

# 効果的な曝気向上工法に関する実験的検討

## AN EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECTIVE METHOD FOR REAERATION

武村武<sup>1</sup>・有田正光<sup>2</sup>・ハリマト ロズ<sup>3</sup>  
Takeshi TAKEMURA, Masamitsu ARITA and Rouzi Hailimaiti

<sup>1</sup>正会員 博(学) 東京電機大学 助教 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京電機大学 教授 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

<sup>3</sup>学生会員 東京電機大学大学院理工学研究科 建設環境工学専攻 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

Dissolved oxygen in water area is very important for the fishes, benthos or plants. In this study, we proposed the new effective method for reaeration, and the experimental investigations were carried out to evaluate its effectiveness. Large advantage in the new proposed method compared with reference method was observed experimentally. The reaeration coefficient of that became from four to five times compare with reference method. The mechanism of effective reaeration of proposed method is investigated in detail and cleared to be caused by fluctuations of flow axis triggered by Coandă effect.

**Key Words :** reaeration coefficient, falling water, dissolved oxygen, Coandă effect

### 1. はじめに

多量の生活排水が流入する東南アジアの都市河川や、湖沼、養殖池などの貧酸素化の問題がクローズアップされている。このような水域の貧酸素化による水質悪化を防止するために、様々な手法の検討が行われている<sup>1)~10)</sup>。具体的には、河道に設置した越流堰を越える流れによる再曝気効果の検討<sup>1),2)</sup>や、微小気泡による曝気効果の検討<sup>3),4)</sup>、気液界面を極限まで大きくして酸素溶解を促すための検討<sup>6),7)</sup>、気液混合体を邪魔板へ噴射して気液の接触面積を多くして曝気を促そうとする検討<sup>10)</sup>等、があげられる。

本研究は、以上の検討の中で水路中の越流堰や段落部からの落水による曝気（以下では落水工法という）を念頭に置き、その効果を向上させる手法について実験的に検討し、提案するものである。ただし、本研究は落差が得られる水路のみを念頭に置いているのではなく養殖池や自然流下方式の省資源・省エネルギー型の污水处理装置など、広く一般的な応用を目指している。なお、本研究で取り扱った円管を使用する曝気法に関する研究は著者等の知る限り存在しないことを付記する。

実験では、まず円管を利用した落水工法の曝気効果を明らかにするための一連の実験を実施する。その上で、円管に空気孔を設置した曝気工法（以下では空気孔設置工法という）を提案し、その工法の曝気向上効果とメカニズムを明らかにする。

### 2. 実験概要

本研究で用いる実験装置の円管のサイズは現地でこのサイズのまま使用するプロトタイプを念頭に置いている。

#### (1) 実験装置と方法

実験には図-1に示すような縦27cm×横120cm×高さ80cmの亚克力製の水槽を使用した。水槽中に落水させるための水の供給には水槽内に設置した2台の水中ポンプを使用した。水槽の水は水中ポンプに接続された直径25mmの塩化ビニール製の送水管を通して一定の高さまで上昇させた後に合流部を通して、鉛直円管の落水管で水槽中に落下させた。なお、落水管が送水管の管径より小さい場合は漸縮管を、大きい場合は漸拡管を使用して接続した。実験は、管径、流量、落水高（水表面から落水管下端までの高さ）の諸量を任意に設定可能である。なお、流量は送水管に設置した流量計で計測した。

実験開始に当たっては水槽内に亜硫酸ナトリウムを添加して水中の酸素を消費させ、溶存酸素量をゼロ付近まで低下させた。その後、落水を開始すると落水の時間経過  $t$  とともに水槽中の水の曝気が促され溶存酸素濃度  $C_L$  が  $C_L = 0$  から上昇し、最終的に水槽中の水が飽和酸素濃度  $C_s$  に到達して安定する。実験では曝気効果を計測するためのDOメーターと水温計を水槽内の水深25cm、真中から左に30cmの地点（図-1参照）に設置して実験開始から30秒ごとに測定した。同測定位置は落水によって水槽内に形成される空気泡の影響を直接受けない事を

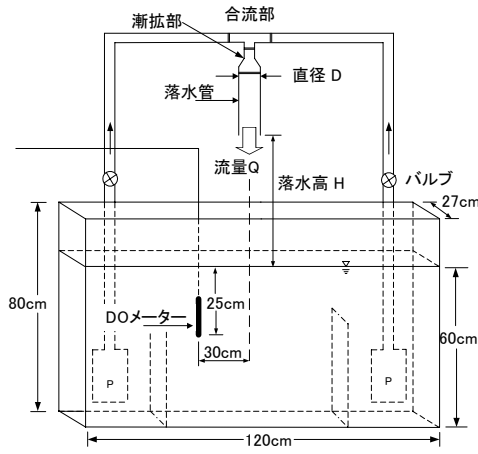


図-1 実験装置

実験中に目視により確認している。なお、本実験では、落水管より落下した水が水槽内の水を局所的に曝気し、その後の移流により測定点を含む水槽内のDO濃度を上昇させることとなる。すなわち、測定点のDO濃度は必ずしも水槽内の平均値を示しているわけではない。しかし、提案する工法の曝気効果が高ければ、測定地点のDO値に反映されることから、簡易的に定点のDOメーターの値を利用して曝気効果を調べることとした。

落水の曝気による水槽中の溶存酸素（DO）濃度の時間変化を次式で表現する。

$$\frac{dC_L}{dt} = K_2(C_S - C_L) \quad (1)$$

ここに、 $C_L$ は水槽中の水の溶存酸素濃度、 $C_S$ は飽和溶存酸素濃度、 $K_2$ は再曝気係数、 $t$ は落水開始後の経過時間である。式(1)は一般的には水表面全域からの曝気を仮定して誘導されるものであり、厳密には提案する工法の曝気メカニズムを再現するものではない。しかし、本工法の平均的曝気効果を表すために使用可能であると考ええる。なお、同様の手法は過去に堰からの落水による曝気の評価に採用されている<sup>1)2)</sup>。

本実験では各種条件における落水による曝気効果の評価のために再曝気係数 $K_2$ を求めて比較検討することとする。 $K_2$ の算出においては、実験により得られる $C_L-t$ 曲線より $C_L$ が安定して上昇することが認められた、 $C_L$ が $C_S$ の10～80%となる領域のデータを使用した。これらのデータを式(1)を積分した次式に代入し、その平均値を求めて $K_2$ の値とした。

$$K_2 = \frac{\log A}{t} \quad (2)$$

ここに、 $A = (C_S - C_L)/(C_S - C_0)$ 、 $C_0$ は計測開始時溶存酸素量であり、一般には $C_0 = 0$ である。

## (2) 落水管の概略と現象を支配するパラメータ

図-2は本実験で使用する円管である落水管を示して

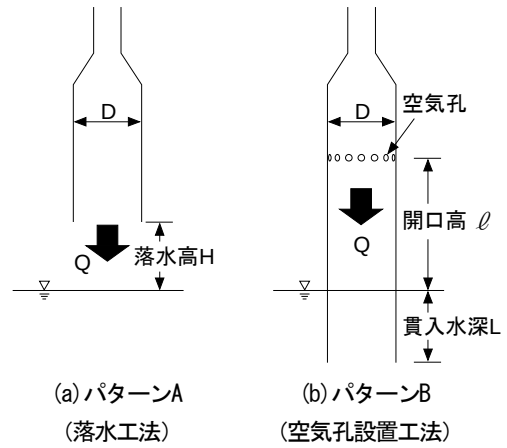


図-2 落水管の概略

いる。同図に示すように本研究では二つのパターンについて実験を実施した。

パターンAは落水工法であり、図-2(a)に示すように、管径 $D$ の落水管の先端から流量 $Q$ を落水高 $H$ で自由落下させる場合である。このパターンAの実験結果は、後述のパターンBの効果を検討するための基準となるものである。一方、パターンBは図-2(b)に示すように、管径 $D$ の落水管の先端から流量 $Q$ を流す点は落水工法と同様であるが、落水管を水中に $L$ の長さだけ挿入した上で、開口高 $l$ の位置に直径 $d$ の空気孔を $n$ 個設置して空気を管内に流入させて再曝気効果の向上を図ろうとするものである。ただし、後述のメカニズムを促進するように落水管の上部に漸拡部を設置している。本報ではこのパターンBの手法を空気孔設置工法と呼ぶこととする。

本研究では、曝気現象を支配する因子として、パターンAについて流量 $Q$ 、落水高 $H$ 、管径 $D$ 、落水管断面積 $A$ を使用して次式の落水管下端で定義される落水全エネルギー $E$ を採用した。

$$E = \rho Q \left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{Q}{A} \right)^2 + gH \right\} \quad (3)$$

ここに、右辺第一項は落水の運動エネルギー、第二項は位置エネルギーである。

一方、パターンBでは開口高 $l$ の空気孔より空気が流入するため、そこでの管内圧力は近似的に大気圧( $p = 0$ )と見なすことが可能である。よって、落水全エネルギー $E$ は式(3)の $H$ を $l$ に置き換えて計算できるものとする( $H = l$ )。

本研究では $E$ を現象を支配するパラメータとして考察する。なお、 $E$ は主要なパラメータであると考えられるものの、厳密には管径 $D$ などの他のパラメータの影響も考慮する必要がある。しかし、本報では提案する空気孔設置工法の効果を明らかにすることを主たる目的としているため、以下では $E$ のみを使用して考察を進める。

### 3. 実験結果および考察

パターンAとパターンBの実験における曝気効果に関する実験結果と考察を示す。

#### (1) パターンA (落水工法) の実験と考察

パターンAの実験条件一覧を表-1に示す。同表に示すように実験では管径 $D$ を20mmと30mmの2種類とし、流量 $Q$ と落水高 $H$ を変化させた。

図-3はcase4( $D=30\text{ mm}$ , 流量 $Q=90\text{ l/min}$ )の実験結果より、全エネルギー $E$ と再曝気係数 $K_2$ の関係を描いたものである。同図より $E$ の増加(落水高 $H$ の増加)に伴い $K_2$ が上昇していることが分かる。同図で落水管が水表面に接している場合( $H=0$ )は、 $K_2 \sim 0$ となっているが、これは落水と大気との接触面積がほぼ0であるために曝気効果が極めて小さいことを意味している( $E$ が小さいので水表面の攪乱も小さい)。また、落水高 $H$ が小さい領域( $H=0, 1\text{ cm}$ )では $E$ に対して $K_2$ が急増していることが分かる。これは同領域では、落水高 $H$ が大きくなると、落水と大気との接触面積が増加して空気の水平連行量が増加するためであると考えられる。なお、このようにして落水中に混入した空気が水中で空気泡となる結果、水中における曝気が生ずる事となる。この時の再曝気係数 $K_2$ の上昇メカニズムをメカニズムIとする(図-4(a)参照)。

一方、 $H$ が大きな領域での $E$ に対する $K_2$ の増加は、メカニズムIの空気連行の他に、落水の水脈の乱れによる空気の混入、重力による落水速度の増大による水表面の攪乱による空気の混入、などが原因となって生ずる。このような $K_2$ の上昇メカニズムをメカニズムIIとする(図-4(b)参照)。ただし、本領域では $E$ に対する $K_2$ の増加が小さいことが認められる。これは、空気連行による曝気効果は $H$ が大きくなると増加の割合が小さくなること、落水への空気抵抗が大きくなること、水槽中で落下する水塊中の空気泡が大きくなりその浮力効果が増大することなどの原因が考えられる。この点に関する検討は学術的に興味のある課題であるが、本研究の目的を達成するためには考察の必要が無く、残された課題とする。

図-5は表-1の実験の全データをプロットしたものである。各実験ケースの $E-K_2$ 曲線の傾向は流量 $Q$ 、管径 $D$ に関わらず図-3と類似であることが分かる。図-5中のデータより、メカニズムIの曝気現象が生じていると考えられる領域、つまり $H=0\text{ cm}$ ,  $1\text{ cm}$ のデータを削除した結果を図-6に示す。同図にはメカニズムIIの曝気現象が生じている領域のデータがプロットされていることになる。図中に示すように、メカニズムIIの領域では $K_2$ は $E$ の増加とともに増加するが、同領域の全てのデータを含む一点鎖線で囲まれる部分の平均的な関係を表す式は次式で与えられる。

表-1 実験条件一覧表 (パターンA)

| case | 流量 $Q$ (l/min)<br>管径 $D$ (mm) | 落水高<br>$H$ (cm) | case | 流量 $Q$ (l/min)<br>管径 $D$ (mm) | 落水高<br>$H$ (cm) |
|------|-------------------------------|-----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| 1-1  | $Q=60$ (l/min)<br>$D=20$ (mm) | 0               | 3-1  | $Q=60$ (l/min)<br>$D=30$ (mm) | 0               |
| 1-2  |                               | 1               | 3-2  |                               | 1               |
| 1-3  |                               | 5               | 3-3  |                               | 5               |
| 1-4  |                               | 10              | 3-4  |                               | 10              |
| 1-5  |                               | 20              | 3-5  |                               | 20              |
| 1-6  |                               | 30              | 3-6  |                               | 30              |
| 1-7  |                               | 50              | 3-7  |                               | 50              |
| 1-8  |                               | 70              | 3-8  |                               | 70              |
| 1-9  |                               | 80              | 3-9  |                               | 80              |
| 2-1  | $Q=90$ (l/min)<br>$D=20$ (mm) | 0               | 4-1  | $Q=90$ (l/min)<br>$D=30$ (mm) | 0               |
| 2-2  |                               | 1               | 4-2  |                               | 1               |
| 2-3  |                               | 5               | 4-3  |                               | 5               |
| 2-4  |                               | 10              | 4-4  |                               | 10              |
| 2-5  |                               | 20              | 4-5  |                               | 20              |
| 2-6  |                               | 30              | 4-6  |                               | 30              |
| 2-7  |                               | 50              | 4-7  |                               | 50              |
| 2-8  |                               | 70              | 4-8  |                               | 70              |
| 2-9  |                               | 80              | 4-9  |                               | 80              |

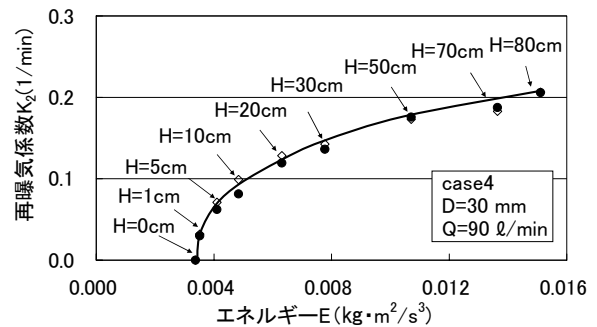


図-3 実験結果 (パターンA ; case4)

$$K_2 = -145E^2 + 21E \quad (4)$$

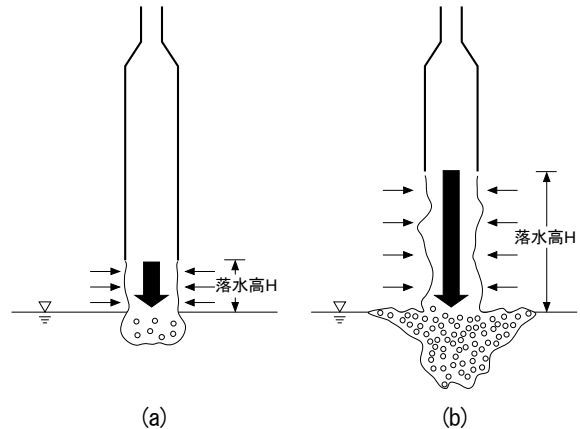


図-4 落水高の違いによる曝気効果の違い

なお、 $K_2$ が急上昇している $H=0\text{ cm}$ ,  $1\text{ cm}$ のデータをメカニズムIの領域として取り扱ったが、本来は実験条件毎にメカニズムIとメカニズムIIの領域区分は変化すると考えられる。しかし、両領域を正確に分割するためには、両メカニズムに関する詳細な追加的検討が必要である。それ故、本研究では工学的な応用を優先し、定性的ではあるが、簡易的な領域区分を行ったものである。

#### (2) パターンB (空気孔設置工法) の実験と考察

本節では本報で提案するパターンB (空気孔設置工

法)の曝気効果についての実験事例を示す。図-7にパターンBに関する実験結果の一例とパターンAの実験結果(図-6の一点鎖線で囲まれる領域を陰影部として示す)を比較して示す。同図に示すパターンBの実験は、流量 $Q=90\ell/\text{min}$ 、管径 $D=50\text{mm}$ (落水管上部に直径25mmから $D=50\text{mm}$ となる漸拡部を設置)、開口高 $\ell=10\text{cm}$ 、空気孔直径 $d=11\text{mm}$ 、空気孔個数 $n=6$ とし、円管の貫入水深 $L$ を変化させて $K_2$ を求めたものである。

図-7より、 $L$ が適当な大きさでは $K_2$ の値がパターンAの実験に比較して4~5倍程度に上昇して曝気効果が著しく向上していることが分かる。なお、図中の陰影部分の●の実験データは、比較の事例として採用したパターンBの実験と同一の $Q$ 、 $D$ を採用した上で、 $H=\ell=10\text{cm}$ としたものであり、両パターンの曝気効果の差を明らかにするためのものである。一方、 $L$ が十分に大きく(ここでは $L=45\text{cm}$ )なると、 $K_2=0$ となることが分かる。これは管内に空気孔から流入した空気が水中に突入した後に管内で再浮上するため、水槽内を効果的に曝気できなくなるためである。以上のように、空気孔設置工法は曝気効果を著しく向上させるものの貫入水深 $L$ の影響を受けることが明らかになった。

空気孔設置工法の曝気向上効果を系統的に調べるために管径 $D=50\text{mm}$ 、開口高 $\ell=10\text{cm}$ を一定とし、流量 $Q$ 、貫入水深 $L$ を変化させて実施した実験条件・結果一覧を表-2に示す。また、同表の実験結果を三次元グラフにして図-8(a)に示す。同図より貫入水深 $L$ を一定とすると再曝気係数 $K_2$ が流量 $Q$ に対してピーク値を持っていることが分かる。これは、 $Q$ が大きい領域では満管状態(管内が全域で水で満たされて流れる状態)で流れるようになるため、空気孔から空気が流入出来ないことが $K_2$ が小さくなる原因である。一方、 $Q$ が小さい領域では $E$ が小さいので、そもそも曝気効果が小さいのみならず、後述の空気孔設置工法における曝気効果向上のメカニズムが機能しないために、 $K_2$ が小さくなると考えられる。また、 $L$ が大きくなると $K_2$ が小さくなることが分かる。これは前述のように空気の管内での再浮上によるものである。従って、 $L$ は落水による水表面の攪乱によって落水部下端が大気中に露出しない範囲で小さいほど曝気効果が高くなると考えられる。

図-8(b), (c)は、表-2の実験条件の中で、 $\ell$ のみを $\ell=30\text{cm}$ 、 $\ell=50\text{cm}$ と大きくした場合の $K_2$ に関する実験結果の三次元グラフを示したものである。同図より、開口高 $\ell$ が大きくなると、全体として $K_2$ が大きくなること、 $K_2$ のピーク値を与える $Q$ が大きくなること、 $K_2$ が大きくなる $Q$ の領域が大きくなること、 $L$ が大きくなっても $K_2$ の減少が小さいなどが分かる。これは $\ell$ が大きくなると、空気孔からの空気の落水管への流入が促されること(後述のメカニズム参照)、落水管での空

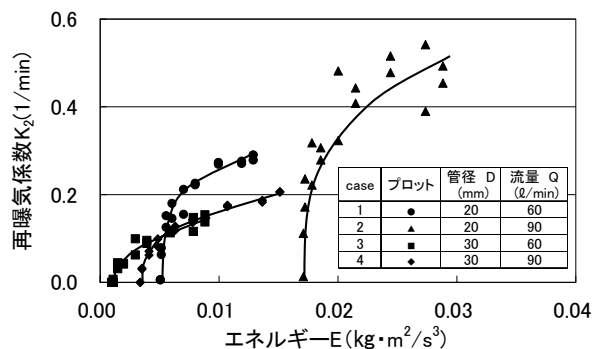


図-5 実験結果 (パターンA; 全case)

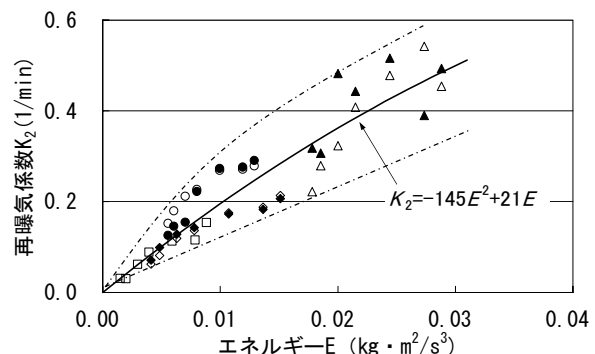


図-6 実験結果 (パターンA; 全case, メカニズムII)

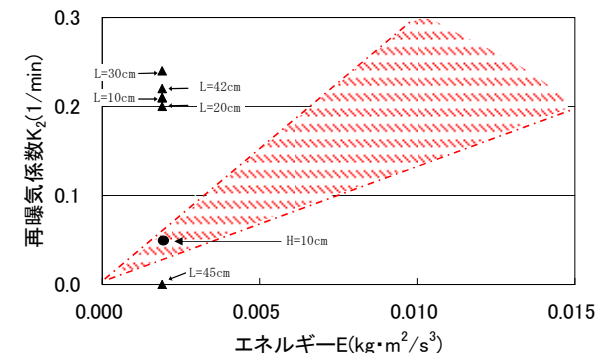


図-7 実験結果 (パターンB;  $D=50\text{mm}$ ,  $\ell=10\text{cm}$ )

表-2 実験条件・結果一覧表  
(パターンB;  $D=50\text{mm}$ ,  $\ell=10\text{cm}$ ,  $n=6$ ,  $d=11\text{mm}$ )

| $Q(\ell/\text{min}) \backslash L(\text{cm})$ | 5    | 10   | 20   | 30   | 42   | 45 |
|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|----|
| 20                                           | 0.07 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0  |
| 30                                           | 0.03 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0    | 0  |
| 50                                           | 0.16 | 0.11 | 0.14 | 0.13 | 0    | 0  |
| 70                                           | 0.21 | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0    | 0  |
| 90                                           | 0.21 | 0.21 | 0.2  | 0.24 | 0.22 | 0  |
| 110                                          | 0.3  | 0.27 | 0.26 | 0.25 | 0.23 | 0  |
| 120                                          | 0    | 0    | 0    | 0.14 | 0    | 0  |
| 130                                          | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0  |

気と水の接触時間が大きくなり、両者の混合が強くなることに主因があると考えられる。なお、 $\ell$ が大きくなると落水の全エネルギー $E$ が大きくなることも原因の一つであることを念頭に置く必要がある。

#### 4. 曝気効果向上のメカニズム

提案するパターンBの曝気効果が向上するメカニズムについて流れの可視化により考察する。

## (1) 可視化による流れの観察

流れの可視化により観察する実験の実験条件一覧を表-3に示す。同表に示すようにすべての実験で流量  $Q = 70 \text{ l/min}$ ，管径  $D = 5 \text{ cm}$ としている。

写真-1は落水高  $H = 10 \text{ cm}$ としたCASE I（パターンA）の流れの可視化写真である。同写真より，落水は穏やかであり曝気効果が弱いことが認められる。なお，管内流れは満管状態となっている。

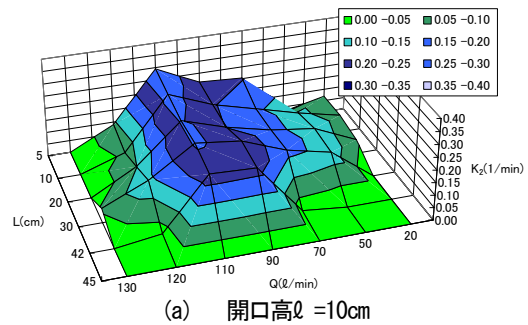
写真-2はCASE II（パターンB）の可視化写真であり，貫入水深  $L = 5 \text{ cm}$ とした上で，開口高  $\ell$ をCASE Iの落水高  $H$ と同一（ $H = \ell = 10 \text{ cm}$ ）としている。このケースの落水全エネルギー  $E$ はCASE Iと同一であるにもかかわらず曝気効果が大きく向上していること，つまり，空気孔設置工法の著しい曝気向上効果が可視化されている。なお，CASE Iでは，実験開始直後に満管状態で流れるようになったのに対し，CASE IIでは30分程度の実験実施中に満管状態の流れとはならなかった。これは，CASE IIでは曝気向上のメカニズムが機能していることを意味している。

写真-3はCASE III（パターンB）の可視化写真であり，開口高  $\ell$ をCASE IIより大きい  $\ell = 55 \text{ cm}$ とし，その他の条件は同一としている。同写真を見ると，写真-2と比較して，より深い位置まで空気塊が侵入していること，また，空気泡を含む水塊の体積が大きくなっており，より高い曝気効果が得られていると推察することが可能である。これは  $\ell$ が大きくなるときの  $E$ の増大の他に後述の曝気向上のメカニズムがより効果的に働くためであると考えられる。

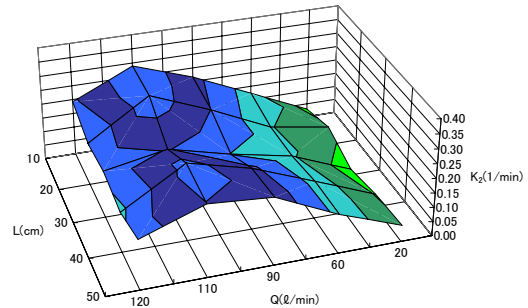
## (2) 曝気効果向上のメカニズムに関する考察

表-3の空気孔設置工法の曝気向上効果が強く現れるCASE IIIの実験をビデオ撮影し，スロー再生して流況を観察した。以下に観察により得られた落水管内の流動と曝気効果向上のメカニズムを箇条書きにして示す。なお，落水の挙動を模式的に図-9に示す。

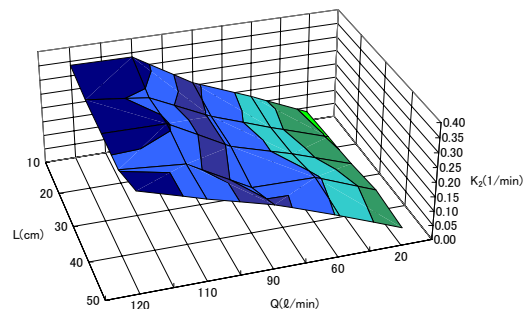
- ① 落水管の漸拡部（25mm→50mm）に向かって空気孔から空気が侵入する。また，送水管から漸拡部に至った水が管径の大きい落水管に落水するとき，コアンダ効果により管壁からの剥離と再付着現象が生ずる（図-9(a)参照）。この，剥離点と再付着点の位置が安定せず，流軸が不安定化する。
- ② 流軸が不安定化した流れは落水管中を，落水管の管壁に沿って「時計回り」もしくは「反時計回り」（図-9(a)参照）に回転しながら落下，管央を落下（図-9(b)参照）など，不規則かつ間欠的な挙動を示す。その結果，落水流れは絡み合う。
- ③ 複雑で間欠的な挙動を示す落水は強い乱れを生じて空気孔から流入した空気を十分混入させ，白濁化する。



(a) 開口高  $\ell = 10 \text{ cm}$



(b) 開口高  $\ell = 30 \text{ cm}$



(c) 開口高  $\ell = 50 \text{ cm}$

図-8 パターンBの実験結果（ $D = 50 \text{ mm}$ ）

表-3 可視化実験条件一覧表

|       |          | $Q(\text{l/min})$ | $D(\text{cm})$ | $H(\text{cm})$ | $\ell(\text{cm})$ | $L(\text{cm})$ | $d(\text{mm})$ | $n(\text{個})$ |
|-------|----------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------|
| パターンA | CASE I   | 70                | 5              | 10             |                   |                |                |               |
| パターンB | CASE II  | 70                | 5              |                | 10                | 5              | 11             | 6             |
|       | CASE III | 70                | 5              |                | 55                | 5              | 11             | 6             |

る。一方で，絡み合った流れは落水管内で空気塊と白濁した水塊に分離する（図-9(c)参照）。

- ④ 空気塊が水中に落下するとき，それに続く水塊により水槽中に押し込まれる。つまり，空気塊は空気弾となり，間欠的に水槽中に侵入する。このとき，空気を十分含んだ落水と間欠的な空気弾の水槽中への貫入により，水槽中の水は強く曝気されることとなる。なお，写真-3には空気弾が水中に深く侵入する時の挙動が可視化されている。

## 5. まとめ

本研究は曝気工法として，円管を用いた空気孔設置工法を提案して実験的にその効果を検証したものである。本研究によって提案された空気孔設置工法は，空気孔を設置しない場合と比較して 4～5 倍程度強い曝気効果が





写真-1 CASE I (パターンA) の流況  
( $Q=70\ell/\text{min}$ ,  $D=5\text{cm}$ ,  $H=10\text{cm}$ )



写真-2 CASE II (パターンB) の流況  
( $Q=70\ell/\text{min}$ ,  $D=5\text{cm}$ ,  $H=10\text{cm}$ ,  $\ell=10\text{cm}$ ,  $d=11\text{mm}$ ,  $n=6$ )



写真-3 CASE III (パターンB) の流況  
( $Q=70\ell/\text{min}$ ,  $D=5\text{cm}$ ,  $H=10\text{cm}$ ,  $\ell=55\text{cm}$ ,  $d=11\text{mm}$ ,  $n=6$ )

得られることが判明した。これは、空気孔から取り込まれた空気が、コアンダ効果が誘因となって激しく乱れる落水中に混入するとともに、落水管中に間欠的に空気弾が形成されて水槽中に押し込まれるという曝気向上のメカニズムが機能するためであることが判明した。

提案する工法の曝気向上効果のメカニズムが機能するためには、貫入水深  $L$  は落水管の下端が攪乱の影響を受ける水表面から露出しないことが条件であるものの短い方が良いことが明らかになった。一方、流量  $Q$  については最適な流量の範囲が存在することが明らかになった。また、開口高  $\ell$  は大きいほど有利であるが、より大きな落水エネルギー  $E$  を必要とする点に注意が必要である。従って、養殖池などの現地で自然の落差を利用する場合は、 $\ell$  を大きくすればよいが、ポンプを利用して

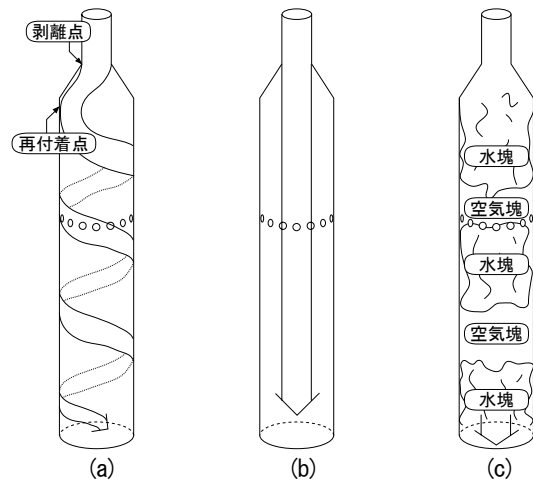


図-9 空気孔設置工法における流況の模式図

落水を生じさせる場合は経済性の観点から、ポンプの出力による制限を受ける。なお、本研究で提案した工法はプロトタイプであり、現地で使用する事を前提としているが、管径等のサイズを変化させて使用する場合は、相似則に関する検討が必要であり、今後の検討課題である。

#### 参考文献

- 1) 長勝史：落差工における再曝気能力に関する研究，鹿大農学術報告，47，pp.37-41，1997.
- 2) 炭本祥生，森健，井上英二，原口智和：堰を越える落下水による酸素再曝気モデル，九大農学芸誌，57(1)，pp.59-65，2002.
- 3) 道奥康治，神田徹，大成博文，守口昌仁，松尾昌和，白澤静敏，松尾克美：マイクロバブルによる富栄養化貯水池の水質改善工と浄化効率，水工学論文集，第45巻，pp.1201-1206，2001.
- 4) 池田裕一，佐々木俊典，須賀堯三：二成層水域での微細気泡発生装置を用いた曝気循環流の流動形態と酸素供給に関する基礎的実験，水工学論文集，第45巻，pp.1213-1218，2001.
- 5) 豊島靖，天野邦彦，田中康泰：ダム貯水池における曝気循環による成層破壊状況の現地観測と評価，水工学論文集，第47巻，pp.1243-1248，2003.
- 6) 奥貴則，羽田野袈裟義，原田利男，藤里哲彦，馬駿：水質浄化技術の水理に関する研究，土木学会第61回年次学術講演会，pp.395-396，2006.
- 7) 羽田野袈裟義，馬駿，今井剛，藤里哲彦，原田利男：液膜を利用するDO改善技術に関する基礎的研究，土木学会論文集 G，63(1)，pp.1-11，2007.
- 8) 特許公報，特開2001-070773：微細気泡発生装置，日本国特許庁，2001.
- 9) 特許公報，特開2003-265938：微細気泡発生装置および微細気泡発生システム，日本国特許庁，2003.
- 10) 特許公報，特開2004-188263：水中への酸素供給装置，日本国特許庁，2004.

(2008. 9. 30受付)