

ヨシの生長とガタ土堆積の相互作用 およびヨシ生長抑制策の効果

INTERACTION OF *PHRAGMITES AUSTRALIS* AND MUD SEDIMENTATION AND THE EFFECT OF MEASURES TO CURB THE SPREAD

山西博幸¹・山下周平²・中村祐介³・成清嘉隆⁴

佐藤博志⁵・高木耕太郎⁶・川崎裕之⁷

YAMANISHI Hiroyuki, YAMASHITA Shuhei, NAKAMURA Yusuke, NARIKIYO Kazutaka,
SATO Hiroshi, TAKAGI Kotaro and KAWASAKI Hiroyuki

¹正会員 博(工) 佐賀大学教授 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 (株)エイ・ネット(〒135-8332 東京都江東区新大橋1-1-11)

³非会員 筑後市役所(〒833-0031 福岡県筑後市山ノ井898)

⁴非会員 航空自衛隊(〒630-8001 奈良市法華寺町1578)

⁵非会員 国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所(〒843-0023 武雄市武雄町昭745)

⁶非会員 国土交通省九州地方整備局建政部都市住宅整備課(〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-10-7)

⁷非会員 国土交通省九州地方整備局川辺川ダム砂防事務所(〒868-0095 球磨郡相良村大字柳瀬3317)

The Ushizu river is a well mixed type and the upper tidal distance is approximately 12km from the river mouth. Mud sedimentation and the spread of *Phragmites australis* in the river bank form original scenery. However, they cause a river cross-section closure and the capacity degradation of river flowing.

This study is to clarify the characteristic growth of *P. australis* in the long term, the relation of habitat of *P. australis* and sedimentation, the trap of suspended matters and the effect of the shield plate that has an inhibiting effect on growth. As a result, the relationship between the waterside progress of *P. australis* and mud sedimentation is shown. Also, sedimentation is caused near the group edge of *P. australis*. In addition, the density of *P. australis* increased by cutting of it. This means that the cutting may cause more spread of *P. australis*. Finally, a new vegetation system to control the spreading of *P. australis* was suggested.

Key Words: Tidal river, Shield plate, Settling flux, *Phragmites australis*, Vegetation control

1. はじめに

佐賀県六角川水系牛津川は、河口から約12kmに及ぶ感潮区間を有する強混合型の河川となっている。また、河岸部のガタ土堆積と高水敷上に繁茂するヨシ群落は、本河川の原因風景を形成する一方で、河道断面狭小化と流水能低下を引き起こす。とくに、高水敷に繁茂するヨシを主体とする植生は、平水時にはその繁茂域を拡大させ、洪水時には流水抵抗として流れの構造を変化させ、外水氾濫を誘引するものとして常に河川管理者の課題となっている。著者らは過去2年、同水域でのガタ土堆積調査により、河岸部でのガタ土の堆積特性として、平均水位から平均満潮位にかけての潮間帯がガタ土堆積のhot spotであることやここでの浮泥流動の重要性を指摘してきた^{1), 2)}。また、ガタ土堆積とともにヨシの水際への進行を示唆するとともに、ヨシ群落の空間的な拡大・縮小

に関する数理モデルを構築し、現場データとの比較検討を行った³⁾。その際、水際境界変化によるヨシ群落の密度変化を予測し、その生育限界長さ等を明らかにした。さらに、地下茎を主体とする栄養繁殖のヨシの特徴に基づき、地下茎遮蔽板による生長抑制の実証実験を実施した²⁾。本研究では、3年間にわたるヨシの植生調査を中心に、①長期的なヨシの生長特性、②ヨシ群落端の水際での挙動とガタ土堆積との関係、③ヨシ繁茂による懸濁物捕捉効果、および④遮蔽板によるヨシの生長抑制効果と地盤内環境、について検討した。また、これらの結果から高水敷におけるヨシの植生管理の一提案を行った。

2. 調査方法

(1) 河岸ヨシ群落の生長とガタ土堆積に関する調査

本研究の対象域は、牛津川河口より4.5km～5.15kmの左岸で2010年度から継続的に調査を実施している。なお、

本区間は2009年度末に流水能維持のための河道掘削とヨシの刈取り、2012年1月にもヨシの刈取りが行われた。

a) ヨシの植生調査

調査方法は過去の手法¹⁾と同様で、対象区間左岸から堤防沿いに上流側へ50mおきに測線を設定し、横断方向に4,5か所測定するライン・トランセクト法によって植生密度を求めた。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、葉茎径、高さを計測するとともに、ヨシ群落の水際端までの距離を測定した。また、前年度に繁茂していたもの(旧ヨシ)と調査開始後に発芽したもの(新ヨシ)を区別して計測した。

b) ヨシ水際端とガタ土堆積調査

ここでは、ガタ土堆積とともに、ヨシ群落の水際端がどのようにに生長進行するかについて検討するため、4.5km左岸と5.0km左岸地点のヨシ水際端の位置とガタ土斜面形状を定期的に測定した。また、5.0km地点では定期的に高所から写真撮影することで、ヨシの水際端の変遷を観察した。

c) ヨシ繁茂域内外の懸濁物捕捉量調査

高水敷上に繁茂するヨシ群落による懸濁物質の捕捉効果を検討するため、4.5km左岸部の水際からヨシ群落内数ヶ所にセジメントトラップ(内径:69mm, 全長620mm)を図-1のように設置した。また、セジメントトラップの開口部は地盤面に合わせた。さらに、水位計データよりセジメントトラップの開口面の冠水時間を求めた。なお、水位計の測定間隔は1分とした。調査は、2012年12月14日~15日(大潮)に実施された。設置期間は2潮汐とし、セジメントトラップ内の懸濁物量を計測し、これを設置開口部の地盤高に応じた冠水時間と開口面積で除することでSS沈降フラックスとした。また、セジメントトラップ内にはあらかじめ、0.45μmのメンブランフィルターでろ過した現地河川水を満たし、上層水からの沈降量を評価できるよう、工夫した。なお、植生の有無による比較検討のため、ヨシ刈り取り域にも同様にセジメントトラップを設置した(図-1参照)。

(2) 遮蔽板によるヨシ群落の拡大抑制効果の検証

a) ヨシの生長モニタリング

遮蔽板によるヨシ群落の拡大抑制を評価する上で、ヨシの生長を評価する必要もあり、前節同様、ヨシの生長をモニタリングした。対象とするモニタリング域は、2011年3月にガタ土掘削と高水敷のヨシの刈り取りが行われた牛津川河口から4.0~4.5km左岸域とした。本調査域は前節の調査域と連続した区間となっている。調査期間は2012年4月から12月までで、この間に毎月1回調査を実施した。

b) ヨシの生長抑制策と地盤環境調査

栄養繁殖するヨシにとって地下茎の果たす役割は大きい。すでにヨシ地下茎の進行を抑制するため、2011年2

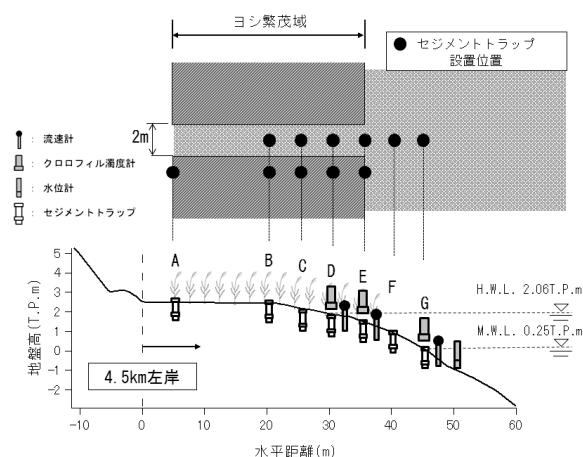


図-1 セジメントトラップと各種センサーの設置位置
(2012. 12. 14~15, 大潮)

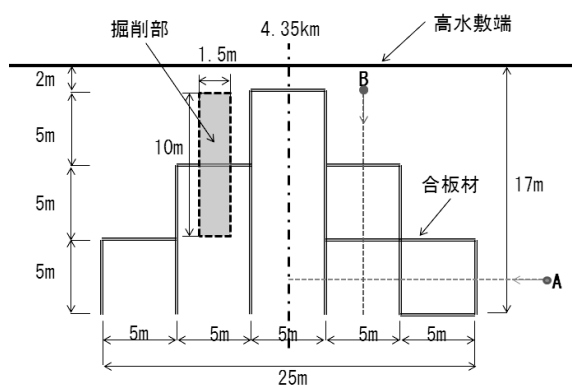


図-2 遮蔽板施工区と掘削地点の概略図

月24日に牛津川4.35km左岸高水敷にて、地表から1.2m深さまで挿入した合板材による実証試験区²⁾が施工されており(図-2参照)、今回この一部を撤去し、ヨシの地下茎の生長状況を観察した。用いた合板材は一般にコンクリート型枠(厚み12mm)に用いるものである。

掘削調査は、2012年11月6日に行われ、遮蔽板周辺のガタ土が掘削された。掘削場所は図-2中の点線で囲った部分で、幅1.5m、長さ10mにわたって深さ1.5m程を重機にて掘削し、ヨシの根入れ深さやその分布状況を観察した。また、掘削横断面2.5m毎に鉛直方向(20cm毎)の土壌温度、塩分、pH、ORPを測定した。また同時に同地点の土試料を採取し、持ち帰った試料から含水比、強熱減量、COD、AVS、全窒素(T-N)、アンモニア態窒素(NH₃-N)、亜硝酸態窒素(NO₂⁻-N)、硝酸態窒素(NO₃⁻-N)、全リン(T-P)、リン酸態リン(PO₄³⁻-P)を測定した。

3. 調査結果及び考察

(1) 河岸ヨシ群落の生長とガタ土堆積との相互作用について

a) ヨシの植生密度変化と経年特性

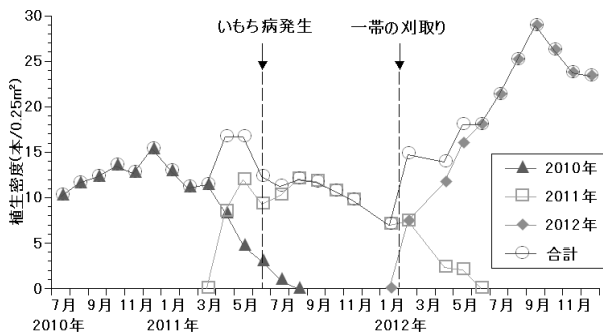


図-3 牛津川4.5km～5.15km左岸部における植生密度の経月変化 (2010.7～2012.12)

図-3は、測定対象域 (4.5km～5.15km) の植生密度を単純平均した値を過去のデータも含めて経月的に示したものである。図より、ヨシの植生密度は、概して9～10月にピークを迎え、その後減少し、6～8月にかけて消失する。また、1～3月に新芽が徐々に生長するため、生ヨシと枯れヨシが混在する期間は全体としての植生密度が高くなる。なお、2011年はヨシ生長期に「いもち病」が蔓延し、ヨシの植生密度がやや低下した。2012年1月には、調査域のヨシの大半が刈り取られ、さらに植生密度の減少も考えられた。しかし、むしろ4月以降の生長は顕著で9月に平均植生密度29 本/0.25㎡を観測し、過去2年の最大植生密度の2倍近くまでに及んだ。このことは、ヨシ地上茎の刈り取りが地下茎ストレス、あるいは地上茎密度の制約緩和を引き起こしたこと等が考えられ、ヨシ根茎部での植物ホルモンの生理作用を含めた考察が今後必要と思われる。

図-4は、測定対象域 (4.5km～5.15km) におけるヨシの地上茎高さの平均値を経月的に示したものである。図より、ヨシの地上茎高さは、2011年で9～10月に、2012年で11～12月にピークを迎え、その後やや低下した。また、ヨシの地上茎高さは、2012年1月に刈取りされた4月以降、顕著に背丈を伸ばし、2011年の地上茎平均高159cmと比較し、2012年6月～12月までの地上茎平均高は190cmであった。ただし、9月以降の平均的な高さには明瞭な差異は見られなかった。

図-5は、測定対象域 (4.5km～5.15km) におけるヨシの葉茎径の平均値を経月的に示したものである。図より葉茎径は8月頃にピークを迎え、2011、2012年ともに最大0.55cmであった。なお、植生密度や地上茎高さでは見られた刈取り後の生長増大の様子は確認できなかった。

図-6は、調査対象とした4.5km～5.15km左岸に繁茂するヨシの総質量を示したものである。なお、ヨシの総質量を算出するにあたり、ヨシの生長のピークとされる9月までのヨシを生ヨシ、それ以降を枯れヨシとした。また、それぞれヨシ1本当たりの密度を実測から生ヨシ0.94 g/cm³、枯れヨシ0.72 g/cm³とした。さらに、ヨシ地上茎の平均径、高さおよび植生密度を図-3～6に基づいて算出した。図より、ヨシの総質量は、2012年1月のヨシ刈り取り後に急激に増加していることが分かる。一方で、

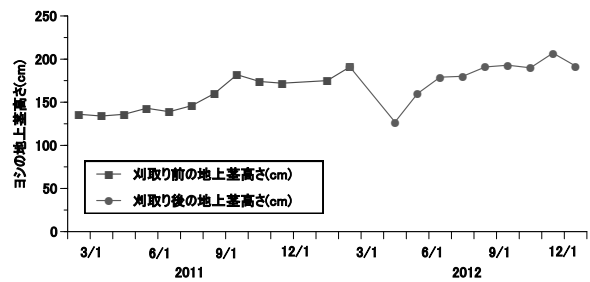


図-4 地上茎高さの経月変化 (2011.2～2012.12)

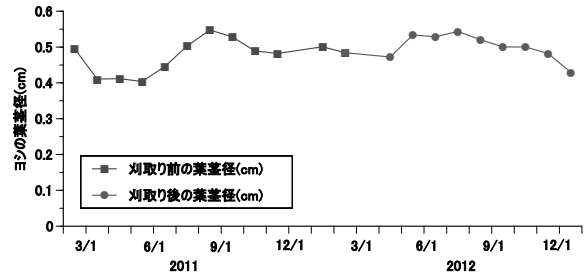


図-5 葉茎径の経月変化 (2011.2～2012.12)

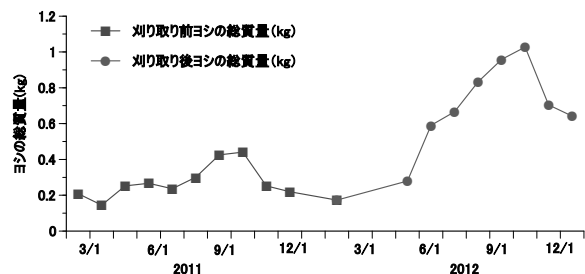


図-6 牛津川4.5km～5.15km左岸部におけるヨシの総質量の経月変化 (2011.2～2012.12)

ヨシ地上茎の平均径と平均高さは刈り取りの有無によって大きな変化はなかったため、この結果はヨシの植生密度に大きく依存すると言える。すなわち、本結果は、定期的なヨシの刈り取りがもたらす有効性とそのトレードオフの関係を示すものであり、高水敷の植生管理を考える上でも重要な結果と言える。

b) ガタ土の堆積とヨシの進行について

図-7は5.0km左岸地点におけるヨシ群落端の水際への移動距離を示したものである。図より、測定を開始した2011年4月の基準点から更に水際への移動が観測され、2011、2012年ともに10月にヨシ群落の水際への進行が最大となっている。10月以降はヨシ地上茎の生長も低下し、

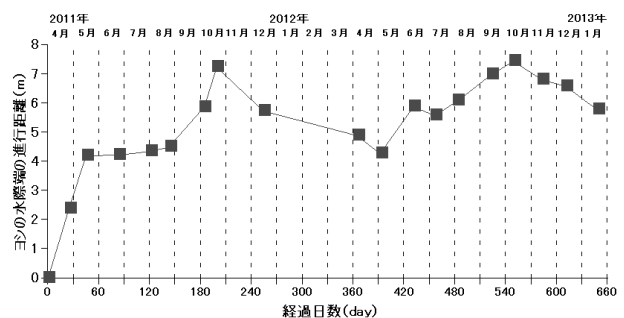


図-7 牛津川5.0km左岸部におけるヨシ群落水際端部の経時変化 (2011.4～2013.1)

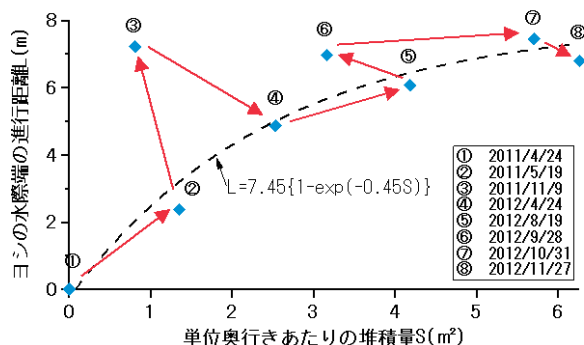


図-8 牛津川5.0km左岸部におけるガタ土堆積とヨシ水際端の進行距離との関係 (2011.4～2012.11)

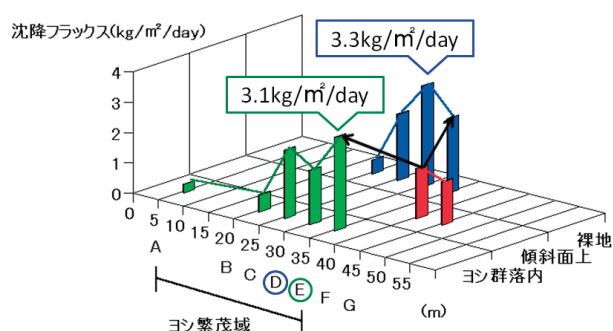


図-9 牛津川4.5km左岸部におけるSS沈降フラックスの測定結果 (2012.12.14～15)

枯れヨシの増加とともに、水際の枯れヨシが流れとともに流出するため、水際進行が見かけ上低下する。また、図-8は、5.0km地点におけるガタ土堆積とヨシの水際端の進行距離の関係を示したものである。なお、単位奥行きあたりの堆積量Sとは、2011年4月24日の地盤高を基準としたガタ土高さの変化から算出される面積量として定義した。既報²⁾では、3回程度の調査結果に基づく考察であったため、その関係性の信頼度にやや曖昧な点もあったが、その後の継続的な調査から、ガタ土堆積に伴うヨシの水際端への進行が明瞭となった。また、ヨシの水際への進行は、ヨシ自身の生長サイクルと相まって10月以降はゆるやかに変化するとともに、水際での流れによる流出や高含水比の地盤による生育困難な環境などから、ヨシの進行距離も平衡に近づくことになる。なお、②→③や⑤→⑥ではガタ土が洗掘されてヨシが進行する期間や⑦→⑧のようにガタ土は堆積してヨシが後退する期間もある。これらは、洪水期のガタ土洗掘やヨシの季節的な生長特性に起因したものである。したがって、このようなトレンドから外れるデータを除けば、図中のような傾向でガタ土堆積とヨシの水際進行の関係を示しうる。

c) ヨシ繁茂がガタ土堆積に及ぼす影響

図-9は、4.5km左岸部でガタ土斜面からヨシ群落内に設置したセグメントトラップに収集された懸濁物量から算出されたSS沈降フラックスの結果である。なお、図中の記号は、図-1と対応している。図より、ヨシ水際端に設置したE地点では、SS沈降フラックスが3.1 kg/m²/day

で最大であった。ヨシ群落内部に設置したD地点では、1.8 kg/m²/day、傾斜面上に設置したF地点では、1.6 kg/m²/dayであった。また、ヨシの繁茂していない裸地では、平均満潮位に設置したD地点が最大となった。従来より、植生による懸濁物捕捉効果は確認されているが、群落内と外縁部において、SS沈降フラックスの差異を示すことで、水際部でのガタ土堆積が促進する根拠を示す結果といえる。さらに、ヨシ群落の存在による懸濁物の捕捉能を活用し、高水敷への懸濁物流入制御に対する有用な知見を得ることとなった。

(2) 遮蔽板によるヨシ拡大抑制と地盤内環境への影響

a) ヨシの広域分布とその特性

図-10は、対象域のヨシの植生密度分布を2012年4月から12月まで並べたものである。図より、測定区間内の植生密度は、各測定地点における既往の植生履歴、土壌環境、地盤高等に依存するため、全域が一樣な密度変化を示すことはないものの、6月あたりに植生密度の極大値を示す場所が多かった。また、ヨシの生長期を過ぎると地上茎の生長から地下茎の生長・蓄積に移行するため、植生密度はほぼ一定かやや減少傾向となる。

b) 遮蔽板によるヨシの生長抑制効果

写真-1は、遮蔽板を取り除いた堤防側の鉛直地盤面を

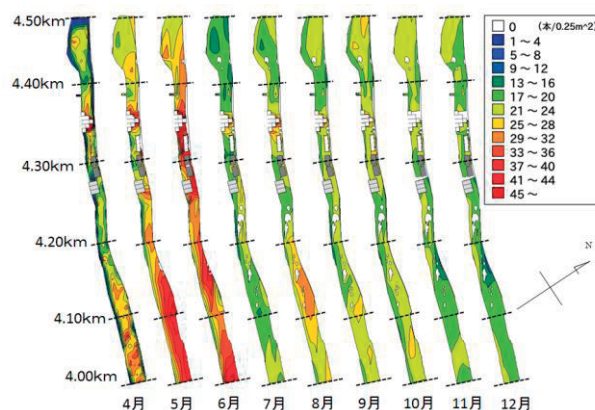


図-10 牛津川4.0～4.5km左岸におけるヨシ植生密度の経月変化 (2012.4～12)

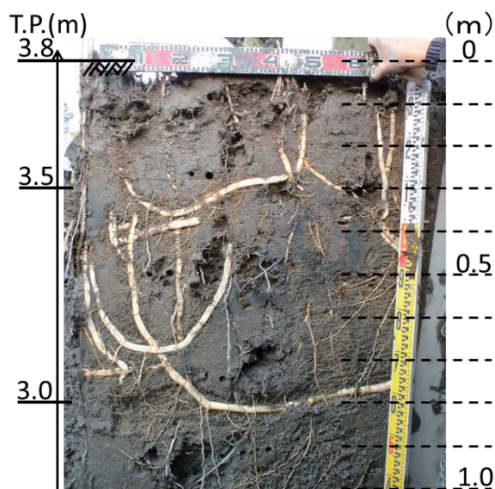


写真-1 遮蔽板撤去時の様子 (2012.11.6)

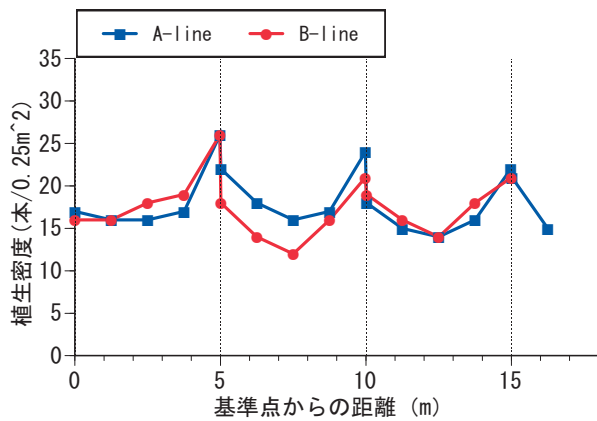


図-11 遮蔽板周りの植生密度 (2012. 12. 26)

撮影したものである。遮蔽板によって、堤防側から水際方向に伸びるヨシ地下茎の進行方向が大きく曲げられている様子がわかる。また、既報¹⁾同様、水平地下茎は、二層構造で地表から深さ30cmと80cm付近に認められるとともに、この水平地下茎を起点に多数の毛根が鉛直方向に伸びていることも分かった。さらに、地下茎周囲の泥色は褐色で、中空の地下茎が地下深くまで好気的環境をもたらしていることもわかる。加えて、遮蔽板を突き破るヨシ地下茎は観測されず、むしろ遮蔽板によって強制的に進行方向を変えられ、遮蔽板周辺に集中する傾向にあった。そこで、図-2中のA,B測線上にて遮蔽板を横断しながら植生密度を測定した。調査は2012年12月26日に実施し、その結果は図-11で、遮蔽板周りでの植生密度の増加が顕著となっている。一般に、水平地下茎は地下茎先端部の茎頂が進行することで広がる「頂芽優勢」状態だが、茎頂が何らかの理由によってその生長を阻害されると地下茎の節に当たる側芽が生長し、地上茎の生長が促進することとなる。したがって、遮蔽板の設置は、茎頂の生長阻害となり、結果としてこの周辺で地上茎密度が高くなったものといえる。そのほか、水際側のヨシの水平地下茎は堤防側に比べて浅く、遮蔽板による分断に起因した地盤環境変化の結果と言える。いずれにせよ、地下茎の延伸方向を遮蔽板により制御・抑制可能であることを示すことができた。

c) 遮蔽板挿入による地盤環境への影響について

図-12～15は、遮蔽板を境界とした水際側（右側）と堤防側（左側）で測定した物理、化学特性のうち、ここでは、とくに含水比、塩分、ORP及びAVSの分布について以下考察した。

図-12より遮蔽板による地下水の流入が抑制され、表層10cmでおおよそ20～30%ほどの差が見られる。ただし、上述したヨシ地下茎が堤防側の方がより深いことや植生密度の差などにも関係していると思われる。図-13は塩分分布で遮蔽板挿入によって、含水比同様、明確な濃度差が見られた。一般に、塩分は植物細胞の浸透圧に影響を及ぼし、植物の水分吸収阻害をもたらす。一方、ヨシは耐塩性機能を有するため、ある程度の塩分環境下での

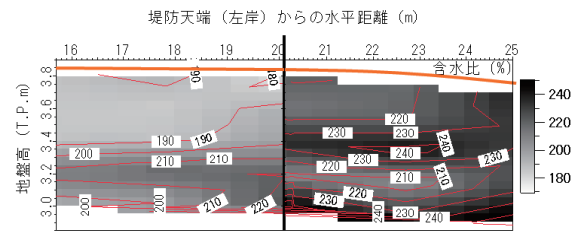


図-12 含水比分布

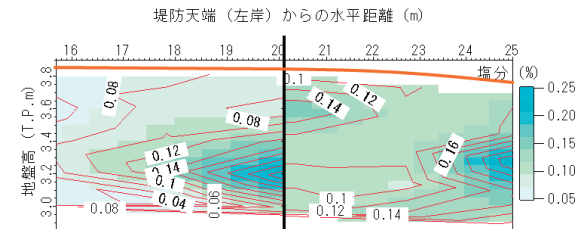


図-13 塩分分布

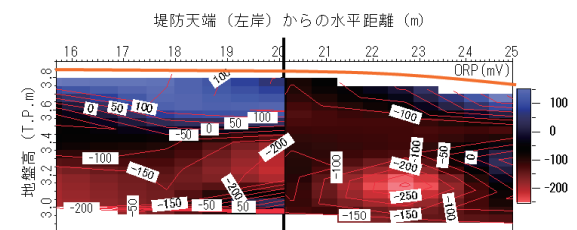


図-14 ORP分布

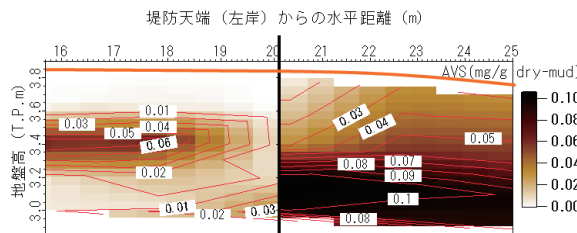


図-15 AVS分布

自生は可能である。そのため、遮蔽板で分割された水際でもある程度のヨシの生長は継続する。図-14はORPの分布で、ヨシ地下茎第1層が存在する30cm深さまで酸化的雰囲気である一方、水際側では表層10cmで浅でしかない。地下環境の酸化的雰囲気の維持には、ヨシの地下茎繁茂の維持が重要と言える。したがって、遮蔽板によって分画された地盤環境により、ヨシの生長環境が維持できない場合にはさらにORPは低下し、好気的環境はガタ土表層のみとなることが予測される。図-15はAVSの分布で、遮蔽板を境界とする両側とも水産用水基準0.2mg/gを超えることはないものの、遮蔽板による海水流入抑制の効果も相まって、堤防側ではかなり低くなっている。

以上のように、遮蔽板によって水際と堤防側で分画されることで、主として海水流入の低下に伴う各種パラメータの変化を引き起こし、それぞれでの底質環境の特性が表れた。今後、海水流入低下に伴う地下水環境の変化、たとえば、K⁺は植物生長の栄養素の1つとして重要だが、遮蔽板分画によって陸側への供給が減り、ヨシの生長に影響を及ぼす可能性もある（例えば、図-11中のB

測線上5-10m区間の閉区画では、ヨシ密度が明らかに低い) など、水際側の植生密度が遮蔽板によって取り囲まれた区画内外で異なる現象が生じるかについては更なるモニタリングが必要である。

(3) ヨシの生長特性およびヨシの懸濁物捕捉能を活かした高水敷の植生管理の提案

これまでの牛津川感潮域の河岸ガタ土堆積とヨシ生長のモニタリングから得られた成果^{1),2)}より、河岸部でのガタ土堆積には水際での高濃度SSの沈降や浮泥流動が重要であることを示してきたが、今回の調査ではさらに水際に繁茂するヨシがこれらの懸濁物の沈降を促進させる効果を明らかにした。また別途、高水敷に設置したトレンチ(0.5mと1.0mの深さ)によるヨシの生長阻害実験から、0.5m程度の水位が維持されていれば、トレンチ内にヨシが繁茂しないことがわかっている。これらの結果を踏まえ、高水敷に繁茂するヨシの植生管理手法として、**図-16**のような遮蔽板とトレンチを組み合わせた現地試験区の施工を提案したい。基本設計は、次の通りである。

①遮蔽板の高さにより水際からの河川水流入量を調整する。②水際にはヨシを植栽し、河川水中の懸濁物をヨシ群落端で沈降させる。③ヨシ後背部に一定深さのトレンチを設置し、ヨシの繁茂を抑制する。この際、トレンチ形状の維持とともにヨシの水平地下茎がトレンチ内に進入しないよう、遮蔽板を地下1.5mほど打ち込む。④トレンチ深さを0.5m～1.0m内で変化させる。また、トレンチ底部に配した穴あき管から、空気あるいは水を圧送してトレンチ内のガタ土沈積を抑制し、浮上懸濁したガタ土を河川本川まで排出させるなどの検討も行う。

なお、本施工を行う場合、まず第一に堤防や高水敷の安全性を確保した上で、トレンチの規模を決定する。

本施設により、ヨシの植生を制御するとともに、懸濁物の流入を一部残存させたヨシの植生によって制御できる。トレンチ内の水域には独立した生態系も創出可能と言え、河川環境整備としての新たな展開も期待できる。ただし、河川本体と連携した新たな水辺空間創出と河川生態系の保全にも配慮した維持管理については、今後、長期的なモニタリングの必要性もある。

4. おわりに

(1) ヨシの水際域への進行とガタ土堆積との関係を示した。また、水際に流入する懸濁物をヨシ群落水際端で高濃度集積する傾向にあり、その結果、SS沈降フラックスも高く、結果としてガタ土堆積が進行する。

(2) ヨシの刈り取りにより、ヨシの植生密度が増加することを明らかにした。この結果は、従来から実施されている定期的なヨシの刈り取りがもたらす流水障害の解消とそのトレードオフの関係を示すものであり、高水敷の

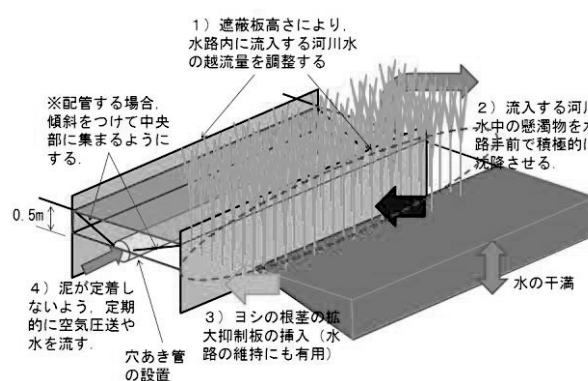


図-16 高水敷に繁茂するヨシの植生管理のための一提案

植生管理を考える上でも重要な結果と言える。

(3) 牛津川高水敷に繁茂するヨシの栄養繁殖の特性から、地下茎拡大抑制策として地盤内に挿入した遮蔽板による効果について検討した。その結果、ヨシの水平地下茎は遮蔽板を突き破ることなく、遮蔽板によって生長進行を阻害されていた。また、遮蔽板周辺で植生密度が増加することを明らかにした。したがって、遮蔽板はヨシの水平地下茎の進入を阻害するとともに、植生密度の制御も可能となるため、懸濁物集積能とも絡めた現場への応用が考えられる。

(4) トレンチと地中に埋設した遮蔽板を組み合わせたヨシ植生管理区の提案を行った。これは、ヨシの生長を阻害するある程度の水位を有するトレンチと水平地下茎の進行を抑制する遮蔽板、そしてヨシの懸濁物集積能に基づく生態工学的的手法といえ、高水敷に繁茂するヨシ管理の一手法と言えよう。

謝辞：本研究は、平成24年度河川砂防技術研究開発公募(地域課題分野)助成のもとで実施された。また、現地調査の実施に対し、武雄河川事務所関係者にご配慮いただいた。さらに、現地調査の遂行には、佐賀大学理工学部都市工学科4年・末長友利君(当時)および大学院工学系研究科修士課程・西村健人君に寄与するところが大きい。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 山西博幸, 白濱祐樹, 山下弘, 北岡嵩規, 濱邊竜一, 高瀬智, 山崎勉: 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, 河川技術論文集, 第17巻, pp. 203-208, 2011.
- 2) 山西博幸, 松岡由泰, 蓮尾直志, 酒井史, 山崎勉, 高木耕太郎, 川崎裕之: 流水能及ぼす河岸ガタ土堆積とヨシ繁茂への対策に関する研究, 河川技術論文集, 第18巻, pp. 23-28, 2012.
- 3) 山西博幸, 山下弘, 北岡嵩規, 白濱祐樹: 河川水際環境の変化がヨシ群落の生息空間に及ぼす影響, 土木学会論文集G(環境), Vol. 67, No. 7, III_133-140, 2011.

(2013. 4. 4受付)