

神戸大学大学院 学生員 ○阿河一穂・谷口麻衣, フェロー会員 道奥康治  
 明石工業高等専門学校 正会員 神田佳一, 学生員 魚谷拓矢

1. 序論

近年, 全国の河川において砂州・高水敷の樹林化が問題となっている。これまでの研究においては, 樹木の流水障害が抵抗項や粗度係数の増分として取り扱われてきた。しかし, 既往の解析手法では樹林帯内の透過流と樹林帯上の越流部の流水特性の違いを区別することができず, 治水上重要な大規模出水が正確に記述されていないのが現状である。本研究では「樹林層-越流層」の二層流構造を再現できる二次元二層流モデル<sup>1)</sup>を用いて樹木が冠水した状態における洪水流の特性と樹木倒伏特性を明らかにした。

2. 空間分布を考慮した樹木条件

二次元二層流モデルは樹冠を境界として河川流を上下二層に分割し, 樹林帯境界部における鉛直・水平方向の質量・運動量交換を表現する。加古川の河口距離 23.0~24.4km 区間 (図-1 参照) を対象に洪水流解析と現地観測を実施した。数値解析では, 表-1 に示す, (i) 樹木が存在しないと仮定した CASE1, (ii) 全ての樹木が非冠水状態になる仮想的に高い樹木を設定した CASE2, (iii) 現地調査から得られた実際の樹径・樹高・密生度の空間分布を想定した CASE3 を対象とした。CASE2 では従来の浅水流モデルと同様に一層流となるが, CASE3 では冠水・非冠水樹林帯が区別され, 二層流モデルの特徴を活かした解析がなされる。対象はおおよそ戦後最大規模の 2004 年 (平成 16 年) 台風第 23 号のピーク流量である。表-2 に解析対象区間内の各樹林帯の樹木条件と現地観測結果を示す。樹高は領域内に繁茂した樹木の平均値  $\bar{h}_v$  である。樹径  $\bar{d}$  は現地調査による [樹高  $h_v$ , 樹径  $d$ ] 関係 ( $h_v=1.124d^{0.608}$ ) から算出した。さらに, 領域内の樹木本数  $n_v$  と領域面積  $S_v$ , 樹径  $\bar{d}$  から密生度  $\lambda_{veg}=\bar{d} \times n_v/S_v$  を算出した。また, 図-2(a), (b)に図-1 の下流側・上流側の樹林帯における樹林帯領域をそれぞれ示す。竹林の密生度  $\lambda_{veg}$  は既往の知見<sup>2)</sup>に基づき与えられている。「下流」の領域⑩, 「上流」の領域③では樹木のデータが得られておらず, 他の領域の平均値や同等の値を参考にして樹木諸量を補完・設定した。

3. 樹木冠水状態における洪水流特性

図-3 に縦断面 E1-E1 における水面形と河床地形を示す。CASE3 の樹林帯および二層境界面を併記する。裸地条件の CASE1 と比較して, 樹木の存在する CASE2, 3 では 50~100cm 程の水位堰上げが発生している。しかし, 一層流を想定した CASE2 では, 領域②, ⑦などの水際の低木をも非冠水とみなし, CASE3 と比較すれば低木域の樹木による堰上げを実際よりも過大に評価している。

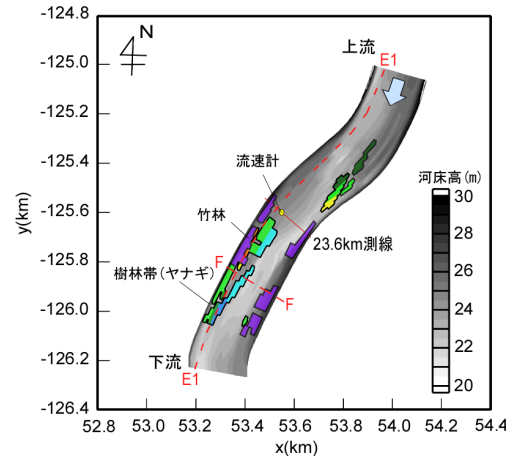


図-1 解析対象区間

表-1 解析条件

		CASE1	CASE2	CASE3
		2004年台風23号		
流量(m <sup>3</sup> /s)		4403.35		
下流端水位(m)		30.27		
粗度係数(m <sup>-1/3</sup> s)		低水路:0.028, 高水敷:0.055		
樹高(m)	ヤナギ林	0.0	8.0	図参照
	竹林	0.0	8.0	8.0
密生度(m <sup>-1</sup> )	ヤナギ林	0.00	0.01	図参照
	竹林	0.00	0.21	0.21
樹径(m)	ヤナギ林	0.0	0.2	図参照
	竹林	0.0	0.1	0.1

表-2 樹木条件

	樹種	密生度 (m <sup>-1</sup> )	樹径 (m)	樹高 (m)
下流	① 竹	0.21	0.10	8.0
	② ヤナギ	0.002	0.10	4.6
	③ ヤナギ	0.005	0.21	7.2
	④ ヤナギ	0.011	0.53	12.6
	⑤ ヤナギ	0.062	0.48	11.8
	⑥ ヤナギ	0.015	0.38	10.3
	⑦ ヤナギ	0.003	0.12	5.0
	⑧ ヤナギ	0.004	0.06	3.3
	⑨ ヤナギ	0.008	0.19	6.8
	⑩ ヤナギ	0.007	0.28	8.5
	⑪ ヤナギ	0.008	0.24	7.8
上流	① ヤナギ	0.006	0.13	5.4
	② ヤナギ	0.009	0.23	7.5
	③ ヤナギ	0.015	0.38	10.3

横断面 F-F における全層平均流速，水面形，河床地形を 図-4 に示す。CASE1 と比較して樹木の存在する CASE2, 3 では，樹林帯内の流速の低減や低水路部の流速の卓越など樹林化河道における流れの特徴が再現されている。また，CASE2 と CASE3 を比較すると，冠水状態となった右岸水際の樹林帯内で CASE3 の流速が卓越している。さらに CASE3 では左岸に繁茂した密生度の大きな竹林の流水阻害効果が相対的に大きいため，CASE2 と比較して流速最大値が右岸側に片寄っている。

図-5(a), (b)には樹木に作用する倒伏モーメント比  $M_v/M_c$  の分布を示す。ここで， $M_v/M_c$  は樹木に作用する倒伏モーメント  $M_v$  と樹木固有の倒伏限界モーメント  $M_c$  との比をあらわす。図中の赤点は現地観測において 2004 年台風第 23 号により倒伏したと判定した倒伏樹木の位置である。図-5(a), (b)から，CASE3 では CASE2 と比較して倒伏樹木が多数確認された水衝部や水際における  $M_v/M_c$  が大きく評価されており，倒伏実績と対応した解析結果が得られた。水際の樹林帯は樹木の樹高・樹径が小さいため，流水断面内に占める投影面積が小さく，CASE3 では樹木に作用する流体力は小さい。しかし，樹径の小さな樹木は  $M_c$  値が小さいため，CASE3 で水際部における  $M_v/M_c$  が卓越している。

#### 4. 結論

本研究では，樹木冠水状態を表現できる二次元二層流モデルを用いた解析により，大規模出水時の樹木冠水状態における洪水流特性と倒伏状況を明らかにするとともに，従来の一層浅水流モデルに対する本モデルの優位性を示した。

#### 参考文献

- 1) 道奥康治・宮本仁志・神田佳一・大地洋平：樹林が繁茂した加古川中流部における出水時流況と樹林損壊に関する調査・解析，水工学論文集，第 55 巻，pp.S\_1087-S\_1092，2011。
- 2) 岡部健士・田村隆雄：吉野川河道内に残留した水防竹林の管理計画に関する数値解析的検討，水工学論文集，第 53 巻，pp.625-630，2009。

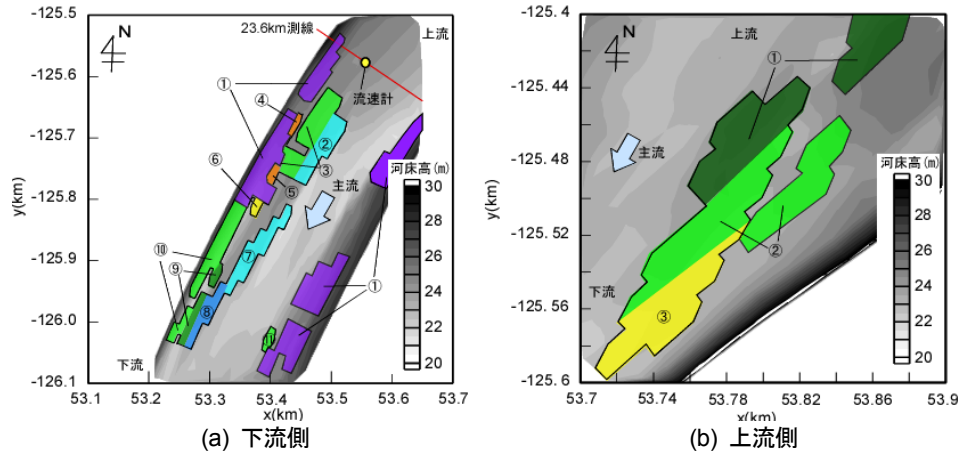


図-2 樹木繁茂位置

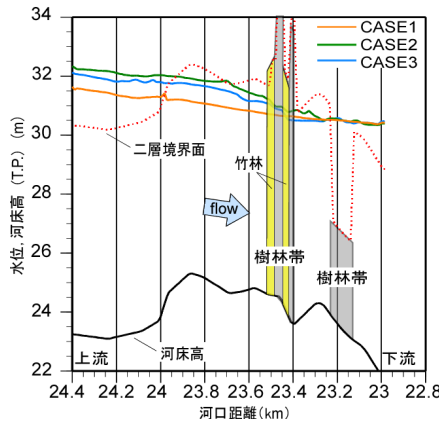


図-3 縦断水面形分布

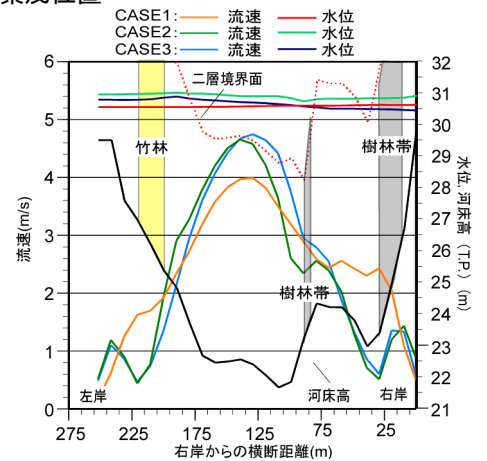


図-4 流速の横断分布

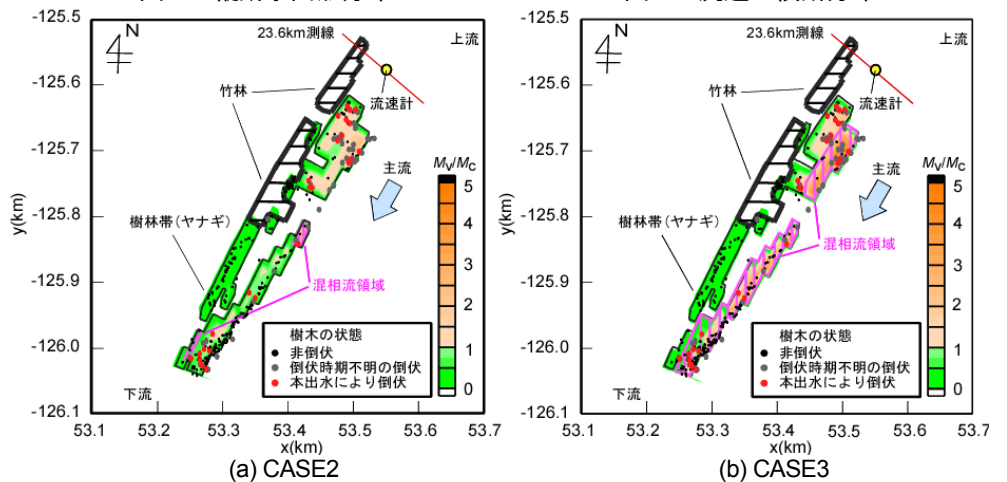


図-5 樹木に作用する倒伏モーメント比