

早稲田大学理工学部 正員 遠藤 郁夫
 学生員 ○井上 芳郎

1. 緒論

回転汚床法は、面敷を始め、ヨーロッパ各地の小規模処理場で、また活性汚泥法の前処理として利用されている。この方法は一般的に、一枚又は多数の回転板を軸のまわりに回転させる方法である。本実験は「金網籠」の中に中空汚材を入水、汚材体を軸のまわりに回転させる方法である。その特徴は、汚材表面積が大きく、高いBOD除去率と得ることができ、また、汚材の自浄作用(self-cleaning)が可能で、生物膜肥厚による汚床の肉塞が避けられるなどである。本報告は、回転汚材体の浄化機構と生物膜面に働かす剪断力と生物膜の厚さについて、検討のしようとする基礎的研究である。

2. 実験装置および実験方法

回転汚材体は、半径0.4m、長さ0.5mの金網製で、汚材は直径2インチ、長さ10mmの塩化ビニル管を用い、汚材表面積は23.2m²、汚材比表面積は92.4m²/m³である。図-1は実験装置である。汚材体回転数は539rpm、および受槽の体積は0.166m³であった。流入水としては、熱処理分解液(BOD約6000ppm)を6倍に希釈して連続的に投入した。流量は240L/day、124L/dayでそれぞれBOD負荷は0.844kg/m²・day、0.466kg/m²・dayであった。

3. 実験結果と考察

実験結果を表-1に示した。汚存酸度は表-1に示した様に、受槽内には2ppm以上の汚存酸度があり、好気性条件は満足されていると云える。図-2よりBOD負荷約1kg/m²・day(10g/m²・day)前後で、BOD除去率が90%が得られた。COD(K₁・Q)では50~60%であった。BOD負荷とBOD除去率、流出水BOD内には、実験範囲内においては直線関係がえられ、それは次式のように示した。BOD負荷0.4~1.0kg/m²・dayでは、

$$L_e = 36L + 94$$

$$W = -7L + 93$$

$$L_e: \text{流出水 BOD (ppm)}$$

$$L: \text{BOD 負荷 (kg/m}^2\text{・day)}$$

$$W: \text{BOD 除去率 (\%)}$$

BOD除去率と接触時間との関係は、一次関数として、次式で表わすことができる。

$$\frac{L_e}{L_0} = e^{-Kt} \quad \begin{array}{l} L_e: \text{流出水 BOD (ppm)} \\ L_0: \text{流入水 BOD (ppm)} \\ K: \text{定数} \\ t: \text{接触時間 (分)} \end{array}$$

今、接触時間を滞留時間 V/Q として表わすと、

$$\frac{L_e}{L_0} = e^{-K \cdot \frac{V}{Q}} \quad \begin{array}{l} Q: \text{流込量 (m}^3\text{/分)} \\ V: \text{受槽容量 (m}^3\text{)} \end{array}$$

実験結果よりBOD除去係数 K は、約0.12と求まった。数値代入整理すると、

$$\frac{L_e}{L_0} = e^{-0.12 \frac{V}{Q}}$$

i). 生物膜に働く剪断力について、回転汚材体の側面、すなわち回転円板に付着した生物膜について、各点に働くせん断力と生物膜の厚さについて検討した。すなわち側面に働く剪断力は、図-3より次のように式で表わすことができる。半径 r の面を流す単位時間内流込む流体の平均流速の運動量は、

$$r \rho \theta \int_0^{\omega} \rho C r d\omega$$

また、 r より流れる流体の運動量は

$$r \rho \theta \int_0^{\omega} \rho C r d\omega + \frac{d}{dt} (r \rho \theta \int_0^{\omega} \rho C r d\omega) dr$$

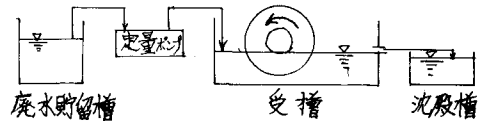
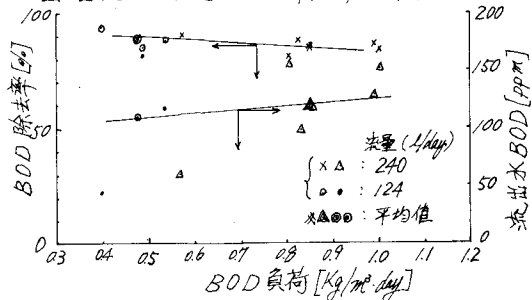


図-1. 実験装置の概略図

表-1 実験結果

	流入水量 240L/day				流入水量 124L/day			
測定項目	流入水	流出水	除去率 (%)	除去量 (g/m ² ・day)	流入水	流出水	除去率 (%)	除去量 (g/m ² ・day)
pH	6.28	7.90			6.63	8.07		
透明度	4.92	2.20			4.10	2.10		
色相	薄黒濁	黄濁			薄黒濁	黄濁		
COD _{mn} (ppm)	405	278	31.1	0.123	408	276	32.4	0.066
COD _{Cr} (ppm)	1655	721	56.4	0.911	1590	688	57.5	0.468
BOD ₅ (ppm)	867	121	86.0	0.726	946	113	88.1	0.440
T-N (ppm)	632	71.7			78.6	81.8		
NH ₄ -N (ppm)	0	0			0	0		
NO ₃ -N (ppm)	53.5	59.3			63.8	67.9		
TSS (ppm)	784	906			870	818		
DS (ppm)	646	602			734	664		
SS (ppm)	138	304			136	154		
水温 (°C)		15.9				15.2		
BOD負荷 (kg/m ² ・day)				0.844				0.466
BOD負荷 (kg/m ² ・day)				9.0				5.1

図-2. BOD負荷とBOD除去率の関係



出る流体と入る流体との差は、

$$\rho d\theta dr \frac{d}{dt} \int_0^{\theta} C_r d\theta$$

次に BC 面を流れる流体の運動量は、

$$dr \int_0^{\theta} \rho C_r d\theta$$

この半径方向の成分は

$$\frac{d\theta}{dr} dr \int_0^{\theta} \rho C_r d\theta$$

AD の面から流れるものの半径方向の成分は、大きき等しく反対方向である。よって流れるものとの差は、

$$-\rho dr d\theta \int_0^{\theta} C_r d\theta$$

流体には円板の面に沿って、流れに反対方向に $-C_r r d\theta dr$ の力が働く。運動量の法則によて、

$$-\frac{C_r}{\rho} r = \frac{d}{dt} \int_0^{\theta} (r^2 C_r d\theta) - \int_0^{\theta} C_r d\theta \quad (1)$$

接線方向については、 r, dr の 2 次元で考え、 r の円板の面に単位時間内に流れる流体の運動量の回転軸の周りのモーメントは、

$$2\pi r^3 \int_0^{\theta} \rho C_r C_{\theta} d\theta$$

円板が容器中で回転する場合に、容器壁にも境界層が出来るから、流体の回転の角速度は 0.54 rad/sec である。以上 (3)(4) 式を用いて、円板表面の接線方向の成分 C_{θ} を求めた。回転数 5.31 rpm で半径 20, 30, 40 cm の剪断力は、水温 15°C の時表-3 のように得た。ii) 生物膜の厚さについて、直接法として 1/20 mm まで測れるミクロメーターで測定する方法と、間接法としてアクリル板の下降速度より生物膜の密度を測定し、単位面積当りの湿潤重量と生物膜密度で割って、生物膜の厚さを測定する方法の 2 通りを行った。半径 20 cm の所で、直接法では 0.069 cm、間接法では 0.062 cm とほぼ同じであった。直接法で測定を行ない、その結果を表-3 に示した。iii) 生物膜の厚さと剪断力の関係、表-3 より、生物膜の厚さと剪断力の関係を図に表わしたのが図-4 である。剪断力の増大に伴って、生物膜の厚さは直線的に減少していることが認められた。

4. 総括および結論

回転汚床について、BOD 負荷と浄化率の関係、剪断力と生物膜の厚さの関係について、一連の基礎的研究を行っているが、現在までに得られた資料から次のことが明らかになった。

- 1) BOD の浄化機構は一次反応に従うと認められ、反応速度係数は 0.12 であった。
- 2) 生物膜の厚さは、線速度 8 ~ 13 cm/sec では 0.03 ~ 0.07 cm、内この範囲に傾く剪断力は 2.5×10^{-3} dyne/cm² であった。図-4 から生物膜と剪断力の関係を見ればこの範囲では、生物膜は直線的に減少することが認められる。すなわち、この範囲の剪断力で生物膜は十分に剥離されることになった。

好気性条件を維持するための生物膜の厚さは、如何程であるかは今後の研究にまたなければならぬが、少なくとも、著しい sloughing (unloading) 或は汚床の閉塞を避けることのできる薄くて効率のよい生物膜を維持するためには、観測結果を基盤として、相対速度が 13 cm/sec 以上あることがよいと考えられる。また、散水負荷と生物膜との関係、汚床の閉塞などについて基礎的研究をすすめて行っている。

また、 r, dr の面の面より流れる流体では、

$$2\pi r \int_0^{\theta} \rho C_r C_{\theta} d\theta + \frac{d}{dt} (2\pi r \int_0^{\theta} \rho C_r C_{\theta} d\theta) dr$$

の増加の、考えている部分の流体に働いたモーメント等しい。モーメントは C_{θ} によって生じ、 $-2\pi r^2 dr C_{\theta}$ である。よって運動量モーメントの法則によて、

$$-\frac{C_{\theta}}{\rho} r^2 = \frac{d}{dt} \int_0^{\theta} (r^3 C_r d\theta) \quad (2)$$

今、円板の回転の角速度を ω とし、 $C_{\theta} = \omega r$ と ωr に比例する速度 C_{θ} を用いて、 C_r, C_{θ} の速度分布を次のように仮定することができる。

$$C_r = C_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2, \quad C_{\theta} = \omega r \left(1 - \frac{r}{R}\right)^2$$

よって、 $C_r = \rho \nu \frac{C_{\theta}}{r}, \quad C_{\theta} = -2\rho \nu \frac{C_r}{r}$ (3)

$$\int_0^{\theta} C_r d\theta = k_1 C_{\theta}, \quad \int_0^{\theta} C_{\theta} d\theta = k_2 \omega r, \quad \int_0^{\theta} C_r C_{\theta} d\theta = k_3 \omega r^2$$

$$k_1 = \frac{1}{105}, \quad k_2 = \frac{1}{5}, \quad k_3 = \frac{1}{30}$$

である。さらに $\frac{\omega}{\nu} = \Delta^2$ とおくと、式 (1), (2) より

$$\begin{cases} \frac{dA}{dr} + \frac{6A}{r} = -\frac{2}{\Delta^2} \\ \frac{dA}{dr} + \frac{A}{r} = \frac{4}{\Delta^2} \end{cases}$$

よりの式を解くと、 $\Delta = 1.449, \quad \delta = 12.35, \quad \delta = 3.22 \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}$ (4)

表-2 溶解酸素

	流量 250 l/min	流量 250 l/min
槽内	2.72	5.19
流出水	2.97	5.66

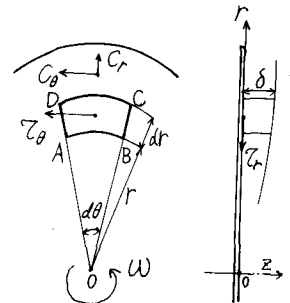


図-3

表-3 剪断力と生物膜の厚さの関係

半径 R (cm)	剪断力 τ_0 (dyne/cm ²)	厚さ d (cm)
20	2.3×10^{-3}	0.069
30	3.5×10^{-3}	0.051
40	4.7×10^{-3}	0.033

図-4 剪断力と生物膜厚さの関係

