

京都大学工学部 正員 合 田 健
 ○ 株式会社日建設計 正員 高 橋 正
 京都大学大学院 学生員 西 村 博

1. はじめに

河川における自浄作用について、これまで数多くの研究者が定量化を試みてきた。しかし、自浄作用の現象は生物化学的因子、生物学的因子、水理学的因子が複雑にかみあった現象であって、これらの因子間の内部相関についても不明な点が多く、理論的に取扱うことには困難が伴う。そこで、筆者らは屋外に設置した大型モデル河川を用いて、モデル河川水中における有機物の挙動や溶存酸素平衡について実験を行ない、自浄作用の機構と自浄作用の能力の季節的（環境）変化について実験的な考察を試みた。考慮に入れた因子は次のようなものである。(1) 底泥からの有機質の溶出と好気性分解層による溶存酸素消費 (2) 緑藻による酸素生産及び再曝気 (3) 脱酸素反応と生物の呼吸による溶存酸素消費 (4) 拡散現象 (したがって、モデル河川水中での有機物 (BOD₅) と溶存酸素 (DO) の収支式は、それぞれ、次の2式で表わされる。

$$D_x \frac{d^2 L}{dx^2} - U \frac{dL}{dx} - K_d L + L_a = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$D_x \frac{d^2 C}{dx^2} - U \frac{dC}{dx} + K_2 (C_s - C) - K'_1 L + P - R - D_B = 0 \quad \text{--- (2)}$$

ここで D_x : 拡散係数 U : 流速 K_d : 流水中での基質除去係数 $= (K_1 + K_3)$

K_1 : 生物反応による基質除去係数 K_3 : 沈殿吸着による基質除去係数 (>0) C_s : 溶存酸素飽和濃度

L_a : 底泥からの有機質溶出速度 P : 光合成速度 K'_1 : 脱酸素反応係数 K_2 : 再曝気係数

D_B : 底泥による酸素消費速度 R : 生物による呼吸速度

ここでは、緑藻による酸素生産と生物の呼吸による酸素消費を中心として報告をする。

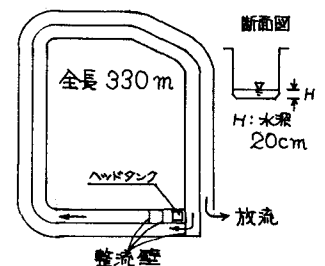
2. 実験装置と手法

実験は、京都大学琵琶湖実験室内に設置された、図-1に示すような一過流下式の開水路を用いて行なった。実験条件および測定項目を表-1に示す。(測定法は下水道試験法によった) なお、モデル河川の上流端、下流端には溶存酸素自動測定器を設置し、自動記録が行なわれるようにしてある。底泥に関しては従来の筆者らの研究⁽¹⁾に従って分析測定を行なった。なお、表-1に示すフロフィル量は底泥表面に付着した緑藻から分離抽出したものである。また、実験期間中に装置特性として、拡散係数 D_x と、水温の影響を考慮に入れた再曝気係数 K_2 を測定した。再曝気係数は亜硫酸ソーダー水溶液を流下水に混入することによって、流下水の溶存酸素量を低下させて流下方向の溶存酸素量変化を測定することにより求めた。また、流下水を用いて室内実験により脱酸素反応係数 K'_1 と基質除去係数 K_d を測定した。

3. 結 果

水路実験の結果の一例を図-2に示す。流下方向での溶解性有機物の濃度変化は、ほとんどみられない。この現象は、季節（水温）や滞留時間が変化しても、同様であり、本質的な自浄作用は、ほとんどみとめられないことがわかる。(1)式の、 D_x に実測値を、 L_a には従来の研究⁽¹⁾に準じた値を代入し、さらに有機物の流下方向濃度変化より、流水中での基質除去係数 K_d の流下方

図-1 モデル河川略図



向距離に対する変動を求めると図-3のようになり、 K_d の値が流下方向に向って減少することがわかる。これは本質的な自浄作用がみられなかったことと相まって、沈殿吸着による浄化が K_d を大きく支配していることを示している。なおSSのBOD₅負荷は0.545 BOD₅/SSであって流下方向、季節とも相関は存在しなかった。拡散係数は K_d やPについての数値解に、ほとんど差を与えず、無視することが可能であった。 $(D_{\text{max}} = 280 \text{ cm}^2/\text{sec})$

表-1 実験条件及び測定項目

期間	流下水(混合比)	流速	滞留時間	測定項目
5.3 5.25	2次処理水+湖水 (1:3)	8.41/秒 4.2 2.8 1.4	2 hr 4 6 12	BOD ₅ , Soluble BOD ₅ , 溶存酸素量 COD _{cr} , Soluble COD _{cr} , SS 底泥の乾燥重量, 有機物量, 堆積厚
10.24 5 11.3	2次処理水+湖水 (1:7)	6.2 1/秒	2.81 hr	BOD ₅ , Soluble BOD ₅ , 溶存酸素量 SS, 溶存酸素量 底泥の乾燥重量, 有機物量, 堆積厚
11.14 5 12.22	生下水+湖水 (3:77)	6.2 1/秒	2.81 hr	BOD ₅ , Soluble BOD ₅ , 溶存酸素量 SS, 700フィルム量 底泥の乾燥重量, 有機物量, 堆積厚
11.23 11.24	水道水のみ 湖水のみ	2.6 1/秒 6.2 1/秒	6.68 hr 2.81 hr	溶存酸素量 溶存酸素量

つぎに、(2)式をPおよびRは流下方向で一定であるとして、また、単位時間内ではPは一定であるとして、Pについて解き、実験で求められた各係数と、夜間において $P=0$ として求めたRの値を代入して、 (D_0) の値は従来の研究に準じた値) 流入端、流出端の溶存酸素時間変動よりPの時間的な変動を求めた。結果の一例を図-4に示す。

これにより、日照量とPは正比例し、Pの最大値は正午頃に現われることがわかる。また、9~12月のPおよびRの平均値はそれぞれ

$$P = 0 \sim 1.5 \text{ mgO}_2/\text{l/hr} \quad (3)$$

$$R = 0.417 \text{ mgO}_2/\text{l/hr} \quad (4)$$

で示された。また、同一条件のもとで水道水のみ流下させた場合、Pは最大値でも0.695 $\text{mgO}_2/\text{l/hr}$ と減少し、栄養塩が緑藻に与える影響の大きいことがわかる。また、単位クロロフィルa量当りの P_{max} は9~12月の平均値から次式で表示される。

$$P_{\text{max}} = 0.423 \text{ mgO}_2/\text{hr} / \text{mgクロロフィルa}$$

4. おわりに

以上要約すると、流入汚濁物の浄化は沈殿吸着が大きな役割を果たしており、その浄化能力は流下方向に向って減少する。溶存酸素平衡に関しては、底泥の酸素消費や生物の呼吸が相当の役割を果たしている。従って、沈殿吸着による浄化は底泥の増加を招き、二次的汚染源となるので自浄作用とはいえない。また、光合成による酸素生産が溶存酸素平衡に与える役割は大きく、自然河川においても(5)式で示されるオーダー

で酸素生産が行なわれていると考えられる。今後は、沈殿吸着によらない河川の自浄能力、すなわち溶解性基質除去速度の評価とそれに関する溶存酸素平衡についても実験を行ない検討を加えたい。

参考文献

- (1) 合田, 妹崎, 高橋 「河川水質への底泥の影響について」 土木学会講演集 1972

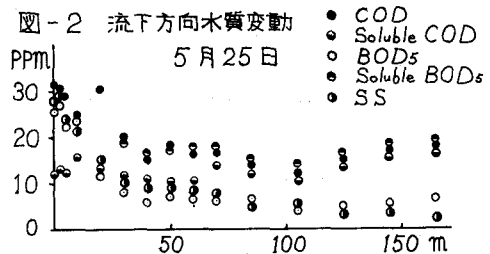


図-3 流水中の基質除去反応係数 K_d の流下方向変動

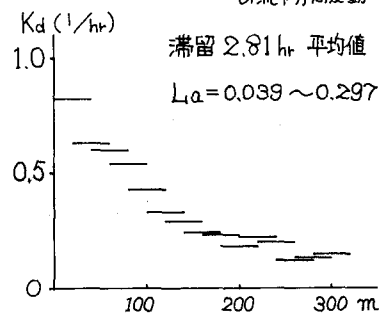


図-4 流入端、流出端、溶存酸素、時間変動及び光合成酸素生産速度、日照量相関図 10月20日

