

樹林帯を考慮した越水氾濫流量の予測

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
九州工業大学工学部 学生会員 小樋 和成

九州工業大学大学院 フェロー会員 秋山 壽一郎
九州工業大学大学院 学 生 会 員 利岡 正士

1. はじめに

樹林帯には環境機能に加え、超過洪水時の減災機能があるといわれている¹⁾。しかし、その機能は必ずしも工学的に明らかになっていない。本研究では、減災機能の一つとして越水氾濫流量の低減効果に着目し、実務レベルの氾濫解析法を対象として、堤外/堤内あるいは堤外・堤内樹林帯(竹林あるいは樹木の樹幹部)を考慮した上で、築堤河道からの越水氾濫流量を評価するための流量式を開発した。

2. 樹林帯を有する築堤河道からの越流流量式

図-1に示すように、堤防天端から測った上層部について、堤外地水位を H 、樹林帯右端側水位を完全越流状態では限界水深 $H_c (= (q_T^2/g)^{1/3})$ 、もぐり越流状態では堤内地水位を H_d として内部せん断応力を無視すると、各越流状態について式(1)と式(2)が得られる。

式(1)と式(2)において H_T は不明な水位である。樹林帯区間での水位低下量を ΔH とすれば、樹林帯左端と右端での水位はそれぞれ H と $H-\Delta H$ となるので、 H_T は近似的に式(3)のように表される。一方、 ΔH は樹林帯によるエネルギー損失から式(4)のように評価でき、式(3)と式(4)より、 H_T の関係式は、完全越流状態での堤外樹林帯または堤外・堤内樹林帯では式(5)、もぐり越流状態での堤外/堤内樹林帯では式(6)のようになる。

一方、もぐり越流状態の堤外・堤内樹林帯では、 H_{OT} と H_{IT} の両水位を推定する必要がある。そこでまず H_{OT} を堤外樹林帯の下流端水位 H_{OR} と関連づけ、次に H_{OR} を H_d と関連付ける。堤防を挟んで堤外樹林帯下流端と堤内樹林帯上流端にエネルギー保存則を適用して得られる $[V^2/2g+H]_{IL} = [V^2/2g+H]_{OR} - k(V_{IL}^2/2g)$ より、式(7)が得られる。また、 H_{OT} に関する関係は、式(6)と同様に式(8)のようになる。したがって、 H_{OT} は式(9)より計算できる。ここで、添え字 L と R は、それぞれ樹林帯の左端と右端であることを示している。

完全越流状態では式(1)において $H_T/H_c = a$ 、もぐり越流状態では式(2)において $H_{IT}/H_d = a_I$ および $H_{OT}/H_d = a_O$ と置くと、樹林帯を考慮した流量式は本間公式と同型となり、それぞれ式(10)と式(11)のように求められる。式(11)において $\beta_{OT} = 0$ とすれば堤内樹林帯、 $\beta_{IT} = 0$ とすれば堤外樹林帯の流量式となる。樹林帯が設けられていない場合の流量係数 C_0 は、式(10)と式(11)において $\beta_T = 0$ としたときの流量係数が本間公式と一致することから定められ、樹林帯が氾濫流量に及ぼす影響は、流量補正係数 C_T として評価される。

3. 実験の概要

実験装置は、正面越流を対象として水平水路(長さ20.5m、幅0.60m)を横断するように堤防(法勾配 $m=2$ 割、堤防高 $D=0.20$ m、堤防天端幅 $T=0.20$ m)と円柱模型樹林帯(直径 $d=0.006$ m)を樹林帯幅 L (m)にわたって千鳥状に N (本/m²)を設置したものである(図-1)。実験は、樹林帯無(CASE N)、堤外樹林帯有(CASE T-O)、堤内樹林帯

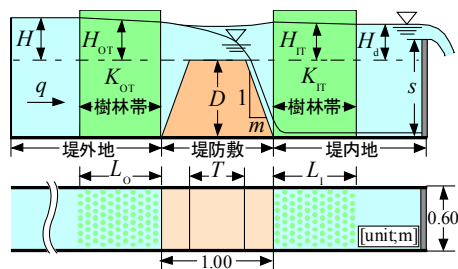


図-1 樹林帯の設置条件と重要な諸量

表-1 実験条件

CASE	越流形態	q (m ² /s)	L_0 (m)	L_1 (m)	N (本/m ²)	d (m)	λ	s/D
N	1	O						1.1
	2	S						
O	A	1	1.5		400	0.006	0.011	1.1
		2	3.0		600	0.006	0.017	
		3	4.5		800	0.006	0.023	
		4	6.0		1000	0.006	0.028	
		1	1.5		400	0.006	0.011	
		2	3.0		600	0.006	0.017	
	E	3	4.5		800	0.006	0.023	
		4	6.0		1000	0.006	0.028	
	H	1	1.5		400	0.006	0.011	
		2	3.0		600	0.006	0.017	
		3	4.5		800	0.006	0.023	
		4	6.0		1000	0.006	0.028	
T	I	1	1.5		400	0.006	0.011	1.1
		2	3.0		600	0.006	0.017	
		3	4.5		800	0.006	0.023	
		4	6.0		1000	0.006	0.028	
	D	1	1.5		400	0.006	0.011	
		2	3.0		600	0.006	0.017	
		3	4.5		800	0.006	0.023	
		4	6.0		1000	0.006	0.028	
	C	1	2.0	4.0	400	0.006	0.011	
		2	3.0	3.0	600	0.006	0.017	
		3	4.0	2.0	800	0.006	0.023	
		4	4.0	2.0	1000	0.006	0.028	

完全越流状態($H_d/H < 2/3$)での堤外または堤外・堤内樹林帯:

$$H - H_c = (q_T/H_{OT})^2(\beta_{OT}/g) + (1/2g)(q_T/H_c)^2 \quad (1)$$

もぐり越流状態($H_d/H \geq 2/3$)での堤外・堤内樹林帯または堤外/堤内樹林帯:

$$H - H_d = (q_T/H_{IT})^2(\beta_{IT}/g) + (q_T/H_{OT})^2(\beta_{OT}/g) + \{(1+k)/2g\}(q_T/H_d)^2 \quad (2)$$

ここで、 q_T : 樹林帯が設けられた築堤河道での単位幅当たりの越流流量、 β_T : 樹林帯に関する無次元パラメータ(樹林帯パラメータ) $= gL/K_T^2$ 、 K_T : 樹林帯区間の透過係数、 H_T : 樹林帯区間での樹木の代表水没水深、 L : 樹林帯幅、 k : もぐり越流状態における堤体の形状損失係数である。添え字 O と I はそれぞれ堤外樹林帯、堤内樹林帯の諸量である。

$$H_T = \phi(H - \Delta H/2) \quad (3) \quad \Delta H = (V_T^2/K^2)L \quad (4)$$

ここで、 ϕ : 樹林帯区間での水面形(水没水深)に関する補正係数であり、 $\phi=1$ で直線分布となる。

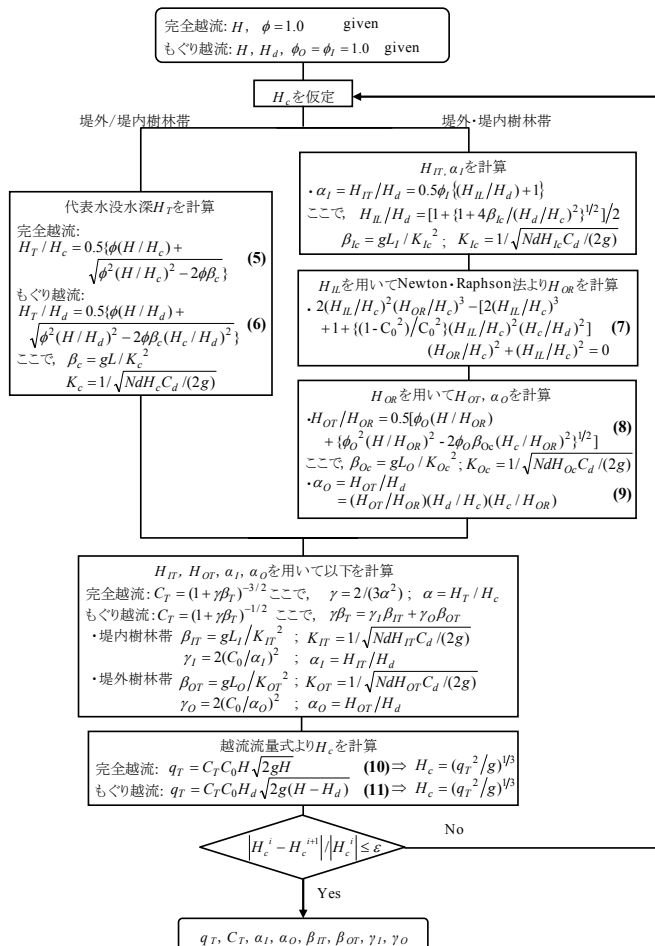
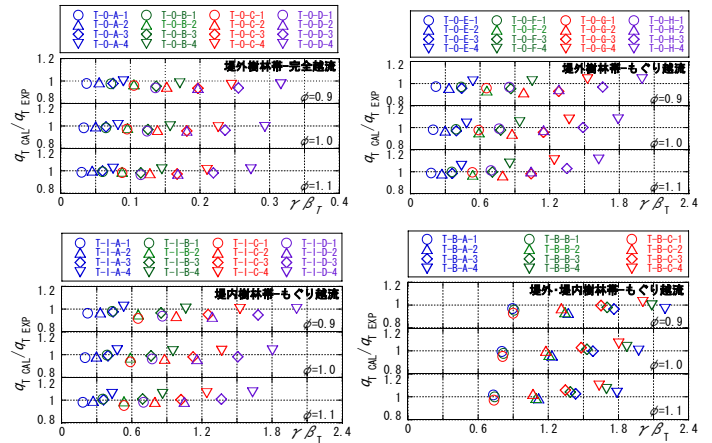
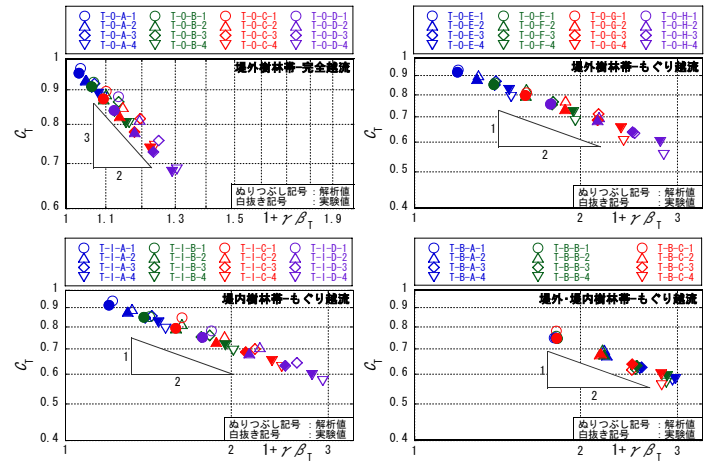


図-2 計算手順



有(CASE T-I)および堤外・堤内樹林帯有(CASE T-B)の4ケースについて、模型樹林帯特性(N, L)と流量 Q を変化させ、完全あるいはもぐり越流で実施した(表-1)。もぐり越流状態では、水路下流端に堰(堰高 $s=0.22m$)を設け、そこでの水位を一定に保った状態で氾濫流量を評価した。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の両方で算定し、その平均値とした(相対誤差: $\pm 0.5\%$ 以内)。

4. 流量式の予測精度の検証

図-3は、式(10)と式(11)の流量補正係数 C_T と $(1 + \gamma\beta_T)$ との関係を調べたものである。予測結果は、図-2で示した計算手順より得た。これからわかるように、(1) 越流状態にかかわらず、 LN が同じ値であれば、 C_T もほぼ同じ値を取る。(2) 実験値と予測値の C_T 値は良好に一致し、完全越流状態では $C_T = (1 + \gamma\beta_T)^{-3/2}$ なる関係が成立する。一方、もぐり越流状態では樹林帯の設置位置にかかわらず、 $C_T = (1 + \gamma\beta_T)^{-1/2}$ なる関係が成立する。

図-4は、式(10)と式(11)の予測精度の検証、計算手順の確認および水面形に関する補正係数 ϕ の同定を併せて行ったものである。実験から得られた ϕ 値(全60ケース)が、 $\phi=0.99 \sim 1.02$ であることを踏まえ、 ϕ 値を $\phi=0.9, 1.0$ および 1.1 に変化させ、各越流形態の $q_{T,CAL}/q_{T,EXP}$ と $\gamma\beta_T$ との関係について調べた。ここで、 $q_{T,CAL}$ は図-2の計算手順より得られた予測値、 $q_{T,EXP}$ は実験値である。これより、 $\gamma\beta_T$ が大きくなると、若干過大評価する傾向や、もぐり越流状態ではわずかに予測精度が低下する傾向が認められるものの、いずれの越流形態についても予測値と実験値は良好に一致しており、 $\phi=1.0$ としてよいことが確認できる。

5. まとめ

実務レベルの氾濫解析の予測精度の向上と、超過洪水時に期待される樹林帯の減災機能の工学的評価の立場から、樹林帯(竹林あるいは樹木の枝下部)が設けられた築堤河道からの越水氾濫流量について検討を加え、越流状態(完全、もぐり越流状態)、樹林帯の設置位置(堤外/堤内、堤外・堤内)を考慮した越水氾濫流量の予測式とその解法を開発し、実験結果との比較検討よりその妥当性を検証した。

参考文献: 1) 国土交通省河川局治水課監修: 堤防に沿った樹林帯の手引き, 山海堂, 2001.