静電容量（誘電率）計測

含水量が多いほど誘電率が高い。

比誘電率　　空気：１

　　水　　：81

静電容量を共振周波数変化で測定

問題点

　　塩分、温度の影響

ADR法　(Amplitude domain reflectometry method)

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)

斜面崩壊予知のための
超音波による土中水分水位モニタリング

- 種々の地盤水分量・水位の計測手法
- 超音波による水分量・水位の計測
- 現地実験結果に基づくワイヤレスセンサーシステムの改善　－温度補正方法の提案－

超音波の性質

超音波：耳に聞こえない音 (周波数の定義は厳密でない)

周波数	20Hz	20KHz	1MHz	1GHz
波　長	17 m	1.7 cm	0.34 mm	0.34 μm

(v = 340m/s のとき)

低周波 → ← 可聴周波 → ← 超音波

波長　$\lambda = \dfrac{v}{f}$

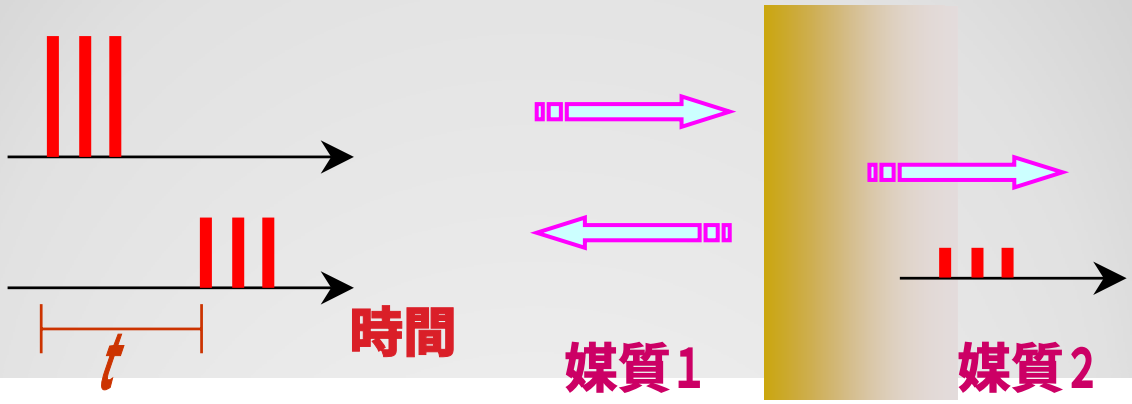
音速

空気中では　$v = 331.5 + 0.6T$ (m/s)

T ：温度 (℃)

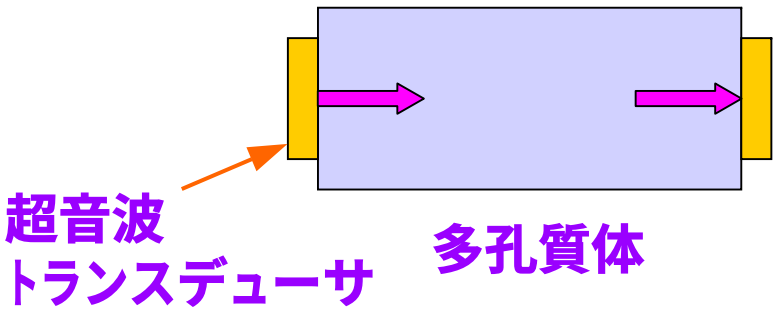
超音波計測

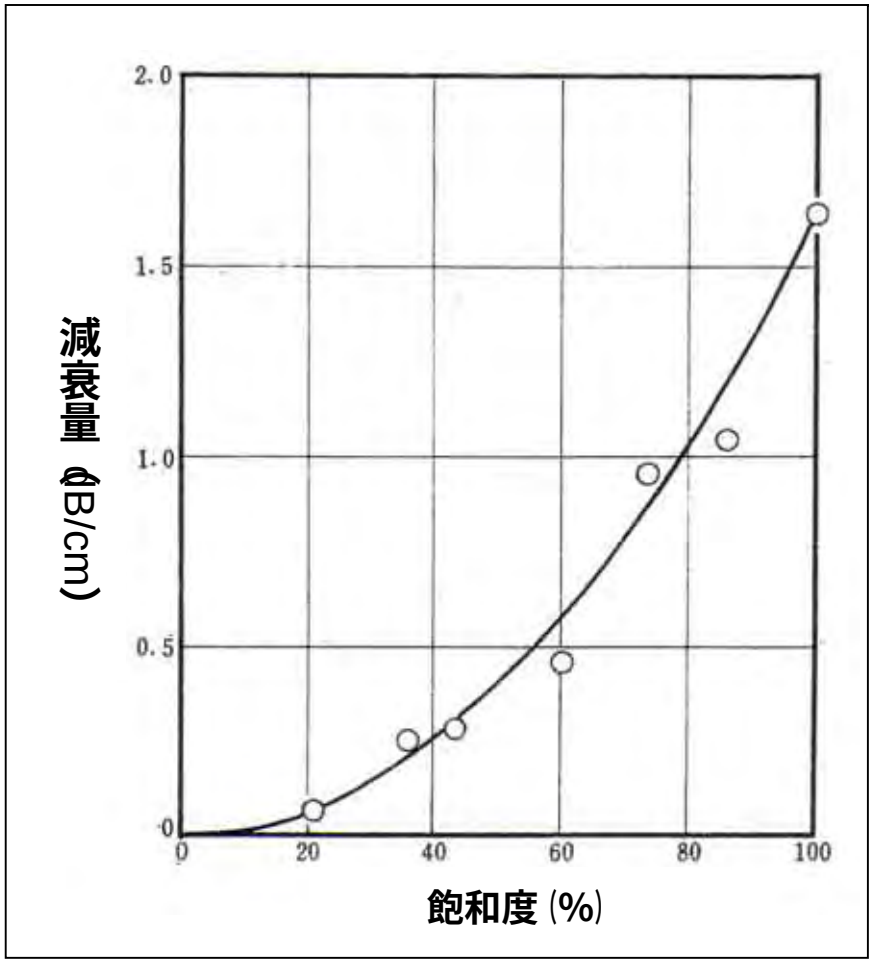
- 伝播時間（距離計測）
- 透過率
- 反射率
- 減衰量（吸収、散乱）
- 反射波形



超音波による水分計測

減衰量の測定





多孔質体：焼成混合粉末ガラス

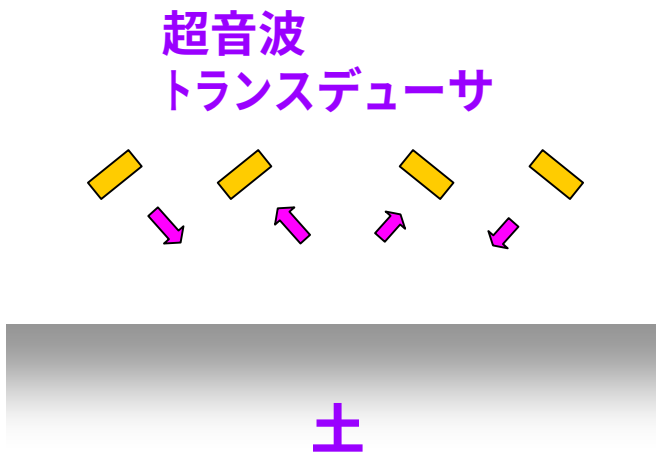
20mmφx 59mm

測定周波数 1MHz

出典：種田ほか、農土論集、46、1-6 (1973)

超音波による水分計測

反射率の測定

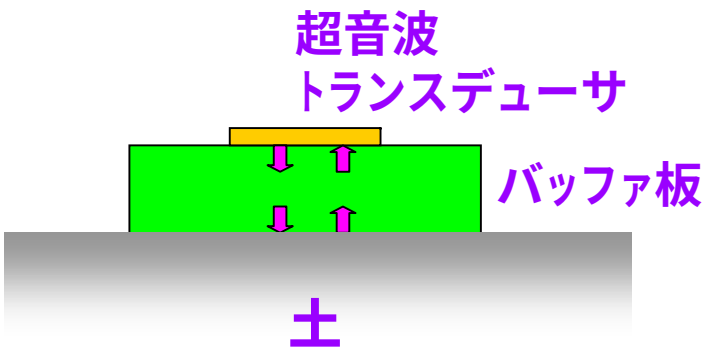


N. Takao ほか

Jpn. J. Appl. Phys.,

Vol.39, 3112－3116(2000)

非接触測定



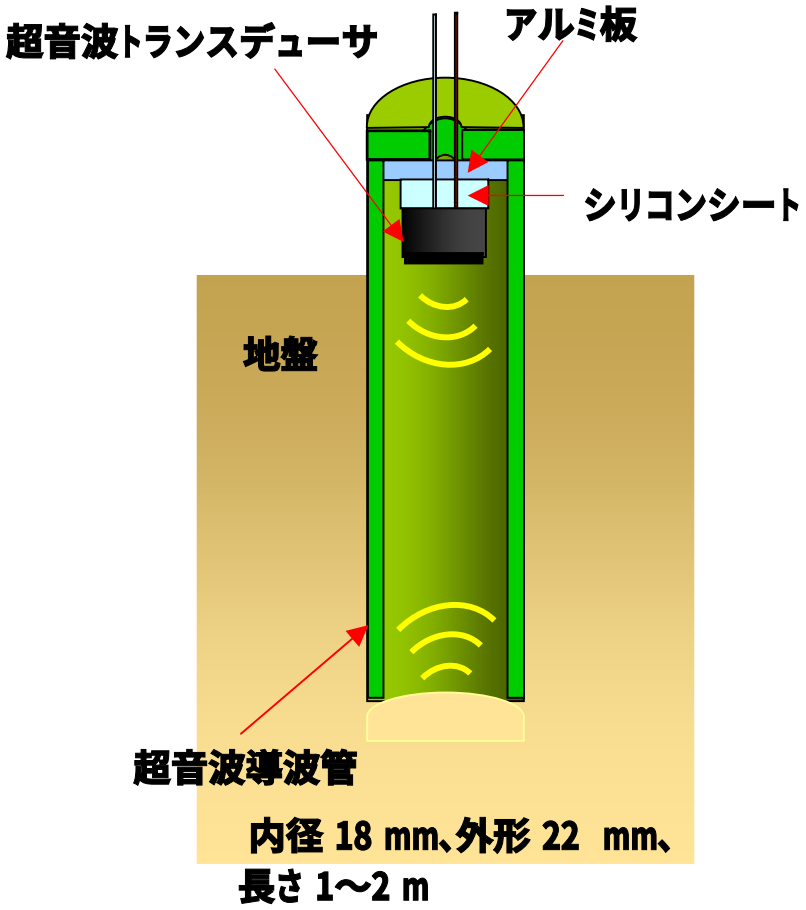
M. B. Minkin, ほか

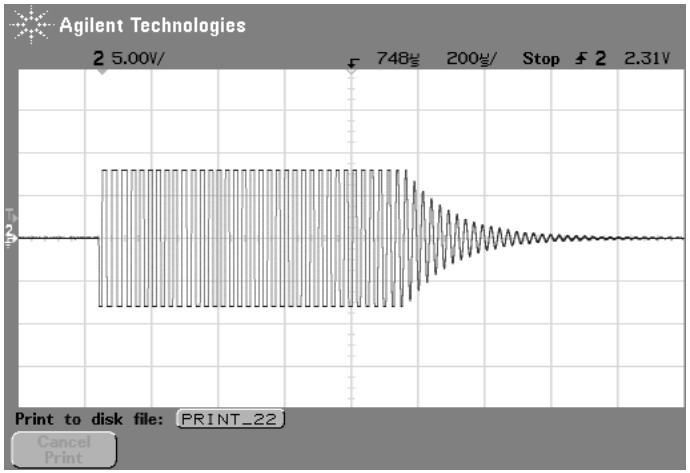
Pochvovedeniye,

No.12, 121-125 (1987)

接触測定

超音波による土中水分状態計測



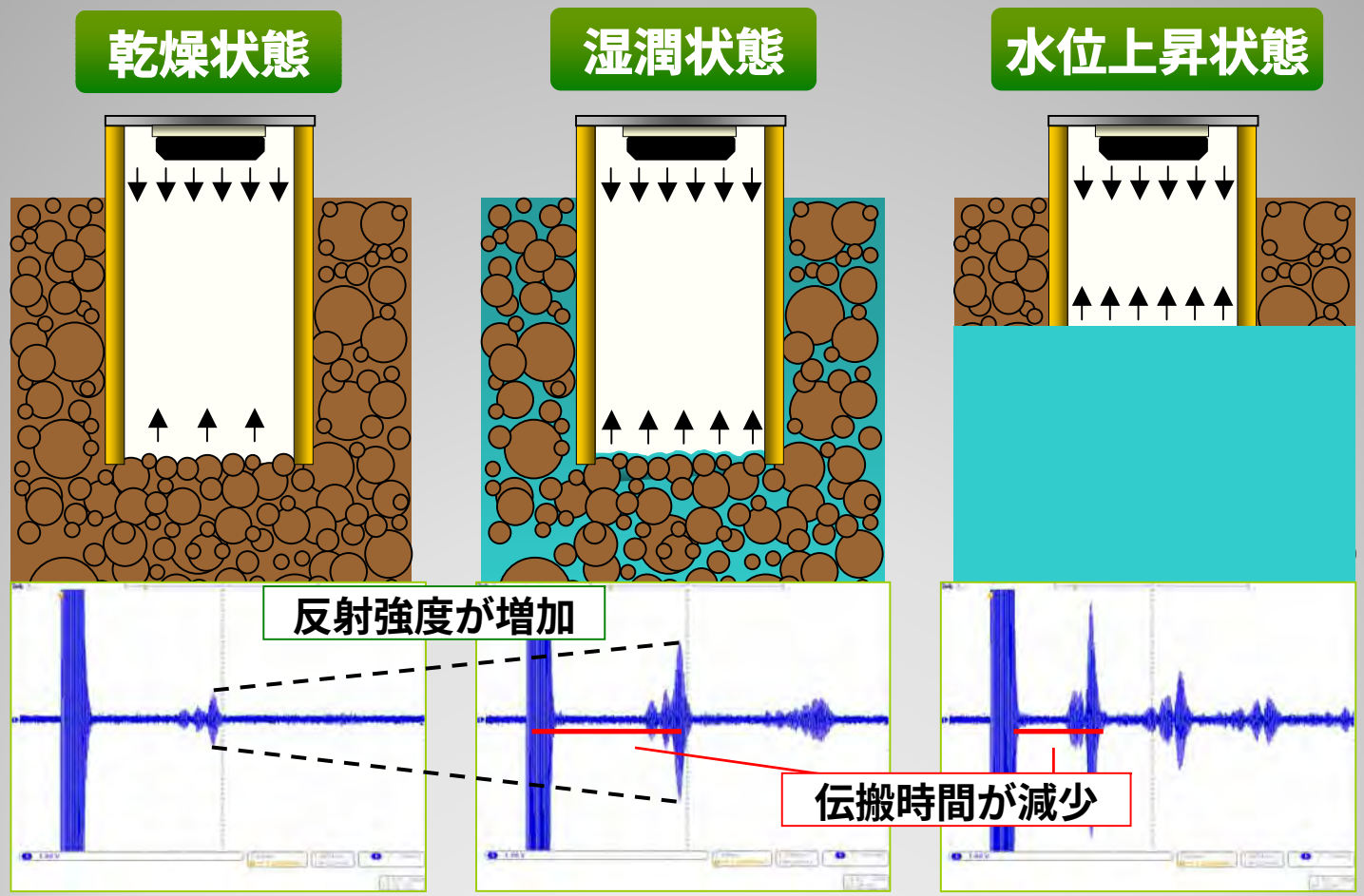


超音波送信波形
バースト波
周波数 40 kHz

反射強度 → 土中水分量

伝播時間 → 地下水位

超音波測定の原理



反射強度 ⇒ 土中水分　　伝搬時間 ⇒ 地下水位

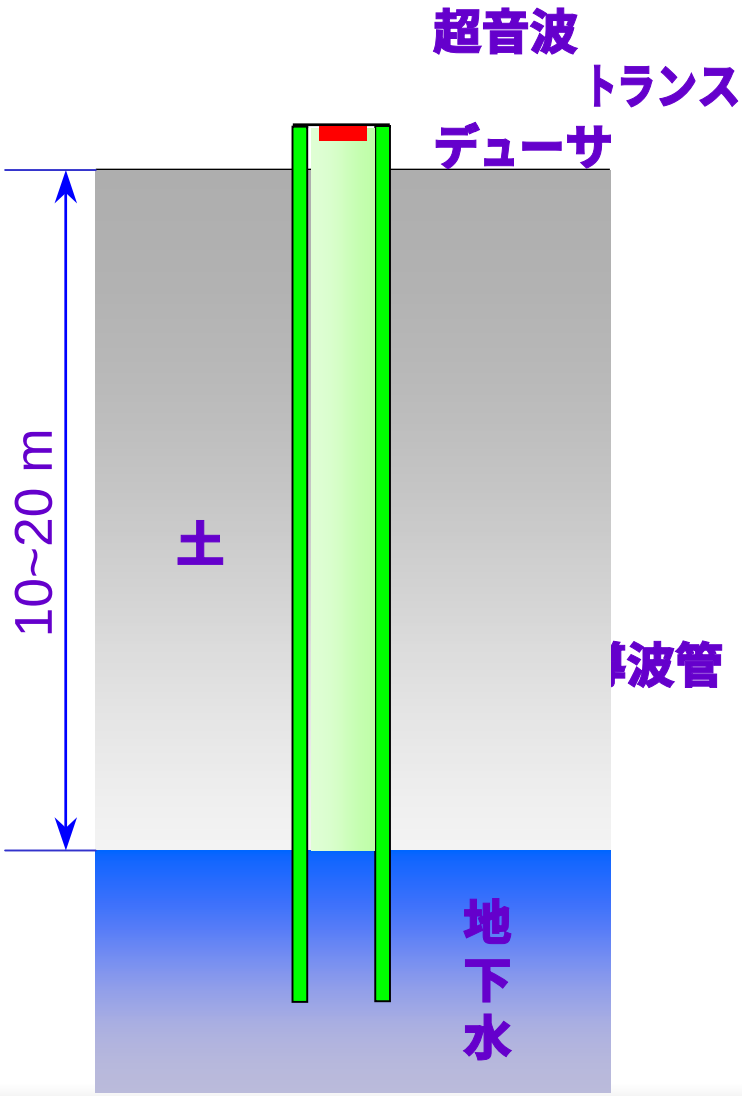
1つの検出器で2つの測定が可能

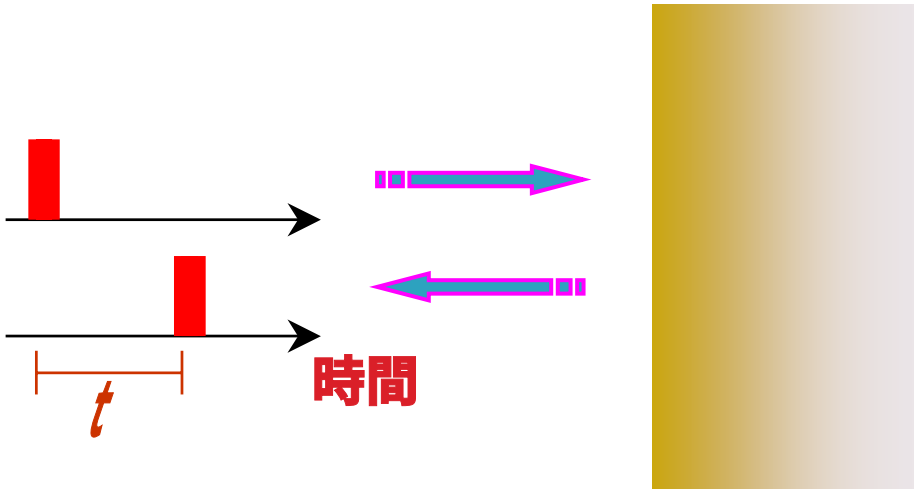
道路の反射

晴れた日の散歩道

雨上がりの散歩道

超音波導波管を用いた地下水位計測



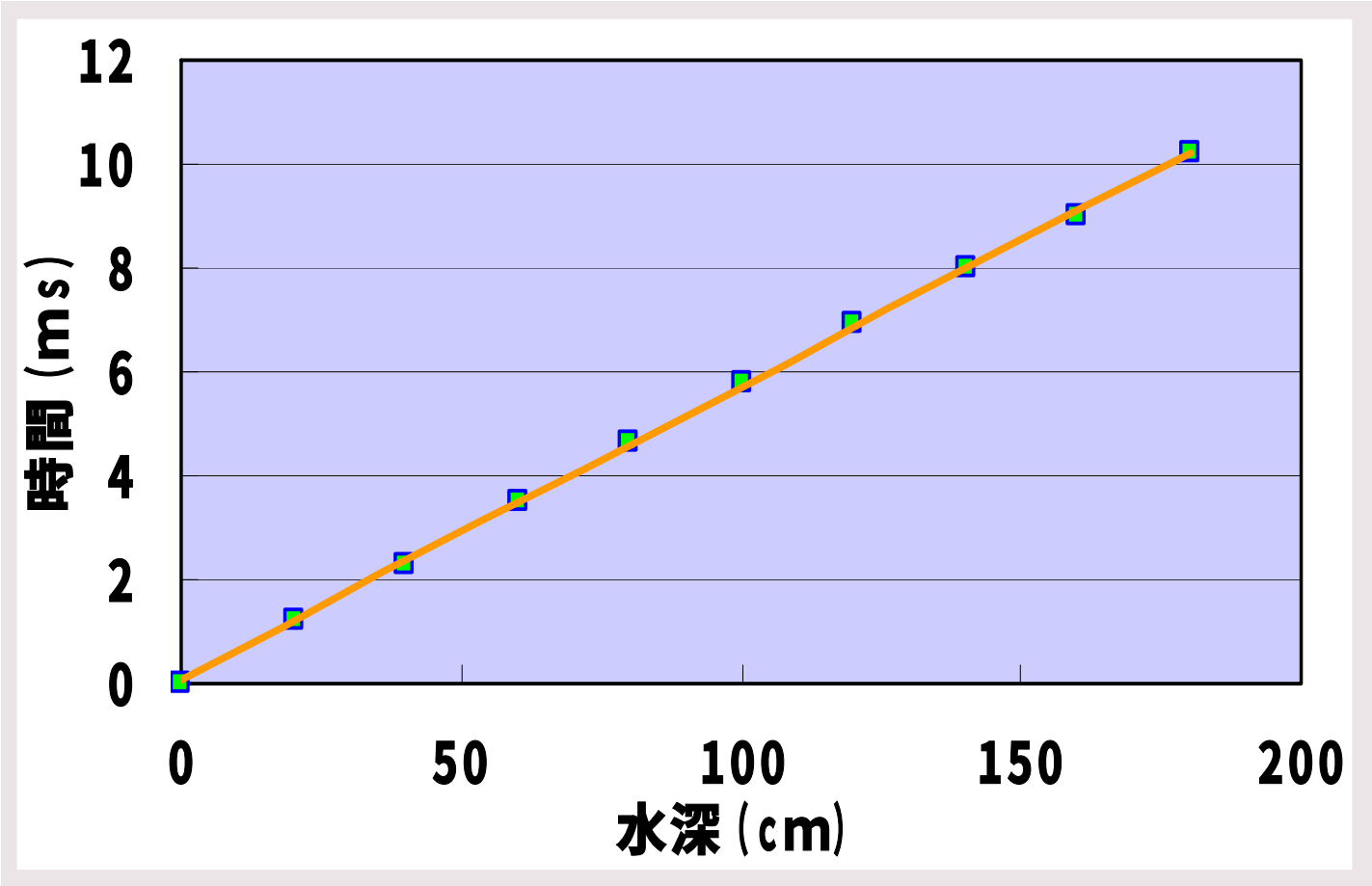


深さ　$d = v\,t / 2$

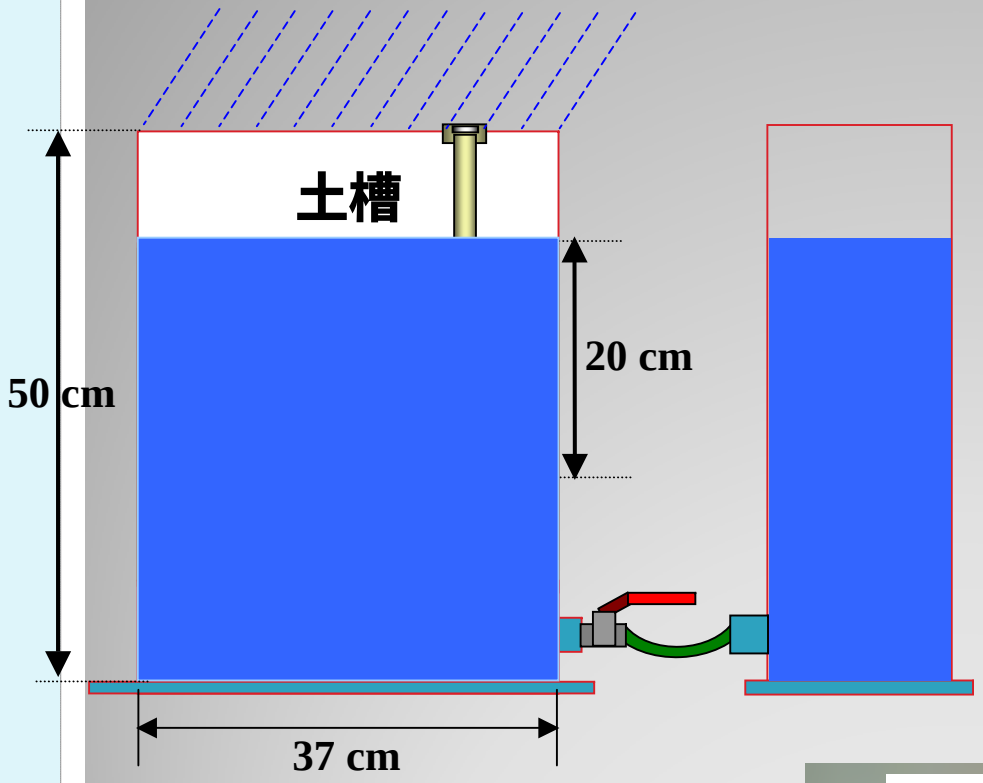
$v = 331.5 + 0.6T$ (m/s)

超音波による地下水位の計測

アクリルパイプ　(内径19mm、外形25mm、長さ2m)
周波数：40kHz



室内降雨実験

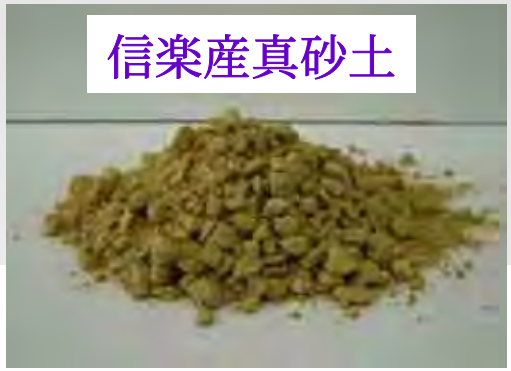


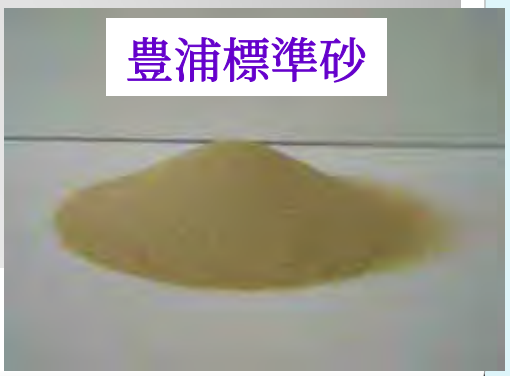
土槽　アクリル製

実験条件

		Case1	Case2
試験試料		信楽産真砂土	豊浦標準砂
最大粒径		9.5 mm	2.0 mm
土粒子密度		2.6 g/cm^3	2.65 g/cm^3
設定初期含水率		0%	
設定乾燥密度		1.5 g/cm^3	1.45 g/cm^3
設定降雨量		15 mm/hr	10 mm/hr
境界条件	上面	降雨による注水	
	底面	排水	

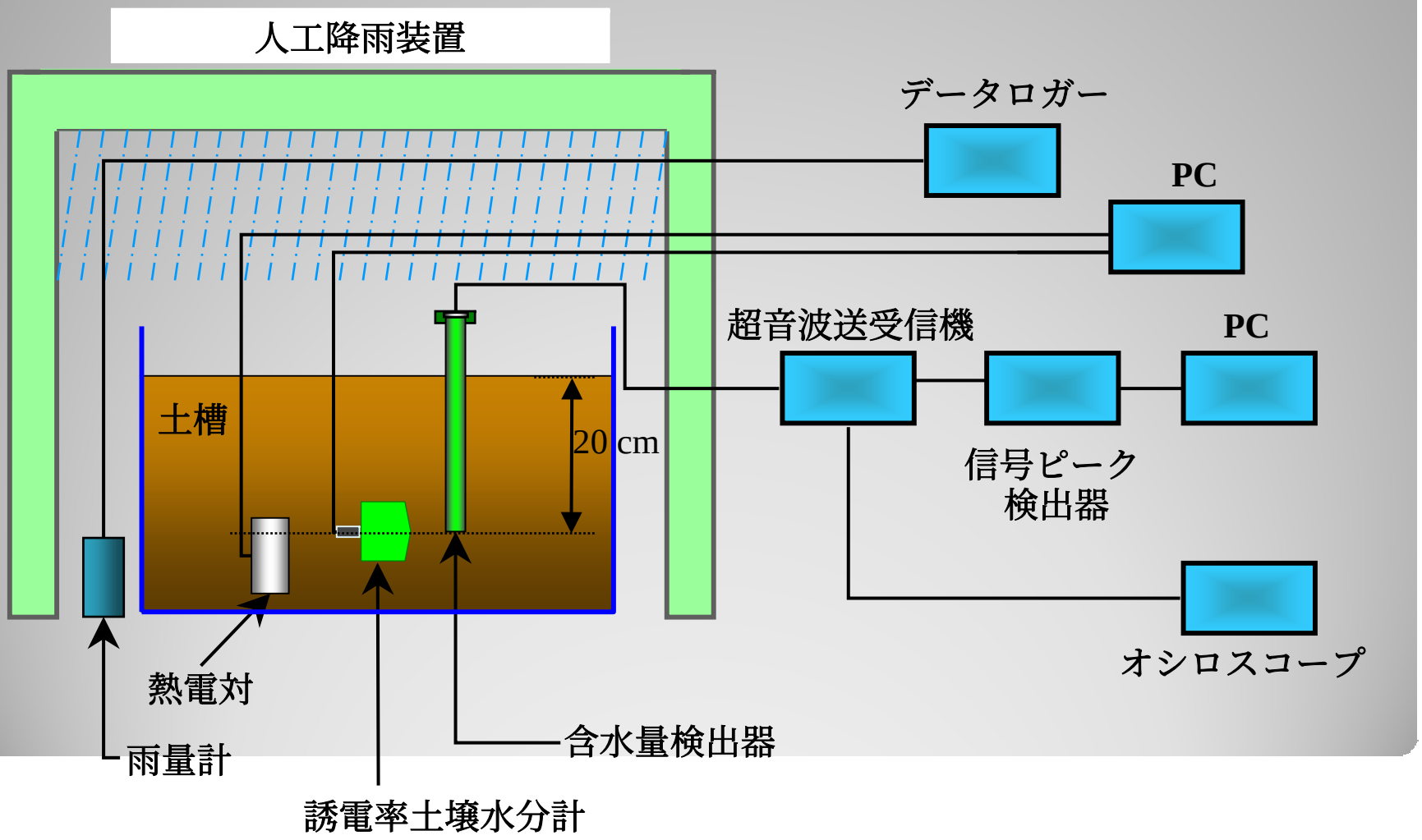
(A) 熱電対
(B) 誘電率土壌水分計
(C) 超音波検出器





実験試料

室内降雨実験システム


人工降雨装置
データロガー
PC
超音波送受信機
PC
土槽
20 cm
信号ピーク
検出器
オシロスコープ
熱電対
雨量計
含水量検出器
誘電率土壌水分計

超音波検出器

超音波導波管

真鍮製　中空
内径 18　mm
長さ 500 mm

超音波トランスデューサ

MA40E8-2（村田製作所）
防滴型超音波トランスデューサ
公称周波数 40 kHz

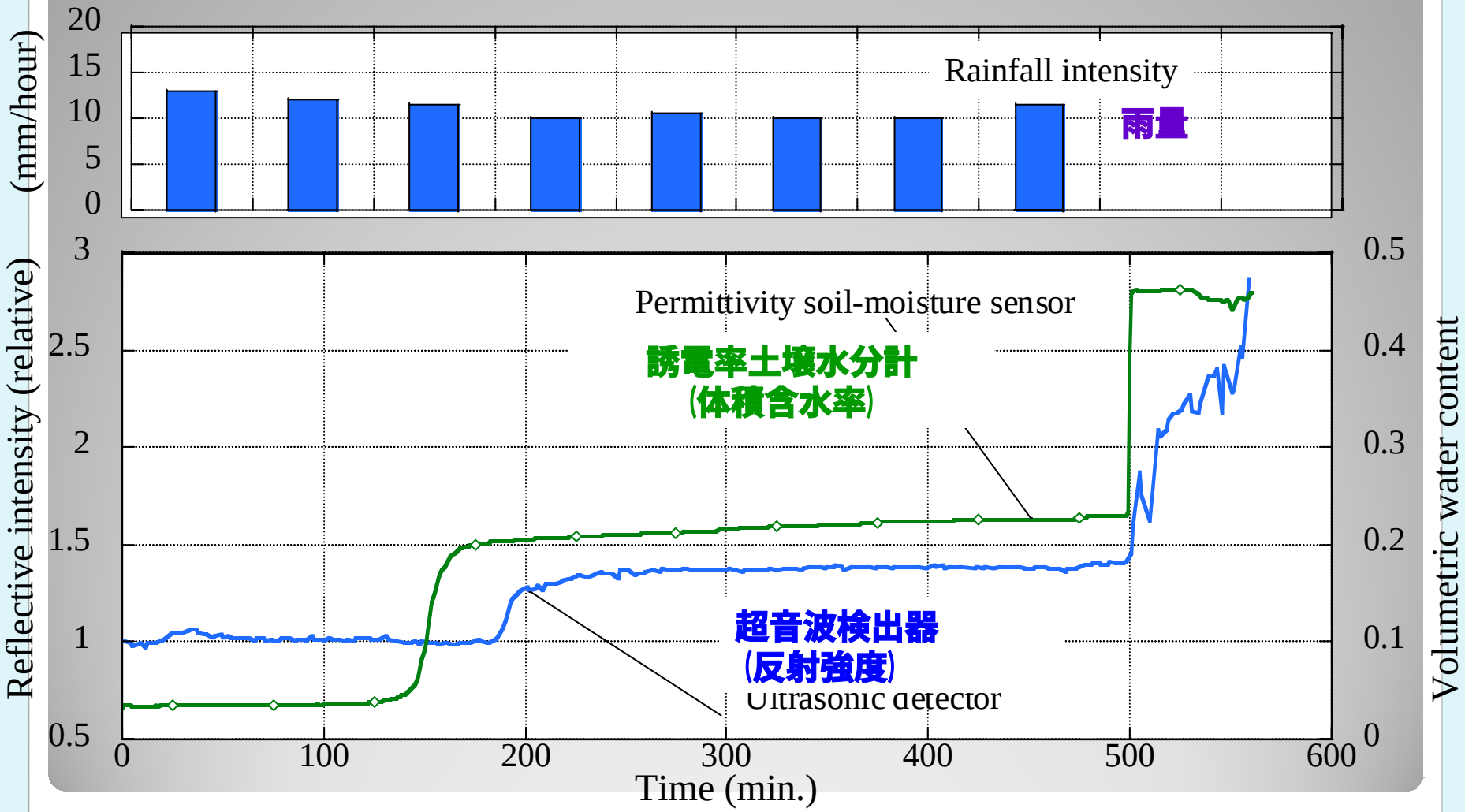
室内降雨実験

試験土槽

人工降雨装置

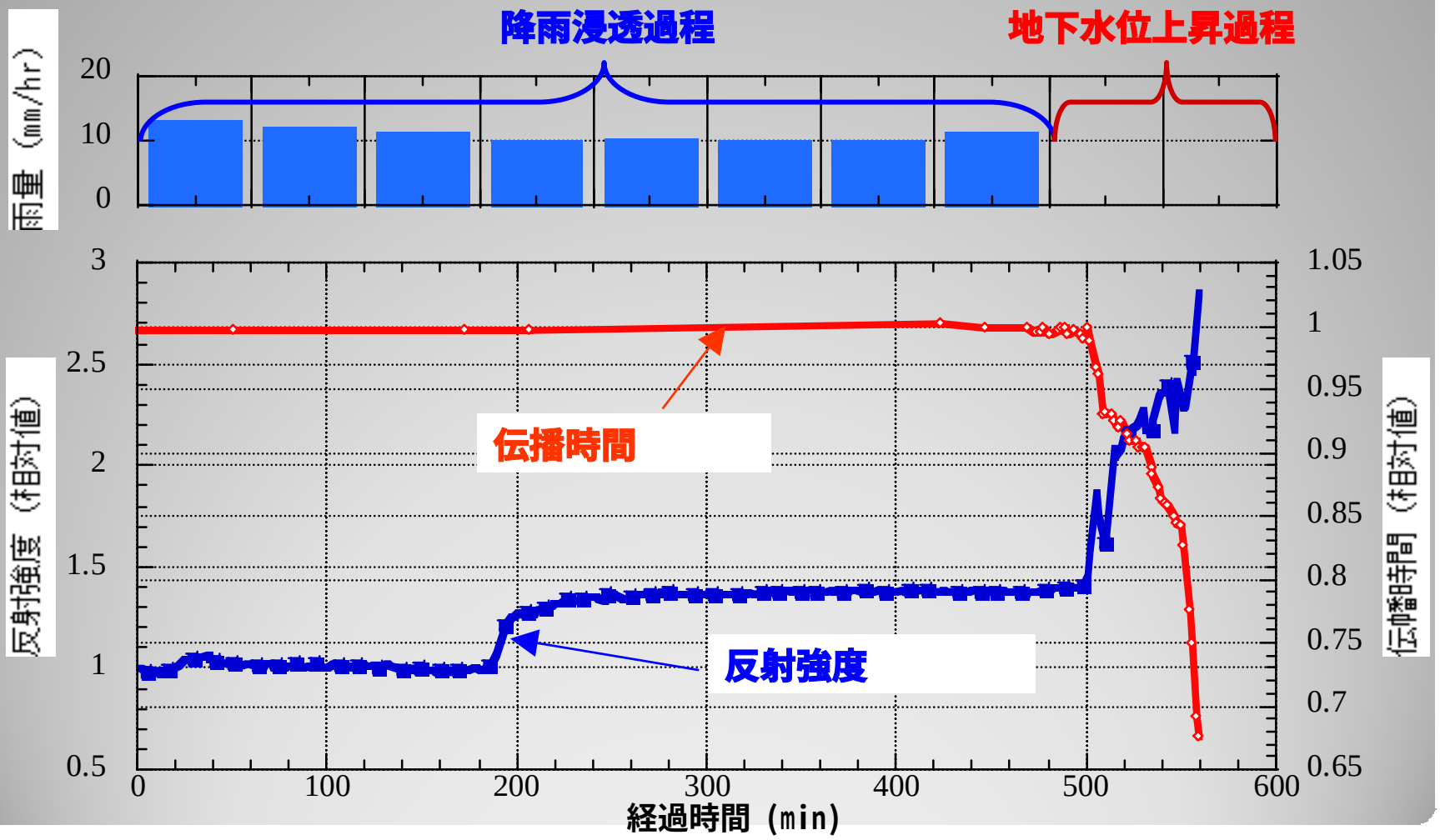
計測システム

まさ土の実験結果



誘電率水分計と超音波検出器の反射強度の変化

まさ土の実験結果



地下水位と伝播時間の変化

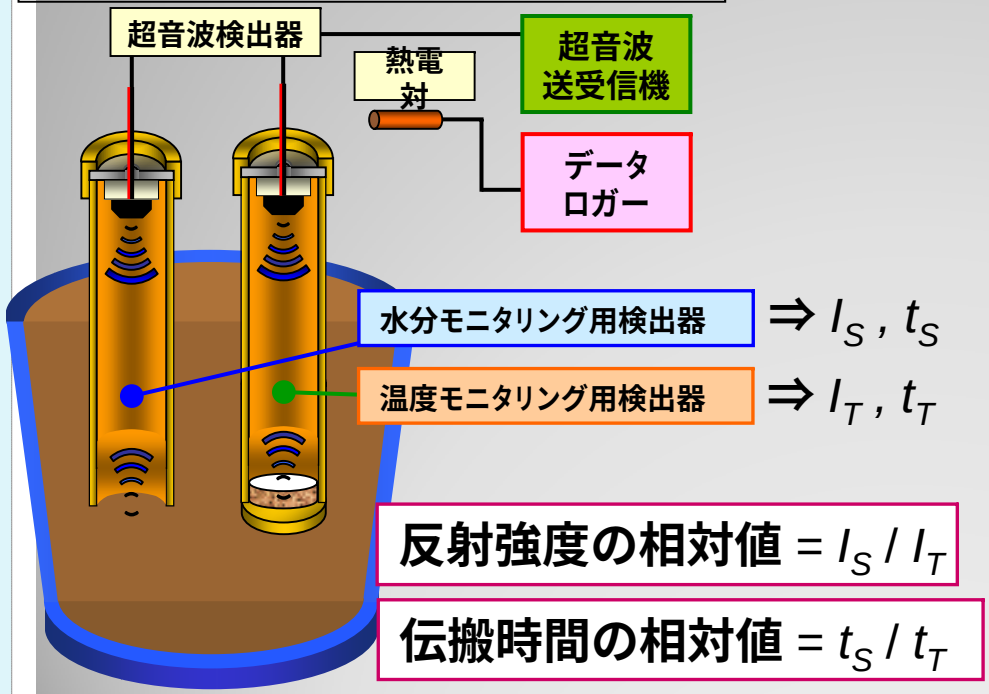
斜面崩壊予知のための
超音波による土中水分水位モニタリング

- 種々の地盤水分量・水位の計測手法
- 超音波による水分量・水位の計測
- 現地実験結果に基づくワイヤレスセンサーシステムの改善　－温度補正方法の提案－

温度補正の提案

温度条件が厳しい屋外では超音波トランスデューサや音の持つ温度依存性を考慮する必要がある.

含水比0%のまま長時間放置

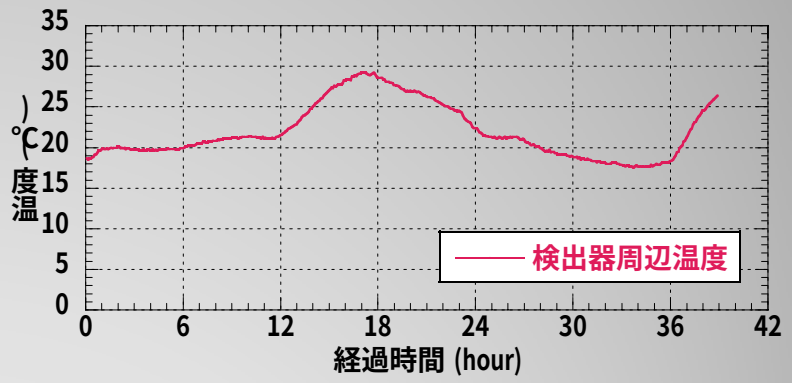


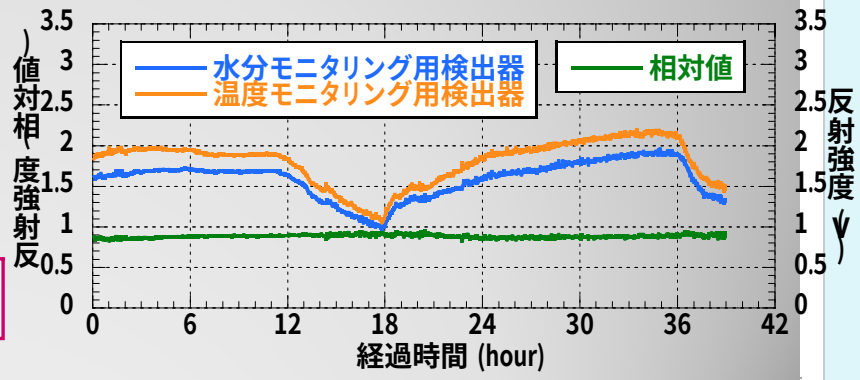
$\Rightarrow I_S, t_S$

$\Rightarrow I_T, t_T$

反射強度の相対値 $= I_S / I_T$

伝搬時間の相対値 $= t_S / t_T$





2つの検出器を使用することにより温度補正を行った.
この温度補正方法をダミーペア方式とする.

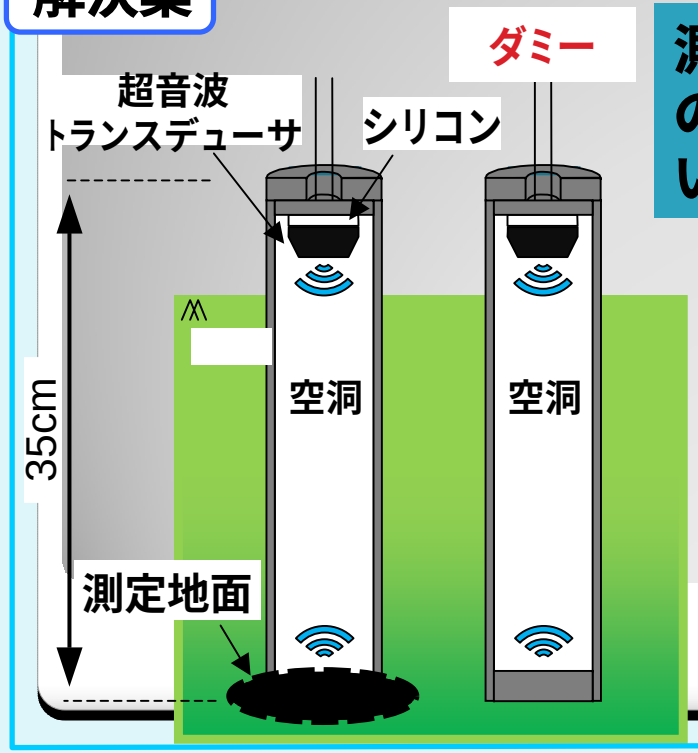
ダミーペア方式

超音波検出器の温度に関する問題点

反射強度（土中水分量の測定）：トランスデューサは温度に依存する．

伝搬時間（地下水位の測定）：伝搬する物質の温度 T に依存する．
（音速 c=331.5+0.607×T，T：温度）

解決案

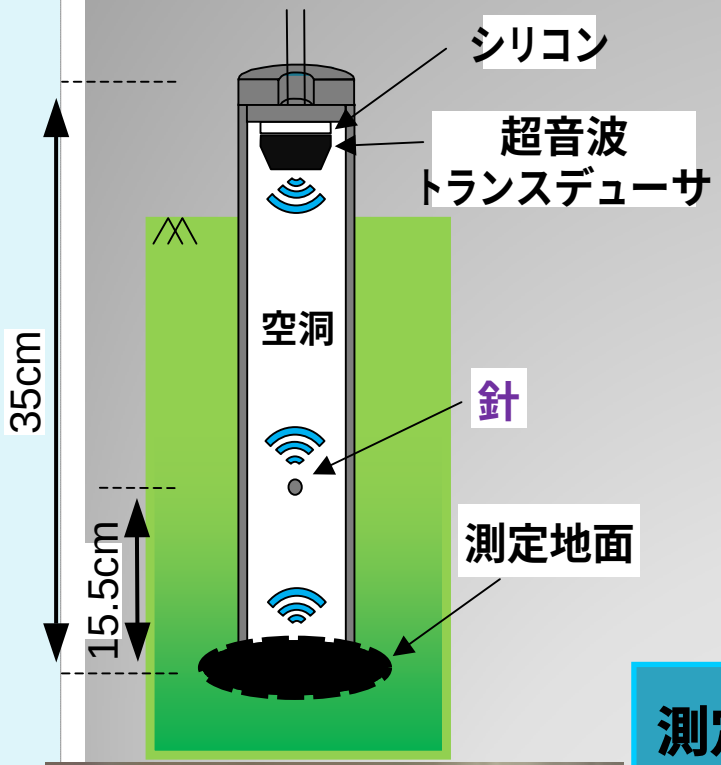


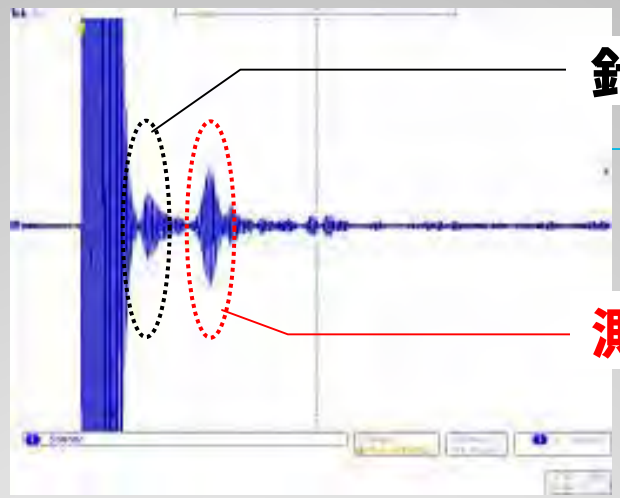
測定地面のデータは温度に依存しているため，温度のみのデータで除することにより，温度依存なくすという方法である．

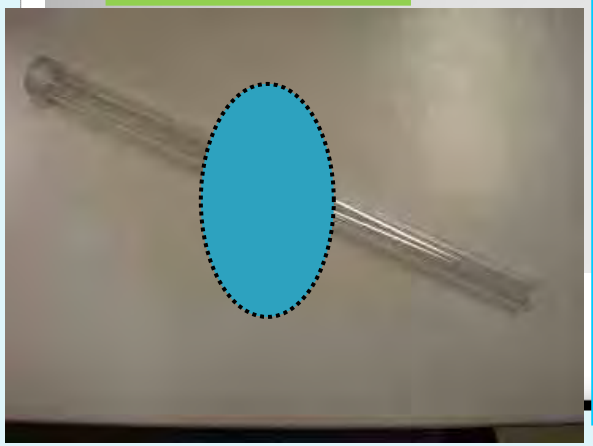
デメリット

1. 両検出器の温度条件を完全に一致させることが困難．
2. 検出器が2本あるため，設置に手間が掛かる．
3. コストが2本分掛かる．

針型温度補正法の提案







測定地面の検出データ
I_S ： 反射強度
T_S ： 伝搬時間

針による検出データ
I_T : 反射強度
T_T : 伝搬時間

温度補正 ⇒

I_S / I_T : 反射強度
T_S / T_T : 伝搬時間
(共に相対値)

今後の課題

- 超音波測定の感度の向上
- 針型温度補正法における針の形状･太さの最適化

- 屋外での長期モニタリングによる有効性の検証
- 計測の自動化

災害現場調査を踏まえた提言(1)
ーまとめに代えてー

- それぞれの土地は災害履歴を覚えている？
  現地の雨量データと斜面崩壊との関係を把握することが大事。今後Xバンドレーダーデータの有効活用が期待される。
- 災害は経験してみないとわからない。痛い目に合わないとわからない。その経験をどう他人に伝えるか。
- とにかく“逃げるが勝ち”。ただし、逃げる　タイミングが大事。

災害現場調査を踏まえた提言(2)
ーまとめに代えてー

- 想定を超える災害をどう扱うか。「想定外」という言葉は安易に使うべきではないが、さりとて、防災対策を講じるには外力の大きさを設定せざるを得ない。
- 災害弱者をどうするか。今後の大問題。
- 地盤工学会から減災・免災に向けた提言が発表されている。

「地盤工学会編：地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために　ー地盤工学からの提言ー、2007年度会長特別委員会、2009．」参照のこと。