

# モニタリング技術の課題と展望

鳥取大学大学院工学研究科 中村公一

[nakamura@cv.tottori-u.ac.jp](mailto:nakamura@cv.tottori-u.ac.jp)

# はじめに

## 現地計測の意義と重要性

1967年、TerzaghiとPeckの  
Soil Mechanics in Engineering Practice の中で  
Performance Observations と題して各種の地盤工学的問題  
について現地計測の理念と具体的な計測装置およびその適用  
例を示して以来、広く認識されるようになった。

本発表では、斜面（または法面）地表面変動を対象

参考資料：国土交通省 社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会

# 斜面の安定性評価とリスクマネジメント

斜面崩壊の予測？ : 5W2H

What : なにが

How : どのように

Where : どこで

How much : どの程度の被害額か

When : いつ

Whom : なにに

Why : なぜ

何を目指すのか？

崩落場所の特定, 崩落時期の推定 など

崩落要因となる降雨量の推定

**予測の困難** → **リスクマネジメント**

防災科学技術研究所研究資料, No405, 特別講演論文より引用

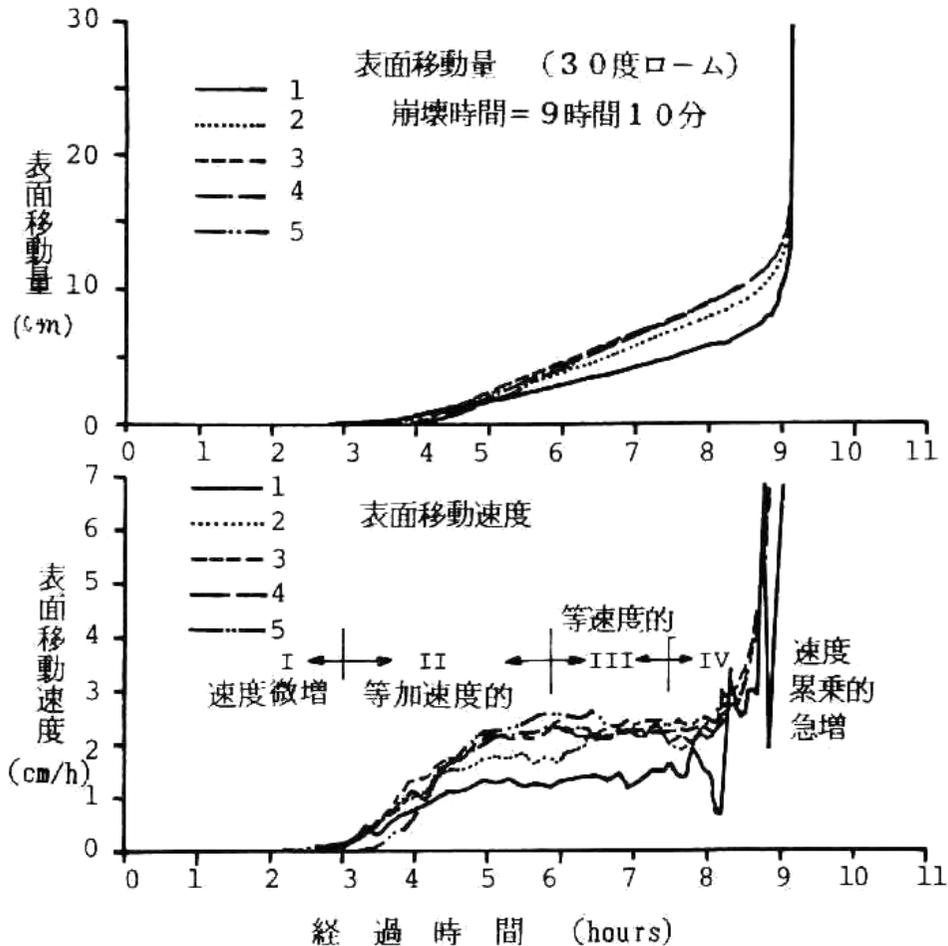
# 計測の段階

- 調査 . . . 変動の有無, 変動の状況, 要因把握
  - (緊急) 監視 . . . 変動の監視, 崩壊予測
  - 施工中 . . . 安全管理
  - 施工後 . . . 変動の有無・監視
- 

**計測結果（時間一変位の関係など）より，崩壊予測を行う**

# 計測結果による崩壊予測

## 平均速度の逆数による斜面崩壊発生時刻の予測



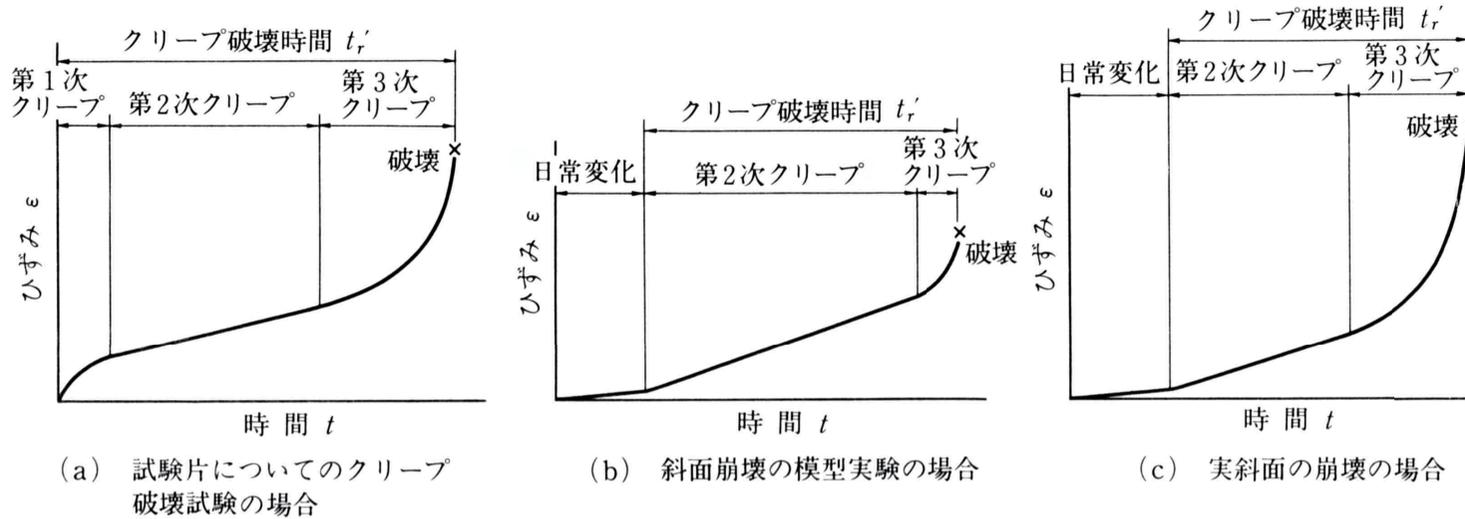
最終崩壊に近づくほど移動速度  
が大きくなる

模型斜面の崩壊実験で測定された  
表面移動量と移動速度の変化

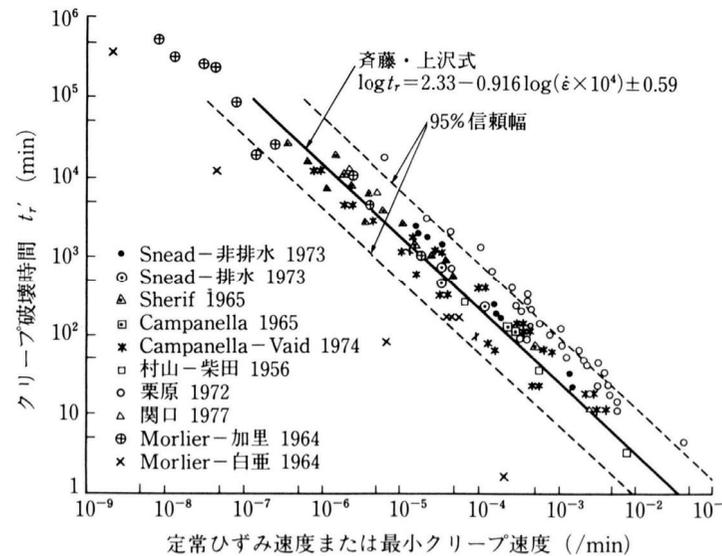
※防災科学技術研究所研究報告, No.46

# 計測結果による崩壊予測

伸縮計計測結果より求められるひずみ速度より予測



場合の異なるクリープ破壊曲線の比較



定常ひずみ速度とクリープ破壊時間との関係図

# 崩壊時刻の予測に関する検討

閾値を設定し，対応方法を判断

## 地盤伸縮変動種別

	日変位置量 (mm)	累積変位置量 (mm/月)	一定方向への 累積傾向
確定	1以上	10以上	顕著
準確定	0.1~1	2~10	やや顕著
潜在	0.02~0.1	0.5~2	ややあり
異常	0.1以上	なし (断続変動)	なし

※地すべり調査と解析

## 直感的判断のひずみ速度

$10^{-7}/\text{min}$  以下は・・・日常変化

$10^{-7}/\text{min}$  以上になれば・・・いちおう要注意

$10^{-6}/\text{min}$  以上では・・・要警戒

$10^{-5}/\text{min}$  以上となれば・・・嚴重警戒，崩壊覚悟

※実証土質工学より引用。見当を示した値であることに注意

どのくらいの分解能か

$10^{-7}/\text{min}$  では，測定距離20mで0.002mm

↓ 時間あたり

$6 \times 10^{-6}/\text{h}$  では，測定距離20mで0.12mm

# 地表面計測手法

管理基準値との対応を明確にするための高精度で地すべりの挙動を観測するためには、ボーリング孔を利用してすべり面の挙動を直接計測する手法を最優先とし、その他の地表面の挙動はすべり面の影響がどのように表れたのかを知るための副次的なものとして扱う

移動杭

地上測量

測桿

ぬき板および丁張り

地盤伸縮計

光ファイバ

地盤傾斜計

GPS・GNSS

AE計測

拡散レーザ変位計

電波位相計測法

MEMSセンサ

計測機器の性能向上，計測間隔の短縮



計測結果の解釈が難しくなることもある

# 常時計測機材に求められる要件

## 安価

多数点計測に対応するため

## 長期安定性

環境要因によるゼロ点シフトなど

## 小型

設置を容易にすることで、設置費用の縮減

## 電源

最低1年以上、計測可能

電池交換が容易かつ、計測データの連続性を保つ

## 無線

設置を容易にする

豪雨時に対応できる

到達距離と電源の兼ね合い

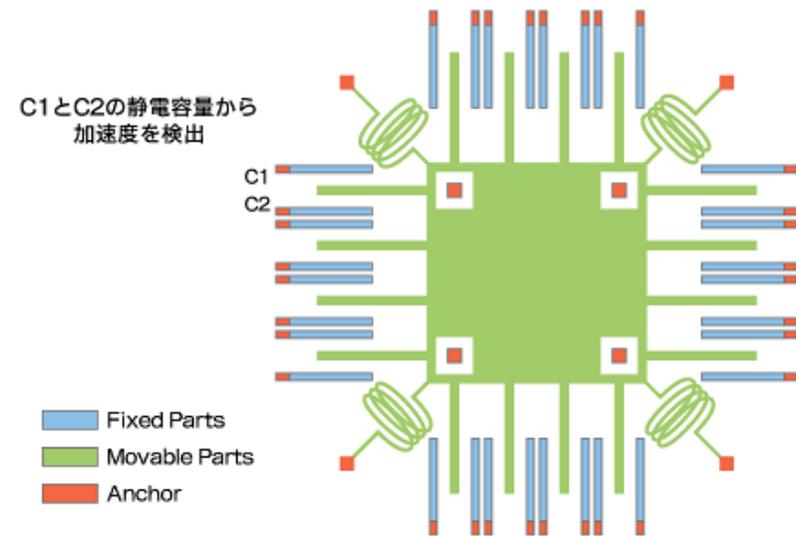
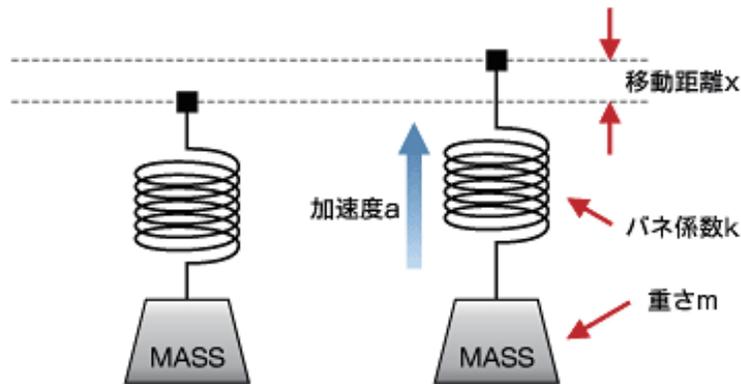


上記をみたすものとして、MEMSの利用が進んでいる  
斜面（法面）ではMEMS型傾斜計

# MEMSとは

## Micro Electro Mechanical Systems の略

静電容量型加速度センサ（アナログ・デバイス製）では  
重りの移動距離を計測することによってセンサに加わっている加速度を出力



代表的な低G加速度センサの検出素子部の模式図

EDN Japan：いまさら聞けない加速度センサ入門 (1/2) より引用

## 計測対象表面に設置されるMEMS型傾斜計の計測事例

# MEMS型傾斜計の問題点

## 設置箇所と設置個数

多数設置とは，例えば単位面積あたり何個必要か  
(土斜面では？ 岩盤斜面または擁壁では？)

## データの評価

伸縮計などと異なり，変位量を測定しているわけではない  
ので，計測結果がわかりにくい  
(加速度を計測，角度に変換，1bitあたりの分解能が変化)

外部環境の影響を受けたデータの評価法

(外気温・日射・降雨による，傾斜計本体温度の変化)

## 計測・解析事例

計測結果の何に着目するか

解析とどのように連携させるか

# 斜面変動以外の要因

機材・現場

MEMS

傾斜計

現場計測

変動要因

酸化膜の変化などによるゼロ点シフト

傾斜計内部温度変化による熱膨張

設置場所  
設置方法  
環境要因(気温・日照・降雨など)

対応

小さいが半年や年単位では考慮する必要

最小化しようとする・・・

重く・大きくなる  
各固体特性を知るため全数検査

高価になる

斜面変動をどのように検出するか？

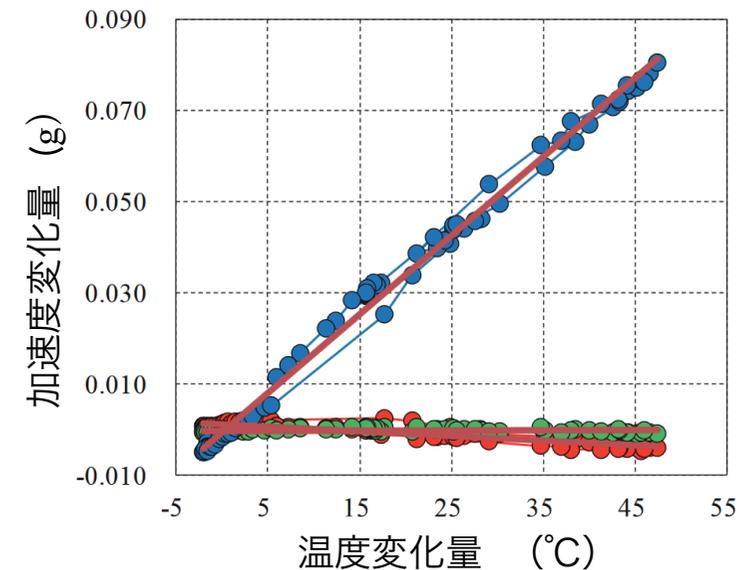
# 温度による計測値の変動

加速度と温度（傾斜計自体の温度）はほぼ線形  
ただし・・・，各固体，各軸ごとに異なる

室内検査により各固体ごとの傾きわかっていれば，この  
関係が崩れたところが変動したと判断することができる

しかし，降雨などにより温度が急変した場合も変動が  
起こることがあるので，雨量などの他の計測結果とあ  
わせて判断することが必要

分解能が向上し計測間隔が短くなる  
ほど，計測対象の変動以外の計測値変  
化が含まれる



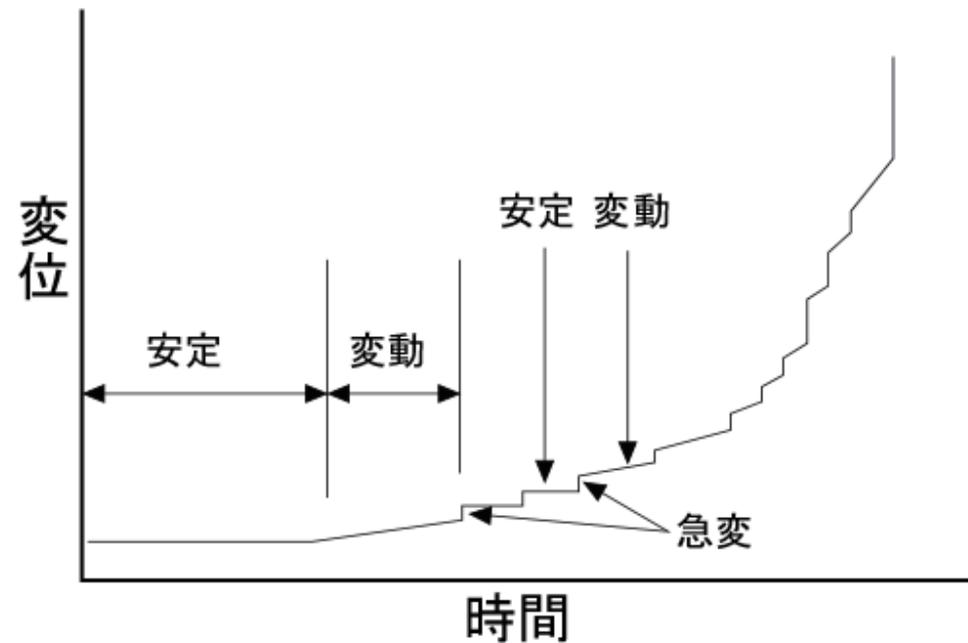
# 変動と急変

傾斜計は、計測値が加速度、温度の影響を受ける

➡ 計測値の解釈が難しい

測定対象が、降雨などのイベントに反応しているかを  
確実に捉える

イベントごとに必ず変動する  
変動の時間間隔が短くなってきた



# 計測事例

築30年の井桁擁壁

壁体下部がはらみだし、頭部の道路の沈下が発生

パイプひずみ計，伸縮計による監視が続けられている



# 計測事例



頭部の陥没  
何回もオーバーレイ



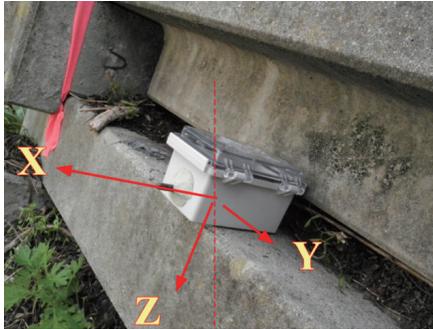
井桁のひび割れ



前面道路谷側の  
擁壁押し出し

# 計測事例

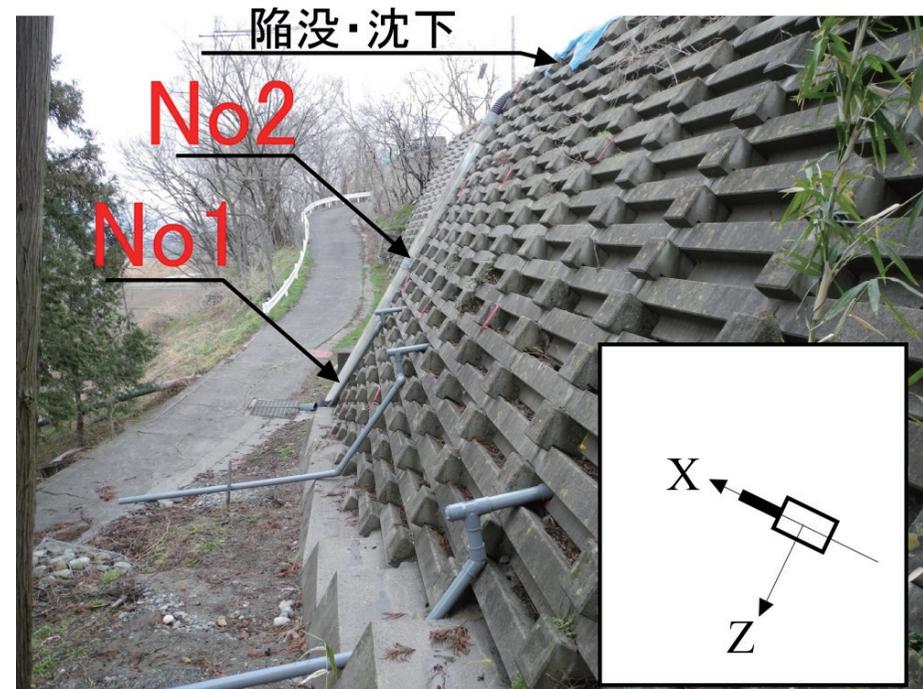
接着剤で設置



子機の計測は10分間隔



基地局の親機からDBへのデータ送信は毎正時



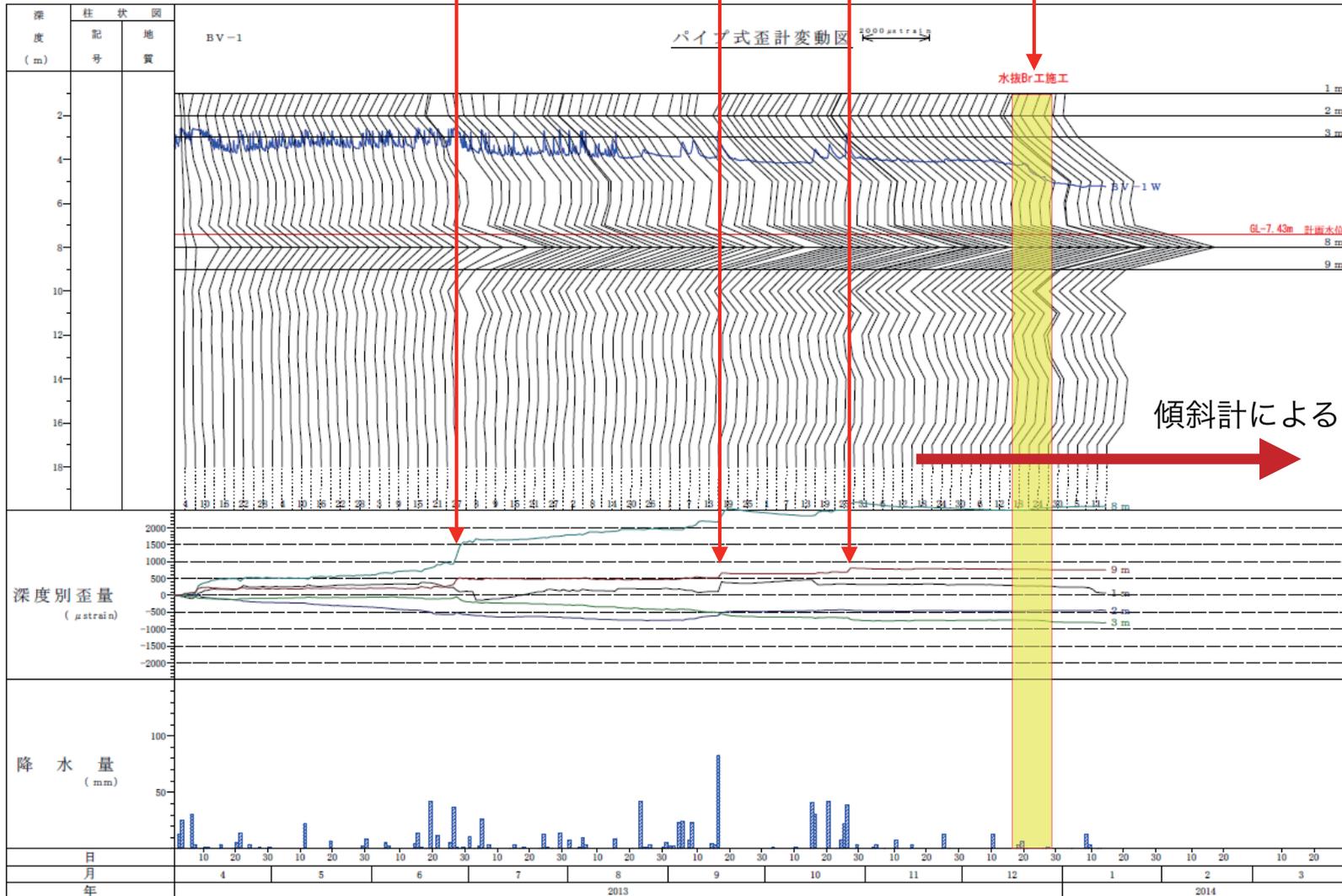
# 計測事例

12/6~12/29 水抜きによる水位低下  
水位低下後、沈下の進行が減少

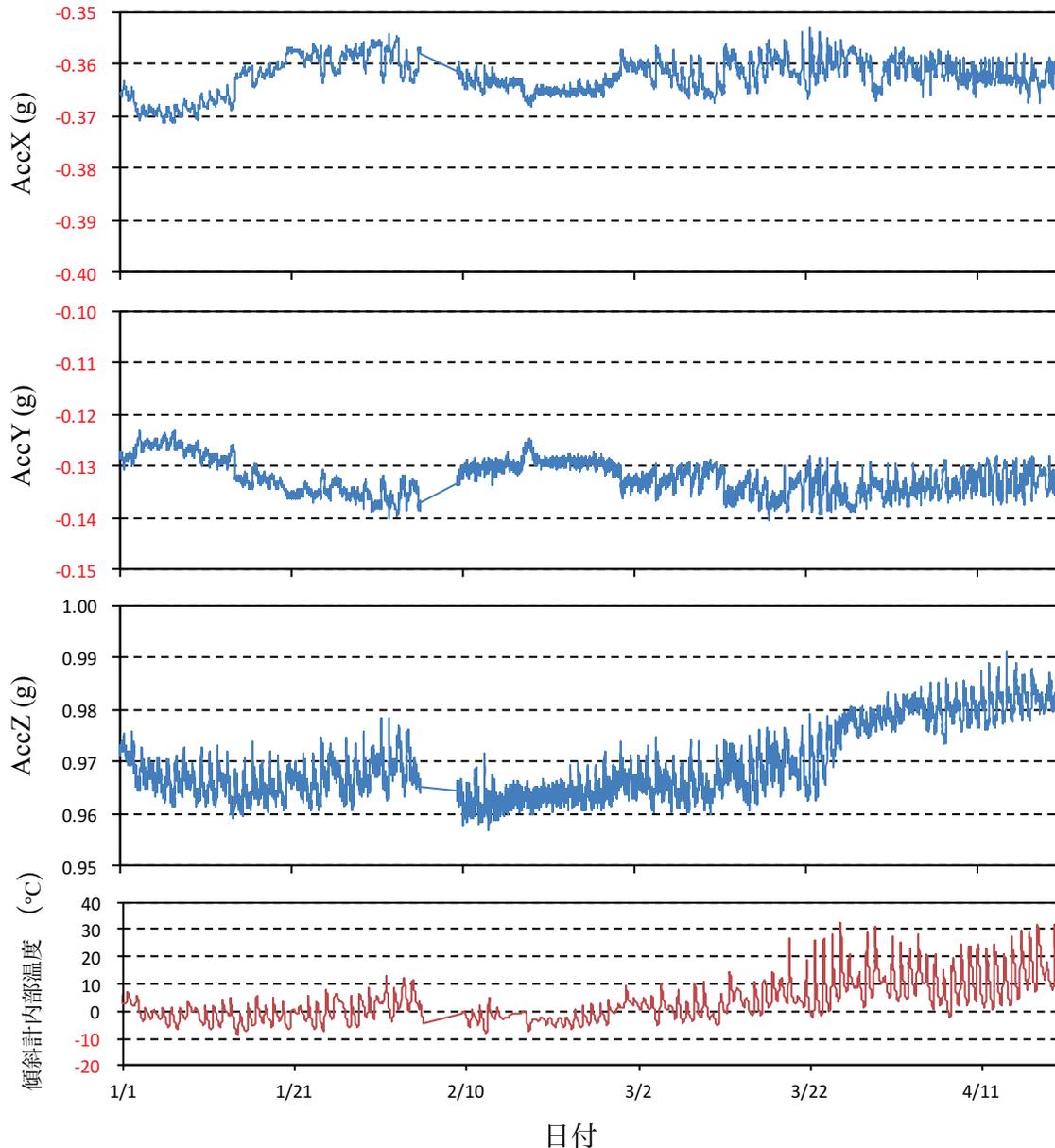
路面沈下発生

路面の沈下が進行

水位低下後、沈下の進行が減少



# 計測事例



傾斜計の計測結果の例

日射・気温の影響を受け、計測結果（加速度）は日変動する

中国地方建設技術開発交流会@倉吉未来中心

センサの性能向上により、計測結果は、様々な周辺環境の影響を含むようになる

計測の目的・計測結果の整理を考慮した、計測機器の必要機能・性能

計測間隔、単位面積あたりの必要個数

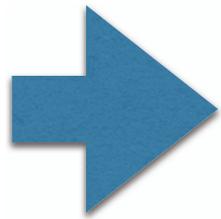
# One Class SVM による異常検知

カーネルを用いた判別機械の代表的な手法

サポートベクターマシン (Support Vector Machine, SVM)

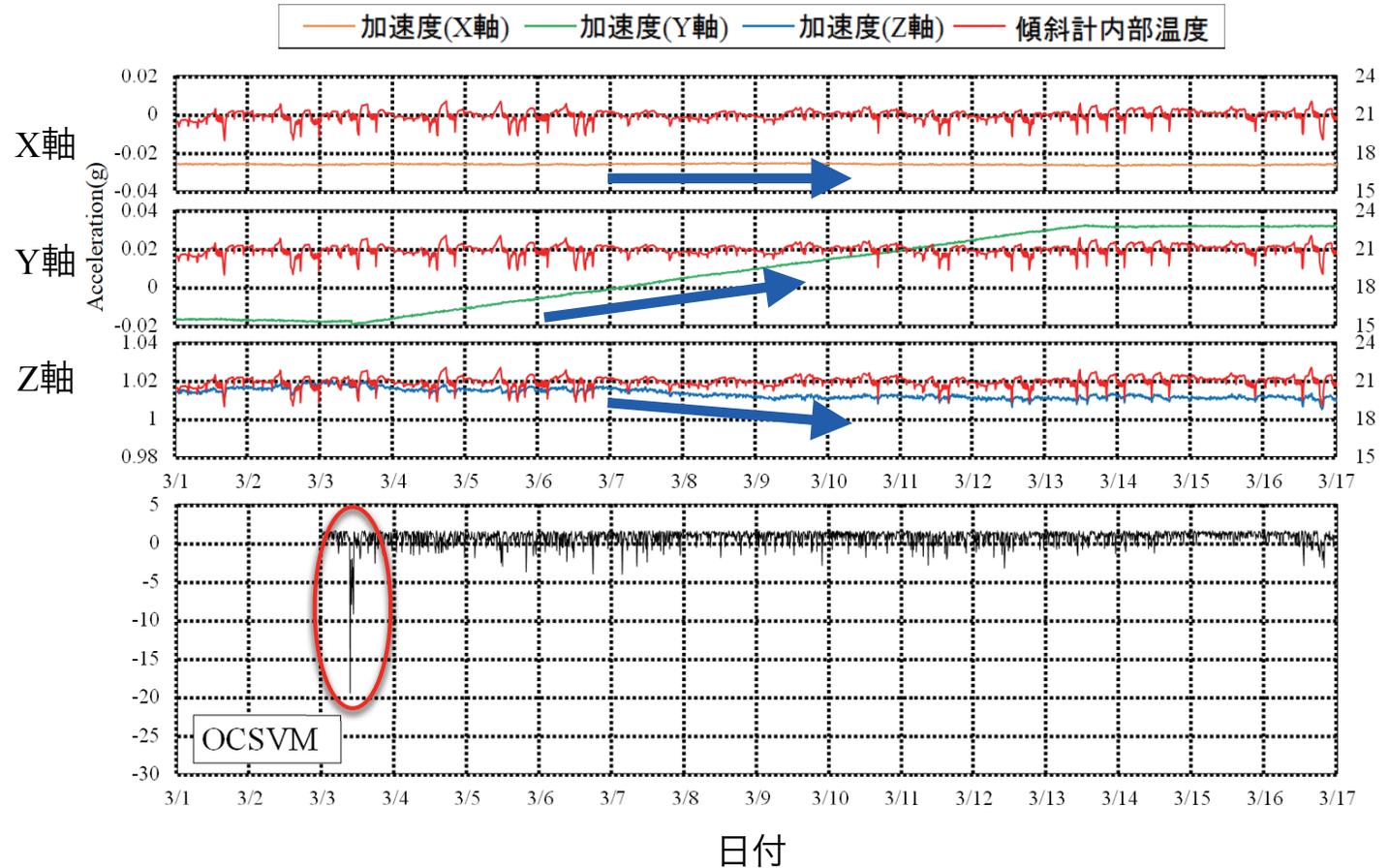
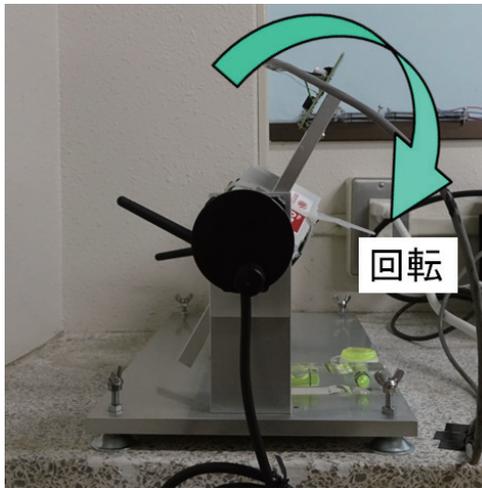
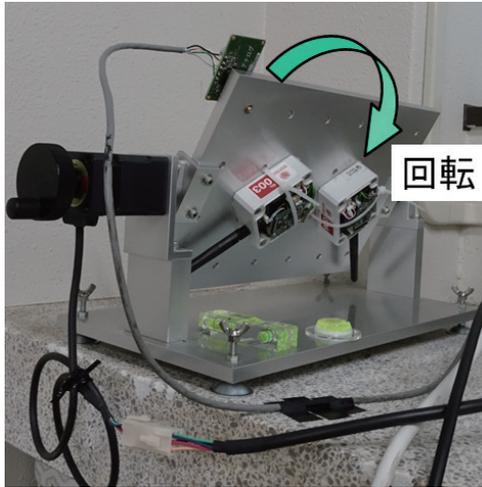
カーネルトリックと呼ばれる方法を用いて、非線形の識別関数を構成できるように拡張したサポートベクターマシンは、現在知られている多くの手法の中でも認識性能の優れた学習モデルの一つであると考えられている

SVMを領域判別問題へ適用した1クラスサポートベクターマシン (One Class Support Vector Machine, OC-SVM) が、外れ値検出等に用いられている。



One Class SVMを用いた変動検出

# 室内実験

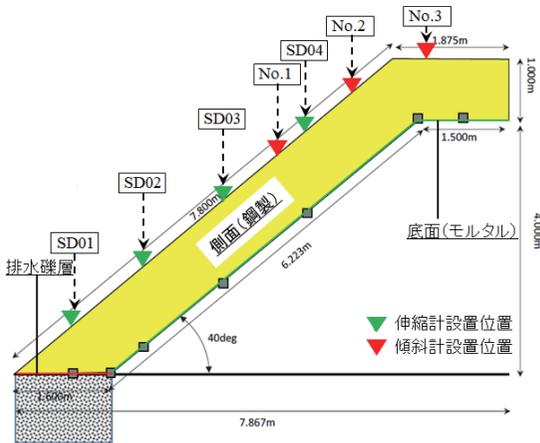
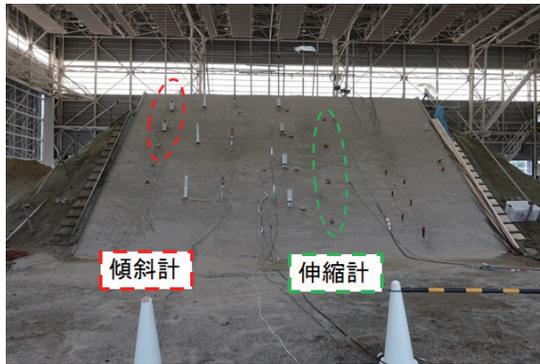


傾斜計を恒温室内にて，回転角度を制御可能な台に取り付けて，回転させ加速度変化を計測。

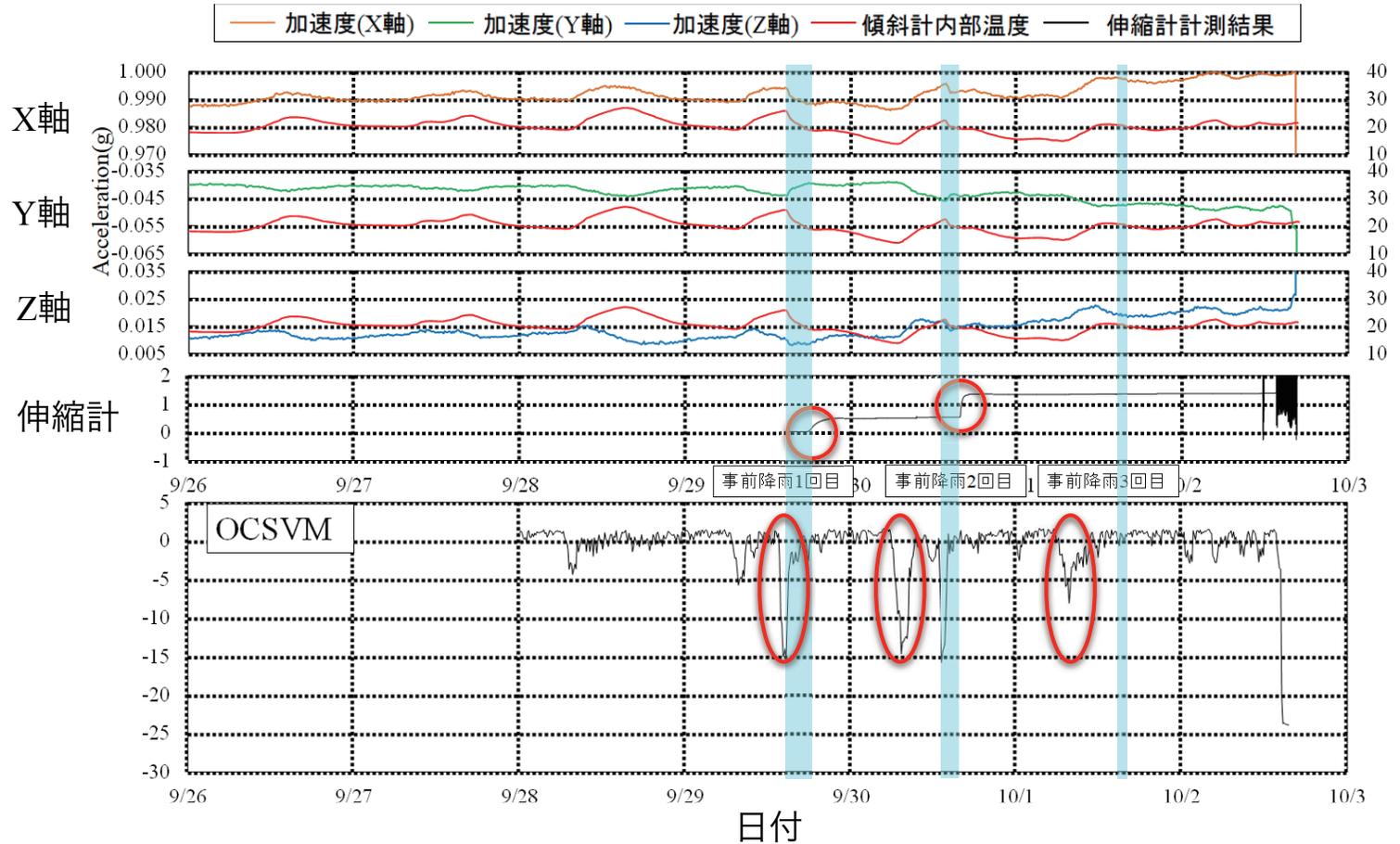


室内温度が一定であるため，加速度変化が明確

# 模型斜面計測結果への適用



防災科研大型降雨実験施設で行った斜面崩壊実験



屋内であるが、温度変動により斜面変動による加速度変化を特定するのが困難

OCSVMにより、加速度が変化した時刻を特定可能

# まとめ

## 常時（連続）計測結果の整理・活用方法

様々な要因により変化する計測値から，計測対象の変動を検出

- （ハード対策（計測機器，設置方法）
- （ソフト対策（温度補正など）

機械学習やデータマイニングなど，統計学に関連した整理方法の適用

SN比が小さい（斜面変動より，気温変化などによる日変動のほうが大きい）  
変動開始時刻の特定（分解能と精度，SN比）