

亜硫酸パルプ廃液に関する研究

Oxygen Sag Curve について

木材化学第1研究室 小林 穆

(昭和35年5月30日受理)

Kiyoshi KOBAYASHI : Studies on the Sulfite Spent Liquor Oxygen-Sag Curve.

緒 言

最近、人口の増加、化学工業の発展、河川涵養源としての森林の濫伐など幾多の原因が重つて河川の様相は著しく変化して来ている。

一般に汚濁源が放流されるときは河川の溶存酸素量が充分であれば好気性細菌などによる酸化分解、いわゆる自浄作用が完全に行われるが、若し溶存酸素の不足を来す程汚濁が甚しいときは、嫌気性細菌などが活動し黒濁を生じ、下水臭、腐敗臭を与え生物を危殆ならしめるものである。前報においては排水放流直後の状態について論じたが、実際問題としてはむしろ河川の有する自浄作用と汚濁源物質の有する生物化学的酸素要求量との間の平衡について考慮すべきであり、これがために酸素垂下曲線について考察する。

Oxygen Sag Curve

河川が既に甚しく汚染されているとき、あるいは汚濁源が河川の自浄作用の範囲以上の酸素を消費するようなときは臨界点の溶存酸素量と臨界点に達するまでの時間すなわち排水放流後の最低溶存酸素量とこれに達するまでの時間つまり流域においての最低溶存酸素量に達する地点とが考慮されるべきであつて、この地点が、上水道、工業用水の取り入れ口であるか (DO は 6.5 ppm 以上なるを要する)、漁場であるか (DO は 4.0 ppm 以上を要す)。何ら考慮する必要なき地点かによつて自ら排水処理の方策も定まるべきであると思惟されるからである^{1),2)}。

河川の自浄作用に関しては Streeter-Phelps の式がある³⁾。

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D$$

$$D = \frac{k_1 L_a}{h_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a 10^{-k_2 t}$$

D : 酸素飽和不足量 (Oxygen Saturation Deficit)

L : 残存生物化学的酸素要求量 (Residual BOD)

K_1, k_1 : 脱酸素恒数 (Deoxygenation Coefficient)

K_2, k_2 : 再曝気恒数 (Reoxygenation Coefficient)

t : 流れた日数 (Time of water travel measured along the stream from an initial point)

L_a : 放流直後の BOD (BOD. at initial point)

D_a : 放流直後の酸素飽和不足量 (Oxygen Saturation Deficit at initial point)

この式は中だるみの曲線で表わされるので、溶存酸素垂下曲線 (Dissolved oxygen Sag Curve) と称せられる。

流量 M_s m³/sec, 溶存酸素飽和不足量 D_{as} ppm., 生物化学的酸素要求量 L_{as} ppm. の河川に、それぞれ M_r m³/sec, D_{ar} ppm., L_{ar} ppm. の工場排水を放流したとすれば、放流直後の最初の溶存酸素飽和不足量 D_a , 生物化学的酸素要求量 BOD, L_a はそれぞれ

$$L_a = \frac{L_{as} M_s + L_{ar} M_r}{M_s + M_r}$$

$$D_a = \frac{D_{as} M_s + D_{ar} M_r}{M_s + M_r}$$

で表わされる。

臨界点では脱酸素と再曝気は平衡に達する。すなわち、

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D_c = 0$$

従つて

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_a \times 10^{-k_1 t_c}$$

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \log \frac{k_2}{k_1} \left(1 - \frac{D_a (k_2 - k_1)}{L_a k_1} \right)$$

となる。

D_c : 臨界点における酸素飽和不足量,

(Oxygen saturation deficit at critical point)

t_c : 臨界点に達するまでの日数

(Time of water travel measured along the stream from an initial point to the critical point)

k_1 は普通 0.1 であり、 k_2 は河川の流れの状態によりことなるもので Table 1 に示す如く 0.05 から 0.50 の間で普通 0.2 あるいは 0.25 を用いる。

Table 1. Approximate Value of the Coefficient of Reoxygenation, k_2 , at 20°C

	Nature of Recieving water	k_2 at 20°C
A.	Small ponds and back waters	0.05 ~ 0.10
B.	Sluggish streams and large lakes	0.10 ~ 0.15
C.	Large streams of low velocity	0.15 ~ 0.20
D.	Large streams of normal velocity	0.20 ~ 0.30
E.	Swift streams	0.30 ~ 0.50
F.	Rapids and waterfalls	0.50 and higher

亜硫酸パルプ廃液は、その生物化学的酸素要求量が大であると共に流出量も大であるので河川を汚濁すること甚しきものの一つと考えられている。

この排水が河川に放流された時、臨界点に達する日数、臨界点における酸素飽和不足量などを考察するに当つて、河川としてはさきに例として採つた⁴⁾ “A” (鴨川) 流量 3.8m³/sec 溶存酸素量 (DO) 4.8ppm, 酸素飽和不足量 (D_a) 4.4ppm, 生物化学的酸素要求量 (BOD) 2.4ppm および “B” (江戸川) 流量 95m³/sec., DO, 8.0ppm, D_a 1.2ppm, BOD 2.0ppm, の二つを採り, パルプ生産量としては 25ton/day (1958年鴨川河畔の京都製紙所の排水が問題となつたが, ここの生産量 KP: 25ton/day であつたのでこれを流用) 100ton/day, (本邦 SP 工場の最低経済単位と称せられている) 200ton/day⁵⁾ (本邦 SP 廃液利用工業化の最低経済単位と称せられている) の三つの場合を仮定した。

これらの工場の排水がおのこの河川に放流された時の最初の酸素飽和不足量, 生物化学的酸素要求量などはそれぞれ Table 2 に示す如くである。

Table 2 Basic Data of the Stream and SP Mills waste Effluent for the Calculation

		Stream A					Stream B	
Flow	m ³ /sec	3.8			Flow	95		
DO	ppm	4.8			DO	8.0		
D _a	ppm	4.4			D _a	1.2		
BOD	ppm	2.4			BOD	2.0		
SSL								
Pulp Production	ton/day	25	100	100	Pulp Production	25	100	200
Effluent	m ³ /sec	0.1	0.37	0.37	Enffluent	0.1	0.37	0.74
BOD	ppm	80	150	380	BOD	80	150	380
Initial. DO, D _a , BOD (L _a)								
DO	ppm	4.7	4.3	4.3	DO	7.9 ⁹	7.9 ⁶	7.9 ³
D _a	ppm	4.5	4.9	4.9	D _a	1.3	1.3	1.3
BOD (L _a)	ppm	4.5	13.4	35.7	BOD	2.1	2.8	4.9

Stream “A” は鴨川で 1958 年 京都製紙所の排水が問題となつた時測定した 数字であり, Stream “B” は江戸川で, これまた 1958年十条製紙株式会社江戸川工場の排水が問題になつた時のものである。

BOD 80ppm は京都製紙の排水のそれであり, KP 排水の要望基準である。BOD 150ppm は SP 排水の要望基準, 380 ppm は無処理 SP 排水の BOD である。

生産量 25 ton/day, BOD 8.0 ppm の SP 工場の排水が両河川に放流されたときの溶存酸素垂下曲線は Fig. 1 の如くで, 放流直後が D_a は最高であつて直ちに回復し始める。しかしこの河川がはなはだ 清浄であり 溶存酸素飽和の状態にあつたとすれば (20°C で DO, 9.2 ppm), 臨界点に達する迄に “A” において 2.90日, “B” 川で 2.78日を 要するのがわかる。

しかもいずれの場合も臨界点においてさへ、上水道源、工業用水として何ら差支えないことを知る。

ついで生産量 100ton/day, BOD, 150ppm の排水を両河に放流したとすれば、その溶存酸素垂下曲線は Fig. 2 に示される如く、Fig. 1 とは大いに趣をことにしている。

すなわち“A”河にあつては1日目に臨界点に達し、魚類の最低生存線である DO=4.0ppm 以下となる。従つてこの地点には普通の魚類は生存し得ず、また遡行性の魚類はこの地点以上の流に遡行することができなくなる筈である。

そのほかの場合はこの規模の工場でも差支えないわけである。

“B”級の河川にあつては、生産量 25ton/day BOD 80ppm でも生産量、100ton/day BOD, 150ppm でもさしたる変化はないのを認める。

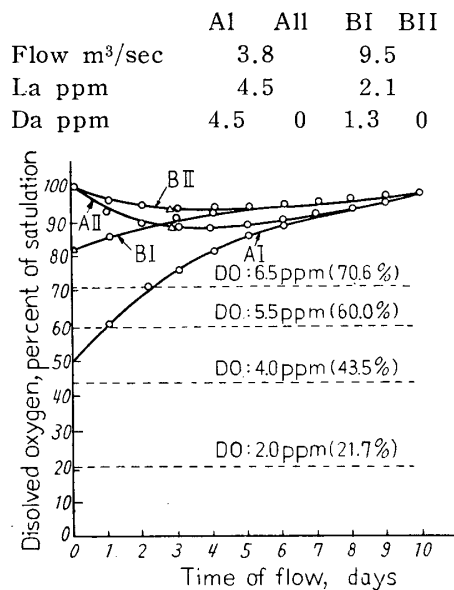


Fig. 1. Oxygen Sag Curve.

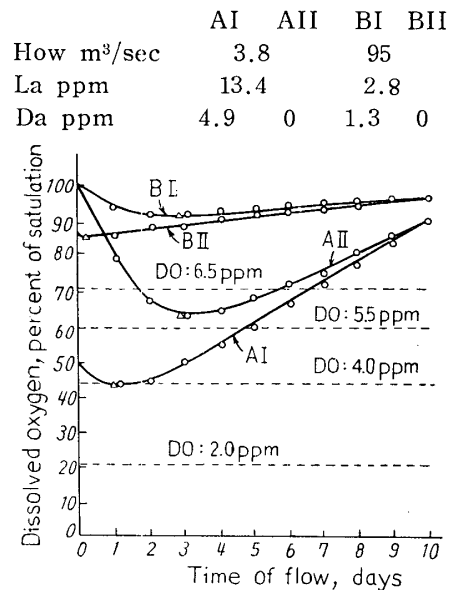


Fig. 2. Oxygen Sag Curve.

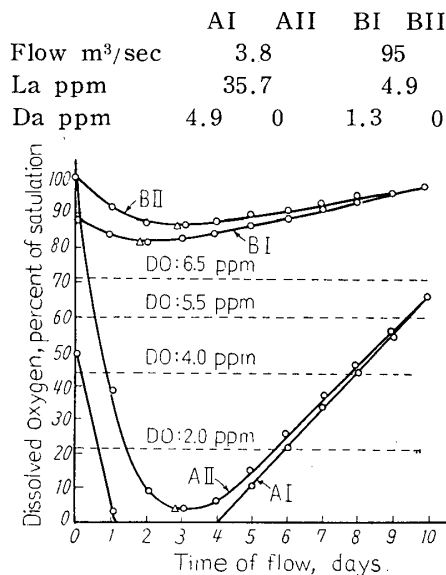


Fig. 3. Oxygen Sag Curve.

つぎに“A”河に生産量 100ton/day, BOD, 380ppm, “B”河に生産量 200ton/day, BOD, 380ppm, の排水を放流した場合の溶存酸素垂下曲線は Fig 3 の如くである。

放流直後はなお“A”河にあつても DO は 4.0 ppm 以上ではあるが1日目から6日目に至る間は 2.0ppm 以下となり、河川は全く腐敗槽化するのを知る。しかし“B”河にあつては 200ton/day の生産量 BOD., 380ppm でなお殆んど前二者と変わらない清浄さを保っている。

最後にそれぞれの臨界点に達する日数と臨界点の酸素飽和不足量を示すと Table 3 の如くである。

汚濁源が大となるほど、臨界点に達する日数は

遅れる。河川が汚濁されているときの方が臨界点に達する日数は早い，すなわち汚濁されている河川の方が回復し始めるのが早いのが認められる。

Table 3. DO and DO Satulation Deficit at Critical Point

		Fig. I.				Fig. II.				Fig. III.			
		AI	AII	BI	BII	AI	AII	BI	BII	AI	AII	BI	BII
Flow	m ³ /sec	3.8		95		3.8		9.5		3.8		95	
L _a	ppm	4.5	4.5	2.1	2.1	13.4	13.4	2.8	2.8	35.7	35.7	4.9	4.9
D _a	ppm	4.5	0	1.3	0	4.9	0	1.3	0	4.9	0	1.3	0
t _c	day	—	2.9	—	2.78	1.0	2.9 ⁶	0.29	2.85	2.38	2.98	1.93	2.9
D _c	ppm	—	1.2	—	0.6	5.3	3.65	1.31	0.75	10.3	8.96	1.6	1.2
DO	ppm	—	8.0	—	8.6	3.9	5.5 ⁵	7.9	8.5	—	0.3	7.6	8.0
	%	—	87.0	—	93.5	42.5	64.0	86.0	92.5	—	3.27	82.6	87.0

結 語

酸素垂下曲線を検討することによつて，河川に工場排水を放流した後の溶存酸素量の変化の様相を知ることができる。

流量，3.8m³/sec, 95m³/sec ; DO, 4.8ppm, 8.0ppm. ; BOD., 2.4ppm., 2.0ppm. の2つの河川に生産量 25ton/day, 100ton/day, 200ton/dayの亜硫酸パルプ工場から排水のBOD, 80ppm, 150ppm. (SSL処理基準), 380ppm (無処理) の排水を放流した場合の酸素垂下曲線について考察し

- ① 鴨川級 (3.8m³/sec) の河川にあつては 25ton/day, BOD. 80ppm. の工場排水の放流が限界であり，
- ② 江戸川級 (95m³/sec) の河川にあつては 200ton/day, BOD., 380ppm. でもなお充分余裕のあること，⁶⁾
- ③ 汚濁度の大である河川の方が臨界点に達すること早く，回復し始めることの早いこと，
- ④ 臨界点の地域と臨界点における DO., BOD. などを考慮することにより工場排水の処理方針を確立することができること，
- ⑤ 排水放流後下流における試験地選択などに適切な地点を選ぶことができること，
などを知ることができた。

Résumé

The stream self-purification calculates and estimates depend upon the Streeter Phelps oxygen sag curve.

The equation derived for the curve is as follows :

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) - D_a \cdot 10^{-t_1 k}$$

D_t : the dissolved oxygen saturation deficit at the time t

t : the time of water travel measured along the stream from an initial point

D_a : the dissolved oxygen saturation deficit at the initial point

L_a : the first stage BOD at the initial point

K_1 : deoxygenation coefficient (0.10)

K_2 : reoxygenation coefficient (0.05-0.50)

The basic data for the calculation are presented in table 2 and the oxygen sag curves are showed in Figure 1-3.

Stream "A"

Fig. 1. D_a : 4.5, L_a : 4.5 parts per million

The lowest oxygen saturation deficit is at the initial point ($DO=4.5$); the dissolved oxygen profile trends upward and continuously approaches saturation.

Fig. 2. D_a : 4.9, L_a : 13.4 parts per million

The critical point is reached after one day and dissolved oxygen falls to a lower value (DO_c : 3.9 ppm.).

The stream is not fitted to the *portable water* or for the industrial purpose.

Fig. 3. D_a : 4.9, L_a : 35.7 parts per million

Here reaeration is unable to meet the demand and anaerobic conditions are reached in about one day and maintained until the beginning of the fourth day.

Stream "B"

The dissolved oxygen conditions are satisfactory in all cases.

文 献

- 1) 小林穆：木材研究 **16**, 27 (1956)
E. F. Eldridge : "Industrial Waste Treatment Practice" 11, Mc Graw Hill (1942)
- 2) M. A. Churchill, R. A. Buckingham : Sewage and Ind. Wastes **28**, 4, 517 (1956)
J. D. Simmons, N. L. Nemerow : *ibid.* **29**, 8, 936 (1957)
岩井重久：用，廃水 **2**, 1, 45 (1960)
柴田三郎：工化誌 **62**, 3, 305 (1959)
- 3) E. B. Phelps : "Stream Sanitation", 173, John Wiley (1944)
- 4) 小林穆：木材研究 **22**, 43 (1959)
- 5) 通産省繊維局紙業課："パルプ紙製造設備調書" 紙パルプ聯合 (1954)
- 6) 清浦雷作：用，廃水, **2**, 1, 53 (1960) ; **1**, **12**, 8, 53 (1959)
- 7) B. F. Lueck, A. J. Wiley : Sewage and Ind. Wastes **29**, 9, 1054 (1957)