

挿入式孔内傾斜計の計測技術の標準化に向けた取り組み

千葉 伸一*・大塚 康範*・三嶋 昭二**・杉田 理***・伊藤 義行****

Action for the Standardization of the Measurement Technique of an Insertion-type Borehole Inclinator

Shinichi CHIBA*, Yasunori OTSUKA*, Shouji MISHIMA**, Osamu SUGITA***, Yoshiyuki ITO****

Abstract

Insertion-type inclinometer is used by various uses of the field of construction as a main measure investigating ground displacement up to the present after we introduced it into the country in 1975. However, the measures of defective data which did not reflect movement of the ground as a problem of correctly were not established. We participated in the joint research about borehole inclinometer which PWRI applied for the cause investigation of defective data and standardization of the measurement technique and decided to plan the solution of the problem.

In joint research, after classifying the form of defective data, laboratory experiment and field test were conducted paying attention to the characteristic of the measuring instrument considered as a cause of generating, the subject of observation, and the problem of installation. The important matter to prevent the outbreak of defectiveness data provided through an experiment is a warm-up of the instruments before the certain setting of the guide pipe (measurement pipe) using the packer, the handling of a right measure and the measurement. Moreover, it was confirmed that the defective data by the insufficient filling were distinguished from the subsidence data that a form was similar to by graphs.

Keywords: insertion-type borehole inclinometer, ground displacement measurement, joint research, manual, development of a measuring instrument

(要 旨)

挿入式孔内傾斜計は、応用地質株式会社が1975年に国内に導入してから現在に至るまで、地盤変位を把握する主要な計測器として土木分野において多様な用途で用いられている。しかしながら、地盤の動きを正しく反映したとは考えられない不良データがしばしば発生していたにも関わらず、その対処法が確立されていない実態があった。筆者らは、独立行政法人土木研究所が公募していた孔内傾斜計に関する共同研究に参画し、不良データの原因調査と計測技術の標準化に取り組むことで課題の解決を図ることとした。

共同研究では、不良データの形態を区分した上で発生原因として考えられる計測器の特性、観測の課題および設置の問題に着目して室内実験や現場実験を行った。実験を通じて得られた不良データの発生を防ぐための重要事項は、パッカーを使用したガイド管（測定管）の確実な設置、計測器の正しい取り扱いおよび測定前の計器のウォーミングアップなどである。また、形態が類似している地盤沈下データと充填不良による不良データは、計測結果のグラフなどから見分けられることが分かった。

キーワード：挿入式孔内傾斜計，地盤変位計測，共同研究，マニュアル，計器開発

* 応用地質(株)エンジニアリング本部 ** 応用地質(株)東北支社 *** 応用地質(株)関西支社
**** 応用地質(株)計測システム事業部 ***** OYO Corporation

1. はじめに

挿入式孔内傾斜計は、地盤変位を把握するための主要な計測器であり、地すべりのすべり面調査の他にトンネル、開削、切土・盛土あるいは港湾工事など土木工事に伴い発生する地盤の水平変位を把握する手法として、多様な用途で用いられている。

国内における挿入式孔内傾斜計計測の実用化は、1975年に応用地質株式会社の大矢が、センサーにサーボ型加速度計を用いた米国 SINCO 社製の高精度孔内傾斜計を導入することで始まった¹⁾。その後、今日に至るまで多くの現場で使用されるとともに、計測器の改良が重ねられて、国内で独自の発展を遂げてきた。

その一方で、地すべり土塊の挙動や土木構造物の施工の影響などの地盤変位を正しく反映したとは考えられないデータ（以下、不良データ）が散見されていたことも事実である。従来は、不良データの原因が分からずオーソライズされた対処法もなかったため、不良データを減らす努力は担当者あるいは個々の現場での工夫に留まっていた²⁾。すなわち、機器は普及していくが計測結果を評価する技術が追い付かない状態であり、筆者らも同じ状況であった。

このような背景から、独立行政法人土木研究所が公募していた孔内傾斜計に関する共同研究（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、2008～2009年度）にメーカーとユーザーの立場で参画し、課題の克服に取り組んだ。なお、共同研究とは産学官の間で効率的かつ効果的な研究の実施を促進するため、共通の課題についてそれぞれの施設、人材を活用し経費を分担して研究を進めるものである。

2. 共同研究での取り組み

2.1 挿入式孔内傾斜計の概要と不良データの発生状況

挿入式孔内傾斜計は、図-1のようにボーリング孔に埋設した溝付きの測定管（以下、ガイド管）に、計器（以下、プローブ）を挿入して、50 cm 区間ごとにガイド管の傾斜を測定するものであり、この測定の初期値（最初に埋設した際のガイド管の形状）とその後の計測値の差から、地盤の水平変位量を求めることができる²⁾。データ整理では、最深部を基準として50 cm 区間ごとの変位を地表部まで累積することで、ガイド管全体の変位形状を示す表現が多く用いられる。

設置および測定作業の各工程では、観測精度を高めるための種々の工夫が施されている。例えば、観測孔の設置ではボーリング孔とガイド管が密着するようにセメント系の充填材にて間詰めを行う。観測ではガイド管の0°側（正方向）と同じ区間の180°側（反転方向）の2方向を計って合成することで、プローブが有する固有の誤差（以下、0点ずれ）を相殺するようにしている（図-2、図-3）。しかし、計測結果の中には地盤変位を正しく反映したとは考えられない不良データが生じる事例が散見されていた。共同研究で行った不良データの形態に関するアンケート調査によると、ある区間がS字状の曲がりを示す現象[S字状]、不動と考えられる孔底部分から全体に倒れ込むような現象[傾倒]および深度ごとに変位の方向が異なる現象[方向の乱れ]に大別された（図-4）。また、不良データは収集した計測データの2～3割で発生しており、その内訳は[S字状]が最も多かった（図-5）。

なお、不良データの対処法は既往の研究^{3),4)}にてい

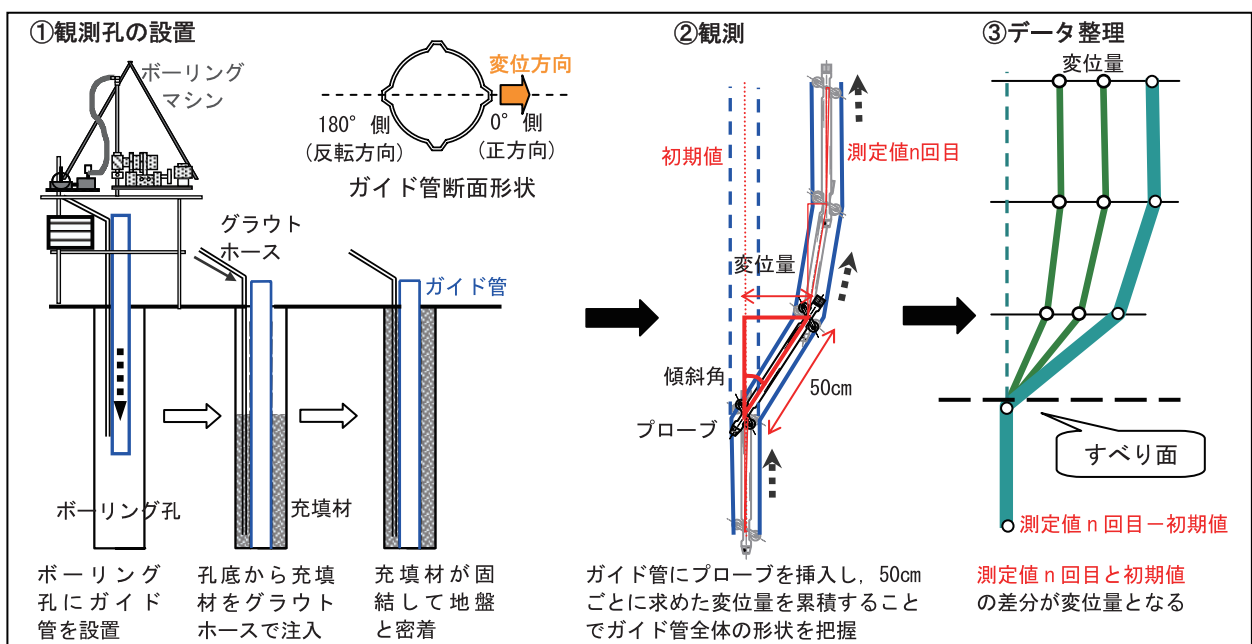


図-1 挿入式孔内傾斜計の測定原理²⁾に加筆

Fig. 1 Measurement principle of an insertion type borehole inclinometer.

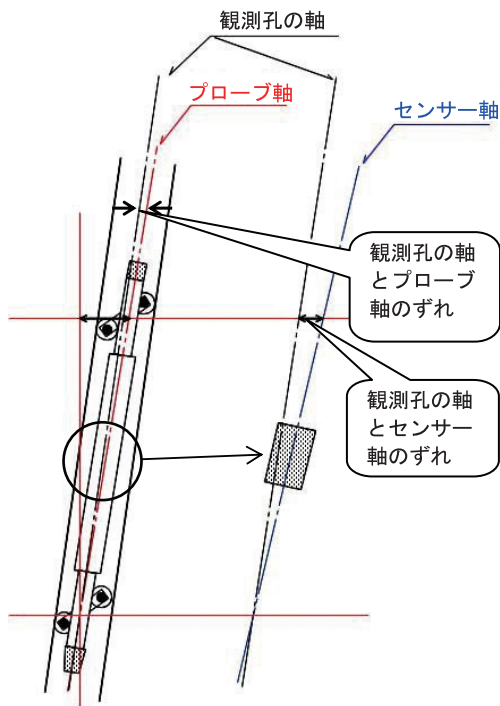


図-2 0点ずれの模式図²⁾を一部編集
Fig. 2 Schematic view of 0 points gap.

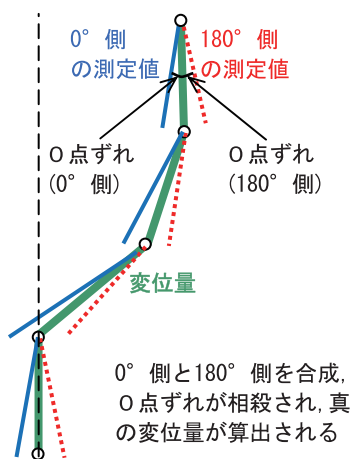


図-3 プローブの0点ずれを減らす方法²⁾を一部編集
Fig. 3 How to reduce 0 point gap of a probe.

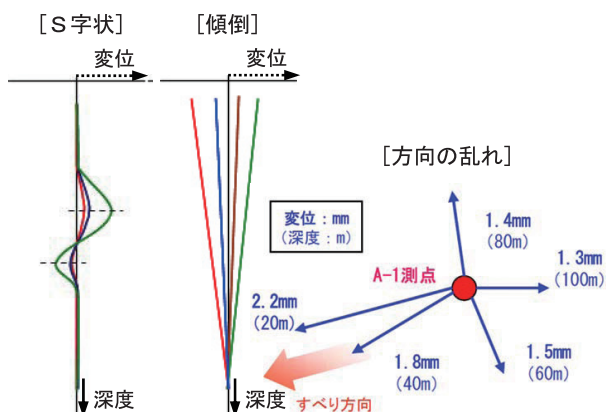


図-4 不良データの形態²⁾を一部編集
Fig. 4 Form of defective data.

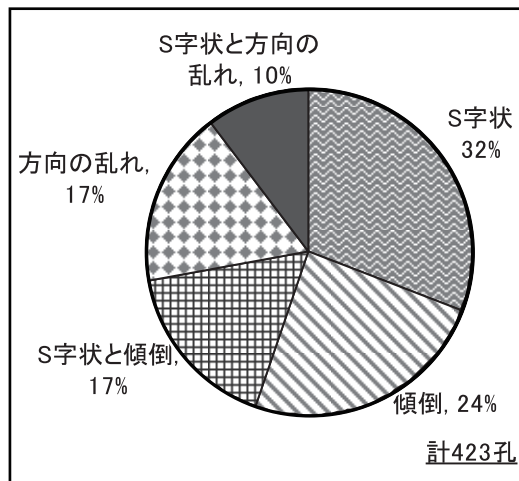


図-5 不良データの形態別割合²⁾
Fig. 5 Ratio according to the form of defective data.

くつか言及されているが、再現実験に基づいたものは少なかった。

2.2 不良データの原因把握を目的とした各種実験

不良データの発生を防ぐためには、その発生原因を解明する必要がある。不良データの発生原因は、①計測器の特性、②観測の課題、および③設置の問題の3つに大別され、さらにその中には複数の原因が組み合わさったものも考えられた(図-6)。

これらの原因を明らかにするため、計器の温度特性や観測時の人為的誤差および設置状態の良否などに着目して、全24項目からなる室内実験や現場設置実験などの再現実験を行った。なお、①と②により不良データが発生した場合は、計器の校正や測定作業の見直しでデータの改善を見込むことができるが、③の場

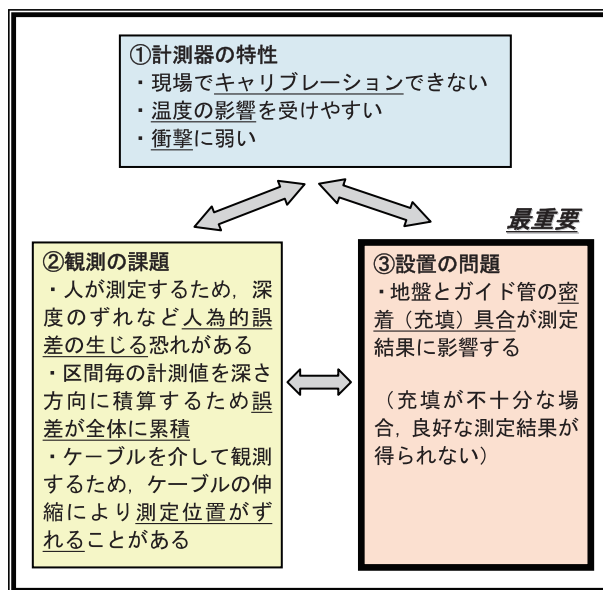


図-6 不良データを生じさせる原因²⁾を一部編集
Fig. 6 Cause of defective data.

合にはその後のデータの改善は困難であるため、③が最も重大な原因と考えた。ここでは、重要な知見が得られた室内試験および現場実験の概要を抜粋して述べる。

2.2.1 室内実験

(1) ガイド管の載荷実験

S字状のデータの発生原因は、地盤沈下に伴う座屈現象とガイド管設置時の充填材の充填不良と考え、それらの再現実験を行った。ガイド管は、国土交通省国土技術政策総合研究所の地下1階から地上8階までの階段スペースを利用して設置し、単管パイプで組んだ架台に約1.5 m 間隔でプラスチック製の結束バンドにて固定した。

地盤沈下に伴う座屈現象の再現実験では、写真-1、図-7のようにガイド管に錘（水入りタンク）を5か所に取り付けて、たわみによって発生する変位量を測定した。その結果、載荷点の直下に凸状のたわみが発生する現象が認められた。これは、載荷（地盤沈下）によりガイド管の軸力の左右バランスが変わり、S字状に変形したものと考えられる。

また、充填不良の再現実験では図-8のように上部に錘を取り付けた状態で結束バンドを切断し、約8 mの区間で固定が緩い状態、すなわち充填不良の状態を意図的に設けた。結束バンドを切断すると、その区間に3～4 m 周期のS字状の変位が発生したことから、固定が緩い区間が選択的に圧縮されたものと考えられる。

以上により、室内実験では地盤沈下と充填不良の双



写真-1 ガイド管への錘の取り付け状況
Photo 1 Setting situation of the weight to a guide pipe.

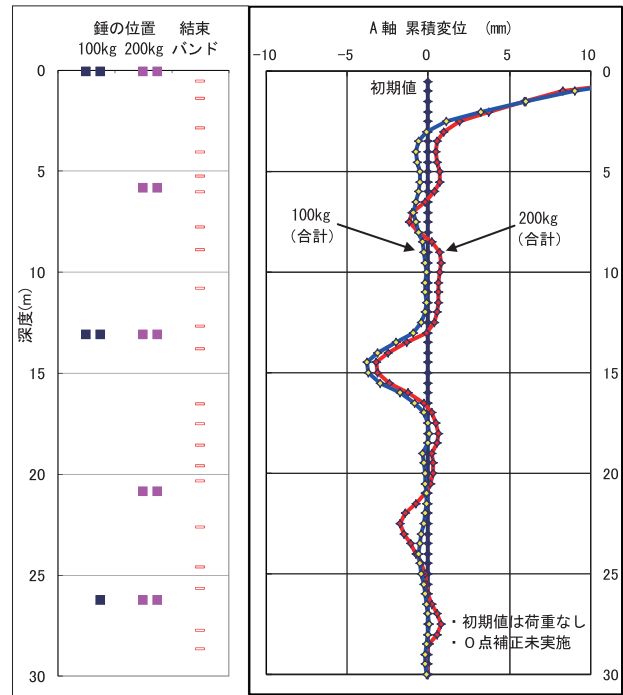


図-7 地盤の沈下を再現する載荷実験⁵⁾を一部編集
Fig. 7 Loading experiment to reproduce subsidence of the ground.

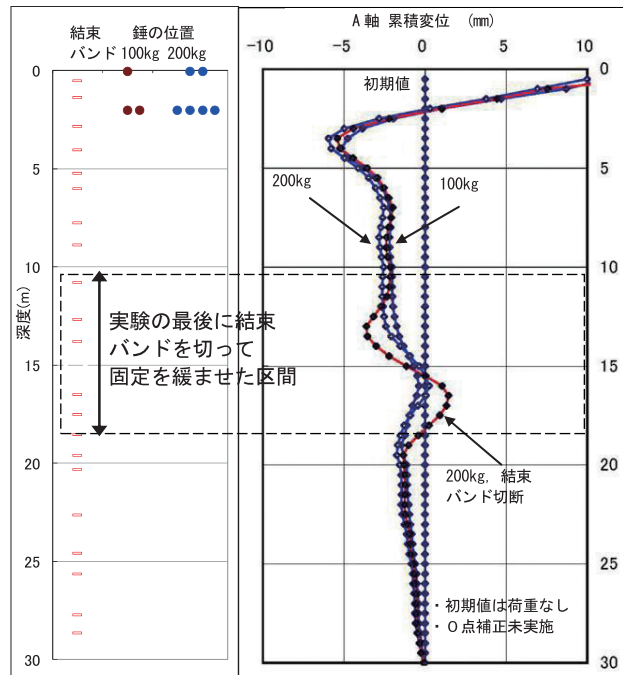


図-8 充填不良を再現する載荷実験⁵⁾を一部編集
Fig. 8 Loading experiment to reproduce insufficient filling.

方でS字状のデータの発生が確認されたが、計測結果のグラフからはそれらの判別は困難であった。

(2) 設置不良の再現実験

ガイド管の設置不良の状態を把握するため、図-9のように充填不良のボーリング孔をアクリルパイプ

で、ガイド管を水道管用断熱材で模した再現実験を行った。その結果、ガイド管の変形は横から見るとS字状を、立体的にはらせん状の形状をなすことが分かった。なお、実際に充填不良が発生した観測孔と地盤変位に伴う沈下が発生した観測孔のデータの立体図を作成すると、充填不良は図-10左のように規則的できれいならせん状となるのに対し、沈下は図-10右のように周期が短い不規則な形状となった。

この他にも、充填不良と地盤沈下によるS字状データには、表-1のように変位の累積時期や発生区間、測定安定度およびS字状区間の変位量などで差異が認められる²⁾。

(3) 温度変化の再現実験

挿入式孔内傾斜計の測定値には、温度の変化が影響

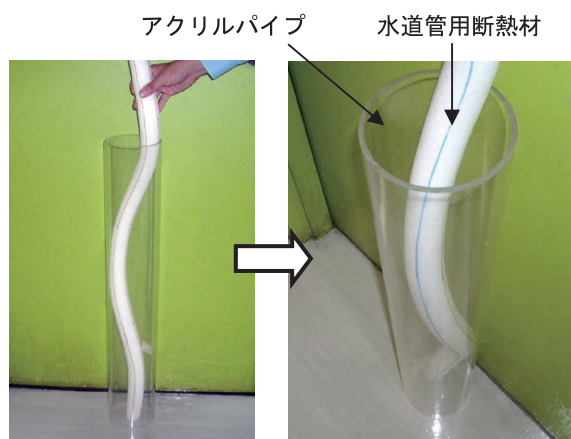
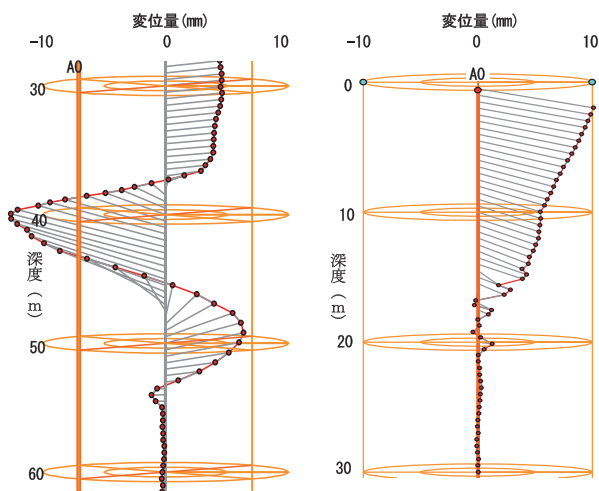


図-9 充填不良区間のS字状形態の再現実験²⁾

Fig. 9 Reproduction experiment of S-shape form in the insufficient filling section.



充填不良を示すデータ
・規則的ならせん状、周期が3~4mあるいはより長い

沈下を示すデータ
・不規則な形状、規則的ならせん状にはならない

図-10 充填不良と沈下の立体図²⁾を一部編集

Fig. 10 Cubic diagram of the insufficient filling and subsidence.

表-1 充填不良と沈下によるS字状データの特徴

Table 1 Characteristic of S-shape data by insufficient filling and the subsidence.

特徴	充填不良	沈下
累積時期	地盤変動とは関連がない時期にもS字状の変位が累積	地盤変動に伴い、S字状の変位が累積
発生区間	ボーリング時の漏水区間や空洞箇所と対応	開口亀裂や破砕部、すべり面付近の軟質部と対応
計測時	設置不良区間は表示値が落ち着かず、固有誤差がばらつく	表示値は安定し、固有誤差もばらつかない
形態	変位の累積に伴いS字の頂点に変化、立体図では規則的できれいならせん状	変位が累積してもS字の頂点は同じ位置、立体図では不規則な形状
変位量	変位量は、削孔径とガイド管外径との差を超えることはない	変位量は、削孔径とガイド管外径との差を超えることもある

することが経験的に分かっている。そこで、恒温槽を使用して冷却（冬季の状態）あるいは加温（夏季の状態）したプローブを一定の温度に保った場合（地中の状態）における変位量の変化を調べた。プローブは、センサーにサーボ型加速度計を用いた応用地質株式会社製のデジタルQ-Tilt200を用いた。

図-11の経時変化図によると、それぞれ30分程度でほぼ一定の値に落ち着いた。このことから、プローブの温度を地温になじませないと計測中に値が漸移し、傾倒あるいは弓状のデータの原因なることがわかった。また、プローブを測定前に孔底で30分以上保持し、ウォーミングアップする必要があることが確認された。

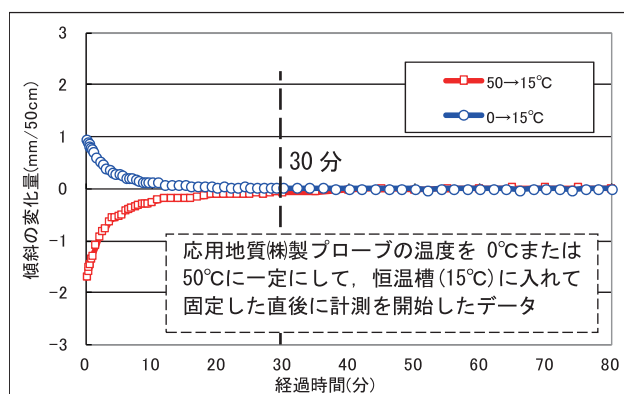


図-11 プローブ表示値の経時変化²⁾

Fig. 11 Time variation of a probe indicated value.

2.2.2 現場実験

(1) 設置方法の比較⁶⁾

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⁴⁾。パッカーは、筒状の布袋で、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長がある。この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、充填不良にならずに地盤とガイド管の密着を図ることができる(図-12)。

現場実験では、既往調査で充填不良によるS字状のデータが発生していた亀裂性岩盤からなる地すべり地の頭部で、パッカーを使用した状態と使用しない状態でガイド管を設置し、定期観測を行った(図-13)。

パッカーを使用しない場合、開口亀裂の部分から充填材が漏れて充填が困難であった。そこで、逸水防止用の綿くずやセメント急結剤などを混入する手法を用いたが、使用した充填材は当初予定量の23倍以上に達し、設置完了までに1ヶ月もの期間を要した。一方、パッカーを使用した場合には当初予定量にて1日で充填作業が終了した。このことから、パッカーを使用すると亀裂性岩盤においてはガイド管を確実にかつ計画的に設置できることが明らかとなった。また、図-14および図-15に示した観測結果によると、パッカーの有無によらずクリープ的な変位が観測されている。なお、測定時はそれぞれ安定しており固有誤差のばらつきも小さかった。

図を詳細にみると、パッカーを使用しない孔では空洞が確認されている深度16m付近にS字状の変位が発生した。パッカーを使用した孔では、深度13~20mの変位が累積している区間全体に小刻みなステップ状の変位が見られ、立体図でその区間を強調すると不規則な曲がりを含むらせん状となっていたことが分かった(図-16)。

上記の結果を前述の表-1に当てはめると、充填不良と沈下の特徴がそれぞれ複数の項目で該当している。このことから、S字状データが発生した場合は、立体図の他にコア状況なども合わせて発生原因を見分ける必要があるといえる。

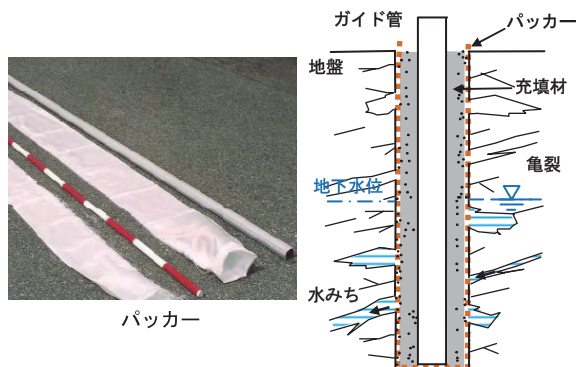


図-12 パッカー使用のガイド管設置の模式図²⁾を一部編集

Fig. 12 Schematic view of guide pipe installation of packer use.

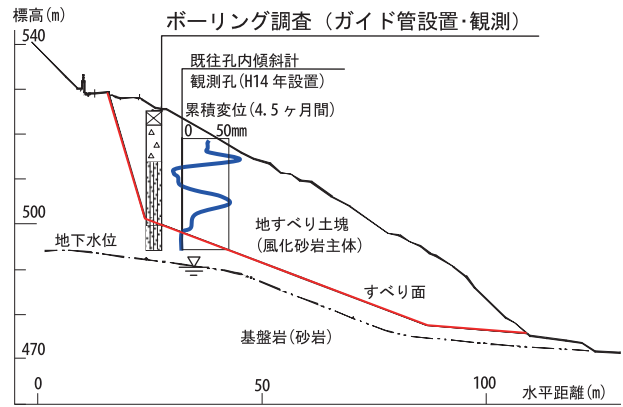


図-13 実験地の地質断面図⁶⁾

Fig. 13 Geologic cross section of an experimental site.

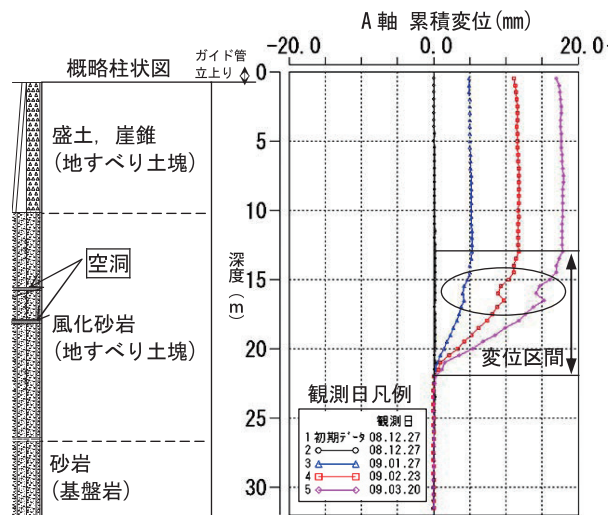


図-14 パッカー不使用孔の測定結果⁶⁾を一部編集

Fig. 14 Result of a measurement of the packer nonuse hole.

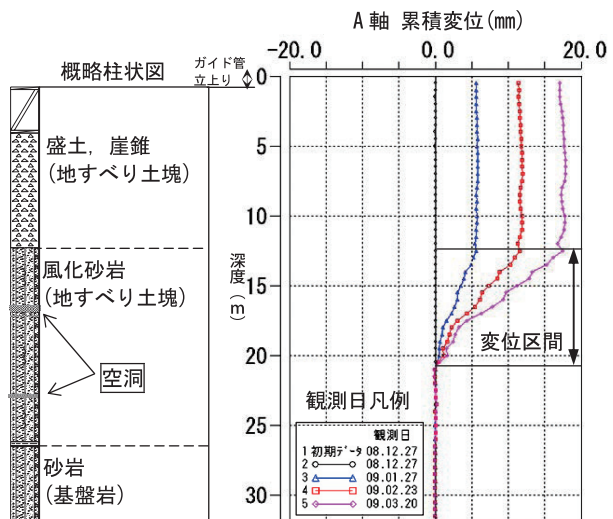


図-15 パッカー使用孔の測定結果⁶⁾を一部編集

Fig. 15 Result of a measurement of the packer use hole.

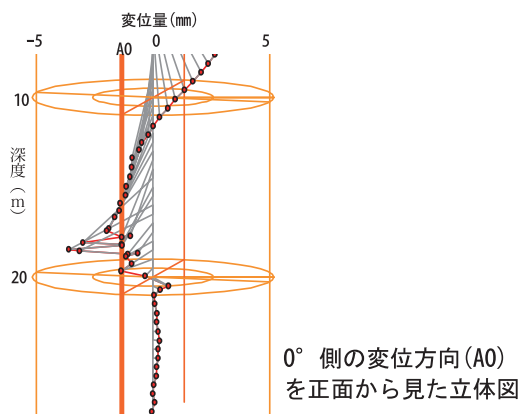


図-16 パッカー使用孔の変位区間の立体図²⁾を一部編集
Fig. 16 Cubic diagram of the displacement section of a packer use hole.

(2) 計測器への衝撃の影響

プローブは衝撃に弱いので丁寧に取り扱うことが原則であるが、(1)の実験の定期観測中に道路のガードレールにプローブを10 cm位の距離から誤って接触させてしまった。その後の計測で、プローブの0点ずれの量(固有誤差の平均値)が約400減少していたことが確認された(図-17)。

マニュアル²⁾では、固有誤差の変動が300を超える場合は、計測器に異常が生じている可能性があるため点検や修理が必要としている。このことから、運搬時はプローブを専用ケースに入れること、計測前はプローブを孔底まで慎重に下すこと、計測中にプローブを0°側から180°側に反転する際にはガイド管等に当たらないようにすることなど、衝撃防止の対策が必要といえる。

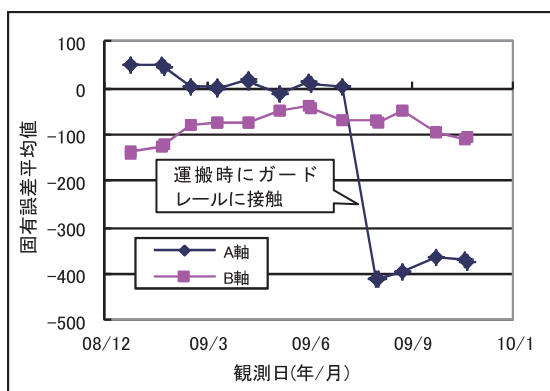


図-17 0点ずれの量の経時変化⁶⁾を一部編集
Fig. 17 Time variation of the quantity of 0 point gap.

(3) ガイドの方位測定

挿入式孔内傾斜計は、直交する2軸方向の変位量から地中の変位方向を精度良く計測できる計測器であるが、ガイド管がねじれた状態で設置されると変位方向を誤って把握する問題が指摘されている¹⁾。そこで、

その実態を調べるため孔内カメラの先端に方位磁石を取り付けて、ガイド管の方位測定を行った。本測定結果と、収集した既存の測定結果を合わせて、ガイド管の深度とねじれとの関係を図-18に整理した。ねじれの量は深くなるほど大きくなり、最大で48°であった。また、ねじれは左右いずれの方向にも発生することが分かった。

ねじれの原因は、ガイド管の製造時の微小なねじれの累積、ボーリングの孔曲がりに伴うもの、継ぎ手接続部のねじれの累積およびガイド管設置時の方向合わせの作業が原因と考えられ、完全に防ぐことは難しいといえる。そのため、ガイド管がねじれている場合はガイド管の方位を測定して適切に補正し、正しい地中変位を示す必要がある。以上の実験方法や結果の詳細は、共同研究報告書⁵⁾を参照されたい。

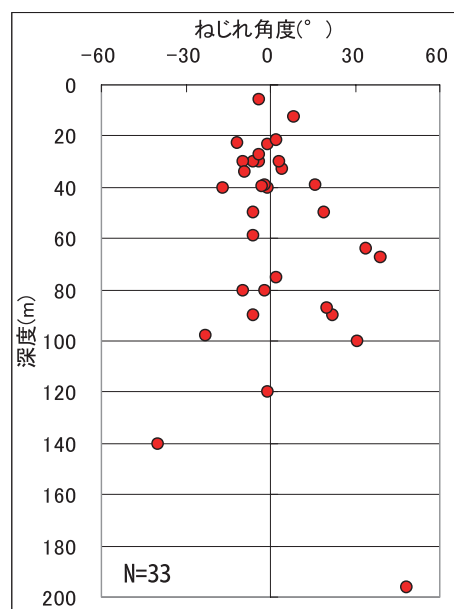


図-18 ガイド管の深度とねじれ角度²⁾
Fig. 18 Depth and twist angle of the guide pipe.

2.3 不良データ防止の重要事項と研究成果の公開

共同研究を通して得られた知見に基づいて、不良データの発生を防ぐための重要事項を表-2に整理した。表中で最も重要と考えている項目は、充填不良によるS字状のデータを防止するためのパッカーを使用したガイド管の確実な設置である。なぜなら、ガイド管の設置はやり直しができないためである。また、地盤沈下によるS字状データは防ぐことができないので、充填不良によるものと区分して、地質状況や施工状況と合わせて地盤の変動を正しく解釈することで対応する(例えば、地すべり変動に伴うすべり面周辺の沈下、集水井施工による沈下など)。その他、傾倒データや方向の乱れについては、表-2に示す通り各種補正²⁾や測定および計器の取り扱いの工夫で対応

することが可能である。

以上の研究成果で得られた知見は、マニュアル²⁾としてとりまとめて、共同研究終了後の2010年7月に発行した(図-19)。また、計測グラフの立体図作成や各種補正を行う解析支援ソフト⁷⁾を土木研究所のホームページで公開した。その後、2012年6月に河川砂防技術基準 調査編⁸⁾が改定され、このマニュアルが参考となる資料として記載された。

表-2 不良データ防止のための重要事項
Table 2 Important matter for prevention of defective data

不良データ	対応方法
S字状	<ul style="list-style-type: none"> ガイド管は、セメント系充填材にて原則パッカーを使用して設置し、変位計測専用孔とする 地盤沈下と充填不良を見分けて、計測結果の正しい解釈を行う
傾倒	<ul style="list-style-type: none"> 計測器を丁寧に扱う(特に、0°方向から180°方向へのプローブ反転作業時) 固有誤差検定²⁾を行い、不動層を利用した0点補正²⁾を行う 測定前の計器のウォーミングアップ(孔底での保持)を30分以上行う
方向の乱れ	<ul style="list-style-type: none"> 方位計測を行ってガイド管のねじれの影響を補正する <p>(S字状データや傾倒データへの対応により、方向の乱れはある程度解消される)</p>

3. 新たな技術開発の取り組み

2.2で述べた①計測器の特性、②観測の課題および③設置の問題を原因とする不良データの発生を防ぐため、筆者らはマニュアルの実践に努めるとともに、新たな計器等の開発に携わったのでここで紹介する。

(1) 計測器の特性に対する取り組み

温度や衝撃など計測器の特性に対しては、新型の挿入式孔内傾斜計「デジタルQテイルト6000」を開発した(図-20)。センサー部にMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)を用いることで温度の影響や衝撃の影響を受けにくくなり、0点ずれの軽減や現場作業の効率化を図っている。

(2) 観測の課題に対する取り組み

観測時に生じる人的誤差などに対して、マニュアルや解析支援ソフトに準拠した検定や補正ができる解析ソフト「QLog-QT ver6.0」を開発した(図-21)。なお、本ソフトの立体図作成機能は、複数のグラフを様々な角度から見られるように改良しており、充填不良や地盤変位の状況をより解釈しやすくなることを期待している。

(3) 設置の問題に対する取り組み

防ぐことができないガイド管設置時のねじれに対しては、既存の計測器を改良したガイド管専用の方位測定器を開発した(図-22)。測定結果を用いて、(2)で述べたソフトでガイド管のねじれ補正も可能である。

なお、(1)(2)の計測誤差等の解消と計測作業の省力化を図るためMEMSセンサーを使用した設置型多連傾斜計や(図-23)、現場作業の省力化を図った専用の運搬具を開発し(図-24)、2012年度から製品化している。

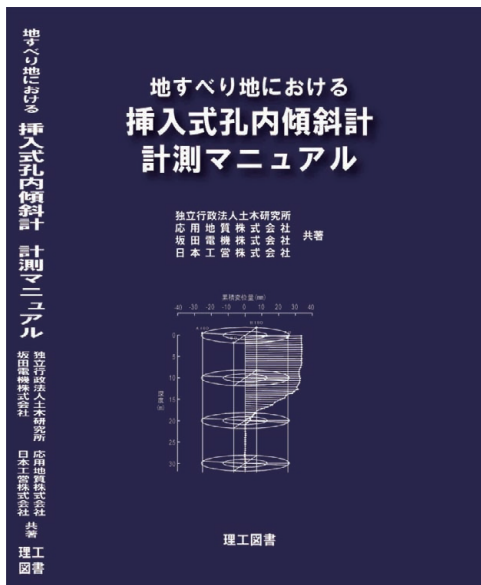


図-19 マニュアルの表紙²⁾
Fig. 19 Cover of the manual.



図-20 デジタルQテイルト6000
Fig. 20 Digital Q-tilt 6000.

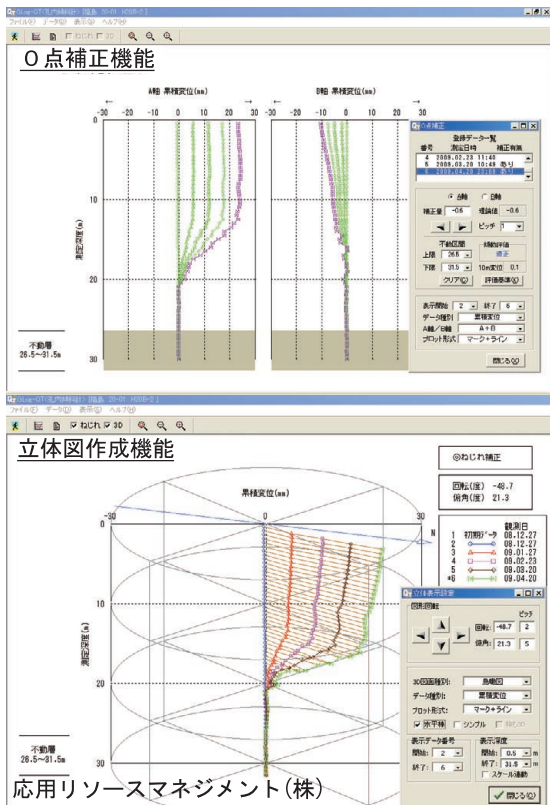
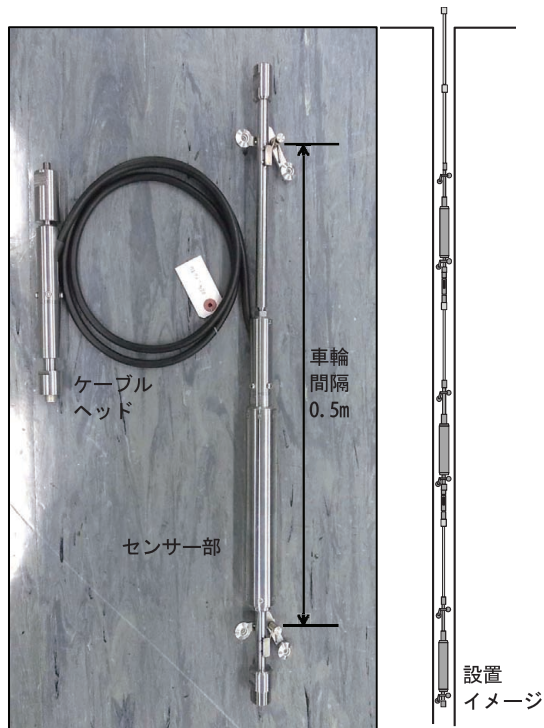


図-21 解析ソフト (GLog-QT ver. 6)
Fig. 21 Analysis software (GLog-QT ver. 6)



製品の特長
 ・センサーにMEMSを使用し低消費電力。
 ・携帯通信ユニット (i-SENSOR) を接続し遠隔監視が可能。
 ・多連 (最大 10 台) のセンサーをケーブル一本で接続できるので施工が容易。
 ・防水コネクタでの接続方式なので設置・回収作業が簡便。

図-23 設置型多連傾斜計
Fig. 23 Installation type multiple string borehole inclinometer.

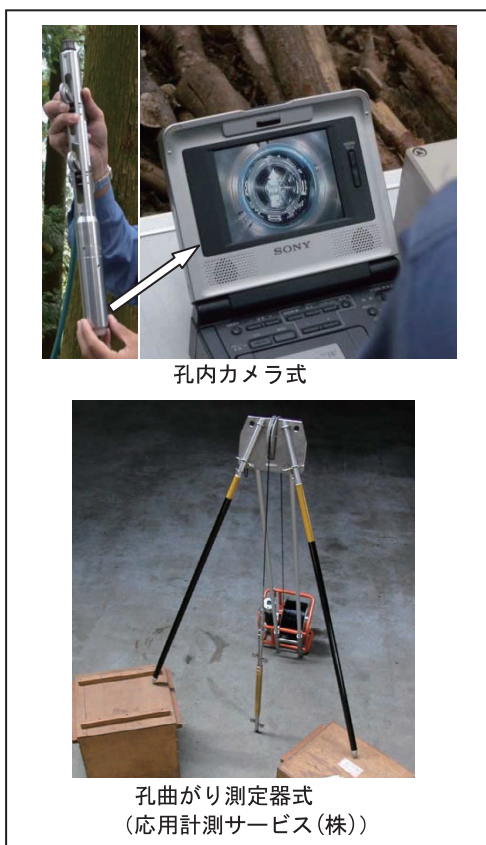


図-22 ガイド管の方位測定器²⁾を一部編集
Fig. 22 Direction measuring instrument of the guide pipe.



製品の特長
 ・専用ケースを装着できるので安全に現場運搬が可能。
 ・背負子が自立するのでプローブを最適な状態で保管可能。

図-24 Q ティルト用背負子
Fig. 24 Frame packs for Q-tilt.

4. おわりに

筆者らは、挿入式孔内傾斜計の計測で発生していた不良データの問題に対し、共同研究に参画してマニュアルの執筆・出版に関わった。出版後は、このマニュアルに準拠して、様々な現場で挿入式孔内傾斜計の設置・計測が行われている。その中で、マニュアルの利用者から長尺の設置・計測について、課題となる重要な意見が寄せられた。筆者らは、こうした実態を明らかにするために開催された、マニュアルの利用者を対象とした座談会にも参加した。座談会で得られた留意事項は、土木研究所資料のノウハウ集⁹⁾として公開されている。

挿入式孔内傾斜計の計測技術は、マニュアルの出版で標準化を終わりにすることなく、さらに改良・発展させる必要があると考えている。今後も、関係者と連携して共同研究成果のさらなる普及や運用の改善を行うとともに、ニーズに合わせた計測器などの開発を進める予定である。このことが、正確なすべり面の判定や施工に伴う地盤変位の解釈、さらには適切な社会資本の整備につながることを期待する。

謝辞

共同研究で共に様々な実験に取り組んだ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、坂田電機株式会社、日本工営株式会社の関係者各位に、厚くお礼を申し上げます。また、挿入式孔内傾斜計の標準化に対する取り組みを記した本稿について、公開を快諾するとともに適切なご指導・ご助言を頂いた土木研究所地すべりチームの関係者各位に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 上野将司(2009):5. 孔内傾斜計の歴史と現状, 日本地すべり学会誌 vol 46, No. 3, 79-83.
- 2) 独立行政法人土木研究所, 応用地質株式会社, 坂田電機株式会社, 日本工営株式会社(2010): 地すべり地における挿入式孔内傾斜計マニュアル, 理工図書2, 3, 4, 14, 16, 101, 105, 116, 127, 178-179.
- 3) 中村浩之, 檜垣大助, 吉田克美(1990):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
- 4) 白石秀一, 五十嵐和一, 松本俊昭, 周亜明(2001):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, 171-174.
- 5) 独立行政法人土木研究所, 応用地質株式会社, 坂田電機株式会社, 日本工営株式会社(2010): 共同研究報告書第397号 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 平成22年3月, 99, 101, 198
- 6) 千葉伸一, 藤澤和範, 笠井美青, 杉田理, 佐藤成将, 菅沼健(2010):挿入式孔内傾斜計の標準化に関わる各種実験成果の報告, 日本地すべり学会誌 vol 47, No. 1, 60-65
- 7) 独立行政法人土木研究所(2010):解析支援ソフト, <http://www.pwri.go.jp/team/landslide/kanrisya/inclinometer_manual/inclinometer_manual.htm> [閲覧日2013年2月19日].
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局(2012):河川砂防技術基準 調査編 本文【参考となる資料 付】平成24年6月版, 第18章 第2節 -4
- 9) 独立行政法人土木研究所(2012):地すべり地における長尺の挿入式孔内傾斜計設置及び計測等に関するノウハウ, 土木研究所資料第4213号