

河道・氾濫域包括解析を用いた樹林帯整備計画の検討

九州工業大学大学院 学生会員 ○松田 健介
九州工業大学大学院 正 会 員 重枝 未玲

九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山 壽一郎
九州工業大学工学部 学 生 会 員 岡村 賢治

1. はじめに

本研究では、有限体積法・非構造格子・FDSに基づく平面2次元自由表面流モデル(*PSA-FUF-2DF model*)¹⁾を用いた河道・氾濫域包括解析(以下「本モデル」という)が、樹林帯整備の計画手段として有用であることを明らかにした。

2. 実験の概要

実験装置は、河道横断方向の正面越流を想定し、水路(長さ20.5m, 幅0.60m, 粗度係数 $n=0.01$, 勾配 $I=0$)中に堤防(表法勾配2割, 裏法勾配 $m=20$ 割, 堤防高 $D=0.20$ m, 堤防天端幅 $T=0.2$ m)を設置し、堤防裏法尻を始点として天端にかけて幅 L の模型樹林帯を設けたものである(図-1)。堤防裏法は、模型スケールを1/10として、法面長を2mとした。模型樹林帯には、樹冠部を有する模型樹木群としてよく用いられる²⁾、プラスチックが糸状に絡み合った柱状多孔体(透過係数 K_T , 密度 λ (=実質体積/空間体積)=0.047)を配列A~Dのように配列したものを用いた(図-2)。

実験は、(1) 図-2のように配列された柱状多孔体群の一つの多孔体とみなし、空間平均された透過係数 $K_T=(q/h_T^*)/I_e^{1/2}$ を決定するためのCASE K, (2) 堤防設置の条件下で樹林帯を設置あるいは無設置とした場合の水面形を求めるためのCASE Tを行った。なお、水深 h はポイントゲージで測定し、流量 Q は電磁流量計と量水枡で算定した。CASE Tの実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果と河道・氾濫域包括解析を用いた検討

本モデルを用いて、河道に沿った平面的な樹林帯整備のあり

方を検討した。解析条件は、図-3に示したように、河道を平面的に考え、河道(長さ $X=10$ m, 幅 $B=8$ m, 粗度係数 $n=0.03$, 勾配 $I=1/5000$)に沿って設けられた堤防(表法勾配2割, 裏法勾配 $m=20$ 割, 堤防高 $D=0.2$ m, 堤防天端幅 $T=0.2$ m)の裏法に堤防裏法尻を始点として天端にかけて樹林帯を設けたものである。解析の境界条件は、境界1では流量 Q , 境界2と3では水位 h を与えた。また、境界4は壁面となっている。なお、解析結果の越流水の流出角度 θ は、最大で $\theta \approx 16^\circ$ であった。このため、 $q_{T \text{ num}}/q_C$ は $\cos 16^\circ (\approx 0.96)$ で最大で4%程度の誤差を有している。

解析での樹林帯の設置条件は、(1) 配列A($L=1.8$ m, $K_T=1.7$ m/s)を設けた場合(樹林帯A), (2) その他の条件は樹林帯Aと同じで、樹林帯の一部の区間(長さ $M=B/4$)の透過係数を $K_T=9.0$ m/s(実スケール換算約29m/sのブナ林)とした場合(樹林帯B), (3) 同区間の透過係数を配列Cの $K_T=1.0$ m/s(流出ゴミが捕捉された状態を想定)とした場合(樹林帯C)および(4) 樹林帯を設けない場合、つまり通常の完全越流状態(樹林帯N)とした。

図-4は、図-3の任意の横断面における樹林帯Aと樹林帯Nの水面形と、CASE Tの実験結果の水面形を比較したものである。解析結果は全体的な水面形を良好に再現している。一方で、樹林帯Aの堤防裏法尻下流でやや差異が認められるが、これはそこで樹林帯がなくなるために、流れの加速・縮流が起り、平面2次元モデルでは再現できない流れとなっているためである。

図-5と図-6は、それぞれ越流流量の解析値 $q_{T \text{ num}}$ と実験値 $q_{T \text{ exp}}$, 樹林帯区間の水没水深の解析値($h_{T \text{ num}}^*-Z^*$)

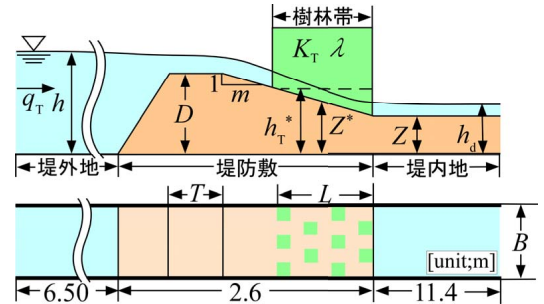


図-1 樹林帯の設置条件と重要な諸量

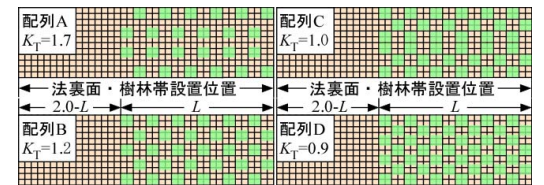


図-2 模型樹林帯の配列

表-1 実験条件

CASE	K_T (m/s)	L /法面長	Fr
T	配列A	1.7(5.4)	0.9
	配列B	1.2(3.9)	0.9
	配列C	1.0(3.2)	0.9
	配列D	0.9(2.9)	0.9

と実験値($h_{T \text{ exp}}^* - Z^*$)を比較したものである。これから明らかなように、解析値と実験値は良好に一致し、越流流量を正確に評価できることが確認できる。また、樹林帯区間における堤防裏法の平均水深($h_T^* - Z^*$)も知ることができ、裏法面の耐侵食性に関する検討にも役立つと考えられる。

図-7は、堤防天端中央での越流水深 $h_{T \text{ num}}$ と単位幅越流流量 $q_{T \text{ num}}$ をそれぞれ限界水深 $h_C(=(q_C^2/g)^{1/3})$ と限界流量 q_C で無次元化して、樹林帯A~C別にそれらの縦断分布を示したものである。また、表-2は、天端基準の堤外地水深 h_{num}/h_C を2通りに変化させたときの樹林帯A~Cの $q_{T \text{ num}}/q_C$ と $h_{T \text{ num}}/h_C$ の値を区間別に示したものである。

これからわかるように、(1) h_{num}/h_C が大きくなると、樹林帯効果が顕著になり、 $q_{T \text{ num}}/q_C$ と $h_{T \text{ num}}/h_C$ の変化も大きくなる。(2) 樹林帯Aでは、樹林帯Nと比して、越流流量は変わらないが、樹林帯の堰上げ効果のために越流水深が増加する。(3) 樹林帯Bについては、ブナ林を想定した区間では越流水深は減少するが、 h_{num}/h_C が大きくなると越流流量は増加する。当該区間で越流流量が増加するのは、樹林帯Aと同様の理由から、当該区間の上下流で越流水深が増加するので、この増加した水位に相当する越流流量がブナ林区間で発生するからである。これに対応して、当該区間では越流水深が低下する。(4) 樹林帯Cでは、樹林帯Bと逆傾向となり、小さな透過係数の区間において越流流量は減少し、越流水深は増加する。

このように、 h_{num}/h_C が大きくなると、透過性が高い樹林帯区間や未整備区間での越流流量は限界流量より大きくなる。また、流出ゴミが捕捉された状態等の透過性が小さな区間では越流流量は減少するが、越流水深は逆に増加する。以上のように、河道縦断方向の樹林帯の粗密等によって、越流流量や越流水深の増減が発生するので、その整備には注意が必要である。

4. まとめ

以下に本研究の結論を示す。(1)「PSA-FUF-2DF model」が樹林帯・堤体形状・堤内地盤高を考慮して、越流流量と堤防裏法部を含む河道横断方向の水面形を良好に再現できることを示した。(2)本モデルの有用性の実証例として、堤外地・堤防・樹林帯・堤内地よりなる河川区域を対象として、河道縦断方向の樹林帯特性の違いが越流特性に及ぼす影響について検討を加えた。

参考文献：1)重枝未玲，秋山 壽一郎，小園裕司，上川謙：遠賀川流域の分布型流出解析と平面2次元洪水追跡，水工学論文集，第54巻，pp.517-522，2010。2)坂野章，藤田光一：堤防沿いの樹木群が破堤箇所の流れと河床変動に与える影響に関する実験，土木学会第51回年次学術講演会，II-319，pp.638-639，1996。

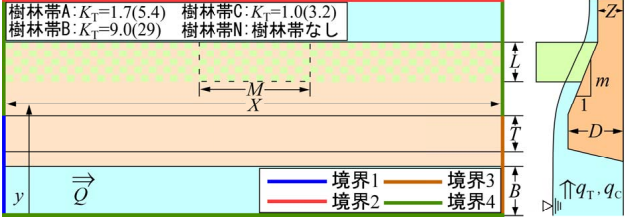


図-3 解析条件

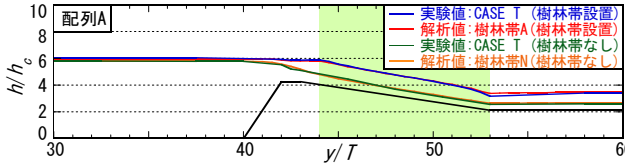


図-4 横断水面形の実験結果と解析結果の比較

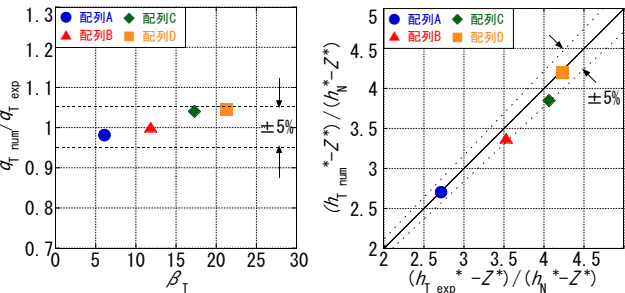


図-5 β_T と $q_{T \text{ num}}/q_{T \text{ exp}}$ の関係

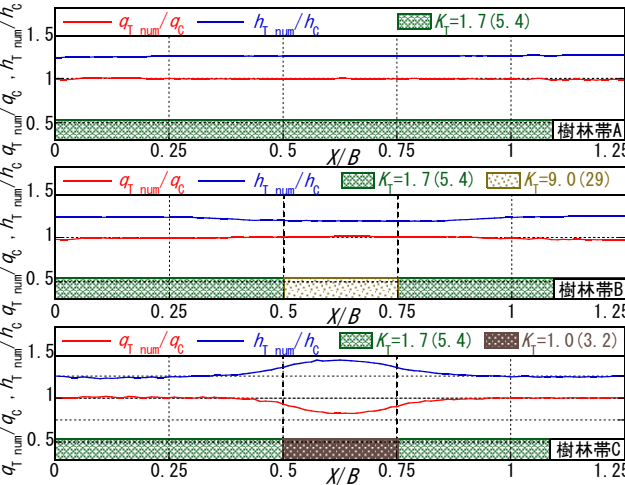


図-6 $h_{T \text{ num}}^*$ と $h_{T \text{ exp}}^*$ の比較

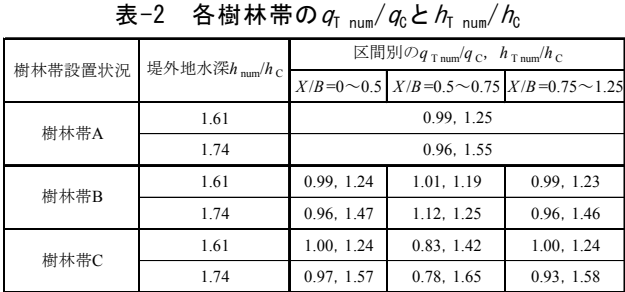


図-7 $q_{T \text{ num}}/q_C$ と $h_{T \text{ num}}/h_C$ の縦断分布

表-2 各樹林帯の $q_{T \text{ num}}/q_C$ と $h_{T \text{ num}}/h_C$

樹林帯設置状況	堤外地水深 h_{num}/h_C	区間別の $q_{T \text{ num}}/q_C$, $h_{T \text{ num}}/h_C$		
		$X/B=0 \sim 0.5$	$X/B=0.5 \sim 0.75$	$X/B=0.75 \sim 1.25$
樹林帯A	1.61	0.99, 1.25		
	1.74	0.96, 1.55		
樹林帯B	1.61	0.99, 1.24	1.01, 1.19	0.99, 1.23
	1.74	0.96, 1.47	1.12, 1.25	0.96, 1.46
樹林帯C	1.61	1.00, 1.24	0.83, 1.42	1.00, 1.24
	1.74	0.97, 1.57	0.78, 1.65	0.93, 1.58