

II - 5 段落流の曝気に関する研究

東京教育大学農学部 正員 内藤 利貞
同 上 正員 ○中曾根英雄
同 上 細野 正夫

I まえがき

段落流を有するような堰や落差工についての曝気効果に関する研究はGAMESON 1), 2)や湯浅3) により二 三行なわれている。その中で、堰の曝気に大きく影響する因子として、ナップの落下高を考へ、GAMESONは(1)式、湯浅3)は(2)式を提案した。

$$Y_T = 1 + 0.112ab(1 + 0.046T)h \dots\dots (1)$$

$$r = \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2}$$

Y_T : T度におけるdeficit ratio C_1, C_2 : 堰上 下の溶存酸素量 (ppm)

C_s : 飽和溶存酸素量 (ppm) a : 水質による係数 b : 堰の形による係数

T : 温度 °C h : 落下高 (フィート)

1) A. L. H. GAMESON "WEIRS AND THE AERATION OF RIVERS"
J. Instn Wat, Engrs Vol. 11 PP. 477 1957

$$R = 10^{-CH} \dots\dots (2)$$

$$R = \frac{C_s - C_2}{C_s - C_1}$$

H : 落下高 (m)

C : 堰の曝気係数

2) M. J. BARRETT, A. L. H. GAMESON, and C. G. OGDEN "AERATION STUDIES AT FOUR WEIR SYSTEMS" W&W Engr PP. 407 1960

しかし、これらの式には堰のような曝気に関係すると思われる、流量、水深を含んでいない。そこで、筆者は堰のような落下水による曝気は、運行される気泡によるものが主体をなすと考え、気泡曝気に使用されている関係式に若干の仮定を導入し、堰の曝気効果を表す式を考へてみた。

II 理論

気体から液体への物質移動(3)式によつて表わされる。

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \dots\dots (3)$$

C_s : 飽和溶存酸素量 (ppm) C : 液体中の溶存酸素量 (ppm)

$K_L a$: 総括酸素移動容量係数 (1/hr)

堰上の溶存酸素濃度を C_1 、流体が落下してから t 時間後の溶存酸素濃度を C として(3)式を積分すると(4)式になる。

$$K_L a = \ln \left(\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right) \cdot \frac{1}{t} \dots\dots (4)$$

流量を Q 、溶存酸素が C_1 から C_2 に変化する間の流体の体積を V とすれば、(4)式は(5)式になる。

$$K_L a = \frac{Q}{V} \ln \left(\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right) \dots\dots (5)$$

Eckentelder 4)によれば、気泡曝気による総括酸素移動容量係数は(6)式で表わされる。

$$K_L a = \frac{\beta_1 \cdot G_s^{(1-m)} \cdot H^{(1-m)}}{V \cdot S_c^{0.5}} \dots\dots (6)$$

3) 柏谷、村上、湯浅 "堰による曝気について"
第27回年次学術講演会 概説集 II-203

V : 流体の体積 Sc : シュミットナンバー β_1 : 常数 G_s : ガス量 H : 水深

段落流による空気運行情は岩崎・千秋⁵⁾が述べているように、ナップの厚さと突入流速に関係すると考えられるので、(7)式のように仮定する。

$$G_s \sim d_o^x \cdot v_o^y \quad \dots\dots (7)$$

d_o : ナップの厚さ

v_o : ナップの突入流速

Fig. 1 に示されるように、ナップの突入流速は落下地点で流体が持つ全エネルギーに対応して得られる。全エネルギーを E とすれば(8)式のように表わされる。

$$E = D + \frac{v_c^2}{2g} + H_c \quad \dots\dots (8)$$

D : ナップの落下高 v_c : 限界流速 H_c : 限界水深

$$v_c = \sqrt{g H_c} \quad \text{であるから}$$

$$E = D + \frac{g H_c}{2g} + H_c = D + 1.5 H_c$$

$$\therefore v_o = \sqrt{2g(D + 1.5 H_c)} \quad \dots\dots (9)$$

$$\text{又 } d_o = \frac{Q}{v_o B} \quad \dots\dots (10)$$

B : 水路幅

したがって、(9), (10)式の関係を用いて(7)式に代入すると(11)式のような関係になる。

$$G_s = \beta_2 \{2g(D + 1.5 H_c)\}^{0.5(x-y)} \cdot \left(\frac{Q}{B}\right)^y \quad \dots\dots (11)$$

(11)式の関係を用いて(6)式に代入すれば(12)式になる。

$$K_L a V = \frac{\beta_1 \beta_2^{(1-m)}}{Sc^{0.5}} \{2g(D + 1.5 H_c)\}^{0.5(x-y)(1-m)} \cdot \left(\frac{Q}{B}\right)^{y(1-m)} \cdot H^{1-m} \quad \dots\dots (12)$$

(12)式において、 $C = \frac{\beta_1 \beta_2^{(1-m)}}{Sc^{0.5}} (2g)^{0.5(x-y)(1-m)} \dots$ を常数とし、 $B = 1$, $\alpha = 0.5(x-y)(1-m)$, $\beta = y(1-m)$, $\gamma = 1-m$ とおけば、埋の曝気効果を表わす一般式は(13)式のようになる。

$$K_L a V = C (D + 1.5 H_c)^\alpha \cdot \beta \cdot H^\gamma \quad \dots\dots (13)$$

$$K_L a V (\text{m}^3/\text{hr} \cdot \text{m}) \quad D, H, H_c (\text{m}) \quad \beta (\text{m}^3/\text{hr} \cdot \text{m})$$

さらに(5)式と(13)式より(14)式が求められる。

$$\ln \left(\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right) = C (D + 1.5 H_c)^\alpha \cdot \beta^{-1} \cdot H^\gamma \quad \dots\dots (14)$$

(14)式のそれぞれの指数は実験により次のようにして求める。まず $C \cdot \beta^{-1} \cdot H^\gamma = a$ とし、 $\ln \left(\frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \right)$ と $(D + 1.5 H_c)$ の値を両対数紙にプロットすれば、直線の傾きより α の値が切片より a の値が求まる。さらに、 $C \cdot \beta^{-1} = b$ とし、 a と H の値を両対数紙に、また、 b と β の値を両対数紙にプロットすれば、 β^{-1} , γ , C の値を求めることができる。

III 実験および実験方法

実験装置は Fig. 2 に示すようなものである。Fig. 2 に示されているように、水路の幅は落口が 15cm、下流側

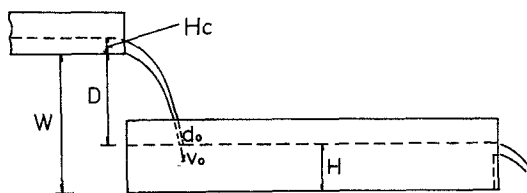


FIG. 1

- 4) W. WESLEY ECKENFELDER
"FACTORS AFFECTING THE AERATION EFFICIENCY OF SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES"
SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTES
PP 60 1959

5) 岩崎・千秋「静水中に落下する水流の実験」土木学会誌 PP 1 VOL 38 NO 8 昭和28年

6) Walter L. Moore
"ENERGY LOSS AT FREEOVER-FALL"
A.S.C.E Trans PP 1343 ~ 1364 1943

は20cmである。下流側の水路はウインチによって落下高が10~110cmまで上下させることが出来る。流量の変化は2.5, 5, 7.5, 10 L/sと4種類について行なった。下流側の水深は8.6cm~43.6cmまで5cmおきに变化させた。

脱酸素材として亜硫酸ソーダを使用し、その酸

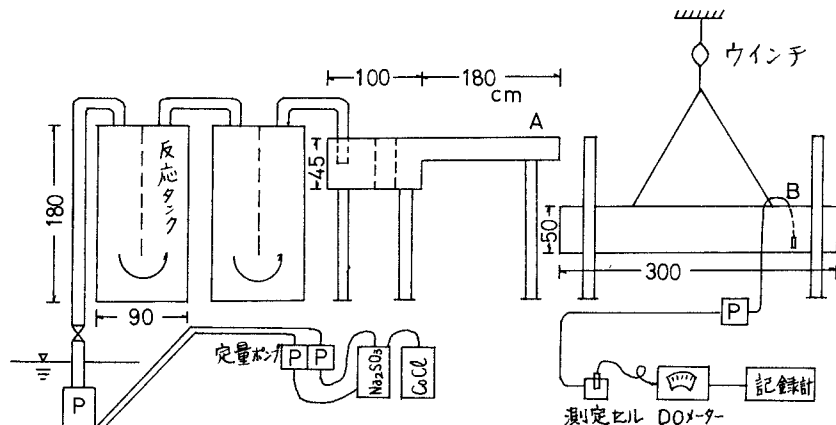


FIG. 2

媒として塩化コバルトを用いた。脱酸素材はFig. 2に示されるように定量ポンプにより水中ポンプの吸入口へ投入し、落下点まで少なくとも三分以上の反応時間があるように2個の反応槽を設けた。

溶存酸素の測定は東芝ベックマン Field Lab溶存酸素計で行なった。測定方法は、Fig. 2に示されるA・B点よりポンプで吸引し、測定セルまで送り、そこで測定した。この測定方法ではポンプにより空気を吸引するのではないかと心配したが、水路がポンプより高い位置にあり、ポンプを止めてもサイフォンで測定セル内に水が供給されるような状態にあったので、ポンプからの空気の混入はなかった。

Ⅳ 実験結果および考察

(D+1.5Hc)と $\ln\left(\frac{C_s-C_1}{C_s-C_2}\right)$ の関係を両対数紙にプロットするとFig. 3のようになる。 $\ln\left(\frac{C_s-C_1}{C_s-C_2}\right)$ の値は温度に影響されるが、温度補正の実験は行なっていないので、便宜的な処置として、次式によって温度補正を行なった。

$$\ln\left(\frac{C_s-C_1}{C_s-C_2}\right)_T = \ln\left(\frac{C_s-C_1}{C_s-C_2}\right)_{20} \theta^{(T-20)} \quad \theta = 1.016$$

Fig. 3は流量が10 L/sのときの結果であるが、他の流量の場合も同様の結果が得られている。そこで他の流量の結果についても最小二乗法によって(13)式の α の値を求めると、表-1のようになった。そして表-1の中で1.420と0.989を除いて平均した値を α とし、 $\alpha = 1.23$ となった。

次に $\alpha = 1.23$ として、それぞれの水深に対する γ を計算し、その結果をFig. 4に示した。流量が2.5 L/sの場合、値がバラつくが、これは流量が小さい場合は (C_2-C_1) の値が小さくなるので、測定誤差が大きく影響しているものと考えられる。それぞれの流量について γ の値を最小二乗法によって求めると表-2のようになる。Q=2.5 L/sのときは実験結果がバラついていっているので γ の値は小さいが、Fig. 4に示されるように、 γ

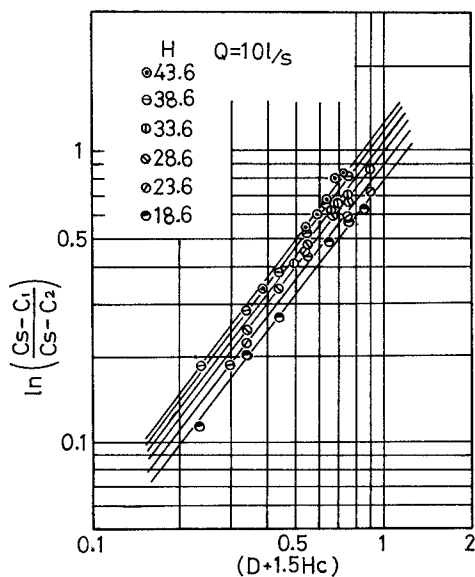


FIG. 3

表-1

Q \ H	13.6	18.6	23.6	28.6	33.6	38.6	43.6
2.5	1.420	1.301	1.314	1.397	1.388	1.278	1.273
5 L/s	1.226	1.204	1.188	1.367	1.347	1.388	1.285
7.5	—	0.988	1.121	1.245	1.231	1.235	—
10	—	1.268	1.232	1.266	1.107	1.390	1.310

表-2

Q	γ
2.5	0.2090
5 L/s	0.3727
7.5	0.5253
10	0.4407

は一定と考えられるので、平均値 0.387 を r とした。

$Y=0.387$ として b と q との関係を両対数紙にプロットすると Fig. 5 のようになる。Fig. 5 の直線より $(\beta-1)=0.63$ $C=0.0581$ となった。したがって $\beta=1.63$ である。

以上の結果より (3) 式は (5) 式のようにになった。

$$KLaV = 0.0581 (U + 1.5 H_c)^{1.23} q^{1.63} H^{0.387} \dots (15)$$

$KLaV$ の V は、現在の所、気泡の到達する範囲の流体の体積に相当するようであるが、この点についてはさらに研究を進める予定である。

Ⅴ 実際の水路との比較

実験室で行なった実験結果が実際の自然現象と合うかどうかは我々にとっては重要である。そこで (5) 式を現場河川に適用し、実測値との比較を行なった。現場では、実験室と異なり石が堆積していたりして室内実験とは状態が異なるが、今回は比較的條件の良い構造物について実測を行なった。現地での測定は比重計を使用した。実測の結果と (5) 式との比較を行なったのが Fig. 6 である。Fig. 6 は図を縮小してあるので、実際の誤差は大きくなる。したがってさらに多くの実測を行なわなければ (5) 式の適用性を論じるわけにはいかないが、一応堰のような殺落流を有する曝気効果を表わす式としては (1) 式のような形式使用できるものと思われる。

今後の課題点としては、実験水路での実験は水深が 14.6 cm ~ 43.6 cm までしか行なわなかったので、下流側の水深がかなり深い場合 (3) 式が使えるかどうか、反対に水深が浅くシェーディング状態になる場合でも (3) 式が適用できるかどうか究明しなければならぬ。また先に述べたように $KLaV$ の V も充分検討しなければならない。

Ⅵ 要約

堰の曝気についての研究は二・三行なわれてきたが、改良すべき点が多い。そこで筆者は、堰の曝気は気泡によるものが主体をなすという観点に立って、気泡曝気を表わす基礎式 (6) に、(1) 式の仮定を導入し、(3) 式を導いた。この仮定の妥当性を確かめるため Fig. 2 のような実験装置を用いて実験を行ない (5) 式を得た。その結果仮定はほぼ正しいとの検証を得た。さらに現場の実測値と (5) 式の計算値との比較を行なった。わずか 4 例だけで判断するのは危険であるが、現場でも (3) 式が成立すると思われる。しかし、この問題についてはさらに検討が必要である。

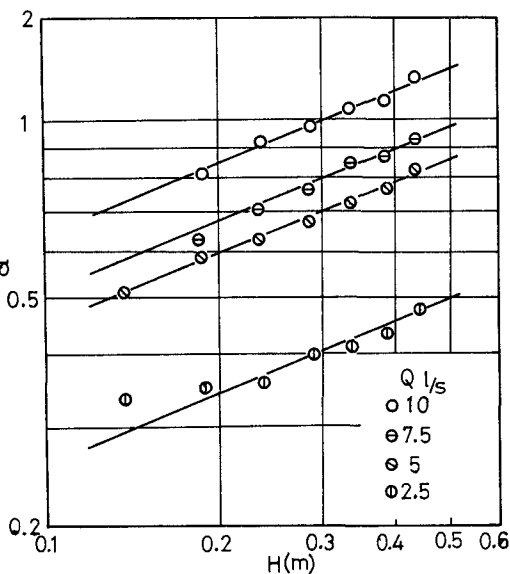


FIG.4

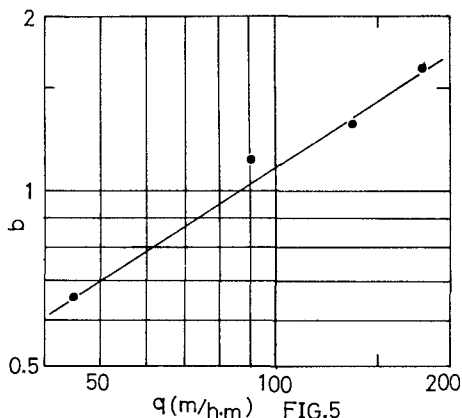


FIG.5

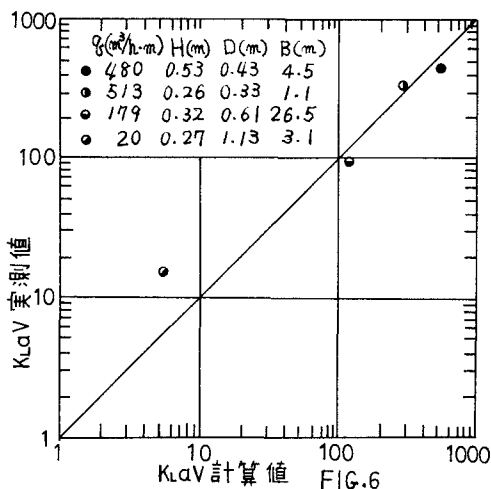


FIG.6