

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

		氏名 (ふりがな)	所属	役職
①研究代表者		村山 英晶 (むらやま ひであき)	東京大学大学院工学系研究科	准教授
②研究テーマ	名称	光ファイバセンサによる広域モニタリングシステムの開発と氾濫予測技術への活用		
	政策領域	[分野] (河川技術分野、 水防災技術分野 等)	融合 技術	
		[公募課題]		
③研究経費 (単位:万円)	平成23年度	平成24年度	平成25年度	総合計
※端数切り捨て。	2,241	1,738	760	4,739
④研究者氏名				
氏名		所属・役職 (※平成26年3月31日現在)		
湧川 勝己		(財)国土技術研究センター・研究主幹		
土屋 信行		公益財団法人えどがわ環境財団・理事長		
君塚 清		日鉄住金テックスエンジ(株)・チームマネージャー		
戸沢 正徳		(株)アサノ大成基礎エンジニアリング・課長		
⑤研究の目的・目標				
<p>本研究では、地表・地下で河川管理に関わる面的な情報を効率的にモニタリングし、リアルタイムの状況把握と高精度な予測技術でのデータ活用による河川管理の高度化を目的とし、光ファイバセンサネットワークによるモニタリングシステムの技術開発を実施する。</p> <p>河川・内水氾濫等の災害時に住民の安全と都市機能の継続性を確保するには正確な「情報収集」、「情報分析・判断」が欠かせないが、中小河川、下水道を含めた増水・浸水のリアルタイムな状況把握を可能とし、衛星やレーダの観測情報などと組み合わせて多層的な防災情報を創出することで氾濫予測技術の精度を高め、的確な状況分析・判断に基づいた意思決定を可能にすることを旨とする。</p>				

⑥研究成果

【広域モニタリングシステムの検討】

河川管理用の広域観測センサネットワークを低コストで構築できるよう、既設の光ファイバ通信網を利用して光ファイバセンサをネットワーク化することを提案した。これを光ファイバセンサネットワーク (OFSN) と呼び、実証サイトで構築するために調査、開発使用の検討、設計、基礎試験を行った。

光ファイバセンサは一般的に以下の特徴がある。

- ・ 測定器 1 台に同一あるいは種類の異なる複数センサをぶら下げることが可能(拡張性がある)
- ・ 長距離伝送が可能のため、広域多点、面での計測が可能(面測定)
- ・ センサ部に電源が必要ない

これらの特徴を活かし、河川管理用の観測センサとして利用できるセンサについて検討した。検討結果を図 1 に示す。

センサ機構について水位計と雨量計について説明する。図 2 に示すように、水位計はダイヤフラムの変形により、対象 FBG の中心波長のズレ(シフト量)を検知し、水位を算出する。雨量計は、図 3 に示すように、転倒ますに取り付けた近接スイッチが降雨により水がたまり転倒すると、ファラデー素子が磁界の影響を受けて反射光を発生させ、端局装置で接点信号としてカウントする。1 回の転倒が、1mm であり転倒ますのカウント数を積算し、雨量を計測する。通信で用いられている光ファイバにセンサ部分を取り付け、測定器を接続するだけで計測が可能であり、多数取り付けることでも面的に、図 4 のように地表と地下などに配置することで多層的な計測も可能となる。OFSN の基本構成を図 5 に示す。種類の異なるセンサの出力がファクトリーオートメーション (FA) で利用されている標準インターフェースである OPC (OLE 法プロセスコントロール) により同期データを一元的に取得し、データベース (DB) に格納する。DB は、X バンド MP レーダ、地上雨量計などの外部観測網のデータも格納される統合 DB する。また、光ファイバセンサは自己診断機能により、伝送路の断線などを自動的に検知・警告できるようにすることした。この基本構成を検証するため基礎的試験を行い、すべて狙い通りに動作することを確認した。

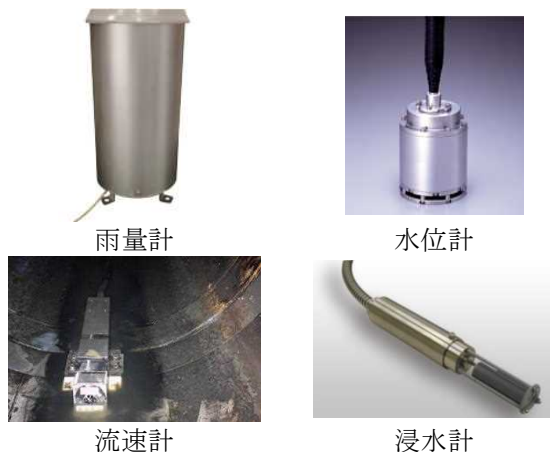


図 1 既設光ファイバ網に接続可能で河川管理用に利用できる光ファイバセンサ

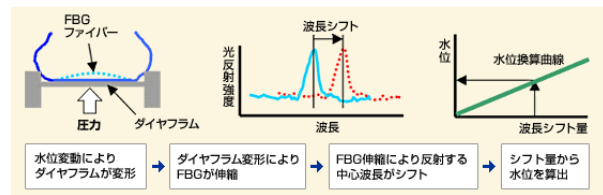


図 2 水位計の原理¹

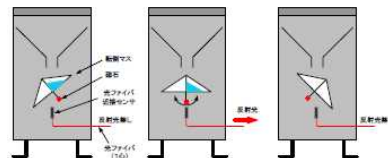


図 3 雨量計の原理²

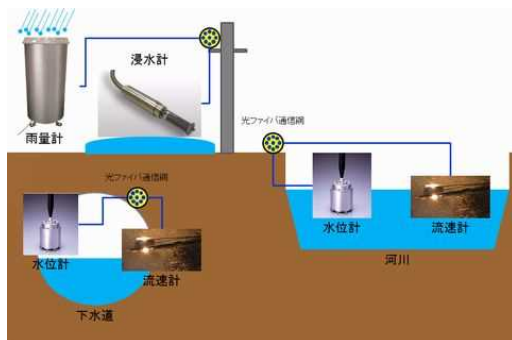


図 4 多層的センサネットワーク

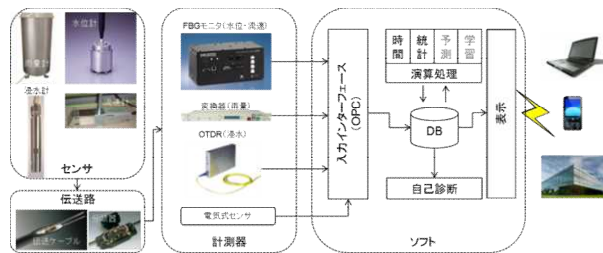


図 5 OFSN の基本構成

⑥研究成果（つづき）

光ファイバセンサを既設のファイバ網に接続することで、広域のモニタリングシステムを効率的に構築できると考え、現在利用可能な通信網の調査を行った。その結果を表1に示す。民間企業が管理する網の経路は、原則公開されていない。経路が公開されているのは、表1の下段となる。これらの網を借りるには、総務省での IRU 契約や電気通信事業法、有線電気通信法への対策が必要となる。電気通信事業者であることが好ましいが、目的に応じて相談に応じてくれる。後述の実証サイトで既設網を調査し、有効利用できることを実証している。

統合 DB で一元化することを目的に、外部気象機関から得られるデータについて調査し、本研究では表2に示すデータを収集することとした。オンラインでの取得を目指したが、現状ではほとんどがオフラインでしか入手できない。

表1 既設の光ファイバ通信網の調査

インフラ	電気通信事業者	有線テレビジョン	電力	鉄道
代表的な業者	NTT 東日本 NTT 西日本 KDDI など	J:COM JCN など	東京電力 九州電力など	JR 私鉄(小田急など)
特徴	国内カバー率 No1、フレックスサービスなどインターネットサービス用に家屋までファイバ網が届いている	地域ごと、サービスエリアごと。光ファイバと同軸のハイブリット構成であることが多い	電力管理用途のために敷設されている。近年では、ISP(インターネットサービスプロバイダ)への貸し出しも行っている。	路線脇に長大なファイバ網が敷設されている。
設置場所	架空、地下	架空、地下	電力	路線沿い
インフラ	河川	道路	下水道	地方公共団体
代表的な業者	国交省水管理 国土保線局	国交省道路局	東京都下水道局	都道府県市町村
特徴	河川沿いにファイバ網が敷設されている	主要道路沿にファイバ網が敷設されている	都内を広域に、下水処理施設に向けてファイバ網が敷設されている	地域、特定用途向け
設置場所	架空、地下	架空、地下	地下	架空、地下

表2 統合DBの収集項目

データ	種類	取得周期
流速	オンライン（本研究）	5 秒
水位	オフライン（東京都下水道局）	5 秒
X バンド MP レーダ 降雨強度	オンライン（河川情報センター）	1 分
地上気象観測	オフライン（気象業務支援センター）	10 分
アメダス 10 分値	オフライン（気象業務支援センター）	10 分
地上雨量計	オフライン（東京都建設局）	1 分

【実証サイトでのOFSNの構築】

○ケーブルテレビ（CATV）網を活用したOFSNの構築

江戸川区を実証サイトとして、架空にある民間の CATV の光ファイバ通信網を利用し、OFSN を構築、実証した。図6に示すように計測に利用する PC と信号変換器を局舎に設置し、南北に2式の雨量計を設置した。局舎（信号変換器）と雨量計1は約6km、局舎（信号変換器）と雨量計2の距離は約3kmである。J:COM イースト江戸川局舎に借用したラック内に雨量計測 PC、信号変換器を設置した。雨量計1は、ヘッドエンド屋上の床面1.2メートルの高さに設置した。下部に重量物を設け、動かない構成とし、安定させて設置した。雨量計2は、江戸川区の総合公園（フラワーガーデン）の倉庫屋上、20センチメートル立ち上げた位置に設置した。

○下水道光ファイバ網を利用したOFSNの構築

神田川流域を実証サイトとして、下水道幹線沿いに敷設されている光ファイバ通信網を利用し、OFSN を構築、実証した。図7に示すように PC と信号変換器を落合水再生センターに設置し、下流側に2つの流速計を設置した。下水道幹線には縦断的に9つの光ファイバ方式の水位計が設置されており、流速計は同じ信号変換器を利用することが可能になっている。流速計1は最下流の水位計9近傍に、流速計2は少し上流側にある水位計7の近傍に配置されている。落合水再生センターには統合データベースのサーバーも設置し、表2の収集項目が一元的にデータベース化することができるようになっている。また、光ファイバの断線検知が可能な OTDR を用いた自己診断システム機能も実装してある。

⑥研究成果（つづき）



図6 江戸川区に構築したOFSN

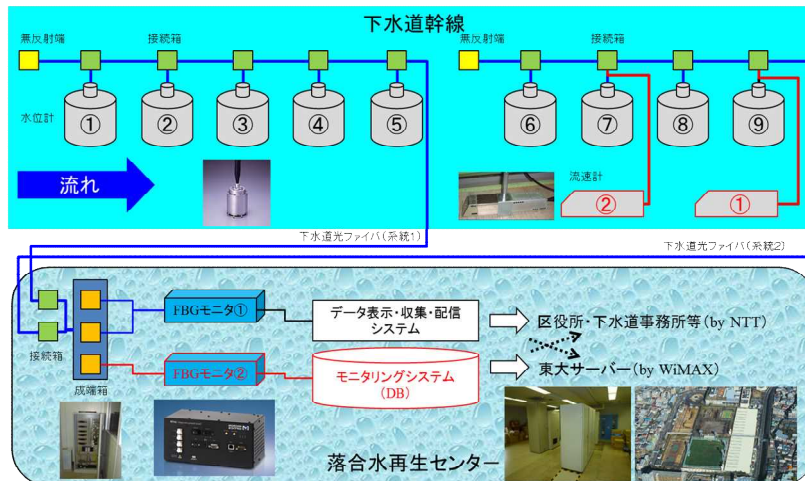


図7 神田川流域（下水道幹線）に構築したOFSN

【データ活用】

統合データベースによって一元化された観測データの活用方法として、大きく、「活用①：高度防災情報への活用検討」と「活用②：浸水・氾濫シミュレーションの精度向上への活用検討」の2つについて検討した。

活用①の例として、神田川流域の下水道幹線の水位を縦断的に把握できる可視化ソフトを作成した。図8は7月23日の降雨によるピーク時の水位の分布である。T.P. および水深が下水道幹線全体で把握することができる。ほかに神田川の水位や降雨量など、面的、多層的な情報を可視化する技術について検討を行っている。

活用②では、既存の神田川流域の流出・氾濫解析モデルを用い、XバンドMPレーダの降雨データを入力して計算を行い、観測値と比較した。図9に7月23日における観測流速と計算流速の比較を示した。観測流速は点流速から平均流速に変換しており、粗度係数を0.015および0.023とした2つを、計算も同様に異なる2つの粗度係数の計算結果を示している。ピークのタイミングはほぼ合っているが、オフセットがずれていることが分かる。流速計の平均流速への換算方法、ゼロ点の調整など検討する必要がある。

図10と図11に7月23日と10月15日・16日における水位計4の観測値（赤）と計算値（橙・灰）の比較をそれぞれ示した。計算は2つの粗度係数での結果を載せている。10月15日・16日においてはピークのタイミングおよび水位がよく一致しているが、7月23日は計算値が大きく見積もられている。入力値として用いられているXバンドMPレーダの降雨量を地上雨量計の値と比較すると、7月23日は流域で地上雨量計の降雨量に対して平均的に約40%多く見積もられ、10月15日、10月16日はそれぞれ9%と-10%であった。すなわち、レーダ雨量の値が降雨パターンによって精度が異なることの原因と考えられ、シミュレーションの精度を向上させるうえで重要な知見であると考えられる。

⑥研究成果（つづき）

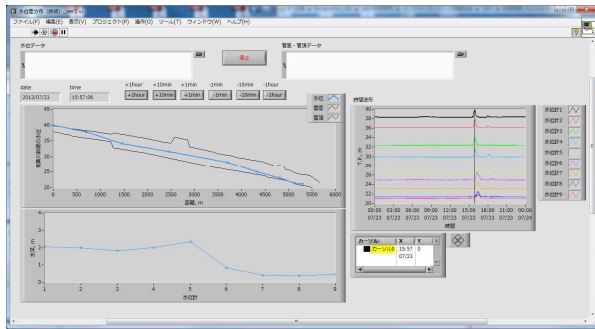


図8 下水道幹線の水位の縦断的把握

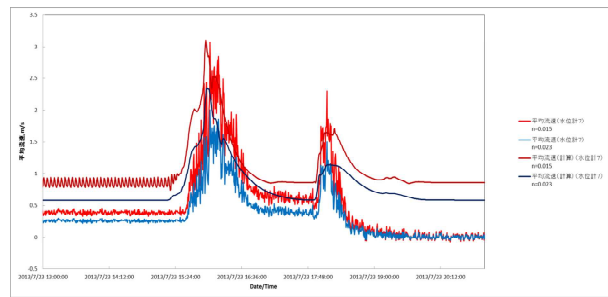


図9 観測流速と計算流速の比較

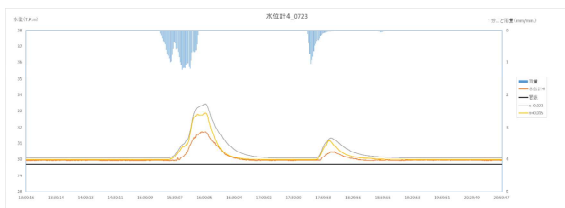


図10 7月23日の水位計4での比較



図11 10月15日・16日の水位計4での比較

【導入シナリオ】

ポンプ排水区である江戸川区において、大雨による浸水被害を最少化するために、河川・下水道の流況を縦断的・面的に把握することでポンプ運転の適正化を図り、また、住民に役立つ防災情報を創出することを目的に OFSN を構築・運用するシナリオを作成し、そのコストを算出した。図12と表3に想定したセンサ配置とコスト試算をそれぞれ示す。センサの維持管理費が大きいいため、セルフ故障診断、セルフキャリブレーション機能が重要な技術課題であると言える。

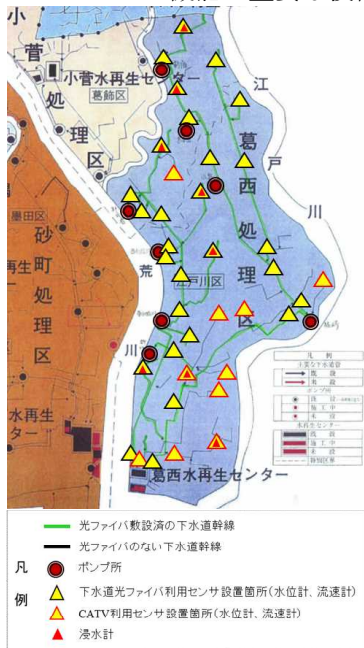


図12 想定センサ配置

表3 コスト試算

I. コストまとめ

項目	コスト(円)	補足
導入費用	237,690,000	
維持管理	204,300,000	運用年数 10 年
合計	441,990,000	
1年当たり	44,199,000	

II. 内訳

項目	金額(円)
1. 資機材	109,600,000
2. センサ設置工事	76,000,000
3. 光ファイバ敷設工事	29,540,000
4. 計測システム	22,550,000
5. 維持管理(年間)	20,430,000

【河川管理の高度化に向けた発展可能性検討】

以上の成果をまとめ、ワークショップにおいて専門家らに示し、意見交換を行った。最後に意見を反映させ OFSN・統合DBを活用した河川管理の高度化に向けた提案を行った。

参考文献

- 1) 東京都下水道サービスHPより
- 2) 古河電工HPより

⑦研究成果の発表状況

・解説

村山英晶、特定非営利活動法人・光防災センシング振興協会の取り組み：標準化・啓発・開発、計測と制御、Vol. 51、No. 3、pp. 293-298、2012.

村山英晶、光センシングによる防災情報システムの展望、応用物理、Vol. 82、No. 3、pp. 234-238、2013.

・招待講演

村山英晶、光ファイバセンサネットワークによる防災情報システム、第59回応用物理学関係連合講演会シンポジウム「ポスト3.11の防災光波センシング」2012/03/15、早稲田大学.

村山英晶、光ファイバセンサネットワークによる防災情報システムの構築、Optics & Photonics International 2012、レーザー特別セミナー、2012/04/25.

・セミナー

村山英晶、安全・安心のための光ファイバセンシングの活用、一般社団法人日本オプトメカトロニクス協会 フォトンテクノロジー技術部会、2014/03/14.

君塚清、激甚化するリスクに立ち向かうプラットフォーム連携、(一社) ケーブルテレビ情報センター主催 CRIフォーラム、2014/04/15、日比谷プレスセンタービル.

・タイアップ

H23～H26年度 東京都下水道局と共同調査 「光ファイバ流速計を用いた氾濫予測モデルの精度向上技術に関する調査」

H23～H26年度 株式会社ジェイコムイースト江戸川局 「光ファイバによる雨量計測実験」

⑧研究成果の社会への情報発信

・村山英晶、光ファイバセンサ ～光で送る、光が創る情報～、スーパーサイエンスハイスクール事業 科学講演会、2012/03/12、北海道室蘭栄高等学校.

・ http://www.jcom.co.jp/corporate/group_news/2013/_50584.html

J:COMグループ会社ニュース、「光ファイバによる雨量計測実験の実施について ～東京大学、江戸川区と共同で9月1日に開始～」、2013/08/30.

⑨表彰、受領歴

特になし

⑩研究の今後の課題・展望等

下水道に敷設された光ファイバ網に流速計を接続し、また民間（J:COM）の光ファイバ網に雨量計を接続しそれぞれのセンサを稼働させたことで、本研究で目的である効率的に地表・地下での河川管理に関わる面的情報取得を可能とする光ファイバセンサネットワークの実現に大きく寄与したと言える。所有・管理者が異なるファイバ網を連結することで、より広範囲・大規模なセンサネットワークの構築が可能となることから、連結に際するセキュリティの担保が重要な課題となる。ファイバ網に比べ、センサや計測器の標準化・規格化が遅れている状況であるが、欧州を中心に進められている社会インフラや航空機のモニタリング用機器・デバイスとは別に、河川管理用センサ・計測器や通信網を利用したセンサネットワークに関しては日本がリードして標準化を進めていくべきと考える。

また本研究では、レーダ、地上雨量、河川水位、下水水位・流速といった様々なデータを一元化した情報にして取り扱い、可視化技術を駆使することで、これまでにない防災情報を提供することが可能であることを示した。ただし、総合的・迅速に状況把握するための可視化技術については開発余地が十分にある。さらに観測データから短期的な流況の将来予測が可能であると考えられ、人工知能などを利用する新しい技術開発が期待される。

また浸水・氾濫シミュレーションと比較・分析することで、降雨パターンによって観測と解析結果の差が変わることを示した。入力として利用しているレーダ雨量の取り扱い方が原因と考えられるが、粗度係数や流出時間など様々なパラメータをより現実に即してチューニング可能と考える。しかし、観測データの精度・信頼性を常に担保できるよう、セルフキャリブレーション機能などの新しい技術の開発が必要である。将来的には河川・下水道管理の現場と連携し、緊急時あるいは設備の整備・更新において有効利用可能な観測データとシミュレーションを組み合わせたシステム・方法論の開発・構築を進めるべきであろう。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

本研究では、従来のように河川に関わる観測システムを点のあつまりとしてではなく、3次元的なネットワークとして捉えている。すなわち縦断的・面的・多層的な観測網から得られる情報を用いて、河川・下水道の流況を総合的に把握でき、より高度な防災情報を創れることを示している。これは、既設の光ファイバ通信網を用いた効率的なセンサネットワークとデータベースによって観測データを一元化して利用するという発想から得られている成果であり、今後の河川砂防行政における観測やデータ管理、利用のあり方の方向性を示すうえで大きな貢献をしていると考える。特に現時点では、所有・管理者が異なる観測データを集め、分析可能な状態にすることは多大な労力が要求されることであった。今後、よりシームレスにデータの統合が行われ、民間にも共有・活用機会が与えられることになれば、河川管理に関わる行政負担を軽減し、かつ国民に有用なサービスを提供する様々なビジネスが創出されると信じる。そのときには、一元化された観測データの有効性を示した本研究がその分野の嚆矢として認められるはずである。

また、本研究では都市部の中小河川とみなされる下水道幹線を観測の対象としているが、暗渠化された流路における観測システムの精度・安定性保証が困難であった。現状の定期的な点検等にかかる保守費用が大きな行政負担となることを、本研究で実施した広域モニタリングシステムの導入シナリオで示している。河川・下水道の管理に利用する観測システムにはセルフ故障診断、セルフキャリブレーション機能など、保守費用を抑える技術の重要性を定量的に示している。

最後に、浸水・氾濫シミュレーションの精度・信頼性が向上すれば、水門やポンプなど災害時の河川・下水道設備のオペレーションに対するガイドラインの作成が可能となると考えた。ガイドラインに従うことで、これまで大きなプレッシャーを感じながら判断しなければならなかったオペレーションをより迅速、かつ的確に行うことができるようになるだろう。