

II-520

管内の生物膜発生に関する実験 その2

— 摩擦抵抗係数の経日変化について —

北海道工業大学工学部 正員 宇土澤 光賢

1. まえがき

水資源の有効利用として雑用水道等が一部で建設・使用されてきている。下・廃水の圧送管や雑用水道管を長期間使用した場合、管内に発生付着する生物体（以下、生物膜と呼ぶ）やスケール等によって管内の流量の減少あるいはそれらの剝離によるバルブの閉塞等のトラブルが増大することが予想される。今回は前報¹⁾に続いて管内に生成する生物膜による層流状態時の摩擦抵抗係数の経日変化についてまた、乱流についても一部報告する。

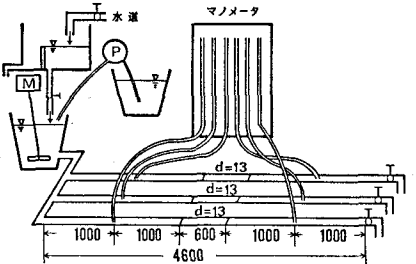


図-1 実験装置 単位 (mm)

2. 実験装置と実験方法

①層流：実験管路は図-1に示すように内径13mm、全長4.6mの硬質塩化ビニール管を3本水平に設置した。マンメータの間隔は2.6mである。管の中心部分60cmは生物膜の厚さを測定するため取り外せるように突合せにしてフランジで接続してある。管路への流入水として下水の二次処理水程度の濃度の人工下水を考えた。流量は各320、640、1400 ml/minである。

②乱流：図-1の左側の管に直接下水処理場の最終沈殿池越流水を水中ポンプで圧送している。レイノルズ数を6000、13000、21800の三段階になるよう流量調整した。

3. 結果と考察

①層流：生物膜の厚さの経日変化を図-2に示す。流量（流速）は生物膜への栄養分の供給と剝離作用に影響を与える。生物膜の剝離は管壁でのせん断応力あるいは摩擦速度と直接関係するものと考えられる。図-2では途中まではほぼ一様に増加しているが見なせるが、一旦剝離すると付着・剝離を繰り返しその変動幅が大きくなる。これは剝離しても元の新しい状態の管に戻るわけではなく一部生物膜が残っていてそれを核として成長するものと思われる。その成長（付着）量が均一にならないため、流れの局所的な乱れを起こした剝離する。図-3は摩擦抵抗係数 f ($f_{hr} = f \cdot d \cdot U_m^2 / 2g$ より計算)の経日変化で日数の経過と共に f が増大していることを示している。流量（レイノルズ数）の大きい方が経日変化が少なく、流量の少ない方が変化は大きい。流量の小さい方は後半には指数的に増加している。

図-4は摩擦抵抗係数 f と生物膜の厚さの関係で厚さと共に指数的に f は増加していることを示している。図-5は摩擦抵抗係数 f とレイノルズ数(Re)との関係で f と Re の相関係数は -0.85 で、点線の

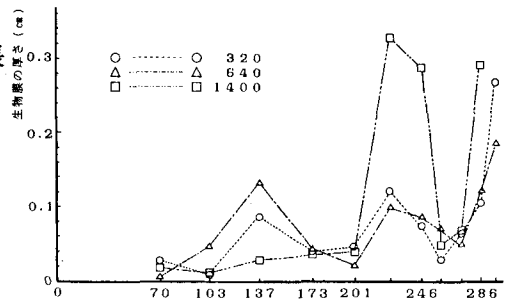


図-2 生物膜の経日変化

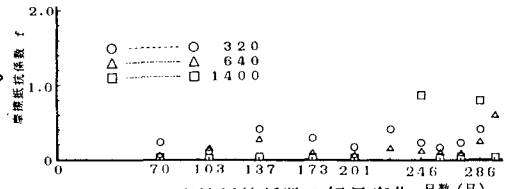


図-3 摩擦抵抗係数の経日変化

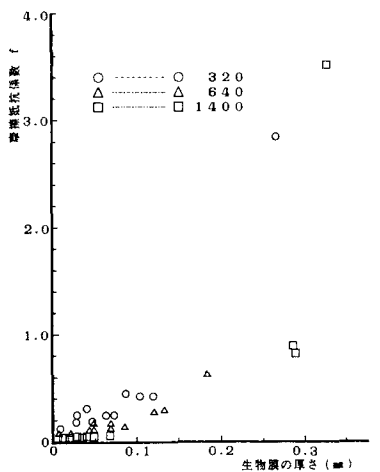


図-4 摩擦抵抗係数と生物膜

64/Reの理論式にはほぼ傾向としては合っている。

図-6, 7, 8は摩擦抵抗係数fと各々摩擦速度U, U./U_m, せん断応力τ₀との関係を示している。摩擦速度U。(U.=√g・R・I)との関係では流量(流速, Re)の小さい方がfが大きく、U.の二次式になっている。図-7ではf=8(U./U_m)²の点線の式にのるのは上式(h_rとU.)から当然である。また、図-8でもτ₀=f・w・U_m²/8g=K・f, (K=w・U_m²/8g)なる関係があるので各直線の傾きは流量の自乗に反比例している。

②乱流: 図-9は乱流の場合の生物膜の経日変化で全体の傾向としては層流の場合(図-2)に似ている。図-10はk_s/dをパラメ

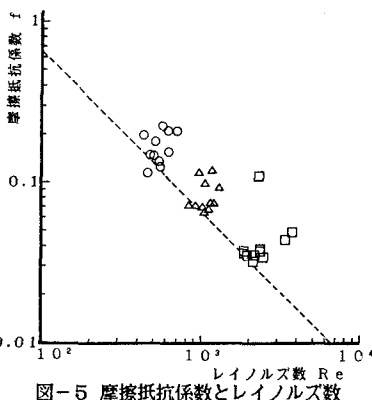


図-5 摩擦抵抗係数とレイノルズ数

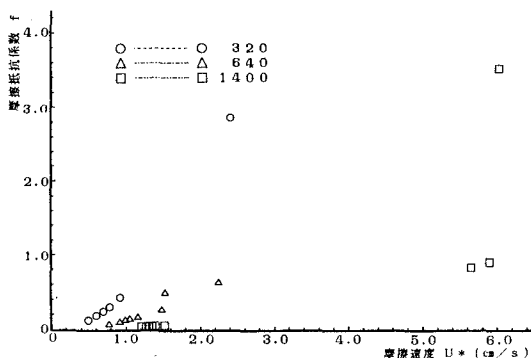


図-6 摩擦抵抗係数と摩擦速度

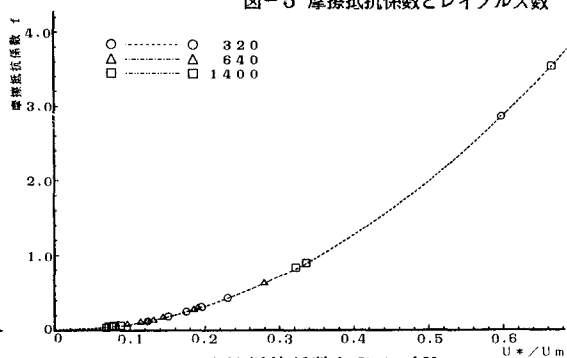


図-7 摩擦抵抗係数とU*/U_m

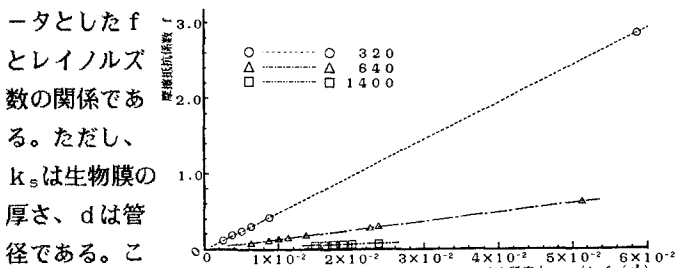


図-8 摩擦抵抗係数とせん断応力

ータとしたfとレイノルズ数の関係である。ただし、k_sは生物膜の厚さ、dは管径である。この図からは規則性を見いだせなかった。なお、粗度に関するレイノルズ数U_{*}・k_s/νを計算してみると15<U_{*}・k_s/ν<74となり完全粗面ではなくほとんどが遷移領域である。

4. まとめ

以上の実験結果から次のようなことが確認された。

- 1) 管路の生物膜による摩擦抵抗係数fは層流ではf=64/Reで表される。
- 2) 摩擦抵抗係数fの値は日数と共に増加し流速の小さい方のfの値が大きい。
- 3) 生物膜の厚さが大きいと摩擦抵抗係数fも大きい。
- 4) 壁面の粗滑に関してはほとんどが遷移領域である。

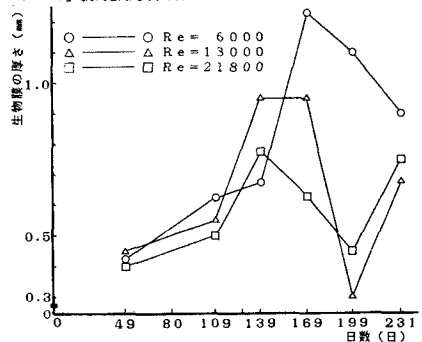


図-9 生物膜の経日変化(乱流)

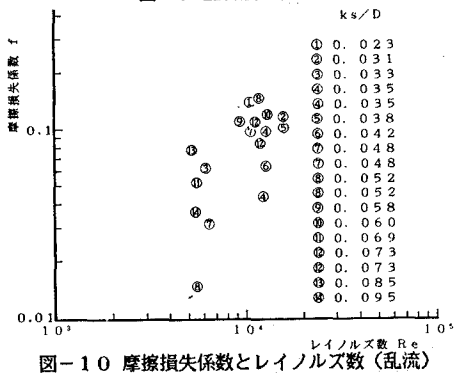


図-10 摩擦損失係数とレイノルズ数(乱流)

最後に本実験装置の運転およびデータの採取に努力した本学土木工学科卒業生中垣、岩松、押切君及び本論文の図表を作成してくれた小原助手に対し、心から感謝の意を表す。また実験に協力してくれた札幌市の下水道処理場の皆様に感謝します。
 《参考文献》1) 宇土淳 光賢: 管内の生物膜発生に関する実験—摩擦抵抗係数の経日変化について—, 土木年講, 1987年 2) 大橋 晶良, 他: せん断力を受ける廃水処理生物膜の付着特性, 土木年講, 1986年 3) 南 利治, 他: 管路流による付着生物膜の形成と流れの関係に関する考察, 土木年講, 1985, 86年