

液膜式酸素溶解による圧送式下水道の管内硫化水素抑制に関する基礎的研究

(株) 大広エンジニアリング 正会員 ○盛谷 悠介
 山口大学 フェロー会員 羽田野袈裟義 正会員 李 洪源
 国土交通省 非会員 市川 雅 (有) バブルタンク 非会員 藤里 哲彦

1. 結論

圧送方式の下水長距離輸送では、管内汚水の嫌気化に伴う硫化水素発生による悪臭や管路腐食等が問題化している。硫化水素対策の一つのガス注入方式は、設備投資や運転費用が比較的低廉であるが、ガス溜まりの発生による大きな圧力損失のため普及していない。さて本研究室で開発中の液膜式曝気式の酸素溶解技術は、効率的な酸素注入、得られる高濃度酸素水が気相を含まず圧力損失が小さい、の理由からこの問題への応用が期待される。本研究では、この課題解決のため液膜式曝気装置を用いることを想定し、その実スケールの実証実験において理想的な液膜形成を実現するパラメータを確定するため基礎的な水理実験を行った。

2. 液膜式曝気装置

図-1 に液膜式曝気装置利用の模式図を示す。圧力容器内に酸素を注入し、内部を高圧の酸素充満状態とする。汚水貯留槽中の汚水をポンプで圧力容器内の中の液膜生成容器内に噴射する。噴射された汚水は、圧力容器内の気体酸素を連行して液膜生成容器内の上半部で気泡集合体となり、容器の縁から越流・落下する。気泡集合体を構成する気泡同士は境界の液薄膜を介して接するため、液相は酸素を溶解しやすく (Fick の法則)、また装置内は高圧のため、汚水中の酸素溶解度が高く (Henry の法則)、越流・落下した汚水は高酸素状態になる。ゆえに硫化水素発生を抑制し、管路の腐食や悪臭を防ぐことになる。

3. 実験結果と考察

(1) 噴射実験

本提案の技術の性能は液膜生成状態 (気泡群の総体積) で決まる。また液膜生成状態は噴射状態で決まり、噴射を受け止める空間内の圧力に依存しない。そこで噴射実験は常圧で行った。図-2 に実験装置の写真及び概略図を示す。表-1 に示す装置パラメータ

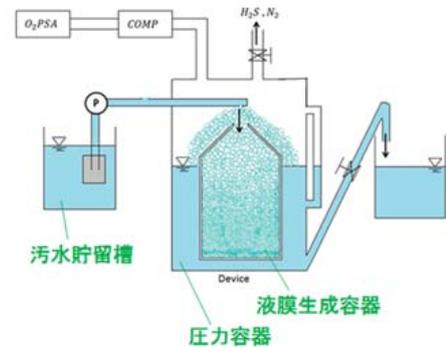


図-1 液膜式曝気装置利用の模式図

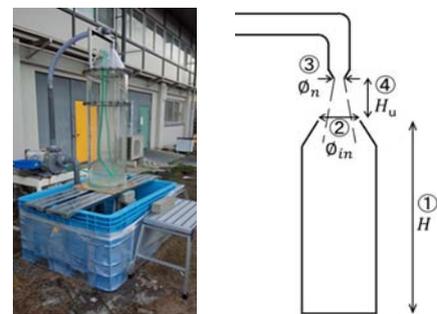


図-2 実験装置の写真及び概略図

表-1 実験パラメータ

	装置の諸元	寸法種類
①	液膜生成容器高さ H	1535mm, 1185mm
②	液膜生成容器上端口径 ϕ_{in}	170mm, 235mm
③	ノズル ϕ_n	30mm, 35mm 3種類形状
④	ノズル口から液膜生成容器上端までの鉛直距離 H_u	160~240mm

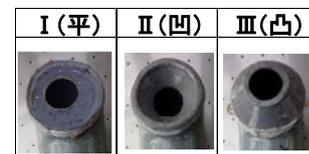


図-3 ノズル形状

を調整し、各条件について噴射圧力、流量、液膜生成容器内の気相体積率を調べることで曝気装置の最適条件を確定した。表中の①~④は概略図中の番号に対応する。図-3 は実験で用いたノズルの形状を示す。噴射圧力はポンプ吐出口直後に設置した圧力計

を用いて計測した。流量は一定時間の噴射水量から求めた。気相体積率は液膜生成容器内の気泡集合体の生成が定常状態に達したのち噴射を止め、静水状態の容器内の水面高さの測定から求めた。

図-4(a)と(b)はそれぞれ液膜生成容器高さ: $H=1535\text{mm}$ と容器上端口径: $\phi_{in}=170\text{mm}$, および $H=1185\text{mm}$ と $\phi_{in}=235\text{mm}$ の実験写真を示す。図-4(a)の実験においては、噴射により生じた気泡が容器底部まで届かなかった。またこの実験で、容器上部で気液相の噴出が生じ、液薄膜が形成されなかった。試行錯誤を行い図-4(b)の条件: $H=1185\text{mm}$, $\phi_{in}=235\text{mm}$ を探り当てた。この条件でノズル径 ϕ_n , ノズル形状(図-3)およびノズル口・容器上端間の鉛直距離 H_u を変えて調べた。

図-5は、図-3の各ノズル(噴射速度)と H_u による気相体積率の変化を示す。大きな傾向としていずれの H_u でも中程度の噴射速度で気相体積率が低い。一方、 H_u については中程度の $H_u=200\text{mm}$ で気相体積率が高く H_u がこれから離れるほど気相体積率が低い。これは、噴射距離 H_u が長いと空気抵抗の増加により噴射流の空気連行能力が低下し、一方、噴射距離が短いと空気連行量が減少するためと考えられる。図-6に、各ノズル形状の最大の気相体積率と噴射圧力を示す。図によると、平坦な $\phi 30-I$ の気相体積率が 25.2% で最大であるが、噴射圧力 150kPa と大きい。 $\phi 35-I$ と $\phi 35-III$ の噴射圧力は 120kPa と最小であるが、 $\phi 35-I$ の気相体積率は $\phi 35-III$ より大きい。気相体積率が大きいほど酸素・水の接触面積の関係で酸素溶解効率がが高く、噴射圧力が小さいほど水頭損失が少なく液膜式曝気装置の理想状態に近づく。そこで、ノズル $\phi 30-I$ と $\phi 35-I$ で最大気相体積率を与える H_u で酸素溶解実験を行った。

(2) 酸素溶解実験

実験ではまず水槽水に亜硫酸ナトリウムを投入して初期の溶存酸素(DO)濃度を 0.3mg/L 以下にした。その後噴射曝気し、液膜生成容器から越流する水の DO 濃度を測定して酸素溶解効果を評価した。

表-3 は酸素溶解実験の結果を示す。DO 濃度改善 ΔDO はノズル $\phi 30-I$ と $\phi 35-I$ の差は 0.2mg/L と小さく、曝気後の飽和度は共に 95%以上であり、酸素溶解効果には大きな差がない。ゆえに、水頭損失を考慮すると本実験で用いた液膜式曝気装置の最適パ

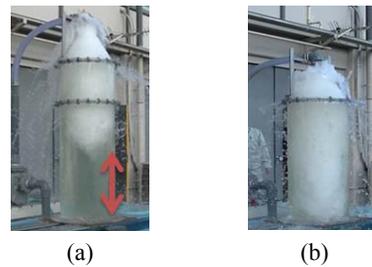


図-4 曝気実験写真 (a) $H=1535\text{mm}$, $\phi_{in}=170\text{mm}$; (b) $H=1185\text{mm}$, $\phi_{in}=235\text{mm}$

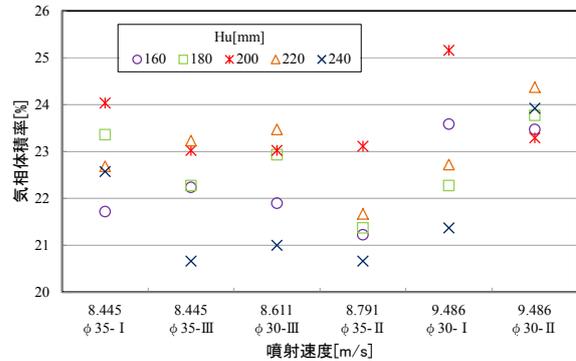


図-5 噴射実験における気相体積率の分布

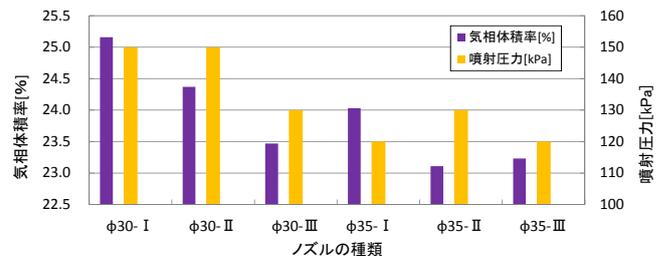


図-6 各ノズルにおける最大気相体積率及び噴射圧力

表-3 酸素溶解実験結果

ノズル	初期 DO濃度 [mg/L]	曝気後 DO濃度 [mg/L]	ΔDO [mg/L]	曝気後 DO飽和度 [%]
$\phi 30-I$	0.3	11.2	10.9	96.3
$\phi 35-I$	0.3	11.0	10.7	95.1

ラメータは、ノズル $\phi 35-I$ で最大の気相体積率を示す実験諸元となる。

4. 結語

以上、下水管の硫化水素抑制のため実機スケールの液膜式曝気装置を用いて噴射実験と酸素溶解実験を行った。主要な結果は次のようである。装置の最適条件は、液膜生成容器の高さ: 1185mm , 装置上端口径: 170mm , ノズル径: 35mm , ノズル口・容器上端の間の鉛直距離: 200mm . 今後は本研究の結果を利用して系統的な酸素溶解実験を行う予定である。

参考文献

- ・大木ら: 管内曝気による液膜方式の気体溶解装置の DO 改善性能に関する実験的検討, 土木学会論文集 B, Vol.66, No.3, pp.235-247, 2010.