

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360215

研究課題名(和文) 植生を有する開水路乱流における運動量・物質輸送機構の解明とモデル化

研究課題名(英文) Modeling of momentum and mass transfer mechanisms in open channel flows with vegetation

研究代表者

河原 能久 (Kawahara, Yoshihisa)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70143823

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,700,000円、(間接経費) 3,210,000円

研究成果の概要(和文)：洪水流と樹木群の相互作用の解明を目的として実験と数値解析を行った。樹林帯モデルを配置した直線開水路と複断面蛇行水路を用いて、樹木帯の位置や連続性が流れ場に及ぼす影響を検討した。そして、樹林帯の連続性が大規模な水平渦や流水抵抗に影響を及ぼすことや低水路内の流向は高水敷上の樹林帯には影響されないことを見出した。LESとRANSによる3次元解析は、連続した樹林帯を有する流れに対しては実験結果を良好に再現するが、不連続の樹林帯に対しては再現性が低下することを示した。また、抗力係数と樹木密度を用いた流体抵抗の評価方法に課題があることを指摘し、各樹木要素周りの流れを解像する数値解析手法の開発を進めた。

研究成果の概要(英文)：Experimental and numerical analysis have been carried out to clarify the flow-vegetation interaction in flood flows. A rectangular prismatic channel and a compound meandering channel have been used to estimate the effects of the location and layout of vegetation belts on the flow field. It is shown that patched vegetation alters the size and frequency of large vortices as well as flow resistance, and that the vegetation belts along the floodplain edges make little change in velocity distribution in the main channel. Numerical simulations have shown that LES and RANS approaches can reproduce the measured data very well when the vegetation belt is continuous, and that they fail to produce the velocity distributions in the flow with patched vegetation belts. It is pointed out that the failure comes from the weak points of the conventional vegetation model employing drag coefficient and vegetation density, indicating the necessity of database based on CFD to improve the vegetation model.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：流れ-植生の相互作用 乱流 抗力 LES RANS 大規模水平渦 植生の変形

1. 研究開始当初の背景

河道内に繁茂する植生は、河川の洪水疎通能力を低下させるため、伐採されることが多かった。しかし、生態系の保全や景観の創出に果たす植生の役割が重視されるようになり、河道の設計や維持管理において植生の合理的な管理は重要な課題となっている。

様々な分野において流れ-植生-物質輸送の相互作用に関する調査やそれらのモデル化が進められてきた。しかし、流れ-植生の相互干渉のモデルをより合理的に改善することや数値解析や現地観測により相互作用の理解を深めることが求められている。

2. 研究の目的

本研究は、植生を有する開水路流れにおける基礎的な現象の理解を深め、数値解析技術の一段の進歩をはかるものである。河川における水際の植生と水中の沈水植物が流れや物質輸送、土砂輸送に及ぼす過程を明らかにするとともに、それらの影響を定量的に評価する数値解析手法を開発することである。

3. 研究の方法

次の3つの研究を進める。植生の存在が乱流場にもたらす過程をLESにより正確に理解するとともに、DNS解析によるデータベースの構築をはかる。植生効果を取り入れた乱流モデルと乱流フラックスモデルを開発し、より複雑な乱流場に対して検証を行う。実河川での観測と室内実験での計測により、沈水植物の挙動とそれが流速や土砂輸送などに及ぼす影響を明らかにする。

4. 研究成果

河川に繁茂する樹木群と沈水植物が流れや物質輸送に及ぼす影響を評価する手法を開発するために、数値解析、室内実験、現地調査を行い、次のような知見を得た。

1) 数値解析

非線形k-モデルと樹木群モデルを組み合わせた3次元非定常解析を行い、直線水路で見られた大規模渦や平均流速を合理的に算出できることを示した。また、乱流フラックスモデルとしてDaly-Harlowモデルを用いた3次元非定常解析を行い、室内実験結果と比較して、スカラー輸送を合理的に算出できることを示した。特に、樹木群が乱流場に及ぼす効果を乱流モデルに考慮したことにより、乱流モデル中の係数を流れごとに変化させる必要がなくなり、その適用性を著しく高めることができた。一方、樹木群がパッチ状に存在する場合には適用性が低下すること、水面付近の二次流の再現性を向上させる必要があることの課題を見いだした。

植生密度の概念を用いたLESが大規模渦やそれに伴う水面変動、平均流速をほぼ再現することを示し、非線形k-モデルよりも高い適用性を示した。ただし、LESで用いる樹木群の抗力係数の決定方法に課題があること、

実河川に適用するためには樹木群モデルを改良させることや柔軟植生モデルの開発に取りかかるべきことを確認した。

樹木群を有する流れに対する数値解析モデルを再構築するために必要不可欠なデータベースの構築を目標として、埋め込み境界法を用いた直接数値解析手法(DNS)の開発を進め、円柱群を有する流れに対する検証までを終了した。

2) 室内実験

単断面直線水路に模擬樹木群を設置し、樹木群の位置や形状が流れの抵抗や大規模水平渦に及ぼす影響を系統的に検討した。その結果、樹木群の占める面積が同一であれば、樹木群が側壁に沿う場合に流れの抵抗が最小になること、さらに、樹木群が流下方向に連続して存在する場合より、点在する場合や流下方向に幅が変化する場合の方がさらに抵抗が小さくなることを見出した。

高水敷上に模擬樹木群を有する複断面直線開水路において、樹木群が流れの抵抗に及ぼす影響を検討した。その結果、樹木群が流下方向に連続して存在する場合より点在する場合の方が、同一の流量に対して水深が小さくなりうること、すなわち、樹木群の配置によっては洪水が流れやすくなることを初めて示した。また、樹木群中の1本の樹木に作用する流体力を直接計測した。上流に位置する樹木の位置を系統的に変化させ、下流側の樹木に及ぼす影響を明らかにした。

複断面蛇行水路の高水敷先端部に沿って樹木群を設置し、水位や流速3成分を計測した。その結果、樹木群が水位分布を変化させ、それが高水敷上の流速分布に大きな影響を与えること、一方、低水路内の主流に及ぼす影響は限られていることを見出した。

3) 現地観測

実河川と室内水路において、沈水植物のオオカナダモの周辺の平均流速や乱れ、河床堆積物等の計測を行った。そして、オオカナダモ内部では流下方向の流速や乱れが急激に低下すること、オオカナダモの下流端の上部で最も大きな剪断応力がオオカナダモに作用すること、成長したオオカナダモの動揺は大きくないこと、群落内部では細粒土砂の捕捉が顕著であることを見出した。また、実河川において通年の繁茂状況の観測とフラッシュ放流前後の繁茂域・バイオマスの変化を調査した。さらに、現地においてオオカナダモの引張試験を行って切断強度を計測するとともに、室内実験において流水中のオオカナダモに作用する流体力を計測し、洪水中にオオカナダモを切断させる流速を推定した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計12件)

横嶋哲, 野田博, 河原能久, 円柱群を過

ぎる 2 次元流れの抗力特性, 土木学会論文
文集 B1(水工学), Vol.70, No.4, 査読有,
2014, I_829-I_834.

久未信幸, 中山昭彦, 横嶋哲, 開水路乱
流実用解析のための LES 法の基礎的検証,
土木学会論文集 B1, Vol.70, No.4, 査読有,
2014, pp.I_841-I_846.

水口雄介, 榎涼太, 河原能久, 松原功馬,
フラッシュ放流による沈水植物の流失特
性, 水工学論文集, 土木学会論文集 B1(水
工学), Vol.69, No. 4, 査読有, 2013,
I_877-I_882.

横嶋哲, 河原能久, 山本拓也, 松原功馬,
樹木群を有する直線開水路流れにおける
大規模水平渦の特性, 土木学会論文集
B1(水工学), Vol.69, No. 4, 査読有, 2013,
I_1351-1356.

長谷川史明, 河原能久, Jahra, F., 山本拓
也, 高水敷上の樹木群が流れの抵抗や流
速分布に及ぼす影響, 土木学会論文集
A2(応用力学), Vol.68, No.2, 査読有, 2012,
I_573-I_581.

中土井佑輔, 榎涼太, 河原能久, 石尾将
大: フラッシュ放流における土砂供給が
付着藻類の剥離に与える付加効果の推定,
河川技術論文集, Vol. 18, 査読有, 2012,
173-178 .

中土井佑輔, 榎涼太, 河原能久, 付着藻
類の剥離形態の整理と出水に伴う剥離
量評価モデルの精緻化, 土木学会論文集
B1(水工学), Vol.68, No. 4, 査読有, 2012,
I_751-I_756.

Jahra, F., Kawahara, Y., Hasegawa, F. and
Yamamoto, T., Solute transport in a
compound open channel with emergent
vegetation, Journal of Japan Society of Civil
Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering),
Vol.68, No.4, 査読有, 2012, I_73-I_78.

Jahra, F., Kawahara, Y., Yamamoto, H. and
Hasegawa, F., Flow-vegetation interaction

in a compound open channel with emergent
vegetation, Journal of River Basin
Management, Vol.9, No.3-4, 査読有, 2011,
247-256. DOI: 10.1080/15715124.2011.
642379.

長谷川史明, Jahra Fatima, 山本拓也, 河
原能久, 高水敷の植生域幅が流れに及ぼ
す影響の評価, 土木学会論文集 A2(応用
力学), Vol. 67, No. 2, 査読有, 2011,
I_549-I_557.

吉武央気, 河原能久, 榎涼太, 中土井佑
輔, 2 次元不定流解析における植生倒伏
モデルの改良とフラッシュ放流への適
用, 河川技術論文集, Vol. 17, 査読有,
2011, 221-226.

吉武央気, 榎涼太, 河原能久, 数値解析
を用いた急流河川における洪水時の流
量の予測精度に関する研究, 土木学会論
文集 A2(応用力学), Vol. 67, No. 2, 査読有,
2011, I_683-I_691.

[学会発表](計 24 件)

- 1) Kawahara, Y., Primary velocity
distribution in open channels with
different vegetation layout – experiment
and numerical simulation, Invited talk,
March 28, 2014, 4th Japan-Korea Mini-
Symposium on Modeling and
Measurement of Hydraulic Flows, Seoul,
Korea.
- 2) Yokojima, S.: Large-eddy simulation of
turbulent flows through idealized
emergent vegetation, Invited talk, March
28, 2014, 4th Japan-Korea Mini-
Symposium on Modeling and
Measurement of Hydraulic Flows, Seoul,
Korea.
- 3) 横嶋哲, 野田博, 河原能久, 円柱群を過
ぎる流れの空力特性, 2013 年 12 月 17
日, 第 27 回数値流体力学シンポジウム,
名古屋大学東山キャンパス.

- 4) Yokojima, S. and Kawahara, Y. , Numerical investigation of drag in regular arrays of circular cylinders, November 25, 2013, 66th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics, APS, Pittsburgh, USA.
- 5) Nhavotso, F. S., Kawahara, Y., Tsubaki, R. and Matsuura, T., Effects of vegetation along floodplain edges on the flow in a compound meandering channel, September 24, 2013, 12th Int. Conf. on Civil and Environmental Engineering- 2013, Dalian, China.
- 6) Matsubara, K., Kawahara, Y., Yamamoto, T. and Tsubaki, R., Experimental study of turbulent flows in an open channel with different vegetation patches, September 11, 2013, 35th IAHR World Congress, Chengdu, China.
- 7) Tsubaki, R. and Kawahara, Y., On the spatial distribution of aquatic plant in gravel river, September 10, 2013, 35th IAHR World Congress, Chengdu, China.
- 8) Yokojima, S., Kawahara, Y. and Yamamoto, T., Effect of vegetation configuration on turbulent flows in a rectangular open channel, September 13, 2013, Proc. of 35th IAHR World Congress, Chengdu, China.
- 9) Ishio, S., Tsubaki, R., Kawahara, Y. and Nakasdoi, Y., Estimation of detachment rate of algae due to grinding by sediment transport using spectral image analysis, September 8, 2013, ISRS2013 (12th Int. Symposium on River Sedimentation), Kyoto, Japan.
- 10) 水口雄介, 樫涼太, 河原能久, 松原功馬, フラッシュ放流による沈水植物の流失特性, 2013年5月31日, 第65回土木学会中国支部研究発表会, 鳥取大学工学部.
- 11) 松浦智哉, 河原能久, 樫涼太, 高水敷先端部に植生を有する複断面蛇行水路の流れ, 2013年5月31日, 第65回土木学会中国支部研究発表会, 鳥取大学工学部.
- 12) 横嶋哲, 河原能久, 樹木群を有する開水路乱流の抵抗軽減のための大規模渦構造の抑制の試み, 2013年2月23日, 研究集会「壁乱流における大規模構造の統計法則と動力学に果たす役割」, 九州大学応用力学研究所.
- 13) 横嶋哲, 河原能久, 植生帯を過ぎる流れのLES, 2012年12月19日, 第26回数値流体力学シンポジウム, 国立オリンピック記念青少年総合センター.
- 14) Kawahara, Y., Tsubaki, R. and Yoshitake, H., Estimation of flood discharge in a vegetated river using multipoint water level hydrographs, Invited talk, November 6, 2012, 10th ICHE-2012, Orlando, USA.
- 15) Jahra, F., Kawahara, Y., Hasegawa, F. and Yamamoto, T., Effects of floodplain vegetation on flow resistance and large horizontal vortices, November 6, 2012, 10th ICHE-2012, Orlando, USA.
- 16) Kawahara, Y., Jahra, F. and Hasegawa, F., Turbulent flows in a compound open channel with emergent vegetation, September 6, 2012, River Flow 2012 (Int. Conference on Fluvial Hydraulics), San Jose, Costa Rica.
- 17) 山本拓也, 長谷川史明, 河原能久, 低水路と高水敷の境界部の樹木が流れの抵抗に及ぼす影響, 2012年9月5日, 第67回土木学会年次学術講演会, 名古屋大学東山キャンパス.
- 18) Kawahara, Y., Tsubaki, R. and Yoshitake, H.: 2d numerical simulation of flushing floods with a refined model for vegetation, August 21, 2012, 18th IAHR-APD, Jeju, Korea.

- 19) Mizuguchi, Y., Tsubaki, R., Nakadoi, Y. and Kawahara, Y., Distribution and growth of Egeria Densa in Johge River, November 14, 2011, 10th Int. Conf. on Civil and Environmental Engineering-2011, Jhongli, Taiwan.
- 20) Yamamoto, T., Hasegawa, F., Jahra, F. and Kawahara, Y., The effects of floodplain vegetation on mass and momentum transfer in a compound channel, November 14, 2011, 10th Int. Conf. on Civil and Environmental Engineering-2011, Jhongli, Taiwan.
- 21) Jahra, F., Kawahara, Y., Hasegawa, F., Yamamoto, T., Prediction of momentum and solute transfer in a vegetated compound channel, June 30, 2011, 34th IAHR Congress, Brisbane, Australia.
- 22) 松原功馬, 椿涼太, 水口雄介, 河原能久, オオカナダモ群落周辺の流速分布の測定, 2012年6月9日, 第64回土木学会中国支部研究発表会発表論文集, 呉工業高等専門学校.
- 23) 山本拓也, 長谷川史明, 河原能久高水敷に植生を有する複断面開水路における物質輸送, 2011年9月8日, 第66回土木学会年次学術講演会, 愛媛大学城北キャンパス.
- 24) 山本拓也, 長谷川史明, Jahra Fatima, 河原能久, 椿涼太, 植生を有する複断面開水路における流れと物質輸送に関する実験的研究, 2011年5月21日, 第63回土木学会中国支部研究発表会, 岡山大学.

〔その他〕

ホームページ

<http://www.civil-hu.jp/hyd/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河原 能久 (KAWAHARA YOSHIHISA)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：70143823

(2) 研究分担者

椿 涼太 (TSUBAKI RYOTA)
広島大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：80432566

横嶋 哲 (YOKOJIMA SATOSHI)
静岡大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：80432194