

樹木粗度が配された複断面開水路における流れの構造と抵抗特性に関する考察

法政大学大学院 デザイン工学研究科 学生員 ○橋本 俊平  
 法政大学 デザイン工学部 正会員 道奥 康治

1.研究の背景・目的

近年の河川管理では、砂州・高水敷の樹林化と陸地化が課題となっている。樹木の過剰繁茂は、治水面において河積の阻害や流水抵抗の増加にともなう疎通能力障害をもたらすとともに、流木の橋梁・井堰への堆積による洪水流の堰上げと溢水の要因になる。自然環境面では、樹林内での細砂堆積による河床材料・生態空間の変化、水際アクセス性の低下、景観障害など様々な問題を招く。河川流解析で多用される浅水流モデルでは、樹木が完全に冠水する大規模出水において樹林帯内を透過する低速流と樹林帯上を越流する高速流とが厳密に区別されず、流れの動力学を忠実に再現することができない。本研究では、計画高水の流れ規模で樹冠上の高速流と樹林内の低速流からなる二層流構造を考慮することが可能な二次元二層流モデル(以下、「2D2Lモデル」と略記)<sup>1)</sup>を用いて、樹林河道の流水抵抗特性を明らかにし、河川の治水管理に供しうる科学的知見を収集することを目的とする。

2.モデル概要と解析条件

本研究では、交互砂州が発達しやすいセグメント 2.1 の河川地形を参考に、図-1のような横断方向の全幅 34m、縦断方向の区間長 250m の実河川規模の仮想的な直線複断面開水路において樹林が冠水または非冠水となる開水路流を 2D2L モデルによって解析し、水深・流速分布や樹林部の相当粗度係数  $n_v$  を推算した。樹木抗力や底面せん断力など、樹木の倒伏・根返りを規定するパラ

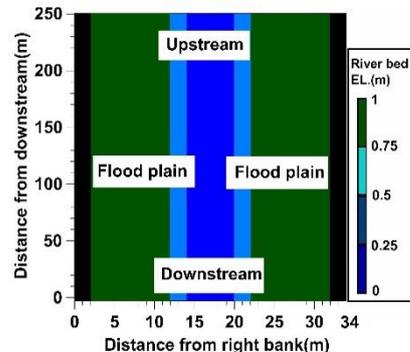
メータを解析した。水理・河道条件と樹木条件は、それぞれ表-1, 2 のように設定された。本稿では、樹径  $d$  を変化させた CASE1a,1b,1c,1d,1e の結果を報告する。

3.2D2L モデルによる等流解析・樹木抵抗解析

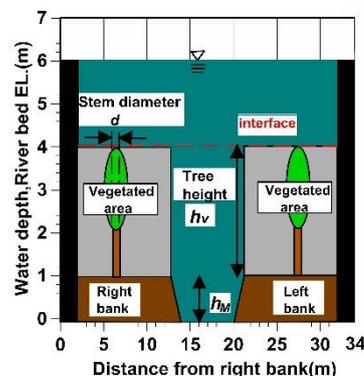
樹木抵抗をマンシングの粗度係数に換算するにあたって、図-2 のように流れが等流状態となるような流量  $Q$  と水深  $H$  の関係を算出する。その後、得られた  $[H-Q]$  関係に基づいて、樹木抵抗をマンシングの粗度係数へと換算する(以下、「相当粗度係数  $n_v$ 」と記す)。図-3 は樹径  $d$  に対する  $[H, Q, n_v]$  の関係を示す。まず、 $[H-Q]$  関係に着目すると、いずれの CASE においても樹木冠水前に比べて、冠水後の  $Q_0$  に対する水深  $h_0$  の増加率が減

キーワード 樹林化, 治水管理, 2D2D モデル, 相当粗度係数

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科 TEL03-5228-1389



(a)平面形状



(b)横断面形状

図-1 直線複断面開水路の諸元

表-1 水理・河道条件

流量: $Q$ (m <sup>3</sup> /s)	50~350	
河床勾配:	1/800	
マンシングの粗度係数: $n$ (m <sup>-1/3</sup> ·s)	低水路	0.028
	樹林帯	0.031
	側壁	0.055
河道形状 (m)	低水路幅	6.0
	低水路水深	1.0
	樹林帯幅	10.0
法面勾配	低水護岸	1/2

表-2 樹木条件

CASE	樹径 $d$ (m)	樹高 $h_v$ (m)	樹木密度 $N$ (m <sup>2</sup> )	密生度 $\lambda_{veg}$ (m <sup>-1</sup> )
1a	0.04	3.0	0.1	0.004
1b	0.08			0.008
1c	0.12			0.012
1d	0.16			0.016
1e	0.20			0.02
2a	0.08	2.0	0.1	0.008
2b		3.0		
2c		4.0		
3a	0.1	3.0	0.1	0.001
3b				0.003
3c				0.005
3d				0.007
3e				0.009

少している。これは、樹木冠水後において河積に占める樹木面積の比率が流量  $Q_0$  の増加とともに減少し、樹木の流水障害効果が減少するためである。次に  $[n-Q]$  関係に着目すると、樹木が冠水しない条件では、 $Q_0$  の増加とともに樹木の流水抵抗が増加し、 $n_v$  が増加しているが、樹木冠水後は、樹木がちょうど冠水した時を極大として  $Q_0$  の増加とともに  $n_v$  は緩やかに減少している。これは、樹木が冠水後、流量  $Q_0$  の増加が  $n_v$  にはほとんど影響を及ぼさないことを示唆している。

### 4.2D2L モデルによる動力学特性の解析

CASE1b の樹木諸元を参照し、樹林が完全に冠水するような水理条件での動力学特性を解析した。図-4 は上流端から 125m の横断面内における流速分布である。全層平均流速  $U$  は樹林帯部(同図中の着色部)で減少し、低水路で大きいことから、低水路-高水敷間での速度せん断構造が確認できる。また、上層流速  $U_2$  と下層流速  $U_1$  を比較すると、 $U_1$  の方が小さく樹林帯の上下層に強い鉛直せん断層が形成されていることがわかる。図-5, 6, 7 には土砂移動を規定する底面せん断力  $\tau$ 、樹木に作用する流体力  $F_v$ 、樹木倒伏に影響を及ぼす倒伏モーメント比  $M_v/M_c$  の平面分布をそれぞれ示す。底面せん断力  $\tau$  は、低水路で大きく、樹林帯で小さいことから図-2 の流速分布に対応したせん断力構造が確認される。流体力は低水路-高水敷境界において最も大きく、樹林帯中央に向かうにつれて減少することがわかる。図-7 より、倒伏モーメント比  $M_v/M_c$  はいずれのエリアにおいても 1 以下であることから、この水理・河道条件下では、樹木は倒伏しないと推察できる。

### 5.まとめと今後の課題

直線複断面開水路を対象に 2D2L モデルによる水理解析によって、樹木の流水抵抗をあらゆる相当粗度係数  $n_v$  を評価した。その結果、樹木非冠水の状態では、 $n_v$  が水深とともに増加するが、樹木が冠水すると  $n_v$  は減少するといった傾向が確認された。冠水深の増加とともに  $n_v$  は水深とは独立で樹林特性のみに依存するパラメータへと漸近すること確認される、今後、本研究で実施した二次元解析と流れの三次元性を考慮した解析との比較を通し二次元二層流モデルの性能と限界を確認する予定である。

### 参考文献

- 1) 道奥康治, 米谷駿一, 魚谷拓矢, 神田佳一, 入江良幸, 柳田昂希: 複断面開水路における樹木の流水抵抗に関する相当粗度係数, 土木学会論文集, Vol.70, No.4, pp.697-702, 2014

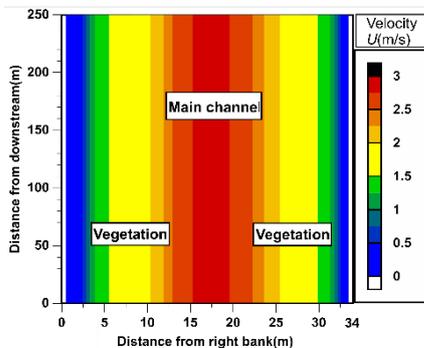


図-2 流速平面分布

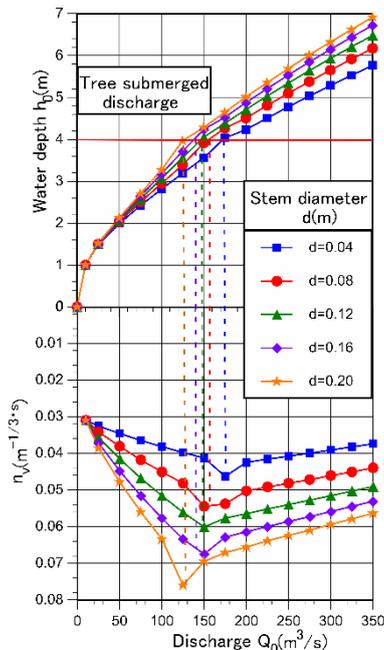


図-3  $d$  が  $H$  と  $n_v$  に及ぼす影響

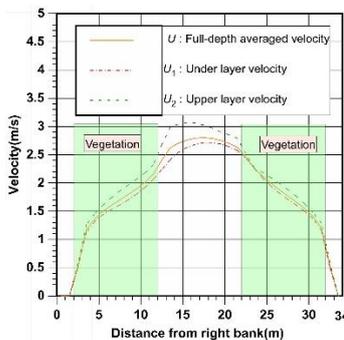


図-4 流速の横断分布

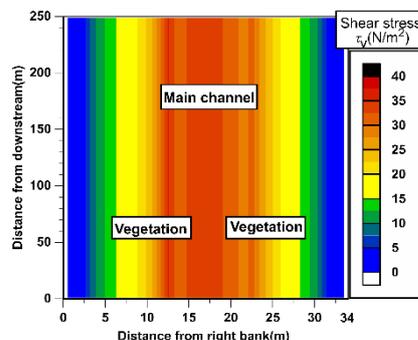


図-5 底面せん断力

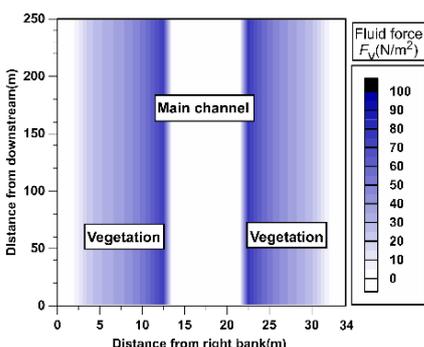


図-6 流体力

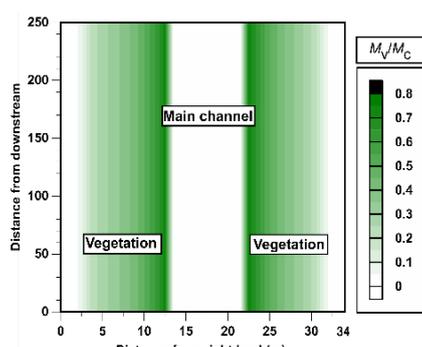


図-7 倒伏モーメント比