

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 —

REDUCTION OF OVERFLOW DISCHARGE BY FLUVIAL WOODS ZONE IN RIVERSIDE LAND

秋山 壽一郎¹・重枝 未玲²・木付 拓磨³・利岡 正士³
Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA, Takuma KIZUKI and Masashi TOSHIOKA

¹フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学大学院教授 工学研究院建設社会工学研究系
(〒804-8550北九州市戸畑区仙水町1-1)

²正会員 博士(工学) 九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系(同上)

³学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻(同上)

Fluvial woods zone has been regarded as the river administration facility that is capable of reducing overflow discharge. In this study, the analysis is directed toward the prediction of the overflow discharge under the presence of fluvial woods zone in riverside land. New overflow discharge formulas, on which incorporate the effects of fluvial woods zone, are developed for both complete and submerged outflows. It shows experimentally and theoretically that fluvial woods zone is capable of reducing overflow discharge. The proposed formulas are used to estimate the reduction rate of overflow discharge for the fluvial woods zone in the Oono River, and the fluvial woods zone is found to be able to reduce overflow discharge about 50% in case of complete overflow and about 60% in case of submerged overflow.

Key Words : *fluvial woods zone, overflow discharge formula, complete and submerged overflows*

1. はじめに

河川に沿って帯状に設けられた樹木群を樹林帯あるいは河畔林という。樹林帯には魚つき林や沿川地域における自然緑地等の環境機能だけではなく、①越流時における堤防の安全性の向上、②破堤部の拡大抑制、③氾濫流量の低減、④流木・土砂堆積の防止、表土流失の低減、といった超過洪水時の減災機能があるといわれている¹⁾。

改正河川法では、樹林帯を堤防の機能を維持・増進するための河川管理施設として適正に整備または保全することが明記された。

しかしながら、先述した①～④の減災機能について論じた研究や技術資料は極めて少ない。著者の知る限り、水防林に関する知見、造園における植栽および管理に関する知見、植生生態学に関する知見などをまとめた手引き¹⁾、模型実験と高精度・高解像な平面2次元不定流モデルを用いた河道・氾濫域包括数値解析により樹林帯の氾濫流量低減効果や構造物に働く破堤氾濫流の流体力低減効果等を検討した秋山らの研究^{2), 3)}、樹林帯の破堤プロセスに対する影響を模型実験と数値解析により検討した

鷺見らの研究⁴⁾、破堤氾濫を想定した模型実験に基づき、樹林帯幅と洗掘量の関係や簡単な理論解析により樹林帯による氾濫流量低減効果について検討を加えた坂野・藤田の研究⁵⁾がある程度であり、樹林帯の減災機能やその効用には不明な点が多い。

本研究は、以上のような背景を踏まえ、樹林帯の減災機能を工学的に明らかにすることを目的としたものの一環である。中小河川を含む破堤事例に関する調査結果⁶⁾によれば、堤防背後地を中心として甚大な被害をもたらす破堤の8割は越水に起因し、越水が堤防の機能低下や喪失を招く主因であることがわかっている。

このようなことから、本研究では、外水氾濫の浸水規模や堤防の安全性とも深く関わっている越水氾濫(超過洪水)時に堤外樹林帯に期待される越水氾濫流量の低減効果を取り扱う。なお、ここで言う堤外樹林帯とは、河道計画における流下能力確保の観点から保全・整備された、堤防に沿った河道内樹木群のことを指している。

先述したように、著者らは高精度・高解像な平面2次元不定流モデルを用いた河道・氾濫域包括数値解析に基づき、樹林帯の氾濫流量低減効果について検討を行ってきた^{2), 3)}。一方、現状の実務レベルでの氾濫解析では、



図-1 大野川水系乙津川の堤外樹林帯(竹林)
(出展：国土交通省大分河川国道事務所)

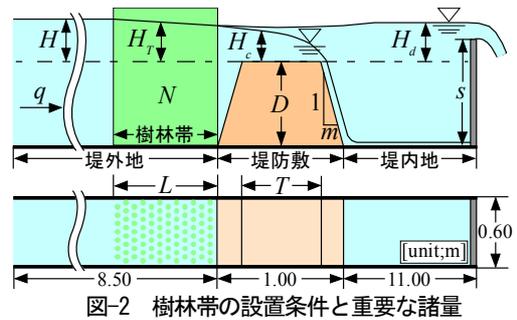


図-2 樹林帯の設置条件と重要な諸量

河道での洪水流を1次元解析，氾濫域での氾濫流を平面2次元解析，河道と氾濫域の雨水のやり取りを本間の越流公式あるいはこれに横越流特性を一部考慮した改良式⁷⁾で評価する方法が一般に取られている．ところが，先述したように，このような実務レベルの解析法の枠組みにおいても，堤外樹林帯による氾濫流量の低減効果を適正に評価する手段はいまだ確立されていない．

このことは，実務レベルの氾濫解析において次のような問題を提起することになる．すなわち，本間公式等の堤外樹林帯の影響が考慮されていない流量式を用いて，堤外樹林帯が存在する河道からの氾濫流量を予測すると，そこでの河道水位は既に堤外樹林帯による水位上昇を含んでいるので，過大に評価され，これが真値と見なされる．このことは，実氾濫において堤外樹林帯が存在する河道からの氾濫流量を本間公式等で評価した場合も同様である．

本研究は，以上のような背景を踏まえ，先述した実務レベルの氾濫解析法を対象として，(1) 河道計画の観点から整備・保全された堤外樹林帯が存在する河道からの氾濫流量を適正に評価できる越流流量式を開発するとともに，(2) これに基づき，堤外樹林帯が有する氾濫流量の低減効果(減災効果)について検討を加えたものである．

2. 堤外樹林帯を考慮した越流流量式

樹木群が設けられた幅が十分に広い水路における1次元漸変流の基礎式は，式(1)と式(2)のようになる．なお，樹木群としては，竹林あるいは樹木の枝下部を対象としている．

$$q = \text{一定} \quad (1) \quad ; \quad I_e = \tau / \rho g H + (V/K)^2 \quad (2)$$

ここに， q ：単位幅流量， I_e ：エネルギー勾配(= $d(H+V^2/2g)/dx$)， τ ：摩擦せん断応力， H ：任意の断面での水位， V ：任意の断面での断面平均流速， K ：透過係数(m/s) (= $1/[NaC_d(2g)]^{1/2}$)である．ここで， N ：単位面積中の樹木の本数(本/m²)， a ：樹木1本当たりの投影面積(= dH)， d ：樹木1本の直径， C_d ：樹木1本当たりの抵抗係数， ρ ：水の密度， g ：重力加速度である．

円柱群の C_d 値については，樹木密度や河床勾配等によ

らず， $C_d=1.20$ 程度の一定値を取ることが知られていることから⁸⁾，本研究でもこの値を用いることとする．

図-1は，大野川水系乙津川(大分県常行地区)の堤外樹林帯(竹林)を示したものである．大野川水系においては，平成5年9月の出水では大野川・乙津川のいずれも計画高水位を超過し，平成17年9月の出水では乙津川の高田橋水位観測所で計画高水位を0.32m超過している．このため，河道計画(防災)の観点から樹木管理が実施されている．

図-2に示すように，堤外樹林帯が設けられた築堤河道における河道横断方向の越水を考える．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 $H_c(=(q_T^2/g)^{1/3})$ ，もぐり越流状態では堤内地水位を H_d として，式(1)と式(2)を堤外地から樹林帯左端，樹林帯左端から右端，および樹林帯右端から堤防天端上(完全越流)あるいは堤内地(もぐり越流)の各区間に適用し整理すると，各越流状態について式(3)と式(4)が得られる．なお，堤防天端に沿った高さでの内部せん断応力は，樹木群の抵抗力に比して小さいとして無視している．

完全越流状態($H_d/H < 2/3$)：

$$H - H_c = (q_T/H_T)^2 (L/K_T^2) + (1/2g)(q_T/H_c)^2 \quad (3)$$

もぐり越流状態($H_d/H \geq 2/3$)：

$$H - H_d = (q_T/H_T)^2 (L/K_T^2) + (k/2g)(q_T/H_d)^2 \quad (4)$$

ここに， q_T ：堤外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(= $1/[NdH_T C_d(2g)]^{1/2}$)， k ：もぐり越流状態における堤体の形状損失係数である．

式(3)と式(4)において，樹林帯区間での樹木の代表水没水深 H_T は不明な水位である．このため，越流流量 q_T を予測するには H_T を既知あるいは推定できる水位と関連づける必要がある．

いま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(5)のように近似的に表される．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．一方， ΔH は式(2)から式(6)のよ

表-1 実験条件

CASE	越流 形態	q (m^2/s)	L (m)	N ($本/m^2$)	d (m)	λ	s/D
N	1	0.024	1.5	400	0.006	0.011	1.1
	2			600	0.006	0.017	
3	800			0.006	0.023		
4	1000			0.006	0.028		
A	1		3.0	400	0.006	0.011	
	2			600	0.006	0.017	
	3			800	0.006	0.023	
	4			1000	0.006	0.028	
B	1		4.5	400	0.006	0.011	
	2			600	0.006	0.017	
	3			800	0.006	0.023	
	4			1000	0.006	0.028	
C	1		6.0	400	0.006	0.011	
	2			600	0.006	0.017	
	3			800	0.006	0.023	
	4			1000	0.006	0.028	
D	1	1.5	400	0.006	0.011	1.1	
	2		600	0.006	0.017		
	3		800	0.006	0.023		
	4		1000	0.006	0.028		
E	1		3.0	400	0.006		0.011
	2			600	0.006		0.017
	3			800	0.006		0.023
	4			1000	0.006		0.028
F	1		4.5	400	0.006		0.011
	2			600	0.006		0.017
	3			800	0.006		0.023
	4			1000	0.006		0.028
G	1	6.0	400	0.006	0.011		
	2		600	0.006	0.017		
	3		800	0.006	0.023		
	4		1000	0.006	0.028		
H	1	0.024	1.5	400	0.006	0.011	1.1
	2			600	0.006	0.017	
	3			800	0.006	0.023	
	4			1000	0.006	0.028	
I	1		3.0	400	0.006	0.011	
	2			600	0.006	0.017	
	3			800	0.006	0.023	
	4			1000	0.006	0.028	
J	1		4.5	400	0.006	0.011	
	2			600	0.006	0.017	
	3			800	0.006	0.023	
	4			1000	0.006	0.028	
K	1		6.0	400	0.006	0.011	
	2			600	0.006	0.017	
	3			800	0.006	0.023	
	4			1000	0.006	0.028	

うに評価できる。

$$H_T = \varphi(H - \Delta H / 2) \quad (5) \quad ; \quad \Delta H = (V_T^2 / K^2)L \quad (6)$$

式(5)と式(6)より、各越流状態の代表水没水深 H_T が式(7)と式(8)のように得られる。ここで、 H と H_d は既知水位、 H_c は推定可能な水位である。

完全越流状態($H_d/H < 2/3$) :

$$H_T / H_c = 0.5 \left\{ \varphi(H / H_c) + \sqrt{\varphi^2(H / H_c) - 2\varphi\beta_c} \right\} \quad (7)$$

もぐり越流状態($H_d/H \geq 2/3$) :

$$H_T / H_d = 0.5 \left\{ \varphi(H / H_d) + \sqrt{\varphi^2(H / H_d) - 2\varphi\beta_c (H_c / H_d)^2} \right\} \quad (8)$$

ここに、 $\beta_c = gL / K_c^2$ 、 $K_c = 1 / [NdH_cC_d / (2g)]^{1/2}$ 。

完全越流状態では式(3)と式(7)、もぐり越流状態では式(4)と式(8)を連立して解けば、若干の解法上の工夫が必要ではあるが、 q_T を予測できる。しかしそのように取り扱えば、式型が複雑になり、解析的に q_T を得ることができない。また、越水に樹林帯が及ぼす影響や効果も明確になってこない。

そのような理由から、本研究では式(3)と式(7)あるいは式(4)と式(8)を分離して取り扱う。すなわち、式(3)と式(7)では $H_T/H_c = \alpha_1$ 、式(4)と式(8)では $H_T/H_d = \alpha_2$ と置き、式(3)と式(4)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(7)と式(8)で与えることとする。

H_T をこのように置くことで、式(3)と式(4)から堤外樹林帯を考慮した各越流状態の越流流量式がそれぞれ式(9)と式(10)のように得られ、しかも本間の越流公式と同型となる。また、堤外樹林帯が越流流量に及ぼす影響は、各越流流量式の流量補正係数 C_T として評価され、その意味が明確になる。

完全越流状態($H_d/H < 2/3$) :

$$q_T = C_T C_0 H \sqrt{2gH} \quad (9)$$

ここに、 $C_T = (1 + \gamma\beta_T)^{-3/2}$ 、 $\gamma = 2 / (3\alpha_1^2)$ 、

$$\alpha_1 (= H_T / H_c) = 0.5 \left[\varphi(H / H_c) + \left\{ \varphi^2(H / H_c) - 2\varphi\beta_c \right\}^{1/2} \right] .$$

もぐり越流状態($H_d/H \geq 2/3$) :

$$q_T = C_T C_0 H_d \sqrt{2g(H - H_d)} \quad (10)$$

ここに、 $C_T = (1 + \gamma\beta_T)^{-1/2}$ 、 $\gamma = 2(C_0/\alpha_2)^2$ 、

$$\alpha_2 (= H_T / H_d) = \alpha_1 (H_c / H_d) .$$

ここで、 C_0 : 堤外樹林帯が設けられていない河道での流量係数、 C_T : 堤外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($= gL / K_T^2$) (以下「樹林帯パラメータ」という)である。各越流状態での C_0 は、 $\beta_T = 0$ のときに、式(9)と式(10)が本間公式と一致することから定められる。

なお、式(3)において堤防天端上での圧力水頭と速度水頭を無視し、さらに $H_T = H$ のように置けば、坂野・藤田⁹⁾が得た完全越流状態の越流流量式が得られる。

3. 実験と実験方法

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 $D=0.20m$ 、堤防天端幅 $T=0.20m$)と模型堤外樹林帯を設置したものである(図-2)。

模型樹林帯としては、円柱(直径 $d=0.006m$)を樹林帯幅 $L(m)$ にわたって千鳥状に $N(本/m^2)$ 配置したものをを用いた。なお、完全越流状態では水路下流端は段落ちとし、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。

実験は、堤外樹林帯を設けた状況(CASE T)と設けない状況(CASE N)について、正面越流を対象として完全越流状態あるいはもぐり越流状態で実施した。水路上流から一定流量 $Q(m^3/s)$ を通水し、模型樹林帯の設置条件(N 、 L)を変化させ、その越流流量に及ぼす影響について調べた。実験条件を表-1に示す。

水深 h は、堤防天端上では中央と両端の3点、樹林帯内では0.5m間隔、その他の断面では1.0m間隔でポイント

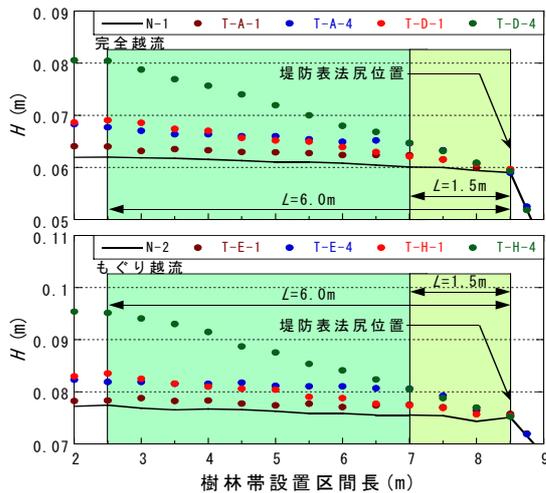


図-3 樹林帯区間での水面形

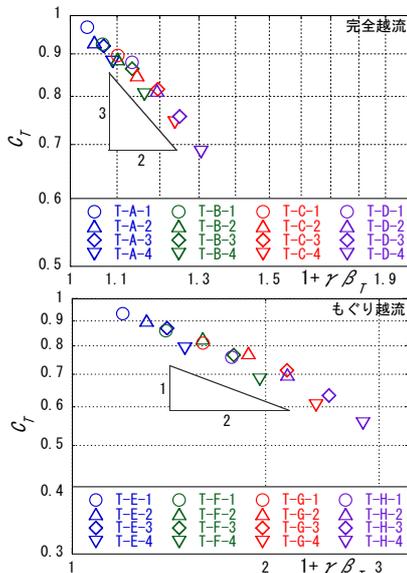


図-4 実験結果に基づく C_T の理論解の検証
(上: 完全越流 下: もぐり越流)

ゲージで測定した。流量 Q は、電磁流量計と量水柵の両方で算定し、その平均値とした。なお、両流量の相対誤差は $\pm 0.5\%$ 以内であった。

4. 堤外樹林帯による越流流量の低減効果

図-3は、各越流状態について堤外樹林帯の有無による水面形の違いを示したものである。図中には模型樹林帯の設置条件が、 $L(\text{m})$ =最小(1.5)かつ $N(\text{本}/\text{m}^2)$ =最小(400)あるいは最大(1000)の2ケースと、 $L(\text{m})$ =最大(6.0)かつ $N(\text{本}/\text{m}^2)$ =最小(400)あるいは最大(1000)の計4ケースが示してある。なお、樹林帯密度 $\lambda(=N\pi d^2/4)$ は、最小(0.0113)と最大(0.0283)である。

これより次のことがわかる。(1) L あるいは N の大小にかかわらず、樹林帯区間での樹木の水深はほぼ線形的に減少する。(2) L あるいは N が大きくなると、樹林帯による堰上げ効果が大きくなる。

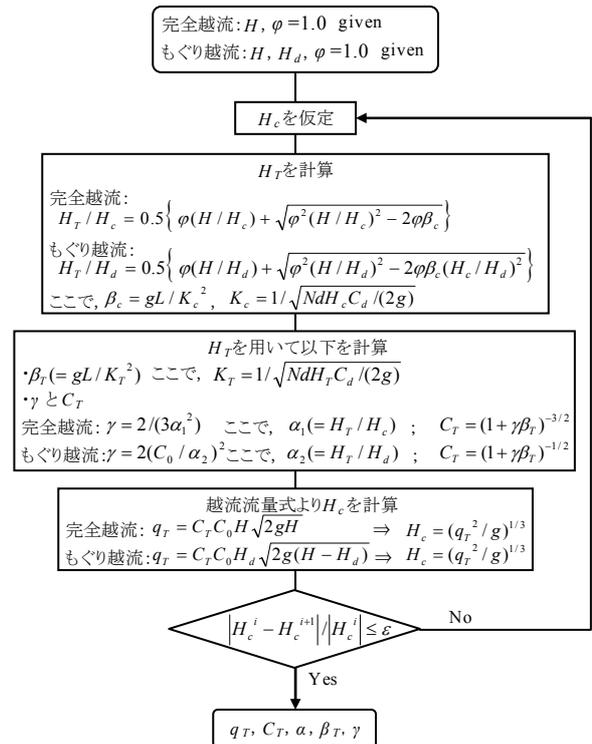


図-5 計算手順

図-4は、本実験結果に基づき、式(9)と式(10)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。

C_T については、完全越流状態では $q_T/H(2gH)^{1/2}$ 、もぐり越流状態では $q_T/H_d[2g(H-H_d)]^{1/2}$ より $C_T C_0$ 値をそれぞれ求め、各越流状態での C_0 値を踏まえて算定した。 β_T については、実験から得られた樹林帯区間における樹木の水深を積分し、これを樹林帯幅 L で除して得られた H_T を用いて算定した。また、 γ はこの H_T から得られた α より算定した。

なお、樹林帯が設けられていない状況での流量係数 C_0 値は、完全越流状態では $C_0=0.34$ 、もぐり越流状態では $C_0=0.86$ であった。矩形の堤断面を対象とした標準値(完全越流状態では $C_0=0.35$ 、もぐり越流状態では $C_0=0.91$)⁹⁾とは若干異なっている。

このように、実験結果から式(9)と式(10)の妥当性が確認できる。実験結果から得られた H_T は、樹林帯の代表水深を適切に表していると考えられるので、これを踏まえると次のことがわかる。

(1) いずれの越流状態においても $C_T < 1.0$ となっていることから、堤外樹林帯には越流流量低減機能がある。

(2) 完全越流状態では、CASE T-A-3とCASE T-B-1あるいはCASE T-C-3とCASE T-D-2のように、 L と N の値がそれぞれ異なっても、その積 LN が同じ値であれば、ほぼ同一点にプロットされている。もぐり越流状態でも、CASE T-E-3とCASE T-F-1あるいはCASE T-G-3とCASE T-H-2のように同様な傾向を示している。

このことは、 β_T の定義から明らかなように、 LN が同じ値であれば、 H_T もほぼ同じ値を取ることを示している。

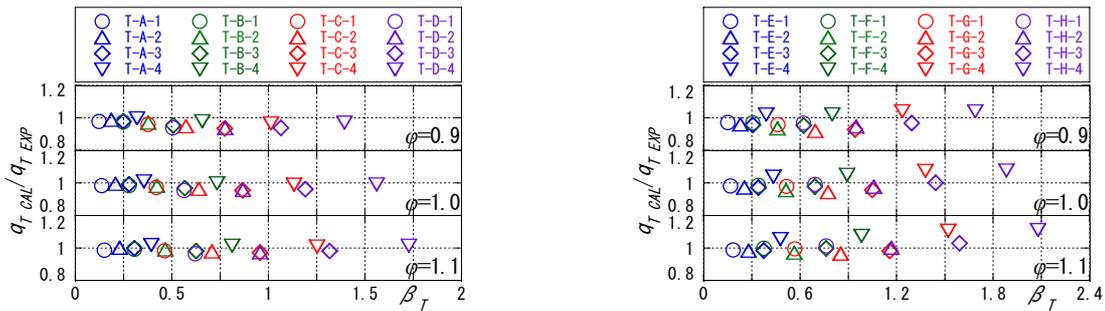


図-6 q_T の予測値と実験値との比較 (左：完全越流 右：もぐり越流)

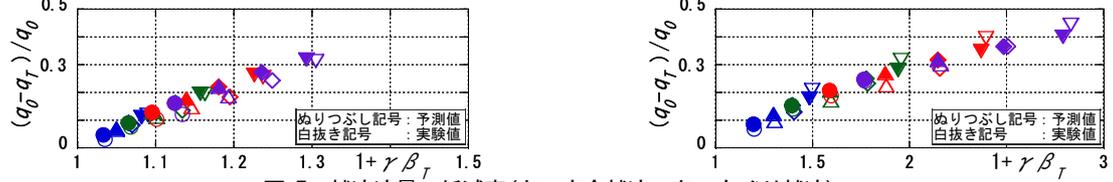


図-7 越流流量の低減率 (左：完全越流 右：もぐり越流)

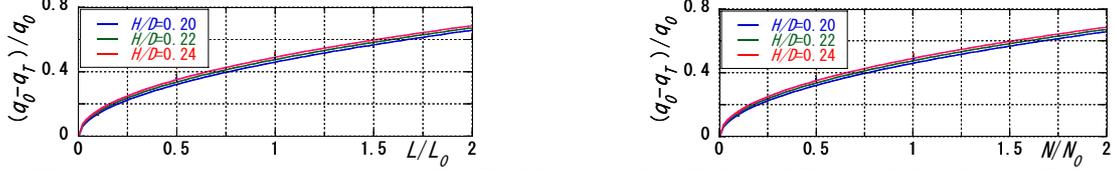


図-8 完全越流状態での乙津川の越水氾濫流量の低減率 (左：樹林帯幅 L の効果 右：樹木本数 N の効果)



図-9 もぐり越流状態での乙津川の越水氾濫流量の低減率 (左：樹林帯幅 L の効果 右：樹木本数 N の効果)

同時に、樹林帯特性は β_T で評価できることを示している。

(3) したがって、 H_T を適切に評価できれば、堤外樹林帯が q_T に与える影響を流量補正係数 C_T で評価できる。また、完全越流状態では $C_T=(1+\gamma\beta_T)^{-3/2}$ 、もぐり越流状態では $C_T=(1+\gamma\beta_T)^{-1/2}$ なる関係が成立する。

これから明らかのように、適切な H_T を推定することができれば、適正な流量補正係数 C_T が定まり、式(9)と式(10)から q_T を予測できると考えられる。ただし、得られた越流流量式は、本間公式と同型であることと、堤外樹林帯の影響を流量補正係数 C_T として評価できることが利点であるが、支配方程式を分離して取り扱った代償として、 α を介して、 C_T には完全越流状態では H と H_c 、もぐり越流状態では H 、 H_c および H_d が含まれている。また、 β_T には H_T が含まれている。

したがって、 C_T にこれらの既知水位(H 、 H_d)と未知水位(H_c 、 H_a)が含まれていること、 H_c が q_T そのものであることなどを勘案した上で、既知水位から適切に 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-5に示した計算手順は、これらのことを踏まえた解法である。この計算は、例えばExcelのゴールシークを用いれば、 q_T 、 C_T 、 α 、 β_T および γ をほぼ瞬時に求めることができる。

図-6は、式(9)と式(10)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。すなわち、図-3で示したような水面形(実験結果)から得られた ϕ 値が、完全越流状態(全16ケース)では $\phi=0.99\sim 1.01$ 、もぐり越流状態(全16ケース)では $\phi=1.00\sim 1.02$ 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 $q_{T\text{ CAL}}/q_{T\text{ EXP}}$ と β_T との関係について調べた。ここで、 $q_{T\text{ CAL}}$ は図-5の計算手順より得られた予測値、 $q_{T\text{ EXP}}$ は実験値である。

その結果、 $\phi=1.0$ では完全越流状態に対しては $q_{T\text{ CAL}}/q_{T\text{ EXP}}=0.95\sim 1.01$ 、もぐり越流状態に対しては $q_{T\text{ CAL}}/q_{T\text{ EXP}}=0.94\sim 1.08$ であった。

このように、もぐり越流状態ではわずかに予測精度が低下するものの、いずれの越流形態についても、 β_T にかかわらず、予測値は実験値と良好に一致する。同時に、いずれの越流状態についても $\phi=1.0$ としてよいことも確認できる。なお、もぐり越流状態で予測精度が若干低下するのは、その状態では堤内外での水位の違いで C_0 値が若干変化するが、ここでは $C_0=0.86$ の一定値としているためである。

図-7は、堤外樹林帯による水位上昇を含んだ超過洪水時の堤外地水位 H に対して、堤外樹林帯を考慮した本流量式から得られた越流流量 q_T と、これを考慮しない越流流量 q_0 との相対誤差 $(q_0 - q_T)/q_0$ について、各越流状態の計算結果と実験結果を比較したものである。なお、 q_0 は、式(9)と式(10)において $C_T=1$ としたものである。

ここで、 q_0 を比較対象としているのは、次の理由による。すなわち、(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) 現行の方法では、堤外樹林帯を考慮しない本間公式等で評価された越流流量を真値と見なしていること。そこで以下では、簡単のため、 $(q_0 - q_T)/q_0$ を堤外樹林帯による越流流量の低減率と呼ぶこととする。

図から明らかなように、堤外樹林帯特性と既知水位(H , H_0)が与えられれば、式(9)と式(10)より堤外樹林帯が存在する河道での越流流量が適正に予測され、越流流量の低減率が評価される。

5. 実河川での越水氾濫流量の低減効果

図-8と図-9は、図-1で示した堤外樹林帯を対象として、各越流状態での越水氾濫流量の低減率 $(q_0 - q_T)/q_0$ を調べたものである。検討では、現地の状況を踏まえ、堤防特性(法勾配 $m=2$ 割、高さ $D=2.7$ m)と堤外樹林帯特性(直径 $d=0.016$ m、本数 $N_0=14$ (本/ m^2)、樹林帯幅 $L_0=60$ m)を基準条件とした。ただし、竹林の直径は高さ方向に一定としている。

以下では、樹林帯幅 L あるいは樹木本数 N が越水氾濫流量の低減率に及ぼす影響について検討を加える。なお、用いた流量係数 C_0 は標準値⁹⁾である。

堤外地水位 H は、いずれの越流状態についても $H=0.20D$, $0.22D$ および $0.24D$ を与えた。これは、越流破堤を引き起こす越流水深が 0.6 m程度⁶⁾であることを踏まえたものである。もぐり越流状態での堤内地水位 H_d は、もぐり越流状態の条件 $H_d/H \geq 2/3$ と越流条件 $H - H_d > 0$ から、両図中に示したように各 H に対する H_d/D の最大値と最小値を求め与えた。ただし、 $H/D=0.20$ と 0.24 の結果は、 $H/D=0.22$ に対してそれぞれ+1.4%と-1.3%ほど値が異なるだけで、 L/L_0 と N/N_0 に対する傾向は同様であったので、図-9には $H/D=0.22$ の結果のみを示している。なお、 $H/D=0.20$ と 0.24 の場合での H_d/D の値は、それぞれ最小値(0.14)最大値(0.19)と最小値(0.16)最大値(0.23)である。

これによれば、先述した基準条件における越水氾濫流量の低減率は、 $H/D=0.20 \sim 0.24$ の範囲に対して、完全越流状態では $0.49 \sim 0.52$ 程度、もぐり越流状態では $0.55 \sim 0.67$ 程度と推定され、堤外樹林帯が顕著な越水氾濫流量の低減機能を有していることが確認できる。

また、 β_T の定義から明らかなように、 L あるいは N は、越水氾濫流量の低減率に対して同じ効果を示す。すなわち、樹林帯幅 L あるいは樹木本数 N を基準条件の 0.5 倍としたときの越水氾濫流量の低減率は、完全越流状態では、基準条件の低減率の 0.8 程度、樹林帯幅が 2 倍で 1.2 程度となる。同様にもぐり越流状態では、基準条件の 0.5 倍で基準条件の低減率の 0.8 程度、 2 倍で 1.2 程度となる。

6. まとめ

超過洪水時の減災の立場から、堤外樹林帯(竹林あるいは樹木の枝下部)が設けられた河道における越水氾濫流量について検討を加え、以下のような知見が得られた。

(1) 模型実験に基づき、堤外樹林帯が越水氾濫流量を低減させる機能と効用を有することを明らかにした。

(2) 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。

(3) 乙津川の堤外樹林帯を対象として、越水氾濫流量の低減率について検討を加え、堤外樹林帯が顕著な越水氾濫流量の低減機能を有していることを明らかにした。

今後は、堤内樹林帯および堤外・堤内樹林帯の減災機能や、堤内樹林帯の堤防法尻での洗掘(落ち堀)への影響等について検討したいと考えている。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金 基盤研究B(課題名：豪雨災害時の浸水減災シミュレータの開発と樹林帯の減災効果に関する研究、課題番号：21360237、研究代表者：秋山壽一郎)の助成を受け実施したものである。また、本研究を遂行するに当たり、本学学部4年生松田健介君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

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) 例えば、秋山壽一郎：樹林帯の氾濫抑制機能、自然災害科学、25-3、pp.268-276、2006。
- 3) 例えば、重枝未玲、秋山壽一郎：数値シミュレーションに基づく堤防に沿った樹林帯の治水機能の検討、土木学会論文集、No.740/II-64、pp.19-30、2003。
- 4) 鷲見哲也、岸本雅彦、辻本哲郎：越流による破堤進行に及ぼす堤内地条件の影響、河川技術論文集、第10巻、pp.215-220、2004。
- 5) 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。
- 6) 建設省土木研究所河川研究室：越水堤防調査最終報告書、土研資料第2074号、1984。
- 7) 例えば、栗城 稔、末次忠司、小林裕明ほか：横越流特性を考慮した破堤氾濫流量公式の検討、土木技術資料、Vol.38、No.11、1996。
- 8) 福岡捷二、藤田光一：洪水流に及ぼす河道内樹木群の水利的影響、土木研究所報告、180-3、1990。
- 9) 栗城 稔、末次忠司、海野 仁、田中義人、小林裕明：氾濫シミュレーションマニュアル(案)、土木研究所研資料、第3400、1996。

(2009. 9. 30受付)