

# 危険斜面における遠隔計測手法の開発

独立行政法人土木研究所  
土砂管理研究グループ地すべりチーム  
主任研究員 石田孝司

## 1．はじめに

地すべりブロックの末端部や境界部での小規模地すべりや崩壊の発生が災害となることは経験的事実である。この地すべり末端部や境界部の崩落土砂からなる堆積物は、背後の地すべり土塊や崩壊の拡大を抑えている可能性が大きい。しかしながら、人命救助、道路の通行や河積の確保等のため、応急処置として一時的でも崩落土砂を除去しなければならない場合がある。除去作業は安全性を確保するため監視員を配置するなど慎重に行われているが、背後の地すべりの誘発や再崩落による二次災害の危険性がある。また、対策を検討する上で早急な地すべり規模等の調査が必要となるが、これらの調査も安全に実施されなければならない。このような背景の中、危険な斜面に立ち入ることなく標的を崩落斜面に設置することで、遠隔から変位を精度よく計測する手法を開発した。

## 2．現状と課題

崩落危険斜面の変位を遠隔から計測できれば、安全性を客観的に評価しながら作業を進めることができる。このような場合の遠隔計測手法としてノンプリズム型トータルステーションを用いた計測が一般に行われているが、計測結果において機械の精度を超える誤差が生ずる場合がある。この誤差は、霧や積雪等の影響のない一般的に計測値が安定すると考えられる時期にも生ずることから、同一点を視準していないことに起因する誤差(以降、視準誤差という。)が主たる原因と考えられる。また、夜間は視認性が低下するため、計測が不可能になる場合もある。

崩落斜面では微小な変位が再崩落の徴候として現れる場合もあるため、視準誤差は極力小さくするとともに、夜間においても計測を可能とする必要がある。そのため、ノンプリズム型トータルステーションを用いる場合においても視準点を特定できる標的が必要であり、また緊急時には夜間においても容易かつ精度良く斜面の変位を監視できる計測技術が必要であった。

## 3．計測手法の開発

図 - 1 に開発した標的の設置手法と観測手法を示す。本手法は、クロスボーを用いて標的となる反射ペイントを遠隔から斜面に設置し、その標的をノンプリズム型トータルステーションにより視準することによりその位置と変位量を計測するものである。

本稿では、開発した計測手法を紹介するとともに、その性能試験結果と適用事例について報告する。

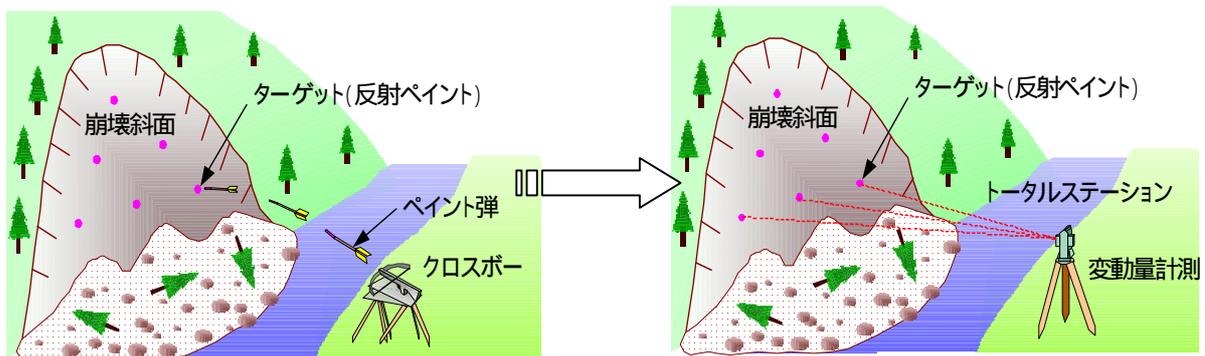


図 - 1 標的の設置方法と観測方法

### 3.1. ペイントカプセルの開発

崩壊斜面の計測において生ずる視準誤差は、目印と反射材の役割を果たす標的がないために生じており、これが解消されれば誤差を低減し精度よく斜面変位の計測が可能となる。そこで、入射方向に光が反射する再帰性反射塗料を標的として使用することを考案し、写真 - 1 に示すインク入りのガラス製カプセル（長さ 79mm、直径 10mm）を開発した。インクには、反射率向上のため再帰反射の効果が期待できる直径 50 $\mu$ m のガラスビーズを混入させた。また、インクの色を決定するため、白色から黒色まで 11 色のインクを対象としてトータルステーションの光波およびレーザー光の反射率を室内試験で確認した。その結果、桃色が最も反射率が大きかったため桃色を採用することにした。インクの量については約 350m 離れた地点からの計測が可能で直径 65mm 程度の標的が形成できる 1ml とした。このカプセルを計測対象となる斜面に当て、カプセルを破裂させて標的を形成することにより、標的を目視で識別できない場合でもレーザー光の反射率を確認することで標的を特定することが可能な視準点の形成が可能となった。



写真 - 1 インクカプセル

### 3.2. 標的の遠隔設置方法の開発

これまでの崩落事例を見ると、安全に計測できると考えられる斜面からの離隔距離は 50 ~ 350m 程度であるため、少なくとも同程度離れた場所より標的を設置できる必要がある。また、視準対象となる岩塊など特定の位置に精度よく設置する必要がある。さらに、応急緊急時等には速やかに設置する必要があるため、ラジコンヘリコプターや火薬類を用いた投擲手法など特殊な技能や資格、許認可などを必要とせず、緊急時に誰でも容易に設置できる方法が望ましい。このような条件を勘案し、クロスボーを用いる方法を開



写真 - 2 クロスボーと制御架台

発した。クロスボーは資格や許認可が不要であり、空輸にあたっての制限もなく 18 歳以上であれば誰でも扱うことができる。また、特殊な技能は必要とせず、初めて扱う人でも一定の精度で的に命中させることができる。このクロスボーの矢先に、前述のインク入りカプセルを取り付けて射出することにより、300m 程度離れた斜面でも  $\pm 30\text{cm}$  程度の位置精度で標的を設置することが可能である。また、水平角と仰角を制御できる据付架台もあわせて開発したことにより、誰が扱っても容易に精度よく標的を設置することが可能となった。

#### 4. 性能確認試験結果

##### 4.1. 屋外試験

再帰性反射塗料からなる標的を開発したことによる観測精度の向上を確認するため、我が国で取り扱っている測量機メーカー全社のトータルステーションを用いて定点観測試験を行った。試験場所は、温度の影響が小さく太陽光の影響が少ない土木研究所構内の実大トンネル施設とした。この結果、再帰性反射塗料を標的とすることにより、これまで計測できなかった約 400m の距離でも計測できることを確認した。また、トンネル消灯時、すなわち夜間でも計測が可能な機種も存在した。

##### 4.2. 現場試験

開発した標的とその設置方法の妥当性を確認するため、ロックフィルダムの下流リップラップを崩落斜面と想定した実験を行った。

###### (1) 標的の遠隔設置性能

クロスボー据付架台の制御性能を確認するため、のり尻から下流に 50 ~ 350m 離れた場所より 5 ~ 45° の仰角で矢を発射し、命中精度を確認するとともに、発射仰角を設定するための試射試験を行った。この結果、矢は理論軌道曲線と概ね一致した地点に到達したことから、高い命中精度をもって標的を形成できることを確認した(図-2)。

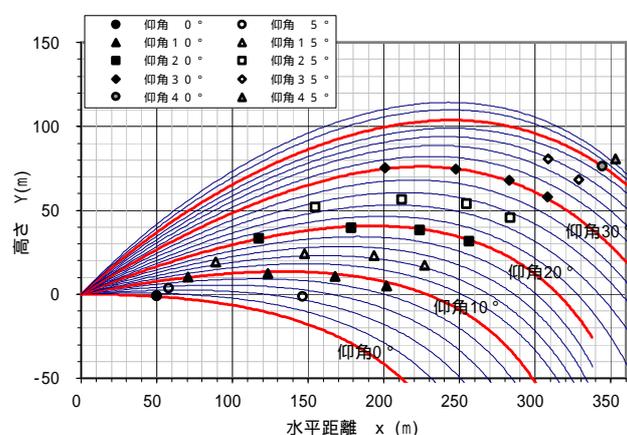


図-2 矢の到達位置と理論軌道

###### (2) 標的の性能

標的の形状は矢が岩に当たる際の角度によっては円形と限らず楕円形の場合もあるが、すべての地点で直径 65mm 程度の標的が形成され、標的が形成された箇所の反射率は標的周辺に比べて数倍から数十倍大きく、最も強い点を中心に正規分布を示すことが確認された。この結果から、肉眼やトータルステーションの望遠鏡では確認できないような距離にある標的であっても、反射率の強い点を確認することにより、同一点を正確に繰返し計測できることが示された。また、設置から約 2 ヶ月経過しても標的としての機能が損なわれないことも確認した。

## 5. 現場適用事例

平成13年3月に発生した岡山県総社市下倉地区の採石場崩落斜面(写真-3)を対象とし、開発した標的設置・計測手法による監視を行った。当箇所では斜面崩落による行方不明者の捜索作業のため堆積した土塊・岩塊の掘削除去作業が計画されており、作業時の安全管理のため、遠隔からの斜面の変位監視を必要としていた。

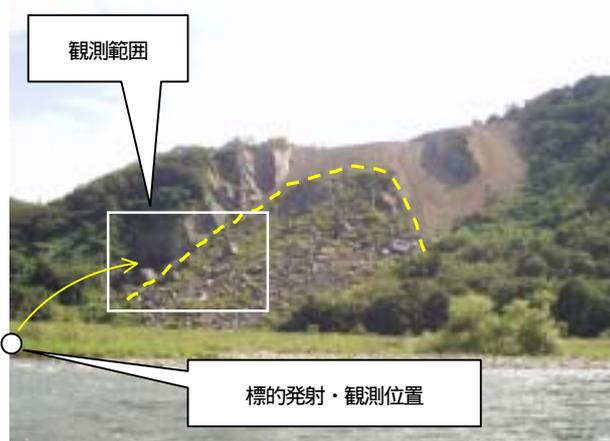


写真-3 崩落斜面と観測位置

標的を設置した14箇所の測点は発射点(=観測点)から110~180m離れた範囲にあり、標的設置作業、観測作業ともに今回開発した手法の能力で十分対応できるものであった。

計測結果の例を図-4に示す。岩塊の掘削除去作業を慎重に行ったこともあり、計測期間中の累積的な変位は計測されなかった。また、外気温などの外乱の影響も見られなかった。結果として、計測されたデータのばらつきはトータルステーションのカタログ性能から推定される $\pm 6.5\text{mm}$ より十分小さくなっていることから、再帰性反射塗料による標的を設置することで視準誤差を低減でき、精度よく斜面の変位監視が可能であることを確認した。

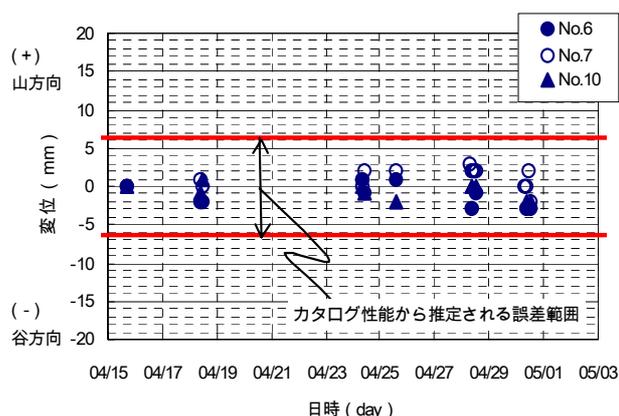


図-4 計測結果の一例

## 6. おわりに

本稿では、ノンプリズム型トータルステーションを用いて精度良く標的を視準するための再帰性反射塗料を用いたペイントカプセル、並びにクロスボーを用いて遠隔地より標的を設置し計測する手法を紹介した。また、遠隔より精度よく斜面の変位を監視することが可能であることを示した。

研究成果をもとに「地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の計測手法マニュアル」(土木研究所資料第4072号)を作成したところであり、今後本計測手法の普及を図っていきたい。