

II-386

活性汚泥エアレーションタンクの機能分析

1. 混合特性の評価

神戸大学大学院 学生員○黒林寛治 清水建設 正員 岡島 元
神戸大学大学院 学生員 西 暢人 神戸大学工学部 正員 飯田幸男

1. はじめに エアレーションタンク内の混合特性は反応速度制御因子、したがって終局的には基質除去効率に大きな影響を及ぼすことは言うまでもない。本報では、水路形態及び阻流壁の異なる実稼働エアレーションタンクの混合特性について調べた結果について報告する。

2. 混合特性の評価方法

(i) 分散モデルを用いた混合度の推定

$$\text{基礎式} \quad \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

ここで、C:濃度、t:時間、x:距離、u:流速、D:分散係数である。式(1)を解析的に解くと⁽¹⁾、

$$\frac{C}{C_0} = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n (U \sin \mu_n + \mu_n \cos \mu_n)}{U^2 + 2U\mu_n + \mu_n^2} \exp\left\{U - \left(\frac{U^2 + \mu_n^2}{2U}\right)\theta\right\} \quad (2)$$

ここで、 $\theta = t/T_t$, $U = uL/2D$, $\mu_n = \cot^{-1}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{\mu_n}{U} - \frac{U}{\mu_n}\right)\right\}$, C_0 :投入物質量をタンク容量で除した値、L:全長、 T_t :理論滞留時間である。式(2)は相対分散係数(D/uL)を推定パラメータとして含んでいる。

(ii) n槽モデルを用いた完全混合槽数の推定

タンクをn個の同容積完全混合槽の直列配置と考え、その物質収支から次式が導かれる⁽²⁾。

$$\frac{C}{C_0}(\text{pulse}) = \frac{n^n}{(n-1)!} \left(\frac{t}{T_t}\right)^{n-1} \exp\left(-\frac{nt}{T_t}\right) \quad (3)$$

ここで、n:完全混合槽数である。(3)式はnを推定パラメータとして含んでいる。

(iii) Mixed-Modelを用いた滞留時間履歴の推定

タンクがPFR(Plug-Flow-Reactor)とCSTR(Complete-Stirred-Tank-Reactor)とデッドゾーンとで構成されるとして、それらの構成比を用いて次式が導かれる⁽²⁾。

$$F(\theta) = 1 - \exp\left[-\frac{1}{(1-m)(1-p)}\{\theta - p(1-m)\}\right] \\ \ln\{1-F(\theta)\} = -\frac{1}{(1-m)(1-p)}\{\theta - p(1-m)\} \quad (4)$$

ここで、 $m=(1-V_a)/V$:Dead Volume Rate(デッドゾーン構成比)、 $p=V_p/V_a$:Plug Flow Rate(PFR構成比)、V:タンク容量、 V_a :タンク有効容量、 V_p :PFR容量、 $F:\theta$ での内部増加関数である。式(4)はPFR構成比(p)、デッドゾーン構成比(m)を推定パラメータとして含んでいる。

3. 実験方法 表-1に示す各タンクでトレーサー試験を行った。トレーサー物質には40%塩化リチウム溶液(LiCl)を用い、タンク流入端よりパルス投入した。T-1,2では2カ所、T-3,4では4カ所の採水ポイントを選び、所定時間毎に活性汚泥混合試料を採取し、そのリチウム濃度の経時変化を調べた。リチウム濃度の測定は、4000rpmで10分間遠心分離した上澄液をミリポワフィルター(0.45 μ m)でろ過したろ液を試料とし、波長336nmで原子吸光度計により測定した。

4. 実験結果 図-1に、T-1,2の放流端(Point-2)でのトレーサー相対濃度(C/C_0)と相対時間(t/T_t)の関係を示す。図中の実線は、式(2)で非線形最小2乗法により相対分散係数(D/uL)を推定し、得られた計算曲線を示す。相対時間(t/T_t)がT-1で0.45、T-2で0.80の時に、ピーク相対濃度(C/C_0)がそれぞれ1.0,1.2であった。相対分散係数(D/uL)は、T-1が0.45、T-2が0.09である。この結果は、阻流

表-1 実験対象エアレーションタンク

タンクNo.	タンク形状 (長さ×幅) (m)	有効容量 (m ³)	配気管 配置方式	阻流壁の 有無 配気方式	同位体 滞留時間 (%)
T-1	33.4×7.5(3列)	3310	片側・戻り	無	100
T-2	33.4×7.5(3列)	3310	片側・戻り	有 両列配置	9.2
T-3	54.4×10.0(1列)	3510	片側・戻り	有 両列配置	17
T-4	52.4×10.0(1列)	3502	片側・戻り	無	100
T-5	66.65×7.2(2列)	3565	片側・戻り	有 両列配置	16
T-6	66.65×7.2(2列)	3565	片側・戻り	有 両列配置	45

壁によって混合特性は変化し、混合度が減少することを示している。

次に、T-3, 4の実験結果について述べる。T-3には阻流壁が設置されているが、T-4には設置されていない。また、T-4では流入量を変えて2通りの実験を行った。流入量12.2m³/minの時

をT-4(1)、4.7m³/minの時をT-4(2)で表す。T-3とT-4(1)では、流入量はほぼ同量が供給されているが、空気量はT-3の方が約9m³/min多く供給されている。図-2に、T-3, 4(1), 4(2)の放流端(Point-4)での相対濃度(C/C₀)と相対時間(t/T_t)の関係を示す。図中の実線は、式(3)で最小2乗法により完全混合槽数(n)を推定し、得られた計算曲線を示す。相対時間(t/T_t)がT-3で0.90、T-4(1)で0.40、T-4(2)で0.25の時にピーク相対濃度が現れている。また、完全混合槽数(n)は、T-3が4、T-4(1)が2、T-4(2)が1である。この結果は、阻流壁の効果は明らかであるが、T-3では開口部断面比などタンク形状が異なるために、T-1とT-2の比較でみられたような顕著な阻流壁効果はみられなかった。また、流入量が小さくなると、T-4でみられるように完全混合槽数(n)は1に近づき、ほとんど完全混合の状態であることがわかる。

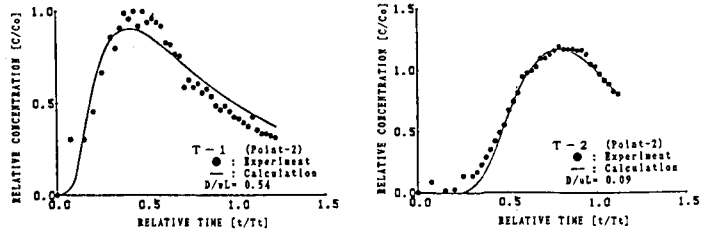


図-1 T-1, 2の放流端での相対濃度と相対時間の関係

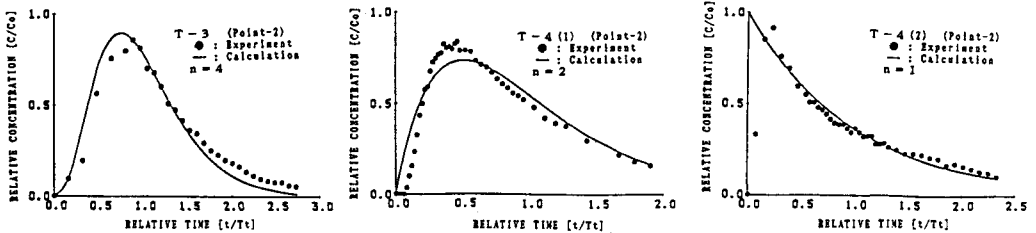


図-2 T-3, 4(1), 4(2)の放流端での相対濃度と相対時間の関係

表-2は、従来、タンクの混合特性の評価に用いられてきた t_a (Average Detention Time)、 t_n (Median Detention Time)、 t_m (Modal Detention Time)、 t_{10} (回収率が10%になる時間)、 D/uL 、PFR構成比(p)、デッドゾーン構成比(m)等を一括表示したものである。これらの値は阻流壁の有無、タンク形状、採水位置や操作条件等により大きく異なり、実稼働エアレーションタンク内の状況は不規則かつ複雑であることがわかる。

5. おわりに 各タンク

の混合特性について、実験的検討を行った結果、それぞれ異なった非常に複雑な混合特性を持つことを示した。この様に複雑な混合特性と基質の挙動を対応させて検討することはタンクの設計・維持管理において重要である。このことに関しては、次のIIで報告する。

表-2 各タンクの混合特性の評価

Tank No.	Flow rate m ³ /min	Air flow rate m ³ /min	D/uL	D m ³ /min	N	t _a /T _t	t _n /T _t	t _m /T _t	t ₁₀ /T _t	p	1 - p	■	
T-1	P-1	6.0	66.5	1.17	9.94	1	1.21	1.14	0.33	0.26	0.031	0.964	-0.713
	P-2	6.0	66.5	0.54	13.76	2	0.58	0.71	0.43	0.27	0.157	0.843	-0.006
T-2	P-1	6.0	66.5	0.35	2.97	3	1.12	0.91	0.50	0.82	0.381	0.619	0.134
	P-2	6.0	66.5	0.09	2.29	6	0.75	0.50	0.78	0.31	0.272	0.728	-0.140
T-3	P-1	12.4	25.4	4.98	14.78	1	2.05	1.25	-	0.38	0.277	0.723	-0.282
	P-2	12.4	25.4	4.98	29.57	2	1.30	1.15	0.67	0.38	0.286	0.714	-0.268
	P-3	12.4	25.4	0.21	1.87	3	1.32	1.22	0.84	0.54	0.471	0.529	-0.217
	P-4	12.4	25.4	0.15	1.78	4	1.10	1.06	0.78	0.51	0.409	0.591	-0.089
T-4 (1)	P-1	12.2	16.0	1.37	3.47	1	2.16	1.70	-	0.34	0.002	0.998	-1.564
	P-2	12.2	16.0	0.82	4.47	1	1.27	1.12	0.31	0.27	0.092	0.908	-0.492
	P-3	12.2	16.0	0.54	4.42	2	0.98	0.95	0.40	0.32	0.164	0.836	-0.205
	P-4	12.2	16.0	0.50	5.45	2	0.79	0.85	0.44	0.31	0.145	0.855	-0.121
T-4 (2)	P-1	4.7	15.5	9.91	13.20	1	2.82	3.10	-	0.23	-0.061	1.00	-3.285
	P-2	4.7	15.5	9.91	26.39	1	1.50	1.62	-	0.19	-0.033	1.00	-1.295
	P-3	4.7	15.5	9.91	39.59	1	1.08	1.11	-	0.19	0.012	0.988	-0.602
	P-4	4.7	15.5	1.64	8.73	1	0.83	0.93	0.24	0.20	0.016	0.984	-0.280

- 参考文献 (1)八木栄, 宮内照勝: "流系反応器における残余濃度曲線について", 化学工学, 17, 382, (1953)
(2)Smith J.M.: "Chemical Engineering Kinetics", (1974)