

網状河川の進化に植生が及ぼす影響に関する研究

A experimental study of vegetation effects on evolution of bed form in braided river

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 宮崎貴雄(Takao MIYAZAKI)

北海道大学工学部土木工学科 学生員 Chang-Lae JANG

北海道大学工学部土木工学科 正員 清水康行(Yasuyuki SHIMIZU)

1. はじめに

網状河川は洪水時の土砂掃流量が大きく、砂州の移動・変形に伴い流路が激しく変形するため、河道や河川構造物の維持が非常に困難となる。しかしながら網状河川における河床形状の変形は、河床材の粒径・勾配など様々な要因に支配され複雑であるためわかっていないことは多くない。そのためその挙動についての特性を解明しようとすることは、水理学上・環境工学上大きな意味をもつことであり、多くの研究者がこの問題について実験や観察により研究をしている。[1]

本研究では、植生の密度をパラメータにして、以下のような方法で実験的に河床形状の変形を調べ、その植生の影響を調べようというものである。まず直線流路に水を流し網状河川を発生させる。次に植生を植え、水を流し河床形状を測定、植生の密度を変えて数回同じ作業をして、結果を比較しその特徴を明らかにする。その一つの手法としてモード判定を用いた。モードは砂州の形状特性を考えるもので、現実にはトポロジーの理論を用いて判定され[1]、その方法について議論されている。しかし目による判断では個人差があり客観性が損なわれる恐れのあることから、ここでは二重フリーエ解析によるモード判定を行った。

2. 実験の手順と結果

2.1 実験装置と実験方法

幅 2m、長さ 12 m で両側の板は木でできた実験水路に直径 1.25 mm の砂を敷き、実験水路内に底の幅 80 cm、高さ 3 cm、岸の角度は 40° の台形の直線流路を初期形状として作成した。水路の勾配は 3/200 とした。

実験を行う前に少量の水を流し、表面を湿らす。実験における流量は 3.5 l/sec で、その間給砂を手で行う。実験中、流砂を下流端でふるいを用いて集めて計量し、その量から水路内の砂の量が変わらないように給砂量を定めた。上流端と下流端にゲートを設置し、水深を制御して、できるだけ一定条件を保とうとした。

水深は水を流したままポイントゲージで、水を流し始めてから 15 分後に測り、河床形状の測定は水を流さない状態で、レーザーを用いた砂面計により行った。河床の

測定は、上流端付近は水が水路内に入ることと、給砂の影響を避けることができないため、上流端から流下方向に 1 m の地点から、8 m の地点まで 20 cm 毎行い、横断方向は 0.05 m から 1.95 m まで 1 cm 毎に行った。

初期形状の水路に水を 30 分間流し、網状河川を再現してから、水を止め水路上に予め期待した密度となるように重さを計量し、目を出し育つ確率 80% (種の製造元による)・様々な原因による種の損失の確率 1% (仮定) で計算されたアルファルファをまんべんなく手で蒔いた。その後 0.4 l/sec の水を 2 分間流して、流路となっている箇所をある程度洗い流し、自然の河に近い状況を作り出した。流された種はより深い箇所に溜まったり、河岸に沿って溜まったり、下流まで流されたりした。

アルファルファが育つまで河床が変化しない程度の流量 0.15 l/sec を一日に二度ずつ 10 分間流し、水路を湿らせた。これを毎日繰り返し、二週間程が経ち流れにアルファルファが耐えられるようになってから実験の続きを行った。その時点でアルファルファの大きさは葉が 3 枚、直径 1 cm、茎の長さが 3.5 cm だった。

以上の手順で植生の密度を変えながら、自然に近い河川を再現した。

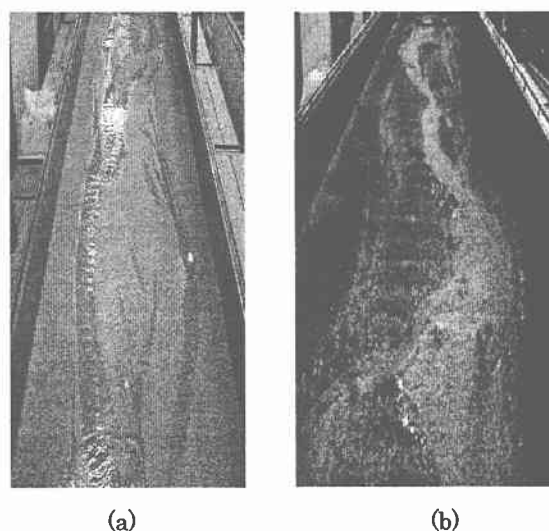
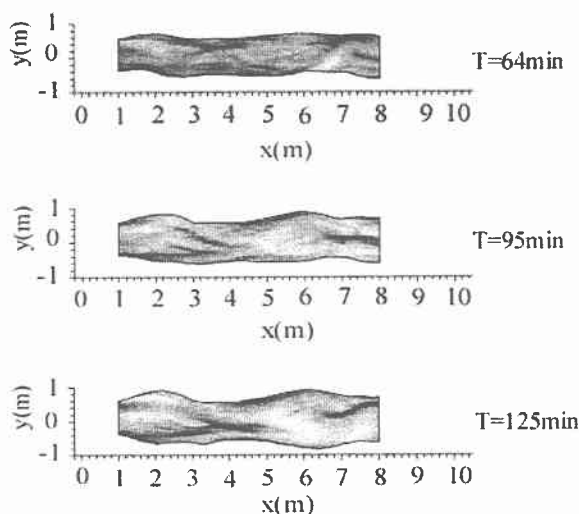


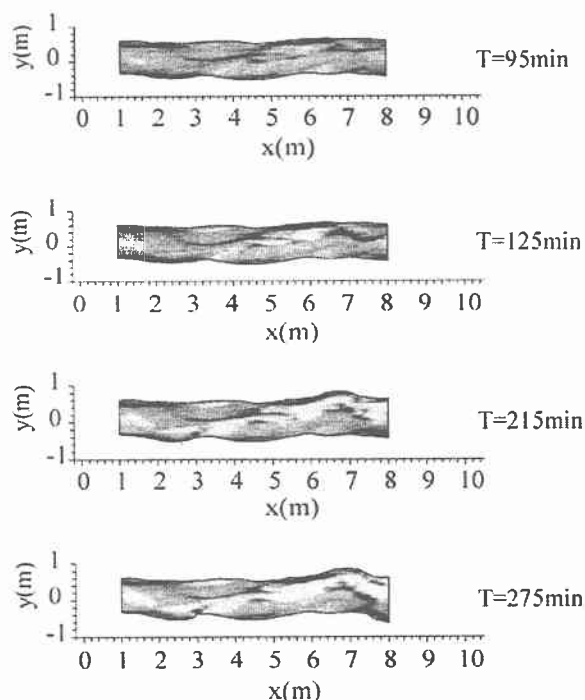
図-1 実験水路に再現された網状河川
(a) 植生を植えていない水路 (Run.1)
(b) 植生を植えた水路 (Run.3)

表-1 実験条件

Run.	植生の密度[本/c m ²]	流量[l/sec]
1	なし	3.5
2	0.7	3.5
3	1.1	3.5



(1) 植生なしの場合(Run.1)



(2) 1.1 本/c m²の場合(Run.2)

図-2 河床の進化

- (1) 植生なしの場合(Run.1)
- (2) 1.1 本/c m²の場合(Run.2)

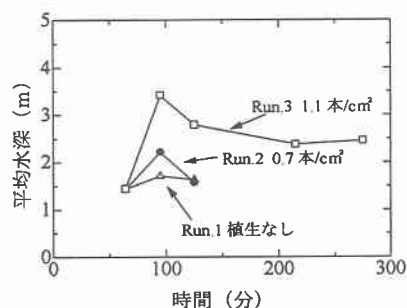


図-3 水深の時間的变化(上流端から 6m)

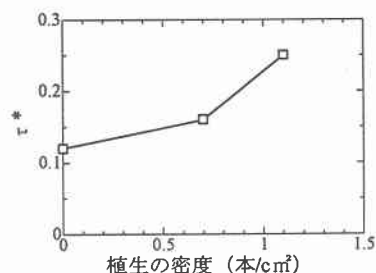


図-4 無次元せん断応力 τ^* と植生の密度の関係

2.2 植生の影響による変化

河の地形的変化に関する植生による影響と考えられるものには流路幅・流速・水深・流れの方向等がある。それらがこの実験でどのように現れたのか考えてみる。

網状河川では、流れは比較的深い低水路に集中する。植生が無い場合は、低水路もまた河岸と同じように時間の経過とともにその形を変えていく。低水路の下流側に砂州ができ、その砂州が発達することで流路の方向が変化し、河岸が侵食される。その砂州もまた流れに侵食された。図-2 は Run.1, Run.3 の河床形状の時間変化である。その図からわかるように、植生がある場合の挙動は植生がない場合とは少し異なっていた。河岸が植生に守られ水路横断方向の進化が小さい分、河床では二次流により深掘れが起こった。流れの方向は河岸や砂州に生えた植生により制御されているため、時間が経過するほど深掘れは進行し、その河岸は徐々に蛇行を大きくしていった。

その流れの性質に注目すると、図-3 から植生の密度が増えるほど水深も増加していたとわかる。また図-4 は時間 90 分の実験ケース毎の無次元せん断応力 τ^* である。ここで τ^* は平均水深と平均勾配を用いて算出した。それとともに植生が生えていることで流れそのものの抵抗も増加したことを図-4 が示している。つまり植生の密度は流れの抵抗に影響し、抵抗が増加したことで水深が増加したと考えられる。

次に地形的変化を考える。図-5 は実験開始から 125 分経過時の河岸形状、図-6 は 95 分から 125 分での流路幅の変化量であるが、一見してわかるように植生なしの場合の変化が顕著であり、大きく蛇行しているといえる。一方、植生の密度の大きいケースはより河岸の変化が小さくなっている。これは河岸に生えた植生により流れが

河岸に直接当たることが無くなることと、植生の根が河岸の補強材として働いているのではないかと考えられる。つまり植生は河岸を守る効果があると言える。

図-7 は横断面毎に、最も河床が高い所と低い所の差をとったもので、深さ方向の変化の大きさを示している。これを見ると植生がある場合は、値が大きかった。これは砂州が植生に守られていることで、前述の作用により深掘れが進行したことを示している。図-5、図-6 から植生の密度が大きい場合は横断方向の変化が抑えられ、深さ方向の変化が大きくなると考えられる。

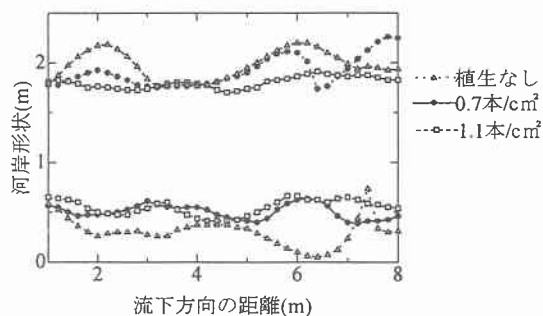


図-5 流れにより侵食された河岸の形状（125分経過時）
縦軸は実験水路右端からの距離

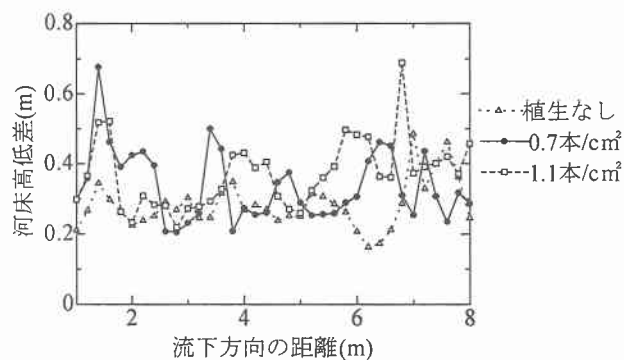


図-7 流下方向の位置ごとに見た河床の高い部分と低い部分の差

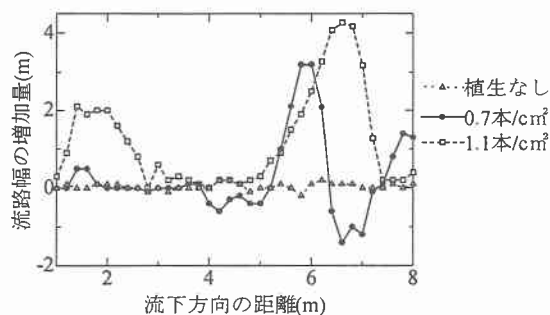
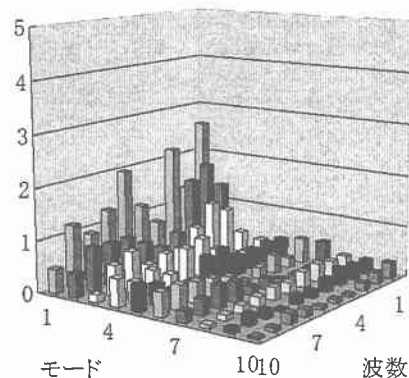
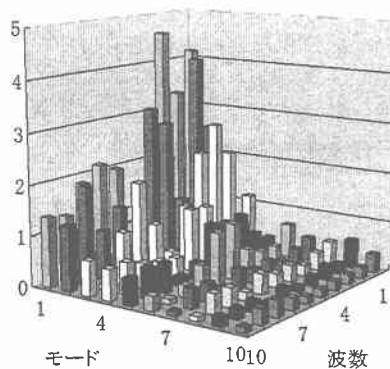


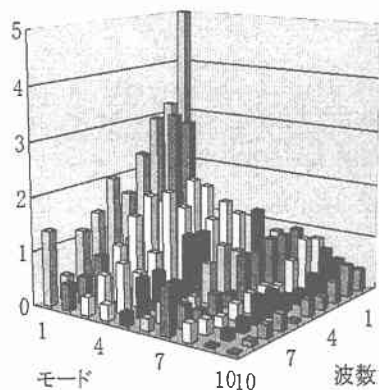
図-6 95分から125分での幅の変化



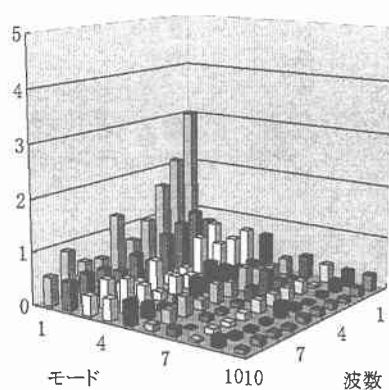
(a) 実験開始前で網状河川を再現した時(34分)



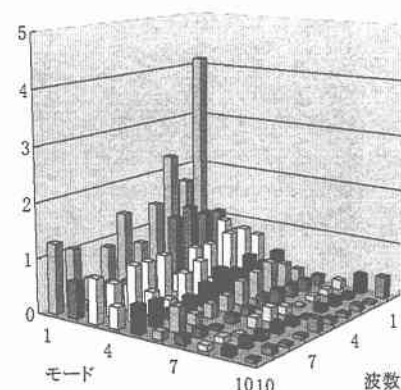
(b) 植生なしの場合の125分



(c) 0.7本/cm²の場合の125分



(d) 1.1本/cm²の場合の125分



(e) 1.1本/cm²の場合の275分

図-8 二重フーリエ解析の結果

モードが横断方向、波数が流下方向の周波数を示し、縦軸はそれぞれの振幅成分を表す。

3. 二重フーリエ解析

3.1 解析手順

平均水深を H , 河床面の平均河床面との差を Δz (下向きを正) とすると, Δz を H でわった無次元河床高 η は次式で表された. i は流下方向の計算点 j は横断方向の計算点, L は流下方向の長さ, Y は横断方向の幅である.

$$\eta = \frac{1}{2} \sum_i \left\{ a_{i0} \cos \left(\frac{2i\pi s}{L} \right) + b_{i0} \sin \left(\frac{2i\pi s}{L} \right) \right\} + \frac{1}{2} \sum_j \left\{ a_{0j} \cos \left(\frac{2j\pi n}{Y} \right) + c_{0j} \sin \left(\frac{2j\pi n}{Y} \right) \right\} + \sum_i \sum_j \left\{ a_{ij} \cos \left(\frac{2j\pi n}{Y} \right) \cos \left(\frac{2i\pi s}{L} \right) + b_{ij} \cos \left(\frac{2j\pi n}{Y} \right) \sin \left(\frac{2i\pi s}{L} \right) + c_{ij} \sin \left(\frac{2j\pi n}{Y} \right) \cos \left(\frac{2i\pi s}{L} \right) + d_{ij} \sin \left(\frac{2j\pi n}{Y} \right) \sin \left(\frac{2i\pi s}{L} \right) \right\}$$

この式を逆変換して求めた係数 a, b, c, d を次の式に代入して振幅成分を求める.

$$\alpha(i, j) = \begin{cases} \sqrt{a_{ij}^2 + b_{ij}^2} & \text{ただし } j \text{ は偶数} \\ \sqrt{c_{ij}^2 + d_{ij}^2} & \text{ただし } j \text{ は奇数} \end{cases}$$

3.2 解析結果

実験結果に対する考察の一つとして, 二重フーリエ解析によるモードの判定を行った. (図-8) まず 125 分の結果を見ると, Run.1 と Run.2 の数値が大きくなっているのは, 水深が浅くなったことによる. これは前述したように流路幅が大きくなったためだ. Run.3 は逆に水深が大きくなったため, 値は小さくなっている.

他の研究で藤田ら[2], Tubino ら[3]によって言われている通り, 網状河川の進化は始め高次モードの砂州が卓越し, 時間とともに低次モードに変化していく. この実験結果について見ると, 初期は若干低次モードが大きく出ているが, 目立って卓越していると言うほどではなく, いろいろなモードが混在している. 95 分において, 植生の無い場合は低次モードが明らかに卓越して他の研究で言われているのと同様であると言えるだろう. また 0.7 本/cm² の場合も Run.1 程ではないものの, 125 分に低次モードが卓越しているといえる. しかし 1.1 本/cm² の場合は明らかに他の場合と異なっている. どのモードも大差なく, いろいろなモードが混在していた. その後, 倍以上の時間が経過した 275 分においても少し低次モードが大きく出ているが, 卓越という程ではない. それに加えて流下方向に, 高周波成分が他の成分に対して無視し得ないほど残っている. Run.1 と Run.2 においては時間が経過すると低次モードが卓越し, モードも流下方向の周波数も高次成分になるにしたがってその影響は小さくなっていた. つまり k の二つの場合は単純な形状に進化したのに対し, 植生がより多く生えていた Run.3 では高次モード, 高周波成分が残ったことから, 河床の単純化が起こらず複雑な形状を維持し続けたと考えられる.

このことからただ単に, 植生の河岸や砂州を守る効果により, 河床の発達が遅れているのではなく, 植生がある場合は, ない場合とでは少し違ったより複雑な進化の仕方をしている可能性があることを示している.

4. おわりに

この実験では両岸を侵食しうる網状河川における植生の効果を調べた. その結果, 水深, 流速, 方向は植生により影響を受けた. 植生の密度が増えるにしたがって, 流れの抵抗が増すことと植生により河岸や砂州に直接流れが直接衝突することが妨げられるために, 河岸の侵食は小さくなり, 二次流の影響で深掘れが大きくなった. つまり地形学的には, 植生は網状河川の横方向の進化を抑え, 深さ方向の進化を促進する効果が見られた. この効果は河川改修のあり方が変化した今, 非常に注目されるべきことである.

またモード判定でも初期こそ植生の影響は大きく認められなかったが, 実験時間が進むにつれて低次モード化した植生なしの場合と, 明らかな低次モード化はせず様々なモードが混在する複雑なモードを維持した植生のある場合とではその様子は大きく異なった.

このようにこの実験では植生のある場合と無い場合では, 網状河川の進化の仕方には違いがあったといえる.

この研究では植生のある場合のモード判定の結果が, 植生の無い場合と違ったのはどういう現象が現れたからか, もっと長い時間が経過した後にはどうなっていくのかまで研究を進めることができなかった. より定量的にこのメカニズムを検証することがこれからの研究に求められることである.

5. 参考文献

- 1) 藤田 裕一郎 : 網状河川の問題と最近の研究, 土木学会水理委員会 水工学シリーズ 87-A-4, 1987
- 2) 藤田 裕一郎, 赤松 英樹, 辻本 嘉雄 : 複列砂州と網状流路の形成過程に関する実験, 京都大学防災研究所年報, 第 29 号 B-2 別冊, 1986
- 3) Walter Bertoldi, Marco Tubino, Zolezzi : LABORATORY MEASUREMENTS ON CHANNEL BIFURCATION, 2nd IAHR Symposium on River Coastal Estuarine Morphodynamics, Obihiro Japan 2001 pp.723-732
- 4) 青木 輝之, 清水 康行, 倉林 弘志 : 二重フーリエ解析による複列砂州の形成に関する数値計算の考察, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 58 号, 2002, pp.426-429



図-9 実際の網状河川 札内川 (北海道)