

# 樹林帯と堤内地盤高が 越水氾濫流量に及ぼす影響

EFFECTS OF FLUVIAL WOODS ZONE AND GROUND LEVELS  
IN LANDSIDE ON OVERFLOW DISCHARGE

秋山 壽一郎<sup>1</sup>・重枝 未玲<sup>2</sup>・松田 健介<sup>3</sup>・山尾 匡人<sup>3</sup>・大庭 康平<sup>3</sup>  
Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA, Kensuke MATSUDA, Masato YAMAO  
and Kouhei Ooba

<sup>1</sup>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)

<sup>2</sup>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)

<sup>3</sup>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 in landside has been regarded as the river administration facility that is capable of reducing flood damage due to dyke breach. In this study, the analysis is directed toward the prediction of the overflow discharge from rivers with the fluvial woods zone. An overflow discharge formula for submerged outflows, on which incorporate the effects of both fluvial woods zone and ground levels in landside, are newly developed. It is found experimentally and theoretically that the outflow condition can be changed from complete to submerged outflows by the effects of the fluvial woods zone. Overflow discharge in submerged outflows tends to increase comparing with that of complete outflows, while may decrease only when the permeability and/or width of the fluvial woods zone is extremely low.

**Key Words :** fluvial woods zone, overflow discharge formula, submerged overflows, ground levels

## 1. はじめに

集中豪雨の激化などの自然的状況と治水事業への投資余力の減退などの社会的経済的情勢の変化を受け、治水対策の基本的な考え方についてパラダイムシフトが起こっている。すなわち、洪水氾濫の防止を基本とする防災から、被害最小化を基本とする減災への転換である<sup>1)</sup>。

減災では超過洪水対策がこれまで以上に重要となるが、その対策としては堤防対策(耐越水型堤防の整備、堤防機能の強化策)と氾濫原対策(氾濫流制御、拠点防御)がある。堤防に沿って堤内地に設けられた樹林帯(以下「樹林帯」という)は堤防対策の一種であり、その減災機能には、④ 越水時の堤防の安全性の向上、⑤ 破堤部の拡大抑制、③ 破堤時の氾濫流量の低減、④ 流木・土砂堆積の防止・表土流出の低減があると言われている。

樹林帯は、このような治水機能に加え、自然生態系の保全・創出や、沿川地域における貴重な自然緑地などの環境機能も具備していることから、社会的コンセンサスが得やすい減災対策とも言える。例えば、大野川(大分

県)では、超過洪水時の氾濫流量を抑制し、周辺地域の被害軽減効果が期待できるとして、大津留地区の左岸側水衝部に延長1.23kmにわたって樹林帯が整備されている。

しかしながら、樹林帯の治水機能について定量的に論じた研究や技術資料は極めて少ない。著者の知る限り、樹林帯が有する氾濫流量の低減効果や構造物に働く破堤氾濫流の流体力低減効果などを検討した秋山らの研究<sup>2)</sup><sup>3)</sup><sup>4)</sup>、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<sup>5)</sup>、樹林帯幅と洗掘量の関係や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<sup>6)</sup>、堤外樹林帯が設けられた築堤河道からの越水流量の推定法を提案した秋山らの研究<sup>7)</sup>などがある程度で、樹林帯の機能や効用には工学的に不明な点が多い。樹林帯の整備・保全法についても、水防林、造園における植栽および管理、植生生態学などに関する知見などをまとめた手引き<sup>8)</sup>があるものの、そこに明記されているように、樹林帯の設計・整備・維持管理の基準は未だ確立されていない。

本研究は、堤防越水時に樹林帯が一定以上の流水抵抗を発揮した場合や、堤内地が冠水した場合のもぐり越流

状態を想定・対象としたものである。この場合、樹林帯が有する減災機能の①の機能に加え、③の機能が期待できる可能性や逆の効果となる可能性が考えられ、樹林帯がもたらすそのような越流状態の変化は、樹林帯が植生された堤内地盤高の影響も受けるので、ここでは樹林帯と堤内地盤高の影響を併せて検討する。

## 2. 樹林帯と地盤高を考慮した越流流量

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)で与えられる。

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

ここに、 $q$ ：単位幅流量、 $\tau$ ：摩擦せん断応力、 $I_e$ ：エネルギー勾配(= $-d(h+V^2/2g)/dx$ )、 $h$ ：任意の断面での水位、 $K$ ：透過係数(m/s)、 $V$ ：任意の断面での断面平均流速、 $\rho$ ：水の密度、 $g$ ：重力加速度である。

透過係数 $K$ は、柱状物体群として取扱える竹林や樹木樹幹部については、樹木特性とその水没水深がわかれば、式(3)より計算できる<sup>9)</sup>。一方、樹冠部を有する樹木群については、樹木特性(樹種、樹木密度など)に対応した $K$ を与える必要がある。ただし、河道内樹木群に関しては、密な樹木群では $K=10(\text{m/s})$ 、疎な樹木群では $35\sim 60(\text{m/s})$ <sup>10)</sup>などの評価結果はあるものの、樹木特性別の $K$ 値について十分な知見が得られているわけではない。

$$K = 1 / \sqrt{NaC_d / (2g)} \quad (3)$$

ここに、 $N$ ：単位体積当たりの樹木の本数(本/m<sup>3</sup>)、 $a$ ：樹木1本当たりの投影面積(= $dh_T$ )、 $d$ ：樹木1本の直径、 $h_T$ ：樹木の水没水深、 $C_d$ ：樹木1本当たりの抵抗係数である。なお、柱状物体群では、樹木密度や河床勾配等によらず、 $C_d \approx 1.20$ の一定値を取ることが知られている<sup>9)</sup>。

さて、実務的な氾濫解析では、通常、越水流量 $q$ は堤外、堤内水位に基づく流量式(例えば、本間公式)で評価される。築堤河道に樹林帯が設けられた状況において、完全越流状態では樹林帯が越水流量に影響を及ぼすことはないが、例えば堤内地が冠水し、もぐり越流状態となった場合には、樹林帯による越水流量の変化が生じると考えられる。また、完全越流状態で流出する場合でも、樹林帯が密で一定以上の流水抵抗を発揮した場合には、越流水が堤防天端付近で局所的に堰上げされ、完全越流からもぐり越流へと変化し、越水流量にも変化が生じると考えられる。さらに、流木やごみが樹林帯に補足されると、透過係数が減少し、このような局所的な堰上げ効果が增大すると予想される。

樹林帯がもたらすこのような越流量の変化は、堤内地盤高 $Z$ の影響も受けるので、以下では樹林帯特性( $K_T$ ,  $L/D$ )と堤内地盤高 $Z$ の影響を考慮した流量式を開発する。

図-1は、樹林帯の堰上げ効果のため、堤防天端から樹

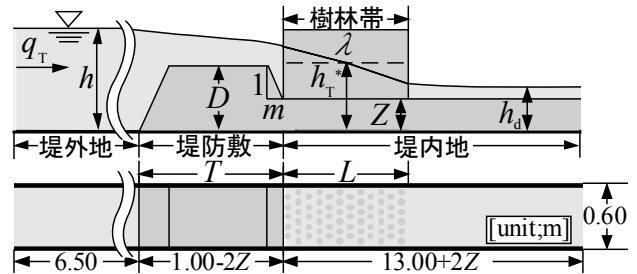


図-1 樹林帯の設置条件と重要な諸量

表-1 実験条件

| CASE |   |   | Z/D | L/D  | $q, q_{\tau}$<br>(m <sup>2</sup> /s) | Fr           |              |
|------|---|---|-----|------|--------------------------------------|--------------|--------------|
| N    |   |   | A   | 0.00 | <div><div></div></div>               | 0.016        | 0.280        |
|      |   |   | B   | 0.25 |                                      | $\downarrow$ | $\downarrow$ |
|      |   |   | C   | 0.50 |                                      |              |              |
|      |   |   | D   | 0.75 |                                      | 0.089        | 0.508        |
| T    | A | a | 1~3 | 0.00 | 7.5                                  | 0.043~0.095  | 0.261~0.580  |
|      |   | b | 1~3 |      | 15.0                                 | 0.029~0.052  | 0.262~0.585  |
|      |   | c | 1~3 |      | 22.5                                 | 0.023~0.038  | 0.258~0.580  |
|      | B | a | 1~3 | 0.25 | 5.0                                  | 0.036~0.095  | 0.270~0.562  |
|      |   | b | 1~3 |      | 10.0                                 | 0.025~0.047  | 0.262~0.587  |
|      |   | c | 1~3 |      | 15.0                                 | 0.020~0.034  | 0.249~0.577  |
|      | C | a | 1~3 | 0.50 | 2.5                                  | 0.032~0.096  | 0.307~0.584  |
|      |   | b | 1~3 |      | 5.0                                  | 0.021~0.041  | 0.309~0.590  |
|      |   | c | 1~3 |      | 7.5                                  | 0.015~0.027  | 0.314~0.600  |
|      | D | a | 1~3 | 0.75 | 1.3                                  | 0.019~0.096  | 0.310~0.587  |
|      |   | b | 1~3 |      | 2.5                                  | 0.011~0.032  | 0.304~0.591  |
|      |   | c | 1~3 |      | 3.8                                  | 0.010~0.019  | 0.333~0.600  |

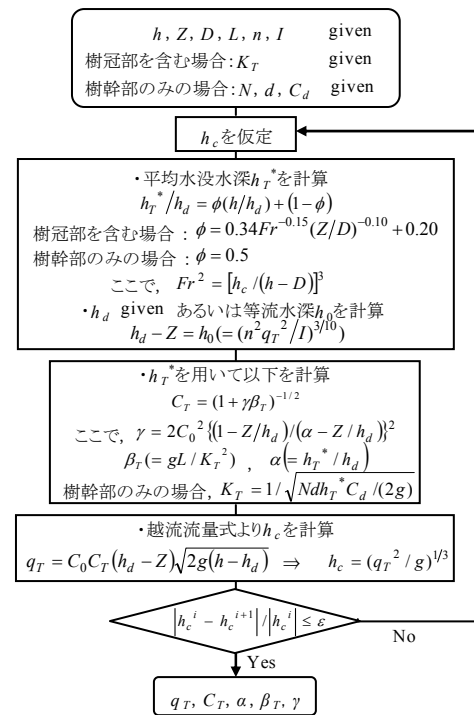


図-2 計算手順

林帯左端にかけて局所的にもぐり越流状態となった流況を模式的に示したものである。同図において、任意の基準面から測った堤外地水位を $h$ 、樹林帯右端側での堤内地水位を $h_d$ とし、摩擦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、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内地の各区間に適用し整理すると、式(4)が得られる。

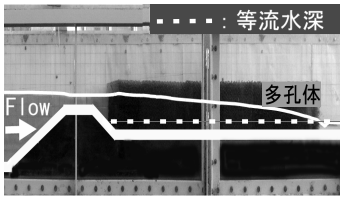


図-3 流況の一例(CASE T-C-c-3)

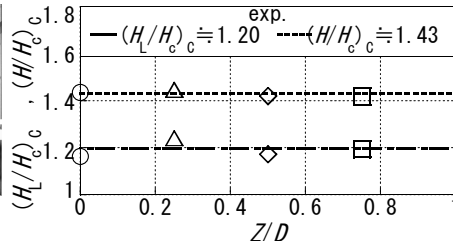


図-4  $(H/H_c)_c$  ,  $(H/H_c)_c$  と  $Z/D$  の関係

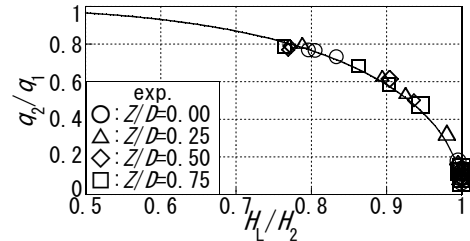


図-5 越流流量比  $q_2/q_1$  と  $H_1/H_2$  の関係

$$h - h_d = [(1+k)/2g][q_T/(h_d - Z)]^2 + \beta_T V_T^2 / g \quad (4)$$

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量、 $\beta_T$ ：樹林帯パラメータ( $=gL/K_T^2$ )<sup>7)</sup>、 $L$ ：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である。

樹林帯区間における樹木の平均的な水没水深を  $h_T^*$  とすると、 $V_T = q_T/(h_T^* - Z)$  である。ここで、 $h_T^*$  は不明な水位であるので、式(4)において  $h_T^*/h_d = \alpha$  と置き整理すると、樹林帯特性と堤内地盤高を考慮したもぐり越流流量式が式(5)のように得られる。ここに、 $C_0$  は樹林帯が設けられていない堤防の流量係数であり、後述するように、模型実験より定められる。また、 $C_T$  は樹林帯特性と堤内地盤高に関する流量補正係数であり、式(6)で与えられる。なお、式(5)は堤内地水位  $h_d$  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いるので、本間公式とは水位の取り方が異なる。このため、 $C_0$  値も本間公式とは異なる。

$$q_T = C_0 C_T (h_d - Z) \sqrt{2g(h - h_d)} \quad (5)$$

$$C_T = (1 + \gamma \beta_T)^{-1/2} \quad (6)$$

ここに、 $\gamma = 2C_0^2[(1-Z/h_d)/(\alpha-Z/h_d)]^2$ 、 $\beta_T = gL/K_T^2$  であり、 $K_T$  は  $h_T^*$  に基づく透過係数である。

$q_T$  の予測に当たっては、①  $C_T$  に不明な水位  $h_T^*$  が含まれていること、② 後述する式(9)に含まれる  $\phi$  が  $Fr$  の関数であること、③ 樹冠部を有する樹木群では樹木特性に応じて  $K_T$  と  $L$  は与えられるので、 $\beta_T$  は既知量であり、 $q_T$ 、 $C_T$ 、 $\alpha$  および  $\gamma$  が未知量となること。一方、竹林や樹木樹幹部のみの樹木群では、 $K_T$  に不明な水位  $h_T^*$  が含まれているので、 $\beta_T$  にも不明な水位が含まれていること、などを勘案した解法とする必要がある。

図-2に示した計算手順は、これらのことを踏まえた計算手順であり、例えばExcelのゴールシークを用いれば、 $q_T$ 、 $C_T$ 、 $\alpha$ 、 $\beta_T$  および  $\gamma$  をほぼ瞬時に求めることができる。

### 3. 実験の概要

実験装置は、図-1に示したように、水路(長さ：20.5m、幅：0.60m、勾配  $L$ ：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  $D=0.20$ m、堤防敷幅  $T=0.7, 0.8, 0.9, 1.0$ m)と、幅  $L$  の模型樹林帯を地盤高  $Z$  の堤内地に堤防裏法尻から設置したものである。

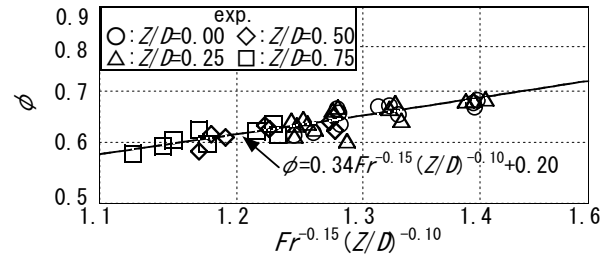


図-6  $\phi$  の関係

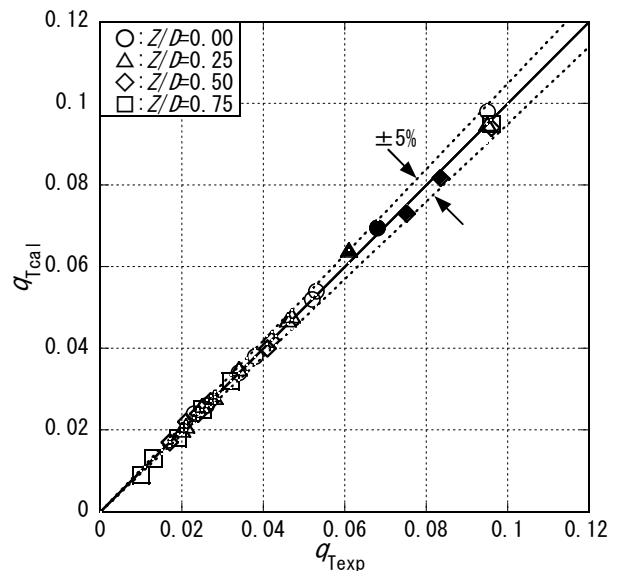


図-7  $q_T$  の予測値の検証

模型樹林帯には、模型実験において樹冠部を有する樹木群としてよく用いられる<sup>6)9)</sup>、プラスチックが糸状に絡み合った多孔体(透過係数  $K_T$ 、密度  $\lambda$  (=実質体積/空間体積)=0.047)を用いた。

実験は、CASE K、CASE N および CASE T を行った。CASE K では堤防が設置されていない状況で多孔体の透過係数  $K_T$  を、CASE N では堤防を設置して樹林帯が設けられていない状況での流量係数  $C_0$  をそれぞれ求めた。なお、CASE N では水路下流側に刃型堰(高さ  $s$ )を設け、 $s/D=1.0 \sim 1.2$  の範囲で変化させ、堤防裏法付近の流れが CASE T と同様なもぐり越流状態となるよう設定した。

CASE T では、水路下流端で自由段落ち流れとし、4通りの堤内地盤高・堤防高比  $Z/D$  に対して、多孔体幅・堤防高比  $L/D$  を3通りに変化させ、さらに各  $L/D$  に対して  $Fr \approx 0.2 \sim 0.6$  の範囲で変化させ、もぐり越流となる  $L$  と  $Z$  の関係およびそのときの水面形を調べた。ここで、 $Fr$  は上流側水位  $h$  に基づく Froude 数 ( $=q_T/(g(h-D)^3)^{1/2}$ ) であり、

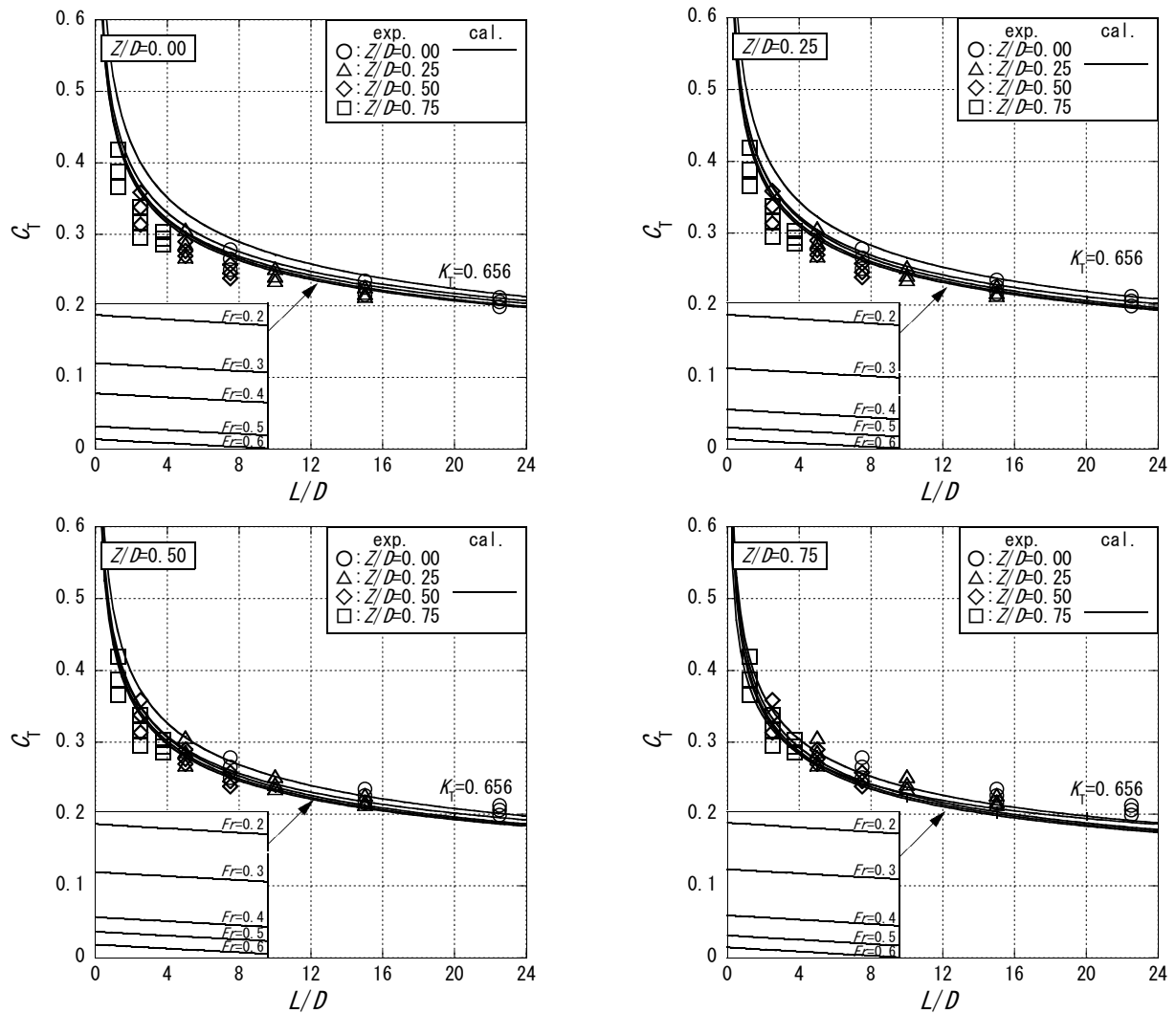


図-8  $Fr$ を変化させたときの $q_2/q_1$ と $L/D$ との関係

$Fr=0.6$ は堤防天端での流れが限界流となるときにほぼ対応している。

いずれのCASEについても、堤防天端上では中央と両端の3点、樹林帯内では0.25mあるいは0.50m間隔、その他の断面では1.00m間隔でポイントゲージを用いて水深を測定した。流量 $Q$ は、電磁流量計と量水柵の両方で算定した。なお、両流量の相対誤差は $\pm 0.5\%$ 以内であった。CASE NとCASE Tの実験条件を表-1に示す。

#### 4. 結果と考察

##### (1) もぐり越流への遷移条件と越水流量

図-3と図-4は、CASE Tの流況の一例( $L/D=7.50$ ,  $Z/D=0.50$ ,  $Fr=0.60$ )と、完全越流からもぐり越流状態へと遷移する境界での水深比 $(H/H_c)_c$ 、 $(H_L/H_c)_c$ と $Z/D$ との関係をそれぞれ示したものである。ここに、 $H$ 、 $H_L$ および $H_c$ はそれぞれ堤防天端から測った堤外地、堤内地の樹林帯左端での各水深および限界水深の実験値である。

両図からわかるように、① 樹林帯が一定以上の流水

抵抗を発揮した場合には、堤防天端付近の流れが堰上げられ、堤防天端から樹林帯左端にかけて局所的にもぐり越流状態となる。② 樹林帯区間で水位が徐々に低下し、樹林帯右端側では堤防高より水位が低くなるので、本間の越流公式が適用できないもぐり越流状態となる。③  $(H/H_c)_c$ と $(H_L/H_c)_c$ のいずれも $Z/D$ にさほど依存せず、 $(H/H_c)_c \approx 1.43$ 、 $(H_L/H_c)_c \approx 1.20$ 程度の一定値を取る。この $(H/H_c)_c$ の値は完全越流ともぐり越流を区別する通常の条件 $(H/H_c=1.5)$ とほぼ一致している。

図-5は、 $H$ と $H_L$ の実験値と本間の越流公式を用いて評価した越水流量比 $q_2/q_1$ について調べたものである。 $q_2/q_1$ は式(7)のように評価できる。

$$\frac{q_2}{q_1} = \left( \frac{C_2}{C_1} \right) \left[ \frac{H_L/H_2}{1 - (\Delta H/H_2)} \right] \left[ \frac{1 - H_L/H_2}{1 - (\Delta H/H_2)} \right]^{1/2} \quad (7)$$

ここで、添え字1と2はそれぞれ完全越流ともぐり越流の諸量であることを示し、 $q_2$ と $q_1$ は本間のもぐり越流と完全越流の各公式を用いて、それぞれ $q_2 = C_2 H_L [2g(H_2 - H_L)]^{1/2}$ と $q_1 = C_1 (H_2 - \Delta H) [2g(H_2 - \Delta H)]^{1/2}$ のように評価した。なお、 $\Delta H$ は樹林帯の堰上げ効果によってもぐり越流と

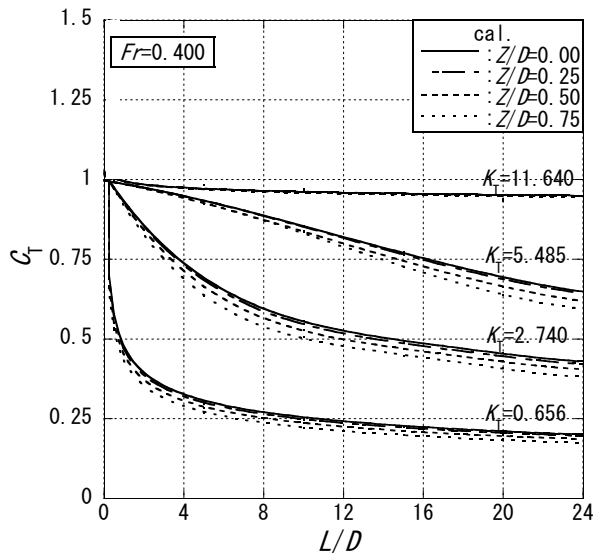


図-9  $Z/D$ ,  $K_T$ を変化させたときの $C_T$ と $L/D$ との関係

なったときの堤外地水位の上昇量であり、 $H_1=H_2+\Delta H$ なる関係がある。また、 $C_1$ と $C_2$ は完全越流ともぐり越流の流量係数であり、 $m=2$ 割ではそれぞれ $C_1 \cong 0.34$ 、 $C_2 \cong 0.86$ である<sup>7)</sup>。

これからわかるように、 $H_1/H_2$ が大きくなるにつれて $q_2/q_1$ が小さくなるのは当然であるが、 $q_2/q_1 \leq 1.0$ となっており、本実験条件下では、樹林帯の堰上げ効果による堤外地水位の上昇を考慮しても、もぐり越流となった場合に越水流量が小さくなることが確認できる。

## (2) 越水流量の予測と精度の検証

まず、式(6)中の $\gamma$ に含まれる $\alpha (=h_T^*/h_d)$ について検討する。水位に関する重み $\phi$  ( $=0 \sim 1$ )を導入し、 $h_T^*$ が $h$ と $h_d$ の重み付き平均で表せると仮定すると、 $\alpha$ は式(8)で与えられる。なお、図-2で示したように $q_T$ は収束計算によって求められるので、 $\alpha$ の与え方は必ずしもダイナミックな関係に基づく必要はない。

$$\alpha = \phi(h/h_d) + (1-\phi) \quad (8)$$

$$\phi = 0.34Fr^{-0.15}(Z/D)^{-0.10} + 0.20 \quad (9)$$

図-6は、CASE Tより得られた $\phi$ の関係を示したものである。ここで、 $h_T^*$ は本実験から得られた樹林帯区間での樹木の水深を積分し、これを $L$ で除して求めた。これからわかるように、 $\phi$ は $L/D$ には依存せず、 $Fr$ と $Z/D$ で規定され、式(9)のように表すことができる。

図-7は、図-2に示した計算手順で得られた単位幅越水流量の予測値 $q_{Tcal}$ と実験値 $q_{Texp}$ を比較したものである。なお、 $q_{Tcal}$ に必要な多孔体の $K_T$  ( $\cong 0.656$  (m/s))と流量係数 $C_0$  ( $\cong 1.12$ )は、それぞれ $K_T=(q_T/h_T^*)/U_c^{1/2}$ とCASE Kの実験結果と、式(5)で $C_T=1.0$ 、 $Z=D$ とした関係式とCASE Nの実験結果より求めた。また、表-1に示した実験CASEは、 $Fr$ 、 $L/D$ および $Z/D$ の影響を系統的に調べるために設定した実験条件であるため、予測値の検証を行う上でデータ

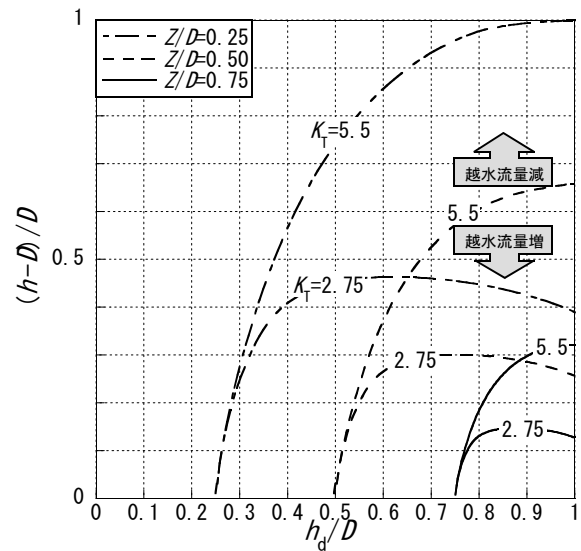


図-10 越水流量の低減/増加の条件

に一部欠損が見られた。これを補うために別途取得したものが、図中の塗りつぶし記号で示したデータである。

これから明らかなように、 $Fr$ 、 $L/D$ および $Z/D$ にかかわらず、予測値と実験値は良好に一致し、もぐり越流状態の越水流量をほぼ正確に予測できることが確認できる。

## (3) 流量補正係数に対する樹林帯や地盤高等の影響

図-8は、 $C_T$ と $L/D$ との関係の一例として、 $K_T=0.656$  (m/s)の場合について、 $Fr$ と $Z/D$ を $Fr=0.2 \sim 0.6$ と $Z/D=0 \sim 0.75$ の範囲で変化させ調べたものである。図中の記号と線はそれぞれ $C_T$ の実験値と予測値を示しており、例えば、 $Z/D=0$ であれば、実線で示した計算結果と $\circ$ で示した実験結果とが対応する。これより次のことがわかる。①  $C_T$ は $L/D$ に対して単調に減少し、 $L/D$ が増加するにつれて $C_T$ の減少率は小さくなる。②  $Fr$ や $Z/D$ の増加につれて、 $C_T$ は若干減少するが、 $Fr$ に対する依存性は顕著ではなく、 $C_T$ は $L/D$ と $Z/D$ により強く規定される。

図-9は、 $C_T$ の $Fr$ に対する依存性が顕著でないことを踏まえ、 $Fr=0.2 \sim 0.6$ の平均値である $Fr=0.4$ の場合について、 $Z/D$ 、 $K_T$ を変化させたときの $C_T$ と $L/D$ との関係を調べたものである。図中に示した多孔体以外の樹木は、それぞれ模型樹木( $K_T=2.74$ )<sup>9)</sup>、大野川水系乙津川のメダケ林(5.485)<sup>11)</sup>および花月川のメダケ林(11.64)<sup>8)</sup>である。

これから明らかなように、 $K_T=11.64$ では、 $C_T$ は $Z/D$ や樹林帯パラメータ $\beta_T$  (つまり $L/D$ と $K_T$ )によってほとんど変化しない。 $K_T=11.64$ 以外では、①  $K_T$ が小さくなるほど、 $C_T$ は小さくなり、 $L/D$ が小さい範囲で $C_T$ が大きく減少する。②  $K_T$ に着目すると、 $L/D$ が小さくなるほど、 $C_T$ は $Z/D$ や $L/D$ の影響を受けなくなる。また、 $L/D$ が小さいほど、 $C_T$ が同じ値を取る $Z/D$ は大きくなる。例えば、模型樹木( $K_T=2.74$ )に着目すると、 $C_T=0.5$ となる $L/D$ は、 $Z/D=0$ 、 $0.25$ 、 $0.5$ および $0.75$ で、それぞれ $L/D=14.52$ 、 $13.64$ 、 $12.00$ および $10.17$ となっており、 $Z/D=0$ での $L/D$ を基準と

すると、 $Z/D=0.25$ ではその0.94倍、0.5では0.83倍、0.75では0.7倍となっている。

以上より、① 堤内地盤高が同じ場合では、樹林帯幅を長くしても、流量補正係数 $C_T$ はさほど減少しないことや、この傾向は $K_T$ が大きくなるほど強くなること、② 堤内地盤の高上げ高と樹林帯パラメータは、 $C_T$ に対して同様な影響を及ぼすこと、などの知見が得られる。

#### (4) 越水流量式を用いた検討の一例

式(5)を用いた検討の一例として、もぐり越流と完全越流状態での越水流量比 $q_T/q_1$ について調べてみる。ここで、 $q_1$ は本間の完全越流公式から得られる越水流量( $=C_T(h-D)[2g(h-D)]^{1/2}$ )である。

式(5)、(6)、(7)および(9)から明らかなように、 $q_1=q_T$ となる条件は、 $h/D$ 、 $h_d/D$ 、 $Z/D$ および $\beta_T$ に規定されている。そこで、堤防法勾配は流量係数の関係から標準的な2割とし、堤防高と樹林帯幅については大野川の樹林帯整備の条件( $D \div 12.3\text{m}$ 、 $L=20\text{m}$ )、透過係数は大野川水系乙津川のメダケ林<sup>11)</sup>( $K_T \div 5.5$ )とその半分の模型樹木<sup>9)</sup>( $K_T \div 2.75$ )を与え、堤内地盤高・堤防高比を $Z/D=0.25$ 、0.5および0.75のように変化させて検討した。以上より、( $Z/D$ 、 $\beta_T$ )が決定されるので、 $q_1=q_T$ となる条件は、図-10のように( $h-D$ )/ $D \sim h_d/D$ の関係として表される。同図において各 $Z/D$ と各 $K_T$ に対応する線より上の範囲が越水流量が減少する領域であり、下が逆に増加する領域である。

これより、もぐり越流状態となった場合には、① 樹林帯特性( $\beta_T$ )、堤内地盤高・堤防高比( $Z/D$ )および堤内外水位( $h$ 、 $h_d$ )の条件次第で、 $q_T/q_1 \geq 1$ あるいは $q_T/q_1 < 1$ となる場合があること、②  $q_T/q_1=1.0$ となる $h/D$ は、 $Z/D$ が大きくなるほど小さくなること、③ 現実的な堤外地水位 $h$ を想定した場合、いずれの $Z/D$ と $K_T$ についても、 $h_d/D$ の下限値付近では $q_T/q_1 < 1$ となるが、それ以外では $q_T/q_1 \geq 1$ となること、ただし、 $K_T$ が小さくなると、 $q_T/q_1 < 1$ となる範囲が拡大すること、などのことが確認できる。

## 5. まとめ

以下のような知見が本研究より得られた。

(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(式(5))とその解法(図-2)を開発し、そのような状況での越水流量をほぼ正確に予測できることを示した。また、Froude数、樹林帯特性、地盤高等が式(5)の流量補正係数 $C_T$ に及ぼす影響について検討を加えた。

(2) 式(5)を用いた検討の一例として、大野川の樹林帯整備の条件と、同水系乙津川のメダケ林および透過係数とその半分となった場合を想定し、 $q_T/q_1$ について調べた。その結果、もぐり越流状態となった場合には、①  $q_T/q_1=1.0$ となる $h/D$ は、 $Z/D$ が大きくなるほど小さくなること、② 樹林帯特性、堤内地盤高・堤防高比および堤内外水位の条件次第で、越水流量は完全越流状態に比し

て増加あるいは減少すること、③ 幅20m程度のメダケ林や透過係数とその半分程度の樹林帯では、 $h_d/D$ の下限値付近では越水流量が減少するものの、それ以外では堤外地水位により越水流量が増加すること、などのことが明らかとなった。ただし、樹林帯に流木やごみ等が捕捉され、 $K_T$ が2.75よりさらに小さくなった場合や、樹林帯幅がより大きくなった場合には、堤外地水位の上昇の影響よりも流水抵抗としての樹林帯の働きが卓越し、図-5で見たように越水流量が低減される可能性がある。

以上のように、式(5)は、現地の状況を勘案して堤内樹林帯が設けられた河道からの越水流量の評価等を行う上で、有用な手段であると考えられる。

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。

#### 参考文献

- 1) 社会資本整備審議会河川分科会，豪雨災害対策総合政策委員会：総合的な豪雨災害対策の推進について(提言)，<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/05/050419/01.pdf>.
- 2) 例えば，秋山壽一郎：樹林帯の氾濫流抑制機能，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) 秋山壽一郎，重枝未玲，有働貴行，山尾匡人：水防林が氾濫流の流況に及ぼす影響と減勢効果，水工学論文集，第55巻，pp.907-912，2011.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 秋山壽一郎，重枝未玲，木付拓磨，利岡正士：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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 福岡捷二，岡部博一，飯島直己：樹木の密生する常呂川の洪水期間中の流れと河床変動の一体解析法を用いた計画河道断面と樹木管理方法の提案，<http://www.ric.or.jp/profile/works/kiyou/h230223.8.pdf>.
- 11) 国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所，大野川河道技術資料，2002.

(2011. 5. 19受付)