

34 河道に存在する樹林に作用する抗力と密生度に関する実験的研究

京都府立大学 ○石川 芳治、芦田 真亜、水原 邦夫

1. はじめに

最近、溪畔林のもつ生態系の保全機能、景観の向上機能および土砂災害の軽減機能が見直されてきており、砂防事業にも積極的に採り入れられてきている。しかしながら、溪畔林の計画・設計に必要な、流れが樹林に作用する力（抗力）については不明な点が多い。そこで、河道に存在する樹林に作用する抗力と密生度について直線水路を用いた水理実験を行い検討した。

2. 実験の概要

実験には、長さ 15m、幅 0.3m、深さ 0.3m の鋼製の勾配可変直線水路を用い、水路床には平均粒径 1.8mm の砂を貼り付けて粗度をつけた。樹木模型は、高さ 20cm、直径(D)0.40cm および 0.64cm の 2 種類の鋼製円柱を用い、配置間隔(S)は 6.32cm (疎)、および 3.16cm (密) の 2 種類として千鳥格子状に水路床全面に設置した。この結果、樹林の密生度は樹林なしの場合と、密生度 $a = D/S^2 = 1.00, 1.60, 4.01, 6.41 \times 10^{-2} (\text{cm}^{-1})$ の計 5 種類とした。水路勾配は 1/10, 1/20, 1/50 の 3 種類とし、流量は 7.5, 12, 15 l/sec の 3 種類とした。実験は給砂なし（固定床）で計 40 ケース実施した。実験中に疑似等流区間内の水路内の樹木模型に作用する抗力を抗力測定装置により測定し、さらに流速分布（水深方向、横断方向）、水深も測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 樹木に作用する力と抗力係数

速度 U の流水中に置かれた樹木（円柱状）に作用する抗力 F は次式により表される。

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho A U^2 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 F は樹木（円柱状）の受ける抗力(N)、 C_d は抗力係数（無次元）、 ρ は水の密度(kg/m^3)、 A は樹木の流水の運動方向の投影面積(m^2)、 U は流速(m/s)である。

これまでの研究から円柱の抗力係数 C_d はレイノルズ数により変化するが、後流が十分に発達したレイノルズ数が $10^3 \sim 10^5$ の範囲では抗力係数はレイノルズ数とはほとんど無関係でほぼ一定となることが分かっている。

今回の実験における抗力係数 C_d とレイノルズ数 Re との関係を図-1 に示す。図-1 よりほぼ同一のレイノルズ数にもかかわらず抗力係数は大きく異なり、樹林による影響が認められる。

3.2 樹林が存在する場合の抗力係数

樹林が存在する場合の等流状態の流れでは 1 本当たりの樹木により流水が受ける抵抗力 (F) は式(1)により表されるが、これを水路床の単位面積に換算したものを $F_v (= F/S^2)$ とする。単位面積の河床から流水に作用する抵抗力を F_o とすると、 F_v と F_o の和は、流れの重力方向の成分 $F_w = \rho \cdot g \cdot H' \cdot I$ と釣り合っている ($F_v + F_o = F_w$) と考えられる。これより、 H' は樹林が存在する場合の水深（径深）、 I は水路床の勾配（エネルギー勾配）、樹林が存在する場合の見かけの摩擦速度 $U_*'^2 = g \cdot H' \cdot I$ 、 f' はダルシー・ワイズバッハの摩擦抵抗係数、 U' は樹林が存在する場合の平均流速とすれ

ば次式の関係が得られる。

$$U_*'^2 = \left(\frac{1}{2} C_d \cdot a \cdot H' + \frac{f'}{8} \right) U'^2 \quad \text{----- (2)}$$

式(2)より、抗力係数は次式となる。

$$C_d = \left(\frac{U_*'^2}{U'^2} - \frac{f'}{8} \right) \frac{2}{a \cdot H'} \quad \text{----- (3)}$$

式(3)より、樹林の抗力係数 C_d は流速係数 U'/U_* 、樹林密生度 \times 水深 aH' 、および摩擦抵抗係数 f' の関数となる。

摩擦抵抗係数 f' と樹林密生度 \times 水深 aH' との関係を図-2に示す。 f' は aH' と強い正の相関があり、さらに水路勾配によっても変化することがわかる。

流速係数 U'/U_* と樹林密生度 \times 水深 aH' の関係を図-3に示す。図-3より両者には強い負の相関関係があることがわかる。

図-2および図-3より得られた関係を式(3)に代入すると抗力係数 C_d は樹林密生度 \times 水深 aH' の関数として表すことができ、これより aH' から C_d を求めることができる。

4. まとめ

本研究では水理模型実験により樹林が水路内に存在する場合の樹林に作用する抗力を算定する手法を検討した。この結果を用いることにより樹林が存在する場合の有効掃流力を精度良く算定することも可能となる。

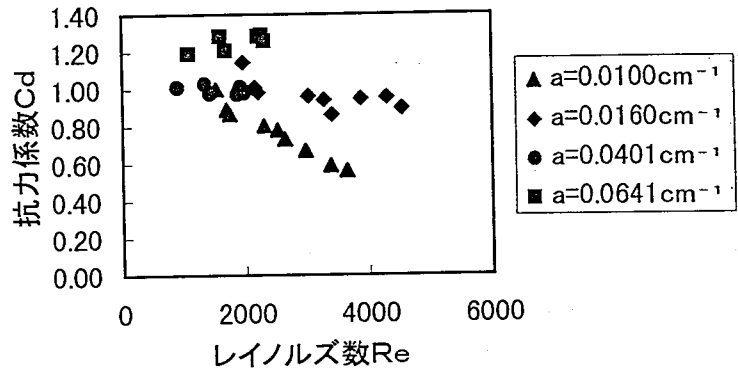


図-1 抗力係数 C_d とレイノルズ数 Re

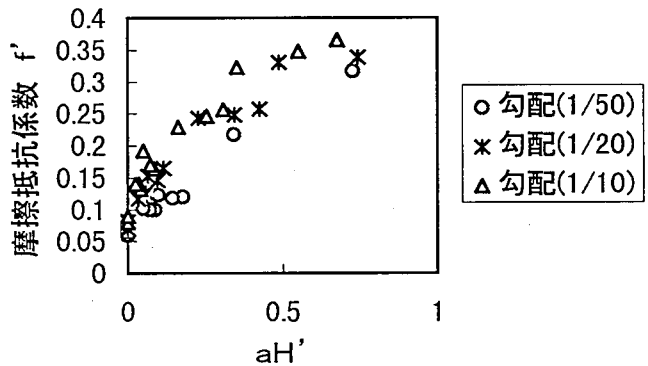


図-2 摩擦抵抗係数 f' と樹林密生度 \times 水深 aH'

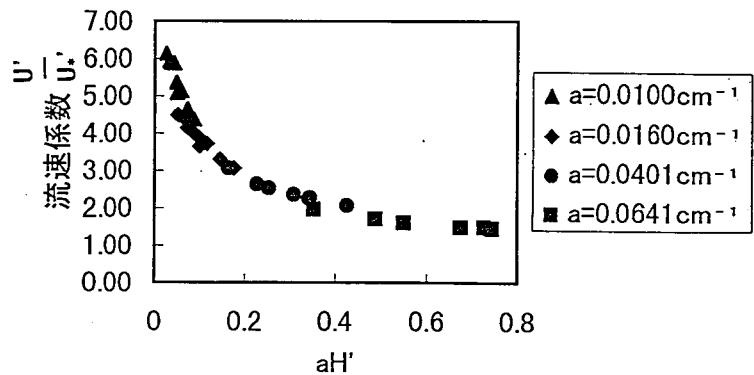


図-3 流速係数 U'/U_* と樹林密生度 \times 水深 aH'