

氏 名	藤井 宏和		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	工 学		
学位授与番号	博甲第	7 2 9 2	号
学位授与の日付	2 0 2 5 年 3 月 2 5 日		
学位授与の要件	環境生命科学研究科 環境科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	分布型光ファイバセンシング技術を用いた河川堤防の浸透流速および越水による破壊プロセスのモニタリングに関する研究		
論文審査委員	准教授 古川 全太郎	教授 小松 満	准教授 柴田 俊文
学位論文内容の要旨			
近年、豪雨などによる急激な河川流量の増大とそれに伴う堤防の破堤事例が数多く報告されている。これらの被害を最小限に抑えるためには、堤体の状態や異常をモニタリングするためのシステムを設置するのが解決策の一つとして考えられる。そこで、本研究では、近年注目されている分布型光ファイバセンシングに着目した。堤防に敷設する光ファイバケーブル、あるいは既設の通信用光ファイバケーブルをセンサとして利用し、数百 m～km スケールの範囲の温度や振動などの測定を一度に得ることが可能である。堤体の破壊には、堤体内の浸透流の状態が大きく関わっており、例えば、ドレーン工の目詰まりなどによって浸透流が局所化することで最終的に堤体破壊に至る可能性が指摘されている。そこで、本研究では、堤体内の浸透状況、あるいは越流による堤体の変状を光ファイバセンシングによって検知する手法の構築を目的とした。 まず、堤体内の浸透流の状態を温度によって検知する方法として、aDTS (active Distributed Temperature Sensing) と呼ばれる加熱型光ファイバ計測に着目した。堤体に適用する場合、縦断方向に光ファイバケーブルをドレーン工と堤体材料の間などに敷設し、ケーブルに沿った地中の温度変化を計測することで見掛けの熱伝導特性を把握する方法である。まずは、一次元カラムを用いた要素実験からドレーン工の目詰まりの有無を再現するフィルターの選定を行った後、水平一次元通水試験で熱伝導率と実流速の関係からその有用性を確認した。次に、二次元土槽を用いた堤体模型実験によりフィルター材の目詰まりの有無に伴う堤体内の浸透流の変化を熱伝導率によって捉えることを試みた。その結果、aDTS による温度分布の変化からドレーン工の目詰まりが検知できる可能性が示唆された。さらに、室内実験で得られたこれらの知見に基づき、既設および新設のドレーン工への適用を目的に、現地 2 箇所の堤防に光ファイバを設置して計測を実施した。 一方、堤体内の浸透流の発生に伴う土粒子内の空気と水との相互作用によって微小な振動が発生したり、越流に伴う堤体の浸食により、特徴的な振動が発生したりすることが既往の研究で示されていることから、これらを検知する方法として、振動型光ファイバ計測である DAS (Distributed Acoustic Sensing) の適用性も検証した。具体的には、小型土槽を用いた要素実験から土粒子移動時の振動波形の特徴を調査するとともに、全断面の大型堤体模型を用いた越流破堤実験により、湛水以降の振動波形から堤体の変位量の算定を行った。その結果、DAS で計測した振動波形は片振幅のスパイク状波形、すなわち、伸び変位量として捉えることができ、この変位量は 5ms～10ms の短い時間に発生するとともに、波形を積分して得られる変位量は 0.1μm 程度と微小なものであることが判明した。これらの結果を踏まえ、河川水位の上昇に伴う浸透水が天端表法面側に設置した光ファイバの設置位置に到達したのと同時に微小な土粒子変化に伴うスパイク状波形が捉えられ、その後、越流が発生して堤体の浸食が始まると、天端裏法面側に複数段設置した光ファイバの全てにおいて大振幅の連続波が捉えられるようになることが示唆された。			

論文審査結果の要旨

河川堤防における堤体内の浸透状況や越流による堤体の変状に関して、本研究は、近年注目されている分布型光ファイバセンシングによって検知する手法の構築を目的としている。

まず、堤体内の浸透流の状態を温度によって検知する手法として、aDTS (active Distributed Temperature Sensing) と呼ばれる加熱型光ファイバ計測に着目し、ケーブルに沿った地中の温度変化を計測することで堤体内の浸透状況を見掛けの熱伝導特性の変化によって把握する手法について検討している。最初に、一次元カラムを用いた要素実験からドレーン工の目詰まりの有無を再現するフィルターの選定を行った後、水平一次元通水試験で熱伝導率と実流速の関係からその有用性を示している。また、二次元土槽を用いた堤体模型実験によりフィルター材の目詰まりの有無に伴う堤体内の浸透流の変化を熱伝導率によって捉えることを試みており、その結果、aDTSによる温度分布の変化からドレーン工の目詰まりが検知できる可能性が示唆されている。さらに、室内実験で得られたこれらの知見に基づき、既設および新設のドレーン工への適用を目的に、現地2箇所の堤防に光ファイバを設置して計測を実施している。

次に、堤体内の浸透流の発生に伴う土粒子内の空気と水との相互作用によって微小な振動が発生したり、越流に伴う堤体の浸食により、特徴的な振動が発生したりする現象を検知する方法として、振動型光ファイバ計測であるDAS (Distributed Acoustic Sensing) の適用性も検証している。具体的には、小型土槽を用いた要素実験から土粒子移動時の振動波形の特徴を調査するとともに、全断面の大型堤体模型を用いた越流破堤実験により、湛水以降の振動波形から堤体の変位量の算定を行っている。その結果、DASで計測した振動波形は片振幅のスパイク状波形、すなわち、伸び変位量として捉えることができ、この変位量は5ms~10msの短い時間に発生するとともに、波形を積分して得られる変位量は0.1 μ m程度と微小なものであることが判明している。これらの結果を踏まえ、河川水位の上昇に伴う浸透水が天端表法面側に設置した光ファイバの設置位置に到達したのと同時に微小な土粒子変化に伴うスパイク状波形が捉えられ、その後、越流が発生して堤体の浸食が始まると、天端裏法面側に複数段設置した光ファイバの全てにおいて大振幅の連続波が捉えられるようになることが示唆されている。

このように、本研究はきわめて独創的でありかつ有用性が高く、地盤工学分野の発展に寄与するものである。また、ここで得られた結果は、いずれも工学的な意義を有している。したがって、これらの成果より、本論文は博士学位論文に値するものと認定する。