

II-184

開水路中央部に樹木群のある流れ場の境界混合係数

建設省土木研究所 正員 渡辺明英

広島大学工学部 正員 福岡捷二

1. はじめに

樹木群のある河道について、樹木群境界でのせん断力を境界混合係数 f で表した準2次元解析が洪水流の水位予測などに用いられている¹⁾²⁾。境界混合係数の値は大型水理模型実験結果とその洞察に基づいて与えられているが、より一般的な表現式を得ることが望ましい。本研究では、樹木群のある開水路に平面2次元解析法⁴⁾⁵⁾⁶⁾を適用して、樹木近傍に形成される大規模渦を伴う流れ場を求め、これより得られる境界混合係数 f の値を福岡・藤田¹⁾³⁾の実験結果を比較する。さらに、 f 値の決定機構とその理論推定式を導く。

2. 解析条件

幅 $B=3\text{m}$ 、水深 $h=4.6\text{cm}$ 、勾配 $1=1/1000$ の単断面開水路の中央に透過係数 $K=38\text{cm/s}$ の樹木群を設置し、樹木幅 b' を $b' = 3, 15, 30, 62, 124\text{cm}$ と変化させた場合について¹⁾³⁾、平面2次元流解析⁴⁾⁵⁾⁶⁾によって流れ場を求める。

3. 樹木境界近傍の流速変動の特性

樹木群境界近傍では大規模渦による主モードの流速変動 u' と v' の位相がほぼ π ずれているため⁸⁾、境界せん断力は u' と v' の積から求められる。各樹木幅の場合について主モードの波長を変えて求めた樹木群近傍での変動量 u' , v' , η' の無次元振幅を図-1にまとめて示す。ここで、 u' , v' , η' はそれぞれ流下方向・横断方向の主モードの流速変動、水位変動を表し、 Δu は水深平均流速 u_0 の樹木群内外の最大流速差である。これより、 $u'/\Delta u$ の樹木幅による変化は小さい。波長が長いと u' は大きい、ある波長以上では大きくなる。一方、 v' の値は樹木幅が広いと小さく、波長が長いと小さい。したがって、境界せん断力が最大となる波長が定まる⁴⁾⁵⁾。最大せん断力に対応する f が流れ場の f であり、この場合の $u'/\Delta u$ の値は $(0.5 \sim 0.6)$ である。定義より、 f は式(1)で表されることから、 η'/h , b'/h , $K/\Delta u$ などから決まる $v'/\Delta u$ の値が定まれば f が求められる。ここで、未定項 η'/h は図-1(b)から樹木幅が狭い場合を除けば、波長・樹木幅に依らずにほぼ一定である。水位変動量 η'/h は、物理的考察及びオーダー解析から、 $(\Delta u)^2/gh$ に比例すると考えられる。図-2に粗度係数が一定の場合について解析により求めた $(\Delta u)^2/gh$ と η'/h の関係を示す。図-2は、樹木幅や透過係数、流速や水深などに依らずに $(\Delta u)^2/gh$ の値が決まる機構があることを示している。

4. f の推定式

樹木群内部における力の釣合に以下の近似を与え、 f の式形を求める。① u_0 , u' が抵抗増大を起こす範囲は樹木幅に比べて小さい。② 樹木群内では、水位変動量は直線的に変化し、 v' は一定とみなせる。この近似の下で、 u_0 , v' に関する運動方程式を樹木幅にわたって積分し、樹木幅 b' で除すと式(2)(3)が得られる。式(2)(3)から v' を求めると式(4)を得る。図-3に式(4)と計算値を示す。樹木幅 b' が広い場合には式(4)と計算

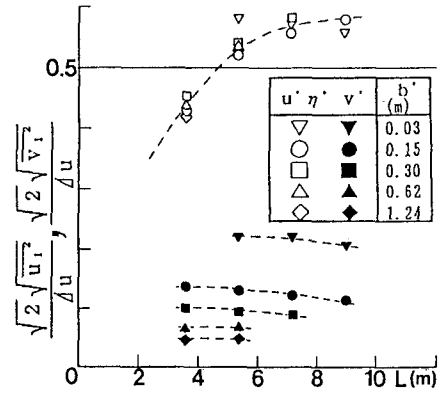
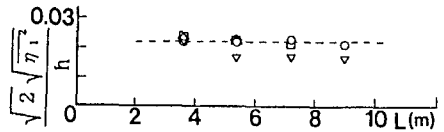
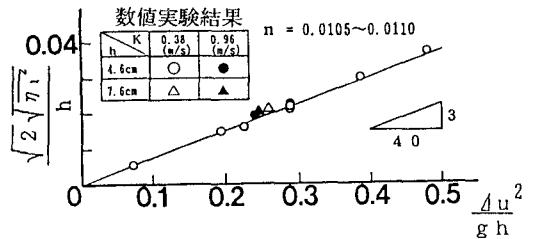

(a) u' , v' と波長の関係

(b) η' と波長の関係

図-1 境界での1次モードの変動量の大きさ


図-2 $(\Delta u)^2/gh$ と η'/h の関係

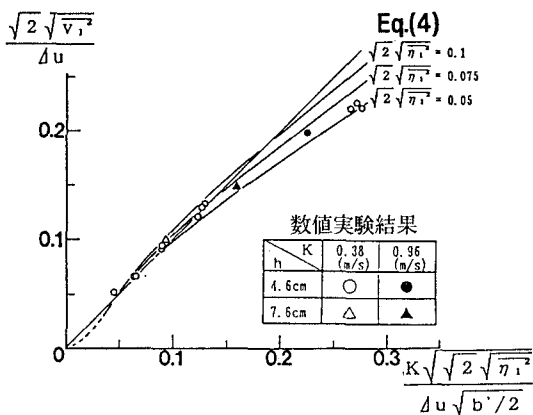
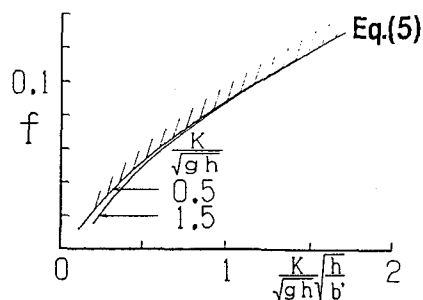
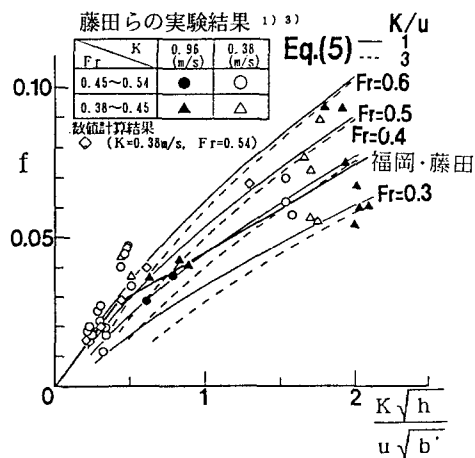
$$f = \frac{u' v'}{(Du)^2} \approx (0.25 \sim 0.3) \frac{v'}{Du} \quad (1)$$

$$ghl + \frac{2f(Du)^2 h}{b'} \approx \frac{gh}{k^2} \frac{u_v \cdot u_o}{u_v \cdot u_o} \quad (2)$$

$$v' \approx \frac{K^2}{u_v \cdot b'} \frac{2\gamma'}{b'}, \quad u_{v \cdot o} \approx \sqrt{u_o^2 + v'^2/2} \quad (3)$$

$$\frac{v'}{Du} = \frac{\frac{K}{Du} \sqrt{\frac{2\gamma'}{b'}}}{[1/2 + \{b' l / 2\gamma' + f(Du)^2 / g\gamma'\}^2]^{1/4}} \quad (4)$$

$$f = \frac{\frac{\beta}{\sqrt{\alpha}} \frac{K}{\sqrt{gh}} \sqrt{\frac{2\gamma'}{b'}}}{\left\{ \frac{1}{2} + \alpha^2 \left(\frac{gb' l}{2(Du)^2 + f} \right)^2 \right\}^{1/4}}, \quad \alpha = \frac{(Du)^2}{g\gamma'}, \quad \beta = \frac{u'}{Du} \quad (5)$$


図-3 式(4)による v'/Du の関数形

図-4 式(5)による f の関数形

図-5 福岡・藤田の $f^{1)3)}$ と式(5)の比較

値はほぼ一致している。幅が狭い場合には、計算値は生じている水位変動の値(0.10cm~0.075cm)よりも小さい水位変動の値(0.05cm)に対応した値になる。これは樹木幅が狭いと u' による抵抗増大を無視できなくなるためである。図-2に示したように $(Du)^2/g\gamma'$ はおよそ一定値であることから、 v' は $K/(\sqrt{gh})\sqrt{2h/b'}$ の値で決まる。以上から f の上限は式(5)で表される。パラメータを $u^2/Du^2 \approx 1$, $\alpha \approx 13.3$, $\beta = 0.275$, $l = 1/1000$ に選び、式(5)の関数形を図-4に示す。これより f は $K, h/b'$ の値が大きくなると増大し、増大の割合は f が大きくなると減少する。 f に関する福岡・藤田の実験値¹⁾³⁾ 及び提案式と共に、式(5)を $K/u\sqrt{h/b'}$ に対して図-5に表す。図-5より、式(5)は $Fr \approx 0.40 \sim 0.55$ の範囲で得られた f の実験値をバラツキの範囲内で説明しており、実験式とよく対応している。 f は同じ $K/u\sqrt{h/b'}$ に対して K 値の大きい方が小さい。透過係数が大きい場合や樹木幅が狭い場合には横断方向の抵抗が増大するため、 f は式(5)で求めた値よりも小さくなる。解析から求めたパラメータ α, β の値について、現地河川のデータを集めて検討する必要があるが、ここで与えられている数値で十分と思われる。これは、合成粗度係数には河道の断面形、粗度分布、樹木の幅や繁茂形態などが大きく影響し、これらは時間的にも縦断的にも変化するからである。

5. おわりに

樹木群のある流れ場に平面二次元解析法を適用し、準二次元解析に用いられている f の値を解析的に求め、その推定式を導いた。この推定式を福岡・藤田の実験値及び実験式と比較し、これらがほぼ一致することを示した。これより、準二次元解析法に含まれる f の妥当性とその水理特性が示された。

(参考文献)

- 1) 藤田・福岡:土木学会論文集, No. 429 II-15, 1991.
- 2) 福岡・藤田・新井田:土木学会論文集, No. 447 II-19, 1992.
- 3) 福岡・藤田:土木研究所報告第180号, 1990.
- 4) 福岡ら:東工大土木工学科研究報告, No. 48, 1993.
- 5) 渡辺・福岡・津森:水工学論文集第38巻, 1994.
- 6) 福岡・渡辺・津森:土木学会論文集No. 491 II-27, 1994.