

# ヨシを用いた水際保護の研究

## STUDY ON RIPARIAN PROTECTION USING SOIL MASS COVERED WITH REEDS

福岡捷二<sup>1</sup>・福田朝生<sup>2</sup>・永井慎也<sup>3</sup>・小谷哲也<sup>4</sup>・富田紀子<sup>5</sup>

Shoji FUKUOKA, Tomoo FUKUDA, Shinya NAGAI, Tetsuya KOTANI and Noriko TOMITA

<sup>1</sup>フェロ-会員 工博 Ph.D 広島大学大学院教授 社会環境システム専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1)

<sup>2</sup>学生会員 広島大学大学院 工学研究科 社会環境システム専攻 博士課程前期 (同上)

<sup>3</sup>学生会員 広島大学 工学部 第四類 (同上)

<sup>4</sup>正会員 国土交通省中国地方整備局 出雲工事事務所 (〒693-0023 島根県出雲市塩冶有原町 5 丁目 1 番地)

<sup>5</sup>正会員 国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所 (〒736-0082 広島県広島市安芸区船越南 2-8-1)

At the present it has been clarified that soil masses covered with reeds that had fallen from the banks are not easily transported and still protect banks by reducing the flow velocity surrounding them. Therefore, this study aims to develop riparian protection measures against bank erosion using soil masses covered with reeds by placing them along river bank at an streamwise intervals. Two experiments on erosion have been done by using undisturbed soil masses covered with reeds that were obtained from the field. One is made by observing the erosion of soil masses one by one in a laboratory experiment. The other is made in at a channel for agricultural use of Hii river to observe an erosion of soil masses for longer period by placing some soil blocks longitudinally along the river bank. The reeds' density resisting the erosion of soil mass is found from the experiments. Moreover, it is proved that soil masses covered with reeds can be available for riparian protection for a long period.

**Key Words :** reeds, fallen soil block, riparian design

### 1. 序論

ヨシで覆われた河岸は、ヨシの地下茎が土を保持するため、護岸効果が認められる。本研究ではヨシの護岸効果を水際設計へ応用していくことを目的としている。著者らは<sup>1), 2), 3)</sup> 図-1 に示すヨシ原河岸の侵食過程を調べた。ヨシ原河岸の地表面付近は地下茎が匍匐しているため侵食抵抗が大きく侵食は地下茎の少ない河岸下部から進行しひさし状河岸を形成する。ひさし状が進行し、河岸から崩落したヨシの根を含む土塊は、水中にあってもその大きさが比較的長時間保持される。その結果、近傍の河岸流速を低下させその後の河岸侵食を抑制する効果がある。また、ヨシ原河岸では崩落しても土塊が河岸際に残るため河岸は縦断的に凹凸形状を呈する特徴を持つ。このようにヨシ原河岸に護岸効果が生じる原因は二つある。一つは河岸自体がヨシ地下茎により耐侵食性が増すことと、他の一つは崩落したヨシを含む土塊が水中に長時間保持され河岸近傍の流速を低下させることである。ここでは後者に着目する。ヨシを含む土塊をある間隔で

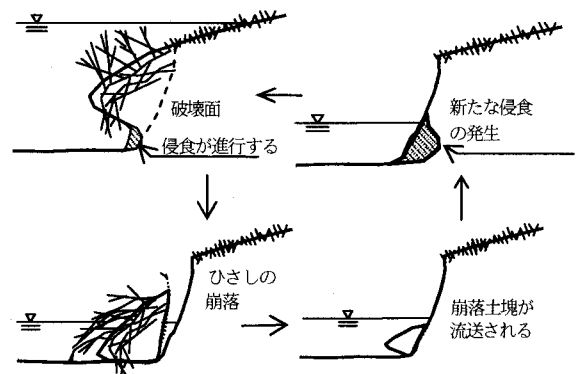


図-1 ヨシ原河岸の侵食過程

流水中に設置し、河岸近傍の流速を低下させることにより自然河岸の侵食を防ぐこと、また、直線的な河岸に凹凸を持たすことで洪水時でも流速の低い箇所を水際に作り、生物の生息・避難場所を提供することも期待する。このような護岸方法を本研究ではヨシ原護岸と呼ぶことにする。本研究では始めにヨシの密度によって土塊がどの程度の耐侵食性を示すか、どのような侵食過程をたどるのか水理実験で把握してヨシ原護岸の設計のための基

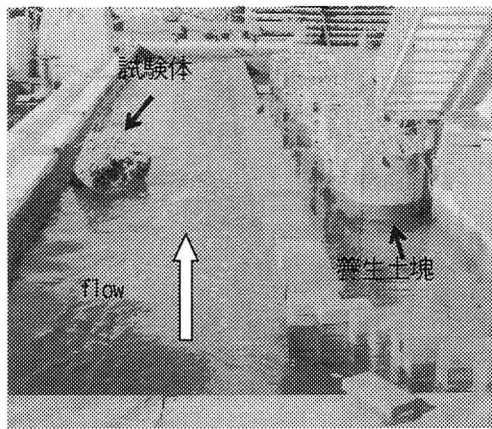


図-2 実験風景

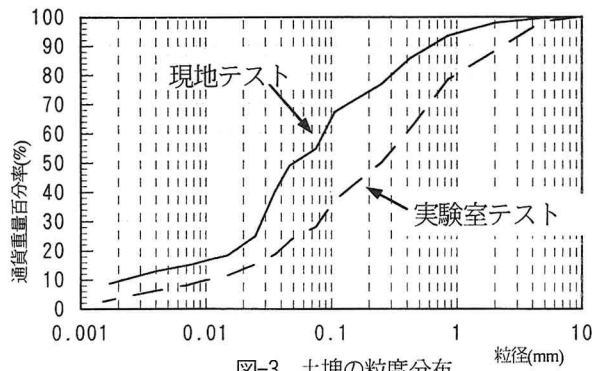


図-3 土塊の粒度分布

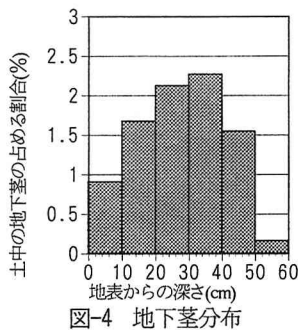


図-4 地下茎分布

表-1 ヨシの密度

土塊番号	ヨシの密度 (本/m <sup>2</sup> )
土塊1	0
土塊2	0
土塊3	90
土塊4	100
土塊5	130
土塊6	170
土塊7	400

表-2 実験ケース

ケース	土塊の番号	水路幅 (cm)	水深 (cm)	平均流速 (cm/s)	通水時間 (h)
case1	3	105	19	36	3.1
case2	3	105	22	59	0.7
case3	4,7	105	29	51	2
case4	4,7	105	29	51	1.8
case5	4,7	105	31	51	1.4
case6	4,7	105	29	61	4.2
case7	4,7	105	29	94	1.3
case8	7	80	44	92	4
case9	7	80	41	99	3.8
case10	7	80	41	99	3.8
case11	6	140	24	61	48
case12	5	140	24	61	16

礎資料を得る。実験方法はヨシの根を含む不攪乱の土塊を採取して通水し形状の変化を調べるものである。しかし、この方法では形状の変化を長時間にわたって観察できないこと、縦断距離が短く十分な間隔を空けて土塊を設置できないこと等のため土塊の縦断的な浸食形態が観察できない課題が残された。そこで、長時間かつ、縦断的に長い距離に亘って土塊を配置できるようにヨシ原護岸を斐伊川農業用水路に設置し、観測を行い、ヨシ原護岸の有用性を検討するための資料を示している。

したヨシを含んだ土塊の平均のヨシの密度は 190 本/m<sup>2</sup>である。土塊を構成する土の粒度分布を図-3 に示す。土質はシルト質砂で粘土含有率は7%である。図-4 に実験で使用した土塊の地下茎分布の代表としてヨシの密度 260 本/m<sup>2</sup>の土塊の土中の地下茎の占める割合と地表からの深さの関係を示す。深さ 50cm~60cm の範囲で地下茎が大きく減少しており、その範囲では浸食抵抗が若干弱いことが考えられる。実験ケースを表-2 に示す。平均流速は土塊横の横断面の平均流速を採用した。

## 2. 水理実験による検討

### (1) 実験方法

ここでは実現現象の崩落土塊と同程度の大きさのヨシの根を含んだ不攪乱の供試体採取して流水による浸食実験を行った。供試体は直径 50cm 高さ 60cm の円柱型であり、ヨシの繁茂する太田川放水路の高水敷から採取し用いた。水路は水路長 10m 水路幅 0.8~1.4m 勾配 1/500 の開水路である。実験方法は、図-2 に示すようにヨシの根を含む土塊を水路左岸側に接触させるように設置し、通水する。時間の経過と共に土塊の形状を測定し、土塊周りの流れを電磁流速計を用いて測定する。土塊上面のヨシの本数(ヨシの密度(本/m<sup>2</sup>))が地下茎の量を代表していると考え浸食速度に対する指標とした。土塊は、全部で7体である。土塊中のヨシの密度を表-1 に示す。採取

### (2) 実験結果及び考察

#### a) 土塊浸食の機構

ヨシの密度の小さい土塊から浸食・流送の状況を説明する。まず、ヨシがまったく生えていない2体の土塊のうち1体は強度がなく設置時に崩壊し細分化した。もう1体も設置はできたが通水開始直後に崩壊し細分化した。このことは、用いた土塊の浸食抵抗は、極めて小さいことを示す。ヨシ密度 90 本/m<sup>2</sup>の土塊3は通水から3時間40分後に崩壊し細分化した。100 本/m<sup>2</sup>の土塊4は通水後1時間30分後に水路中央側に倒れたが、地下茎により土塊が保持され細分化することはなく、円柱の形状を保っていた。130 本/m<sup>2</sup>の土塊5は通水開始から16時間後に水路中央側に倒れたが細分化はしなかった。ヨシ密度 170 本/m<sup>2</sup>の土塊6は合計で48時間通水したが浸食はほとんど進まず、最後まで自立していた。400 本/m<sup>2</sup>の土塊7も合計で22時間通水したがほとんど浸食されず、

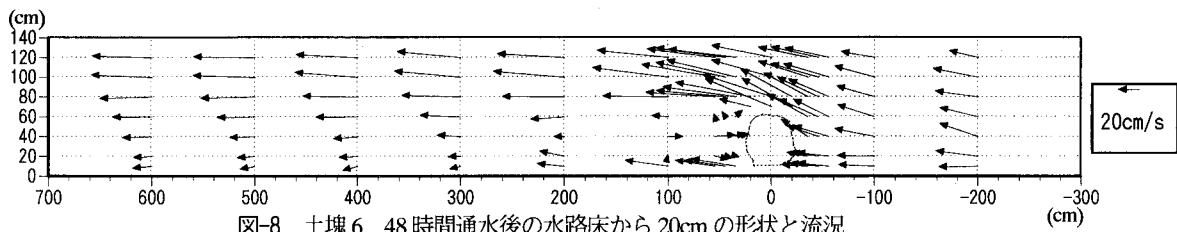


図-8 土塊6 48時間通水後の水路床から20cmの形状と流況

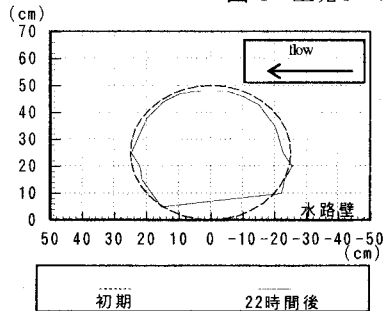


図-5 水路床から高さ5cmの形状

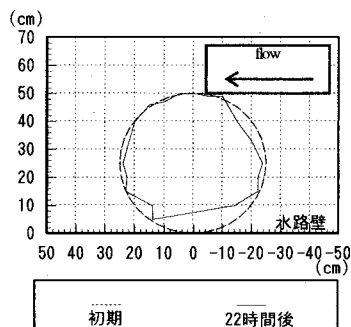


図-6 水路床から高さ40cmの形状

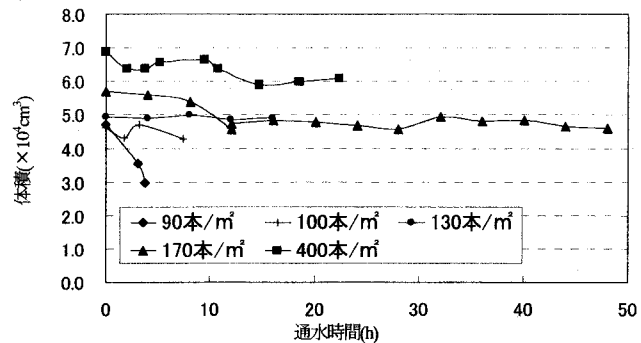


図-7 残存体積と通水時間の関係

### b) 土塊近傍の流れ

土塊6の48時間後の形状とそのときの流れの状況を図-8に示す。土塊背後では流速が低下している。左岸から10cmの位置の流速を流下方向に追っていき、土塊近傍の上流側で一旦低下するものの土塊と河岸の間で急に増大し、土塊直下流では土塊上流の接近してくる流速より大きくなっている。しかしさらに流下すると土塊背後の剥離域と混合して左岸付近の流速は大きく低下する。また、低下した流速はなかなか回復していないことがわかる。

## 3. 斐伊川左岸農業用水路での検討

### (1) 施工方法

ヨシ原護岸の現地での検討は斐伊川左岸の高水敷上の農業用水路で平成14年7月5日から行った。試験区間の左岸はコンクリート護岸、右岸はカゴマットを三段積みした護岸が施工され、水路線形はほぼ直線である。ヨシを含む土塊の大きさや設置間隔は同じ用水路でのヨシ原河岸の崩落観測より得られた諸元を参考に決めた<sup>1)</sup>。即ち、土塊と土塊の間隔は9mとし、土塊寸法は実際の崩落している土塊の大きさ約3mに近づけるように縦断長さ1mの土塊3体を1つの大きな土塊に見立てて縦断的に近接して設置した。図-9に土塊の寸法、図-10に設置区間平面図、図-11に設置区間の断面図を示す。並べて設置した縦断長さ3mの土塊の名称を土塊群とし、上流から土塊群A、B、C、D、Eと呼ぶ。縦断長さ1mの個々の土塊を上流からそれぞれ1体目、2体目、3体目と名付ける。Aの1体目をA-1で表す。図-11に示すようにヨシ原護岸はカゴマット護岸前面に設置することのみを対象とし

最後まで自立していた。これより、ヨシを十分に含む土塊は流水中でも長時間自立することが明らかとなった。

次に図-5、図-6に示す土塊7の形状より、長時間自立した土塊の浸食状況を述べる。浸食が顕著に進行する場所は大きく分けて三つある。第一は土塊下部の水路中央側、第二は水路壁と土塊の間、第三は水面付近の水路中央側のやや上流側である。土塊下部の水路中央側の浸食の進行により土塊は流心側に傾き、その結果水路壁と土塊の間で流れが集中し流速が増大する傾向が見られた。この箇所の流速の増大は実際にヨシ原護岸を施工した場合、河岸が土塊によって侵食される可能性があることを示している。したがって実際に施工する際には設置する土塊と土塊の間隔をある一定の範囲内にし、土塊と土塊の間で流速を低下させ、河岸付近で土塊に対する接近流速を遅くする必要がある。また、土塊下部は図-4で示したように地下茎が少ないために浸食が進行しやすい。

土塊の浸食の時間経過を図-7に示す。図を見ると90本/m<sup>2</sup>の土塊は急速に浸食を受け、体積が減少している事がわかる。また、最後まで自立していたヨシの密度が170本/m<sup>2</sup>と400本/m<sup>2</sup>の土塊は、初期の段階で多少浸食されるものの、ある程度時間が経過するとそれ以上浸食されないことがわかる。

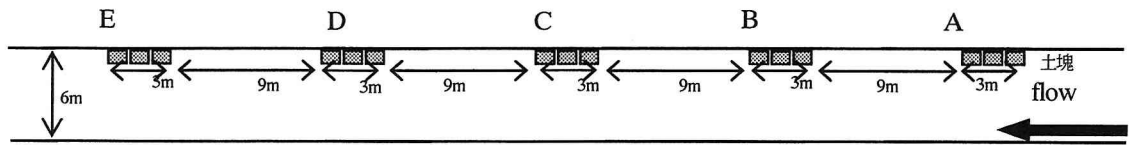


図-10 設置区間平面図

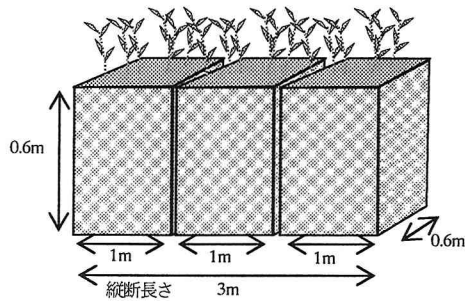


図-9 土塊の寸法

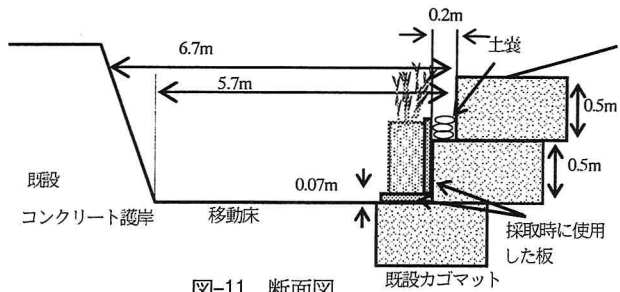


図-11 断面図

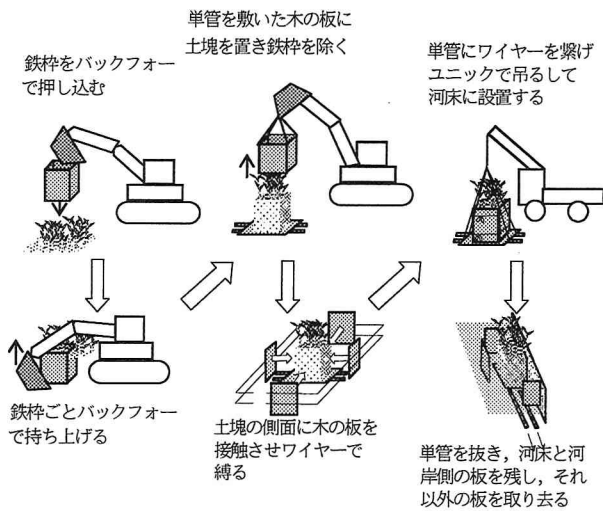


図-12 土塊の採取と設置方法

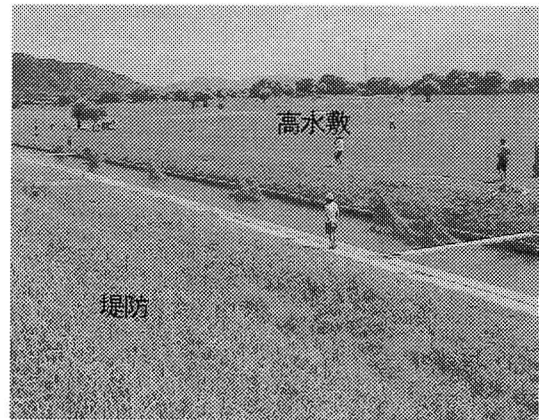


図-13 設置区間全景

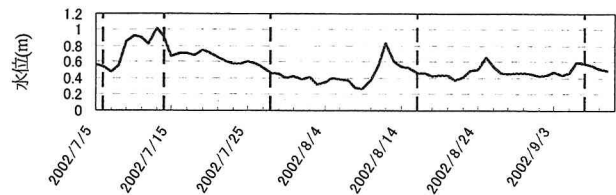


図-15 設置区間の水位

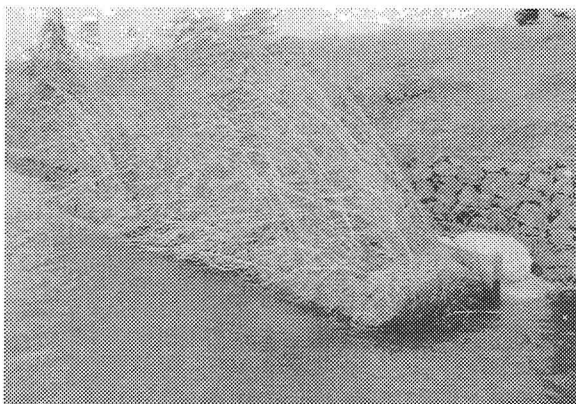


図-14 ヨシを持つ土塊の設置状況(撮影日7月6日)

ていないので、カゴマット内からの流れによって土塊が浸食されることを防ぐため、土塊採取時に用いた枠板を底面と河岸側だけ残してカゴマットに緊結している。また、土塊と河岸の間の流れを防ぐため土嚢を盛って土塊と河岸の間を止水している。土塊の切り出しは斐伊川高水敷上では砂が多く、土塊が自立しなかったため粘土含有率の高いヨシの繁茂している穴道湖湖岸よりを採取した。切り出した土塊を構成する土の粒度分布を図-3に示

す。土質はシルト質砂で粘土含有率は14%である。土塊の採取と設置方法を図-12に示す。設置した区間の全景を図-13に設置した土塊の近景を図-14に示す。2節で示したヨシの根を含む土塊の浸食実験よりヨシの密度によって土塊の浸食される過程が異なる事がわかった。このためヨシ原護岸の施工にはできるだけ各土塊群でヨシの密度の差がつかないように土塊を選び設置した。各土塊上面のヨシの密度を表-3に示す。全土塊の平均のヨシの密度は190本/㎡である。

## (2) 観測結果及び考察

### a) 水位と平均流速

設置位置での水位の時間変化を図-15に示す。用水路の平常時の水深は約50cm程度で土塊の上面部は水面より約10cm程度高い位置にある。斐伊川は毎年1,2回高水敷に冠水する。今回も7月9日から7月14日まで水位

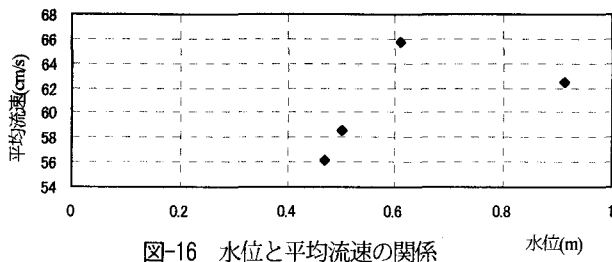


図-16 水位と平均流速の関係

表-3 ヨシの密度

	1体目	2体目	3体目	平均
A	185	192	198	192
B	228	152	202	194
C	163	247	165	192
D	30	248	273	184
E	235	163	178	192

(本/m<sup>2</sup>)

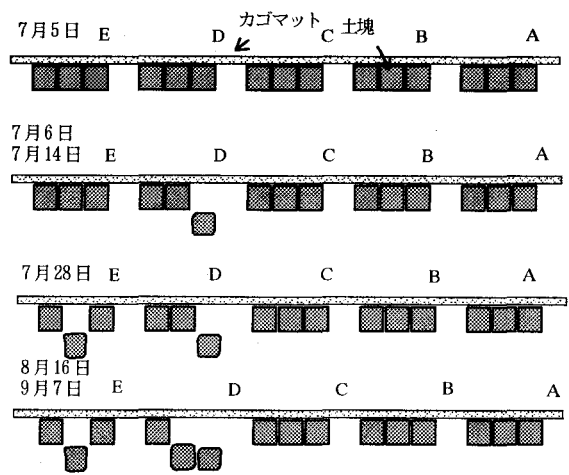


図-17 土塊の状況

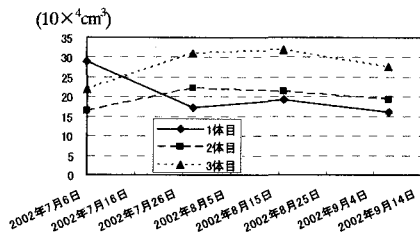


図-18 土塊Aの体積

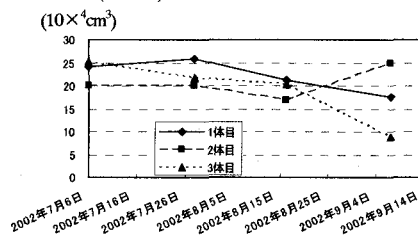


図-19 土塊Bの体積

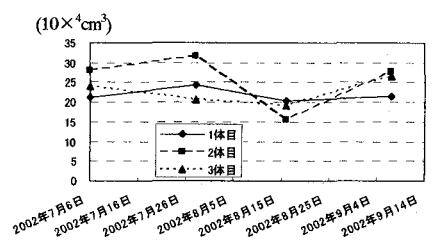


図-20 土塊Cの体積

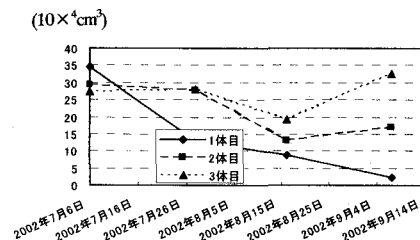


図-21 土塊Dの体積

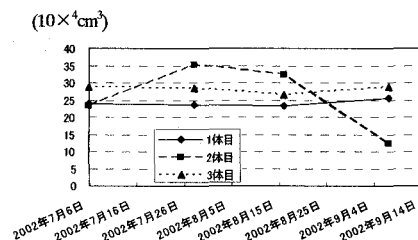


図-22 土塊Eの体積

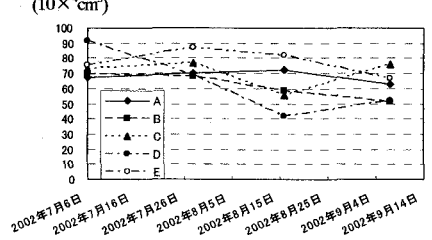


図-23 土塊群の体積

の高い状態が続いておりその間は土塊の上面が水没した状態となっている。観測日は図中の縦線に示すように、平成14年の7月6日、14日、28日、8月16日、9月7日で試験期間は約3ヶ月間である。平均流速水位との関係を図-16に示す。水位変化によって平均流速は10cm/s程度しか変化していないため土塊の浸食に及ぼす流速の影響の変化は小さいと考えられる。

#### b) 土塊の状況

図-17に土塊の状況を示す。土塊は7月5日の設置時には全て自立していた。しかし、7月6日にはD-1の土塊が河道中央側に向かって倒れていた。D-1が最初に倒れた原因は、ヨシの密度が30本/m<sup>2</sup>と極端に小さく強度がなかったためと考えられる。また、流心側に倒れた原因は実験室での結論より推測がつく。即ち、流速が速く、かつヨシ地下茎の少ない河道中央側の土塊下部が浸食を受けたためだと考えられる。次に7月9日からの大きな出水の後の7月14日までの間土塊の状況は大きくは変化していなかった。7月28日の観測では、E-2が河道中央側に倒れていた。E-2も3番目にヨシの密度が小さい土塊であるため倒れた原因はヨシの密度が小さいためであ

ると考えられる。8月16日の観測では、新たにD-2が河道中央側に向かって倒れていた。この土塊はヨシの密度が大きい方で、土塊中の地下茎が他と比べて少なかったとは考えにくい。したがってD-1の土塊が倒れたことによりD-2の周りに比較的速い流れが生じ、浸食の進行が起こったと考えられるが、そのことについては現在のところはっきりとした原因が不明である。なお、実験室内での結果と比較して用水路の試験では土塊を群として設置したため、河岸近傍の流速が大きくなりやすく、土塊と河岸の間の浸食は見られない。

次に各土塊の体積の時間変化を図-18～図-22に示す。土塊の形状は水中で計測しているため誤差を含んでいる。しかし、特徴的な傾向は捉えている。まず、7月6日に倒れていたD-1はヨシの密度が30本/m<sup>2</sup>と小さいこともあり、急速に体積が減少している事がわかる。また、7月28日に倒れていたE-2はヨシの本数が163本/m<sup>2</sup>と多少あることから始めは浸食が緩やかであるがやはり河道中央側に倒れてからは他の土塊と比べて浸食速度は速い。8月16日に倒れていたD-2はヨシの密度が248本/m<sup>2</sup>と比較的大きいことや倒れてからの期間が短いため、顕著

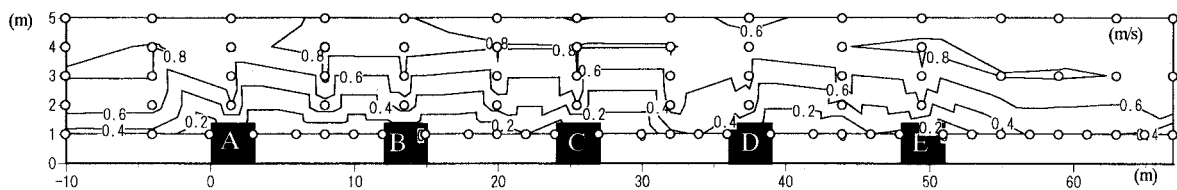


図-24 施工区間の流速分布

な体積の減少は見られない。図-23 に土塊群の体積を示す。土塊Dは若干浸食を示しているがそれ以外の土塊は浸食が小さい。また、他の土塊と比べて外力の大きさが異なる土塊群A、土塊群Eなど設置区間の端の土塊群はこれまでのところ特徴的な浸食傾向は見せていない。

#### C) 施工区間の流れ場

図-24 に用水路の施工区間の流速コンターを示す。流速の計測は図中の白丸の点で水位が60cmのときに水面下30cmの位置でプライス流速計を用いて行った。ヨシ原護岸を設置した区間では土塊背後に流速の低い箇所ができていく。この区間には、多くの小魚が群れるようになった。土塊の設置間隔は9mであるが河岸近傍の流速は回復しておらず、河岸を守る効果は十分であると考えられる。土塊群Eの背後には土塊がないために約6mで施工区間上流の流速分布に回復している事がわかる。

#### 4. 結論

水中に崩落した状況を想定したヨシの根を含む土塊の浸食実験から以下の結論を得た。粘土含有率が7%でヨシの密度が170本/m<sup>2</sup>程度のヨシ原河岸の崩落土塊は水流による浸食量は小さく流送されにくいことがわかった。

また、斐伊川左岸農業用水路のヨシ原護岸の試験施工及び3ヶ月の観測よりヨシ原護岸の有用性をしめす資料を得た。土塊の浸食速度は河川の流速、土質構造、ヨシの密度差により変化するが、今回は河川の平均流速が60cm/s、土質を粘土含有率が14%のシルト質砂とし、ヨシの密度が190本/m<sup>2</sup>という条件のもと得られた土塊群の平均浸食速度は約2500cm<sup>3</sup>/dayである。したがって今回のように土塊群として60cm×60cm×100cmの土塊3体を並べて設置したとすると、単純計算で約400日で無くなる計算になる。なお、水理実験ではヨシの密度が170本/m<sup>2</sup>の土塊はほとんど浸食されないことがわかったが、現地試験のヨシ原護岸を施工した区間ではD-2などヨシの密度の大きい土塊が倒れるなどヨシの密度だけではやはり確実な浸食状況を予測することができない。しかし、B-2の152本/m<sup>2</sup>の土塊やC-1の163本/m<sup>2</sup>の土塊はほとんど浸食傾向を示していない。したがって水理実験と約3ヶ月間の現地試験を総合した結論として、おおよそ170本/m<sup>2</sup>以上のヨシの密度であれば、土塊は浸食や倒れることは簡単には起こらず、河岸を守る効果が大きい事が確認された。

また、水理実験、現地試験とも土塊の平均のヨシ密度は190本/m<sup>2</sup>程度であることからヨシ原河岸には十分な護岸効果があると判断される。

#### 5. 今後の課題

水理実験、現地試験によってヨシ原護岸はかなりの安定性を持つ事がわかったが、自然の材料を利用した護岸方法のため土塊の浸食は避けられない。したがって土塊が流送された区間に新たにヨシを含んだ土塊を補給するなど定期的な管理が必要となる。そのため、ヨシを含んだ土塊をいつでも採取できるようにヨシ原の生育ヤードを高水敷上などに確保する必要がある。

設計・施工方法など実用化に向けた今後の課題としては長期的な調査を継続し、土塊の浸食の過程を把握する必要がある。今回は固定床上に土塊を設置したが河床が移動床であるときに安定した設置方法や土塊下部の河道中央側の浸食の進行で土塊が倒れないような設置方法も考えていかなければならない。また、土塊の寸法、設置間隔の最適な諸元等を求め、さらに土質構造と浸食の関係も把握する必要がある。さらに単にヨシといえども種は多様であり生育状態も異なるので今後は実験、モニタリング等を通して、ヨシ原護岸の安定性に対するこれらの影響を検討していく必要がある。

環境面では現地の試験区間において景観の向上、魚などのハビタットの提供などの面で明らかに改善されていた。今後はそのような環境面でのヨシ原護岸の効果も調査していく必要があり、最終的に治水面、環境面、景観を考慮し総合的に優れたヨシ原護岸の設計法を確立していく事が必要となる。

#### 参考文献

- 1) 福岡捷二, 渡邊明英, 柏木幸則, 山縣聡: ヨシで覆われた河岸の洪水流による侵食と流路の変動過程, 第4回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集, pp83-88
- 2) 仲本吉宏, 福岡捷二, 佐藤勝利, 富田紀子, 山縣聡: 水位の変化によるヨシ原河岸の崩落機構, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), II-265, 2000-9
- 3) 福岡捷二, 仲本吉宏, 石上鉄雄, 福田朝生: ヨシ原で覆われた河岸が持つ護岸機能の評価, 第57回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), II-188, 2002-9

(2002. 9. 30受付)