

■河川堤防の変状検知システムの技術の概要と検証結果の一覧表

- ・これらの技術の導入を検討される際は、現場条件に応じて、ここでの実験結果を参考にしてください。
- ・ここでの実験結果は、限られた条件（例えば、堤防法面や法尻に植生が繁茂していない など）での結果であることにご留意ください。

| 公募参加者名<br>(公募参加者が<br>グループの場合<br>は代表者名)<br><br>※上から実験実<br>施順に記載 | 検知方法         | 技術の概要<br><br>※詳細は各者の報告書を<br>ご覧ください   | 実験結果から確認できたこと  |   |
|--|--------------|--|--|---|
|  |              |  | 越水実験<br>【検証の観点】<br>①越水の検知可否<br>②越水による堤防天端の低下（侵食）の検知可否<br>③越水による堤防天端の低下幅の検知可否<br>④その他   | 河岸侵食実験<br>【検証の観点】<br>①増水の検知可否<br>②堤防の侵食の検知可否<br>③堤防の侵食幅の検知可否<br>④その他  |
| 株式会社リプロ  | 傾斜計・水検知      | 堤防に傾斜センサ・水検知センサを内蔵した杭を設置し、杭の傾斜および越水を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/1.ripro.pdf">http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/1.ripro.pdf</a>                                   | ①水検知センサは水の接触を検出した。越水時に水検知センサに水が触れると、越水したことを検知できた。<br>②杭の周辺が侵食され、埋設されていた錘が低下すると錘が沈下したことを傾斜センサが検出した。堤防天端が低下した場合、杭周辺で生じた天端の低下を検知できた。埋設していた水検知センサが堤防天端の低下により水の接触を検知した。<br>③杭周辺の天端の低下量と錘の沈下量との関係は分かっていない。天端の低下量の検知は難しいと考えられる。<br>④杭が水没した場合、情報を外部に送信できないことが確認された。  | ①杭が水没しなかったため、河川水位の上昇の検知については確認できなかった。<br>②河岸侵食が生じた際にセンサ杭の転倒・水没によりデータの転送が途絶えた。定期的に得られていた通信の遮断をもって、河岸が侵食されたことを検知できる可能性がある。<br>③河岸の侵食幅と杭の倒伏との関係が分かっていないため、侵食幅の検知は難しいと考えられる。<br>④ほとんどのセンサ杭が河岸侵食と同時に転倒し水没した。そのため、傾斜センサのデータが転送されなかった。   |
| 日本電気株式会社   | 光ファイバ(振動・温度) | 既設光ファイバケーブルの端部に計測装置（振動計測装置および温度計測装置）を取り付け、振動および温度を計測し、AIを用いて分析することで、堤防の変状を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/2.nec.pdf">http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/2.nec.pdf</a> | ①越水時に光ファイバで検出される振動の振動強度が増加した。越流水が裏法面を流下する際に生じる振動を光ファイバによって検出することで、越水の発生を検知できた。また、越水時に光ファイバで検出される振動の周波数は10～500Hzであった。検出される振動数の変化から越水を検知できる可能性がある。<br>②越水に伴い堤防天端や裏法面が侵食されると、光ファイバで検出される振動の振動強度はさらに増加した。さらに、光ファイバの保護管が露出すると、振動強度はさらに増加した。越流水が天端や裏法面を侵食する際、また越流水が保護管に直接あたる際に生じる振動を光ファイバによって検出することで、越水による天端や裏の侵食を検知できた。なお、天端や裏法の侵食や光ファイバ保護管の露出によって、光ファイバで検出される振動の周波数には変化はなかった。<br>③堤防の天端や裏法面の侵食量と光ファイバで検出される振動の振動強度とを関係づけることで、越水時に生じる堤防天端の低下量を検出できる可能性がある。<br>④越流水の堤体内への浸入や保護管の露出に伴って、光ファイバで検出される温度に変化が生じることが推定されたが、外気温と水温の違いが小さく、顕著な温度変化は生じなかった。 | ①流量の増加に伴い、光ファイバで検出される振動の振動強度が増加した。ただし、洪水流の流れが激しくなることで生じる振動であるのか、河床材料や河岸侵食が生じることで生じる振動であるのかを分けることはできなかった。また、光ファイバで検出される振動の周波数の変化については、流量の増加に伴うものなのか、河岸侵食や河床材料の移動に伴うものであるのかについての見極めが困難であった。<br>②河岸侵食の程度が顕著になったり、護岸を模した模型が崩壊した場合などに、光ファイバで検出される振動の振動強度が増加した。光ファイバによって振動の強度を検出することで、堤防の侵食を検知できた。また、光ファイバで検出される振動の周波数については、河岸侵食時に10～700Hzの振動を検出した。光ファイバの振動の周波数によって、河岸侵食を検知できる可能性がある。<br>③光ファイバの保護管が露出すると、光ファイバで検出される振動の振動強度はさらに増大した。光ファイバによって振動の強度を検出することで、光ファイバを埋設した位置まで河岸侵食が進んだことを検知できた。<br>④光ファイバで検出される振動については、光ファイバの設置位置や現場条件によって変化するため、実際の河川において検証が必要である。 |

■河川堤防の変状検知システムの技術の概要と検証結果の一覧表

- ・これらの技術の導入を検討される際は、現場条件に応じて、ここでの実験結果を参考にしてください。
- ・ここでの実験結果は、限られた条件（例えば、堤防法面や法尻に植生が繁茂していない など）での結果であることにご留意ください。

| 公募参加者名<br>(公募参加者が<br>グループの場合<br>は代表者名)<br><br>※上から実験実<br>施順に記載 | 検知方法          | 技術の概要<br><br>※詳細は各者の報告書を<br>ご覧ください   | 実験結果から確認できたこと   |  |
|--|---------------|--|---|--|
|  |               |  | 越水実験<br>【検証の観点】<br>①越水の検知可否<br>②越水による堤防天端の低下（侵食）の検知可否<br>③越水による堤防天端の低下幅の検知可否<br>④その他  | 河岸侵食実験<br>【検証の観点】<br>①増水の検知可否<br>②堤防の侵食の検知可否<br>③堤防の侵食幅の検知可否<br>④その他   |
| エルスピーナ<br>ヴェインズ株式<br>会社  | 加速度計          | 堤防に加速度センサおよ<br>びスイッチセンサ（磁石<br>を用いたセンサ）を埋設<br>し、流出時にセンサから<br>発信される電波を受信す<br>ることで堤防の変状を検<br>知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/3.elspina.pdf">http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/3.elspina.pdf</a>                            | ①越水に伴って生じる振動を加速度センサが検出した可能性がある。ただし、加速度センサの感度設定を調整する必要がある、越水前の通常時の振動を検出してしま<br>う可能性があり、現場状況に応じた感度設定が必要である。<br>②埋設した加速度センサが露出し、越流水が作用することで生じる振動を検出し<br>た。加速度センサの加速度の変化を確認することで堤防天端の低下を検知できる可<br>能性がある。<br>③低下幅は、加速度センサの露出によって、センサの埋設深まで侵食が進んだこと<br>を把握できる可能性がある。<br>④埋設状態でのデータ通信について、一部のデータの損失があった。 |  |
| エヌ・ティ・<br>ティ・インフラ<br>ネット株式会社                                   | 光ファイバ(振<br>動) | 堤防に光ファイバケーブ<br>ルを埋設し、光ファイバ<br>ケーブルに伝わる振動を<br>捉えることで堤防の変状<br>を検知する。また、浸水<br>センサを設置することに<br>より、センサが浸水した<br>ことから変状を検知す<br>る。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/4.nttinfn.pdf">http://www.nilim.go.jp/ab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/4.nttinfn.pdf</a> |   | ①流量の増加に伴い、光ファイバで検出される振動の振動強度が増加した。光ファ<br>イバで流れによる振動を検出することで流量の増加を検知できる可能性がある。<br>②河岸侵食が発生すると、光ファイバで検出される振動の振動強度はさらに増加し<br>た。光ファイバで河岸の材料の移動に伴う振動を検出することで河岸侵食を検知で<br>きる可能性がある。ただし、侵食が発生した位置については、検出することができ<br>なかった。<br>③解析の対象としていない。<br>④実験では河岸侵食時に生じる振動が光ファイバで検出可能な振動に対して小さい<br>と考えられた。振動を大きくするために、河岸に金具を埋め込んで崩壊土砂が衝突<br>するようにしたところ、振動強度の変化が顕著となった。 |

■河川堤防の変状検知システムの技術の概要と検証結果の一覧表

- ・これらの技術の導入を検討される際は、現場条件に応じて、ここでの実験結果を参考にしてください。
- ・ここでの実験結果は、限られた条件（例えば、堤防法面や法尻に植生が繁茂していない など）での結果であることにご留意ください。

| 公募参加者名<br>(公募参加者が<br>グループの場合<br>は代表者名)<br><br>※上から実験実<br>施順に記載 | 検知方法 | 技術の概要<br><br>※詳細は各者の報告書を<br>ご覧ください  | 実験結果から確認できたこと  |  |
|--|------|---|--|--|
|  |      |   | 越水実験<br>【検証の観点】<br>①越水の検知可否<br>②越水による堤防天端の低下（侵食）の検知可否<br>③越水による堤防天端の低下幅の検知可否<br>④その他   | 河岸侵食実験<br>【検証の観点】<br>①増水の検知可否<br>②堤防の侵食の検知可否<br>③堤防の侵食幅の検知可否<br>④その他   |
| 株式会社トラン<br>スコア   | 無線   | 堤防に無線機内蔵のカプセルセンサを埋設し、カプセルセンサの流出時に発信する無線電波を受信することで堤防の変状を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/5.transcore.pdf">http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/5.transcore.pdf</a> | ①解析の対象としていない。<br>②カプセル周辺が侵食されると、カプセルは電波を発信し、その電波は受信機側で即座に検出できた。堤防天端が低下した場合、カプセルは堤防天端の低下を検知できた。<br>③堤防天端の低下量とカプセルの応答が十分には確認されていないが、埋設した高さまで低下したことをカプセルによって検知できる可能性がある。<br>④堤体に埋設する際、堤体の締め固め時にカプセルが壊れることが懸念されたが、締め固め時に壊れることはなかった。  | ①解析の対象としていない。<br>②カプセル周辺が侵食されると、カプセルは電波を発信し、その電波は受信機側で即座に検出できた。河岸侵食が発生した場合、カプセルは河岸の侵食を検知できた。カプセルを構造物周辺に設置した場合でも、同様に構造物周辺の侵食を検知できた。<br>③河岸の侵食幅とカプセルの応答が十分には確認されていないが、埋設位置まで侵食されたことをカプセルによって検知できる可能性がある。<br>④なし。     |
| 清水建設株式会<br>社   | GNSS | 堤防にGNSSアンテナを設置し、RTK測位を行うことで、堤防の変状を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/6.shimizu.pdf">http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/6.shimizu.pdf</a>                          | ①解析の対象としていない。<br>②越水に伴いGNSS周辺の堤体が侵食され、GNSSを設置する架台が転倒すると、GNSSの変化（計測精度約±1cm）を検出することができた。天端に設置したGNSSの変位を計測することで、堤防天端の低下を検知できた。<br>③GNSSの変化は、GNSS周辺の堤体の崩壊の仕方によって異なる結果が得られた。堤体の侵食状況とGNSSの変位との関係が明確でないため、堤防天端の低下幅については検知が難しいと考えられる。<br>④GNSS周辺の堤体が崩壊した際に、GNSSが短時間で転倒・水没した。水没すると衛星の電波をキャッチできないため、低下する状況を把握するためには、GNSSからの信号の伝送を2 Hz以上で行う必要がある（実験時は1 Hz）。 | ①解析の対象としていない。<br>②河岸侵食に伴い、GNSS周辺の堤体が侵食され、GNSSを設置する架台が変位すると、GNSSの変化（計測精度約±1cm）を検出することができた。河岸に設置したGNSSの変位を計測することで、河岸侵食の発生を検知できた。<br>③GNSSの変化は、GNSS周辺の河岸の侵食状況によって異なることが想定される。河岸の侵食幅を1本のGNSSで検知することは難しいと考えられる。<br>④なし。 |

■河川堤防の変状検知システムの技術の概要と検証結果の一覧表

- ・これらの技術の導入を検討される際は、現場条件に応じて、ここでの実験結果を参考にしてください。
- ・ここでの実験結果は、限られた条件（例えば、堤防法面や法尻に植生が繁茂していない など）での結果であることにご留意ください。

| 公募参加者名<br>(公募参加者がグループの場合は代表者名)<br>※上から実験実施順に記載 | 検知方法   | 技術の概要<br>※詳細は各者の報告書をご覧ください  | 実験結果から確認できたこと   |  |
|--|--------|---|---|--|
|  |        |   | 越水実験<br>【検証の観点】<br>①越水の検知可否<br>②越水による堤防天端の低下（侵食）の検知可否<br>③越水による堤防天端の低下幅の検知可否<br>④その他  | 河岸侵食実験<br>【検証の観点】<br>①増水の検知可否<br>②堤防の侵食の検知可否<br>③堤防の侵食幅の検知可否<br>④その他   |
| 株式会社ランドログ                                      | 傾斜計・映像 | 堤防に傾斜センサを設置し、リアルタイムにデータ収集と統計処理を行う。また、カメラを堤防上に設置し、水位の変化を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/7.landlog.pdf">http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/7.landlog.pdf</a> | <p>①天端に設置した傾斜センサーが、越流水の作用に伴って生じる傾斜センサの振動を傾斜量として検出した。傾斜センサの傾斜量の変化を検出することで越水を検知できたが、傾斜量の小さな変化であるため、風雨が強い中では、風雨による変化であるのか、越水による変化であるのかを見分けることができない可能性がある。また、カメラ画像によって河川水位を把握できることを確認しており、カメラ画像と合わせて傾斜センサの傾斜量の変化を確認することで越水を検知できる可能性がある。</p> <p>②傾斜センサが流出すると、傾斜量が大きく変動した。しかも、その変動はランダムに発生した。こうした傾斜センサの傾斜量の変化を検出することで傾斜センサの流出を検知することができた。ただし、天端の低下量との関係については確認できていない。</p> <p>③確認できなかった。</p> <p>④傾斜量データや映像解析データについて、クラウドによる連携が専用ビューワで対応できることを確認した。</p> |  |
| 株式会社安藤・間                                       | レーダー   | 堤防を監視できる箇所に地上設置型合成開口レーダ（GB-SAR）を設置し、反射波の位相情報の変化から堤防法面の変状を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/8.ad-hzm.pdf">http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/8.ad-hzm.pdf</a> | <p>①合成開口レーダは、越水に伴う裏法面の高さの変化（堤防法面が越流水の分だけ高くなる。水面の乱れがあり場所ごとに高さの変化は異なる状況）を計測できた。合成開口レーダが計測する堤防表面の高さの変化から越水を検知できた。</p> <p>②合成開口レーダは水面を計測するため、堤防法面の侵食は計測できなかった。</p> <p>③②と同様、計測できなかった。</p> <p>④なし。</p>   | <p>①解析の対象としていない。</p> <p>②合成開口レーダは法面の高さの変化を計測できたが、計測結果にノイズが含まれていた。これは、計測に用いる電波が水面で散乱するためと考えられた。合成開口レーダによって法面の高さの変化を計測することで、河岸侵食を検知できる可能性がある。</p> <p>③堤防模型に対して空間分解能が大きいため、侵食幅を計測することはできなかった。</p> <p>④土羽に比べ、護岸の高さの計測結果にはノイズが少なかった。今回の実験ではシステム本来の仕様よりも近距離の計測であったため、堤防模型に対して空間分解能が相対的に大きくなったことにより、流水などによる散乱の影響が大きく見られた可能性がある。</p> |

■河川堤防の変状検知システムの技術の概要と検証結果の一覧表

- ・これらの技術の導入を検討される際は、現場条件に応じて、ここでの実験結果を参考にしてください。
- ・ここでの実験結果は、限られた条件（例えば、堤防法面や法尻に植生が繁茂していない など）での結果であることにご留意ください。

| 公募参加者名<br>(公募参加者が<br>グループの場合<br>は代表者名)<br><br>※上から実験実<br>施順に記載 | 検知方法             | 技術の概要<br><br>※詳細は各者の報告書<br>をご覧ください   | 実験結果から確認できたこと  |   |
|--|------------------|--|--|---|
|  |                  |  | 越水実験<br>【検証の観点】<br>①越水の検知可否<br>②越水による堤防天端の低下（侵食）の検知可否<br>③越水による堤防天端の低下幅の検知可否<br>④その他   | 河岸侵食実験<br>【検証の観点】<br>①増水の検知可否<br>②堤防の侵食の検知可否<br>③堤防の侵食幅の検知可否<br>④その他  |
| いであ株式会社  | 映像               | 堤防天端にカメラを設置し、PIV解析手法を用いて天端の欠損状況を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/9.idea.pdf">http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/9.idea.pdf</a>         | /  | ①解析の対象としていない。<br>②ビデオ画像内に検知枠を設け、検知枠内の土砂の動きを検出することにより、河岸侵食の発生を検知できる可能性がある。<br>③河岸侵食の幅の変化についても、検知枠内の土砂の動きの累積値から推定することができる可能性がある。<br>④検知枠内の土砂や水の動きを捉える仕組みであるため、検知枠内に人影等が入った場合、その動きを誤検知することを確認された。  |
| 一般財団法人エンジニアリング協会   | 光ファイバ(振動・温度・ひずみ) | 堤防に光ファイバケーブル3本埋設し、その振動、温度、歪みから堤防の変状を検知する。<br><br>報告書：<br><a href="http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/10.eanaa.pdf">http://www.nilim.go.jp/lab/fbg/gijyutsukoubo/jikkennkekka/report/10.eanaa.pdf</a> | ①越水後に光ファイバによって検出される振動の振幅がやや増加した。光ファイバによって検出される振動の振幅の変化から越水を検知できる可能性がある。<br>②光ファイバ保護管が露出し、越流水が直接保護管に当たるようになると、光ファイバによって検出される振動の振幅は大きく増加した。光ファイバによって検出される振動の振幅の変化から堤防天端の低下を検知できた。また、光ファイバ保護管が露出した場合には、光ファイバによって検出される温度が低下した。埋設時の光ファイバの温度と越流水の水温が異なる場合には、光ファイバによって検出される温度の変化によって、光ファイバ保護管の露出を検知できた。さらに、光ファイバ保護管が露出した場合には、光ファイバによって検出される歪が変化した。光ファイバによって検出される歪の変化から、光ファイバ保護管の露出を検知できた。<br>③光ファイバによって検出される振動の振幅は、堤防天端や裏法面が侵食されても顕著な変化を示さなかった。多少の振幅の増加は見られるが、越流水の増加によるものか、裏法面等の侵食によるものかについては見分けることができなかった。<br>④光ファイバは、近傍で作業する重機の振動も検出した。光ファイバには、築堤時の締固めによって歪が蓄積したが、堤防天端が侵食され、光ファイバ上に堤体土がなくなると、歪は一時解放された。その後、越流水によって流されると、再度歪が蓄積した。 | ①光ファイバによって検出される振動から流量の増加を検知することはできなかった。<br>②光ファイバ保護管が露出し、流水が直接保護管に当たるようになると、光ファイバによって検出される振動の振幅は大きく増加した。光ファイバによって検出される振動の振幅の変化から河岸侵食を検知できた。また、光ファイバ保護管が露出した場合には、光ファイバによって検出される温度が低下した。埋設時の光ファイバの温度と越流水の水温が異なる場合には、光ファイバによって検出される温度の変化によって、光ファイバ保護管の露出を検知できる可能性がある。さらに、光ファイバ保護管が露出した場合には、光ファイバによって検出される歪が変化した。光ファイバによって検出される歪の変化から、光ファイバ保護管の露出を検知できた。<br>③光ファイバによって検出される振動の振幅は、河岸が侵食されても顕著な変化を示さなかった。<br>④光ファイバは、近傍で作業する築堤作業（越水実験用）の振動を検出した。 |