1.40T.P.m)付近となることが確認される。平均水位が0.19T.P.m、平均満潮位が1.83T.P.mであることから、第一層は、ほぼ平均満潮位あたりとなる。これはWeisner and Strand³⁾が求めた地下茎深さと湛水深の関

係から得られる値 (0.75m) よりも浅く、少なくとも牛津川河岸ガタ土に繁茂するヨシの根入れ深さ (第一水平地下茎の位置) とは一致しない。このことは、ヨシの水平地下茎が単に湛水深のみで表し得ず、図-9~11の結果として導かれたヨシの生息する水際端と地下水位 (土壤水分) 関係も含め、ヨシの生長に関与した土壤環境 (保水能、土の強度および栄養素の状況等) を加味する必要があるといえよう。なお、地下茎と土壤環境との相互関係については、現在、調査・分析過程にあり、現状で地下茎との関係性を一義的に表記するまでには至っておらず、今後の課題としたい。いずれにせよ、ヨシの生長には地下茎の果たす役割は大きく、この制御がヨシの植生管理を考える際のポイントと言える。

4. まとめ

(1) ガタ土掘削前後における河道断面形状の変化とガタ土堆積の長期モニタリング

- a) 長期にわたるガタ土堆積のモニタリングより、平均水位を境に岸側で堆積傾向、流心側でわずかに堆積もしくは洗掘傾向で、年平均水位を境としたガタ土堆積速度は、岸側で+1.0~+1.5mm/day、流心側で-0.2~-0.1mm/dayであった。
- b) 河岸斜面上での流れ場とSSの測定から、上げ潮・下げ潮での流れ場の非対称性や転流時前後での急激なSS低下などを明らかにした。
- c) 斜面各測点間でのSSフラックスを算出し、河岸方向に向かう正味のSSフラックスを求め、転流・憩流時に地盤高の高い地点の水際で高濃度の懸濁物が集積・沈降しやすくなっているとの仮説を導いた (図-15参照)。一連の調査結果は、ガタ土面上での懸濁物の挙動を明らかにするとともに、ガタ土堆積モデル構築の上で重要な知見となった。

(2) ガタ土堆積に伴う植生分布の進行と変遷に関する長期モニタリング

- a) ヨシの繁茂域は、平均満潮位を水際端として広く高水敷で生長した。ただし、土壤改良を実施した場所では、ヨシの生長が阻害されていた。
- b) ヨシの植生密度は、9~10月頃まで生長し、平衡時の植生密度は13~14(本/0.25m²)で、その生長速度は0.0481(本/0.25m²/day)であった。
- c) 牛津川のヨシ群落の植生密度は、10月以降やや低下しながら、地下茎形成に移行すると考えられる。
- d) ヨシの地下茎は、ガタ土内に鉛直方向に階層化されたネットワークを形成し、第一層の水平地下茎は0.3m、第二層は0.8mであった。なお、地下茎分布調査より、ヨシ

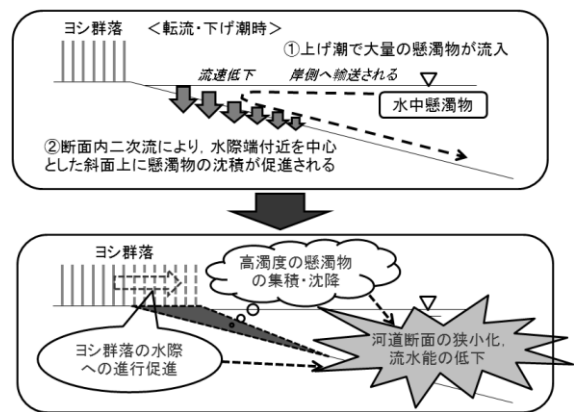


図-15 調査結果に基づくガタ土堆積のメカニズムのイメージ

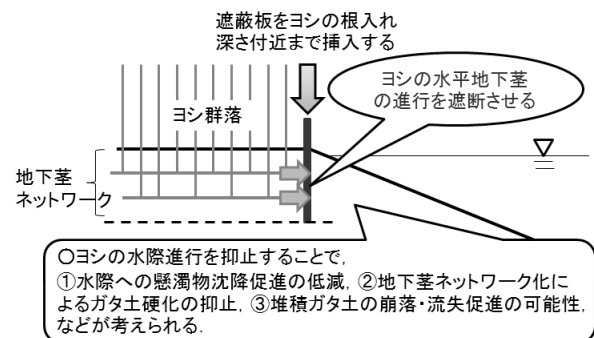


図-16 ヨシの進行抑制策一案とその効果の予想

群落の生長を制御する1つの方策として、ヨシの根入れ深さを考慮した河岸管理として図-16のような試みも考えられよう。

謝辞：本研究は、平成22年度国土交通省河川技術開発制度 (地域課題分野) および平成22年度河川整備基金の助成のもとで実施されたものである。また現地調査の計画実施に対し、武雄河川事務所調査課、工務課および牛津出張所を中心とした関係者に多大な便宜とご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Haslam, S.M.: The development of shoots in *Phragmites communis*, Trinn. Bot., 33, pp.695-709, 1969.
- 2) Fialak: Underground Organs of *Phragmites australis*, their growth, biomass and net production, *Folia Geobot. Phytotax*, Vol.11, pp.225-259, 1976.
- 3) Weisner, S.E.B. and Strand, J.A.: Rhizome architecture in *Phragmites australis* in relation to water depth: Implications for within-plant oxygen transport distances, *Folia Geobot. Phytotax*, Vol.31, pp.91-97, 1996.

(2011. 5. 19 受付)