

## 河床変動に及ぼす植生の影響に関する基礎的研究

Fundamental study of the vegetation effects on bed variation

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 内田崇浩 (Takahiro Uchida)

北海道大学工学院 正員 木村一郎 (Ichiro Kimura)

北海道大学工学院 正員 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

北海道大学工学院 正員 川村里実 (Satomi Kawamura)

## 1. はじめに

植生は根などの効果により土砂輸送を抑制し、側岸や砂州などが固定され水路幅の拘束が起こるとされることから、植生は流れ・土砂供給の状態に次ぐ水路形態を支配する重要な要因であると言われる<sup>1),2)</sup>。Tal ら<sup>3),4)</sup>によると、植物の発芽・成長が考えられる状態での、短時間の洪水と長時間の少ない流量のサイクルを繰り返すという実験において、水路の側方移動が活発で自然に維持される単列状の蛇行が発達することが実証されている。植生を考慮する場合、植生により河床抵抗が増すために、そもそも短絡水路が生じづらくなる。また、主水路と氾濫原の間に十分な勾配差が生じることで自然に短絡水路は発生するが、流れの分離と土砂の堆積に加え植生が侵入することで、以前の水路がせきとめられることにより

多数の水路は共存しにくくなる。実例として、札内川の変遷の様子を示すと図-1 のように水路が単列蛇行に近づいていることが分かる。

植生は礫河床に侵入し粗度の増大や死水域の拡大を招き、結果として流下能力の減少、倒木や流木により洪水時の災害リスクの増加など、治水安全における問題を引き起こす。また、環境面においても、礫河原に依存する河川生態系の衰退・消失をまねくなど様々な影響があるとされる<sup>2),5)</sup>。かつての札内川は洪水の度に礫河原が更新され十分な広さを維持していたが、平成7年の札内川ダム完成以来広範囲で砂州の樹林化が進んでおり、河道の維持管理において植生が問題視されている。従って、河川の維持管理をする上で、ダムの流量調節や洪水による、裸地や樹林化部分の推移の再現・予測をすることは工学的に有用であると考えられる。しかしながら植生の成長や消失を考慮した数値計算はほとんどなされてきていない。

本研究は、単純化された条件下における河床変動過程に対して、植生の消長を加えることで植生の有無が水路形態に与える影響について考察するものである。

## 2. 植生の消長を考慮した計算の概要

## 2.1 計算モデルの概要

流れの計算は平面 2 次元、非定常、非圧縮流れとし、一般的な連続式と浅水方程式をもとに行う。移流方程式の解法として CIP 法を用い、河床材料は均一粒径とし、流砂は掃流砂のみを考え平衡流砂量式である芦田・道上式を用いた。レイノルズ応力はゼロ方程式モデルにより求めた。数値計算プラットフォームとして、iRIC<sup>6)</sup>の既存のソルバーを後述のように改変して用いた。

## 2.2 植生の消長を考慮したモデル

## (1) 植生の密生度

本研究では植生の発生・消失を考慮するために、植生の密生度に成長の度合を示す成長率の関数  $gr(t)$  をかけることとした。



(a) 1978 年の札内川



(b) 2010 年の札内川

図-1 札内川の変遷<sup>5)</sup>

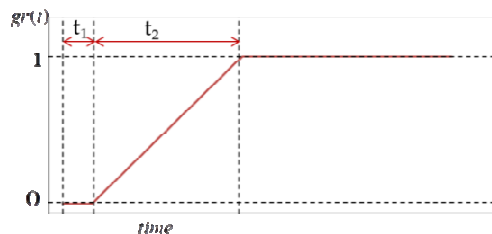
$$\text{変更前: } \lambda = \frac{ND}{lw} \quad (1)$$

$$\text{変更後: } \lambda = \frac{ND}{lw} \times gr(t) \quad (2)$$

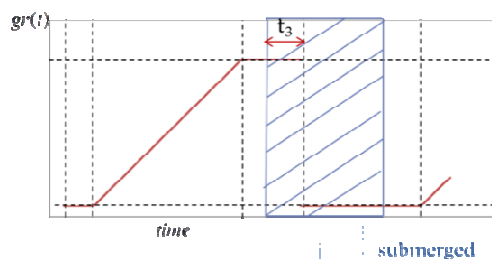
成長率関数の与え方は図-2 に示す。発芽に要する時間  $t_1$ 、成長に要する時間  $t_2$ 、時間枯死時間  $t_3$  と3つの時間を定義する。ここに枯死時間とは、水没により植生が浸食されて取り除かれるまでの時間を表す。図-2(a)の上図に示すように、成長率は発芽までを0、発芽後は線形に上昇していき、1に達した以降は変化しないものとした。加えて、図-2(b)のように水没が生じ、その期間が枯死時間を超えると成長率関数を0に戻す。

## (2) 河床変動係数と植生消長係数

河床変動係数とは、流れの変化に対して河床変動の速度は十分遅いと考え、計算を効率化するために河床変動に乗ずる係数のことで、ここでは記号  $f_m$  で表す。



(a) 浸水が起こらない場合の植生の成長率の変化  
( $t_1$ : 発芽に要する時間、 $t_2$ : 成長に要する時間)



(b) 浸水が起きる場合の植生の成長率の変化  
( $t_3$ : 枯死時間)

図-2 成長率  $gr(t)$  の取り方

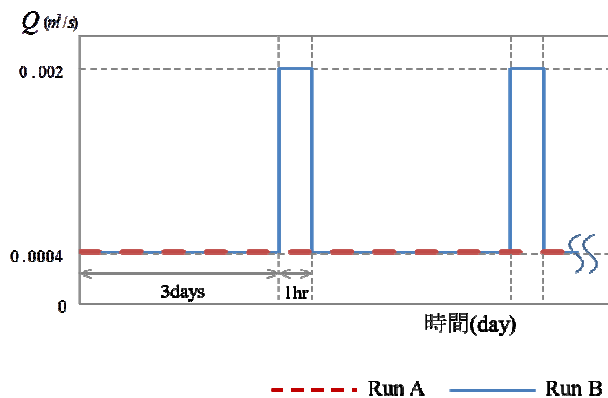
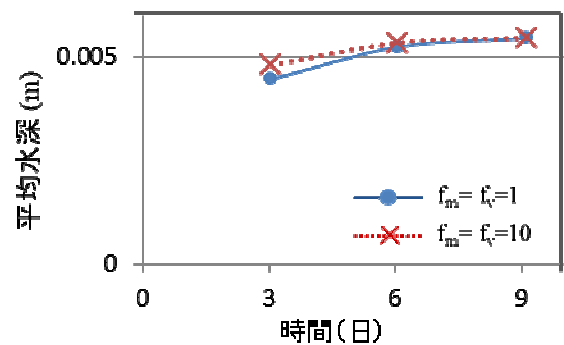


図-3 各ケースにおける流量

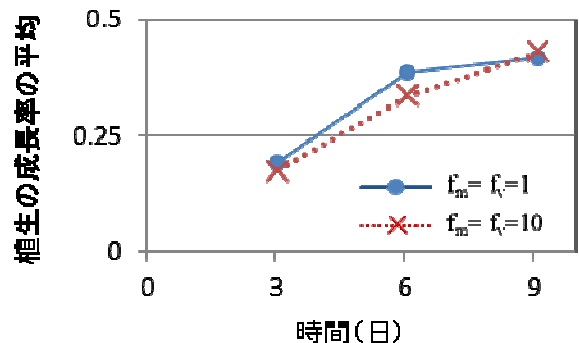
一方、植生の消長速度も流れの変化速度に比べ十分遅いと考えられるため、水路形状は河床の変化速度の比によって決定づけられると予測される。この点を確認するため、新たに植生消長係数を記号  $f_v$  で定義する。植生消長係数を導入すると、 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$  はそれぞれ  $t_1 f_v$ 、 $t_2 f_v$ 、 $t_3 f_v$  に置き換えられる。もし上の仮定が正しければ  $f_m$  を大きくしても  $f_m = f_v$  とすれば河床変動の基本特性は変わらないと推測できる。この点について後述のように  $f_m = f_v = 1$  の場合と  $f_m = f_v = 10$  の2ケースで比較する。

## (3) 水路条件等

Tal らの実験<sup>2)</sup>を参考にし、水路幅 2m、水路長 16m、水路勾配は 0.015、粒径は均一とし 0.5mm とする。粗度係数は岸黒木の式(1973)より 0.01 とした。初期条件として、低水路は深さ 1cm、幅 20cm、側岸の勾配を 0.2 とした。植生としてアルファルファを用いた実験、それに伴う解析は過去になされてきており、その一部を元とし植生の抵抗係数 1.0、密生度 ( $ND/lw$ ) は  $7 \text{ m}^{-1}$  とした。アルファルファの発芽に要する時間を 1 日、成長に要する時間を 5 日、枯死時間を 1 時間と設定した<sup>1),3)</sup>。流量は 2 通りを考え、図-3 に示す様に、一定に  $4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  を流し続けるケースを Run-A、 $4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  を 3 日間と  $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  を 1 時間とを繰り返すケースを Run-B とした。Run-A は植生単体の影響を検討することを目的とし、流量一定とした。Run-B は Tal らの実験と同様の条件である。



(a) 平均水深(m)



(b) 植生の成長率の平均値

図-4  $f_m = f_v = 1$  と  $f_m = f_v = 10$  の場合の比較

### 3. 計算結果

#### 3.1 河床変動係数と植生消長係数の検討

河床変動係数 10 とした際の計算と、通常時の計算の比較を行った。その他の条件は Run-B によるものとする。

図-4 に平均水深と植生の成長率の平均値を計算結果に示す。2 つのケースで平均水深、植生の成長率のいずれもほぼ一致している。このことから植生を伴う水路の基本形状は、植生成長と河床変動の変化速度の比で決定づけられることが推測される。以後、計算効率化のため  $f_m = f_v = 10$  を用いる。

#### 3.2 流量形態の違いによる流路の変遷

##### (1) 流量が一定の場合 (Run-A)

発芽が開始する直前と発芽開始より 12 日、また 20 日経過した流速の大きさのコンターを図-5 に示す。植生により側岸や砂州などが固定され水路幅の拘束が起こるという植生の持つ特徴を再現できたといえる。一度植生が侵入し砂州や側岸が固定されると、死水域に越水が起こることがほぼ無いため、植生による水路幅の拘束が進み、水路になり得る部分と死水域に明確に分かれ、新しい水路は生まれにくいと考えられる。

##### (2) 流量が変化する場合 (Run-B)

「1. はじめに」にて述べたように、Tal らの実験では植生を伴う開水路においては、単一水路における蛇行が支配的であることが示されている。活発な単一水路の蛇行を発生させるプロセスは、主水路と氾濫原の間に十分な勾配差が生じることで自然に短絡水路は発生するが、流れの分離と土砂の堆積に加え植生が侵入することで、以前の水路がせきとめられることにより多数の水路は共存しにくくなる、と述べられていた。

以下に Run-B の計算結果の概要を述べる。図-6 には、異なる 3 つの時間における流速コンターを示す。Run-A と比較し水路の変遷が活発であり、単列状の蛇行を発生させるという点において、良好に再現できていると思わ

れる。また、支配的な単一蛇行を発達させる現象を再現できた。図-7 では水路の湾曲が大きくなることによる勾配差の発生、図-8 では洪水により死水域において主水路との勾配差が大きな箇所新たな水路が生じ、多数の流れがそこに集中するとともに、植生が元の水路に侵入することが相まって元の水路が植生に覆われるという過程を表している。

#### 3.3 植生成長率の時間変化

図-9 は、Run-A および Run-B における植生の成長率の平均値について、それぞれ 25 日間程の計算結果を比較したものである。結果として、Run-A は 0.71~0.74 程度、Run-B では 0.56~0.60 程度と、その差は 0.1 以上の差となった。植生の成長率は密度の関数であることから、現実の問題として、ダムなどによる流量調整により洪水が発生しにくくなることで植生が侵入し、礫河床の更新がされにくくなるという現象を再現したといえる。

Tal らの実験では、洪水時を除き水は植生域に入らないとされる。側岸を植生が固定し、単一の水路が形成されると、内岸の堆積と外岸の浸食が同時に起こり、蛇行を発達させる。それにより水路の湾曲が十分に進み、水路以外の領域との勾配差が生じることで、新たな水路が形成されていた。

計算結果より、洪水時でなくとも水路の移動が頻発し、十分な湾曲が生じる前に水路の短絡が発生した。実験では、洪水により新たな水路が生じるまでは、洪水時を除き植生領域に水が侵入することはないよう流量が与えられていた。しかし本研究では洪水時以外でも植生領域への越水がみられた。

流量は実験に即した数値を用いているが流速、水深が同値ではなく、洪水時以外における越水範囲が異なる。これには、いくつかの原因が推測される。植生の密度については厳密な値の算出が困難であり、他の数値解析で用いられていた  $7 \text{ m}^{-1}$  を用いているため、本条件において植生の密度が適切でなく水路の変遷に影響していることが考えられる。また、植生の根による土砂輸送の抑制も無視できず、数値計算においては植生領域が容易に過度に浸食される結果と推測する。

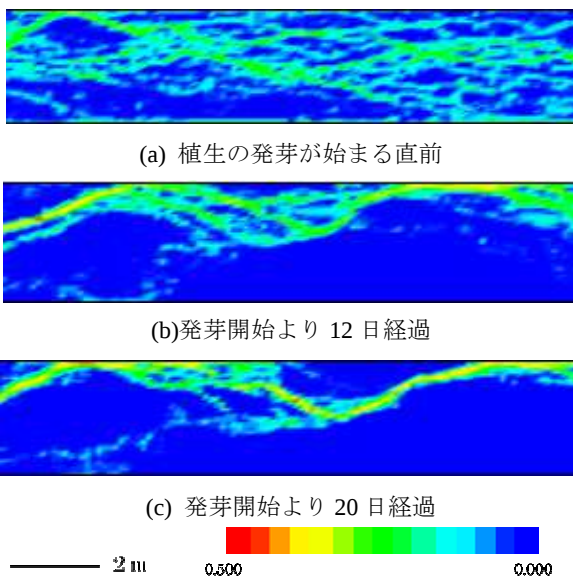


図-5 流量一定の場合の流速分布の変遷(cm/s)

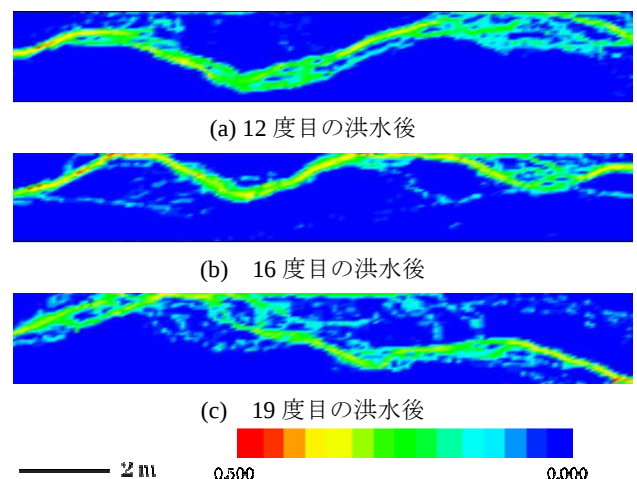


図-6 流量が変化する場合の流速分布の変遷(cm/s)

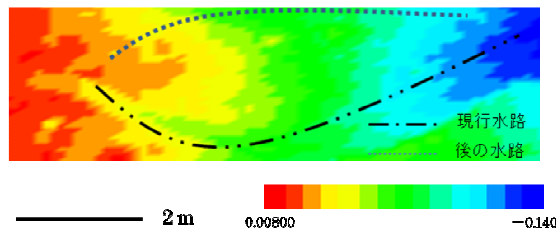
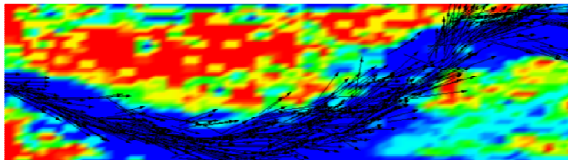
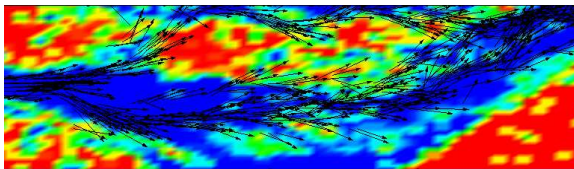


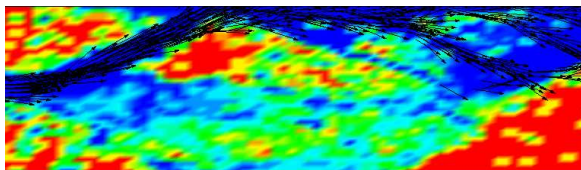
図-7 河床地形 (単位 m)  
7度目の洪水の直前の地形と水路



(a) 6度目の洪水直前



(b) 8度目の洪水直後、流れの分離



(c) 9度目の洪水直前、植生の侵入と元々の水路の封鎖



図-8 植生成長率の分布の変遷

#### 4. 結論

本研究では、植生の消長を考慮した条件での水路形態の変遷を、数値計算により再現を試みた。その結果として、以下のような結果を得られた。

- 1) 河床変動係数、植生消長係数の考察から、諸癖3位の成長を伴う移動賞では、地形が河床変動速度と植生の成長・消失速度の比に支配されることが推測された。
- 2) 流量一定のケースでは一度植生が侵入した領域には水が通ることがほぼないため新水路は生じにくく死水域と主水路が明確に分かれる。一方で、流量変化を伴う場合死水域となった領域にも洪水時に流れが達するため水路は水路や礫河原は活発に移動する、という現象を再現できた。
- 3) 流量一定であるとき、洪水を伴う場合よりも、植生成長率の平均が大きくなる。ダムの流量調整により、洪水が生じにくくなり植生が繁茂し、河原の更新がされなくなるという現象を再現できたものといえる。
- 4) 平水時における水路の不安定は Tal らの実験ではみられなかったものであり、その原因を推測するためにはより多くのケースで検証していく必要がある。

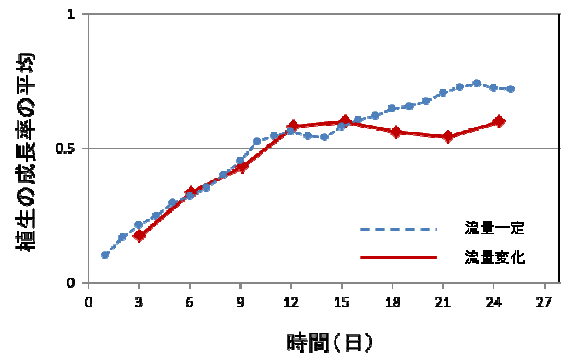


図-9 植生成長率の平均推移の比較

#### 5. 参考文献

- 1) C.-L. Jang、Y. Shimizu : Vegetation effects on the morphological behavior of alluvial channels, Journal of Hydraulic Research, Volume 45, Issue 6, pp.763-772, 2007.
- 2) Simon, A. and Collison, A.J.C : Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability, EarthSurface Processes and Landforms 27, 527-546, 2002.
- 3) M. Tal、C. Paola : Effects of vegetation on channel morphodynamics: results and insights from laboratory experiments, Earth Surface Processes and Landforms Volume 35, Issue 9, pp. 1014-1028, 2010.
- 4) M. Tal, C. Paola : Dynamic single-thread channels maintained by the interaction of flow and vegetation, Geology, v. 35, no.4, pp. 347-350, 2007.
- 5) 札内川技術検討会：札内川の現状と課題、2011.
- 6) <http://i-ric.org/ja/introduction>