

下水汚泥からの硫化水素発生抑制のための消臭剤注入量の最適化に関する研究

(公財) 三重県下水道公社 ○森 政美、北本博康、大熊和行

1. はじめに

三重県北勢沿岸流域下水道（南部処理区）は、四日市市（南部）、鈴鹿市、亀山市の3市を計画区域とし、2013年度末における処理人口は117千人（水洗化率78.8%）で、四日市市（準工業地域）に立地する南部浄化センターでは、2013年度実績値で平均38,004m³/日の汚水を処理し、年間8,929tの脱水汚泥を排出（全量セメント原料として再資源化）している。

近年、下水道終末処理場の運用上の重要課題のひとつとして、良好な周辺環境の維持・創造や作業環境の維持等を推進しつつ、コスト削減を図ることが求められてきている。

このため、当浄化センターでは、汚泥の濃縮工程、脱水前工程で金属塩系消臭剤及び酸化剤系消臭剤を注入し、酸素欠乏症等防止規則に基づく硫化水素濃度（以下「H₂S濃度」という。）の基準値の1/2の5ppmを管理目標として、脱水汚泥から発生する硫化水素を除去・抑制しているが、消臭剤注入量の最適化を図ることは作業環境の維持及びコスト削減の両面から重要と考えられる。

そこで、2013年度から、消臭剤注入量、脱水汚泥を搬出車両に積載するときのH₂S濃度の調査及び関連データの収集に着手し、多変量解析手法（重回帰分析）により数値（線形、指数）モデルの検討を行い、消臭剤注入量の最適化モデル（H₂S濃度日最大値予測モデル）を作成したので報告する。

2. 調査・研究方法

(1) 調査項目

重力濃縮槽に注入しているM社製塩化亜鉛（75.5wt%）消臭剤、汚泥貯留槽（脱水工程前）に注入している同社製塩化亜鉛（36.5wt%）消臭剤及び酸化剤系消臭剤の1日当りの注入量、注入率（1日当りの移送汚泥量に対する消臭剤注入量：単位ppm）の調査を行った（注入箇所 図-1）。また、H₂S濃度測定値の調査は、脱水汚泥をホッパーから搬出車両に積載する（1日2～3回）ときは、荷台に落下した汚泥の作業員による均し作業に併せて、当該場所の床面1.2m高で、理研計器株式会社製ポータブル型ガス検知器GX-2003(TYPE B)を用いてH₂S濃度測定を行っている（図-1）ことから、当該測定値の調査を行い、1日2～3回の測定値のうち最大値を解析に供した。このほか、悪臭物質の発生は気温の影響を受けることから、H₂S濃度測定時の気温の調査を行った。

(2) 解析方法等

本調査・研究対象期間は2012年4月1日～2014年10月24日とし、H₂S濃度、重力濃縮槽への塩化亜鉛消臭剤注入率（以下「消臭剤注入率（重力）」という。）、汚泥貯留槽（脱水工程前）への塩化亜鉛消臭剤注入率（以下「消臭剤注入率（脱水）」という。）」

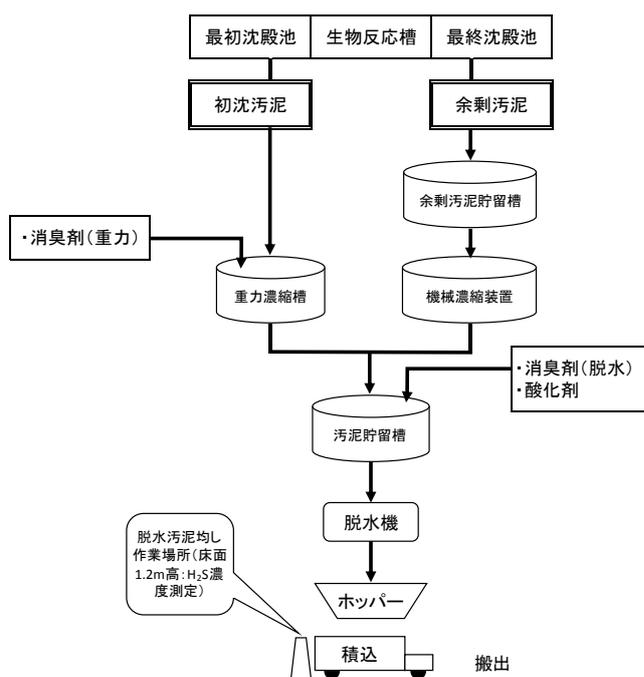


図-1. 消臭剤注入箇所、H₂S濃度測定場所の概略図

及び酸化剤系消臭剤
注入率（以下「酸化
剤注入率（脱水）と
いう。）」、気温の5
項目を用いて、表一
1に示す数値モデル
（大気中H₂S濃度は
水の蒸気圧、汚泥中

表一. 検討した数値モデル

モデル	酸化剤	数値モデル
線形モデル	注入時	$H_2S濃度=(a/消臭剤注入率(重力)+b/消臭剤注入率(脱水)+c/酸化剤注入率(脱水)+k) \times p$
	無注入時	$H_2S濃度=(a/消臭剤注入率(重力)+b/消臭剤注入率(脱水)+k) \times p$
指数モデル I	注入・無注入時	$H_2S濃度=10^{(a \times 消臭剤注入率(重力)+b \times 消臭剤注入率(脱水)+c \times 酸化剤注入率(脱水)+k+p)}$
指数モデル II	注入時	$H_2S濃度=10^{(a/消臭剤注入率(重力)+b/消臭剤注入率(脱水)+c/酸化剤注入率(脱水)+k+p)}$
	無注入時	$H_2S濃度=10^{(a/消臭剤注入率(重力)+b/消臭剤注入率(脱水)+k+p)}$

注) a, b, c: 係数、k: 定数、p: 水蒸気圧関数(=10^{(8.07131-1730.63/(233.426+t))})

のH₂S濃度に比例し、汚泥中のH₂S濃度は消臭剤注入率を高くすることにより直線的に低下すると仮定した「線形モデル」、消臭剤注入率を高くすることにより指数関数的に低下すると仮定した「指数モデル I」、これらを組み合わせた「指数モデル II」の3モデル)を想定し、多変量解析(重回帰分析)を行った。解析には、Microsoft Excel 2013 及び株式会社ハルボウ研究所製 HALBAU7 を供した。

3. 結果および考察

(1) 数値モデルの重回帰分析結果

数値モデルそれぞ
れの基準変数、説明
変数を表一2に示す
とおり設定(酸化剤
無注入時の線形モデ
ル及び指数モデル II
では、説明変数のう
ち「1/酸化剤注入率
(脱水)」の項を除外
した。)し、重回帰分
析を行った。その結
果を表一2に、また
得られた偏回帰係数
等により作成した数
値モデルを表一3に
示す。重相関係数は、
線形モデル(酸化剤
無注入時)で0.5346
と最大となり、次い
で指数モデル I で
0.4880 となった。ま
た、指数モデル II の
重相関係数は、酸化
剤注入時、無注入時
とも線形モデルのそ
れより小さくなった。
これらの結果から、
選定すべきモデルは線形モデル又は指数モデル I のいずれかであることが明らかとなった。

表一2. 数値モデル・重回帰分析の結果

モデル	酸化剤	基準変数	データ数	説明変数及び定数項	偏回帰係数	標準 偏回帰係数	重相関 係数	危険率
線形モデル	注入時	H ₂ S濃度/p	283	1/消臭剤注入率(重力)	1.847408	0.256902	0.3918	0.0000
				1/消臭剤注入率(脱水)	46.362672	0.342139		
				1/酸化剤注入率(脱水)	-2.511599	-0.033119		
				定数	-0.009173			
	無注入時	H ₂ S濃度/p	471	1/消臭剤注入率(重力)	5.304995	0.302515	0.5346	0.0000
				1/消臭剤注入率(脱水)	21.604009	0.298071		
指数モデル I	注入・ 無注入時	log(H ₂ S濃度/p)	754	消臭剤注入率(重力)	-0.004319	-0.271288	0.4880	0.0000
				消臭剤注入率(脱水)	-0.001874	-0.307472		
				酸化剤注入率(脱水)	0.000006	0.001299		
				定数	-0.061761			
指数モデル II	注入時	log(H ₂ S濃度/p)	283	1/消臭剤注入率(重力)	3.570201	0.250806	0.3785	0.0000
				1/消臭剤注入率(脱水)	88.236847	0.328946		
				1/酸化剤注入率(脱水)	-5.017102	-0.033421		
				定数	-1.154832			
	無注入時	log(H ₂ S濃度/p)	471	1/消臭剤注入率(重力)	7.739165	0.325507	0.4833	0.0000
				1/消臭剤注入率(脱水)	21.077653	0.214492		
				定数	-0.895778			

注) データ数: 調査対象期間のうち、H₂S濃度が0ppmの日、酸化剤注入・無注入切り替え日等のデータを除いた件数
p: 水蒸気圧関数(=10^{(8.07131-1730.63/(233.426+t))})

表一3. 作成した数値モデル

モデル	酸化剤	数値モデル
線形モデル	注入時	$H_2S濃度=(1.847408/消臭剤注入率(重力)+46.362672/消臭剤注入率(脱水)-2.511599/酸化剤注入率(脱水)-0.009173) \times 10^{(8.07131-1730.63/(233.426+t))}$
	無注入時	$H_2S濃度=(5.304995/消臭剤注入率(重力)+21.604009/消臭剤注入率(脱水)+0.04647) \times 10^{(8.07131-1730.63/(233.426+t))}$
指数モデル I	注入・ 無注入時	$H_2S濃度=10^{(-0.004319 \times 消臭剤注入率(重力)-0.001874 \times 消臭剤注入率(脱水)+0.000006 \times 酸化剤注入率(脱水)+8.009549-1730.63/(233.426+t))}$
指数モデル II	注入時	$H_2S濃度=10^{(3.570201/消臭剤注入率(重力)+88.236847/消臭剤注入率(脱水)-5.017102/酸化剤注入率(脱水)+6.916478-1730.63/(233.426+t))}$
	無注入時	$H_2S濃度=10^{(7.739165/消臭剤注入率(重力)+21.077653/消臭剤注入率(脱水)+7.175532-1730.63/(233.426+t))}$

選定すべきモデルは線形モデル又は指数モデル I のいずれかであることが明らかとなった。

(2) 相関分析による数値モデルの比較検討

線形モデル及び指数モデルⅡは酸化剤注入時、無注入時に分け、指数モデルⅠは酸化剤注入時、無注入時を合わせて表-3に示す数値モデルによりH₂S濃度を演算し、実測値との相関分析を行った。その結果、表-4に示すとおり、いずれも有意な相関係数が得られ、指数モデルⅠが最大となり、最適であることが明らかとなった。指数モデルⅠによるH₂S濃度実測値と演算値との相関図を図-2に示す。

表-4. 相関分析による数値モデルの評価

モデル	データ数	H ₂ S濃度実測値と演算値との相関		評価
		相関係数	危険率	
線形モデル	754	0.5592	0.0000	×
指数モデルⅠ	754	0.5628	0.0000	○
指数モデルⅡ	754	0.5428	0.0000	×

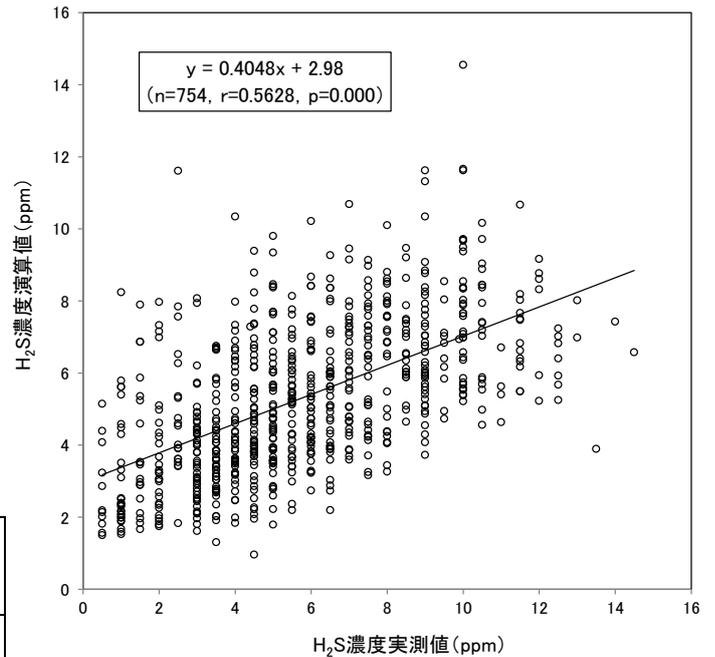


図-2. 指数モデルⅠによるH₂S濃度実測値と演算値の相関

(3) 指数モデルⅠによるH₂S濃度演算早見表の作成

指数モデルⅠを用いて、消臭剤注入率、酸化剤注入率、気温の各数値からH₂S濃度を演算し、表-5に示す早見表(抜粋)を作成した。当該表は、気温に応じて消臭剤注入率、酸化剤注入率を容易に決定することができ、実用に活かせるものと考えられる。

表-5. 指数モデルⅠによるH₂S濃度演算表(抜粋)

酸化剤注入率/脱水 (ppm)	消臭剤注入率/重力 (ppm)	消臭剤注入率/脱水 (ppm)	気温(°C)													
			4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
150	40	0	3.5	4.1	4.7	5.3	6.1	7.0	7.9	9.0	10.2	11.5	13.0	14.7	16.5	18.5
150	40	50	2.9	3.3	3.8	4.3	4.9	5.6	6.4	7.3	8.2	9.3	10.5	11.8	13.3	14.9
150	40	100	2.3	2.6	3.0	3.5	4.0	4.5	5.2	5.8	6.6	7.5	8.5	9.5	10.7	12.0
150	40	150	1.9	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6	4.2	4.7	5.3	6.0	6.8	7.7	8.6	9.7
150	40	200	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.3	3.8	4.3	4.9	5.5	6.2	7.0	7.8
200	50	0	3.2	3.7	4.2	4.8	5.5	6.3	7.2	8.2	9.2	10.5	11.8	13.3	15.0	16.8
200	50	50	2.6	3.0	3.4	3.9	4.5	5.1	5.8	6.6	7.5	8.4	9.5	10.7	12.1	13.5
200	50	100	2.1	2.4	2.7	3.1	3.6	4.1	4.7	5.3	6.0	6.8	7.7	8.6	9.7	10.9
200	50	150	1.7	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3	3.8	4.3	4.8	5.5	6.2	7.0	7.8	8.8
200	50	200	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.9	4.4	5.0	5.6	6.3	7.1

4. 結論

数値モデルの重回帰分析により得られた重相関係数、同分析により得られた偏回帰係数等から作成した数値モデルによるH₂S濃度演算値と実測値との相関係数の両者から、消臭剤注入量の最適化モデル(H₂S濃度日最大値予測モデル)として、次に示す指数モデルⅠが最適であることが明らかとなった。

$$\text{H}_2\text{S濃度} = 10^{(-0.004319 \times \text{消臭剤注入率(重力)} - 0.001874 \times \text{消臭剤注入率(脱水)} + 0.000006 \times \text{酸化剤注入率(脱水)} + 8.009549 - 1730.63 / (233.426 + \text{気温}))}$$

なお、本調査・研究は、2013年9月から本格的に着手したが、それまでは、H₂S濃度日最大値が0ppmの日が概して多く、消臭剤の過剰注入が認められたことから、同年10月からは、酸素欠乏症等防止規則に基づくH₂S濃度基準値の1/2(5ppm)を管理目標としつつ、データ収集・解析に取り組んだ。その結果、2012年度に比べ2013年度は、消臭剤注入量(重力)は25.5%、消臭剤注入量(脱水)は5.5%、酸化剤注入量(脱水)は10.0%削減することができた。今後は、本モデルを本格運用するとともに、その科学的妥当性についても検証していく予定である。