

## 再帰性反射塗料ターゲットを用いたリアルタイム切羽安全監視システム

鹿島建設 正会員 ○佐藤 一成, 伊達 健介, 大畑 俊輔, 瀧先 弘一  
 鉄道総合技術研究所 上半 文昭  
 小松プロセス 松浦 宏明  
 西日本高速道路株式会社 田中 満, 前田 佳克, 真有 祥太

### 1. はじめに

山岳トンネル工事では、トンネル掘削に伴う地盤への影響が切羽に現れることが多いことから、切羽の状況を常にモニタリングしておくことが重要である。筆者らはレーザー距離計を用いて、切羽の押し出し変位を測定し、変位傾向から崩壊時間を予測することで安全監視するシステムを開発し、複数の現場で適用してきた。今回は、本システムの品質を確保しつつ、導入に伴う作業を軽減するため、吹付けコンクリートに適した再帰性反射塗料を開発し、現場適用を行い、良好な結果を得た。下記に、その結果を示す。

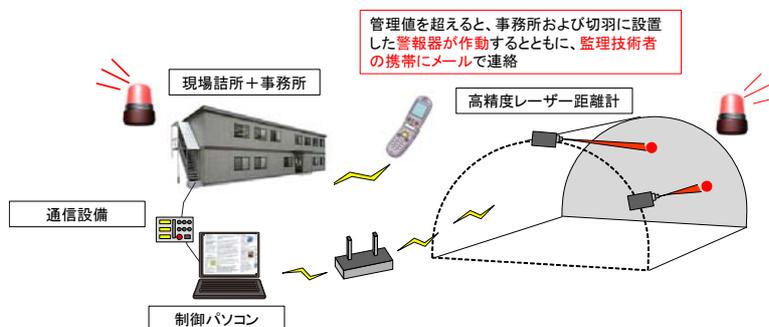


図-1 リアルタイム切羽安全監視システム概要図

### 2. システムの概要

図-1にシステムの概要図を示す。本システムは大きく分けるとレーザー距離計と制御用パソコンで構成される。切羽より一定距離を置いたレーザー距離計により定期的に切羽までの距離を計測する。データは制御用PCに無線通信により転送され、リアルタイムで演算を行い、変位速度および崩壊予測時間を算出する。

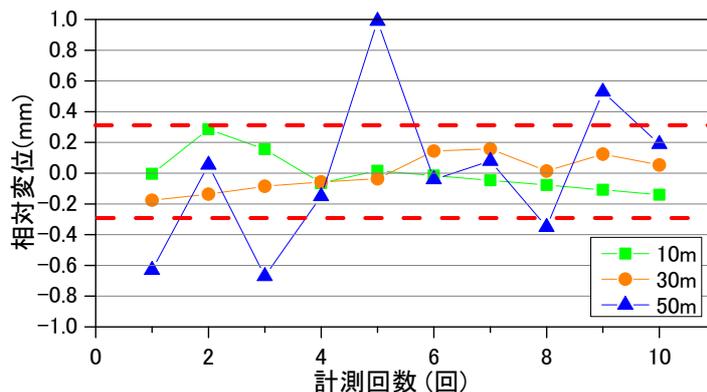


図-2 レーザー距離計測の離隔距離によるバラツキ

崩壊予測時間は、レーザー距離計の計測データ変位速度の逆数を算出し、変位速度の逆数が0となる時間と定義している。なお、変位速度の逆数は変位傾向を把握してから算出するようにプログラムされている。

計測結果は、坑内と現場事務所など任意の拠点にて確認でき、崩壊予測時間が管理値を超えた場合、自動で避難誘導の警告と管理者へのメールを発信することができる。

### 3. 既存システムの課題

中硬岩地山での計測も対象としているため、本システムでは±0.3mmの計測精度を必要としている。本システムで用いているレーザー距離計は、200mの離隔で計測可能な仕様とされているが、レーザーの照射面が吹付けコンクリートである場合、レーザーの反射強度が足りず離隔50m程度で要求精度を満足できなくなり、さらに遠距離の場合は計測不能となる(図-2を参照)。レーザー距離計を設置する位置は切羽面から10~20m離れた位置であるため、掘削が30m程度進行する都度、盛り替えが必要となるという課題があった。

### 4. 再帰性反射塗料を用いた計測精度・距離の向上

レーザー距離計の計測距離を延長し、盛り替え回数を減らすために、レーザーの照射位置に反射ターゲットを設置することができる。しかし、設置のためには切羽に接近する必要があるため、非常に危険を伴う。そこで、吹付けコンクリート面に対応した再帰性反射塗料を開発し、ターゲット設置・計測距離の改善を図った。

キーワード：レーザー距離計, 切羽変位, 切羽崩壊, 再帰性反射

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL: 042-485-1111

図-3 にトンネル切羽にて刷毛で塗布した再帰反射性塗料を照射した場合の、レーザー距離計の計測結果を示す。図-3 に示すとおり、75m の離隔でも±0.3mm の精度を確保できていることがわかる。また、210m までレーザーの反射が確認できており、対象が膨脹性地山の場合には要求精度も±2~3mm 程度となるため200m の離隔でも十分に機能させることができる。

再帰反射性塗料の塗布方法については、安全のため切羽から離隔を保って作業する必要がある。塗布方法については噴射装置を用いる方法、長尺ローラーを用いる方法の2種の方法を現場に合わせて選択可能である。いずれの方法でも刷毛で塗布したターゲットと同様の性能（反射輝度）を確認しており、レーザーの盛り替え回数を低減させ、計測の合理化に寄与することができる。

**5. 現場での適用事例**

本システムを、新名神高速道路 箕面トンネル西工事に適用した。本トンネル西坑口は比較的急な斜面に直行しており、超丹波帯の砂岩が中心であるが、五月山断層の破碎帯部が存在しているため亀裂が多い箇所と粘土を挟む強破碎帯が繰り返して分布し、過大な変位が発生する可能性があった。そこで、掘削開始から切羽押出し量を計測するため、切羽面より50m 程度の離隔で機器を設置したが、システムが屋外設置となり、光量の強さや雨天による悪影響が懸念された。計測結果を図-4、表-1 に示す（同図に地山の変位は含まれていない）。塗布前の平均誤差は±1.44 mmを示し、ノイズは±5mm の範囲で発生しており乱れが大きい。そこで、図-5 に示すように長尺ローラーによる再帰性反射塗料の塗布を実施した。切羽から3m 程度の離隔を保ち良好な作業性で塗布が行えた。塗布後の計測結果も同様に図-4、表-1 に示す。塗料を塗布することで、平均誤差は±0.27mm まで抑制され、ノイズも±1.0mm 以内に抑制することができた。土砂地山であることを考えれば十分な精度である。今後、屋外に設置した場合での精度を高めるべく検討を重ねていきたい。

**6. まとめ**

レーザー距離計を用いた切羽モニタリングシステムを用いて合理的に常時監視を行うために、専用の再帰性反射塗料を開発し、現場適用を実施した。計測精度を高め、盛り替え回数を減らせることで、安全かつ効率的な施工に貢献できていると考えられる。

**参考文献**

1) 福園輝旗: 表面移動速度の逆数を用いた降雨による斜面崩壊発生時刻の予測法, 地すべり, Vol. 22, No. 2, pp. 8-13, 1985

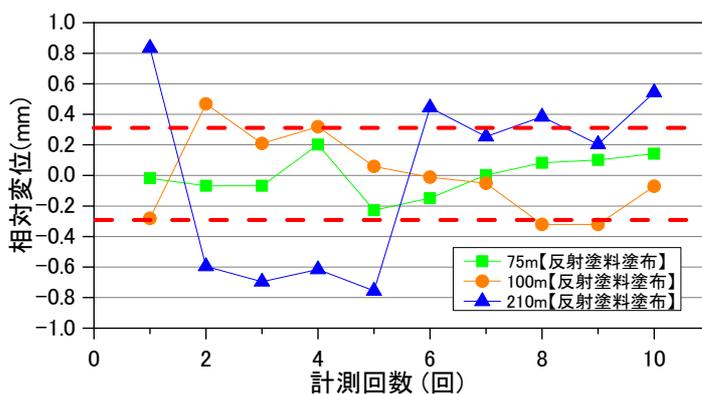


図-3 再帰反射性塗料を用いた場合の計測のバラツキ

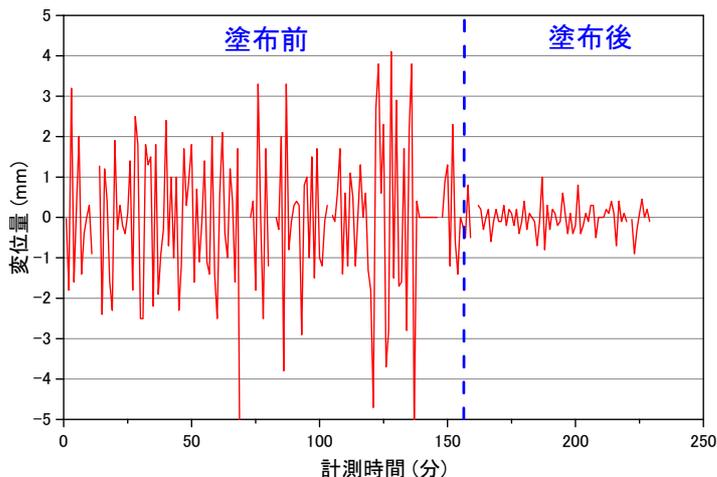


図-4 再帰性反射塗料塗布によるノイズ低減効果



図-5 長尺ローラーを用いての塗布

表-1 塗布前後による計測結果比較

誤差振幅	切羽右下	
	塗布前	塗布後
平均 (mm)	1.44	0.27
標準偏差 (mm)	1.17	0.23