

氏 名	三 品 文 雄
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 7 月 11 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 50 年 3 月 大阪市立大学工学部土木工学科卒業
学 位 論 文 題 目	下水道施設における硫化水素の生成と制御に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 野池 達也 東北大学教授 佐藤 敦久 東北大学教授 須藤 隆一 東北大学教授 澤本 正樹

論 文 内 容 要 旨

下水道の目的は、浸水の防除（雨水排除）、生活環境の改善（汚水排除）及び公共用水域の水質保全（下水処理）に大別され、これらの目的を達成する施設として下水の運搬施設（管路施設、ポンプ場）及び下水処理施設がある。これらの下水道施設に対する建設投資は、昭和45年のいわゆる公害国家以来極めて大きく、昭和63年度には2兆3千億と、GNPの0.7%にも達している。この結果、我が国で下水道事業を実施している市町村数は1,128町村（全体3,246市町村の35%）、処理人口は4,953万人、普及率で約40%に達した。管路施設は年間約9千kmのペースで延伸され、昭和62年度末の管路布設総延長は144,976kmを越えている。また、終末処理場の数も年間約40%箇所のペースで増え、昭和62年度末で703箇所が稼働している。

下水道施設は建設投資額が大きく再建設が困難なため、施設の機能を可能な限り長期間維持することが必要である。加えて、維持管理をする上で住民の生活と密接に関連するため、臭気等の二次公害を発生させることなくその目的を達成する必要がある。これに対し、下水中には微生物の増殖に必要な栄養源として有機物や各種無機物が十分含まれているため、下水道施設内では常時活発な微生物活動が行われている。下水道施設は、その全体の系をひとつのバイオリクターとみなすことができる。下水道施設内での微生物の存在形態はいわゆる混合培養系であるため、下水道施設の維持管理上、有害な微生物も多く存在する。そのため、下水道施設の老朽化や腐食は他の公共施設より早い。しかし、施設の清掃や補修といった保守管理は十分とは言えず、費用面でも施設全体の16%しか配慮されていないような状況にある。

近年、下水道施設が増加するに従い、管路施設、ポンプ場、終末処理場といった下水道施設のコンクリートや金属材料の腐食による被害例が、多く報告されるようになってきている。その主な原因は、下水や汚水中の硫酸塩還元細菌により硫酸イオン（ SO_4^{2-} ）から生成された硫化水素、およ

び大気中にあるコンクリートや金属材料の表面硫酸化細菌の作用によって生成された硫酸に起因することが判ってきた。加えて、硫化水素ガスは有害ガスであり激しい臭気を伴うため、下水道施設からの臭気発生の原因の一つにもなっている。このような硫黄化合物と硫黄関連細菌による下水道施設の腐食は海外では古くから知られていたが、日本では硫黄化合物を多く含む特殊な廃水（工場排水、高濃度排水等）がその原因であると考えられてきた。しかし、最近発生している管路施設の腐食やそれらに帰因する道路の陥没事故などの場合には、特殊な廃水の流入が無くとも発生している事例が見られるようになってきた。また、処理施設では近年周辺住民からの臭気の苦情に対して施設の覆蓋化が進行し、その中で腐食も深刻になりつつある。

このような、近年の一般家庭下水からの硫黄水素の生成と微生物腐食の主な原因をまとめると、次のようなことが考えられる。

- ①分流式の汚水は、一般にはBOD濃度が高いため腐敗しやすい。
- ②分流式の汚水管は雨水によるフラッシングを受けにくく、また、管内清掃が不十分な場合が多い。
- ③海水中の硫酸イオン濃度は2700mg/ℓ程度あり、下水道施設への侵入水率が1%あると硫化水素生成の原因物質である下水中の硫酸イオン濃度は27mg/ℓ上昇する。
- ④処理場での処理の安定性を目的とした管内貯留や定量送水運転によって、汚泥の堆積や腐敗が生じやすい。
- ⑤市街地の大型ビルに設置されたビルピット排水は、滞留時間が長く腐敗しやすい環境となっている。
- ⑥下水の長距離圧送を行うと、大量の硫化水素生成が行われる。
- ⑦下水中の硫酸イオン濃度が近年上昇してきており、硫化水素の生成しやすい環境となっている。
- ⑧臭気対策上の処理施設の覆蓋化が進み、硫化水素ガス濃度が濃縮され腐食しやすい環境が増加している。

このような状況のなかで、一般下水中での硫化水素の生成と腐食機構を解明することは、処理場やポンプ場を含めた下水道施設の主要材料であるコンクリートや金属の腐食防止対策を行う上で重要であると考えられる。これに対し、今日まで下水道施設における硫化水素の生成と制御について体系的な研究が行われてきておらず。また、その対応策についても実質的検討はほとんどなされていない。

本研究は上記目的達成のため、管路、ポンプ場、下水道処理を含めた下水道施設箇所において硫化水素による微生物腐食の実態調査や室内実験を行い、硫化水素の生成機構とその制御方法について検討を加えたものである。

本論文は、6章から構成されている。

第1章「総論」では、本研究の意義と目的について述べた。

第2章「硫化水素による下水道施設の腐食」では、下水道施設のコンクリートの腐食は、下水中から気相部に放出された硫化水素をもとに、硫酸化細菌（*Thiobacillus* 属）が生成した硫酸によりコンクリートを崩壊させることから明らかにしている。次に、腐食の実態調査より、管路施設の腐食は、下水の圧送に伴う場合、下水の管内貯留を伴う場合及びビルピット排水による場合が激し

い腐食を起こすことを明らかにしている。下水処理施設におけるコンクリート構造部や金属類の設備の腐食は、一般公共施設の腐食問題としてとらえられている亜硫酸ガスや海塩粒子による腐食に加え、硫化水素による腐食の影響が特に大きく腐食速度はかなり大きいことを検証している。そして、この微生物腐食が下水道施設では深刻な問題であることを提起し、この腐食を防止するためには硫化水素の抑制が重要であることを述べている。

第3章「下水中からの硫化水素生成」では、下水中の硫化水素の生成機構を解明するため、その原因物質である硫酸イオンの負荷量を、水道水、尿、洗剤に分けて測定し、近年見られる硫酸イオン濃度の増大の主な原因が、水道水と洗剤にあることを明らかにしている。次に、硫化水素の主な生成源が下水道施設に付着したスライムからであるのか、沈殿物からであるのかを究明するため、沈殿物とスライムを実際の施設から採取して、硫酸塩還元細菌（SRB）の硫化水素生成ポテンシャルを測定すると共に、硫化水素生成の主な発生源が下水管路内に停留した沈殿物であることを検証し、腐食防止対策としては施設に沈殿物を堆積させないことが重要であることを述べている。また、沈殿物中に生息する *Desulfovibrio* 属や *Desulfotomaculum* 属といった硫酸塩還元細菌が硫酸イオンを還元し、硫化水素を生成することを明らかにし、揮発性有機酸がどの程度下水中で生成されるかが硫化水素生成の律速になっていることを検証している。このため、腐食防止対策としては、下水や汚泥を腐敗させないことが重要であることを述べている。

第4章「硫化水素ガスの気液平衡と測定方法の検討」では、硫化水素の化学的性質は既に詳細に検証されているが、下水中における硫化水素の挙動や、その大気への放散条件について研究されたものはない。そのため、下水からの分子態硫化水素の大気中の放散条件を明らかにするため、硫化物の気液平衡に与える pH と水温の影響を調査し、下水の通常の pH (pH 7~8) と下水温度 (10~40℃) の範囲での硫化物 1 mg/ℓ 当りの硫化水素ガス発生量 ($\text{H}_2\text{S}/\text{S}^{2-}$ ppm/mg/ℓ) を求めている。また、硫化水素ガスの簡易な測定法についても検討を加え、二酸化鉛法による測定法で硫化水素ガスは容易に安定した濃度が検出されることを検証している。

第5章「各下水道施設における硫化水素生成とその対策」では、下水道施設における硫化水素生成の特性を究明するため、圧送管における硫化水素の生成の実態を圧送区間及びその下流での下水及び気中における硫化水素の生成特性を調査することにより、圧送管内での硫化水素の生成は滞留物に生息している硫酸塩還元細菌により生成されていることを実証し、その防止策を提案している。

次に、自然流下水道管路での硫化水素生成の可能性と場所の特定を行うため、下水の溶存酸素濃度の実態調査を行い、一般的な下水道管路は、十分な好気状態で硫化水素の生成するような条件は無いことを述べている。

流入下水の管内貯留な下水の定量送水による硫化水素の生成は、ポンプ場での腐敗下水を巻き込んだときの硫化水素があるため、圧送管出口においてより深刻なものとなっている。そのため、管内貯留や定量送水運転を止め、流入した下水を速やかに送水する低水位運転に切り替える必要があることを提起している。

処理施設での硫化水素生成の検討とその場所の特定を行うため、下水処理場のユニットプロセス43箇所での硫化水素濃度の測定を行い、沈砂池や最初沈殿池、汚泥濃縮槽関係の槽やピット及びその

部屋が特に激しい腐食環境にあることを明らかにしている。またこれらの施設は覆蓋することにより、更に激しい腐食環境におかれることになることも明らかにし、その対応策を提起している。

第6章「総括及び結論」では、本研究を通して得られた成果を総括し要約している。

審査結果の要旨

近年、下水道の普及に伴い、下水道施設における硫化水素の生成機構を解明することは、下水道施設の主要な構成材料であるコンクリートおよび金属の腐食防止対策を行う上で重要である。本論文では、下水道施設における硫酸塩還元細菌の硫化水素生成機構について、実施設および室内実験により究明し、硫化水素生成の制御方法および腐食防止対策について検討したもので、全編6章よりなる。

第1章は総論である。

第2章では、下水道施設の腐食の実態に関する詳細な調査を行い、コンクリートの腐食は、下水から気相部に放出された硫化水素を硫酸化細菌が硫酸に酸化することに起因することを明らかにし、特に下水の圧送、管内貯留およびビルピット排水において、著しい腐食が生ずること、また、この場合の腐食速度は、二酸化イオウや海塩粒子によるものより大きく、腐食防止のためには硫化水素の生成抑制が不可欠であることを示している。

第3章では、下水中の硫化水素生成の原因物質である硫酸イオンの主要な負荷源は、水道水と洗剤にあること、また、硫酸塩還元細菌の硫化水素生成ポテンシャルを測定することにより、下水管渠においては、管壁に付着したスライムよりも沈殿物の方が、硫化水素の主要な生成源であることを明らかにしている。さらに、嫌気的条件下で下水から生成される揮発性有機酸濃度が、硫化水素の生成の律速となることを見出ししている。これらは重要な知見である。

第4章では、下水からの分子態硫化水素の大気中への放散条件を明らかにするため、硫化物の気液平衡に及ぼすpHと水温の影響について検討を行い、下水の通常pH7～8および下水温度10～40℃において、硫化物1mg/ℓ当りの硫化水素ガス放散量(ppm/mg/ℓ)を求めている。また、硫化水素ガス濃度の実用上簡易な測定方法として、二酸化鉛法が安定した方法であることを明らかにしている。これらは有用な知見である。

第5章では、自然流下水管路、圧送管および下水処理施設における硫化水素生成特性を把握するための詳細な調査により、下水の管内貯留や定量送水における硫化水素の生成は、ポンプ場からの腐敗下水が混入した際に著しく、圧送管の維持管理手法として、流入した下水を速やかに送水する低水位運転方式が硫化水素の生成を制御する上で適切であることを提示している。また、下水処理施設のユニットプロセスの腐食防止対策として、換気および脱臭、防食設計の必要性についても有用な知見を得ている。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、下水道施設における硫化水素生成機構について、実施設および室内実験によって究明し、その制御方法の検討を行ったもので、衛生工学の発展に寄与するところが少ない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。