

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20560470

研究課題名（和文）河道内植生の内部構造が流れ場全体に与える影響とマルチスケール解析の適用性

研究課題名（英文）Influence of internal flow structures in plant community on the whole river flow and applicability of multi-scale analysis.

研究代表者

池田 裕一（HIROKAZU IKEDA）

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20202898

研究成果の概要（和文）：樹冠と幹で構成される高木群落がある場合、その内部の流れ構造と河道全体の流れとの相互作用について、実験的検討を行った。群落の上流側で鉛直方向にはほぼ一様な流速分布は、群落内に入ると速やかに樹冠部が遅く幹部が速い分布形へと遷移する。また群落の下流側では、樹冠部背後で激しい混合が生じて、その影響が長く下流に及ぶ。側岸に沿って高木群落がある場合には、非植生域の流れとの相互作用により、複雑な3次元流を確認することができた。

研究成果の概要（英文）：Experimental research was performed on the interaction between the flow in tall plant community and that in non-vegetated area. It was found that velocity profile, which is almost uniform in non-vegetated area, quickly transferred in the upstream zone of the community into the typical profile which is slow in crown zone and fast in trunk zone. On the contrary, in the downstream zone of the community, mixing motion is generated behind the crown zone, which influences long along the river flow. In the case the tall plant community is located along the one side of a river, complicated three dimensional current, which is generated by the interaction with non-vegetated area, was observed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：河川工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：高木群落，樹冠，抗力係数，流速分布，レイノルズ応力，二次流

1. 研究開始当初の背景

河道内植生が流れに与える影響について、実験や解析、現地調査が行われるようになって久しいが、いまだ未解決な点が多い。

たとえば、高木群落は幹と樹冠からなる鉛

直構造を持つ。しかし現在の解析手法では、樹木群の流水抵抗を一つの値で表すのみで、高木の鉛直構造を反映したものにはなっていない。合理的できめ細かな河川環境管理のためには、高木の鉛直構造を考慮した解析を

行う必要がある。

また、同じ高木群落でもそれが傾くことで抵抗特性に無視できない変化が生じる。この場合、高木個体レベルのいわばミクروسケールで見ると、流れは平行流ではない。これを従来のように、群落レベルのいわばマクروسケールで平行流を仮定して解析する際には、ミクروسケールの流れの変化の影響を付加的抵抗として導入せざるを得ない。しかし現段階ではこの付加抵抗を経験的に扱わざるを得ず、理論的なアプローチは未解決のままである。

実務的には、河川の流況を解析する際には、河川の流下方向と横断方向による平面2次元流として扱うことが一般的で簡便である。この2次元解析モデルは、河川の流れをいわばマクروسケールで扱ったものであり、これに上述のようなミクروسケールの流れ構造の影響を反映させる必要がある。実務的に有効な2次元流解析とミクروسケールの基礎的研究との橋渡しを活性化することが、今後の重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究では、高木群落のように河道内植生の抵抗特性が明らかな鉛直構造を有する場合の流れ場の特徴について、さまざまな状況を想定して検討を行う。具体的には、

- ・高木の樹冠部と幹部の流水抵抗の相違が群落内部の鉛直方向の流れ構造に与える影響を明らかにする。
- ・高木群落の前方から群落内部に至るまでの流れ構造の縦断方向遷移を明らかにする。
- ・高木群落内部から群落後方へ流下する際の流れ構造の縦断方向遷移を明らかにする。
- ・側岸に沿って高木群落が存在する場合に、横断面内に生じる流れの3次元性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 高木模型の作成

さまざまな抵抗特性を有する高木模型を用いて実験するために、以下のような？種類の高木模型を作製した。

[模型 A] 幹部分として、直径 1cm 高さ 6cm の木製円柱を 10cm 間隔で千鳥上に配置した。この上に樹冠部としてプラスチック透水材(ヘチマロン)を載せた。

[模型 B] 幹部分は模型 A と同じ。樹冠部として直径 2.5mm の竹串を 2.5cm 間隔で鉛直に配置した。

[模型 C] 幹部分は模型 A と同じ。樹冠部として直径 3mm の竹串を 5cm 間隔で鉛直に配置した。

[模型 D] 幹として、直径 0.5cm の木製円柱を 5cm 間隔で千鳥上に配置した。その高さは、樹冠部も含めた群落全体の高さとした。樹冠

部分は、直径 2.5mm の竹串を 2.5cm 間隔で鉛直に配置し、幹のみの部分が水路底面から 6cm となるようにした。

[模型 E] 幹については模型 D と同じ。樹冠部分は、直径 5mm の竹串を 2.5cm 間隔で鉛直に配置した。

(2) 流速測定方法

流速は電磁流速計で測定した。サンプリング間隔は 10msec、計測時間は 1 分間とした。測定箇所は、縦断方向の決められた地点で、鉛直方向に 1cm おきとした。ただし、群落内では、高木模型の周囲で流速分布が不均一になるので、平面的に滑らかな流速分布を仮定して設定した 4 点での流速を測定し、その平均をとることによって、その 4 点を含む高さでの測定値とした。

(3) 群落上流端周辺の流れ構造の遷移

幅 50cm、長さ 16m の水路において、下流側 7m の全幅にわたり、植生模型 A,B,C を配置して、それぞれの場合での、流速とその変動の鉛直分布を、縦断方向の各地点で測定した。

(4) 群落下流端周辺の流れ構造の遷移

幅 50cm、長さ 16m の水路において、上流側 7m の全幅にわたり、植生模型 A,B,C を配置して、それぞれの場合での、流速とその変動の鉛直分布を、縦断方向の各地点で測定した。

(5) 側岸に沿う高木群落に伴う流れの構造

幅 50cm、長さ 16m の水路において、左岸側の全長にわたり、幅 20cm で高木模型 D、E を配置して、それぞれの場合での、流速とその変動の鉛直分布を、水路中央付近の横断面の各地点で測定した。

4. 研究成果

(1) 高木群落内部の流れ構造

水深が縦断方向に変化しない等流状態で実験を行ったところ、模型 A を用いた場合には、高木群落内部における流下方向流速成分の時間平均の鉛直方向分布は、基本的には、上層の樹冠領域では遅く、下層の幹領域では速く、その間に自由せん断層が形成され、水路床付近で底面せん断層が形成されることがわかった。またレイノルズ応力は、自由せん断層と底面せん断層で大きいですが、前者において著しく大きいことが明らかになった。

模型 A の場合には、水路に流す流量が変わっても樹冠部の流速はさほど変化せず、幹部分の流速が大きく変化することがわかった。これは両者における抵抗特性が大きく異なるためである。つまり、樹冠部の抵抗が著しく大きいために、そこでは植生抵抗と重力の釣り合いから決まる固有浸透流速にほぼ等しくなる。その一方で幹部分は抵抗が大きくないので、植生抵抗と重力

に加えてレイノルズ応力と力の釣り合いによって流速分布が決まるために、状況に応じて流速値が変化するのである。

つぎに、樹冠部の抵抗が異なる模型 B、C で実験し、模型 A の結果と比較したところ、水深と樹冠抵抗によって流速分布形が大きく異なることがわかった。すなわち、樹冠抵抗がきわめて大きい場合(模型 A では幹部の 10 倍程度)では、水深によらず樹冠領域内で固有浸透流速にほぼ等しくなる部分が必ず現れ、それと幹部分の流れとの間に自由せん断層が形成される(タイプ a)。樹冠抵抗がそれほど大きくない場合(幹部の 2~5 倍程度)では、水深が大きければ模型 A と同様な流速分布であるが、水深が小さくなると、樹冠内では固有浸透流速に相当する部分が消失し、水面に向けて流速が減少するせん断層のみが形成される(タイプ b)。さらに樹冠抵抗が小さい場合(幹部と同程度)では、実験した水深範囲では、幹部と樹冠部とに明確に分かれるような流速分布にはならず、全体として1つの層が形成される(タイプ c)。

以上のように、高木群落内部の流速分布は、樹冠領域と幹領域との流水抵抗と水深に応じて多様な分布形をとることが分かった。

さらに、縦断方向に水深を変化させて不等流状態で実験したところ、水深変化に応じて、等流状態で実験した場合と同様の流速分布が見られた。不等流解析を行う場合には、群落内の流速分布については、等流状態の分布形を与えてもよい近似になると推察される。

(2) 高木群落上流端周辺の流れ構造の遷移

高木群落の上流側では、流速分布は一般的な開水路における対数則的分布であり、流れが高木群落内に入ると、高木群落内での平衡的な流速分布(1)で述べた a, b, c の3タイプのどれかへと急速に変化する。その際に、樹冠領域に低速領域が形成される場合には、幹領域へと強い下降流が形成され、顕著な運動量輸送が生じることがわかった。

(3) 高木群落下流端周辺の流れ構造の遷移

高木群落の下流側では、樹冠領域の抵抗が大きく流速分布形が前述のタイプ a となる場合には、群落後方の樹冠部の背後に剥離域が形成されており、そこで大きな渦運動が間欠的に発生していることを明らかにした。その水面付近では逆流が生じており、レイノルズ応力が顕著に増加しているなど、複雑な流況を呈していることがわかった。

樹冠領域の抵抗が小さく、流速分布がタイプ b, c となる場合では、タイプ a のような顕著な剥離領域は見られず、逆流が生じることもなく、それぞれの流速分布から一般的な開水路における対数則的分布へと遷移していくことが確かめられた。

さらに、高木群落下流側において、群落直

後における流速分布(樹冠領域と幹領域の抵抗特性に応じた流速分布)から、通常の開水路の流速分布に遷移するまでの距離は、抵抗特性の違いほどには変わらないことがわかった。これは、樹冠領域と幹領域の流水抵抗の差が大きい場合には、2つの領域の間の流速差が大きい代わりに両者の混合が盛んであり、流水抵抗の差が小さい場合にはその逆が成り立つためである。

(4) 側岸に沿う高木群落に伴う流れの構造

非植生域の流下方向流速は、底面で遅く水面付近で速い。これに対して、高木群落内の流下方向流速は底面付近の幹領域で速く、水面付近の樹冠領域で遅い。これらが左右に配置されて、その間に自由せん断層が形成されている。したがって自由せん断層においては、上下方向の流速の大小関係が逆転する、すなわち横断方向のどこかで、流速が鉛直方向にほぼ一様となる位置が現れる。このことが流れの3次元性に与える影響については未検討であるが、後述する断面内2次流の特徴と合わせて今後の検討課題としたい。

流下方向流速について、上述のように非植生域と群落内で鉛直方向の大小関係が異なることにより、水面付近では底面付近よりも両者の流速差が大きくなる。その差異は、群落内の抵抗特性が一様な場合に比べて大きいものであり、レイノルズ応力にもその影響が現れている。

また横断面内においては、特徴的な二次流が見られた。これは、おおまかには、水面付近を植生域から非植生域へ、底面付近はその逆方向へ向かう循環流を形成しており、樹冠の流水抵抗が大きい場合には、植生域内に小さなスケールの循環流も生じていた。

(5) おわりに

以上のように、植物群落が鉛直構造を有することによって、群落内およびその周辺で多様な流れ構造が現れることを明らかにすることができた。特に、側岸に沿う高木群落に伴って生じる断面内2次流の挙動については、不明な点が多く、さらに詳細な検討が必要である。

また、その他の特徴についても、その様相を理解することはできたが、これらを実務的な解析モデルにいかに関り込んでいくか、大きな課題である。従来のように、流速の鉛直分布形を何らかの関数で近似して、準3次元解析モデルを構築するとしても、本研究課題で見られたように、流水抵抗の鉛直構造や水深に応じて、あるいは一般的な開水路流れとの遷移過程に応じて、きわめて多彩な分布形を示す。そのため、分布形を規定するために多くのパラメーターが必要になり、未知数の個数で比べれば3次元計算とさほど変わらなくなる可能性もある。

そこで、その中間的なあり方として、マルチスケールモデルの適用が考えられる。すなわち、

鉛直方向の流速分布は3次元的な(ミクロスケールの)流れの方程式により求めて、その結果を元に2次元的な(マクロスケールの)パラメータを決めて、2次元流れの方程式を解くのである。本研究課題では、この手法を実際実施するまでには至らなかったが、今後の課題として、検討していく必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 田中徹・池田裕一・岡崎祐也：樹冠抵抗の相違が高木群落内の流速分布とその下流における遷移に与える影響に関する実験的研究，環境システム研究論文発表会講演集，査読あり、第38巻，pp.75-80，2010.
- ② 池田裕一・岩松優二郎：高木群落の鉛直構造による流速分布の遷移に関する基礎的研究，応用力学論文集，査読あり，第11巻，pp.807-815，2008.

[学会発表] (計5件)

- ① 岡崎裕也・池田裕一・塚田健斗：高木群落を有する流れの乱流構造に関する基礎的実験的研究，土木学会関東支部第38回技術研究発表会，(関東学院大学にて)，2012年3月13日.
- ② 塚田健斗・池田裕一・岡崎裕也：PIVを用いた高木群落内の乱流構造に関する実験的研究，土木学会関東支部第38回技術研究発表会(関東学院大学にて)，2012年3月13日.
- ③ 井出裕之・池田裕一・岡本隆明：樹冠抵抗の相違と水深変化が高木群落内の流速分布に与える影響に関する実験的研究，土木学会関東支部第38回技術研究発表会(法政大学・市ヶ谷校舎にて)，2011年3月11日.
- ④ 田中徹・池田裕一：樹冠抵抗の相違が高木群落内の流速分布に与える影響に関する実験的研究，土木学会関東支部第37回技術研究発表会(日本大学にて)，2010年3月.
- ⑤ 澤井雄介，池田裕一：樹冠抵抗の小さい高木群落における流速分布の遷移に関する実験的研究，土木学会関東支部第36回技術研究発表会(千葉工業大学にて)，2009年3月14日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 裕一 (HIROKAZU IKEDA)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20202898