

分布型光ファイバセンサを用いた河川堤防モニタリング技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○榎谷麻衣 永谷英基 今井道男 川端淳一

山口大学 正会員 森 啓年 中村仁美 佐古俊介

国土交通省中国地方整備局山口河川国道事務所 千田裕司 重宗宏次 東屋 俊

1. はじめに

河川堤防は洪水リスク管理に不可欠な社会インフラであり、その役割の重要性和維持管理のために効率的なモニタリング技術が求められている。そこで近年、土木構造物への適用が進んでいる分布型光ファイバセンサ（以下、光ファイバ）に着目した。光ファイバは延長方向に高分解能での計測が可能であり、耐久性が高く安価である。さらに長期にわたる現場計測や長大な構造物の計測に適していることから、河川堤防のモニタリング技術との親和性が高いと考えられる。本研究



写真-1 佐波川強化堤防

では、本設堤防へ光ファイバを敷設し、常時計測を行ったので、計測内容と光ファイバによる計測状況を報告する。

2. 分布型光ファイバセンシング

光ファイバ計測では、アナライザに光ファイバを接続し、散乱光を分析してひずみや温度を計測する。分析する散乱光の種類に応じて計測方式が異なり、本計測では TW-COTDR と PPP-BOTDA と呼ばれる計測手法を採用した。前者はレイリー散乱光を用いる手法で、 $\pm 1\mu\epsilon$ 程度のひずみの変化を計測できる。しかし、瞬間的な大変形への追従性は低いため、すべりやパイピングの予兆監視のような比較的静的に生じる事象に対する危機管理に適している。後者はブリルアン散乱光を用いる手法で、前者と比べて精度で劣るものの、ひずみの絶対値を計測可能であるため、天端の沈下や亀裂の長期計測、地震による損傷の調査のような、比較的大きな変形に対する維持管理に適している。光ファイバ計測では、計測対象に応じてこれらの計測手法を使い分ける必要がある。

3. 計測内容

山口県防府市を流れる一級河川・佐波川の 7.7K～8.0K 区間、右岸側堤防を計測対象とした（写真-1）。盛土層の土質区分は礫混り砂である。本区間は堤防強化対策区間に指定されており、図-1(a)に示すように、裏腹付けとドレーンの設置、さらに 3 面をコンクリートブロックで覆う堤防強化工事が実施された。光ファイバは堤防強化工事に合わせて設置し、出水期となる 2022 年 6 月から計測を開始した。計測頻度は TW-COTDR でおよそ 20 分毎、PPP-BOTDA では 1 週間毎とした。光ファイバは、温度計測用とひずみ計測用の 2 種類を堤内側法肩、法中、法尻の 3 測線、各 280m 敷設した。その他、水位計と、表面変状計測のためのワイヤレス傾斜計を 7.8K および 8.0K の 2 断面各 4 か所に設置した（図-1(b)）。

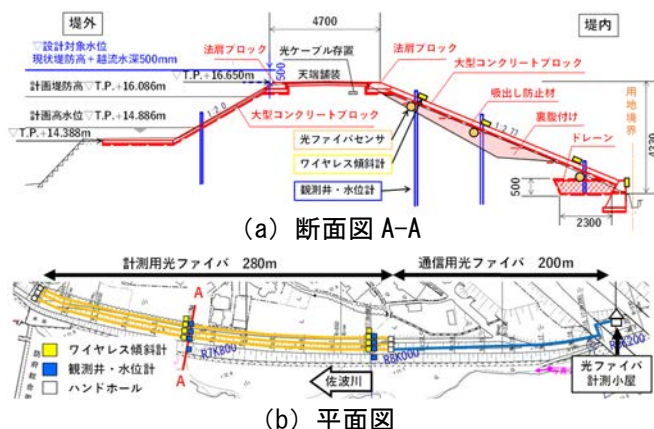


図-1 佐波川強化堤防と計測機設置位置

4. 光ファイバ敷設方法

計測用の光ファイバは 3 測線を集約し、通信用光ファイバを介して計測小屋内のアナライザに接続されている。堤防強化工事に際して光ファイバが断線するリスクを回避するため、堤防の転圧面を基準に、法面から土被り 300mm を確保する位置²⁾に埋設管（FEP50）を敷設し、コンクリートブロックの設置後に光ファイバを挿入した。光ファイバと堤体の一体性を確保するため、埋設管の内部をセメントベントナイトによって充填した。

キーワード 河川堤防, モニタリング, 光ファイバ

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

5. 計測状況

計測開始以降、本計測区間では目立った変状は生じておらず、PPP-BOTDA の計測結果では有意なひずみを確認できなかった。一方、TW-COTDR による計測では、降雨浸透に伴う局所的な温度変化とひずみ変化を検知できた。

R4 年台風 14 号 (NANMADOL) 通過時の、佐波川の河川水位と防府市の降水量を図-2 に示す。この時、法尻の光ファイバで計測した時間毎の温度変化とひずみ変化の分布を図-3 に示す。ただし縦軸は、測定時刻の 20 分前からの変化量を表す。降雨前は温度とひずみの変化は見られないが、降雨中には、最大で -2.2°C の温度低下と $-63\mu\text{e}$ の局所的なひずみの発生を検出した。降雨後にはほとんど変化が見られないことから、降雨を主要因とした温度変化とひずみ変化を検知できたと言える。

降雨時に局所的な変化が生じていた区間の拡大図を図-4 に示す。局所的な温度変化とひずみ変化が生じていた地点は一致しており、さらに、コンクリートブロック間に挿入されている目地材の位置ともほぼ一致していることから、目地材付近から降雨が局所的に浸透し、堤体内の温度変化とひずみ変化を発生させたと考えられる。以上より、堤体内に敷設した光ファイバを用いた TW-COTDR による計測は、降雨浸透による堤体内の温度変化や微小なひずみ変化までも検知できることが明らかとなった。

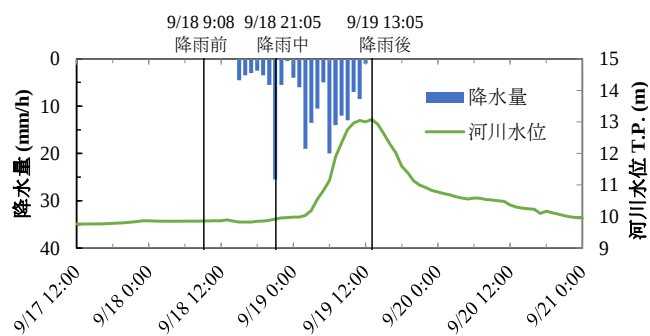


図-2 河川水位と降水量 (R4 年台風 14 号)

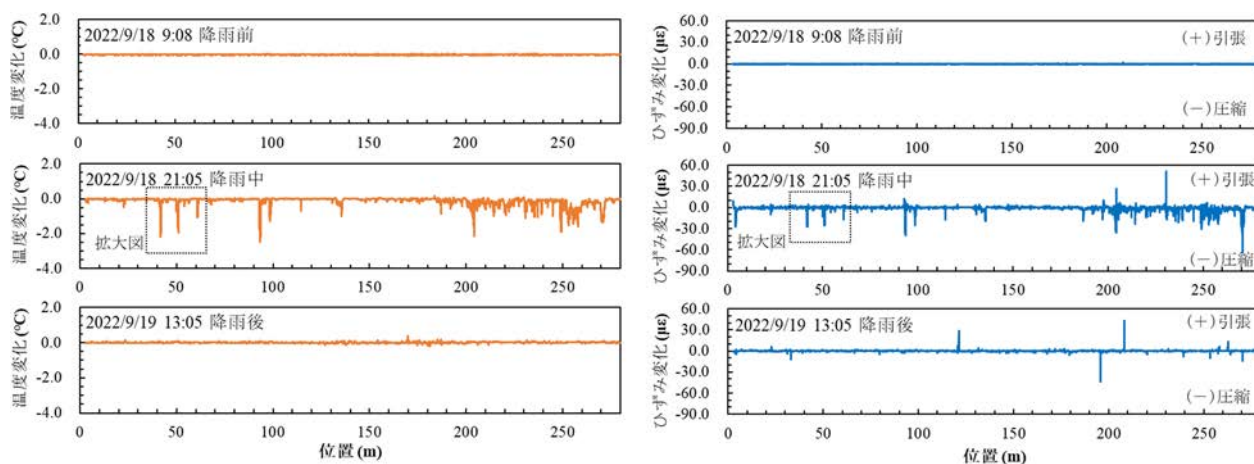


図-3 時間毎の温度とひずみの変化量の分布 (法尻, 左: 温度変化, 右: ひずみ変化)

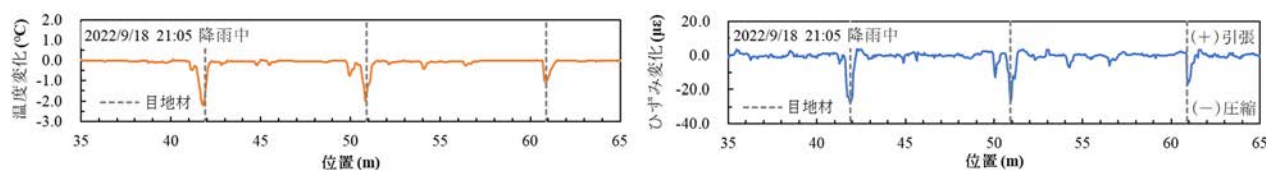


図-4 温度とひずみの変化量の分布 (降雨中, 拡大図)

6. おわりに

河川堤防モニタリングへの光ファイバ計測の適用性の検討を目的に、強化堤防での常時計測を行った。その結果、降雨に伴う堤体内の温度変化と微小なひずみ変化を検知できた。今後は水位計や傾斜計の計測値と併せて光ファイバ計測値の評価を進めるとともに、運用方法の最適化や、リスク管理のためのデータ評価手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 今井 他: レイリー散乱光を用いた分布型光ファイバセンサの基礎検討, 第 76 回土木学会年次学術講演会概要集, CS9-50, 2021.
- 2) 財団法人国土技術研究センター: 改定 解説・工作物設置許可基準 河川管理技術研究会編, 山海堂, 1998.
- 3) 榎谷, 中村 他: 分布型光ファイバセンサを用いた佐波川の粘り強い河川堤防のモニタリング-計測概要・計測結果速報-, 第 10 回河川堤防技術シンポジウム, 2022.