

河道内樹木の流水抵抗力に対するマンニングの粗度係数

神戸大学大学院 学生員 米谷駿一・谷口麻衣・魚谷拓矢
 神戸大学大学院 フェロー会員 道奥康治

1. はじめに

近年, 全国の河川において砂州・高水敷における過度の樹林化が問題となっている。これは, 出水時の流下能力や親水機能の低下, 植生遷移帯の喪失など様々な問題を引き起こすため, 河道内樹木群への流水攪乱の影響や抵抗特性を把握することが河川の維持・管理において重要である。本研究では, 樹林内透過流と樹冠上部の流速差を表現できる二次元二層流モデル¹⁾を用いて樹木抵抗をマンニングの粗度係数に換算し, 樹木や流れの条件にともなうマンニングの粗度係数の変化特性を明らかにした。

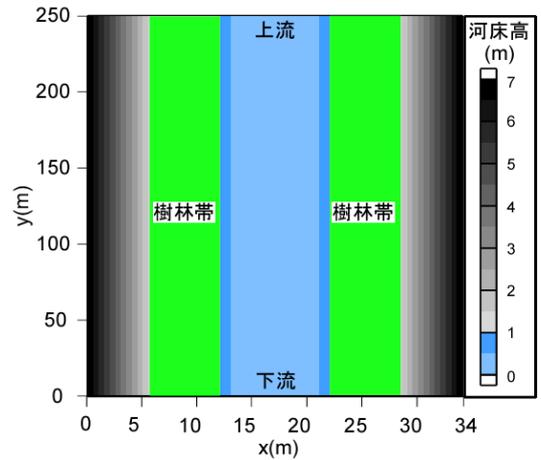
2. 解析条件

問題を簡略化するために, 図-1 のような左右対称の複断面開水路の高水敷に樹林帯が繁茂している場合を一例として考える。表-1 に解析条件を示す。解析では樹木密生度 λ_{veg} を $0.002m^{-1}$ ごと, 流量を $50m^3/s$ ごとに変化させ等流状態の数値解を二次元二層流モデルによって求めた。樹木条件としては, やはり一例として著者らが現地観測を実施している河道区間を参考にして, 樹径 $0.1m$ に対して樹高 $3m$ の樹木を想定し, 水深が $4m$ 以上になると樹木が完全に冠水する設定とした。

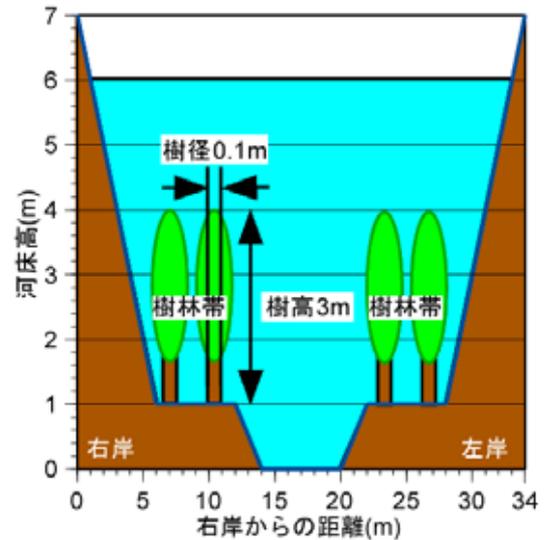
3. 解析結果および考察

(1) 等流状態の再現

樹木抵抗をマンニングの粗度係数に換算するにあたって, 流れが等流状態になる流量 Q と水深 H の関係を数値的に求める。図-2(a),(b)に等流解析から得られた水深 H を密生度 λ_{veg} ごと, 流量 Q ごとに示す。なお, 図-2(a)において $\lambda_{veg}=0.009m^{-1}$ の場合に解が途切れているのは, $Q=400m^3/s$ において想定した開水路の堤高を越えて計算を打ち止めしているためである。図-2(a)より一定の λ_{veg} に対しては H が Q とともに増加するが, 樹木が冠水する $H=4m$ を越えると H の増加率は減少する。また, λ_{veg} が大きいほど H が $4m$ に達するのに要する流量が減少する。これは, 密生度が大きいほど樹木による疎通能障害がより大きいことに対応している。図-2(b)を見ると $Q=50\sim 150m^3/s$ では Q の増加にともない λ_{veg} に対する H の増加率が大きい, $Q=200\sim 400m^3/s$ に至ると各曲線がほぼ平行になる。これは, 樹木が冠水する前においては密生度が増加すると流水断面に占める樹木の割合が大きく増加していくのに対し, 樹木冠水後では流水断面に占める樹木の割合が水深増加とともに減少し, 密生度の変化が水位の増加率に大きな



(a) 平面図



(b) 断面図

図-1 解析対象地形

表-1 解析条件

植生条件	樹木密生度 $\lambda_{veg}(m^{-1})$	0.001 ~ 0.009	
	樹径 $d(m)$	0.1	
	樹高 $h_v(m)$	3.0	
水理条件	流量 $Q(m^3/s)$	50 ~ 400	
河道条件	河床勾配 S_0	1/800	
	マンニングの粗度係数 $n(m^{-1/3} \cdot s)$	低水路	0.028
		高水敷	0.055
	樹林帯	0.031	

キーワード 河道内樹木, 二次元二層流モデル, 樹木に作用する流体力, 換算粗度係数

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学大学院工学研究科 TEL078-803-6056

影響を与えていないことを反映している。

(2) 樹木抵抗力のマンニングの粗度係数 n への換算

図-2 の等流状態における Q - H 関係に基づいて、樹木抵抗をマンニングの粗度係数に換算する(以下、「換算粗度係数」と記述する)。ここで、 n への換算とは、図-1 の河道において裸地状態(樹径・密度=0)を想定した同じ断面条件の下で等流解析を実施し、図-2(a)の Q - H 関係を満足する樹林帯領域でのマンニングの粗度係数 n_v を逆算することを意味する。

図-3(a),(b)に λ_{veg} 毎の、また Q 毎の換算粗度係数 n_v をそれぞれ示す。図-3(a)中の黒点は各密度 λ_{veg} において樹木が冠水を開始する流量 Q に対応している。図-3(a),(b)から $n_v=0.003\sim 0.006m^{-1/3}s$ の範囲で変化していることがわかる。これは樹木の繁茂した高水敷で設定されるマンニングの粗度係数($n=0.003\sim 0.20m^2$)とおおむね一致している。図-3(a)を見ると、樹木冠水前はいずれの λ_{veg} においても n_v は Q とともに増加しているが、樹木冠水後は Q が増加しても n_v がほとんど変化せず、ほぼ一定値をとる。このことより、樹木冠水後は n_v が Q にほぼ依存せず独立であることがわかる。

次に図-3(b)を見ると、 λ_{veg} の増加にともない n_v も増加し、広範囲で変化している。また、 n_v の増加率は Q が増加するほど大きくなる。これは Q の増加によって流水断面内に占める樹木の面積の割合が増加するためであると考えられる。しかし、樹木冠水開始時の Q より大きい条件では、 λ_{veg} と n_v との関係は Q とは独立に一価の関係が見られる。

以上のことから、樹林帯の流水抵抗力をマンニングの粗度係数を用いて表現する際には、樹木の繁茂状況や対象とする出水の流量に応じて粗度係数を決定する必要があることが明らかになった。ただし、樹木が冠水するような大規模出水時には、樹木条件を適切に考慮すれば粗度係数を一定とみなすことができることが判明した。

4. 結論

本研究では出水における樹木の抵抗を含めた樹林帯部のマンニングの粗度係数と、樹木繁茂状況や流量との関係を明らかにした。その結果、樹木が完全に冠水すると粗度係数は流量とは独立に一定となり、樹木が冠水する程度の大規模出水時には樹木条件だけから決まる一つの粗度係数を用いることができる。

参考文献

- 1) 道奥康治, 南條雅志, 石垣泰輔, 前野詩朗: 捨石水制が冠水した開水路流の二次元二層流モデル, 土木学会論文集, No782, pp.31-50, 2005.
- 2) 土木学会水理委員会水理公式集改訂委員会編: 水理公式集, pp.199, 1985.

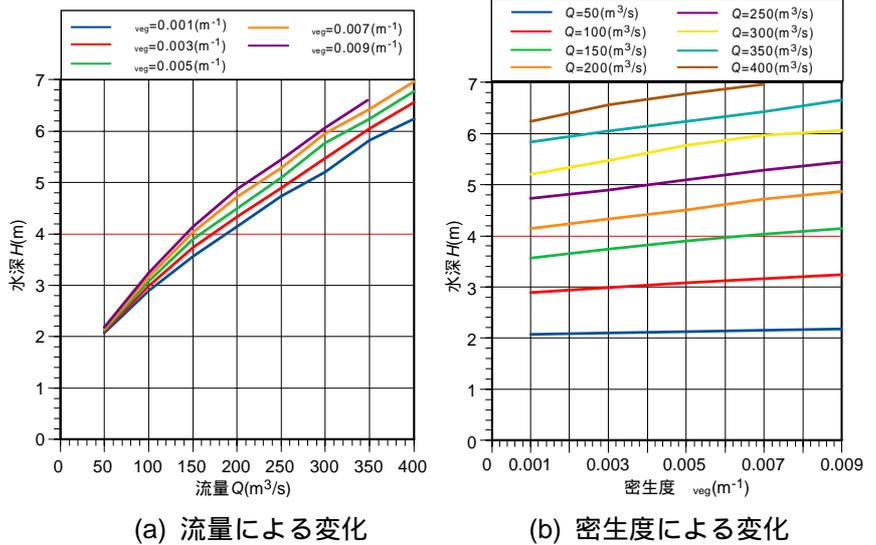


図-2 樹木が繁茂した河道における水深の変化

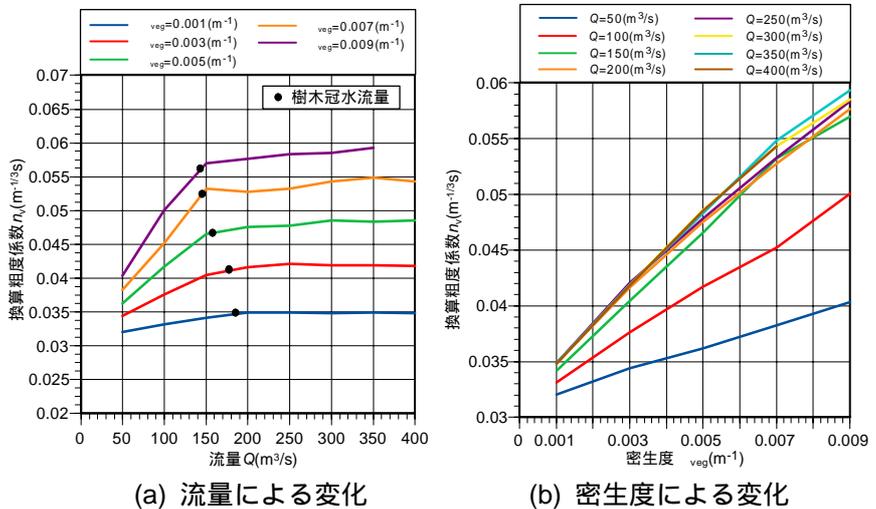


図-3 樹林帯領域の換算粗度係数