

地すべりによる地盤の移動を予知する

坂井 宏行

環境工学研究部
(生物工学 主任研究員)

工藤 良太

九州旅客鉄道(株)
(門司保線区 施設技術係)



さかい ひろゆき



くどう りょうた

災害予知はできているのか？

山岳区間を多く抱えるJRの営業線では、沿線での斜面災害に悩まされていて、災害の発生の規模によっては、列車の抑止だけにとどまらず、お客さまや乗務員への人的被害を引き起こすことがあります。そこで、災害の発生を事前に予測することができれば、被害の規模を低減することができます。また、災害発生後の復旧作業を迅速に実施することで、運転の早期再開につなげることができます。現に、台風や集中豪雨、大雪などに対しては、第一義に気象予報がよく発達し、異常気象の到来が事前によくわかるようになったことに加え、各種の防災対策も整備されてきて、この数十年間で台風による死者の発生は約50年前の10%以下にまで抑制されてきました。これは自然災害に対する予知・予報が成功し、実用化されている好例です。

ところで、気象災害に対する予知・予報が成功した理由のひとつに、観測点や観測網が広範囲・高密度に整備されていることがあります。これら整備された多数の観測網から刻々と報告されるデータの蓄積や解析により、短期、中期および長期の精度が向上してきています。これに対し、斜面災害については、従前から、傾斜計や地すべり計などのピンポイントの古典的な物理計測手段に頼っています。しかも、測定点は、経費の面から限定されることが多く、観測態勢が十分に整備されているとは、いいがたいものです。最近では、GPSによる斜面の同時多数点観測も可能となりましたが、たった1箇月間の観測位置数点での測量で数百万円もの経費がかかります。また、気象情報のように、たとえば日本の西方の気象状況を観測し、その後それが移動して行く先の気象を予報するのは、勝手も少々異なります。たしかに、斜面の土塊移動を直接測定してこの運動状態から当該斜面の崩壊時期を特定し、その日時まで予測した例はあります。しかし、この場合でも、予測できたのは崩壊発生の10日前であり、土塊が移動してその変

位量が測定可能な大きくなってから初めて適用される方法でした。この短期予知では、災害発生時の列車運轉の手配や、災害後の復旧作業の段取りなど、時間的には不十分であり、せいぜい列車を事前に抑止することが精一杯です。

これらのことを考え合わせると、鉄道事業者にとって有効な予知期間としては、1箇月はほしいところです。もし、これが可能となれば、実際の手配作業の計画を十分に練ることができ、判断を行なう担当者の心理としてもありがたいものとなります。もちろん、これよりも手前の期間で事前に斜面災害の予測が成り立つのであれば、とりあえず従来法による地盤計測を開始するなど、災害に備えた調査を種々手配することもできます。災害はある種避けて通れない面がありますが、なによりも怖いのは不意打ちです。

地すべり災害の特徴は？

斜面災害の代表的なものである地すべりには、緩慢、かつ、くり返し発生する形態のものがあります。この種の地すべりは、はなはだ厄介です。地すべりによる災害が発生し、対策工事を行っても、地盤材料の化学的風化は抑制できないことから、対策から十数年後には、あらたな滑動を開始し、抑止工のひび割れ発生や構造物の変状となってふたたび現れることが少なくありません。地すべりに永久対策工はないといわれていますが、もしあるとしても、当該斜面をそっくりそのまま撤去する排土工だけであり、ほかに手の打ちようがない地すべり区間では実際にそのような施工を行った事例もあります。ただし、大規模なものでは、相当多量となる発生土の始末やけた外れに高くなる費用などから、現実的な工法とはならないことがあります。一度対策を行なってもやがてふたたび土塊が移動することが多いのが地すべりですが、このことは致し方ないといえ、次回はいつ滑動を開始するのかが関心ごととなります。

これまでは、斜面災害対策といえば、前述のように、土

塊移動がなんらかのかたちで見出されてから、物理計測手段の適用や対策工の検討が行なわれてきました。これは、地盤材料が化学的に不活性、かつ、剛性が高いものにとらえられてきたからです。ここで、地盤材料を化学物質としてとらえれば、これほど化学的活性に富んでいる材料はなく、とくに、土粒子がイオン交換性に卓越していることは、よく知られていることです。そこで、JRの地すべり履歴箇所、地下水成分の濃度変化と地すべりによる斜面変位との関係について、長年にわたって調査を継続しました。当時は、屋外の現地における化学計測手段が確立されていなかったため、現地で採取した地下水試料を実験室にいちいち持ち帰って化学分析を行う一方、同じ地すべり地において傾斜計などを使った斜面挙動の物理計測を手作業で行い、それらの観測結果を相互に照合する作業をしてきました。最近、これらの観測を遠隔・自動化することが実現でき、地下水成分の連続観測が可能となりましたので、これによって得たデータをご紹介します。地すべり予知の可能性を考えてみることにします。

なぜ地下水成分が変化するのか？

斜面土塊の動きが地下水成分に反映されるのは、土粒子表面と地下水との間でのイオンの交換がなされているからです。地すべり地盤から乱さないように回収した供試体に、同じ地すべり地から採取した地下水を通路しながら、x、y、zの3方向から供試体を圧縮する3軸圧縮試験を行なうと、ひずみが増大するとともに、供試体を通ってきた地下水の電気伝導度が上昇することを確認しています。これは、供試体中の地盤材料に応力が作用したことで、土粒子の変位が生じたり、局所的なせん断が起こったりして供試体に含まれる土粒子の表面積が拡大し、応力が作用する前よりも、より多くのイオンが交換された結果であると考えられています。ひらたいことばでいえば、化学物質が溶け出したということになるかもしれません。しかし、角砂糖が水に簡単に溶けてしまうように、土粒子表面から物質が単純に溶解しているというよりは、微視的に行なわれているイオン交換反応によるほうが支配的のようです。

斜面が動き出すには、急激なバランス

の変化が必要です。これには地震による震動のショックや、集中豪雨などで短時間に多量に降った雨が地盤中にしみ込み、その土塊の自重が急速に重くなるのが原因しています。斜面がすべり出すよくあるメカニズムである後者の場合で重要なのは、降った雨がたやすく地盤中にしみ込むかどうかです。もし、地盤が十分に風化しており、スカスカの状態となっていれば、雨はすぐに地盤中へしみ込んでいきます。斜面材料が十分に風化されていなければ、たとえ降水が多量にあったとしても、地盤中への浸透に時間がかかり、結果的に、斜面が変位するには至らなくなります。地層や地盤条件がほぼ同一のごくせまい地区に同じように雨が降っても、すべる斜面とそうでない斜面とがあります。地盤が風化しているかどうかは、ふだんの地下水の成分濃度とその変化によって見当をつけることができます。

どうやって地下水成分を観測しているのか？

実際の地すべり地区では、地すべり斜面の土塊の自重を減らすため、しみ込んだ地下水をしばらく出す排水工が設けられています。地下水位が高く、地下水量が多い場合には、効率的な排水を促すため、大きな井戸を掘り、これに何十本もの水抜きパイプを接続して平面的にも断面的にも広範囲な排水を行ないます(図1)。ここに集められた地下水は、地すべり土塊を通過してきたものですから、当該地盤の風化の状況を地下水成分の化学状態として四六時中提供して



図1 地すべり斜面に設置された集水井戸の例。この井戸の深さは20mであるが、地すべりの規模によっては深さが30mを超えるものもある。

くれる、まことに貴重な地すべりに関する情報源です。しかも、地下水はタダで、いつでも入手できるのです。この地下水を化学分析しています。かつては、現地で簡易分析する方法がなく、定期的に保線区などの方々に地下水採取に行っていたが、これを国立の鉄道総研の研究室に運んで手作業の分析を行っていました。後述いたしますが、地下水成分の変化は、地盤変位の数週間から数箇月前に現れますので、このやり方でも遅いわけではありません。また、

保線区から地すべり現地までがそう遠くない場合であれば、現地の監視もかねて地下水採取に行っていたことも考え方のひとつでした。しかし、現地が遠かったりすることも少なくありません。そこで、このわずらわしさを解消する必要が出てきました。地すべりによって地下水成分が変化するときには、濃度が数倍から、場合によっては10倍程度も変化することがあります。実験室的な化学分析の精度を必要としないのであれば、pHメーターと同じ原理で



図2 集水井戸の中にたまった地下水につけている化学センサー。地下水成分を連続分析している。

特定の無機イオンを測定することができる、イオン選択性電極法という分析方法があります。これは、化学電極を地下水につけておき、その成分濃度を常時測定するものです(図2)。しかし、現地で分析を行うにしても、記憶装置等に記憶させたデータの回収はどうするのか、という問題が残りました。このことを解決することができたのは、近年のITの進歩のおかげです。太陽電池を使用した携帯電話回線によるデータ転送システムにより、電源供給や通信ケーブル敷設の心配をすることなく、人里離れたどんな山の中でも設置することができるようになりました。しかも、必要ときには、定時観測時以外にも任意に測定が可能です(図3)。

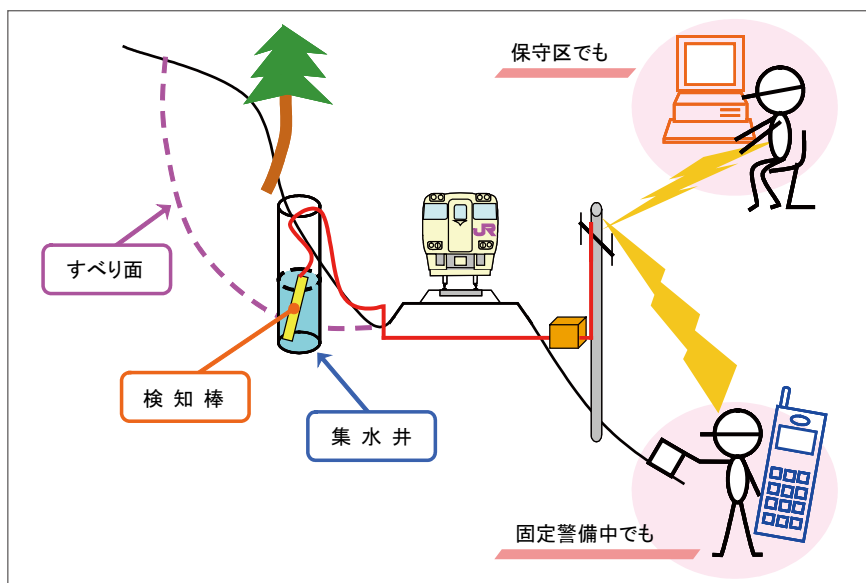


図3 地すべり現地における各種計測とデータ転送、遠隔モニタリングの方法

地すべりは予知できるのか？

試験地の地すべり地区には、地下水成分の観測用の化学センサー（イオン選択性電極）のほか、地下水成分に変化が表れ、これが地すべり予兆であることを確認するため、斜面土塊の変位を計測する地中変位計が設置されています（図4）。この地区で過去2年間に得た地下水成分と斜面変位のデータを図5に示します。この観測期間中、地下水成分の大きな濃度上昇を4回観測しました。一方で、この試験地に併設している地中変位計には、およそ2箇月遅れで当該斜面の変状が表れました。2008年4月下旬には、観測期間中に最大のカルシウムイオン濃度の上昇がはじまり、このときの濃度上昇の開始57日後には、観測期間中、やはり最大規模の斜面変位が表れました。

地下水成分の濃度上昇と地中変位計によって検知された斜面土塊の動きとは、よく関連しています。この試験地では、地下水中のカルシウムイオン濃度の上昇後、平均して約60日後に斜面の変位を地中変位計により検知しました。地下水成分を現地のその場で連続的に観測でき、図5に示



図4 地下水成分に表れる地すべり予兆を確認するため、地盤の変位を計測する地中変位計。深さごとの地盤の曲がり具合を測定する傾斜計が、この筒の中に深さ1mごとに入っている。

すような地下水成分の経時変化を連続データとして示すことができたことは、地下水成分の濃度変化と斜面変状との関係を理解しやすくしました。今後は、この種のデータの蓄積につとめ、地下水成分の観測による地すべりの発生予知技術の信頼性確認と、この情報を鉄道防災へ応用することを検討したいと考えています。[RRR]

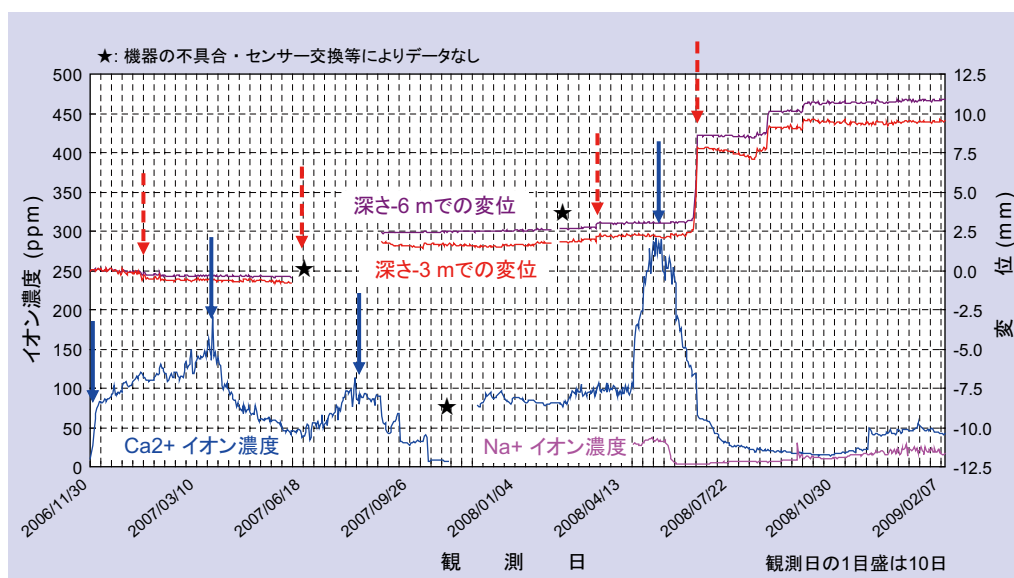


図5 地盤の変位前に表れた地下水成分の濃度上昇