

## 10. 斜面の調査・計測技術の今後の展開

うえ の しょう じ  
上野 将 司

応用地質科技術本部 技師長

### 1. はじめに

我が国は国土の70%以上が山地であり、脆弱な地質、活発な火山・地震活動および豪雨・豪雪等の気象条件の下にあって、世界的に見ても地すべり、崩壊、土石流等による土砂災害の多発地域である。これまでに関係機関等による斜面防災の取り組みが進められ、その一環として調査・計測技術が発展してきた。国土の置かれた環境からは、斜面防災対策は今後も長期にわたって継続せねばならない。ここでは斜面の調査と現場計測に関してこれまでを振り返り、今後の展開について述べる。

### 2. 調査・計測技術の発展を振り返って

調査・計測技術は国土の開発や斜面災害対策に関連して実務を通じて発展を遂げてきた経緯があり、この観点から以下に概説する。

1961年6月の天竜川流域の崩壊・土石流災害に対し、我が国初の広域災害調査を目的にした空中写真撮影が実施された<sup>1)</sup>。ここでの空中写真判読は崩壊地形等の効率的な調査に有効であったことから、その後の災害調査等の基礎調査手段として指針類に採用された。

また、高度成長期に向かつての高速道路等の建設に伴い、切土法面の安定勾配や掘削施工性の評価手法として道路土工指針等に弾性波速度値が示された。このため、弾性波探査が広く普及するとともに、ボーリング調査の補完的調査として電気探査等の物理探査の適用が進んだ。

計測技術については、1958年の地すべり等防止法の施行に伴い、本格的な地すべり調査が進められる中で伸縮計、パイプひずみ計、地盤傾斜計等の各種変位計測機器が開発された。1970年1月の国鉄飯山線高場山トンネルの地すべりにおいて、伸縮計の変位記録に基づく崩壊時期の予測が的中<sup>2)</sup>したこともあり、伸縮計をはじめとする計測機器が情報化施工や道路・鉄道等の防災上の維持管理ツールとして積極的に導入されてきた。

1985年に26名の人命が失われた地附山地すべりでの災害を契機として、民間各社が地すべり自動計測システムの開発に力を注いだことで各種の自動計測システムが実用化された。更には1996年に20名の人命が失われた豊浜トンネル岩盤崩落事故を契機として、岩盤斜面の防災対策の一環である計測監視の取り組みが始まった。全国各地の岩盤斜面を対象に試験施工が実施され、結果の一部が公表<sup>3)</sup>されている。

現場計測システムの自動化が進む中で、データは技術

者が現場に出向いてカードやパソコンで収録していたが、電話回線や光ファイバーを利用したデータ伝送が行われるようになった。不安定な斜面を計測監視する条件下では遠隔でのデータ取得とリアルタイム処理が要求され、携帯電話やパソコンへの警報の発令やデータ閲覧が可能になった。

### 3. 調査・計測技術の新たな展開

#### 3.1 調査技術

斜面の調査に大きな影響を与えつつあるのは航空機によるレーザ計測の登場であろう。レーザ計測による地形解像度の飛躍的向上は、これまでの大縮尺地形図で表現できなかった微地形を浮きださせることが可能になった。具体的には、小規模な二重山稜、小崖、凹地、斜面の微細な緩急、クラック、転石などが地形図に表現できるようになり、空中写真判読以上の成果が得られる場合がでてきた。レーザ計測の地形取得技術は今後の更なる精度の向上が期待されている。

地下の情報を非接触で広範囲に得る手法として空中電磁探査がある。ヘリコプターによる電磁探査によって、空中から地下の比抵抗構造を探査して山地部での大規模な不安定斜面を抽出することが試みられている<sup>4)</sup>。今後は解析結果と地上調査との対応を検証するなど、実績を積み上げて精度の向上を目指す段階にある。

斜面での直接的な調査手法として物理探査や簡易貫入試験があるが、目立った発展はなく軽量化が進みつつある状況である。このような中で、表層崩壊との関連が深い斜面表層の水みちを調査する手法として、地下流水音探査が開発されている<sup>5)</sup>。聴診器とも言えるセンサを地面に突き刺してヘッドホンと測定器で地下流水音を測定するもので、測定者1人で任意の位置で手軽に測定が可能である。実用化されつつある段階なので今後の発展が大いに期待される技術である。

#### 3.2 計測技術

地表の変位計測については、GPSの精度向上と急速な普及による機器の低価格化があって大規模な地すべり斜面の変動計測等に固定設置して用いられるようになった。現状では天空視界の関係で設置できない場所、データ取得間隔等の問題があるが、斜面の変位計測用の機器として今後更に発展するものと思われる。

斜面の直接的な計測手段の中で、広域にモニタリング可能な方法として光ファイバー自体をセンサ兼伝送路として斜面へ設置する取り組みが研究されている<sup>6)</sup>。現状では光ファイバーの斜面への設置方法などに課題があるが、実用化の近い技術である。

非接触での地表変位計測手法としては、写真撮影による計測、レーザ計測、衛星画像による計測がある。写真撮影による計測は近距離の対象を手軽に測定可能である。レーザ計測は航空機から実施することを基本に考えると衛星画像同様にデータの入手に時間を要する。これらはいずれも測量技術から発達したもので、面的な変動をとらえる場合に適している。時系列データがある場合、地

震等による詳細な地表の変化をとらえることが可能であり、実用化段階の技術として今後の発展が期待される。

地中における変位計測として孔内傾斜計があり、省力化を目的として巻き上げ機を有する自動挿入式の孔内傾斜計（計測ロボット）が開発された。この計測器は頻繁な間隔での遠隔計測を可能にし、手動計測よりも計測精度が向上するため微小な斜面変動の監視を要する現場で用いられるようになった。また、機器が普及するとともに価格が安くなり、孔内に1～多数の設置式孔内傾斜計を固定して連続的な遠隔測定が行われるようになった。事前にすべり面深度が確認されている場合に有効であり、通常の挿入式の孔内傾斜計測定を実施してすべり面を確認した上で同じ測定孔を設置式に切り替えればよい。使い込むことでいろいろな測定手法が生まれ、今後更なる発展が期待される。

斜面安定に関する重要な指標となる地下水測定については、間隙水圧測定、地下水位測定、土壌水分測定があげられる。地すべり調査では厳密な意味での間隙水圧測定はほとんど行われていないのが実態であるが、透水区間やすべり面に限定して測れるように観測孔の構造を工夫すると間隙水圧に近い測定が可能になる。このため、観測孔では地下水検層や孔内微流速測定<sup>7)</sup>を実施してあらかじめ透水区間を把握しておくことが望ましい。このような方法の適用は今後の課題であろう。

表層崩壊に関する問題では土壌水分測定が重要とされ実務での適用や研究が進められているが、機器の維持管理が難点で普及が進まない状況にある。

また、気象情報では雨量からタンクモデルによって土壌雨量指数を求め、この値を指標として土砂災害警戒情報の発表基準としている。道路や鉄道でも降雨による通行規制が行われている。警戒情報や通行規制については本来、斜面の地下水条件によることなので、斜面での水位測定や土壌水分測定の導入・検討を積極的に進めるべきであろう。

#### 4. 学会活動への期待

斜面の調査・計測に関する分野では計測機器の設置や調査に際してボーリング作業が含まれることが多い。このため、他分野に比較して大学の研究者が少なく官公庁や民間の研究者・技術者が多い。実務に精通した技術者と大学等の研究者が連携して研究活動する場として学会の果たす役割は大きい。

ところで全国各地で膨大な調査・計測が実施されなが

ら活用されずに廃棄されてしまう報告書等の資料が多い。これらの中には研究者から見て貴重な調査・計測資料があり、何らかの形で活用を考えたいものである。

学会では各方面で委員会を組織して産学官の研究者・技術者が集まり成果を挙げているが、調査・計測分野に関しては現場により密着した学会活動が望まれるところである。

#### 5. おわりに

手動計測の時代には基本的に1週間毎にデータ回収のために現場に行き、計測値に異常があれば現地確認が可能であったが、測定データの収録と処理の自動化が進む一方で、測定技術者が現場に行く機会が少なくなり現場の状況把握が不十分になった。リアルタイムで斜面の変位が計測できて大規模か局所的なものか判断できないことがある。また、技術者の現場作業の割合が減ったことは、調査計測機器を扱う機会が減ることにもなり、機器に関する理解不足による取得データの質の低下をもたらすことになった。

このように調査・計測の自動化は現場作業を軽減させたが、いくつかの問題が顕在化してきた。技術者は空調の利いた室内で机上のデータで判断するのではなく、データを片手に積極的に現場に飛び出して実態把握に努めるべきである。新たな時代に向けて調査・計測の基本を見直す必要がある。

#### 参 考 文 献

- 1) 大八木規夫：I 斜面災害の歴史，斜面災害の予知と防災，白亜書房，p. 19, 1986.
- 2) 山田剛二・小橋澄治・草野国重：高場山トンネルの地すべりによる崩壊，地すべり，Vol. 8, No. 1, pp. 11～24, 1971.
- 3) 北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会，中間報告書，2001.
- 4) 鈴木隆司・内田太郎・田村圭司：深層崩壊発生斜面の特定に向けた地盤構造調査法，土木技術資料，Vol. 51, No. 7, pp. 8～13, 2009.
- 5) 多田泰之・藤田正治・堤大三・小山 敢・河合隆行・奥村武信・本田尚正：地中水みちと崩壊発生位置の関連性，砂防学会誌，Vol. 60, No. 4, pp. 25～33, 2007.
- 6) 国土研究所ほか14社：光ファイバセンサを活用した道路斜面モニタリングシステムの導入・運用マニュアル（案），共同研究報告書，整理番号第292号，2003.
- 7) 上野将司：地すべり地の地下水調査における微流速計の適用，地すべり，Vol. 36, No. 4, pp. 32～39, 2000.

(原稿受理 2009.10.7)