

京都大学工学部 正金 豊 末石 富太郎
同上 同上 住友 恒
久保田 鉄工 KK 同上 O 阿部 清一

1. はじめに 砂層や活性炭層の間隙流では砂などの粒子表面に層流境界層が形成され、よこでの水質物質の移動は分子拡散に依存するものと考えられている。したがって間隙流における流下方向の拡散現象は主として空隙内の流速分布にもとづく対流拡散が支配的と考えられるが一般的である。しかし、水処理目的としてこの過剰作用などは主流中の水質物質が材料表面に到達し、しる後吸着などの浄化作用をうけるので、上記境界層の存在がある意味で障害になることを考えうる。いふことは、この境界層がある程度破壊され、乱れをいふ方が主流中の水質物質は粒子表面に到達しやすく好都合かもしれない。攪拌水頭については砂層全体をマクロに捉えて、Darcy 則の成立を議論されるが、水質面からみれば、よりミクロに上記境界層がどのような形態で存在するかを把握しておくことが極めて重要である。ひいては水質の分散機構をより明らかにすることにもなる。一方、筆者らは既報¹⁾の研究で、以下簡単に記述するように、3層モデルに層流であつても前析的には何らかの乱れ現象があるのでは否かと推論し、ひいてはこれが透過率に大きな影響を持つのでは否かと指摘した。Wright²⁾はこの局部的乱れと抵抗係数の関係を調べているが、基本的には同様の点に注目しているものと考えたい。よこで本研究は、3層モデルアップした上で、3層間での水流、水質乱れを定測することによって、上記推論を定性的に検証するに足るものとしたものである。

2. 境界層における水質移動について

3層内流を右図のように channel 流としてモデル表示するとき、各部の水質は次式のように表わされる。(既報の訂正を含む)

$$\frac{dc_1}{dt} = u_1 \text{ にて, } \frac{dc_2}{dt} = \left\{ g(c_1 - c_2) + g'(c_0 - c_2) \right\} / (1 - \phi) \rho$$

$$\frac{dc_0}{dt} = u_2 \text{ にて, } \frac{dc_1}{dt} = \left\{ g(c_2 - c_1) - f \right\} / \phi \rho, \quad f = -\frac{dm}{dt}$$

よこで、 m は吸着層に粒子にとりこまれる物質の量、 ρ は空隙率、 c_1, c_2, c_0, g, g' は図中に示される水質値および水質のみちの移動速度。

よこで、Dobbins, O'conner の提案³⁾を採れば、境膜は $f(t) = r \cdot e^{-rt}$ なる確率密度で置換され、よこで水質物質が D_y なる分子拡散係数で移動してゆくものと考えうる。したがって、 m についてはつぎのように表わされる。

$$\frac{dm}{dt} \cong (D_y \cdot t)^{1/2} \cdot (c_1 - c_0)$$

定常かつ $g = g'$ のとき、上記4式より $g = \frac{1}{2} (D_y \cdot t)^{1/2}$ なることを推論する。いふことは g なる移動速度をみれば、これは分子拡散のみに支配されるのではなく、境膜のはく離あるいは乱れなどによる境膜自体の変形と関係しているものと推論しなす特徴である。

3. 間隙流における境界層の挙動について

上記の Dobbins らの研究は流水表面が種々の外乱をうける場合についてであり、同様の考え方を間隙流内境界層にも採用しうる水質は多くの問題を残すことはである。この間隙流内境界層の挙動としては円筒や球体周辺の境界層の挙動として多くの理論解などが提示されているので⁴⁾、種々の特性を推論する。図-2に示す上田・神野の計算結果⁵⁾を見ても、 Re 数が20を越せば、円筒の後半部に渦発生領域が発生するとはわかれる。

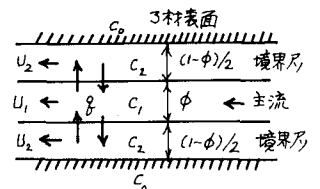
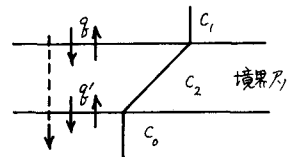


図-1



4. 円筒体周辺の水質乱れに関する実験

乱れを計測する熱線流速計および白金電極を用いて流速、水質を実測することにした。種々の問題を残すが、計測上の制約から間隙流を約30倍スケールアップし、外径3cmの円筒群を図-3の水路に配置し、円筒周辺の流速、水質（比重を1.0に調整したNaCl溶液）を計測した。このようにスケールアップした場合、レイノルズ数の合致が容易になるので、まず実験の第一歩として、乱れ（境界層のはく離）が発生するRe数が100から400程度の場合の諸特性を検討対象とした。

単円筒の場合、図-4に示すように円筒体前半部では明らかに分子拡散を確認しうるのに対し、後半部では図-5に示すような乱れいいため境界層のはく離を認めうる。なお、図-4は境界層内での流速分布を

$$u = \frac{2}{3} \frac{U}{R} \sqrt{\frac{UR}{\nu}}$$

と仮定し、Taylor, Elder タイプの移流拡散を求める式から E_y を逆算したものである。

$$D_x = \frac{a^2 h^4}{120 \cdot E_y}, \quad a = \frac{2U}{3R} \sqrt{\frac{UR}{\nu}}$$

しかし、この円筒を図-3中に示すように間隙流のアナロジーとして配置した場合、一例として図-6のよう結果をえる。すなわち、下流側にさらに円筒体がある場合、その影響をうけて、a, b, c, 点では $\overline{u'c'}$ はほぼほとんど無視しうる程度となっていく。なお、 u', c' は u, c の乱れ成分を表わす。

5. まとめ

いづれも定性的な結論にとどまるが、3週操作では考えられないうる速い流速範囲 (Re数 10^2 程度) でも間隙流では球体の表面には境界層が存在し、後半部にも顕著なはく離現象や乱れを伴う後流の発生はほとんどなく、図-2に示されるような渦鎖線の増加にとどまるものと推論しうる。(これを後流の発達とさえいえないこともない)。したがって、先に示した値については渦を伴う死水域を表わす特性値とみなす方が適切であろう。さらに経験的には、このr値を図-1に示すchannelモデルのモデル化に伴う特性係数と位置づけておく方が無難である。

なお、2.において松本忠生助手の有益な助言をえた。ここに謝意を表わす。

参考文献

- 1) 末石, 佐友, 松本, 研部; 第27回年講, 昭.47年
- 2) D.E. Wright; HY4, ASCE, 1968
- 3) Dobbins, O'connor; Trans. ASCE, Vol.123, 1958
- 4) Schlichting; Boundary Layer Theory
- 5) 上田, 神野; 第27回年講, 昭.47年
- 6) 研部; 京大. 修士論文, 昭.48年

図-2

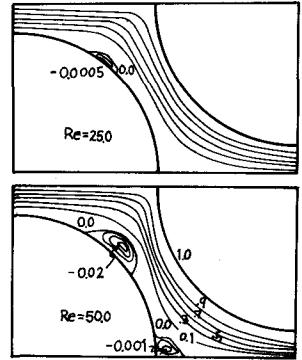


図-3

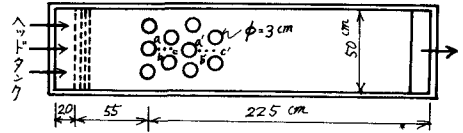


図-4

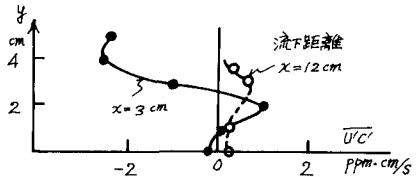
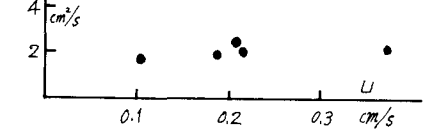


図-5

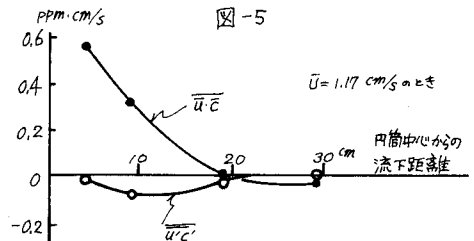


図-6

