

〈研究発表〉

下水道光ファイバーを利用したマルチセンシングボックスの開発

徳原俊介¹⁾, 畑山正美²⁾, 菊池信彦³⁾, 川上博行⁴⁾
熱田孝⁴⁾, 藤平貞義⁵⁾, 三浦春好⁵⁾

¹⁾ (株)日立製作所 (〒730-0036 広島県広島市中区袋町5-25 E-mail: shunsuke.tokuhara.pw@hitachi.com)

²⁾ (株)日立製作所 (〒170-8466 東京都豊島区東池袋4-5-2 E-mail: masayoshi.hatayama.uc@hitachi.com)

³⁾ (株)日立製作所 (〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 E-mail: nobuhiko.kikuchi.ca@hitachi.com)

⁴⁾ 東京都下水道サービス(株)
(〒100-0004 東京都千代田区大手町2-1-1 E-mail: hiro-kawakami@tgs-sw.co.jp, takashi-netta@tgs-sw.co.jp)

⁵⁾ (社)日本下水道光ファイバー技術協会
(〒101-0047 東京都千代田区内神田2-10-12 E-mail: fujihira@softa.or.jp, miura@softa.or.jp)

概要

下水道施設において、浸水対策等の危機管理および管路施設老朽化対策等の観点から、下水管渠内の水位や腐食性ガス濃度等の情報が求められている。しかし下水管渠内には電源および通信手段がなく、また保守作業が容易でないといった理由からこれら項目の継続的な計測は困難である。この課題を解決するため、地下埋設型の下水道光ファイバーを電力供給および情報通信の手段として利用することを想定し、シングルモード光ファイバー1芯に対して複数種類のセンサを接続可能なマルチセンシングボックスの開発を行った。

キーワード：下水道光ファイバー, 光ファイバー中継箱, 管渠内センシング, 浸水対策, 雨天時越流水

原稿受付 2016.6.28

EICA: 21(2・3) 106-109

1. はじめに

近年の気候変動による集中豪雨の増加は、内水氾濫のリスクを増大させている¹⁾。また平成27年に水防法の一部が改定されたことから、下水道施設は内水氾濫への対策を行うことが求められており²⁾、早期避難等のため下水管渠内の水位情報の把握が必要とされている。また、内水氾濫リスク低減のための雨水連絡管の整備や、今後更新時期を迎える下水管渠への投資を効率的に行うため、管渠内の雨天時水位の蓄積データ、管渠劣化に大きな影響のある硫化水素ガス濃度等の情報が必要とされている。さらに、水環境改善の観点から、合流式下水道における雨天時越流負荷を管理するため、越流堰における放流水質の把握も必要とされている。また、管渠内水質の把握は不明水流入箇所特定にも有効である³⁾。このように下水道事業の抱える課題に対応するため、下水管渠内の様々な項目のセンシングが求められている。しかし下水管渠内は電源および通信手段の確保が困難であり、管渠内の様々なセンシング情報を遠隔から継続的に取得することは困難である。電池により駆動し携帯電話の通信網を利用して管渠内のセンシングを行う技術が開発されている⁴⁾が、電池交換が必要であり、災害等で携帯電話通信網に異常が発生した際には通信が困難になるという課題

がある。

そこで、下水管渠内のセンシングを行うための安定した電源供給、通信の手段として下水道光ファイバーの活用が挙げられる。管渠内に光ファイバーケーブルを敷設する下水道光ファイバーケーブルは、大都市部を中心に普及しており、主に下水道関連施設間の情報通信に利用されている⁵⁾。先の東日本大震災では多くの施設が被害を受け、下水道光ファイバー設備はほとんど損傷を受けず、携帯電話通信網が混乱する中、安定した通信を維持することができたことから、その有用性が着目されている⁶⁾。この下水道光ファイバーを、施設間の通信だけでなく、管渠内のセンシングに利用するため、光ファイバー式センサを下水道光ファイバーに接続することによる管渠内のセンシングが試みられている⁷⁾。しかしながら光ファイバー式センサでは測定可能な項目が大きく限られているのが現状である。

このように、下水管渠内の様々な項目のセンシングを、安定して継続的に行うための方法は確立されていないのが現状である。本稿では、下水道光ファイバーを電源供給・通信の手段として利用することでメンテナンス頻度を抑え災害時にも強い下水管渠内のセンシングを、光ファイバー式センサのみでなく電気式センサも接続可能とすることで様々な項目に対して行うた

めの技術開発を実施したので、その成果について報告する。

2. マルチセンシングボックス (MSB) の開発

2.1 マルチセンシングボックス (MSB) の概要

下水道光ファイバーを利用して、下水管渠内の様々な項目をセンシングするため、光ファイバー式センサに限らず電気式センサも接続可能な、マルチセンシングボックス (MSB) を開発した。機器構成を Fig. 1 に示す。MSB は MSB 親局 (以下、親局) と MSB 子局 (以下、子局) から構成される。光給電用の光源装置を搭載し、処理場やポンプ所に設置する親局と、様々なセンサを搭載可能で、管渠内に設置する複数の子局を、1 芯のシングルモード光ファイバーを介して直列に接続する構成とした。今回試作を行った子局を Fig. 2 に示す。親局から光ファイバーを経由して供給される光エネルギーを子局において電力に変換し、センサを駆動させセンシングを行い、光ファイバーを通

じて測定結果の通信を行う。子局は人孔内に設置するため防水防食仕様の筐体で製作した。

シングルモード光ファイバー 1 芯による光給電と上下方向通信の両立は、給電光変調方式、波長分割多重方式およびタイムスロット割当方式により実現した。

給電光変調方式では、常時一定出力の親局から子局への給電用光成分に対して、レーザーダイオードの光レベルを変調することで、通信用の光成分を重畳し、給電と下り通信を同時に行うことを可能とした。波長分割多重方式では上り方向と下り方向で異なる波長の光を用いることにより、上り方向通信と下り方向通信および給電を同時に行うことを可能とした。また、タイムスロット割当方式では、各子局の起動および親局との通信のタイミングを親局が一括で管理することで、通信の衝突を回避し、また子局の起動を間欠的にすることで省電力化を実現した。

2.2 マルチセンシングボックス (MSB) の機能

今回開発した MSB には液面検知センサ、水位センサ、電気伝導率センサ、および硫化水素ガスセンサを接続可能とした。また、子局のセンサ接続コネクタは共通化されており、今後様々なセンサを搭載できるように拡張性を考慮した構造としている。

測定の際には制御用 PC を操作し、MSB に対して測定指令 (単発・連続) を出すと、各センシングデータおよび各 MSB のステータス情報が画面上に表示され、同時にログが記録される仕様とした。

子局は下水管渠内に設置するため、状態把握およびメンテナンスが困難である。そのため、自己診断機能として、子局のボックス内浸水、電源喪失、センサ接続外れ、光ファイバー断線という事象が発生した場合、それが制御用 PC において把握可能な機能を開発し付加した。また、センサのメンテナンス・交換を容易にするため、子局とセンサの接続には防水性のコネクタを使用し、着脱容易性を確保した (Fig. 2)。

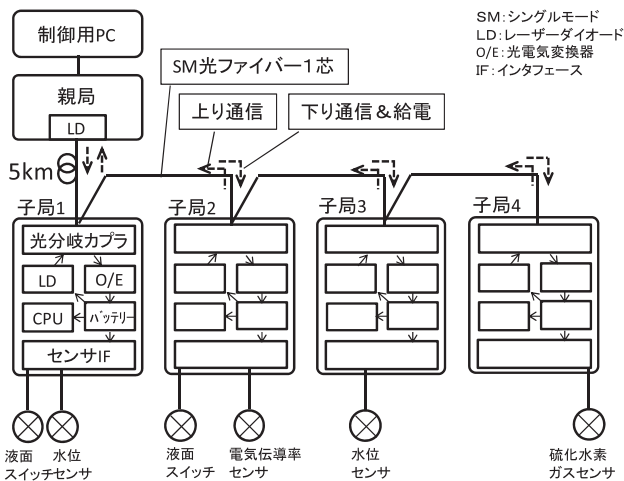


Fig. 1 Configuration of multi-sensing box (MSB)

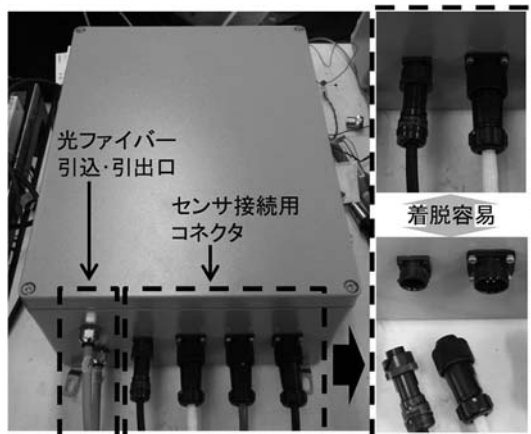


Fig. 2 Remote station of multi-sensing box (MSB)

3. 実証試験

3.1 光給電による電力収支の確認

Fig. 1 に示す構成において、子局における受光電力と消費電力の収支が保たれることを確認するため、各センシングデータと各 MSB のステータス情報を 5 秒に 1 回の頻度で取得する条件下で、5 日間の連続運転を行い、各子局におけるステータス情報のひとつであるバッテリーの充電状態をモニタリングした。結果を Fig. 3 に示す。光分岐カプラの分光比を調整することで受光電力を意図的に下げた子局 2 を除き、電力収支は平衡状態に保たれていた。子局 2 についてもはじめの 3 日程度でバッテリー電圧が低下したあとは、一定

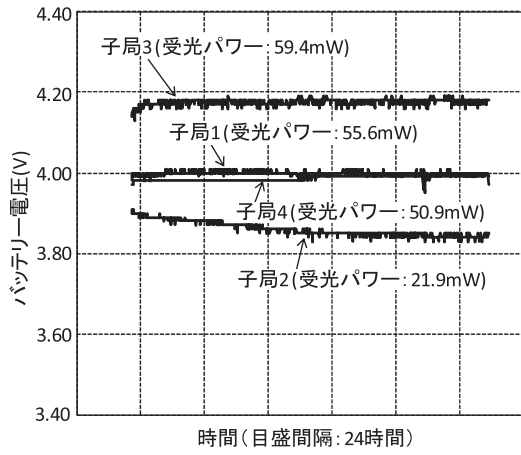


Fig. 3 Assessment of power supply and consumption in the MSB during a five day operation

の値となった。いずれの子局も、5日間を通して正常にセンサ駆動および親局との通信を行うことができた。この結果より、光給電によって供給される電力のみによって、電気式のセンサを駆動させ、その測定値を通信することが可能であることが実証された。

3.2 センシング動作・精度の確認

開発した子局に接続した液面検知センサ、水位センサ、電気伝導率センサ、硫化水素ガスセンサの動作および測定精度の確認を行った。今回使用したセンサを Table 1 に示す。一般的に、各種センサは専用の変換器と組み合わせ使用することで、正確な測定値が保証される。今回使用したセンサも、ON/OFF の判定のみを行う液面検知センサを除く水位センサ、電気伝導率センサ、硫化水素ガスセンサは本来専用の変換器が必要となる。ただ、これらの変換器は多くの電力を必要とし、今回採用した光ファイバーを利用した給電方式では、十分な電力を供給することができない。そこで今回開発したシステムでは、変換器を介さずに子局より直接センサへの電力供給を行うこととした。また、センサから返される電圧値等処理し、CPU へ伝達するための機能も子局内に実装した。両者を実現する

Table 1 Characteristics of the sensors

センサ	測定方式・レンジ
液面検知	ファラデースイッチ ON/OFF
水位	圧力式 0~10m
電気伝導率	電磁誘導式 0~2000 μ S/cm
硫化水素ガス	定電位電解型 0~50ppm

電子回路をセンサ IF と呼ぶ。

本システムにおける測定精度を評価するため、MSB に接続したセンサによる系 (MSB 系) と、水位と電気伝導率についてはセンサと専用変換器を組合せ、センサメーカーにより測定値が保証された従来型の系 (参照系)、硫化水素濃度についてはポータブル型の硫化水素ガス濃度計を使用した系 (参照系) との比較を行った。測定対象である水位、電気伝導率、硫化水素ガスは時間経過に合わせ、適宜変化させた。測定結果を Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 に示す。液面スイッチも含めいずれのセンサも 5 秒に 1 度の計測動作を問題なく行うことが可能であることが確認された。詳細を下記に記す。

液面検知センサはファラデースイッチ式のものを使用し、槽内の液面がセンサに達しているか否かを正常に判定することができた。水位センサは圧力式のものを使用し、水槽内の水位を変化させるのに従い、MSB 系と参照系ではほぼ同等の測定値が得られ、反応性も 16.6 cm/分程度の上昇に対して良好に反応した (Fig. 4)。電気伝導率センサは電磁誘導式のものを使用し、水道水と模擬下水の希釈系列を用い測定を行っ

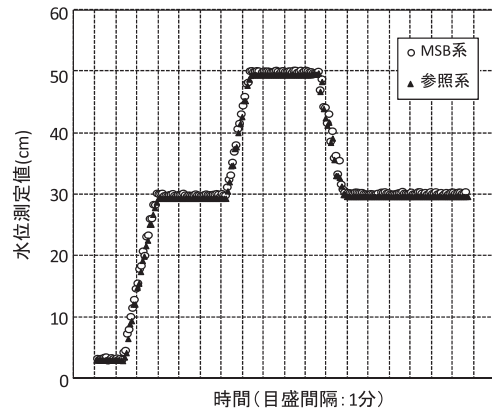


Fig. 4 Measurements of water level by the MSB system and the reference system

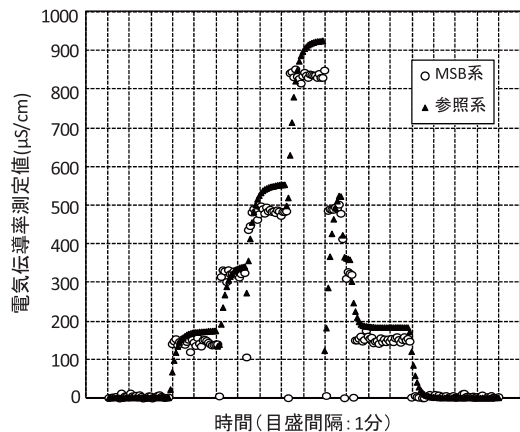


Fig. 5 Measurements of electrical conductivity by the MSB system and the reference system

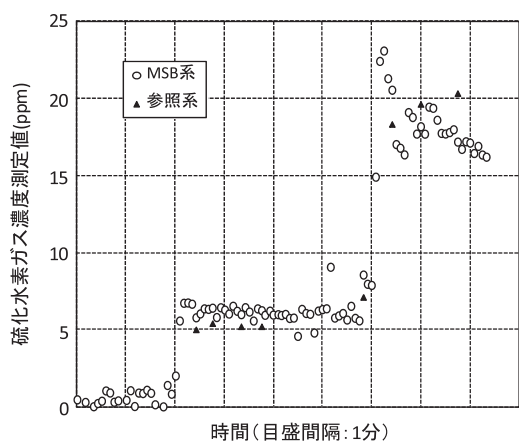


Fig. 6 Measurements of hydrogen sulfide concentration by the MSB system and the reference system

た。MSB系は参照系に比べ濃度変化への応答が早く、測定値のばらつきは参照系が $\pm 0.53\%RS$ であったのに対し、MSB系は $\pm 5.5\%RS$ であった (Fig. 5)。硫化水素ガスセンサは、当該濃度の大まかな値の把握には使用できることが確認された (Fig. 6)。

3.3 自己診断機能

開発したMSBに備えた自己診断機能を Table 2 に示す。子局の内部の浸水を検知するため、子局内に湿度センサを組み込んだ。子局を水深1mに浸漬させた状態で、意図的に数滴程度の浸水を生じさせた際の、子局内部の湿度変化を Fig. 7 に示す。この結果から、子局内の湿度センサにより、早期の浸水検知が可能であることが示された。また、子局における光ファイバーからの受光パワーを常時計測することで、電源供給が途切れた際に、それが検知できることが示された。また、光ファイバー内の反射光強度を常時計測することで、ファイバーが断線した際の反射光強度の変化を通じて、光ファイバーの断線を検知できることが示さ

Table 2 The items of self-diagnosis

自己診断項目	検知方法
子局内部浸水	子局内の湿度センサが異常高
電源喪失	子局受光パワーが異常低
光ファイバー断線	光ファイバー反射光強度が異常高
センサ接続外れ	センサ測定値が異常値(負の値, 異常高)

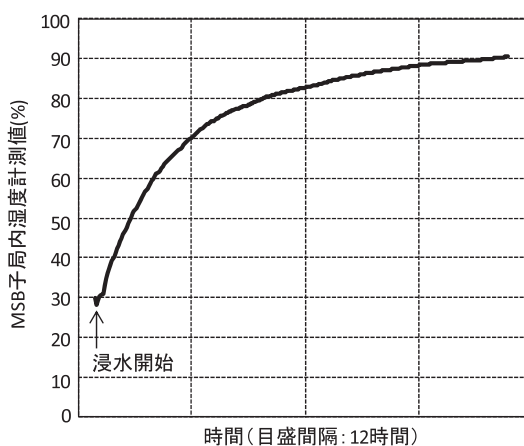


Fig. 7 Change of humidity in the MSB when a small amount of the leakage was happened

れた。また、子局に接続されたセンサ接続が外れた場合には、測定値が負の値あるいは測定範囲から大幅に外れた異常高値で得られることから、制御用PCから異常を検知できることが確認された。

4. 今後の展望

本稿の機能実証試験の結果から、下水道光ファイバーを利用し、下水管渠内の各種項目をセンシングすることが技術的に可能であることが示された。今後は、施工性や保守性を考慮した親局・子局の構造設計および、浸水対策等の課題解決に向けた下水管渠内のセンシングデータの活用方法の検討を進めていく。

参考文献

- 1) 気象庁 HP: 気象変動監視レポート 2014
- 2) 国土交通省 HP: 水防法等の一部を改正する法律の一部施行等について
- 3) 雨天時の下水道(管きょ)における課題対応に関する調査研究 2013年度 下水道新技術研究所年報 下水道技術推進機構 (2013) pp.1-7
- 4) 斎藤千穂, 中島満浩, 興津俊之, 熱田 孝, 堀ノ内卓: リアルタイム下水道管きょ内情報モニタリング装置の開発, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 20, No. 2, 3, pp.55-58 (2015)
- 5) 社団法人下水道光ファイバー協会: 新たな ICT を用いた情報管理における下水道光ファイバーの活用検討会報告書 (2012)
- 6) 中村俊男, 原田敏郎, 藤平貞義: 光ファイバーケーブル耐震化敷設技術調査, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 16, No. 2, 3, pp.69-71 (2011)
- 7) 遠藤和広, 藤平貞義, 原田敏郎, 嘉本健治: 光ファイバーを用いた水位検出システムの開発, 環境システム計測制御学会誌, Vol. 15, No. 2, 3, pp.25-27 (2010)