

## 下水道管路施設の腐食リスクの見える化に関する検討

株式会社 NJS ○矢野慶一 遠藤雅也

下水道施設において、特にコンクリート構造物は硫化水素に起因する硫酸腐食が特徴的に見られ、構造の劣化や道路陥没の原因とされており、重点的な維持管理が求められる。このためには腐食のおそれの大きい箇所を特定する必要があるが、従来では硫化水素が「放散」する水理構造等を下水道台帳等の情報から簡易的に抽出するに留まっていた。

本検討は硫化水素の「生成源」にも着目し、腐食のおそれの大きい箇所をさらなる精度で抽出することを目的として、管内の流況や嫌気性環境を考慮した腐食ポテンシャルマップを作成することで、腐食リスクの「見える化」について取り組んだものである。

*Key Words* : 下水道管路、硫化水素、腐食ポテンシャル

### 1. はじめに

全国の下水道管路総延長は約 50 万 km に達しており、標準耐用年数 50 年を超える管路は現在約 7% で 20 年後には約 42% まで増加が見込まれ、加速度的に老朽化が進行している。令和 7 年 1 月に発生した埼玉県八潮市内の道路陥没事故は、硫化水素に起因する管路の腐食が原因と考えられており、劣化の一因として腐食の影響を無視できない状況である。

本稿では下水道管路の腐食のしやすさ(腐食ポテンシャル)に関して、水理構造(急落差、大断面合流等の施設情報)に加え、流況解析による管路網の詳細な流況や堆積状況を求め、管内下水中の溶存酸素濃度(DO)を算定することで硫化水素の生成源を推定し、腐食の可能性が高い路線を抽出する方法を検討した結果を報告する。

### 2. 硫化水素による腐食メカニズム

下水道管路の腐食プロセスは次の 3 段階に分けられる。本検討ではこのうち、I 生成段階、II 放散段階に着目した。特に I 生成段階は、“嫌気性環境”、“細菌の栄養源(有機物の量)”が条件であるため、評価指標として堆積量、DO を設定した。

	プロセス	評価指標	算定・設定方法
I 硫化水素の生成	下水中の硫酸塩が、嫌気性の環境下で硫酸塩還元細菌によって硫化水素に還元される。	DO 堆積量	独自の DO 収支式 流況解析
II 硫化水素の放散	硫化水素は、下水管内の乱流や管壁の結露で飽和状態になることなどにより、水中から空气中へ放出される。硫化水素は、硫黄酸化細菌などによって酸化され、硫酸に変化する。	管路落差・合流点	下水道台帳における施設情報
III 構造物の腐食	硫酸がコンクリート壁に含まれる水酸化カルシウムと反応し、石膏質の物質に変化することで構造が劣化する。	-	-

### 3. 検討フロー

腐食ポテンシャルに関する検討フローを図 1 に示す。

下水道台帳システムを基に管路情報を抽出し、浸水対策や合流改善において実績のある流出解析モデルを用いて分流污水管路をモデル化した。その上で、晴天時のシミュレーションにより、管内の流況及び堆積量の解析を実施した。

解析結果を用い、中央大学・NJS の共同研究により構築した酸素収支式により各スパンの DO 空間分布解析を行い、DO が低く堆積量の多いスパンを硫化水素の著しい生成源と推定した。

硫化水素の発生源となる路線の下流に急落差や大断面の合流がある場合は、乱流が激しくなり下水中の硫化水素が放散されやすい箇所となるため、腐食のおそれが高い路線として整理し、腐食ポテンシャルマップとして取りまとめた。

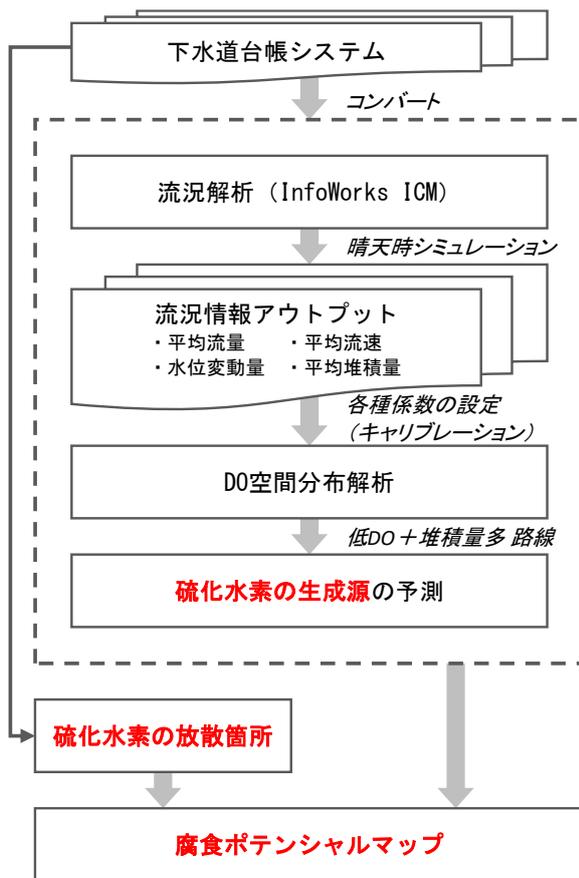


図 1 検討フロー

### 4. 流況解析モデルの構築

本検討では InfoWorks ICM による汚濁負荷量解析モデルを用い、流況解析を行った。

汚濁負荷量解析モデルは主に合流改善において使用される機会が多く、降雨による合流管への汚濁負荷の流出・流下・堆積に関する解析を行うことができる。

本検討ではこの機能を活用し、分流式污水管の晴天時における流況・堆積量の把握を目的として晴天時汚水量を対象に計算を実施し、汚濁負荷量解析モデルの「管路内汚濁負荷輸送」機能を使用して堆積量の推定を行った。

モデル上で設定した施設の種類、施設数及び数値設定は次のとおりであり、水質パラメータである BOD・SS は現地にて実測した値を使用した。

表 1 モデル設定した施設及び数値

種別	施設・箇所	備考	項目	数値
ノード	17,779	マンホール	汚水量原単位	288L/日/人
リンク	18,041	管路・ポンプ	汚水量日間変動	実績より設定
下位集水域	16,550	区画割数	BOD	180mg/L(実測)
ゲート	1		SS	130mg/L(実測)
中継ポンプ場	10			
マンホールポンプ	43			

## 5. 流況と堆積量の解析

流況解析の結果、図 2（上図）の管径別平均流速に示すとおり、常時において多くのスパンは污水管の設計最低流速である 0.6m/s を下回っており、特に管径 500mm 以下での低流速が顕著となっている。下流の管径の大きなスパンでは流量が増加するため、平均流速も早い傾向となっている。

平均流速を管路延長で除した流下時間を当該スパンから最上流部まで加算した晴天時污水の流達時間分布を図 2（中図）に示す。日平均汚水量は管路設計で使用する時間最大汚水量の約半分程度であるとともに、少子高齢化に伴う汚水量の減少や水洗化状況等により、流下に時間を要している路線があることがわかる。

堆積量は、各スパンの堆積量（L）を管路延長（m）で除した単位で表現する。堆積量は流速とともに、上下流の管底高の関係などでも影響を受けるため、図 2（下図）に示すように堆積しやすい管路は面的に広がっているが、大断面の管路ではほとんど堆積しない傾向にある。

## 6. DO の現地測定

DO 空間分布解析における、取付管からの流入下水の DO の把握及び解析結果のキャリブレーションのために、流下時間の長い幹線部、流下時間の短い枝線部で DO の現地測定を行った。

図 3（上図）に示す幹線での測定は自動測定機により 1 分ピッチ 1 週間で行った。測定値は概ね 0.2~1.5 mg/L 程度で推移している。下水が滞留する場合などでは 1.0mg/L 以下で嫌気性条件とされ、硫化水素の生成が活発化している可能性が考えられる<sup>1)</sup>。

図 3（下図）に示す枝線（最上流路線）の流入下水の種別は主に生活系污水である。測定は晴天日の 1 時間ピッチ 24 時間で実施した。測定値は概ね 3.0~5.0mg/L の数値となる時間帯が多く、各家庭等から排水される下水においては比較的酸素量が多いことが確認された。

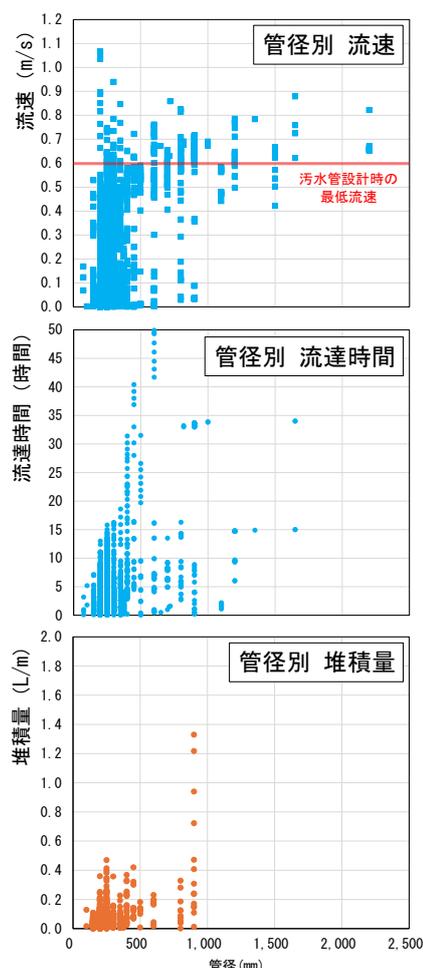


図 2 流況と堆積量の解析結果

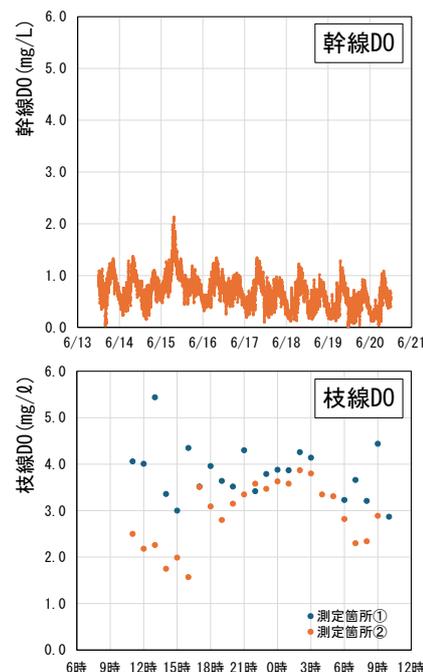


図 3 DO 現地測定結果



現地測定による気温、BOD、流入下水（枝線・取付管からの下水中の DO）を用いるとともに、脱酸素係数  $k_1$ 、再曝気係数  $k_2$  は計算結果として得られる DO 推定値を幹線における DO 実測値と整合させることで調整を行い、設定した（幹線の DO 現地測定では期間内の変動が大きいものの、平均値では概ね  $0.5\text{mg/L}$  であったため、同値を超えない DO 推定値となるように各種係数の調整を行った）。

河川における DO の環境基準の下限値が  $2\text{mg/L}$  とされているように、好気性微生物が活発に活動するためには DO が  $2\text{mg/L}$  以上必要であり、 $1\text{mg/L}$  を下回ると嫌気性細菌の働きによる有機物の分解が進行するとされている<sup>1)</sup>。以上を踏まえ、DO 空間分布は  $0.5$ 、 $1.0$ 、 $2.0\text{mg/L}$  を目安とした区分で整理を行った（表 2）。

DO は基本的に下流域のほうが低くなる傾向となり、幹線管路を中心に低い結果となった。これは、DO の高い取付管からの下水量の比率が幹線系統では少ないこと、長い流下時間により下流ほど酸素が消費されていることによるものと推察される。

表 2 DO 空間分布の解析結果

DO値	管路数		管路延長	
	(スパン)	構成比率	(m)	構成比率
0.0~0.5mg/L未満	1,589	9%	85,627	16%
0.5~1.0mg/L未満	4,121	23%	115,298	22%
1.0~2.0mg/L未満	5,295	29%	137,083	26%
2.0mg/L以上	7,036	39%	192,041	36%
合計	18,041	100%	530,049	100%

## 8. 腐食ポテンシャルマップ

堆積量分布、DO 空間分布及び放散地点の抽出結果の重ね合わせ、腐食ポテンシャルを評価した結果を表 3 に示す。本検討では腐食ポテンシャル高は堆積量が多く、DO が低い環境下において放散地点の有無により判定している。「ポテンシャル高」と想定される管路は延長ベースで全体の約 19%となり、DO 空間分布の影響が大きい結果となった。一方で「ポテンシャル低」は、全体の約 57%となり、このうちの 5%は圧送管が含まれている。圧送管は基本的に満水状態で気相部がないことから吐出先は腐食ポテンシャルが高くなるが、圧送管自体は低い結果となる。ただし、DO が極めて低い圧送管（「ポテンシャル中」）もあり、間欠運転などで常習的に気相部が発生する場合は腐食ポテンシャルが高い可能性がある。

表 3 腐食ポテンシャル別 スパン数・管路延長

	腐食ポテンシャル			流下方式	スパン数		管路延長	
	管内堆積	DO	放散地点		構成比率		構成比率	
高	あり	1.0mg/L 未満	あり	自然流下	3,201	16 %	107,760 m	19 %
				圧送	0	0 %	0 m	0 %
中	あり	1.0mg/L 未満	なし	自然流下	5,868	29 %	138,472 m	24 %
				圧送	60	0 %	3,386 m	1 %
低		上記以外		自然流下	10,211	51 %	299,694 m	52 %
				圧送	581	3 %	27,963 m	5 %
			合計		19,921	100 %	577,275 m	100 %

図 6 に本検討で作成した腐食ポテンシャルマップを示す。作成したマップを基に硫化水素濃度を現地測定したところ、腐食ポテンシャルの高い地点では一時的に 10ppm に達しており、予測と一致した結果となった。

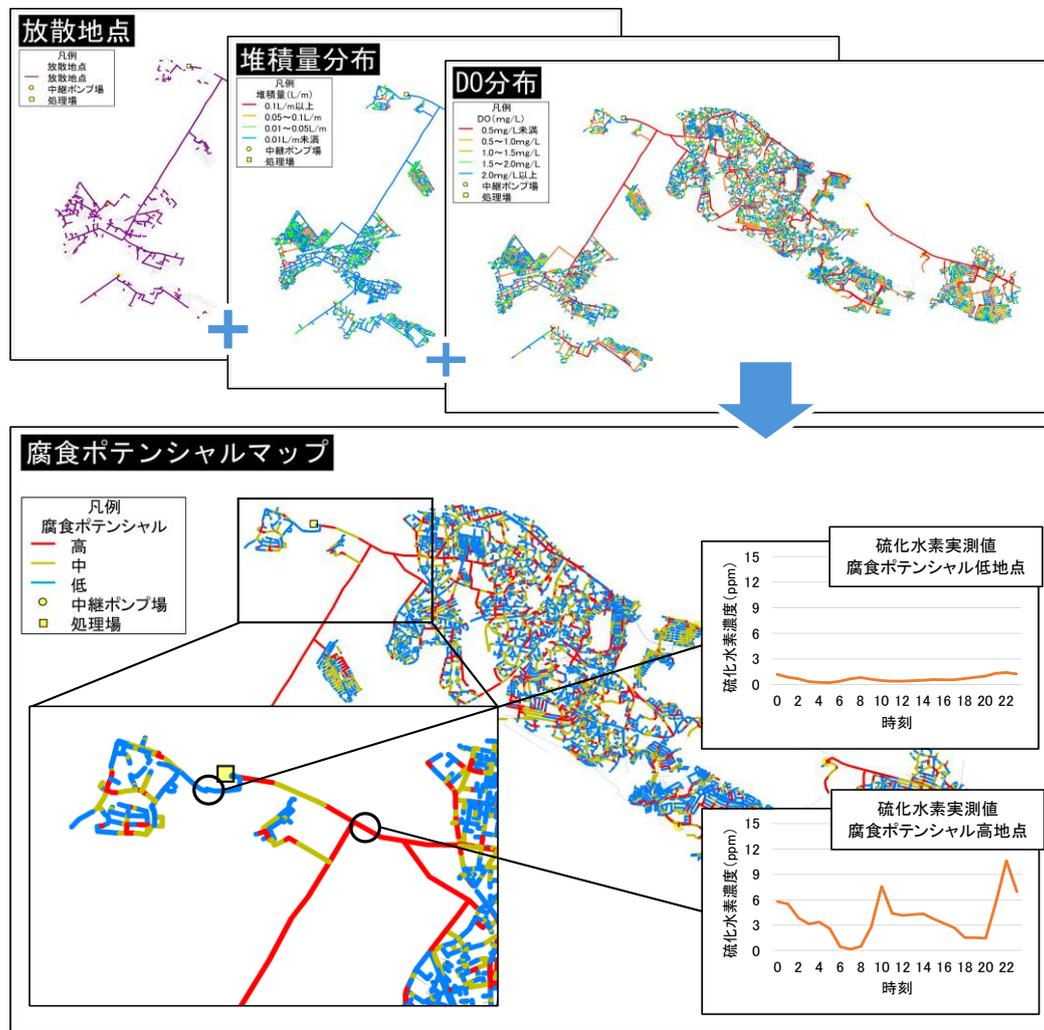


図 6 腐食ポテンシャルマップ

## 9. 結論と今後の展望

- 管内の堆積量や DO を求め、硫化水素が発生しやすい地点を推定し、水理構造により硫化水素が放散しやすい地点を重ね合わせることで腐食ポテンシャルの高い箇所を抽出することが可能となり、維持管理の優先度設定や点検・清掃に活用することができる。
- 今後は硫酸塩還元反応による酸素消費を酸素収支式に組み込むことで、管内の硫化水素濃度の推定が可能となることから、腐食ポテンシャルが高い路線をより精度よく抽出可能となるものと考えられる。

- 1) 公益社団法人 日本下水道協会. "下水道管路施設ストックマネジメントの手引き". 2016. p2-4
- 2) 遠藤雅也, 古米弘明. "流出解析モデルを活用した管路腐食ポテンシャルの推定と道路陥没リスクの検討". 第 62 回下水道研究発表会講演集. 2025. p764