

ボーリング孔を利用した地すべり土塊内部の変形把握技術の研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
研究期間：平 19～平 21
担当チーム：地すべりチーム
研究担当者：藤澤 和範、小原 嬢子

【要旨】

地すべり土塊内部の変形状況を把握する技術として挿入式孔内傾斜計は広く用いられており、すべり面位置を決定する主要な手法としても利用されている。しかし、地中変位のメカニズムを解釈できないような不良データが得られることがあるため、すべり面の特定が困難となり、その後の地すべり対策工の計画や施工に支障が生じる。本研究では、不良データの実態と原因を調査するとともに、不良データの発生を防ぎ適切な観測データを得るための計測技術の標準化を目的とした。その結果、観測データが「S字」、「傾動」、「方位の乱れ」を示す不良データが存在し、それらがガイド管設置方法、測定者による計測の仕方、計測器自体の特性の影響によって発生することが分かった。しかし、パッカーを用いたガイド管の設置や、適切な観測作業、データの補正などにより不良データを防ぐことができ、地すべり土塊内部の変形を適切に把握するための技術を提案することができた。

キーワード：地中変位計測、挿入式孔内傾斜計、不良データ、計測技術の改善

1. はじめに

地すべりの地中変位を計測し、すべり面深度を特定するための計測技術として、孔内傾斜計やパイプ歪計、縦型伸縮計などが用いられている。特に、挿入式孔内傾斜計は、すべり面深度の判定ばかりでなく、すべり面での移動量や移動方向を知ることができるため、各地で広く用いられている。挿入式孔内傾斜計は、ボーリング孔に埋設したガイド管に傾斜計を挿入し、地すべりによって変形したガイド管の形状を傾斜角として精度良く計測するものである（図-1）。ガイド管の変位量は、ボーリング孔に埋設した際のガイド管形状と、その後の計測結果の差から求められる。しかし、計測データの中には、実際の地すべり土塊の変位を表しているとは考えにくいS字状や倒れ込む計測データが生じることがあり、地中変位を適切に把握できない場合が見られる（以下、「不良データ」とする）。このような不良データの原因や防止する方法については、これまでもいくつか提案されている^{1),2)}が、一般的に広く反映されていない。また、データ不良の原因については、地すべり現場での調査・計測、実験などにより検証し、明らかにされたものはほとんどない。

そこで、本研究ではこのような不良データの実態調査を行い、不良データ発生の原因や条件を調査するとともに、不良データを排除するための計測技術について検討を行った。

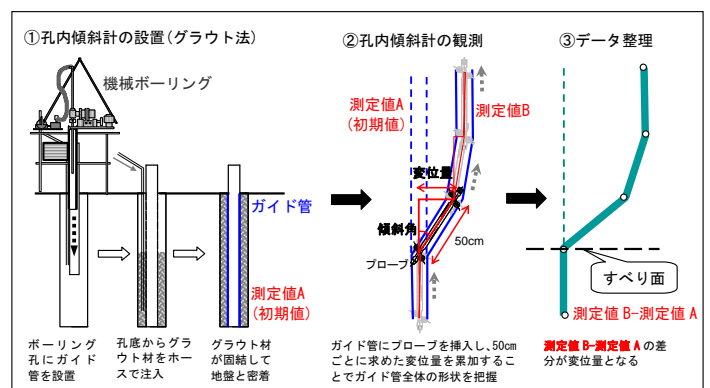


図-1 孔内傾斜計設置・計測の概念図

2. 不良データ発生の実態と原因

2.1 不良データの種類とその内訳

滑動している地すべり地で孔内傾斜計の計測をする場合、地すべりの挙動を表していると思われる正常なデータでは、ある一定の深度と方向に水平変位が表れることで、すべり面を推定することができる（図-2,①）。一方で、不良データはある一定の深度と方向に水平変位が表れないため、すべり面の推定が困難となる。不良データには、地すべりの移動方向と異なる方向に水平変位が現れ、グラフがS字状を示す「S字」タイプ（図-2,②）、変位グラフの変位の深度分布が経時的に倒れ込む「傾動」タイプ（図-2,③）、地すべり方向と変位方向や、深度毎の変位方向が異なる「方位の乱れ」タイプ（図-2,④）が見られる。これらの不良データがどの程度の割合で発生しているのかを把握するため、国土交通省地方整

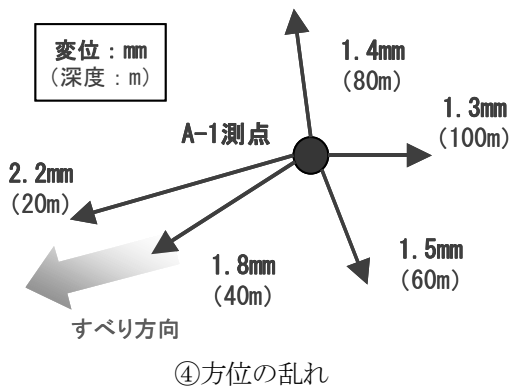
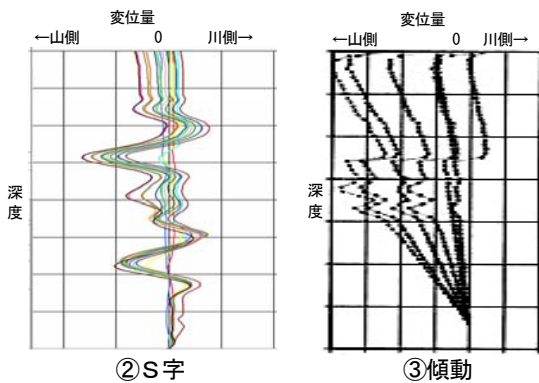
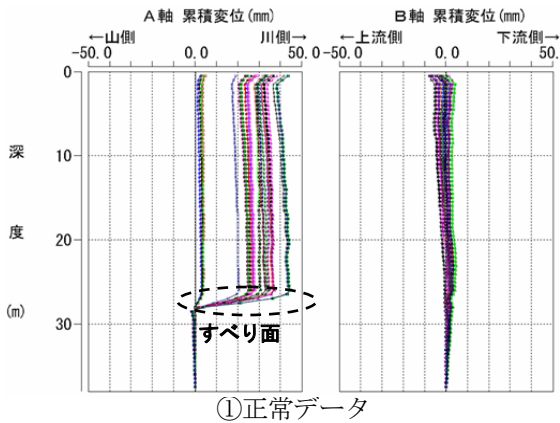
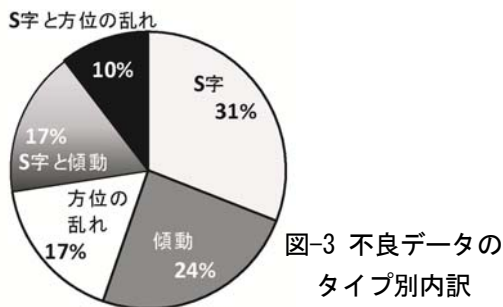


図-2 正常データと不良データ例

備局や都道府県を対象にアンケート調査を行うとともに、現場指導等で得られたデータを収集・整理を行い、423孔の不良データを得た。不良データの内、「S字」が最も多く、次いで「転倒」が多いことがわかった(図-3)。また、不良データの3タイプが複合する事例も見られた。



2.2 不良データの原因

孔内傾斜計計測は、計測するためにボーリング孔にガイド管を埋設し、ガイド管内に人が孔内傾斜計を挿入して計測作業を行うため、上述したような不良データ発生の原因として、①ガイド管設置方法、②測定者による計測の仕方、③計測器自体の特性の影響が考えられる。不良データがこれらの原因によってどのように発生するのかを把握するため、実験や現場計測を行うとともに、それを防ぐ方法について検討を行った。

3. 不良データの原因と対策方法

3.1 S字データ

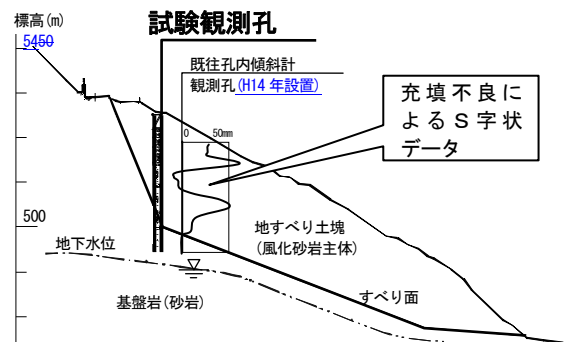
3.1.1 S字データの原因

孔内傾斜計計測において、ガイド管と孔壁との間の完全充填が観測工の必須条件とされており³⁾、特に①ガイド管設置方法が不良データの防止に重要と考えられる。ガイド管と孔壁との間を充填する充填剤としては、砂や砂利、セメントミルク(あるいはモルタル)があり、ガイド管の外側に布製のパッカーを入れ、その中にセメントミルクやモルタルを注入する方法もある。砂や砂利の充填剤は水位観測孔を併用する場合などに用いられており、施工が容易で地中亀裂や空隙の対処にも有効であるが、ノイズが大きく、S字の不良データなど正確なすべり面判定が困難になる場合が報告されている¹⁾。また、空洞や開口亀裂が多い逸水しやすい地盤において、ガイド管設置時の充填不良を防ぐためには、経験的にパッカーの使用が良いとされている¹⁾。

そこで、同一地すべり地においてガイド管の設置方法を変えた比較試験を行い、観測結果から設置方法の違いによるデータへの影響について検討を行った。

3.1.2 観測孔設置方法の比較試験

実験は、既往調査でS字データが見られる新第三紀の砂岩を主体とした地すべり地で行った(図-4)。深度30~31mの観測孔3本を、地すべり頭部近傍の



地質的条件や移動方向・移動量などの諸条件がほぼ同じと想定される場所に5m程度の間隔で設置し、約11箇月間にわたり月1回の頻度で孔内傾斜計計測を行った。ガイド管は、①充填材を孔底からホースで充填する「吹上げ法」、②ガイド管にパッカーを被せてその間に充填材を充填する「パッカー法」、③砂を口元から投入する「砂詰め法」の3種類の方法で設置した。

パッカーは、グラウンドアンカーの定着部などに使用される筒状の布袋である。パッカーには、充填材の水分は通すがセメント分などの固形物は通さない特徴があり、パッカーをガイド管に被せてボーリング孔に挿入し、パッカーとガイド管との間に充填材を注入することで、地盤とガイド管の密着を図ることができるものである。

地すべり地はキレツ性地山であったため、吹上げ法によるガイド管の設置作業は、開口亀裂部からグラウト材が漏れて充填が困難であったため、逸水防止の綿くずや粒状ベントナイト、セメント急結材、砂を混ぜたモルタルなど様々な方法で充填作業を行った。その結果、充填材は当初予定量の23倍以上を使用し、設置完了まで1ヶ月要したが、パッカー法と砂詰め法はそれぞれ1日で充填作業が終了した。

3. 1. 3 定期観測結果

定期観測は、同一の測定器を用いて同じ測定者が行った。H20B-1(吹上げ孔)は平成21年4月20日に

深度21m以深で測定器が挿入不能となったため、以降は深度21m以浅で観測を行った。H20B-2(パッカー孔)は平成21年5月20日に深度12m以深で挿入不能となった。なお、H20B-3(砂詰め孔)は観測期間中、問題なく観測することができた。観測不能となった孔は、地すべり変位に伴いガイド管が変形し、ガイド管の内径が小さくなったため、測定器を挿入することができなくなった。

観測結果より、深度12~18m区間で1ヵ月あたり2~6mmのクリープ的な変形が累積している(図-5)。H20B-1(吹上げ孔)では、深度16mの位置でS字データと見られる屈曲が発生している(図-6)。この深度は、ボーリング掘進時に空洞の存在が確認されており、充填が不十分であった部分でガイド管が挫屈し、S字データが発生したと考えられる。H20B-2(パッカー孔)では、変位発生区間の13~20mに1~2m間隔の細かなS字データが発生している(図-7)。この範囲はパッカーを用いて十分に間詰めされていることから、当該区間の地すべり土塊の圧縮によるガイド管の変形を捕らえたデータと考えられる。H20B-3(砂詰め孔)は、他孔と比較して全体的にグラフが滑らかであり、幅0.5mm程度で3~4m周期の波打ち現象が見られる。これは、他の砂詰めで設置された観測事例においても多く見られ、孔口部の浮き上がりが観察されることから、充填後の砂の圧縮沈下によるガイド管全体の挫屈現象と考えられる。

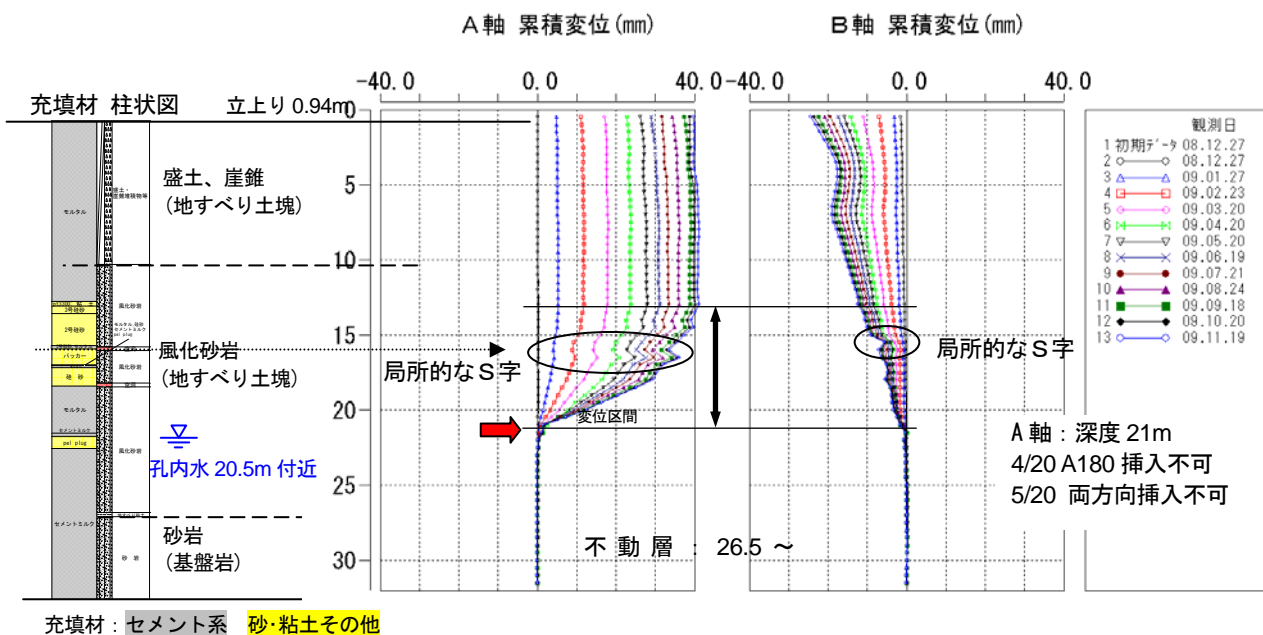


図-5 H20B-1(吹上げ法)累積変位図

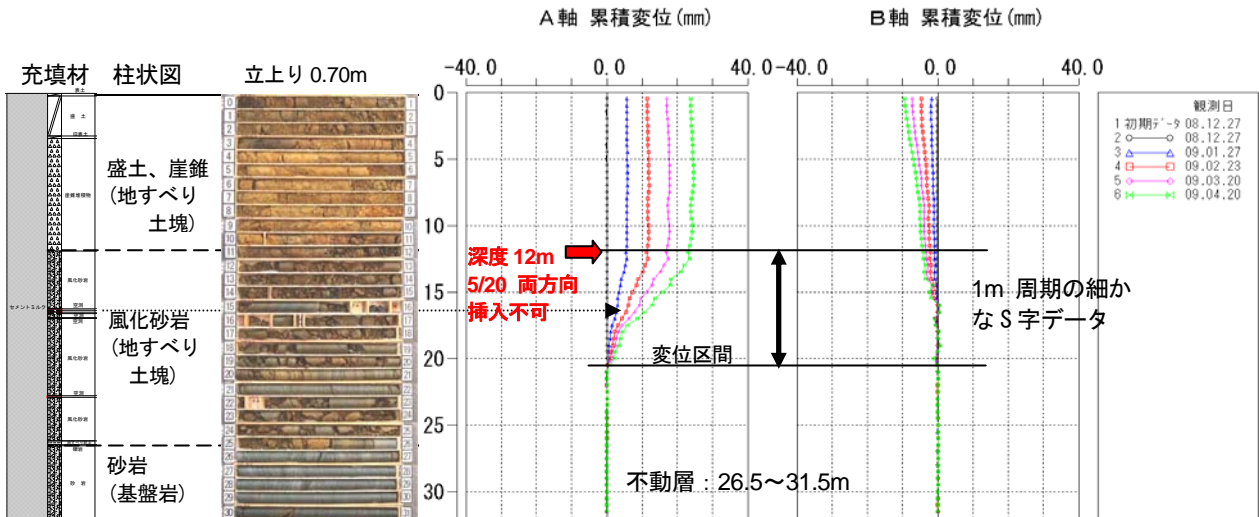


図-6 H20B-2 (パッカー法) 累積変位図

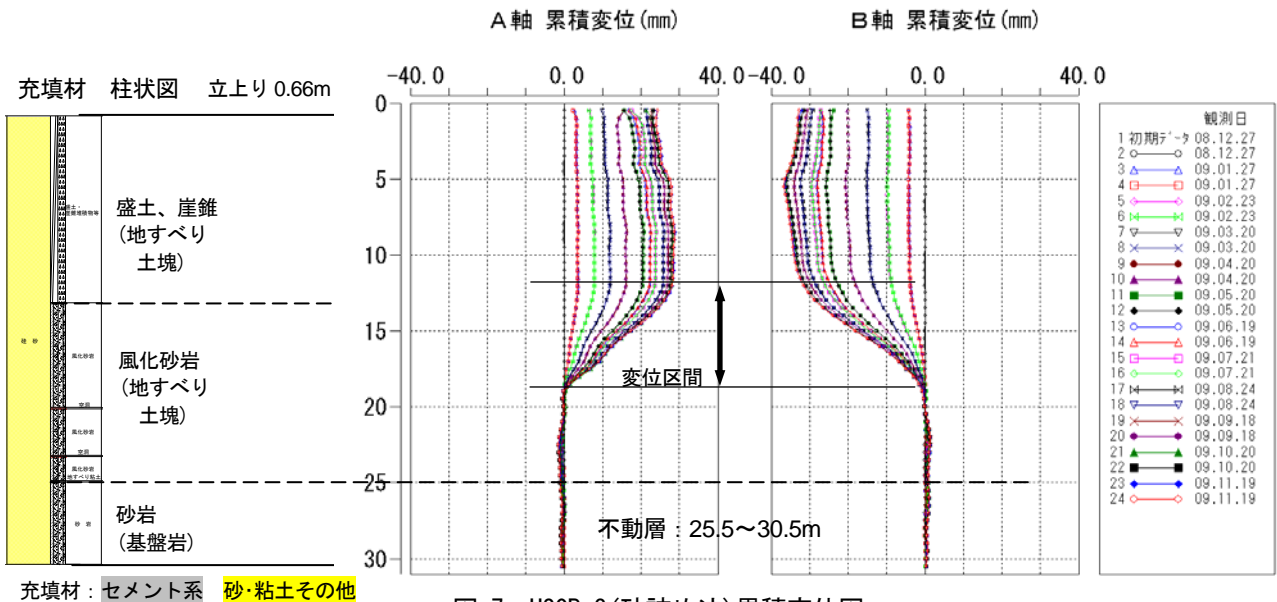


図-7 H20B-3 (砂詰め法) 累積変位図

本試験により、S字データは観測孔設置時のガイド管と地盤との間に生じる空隙、および地すべり土塊の沈下に伴うガイド管の圧縮によって発生することが確認された。また、ガイド管の設置不良によるS字データの発生を避けるためには、パッカーを用いてガイド管と地盤を確実に密着させる必要があることを確認した。パッカー孔で生じたS字データは、地盤の鉛直方向の圧縮によるガイド管の変形を反映したものであり、不良データではないと考える。

3. 1. 4 ガイド管の変形状況

地すべり変位に伴いある深度で孔内傾斜計が挿入不能となったH20B-1 (吹上げ孔) とH20B-2 (パッカー孔) で、ガイド管内に孔内カメラを挿入し、挿入不能となった深度のガイド管の変形状況を確認した。H20B-1ではガイド管4方向に明瞭な圧縮が見ら

れ、H20B-2では3方向に圧縮によるシワが確認された (図-8)。これらは、図-9のようにガイド管の変形パターンから地山の変形形態を整理された事例⁴⁾と比較すると、いずれもガイド管が座屈するタイプに分類され、鉛直方向の圧縮により形成されたものと推測される。この様に、ガイド管内部の変形を観察することで、地山の変形機構を推定できるため、土塊内部の変形を把握する情報の一つとなる。

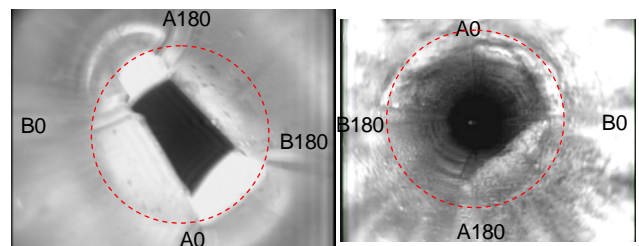


図-8 H20B-1 (左) と H20B-2 (右) のガイド管変形状況

	セン断タイプ I	セン断タイプ II	前倒しタイプ	座屈タイプ
ガイド 上面図	偏平化 	V字状 	③ ② ① 	
ガイド管 断面 (地盤変形 の状況)	低角 	高角 	③ ② ① 	圧縮

図-9 Qスコープカメラによるガイド管の変形パターン⁴⁾

3. 1. 5 ガイド管の浮き上がり

本試験で設置した観測孔のうち、H20B-3(砂詰め孔)でガイド管の孔口が約 46mm 浮き上がる現象が発生した(図-10)。H20B-3の水平変位量(約 25mm)と合成すると、変位方向は約 60° 下向きベクトルになり、すべり面頭部の勾配とほぼ同じであるため、頭部付近の地すべり土塊はすべり面に沿ってほぼ平行移動していると考えられる(図-11)。浮き上がり現象は他の観測孔では見られなかったことから、パッカー孔ではガイド管と地盤の密着が強い。図-11に示すように、地すべり土塊の移動に伴って変位区間のガイド管が座屈していると考えられる。一方、砂詰め孔ではガイド管と地盤との密着が弱いため、変位区間で発生する鉛直変位が観測孔全体に分散して緩やかな S 字変位となり、吸収しきれなかった変位分が浮き上がりとなって現れていると推定される。



図-10 H20B-3(砂詰め孔)の浮き上がり状況

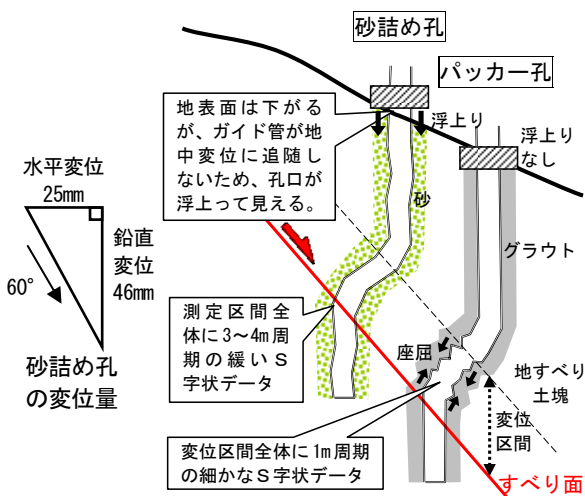


図-11 実験結果模式図

このようなガイド管の浮き上がりは、他の地すべり地においても見られることがあり、本試験地のように地すべり頭部のすべり面勾配が急な位置に観測孔が設置され、充填剤に砂や砂利が用いられている場合に浮き上がる例が見られる。

3. 2 傾動データ

3. 2. 1 傾動データの原因

観測結果のグラフが、不動層区間から傾動したデータは、計測器自体の特性や観測者の観測の仕方により、測定作業中の計器の状態(センサー軸のずれやプローブの姿勢など)が変化することで発生すると考えられる。計測器は精密機械であるが現場での校正が不可能であるため、現場までの運搬や測定時の衝撃、温度変化などにより、観測孔の軸とセンサー軸のずれやプローブ軸とセンサー軸のずれ(以下、0点ずれ)(図-12)が発生し、グラフが傾動する(以下、0点ドリフト)場合がある。観測時には、ガイド管0°方向と180°方向の測定を行うことで0点ずれを相殺するが、両方向の0点ずれ量が異なる場合、ずれた量だけグラフ全体に加算されることになる。そのため、計測器を丁寧に扱って観測を行う必要があるが、その場合でも計測器自体の特性により傾動データが発生してしまう場合があるため、衝撃などを与えずに計測器を正しく取り扱った場合に発生した傾動グラフの補正について検討を行った。

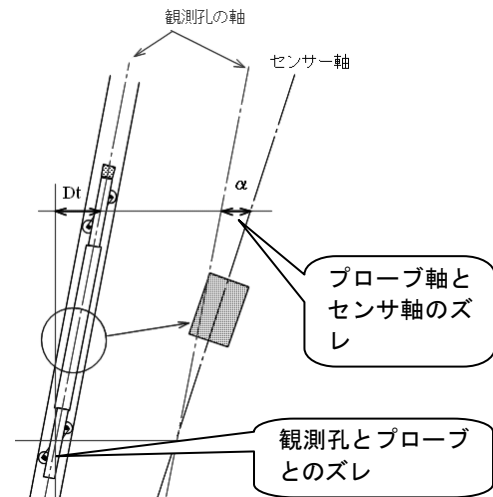


図-12 0点ずれの模式図

3. 2. 2 傾動データの補正方法

前述したように、測定器を現場で校正することができないため、不動層を基準に補正する方法をとることとした。これは、適切に設置・観測された測定値に対し、不動層を動かない地盤として0点ドリフトの補正を行うもので、不

動層の累積変位グラフが変位 0 の軸に重なるような値 (0 点ドリフト) を各深度に加算する (図-13)。

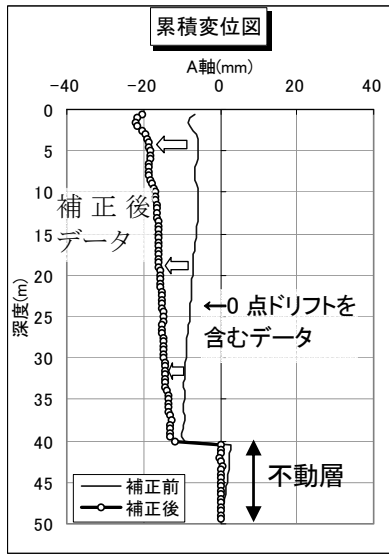


図-13 0点補正イメージ図

補正は、適切に観測された測定値のみで行うことができるため、0点補正が可能なデータの条件として、以下の5点に留意して補正を行うことができるか判断する必要がある。

- 1) 不動層であることの判断と、累積変位の直線性を検証するために、不動層区間が5m以上あること。
- 2) 測定値が、計測器メーカーが保証する計測器の精度・再現性を基に得られる固有誤差の基準内であること。
- 3) 計測器が機械的な変形やずれを生じない状態であることを検証するため、累積変位グラフの不動層区間の傾動量が10mあたり2mm以内であること。
- 4) 累積変位グラフの不動層区間が湾曲していると測定値が安定していない可能性があるため、湾曲していないか、あっても微小であること。
- 5) 計測器の状態や測定方法が前回の観測時と同様であることを確認するため、累積変位グラフの形状が、以前の観測結果と相似形であること。

これらの条件を確認し、0点補正をすることで、正しい地盤の変状を把握することができる。

3.3 方位の乱れデータ

3.3.1 方位の乱れデータの原因

孔内傾斜計観測孔の深度毎に方位が異なる原因として、ガイド管と孔壁の間の充填不良の他に、ガイド管のねじれが考えられる (図-14)。図-2に示す事例ほど方位がばらつくことは無いと考えられるが、実際の地すべりの移動方向と観測結果により求められた変位方向が異なる場合があ

る。孔内傾斜計を用いて一方向の変位を計測する際、ガイド管の幅3mm程度の溝に孔内傾斜計の車輪を沿わせて計測を行う。ガイド管の製作工程でこの溝を全くねじれの無い状態で製作することは不可能である。また、ボーリング孔自体に曲がりがある場合、ガイド管挿入時に孔曲がり沿ったねじれが発生するなどの原因が考えられる。ガイド管のねじれにより地すべりの移動方向が的確に把握できない場合、主測線の方向の取り違いにより安定解析に影響を及ぼすことが懸念される。

そこで、ガイド管のねじれに関する既往データの収集と、方位を測定する計測器を用いてねじれの計測を行い、その実態調査を行った。

3.3.2 調査結果

実態調査の結果、孔口に対する観測孔の孔底のねじれ角度は、左右どちらの方向にもねじれており、観測孔の深度が深くなるとねじれ角度が大きくなり、深度30m以上では10°以上のねじれが多くなる傾向が見られた (図-15)。

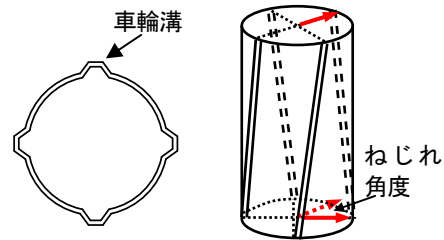


図-14 ガイド管断面形状とねじれのイメージ

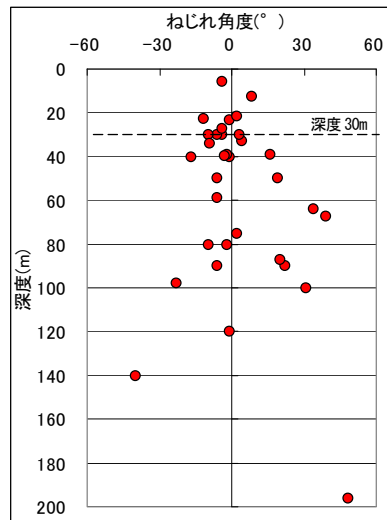


図-15 孔口に対する孔底部のねじれ角度 (33 事例)

3.3.3 ねじれの補正方法

ガイド管のねじれが見られる場合、孔内傾斜計による計測データを補正し、実際の地すべり移動方向を求める必要がある。ねじれの補正方法としては、①簡易にすべり面位置の変位のみを補正する方法と、

②計測した全区間の変位を補正する方法が考えられる。①はすべり面付近のみを補正するため、特定深度に変位が発生する「せん断型」の変形形態の場合に適用可能である(図-16)。一方、②は観測孔の斜面傾斜方向に軸(A軸)を基準として、全深度の計測データを補正する方法であり、図-17に示す計算式を用いて行う。

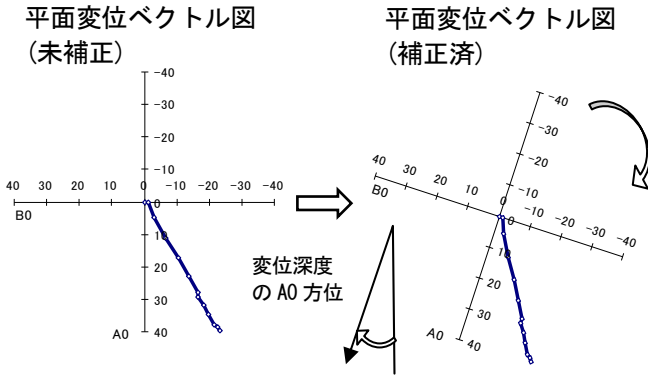


図-16 すべり面付近の変位のみ補正する方法

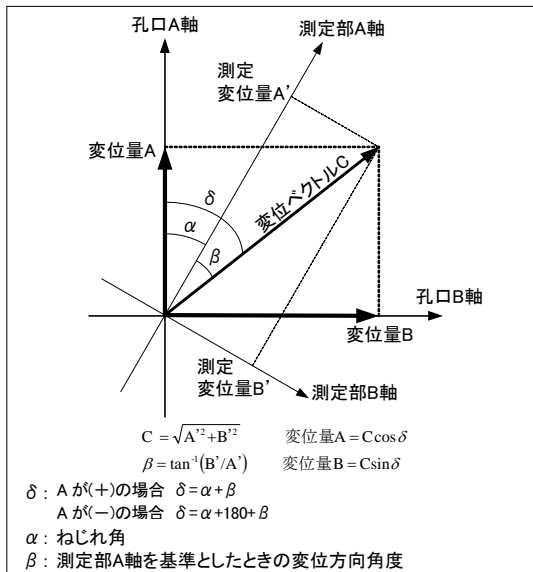


図-17 区間補正の概念図

なお、ガイド管のねじれは、方位磁石を用いた計測器で測定するため、観測孔周辺に磁性に影響を及ぼすものがあると、測定地にばらつきや異常値が生じることがあるため、異常値を削除するなどの対応が必要となる。

4. 計測データの見方

正しい方法で設置や観測がなされた計測結果からは、図-18に示した①～③のタイプの斜面変動を捉えることができる。①せん断型は地中に連続したすべり面が形成されるすべり変位を計測したものであ

る。②弓形は斜面を構成する地盤が自重で変形が進行したクリープ変位を、③傾倒型は地盤の節理や亀裂を介して岩塊や土塊が回転力によって前方へ傾倒したトップリング変位を捉えたものであり、急勾配の自然斜面や切土のり面、地表付近などで観測されることがある。実際の地すべり地では、1箇所を観測孔においても①～③が複合したものや④地すべり滑動などに伴う地盤の沈下を反映したS字状の形態が加わる場合が一般的である。

それらの計測結果から、すべり面を判定するための条件としては a) 測定値が検定や補正により適正なデータであること、b) ボーリングや計測結果から不動層が判定されていること、c) 地質状況や想定される斜面変動との矛盾が無いこと、d) 測定値に地盤の変位がある程度現れかつ累積性があること、を満たすことが挙げられる。なお、実際には動いていない地盤においても、プローブの特性、測定者による観測の仕方、およびガイド管の設置状態および検定・補正が不適切などの要因により、①～④と類似する形状の計測結果が得られることがあるが、上記a)～d)に留意してデータをチェックすることで、計測データの良否を見分けることができる。

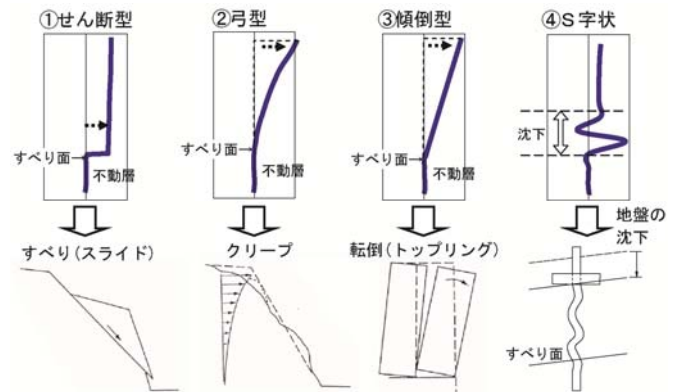


図-18 斜面変動タイプと孔内傾斜計観測データ例

5. まとめ

挿入式孔内傾斜計を用いた地中変位計測における不良データ発生の実態調査を行い、その原因と対策方法について検討した結果、以下のことが分かった。

- 1) 不良データは「S字」、「転倒」、「方位」の順に多く、これらが複合した不良データも見られる。
- 2) ガイド管と孔壁の充填不良箇所、変位に伴ってガイド管が挫屈し、S字変位が発生する。
- 3) パッカーを用いてガイド管を設置することで、ガイド管の設置不良によるS字データの発生を防ぐことができる。

4) ガイド管内部の変形状況を観察することで、地山の変形機構を推定でき、土塊内部の変形を把握するための情報として有効である。

5) 鉛直変位が大きい地すべり地で砂や砂利を充填剤に用いた場合に、ガイド管の浮き上がりが現れる場合がある。

5) 適正な観測により発生する傾動データは、0点補正を行うことにより正しい地盤の変状を把握することができる。

6) 方位の乱れデータは、ガイド管のねじれ計測結果を元にデータを補正することで、適切に地すべりの移動方向を把握することができる。

これまで、すべり面位置の特定や地すべり変動の機構解析を行うにあたり、解釈が難しかった孔内傾斜計の不良データについて、発生原因と対処方法の提案を行うことができた。これらの成果は、本研究に関連して民間3者と実施した共同研究「孔内傾斜計データ不良の原因に関する実態調査と計測技術の標準化」の成果とあわせて、「地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル」として出版予定である。本マニュアルを活用することで、地すべり地の地中変位計測に基づく機構解析が進み、より効果的な地すべり対策が行われることが期待される。

今後の課題としては、地すべり土塊の圧縮を含む3次元的な変位形態の計測により、より詳細な地すべり土塊の変形機構の解明が望まれる。

参考文献

- 1) 白石秀一、五十嵐和一、松本俊昭、周亜明：地すべり変位観測孔の外周充填方法による測定値の違いについて、第39回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.171-174、2000.8
- 2) 中村浩之、檜垣大助、吉田克美：孔内傾斜計の不良データとその発生防止に関する検討、全国地すべりがけ崩れ対策協議会、P.19. 1990
- 3) 申潤植：地すべり工学-理論と実践-、IIすべり面の判定、山海堂、pp.219-225、1989.
- 4) 中川渉、新居見健二、遠藤司、山本寛：Q スコープカメラによる孔内傾斜計ガイドパイプ内の変形観察、第40回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp.323-324、2001.8