

張り芝水路における浮遊砂濃度分布と側岸堆積

Suspended-Load Transport and Sedimentation on the Grass Covered Bank

金高 州吾*・渡邊 康玄**・長谷川 和義***・浅井 重政****

By Shugo KANETAKA, Yasuharu WATANABE, Kazuyosi HASEGAWA and Sigemasa ASAI

Conventionally, the effectiveness of vegetation revetments is determined by experience, observation and investigation at the river site, rather than quantitatively in a hydraulic laboratory. But as more river improvement projects seeking to make better use of the natural environment are pursued, it is necessary that a more scientifically based understanding be achieved of the ability of vegetation to resist erosion, and the effects of vegetation on the hydrological regime and on suspended sediment.

In this study, bank erosion experiments were conducted using a large-scale experimental water channel with sodded slopes, in a study of the erosion-controlling effects of vegetation, and of the accumulation of suspended sediment, which adversely affects the growth of vegetation.

Keywords : Vegetation, Suspended load, Large scale Hydraulic experiment

1. はじめに

近年親水性、自然環境に配慮した河川環境の創出に対するニーズが高まり、環境と調和した治水事業が進められている。これに伴い河川空間は防災空間のみならずレクリエーションの場として積極的に利用されてきている。しかし、一方では高水敷に流水がのり上げるような出水が発生し、低水路で巻き上げられた土砂が高水敷に堆積した被災事例もみられる。このとき、堆積物が過剰になると高水敷上の特に草丈の低い芝が死滅しそこが堤防の弱所となる危険性を持つ。これらの必要性から高水敷に対する土砂堆積の調査^{1) 2)}も行われ、植生が存在することによる流況や流砂への影響に関する研究が^{3) 4) 5)}行われている。著者らは、実現象をできるだけ実験に取り入れることを念頭に置き特にスケール効果に着目し、高水敷の構成材料である芝が流況、流砂に与える影響について調べるため実験を行った。

本研究は、芝河岸における流況、流砂機構を把握することを目的とし、実験及び検討を行った結果を報告するものである。

*正会員 北海道開発局開発土木研究所
062 札幌市豊平区平岸1条3丁目

**正会員 工博 北海道開発局開発土木研究所
062 札幌市豊平区平岸1条3丁目

***正会員 工博 北海道大学工学部土木工学科
060 札幌市北区13条、西8丁目

****学生員 北海道大学工学部土木工学科
060 札幌市北区13条、西8丁目

2. 実験概要

本実験は写真-1に示すような屋外に設置された幅4m、長さ40m のコンクリート製直線大型水路に河岸・河床材料を敷き、その上に通常一般に河川の高水敷に生えているケンタッキーブルーグラス（配合：タッチダウン33％、メリオン33％、バロン34％）を用いたロール芝を張り2～3カ月散水、芝刈り等の維持管理を行い実験し(Case1)、その後1年間放置し草丈を伸ばしてさらに実験(Case2)を行った。Case1、Case2とも同様の現象がみられ、Case1については、著者ら⁶⁾によって報告されていることから、ここではCase2について記述する。図-1に実験水路の初期断面を示す。実験装置の流下能力は最大流量が1.0m³/sを上回る程度である。図-2に示すような粒度分布の河床材料を用い、芦田、道上⁷⁾の式により給砂量を算定しベルトコンベアにより給砂を行った。Case1の実験結果では河床低下が生じたことからCase2においてCase1よりも給砂量を0.01m³/min増して実験を行った。Case2の実験は総通水時間1260分で150,360,660,960,1260経過時に一旦停水させ水路の水を抜き断面測定等の作業を行った。流量は各ケースとも1.0m³/sを流している。また、等流状態を保つように下流端に設けたゲートにより調節を行なった。なお、各ケースについての水理条件は表-1に示す通りである。

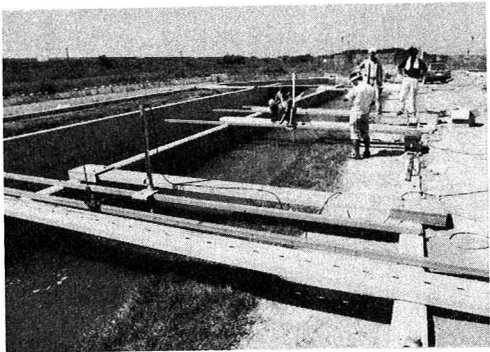


写真-1 実験風景

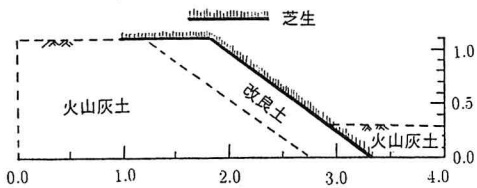


図-1 実験水路初期断面

表-1 各ケースの初期条件

実験ケース	Q m ³ /s	I	天端高 cm	初期傾斜角	草丈cm cm	給砂量 m ³ /min
case1	1.0	1/500	10	34.7°	6.6	0.05
case2	1.0	1/500	10	35.2°	13.0	0.06

流水時の計測項目は水面勾配・流速・浮遊砂採水、各停水時には断面測定・河床縦断形測定・芝の草丈・側岸に堆積した土砂採取を行った。それぞれの測定項目についての測定地点、測定時間等の詳細事項を以下に記す。

(1) 水面勾配：上流端から4、12、20、28、36mの5地点について各停水の直前、及び各通水直後に水位を計測。

(2) 流速：水路のほぼ中央である上流端から20m、25mの地点において横断方向に側岸斜面部で15cm毎、その他は20,30cm毎、鉛直方向に実験河床から4、8、12、20、28、44、70cmの高さの流速を3次元電磁流速計2台を用いて測定。

(3) 浮遊砂採水：水路のほぼ中央である上流端から20m、25mの地点において横断方向に右岸壁から2.25、2.4、2.7、3.0、3.3、3.7mに、鉛直方向に実験河床から河床(4cm)、16、32、48、63cm、水面直下、のポイントについてMTS浮遊砂採水器⁸⁾を用いて採水。

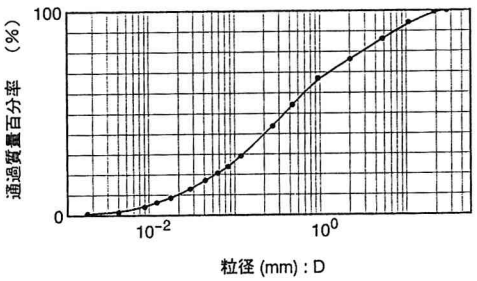


図-2 初期河床の粒径加積曲線

(4) 河岸斜面測定：水路の上流端から4, 8, 12, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 32, 36m 地点計13測線について横断方向10cm 毎で各停水時に水準レベルと河床測定用スタッフにより測定。

(5) 河床縦断面測定：右岸壁からの距離が3.1、3.5、3.8m の地点において上流端から3.0m ～36.0m までは0.2m 毎で各停水時に水準レベルと河床測定用スタッフにより測定。

(6) 芝の草丈：上流端から20m、23m、25m、27m の測線について側岸斜面の上部、中部、下部の3箇所芝の草丈を測定。

(7) 側岸に堆積した土砂採取：上流端から20m、23m、25m の測線について側岸斜面の上部、中部、下部の3箇所側岸堆積土砂を採取。

3. 実験結果

3.1 流況

写真-2 は実験通水時にアルミ粉を流して撮影した水面の写真である。表面流況の観察から次のようなことが確認された。水際からコンクリート壁までの間に渦が発生。次に側岸の中央部に位置するあたりにボイルがわき上がる。また、水際とコンクリート壁との中間で軽石等が浮遊する縦筋がみられた。これらの諸現象は写真-2 から確認できる。これらの現象が表面流況に見られる場合、実験水路内に並列の縦渦が発生していることが考えられる。

並列の縦渦の発生を実験データから確認するため3次元電磁流速計による詳細な流速測定結果を図-3(a)、(b)、(c)に示す。(a)、(b)、(c)はそれぞれ合成流速の流速コンター図、横断方向成分 v の断面流速分布図、横断方向成分 v および鉛直方向成分 w の流速ベクトル図である。(b)の流速分布図には主流方向の5%程度の二次流が発生している。また、(c)の流速ベクトル図は横断方向に並列に渦が発生しているのが側岸において明瞭に現れている。これらの流速測定結果から実験水路内に図-4のような並列の縦渦が発生していることが想像される。

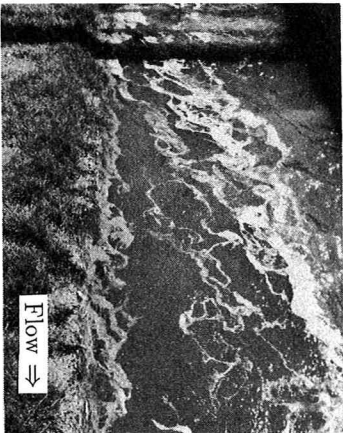
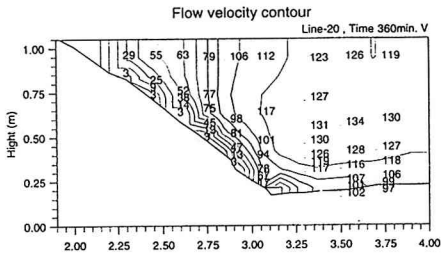
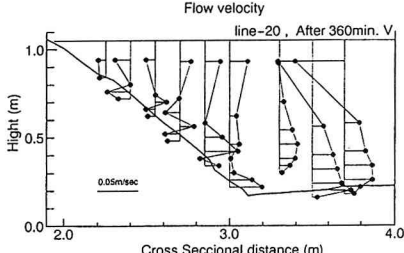


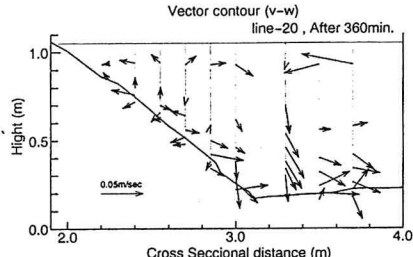
写真-2 通水中の表面流況



(a) 合成流速成分のコンター図



(b) v 方向成分の分布



(c) $v-w$ の流速ベクトル図

図-3 流速測定結果

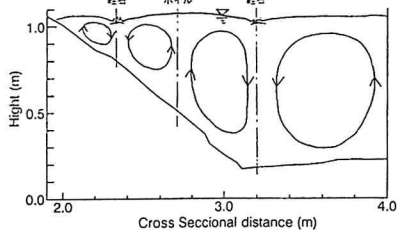


図-4 断面内部の流況概念図

3.2 側岸堆積

図-5にそれぞれの停水時に計測した水路横断方向の断面を初期断面からの変化量として示した。ここで、特徴的なのは側岸斜面部である右岸壁からの距離が2.0m から2.8m までの間に3 地点の堆積ピークが現れることである。これらは時間経過に伴い、横断方向に移動せず堆積高が変動する。図-5で見られた傾向は河岸斜面全体において縦断的に確認できる。図-6は、右岸壁から2.4m 地点の初期断面からの変化量を縦断的に見たものである。時間経過に伴い高低変動する堆積ピークがいくつか確認できる。図-5、図-6を併せると、側岸斜面部には横断平均波長40cm (水深の0.5 倍)、波長5m から10m 程度(水深の5~12 倍)の堆積波が存在している。この堆積波は時間経過に伴う下流への進行はせず堆積浸食を繰り返す。

一方、河床では上流端で大きな洗堀を受け河床面は縦断的に水路全体に及ぶ波長20m 程度(水深の23 倍)の大きなうねりを持つ、その上に波長2m 程度(水深の2 倍)のdunes が発生していることが河床縦断測定の結果からみられる。しかし、これらの現象は時間的および場所的な変動の傾向から見て側岸斜面に生じた堆積波に直接関係していないようである。従って、側岸斜面に堆積した河床波は図-4(a)の流速ベクトル図に現れた並列の縦渦により形成されたものと理解される。

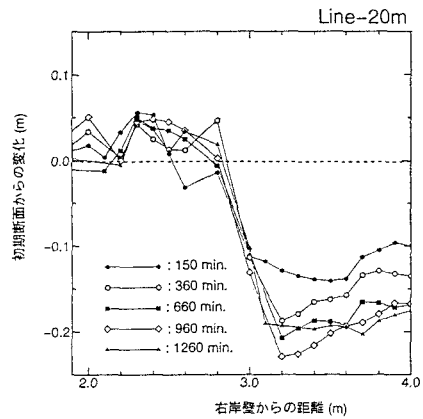


図-5 側岸斜面の横断変化量

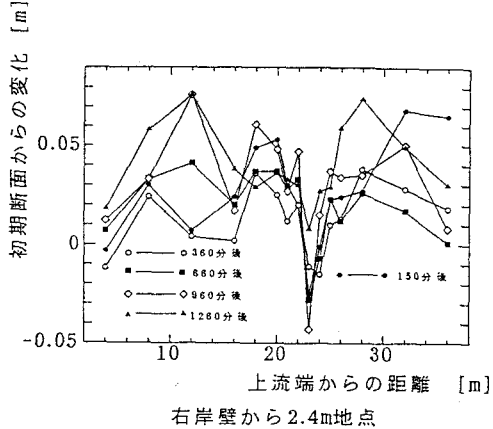
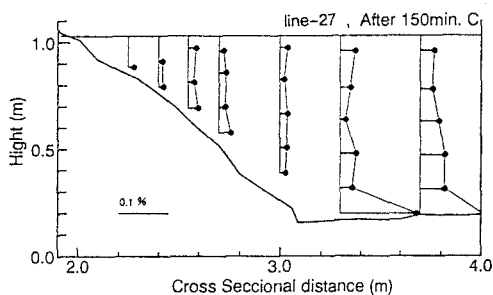


図-6 側岸斜面の縦断変化量

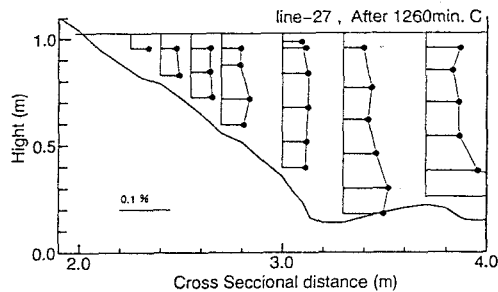
3.3 浮遊砂濃度分布

図-7に各採取地点における浮遊砂濃度分布を示す。(a)、(b)はそれぞれ、150min、1260min 通水経過後のものである。(a)と(b)を比較すると、1260min 通水後の(b)のほうが浮遊砂濃度が濃い。他の通水時間を参照した結果、時間経過に比例して濃度分布が高くなる様子が窺える。この原因を確認するため、採取した浮遊砂について粒径0.074mmを境に粒子が大きい細砂分と小さいシルト分とに2分することとした。その例として通水後1260分の測定結果について示したものが図-8(a),(b)である。シルト分の濃度は横断および鉛直方向にほぼ一定値を示し、時間経過に比例して増大する。これは大量な長時間の連続給砂によりシルト分が側岸斜面や実験水路内の沈砂池に堆積せずウオッシュロードとして水路を循環したことにより生じたものである。

細砂の濃度分布に着目すると、水深の深い河床部から水深の浅い側岸部にかけて横断方向に明らかな濃度分布の違いが見られる。濃度の高いところから濃度の低い水際方向に浮遊砂の横断的な拡散が発生していることが想像できる。また、横断距離が3.0および3.3mの箇所に顕著に見られる濃度分布の中膨らみは、浮遊砂濃度の濃い河床部から2次流によって移流されたものであると判断できる。このように側岸における堆積波の形成は、横断方向の浮遊砂拡散と2次流による移流の両者に起因しているものと考えられる。

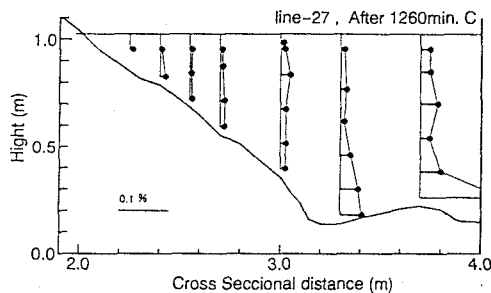


(a) 150min 通水後

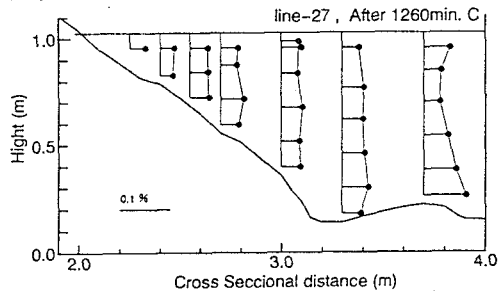


(b) 1260min 通水後

図-7 浮遊砂濃度分布



(a) 細砂成分



(b) シルト成分

図-8 細砂成分およびシルト成分の分布

4. 草丈の違いによる変化

通水時において芝の葉は流水及び河床形状の違い等により、はぎとられる等の現象は見られなかった。草丈の違いに焦点をあて、草丈と側岸における浮遊砂堆積量との関係を見るため粗度との関係を調べることにした。図-9は芝の草丈と粗度の関係を示したものである。縦軸は断面平均流速、水位の測定結果から逆算したマニングの粗度係数。横軸は各停水時に測定した芝の草丈の平均値である。丈の長いCase2の草丈はCase1の約2倍の長さを持つ。よって、草丈の長いCase2が粗度係数も大きな値をとると容易に推測されがちであるが、Case2の150分通水後の値が草丈の短いCase1より大きな粗度係数を示すものの、その他の通水時間の粗度係数はCase1と同程度の値になっている。この原因として丈の長い芝が流れによって容易に倒伏せられ斜面に張り付くことが考えられる。実際排水後の観察では芝が全て流下方向に倒伏し側岸に押さえつけられている様子が確認された。丈が極端に長い場合の粗度係数については振動など新たな増加要因を伴うものと考えられ、今後の検討課題となるであろう。

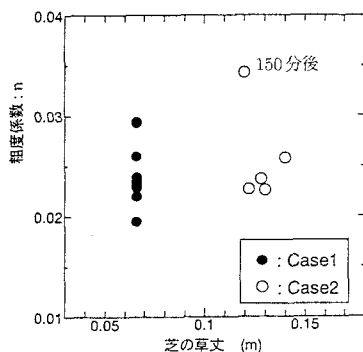


図-9 草丈と粗度との関係

5. 側岸堆積土砂の粒径分布特性

長谷川ら⁹⁾は、横断方向拡散による側岸堆積浮遊砂の粒径別存在割合を解析的に求め、(1)式で表現している。

$$P_{Bi} = \frac{P_{Bi0}}{(1 - \tan\theta \cdot y_*)^2} \cdot \exp\left(-\tan\theta \cdot \frac{13w_{0i}}{\beta' u_*} y_*\right) \quad (1)$$

ここで、 P_{Bi} :粒径(i)における存在割合、 θ :横断方向斜面傾斜角、 y_* :横断方向距離を中央水深で無次元化

した値、 w_{0i} は粒径*i*に対する沈降速度、 $\beta_i' = \frac{2.12}{(1-\omega)} \frac{w_{0i}}{u_*}$ 、 u_{*i} :摩擦速度、 ω は吉川・石川¹⁰⁾による(2)式から繰り返し計算により求めた値である。

$$\omega(2-\omega) = \exp\left(-1.77(1-\omega)\frac{w_{0i}}{u_*}\right) \quad (2)$$

図-10は、停水時ごと採取した側岸堆積浮遊砂の粒径別存在割合を、(1)式で表される理論値と比較したものである。縦軸はクラス別粒径の存在割合を、給砂に用いた材料の当該クラス粒径の存在割合で除したもので、横軸は河岸斜面と平坦河床部との接点を原点とする水深で無次元化した水際方向横断距離である。なお、各クラスの代表粒径は0.1, 0.3, 0.6, 0.9mmとした。実験値は各粒径クラスとも横断方向にわずかに減少傾向を示すもののほぼ一定の値をとっている。これは側岸斜面部において粒子の分級が生じていないことを意味する。一方、理論値では粒径が小さいものは水際方向に向かうに従い存在割合が大きくなり、粒径が大きなものは逆の傾向を示す。これは浮遊砂の拡散による堆積が生じた場合の一般的な特徴を示すものであるが、特

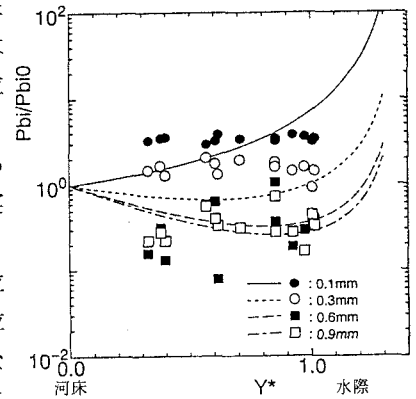


図-10 理論値との比較

に河床付近において実験値と食い違いが大きい。この原因のとして実験では、粒子の分級を伴うことのない2次流による活発な移送が行われていたが理論値にはこの2次流を考慮していないためと考えられる。

6. おわりに

本実験により張芝河岸の浮遊砂堆積に関する現実に近いスケールの観察をおこなうことができた。並列の縦筋の発生に伴い側岸に平均横断波長=水深の0.5倍、縦断波長=水深の5~12倍程度の浮遊砂の堆積波が確認された。しかし、2次流が浮遊砂の堆積に及ぼす機構を具体的に把握するまでには至らなかった。本実験によって得られた結果は、二次流、植生、浮遊砂拡散等の複雑な要因が張芝河岸の堆積、浸食に与える影響を定量的に把握するための基礎資料になるものであると考えている。

参考文献

- 1) 三谷修司・渡邊康玄・北條紘次；平成4年8月鶴川洪水による高水敷の土砂堆積状況、第49回年次学術講演会、1994.
- 2) 平林桂・山本晃一；湫沼川における河畔堆積物調査、水工学論文集第35巻、1991.
- 3) 渡邊康玄・北條紘次・清水康行；樹木の存在する河道の流況特性、水工学論文集第35巻、1991
- 4) 福岡捷二・新井田浩・佐藤健二；オギの河岸侵食抑制機構と耐力の評価、水工学論文集第36巻、1992
- 5) 辻本哲郎・北村忠紀・中川博次；植生帯周辺での分級縦筋の形成、水工学論文集第35巻、1991.
- 6) 金高州吾・渡邊康玄・長谷川和義・亀田祐二；芝を生やした河岸における大型水理実験、土木学会北海道支部論文報告集50号、1994.
- 7) 芦田和夫・道上正規；移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する研究、土木学会論文集第206号、1972.
- 8) 長谷川和義・道口敏幸・柿崎恒美・大串弘哉；石狩川における乱流と浮遊砂濃度の同時計測、土木学会北海道支部論文報告集47号、1991.
- 9) 長谷川和義・水子龍彦・石川伸；分級効果を考慮した鉛直及び横方向浮遊砂拡散に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集45号、1989.
- 10) 吉川秀夫・石川忠晴；流砂運動のモデルに基づく流砂量の算定法について、土木学会論文報告集、第269号、1978.