

河川堤防の変状検知システム実験結果
(傾斜計、ビデオ画像による検知)

令和3年3月

株式会社 ランドログ
株式会社 S k e e d
トライポッドワークス株式会社

4、システム性能確認結果

今回のシステム性能テストは、傾斜計センサーデータとカメラ映像データをもとに堤防天端の変状をとらえ、それらのデータをクラウドサーバーを介して確認できるようにしたもので下記3社の共同で実施した。

以下に性能確認結果をまとめる。

表 4-1 役割分担

グループの構成員	分担する項目
株式会社ランドログ	プラットフォームデータ連携
株式会社 Skeep	センサーデータ取得
トライポッドワークス株式会社	映像データ取得

・システムの概要

微細な傾斜変化を検知できる小型傾斜計センサーを堤防天端と堤内地側の法面に設置した。

傾斜計センサーが発信したデータを中継装置で受信しメッシュネットワークの原理で逐次転送、最終インターネット経由でクラウドサーバーに収集される。

また堤防堤外地側と堤内地側にそれぞれに設置されたカメラ映像から越水状況を自動解析することができる。

解析された映像データもインターネット経由でクラウドサーバーに収集され、傾斜計センサーデータも含め専用ソフトによりリアルタイムで越水状況と堤防変化を同時に監視することができる。

下記にシステム概要を示す。

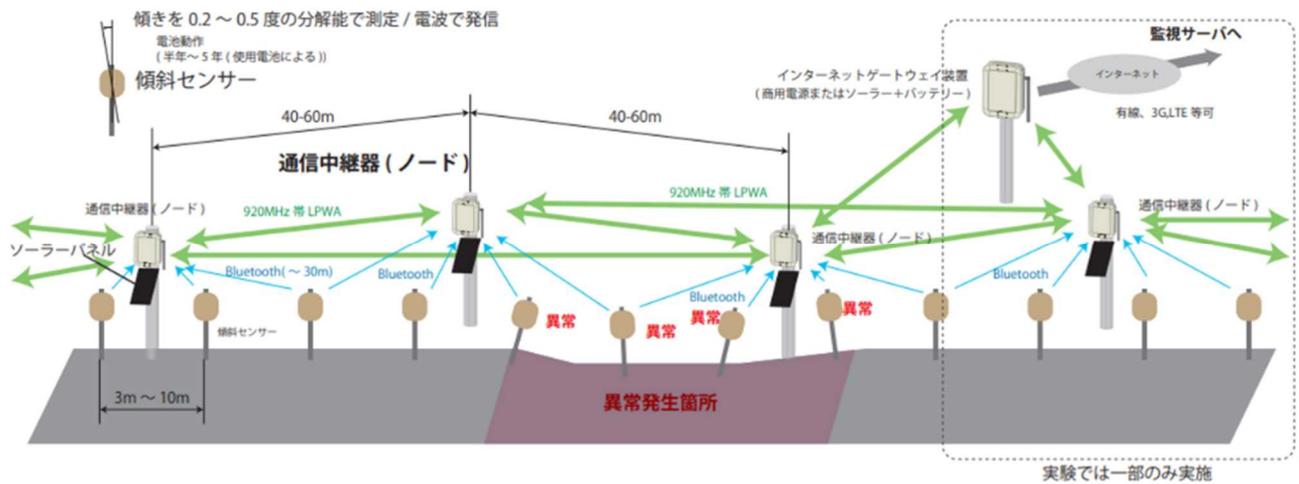


図 4-1 傾斜計センサーデータ取得システム概要図



図 4-2 映像データ及び解析データ取得システム概略図

・システムの原理

(計測機器の計測精度や機器の配置、電源供給、通信方法)

図 4-1 に示したが堤防に設置した傾斜センサーデータは Bluetooth で通信中継器に送られ、さらに受信されたデータは 920MHz 帯の電波を利用しメッシュネットワークの原理で転送、最終インターネットゲートウェイ装置を経由してクラウドサーバー

に収集される。

映像データはデータ量が多くなり扱いが難しくなることを避けるため、画像を一定間隔で切り出し扱いやすいタイムラプス映像を生成する。

また、事前にカメラ映像をもとに越水ラインや警告ラインを画面上で設定する。

テストでは生成されたタイムラプス映像をもとに水位をリアルタイム解析し、設定したラインを超えた場合に警報が出るようにした。

屋外用カメラとスイッチングハブは給電とデータ収集がLANケーブル1本でできるPoEタイプを使用する。

下記にカメラ映像解析概要と性能テストでの機器設置図を示す。



図 4-3 タイムラプス映像生成方法

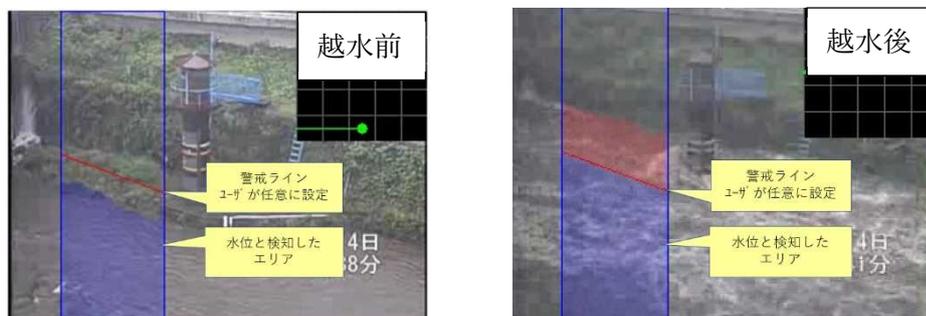


図 4-4 越水警報ラインイメージ図

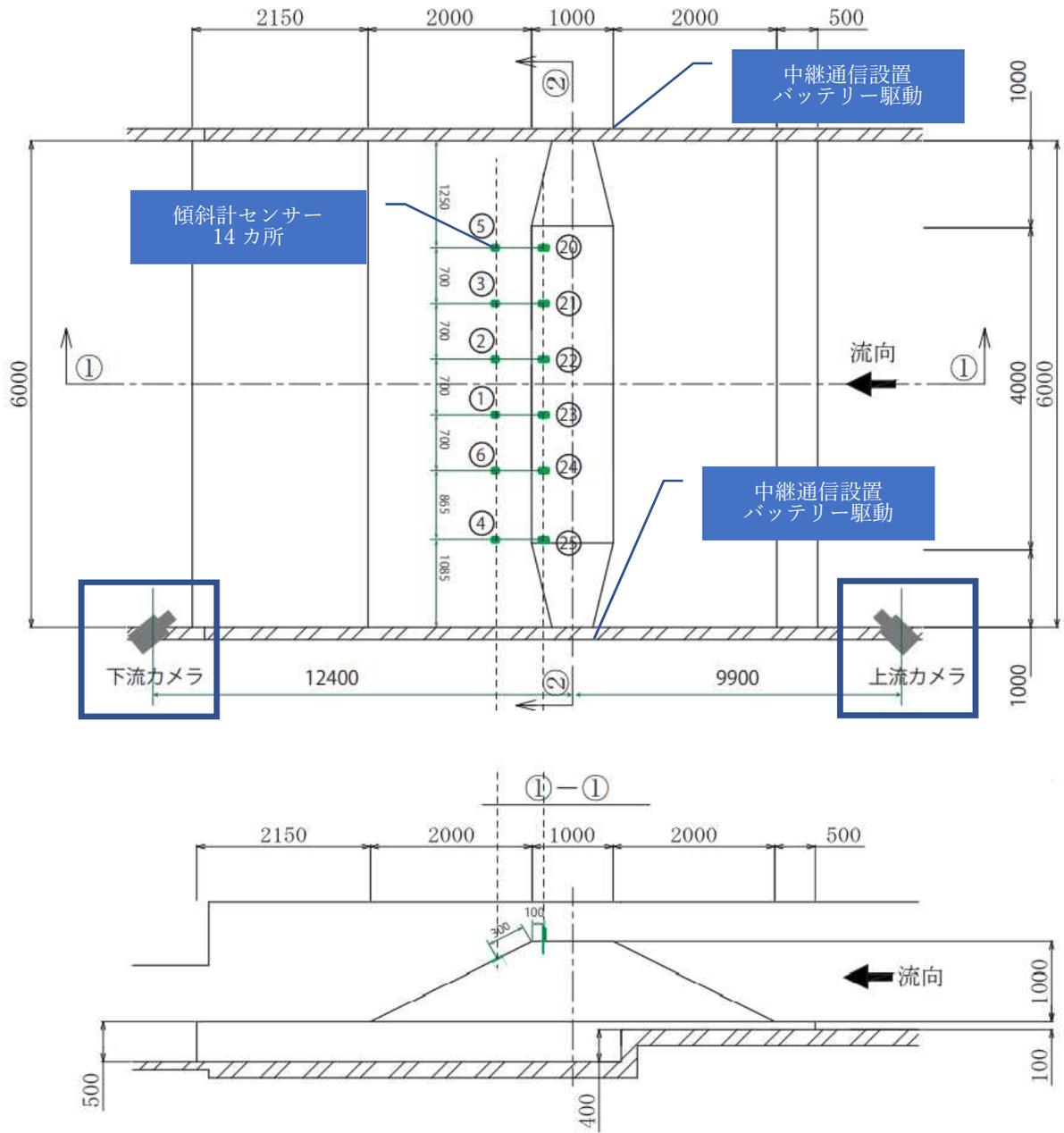


図 4-5 機器設置図

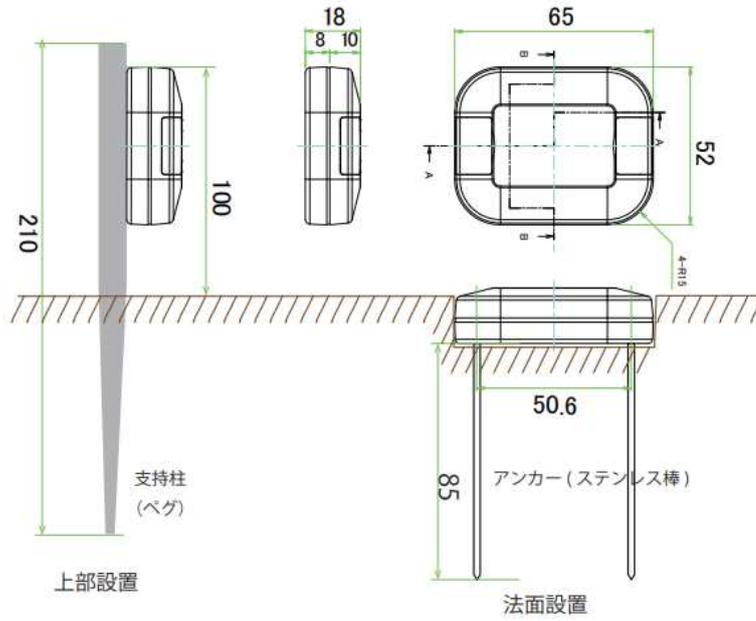


図 4-6 傾斜計センサー固定形状

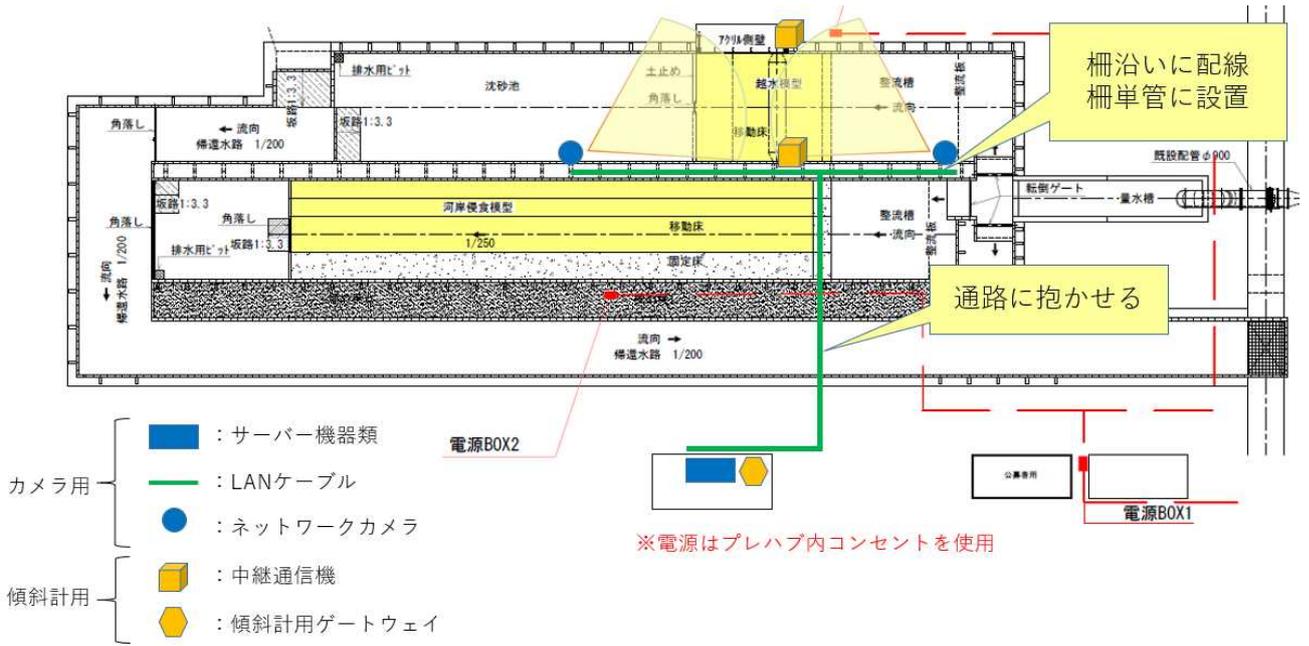


図 4-7 LAN ケーブル配線図

・技術の特徴

(コストや即時性および耐候性、夜間や雨天時に検知可能かなどを記載)、アピールポイント等(選考基準を満たすかどうか明記)

傾斜計センサーデータ取得システム(図4-1)は、堤防の地面に直接設置する傾斜計センサーにより、微細な変化もダイレクトに検出する。

センサーはアンカーピン等で固定するので大掛かりな工事が必要なく、センサー自体低消費電力で電池稼働のため長期間電池交換が不要となっている。

中継通信機においてもソーラーパネルとバッテリーで動作するため、大掛かりな配線工事等が不要であり、安価な短距離無線通信機能を利用しているためトータルの工事費や維持費が抑えられると期待している。

各機器は一般に防水対策が施されており雨天時でも利用が可能で、民生量産品用の一般的な技術を使用しているため購入、設置ともに容易である。

映像データ及び解析データ取得システム(図4-2)は、遠隔モニタリングと映像蓄積機能をもっており、現場にネットワークカメラを設置することで河川水位の見える化が可能となり、複数台のネットワークカメラをひとつのモニタリングシステムに収容しインターネット経由で遠隔地から映像を一画面で視ることができる。

通常的时间軸では分かりにくい、目に見えない変化をタイムラプス映像で見やすくするとともに、独自の映像解析技術で水位と急激な変化を検知する。

使用するカメラは防水防塵対策、ナイトビジョン対応が施されたものを使用することで雨天時や夜間に対応することが可能であるが、夜間撮影における赤外線照明は距離により照射量が変わるため、別途照明のような環境対策を行う必要がある。

ただしカメラ映像だけではなく上記した傾斜計センサーデータの変化を見ることで夜間の越水判定を行うことができると考える。

機器類はいずれも民生量産品用の一般的な技術を使用しているため購入しやすく設置しやすい。

クラウドサーバーに随時挙がる傾斜計センサーデータと水位解析を行った映像データをクラウドサーバー側で一元化し、手持ちのパソコン画面でリアルタイムに確認す

ることができる。

今回は上記3つの技術を合わせることで公募要件である『A：堤防天端高が10 cm程度低下することを即時に検出可能なシステム』に対応できるものと考え参加に至った。

A：堤防天端高が10 cm程度低下することを即時に検出可能なシステム

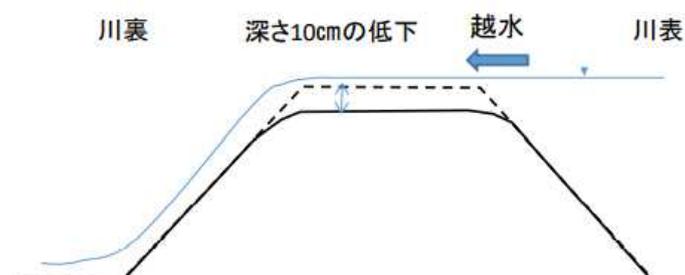


図 4-8 検出すべき変状のイメージ（越水による変状）

■変状検知システムに求められる要件

- ① 数百 m から数 km 区間に設置することを想定しており、区間内で変状が発生した場合、その箇所を即時に特定することが可能なこと。
- ② 後述する実験で性能を確認できるもの（実験の詳細は6章を参照のこと）。
- ③ 昼夜・天候を問わず、変状を検出可能なこと。
- ④ アイデア段階のものではなく、システムの中心となる計測装置がすでに試作され、計測装置の計測精度が確認されているもの。
- ⑤ 計測装置およびシステムに耐候性と耐久性があること。

※国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究室
河川堤防の変状検知システムの公募要領より引用

- ・現場実装で想定する配置方法
(維持管理方法やコストについて記載)

実施現場では下図のような配置方法を想定している。

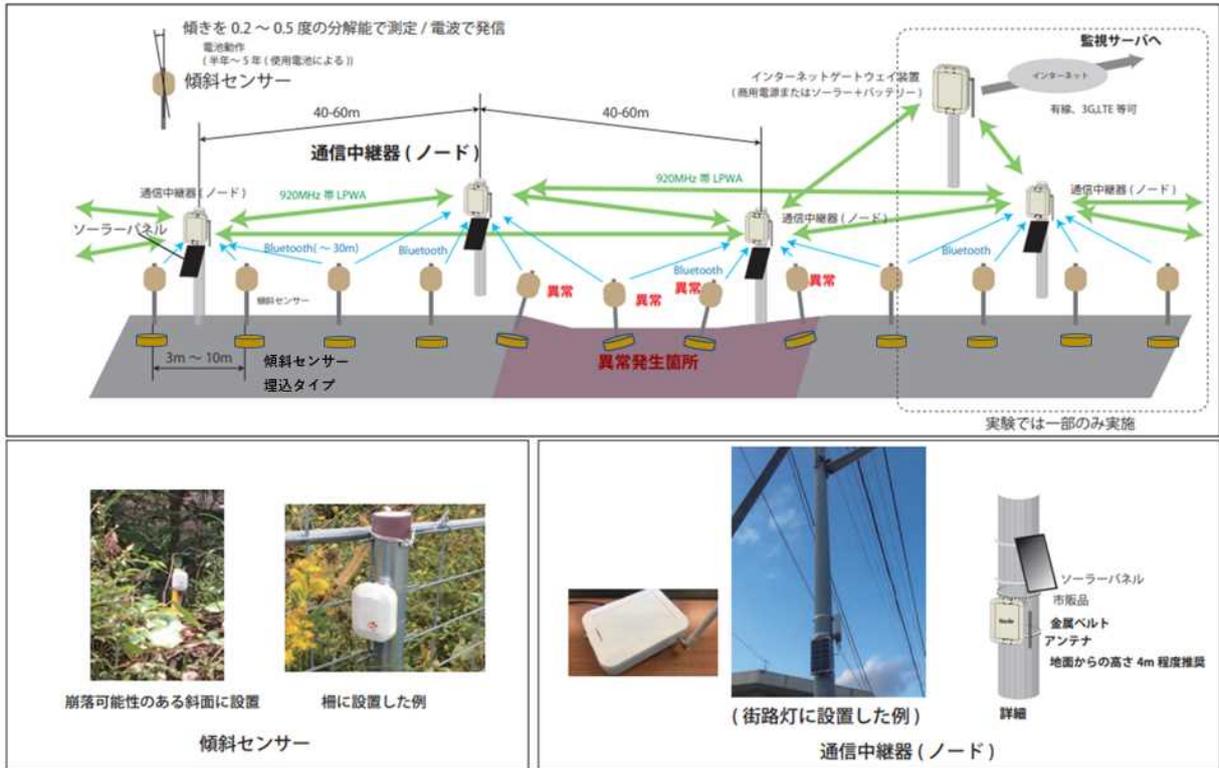


図 4-9 現場による傾斜計センサー類配置方法

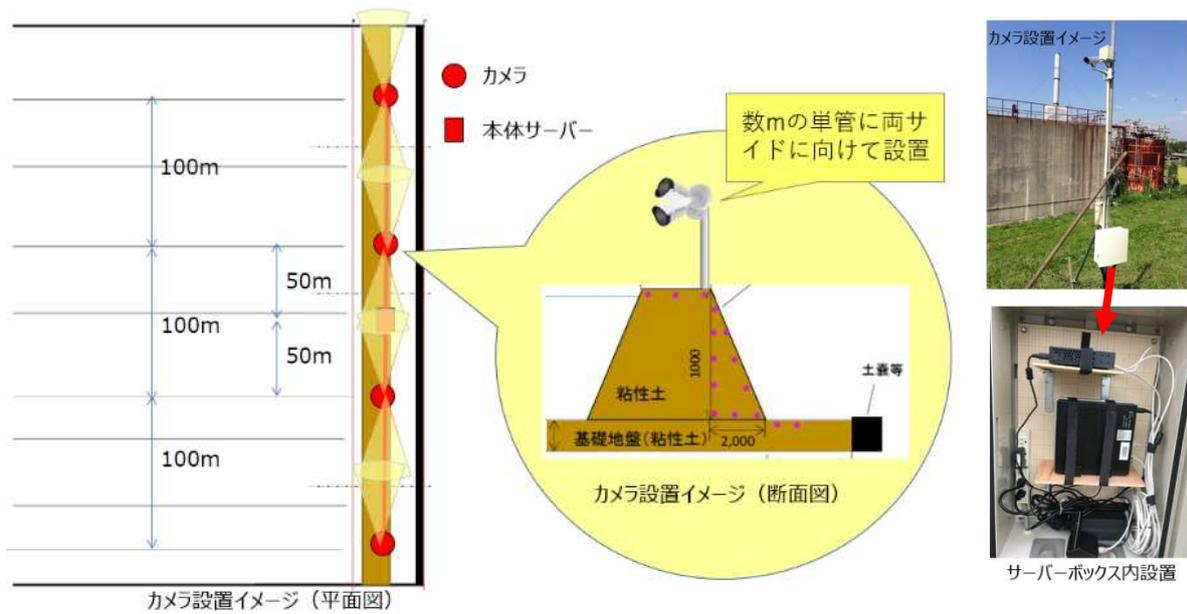


図 4-10 現場におけるカメラ類配置方法

・概略費用

設置延長 100m 当たりの導入コストおよび維持管理コストを表 4-2 に示す。

100m 当たりの傾斜計センサーやカメラ設置方法は図 4-9、4-10 に記載した。

傾斜計センサーの設置間隔は 3m と費用も算出しているが最長 10m 間隔での設置も可能で、費用低減を行うことが可能である。

カメラ設置間隔は 0 m 地点と 100m 地点の 2 か所に設置するイメージで算出をしている。

データを収集し管理を行うプラットフォーム利用については導入時の基本料と年間利用料が必要となり、河川工事務所ごとに費用が発生する。

表示した導入コストには設置費を含んでいるが、設置場所の状況や接地面がコンクリートなどでおおわれているような場所においては別途相談させていただく事となる。

維持管理コストで傾斜センサーにおいては機器類の電池交換費用やセンサー本体、通信機器類の一部交換費用も想定し含めている。

ただし、どこまでの破損を費用の中で対応するかは協議させていただく事となる。

映像用カメラについては故障が少ないと思われるためメンテナンス費は別途とし、通信費とソフト利用料を維持管理費として計上している。

また、プラットフォームはシステムの保守作業を利用料として計上している。

表 4-2 概略費用

項目		費用	備考
導入コスト (設置距離100m)	傾斜計センサー取得システム	1,220,000	設置費含む
	映像データ取得システム	1,185,000	設置費含む
	データプラットフォーム	500,000	基本利用料(河川事務所ごと)
	合計	2,905,000	
維持管理 (年間費用)	傾斜計センサー取得システム	660,000	機器類の消耗品及び破損部品交換費、データ通信費
	映像データ取得システム	600,000	通信費、アプリ利用料
	データプラットフォーム	300,000	年間利用料(河川事務所ごと)
	合計	1,560,000	

・実験の計画

(目的・システムの配置)

堤防の表面に直接傾斜計センサーを設置し、センサーの値から越水、浸食を判断するとともに、アクリル壁側に設置したカメラで水位の状況を撮影し、取得した映像から越水を自動判定する。

堤防天端と堤内地側法面に無線（Bluetooth）で測定データを送信する傾斜計センサーを設置する。

アクリル壁側と河岸侵食実験水路側に測定データを収集する中継装置を設置し、さらに中継器から無線（920MHZ 帯）でデータを飛ばし現場プレハブに設置したゲートウェイ装置で収集データをインターネット経由でクラウドサーバーに送信される。

傾斜計データの蓄積および分析・可視化はクラウドサーバー側で実施する。

右岸側の堤外地側と堤内地側に設置したカメラで水位状況を撮影し、映像は有線 LAN をつうじて現場プレハブに設置したサーバーへ送られる。

送られた映像はソフトによってタイムラプス化されたのち堤防天端までの上昇率を自動解析する。

解析された映像データは現場プレハブに設置したゲートウェイ装置からインターネット経由でクラウドサーバーに送信される。

クラウドサーバーに収集された傾斜計データと映像データはビューアーによって一元的に見える化され、越水が発生した際にはアラートを発生する。

システム配置については前記の図 4-5～4-6 を参照ください。



写真 4-1 傾斜センサー（左）と中継器（右）設置状況



写真 4-2 上流側カメラ（左）と下流側カメラ（右）設置状況



写真 4-3 傾斜計センサー（左）とカメラ（右）設置状況



写真 4-4 現地サーバー及びゲートウェイ装置

・実験結果

(データ等から変状を検知したと考えられる根拠を記載)

傾斜計センサーにより傾きデータをリアルタイムに取得し、それらを中継装置を経由してクラウドサーバーに収集できることを確認した。

収集したセンサーデータを処理し時系列に並べた図を下記に示す。

図 4-11 は堤防天端に設置したセンサーが検出した各センサーの傾きの変化を示し、図 4-12 は堤防堤内地側法面に設置したセンサーが検出した各センサーの傾き変化を示す。

傾き変化として各センサーデータの一分間移動平均値から 10 分間移動平均値を引いた値の絶対値を使用しており、概ね直近一分の傾きを表示している。

移動平均を基準に使用するため、設置時の設置工事精度の悪さや季節要因、経年変化による緩やかな変化を無視することができる。

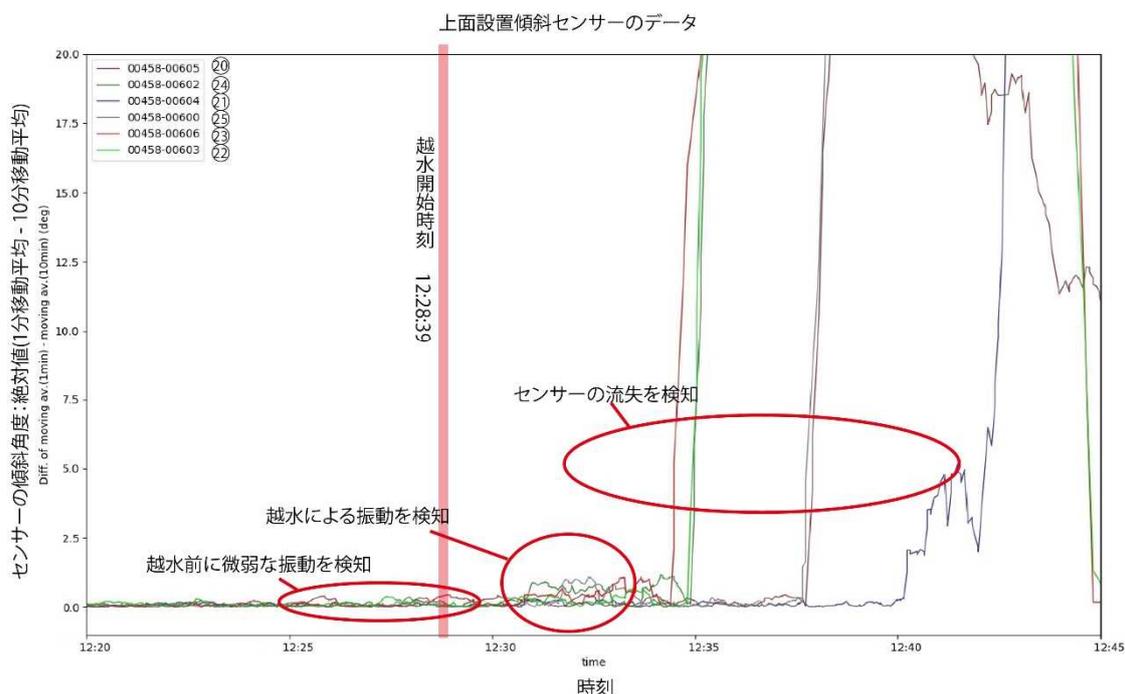


図 4-11 堤防天端に設置したセンサーの傾き変化

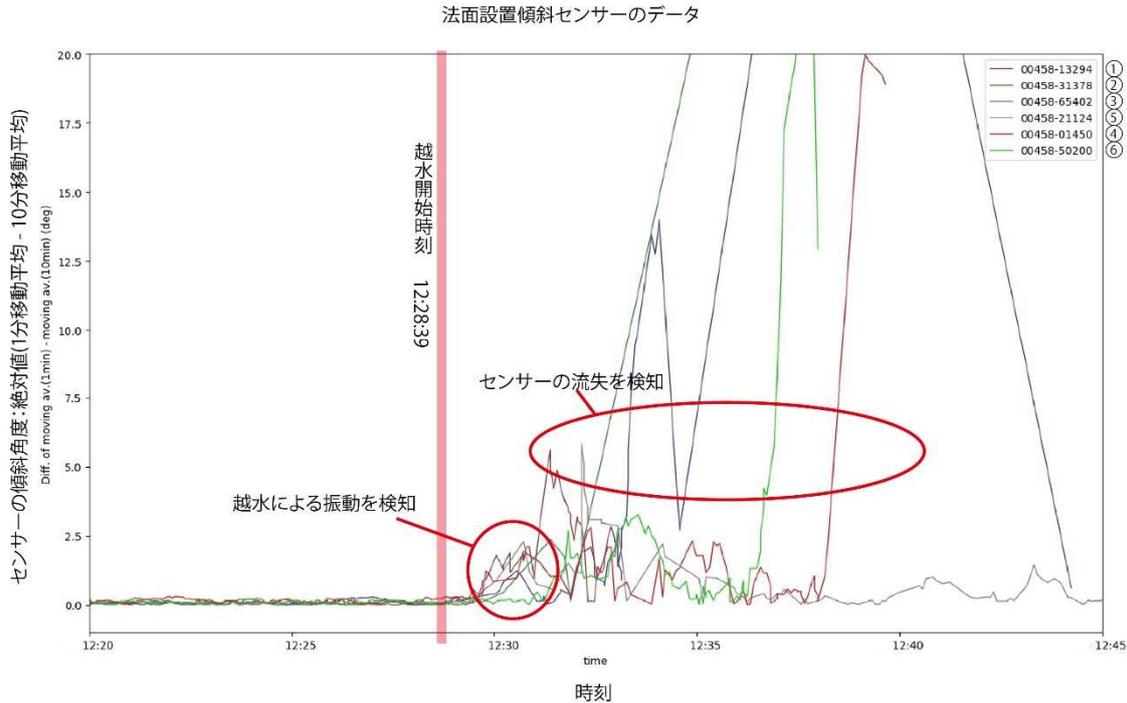


図 4-12 堤防堤内地側法面に設置したセンサーの傾き変化

両方のグラフが示すとおり、12:29 頃の越水からセンサーおよび周辺の土が動き始めていることが検出されている。

また堤防の破壊はセンサーが流されることにより大きなランダムな変化が検出されており、この変化の検出も単発のノイズ等を除去すれば堤防の破壊の疑いとして利用することが可能と考えられる。

天端のセンサーと法面のセンサーのどちらが早く検出できたかについては明確な差は見られなかった。

一方、検出された値の大きさは法面のセンサーの方が大きく、検出精度を上げるためには法面に設置したほうが良いことがわかる。

天端、法面各 6 個設置したセンサーは、いずれも異常を検知しており、この方式により越水や破壊が検知出来ない可能性は低いと考えられる。

また、天端センサーは越水直前からなんらかの微弱な変化を検出されているようであるが、微弱なため風雨等の天候状況下では検出出来ない可能性もある。

カメラ映像による確認では、12:11:25に通水してから12:29:30で越水するまでの時間が30分弱とかなり単位間での増水での確認となったが、越水検知に関しては問題なく検知を行うことが出来た。今回計測にあたり国交省河川管理の水位観測レベルの4段階を想定して4か所の判断箇所（スレッシュホールド）を任意に設定している。いずれの水位レベル（レベル1：12:16:30、レベル2：12:20:30（4分後）、レベル3：12:24:12（3分42秒後）、レベル4：12:29:00（4分38秒後））においても到達点の検知が問題なく確認できたが、レベル4から12:29:30の越水までの間30秒ほどの時間があり、天端の奥行きがあることから100%を超えての数値となって表現されている。本件に関しては表現の仕方や設置等の工夫が必要なところと考える。

タイムライン

時間	映像・事象	時間	映像・事象
12:11:25	通水	12:24:12	レベル3水位（赤、80%）到達
12:14:30	解析開始		
12:16:30	レベル1水位（緑、35%）到達		
12:20:30	レベル2水位（黄、60%）到達	12:29:00	レベル4水位（紫、100%）到達
			

写真 4-5 水位映像解析

タイムライン

時間	映像・事象	時間	映像・事象
12:29:30	越水 	13:35:26	最高水位点 (111%) 
12:30:50	天端から水位10%越え 	15:44:30	通水停止 

写真 4-6 水位映像解析

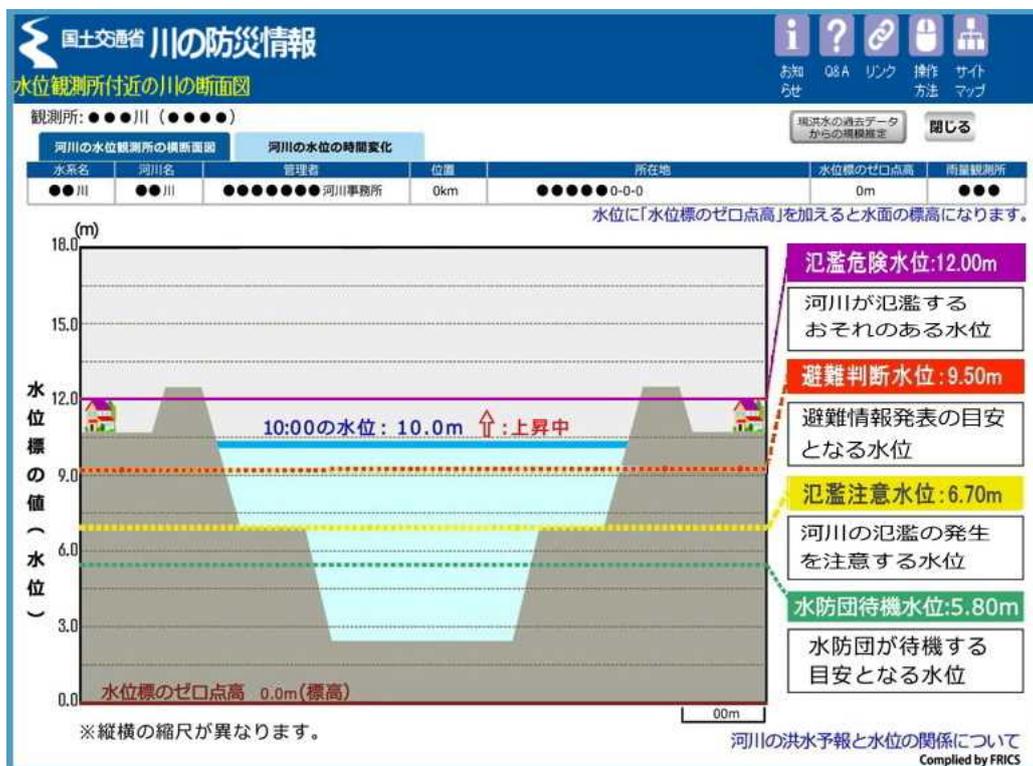


図 4-13 国交省河川管理水位観測レベル

傾斜計データや映像解析データともにクラウドによる連携が専用ビューアで対応できることを確認した。

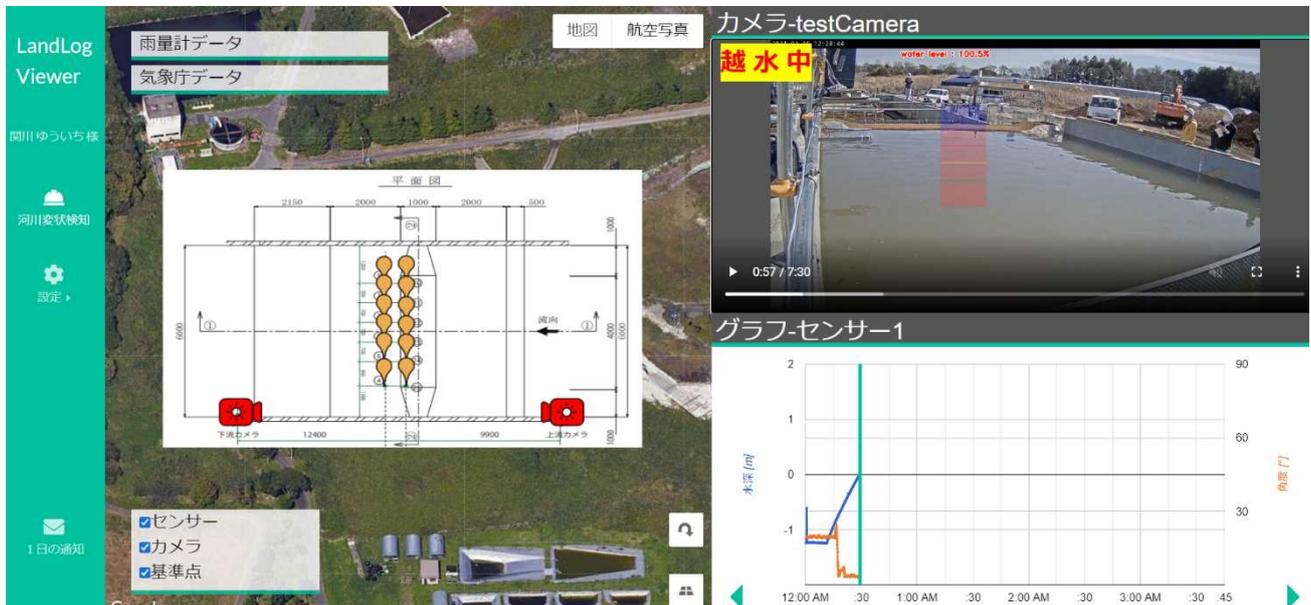


図 4-14 専用ビューア（越水中）

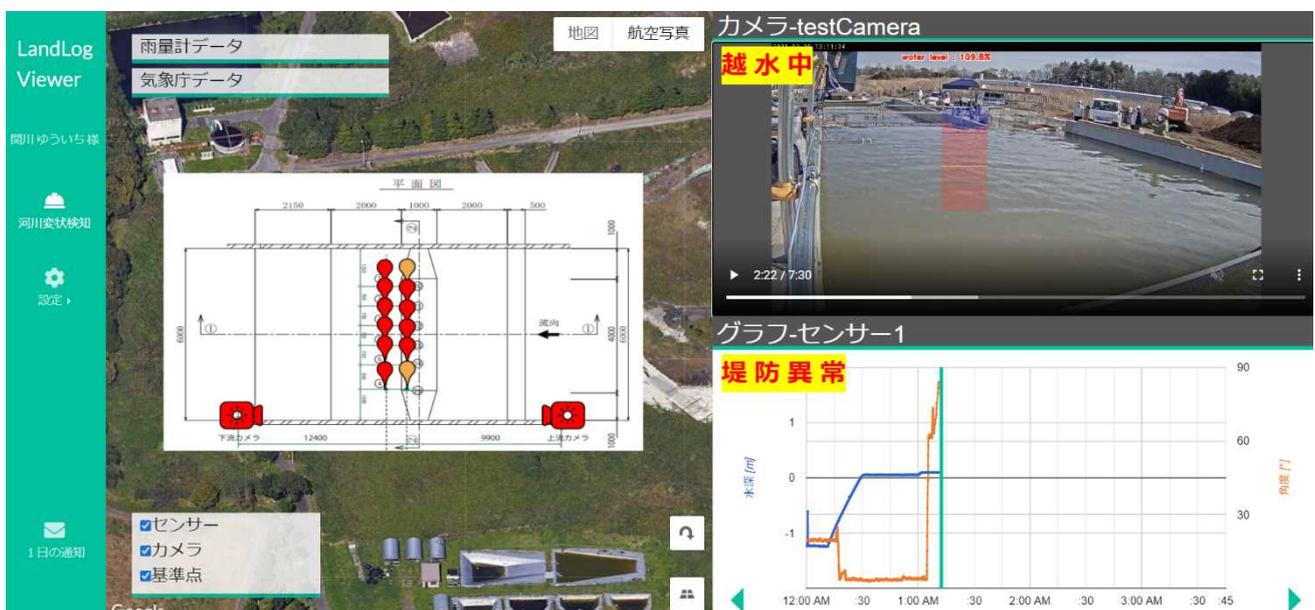


図 4-15 専用ビューア（堤防異常）

・現場実装へ向けた考察

・傾斜計センサー

センサーには電池を使用しているため、大型化することにより寿命は数年程度と想定されるが、寿命がきたら交換する必要がある。

電池の寿命がきたときには電波の発信が途切れるため、同時期に設置した地区を、まとめて交換する必要がある。

また中継装置のバッテリー（蓄電池）も数年単位の寿命があるため、工事されて時期に応じてまとめて交換する必要がある。

地面に設置するため、動物や人が触ることや、植物の生長等で傾きが変わることも予想される。

このためそのような変化が単発であることを利用する等で、異常値を消去する必要がある。

堤防の形態、規模等により、上記の変化の検出の強度は異なると考えられるため、それらごとの特性を収集したデータをもとに推定したうえで、警告を発する閾値等を決める必要がある。

・映像解析カメラ

本実証のカメラ設置位置は堤体と平行に左岸側の上堤内地側の2地点に設置したが、解析には河川側映像を利用した。

解析の結果、奥行方向の堤体の厚みを認識しており、当初計画した通り堤体真上からの解析を行うべきと考える。

堤体とカメラの距離については、映像解析をピクセル精度で行っているため、堤体とカメラの距離により解析精度に影響がでると考えられる。

そのためカメラ設置位置は堤体真上からが距離も短く良好であると考え。

現場の影や照度については、本実証では障害物の少ない日中に行ったが、樹木や建物の影、夜間の照度により解析に影響を与えるものと考え。

対応として日中は解析エリアを限定したり、フィルターによりノイズを除去するこ

とで対応できると考える。

夜間は照明があることが望ましいが、照度が足りない場合は赤外線での解析となるため、その検知の確認も今後必要である。

- ・クラウド連携

今回データをクラウドに蓄積しビューアーによる見える化ができることを確認できたが、データ数が膨大になった場合にサーバーに不具合が生じないかや、データの保管時間などを検討する必要がある。

ビューアーにおいてはデータの表示方法や設定方法などニーズに合わせた改修が必要になる。

また、関連する雨量計データや気象データ等も同時に表示することで複合的に判断するように改修が必要である。