

下水道管路内水位のモニタリング技術の開発

メイン機器とバックアップ機器を併用した効率的な水位モニタリング

山口 治・南 雲 裕 樹・澤 裕 俊

下水道管路の維持管理は、管路内水位をリアルタイムにモニタリングすることが有効であるが導入実績は少ない。これまでにモニタリング技術の普及に向けて、実際に運用中の管路で水位モニタリングを試行してきた結果、測定機器と通信の電力消費量の削減、設置・撤去の時間短縮などの課題が挙げられた。そこで、今回モニタリングの要素技術であるセンサ、通信、設置・撤去方法の検討を行い、改善の可能性を得た。リアルタイムモニタリングが可能な既往技術をメイン機器、必要に応じてデータ取得するバックアップ機器の併用により、効率的な水位モニタリングが可能なシステムを考案したので報告する。

キーワード：下水道管路，維持管理，水位モニタリング，ヘテロコア光ファイバ，LoRa 通信

1. はじめに

我が国の下水道は、管路の整備延長が約 49 万 km、布設後 50 年を経過した管路は約 2.5 万 km であり、20 年後には 19 万 km と増加する¹⁾。布設後の経過年数の増加に伴い、管路の機能不全や道路陥没の発生のリスクが高まる。一方、下水道を管理する多くの自治体では、人口減少・下水道使用料減少による維持管理予算の縮小と、維持管理技術者の不足が問題となっている。これらの有効な解決策の一つとして、官民連携事業の活用が進められており、下水道管路の維持管理においては、包括的民間委託の実施件数が増加している。

包括的民間委託の実施のためには、対象インフラの資産価値評価（デューデリジェンス）が必要となるが、管路の点検に多くの時間と費用がかかるために十分に行われていない。また、近年では気候変動の影響により、局所的な集中豪雨の発生回数の増加に伴って内水氾濫が増加している。そのため、維持管理や防災の観点から、管路内の水位などの情報をモニタリングできる体制や技術が求められている。

2. 既往技術の調査と問題点

管路内水位モニタリングができる既往技術として、管路内から無線通信（LTE 通信）でクラウドにデータを転送することで、リアルタイムにモニタリングできる技術（以下、既往技術）が実用化されている。筆

者らは、既往技術を供用中の下水道管路に設置して適用の利点と問題点の抽出を行った。検証の結果、計測期間中に集中豪雨で内水氾濫が発生した際でも水位変化をリアルタイムに確認できた。計測結果は、下水管路の流下能力の評価や今後の管路整備計画に活用できることが利点として挙げられた。

一方で、導入費用が高額となることや、運用に際して、①内水氾濫の把握に必要な計測・通信間隔に設定した場合の電力消費が大きい点、②水位計の設置撤去に時間が掛かり、道路占用時間が長くなる点などの問題点があった²⁾。

3. 補完技術の開発

(1) 新たな水位モニタリングシステムの構築

既往技術は、機器が高額なため広範囲に多数の機器を設置できなかった。そこで、前述の既往技術の問題点の解決および未設置箇所を補完する開発技術（以下、補完技術）の双方を活用した新たな水位モニタリングシステムの構築を目指すこととした。

(2) 要素技術の検討

前述の問題点の解決策として、モニタリング技術を構成する 3 つの要素技術である、(a) センサ技術、(b) 通信技術、(c) 水位計センサの固定治具に着目し、省電力化と低コスト化の検討を行った。

(a) センサ技術

水位センサの電力消費低減と低コスト化を同時に実

現する技術として、ヘテロコア光ファイバ³⁾を用いた水位計(以下、光ファイバ水位計)の適用検討を行った。ヘテロコア光ファイバのセンサは、コア径の異なる部分を意図的に設けて、伝搬光が漏れいする度合を感知することで変状を計測する特許技術である(図-1)。

一般的な水位測定で用いる通電式の棒状水位計との比較を表-1に示す。光ファイバ水位計の特長として、センサ部分での通電を必要としないガラス製であり、耐雷性が高く、硫化水素などの化学的浸食を受けないことから、長期耐久性を有する。消費電力は、従来の棒状水位計と比べて1/8程度²⁾に抑えられ、長期使用が可能となる。

(b) 通信技術

既往技術で使用しているLTE通信は、通信の範囲が広くて速度が速い反面、長期間使用による費用が高く、消費電力が大きい。そこで、LPWA(Low Power Wide Area)の一種であるLoRa通信(LoRa:Long Range)の適用を検討した。LoRa通信を用いた下水

道内部からのデータ取得イメージを図-2に示す。LoRa通信は、消費電力が小さく安価に利用できる反面、通信可能な範囲がLTE通信に比べて狭いうえ、鉄製のマンホール蓋を介したデータ通信ができない可能性があった。そのため、実際のマンホール内部に装置を設置して通信試験を行った。

試験では、運用時のデータ収集効率を考慮して巡視点検車等でデータを取得することを想定し、自動車の一般運行速度での取得が可能か検証した(図-3)。

マンホール内に設置する送信機は、地上の受信機を感知する信号を一定間隔(試験では20秒間隔に設定)で発信し、受信機の存在を感知した時に水位情報を発

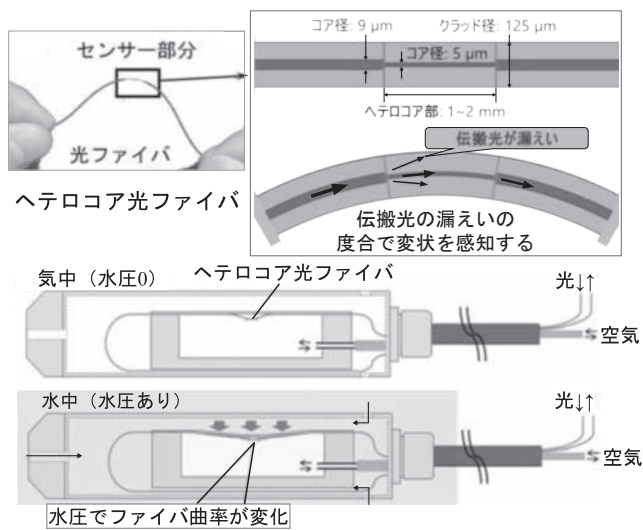


図-1 ヘテロコア光ファイバ水位計概念図

表-1 棒状水位計と光ファイバ水位計の性能比較

機器名称		棒状水位計	光ファイバ水位計
比較項目	消費電力	【大】4W	【小】0.5W
	比較	○	◎(従来比:1/8)
形状自由度		【低】ペン型	【高】フリー
	比較	△	○
耐久性	耐雷性	【無】雷等で破壊	【高】影響なし
	比較	×	○
	耐腐食性	【低】金属線	【有】ガラス線
比較	△	○	
生産体制		汎用品	受注生産
費用	比較	1.0(標準)	1.3

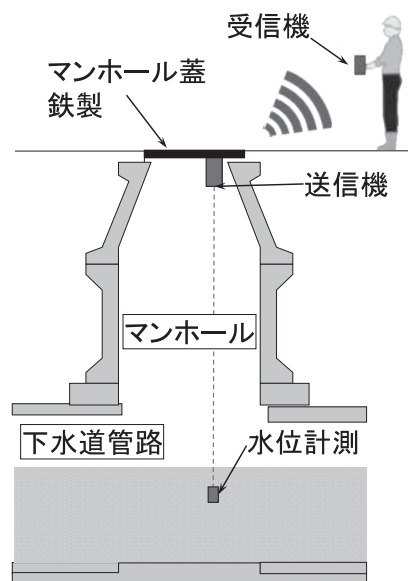


図-2 データ取得イメージ



図-3 データ取得試験状況

信する設定とした。試験の結果、マンホール位置から約 100 m の位置で水位情報が取得できた。

上記の結果から、受信機を搭載した点検車が 50 km/h で走行した場合、送信機の待機状態間隔を 14.4 秒以下に設定することで、走行中に水位情報を取得できることを確認した(図-4)。これにより、道路占用やマンホール蓋の開閉をせずに迅速なデータ取得が可能な方法を構築できた。

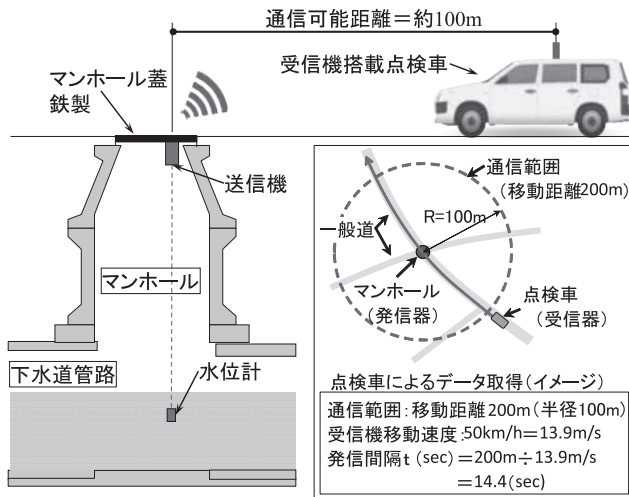


図-4 巡視点検車によるデータ取得試験結果

(c) 水位計センサの固定治具

水位計センサの設置・撤去を行うには、道路占有が必要となるため、地上交通への影響を考慮して迅速な取り付け・取り外しが求められる。これまでは、水位計センサを取り付ける際にマンホールの壁面にハンマードリルで削孔し、アンカーボルトで固定する方法であったため、1箇所のに設置に1時間程度を要していた(図-5)。また、一般的には、棒状の水位計を高さ方向(上下)に配置して水位を測定するが、管の内部の常時水位がごく浅い場合も多く、棒状水位計では低水位の計測が困難であった。そこで、形状変更可能な光ファイバ水位計を使用し、取り付け・取り外しが迅速で容易な固定治具の検討を行った。検討にあ

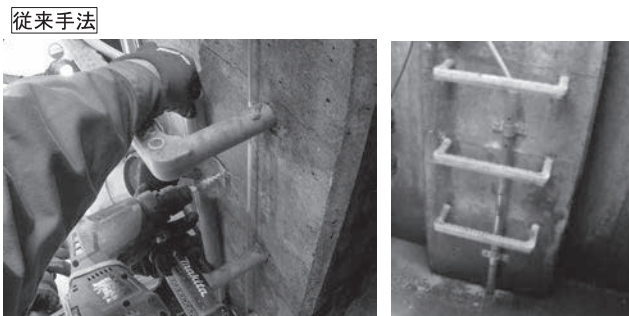


図-5 水位計センサの固定(従来方法)

り、以下の点を考慮した。

- ①固定治具設置のアンカレス化
- ②固定治具と水位計の一体化
- ③流下障害の回避

検討の結果、マンホールから流下する管路(下流側)の接合部にはめ込む形状を採用し、管底部に光ファイバ水位計を取り付け、流下能力を確保する形状(以下、「はめ込み式治具」)を考案した(図-6)。

はめ込み式治具は、腐食耐性を有する厚さ0.3mmのステンレスシートを主材料とした。光ファイバ水位計の形状を薄板型とし、管底部から10cm程度偏芯させた位置に設置したうえで、表面に堆積防止カバーを取り付けることで、流下物の堆積を回避した。試作した固定治具を実際の管路に取り付けたところ、1基あたり15分程度の設置時間となり、1/4の作業時間であった。また、アンカーによる固定が不要となるため、作業性が容易で、撤去後の補修が不要となった。加えて、薄板形状にした光ファイバ水位計が管底部付近にあるため、低水位での正確な測定が可能となった。

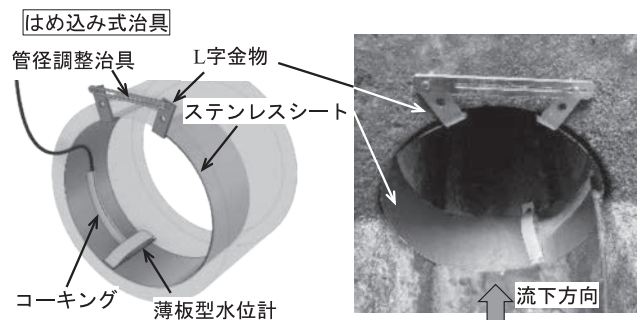


図-6 水位計センサの固定治具(はめ込み式治具)

(3) 補完技術の考察

補完技術の費用は、既往技術と比較すると水位計単体では高価となるが、LoRa通信の使用による通信費の削減、はめ込み式治具の使用による作業時間の短縮(人件費の削減効果)が見込め、総合的に低コスト化が見込める結果となった。今後は光ファイバ水位計の量産化が実現することで更なる価格優位性が見込める。

消費電力は、光ファイバ水位計とLoRa通信の技術を組み合わせることで、既往技術と比較して大幅に低減できる。消費電力が抑えられたことで、長期使用の実現や、通信回数の増加が可能となる。また、供給電力の小型化や、太陽光・熱電発電などの自然環境を利用した環境発電など代替電力の活用も考えられる。

上記の検証を踏まえて考案した新たな水位モニタリングシステムのイメージを図-7に示す。既往技術

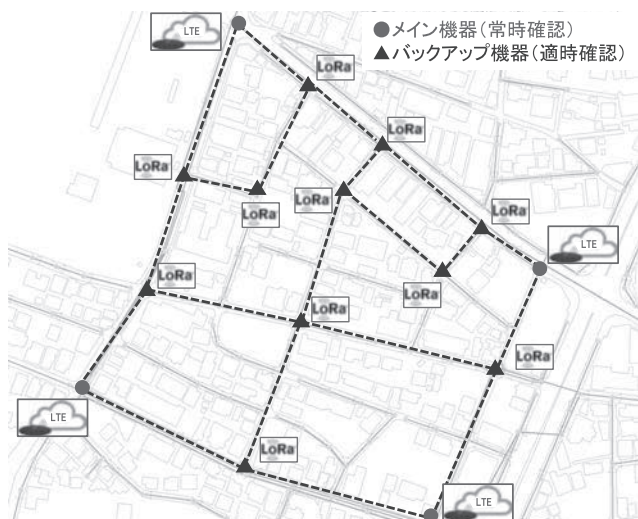


図-7 既往技術と補完技術の運用イメージ

は、確実な通信によるリアルタイム計測の利点を活かし、大まかな面的傾向をリアルタイムに把握するメイン機器として主要な箇所に配置する。これにより、局所的豪雨時および豪雨直後の迅速な対応が可能となる。補完技術は、安価で数多く設置できる利点を活かし、既往技術の線的・面的な欠損部分を補完するバックアップ機器として、メイン機器の間に配置する。データは必要に応じて現地でマンホール蓋を開けずに無線通信で取得する仕組みとし、現場作業の簡略化を図る。取得した記録の解析を行うことで、局所的豪雨の実態把握、対策の立案、整備計画の作成などを行うことができる。

このように、新たなモニタリングシステムでは、メイン機器とバックアップ機器の双方の情報を活用することで、維持管理品質の向上と業務の効率化、コストの抑制を実現できると考える。

謝 辞

今回の調査を実施するにあたり、公共下水道管路を提供して頂いた自治体関係者に対して、この場を借りて感謝の意を表する。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 「下水道の維持管理」,
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html
- 2) 南雲裕樹, 山口治, 下水道管路内水位のモニタリング技術の開発, 奥村組技術研究年報 No.48, pp45-50, 2022年9月
- 3) 渡辺一弘, 松原茂明, 久保田謙, OTDRを用いたヘテロコア型光ファイバセンサ, 計測自動制御学会論文集 35 (1), pp32-37, 1999

【筆者紹介】



山口 治 (やまぐち おさむ)
 ㈱奥村組
 東日本支社リニューアル工事事務所
 工事所支援グループ
 グループ長



南雲 裕樹 (なぐも ゆうき)
 ㈱奥村組
 東日本支社 名古屋支店土木第1部



澤 裕俊 (さわ ひろとし)
 ㈱奥村組
 東日本支社リニューアル工事事務所