

大変位対応型孔内傾斜計の開発

高木将行・杉本宏之・荘司泰敬・中村友計・須賀原慶久・古島広明

1. はじめに

地すべり調査において、地中にあるすべり面の深度や地すべり土塊の変形状況を把握する調査は重要である。この調査に用いられる手法の1つに孔内傾斜計観測がある。孔内傾斜計観測は、図-1のように地すべり地に設置したガイド管に孔内傾斜計を挿入し、50cm間隔で傾斜角を測定し、ガイド管の変形状況を把握する手法である。この手法を用いることで、すべり面の深度や地すべり土塊の変形や移動量を把握できるため、多くの地すべり地で用いられている。

しかし、地すべりの変位速度が大きい場合や維持管理を目的とした長期観測の場合など、観測期間中にガイド管が計器の挿入限界を超えて変形し、その後の計測ができなくなる事例も少なくない。計測を続けるためにはガイド管を再設置する必要があり、それには追加の費用や作業が必要となる。ゆえに、従来よりも計器の挿入限界を拡大し、より長期間の観測が可能となるようにすることは重要なことである。

そこで、土木研究所では、大きく変形したガイド管でも観測できる孔内傾斜計の開発を目的として、共同研究「長期観測を可能にする地中変位観測技術の開発」(平成29年度～令和元年度)を、応用地質(株)、多摩川精機(株)、坂田電機(株)、(株)オアシ・テクノスと実施した。

本稿では、共同研究の中で実施した、計測不能となったガイド管の実態把握、大変位対応型孔内傾斜計の開発、長期観測のための計測手法の検討について報告する。

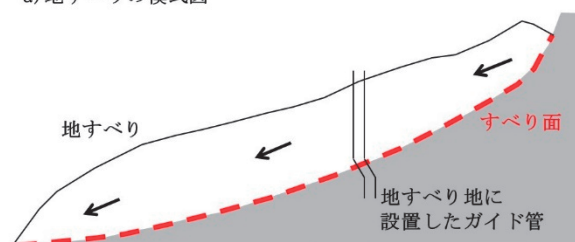
2. 計測不能となったガイド管の実態把握

計測不能となったガイド管の実態を把握するため、計測不能となった観測孔のガイド管内部を孔内カメラで観察し、変形箇所の内径を推定した。対象とした観測孔は、計46孔(8地区)であり、

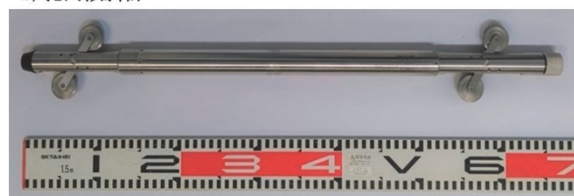
1孔に複数の変形が認められた事例があるため、対象とした変形箇所は50箇所である。図-2に示すように孔内カメラで撮影した画像上で変形箇所とその直上の未変形箇所に内接する円を描き、後者の内径を50mmと仮定し、前者の内径を推定した。なお、土砂詰り、水濁で変形状況が確認できない事例は除いた。

その結果を図-3に示す。今回の対象事例では、約6割で変形箇所の内径が30mm以上残っているという結果であった。ゆえに、計器を小型化することで、計測が継続できる事例が一定程度あると考えられる。

a) 地すべりの模式図



b) 孔内傾斜計



c) 孔内傾斜計観測の実施状況



図-1 孔内傾斜計観測の概要

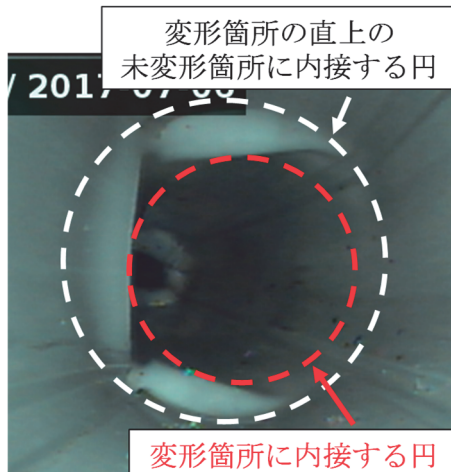


図-2 変形箇所における内接円の設定

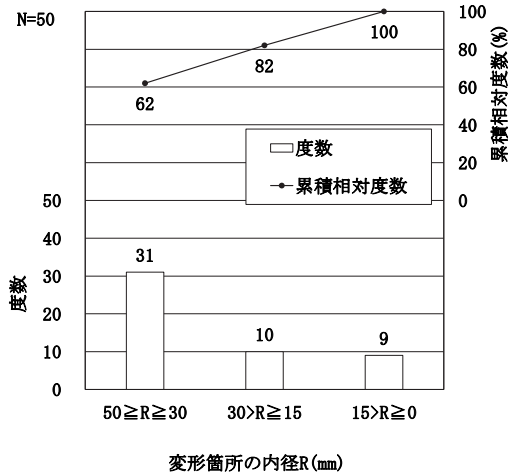


図-3 変形箇所の内径

3. 大変位対応型孔内傾斜計の開発

3.1 開発の概要

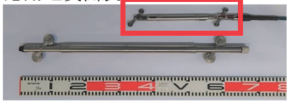
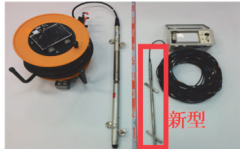
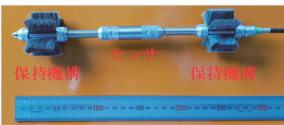
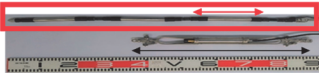
計測不能となったガイド管の実態把握結果から、計器を小さくすることで、長期に渡って計測を継続できる可能性が示された。そのため、新型計器の開発方針は、計器を小型化して大変位に対応することとし、3タイプの計器を開発した。表-1に各新型計器の概要を示す。

タイプ①の小型挿入式計器は、計器を動かして一定の深度間隔ごとに計測する従来の挿入式孔内傾斜計の構造のまま、小型・軽量化した計器である。従来の孔内傾斜計に比べ、測定精度が同等であり、挿入限界が向上している。

タイプ②のフレキシブル型挿入式計器は、3軸の角速度・加速度を組み合わせた小型センサと、ブラシ形状の保持機構からなる計器である。計器自体が小型で、センサと保持機構の中継部がフレキシブルに変形するため、大きく変形した箇所も通過可能である。

タイプ③の小型設置式計器は、特定の深度に複数計器を固定して計測する従来の設置式傾斜計を小型化した計器である。計器の小型化により、従来型に比べて、大きく変形した箇所にも設置可能である。

表-1 3タイプの新型計器の概要

タイプ	①小型 挿入式計器		②フレキシブル型 挿入式計器	③小型 設置式計器		
	応用 地質(株)	坂田 電機(株)	多摩川 精機(株)	応用 地質(株)	坂田 電機(株)	㈱オサシ・ テクノス
延長	360mm (同社比約46%減)	487mm (同社比約38%減)	280mm	1700mm (3ch固定)	500mm (同社比約42%減)	170mm
直径	20mm (同社比約33%減)	15mm (同社比約53%減)	17mm	18mm (同社比約44%減)	15mm (同社比約53%減)	22mm
質量	0.7kg (同社比約59%減)	0.35kg (同社比約78%減)	0.3kg			
測定精度	従来同等	従来同等	従来より劣る	従来同等	従来同等	従来同等
測定方法	深度方向に 0.25m間隔	深度方向に 0.25m間隔	深度方向に 任意間隔	設置	設置	設置
計器	応用地質(株)製 新型  坂田電機(株)製 		多摩川精機(株)製 新型  	応用地質(株)製 新型  坂田電機(株)製  新型 ㈱オサシ・テクノス製 新型 		

これらの新型計器の性能や適用性を検証するため、各種試験を実施した。本章ではそのうち、通過性試験と現場実証試験の2つを紹介する。

3.2 通過性試験

通過性試験では、段階的に変形させたガイド管に従来型計器、新型計器をそれぞれ挿入し、両者の通過性を比較した。変形させたガイド管は図-4に示す形状であり、変形量は鉛直方向0.5m当たりの水平方向の変位量で表した。通過性試験の実施状況は写真-1のとおりである。

図-5に結果を示す。従来型計器は変位量が27mmを通過でき、30mmは通過できなかった。一方、小型挿入式計器は約150mm、フレキシブル型は約400mm、小型設置式計器は約100mmを通過できた。新型計器は、従来型計器に比べ、通過性が大きく向上したことが確認できた。

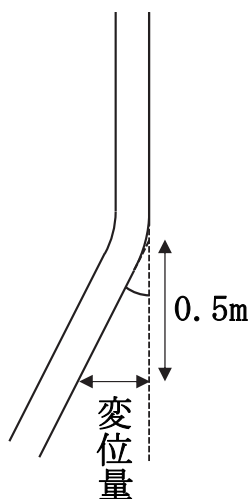


図-4 変形させたガイド管の模式図

写真-1 通過性試験の実施状況

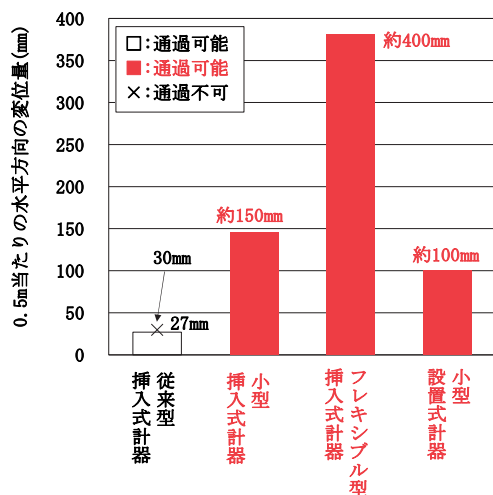


図-5 通過性試験の結果

3.3 現場実証試験

現場実証試験では、埼玉県秩父郡金崎地区（埼玉県管理）に設置されたガイド管を対象に、従来型計器、小型挿入式計器での測定を行い、両者の結果を比較した。

観測孔BV14-3はガイド管の変形が小さく従来型計器でも全区間で測定が可能である。図-6に示すとおり、小型挿入式計器の測定結果は、従来型計器と概ね同様のグラフ形状を示した。深度23～24m付近に認められた変位についても従来型計器と同様に計測することができた。観測孔BV6-4は図-7に示すとおり、従来型計器では深度8.7mまでしか測定できなかった。一方、小型挿入式計器では、深度8.7mの大きな変形を通過し、深度42.7mまで測定できることが確認された。

小型挿入式計器では、従来型計器と同等の測定

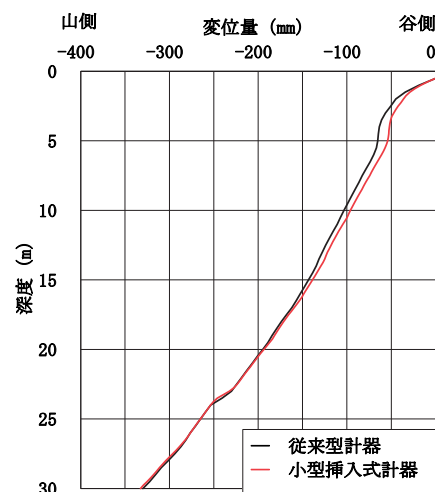


図-6 観測孔BV14-3の測定結果

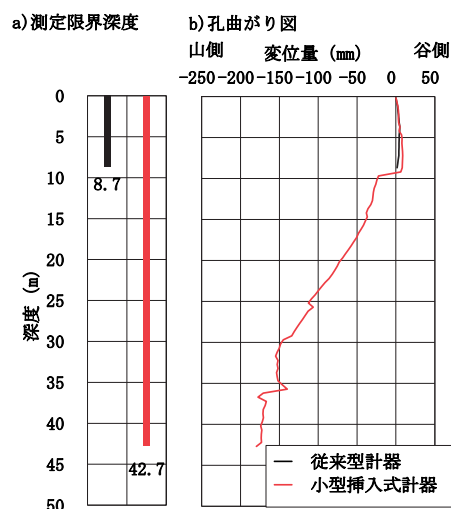


図-7 観測孔BV6-4の測定結果

精度を有しながら、従来型計器では通過できないガイド管の変形を通過してより深い区間を測定できることが確認できた。

4. 長期観測のための計測手法の検討

新型計器の仕様や実施した試験結果を踏まえ、各タイプの新型計器それぞれのメリットを生かし、長期観測のための新型計器の使い分けを検討した。

まず、従来型計器で計測不能となった場合、小型挿入式計器を用いて計測を行うのが良いと考えられる。新たにガイド管を設置することなく、従来と同様の観測を継続することができる。次に、ガイド管の変位が相当大きくなり、小型挿入式計器でも計測不能になった場合には、フレキシブル型挿入式計器または小型設置式計器で対応する。フレキシブル型挿入式計器は、現時点の測定精度は高くないものの、高い通過性能を生かして、さらに測定を継続できる。一方、小型設置式計器は、計器の接続数とその間隔により測定区間が2m以下に限定されるが、従来と同等の測定精度かつリアルタイムによる観測が可能になる。上記の流れをフローに示すと図-8のとおりである。

5. おわりに

本共同研究において、計測不能となったガイド管の実態把握を行い、3タイプの新型計器を開発した。検証試験では、新型計器が従来計器の通過性能を上回り、従来計器の同等の測定精度を有することが確認された。

これら計器の活用によって、これまで継続的な

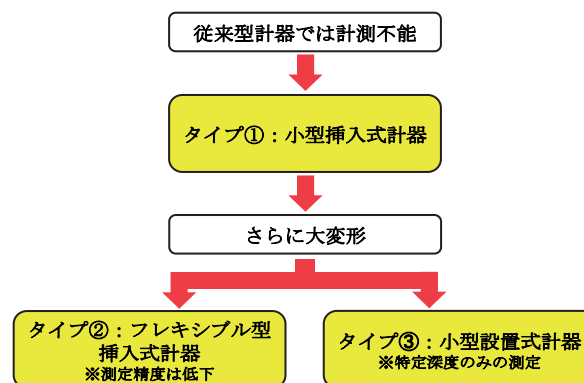


図-8 新型計器の使い分けのフロー

観測ができなかった孔内傾斜計観測が長期に渡って可能となり、ガイド管の再設置に関わる費用や手続きの削減に大きく寄与すると期待される。

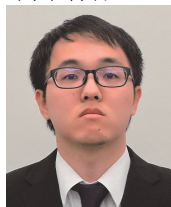
謝 辞

計測不能となったガイド管の実態把握に関する調査には関係者各位にご協力いただきました。また、現場実証試験の現場提供には埼玉県にご協力いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 高木将行、竹下航、藤平大：孔内カメラによる変形ガイド管の調査、第57回日本地すべり学会研究発表会講演集、107p、日本地すべり学会、2018
- 2) 高木将行、杉本宏之、千葉伸一、荘司泰敬、三石真宏、中村友計、長崎裕仁、須賀原慶久、青木寛明、古島広明：大変位対応型孔内傾斜計～新たな孔内傾斜計の開発～、第59回日本地すべり学会研究発表会講演集、日本地すべり学会、2020（投稿中）

高木将行



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 研究員
TAKAGI Masayuki

杉本宏之



土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 上席研究員
SUGIMOTO Hiroyuki

荘司泰敬



応用地質(株)本社海外グループ事業本部 副本部長
SHOJI Yasunori

中村友計



多摩川精機(株)スペースエレクトロニクス研究所TUGNAVI開発課 主任技師
NAKAMURA Tomokazu

須賀原慶久



坂田電機(株)技術営業部部長
SUGAHARA Norihisa

古島広明



(株)オサシ・テクノス未来創造部 部長
KOJIMA Hiroaki