

トンネル坑口掘削に伴う傾斜センサーを用いた斜面モニタリング事例

中央開発株式会社 森 大器

1. はじめに

近年、工事現場の安全管理や構造物の維持管理の一環として、計測機器を用いた遠隔モニタリングの需要が拡大している。

A トンネルの坑口部では、先行調査により地すべりブロックの存在が判明し、トンネル掘削に伴う地すべりブロックの滑动が懸念されることから、2019年3月から傾斜センサーを地すべりブロック内に設置して斜面モニタリングを実施している。

傾斜センサーはトンネル掘削によって坑口背後斜面の表層部に変動が発生した際に、累積傾斜角度や傾斜角速度によりその滑动性を把握することができる。

そこで、本稿では傾斜センサーと地すべりブロックの深部の変動を計測できるパイプ歪計とを組み合わせ、トンネル坑口掘削に伴う地すべりブロック全体の挙動を評価した事例を紹介する。

2. モニタリングの概要

傾斜センサーは、斜面の緩みや地すべり等を要因として徐々に変動する地表面の傾斜角度を経時的に計測するために、トンネル坑口背後斜面に分布する地すべりブロック内に計10箇所設置した。センサーモジュールは、地中50cm程度の位置に埋設し、地上部には無線通信機を設置した。地盤が変動すれば、地表面が傾斜するため、その傾斜角度(θ)を経時的(標準10分間隔)に測定し、傾斜角度の累積や、傾斜速度の変化等で、地すべり変動の前兆をリアルタイムで把握することができる。

傾斜センサーは地すべりブロックの主測線上付近(K-1, K-2, K-4, K-5, K-7, K-8, K-9, K-10)と、地すべりブロックの末端翼部(K-3, K-6)に設置した(図-1)。

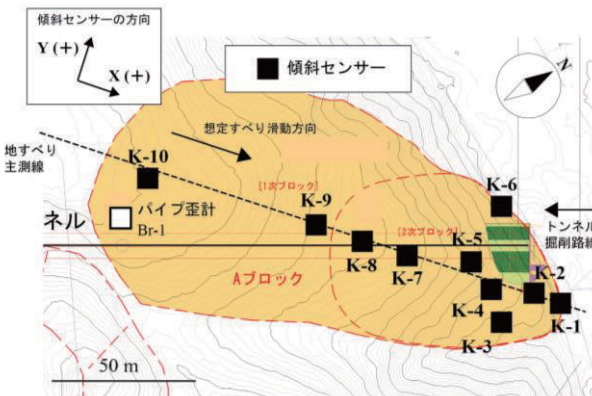


図-1 傾斜センサーの設置位置

3. モニタリング結果

図-2は地すべりブロック内に設置した傾斜センサーのうち、K-5, K-6, K-7, K-8, K-8, K-10の累積傾斜角度の変化図(X軸・Y軸)である(9月中旬の空白は欠測)。

モニタリングの結果、2020年6月から8月にかけて、トンネル掘削経路直上付近に設置した傾斜センサーK-5, K-7, K-8, K-9に明瞭な累積角度の変動が認められた。

なお、この期間中に地すべりブロックの末端部の傾斜センサー(K-1・K-2・K-3・K-4・K-6)および地すべりブロックの冠頭部のK-10には累積傾斜角度の顕著な変動は認められなかった。

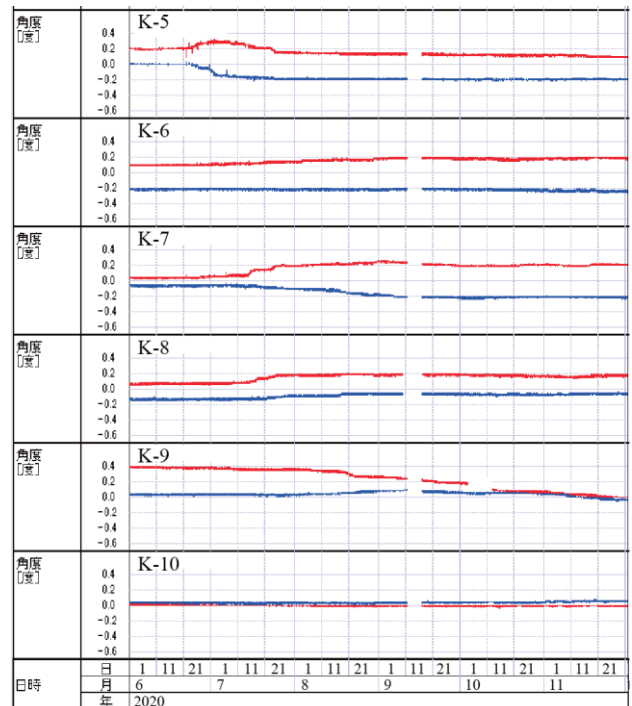


図-2 累積傾斜角度の変化図(2020年6~12月)

4. 検討・考察

(1) トンネル坑口掘削の影響

A トンネル坑口の掘削は2020年6月より開始された。トンネル掘削の進捗と傾斜センサーの変動を比較した結果、傾斜センサーに変動がみられた時期(2020年6~8月)とトンネル掘削の開始時期は一致している。傾斜センサーの分解能(±0.02°)を考慮し、2020年6月1日0時00分00秒の値を基準として±0.05°以上の変動を記録した日を変動開始日とした(図-3)。各累積傾斜角度の変動開始日とトンネル掘削の進捗を比較することで、坑口背後斜面への影響を検討した。

傾斜センサーからトンネル掘削路線までの離隔距離と傾斜センサーと切羽までの離隔距離を比較すると、累積傾斜角度は掘削が傾斜センサーに接近した際に変動していることがわかった(表-1)。トンネル掘削が各傾斜センサー直下周辺を通過後は傾斜センサーの変化の収束が認められることから、2020年6～8月の変動はトンネル掘削による影響であると判断される。

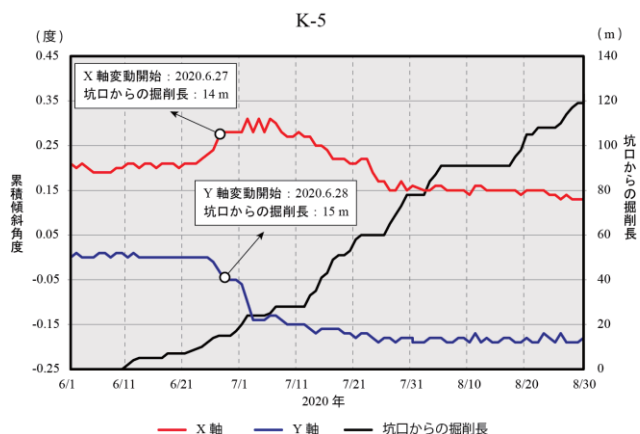


図-3 K-5 累積傾斜角度の変動(2020年6～9月)

表-1 傾斜センサーの離隔距離

	K-5		K-7		K-8		K-9	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
傾斜センサーとトンネル掘削路線との離隔距離 (m)	11.26		25.90		29.00		37.92	
傾斜センサーと切羽との離隔距離 (m)	11.26	11.28	26.56	35.93	29.74	37.27	40.66	56.84

(2) 地すべりブロックへの影響

トンネル掘削の地すべりブロックへの影響を評価するため、既設パイプ歪計 Br-1の計測結果(図-4)と傾斜センサーの計測結果との比較検討を行った。

パイプ歪計 BR-1はトンネル掘削が近傍を通過した9月中旬から10月上旬頃にトンネル掘削深度に近い深度50～60m付近で顕著な変位がみられた。一方、パイプ歪計に最も近い傾斜センサーK-10には同時期に明瞭な変動は見られなかった。

また、トンネル掘削直上の傾斜センサーK-5、K-7、K-8、K-9に変動が認められた時期には、パイプ歪計 BR-1に変位がみられないことから、傾斜センサーで認められた傾斜角度の変化は地すべり挙動に起因したものではなく、トンネル掘削に起因した局所的な地盤のゆるみの影響であったと考えられる。

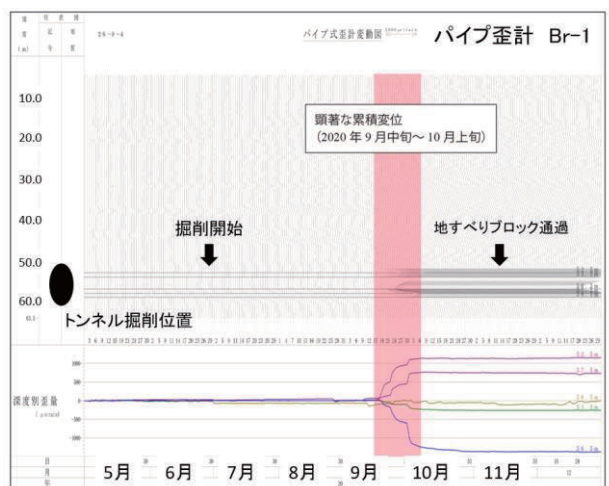


図-4 パイプ歪計 Br-1 変動図 (2020年7月～12月)

5. おわりに

A トンネルの坑口掘削に伴う傾斜センサーを用いた斜面モニタリングの結果、トンネル掘削路線の直上付近に設置した傾斜センサーの累積傾斜角度の変化は、トンネル掘削の影響であると判断した。また、パイプ歪計の計測結果と比較すると、表層部と深部にそれぞれ発生した値の変化は地すべりブロック滑動に起因したものではなく、トンネル掘削による局所的な地盤のゆるみに起因したものであると推察した。

傾斜センサーはパイプ歪計などの計測機器と比較して設置が容易であり、また安価であるなどのメリットがある。今後同様のトンネル掘削などの現場での安全管理を目的とした傾斜センサーの運用が期待される。

また、本事例のように傾斜センサーを他のセンサーと組み合わせることで変状の推定に活用できる可能性も示された。