

MEMS 型三軸傾斜計による斜面変動検出方法に関する検討

鳥取大学大学院 学生会員 ○安住 晴
 鳥取大学大学院 正会員 中村 公一
 オフィス im3 正会員 島内 哲哉
 日本総合建設株式会社 正会員 小野 和行
 防災科学技術研究所 正会員 酒井 直樹
 岡山大学大学院 国際会員 西山 哲

1. はじめに

近年、MEMS 型加速度センサを搭載した小型の地盤傾斜計が地すべりや斜面崩壊の監視に用いられている。しかし、計測結果の解釈の難しさなどから実務における計測事例はまだ少ない。本研究は、防災科研にて実施した大型盛土斜面崩壊実験での事前降雨に対する地表面の傾斜変動の計測結果を用いて傾斜変動検出方法について検討する。

2. 実験概要

実験は国立研究開発法人防災科学技術研究所と公益社団法人地すべり学会の共同研究として行われ、10 機関が参加している。図 1、図 2 に模型斜面の概要を示す。模型斜面の形状は高さ 4.5m×幅 9.0m、層厚 1m、密度 $1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、斜面角度は 40 度である、斜面側面は鋼製であり、斜面底面はモルタルで形成され、非排水としている。法先底面には排水礫層を設け、常時ポンプを稼働し排水することで、排水条件を保った。なお、降雨は大型降雨実験装置を用いている。

実験試料は、茨城県笠間で採取したマサ土を使用した。土粒子密度試験、粒度試験を行った結果より土粒子密度 $\rho_s = 2.640 \text{ g/cm}^3$ であり、最大粒径 9.5mm、平均粒径 2.2mm、均等係数は 14、曲率係数は 1.5 であるため粒径幅の広い土に分類される。

傾斜計は図 3 に示す子機を 3 機使用し、10 分間隔で測定している。また、図 2 に設置位置を示す。

表 1 に実験の日程を示す。傾斜計での計測は機材設置日(9/25)からの斜面崩壊(10/2)まで行っている。降雨は斜面崩壊を発生させる目的の本降雨と、本降雨までに 3 回の事前降雨が実施されている。事前降雨は 1 回目に降雨強度 20mm/h を 180 分、2 回目に降雨強度 30mm/h を 120 分、3 回目に降雨強度 50mm/h を 66 分行った。

3. 事前降雨実施期間の斜面変動

これまでの計測事例の検討より、傾斜計の計測結果は温度変化の影響をうけることがわかっている。そのため、計測対象の変動量を正確に得るためには温度補正する必要がある。補正方法は土壤水分量測定値の温度補正として提案されている方法^{1), 2)}を用いた。温度補正係数は模型斜面に人為的な変動がない計測日(9/26, 9/27)の温度特性図より求めた傾きを用いた。

図 4 は傾斜計 No.3 の機材設置日(9/25)から斜面崩壊(10/2)までの計測結果と温度補正後の計測結果である。また、図中に事前降雨が行われた時間を青い帯で示す。図 4、図 5 の AccX, AccY, AccZ はそれぞれ X 軸, Y 軸, Z 軸の加速度を示す。まず、傾斜計の内部温度の変化について述べる。図をみると、9/28~9/30 では傾斜計内部温度の変化量が大きい。これは、外気温の変化が大きいため生じたと考えられる。1, 2 回目の事前降雨を行っている時間帯での傾斜計内部温度変化に関しては降雨により傾斜計本体が冷やされたために生じたと考えられる。図の温度補正前の計測結果ではこのような温度変化と連動して計測値は変化しているため、この図からは斜面が変動しているか判断することは困難である。また、No.3 の AccY と AccZ を比較すると軸により温度の影響を受ける度合いが異なっていることがわかる。温度補正後では 1, 2 回目の事前降雨開始直後に変動しており、計測値の変動の大きさは降雨を行うたびに小さくなっている。これは、降雨を行うごと

表 1 実験日程

実験当日までの日程	
日付	イベント
9月25日	機材設置日
9月26日	休日
9月27日	休日
9月28日	他機関の機材設置日
9月29日	事前降雨1回目(14:30-17:30)
9月30日	事前降雨2回目(13:30-15:30)
10月1日	事前降雨3回目(15:19-16:21)
10月2日	実験当日(本降雨)

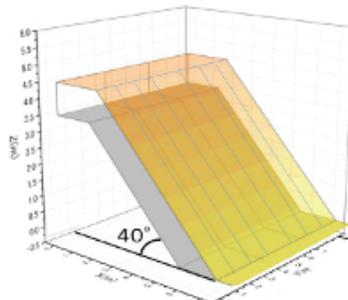


図 1 模型斜面概要³⁾

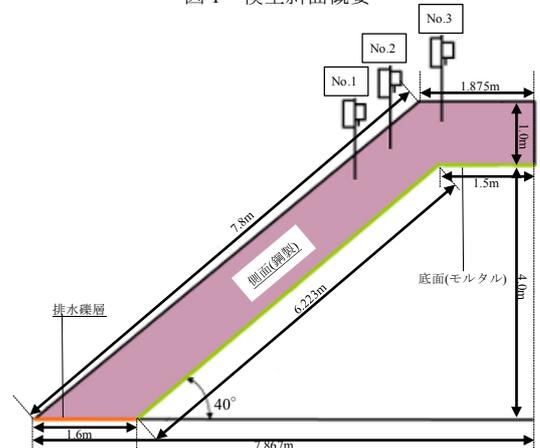


図 2 模型斜面概要³⁾

	MEMS型加速度計	LIS331DLH(3軸) 測定レンジ±2G/4G/8G ±2Gを使用 A/D変換 16bit
	傾斜計	W65×D53×H36mm 周波数帯域429Hz帯 電池(3.3V)を使用 10分間隔にて計測
	親機+PC	PC(OS:Windows)のソフトにより10分間隔の計測データを取得

図 3 傾斜計概要

キーワード 傾斜計, 模型実験, 降雨

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL:0857-31-5986

に模型斜面が締め固められた影響が考えられる。

事前降雨毎の傾斜変動状況について検討する。以後、温度補正後の結果を用いる。3回実施された事前降雨を、各降雨開始時間から次の事前降雨開始直前までを1回としてまとめた図が、図5になる。図は事前降雨開始時の加速度を基準として次の事前降雨開始までの加速度 $Acc(n)-Acc(0)$ をプロットした。ここでは、No.3の $AccX$, $AccY$, $AccZ$ を示す。図の事前降雨1回目と2回目での $AccX$, $AccY$ をみるとほとんど変動しておらず、事前降雨の影響もみられない。つぎに、 $AccZ$ をみると事前降雨直後に変動しており経過時間3~6時間まで大きい変動量で変動が続き、その後はゆるやかに変動している。しかし、経過時間が18時間前後で2度目の大きい変動が生じている。この変動に関して、X軸とZ軸は対応しているのでZ軸に変動が生じると同程度の変動がX軸にも生じるはずである。しかし、図ではX軸にも変動がみられるもののZ軸の変動と比較するとその変動量は半分以下である。事前降雨3回目はすべての加速度でほとんど変動がなく、事前降雨の影響もみられない。

温度変化に対する傾斜角度の変動傾向、変動状況を9/29の計測結果のヒステリシスより述べる。図6は、No.3における0時の傾斜角度と温度を基準にして、0時から24時までの傾斜角度 $\theta(n)-\theta(0)$ と温度 $T(n)-T(0)$ をプロットした。この図は温度補正後であるため、変動がない場合は、温度 $T(n)-T(0)$ は変動しても、傾斜角度 $\theta(n)-\theta(0)$ は変動しない。したがって計測値がある傾きを示すと、変動があったと判断することができる。これより図中に変動したと考えられる箇所を赤い矢印で示した。図をみると0:00から8:00まで微小な変動量で変動している。そして、8:00から8:10で変動量は急変しているため計測値に。その後は事前降雨開始まで変動量が急変することなく変動している。しかし、事前降雨開始からは15:50まで変動量は大きくなっている。15:50から18:00まで微小に変動した後、18:00から1時間程度温度変化はなく変動のみが生じている。

4. まとめ

事前降雨による斜面変動の計測結果について検討した結果は以下のようにまとめられる。図5のように経時的に変動量を表した図では基準値を設け斜面変動が生じているか判断しなければならない。しかし、図6に示すヒステリシスを用いて考えると計測値の傾きから変動の有無を判断することができる。

参考文献

- 1) 山中ら:TDRによる土壌水分測定値の温度依存性とその原位置測定データに基づく補正, 水文・水資源学会誌, vol.16, No.3, pp.246-254. 2003.
- 2) 中村ら:傾斜計計測値の温度補正方法に関する検討, 第70回土木学会年次学術講演会講演概要集, III-255.
- 3) 防災科学技術研究所での実験当日配布資料

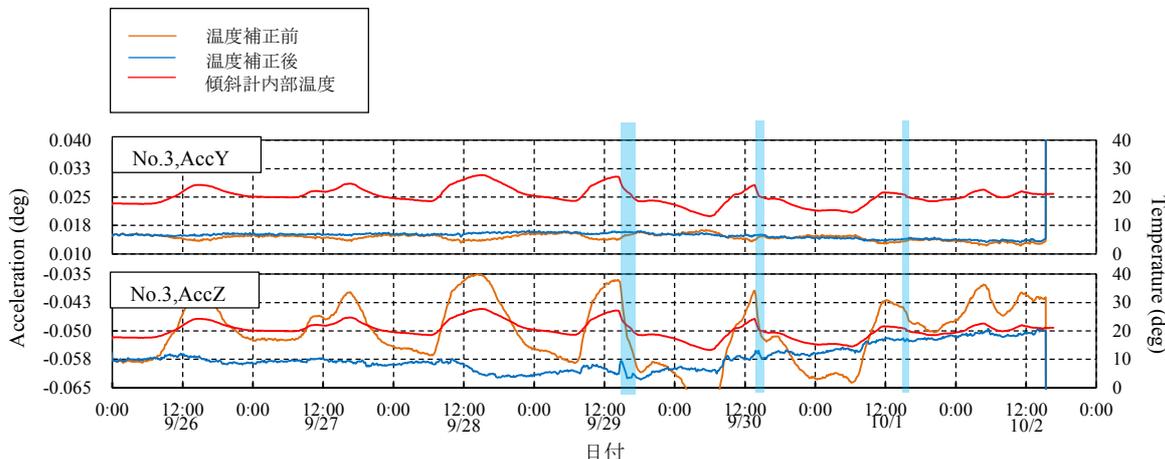


図4 計測結果

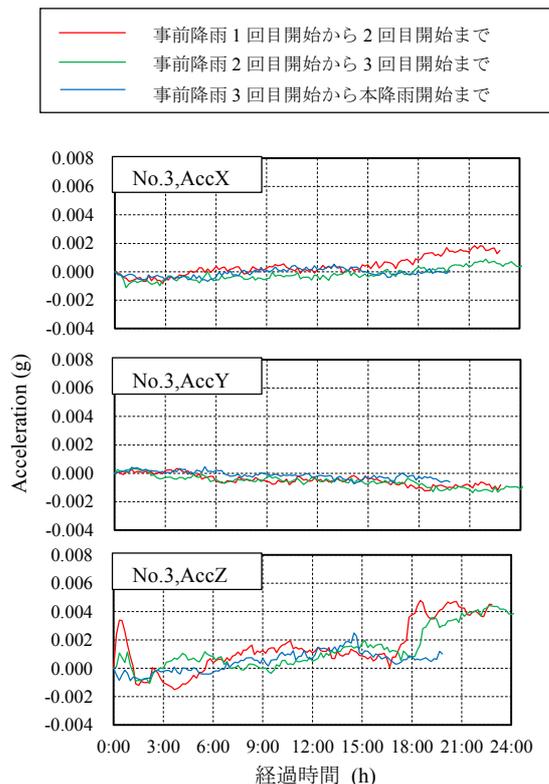


図5 事前降雨開始から次の降雨開始までの変動量

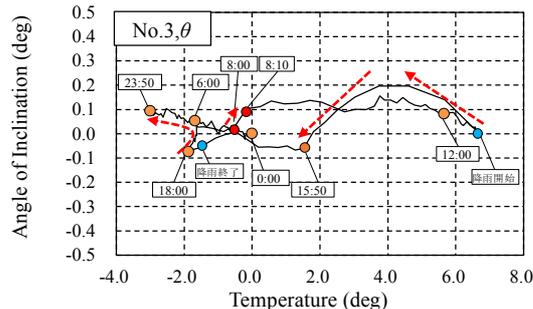


図6 傾斜角度 θ のヒステリシス(9/29)