

光ファイバによる河川洪水等に関わる 広域モニタリングシステムの開発

飯野光則* 大浪裕之** 村山英晶*** 湧川勝己****

1. はじめに

近年、都市部における局地的短時間豪雨により、内水氾濫や中小河川の氾濫による浸水被害が増加している。比較的大規模な河川では水位観測等が行われ、現状の危険度の把握や予測等に活用されているものの、市街地の浸水状況や小河川・水路等の水位については観測機器の設置やリアルタイムデータ転送システムの整備が遅れているのが現状である。一方、都市空間には堤防、道路、下水道等の光ファイバの他、CATV等民間の光ファイバが敷設されており、これら既存ストックを活用することにより、安価かつ信頼性の高いリアルタイム観測システムが構築できる可能性がある。光ファイバセンサの特長としては、多点計測技術により、従来は一つの観測機器（受光部、データロガー等）に対して一つのセンサを必要としたのに対して、一つの観測機器に対して複数のセンサを接続することが可能となり、水位、雨量など異なる観測項目でも同じ原理で計測できる。また、現地に設置されるセンサ部には電源が不要であるため、耐電磁ノイズ・耐雷性等に優れ、保守コストの削減も期待できる。

本研究では、降雨量、河川・下水道の流況、浸水等に関わる面的な情報のリアルタイム把握(図-

1参照)及び氾濫予測技術等への光ファイバセンサネットワークシステム(OFSN)の活用を目的とし、OFSNを活用した氾濫予測技術の実用化に向けたシステム機能、設計条件、コスト低減策、長期信頼性の確保等について検討を行っている。なお本研究は、国土交通省水管理・国土保全局の河川砂防技術研究開発制度(<http://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/CollaborativeRD/index.html>)に基づき、東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻の村山准教授を中心とした研究チームと国総研水害研究室が連携し、実施しているもの

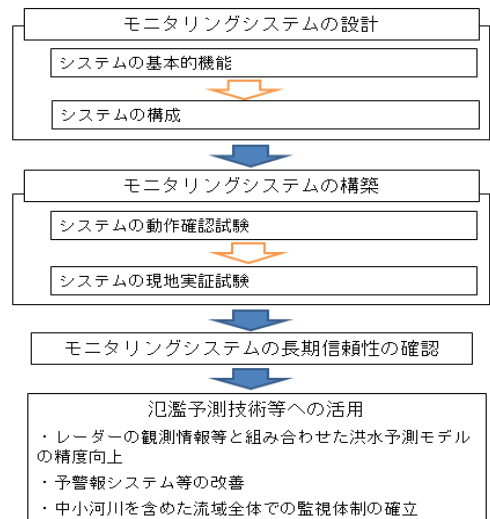


図-2 研究の実施フロー

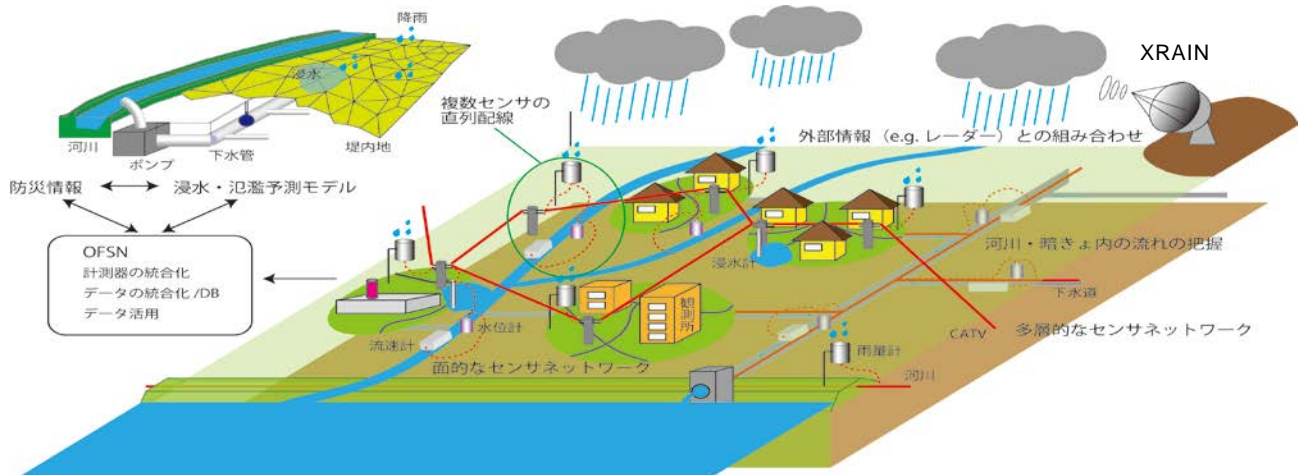


図-1 光ファイバによる広域モニタリングの全体像

である。研究の実施フローは図-2に示すとおりである。

2. モニタリングシステムの設計

2.1 システムの基本的機能

2.1.1 収集データ

光ファイバセンサに接続させる流速計、雨量計、水位計の観測データは、同一の周期で収集できるようにした。また、光ファイバセンサ以外のXバンドMPレーダ雨量データ等の外部データも取得して、データを統合できるようにした。

2.1.2 表示機能

収集したデータについて、瞬時値、経時グラフを表示して、リアルタイムでデータの監視、センサの異常発見ができるよう設計した。また、データの警戒レベル毎にアラートが出力される。

2.1.3 自己診断機能

減災・防災を目的とするシステムのリアルタイムの故障診断は重要な機能であると言える。OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) により光ファイバに沿った反射光パワーの増減から断線箇所を特定したり、反射光の波長データの有無からセンサの故障を検知したりできる自己診断機能を設けることとした。OTDRとは、光ファイバの端から光パルスを入射した際、光ファイバ内で前進する光と逆に進む後方散乱光のパワー(単位: dB) を計測するものである。光パルスの往復時間から位置を同定し、光パワーから断線など経路上の異常を検知することができる。

2.2 システムの構成

モニタリングシステムの構成イメージを図-3に示す。既設の光ファイバ網に複数の点で光ファイバセンサを接続・配置して、センサネットワークを構築する。

また、観測したデータに加え、XバンドMPレーダ雨量計や既設雨量計のデータをデータベースに一元管理し、氾濫予測シミュレーション等への活用を図る。光ファイバセンサ(雨量計、浸水検知、流速計)の方式の概要については以下の通りである。

(1) 光ファイバ近接センサを用いた雨量計

今回使用する雨量計は、降雨により転倒マスに水が溜まって、マスの傾きが変わり、光ファイバ先端にファラデー素子(光学結晶)と反射板を取付けた光ファイバ近接センサを通過するとき、磁界の影響を受けて反射光をON/OFFさせることにより、雨量を計測できる仕組みである。ここで、ファラデー素子は磁界の有無によりシャッターのように動作する光学素子で、磁石の近接によって、ファラデー素子のシャッターが開き、光ファイバからの出射光が反射ミラーで反射し、信号出力器

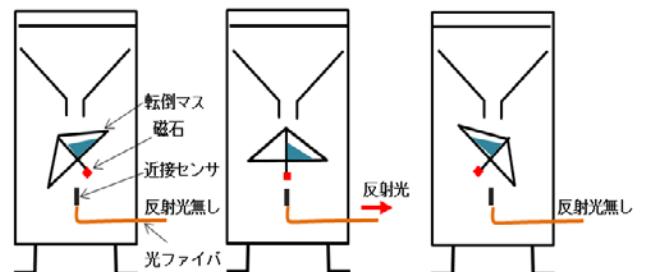


図-4 光ファイバ近接センサを用いた雨量計の概念図

モニタリングネットワークシステム

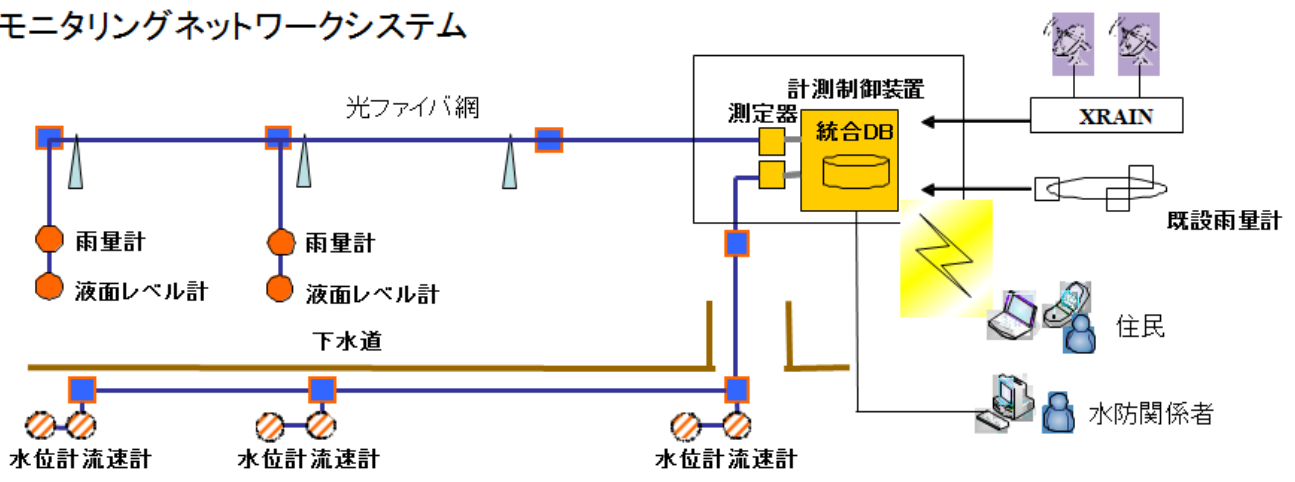


図-3 システムの構成図

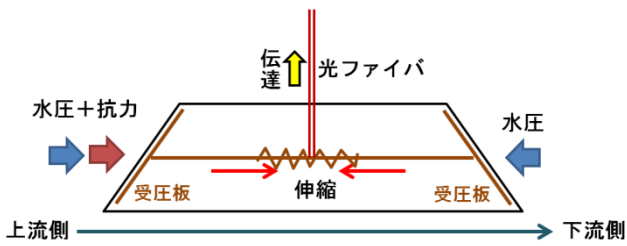


図-5 FBG方式の流速計

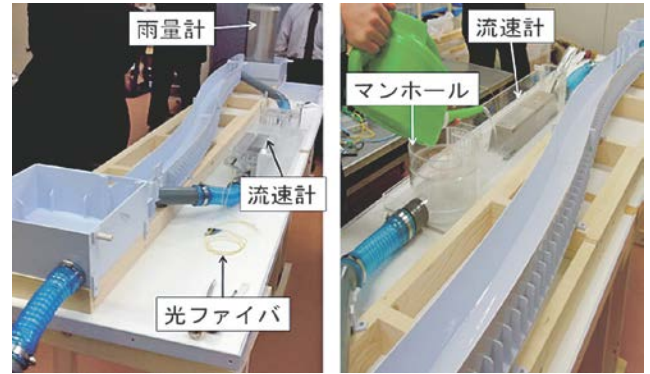


写真-1 動作確認試験の概要

に帰還することで計測される方法である。雨量計の概念図を図-4に示す。

(2) 光ファイバ近接センサを用いた液面レベル計（浸水検知）

液面レベル計は、(1)で説明した光ファイバ近接センサを浸水検知用に利用したもので、複数の光ファイバ近接センサを多段状に配置させ、浸水面がある高さの光ファイバ近接センサ部に達したときに、近接センサ部のスイッチON/OFFがONとなり、設置箇所における浸水面の高さが計測できるという方法である。

(3) FBGセンサを使用した流速計

FBG (Fiber Bragg Grating)とは、光ファイバの中に、多層の反射層を加工した光ファイバで、反射層の間隔に応じてBragg波長と呼ばれる特定の波長を持つ光のみを反射する。この波長は、反射層の間隔によって変化するので、FBG光ファイバに伸縮が発生すると、それに合わせて反射波長が変化し、シフトすることを利用して、ひずみ等を計測する方法である。

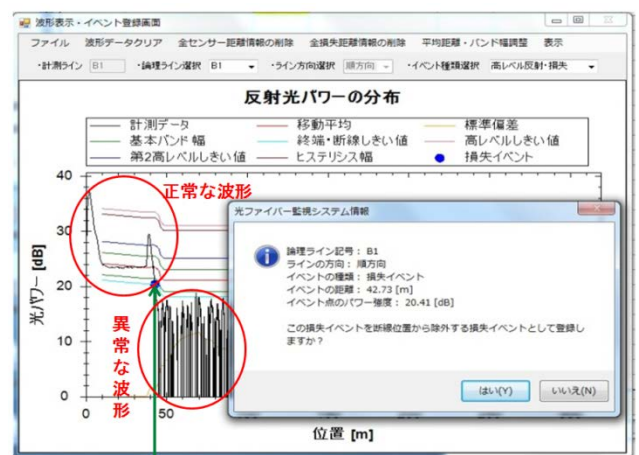
FBGセンサを利用した流速計は、上流側の受圧板にかかる抗力による伸縮をFBGに伝達して流速に換算するものである。下流側にも受圧板を設けることによって、水圧による影響を除去する構造になっている。図-5に流速計の概念図を示す。

2.3 システムの動作確認試験

2.1及び2.2で設計したモニタリングシステムに関する基本的性能の動作確認を行うため、都市河川・下水道の水理模型を作成し(写真-1参照)、試験を行った。動作確認試験内容及び確認結果を表-1に、自己診断機能を確認するための断線位置の特定状況を図-6に示す。動作確認試験により、設計したシステムによる観測データの取得や表示、異常箇所の特定に関する動作確認が問題ないことを確認した。

表-1 動作確認試験内容及び確認結果

試験内容	確認結果
雨量計・流速計をリアルタイムで計測し、データ表示、収集可能かどうかを確認する。	観測結果を画面表示で計測し、データ表示、収集可能かどうかを確認した。
流速計を直接に配置し、それぞれの流速計の観測データが取得できるかどうかを確認する。	流速計からそれぞれ個別データが収集できることを確認した。
1) 流速計センサを断線させ、断線が検知できるかを確認する。 2) 位置特定のため、雨量計センサ系に経路を切り替えて、断線位置を特定できるかどうかを確認する。	1) 断線後、波長データが異常値を示し、断線を確認した。 2) 雨量計から得られる反射光量により断線位置を特定できた。



42.73mの位置で断線

図-6 断線位置の特定状況の確認画面

2.4 システムの現地実証試験

水理模型による動作確認試験により、基本的な観測機能が確認できたため、これを踏まえ、現地における実証試験を実施している。実証試験の対



図-7 桃園川幹線の水門観測施設位置図
(図は東京都下水道局提供)

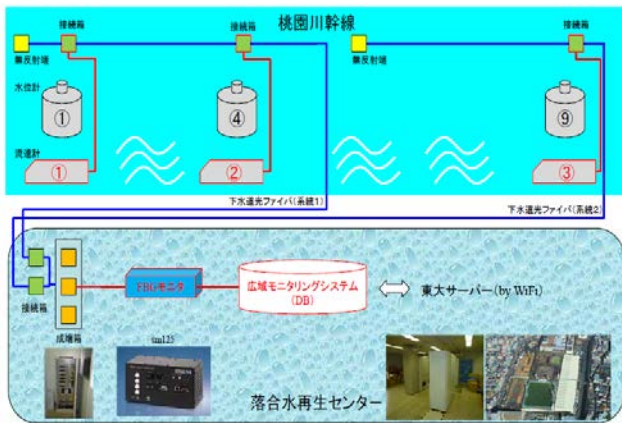


図-8 桃園川幹線モニタリングシステム構成図

象箇所とした桃園川幹線は神田川流域にある流域面積7.1km²、幹線延長約5kmの下水道幹線で、中野区東中野付近で神田川に合流する。桃園川幹線の水文観測施設位置を図-7に、構築したモニタリングシステムの構成を図-8に示す。本研究では、最上流部と中流部の中島橋付近、神田川への合流前の宝仙橋付近の3箇所において流速計を、上流側と下流側の流域内の2箇所に雨量計を新たに設置し、東京都下水道局の光ファイバ網に接続させ、落合水再生センターに設置したデータベースに観

測データを蓄積する。なお、桃園川幹線にはすでに9箇所の水位計と3箇所の雨量計が設置されているため、これらの観測データも含めて収集する。

システムでの観測データの収集及び蓄積状況から長期観測に対する信頼性や安定性に関する評価を行うため、収集・蓄積した観測データの分析を行い、適切なサンプリング間隔・フィルタ処理等や流量換算方法について検討を行うとともに、観測データの精度・安定性に影響を与える原因の究明と改善方法の検討を行う。

また、観測データの活用を図るため、神田川流域における広範囲の地上雨量計・水位計データ等の効率的な取得方法について検討を行うとともに、氾濫予測シミュレーションの入力データとして用いることを念頭に、XバンドMPレーダ・地上雨量計の特徴分析を行う。

3. おわりに

現在、現地実証試験において、データ収集・蓄積、システム稼働状況の監視を行っている。今後は、現地実証実験での結果を元に、氾濫予測への活用を図り、モニタリングシステムの有効性と課題をとりまとめ、将来の河川管理への導入可能性について検討を行う。

参考文献

- 1) 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、第51巻、第3号、pp.293~298、2012
- 2) 原田敏郎、嘉本健治、阿部久太郎：光ファイバ流速計の開発、EICA、第13巻、第2・3合併号、2008

飯野光則*



国土交通省国土技術政策
総合研究所危機管理技術
研究センター水害研究室
主任研究官
Mitsunori IINO

大浪裕之**



国土交通省国土技術政策
総合研究所危機管理技術
研究センター水害研究室
研究官
Hiroyuki OONAMI

村山英晶***



東京大学大学院工学系
研究科システム創成学
専攻 准教授
Hideaki MURAYAMA

湧川勝己****



財団法人国土技術研究セ
ンター河川政策グループ
研究主幹
Katsumi WAKIGAWA