

回転流の水理特性

建設省土木研究所 ○欧 国強
石川 芳治
前田 昭浩

1. まえがき

最近、著者らは土木研究所砂防研究室により新たに開発された地盤侵食抵抗試験機を用いて、関東ロームを例にして粘着性地盤の流水による侵食特性を定量的評価する手法を検討している。これまで平均侵食速度と土壌のコーン指数や回転速度との関係を明らかにしてきているが^{1), 2), 3)}、回転流（地盤侵食抵抗試験機のつくる流体）自体の水理特性については詳細な検討を行っていない。本研究は、著者らが開発した侵食試験法を自然斜面や傾斜農地等に適用しようとする場合に必要な回転流の水理特性例えば流速分布や掃流力の算定等を明らかにする目的で実施したものである。

2. 実験の概要

実験では図-1に示すように、平滑なアクリル板の上に試験機をのせて、羽根の回転で生ずる回転流の流速を3次元電磁流速計（センサーが直径16mmの球型）を用いて計測した。測定位置は半径方向では外筒と内筒の中央（半径11cmのところ）で、水深方向には底面から0.8~5.4cmの間の14箇所とした。また、回転速度を30, 50, 70, 80, 90, 110, 120と140rpmの8段階に設定した。実験は全部で112ケースを行った。接線方向の流速、半径方向の流速及び水深方向の流速はいずれも10秒間の平均流速を20回測定した。しかしながら、センサー部分が大きいため底面近傍（8mmの範囲内）の流速は測定できなかった。

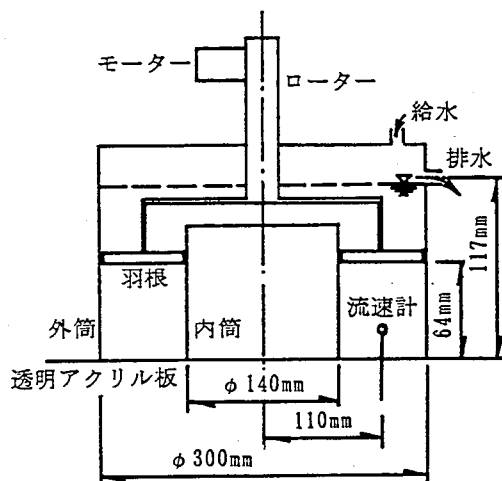


図-1 回転流実験装置概略図

3. 結果及び考察

3.1. 掃流力の計算問題

侵食現象を定量的に評価する水理量については一般的に、掃流力あるいは摩擦速度は多く使われている。開水路においては、

$$\tau_0 = \rho u_x^2, \quad u_x = \sqrt{g h \sin \theta} \quad \dots\dots\dots(1)$$

である。ここに、 τ_0 : 掃流力、 u_x : 摩擦速度、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 h : 水深、 θ : 勾配である。しかし、本研究における回転流の場合には $\theta = 0$ で、重力でなく羽根の回転で強制的に水を流動させるので、(1)式が適用できないが、水深方向の流速分布こそが分かれば掃流力の計算問題は解決できる。

3.2. 水深方向の流速分布

接線方向の流速 (u_i) と半径方向の流速 (v_i) との合成流速 ($u'_i = \sqrt{u_i^2 + v_i^2}$) を流動方向（水平方向）の流速とし、また平均流速 $u = (1/20) \sum u'_i$ ($i = 1, 2, \dots, 20$) で表示した。平均流速の分布例（回転速度 $N = 70 \text{rpm}$ ）を図-2に示す。図-2より、 $z = 1.5 \text{cm}$ 程度のところを境に境界層と

主流が存在することがわかった。

3.3. 境界層理論の適用

境界層の流れの状態（層流か、乱流か）が侵食速度に密接な関連があると考えられる。層流の場合に流速分布及び底面の掃流力 τ_0 は、

$$u = U z (2\delta - z) / \delta^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau_0 = \mu (du/dz) |_{z=0} = 2\mu U / \delta \dots (3)$$

で表され、乱流の場合には、

$$u = U (z/\delta)^{1/7} \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau_0 = 0.0225 \rho U^2 (\nu/U\delta)^{1/4} \dots\dots\dots (5)$$

で表される。ここに、 U ：主流の流速 (const.)、 z ：底面からの距離、 δ ：境界層の厚さ、 μ ：粘度、 ν ：動粘度である。

$U=60\text{cm/s}$ 、 $\delta=1.5\text{cm}$ として (2) 式と (4) 式から求めた流速分布を図-2の境界層内に実線と破線で示して実験値（黒丸）と比較すると、滑面における回転流の境界層の流速分布は層流に近い傾向にあるが、 δ の曖昧さや底面近傍の流速を測定できなかったことから、現時点では層流か乱流かを明確に判断することはできない。

3.4. δ と U について

今回の流速測定実験の結果から、境界層の厚さ δ は回転速度 N によらずほぼ一定であることが分かった。また主流の流速 U は当然 N とともに増加する。図-3は羽根中央部（半径11cmのところ）の円周方向の速度 V と主流の流速 U の関係であり、これは

$$U = 0.75V \text{、ただし、} V = 11\pi N / 30 \dots (6)$$

で近似できる。ここに N は回転速度である。

4. あとがき

今回の検討により主流の流速の推定法や境界層の厚さがある程度明らかになったが、境界層の流速分布は十分には明らかにできなかった。今後、底面近傍の流速を他の方法で測定し、また粗面条件での実験も実施したい。最後に、実験にあたってご協力頂いた筑波大学農林工学系前田勝弘氏及び京都大学工学部小池真史氏に深く感謝の意を表します。

文 献：

- 1) 欧国強・石川芳治・前田昭浩・草野慎一(1993)：地盤侵食抵抗に関する基礎的試験、平成5年度砂防学会研究発表会概要集、pp.197~198
- 2) 欧国強・石川芳治・前田昭浩(1994)：粘着性地盤の侵食速度、平成6年度砂防学会研究発表会概要集、pp.
- 3) OU Guogiang, Yoshiharu ISHIKAWA, Akihiro MAEDA and Shinichi KUSANO(1994):GROUND EROSION RESISTANCE PROPERTY OF KANTO LOAM, 『新砂防』投稿中

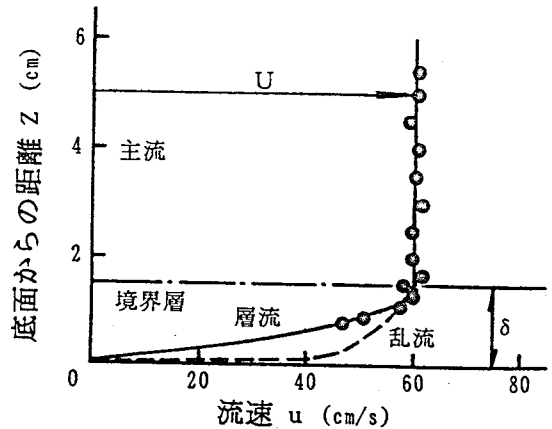


図-2 水深方向の流速分布 (N=70rpm)

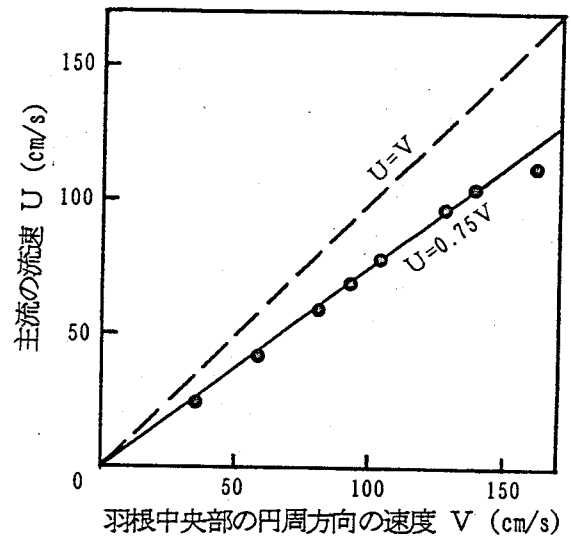


図-3 主流流速と羽根中央部の円周方向の速度との関係