

酸素供給率に関するエアレーションタンクのスケール効果

宗 宮 功 ※

1 緒 論

下水処理における旋回流式ばつ気そうの働らきについては、多くの研究者が検討を加えている。浄化度を促進するには基質、微生物、酸素、攪拌と云った主要因子の集積効果をいかに増進させ、いかに維持するかが問題である。そこで基質と微生物反応との関係、ばつ気のばつ気特性、水理などが個々に、実験室規模のそうを対象として検討されている。これから得られる結果は有用ではあるが、実際そうであられる現象を説明するには不十分な場合もある。したがって、実験室的規模あるいはパイロット装置を用いての種々の実験値が、実際そうでどの状態に相当するかを把握する必要がある。この研究はそうしたスケール効果について、主として酸素伝達の面から考察したものである。

スケール効果を解決するには、かりに実験そうと実際そうとにおいて生物反応は変わらないとしても、各種の因子関係、微生物反応と所要酸素量、攪拌の強さと生物反応、流動状態と汚泥の沈降特性、ばつ気速度と供給酸素量あるいは流入水滞留時間分布等々の特性を検討熟知した上で、考察を進めなければならない。しかし、現段階においては、これら流動と生物反応とに関連するすべての因子を考慮して、厳格ないみでスケール効果を検討することはほとんど不可能である。ところで、スケール効果を考察する上で、もつとも簡単な方法は、実際そうと実験そうとを幾何学的に相似とし、流動については Re 数や Fr 数を合一させる方法であろうが、凝集池やばつ気そうのごとく攪拌を伴うそうにおいては、単位液容積あたりの攪拌所要動力が用いられることがある。他方、単に気泡の運動に伴う攪拌そうにおける物質移動あるいは化学反応の結果生ずる生産量を論ずるの

※ 京都大学工学部

だから物質移動係数そのものを測り論ずる方が直接的であるとする考え方もある。ここでは、そう内の攪拌状態や酸素供給量に直接的に関連した実際そうにおいて操作費用のかなりの部分をしめるばつ気速度に注目し、これを実際そうにおいてどのように定めるべきかを考察するため、酸素吸収からみたスケール効果について論ずる。

2 酸素供給率

酸素供給率を算定する式として、King や Eckenfelderの式があり、今回水理公式集¹⁾に採用されている。しかし、これらの式中には、必らずしも実用的でない因子が含まれている。これらの関係式よりスケール効果を検討するに先立ち、両式の誘導された論拠を確かめつつ、さらに著者が実験そうで得た実験結果を示し、比較検討を行なう。

1) King の式²⁾について

ばつ気そうにおける酸素の吸収過程を気泡によるものと大気から供給されるものとの二つとし、それぞれ別個に検討し、その和をもつて酸素供給能としている。

気泡からの酸素吸収には、Scollier, Watson, Nixon などの行なつた気泡の上昇時に対する研究結果を利用し、その結果単位時間あたりの吸収率は $0.0065 (16/\text{ft}^2/\text{日}/\text{酸素不足量 ppm})$ となると与え、気泡が約 $0.75 (\text{ft}/\text{sec})$ でスリップしつつ上昇することと上昇流流速 (V_w) との和で上昇時間を求め、 20°C において次式を得ている。

$$P = 0.049 H^{0.18} \cdot U^2 \cdot S^{0.86} \cdot d^{-0.94} (1.024)^T \dots\dots\dots (1)$$

ここで P : 気泡から吸収された%, U : 酸素不足量, d : 気泡径,
H : 水深, T : 水温, S : 気泡滞留時間

式(1)は旋回流を生じているばつ気そうに拡大することができるとしている。一方大気から酸素吸収については、Streeter, Wright, Kehrなどが河川の表層における再ばつ気効果を求めたデータを利用し、これを King

が解析したところ表層流速が高速時には $0.0395 v_w^{1.75} (\text{lb/ft}^2/\text{日})$ となるとし、 20°C において大気から再ばつ気により供給される量は次式で与えている。

$$B = 0.0043 v_w^{1.75} (\text{lb/ft}^2/\text{日}/\text{酸素不足量 ppm}) \dots\dots\dots(2)$$

式(1)、(2)を用いて水深 15 ft. の酸素吸収を算定し、それ以外の小規模そうについては、そうが幾何学的に相似であると考え、データを求めている。たとえば、模型は $1/12$ の縮尺であるとする、循環速度は両そう間で Fr 数を一致させ、流速は $\sqrt{1/12}$ であるとし、式(1)、(2)により酸素吸収を算定している。これらのデータを整理し、小規模そうによる実験を行ない、その値で推定値を補正し次式を与えている。

$$r = 0.05, A = 0.0243 C \cdot H^{0.71} \cdot U^Y \cdot R^X (1.024)^T \cdot d^{-0.64} \dots\dots(3)$$

$$r = 0.10, A = 0.0175 C \cdot H^{0.75} \cdot U^Y \cdot R^N (1.024)^T \cdot d^{-0.70} \dots\dots(4)$$

ここで、A : 酸素供給能 (ppm/hr)、R : 空気吹込率 (cfll/1000cf)

d : 気泡加重平均径 (in.)、 $Y = H^{-0.1}$ 、 $X = 0.85 H^{-0.05}$ 、

$N = 0.90 H^{-0.04}$ 、C : 吸収係数、r : (散気板面積) / (ばつ気そう表面積)

式(3)、(4)の応適用は $d = 0.1 \sim 0.2$ 、 $H = 1 \sim 2.5$ (ft.)、水温 $8 \sim 25^\circ\text{C}$ 、 U : 50% 以上と与えられている。上式において、気泡径 d については、King は空気吹込率によつて大差ないとしているが、 $d = 0.1$ (in.) としたときと $d = 0.2$ としたときとでは A に約 60% の相違が生じ、気泡径の設定の仕方によりかなり異なる。

2) Eckenfelder の式³⁾について

気泡による酸素伝達については、Sh 数、Re 数、Sc 数の間に次の関係が成立するとしている。

$$(KL \cdot d / DL) = F (d \cdot V_b / \nu) (\nu / DL)^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 ν : 動粘性係数、DL : 拡散係数、F : 定数、KL : 酸素伝達係数、 V_b : 気泡の上昇速度

水深 1 m 以上のとき、端効果を補う目的で $H^{1/3}$ を左辺に乗じるとうまく関係づけられるとしている。

$$(KLd/DL) H^{1/3} = F \cdot (d \cdot V_b / \nu) \cdot (\nu / DL)^{1/2}$$

一般化するため水深効果を H^m とすれば、 KL は

$$KL = \beta' / (H^m \cdot Sc^{0.5}) \dots \dots \dots (6)$$

一方接触面積 (A_c) 対槽容積比は、空気量を G とすると、

$$(A/V) = (6 \cdot G \cdot H / d \cdot V_b \cdot V) + \beta_1 (1/H) \dots \dots \dots (7)$$

となるとし、右辺第一項は気泡、第二項は槽水面に関するものである。第一項は水塊が静止していて、気泡のみが上昇したときの数値であり、気泡の接触時間は (H/V_b) で求められ、旋回流流速 V_w は無視されていて、接触時間は長くなっている。第二項は第一項に比しかなり小さく、第一項に補正係数 (α) をかけて表示すると、 $KL a = KLa/V$ は

$$KL a = KL (A/V) = (\beta H^{1-m} G) / (V \cdot d \cdot Sc^{0.5}) \dots \dots \dots (8)$$

となる。さらに気泡径には $d = \beta_2 G^n$ なる関係を利用し、

$$KL a = N \cdot G^{1-n} \cdot H^{1-m} \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{ここで、} N = \beta / (\beta_2 Sc^{0.5}) = (6 + \alpha / \beta_2) (\beta' / Sc^{0.5}) \dots \dots \dots (10)$$

式(9)を変形すると、次のようになる。

$$N = (KL a V) / G^{1-n} \cdot H^{1-m} \dots \dots \dots (11)$$

となる。この N を吸収数 (Absorption number) とよび、各ばつ気装置に対し求めたうえ、装置の比較を行なう一つの示標としている。たとえば多孔性散気板によるばつ気そうでは、彼は King の実験データをもとに、 $H = 1.5$ (ft.)、 $n = 0.2$ で $N = 6.5$ であると示している。しかし、散気板に関する供給能を式(9)より求めることは、実験値が少なく各定数が未だ不完全なので困難である。

3) 総括容量係数 $KL a$ の実験的算定⁴⁾

ばつ気効率を数式化する際に気泡径や気泡の滞留量と云った気泡特性や

挙動、また散気気泡により誘導された旋回流の強さを、酸素供給や沈澱防止を計るため、把握しなければならない。著者らは模型ばっ気そうを用いこれらの因子の挙動を検討すると同時に、一方でばっ気により水中へ伝達された酸素を総括容量係数を中心に検討を行なった。

一般に利用されている散気板からの散気気泡特性については、気泡を写真撮映して行なった。その結果

- ①気泡体積の分散はほぼ対数正規分布であり、気泡の加重平均径および体積は次のように示された。

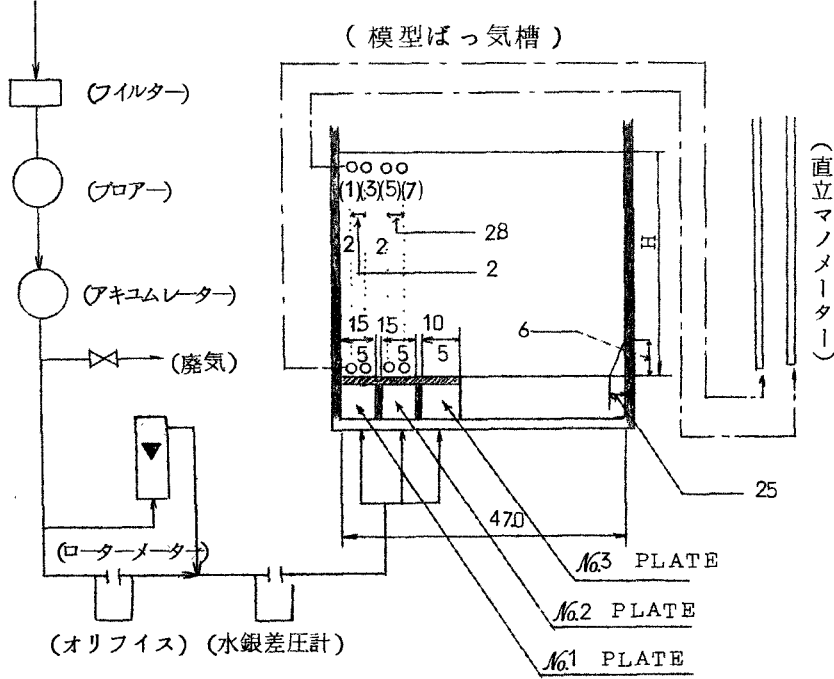
$$d = 1.88 V a^{0.183}, \quad V b = 3.46 V a^{0.553} \dots \dots \dots (12)$$

ここで、 $V a$: 空気速度 ($cm^3 / 分 / cm^2$)、 d : (mm)、 $V b$: (mm^3)

- ②単位の気泡ホールドアップがあるとき、その空気量が構成する気泡分布が実験で定めたものと同一とすれば、全表面積は次のように示される。

$$s (mm^2 / mm^3) = 2.50 V a^{-0.189} \dots \dots \dots (13)$$

図 - 1 実験装置



気泡のホールドアップ傾向は図-1に示す実験そうを用いて定め、全そう容量に対する滞留気泡容積の比を代表ホールドアップ ϕ として表示し検討した。

- ③ ϕ は空気速度が150～200 ($\text{cm}^3/\text{分}/\text{cm}^2$ 散気板)以下では最大0.5～0.6%を示し、 V'_a を空気吹込率($\text{l}/\text{分}/\text{l}$)とすると、次の関係が得られた。

$$\phi \propto V'_a{}^{0.77} \dots \dots \dots (14)$$

- ④滞留気泡の接触面積は近似的に次のように示された。

$$s' = s \cdot \phi \propto V_a{}^{0.581} \dots \dots \dots (15)$$

ばつ気そうにおける流動特性は上記模型そうをばつ気そう断面と考え、流速分布を検討し、旋回流はそう中央部の内部旋回流(V_i)と外部の外部旋回流(V_o)とに二分して考察した。

- ⑤模型ばつ気そう水流に関する次元解析から得られた実験式は次のようである。

$$(V_o H / \nu) = 2.03 \times 10^3 (H/6)^{1.309} (V_{ab} / \nu_a)^{0.385} + 2.9 \times 10^3 \dots (16)$$

ここで、 b ：散気板巾 (cm) ν_a ：空気動粘性係数、

- ⑥水塊が一循環するに要する時間を、そう最外周部を流速 V_o で通過する時間で代表させると、所要時間 T は

$$T = 2 (H + B) / V_o \dots \dots \dots (17)$$

となり、実験値を代入して T を求めると、

$$T = \alpha' V'_a{}^{-0.385} \dots \dots \dots (18)$$

なる関係がみられ、Kingの示したデータでもかなりよく似た傾向がみられた。ここで、 α' ：定数、 B ：そう巾以上は散気気泡の分散度と旋回流流速分布に関する定性的な検討の一部である。さらに定量的な検討を加えるため上記模型そうを用いて、ばつ気そうの酸素収支を実験的に検討した。その結果は図-2に示す。データに最小自乗法を適用し、次式のような関

係をえた。

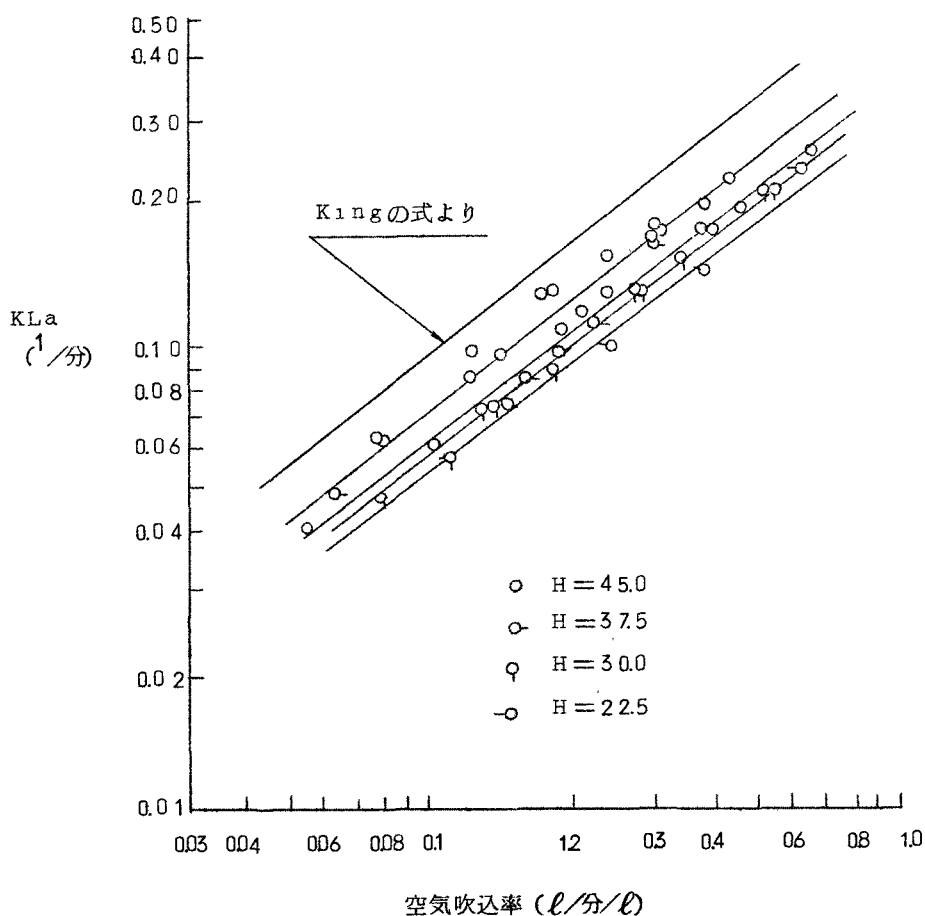
$$(KLa)_{20} = 5.11 \times 10^{-3} (H + 35.7) V_a^{0.769} \dots \dots \dots (19)$$

ここで $(KLa)_{20}$: 水温 20℃ における総括容量係数、

図 - 2

総括容量係数 (KLa) - 空気速度図

(パラメーターは水深: H)



式(19)にみられる空気吹込率の影響は空気吹込率の 0.769 乗に比例して

いる。これは King や Eckenfelder、合葉⁵⁾ がそれぞれ 0.6 ~ 0.78、0.8、0.68 ~ 0.82 と示した値とかなりよい一致を示している。また図-2 に King の式から得られる直線を示したが、これは式(12)を式(4)に代入した次式を描いたものであり、結果的には著者の実験値より約 2.6% 高い値を示している。

$$r = 0.1Q \quad A = 0.0630 \cdot 10^{2\beta_2} \cdot H^{0.75-\beta_2} \cdot V_a^{\beta_2-0.128} \cdot U^Y \cdot (1.024)^T \quad \dots\dots\dots (20)$$

ここで、 $\beta_2 = 0.90H^{-0.04}$

3 既存式および総括容量係数からみたスケール効果

前節では酸素供給率に関し既存式ならびに実験式に対する考察を行なったが、本節においては、これらを用いて実験そうにおいてある空気吹込率で得られる酸素供給能 (ppm/hr) と同一の能力を実際そうにおいて求めるにはどの程度の空気量を要するかを検討する。

1) King の式よりみたスケール効果

式(3)、(4)で与えられる酸素供給率はその適用範囲が水深 1 ft から 25 ft までであり、実験そう規模から実際そう規模のそうまで適用し得る。したがって、まずこの式にみられるスケール効果を検討する。いま添字 m は実験そうを、また P は実際そう規模のものを表示するとする。さらに両そう間には幾何学的な相似が成立しており、代表長さの比を η ($\eta \geq 1$) とする。ここでは式(4)を検討の対象とした。いま m そうと P そうとの間に酸素供給能を同一とすると、式(4)において $A_m = A_p$ のもとに変形することになる。

$$(A_p/A_m) = (H_p/H_m)^{0.75} (d_m/d_p)^{0.70} (R_p^{N_p}/R_m^{N_m}) \\ (U_p^Y/U_m^Y) = 1 \quad \dots\dots\dots (21)$$

となる。ここで気泡径に関する式(12)が成立するとすれば、

$$(d_m/d_p)^{0.70} = (V_{am}/V_{ap})^{0.128} = \eta^{0.128} (V_{am}'/V_{ap}')^{0.128} \quad \dots\dots\dots (22)$$

となる。式23を式21に代入し、 R を V_a に変換すると、

$$(dm/dp)^{0.70} (R_p/R_N)^{N_p-N_m} = 10^{3N_p-3N_m} \cdot (H_m/H_p)^{0.75} (Y_m/Y_p) \quad (23)$$

したがって

$$(V_{ap}^{N_p-0.128}/V_{ap}^{N_m-0.128}) = 10^{3(N_p-N_m)} \cdot \eta^{0.75} (Y_m/Y_p) \quad (24)$$

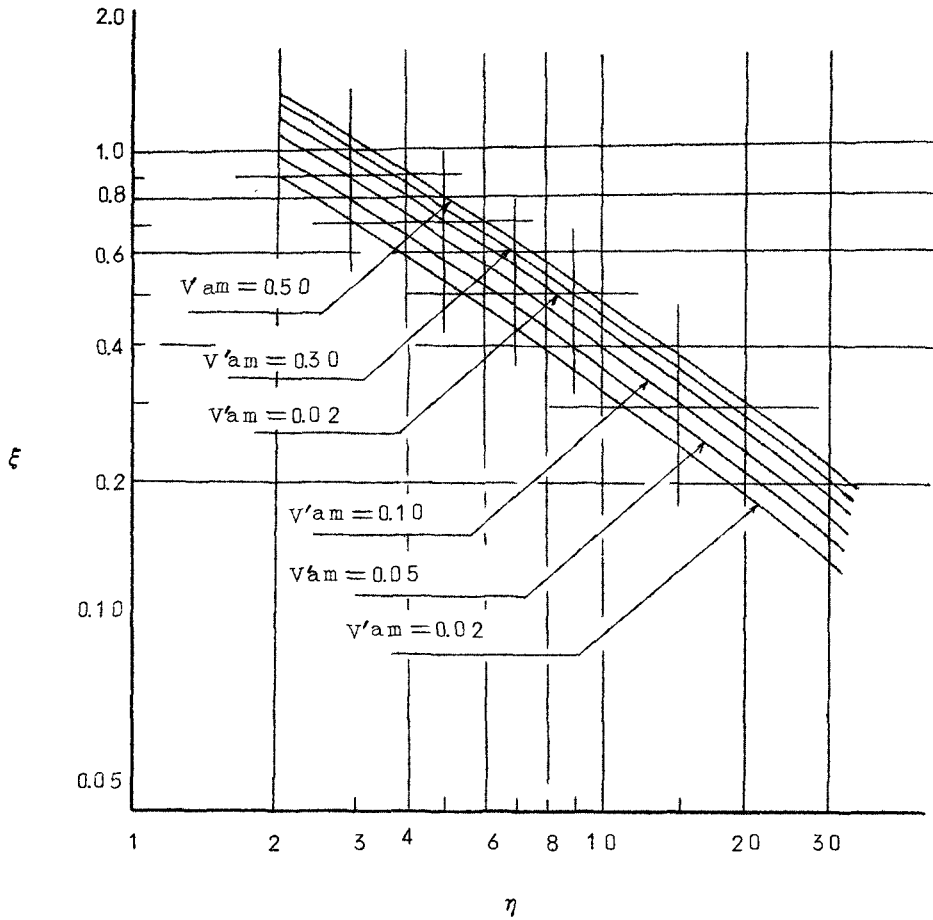
本式において m そう、 p さんの温度は等しいと仮定すると、 $U_m = U_p = U$ となる。また $N = 0.90 H^{-0.04}$ については、ほぼ3%の誤差内で、水深が0.6~3 ft. では $N_m = 0.888$ 、8~30 ft. では $N_p = 0.808$ と近似できる。これらを式24に代入し、さらに $Y = H^{-0.1}$ における H を cm 単位とすれば、

$$\xi = (V_{ap}/V_{am}) = 2.252 \eta^{-0.915} \times U^{2.08} (H_m^{0.1} - H_p^{0.1}) \times V_{am}^{0.08} \quad (25)$$

式25より、水深ならびに V_{am} をパラメータとして ξ と η との関係を求めることができる。模型そう水深 $H_m = 4.5 cm$ 、 $V_{am} = 0.02 \sim 0.5$ の間の ξ と η との関係を試算法で求めて図示すると図-3のようになる。この図より $\eta = 10$ 、したがって、体積が 10^3 倍になったときには $V_{am} = 0.1$ 前後で $\xi \approx 0.4$ 程度となり、単位水塊あたりの空気量は実際そうでは、 $V_{ap} = \xi \cdot V_{am} \approx 0.04$ となり、この空気量で実験そうで得られたと同じ酸素吸収量が得られることを示している。

図 - 3

$\xi - \eta$ 関係図 ($H_m = 450\text{cm}$)



2) 総括容量係数⁴⁾からの推定

総括容量係数は気泡による部分と大気からの部分に分割して考察すると、

$$KLa = KLbAb/V + KLSAs/V \dots\dots\dots 24$$

となる。ここで、 KLb : 気泡に関する伝達係数、 KLS : 大気からの伝達係数、 Ab 、 As : 気泡と大気との接触面積。

酸素供給能については、次のように考える。

$$A(\text{ppm}/\text{min}) = KLa \cdot U = (KLbAb + KLSAs)U/V \dots\dots\dots 27$$

いま m そう、p そうの酸素供給能について、 $A_m = A_p$ なる条件のもとで式(27)を変形すると次式がえられる。

$$\frac{(K L b A b + K L s A s)_p}{(K L s A b + K L s A s)_m} = \left(\frac{U_m}{U_p}\right) \left(\frac{V_p}{V_m}\right) \dots\dots\dots (28)$$

ここで p そうと m そうとにおいて $K L s$ は変化ないと仮定し、また $K L b$ については、 $K L b = C \cdot H^{-\delta}$ と仮定すると、

$$(K L b)_p / (K L b)_m = (H_p / H_m)^{-\delta}$$

となり、さらに $\alpha = (K L s A s / K L b A b)_m$ とすれば、式(28)は変形され、次式のようになる。

$$\frac{1}{1 + \alpha} \cdot \left\{ \left(\frac{H_p}{H_m}\right) \left(\frac{A b p}{A b m}\right) + \alpha \left(\frac{A s p}{A s m}\right) \right\} = \left(\frac{U_m}{U_p}\right) \left(\frac{V_p}{V_m}\right) \dots\dots\dots (29)$$

(H_p / H_m) 、 (V_p / V_m) はそうの大きさより定まるものであるが、 $(A b p / A b m)$ 、 $(A s p / A s m)$ は空気吹込率に関連して定めねばならない。この際、m そう、p そうは幾何学的に相似であるが、それぞれの気泡ホールドアップの傾向はかわらないものと仮定する。 $(A b p / A b m)$ は気泡のホールドアップから定める。式(15)を利用すると、 $A b = s \cdot \phi \cdot V$ と表わされることより、

$$(A b p / A b m) = (V \cdot s \cdot \phi)_p / (V \cdot s \cdot \phi)_m = (V_p / V_m)$$

$$(V_{a p} / V_{a m})^{0.581} = \eta^{3.581} \cdot (V'_{a p} / V'_{a m})^{0.581} \dots\dots\dots (30)$$

と表示される。一方 $(A s p / A s m)$ については旋回流に関する考察の際に用いた循環時間 T より両そうにおける流速を推定し、King の利用した流速と酸素供給率に関する関係式を利用して求める。 T は式(17)より求められ、式(18)の関係が得られている。いま α' をそうの大きさにより定まる定数と考え、 T_p と T_m との比を求めると次の関係式を得る。

$$\frac{T_p}{T_m} = \left(\frac{\alpha_p}{\alpha_m}\right) \cdot \left(\frac{V_{a p}}{V_{a m}}\right)^{-0.385} \cdot \frac{(B+H)_p \cdot V_{o m}}{(B+H)_m \cdot (V_{o p})} \dots\dots\dots (31)$$

これより外部旋回流流速の比 $(V_{o p} / V_{o m})$ は

$$(V_{o p} / V_{o m}) = (\alpha'_m / \alpha'_p) \cdot \eta \cdot (V'_{a p} / V'_{a m})^{0.385} = K \cdot \eta \cdot (V'_{a p} / V'_{a m})^{0.385}$$

$$\dots\dots\dots (32)$$

となる。ここで、 $K = (\alpha'_m / \alpha'_p)$ 。大気からの酸素供給能については、King が用いた単位面積あたりの供給能は水表面流速の 1.75 乗に比例するとする考え方を利用するが、表面流速と外部旋回流速との間には空気吹込率に対し 1 対 1 の対応関係が存在しているとする。接触面積比は

$$\begin{aligned} (A_{sp}/A_{sm}) &= (V_{op}/V_{om})^{1.75} (a_p/a_m) = K^{1.75} \cdot \eta^{3.75} \\ &= (\dot{V}_a/\dot{V}_m)^{0.684} \dots \dots \dots (33) \end{aligned}$$

となる。ここで、 a : その表面積。

以上式 30、33 で示される各々の接触面積比を式 29 に代入し、変形すると次のようになる。

$$\eta^{3.581-\delta} \left(\frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_m} \right)^{0.581} + \alpha \eta^{3.75} \left(\frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_m} \right)^{0.684} = (1+\alpha) \left(\frac{U_m}{U_p} \right) \eta^3 \dots \dots \dots (34)$$

酸素不足量 は水深の 1/2 に相当する補正を施すと、ある温度の酸素不足量を U_0 とすれば、 $U = U_0 (1 + H/2068)$ となる。また空気吹込率の比を ξ と表わし、整理すると、

$$\begin{aligned} \xi^{0.581+\alpha\eta} \delta + 0.169 \cdot K^{1.75} \cdot \xi^{0.684} &= (1+\alpha) \eta^{\delta-0.581} \\ &\left(\frac{2068+H_m}{2068+H_p} \right) \dots \dots \dots (35) \end{aligned}$$

となる。いま δ の値に関して、Ippen⁶⁾ の示した結果を利用して、その大いさを推定すると空気利用の場合には $\delta = 0.357$ となり、これを上式に代入すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} \xi^{0.581+\alpha\eta} \eta^{0.526} \cdot K^{1.75} \xi^{0.684} &= (1+\alpha) \eta^{-0.224} \\ &\left(\frac{2068+H_m}{2068+H_p} \right) \dots \dots \dots (36) \end{aligned}$$

ここで、 K と α とを与えることにより ξ と η との関係を試算法によって求めることができる。ところで、 K の値は旋回流流速により定まるものであるが、既存その水流に関する実験値は多くみられず、算定は困難である。しかし、いまかりに King や Eckenfelder が水深 15 ft. のそうで示した値から α'_p を推定し、一方 α'_m は著者が行なった実験その流動 ($H_m = 45cm$)

より求めると、その比は

$$K = (\alpha'_m / \alpha'_p) = (312 / 620) = 0.503$$

となる。したがって水深比が10倍前後では、このK値に近い値が示され
ると考えられ、式(54)に代入すると、

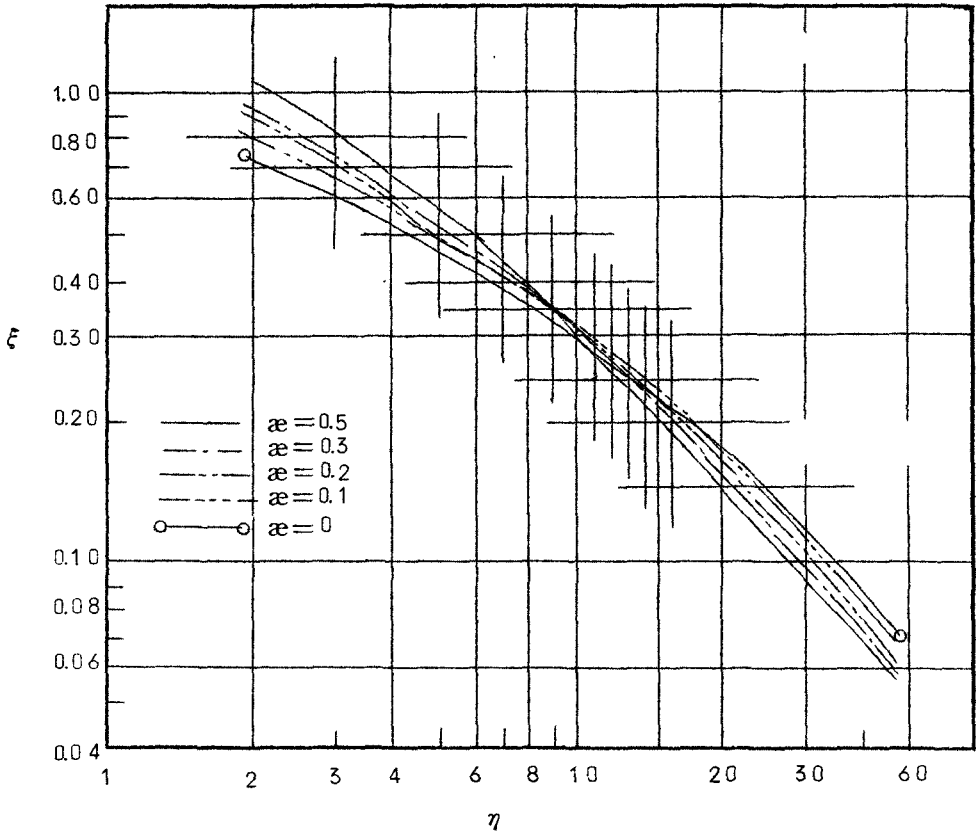
$$\xi^{0.581} + 0.302 \alpha \eta^{0.526} \cdot \xi^{0.684} = (1 + \alpha) \left(\frac{2068 + H_m}{2068 + H_p} \right) \eta^{-0.224} \quad (57)$$

この式より、 $H_m = 4.5 \text{ cm}$ に対して ξ と η との関係を求め図示したものが
図-4である。図より $\eta = 10$ 前後、つまり水深が実際そうで4.50 m 前
後のそうでは α の変化で大きな相違はなく、 $\xi = 0.28 \sim 0.34$ を示して
いる。これは空気吹込率が実験そうに比し実際そうでは3割程度でよいこ
とを示している。図-4と図-3とを比較すると、 $\eta = 10$ 前後において
 ξ で0.1～0.2の相違がみられ、図-4の方が少ない空気量ですむことを
示している。

図 - 4

$\xi - \eta$ 関係図

($H_m = 45.0$)



ところで各地の処理場で利用されている実際のばつ気そうにおける空気量は流入下水量の何倍あるいは除去BODあたりの空気量と云った値をもとに考えられている。これらの値を検討するため上記スケール効果を利用し既設ばつ気そうの推定酸素量 (K_g) を求め、除去BOD (K_g) に対する検討を行なう。

表 - 1^{8), 9)}に各地の処理場操作条件を示す。空気倍率は1.95 ~ 10.13まで変化しており、それぞれの処理場規模は不統一であるが、水深につ

いては、4.00～4.80 (m) とかなり近い。かりに $\eta = (H_p/H_m)$ とすれば、 $\eta = 8.89 \sim 1.067$ となり、これに相当する図-4の範囲では $\xi = 0.28 \sim 0.34$ と与えられる。表-1における既存そのの空気吹込率は京都鳥羽、Conventional法の0.0592から岐阜市、Step法の0.024にまでわたっている。いま $\eta = (H_p/H_m)$ を用いて ξ を求め、実験そのの空気吹込率を求め、式(19)より $(KLa)_{20}$ を定めて酸素供給量を求めると⑪欄に示す値が得られる。しかし、求めた V'_{am} が著者の実験範囲外の値を示すものもあるが、一応式(19)で推定を行なった。この値は水に対するもので、下水に対しては補正係数を掛ける必要がある。ここでEck-enfelderの示した $C = 0.8$ を用いて計算すると⑪欄カッコ内数字が得られる。これらの数字よりみると、880～272 (ppm/hr) の酸素が下水中に供給されることが知られ、橋本⁷⁾が実際そのの例として示した空気吹込率 $V'_{ap} = 0.0212$ 、 0.0121 では178、10.5 (ppm/hr) であると云う値とかなりよく一致している。また除去BOD量を⑫欄に示し、推定総酸素供給量を⑬欄に示す。これらの比を⑭欄に示すが、その値はConventional法、Modified法とはほぼ同じ値を示し、Step法ではわずかに高い。⑨欄と⑭欄とはその性格上かなり類似の傾向を示している。⑦欄と⑭欄と比較すると、京都鳥羽の値が目される。⑦欄ではかなり小さいが⑭欄ではそれほど大差ない。したがって、空気量を検討する際には空気倍率を操作因子とするだけでなく、⑨欄や⑭欄の因子により検討を加える必要があろう。

4 結 論

本研究においては、ばっ気そうにおける酸素吸収について既存式と総括容量係数を中心にして、物理的な意味でのスケール効果を考察した。その結果

① King の式よりみたスケール効果は、実際そう空気吹込率と実験そうのそれとの比 ξ と代表長さの比 η とに対して求め、実験そう水深 $H_m = 4.5 \text{ cm}$ に対しては式(9)ないし図-3 となり、 $\eta = 1.0$ で $\xi = 0.35 \sim 0.5$ と示した。

② 総括容量係数よりみたスケール効果を、大気と気泡とからの供給率の比 $\alpha = (K L_s A_s / K L_b A_b)_m$ をパラメーターとして、 $H_m = 4.5 \text{ cm}$ に対し図-4、式(8)のように示し、 $\eta = 1.0$ 前後で $\xi = 0.28 \sim 0.34$ と示した。

この結果、King の式より算定したものより少量の空気量でよいことを示した。ところで既存そうにおける酸素総括容量係数、あるいは酸素供給能に関するデータは稀少であり、今回のスケール効果についても最終的な実験検証は不可能であったが、実際そうのデータに対し、かなり近い値を推定し得ることを示した。また単に空気倍率を空気量に関する設計因子あるいは操作因子とするだけでなく、除去 BOD あたりの空気量や供給酸素量を基準とするのが有意と考えられる。

以上単に物理的な酸素吸収面のみからのスケール効果を考察したが、ばっ気そうのスケール効果に関しては緒論で述べたように各種の因子について考察する必要がある、今後の大きな研究テーマと考えられる。

参 考 文 献

1. 水理公式集 土木学会編 昭和38年増補改訂版
2. King, H.R. "Mechanics of Oxygen Transfer in Spiral Flow

Aeration Tank"

(I) Derivation of Formula

S. and I.W. Vol 27, No. 8, 1955

(II) Experimental Work

S. and I.W. Vol 27, No. 9, 1955

(III) Application of Formula

S. and I.W. Vol 27, No. 10, 1955

3 Eckenfelder, W. W.

"Measurement of Oxygen Transfer Efficiency"

S. and I.W. Vol 24, No. 10, 1952

"Absorption of Oxygen from Air Bubble in Water"

Proceedings. A.S.C.E. 91 (July, 1959)

"Factors Affecting the Aeration Efficiency of Sewage
and Industrial Wastes"

S. and I.W. Vol 31, No. 1, (1959)

Biological Waste Treatment Pergamon Press Co. (1961)

4 宗 宮 功

"エアレーションタンクの流動と酸素収支機構の研究"

京都大学修士論文 (1964)

5 台 葉 修 一, 他

"Oxygen Transfer in the Biological Treatment of
Sewage" Air and Water Pollution, Vol 5 (1963)

6 Ippen, A. T and Carver, C. E.

"Basic Factors of Oxygen Transfer in Aeration Systems"

S. and I.W. Vol 26, No. 7 (1954)

7 橋 本 奨, 他

“下水並びに活性汚泥試験法の 2、3 の検討Ⅳ”

(下水処理場における実際ばつ気槽の旋回流速と総括酸素移動容量係数の測定”水道協会誌 16336, (1962)

“下水処理における散気式ばつ気槽の旋回流とばつ気効率の問題”

第 9 回 シンポジウム、生物化学工学の諸問題予稿集 P44~49 (1961)

8. 大 橋 文 雄

“都市下水処理に関する二、三の技術的問題”

京都大学博士論文 (1961)

9. 下水水質試験年報 第 7 集 京都市水道局 (1962)

① 処理方式	② 季別	③ 流量	④ ばい気量	⑤ 巾×水深	⑥ 空気量	⑦ 空気倍率	⑧ ばい気時	⑨ 空気量	⑩ 空気速度	⑪ 推定酸素供給能	⑫ 除去BOD量	⑬ 総酸素	⑭ ⑬
処理場名		(m^3 /日)	容量(m^3)	(m) × (m)	(m^3 /日)	(倍)	間(hr)	除去BOD(kg /日)	(m^3 /分/ m^2)	(PPm/m) (C=0.8)	(kg /日)	供給量(kg /日)	⑫
Conventional ASP 岐阜市	春	34026	10000	640×4.00	118000	3.4	5.4	27.1	0.0082	15.5 (12.4)	4340	3700	0.857
	夏	46243	〃	〃	〃	2.5	4.6	21.8	〃	〃 (〃)	5852	3700	0.635
	秋	41176	〃	〃	〃	2.8	4.4	24.7	〃	〃 (〃)	6000	3700	0.621
	冬	33570	〃	〃	167000	4.9	5.5	25.6	0.0116	20.2 (16.2)	6500	4850	0.746
	春	47200	12400	212×4.80	245000	5.2	5.18	33.6	0.0137	24.0 (19.2)	6400	7145	1.116
	夏	50500	〃	〃	232000	4.6	4.83	32.3	0.0130	23.0 (18.4)	7320	6840	0.935
	秋	52900	〃	〃	182000	3.45	4.48	22.3	0.0102	19.1 (15.3)	4405	5685	1.418
	冬	60500	〃	〃	220000	4.35	4.78	22.5	0.0123	22.1 (17.7)	5470	6570	1.210
	春	74460	22700	4.50×4.25	200601	2.12	5.78	24.6	0.00613	11.5 (9.20)	8150	6260	0.769
	夏	79709	〃	〃	193700	1.97	5.58	20.1	0.00592	11.0 (8.80)	9650	6000	0.622
	秋	83769	〃	〃	199303	1.95	5.34	20.0	0.00610	11.3 (9.05)	9940	6160	0.620
	冬	82603	〃	〃	205084	2.06	5.45	28.5	0.00627	11.6 (9.24)	7200	6340	0.875
Step ASP 岐阜市 神戸市中部 東京都芝浦	春	40400	9500	3.00×4.00	244800	6.05	4.34	49.1	0.0179	26.7 (21.4)	5050	6080	1.203
	夏	55450	〃	〃	〃	4.35	3.16	38.2	0.0179	〃 (21.4)	6540	6080	0.930
	秋	49000	〃	〃	〃	4.95	3.58	33.3	0.0179	〃 (21.4)	7500	6080	0.811
	冬	40250	〃	〃	328300	8.15	4.36	51.7	0.0240	34.0 (27.2)	7530	7750	1.030
	春	8980	5675	7.00×4.50	91150	9.47	8.38	109.9	0.0112	19.5 (15.6)	818	2060	3.250
	夏	10316	4040	〃	89600	8.55	6.83	164.2	0.0154	24.9 (20.0)	720	2415	3.360
	秋	11600	6790	〃	103502	8.62	9.02	107.0	0.0106	18.7 (15.0)	965	3045	3.160
	冬	10600	7000	〃	107000	10.13	10.39	79.0	0.0106	18.7 (15.0)	835	3140	3.760
	春	239000	48000	6.70×4.10	844000	3.4	3.80	26.4	0.0120	20.2 (16.2)	31000	23250	0.750
	夏	241000	〃	〃	860000	3.6	4.21	40.4	0.0124	20.8 (16.6)	21850	23950	1.094
	秋	236000	〃	〃	837000	3.6	4.08	40.2	0.0121	20.4 (16.3)	21100	24300	1.150
	冬	225000	〃	〃	827000	3.7	4.47	34.2	0.0120	20.2 (16.2)	24300	23200	0.958
Modified ASP 大阪市津守	春	185000	20025	5.00×4.70	518000	2.8	2.39	42.2	0.0180	27.6 (22.1)	21500	13290	0.618
	夏	179000	〃	〃	489000	2.73	2.35	48.0	0.0170	26.6 (21.3)	25400	12800	0.505
	秋	176000	〃	〃	466000	2.65	2.37	23.0	0.0160	25.6 (20.5)	13870	12310	0.887
	冬	181500	〃	〃	472000	2.60	2.29	27.0	0.0164	25.7 (20.6)	21700	12370	0.570