

河川堤防の変状検知システム実験結果  
(傾斜センサ、水検知センサによる検知)

令和3年3月

株式会社 リプロ

## 目次

1、提案されたシステムの性能確認結果	
1 システムの概要	3
2 システムの原理	3
9軸センサ杭振り子式の沈下量検出の原理	4
水検知センサ杭による沈下量検出の原理	6
3 技術の特徴	10
4 現場実装で想定する配置方法	11
5 実験の計画	13
6 実験結果	17
実験1日目 実験結果1-1	18
実験結果1-2	20
実験結果1-3	21
実験結果1-4	22
実験1日目の結果	23
実験結果1-5	24
実験結果1-6	26
実験2日目のセンサ機器反応まとめ	27
実験結果2-1	28
実験結果2-2	30
7 現場実装へ向けた考察	33
実験のまとめ	33
機材ごとの振り返り	34
今回の実験での挙動考察	35
実験を終えての実装イメージ	36

株式会社リプロでは今回以下のシステムを実験に用いた。

### 1 システムの概要

9軸センサ・水検知センサを装着した再生プラスチック製の杭を堤防に設置し、堤体の変状及びび水を検知する。各センサ端末内部には通信装置も内包しており、無線でセンサデータをサーバに送信しWEBアプリケーションから24時間365日連続監視のモニタリングシステムを利用できる。発災に伴う閾値以上の変状または水の検知があった場合にはメールにて管理者に緊急即時通知することもできる。WEBアプリケーションについては後述する。

今回の実験では9軸センサ杭と水検知杭の両機器を用いて、沈下の検出と、侵食の検知を行う。

### 2 システムの原理 (計測機器の精度や機器の配置、電源供給、通信方法)

#### ■ 9軸センサ杭の概要・システム図

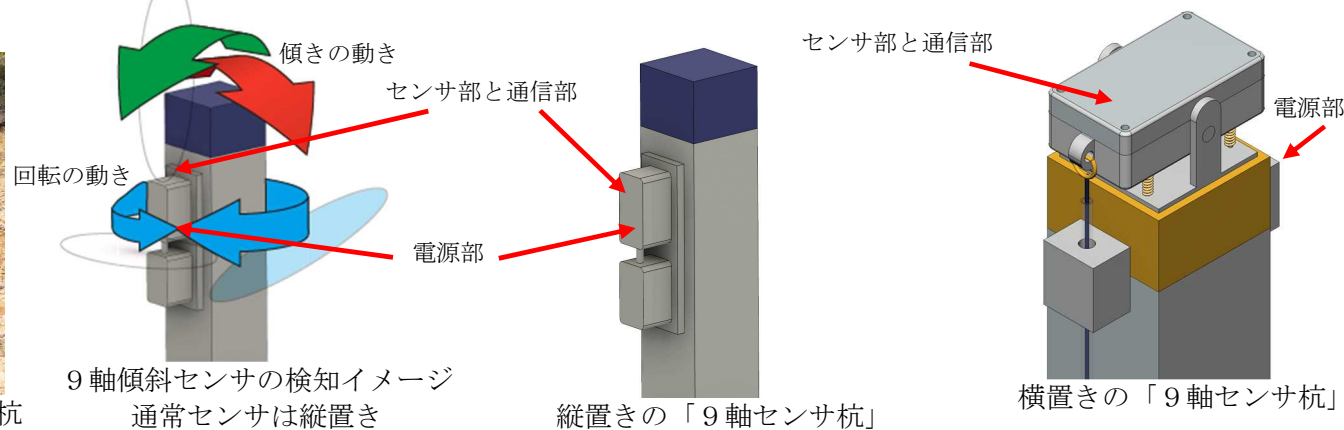
傾斜センサを用いて杭の傾きを検出する事が可能。

従来、山の斜面などに設置して土砂崩れの検出や、斜面変位の連続計測などに用いてきた。

今回の沈下検出実験では傾斜センサの設置方法を縦方向から横方向にする事で10cmの沈下量の検出に使用する。また侵食の検知にも9軸センサ杭を使用する。



斜面災害検出目的で設置した9軸センサ杭

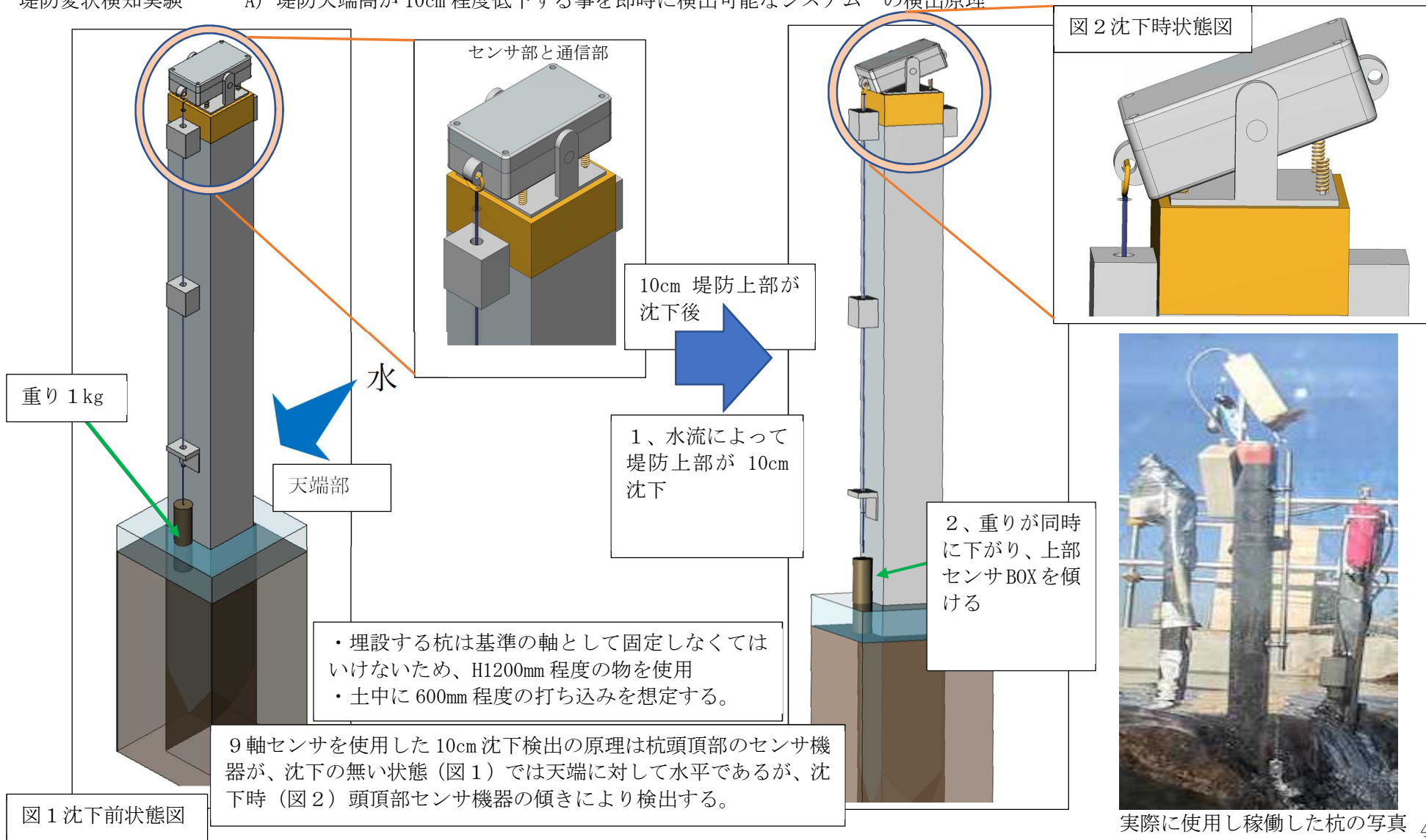


9軸センサとは3軸加速度・3軸角速度・3軸地磁気の各慣性モジュールセンサを内包した物を意味する。この3要素のデータを取得することで、立体的な杭の挙動を正確にWEB上に再現し表示することが可能。この装置で堤防の法面の変状を監視する。それに加えてセンサを横方向に取り付けた9軸センサ杭を天端に配置して、10cmの沈下量の検知を行う。この横置き9軸センサ杭を以下9軸センサ杭振り子式と呼称する。

■ 9軸センサ杭振り子式による沈下量検出の原理 (特許出願中)

堤防変状検知実験

A) 堤防天端高が 10cm 程度低下する事を即時に検出可能なシステムの検出原理



### 【9軸センサ杭の精度・仕様】

- ・ 傾斜角度：精度 0.01 度以上
- ・ 電源：内蔵 塩化チオニルリチウム 1 次電池 (Li-COCL2) 3.6V
- ・ 電池寿命：1 時間 1 回の定期データ送信頻度として 2 年
- ・ 動作電圧：2.7V~5.5V
  - ・ 無線方式：Cat. M1 方式 帯域幅 1.4MHz
- ・ 通信方式：複信方式
  - ・ 取得可能データ：加速度、角速度、地磁気 オプション：土中水分量 他
- ・ 防水性：IP 54 相当の防水ケース（タカチ GA12-7-4）を使用

### ■水検知センサ杭の概要・システム図

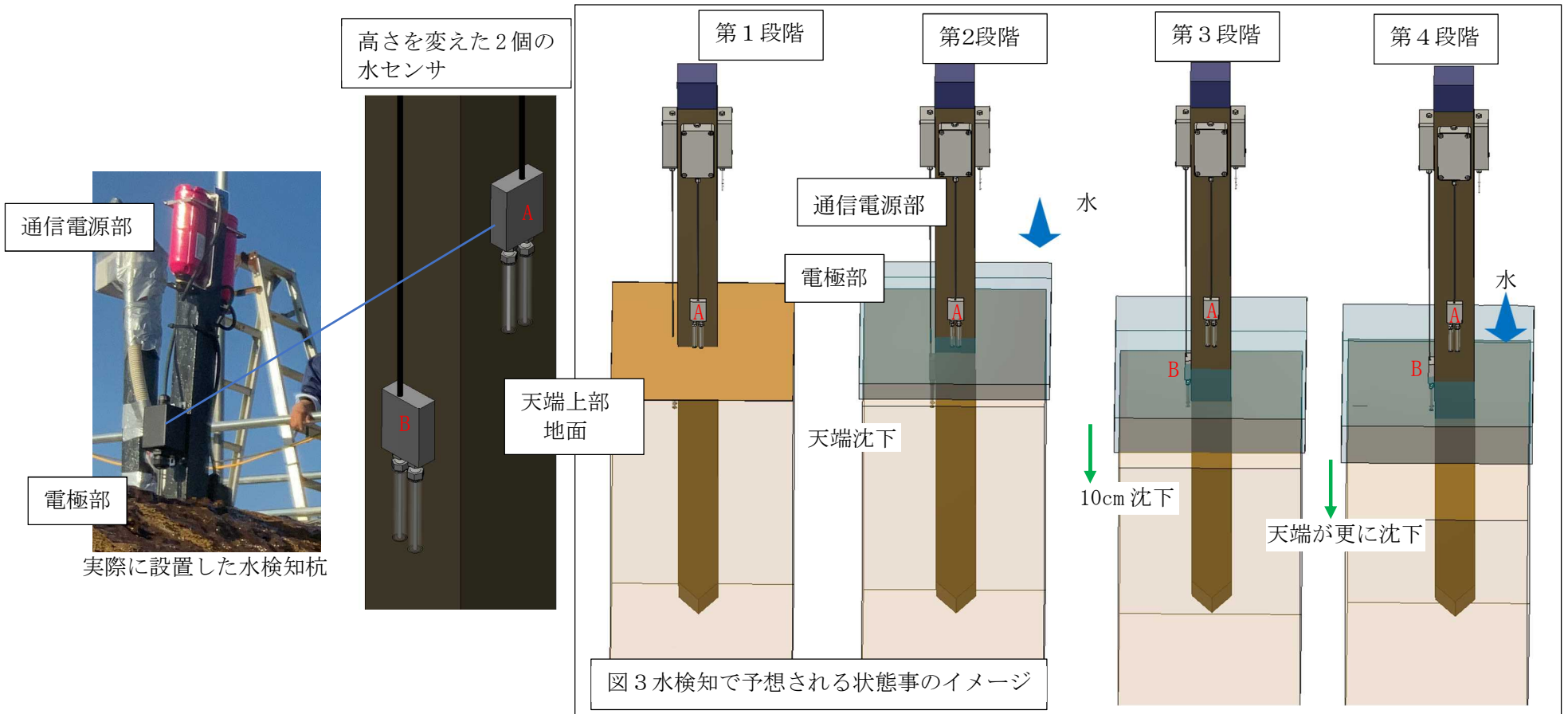
機器先端の電極部に水が接すると、水を検知。オンライン上で確認することができる。  
センサ部・通信部・電源（内蔵電池）・電極部が一体となった機器を使用する。



電極部に水が接すると水を検知し、クラウドサーバーへデータを送る。オンラインアプリケーションにて水検知の状況が確認できる。

## ■水検知センサ杭による沈下量検出の原理

水検知センサを天端面の高さへ電極部が来るようにした物と、地中-10cm に電極部が来るようにした物の、高さを変えた機器2個を取り付け埋設する。越流が始まった時点（下図3 第2段階）では天端のセンサ A のみが検知し、時間経過とともに天端の10cm の沈下発生時に、元々10cm 地中に埋めていた水検知センサ B が露出し水を検知する。



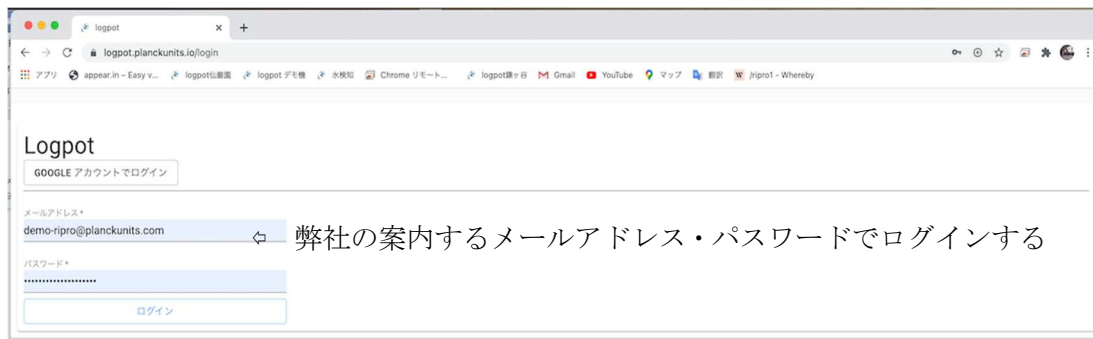
第1段階ではセンサ B は地中に埋まっている

第3段階でセンサ B が露出し検知

## ■システムのWEB 管理アプリケーションについて

9 軸センサ杭と水検知センサ杭は、WEB のアプリケーションによって随時リアルタイムに状況の確認ができる。

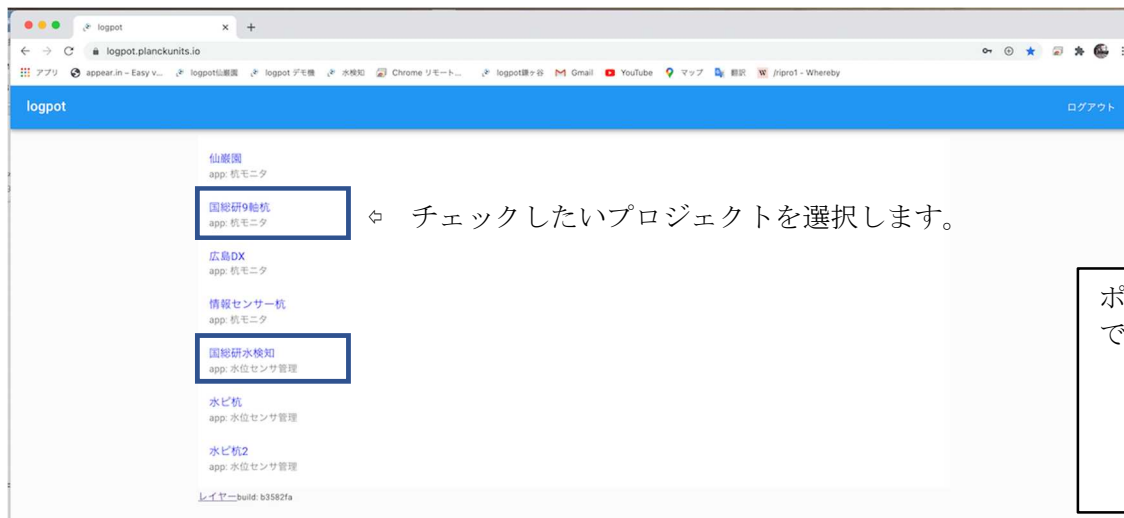
1. 管理アプリケーションの URL にアクセスすると、ログイン画面が表示される。



9 軸センサ杭と水検知センサ杭は、同じアプリケーションで稼働しているため、この画面から、どちらをチェックするか選択します。

ポイント： WEB アプリなので、インターネットへ接続できる環境があれば、どこからでも、24 時間いつでも確認できます。PC からでも携帯デバイスでも閲覧でき

2. ログイン情報を入力すると管理するプロジェクト一覧が表示される。



ポイント：9軸センサ杭の場合、WEB 画面上から閾値やデータの取得頻度の設定変更ができます。閾値を超えた場合の、メールでのアラート通知を行うメールアドレスもアプリ上で5件まで設定できます。また、取得したデータはサーバー内に蓄積され、期間を指定してダウンロードすることができます。

ポイント： 設置場所によって並べて表示すると管理が便利です。

例えば 1 段目に○○水系□川 河口付近  
2 段目に○○水系□川 中流▽▽地区  
3 段目に○○水系□川 中流▲▽地区  
など

このアプリケーション内に取得したデータは格納されており、日付を選択してダウンロードすることができる。

今回の実験でも、実験現場からリアルタイムにWEBアプリケーションにて、変位の状況や浸水の状況をモニタリングした。  
水検知センサ WEB アプリケーション画面上での実験時の表示は19 ページに記載

### 3. プロジェクトを選択すると、各デバイスの詳細画面が表示される。(9軸センサの表示例)

河岸侵食実験 9軸J

デバイス[1424E92\_9K]  
2021/01/07 16:01:02 (25日前)

名前	値	変化
X軸	359.13	0
Y	0.31	0
Z	-88.5	0
加速度X	0.06	0
Y	8.94	0
Z	0.11	0
ジャイロX	0.13	0
Y	-0.12	0
Z	-0.06	0
磁気X	-77	0
Y	2.06	0
Z	-2.69	0
気温	15	0
湿度	—	0
気圧	—	0
GPS緯度	—	0
経度	—	0
積算電流値	—	0
電圧値	1853	0

センサ設置地点

357.93749999999994, 0.

設置した杭の変位を立体的に表示可能

設置した杭の場所を地図上に表示できます

回転値グラフ

24時間表示 3時間表示 10分表示

ログ数

10秒毎の回数

随時取得したデータの表示が更新され表示されます

目付選択

CSVダウンロード 2020-12-24



## 【水検知センサ杭の精度・仕様】

### ・水の接触検知

- ・電源：内蔵リチウムイオン電池（CR17450E-R 1本）
- ・電池寿命：1日1回の定期送信の他に、状態変化（水を検知・非検知）による通信が400回あったとして2年
- ・動作電圧：2.4～3.6V
- ・無線方式：SigFox 通信 電波法技適取得済み通信基板を使用  
帯域幅 920MHz SigFox RC3c P1 認証取得済み通信基板を使用している。
- ・通信方式：単向通信方式
- ・空中線電力：13dBm +0.7dB/-3dB
- ・センサ部仕様：センサ数 → 通信基盤1つにつき1センサ
- ・水位検出：2電極間の抵抗値で判定
- ・電極間短絡電流：0.015mA 以下
- ・測定周期：30秒毎
- ・防水性：IP 67 相当の防水ケース（自社オリジナルケース）を使用
- ・拡張性：電池寿命は並列接続で、2年、4年、6年、10年と電池寿命は伸びる。

### ・システムの配置の考え方

河川でのシステム配置の考え方としては、まず水検知センサを増水の検知として使用する為、例えば既存の水際杭など既に設置済みの突起物を利用して設置するなどが考えられる。更に越流局面での水検知においても既に200m毎に設置されている河川距離標の筐体に巻き付けて使用するなどを想定している。また9軸センサ杭も距離標同等の設置を行えば、通行の障害にはならないものとする。実際の河川では越流と浸食の両検知を目的として、200m毎の距離標の中間地点に適所配置する。コンクリート部への設置は塩ビ管などへコンクリートを充填し既存設備へ傷つける事なく設置可能である。



2010年に設置した水検知センサの設置例

### 3 技術の特徴（コストや即時性及び耐候性、夜間や雨天時に検出可能かなどを記載）

◎リプロ社が 50 年に亘るプラスチックリサイクル境界杭を製造し、測量業に資する活動をしてきた中で、昨今防災分野でのリサイクル防災情報センサ杭の開発に邁進してきた。加速度センサ杭を初めて現場に設置してから 10 年目の節目である本年に、高度なセンシングが可能な 9 軸センサ杭も完成し稼働を初めている。加えて近年河川等の氾濫が多発する中で、水検知センサ杭システムをスピーディに開発・設置し、多数の自治体からも好評を得ている。

◎9 軸センサ杭は、埋設した杭の姿勢状態把握に 9 軸加速度センサの取得データを活用した事で、リアルタイムにリモートでセンサ杭の詳細な状態監視把握が可能。2m おきに設置する事で 1m 単位での堤防欠損の検出が可能となる。また、無線通信のための配線工事などが不要で、設置が容易である。外部電源に頼らない運用が可能で、標準の内蔵バッテリー 1 個で 2 年間の稼働が可能である。さらに太陽光パネルを本体に付与したり、電池を並列接続することで 2 年以上運用ができる。

◎センサ杭は個別でそれぞれがセンシング機能・通信機能・電源部を有しており、冗長性を担保している。例えばセンサ杭 1 本が流出しても、全体のシステムには影響を与えない。

◎9 軸センサ杭は 1 本 10 万円、水検知センサ杭は 1 本 5.5 万円と安価な価格設定を設けており、設置に大規模な工事也不需要としないため、導入の敷居が低い。また、リプロ社のセンサー杭は例えば災害復旧工事期間のみレンタル/リースで投入実施し、工事期間終了後は新しい災害復旧現場へ転用するといった経済的機動的な運用も可能である。

◎9 軸センサ杭・水検知センサ杭ともに、維持管理の定期的なコストは電池交換のみであり、9 軸センサ・水検知センサそれぞれ 1 回定価 8800 円で 2 年に 1 回の頻度である。その際に動作の確認などのメンテナンスも行う。

◎LPWA や LTE などの公衆無線通信サービスの圏外であっても、特定省電力無線（400MHz や 900MHz 帯）の自営アドホックリレー通信網による延長が可能。加えて衛星利用による地上通信網の被害の影響を受けない衛星通信ネットワーク（例：LASCOR, JSAT, インマルサットなど）の利用も技術的に可能で導入検討中である。

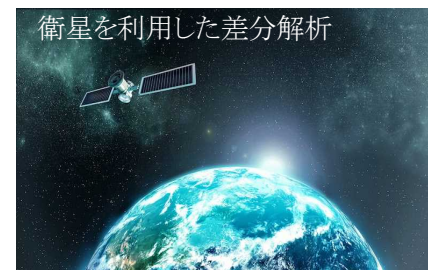
◎近年、観測衛星（例えば ALOS-2）により堤防護岸のゆっくりとした沈下を経年・経月測定することが可能となっている。本技術に加えて当該地区にセンサ杭を投入し精密監視を実施することで、危険地区の事前防災に役立てる事ができる。これはハザードエリアマップの高度化・リアルタイム化、事前防災につながる。

#### 4 現場実装で想定する配置方法

実際の河川での設置では以下のような運用を想定する。河川定期縦横断測量や航空写真測量により、堤防の天端が沈下している様な場所や、SAR 衛星によるリモートセンシングデータを用いて、中長期的に堤体の変状を差分解析し、特に堤体に変状のある箇所を重点的にセンサ杭を設置し監視体制を強化する。また、決壊の可能性の高い合流部や曲流部・狭さく部へ先行的重点的に設置を行う。

<設置イメージ図>

河川事務所や関係市町村など管理者



A 地点は決壊する可能性が高いので、数 m おきに1デバイス設置する。

B 地点は増水時決壊するリスクは低いので、数十 m おきに1デバイス設置する。

上流部である C 地点には水検知センサ杭『水ピ杭』を設置。増水を検出する。

センサ杭から管理者へ緊急のアラートがある際は、自治体など関連団体への連絡や、事前避難の方策を実行し、発災時の人的被害を最小にするべく行動を行う。

※100mの区間へ4mおきに9軸センサを設置した場合、1デバイス10万円で25台、通信費等3.75万円/月（25台分）であり、導入時のコストは設置費用を含めて300万円以内に収まる。前述は仮に4mの場合であり、10mおきだと9軸センサは10台なので9軸センサ100万円、通信費1.5万円なので安価に導入できる。レンタルで実装することもできる。各製品価格表を下記に添付する。

9軸センサ杭価格表

品番	品名	単価 (税抜)
9Hou	9軸センサ杭 販売価格	¥100,000/1本
R9Hou	9軸センサ杭 レンタル価格	¥10,000/月額
サーバー利用料・通信量・メンテナンス費 月額		1本あたり¥1,500/月額

水検知センサ杭価格表

販売価格

品番	品名	単価 (税抜)
MizupiK	水ピィ杭 杭タイプ	¥55,000
MizupiH	水ピィ杭 貼付けタイプ	¥50,000
サーバー利用料・通信量・メンテナンス費 月額		1本あたり¥1,000/月額
MBond	ThreeBond 2081D	¥3,000
MBand1	スチールバンド 幅10mm 長さ1.5m 1本	¥500
MBand2	スチールバンド 幅4.6mm 長さ0.65m 20本入り	¥2,000

杭タイプの杭は長さ50cm～100cmまでお選びいただけます。（同一価格）

レンタル価格（1ヶ月あたり）

品番	品名	単価 (税抜)
RMizupiK	水ピィ杭 杭タイプ	¥6,000/月額
RMizupiL	水ピィ杭 貼付けタイプ	¥5,500/月額
サーバー利用料・通信量・メンテナンス費/月額		1本あたり¥1,000/月額

レンタルは別途基本整備料・保償料が必要となります。  
レンタル品の杭タイプは長さ50cmになります。

越水実験目的：越水実験において越流初期段階で10cmの沈下を検出する目的で

天端の堤外地側の法肩へ9軸センサの振り子式を重点的に配置した。

堤内地側と堤外地側の法面中間地点と天端法肩へは、浸水の検知を早期に行うため水検知センサ杭を設置した。

堤体の崩壊検知のため通常の9軸センサ杭を堤外地側法面へ設置した。

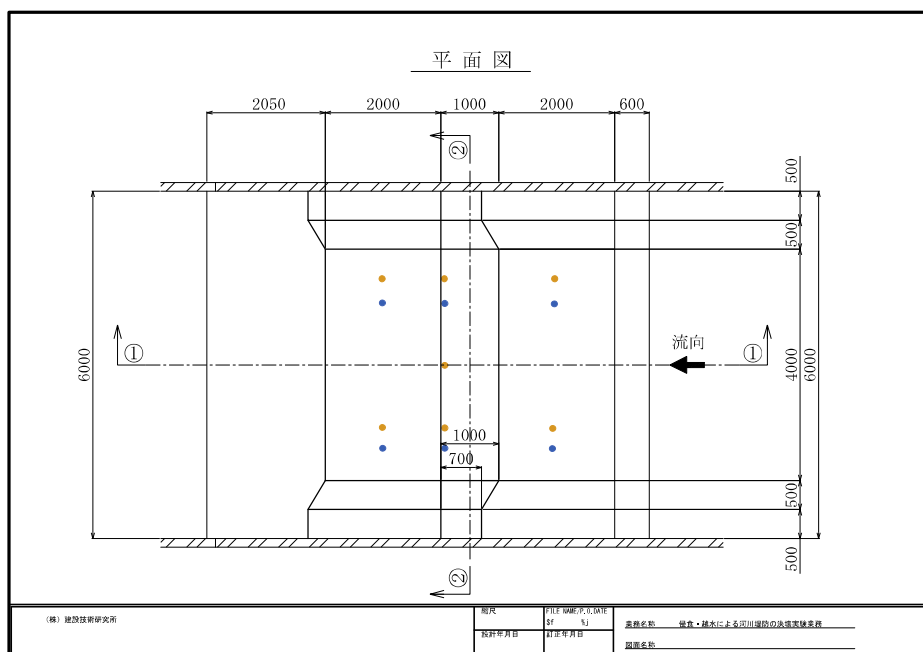
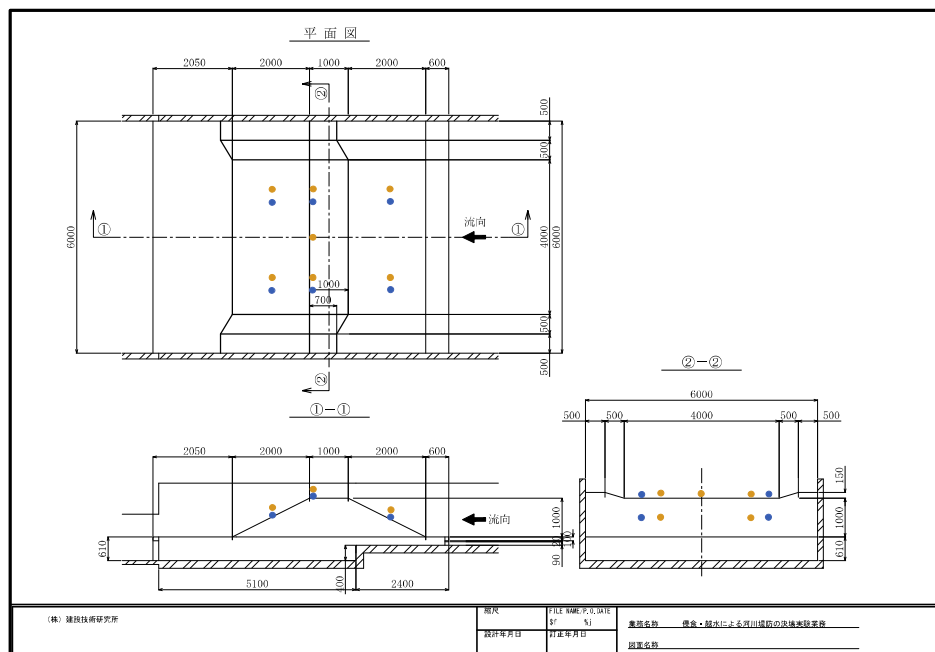
侵食実験目的：侵食実験においては堤体の侵食による崩壊検知のため、通常の9軸センサ杭を法肩、法面中央へ設置した。

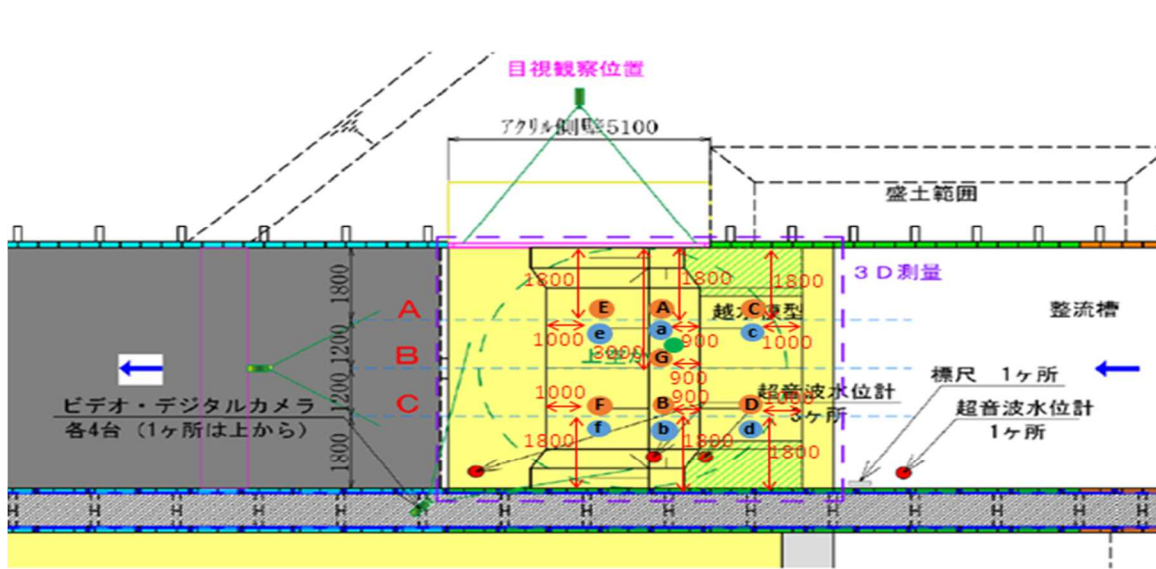
また増水の状況を検知するため9軸センサ杭横に水検知センサも設置した。

## 5 実験の計画

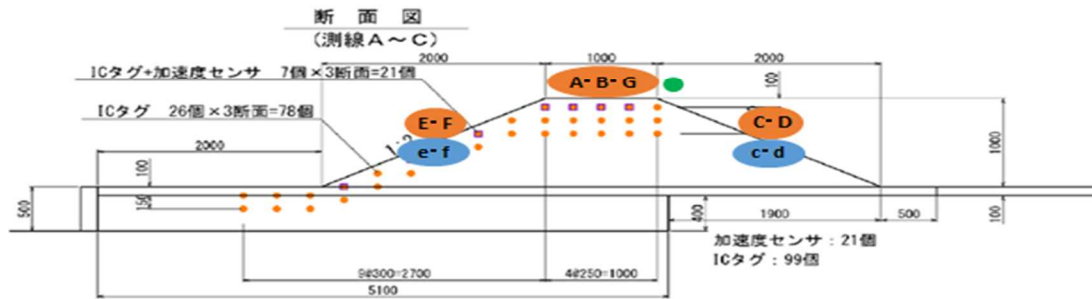
配置：模擬実験場に実際設置したセンサ端末のレイアウト図とデバイス番号

実験1 目越水実験 9軸センサ7台 水検知センサ8台



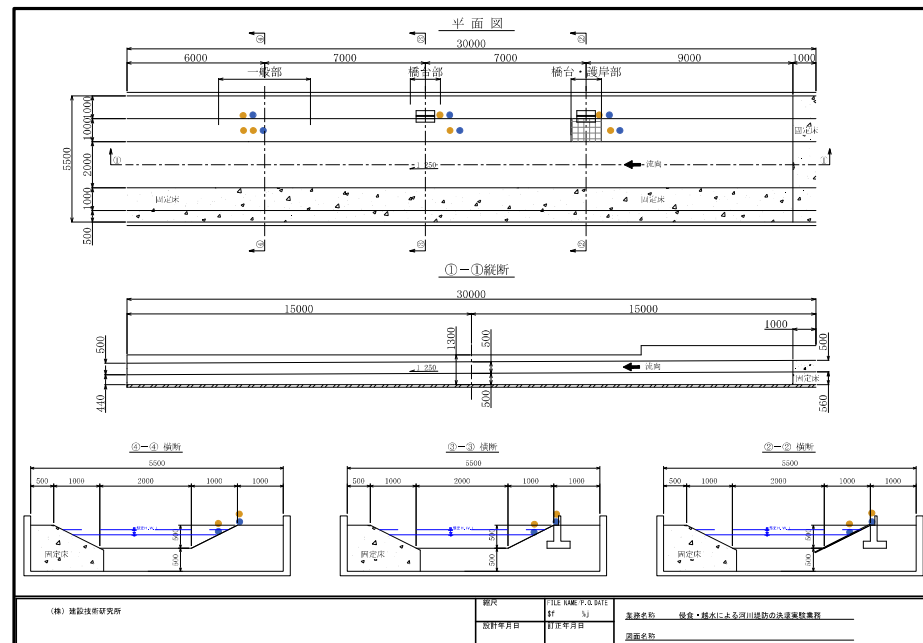
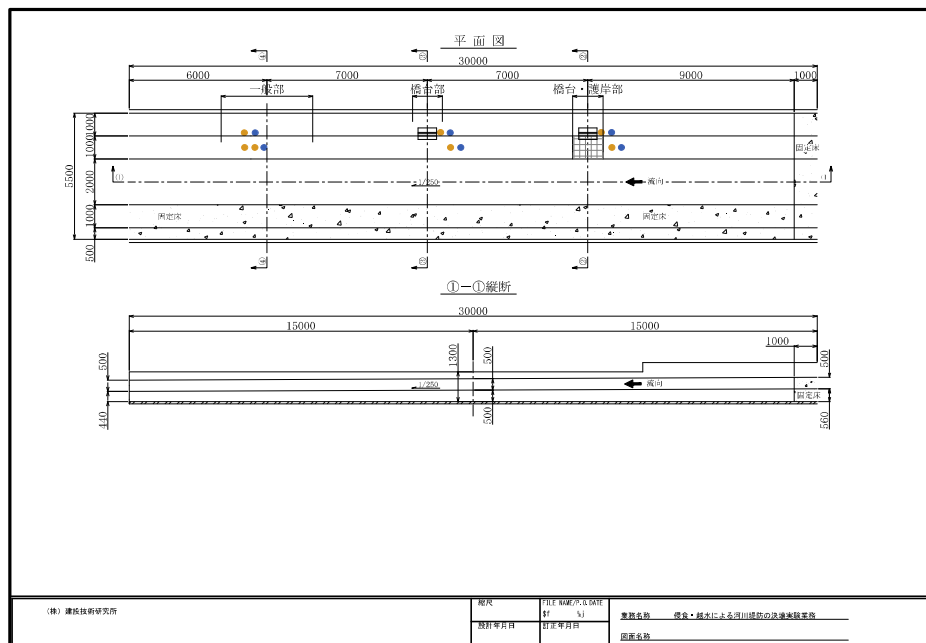


- A B G 加速度センサ用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上500mm)
- C D E F 加速度センサ用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上500mm)
- a b 水検知センサ用プラスチック杭  
※杭1本にセンサ2個取付け(電極高さ違い)  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上500mm)
- c d e f 水検知センサ用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上500mm)
- 東京電機大学用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)



- |               |               |             |             |             |             |             |
|---------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ● A 1424E91   | ● B 1424E73   | ● C 1424DE0 | ● D 1424E99 | ● E 1424E66 | ● F 1424DE1 | ● G 1424DDC |
| ● a 上 1424DE0 | ● b 上 1424E66 | ● c 1424E67 | ● d 1424E6A | ● e 1424E6B | ● f 1424E73 |             |
| ● a 下 1424DDC | ● b 下 1424DE1 | ● f 1424E73 |             |             |             |             |

実験 2 日目 侵食実験 9 軸センサ 7 台 水検知センサ 6 台

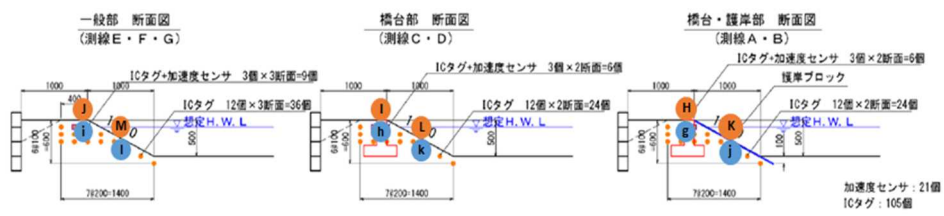
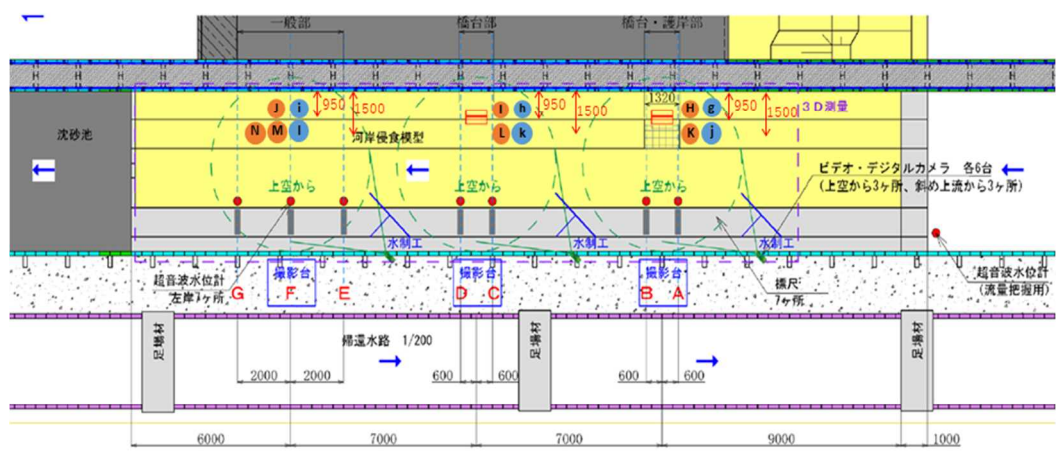


下記の実験結果 2-1 に設置状況写真を記載しています。

- H I J** 加速度センサ用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上1500mm)

**K L M N** 加速度センサ用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上1500mm)
- g h i** 水検知センサ用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上1500mm)

**j k l** 水検知センサ用プラスチック杭  
(45mm角×長さ900mm)  
(埋設400mm、地上1500mm)



- |             |             |           |           |           |           |               |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| H 1424E6A   | I 1424E9B   | J 1424E92 | K 1424E6B | L 1424E67 | M 1424E9A | N 1424E75(予備) |
| g 上 1424E75 | h 上 1424E9B | i 1424E9A | j 1424EA0 | k 1424E91 |           |               |



## 6 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）

実験 1 日目 越水実験で得られたデータをまとめたもの

→ 機器毎の動作時系

	A	B	C	D	E	F	G
1	国総研実験 1 日目						
2							
3	時系列	事象	画面変化・データログ 1	画面変化・データログ 2			
4	13時10分	実験開始					
5	13時25分	上流側中間部 水検知 d 杭に接水	13時27分56秒に記録	(16時15分に水を非検出データ受信)			
6		上流側中間部 水検知 c 杭に接水	13時27分58秒に記録	(16時03分に水を非検出データ受信)			
7	13時30分	水検知c杭、d杭：9軸C杭,D杭 完全に水没	9軸C杭 13時29分17秒で通信途絶	15時27分08秒 通信再開			
8			9軸D杭 13時29分37秒で通信途絶	15時26分50秒 通信再開			
9	13時31分20秒	堤防越水					
10		天端部 水検知a-1（地表面）接水	13時33分15秒に記録				
11		天端部 水検知b-1（地表面）接水	13時33分26秒に記録				
12		天端部 水検知b-2（地中-10cm）接水	13時33分34秒に記録				
13		天端部 水検知a-2（地中-10cm）接水	13時33分54秒に記録				
14		下流側中間部 水検知 f 杭に接水	13時33分14秒に記録	13時43分35秒に水を非検出データ受信	14時05分17秒に水を検出データ受信	14時22分24秒に水を検出データ受信	14時26分27秒に水を非検出データ受信
15		下流側中間部 水検知 e 杭に接水	13時33分45秒に記録	13時50分16秒に水を非検出データ受信	13時52分20秒に水を検出データ受信	14時47分38秒に水を非検出データ受信	
16	13時32分07秒	天端部法肩 9軸B杭 傾き発生	13時32分48秒に記録				
17	13時33分20秒	天端部法肩 9軸G杭 傾き発生	13時32分22秒に記録				
18	13時32分41秒	天端部法肩 9軸A杭 傾き発生	13時34分15秒に記録				
19	13時54分30秒	天端部法肩 9軸A杭 転倒発生	13時54分20秒で記録途絶				
20	13時54分50秒	天端部 水検知 b 杭 転倒					
21	13時55分30秒	天端部 水検知 a 杭 転倒					
22	14時02分32秒	天端部法肩 9軸B杭 転倒発生	14時02分21秒で記録途絶	14時33分に緊急メール受信			
23	14時03分40秒	天端部法肩 9軸G杭 転倒発生	14時03分14秒で記録途絶	14時03分に緊急メール受信			
24	14時28分47秒	下流側中間部 水検知 f 杭 転倒					
25	15時20分	越流終了作業開始					
26	15時31分頃	電大設置杭 転倒					
27	15時32分	上流側中間部 水検知 c 杭 水没から姿を現す	16時03分に水を非検出データ受信				
28	15時33分	上流側中間部 水検知 d 杭 水没から姿を現す	16時15分に水を非検出データ受信				
29	..						

実験全体の時系列（当日記録した動画などの時計から記載しています）

実験 1 日目

段階毎に説明する (水検知センサを赤の杭 9 軸センサ杭を緑の杭で示す)

○第 1 段階 上流川表側法面に設置した水検知センサに水が接した時。13 時 10 分の実験開始から 15 分後の 13 時 25 分に水検知センサ杭

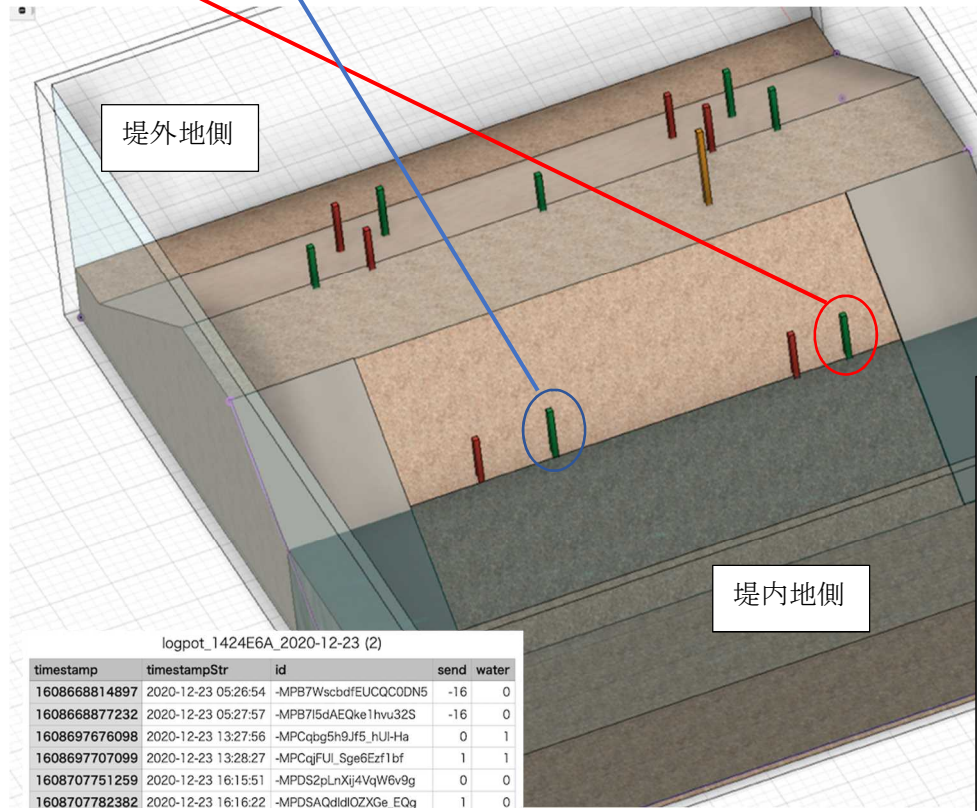
c 1424E 67 d 1424E6A に水が接した。

logpot\_1424E67\_2020-12-23 (3)

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608667019288	2020-12-23 04:56:59	-MPB0fVHm4mQ4T0cG2Cy	-16	0
1608667081444	2020-12-23 04:58:01	-MPB0ufUfILHvJhccTn8	-16	0
1608697678294	2020-12-23 13:27:58	-MPCqcDPOLjN4tSj1ba4	0	1
1608697709202	2020-12-23 13:28:29	-MPCqjLt9fuMJK-epZW	1	1
1608707008908	2020-12-23 16:03:28	-MPDPDa7WrSAgpr7Zj2l	0	0
1608707039487	2020-12-23 16:03:59	-MPDPL2ugGRLC2P3OrZg	1	0

13 時 27 分 58 秒に水が来た事がデータに記録されている。  
そのタイミングで WEB アプリ上でのアイコン変化・メール通知がなされた。

水検知を 1 非検知を 0 で表す



logpot\_1424E6A\_2020-12-23 (2)

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608668814897	2020-12-23 05:26:54	-MPB7WscbdfEUCQC0DN5	-16	0
1608668877232	2020-12-23 05:27:57	-MPB7i5dAEQke1hvu32S	-16	0
1608697676098	2020-12-23 13:27:56	-MPCqbg5h9Jf5_hUI-Ha	0	1
1608697707099	2020-12-23 13:28:27	-MPCqjFUI_Sge6Ezf1bf	1	1
1608707751259	2020-12-23 16:15:51	-MPDS2pLnXij4VqW6v9g	0	0
1608707782382	2020-12-23 16:16:22	-MPDSAQdlIdlOZXGe_EQq	1	0

13 時 27 分 56 秒に水が来た事がデータに記録されている。  
そのタイミングで WEB アプリ上でのアイコン変化・メール通知がなされた。



水検知センサ WEB アプリケーション画面上での実験時の表示

The screenshot shows a web browser window displaying a map of an experimental site. Several sensor locations are marked with colored dots and labels like '1424E66', '1424E67', etc. A yellow circle highlights sensor '1424E67'. Below the map is a table of sensor data:

越流実験水ビ a-1下(1424DDC) 2020/12/23 13:42:10 (28分前) water: 水未検知(0)	越流実験水ビ a-2上(1424DE0) 2020/12/23 14:15:43 (数秒後) water: ショート(-1)	越流実験水ビ b-1下(1424DE1) 2020/12/23 14:06:38 (3分前) water: 水検知(1)	越流実験水ビ b-2上(1424E66) 2020/12/23 14:15:51 (数秒後) water: ショート(-1)
<b>越流実験水ビ c(1424E67)</b> 2020/12/23 13:28:29 (41分前) water: <b>水検知(1)</b>	越流実験水ビ d(1424E6A) 2020/12/23 13:28:27 (41分前) water: 水検知(1)	越流実験水ビ e(1424E6B) 2020/12/23 13:52:55 (17分前) water: 水検知(1)	越流実験水ビ f(1424E73) 2020/12/23 14:09:24 (数秒前) water: 水未検知(0)

水を検知した事を表示している。

緊急通知として配信されたメールは、13時27分に着信している。

The screenshot shows an email client interface. The selected email is from 'noreply@plankunits.io' with the subject 'デバイスアラート 国総研水検知\_[1424E67]'. The email content includes:

このメッセージのコピーがサーバー上にあります。  
 [13時27分] "1424E67"で水を検知しました。  
 [{"send": "water"}]

○第2段階 上流川表側法面に設置した9軸センサ杭が完全に水没した時

13時10分の実験開始から20分後の、13時30分に9軸センサ杭 C 1424DE0 と D 1424E66 が完全に水没した。

実験結果 1-2



1分に1回データを定期送信していた9軸センサ杭が、通信が途絶した事によって、水面上昇により水没したためとデータ上からも読み取る事ができる。

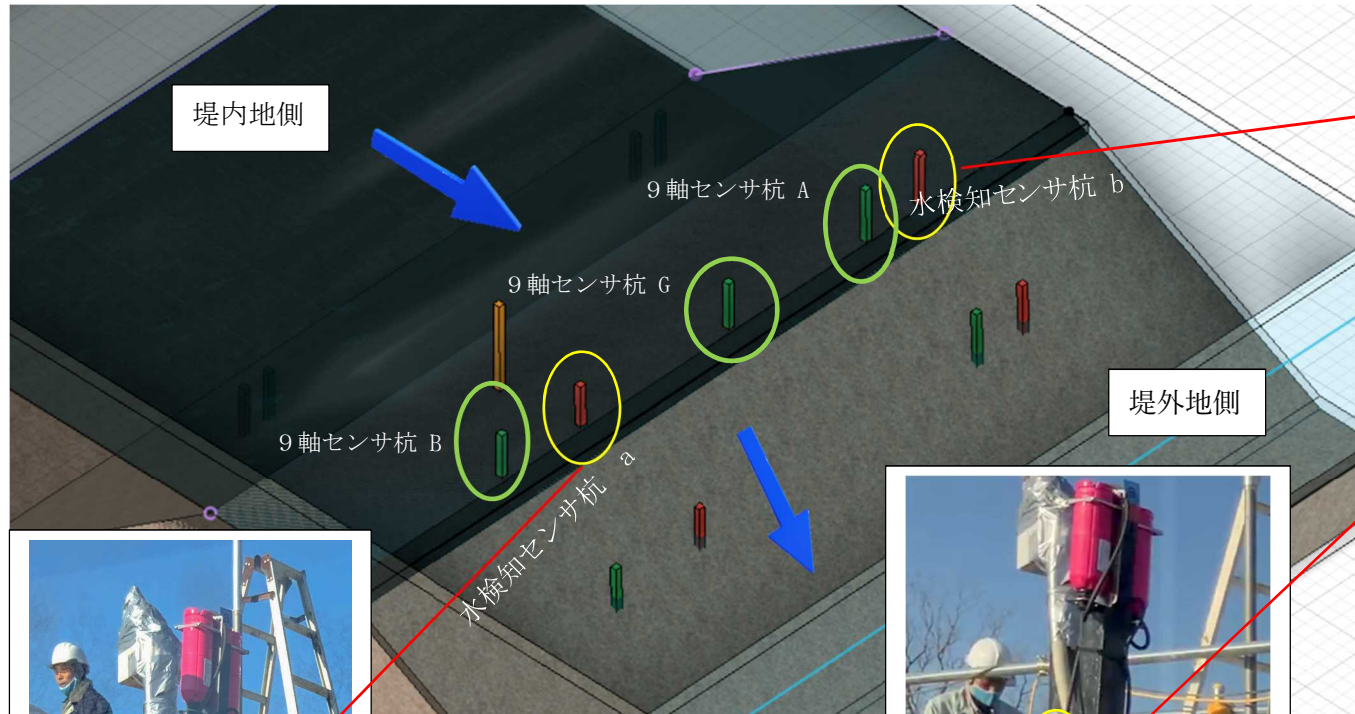
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	timestamp	timestampStr	id	accX	accY	accZ	airPressure	ampere	cnc	csq	gyroX	gyroY	gyroZ	heading	
2	1.6087E+12	2020/12/23 13:20	#	0.3	9.31	-0.28				0	12	0.0625	-0.125	0.0625	-91.5625
3	1.6087E+12	2020/12/23 13:21	#	0.31	9.32	-0.29				0	13	-0.0625	0.0625	-0.0625	-91.5625
4	1.6087E+12	2020/12/23 13:22	#	0.32	9.32	-0.27				0	11	0.0625	-0.125	0.0625	-91.5625
5	1.6087E+12	2020/12/23 13:24	#	0.32	9.31	-0.27				0	13	0	0.125	0.0625	-91.5625
6	1.6087E+12	2020/12/23 13:25	#	0.3	9.35	-0.3				0	12	0	-0.0625	0	-91.5625
7	1.6087E+12	2020/12/23 13:26	#	0.29	9.33	-0.29				0	11	0	-0.25	0	-91.5625
8	1.6087E+12	2020/12/23 13:27	#	0.3	9.33	-0.25				0	16	0.0625	0.125	0	-91.375
9	1.6087E+12	2020/12/23 13:28	#	0.28	9.35	-0.18				0	13	0.0625	-0.125	-0.125	-91.1875
10	1.6087E+12	2020/12/23 13:29	#	0.27	9.34	-0.12	通信の途絶			0	9	-0.125	0.25	-0.125	-90.9375
11	1.6087E+12	2020/12/23 15:26	#	0.33	9.3	0.07				0	0	-0.0625	0	-0.1875	-89.4375
12	1.6087E+12	2020/12/23 15:28	#	0.34	9.27	0.05				0	2	0.0625	0	0	-89.375
13	1.6087E+12	2020/12/23 15:29	#	0.33	9.29	0.08				0	7	-0.125	0.0625	0	-89.375
14	1.6087E+12	2020/12/23 15:30	#	0.33	9.28	0.09				0	9	-0.125	0.0625	0.0625	-89.375
15	1.6087E+12	2020/12/23 15:31	M	0.33	9.26	0.08				0	9	-0.125	0	-0.0625	-89.25
16	1.6087E+12	2020/12/23 15:32	#	0.36	9.28	0.07				0	10	0.0625	0.0625	0.0625	-89.3125
17	1.6087E+12	2020/12/23 15:33	#	0.29	9.31	0.07				0	12	0.0625	0	-0.0625	-89.3125
18	1.6087E+12	2020/12/23 15:34	#	0.34	9.31	0.08				0	12	-0.125	-0.0625	0.0625	-89.3125
19	1.6087E+12	2020/12/23 15:35	#	0.34	9.3	0.06				0	10	-0.0625	0.0625	-0.0625	-89.375
20	1.6087E+12	2020/12/23 15:37	#	0.33	9.3	0.09				0	13	-0.0625	0	0.125	-89.3125
21	1.6087E+12	2020/12/23 15:38	#	0.33	9.31	0.08				0	17	-0.0625	-0.0625	-0.0625	-89.375

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	timestamp	timestampStr	id	accX	accY	accZ	airPressure	ampere	cnc	csq	gyroX	gyroY	gyroZ	heading	
2	1.609E+12	2020/12/23 13:20	#	-0	9.51	0.31				0	17	-0.0625	-0.125	-0.0625	-88.0625
3	1.609E+12	2020/12/23 13:21	#	-0.1	9.52	0.2				0	15	0	-0.0625	0.125	-88.125
4	1.609E+12	2020/12/23 13:22	#	0	9.51	0.31				0	15	-0.1875	0.125	0.0625	-88.125
5	1.609E+12	2020/12/23 13:23	#	-0	9.52	0.3				0	16	-0.125	0	-0.125	-88.125
6	1.609E+12	2020/12/23 13:24	#	-0	9.52	0.33				0	15	0	0	0	-88.125
7	1.609E+12	2020/12/23 13:26	#	-0	9.51	0.31				0	15	-0.0625	-0.125	0.125	-88.1875
8	1.609E+12	2020/12/23 13:27	#	-0	9.52	0.3				0	16	0.0625	-0.125	0	-88.125
9	1.609E+12	2020/12/23 13:28	#	-0	9.52	0.28				0	15	-0.125	0.125	-0.125	-88.0625
10	1.609E+12	2020/12/23 13:29	#	-0	9.53	0.28				0	18	-0.0625	0.1875	-0.125	-88.1875
11	1.609E+12	2020/12/23 15:27	#	-0	9.55	0.29	通信の途絶			0	8	0.0625	-0.0625	-0.0625	-88.25
12	1.609E+12	2020/12/23 15:28	#	0	9.54	0.29				0	12	-0.125	0.0625	0.0625	-88.3125
13	1.609E+12	2020/12/23 15:29	#	-0	9.52	0.33				0	11	-0.125	0	-0.0625	-88.3125
14	1.609E+12	2020/12/23 15:30	#	-0	9.53	0.27				0	15	0	0	0	-88.25
15	1.609E+12	2020/12/23 15:31	#	-0	9.51	0.27				0	16	-0.0625	-0.125	-0.125	-88.3125
16	1.609E+12	2020/12/23 15:32	#	-0	9.51	0.28				0	19	0.0625	-0.125	0	-88.375

○第3段階 越流の開始とその直後 10センチの沈下検出と考えられる時

13時31分に越流が始まり、その直後(数秒後)水検知センサと9軸センサがそれぞれ10cmの沈下を検出した。

実験結果 1-3



水検知センサ b の天端面センサの記録

logpot\_1424E66\_2020-12-23 (1)

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608698006497	2020-12-23 13:33:26	-MPCrsL_ciPuGGxbrE6W	0	1
1608698037098	2020-12-23 13:33:57	-MPCs-CYSPrNcoDqSnG2	1	1
1608700551391	2020-12-23 14:15:51	-MPD0a2N0IqXNAJW4eaO	1	-1
1608700988715	2020-12-23 14:23:08	-MPD2FoZQ08tGRpEQJfj	0	-1
1608701016432	2020-12-23 14:23:36	-MPD2M_d4SxoHuYuG-WO	1	-1

水検知センサ b の天端から地中-10cmセンサの記録

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608698014404	2020-12-23 13:33:34	-MPCruH7P32RzM-kzh3o	0	1
1608698046194	2020-12-23 13:34:06	-MPCs1Qg_s5NQL64UJbi	1	1
1608698075110	2020-12-23 13:34:35	-MPCs8UUcbQLw-xuDb5H	0	1
1608698168896	2020-12-23 13:36:08	-MPCsVNtOv7-lJ9S1oO	0	0
1608698199895	2020-12-23 13:36:39	-MPCsboxFanROtGAFrJ74	1	0
1608699691330	2020-12-23 14:01:31	-MPCyJ3v5D3pvbERAxn7	0	0
1608699986602	2020-12-23 14:06:38	-MPCzJ52BHLuOzfhG11Q	1	1

水検知センサ a の天端面センサの記録

logpot\_1424DE0\_2020-12-23 (1)

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608667304993	2020-12-23 05:01:44	-MPB11FP-OW_2JZ0NrS2	-16	0
1608667367530	2020-12-23 05:02:47	-MPB2-WZh_rxQTcWVsOY	-16	0
1608692198503	2020-12-23 11:56:38	-MPCWgxcRCva5l1gmF9	0	1
1608692229007	2020-12-23 11:57:09	-MPCWq8_Kgr10uCdImyW	1	1
1608692601189	2020-12-23 12:03:21	-MPCYg-vjVmcA0YD1v1B	0	0
1608692632402	2020-12-23 12:03:52	-MPCYNcclwZEkdRkyC5R	1	0
1608697995192	2020-12-23 13:33:15	-MPCrp_w_k_sBR8Y9agq	0	-1
1608698027194	2020-12-23 13:33:47	-MPCrxmnZ0JGGALgaKmx	1	-1
1608698553092	2020-12-23 13:42:33	-MPCyAxYVeepIRTAy6V	0	0
1608698584193	2020-12-23 13:43:04	-MPCu4luUtcYncL04Njt	1	0
1608700512393	2020-12-23 14:15:12	-MPD0RX1DkeJXmzh2Yq7	0	-1
1608700543987	2020-12-23 14:15:43	-MPD0ZEgoSypH0V4AzW	1	-1

水検知センサ a の天端面から地中-10cmセンサの記録

logpot\_1424DDC\_2020-12-23 (1)

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608667528304	2020-12-23 05:05:28	-MPB2blcheOpsom7o0g7	-16	0
1608667590229	2020-12-23 05:06:30	-MPB2qEtE4WNR_Nr5pmz	-16	0
1608698034005	2020-12-23 13:33:54	-MPCrzsSDSgW1 WC-cB-F7	0	1
1608698064702	2020-12-23 13:34:24	-MPCs5wrEoRDrSzg4MzA	1	1
1608698497599	2020-12-23 13:41:37	-MPCtkscmKDzqEjc8MNE	0	0
1608698530596	2020-12-23 13:42:10	-MPCtsqSfUpvZnDy7D3H	1	0
1608712016688	2020-12-23 17:26:56	-MPDhJbvsmiNOEtCnp2	1	0



水検知センサ杭の変化・反応



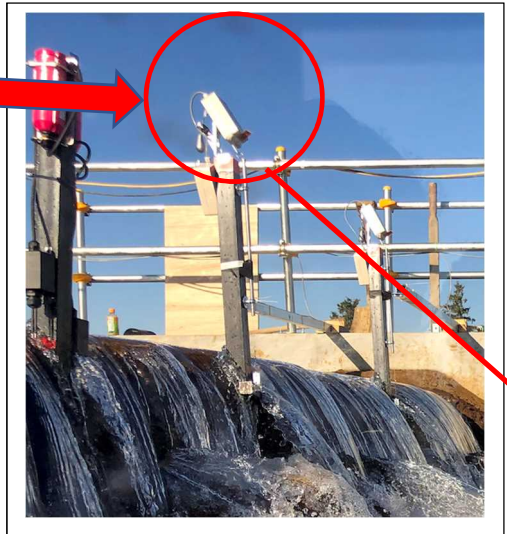
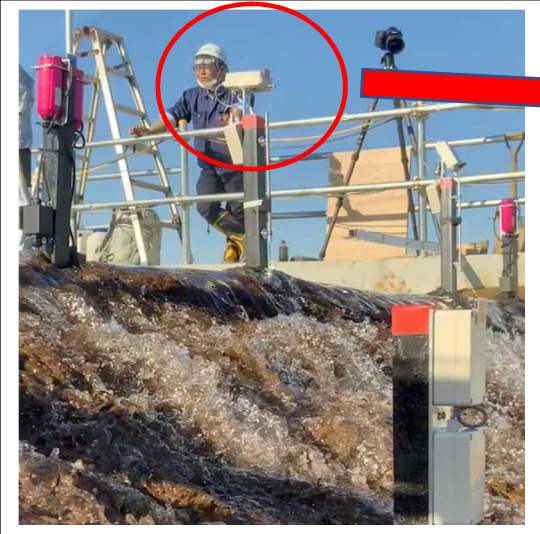
越流が始まった直後、天端のセンサが水を検出し、8秒後に10cm地中に埋めた水検知センサでも水を検知した。(天端水検知b杭の場合)



センサに10cmの高低差

9軸センサ杭（振り子式）の動き

越流が始まった13時32分07秒から47秒後に9軸B杭、1分後にG杭、1分21秒後にA杭で、それぞれセンサ部の傾きが発生した。地面に接地してあった錘が、地面の沈下によって重力に引っ張られて、下がることで、紐で連結された杭頭部のセンサ部が連動して傾いたためである。

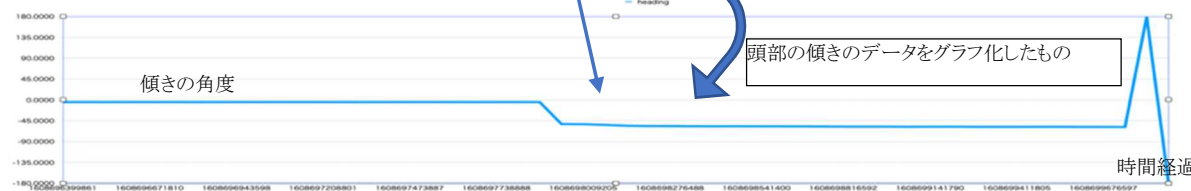


- 動画に記録された時間  
越流開始13時32分20秒
- 9軸B杭が傾いた時間  
13時32分07秒
- 9軸G杭が傾いた時間  
13時32分12秒
- 9軸A杭が傾いた時間  
13時32分33秒

9軸センサ杭Gに見る取得データの変遷

Time	Axis	X	Y	Z	Angle
13:32:07	B	...	...	...	...
13:32:12	G	...	...	...	...
13:32:33	A	...	...	...	...

センサに傾きが発生した直後のデータ時間  
記録されたのは13時32分22秒



## 実験 1 日目の結果

### 水検知センサ杭による 10cm 沈下検出のまとめ

水検知センサ杭は仕様上、最初の水検知から 2 分後に WEB に送信するので、WEB 画面上に記録された上記データ赤線部の 2 分に相当する時間にそれぞれ 10cm の沈下は発生していたものと考えられる。

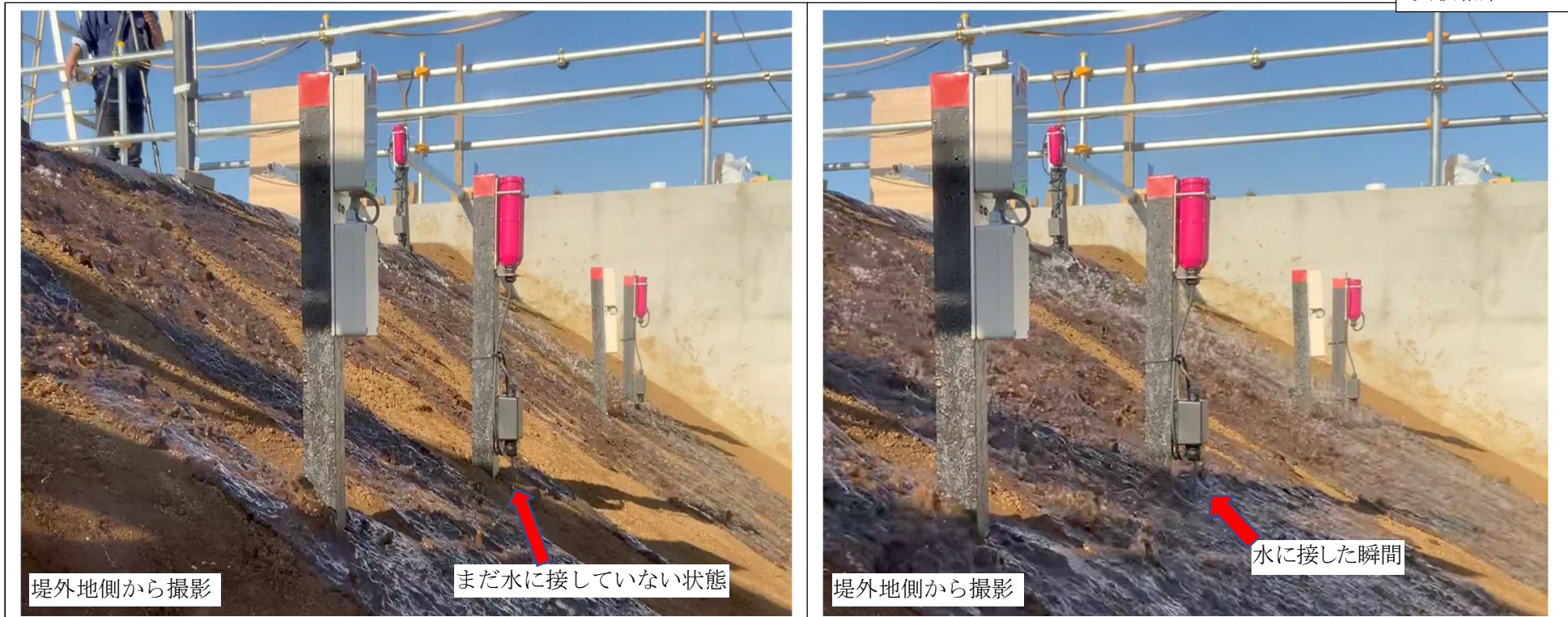
### 9 軸センサ杭 (振り子式) による 10cm 沈下検出のまとめ

天端の下流側法肩へ設置した、3 本の 9 軸センサ杭 (振り子式) のデータを見ると、当日動画で記録したセンサが傾いた時間と、サーバーにデータが記録された時間は、10 秒のズレはあるものの、ほぼリアルタイムに変状を捉える事ができている。越流の開始とともに法肩の土は直ぐに抉られたものと推測出来る。

天端の中央に 1 本設置していてもよかったかもしれない。

○第4段階 越流してから時間経過後

実験結果 1-5



timestamp	timestampStr	id	send	water
1608668543310	2020-12-23 05:22:23	-MPB6UZzYP2STsfcaAYT	-16	0
1608668605492	2020-12-23 05:23:25	-MPB6ikjmntw7cl7KwRI	-16	0
1608698025529	2020-12-23 13:33:45	-MPCrxNoKRntFXIRj0rQ	0	1
1608698060394	2020-12-23 13:34:20	-MPCs4tYcFyNICpBZ4S4	1	1
1608699016108	2020-12-23 13:50:16	-MPCvjD_3vZGUhUzT45M	0	0
1608699047292	2020-12-23 13:50:47	-MPCvqppOV2COoiu42Gd	1	0
1608699140112	2020-12-23 13:52:20	-MPCwCV8Vz5PHc8tNq5m	0	1
1608699175208	2020-12-23 13:52:55	-MPCwL3Wh4Gjxg7zujyK	1	1
1608702458292	2020-12-23 14:47:38	-MPD7rahOM6d7NTCuNHU	0	0
1608702488292	2020-12-23 14:48:08	-MPD7yvSoLSBUw-Muw8u	1	0

13時33分45秒にデータが上がってきているので、タイムラグの2分を引いて13時31分45秒に水がセンサに接したとわかる。

デバイスアラート 国総研水検知\_[1424E6B]

noreply@planckunits.io  
宛先: yamashita@ripro.co.jp

2020年12月23日 水曜日 13:33

このメッセージのコピーがサーバー上にあります。 [サーバーから削除する](#)

[13時33分] "1424E6B"で水を検知しました。  
[{"send":0,"water":1}]



上記表水検知の後、水を非検知のあと再度水を検知した理由



上記 表の水を検出している状態 13時33分以降13時50分まで  
赤丸の部分 電極部に水が接している

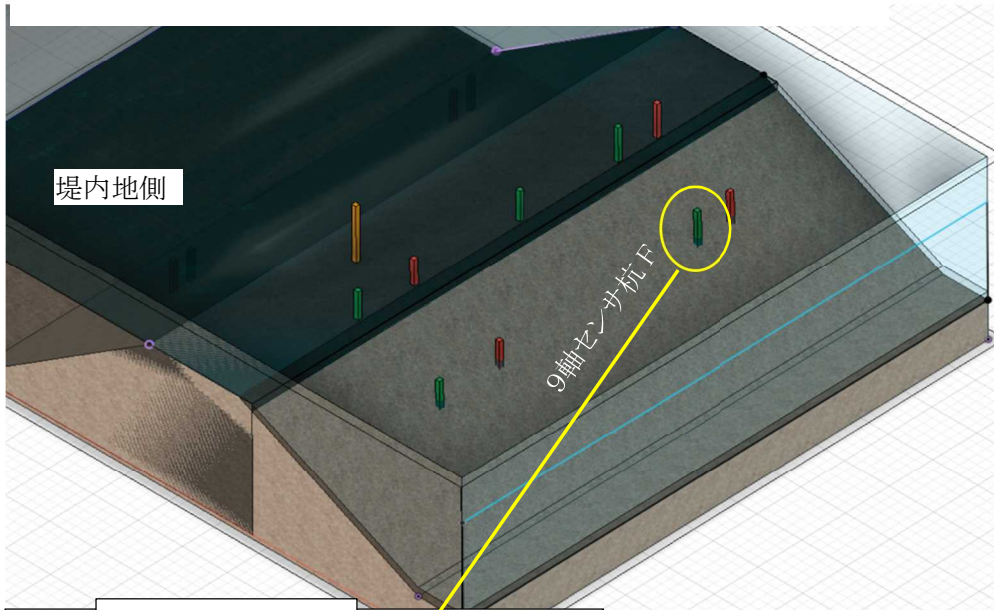


表の水を検出しなくなった状態 13時50分16秒以降13時52分20秒まで。  
法面が大きく侵食したので、水面が下がり水を検出しなくなった。

その後杭が倒れて再度電極部が水に接したので、13時52分以降再度水  
を検知した1が記録されている。

### 実験結果 1-6

15時16分25秒に発生した法面の崩落と、9軸センサ杭 F の挙動



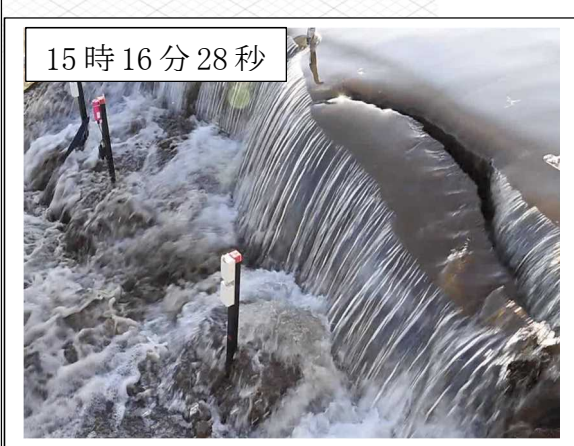
timestamp	timestampStr	id	accX	accY	accZ	airPressure	ampere	cnr	csq	gyroX	gyroY	gyroZ	heading	humid	interrupt	lat	lng	magX	magY	magZ	moisture	pitch	rank	roll	temp	volt
1608703039964	2020-12-23 14:57:19	MPDA4Y8yYsAUvQdskV	0.13	8.94	0.26			0	14	-0.4375	0	0.125	-91.0625		0		48.5	-10.375	-11.5625	2500	0	0	0.5625	24	1854	
1608703105993	2020-12-23 14:58:22	MPDAKH0x0eLdshHkQ	0.1	8.96	-0.13			0	15	0.125	-0.0625	-0.0625	-91.0625		0		47.375	-9.5625	-11.875	2500	0.125	0	0.5625	24	1852	
1608703172488	2020-12-23 14:59:22	MPDAjY0v4tpK89H2	0.07	8.97	-0.15			0	13	0.125	-0.0625	0	-91.0625		0		47	-10	-11.875	2500	359.6875	0	0.5625	24	1855	
1608703238893	2020-12-23 15:00:38	MPDAjLdLWhY0DB8t	0.12	8.98	-0.22			0	12	0.125	0	0.0625	-91		0		46.5625	-10.375	-11.875	2500	359.6875	0	0.625	24	1857	
1608703305441	2020-12-23 15:01:45	MPD850RQzfw080EF	0.14	9.01	-0.2			0	13	0.1875	-0.0625	0.0625	-91.1875		0		47.75	-10	-11.5625	2500	0	0	0.75	24	1857	
1608703371800	2020-12-23 15:02:51	MPD8Lcy30-n39C0I	0.1	8.94	-0.27			0	14	0.1875	-0.0625	-0.0625	-91		0		46.5625	-10	-11.5625	2500	0.0625	0	0.8125	24	1858	
1608703438206	2020-12-23 15:03:58	MPD8at7CkTYSSCFHw	0.22	9.03	-0.13			0	13	0.0625	0.125	0	-91.1875		0		47.75	-10	-11.5625	2500	0	0	0.8125	24	1855	
1608703504582	2020-12-23 15:05:04	MPD8vZ0qLwUud7F	0.08	8.98	-0.23			0	12	0.125	0.1875	0	-91		0		47	-10.375	-10.75	2500	0.125	0	0.125	24	1856	
1608703570963	2020-12-23 15:06:10	MPD8eH5W99TawCo2m	0.07	9.01	-0.29			0	13	0.0625	0.0625	0	-91.0625		0		47.375	-10	-11.875	2500	359.875	0	0.75	24	1856	
1608703637195	2020-12-23 15:07:17	MPD8MO5eh_Da65Zf-A	0.21	8.99	-0.2			0	11	-0.0625	0	0.0625	-91.0625		0		45.875	-10	-11.5625	2500	0	0	0.8375	24	1855	
1608703703904	2020-12-23 15:08:23	MPD8wCr3Le8q7qYsR	0.11	8.92	-0.02			0	12	0.0625	0.0625	0.0625	-90.8125		0		47	-10	-11.5625	2500	359.8125	0	0.5	24	1856	
1608703770399	2020-12-23 15:09:30	MPD8wP9aZ9qz294D	0.08	8.97	-0.21			0	13	0.125	0.125	-0.0625	-91.1875		0		46.5625	-10	-11.5	2500	0.1875	0	1.375	24	1857	
1608703836801	2020-12-23 15:10:36	MPD8vWVgATfFayYDK	0.15	8.95	-0.05			0	13	0.0625	0.0625	0	-91.0625		0		46.5625	-9.5625	-11.0625	2500	359.875	0	0.625	23	1853	
1608703903192	2020-12-23 15:11:43	MPD8NMfGFwKJgc	0.06	9.04	-0.39			0	15	0	-0.0625	-0.0625	-90.875		0		46.5625	-10.375	-11.875	2500	0	0	1	23	1854	
1608703969494	2020-12-23 15:12:49	MPD8QYGGvRiUy09w	0.15	8.95	-0.06			0	14	-0.0625	0.125	0	-91		0		47	-9.5625	-11.5	2500	0.125	0	1.0625	23	1856	
1608704035793	2020-12-23 15:13:55	MPD8g3X2Sh7reYUC	0.18	8.97	-0.25			0	13	0.125	-0.0625	-0.0625	-91.125		0		46.25	-10	-11.875	2500	359.875	0	0.8375	23	1856	
1608704102107	2020-12-23 15:15:02	MPD8HtL0vZ66v7Z0	0.16	9	-0.33			0	16	0.125	-0.0625	0	-91		0		47.375	-9.5625	-11.875	2500	0.125	0	1.0625	23	1856	
1608704168492	2020-12-23 15:16:08	MPD8Q7bLlUgAdsvPH	0.22	8.93	-0.07			0	14	-0.0625	0	-0.0625	-91.0625		0		45.5	-9.5625	-11.5	2500	0.0625	0	1.0625	23	1860	
1608704234982	2020-12-23 15:17:14	MPD8vLMLL_eLR796p	0.35	8.97	-0.37			0	16	0.4375	0.125	0	-91.375		0		47	-10.375	-11.0625	2500	0	0	1.1875	23	1854	
1608704301596	2020-12-23 15:18:21	MPD8vMMLL_vZ483vAN	0.1	8.94	-0.28			0	12	-0.0625	-0.0625	0.0625	-91.3125		0		27.75	-7	-7.6875	2500	0.125	0	1.1875	23	1857	
1608704367793	2020-12-23 15:19:27	MPD8vMMLL_vZ483vAN	0.45	8.93	-0.11			0	13	0.3125	0	0	-91.3125		0		28.6875	-5.5	-7.6875	2500	0.75	0	1.25	23	1858	
1608704434128	2020-12-23 15:20:34	MPD8vQdA_ShpUuLwK	0.01	9	-0.03			0	13	-0.875	0.0625	0.0625	-91.1875		0		24.0625	-5.1875	-11.875	2500	359.875	0	1.1875	23	1857	
160870500491	2020-12-23 15:21:40	MPD8vR90zBMjLwK	0.19	8.99	-0.17			0	11	-0.0625	0	-0.0625	-91.3125		0		46.25	-9.5625	-10.75	2500	359.8375	0	1.125	23	1960	
160870467189	2020-12-23 15:22:47	MPD8vTR9MwKZL8-B	0.2	8.96	-0.16			0	12	-0.125	0	0.125	-91.375		0		46.5625	-10	-11.0625	2500	0	0	1.1875	23	1857	
1608704633902	2020-12-23 15:23:53	MPD8vR90zBMjLwK	0.18	8.96	-0.18			0	14	0	0.0625	0.0625	-91.3125		0		45.875	-10	-10.6875	2500	359.8375	0	1.125	23	1859	
1608704700299	2020-12-23 15:25:00	MPD8vSUS05vLbqPYD	0.18	8.96	-0.2			0	14	0.0625	0.0625	-0.1875	-91.375		0		46.1875	-9.5625	-11.0625	2500	359.8375	0	1.125	22	1861	



この崩落が発生した際に、崩れた土砂が9軸センサ杭に寄り掛かり、振動が発生したことで、崩落前後の時間で heading のデータに変位が見てとれる。



15時16分25秒



15時16分28秒



15時16分30秒

実験 2 日目 侵食実験でのセンサ機器反応まとめ

時系列の反応を下記に示す

	A	B	C	D
1	国総研実験 2 日目			
2				
3	時系列	事象	画面変化・データログ 1	画面変化・データログ 2
4	13時27分	橋台・護岸部へ水到達		
5	13時35分	水量増加		
6	13時43分	一般部へ跳ね返り板の設置		
7	13時57分	水検知l 流出		
8	同時刻	9 軸M杭 流出		
9	同時刻	9 軸N杭 流出		
10	14時05分20秒	水検知i 流出		
11	14時06分55秒	9 軸J杭 流出		
12	14時11分	橋台部 跳ね返り板の設置		
13	14時32分	水検知k 流出		
14	同時刻	9 軸L杭 流出		
15	14時44分	橋台部 跳ね返り板の解除		
16	同時刻	橋台・護岸部 跳ね返り板の設置		
17	14時50分00秒	水検知j杭 傾く 9 軸K杭に寄りかかる		
18	14時54分10秒	水検知g 流出		
19	同時刻	9 軸H杭 傾く		
20	14時54分24秒	9 軸H杭 流出		
21	15時00分20秒	水検知j杭 流出		
22	同時刻	9 軸K杭 流出		
23				
24				
25				
26				
27				
28				

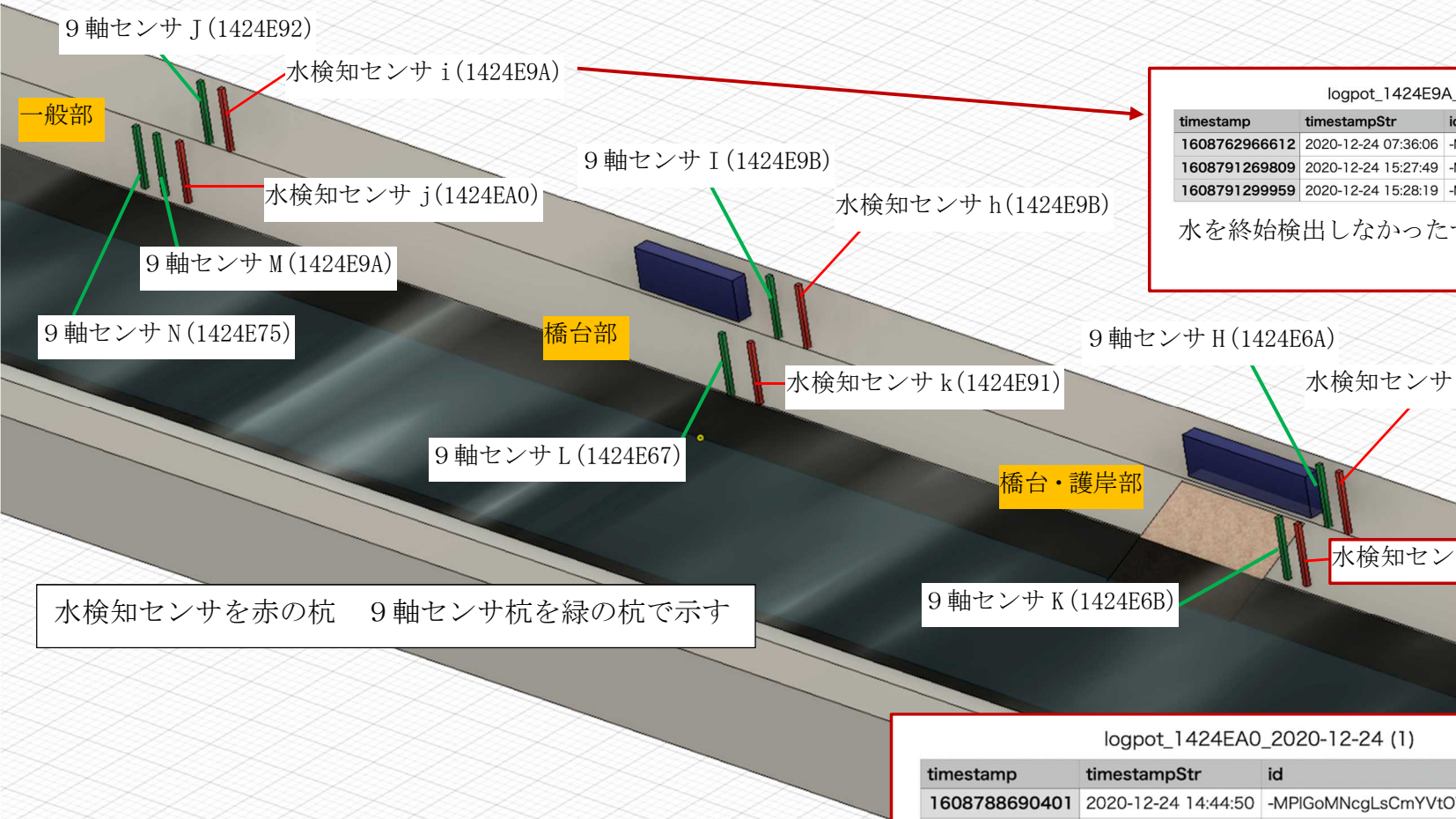
実験で得られたデータ、まとめは次項

実験結果 2-1

logpot\_1424E9A\_2020-12-24

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608762966612	2020-12-24 07:36:06	-MPGjfvM_aT-9PTHeMxx	-16	0
1608791269809	2020-12-24 15:27:49	-MPIQe5kX564hlcxAMEd	0	0
1608791299959	2020-12-24 15:28:19	-MPIQISqCNKCN5tQf4KE	1	0

水を終始検出しなかったセンサのデータ



水検知センサを赤の杭 9軸センサ杭を緑の杭で示す

logpot\_1424EA0\_2020-12-24 (1)

timestamp	timestampStr	id	send	water
1608788690401	2020-12-24 14:44:50	-MPIGoMNcgLsCmYVtOVv	0	1
1608788721497	2020-12-24 14:45:21	-MPIGvxNMRCB68S84HIT	1	1
1608791202162	2020-12-24 15:26:42	-MPIQO_lmGzu7eXbtAwb	0	0
1608791233064	2020-12-24 15:27:13	-MPIQW7x1ZJhNI_Xl6yf	1	0



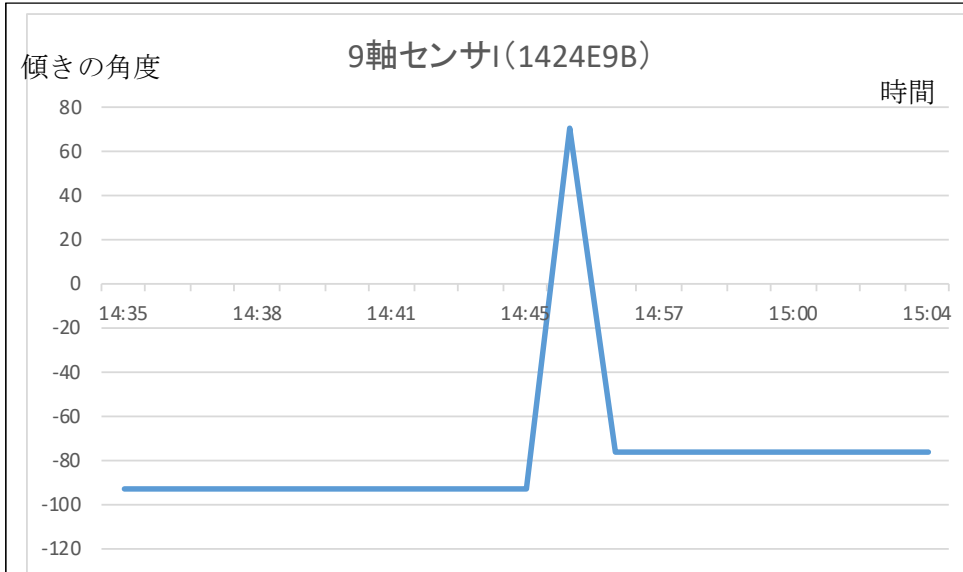
水検知センサによる 1m の侵食による崩壊検知のまとめ

流出した際に水に接することで、欠損による崩壊が発生した事がわかる。法面・天端法肩に設置した水検知センサ杭は、実験開始より水流が埋設位置の電極部まで上昇しなかった為、水を検知しないまま法面欠損時に流失した。流出後即水没した為データを検出しなかった。  
流出時に水に浮かぶ設計をすれば通信をして、斜面の浸食による崩壊を検知できる可能性はある。

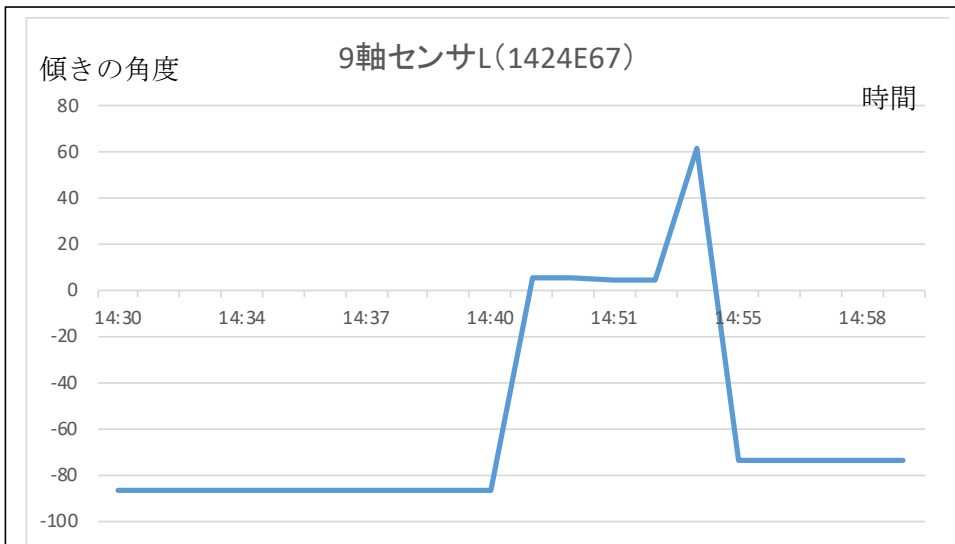
実験結果 2-2



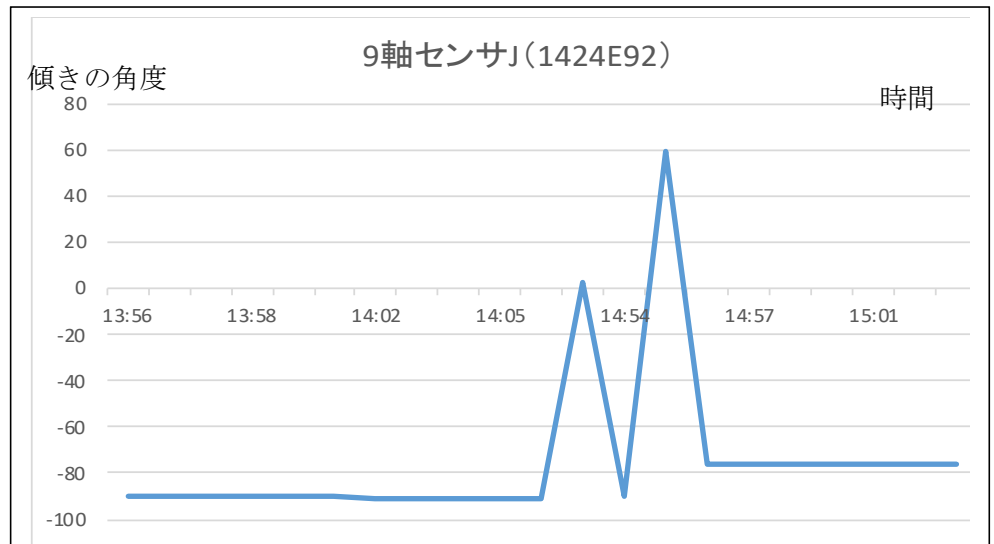
14時54分に杭が倒され、流される（14時53分まで1分毎にデータあり）  
15時26分にデータ送信が復帰し、接地時と比較して傾きの変化があった



14時46分に杭が倒され、流される（14時45分まで1分毎にデータあり）  
15時54分にデータ送信が復帰し、接地時と比較して傾きの変化があった



14時40分に杭が倒され、流される（14時40分まで1分毎にデータあり）  
 14時46分にデータ送信が復帰し、接地時と比較して傾きの変化があった



14時7分に杭が倒され、流される（14時6分まで1分毎にデータあり）  
 14時47分にデータ送信が復帰し、接地時と比較して傾きの変化があった



※9軸センサK(1424E67)とM(1424E9A)については通信障害が発生したためデータなし

#### 9軸センサ杭による1mの崩壊検知のまとめ

天端と法面に設置した杭は、杭の転倒と流出によって通信途絶することで、途絶したタイミングで侵食により崩壊したものと考えられる。

通信途絶させず、水に浮かぶ仕様に変更しても良いかもしれないと考えている。

この場合地面に垂直に設置していれば、転倒時90度倒れて水面に浮くはずなので、そのデータをとれば侵食と判断することができる。



## 7 現場実装へ向けた考察

- ・9軸センサの傾斜角度閾値を何度に設定するかについては、河川管理者によって適宜最適値を決定いただく必要がある。
- ・設置現場が通信（9軸センサ：Cat. M1、水検知センサ：SigFox）圏外の場合、サーバーにセンサデータを送信できない。  
⇒解決策⇒ 公衆無線サービスがない場合は、特定省電力無線を利用したアドホック通信（リレー通信）400MHz/900MHzを活用、または国土交通省保有の電波帯域を活用することも検討可能。（通信料無料）
- ・センサを内蔵した再生プラスチック杭が地上に出ているため、設置方法・設置場所を考える必要がある。また、今回45mm角の杭に外付けする事で設置したが、9軸センサ振り子式は杭の内部に封入できないので、小型化する。
- ・今回の試験模擬河川では河底がコンクリートでしかも浅かったため、センサー杭が地上にかなり露出してしまった。実際の河川・堤防では周辺通行者の邪魔にならないように地上露出をミニマムにして、センサ類を小型カバーで覆うなどの危険防止、邪魔にならない外形に変更することで対応可能。
- ・広いエリアでの安価な実装・運用が求められるが、量産効果により更なる低価格化が可能、加えてレンタル、リースの活用により導入時ユーザー側のイニシャルコストとランニングコスト最小に抑える事ができる。
- ・繰り返し再利用することで、地球環境への負担も最小である。ゴミゼロに繋がる。

### 実験のまとめ

越流実験で得たデータと、動画で記録したものをすり合わせた結果、設置した水検知センサ、9軸センサ杭ともに、それぞれのセンサが接水した時、変位があった時に記録されている事がわかった。水検知センサは電極に水が接して2分遅れてサーバーへデータを上げる仕組みであるが、ほぼ時間とおりにであった。9軸センサ杭振り子式による10cmの沈下検出も、越流開始から1分以内に天端の法肩では10cmの削れによる沈下を検出することができた。

侵食実験では水検知センサ杭の設置位置（水際）まで、流れる水が上がってこなかった為、当初思っていたデータを得ることができなかった。9軸センサ杭では法面の崩壊時に杭が転倒流出する際の変位と、流出時の通信途絶でデータ上浸食が発生した事を掴むことができた。センサ部分と杭の連結に使用した金具が重たかったため、流出時に川底へ沈んだりしたためデータが途絶したわけであるが、比重を軽くして水に浮く様に改良して通信性を残しても良かったかもしれない。この場合でも9軸センサ杭場合、杭の転倒による変位を捉えることができたはずなので、浸食の検知はできたと思われる。水検知センサも水面に浮かべれば流出時の転倒によって水に接してデータを取れたかもしれないと思っている。

## 弊社で使用した機材毎の振り返り

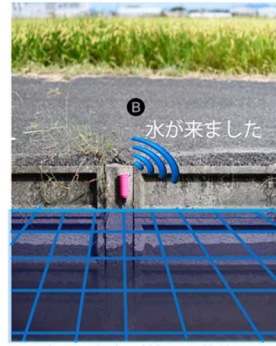
1 日目	設置・使用目的	結果	対策・反省
a. 9 軸センサ杭振子式 (実験結果 1-4 で説明)	天端の 10cm の沈下の検出	越流後数十秒で検知した	法肩以外の部分にも設置してデータを取れば尚良かった。振子の傾斜角度の設定値を何度か設定するか。今回 65 度の設定角度にしたが、45 度くらいでも良かった。
b. 9 軸センサ杭 (縦置き) (実験結果 1-7 で説明)	法面に設置し、堤防の変状を検知する。	越流進行後の堤体の崩壊時に傾斜角度で変状を検知した。	検知角度は 0.0 程度の微細振動なので、緊急のアラート設定値にするには、値が小さすぎる。これはセンサが敏感すぎるため、人が触っただけでも、変状として誤認してしまう可能性がある。
c. 水検知センサ (2 段式) (実験結果 1-3 で説明)	天端の 10cm 沈下の検出	越流開始から 1 分以内にデータを検出した。	実際のデバイスに水が接した時間とデータを送信するまでに 2 分のタイムラグがある。
d. 水検知センサ (通常) (実験結果 1-1、1-2 で説明)	水位上昇の検知	上流側水検知の設置位置を実際の河川では氾濫警戒水位高さとする事で事前避難につなげる。補足説明 2 参照 検知に問題はなかった。	
2 日目			
e. 水検知センサ (通常) (実験結果 2-1 で説明)	水位上昇の検知	設置位置まで水面が上昇しなかった	1 日目の結果から氾濫警戒水位の高さに設置して運用すれば、事前避難減災に繋げることができる。
	浸食による崩壊の検知	水を検出できなかった。	
f. 9 軸センサ杭 (縦置き) (実験結果 2-2 で説明)	浸食による崩壊の検知	堤体の崩壊時に定期発報データの途絶で崩壊発生と判断できる。 通信再開後は傾きに大きく変化があり、崩壊の事象が発生し	

補足説明 1 今回の実験での挙動考察

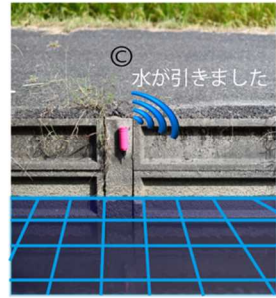
水検知センサで検知 1（検知データ）の後に 0（非検知のデータ）があることの説明



水に電極部が接していない状態 0



水に電極部が接した状態 1



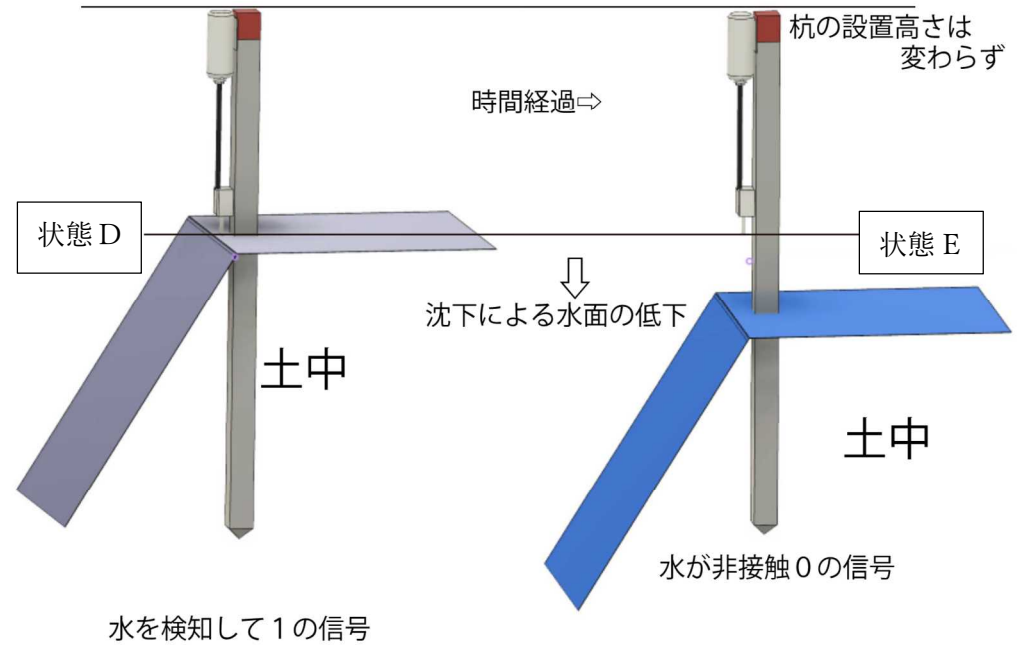
水位が下がり電極が露出した状態になった時 0

通常時はAの状態が続くので、1日1回死活管理として、非検知0のデータがアプリに記録されます。

増水時Bの状態になった際、水が来た事を送信します。

水位が低下してCの状態になった際に、水が引いた事を示すデータ0を送信します。

その後、通常のAの運用に戻ります。

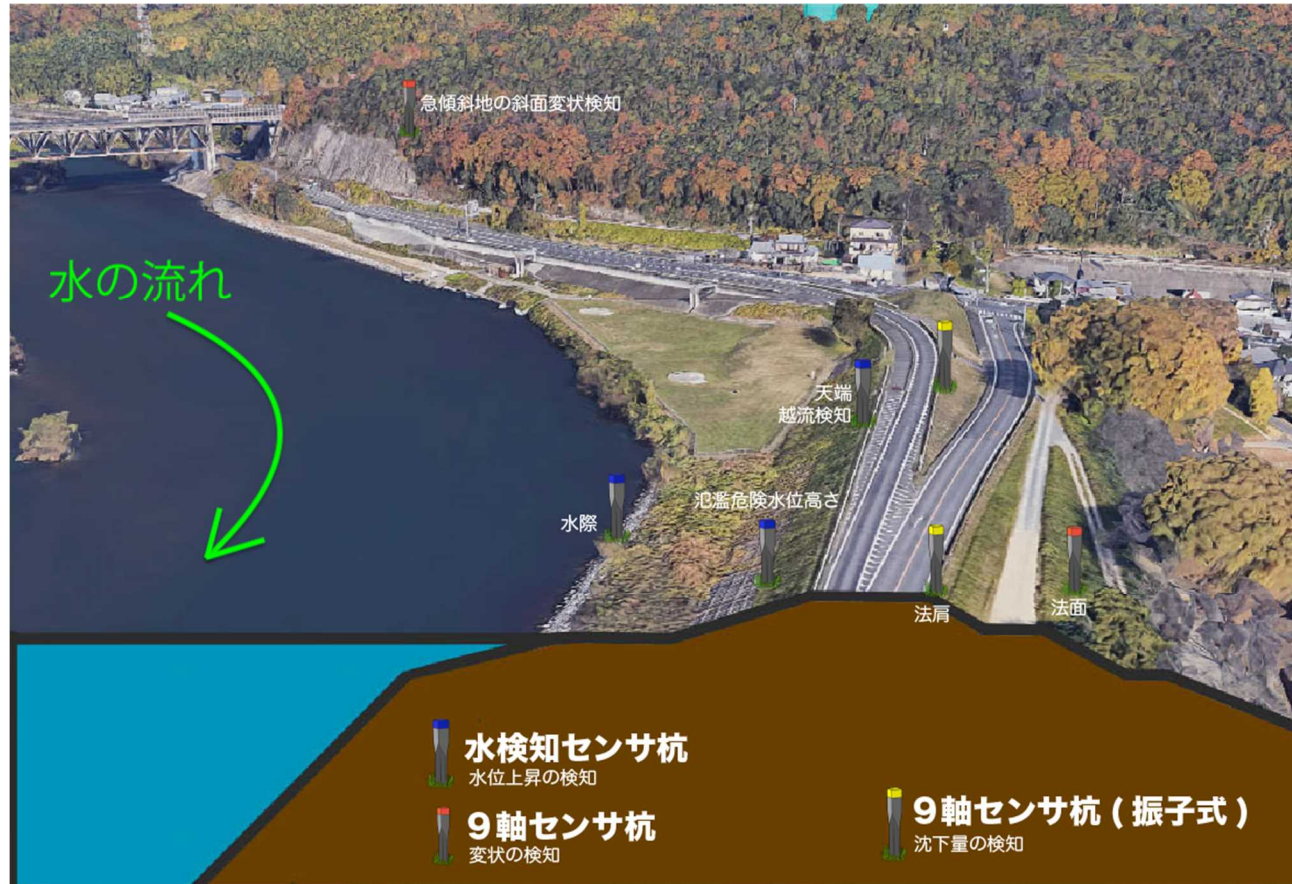


上図のように越流の水面が低下状態 E になれば、電極に水が接しなくなるため、0の信号が来たものと考えられる。

logpot_1424E6A_2020-12-23					
timestamp	timestampStr	id	send	water	
1608668814897	2020-12-23 05:26:54	-MPB7WscbdfEUCQC0DN5	-16	0	
1608668877232	2020-12-23 05:27:57	-MPB7I5dAEQke1hvu32S	-16	0	
1608697676098	2020-12-23 13:27:56	-MPCqbg5h9Jf5_hUl-Ha	0	1	状態 D
1608697707099	2020-12-23 13:28:27	-MPCqjFUI_Sge6Ezf1bf	1	1	状態 E
1608707751259	2020-12-23 16:15:51	-MPDS2pLnXij4VqW6v9g	0	0	
1608707782382	2020-12-23 16:16:22	-MPDSAQdlIdlOZXGe_EQg	1	0	

## 補足説明2 実験を終えての実装イメージ

今回の実験を踏まえて、実際の河川の運用では下記のイメージを参考ください。



水検知センサで水面上昇を検知し、9軸センサ振子式で天端法肩の変状を検知、9軸センサ通常タイプで堤体の監視を行う。

(急傾斜地の斜面変状検知は参考配置です、下記に含んでいません)

上図のシステム配置であれば機器代35万円 設置費(6万円/人×2日)×2名で24万円 59万円で導入できる。

通信費・サーバー利用料として年7.2万円が別途必要。

実装に関しては各現場毎に設置位置の打ち合わせ後、詳細な設置箇所を詰めたと思います。