

II-36 河岸植生密度の影響に関する大型開水路実験

開発土木研究所 河川研究室 正会員 金高 州吾
 開発土木研究所 河川研究室 正会員 馬場 仁志
 北海道大学工学部土木工学科 防災講座 正会員 長谷川和義
 北海道大学大学院工学研究科 土木工学専攻 学生員 浅井 重政

1. はじめに

近年、物質的なものから精神的な豊かさに人々の価値観が変化してきている。これに伴い、河川においても流水を中心とした豊かな自然環境が価値を有するものであることが強く認識されるようになり、河川行政には自然環境へ配慮した工法が求められている。

こうした背景から自然環境を維持した河川づくりを考えたとき、懸念されるのは側岸侵食の問題である。著者らは、平成3年度から重力の効果などが明瞭に現れる大型開水路を用いて、裸地、芝、模擬葦へと側岸の対象を変えて実験を行ってきた。基礎的な侵食機構を解明することを目的として行われた裸地河岸実験¹⁾では激しい側岸侵食が見られた。また、掃流力の小さいケースにおいて室内実験では再現することのできなかつた現地側岸にも見られる動的平衡な直線状斜面を再現した。次に行った張り芝実験²⁾では、侵食を受けなかつたが、裸地実験とは逆に側岸堆積が生じた。そこで昨年度から、水性植生の代表としてよく知られている葦について、模擬葦³⁾を側岸に用いて流水特性に与える影響を検討した。今年度は特に植生密度の違いが与える流水特性⁴⁾を調べるため密度を変化させて実験を行い、流路形状に与える影響についても評価した。

2. 実験装置と方法

実験に用いた水路は石狩水理実験場にある幅4m、長さ40mの大型のものであり、写真-1のようなコンクリート製で、最大流量で1トン強の水を流せる。実験は移動床で行い水路の上流から6~7mの辺りで

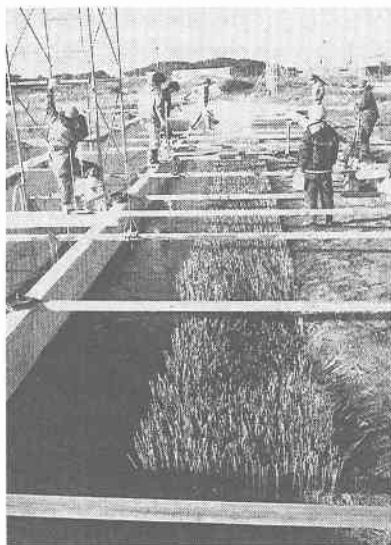


写真-1 模擬葦水路

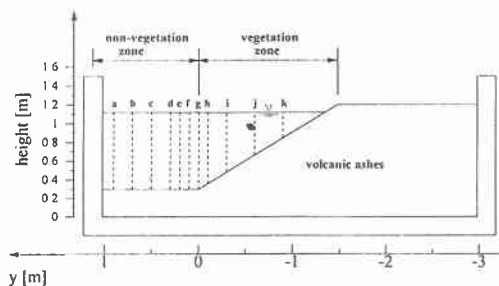


図-1 水路断面図

表-1 実験条件

実験ケース	植生密度 (本/m ²)	河床初期勾配	流量 (t/s)	給砂量 (m ³ /sec)
case1-1	1600	1/1500	0.5	0.019
case1-2	1600	1/1500	0.5	0.019
case1-3	1600	1/1500	0.7	0.028
case1-4	1600	1/1500	0.7	0.028
case2-1	1000	1/1500	0.5	0.019
case2-2	1000	1/1500	0.5	0.019
case2-3	1000	1/1500	0.7	0.028
case2-4	1000	1/1500	0.7	0.028

Large scale channel experiments with bank vegetation density effects on the flow

by Syugo KANETAKA, Hitoshi BABA, Kazuyoshi HASEGAWA, Shigemasa ASAI

ベルトコンベアを用いて給砂を行い、下流端の堰で等流状態にした。模擬草は水路長 40m の区間中、ほぼ中流に位置する長さ 16.1m 間の斜面部に設けてある。草は乱数を与えて配置し、高密度の場合を想定した。図-1 に水路断面図を示す。図中の a~k の記号は流速測定のための断面方向の測線で、これ以降文中の説明で用いる。

表-1 に合計 8 ケースの実験条件を示す。表記の case1 は植生密度が密なケースである。流量は 500 l/sec と 700 l/sec の 2 種類を通水した。1 種類の流量の総通水時間は 400min で、200min 毎に一旦、水を抜き河床を測定して 1 ケースとした。植生密度が密な 4 ケース終了後、植生を減らして密度を変え、一旦、河床を整形して case2 を同様に実施した。流水時の計測項目は水面勾配、水面変動、流速、浮遊砂採水であり、停水時の計測項目は河床横断、縦断面形である。なお、それぞれの計測に関する事項は流水特性の報告 4) に詳しく記されている。

3. 流れの状況

3-1 縦断、水面勾配

図-2 は、それぞれ、case1、case2 の水面勾配と河床形状を示す。この実験は植生域が部分的に設けられていることから、全体の流れは急縮、急拡を伴う不等流状態となっている。また、河床縦断面は流量の小さいケースでは給砂による平衡状態が保たれたが、流量の大きいケースの河床は変則的な形状となった。実験中の表面流況の観察によると、非植生域の中央付近で強いボイルの湧き出しが確認された。また、植生密度が粗なケースでは湧き出し位置がやや植生境界側による傾向がみられた。植生域の流れ場の現象として指摘されている水平渦は顕著にみられなかった。

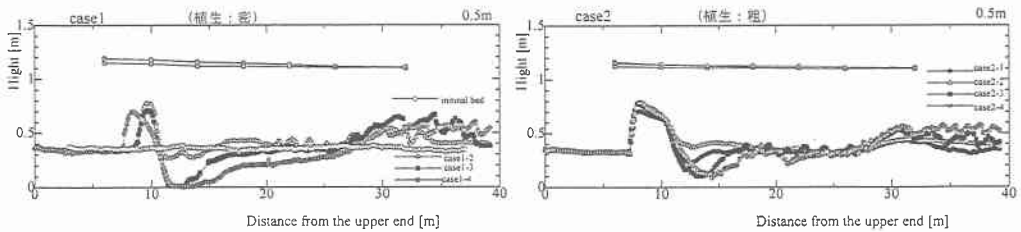


図-2 河床縦断面と水面勾配

3-2 平均流速

まず、図-3 に流下方向の平均流速の鉛直分布図を示す。case1-2(Q=500 l/s, 植生:密)、case1-4(Q=700 l/s, 植生:密)、case2-2(Q=500 l/s, 植生:粗)、case2-4(Q=700 l/s, 植生:粗) の場合で比較したものである。縦軸は実験水路における標高で、横軸は流速の大きさを示す。全てのケースに共通して水深方向

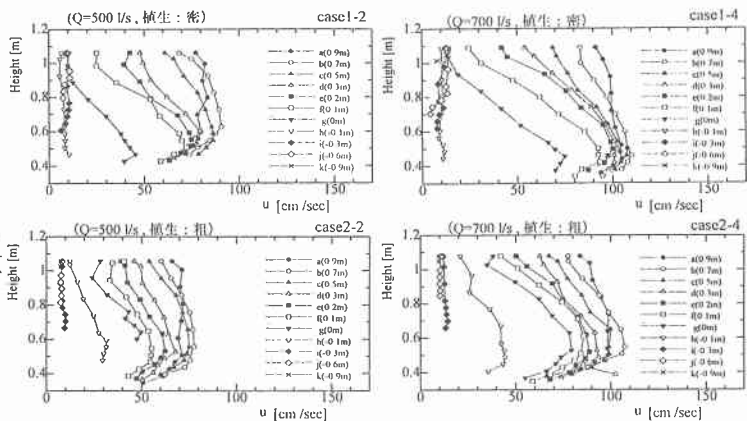


図-3 流下方向流速の鉛直分布図

の流速分布は対数則から大きく外れ、下方で流速が膨らむ特異な鉛直分布となった。これは「最大流速点の降下現象」で瀬津ら 5) の研究にも表れている。この特異な鉛直分布の形は、植生境界に近づくほどの傾

向が顕著であり、実験ケースでは、流量が大きく、密度が密なケースが顕著である。

また、植生境界よりやや植生内側にある測線hの鉛直分布に着目すると、密なケースでは5cm程度の微流速で鉛直方向に一樣な分布を示すのに対し、粗なケースは下で膨らむ特異な鉛直分布を示していた。

次に、図-4に流下方向流速の横断分布図を示す。これは図-3と同じケースで比較したものである。図

によると case1-2 と case2-2 では横断方向への傾きが異なっており、植生密度が密な case1-2 の流速は植生境界より植生側に入るとほとんど横断方向に小さい一定値となる。これに対し、植生密度が粗な case2-2 は非植生側へ向かう横断方向への傾きがねており、植生境界内まですか入り込んでいる。また、case2-2 において水深方向に流速差がないことが非植生域の横断分布の重なりに表れている。このような密度の違いによる流速分布の傾向は流量の大きいケースにも同様に表れている。

また、case1-4 の分布が植生境界からやや非植生域に入ったところで一旦横断方向にフラットになるのに対し、case2-4 においては、このような横断方向の極端なフラット化が見られない。

図-5に横方向流速(v)の横断面図を示す。流量の大きいcase1-4とcase2-4に植生境界の底から湧き上がる二次流線を描くことができた。これは表面流況の観察でみられた、強いボイルの湧き出し位置と一致するものであり、「湧昇流」と呼ばれる上昇流の発生が裏付けられた。湧昇流とは一般的に複断面水路において低水路と高水敷との境界の低水路の底の角で不安定な状態がつくられ、ここから発生する上昇流のことをいう。図-3の下方で流速が膨らむ特異な鉛直分布「最大流速点の降下現象」や、図-4の case1-4 で植生境界からやや非植生域に入ったところで一旦、横断方向にフラットになる現象には、この湧昇流により、底の遅い流体塊が運ばれることが影響しているものと思われる。

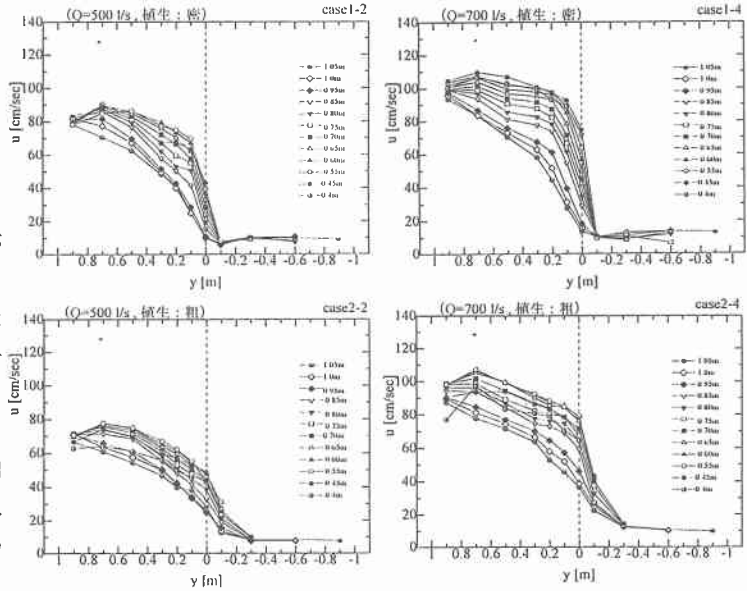


図-4 流下方向流速の横断分布図

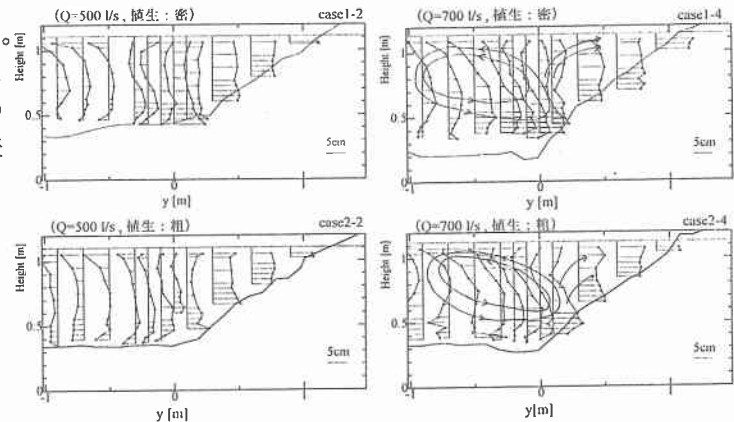


図-5 横断方向流速(v)の分布図

3-3 乱流現象

まず、図-6に主流方向のレイノルズストレス ($-\rho \overline{u'w'}$) の鉛直分布を示す。図の case2-2 において、他のケースに比べストレスの値が小さい。これは流下方向の流速差がほとんどないことを意味するもので、

図-4において同ケースの流下方向流速の横断分布が重なっていることに対応している。また、河床付近においてもレイノルズストレスが負の値を持ったままの測線が見られるが、これは、河床洗掘などにより河床近傍まで、流速が計測されておらず、実際は底で正の値を持つものと思われる、他の測線でも実際の河床では図の値より大きくなるものと思われる。

また、植生内の測線 h の分布は、case2-4 で鉛直標高 0.8~0.5 m までの間に、case2-2 で鉛直標高 0.5 m で負のピークを示すのに対し、密なケースではいずれのケースもこの測線ではストレスを持たないが、植生境界の g の分布が河床付近においても大きい値を示す。これらは、粗なケースでは測線 h、密なケースでは測線 g 近傍で運動量混合が活発になっていることを示すものである。

次に、図-7にレイノルズストレス ($-\rho \overline{u'v'}$) の横断方向分布を示す。植生が粗な case2-2、case2-4 では、非植生域において、レイノルズストレスの横断方向の平坦化はみられず、すそが植生内までに入り込んでおり、図-4の流下方向流速の横断分布と対応している。 case1-4 では非植生域の中央付近でストレスが途中で落ち込んでいる部分がみられる。特に、鉛直標高 0.8m~0.5m の分布では、一部負値を示すほどの顕著な落ち込みが現れている。この部分は図-4の case1-4 の流速分布のくびれ位置と一致する。これには、湧昇流が影響しているものと考えられ、遅い流体塊との混合により、流速差がなくなり、流れが一様化

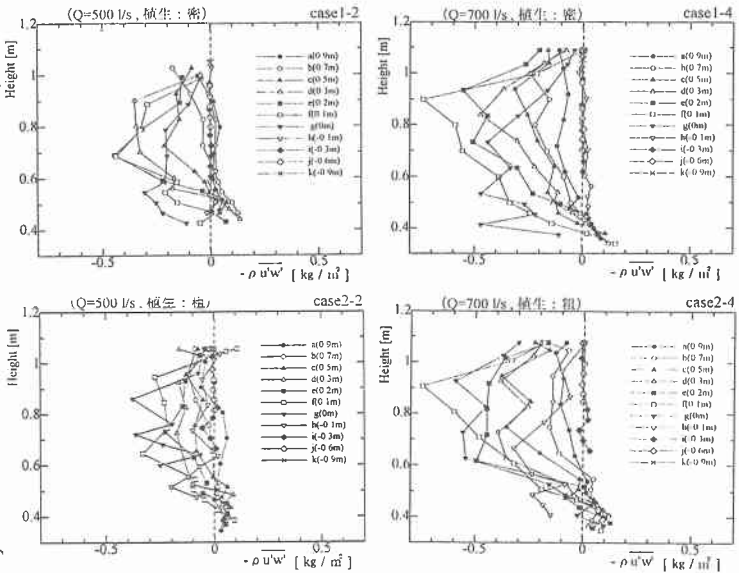


図-6 レイノルズストレス ($-\rho \overline{u'w'}$) の鉛直方向分布

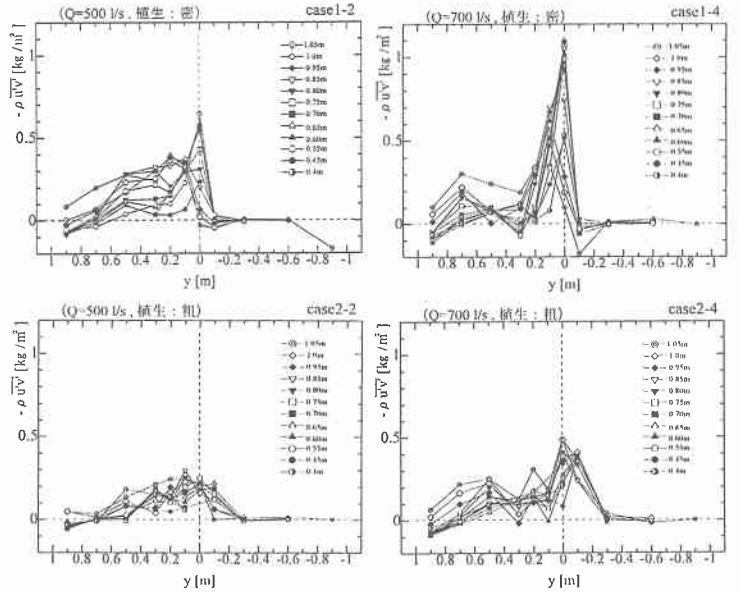


図-7 レイノルズストレス ($-\rho \overline{u'v'}$) の横断方向分布

してストレスがなくなった状態であると思われる。この現象は清水ら⁶⁾の数値計算結果にもよく表れている。

密度が粗な case2-4 にはこうしたレイノルズストレスの落ち込みは少なく、流下方向の流速分布にも極端な平坦化がみられない。

図-8は乱れエネルギーをコンターで表した断面図である。case1-4 に植生境界を根として非植生域の水面に広がる湧昇流が明瞭に現れている。流量が小さく密な case1-2 でも規模は小さいが同一箇所から発生し、同一箇所でも広がる形状が見られる。

一方、粗なケースに見られる湧昇流は、密なケースほど湧昇流の根の位置が明瞭でない。コンター図をみる限りでは、密なケースに比べ植生内にも入り込む広い発生位置を有しているようであり、case2-4 において水面に向かって、まっすぐ上にあがっている様子が見られる。こうした粗なケースの特長は、図-6で測線h近傍で運動量混合が活発になっていることや、図-7でレイノルズストレスのすそが植生内までに入り込んでいることに見られるように、密なケースに比べより植生側に湧昇流の発生点を有しているものと解釈できる。

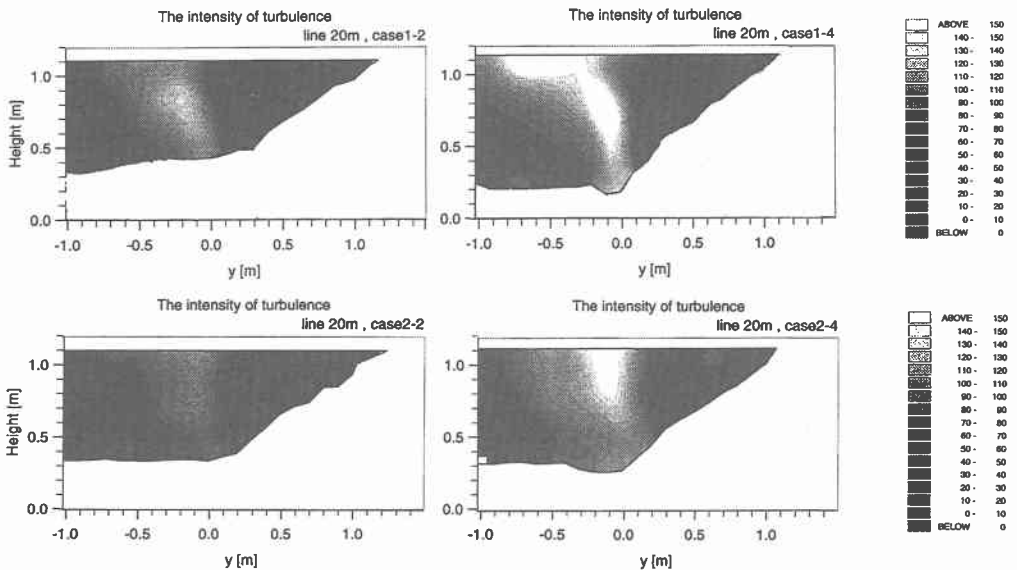


図-8 乱れエネルギーのコンター図

4. 流路形状の変化

図-9は横断河床形状の変化図である。側岸斜面部においては、ほとんど初期断面と変わらず側岸侵食を受けた箇所が見られないことから、基本的に侵食は摸擬草により防ぐことができた。しかし、case1-4、case2-4で測定した5箇所の横断面において植生境界の付け根のあたりに、侵食を受けた箇所が顕著に現れた。この箇所は3項で説明してきた湧昇流の発生位置と一致することから強い湧昇流と関係しているようである。このため草を用いた河道維持を考えたとき、草の地下茎の持つ強さが重要な検討要因になるであろう。

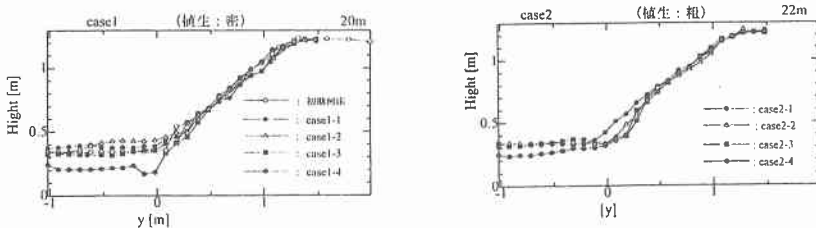


図-9 横断面形状

5. まとめ

高密度植生場を再現した本実験では、流速について有効に測定することができた。測定結果を用いた流速分布、レイノルズストレス、乱れエネルギーの分布によると、植生密度が粗なこれまでの研究で指摘されてきた水平渦は顕著に見られず、複断面水路の低水路側岸の法尻付近などに発生しやすい湧昇流が、植生境界の河床付近で発生することが確認された。

また、流量の違いに関しては、流量が大きいケースでは湧昇流の影響がより顕著に現れた。植生密度の違いに関しては、粗なケースでは密なケースに比べて、乱れエネルギーの集中する領域がより植生側にシフトした。これは、植生域でも運動量の混合が起りやすいことが影響しているものと考えられる。

6. おわりに

実験では、自然草を実験水路に用いることが困難なことや、植生密度の違いに着目した定量化が困難であることから、模擬草を用いて側岸をモデル化した。このため、自然草の茎のせん断力に対する耐性や地下茎の河道維持機能について解明することはできないが、植生域内ではせん断エネルギーが極めて小さいことから、植生が維持されるならば側岸の保護に有効な働きを有していることが明らかとなった。また、植生境界の河床付近にせん断エネルギーが集中することが明らかになったことで、草の植生維持に関しては植生境界付近の河床の安定性が重要であることが認識された。

自然状態の河岸の草群落が、比較的明瞭な境界線によって、非植生域と植生域に別れていることも、上記のようなせん断エネルギーの影響による植生更新への影響であると説明することもできる。

今後は、植生密度がより粗な場合の流れの状態、また、倒伏したときの流れの状態に関して、検討する必要があるものと考えている。

参考文献

- 1) 金高州吾・渡辺康玄・長谷川和義・亀田祐二：大型火山灰流路を用いた側岸侵食実験，水工学論文集，第37巻，pp.631-636, 1993.
- 2) 金高州吾・渡辺康玄・長谷川和義・浅井重政：張り芝水路における浮遊砂濃度分布と側岸堆積，水工学論文集，第39巻，pp.727-732, 1995.
- 3) 浅井重政・長谷川和義・渡辺康玄・金高州吾：ヨシを有する河岸の侵食・堆積に関する大型開水路実験，土木学会北海道支部 論文報告集，第52号(B),pp.194-199,1996
- 4) 長谷川和義・浅井重政・金高州吾・馬場仁志：高密度植生の葦河岸を有する水深の大きな水路における流れの特性，水工学論文集，第41巻，1997，投稿中
- 5) 瀬津家久・Dan Naot・中川博次：植生を有する開水路流れの3次元流速分布に関する数値シミュレーション，水工学論文集，第39巻，pp.507-512,1995.
- 6) 清水義彦・辻本哲郎・中川博次：水路横断面内に植生帯を伴う流れ場の数値計算，水工学論文集，第36巻，pp.631-636,1993.