

リアルタイム流砂モニタリングを用いた ジオフォン土砂災害警報システム



2021年7月 熱海伊豆山土石流災害(降雨ピーク後発生)

ジオフォン(Geophone):受振器。
地上、地中で音や振動を捉える
マイクロフォン

2024年12月

ジオフォンソリューションズ

流砂モニタリングの必要性

◎気候変動により毎年どこかで長雨や集中豪雨が発生し、地滑り、斜面崩壊や土石流による土砂災害が多発している。その結果、土砂災害警戒区域で多くの人命が失われている。

◎日本全国で土砂災害警戒区域は約70万箇所ある。近年、宅地開発により都市化が進み、リスクの高い土砂災害警戒区域に多くの人々が住むようになった。政府はこのような市街化区域を市街化調整区域に戻す防災目的の「逆線引き」を開始した。

◎現状の予測技術では、大雨時に斜面崩壊や土石流等がいつどこで発生するか予測できない。そこで、土砂災害の軽減対策の一つには、流砂モニタリングを行って事前の異常現象(日常と異なる現象)を検知し、早期に警報避難情報を配信することが考えられる。

◎一方、斜面崩壊、地すべりや土石流は、山腹の土壌水分量(土壌雨量指数)の上昇とともに、小さな土砂崩れから段階的に大きな土砂崩れへと発達する。災害をもたらす土砂崩れは、山腹の土壌水分量がピークに達し、降雨ピークや水位ピークの後に発生する 경우가多くみられる。従って、土砂災害への警戒は洪水ピーク後まで土砂流出を監視する必要がある。

◎また、大被害となる土砂・洪水氾濫は、洪水量だけでなく斜面崩壊等に伴う流出土砂量が被害の拡大に大きく起因している。この点においても、降雨や水位だけでなく流砂モニタリングを行って、洪水に伴って増加する土砂流出現象を解明し、対策を構築していくことが重要である。

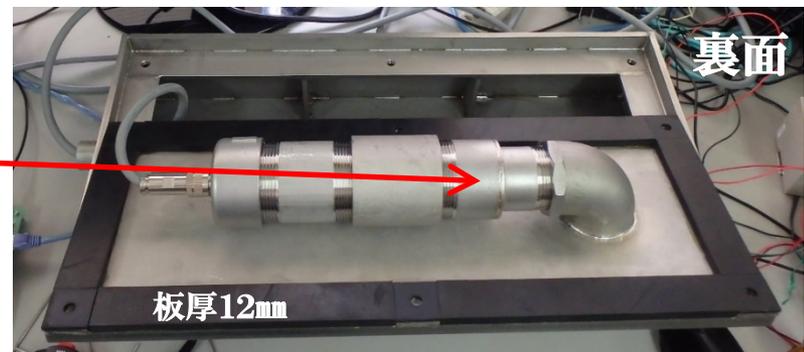
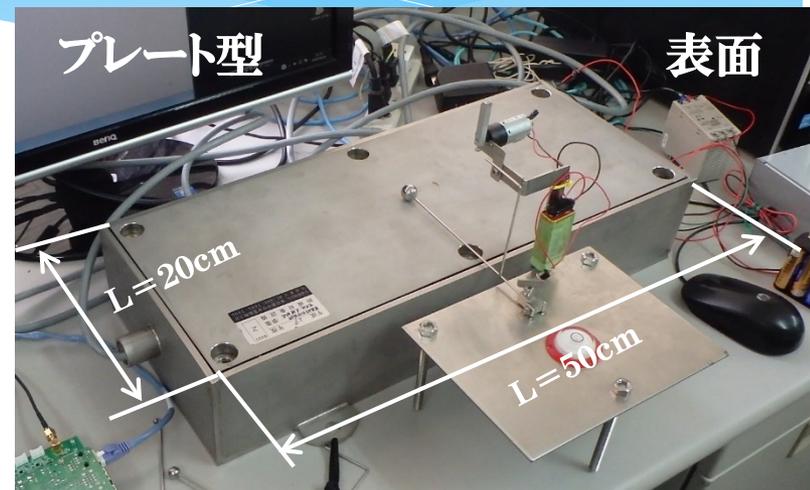
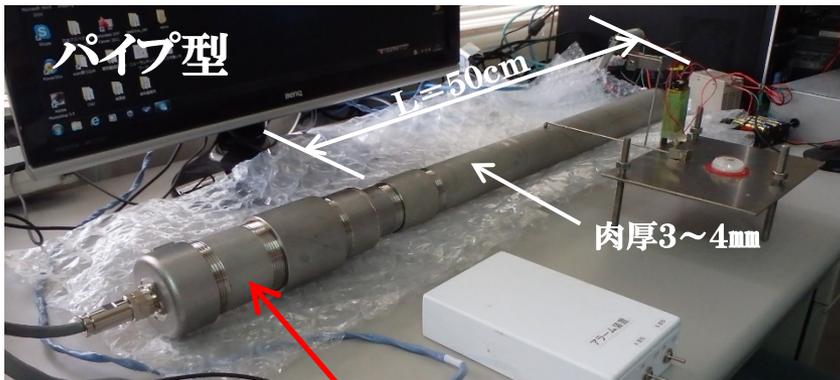
ジオフォンによるリアルタイム流砂モニタリングとは いつどこで起こるかわからない土砂災害の前兆現象をキャッチ

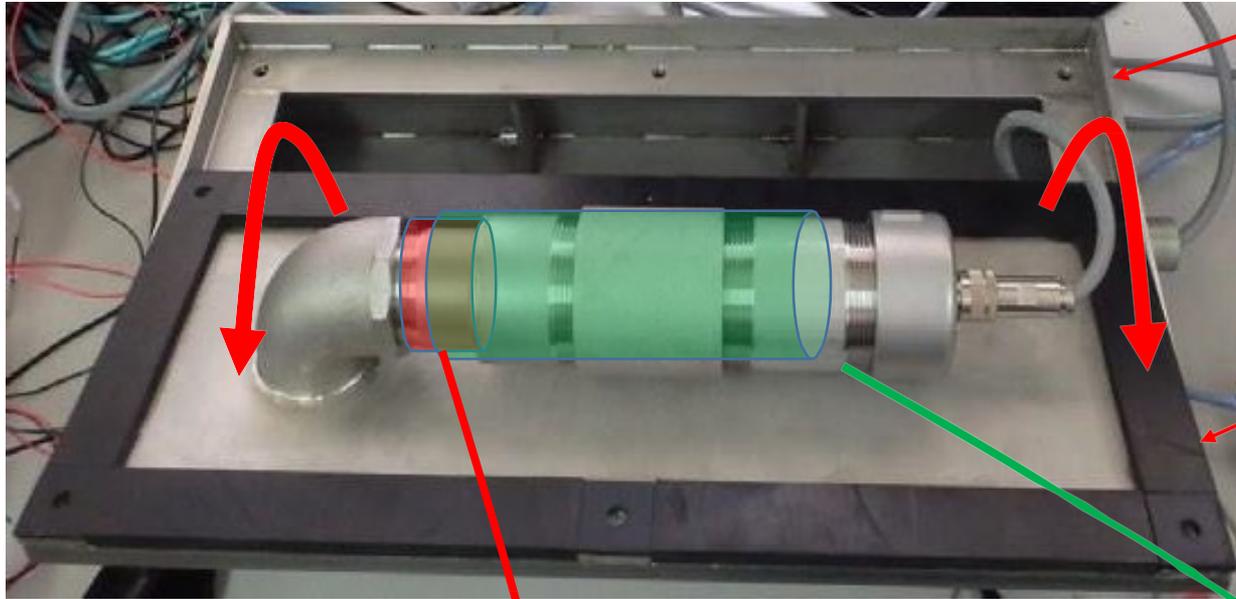
- ◎斜面崩壊や地滑りおよび土石流に起因する土砂災害は、生産源の地盤等が異なることから、誘因である降雨量や土壌雨量指数(山腹で貯まった地下水位)だけでは的確に予測できない。
- ◎多くの危険区域で採用されているワイヤーセンサーは、土砂流出とは異なる流量や倒木等で切断される場合があり、誤作動が多い。
- ◎土砂災害から人命を守るためには、**山腹崩壊等に起因して流出する水位(水量)と土砂量を常時監視**する必要がある。
- ◎ジオフォンは、土砂が鉄製のセンサーに衝突する際の音をセンサーに内蔵するマイクロフォンで検知、その音圧エネルギー(電圧)を積分して、移動土砂量に変換する計測器である。
- ◎ジオフォンは**水位(流量)、移動土砂量を常時観測**していることから**斜面崩壊や土石流等の前兆現象をキャッチ**することが出来る。

ジオフォン土砂災害警報システムの特長

- ◎ジオフォン土砂災害警報システムは、既往の流砂モニタリング技術(ハイドロフォン技術)を改良し、省電力化、オンライン化、コンパクト化および低価格化を図って開発された機器システムである。
- ◎本システムはソーラー電源を使用して、ジオフォンと水位計により土砂量や水量を常時計測する。また、時系列の観測データをクラウドサーバにアップロードし、データ蓄積やリアルタイムでの閲覧・状況監視ができる。
- ◎いつもと違う土砂量や水量を検知すると、警告が表示され、必要な個所に警報情報を配信する。現場状況はカメラ映像で確認する。
- ◎土砂量等の指標は3段階(注意・警戒・避難)で閾値が設定でき、閾値を超えると必要な個所に警報をメール配信する。
- ◎本システムは土砂災害の危険度が高い個所から優先的な配置が望まれる。特に、能登半島のように大地震に見舞われた地域では、地震後の豪雨により土砂災害や洪水のリスクが高まる。地震多発地域にこのシステムを設置することをお勧めする。

ジオフォンセンサー パイプ型&プレート型





箱

カバー鋼板
裏側



マイクロフォン



積分回路

ジオフォン土砂災害警報システム設置状況



ジオフォン土砂災害警報システム構成

①センサー部&カメラ部

- ジオフォン(マイク・積分電圧)
- 圧力式水位計(水位・電圧値)
- カメラ(静止画像)

②MCU部

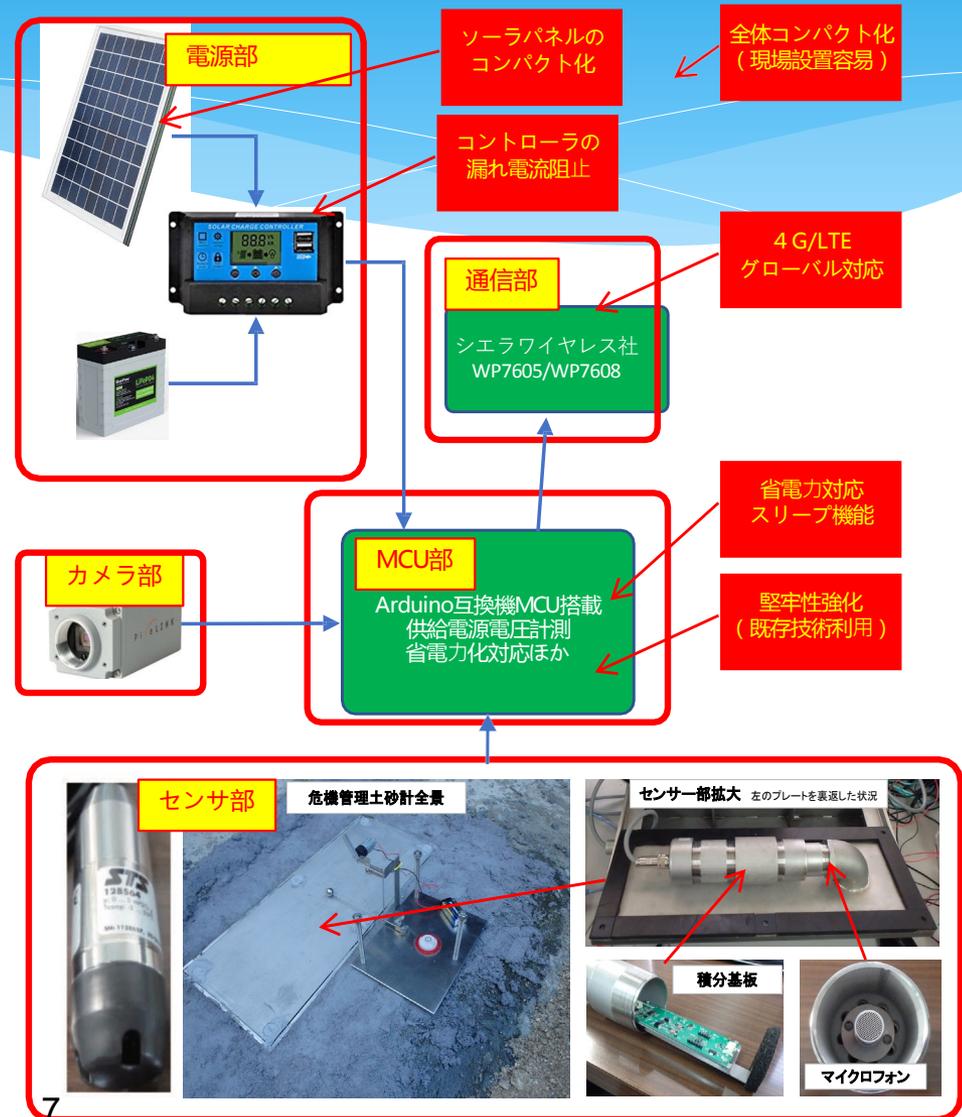
- データ処理
土砂量変換、水位・流量変換
- カメラ映像処理
- データ蓄積
- 制御(警報判定、トリガースイッチ等)

③通信部

- 時系列データをクラウドに送信
- 警報メール送信

④電源部

- ソーラーパネル
- コントララー&バッテリー

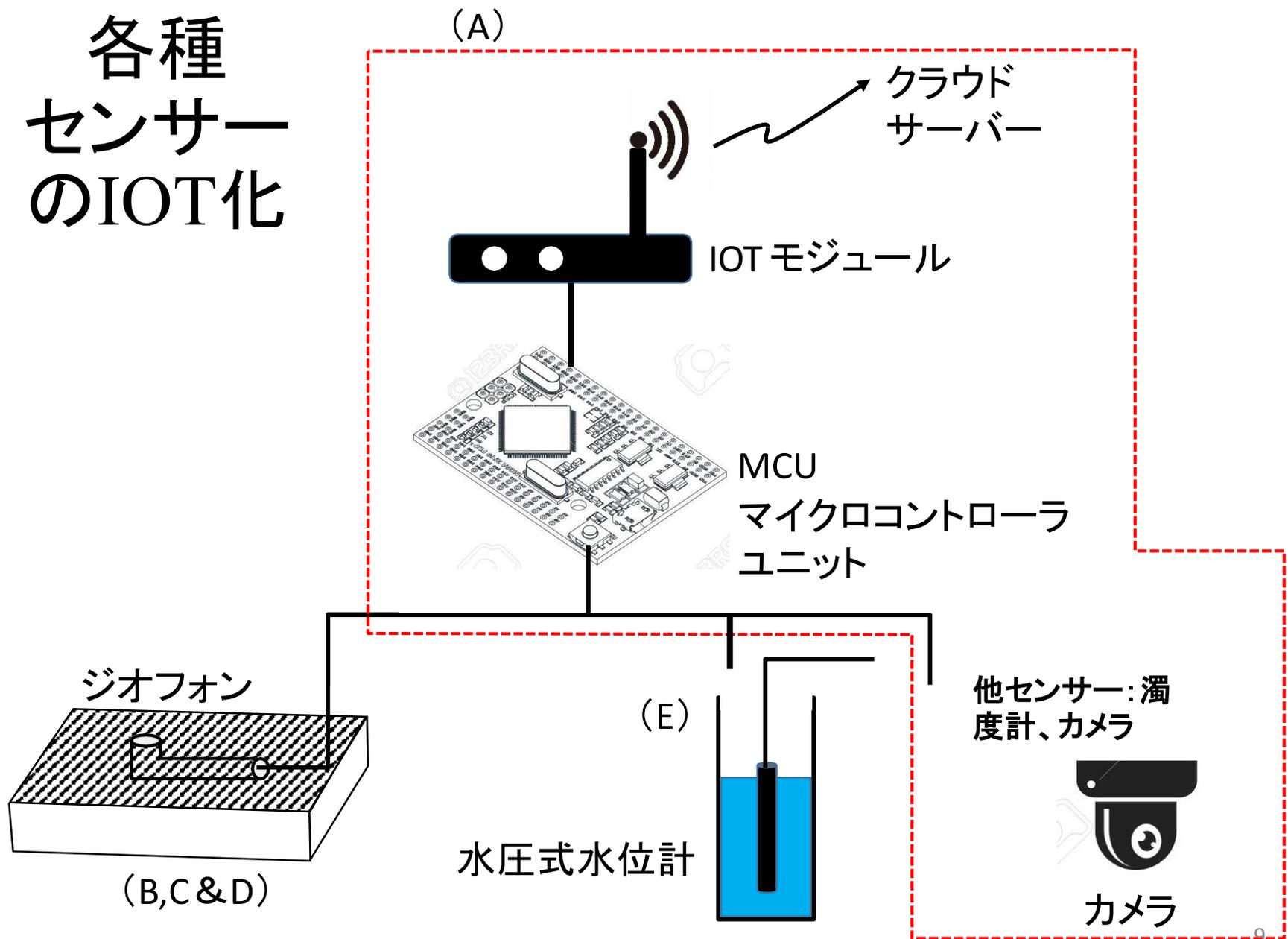


常時監視システムの概念

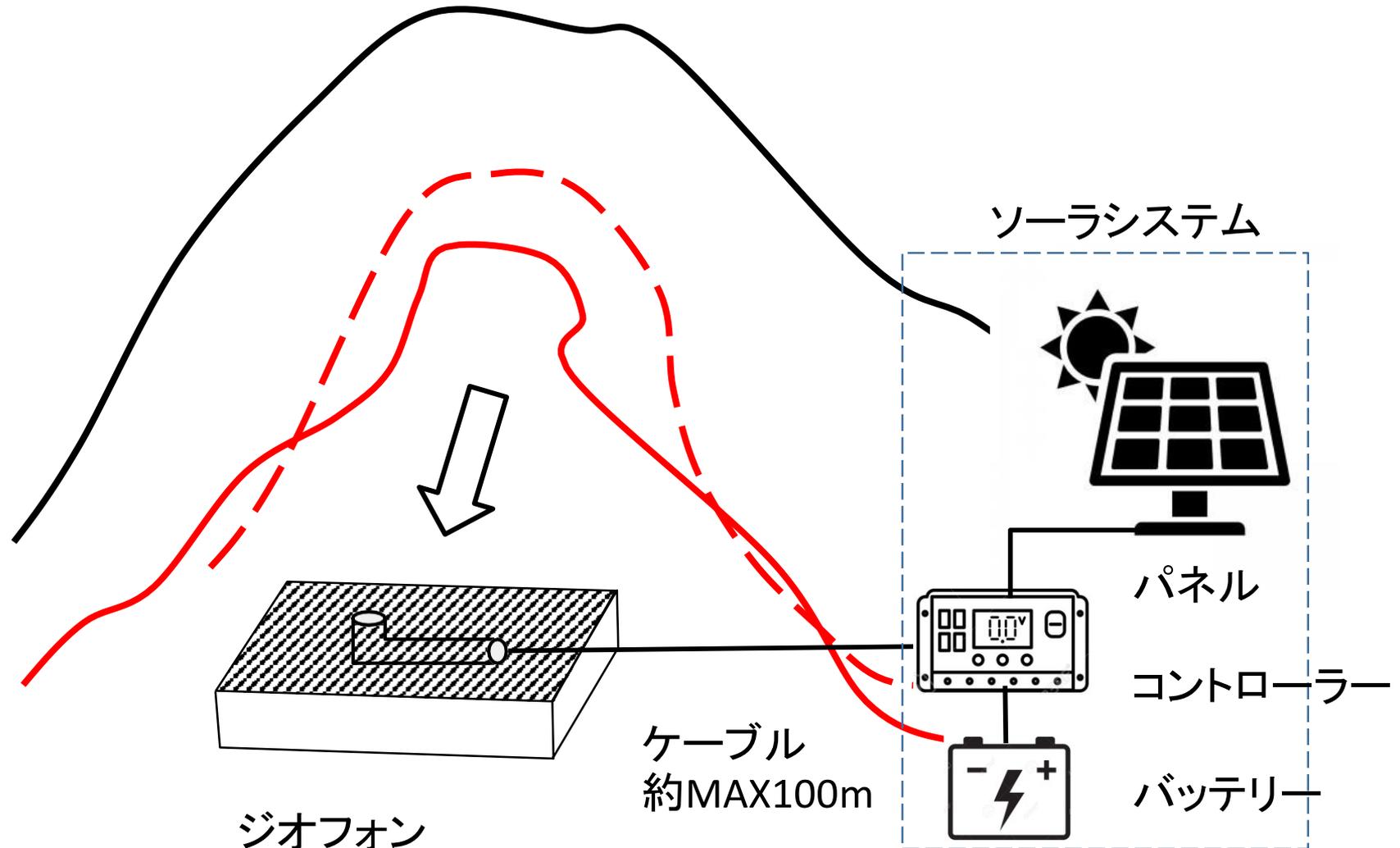


※ [It is the sensor to integrate sediment volume by the collision sound. Another is available to sense vibration.](#)

各種 センサー のIOT化

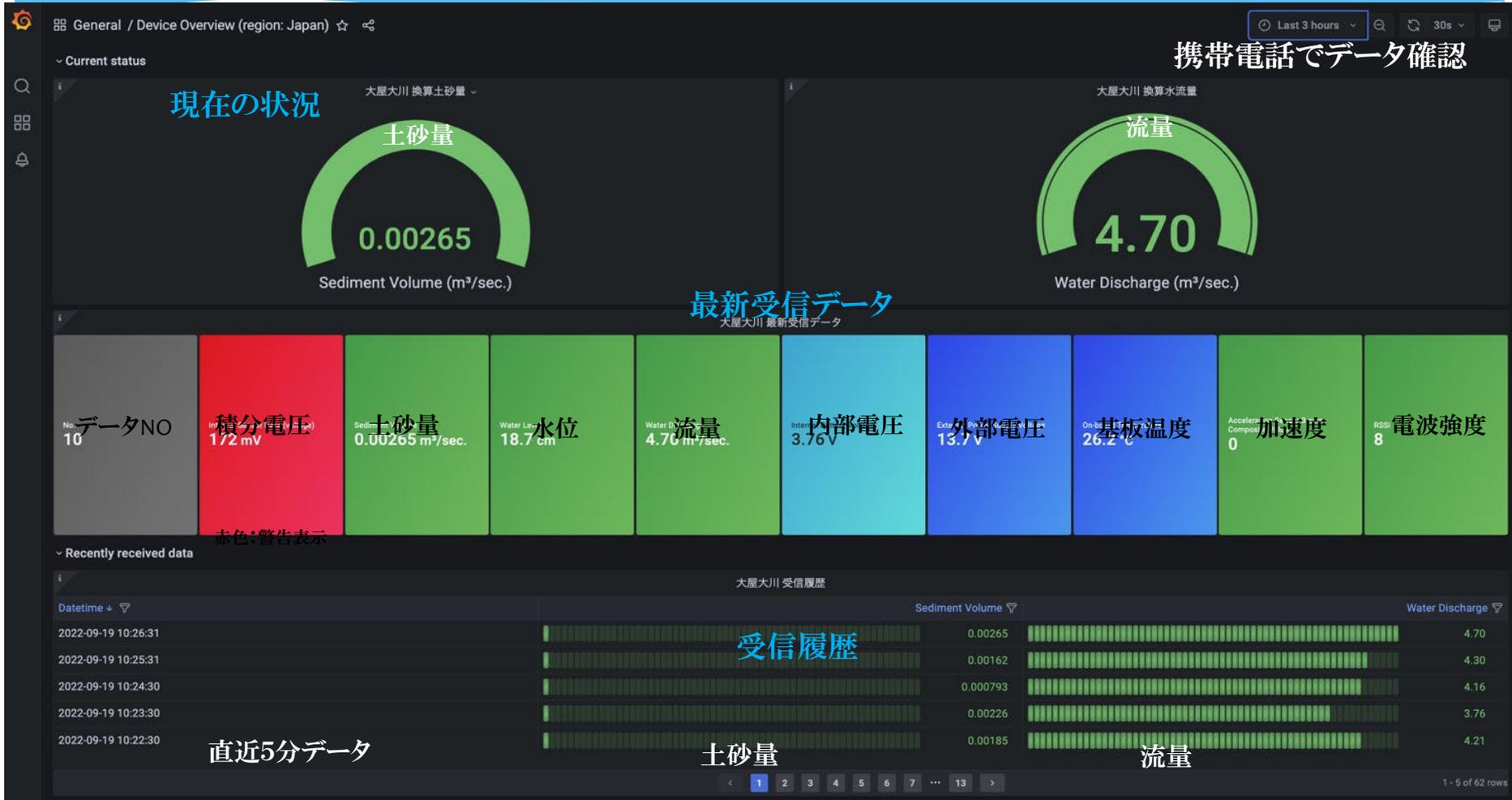


無電化地域でのソーラ電力供給



防災IoTデバイスシステム搭載(大屋大川)

~クラウドサーバーにデータをアップロード~



防災IoTデバイスシステム(大屋大川)

~水位(流量)&土砂量の時系列図~



防災IoTデバイスシステム(大屋大川)

~供給電圧・基板温度・電波強度の監視~



防災IoTデバイスシステム(大屋大川)

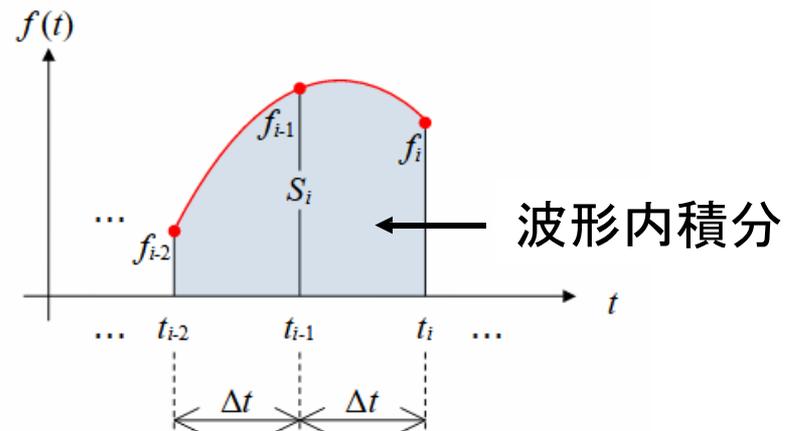
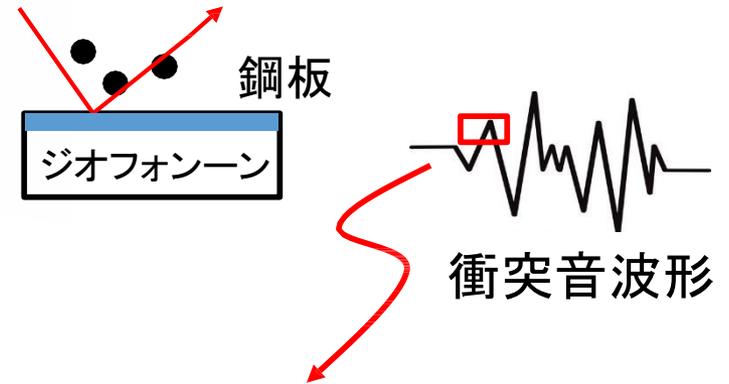
～クラウドサーバーに河川映像をアップロード～



土砂衝突音圧の積分

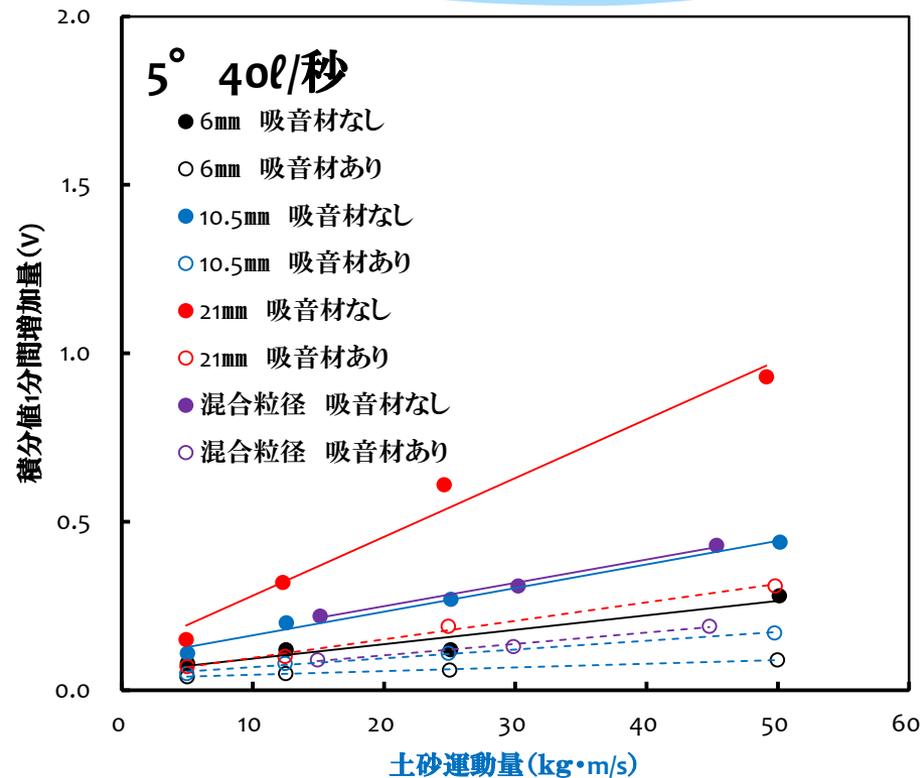
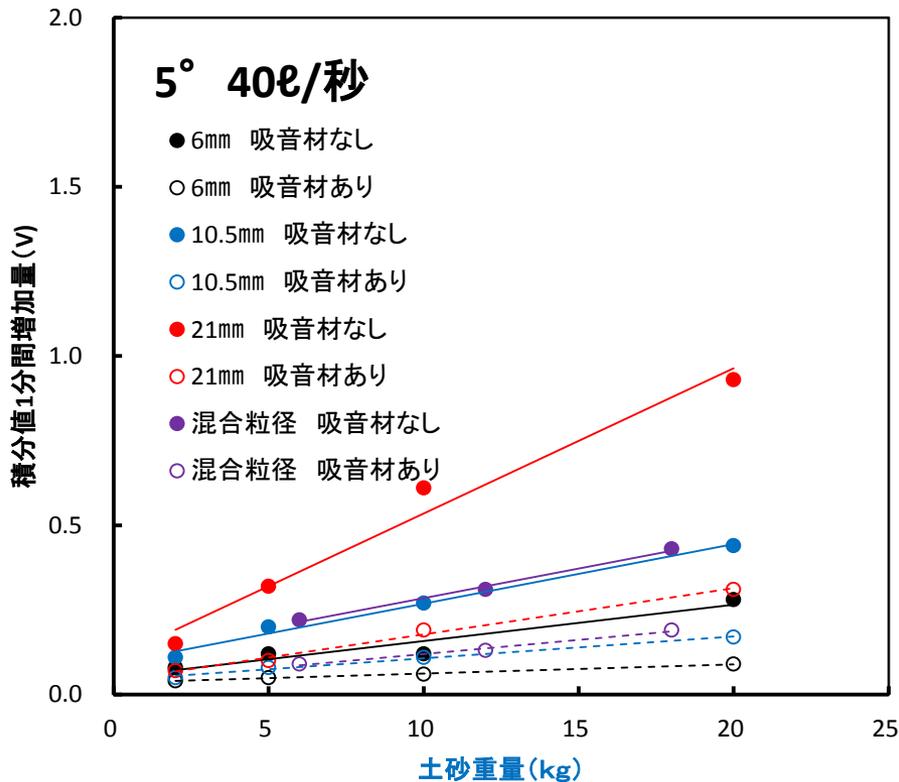


積分回路



音圧積分値から土砂量への換算式

～音圧積分値は運動量(実用的に重量)と比例する～



大屋大川観測結果

(2020年7月出水)

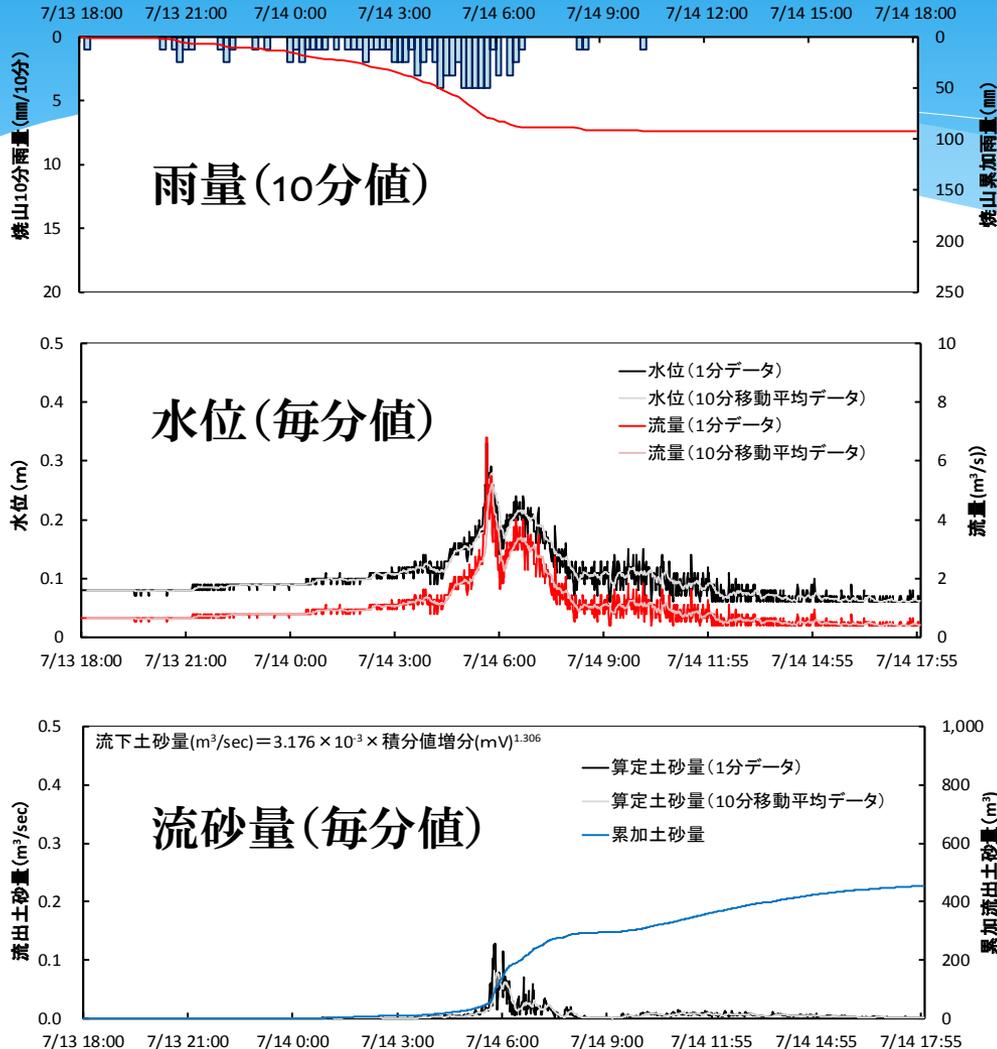


図-1

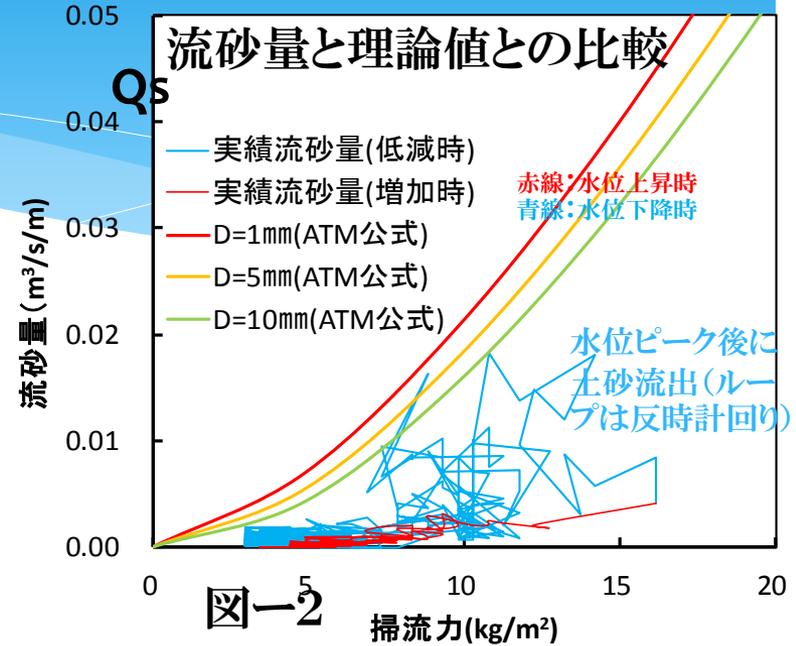


図-2

水位ピーク時 CCTV画像



観測結果の考察

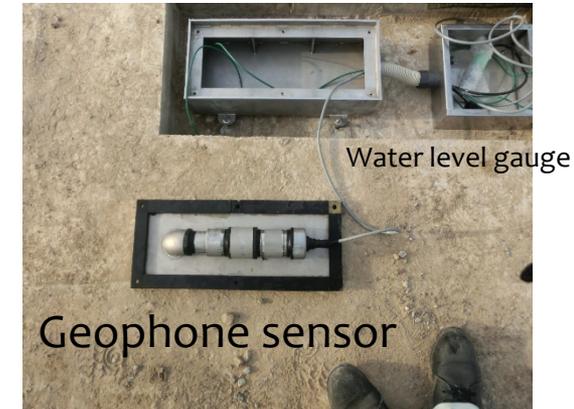
～掃流力 τ と流砂量 Q_s の関係～

- ◎流砂量(Q_s)は水位上昇時(赤線)とピーク後の水位下降時(青線)を示している。粒径毎の流砂量公式による土砂量は水量が運べる可能移動土砂量を意味しています(図-2参照)。
- ◎山腹崩壊等の土砂生産を伴わない出水では、一般的に、掃流力 τ の増大(水位上昇)に伴って土砂量 Q_s は増加し、掃流力 τ の低下(水位下降)では土砂量は低減する。
- ◎観測された Q_s は、掃流力 τ のピーク後(水位のピーク後)に増加することを示しています。両者の関係は反時計回りのループを描く。
- ◎これは、土砂生産は山腹の地下水位が上昇した後に発生する傾向があり、洪水ピーク後に運搬される土砂が増加するためです。
- ◎このことは、地すべりや土石流の被害を予測する上で、流砂モニタリングが重要であることを意味している。

海外設置事例(高温・乾燥地域オマーン) ～ワジ(砂漠の涸れ川)の土砂・洪水監視～



2022年6月設置



ジオフォン土砂災害警報システム 見込まれる効果

- ◎**安全性の向上:** ジオフォン土砂災害警報システムは早期に事前に土砂災害を検知し、適切でかつ説得力のある警報を発することで、住民の安全を確保します。
- ◎**迅速な対応:** リアルタイム流砂モニタリングにより土砂災害のリスクを迅速に把握し、早期警報に基づき効果的な避難指示を出すことで、被害を最小限に抑えることができます。
- ◎**コスト効率:** 長期的に見て、土砂災害発生時の被害を減少させることで、人命の保護、財産の保護および公共インフラ(道路、橋梁、建物等)への被害を最小限に留めることによって修復費用や補償費用を削減できます。
- ◎**データの活用:** システムが収集したデータを分析し、将来的な土砂災害のリスクを予測・評価することで、防災対策を強化できます。
- ◎**実績と信頼性:** 今後、自治体での導入実績や、システムの信頼性のあるデータを提供することで、行政の信頼を得ることを目指します。

ジオフォン土砂災害警報システムの設置場所

◎土砂災害リスクが高い地域(土砂災害警戒区域全国70万箇所):

- * 崖崩れが頻繁に発生する地域
- * 過去に土砂災害が発生したことがある地域
- * 大雨や台風の影響を受けやすい地域

◎人が居住するエリアの近く(市街化区域&市街化調整区域):

- * 「逆線引き」に伴う市街化調整区域
- * 住居や学校、病院などの公共施設の近く
- * 交通量の多い道路や鉄道の近く

◎斜面の急な場所(土砂災害警戒区域の未設定区域):

- * 急傾斜地や崖の下部
- * 山腹や山麓の斜面

◎河川や谷間(大きな被害が発生する地域):

- * 地震等により天然ダムが形成されたダム下流地域
- * 多量の土砂流出を伴った河川の氾濫が引き起こす土砂・洪水氾濫地域

◎地質条件が不安定な場所:

- * 崩れやすい土壌や地盤が脆弱な地域
- * 地滑りが発生しやすい地質構造の場所

これらの場所にジオフォンセンサーを設置することで、土砂災害のリスクを早期に検知し、効果的な警報を発することができます。ジオフォンの設置場所の選定には、地質調査や過去の災害データを活用することが重要です。

補足(1):大粒径礫に対する吸音材の開発

・吸音材の効果

大粒径礫衝突の音を適切に観測するため、吸音材を製作



ウレタンフォームにて製作



➡ 吸音材の装着により音圧積分値(土砂量)が約30%まで低減する。

補足(2): ジオフォン土砂災害警報システムの開発経緯

◎ジオフォン早期警報システムは、平成27、30年&令和3年度先端的防災技術実用化支援事業(公益財団法人東京都中小企業振興公社)の採択を受けて、流砂モニタリングを活用した土砂災害対策に向けた防災技術です。東京都立産業技術研究センターの検査合格を受けています。

- ・平成27年申請テーマ:「ハイドロフォン土石流検知システムの実用化」
- ・平成30年申請テーマ:「ジオフォンを用いた警報システムの実用化」
- ・令和03年申請テーマ:「通信技術を活用したジオフォン土砂災害警報システムの高度化」

◎流砂モニタリング技術は、国交省国土技術政策総合研究所砂防分野でのハイドロフォン流砂水文技術を活用し、さらに、中央大学理工学部手計教授(元富山県立大学)の指導のもと室内流砂水路実験を行って本システムの技術開発を行ってきました。

◎本システムの実証試験は令和元年から令和4年まで国土交通省の支援を受けて広島大屋大川で実施しました。

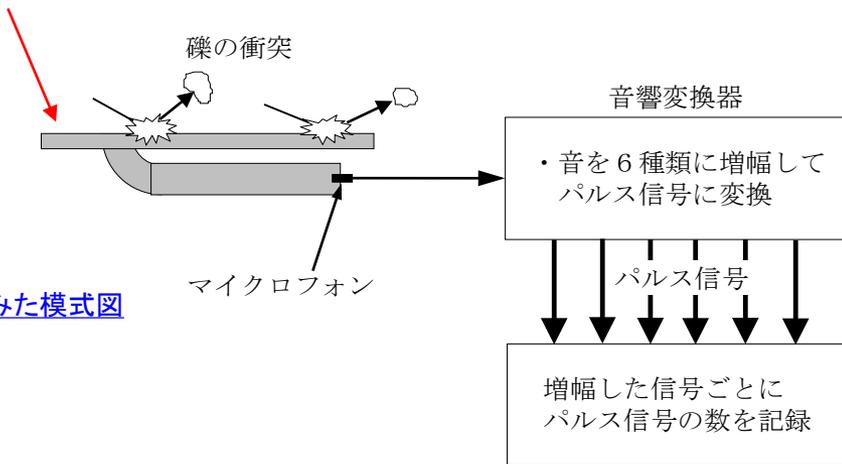
◎本システムの設置実績は、海外案件としてマレーシアサイエンス大学(USM)との共同研究により地滑り対策としてマレーシアに1基設置しました。また、京都大学防災研究所角研究室との共同研究により、中近東オマーンにワジ(砂漠の涸れ川)のフラッシュフラッド(急激な洪水現象)対策として2基設置し観測を開始しました。

◎先月ネパールの土質学会でジオフォン土砂災害警報システムの学会発表を行いました。

補足(3)プレート式 hidroフォン測定原理

概要: 礫の衝突部を厚み12mmにして、耐久性を高めたタイプです。計測波形の処理方法はパイプ式と同じです。

プレート式 hidroフォン
 サイズ: B500mm×W200mm×t12mm
 材質: ステンレス



側面からみた模式図

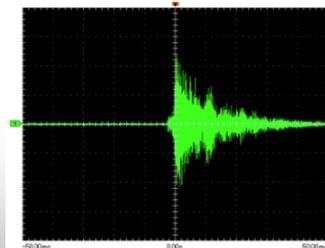
水理模型実験時の写真



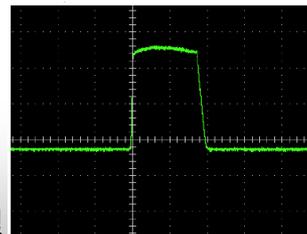
計測波形の処理方法は、パイプ式と同じです

衝突音をマイクروفオンで集音

閾値以上(6種類)の波形を矩形処理

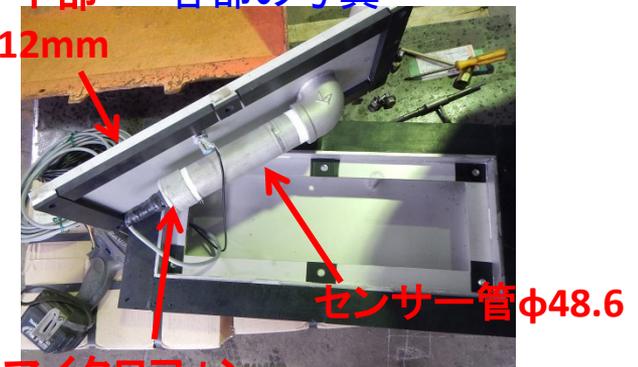


ノイズ除去
包絡線処理



矩形波形(パルス)の数を集計して記録

プレート部 各部の写真
厚み12mm



補足(4) ジオフォン音圧式とハイドロフォンパルス式の比較

天竜川支川小渋川大河原地点左岸における観測値(プレート型)

