

# 下水関連施設におけるコンクリート表面の水分を対象とした遠隔pHモニタリング手法の検討

試験研究センター 材料部 材料試験室 中山 健一、  
大阪大学 吉田 夏樹、服部 晋一、鎌田 敏郎、  
パシフィックコンサルタンツ 山中 明彦、大阪市建設局 北野 陽一郎、中屋 克幸

## 1. はじめに

下水関連施設では、微生物の作用により生成した硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )によるコンクリートの劣化が懸念されています。過去の検討において筆者らは、下水管路内の劣化環境を把握するため、大阪市内の下水管路において管路内の表面に付着した水分を採取し、pHおよび硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )濃度の分析を行いました。その結果、pHは中性から強酸性の範囲に広く分布し、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度は土木学会が示す劣化環境の目安( $\text{SO}_4^{2-}$ : 0.2%)以上の環境が多く存在することを明らかにしました。<sup>1)</sup>

ただし、これらの分析結果は、水分を採取した時点のものであり、経時的に変化する環境の実態を捉えていません。コンクリートの劣化過程をより詳しく把握するためには、環境を連続的にモニタリングし、環境変化を捉える必要があります。また、モニタリング方法として、作業員の安全と作業効率などを考慮すると、センシング技術を用いた遠隔モニタリングが望ましいと考えました。

そこで本研究では、pHセンサ(以下、センサと呼ぶ)とデータ通信装置を用いて、センサの出力値からコンクリート表面に付着した水分のpHを推定し、環境の変化を連続的に捉えることや、測定データを遠隔地でモニタリングする方法について検討した結果を報告します。

## 2. センサおよびデータ通信装置の概要

### 2.1 センサの概要

センサは既往の文献<sup>2),3)</sup>を参考にして作製したものであり、タングステン線(以下、W線と呼ぶ)と参照電極で構成されています(写真-1参照)。W線は直径0.6mmのタングステンワイヤを長さ約10cmに切断したのち、片端から約1cmの部分を王水に約24時間浸漬し酸化させ、それ以外の部分を熱収縮チューブで被覆しました。参照電極は銀-塩化銀(Ag/AgCl)電極を使用し、内部液には3mol/Lの塩化カリウム(KCl)水溶液を使用しました。pHの測定精度を確認するため、3種類のpH標準液(pH1.68, 4.01および6.86)にセンサを浸漬させ、電圧計の正極側に接続したW線と負極側に接続した参照電極との電極間の電位差を測定し、電位差とpHとの関係から検量線を作成しました。検量線の作成結果を図-1に示します。溶液のpHが低くなるほど電

位差が大きくなる傾向が認められました。また、センサは、溶液に浸漬させてから出力値が安定するまでに30~80分要することが分かりました。現場で検量線を作成する際の作業性等を考慮し、30分後の出力値を用いて検量線を作成しました。この検量線の決定係数は0.98であり、直線性の良い検量線を作成することができました。



写真-1 pHセンサ

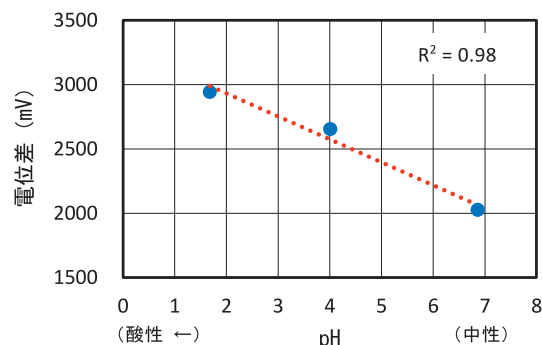


図-1 検量線の作成結果

### 2.2 データ通信装置の概要

センサの信号を遠隔地で取得するために写真-2および写真-3に示す装置を用いました。センサが発する微小な電圧を微小信号増幅アンプで増幅し、データ通信装置でクラウドサーバに送信します。クラウドサーバにあるデータはインターネットを介してパソコンやスマートフォン等の携帯端末で取得することができます。なお、微小信号増幅アンプ、データ通信装置およびセンサを接続したシステムを、本研究では「遠隔pHモニタリングシステム」と呼びます。

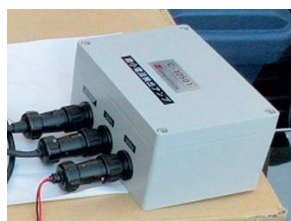


写真-2 微小信号増幅アンプ



写真-3 データ通信装置

### 3. 測定方法

#### 3.1 測定場所

測定は大阪市内の下水処理場内にある沈砂池で行いました。測定場所は幅640mm、長さ1000mm、深さ700mmのピットで、上部が屋外に面しており蓋で覆われています(写真-4参照)。壁面の劣化状況を写真-5に示します。コンクリート表面は褐色に変色し、一部では粗骨材が露出しており、 $H_2SO_4$ 劣化と思われる特徴が認められました。また、当該場所では、揚砂設備の稼働時において瞬時的に硫化水素濃度が高まる傾向が認められました。

#### 3.2 センサの設置方法および測定方法

センサの設置方法を図-2に示します。W線は樹脂製リベットを用いて壁面に固定しました。参照電極は直径20mmのドリルビットを用いてW線近傍の壁面に斜め下方向の穴を開け、その穴に上水道水を注入し参照電極を挿入しました。W線と参照電極の先端を測定箇所の壁面に接触させて電極間の電位差を測定し、pHを測定しました。なお、測定間隔は10分としました。

### 4. 測定結果および考察

1か月間pHを測定した結果を図-3に示します。また、雨水の流入の影響を確認するため大阪市の降水量との関係についても整理しました。通信状態は良好であり、測定期間中は通信が途切れることなく安定的にデータを取得することができました。壁面のpHは、開始直後はセンサが不安定なため、高い値を示していました。その後、pHは上昇と下降を繰り返しながらpH1.1~8.0の間で推移し、雨天時にはpH7前後まで上昇する結果となりました。これはピット内に流入した雨水により、壁面で生成した $H_2SO_4$ が薄まったためと考えられます。このようにコンクリート表面のpHは環境の変化に応じて変動していることが分かりました。変動の要因について詳しく検討することが今後の課題になります。

### 5. まとめ

- (1) センサをpH標準液に浸漬させ、溶液のpHとセンサの出力値との関係から検量線を作成した結果、直線性の良い検量線を作成することができました。
- (2) 下水処理場内での測定において、センサから発する微小な電圧を通信装置により遠隔地でモニタリングすることができました。
- (3) コンクリートの $H_2SO_4$ 劣化環境における環境変化のモニタリングに、遠隔pHモニタリングシステムを利用できる可能性を見出すことができました。



写真-4 測定場所

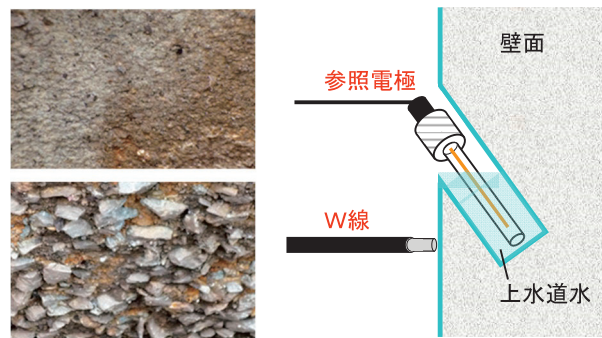


図-2 センサの設置方法



写真-5 壁面の劣化状況

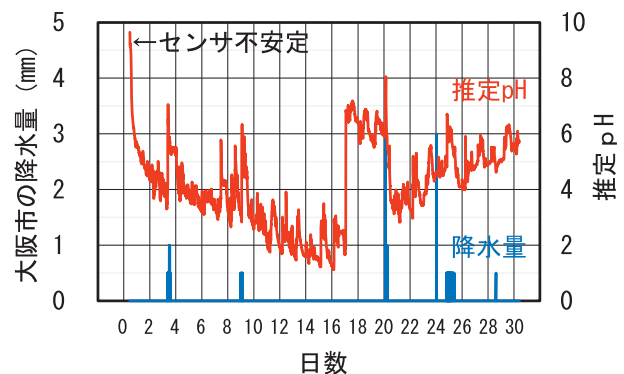


図-3 壁面のpH測定結果

#### 【参考文献】

- 1) 吉田夏樹, 中山健一, 山中明彦, 鎌田敏郎: 下水管路内表面の水分からコンクリートの劣化機構を考察する, セメント・コンクリート, No.846, pp.18-23, 2017
- 2) V. Raman and T. Nishimura: Monitoring of Environmental Factors and Corrosion Analysis of Reinforcing Steel in Mortar, Materials Transactions, Vol. 50, No. 4, pp.799-805, 2009
- 3) 櫻庭浩樹, 西村俊弥, 古賀裕久: 塩分センサを用いたコンクリート構造物の簡易な塩化物イオン量調査, 土木技術資料, 60-10, pp.44-47, 2018