

## 下水道施設の硫化水素ガス濃度計による連続観測について

中沢 均、鈴木 建、遠田和行、山本賢一

日本下水道事業団技術開発部

埼玉県戸田市下笹目 5141

### 概要

下水道施設に対する苦情処理件数の半分以上は臭気に関するものである。臭気問題の解決は周辺環境の改善のみならず、運転員の作業環境の改善、さらに下水道施設へのイメージアップに及ぶ。

臭気対策を検討するにあたり、臭気発生状況を正確に把握することが必須であり、本論文は、下水道施設内における臭気の発生機構に着目して硫化水素を代表的な指標に定め、硫化水素濃度の通日変化に関する知見を報告するものである。

### キーワード

硫化水素、硫化水素濃度計、臭気

#### 1. はじめに

下水道施設の維持管理においては、騒音、振動、管きよの詰まり、管きよ破損に伴う道路面の陥没などに対し多くの苦情が寄せられ、それに伴う緊急補修を必要とする。管路施設は、下水処理区の全ての道路下に布設されるため、管きよに関する苦情は市域全体から寄せられる可能性があり、下水処理場に関しては、主に処理場周辺からの苦情とその処理が多くなる。

特に、臭気に関する苦情は、管路施設から処理場施設に至る市内全ての下水道施設に対して寄せられることが多い。『下水道施設は臭い』と

いう印象は多くの市民が持っており、臭気問題があるために、下水道施設は迷惑施設として捉えられることがある。A市の下水道施設に対する苦情受付に占める臭気関連の割合を図1に示す。臭気に関する苦情件数の割合は年間総苦情件数の約2/3に達している。

日本下水道事業団（JS）では、我が国の下水道施設を必要とする都市が、おおむね下水道普及率100%を達成し、維持管理の時代に入る近い将来を見越して、臭気の発生機構を整理し、臭気問題の解決手法をマニュアルの形で提案することを目的に、平成11年度から「下水道施設における臭気の発生抑制と効率的な除去に関する調査」を進めている。

#### 2. 下水道と硫化水素

下水道施設における代表的な臭気源として、硫化水素、硫化メチル、2硫化メチル、メチルメルカプタ

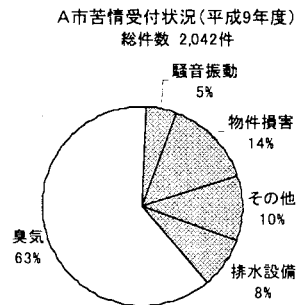


図1 苦情処理に占める臭気の割合

ン及びアンモニアの5物質があげられる<sup>1)</sup>。前4者は下水中の硫黄を化合物として含み、アンモニアは窒素を化合物として含む。アンモニアの臭いは、くみ取り便所等で観測される。一方、硫化水素など硫黄関連の4物質は、下水が管きよ内を流下するうちに嫌気性腐敗を起こしたり、下水処理場の嫌気性工程において新たに発生することが多い。硫化水素は、たとえば硫黄を主成分とする温泉の臭気であるとともに、所謂、下水道施設が臭いと言うときの代表的臭気成分である。

自然界では、河川や海に硫酸イオンが普遍的に存在しているとともに、洗剤中にも含まれるため、し尿由来のものとともに、一般的な下水の中には30-80mg/lの硫酸イオンが存在する。管きよによる下水収集過程で、一時的に下水が滞留するなど溶存酸素が無くなり嫌気性状態となると、下水中の硫酸還元細菌が酸素源として硫酸イオンを硫化物にまで還元する。

還元された硫黄は、最終的に硫化水素となる。

下水中の硫化物の形態を図2<sup>2)</sup>に、下水のpHによる硫化水素の平衡を図3に示す。

硫化物が溶存する下水が、下水管きよの段落ち部分、中継ポンプ場、下水処理施設における堰越えなどにより攪拌されると、硫化水素ガスが空气中(気相中)へ放散され、下水道施設内に充満する。気相中の硫化水素ガスは、0.025ppmという低い臭覚閾値を持つため、極少量の発生でも人間には臭気として感じられる。

また、下水道施設内の密閉されたタンクの気相部で温度や湿度の条件が整うと、天井や壁などの表面で硫黄酸化細菌の活発な働きにより硫化水素ガスが硫酸に酸化され、硫酸の強い酸化作用によりコンクリートや金属面が腐食される。硫黄酸化細菌等による硫化水素から硫酸への酸化経路モデルを図4に示す<sup>3)</sup>。

### 3. 硫化水素ガスの発生箇所

管路施設においては、管路延長が長いほど、管路勾配が小さく流速が小さいほど流末での下水中の溶存硫化物濃度が高い傾向が見られる<sup>5)</sup>。また、伏せ越し管の前後や圧送管の出口箇所でも高濃度の硫化水素ガスが観測され、臭気と共に管路施設の腐食による機能損傷が発生することがある。ポンプ場施設では、ポンプを間欠運転している場合や合流式下水道の雨水ポンプ室などで、長時間滞留して腐敗した下水をポンプで汲む際に硫化水素ガスが発生することがある。

下水処理施設では、最大1,000ppm近い硫化水素ガス濃度を示すことがあり、最初沈殿池の越流部分、

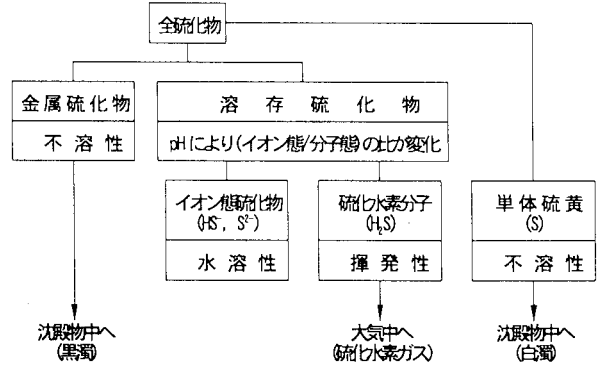


図2 下水中の硫化物の形態

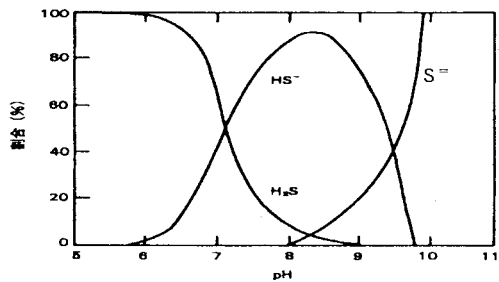


図3 pHによる硫化水素の平衡

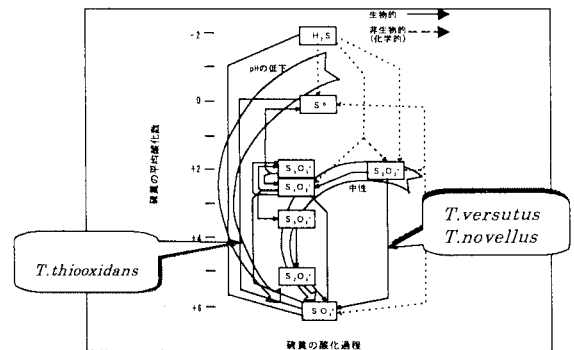


図4 硫化水素～硫酸 酸化経路モデル

汚泥貯留槽などで高い濃度の硫化水素ガスが観測される。さらに、水路に面したコンクリート表面や、沈殿池等の脱臭ダクト周辺の施設が腐食している場合がある。また、汚泥処理施設周辺における高濃度の硫化水素ガスの観測例があり、硫化水素の人体に対する毒性による健康被害など、深刻な作業環境状況となる可能性がある。人の健康に対する硫化水素の毒性段階を図5に示す<sup>4)</sup>。

微生物の活動に伴う硫化物や硫化水素ガスの発生を抑制あるいは処理する対策を検討し、下水道施設の適切な維持管理と良好な周辺環境・作業環境の保全を図るためには、下水道施設のどこでどのように硫化水素ガスが発生しているかと言う実態を把握し、発生原因を抽出することが必須となっている。

#### 4. 硫化水素ガスの連続観測

下水処理施設における硫化水素ガスの発生状況を把握するため、分流式下水処理区において、管きよ施設や処理場施設に硫化水素濃度計を設置し、24時間連続の通日観測を行なった。調査対象処理区の処理方式を表1に、観測に使用した硫化水素濃度計の仕様を表2に示す。

硫化水素濃度計は、直径8cm、高さ20cm、重さ0.7kgである。単3型乾電池4本を動力源とし、観測条件によるが約1,440時間の硫化水素ガス濃度の連続観測とデータの保存及びデータをパーソナルコンピュータに出力できる。ロギングデータ数を超えた場合、上書き又は停止を選択できる。今回の調査では、1分ごとの平均値を観測した。

使用機種は、携帯性に優れた特徴を持ち、調査においては、管路施設ではマンホール内の維持管理用足掛けに吊ひもを通して吊り下げ、下水処理場では作業通路の手すり等に吊ひもを通して、点検用開口部から施設内へ吊り下げた。吊り下げ時刻を記録し、開口部を密封後、概ね24時間経過後に濃度計を回収した。

施設内における濃度計設置高さの決定は、硫化水素ガスが空気より重いためできるだけ水面付近が望ましいが、下水量は時間と共に大きく変化し水面が大きく上下することが想定されたため、セ

		(ppm)
	閾値	0.1
		0.2
腐った卵の臭い→	不快な臭気	3
		10
目の障害の始まり→	頭痛吐き気 喉や目の痛み	
	目の障害	50
嗅覚の損失→	結膜炎 気管支炎 嗅覚麻痺	100
生命の危険→	肺水腫	300
	神経系の異常 呼吸停止	500
呼吸麻痺による死→	死	1,000
		2,000

図5 人の健康に対する硫化水素の毒性段階

表1 調査対象処理区の処理方式

処理方式	対象処理場と汚泥処理フロー
標準活性汚泥法	B市b浄化センター 汚泥処理フロー：濃縮—消化—脱水
標準活性汚泥法	C市c浄化センター 汚泥処理フロー：濃縮—消化—脱水
標準活性汚泥法	D市d処理場 汚泥処理フロー：濃縮—消化—脱水
標準活性汚泥法	E市e処理場 汚泥処理フロー：濃縮—消化—脱水
オキシデーショ ンディッチ法	F市f浄化センター 汚泥処理フロー：濃縮—脱水

表2 硫化水素濃度計の仕様

名称	拡散式硫化水素測定器	備考
形式	GHS-7A	(株)ガステック製
測定原理	定電位電解式	
センサ形式・測定範囲・ 指示精度	H2S-517E	0.0~50.0ppm分解能 0.1ppm、精度±2.5ppm
	H2S-518E	0~100ppm分解能1ppm、 精度±5ppm
	H2S-519E	0~500ppm分解能1ppm、 精度±25ppm
	H2S-51AE	0~1,000ppm分解能1ppm、 精度±50ppm
電源・連続使用時間	単3アルカリ乾電池、4本 約1440時間	温度20°C無通信時
使用環境	温度-10°C~40°C 相対湿度30%~95%	
外形寸法・重量	直径78mm×高さ207mm675g	突起部含まず
ロギングデータ数	最大12,032個のデータ多数	※注
ロギングデータ間隔設定	1分、5分、10分、15分、30分、60分	
ロギング上書き設定	可能/停止	
サンプリング方法	瞬時値、平均値、最大値、最小値	サンプリング間隔6秒固定
通信方式	シリアル通信	RS-232C
通信速度	19,200bps	

※注 PC本体：DOS/V機種  
OS：日本語版 Microsoft Windows95  
CPU：Pentium以上

ンサーの水没を避けるため、施設壁面等に目視された既往最高水位面跡の1m程度上方とした。マンホール内及び処理場における硫化水素濃度計の設置例を図6～8に示す。

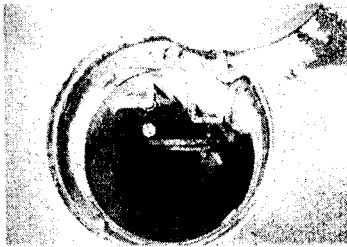


図6 マンホール内

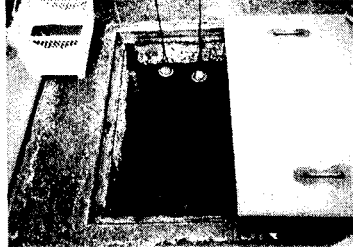


図7 下水分配槽内

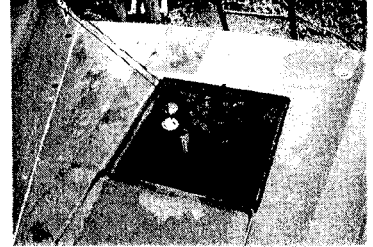


図8 汚泥濃縮槽内

5. 観測結果と分析

管きよ内、水処理施設及び汚泥処理施設における硫化水素ガス濃度の連続測定例を図9～12に示す。

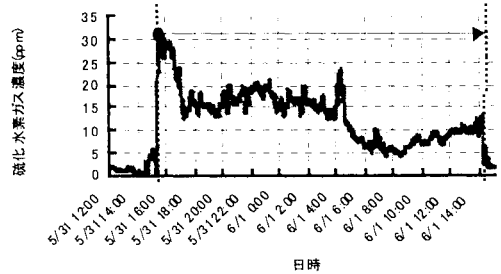
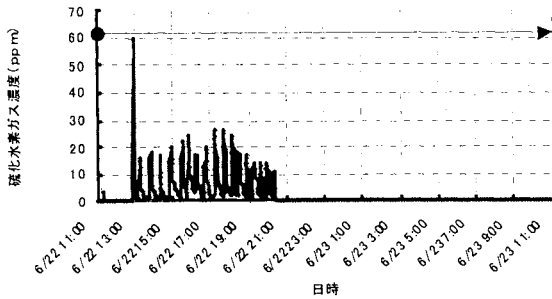


図9 管きよ（マンホール部）における硫化水素ガス濃度の連続測定例  
左；B市（50ppm）、右；E市（50ppm）

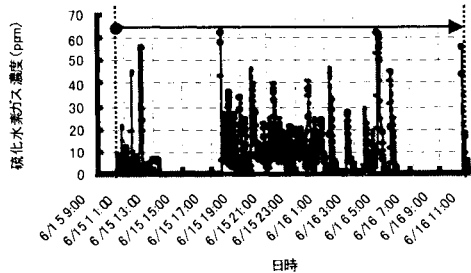
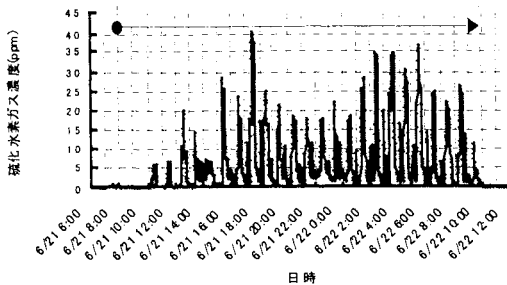


図10 分配槽における硫化水素ガス濃度の連続測定例  
左；B市（100ppm）、右；F市（50ppm）

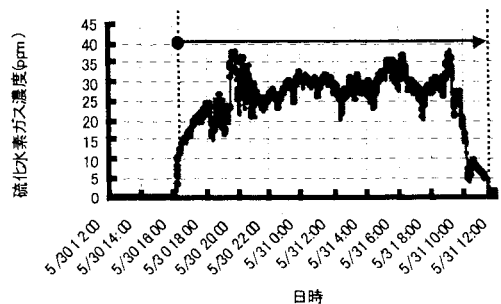
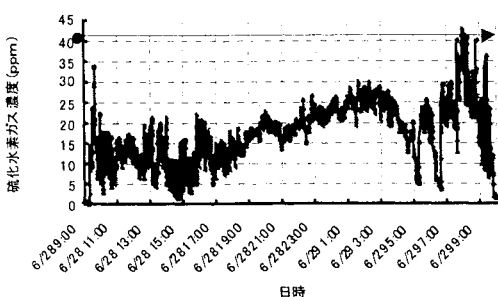


図11 最初沈殿池における硫化水素ガス濃度の連続測定例  
左；C市（50ppm）、右；E市（50ppm）

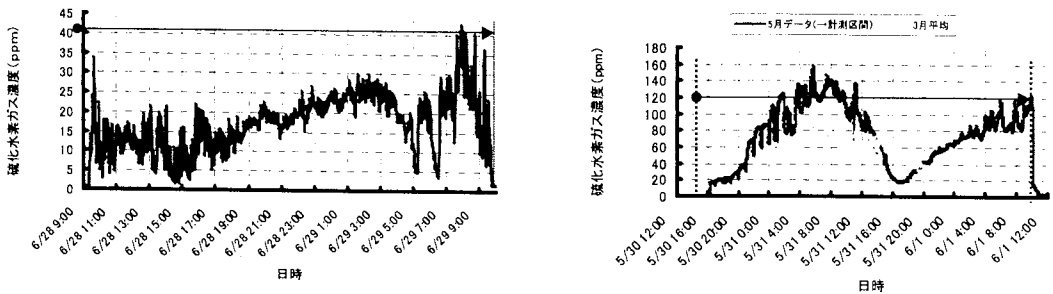


図1.2 汚泥濃縮槽（C市）及び濃縮汚泥貯留槽（E市）における硫化水素ガス濃度の連続測定例  
左；C市（500ppm）、右；E市（500ppm）

図中右矢印で観測時間を示した。●は濃度計の設置時刻、矢の先端は撤去時刻を示す。機器設置直後及び機器回収直前の数値は外気流入により若干硫化水素ガス濃度が希釈されていると考えられる。横軸に日付と時間を2または4時間ごとに示し、縦軸に硫化水素ガス濃度をppm単位で示している。（）内に使用センサーの測定レンジをppmで示す。各センサーはそれぞれ最大数値の約25%増のサービスレンジを持つ。なお、D市の観測結果は示していない。

図9は、管路施設における硫化水素ガス濃度の時系列変化例を示している。

B市の観測地点は、市内の盆地状地区の汚水を一定量貯留してからb処理場へ揚水・送水するポンプ場の下流にあるマンホールで、図6に硫化水素濃度計の設置状況を示す。ポンプ運転に従い、13時に約60ppm超のピークを観測し、以降、夜9時頃まで断続的に20ppm程度の硫化水素ガス濃度を観測した。一般に下水道の水量は深夜から早朝にかけて最も少なく、人々が活動を始める朝9時頃にピークを迎えることが多い。このため、B市のポンプ場でも前日から午前中に貯留され腐敗した汚水を、午後揚水したため、圧送管の出口となる調査人孔において硫化水素ガスが放散されたと考えられる。

一方、E市の観測地点は、自然流下管のマンホールである。E市では、長年、処理場における硫化水素ガスによる臭気や施設等の腐食が発生しており、過去のJ S調査でも管きょ施設における汚水の滞留と硫化水素の発生が指摘されている。図9で午後4時頃の約30ppmというピーク値の後、明け方6時頃まで15～20ppmの濃度が続き午前6時から8時にかけて5ppmに下がった後、再び濃度が上昇している。

図10は、処理場分配槽における硫化水素ガス濃度の時系列変化例を示している。

B市は、大きくわけて3系統の流入系統がある。そのうちの一つは、図6で示したマンホールから流入する系統で、この系統の影響も含めて、午後から夜9時頃にかけて分配槽でも硫化水素ガス濃度が高くなっていると考えられる。b浄化センターに流入する管きょ延長が約3.5kmと比較的長いことも硫化水素ガス濃度が高いことに影響していると思われる。また、分配槽に送られてくる下水には汚泥処理施設からの溶存硫化物濃度の高い返流水も含まれるため、午後9時以降も翌朝10時頃まで断続的に20ppm程度の硫化水素ガス濃度を記録している。図7にB市の分配槽の様子を示す。

一方、F市のf浄化センターの3系統ある流入系統のうち1系統は中継ポンプ場からの圧送管であり、分配槽の硫化水素ガス濃度は、主としてこのポンプ場の運転及び汚泥処理施設の運転に影響を受ける。

図11は、最初沈殿池後部の越流堰部分における硫化水素ガス濃度の時系列変化例を示している。

C市は、朝9時から午後7時にかけて約15ppmで推移し、午前3時にかけて徐々に濃度が増加し25ppm程度になった後、明け方ややや低下し朝9時頃に40ppm程度のピークを迎えている。朝方の濃度増加は、一般に下水量の増える時間帯で、堰越え落下高さが増し、硫化水素ガスの放散が多くなったものと思われる。

E市は、図9で見たように硫化水素ガス濃度の高い管きょからの流入水の影響が考えられ、通日で20～35ppmの濃度を示している。

図12は、汚泥処理施設における硫化水素ガス濃度の時系列変化例を示している。

汚泥濃縮槽を観測したC市では、100~250ppmという高度濃度を示した。これは、図5に示した「人の健康に対する硫化水素の毒性段階」では「生命の危険」に近い値で、機器の設置時に点検口を開けた際、瞬間的な目まいを感じるという危険な状況があった。図8に示すように、槽内のコンクリート壁面は腐食が進行してコンクリートの水酸化カルシウムと硫酸が反応して2水石膏の状態になっていることが観察された。定期的に50ppm程度に濃度が下がるのは、汚泥ポンプの間欠運転によると思われる。

E市の濃縮汚泥貯留槽での図は、3月に連続観測した3日間平均値を合わせて示した。気温の高い5月が3月より高い濃度を示している。また、朝10時頃の80ppm(3月)または140ppm(5月)程度のピークと、午前0時頃の40ppm(3月)または20ppm(5月)程度の最低値の間で大きく周期的な経時変化を示している。3月に機器設置のため点検口を開けた際、硫化水素ガスを不用意に吸い込み、一時的に吐き気のような症状が出た。この時の硫化水素ガス濃度は約60ppmで、硫化水素の毒性段階では「目の障害~嗅覚の損失」にあたり、頭痛、吐き気などの症状が出る。

## 6. まとめと今後の課題

硫化水素臭の強い施設、弱い施設共に、硫化水素ガス濃度がある一定の周期で大きく変化している。汚泥処理施設での観測では、人間の鼻にはかなり強い刺激を伴う腐卵臭が常時感じられていたが、実際には、硫化水素ガス濃度は最低10ppm程度から最大275ppm程度まで大きな振れ幅があり、一定の規則性をもって変化していた。

このような下水道施設における硫化水素の発生や、それに伴う種々の問題を解決するためには、まず、発生源対策として下水や汚泥を速やかに収集・処理し、できるだけ嫌気性の状態にしないことである。

また、調査では、処理区ごとに、または、管路、水処理、汚泥処理などの施設ごとに、固有の硫化水素ガス濃度の周期的な変化が認められた。また、気温の差による濃度の違いも見られた。

今後、硫化水素ガス濃度の連続観測データを蓄積し、下水道施設のどこで、どのように硫化水素ガスが発生しているかという実態を明らかにすることで、問題箇所や処理工程などを抽出し、「下水道施設における臭気の発生抑制と効率的な除去」のための重点的な対策を図るための基礎資料とする予定である。

## 参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説、1994年版、日本下水道協会、P.715
- 2) 中沢均、鈴木建、遠田和行：下水道施設における新しい防食技術の開発と評価に関する調査、日本下水道事業団、技術開発部報 1999年版、P.57
- 3) 1990 Robert L. Islander, Joseph S. Devinny, Florian Mansfeld, Adam Postyn, and Hong Shin : Microbial Ecology of Crown Corrosion in Sewers, Journal of Environmental Engineering, pp751, Vol.117, No.6, 1991, p.754
- 4) 労働省労働衛生課編、新酸素欠乏作業主任技術者テキスト、中央労働災害防止協会、
- 5) EPA 設計マニュアル、下水道施設の臭気と腐食対策、1988年11月25日、下水道事業団業務普及協会、P.178