

# インフラモニタリング、防災計測の実施例

後藤 知英(ごとう ともひで)  
坂田電機株式会社 取締役技術部長

## 概要

インフラモニタリング、防災計測に関する観測装置、並びに実施例の紹介

- ・都市部における高速道路、鉄道構造物の変状計測
- ・画像を用いた軌道(レール)の変位計測
- ・GNSS干渉測位方式を利用した地盤変位観測システム
- ・プラムラインによるコンクリートダム堤体のひずみ計測
- ・海上埋立構造物における地盤沈下計測(低周波電磁波を用いた海中データ通信)
- ・河床の砂礫移動モニタリング
  
- ・鉄道沿線のり面の崩壊検知センサ
- ・危機管理型水位計
- ・ため池監視システム
- ・土石流センサ

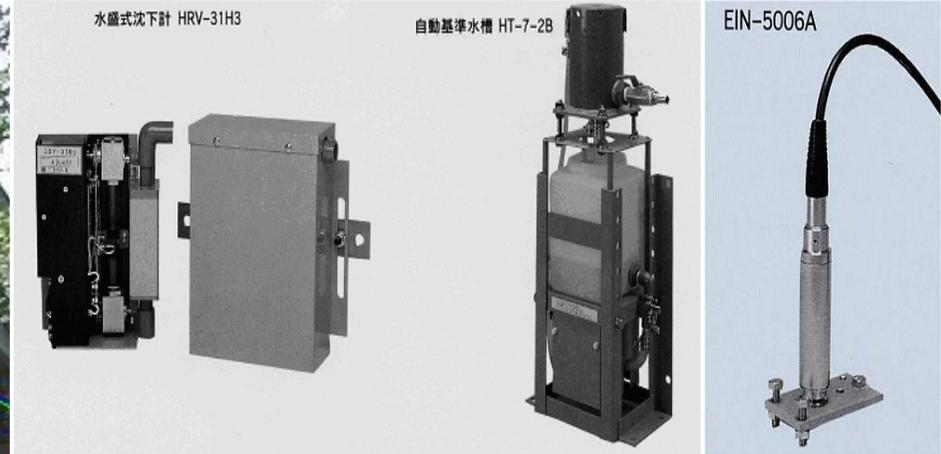
## 略歴

- ・平成 5年 坂田電機株式会社 入社
- ・平成 5年～14年 1kHz～10kHzの低周波電磁波を伝送手段としたデータ通信機器の開発
- ・平成18年～20年 低周波電磁波を用いた地すべり計測機器(埋設型非接触変位計)の開発
- ・平成20年～21年 低周波電磁波を用いた洗堀防護ブロック流失検知装置の開発
- ・平成22年～26年 干渉測位方式と無線ネットワークを活用したGNSS地盤変位観測システムの開発 等

# 都市部における高速道路、鉄道構造物の変状計測

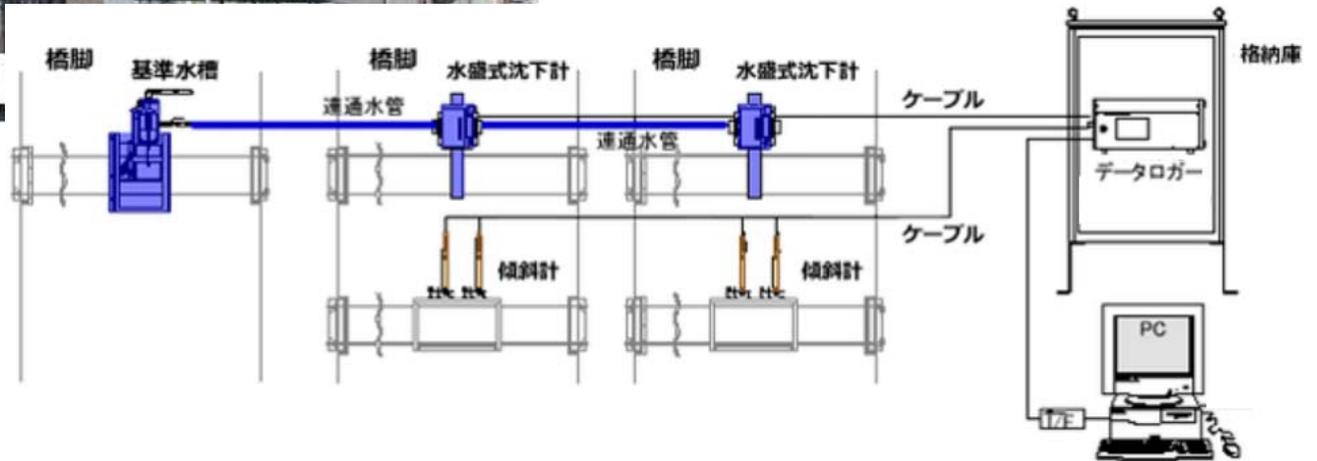
○都市部地盤の開削工事やシールド工事による

近接する高速道路高架、鉄道高架橋など構造物の変状(沈下・隆起、傾斜)を計測



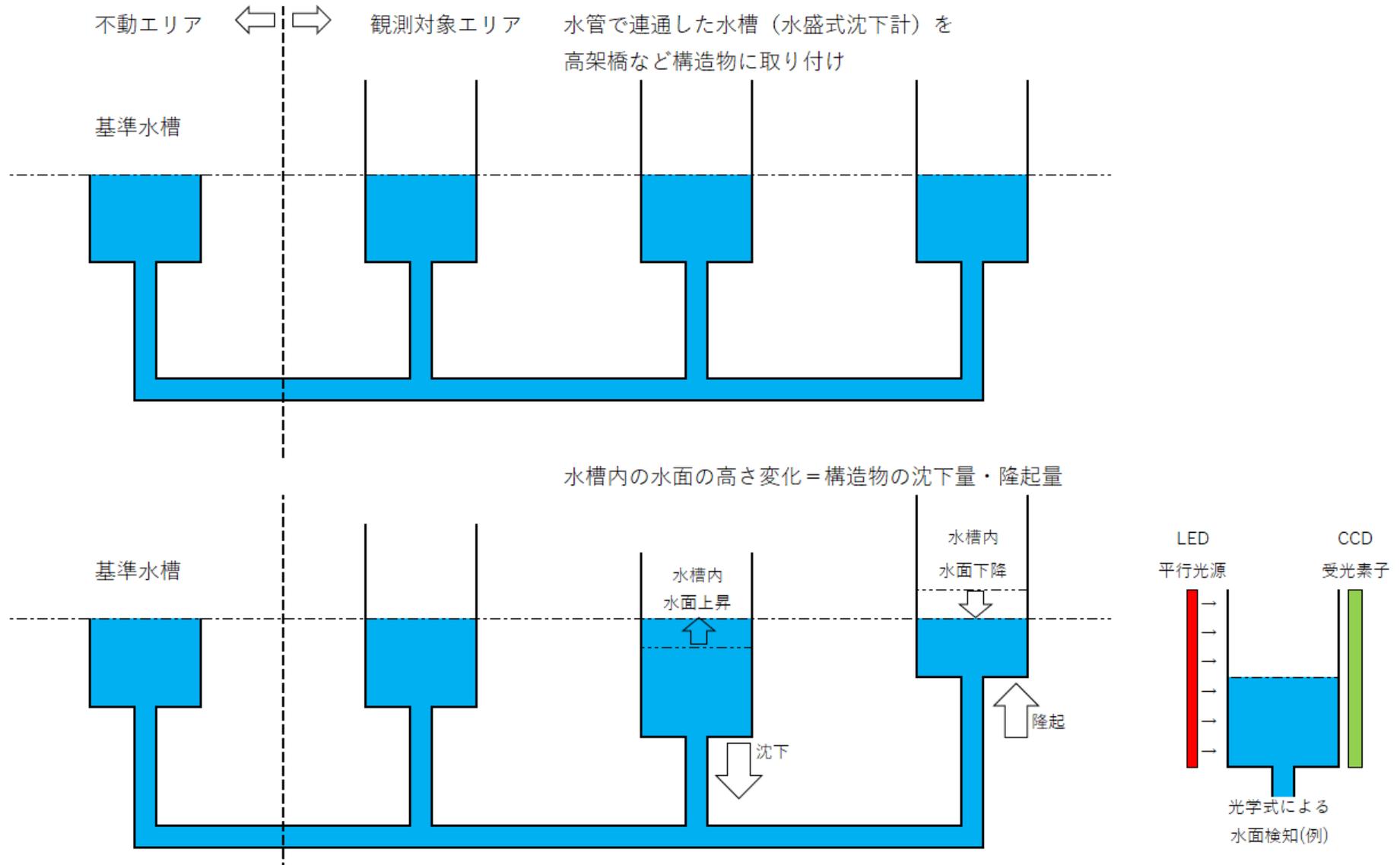
水盛式沈下計  
左:水盛式沈下計  
右:基準水槽

傾斜計



# 都市部における高速道路、鉄道構造物の変状計測

## ○水盛式沈下計の測定原理



## 画像を用いた軌道(レール)の変位計測

○デジタルカメラ画像から鉄道軌道(線路)の通り(水平変位)、高低(鉛直変位)を計測

近接する土木工事が軌道に与える影響(変状)をモニタリング



# 画像を用いた軌道(レール)の変位計測

## ○測定原理

①レールに取り付けた測定用ターゲットを基準点用ターゲット(不動点に設置)と共に撮影する。

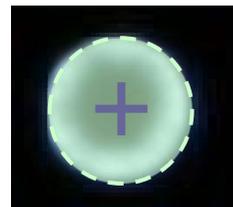
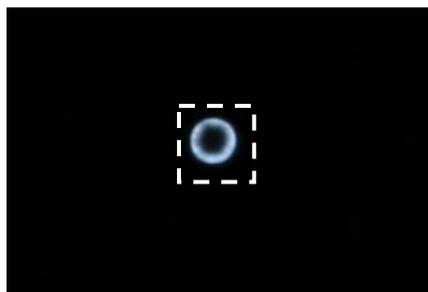


ターゲット



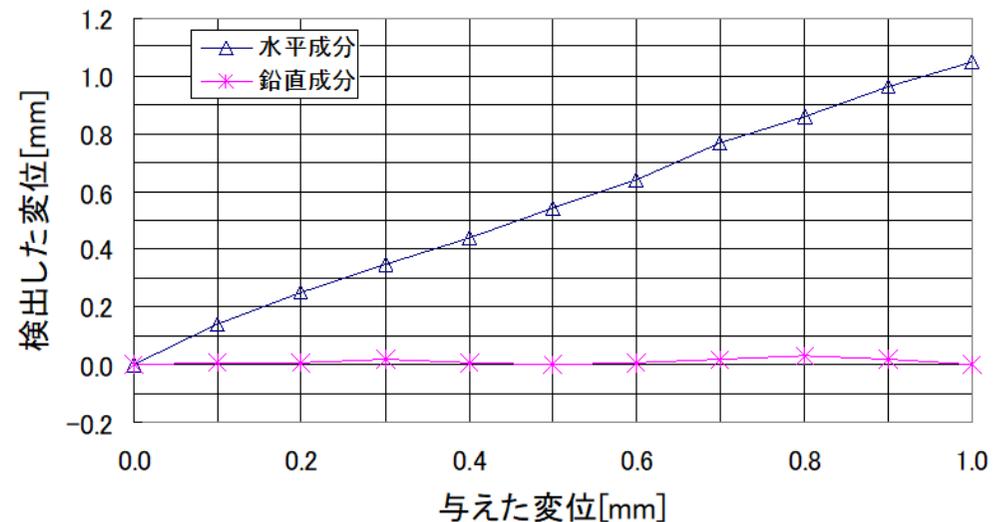
デジタルカメラ

②画像上からターゲット(観測対象点)をサーチし、その重心位置を求める。画像の画素以下の精度でターゲットの中心位置が求められる。



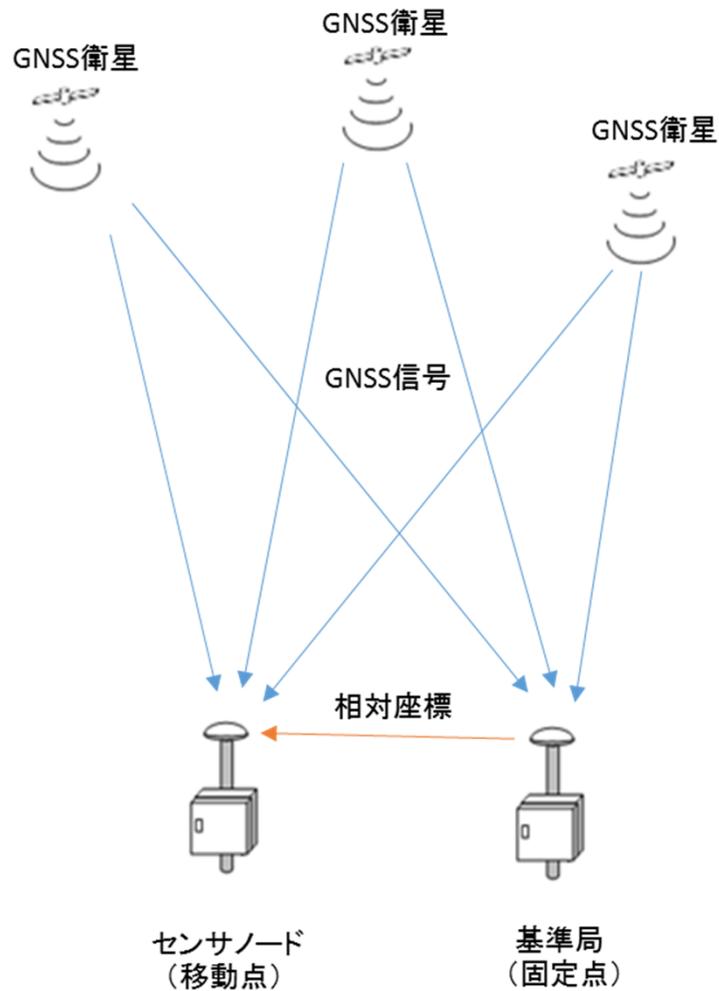
撮影画像  
(ターゲット部分拡大)

③基準点の座標を基にカメラの向き等を補正し、軌道の通り・高低の変位を計算する。



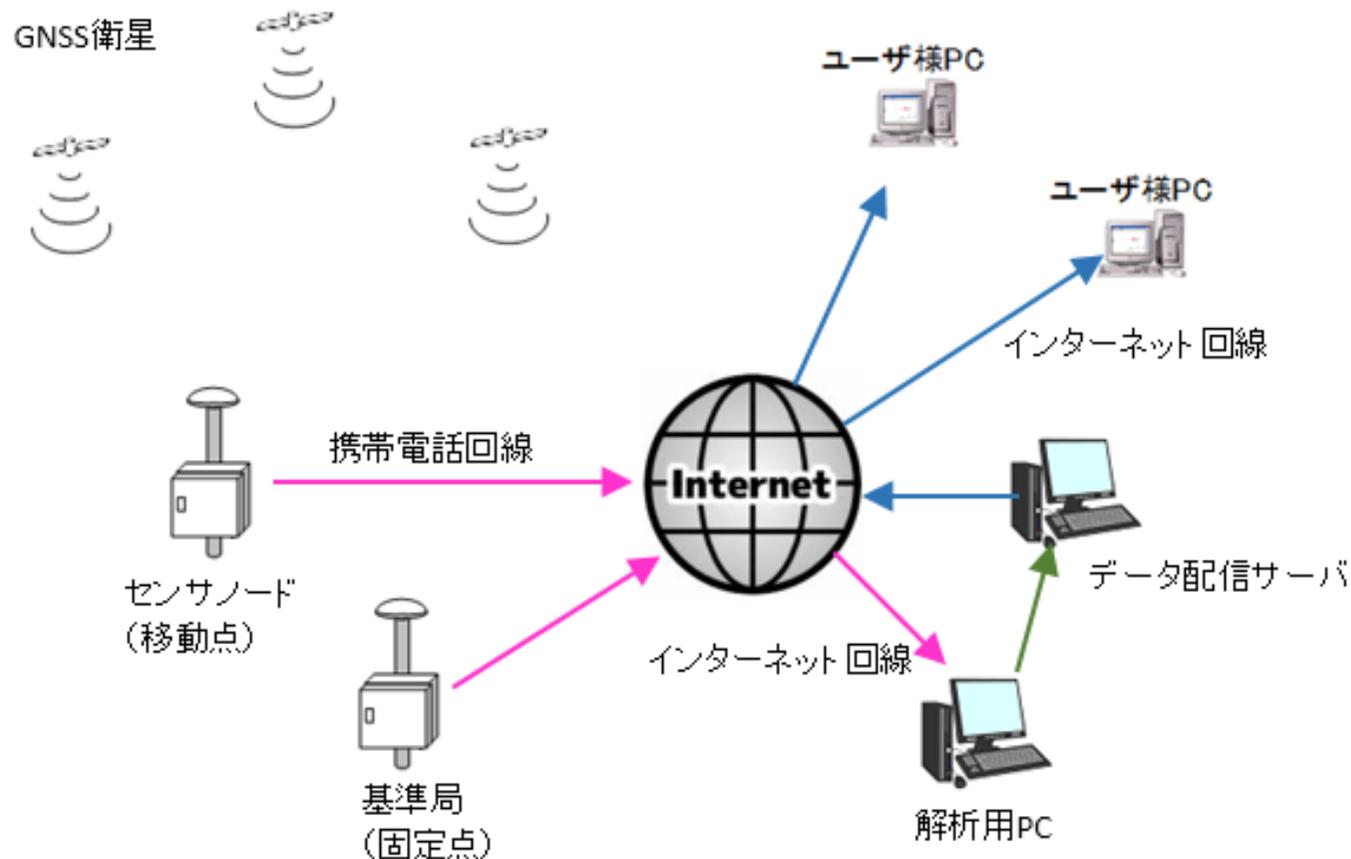
# GNSS干渉測位方式を利用した地盤変位観測システム

- 干渉測位方式を利用した地盤変位の計測システム。
- 2台の受信器で取得したGNSS信号情報を解析し、基準局(固定点)からのセンサノード(観測点)の相対変位をmmオーダーで観測する。



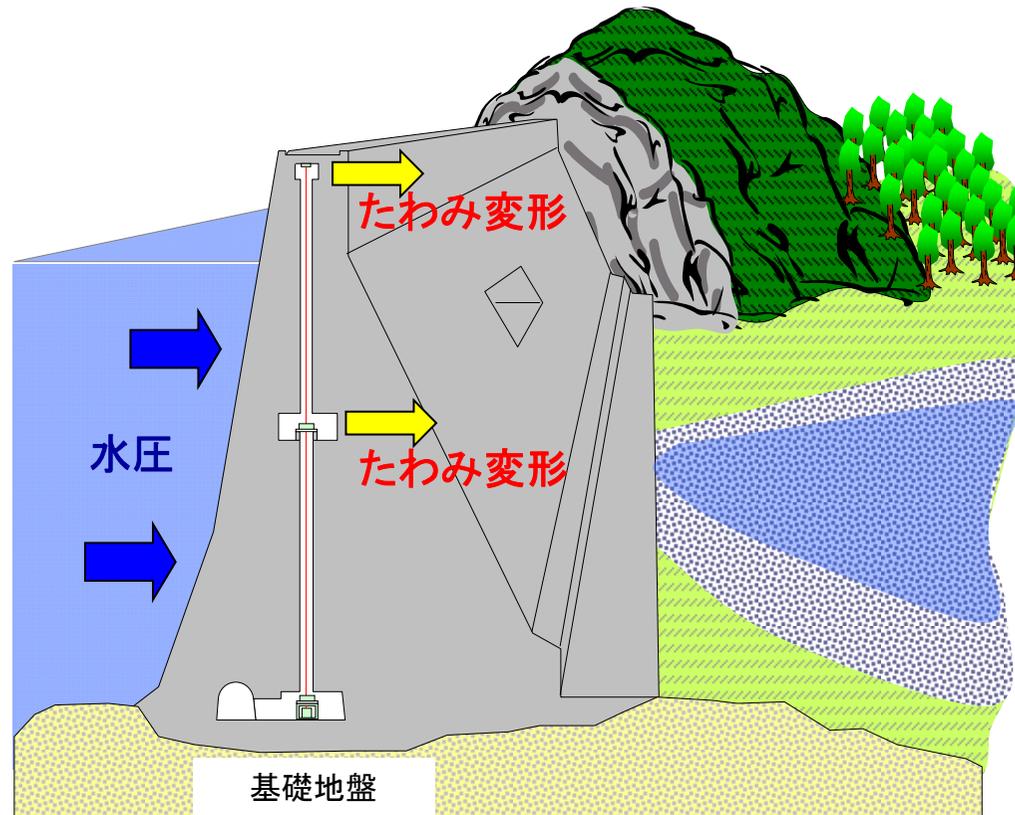
# GNSS干渉測位方式を利用した地盤変位観測システム

- 観測点に配置したセンサノード、固定点に設置した基準局のGNSS信号情報は携帯電話回線(インターネット回線)で解析用PCに転送する。
- GNSS信号情報の転送は携帯電話回線以外にも、特定小電力無線などにも対応している。
- 解析用PCはGNSS信号から基準局に対するセンサノードの相対変位を解析し、解析結果をデータ配信サーバに保存する。
- ユーザはインターネット経由で観測データを閲覧することができる。



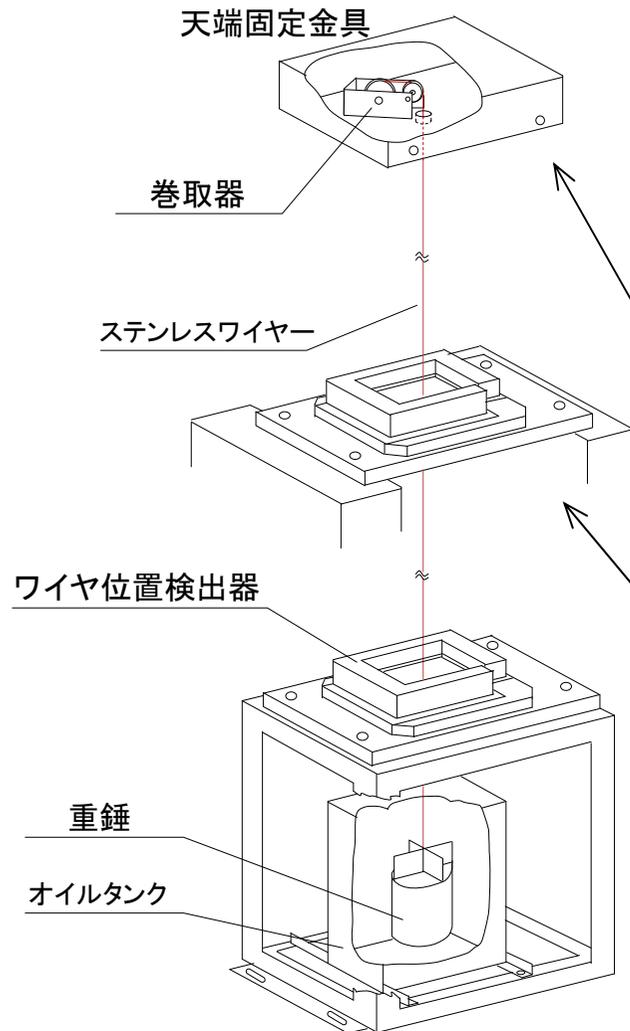
## プラムラインによるコンクリートダム堤体のひずみ計測

- プラムラインとは水圧や地盤の変形などによってコンクリートダム堤体に生じる水平方向の変形(たわみ)を測定し、ダムの安全性を確認する計測機器。
- ダム堤体内の最上部よりステンレスワイヤーで重錘を吊り下げ、プラムライン下端では重錘を常に重力方向に安定させる(オイルダンパー)。
- 各段に設置したワイヤ位置検出器でダム堤体(各段)とステンレスワイヤとの水平相対変位を測定する。



# プラムラインによるコンクリートダム堤体のひずみ計測

## ○プラムラインの構成



○プラムラインは、天端固定金具、ステンレスワイヤー、重錘、オイルタンクで構成される。

○ダム堤体内の最上部にプラムラインの長さ調整のための巻取器を取り付けて、下げ振りの固定点とする。

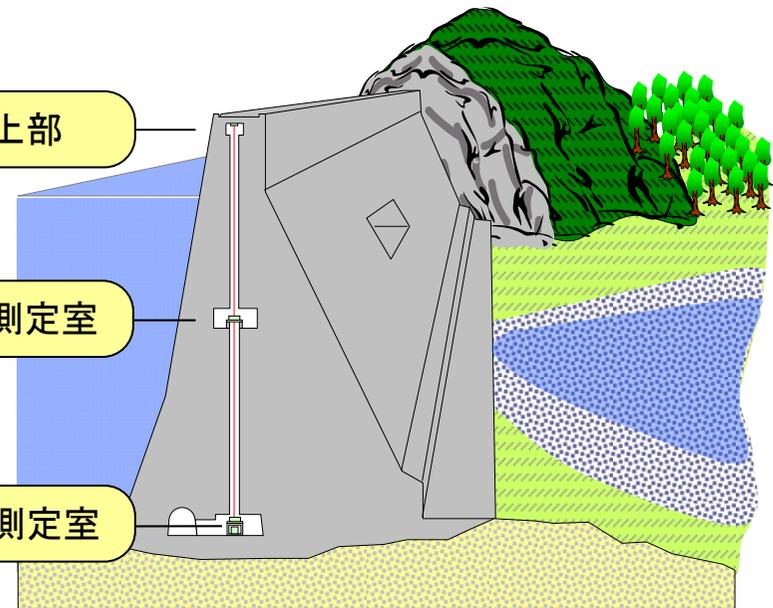
○プラムライン下端の重錘は、ダンパーオイルタンク内でワイヤーを常に重力方向に安定させている。

○各段の測定点(測定室)にはワイヤ位置検出器を取り付ける。

プラムライン最上部

プラムライン中段測定室

プラムライン下段測定室



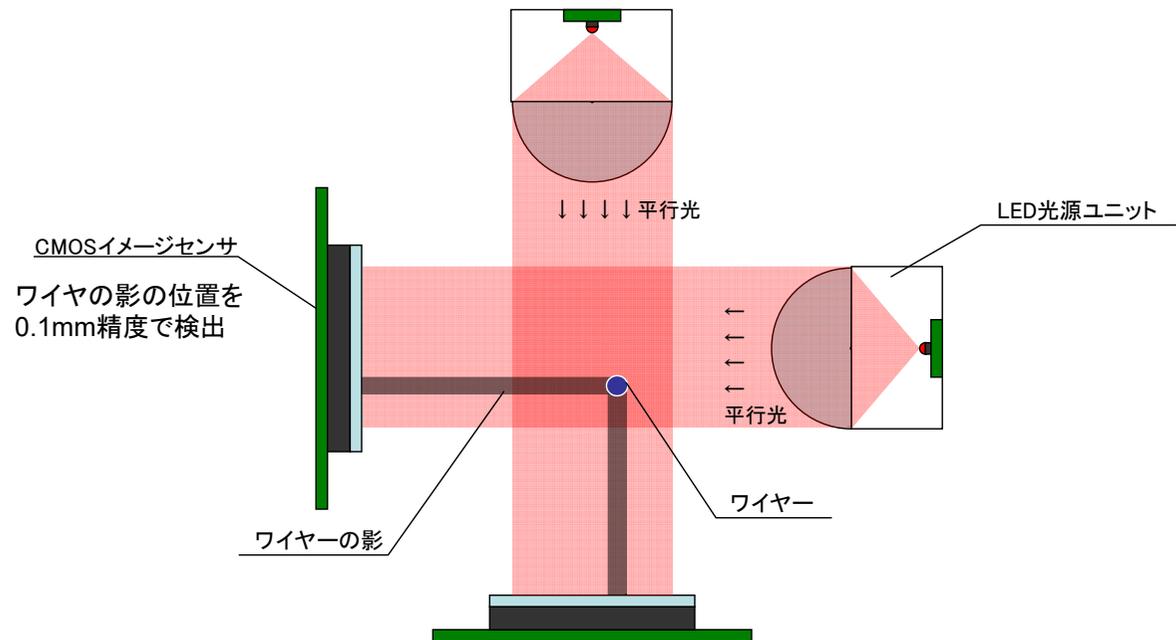
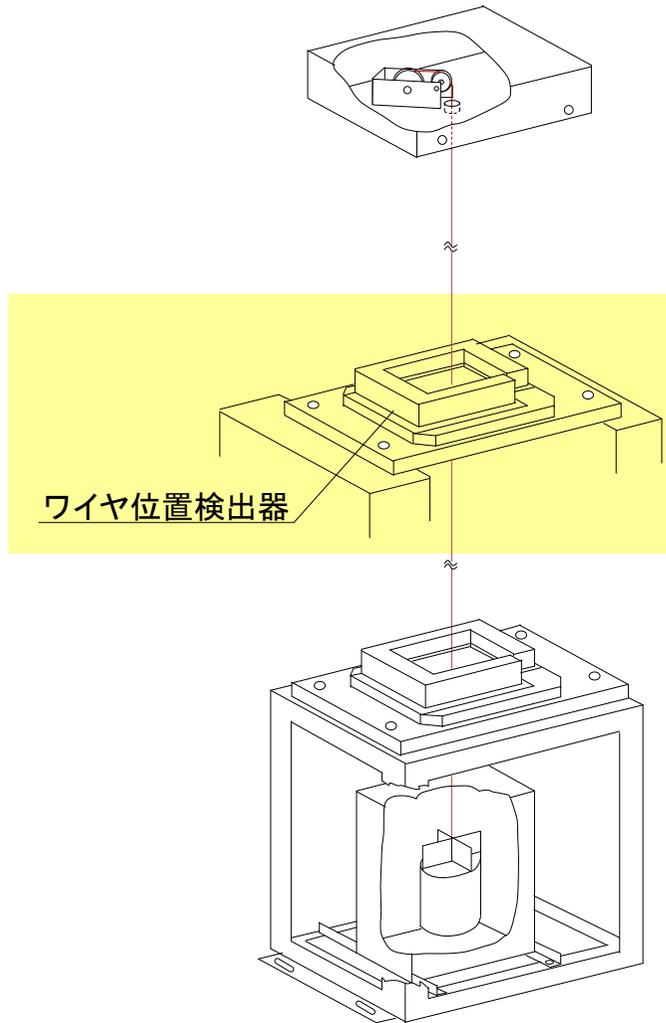
# プラムラインによるコンクリートダム堤体のひずみ計測

## ○プラムラインの測定原理

○ LED平行光を吊り下げワイヤに照射すると、ワイヤの影が CMOSイメージセンサに投影される。

○ 投影されたワイヤの影の位置から、ダム堤体(各段のワイヤ位置検出器)とステンレスワイヤとの水平相対変位を測定する。

○ 光源はLEDですので、長寿命である。

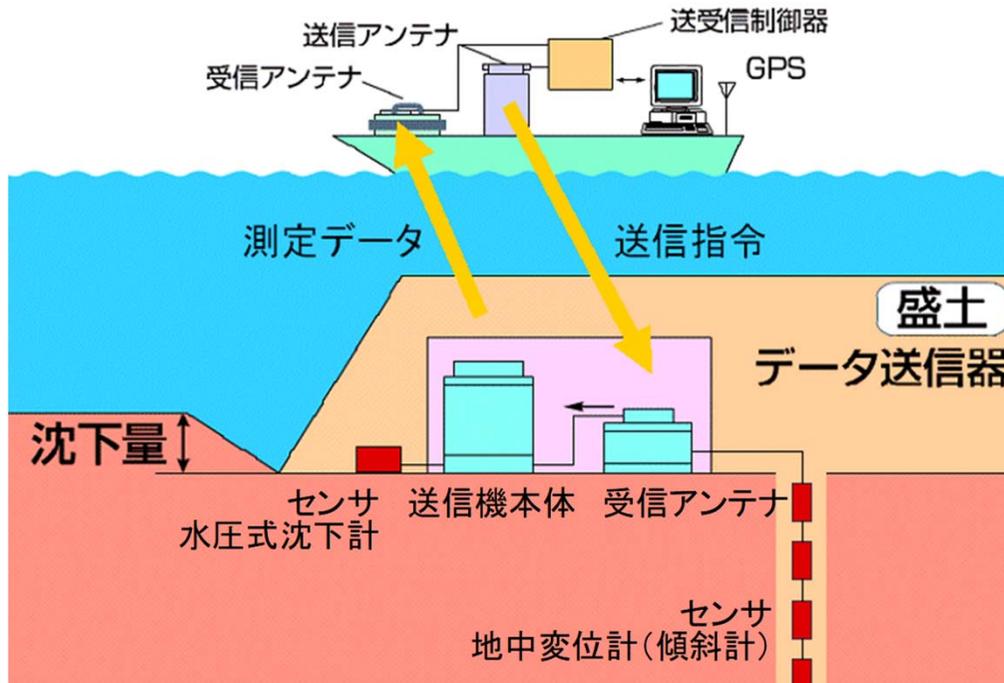


ワイヤ位置検出器の原理図(上から見た図)

# 海上埋立構造物における地盤沈下計測 (低周波電磁波を用いた海中データ通信)

○大規模埋立て工事では施工管理ならびに供用後の維持管理のために元地盤の沈下量の管理が重要

- 沈下板 → 施工(浚渫船)の妨げに
- ケーブル付センサ → 地盤沈下による断線多発
- 無線式センサ → 施工性・耐久性の向上に  
運用可能期間(実績):10年以上



< 船上でのデータ回収状況 >



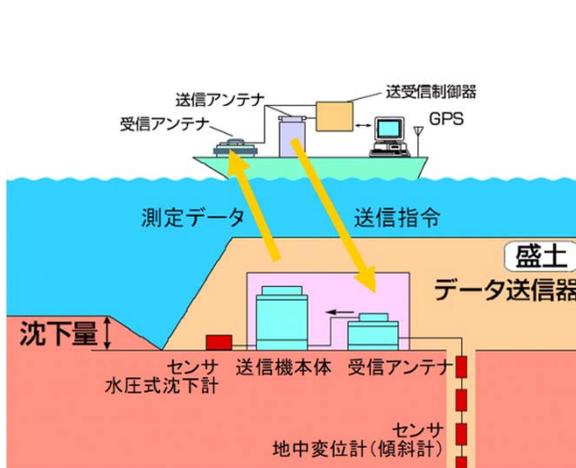
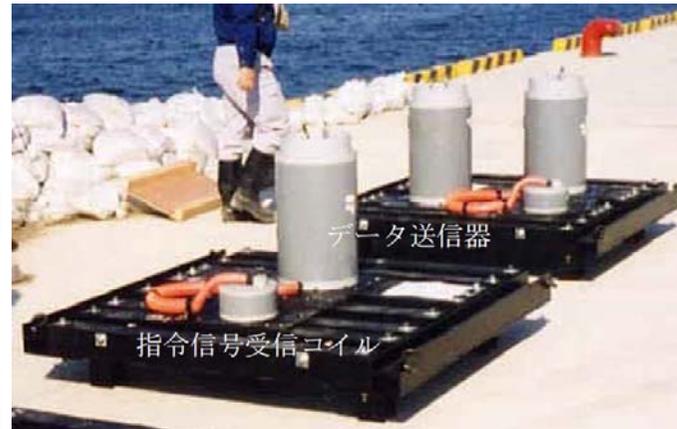
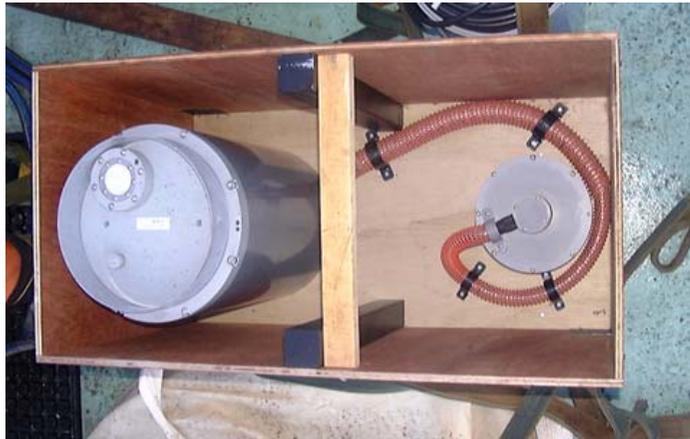
# 海上埋立構造物における地盤沈下計測 (低周波電磁波を用いた海中データ通信)

- 1kHzから10kHz未満の低周波数の電磁波を用いた地中無線通信システムは空気中、土中、水中および海中などあらゆる場所において、無線デジタル通信を行うことが可能。
- この技術は関西国際空港Ⅱ期工事や羽田D滑走路建設工事に伴う現地盤の沈下計測や、ダム堤体内の間隙水圧や沈下量の計測などで**センサのワイヤレス化を図る技術**として、幅広く利用されている。
- 取り扱いに伴う免許が不要であることも特徴。



# 海上埋立構造物における地盤沈下計測 (低周波電磁波を用いた海中データ通信)

○関西空港Ⅱ期工事沈下計測



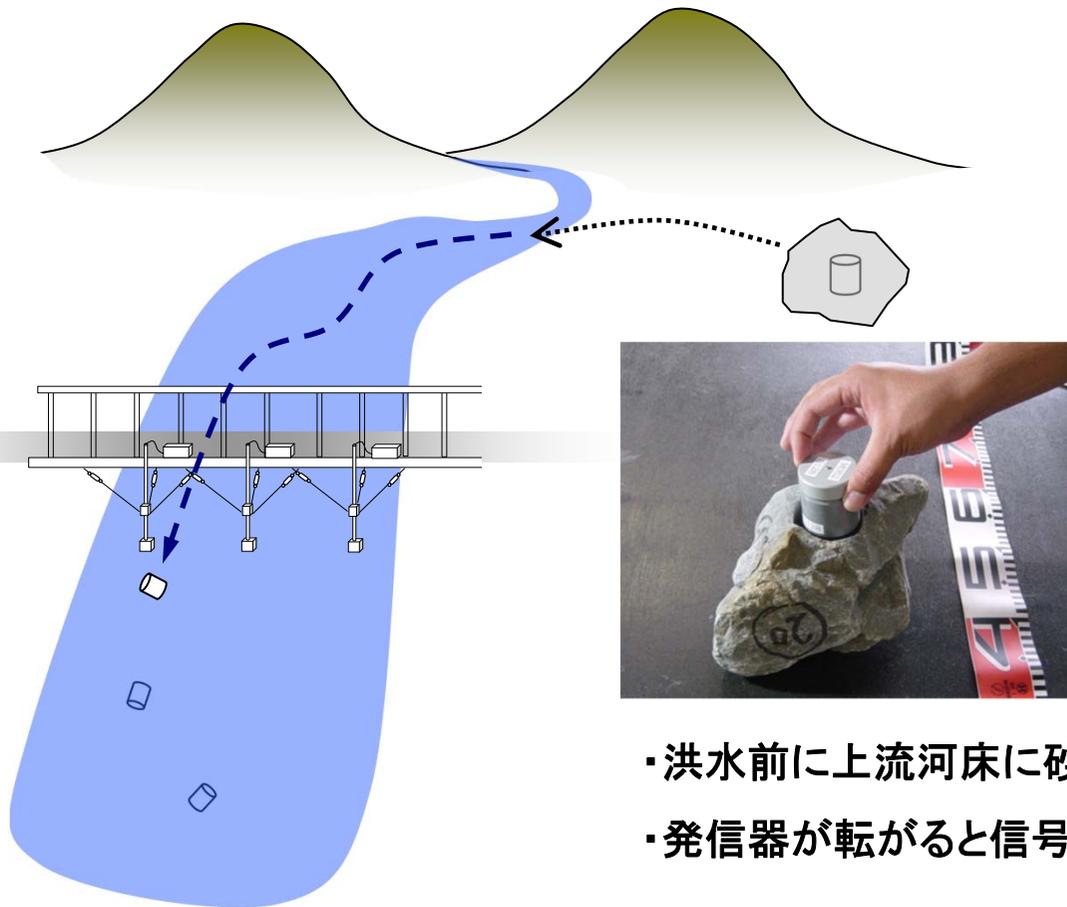
< 船上でのデータ回収状況 >



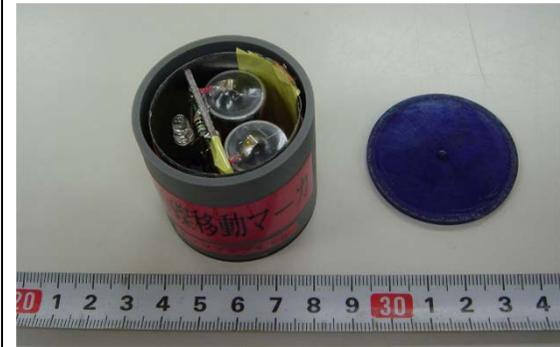
< 陸地化後のデータ回収状況 >

## 河床の砂礫移動モニタリング

- 洪水による土砂流出、河床変動など土砂の移動実態は、洪水量、河床材料、地形特性など様々な要因が複合的に関係している。
- 土砂の移動実態を的確に把握することは、土砂管理手法、数値解析手法の精度向上を図ることができ、防災を目的とした護岸工や、洗掘を防止する床止(とこどめ)工の設計に有効である。



発信器 φ48×L47mm  
自然石や擬石に埋設

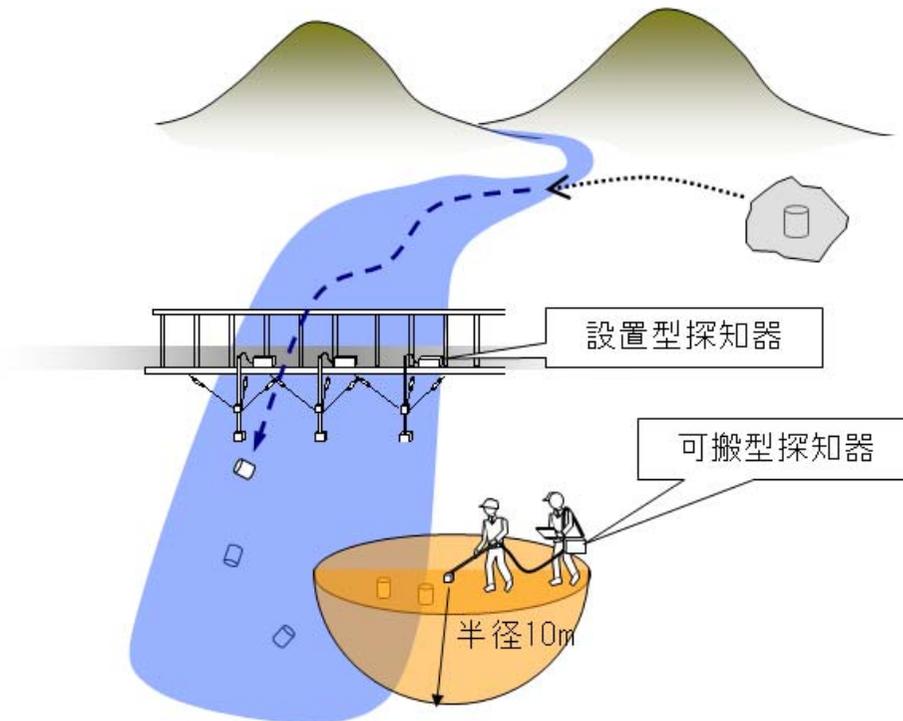


使用周波数帯域: 8kHz~20kHz  
探知距離: 10m  
調査期間: 発信開始後60日

- ・洪水前に上流河床に砂礫に埋め込んだ発信器を設置
- ・発信器が転がると信号発信を開始する(60日間継続)

# 河床の砂礫移動モニタリング

- 洪水により流下する発信器は発信周波数が異なる。  
探知器で検出した信号の周波数から発信器の個体  
(どのような寸法形状の砂礫に埋めたか)が識別できる。
- 複数の設置型探知器の受信強度(近くを通過したもの程 大)から、  
砂礫の流下ルートが判断できる。



- 洪水後に発信器を探査して礫がどこまで流下したかを確認する。
- 発信器を発見した深さから、洪水時の洗堀深が判る。



設置型探知器本体



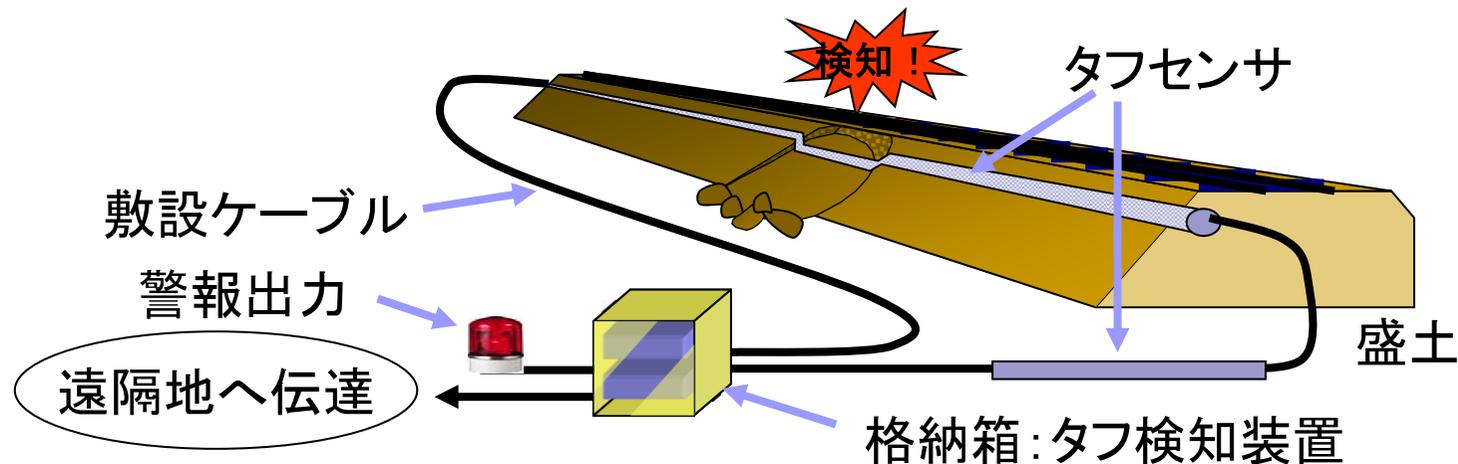
橋梁に取付けたアンテナ(3台)



可搬型探知器での探査

## 鉄道沿線のり面の崩壊検知センサ

- のり面の崩壊検知センサ(タフセンサ)は、鉄道や道路などの沿線斜面の崩壊や防護柵への落石を検知するセンサ。
- 監視対象区間に敷設したタフセンサとタフ検知装置、警報伝達機器で構成され、崩壊及び落石を常時監視し、警報を遠隔地に伝達するシステム。
- ケーブル状のタフセンサにより監視するため、監視対象を線的に連続して監視できる。

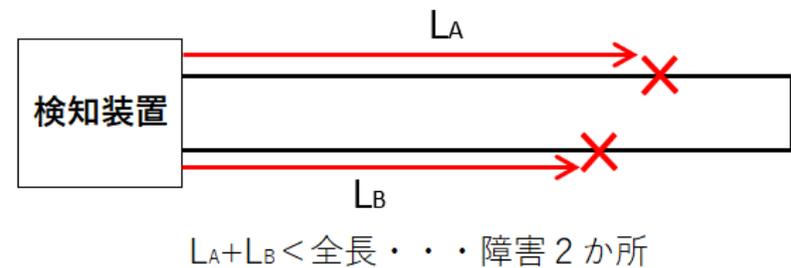
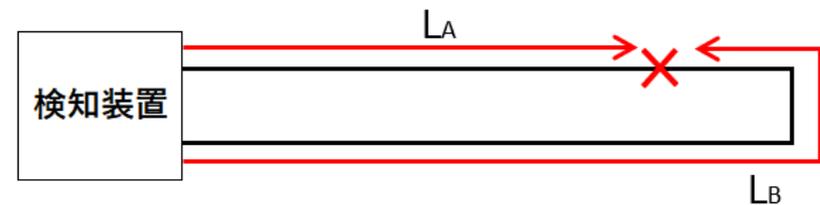
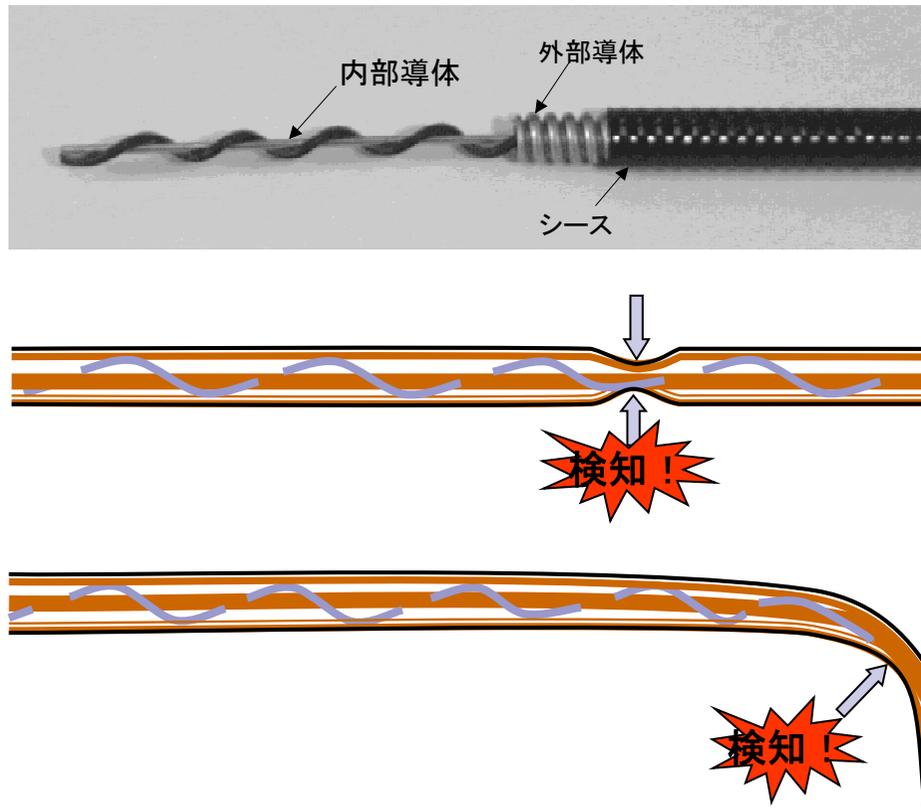


### 特徴

- ◆最長1500mの検知範囲を持っている。
- ◆2カ所まで障害発生個所を検知できる。
- ◆常時監視。(5秒以下の周期で監視)
- ◆自己診断機能により機器異常時も信号出力。
- ◆各種信号通信システムの接続が可能。(有線、無線、携帯電話、衛星通信など)

# 鉄道沿線のり面の崩壊検知センサ

- タフセンサにパルスを入力して、反射波を常時監視している。
- 土砂崩壊によりタフセンサに曲げ、切断、つぶれ、などが生じると、ケーブル内部導体と外部導体が接触してその位置で反射波が発生する。
- パルスの反射時間を計測することにより、障害発生位置を特定する。
- タフセンサの両端からパルスを入力することで、2カ所まで障害位置が判定できる。



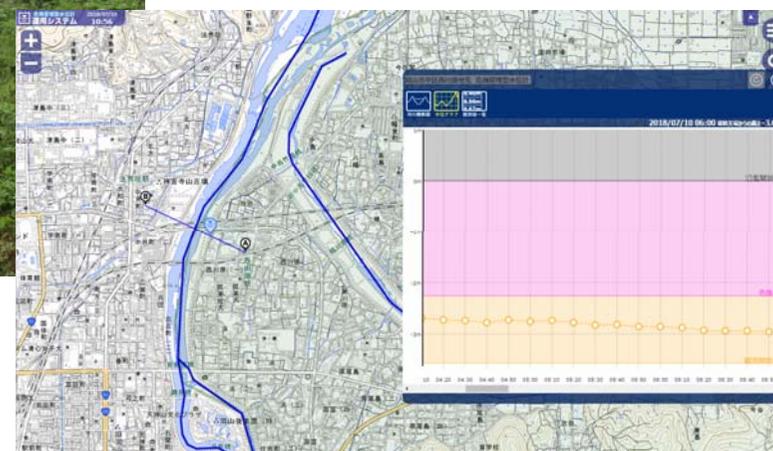
# 鉄道沿線のり面の崩壊検知センサ

○タフセンサ 設置事例



## 危機管理型水位計

- 危機管理型水位計は、近年増加している大洪水などの水災被害を踏まえ、従来ではカバーしきれなかった中小河川を中心としたの水位観測を行い、災害避難を迅速化させるために、国土交通省主導で開発された。
- 災害時の観測機能に特化させることで低コスト化を図り、各自治体での設置がしやすくなっている。
- 全国の観測データは(一財)河川情報センターのホームページ(川の水位情報)で閲覧できる。



# 危機管理型水位計

## ○危機管理型水位計の主な仕様

(詳細は国土交通省 <https://www.mlit.go.jp/common/001218244.pdf>)

- ・水位センサは水圧式、超音波式、電波式がある
- ・水位最小読取単位 : 1cm
- ・電源は5年間継続して観測が可能な電流容量のもの。  
太陽電池の場合は9日間の無日照の後、150回観測が可能なもの。
- ・平常時は10分以内の間隔で水位上昇を自動監視(記録・伝送はしない)
- ・観測開始水位(増水時水位)に達した場合、所定の頻度で計測開始。  
測定データは外部データベース(河川情報センター・サーバ)に伝送する。  
(大河川10分間隔 / 中小河川5分間隔 / 急激な水位上昇のある河川2分間隔)
- ・増水が無い場合でも1日1回死活確認として計測データを外部データベースに伝送する。
- ・外部データベースへの伝送は閉域(携帯)回線を使用
- ・全国の観測データは(一財)河川情報センターのホームページ(川の水位情報)で閲覧できる。

# 危機管理型水位計

○設置例



超音波式水位計



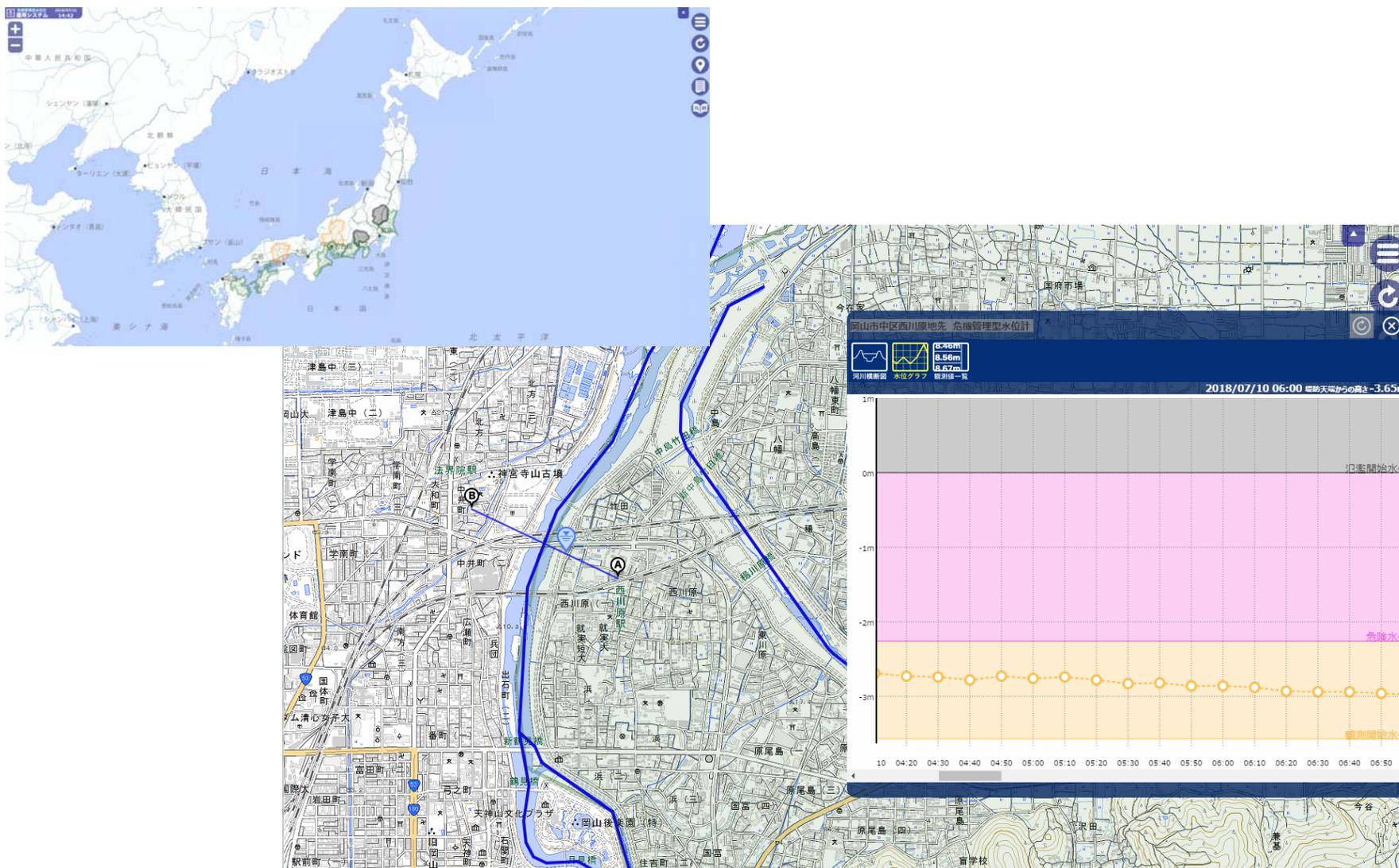
電波式水位計



水圧式水位計

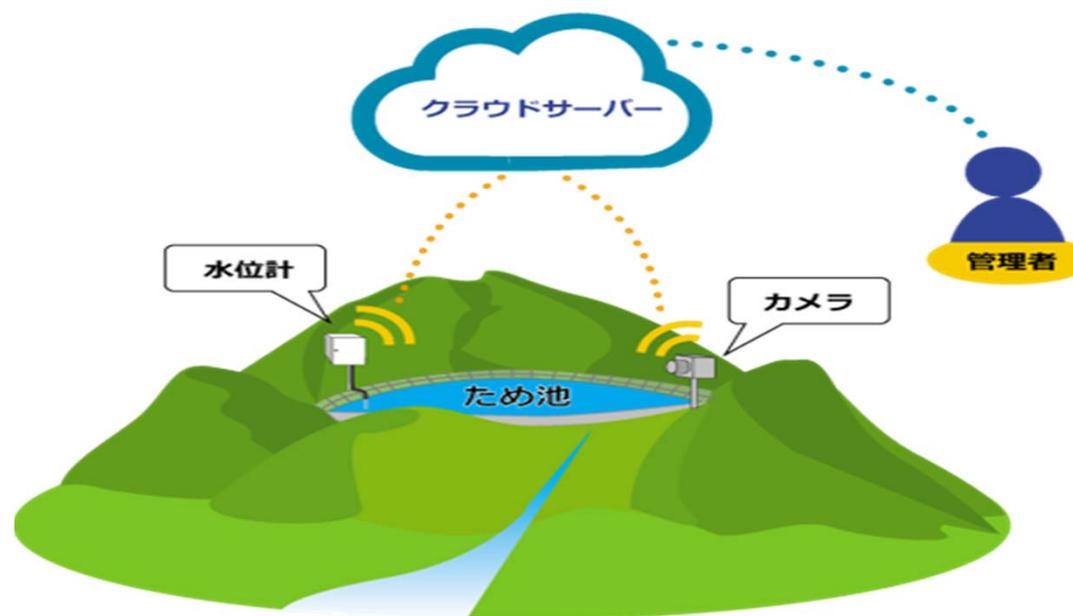
# 危機管理型水位計

○河川情報センターHP「川の水位情報」 閲覧ページ



## ため池監視システム

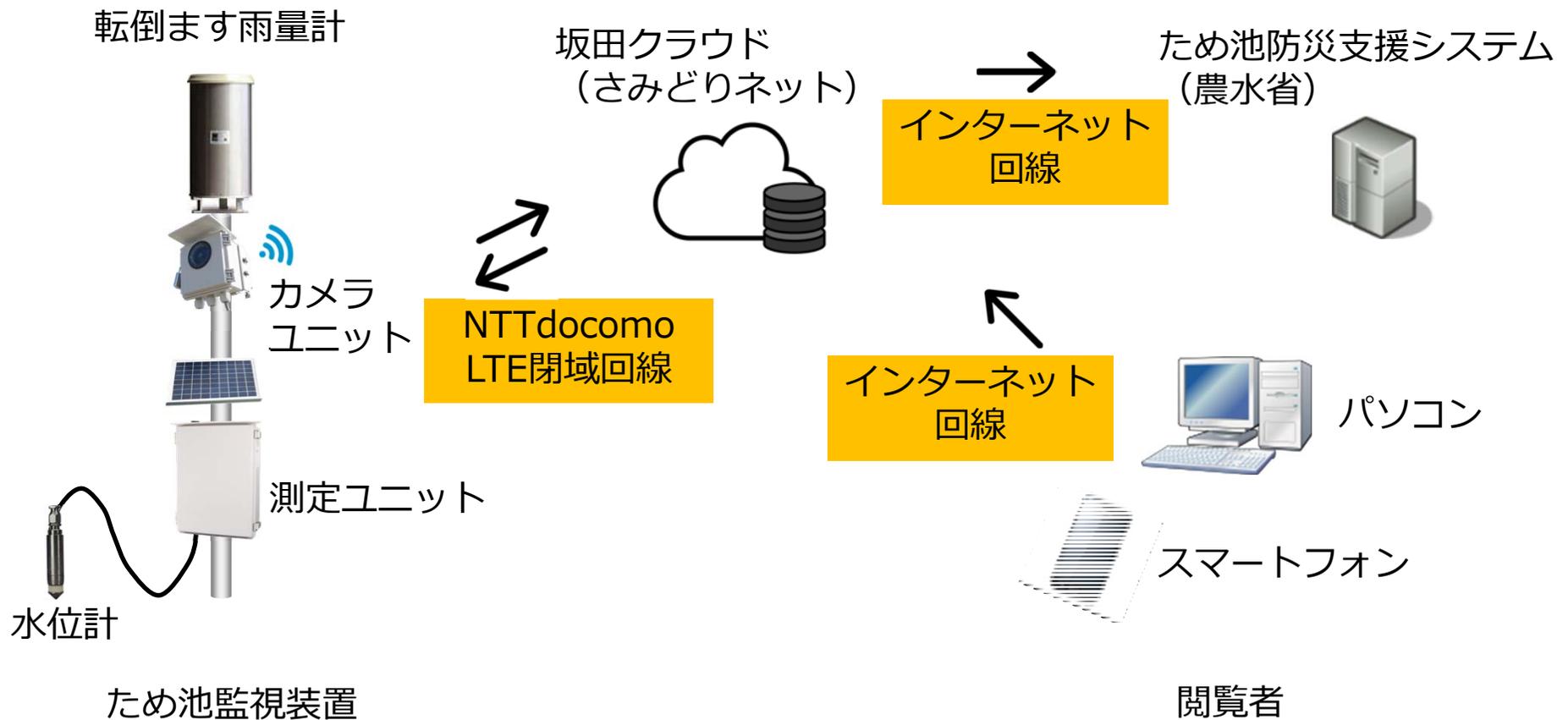
- 近年の豪雨による被害を踏まえ、国が新たな基準を設定し、都道府県が令和元年5月に防災重点ため池を再選定した。(約6万4千箇所)
- 現在、全国において「防災重点農業用ため池に係る防災工事等の推進に関する特別措置法」(ため池工事特措法)に基づき、防災重点農業用ため池のハード対策・ソフト対策の集中的かつ計画的に推進が行われている。
- ソフト対策のなかには、管理・監視体制の強化も含まれており、遠隔監視が可能となるよう、**ため池への水位計や監視カメラの設置**が有効であるとされている。



# ため池監視システム

○水位, 雨量, 画像を坂田電機(株)クラウド「さみどりネット」で管理するシステム

○農林水産省 ため池防災支援システム\*1へデータ転送することも可能(雨量、水位のみ)

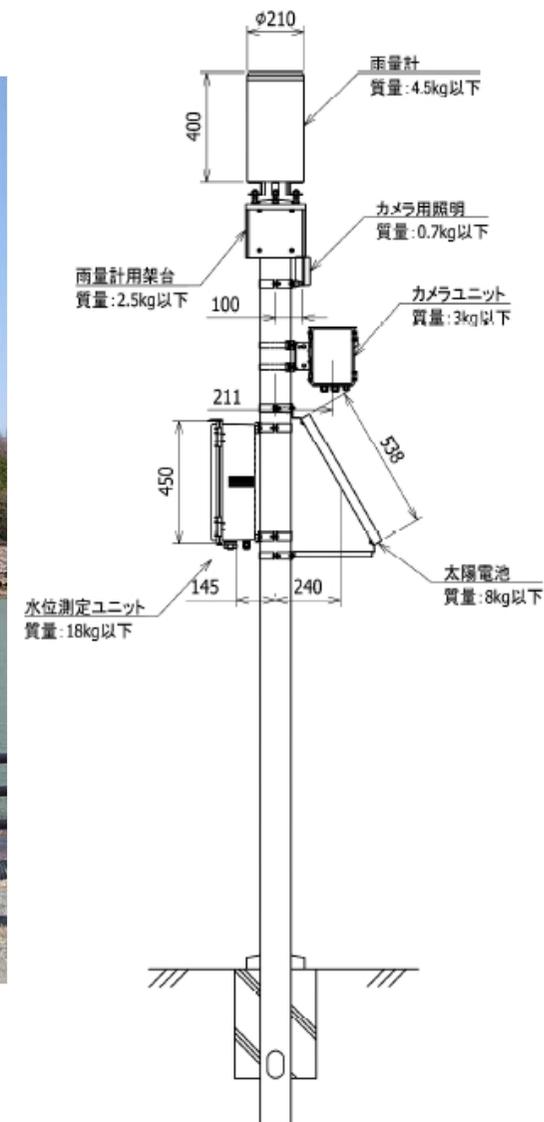


\*1:ため池防災支援システム

地震、豪雨時にため池の決壊危険度を予測するとともに、実際の被害状況を 全国の防災関係者間で情報共有するための災害情報システム

# ため池監視システム

## ○設置事例



# ため池監視システム

## ○さみどりネット閲覧画面



ため池選択画面  
地図上のアイコンをクリック

印刷
再読み込み
閉じる

表示設定
設定表示

水位: 6.14(ELm)

ため池		川	
設置場所	川		
水系名	川		
河川名	川		
測定日時	2020/12/15 19:00		
水位(ELm)	6.14		
変化状況	→		
越水までの距離(m)	-6.14		
観測開始水位(ELm)	未設定		
設置温度(℃)	3.3		
電池電圧(V)	12.4		
10分雨量(mm)	0.0		
累加雨量(mm)	7.5		

ため池詳細情報

表示日時切替

水位経時グラフ(水位・雨量)

測定日時	水位 (ELm)	状況	温度(℃)	電圧(V)	10分雨量 (mm)	時刻雨量 (mm)	累加雨量 (mm)
2020/12/15 19:00	6.14	→	3.3	12.4	0.0	0.0	7.5
2020/12/15 18:50	6.14	↗	3.5	12.4	0.0	7.5	
2020/12/15 18:40	6.13	→	3.6	12.4	0.0	7.5	
2020/12/15 18:30	6.13	↘	3.6	12.4	0.0	7.5	
2020/12/15 18:20	6.14	→	3.8	12.4	0.0	7.5	
2020/12/15 18:10	6.14	↗	4.0	12.4	0.0	7.5	
2020/12/15 18:00	6.13	↘	3.9	13.4	0.0	0.0	7.5
2020/12/15 17:50	6.14	↗	4.1	12.5	0.0	7.5	
2020/12/15 17:40	6.13	→	4.3	12.5	0.0	7.5	
2020/12/15 17:20	6.13	↘	4.4	12.5	0.0	7.5	
2020/12/15 17:10	6.14	→	4.5	12.4	0.0	7.5	
2020/12/15 17:00	6.14	→	4.5	12.4	0.0	0.0	7.5
2020/12/15 16:50	6.14	↗	4.6	12.5	0.0	7.5	
2020/12/15 16:40	6.13	↘	4.8	12.5	0.0	7.5	
2020/12/15 16:30	6.14	→	4.9	13.6	0.0	7.5	

水位経時表(水位・雨量)

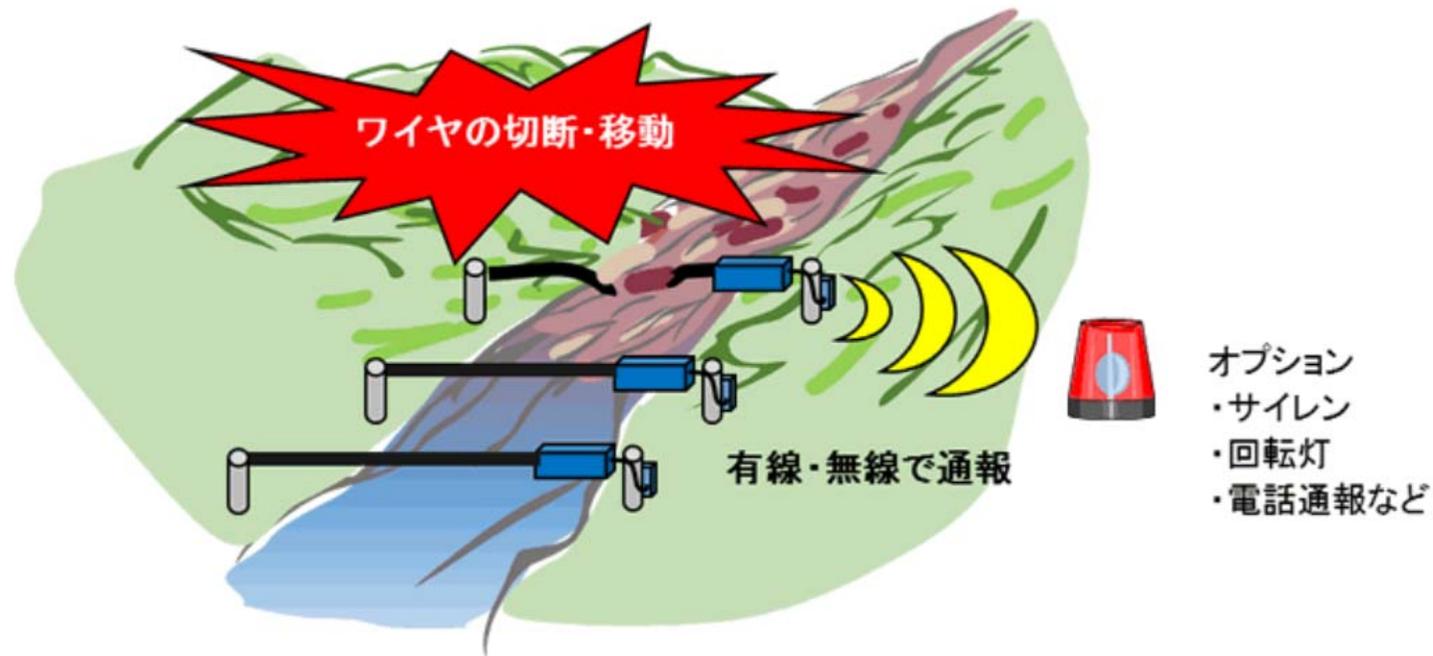
監視カメラ画像

## 土石流センサ(ワイヤセンサ)

### ○ワイヤ式土石流検知器システム

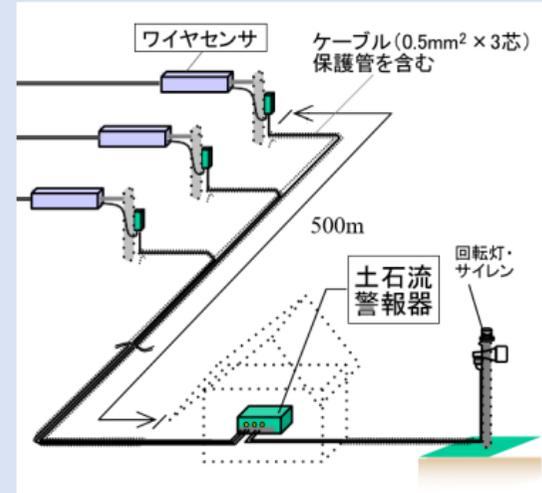
土石流は急激な出水により溪岸・溪床の堆積土砂が侵食され、多量の土砂を含んで流れるため、破壊力が強大で大きな被害を受ける。

土石流の発生を、ワイヤーの切断により瞬時に検知して、アラーム、サイレン、回転灯などで危険警報を広報するシステムである。

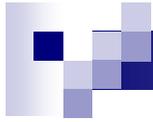


## 土石流センサ(ワイヤセンサ)

- 土石流が予測される沢を横断するようにワイヤ(ワイヤセンサ)を設置する。
- ワイヤの破断を検出することにより土石流の発生を検知する。
- ワイヤセンサの検知信号は、伝送ケーブルを介して土石流警報器に伝送される。
- 土石流警報器1台で3台のワイヤセンサを管理できる。
- 土石流発生を検知すると、土石流警報器本体の内蔵アラームから警報音を発生する。  
同時に現場に設置されたサイレンや回転灯を駆動させる警報駆動接点信号を出力する。



※ 通信ケーブルの埋設がむずかしい時は、「①特定小電力無線システム」、「②地中無線通信システム」が利用できます。



坂田電機株式会社

〒202-0022 東京都西東京市柳沢2-17-20

TEL: 0424-64-3711

FAX: 0424-64-3773

E-Mail: [eigyoun@sakatadenki.co.jp](mailto:eigyoun@sakatadenki.co.jp)

URL: <http://www.sakatadenki.co.jp>