

植生を持つ河床上の流砂の移動限界について

阿南高専 正 ○湯城豊勝

徳島大学 正 岡部健士

1. はじめに

植生内の流砂現象は砂洲の固定化・河床変動と密接な関係があり、河川工学上重要な課題である。最近、植生を持つ河床上の流れに関する研究が活発に行われるようになり、流砂現象の研究も徐々に進められようとしているが、まだ充分解明されていない。本研究では、筆者らが既に報告した¹⁾流速分布の表示式の誘導過程に現れる底面剪断応力の式を用いて、流砂の移動限界を検討したものである。したがって、実験では模擬植生を植え付けた水路で、流砂量が極めて少ない場合を対象とした。

2. 移動床実験

実験には長さが12m、幅が40cmの変勾配・長方形断面水路を用いた。本水路の水路床にアクリル板を敷き、揺動可能な直径1mm・長さ2.5cmのシリコンチューブの模擬植生を、約6m区間の全幅に1cm間隔で格子状に植え付けた。模擬植生は曲線で円柱形状である。模擬植生の間に平均粒径0.6mmの珪砂を5mm厚に敷きならした。流速測定は、植え付けた模擬植生の中点で、内径1mmのピトー管を差圧変換器に接続する方法で行った。流砂量は水路下流端に貯まった砂をメスシリンダーで測った。実験の水理条件を表-1に示す。

表-1 水理条件

No	Q ℓ/s	l	h _m cm	τ _m cm/s	u _* cm/s
1	2.1	0.01	2.27	23.0	4.71
2	3.3	0.01	2.99	27.5	5.41
3	3.9	0.01	3.26	29.8	5.66
4	4.8	0.01	3.59	33.3	5.93
5	1.5	0.0125	2.00	18.7	4.95
6	2.8	0.0125	2.42	28.8	5.45
7	3.4	0.0125	2.76	30.7	5.81
8	3.9	0.0125	3.06	31.8	6.11
9	2.0	0.015	2.12	23.5	5.58
10	3.0	0.015	2.48	30.2	6.03
11	3.9	0.015	2.82	34.5	6.43
12	2.0	0.0175	2.02	24.0	5.90
13	2.3	0.0175	2.32	24.7	6.31
14	1.8	0.02	1.92	23.1	6.13
15	2.0	0.0225	1.92	26.0	6.50

3. 植生層内の底面剪断応力

図-1に示すような、撓んだ模擬植生の形状抵抗を考慮した場合の流体内部剪断応力の変化はつぎのように表される。²⁾

$$\frac{d\tau}{dy} = -\rho g i + \frac{1}{2} \rho C_D \frac{D}{s^2} u^2 \cos \theta \quad (1)$$

ここに、y=河床面からの高さ、ρ=流体密度、g=重力加速度、C_D=抗力係数、D=模擬植生の流下方向投影幅、s=格子状配列の場合の間隔、θ=模擬植生の局所的傾斜角（鉛直ならばθ=0）である。(1)式をy=y~kの間で積分して整理し、θはyに直線近似することを前提にして、θ=θ_k(y/k)のように記述すると、植生層におけるτの分布式が得られる。

$$\tau = (h-y) - \rho \lambda \int_y^k \left\{ u^2 \cos \left(\theta_k \frac{y}{k} \right) dy \right\} \quad (2)$$

ただし、λ=(1/2)C_D(D/s²)である。つぎにτの陽的表示を得る目的のために、y=δ~kの範囲の流速分布につぎのような近似式をあてはめる。

$$u = u_k \exp \left\{ -\frac{\beta}{2} \left(1 - \frac{y}{k} \right) \right\} \quad (3)$$

ただし、

$$\beta = \frac{2}{1-\delta/k} \ln \left(\frac{u_k}{u_\delta} \right) \approx 2 \ln \left(\frac{u_k}{u_\delta} \right) \quad (4)$$

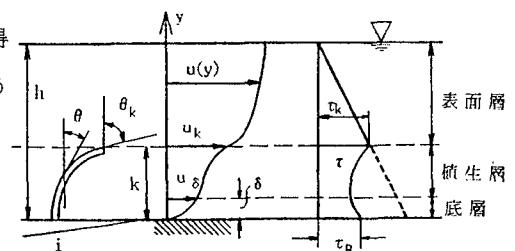


図-2 流れの模式図

ここに、 δ =底層の厚さ、 u_b および u_k は、それぞれ $y=\delta$ および $y=k$ における流速である。(3)式を(2)式に代入して、底面($y=0$)での剪断応力はつぎのようになり、植生による抵抗を分離することができる。

$$\tau_b = \rho g h i - \frac{\rho \lambda k u_k^2}{\beta^2 + \theta_k^2} \{ \beta \cos(\theta_k) + \theta_k \sin(\theta_k) - \beta \exp(-\beta) \}$$

4. 実験結果の検討

摩擦速度 $u_* = \sqrt{ghi}$ を用いて計算した無次元掃流力と無次元流砂量の関係を図-2に示す。本来は両対数紙に示すべきであるが、流砂量0のデータもプロットするため、あえて普通方眼紙で整理した。流砂の移動限界については研究者によって異論があるが、無次元流砂量 $q_{B*} = 10^{-2} \sim 10^{-3}$ と考えてよいと思われる。通常の無次元限界掃流力は約0.05であるが、本実験では0.3~0.4と大きい値を示した。この原因として、植生の中では流砂に影響を及ぼす掃流力が小さくなっているにもかかわらず、見かけの掃流力を用いて計算したことによる。したがって、この掃流力を有効掃流力に補正する必要があるが、本研究では(5)式を用いて補正した。その際、筆者らが既に提案した流速分布式とも一致させようと試みた。流速分布式の計算に必要な境界条件は、水路床の凹凸も考慮して粗面と考慮砂粒相当粗度(k_s)を用いた。 k_s の値は次式の芦田・道上の方法³⁾に従い、抗力係数は植生が傾斜していることを考慮して0.6とした。

$$k_s = d(1 + 2\tau_*) \quad (6)$$

計算の結果、通常考えられる k_s と流速分布をともに一致させることはできなかった。図-3に流速分布の1例を示すが、実線は k_s を(6)式で求めて計算した結果で、点線は k_s を適当に仮定して流速分布を合わせたものである。

この2つの方法によって、無次元掃流力と無次元流砂量の関係を整理すると図-4になる。流砂量も芦田・道上式で計算した。●印は見かけの掃流力を用いた実験値である。■印は芦田・道上による方法、○印は k_s を合わせる方法、▲印が流速分布を合わせる方法で、いずれも有効掃流力で整理した。流砂の移動限界 $\tau_{*c} = 0.05$ より判断すると、芦田・道上の方法では若干小さな値になったが、(5)式を用いて整理するといずれも妥当な値になった。

5. まとめ

植生中の有効掃流力について、筆者らの提案した理論式と実験値を比較検討した結果、良い精度で整理できたが、 k_s と流速分布を合わせることは今後の課題として残った。

参考文献

- 1) 湯城・岡部：植生を持つ河床上の流れの抵抗則に関する基礎的研究、水工学論文集、第39巻、1995
- 2) 岡田・北村・辻本：柔軟な植生に覆われた路床を持つ開水路流れの特性、第46回年講、1991
- 3) 芦田・道上：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第206号、1972

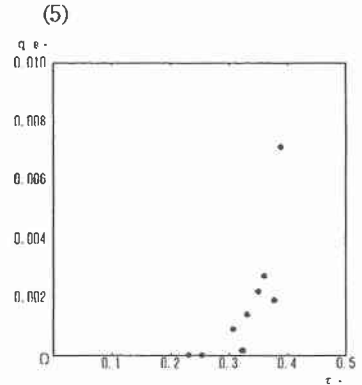


図-2 掃流力と流砂量の関係

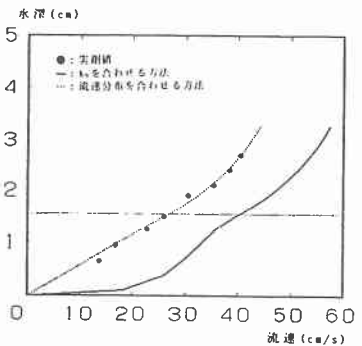


図-3 流速分布図

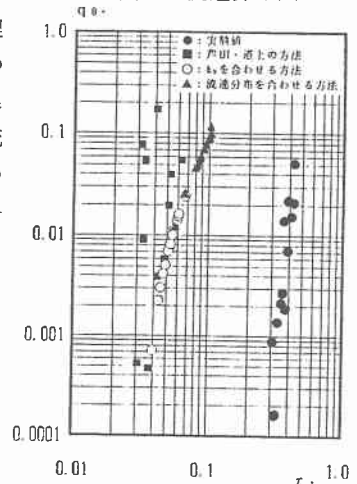


図-4 掃流力と流砂量の関係