

樹林帯が設けられた築堤河道からの越水氾濫流量の予測法の開発

九州工業大学工学部 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 学生会員 利岡 正士

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 木付 拓磨

1. はじめに

樹林帯には環境機能に加え、超過洪水時の越水氾濫流量の低減効果(減災機能)があるといわれている¹⁾。しかし、その減災機能や効用については不明な点が多い。本研究では、(1) 河道計画や洪水防御計画の観点から整備・保全された堤外あるいは堤内樹林帯(竹林あるいは樹木の枝下部)特性を考慮した越水氾濫流量式の開発、(2) 堤外樹林帯の越水氾濫流量の低減効果の検討を行った。

2. 堤外樹林帯あるいは堤内樹林帯を考慮した越流流量式

図-1に示すように、堤防天端から測った上層部について、堤外地での水位を H 、樹林帯右端側での水位を完全越流状態では限界水深 H_c 、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 は式(3)のように近似的に表される。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)より各越流状態の H_T が式(5)と式(6)のように得られる。

完全越流状態では式(1)と式(5)、もぐり越流状態では式(2)と式(6)を連立して解けば q_T を予測できるが、式形が複雑になる。そこでここでは、式(1)と式(5)あるいは式(2)と式(6)を分離して取り扱う。すなわち、式

(1)と式(5)では $H_T/H_c=\alpha_1$ 、式(2)と式(6)では $H_T/H_d=\alpha_2$ と置き、式(1)と式(2)から各越流状態の越流流量式を導く一方、 α_1 と α_2 はそれぞれ式(5)と式(6)で与える。 H_T をこのように置くことで、式(1)と式(2)から樹林帯を考慮した越流流量式がそれぞれ式(7)と式(8)のように得られ、本間の越流公式と同型となる。また、樹林帯が越流流量に及ぼす影響は、流量補正係数 C_T として評価され、その物理的な意味も明確になる。なお、各越流状態での C_0 は、 $\beta_T=0$ のときに、式(7)と式(8)が本間公式と一致することから定められる。

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、樹林帯無し(CASE N)、堤外樹林帯有り(CASE T-O)および堤内樹林帯有り(CASE T-I)の3パターンについて、模型樹林帯特性(N , L)を変化させ、完全あるいは潜り越流状態で実施した(表-1)。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. 結果と考察

図-2は、実験値に基づき、 C_T と $(1+\gamma\beta_T)$ との関係を調べたものである。これより、次のことがわかる。(1) LN が同じ値であれば、 H_T もほぼ同じ値を取り、樹林帯特性は $\gamma\beta_T$ で評価できる。(2) H_T を適切に評価できれ

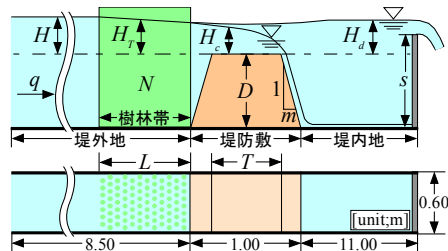


図-1 樹林帯の設置条件と重要な諸量(堤外樹林帯)
表-1 実験条件

CASE		越流 形態	q (m^2/s)	L (m)	N ($\text{本}/\text{m}^2$)	s/D		
N		$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S	0.024		400 600 800 1000	1.1		
T	O	$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S					1.5, 3.0 4.5, 6.0	400 600 800 1000
		$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S						
		$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S						
		$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S						
	S	$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S		1.5, 3.0 4.5, 6.0	400 600 800 1000			
		$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S						
		$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S						
		$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S						
I	$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S	1.5, 3.0 4.5, 6.0		400 600 800 1000				
	$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S							
	$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S							
	$\frac{1}{2}$ O $\frac{1}{2}$ S							

完全越流状態($H_d/H < 2/3$):

$$H - H_c = (q_T / H_T)^2 (L / K_T^2) + (1/2g)(q_T / H_c)^2 \quad (1)$$

もぐり越流状態($H_d/H \geq 2/3$):

$$H - H_d = (q_T / H_T)^2 (L / K_T^2) + (k/2g)(q_T / H_d)^2 \quad (2)$$

ここに、 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、 H_T : 樹林帯区間での樹木の代表水没水深、 L : 樹林帯幅、 K_T : 樹林帯区間の透過係数、 k : もぐり越流状態における堤体の形状損失係数

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

ここに、 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。

ば, C_T が定まり, 式(7)と式(8)から q_T を予測できる. ただし, 得られた越流流量式(式(7), 式(8))は, α を介して, C_T に既知

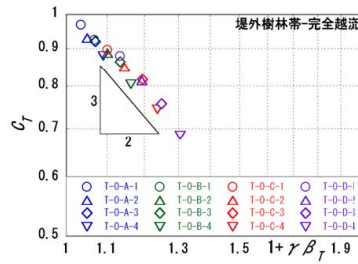


図-2 実験結果に基づく C_T の理論解の検証

水位(H , H_d)と未知水位(H_c , H_d)が含まれているので, これを勘案した上で, 既知水位(H , H_d)から適切に H_T を評価し, q_T を予測できる解法とする必要がある. 図-3は, これを踏まえた解法計算である.

図-4は, 式(7)と式(8)の水面形に関する補正係数 φ の同定と予測精度の検証を併せて行ったものである. 実験から得られた φ 値(全48ケース)が, $\varphi=0.99\sim 1.02$ であることを踏まえ, φ 値を $\varphi=0.9$, 1.0 および 1.1 に変化させ, 堤外樹林帯および堤内樹林帯の各越流状態の予測値 $q_{T\text{CAL}}$ /実験値 $q_{T\text{EXP}}$ と β_T との関係について調べた. これより, 次のことが確認できる. (1) β_T の値にかかわらず, $\varphi=1.0$ としてよい. (2) 堤外および堤内樹林帯のいずれの越流状態についても, 樹林帯特性と既知水位が与えられれば, 越流流量をほぼ正確に予測できる.

図-5は, 式(7)と式(8)において $C_T=1.0$ とした場合, すなわち堤外樹林帯が無設置の場合の越水氾濫流量 q_0 に対する q_T の相対誤差($(q_T - q_0)/q_0$)の計算結果と実験結果を比較したものである. ここで, q_0 を比較対象としているのは, (1) 堤外樹林帯が存在する河道からの越流流量には, 堤外樹林帯による越流流量低減効果が既に含まれているので, その低減率を評価できないこと, (2) 現行の実務レベルでの氾濫解析では,

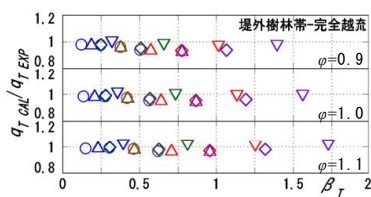


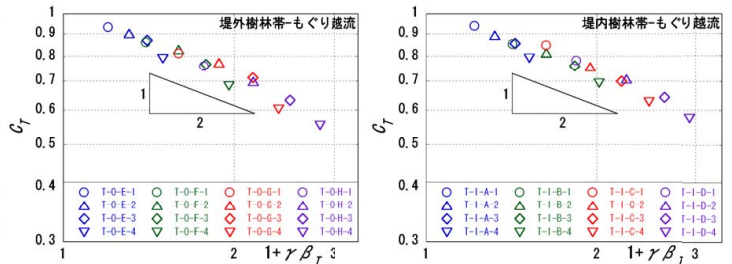
図-4 q_T の予測値と実験値との比較

堤外樹林帯が設置された河道からの越水氾濫流量を本間公式等の流量式で評価し, これを真値と見なしていることによる. そこでここでは, $(q_0 - q_T)/q_0$ を堤外樹林帯による越水氾濫流量の低減率と定義する. これより, いずれの越流状態においても堤外樹林帯は顕著な越水氾濫流量の低減機能を有していることや, その評価も可能であることが確認できる.

5. まとめ

本研究から次のような知見が得られた. (1) 堤外あるいは堤内樹林帯が設置された河道からの越水氾濫流量を予測する手法を開発し, 実験結果との比較検討よりその妥当性を検証した. (2) 堤外樹林帯が顕著な越水氾濫流量の低減機能を有することと, その低減率の評価が可能であることを明らかにした.

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.



完全越流: H , $\varphi=1.0$ given
もぐり越流: H , H_d , $\varphi=1.0$ given

H_c を仮定

H_T を計算

完全越流: $H_T/H_c = 0.5 \left\{ \varphi(H/H_c) + \sqrt{\varphi^2(H/H_c)^2 - 2\varphi\beta_c} \right\}$ (5)

もぐり越流: $H_T/H_d = 0.5 \left\{ \varphi(H/H_d) + \sqrt{\varphi^2(H/H_d)^2 - 2\varphi\beta_c(H_c/H_d)^2} \right\}$ (6)

ここで, $\beta_c = gL/K_c^2$, $K_c = 1/\sqrt{NdH_cC_d/(2g)}$

H_T を用いて以下を計算

$\beta_T (= gL/K_T^2)$ ここで, $K_T = 1/\sqrt{NdH_TC_d/(2g)}$

γ と C_T

完全越流: $\gamma = 2/(3\alpha_1^2)$ ここで, $\alpha_1 = (H_T/H_c)$; $C_T = (1 + \gamma\beta_T)^{-3/2}$

もぐり越流: $\gamma = 2(C_0/\alpha_2)^2$ ここで, $\alpha_2 = (H_T/H_d)$; $C_T = (1 + \gamma\beta_T)^{-1/2}$

越流流量式より H_c を計算

完全越流: $q_T = C_TC_0H\sqrt{2gH}$ (7) $\Rightarrow H_c = (q_T^2/g)^{1/3}$

もぐり越流: $q_T = C_TC_0H_d\sqrt{2g(H-H_d)}$ (8) $\Rightarrow H_c = (q_T^2/g)^{1/3}$

ここで, C_0 : 樹林帯が設けられていない河道での流量係数, C_T : 樹林帯に関する流量補正係数, 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) $= gL/K_T^2$

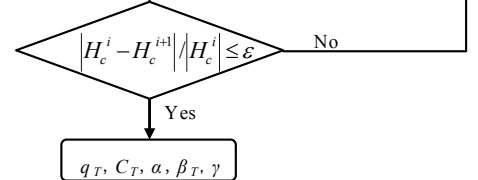


図-3 計算手順

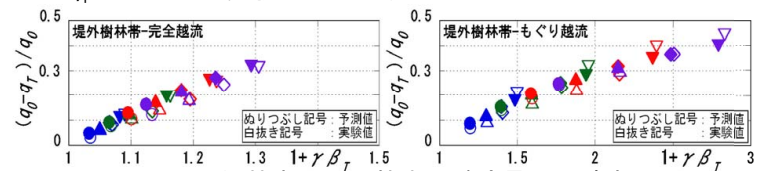


図-5 堤外樹林帯による越水氾濫流量の低減率