

分布型光ファイバセンサを用いた河川堤防のパイピング観測に関する模型実験

山口大学 学生会員 ○中村仁美, 浅田航介, 正会員 森啓年, 佐古俊介
鹿島建設 (株) 正会員 梶谷麻衣, 永谷英基, 今井道男

1. はじめに

河川堤防は、洪水のリスク管理に必要な不可欠なインフラであり、その維持管理が重要であることは論を俟たない。しかしながら、長大な構造物を連続的にモニタリングする技術は確立されていない。そこで筆者らは、近年、土木構造物など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、河川堤防モニタリング技術への適用性を検討している。微小な静的ひずみが計測可能なレイリー計測技術の TW-COTDR(Tunable Wavelength Coherent Optical Time Domain Reflectometry)方式を採用しており、従来の計測手法と比較して光ファイバの延長方向に高精度かつ高分解能での計測が可能である。本報文では、河川堤防の浸透とそれに伴うパイピングを対象とした模型実験を実施し、光ファイバによる静的ひずみ計測を実施したので計測結果を報告する。

2. 試験方法

図-1, 2 に模型寸法とセンサー配置, 光ファイバの設置状況を示す。土槽壁面に光ファイバを巻き付けた塩ビ管を設置した。それを固定点とし、堤防縦断方向に一筆になるように地盤に対して水平に埋設した。また、基礎地盤と堤体の境界に間隙水圧計を設置した。上流側には貯水槽を設置し、下流端側には堰を設置した。

表-1 に試験材料と土質条件を示す。堤体は 1 層 2.5 cm～5.0 cm 毎に締固め度 $D_c=90\%$ となるように締め固めて水平地盤を作成後、法面を切り出して整形した。試験は、事前に基礎地盤を飽和させた後、給水槽から 10 mm/min の速さで水位上昇させ、パイピング発生後実験を終了した。ここで、光ファイバは分解能 5 cm、計測間隔 2.5 cm（2.5 cm 間隔で ± 2.5 cm（計 5 cm）区間の平均伸縮ひずみを出力）で計測し、さらに間隙水圧の計測、3D レーザー変位計を用いた鉛直変位の計測と動画撮影を行った。

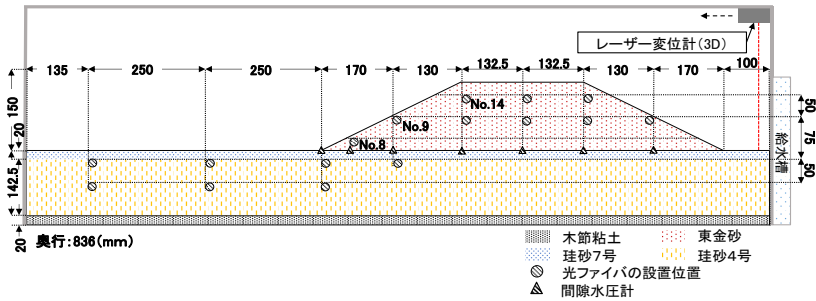


図-1 模型寸法とセンサー配置
表-1 地盤条件



図-2 光ファイバ埋設状況

試料名		東金砂
施工時含水比	ω (%)	22.0
最大乾燥密度	$\rho_{dmax}(g/cm^3)$	1.57
乾燥密度	$\rho_d(g/cm^3)$	1.30
間隙比	e	1.045
締固め度	D_c (%)	90

3. 試験結果

図-3 に試験前後の変形状を示す。実験開始 8 分 7 秒後に川裏法尻に噴砂が確認され、その 50 秒後に川裏法尻部分に最初の亀裂が確認された。実験開始 16 分後に川裏法尻部分において堤防の延長方向全体に亀裂が生じ始め、25 分後に川裏法尻全体に亀裂が生じ 33 分後の実験終了時には法尻のすべり変形に至った。

図-4 に給水槽の水位と間隙水圧を示す。給水槽の水位が上昇し、堤体内への浸透の進行に伴い間隙水圧が上昇した。実験始 16 分後に川裏法尻全体に亀裂が生じ始めると間隙水圧が減少し、実験開始 25 分後に川裏法尻全体に亀裂が生じた段階で間隙水圧は上昇した後にわずかに低下し、実験開始から 33 分 25 秒後にパイピングによって土砂が流出した。

キーワード 河川堤防, 盛土, パイピング, ひずみ, 分布型光ファイバセンサ

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部 TEL (0836) -85-9300

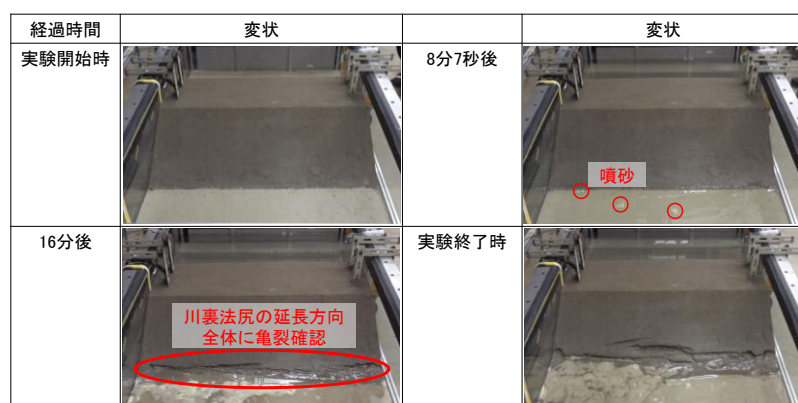


図-3 変状形状

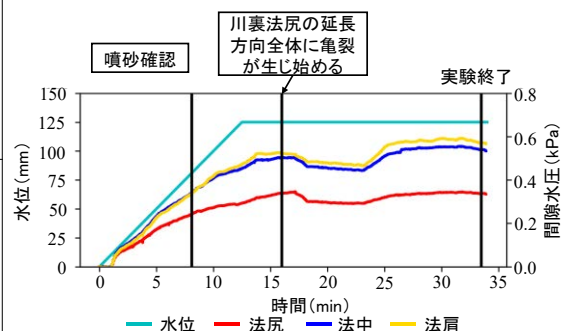


図-4 給水槽の水位と間隙水圧

図-5に光ファイバで計測した伸縮ひずみをせん断ひずみへと変換¹⁾し、中央点に向かって距離積分処理した中央断面のせん断ひずみ分布を示す。堤体内への浸透に伴い、裏法尻から堤内地にかけてせん断ひずみが生じ、川裏法尻全体に亀裂が発生した際には1%のせん断ひずみが生じた。

光ファイバで計測した伸縮ひずみを奥行方向に積分し、さらに断面方向の変位に変換²⁾した結果と、レーザー変位計で計測した鉛直方向の変位計測結果を図-6に示す。法尻の光ファイバ (No.8) では、噴砂発生にかけて変位が増加し、亀裂発生後には一度変位が減少した後、増加に転じた。これは、亀裂発生時の応力開放によりひずみが減少し、その後、法尻のすべり変形が進行したことで再度ひずみが生じたためと考えられる。一方、レーザー変位計では、川裏法尻の亀裂発生まで変位はほとんど検出していないことから、光ファイバでは堤内地側で生じる噴砂の発生も検知できる可能性を示唆する結果が得られた。

4. まとめ

河川堤防のパイピング模型実験を実施し、堤体に生じるひずみを分布型光ファイバセンサを用いて計測した。本結果から、光ファイバセンサによる観測技術により、パイピングに伴う堤体の変形や堤体内で生じる噴砂の発生を検知できる可能性が示された。引き続き、ひずみ計測結果の妥当性の検証に取り組んでいく。

参考文献

- 1) 中村 他：分布型光ファイバセンサを用いた河川堤防のすべり観測に関する実験的検討-その1 無対策堤防実験-，第58回地盤工学研究発表会，2023。（投稿中）

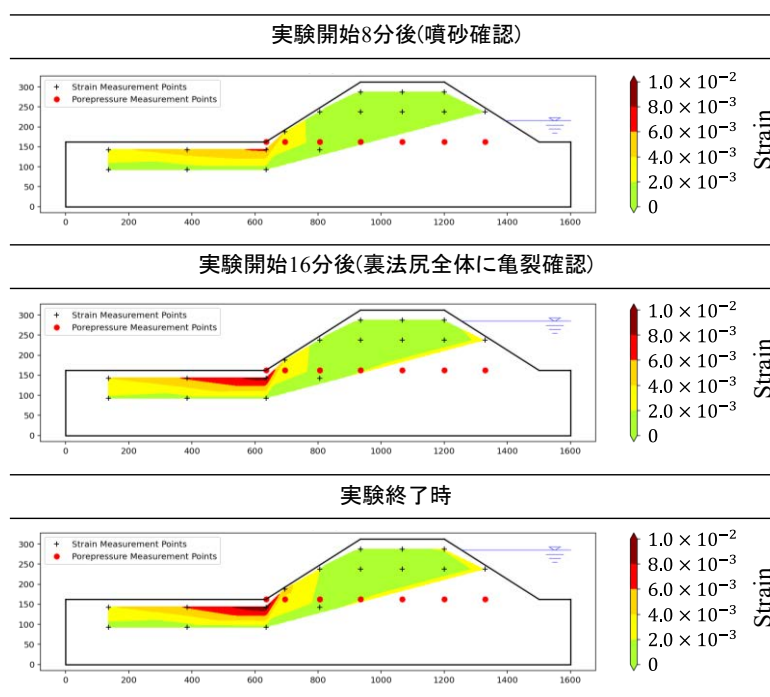


図-5 光ファイバ計測した堤体内のひずみ分布

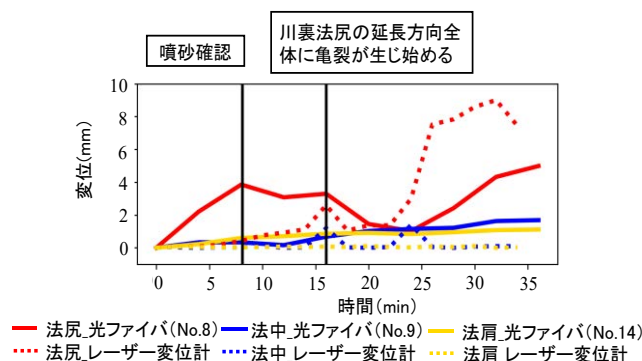


図-6 光ファイバの変位量とレーザー変位計