

II-3| 管内の生物膜発生に関する実験

北海道工業大学工学部 正員 宇土澤 光賢
 山 崎 敦
 新 木 充
 五十嵐 達也
 佐 藤 智博

1. まえがき

水資源の有効利用としての雑用水道が一部で建設・使用されてきている。廃水あるいはその処理水を輸送するとき、従来の管路ではあまり問題にされなかった事が非常に重要視されてくる。例えば、管内に発生・付着する生物体(以下、生物膜と呼ぶ)や水垢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。今回は管内に発生する生物膜による摩擦抵抗係数の経日変化について報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験管路は図-1に示すように内径 13mm、全長 4m の硬質塩化ビニール管を3本水平に設置した。マノメータの間隔は 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。また、マノメータと実験管路を連絡するビニール管には黑色ペンキで光を遮断してある。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。人工下水はグルコース、ペプトン、硝酸アンモニウム、リン酸二水素カリウム、炭酸水素ナトリウムを管路への流入水が表-1の濃度になるように水道水に溶解希釈したものである。流量はHead Tankとバルブを用いて210,420,900 ml/min.の各3段階(R e数で各340・680・1460)に変化させた。測定項目は流量、水頭差の他に流入・流出水の水温、pH、濁度、ORP、硝酸イオン(電極法)、導電率を毎日測定しCOD_{Mn}、

表-1 人工下水の濃度 (mg/l)

COD	12.3
NH ₄ ⁺ -N	2.9
NO ₃ ⁻ -N	2.9
P	1.2
pH	7.0

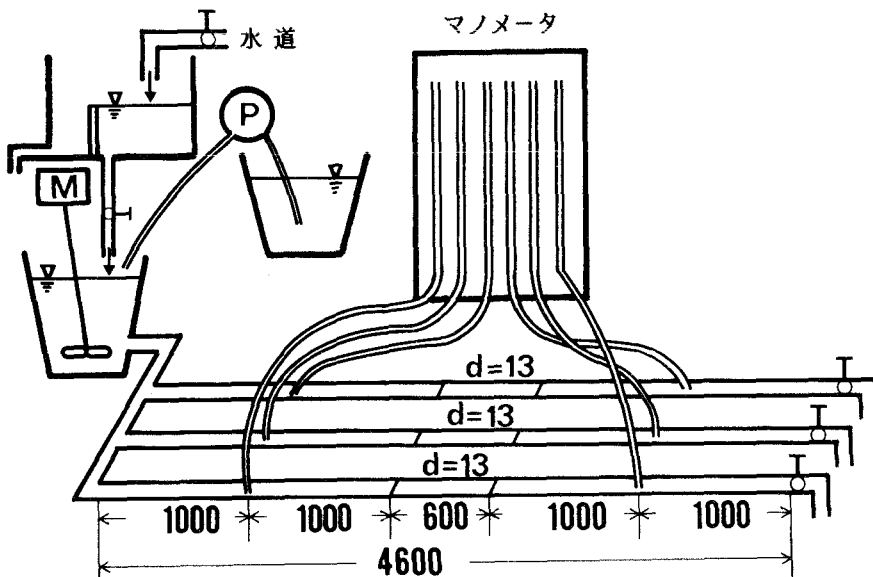


図-1 実験装置 単位(mm)

TN-TOC（島津GCT-12N）、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、 NO_3^--N 、正リン（ $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ ）、加水分解性リン、全リンについては週3回測定した。 COD_{Mn} 以下の項目は $0.45\mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過したものをまた、加水分解性リン、全リンについてはろ過しないものも検水として用いた。

3. 結果と考察

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は流量（流速）の大きい方が生物膜の厚さが小さく、流量の少ない方が厚さが大きくなっており、図では16日目以降の生物膜の厚さの生長速度はどの流量でもほぼ一定であることを示している。また初期では生物膜の付着・増殖が小さいが、一旦付着し始めるとその厚さは日数のべき乗で増加しているように思われる。写真-1は生物膜の付着状況の一例で、流量 $Q = 210\text{ ml/min}$ の16日目のものである。

摩擦抵抗係数 f は $f = 2g \cdot I \cdot D / U_m^2$ で表現される。ここに g は重力加速度、 I は動水勾配（ h_r / l ）、 D は管の内径、 U_m は管内の平均流速である。水頭差（ $h_r = \Delta p / w$ ）から I を求め上式の f を計算したのが図-3、4、5、6、7である。

図-3は日数の経過と共に f が増大していることを示している。流量（流速）が大きい方が基質の膜表面及び内部への輸送が促進され生物膜の形成に有利に働くと予想されるが、これらの図からは、増殖より剝離作用が顕著なため生物膜形成には負の影響が出ているようである。日数とともに f の

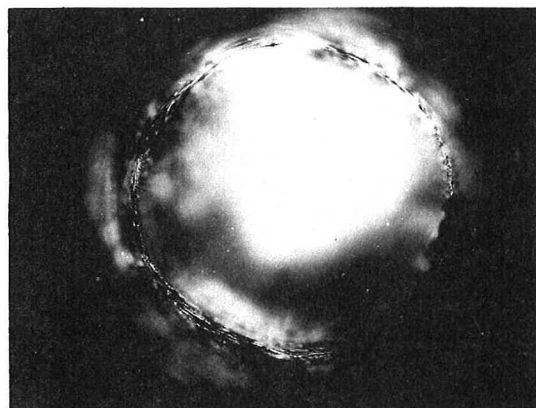


写真-1 管内の生物膜付着状況（倍率3.8倍）

表-2 図中の記号

	7/30	8/27	10/29
210	●	⊙	○
420	▲	△	△
900	■	□	□
(ml/min)			

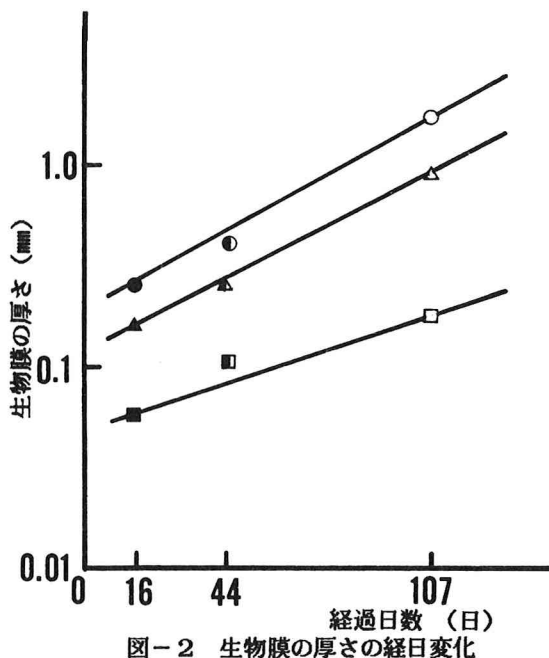


図-2 生物膜の厚さの経日変化

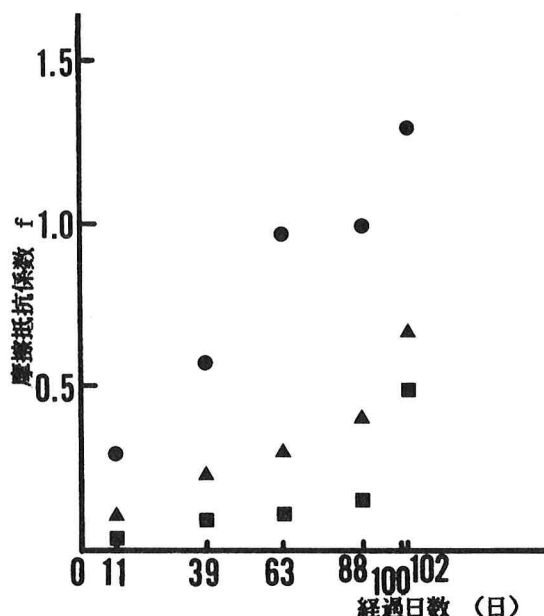


図-3 摩擦抵抗係数 f の経日変化

増大が見られるのは生物膜の成長が均一でなく膜表面の凹凸が大きくなっていくことを示している。また、流量（流速）が大きい方が小さい方に比較して生物膜表面の凹凸が小さく滑らかであるようにみえる。しかしこの実験の流速範囲では日数がたつにつれ流速の大きい方でも指数的に f の増加がみられる。今回の実験のレイノルズ数は全て 2000 以下なので、摩擦抵抗係数 f は理論的には、図-5 の点線のように $f = 64/Re$ で表現されるはずである。図-5 の f とレイノルズ数の関係はバラツキが大きいもののほぼ傾向としては理論式に合致している。図-4 から以上述べた事柄すなわち、生物膜の厚さが増加するにつれ f も大きくなることが示されている。図-6 は摩擦抵抗係数 f と摩擦速度 U の関係を表している。摩擦速度 U は $U = \sqrt{g \cdot R \cdot I}$ で表される。ここに、 R は径深です。同じ摩擦速度なら流量の小さい方が f の値は、大きくなる。日数とともに摩擦速度は大きくなりまた f もべき乗的に増加している。 f とは理論的に $f = 8(U/U_m)^2$ の 2 次式の関係がある。図-7 は f と U/U_m の関係ではば上の式を満足している。

せん断応力 τ に対する摩擦抵抗係数 f の値が図-8 である。管の壁面に働くせん断応力 τ は $\tau = f \cdot w \cdot U_m^2 / (8 \cdot g)$ で表される。ここに w は流体の単位体積重量である。摩擦損失係数 f はばらつきはあるものの、せん断応力の増加と共に小さくなっており、生物膜の表面が滑らかになっていくものと思われる。図-9 は生物膜の厚さとせん断応力の関係ですがやはりせん断応力が大きいと生物膜の厚さは小さくなっている。

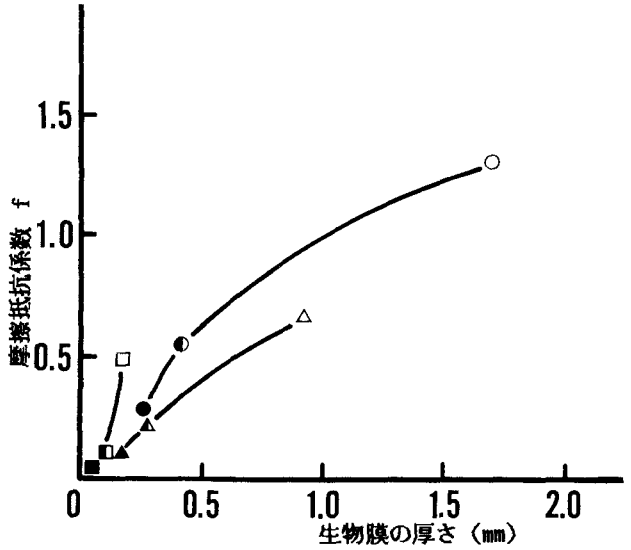


図-4 摩擦抵抗係数 f と生物膜の厚さ

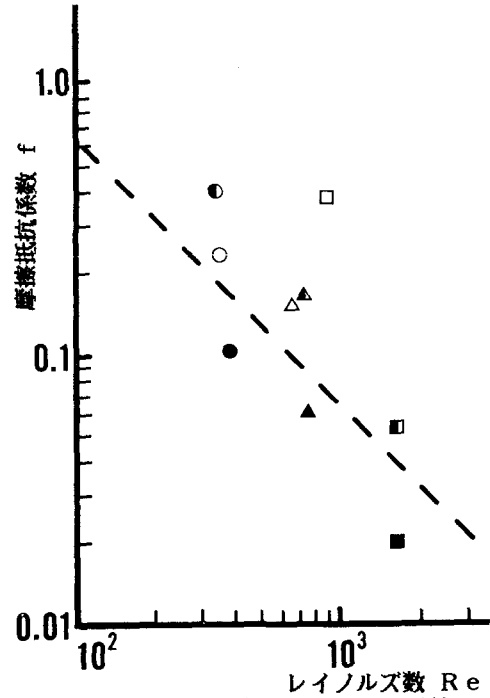


図-5 摩擦抵抗係数 f とレイノルズ数

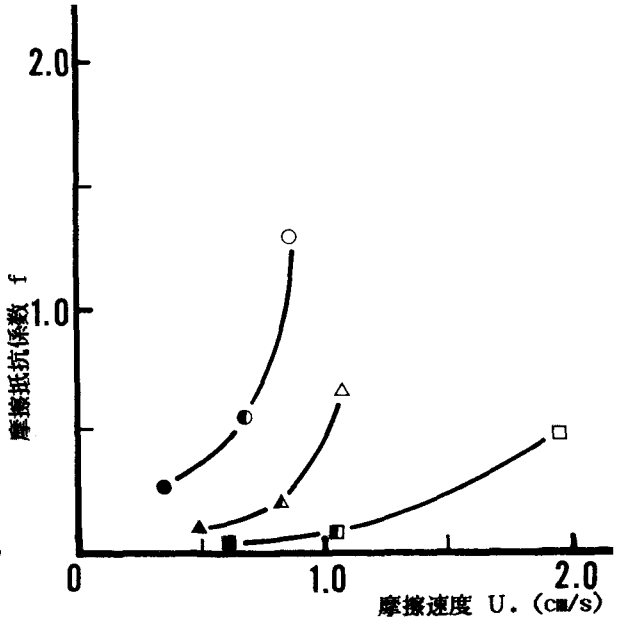


図-6 摩擦抵抗係数 f と摩擦速度 U 。

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) 管路の生物膜発生に関して摩擦抵抗係数 f 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) 摩擦抵抗係数 f 、摩擦速度 U_* 、平均流速 U_m との間でも $f = 8(U_*/U_m)^2$ なる関係が認められた。

4) 生物膜の厚さが大きいと摩擦抵抗係数 f も大きい。

最後に本論分の図表を作成してくれた高田助手に感謝します。

参考文献

- 1) 細井・杉山著：水理学、コロナ社
- 2) 土木学会：水理実験指導書
- 3) 日本下水道協会：下水試験方法
— 1984年版 —
- 4) 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、61年
- 5) 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、60、61年

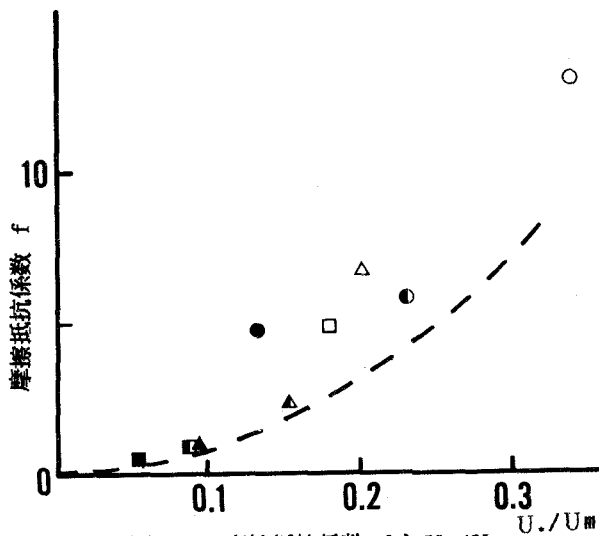


図-7 摩擦抵抗係数 f と U_*/U_m

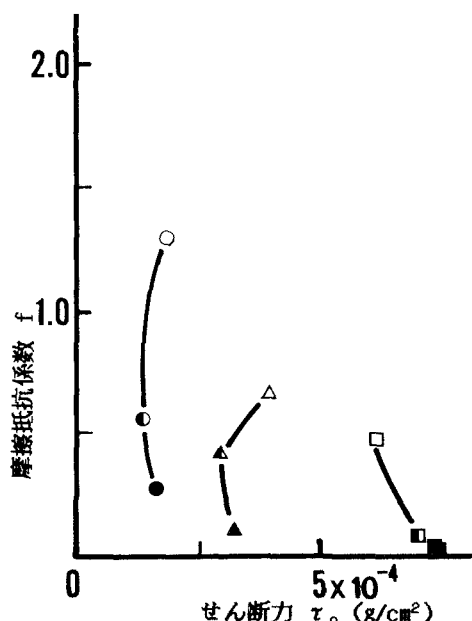


図-8 摩擦抵抗係数 f とせん断応力 τ 。

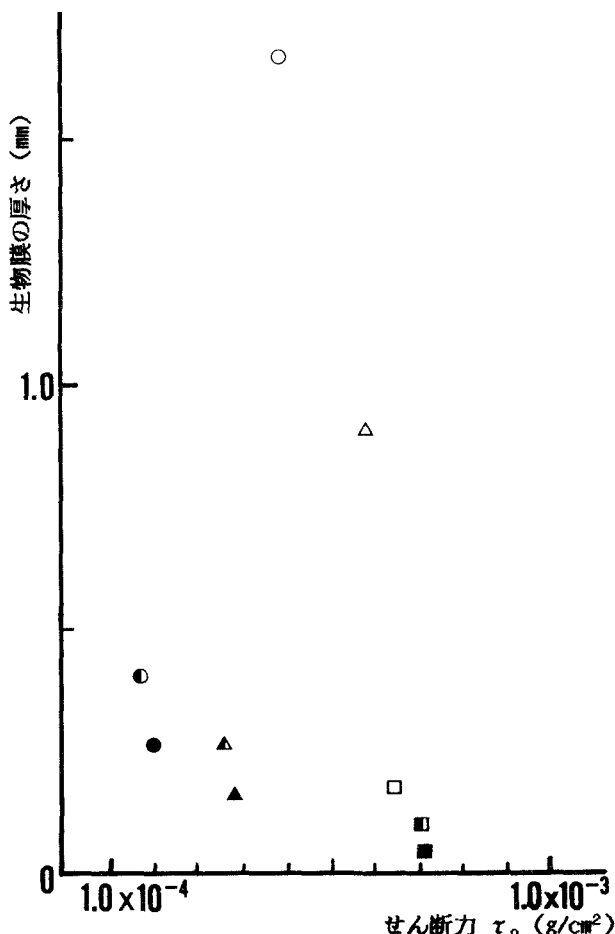


図-9 生物膜の厚さとせん断応力 τ 。