

豪雨斜面崩壊予知における 超音波の応用

2018年11月24日

立命館大学
総合科学技術研究機構
防災フロンティア研究センター
上席研究員

田中克彦

概 容

1. 豪雨斜面崩壊予知におけるモニタリングの重要性
2. 超音波による水分水位のモニタリング
3. 野外モニタリングシステムへの展開と課題
4. 今後の展開とまとめ



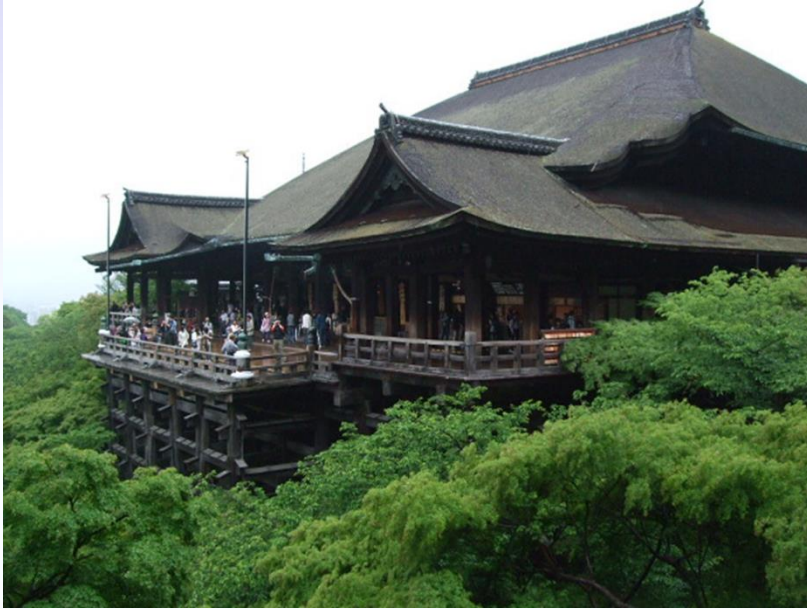
滋賀県朽木村



写真-21 九州自動車道桜島サービスエリアの崩壊直後の状況
(1993年8月3日撮影, 日本道路公団提供) 6章, 13章参照

出典:1993年鹿児島豪雨災害-繰り返される災害-,
土質工学会

文化遺産



清水寺 (京都) 1994年世界遺産登録



清水寺茶店上

2013年9月15-16日 (台風18号)
(2014. 5.17日撮影)



釈迦堂裏山 1972年崩壊

斜面崩壊の予測

雨量指標に基づいた経験的予測

気象庁(地方気象台) 30分間隔雨量
都道府県 土砂災害警戒避難基準雨量

→ 土砂災害警戒情報 → 避難勧告



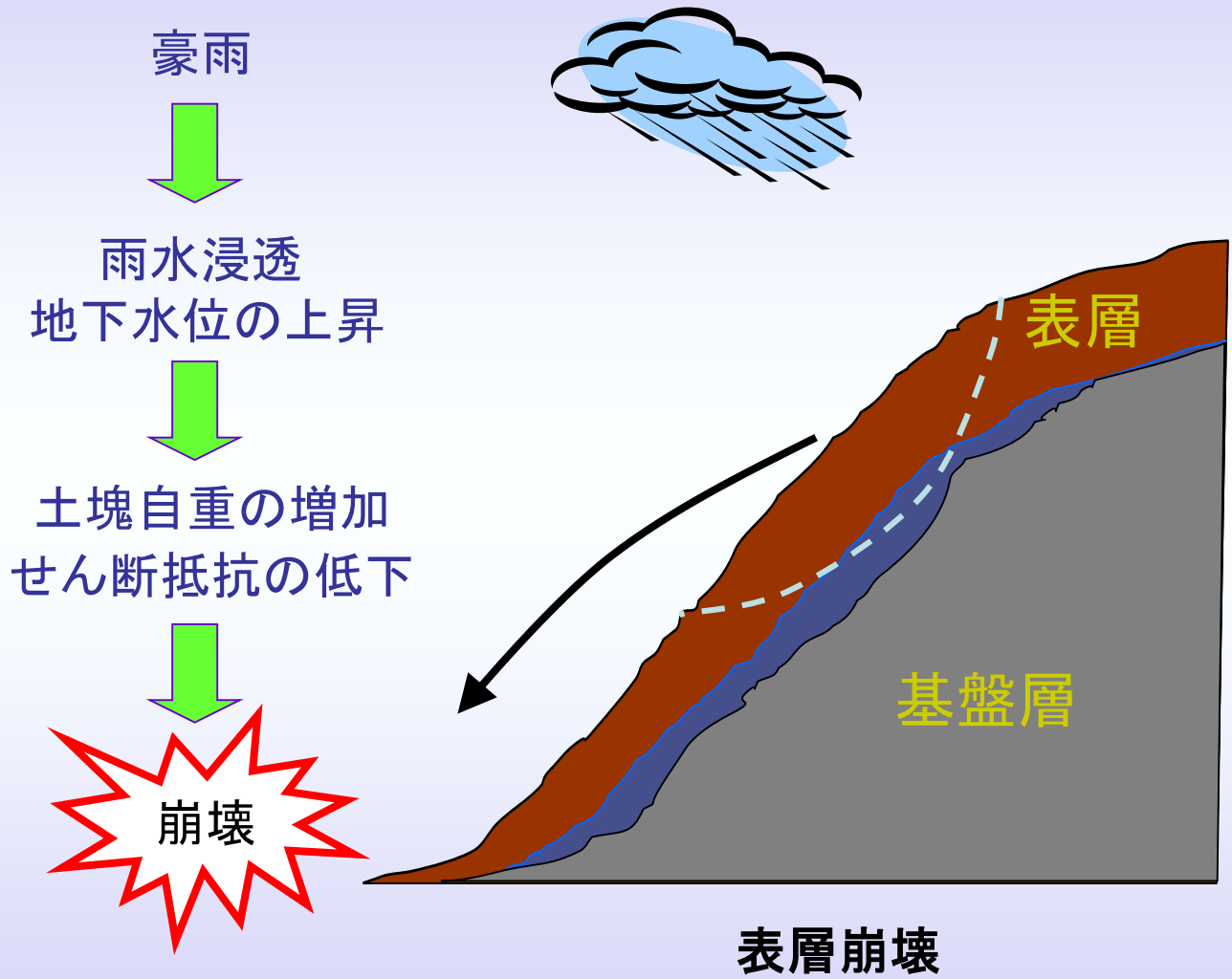
問題点 対象地点における雨量計測データでない
ゲリラ豪雨
植生・地質・風化の程度等の特性や
地下水の流動等を反映していない

斜面崩壊のメカニズムに基づいた予測

現地の雨量データ、地盤情報をもとにリアルタイム
で危険度を評価

豪雨による斜面崩壊のメカニズム

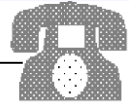
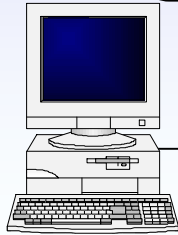
- 斜面崩壊
- 表層崩壊
- 深層崩壊
- 大規模崩壊
- 岩盤崩壊



地中水分、地下水位のモニタリングが重要

現地斜面モニタリングシステム

電話回線のメール機能により現地計測データを回収する。



事務所・研究室

現地のデータをもとに、リアルタイムで斜面の危険度を計算する。

斜面の危険度評価

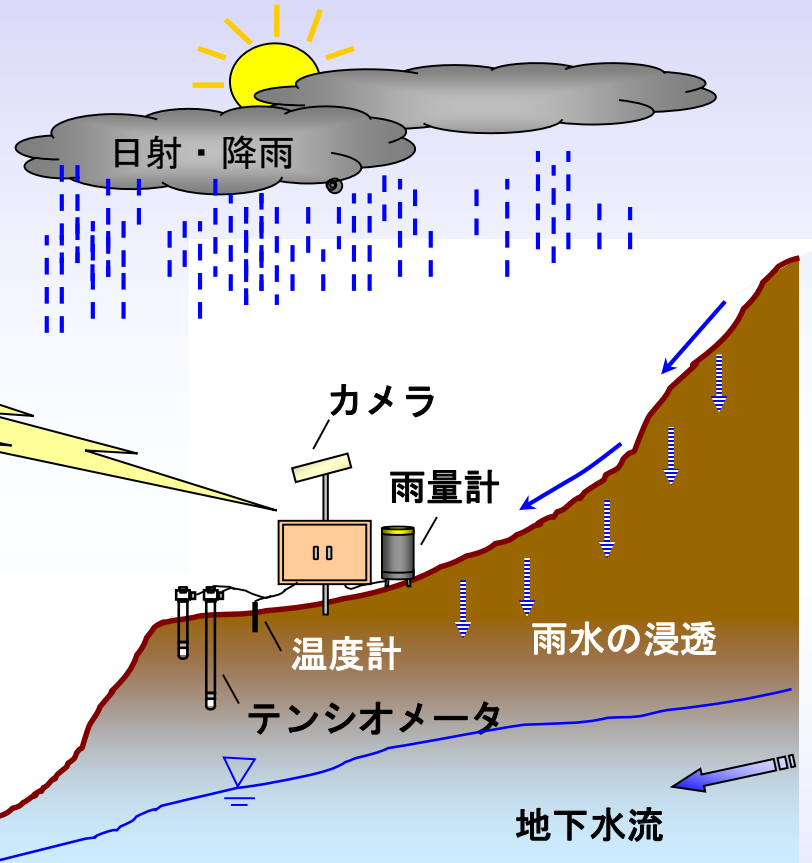
安全

規制解除

危険

再計測

避難勧告・道路規制など



現地計測

危険斜面において、雨量計、温度計やテンシオメータを用い、時々刻々と変化する現地斜面の10分間雨量、地中温度とサクシヨンの値を計測する。また、カメラにて現地の状況を監視する。

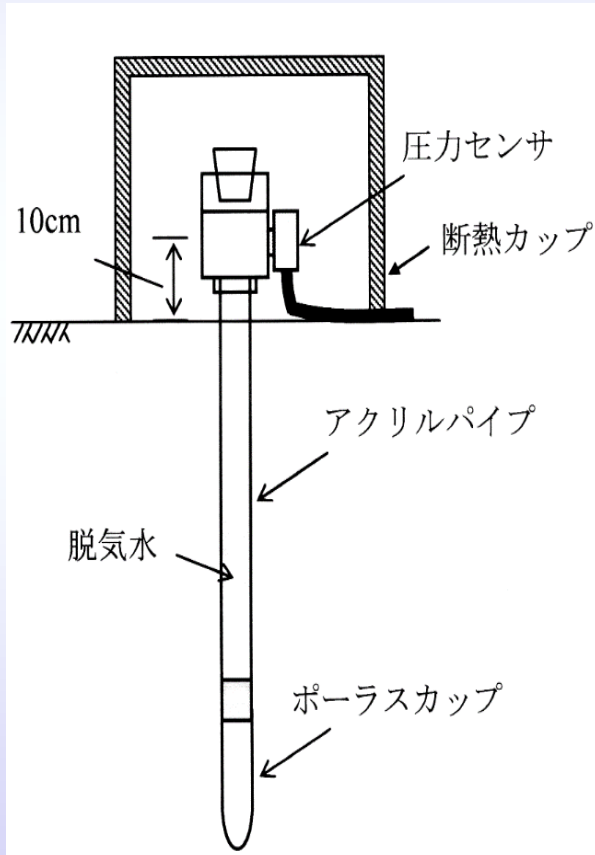
現地斜面モニタリングシステム



土中の水分量計測

- テンシオメータ
- 静電容量計測(誘電率土壌水分計)
- 電気抵抗計測
- 中性子、ガンマ線による計測
- 地中レーダ法
- 超音波計測

土中不飽和領域の間隙水圧計測



長さ: 30cm~2m



利 点 設置が容易

問題点 ①高価 (数万円)

②日常的メンテナンス(脱気水を補給)

③冬季凍結

静電容量(誘電率)計測

誘電率土壌水分計

含水量が多いほど誘電率が高い

比誘電率 空気: 1
水 : 81

静電容量を測定

問題点

- ①測定値が塩分、温度の影響を受ける
- ②埋設が面倒
直径20cm程度の掘削孔が必要
- ③測定地盤が乱れて、本来の計測したい
現地自然地盤と異なる
- ④高価



メイワフォーシスKK.カタログより
70MHz、サイズ8.9L x1.8W x0.7t(cm)



ADR法 (Amplitude domain
reflectometry method)

地下水位の計測

- フロート式
- 触針式
- 水圧式
- 超音波式
- キャパシタ式



細径水圧式水位計

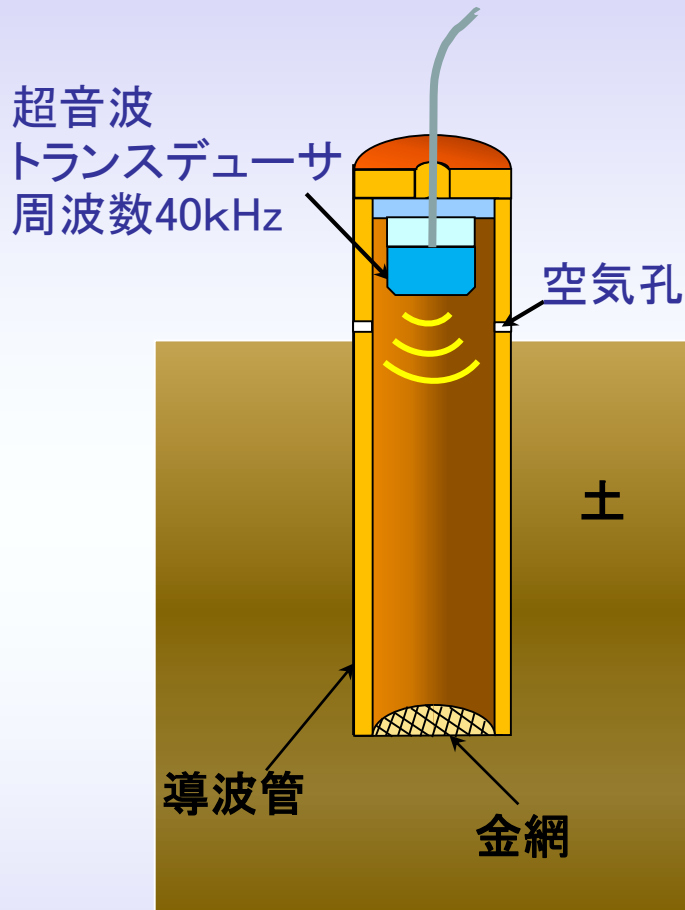
WW4437

横河電子機器KKカタログより

直径 17.5mm

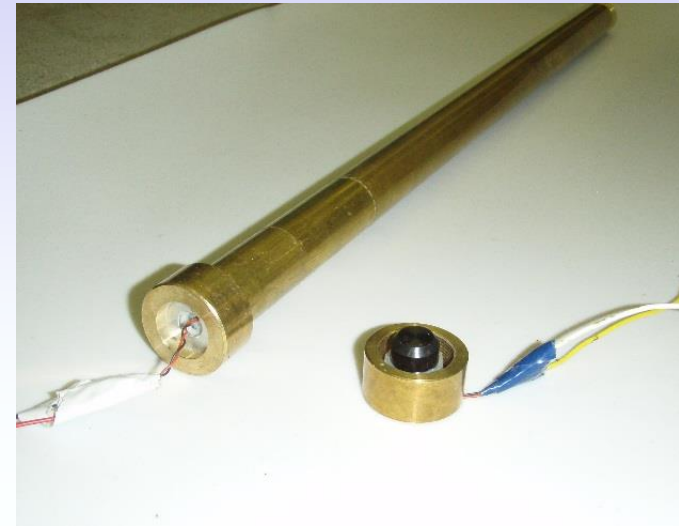
1. 豪雨斜面崩壊予知におけるモニタリングの重要性
2. 超音波による水分水位のモニタリング
3. 野外モニタリングシステムへの展開
4. 今後の展開とまとめ

超音波による土中水分状態計測



中空パイプ

ステンレスまたは真鍮製
内径 18 mm、外径 22 mm、
長さ 0.5~2 m



超音波トランスデューサ 超音波送信波形

バースト波、周波数 40 kHz

利点

安価な検出器
設置に容易
測定地盤の乱れが少ない
日常的メンテナンスがない

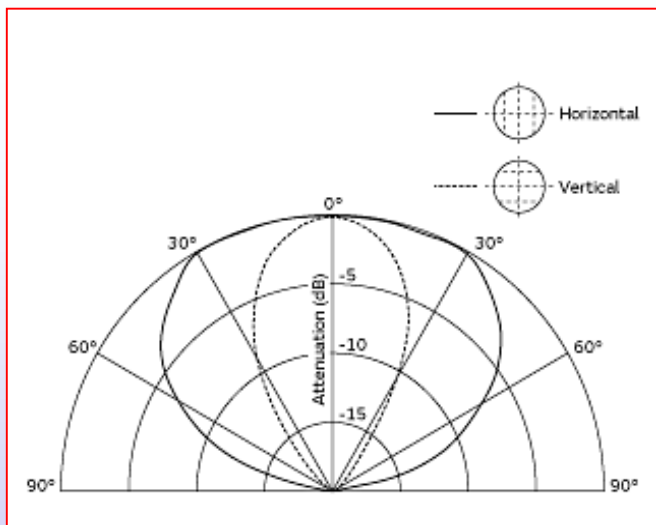
超音波トランスデューサの仕様

MA40MF14-0B [村田製作所]



自動車の後方検知用

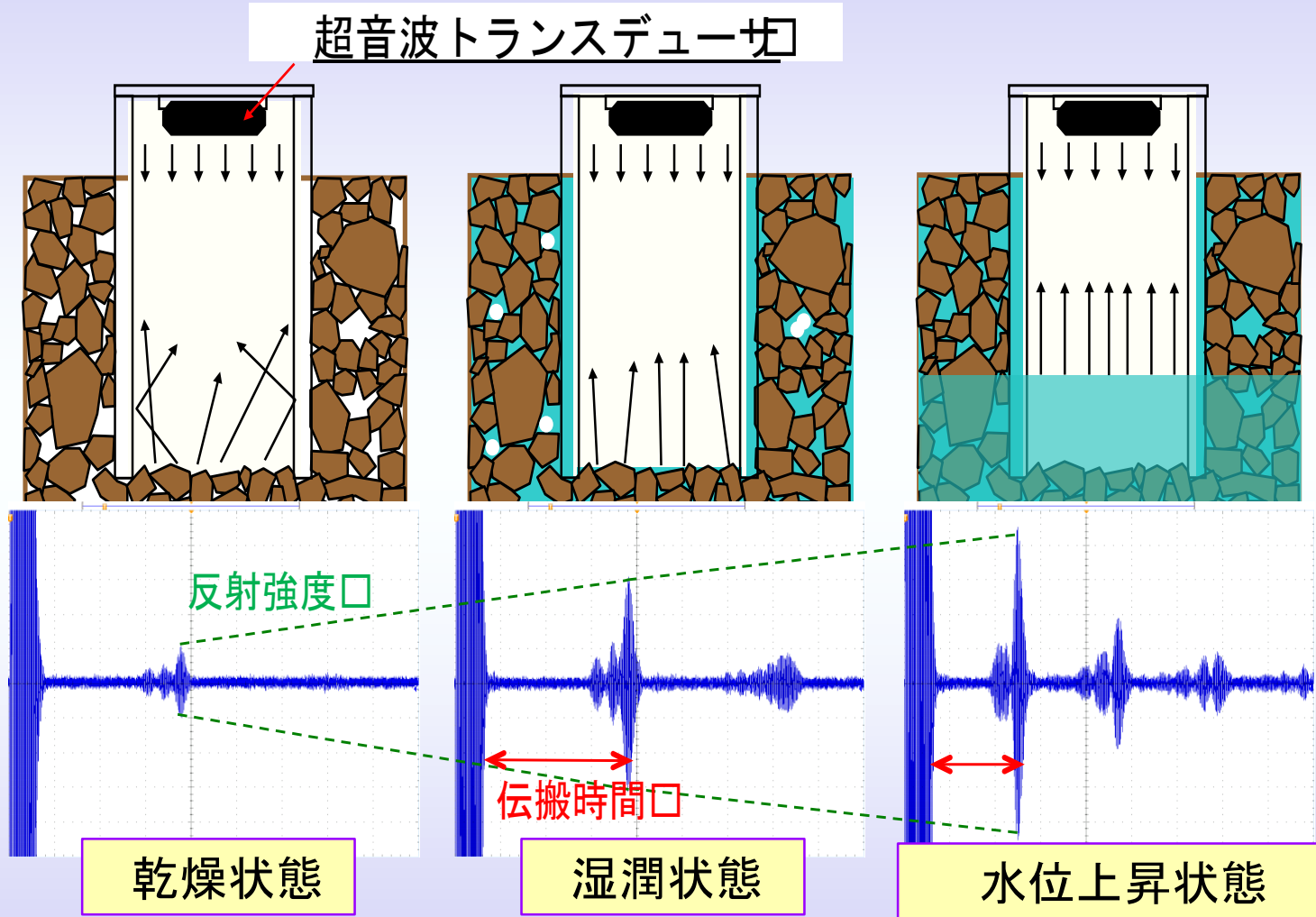
使用温度範囲	-40°C ~ 85°C
構造	防滴型
使用方法	送受兼用
中心周波数	40kHz
感度	-87dB min. (0dB=10V/Pa)
音圧	101dB min. (0dB=20μPa)
指向性	110° x50° (typ.)
静電容量	2700pF
静電容量公差	±20%



送受感度指向性

<http://www.murata.com/ja-jp/products/productdetail?partno=MA40MF14-0B>

超音波による水分・水位計測の原理



反射強度 → 水分状態

伝播時間 → 地下水位

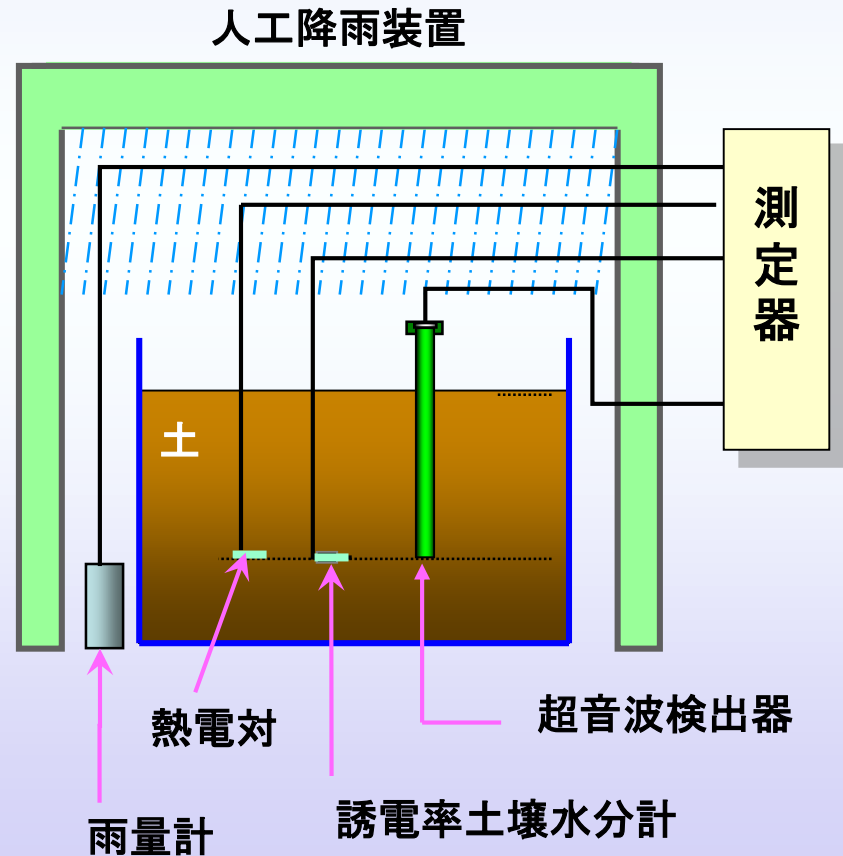
室内降雨実験(予備実験)



人工降雨装置



試験土槽 (φ38cmx50cm)



室内降雨実験結果

豊浦標準砂



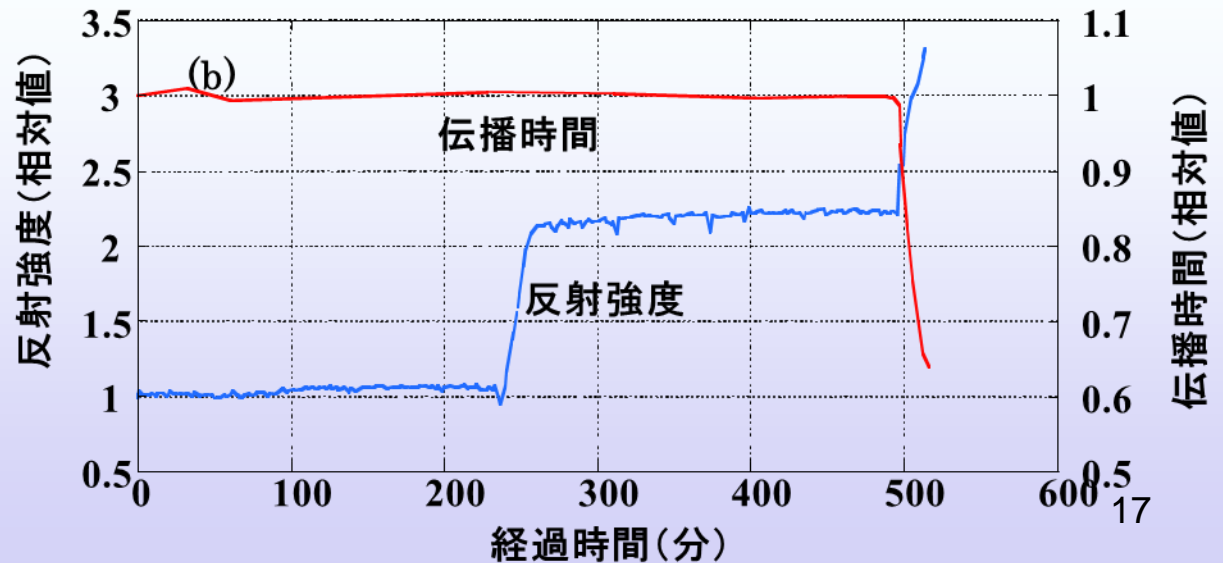
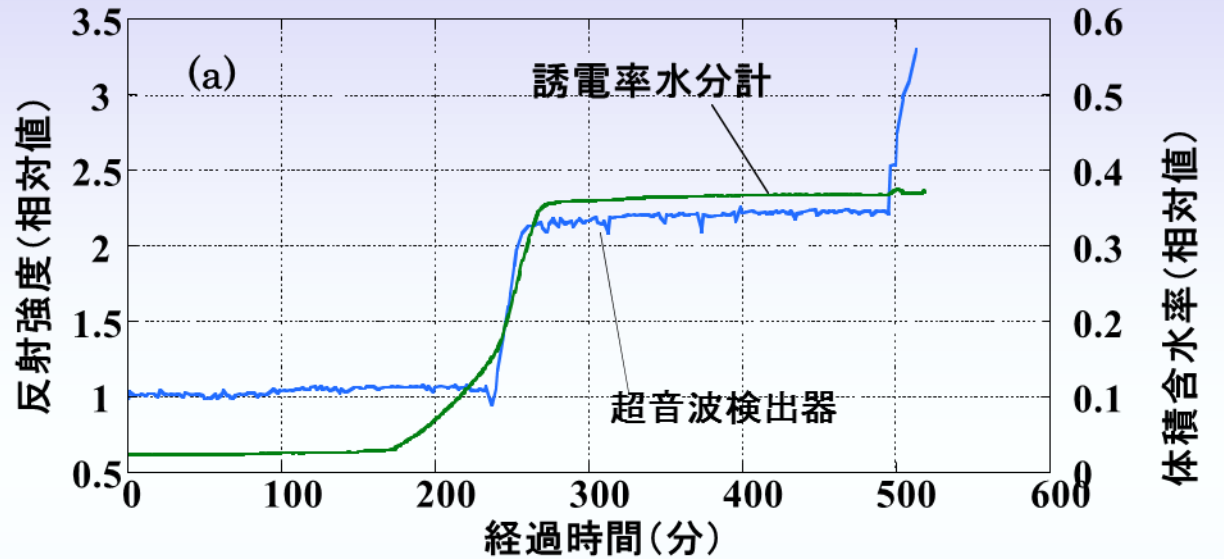
細かい土

最大粒子径 2.0mm

平均粒径 0.26mm

均等係数 1.5

降雨強度 10-15mm/h



屋内実大斜面実験

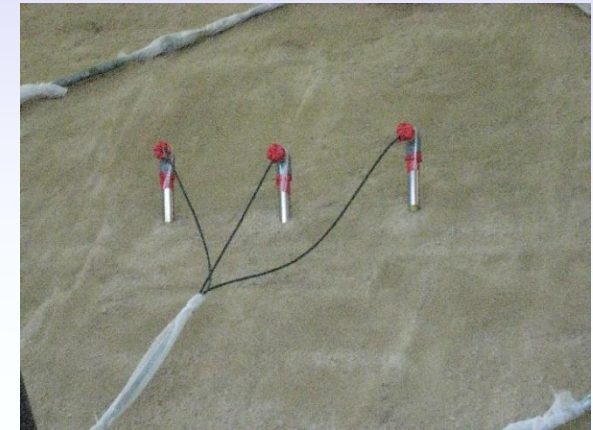
防災科学技術研究所



大型降雨実験施設
幅49mx長さ76mx高さ21m



実大斜面



超音波の設置



降雨中の様子



崩壊後の様子

斜面サイズ
幅9m
高さ4.5m
傾斜40°
土層厚さ 1m(鉛直)

実大斜面実験

まさ土の特性値

試料	筑波産まさ土
初期含水比 w (%)	4.80
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.62
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.70
間隙比 e	0.59
最大粒径 (mm)	9.5
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.70
透水係数 k (m/s)	1.40×10^{-3}
均等係数 U_c	8.6
曲率係数 U_c'	2.8

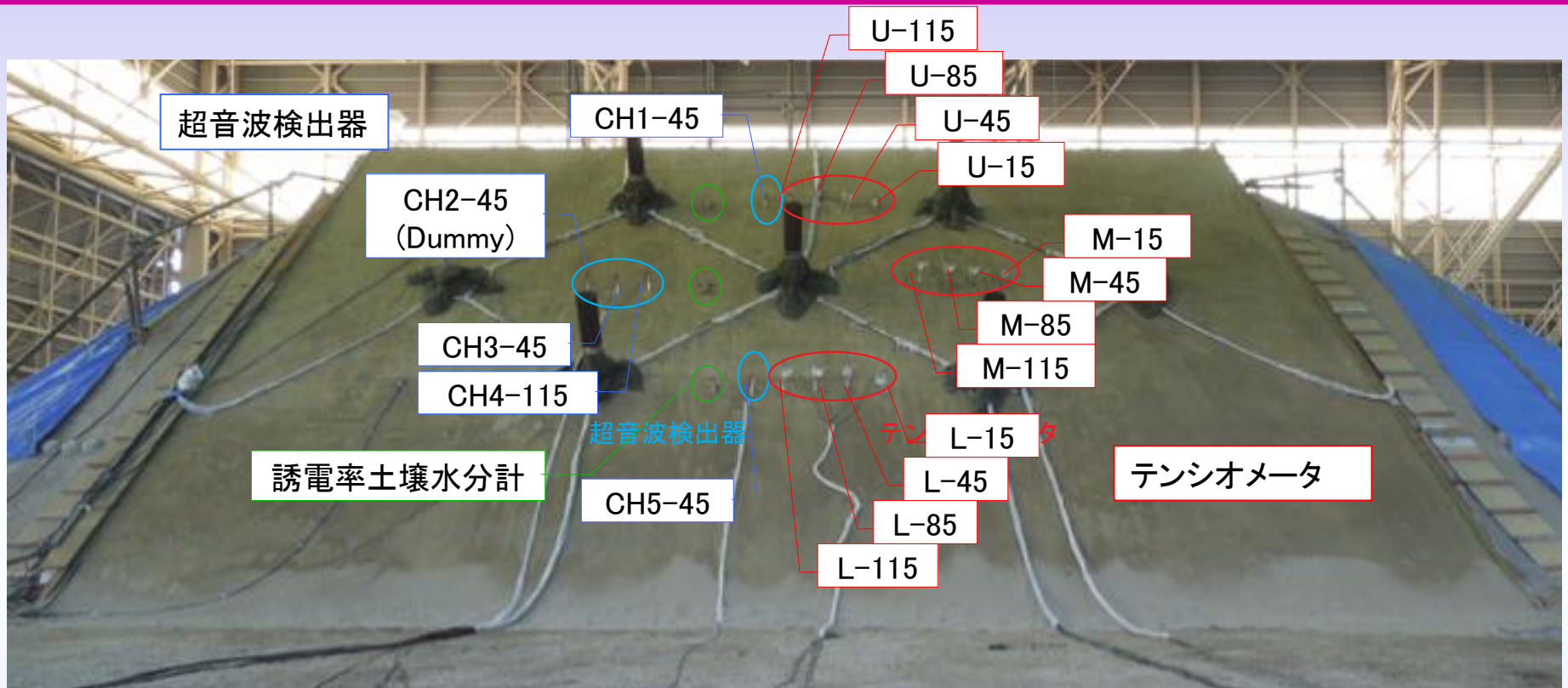
設置計測器

超音波検出器
 テンシオメータ
 誘電率土壌水分計
 水位計
 伸縮計
 内部ひずみ計

超音波検出器の設置位置

チャンネル番号	ch1	ch2	ch3	ch4	ch5
設置位置	上 段 45 cm	中 段 45 cm	中 段 45 cm	中 段 115 cm	下 段 45 cm

実大斜面実験の検出器配置

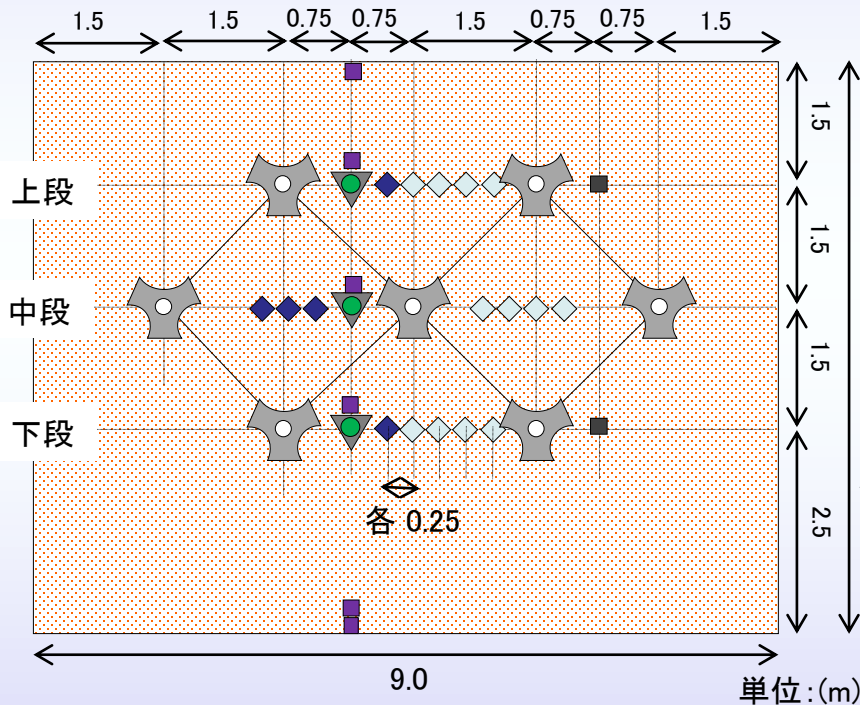


計測機器

測定機器	計測グループ	設置位置	計測間隔
土壌水分計	防災科学技術研究所 東洋計測リサーチ	上中下段4深度 計12基	10秒
テンシオメータ	立命館大学	上中下段4深度 計12基	10秒
水圧式水位計	防災科学技術研究所 東洋計測リサーチ	斜面底面 計6基	10秒
超音波検出器	立命館大学	上段1深度 中段2深度 下段1深度 計5本	18秒

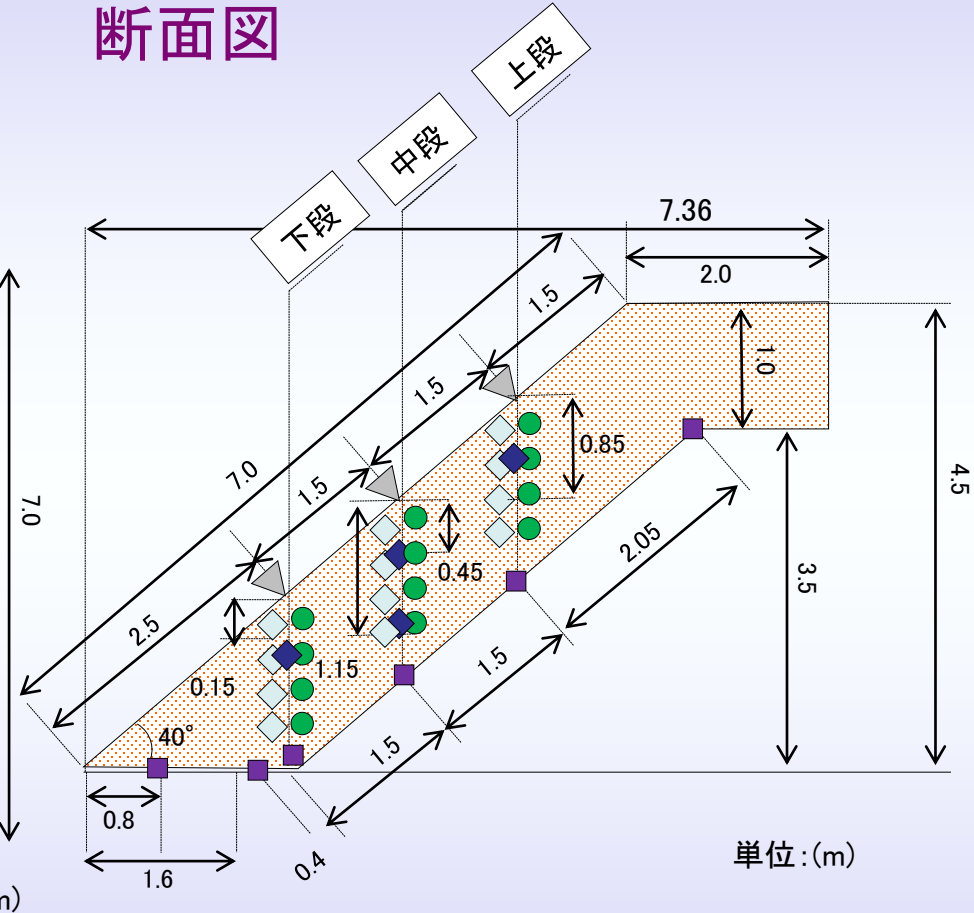
検出器の配置

斜面投影図



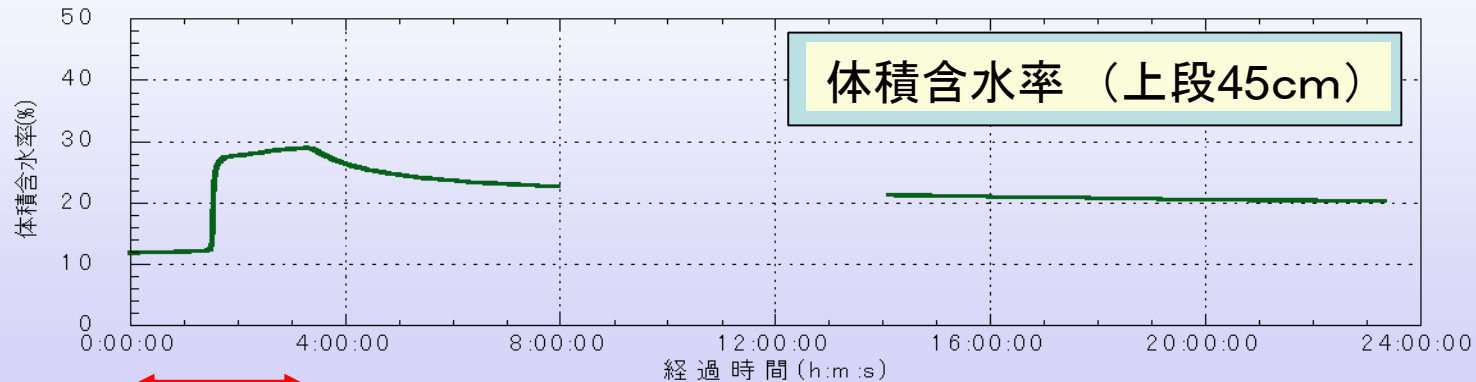
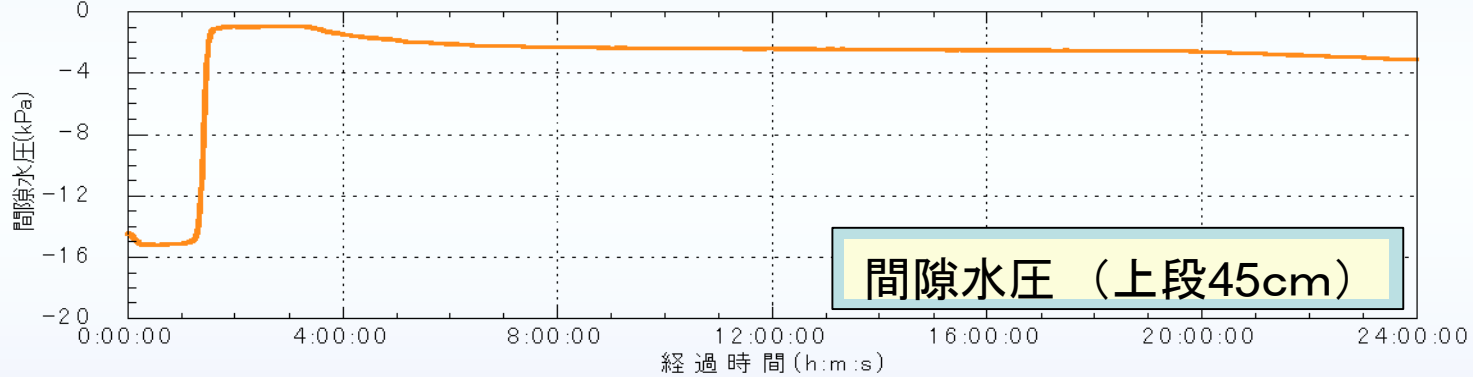
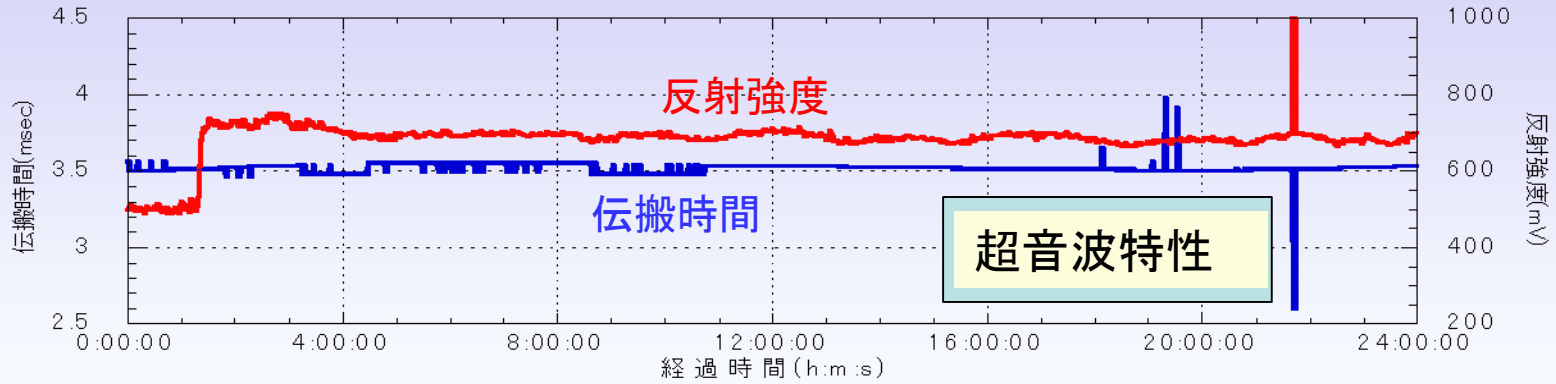
- 土壌水分計
- ◇ テンシオメータ
- 水位計
- ◆ 超音波検出器
- ▲ 伸縮計
- 内部歪計
- 杭

断面図



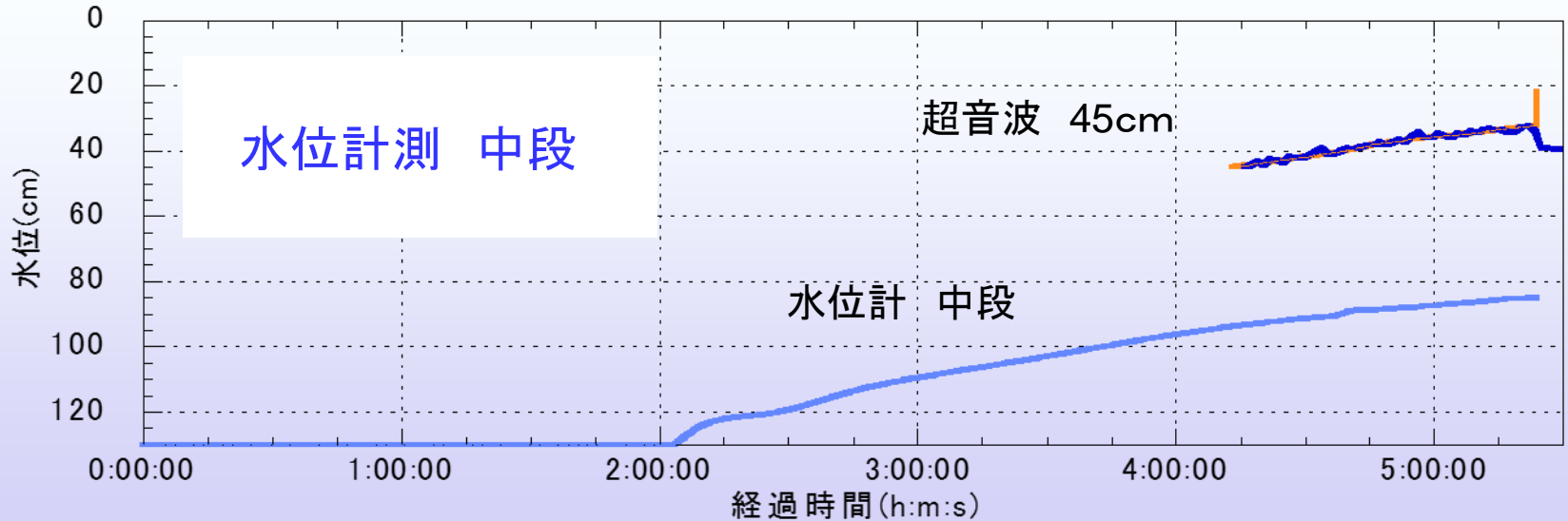
- 土壌水分計
- ◇ テンシオメータ
- ▲ 伸縮計
- 水位計
- ◆ 超音波検出器

実大斜面実験



降雨30mm/h、3:13終了

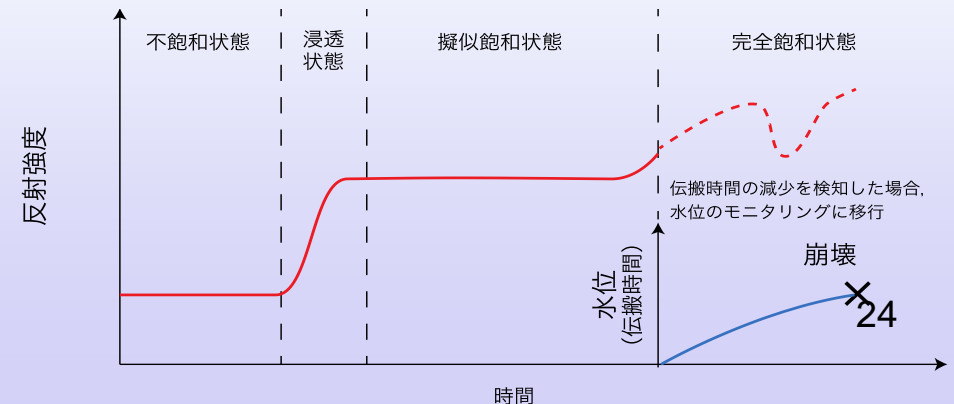
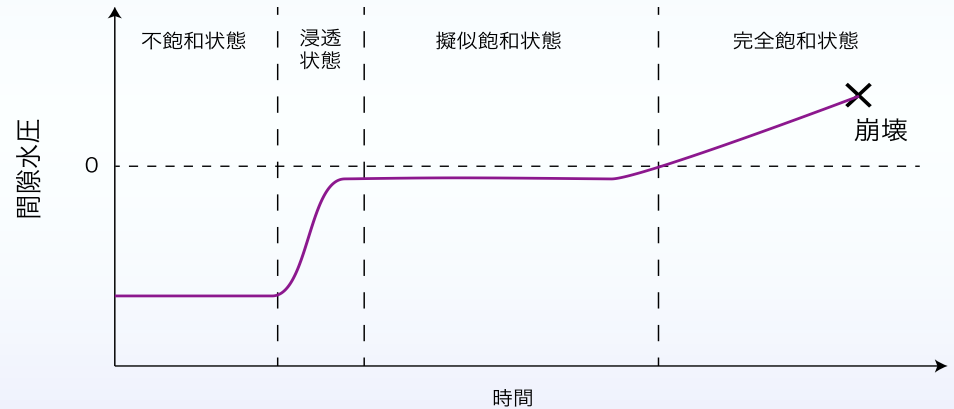
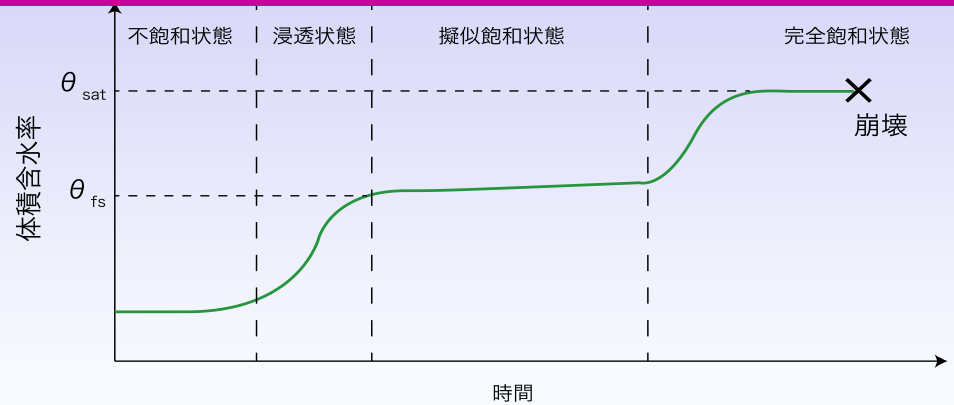
実大斜面実験



体積含水率、間隙水圧、超音波の対比

実大スケールの斜面において水分量上昇に伴う反射強度の増加，水位上昇に伴う伝搬時間の減少を確認した。

誘電率土壌水分計(TDR法)による水分測定やテンシオメータと同様に，超音波測定でも崩壊直前の危険な水分状態を判断可能であり，**崩壊予測のためのモニタリング手法として有用**であることが確認された。



超音波によるモニタリングの利点

利点

- ① 検出器が安価
- ② 設置が容易
- ③ 日常的メンテナンス不要
- ④ 冬季凍結期にも使用可能
- ⑤ 水分と水位の両方を同時にモニタリング
- ⑥ 観測地盤の乱れが少ない



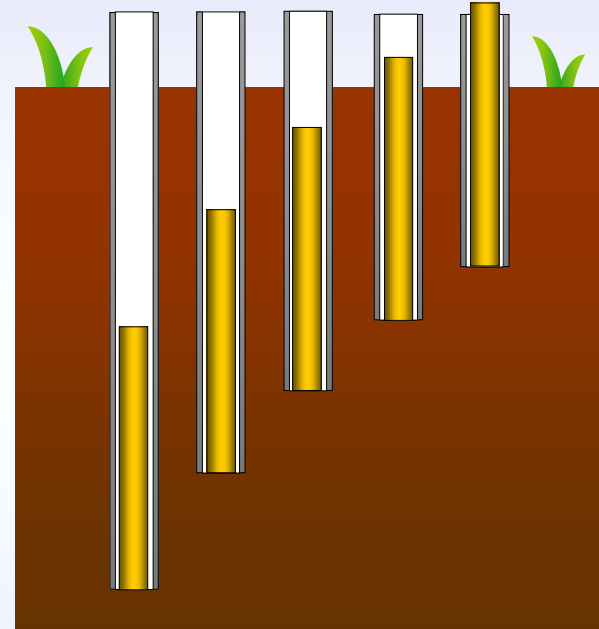
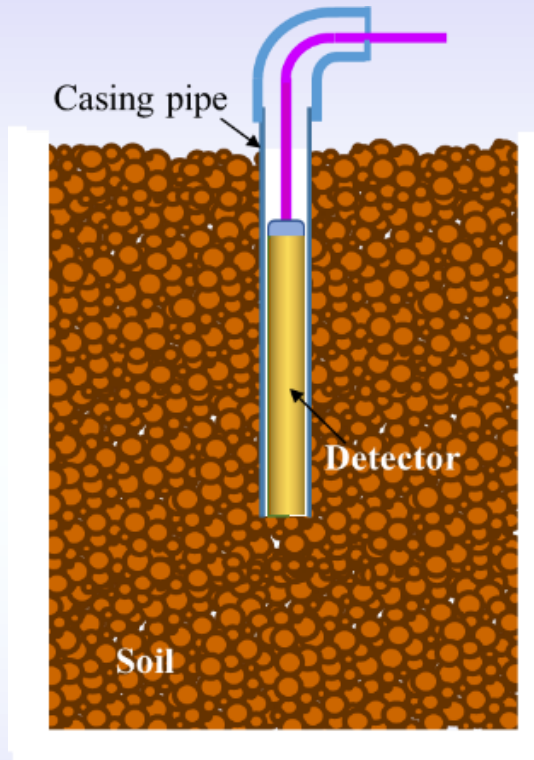
広域多地点モニタリング

すなわち

対象エリア全体を安い費用で監視するのに適している。

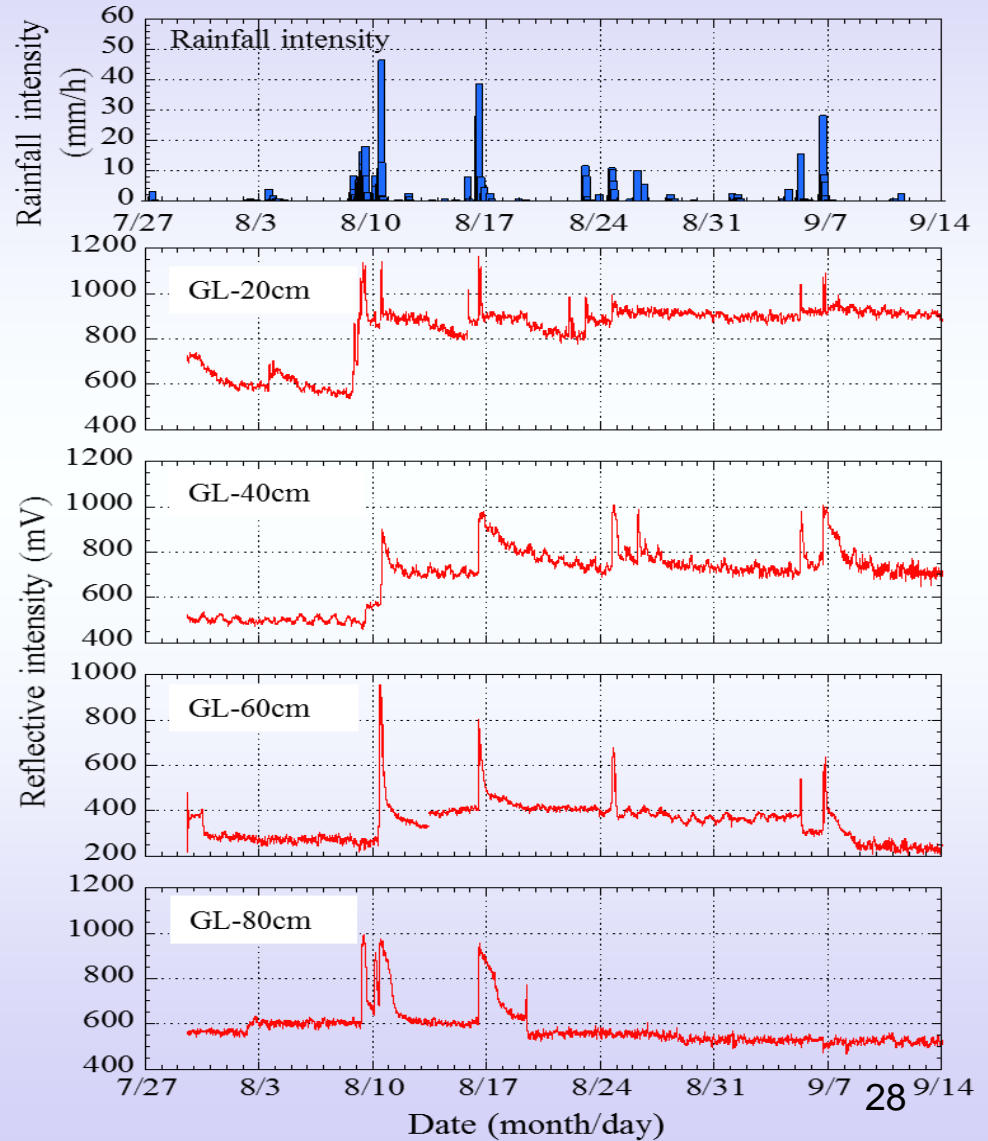
1. 豪雨斜面崩壊予知におけるモニタリングの重要性
2. 超音波による水分水位のモニタリング
3. 野外モニタリングシステムへの展開
4. 今後の展開とまとめ

ケーシングパイプ方式



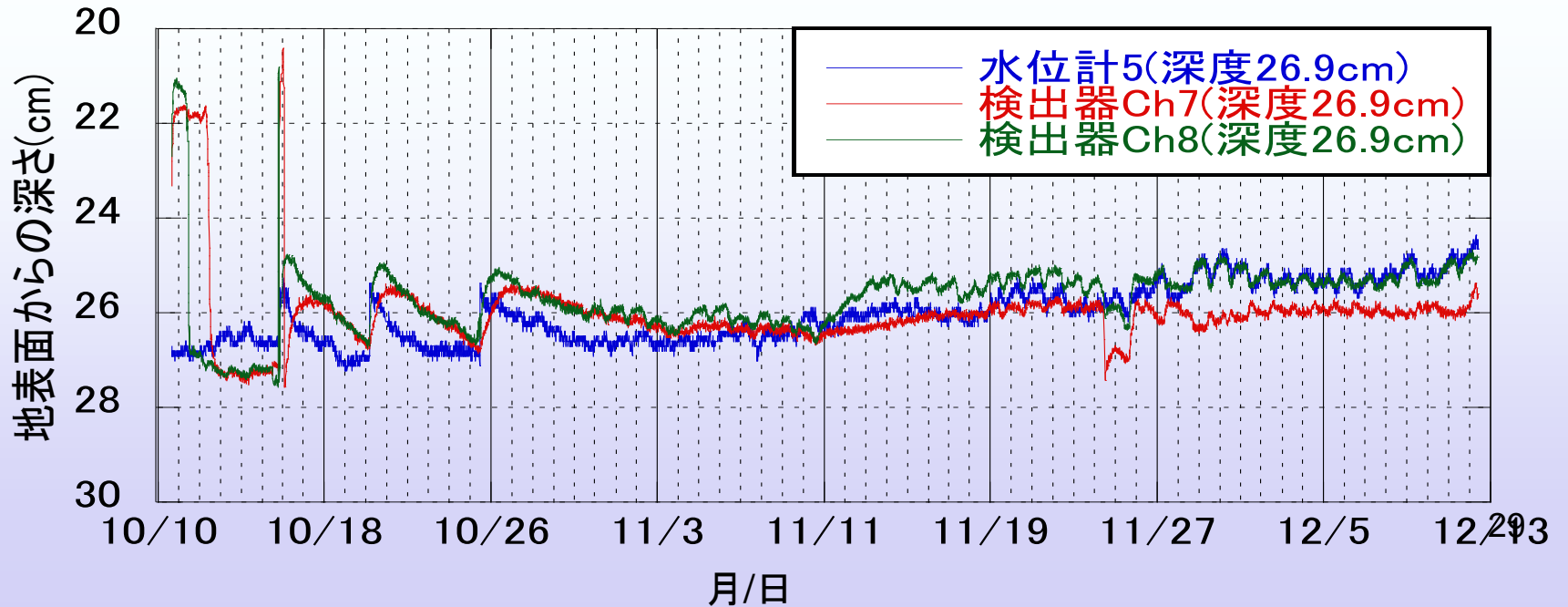
- ・検出器長さが統一されていることで減衰量も統一され解釈が容易。
- ・検出器上端が地表面より深いものは温度の影響を受けにくい。
- ・設置深さに上限がない。

京都清水寺後背斜面（雨量と反射強度）



実施期間：2014/7/27－9/14

滋賀県田上山地 不動寺 (地下水)



清水寺多地点多深度モニタリング

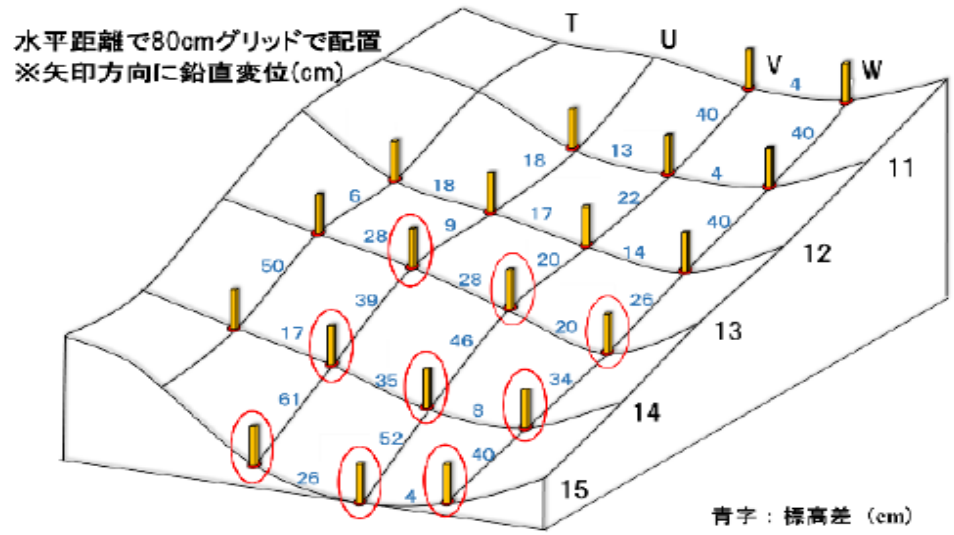
32ch

3x3地点、3深度

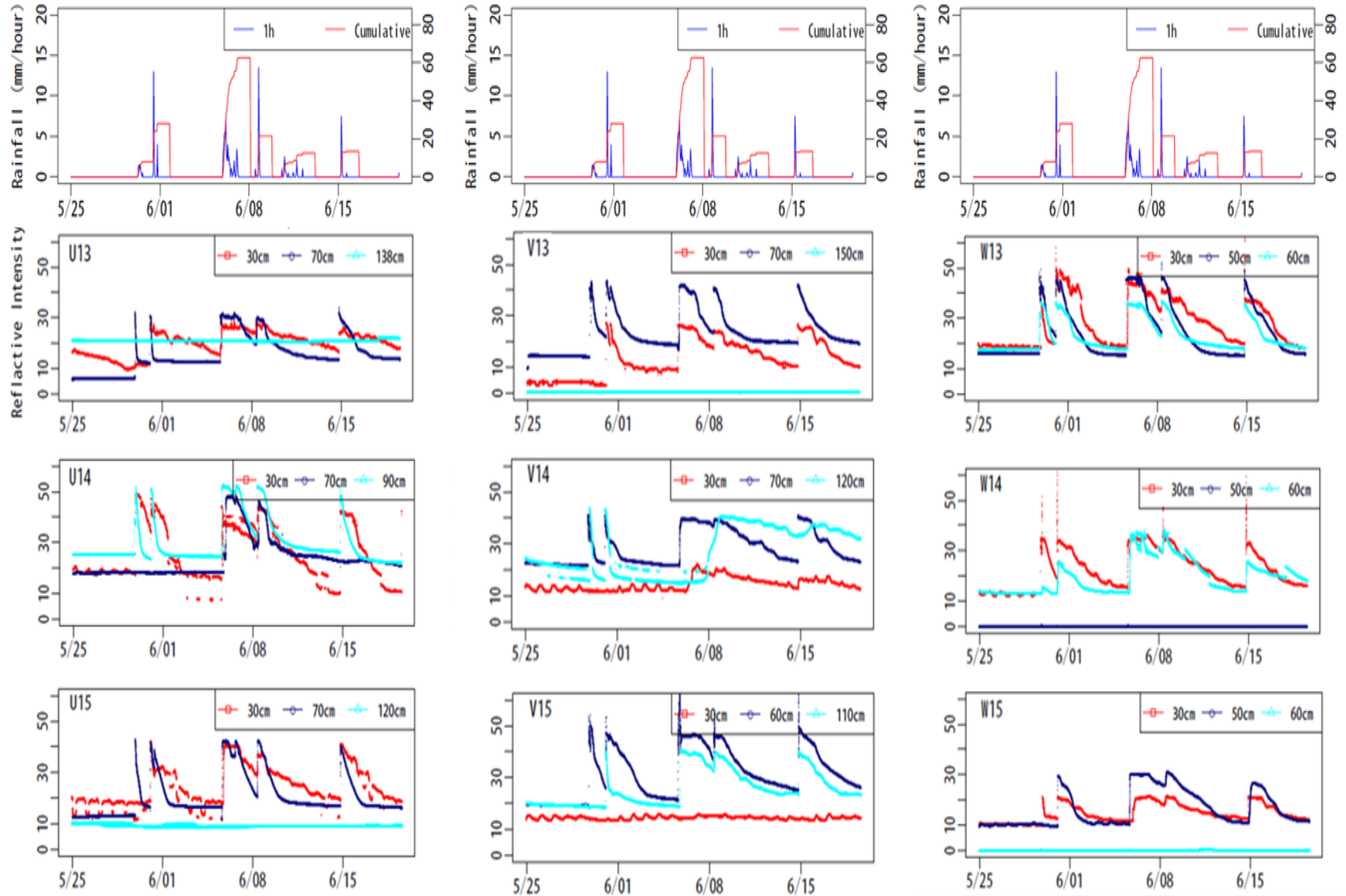
80cmグリッド

(水平距離)

2,018年測定開始



降雨量と反射強度



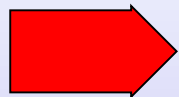
1. 豪雨斜面崩壊予知におけるモニタリングの重要性
2. 超音波による水分水位のモニタリング
3. 野外モニタリングシステムへの展開
4. 今後の展開 とまとめ

現地モニタリング実用化の課題

- ①土表面(粒子)の影響……
土表面の平坦化、ポーラスメタルの採用
- ②温度依存性……地中設置
- ③落雷……避雷器の設置
- ④獣による断線……コルゲートチューブ被覆
- ④積雪による検出器の倒れ……埋設設置
- ⑤無線遠隔計測……WiFi通信, 他

まとめ

- 超音波を用いた斜面崩壊予知モニタリングシステムについて提案した。
- 超音波を用いたモニタリングシステムの利点
 - 安価
 - 設置が用意
 - 日常的メンテナンスが不要
 - 水分状態と地下水位の同時計測
 - 冬季計測が可能



広域多地点多深度モニタリングシステムへの展開が期待される。

● 現地実験による信頼性データの蓄積

安心安全を対象とするデバイス、システムでは、信頼性の確保が重要

種々の現地地盤に対する信頼性

● 多チャンネル計測による 広域モニタリングシステムの構築 現在32ch実施中

謝辞

本研究成果は下記の助成ならびに共同研究、ご協力によって得られたものです。ここに謝辞を表します。

JST シーズ発掘

科研

実用化・社会実装促進プログラム

JR日東日本KK 防災研究所

日鉄住金建材KK

(独)防災科学技術研究所

清水寺

