

OTDR 光測定器を用いた光ファイバ式河川洗掘モニタリングシステム

NTTインフラネット(株) 正会員 ○山越重志 青木俊朗
 NTTインフラネット(株) 奥津晃一
 通信土木コンサルタント(株) 水野英利

1. はじめに

急流河川における出水時の侵食・洗掘の発生状況は現在のところ十分に把握されておらず、どこで侵食・洗掘が生じるかわからないのが現状である。河川管理においては計画的な侵食・洗掘防止対策が必要となると同時に、被災を最小限に抑えるために破堤の原因となる侵食・洗掘の発生を早期に発見し、適切な対策を施すことも重要である。しかしながら、河川堤体の侵食・洗掘の監視は人による巡視、住民等からの情報、カメラ監視などが主で、水面下で生じる洗掘の早期発見が困難な状況である。筆者らは、河川堤体の侵食・洗掘の発生を広範囲長区間かつリアルタイムに監視するために光ファイバセンシング技術が適用可能であると考え、光ファイバセンシングによる洗掘モニタリングシステムを検討開発した。本稿では、この光ファイバ式洗掘モニタリングシステムの概要とモデル実験の結果について紹介する。

2. 開発目標

光ファイバを利用した洗掘モニタリングシステムを開発するにあたり、目標を以下のように設定した。

- ①河川管理用光ファイバを有効に活用するとともに、遠隔でモニタリングできること。(遠隔監視距離：20 km)
- ②計測時間が短く、洗掘発生の有無をほぼリアルタイムに監視できること。(計測時間：数秒～数分)
- ③どこで発生するか不明な洗掘発生位置を広範囲にモニタリングできること。(計測範囲：1 km)
- ④複数同時発生した洗掘発生位置を精度よく特定できること。(特定精度：±1 m)
- ⑤導入コストが小さいこと。

3. 光ファイバセンシング方式の検討

光ファイバセンシングとは光ファイバをセンサとして用いた計測方法であり、光ファイバの特性から、耐腐食性・防爆性に優れる、落雷被害を受けない、配線がシンプル、センサ部に給電が不要、長距離伝送によって遠隔測定が可能など、屋外に設置する計測システムとしての長所を数多く持っている¹⁾。この光ファイバセンシングには様々な計測方式があり、上記の開発目標の達成に最適な方式の検討を行った。表-1に各計測方式の機能比較を示す。

表-1 計測方式と機能比較

計測方式	F B G方式 (ファイバグレーダ)	B-OTDR方式 (ブリルアン散乱光)	OTDR方式 (レイリー散乱光)
計測対象例	歪み、温度、変位、圧力	歪み分布、温度分布	光損失分布、歪み、変位
計測距離	～20 km程度	～20 km程度 ※パルス幅 20nm	～20 km程度 ※パルス幅 100nm
計測時間	0.004秒～1秒程度	数分～10分程度	数秒～3分程度
センサ部	光ファイバの任意の箇所に特殊加工	光ファイバ全長をセンサとして利用	光ファイバ全長をセンサとして利用
	1心の光ファイバで5～6点の計測が可能	1芯光ファイバの任意区間で連動的な計測が可能	1芯光ファイバの任意区間で連続的な計測が可能
距離測定分解能	— (点計測のため)	2m ※パルス幅 20nm	15m ※パルス幅 100nm
導入コスト	中	大	小

比較検討の結果、OTDR方式は開発目標④を除きほぼ開発目標を満たしており、この方式を洗掘モニタリングシステムの計測方式として採用することとした。なお、測定距離や距離測定分解能は発信パルス幅に依存する。

4. 洗掘モニタリングシステムセンサの機構

OTDR方式の測定では光ファイバの急激な変形に伴う光損失量と位置を測定検知することができる。ただし、表-1に示すとおり遠隔測定20kmを満足させる場合、OTDRの距離測定分解能は15mであり、開発目標④の位置特定精度±1mを達成できない。そこでセンサ機構部に工夫を施した。洗掘モニタリングシステムセンサ機構は図-1に示すとおりであり、洗掘発生を検知する光ファイバセンサを提外法面に杭部(写真-1)と錘部(写真-2)を用いて設置する。洗掘によって土中の錘部が落下することで、杭部に巻きつけた光ファイバが絞まり、その結果強い曲げが発生し、この曲げに

Key Word : 光ファイバセンサ、侵食、洗掘、OTDR

連絡先 : 〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31-1 浜町センタービル 15F Te103-5643-5301

よる光損失の発生を OTDR 測定で検出することで洗掘現象を捉える仕組みである。

また、位置特定精度±1mを達成するために、杭部と杭部との間に距離測定分解能以上の余長を持たせる機構とした。これにより、近接する杭部の曲げ損失波形が重なることがなくなり、位置特定精度は杭部の設置間隔長になる。

5. 洗掘モデル実験と結果

OTDR 方式洗掘センサの性能を検証するために、モデル実験を実施した。盛土斜面を堤体法面に見立て、センサ機構部を埋設した(図-2)。センサ杭部の光ファイバが巻き直径10mm、錘部は10kgのコンクリートブロック、光ファイバ余長は20mとした。また、洗掘現象は散水しながら盛土を掘削することで再現した(写真-3)。

初期状態(安定時)の OTDR 測定結果を図-3に示す。縦軸が光強度レベル(dB)、横軸が距離(m)である。また図中の矢印は杭部(センサ)の位置を表している。杭部(センサ)には曲げによる光損失が生じていないので波形は直線である。

洗掘発生時の OTDR 測定結果を図-4に示す。錘が落下し、センサ2~4の位置で光損失が階段状に現れ、洗掘位置の特定が精度よく出来ていることが確認できる。

今回の実験では、センサ1箇所には発生する光損失は概ね2dB程度であった。一般的な OTDR 測定器のダイナミックレンジから推測して、10箇所洗掘が同時に発生した場合でも、それぞれの位置を高精度に特定できることが確認できた。

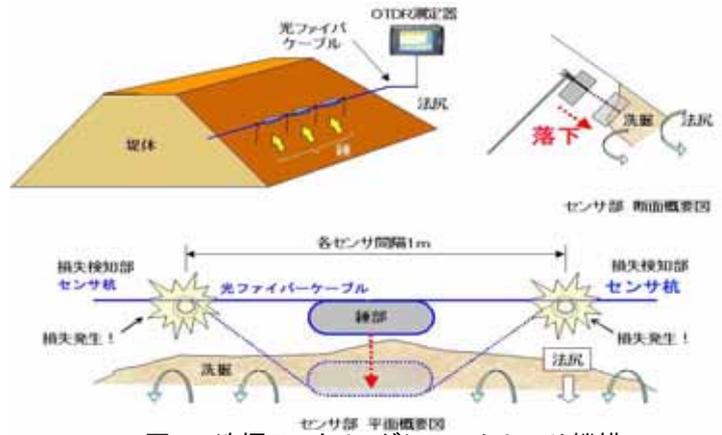


図-1 洗掘モニタリングシステムセンサ機構



写真-1 センサ杭部

写真-2 センサ錘部

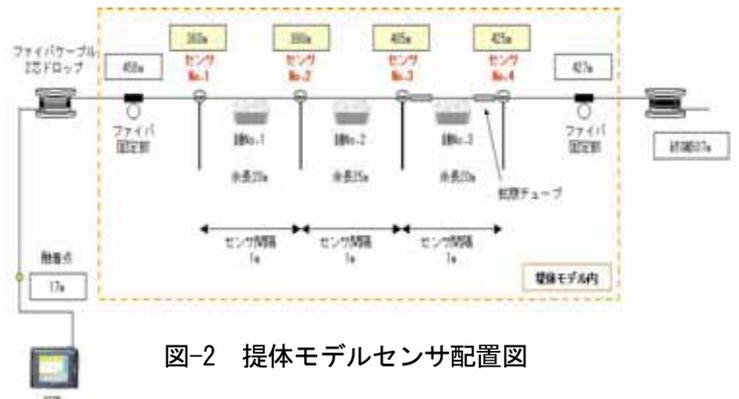


図-2 堤体モデルセンサ配置図



写真-3 洗掘再現状況



図-3 OTDR 測定結果 (初期状態)

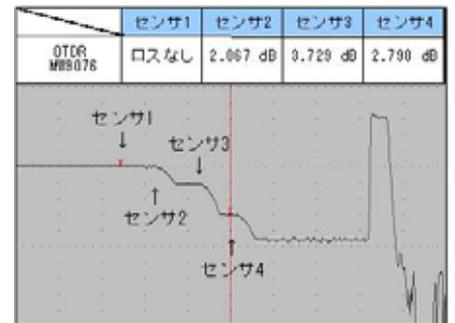


図-4 OTDR 測定結果 (洗掘発生時)

6. おわりに

今回紹介した OTDR 方式洗掘センサは、土中に光ファイバセンサ、杭および錘を埋設する機構とした。しかし、洗掘が問題となっている河川の堤体の地山状況は種々様々であり、玉石が多い場所などでは本機構での現場施工は多くの労力を要すると考えられる。今後は、堤体の状況に合わせたセンサ機構、設置方法について検討していく予定である。

参考文献

1) 藤橋ら：BOTDR・FBG・OTDR 各方式の光ファイバ変位計の開発，土木学会第 58 回年次学術講演会 (6-159)