

II-17 河床付着生物膜形成時の底質移動限界

東北大学工学部 学生員○鈴木 正
東北大学工学部 正会員 田中 仁

1. はじめに

河川の自然浄化機能としての働きをもつ河床生物膜は、砂粒子に付着することにより河床の侵食作用に影響を及ぼすものと考えられる。海浜においては微小生物の影響によって、移動限界シールズ数が通常の倍弱になるとの報告がある¹⁾。本研究では、河川を対象にして、砂の移動限界に対する生物膜量の効果を験的に検討した。

2. 実験の概要

実験には、全長4m、幅10cm、深さ20cm、勾配1/350の亚克力製の循環式水路を用いた。まず水路床に、を入れた木製の箱（長さ60cm、幅10cm、高さ3.5cm）を6個並べ、等流状態で一定流量の水を流して砂層表に生物膜を付着増殖させた。循環水は余剰汚泥を水道水で希釈し、COD濃度が、約10ppmとなるようにした。また、基質としては水道水にグルコース、 NH_4Cl 、 K_2HPO_4 、 Na_2HPO_4 を溶かしたものをを用い、それぞれの重比率が4:1:1:1になるように設定した。生物膜の成長途上において、一日毎に砂層表面の単位面積当りの生量（乾燥重量）を測定した。

生物量が一定になった後、上げ底された水路床の凹部に一箱ずつ据えて、等流状態で底質移動限界を調た。また、その時の流量・水深を測定し、底面剪断力を算定した。この際、側壁の影響を除去する方法として、足立²⁾が提案する断面分割法を用いた。この方法により、底面に作用する摩擦力 τ_b が求まり、無次元流力 τ_c が次式により得られる。

$$\tau_c = \frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho)gd} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 ρ_s ：砂粒子密度、 ρ ：水の密度、 d ：粒径である。実験では、生物膜を付着増殖させる際の流速・基質濃度・粒径などを変化させ、合計8ケースの実験を行った。

3. 生物膜形成時の砂の移動限界

生物膜は砂の表層あるいは砂粒子の空隙に付着し、砂粒子間の粘着力を増加させるものと考えられる。そこで、ここでは粘着性材料を含む土砂移動に関する芦田ら³⁾の研究を参考にし、以下の様なモデル化を行う。

二次元流れにおいて砂粒子に働く力を模式的に示すと図-1のようになる。同図において、砂粒子を流方向に動かそうとする力とこれに抵抗しようとする力とが釣りあった状態、すなわち移動限界状態を考えと次式が成り立つ。

$$R_T = (W - R_L) \tan \phi + F_B \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 W ：水中重量、 R_T ：抗力、 R_L ：揚力、 F_B ：生物膜の粘着力、 ϕ ：砂粒子の安息角である。静水圧布を仮定すると、これらの式(2)の各項はそれぞれ次式のように書ける。

$$W = (\rho_s - \rho)k_3 d^3 g, \quad R_T = \rho C_D k_1 d^2 u_d^2 / 2, \quad R_L = \rho C_L k_2 d^2 u_d^2 / 2, \quad F_B = k_1' d^2 f_B \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 C_D ：抗力係数、 C_L ：揚力係数、 u_d ：砂粒子に作用する代表流速、 k_1, k_2, k_3, k_1' ：形状係数で簡のため球形と考え、 $k_1 = k_2 = k_1' = \pi/4, k_3 = \pi/6, f_B$ ：単位面積当りの生物膜の粘着抵抗力である。いま、摩擦速度 u_* を用いて、 $u_d = \alpha u_*$ のように表示し、(3)式を(2)式に代入すると、砂粒子の移動限界に関する無次元限掃流力 τ_{cB} が次式のように表される。

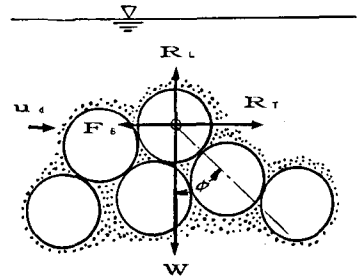


図-1 砂粒子に働く力のつりあい。

$$\tau_{CB} = u_{CB}^2 / (\rho_s / \rho - 1) g d = \tau_{CB} + \Delta \tau_{CB} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、右辺の2つの項は次式で表される。

$$\tau_{CB} = \frac{2k_3 \tan \phi}{C_D \alpha^2 \{k_1 + (C_L / C_D) k_2 \tan \phi\}}$$

$$\tau_{CB} = \frac{k_1' d^2 f_B}{(\rho_s - \rho) g k_3 d^3} \frac{\tau_{CB}}{\tan \phi} \quad (5)$$

上式で、 τ_{CB} は生物膜が存在しないときの限界シールズ数である。 $\Delta \tau_{CB}$ は生物膜の存在による付加的な限界掃流力の増分である。 $\Delta \tau_{CB}$ は砂粒径 d 、粘着力 f_B によって変化することがわかる。

4. 実験結果と考察

図-2は単位面積当りの乾燥生物量の日変化を示したものである。平衡状態での生物量は基質濃度によって異なるが、他のケースにおいてもほぼ同様に7~10日で定常状態に至った。

図-3は無次元粒径 $\sqrt{(\rho_s / \rho - 1) g d^3} / \nu$ と、(1)式より求めた無次元限界掃流力の関係を調べた図である。実線はシールズ曲線を表わしており、生物膜の無い時の実験データは同曲線に近い位置にある。生物膜が砂層に付着したケースでは、限界掃流力がこれよりも大きくなっていることがわかる。

図-3に示したように τ_{CB} が定まったので、 τ_{CB} が実験的に得られれば式(4)から $\Delta \tau_{CB}$ が得られ、さらに式(5)第二式より f_B が逆算できる。図-4はこのようにして算出した単位面積当りの生物膜の粘着抵抗力 f_B と、単位面積当りの乾燥生物量との関係を見た図である。図中でデータに付した縦線の長さは標準偏差の大きさを表す。この図より生物量が多いほど粘着力 f_B が増加し、砂が動きにくくなる傾向にあることがわかる。なお、生物量が極端に多いケースでは、生物膜が砂粒子空隙にほとんど入り込まず、砂層とフィルム状の生物膜とが分離している状態が見られた。このケースでは膜は箱の木枠に付着している強度で持ちこたえ、膜が剥がれる際には、全体が一体となって剥離するように見受けられた。図中で()を付したデータはそのようなケースに相当している。これらのデータを除けば、 f_B と生物量との関係は図の曲線の様に表される。

謝辞：本研究を行うに際し、貴重な助言を頂いた東北大学首藤教授、同後藤講師、実験に際し便宜を図って頂いた下水道研究室、汚染制御研究室の方々に感謝する。

参考文献：

- 1). Manzenrieder, H.: Retardation of initial erosion under biological effects in sandy tidal flats, Australian Conf. Coast. Oce. Eng., 1985.
- 2). 足立: 長方形断面水路の側壁効果に関する研究, 土木学会論文集, 第81号, 1962.
- 3). 芦田・江頭・加本: 山地流域における侵食と流路変動に関する研究(1), 京大防災研年報, 第25号B-2, 1982

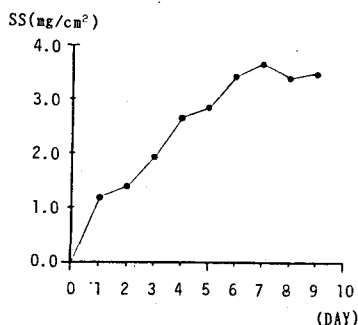


図-2 生物量の日変化。

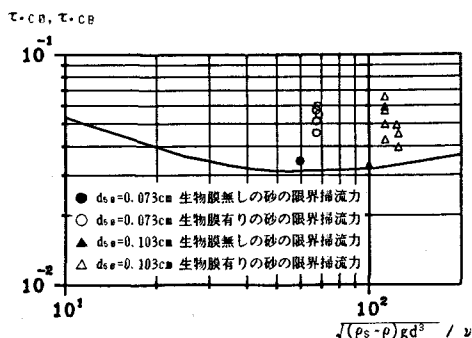


図-3 移動限界シールズ数。

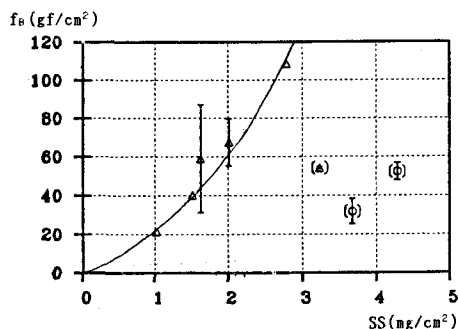


図-4 生物膜による粘着力と生物量との関係。