

越水氾濫流量に対する樹林帯と堤内地盤高の影響

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 正 会 員 重枝 未玲
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 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

樹林帯は治水と環境・機能を兼備した河川管理施設であるが、その治水機能について定量的に論じた研究や技術資料はほとんど存在していない。本研究では、堤内樹林帯の設計・整備の一助となることを目的として、(1)樹林帯と堤内地盤高を考慮した越流流量式の開発、(2)樹林帯と堤内地盤高が越水氾濫流量に及ぼす影響、について検討を加えた。

2. 堤内樹林帯と地盤高を考慮した越流流量

図-1に示すように、任意の基準面から測った堤外地での水位を h 、樹林帯右端側での堤内地水位を h_d とし、地盤高の違いを考慮して、摩擦せん断応力を無視すると式(1)が得られる。式(1)において $h_T/h_d=\alpha$ と置き整理すると、本間公式と同型となり¹⁾、樹林帯特性($L/D, K_T$)と堤内地盤高 Z を考慮したもぐり越流状態での越流流量 q_T が式(2)のように得られる。

式(2)は、 h_d が堤防天端高 D よりも低い状況も含めた流量式となっており、 C_0 は樹林帯なしの河道での流量係数、 C_T は式(3)で与えられる樹林帯と地盤高に関する流量補正係数である。なお、水位の取り方が本間公式とは異なるので、 C_0 の値も本間公式のそれと当然異なる。 h_T は h と h_d の重み付き平均で与えられると仮定し、 α を式(4)のように与える。ここで、 ϕ は水位に関する重み(=0~1)であり、実験結果より式(5)のように与えられる。ここで、 Fr は上流側水位 h に基づくFroude数($=q_T/(g(h-D)^3)^{1/2}$)である。

図-2は、 q_T の予測において、(1) C_T に既知水位($h, (h_d)$)と未知水位 h_T が含まれていること、(2) ϕ が Fr の関数であること、(3)樹冠部ありの樹木群では、樹木特性に応じた K_T を与えるので、 β_T は既知量であり、 q_T, C_T, α, γ が未知量となること。竹林や樹木の樹幹部では、 K_T 中に未知水位 h_T が含まれているので、 β_T も未知水位を含むこと等を勘案した解法である。

3. 実験の概要

実験装置は、正面越流を対象として、水路(勾配 $I=1/1000$ 、粗度係数 $n=0.01$)を横断するように堤防(法勾配 $m=2$ 割、堤防高 $D=0.20\text{m}$ 、堤防敷幅 $T=0.7\sim 1.0\text{m}$)と多孔体(透過係数 K_T 、密度 λ (=実質体積/空間体積)=0.047、樹林帯幅 L)を堤防裏法尻から設置したものである(図-1)。

実験は、(1)堤防無設置で多孔体の K_T を求めるCASE K、(2)堤防設置で樹林帯なしで水路下流側に高さ s の刃型堰を設置し、 $s/D=1.0\sim 1.2$ の範囲で変化させたCASE Nおよび(3)堤防設置で樹林帯ありのCASE Tを行った。

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杓の両方で算定し、その平均値とした(相対誤差： $\pm 0.5\%$ 以内)。CASE NとTの実験条件を表-1に示す。ここで、 $Fr=0.6$ は堤防天端での流れの状態 Fr_B が限界流となるとときにほぼ対応している。

4. 実験結果と考察

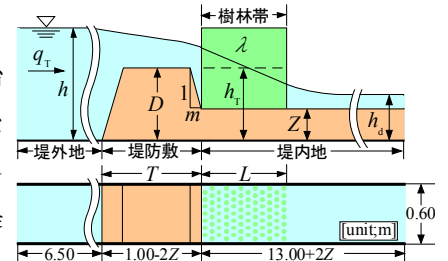


図-1 樹林帯の設置条件と重要な諸量
表-1 実験条件

CASE		Z/D	L/D	q_T (m^2/s)	Fr_B	Fr
N	A	0.00		0.016	0.251	0.280
	B	0.25				
	C	0.50		0.089	0.990	0.508
	D	0.75				
T	A	a	1	7.50	0.023	0.261
		b	3	15.00		
		c	3	22.50	0.095	1.000
	B	a	1	5.00	0.020	0.253
		b	3	10.00		
		c	3	15.00	0.095	0.996
	C	a	1	2.50	0.015	0.315
		b	3	5.00		
		c	3	7.50	0.096	1.000
	D	a	1	1.25	0.010	0.309
		b	3	2.50		
		c	3	3.75	0.096	0.994

$h - h_d = [(1+k)/2g][q_T/(h_d - Z)]^2 + \beta_T V_T / g$ (1)
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、 β_T : 樹林帯パラメータ($=gL/K_T^2$)、 L : 樹林帯幅、 K_T : 樹林帯区間の透過係数、 Z : 地盤高、 k : もぐり越流状態における堤体の形状損失係数である。

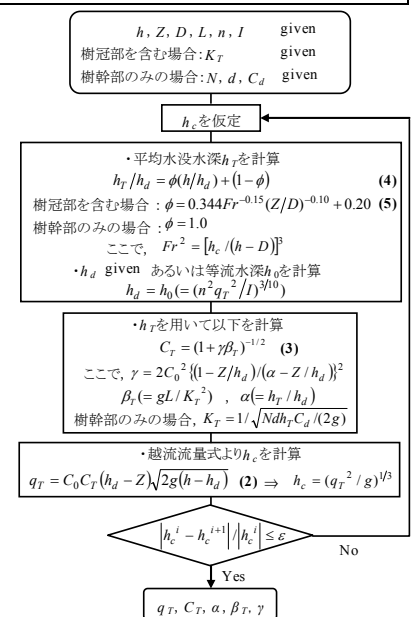


図-2 計算手順

CASE Kの実験結果と $K_T=(q_T/h_T)/I_c^{1/2}$ より、実験に用いた多孔体の透過係数が $K_T \div 0.656(\text{m/s})$ のように得られた。また、CASE Nの実験結果と式(2)で $C_T=1.0$ と $Z=D$ とした式から、 $C_0 \div 1.12$ が得られた。

図-3は、一例として、CASE T-B-a($Fr=0.270 \sim 0.562$)の水面形を示したものである。これからわかるように、(1)樹林帯区間で水位が低下し、樹林帯下流で若干水面が動揺しながらほぼ等流となる。(2)樹林帯区間内、水位が堤防天端高より低くなる。(3)樹林帯区間での水面形は Fr で若干変化する。

図-4は、CASE Tから得られた ϕ の関係を示したものである。これより、 ϕ は L/D には依存せず、 Fr および Z/D に依存し、式(5)で概ね表せることがわかる。

図-5は、単位幅流量の実験値 q_{Texp} と予測値 q_{Tcal} を比較したものである。表-1に示したCASEは、 Fr 、 L/D および Z/D の影響を系統的に調べるために実験条件を設定したものであるため、比較検討を行う上でデータの欠落が見られた。これを補うために別途取得したデータが塗りつぶし記号で示したものである。先述したように、 ϕ には Fr に対する若干の依存性が認められたが、図-2に示したような収束計算を行っているために、ほぼ正確に q_{Texp} を予測することができる。

図-6は、 $K_T=0.656(\text{m/s})$ として Fr を変化させ、 C_T と L/D との関係を調べた一例である。これからわかるように、(1) C_T の予測値と実験値はよく一致する。(2) C_T は Fr と Z/D に依存せず、 L/D に対して減少する傾向があり、その依存性は L/D が大きくなると相対的に低下する。(3) Fr が大きくなると、 C_T も若干減少する。

図-7は、 $Fr=0.4$ で、 L/D を変化させた際の C_T と Z/D との関係を調べたものの一例である。実験値以外の K_T 値は、それぞれ $K_T=2.74$ (模型樹木²⁾)、 5.485 (乙津川のメダケ林³⁾)および 11.64 (花月川のメダケ林⁴⁾)を示している。これから明らかなように、(1)樹林帯特性、 Z/D および Fr にかかわらず、常に $C_T \leq 1.0$ となっている。(2) C_T は Fr より Z/D に対する依存性の方が相対的に強い。(3) K_T が大きくなるほど、 C_T も大きくなり、 L/D に対する依存性は弱くなる。(4)ある K_T では、 L/D が小さいほど、 C_T が同じ値を取る Z/D は大きくなり、 L/D に依存しなくなる。

以上より、次を踏まえて図-2に示した方法を用いれば、樹林帯と堤内地盤高が越流流量に及ぼす影響を考慮できると考えられる。(1)堤内地盤高が同じ場合では、樹林帯幅を必要以上に長くしても、越流流量の低減効果が見込めない。この傾向は K_T が大きくなるほど強くなる。(2)与えられた水位(h , (h_d))に対して、堤内地盤の嵩上高と樹林帯幅との間に、越流流量を同じとする等価関係が存在する。ただし、 $K_T \geq 5.5$ や $L/D \leq 4$ の場合は地盤高の嵩上効果は顕著でなくなる

5. まとめ

本研究から次のような知見が得られた。(1)樹林帯特性と堤内地盤高を考慮したもぐり越流状態の流量式とその解法を開発し、予測精度を検証した。(2)同流量式の流量係数に基づき、樹木の種類(模型も含む)、Froude数、樹林帯幅および堤内地盤高の関係を明らかにした。(3)同流量式により越水氾濫流量を同じとする堤内地盤の嵩上高と樹林帯幅との換算が可能であることを示した。

参考文献：1) 秋山壽一郎ら：樹林帯の減災機能に関する研究 ―堤外樹林帯による越水氾濫流量の低減効果―，水工学論文集，第54巻，pp.859-864，2010。2) 福岡捷二ら：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水理的影響，土木研究所報告，180-3，1990。3) 国土交通省九州地方整備局大分河川国土事務所，大野川河道技術資料，2002。4) 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。

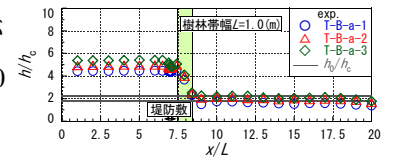


図-3 水面形 (CASE T-B-a)

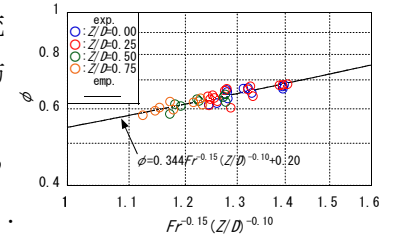


図-4 ϕ の関係

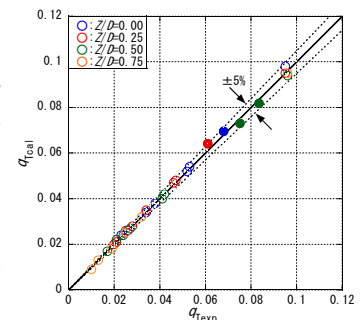


図-5 q_T の予測値と実験値の比較

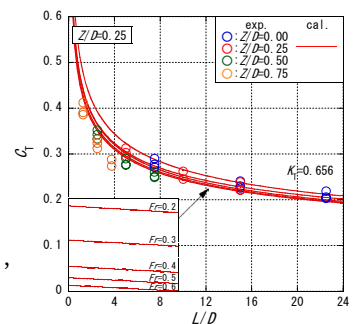


図-6 Fr を変化させたときの C_T と L/D との関係の一例

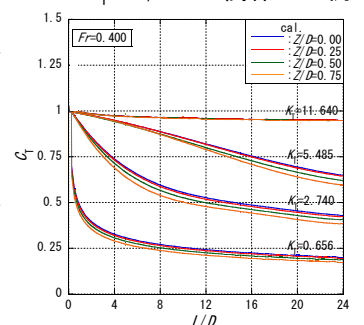


図-7 L/D を変化させたときの Z/D との関係