

新しい技術を用いた盛土監視手法の提案

寒地土木研究所 寒地河川チーム ○岡部 博一
寒地機械技術チーム 田所 登

河川堤防や河岸の監視は基本的に目視で行われており、洪水や地震による被災時には、その変状の把握に一定の時間を要するもの。一方で、迅速な情報収集による通行止め等の対策、早期の復旧のため、より早急な状況把握手段の構築を検討してゆくことが必要。本検討は、このような視点から近年の技術動向などを踏まえた新たな河川堤防等の監視手法について検討、提案を行うもの。

キーワード：変位検知型光ファイバーセンサー、CCTV、画像解析

1. はじめに

(1) 堤防や河岸の監視について

堤防や河岸の監視は通常目視による巡視によって実施されている。一方、目視による監視が困難な夜間の他、浸水などアクセス不可能地域でも河岸侵食や堤防決壊が発生する可能性は十分あり、堤防や河岸の監視体制を補助する対策検討は有意義である。

平成28年8月北海道において発生した堤防決壊の一つの事例においては、夜間でかつ浸水によってアクセス不可能な個所であったが、近年活用が進む無人航空機(UAV)を用いて、夜明後すぐに調査が行われ、迅速に被災状況の全容が確認されている。

本検討は、近年の技術動向を踏まえるなど、新たな視点により、適用の可能性のある技術を試行、検討し、河川の監視体制の安定性向上に貢献していくものである。

なお、北海道開発局における河川の管理延長は約2,000kmあり、巡視作業の負担増加、新たなセンサー等監視機器への大規模な投資は困難である。このため、既存の施設を最大限活用するなど、安価でかつ職員の負担を増やさない技術検討となるよう十分留意する必要がある。



写真-1 アクセス不可能な地域で発生した堤防決壊

(2) 備蓄盛土を用いた実証実験

前述のような視点を踏まえ、2つの技術について検討を行った。

1) 特定箇所の直接監視技術

低水路の堤防近接箇所のうち自然河岸部など、あらかじめ想定される特定の危険箇所を重点的に監視するための手法として、安価な機構による手法を検討する。今回は、落雷等厳しい使用条件に強く今後安価なシステムとして汎用化が期待される光ファイバーセンサーについて検討を行った。

2) 比較的広範囲を対象とした画像解析による監視技術

超過洪水による越流破堤などを比較的広範囲に監視する手法として、既存CCTVカメラを用いた画像解析による手法について検討を行った。

これらの技術について、実際の河川に適用した場合の技術課題を検証することとした。しかし、実物の堤防等を変状させることはできないため、札幌河川事務所の協力を得て、豊平川河川防災ステーションの備蓄盛土に変状を与えることで、取り巻く自然環境の影響を含め、実現象に近い状況を再現してその課題等を検討した。



写真-2 豊平川河川防災ステーション備蓄盛土

2. 特定箇所の直接監視技術について

(1) 変位検知型の光ファイバーセンサーシステムの活用

本検討では、必要電力量が小さいなどシステム規模が

小さくできる変位検知型の光ファイバーセンサーを活用したシステムを用いて、堤防、河岸の変状検知についての実験を行った。

表-1 センサー仕様

項目	仕様
外形サイズ	72mm×72mm×20mm(センサ) 100mm×100mm×35mm(計測器)
計測周波数	100Hz
供給電源	DC6V
消費電力	1W
使用温度	-10~60°C
製作者	古河電気工業株式会社

(2) 実証システム、実証実験概要

豊平川河川防災ステーションにおいて実験を行った。堤防、河岸に見立てた盛土に杭を設置し、インバー線(鉄等の合金)を敷設して、光ファイバーセンサーと連結したシステムを構築した。バックホーによって振動、変位を加え、杭、インバー線を通じて光ファイバーセンサーによりこれらを検知する機構(図-1, 写真-3, 4)として実験を行った。

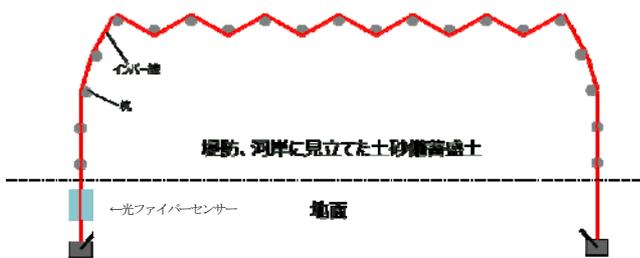


図-1 システム概要



写真-3 設置状況



写真-4 杭の周辺を掘削

(3) 変位の検知

中央部の杭に変位を与えると変位が観測され、断線す

ると一定値が観測されている。(図-2)

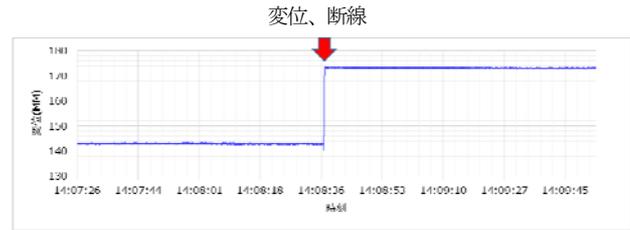


図-2 杭の変位、断線時のセンサーの変位

(4) 振動の検知

盛土に与えた振動について、杭間のインバー線の振動は、杭を節、杭間のインバー線を弦とする振動として伝わるために、この振動についてフーリエ解析を行うと、周期的な固有振動数が検出される。これは弦の振動が単振動の倍数の振動の重なりであるためであると考えられる。(a)

$$f_m = \frac{m}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \dots (a)$$

f_m :固有振動数[Hz]、 $m=1,2,3,\dots$ 、 l :弦の長さ[m]、 T :張力[N]、 ρ :線密度[kg/m]¹⁾

さらに、特定の杭に変位を与えることで、インバー線の張力が大きく増加し、固有振動数の間隔が拡大している。(図-3, 4)

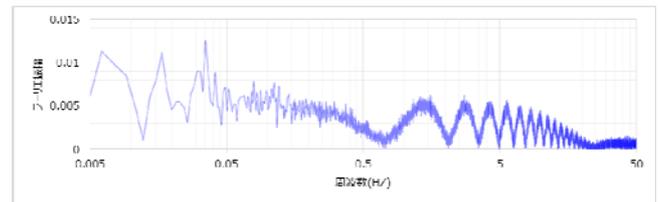


図-3 杭の付近を掘削した際の振動特性

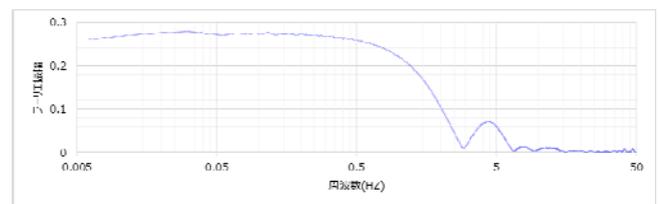


図-4 杭を変位させた際の振動特性

(5) 実験のまとめ

変位検知型の光ファイバーセンサーシステムにより、盛土の変位による杭の変位を検知することができた。さらに、杭の変位による張力変化に伴い、システムを通じて取得される振動の固有振動数の変化が検出された。

(6) 今後の検討の一つのアイデア

今回の実験は特定の杭近傍の盛土に変位を与えた実験であり、直接的な杭の変位のみを検知したものである。固有振動数の計測による土木分野での監視技術について

ては落石の安定性や橋脚周辺の洗掘に注目した安全度評価への適用が検討されている事例がある。また、河川堤防についてもその性状の判定に固有振動数の分析が検討されている事例がある。^{2) 3) 4)}

このような事例を参考に、地震や洪水に伴う浸透などによる盛土全体の状況の変化、安全度について、その固有振動数の特徴の変化を検出することで評価できる可能性があると考えられる。

(7) 参考：既存の光ファイバー線路による堤防監視について

河川管理用の光ファイバーは河川堤防沿いに敷設されており、一定区間を網羅している。線路自体の異常を監視する設備として線路監視装置が設置されているが、線路の断線や極小半径の曲率の屈曲に対して異常が検出されるものである。更に、光ファイバーは、さや管に収納されており、変位に対して柔軟な構造とされている。

このようなことから、既存の線路監視装置による異常検知を堤防等の変状に関連付ける場合には、検出可能な事象が極めて大規模となることが想定されるものである。

このため、今回の検討では、より発生頻度が大きく比較的小規模な事象も含め異常を検出する方策として検討を進めたものである。

3 比較的広範囲を対象とした画像解析による監視技術

(1) 画像解析技術の活用

土木分野においてもコンクリート構造物のひび割れの検出など画像解析技術を活用した検知技術についての検討、実証が行われている。ただし、これらの技術はトンネル内であることや屋外でも光源を制御するなど比較的安定した状況下を前提しているものが多い。^{例えは5)}

一方、日射の強弱、積雪等様々な状況変化の影響を受ける河川堤防等の監視技術に適用するには、既存技術を踏まえつつも一定の技術的な試行、検討が必要となる。

本検討では、既存の画像解析技術を直接的に河川堤防を想定した盛土の変状検知に適用することで、画像解析技術の適用性と今後の技術課題を検討するものである。

(2) 実証システム、実証実験概要

2. と同様に豊平川河川防災ステーションの備蓄盛土に変状を与え、その前後の画像を比較することによって変状の検知を試行するものとした。防災ステーションに設置されている既存のCCTVカメラを用い、機側操作盤に直接画像記録装置を接続することで画像取得を行った。**(図-5)**

(3) 実証実験の概要

植生の繁茂した備蓄盛土において、堤防除草の状況の違いによる画像解析への影響を想定して草丈10cm、50cmとなるよう除草した区域と除草無(草丈1m程度)の区域において、バックホーにより盛土に変状を加えた。

盛土を変状させる作業は前述の光ファイバセンサーによる検知試験と併せて、平成28年11月25日に行った。なお、画像の取得期間は、盛土の変状を与える前の一定期間を含む平成28年11月10日～11月29日とした。

当初は降雪前に画像取得を実施することで植生のみの影響による画像解析技術の適用性への影響を検討する予定であったが、平年より早い降雪により数cmの積雪下での実験となった。**(写真5)**

画像は動画として連続的に取得している。画像解析技術(株式会社東芝)の適用にあたっては、日射等の変化の影響を検討するため、解析に用いる画像の取得周期を変えた検討を行っている。

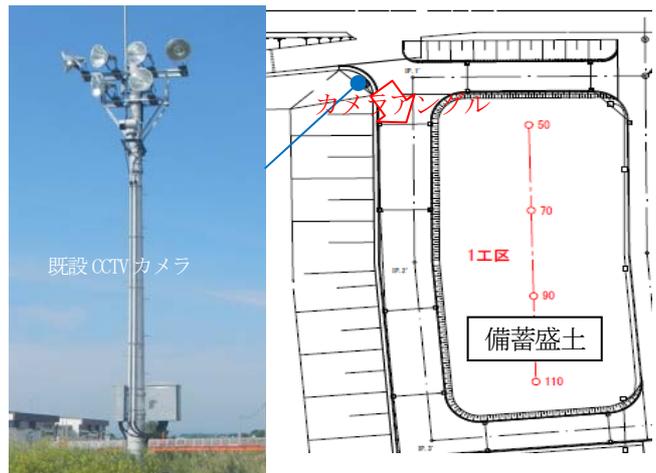


図-5 実証試験地の概要



写真-5 変状を付与した箇所状況

(4) 今回実験の変状検知のイメージ

Step1

一定周期で取得した複数枚の画像を平均化し、1枚の

画像（背景画像）を作成。

Step2

取得した時間の異なる背景画像について画素単位に比較を行い、その差分を検出。

Step3

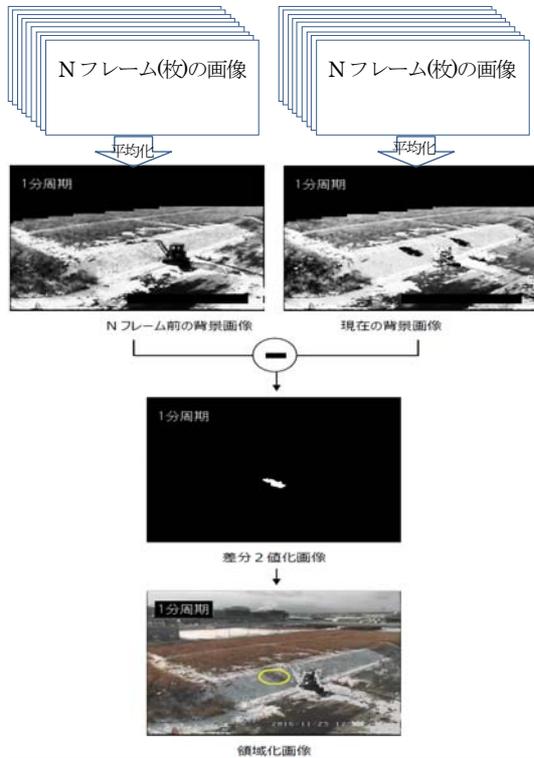


図-6 異常検知のイメージ

その差分について一定の閾値により、変化ある画素と無い画素の抽出（2値化処理）を行い変状を判定。

(3)画像解析による変状の検知

各地点に変状を与え、変状前の背景画像と変状後の背景画像について画像解析による変状検知を試行した。

(図-7、表-2)

検知が可能であった1分周期の画像取得について、10cmの草丈に除草した地点1、2については、変状の検知が可能であった。一方、草丈50cmの地点3、除草を行わなかった地点4については植生の影響により、比較した背景画像の差が小さく、変状を検知できなかった。

また、画像取得の間隔を60分として背景画像の作成を行った場合には、変状の検知ができなかった。これは、背景画像を構成する各画像の時間間隔が長すぎたため、日射等による画像の変化が大きく、盛土の変状による画像の変化とを抽出して区別して検知することができなかったためであると考えられる。

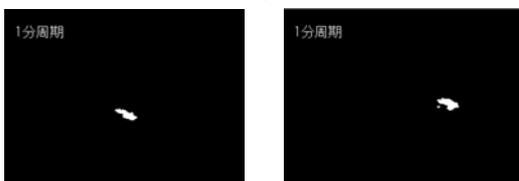


図-7 2値化による変状検知

表-2 検知結果

画像取得間隔	1分	60分
地点1(草丈10cm)	○	×
地点2(草丈10cm)	○	×
地点3(草丈50cm)	×	×
地点4(除草無)	×	×

○：検知、×：非検知

(4)今後の課題

- 1)条件によっては、画像解析により盛土の変状を検知することが可能な場合があることが確認された。
- 2)一方で、植生の影響など盛土の変状が画像であいまいになるような条件下では変状の検知が困難であることがある。
- 3)2値化等の画像処理には日射等の外的要因が大きく作用し、変状判定を困難にすることとなる。

上述のことから、堤防盛土、河岸の画像処理による監視にあたっては、条件によってはその変状を検知することが可能である一方で、実用的な技術として導入するためには、植生や日射など屋外で自然条件の作用が顕著な状況下での影響を考慮した画像の取得、加えて、比較する取得画像を平均化した背景画像の作成手法について検討を進める必要がある。

(5)将来的な技術普及のアイデア

既存のCCTVカメラを用いた画像解析による堤防や河岸の監視手法の普及にあたっては、精度の向上と併せて、職員負担の軽減、迅速性の確保から一定の自動化が必要である。その際に一つの角度だけの画像取得では、監視範囲は限られるため、多地点の画像取得を可能とし、定時の画像取得と洪水時、地震時の臨機の画像取得を組み合わせた効果的な画像取得・解析システムの構築が必要である。

今後は、検知精度の向上と技術適用を視野に入れた課題を明らかにした上で実用的な技術検討を進めてゆく必要がある。

謝辞：実証実験の実施に際し、札幌河川事務所花巻第一工務課長、株式会社田中組乾工事課長はじめ関係の皆様にご多大なご協力を頂きました。ご厚情に感謝申し上げます。

参考文献

- 1)詳説物理,三省堂,1988.
- 2)緒方健治,松山裕幸,天野浄行:振動特性を利用した落石危険度の判定,土木学会論文集No.749/V-61,123-135,2003.12.
- 3)関雅樹,田中宏昌,堤要二,山下和敏,仲野聡,西村昭彦,鉄道橋の固有振動数に着目した洪水時の安全管理システム,土木学会論文集No.686/VI-52,79-89,2001.9
- 4)神野邦彦,田窪裕一,森伸一郎,佐伯嘉隆:常時微動による河川堤防と基盤の卓越周期の相関,第44回地盤工学研究発表会発表講演集,2009.8
- 5)竹本将,谷口徹也,中田慶正,森直幸:ラインセンサカメラを使用したトンネル覆工点検システムの開発,土木学会第70回年次学術講演会論文集,2015.9