

堤体背面に整備された樹林帯を考慮した越水氾濫流量の予測

九州工業大学工学部 学生会員 ○岡村 賢治
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
九州工業大学大学院 学 生 会 員 松田 健介

1. はじめに

本研究は、堤体背面を盛土して緩傾斜とするとともに、そこに樹林帯を設けることで、越水破堤の耐力を増強した堤防¹⁾を対象に、樹林帯整備計画で必要となる築堤河道からの越流流量や越流水深を予測する手段として、「樹林帯・堤体形状・堤内地盤高を考慮した越流流量式」(以下「本流量式」という)を提案し、その妥当性を検証したものである。

2. 樹林帯・堤体形状・堤内地盤高を考慮した越流流量式²⁾

図-1は、河道横断方向の水面形の一例を示したものである。図中の赤の実線と緑の破線はそれぞれ、同一流量を与えたときに樹林帯がある一定以上の流水抵抗を発揮した場合と樹林帯なし(完全越流状態)の場合を示している。これからわかるように、堤防裏法に樹林帯を設けると、越流水の水位が全体的に上昇する。さらに、樹林帯がある一定以上の流水抵抗を発揮した場合には、越流水が堰上げられ、そのために堤防天端で支配断面が消失し、堤外地水位が上昇することがある。この場合、樹林帯によって越流流量が増減するわけではないが、上昇した堤外地水位を用いて本間の完全越流公式等を適用すると、過大に越流流量を評価することになる。また、このように堤防高より堤内地水位が低い状況では、本間のもぐり越流公式は適用できなくなる。

以上を踏まえて、以下に示す本流量式を提案する。図-2は、図-1の流況を模式的に示したものである。式(1)は、樹林帯特性(透過係数 K_T 、幅 L)と樹林帯設置区間の平均地盤高 $Z^*(=Z+L/2m)$ を考慮して、任意の基準面から測った堤外地水位 h および堤内地水位 h_d より、樹林帯が設けられた場合の単位幅当りの越流流量 q_T を評価できる流量式である。ここで、樹林帯特性と堤内地盤高に関する流量補正係数 C_T は式(2)で表される。

q_T の予測に当たっては、(1) α は不明な水位 h_T^* と関係したパラメータであり、この α は Fr と K_T の関数となっていること、(2) C_T に h_T^* が含まれていること、(3) 樹冠部を有する樹木群では、 K_T と L は与えられるので、 β_T は既知量であること。一方、柱状樹木群では、 K_T に h_T^* が含まれているので、 β_T も不明であること、などを考慮する必要がある。図-3は、以上を踏まえ、通常の流量式と同様に水位(h, h_d)から越流流量 q_T を算定するための計算手順を示したものである。

3. 実験の概要

実験装置は、河道横断面を考え、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、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。模型樹林帯には、プラスチックが糸状に絡んだ柱状多孔体(透過係数 K_T 、密度 λ (=実質体積/空間

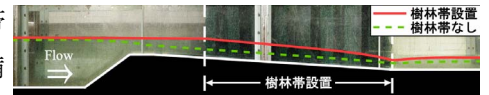


図-1 水面形の一例(配列A, L /法面長=0.8)

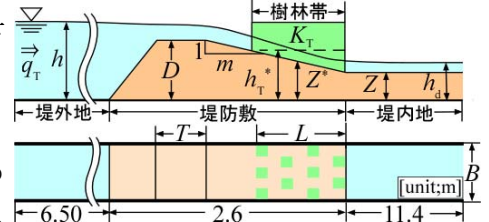


図-2 樹林帯の設置条件と重要な諸量

表-1 実験条件

CASE	K_T (m/s) (実スケール)	L /法面長	Fr
N			0.20~0.60
T	配列A a~d $\frac{1}{2}$	1.7(5.4)	0.7~1.0
	配列B a~d $\frac{1}{2}$	1.2(3.9)	0.7~1.0
	配列C a~d $\frac{1}{2}$	1.0(3.2)	0.7~1.0
	配列D a~d $\frac{1}{2}$	0.9(2.9)	0.7~1.0
			0.58~0.62 0.47~0.61 0.55~0.58 0.33~0.49 0.56~0.61 0.23~0.36 0.59~0.63 0.20~0.33

$$q_T = C_0 C_T (h_d - Z) \sqrt{2g(h - h_d)} \quad (1)$$

$$C_T = (1 + \gamma \beta_T)^{-1/2} \quad (2)$$

$$\alpha = \phi(h/h_d) + (1 - \phi) \quad (3)$$

$$\phi = 0.88 Fr^{-0.1} K_T^{-0.2} - 0.40 \quad (4)$$

ここで、 C_0 : 樹林帯が設けられていない状態での堤防の流量係数、 $\gamma = 2C_0^2 \{[(1-Z/h_d)/(\alpha - Z^*/h_d)]^2, \beta_T (=gL/K_T^2)$: 樹林帯パラメータ、 $\alpha (=h_T^*/h_d)$: 樹林帯区間における平均的な水位 h_T^* と h_d との比、 K_T : h_T^* に基づく透過係数

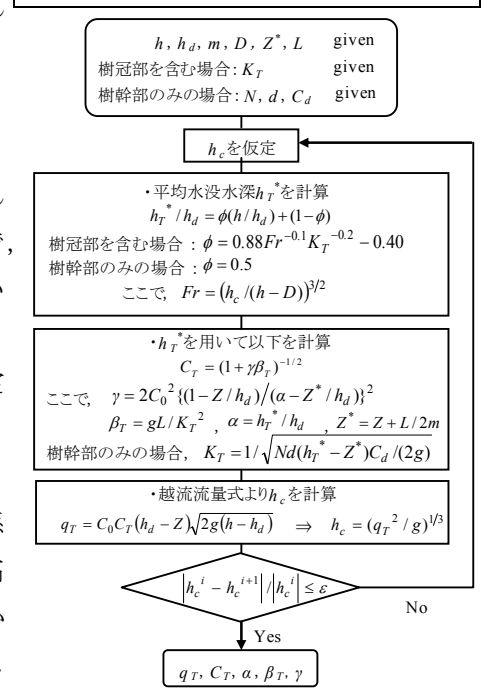


図-3 計算手順

体積))を図-4のように配列したものをを用いた。

実験は、(1) 堤防無設置、樹林帯設置で空間平均された透過係数 K_T を $K_T=(q/h_T^*)/I_c^{1/2}$ より算定したCASE K, (2) 堤防設置、樹林帯無設置で水路下流側に高さ s の刃型堰を設け、式(1)で $C_T=1.0$ と $Z=D$ とした関係より、 C_0 を算定したCASE N, (3) 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、 Fr は堤外地水位 h に基づく天端基準のFroude数($=q_T/(g(h-D)^3)^{1/2}$)であり、堤防天端で支配断面が発生するとき、理論的には $Fr=(2/3)^{3/2}=0.54$ であり、 $Fr=0.6$ は堤防天端上ではほぼ限界流となる場合に対応している。

いずれのCASEについても、水深は堤防天端上では中央と両端の3点、樹林帯内では0.1mあるいは0.2m間隔、その他の断面では1.00m間隔をポイントゲージで測定し、流量 Q は電磁流量計と量水柵の両方で算定した。CASE N, Tの実験条件を表-1に示す。

4. 実験結果と考察

CASE K, Nより、透過係数 K_T が配列A($K_T=1.7$ m/s), B(1.2), C(1.0)およびD(0.9), 流量係数 C_0 が $C_0 \approx 1.06$ のように得られた。また、CASE Tより、式(3)中の水位に関する重み ϕ ($=0 \sim 1$)は、 Fr と K_T の関係として式(4)で表すことができる(図-5)。なお、樹林帯区間における平均的な水没水深 h_T^* は本実験から得られた樹林帯区間の水位を積分し、これを L で除して求めた。

図-6は、 $\beta_T(=gL/K_T^2)$ と $Fr(=q_T/(g(h-D)^3)^{1/2})$ の関係を示したものである。先述したように、理論的に堤防天端で支配断面が発生するのは $Fr=0.54$ のときであるが、実験では、樹林帯によって水表面が動揺するため、若干の差異が生じている。また、支配断面が消失する境界の β_T の値から、その状態となる各配列の L /法面長の値を決定することができる。例えば配列Aでは、 $\beta_T \approx 5.4$ 、つまり L /法面長 ≈ 0.8 で支配断面が消失する。

図-7は、CASE Tより得られた樹林帯区間の平均水深($h_{T \text{ exp}}^*-Z^*$)と樹林帯なし(完全越流)の状況での樹林帯区間の平均水深($h_N^*-Z^*$)との比($h_{T \text{ exp}}^*-Z^*/(h_N^*-Z^*)$)と、 β_T あるいは Fr との関係を示したものである。このように、堤防裏法に樹林帯を設けることで、そこでは水深が全体的に上昇する。例えば配列Aの樹林帯を設けると、そこでの水深は樹林帯を設けない場合の2.5倍以上となる。また、各配列の最も小さい β_T , Fr では、先述した支配断面消失～発生状態となっており、($h_{T \text{ exp}}^*-Z^*/(h_N^*-Z^*)$)が小さくなっている。

図-8は、図-3の計算手順で得られた予測値 $q_{T \text{ cal}}$ と実験値 $q_{T \text{ exp}}$ を、図-9は同様に($h_{T \text{ cal}}^*-Z^*$)と($h_{T \text{ exp}}^*-Z^*$)を比較したものである。これからわかるように、本流量式は、樹林帯特性(K_T, L)および堤防・地盤高特性(Z, m)を考慮して、水位(h, h_d)と越流流量 q_T との関係を的確に評価でき、樹林帯の計画段階において越流流量あるいは越流水深を把握することが可能となる。また、樹林帯区間における堤防裏法の平均水深($h_T^*-Z^*$)も知ることができるので、裏法面の耐侵食性に関する検討にも役立つことがわかる。

5. まとめ

本研究では、樹林帯整備計画における越流流量や越流水深を検討する手段として「樹林帯・堤体形状・堤内地盤高を考慮した越流流量式」とその解法を開発し、実験結果に基づき、本流量式の妥当性を実証した。

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。2) 秋山 壽一郎ら：河川技術論文集，第17巻，pp.347-352，2011。

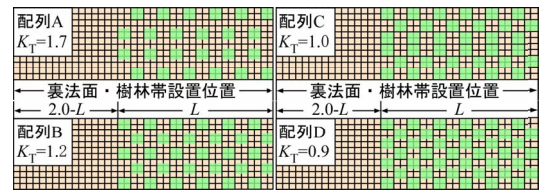


図-4 模型樹林帯の配列

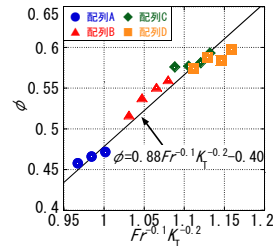


図-5 ϕ の関係

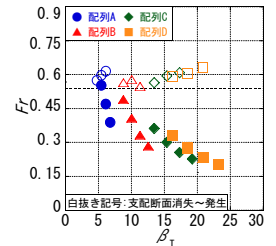


図-6 β_T と Fr との関係

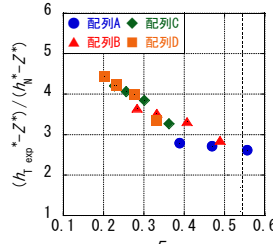


図-7 β_T , Fr と $(h_{T \text{ exp}}^*-Z^*)/(h_N^*-Z^*)$ との関係

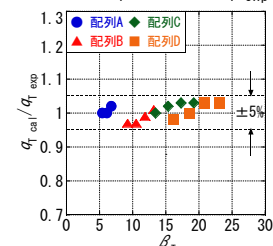


図-8 β_T と $q_{T \text{ cal}}/q_{T \text{ exp}}$ の関係

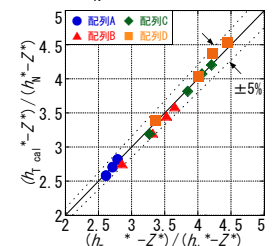


図-9 $h_{T \text{ cal}}^*$ と $h_{T \text{ exp}}^*$ の比較