

傾斜計による擁壁の変状計測の試み

鳥取大学大学院

オフィス im3

日本総合建設株式会社

日本総合建設株式会社

岡山大学大学院

正会員

正会員

正会員

非会員

国際会員

○中村 公一

島内 哲哉

小野 和行

塚原 健太郎

西山 哲

1. はじめに

近年, MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と呼ばれる機械要素部品と電子回路を集積化した小型デバイスを用いて, 地盤の挙動を計測するシステムの構築が進められている. しかし, 実際の斜面に適用し, 崩壊に繋がる挙動を捉えた報告はまだ少ない. ここでは, MEMS 加速度センサを用いた傾斜計を変状がみられる擁壁に取付け, 得られた結果について報告する.

2. 傾斜計と角度への変換について

使用した傾斜計は, 地層科学研究所製 (INC-100) である (写真-1 参照). 加速度センサの座標軸は, アンテナ方向を X 軸, ケース底方向を Z 軸とした左手座標系である. 計測項目は, 各軸の加速度, 温度と湿度である. 結果の考察にあたっては, 加速度を傾斜角に変換しなければならない. その方法には, 単軸の加速度のみで求める方法と, 2 軸~3 軸を用いて求める方法がある. ここで単軸の加速度センサより求める角度の分解能はコサイン (cos) カーブ特性を持つため, 考慮する軸が多いほど互いの軸の感度が補間され, 最適な球面座標への変換が可能になる. 本報告では以下の方法で傾斜角に変換した.

基準となる軸は写真に示すように, X 軸と Y 軸は水平方向, Z 軸は鉛直方向である. 単軸の加速度より角度を求めるのは $\cos^{-1}$ により, また 3 軸の加速度より角度を求める場合の式を式(1)~(3)に示す. ここで, ZY-X は水平方向と加速度センサ X 軸との角度, XZ-Y は水平方向と加速度センサ Y 軸との角度, XY-Z は重力ベクトルと加速度センサ Z 軸との角度である.

$$ZY - X = \tan^{-1} \left(\frac{AccX}{\sqrt{AccY^2 + AccZ^2}} \right) \quad (1)$$

$$XZ - Y = \tan^{-1} \left(\frac{AccY}{\sqrt{AccX^2 + AccZ^2}} \right) \quad (2)$$

$$XY - Z = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{AccX^2 + AccY^2}}{AccZ} \right) \quad (3)$$

3. 設置状況

計測を行ったのは, 2012 年頃より路面の沈下や擁壁の変形が続く道路盛土の井桁擁壁である. 最も新しい沈下は 2014/6 月末に発生しており, 傾斜計は, この変動発生後の 2014/10 月に設置した. 設置位置は, 図 2 に示す井桁擁壁の中段および下段である. なお, 最初に設置したのは No2 傾斜計であり, No1 はその後の, 水抜きボーリング実施中 (12/17~12/28) の 12/25 に追加した. なお, 本変状に対しては, 既にパイプ歪計や光波測量による変位監視が実施されており, 傾斜計もその一環として設置した. 計測したデータは, 盛り土直下の受信機へと無線で送り, これを 3G 通信により東京のデータベースに転送後, 松本 (長野県)、東京および鳥取の 3 カ所で Web 監視を行った.

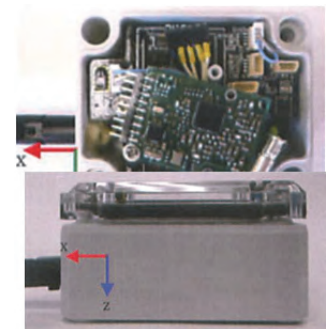
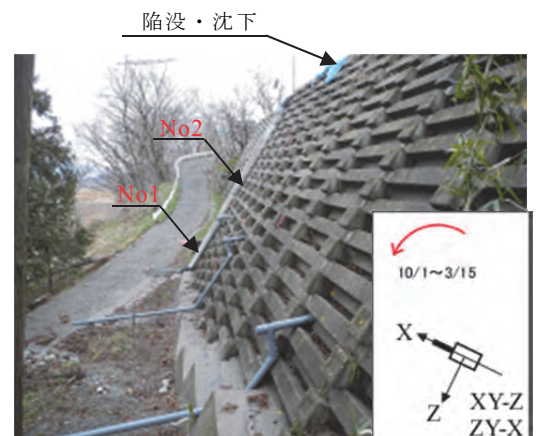
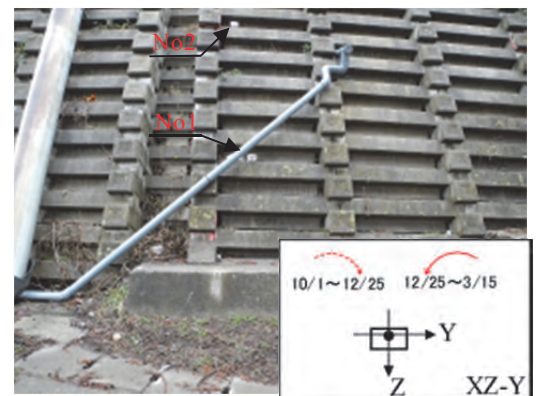


図 1 基準軸の方向



(a) 横断方向



(b) 縦断方向

図 2 傾斜計の設置位置

キーワード 傾斜計, 擁壁, MEMS

連絡先 〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 番地 TEL: 0857-31-5986

4. 擁壁の変状監視例

図3は、No1 および No2 の 2013/10/1～2014/3/15 間の計測データである。結果は各軸の傾斜角で表している。なお、気温による日変動や季節変動の影響は考慮していない。

最初に設置した No2(図中赤線)の動きからは、擁壁が傾斜計設置時から変動を続けていることがわかる。設置時から 12/25 までの変動量は、横断方向で -0.73° 、縦断方向で -0.30° である。これを擁壁の動きとして考えると、横断方向(XY-Z, ZY-X)は左回転、縦断方向(XZ-Y)は擁壁正面からみて右回転である。つまり、6月末の路面沈下発生後に一見落ちついたと見えた変状が、実際には進行中であったことを示している。傾斜計による計測結果には現れていないが、10/末にパイプ歪み計で累積変動を計測しており、これからも変動中であることが確認されている。

一方、12月の水抜きボーリング施工中に法尻近くのコンクリート桁に亀裂が発見されたため、No1 傾斜計を追加した。この工事を境に、No1, No2 傾斜計ともに、縦断方向(XZ-Y)が、それまでの右回転から左回転に変化する。12/25～2/10までの総変動量は 1.25° に達し、傾斜計を設置した桁の長さを1.6m、いずれかの片側を起点とすると、もう一方の端は2～3cm傾いたことになる。

しかし、この大きさに相当する変位や変形、あるいは亀裂は見つかっていない。これに対し、横断方向(XY-Z, ZY-X)の変動をみると、下段のNo1は減少と増加を繰り返しながらも2/10までに -0.58° 変化した。また中段のNo2は、それに比べると変動は小さいものの低下は続いており、2/10までの変動量は -0.43° に達した。No1, No2 の変動時期は完全に一致する訳ではないが、ほぼ相前後する形で進行していることから、変動量の違いは設置位置の違いによるもので、変動そのものは擁壁全体に及ぶものとみられる。各傾斜計のコンクリート土台からの比高差は、No1 が1.0m, No2 では3mほどである。単純に土台を固定端とすると、No1 は約1cm, No2 は約2cm以上も前に出たことになり、現象としては転倒ないし孕み出しが想定される。井桁擁壁の構造上、変形箇所の直接確認は難しいが、コンクリート桁に生じた亀裂はこのよう全体的な動きの過程で局所的な応力集中によって生じたものとみられる。なお、1月はじめから、水位は水抜きボーリング施工の効果で約1.2m低下している。また2/10以後は、横断、縦断方向ともに変動量は小さくなり、現在(4月)に至っている。MEMS 加速度センサによる傾斜計から得られたこのような変動は、その大きさはともかく、パイプ歪計や光波測量による変位計測結果ともほぼ一致している。

5. まとめ

配線のいらない小型の三軸傾斜計という特徴を活かし、MEMS 加速度センサによる擁壁の変状監視を行った。本計測結果からは、①6月末の路面沈下発生後も擁壁は変動していたこと、②その動きは擁壁の孕みだしや転倒傾向のものであることなどを確認できた。計測期間中、擁壁背面の地下水低下に伴う変動も計測されているが、2月に入ってから小康状態に近づいている。今後、気温の影響や、角度の誤差に対する検証は必要となろうが、他の計測機器の動きと照らしあわせると、今回使用した傾斜計は変動の傾向をとらえるうえでは十分な性能を有しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 木村直樹：道路防災モニタリングネットワークシステム構築に関する研究，平成21年度近畿地方整備局研究発表会 防災・保全部門 No7, 2009.
- 2) 萩原郁夫，島内哲哉，西山哲，矢野隆夫：無線センサを利用した岩盤斜面モニタリングの検討，第46回地盤工学研究発表会，pp.1859-1860, 2011.

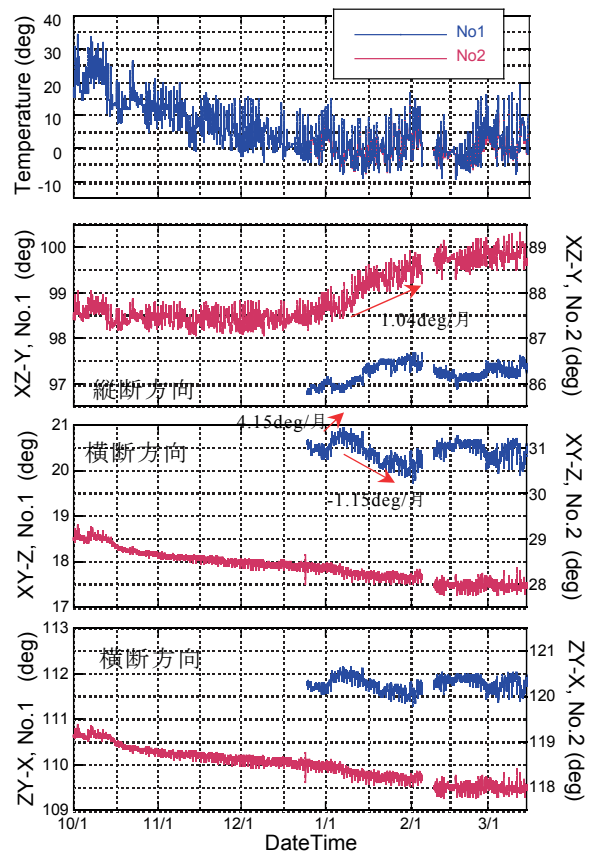


図3 傾斜角の経時変化