

掘削土留め工の変形計測に適用した MEMS 傾斜計の影響因子分析

西日本旅客鉄道(株)

正会員

○小湊祐輝

山田孝弘

(公財)鉄道総合技術研究所

正会員

松丸貴樹

1. はじめに

鉄道近接掘削工事の土留め壁の変形計測では、多段式傾斜計を用いることが多い。筆者らは、より簡易な計測手法の開発を目的に、地すべり検知で実績のある MEMS 傾斜計¹⁾に着目し、土留め壁の変形計測への適用性・実用性について実現場にて確認を行ってきた²⁾。本論文は、実計測データを基に、気象条件や列車走行の有無等と計測結果との関係性について報告する。

2. MEMS 傾斜計の特徴

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) とは、加速度センサー、アクチュエータ、電子回路を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料などの上に集積化した超小型デバイスである。MEMS 傾斜計は、このデバイスを活用した傾斜計(センサー部)と無線(データ送信部)で構成され、外寸約 250×370mm、重量約 890gf とコンパクトである(写真 1)。



写真 1 MEMS 傾斜計

3. 現場・計測概要

図 2 に、現場略図ならびに土留め壁に設置した MEMS 傾斜計の配置状況を示す。計測対象は、線路下(複線)横断函渠構築のための立坑の線路側土留め壁である。線路側土留め壁は、掘削深さ 3.0m の自立式ソイルセメント壁(長さ 13.0m)で、軌道中心との離隔は 4.1～4.4m である。掘削は、1次掘削 GL-0.5m、2次掘削 GL-3.0m の2段階で行った。

表 1 に計測概要を示す。MEMS 傾斜計は、鉛直方向1測線当り2箇所(土留め壁頭部、頭部から 1.5m の深度)に設置した。計測は、10 分間隔の 24 時間自動計測を行った。

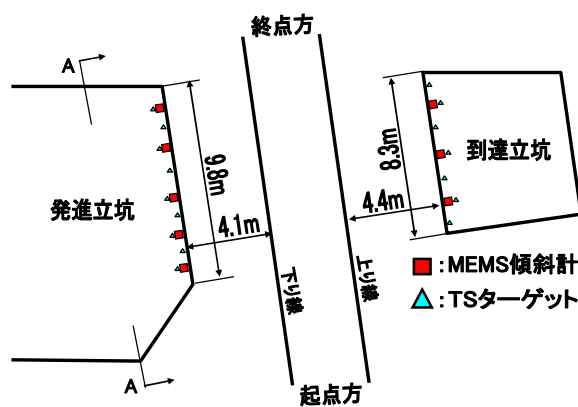


図 2 現場略図・計測機器の配置状況

4. 計測結果・分析

(1) 気温の影響

図 3 に、2次掘削完了後の下り線側・測線③の実測値(傾斜角)と気温の経時変化の一例(9/7～9/9)を示す。傾斜角の+側が、土留め壁の掘削領域側への傾斜を示す。傾斜角と気温はほぼ同位相で変化しているが、上段では、パルス的な値が何度か得られていることが特徴的である。そこで、傾斜角と気温の相関関係を把握するために、測線③の上下2つの傾斜計を対象に、図 4 に示すように傾斜角と気温の関係図を作成し、一次回帰式による近似を試みた。なお、対象とした期間は 9/5～9/11 であり、この期間は土留め壁に変形を及ぼすような工事は行っ

表 1 計測概要

	発進立坑(下り線側)	到達立坑(上り線側)
掘削形状	幅 9.8 × 深さ 3.0 m	幅 8.3 × 深さ 3.0 m
MEMS 傾斜計	10 箇所(5 測線 × 2 点)	6 箇所(3 測線 × 2 点)
計測項目	傾斜角 (24 時間自動計測)	
計測期間	H23.9 ～ 11 (掘削開始～完了後)	

キーワード:掘削土留め工, 変形計測, 傾斜計, MEMS

〒700-0042 岡山県岡山市北区駅元町 1-3

TEL 086-223-1351 FAX 086-223-7416

ていない。測線③下段については傾斜角と気温に高い相関性(相関係数 0.89, 標準偏差 0.03)があることがわかった。一方上段は、下段ほどは高くはないものの、ある程度の相関性があることが認められた(相関係数 0.52, 標準偏差 0.05)。これより今回の計測に限れば、MEMS 傾斜計による実測値は、一次回帰式でほぼ近似できることを示唆している。

(2) 列車走行の影響

前項に示したように、上段の実測値は気温との相関性が低かったことから、実測値の影響因子の一つとして列車走行の有無に着目し、その影響について確認した。図5に、一例として9/9に実測した傾斜角と列車走行の有無(○印)の関係を示す。特に、パルス的な傾斜角の発生時刻と当該区間の列車ダイヤを照合することで、列車走行の影響分析を試みた。計測は10分間隔のため、必ずしも列車通過時にサンプリングできているわけではない。その前提のうえ30日間の実測値でみれば、都合19点のパルス的な傾斜角が得られ、列車ダイヤに基づくとそのうち13点で列車走行を確認することができた。なお、パルス的なデータは連続的にサンプリングされていないことを確認している。以上より、データ数は限定されるものの、定性的にはパルス的なデータの発生と列車走行が一致しているといえる。

(3) 精度管理に関する考察

実際の計測管理では、事前に(1)(2)のような影響因子を把握し、精度管理に活用することが望ましい。そこで、両因子の影響度が事前に把握できていると仮定し、実測値の補正を試みた。気温の補正には(1)で得られた回帰式を活用し、列車の影響補正には、直前の5データのうち最大・最小値を除いた3データの平均値を用いることとした。これは、通常の掘削工事では、変形が脆性的に進行することは稀で、過去1時間以内のデータを評価に活用することは著しく妥当性を欠くものではないと判断した。

図6に掘削の進行期間(8/27)を対象とした補正後の傾斜角の経時変化を示す。気温に応じた傾斜角の変動は小さくなっており、列車走行に起因すると推定したパルス的な変動も大幅に削減されている。これより、気温変化、列車走行の影響を取り除くことができているものと考えられる。掘削に伴う土留め壁の変形はほとんど生じていないと判断される。

5. おわりに

掘削土留め工の計測に活用したMEMS傾斜計の実測値を対象に、気温ならびに列車走行の影響を統計的に確認し、実測値の補正を試みた。今後、計測データを蓄積し、影響因子を定量的に評価することで、計測管理の精度向上が期待できる。

＜参考文献＞ 1) 福田ほか: 斜面崩壊を対象とした傾斜計によるリアルタイム危険予測, 第42回地盤工学研究発表会, 2007. 2) 小湊ほか: 鉄道近接掘削工事における土留め壁の計測へのMEMS傾斜計の適用, 第47回地盤工学研究発表会, 2012.(投稿中)

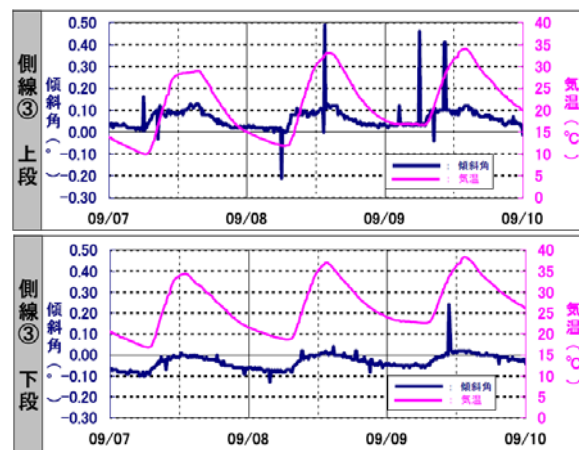


図3 傾斜角と気温の経時変化(測線③)

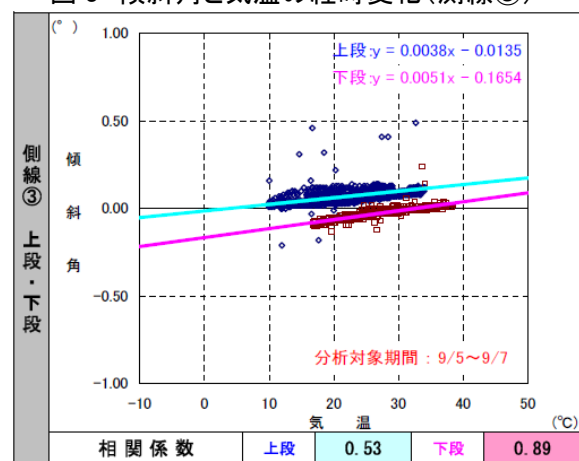


図4 傾斜角と気温の回帰分析

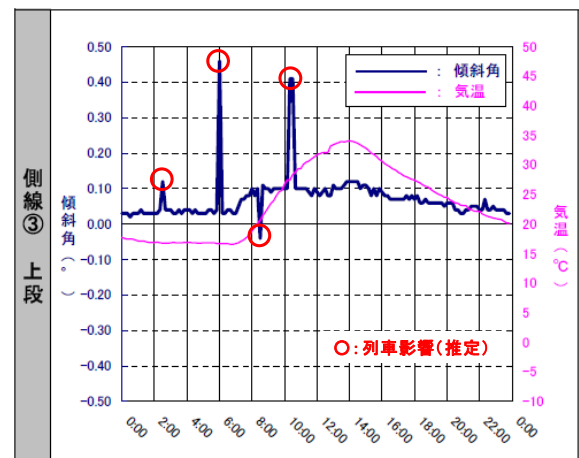


図5 傾斜角と列車走行の関係

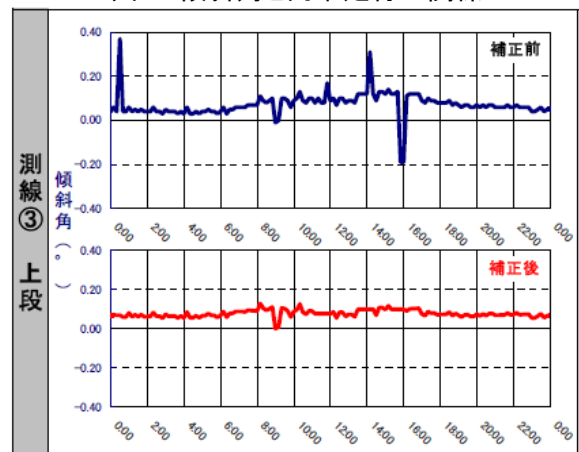


図6 傾斜角と気温の経時変化(補正後)