

# 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

## 共同研究報告書

平成22年3月

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

Copyright © (2010) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 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

|             |                   |       |                   |
|-------------|-------------------|-------|-------------------|
| 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 | 上席研究員 | 藤澤和範              |
|             |                   | 研究員   | 小原嬢子              |
|             |                   | 前研究員  | 笠井美青 <sup>1</sup> |
|             |                   | 交流研究員 | 千葉伸一              |
| 応用地質株式会社    | 技術本部              | 副本部長  | 大塚康範              |
|             | 東北支社 技術管理部        | 副部長   | 三嶋昭二              |
|             | 関西支社 ジオテクニカルセンター  | 専門職   | 杉田 理              |
|             | 機器事業本部 技術部        | 専門職   | 伊藤義行              |
|             | 機器事業本部 技術部        | 主担    | 岩崎智久              |
| 坂田電機株式会社    | 計測工事部 計測技術課       | 課長    | 樋口佳意              |
|             | 計測工事部 計測技術課       | 係長    | 才田 誠              |
|             | SI グループ           |       | 佐藤成将              |
| 日本工営株式会社    | 国土保全事業部           | 副技師長  | 菅沼 健              |
|             | 国土保全事業部 防災部       | 課長    | 児玉 浩              |
|             | 国土保全事業部 防災部       | 技師    | 三池 力              |
|             | 仙台支店 技術部          | 技師    | 藤元 亮              |
|             | 名古屋支店 技術部         | 技師    | 萩原陽一郎             |
|             | 大阪支店 技術第二部        | 課長    | 網野功輔              |
|             | 大阪支店 技術第二部        | 技師    | 田内宏明              |

: 現 Landcare Research New Zealand

## 要 旨 :

本報告書は、土木研究所と民間 3 社が平成 20 年度から平成 21 年度まで実施した共同研究「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」の成果である。本共同研究では、孔内傾斜計のデータ不良の原因と対処法を把握するため、観測・計測器の特性・設置の方法や良否に関わる全 24 項目の実験を行った。それらの結果に基づき、正しい孔内傾斜計データを得るためのノウハウを示したマニュアルの作成とともに、解析支援ソフトを開発した。

キーワード : 地すべり すべり面 地中変位計測 挿入式孔内傾斜計 ガイド管



## 〔 目 次 〕

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 1 . はじめに              | 1  |
| 1.1 研究背景              | 1  |
| 1.2 研究目的              | 2  |
| 1.3 研究内容と作業分担         | 2  |
| 1.4 用語集               | 5  |
| 2 . 観測に関わる再現実験        | 7  |
| 2.1 ケーブルマーカー合わせの位置ずれ  | 7  |
| 2.2 位置合わせ後のデータ取得までの時間 | 12 |
| 2.3 位置合わせ時に上げすぎて戻す    | 16 |
| 2.4 車輪とガイド間継目の位置関係    | 18 |
| 2.5 孔口高さ（残尺）の変化       | 21 |
| 2.5.1 室内実験            | 21 |
| 2.5.2 現場実験            | 23 |
| 2.6 孔口反転装置使用の有無の実験    | 28 |
| 2.6.1 室内実験            | 28 |
| 2.6.2 現場実験            | 30 |
| 2.7 ケーブルのねじれの影響       | 34 |
| 2.7.1 室内実験            | 34 |
| 2.7.2 現場実験            | 38 |
| 2.8 観測に関わる実験のまとめ      | 41 |
| 3 . 計測器の特性に関わる再現実験    | 42 |
| 3.1 測定器の電源電圧の変化       | 42 |
| 3.2 プローブの温度特性の影響      | 47 |
| 3.2.1 プローブの温度変化       | 47 |
| 3.2.2 プレヒートの時間        | 61 |
| 3.2.3 孔内水などの影響        | 64 |
| 3.2.4 温度特性の影響に対する考察   | 72 |
| 3.3 プローブとガイド管の組合せ     | 76 |
| 3.4 孔曲がりの影響           | 82 |
| 3.5 計測器の特性に関わる実験のまとめ  | 85 |

|                           |           |     |
|---------------------------|-----------|-----|
| 4 . 設置の方法や良否に関わる再現実験      | ・ ・ ・ ・ ・ | 86  |
| 4.1 ガイド管の接続方法             | ・ ・ ・ ・ ・ | 86  |
| 4.2 ガイド管載荷実験              | ・ ・ ・ ・ ・ | 98  |
| 4.2.1 土塊の沈下を再現する実験        | ・ ・ ・ ・ ・ | 99  |
| 4.2.2 グラウト不良を再現する実験       | ・ ・ ・ ・ ・ | 101 |
| 4.3 亀裂性地山でパッカー不使用の設置      | ・ ・ ・ ・ ・ | 104 |
| 4.4 パッカー試験                | ・ ・ ・ ・ ・ | 110 |
| 4.5 ガイド管設置方法の違い           | ・ ・ ・ ・ ・ | 118 |
| 4.6 充填材の配合                | ・ ・ ・ ・ ・ | 133 |
| 4.6.1 充填材配合強度試験           | ・ ・ ・ ・ ・ | 133 |
| 4.6.2 充填材強度の変形解析          | ・ ・ ・ ・ ・ | 136 |
| 4.7 充填材の養生期間              | ・ ・ ・ ・ ・ | 146 |
| 4.8 地すべり土塊での層別沈下計観測       | ・ ・ ・ ・ ・ | 149 |
| 4.9 ガイド管のねじれの影響           | ・ ・ ・ ・ ・ | 162 |
| 4.9.1 現地測定                | ・ ・ ・ ・ ・ | 162 |
| 4.9.2 ガイド管ねじれの資料整理および対応検討 | ・ ・ ・ ・ ・ | 168 |
| 4.9.3 ガイド管ねじれの比較測定実験      | ・ ・ ・ ・ ・ | 174 |
| 4.10 ガイド管の耐圧              | ・ ・ ・ ・ ・ | 182 |
| 4.11 孔内伸縮計変位量との対比         | ・ ・ ・ ・ ・ | 186 |
| 4.12 設置の方法や良否に関わる実験のまとめ   | ・ ・ ・ ・ ・ | 188 |
| 5 . 資機材の精度や衝撃に関する資料収集と検討  | ・ ・ ・ ・ ・ | 190 |
| 5.1 ガイド管製作過程と不良データの検討     | ・ ・ ・ ・ ・ | 190 |
| 5.1.1 対象製品と全体の流れ          | ・ ・ ・ ・ ・ | 190 |
| 5.1.2 押出し工程               | ・ ・ ・ ・ ・ | 191 |
| 5.1.3 塗装工程                | ・ ・ ・ ・ ・ | 193 |
| 5.1.4 プレス・組立工程            | ・ ・ ・ ・ ・ | 195 |
| 5.1.5 精度の管理と設置・計測への影響     | ・ ・ ・ ・ ・ | 195 |
| 5.2 プローブの衝撃に対する検討         | ・ ・ ・ ・ ・ | 196 |
| 5.3 資機材の制度や衝撃に関する検討のまとめ   | ・ ・ ・ ・ ・ | 199 |

|       |                                 |     |
|-------|---------------------------------|-----|
| 6 .   | トラブル対応事例や正しい観測のための留意点 . . . . . | 200 |
| 6.1   | 設置や観測時のトラブル発生に対応事例収集 . . . . .  | 200 |
| 6.2   | 挿入式孔内傾斜計観測の熟練者へのアンケート . . . . . | 206 |
| 7 .   | マニュアル等の作成 . . . . .             | 216 |
| 7.1   | マニュアル(案) . . . . .              | 216 |
| 7.2   | 解析支援ソフト . . . . .               | 221 |
| 7.2.1 | 測定値補正ソフト . . . . .              | 221 |
| 7.2.2 | 累積変位鳥瞰図作成ソフト . . . . .          | 223 |
| 7.3   | 特記仕様書と参考価格の作成 . . . . .         | 224 |
| 7.4   | 書籍版マニュアル . . . . .              | 230 |
| 8 .   | まとめと今後の課題 . . . . .             | 231 |
| 8.1   | まとめ . . . . .                   | 231 |
| 8.2   | 今後の課題 . . . . .                 | 232 |
| 8.3   | おわりに . . . . .                  | 236 |





# 1. はじめに

## 1.1 研究背景

現在、日本の各所で大雨や雪解け、そして地震を誘因として地すべりが発生し、家、田畑、道路や鉄道などが被害を受けている（写真 1.1）。適切な地すべり対策を実施するためには、地すべりの変動範囲やすべり面の位置や変位方向など地中の変位を把握しなければならない。



写真 1.1 平成 20 年岩手・宮城内陸地震で発生した宮城県栗原市栗駒の荒砥沢地すべり

地中変位の計測手法の 1 つとして、挿入式孔内傾斜計が日本国内に広く普及している。挿入式孔内傾斜計は、図 1.1 に示したようにボーリング孔に埋設した測定管（以下ガイド管）に測定作業ごとに測定器（以下プローブ）を挿入して、ガイド管の曲がりやを測定するものであり、初期値（最初に埋設した際のガイド管の形状）とその後の計測結果の差から変位量を求める計測器である。地すべり観測では、ガイド管の各区間の傾斜角から変位量を換算し、最深部を基準として地表部まで累加することで、ガイド管全体の形状の変化を示す表現が多く用いられている。その観測グラフの形状から地中変位の把握、およびすべり面の検出などが行われている。しかし、

図 1.2 に示したような実際の地すべり土塊の移動を表しているとは考えられない、S 字状の曲がりや倒れ込みを生じたデータ（以下不良データ）が生じることがあり、地中変位を適切に把握できないデータが散見される実態がある。

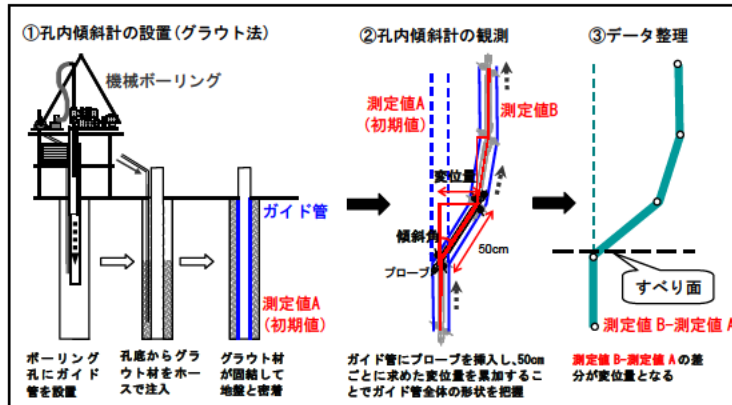


図 1.1 挿入式孔内傾斜計の観測原理と変位検出の流れ

そのため、本研究では不良データの実態調査を行うとともに、不良データ発生の原因と考えられる事項について再現実験を行い、正しいデータを取得する計測技術の標準化を図ることとした。

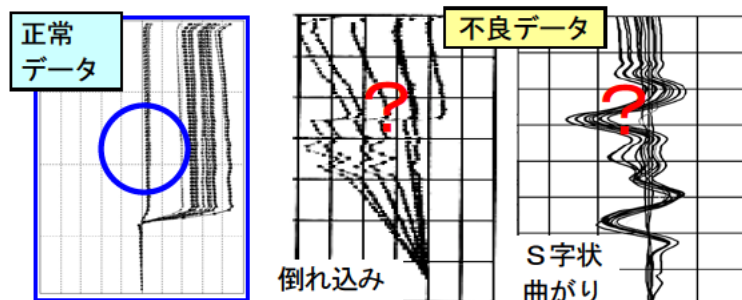


図 1.2 実際の地中変位と異なる挿入式孔内傾斜計のデータの例

## 1.2 研究目的

不良データの発生を防ぐためには発生原因の解明が必要となる。本研究では、不良データを生じさせる要因は、図 1.3 に示したように①測定者による計測の仕方、②計測器の特性(クセ)、③ガイド管と地盤の密着具合で決まる設置の状態、の三点に大別されたと考えた。そして、これらの各要因についてさらに細分し、不良データの発生機構を調べ

るために全 24 項目からなる室内・現場実証実験を行うこととした(表 1.1)。

なお、③の原因により不良データが発生した場合は、その後に正常な計測器で正しい測定作業を行った場合においても、データを改善することはできないと考えられる。したがって、本研究では正しい観測データを得るためには③の「設置」が最も重要な課題と位置づけて、多くの実証実験を行った。

## 1.3 研究内容と作業分担

本研究は、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、応用地質株式会社、坂田電機株式会社、日本工営株式会社による共同研究である(以下株式会社を(株)と略記)。

本研究の成果の一部は、挿入式孔内傾斜計計測に関して重要事項を早期に公開することを目的に作成した「挿入式孔内傾斜計計測マニュアル(案)」と、①が原因で発生する観測グラフの倒れ込み現象を正しい補正する「解析支援ソフト」について、土木研究所地すべりチームホームページに公開した(平成 20 年 11 月～)。また、共同研究終了後には「地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル」を書籍として発刊する予定である(平成 22 年度初旬)。

本研究の分担および全体工程表を表 1.2 に示す。

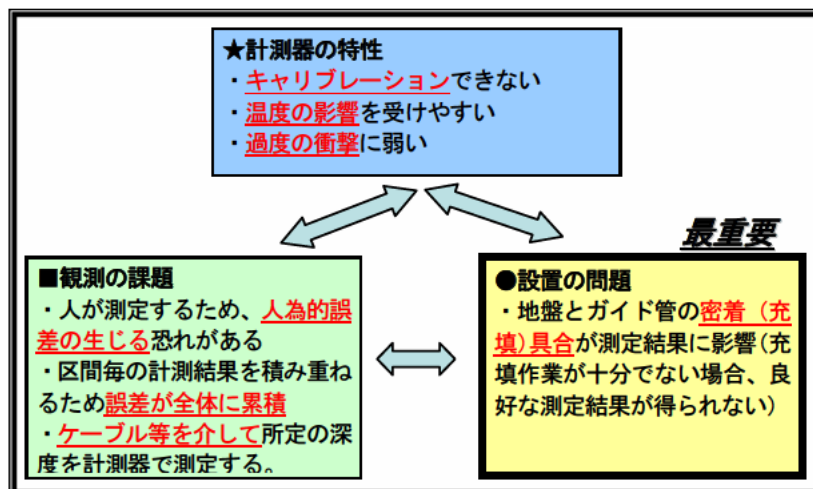


図 1.3 不良データを生じさせると考えられる要因

表 1.1 実験項目一覧表

| 項目     | 実験方法 |                   | 結果概要と正しく計るために得られた知見  | 影響度※ |  |   |
|--------|------|-------------------|--|------|--|---|
|        | 室内   | 現場                |  |      |  |   |
| 資機材の精度 | 1    | ガイド管の収集           | 国内外で入手可能なガイド管を入手して特長を把握する                                    | ○    | 用途に応じて材質や径を選択すれば良い。  | □ |
|        | 2    | ガイド管工場見学          | ガイド管の工場見学を行い品質が確保されているかを確認する                                 | ○    | 工場出荷時に品質は確保されている。製造の過程で補償精度内であるが、一定方向の微小なねじれが発生する可能性がある。                             | △ |
| 計測器の特性 | 3    | 測定器の電源電圧の変化       | 変圧器で推奨電圧から徐々に下げて、測定値の経時変化を測定                                 | ○    | 電圧調整機能により測定値に影響は無いが、電圧の低下に伴い電流が増えて発熱するため計測器に良くない。バッテリーは充電されたものを使用する。                 | □ |
|        | 4    | プローブの温度変化         | 室内：恒温装置でプローブの温度を変えた場合の経時変化の測定<br>現場：プローブの温度を変えて孔底での保持時間無しで測定 | ○    | OYO製は機構上温度変化の影響が大きい。変化量は10～15分を過ぎると小さくなり、30分で概ね安定する。孔底での保持時間は30分以上を推奨とする。            | ◎ |
|        | 5    | プレヒート             | 電源を付けた直後から30分までの回路温度の上昇に伴う測定の変化を記録(温度は一定)                    | ○    | 結果は上記温度変化と同様(OYO製のみ実施、SAKATA製はプローブ内にA/D変換回路が無いのでプレヒートの影響は無い)。                        | ◎ |
|        | 6    | 孔内水などの影響          | 孔内傾斜計の測定と同時に孔内の温度の測定を行う                                      | ○    | 孔内水などによる孔内温度の変化で発生する影響は避けることは困難。固有誤差やコア状況などを合わせて、総合的に変位傾向を解釈する必要がある。                 | △ |
|        | 7    | プローブとガイド管の組合せ     | メーカーの異なる機材の組合せについて、影響を検討する                                   | ○    | ガイド管溝幅よりプローブの車輪幅が狭い組合せではB軸の誤差が大きい。プローブはガイド管と同じメーカーか同じ幅の車輪に変更することが望ましい。               | △ |
|        | 8    | ガイド管の接続方法         | リベット打ちの順番を変えたガイド管で定期観測を行う(ガイド管の軸力測定も実施)                      | ○    | リベット打ちは十字の順番とし、各部分で最初に打つ位置をずらすのが良い。  | △ |
|        | 9    | ガイド管載荷実験          | 階段に設置したガイド管の固定を緩める位置を変えて測定する                                 | ○    | 地盤の空洞を再現した、ガイド管の固定を緩めた区間で凸状データが発生。S字状のデータの予防には、設置時の確実な充填作業が必要。                       | ◎ |
| 設置の問題  | 10   | 亀裂性地山でパッカー不使用の設置  | 通常のグラウト注入で充填が不可能な亀裂性地山でガイド管の設置を試みる                           | ○    | 亀裂の状況によっては、綿屑、珪砂、ベントナイト、モルタルなどのような手法でも充填不能となる。亀裂が開いている地山ではパッカーを必ず使用する。               | ◎ |
|        | 11   | パッカー試験            | 国内で入手可能なパッカーを収集し、充填材注入時の特徴を把握                                | ○    | どのパッカーも使用実績があるので十分な充填が可能。価格・伸張程度・強度・脱水速度に違いがあるので状況に応じて使い分けが可能である。                    | ◎ |
|        | 12   | ガイド管設置方法の違い       | 亀裂が多い地すべり土壌に吹上げ・パッカー使用・砂詰めでガイド管を設置し、1年程度定期観測                 | ○    | 吹上げでは空洞箇所に対応して座屈が、砂詰めでは沈下による全体的な波うち現象が発生。パッカーは鉛直変位の影響も反映した計測値が得られた。パッカーの使用を推奨。       | ◎ |
|        | 13   | 充填材の配合            | 水、セメント、混和材(粉末粘土やベントナイト)などの配合を変えて弾性係数を把握する                    | ○    | 地山の变形係数や地すべり運動様式にあわせて充填材の配合を調整する。  | ○ |
|        | 14   | 充填材の養生期間          | ガイド管設置作業のグラウト充填から6日目まで毎日測定を行う                                | ○    | 3日目にわずかなたわみが発生し、5日目にそれが累積した。通常の観測では、充填材の養生期間を1週間以上設ける必要がある。                          | ○ |
|        | 15   | 地すべり土壌での層別沈下計観測   | 地すべり地で削孔したボーリング孔に層別沈下計を設置して沈下量を経時的に観測する                      | ○    | 地すべり変動に伴いすべり面上部の土壌の沈下が累積。S字状データの発生は、土壌の沈下によるガイド管の圧縮も1つの原因と考えられる(これは地盤の变形状態を反映したデータ)。 | ◎ |
|        | 16   | ガイド管のねじれの影響       | ガイド管設置時に、孔口位置でねじった場合のA0の方向を測定                                | ○    | ねじれは規則性がなく発生し、その原因は孔曲がりに伴うもの、ガイド管の精度によるもの、継手接続時のものなどが複合的に発生。深度30mを超える場合はA0方向の測定を行う。  | ○ |
|        | 17   | ガイド管の耐圧           | 耐圧容器でガイド管外側の水圧を上げて耐圧試験を行う                                    | ○    | 充填時に一回のグラウト高さは60m以内、ガイド管内に適度に注水、手押しポンプ(最大0.5MPa)あるいはグラウトポンプの圧力を0.5MPa以下での使用。         | ◎ |
| 観測の課題  | 18   | ケーブルマーカー合わせの位置ずれ  | 基準位置から-3cm～+3cmの間で1cmごとにずらして測定                               | ○    | 変形が少ないガイド管では影響小、しかし変形が大きいほど影響が大きくなると考えられるため、マーカーは同じ位置に合わせる。                          | △ |
|        | 19   | 位置合わせ後のデータ取得までの時間 | マーカー合わせ後の秒数を変えてデータを取得して統計処理                                  | ○    | 計測器の種類や電算処理の間隔に応じて、値が安定する時間を置いてからデータを取得する(安定しないうちに取得しない)。                            | ○ |
|        | 20   | 位置合わせ時に上げすぎて戻す    | マーカーを合わせた場合と10、20cm引き上げすぎて戻した測定                              | ○    | 測定値に影響が発生することがあるため、上げすぎた場合は再度上げる方向でマーカー位置を合わせる。                                      | ○ |
|        | 21   | 車輪とガイド管継目の位置関係    | 車輪がガイドパイプ継目に位置する場合、その上下10cmの位置で測定                            | ○    | 測定値に影響。プローブの車輪がガイドパイプ継目付近に位置することの無いように残尺を設定する(0.5m間隔での切断が理想)。                        | ○ |
|        | 22   | 孔口高さ(残尺)の変化       | 孔口に10、20、30、40cmの短いガイド管を継ぎ足して測定。現場ではガイド管変形前後も測定              | ○    | 残尺変化が大きいほど変位量が大きい。観測中に残尺を変える場合は0.5mピッチとし、不可の場合は初期値を取り直す。初期値の残尺量の変化は測定値に影響しない。        | ◎ |
|        | 23   | 孔口反転装置使用の有無の実験    | 反転時に、孔口反転装置使用・不使用の場合の測定を行う                                   | ○    | データへの影響は無い。孔口反転装置を使用すると、初心者でも確実な反転作業が可能。   | □ |
|        | 24   | ケーブルのねじれの影響       | ケーブルをねじった場合の長さの変化、およびねじった状態での測定                              | ○    | 全長が変化するため測定位置のスレの原因になり、測定値にも影響。ケーブルは、たらい等の使用や8の字巻きでねじれないようにする。                       | ○ |

計測器の特性として過度の衝撃に弱いことも挙げられるが、機器を丁寧に扱うことが原則なので衝撃に関する実験は行わない。

※ ◎影響大 ○影響あり △条件付で影響あり □影響なし

表1.2 孔内傾斜計 共同研究工程表

| 研究項目                   | 研究細目           | 目的・概要  | 研究分担※       |          |      |       | 平成20年度 |     |      |      | 平成21年度 |       |       |      | 備考   |    |   |   |
|------------------------|----------------|--|-------------|----------|------|-------|--------|-----|------|------|--------|-------|-------|------|------|----|---|---|
|                        |                |  | ◎           | ○        |      |       | 4      | 5   | 6    | 7    | 8      | 9     | 10    | 11   |      | 12 | 1 | 2 |
| ①異常値に関する実態調査           | 全国一斉調査         | 不良データに関する原因の集計                               | 土研          | 坂田、工営    |      |       |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | トラブル対応検討       | トラブル発生時の対応に関するアンケート調査                        | 土研          | 応用、坂田、工営 |      | アンケート |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| ②観測に関する再現実験            | 熟練者アンケート       | 良いデータをを得るためのノウハウを集める                         | 土研          | 応用、坂田、工営 |      | アンケート |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | 測定者による差異       | メーカー位置、データ取得時間、上げすぎ戻し、反転装置、ケーブルねじれに関する実験     | 坂田、応用       | 土研       |      | 実験    |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| ③計測器の特性に関する再現実験、資機材の精度 | 測定条件による差異      | ガイド管継ぎ目の位置関係、残尺高さに関する実験                      | 坂田、応用       | 土研       |      | 実験    |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | 電源電圧、温度特性      | 計測器の電源電圧やプローブの温度特性に関する実験                     | 坂田、応用       | 土研       |      | 実験    |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| ④設置方法に関する調査            | 計器の組合せ         | プローブとガイド管の組合せに関する実験                          | 坂田、応用       | 土研       |      |       |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | ガイドの特徴         | ガイド管の収集と工場見学による性能や特徴の確認                      | 工営、応用       | 土研       |      | 工場見学  |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| ⑤孔内傾斜計による計測技術の標準化      | ガイド管の接続方法や載荷実験 | 接続方法を変えて室内に設置したガイド管の測定実験、および土塊の沈下や設置不良を再現    | 土研          | 応用、坂田    |      |       |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | パッカーに関する試験     | パッカーを収集し充填材の注入試験を実施                          | 土研          | 応用、坂田、工営 |      | 実験    |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| ④設置方法に関する調査            | ガイド管設置方法の違い    | 亀裂性地山でパッカー使用・不使用・砂詰めを設置して計測。パッカー不試用で充填作業を試みる | 土研          | 応用、坂田    |      | 設置    |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | 充填材に関する実験      | 充填材の養生期間の期間、適切な配合やを把握                        | 土研          | 応用、坂田    |      | 養生    |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| ⑤孔内傾斜計による計測技術の標準化      | 地すべり土塊の沈下の影響   | 地すべり土塊の層別沈下計を設置・観測し、孔内傾斜計観測への影響を把握           | 工営          | 坂田、土研    |      |       |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | ガイド管のねじれの影響    | ガイド管ねじれ状況の実態調査と計測手法の検討                       | 土研          | 坂田、応用    |      | 実験    |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| ⑤孔内傾斜計による計測技術の標準化      | マニュアル(案)       | 用語集、ガイド管設置、観測、データ検定、報告方法                     | 土研、応用、坂田、工営 | 坂田、工営    |      | 初版作成  | 公開     | 修正  | 更新   |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | 解析支援ソフト        | データの検定と0点補正、3D鳥瞰図                            | 応用          | 坂田       |      | 開発    | 公開     |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
| 共同研究打合せ                | 書籍版マニュアル       | データの解析、周辺技術                                  | 土研、応用、坂田、工営 | 坂田、工営    |      |       |        |     |      |      |        |       |       |      |      |    |   |   |
|                        | 回数             |  | 1           | 2        | 3    | 4     | 5      | 6   | 7    | 8    | 9      | 10    | 11    | 12   | 13   | 14 |   |   |
| 年月日                    |                | 4/11   | 5/29        | 7/18     | 9/12 | 10/27 | 12/9   | 2/5 | 4/28 | 6/26 | 8/8    | 10/28 | 12/15 | 1/26 | 3/12 |    |   |   |

※◎甲 ○乙 土研：土木研究所 工営：日本工営㈱ 坂田：坂田電機㈱ 応用：応用地質㈱ マニュアル(案)ホームページ公開 書籍マニュアル出版予定

#### 1.4 用語集

挿入式孔内傾斜計に関する用語は専門的であることに加え、同じ意味合いでも計測器メーカーなどの違いによって複数の類義語が用いられている。そこで、本報告では用語の統一を図るためにここで解説を行う。

孔内傾斜計：地中の変位計測に用いる計測器のシステム全体のことを指し、挿入式孔内傾斜計と設置式孔内傾斜計を含む総称として用いられる。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測定作業ごとにプローブを挿入して、0.5m 毎にガイド管の傾斜を測定する。設置式孔内傾斜計はガイド管内に計器を固定する。

プローブ：挿入式孔内傾斜計のセンサを有した計器の部分。プローブとデータロガーは専用ケーブルで接続され、プローブを止めた位置の傾斜角の測定を行う。センサは、差動トランス式やサーボアクセルメーター式、および歪変換方式などがある。

ガイド管：地盤の地中変位をプローブに伝えるための測定管で、測定方向の再現性を持たせるために十字方向に溝が設けられており、地すべり調査では1本3mの50mm前後のアルミニウム製の円形押し出し材が主流。ステンレス製や樹脂製など観測目的によって使い分ける。

継ぎ手：ガイド管同士を接続する部材。リベットで留めるものと樹脂製の継ぎ手で接続するタイプなど製品によって異なる。継ぎ手はテープなどで止水する。

充填材：ボーリング孔とガイド管の隙間を間詰めするためのセメント系のグラウト材。地盤の強度と合わせるために粉末粘土やベントナイトなどを混ぜることが多い。

グラウトホース：充填材をグラウトポンプなどでボーリング孔とガイド管との間に送るためのホース。

パッカー：亀裂性岩盤など透水性が高い地盤に対して、ガイド管に被せて使用する充填材が漏れないようにするための筒状の繊維布。

A軸・B軸：ガイド管には、プローブの車輪が通る溝が十字方向に設けられており、通常A軸は地すべりの移動方向の主軸、その直交方向がB軸と称される。

固有誤差：一般的な計測器ではプローブ軸とセンサ軸のずれの量を指し、計器の固有の値を有する。挿入式孔内傾斜計の観測は、プローブを反転させ0°側と180°側の2回の測定を行って固有誤差を相殺して真の値を算出する〔式1〕。また、0°側と180°側を足すと固有誤差が得られる〔式2〕。

##### 傾斜角および固有誤差の演算方法（A軸の場合）

$$\text{〔式1〕} \dots \frac{D0}{2} - \frac{D180}{2} = \frac{(Dt + \alpha) - (-Dt + \alpha)}{2} = \frac{2Dt}{2} = Dt \quad \text{〔真の値 } Dt \text{]}$$

$$\text{〔式2〕} \dots \frac{D0}{2} + \frac{D180}{2} = \frac{(Dt + \alpha) + (-Dt + \alpha)}{2} = \frac{2\alpha}{2} = \alpha \quad \text{〔固有誤差 } \alpha \text{]}$$

ここで、D0：正の読み値 D180：反転方向の読み値

Dt：真の値                      : 固有誤差                      B軸も同様の演算になる。

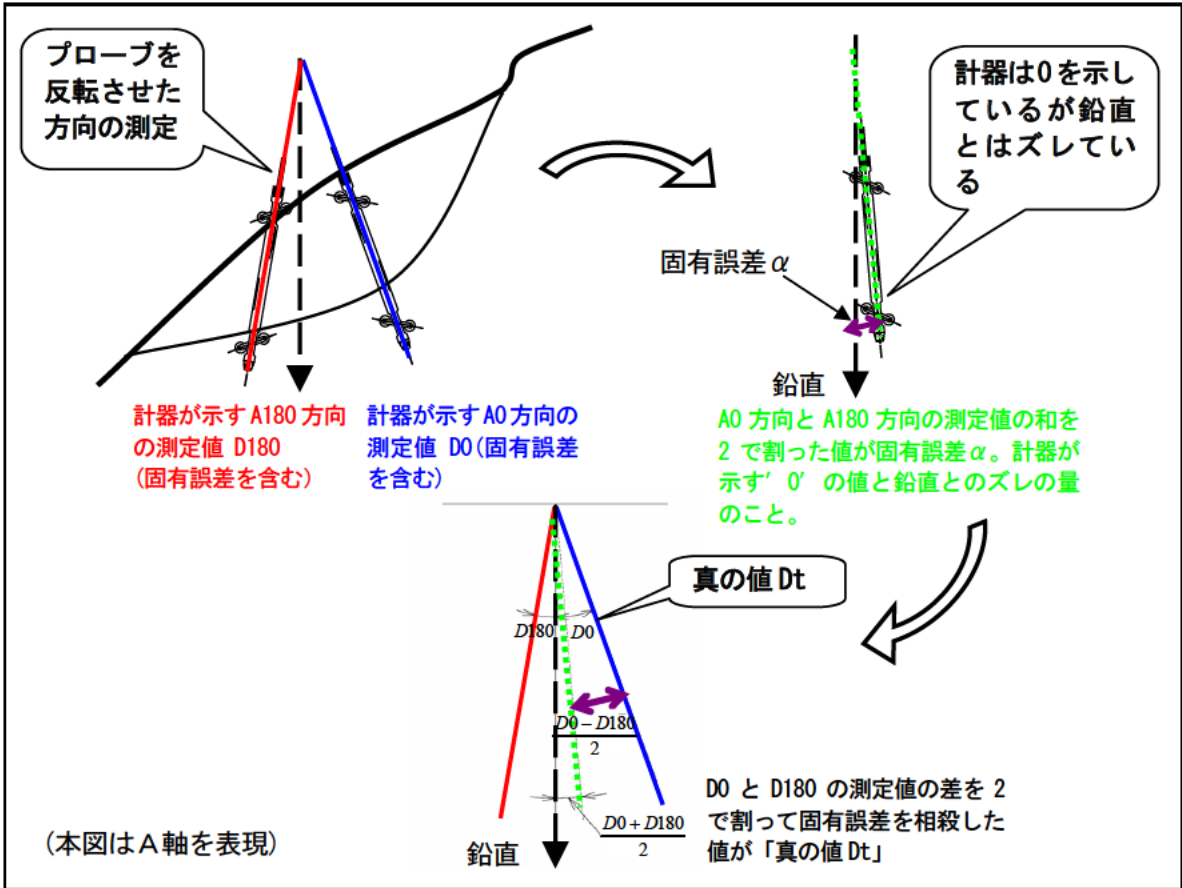


図 1.4 真の値と固有誤差の模式図

○<sup>ゼロ</sup>0点ズレ・0点ドリフト・0点補正: 0点ズレとは、観測孔の軸とセンサ軸のずれのことであり、プローブのセンサ部および車輪などの機械的なずれに分けられる。0点ドリフトとは、測定作業中に0点ズレが起こることであり、観測結果をグラフ化した累積変位図では傾倒が生じる。0点補正とは、測定区間の不動層を基準として0点ドリフトを適正に校正する作業のことをいう。

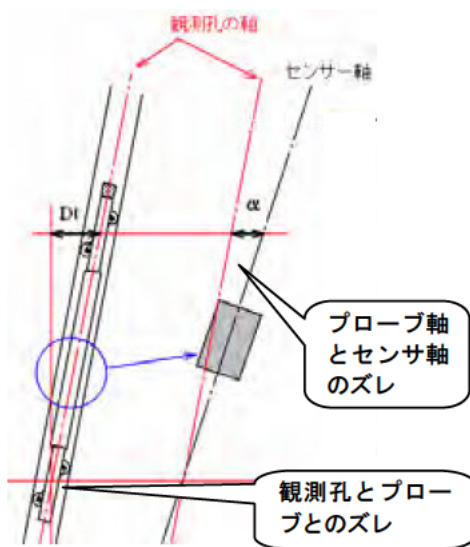


図 1.5 0点ズレの模式図

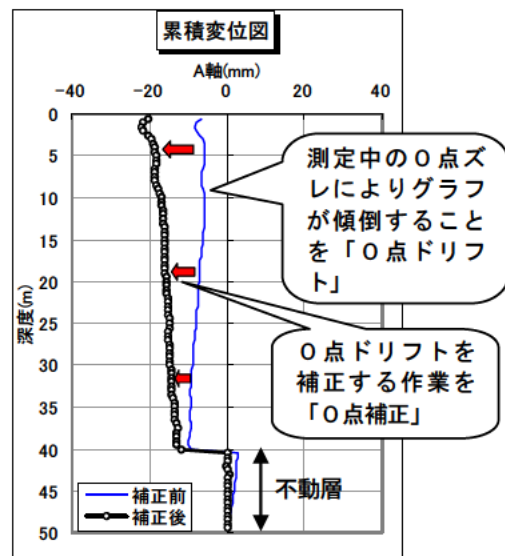


図 1.6 0点ドリフトと0点補正

## 2. 観測に関わる再現実験

挿入式孔内傾斜計には、人が測定作業を行うことによる人為的誤差、区間毎の計測結果を積み重ねる測定原理に起因する誤差の累積、およびケーブル等を介して所定の深度を測定する計測器の構成などにより誤差が発生する。そこで、それら観測に関わる再現実験を行い良好なデータを得るための留意事項の把握を行った。

### 2.1 ケーブルマーカー合わせの位置ずれ

測定者の違いによるデータへの影響を確認するため、ケーブルマーカーの合わせる位置を変えた測定実験を行った。ずれの量は、測定者が異なった場合においても最大と考えられる範囲の±3cmに設定した。測定条件の概要は次の通り（国総研は国土交通省国土技術政策総合研究所の略記）。

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| ・プローブ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製                      | ・実施箇所：室内（国総研西側階段、検定孔） |
| ・実施方法：ケーブルのマーカー下端を基準として、-3cm から+3cm の間でデータ取得 |                       |

#### (1) 応用地質(株)製

##### ①実験資機材の構成

実験に使用した機材および設備は、以下のとおりである。また、実験時の機材の構成を図 2.1 に示した。

- |         |                 |                       |
|---------|-----------------|-----------------------|
| プローブ    | ： 応用地質(株)製      | デジタル Q ティルト-200       |
| データロガー  | ： 応用地質(株)製      | デジタル Q ティルト ハンディターミナル |
| ケーブル    | ： 応用地質(株)製      | ケーブル 50m              |
| 安定化電源装置 | ： (株)高砂製作所製     | EX375H 0-240V/0-6.3A  |
| 使用ガイド管  | ： 川崎興業(株)製 No.1 | （国総研西側階段に設置）          |

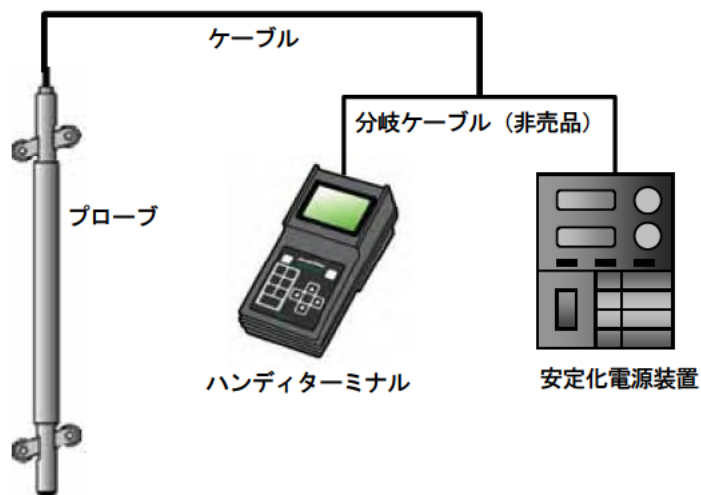


図 2.1 実験機材の構成（応用地質(株)製）

なお、今回の実験では、可能な限り変位のある状態での測定が望ましいと考えた。そこで、写真 2.1 に示すように、孔口から 6.7m 付近の足場パイプとガイド管の間にゴム板を挟み、ガイド管を強制的に変位させた。

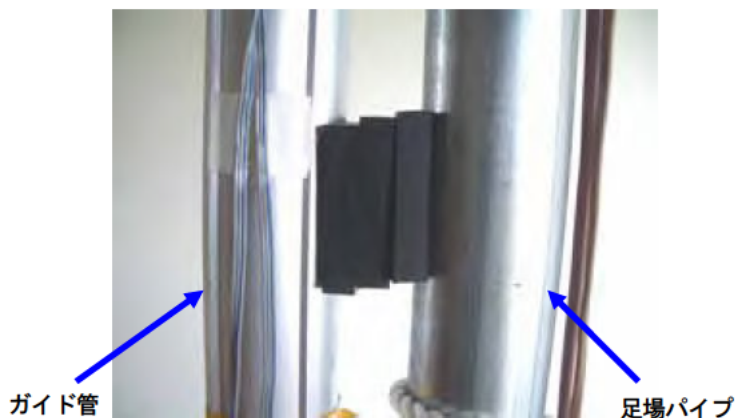


写真 2.1 ガイド管の強制変形

## ②初期値測定

先に述べたように、今回の実験ではガイド管を強制的に変位させている。そのため、どの程度変位しているか傾斜計を用いて測定し、測定者の違いによるデータへの影響実験などの実験位置を決定した。なお、本測定の際には、反転装置として 70cm のガイド管を孔口に接続しているため、ゴム板を挟めた位置は、孔口より 7.4m 付近となっている。測定結果を図 2.2 に示す。A 軸で 9mm 程度、B 軸で 13mm 程度の変形が確認される。

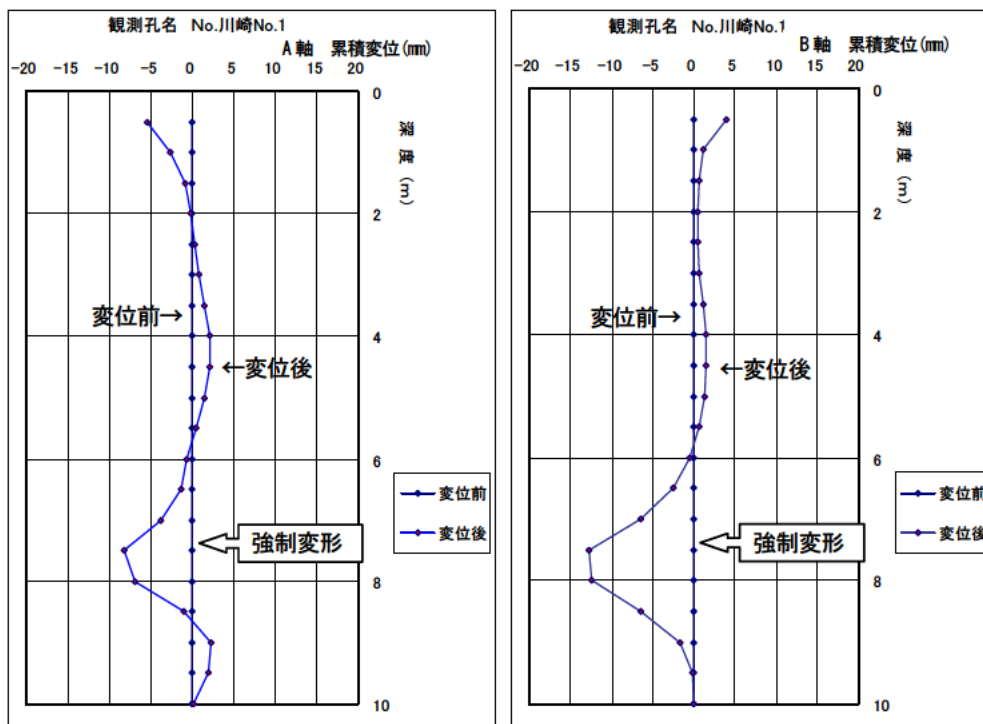


図 2.2 実験孔の累積変位図（強制変位実施）



前述の図 2.2 の累積変位図により深度 7.75m で最大累積変位を示していることがわかる。区間変位では深度 7.0m の位置が最大であるため、本実験については深度 7.0m の位置で測定を行うこととした。

#### 実施方法

挿入式孔内傾斜計のケーブルには、図 2.3 に示すように測定深度を合わせるためのマーカが 50cm 毎に付いている。通常は、このマーカの下端をガイド管の上端に合わせて測定を行うが、ここではマーカ下端を基準として、-3, -2, -1, ±0, +1, +2, +3cm の位置でそれぞれ 10 回測定し、その平均値を比較した。

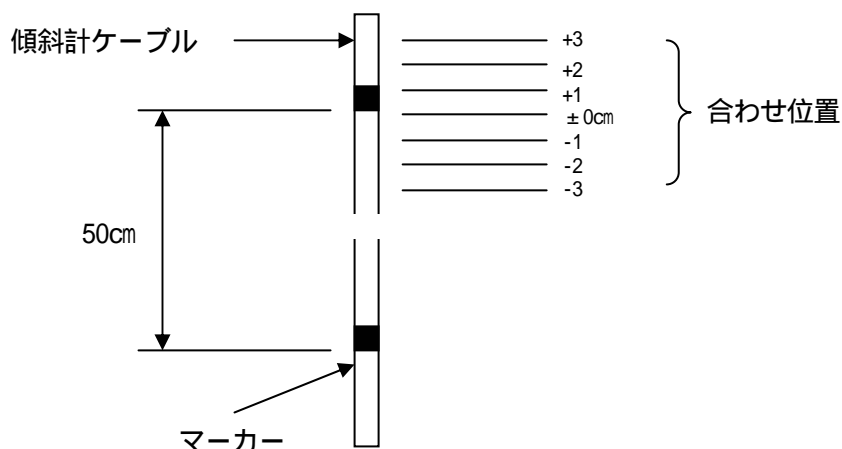


図 2.3 ケーブルのマーカ合わせの位置 (応用地質株製)

#### 結果

実験結果を図 2.4 に示す。本図より、それぞれの位置で測定したデータには大きな差異は無く、±3cm 程度の深度ずれであれば、2~3 カウント (0.01~0.015mm/50cm) で結果には大きく影響しないことがわかった。

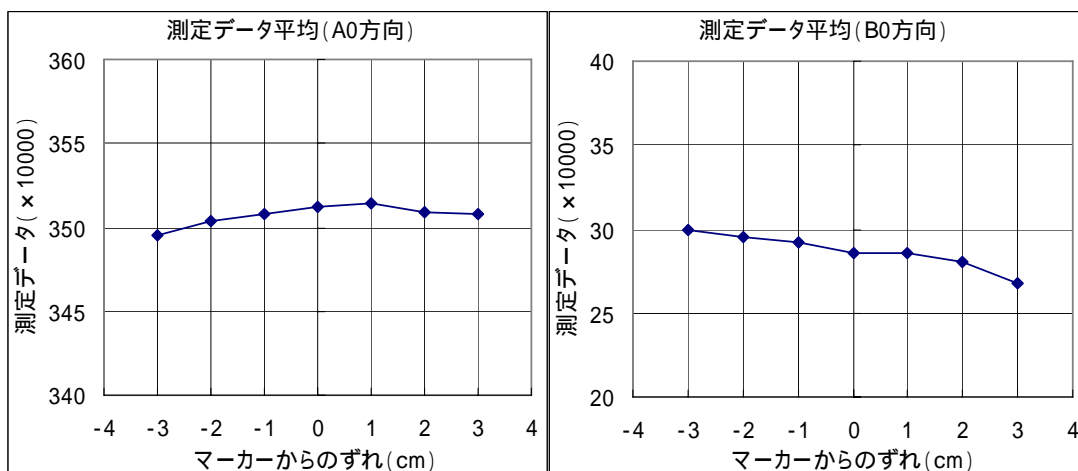


図 2.4 マーカ合わせ位置をずらした場合のデータ (室内実験、応用地質株製)

## (2) 坂田電機(株)製

### ①実験資機材の構成

実験に使用した機材および設備は、以下のとおりである。また、実験時の機材の構成を写真 2.2 に示した。

傾斜計プローブ：坂田電機(株)製 挿入式孔内傾斜計 EIN-5030G2  
：坂田電機(株)製 挿入式小型 2 方向傾斜計 EIN-5180GNY  
測定器：坂田電機(株)製 地中変位収録器 EL-201B-3  
ケーブル：坂田電機(株)製 ケーブル 50m 付  
安定化電源装置：菊水電子工業(株)製 PMC18-5 0-18V/5A  
使用ガイド管：坂田電機(株)製 U-15, U-35 (坂田電機(株)の検定孔)

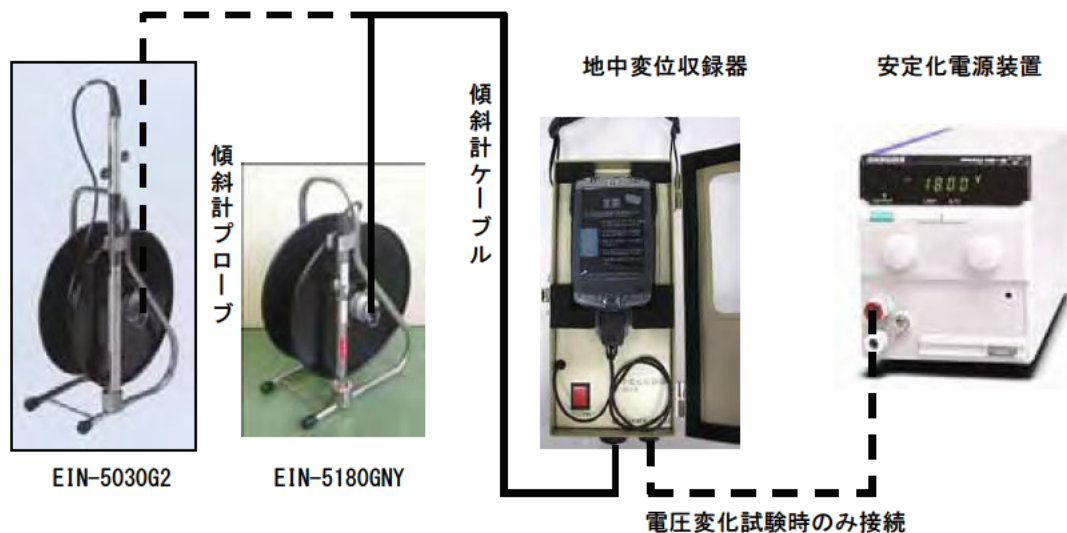


写真 2.2 実験機材構成 (坂田電機(株)製)

### ②実施方法

挿入式傾斜計のケーブルには、図 2.5 に示すように測定深度を合わせるためのマーカが 1.0m 毎に付いている。通常は、このマーカの下端をガイド管の上端に合わせて測定を行うが、ここではマーカの下端を基準として、-3, -2, -1, ±0, +1, +2, +3cm の位置でそれぞれ 10 回測定し、その平均値を比較した。また、プローブ周辺の温度変化ができるだけ小さくなるように孔内水位 (12.5m) 以深で実施した。

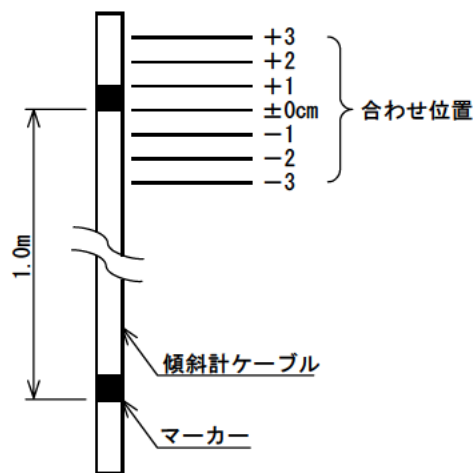


図 2.5 ケーブルのマーカ合わせの位置 (坂田電機(株)製)

## 結果

実験結果を図2.6に示す。本図より、それぞれの位置で測定したデータは1mあたり0.1mm以下の差であり大きな差はなく、±3cm程度の深度ずれであれば、データにほとんど影響しないことがわかった。

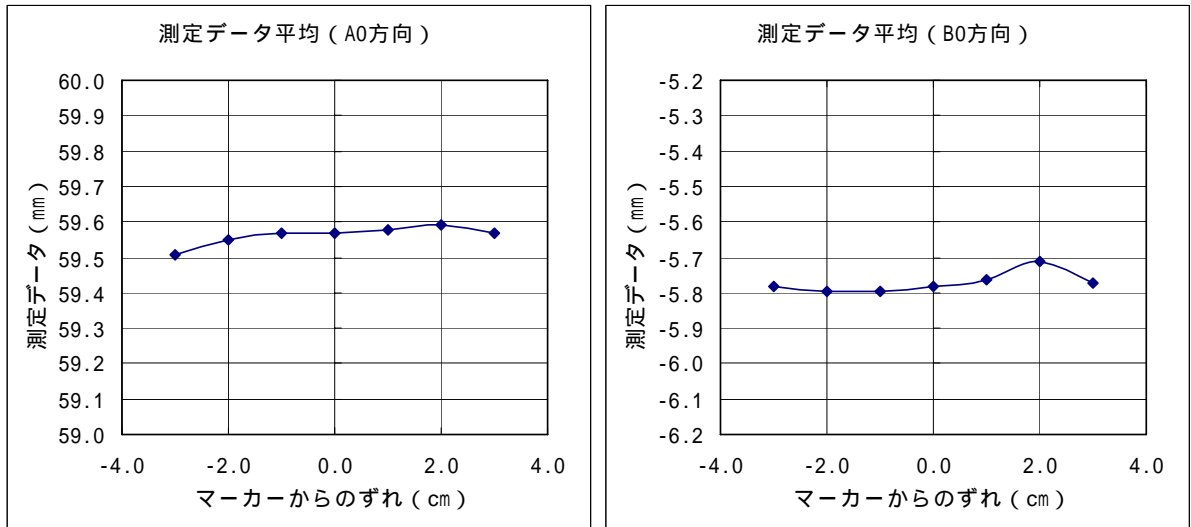


図2.6 マーカー合わせ位置をずらした場合のデータ (室内実験、坂田電機株製)

### (3) まとめ

双方のプロープにおいても、変形が少ない観測孔においては±3cm程度の深度ずれであれば、結果にはほとんど影響しない結果が得られた。しかし、図2.7に示すようにガイド管の変形が大きいほど、深度ずれの影響は大きくなると考えられるため、マーカーは可能な限り同じ位置に合わせることが望ましい。

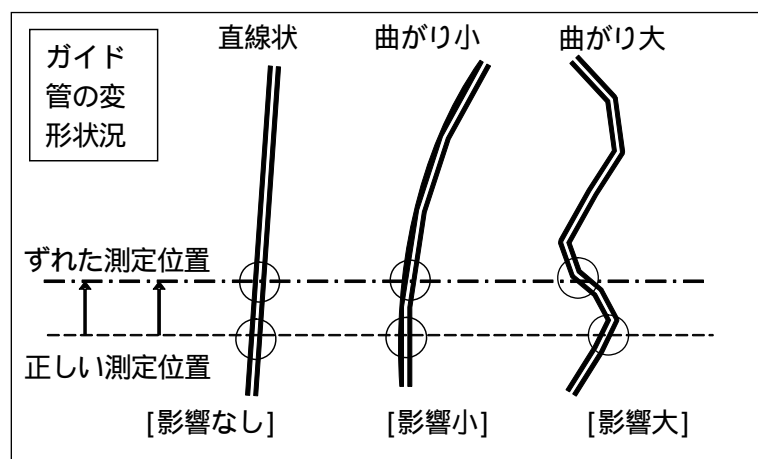


図2.7 測定位置のズレによる測定結果への影響模式図

## 2.2 位置合わせ後のデータ取得までの時間

通常の測定では、ケーブルマーカーをガイド管上端に合わせた後、データが十分に安定したことを確認してからデータを取得する。しかし、測定者によって、このデータの安定を十分に確認しない状態でデータ取得を行っている可能性が考えられた。そこで、測定者の違いによるデータへの影響を確認するため、ケーブルマーカーを合わせてから、データを取得するまでの時間を変えた測定実験を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質株式会社製、坂田電機株式会社製
- ・実施箇所：室内（国総研西側階段、検定孔）
- ・実施方法：通常測定とマーカー合わせ後の時間を1秒ずつ増やして繰り返し測定

### (1) 応用地質株式会社製

#### 実施方法

本実験では、ケーブルマーカーを合わせてからどの程度の時間でデータが安定するかを確認するため、通常測定のほか、マーカー合わせ後0, 1, 2, 3秒でデータを取得した場合をそれぞれ50回ずつ測定した。実施箇所は、2.1と同じ国総研西側階段に設置して強制変位させたガイド管の深度7.0mの位置とし、使用した実験資機材も2.1と同様のものとした。

#### 結果

それぞれの時間でデータ取得した結果をヒストグラムにして図2.8に示す。また、本図には、それぞれのデータの平均値と標準偏差を併せて示す。本図より、ケーブルマーカーを合わせてから約2秒後には、データがほぼ安定していることがわかる。しかし、2秒後のA0方向のデータに若干のばらつきが見られるため、実際の測定では、3秒以上の安定時間を設定してデータを取得することが望ましいといえる。

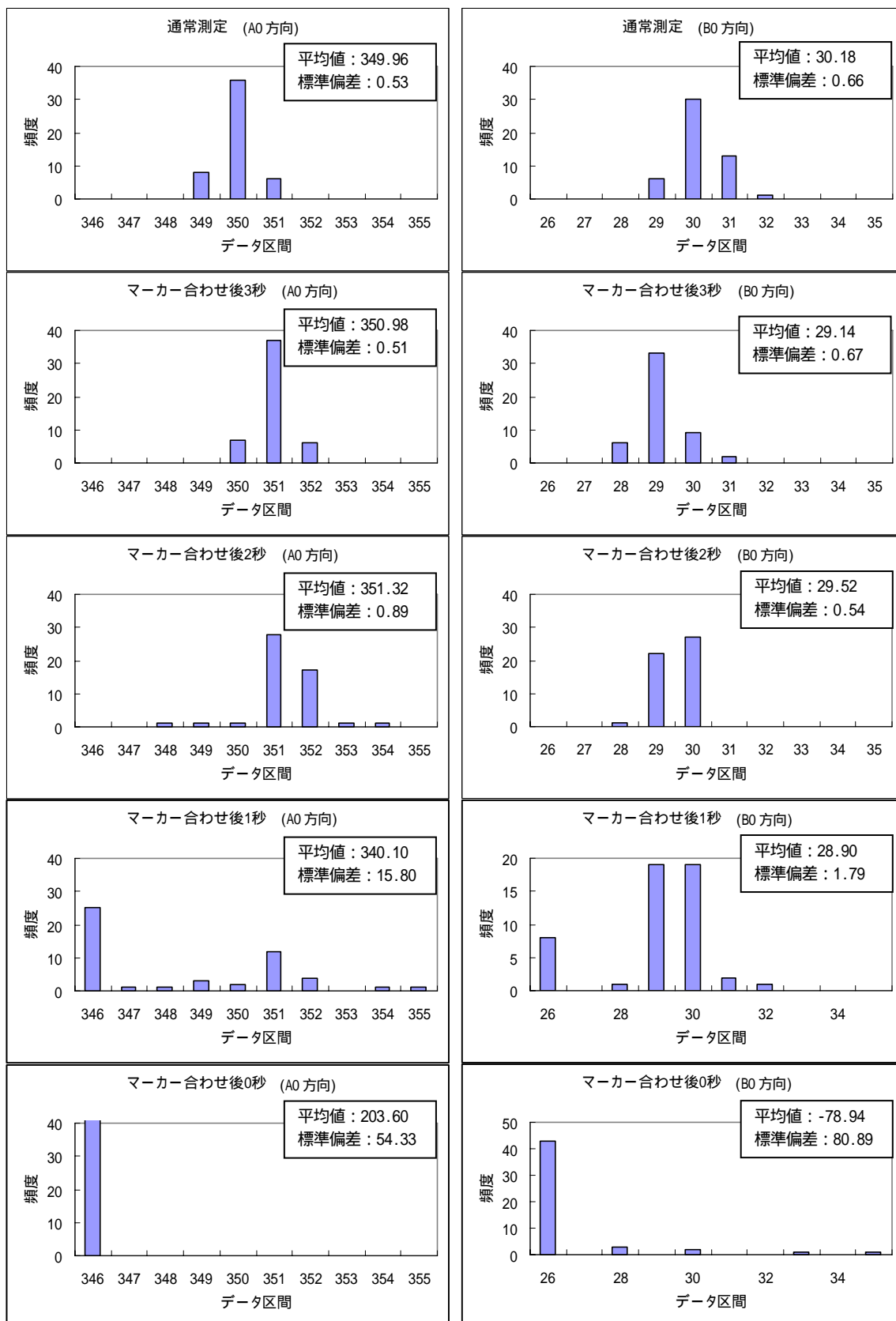


図 2.8 各データ取得時間におけるデータのばらつき (室内実験、応用地質株式会社)

## (2) 坂田電機株式会社製

### 実施方法

ケーブルマーカーを合わせてからデータが安定するまでの時間を確認するため、通常測定のほか、マーカー合わせ後 0, 5, 10, 15 秒でデータを取得した場合はそれぞれ 50 回ずつ測定した。なお、本測定器はデータの更新・取得に各々約 2 秒程度の時間を要するため、最小測定間隔を 5 秒とした。また、プローブ周辺の温度変化をできるだけ小さくなるように孔内水位(12.5m)以深で実施した。

### 結果

それぞれの時間でデータを取得した結果をヒストグラムにして図 2.9 に示す。また、それぞれのデータの平均値と標準偏差を併せて示す。

本図より、ケーブルマーカーを合わせてから約 10 秒後にはデータがおおむね安定し、15 秒後には、データがほぼ安定している事がわかる。よって、本実験からは最低 10 秒必要で、15 秒以上の安定時間を設定してデータを取得する望ましいことがわかった。

## (3) まとめ

応用地質株式会社製プローブでは 2~3 秒以上、坂田電機株式会社製プローブでは 10~15 秒以上の安定時間を目安として設定する。ただし、実際の測定では、表示値の最小桁が $\pm 1$  カウント程度の変動に収まる程度に値が安定したことを確認した上でデータを取得する必要がある。なお、これらの時間差は、製品により傾斜センサの構造やデータロガーのデータ処理の方法等が異なるためと考えられる。

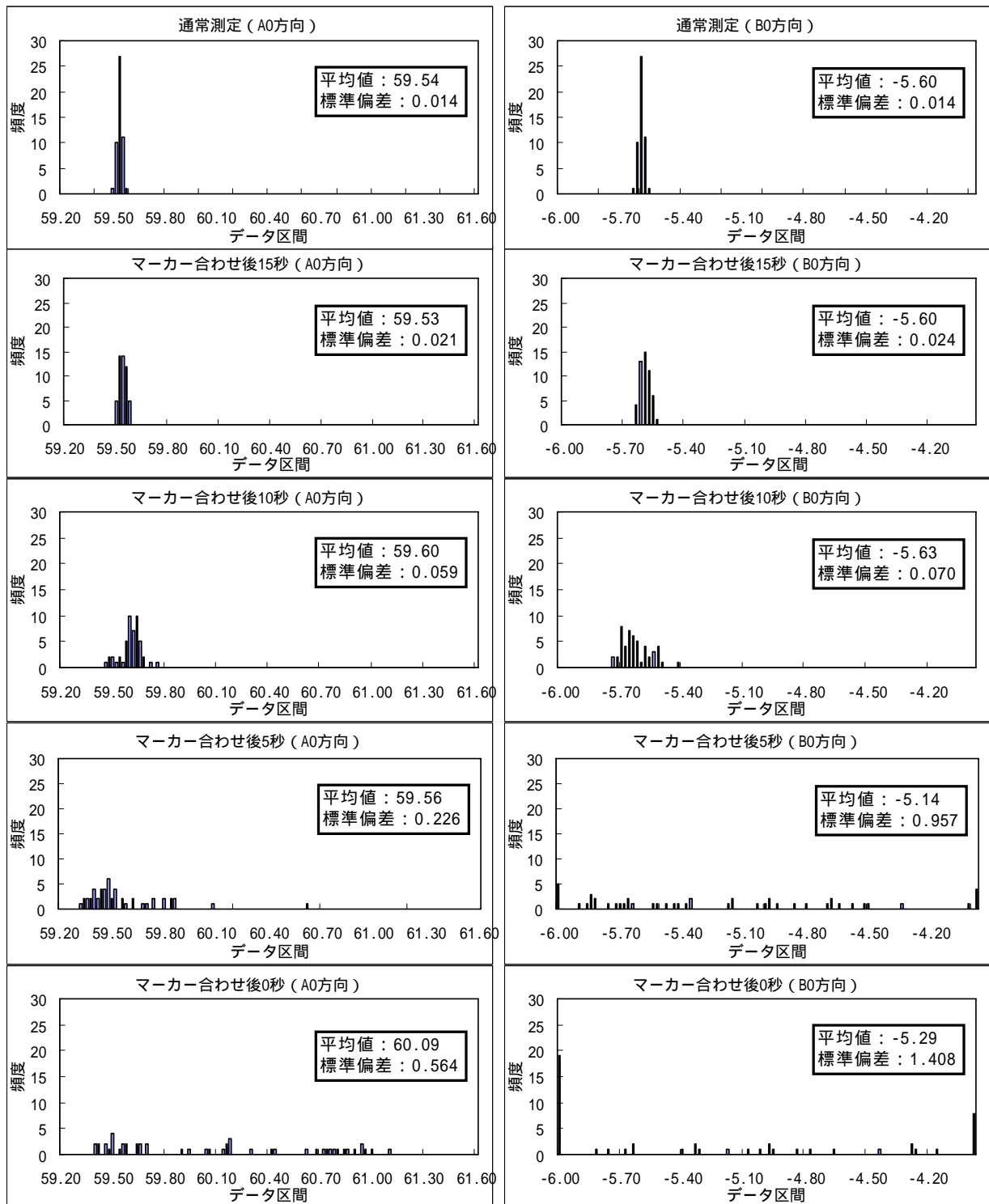


図 2.9 データ取得時間におけるデータのバラツキ (室内実験、坂田電機株製)

### 2.3 位置合わせ時に上げすぎて戻す

挿入式孔内傾斜計の測定は、ケーブルを引き上げながらケーブルマーカをガイド管あるいはケーブルホルダの上端に合わせて行うが、その際に引き上げすぎて戻すことがある。本実験では、その作業がデータに与える影響の有無を把握するため、マーカを慎重に合わせた場合と引き上げすぎて戻した場合の測定を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製      ・実施箇所：室内（国総研西側階段、検定孔）
- ・実施方法：マーカを慎重に合わせた場合と引き上げすぎて戻した場合の繰り返し測定

#### (1) 応用地質(株)製

マーカを慎重に合わせた場合と 10cm, 20cm 引き上げすぎて戻した場合でデータを 10 回ずつ取得した（イメージは図 2.10）。実施箇所は、2.1 と同じ国総研西側階段に設置して強制変位させたガイド管の深度 7.0m の位置とし、使用した実験資機材も 2.1 と同様のものとした。実験の結果、A 軸の差は 0.5 カウントと小さいが、B 軸の差は 1.5 カウントとやや大きくなる（表 2.1）。したがって、前述のケーブルマーカを合わせる位置の違いによる影響を避けるため、ケーブルを上げ過ぎた場合は、ケーブルをいったん戻してできるだけ正確な位置でマーカを合わせることが重要である。

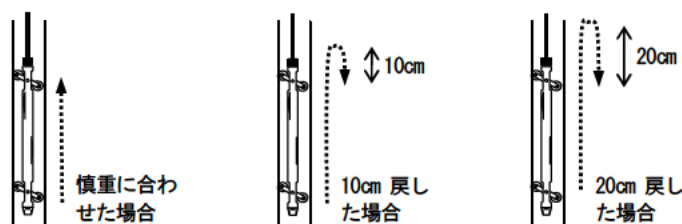


図 2.10 ケーブルを引き上げすぎて戻した場合のイメージ図

表 2.1 ケーブルを引き上げすぎて戻した場合のデータ（室内実験、応用地質(株)製）

| 実験項目                  | 引き上げすぎのないよう慎重に合わせた場合 |      | 10cm引き上げすぎから所定の位置に戻す |      | 20cm引き上げすぎから所定の位置に戻す |      |
|-----------------------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|
|                       | A0                   | B0   | A0                   | B0   | A0                   | B0   |
| 深度7m<br>(6.3m)<br>データ | 352                  | 29   | 351                  | 26   | 351                  | 27   |
|                       | 351                  | 28   | 351                  | 27   | 350                  | 27   |
|                       | 351                  | 28   | 351                  | 28   | 351                  | 28   |
|                       | 350                  | 29   | 350                  | 27   | 350                  | 28   |
|                       | 350                  | 28   | 350                  | 27   | 351                  | 27   |
|                       | 351                  | 29   | 350                  | 27   | 351                  | 28   |
|                       | 352                  | 29   | 351                  | 28   | 351                  | 27   |
|                       | 352                  | 29   | 351                  | 27   | 351                  | 27   |
|                       | 352                  | 29   | 351                  | 27   | 351                  | 27   |
|                       | 351                  | 28   | 351                  | 27   | 352                  | 27   |
| 平均                    | 351.2                | 28.6 | 350.7                | 27.1 | 350.9                | 27.3 |



## (2) 坂田電機(株)製

### 実施方法

マーカ-を慎重に合わせて測定した場合と、10cm、20cm 引き上げすぎてケーブルを戻して合わせて測定した場合のデータを取得した。引き上げすぎる量は 10cm、20cm の 2 通りとし、それぞれ 10 回ずつ測定した。また、プローブ周辺の温度変化をできるだけ小さくなるように孔内水位(12.5m)以深で実施した。

### 結果

実験結果を、表 2.2 に示す。本表より、ケーブルを引き上げすぎた量とは無関係に、1m あたり約 0.7mm の誤差が見られた。

このため、常に引き上げながらケーブルマーカ-を合わせて測定する必要がある。しかし測定時に引き上げすぎてしまった場合であっても、マーカ-位置より 50cm 以上ケーブルを挿入してから、再度引き上げてマーカ-を合わせれば問題ないといえる。

表 2.2 ケーブルを引き上げすぎて戻した場合のデータ (室内実験、坂田電機(株)製)

| 実験項目                 | ケーブル戻し長 (cm) |       |       |
|----------------------|--------------|-------|-------|
|                      | 0            | 10    | 20    |
| 深度20m<br>データ<br>(mm) | 14.84        | 15.54 | 15.55 |
|                      | 14.83        | 15.56 | 15.50 |
|                      | 14.83        | 15.49 | 15.51 |
|                      | 14.82        | 15.50 | 15.50 |
|                      | 14.83        | 15.51 | 15.52 |
|                      | 14.83        | 15.50 | 15.51 |
|                      | 14.83        | 15.52 | 15.53 |
|                      | 14.83        | 15.52 | 15.50 |
|                      | 14.82        | 15.52 | 15.53 |
|                      | 14.83        | 15.52 | 15.51 |
| 平均                   | 14.83        | 15.52 | 15.52 |

## (3) まとめ

応用地質(株)製プローブでは、本実験では上げすぎて戻した場合に B 軸に若干の影響が現れた。坂田電機(株)製プローブでは、引き上げながら測定する際には誤差が発生した。これは、前者が大孔径ガイド管にも対応しているため車輪のバネの強いことにより、プローブの降下時と上昇時の姿勢が変わらなかったためと考えられる。

なお、応用地質(株)の社内の実験データでは、プローブを上げすぎて戻した際に測定値に影響する場合があることを確認しているため、機器の取り扱い説明書では上げ過ぎた際は一旦戻した上で再度マーカ-の位置を合わせる旨を記載している。

したがって、応用地質(株)製および坂田電機(株)製とも、ケーブルを上げすぎた場合はケーブルを 50cm 以上下げたのちに、必ず引き上げる方向でマーカ-を正確な位置に合わせることをとす。

## 2.4 車輪とガイド間継目の位置関係

ガイド管設置時の残尺（孔口の立ち上がり高さ）の取り方によっては、プローブの車輪がガイド管の継目付近に位置することがある。ガイド管の傾斜は継ぎ目の前後で変化する可能性が考えられたため、プローブの車輪の位置を継ぎ目付近に合わせた場合のデータへの影響について確認を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質㈱製、坂田電機㈱製
- ・実施箇所：室内（国総研西側階段、検定孔）
- ・実施方法：プローブの車輪をガイド管の継目付近に位置させた場合の測定

### (1) 応用地質㈱製

本実験では、プローブ下部の車輪を図 2.11 のように配置し、A0 方向の車輪がガイド管の継目に位置している場合と、その上下 1cm に位置している場合で各 3 回ずつデータを取得した。また、A180 方向の車輪についても同様にデータを取得した。実施箇所は、2.1 と同じ国総研西側階段に設置して強制変位させたガイド管の深度 7.0m の位置とし、使用した実験資機材も 2.1 と同様のものとした。図 2.12 に示した実験結果によると、車輪が継目に位置している場合と、その上下 1cm に位置している場合のデータは、最大で約 20 カウント（0.1mm/50cm）の差が発生した。

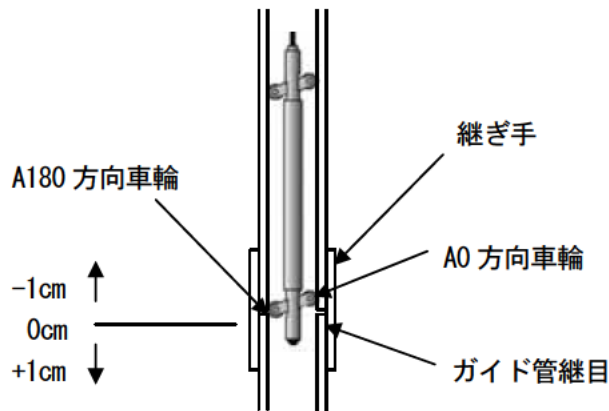


図 2.11 プローブ車輪とガイド管継目の位置関係（応用地質㈱製）

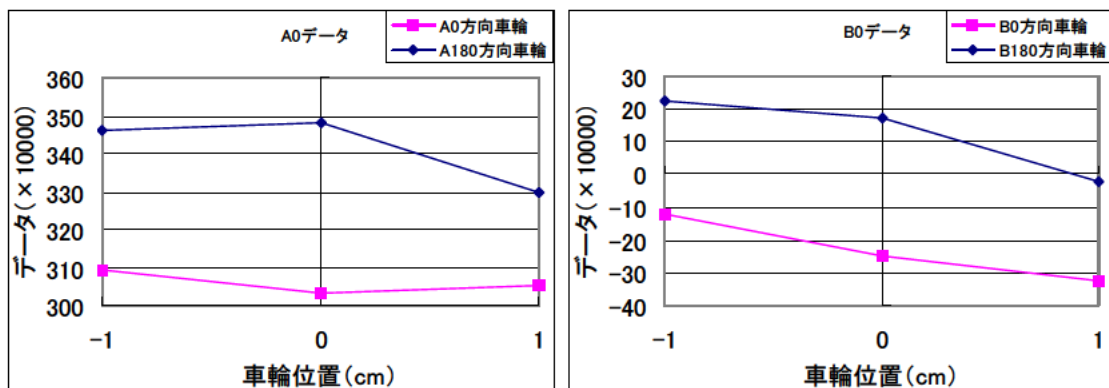


図 2.12 車輪とガイド管継目の位置関係によるデータへの影響（室内実験、応用地質㈱製）

(2) 坂田電機株製

実施方法

本実験では、プローブ下部の車輪を図 2.13 のように配置し、A0 方向の車輪がガイド管の継目に位置している場合と、その上下 3cm に位置している場合で、各 10 回ずつデータを取得した。また、A180 方向の車輪についても同様にデータを取得した。

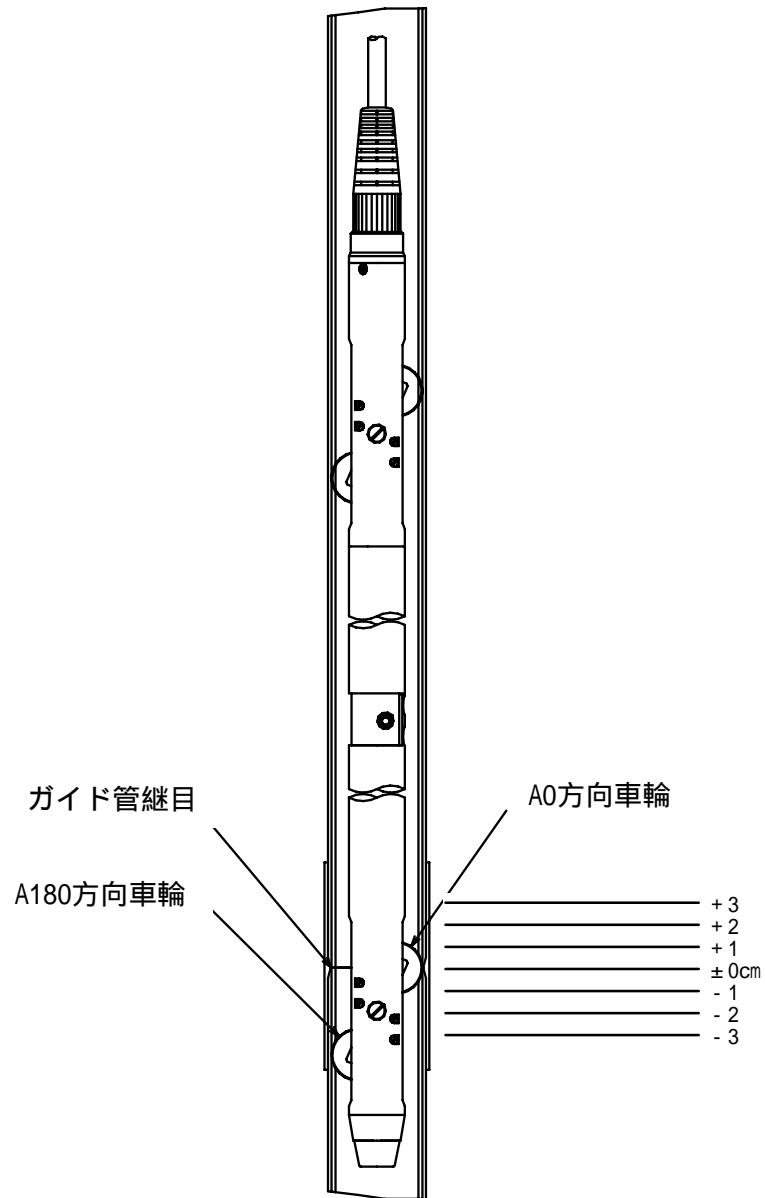


図 2.13 プローブの車輪とガイド管継目の位置関係 (坂田電機株製)

## 結果

実験結果を、図 2.14 に示す。本図より、車輪が継目に位置している場合と、その上下 1cm に位置している場合のデータとでは、最大で 0.5mm 程度の差が生じていることがわかった。また、継目付近のデータは、数 cm ずれただけでもかなり大きな差が生じることもわかった。

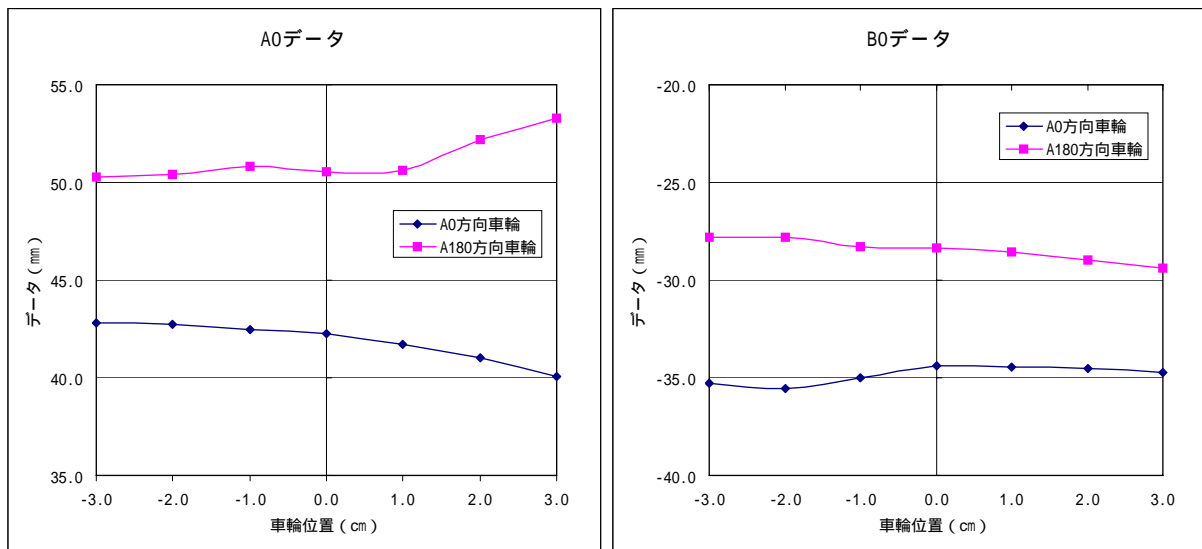


図 2.14 車輪とガイド管継目の位置関係によるデータへの影響 (室内実験、坂田電機株製)

### (3) まとめ

応用地質株製、坂田電機株製とも 2.1、2.3 の実験のデータと比べて大きな差が発生したため、ガイド管の継ぎ目付近は傾斜が大きく変化していることがわかった。したがって、プローブの車輪とガイド管の継ぎ目位置が重なることを避けるために、ガイド間の残尺を継目から 50cm の倍数で切断する (ホルダを使用する場合は 10cm) ことを原則とする。

なお、車輪間隔が 50cm の応用地質株製プローブ、坂田電機株製 50cm 間隔プローブの場合はプローブの車輪がガイド間の継目付近に位置することの無いように  $\pm 10$ cm の範囲での調整が可能であり、坂田電機株製の車輪間隔が 25cm のプローブは調整しろがほとんど無いため 50cm の倍数で切断する。

## 2.5 孔口高さ（残尺）の変化

長期観測では、切土・盛土などの施工に伴いガイド管の残尺を観測期間の途中で変えなければならない場合が生じる。そこで、孔口の残尺が途中で変化した場合を再現して観測結果への影響を確認した。また、残尺の違いによる変位量や変位グラフへの影響を確認するため、現場にて初期状態と地すべり変位発生後について残尺を変えた測定実験を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質㈱製、坂田電機㈱製
- ・実施箇所：室内（国総研西側階段、検定孔）、現場（福島県郡山中山地すべり）
- ・実施方法：ケーブルのマーカータ下端を基準として、-3cm から+3cm の間でデータ取得

### 2.5.1 室内実験

#### (1) 応用地質㈱製

実験は、2.1 と同じく国総研西側階段に設置して深度 6.7m の位置を強制変位させたガイド管を用い、使用した実験資機材も 2.1 と同様のものとした。実験は、ガイド管孔口にそれぞれ 10cm, 20cm, 30cm, 40cm の短いガイド管を継ぎ足し、残尺を変化させた状態で通常の測定作業を行った。その後、短いガイド管を継ぎ足さない状態の±0cm を初期値としてそれぞれ継ぎ足したデータを累積変位として表現した。

実験結果を図 2.15 に示す。本図より、変位の小さい深度では残尺の変化による影響は少ないものの、ガイド管の変形が大きいかつ残尺が増えるほど初期値との変位量が大きくなることわかる。

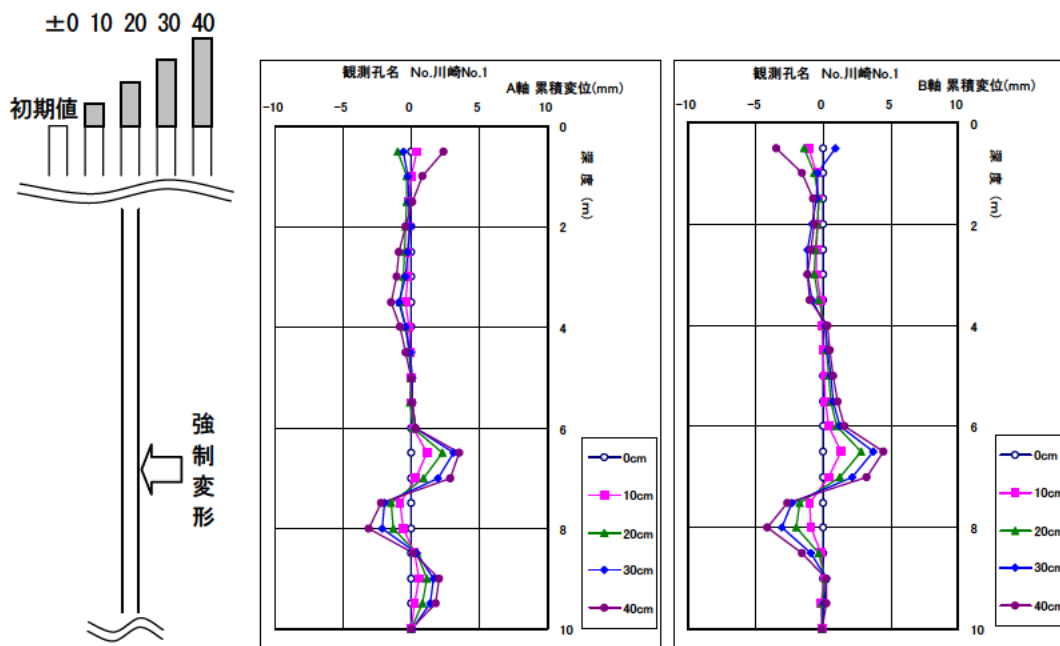


図 2.15 残尺を変化させた場合の累積変位結果への影響（室内実験、応用地質㈱製）

(2) 坂田電機(株)製

①実施方法

本実験は、孔口に 1.0m のガイド管を継ぎ足し、その孔口に+10cm, +20cm, +30cm, +40cm の長さのロッドを固定し、マーカをロッド天端に合せ通常の測定作業を行った。データの解析では、ガイド管孔口にマーカを合わせて測定した状態を初期値としてそれぞれのデータを累積変位として表現した。

②結果

実験結果を、図 2.16 に示す。本図より、孔口高さを変化させた場合、累積変位形状に大きな差（倒れ込みや S 字データ）が見られた。

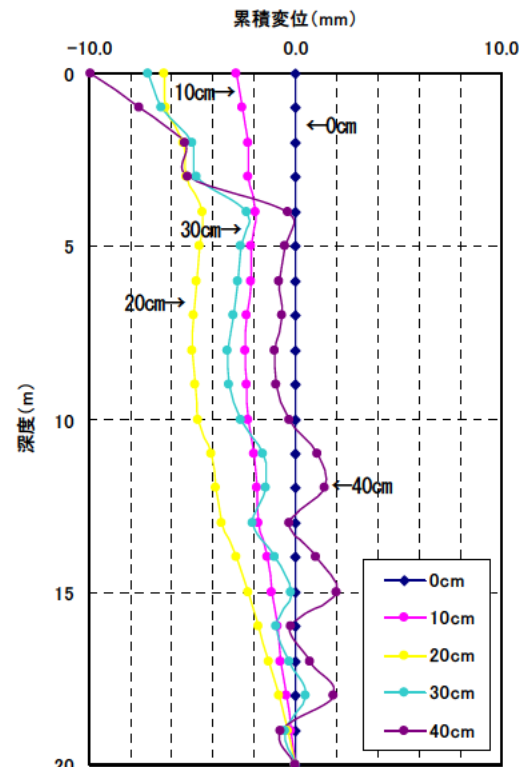


図 2.16 孔口高さ変化時の累積変位比較  
(室内実験、坂田電機(株)製)

(3) まとめ

深度ずれによる測定結果への影響は、図 2.17 に示すように、ガイド管の変形が大きいほど大きくなると考えられる。したがって、長期観測中に残尺を変える必要があるような場合（切土、盛土など）は、同じ位置を測定できるように残尺の変化量を 50cm 間隔とし、深度管理に注意する必要がある。残尺の変化量を 50cm 間隔で調整できない場合は、初期値を取り直すか測定時にガイド管を継ぎ足すなどして測定位置が変わらないように工夫する必要がある。

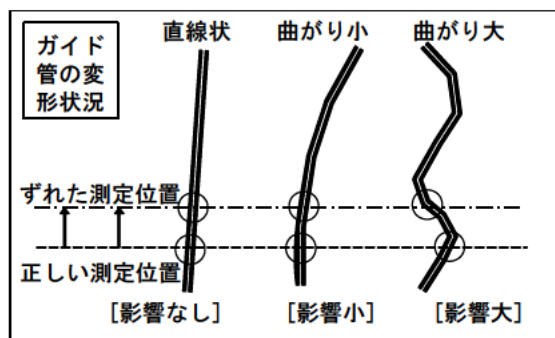


図 2.17 測定位置のズレによる測定結果への影響模式図（再掲）

## 2.5.2 現場実験

孔口の残尺変化による観測結果への影響について、現場にて2種類の実験を行った。

### (1) 応用地質株式会社

#### ①実験機材

実験機材と設備を写真2.3と以下に示す。

プローブ：OYO製 デジタルQ ティルト-200  
ケーブルホルダは不使用  
データロガー：OYO製 デジタルQ ティルト  
ハンディターミナル  
ケーブル：OYO製 ケーブル 50m  
測定孔：中山地すべり H20B-3 孔、砂詰め孔、  
L=31m、応用地質株式会社製ガイド管  
(測定孔の詳細は後述の4.5節を参照)



写真2.3 現場実験の使用機材

#### ②孔口の残尺量が途中で変化した場合の影響実験

観測期間の途中で切土施工に伴うガイド管孔口部の切断、あるいは盛土などによるガイド管孔口部の継ぎ足を行う場合の残尺の調整方法を把握するため、残尺の違いによる測定結果への影響を把握した。実験方法は、室内実験と同様に、中山地すべりのH20B-3(砂詰め孔)のガイド管孔口に、それぞれ10cm、20cm、30cm、40cmの短いガイド管を継ぎ足し、残尺を変化させた状態で通常の測定作業を行った。その後、短いガイド管を継ぎ足さない状態の±0cmを初期値としてそれぞれ継ぎ足したデータを累積変位として表現した。実験のイメージを図2.18に、使用機材を写真2.4に示す。

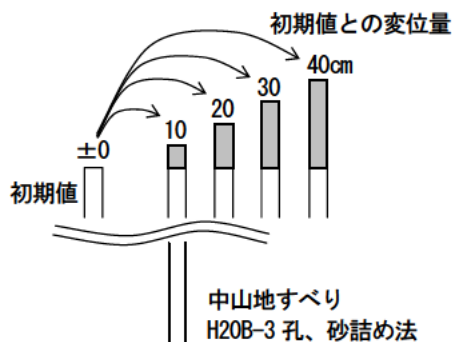


図2.18 実験のイメージ (孔口の残尺量が途中で変化した場合)

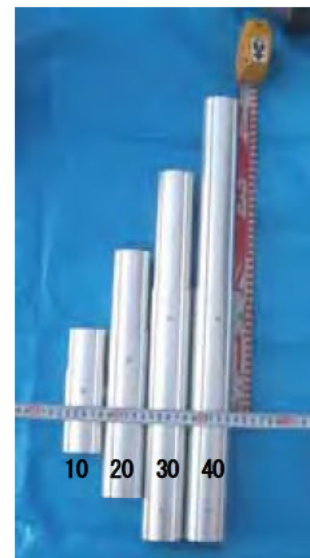


写真2.4 残尺変化用のガイド管

実験結果を図 2.19 に示す。図の上側と下側はそれぞれ A 軸・B 軸である。図の左側から継ぎ足さない状態の±0cm を初期値として継ぎ足した状態との差分の累積変位図、同孔曲がり図、および定期観測の累積変位図について深度を合わせて並べたものである。それによると、測定期間中の変位量よりもボーリング時の孔曲がりの方がズレの量に影響し、残尺の変化が大きくかつ孔曲がり大きいほどズレが大きくなる。残尺を変える場合は、正確に 50cm ごと調整する必要があることが確認された。

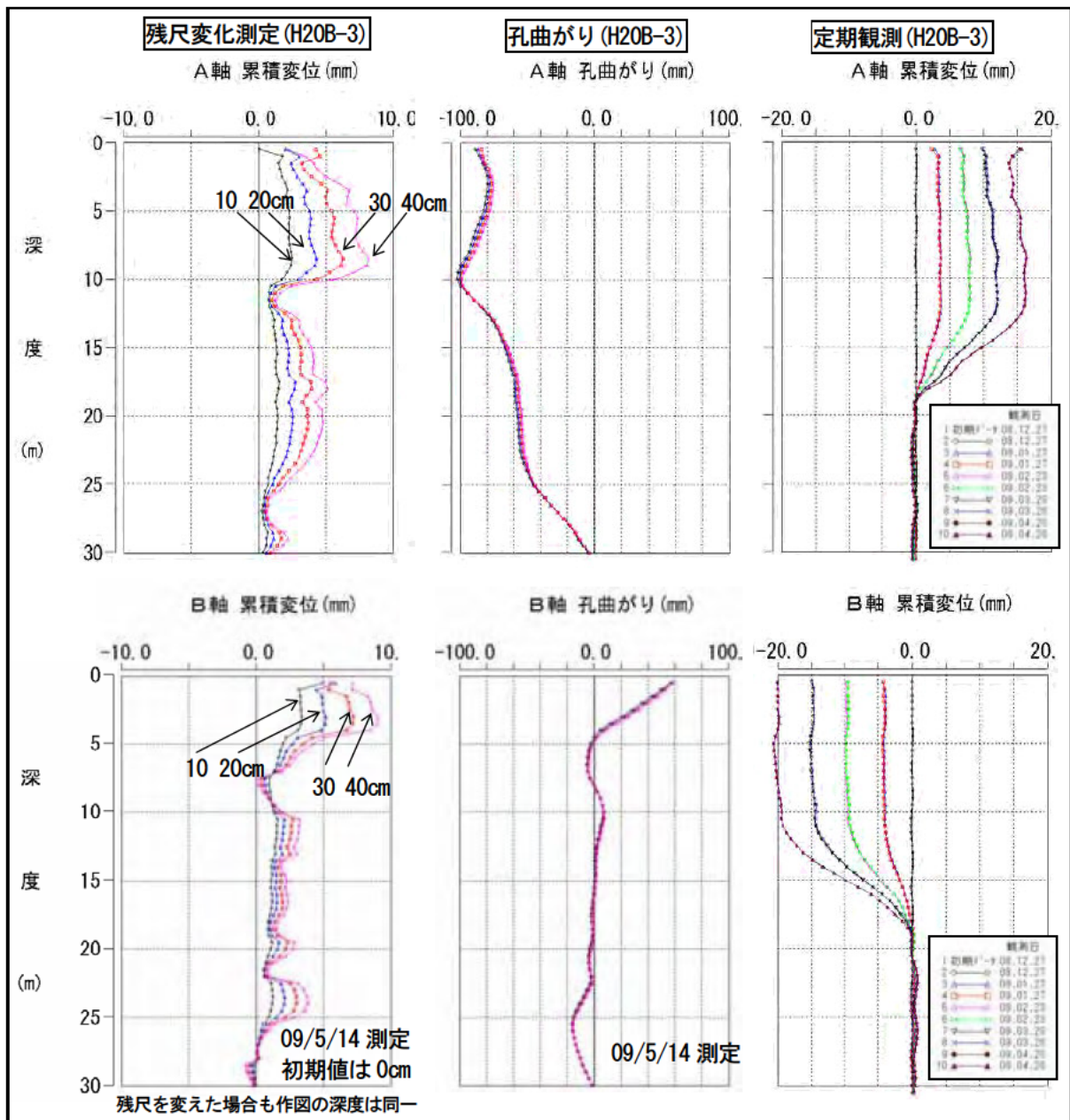


図 2.19 残尺が変化した場合の累積変位図（現場実験、応用地質株式会社）



### ③孔口の残尺量が異なる場合の影響実験

孔口部の残尺の違いによる変位量や累積変位図への影響を確認するため、地すべり地に設置したガイド管の初期状態と地すべり変位発生後について、残尺を0cmから40cmまで10cmごとに変えて測定実験を行った。観測孔はH20B-3の砂詰め孔とし、初期値はH21/5/14に、変位発生後はH21/10/13に測定を行い、データ整理は図2.20に示したように変位発生前を初期値として変位発生後との差を変位量とした。

図2.21に0~40cmに残尺を変えて作成した累積変位図を示す。なお、本グラフは0点ドリフト補正を行った上で、残尺量を考慮してプロットしたものである。各残尺ともグラフがほぼ重なることから、残尺量は累積変位図には影響しないことが確認できた。しかし、2.4の実験により車輪と継ぎ手の位置が重なる場合は固有誤差が大きくなり、累積変位図にも影響を来す可能性が確認されているため、残尺は継ぎ手の位置も考慮して決める必要がある。

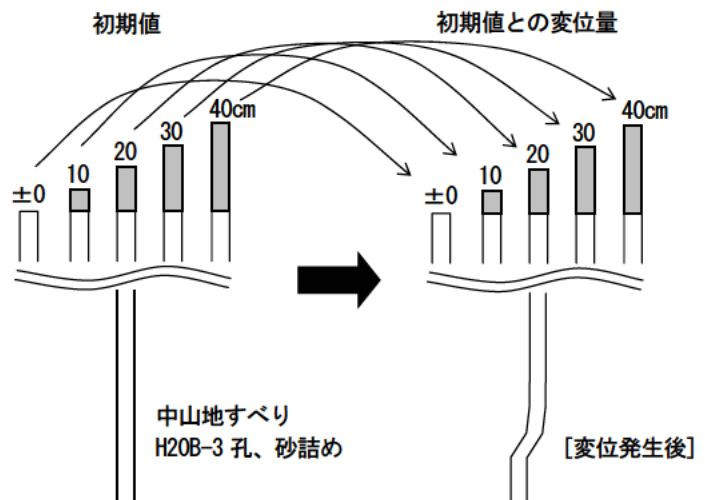


図 2.20 実験のイメージ（孔口の残尺量が異なる場合）

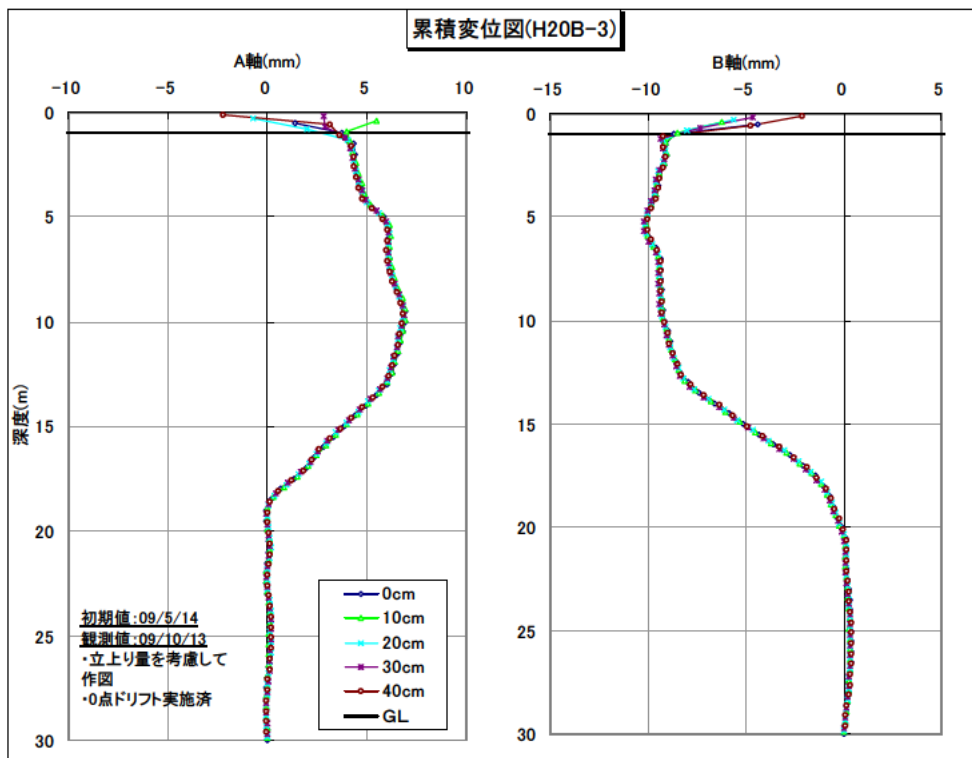


図 2.21 孔口高さが異なる場合の累積変位比較（現地実験、応用地質(株)製）

## (2) 坂田電機(株)製

### ①実験機材

実験機材を写真 2.5 と以下に示す。

- プローブ : 坂田電機(株)製 挿入式小型 2 方向傾斜計  
EIN-5180GYN
- データロガー : 坂田電機(株)製 地中変位収録器  
EL-201B
- ケーブル : 坂田電機(株)製 ケーブル 50m
- 測定孔 : 中山地すべり H20B-3 孔、砂詰め孔、  
L=31m、応用地質(株)製ガイド管



写真 2.5 現場実験の使用機材  
(坂田電機(株)製)

### ②孔口の残尺量が途中で変化した場合の影響実験

ガイド管の残尺量の違いが測定結果に与える影響を確認するため、孔口の高さを変えて測定する実験を現場で行った。実験は、ガイド管孔口にそれぞれ 10cm, 20cm, 30cm, 40cm の短いガイド管を継ぎ足し、通常の測定作業を行うという方法で実施した。

測定結果の整理は、短いガイド管を継ぎ足さない状態 (0cm) を初期値とし、それぞれのデータを累積変位の差分を取り、表現している。

実験結果を図 2.22 に示す。図の左側が A 軸、右側が B 軸での測定結果である。

前述の室内実験結果と同様に孔口高さを変化させ、ガイド管を継ぎ足さない初期状態と比較すると累積変位に差が生じることが分かる。残尺を変える場合、累積変位に差を発生させないためにガイド管を 50cm ごとに調整する必要があることが分かった。

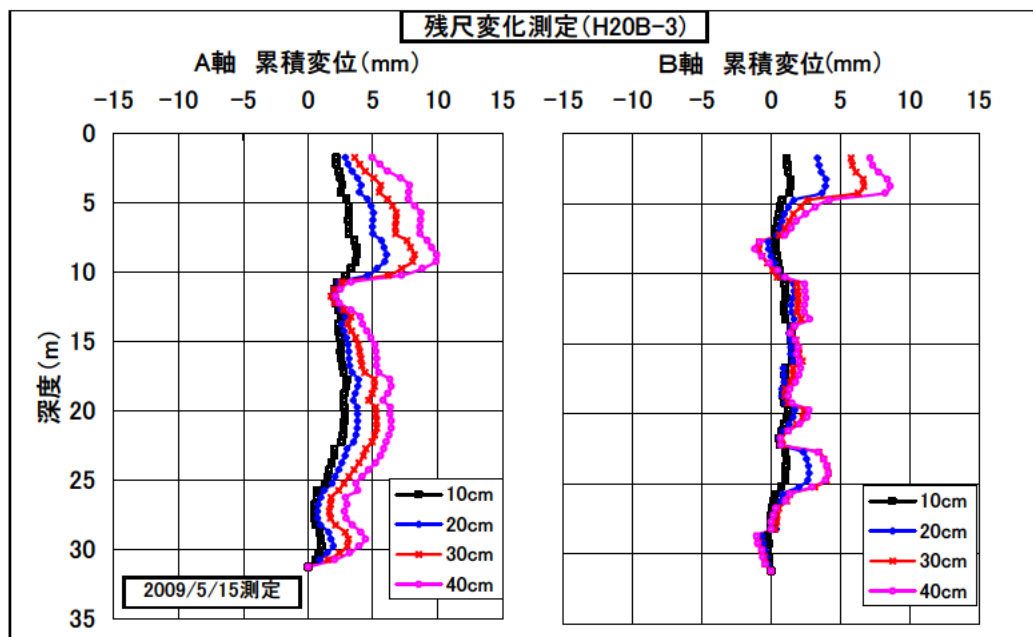


図 2.22 残尺が変化した場合の累積変位図 (現場実験、坂田電機(株)製)

### 孔口の残尺量が異なる場合の影響実験

孔口部の残尺の違いによる変位量や変位グラフへの影響を確認するため、地すべり地に設置したガイド管の初期状態と地すべり変位発生後について、残尺を0cmから40cmまで10cmごとに変えた現場で実験を行った。観測孔は H20B-3 の砂詰め孔とし、初期値は H21/5/15 に測定した結果を使用し、変位発生後は H21/10/15 に測定した結果を使用した。データ整理は図 2.20 に示したように変位発生前を初期値として変位発生後の累積変位の差を変位量とした。

図 2.23 に 0～40cm に残尺を変えて作成した累積変位図を示す。残尺の変化量と変位発生前後の変位量に違いが見られないため、初期測定時の残尺の違いは累積変位に影響しない事が確認された。

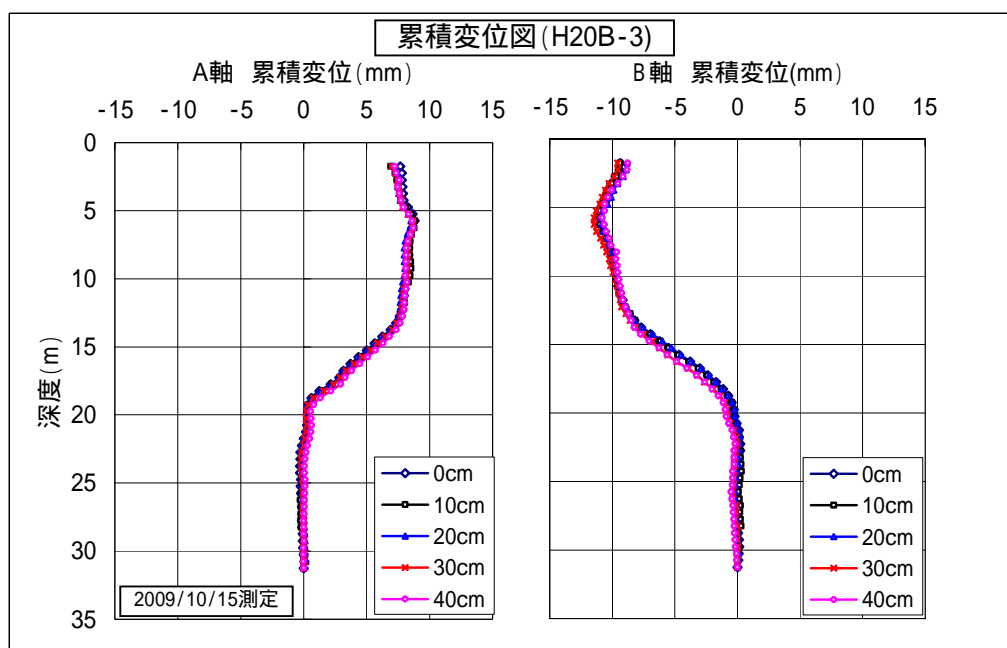


図 2.23 残尺が変化した場合の累積変位図（現場実験、坂田電機株式会社製）

### (3) まとめ

室内実験同様、測定期間中に残尺が変化するとボーリング削孔時の孔曲がり量に応じてズレが大きくなることが確認できた。したがって、残尺を変化させる場合は 50cm ごとに調整し、50cm ごとにできない場合は初期値を取り直すか、ガイド管を継ぎ足す必要がある。

また、孔口の残尺量が異なる場合の影響実験の結果、応用地質株式会社製プローブは初期値測定時の残尺の違いは累積変位には影響しないことが確認された。坂田電機株式会社製プローブにおいても、初期測定時の残尺の違いは、累積変位に影響しないことが確認された。ただし、両メーカーのプローブとも、ガイド管の継ぎ目にプローブの車輪の位置が重なると固有誤差や測定値に影響することが確認されている。したがって、ガイド管設置後に残尺を調整する際は、ガイド管の継ぎ目とプローブ車輪の位置が重ならないように調整すれば、累積変位に与える残尺量の影響が少ないと考えられる。

## 2.6 孔口反転装置使用の有無の実験

観測結果の0点ドリフト（全体的なグラフの傾倒）の原因の1つとして、プローブ反転時に引き抜き作業（車輪の開放）による姿勢の変化が考えられた。そこで、その影響を低減するために作成した「孔口装置」を利用した測定と通常測定を比較することにより、反転作業が0点ドリフトにどのように影響するかを確認した。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製
- ・実施箇所：室内（検定孔）、現場（福島県郡山中山地すべり）
- ・実施方法：通常測定と孔口装置使用の測定結果を比較

### 2.6.1 室内実験

#### (1) 応用地質(株)製

傾斜計プローブ反転時の影響を確認するため、通常測定結果と孔口反転装置を使用した測定結果を比較した。使用した実験資機材は2.1と同様のものとした。孔口反転装置は継手を有する1mのガイド管からなり、プローブを反転する際に収納してガイド管ごと反転させることができる。したがって、この装置を使用した測定では、プローブをガイド管から引抜くことなく反転できるので、プローブの車輪機構（アームやバネ部）の開放動作がない。本実験で使用した孔口反転装置を写真2.6に示す。

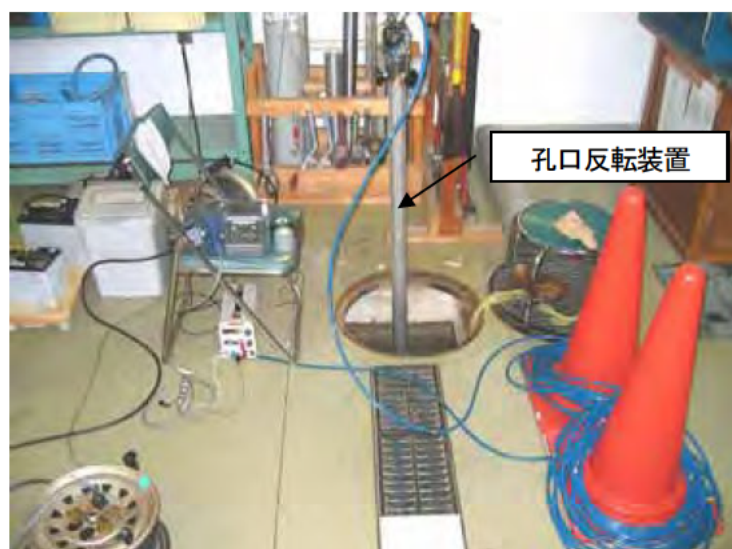


写真2.6 反転装置を使用した実験状況（応用地質(株)製）

この実験では、通常測定と反転装置を使用した測定をそれぞれ2回実施した。測定深度は16mとし、測定者や使用した測定機器はいずれも同じ条件とした。測定結果を図2.24に示す。

A軸とB軸の累積変位とも、グラフの傾倒は16mあたり0.5～1mmで基準値(2mm/10m)に対してわずかであるため、反転装置の有無による影響は無かったといえる。

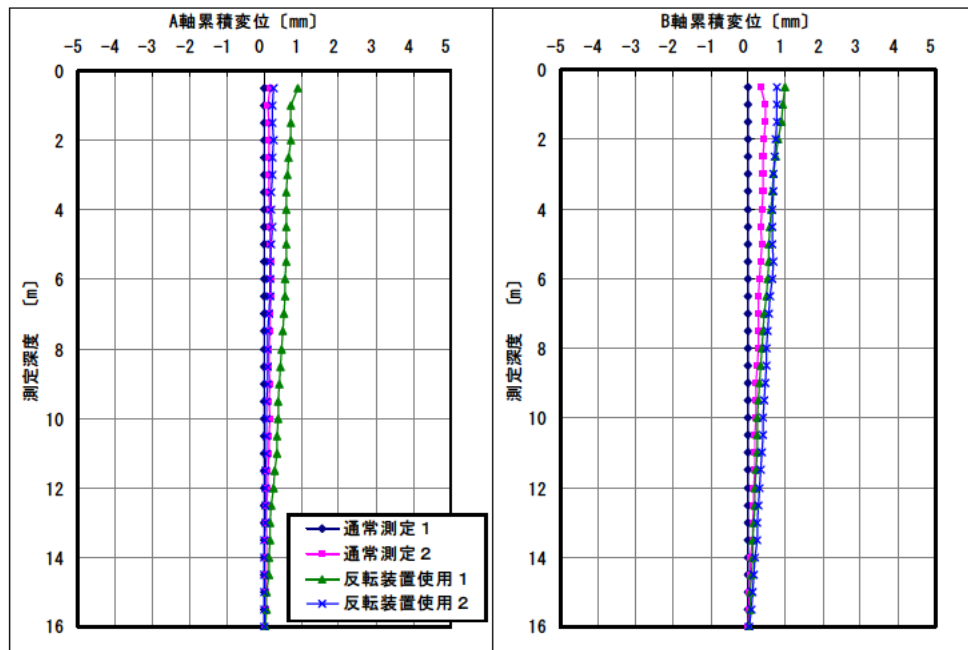


図 2.24 孔口装置を使用した測定の累積変位図（室内実験、応用地質株式会社）

(2) 坂田電機株式会社

①実施方法

傾斜計プローブの孔口反転装置として、継手を有する 1.0m のガイド管を使用した。この管に傾斜計プローブを収納することで、ガイド管から引き抜くことなく反転できる構造である。なお、反転時に衝撃を加えた測定とは、反転時に車輪のバネを手で押さえずにプローブを引き抜き、反転させて測定した状態のことを言う。

②結果

通常測定した場合を初期値とした累積変位図を図 2.25 に示す。本図より、累積変位で見られる違いは、通常測定でも十分に現れる範囲の誤差であると考えられる。よって、常識の範囲内で取り扱いしていれば、データに与える影響はないと言える。

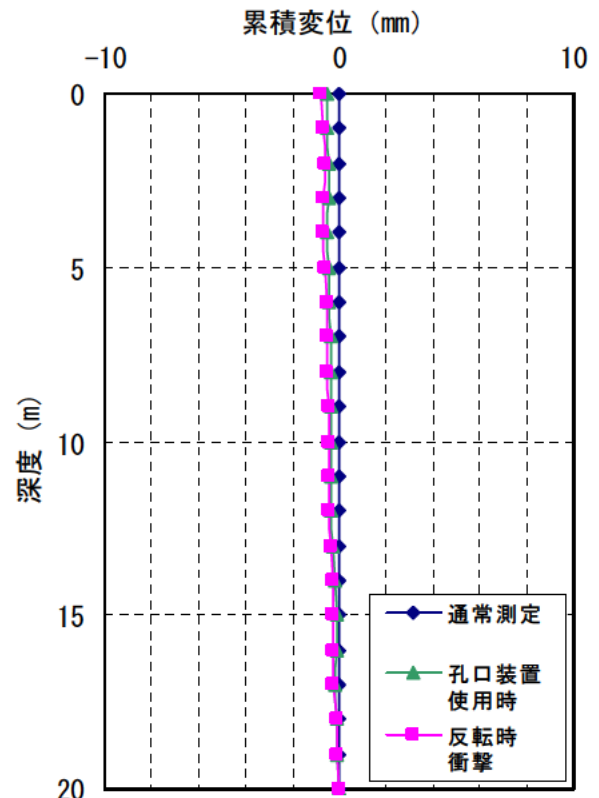


図 2.25 孔口装置を使用した測定の累積変位図（室内実験、坂田電機株式会社）

## 2.6.2 現場実験

### (1) 応用地質(株)製

孔口装置（長さ 70cm のガイド管）を取り付けて、通常の反転と坑口装置を使用した反転（プローブを入れた状態で反転）で測定結果を比較した。測定孔は H20B-1, B-3 の 2 孔とし、測定装置は 2.5.2 の実験と同様のものを用いた。その結果、図 2.26 に示したように双方とも 0 点ドリフトの量は目安内（2mm/10m 以下）の 0.5mm/10mm 以下であった。したがって、通常の反転作業においても丁寧に行うことにより、0 点ドリフトは基準内に収まるものと言える。

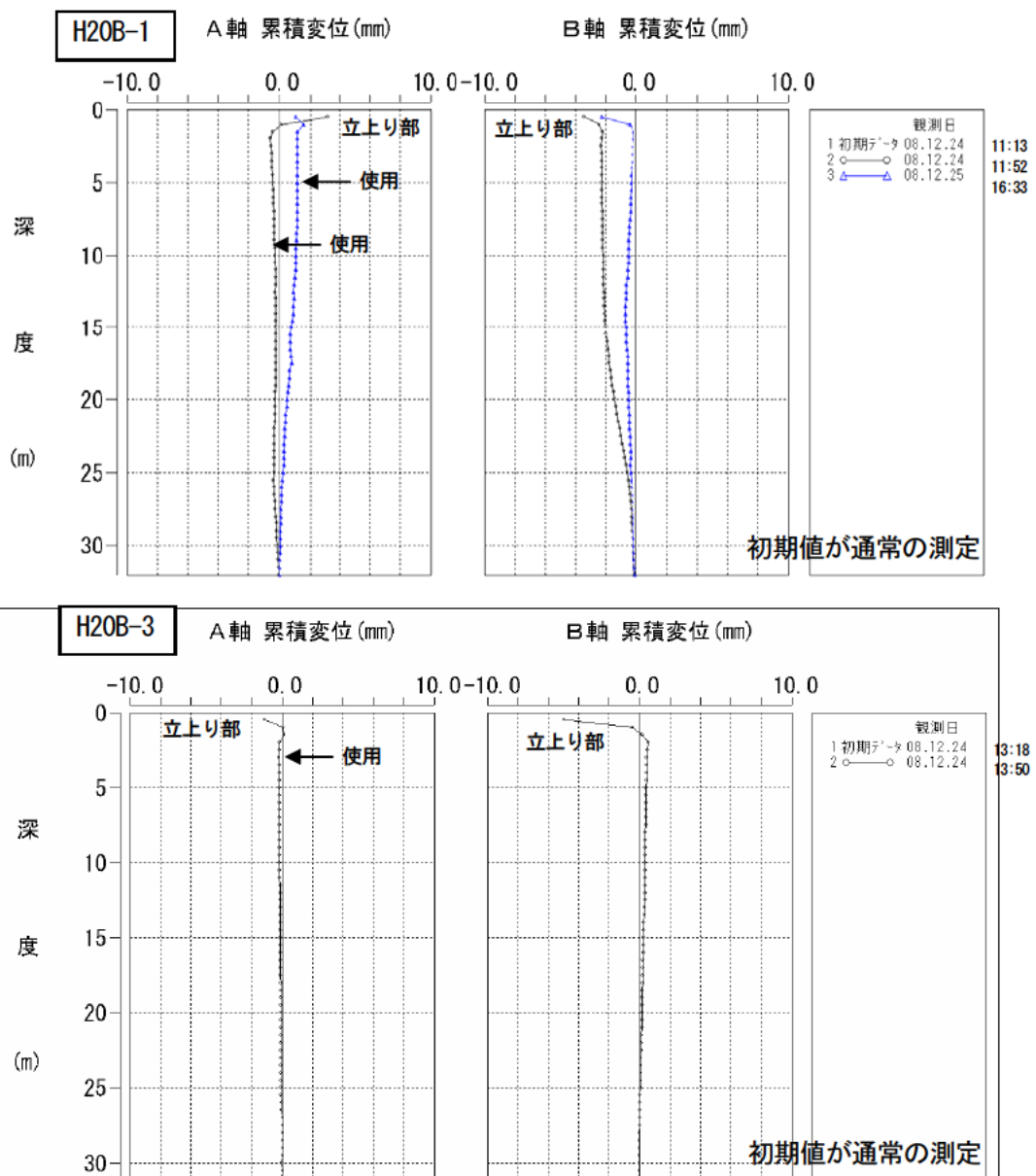


図 2.26 孔口装置を使用した測定結果（現場実験、応用地質(株)製）

次に、写真 2.7 に示したようなボーリング足場が組まれている状態の悪環境下で測定を行った H20B-2 孔の測定結果を図 2.27 に示す。本測定は後述の 4.5 充填材の養生実験で行った約 1 週間分の測定データである。

図 2.27 の累積変位図はマニュアル (案) に示している目安内 (2mm/10m 以下) ではあるが、+方向と-方向の双方向に基準値上限の 0 点ドリフトが発生しており、A 軸と比較し B 軸が大きい。また、ボーリング足場内の悪環境下での測定では基準内ではあるが基準値上限付近の 0 点ドリフトが発生している。このことは、プローブの反転作業時に、車輪のバネが開放されることによる衝撃や車輪部の機械的な変化、あるいはプローブの足場パイプへの接触による衝撃が加わった影響が考えられる。



写真 2.7 測定孔の作業環境

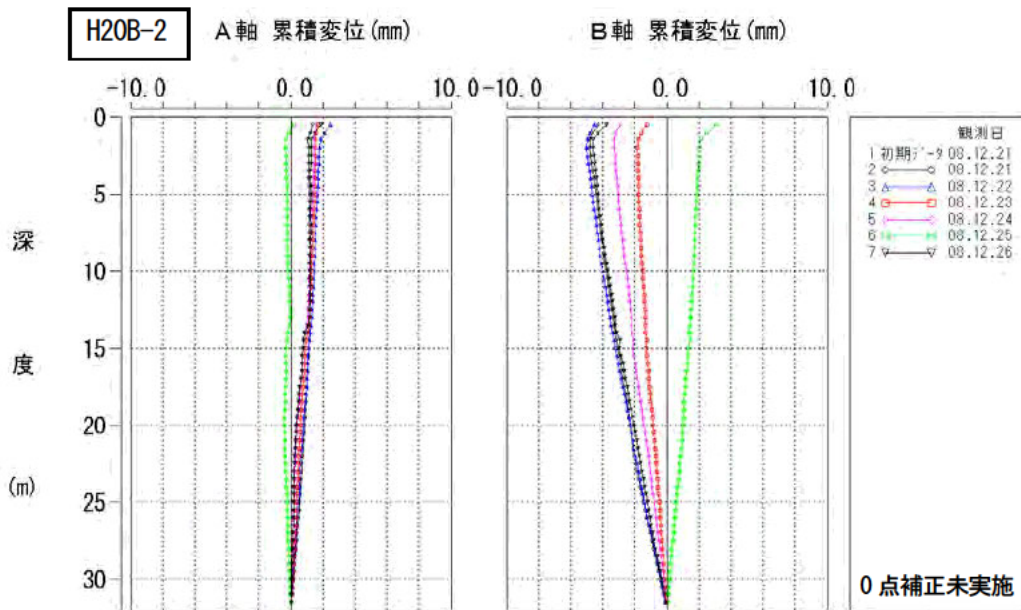


図 2.27 悪環境下での測定結果 (現場実験、応用地質(株)製)

(2) 坂田電機(株)製

プローブの孔口反転装置は、継手に使用する 70cm のガイド管を用いた。このガイド管に傾斜計プローブを収納することで、ガイド管から傾斜計プローブを完全に引き抜くことなく反転できる構造である。実験は H20B-1 孔を用いて行い、孔口反転装置の使用状況を写真 2.8 に示す。

図 2.28 の実験結果は、孔口反転装置を使用しない測定の累積変位を初期値とし、孔口反転装置を用いた測定の累積変位と比較した差を表現した。図 2.28 より、初期値と孔口反転装置を用いた測定の累積変位の差は、ほとんど見られなかった。初期値との差は、通常の測定でも十分に現れる大きさであり、孔口反転装置を用いたことによる測定値への影響は見られなかった。

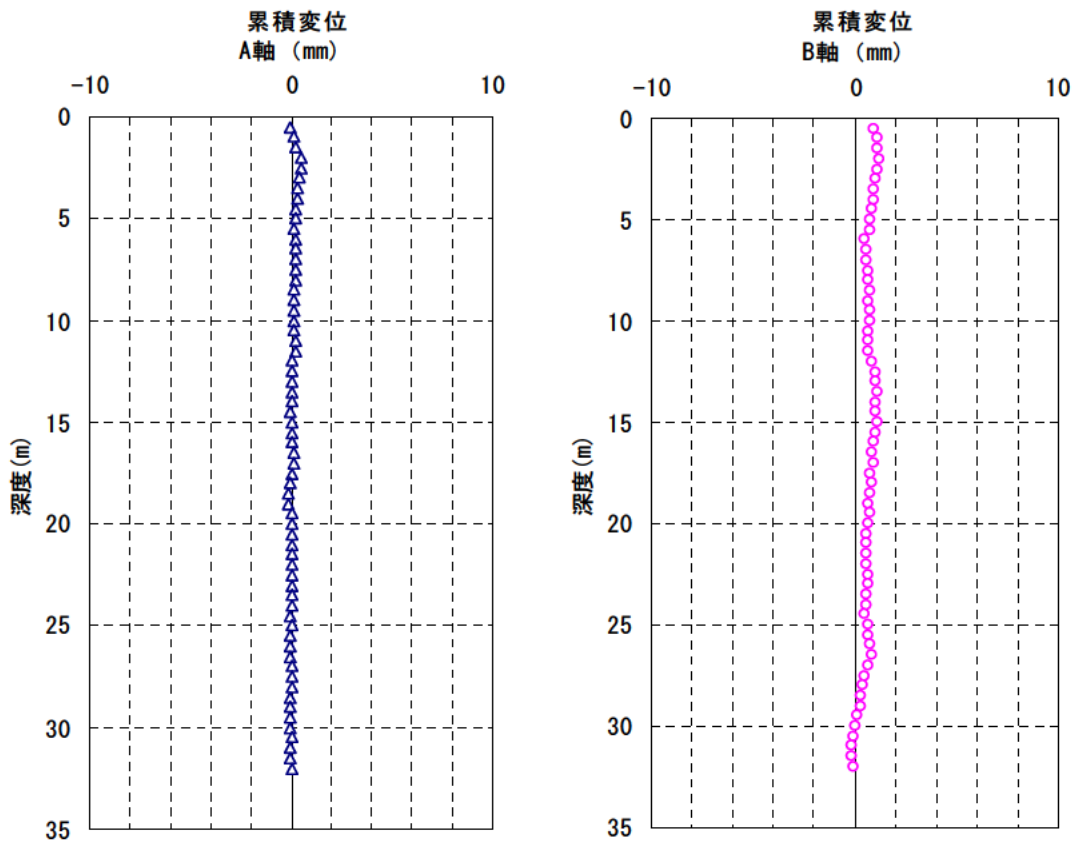


図 2.28 孔口反転装置の有無による累積変位測定結果への影響 (現地実験、坂田電機(株)製)



### (3) まとめ

双方のプローブとも、正しい反転作業を行った場合は孔口反転装置の使用の有無にも係わらず 0 点ドリフトの影響は基準の半分以下であったのに対し、前述の図 2.27 に示したように悪条件下で行った反転作業は基準値上限の 0 点ドリフトが発生した。

なお、応用地質(株)製プローブは、大孔径のガイド管にも対応できるように車輪のバネが強いため、計器の取り扱いに不慣れな初心者は、プローブの引き抜き時に車輪が急に開放されてプローブがガイド管に衝突することがある。また、坂田電機(株)製のプローブは、車輪のバネが弱く、車輪の開放により反転作業時にガイド管に衝突させることは少ないと思われる。しかし、双方とも反転作業時にプローブを丁寧に扱わないと何らかの衝撃が加わる可能性があるため、確実な反転作業のためには孔口反転装置は有効な手法といえる。

なお、地すべり地の坑口部は地表から 50~100cm 程度ガイド管が立ち上がっていることが多いが、その上部に孔口装置を取り付けると測定作業がしづらといった難点がある（前述の写真 2.7）。そこで、計測の初心者でも熟練者と同じような確実な反転作業のためには、図 2.29 のように孔口部を短く切断したガイド管に反転作業支援装置を取り付けて作業を行うことが考えられる。

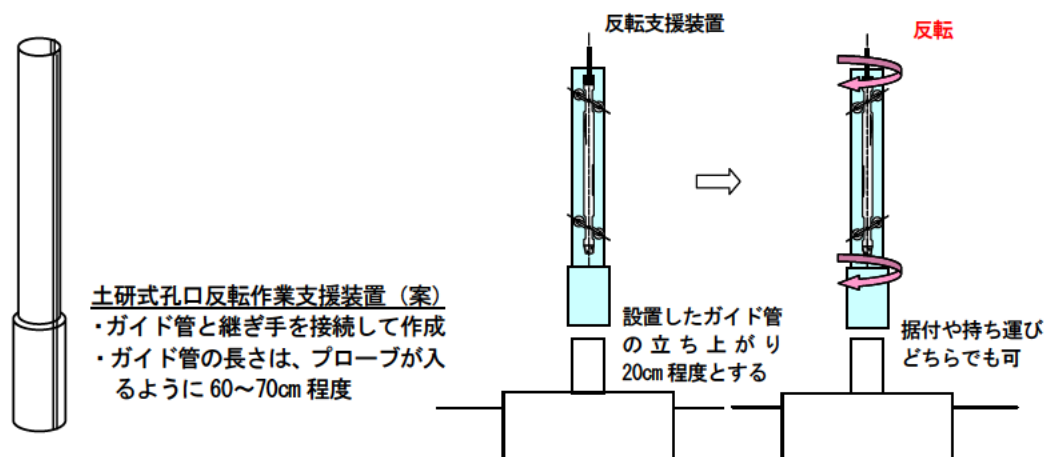


図 2.29 反転作業支援装置の形状と使用状況の模式図

## 2.7 ケーブルのねじれの影響

ケーブルのねじれが計測結果に与える影響を確認する目的で、時計方向および反時計方向にねじれを与えてのケーブル長の変化を確認するとともに、そのねじれを与えた状態で測定を行い、ねじれの無い状態のデータと比較した。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製
- ・実施箇所：室内（国総研西側階段、現場（福島県郡山中山地すべり）
- ・実施方法：ケーブルをねじって全長の変化を測定し、その状態で測定を行う

### 2.7.1 室内実験

#### (1) 応用地質(株)製

##### ①ねじれとケーブル長の変化の関係

実験は、図 2.30 のように国総研の西側階段に、プローブを接続したケーブルを約 10m, 20m, 30m の長さで吊るして行った。それぞれの長さで、プローブを時計方向および反時計方向に回してケーブルをねじり、1 回転毎にケーブルの伸縮を実測した。

図 2.31 に示した測定結果によると、ケーブルはプローブを時計回りに回したとき（ケーブルは反時計回りにねじれる）に伸び、半時計回りに回したとき（ケーブルは時計回りにねじれる）に縮むことがわかり、その伸縮量はケーブルの長さに関係なくほぼ等しいことがわかった。ねじれの方向と伸縮の関係は、ケーブルの補強線が反時計ねじりであるために、時計回りにねじるとほどけ、反時計回りでは締まるからと考えられる（写真 2.9）。なお、応用地質(株)製のケーブルは硬いため、長さ 20m で 20 回転ねじると、撚りが完全に戻らなかったため、長さ 20m の場合の反時計回りのねじりを 15 回転とし、長さ 10m の場合のねじりは時計・反時計回り共に 5 回転までとした。

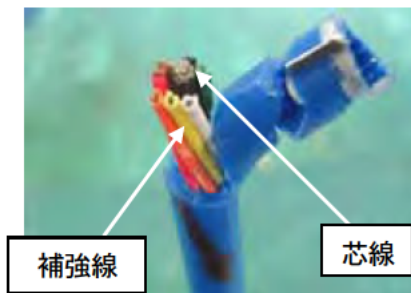


写真 2.9 ケーブルの被覆を剥いだ状況（応用地質(株)製）

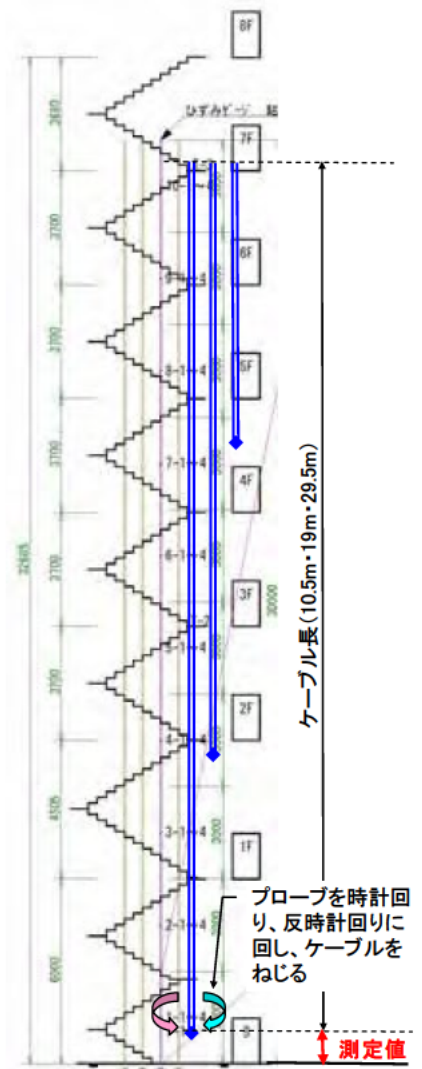


図 2.30 ねじれに伴うケーブル長の変化の実験方法

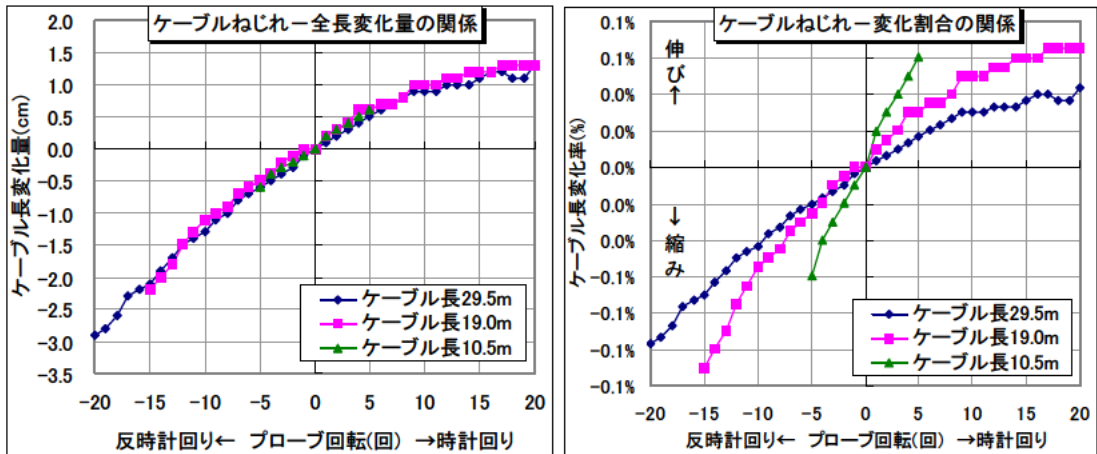


図 2.31 ケーブルのねじれに伴う変化量と変化割合（応用地質株式会社）

②ねじれ状況を変えた計測

国総研の西側階段に設置したガイド管 (L=30m) を用いて、ケーブルのねじれが無い場合と、プローブを時計方向および反時計方向にそれぞれ 20 回転させたときの測定を行った。なお、プローブ反転の際には反転装置を使用した。

図 2.32 に、ケーブルにねじれがない場合を初期値としてプローブを時計方向と反時計方向にねじった状態で測定した累積変位図を示す。本図では 30m あたり 1~2mm 程度の傾倒が見られるが、通常測定で発生する基準内 (2mm 以下/10m) の誤差であるため、ケーブルの伸縮に伴う測定結果への影響はほとんど無いといえる。なお、測定中のケーブルのねじれは深度が浅くなるほど少なくなるため、測定データへの影響もさらに小さくなると考えられる。

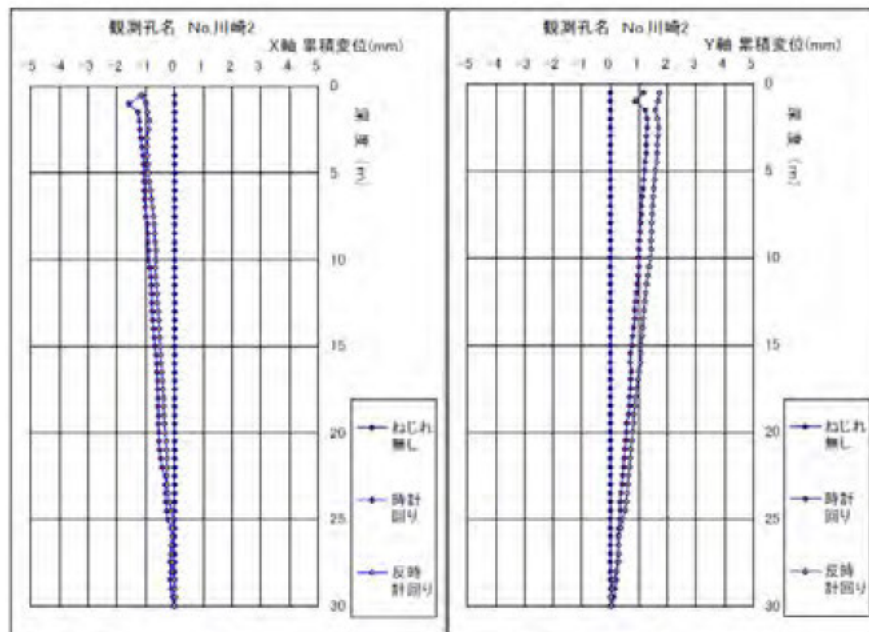


図 2.32 ケーブルがねじれた状態の累積変位図（室内実験、応用地質株式会社）

(2) 坂田電機(株)製

①ケーブル長の変化測定

国総研の西側階段を使用して、ケーブルを長さが 10、20、30m になるまで下方にたらしした。その後、各長さについて時計回りと反時計回りに、ケーブルをそれぞれ計 20 回までねじり、一回ねじる毎にプローブと床との距離を測定し、長さの変化を求めた (写真 2.10)。

図 2.33 に示したケーブルのねじれと全長変化の関係図から、時計回りにねじるとケーブルが伸びるのに対し、反時計回りでは縮むことが分かった。また、長さの変化が最も大きかったのは、ケーブル長が 10m の時に反時計方向にねじった場合であった (縮み方向に 7.8cm/10m)。これは写真 2.11 のように、応用地質(株)製と同様に、ケーブルの補強線が S より (反時計ねじり) であるために、時計回りにねじるとほどけて反時計回りでは締まるからと考えられる。

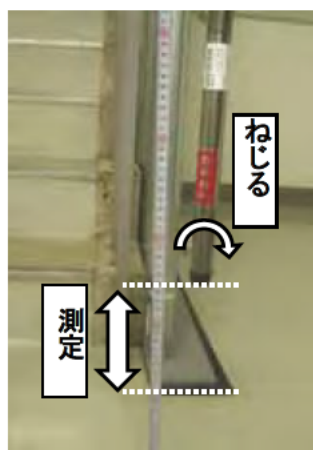


写真 2.10 測定状況

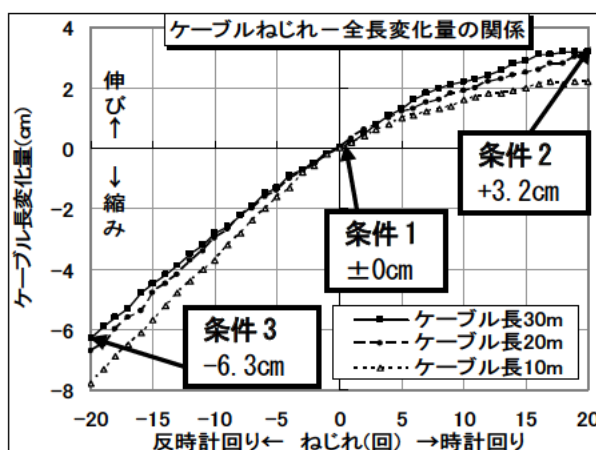


図 2.33 ケーブルのねじれと全長の変化 (坂田電機(株)製)

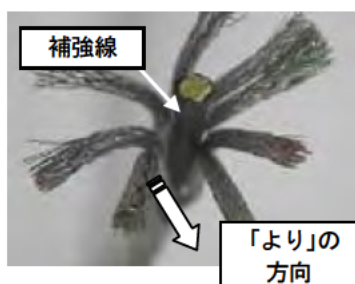


写真 2.11 ケーブルの被覆を剥いだ状況 (坂田電機(株)製)

②ねじれ状況を変えた計測

国総研の西側階段に設置したガイド管 (L=30m) を用いて、ねじれの無い場合 (条件 1)、ケーブルを時計回りに 20 回ねじった場合 (条件 2)、反時計回りに 20 回ねじった場合 (条件 3) について計測を行った。観測孔は、図 2.34 に示した孔曲がり図のように、深度 30m で最大 5cm 程度の傾斜がある。計測の際のプローブの反転時には、半回転以外にケーブルのねじれはほとんど発生しないため、反転時に新たにねじりは加えることはしなかった。

上記の条件 2,3 で行われた計測について、条件 1 で行われた計測値との差を深度毎に示した図を図 2.35 に示す。本図によると条件 2 の時に A 方向に+4mm、B 方向に+6mm の差が見られた。

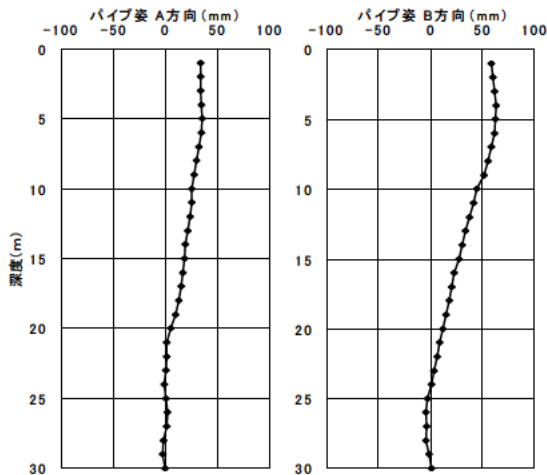


図 2.34 観測孔設置姿図(国総研の西側階段に設置したガイド管)

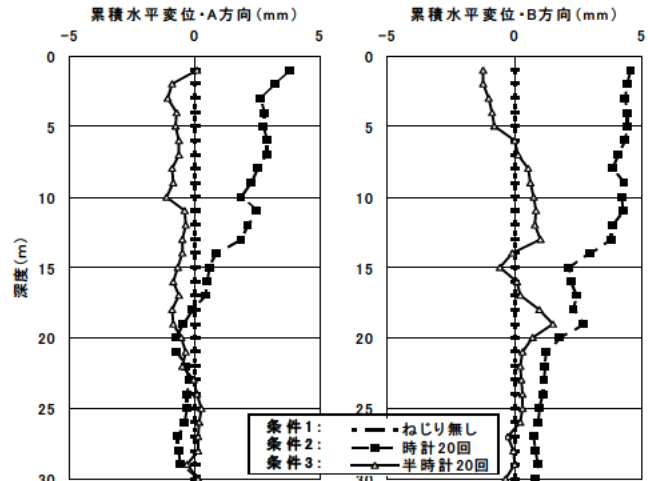


図 2.35 ケーブルがねじれた状態の累積変位図(室内実験、坂田電機株製)

これはケーブルが時計回りにねじられた場合、ケーブルのねじれが元に戻ろうとする反発力がプローブを通じて車輪に生じ、車輪位置が常に溝の中心から反時計回り方向にずれる為と考えられる(図 2.36)。すなわち、条件 2 は条件 1 と比較して、プローブ反転時のプローブの傾斜量の差が+方向に大きいため、データが+方向に倒れ込むように現れたと考えられた。



図 2.36 測定中のガイド管とプローブを上方から見た図

### (3) まとめ

ケーブル長の変化測定の実験では、ケーブルがねじれている場合はねじれが無い状態と比較して計測位置がずれることになる。計測位置の変化による計測結果への影響が大きいと考えられる変形の大きいガイド管で、ケーブルのねじれが計測データに与える影響を確認する必要がある。また、ケーブルのねじれ状況を変えた計測実験からは、計器の種類により計測結果への影響の大小が見られるが、車輪の幅やバネの強さによる違いと考えられる。

ケーブルがねじれていると測定結果に影響する可能性があることに加え、取り扱いが煩雑になりケーブルの寿命を縮める可能性もあるため、ケーブルのねじれは極力取り除くべきである。現場では八の字まきやたらいの使用など、ねじれが発生しない巻き方が望ましいと言える。

## 2.7.2 現場実験

当初実施予定であった H20B-2 孔が深度 12m で挿入不能となったため、深度 20.5m まで挿入可能な H20B-1(吹上げ孔)で実施した。

### (1) 応用地質(株)製

測定は、ケーブルにねじれが生じていない初期状態、再現性を確認する同一条件での測定、プローブを時計回り方向に 10 回転ねじった状態での測定、および反時計回りに 10 回転ねじった状態での測定とした。室内試験では、時計回り 10 回転でケーブルが 1cm の伸び、反時計 10 回転で 1.1cm の縮むことが確認されている(図 2.37 に再掲)。

図 2.38 に、左からねじれていない状態を初期値とした累積変位図、孔曲がり図、および定期観測による累積変位図を並べて示す。左の累積変位図によると、A,B 軸とも 0 点ドリフトの目安内(2mm/10m)に収まっている。グラフをよく見ると、A 軸より B 軸の傾倒の方が大きい。その理由として、ケーブルのねじれによるプローブにトルクがかかった場合、プローブの姿勢が車輪で拘束されている A 軸に比べて B 軸の方が変わりやすいためと考えられる。

また、ケーブルねじれ状態の累積変位図と、孔曲がり・定期観測を比較すると、累積変位図と孔曲がりの形状が類似しているが、定期観測とは類似していない。その理由として、ケーブル長が変化して測定位置がずれるためと考えられる。

以上により、ケーブルのねじれは、ケーブルが 20m あたり±10 回転ねじれていても 0 点ドリフトの目安内には収まるものの、測定位置やプローブの姿勢に影響するので、たらい等を使用してできるだけねじれない状態で測定することが望ましい。

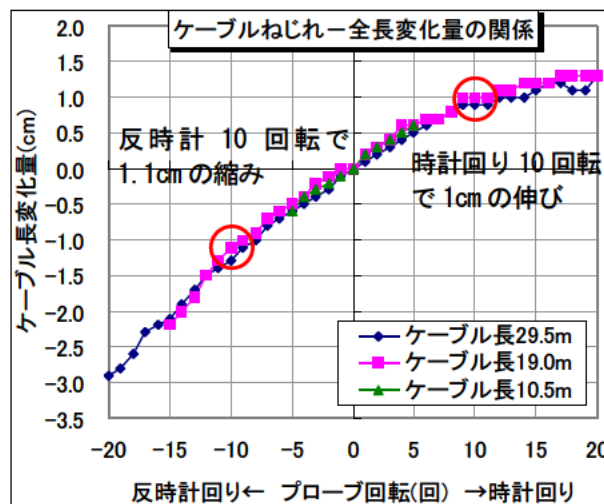


図 2.37 ケーブルのねじれに伴う変化量 (再掲、応用地質(株)製)

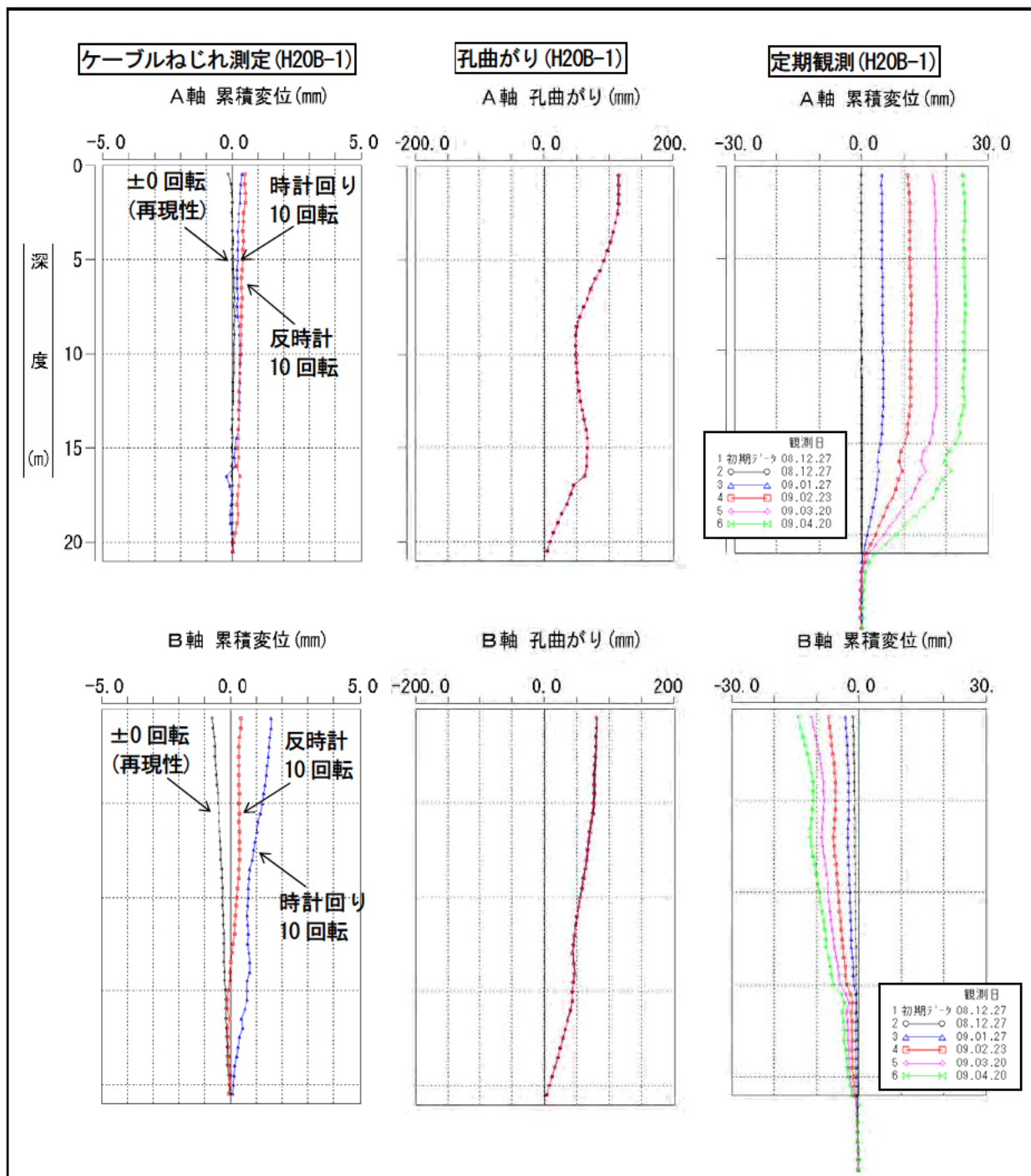


図 2.38 ケーブルのねじれ状態が変化した場合の観測結果図 (現場実験、応用地質株製)

## (2) 坂田電機(株)製

実験は、ケーブルにねじれが加えていない初期状態、再現性を確認するために同一条件での測定、プローブを時計回り方向に 10 回転ねじった状態の測定、および反時計回りに 10 回転ねじった状態の合計 4 回、測定を実施した。

ねじれていない状態を初期値とした累積変位を図 2.39 に示す。A, B 軸とも再現性を確認した測定結果よりも差が大きくなっていることが分かる。グラフとよく見ると、A 軸より B 軸の傾倒の方が大きい。その理由として、ケーブルのねじれによるプローブにトルクがかかった場合、プローブの姿勢が車輪で拘束されている A 軸に比べて B 軸の方が変わりやすいためと考えられる。

室内試験において、ケーブルがねじれを加えることによってケーブル長の変化が確認されている。ケーブル長が変化することは測定深度も変化するため、残尺影響実験で確認された変動と同じものが生じていると考えられる。

以上より、ケーブルのねじれによって測定結果に影響を与えることが確認されたため、測定はケーブルにねじれがない状態で実施することが望ましい。

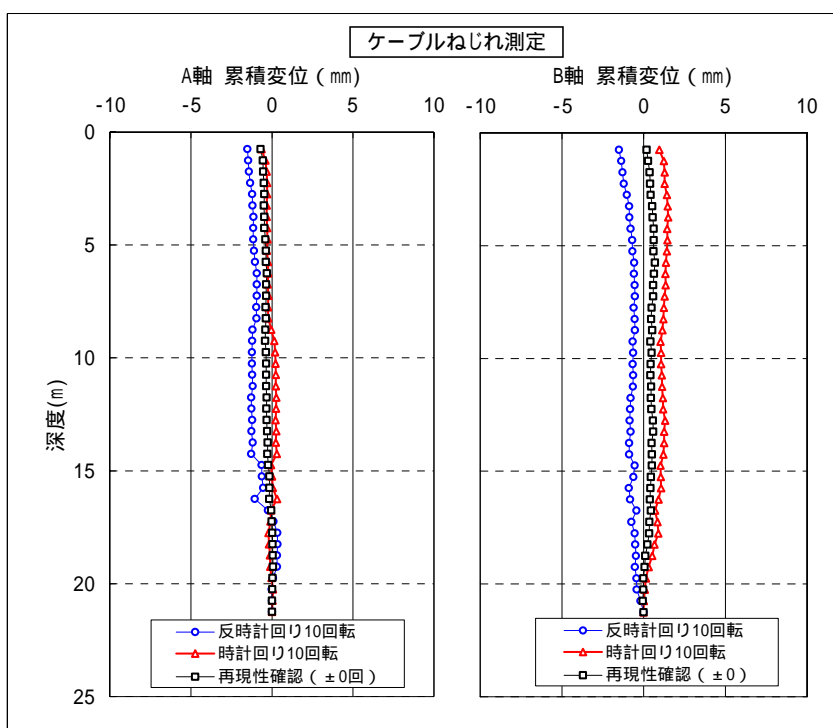


図 2.39 ケーブルにねじれを加えた場合の観測結果図 (中山、坂田電機(株)製)

## (3) まとめ

現場実験においても、ケーブルのねじれが測定結果に影響を与えることを確認した。したがって、現場ではハの字巻きやタライを使用して、ケーブルにねじれが発生しない巻き方を行うことが望ましい。



## 2.8 観測に関わる実験のまとめ

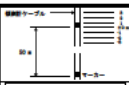
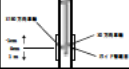
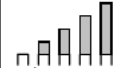


本章で行った実験項目は、測定者の違い（くせ）により発生することが考えられる複数の項目について、それぞれ再現実験を行ったものである。観測に関わる実験結果の一覧表を表 2.3 に示す。計器の種類に関わらず影響する項目、計器の種類によって影響が変わる項目がある。それらの各項目の測定結果への影響度を定量的に示すことは困難であるが、不良データの発生にはいずれの項目も影響するとみなして、本実験結果で得られた結果に基づき正しい観測をすべきである。特に、車輪とガイド管継ぎ目の位置関係と孔口高さ（残尺）の変化は両プローブとも影響が大きい結果であった。

以上により観測時に良好な測定データを得るための留意点として、以下の項目が挙げられる。

### 観測時の留意点

- ・ケーブルマーカーは引き上げた状態でできるだけ正確な位置で合わせる。また、ケーブルを上げ過ぎた際には 50cm 下げてから再度マーカーの位置を合わせる。
- ・データは指示値が安定してから取得する。  
(目安：応用地質(株)製 2~3 秒、坂田電機(株)製 10~15 秒)
- ・反転作業は車輪が急に開放しないように慎重に行う。初心者は孔口反転装置の使用が望ましい(応用地質(株)製)。
- ・ガイド管の残尺は、プローブの車輪がガイド管の継ぎ目と重ならないように設定する。測定期間中に残尺を変える場合、深度管理を確実にを行った上で 50cm ごとに調整する(不可の場合は初期値とする)。
- ・ケーブルはできるだけねじれない状態で測定する(たらいの使用、8 の字巻き)。

表 2.3 実験結果一覧表（観測に関わる項目）

| 項目                     | 実験方法  | 室内 | 現場 | 結果                               |    |                                |    |
|------------------------|---|----|----|----------------------------------|----|--------------------------------|----|
|                        |   |    |    | 応用地質                             | 影響 | 坂田電機                           | 影響 |
| 1<br>ケーブルマーカー合わせの位置ずれ  |  基準位置から-3cm~+3cmの間で1cmごとにずらして測定                  | ○  | ○  | ±3cmでは大きな影響なし、ガイド管の変形が大きいほど影響大   | △  | ±3cmでは大きな影響なし、ガイド管の変形が大きいほど影響大 | △  |
| 2<br>位置合わせ後のデータ取得までの時間 |  マーカー合わせ後の秒数を変えてデータを取得して統計処理                     | ○  | ○  | 約2秒後にはほぼ安定し、3秒後には安定              | ○  | 約10秒後にはほぼ安定し、15秒後には安定          | ○  |
| 3<br>位置合わせ時に上げすぎて戻す    |  マーカーを合わせた場合と10、20cm引き上げすぎて戻した測定                 | ○  | ○  | 実験結果では測定結果に影響なし(社内実験データでは影響を確認済) | □  | 引き上げた長さとは無関係に0.7mmの差が見られた。     | ○  |
| 4<br>車輪とガイド管継ぎ目の位置関係   |  車輪がガイドパイプ継ぎ目に位置する場合、その上下1cmの位置で測定               | ○  | ○  | 影響が大きい(生データで最大20程度の差)            | ○  | 影響が大きい(最大で約0.3mm/1m程度の差)       | ○  |
| 5<br>孔口高さ(残尺)の変化       |  孔口に10、20、30、40cmの短いガイド管を継ぎ足して測定。現場ではガイド管変形前後も測定 | ○  | ○  | 残尺が大きい、パイプの変形が大きいほど影響が大きい。       | ◎  | 影響が大きい(累積変位形状に大きな差が見られる)       | ◎  |
| 6<br>孔口反転装置使用の有無の実験    |  反転時に、孔口反転装置使用・不使用の場合の測定を行う                      | ○  | ○  | 孔口反転装置の有無関わらず影響はなし。              | □  | 孔口反転装置の使用、未使用時に問わず影響なし。        | □  |
| 7<br>ケーブルのねじれの影響       |  ケーブルをねじった場合の長さの変化、およびねじった状態で測定                  | ○  | ○  | 測定に影響は無いが、マーカーの位置ズレの原因になる        | △  | 測定に影響し、マーカーの位置ズレの原因になる。        | ○  |

※ ◎影響大 ○影響あり △条件付で影響あり □影響なし

### 3. 計測器の特性に関わる再現実験

挿入式孔内傾斜計のプロープには、センサ部が温度特性を有する(温度の影響を受ける)、現場でキャリブレーションできない、および計器が過度の衝撃に弱いなどの特性がある。そこで、それら計測器の特性に関わる各種再現実験を行い、良好なデータを得るための留意事項について把握した。

#### 3.1 測定器の電源電圧の変化

プロープへ入力する電源の電圧を変化させることによる、センサ出力値への影響の有無について確認した。また、そのときに設定した電圧の最小値と最大値を入力した場合で実際の測定を行い、データへの影響を把握した。測定条件の概要は次の通り(国総研は国土交通省国土技術政策総合研究所の略記)。

- ・プロープ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製
- ・実施箇所：室内(国総研西側階段、検定孔)
- ・実施方法：電源電圧の変化による指示値への影響、および上限下限に電圧を変えた測定

##### (1) 応用地質(株)製

実験に使用した資機材は以下の通りである。また、実験時機材の構成を図3.1に示した。

- プローブ : 応用地質(株)製 デジタルQティルト-200
- データロガー : 応用地質(株)製 デジタルQティルト ハンディターミナル
- ケーブル : 応用地質(株)製 ケーブル 50m
- 安定化電源装置 : (株)高砂製作所製 EX375H 0-240V/0-6.3A
- 使用ガイド管 : 応用地質(株)製 No.1 (国総研西側階段に設置)

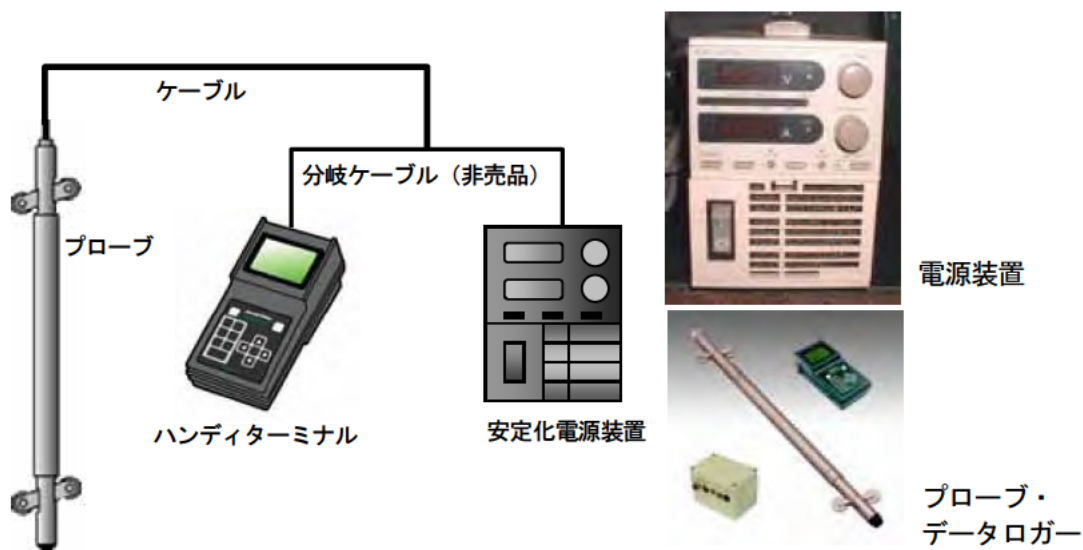


図 3.1 実験機材の構成 (応用地質(株)製)

本実験は、プレヒートの終了後の直後に電源装置の出力電圧を変化させてセンサの出力値を確認した。実験に際して、ケーブルの線抵抗を測定しプローブに入力される電圧を以下のように算出した（電源電圧 12V の場合）

- ・ プローブの線抵抗：約 5.4 （電源線 2 本で 10.8 ）
- ・ 電源電圧 12V のときの消費電流：0.12A（電源装置に表示される電流値）
- ・ 出力電圧 12V の時の入力電圧： $12V - 10.8 \times 0.12A = 10.70V$
- ・ 出力電圧 10V の時の入力電圧： $10V - 10.8 \times 0.12A = 8.70V$
- ・ 出力電圧 14V の時の入力電圧： $14V - 10.8 \times 0.12A = 12.70V$

ここで、プローブ内に組み込まれている電源（DC-DC）は、入力電圧の範囲が 9-18V である（出力電圧 12V）。そのため、出力電圧 10V の時の入力電圧は、プローブ内の電源の仕様範囲を下回ることが予想された。しかし、今回は実験ということで、10～14V の範囲で電圧を変化させることとした。また、安定化電源装置の出力電圧を 10V とした場合と 14V にした場合で、傾斜計の測定も行い（30m）、プローブが正常に動作することを確認した。

電圧変化に伴うセンサ出力の確認結果を表 3.1 に示す。表には、出力電圧を変化させたときの消費電流（電源装置に表示される値）も併せて示し、それぞれの出力電圧における入力電圧の算定結果（予測入力電圧）を示した。

表 3.1 電圧変化実験結果表

| 安定化<br>電源装置<br>出力電圧<br>(V) | 消費電流<br>(A) | 線抵抗<br>(Ω) | 予測入力<br>電圧<br>(V) | センサー出力値<br>(×10000) |      |      |      |
|----------------------------|-------------|------------|-------------------|---------------------|------|------|------|
|                            |             |            |                   | A方向                 |      | B方向  |      |
|                            |             |            |                   | 1回目                 | 2回目  | 1回目  | 2回目  |
| 10.0                       | 0.16        | 10.8       | 8.27              | -139                | -139 | -249 | -249 |
| 10.5                       | 0.14        | 10.8       | 8.99              | -139                | -139 | -250 | -249 |
| 11.0                       | 0.13        | 10.8       | 9.60              | -139                | -139 | -250 | -249 |
| 11.5                       | 0.12        | 10.8       | 10.20             | -140                | -139 | -250 | -249 |
| 12.0                       | 0.12        | 10.8       | 10.70             | -139                | -139 | -251 | -249 |
| 12.5                       | 0.11        | 10.8       | 11.31             | -139                | -139 | -249 | -248 |
| 13.0                       | 0.11        | 10.8       | 11.81             | -139                | -139 | -249 | -248 |
| 13.5                       | 0.10        | 10.8       | 12.42             | -140                | -139 | -249 | -248 |
| 14.0                       | 0.10        | 10.8       | 12.92             | -139                | -139 | -248 | -248 |

表 3.1 より、出力電圧を変化させても、傾斜計の出力値に影響が無いことが確認された。また、出力（または入力）電圧を低下させると、消費電流が上昇することがわかり、当初予測した入力電圧よりも低くなることがわかった。出力電圧を 10V にした場合においてもプローブは正常に動作していたが、プローブ内の電源に大きな負荷が生じて発熱する（破損する）ことも予想されるため、正しい測定のためには 12V 以上の電源を準備する必要がある。

予測入力電圧は計算により求めたが、参考までに、図 3.2 に示す方法で実測した。その結果を表 3.2 に示す。表より、計算結果と実測結果がほぼ等しいことが確認された。

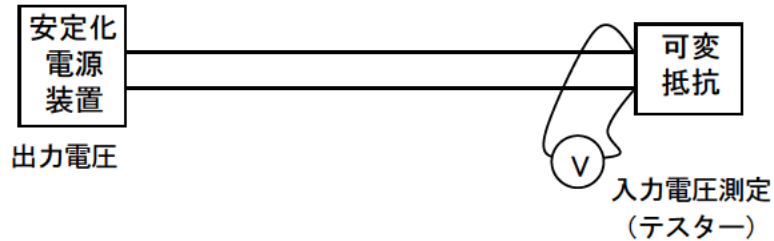


図 3.2 入力電圧実測方法

表 3.2 入力電圧実測結果

| 出力電圧 (V) | 消費電流 (A) | 線抵抗 (Ω) | 予測入力電圧 (V) | 実測入力電圧 (V) |
|----------|----------|---------|------------|------------|
| 10       | 0.16     | 10.8    | 8.27       | 8.26       |
| 10.5     | 0.14     | 10.8    | 8.99       | 8.94       |
| 11       | 0.13     | 10.8    | 9.60       | 9.56       |
| 12       | 0.12     | 10.8    | 10.70      | 10.71      |
| 14       | 0.11     | 10.8    | 12.81      | 12.8       |

図 3.3 に、出力電圧 10V と 14V の場合で 30m の傾斜測定を実施した結果を示す。図は、電圧 10V の場合を初期値として表現した。結果より、累積変位で見られる両者の違いは基準内 (2mm/10m) であり、通常測定でも充分に現れる範囲の誤差であることから、電源の電圧変化に伴うセンサへの影響はないといえる。

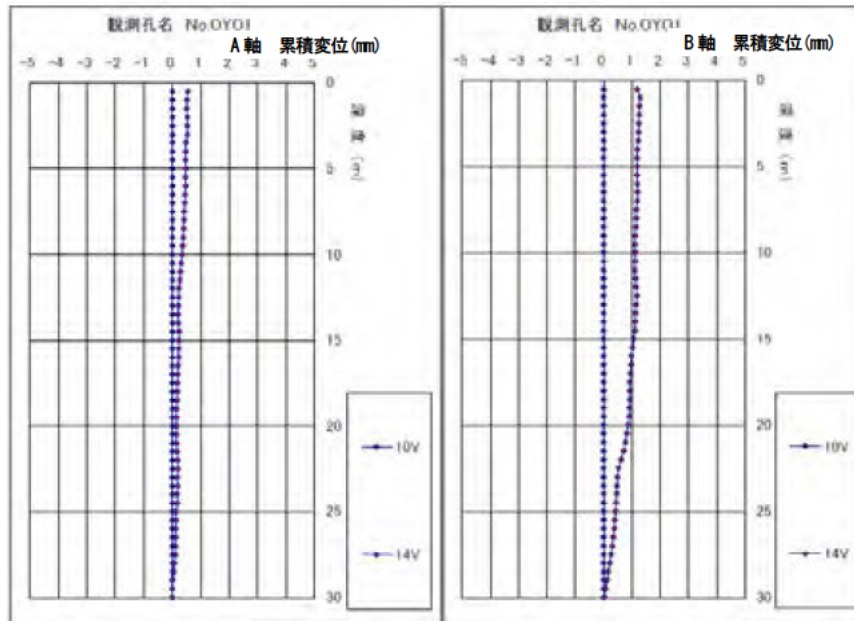


図 3.3 電源装置の出力電圧を 10V と 14V とした場合の傾斜測定結果

## (2) 坂田電機(株)製

### ①実験装置

実験に使用した機材および設備は、以下の通りである。また、実験時機材の構成を、写真 3.1 に示した。

傾斜計プローブ：坂田電機(株)製 挿入式孔内傾斜計 EIN-5030G2  
測定器：坂田電機(株)製 地中変位収録器 EL-201B-3  
ケーブル：坂田電機(株)製 ケーブル 30m 付  
安定化電源装置：菊水電子工業(株)製 PMC18-5 0-18V/5A  
使用ガイド管：坂田電機(株)製 U-15, U-35 (坂田電機(株)の検定孔)  
その他：差動トランス基準センサ

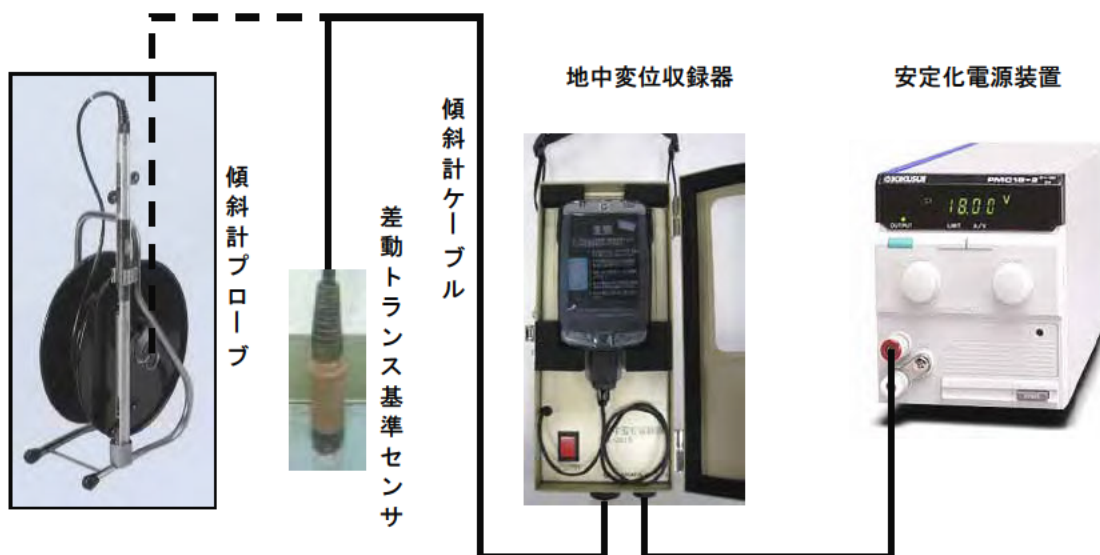


写真 3.1 実験機材の構成 (坂田電機(株)製)

### ②実施方法

本実験は、測定器に電源装置から電源を供給して電源装置の出力電圧を変化させた際の指示値変化を確認するものである。本測定器の駆動電圧は 4.0~5.6V であるため、その範囲で入力電圧を変化させた。なお、実験に際しては、差動トランス基準センサ (温度変化による影響がほとんど生じないようにした差動トランス型センサ) を接続して実施した。

### ③結果

電圧変化に伴う指示値の変化確認結果を、表 3.3 に示す。本表より、測定器の電源電圧が変化しても、指示値に影響はないことが確認された。本測定器は、電源電圧が 4.8(V)以下となると電圧低下を通知する機能を有している。このため、測定中に電池切れとなる可能性は低い。

表 3.3 電圧変化時の指示値変化確認表

| 安定化電源装置<br>出力電圧 (V) | 指示値 (mm) |        |        |        |        |
|---------------------|----------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 1回目      | 2回目    | 3回目    | 4回目    | 5回目    |
| 4.0                 | 115.70   | 115.69 | 115.69 | 115.68 | 115.69 |
| 4.4                 | 115.70   | 115.69 | 115.69 | 115.68 | 115.69 |
| 4.8                 | 115.69   | 115.68 | 115.69 | 115.68 | 115.68 |
| 5.2                 | 115.70   | 115.69 | 115.70 | 115.69 | 115.68 |
| 5.6                 | 115.69   | 115.68 | 115.68 | 115.67 | 115.67 |

図 3.5 に、電源電圧が 4.0V と 5.6V の場合で 20m の傾斜測定を実施した結果を示す。図は、電圧 4.0V の場合を初期値として表現した。累積変位で見られる両者の違いは、通常の測定でも十分に現れる範囲の誤差であるため、電源の電圧変化に伴う指示値へ与える影響はないといえる。

### (3) まとめ

電圧変化実験では、各プローブとも通常考え得る電圧範囲では、センサの出力値（指示値）に影響しないことが確認された。

冬期の深尺孔での測定など、バッテリーの消費が多い場合は電圧が低下すると測定そのものができなくなる可能性があるため、予備を持っていくことが望まれる。

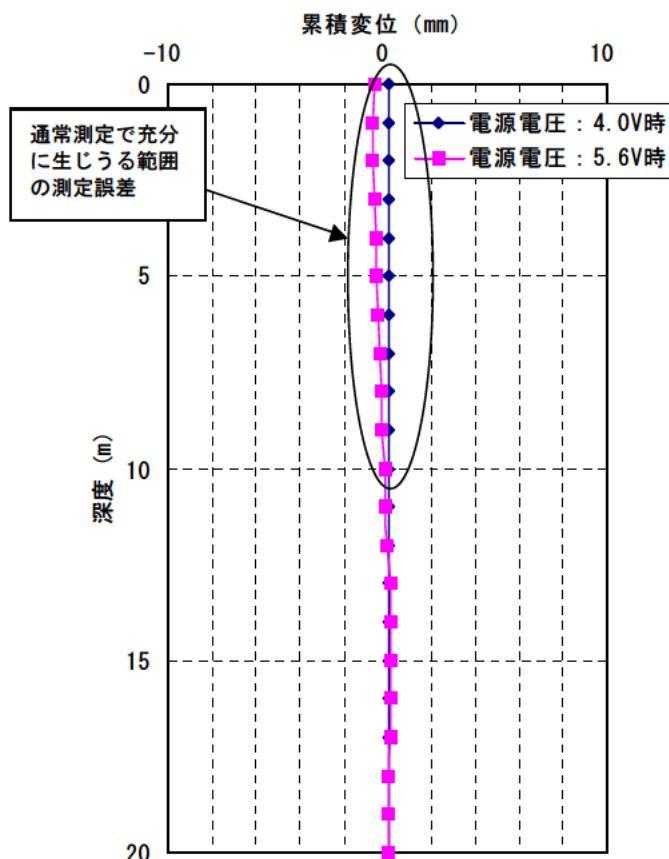


図3.4 電源装置の出力電圧を4.0Vと5.6Vとした場合の測定結果

### 3.2 プローブの温度特性の影響

挿入式孔内傾斜計の測定値には温度の変化が影響することが知られている。そこで、室内や現場にて温度の変化やプレヒートおよび孔内水の影響などについて、温度に関する実験を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製
- ・実施箇所：室内（国総研西側階段、検定孔）、現場（福島県郡山中山地すべり）
- ・実施方法：温度変化に伴う指示値の経時変化測定および温度変化時の現場測定  
プレヒート時の指示値の経時変化の測定  
孔内水が分布する状態での温度と指示値の測定

#### 3.2.1 プローブの温度変化

##### 3.2.1.1 室内実験

###### (1) 応用地質(株)製

###### ① 実験装置

実験に使用した機材および設備は、以下の通りである。

挿入式孔内傾斜計：3.1と同様のものを使用

ガイド管：応用地質(株)製ステンレスケーシング（応用地質(株)の検定孔）

その他：恒温装置、温度計(水質計を使用)、熱電対(較正実施)、乾燥炉、氷、ストップウォッチ等

熱電対は写真3.2、図3.5のように使用前に較正作業を行った。使用機材の写真を写真3.3にまとめて示す。



写真3.2 水温を変化させた較正作業

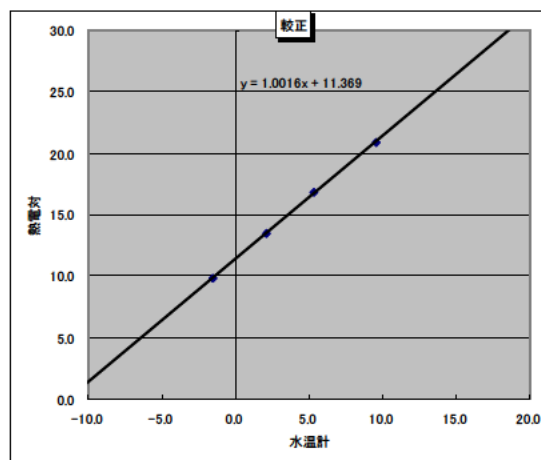


図3.5 水温計と熱電対表示温度の関係図



写真 3.3 使用機材の写真



## ②冬期の再現実験

冬期の観測で孔底保持を行わない条件を再現した実験である。氷水で 0°C に冷やしたプローブを、15°C (平均的な地温を想定) に保持した恒温槽に入れて、80 分測定を行った (図 3.6)。指示値・温度の経時変化を図 3.7 に示す。A 軸は 15 分程度で約 40 カウント (0.8mm/50cm) 下がり、その後は一定になった。B 軸は 10 分程度で約 50 カウント上がり、その後は一定になった。プローブに取り付けた熱電対の温度は、当初は 13.7°C であったが 40 分で 15.6°C まで徐々に上昇。その後 14.7°C まで低下して 60 分でほぼ 15°C と一定となった。温度の低下は、ガイド管内で水の対流が起こったと考えられるが詳細は不明。

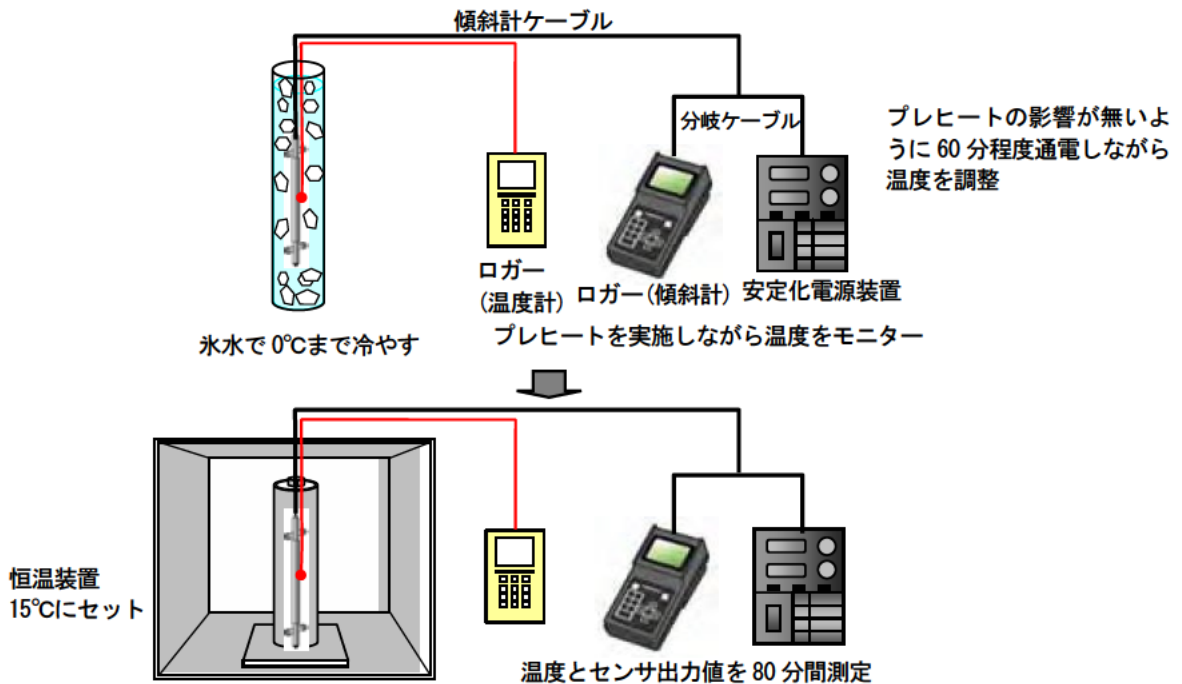


図 3.6 冬期観測の再現実験方法模式図

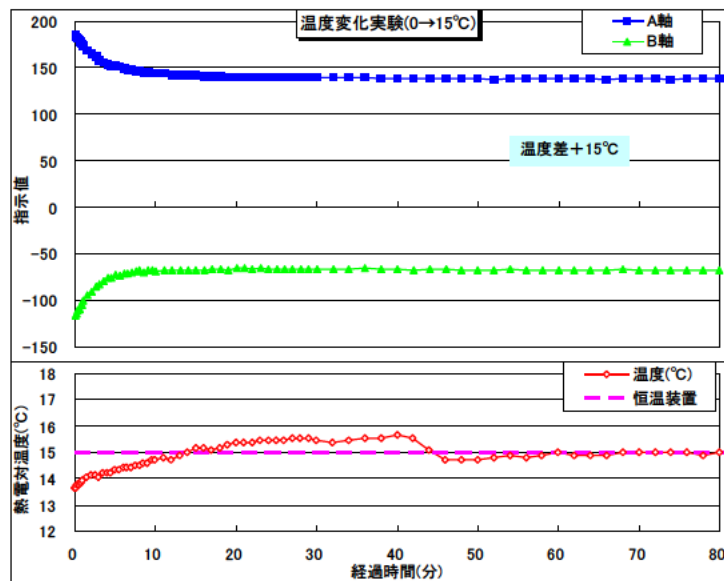


図 3.7 指示値・温度の経時変化 (室内冬期再現実験、応用地質(株)製)

### ③夏期の再現実験

夏期の観測で孔底保持を行わない条件を再現した実験である。別の高温槽で 50°C に暖めたプローブを、15°C に保持した恒温槽に入れて、80 分測定を行った (図 3.8)。指示値・温度の経時変化を図 3.9 に示す。A 軸は 10 分程度で約 70 カウント (1.4mm/50cm) 上がり、30 分までさらに 10 カウント上がり、その後は一定になった。B 軸は 10 分程度で約 80 カウント (1.6mm/50cm) 下がり、その後は上昇に転じて 15 分から 50 分までに約 20 カウント一定で上がり、その後は一定になった。熱電対の温度は、当初は 19.3°C から 1 分後に 19.7°C に上昇し、その後は徐々に低下して 80 分後には 15°C になった。

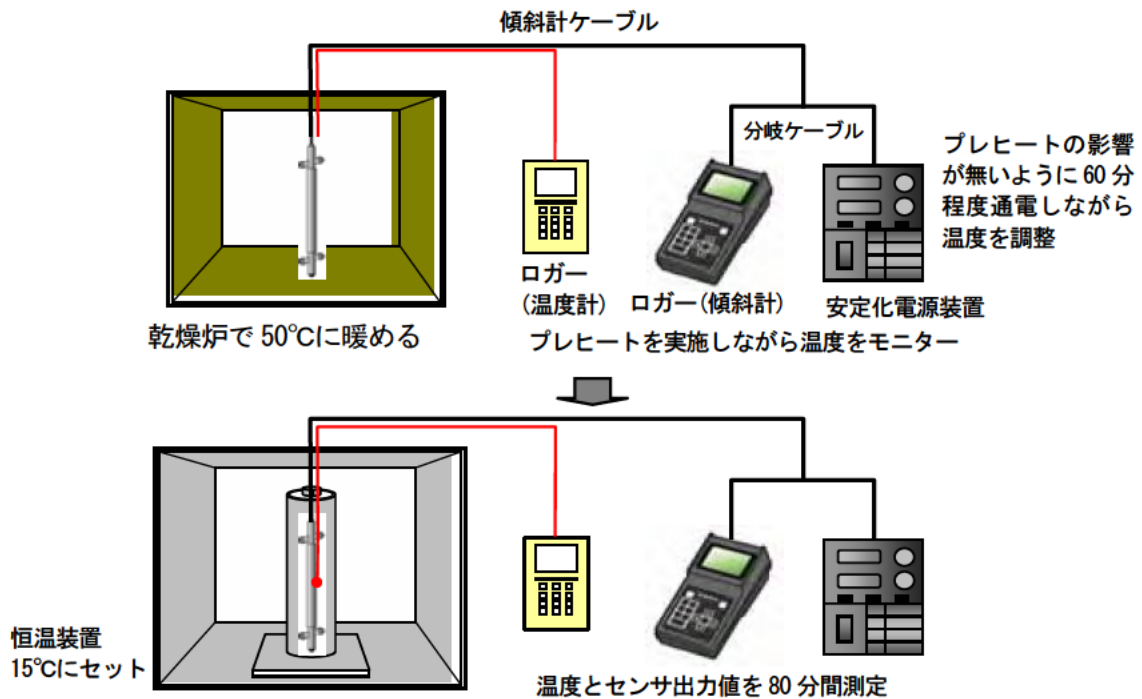


図 3.8 夏期観測の再現実験方法模式図

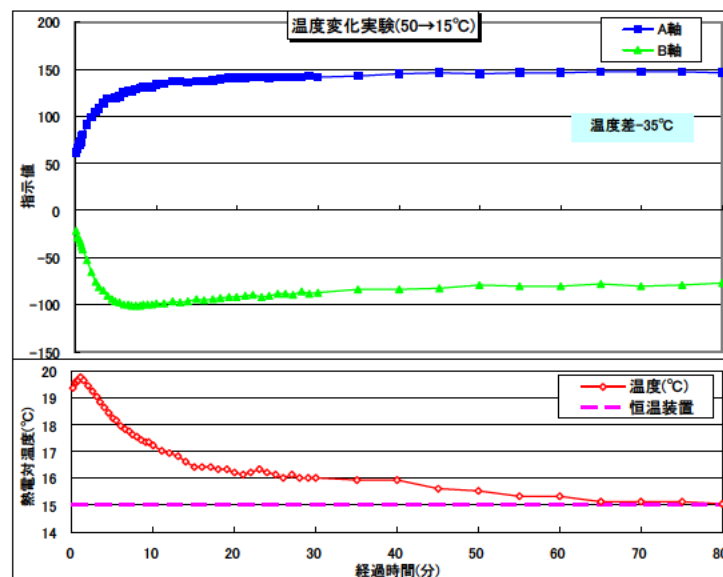


図 3.9 指示値・温度の経時変化 (室内夏再現実験、応用地質(株)製)

(2) 坂田電機㈱製

①実験装置

実験に使用した機材および設備は、下記の通りである。

・挿入式孔内傾斜計

傾斜計プローブ：坂田電機㈱製 挿入式小型2方向傾斜計 EIN-5180GNY

ケーブル：坂田電機㈱製 ケーブル 50m 付

データロガー：坂田電機㈱製 ログマスタ EC-401M-30

：坂田電機㈱製 地中変位収録器 EL-201B-3

ガイド管：坂田電機㈱製 測定管 U-35 (坂田電機㈱の検定孔：30m)

・その他

恒温装置、温度計 (温度校正に使用)、氷、ストップウォッチ、分岐ケーブル 等

②傾斜計測温機能の温度校正 (室内温度校正)

坂田電機㈱製の挿入式孔内傾斜計は検出部が差動トランス方式であるため、コイル抵抗を測定することで温度の測定が実施できる。(以降、測温値と呼ぶ。測定精度は、±1℃) そのため、温度変化実験の前にA軸・B軸それぞれの測温校正を実施した。図3.10、表3.4に、その校正結果を示す。

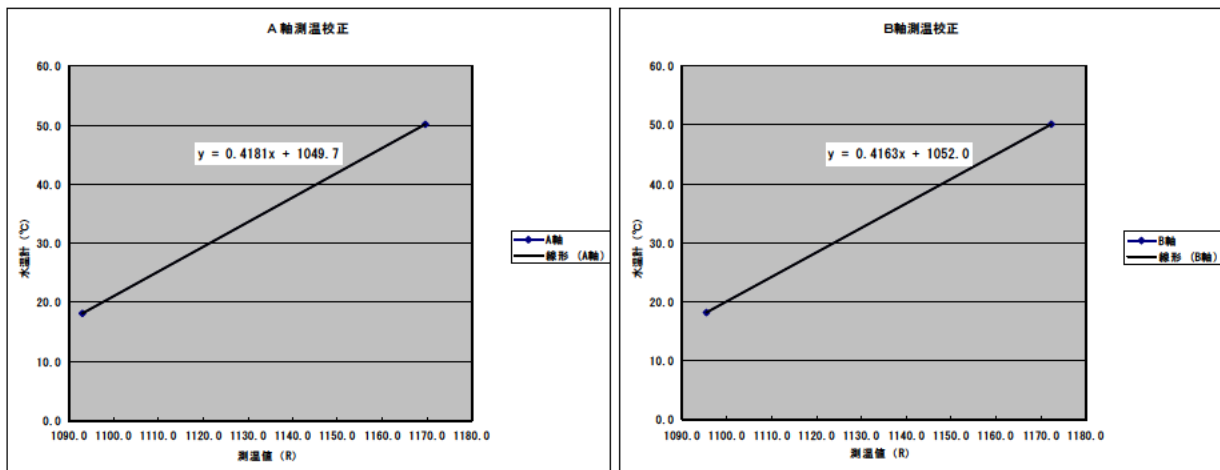


図 3.10 挿入式孔内傾斜計の測温校

表 3.4 傾斜計の測温値 係数一覧

|      | 温度係数 (°C/R) | 初期値 (0°C) |
|------|-------------|-----------|
| A軸測温 | 0.4181      | 1049.7    |
| B軸測温 | 0.4163      | 1052.0    |

なお、表 3.4 の温度係数・初期値を使用して、プローブ内の温度 (測温値) を求めることとした。

### ③冬期の再現実験

冬期の観測で孔底での過渡現象を再現した実験である。氷水で0℃に冷やしたプローブを、検定孔（孔内水温：約16℃）の孔底（深度：30m）まで挿入し、80分間測定を行った。（図3.11）指示値・測温値の経時変化を図3.12に示す。なお図中の経過時間は、プローブが孔底に到着した時間を0分として表現した。また、氷水から出して測定を開始するまでには、約3分の時間を要した。

A軸の指示値は10分程度で約0.9mm-方向へ変動し、その後は一定となった。B軸の指示値は8分程度で約0.7mm-方向へ変動し、その後は上昇に転じ、8分から30分までに約0.2mm+方向に変動し、その後は一定となった。測温値（プローブ内の温度）は、A軸・B軸ともに同じように変化しており、初めの5分間は急激に上昇（約5℃）し、その後は緩やかに上昇し、約30分でほぼ16℃と一定となった。

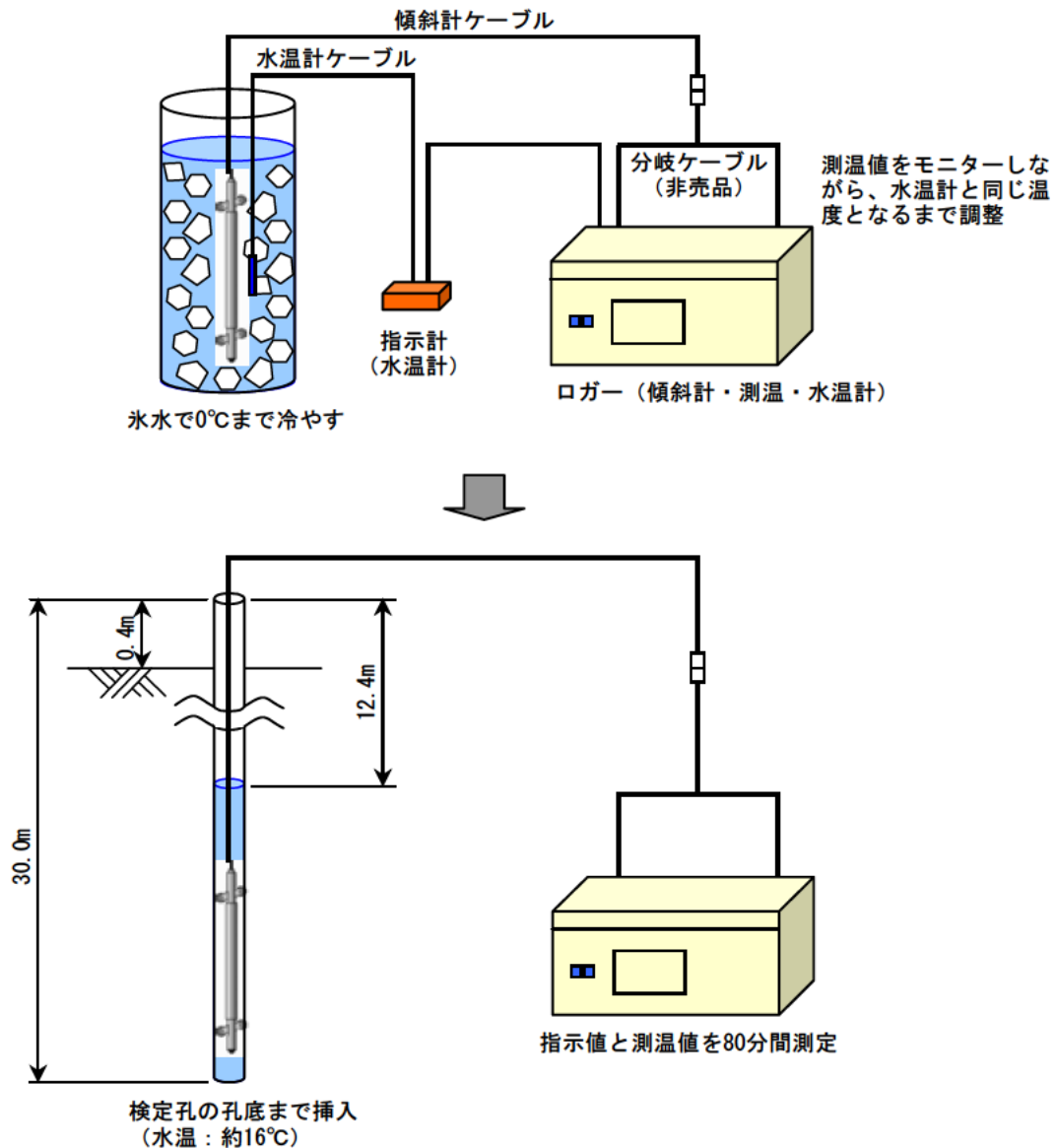


図3.11 冬期観測の再現実験方法模式図（坂田電機株製）

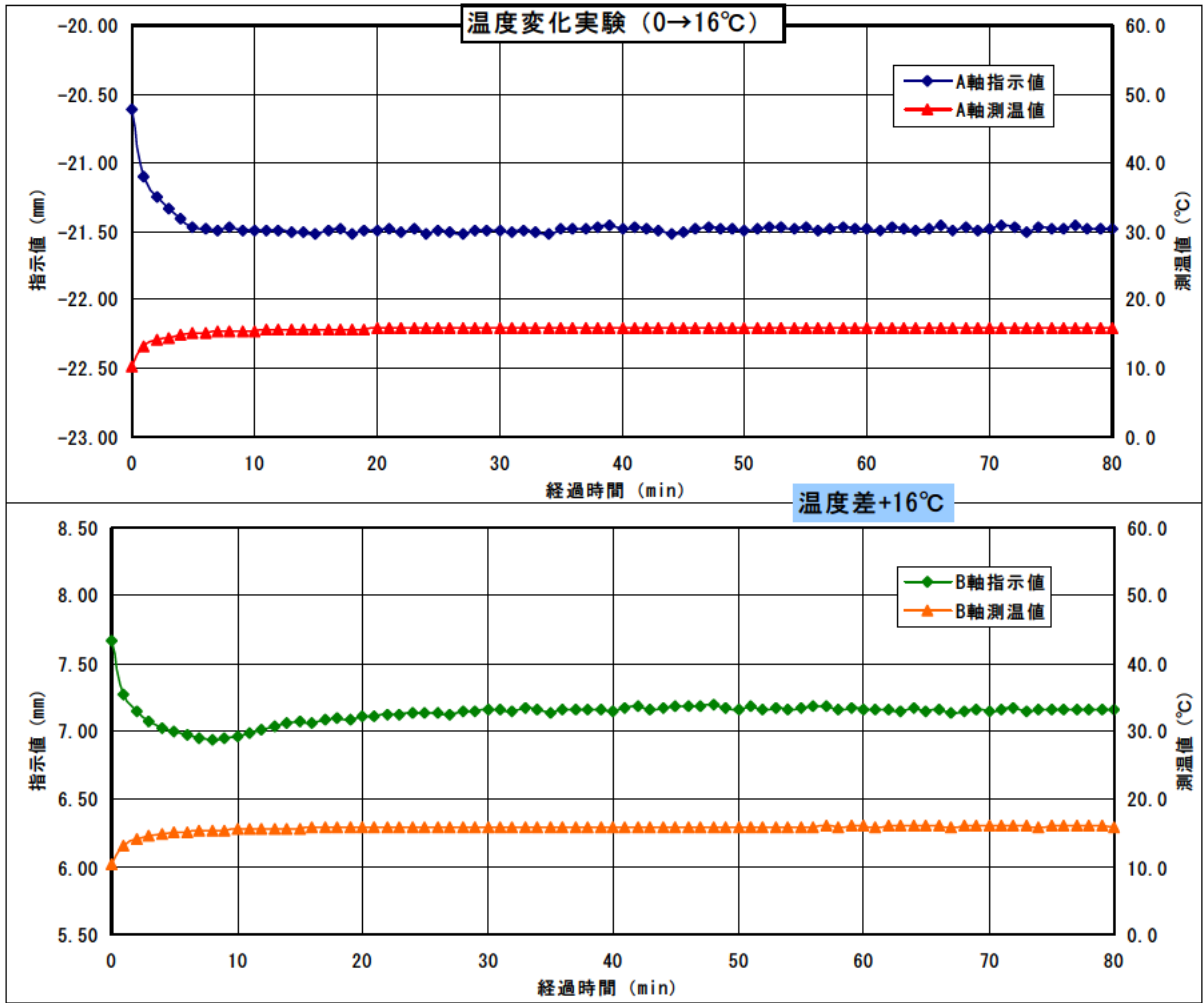


図 3.12 指示値・測温値の経時変化 (室内冬期再現実験、坂田電機(株)製)

#### ④夏期の再現実験

夏期の観測で孔底での過渡現象を再現した。恒温槽で50°Cに温めたプローブを、検定孔（孔内水温：約16°C）の孔底（深度：30m）まで挿入し、80分間測定を行った。（図3.13）指示値・測温値の経時変化を図3.14に示す。なお図中の経過時間は、プローブが孔底に到着した時間を0分として表現した。また、恒温槽から出して測定を開始するまでには、約3分の時間を要した。

A軸の指示値は5分程度で約1.4mm+方向に変動し、20分までさらに約0.2mm+方向に変動、その後は一定となった。B軸の指示値は5分程度で約1.0mm+方向へ変動し、20分までさらに約0.2mm+方向へ変動、その後は一定となった。測温値（プローブ内の温度）は、A軸・B軸ともに同じように変化しており、初めの5分間は急激に低下し、その後は緩やかな降下を示し、約40分ではほぼ16°Cと一定となった。測温値が安定するまでには約40分の時間を要したが、指示値はそれよりも早く安定する結果が得られた。

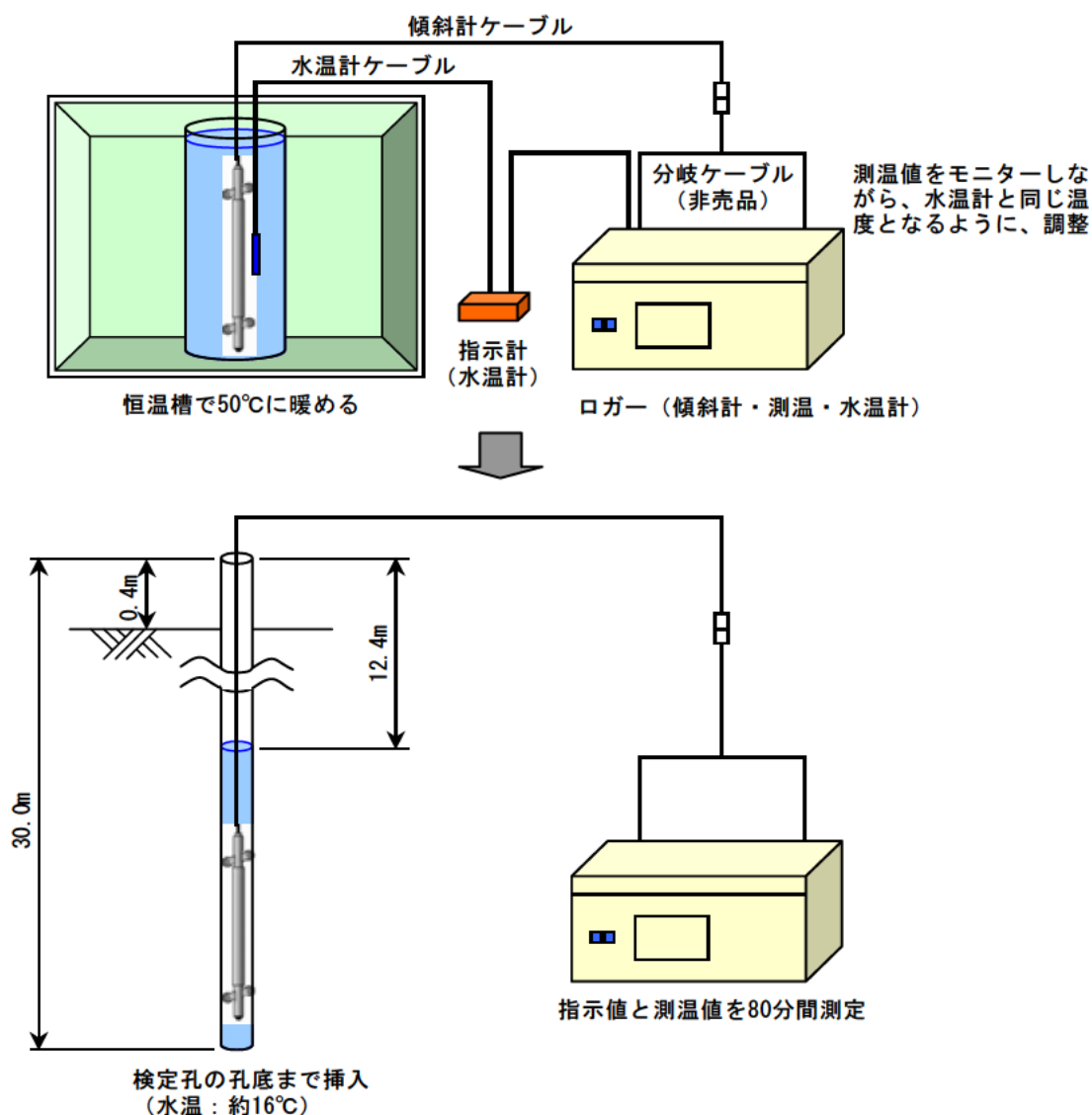


図 3.13 夏期観測の再現実験方法模式図（坂田電機株製）

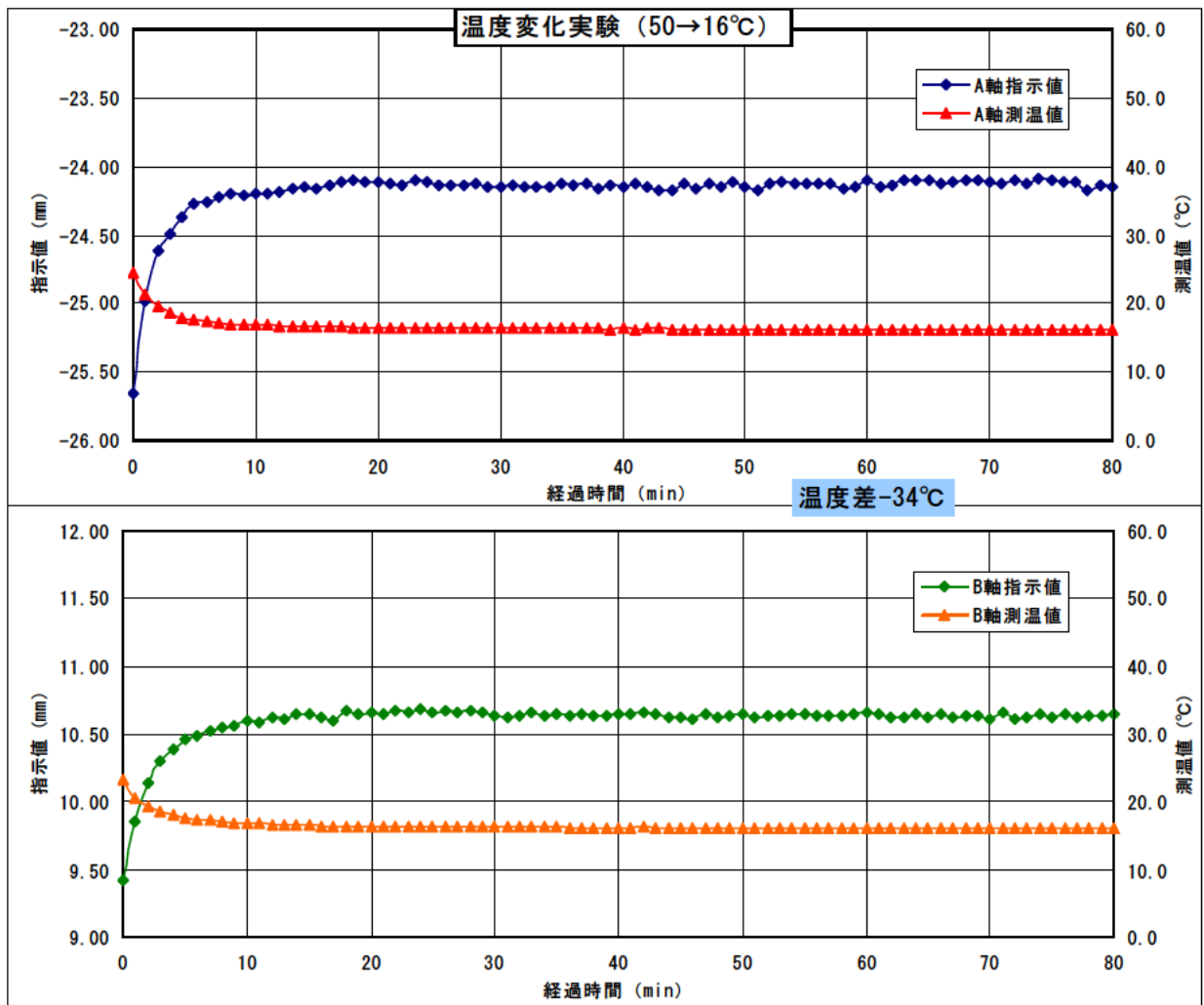


図 3.14 指示値・測温値の経時変化 (室内夏期再現実験、坂田電機株製)

### 孔底保持時間の違いによる累積変位への影響

孔底保持時間の違いにより、累積変位にどの程度の影響が現れるかを確認するため、恒温槽で 50 に温めたプローブを、検定孔（孔内水温：約 16 ）の孔底（深度：30m）まで挿入し、孔底到着後、5、10、20、30、60 分後に測定を開始し、その測定結果を比較した。先の実験で孔内水温との差が大きいほど指示値の変動も大きいことが分かっているため、温めた場合のみの実験とした。なお、180°反転時の孔底保持時間は、全て 15 分とした。また、データの取得時間は先の実験結果 2.2(2)より、ケーブルマーカを合わせてから 15 秒後とした。A 軸の累積変位および測温値の測定結果を図 3.15 に、B 軸の測定結果を図 3.16 示す。図は、30 分経過時（通常測定）の測定結果を初期値として表現した。

A 軸は、孔底保持時間が短い場合、孔底付近での累積変位が方向へ約 1.0mm の変動を示した。その方向への変動のピークは、孔内温度になじんだと思われる付近（図中の円で囲んだ部分）と一致しており、それ以浅の累積変位には、ほとんど変化が見られなかった。なお、180°反転時の測温値は、どの場合においても同じような温度変化を示していた。これは、0°側の測定中にプローブが孔内水温となじむため、反転時はプローブ温度と孔内水温との差が小となり、なじみに要する時間が短いためと推測される。

B 軸は、測温値の変化が見られる区間（図中の円で囲んだ部分）では、累積変位に変動はほとんど見られない。累積変位の変動は、測温値に変化が見られない 20m 以浅の方が大きく、最大で約 1.4mm であった。この変動は、温度変化によるものとは無関係であり、その他の測定時の誤差により生じたものと推測される。

A 軸・B 軸ともに、孔底保持時間の違いによる累積変位への影響は、通常測定でも十分に生じうる範囲の測定誤差であった（30m 時：±1.5mm 以内）。



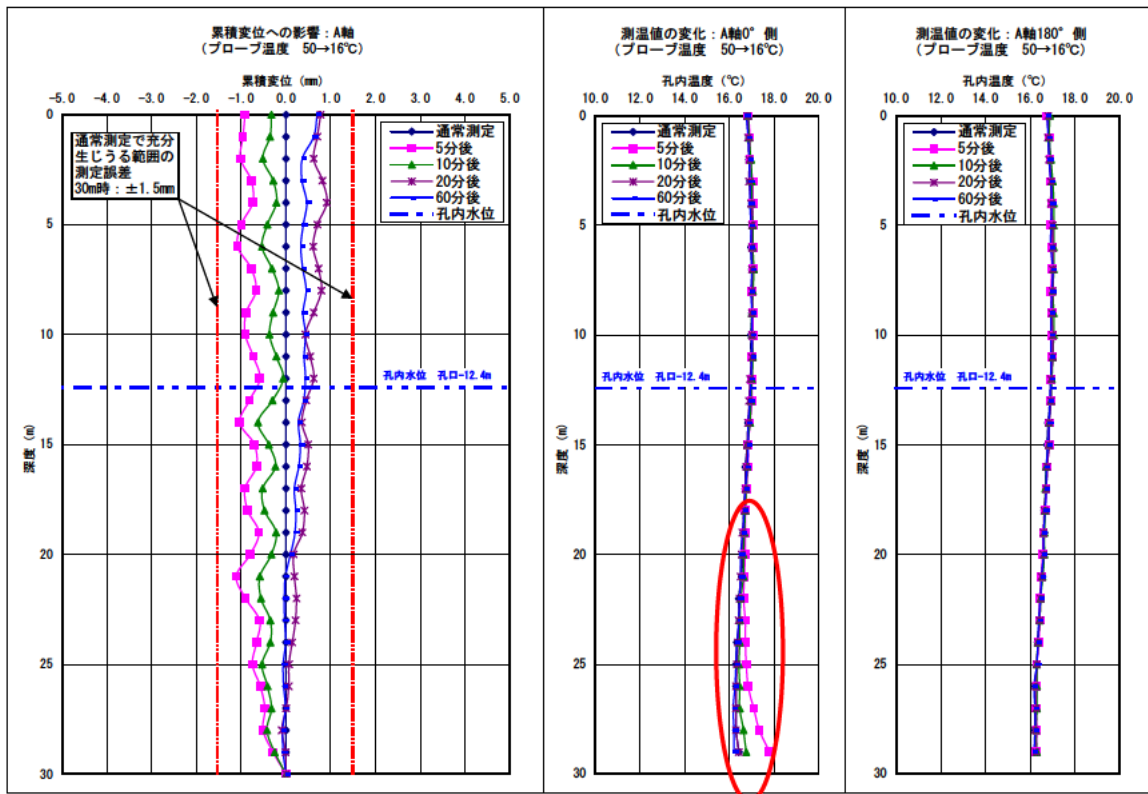


図 3.15 孔底放置時間の違いによる累積変位および測温値の変化：A 軸

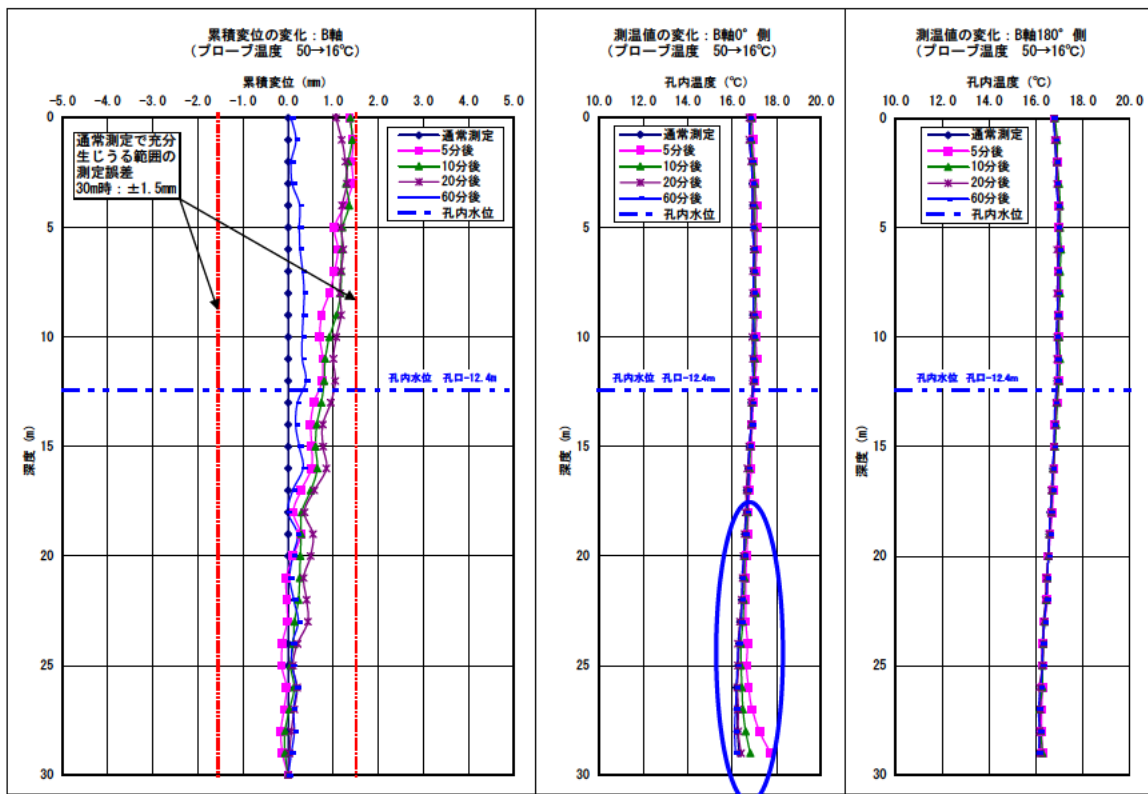


図 3.16 孔底放置時間の違いによる累積変位および測温値の変化：B 軸

### 3.2.1.2 現場実験

#### (1) 応用地質(株)製

通常測定と、雪で0℃に冷やしたプローブによる測定値、カイロとカーエアコンで35℃に暖めたプローブによる測定値を比較し、冬期観測と夏期観測で孔底保持を行わない状態を再現した。なお、外気温は3℃であり、孔内温度は12℃程度と推定される(一般的に地中温度=年平均気温)と言われる。実験機材と設備を写真3.4と以下に、実施方法を写真3.5に示す。

プローブ：応用地質(株)製 デジタルQテイルト-200  
データロガー：応用地質(株)製 デジタルQテイルト  
ハンディターミナル  
ケーブル：応用地質(株)製 傾斜計ケーブル 50m  
測定孔：中山地すべり H20B-1 孔  
L=31m、応用地質(株)製ガイド管  
(測定孔の詳細は後述の4.5節を参照)



写真3.4 現場実験の使用機材

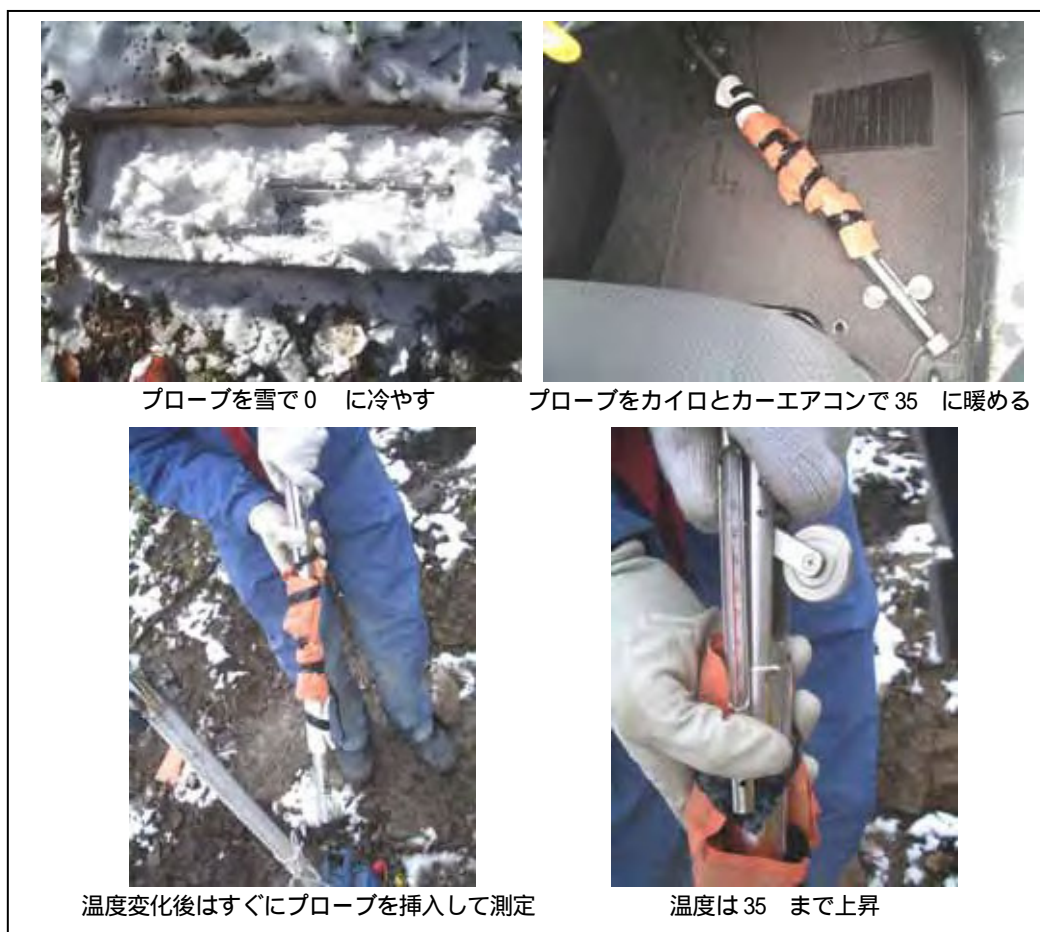


写真3.5 温度変化実験の実施方法

温度変化を再現した測定の累積変位図を図 3.17 に示す。測定時は、A0 方向の深度 20m 位まで(最初の 7 分位)の表示値は安定しない。それより上方では、A 軸ではその後は概ね安定しているが B 軸は傾動している。B 軸では、深度 20m 位までの弓なりのデータと全体の傾斜が合わさっているが、本方法では前述のプレヒートの影響も合わさっていると考えられる。

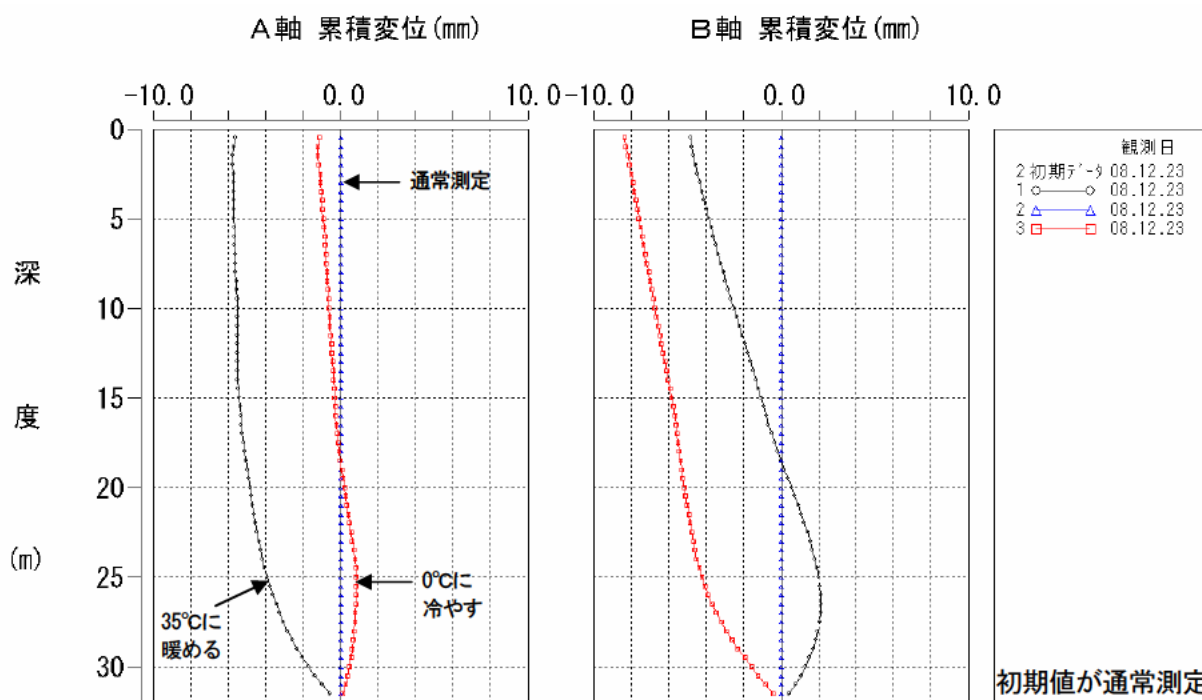


図 3.17 温度変化を再現した測定結果 (現場実験、応用地質(株)製)

(2) 坂田電機(株)製

通常測定とプローブを氷水で 0°C に冷やしたときの測定値およびカイロとカーエアコンで 32°C まで加熱したときの測定値を比較し、冬期観測と夏期観測で想定される現象を再現した。

① 実験機材

実験機材を写真 3.6 および以下に示す。

- プローブ : 坂田電機(株)製 EIN-5180GNY
- ケーブル : 坂田電機(株)製 ケーブル 50m 付
- データロガー : 坂田電機(株)製 EL-201B-3
- 測定孔 : 中山地すべり H20B-1 孔  
L=31m、応用地質(株)製ガイド管



写真 3.6 現場実験の使用機材

## 結果

通常測定を初期値とし、温度変化を与えた場合の累積変位を図 3.18 に示す。なお、プローブと孔内温度を馴染ませる目的の孔底保持を実施せず、測定を開始した。通常測定と比較すると、冷却および加熱時において孔内挿入後、約 10 分まで観測した深度 (20 ~ 32m) の A0 方向の測定値に差が見られる。プローブの温度が安定するまでの変化が現れたものと思われる。

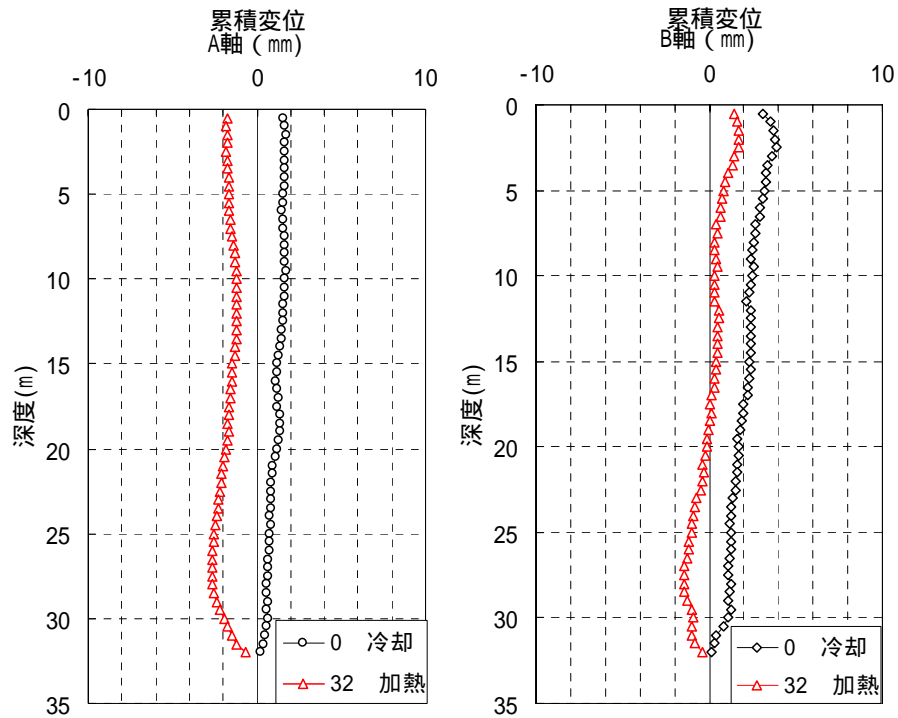


図 3.18 温度変化を再現した累積変位比較結果 (現地実験 坂田電機株製)

### 3.2.1.3 まとめ

室内実験で温度を夏季の状態・冬季を模擬した状態で変化させると、応用地質株製では 10 ~ 15 分で概ね一定に、30 分ではほぼ一定になった。坂田電機株製では 5 ~ 10 分で概ね一定に、30 分程度ではほぼ一定になった。また、現場での通常測定時のデータと温度変化時を再現した実験を比較すると、双方のプローブとも正常な測定と比較して差が発生しており、測定を始めてから 10 分程度の変化が大きい (応用地質株製の方が温度による影響がより大きい)。

プローブのセンサは、温度変化により指示値が変化する特性 (温度特性) を有するため、実際の測定では一般に行われるようにプローブを孔底で保持して温度が安定してから測定を開始する必要がある。

### 3.2.2 プレヒートの時間

プレヒートとは、センサに電源を投入して電気回路の状態を安定させる時間のことであり、現場ではガイド管の孔底にプローブを保持する作業である。この孔底保持の妥当な時間を把握するため、通電開始後の時間経過に伴う指示値の経時変化を測定した。なお、坂田電機(株)製はプローブの構造上プレヒートの影響がないため、本実験は行っていない。

#### 3.2.2.1 室内実験

室内で行ったプレヒートに関する実験は、簡易実験と精密実験の2通りである。

##### (1) 簡易実験

プローブを国総研西側階段に設置した応用地質(株)製 No.1 のガイド管内に挿入後、すぐに電源を投入し、そのときの指示値を30分間測定した。ここで、電源投入からデータロガーの設定に30秒程度の時間を要するため、測定開始は電源を投入してから30秒後となる。

プレヒート実験の結果を図3.19に示す。

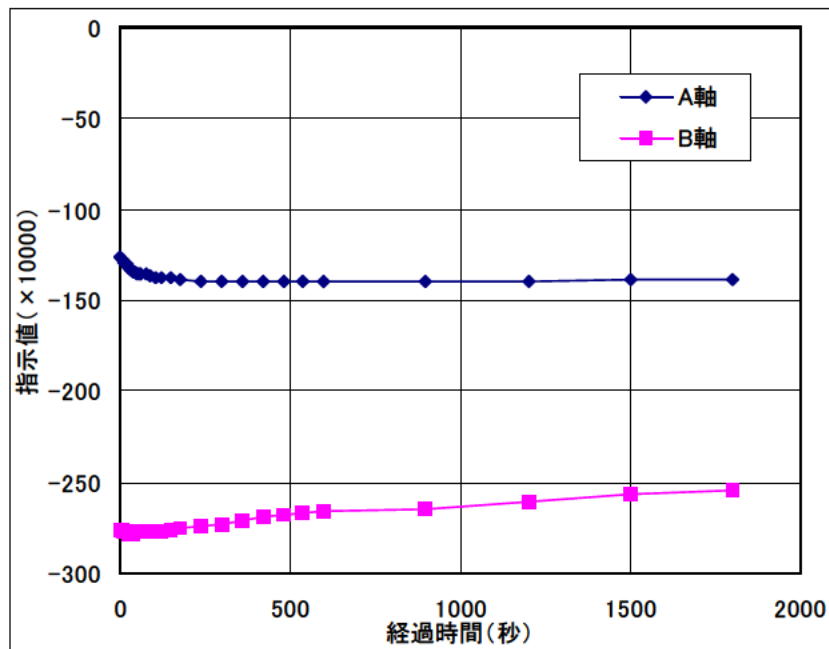


図3.19 プレヒート実験結果 (室内簡易実験、応用地質(株)製)

本図より、A軸の出力値は約3分で安定している。しかし、B軸の出力値は30分経過後も若干変化している。A軸とB軸のセンサで、安定するまでの時間が異なる原因は不明である。本実験は、プローブ周辺の温度変化を考慮していない簡易実験であるため、恒温装置などでプローブ周辺の温度を安定させた状態で通電する精密実験を行う必要がある。

(2) 精密実験

実験方法は、固定装置に入れたプローブを恒温装置に入れ、温度が約 15°C（平均的な地温を想定）に安定するまで保持する（約 90 分）プローブに通電後、センサの出力値と温度を 80 分測定した（図 3. 20）。A 軸は 2.5 分程度の間で約 30 カウント(0.6mm/50cm)下がり、その後は一定になった（図 3. 21）。B 軸は 30 分程度で約 20 カウント上がり、その後の変化量は 50 分で約 15 カウントの変化で、概ね一定の速度で緩やかに上がった。プローブに取り付けた熱電対の温度は、当初は 14.3°Cであったが 35 分程度経過後にほぼ 15°Cになりその後は一定であった。

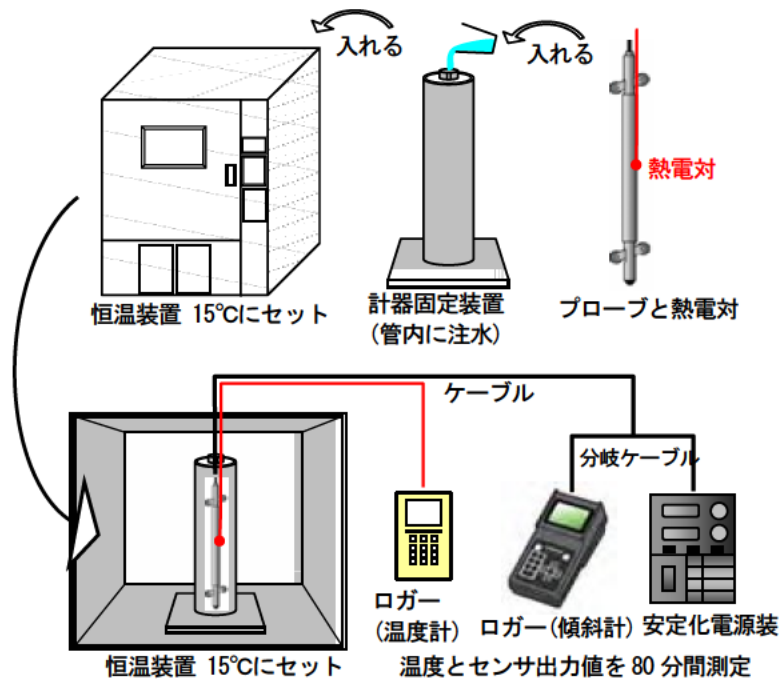


図 3. 20 プレヒートの精密実験方法模式図

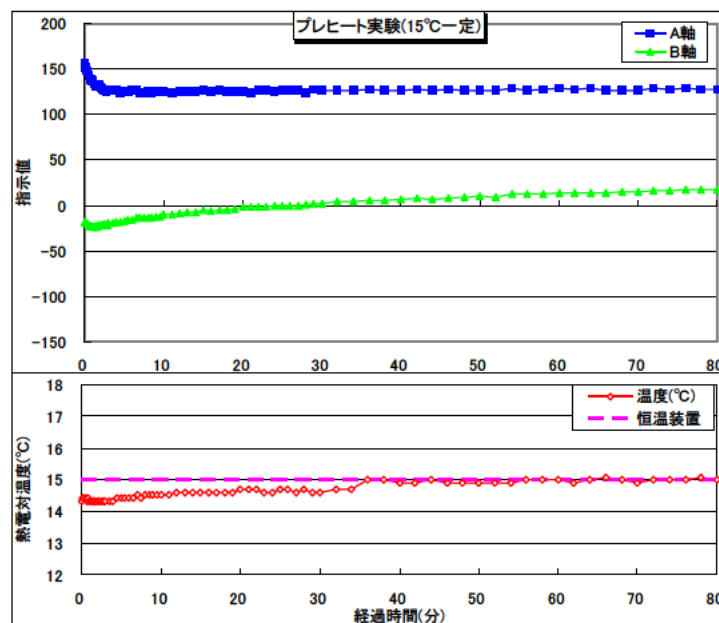


図 3. 21 指示値・温度の経時変化（プレヒート室内精密実験、応用地質(株)製）

### 3.2.2.2 現場実験

3.2.1.2 と同じ機材を使用し、中山地すべりの H20B-2 の孔底(測定深度 31.75m)にプローブをセットし、通電しない状態で 30 分以上保持して温度をなじませた後に通電して、プローブの指示値を 50 分間測定した。図 3.22 に示した指示値の経時変化図のように、最初は大変な変化があるが、約 30 分経過すると変化量が小さくなり、概ね一定の変化となる。A 軸では 30 分で約 50 カウント(1.0mm/50cm)、B 軸では約 40 カウント(0.8mm/50cm)変化した。

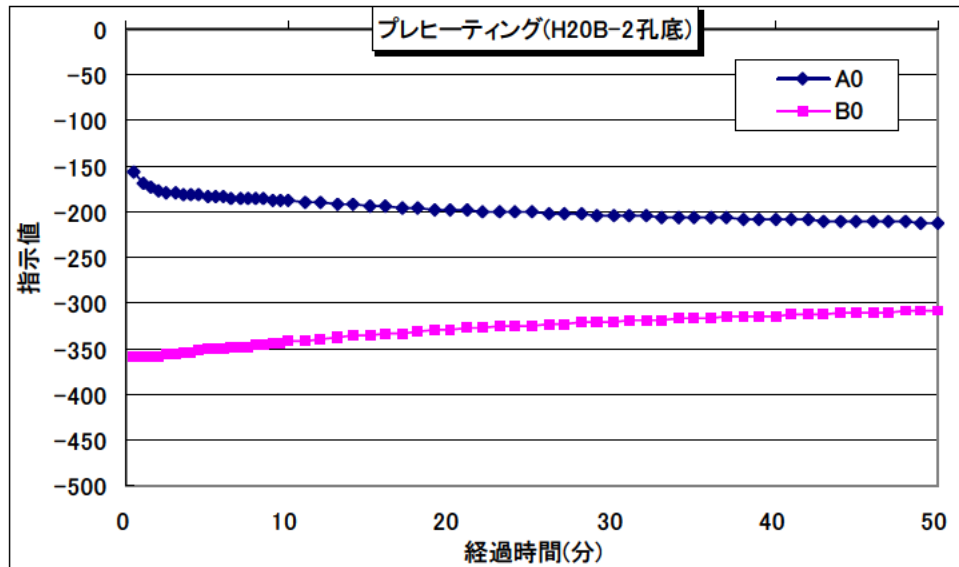


図 3.22 プレヒート実験結果 (現場実験、応用地質(株)製)

### 3.2.2.3 まとめ

本実験は、プローブ内に電子回路を有する応用地質(株)製プローブを対象にしている。A 軸は通電開始から 3 分経過後までの変化が大きく、その後は概ね同じ値となるかあるいは緩やかな一定の変化量となる。B 軸は通電当初の急激な変化はないが、30 分経過後にはほぼ一定の変化量となる。変化量が一定の場合は  $0^\circ$  側と  $180^\circ$  側の反転作業を行うことにより温度の影響は相殺される。このことから、プレヒートに関する孔底保持は電源を入れた状態で 30 分以上行う必要があるといえる。

### 3.2.3 孔内水などの影響

地すべり地の挿入式孔内傾斜計データは、以下の理由により地下水位の分布状態や気温により変化する可能性がある。

- ①地すべり地の挿入式孔内傾斜計観測孔の孔内水位は、周囲の平均的な地下水位とほぼ同じになることが多く、地下水位の変動に伴い孔内水位も変動する可能性がある。
- ②孔内の温度は、気温や孔内水位の影響により測定ごとに变化する可能性がある。
- ③プローブセンサは温度変化の影響を受けるため、孔内水の分布に関連して固有誤差が変化することがある。

そこで、室内や現場にて挿入式孔内傾斜計の測定と同時に孔内の温度の測定を行うなど、孔内の温度に関する測定実験を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製
- ・実施箇所：室内（検定孔）、現場（中山地すべり、Bダム）
- ・実施方法：挿入式孔内傾斜計の測定と同時に孔内の温度の測定を行う

#### 3.2.3.1 室内実験

##### (1) 応用地質(株)製

##### ①方法

ガイド管の中の孔内水による温度の変化測定や測定結果への影響を把握するため、3.2.1と同じ機材を用いて検定孔を使用して、挿入式孔内傾斜計の測定と同時に孔内の温度の測定を行った。測定深度は20mとし、孔内の水位は自然状態(GL-8.81m)であった。プレヒートと孔底保持は30分以上行った。実験の模式図を図3.23に、実験状況の写真を写真3.7に示す。



図 3.23 孔内水の影響実験の模式図  
(室内実験、応用地質(株)製)

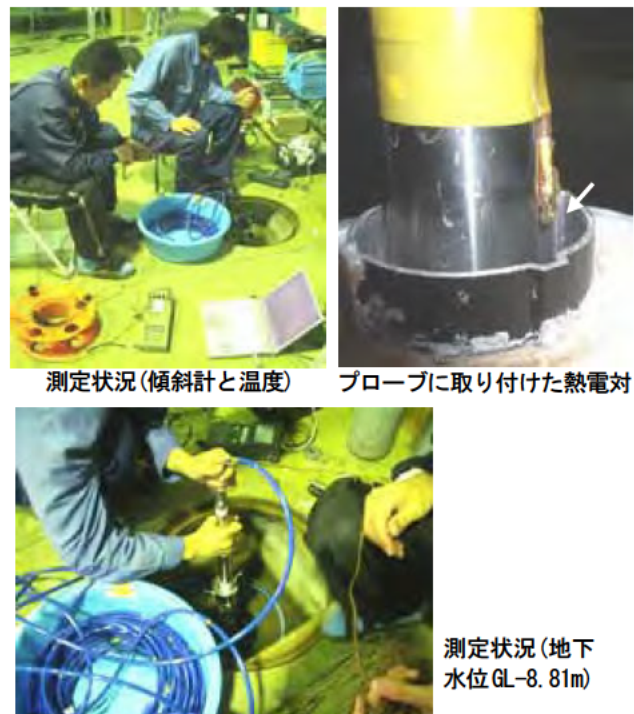


写真 3.7 孔内水の影響実験の状況



## 結果

孔内温度と挿入式孔内傾斜計の固有誤差の分布を図 3.24 に示す。孔内の温度は、孔内水がある区間はほぼ 15 であるが水面(GL-8.81m)から深度 5m までは 1 程度上昇し、深度 5m から 0m まではより上方は逆に 1.5 程度低下する(上の )。また、0° 方向と 180° 方向の測定を比較すると、孔内水がある区間はほぼ同じであるが、水面より上方は全体に 0.3 程度高い(プローブの発熱と考えられるが詳細は不明)。なお、孔底付近が 1 程度高い理由は、孔底保持によりプローブが発した熱が周辺に伝わったためと考えられる(下の )。

なお、固有誤差は A 軸・B 軸とも概ね一定であり、固有誤差の標準偏差もそれぞれ 3.2, 2.9 と基準内であり、観測精度に問題はないと判断される(基準は 5 以下)。

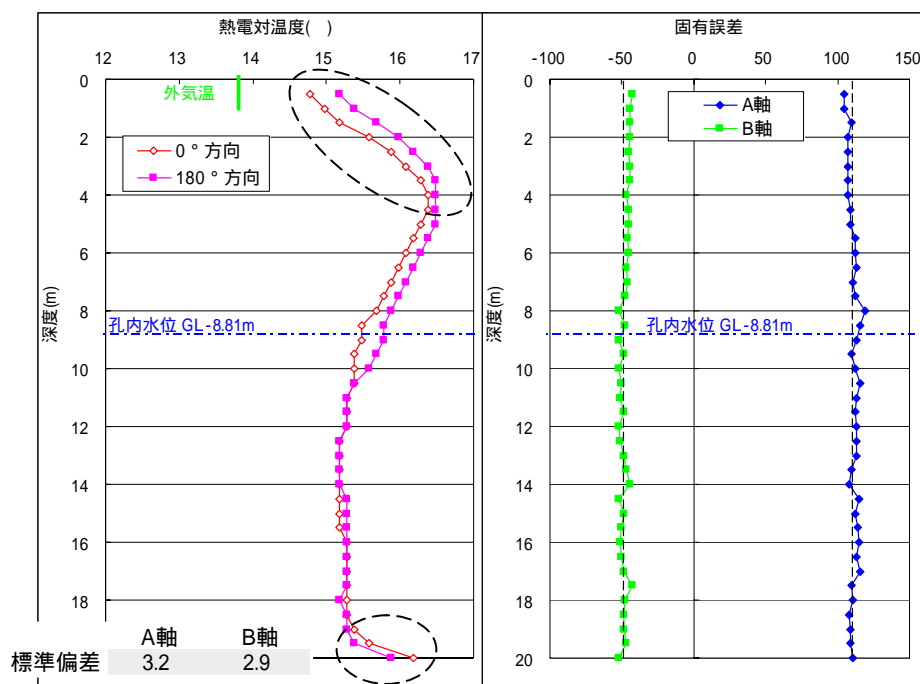


図 3.24 孔内温度と挿入式孔内傾斜計の固有誤差分布図 (室内実験、応用地質(株)製)

## まとめ

先の温度変化の実験により、孔内の温度の変化は指示値に影響することが確認されている。ガイド管の中の温度は、孔内水位の変化(地下水位のことが多い)に伴う孔内温度の変化(気温の影響による季節変化(地表から約 5m の範囲)により、測定毎に変化する可能性がある。すなわち、 の理由で温度が変化した場合、測定結果に影響する可能性があるといえる。しかし による測定結果への影響については、実際の観測作業で防ぐことは困難である。

したがって、ガイド管に孔内水が分布する場合は、手ばかり式水位計や周辺の地下水位観測孔の水位データから水位の位置を確認することが望しい。また、挿入式孔内傾斜計の測定結果を評価する際は、孔内水の位置や固有誤差・累積変位図、およびボーリングコア状況を合わせて総合的に解釈する必要があるといえる。

④冷水の連続注水の特珠条件（参考）

ガイド管の中の孔内温度が大きく変わった場合について、測定結果への影響を把握するために 3.2.1 と同じ資機材を用いて、挿入式孔内傾斜計の測定と同時に孔内の温度の測定を行った（図 3. 25、写真 3. 8）。その結果、孔内の温度は、水温 7.8℃の冷水を注水している地表に付近ほど低く、0°方向と 180°方向の測定を比較すると、注水時間の影響により後で計った 180°側が全体に低い（図 3. 26）。また、固有誤差は温度の変化が大きい 12m より上方の区間の変化が大きい。先に述べた温度特性の影響により、固有誤差が全体に変化しているため、標準偏差は基準の 5 を超えている（このような条件での測定は行われぬ）。

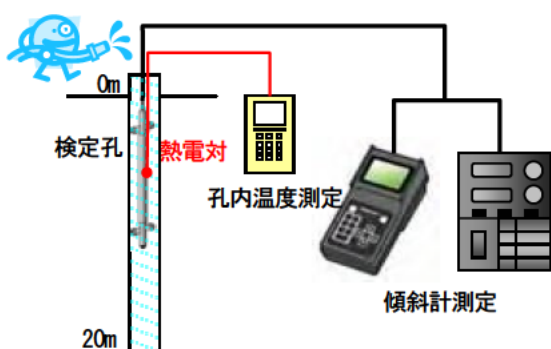


図 3. 25 孔内水の連続注水実験の模式図（室内実験、応用地質株式会社）



写真 3. 8 連続注水測定実験の状況

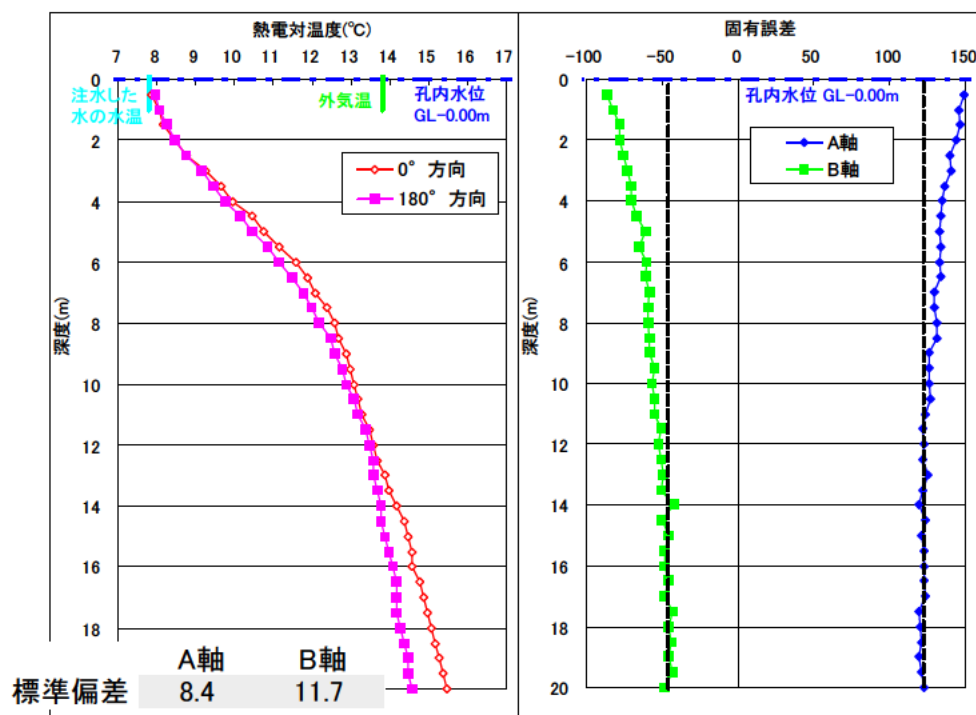


図 3. 26 注水状態の孔内温度と挿入式孔内傾斜計の固有誤差分布図（室内実験、応用地質株式会社）

⑤孔内温度が異なる測定条件の累積グラフ（参考）

自然状態を初期値、注水状態を観測値として累積変位図を作成するとグラフはほぼ重なる（図 3.27）。倒れ込みの量は、10m あたり 1mm 以下であるため基準内である。これは、反転作業により固有誤差がほぼ相殺されて、測定結果に温度の影響が影響しなかったためである。孔内温度が 0°方向と 180°方向で異なった場合や、計測器の温度特性が観測期間で変化した場合などは、孔内温度の違いが累積変位図に影響する可能性が考えられる。

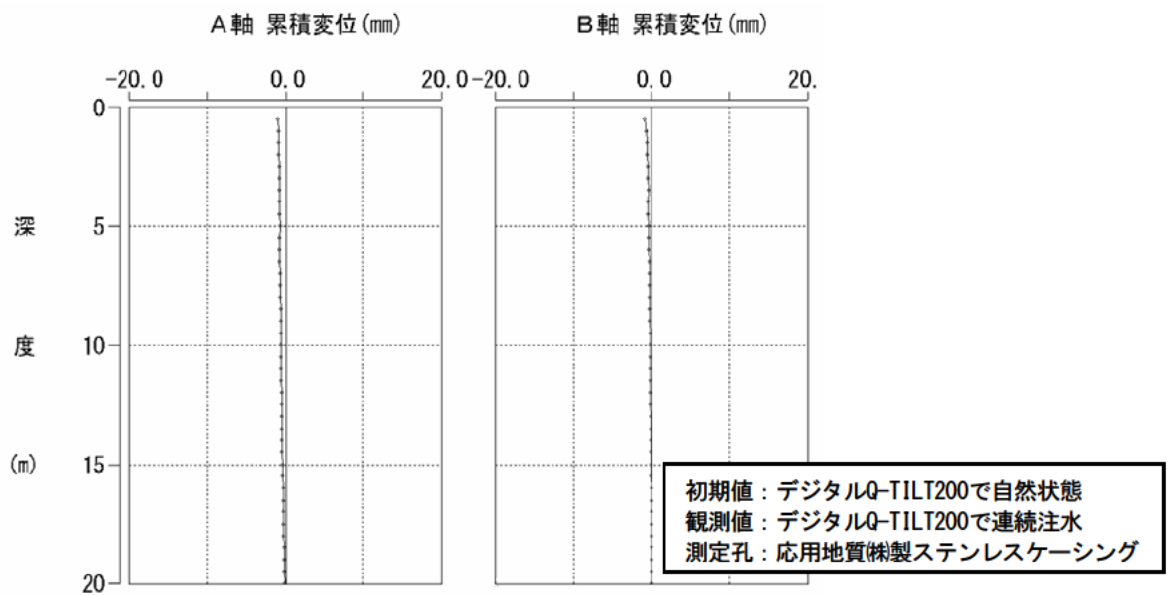


図 3.27 温度条件が異なる測定の累積変位図（室内実験、応用地質(株)製）

## (2) 坂田電機株製

### ①方法

ガイド管の中の孔内水による温度の変化測定および測定結果への影響を把握するため、3.2.1と同じ機材を用いて検定孔を使用して、挿入式孔内傾斜計の測定と同時に孔内の温度の測定を行った。測定深度は30mとして孔底保持は30分以上行った、孔内の水位は自然状態(孔口-12.4m)であった。実験の模式図を図3.28に示す。

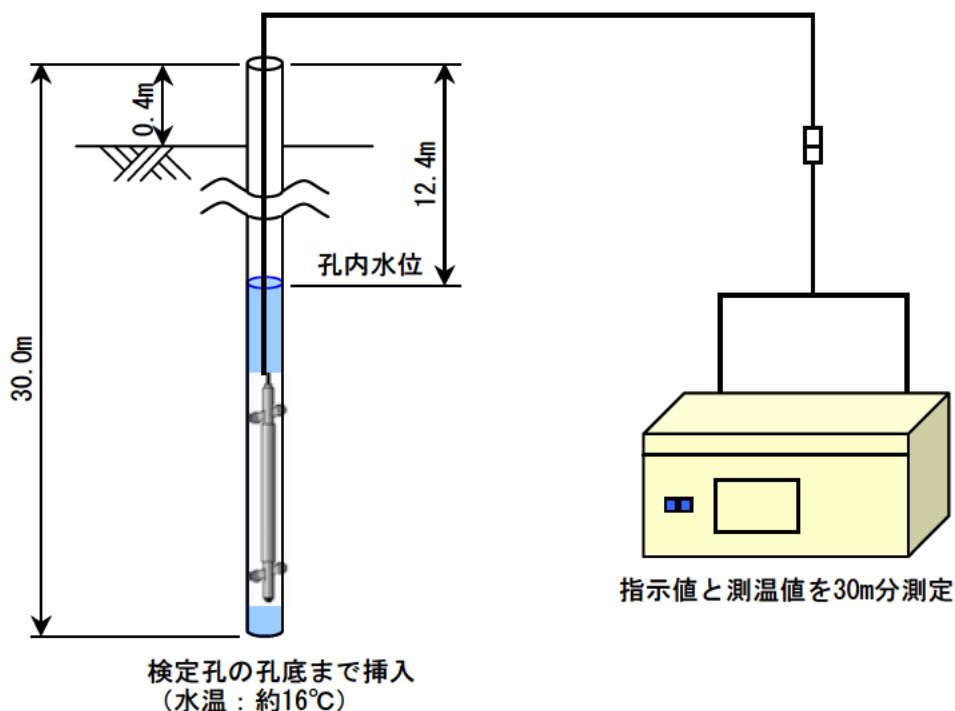


図 3.28 孔内水の影響確認実験の模式図 (室内実験、坂田電機株製)

### ②結果

孔内の温度は、孔底で約 16°Cであった。孔口-10.0m の位置までは深度が浅くなるに連れ除々に上昇する傾向を示した。その上昇温度は、約 1.0°C。孔口-10.0m から-3.0m までは一定で 17°Cを示した。孔口-3.0m から 0m までは逆に、温度が 0.3°C程度低下する傾向を示した。

図 3.29 に孔内の温度分布と平均偏差の確認グラフを示す。B 軸の最上部の平均偏差は、基準を逸脱しているが、最上部は安定していないため無視する。その他は、A 軸・B 軸とも孔内水の有無に関わらずほぼ一定の値を示しており、その値も基準内にあるため観測精度に問題はないものと推測される (基準は、 $\pm 0.2\text{mm}$  以内)。

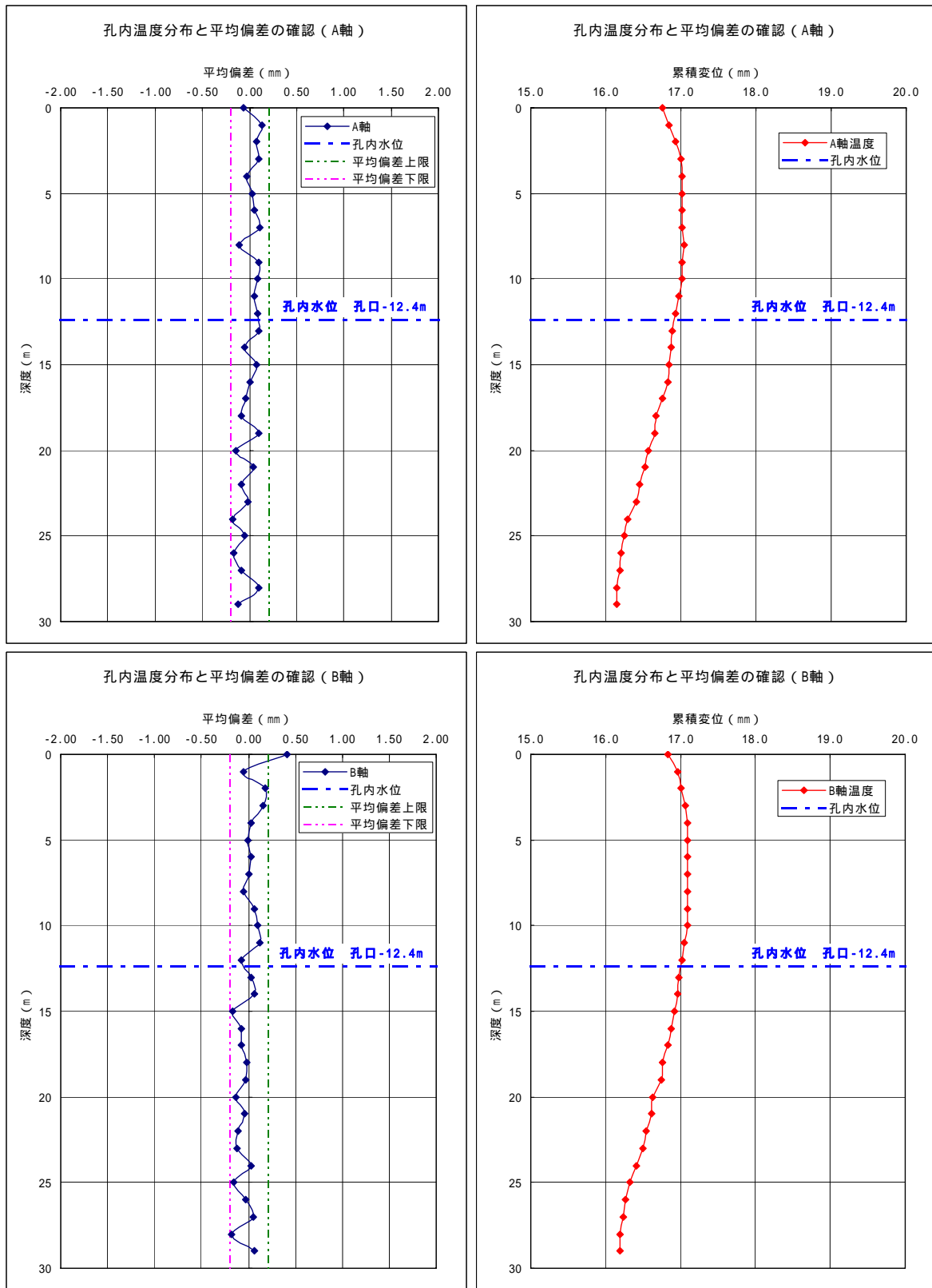


図 3.29 孔内の温度と平均偏差の確認 (室内実験、坂田電機株式会社)

### 3.2.3.2 現場実験

#### (1) 中山地すべり

孔内水の有無による測定結果への影響を把握するため、3.2.1.2 と同じ機材を使用して深度 22m 付近に孔内水のある H20B-1、孔内水の無い H20B-2～3 孔で測定を行った。

各孔の累積変位図と固有誤差のグラフを図 3.30 に示す（傾向が明瞭な B 軸を表示）。H20B-1 は孔内水位の有無で固有誤差が 10 程度変わっており、その境界は約 5m の間で変化している。H20B-2～3 は固有誤差の明瞭な変化は認められない。前述の H20B-1 グラフを良く見ると、（基準内ではあるが）孔内水の分布深度を境にして傾倒の程度がわずかに変化している。

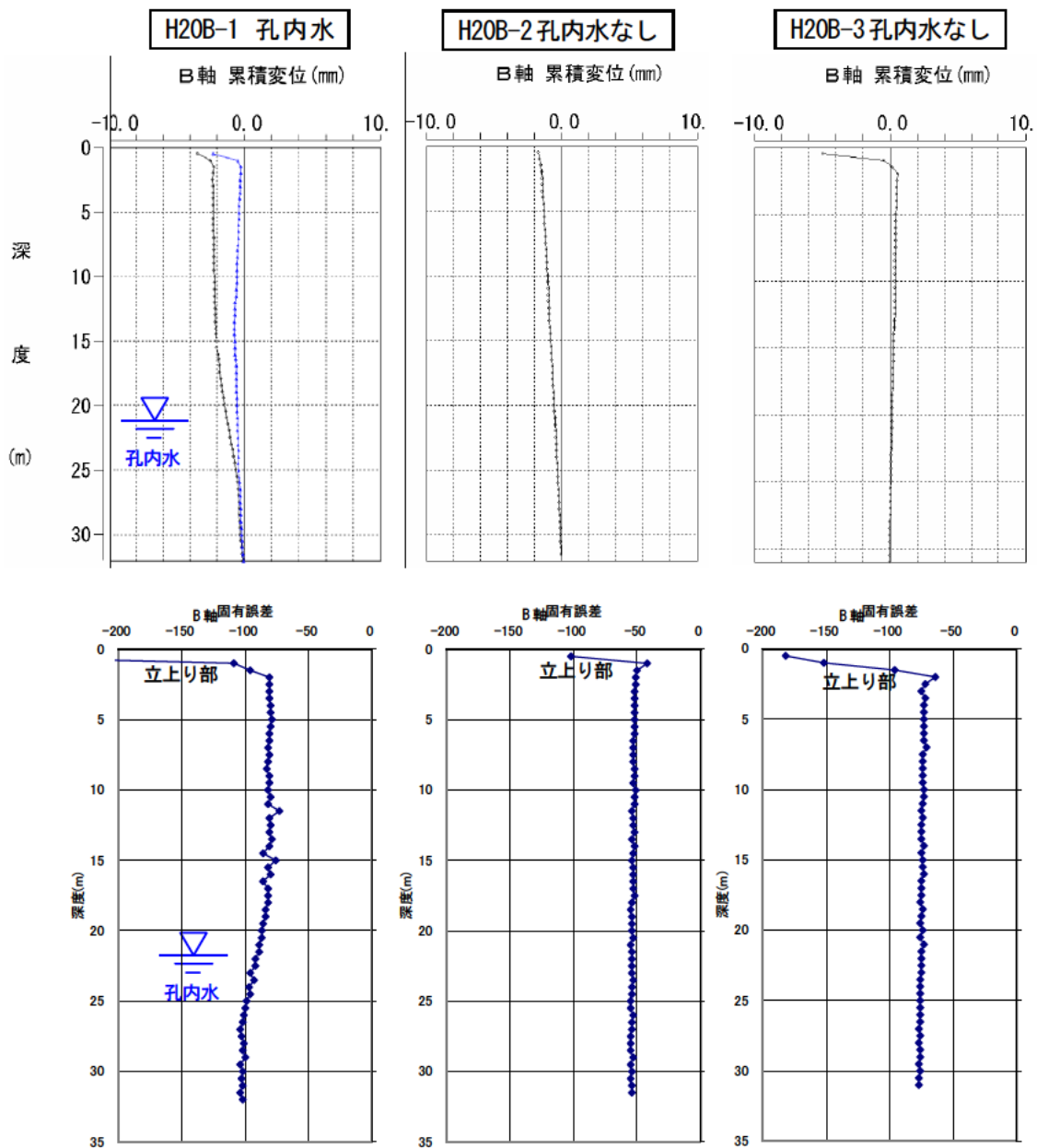


図 3.30 孔内水位が異なる観測孔の累積変位図と固有誤差分布図（現場実験、応用地質株式会社）

(2)B ダム

孔内の温度差が小さい場合は測定時の反転作業により温度の影響による固有誤差の変化はほぼ相殺されるが、孔内の温度差が大きい冬期や夏期には、正方向・反転方向の測定時の温度差が大きくなることもある（経験的に、孔内水の分布深度付近で累積変位図が変化することが多い）。貯水池に面する当該地は、人工的な水位の変動があることに加えて上流の山地から流れてくる雪解け水が孔内温度に影響していると考えられた（湖面と観測孔との水平距離約 40m）。そこで、孔内温度の測定を行って挿入式孔内傾斜計観測結果に対する温度の影響について検討を行った。

図 3.31 に左側から定期観測の累積変位図、孔曲がり図、固有誤差、および孔内温度の測定結果図を並べて示す。その結果、固有誤差と孔内温度のグラフの形状が類似しているが、累積変位図とは対応していない。このことは、測定値（固有誤差）は温度の影響を受けて変化しているが、正方向・反転方向測定時の孔内温度がほぼ同じであったため、変化した固有誤差が反転作業で相殺されることにより累積変位図には温度変化の影響は受けなかったことを示す。

なお、5 月に計測を行った本実験では影響はなかったが、孔内と気温の温度差がより大きい夏期や厳冬期には影響が出やすい状態になると考えられる。したがって、挿入式孔内傾斜計のデータを解釈する際には、固有誤差と累積変位図の形状については注意して比較する必要があるといえる。

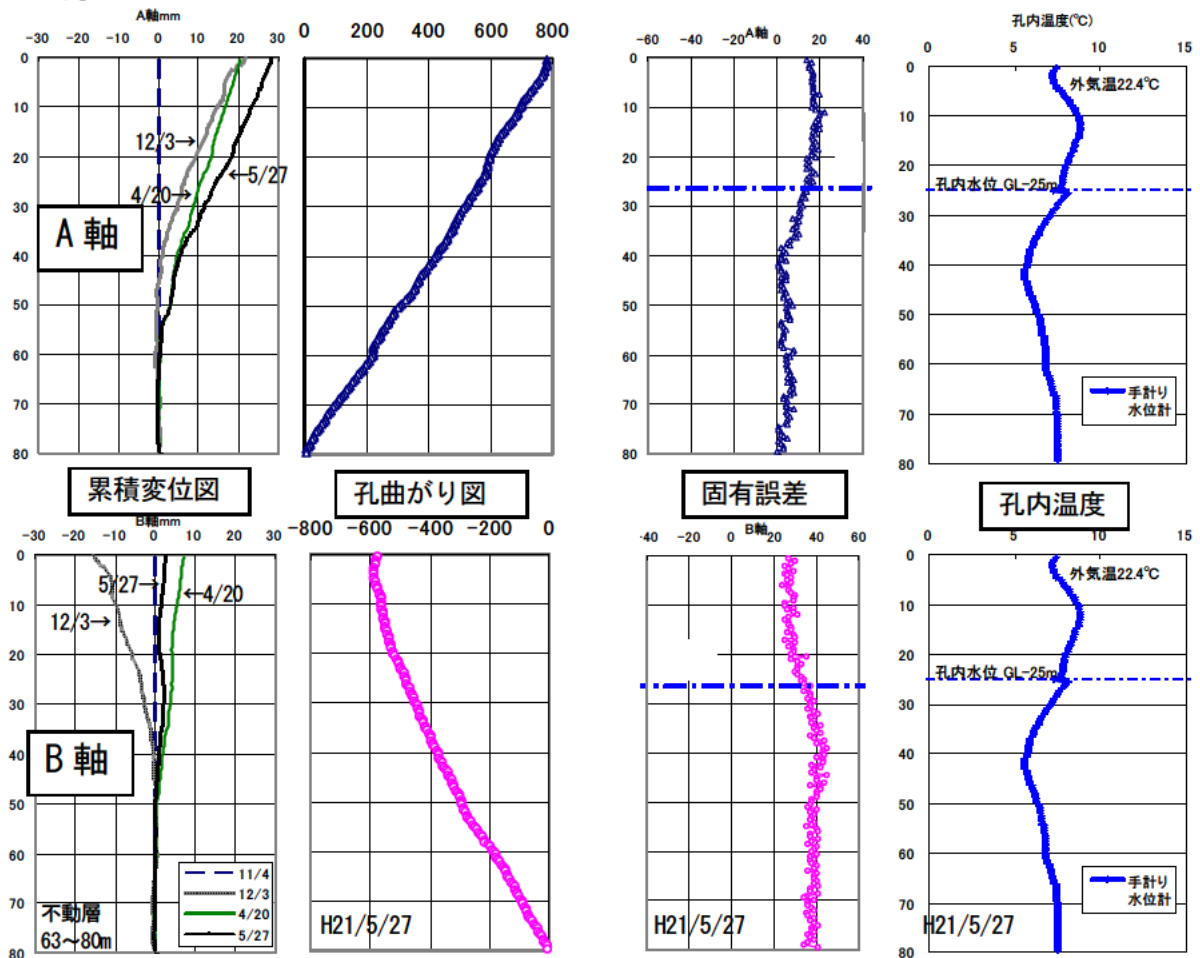


図 3.31 温度に関する各種実験結果 (B ダム、応用地質(株)製プローブ)

### 3.2.4 温度特性の影響に対する考察

温度特性はプローブのセンサ単体の温度特性に加え、センサ周辺の構造によりプローブごとに異なる。本節ではプローブの温度特性の影響についてメーカーごとに考察する。

#### (1) 応用地質株式会社

3.2.1～3.2.3の温度に関する各実験について、傾斜量の経時変化図をA軸・B軸で分けて作成した図を図3.32に、一覧表を表3.5に示し、各軸の特徴を以下に述べる。

- ・A軸の特徴は、変化量および安定化の時間は、プレヒートがもっとも小さく50→15がもっとも大きい。変化の傾向は、プレヒートと0→15が類似している。変化量は15分程度でほぼ一定の勾配になり40分程度で一定の値となる。
- ・B軸の特徴は、変化量はプレヒートが小さく、安定するまでの時間は0→15が最も小さい。変化の傾向は、10分経過後から途中から50→15とプレヒートが類似した傾向を示す。変化量は20～30分程度でほぼ一定の勾配になり0→15以外は一定の値になるまで50分程度必要である。

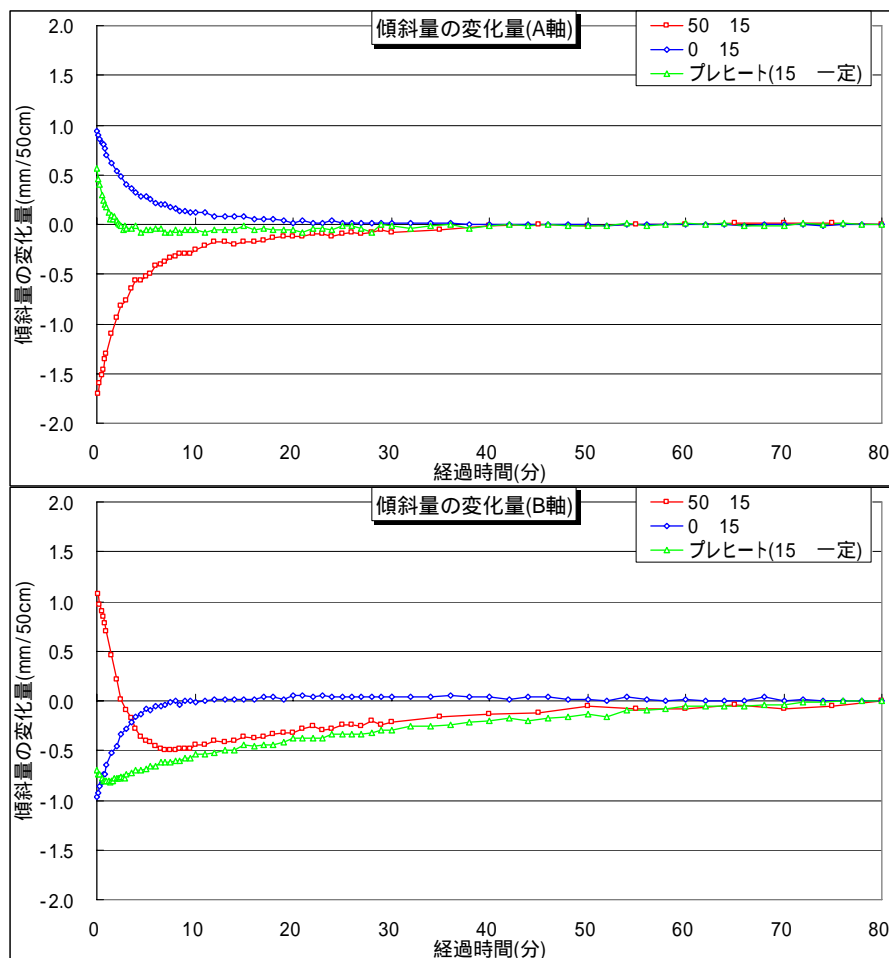


図 3.32 温度に関する実験の傾斜量変化の経時変化図（室内実験、応用地質株式会社）



表 3.5 温度変化実験結果一覧表（室内実験、応用地質株製）

|     | 15 一定(プレヒート)  | 0→15 (冬期想定)   | 50→15 (夏期想定)  |
|-----|---|---|---|
| A 軸 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>2.5分</u>で約 30 カウント下がる</li> <li>・その後は<u>一定</u></li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>15分</u>で約 40 カウント下がりその後は<u>一定</u></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・10分 で約 70 カウント上がる。</li> <li>・<u>30分</u>までさらに 10 カウント上がり、その後は<u>一定</u></li> </ul>                            |
| B 軸 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・30分 で約 20 カウント上がる。</li> <li>・<u>30分経過</u>後は 80 分まで<u>一定で上がり</u>、約 15 カウントの変化</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>10分</u>で約 50 カウント上がりその後は<u>一定</u></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・10分 で約 80 カウント下がりその後上昇に転じる。</li> <li>・<u>15分経過</u>後に 50 分までに約 20 カウント<u>一定で上がり</u>、その後は<u>一定</u></li> </ul> |

孔内の温度の変化は指示値に影響するが、実際の観測作業で防ぐことは困難である。地すべり地では孔内水が観測孔の途中に分布することが多いことから、挿入式孔内傾斜計の測定結果を評価する際は、孔内水の位置や固有誤差・累積変位図、およびボーリングコア状況を合わせて総合的に解釈する必要があるといえる。

## (2) 坂田電機株製

3.2.1, 3.2.3 の温度に関する各実験について、指示値・測温値の経時変化図を A 軸・B 軸で分けて作成した図を図 3.33 に、一覧表を表 3.6, 孔底保持時間の違いによる累積変位（最大値）への影響を表 3.7 に示し、各軸の特徴を以下に述べる。

- ・A 軸の孔底到着から指示値が安定するまでに要した時間は、0 16 の場合約 10 分、50 16 の場合約 20 分であった。このことから、温度差が大きいほど指示値の安定時間に影響されるのではないかと推測される。なお、累積変位への影響はほとんど見られなかった。
- ・B 軸の孔底到着から指示値が安定するまでに要した時間は、0 16 の場合約 20 分、50 16 の場合約 30 分であった。A 軸と比較すると、指示値が安定するまでに時間を要することが分かった。なお、累積変位への影響はほとんど見られなかった。

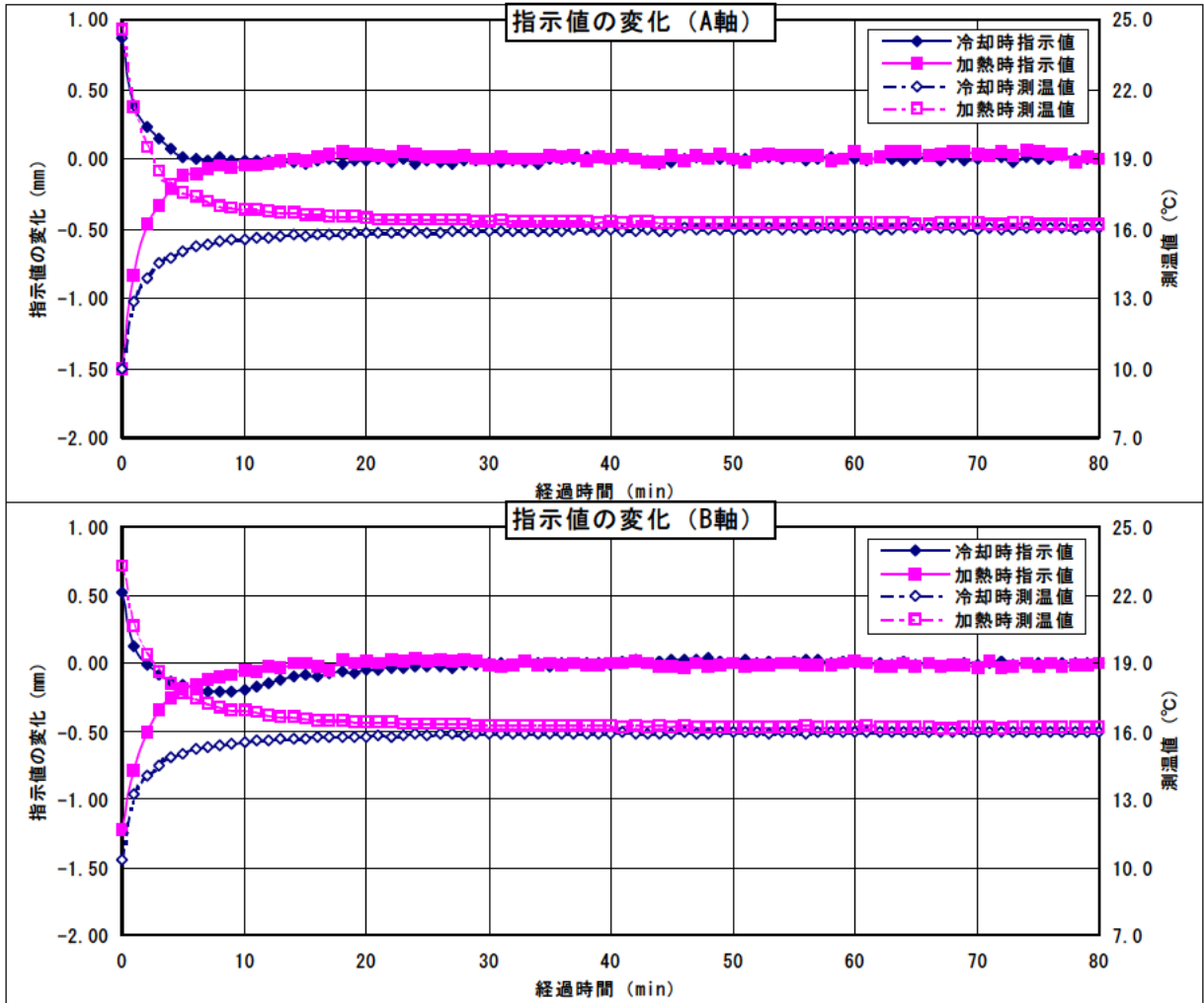


図 3.33 温度に関する実験の指示値変化の経時変化図（室内実験、坂田電機株式会社）

表 3.6 温度変化実験結果一覧表（室内実験、坂田電機株式会社）

| 測定軸 | 0→15℃（冬期想定）   | 50→16℃（夏期想定）   |
|-----|---|--|
| A 軸 | <ul style="list-style-type: none"> <li>10分で約0.9mm-方向へ変動し、その後は一定。</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>5分で約1.4mm+方向へ変動。</li> <li>30分までに0.2mm+方向へ変動し、その後は一定。</li> </ul>   |
| B 軸 | <ul style="list-style-type: none"> <li>8分で約0.7mm-方向へ変動。</li> <li>8分から30分までは約0.2mm+方向へ変動し、その後は一定。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5分で約1.0mm+方向へ変動。</li> <li>20分までさらに0.2mm+方向へ変動し、その後は一定。</li> </ul> |

表 3.7 孔底保持時間の違いによる累積変位への影響（室内実験、坂田電機株式会社）

| 測定軸 | 通常測定時  | 5分後     | 10分後    | 20分後   | 60分後   |
|-----|--------|---------|---------|--------|--------|
| A 軸 | 0.00mm | -1.11mm | -0.63mm | 0.91mm | 0.70mm |
| B 軸 | 0.00mm | 1.44mm  | 1.42mm  | 1.30mm | 0.40mm |

孔内の温度の変化は指示値に影響することが知られているが、実際の観測作業で防ぐことは困難である。地すべり地では孔内水が地山の平均地下水位と連通して観測孔の途中に分布することが多いことから、挿入式孔内傾斜計の測定結果を評価する際は、孔内水の位置や平均偏差・累積変位グラフ、およびボーリングコア状況を合わせて総合的に解釈する必要があるといえる。

以上により、応用地質株式会社や坂田電機株式会社製プローブが有する温度特性の影響を小さくして、良好なデータを得るための留意点をまとめる。

#### 良好なデータを得るための留意点

- ・ 孔底保持は最低 15 分で 30 分以上 推奨(応用地質株式会社製、プレヒート + 温度の影響)。
- ・ 孔底保持は最低 20 分で 30 分以上 推奨とする(坂田電機株式会社製、B 軸のなじみに時間がかかるため)。
- ・ A 軸が B 軸より安定しやすい。B 軸も A 軸と同様の高い精度が必要な場合(微小なすべり面変位を捉える必要が有など)はガイド管の B 軸をプローブの A 軸で測定する。
- ・ 孔内温度と外気温との差が大きいほど変化量が大きいので、厳冬期や猛暑日はデータの安定に注意する。
- ・ 孔内水の位置、固有誤差・平均偏差、累積変位図、コア状況などを総合的に解釈する。

### 3.3 プローブとガイド管の組合せ

挿入式孔内傾斜計観測におけるガイド管とプローブの組合せは、同じメーカーとすることが推奨されているが、発注形態の事情などにより別のメーカーの組合せで計測を行なわなければならないことが見受けられた。そこで、各機材の緒元を調べるとともに、組合せを変えたケースの実験を行った。影響については、組み合わせの違いの差がばらつきとして出やすいと考えられる、固有誤差の比較にて検討を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質(株)製、SINCO 製      ・実施箇所：室内（検定孔）
- ・実施方法：プローブの車輪先端幅とガイド管の溝幅の組合せを替えて測定

#### (1) ガイド管とプローブの資料収集

国内製のガイド管とプローブの資料収集を行った（写真 3.5～3.6）。ガイド管の溝幅は、東京測器研究所製の 6mm を除いてすべて 3mm、溝角度は 48～65° の範囲であった。また、プローブの車輪の先端幅や角度はデータの提供は不可であった(企業秘密)。なお、ガイド管の溝幅が異なる東京測器研究所では、他社のガイド管の測定を行う際にはプローブの車輪を幅の狭いものに交換して対応しているとのことであった。

表 3.5 国内のガイド管一覧（平成 21 年 9 月現在）※

| 製品名          | メーカー       | 外径a   | 内径b   | 溝幅c | 溝角度d |
|--------------|------------|-------|-------|-----|------|
| 塗装ケーシング      | 応用地質(株)    | 46.50 | 43.50 | 3   | 48   |
| アルミガイドパイプ    | (株)共和電業    | 55.60 | 52.40 | 3   | 51   |
| 傾斜計用アルミケーシング | 川崎興業(株)    | 46.15 | 43.15 | 3   | 60   |
| 測定管          | 坂田電機(株)    | 52.00 | 48.00 | 3   | 65   |
| アルミガイドパイプ    | (株)測商技研    | 46.00 | 43.00 | 3   | 60   |
| アルミガイドパイプ    | (株)測商技研北陸  | 48.00 | 44.00 | 3   | 60   |
| アルミガイド管      | (株)東京測器研究所 | 52.00 | 49.00 | 6   | 50   |
| アルミ測定管       | (株)千葉測器    | 49.00 | 45.00 | 3   | 60   |

※地すべり計測で使われるアルミ製のφ50mm程度の製品      実寸またはカタログ値

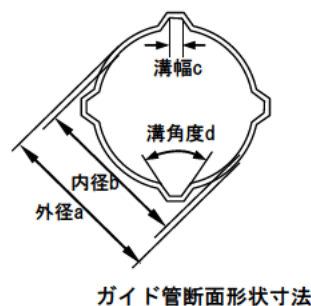


表 3.6 国内の挿入式孔内傾斜計製品一覧（平成 21 年 10 月現在）

| 製品名           | メーカー       | 傾斜センサの変換方式  | 車輪間隔         | 備考                    |
|---------------|------------|-------------|--------------|-----------------------|
| デジタルQティルト-200 | 応用地質(株)    | サーボアクセロメータ式 | 50cm         | ±30°、2軸               |
| BK-G          | (株)共和電業    | 歪変換式        | 50cm         | ±5,10°、2軸             |
| EIN-5000G     | 坂田電機(株)    | 差動トランス式     | 50cm(25cmも有) | ±2.5,5,10、1軸(±30°、2軸) |
| DRK-40MMW     | (株)千葉測器    | 差動トランス式     | 50cm         | ±5,30°、1軸・2軸          |
| KB-GC、KB-HC   | (株)東京測器研究所 | 歪変換式        | 50cm         | ±5,10°、1軸・2軸          |
| DC-300I       | (株)東横エルメス  | 差動トランス式     | 45～55cm      | ±5°、2軸、角型鋼製管専用        |

車輪の規格は資料入手不可

## (2) 組合せ実験

国内製品はガイド管の溝幅が 3mm のものがほとんどであり、プローブも同様の規格で製作されていると考えられる。そこで、車輪の先端幅が狭い米国 SINCO 社 (Slope Indicator Company) のプローブを用いて、国内製のガイド管を測定し、ガイド管とプローブの組合せが異なる場合の測定値への影響について確認した。なお、マニュアル (案) では国内製品を対象にしているので、SINCO 製の使用については特に考慮していない。

### ①方法

測定は、図 3.34 のプローブとガイド管の組合せで応用地質(株)の検定孔 (写真 3.9、ステンレスケーシング) で深度 20m の測定を行い、固有誤差の標準偏差 (ばらつき) の比較を行った。

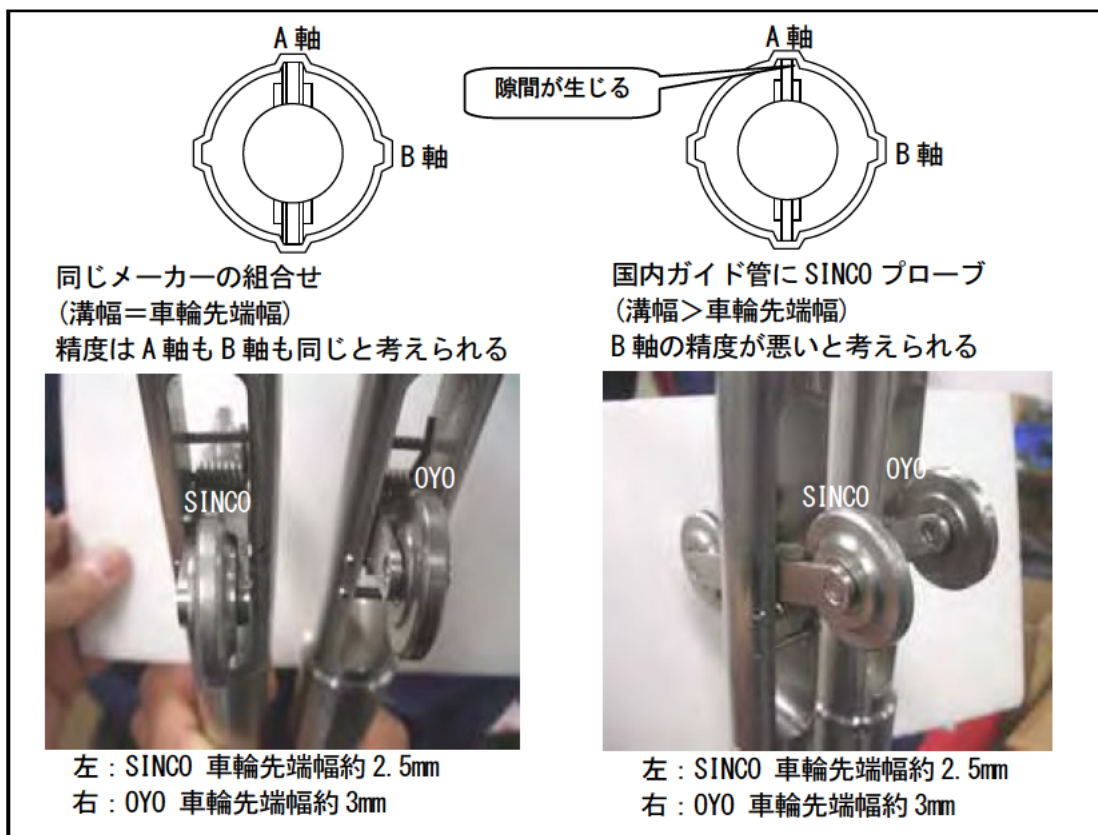


図 3.34 組合せ実験に用いたプローブ



写真 3.9 測定孔の状況 (応用地質(株)の検定孔、ステンレスケーシング)

2)結果

車輪先端幅と溝幅を変えた測定による固有誤差分布図を図 3.35 に示す。同じ組合せは A 軸・B 軸の固有誤差がほぼ同じであるのに対し、車輪先端の幅が狭い組合せの場合は、B 軸の精度がやや低い結果が得られた。なお、固有誤差の標準偏差の基準値は 5 以下であることから、双方とも測定作業や計測器に問題はない。

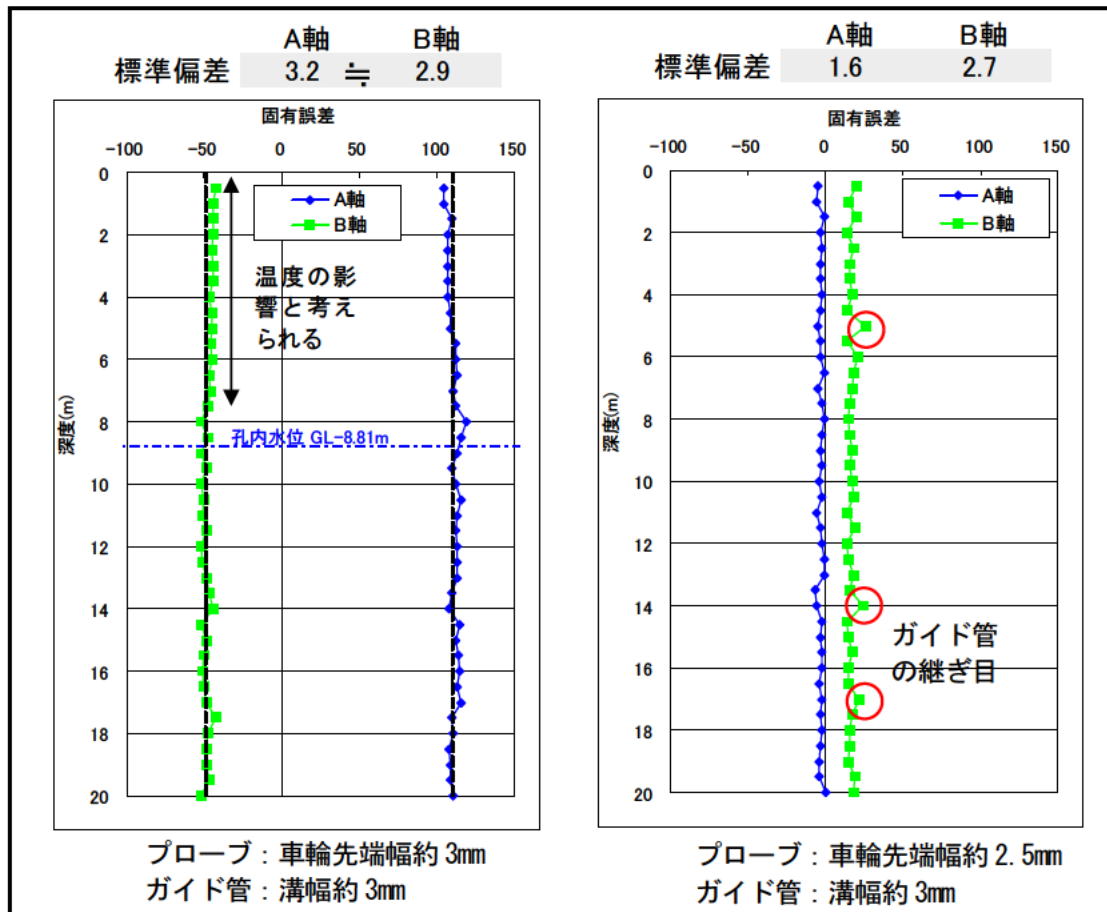


図 3.35 プローブとガイド管の組合せ測定による固有誤差の分布

(3) 既存データによる固有誤差検討

①中山地すべり

中山地すべりでは、プローブと車輪幅は図 3.36 のような同じ幅の組合せで定期観測を行っている。08/12～09/2 の定期観測について、固有誤差の標準偏差を表 3.7 に示す。バラツキはあるものの、現場測定においても A 軸と B 軸の固有誤差の標準偏差は平均するとほぼ同じである。

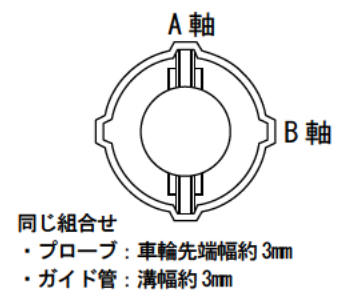


図 3.36 中山地すべりの観測のプローブとガイド管の組合せ

表 3.7 固有誤差標準偏差一覧表（中山地すべり、同じ組合せ）

| 回数  | 年月日      | H20B-1(31.5m) |     | B20B-2(31.5m)   |     | H20B-3(30.5m) |     | 備考      |
|-----|----------|---------------|-----|-----------------|-----|---------------|-----|---------|
|     |          | A軸            | B軸  | A軸              | B軸  | A軸            | B軸  |         |
| 1   | 08/12/27 | 5.2           | 5.2 | 4.1             | 4.2 | 2.3           | 3.4 | 初期値1回目  |
|     | 08/12/27 | 4.3           | 3.4 | 2.0             | 2.4 | 2.1           | 3.3 | 初期値2回目  |
| 2   | 09/1/27  | 3.0           | 2.7 | 2.2             | 2.0 | 1.6           | 2.9 | 定期観測1回目 |
|     | 1.8      |               |     |                 |     | 2.3           |     |         |
| 3   | 09/2/23  | 4.1           | 3.7 | 4.3             | 3.5 | 3.4           | 2.8 | 定期観測2回目 |
| 4   | 09/2/23  |               |     |                 |     | 1.6           | 3.0 |         |
| 平均値 |          | 4.2           | 3.8 | 3.1             | 3.0 | 2.1           | 3.0 |         |
|     |          | A軸            | B軸  | ←H20B-1～B-3孔の平均 |     |               |     |         |
|     |          | 3.1           | 3.3 |                 |     |               |     |         |

②自社データ

応用地質㈱の自社データを使用して、図 3.37 のようにプローブの車輪先端幅とガイド管溝幅の組合せを替えた測定について、固有誤差の標準偏差を算出して測定結果のバラツキの比較を行った。集計の対象はそれぞれ 10 データとし、同じ測定者（熟練者）が同じ観測孔を用いて同じ深度の測定を行ったものである。

固有誤差の標準偏差の一覧表を表 3.8 に、A,B 軸に分けてプロットした分布図を図 3.38 に示す。A 軸の標準偏差はおおむね同じであるが、B 軸の標準偏差はプローブが狭い組合せの方が明らかに大きい。



※1 同じ組合せ

- ・プローブ：SINCO、車輪先端幅約 3mm
- ・ガイド管：OYO、溝幅約 3mm

※2 プローブが狭い組合せ

- ・プローブ：SINCO、車輪先端幅約 2.5mm
- ・ガイド管：OYO、溝幅約 3mm

図 3.37 自社データのプローブとガイド管の組合せ

表 3.8 固有誤差の標準偏差一覧表

|    | 同じ組合せ※1   |     | プローブが狭い組合せ※2 |     |
|----|-----------|-----|--------------|-----|
|    | 固有誤差の標準偏差 |     | 固有誤差の標準偏差    |     |
|    | A軸        | B軸  | A軸           | B軸  |
| 1  | 1.7       | 2.1 | 3.6          | 8.9 |
| 2  | 1.6       | 1.7 | 3.7          | 7.4 |
| 3  | 1.9       | 3.3 | 2.2          | 2.5 |
| 4  | 1.9       | 2.2 | 2.0          | 2.5 |
| 5  | 2.5       | 2.2 | 1.8          | 4.8 |
| 6  | 2.2       | 2.4 | 1.8          | 5.1 |
| 7  | 2.0       | 2.3 | 2.4          | 6.1 |
| 8  | 2.2       | 2.7 | 2.4          | 5.7 |
| 9  | 2.0       | 2.3 | 2.2          | 4.3 |
| 10 | 2.4       | 2.8 | 2.0          | 4.4 |
| 平均 | 2.0       | 2.4 | 2.4          | 5.2 |

※1 OYO3mmガイド管、sinco3mmプローブ、測定深度16m

※2 OYO3mmガイド管、sinco2.5mmプローブ、測定深度16m

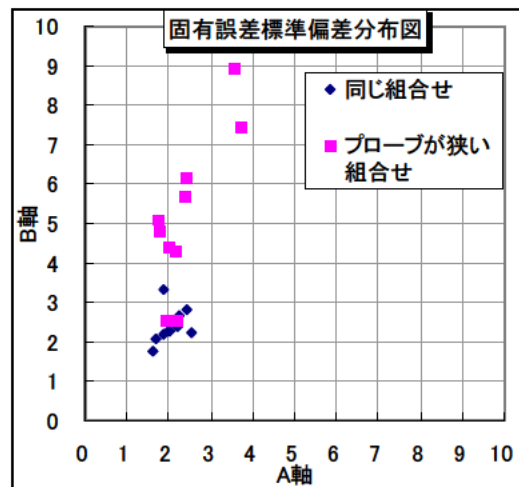


図 3.38 固有誤差の標準偏差分布図

図 3.39 に、プローブの車輪幅とガイド管の溝幅が異なる組合せが異なる 10 データについて、固有誤差の分布図を示す。A 軸に比べて B 軸の固有誤差がばらついているものが多いことが読み取れる。

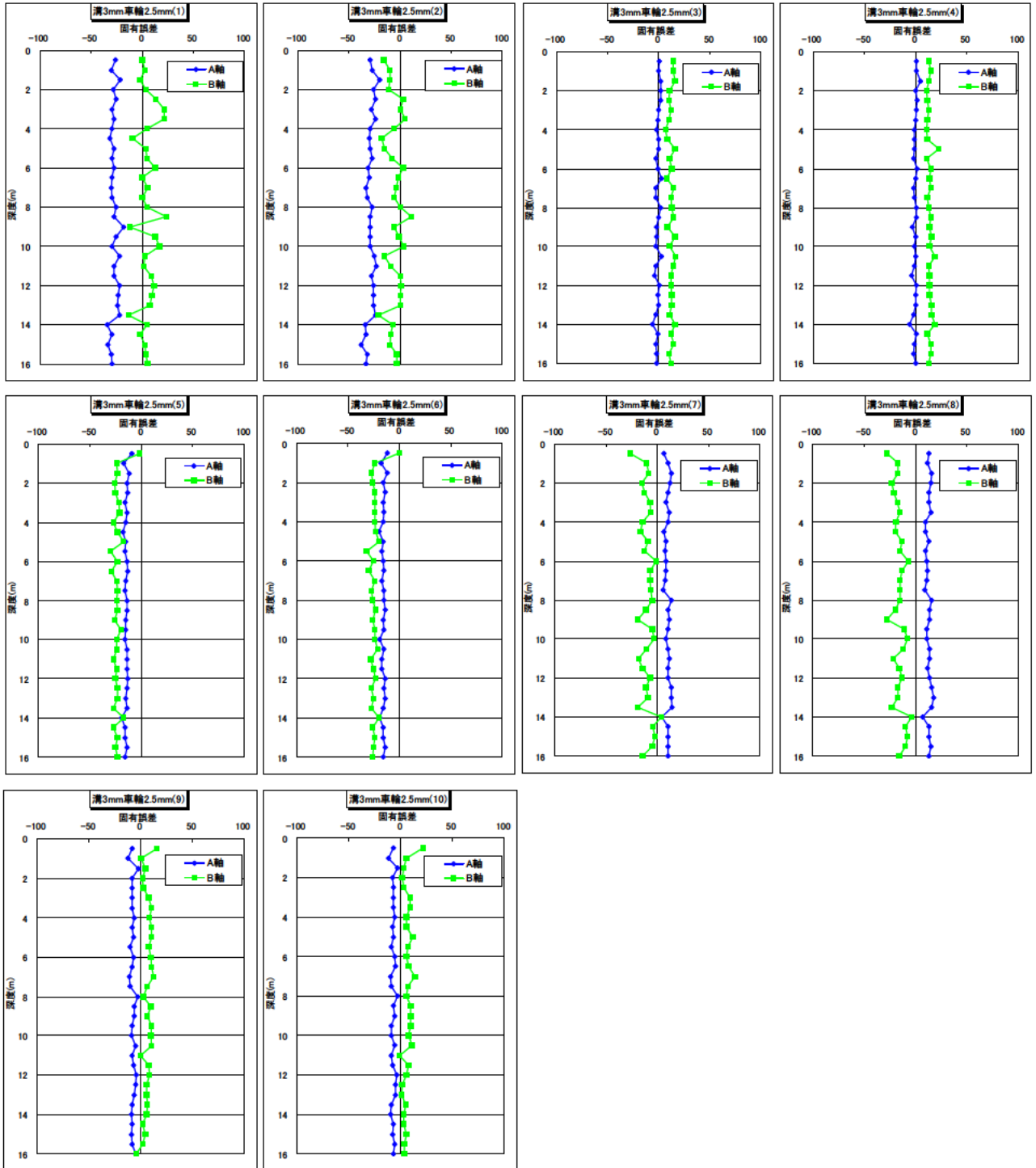


図 3.39 プローブの車輪とガイド管の溝の幅が異なる組合せの固有誤差データ



#### (4) まとめ

挿入式孔内傾斜計の測定は、ガイド管と同じメーカーのプロープとすることが原則であるが、業務の発注などの都合上、プロープの種類を指定することはできない。マニュアルには「ガイド管とプロープの組合せは同じメーカーのものを用いるか、あるいはガイド管の溝とプロープの車輪の幅が異なる場合は、プロープの車輪を交換するなどしてガイド管の溝の幅と合わせる必要がある」と記載する方針とする。

#### (5) 盛替えをしない場合の測定結果（参考）

異なるメーカーの測定器で同じ測定孔を測定した観測結果を図 3.40 に示す。B 軸はほぼ一致したが、A 軸は深度 20m で 25mm 以上の傾倒が発生した。別の測定器で計測した場合、グラフが重ならないことが通常であるため B 軸は偶然重なったものといえる。

マニュアル（案）で述べている通り、測定器を変えた場合や修理した場合は初期値にすることが確認できた。

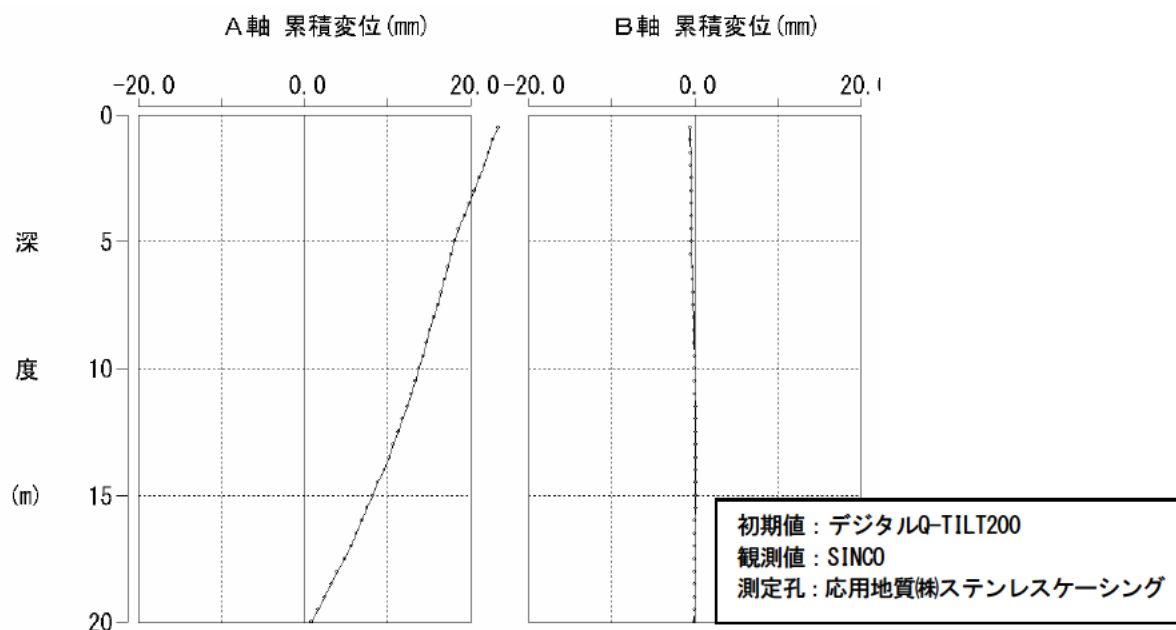


図 3.40 計器を変更して盛り替えない場合の累積変位図（室内実験）

### 3.4 孔曲がりの影響

挿入式孔内傾斜計データを検定する過程で、観測孔の孔曲がりが計器の測定レンジを超える場合、データ不良の原因となることが予想された。そこで、その不良データについて検討を行うとともに、地すべり観測で適切な計器測定レンジについて検討した。また、できるだけ孔を曲げずに掘進する方法について文献に基づき取りまとめた。

#### (1) 不良データの状況

孔曲がりが大きい観測孔における各種データを図 3.41 に示す。本計測で使用したプローブは、坂田電機(株)製 EIN-5030G2 (一方向のみ測定タイプのタイプ)で、測定レンジは $\pm 5^\circ$  の製品、ガイド管は(株)測商技研製である。

図 3.41 の左上は累積変位図で、A 軸は全体に不規則なふらつきが見られ、B 軸はほとんど変位が見られない。右上は固有偏差の分布図で、B 軸はバラツキが少ないが A 軸は深部ほどバラツキが大きい。図 3.42 に示した検定基準 (目安) によると、B 軸は基準内であるが A 軸は基準を超過している。左下は孔曲がり状況の姿図で、A 軸はほとんど鉛直であるが B 軸は全体にマイナス方向に計 6m 程度、角度で  $6^\circ$  程度曲がっている。右下は、深度毎の孔曲がりの角度を示したものであり、深部ほど孔曲がりが大きくなり孔底付近では最大  $12^\circ$  となっている。

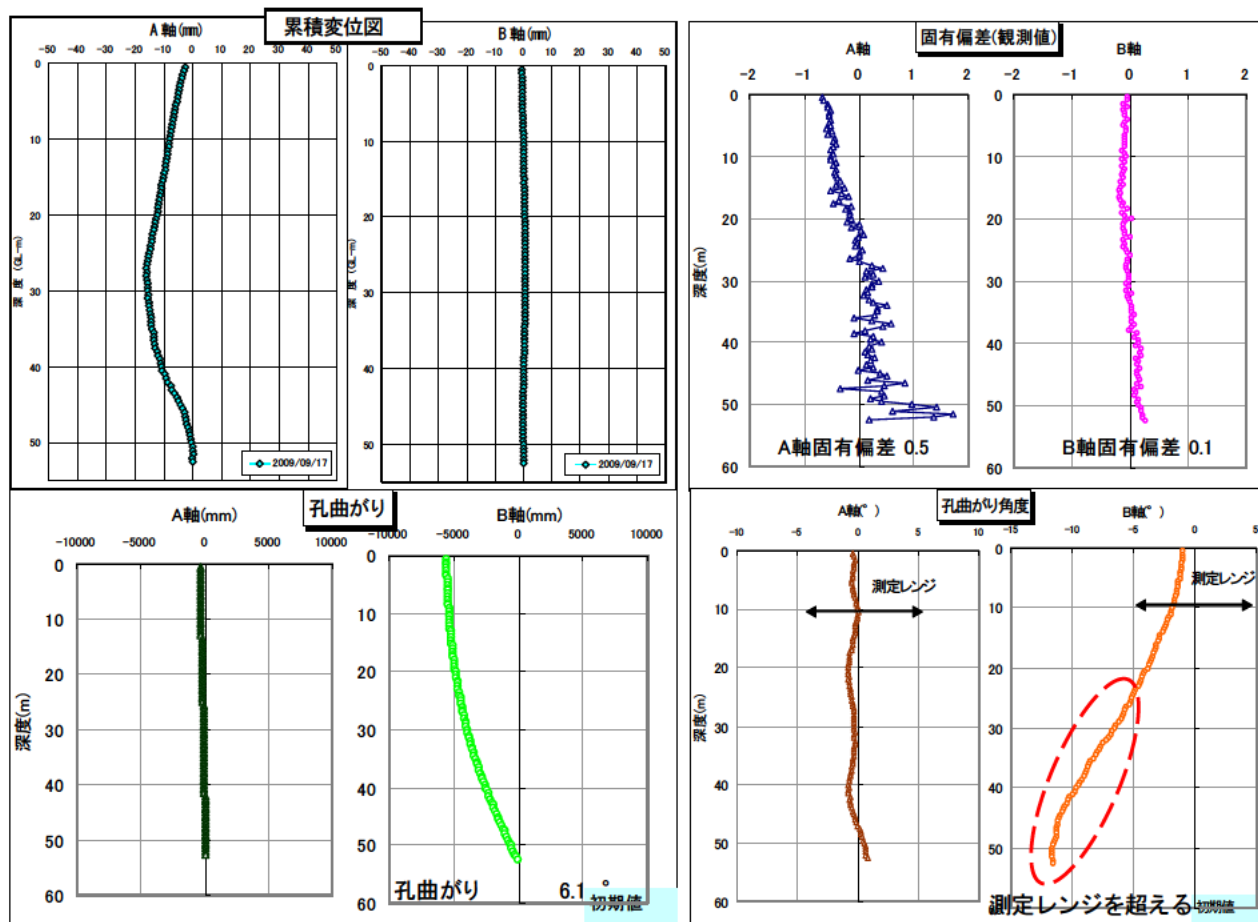


図 3.41 孔曲がりが大きい観測孔のデータ

|   |          |
|---|----------|
| <p>固有偏差検定基準（坂田電機(株)製）</p> <p>全観測点の固有誤差平均値と各観測点の固有誤差を比較し、固有偏差を下式で求める。</p> <p>固有偏差 = <math>(D0 + D180) / 2 - ((D0 + D180) / 2) / n</math></p> <p>ここに、D0：正の読み値 D180：反転方向の読み値 n：測点数</p> |          |
| 固有偏差  | 基準       |
|   | 0.3mm 以下 |

図 3.42 固有偏差検定基準目安(坂田電機(株)製)

坂田電機(株)製挿入式孔内傾斜計（差動トランス式）は、測定軸方向の孔曲がり計器の測定レンジを大きく超えていた場合、それと直交方向の計測データにバラツキ生じることがある。孔曲がり角度の分布図でわかるように B 軸の深度 24m 以深において、計器の測定レンジである 5° を超えている深度と A 軸の固有誤差のバラツキが大きくなる深度は対応している。このため、再現性の無いふら付きが見られる A 軸の累積変位図は、計器の測定レンジを孔曲がり超えていたことによる不良データと考えられる。

(2) ボーリング時の状況

ボーリング担当者からボーリング実施当時の状況を聞き取りした結果、原因の特定は困難であったが以下の項目が重複することで孔曲がりの要因となったと考えられる。

- ・掘進速度、給水圧は基準内であったが、曲がり始めた深度と掘進速度が速くなっていた深度が概ね一致していた。
- ・ 66mm オールコア採取で掘進した後、86mm で拡孔(リーミング)していた。このとき孔壁が裸孔で自立していたため、保孔用のケーシングは孔口付近のみ挿入していた。
- ・一般的な給水量に比べ、やや少なかった。

### (3) 孔曲がりを少なくする方法

機械ボーリングでは、ボーリング機械の回転などの機械的条件、および割れ目の発達した地盤や崩壊層などの地質条件により、孔を曲げずに掘削することは困難であり、その目安は鉛直孔で100mあたり0.5~1°程度と言われている。

ボーリングポケットブック<sup>1)</sup>では、以下に示した方法でボーリング掘削時における孔曲がりをできるだけ少なくすることができるとされている。

- ・適正なビット回転数や荷重で無理のない掘削を行い、送水量を調整してスライムを排除する。
- ・磨耗の少ないビットやできるだけ長いコアチューブを使用する。
- ・必要に応じて、スタビライザーなどを有効に利用する。
- ・ボーリング足場を堅牢に組む。また、ボーリングマシンの水平をしっかり取る。

本研究では、機械ボーリングの孔曲がりについては文献調査で留めるが、挿入式孔内傾斜計の不良データ発生の防止にはガイド管をできるだけ鉛直に設置する必要があることが確認された。今後は、ボーリング技術のさらなる向上によりできるだけ孔を曲げずに掘進できる手法の開発を期待したい。

### (4) 地すべり観測で適切な計器測定レンジの検討

挿入式孔内傾斜計では、50mm程度のアルミ製ガイド管の場合は地すべりで生じるせん断変位が測定最小単位の50cmあたり3~4cm(平均3.5cm)程度まで計測可能である。

その平均変位量を角度に換算すると4°となり、前述の孔曲がりの一般値の0.5~1°を加えると5°となる。このことから、地すべり調査では測定レンジが±5°以上の計測器が適切であり、表3.9に示した国内の製品一覧によると、全メーカーが対象の製品を有している。

なお、孔曲がりの程度が一般値を超える場合はその程度に応じて測定レンジがより広い計測器を選定しなおす必要がある。

表 3.9 国内の挿入式孔内傾斜計製品一覧(平成21年10月現在)再掲

| 製品名           | メーカー       | 傾斜センサの変換方式   | 車輪間隔         | 備考                    |
|---------------|------------|--------------|--------------|-----------------------|
| デジタルQティルト-200 | 応用地質(株)    | サーボアクセルロメータ式 | 50cm         | ±30°、2軸               |
| BK-G          | (株)共和電業    | 歪変換式         | 50cm         | ±5,10°、2軸             |
| EIN-5000G     | 坂田電機(株)    | 差動トランス式      | 50cm(25cmも有) | ±2.5,5,10、1軸(±30°、2軸) |
| DRK-40MMW     | (株)千葉測器    | 差動トランス式      | 50cm         | ±5,30°、1軸・2軸          |
| KB-GC、KB-HC   | (株)東京測器研究所 | 歪変換式         | 50cm         | ±5,10°、1軸・2軸          |
| DC-300I       | (株)東横エルメス  | 差動トランス式      | 45~55cm      | ±5°、2軸、角型鋼製管専用        |

### 3.5 計測器の特性に関わる実験のまとめ

本章では、測定器の構造やセンサの温度特性などにより測定値に影響する可能性がある項目について再現実験を行った。実験結果の一覧表を表 3.9 に示す。

電圧の影響は応用地質(株)製と坂田電機(株)製のどちらの計測器とも影響はない。また、プレヒートや孔内水の影響はともにプローブの温度特性によるものであり、双方とも温度の影響は受けるが応用地質(株)製は坂田電機(株)製と比較して影響が大きい。これは、傾斜センサがサーボアクセルロメータ式と差動トランス式の違いであるためと考えられる。また、プローブとガイド管の組合せによる影響は、ガイド管の溝と車輪の幅の組合せが異なる場合に発生する。観測時に良好な測定データを得るための留意点を以下にまとめる。

#### 観測時の留意点

- ・ 規定範囲内の電源電圧の違いによる測定値への影響はない。途中で観測不能にならないように、バッテリー等の事前の充電を行い、必要に応じて予備を用意する。
- ・ 孔底保持の時間は、応用地質(株)製は最低 15 分で 30 分以上、坂田電機(株)製は最低 20 分で 30 分以上を推奨。また A 軸が B 軸より安定しやすいので、B 軸も A 軸と同様の高い精度が必要な場合はガイド管の B 軸をプローブの A 軸で測定する。
- ・ 温度変化が大きいほど変化量が大きいため、厳冬期や猛暑日は孔底保持実施時に値の変化を良く観察する。
- ・ 傾斜計データを解析する際は、孔内水の位置、固有誤差、累積変位グラフ、コア状況などを総合的に解釈する。
- ・ ガイド管と同じメーカーのプローブでの測定を原則とする。同じメーカーのものを使用できない場合は、車輪を交換して溝の幅と合わせる。
- ・ プローブは測定レンジが $\pm 5^\circ$ 以上の計器が標準とするが、孔曲がりの程度に応じて適宜測定レンジが広い製品を選定する。

表 3.9 実験結果一覧表 (計測器の特性に関わる項目)

| 項目              | 実験方法   | 結果 |    |                                       |    |                        |    |
|-----------------|--|----|----|---------------------------------------|----|------------------------|----|
|                 |  | 室内 | 現場 | 応用地質                                  | 影響 | 坂田電機                   | 影響 |
| 1 測定器の電源電圧の変化   | 変圧器で推奨電圧から徐々に下げて、測定値の経時変化を測定                                   | ○  |    | 測定結果への影響はない                           | □  | 測定結果への影響はない            | □  |
| 2 プローブの温度変化     | 室内: 恒温装置でプローブの温度を変えた場合の経時変化の測定<br>現場: プローブの温度を変えて孔底での保持時間無しで測定 | ○  | ○  | 温度差が大きいほど影響。10分位は変化が大、B軸が安定時間が約30分と長い | ◎  | 温度は測定値に影響。10分位は変化が大きい。 | ○  |
| 3 プレヒート         | 電源を付けた直後から30分までの回路温度の上昇に伴う測定の変化を記録(温度は一定)                      | ○  | ○  | A軸は3分まで変化が大、A,B 軸とも30分で一定の変化          | ◎  | プレヒート不要                | -  |
| 4 孔内水などの影響      | 孔内傾斜計の測定と同時に孔内の温度の測定を行う  | ○  | ○  | 孔内水の近くで温度が変化する。測定毎の温度差が大きいほど影響        | △  | 測定結果への影響はない            | □  |
| 5 プローブとガイド管の組合せ | メーカーの異なる機材の組合せについて、影響を検討する                                     | ○  |    | 同じ場合は精度は同様、車輪が細い場合はB軸の精度が悪い           |    |                        | △  |

※ ◎影響大 ○影響あり △条件付で影響あり □影響なし

#### 参考資料

- 1) 社団法人全国地質調査業協会連合会、ボーリングポケットブック (第4版)、pp.173-175、2003

#### 4. 設置の方法や良否に関わる再現実験

挿入式孔内傾斜計の観測孔は、ボーリング孔内にガイド管を現場で組み立てて設置するため、経験的に地盤とガイド管の密着（充填）具合が十分でない場合は良好な測定結果が得られないことが分っている。そこで、ガイド管の設置に係わる各種実験により良好なデータを得るための留意事項の把握を行った。

##### 4.1 ガイド管の接続方法

ガイド管の設置時には、継ぎ手とリベット留などでガイド管の接続が行われる。この部分には、現場での作業性を考慮して若干の余裕代が残されているため、リベット留の順序などによっては生じる隙間の位置ズレが累積し、測定結果に影響する可能性が考えられた。そこで、平成 19 年度の共同研究「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改善・開発」では、ガイド管の設置手順が測定データに与える影響を把握するため、国総研（国土交通省国土技術政策総合研究所の略記）西階段を使用してガイド管の種類や接続方法を変えた設置実験を行っている（設置作業の詳細は当該報告書を参照）。

本共同研究では、それらのガイド管を使用して、リベットの順序と圧縮軸力の影響に着目して設置したガイド管について、挿入式孔内傾斜計とひずみゲージの観測を行った。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：坂田電機株製      ・実施箇所：室内（国総研西側階段）
- ・実施方法：種類や接続方法を変えたガイド管、ひずみ計の定期観測

##### (1) 設置状況

設置箇所の概要図を図 4.1 に、ガイド管のリベット留の順序は図 4.2 に示す。試験に使用したガイド管は、表 4.1 に示す川崎興業株製と応用地質株製の 2 種類を使用し、それぞれの全長は試験場所の制約から 30m（定尺 3m × 10 本）とした。また、このうち川崎興業株製 No.1 については、ガイド管吊下げ時のガイド管の引張りひずみ、設置後の圧縮軸力を調べるため、各ガイド管の中央部の四方にひずみゲージを貼り付けて自動計測を行った。また、ガイド管の素材による違いを確認するために、坂田電機株製の樹脂製のガイド管を追加した。なお、樹脂のガイド管はリベットではなくゴム製のソケットによる接続である。

表 4.1 実験に使用したガイド管

| 名称      | 材質  | 外径・内径 (mm)        | 長さ (m) | 本数 (本) | リベット方法 |
|---------|-----|-------------------|--------|--------|--------|
| 川崎興業株 1 | アルミ | 外径 46.15・内径 43.15 | 3      | 10     | 方法 1   |
| 川崎興業株 2 | アルミ | 外径 46.15・内径 43.15 | 3      | 10     | 方法 2   |
| 応用地質株 1 | アルミ | 外径 46.50・内径 43.50 | 3      | 10     | 方法 1   |
| 応用地質株 2 | アルミ | 外径 46.50・内径 43.50 | 3      | 10     | 方法 2   |
| 坂田電機株   | 樹脂  | 外径 47.00・内径 40.00 | 2      | 15     | -      |

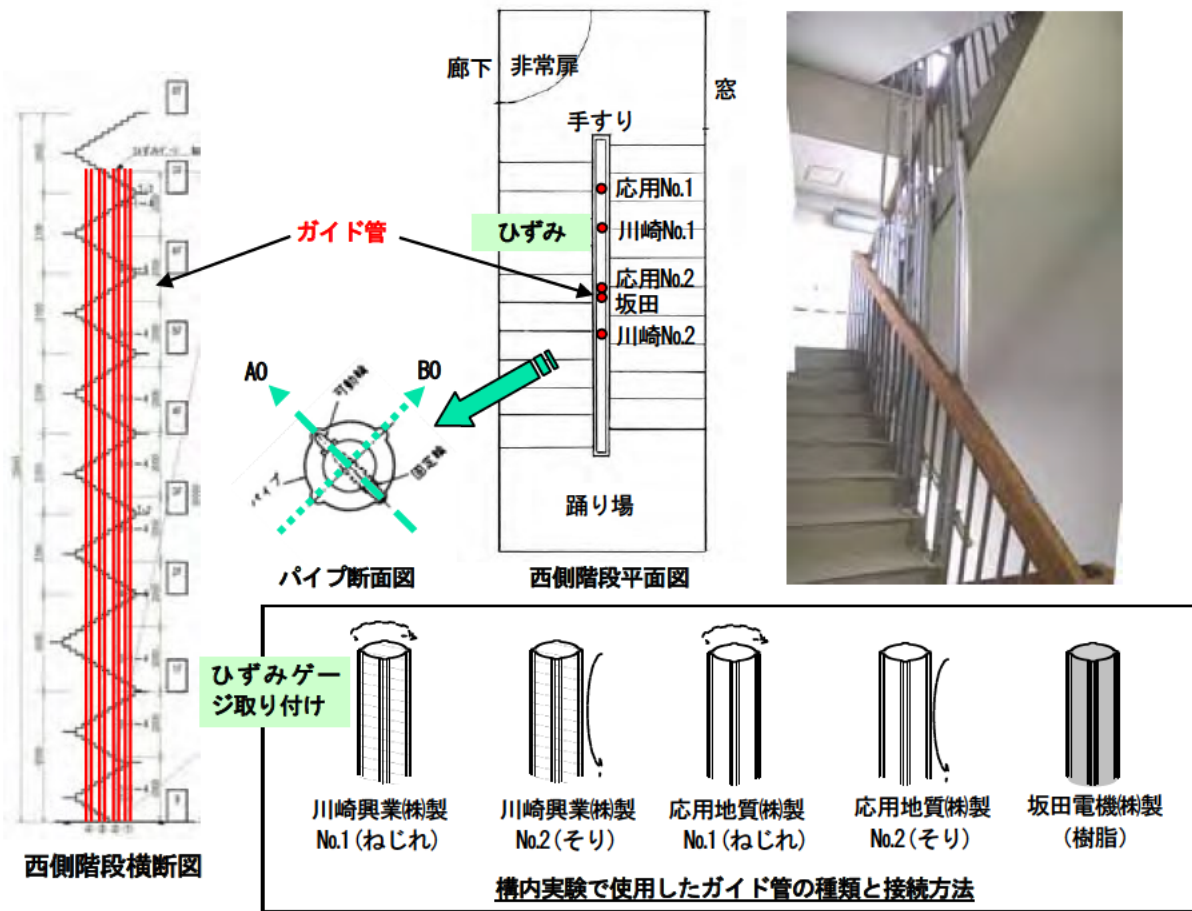


図 4.1 西側階段に設置したガイド管の概要図

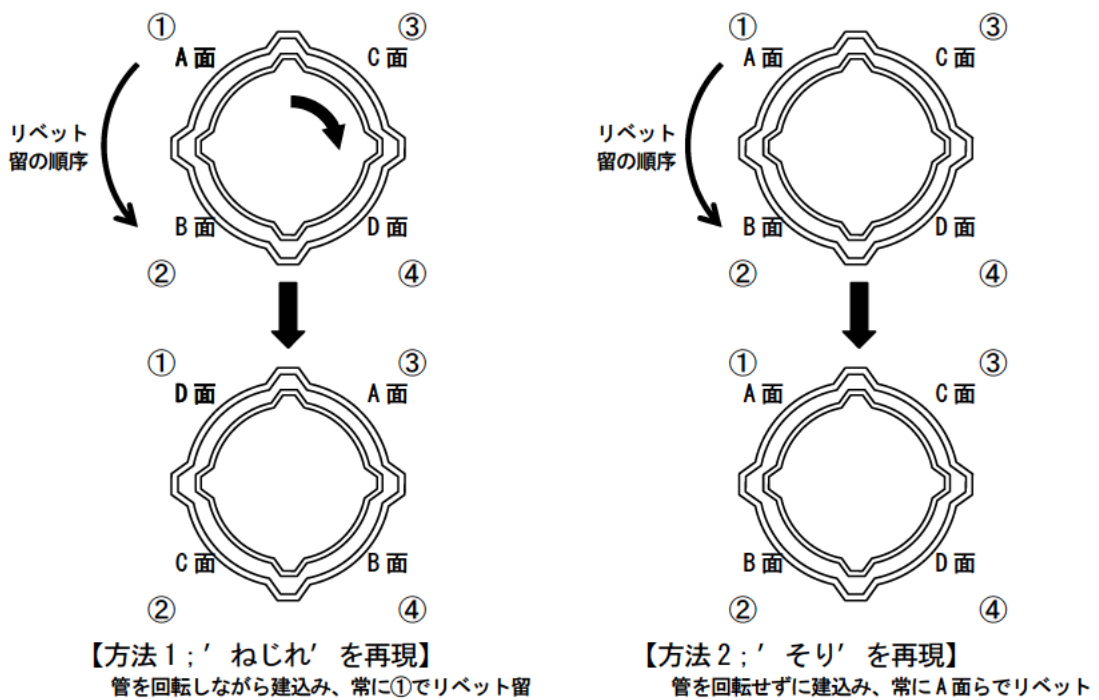


図 4.2 ガイド管のリベット留の順序

## (2) 定期観測結果

図 4.3～4.7 に挿入式孔内傾斜計で測定した各ガイド管の区間変位と累積変位の深度分布図を示す。本図は初回の測定値を初期値とした観測値との差分の変化量である。川崎興業(株) 1 孔は 08/7～8 に载荷実験などを行っているが、それ以外の観測データは軸力や側圧といった外力はガイド管に加えていない。観測結果の特徴を以下に述べる。なお、これらのガイド管はガイド管の内外が全長に渡って空気と触れており、地中に埋められ管内が水で満たされている現場条件が違うことに注意されたい。

### 川崎興業(株) 1(ねじれ)

本孔では、08/7/3 に载荷実験を 08/8/7 に強制変位実験を行っているため、08/8/6 と 08/9/2 の観測は外力を受けている観測結果である。载荷実験以前は、全体的な傾き(0 点ドリフト)が発生している以外に明瞭な変位は認められない。载荷実験後の 08/8/6 のデータには、3～4m 間隔の緩やかな S 字状の変位が見られるが、これは以前にこのガイド管に対して複数の荷重を掛ける载荷実験が行われていたため、その際の残留たわみが生じているためと考えられる。また、08/9/2 の深度 8m の大きな変位は、ガイド管の強制変位を行った位置と対応している。

### 川崎興業(株) 2(そり)

本孔では 07/10/26 以降、周期が 3～5m で変位量が 10mm 程度の明瞭な S 字状の曲がりが発生しており、それに全体的な傾きが加わっている。S 字状の曲がり、07/10/26 以降は特に変位の累積傾向は認められない。変位の発生機構については、後述のひずみゲージの観測結果と合わせて検討する。

### 応用地質(株) 1(ねじれ)

07/10/26 以降に周期が 3～4m で変位量が 3mm 程度のわずかな S 字状の曲がりが発生しており、それに全体的な傾きが加わっている。変位の発生時期は川崎興業(株)製 2 と同様である。

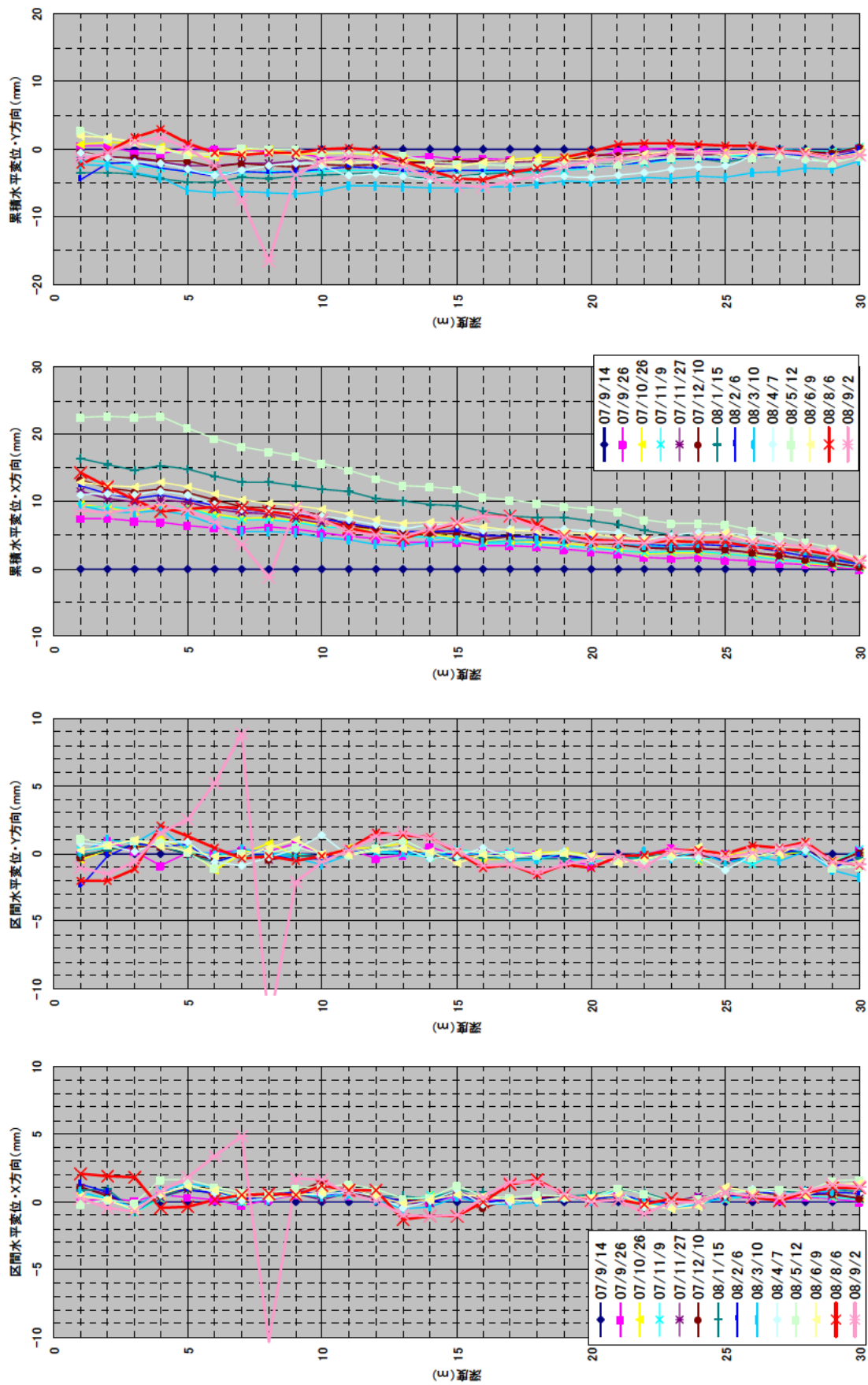
### 応用地質(株) 2(そり)

07/9/26 以降に周期が 3～4m で変位量が 2mm 程度のわずかな S 字状の曲がりが発生しており、それに全体的な傾き(0 点ドリフト)が加わっている。

### 坂田電機(株)(樹脂)

累積変位グラフでは、不規則ではあるがおおよそ 2m 間隔でジグザグと曲がるような屈曲が多く、その深度で見られ、全体的な傾きも発生している。これは前述の川崎興業(株)製と応用地質(株)製がアルミ製の継ぎ手で接続されていたのに対し、坂田電機(株)製は継ぎ手部分が筒状のゴム材で巻いた構造で強度が低いためと考えられる。

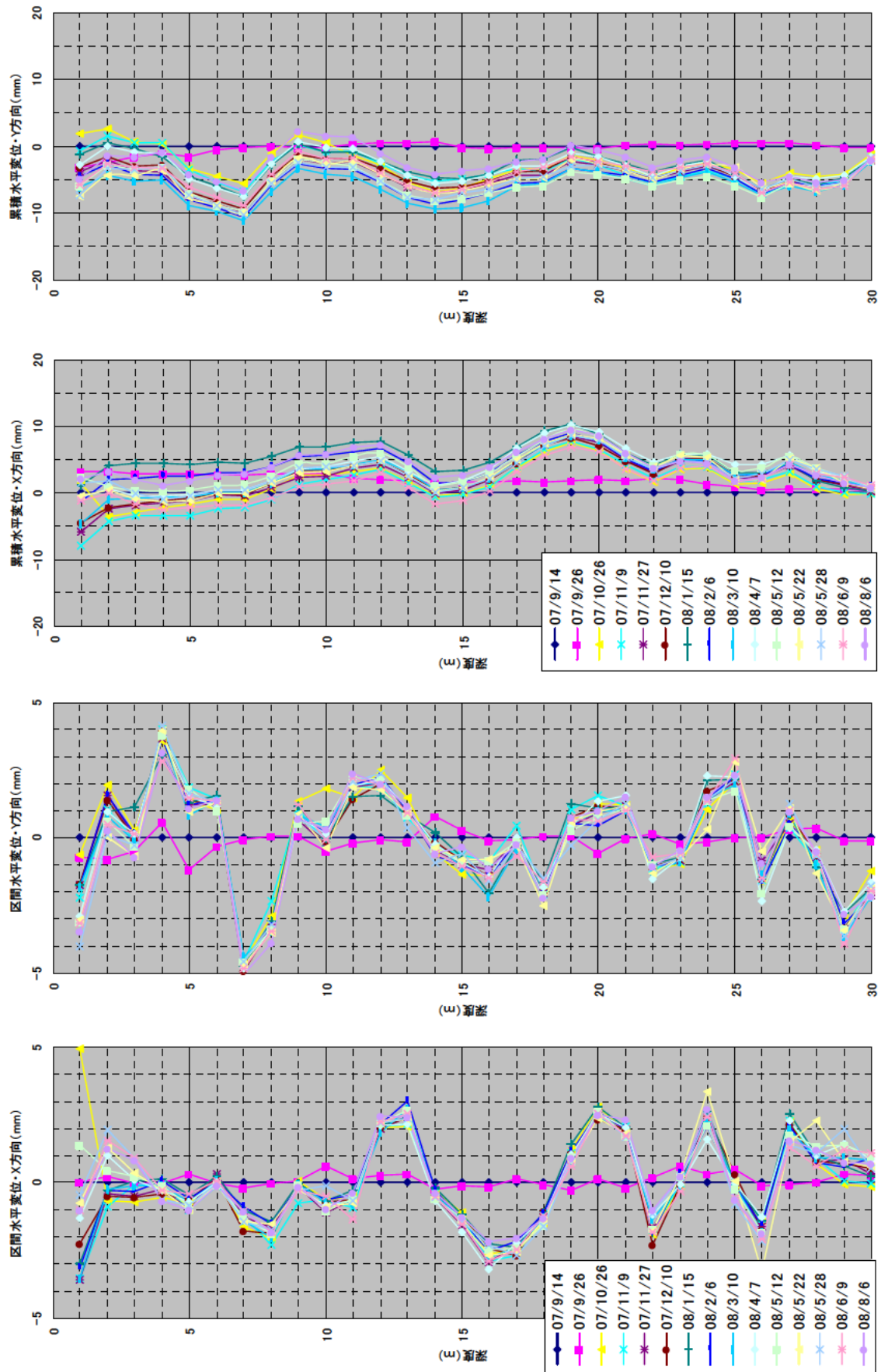




08/7/31に本観測孔で載荷実験実施(08/8/6は変形後)  
 08/8/71に本観測孔で強制変位実験実施(08/9/2は強制変形後)

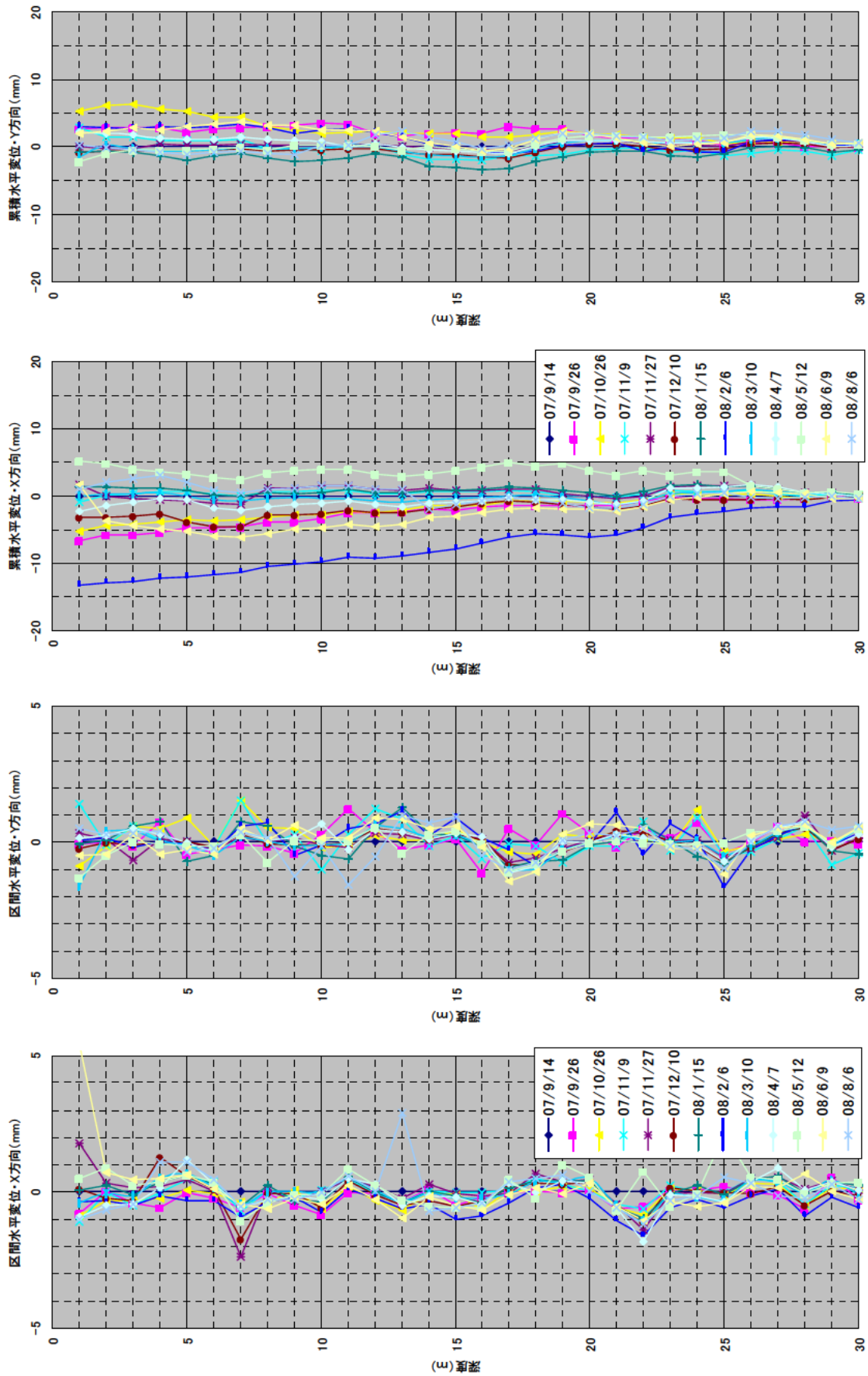
孔内傾斜計測定結果(川崎興業No.1(ねじれ))

図 4.3 観測結果 (川崎興業(株)製No.1, ねじれ、坂田電機(株)製プローブで測定)



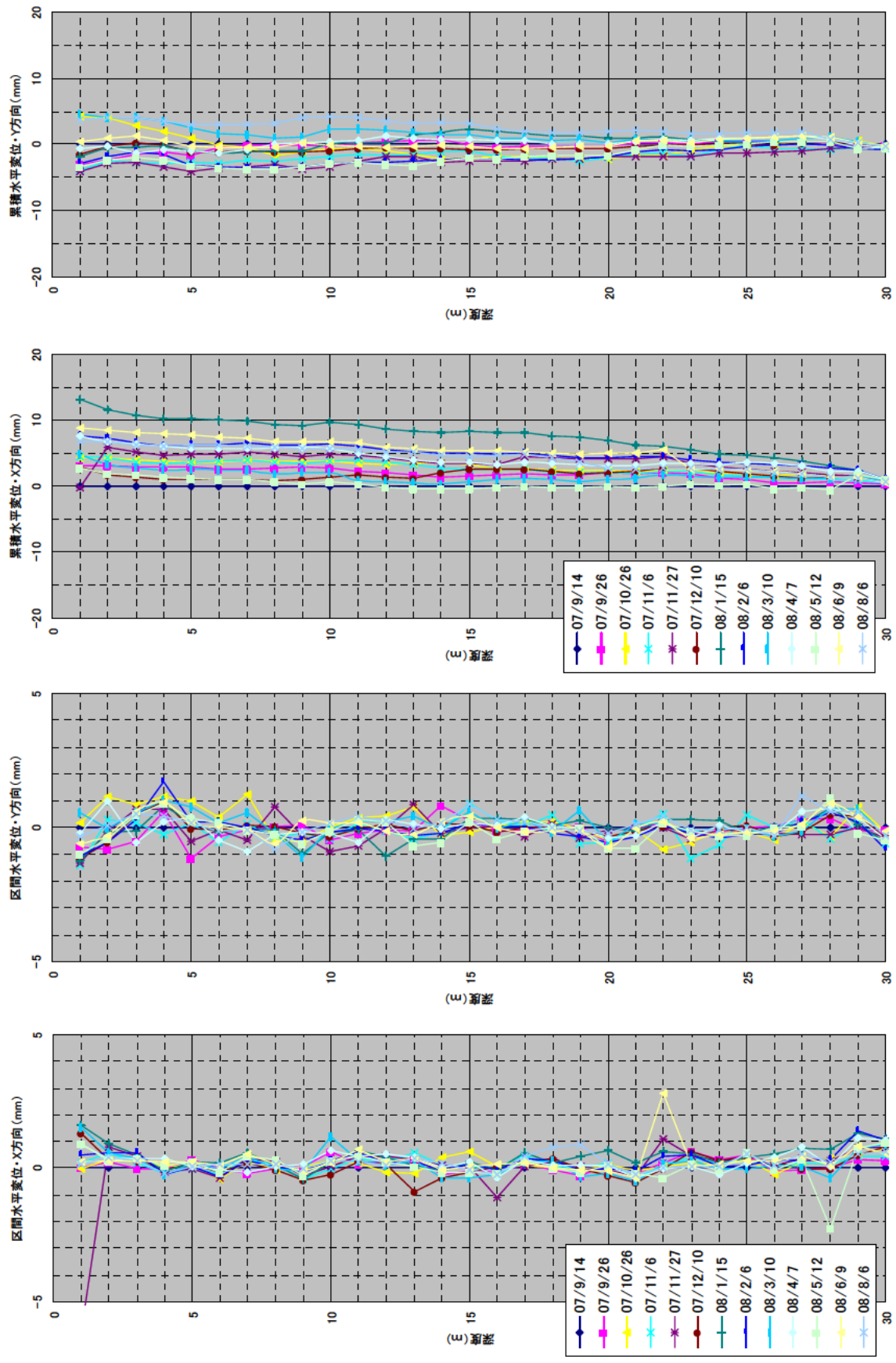
孔内傾斜計測定結果\_川崎興業No.2(そり)

図 4.4 観測結果 (川崎興業(株)製No.2, そり、坂田電機(株)製プローブで測定)



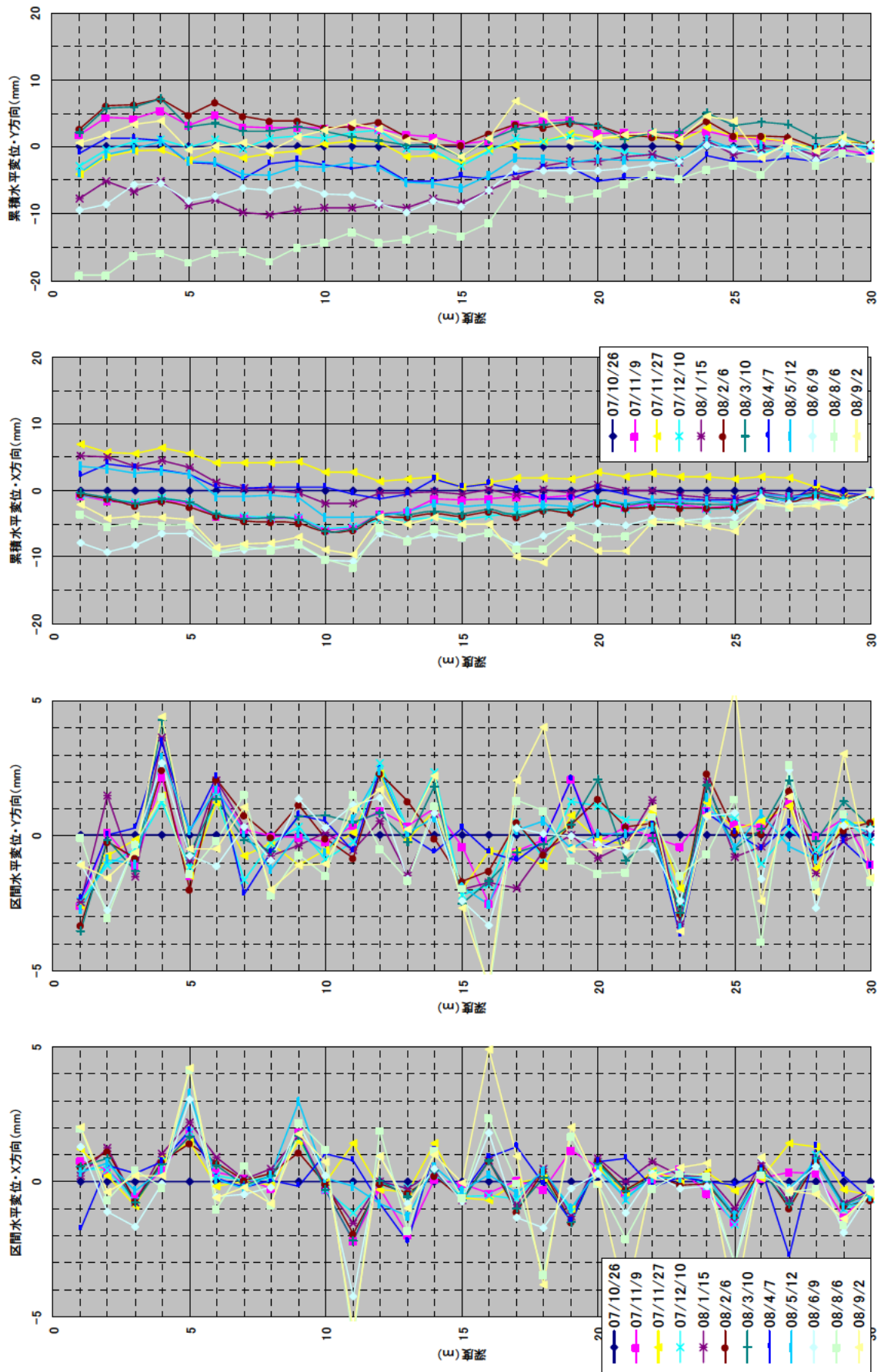
孔内傾斜計測定結果\_応用地質No.1(ねじれ)

図 4.5 観測結果 (応用地質(株)製No.1, ねじれ、坂田電機(株)製プローブで測定)



孔内傾斜計測定結果\_応用地質No.2(そり)

図 4.6 観測結果 (応用地質(株)製No.2, そり、坂田電機(株)製プローブで測定)



孔内傾斜計測定結果\_坂田電機(樹脂)

図 4.7 観測結果 (坂田電機株製、樹脂、坂田電機株製プローブで測定)

(3) ひずみゲージ測定結果

図4.8.1に観測位置図を示す図4.8.2に07/8～08/8の1年間観測したガイド管の軸ひずみ、および気温の経時変化図を示す。上のグラフは1時間毎に計測した全データを示しており、これによると日周期の気温変化に応じて軸ひずみも変化して、さらに年周期の変動も見られる。また、気温変化に伴いひずみも変化しているのはアルミが有する線膨張係数により温度の変化で伸び縮みするためと考えられる。

なお、図4.8.1には後述の図4.9で軸ひずみと温度との相関を検討した観測箇所を丸で囲んで示している。

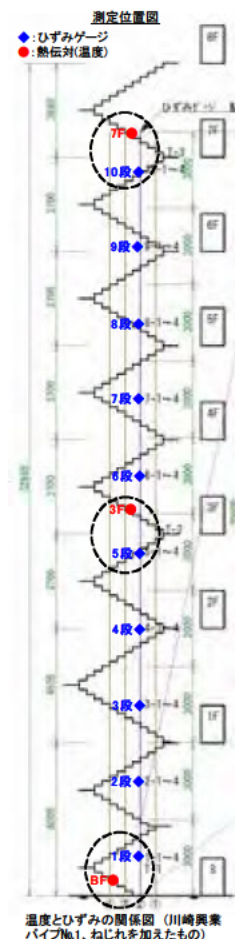


図 4.8.1 観測位置図

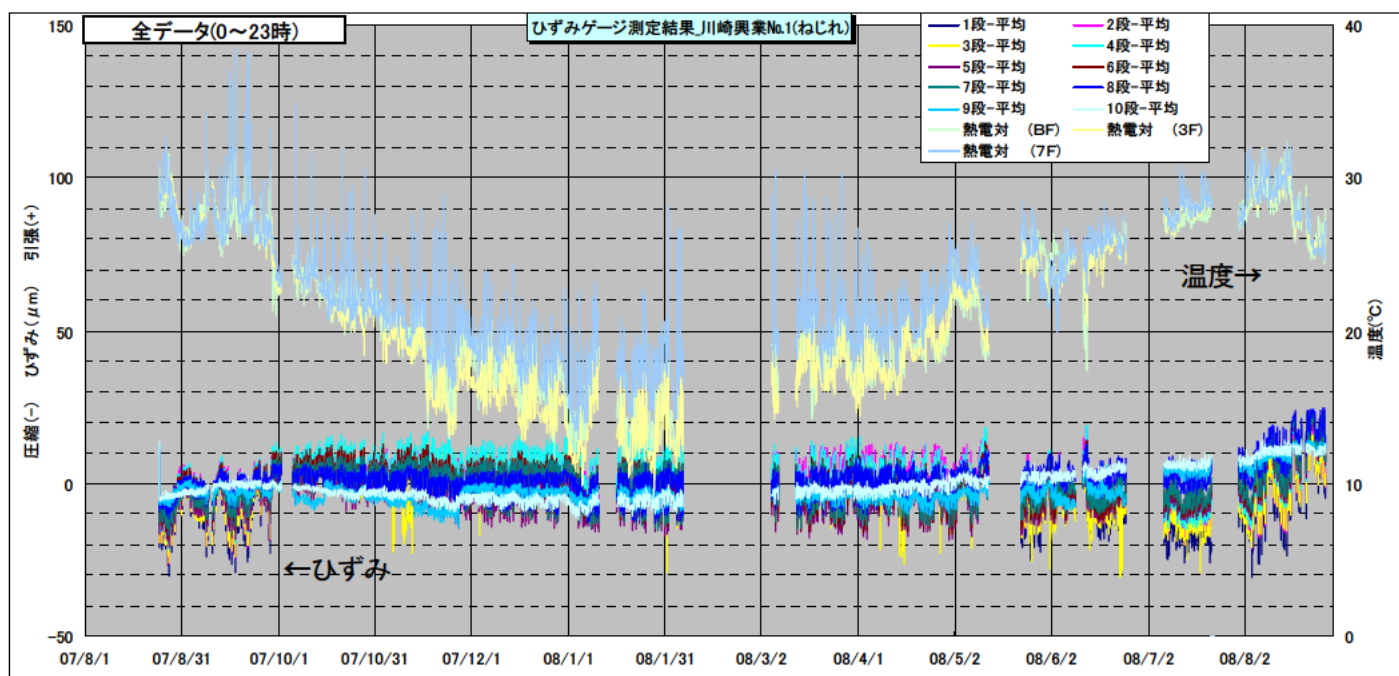


図 4.8.2 ガイド管の軸ひずみの経時変化図 (川崎興業(株)製No.1、07/8～08/8)

#### (4) 考察

アルミ製の各ガイド管で発生したS字状に曲がり（川崎 2 が明瞭）と、川崎製興業(株)製 1 の軸ひずみの関係について考察を行った。挿入式孔内傾斜計では、07/10 に川崎 1 にS字状のデータが発生し、その後は明瞭な変位の累積は発生していない。

図4.9.1~2は、温度計を取り付けた位置の軸ひずみと温度の経時変化図、軸ひずみと温度の関係図である。検討を行ったひずみゲージと温度計の位置図は、前述の図4.8.1の右側の丸で囲んだ3箇所である。

図の期間 と示した07/10以前は、温度が上がると軸力が減る（ガイド管が圧縮される）関係であり、これはガイド管が固定バンドで拘束されており温度膨張できないためと考えられる。一方、図の期間 と示した07/10以降は、温度が上がると軸ひずみが増える（ガイド管が伸びる）関係であり、温度上昇に伴うパイプが膨張していることをしめす。これは、ガイド管が特に拘束されていない自然な動きと考えられる。図4.10の温度と軸ひずみの関係が変わった期間を拡大した経時変化図によると、07/9/30を境に温度変化に伴う軸ひずみの変化が小さくなっていることがわかる。この理由として、今まで固定されていたガイド管の拘束がこの時期を境に緩んだため、ガイド管が自由な状態になり、自重によりたわんだようなS字状の変位が発生したのと考えられる。

また、明瞭なS字状のデータが発生した川崎興業(株)製 2の累積変位図の立体図を図4.11に示す。ねじれているように見えるが、ボーリング孔の中でガイド管が座屈して発生するようならせん状のねじれではない。このことは、ガイド管が足場パイプに固定バンドで止められているため、実際の傾斜計の設置作業とは条件が異なっているためと考えられる。

以上により、本実験から得られたガイド管の接続方法に関する留意点をまとめる。

#### パイプの自重で「S字データ」が発生する

ガイド管設置時の充填後は、自重によりガイド管が座屈しないように上から軽く吊るすと良い。

「ねじれ」より「そり」の方が、S字データが明瞭に発生しやすい

したがって、ガイド管を設置する際のリベット留めは、継ぎ手の始めにリベットを打った位置と、その次の継ぎ手でリベットを打つ場合は90°ずつずらした方が良い。

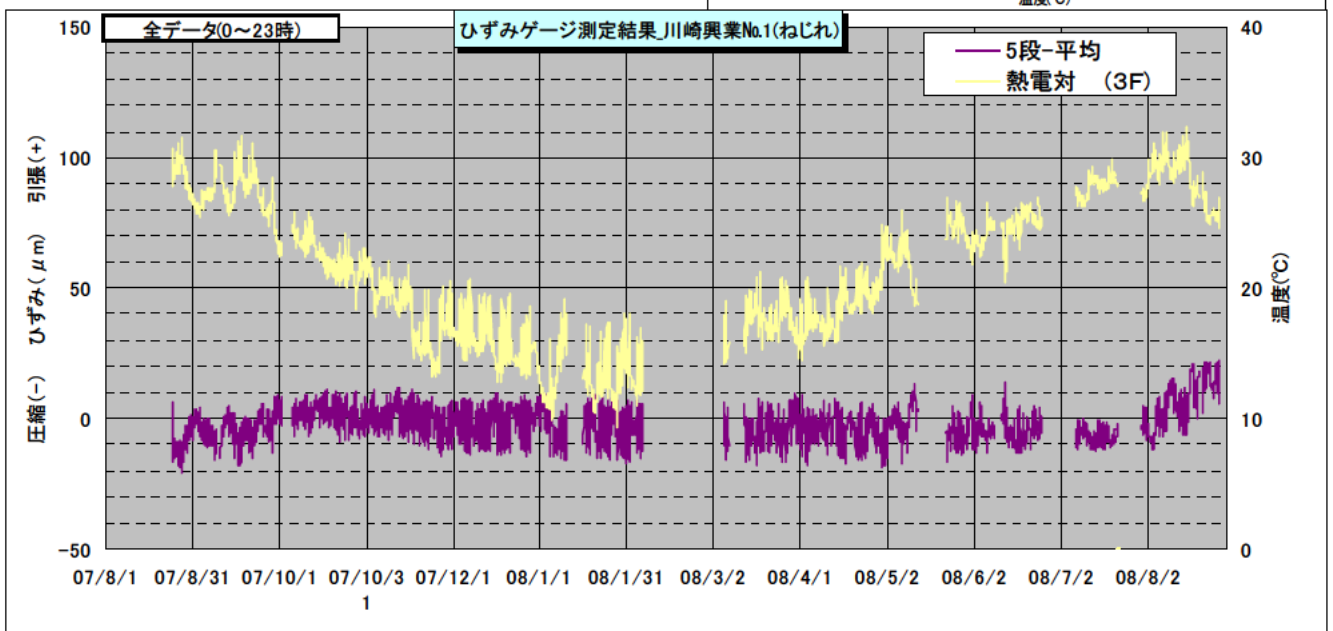
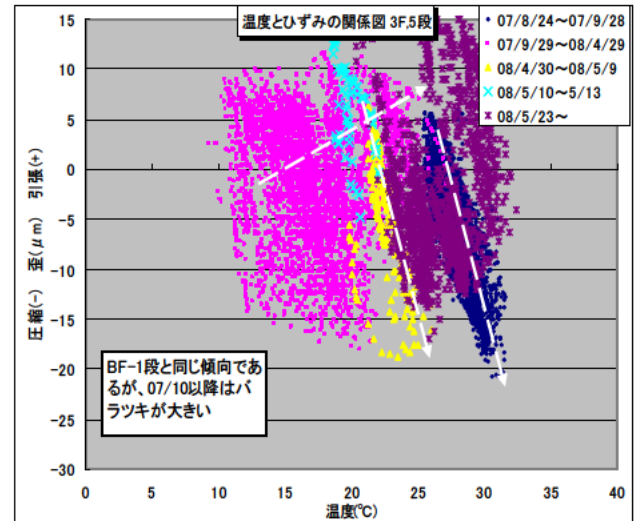
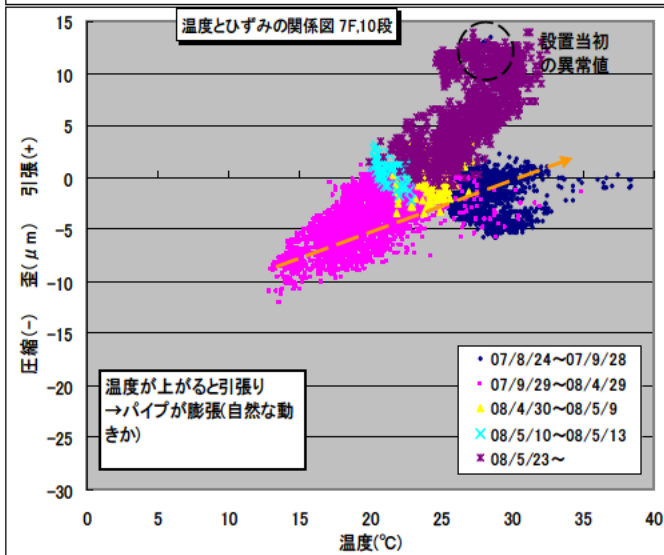
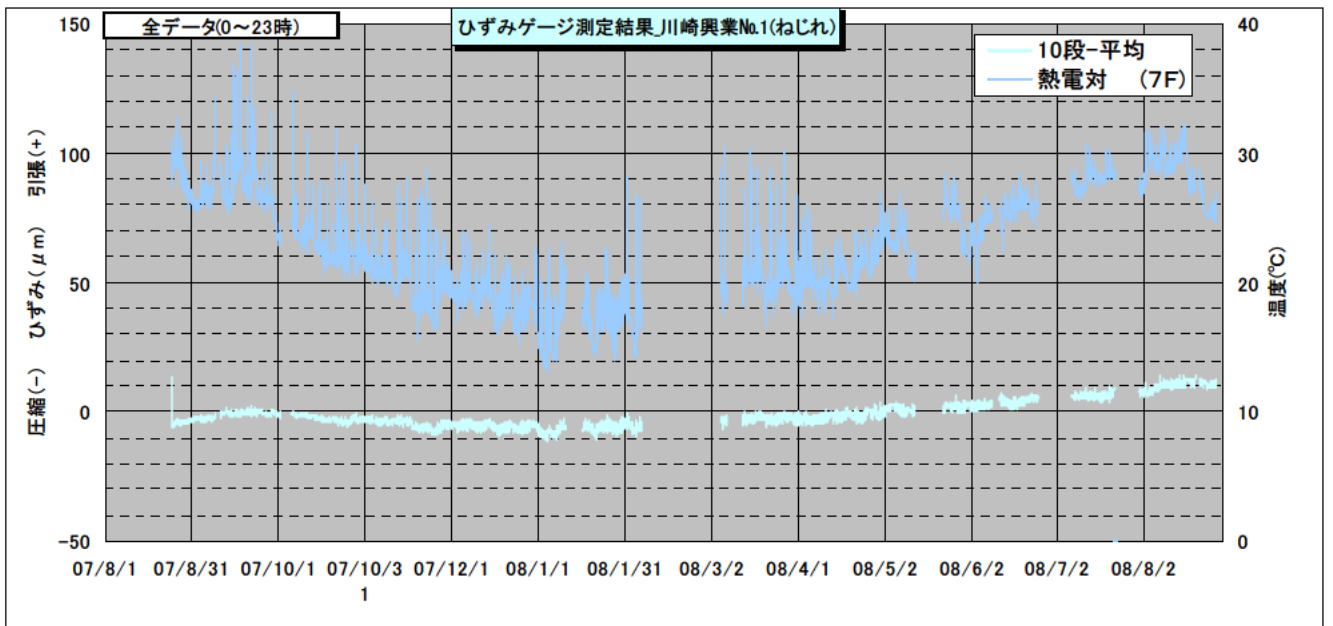
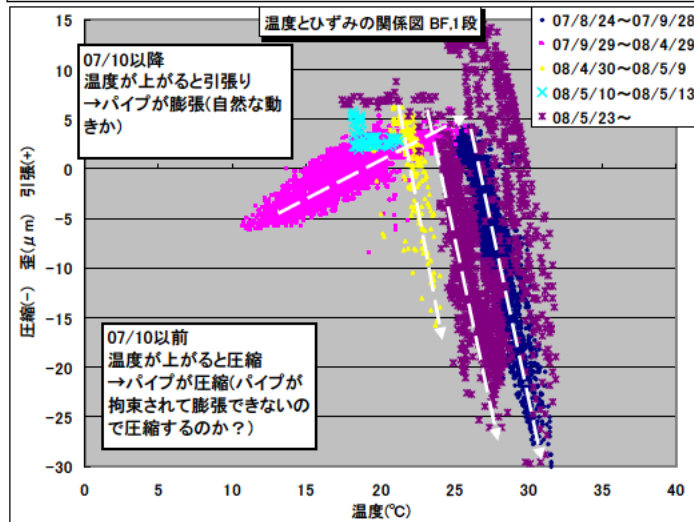
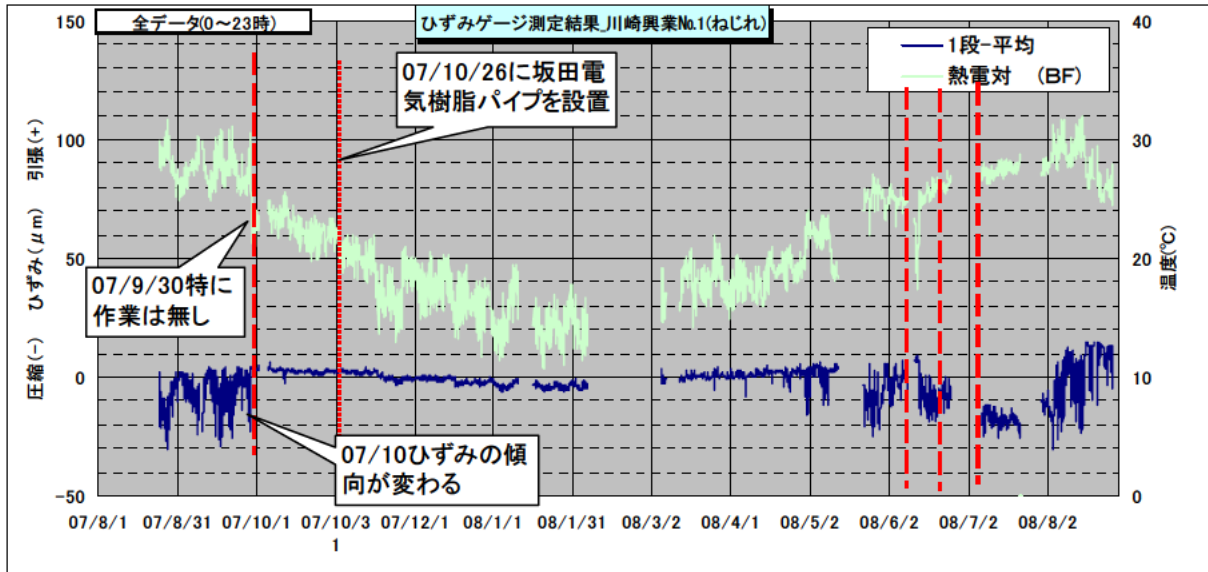


図 4.9.1 温度計とガイド管の軸ひずみの関係図 (川崎興業(株)製No.1、07/8~08/8)





◎孔内傾斜計観測との関係

- ・同じパイプの川崎興業No.1(ねじれ)では、不明瞭ながら07/10/26以降でS字が発生。
- ・隣の川崎興業No.2(そり)では、07/10/26以降で明瞭なS字が見られる(累積は無い)。

◎試験孔の状況

- ・08/7/3に本観測孔で载荷実験実施(08/8/6は変形後)
- ・08/8/7に本観測孔で強制変位実験実施(08/9/2は強制変形後)

図 4.9.2 温度計とガイド管の軸ひずみの関係図 (川崎興業(株)製No.1、07/8~08/8)

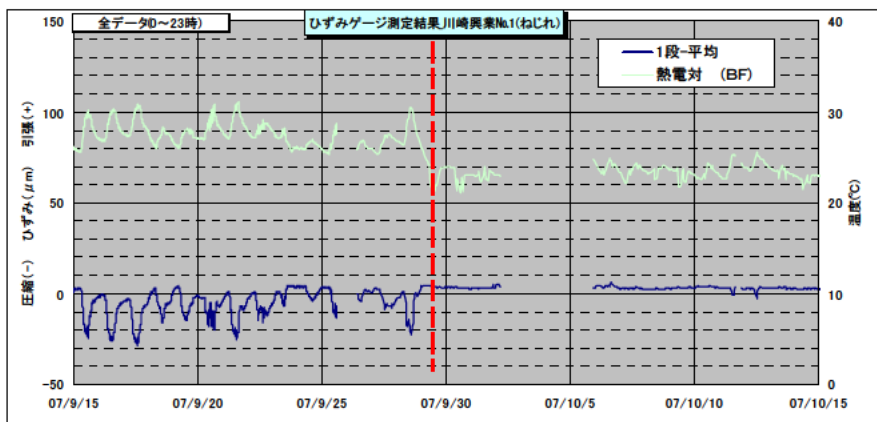


図 4.10 軸ひずみ変化時の経時変化図 (川崎興業(株)製No.1、07/9/15~07/10/15)

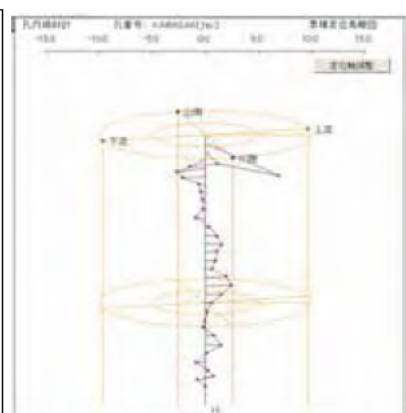


図 4.11 累積変位図の立体図 (川崎興業(株)製No.2、08/5/12のデータ)

## 4.2 ガイド管載荷実験

挿入式孔内傾斜計計測でしばしば発生するS字状データの発生機構として、図4.12のように地すべり土塊の沈下に伴う座屈現象、およびガイド管設置時のグラウト不良で生じた空洞部分の沈下が考えられるが地中で発生する現象であるため直接確認することは困難である。

そこで、4.1で構内に設置したガイド管を使用して、図4.13の2通りの方法でガイド管に<sup>おもり</sup>錘を取り付けて載荷し、さらにガイド管の一部の固定を緩めることでそれらの現象の再現実験とした。測定条件の概要は次の通り。

- ・プローブ：応用地質(株)製、坂田電機(株)製      ・実施箇所：室内（国総研西側階段）
- ・実施方法：ガイド管の固定方法や載荷方法を変えて載荷実験を行う。

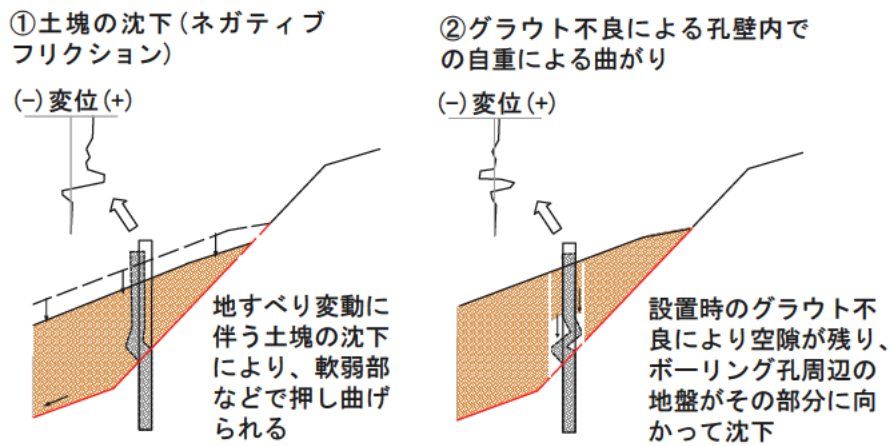


図4.12 S字データ発生と考えられる2つの原因

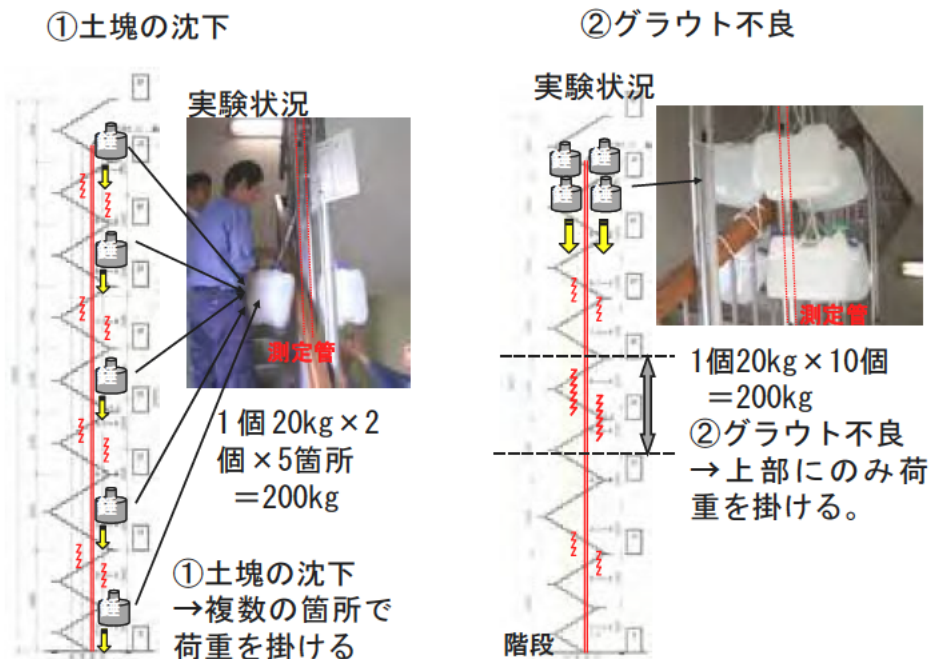


図4.13 実験方法の概要

#### 4.2.1 土塊の沈下を再現する実験

##### (1) 方法

土塊の沈下による観測結果への影響を把握するために、図 4.14 に示したように国総研西側階段のガイド管（川崎興業株製No.1 孔）の複数箇所に錘を取り付けて、地すべり土塊の沈下現象の再現実験を行った。载荷の方法は、1 個 20kg の水入りポリタンクをガイド管に紐で取り付ける方法とし、5 個で計 100kg のパターンと 10 個で計 200kg のパターンの 2 通りとした。

##### (2) 結果

###### ① 応用地質(株)製プローブ

錘を載せた深度から 3~4m 程度下の区間に凸状のたわみが発生し、それより下の深度では変位の発生はないことが判った。累積グラフが凸の箇所と固定バンドの隙間の位置とは対応しないことから、変位発生位置とガイド管の取り付けとの関連は低いと言えるが、変位量は隙間が大きい 15m 付近が一番多い。

変位の発生機構は、本データからは取付け強度の弱い（隙間が大きい）箇所と変位発生箇所が一部で対応しているが、相関があるとは言えない。それに対して、錘の取り付けによりその位置から 3~4m 下方の区間で左右の軸力のバランスが変わったことが変位発生の原因である可能性が高い。

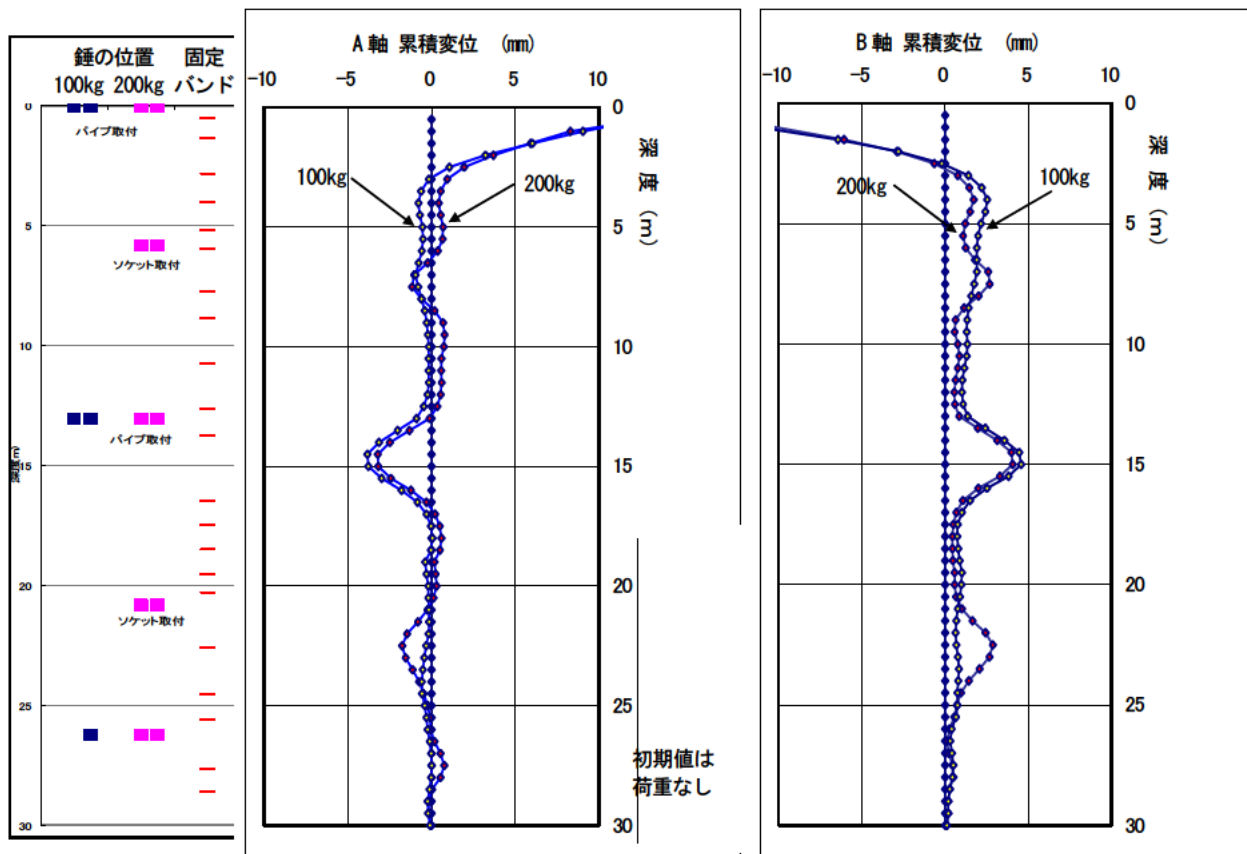


図 4.14 土塊の沈下を再現する载荷実験（室内実験、応用地質(株)製）

② 坂田電機(株)製プローブ

実施条件は、前述の応用地質(株)製と同じく国総研西階段に設置したガイド管に5箇所を載荷して坂田電機(株)製プローブで測定を行った。実験結果を錘の位置を併記して図4.15に示す。本図より、錘を載せた深度の3~4m程度下の区間に局所的な凹凸状の変形が見られた。また、錘を除去した部分は、ガイド管の変形が元に戻るような測定結果が得られた。実際の地盤では、全体が沈下するため、局所的な変形が繋がりS形状に見えると推測される。

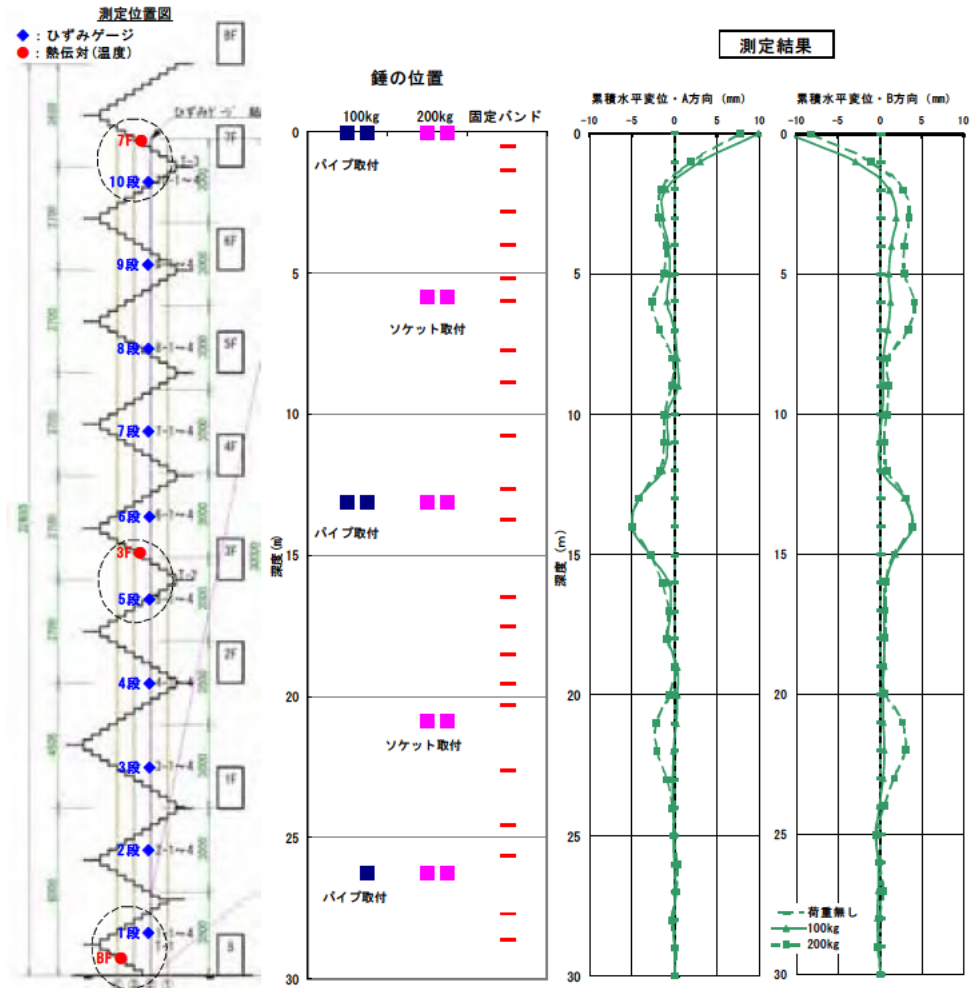


図 4.15 土塊の沈下時の測定結果(室内実験、坂田電機(株)製)

(3) まとめ

双方のプローブとも、累積変位図は類似しており計測器の種類による観測結果への影響はない。また、本実験は間隔が5m以上離れた位置での載荷であるが、実際の地盤で幅を持った区間が沈下した場合は本実験で発生したような凸状のデータが繋がってS形状に見えると考えられる。したがって、本データはガイド管設置時に充填を十分に行った場合においても、地盤の沈下に伴うガイド管の圧縮現象で発生する可能性があることから、不良データではなく地盤の沈下を反映したものと考えられる。

## 4.2.2 グラウト不良を再現する実験

### (1) 方法

設置時のグラウト不良による観測結果への影響を把握するために、図 4.16 に示したように階段のガイド管の上部に集中的に錘を取り付けて载荷実験を行った。载荷の方法は、1 個 20kg の水入りポリタンクをガイド管に紐で取り付ける方法とし、5 個で計 100kg のパターンと 10 個で計 200kg のパターンの 2 通りとした。

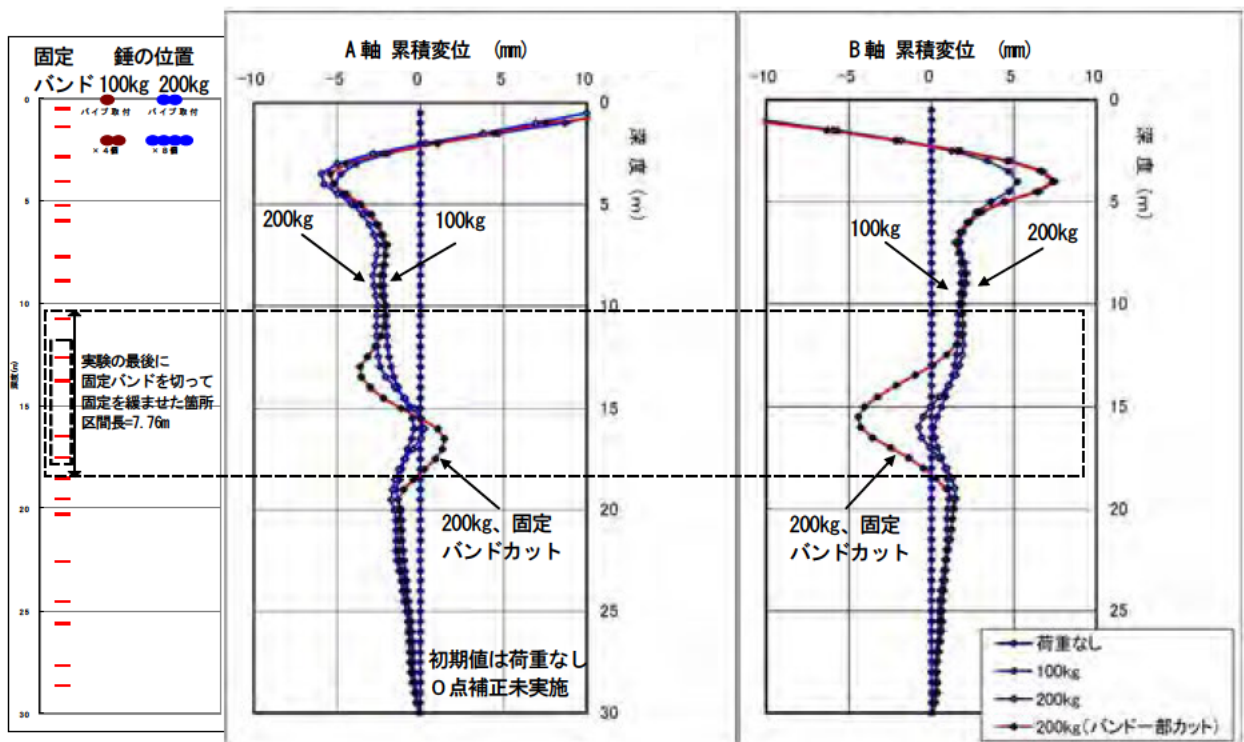
また、上部に 200kg の錘を取り付けた状態でガイド管の深度 10～18m 区間の固定バンドを切断し、約 8m の固定が緩い状態を意図的に設けた。

### (2) 結果

#### ① 応用地質(株)製プローブ

载荷後は、深度 5m より上部と深度 13～18m に明瞭な変位が発生し、13～18m は荷重が増えるほど変位が大きくなる。深度 5m までの変位は载荷による局所的な変形、深度 13～18m は固定バンドの隙間が大きい深度 15m の位置と対応していると考えられる。また、深度 8m 付近と 25m 付近にも不明瞭ながら緩やかな S 字状の曲がりが見られる。

固定バンドを除去すると、ガイド管の固定が緩い状態の約 8m の区間で変位がさらに大きくなり、A 軸では S 字状の曲がりが発生した。



② 坂田電機(株)製プローブ

実施条件は、前述の応用地質(株)製と同じく国総研西階段に設置したガイド管上部に载荷（最大：200kg）し、構造的弱部（固定バンドの間隔の広い部分）を意図的に作ることで、グラウト不良を再現した。実験結果を錘の位置を併記して図 4.17 に示す。本図より、ガイド管の上部に錘を載せた場合、固定バンドの間隔が最も広い深度 15m 付近に S 字状の変形が見られた。錘を載せた直下にも変形は見られるが、これは局所的な変形であるため本報告では影響を考慮しない。なお、200kg の錘を載せた状態で、図の破線で囲んだ範囲の固定バンドを除去した場合、さらに変形が大きくなった。

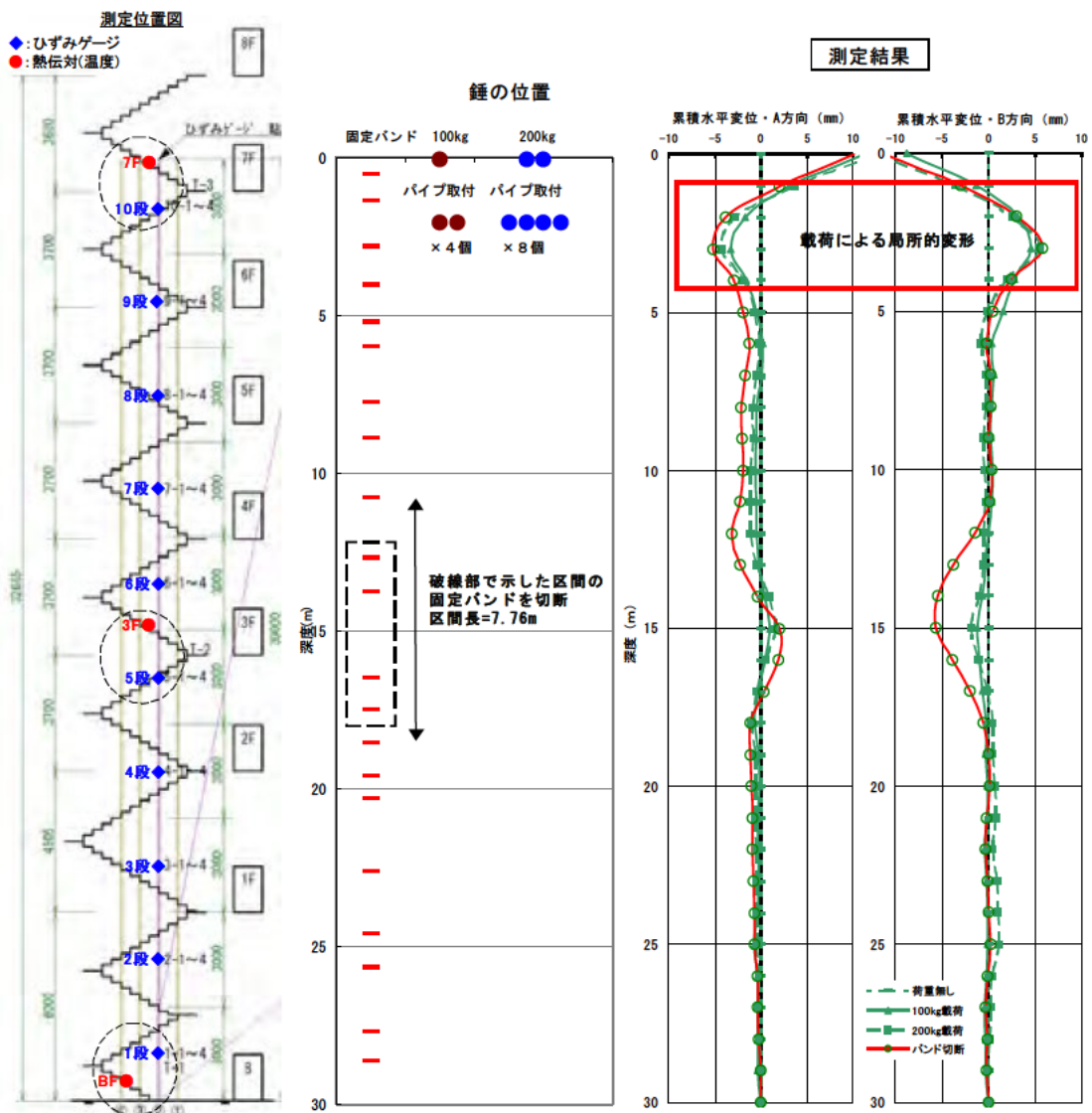


図 4.17 グラウト不良を再現する载荷実験（室内実験、坂田電機(株)製）

(3) まとめ

グラウト不良の状態を再現した実験においてもS字状のデータが発生した。

実際の地盤では、ボーリング孔内にガイド管が拘束されていない状態であるため、設置不良による地盤の空隙部にS字状のデータが発生すると、図4.18のように孔内でガイド管がらせんを描いたような状態になると考えられる(A軸,B軸方向に分けて表示するとS字状)。このようなS字状データは、ガイド管が地盤の変位を反映したものではなくグラウト不良の部分が選択的に圧縮した不良データと考えられる。

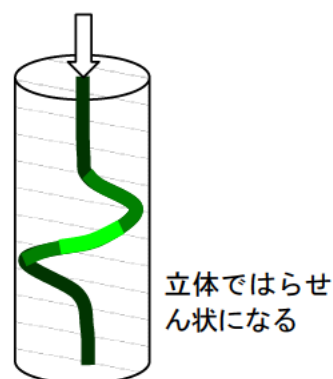


図 4.18 充填不良による座屈の模式図

このS字状データは、経験的にパッカー（筒状の布袋）を使用したガイド管の設置作業により、防ぐことが可能と言われている。そこで、ガイド管設置時のパッカー使用の有無を変えた比較実験を別途行い、データへの影響を確認することとした。

なお、累積変位図のみから設置不良によるS字状データと実際に沈下を捕らえたS字状データを見分けることは困難であるため、それらの混同を防ぐためにはガイド管を隙間なく設置する必要があるとともに、判断手法の検討が今後の課題となる。

表 4.2 S字データの見分け方（案）

| 特徴          | 設置不良孔のデータの特徴   | 土塊の沈下を捕らえた正しいデータの特徴   |
|-------------|--|---|
| 変位の累積時期     | <ul style="list-style-type: none"> <li>地すべりの変位の有無に関わらずS字が累積</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>地すべりの変位発生時にS字が累積</li> </ul>                                      |
| 変位の発生区間     | <ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング掘進時に開口亀裂などで漏水した区間と対応</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>開口亀裂や破砕部(孔が拡大)、すべり面付近でS字が発生</li> </ul>                           |
| 測定の安定度      | <ul style="list-style-type: none"> <li>S字区間は測定時に値が落ち着かない、固有誤差もばらつく</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>測定時に値は安定、固有誤差もばらつかない(グラウトが正常なら)</li> </ul>                       |
| S字の周期や発生の特徴 | <ul style="list-style-type: none"> <li>S字の周期が3~4m、あるいはもっと長い区間</li> <li>立体では奇麗ならせん状</li> <li>変位の累積でピークがずれる</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>S字の周期が細かくかつ不規則で、立体ではらせん状にはならないことが多い</li> <li>ピークはずれない</li> </ul> |
| S字の幅        | <ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング削孔径からガイド管の外径を引いた量</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング削孔径からガイド管の外径を引いた量を超えることもある</li> </ul>                       |

### 4.3 亀裂性地山でパッカー不使用の設置

開口亀裂が発達している地山で、パッカーを使用せずにガイド管の設置作業をおこなう場合、通常のセメント系充填材では充填が困難な場合があるため、綿くずや急結材などを混ぜる試みがされている。

そこで、既存の挿入式孔内傾斜計設置時に多量の充填材を使用した記録がある地すべり地にて、パッカーを使用せずにガイド管の設置を行う際に、多様な充填方法を試みるとともに充填作業に要する作業量を把握することとした。実施条件の概要は次の通り。

- ・実施箇所：現場（福島県郡山中山地すべり）
- ・実施方法：亀裂性地山の地すべり地でパッカーを使用せずにガイド管の設置作業を行う

#### (1) 作業位置

実験を行った作業箇所は福島県郡山市の中山地すべりであり、本実験と後述のガイド管の設置方法を変えた設置実験と兼ねて行った。作業位置の平面図や断面図は図 4.19 に、ボーリングの緒元は以下の通りである。

○H20B-1 孔（φ86mm ノンコア、L=31m、応用地質(株)製塗装ケーシング）

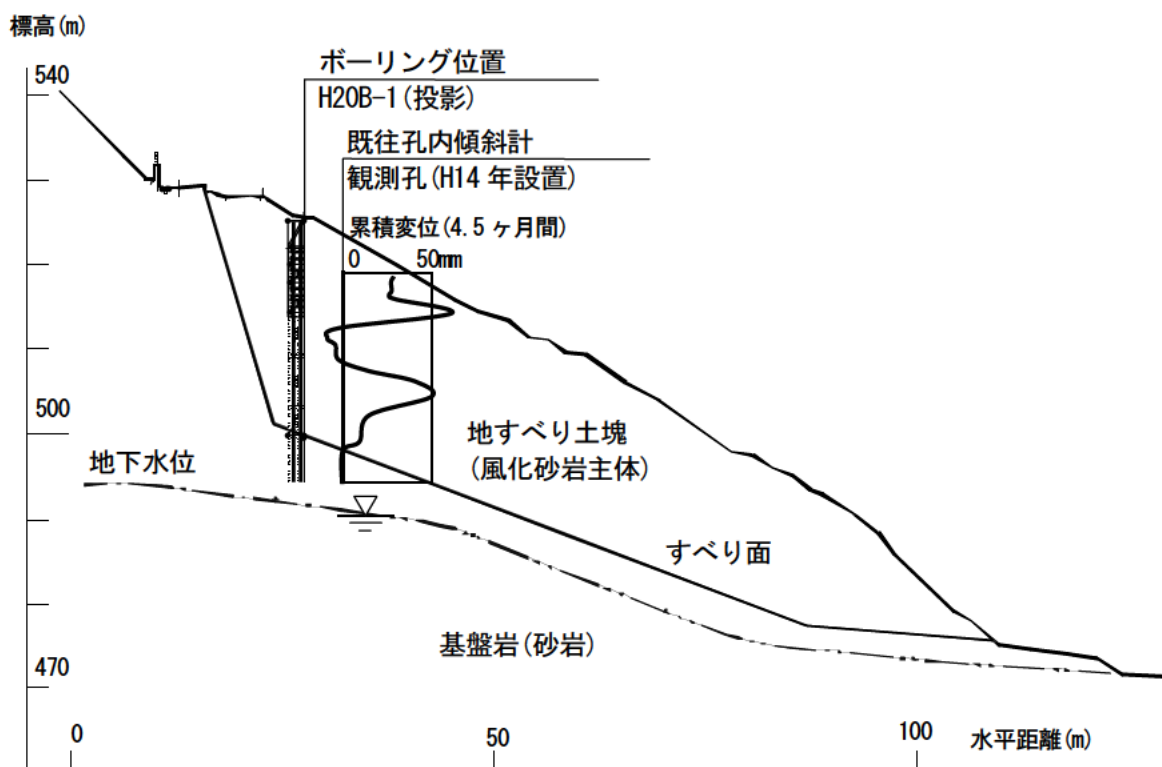


図 4.19.1 ボーリング位置断面図（パッカー不使用でガイド管設置）



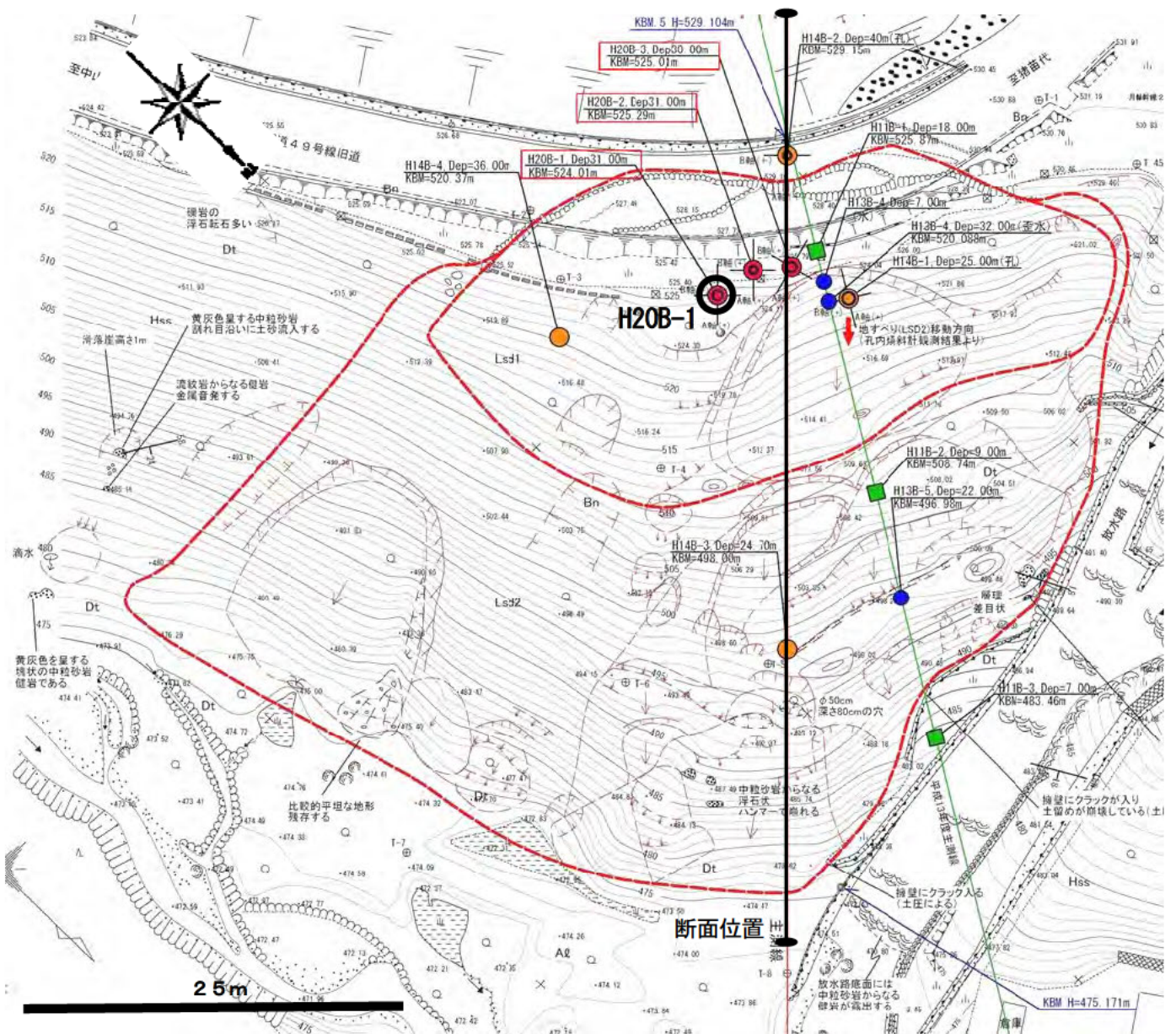
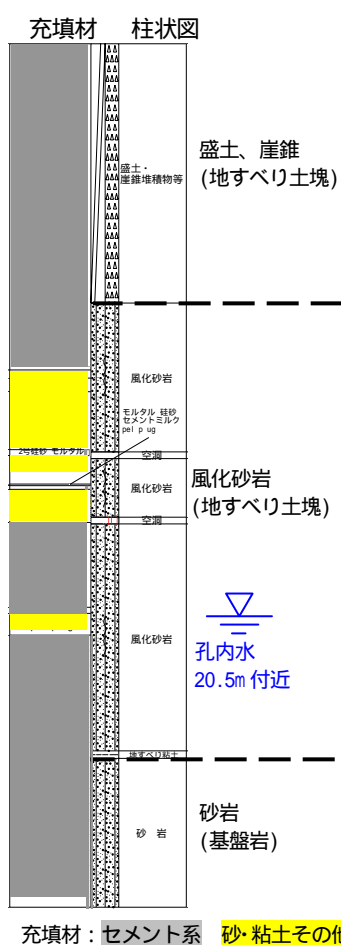


図 4.19.2 ボーリング位置平面図 (パッカー不使用でガイド管設置)

## (2) ボーリング時の状況

ガイド管設置時に使用した充填材(詳細は後述)、ボーリング柱状図および隣接孔のボーリングコア写真を図 4.20 に示す。本孔はノンコアボーリングのため地質状況の詳細は不明であるが、地表から深度 9.30m までが盛土や礫混じり土からのある崖錐堆積物、9.30 ~ 25.40m が風化砂岩、25.40 ~ 25.65m が粘土(既往調査から地すべり粘土)、25.65 ~ 31.00m が砂岩の新鮮部である。

地すべり土塊は、深度 25.65m より上方の盛土・崖錐堆積物・風化砂岩が主体からなり、風化砂岩の深度 14.65 ~ 14.90m、17.00 ~ 17.25m にはそれぞれ幅 25cm 空洞が確認されている。



## 隣接孔のコア写真 (H20B-2 孔)



図 4.20 柱状図と隣接孔のコア写真

## (3) 充填作業

使用した充填材の一覧表を表 4.3 に、充填作業の作業経過図を図 4.21 に示す。当初はセメント系のみでの充填材による充填作業を行った。しかし、岩盤の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ため、逸水防止の綿くず(写真 4.1)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考えられる手段を駆使して充填作業を行った。その結果、充填材は必要量の 23 倍以上を消費し、設置完了までに 1 ヶ月もの期間を要した。なお、パッカー法と砂詰め法は 1 日で充填作業が終了した。



写真 4.1 綿くず(テルストップ)

表 4.3 使用した充填材の一覧表 (H20B-1 孔)

| 日付         | 充填前深度  | 充填後深度  | セメント量 |       | 水量  | スラリー量 | 充填高   | 備考  |
|------------|--------|--------|-------|-------|-----|-------|-------|---|
|            | (m)    | (m)    | (袋)   | (kg)  | (L) | (L)   |       |   |
| 2008/11/13 | -31.00 | -23.30 | 4     | 100   | 80  | 112   | 7.10  | セメント2袋・水40Lを2回実施  |
| 2008/11/14 | -23.90 | -23.43 | 55    | 1,375 | 720 | 1156  | 0.47  | セメント3袋・水40L 最後の方はセメント3袋に対し水35L  |
| 2008/11/15 | -23.43 | -23.26 | 60    | 1,500 | 700 | 1175  | 0.17  | セメント3袋に対し水35L   |
| 2008/11/17 | -23.26 | -23.26 | 0.5   | 12.5  | -   | -     | 0.00  | スラブ玉で孔口より投入   |
| 2008/11/18 | -23.26 | -23.08 | 39    | 975   | 520 | 829   | 0.18  | テルストップ(絡くず混入)   |
| 2008/11/19 | -23.08 | -21.43 | 24    | 600   | 320 | 510   | 1.65  | テルストップ(絡くず混入)   |
| 2008/11/20 | -21.43 | -21.38 | 12    | 300   | 120 | 215   | 0.05  | テルストップ(絡くず混入)   |
|            | -21.38 | -21.38 | 15    | 375   | 190 | 309   | 0.00  | セメント3袋・水40L・テルストップ・急結剤500cc 3回<br>セメント3袋・水35L・テルストップ・急結剤500cc 2回                                    |
| 2008/11/21 | -21.38 | -21.24 | 21    | 525   | 275 | 442   | 0.14  | セメント3袋・水40L・テルストップ・急結剤500cc 4回<br>セメント3袋・水35L・テルストップ・急結剤500cc 1回<br>セメント3袋・水40L・テルストップ・急結剤10-15L 2回 |
| 2008/11/22 | -21.24 | -20.46 | 18    | 450   | 115 | 258   | 0.78  | pel plug使用  |
| 2008/11/25 | -20.46 | -20.25 | 12    | 300   | 160 | 255   | 0.21  | セメント3袋・水40L・テルストップ・急結剤1,500cc 4回  |
| 2008/11/26 | -20.25 | -18.71 | 2.5   | 63    | 34  | 54    | 1.54  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水7~8L 5回<br>途中で1回(4L)急結剤を注入  |
| 2008/11/27 | -18.71 | -17.45 | 6.5   | 163   | 65  | 117   | 1.26  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L 13回<br>途中で3回(4L, 2L, 3L)急結剤を注入   |
|            | -17.45 | -17.20 | 4     | 100   | 40  | 72    | 0.25  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L 8回   |
| 2008/12/1  | -17.20 | -16.90 |       |       |     |       | 0.30  | 珪砂7袋(33kg/袋)投入  |
|            | -16.90 | -17.20 | 3     | 75    | 40  | 64    | -0.30 | セメントミルク(セメント3袋・水40L)注入したら、また下がった。   |
|            | -17.20 | -16.90 | (3)   |       |     |       | 1.20  | 珪砂(20kg)投入<br>セメントミルク(セメント3袋・水40L)1回注入。   |
| 2008/12/2  | -16.90 | -15.90 | 9     | 225   | 120 | 192   | 0.10  | セメント3袋・水40L・テルストップ 3回   |
|            | -15.90 | -15.86 | 1     | 25    | 10  | 18    | 0.04  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L 2回   |
|            | -15.86 | -15.80 | 1.5   | 38    | 15  | 27    | 0.06  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L・急結剤1L 3回   |
| 2008/12/3  | -15.80 | -15.80 | 0.5   | 13    | 5   | 9     | 0.00  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L 1回   |
|            | -15.80 | -15.80 | (3)   |       |     |       | 0.00  | 珪砂10袋(33kg/袋)投入<br>セメントミルク(セメント3袋・水40L・急結剤2L)1回注入。  |
|            | -15.80 | -15.80 | 1     | 25    | 40  | 46    | 0.00  | 珪砂2袋(33kg/袋)投入<br>セメントミルク(セメント3袋・水40L・急結剤2L)1回注入。<br>pel plug(30kg) 水5L 使用                          |
| 2008/12/4  | -15.80 | -14.80 | 1.5   | 38    | 20  | 32    | 1.00  | ハツカー  |
|            | -14.80 | -14.98 | 0.5   | 13    | 5   | 9     | 0.22  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L 1回<br>珪砂2袋   |
|            | -14.98 | -14.98 | 0.5   | 13    | 5   | 9     | 0.00  | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L 1回   |
| 2008/12/10 | -14.58 | -12.50 |       |       |     |       | 2.08  | 2号珪砂  |
|            | -12.50 | -12.90 |       |       |     |       | 0.50  | 3号珪砂  |
|            | -12.00 | -11.70 |       |       |     |       | 0.30  | 粘土  |
|            | -11.70 | 0      |       |       |     |       | 11.70 | セメント0.5袋・砂1.5袋・水5L 6回   |

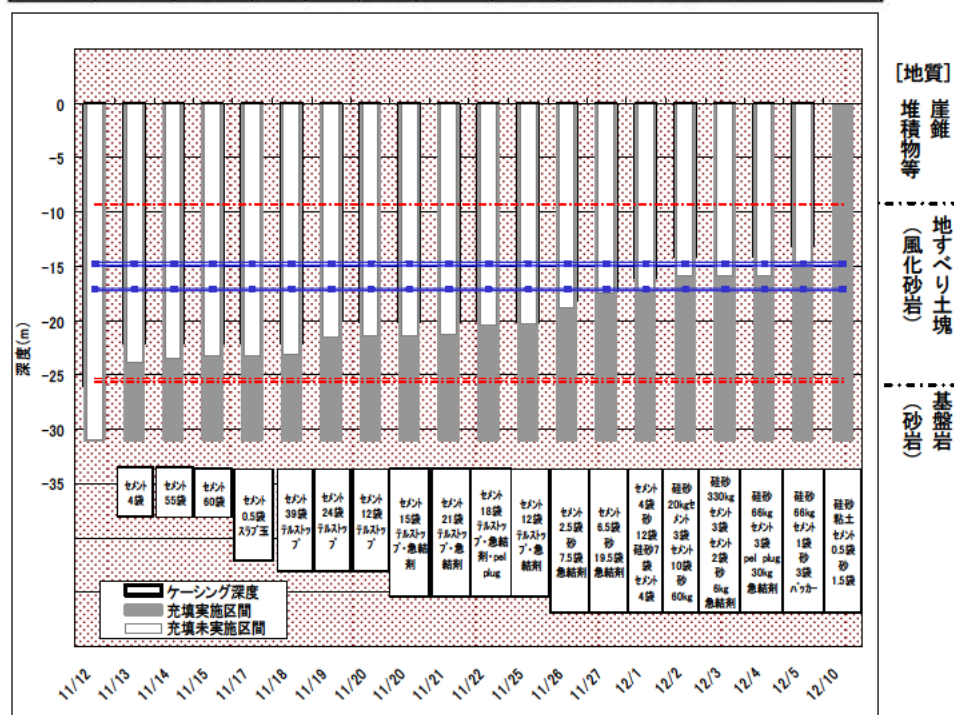


図 4.21 充填材の充填深度と使用した充填作業の作業経過図 (H20B-1 孔)

#### (4) ガイド管切断の復旧

##### ① 背景

前述のように、岩盤部分の亀裂が多く様々な手段で充填作業を試みたが、開口亀裂部分ではどの方法でも充填材が上がってこなかった。そこで、最後の手段として塩ビ管先端にパッカーを取り付けて、空洞部分をふさぐ手法を試みた。この作業は2回行っており、1回目は成功したが、2回目はケーシングビットとガイド管継手部の狭窄部でパッカーが引っ掛かったため、ケーシングの中でパッカーが膨らみ固結した。その後、ケーシングを引き上げたところ、ガイド管が供上がりして切断したことが確認された（写真 4.2）。

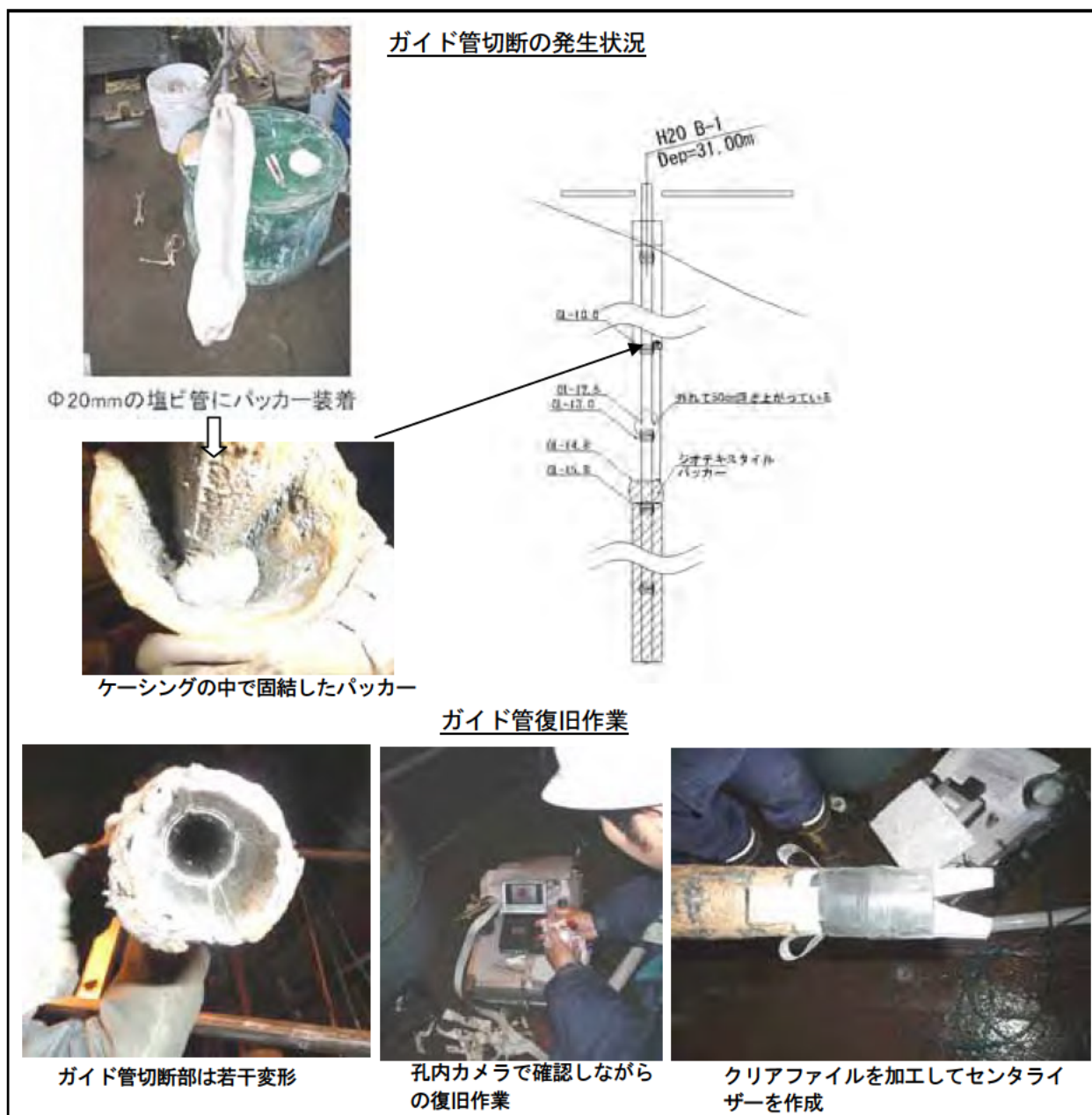


写真 4.2 ガイド管切断と復旧作業の状況

## ②復旧作業

ガイド管にフックを取り付けて回収を試みたが上がらなかったため、保孔用ケーシングごと引き上げた。回収したケーシングの内部とガイド管との間に固結したパッカーが挟まっている状況であった。切断したガイド管の切断面は若干変形していたため、その部分を切断して径をやや広げるように加工し、クリアファイルで作成したセンタライザーをつけて、孔内カメラでガイド管の先端を確認しながら切断部を接合した。その後、珪砂や粘土で接合部周辺を充填したのち、充填材を注入した。

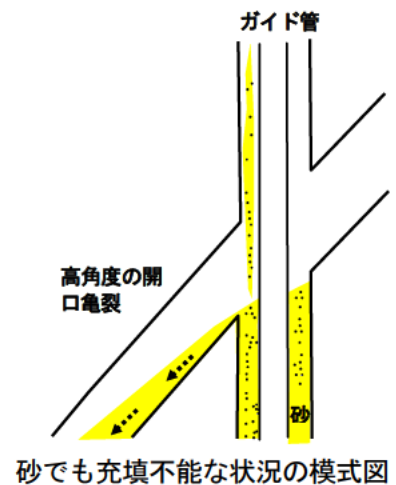
## ③礫の押し込み作業

深度 28m 位でプローブが入らなかった。孔内カメラで観察したところ、深度 28m の継ぎ手のリベットに、ケーシング引き抜き時に落下した礫が咬んでいた。その後、VP25 塩ビ管を繋いで突付いたところ、礫を孔底まで押し込むことができた。

## (4) まとめ

亀裂が多い地盤で挿入式孔内傾斜計を設置する際は、**パッカーを必ず使用する**。なお、パッカーを使用しなかった場合、あるいはパッカーが何らかの原因で破れた場合は充填材が上がってこないことがある。連続した高角度の開口亀裂が存在する場合、セメントに綿くず・ベントナイト・砂・急結材などを混ぜても効果が上がらず、砂を混ぜたモルタルあるいは砂の充填でも充填できなかった(右図)。最終手段として、塩ビ先端にパッカーをつけて空洞をふさぐ手段があるが、保孔用ケーシング深度との位置関係に十分に注意する必要がある。

なお挿入式孔内傾斜計の設置を行う際は、孔内カメラをあらかじめ用意しておくことで、開口亀裂の状況観察やトラブル発生時の状況確認などで様々な用途があつて有用であった。



#### 4.4 パッカー試験

挿入式孔内傾斜計のガイド管設置で用いられているパッカーの特徴を確認する。今回試験で使用したパッカーは、それぞれの用途に応じた使用実績があるものなので性能比較は行わずに、各パッカーの特徴を把握して地盤条件などによる使い分けについて確認することを目的とした。測定条件の概要は次の通り。

- ・実施箇所：現場（中山地すべり）
- ・実施方法：パッカーの伸縮性などの特徴把握と充填材注入試験による漏出具合の確認

##### (1) 資材

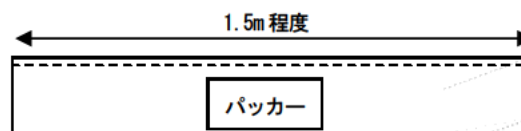
###### ①各種パッカーのサイズを合わせる。

各パッカーの長さを 1.5m 程度に切りそろえる。準備した資材は次の通り。

###### ○パッカー

- ・ジオテキスタイルパッカー：I型、 $\phi$  max115mm
- ・ストロングパッカー：SE-120、 $\phi$  120mm
- ・フリクションパッカー：FP100、 $\phi$  120mm
- ・HP バック（ハイバック） $\phi$  120mm
- ・グラウトジャケット：W-840B-190、 $\phi$  165mm
- ・布パッカー：布パッカー 190、 $\phi$  120mm
- ・シームレスパッカー：140mm

計 7 本



###### ②その他

- ・吊り台 現場にある単管パイプで組む
- ・バケツ 7個
- ・充填材 約 80L（セメント 2 袋+水 40L）

##### (2) 準備工

写真 4.3、図 4.22 のように、足場パイプで簡単なフレームを作成し、各パッカーを吊り下げた。パッカーの下端は、結んでビニールテープで巻いて閉合する。パッカーの上部はビニールテープ固定した。また、パッカーの下には容器（バケツ）を置いた。

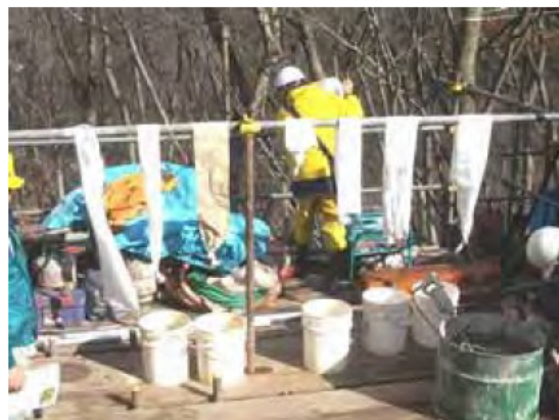


写真 4.3 パッカー試験の準備状況  
左より 1～7 の順番でパッカーが並んでいる

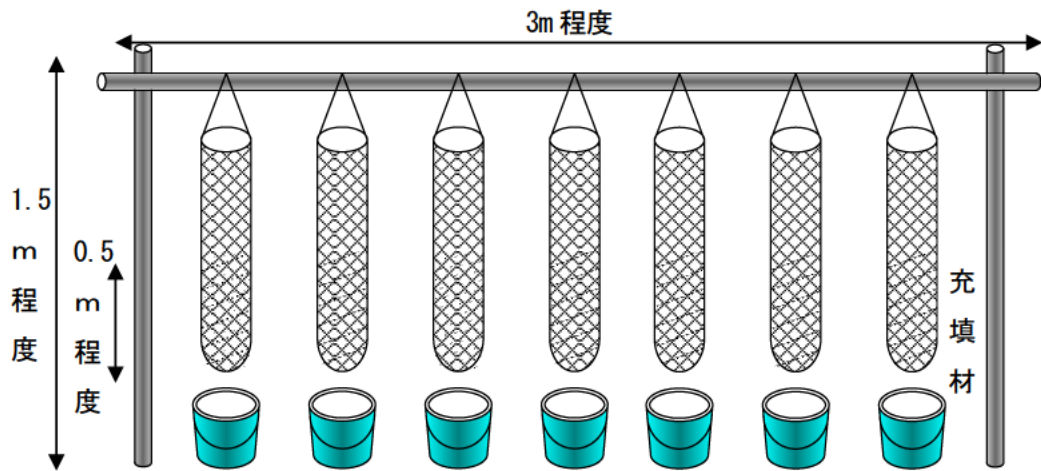


図 4.22 パッカー試験の模式図

### (3) 充填材の注入

各パッカーに充填材を注ぎ込む。また、その充填高さは各パッカーとも 50cm とする。注入状況を写真 4.4 に示す。充填材の配合は、セメント 3 袋あたり水 40L で、ガイド管設置用の充填材としてはやや濃い目のものを用いた。



写真 4.4 充填材の攪拌状況

### (4) 漏出量の測定

各パッカーから漏出した水分の量を、下に置いた容器で 30 分、2 時間、4 時間後に測定した。また、漏出した水分の濁り具合を目視で観察した。注入試験の実施状況を写真 4.5 に示す。



写真 4.5 パッカー試験の実施状況および漏出量の測定状況




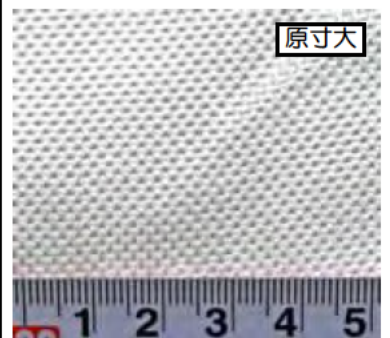

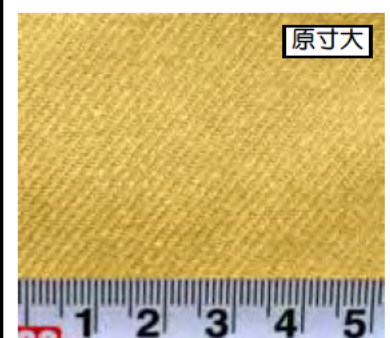
## (5) 結果

収集したパッカーの特徴を表 4.4～4.6 に示す。パッカーの規格や主な用途、目視観察結果および注入試験結果をまとめたものである。パッカーには挿入式孔内傾斜計用・グラウンドアンカーの定着部用・鋼管矢板の止水用のものなど多数の製品が存在する。グラウンドアンカー用は、周面摩擦が確保できるように生地が丈夫で表面に摩擦があることに加えて、生地が粗く充填材が漏出するような作りになっている。逆に、鋼管矢板の止水用は横方向の伸縮性が良く生地が細かくグラウトの水分が漏出しにくいといった特徴がある。また、パッカーの 1m あたりの価格差は約 30 倍もの幅がある。

次に注入試験結果を表 4.7 に示す。本表の漏出率とは、充填材注入後から 4 時間後の漏出量を 100%とした場合の漏出した割合のことである。注入試験の特徴は水分とセメントが漏出しやすい漏出率が高いものから、水はけは良くセメントは漏出しにくく伸びは無いもの、最初はセメントが漏出するが次第に水分のみとなるような特徴がある。また、漏出率や充填材の漏れ具合はパッカーの生地の細かさと概ね対応している傾向がある。



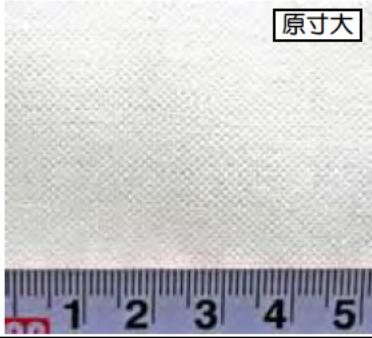
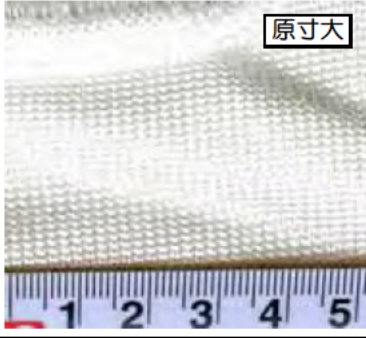


表 4.4 パッカー試験観察結果一覧表①

| 番号        | 1   | 2  | 3  |
|-----------|---|--|--|
| 名称        | ジオテキスタイルパッカー  | ストロングパッカー  | HPバック (ハイバック)  |
| 社名        | ダイトー物産 (株)  | スペースエンジニアリング (株)   | 新技術工営 (株)  |
| 全体写真      |                  |            |   |
| 写真拡大      |                 |           |  |
| 規格        | Ⅱ型  | SE-120   | HP120mm  |
| 対応径       | φmax150mm   | φ76mm  | φ95~101mm  |
| 材質        | ポリエステル繊維 (タイレ)  | アクリル繊維テクタス (東洋紡績 (株)) 製  | アラミド繊維テクノーラ (帝人 (株)) 製   |
| 価格ランク※    | 1   | 3  | 7  |
| 主な用途      | ・ 孔内傾斜計の設置時の充填  | ・ アンカーやボルトの加圧用<br>・ 孔内傾斜計等設置時の充填<br>・ 井戸や水位観測孔の遮水用   | ・ グラウンドアンカーの定着部用   |
| 目視観察による特徴 | ・ 端部の片方が2本の縫い目で縫合されており、端部からほつれることがある<br>・ 伸縮性は無い<br>・ 強く引っ張ると縫い目が若干広がる<br>・ 感触は樹脂繊維のカバンの様で、すべりが良い | ・ 縫い目が無い (シームレス) 筒状でほつれない<br>・ 縦横両方向の伸縮性があるが、縦方向に伸びやすい<br>・ 強く引っ張っても網目は変わらない<br>・ 感触は厚手の靴下の様 | ・ 縫い目が無い筒状<br>・ 強く引っ張っても縫い目は変わらない<br>・ 伸縮性は無い<br>・ 感触はごわごわしたジーンズの様、最も硬い              |
| 注入試験結果    | ・ 注入当初は若干セメント分の混じったグラウト材が漏出するが、次第に水分のみが漏出する<br>・ 強く加圧すると縫い目からグラウト材が染み出す                           | ・ 加圧後は表面ににじみ出る程度   | ・ 注入当初からきれいな水が漏出する   |



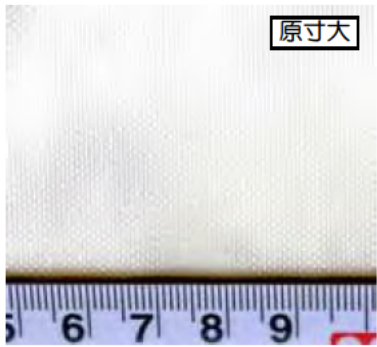
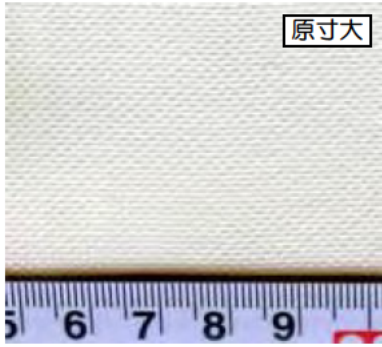
※ 1 (安い) < 7 (高い)

表 4.5 パッカー試験観察結果一覧表②

| 番号        | 4  | 5   |
|-----------|--|---|
| 名称        | グラウトジャケット  | フリクションパッカー  |
| 社名        | 旭化成ジオテック(株)  | 弘和産業(株)   |
| 全体写真      |   |   |
| 写真拡大      |    |    |
| 規格        | W-840B-190   | FP100   |
| 対応径       | φ165mm   | φ120mm  |
| 材質        | 高強カポリエステル  | ポリプロピレン繊維(パイレン)   |
| 価格ランク※    | 2  | 6   |
| 主な用途      | ・鋼管天板のジョイント部の止水用   | ・グラウンドアンカーの定着部用   |
| 目視観察による特徴 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・両端部が細かい編み込みで接合され、筒状になっている</li> <li>・横方向の伸縮性は高い、縦方向は無い</li> <li>・強く引っ張ると網目が若干広がる</li> <li>・感触は運動用サポーターのようで、最も柔らかい</li> <li>・「布パッカー」と類似</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・縫い目が無い筒状</li> <li>・横方向の伸縮性は若干あるが、縦方向は無い</li> <li>・強く引っ張っても網目は変わらない</li> <li>・最も生地が厚い。外側は厚手の靴下のようで、内側はマジックテープの柔らかい方のような加工がされている</li> </ul> |
| 注入試験結果    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的早い段階からきれいな水が漏出する</li> <li>・横方向への伸びが良い</li> <li>・2時間後も水がポタポタと漏出する。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・注入当初は若干セメント分の混じったグラウト材が漏出するが、次第に水分のみが漏出する</li> </ul>  |

※1 (安い) < 7 (高い)

表 4.6 パッカー試験観察結果一覧表③

| 番号        | 6  | 7  |
|-----------|--|--|
| 名称        | 布パッカー(グラウトジャケット)   | シームレスパッカー  |
| 社名        | 弘和産業(株)  | 弘和産業(株)  |
| 全体写真      |   |    |
| 写真拡大      |    |   |
| 規格        | 布パッカー-190  | シームレスパッカー-200  |
| 対応径       | φ120mm   | φ130mm   |
| 材質        | ポリエステル繊維   | ポリエステル繊維   |
| 価格ランク※    | 4  | 5  |
| 主な用途      | ・鋼管天板のジョイント部の止水用   | ・グラウンドアンカー定着部用<br>・横ボーリング口元等止水用  |
| 目視観察による特徴 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・両端部が細かい編み込みで接合され、筒状になっている。</li> <li>・横方向の伸縮性は高い、縦方向は無い</li> <li>・強く引っ張ると網目は変わらない</li> <li>・感触は運動用サポーターの様で、最も柔らかい</li> <li>・「グラウトジャケット」と類似</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・縫い目が無い筒状</li> <li>・伸縮性は無い</li> <li>・強く引っ張っても網目は変わらない</li> <li>・感触は樹脂繊維のカバンの様で、すべりが良い。「ジオキスタイルパッカー」より緻密な印象</li> </ul> |
| 注入試験結果    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的早い段階からきれいな水が漏出する</li> <li>・横方向への伸びが良い</li> <li>・2時間後も水がポタポタと漏出する。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・比較的早い段階からきれいな水が浸出してくる。</li> </ul>  |

※1 (安い) < 7 (高い)

表 4.7 パッカー試験注入結果一覧表

|           | 1   | 2  | 3   | 4  | 5   | 6  | 7  |
|-----------|---|--|---|--|---|--|--|
| 名称        | ジオテキスタイルパッカー  | ストロングパッカー  | HPパック(ハイパック)  | グラウトジャケット  | フリクションパッカー  | 布パッカー  | シームレスパッカー  |
| 実験状況      |   |  |   |  |   |  |  |
| 漏出水       |   |  |   |  |   |  |  |
| 実験終了状況    |   |  |   |  |   |  |  |
| 漏出水の経過    |   |  |   |  |   |  |  |
| 11:40     | 0ml   | 0ml  | 0ml   | 0ml  | 0ml   | 0ml  | 0ml  |
| 12:10     | 680ml   | 840ml  | 1,200ml   | 630ml  | 930ml   | 2,250ml  | 1,430ml  |
| 13:40     | 740ml   | 860ml  | 1,350ml   | 960ml  | 970ml   | 3,180ml  | 1,840ml  |
| 15:40     | 790ml   | 870ml  | 1,360ml   | 1,070ml  | 990ml   | 3,320ml  | 1,870ml  |
| 注入量       | 47,493ml  | 39,250ml   | 56,520ml  | 30,772ml   | 39,250ml  | 88,313ml   | 56,520ml   |
| 直径        | 11cm  | 10cm   | 12cm  | 14cm   | 10cm  | 15cm   | 12cm   |
| 高さ        | 50cm  | 50cm   | 50cm  | 20cm   | 50cm  | 50cm   | 50cm   |
| 目視観察による特徴 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 端部の片方が2本の縫い目で縫合されており、端部からほつれることがある</li> <li>・ 伸縮性はない</li> <li>・ 強く引っ張ると縫い目が若干広がる</li> <li>・ 感触は樹脂繊維のカパンの様で、すべりが良い</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 縫い目がない(シームレス)筒状でほつれない</li> <li>・ 縦横両方向の伸縮性があるが、縦方向に伸びやすい</li> <li>・ 強く引っ張っても網目は変わらない</li> <li>・ 感触は厚手の靴下の様</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 縫い目がない筒状</li> <li>・ 強く引っ張っても縫い目は変わらない</li> <li>・ 伸縮性はない</li> <li>・ 感触はごわごわしたジーンズの様、最も硬い</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 両端部が細かい編み込みで接合され、筒状になっている</li> <li>・ 横方向の伸縮性は高い、縦方向は無い</li> <li>・ 強く引っ張ると網目が若干広がる</li> <li>・ 感触は運動用サポーターの様で、最も柔らかい</li> <li>・ 「布パッカー」と類似</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 縫い目がない筒状</li> <li>・ 横方向の伸縮性は若干あるが、縦方向は無い</li> <li>・ 強く引っ張っても網目は変わらない</li> <li>・ 最も生地が厚い。外側は厚手の靴下の様で、内側はマジックテープの柔らかい方の様な加工がされている</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 両端部が細かい編み込みで接合され、筒状になっている</li> <li>・ 横方向の伸縮性は高い、縦方向は無い</li> <li>・ 強く引っ張ると網目は変わらない</li> <li>・ 感触は運動用サポーターの様で、最も柔らかい</li> <li>・ 「グラウトジャケット」と類似</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 縫い目がない筒状</li> <li>・ 伸縮性はない</li> <li>・ 強く引っ張っても網目は変わらない</li> <li>・ 感触は樹脂繊維のカパンの様で、すべりが良い、「ツリ付特付パッカー」より緻密な印象</li> </ul> |
| グラウト試験結果  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入当初は若干セメント分の混じったグラウト材が漏出するが、次第に水分のみが漏出する</li> <li>・ パッカー表面から全体的ににじみ出ており、局所的に強く加圧すると縫い目からグラウト材が染み出す</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入当初は若干セメント分の混じったグラウト材が漏出するが、次第に水分のみが漏出する</li> <li>・ パッカー表面から全体的ににじみ出る</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入当初からきれいな水が漏出する</li> <li>・ パッカー表面からの漏出は見られない</li> <li>・ 水はけが良い</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入当初からきれいな水が漏出する</li> <li>・ 横方向への伸びが良い</li> <li>・ 2時間後も水がポタポタと漏出する</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入当初は若干セメント分の混じったグラウト材が漏出するが、次第に水分のみが漏出する</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入当初からきれいな水が漏出する</li> <li>・ 横方向への伸びが良い</li> <li>・ 2時間後も水がポタポタと漏出する</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 注入当初からきれいな水が漏出してくる</li> <li>・ 水はけが良い</li> </ul>   |
| 漏出率の上昇段階  | 4   | 1  | 3   | 7  | 2   | 6  | 5  |

以上の結果に基づきパッカーの特徴を表 4.8 にまとめた。設置目的に応じて、次のような使い分けが考えられる。

- ・亀裂や漏水量の少ない地盤には経済的な製品（ジオテキスタイルパッカー）
- ・亀裂が多く孔径の拡大が懸念される地盤には伸びが良い製品（グラウトジャケット、布パッカー）
- ・空洞が存在する部分には地盤には高強度の製品で補強（HP パック、シームレスパッカー）
- ・早期観測が必要な孔には漏出率の上昇速度が早い製品（ストロングパッカー、フリクシオンパッカー）

表 4.8 パッカー試験結果のまとめ

| 製品名           | 伸縮性     | 強度     | 価格ランク | 漏出性                      |
|---------------|---------|--------|-------|--------------------------|
| ジオテキスタイルパッカー  | 無し      | 縫い目が弱い | 1     | 最初はセメントが漏出するが次第に水分のみ     |
| ストロングパッカー     | 縦横方向に有  | 強い     | 3     | 最初はセメントが漏出するが次第に水分のみ     |
| HP パック(ハイパック) | 無し      | 最も強い   | 7     | 水はけは良く、セメントは漏出しにくく、伸びは無い |
| グラウトジャケット     | 横方向に高い  | 普通     | 2     | 水分とセメントが漏出しにくく、伸びが良い     |
| フリクシオンパッカー    | 横方向に若干有 | 強い     | 6     | 最初はセメントが漏出するが次第に水分のみ     |
| 布パッカー         | 横方向に高い  | 普通     | 4     | 水分とセメントが漏出しにくく、伸びが良い     |
| シームレスパッカー     | 無し      | 強い     | 5     | 水はけは良く、セメントは漏出しにくく、伸びは無い |

1 (安い) < 7 (高い)

#### 4.5 ガイド管設置方法の違い

ガイド管設置時における地盤との隙間の発生を防ぐためには、パッカーの使用が有効であることが経験的に分かっている。パッカーは、ガイド管に被せる筒状の袋でその中に充填材を注入して使用する。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漏れない特徴がある。パッカーの使用は、空洞や開口亀裂の多い地盤では有効と言われていたが、今までに比較実験が行われた報告はない。そこで、既往観測データで充填材の流出による設置不良によりS字状のデータが発生している地すべり地にて、パッカー使用の有無を変えて設置実験を行い、観測結果への影響を把握することとした。実施条件の概要は次の通り。

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>・実施箇所：現場（中山地すべり）</li><li>・使用機器：応用地質株式会社製プローブ</li><li>・実施方法：パッカー使用の有無を変えてガイド管を設置し定期観測を行う。</li></ul> |
|--|

##### (1) 実施方法

本実験は、前述の亀裂性地山でパッカー不使用にてガイド管を設置する実験と兼ねて福島県郡山市の中山地すべりで行った。設置方法は、充填材を孔底からホースで吹き上げる「吹き上げ法」、パッカーを使用する「パッカー法」に加えて、一部地域で標準仕様である「砂詰め法」の3種類を計画した（図4.23）。

ボーリング位置は、削孔径 86mm・深度 30m 程度でそれぞれ 5m 程度離れた位置に配置し、設置方法以外の差ができるだけ生じないように同じオペレーターとボーリングマシンによる掘進作業とした。ボーリングの掘削位置は、既往調査でS字状の挿入式孔内傾斜計データが発生している地すべり範囲の上部とした（図4.24）。

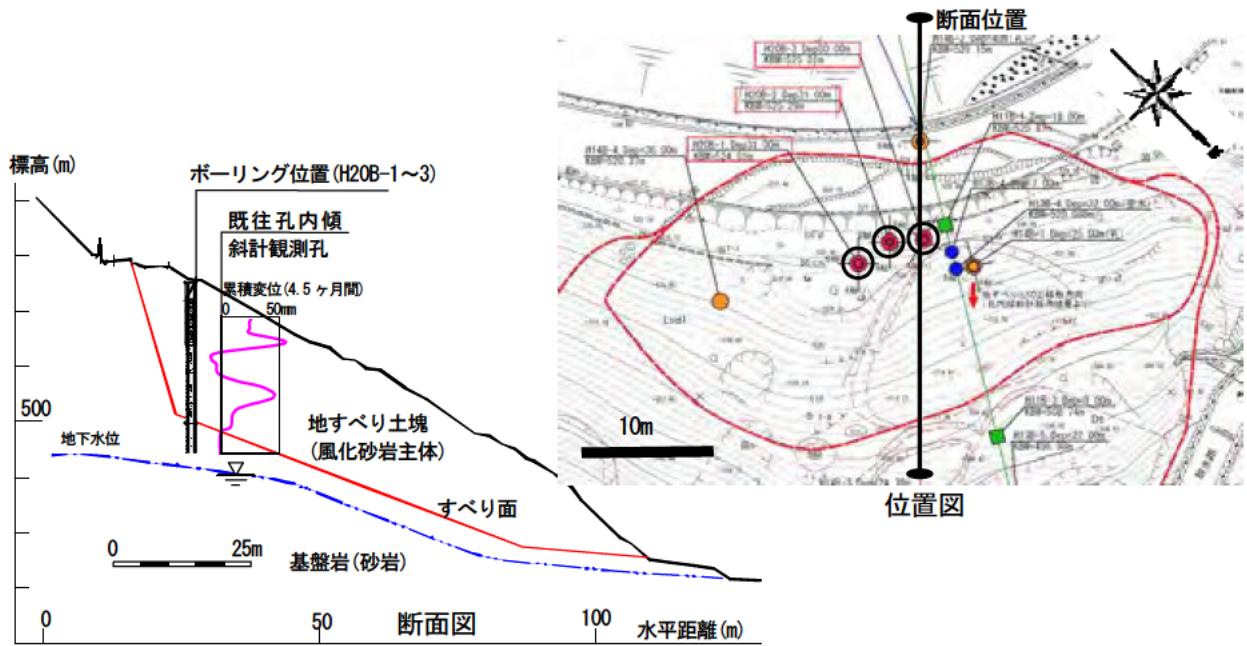


図 4.23 ボーリング作業位置図 (ガイド管設置方法による違いの実験)

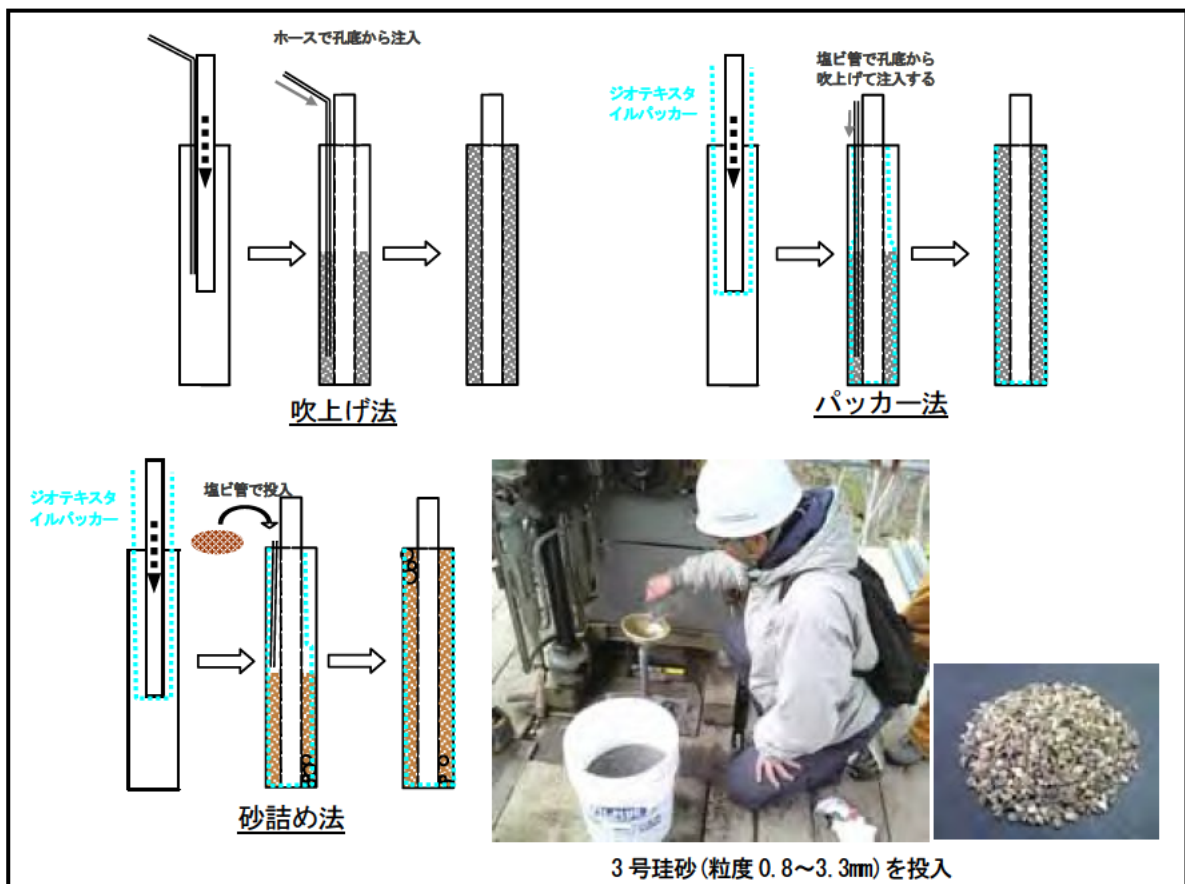


図 4.24 ガイド管の設置方法 (ガイド管設置方法による違いの実験)

(2) ボーリング結果

ボーリング柱状図、充填材の状況およびコア採取を行った H20B-2 孔コア写真を併記して図 4.25 に示す。吹上げ法の H20B-1 孔は、岩盤の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ため、綿くず・粒状ベントナイト・砂などを混ぜて充填作業を行い、充填完了までに当初計画量の約 30 倍もの多量の充填材と 1 ヶ月もの期間を要した（詳細は前述の「4.3 亀裂性地山でパッカー不使用の設置」を参照。）

パッカー法の H20B-2 孔は、B-1 孔の充填作業状況を踏まえて、亀裂区間でパッカーが破れないように補強として端部の縫合と二重パッカーで補強を実施した（図 4.26）。その後、混和材（粉末粘土）を混ぜた充填材で、1 日程度で充填作業が終了した。砂詰め法の H20B-3 孔は、B-1 孔の充填作業で開口亀裂部は砂でも充填が不可であったため、パッカーを使用した。充填時は隙間ができないように塩ビ管を繋いで孔底から砂を充填し、1 日で作業は終了した。

このように、パッカーの使用の有無により、作業期間や使用した充填材の量に違いが現れた。

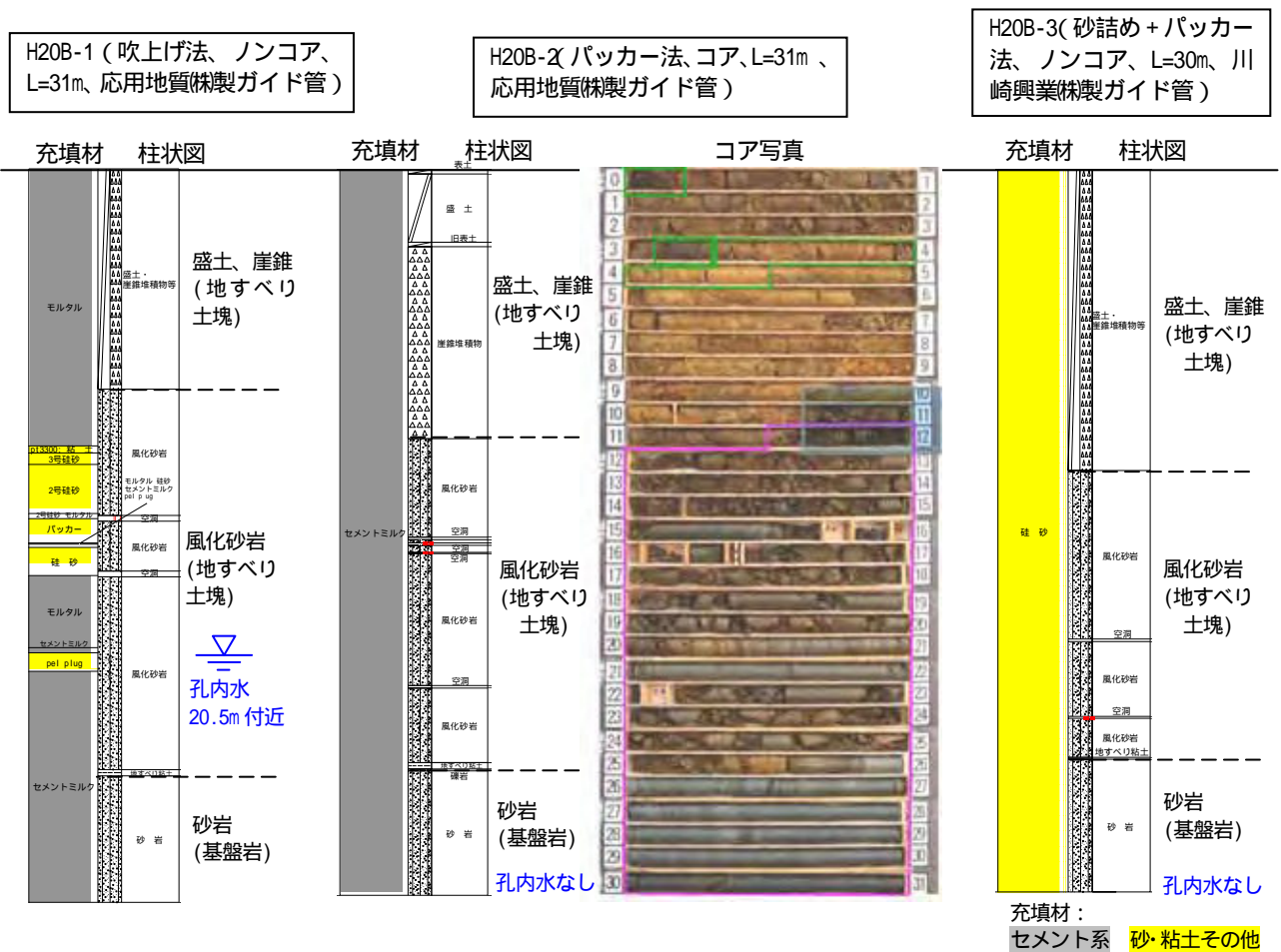
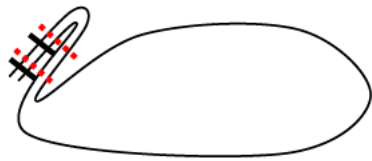


図 4.25 充填材・ボーリング柱状図・コア写真

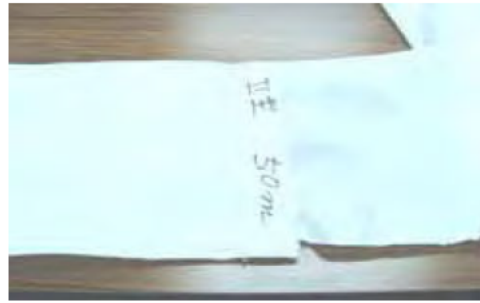




黒：もともとの縫い目

破線：追加した縫い目

パッカーの縫合部をさらに 2 重に縫いつけて (4 重) 強度を得る



岩盤亀裂部分 (10~25m)  
を 2 重パッカーにする



図 4.26 パッカーの補強

設置後には、マニュアル (案) に示したとおり車輪とガイド管継ぎ目が重ならない残尺になるように切断した (図 4.27)。ガイド管の切断はテープを巻いて水平の目安をつけたあと、金ノコでなるべく水平に切断し、金ヤスリで切断面のバリを取った (写真 4.6)。

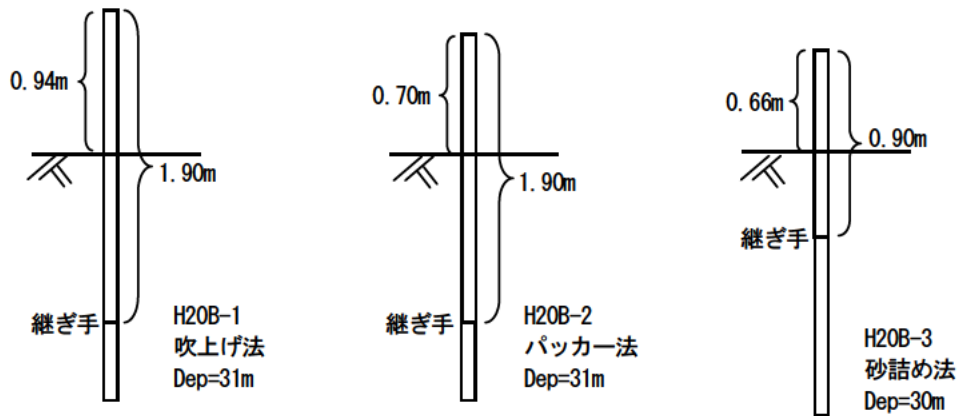


図 4.27 ガイド管の切断状況



写真 4.6 ガイド管の切断作業

### (3) 孔曲がりの確認

孔曲がり測定に使用した機材および設備は、以下の通りである。

- プローブ : 応用地質(株)製 Q ティルト-200
- データロガー : 応用地質(株)製 メモロガー
- ケーブル : 応用地質(株)製 挿入式孔内傾斜計用ケーブル 50m

初期値の測定データを利用して、観測孔の孔曲がり図 (= 設置姿図) を作成して図 4.28 ~ 30 に示す。各孔とも 孔曲がりは  $0.3^\circ$  程度であり、一般的な鉛直ボーリングの孔曲がりの目安の収まっている ( $0.5 \sim 1.0^\circ$  以下)。また H20B-1 孔はガイド管切断箇所周辺で S 字状のたわみが見られる。なお、ボーリングの孔曲がりはロッドの回転方向 (時計回り方向) に曲がることが多いといわれているが、本実験では曲がっている方向やねじれ方向は様々であり規則性は見られない。

孔曲がり・・・孔底に対する孔口位置の鉛直からの傾斜角

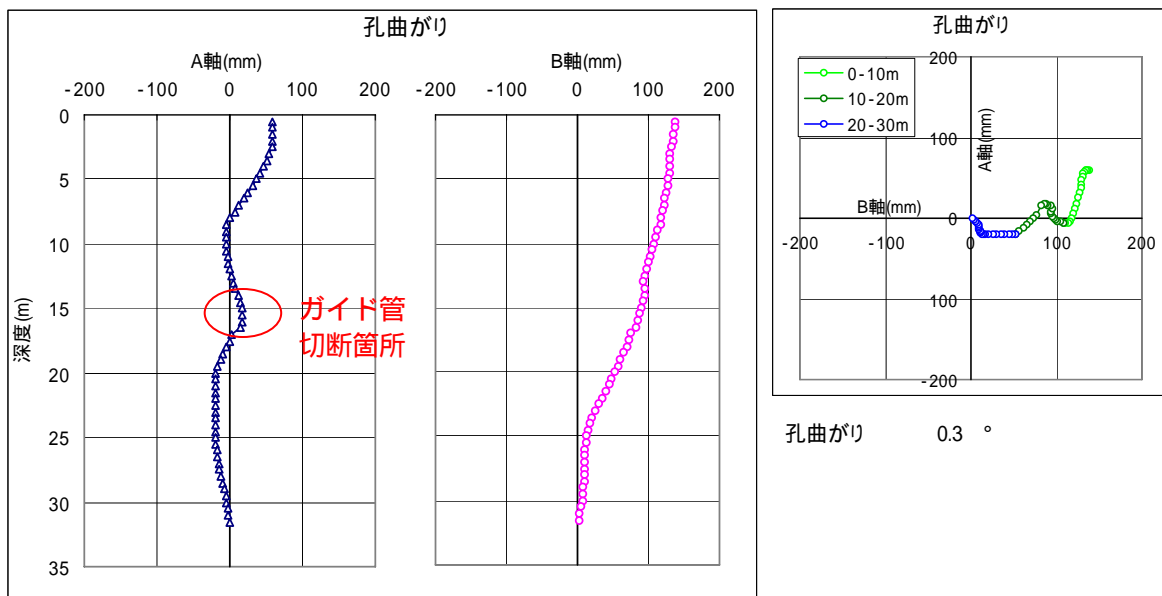
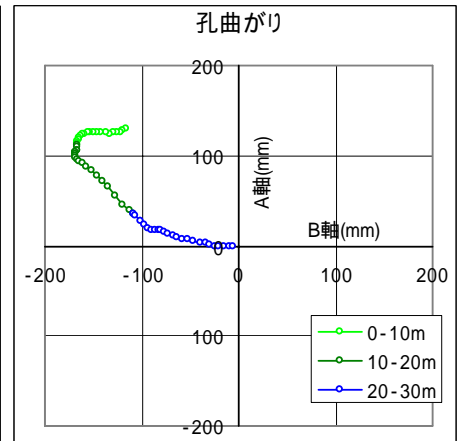
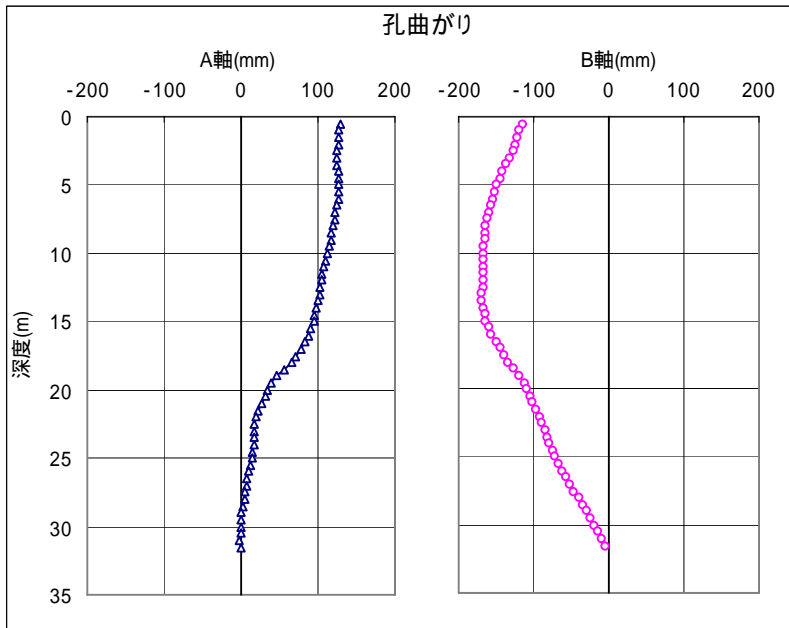
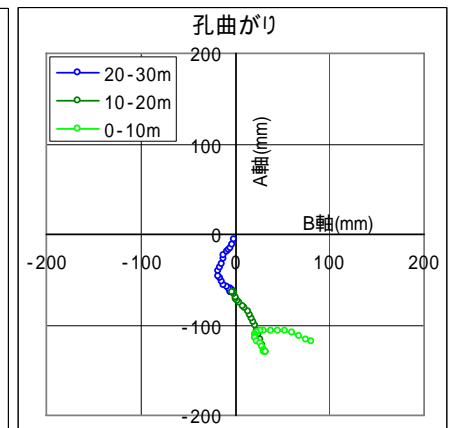
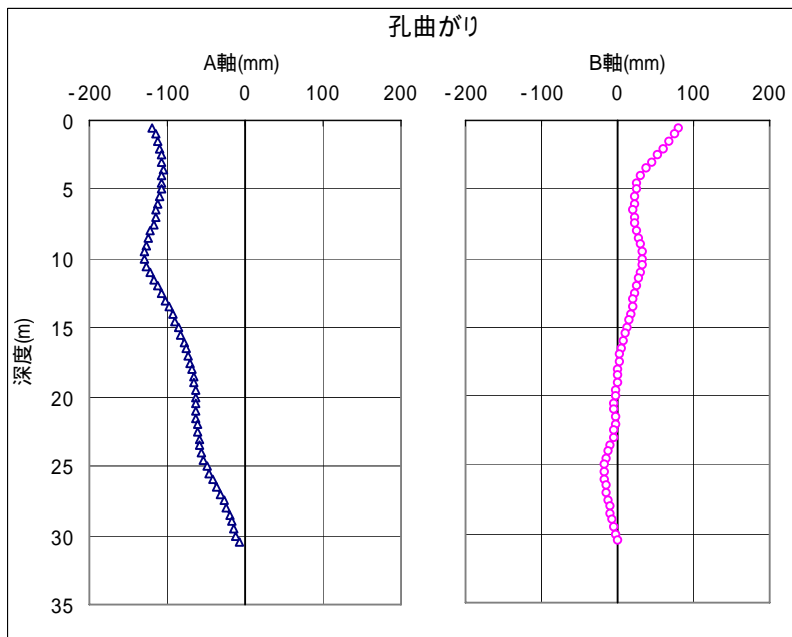


図 4.28 H20B-1 孔曲がり図



孔曲がり 0.3 °

図 4.29 H20B-2 孔曲がり図



孔曲がり 0.3 °

図 4.30 H20B-3 孔曲がり図

(4) 定期観測(H20/12~H22/11)

設置方法の違いによる観測結果への影響を経時的に把握する目的で、1回/月の頻度で1年間測定を行った。計器は同じ測定器(OYO製Q-tilt200)で、マニュアル(案)の測定手順の則った方法で、同じ測定者が作業を実施した。初期値は各孔2回ずつ測定し、定期観測は緩やかな波打ちが見られるS字状データが発生しているH20B-3孔のみ2回測定を行っている。H20B-1(吹き上げ法)は、H21/4/20に深度21m以深A180方向が挿入不能となったため、以降は深度21m以浅を測定した。H20B-2(パッカー法)は、H21/5/20で深度12m以深挿入不能となったため、観測を終了し孔内伸縮計を設置した。なお、H20B-3(砂詰め法)は最終観測のH21/11/19でまで孔底まで挿入可能であった。

観測結果と柱状図を併記して図4.31~33に示す。設置後には、なお、観測結果はボーリングコア状況および観測データから孔底から5mの区間が不動層と判定されたため、全データとも0点補正を実施した。各孔とも、深度12~18mの区間で、1ヶ月あたり2~6mmのクリープ的な変形が累積している(図4.32~34の矢印区間)。

H20B-1(吹き上げ法)では深度16mの空洞に対応する部分で軽度のS字状データと見られる屈曲部が発生している(図4.31の○部分)。また、H20B-2(パッカー法)では、変位発生区間の13~20mに1~2m間隔の細かなS字状のデータが発生している(図4.32の矢印区間)。H20B-3(砂詰め法)は、H20B-1~2と比較してグラフが全体的に滑らかであり、幅0.5mm程度で3~4m周期の波打ち現象が見られる。この現象は、他の砂詰めで設置された観測孔においても多く見られるものであり、孔口部の浮上りが観察されることから地すべり変動に伴う地すべり土塊の沈下が砂の充填材で全体に分散されたためと考えられる。

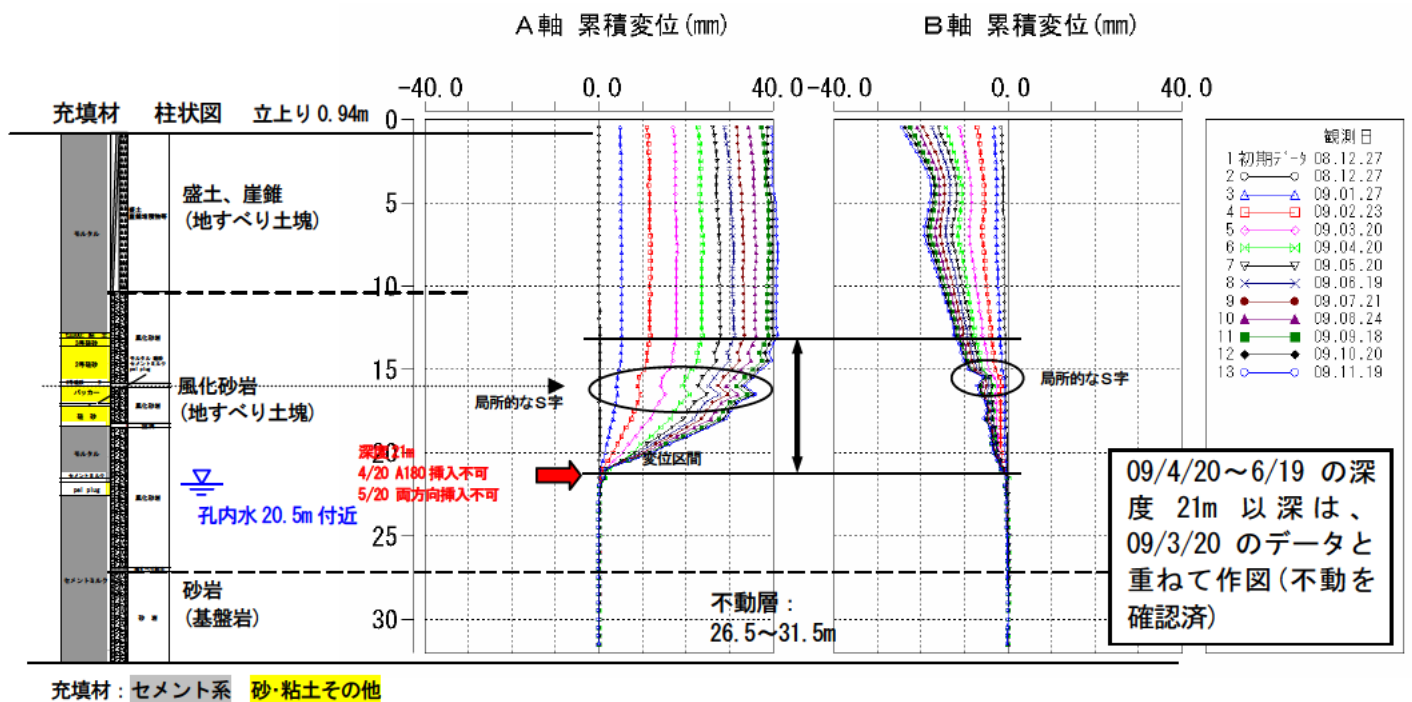


図 4.31 H20B-1 累積変位図(定期観測、吹き上げ法)

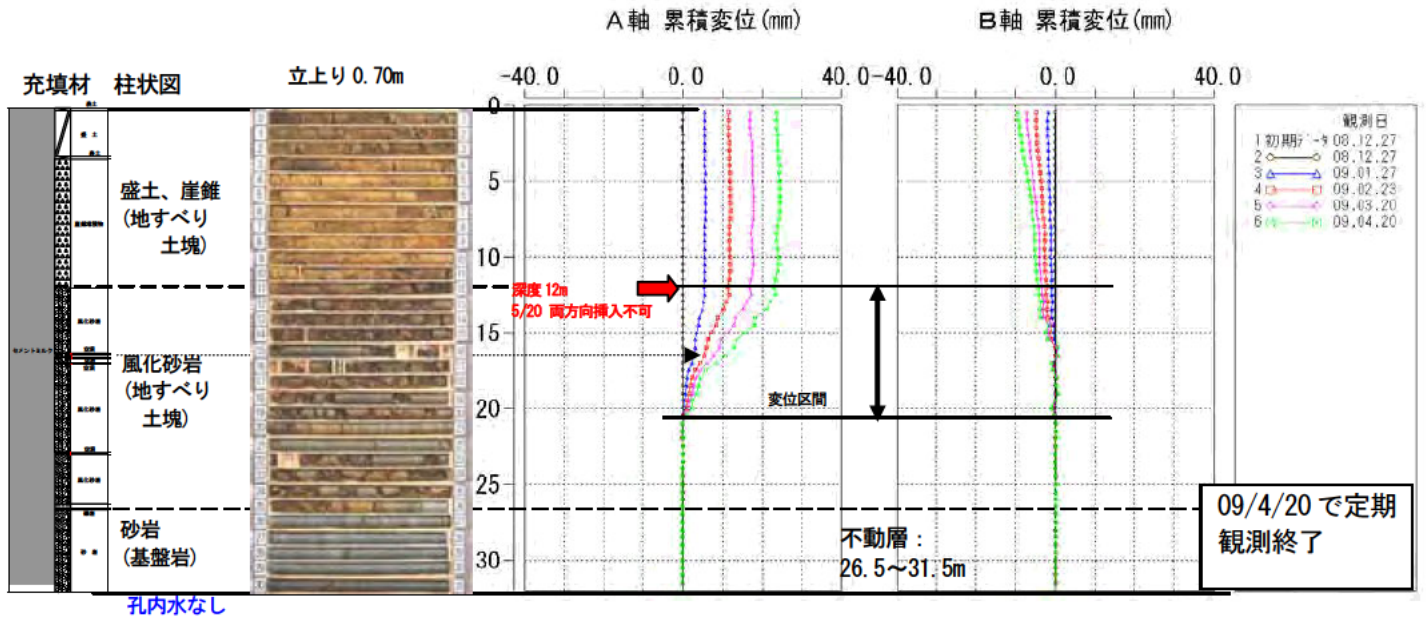


図 4.32 H20B-2 累積変位図(定期観測、パッカー法)

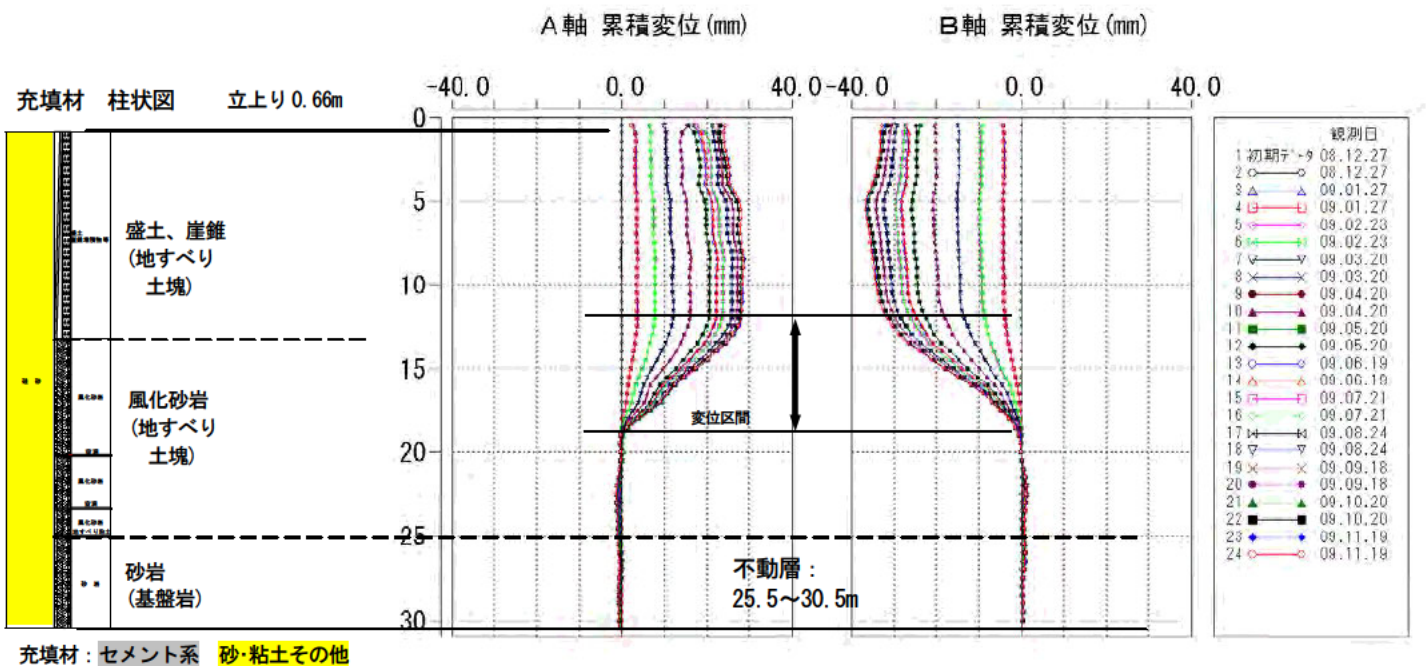


図 4.33 H20B-3 累積変位図(定期観測、砂詰め法)

図 4.34～36 は観測結果の区間変位図である。これらの図では、H20B-1 (吹上げ法) と H20B-2 (パッカー法) と比較し、H20B-3 (砂詰め法) のグラフが滑らかである。この理由として、発生した地中変位が未固結の砂の塑性変形により上下に分散されていると考えられる。なお、前述の H20B-3(砂詰め法)で見られる深度方向の 3～4m 間隔の S 字状の変位は、区間変位図ではさらに明瞭に見られる。

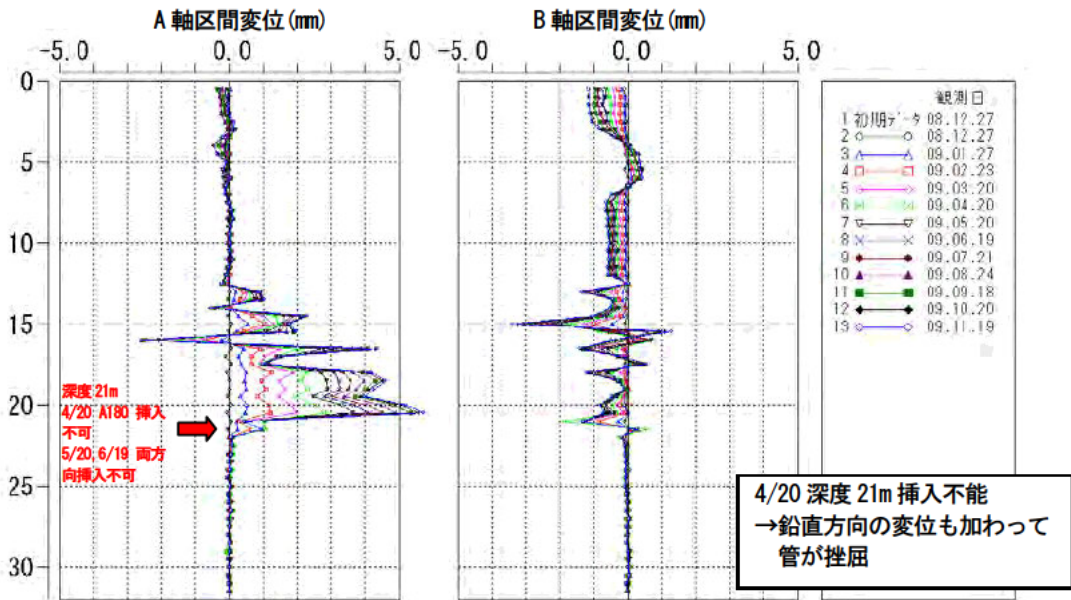


図 4.34 H20B-1 区間変位図 (定期観測、吹上げ法)

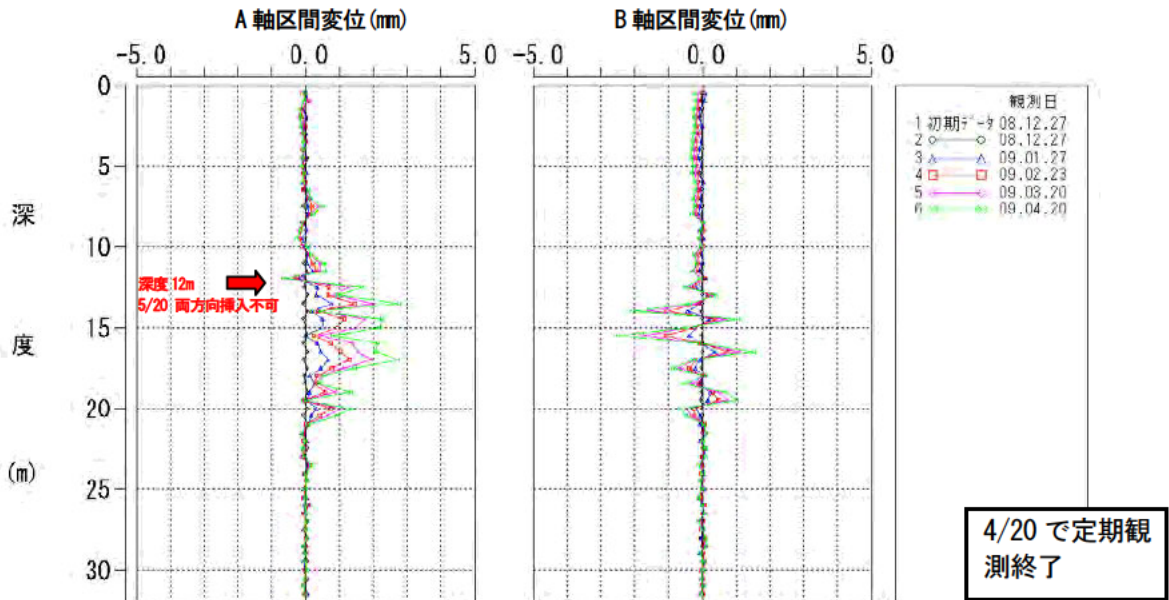


図 4.35 H20B-2 区間変位図 (定期観測、パッカー法)

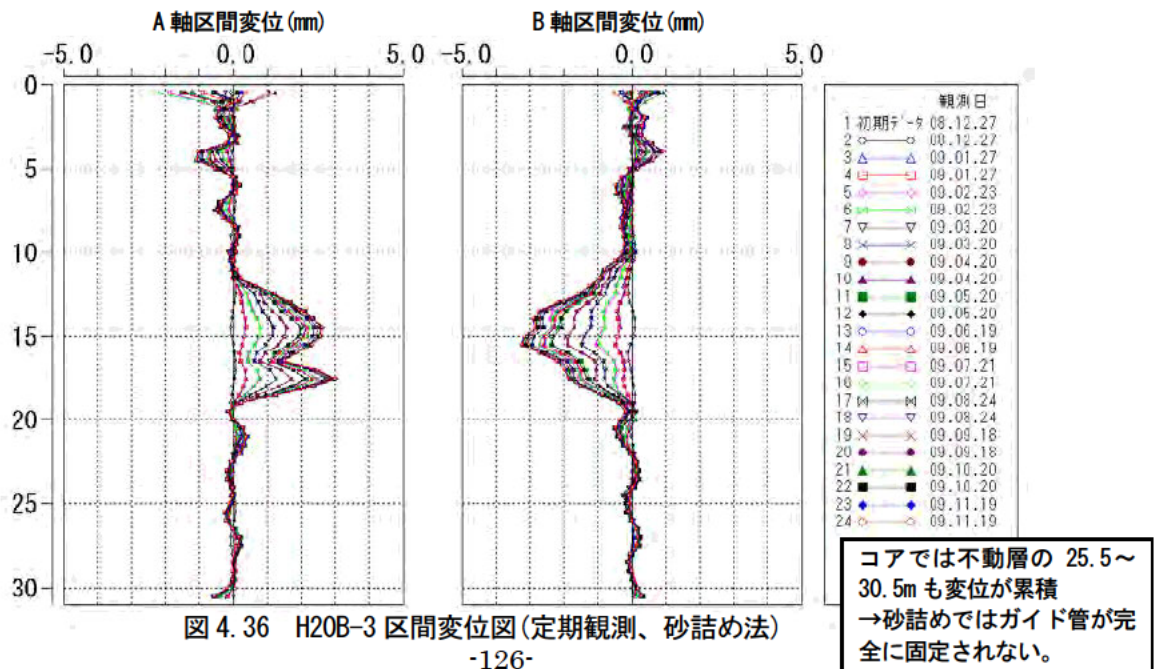


図 4.36 H20B-3 区間変位図 (定期観測、砂詰め法)

図 4.37 は、地中変位を平面図にプロットしたベクトル図とその変位量の経時変化図である。ベクトル図では、ガイド管の方位測定を行ってねじれを補正したものであり、各孔とも同じ方向を示している。中央の H20B-2 は、観測期間が少ないためベクトルは短い。

経時変化図によると変位速度は各孔と同じ傾向であり、観測当初は 1 ヶ月あたり 6mm 程度で 2009 年 6 月から 1 ヶ月当たり 2mm 程度と徐々に小さくなっている。

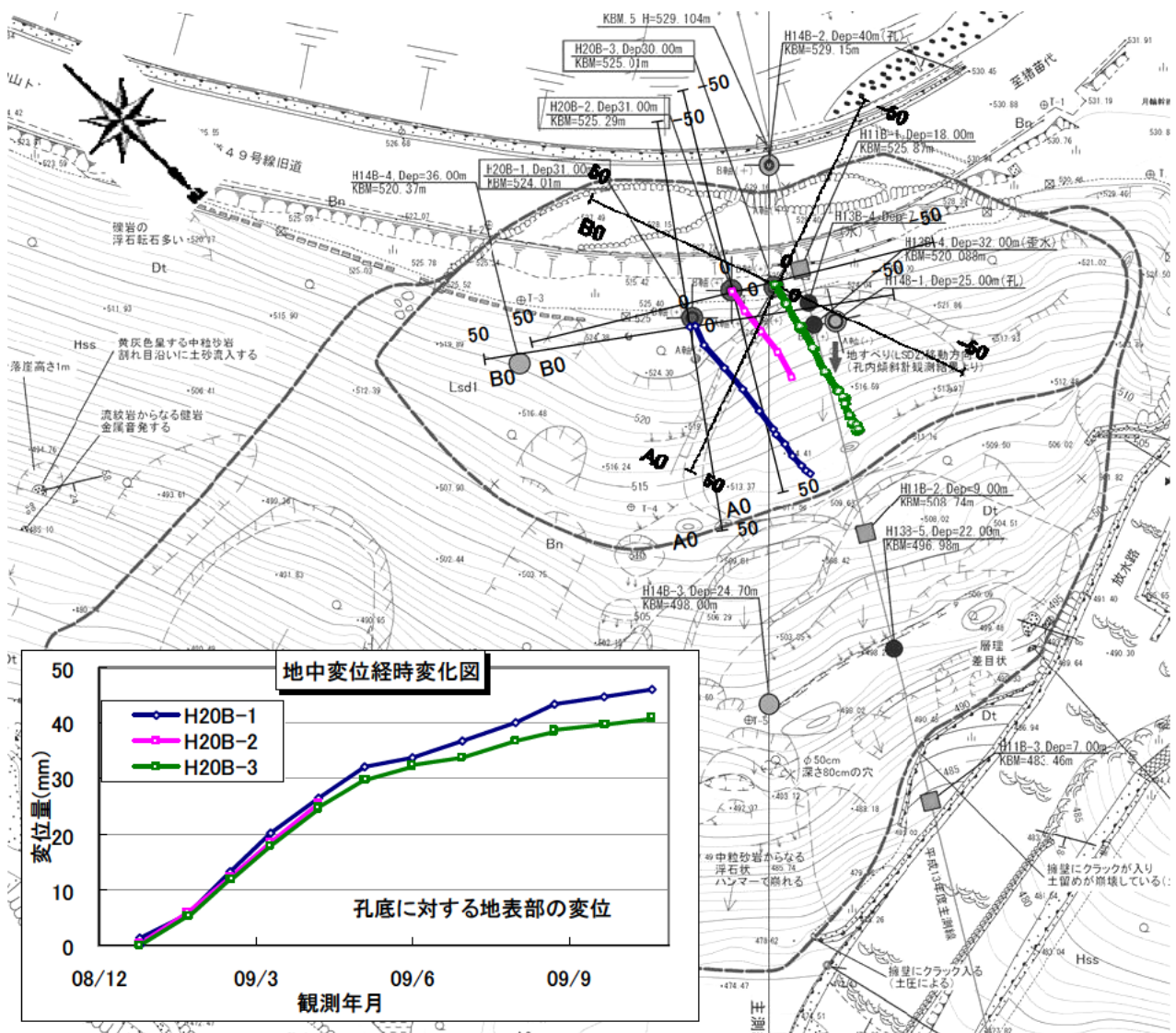


図 4.37 平面図上の地中変位ベクトルと経時変化図

図 4. 38 は断面図に既往観測結果と本実験の観測結果を併記して示したものである。既往観測はパッカーを使用せずにグラウトと砂詰めで設置を行ったものであり、明瞭なS字状データが見られる。既往観測の坑口部の変位量は4.5ヶ月で25mm程度、本実験ではほぼ同様の4ヶ月で25mm程度であり、孔口部で確認できる全体の変位量はほぼ整合している。その一方、既往観測の深度3~18mのS字状の部分は、本実験の観測データと変位量も変位形態も類似性が見られないことから、充填不良による地山の挙動を反映していない不良データと考えられる。

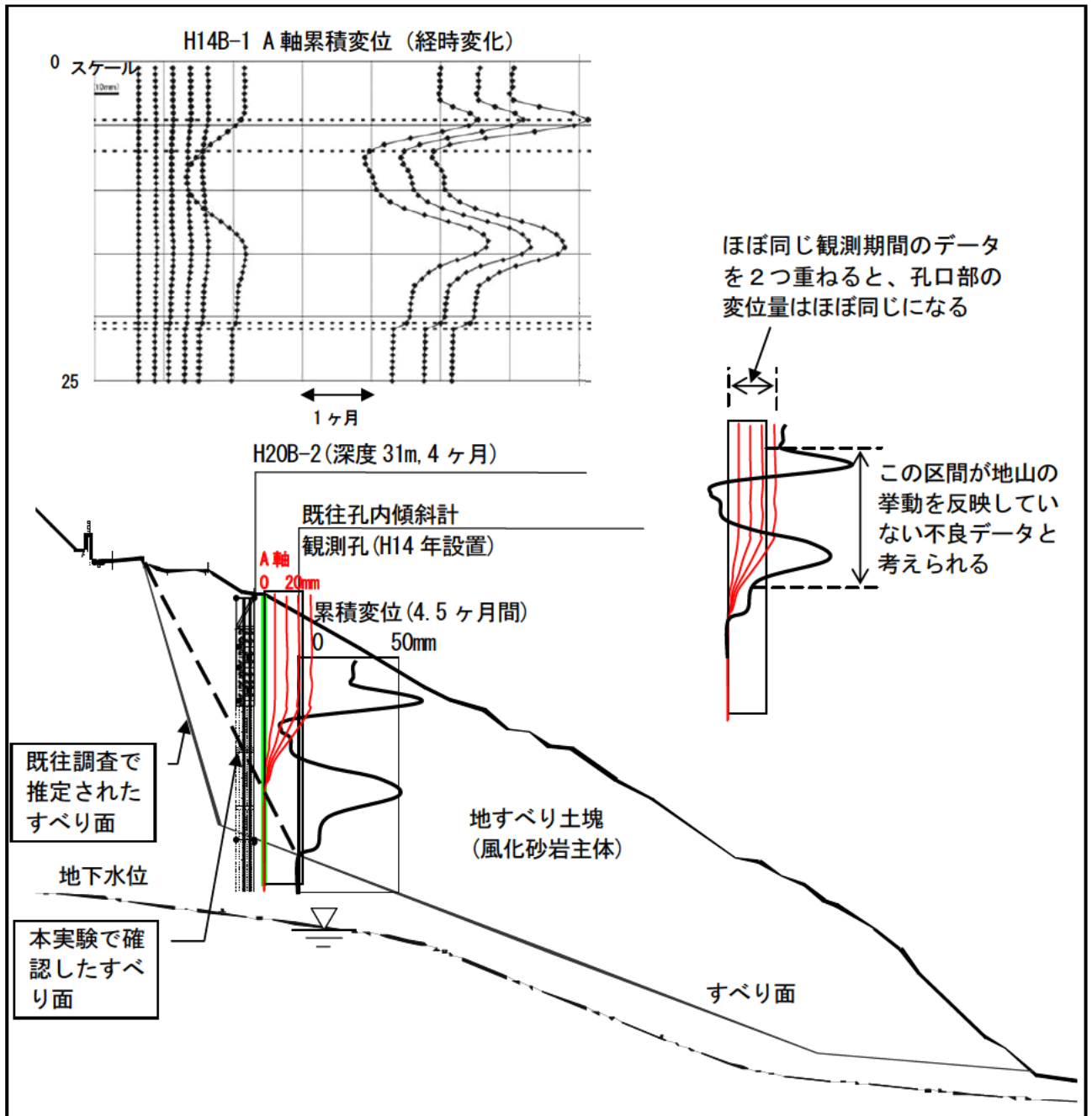


図 4. 38 断面図における地中変位の比較



表 4.9 に測定ごとの固有誤差の標準偏差と検定基準の一覧表を示す。本表は、人的測定誤差によるバラツキ、観測孔の形状の違いによる固有誤差の変化、および地中温度の違いによる固有誤差の変化などの要素を含んだ測定値の総合的なバラツキ具合を示したものであり、検定基準はマニュアル（案）に示されているものである。固有誤差は、一般的にガイド管の変形が進むと 0° 測定時と 180° 測定時のプローブの姿勢が正反しないためばらつくといわれている。

H20B-2(パッカー法)と H20B-3(砂詰め法)はほぼ基準 A 以内に収まっているが、H20B-1(吹き上げ孔)は、H21/4 以降基準 B 以内に収まるものの基準 A を超過することがある。その理由として、それぞれクリープ的な変位を捕らえているものの、H20B-2(パッカー法)は変位が大きくなった後は観測不能であり、H20B-3(砂詰め孔)は砂詰めでガイド管の拘束が緩いためガイド管の局所的な変形が小さいため、バラツキが小さいと考えられる。それに対し、H20B-1(吹き上げ法)は観測期間が長い局所的な変形を反映してバラツキが大きいと考えられる（図 4-39）。

なお、固定されていない孔口の立ち上がりの固有誤差がばらつくため、標準偏差が大きくなるデータも見られた。これについては、立ち上がりの分は除外して標準偏差を算出して対応すれば良いと考えられる。

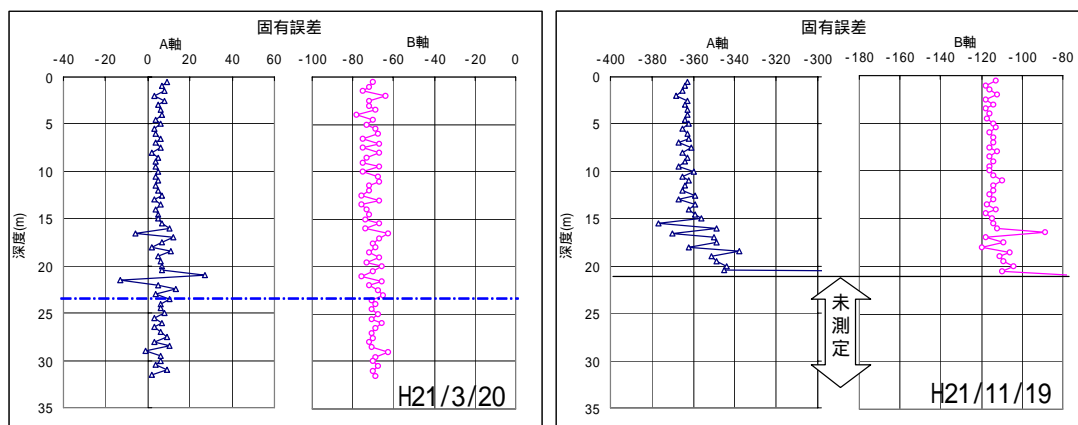


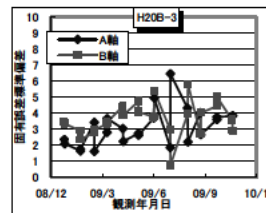
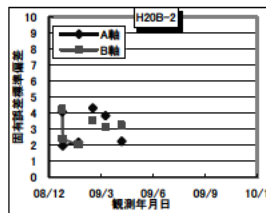
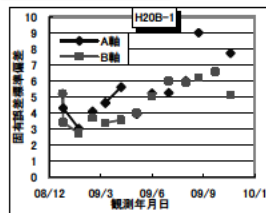
図 4.39 H20B-1(吹き上げ法)固有誤差の分布図

また、表 4.10 に固有誤差平均値の一覧表を示す。固有誤差の平均値の経時変化は、測定器の 0 点ズレの変化の目安であり、マニュアル（案）では前回との差が 300 以下としている。この値が大きく変化した場合はプローブに有害な衝撃が加わった可能性を示す。B 軸には大きな変化は無いのに対し、A 軸は 09/8/24 の観測時に基準を超える 400 程度減少している。観測者に確認したところ、プローブ運搬中に 10cm 位の高さからガードレールにプローブ先端を コツン とぶつけたとのことであり、その衝撃が原因である可能性が高い。なお、衝撃の程度については「5.2 プローブの衝撃に対する検討」で詳細を述べる。

表 4.9 固有誤差標準偏差一覧表

| 回数 | 年月日      | H20B-1(31.5m) |     | B20B-2(31.5m) |     | H20B-3(30.5m) |     | 備考       |
|----|----------|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|----------|
|    |          | A軸            | B軸  | A軸            | B軸  | A軸            | B軸  |          |
| 1  | 08/12/27 | 5.2           | 5.2 | 4.1           | 4.2 | 2.3           | 3.4 | 初期値1回目   |
|    | 08/12/27 | 4.3           | 3.4 | 2.0           | 2.4 | 2.1           | 3.3 | 初期値2回目   |
| 2  | 09/1/27  | 3.0           | 2.7 | 2.2           | 2.0 | 1.6           | 2.9 | 定期観測1回目  |
|    | 1.8      |               |     |               |     | 2.3           |     |          |
| 3  | 09/2/23  | 4.1           | 3.7 | 4.3           | 3.5 | 3.4           | 2.8 | 定期観測2回目  |
|    | 1.6      |               |     |               |     | 3.0           |     |          |
| 4  | 09/3/20  | 4.7           | 3.4 | 3.8           | 3.1 | 2.8           | 3.3 | 定期観測3回目  |
|    | 3.7      |               |     |               |     | 3.4           |     |          |
| 5  | 09/4/20  | 5.6           | 3.6 | 2.2           | 3.2 | 3.0           | 4.4 | 定期観測4回目  |
|    | 2.2      |               |     |               |     | 3.9           |     |          |
| 6  | 09/5/20  | 3.9           | 4.0 | —             | —   | 2.8           | 4.7 | 定期観測5回目  |
|    | 2.6      |               |     | 4.1           |     |               |     |          |
| 7  | 09/6/19  | 5.2           | 5.1 | —             | —   | 3.7           | 3.8 | 定期観測6回目  |
|    | 4.9      |               |     | 5.4           |     |               |     |          |
| 8  | 09/7/21  | 5.3           | 6.0 | —             | —   | 1.8           | 3.0 | 定期観測7回目  |
|    | 6.5      |               |     | 0.8           |     |               |     |          |
| 9  | 09/8/24  | 6.0           | 5.9 | —             | —   | 4.3           | 3.9 | 定期観測8回目  |
|    | 2.2      |               |     | 5.8           |     |               |     |          |
| 10 | 09/9/18  | 9.0           | 6.2 | —             | —   | 4.0           | 2.7 | 定期観測9回目  |
|    | 2.7      |               |     | 4.0           |     |               |     |          |
| 11 | 09/10/20 | 10.3          | 6.6 | —             | —   | 3.6           | 4.4 | 定期観測10回目 |
|    | 3.7      |               |     | 5.0           |     |               |     |          |
| 12 | 09/11/19 | 7.7           | 5.1 | —             | —   | 3.8           | 3.6 | 定期観測11回目 |
|    | 3.8      |               |     | 2.9           |     |               |     |          |

深度0.0~20.5m間



固有誤差の標準偏差検定基準 (応用地質(株)製)

| 観測孔深度 (m) | 基準 A※  | 基準 B※  |
|-----------|--------|--------|
| ~ 3.0m    | ~ 5以下  | ~ 10以下 |
| ~ 5.0m    | ~ 10以下 | ~ 15以下 |
| ~ 8.0m    | ~ 15以下 | ~ 20以下 |
| 8.0m以上    | ~ 20以下 | ~ 25以下 |

固有誤差の標準偏差

下記の要素を含んだ測定値のバラツキ程度の目安。

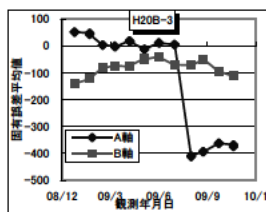
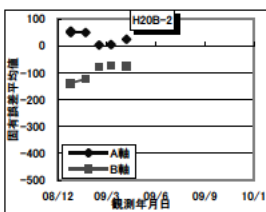
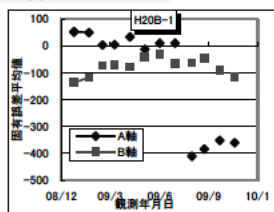
- ・人的測定誤差によるバラツキ
- ・観測孔の形状の違いによる固有誤差の変化
- ・地中温度の違いによる固有誤差の変化

※基準A：測定器の状態、観測孔の状態に問題がなく、測定状況も良好と判断できる基準。  
 基準B：測定や測定器の問題が懸念されるが、区間単位の評価には利用できると判断される基準。

表 4.10 固有誤差平均値一覧表

| 回数 | 年月日      | H20B-1(31.5m) |        | B20B-2(31.5m) |        | H20B-3(30.5m) |        | 備考       |
|----|----------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|----------|
|    |          | A軸            | B軸     | A軸            | B軸     | A軸            | B軸     |          |
| 1  | 08/12/27 | 51.0          | -133.1 | 54.5          | -139.1 | 51.9          | -139.8 | 初期値1回目   |
|    | 08/12/27 | 54.2          | -135.9 | 50.4          | -137.9 | 52.0          | -138.7 | 初期値2回目   |
| 2  | 09/1/27  | 50.3          | -117.9 | 50.9          | -122.5 | 47.7          | -123.6 | 定期観測     |
|    | 43.1     |               |        |               |        | -121.6        |        |          |
| 3  | 09/2/23  | 3.0           | -73.0  | 4.2           | -78.3  | 3.1           | -80.9  | 定期観測2回目  |
|    | 2.7      |               |        |               |        | -79.9         |        |          |
| 4  | 09/3/20  | 5.6           | -70.3  | 5.7           | -73.5  | 0.9           | -75.8  | 定期観測3回目  |
|    | -4.0     |               |        |               |        | -72.8         |        |          |
| 5  | 09/4/20  | 33.5          | -77.7  | 24.5          | -77.4  | 20.0          | -76.2  | 定期観測4回目  |
|    | 15.4     |               |        |               |        | -73.8         |        |          |
| 6  | 09/5/20  | -11.8         | -38.6  | —             | —      | -12.8         | -46.2  | 定期観測5回目  |
|    | -12.5    |               |        | -49.2         |        |               |        |          |
| 7  | 09/6/19  | 10.1          | -31.8  | —             | —      | 11.8          | -39.4  | 定期観測6回目  |
|    | 10.3     |               |        | -42.3         |        |               |        |          |
| 8  | 09/7/21  | 9.9           | -65.0  | —             | —      | 4.9           | -68.9  | 定期観測7回目  |
|    | 5.3      |               |        | -69.7         |        |               |        |          |
| 9  | 09/8/24  | -410.7        | -63.1  | —             | —      | -412.0        | -71.0  | 定期観測8回目  |
|    | -409.4   |               |        | -73.4         |        |               |        |          |
| 10 | 09/9/18  | -383.8        | -44.1  | —             | —      | -393.4        | -50.3  | 定期観測9回目  |
|    | -394.4   |               |        | -49.1         |        |               |        |          |
| 11 | 09/10/20 | -351.9        | -90.1  | —             | —      | -361.7        | -94.2  | 定期観測10回目 |
|    | -363.3   |               |        | -94.8         |        |               |        |          |
| 12 | 09/11/19 | -360.4        | -113.4 | —             | —      | -368.5        | -111.7 | 定期観測11回目 |
|    | -374.3   |               |        | -107.5        |        |               |        |          |

深度0.0~20.5m間



固有誤差の平均値

測定器の状態(0点ズレの量)の経時変化の目安のこと。

固有誤差変化の目安

- ・マニュアル(案)では前回との差が300以下

#### (5) 孔内カメラ観察

##### H20B-1 (吹き上げ法)

H20B-1 (吹き上げ法) は、H21/4/20 に深度 21m 以深 A180 方向が挿入不能となったため、その原因を把握するため H21/4/23 に孔内カメラで観察を行った(図 4.40)。その結果、プローブが挿入不能になった深度 21m 付近の深度 20.85m にガイド管内側の 3 方向に圧縮しわが見られ、さらに約 5% の縦方向の圧縮も確認された。図 4.40 右下のガイド管変形タイプと地すべり変動形態の比較表によると、鉛直方向の圧縮が主体と推定され、本地すべりの観測孔設置箇所の変動形態と一致している。挿入不能の原因は地すべり変動によるガイド管の変形であり、その後は当該深度より上部の測定を行った。

なお、H20B-2 と H20B-3 孔は継ぎ手部の若干のずれは見られたがガイド管に目立った変状は見られなかった。

##### H20B-2 (パッカー法)

H20B-2 (パッカー法) は、H21/5/20 で深度 12m 以深挿入不能となったため、継続観測手法の孔内伸縮計の設置の可否を確認するため H21/6/26 に孔内カメラ観察を行った(図 4.41)。観察の結果、ガイド管頭部からの深度で 12.22m (G.L. -11.42m) において、ガイド管の圧縮が確認された。孔内カメラ挿入時の感触としては、当該深度において、孔底に着いたような手応えであった。図 4.40 右下のガイド管変形タイプと地すべり変動形態の比較表によると、本孔も鉛直方向の圧縮が主体と推定される。

なお、ガイド管変形箇所に空間が残っていたことから、孔内伸縮計を設置することにした。観測結果は「4.11 孔内伸縮計変位量との対比」を参照。

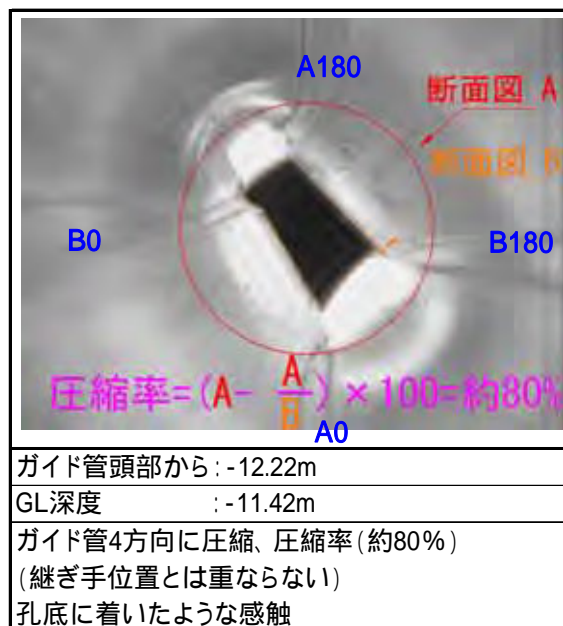


図 4.41 H20B-2(パッカー法)カメラ観察結果

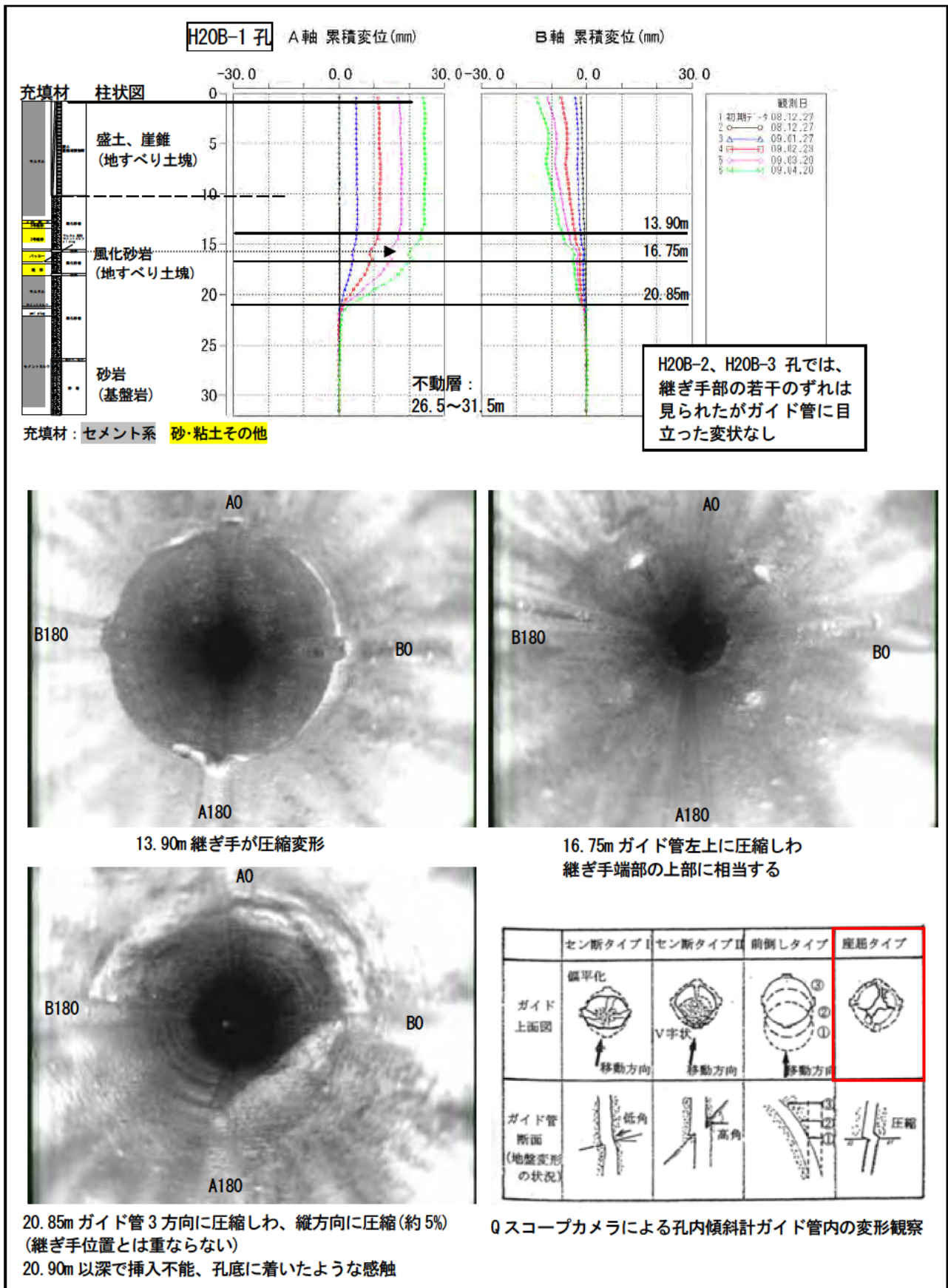


図 4.40 H20B-1 (吹き上げ法) 孔内カメラ観察結果(右下1)

#### 4.6 充填材の配合

ガイド管の設置に使用する充填材は、地盤と類似した変形係数になるような配合が望ましいとされるが、地盤の強度に硬軟が混在する場合があることに加えて、斜面変動にはクリープやスライドなどの様々な運用形態があるため充填材の強度は一概には決められないと考えられた。

そこで、配合比を変えて養生を行った充填材について一軸圧縮試験を行い、充填材の変形係数と配合比の目安を得るとともに、斜面変動の運動形態や地盤の強度を変えて変形解析を行い適切な充填材の強度について検討を行った。実施条件の概要は次の通り。

- ・実施方法：水・セメント・混和材の配合を変えて作成した充填材の一軸圧縮試験を行う
- ・使用機器：ガイド管用の充填材、一軸圧縮試験機

##### 4.6.1 充填材配合強度試験

###### (1) 実施方法

充填材の強度は水とセメントの比率で決まるとされている(混和材の種類は影響しない)。そこで、最も強度の高い配合を上限(水:セメント=1:1)と、充填材が十分に固結する下限(水:セメント=8:1)の変化を求めするため、水:セメントを1:1～8:1の組合せで変化させた。また、土砂地盤の強度も想定して12:1、16:1の配合についても実施した。なお、セメント養生時の体積収縮を防いで孔壁とガイド管の密着度を高めるために使用される膨張材も配合した。水と固形分(セメント、混和材等)の比率は、充填作業でグラウトポンプ使用や流し込み作業が可能な適度な粘性に調整した結果、1:0.7～1:1.2であった。

養生は実際の現場環境に合わせて水中養生とし、一軸圧縮試験はコンクリートの規定の強度が得られる28日目のものでそれぞれ行い、試験値のバラツキを考慮して3供試体づつとした。一軸圧縮試験は、剛性が高いため精度が良く、かつ硬軟の供試体においても共通の試験器で作業が可能である岩用の一軸圧縮試験器を用いた。また、一軸圧縮試験は変位計を取り付けて変形係数(E50)を算出した。実施方法の模式図を図4.42に、材料の配合比は表4.11に示す。配合比には、参考として現場設置実験の後述4.7で述べる現場実験の配合を併記した。

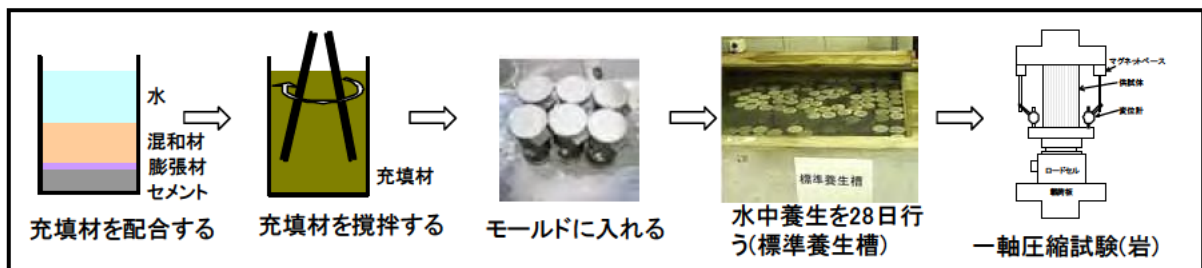


図 4.42 充填材配合強度試験の模式図

表 4.11 充填材の配合一覧表

|     | セメント | 水    | 混和剤  |      | 配合比    |       | 備考                        |
|-----|------|------|------|------|--------|-------|---------------------------|
|     |      |      | 粉末粘土 | 膨張材  | 水/セメント | 水/固形分 |                           |
| 本試験 | 1    | 0.8  | 0.0  | 0.10 | 125%   | 0.73  | 適度な粘性になるように調整(ポンプ、流し込み可能) |
|     | 1    | 2.0  | 1.0  | 0.10 | 50%    | 0.95  |                           |
|     | 1    | 3.0  | 2.0  | 0.10 | 33%    | 0.97  |                           |
|     | 1    | 4.0  | 3.0  | 0.10 | 25%    | 0.98  |                           |
|     | 1    | 6.0  | 4.0  | 0.10 | 17%    | 1.18  |                           |
|     | 1    | 8.0  | 6.0  | 0.10 | 13%    | 1.13  |                           |
|     | 1    | 12.0 | 9.0  | 0.10 | 8%     | 1.19  |                           |
|     | 1    | 16.0 | 12.0 | 0.10 | 6%     | 1.22  |                           |
| 参考  | 1    | 0.7  |      |      | 143%   | 0.70  | 中山H20B-1 粘性高い             |
|     | 1    | 3.0  | 2.0  | 0.10 | 33%    | 0.97  | 中山H20B-2 適度な粘性            |

試験実施の養生期間:28日(4週)強度

混和剤:粉末粘土(木節粘土、笠岡粘土、シールド粘土等入手可能なものを選定)

膨張材(デンカCSA#20)、セメント量×10%使用 養生時の体積収縮を防ぐ

(2) 試験結果

基本物性を表 4.12 に示す。フロー値とは漏斗に注いだ充填材が流れきる時間であり、秒数が小さいほど流動性が高いことを示す。また湿潤密度は混和材の分量が大きいほど低くなるが、その理由として、セメントと比較して混和材(粉末粘土)の単位体積重量が低いためと考えられる。

次に一軸試験結果を表 4.13 に示す。圧縮強さおよび変形係数とも3供試体の平均値を取っている。また、一軸圧縮試験中に供試体が横方向に膨らむため、圧縮強さおよび変形係数とも膨らんだ量を考慮して補正した値を用いた(表の下端)。

以上を整理した試験結果を表 4.14 に示す。本表には試験実施者の感触による供試体の硬さの目安も併記した。

表 4.12 基本物性

| 試料No. | セメント | 水   | 混和材 | 膨張材 | フロー値<br>t 秒 | 含水比<br>(%)<br>w % | 湿潤密度<br>(g/cm <sup>3</sup> )<br>t g/cm <sup>3</sup> |
|-------|------|-----|-----|-----|-------------|-------------------|---|
| 1     | 1    | 0.8 | 0   | 0.1 | 10.0        | 38.6              | 1.816   |
| 2     | 1    | 2   | 1   | 0.1 | 11.9        | 76.6              | 1.531   |
| 3     | 1    | 3   | 2   | 0.1 | 14.2        | 83.8              | 1.502   |
| 4     | 1    | 4   | 3   | 0.1 | 12.4        | 86.7              | 1.490   |
| 5     | 1    | 6   | 4   | 0.1 | 10.7        | 105.3             | 1.428   |
| 6     | 1    | 8   | 6   | 0.1 | 11.9        | 104.6             | 1.433   |
| 7     | 1    | 12  | 9   | 0.1 | 11.2        | 111.7             | 1.416   |
| 8*    | 1    | 16  | 15  | 0.1 | 11.3        | 95.2              | 1.456   |
| 9     | 1    | 16  | 12  | 0.1 | 10.3        | 115.6             | 1.400   |

8\* 請負者が自主的に実施したもの。



漏斗による  
フロー値試験

表 4.13 一軸試験結果

| 試料No. | 圧縮強さ $q_u$<br>kNm <sup>2</sup> |       |       |       | 変形係数 $E_{s,50}$<br>MNm <sup>2</sup> |      |      |      |
|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------------------|------|------|------|
|       | 1                              | 2     | 3     | 平均    | 1                                   | 2    | 3    | 平均   |
| 1     | 22900                          | 21000 | 22100 | 22000 | 5930                                | 5910 | 5900 | 5910 |
|       | 22800                          | 20900 | 22000 | 21900 | 5900                                | 5880 | 5870 | 5880 |
| 2     | 2500                           | 2550  | 2600  | 2550  | 856                                 | 997  | 949  | 934  |
|       | 2490                           | 2540  | 2590  | 2540  | 851                                 | 992  | 944  | 929  |
| 3     | 1080                           | 1060  | 1040  | 1060  | 470                                 | 414  | 404  | 429  |
|       | 1070                           | 1050  | 1030  | 1050  | 467                                 | 411  | 402  | 427  |
| 4     | 493                            | 507   | 492   | 497   | 152                                 | 216  | 190  | 186  |
|       | 489                            | 504   | 489   | 494   | 151                                 | 215  | 189  | 185  |
| 5     | 142                            | 159   | 154   | 152   | 44.2                                | 63.5 | 65.3 | 57.7 |
|       | 141                            | 158   | 152   | 150   | 43.8                                | 63.0 | 64.6 | 57.1 |
| 6     | 117                            | 126   | 120   | 121   | 29.6                                | 27.2 | 36.9 | 31.2 |
|       | 116                            | 124   | 119   | 120   | 29.3                                | 26.8 | 36.5 | 30.9 |
| 7     | 65.8                           | 58.8  | 66.5  | 63.7  | 9.97                                | 6.93 | 10.2 | 9.03 |
|       | 64.0                           | 57.8  | 65.1  | 62.3  | 9.70                                | 6.81 | 9.98 | 8.83 |
| 8*    | 34.1                           | 36.9  | 34.9  | 35.3  | 4.06                                | 4.10 | 4.55 | 4.24 |
|       | 33.3                           | 36.0  | 34.2  | 34.5  | 3.96                                | 4.00 | 4.46 | 4.14 |
| 9     | 35.1                           | 38.0  | 32.6  | 35.2  | 5.34                                | 6.39 | 4.79 | 5.51 |
|       | 34.6                           | 37.5  | 32.2  | 34.8  | 5.26                                | 6.30 | 4.73 | 5.43 |

8\* 請負者が自主的に実施したもの。

上段の数値はGS 2521-2000によって求めたもの。下段の数値は断面積補正を行ったもの。

表 4.14 配合試験結果一覧表

| セメント | 水    | 混和剤  |      | 配合比    |       | 変形係数<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | 硬さの目安   |
|------|------|------|------|--------|-------|------------------------------|---------|
|      |      | 粉末粘土 | 膨張材  | 水/セメント | 水/固形分 |                              |         |
| 1    | 0.8  | 0.0  | 0.10 | 125%   | 0.73  | 5880                         | 中硬岩     |
| 1    | 2.0  | 1.0  | 0.10 | 50%    | 0.95  | 929                          | 軟岩      |
| 1    | 3.0  | 2.0  | 0.10 | 33%    | 0.97  | 427                          | 〃       |
| 1    | 4.0  | 3.0  | 0.10 | 25%    | 0.98  | 185                          | 硬い洪積粘土  |
| 1    | 6.0  | 4.0  | 0.10 | 17%    | 1.18  | 57.1                         | 洪積粘土    |
| 1    | 8.0  | 6.0  | 0.10 | 13%    | 1.13  | 30.9                         | 〃       |
| 1    | 12.0 | 9.0  | 0.10 | 8%     | 1.19  | 8.83                         | 硬めの沖積粘土 |
| 1    | 16.0 | 12.0 | 0.10 | 6%     | 1.22  | 5.43                         | 沖積粘土    |

充填材の配合：現場での作業でちょうど良い粘度になるように調整した。

試験実施の養生期間：28日(4週)強度

セメント：普通ポルトランドセメント

混和剤：粉末粘土（木節粘土を選定）

膨張材（デンカCSA#20）、セメント量×10%使用 養生時の体積収縮を防ぐ

#### 4.6.2 充填材強度の変形解析

##### (1) 斜面変動の様式と充填材強度の関係

斜面変動の基本的な運動様式は、図 4.43 に示すようにクリープやスライドなどがあり、実際の斜面ではそれらの組合せや地盤の沈下が合わさっているものと考えられる。

クリープ・トップリングなど、不動層と地すべり土塊の強度が類似することが多いものは、固結時の弾性係数が地盤の強度と同じになるような配合で良いと考えられる。しかし、スライドなどすべり面周辺が破碎されて基盤岩と地すべり土塊の強度が異なる場合には、図 4.44 に示した模式図のように充填材の強度を地盤のどの部分に合わせるかによって計測結果が異なることが懸念された。

そこで、地盤の強度に硬軟が混在する場合を想定して、斜面変動の運動形態や地盤の強度を変えて変形解析を行い、適切な充填材の強度について検討を行った。

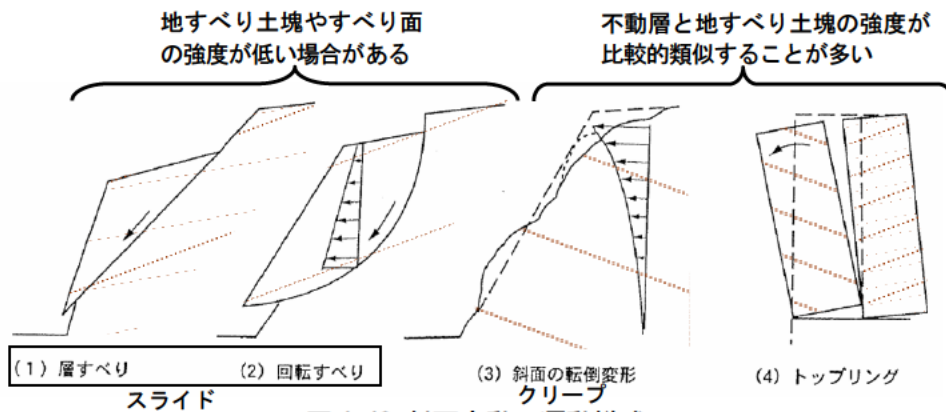


図 4.43 斜面変動の運動様式

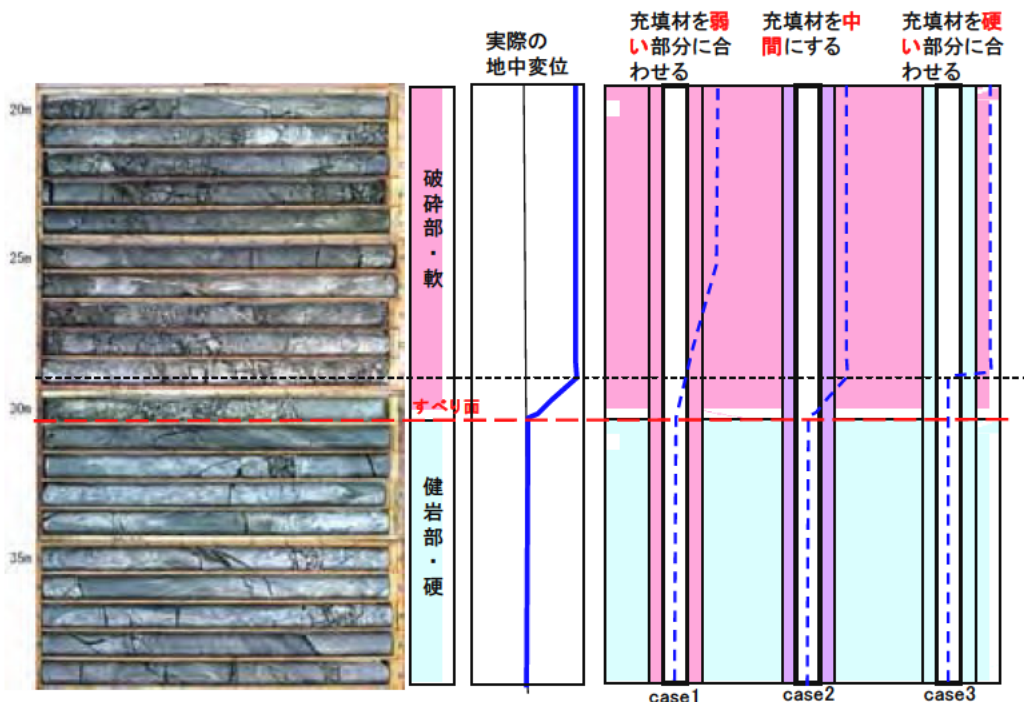


図 4.44 硬軟が混在する場合の孔内傾斜計データへの影響模式図(想定)



(2)解析方法

①解析モデル

解析モデルの寸法を表 4.15 に、解析のモデルの模式図を図 4.45 に示す。ガイド管のサイズは地すべり調査で一般的な  $\phi 47\text{mm}$  程度のもの、充填材のサイズは傾斜計設置時の保孔に用いるケーシングの一般径の  $\phi 101.6\text{mm}$  とし、ガイド管は破砕部から 5m 以深まで設置されているとして、三次元のモデルとした。

表 4.15 解析モデルの寸法

|               |                               |  |
|---------------|-------------------------------|--|
| 解析モデル<br>の大きさ | 平面                            | 10m×10m                                    |
|               | 高さ方向                          | 移動土塊 : 10m<br>破砕部(すべり面) : 10cm<br>不動層 : 9m |
| ガイド管          | $\phi 47\text{mm}$ (肉厚 1.5mm) |  |
| 充填材           | $\phi 101.6\text{mm}$         |  |

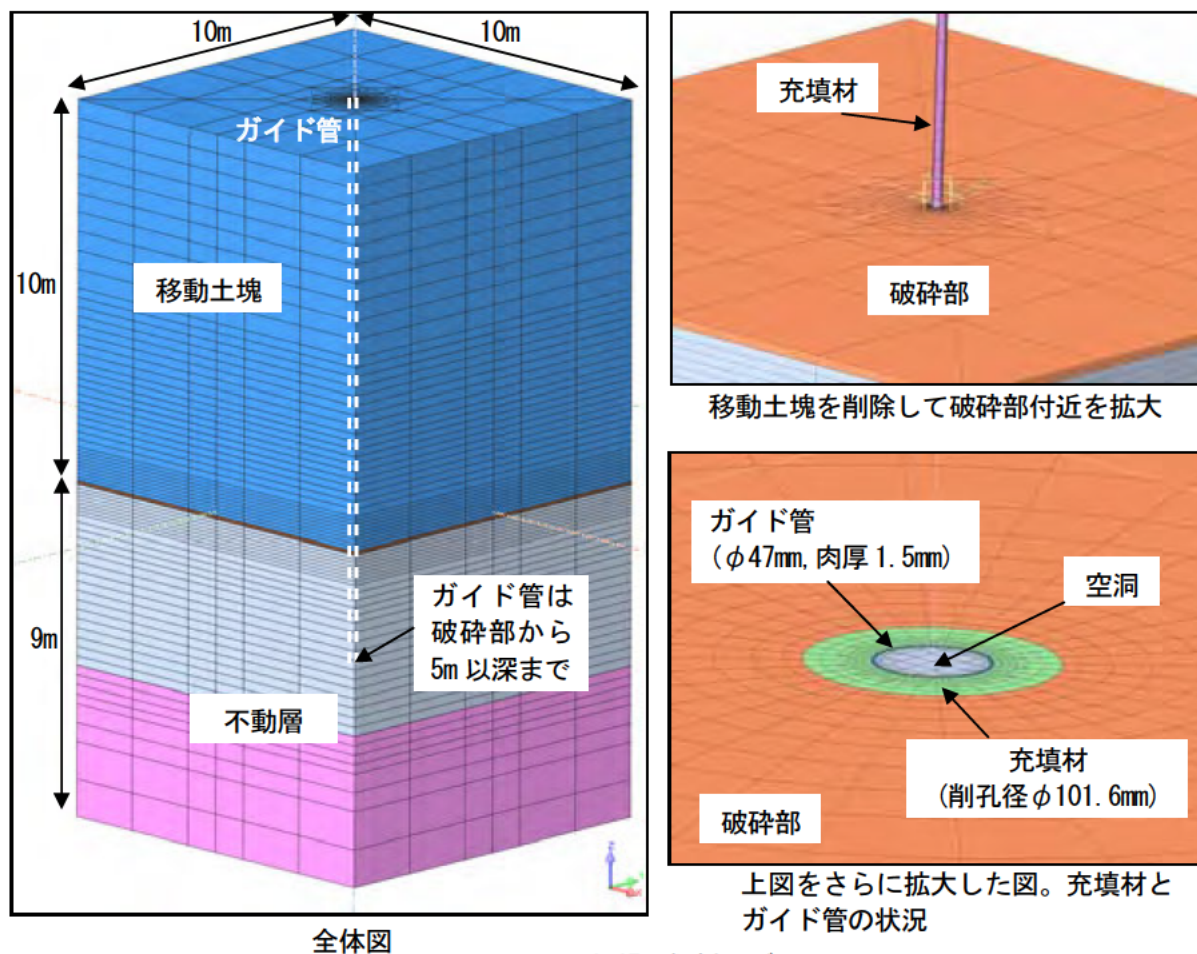


図 4.45 解析モデル

## ②境界条件

境界条件のモデル図を図 4.46 に示す。不動層はどの方向にも動かないように、x、y、zの全方向を固定し、移動土塊は変形を与えた際の側方へのはらみ出しが起らないようにy方向のみ固定した。

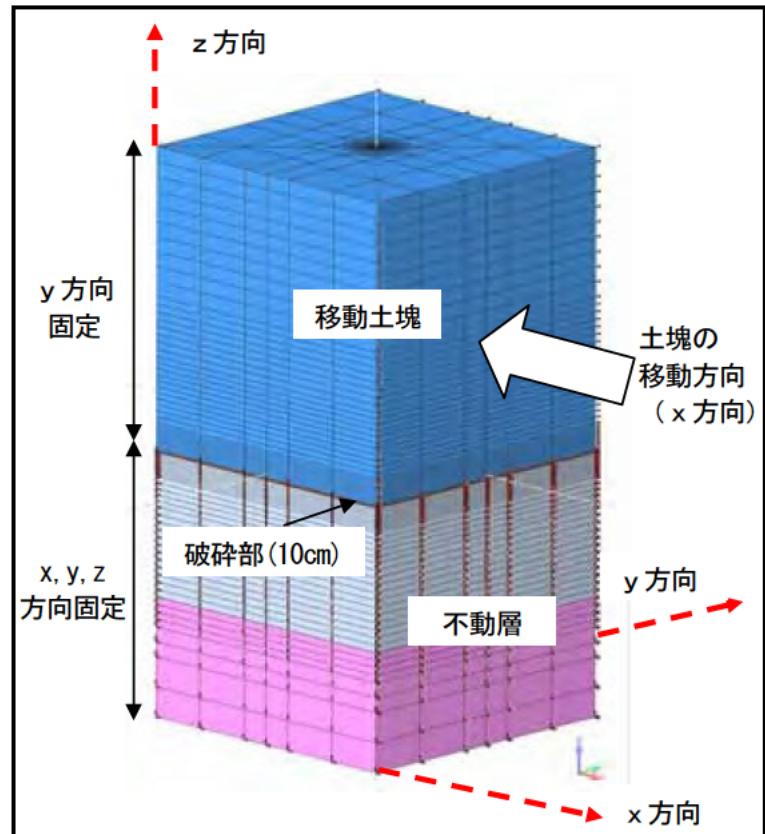


図 4.46 境界の変位固定状況

## ③荷重条件

移動土塊より上部に、物体力を水平方向に作用させた。イメージとしては、本解析モデルを90°横方向に回転させて、片持ち梁の状態にした状態である。

## ④物性値

物性値の一覧表を表 4.16 に示す。移動土塊の弾性係数は、硬めの粘土と同等の  $10\text{MN}/\text{m}^2$  と軟岩程度の  $1,000\text{MN}/\text{m}^2$  の2種類とし、前者は斜面の運動様式がクリープを、後者は運動様式がスライドになるように設定した。

破砕部の弾性係数は地すべり粘土と同等  $10\text{MN}/\text{m}^2$ 、不動層の弾性係数は軟岩程度の  $1,000\text{MN}/\text{m}^2$  にした。充填材の弾性係数は、軟岩相当（配合試験時の水:セメント=1:2）の  $1,000\text{MN}/\text{m}^2$ 、洪積層相当（水:セメント=1:5）の  $100\text{MN}/\text{m}^2$ 、沖積層相当（水:セメント=1:12）の  $10\text{MN}/\text{m}^2$  の3種類とした。ガイド管は、アルミの一般的な弾性係数の  $70,000\text{MN}/\text{m}^2$  を採用した。

表 4.16 物性値一覧表

|     | 対象                                   | 弾性係数<br>(MN/m <sup>2</sup> ) | ポアソン比 |
|-----|--------------------------------------|------------------------------|-------|
| 地盤  | 移動土塊 1<br>(斜面の運動様式がクリープ)             | 10                           | 0.35  |
|     | 移動土塊 2<br>(斜面の運動様式がスライド)             | 1,000                        | 0.2   |
|     | 破砕部 (すべり粘土相当)                        | 10                           | 0.35  |
|     | 不動層 (軟岩相当)                           | 1,000                        | 0.2   |
| 充填材 | Case1 (軟岩相当)<br>(配合試験時の水セメント比 1:2)   | 1,000                        | 0.2   |
|     | Case2 (洪積層相当)<br>(配合試験時の水セメント比 1:5)  | 100                          | 0.3   |
|     | Case3 (沖積層相当)<br>(配合試験時の水セメント比 1:12) | 10                           | 0.35  |
|     | ガイド管                                 | 70,000                       | 0.3   |

解析ケース

解析ケースの一覧表を表 4.17 に、解析ケースの模式図を図 4.47 に示す。解析は、移動土塊の弾性係数が斜面変動の運動様式をスライドと想定した 1,000MN/m<sup>2</sup>、クリープを想定した 10MN/m<sup>2</sup>の 2 ケース、および地山のみの場合と充填材の弾性係数が 1,000 MN/m<sup>2</sup>・100 MN/m<sup>2</sup>・10 MN/m<sup>2</sup>の 4 ケースとし、それぞれの組合せで計 8 ケースの解析とした。「地盤のみ」は地山の実際の変形を示した初期値となる。

表 4.17 解析ケース一覧

| 解析ケース                        |                        | 移動土塊が<br>1,000MN/m <sup>2</sup> | 移動土塊が<br>10MN/m <sup>2</sup> |
|------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 地盤のみ                         |                        | m1_c0                           | m2_c0                        |
| ガイド管を設置した場合<br>の充填材の<br>弾性係数 | 1,000MN/m <sup>2</sup> | m1_c1                           | m2_c1                        |
|                              | 100MN/m <sup>2</sup>   | m1_c2                           | m2_c2                        |
|                              | 10MN/m <sup>2</sup>    | m1_c3                           | m2_c3                        |
| 想定した斜面の運動様式                  |                        | スライド                            | クリープ                         |

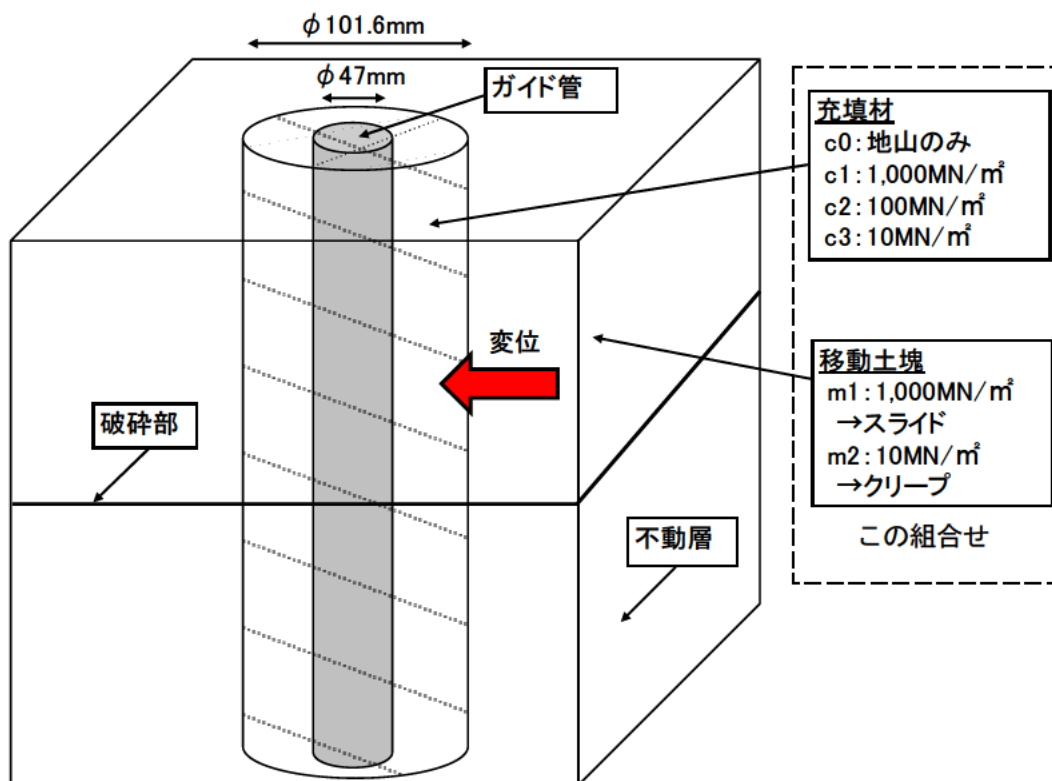


図 4.47 解析ケースの模式図

### (3) 解析結果

#### ① 全体の変形状況

移動土塊の弾性係数が 1,000MN/m<sup>2</sup>および 10MN/m<sup>2</sup>の 2 ケースについて、モデル全体の変形図を図 4.48～49 に示す。移動土塊の弾性係数が 1,000MN/m<sup>2</sup>では運動様式がスライドとクリープが発生し、破碎部のせん断変位量は 7mm 程度になった。また、移動土塊の弾性係数が 10MN/m<sup>2</sup>では運動様式がクリープのみとなり、変形量が 1m あたり 30mm 程度であった。

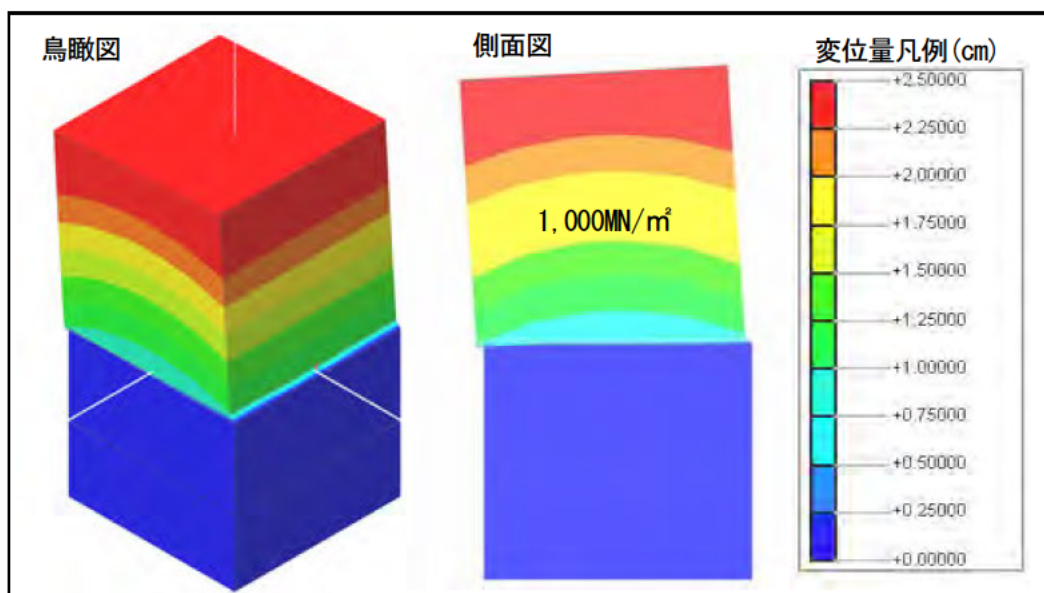


図 4.48 移動土塊 1,000MN/m<sup>2</sup>の変形状況

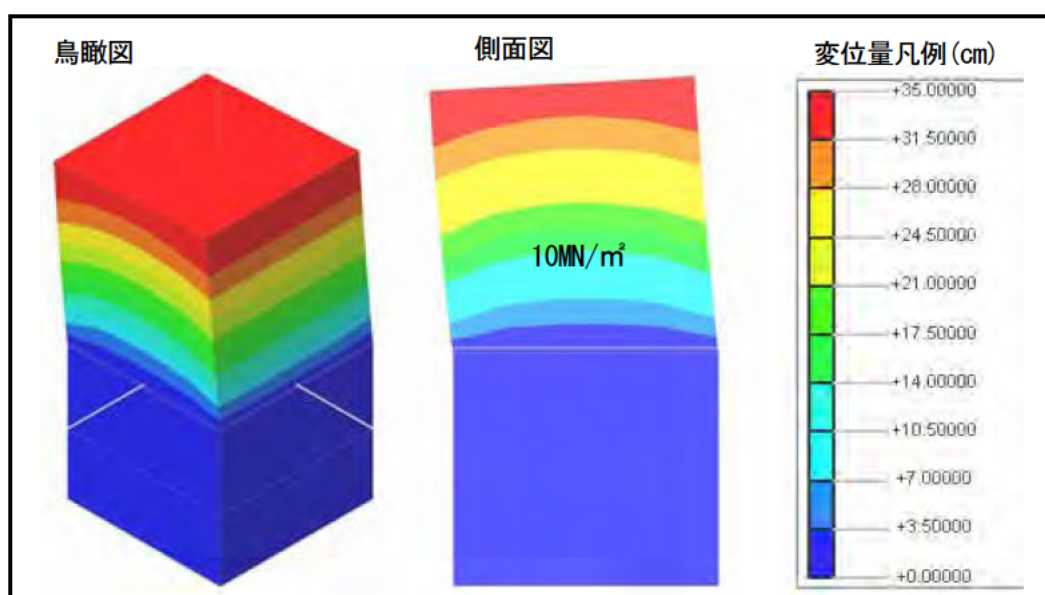


図 4.49 移動土塊 10MN/m<sup>2</sup>の変形状況

②破砕部周辺の変形状況

移動土塊の弾性係数が 1,000MN/m<sup>2</sup>および 10MN/m<sup>2</sup>の 2 ケースについて、破砕部を中心に上下 1m のガイド管外周に沿った変形図、およびガイド管を設置した場合の変位と地山の変形 (c0) との差を図 4.50 に示す。なお、地山の変形とは、充填材やガイド管がない地盤のみの状態の変形量のことである。

移動土塊の弾性係数が 1,000MN/m<sup>2</sup>の場合は、充填材の弾性係数が小さい (c3) ほどガイド管の曲がりの形状が緩やかになり、地山の変形(c0)との差が大きくなる。特に (c3) では変位方向とは逆方向の S 字状に反り返る傾向も見られる。充填材の弾性係数が大きい (c1) と中間の (c2) では大きな差は見られない。

また、移動土塊の弾性係数が  $10\text{MN}/\text{m}^2$  の場合は、充填材の弾性係数が小さい (c3) では不動層にも変形が発生し、充填材の弾性係数が大きい (c1) では逆に移動土塊の変形が地山の実際の変位と比較して小さくなる傾向が見られる。地山の実際の変形(c0)との差は、充填材の弾性係数が中間の (c2) が最も少ない。

以上のことから、移動土塊の弾性係数や運動様式の違いにもかかわらず、地山の実際の変形との差が最も小さいのは充填材の弾性係数が大きい部分と小さい部分の中間の弾性係数(c2)の場合であることが確認できた。

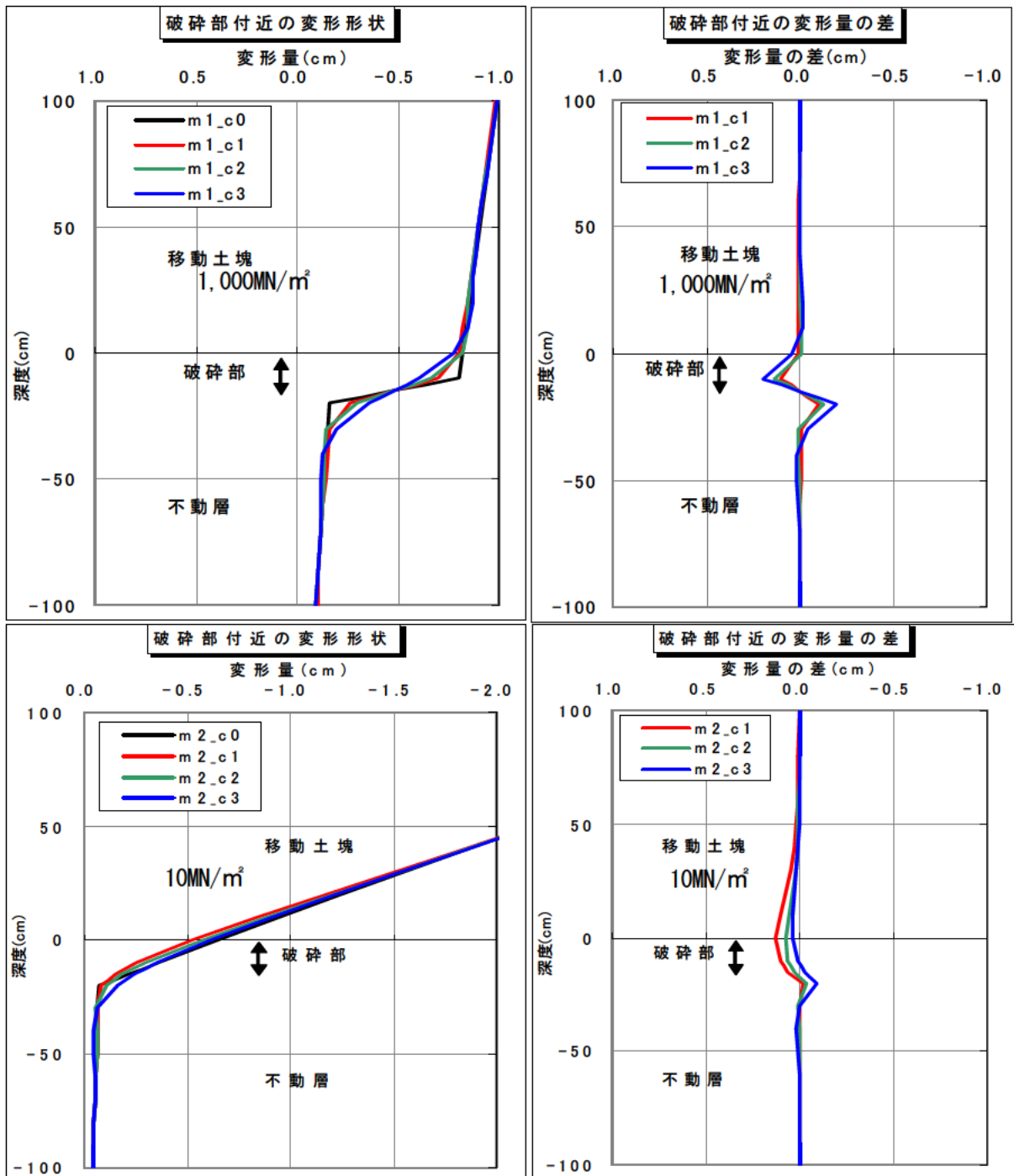


図 4.50 破碎部付近の変形形状と実変位量との差

なお、移動土塊の弾性係数が  $1,000\text{MN}/\text{m}^2$  のせん断変位が生じるケースについて、充填材とガイド管の変形を重ねた図を図 4.51 に示す。本図では、充填材の弾性係数が小さいほど曲がりの形状が緩やかになっているが、その理由として充填材がガイド管の強度に負けて食い込んでいる状態になっていると考えられる。

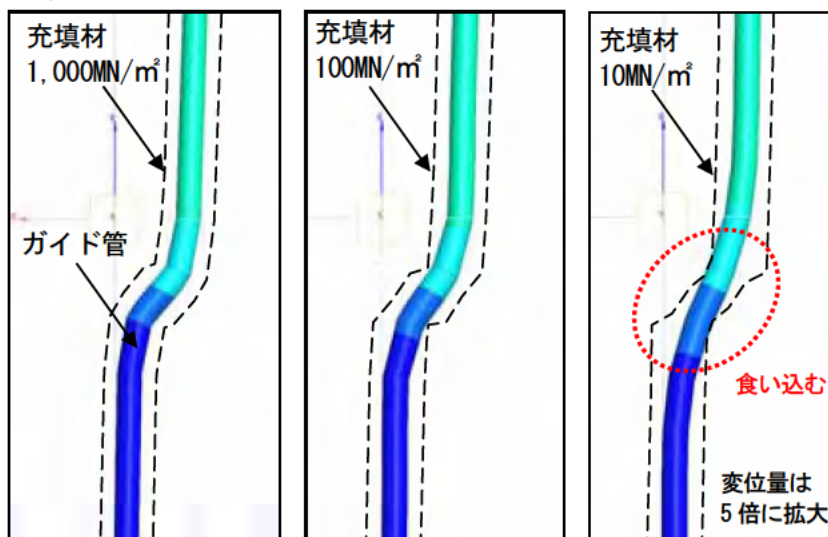


図 4.51 せん断変位が生じる場合の充填材とガイド管の変形

#### (4) 適切な充填材配合の検討

先に検討したように、クリープ・トップリングなど、不動層と地すべり土塊の強度が類似する地盤においては、充填材の固結時の弾性係数が地盤の強度と同じになるような配合が良いと考えられる。また、スライドなど基盤岩と地すべり土塊の強度が異なっている場合は、運動様式に係わらず硬い部分と軟らかい部分の中間の弾性係数になるような配合が良いことがわかった。

次に、地盤の種類と弾性係数および充填材の配合比の関係について検討を行った。図 4.52 に示した既往文献による弾性係数の一般値を弾性係数では、地盤の種類や岩級別で示されており、N 値からの換算式も記載されている。本図と前述の表 4.14 の配合試験結果や表 4.18 の既往の配合試験結果を組み合わせることにより、岩級区分やN値に応じた適切な配合比の検討を行った。

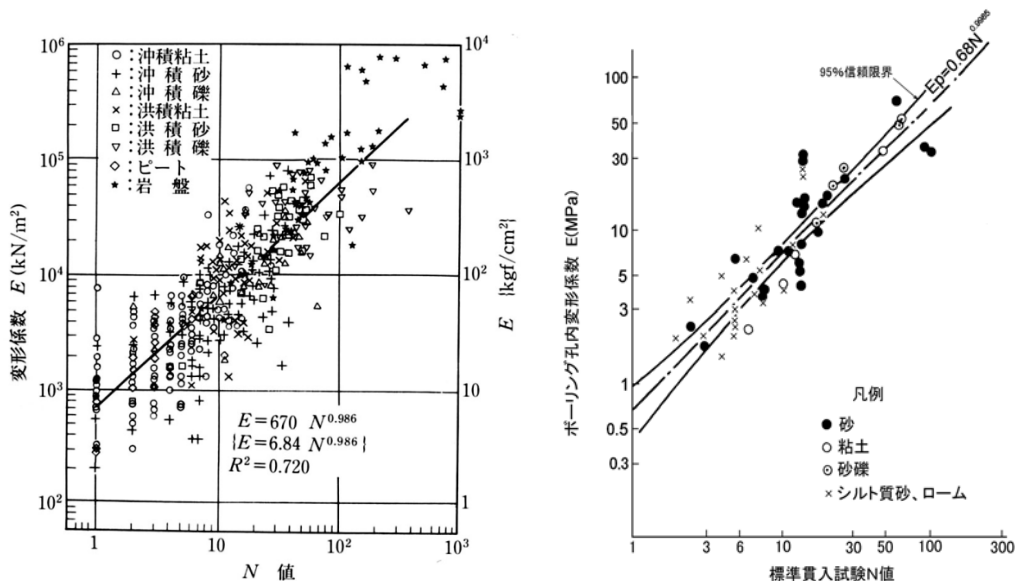
作成した配合比の早見図・一覧表を図 4.53 に示す。早見図は、軟岩～中硬岩の高強度のもの、軟岩主体の中強度のもの、軟岩～土砂の低強度の3種類に分けて作成した。充填材の配合を検討する際は、ボーリング柱状図の岩級区分や標準貫入試験結果を参考にするとともに、不動層と地すべり土塊の強度が異なる場合は岩級区分やN値の中間に合わせると良いと考える。

表 4.18 充填材配合の既往試験結果

| セメント | 混和材 | 水   | 変形係数<br>MN/m <sup>2</sup> | 備考    |
|------|-----|-----|---------------------------|-------|
| 1    | 1.0 | 1.5 | 1844                      | 5日強度  |
| 1    | 1.0 | 2.0 | 1001                      | 5日強度  |
| 1    | 1.2 | 2.0 | 1059                      | 5日強度  |
| 1    | 1.5 | 2.0 | 1118                      | 5日強度  |
| 1    | 1.8 | 3.0 | 481                       | 5日強度  |
| 1    | 1.0 | 1.5 | 1226                      | 28日強度 |
| 1    | 2.0 | 2.2 | 883                       | 28日強度 |
| 1    | 4.0 | 4.1 | 196                       | 28日強度 |
| 1    | 8.0 | 8.3 | 47                        | 28日強度 |

混和材：粉末粘土  
応用地質資料、oyo製ガイド管の説明書に本表が付属

### N値と変形係数の目安



孔内載荷試験より得られた変形係数とN値との関係<sup>2)</sup>

変形係数とN値との関係<sup>3)</sup>

### 岩級区分と変形係数の目安

表-5 孔内測定による岩盤の変形特性区分

| 変形区分              | 推定変形係数 $E_{10}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | 代表値 $E_{10}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| A-d               | >30,000                               | 50,000                             |
| B-d               | 12,000~30,000                         | 20,000                             |
| C <sub>H</sub> -d | 6,000~12,000                          | 8,000                              |
| C <sub>M</sub> -d | 3,000~6,000                           | 4,500                              |
| C <sub>L</sub> -d | 1,500~3,000                           | 2,000                              |
| D <sub>H</sub> -d | 800~1,500                             | 1,000                              |
| D <sub>M</sub> -d | 300~800                               | 500                                |
| D <sub>L</sub> -d | 50~300                                | 100                                |

橋梁基礎の例(風化花崗岩)<sup>4)</sup>

表-10.6.1 塩化ビニルパイプによるひずみゲージ間隔 (中村・板垣<sup>5)</sup>に加筆修正)

| 地すべり型分類 | N値    | 弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> ) {kgf/cm <sup>2</sup> } | ひずみゲージ妥当間隔 |
|---------|-------|--|------------|
| 粘質土地すべり | 10以下  | 5,000以下 {50以下}                                   | 90 cm以下    |
| 崩積土地すべり | 10~50 | 5,000~30,000 {50~300}                            | 70 cm以下    |
| 風化岩地すべり | 50以上  | 30,000以上 {300以上}                                 | 45 cm以下    |

地すべり型分類やN値と弾性係数の<sup>5)</sup>

表-7 各岩盤等級から予想される物理定数の範囲

| 岩等級            | 岩盤の変形係数 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 岩盤の静弾性係数 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 岩盤の粘着力 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 岩盤の内部摩擦角 (°) | 岩盤の弾性波速度 (km/sec) | ロックテストハンマー反発度 | 孔内載荷試験による                  |                              | 引き抜き試験によるせん断強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|---------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
|                |                               |                                |                              |              |                   |               | 変形係数 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 接線弾性係数 (kg/cm <sup>2</sup> ) |                                      |
| A~B            | 50,000以上                      | 80,000以上                       | 40以上                         | 55~65        | 3.7以上             | 36以上          | 50,000以上                   | 100,000以上                    | 20以上                                 |
| C <sub>H</sub> | 50,000~20,000                 | 80,000~40,000                  | 40~20                        | 40~55        | 3.7~3             | 36~27         | 60,000~15,000              | 150,000~60,000               | 20~10                                |
| C <sub>M</sub> | 20,000~5,000                  | 40,000~15,000                  | 20~10                        | 30~45        | 3~1.5             | 27~15         | 20,000~3,000               | 60,000~10,000                | 10~5                                 |
| C <sub>L</sub> | 5,000以下                       | 15,000以下                       | 10以下                         | 15~38        | 1.5以下             | 15以下          | 6,000以下                    | 15,000以下                     | 5以下                                  |
| D              |                               |                                |                              |              |                   |               |                            |                              |                                      |

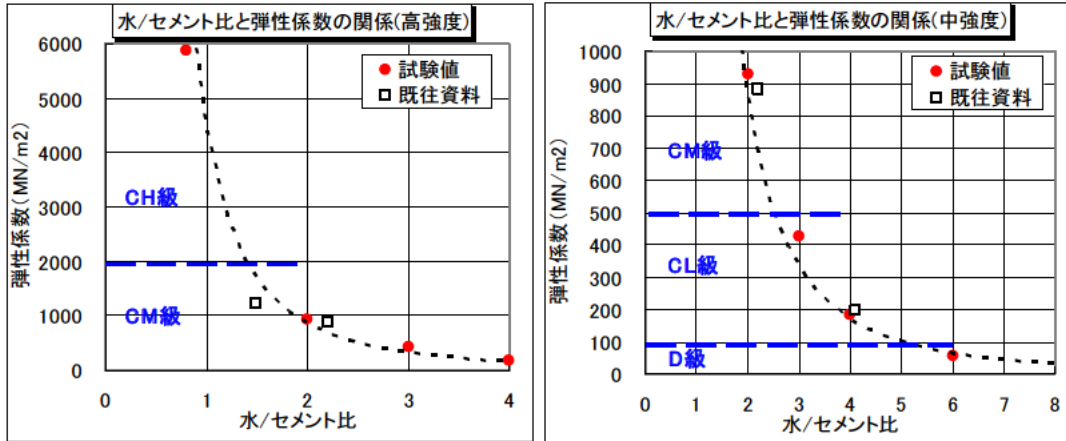
ダム基礎岩盤の例<sup>6)</sup>

図 4.52 文献による変形係数の目安<sup>2)~6)</sup>から引用



水/セメント比の配合

| 岩級 | 硬さの目安       | 代表値 | 範囲            |
|----|-------------|-----|---------------|
| CH | 中硬岩         | 1:1 | 0.8:1 ~ 1.5:1 |
| CM | 軟~中硬岩       | 2:1 | 1.5:1 ~ 2.5:1 |
| CL | 軟岩          | 3:1 | 2.5:1 ~ 5.0:1 |
| D  | 硬い洪積粘土~洪積粘土 | 5:1 | 5.0:1 ~ 6.0:1 |



試験値：共同研究実施のデータ 既往資料：応用地質(株)製塗装ケーシングに付属の説明書に記載

図 4.53 セメント：水配合比の早見図、配合比目安の一覧表

また、充填材には強度が調整できる範囲には限度があり、手押しポンプや流し込みでの充填作業の際、適度な粘性に得るために、粉末粘土などの混和材を混ぜて粘度を調整する。ただし、セメントや混和材の比重や含水比は、製品や使用時の状態によって異なるため、少しずつ投入して粘度の具合を確認しながら攪拌することが望ましいと考えられる。

#### 4.7 充填材の養生期間

ガイド管設置時の充填作業から初期値測定までの養生期間の目安を得るために、充填材の固結に伴う強度の変化と測定値への影響を把握した。実施条件の概要は次の通り。

- ・実施箇所：現場（中山地すべり）
- ・使用機器：応用地質㈱製プローブ、シュミットハンマー
- ・実施方法：充填材の養生期間中、充填材の強度と傾斜計の測定を毎日行う。

##### (1) 充填材の配合の調整

充填材の配合状況を写真 4.7 に示す。充填材の配合は、最初は「セメント 1：水 3：粘土 3（重量比）」としたが粘性が高く充填作業がしづらい状況であったため、次に「セメント 1：水 3：粘土 2（重量比）」と粘土の割合を減らしたところちょうど良い粘度になった。

使用した粉末粘土は比重が 0.9kg/L と比重が軽い材料であったため、想定より粘土の割合が多く入ったものと考えられる。このように、粘土の種類によって比重が変わるため、充填材の配合の際は最初に水とセメントの配合決めて次に粘土等の混和材を加えながら充填にちょうど良い濃さに調整すると良いと考えられる（強度は水セメント比で決まるため粘土の量は関係しない）。



写真 4.7 充填材の作成と充填作業状況

##### (2) 充填材の強度の変化

グラウト養生期間の目安を得る目的で、パッカー使用孔(H20B・2)にて設置から 6 日目まで、1 日 1 回の測定を実施した。また、固結具合の目安を得るために、同時に容器に充填してシュミットハンマー（写真 4.8）で硬さを測定した。



写真 4.8 コンクリート用シュミットハンマー（富士物産㈱製）

しかし、水セメント比が高いことに加え冬期で気温が低いため、シュミットハンマーで試験が可能なほど充填材が固まらなかったため(測定下限値の 9 以下)、ハンマー先端部の貫入深の測定を行った(表 4.19、図 4.54、写真 4.9~10)。その結果、3 日目までは貫入深が小さくなる割合が大きいが 4 日以降は変化量が少なくなり、指圧による感触では 6 日目では固結した粘土から軟らかめの泥岩程度の硬さになった。目視の観察では、充填材の収縮現象は 2 日目から観察された(写真 4.11)。

表 4.19 シュミットハンマー試験結果

| 回数 | 試験日時        | 経過日数 | 貫入深(cm) | 観察状況         |
|----|-------------|------|---------|--------------|
| 1  | 12/20 17:30 | 0.0  | -       | 充填直後の液体状     |
| 2  | 12/21 16:00 | 0.9  | 4.1     | やや強い指圧で指先が入る |
| 3  | 12/22 16:00 | 1.9  | 2.2     | つめ先で容易に削れる   |
| 4  | 12/23 14:30 | 2.9  | 1.2     | つめ先で凹む       |
| 5  | 12/24 16:00 | 3.9  | 0.8     | つめ先で辛うじて凹む   |
| 6  | 12/25 17:00 | 5.0  | 0.7     | 固結粘土         |
| 7  | 12/26 12:00 | 5.8  | 0.5     | 軟岩～固結粘土の中間程度 |

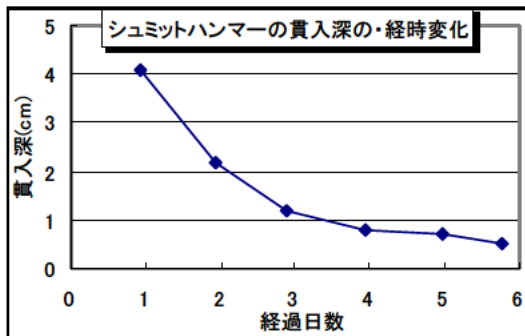


図 4.54 シュミットハンマーの貫入深



写真 4.9 試験状況 (2 日目)



写真 4.10 貫入部の拡大 (4 日目)



写真 4.11 充填材表面に発生した体積収縮に伴う亀裂(2 日目)

### (3) 観測結果

養生期間中の累積変位図を図 4.55 に示す。2 日目は充填材が固まっていないためデータに影響がないが、3 日目に 15m 付近にわずかな挫屈が発生、5 日目に、地すべり土塊の岩盤部に相当する 10～25m に最大 0.2mm 位のたわんだようなデータが発生し、深度 14m の部分が 0.5mm 程度もたわみが見られた。なお、本グラフはマニュアル (案) にしたがって適切に 0 点補正を行ったデータである。

この結果から、変位が大きく早期に測定を行わなければならない場合は、最低 3 日程度は養生を行う必要があり、正確な変位を捉える場合は 1 週間程度養生を行うことが望ましいといえる。

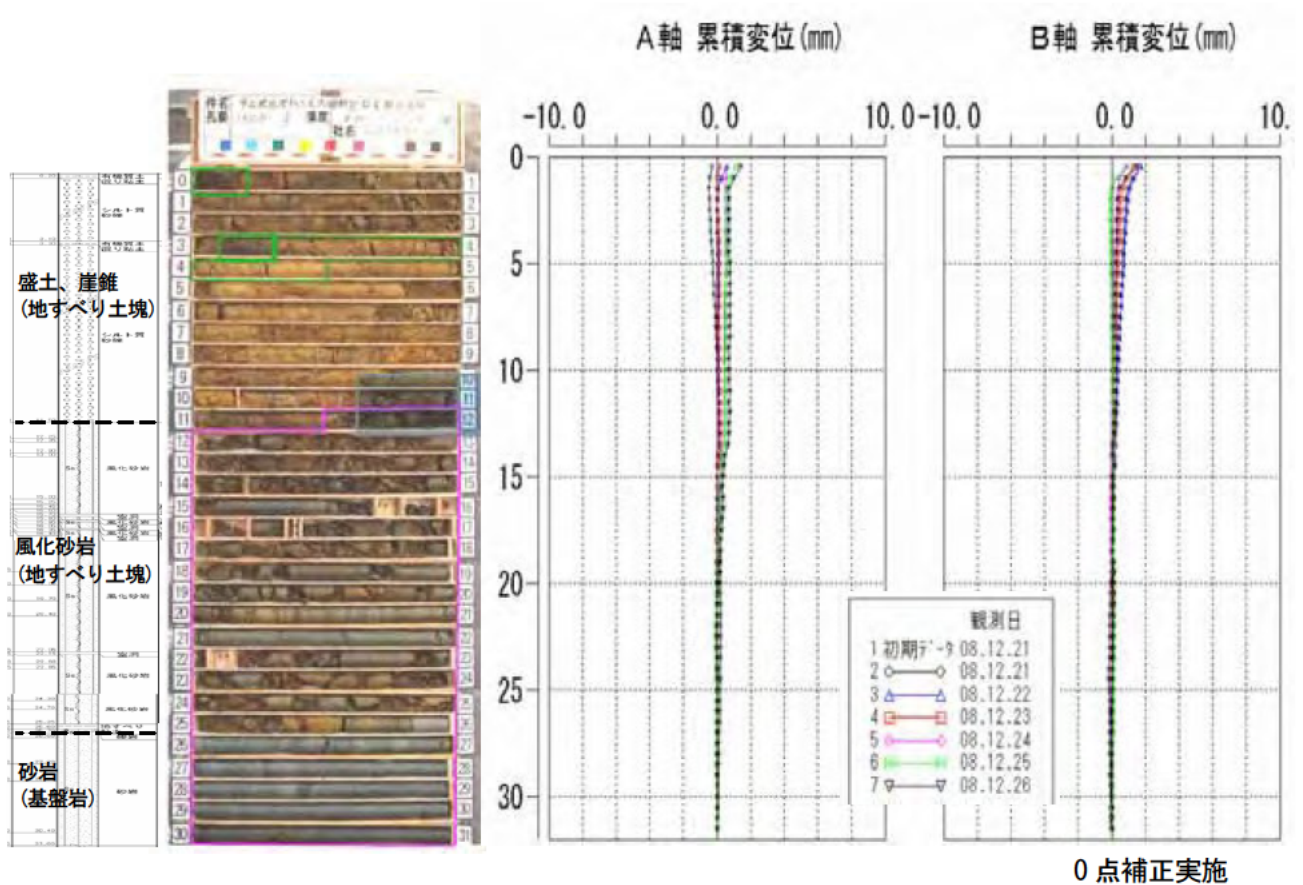


図 4.55 養生期間の累積変位図 (H20B-2)

#### 4.8 地すべり土塊での層別沈下計観測

活動している地すべり地内に水位計や挿入式孔内傾斜計の観測孔がある場合、孔口部の浮上り現象を観察することがある(写真 4.12)。観測孔の浮上り現象は、地すべり変動に伴い地すべり移動土塊が沈下することで、観測孔(塩ビ管やアルミガイド管などを含む孔口部)が相対的に浮上って見える現象と考えられており、挿入式孔内傾斜計を使用した観測結果で、異常なデータとして認識されている、いわゆる「S 字状データ」が発生する原因のひとつと考えられている。しかし、今まで、地すべり土塊の沈下現象を直接観測した事例はない。



写真 4.12 孔口部の浮上り現象

本共同研究では「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」の一環として、実際に地すべり地内に層別沈下計を設置して、平成 19 年 10 月上旬から観測を実施している。

本節では、層別沈下計の観測結果に基づく地すべり活動機構の推定を行うとともに、同じブロック内に位置する挿入式孔内傾斜計および地盤伸縮計の観測結果と比較することで、地すべりの移動に伴う土塊の沈下現状と挿入式孔内傾斜計観測における「S 字状データ」発生との関連性を考察した。実施条件の概要は次の通り。

- |                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| ・実施箇所：現場（富山県氷見市胡桃地すべり）          | ・使用機器：層別沈下計 |
| ・実施方法：地すべり土塊に層別沈下計を設置して連続観測を行う。 |             |

##### (1)測定箇所

層別沈下計の観測は、富山県氷見市に位置する「胡桃地すべり」で実施した。胡桃地すべりでは、古くより地すべり地として知られているが、昭和 39 年 7 月には大規模な活動が発生し、胡桃の集落を壊滅させた。その活動範囲は約 70ha におよび、家屋の全半壊 67 戸、道路損壊 2,400m、河川埋没 3,000m、その他農地や林地に甚大な被害を及ぼした大規模な災害であった。その後、集水井を中心とした地下水排除工が実施されて来たが、B-2 ブロックの活動は継続しており、平成 21 年度より頭部排土を中心とした対策工事が新たに開始されている。

図 4.56 に胡桃地すべりの全体図を、写真 4.13 に全景写真を示す。

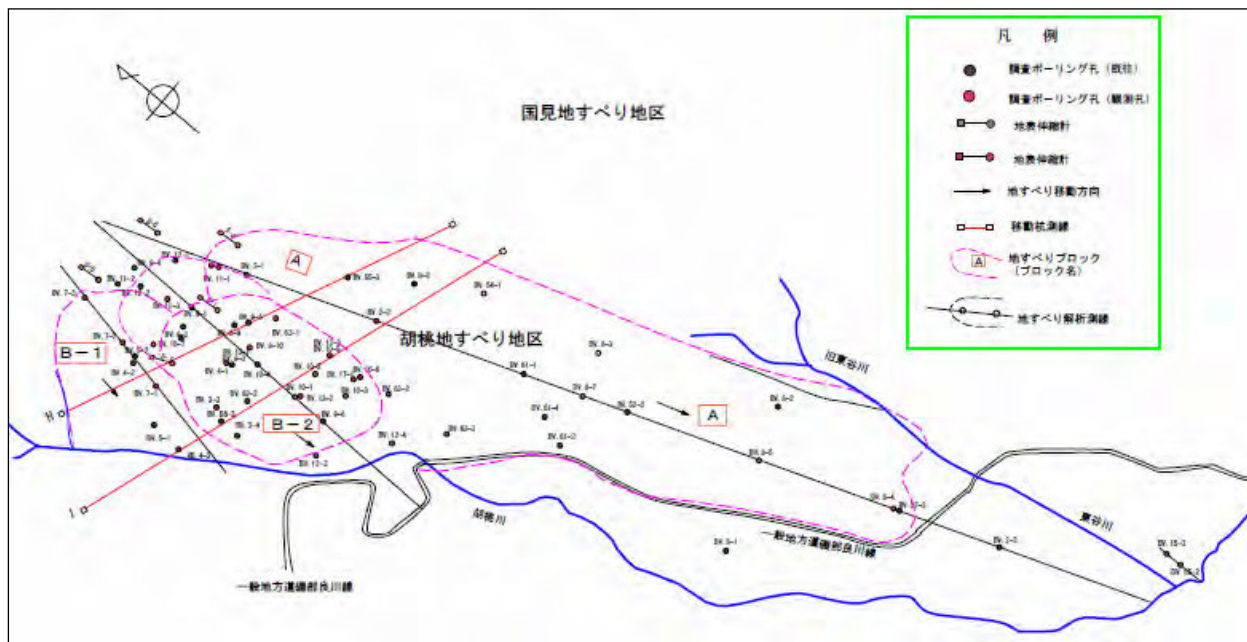


図 4.56 胡桃地すべり全体位置図



写真 4.13 胡桃地すべり B-2 ブロック全景写真

本地区では、孔口の浮上り現象が随所で見られるが、その形状は様々である。代表的な浮上りの状況を写真 4.14 に示すが、共通して言えることは、地表付近に設置した柵などの構造物自体が浮上っている訳ではないということである。これらの現象は、主に B-2 ブロックの上部から中部にかけて見られる。



内部の塩ビ管 (VP40) のみが浮き上り、孔口保護用の塩ビ管はソケットが押し上げられている状況

浮上り量が大きく、折れてしまった水位観測用の塩ビ管

内部の塩ビ管のみが浮き上がり保護樹の蓋が取れた状態

写真 4.14 胡桃地すべり地内に見られる孔口の浮上り現象

沈下計の設置は「平成 19 年度胡桃地すべり地区層別沈下計設置業務」にて実施した。事前調査(平成 19 年 3 月)による浮上り現象の把握および既存調査資料の検討より、層別沈下計設置位置は、B-2 ブロック主測線断面より 30~40m 東側の工事用道路カーブ付近とした。図 4.57 に観測位置図を示す。

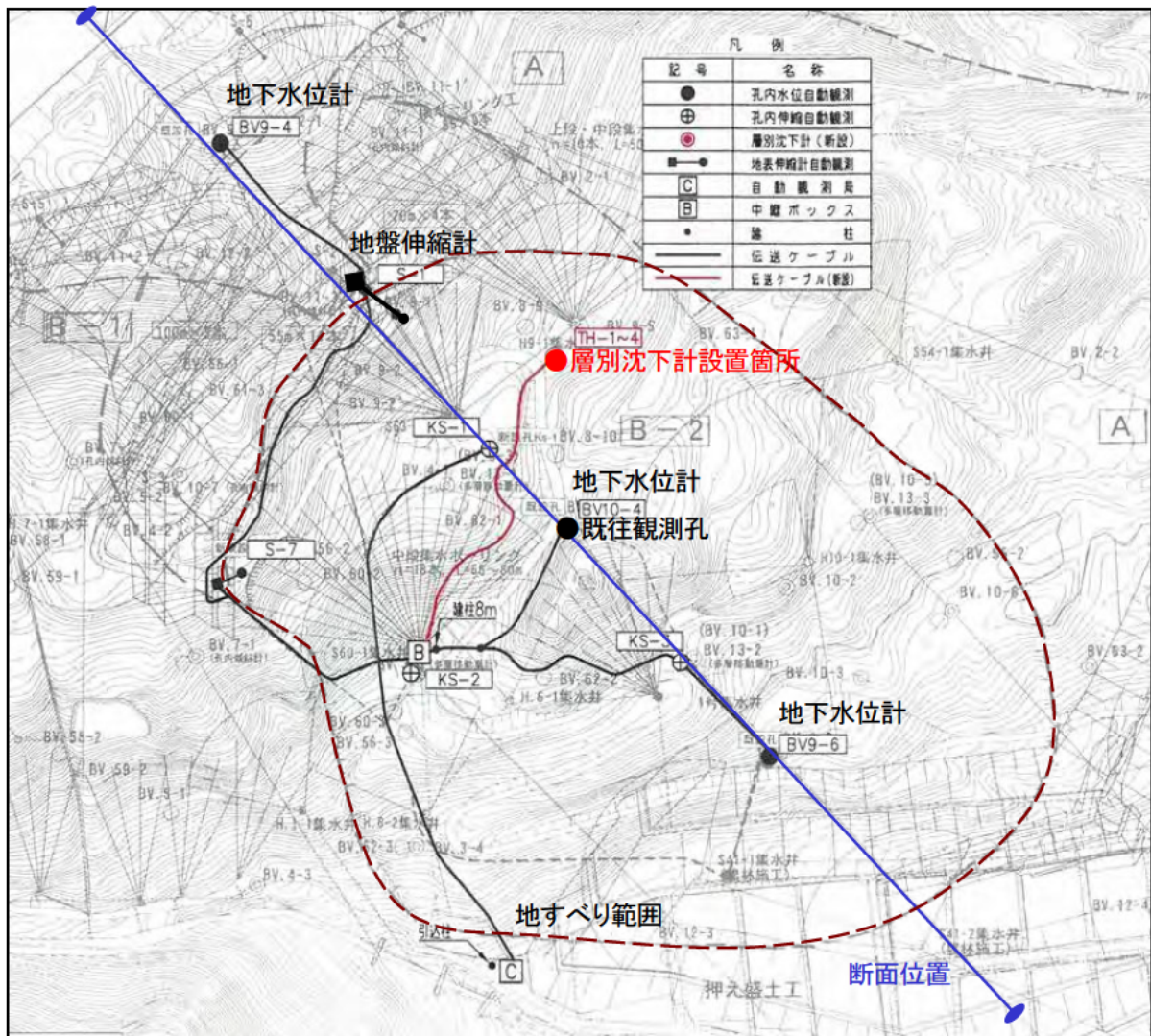


図 4.57 調査位置図

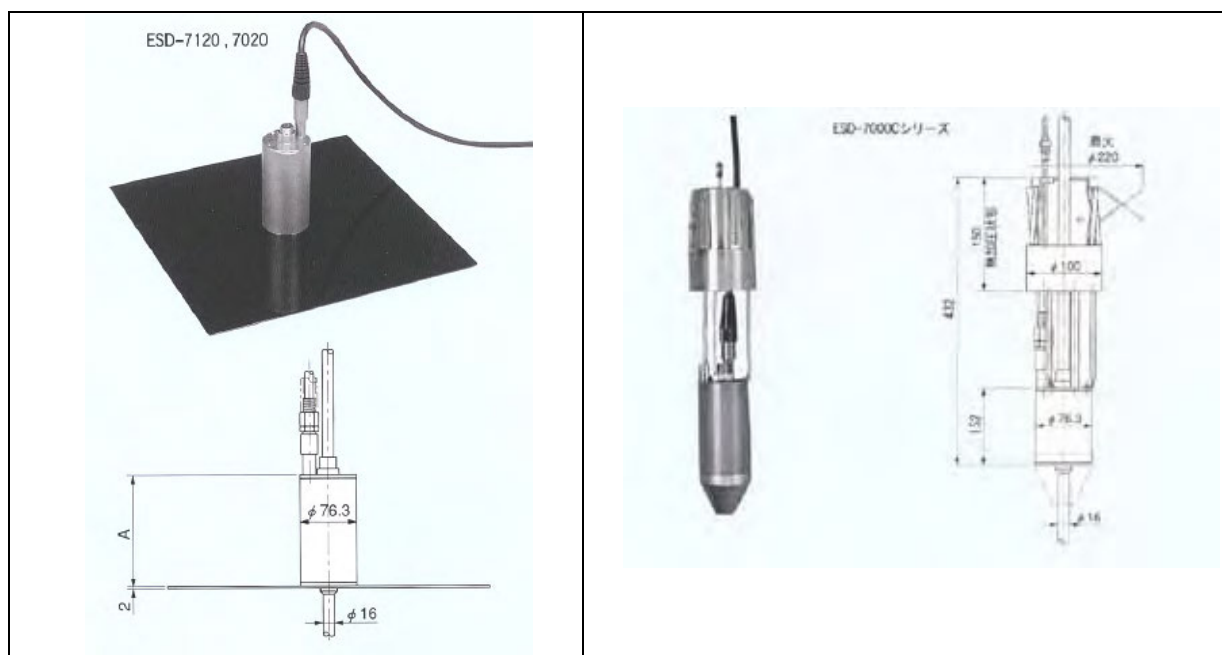
(2)使用機器

観測に使用した層別沈下計は、坂田電機(株)製「連続沈下計(ESD-7000) および層別沈下計(ESD-7120C)」である。通常の層別沈下計は、盛土作業と平行して設置する機種が主流であるが、地すべり地内にボーリングを実施して観測孔を削孔し、その孔を利用して「後施工」が可能な唯一の層別沈下計であることから採用することとなった。実際に使用している機器は下表のとおりであり、地中に設置する機器が「層別沈下計」、地表面に設置する沈下計は、坂田電機(株)の製品名称では「連続沈下計」である。

表 4.20 層別地下計・地表面沈下計 使用機器数量表

| 名称            | 型式            | 単位 | 数量   | 備考                |
|---------------|---------------|----|------|-------------------|
| 連続沈下計         | ESD-7120P     | 基  | 1.0  | 地表設置用             |
| 同上用ケーブル       | SC-DT         | m  | 5.0  | 余長として             |
| 層別沈下計         | ESD-7120CP    | 基  | 3.0  | 深度(5/7/20m)の3深度   |
| 同上用ケーブル       | SC-DT         | m  | 47.0 | 地上余長5mとする         |
| スクリューアンカー     | SDU030        | 本  | 1.0  |                   |
| ステンレスロッド      | RS-16( 16 mm) | 本  | 30.0 | 掘削深度 30m          |
| フリクションカッターパイプ | FC-310        | 本  | 4.0  |                   |
| フリクションカッターパイプ | SD-F11        | 本  | 19.0 |                   |
| 上記ソケット        | SD-FCS        | 個  | 27.0 |                   |
| 油圧パイプ         | SD1101        | m  | 41.0 | 各設置深度+地上部 3m(3台分) |
| 上記ニップル        | SD1103        | 組  | 3.0  |                   |
| 設置位置決めワイヤー    |               | m  | 41.0 | 各設置深度+地上部 3m(3台分) |

参考まで、外観図を以下に示す。



連続沈下計

層別沈下計

図 4.58 層別沈下計外観図



(3)設置深度

層別沈下計の設置深度は、既設ボーリング孔(BV8-9号孔)の調査結果を参考に、表 4.21 に示す 4 深度(地中は 3 深度)とした。図 4.59 に B-2 ブロック主測線の地質断面図を、図 4.60 には拡大図上に層別沈下計の設置位置を示した。

表 4.21 層別沈下計設置深度一覧表

| No.  | 位置/深度    | 選定理由など           |
|------|----------|------------------|
| TH-1 | 地表       | 基準となる地表面         |
| TH-2 | GL-5.0m  | 比較的良好な凝岩の上部を挟む位置 |
| TH-3 | GL-7.0m  |                  |
| TH-4 | GL-20.0m | 想定されるすべり面の直上近傍   |

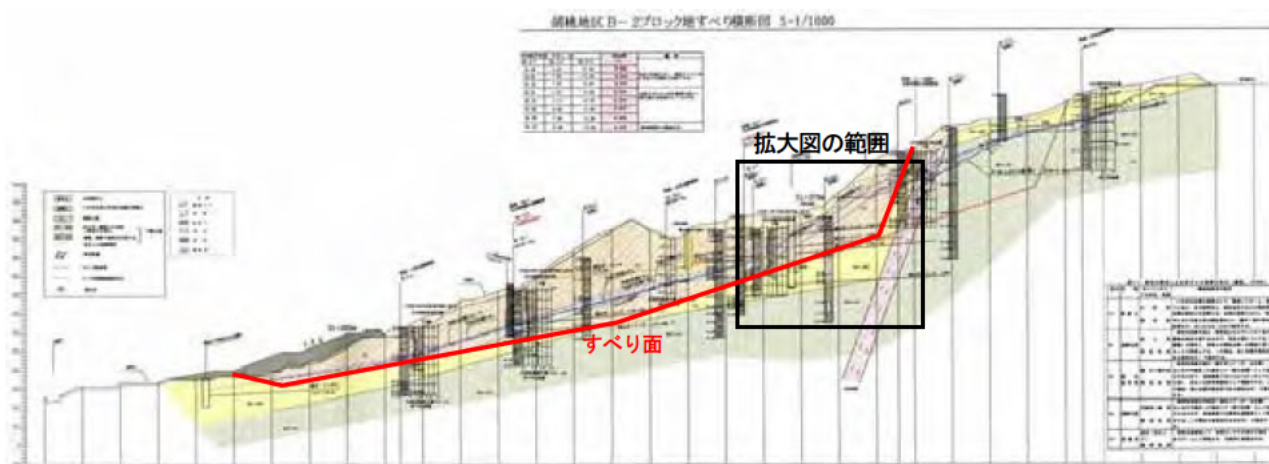


図 4.59 B-2 ブロック 主測線断面図



図 4.60 層別沈下計設置深度(拡大図)

(4)設置方法

ボーリング機械は、油圧式試錐機を使用した。削孔方法は、メタルクラウンを取り付けたシングルコアチューブによる送水掘進を行った。掘削口径は、層別沈下計設置のため、φ146 mmのコアチューブを使用し、ケーシングパイプはφ150 mmを使用した。近傍既設ボーリング孔(BV8-9/平成9年3月施工)があることから、コアリングは実施していない。給水仮設は、現地にて給水仮設が不可能なことから、給水タンクを2台準備して、地すべり地末端の湧水箇所から水を運搬して使用した。孔番号は BV19-1、掘進長は30mである。写真 4.15 に掘削状況の

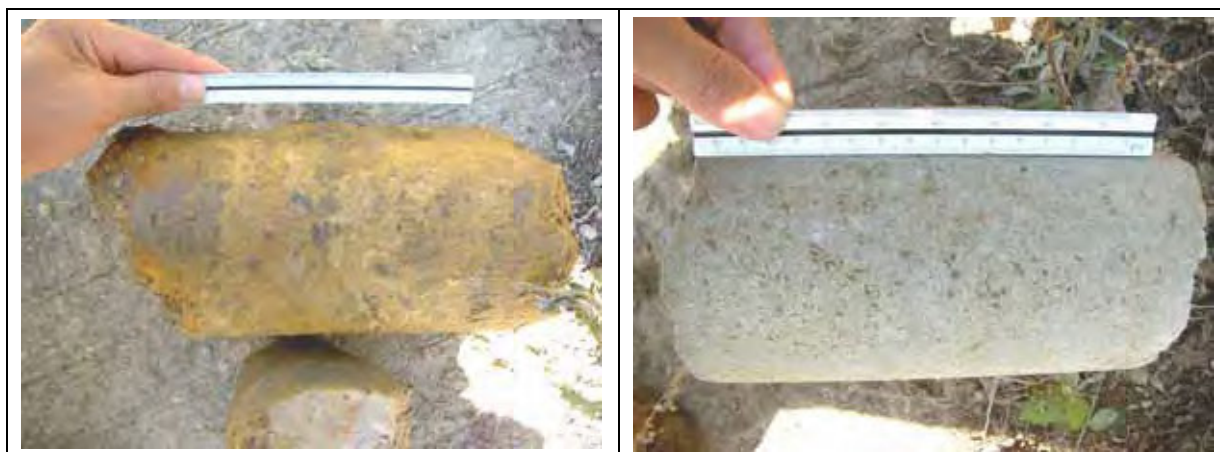


写真 4.15 掘削状況全景

全景を示す。

孔壁の状態が良好だったため、ケーシングは地表部 2mのみ設置してあり、2m以深の孔壁は層別沈下計設置直前まで自立する状況であった。地下水位は、GL-27.0mの時点で GL-22.30mの地下水位が確認できたが、GL-30.0mまで掘進した時点で確認されなかった。その理由として、亀裂が多いため逸水したものと思われる。

GL0m～GL-20m付近までは礫混じり粘性および礫混じり風化凝灰岩が続き、GL-21m付近で地すべり粘土と思われる粘土層が確認された。粘土層は約 20 cmであり、既設ボーリング(BV8-9)の GL-20.40～21.00m で確認された強風化部(W1)に相当すると考えられる。それ以深は良好な砂岩が確認された。掘削深度は、既設ボーリング結果および協議の結果、30.0mとした。写真 4.16 に地すべり粘土の状況を示す。



地すべり粘土

すべり面以深の砂岩

写真 4.16 地すべり粘土の状況

層別沈下計の設置状況を図 4.61 に示す。なお、グラウトに関しては、周辺地盤と同程度の硬さになるよう配合し、沈下・変形に追従できることを目標としたが、掘削の結果、層別沈下計を設置する区間の地質は、地すべり土塊ではあるものの、礫混じり粘性土や礫混じり凝灰岩、更に比較的良好的な凝灰岩が繰り返し出現するため、周辺地盤を代表するような硬さを決定することは不可能であった。更に、地下水位は、GL-27.0mの時点で GL-22.30mの地下水位が確認できたが、GL-30.0mまで掘進した時点で確認されなかったことから、亀裂が多いことが予想されたが、実際にグラウトを開始すると、相当量が逃げてしまい、最終的にセメント 30 袋を投入する結果となった。

本地区のように土塊の移動量が大いなど地盤の空隙が大い場合の充填作業に関しては、パッカーを使用するなど、今後検討をする必要があると思われる。

|   |   |
|---|---|
|    | 組立の完了した層別沈下計の先端であるスクリュアンカーから挿入を開始した。今回は、ボーリングの孔壁状態が良好で、ケーシングが頭部の数mにのみ挿入している状況である。                 |
|    | フリクションカッターパイプの中にステンレスロッドを連結しながら挿入して行き、深度 20m に設置する 3 の層別沈下計を挿入した。以下、同様にして深度 7m、深度 5m に層別沈下計を挿入した。 |
|    | 設置状況全景：各層別沈下計から伸びるケーブルを、順序良く挿入して行く。   |
|    | 水圧ポンプを使用して、各層別沈下計のアンカーを拡張した。アンカーを拡張することで、層別沈下計は所定の深度に固定された。                                       |
|   | アンカー拡張後、初期値の測定を行った。   |
|  | グラウト攪拌状況。グラウトの配合に関しては、本項末尾の【補足説明】に別途記載した。   |
|  | グラウト状況。孔壁に亀裂があり、グラウトが逃げる状況が続いたため、バケツリレーで投入する状況が続いた。   |
|  | ケーシング抜管およびボーリングマシン、足場を撤去して、連続沈下計を設置するため床掘りを実施した。  |
|  | 床掘り終了後、砂を敷詰め、ほぼ水平面を整形した後、連続沈下計を設置した。  |
|  | 設置完了後、周辺を砂で埋め戻した。   |

図 4.61 層別沈下計設置状況の流れ

(5)観測システム(自動化)

本地区では、平成 15 年度に地すべり自動観測システムを構築して、地すべりの兆候を把握するために運用されている。本研究では、現在の中継ボックスと現地観測局間の多芯ケーブルに 8P の空線があることから、現在稼働しているデータロガーに層別沈下計を追加して接続した。

当初のシステム構成と、層別沈下計追加後のシステム構成図を図 4.62 に示す。

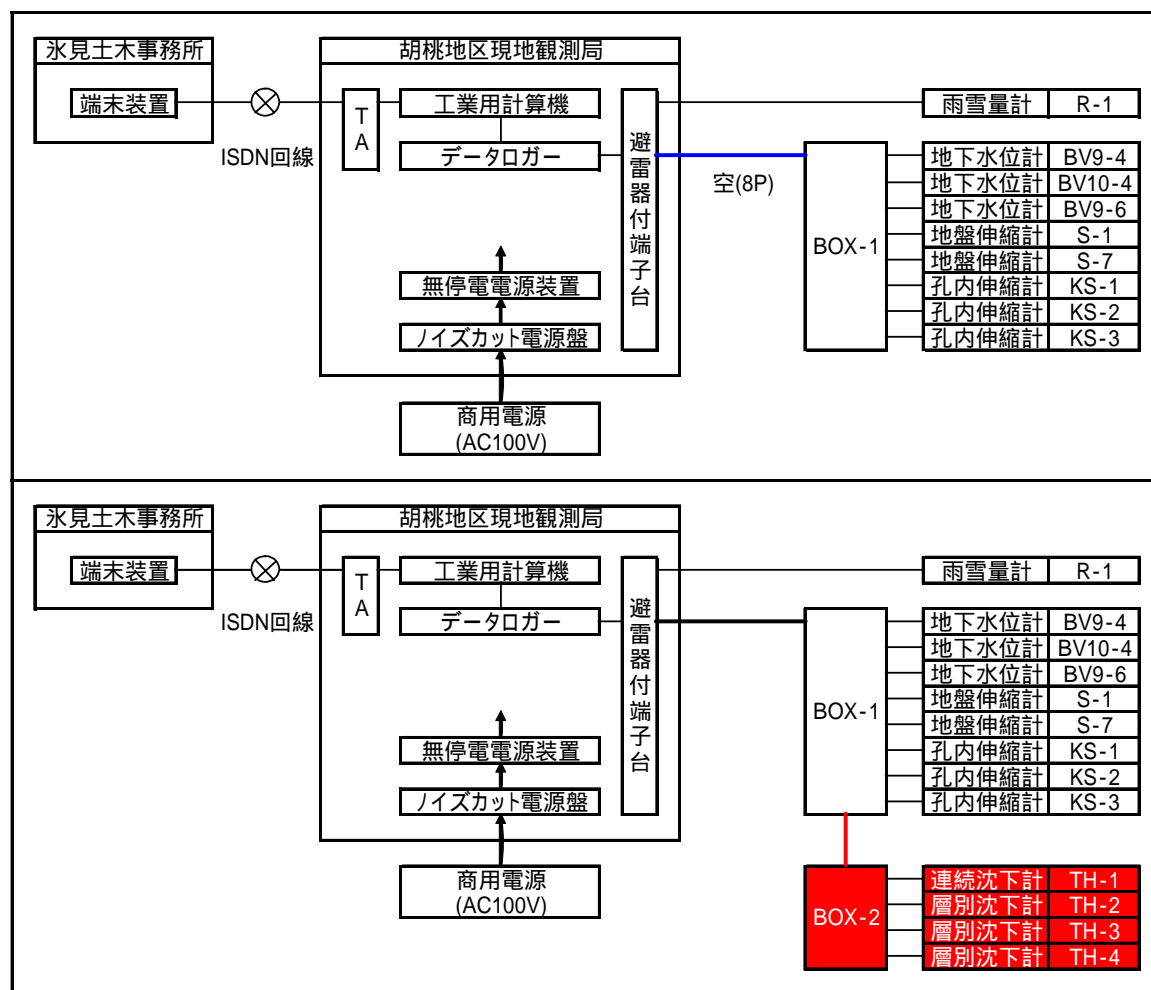


図 4.62 自動観測システム構成図(上:当初 下:層別沈下計追加後)

配線工事と現行システムへの接続は、管理者の了解を得て実施した。観測データは、NTT 回線を利用して、共同研究者の日本工営(株)防災部横浜オフィスに設置されているホストコンピュータにて収集することとした。

(6)観測結果と解釈

図 4.63 に層別沈下計設置当初(平成 19 年 10 月 12 日)から平成 21 年 12 月 14 日までの累積変動量図を示す。沈下量は、深度 30m の不動岩盤内の基準位置に対して各計測点との距離が縮んだ量、すなわち地すべり土塊が圧縮した量として表される。

層別沈下計の変動パターンは設置当初よりほぼ同じであり、上から 3 基と最深部の 1 基の変位量に明らかな違いが見られた。地表面・深度 5m および深度 7m に設置した 3 基の沈下量はほぼ同じであり、深度 20m に設置した層別沈下計の沈下量の約 3.5 倍である。すなわち、少なくとも深度 7m より浅い部分は地すべり移動土塊が一樣な岩盤でありその内部で乱れが生じていないことを示しており、一体のブロックとして活動していることが考えられる。これは、観測孔掘削時のコアの状況および過去の調査結果から岩盤すべりであることが知られていることから矛盾しない結果である。

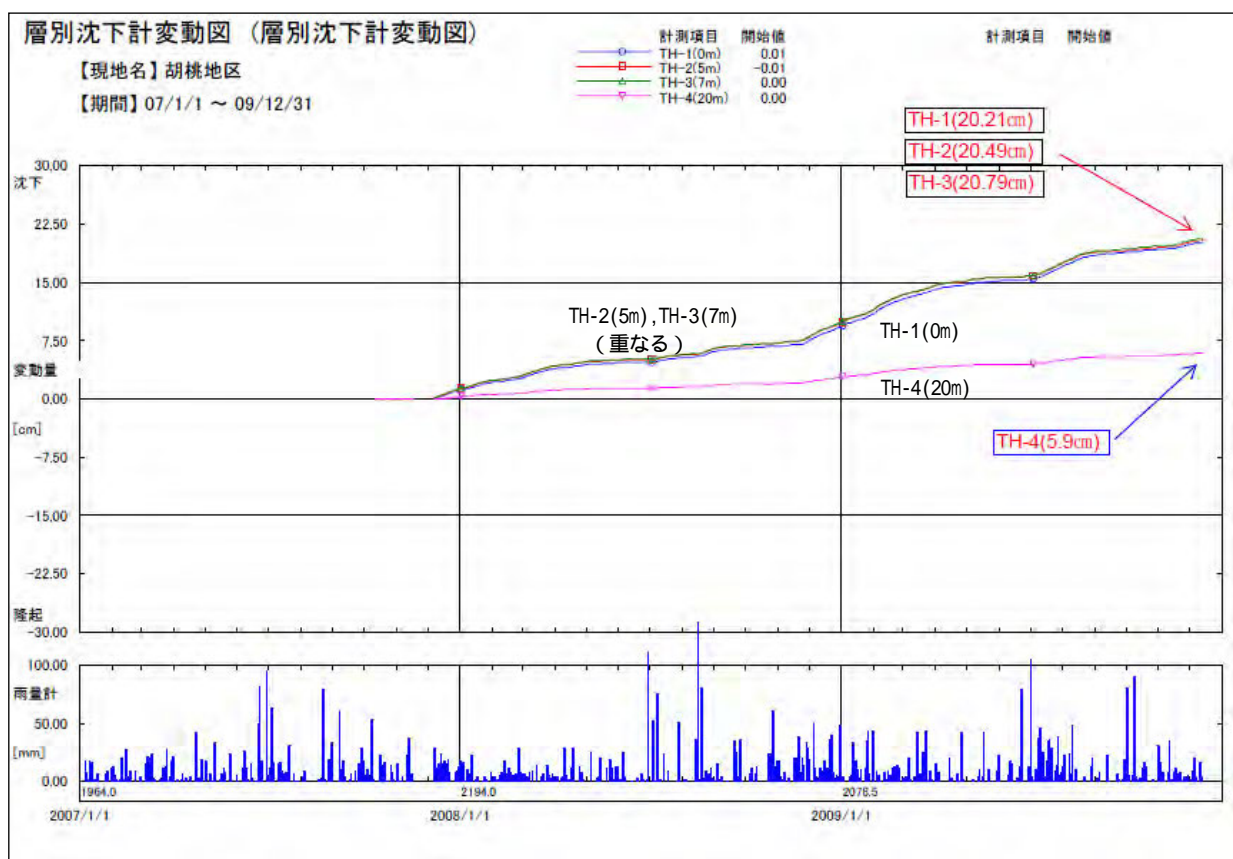


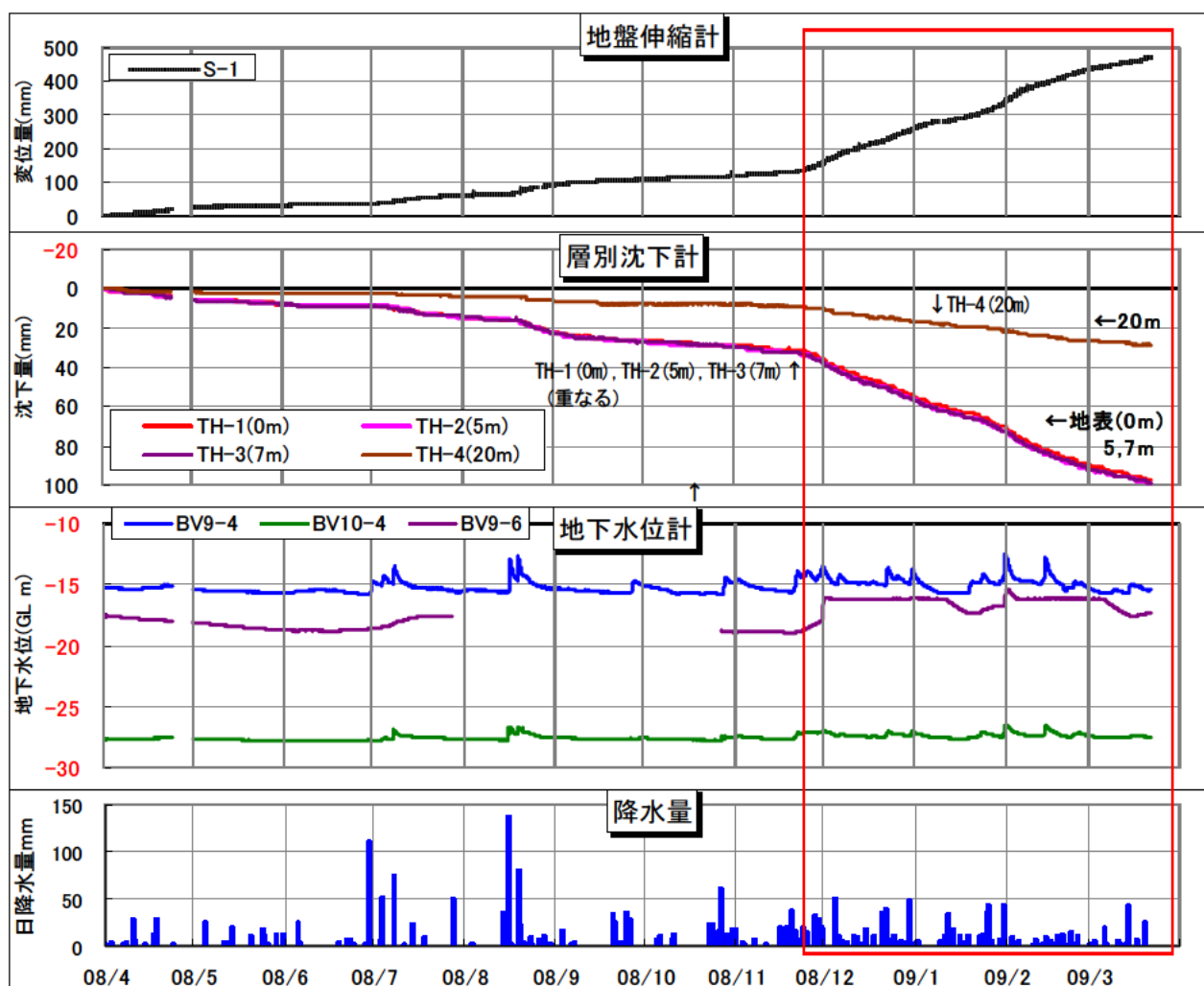
図 4.63 層別沈下計累積変動図(H19.10.12~H21.12.14)

一方、層別沈下計を設置した周辺に設置されている他の観測機器の観測結果と比較することとした。使用したのは地盤伸縮計と地下水位計である。図 4.64 に平成 20 年 4 月～平成 21 年 3 月までの経時変化図を示した。地盤伸縮計・層別沈下計および地下水位計の観測結果を比較すると、地盤伸縮計の変位量が大きくなる時期と地すべり土塊の沈下が加速する時期(平成 20 年 12 月)および地すべりブロック下方の BV9-6 孔の地下水位上昇時期とがほぼ一致することが判った。過去の観測データより、本地すべりの活動速度が加速するのは長雨などの後であることが知られて

おり、平成20年12月中旬には比較的まとまった降雨があることから、降雨に伴う地下水位の上昇の結果地すべりが活発になって水平方向に移動すると、それに伴い地すべり土塊が沈下することが確認できた。

また、参考として示した図4.65に既往挿入式孔内傾斜計観測の累積変位図(BV9-5)を示した。深度8~20mの区間で波打つような変位が徐々に累積する傾向と、深度23m付近のはらみ出すような変位が約4cmまで累積している傾向が見られる。前者は、地すべり土塊の移動に伴い土塊が沈下し、ガイド管が鉛直方向に徐々に圧縮される状態を示している可能性がある。一方、後者は、既往観測孔の設置時に地すべり土塊内で充填材(グラウト材)が多く漏出した状況を踏まえると、ガイド管とボーリング孔との間に生じた約4cmの隙間(削孔径86mm-ガイド管外径47mm)の中で、ガイド管が局所的に挫屈または撓んだ結果を反映したデータの可能性も考えられる。

いずれにしても、挿入式孔内傾斜計の観測結果に「S字状データ」が得られる原因の1つに、沈下量の大きさが関係して可能性を示唆する結果であると考えられる。



沈下量：孔底の基準位置に対する層別沈下計の距離が縮んだ量

図 4.64 地盤伸縮計・層別沈下計・地下水位計の変化状態の比較(08/4~09/3)

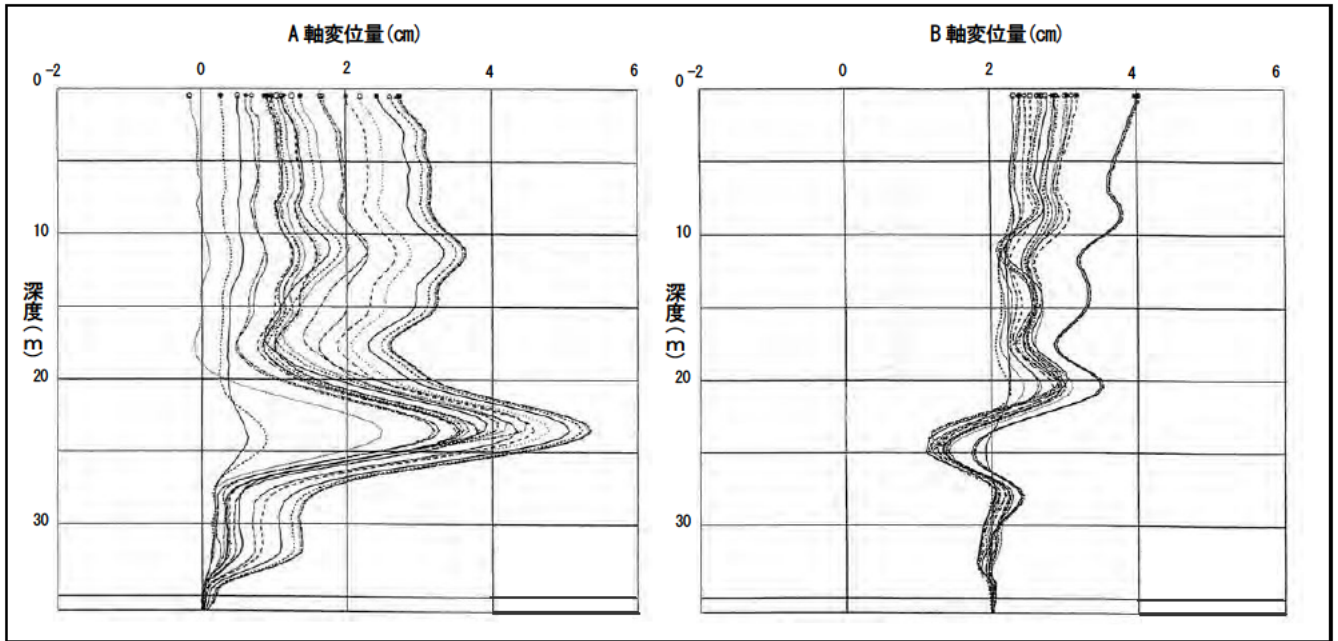


図 4.65 既往観測孔 (BV9-5) における孔内傾斜計観測データ (S 字状データ)

(7) 孔口の浮上り現象と課題

本地区における層別沈下計の観測結果からは、少なくとも深度 7m より浅い部分は一体のブロックとして活動していることが考えられる。拡大解釈すれば、移動土塊がほぼ一体となって水平方向に移動していることになるが、この移動に伴って孔口部が浮上るためには、すべり面付近の深度 20m から 7m までの間のいずれかの区間で地すべり土塊が圧縮していると考えないと矛盾が生じる。

層別沈下計測に関する一般的な解釈として、水平方向の移動がなく垂直方向の移動(つまり沈下)が発生したと仮定した場合の概念図を図 4.66 に示す。基本的に測定用ロッドの絶対的標高は変化していないと考えるべきである。従って、計測データは純粹に各層の相対的沈下量を表示していると考えられる。

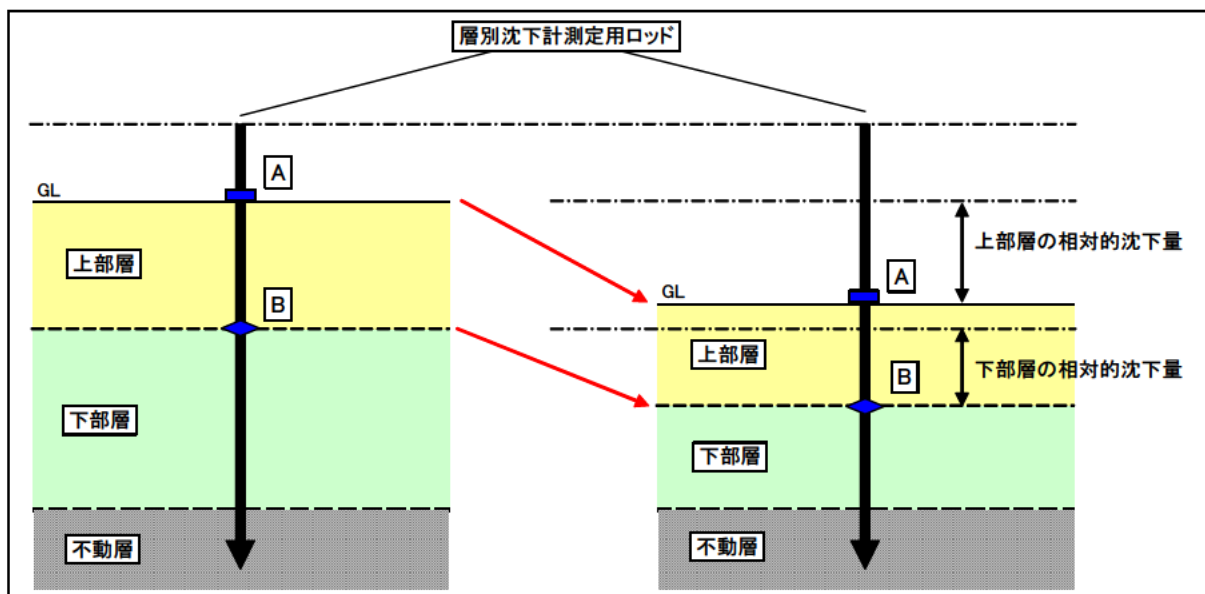


図 4.66 層別沈下計における一般的な解釈の概念図



一方、地すべり地における状況を本地区での観測結果に基づき模式的に表現する(図 4. 67)。すべり面角度が約  $17.5^\circ$  であるから、約 20 cm 沈下するためには、水平に約 60 cm 移動する必要がある。

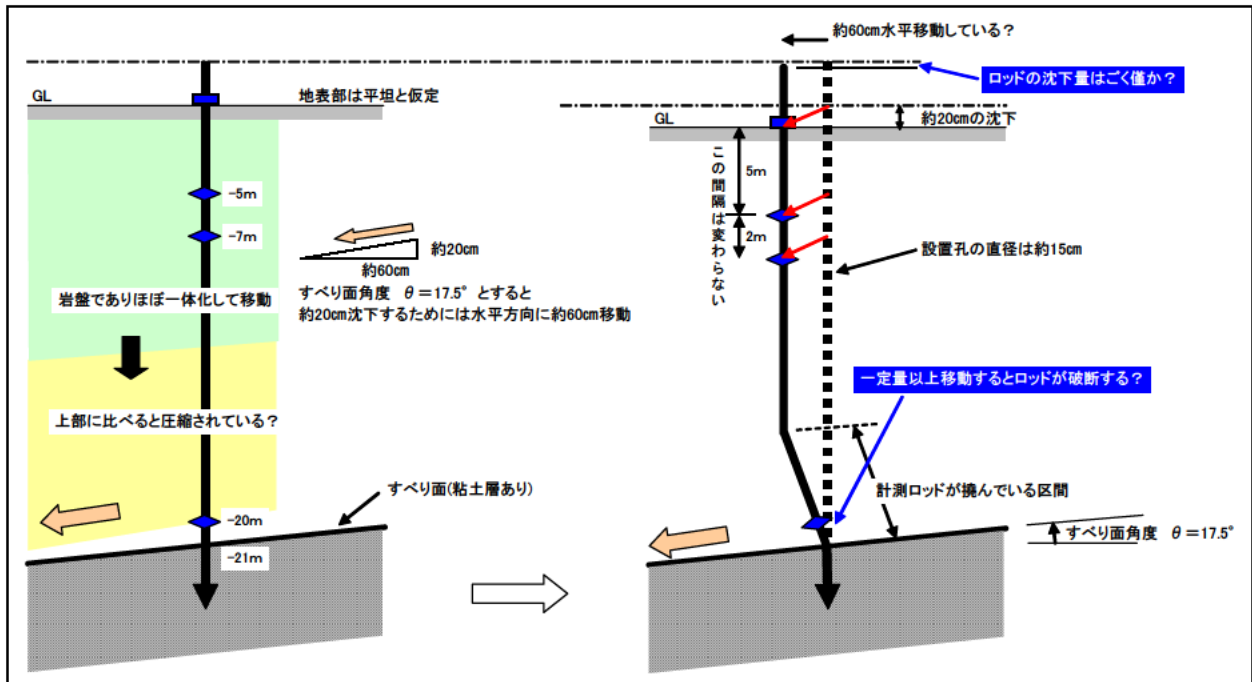


図 4. 67 本地区における層別沈下計の解釈

この場合、アンカーとなっている不動岩盤の水平位置は不変と仮定する。仮にすべり面の状態が、初期の岩盤すべりのような極めて明瞭な「せん断面」であれば、観測孔(塩ビ管やガイド管)は早い段階で切断され、切断された上部は移動土塊と一緒に水平移動するため、孔口が浮上る現象は発生しないと考えられる。塩ビ管やガイド管は基本的に長さが増える訳ではないから、孔口部が相対的に浮上るためには、地すべり移動土塊の層厚が増える必要、つまり「圧縮」される必要がある。また、孔口の浮上りが継続することは、水平移動量が大きくなれば、塩ビ管やガイド管は切断されるから常識的に不可能である。

地すべり地における層別沈下量の測定は前例がないことから、今後も観測を継続することが重要であり、水平移動量が大きくなれば、新たに動きが見られる可能性がある。なお、孔口の浮上りが発生する場合として以下のような条件が揃う必要があると考えることもできる。挿入式孔内傾斜計計測結果との関係に関しては、孔口の浮上りが確認される箇所での観測事例を増やすことで、仮説はさらに信頼性が高まると思われる。

【孔口の浮上りが見られ場合の条件】

- ①地すべり土塊がほぼ一体となって移動するようなタイプであること
- ②すべり土塊が攪乱されておらず一様な状態であり、土塊重量が大きいこと、なおかつすべり面が極めて脆弱な粘土層などの場合
- ③土塊の水平移動に伴い、すべり面から上部の一部が攪乱され、「圧縮」するようなタイプであること

#### 4.9 ガイド管のねじれの影響

挿入式孔内傾斜計は A 軸と B 軸の変位量を取得することにより、地中の変位方向を精度良く把握することができる計測器である。しかし、ガイド管は作成時の補償精度内のねじれの累積やボーリングの孔曲がりに伴うねじれなど、複合的な原因でねじれ発生することがあり、その場合は変位の方向も実際と異なることになる。そこで、ガイド管のねじれの測定と実態調査を行う。実施条件の概要は次の通り。

- ・実施箇所：現場（中山地すべり）      ・使用機器：孔内カメラ
- ・実施方法：ガイド管の A0 方向を孔内カメラで測定してねじれ状況を把握する。

##### 4.9.1 現地測定

###### (1) 中山地すべり

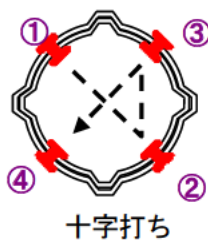
測定孔は H20B-1～3 孔で使用機材は以下の通り。

- 孔内カメラ：応用地質株製 Q スコープ
- ケーブル：応用地質株製 ケーブル 50m
- ビデオ：ソニー株製
- 小型デジタルビデオレコーダー



写真 4.17 使用機材

ガイド管の接続は、全孔ともマニュアル（案）に則って十字打ちでリベットを打った。また H20B-3 孔は A0 方向あわせ時のねじりを再現するため、孔口部をパイプレンチで時計回りに 30° 回転させた（図 4.68）。



十字打ち

深度 25.5m まで砂で充填し、パイプレンチで時計回り方向に 30 度ねじる

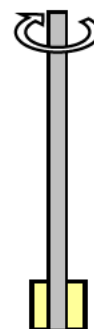
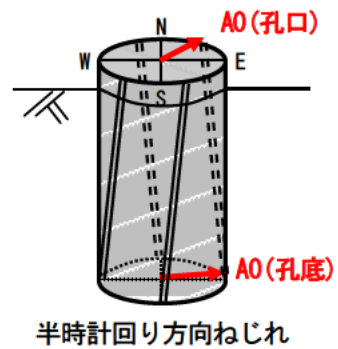
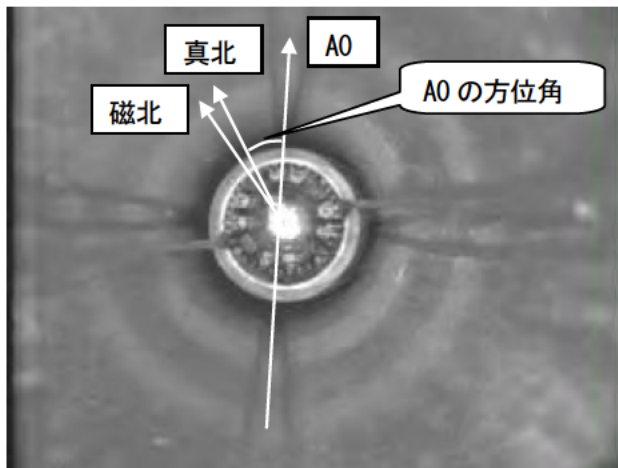
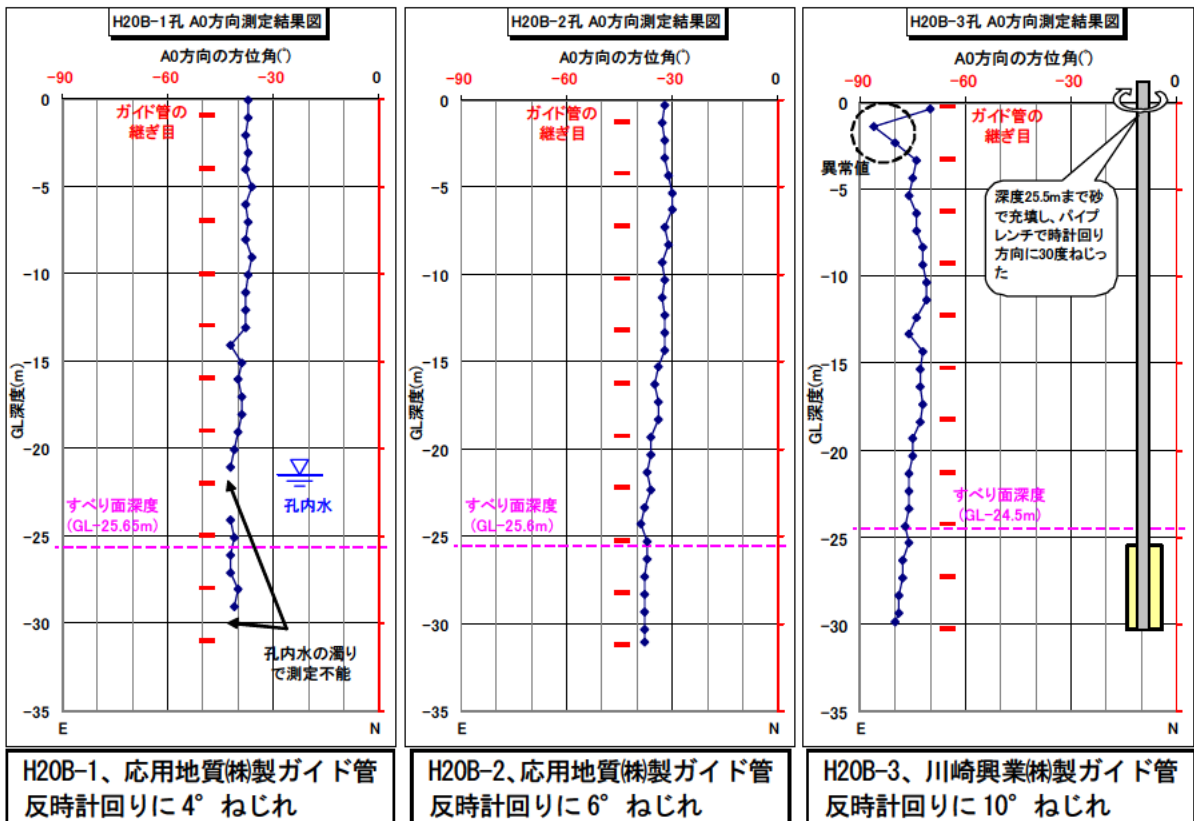


図 4.68 十字打ちと孔口方向合わせの状況

ガイド管のねじれ測定の結果を図 4.69 に示す。各孔とも孔底に対して孔口が反時計回りに 4,6,10° ねじれており、前述の孔曲がり形状とも特に対応は見られない。特筆すべき点は、時計回りにねじりを加えた H20B-3 孔も反時計回りにねじれていることである。

このことは、ガイド管は、加工精度・孔曲がり・設置時のねじりによりどの方向にねじれるか予測が付かないため、A0 方向を測定することが推奨事項といえる。



孔内カメラ観察状況 (H20B-1 孔、深度 1m)  
測定時に気づいた点：  
・観察する方向は、上→下が良い。下→上は地下水位があると水滴や泡で見えにくい。  
・外気温が低い場合は、上→下では曇るので見えない。孔の中に入れて温度をなじませる必要がある。

図 4.69 孔ねじれ測定結果 (H20B-1~B-3)

(2) Cダム

Cダムの3地区で設置されているガイド管について、計15孔、測定延長約760m分のA0方向の計測を行った。測定間隔は1mとし、地すべりによる変位でガイド管が変形している場合はその深度まで測定を行った。使用した機器は、前述の中山地すべりと同じ応用地質(株)製Qスコープ(方位磁石式)であり、最大測定深度を考慮して100mケーブルを用いた。

測定結果の一覧表を表4.22に、最大ねじれ角度と深度の関係図を図4.70に示す。本現場においても、時計・半時計のどちら方向にもねじれ、15°程度のものが多いが、深尺でもねじれないもの、逆に最大で30°を超えるものも見られた。

また、図4.71に示した各孔の計測結果の深度毎のねじれ角度によると、概ね同じ方向にねじれているものが多いが、その理由としてガイド管製造時に同じ方向にねじれていたか、あるいはガイド管設置時に強くねじった可能性が考えられる。データがばらついているものは、ワイヤーやケーシングなど、ガイド管周囲の磁性の影響を受けている可能性が高い。

表 4.22 孔ねじれ測定結果一覧表 (Cダム)

| 測定孔<br>(仮称) | 緒 元          |                  |            |      | 測定結果               |               |                 |                  |                 |                | ねじれ角度孔全体          |       |       |
|-------------|--------------|------------------|------------|------|--------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|-------|-------|
|             | 深度<br>(GL-m) | すべり面深度<br>(GL-m) | 立上り<br>(m) | A0方向 | ガイド管               | 測定長<br>(孔口-m) | 孔口A0方位<br>角(真北) | すべり面A0<br>方位(真北) | 孔底A0方<br>位角(真北) | 孔内水位<br>(孔口-m) | 備考                | 深度(m) | 角度(°) |
| A-1         | 90.0         | ?                | 1.0        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 90.8          | 353             | ?                | 331             | 80.0           |                   | 89.8  | 22    |
| A-2         | 87.0         | ?                | 1.0        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 87.8          | 353             | ?                | 333             | 78.0           | 12~47m, 磁気の影響で異常値 | 86.8  | 20    |
| A-3         | 75.0         | ?                | 0.5        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 75.8          | 357             | ?                | 355             | 67.0           |                   | 75.3  | 2     |
| A-4         | 50.0         | 20.3             | 2.0        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 14.5          | 1               | ?                | 353             | -              | 曲がり挿入不能           | 12.5  | 8     |
| A-5         | 39.0         | ?                | 0.5        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 39.5          | 353             | ?                | 355             | 36.0           |                   | 39.0  | -2    |
| B-1         | 40.0         | 35.0             | 0.5        | 貯水池側 | OYO巻チューブ付きアルミケーシング | -             | -               | -                | -               | -              | 設置式変更で測定不可        |       |       |
| B-2         | 47.5         | 24.0             | 1.0        | 貯水池側 | OYO塗装ケーシング         | 24.8          | 347             | 347              | 348             | -              | 曲がり挿入不能           | 23.0  | -1    |
| B-3         | 30.0         | 23.0             | 0.5        | 貯水池側 | OYO巻チューブ付きアルミケーシング | 22.6          | 328             | 325              | 326             | -              | 曲がり挿入不能           | 21.5  | 2     |
| B-4         | 30.0         | 23.0             | 0.5        | 貯水池側 | 測高技研アルミガイドパイプ      | 23.3          | 329             | 341              | 341             | -              | B-3孔の旧孔, 曲がり挿入不能  | 22.5  | -12   |
| B-5         | 60.0         | ?                | 1.0        | 貯水池側 | OYOステンレスケーシング      | 61.0          | 349             | ?                | 355             | 48.5           | 以前口ポット, 磁気の影響で異常値 | 59.0  | -6    |
| B-6         | 55.0         | ?                | 0.5        | 貯水池側 | OYO塗装ケーシング         | 40.3          | 8               | ?                | 11              | 38.5           | 曲がり挿入不能, 全体に磁性の影響 | 39.5  | -3    |
| B-7         | 29.5         | 23.5             | 1.0        | 貯水池側 | OYO塗装ケーシング         | 29.9          | 13              |                  | 17              | 28.0           |                   | 27.0  | -4    |
| C-1         | 39.5         | なし               | 1.0        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 40.7          | 196             | なし               | 180             | 33.0           | 布/セッカー使用          | 39.0  | 16    |
| C-2         | 39.0         | 6.0              | 1.0        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 6.8           | 188             | 188              | 192             | -              | 布/セッカー使用          | 5.8   | -4    |
| C-3         | 32.5         | 16.0             | 0.5        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 33.3          | 193             | 187              | 189             | 28.0           | 17mで曲がり, 布/セッカー使用 | 32.5  | 4     |
| C-4         | 65.0         | 25.7             | 2.0        | 山側   | 川崎興業緑斜計用アルミケーシング   | 66.8          | 188             | 175              | 154             | 48.0           | 布/セッカー使用, すべり面推定  | 64.0  | 34    |

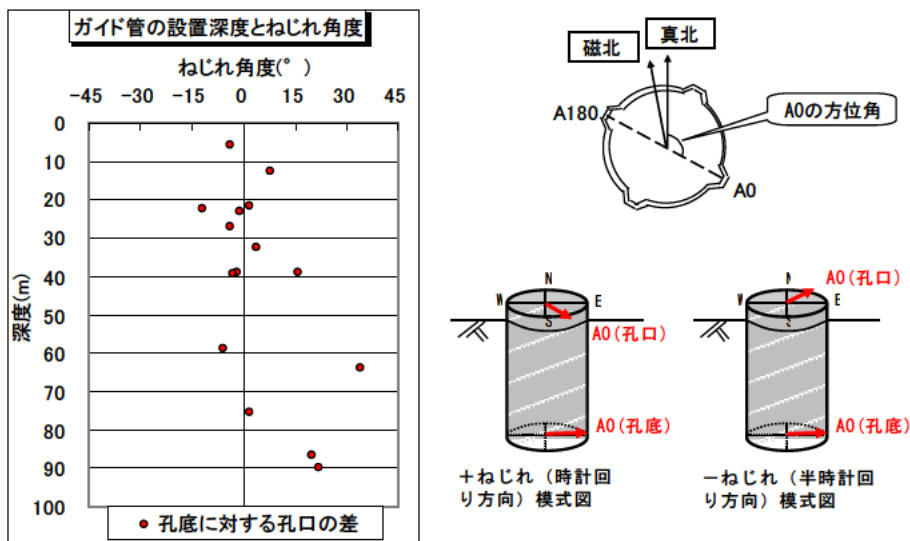


図 4.70 ねじれ角度と最大深度の関係図 (Cダム)

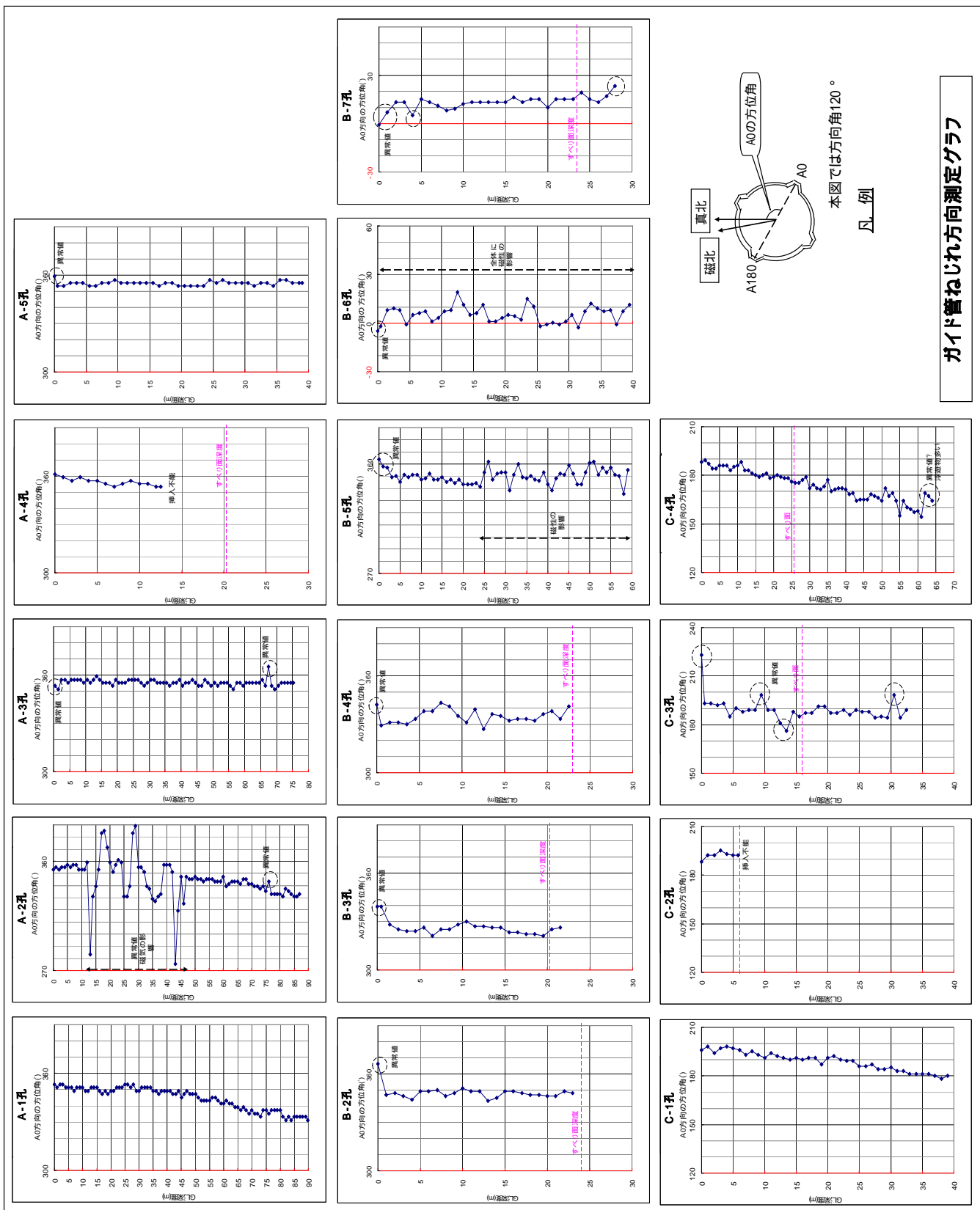


図 4.71 各孔のねじれ計測結果 (Cダム)

### (3) Dダム

Dダムの2地区で設置されているガイド管について、計4孔、測定延長約172m分のA0方向の計測を行った。測定方法および測定器はCダムと同様である。測定結果の一覧表を表4.23に、計測結果やねじれ角度と深度の関係図を図4.72に示す。

#### 1) 計測結果

D-1, D-4孔は概ね良好なデータであり、D-1はほぼ10°程度のねじれが、D-4孔は深度30m以深ではねじれはほぼ無かったが深度30m以浅には半時計回り方向に約20°のねじれが見られた。

D-2は全体的に10°前後のばらつきがみられる。ガイド管の継ぎ目の位置と合わせて考えると、ガイド管1本(3m)の周期で変化が見られる。ガイド管設置時の状況は不明であるが、リベットや継ぎ手の磁性の可能性が考えられる。ガイド管のねじれはほとんど無いものと推定される。

D-3孔は明らかに磁性の影響を受けたデータである。考えられる原因として、ボーリング時にケーシングを残置したなどガイド管周囲に磁性体が存在する可能性がある。E-1孔も±10°程度のバラツキが見られた。その原因としては、周囲の磁性体の存在の他に、孔内水の濁りによる読み取り誤差が発生した可能性が考えられる(密閉タイプの磁石を使用すれば対処可)

Dダム全体では、他の箇所とほぼ同じ平均10m当たり2.2°のねじれであった。また、データが良好であったD-1, D-4孔は、時計回り・反時計回り方向の違いがあるがねじれの方向は一定方向に累積している。その弦として、ガイド管製造時のねじれ、あるいはガイド管設置時の方向調整時に強くねじった可能性が考えられる。

表4.23 孔ねじれ測定結果一覧表(Dダム)

| 孔名  | ガイド管             | 設置深度全体のねじれ |          |             |        | 孔口からの局部ねじれ抽出 |          |             | A0方向 |
|-----|------------------|------------|----------|-------------|--------|--------------|----------|-------------|------|
|     |                  | 全長(m)      | ねじれ角度(°) | ねじれ角度絶対値(°) | 10m当たり | 対象深度(m)      | ねじれ角度(°) | ねじれ角度絶対値(°) |      |
| D-1 | OYOアルミケーシング      | 34.0       | -9       | 9           | 2.6    |              |          |             | 斜面下方 |
| D-2 | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング | 49.5       | -6       | 6           | 1.2    |              |          |             | 斜面下方 |
| D-3 | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング | 9.2        | 不明       |             |        |              |          |             | 斜面下方 |
| D-4 | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング | 49.5       | 19       | 19          | 3.8    | 31           | 22       | 22          | 斜面下方 |
| E-1 | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング | 30.0       | 3        | 3           | 1.0    |              |          |             | 斜面下方 |

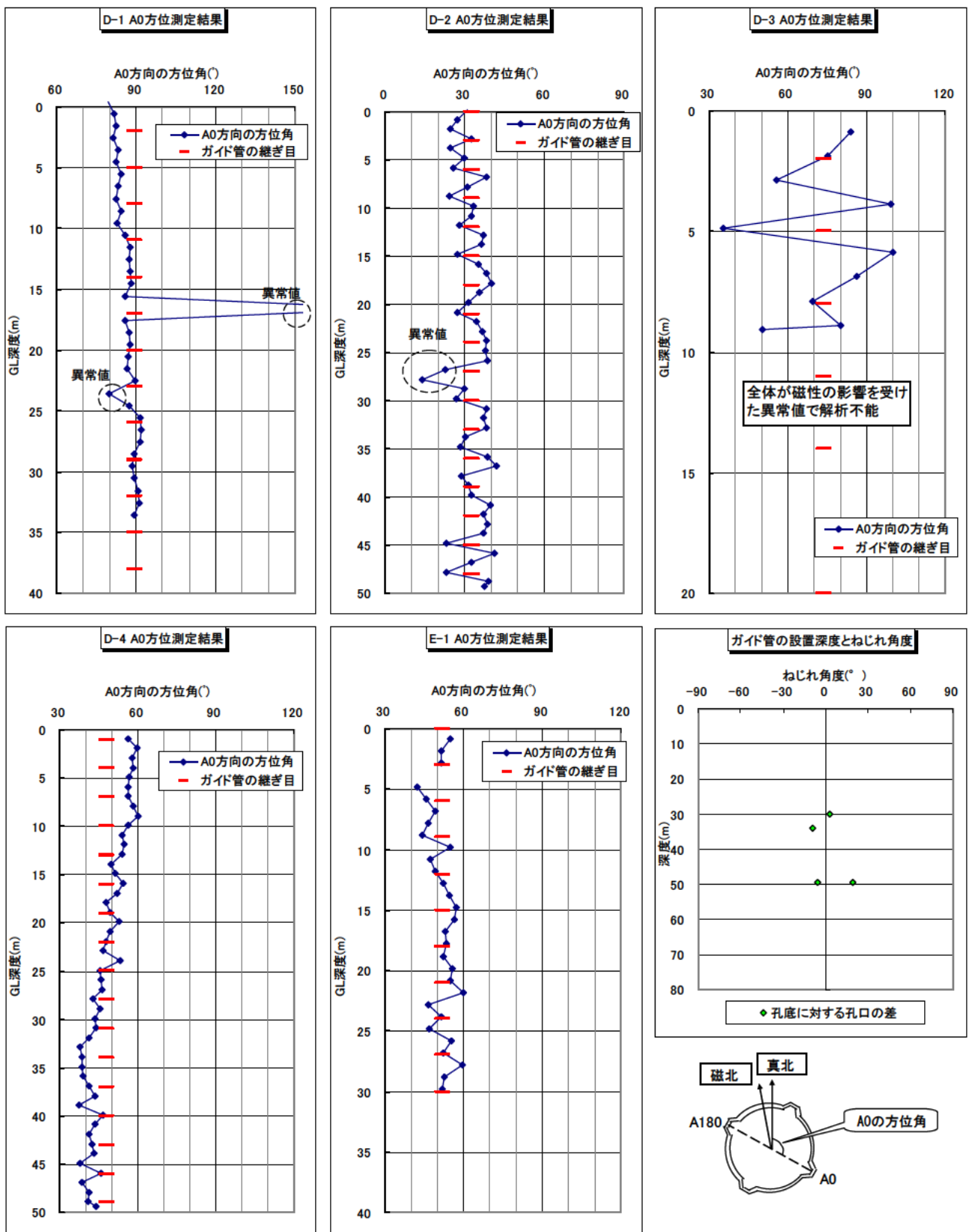


図 4.72 各孔のねじれ計測結果 (D ダム)

#### 4.9.2 ガイド管ねじれの資料整理および対応検討

##### (1) ガイド管ねじれの資料整理

ガイド管の深度とねじれ角度について、本共同研究と収集した既存資料の測定データをについて集計を行った。データの一覧を表 4.24 に、深度とねじれ角度を C ダム、D ダムおよびそれ以外を分けてプロットした図を図 4.73 に示す。図の左側はねじれの半時計・時計方向に分けてプロットしたものである。

C ダムおよび D ダムとも、他地区と同じ程度のねじれであり、左右どちらともねじれることを示している。また、図の右はねじれの絶対値を示したものであり、深尺でもねじれていないものや大きくねじれているものまで幅広く分布しており、平均は約 59m あたり 13° 程度である。

表 4.24 孔ねじれ測定結果一覧表（全データ）

| 現場               | ガイド管             | 設置深度全体のねじれ         |          |             |        | A0方向 |      |
|------------------|------------------|--------------------|----------|-------------|--------|------|------|
|                  |                  | 全長(m)              | ねじれ角度(°) | ねじれ角度絶対値(°) | 10m当たり |      |      |
| A<br>ダム          | OYO塗装ケーシング       | 107                |          |             |        | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 145                |          |             |        | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 100                | 31       | 31          | 3.1    | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 196                | 48       | 48          | 2.4    | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 98                 | -23      | 23          | 2.3    | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 120                | -1       | 1           | 0.1    | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 90                 | -6       | 6           | 0.7    | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 80                 | -10      | 10          | 1.3    | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 40                 | -17      | 17          | 4.3    | 斜面下方 |      |
| 中山               | OYO塗装ケーシング       | 30                 | -4       | 4           | 1.3    | 斜面下方 |      |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 30                 | -6       | 6           | 2.0    | 斜面下方 |      |
|                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング | 30                 | -10      | 10          | 3.3    | 斜面下方 |      |
| 港湾               | OYO硬質アルマイトケーシング  | 67                 | 39       | 39          | 5.8    | ?    |      |
|                  | OYO硬質アルマイトケーシング  | 140                | -40      | 40          | 2.9    | ?    |      |
|                  | 東京測器アルミガイド管      | 40                 | -1       | 1           | 0.3    | ?    |      |
| B<br>ダム          | OYO塗装ケーシング       | 80                 | -2       | 2           | 0.3    | 斜面下方 |      |
| C<br>ダム          | A<br>地区          | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 89.8     | 22          | 22     | 2.4  | 山側   |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 86.8     | 20          | 20     | 2.3  | 山側   |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 75.3     | 2           | 2      | 0.3  | 山側   |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 12.5     | 8           | 8      | 6.4  | 山側   |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 39.0     | -2          | 2      | 0.5  | 山側   |
|                  | B<br>地区          | OYO塗装ケーシング         | 23.0     | -1          | 1      | 0.4  | 斜面下方 |
|                  |                  | OYO菱チューブ付きアルミケーシング | 21.5     | 2           | 2      | 0.9  | 斜面下方 |
|                  |                  | 測商技研アルミガイドパイプ      | 22.5     | -12         | 12     | 5.3  | 斜面下方 |
|                  |                  | OYOステンレスケーシング      | 59.0     | -6          | 6      | 1.0  | 斜面下方 |
|                  |                  | OYO塗装ケーシング         | 39.5     | -3          | 3      | 0.8  | 斜面下方 |
|                  | OYO塗装ケーシング       | 27.0               | -4       | 4           | 1.5    | 斜面下方 |      |
|                  | C<br>地区          | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 39.0     | 16          | 16     | 4.1  | 山側   |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 5.8      | -4          | 4      | 6.9  | 山側   |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 32.5     | 4           | 4      | 1.2  | 山側   |
| 川崎興業傾斜計用アルミケーシング |                  | 64.0               | 34       | 34          | 5.3    | 山側   |      |
| D<br>ダム          | D<br>地区          | OYOアルミケーシング        | 34.0     | -9          | 9      | 2.6  | 斜面下方 |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 49.5     | -6          | 6      | 1.2  | 斜面下方 |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 9.2      | 不明          |        |      | 斜面下方 |
|                  |                  | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 49.5     | 19          | 19     | 3.8  | 斜面下方 |
|                  | E<br>地区          | 川崎興業傾斜計用アルミケーシング   | 30.0     | 3           | 3      | 1.0  | 斜面下方 |
| 平均               |                  | 58.8               | -        | 12.6        | 2.4    |      |      |



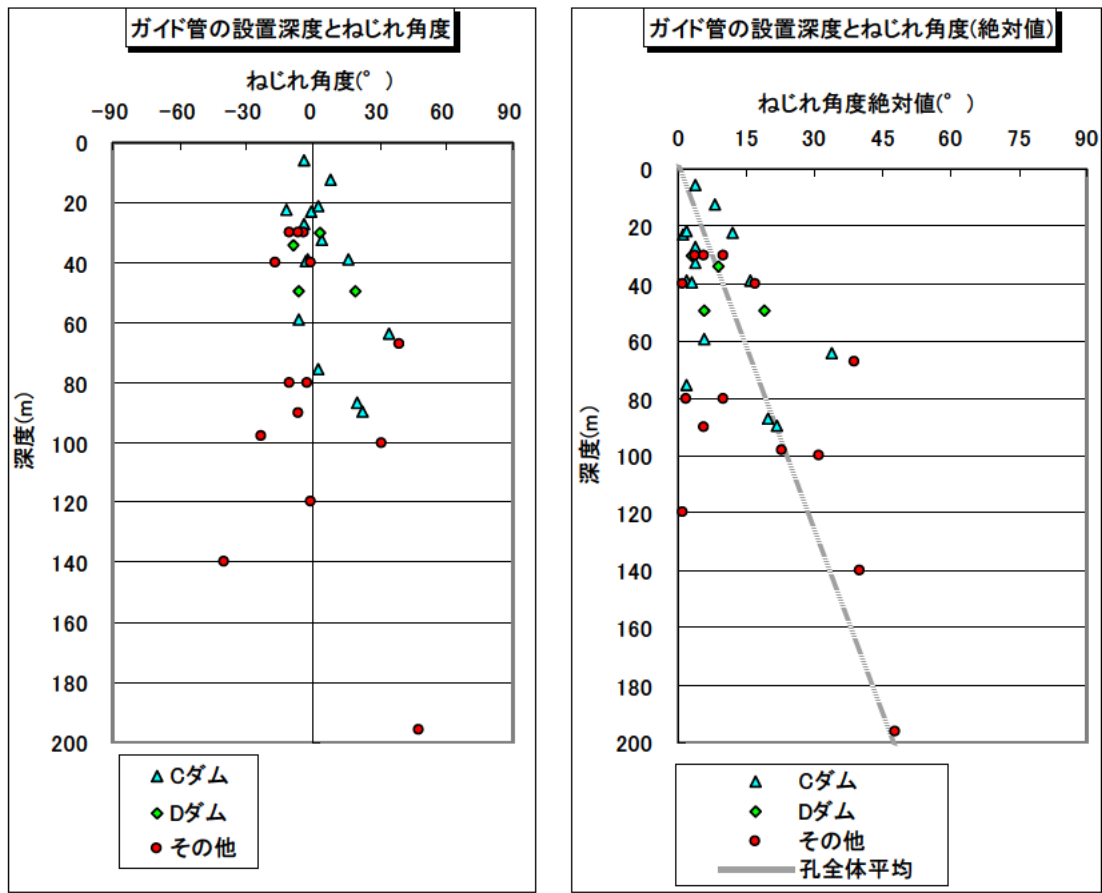


図 4.73 孔ねじれと深度の関係図 (C ダム, D ダムとその他の比較)

また、表 4.25 に製品毎の孔ねじれの集計表を、図 4.74 にガイド管の製品別でねじれ角度をプロットした図を示す。標本数の少ない製品（株東京測器製、株測商技研製）は統計的なことはいえないが、標本数が多い応用地質(株製(OYO)と川崎興業(株製は 10m あたり 2~3° のねじれていることからどの製品でもねじれが発生する可能性があると考えられる。

なお、ガイド管のねじれの保証精度は非公開であるので本報告では記載しないが、前述の孔ごとの方位測定では、ねじれの方向は半時計あるいは時計回り方向に累積するものが多いことから、製造時のねじれが影響している可能性が考えられる。

以上により、深さ 30m を超える場合は最大 10° 程度孔がねじれている可能性があるといえる。

表 4.25 製品毎の孔ねじれの集計表

| 種類                   | 10mあたりねじれ量絶対値 | 標本数 |
|----------------------|---------------|-----|
| OYO塗装ケーシング           | 1.6           | 13  |
| OYO硬質アルマイトケーシング      | 4.3           | 2   |
| OYO(菱チューブ付き)アルミケーシング | 1.8           | 2   |
| OYOステンレスケーシング        | 1.0           | 1   |
| 東京測器アルミガイド管          | 0.3           | 1   |
| 川崎興業傾斜計用アルミケーシング     | 3.0           | 13  |
| 測商技研アルミガイドパイプ        | 5.3           | 1   |

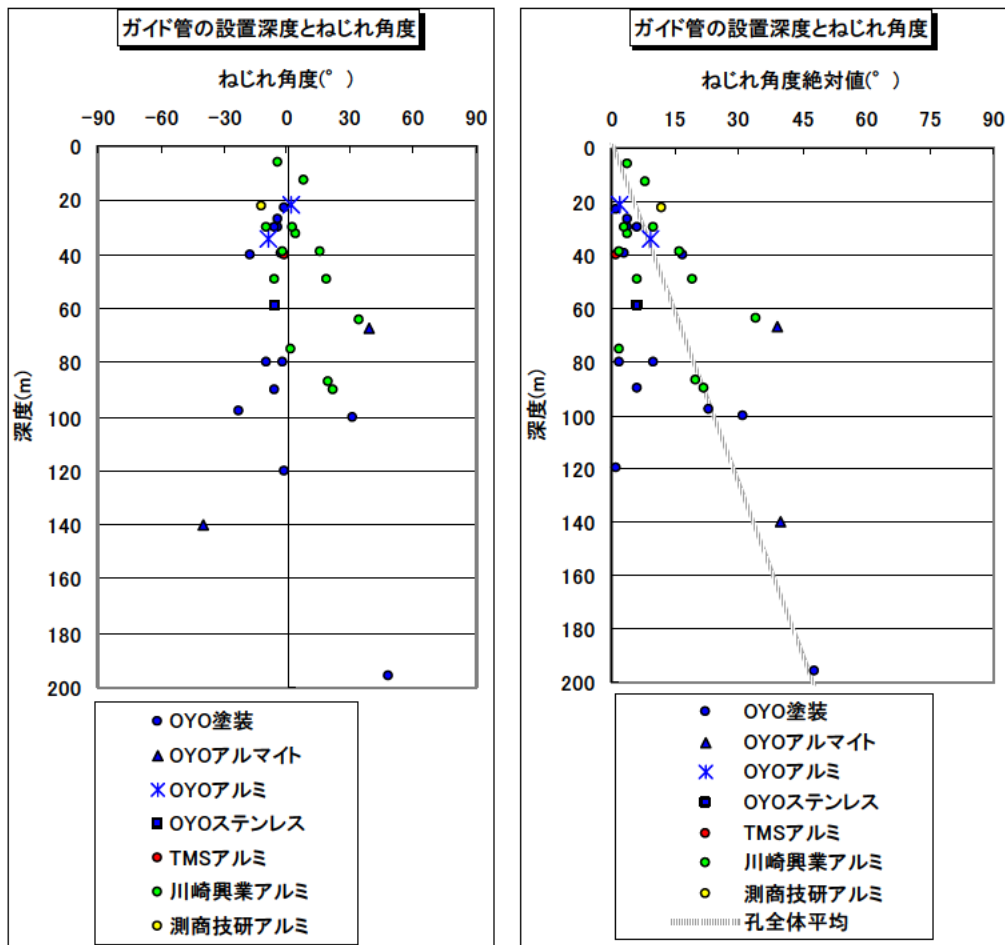


図 4.74 孔ねじれと深度の関係図（製品毎の比較）

(2)ガイド管ねじれ発生 of 要因

前述の通り、ガイド管ねじれの測定実験や資料収集を行った結果、どの現場でもどの製品でもガイド管においてもねじれが発生していることが確認された。そこで、ねじれの原因を検討するとともにその対処法について検討を行った。

ガイド管のねじれは次の要因が重なって発生すると考えられる。

- ①ガイド管の製造時の微小なねじれ（保証精度内）の累積
- ②ボーリングの孔曲がりに伴うねじれ
- ③継ぎ手接続時のねじれの累積
- ④設置時の A0 方向を合わせる際のねじり作業

①については1ロッドで同じ方向の微小なねじれが累積し、②～④も作業時にガイド管のねじれを0にすることは完全にはできない項目と考えられる。

### (3)ガイド管ねじれの補正の必要性検討

ガイド管がねじれている場合は、挿入式孔内傾斜計計測による地中変位の方向を誤って把握することになる(図 4.75)。その場合、以下のような地すべり対策工に関する4つの悪影響が考えられた。

#### ①安定解析への影響

- ・主測線の変更 → 安定解析の設定モデルが変わる  
→ 必要抑止力も変わる

#### ②対策工の配置に影響

- ・アンカーなどの配置は移動方向を考慮するため

#### ③アンカー力に影響

- ・主測線とアンカーの方向が違う場合は、ずれた分( $\cos \phi$ )  
だけアンカー力が不足ことになる

#### ④抑止杭の本数に影響

- ・本数は移動方向を考慮して配分する

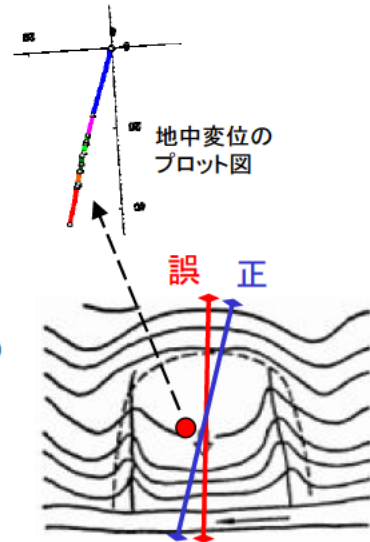


図 4.75 孔ねじれによる測線の誤設定

したがって、地すべり対策工の過大設計や過小設計を防いで適切な設計を行うためには、ガイド管の方位を測定して適切に補正の必要があると考えられる。また、前述の資料整理で述べたように、深度 30m を超える場合は最大  $10^\circ$  程度のねじれが発生しており、アンカー工の設計でも変位方向のずれが  $10^\circ$  を超える場合はその補正を行う事例が多いことから、ねじれ角度の補正は深度 30m 以深について行う必要があると考えられる。

### (4)ねじれ補正の方法と課題

ガイド管ねじれの補正方法として、次の2つが考えられる。

#### ①すべり面変位のみを補正(簡易な方法)

挿入式孔内傾斜計観測結果の作図方法の1つとして、累積変位図からすべり面付近の変位を抽出してベクトル図を描く方法がある。従来は孔口部で計った方位に合わせていたベクトルを回転させていたが、本方法はすべり面付近の方位で補正する方法である(図 4.76)。本方法は、特定深度に変位が発生する「せん断型」の変位形態の場合に適用可能と考えられる。

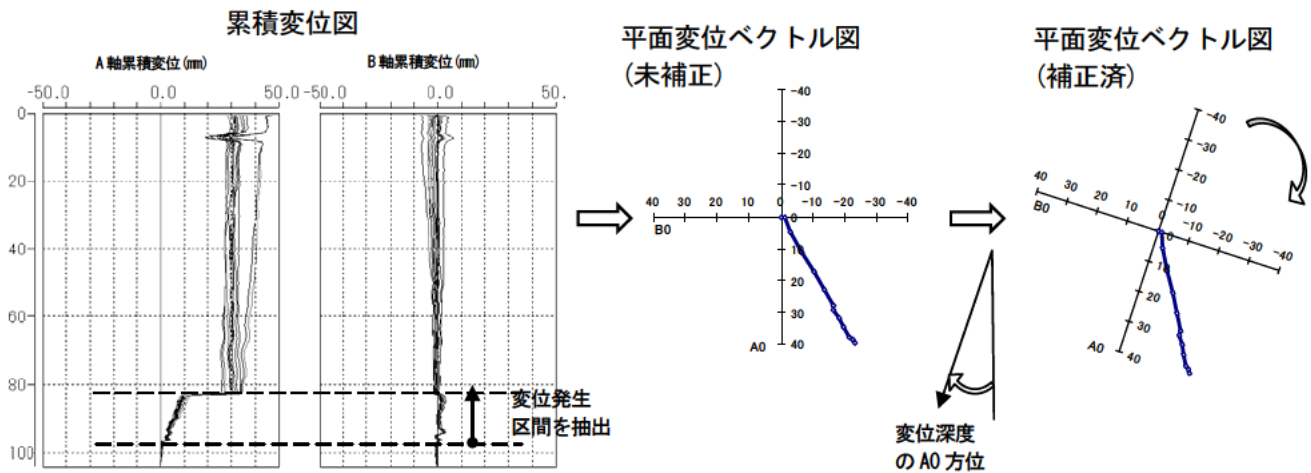


図 4.76 すべり面付近の変位のみ補正する方法

②全区間の補正 (詳細な方法)

挿入式孔内傾斜計 1 回の計測で直交する 2 軸 (A 軸, B 軸) の変位量を把握する。そのため、孔口 A 軸を基準として地すべりの移動方向を補正する場合は、図 4.77 に示すように 2 軸の変位ベクトルを用いて  $\beta$  を算出し、それにねじれ角度  $\alpha$  を加えれば求められる ( $\alpha + \beta$ )。また、孔口 A 軸, B 軸の変位量は、本図に示す計算式でそれぞれ求められる。その計算を全深度の各区間で行う。

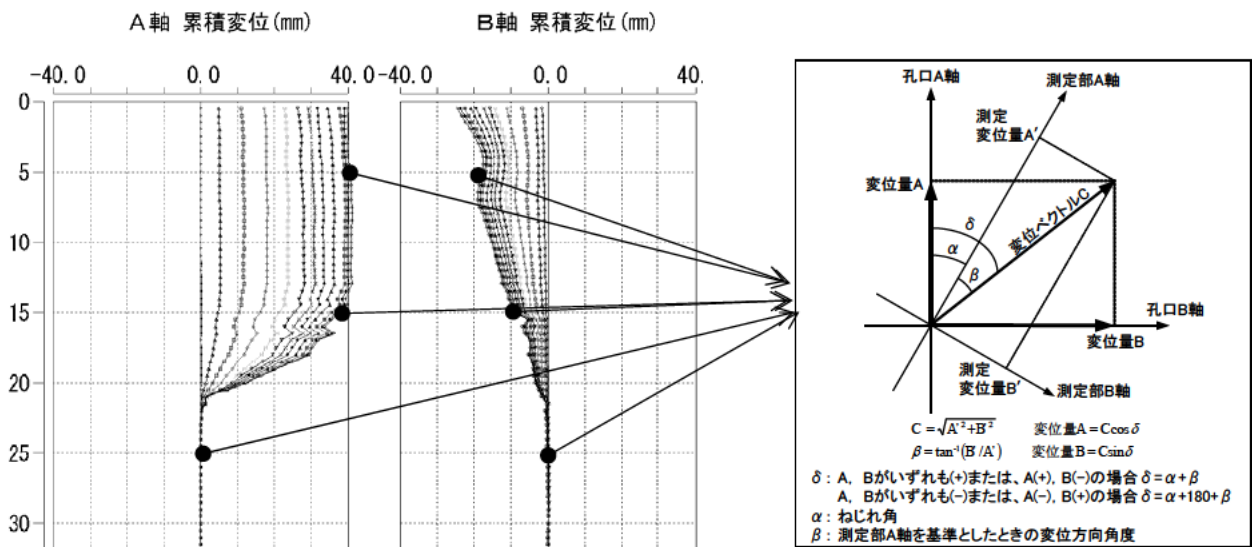


図 4.77 全区間を 1 深度づつ補正する方法の概念図

### ③測定誤差が大きい場合の対処

一般的に使用されるアルミ製のガイド管は磁性を帯びていないものの、次の理由から磁石を使用した方位測定器では測定値にバラツキや異常値が生じることがある。この場合は、異常値の削除やバラツキの移動平均による平滑化を行う。

#### 方位測定バラツキの原因（磁気を使用したもの）

- ・地山が有する磁性（蛇紋岩、鉱物を多く含む地質）
- ・ガイド管設置時に使用することがある吊り下げ用のワイヤ
- ・ステンレス製のガイド管とリベット（時間の経過とともに磁性を帯びるとの報告もある）
- ・ボーリング作業時に孔内に残置したケーシングやツールス
- ・方位磁石タイプは人的な読み取り誤差や磁石の差動不良（孔内水の濁りも含まれる）

測定の結果、図 4.78 のケース 1 のようにバラツキがないデータそのまま補正に使用できる（孔口部は磁性の影響を受けている）。また、ケース 2 のように全体的に若干のバラツキが生じて局所的な異常値が生じている場合は、異常値を除外した上で移動平均を取って補正し、移動平均の区間はバラツキの程度に応じて適宜調整する（本ケースは 9 区間の移動平均）。

なお、ケース 3 およびケース 4 のように、磁性の影響により明らかにばらついている場合は対象区間の補正は不可能であるため、上下のデータで補間可能な場合は補間する。

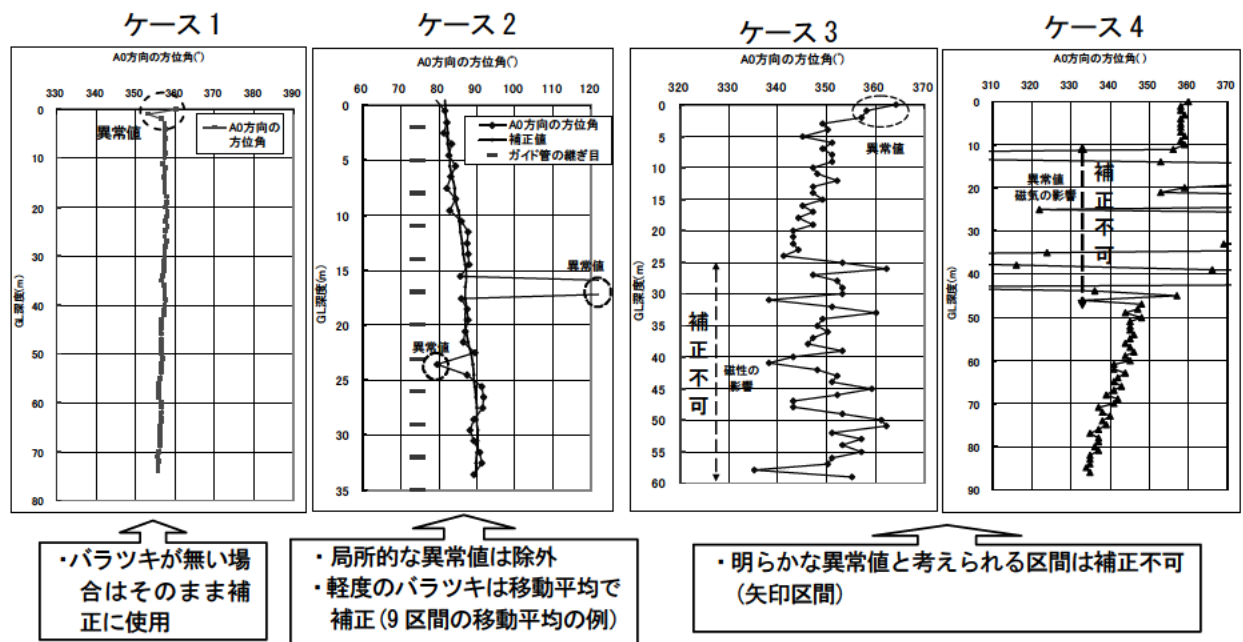


図 4.78 ガイド管ねじれの補正の適用

#### 4.9.3 ガイド管ねじれの比較測定実験

##### (1)ガイド管ねじれの計測器選定

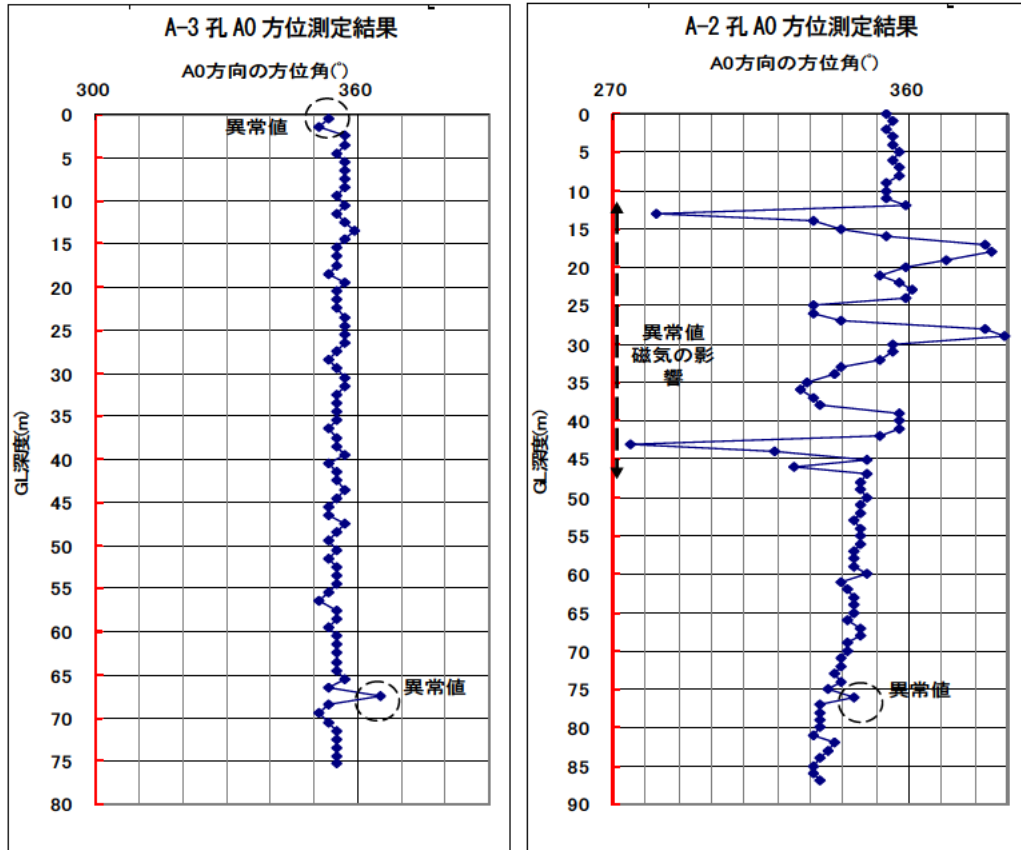
現段階で考えられる孔ねじれの測定計器として、既存のものを含めて表 4.26 に示した 8 種類の計器が考えられた。測定原理で区分すると、方位磁石式・マグネットメーター式・加速度計式・エンコーダー式・ロッド式である。そのうち、計画段階で実績のあったものは応用地質(株)製 Q スコープ(従来型)と村田製作所製シングルショットの 2 機種である。また、計画段階で実施可能であった計測器は応用地質(株)製 Q スコープ(新型)、(株)村田製作所製デジタルオンライン(改良版)および応用計測サービス(株)製孔曲がり測定器(略称 OKS、改良版)の 3 機種であった。(株)村田製作所製シングルショットは多点の計測には向いていないことから、後述の 3 機種について精度や現場での使い勝手などについて測定比較実験を行った。

表 4.26 孔ねじれ測定の測定方法(案)

| 計器                   | 原理        | 特徴                                     | 測定方法   | 実施有無         |
|----------------------|-----------|--|--|--------------|
| 従来型孔内カメラ(応用地質(株))    | 方位磁石      | カメラ観察を同時に行うので、ガイド管の内部状況も把握できる。30mm     | 方位磁石をビデオカメラで測定し、画面上で A0 方向との角度差を測定する(手作業)。       | 実施済          |
| 新型孔内カメラ(応用地質(株))     | 方位磁石      | カメラ観察を同時に行うので、ガイド管の内部状況も把握できる。30mm     | 方位磁石をビデオカメラで測定し、画面上で A0 方向との角度差を測定する(半自動)。       |              |
| シングルショット(株)村田製作所)    | 方位磁石      | 小型軽量、1人で運搬可能。現場で現像ができる。35mm            | 方位磁石を写真で撮影する。1回ごとに引き抜く必要がある。                     | ×(全深度測定には不適) |
| デジタルオンライン(株)村田製作所)   | マグネットメーター | 孔曲がり測定器で孔のねじれも測定する。2人で運搬可能。35mm        | 孔曲がり測定器に車輪をつける。データは自動で取得。                        |              |
| 孔曲がり測定器(応用計測サービス(株)) | マグネットメーター | 孔曲がり測定器でガイド管のねじれも測定する。1~2人で運搬。32mm     | 孔曲がり測定器に車輪をつけてロガーを改良。データは自動で取得。                  |              |
| TUG-NAVI(多摩川精機(株))   | 加速度計      | 孔曲がり計測装置でガイド管のねじれも測定する。磁気の影響を受けない。30mm | 孔曲がり測定器に車輪をつける。データは自動で取得。測定は相対角度のため別途孔口で方位測定が必要。 | ×(開発中)       |
| 坂田電機(株)(案)構想         | エンコーダー式   | 磁気の影響を受けない。                            | プローブ上下のねじれの差を機械的に測定する。                           | ×(未開発)       |
| スラミクロッド              | ロッド式      | ロッドで方位を直接測定。磁気の影響や計測誤差が少ない             | スライディングマイクロメーターのロッドを下ろしてガイド管の方位を測定する。            | ×(未実施)       |

##### (2)ガイド管ねじれの測定孔と使用する測定器

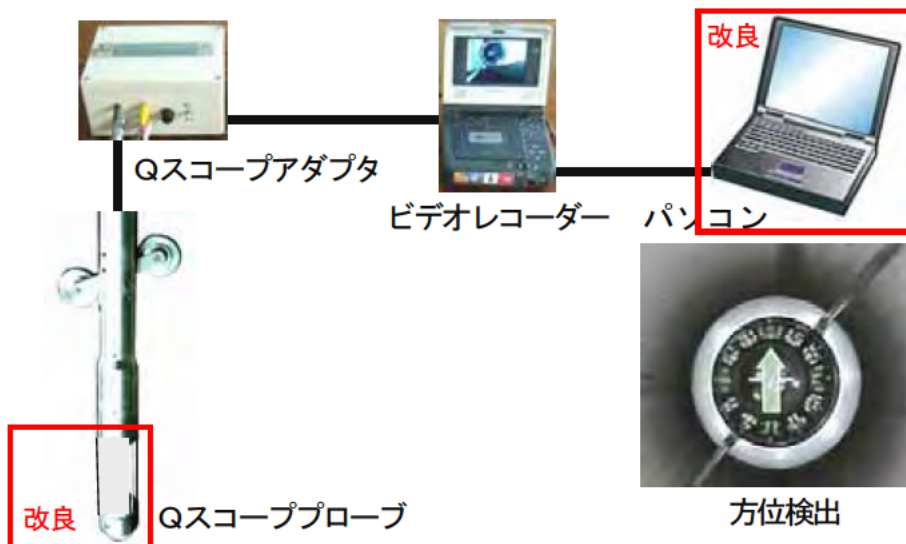
測定箇所は C ダム A 地区の A-3 孔(D=75m)、および A-2 孔(D=87m)の 2 孔とした。図 4.79 に示したように、A-3 孔はねじれや磁気の影響がない孔、A-2 孔は 25° 程度の反時計方向のねじれが発生し、さらに特定区間で磁気の影響を受けている孔を選定した。測定器は図 4.80 ~ 82 の 3 種類である。



A-3 孔：ねじれ・磁気の影響は無し

A-2 孔：ねじれ・磁気の影響が有

図 4.79 従来型孔内カメラによる計測結果

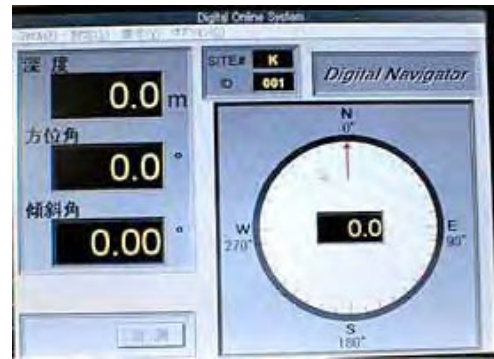


新型孔内カメラシステム図

図 4.80 新型孔内カメラ（応用地質株式会社製、磁石読み取り式）



測定器一式、車輪を後付けする



デジタルで出力される(絶対方位)

図 4.81 デジタルオンライン (株村田製作所製、従来品を改良、マグネットメーター式)



図 4.82 孔曲がり測定器 (応用計測サービス株製、従来品を改良、マグネットメーター式)

### (3)測定結果および考察

はじめに、計測の妥当性を検証するために、(株)村田製作所製デジタルオンラインに内容されている全磁力の値でガイド管周辺の磁気の影響の有無を確認した。

#### 1)文献上の総磁力

測定地の総磁力  $H_1$  は、国土地理院のホームページなどに示されており、緯度と経度から算出ができる。当該地の総磁力は、 $46655\text{nT} = 0.46655\text{T}$  である。

1 総磁力 T: 単位面積当りの磁束の強さはテスラ(T)と呼ばれ  $\text{Wb}/\text{m}^2$  という単位で表わす。



## 2) 測定孔の評価

総磁力の測定結果を図 4.83 に示す。A-3 孔の総磁力は実測値と算出値がほぼ同じであることから、孔周辺は磁力を乱す環境ではなくセンサで取得した方位角は正常と評価される。孔口から深度 2m までは、のり砕工の鉄筋などの影響と受けている可能性が考えられる。

また、A-2 孔の総磁力は、深度 11~47m 間が実測と算出値が大きく異なっており、それ以外の深度 0~10m と 48~86.5m はほぼ同じである。したがって、深度 11~47m 以外は正常値と評価される。

## 3) A-2 孔異常値の原因検討

深度 11~47m 区間は、測定孔周辺に地球磁場を乱す物質が存在することを示す。可能性は①磁力を帯びた地質の存在、②磁力を帯びた充填材の使用、③ワイヤー等の存在、④ケーシングの残置 が考えられる。

上記①は隣接する A-3 孔で磁力異常が無いことに加えて地質が磁気を帯びていない泥質片岩であること、②はセメント系の充填材を吹き上げで使用していること、③は孔内伸縮計などが設置されていないことから、④の可能性が高い。なお、図 4.84 に示した他の現場における総磁力および方位角測定においても、ケーシングが存在する区間については総磁力・方位角のバラツキが確認されている。

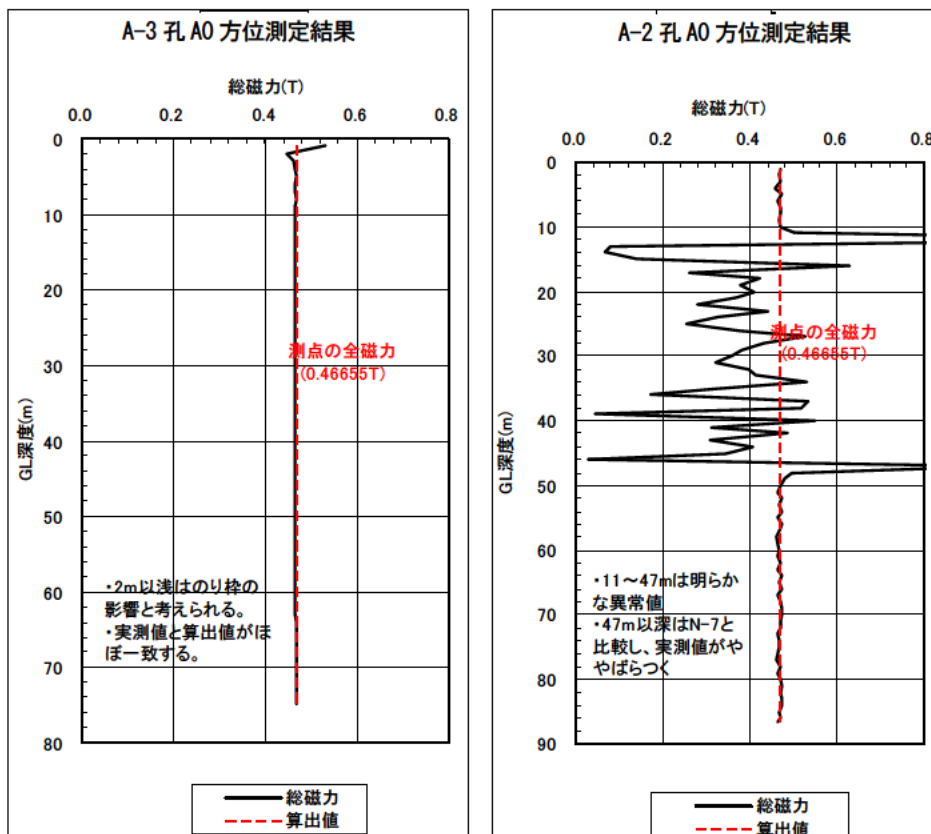
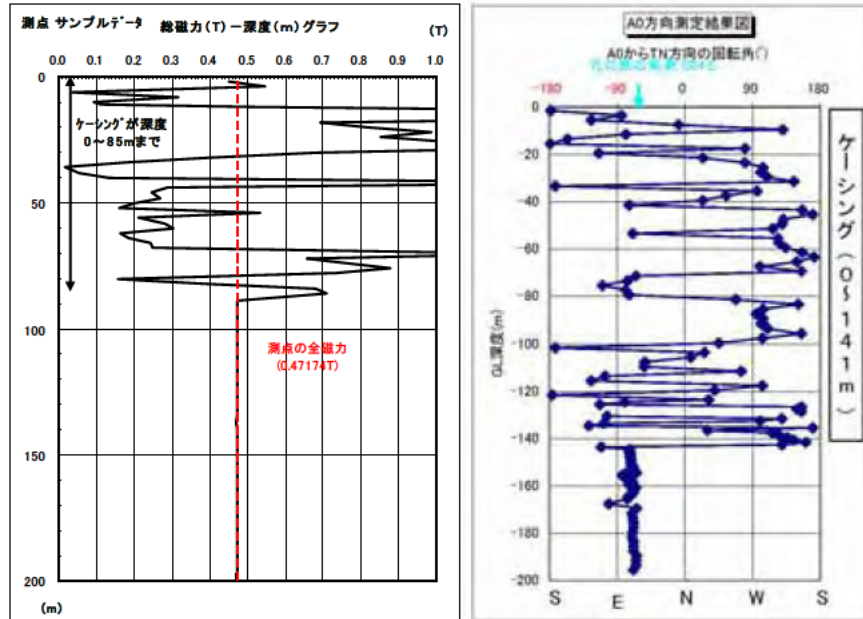


図 4.83 総磁力測定結果



ケーシングが存在するA孔の総磁力分布図      ケーシングを残置したB孔のA0方向分布図

図 4.84 ケーシング存在孔の総磁力と A0 方位測定結果

#### 4) 精度検証

方位測定の比較実験結果を図 4.85 に示す。表示値（絶対方位）については、A-3 孔では従来型 Q スコープ以外は全て同じであるのに対して、A-2 は多少ばらついている。その原因として、総磁力は A-3 孔の算出値と同じであるが A-2 孔はややばらついていることから、A-2 孔は設置時に使用したワイヤーなどの磁性物の影響が考えられる。

また、精度については総磁力が安定している A-3 孔の方位角の標準偏差によると、バラツキの少なさ（＝精度）はデジタルオンライン＝孔曲がり>新型 Q スコープ>>従来型 Q スコープである（表 4.27）。

表 4.27 A-3 孔の方位角の標準偏差

| 計測器          | 標準偏差 |
|--------------|------|
| 従来型 Q スコープ   | 2.0  |
| 新型 Q スコープ    | 1.1  |
| OKS 孔曲がり改    | 0.9  |
| 村田デジタルオンライン改 | 0.9  |



写真 4.18 実験に試用した計測器の写真

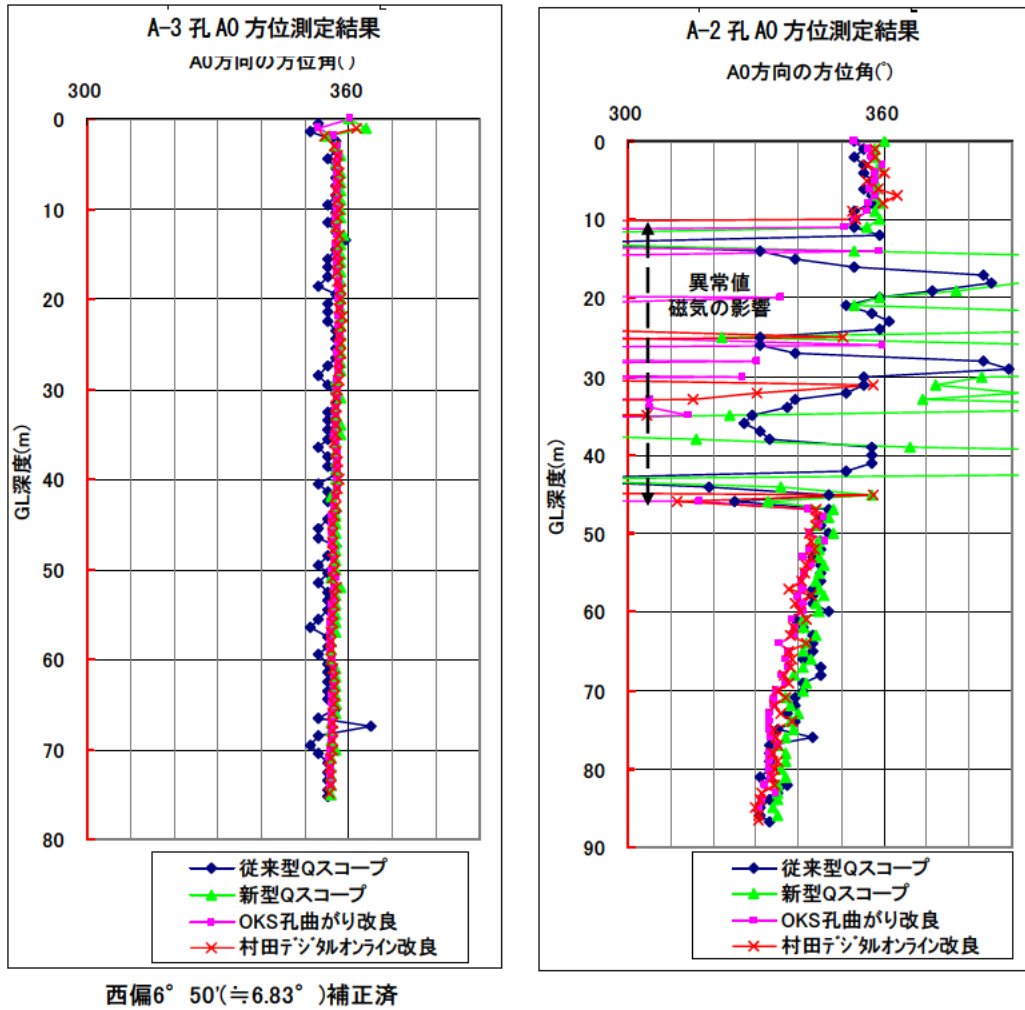


図 4. 85 方位測定比較実験結果

### 5) 利便性

各計測器の測定状況と測定画面の写真を写真 4. 19 に示す。比較実験時の使い勝手や以下の通り。

#### ・応用地質(株)製Qスコープ (新型)

- 運 搬 : ハードケース2つとケーブルなので、1人で傾斜地の運搬も可能。
- 計測作業 : 1m ごとに方位磁石の静止画を撮影する。ケーブル操作と画像記録の2人作業。深度合わせはケーブルマーカーを手合わせ。
- データ整理 : 専用ソフトにより方位を手動により読み取る (半自動)。1人作業可能。

#### ・応用計測サービス(株)製孔曲がり測定器 (改良版)

- 運 搬 : ウインチは小型であるため傾斜地での1人での運搬も可能。その他の機材も人力運搬可能。発電機は不要 (バッテリー)。
- 計測作業 : 1m ごとに方位データを専用ロガーで記録。ケーブル操作とデータ記録は全自動。ケーブル巻上げはウインチ、深度合わせはシーブ。
- データ整理 : 現場測定時に整理されている (自動)。

・(株)村田製作所製デジタルオンライン(改良版)

運搬 : ウインチが 60kg と重いため、傾斜地での人力運搬は困難。その他の機材は人力運搬可能。発電機は必要。モノレールなど搬入手段があれば問題ない。

計測作業 : 1m ごとに方位データを PC で記録。ケーブルを操作する人と、データを記録する 2 人での作業。ケーブル巻上げはウインチ、深度合わせはシーブ。

データ整理 : 専用ソフトにより方位を手動により読み取る(半自動)、1 人作業可能。



新型Qスコープ  
応用地質製



孔曲がり測定器(改良)  
応用計測サービス製



デジタルオンライン(改良)  
村田製作所製

写真 4.19 各計測器の測定状況と測定画面

6)まとめ

今回比較実験を行った 3 種類の計測器は、どれも十分な測定精度を有していることが確認された。また、孔曲がり測定器やデジタルオンラインは新型 Q スコープと比較して、運搬がやや大変であるが精度はより良い、孔曲がり測定器は計測作業やデータ整理が全自動で作業性が良い、などの特徴がある(表 4.28)。

したがって、予算や目的に応じてそれらの計測器を適宜選定すれば良いと考えられる。

表 4.28 ガイド管方位測定計測器（平成 21 年 12 月段階）

| 計測器   | 原理   | 特徴・運搬性   | 計測作業・データ整理   | 精度 |
|---|--|--|--|----|
| <p>孔内カメラ（応用地質株式会社製）</p>  | <p>方位磁石</p>         | <p>カメラ観察も可能なので、ガイド管の内部状況も把握できる。φ30mm<br/>1人で傾斜地の運搬可能</p>    | <p>ソケットタイプの方位磁石を取り付けて、1mごとに方位磁石の静止画を撮影する。ケーブル操作と画像記録の2人作業。深度合わせはケーブルマーカを手合わせ。<br/>PCの画面上でA0方向との角度差を測定する（半自動）。</p>    | ○  |
| <p>孔曲がり測定器（応用計測サービス株式会社製）</p>   | <p>マグネットメーター</p>   | <p>孔曲がり測定器で孔のねじれも測定。1人で傾斜地の運搬可能。φ35mm<br/>発電機不要</p>   | <p>孔曲がり測定器に車輪をつける。1mごとに方位データを専用ロガーで記録。ケーブル操作とデータ記録は全自動。ケーブル巻上げはウインチ、深度合わせはシーブ。伸縮自在のポールによる三又で設置するので調整が可能<br/>データは現場測定時に自動で整理。</p>   <p>三又改良前</p> | ◎  |
| <p>デジタルオンライン（株式会社村田製作所製）</p>  | <p>マグネットメーター</p>  | <p>孔曲がり測定器でガイド管の方を測定。φ32mm<br/>2人で傾斜地の運搬可能（ウインチのみやや困難）<br/>総磁力も同時に計測するので、測定孔周辺の磁性の確認や測定精度の検証も可能。</p>  | <p>1mごとに方位データをPCで記録。ケーブルを操作者、データ記録者の2人での作業。ケーブル巻上げはウインチ、深度合わせはシーブ。測量の三脚で設置するので調整が容易<br/>専用ソフトにより方位を手動により読み取る（半自動）。1人作業可能。</p>    | ◎  |

#### 4.10 ガイド管の耐圧

深尺のガイド管設置作業におけるグラウト材の充填時に、ガイド管が内側に凹む孔内事故について数例報告されている。ガイド管が内側に凹んでしまった場合、抜本的な復旧のためにはボーリングの掘り直ししかなく大きな手戻りとなる。そこで、これまで充填作業時に発生した孔内事故の分析を行い、ガイド管の耐圧性能について実験を行うとともに、事故の原因と考えられる充填作業の方法について検討を行った。

##### 1) 充填作業時に発生した事故事例の分析

これまでに発生している、ガイド管が内側に凹む事故事例の現場条件について表 4.29 に示した。ガイド管の変形は、グラウトの比重と充填する深度、ガイド管内の水頭との関係で発生した外圧が、ガイド管の耐圧力を上回ることによって発生したと考えられる。通常の作業では滅多に発生しない事例であり、事故の原因はポンプによる異常圧や孔壁崩壊による局所的な異常圧、あるいはガイド管の変形にともなう耐圧力の低下といった様々な状況が考えられる。

表 4.29 事故発生事例の現場状況

|       | 孔径   | ガイド管の長さ | 孔内水位     | ガイド管内水位 | グラウト比重               | グラウト注入圧              | グラウト充填高さ | すべり面深度 | ガイド管変状深度  |
|-------|------|---------|----------|---------|----------------------|----------------------|----------|--------|-----------|
| 事故事例A | 86mm | 60m     | -        | 0m      | 1.5g/cm <sup>3</sup> | 10kg/cm <sup>2</sup> | 50m      | 28m    | G.L.-54m  |
| 事故事例B | 86mm | 100m    | G.L.-44m | 56m     | 1.5g/cm <sup>3</sup> | 15kg/cm <sup>2</sup> | 50m      | 38m    | G.L.-81m  |
| 事故事例C | 86mm | 150m    | G.L.-40m | 150m    | 1.5g/cm <sup>3</sup> | 5kg/cm <sup>2</sup>  | 50m      | 125m   | G.L.-120m |

##### 2) ガイド管の耐圧試験

ガイド管の耐圧性能を把握するため、下記に示す実験を行った。実験は、実際のガイド管設置状況を再現するため、図 4.86 実験結果のモデル図にあるとおり予め曲げた状態で実施した。実験状況は写真 4.20 に示す。

- ・実施場所：応用地質(株) 機器事業本部
- ・使用機材：耐圧容器、加圧装置、ガイド管、ボトムキャップ、止水材、変形保持治具
- ・実施方法：
  - 全長 2.7m のガイド管両端をボトムキャップと止水材で密閉した。
  - ガイド管とボーリングロッドを間に厚さ 3cm の木片を挟んで沿わせ、ガイド管を曲げた。
  - 耐圧容器に曲げた状態のガイド管を挿入し、1.0kg/cm<sup>2</sup> の載荷ステップで載荷した。
  - 1 分間の圧力保持時間を設けて、圧力の低下が無いことを確認しながら次のステップへ移行した。
  - ガイド管に変形が生じ、載荷圧力が低下する直前の最大値をガイド管の耐圧力とした。

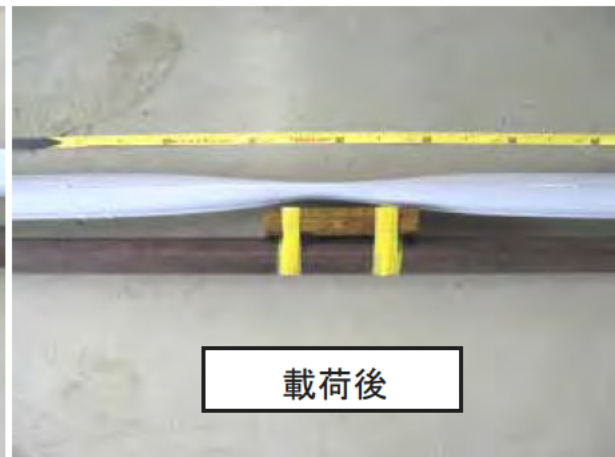
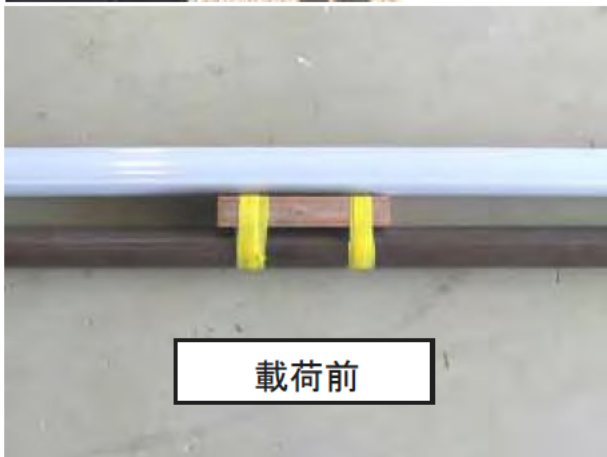
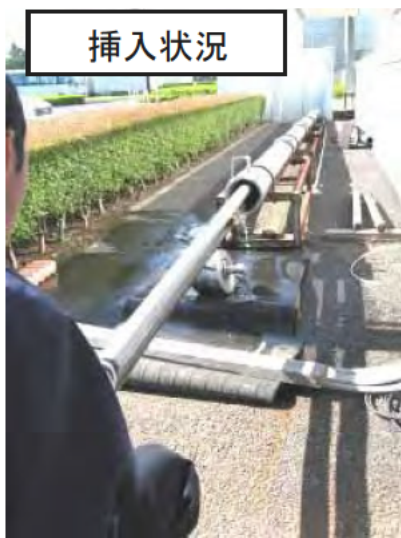
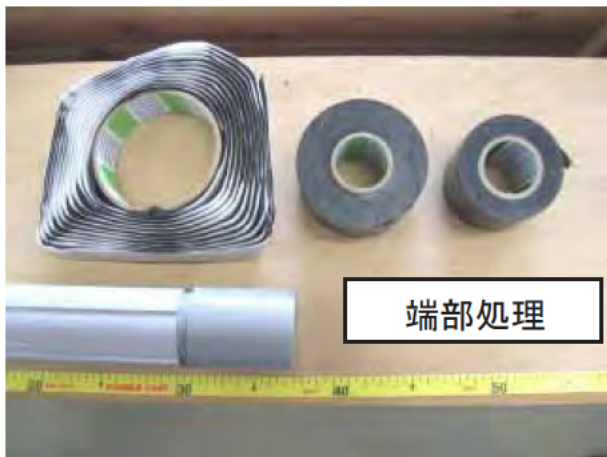


写真 4.20 実験実施状況

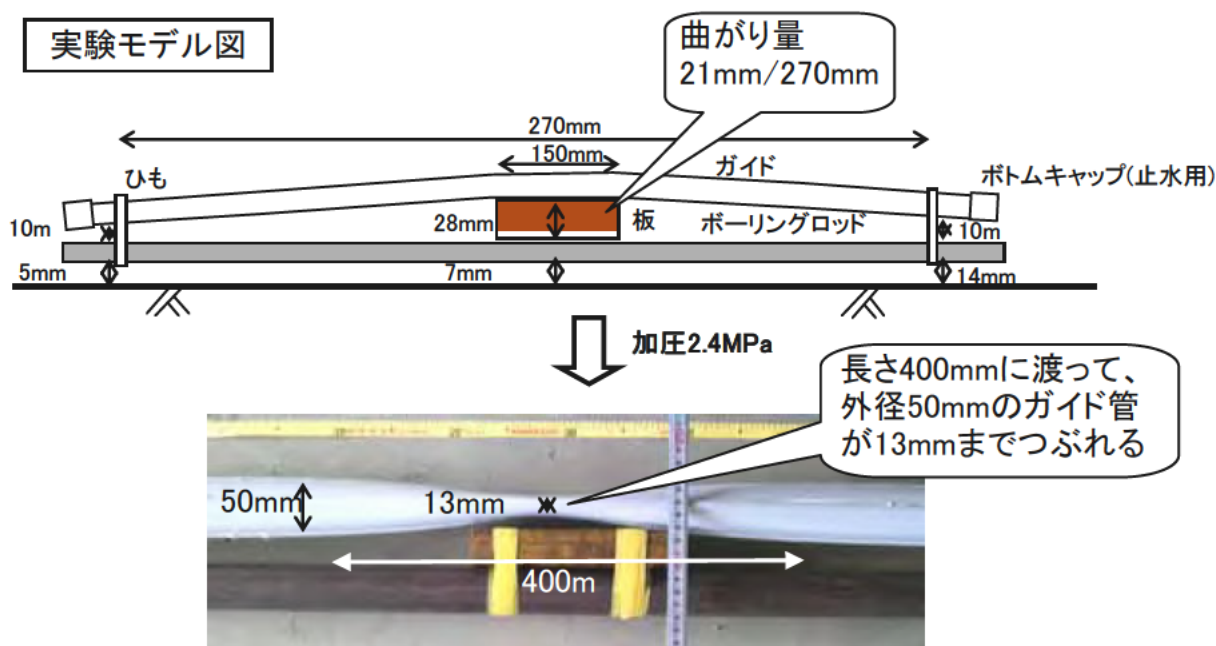


図 4.86 実験モデルおよび実験後の状況

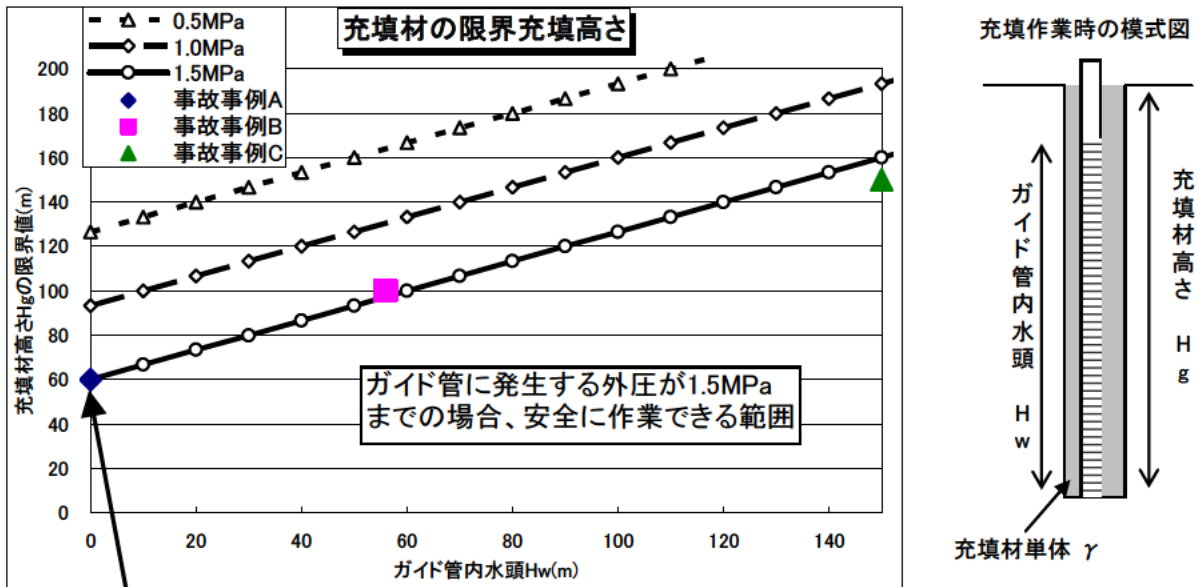
実験の結果、 $24.5\text{kg/cm}^2$ まで载荷した後で急激に圧力が低下した。したがって、ガイド管の耐圧力はおよそ  $2.4\text{MPa}$  であることが確認できた。

### 3) 充填時の孔内事故予防に対する検討

これまでの事象の分析から、様々な現場条件であってもガイド管に変形が発生する可能性はある。いずれの事例も現場条件のみを見れば、通常の充填作業において事故が発生する可能性は低いと考えられる。したがって、事故の原因はポンプによる異常圧や孔壁崩壊による局所的な異常圧、あるいはガイド管の変形にともなう耐圧力の低下といったことが考えられる。ガイド管が凹んでしまうような事故を発生させないためには、慎重な充填作業が必要であり、その成否を左右するグラウトの比重と充填する深度、ガイド管内の水頭との関係から、限界充填高さを図 4.87 に示した。この図に、上述の事象の現場条件をプロットすると、いずれの事故も  $1.5\text{MPa}$  以上の異常な外圧が発生したことによって発生したと考えられる。

安全な充填作業を行うための基準は、あらゆる可能性を踏まえたものであることが理想だが、実際には想像を超えた現象が発生することもあり、一概に決めることが難しい。したがって、突発的な異常圧に対応した安全な作業を行うためには、①ポンプ圧を  $0.5\text{MPa}$  までとすること、②一回で充填可能な作業深度は  $60\text{m}$  までとすること、を最低限の目安とする。ただし、この目安は安全な充填作業のための十分条件ではないことに留意する必要がある。





ポンプ圧が0.5MPaの場合は、ガイド管内に水頭が無くても127mまで一回で充填することが可能である。ただし、充填作業中になんらかの異常圧が発生してしまうと、事故の原因となる。したがって、安全側の充填作業を考慮して一回で充填できる高さの目安は60mとする。これによって、1.5MPaまでの異常圧には対応が可能となる。なお、それ以上の深度を充填する場合には、ガイド管内の水頭とのバランスを考慮して、異常圧を発生させないように慎重な充填作業を行うことが求められる。

\*充填材の単位体積重量は、 $15\text{kN/m}^3$ 程度と仮定（セメント:水:混和材=1:2:1）

図 4. 87 限界充填高さの検討

#### 4.11 孔内伸縮計変位量との対比

挿入式孔内傾斜計の挿入不能時の延命措置の1つの手法として孔内伸縮計（縦型伸縮計）が設置されることがある。しかし、想定されるすべり面変位より変位量が少ない場合や、土塊の沈下を反映したと考えられる圧縮変位が計測されるなど、良好でないデータが得られることが多い。

そこで、挿入式が観測不能になった観測孔に充填方法を変えて孔内伸縮計を設置して観測を行うとともに、隣接孔のガイド管の浮上り量や挿入式孔内傾斜計変位などとの比較を行い、孔内伸縮計で得られるデータの意味合いについて検討を行った。実施条件の概要は次の通り。

- ・実施箇所：現場（中山地すべり）      ・使用機器：孔内伸縮計
- ・実施方法：孔内伸縮計を設置して他の変動計測と比較する。

##### 1)方法

H21/5/20 に挿入式孔内傾斜計が観測不能になった H20B-2(パッカー孔)に孔内伸縮計用のワイヤーを設置した。設置当初は深度 21m のすべり面以深のみグラウト充填し、H21/10/3 には観測孔全体を充填して H22/1/12 まで 1 時間間隔でデータの取得を行った。また、ガイド管孔口に浮上りが見られる H20B-3(砂詰め孔)の浮上り量を計測も行った。

##### 2)結果と考察

観測結果は図 4.88 に示した。上から、挿入式孔内傾斜計・孔内伸縮計および浮上り計測の経時変化図、降水量や気温の気象観測結果、各変位計測の関係図を並べたものである。

上側の経時変化図によると、観測期間中 1 ヶ月で 2～5mm の孔内伸縮計の圧縮変位が見られ、孔内充填実施後に変位速度が小さくなり、降雨や気温変化との相関は見られない。孔内伸縮計の圧縮変位とガイド管孔口の浮上り量には相関が見られ、孔内伸縮計の変位量は浮上り量の 76%程度である。なお、双方の変位は地すべり変動に伴う地盤の沈下を反映したものであり、24%分の口は孔内伸縮計が鉛直方向に地盤の沈下により圧縮変位を受けながらも、それと同時に地盤の水平変位により逆側に引っ張られているためと考えられる。

孔内充填実施後には、孔内伸縮計の変位量がやや小さくなる。その理由として 変位が進むことにより孔内伸縮計の無感帯が狭くなった 地盤の圧縮と一緒に伸縮計ワイヤーも沈下 地すべりの動きが小さくなった の3つが考えられるが、挿入式孔内傾斜計と浮上り量の変位傾向もほぼ同じことから の可能性が高いと考えられる。

また、下側の各変位量の関係図によると、挿入式孔内傾斜計の水平変位量と浮上り量のベクトルの角度は、すべり面頭部の高角度すべり面の傾斜と一致する。このことは土塊がほぼそのままの形状ですべり面を平行移動していることを示す。このことから、観測孔の浮上り量をすべり面勾配が分かれば、観測孔設置後の水平変位量が換算できると考えられる。

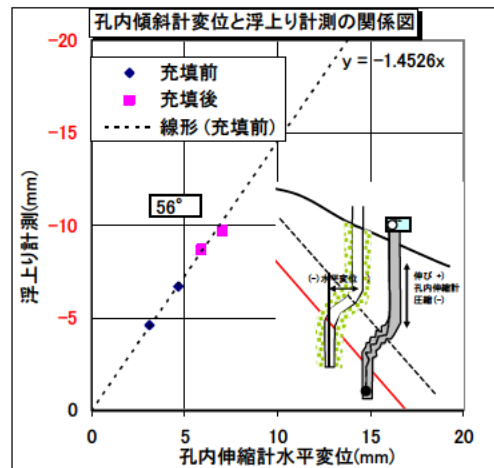
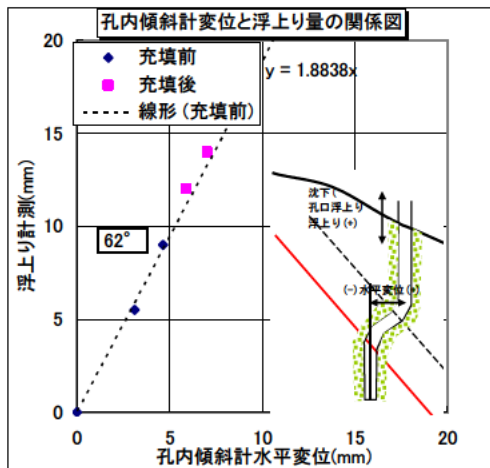
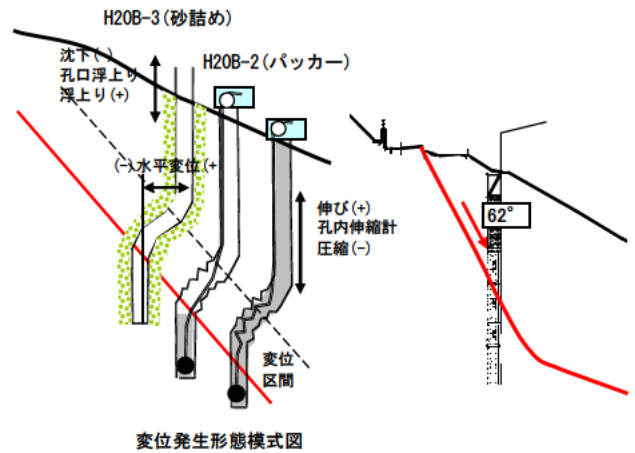
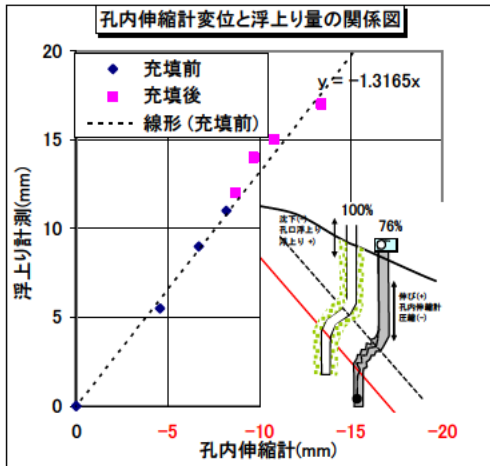
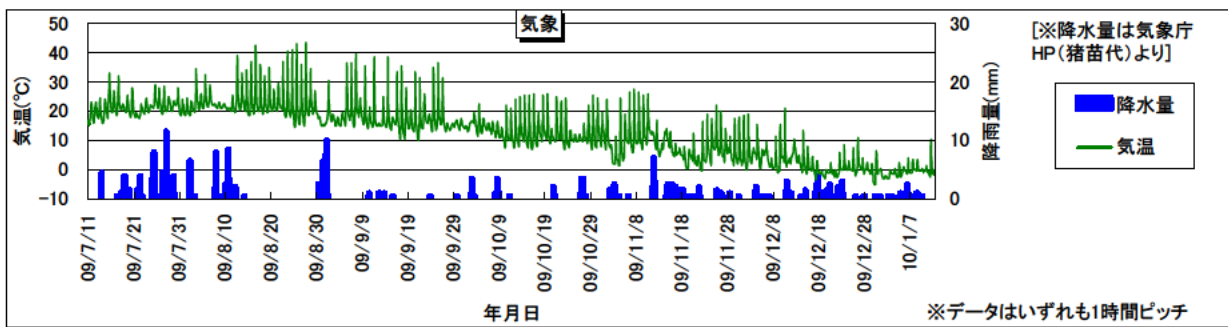
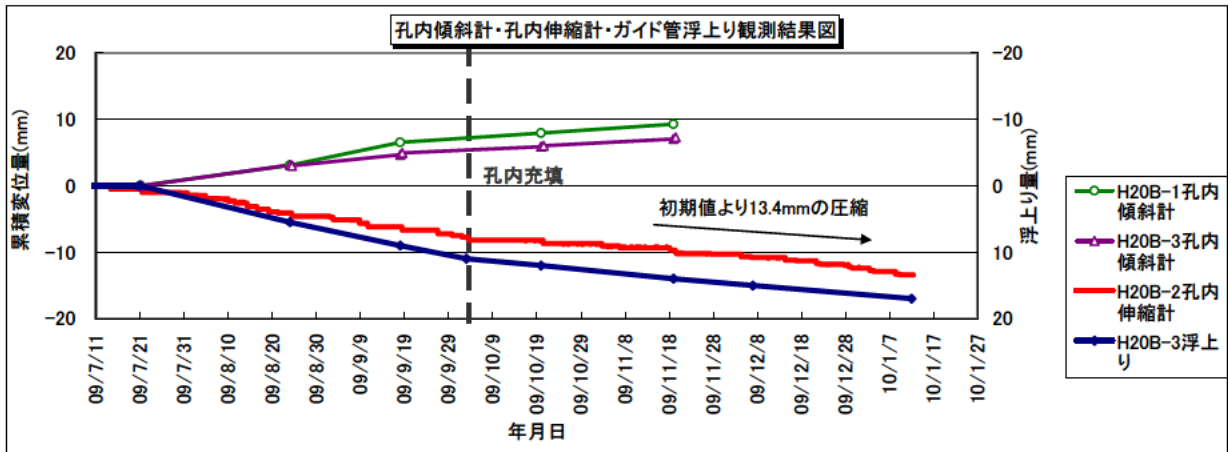


図 4.88 孔内伸縮計等の観測結果と関係図

#### 4.12 設置の方法や良否に関わる実験のまとめ

本章では、ガイド管の設置作業がデータの良否に影響すると考えられる項目について、再現実験を行ったものであり、計測器や測定者の違いによる影響が無いように考慮して実験を行った。観測に関わる実験結果の一覧表を表 4.30 に示す。

接続方法については大きな影響はないが、亀裂性地山ではパッカーを使用しないとガイド管の設置そのものが不可となる結果であった。さらに傾斜計観測でしばしば見られるS字状データは、土塊の沈下で発生するものと充填不良で発生する双方の原因があり、後者は地山の挙動を表していない明らかな異常データである。ガイド管のねじれも深度 30m 以上の場合は測定結果に影響するため、補正する必要があることがわかった。以上により、ガイド管の設置に関して良好な測定データを得るための留意点として、以下の項目が挙げられる。

##### 設置時の留意点

- ・リベットは同じ方向から打たないようにし、さらに十字方向の順番で打つ。
- ・亀裂性地山では必ずパッカーを使用する。設置不良によるS字データでは、設置後には復旧方法が無いので、充填不良が懸念される場合もパッカーを使用する。
- ・パッカーには様々な特徴を有する製品があるので、設置地盤に応じた使い分けが可能。
- ・養生は最低3日程度行う必要があり、微小な変位を捉える必要がある場合は1週間以上が推奨。
- ・深度 30m 以上の場合はガイド管の方位測定し、ねじれの影響を補正する。

表 4.30 実験結果一覧表（設置に関わる項目）

| 項目 | 実験方法  | 室内   | 現場 | 結果   |  |      |
|----|---|--|----|------|--|------|
|    |   |  |    | 応用地質 | 影響   | 坂田電機 |
| 1  | ガイド管の接続方法<br>        | リベット打ちの順番を変えたガイド管で定期観測を行う(ガイド管の軸力測定も実施)      | ○  |      | パイプの自重で座屈するようなデータが発生。またリベット止めの順序はつねに同じ方向から打つ「そり」の状態だと座屈しやすい          | △    |
| 2  | ガイド管載荷実験<br>         | 階段に設置したガイド管の固定を緩める位置を変えて測定する                 | ○  |      | 土塊の沈下、およびグラウト不良を再現する実験とも凸状のデータが発生。累積グラフのみでは区別が難しく、後者は明らかな不良データ       | ◎    |
| 3  | 亀裂性地山でパッカー不使用の設置<br> | 通常のグラウト注入で充填が不可能な亀裂性地山でガイド管の設置を試みる           | ○  |      | 設置に1ヶ月要し必要量の23倍の充填材を使用。高角度の開口亀裂が存在する場合は砂なでも充填が不可。                    | ◎    |
| 4  | パッカー試験<br>           | 国内で入手可能なパッカーを収集し、充填材注入時の特徴を把握                | ○  |      | アンカー用、鋼管矢板止水用など複数の製品がある。価格・強度・伸張・充填材の漏れ具合などの特徴が異なる。                  | ◎    |
| 5  | ガイド管設置方法の違い<br>      | 亀裂が多い地すべり土塊に吹上げ・パッカー使用・砂詰めでガイド管を設置し、1年程度定期観測 | ○  |      | 吹上げ法では空洞に対応する部分で屈曲したデータが発生、砂詰め法ではわずかであるが観測孔全体に波打ち現象が見られる(観測実施中)。     | ◎    |
| 6  | 充填材の配合<br>           | 水、セメント、混和材(粉末粘土やベントナイト)などの配合を変えて弾性係数を把握する    | ○  |      | 充填材の強度は水-セメント比で決まる。地すべり調査では、ガイド管の強度を考慮して最低100MN/m <sup>2</sup> 以上が良い | ○    |
| 7  | 充填材の養生期間<br>         | ガイド管設置作業のグラウト充填から6日目まで毎日測定を行う                | ○  |      | 3日目に部分的なわずかな挫屈、5日目に一定区間でわずかにたわんだようなデータが発生                            | ○    |
| 8  | 地すべり土塊での層別沈下計観測<br>  | 地すべり地で削孔したボーリング孔に層別沈下計を設置して沈下量を経時的に観測する      | ○  |      | 地盤伸縮計の変位と沈下が同時期に発生。沈下量はすべり面付近が大きく、ブロック中～上部は小さい。                      | ◎    |
| 9  | ガイド管のねじれの影響<br>      | ガイド管設置時に、孔口位置でねじった場合のA0の方向を測定                | ○  |      | 左右どちらともねじれて傾向はない。ねじれ量の分布幅は大きい。ねじれの量は平均は80mあたり13.5°である                | ○    |
| 10 | ガイド管の耐圧<br>          | 耐圧容器でガイド管外側の水圧を上げて耐圧試験を行う                    | ○  |      | 耐圧約2.4MPa。曲がっている箇所が潰れやすい。潰れた場合は復旧が困難である。                             | ◎    |

## 参考文献

- 1) 中川渉、新居見健二、遠藤司、山本寛 (2002): Q スコープカメラによる孔内傾斜計ガイド管内の変形観察, 第 39 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 323-324.
- 2) 社団法人地盤工学会(1995): 地盤調査法、pp.254
- 3) 社団法人土質工学会(1992): N値および $c, \phi$ 、pp.10
- 4) 社団法人日本応用地質会(1984): 岩盤分類、pp.95
- 5) 社団法人地盤工学会(1995): 地盤調査法、pp.467
- 6) 社団法人日本応用地質会(1984): 岩盤分類、pp.112

## 5. 資機材の精度や衝撃に対する資料収集と検討

### 5.1 ガイド管製作過程と不良データの検討

ガイド管の製作過程を工場で確認し、挿入式孔内傾斜計計測で発生する不良データとの関連の有無を検討するための基礎資料とした。製造過程の確認を行った工場は次の通り。

- ・押出工程 : 三協マテリアル(株) 石川工場
- ・粉体塗装工程 : 宮越工芸(株)
- ・プレス・組立工程 : (株)広瀬アルミ 高岡工場



写真 5.1 アルミ製ガイド管

#### 5.1.1 対象製品と全体の流れ

確認の対象とした製品は、「応用地質(株)製φ47mm 塗装ケーシング」である。製品の緒元は表 5.1 の通り。

表 5.1 製品の緒元 (塗装ケーシング)

|      |  |
|------|--|
| 外径   | 約 φ47mm  |
| 全長   | 約 3m   |
| 肉厚   | 約 1.5mm  |
| 材質   | アルミ JISH4100 特殊級 (A6063 S-T5 による)                              |
| 表面処理 | 生地材の上、ポリエステル樹脂系粉体塗装を 50μm 実施                                   |
| 特長   | 弊社ケーシングの中で最も安価な普及型。従来の硬質アルマイトケーシングに比べ耐食性を強化。カップリングはケーシングに接続済み。 |

\*表面処理に関する仕様内容は、今後変更される可能性あり

#### (2) 製作作業の全体の流れ

ガイド管完成までの大まかな流れは、図 5.1 のように「押出し」→「塗装」→「プレス・組立」の工程を経ており、それぞれ別の工場で作業を行っている。なお、各工場とも写真撮影は不可であったので、添付している写真や図は確認を行った工場から提供頂いたカタログやホームページから引用したものである。

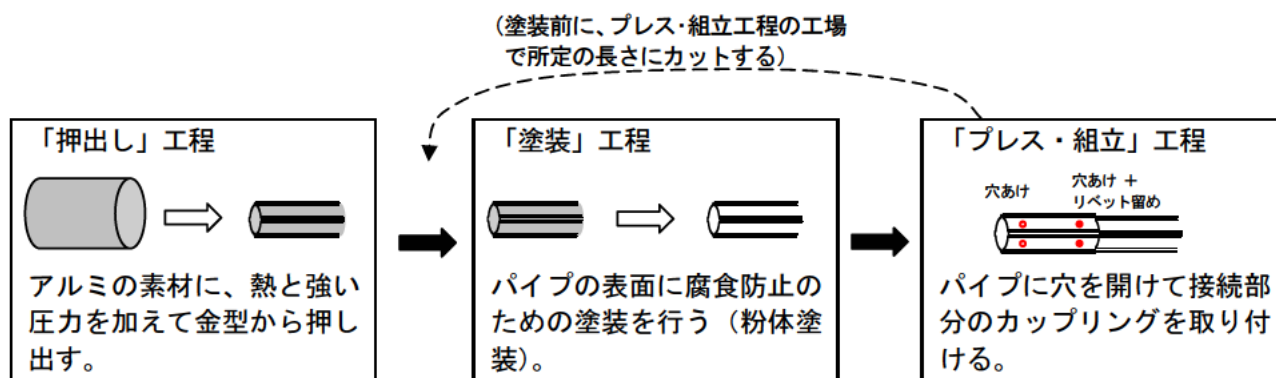


図 5.1 ガイド管完成までの流れ

## 5.1.2 押し出し工程

### (1) 作業の流れ

押し出し工程の流れは図 5.2 の通り。

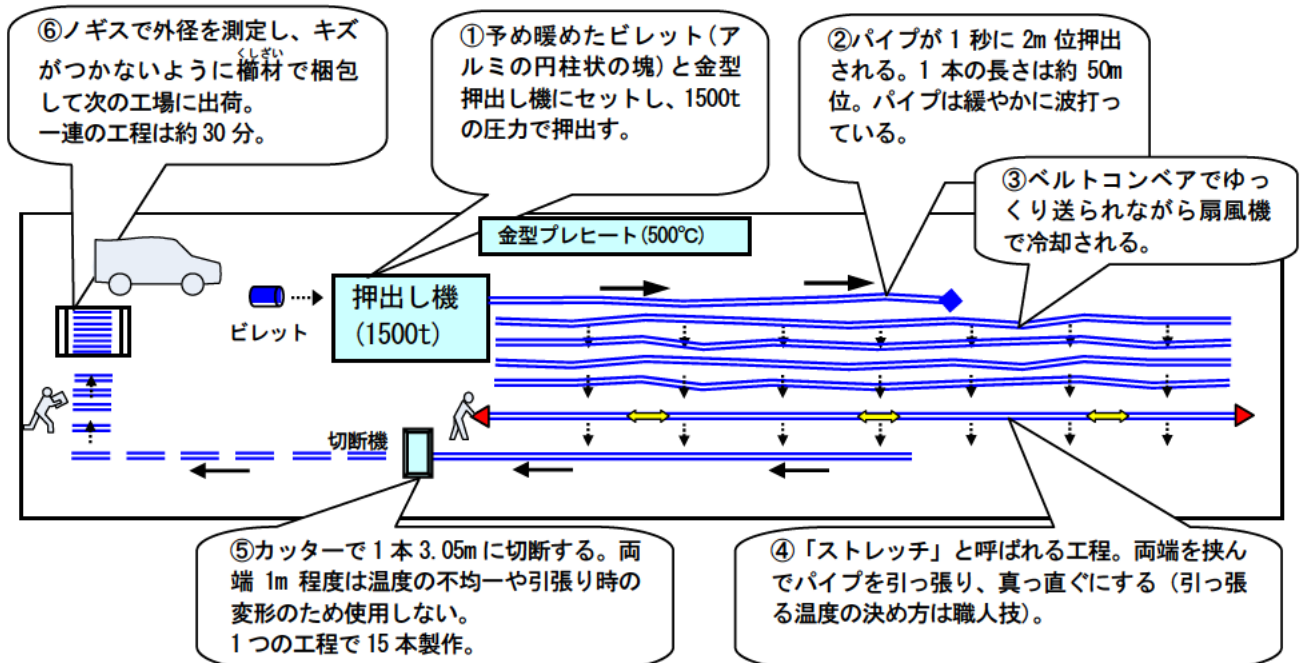


図 5.2 押し出し作業の流れ

### (2) 押し出し加工

押し出しとは、一回の押し出し工程で精度の高い型材を押し出す作業のことである。約 500°C に加熱した円柱のビレットをコンテナに挿入し、様々な形状をした金型(ダイス)に高圧力で押し出す熱間加工法であり、複雑な断面形状のアルミ型材を 1 回の押し出し加工工程でつくることができるのが特徴である。ガイド管は 1,500t (6 インチ) プレスの押し出し機で製造される (図 5.3)。



図 5.3 型材の押し出し方法と模式図<sup>1)</sup>

材料となるビレット(アルミの円柱状の塊)は、用途や目的に合わせて最適な合金ビレットを選定する。押し出し機の操作は、シミュレーターで計算された条件で自動制御を行う。同時に、押し出し時の様々な情報も自動的に収集され、次回の押し出し作業にフィードバックされるとのこと。

### (3) 金型 (ダイス)

押出し工場で使用されている金型は、精度の向上と複雑な形状に対応できるように、従来の 2 次元 CAD/CAM より高度な「3 次元 CAD/CAM」を導入している (図 5.4)。押出し作業により円筒状のパイプが製作される過程は図 5.5 の通り。作業が終わったあとの金型は、金型に残ったアルミを苛性ソーダで溶かした後、メンテナンスされ、次の押出し作業に備えて保管される。

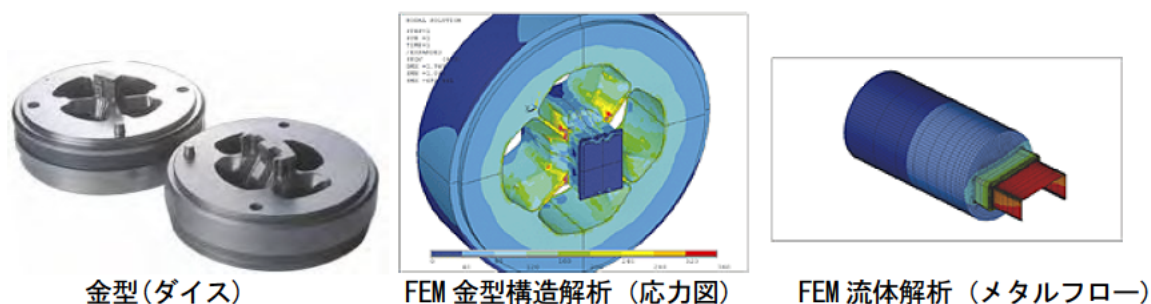


図 5.4 形材の押出方法と模式図<sup>1)</sup>

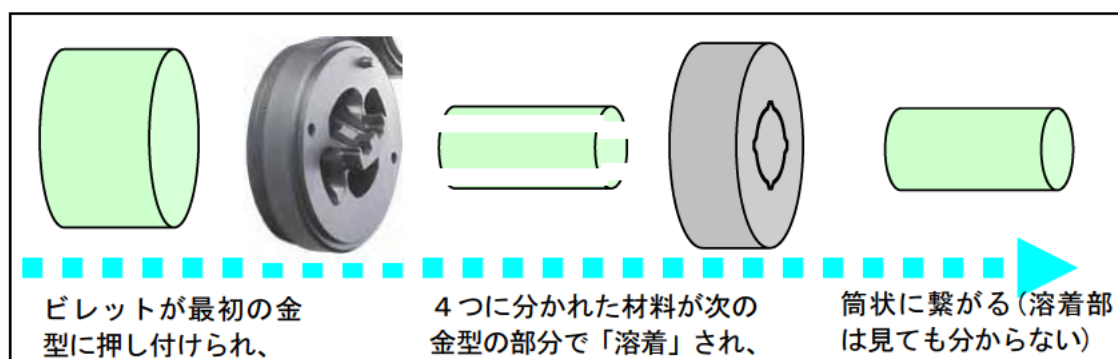


図 5.5 円筒状のパイプの製作過程

### (4) 歪みや反りの矯正作業

押し出した直後の形材は、送風ファンにより徐々に冷却する。形材が冷える際には形状の違いで全体が一樣に冷めないため、必ず歪みや反りが生じる。そのため、冷却後に引っぱり矯正の工程を設け、ストレッチャーで引っぱりながら形材をまっすぐに戻す作業を行う。引っ張る際の温度の加減は、熟練者が素手でパイプの温度を確認して最終的に決定する。



多数の送風ファンによる冷却



パイプ端部を引っ張る装置

写真 5.2 歪みや反りの矯正作業の状況<sup>1)</sup>



### 5.1.3 塗装工程

#### (1) 塗装目的

ガイド管を設置する際には、ボーリング孔とガイド管の間をセメント系の充填材で地盤との密着を図る。アルミ製のガイド管を無処理のまま使用した場合、強アルカリ性のセメントによりアルミが腐食するなどの問題があるため表面を塗装する。見学を行った工場の塗装方法は、一般的な溶剤の塗装ではなく粉体塗装と呼ばれる新しい塗装方法である。

#### (2) 粉体塗装とは

粉体塗装とは、図 5.6 の模式図に示したように粉状塗料を静電塗装等で着色・焼付する塗装方法である(Powder Coating)。

粉体塗装の特徴と従来の溶剤型塗装との比較表は表 5.2 の通りである。本方法は、丈夫で厚い塗膜が求められるガイドパイプには適した方法と考えられる。従来の有機溶剤による方法では、1 回の厚さ 20 μm の塗装を 2 回繰り返すので、作業時間がかかることに加えてムラになりやすいとのことである。

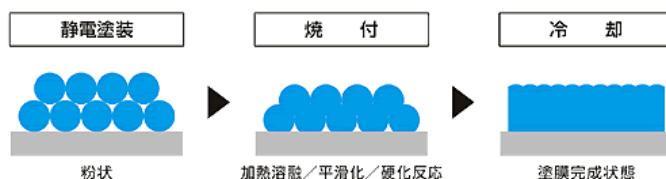


図 5.6 粉体塗装の模式図<sup>2)</sup>

表 5.2 粉体塗装の特徴と溶剤型塗料との特性比較<sup>2)</sup>

| 粉体塗料の一般的な特長   | 粉体塗料と溶剤型塗料の特性比較                    |              |
|---|------------------------------------|--------------|
|   | 粉体塗料                               | 溶剤型塗料        |
| <b>塗装では...</b><br>粘度調整などの塗料管理が不要<br>塗装の熟練技能者不要<br>タレ、ワキ、色別れがない<br>セッティング不要なためラインの小型化可能<br>自動化しやすい | <b>塗 装 方 法</b><br>静電粉体塗装           | エアスプレー、静電塗装  |
| <b>経済性では...</b><br>吹き捨て分を回収・再利用可能<br>産廃処理費用の削減<br>溶剤処理関連設備投資不要                                    | <b>塗 装 時 の 固 形 分</b><br>100%       | 35~50%       |
| <b>安全・環境面では...</b><br>完全無溶剤なため職場環境が向上<br>火災の危険が少なく各種法令・条例への対応が容易                                  | <b>溶 剤</b><br>安全無溶剤                | 有機溶剤         |
| <b>塗膜性能では...</b><br>1コートで30μ~百数十μまで塗装可能<br>完全無溶剤なため高分子量の樹脂が使用可能                                   | <b>塗 装 皮 膜 (1コ ー ト)</b><br>35~150μ | 10~30μ       |
|   | <b>厚 膜 化</b><br>○                  | ×            |
|   | <b>薄 膜 化</b><br>×~△                | ○            |
|   | <b>塗 装 管 理 作 業</b><br>○            | △(要粘調)       |
|   | <b>塗 装 時 の 塗 膜 ト ラ ブ ル</b><br>○    | △(ワキ・タレ・色別れ) |
|   | <b>色 替 え</b><br>△                  | ○            |
|   | <b>温 度 ・ 湿 度 の 影 響</b><br>○        | △            |
|   | <b>塗 膜 外 観</b><br>△~○              | ○            |
|   | <b>塗 装 の 難 易 度</b><br>○            | △            |
|   | <b>塗 装 の 不 良 率</b><br>○            | △            |
|   | <b>塗 装 の 自 動 化</b><br>○            | △            |
|   | <b>安 全 性</b><br>○                  | △            |

(3)作業の流れ

粉体塗装のラインは下図の通り。1 サイクルは約 60 分。



図 5.7 粉体塗装の工場のライン<sup>2)</sup>

(4)品質確認

塗装後は、以下の試験により塗装の品質(硬さや剥がれにくさ)を確認する。

引っかき試験：検査用鉛筆(三菱鉛筆(株)UNI、H～2H)で塗装を引っかいて、剥がれない硬さを有するかを確認。

はがし試験：塗装表面に1mm四方の縦10×横10のキズを付けて、検査用セロテープ(ニチバン)を貼って、その後剥がして塗装が取れていないかを確認。

### 5.1.4 プレス・組立工程

作業の流れは図 5.8 のとおり。

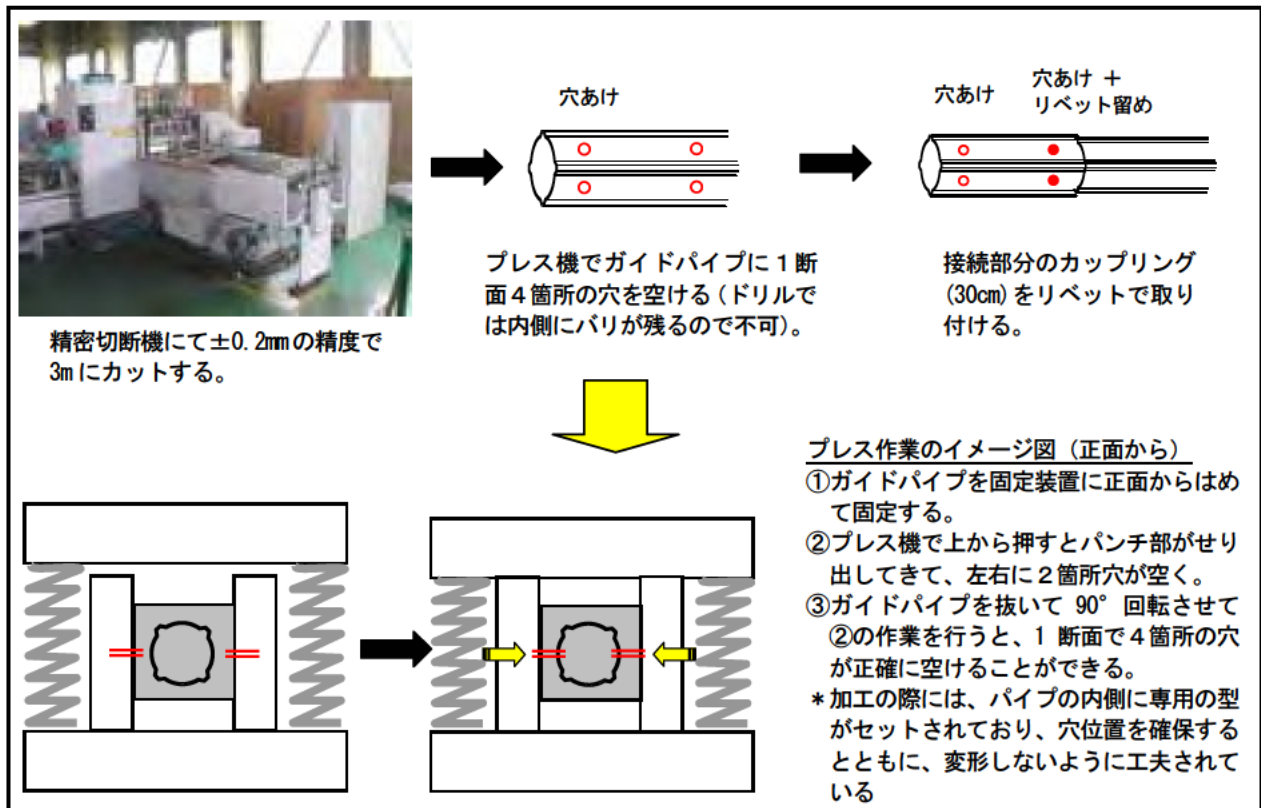


図 5.8 プレス・組立の作業の流れ

### 5.1.5 精度の管理と設置・計測への影響

- ・ガイド管の断面形状は、押し出し工程で作業前後に実施される金型チェックとともに、ノギスによる外径測定によって確認が行われている。
- ・ガイド管の直線度は、押し出し工程で「ストレッチ」というパイプの引き伸ばし作業で確保されている。しかし、保証精度内でありながらねじれが生じていると1ロット全体に同じ方向の微小なねじれが発生し、それらが同一孔で使用された場合は累積する可能性がある。
- ・ガイド管の長さは、精密切断機にて最終的に調整され±0.2mmの精度で管理されている。ガイド管や継ぎ手の穴位置は、プレス加工時に専用器具で決められているのでずれる可能性はきわめて低いと考えられる。
- ・運搬時のキズ防止対策として、ガイド管は「櫛材」と呼ばれる専用の衝撃吸収剤で梱包されている。
- ・耐腐食性はポリエステルウレタン系の塗料を50μmの厚さに塗装することで確保されている。
- ・ガイド管の断面形状や長さ、穴の位置や塗装状態は、応用地質(株)機器事業本部にて出荷前に全数確認されている。

## 5.2 プローブの衝撃に対する検討

プローブの特性として過度の衝撃に弱く、衝撃を与えた場合は異常値発生の原因となることも知られている。計測機器は丁寧に扱うことが原則なので、本共同研究ではプローブに衝撃を与える実験は行わない方針とした。そこで、プローブのセンサ部分の耐衝撃性が示されている製品について、衝撃力の試算を行い機器の取り扱いの目安とすることとした。

### (1) 検討対象製品

耐衝撃性に関する緒元が収集できたプローブは以下の通り。

- ・ デジタル Q-tilt200 (応用地質(株)製)      センサの耐衝撃力 200G
- ・ Q-tilt200 (応用地質(株)製)                      センサの耐衝撃力 200G
- ・ EIN-5000G (坂田電機(株)製)                      耐衝撃力 20G                      衝撃厳禁の記載
- ・ デジティルト (SINCO 製 ; 参考)                      センサの耐衝撃力 1000G

### (2) 計算条件

ケース 1 : 硬いものに当たった場合

挿入式孔内傾斜計のプローブの運搬時に、誤って単管パイプなどの硬いものにプローブの金属部を当たった場合の衝撃力を試算したものである。

|  |  |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
|--|--|-------------|------------|-----------|-----------------------|-----------------------------|----------------|--|-----------|------------|--|--|-----------|-------------|------------|-----------|-------|-----------|-----------|--------------|--|
| <p>条件(硬いものの場合)</p> <p>落下高さ:h                      * mm</p> <p>傾斜計重量:W                      14.7 N</p> <p>耐衝撃:K                              200 g</p> <p>単管外径:D1                        48.6 mm</p> <p>単管内径:D2                        43.8 mm</p> <p>衝撃方向:軸方向</p> <p>試験方法:落下衝撃</p> | <p>左記条件で、傾斜計をあやまって単管にぶつけたとすると、どの程度の距離でぶつけると、200gの衝撃力に相当するかを求める。</p> <p>まず初めに、200g相当の衝撃力が加わった場合、単管にどの程度のたわみ:δが生じるかを求める。<br/>なお、単管は両端支持梁として考える。また、傾斜計本体のたわみは無視する。(図-1参照)</p> <p>δは下式により求められる。</p> $\delta = P \cdot L^3 / (48 \cdot E \cdot I_z)$ <p>ここで、</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">P: 2942.0 N</td> <td style="width: 50%;">P=W・K 衝撃荷重</td> </tr> <tr> <td>L: 750 mm</td> <td>支点間距離(単管クランプの取付間隔を仮定)</td> </tr> <tr> <td>E: 205800 N/mm<sup>2</sup></td> <td>鋼のヤング率(理科年表から)</td> </tr> <tr> <td>I<sub>z</sub>: 93189.6 mm<sup>4</sup></td> <td>断面二次モーメント</td> </tr> <tr> <td>δ = 1.3 mm</td> <td>I<sub>z</sub>=π・(D1<sup>4</sup>-D2<sup>4</sup>)/64</td> </tr> <tr> <td></td> <td>200g時のたわみ</td> </tr> </table> <p>次に、傾斜計を単管にぶつけた際の衝撃力:Kを求める。<br/>なお、単管は両端支持梁として考える。(図-2参照)</p> <p>Wによってなされた仕事そのままの弾性ひずみエネルギーとして梁にたくわえられるものと仮定すると、下式が成り立つ。</p> $W \cdot (h + \delta) = P \cdot \delta / 2$ <p>上式を、hについて整理すると、</p> $h = (P \cdot \delta) / (2 \cdot W) - \delta$ <p>ここで、</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">P: 2942.0 N</td> <td style="width: 50%;">P=W・K 衝撃荷重</td> </tr> <tr> <td>W: 14.7 N</td> <td>傾斜計重量</td> </tr> <tr> <td>δ: 1.3 mm</td> <td>200g時のたわみ</td> </tr> <tr> <td>h = 133.5 mm</td> <td></td> </tr> </table> <p>なお、支点間距離を750mmとした場合、耐衝撃:200gが弾性範囲内の限界となる</p> | P: 2942.0 N | P=W・K 衝撃荷重 | L: 750 mm | 支点間距離(単管クランプの取付間隔を仮定) | E: 205800 N/mm <sup>2</sup> | 鋼のヤング率(理科年表から) | I <sub>z</sub> : 93189.6 mm <sup>4</sup> | 断面二次モーメント | δ = 1.3 mm | I <sub>z</sub> =π・(D1 <sup>4</sup> -D2 <sup>4</sup> )/64 |  | 200g時のたわみ | P: 2942.0 N | P=W・K 衝撃荷重 | W: 14.7 N | 傾斜計重量 | δ: 1.3 mm | 200g時のたわみ | h = 133.5 mm |  |
| P: 2942.0 N  | P=W・K 衝撃荷重   |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| L: 750 mm  | 支点間距離(単管クランプの取付間隔を仮定)  |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| E: 205800 N/mm <sup>2</sup>  | 鋼のヤング率(理科年表から)   |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| I <sub>z</sub> : 93189.6 mm <sup>4</sup>   | 断面二次モーメント  |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| δ = 1.3 mm   | I <sub>z</sub> =π・(D1 <sup>4</sup> -D2 <sup>4</sup> )/64   |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
|  | 200g時のたわみ  |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| P: 2942.0 N  | P=W・K 衝撃荷重   |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| W: 14.7 N  | 傾斜計重量  |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| δ: 1.3 mm  | 200g時のたわみ  |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |
| h = 133.5 mm   |  |             |            |           |                       |                             |                |  |           |            |  |  |           |             |            |           |       |           |           |              |  |

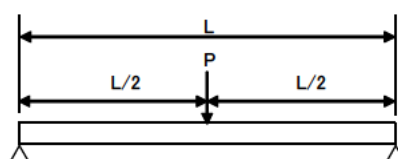


図-1

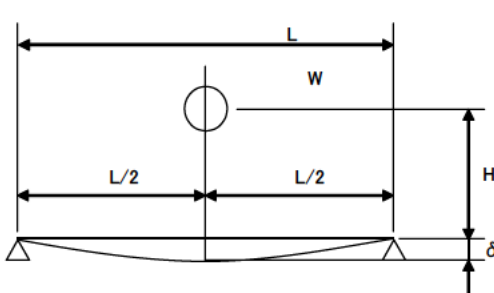


図-2

ケース 2：軟らかいものに当たった場合

挿入式孔内傾斜計の測定時でプローブを孔底に降ろす際に、勢いが余って孔底にぶつかった場合の衝撃力を試算したものである。

|               |        |
|---------------|--------|
| 条件(柔らかいものの場合) |        |
| 落下高さ:h        | * mm   |
| 傾斜計重量:W       | 14.7 N |
| 耐衝撃:K         | 40 g   |
| 衝撃方向: 軸方向     |        |
| 試験方法: 落下衝撃    |        |

図-3

左記条件で、傾斜計のクッションゴム部をぶつけたとすると、どの程度の距離でぶつけると、40gの衝撃力に相当するかを求める。

まず初めに、40g相当の衝撃力が加わった場合、クッションゴムにどの程度のたわみ:  $\delta$  が生じるかを求める。  
 なお、衝撃力はクッションゴム部で全て吸収するものとする。  
 また、受け座に生じるたわみは無視する。(図-3参照)

$\delta$  は下式により求められる。

$$\delta = P/k$$

ここで、

|    |           |       |          |
|----|-----------|-------|----------|
| P: | 588.4 N   | P=W·K | 衝撃荷重     |
| k: | 76.4 N/mm |       | ゴム脚の弾性定数 |

※実験により求めた定数(坂田電機製のクッションゴムの場合)

$$\delta = 7.7 \text{ mm} \quad 40\text{g時のたわみ}$$

次に、傾斜計のクッションゴム部をぶつけた際の衝撃力:Kを求める。(図-3参照)

Wによってなされた仕事そのままクッションゴムの弾性ひずみエネルギーとしてたくわえられるものと仮定すると、下式が成り立つ。

$$W \cdot (h + \delta) = P \cdot \delta / 2$$

上式を、hについて整理すると、

$$h = (P \cdot \delta) / (2 \cdot W) - \delta$$

ここで、

|            |         |       |          |
|------------|---------|-------|----------|
| P:         | 588.4 N | P=W·K | 衝撃荷重     |
| W:         | 14.7 N  |       | 傾斜計重量    |
| $\delta$ : | 7.7 mm  |       | 40g時のたわみ |

$$h = 146.3 \text{ mm}$$

ただし、クッションゴムのたわみ量は構造上決まっているため、上式はたわみの範囲内で成立する。

(3) 計算結果

落下高さと衝撃力の関係を図 5.9 に、計算結果の一覧を表 5.3 に示す。ケース 1 のプローブを自由落下させて長さ 75cm の単管パイプに金属部分を衝突させた場合の試算では、高さ 13cm 程度でセンサの耐衝撃力 200G を超える結果になり、プローブを丁寧に取り扱いえない場合は容易にセンサの耐衝撃性を超える可能性があることが

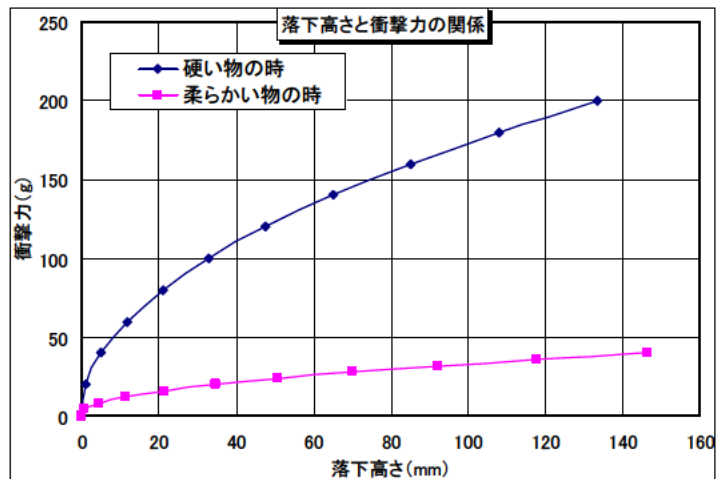


図 5.9 落下高さと衝撃力の関係 (条件を仮定した試算)

判った。

また、孔底にぶつけた場合はクッションゴムの効果により 15cm で 40G 程度に低減される結果になった。但し、この値はあくまでも仮定の条件のものに試算した目安の数字であり、実際には注意しない状況でプローブを降ろすと落下高さがより増えるとともに、ケーブルの重みがプローブにも伝わる可能性があつて厳しい条件となると考えられる。

運搬時などの取り扱いの際は「衝撃厳禁」とし、プローブの挿入時は深度に注意しながらゆっくりと孔底まで降ろすことが原則といえる。

表 5.3 衝撃力の計算結果一覧表 (条件を仮定した試算)

硬いものにぶつけた場合(金属等)

|          |     |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 衝撃力(g)   | 0   | 20    | 40    | 60    | 80     | 100    | 120    | 140    | 160    | 180    | 200    |
| P(N)     | 0.0 | 294.2 | 588.4 | 882.6 | 1176.8 | 1471.0 | 1765.2 | 2059.4 | 2353.6 | 2647.8 | 2942.0 |
| たわみ(mm)  | 0.0 | 0.1   | 0.3   | 0.4   | 0.5    | 0.7    | 0.8    | 0.9    | 1.1    | 1.2    | 1.3    |
| 落下高さ(mm) | 0.0 | 1.2   | 5.1   | 11.7  | 21.0   | 33.0   | 47.7   | 65.1   | 85.2   | 108.0  | 133.5  |

柔らかいものにぶつけた場合(ゴム等)

|          |     |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 衝撃力(g)   | 0   | 4    | 8     | 12    | 16    | 20    | 24    | 28    | 32    | 36    | 40    |
| P(N)     | 0.0 | 58.8 | 117.7 | 176.5 | 235.4 | 294.2 | 353.0 | 411.9 | 470.7 | 529.6 | 588.4 |
| たわみ(mm)  | 0.0 | 0.8  | 1.5   | 2.3   | 3.1   | 3.9   | 4.6   | 5.4   | 6.2   | 6.9   | 7.7   |
| 落下高さ(mm) | 0.0 | 0.8  | 4.6   | 11.6  | 21.6  | 34.7  | 50.8  | 70.1  | 92.4  | 117.8 | 146.3 |

#### (4) 現地計測

別途行っている定期観測実験で、平成 21 年 8 月の観測時に固有誤差平均値の A 軸 400 減少した(図 5.10)。その原因として、プローブを運搬時に 10cm 位の距離からガードレールにぶつけたため、A 軸のセンサに 0 点ズレが発生したためと考えられる。その際の加速度を試算すると衝撃力の試算では 180G 程度であり、計測器の耐衝撃力に近い値であった。このことから衝撃は厳禁といえる。

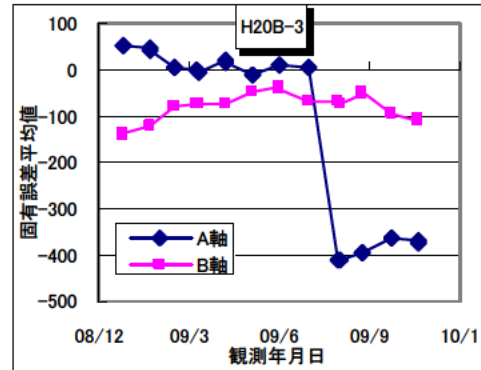


図 5.10 H20B-3 孔の固有誤差平均値

### 5.3 資機材の精度や衝撃に関する検討のまとめ

- ・外径や長さは計測によりチェックされている。直線性は引き延ばし工程で確保されている。
- ・パイプの引き伸ばし工程で、保証精度内でありながらねじれが生じていると1ロット全体に同じ方向の微小なねじれが発生し、それらが同一孔で使用された場合は累積する可能性がある。
- ・高品質の塗装作業や塗装のチェックは十分に行われており、腐食に対する問題は少ない。
- ・プローブは衝撃厳禁である。

### 参考文献

- 1) 三協マテリアル(株)ホームページ、技術紹介-製造技術-押出加工、  
[http://www.sankyo-material.co.jp/t\\_02\\_04.html](http://www.sankyo-material.co.jp/t_02_04.html)(参照 2010-03-08) .
- 2) 宮越工芸(株)ホームページ、会社案内-主要設備-粉体塗装ライン、  
<http://www.miyakoshikogei.co.jp/eigyou/index.html>(参照 2010-03-08) .

## 6. トラブル対応事例や正しい観測のための留意点

### 6.1 設置や観測時のトラブル発生に対応事例収集

挿入式孔内傾斜計設置や観測時に発生するトラブルについては、各社・各人では今までに経験に基づいて多くのノウハウが蓄積されていると思われる。しかし、それらのトラブル発生事例や対応方法については中村<sup>1)</sup>で示されたものがあるが、ノウハウが体系的にまとめられた資料は少ないのが実情である。

そこで、孔内傾斜計設置や観測時のトラブル発生時の対応事例についてアンケート調査を行い、トラブル発生事例や対応方法について取りまとめを行い、マニュアル(案)や書籍マニュアルの作成のための基礎資料とした。アンケートの対象は共同研究各社の孔内傾斜計計測に関わる実務者を対象とし、質問内容は以下の5つである。続いてアンケート結果の一覧と分析を行った。

#### アンケートの質問内容

- Q 1 . ガイド管設置後にどのようなチェックをしていますか。
- Q 2 . 孔内傾斜計が入らなくなった場合は、どのように対処していますか
- Q 3 . プローブやケーブルが故障するなどして、計測器を途中で変更する場合、データ整理をどのようにしていますか。
- Q 4 . 挿入式孔内傾斜計観測孔で地下水位を測定したことがありますか(有の場合は、その場合の方法や条件)
- Q 5 . 何かご意見がありましたら記入願います。

#### (1) ガイド管設置後のチェック方法

ガイド管設置時に発生する可能性のあるトラブルとして、充填材の漏出による管内閉塞、ガイド管継ぎ手部の段差発生、ガイド管の挫屈や側圧による変形、充填不良などがあげられる。

いずれも設置後には対処が困難であるため、設置作業を慎重行った上で、ガイド管設置後にプローブなどによる挿入確認やカメラなどによる継ぎ手の状態や充填材の管内漏出の確認が行われている。また、観測孔の良否を確認するために実際に測定して固有誤差などのチェックを行う、ガイド管のねじれに対しては孔口部の A0 方向や孔ねじれの測定などを行い対処するとの意見もあった。



|   |   |
|---|---|
| Q1. ガイド管設置後にどのようなチェックをしていますか。   | 挿入確認  |
|   | ・ダミープローブで挿入確認(ジョイント部での引っ掛かりがないかなど)。   |
|   | ・孔内傾斜計で、ガイドパイプ設置深度まで挿入確認。<br>(期間を置いて再測定する場合も挿入確認する)   |
|   | 孔内観察など  |
|   | ・設置直後に手動水位計を挿入し、孔の閉塞、グラウト材の漏れ(色がつく)の有無を確認する。  |
|   | ・ガイド管内を洗浄し、洗浄水の状況でグラウトの漏れなどを確認する。<br>地下水が低い場合には、パイプ内外が連通しないか。                               |
|   | ・孔内カメラで、ガイド管内部のジョイント部の段差やグラウトの漏れなどを細部を観察する。S字状に波打つ場所がジョイント部と一致しているなど、後々の観測結果の考察時に役に立つことがある。 |
|   | A0方向の確認   |
|   | ・孔口のA0方向をクリノコンパスで測定する(浅尺の場合)。   |
|   | ・孔口のA0方向を測量で測定する。   |
|   | ・孔内カメラの先に方位磁石を取り付けて、1~2mごとにA0方向の測定を行う(深尺の場合)。最大で30°以上ねじれたことがある。不具合発生時に測定する事例もある。            |
|   | ・村田式孔曲がり測定器(を改造したもの)で、ねじれを計測  |
|   | 観測孔の良否の確認   |
|   | ・実際に孔内傾斜計の測定を行って値を確認(固有誤差、その標準偏差)。  |
|   | ・初期値を2~3回測って、固有誤差(測定誤差)のパラツキにより孔内状態の良否を判断。誤差が大きい深度がある場合は、孔内カメラ観察実施(實際上原因特定は無理)。             |
|   | ・孔口コンクリートがぐらつかないかチェックする(軽くける)。  |
|   | その他確認事項   |
|   | ・グラウト後、3日以上養生する。  |
|   | ・ベースコンクリートの標高、およびガイドパイプの立ち上がり高さ   |
|   | 傾斜計設置直後にプローブが入らなかった事例   |
| ・グラウト材がガイドパイプのジョイントより進入し、孔底に沈殿・固結。<br>観測目的の深度を満たしていないため再掘削した事例あり。                 |   |
| ・ガイドパイプジョイント部で座屈した。何れの場合も深度が深い場合は、要注意。特に地下水位が高い場合は、あらかじめガイドパイプ内に清水を注入しておく等の対応が必要。 |   |

## (2) プローブ挿入不能時の対処方法

ガイド管は、地すべりの変動などによりガイド管が変形した場合プローブが挿入不能になるため、その後の計測ができなくなる。地すべり観測で多く使用される径が50mm程度のガイド管の場合、2~4cmのせん断変位が発生するとプローブが挿入不能になると言われている。プローブが挿入不能になった場合の対処として、予防措置、観測目的に基づいた継続観測の検討、および延命措置の3つに分けられる。

予防措置は、あらかじめ孔内伸縮計や測桿<sup>そっかん</sup>などでプローブ挿入不能時に変位置計測や変位深度の把握に備える方法である。

継続観測検討については、孔内傾斜計の観測目的が対策設計に必要なすべり面の把握の場合では特に挿入式孔内傾斜計の継続観測の必要はないが、長期のモニタリングが目的の場合は、延命措置を検討する必要がある。

延命措置は、別孔掘り直しや設置式孔内傾斜計への変更、孔内伸縮計の設置などの観測が考えられるが、ガイド管挿入不能時に延命措置を行うことは、検討期間(変位速度が大きい場合はガイド管が大きく変形するため、ガイド管を使用した延命措置は不可となる)や費用の面から困難であることが多い。計測開始時に長期観測の必要性を検討した上で、予防措置を取るか、延命措置に備えて準備をすることが理想である。

|   |  |
|---|--|
| <b>Q2. 孔内傾斜計が入らなくなった場合は、どのように対処していますか</b> | <b>機構確認</b><br>・挿入不能になった理由を考え、入らなくなった深度が推定すべり面か確認し、地すべり機構を再検討。<br>・観測目的を果たしてデータが必要ない場合は終了  |
|   | <b>延命措置の手法</b><br>・機構解析や維持管理上、重要な観測孔の場合は別孔を掘り直す。地すべり変動に起因する場合は原則的に掘り直す。<br>・変動量が大きい場合、変動深度が複数あった場合は掘り直してパイプ歪計を設置。<br>・把握されたすべり面の深度に、(若干短い)設置式孔内傾斜計を何器か取り付けて、観測を継続する。挿入式が渋くなった段階で設置式への変更を提案した方が良い(入らなくなってからでは遅い)。<br>・孔内伸縮計をガイド管の中に入れてグラウトし、観測を継続する(すべり面が確認されており、変位量のみを計測したい場合)。長期間の観測が可能。ただし、これまであまり良いデータが得られていない事例が多い。<br>・ガイドパイプにVP20塩ビ管に歪ゲージをつけて挿入・グラウトし、パイプ歪計観測をする。<br>・プローブを90°回転してB0方向に挿入し、観測を試みる。管の曲がり具合によってはB方向で入ることがある。<br>・短いプローブを挿入し、観測を継続する(一昔前はあった)。<br>・すべり面深度より上の区間を測定し、他のすべり面がないかを確認する |
|   | <b>予防措置の手法</b><br>・設置時に、あらかじめガイド管の孔底(外側)に孔内伸縮計を取り付けて設置し、測定が出来なくなった場合に備える。<br>・あらかじめガイド管の外側に歪ゲージを貼付した事例もある。   |
|   | <b>変形状況の確認</b><br>・孔内カメラで曲り方や変位方向、ジョイント部を確認し、原因を推定する(原因の特定は困難)。<br>・鉄筋棒(D22で50cm位が適当)・測管などをひもを取り付けて挿入して曲がった深度、およびそれより下方の深度の変動状況を確認する。  |
|   | <b>その他</b><br>・挿入式傾斜計が抜けなくなった場合、設置式傾斜計として同深度地点を継続観測した例があり。<br>・石などの異物を入れられて、挿入不能になった事例がある。対処は、治具を用いて取り除いたり、浅い場合(3m以内)は人力掘削で管を置き換え。<br>・測定不能の原因。ガイドパイプの孔曲がり 小さい変位で入らない場合は、ジョイントのリベットで当たっていることが多い グラウトの管内への付着<br>・挿入不能になったら、細め鉄筋棒(D22_50cmぐらいが適当)にヒモをつけて挿入。数日するとこの棒もあがらなくなる。深度を変えて仕掛けるとどの深度で曲がったかわかる。孔内傾斜計の測定可能期間から仕掛けて、測定時に孔から出して測定が終わったら棒をもとに戻す、使用法もある   |

(3) 故障などで計測器を途中で変更する場合のデータ整理の方法

観測期間中に、プローブやケーブルが故障し、修理や交換を行わなければならないことがある。プローブの修理は、センサーの較正・交換、車輪やばねなどの消耗品の交換、コネクタ部の接触不良などがあげられる。ケーブルの修理は、コネクタの接触不良が多いとのことである。

センサーの修理は、傾斜検知センサ部の変換係数や温度特性が変わるため、別の計測器への変更と同じ位置づけである。この場合、修理前と値が合わなくなるのは当然のことなので、盛り替えや初期値の取り直しが原則である。盛り替え等を行わなかった場合は、累積変位図が孔曲がり図と類似するグラフになることが多い。

車輪やバネの交換は、プローブの姿勢に影響する機械的な部分の修理である。盛り替え等を行わなかった場合は、プローブの姿勢の違いが観測深度全体に影響するので、累積変位図は0点ドリフトが発生したような傾倒したグラフになることが多い。

ケーブルの交換は、古いケーブルが経年変化などで伸びていた場合は測定深度が変わることになる。この場合、盛り替え等を行わなかった場合は、累積変位図は孔曲がり図と類似したグラフになることが多い。なお、プローブやケーブル接触不良の修理は測定値には直接影響しないので、盛り替え等は不要と考えられる。

修理前とグラフの形状が概ね同じ場合もあるが、それは偶然一致したと考えるべきである。したがって、マニュアル(案)などでは、プローブやケーブルの修理・交換を行った場合は、原則初期値を取り直すか盛り替えを行うこととした(接触不良は除く)。長期観測の場合、盛り替え作業を複数回行うとデータ整理が煩雑<sup>はんざつ</sup>になるので、初期値を取り直すことを推奨とした。

|   |   |
|---|---|
| Q3. プローブやケーブルが故障するなどして、計測器を途中で変更する場合、データ整理をどのようにしていますか。 | 初期値はそのまま  |
|   | ・基本的に、初期値はそのままデータ整理をする。グラフの見た目が変わる場合は新しい計器のグラフも別途作成する。  |
|   | ・だぶらせて測定できる場合は相関をチェックする。  |
|   | 盛り替える   |
|   | ・だぶらせて測定が可能で、かつ古い側の計器が盛り替え(シフト)可能な測定値の場合、観測値の盛り替えを行って今までの観測データに累積させる。                               |
|   | ・計器を交換すると傾向が急変することが多いので盛り替え。  |
|   | ・盛り替えた場合「交換後の計器の生データは正しくないのか」、という議論が出る。「同じ孔を別の計器で測定したときにこの程度はばらつきが出る」という受発注者間のコンセンサスを形成することが重要と考える。 |
|   | 初期値を変更する  |
|   | ・だぶらせて測定できない場合、新しい測定器を初期値とし、その旨をグラフに記載する。この場合も受発注者間のコンセンサスは必要。                                      |
|   | ・基本的に変更するが、従前の初期値でも不自然でなければ変更しない。   |
| 故障の事例   |   |
| ・プローブ車輪の交換、ケーブルコネクタ断線、プローブ異常(水が入る)                      |   |

#### (4) 挿入式孔内傾斜計観測孔での地下水位の測定

地中変位計測の代表的な計器として、パイプ歪計と挿入式孔内傾斜計が挙げられる。パイプ歪計は塩ビ管に穴を空けて孔内水位も計れるので、経済性を重視する場合は採用例が多い。挿入式孔内傾斜計は、原則セメント系充填材で間詰めするため水位観測孔は別途設けなければならないが、一部地域では経済性の面から1孔で地下水位も計れるようにストレーナー加工を施したガイド管を豆砂利詰めで設置する方法が標準化されている。

アンケートの事例では、地下水位の測定を行うためにガイド管に穴を開けて砂詰めで充填する併用孔は、変位速度が大きい場合は適用可能、変位が小さい場合は測定精度が悪い、水位の精度も悪い(多段水位の場合混在した水位になる)などの意見があった。

本共同研究では、微小な変位も精度良く計測できるような手法を標準化することを目的としているので、設置はセメント系充填材として水位観測孔は別途設けることを原則とした。

#### (5) その他自由記入

自由記入では、マニュアル(案)や書籍マニュアルに反映させた方が良い項目、メーカーの機器開発の際に考慮する項目が複数寄せられた。

以上のアンケート結果に基づき、マニュアル(案)に反映した項目を抜粋して図6.1に示す。

|  |  |   |
|--|--|---|
| Q4. 孔内傾斜計観測孔で地下水位を測定したことがありますか(有の場合は、その場合の方法や条件) | <p>実施事例あり、条件つきで実施</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フィルターを巻いた穴あきガイド管(10cm間隔千鳥)を、砂や豆ジャリで充填したという事例を聞いたことはある。動いており、深度も深くなく、かつ地下水位の分布が複雑でない地すべりであるのなら適用できなくはないとのこと。</li> <li>・併用する場合、地質と水位状況を確認した上で実施を判断すべき。</li> <li>・地すべり活動によりすべり面の挙動が明瞭なものなら、細かな精度は不要なので、砂や砂利でも十分。</li> <li>・活発に滑動中の地すべりで、移動方向を確定するために孔内傾斜計+パイプ歪計+縦型伸縮計+地下水観測孔として、塩ビの代わりにアルミケーシングをストレーナー加工した特注品。削孔径は 66mm、深度30~40m。観測結果は、滑動中であつたため孔内傾斜計、パイプ歪計ともに明瞭な累積変動を同深度で確認。縦型伸縮計も引張傾向の変動。ただし地下水位は漏水のため、正確な値は取れていない。</li> <li>・山口県ではフィルター巻き穴あきガイド管による地下水位観測併用が標準仕様。この観測方法の場合、観測期間を通じて孔全体が山側、谷側に変動することがあり、微小なデータの判定には向いていない。</li> <li>・鳥取県では地域によっては採用されている</li> <li>・実施したが、変動グラフの誤差が大きいため深度別変動量で整理して表示。</li> <li>・変動が顕著だったため、すべり面特定(挿入困難)後は、地下水位観測孔として利用できた。あらかじめ垂直伸縮計ワイヤーを設置していたため、垂直伸縮計と地下水位の継続観測をおこなった。</li> <li>・パイプ歪計のようにストレーナー加工とフィルタを駆使して実施したことがあるが、データはよくなかった。特に土砂状の風化岩層内では、地山孔壁が部分的に欠損することでデータにぶらつきが出た。</li> </ul> |   |
|  | <p>実施事例なし、反対意見</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・正確な地中変位、正しい地下水位を測定する必要がある場合は適用すべきでない。また、変位が小さい場合や深度が深い場合も同様と考えられる</li> <li>・孔内傾斜計は微細な変位も捉えてしまうので、孔内傾斜計ガイド管設置孔はきちんとグラウトすべき。地下水位を観測する場合は別孔を削孔。</li> </ul>   |   |
|  | <p>測定事例なし</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・以前実施したがデータが良くないので今はグラウトのみ。</li> </ul>  |   |
|  | <p>その他意見</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・変動量が大きくない場合を除いては、適用を見合わせるべき。誤差が大きいため、軽微な変動量、詳細な変動深度を議論するのは難しい。</li> <li>・水位観測孔と併用する場合、ガイド管周囲が砂詰めとなるため計測精度が劣る。変位量の小さい地すべりには向かないが、変位量の大きいすべりで計測精度の低下を了解した上であれば、適用も可能と思われる(長野県での事例ありと聞いた)。</li> </ul>  |   |
|  | Q5. その他自由記入  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・測定値の確認は現地で行っているため、前回までと異なるデータが得られた場合、必ず再測定を実施。これにより、人的ミスを防止を図る。</li> <li>・アルミガイド管が腐食して車輪が飛び出しジャミングすることがある。対処法や回収道具はすでにある。100mからの回収実績あり。</li> <li>・アンカー等の工事を行っている法面や背面の用地で測定する場合、観測孔を破損されることがある。近接したアンカーを打設している時は、ダミーや孔内カメラで確認してから測定する方がよい。</li> </ul> |
|  |  | <p>孔内傾斜計計測結果の適応性について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・移動量0.1mmで扱う意味、扱えるものなのか。</li> <li>・移動方向についても高い精度で議論される例が多いがどうか。</li> <li>・大深度(70~80m以上)の場合はケーブルの自重が非常に大きく、この荷重を保持できる孔口部の構造や測定用の補助具を検討しておくべき。</li> </ul>   |
|  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・保安上、孔口を施錠した方がよいケースもある(石詰め対策)。</li> <li>・落石により孔口の変形が想定される場所では、保護板や鉄筋で保護する事例がある。</li> <li>・設置時の仕上がり状態により、観測グラフの状況が大きく異なる。セメントミルク等設置時の管理は特に重要と思われる。</li> </ul>   |
|  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・深度40mを超える観測孔の孔底付近で変位がでることが多くある。実際の原因は何か。防止策はあるのか。</li> <li>・長尺ではガイドパイプ自体が重いので、グラウトしないと孔底付近で変形することがある。</li> </ul>  |
|  |  | <p>以下の点の標準化が望まれる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・深度合わせと測定位置の標準化。ケーブルの目盛どおり行くと厳密には25cmずれる。最終測定で上の車輪が地表面になるように立上りをずらす必要有。</li> <li>・孔内傾斜計の検定、精度チェックの方法(メーカー別)</li> <li>・補正の考え方(社内でも統一が図られていない場合がある)。</li> </ul>  |
|  |  |   |
|  |  |   |

## 「暫定版マニュアル」に盛り込んだほうが良いと思われる項目

～事例収集から～

### ■はじめに

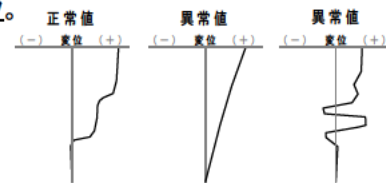
#### 1. 孔内傾斜計とは？

- ・孔内傾斜計は、キャリブレーション機能がない計測器である。
- 分かりやすいポンチ絵で説明
- ・不良データの発生には多くの要因がある(設置、計測機器、測定)。設置が特に重要。
- 共同研究にて、現地と構内で不良データ発生の実験を行っている。
- ・測定結果は、各区間の変位を累積して観測孔全体の変位として表示することが多い。
- これがさまざまな誤解を招く(ex.地表面の変位量を正確に示すのか？孔が全体に傾く？)。
- 計測データの適切な補正が必要。傾斜計データ整理の支援ソフトを開発中。
- ※「用語集」も忘れないように。



#### 2. 適用

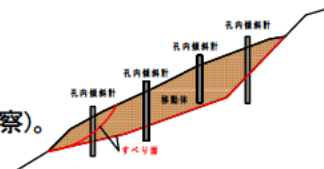
- ・大深度かつ微小な変位の地すべりにおいても、すべり面深度や変位方向を正確に把握すること。
- 本共同研究の目的
- ・そのためには、mm単位の微小な地中変位を正しく計る必要がある。何が必要か。
  - ①設置:ガイドパイプ正しく設置する。大深度の場合は細心の注意を払う。
  - ②測定:計測機器の確認、正しい測定、測定値の現場でのチェック。
  - ③整理:計測データの適切な補正。
  - ④解析:計測結果からどこをすべり面とするか。
- 本暫定版マニュアルでは「これだけは守って欲しい」内容を記載。



### ■本編に追加

#### Q1. ガイドパイプ設置後には？

- ・設置直後には挿入確認。
- ・A0方向を測定。
- ・初期値を測定して固有誤差のパラッキで孔内状態の良否を確認。
- ・やってはいけないこと(ex.水の注入)、実施することが望ましいこと(カメラ観察)。



#### Q2. 孔内傾斜計が入らなくなった場合の対処

- ・すべり面かどうかを確認し、地すべり機構を再検討。
- ・観測の目的は果たしたか？
- ・代表的な変状確認方法(ex.カメラ観察)、延命措置(ex.設置式孔内傾斜計)の方法を紹介。

Q3. 計測器変更時のデータ整理方法は、本編マニュアルで事例を紹介(どの方法も正解)

Q4. 地下水位観測併用は、本編マニュアルで事例を紹介(共同研究の目的と整合しない)。

### ■巻末

#### ・深度別の留意点は？

- ・～30m(浅い深度) ……パイプ歪計でも可能、トラブル発生時でも対応しやすい
- ・30～80m(中深度)
- ・80m～(大深度) ……この深度になると傾斜計しかない。失敗リスクや苦労が増える。

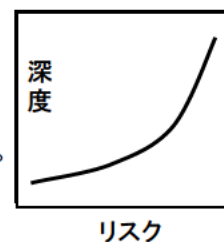


図 6.1 アンケート結果をマニュアル(案)に反映した項目

## 6.2 挿入式孔内傾斜計観測の熟練者へのアンケート

### (1) 目的

挿入式孔内傾斜計の設置や観測に関する基本的な事項は、メーカーの取り扱い説明書に記載されているが、現場経験に基づくノウハウをまとめた技術マニュアルのようなものは観測業者の社内に留まるものでオーソライズされたものはない。

本共同研究で作成する書籍版マニュアルは、現場の実務担当者を対象とした技術マニュアルのような位置づけにするため、豊富な経験を有する挿入式孔内傾斜計観測の熟練者からの意見を重要な情報と考えて、アンケート調査を行った。

### (2) アンケート方法

アンケートの対象は、挿入式孔内傾斜計の設置・観測および取りまとめを自ら行っている、建設コンサルタント会社や計測器メーカーに所属する計 63 名の熟練者である。

アンケートの形式は、孔内傾斜計の設置や観測について、良好なデータを取得するために心がけている事項についての項目選択ないし記述形式とし、アンケートの内容は大きく分けると孔内傾斜計全般、観測孔の設置、測定器の取り扱い・観測、その他の 4 つに大別され、細項目をあわせると計 24 の質問とした。アンケートフォームを表 6.1~2 に示す。

表 6.1 孔内傾斜計熟練者へのアンケートフォーム

孔内傾斜計観測の熟練者へのアンケート

会社名: \_\_\_\_\_ 所属: \_\_\_\_\_ 氏名: \_\_\_\_\_

解答欄の中から選んでください(複数回答可)。回答できない質問は書かなくても結構です。

|        | 質問   | 回答欄(複数回答可)  |
|--------|--|---|
| 全般     | Q1.傾斜計観測のどの部分まで担当していますか。                             | a.現地測定 b.データ整理とチェック c.報告書の部分作成 d.すべり面判定や解析まで一連  |
|        | Q2.傾斜計の測定は何名で行っていますか。                                | a.1人 b.2人 c.3人以上  |
|        | Q3.Q2で複数方はどのような場合ですか。また、その時の役割分担を教えてください(dに記載)。      | a.測定深度が深い場合( m以上) b.測定箇所が遠いあるいは急な場合 c.積雪がある場合 d.役割分担( )                                     |
|        | Q4.傾斜計観測のノウハウはどのようにして身に付けましたか。                       | a先輩から習った b取り扱い説明書の通り c自己流 dその他( )   |
|        | Q5.傾斜計の正しい取り扱いやデータ整理の動画・マニュアルがあった方があった方がよいですか。       | a.本を出版ほしい b.ホームページなどで無料で見たい。 c.自己流で良いデータが取れるので必要ない  |
|        | Q6.傾斜計の測定器に関して要望がありましたら記載下さい。                        | a.衝撃に強いものがほしい b.ケーブルの巻き取り装置があれば良い c.全体に軽い方がいい d.その他( )                                      |
| 観測孔の設置 | Q7.ボーリング機長や業務担当者から、ボーリング時の削孔状況やガイドパイプ設置時の状況を聞いていますか。 | a.あり b.なし c.その他( )  |
|        | Q8.Q7でありの場合、どのような内容ですか。                              | ボーリング時<br>a.空洞 b.逸水 c.孔壁崩壊 d.すべり面の可能性あり<br>e.その他( )<br>設置時<br>f.グラウト漏れ g.ジオテキ使用<br>h.その他( ) |
|        | Q9.Q7でありの場合、どのような項目を観測やデータ整理時に生かしていますか。              | a.測定時に値が落ち着かない区間と比較 b.グラフがS字曲がりの区間と比較 c.せん断変位が累積する区間と比較<br>d.その他( )                         |
|        | Q10.初期値測定時に、地上部のガイドパイプ立上り部分はどのようになっていますか。            | a.ボーリング機長が長めに切っている a.機長が孔口付近で切っている c.業務担当が調整して切っている d.その他( )                                |
|        | Q11.Q10でaの場合、ガイドパイプが地上に出ている長さをどのように調整していますか。         | a.測定作業がしやすい高さに切断(例 50cm)<br>b.ジョイント位置を考慮して切断(プローブの車輪がジョイントをまたがないように)<br>c.そのまま測定            |
|        | Q12.ガイドパイプにグラウトがされた時期を知らされていますか。                     | a.はい b.いいえ c.自分で設置を見ているので知っている  |
|        | Q13.Q12でa,cの場合、グラウト後から何日置いていますか。                     | a.3日養生する b.1週間養生する c.特に決めていなく、実際に何回か測定し値が落ち着いた場合に初期値とする d.その他( )                            |
|        | Q14.その他観測孔の設置に関して、良い観測結果を得るために気づいている点がありましたら記載下さい。   | a.( )<br>記載例:孔口部の切断時はできるだけ水平に切ってバリをきれいに落とす  |

表 6.2 孔内傾斜計熟練者へのアンケートフォーム

| 質問                  |  | 回答欄(複数回答可)  |
|---------------------|--|---|
| 測定器の<br>取り扱い・<br>観測 | Q15.測定を行う前の計器のチェック項目について、具体的に何を行っているか教えてください。                | a.プローブのネジの緩み b.車輪周辺のがたつき<br>c.ケーブルの破損 d.Oリングの破損 e.計器を繋いで表示が正常か確認<br>f.その他( )  |
|                     | Q16.電源(バッテリー)の残量確認・確保はどのようにしていますか。                           | a.必ず測定前にフル充電 b.深い測定孔や冬場は予備を用意 c.テスターでチェック d.計器の電源ランプを確認する d.その他( )  |
|                     | Q17.プローブを孔底に入れた後は何をしていますか(温度なじみや計器のウォームアップ)。                 | a.ロガーの電源を入れる b.何分か待つ( )分 c.値を見て落ち着いたら測定する d.2孔目以降はすぐに測定   |
|                     | Q18.良い観測結果を得るために心がけていることを教えてください【挿入時】                        | a.ゆっくりと降ろす b.早く降ろす<br>c.その他( )  |
|                     | Q19.良い観測結果を得るために心がけていることを教えてください【測定時】                        | a.前回のデータシートを用意し値が違わないか確認(特に出だしの数回)<br>b.深度合わせの基準を統一する(マーカの中央、水糸を張る等)<br>c.深度を合わせたら値が落ち着いたことを確認しデータを収録<br>d.ケーブルを上げすぎた場合はある程度戻してから再度上げる<br>e.ケーブルがねじれないようにたらいを使ったりハの字巻きを行う<br>f.全体に一定のリズムで行う<br>g.その他( ) |
|                     | Q20.良い観測結果を得るために心がけていることを教えてください【プローブ反転時】                    | a.反転時は車輪を押さえながら慎重に引き抜く b.気にせず一気に引き抜く c.反転後は5分なじませる<br>d.すぐにA180方向の測定する  |
|                     | Q21.良い観測結果を得るために心がけていることを教えてください【測定後】                        | a.初期値と比較してみる b.固有誤差が大きい場合は再測定を行う c.測定器を拭くなどの点検を行う d.車輪などの可動部にオイルを塗る<br>e.その他( )   |
|                     | Q22.その他、測定器の取り扱いや観測に関して、良い観測結果を得るために心がけている点がありましたら記載下さい。     | a.( )<br>記載例: イスや殺虫剤、蚊取り線香を用意して観測に集中する  |
| その他                 | Q23.ガイドパイプ地表部の立上り部の浮上りや沈み込みを見たことはありますか?                      | a.浮上りあり b.沈み込みあり c.無い   |
|                     | Q24.Q23でありの場合、地すべりのどの位置で見ますか。また、差し支えない場合地すべり名を教えてください(dに記載)。 | a.地すべり頭部 b.地すべり中央 c.地すべり末端<br>d.地すべり名( )  |



### (3) アンケート結果

アンケートの結果を図6.2~7に示す。アンケートの項目は多岐にわたるため、重要と思われる事項について以下に抜粋する。本アンケート結果は、その後の実験計画や書籍版マニュアルの内容に反映させたほか、共同研究者の機器改良の基礎資料として使用することとした。

#### アンケート結果に基づく重要事項

##### 孔内傾斜計全般

- ・測定作業は1~2人で行うことが多い。測定作業を2人以上で行うケースは、測定箇所が遠い場合、あるいは深度が深い(平均値59m以上)場合であった。
- ・挿入式孔内傾斜計計測のノウハウは、会社等の先輩から習うケースがほとんどであった。マニュアルはHPでの無料公開希望の意見が多かった。
- ・計測器に対する要望は、全体に軽くて持ち運びが容易なもの、あるいは衝撃に強いものとの意見が多い。

##### 観測孔の設置

- ・ボーリング掘進作業中の情報は、多くの熟練者が機長から聞き取りを行っており、その後のガイド管設置や観測結果の解釈などに有効に利用していた。
- ・孔口の立上り部は、測定作業を考慮して決まった高さに合わせて切断することが多い。ただし、ガイド管の継ぎ目の位置を考慮して切断している人は少なかった。
- ・充填材の充填を行った時期はほとんどの熟練者が把握しており、初期値を計測するまでの充填材の養生期間は7日が多かった。
- ・良好な観測孔の設置のためには、孔口部を水平に切断すること、切断時のバリをヤスリなどできれいに取ること、ガイド管設置時にパッカーを使用して確実に充填作業を行うことなどの意見が多かった。

##### 測定器の取り扱い・観測

- ・測定前には、プローブの車輪のガタ・仮計測による指示値の妥当性の確認を多くの熟練者が実施していた。
- ・測定前のプローブの孔底保持を行う時間は、最も多い時間が30分以上であり、平均では21分であった。
- ・測定作業の留意点は、表示値が落ち着いた後にデータを取得、ケーブルマーカによる深度あわせを正確に行う、プローブを引き上げすぎた場合には一旦前の深度まで戻す、プローブの反転作業は車輪を押さえて慎重に行うとの意見が多かった。
- ・良好な計測のためには、蚊取り線香や椅子の用意など作業環境を整えるとの意見が多かった。

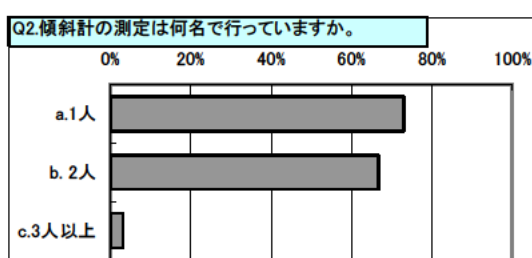
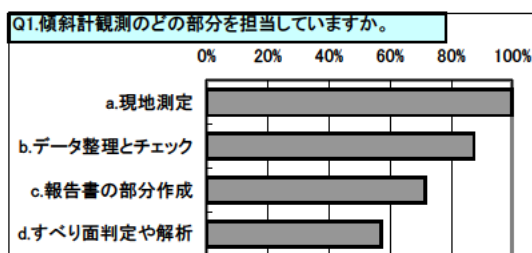
##### その他

- ・現場でのガイド管の浮上り現象は、半数以上の熟練者が見た経験があり、その箇所は地すべり地の頭部がほとんどであった。

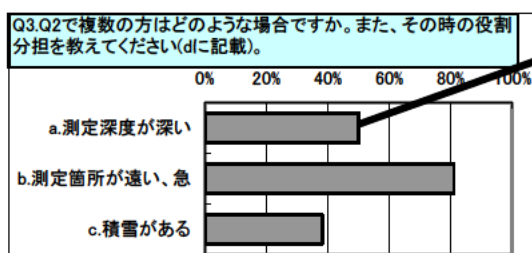
## 孔内傾斜計観測の熟練者へのアンケート集計結果

### I 全般

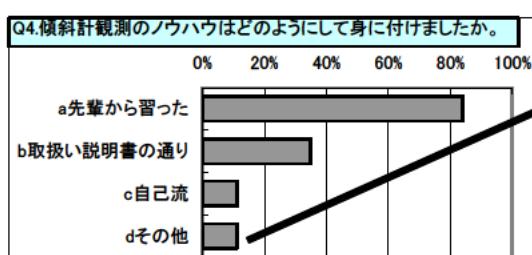
※グラフは複数回答式のため総数からの割合で表示  
アンケートの総回答数は63名分



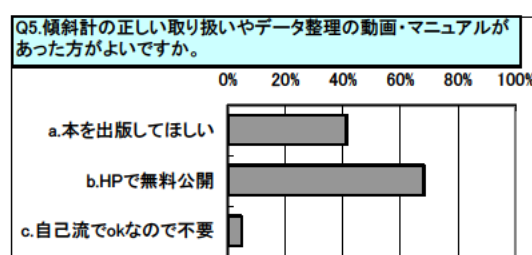
■意見  
1)安全面  
・安全面で問題のある現場は2名で、特に問題がない現場は1名  
・携帯不感地の山中では増員する。  
・1人作業禁止の場合は2人。  
2)作業  
・大深度の場合はさらに増員する。



■a.のメーター数  
・30m以上 × 4    ・40m以上  
・50m以上 × 3    ・100m以上 × 4    平均59m  
■d.役割分担  
・ケーブル引き上げ担当、記録担当 × 18  
・荷物の運搬分担 × 4  
・測定地点までの通路刈り払い作業など  
・測定地点までの積雪時の除雪および道付け係  
・運搬と測定  
・測定者(引き上げ&記録)とケーブルのねじれを解消する人(ケーブルの上げ下ろし、特殊な環境)

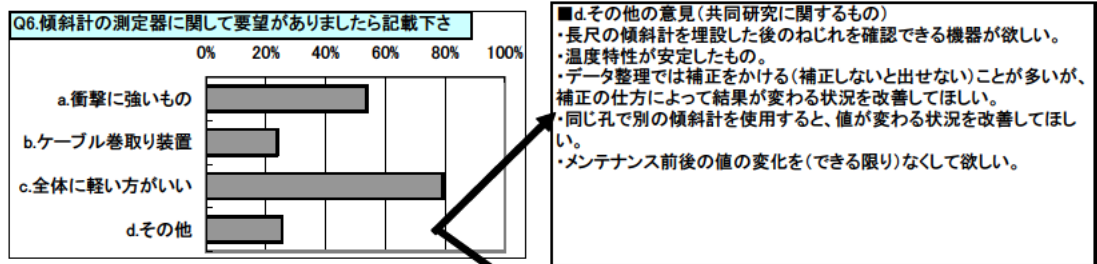


■d.その他の意見  
・元請業者の社員による技術指導 × 3  
・自分でルール作りをした(27~28年前に応用と)。  
・創意工夫  
・会社独自の傾斜計マニュアルがある(応用)。  
・会社独自のタスクノートがある(エイト)。  
・会社独自の傾斜計測定マニュアルがある(工営)。



■その他の意見  
・メーカーが取り扱い方法として可能な限り公開すべき。  
・解説と実演による教育用の動画などが良い。

図 6.2 孔内傾斜計熟練者へのアンケート結果①



**■d.その他の意見(機器改良に関するもの)**

1)プローブ関係

- ・精度の良い計測器では、衝撃に強いものは不可能では(精度を追求するか衝撃に強いものを選択するか)。
- ・収録部は少々雨に耐えうるもの ×3
- ・互換性のあるセンサーを開発してほしい。

2)データロガー関係

- ・完全防水仕様\*コネクタ接続部含む
- ・寒冷猛暑に対応した液晶画面。既存の液晶では野外での使用に向いていない。
- ・ハンディターミナルの液晶濃度調整が欲しい
- ・液晶画面が太陽光などで反射しないようにしてほしい
- ・観測データの保管をメモリーカードにして、編集しやすくしてほしい。残したいデータと消したいデータの読み書きが出来るものにして欲しい。
- ・メモリーの残量が少ない時は、計測前に警告を表示してほしい。現在は計測が終わった後にメモリーが足りませんと表示されるため、再度計りなおしをすることがある。
- ・測定時に、異常値(固有誤差の平均値からの差)や変動量をリアルタイム表示。

3)ケーブル関係

- ・ケーブルを長期間使用すると被覆と中のケーブルにずれが発生し深度が狂う。可能なら巻き取り装置をつけたアーマードケーブルの方が扱いやすい
- ・ケーブルが変形しない、キズが付きにくい、軽い、 細い×2

4)その他

- ・計測器を全体にコンパクトに。 ×2
- ・1/100mmの精度はいらないので、その分測定器の価格を下げて欲しい。
- ・測定器とPCの接続は汎用性(USBなど)あるものにして欲しい。

**II 観測孔の設置**

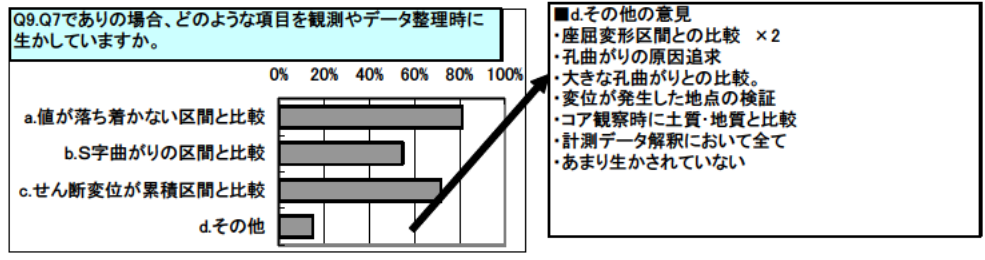
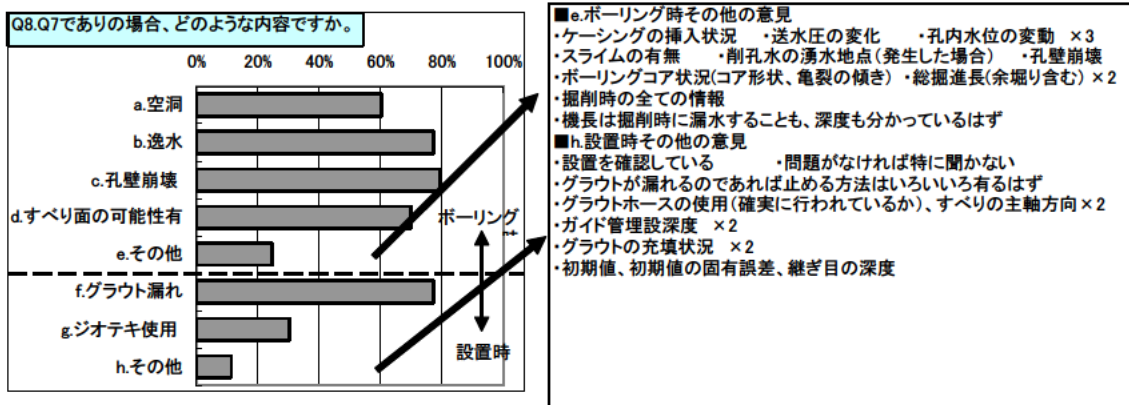
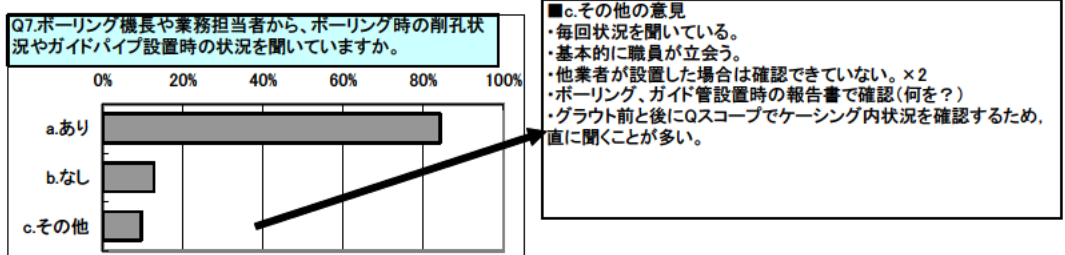
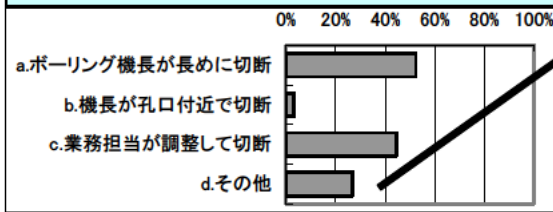


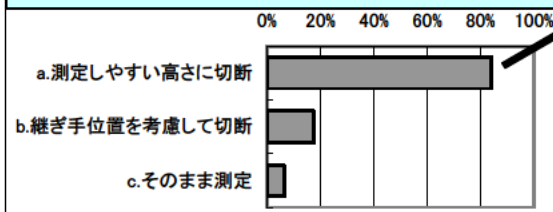
図 6.3 孔内傾斜計熟練者へのアンケート結果②

Q10.初期値測定時に、地上部のガイドパイプ立上り部分はどうなっていますか。



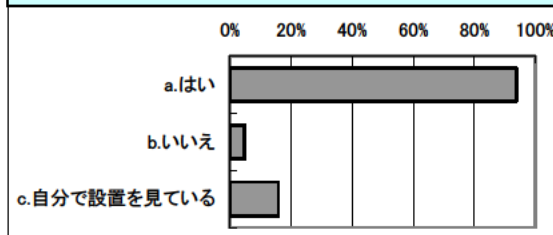
■d.その他の意見  
 ・現場の土地利用条件によって異なるので自分で加工、切断。 ×2  
 ・初期値測定前に自分で調整して切断 ×3  
 ・作業指示書に立ち上がりを記載し機長が切断 ×8  
 ・GL+0.5～1.0mで調整 ×2  
 ・基本的に切断しない。

Q11.ガイドパイプが地上に出ている長さをどのように調整していますか。



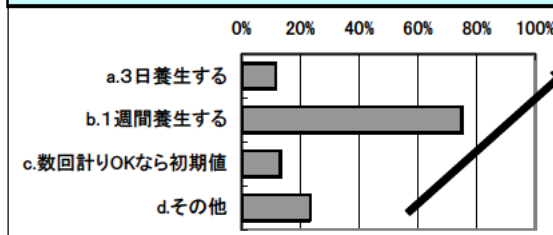
■a.切断する長さ  
 ・ホルダーを考慮して45cm(95cm)に切っている(測定が0.5m毎になるように) ×2  
 ・立ち上がりが0.5,または1.0mで切る。  
 ・ガイド管埋設時に測定深度に継ぎ手が来ないように設置を要望。  
 ■その他意見  
 ・豪雪地帯などでは、ホルダーが十分にセットできる最低限の長さとする。出来れば保護弁などを利用して地下に設置するのが良い。  
 ・その時の状況に応じて地上に出ている長さを調整

Q12.ガイドパイプにグラウトがされた時期を知らされていますか。



■その他意見  
 ・グラウトしていない。四国では基本的に砂詰め水位観測孔併用孔が多い。

Q13.Q12でa,cの場合、グラウト後から何日置いていますか。



■d.その他の意見  
 1)日数  
 ・夏なら1日、冬なら5日  
 ・現場の進捗状況にあわせるが、最短1日以上はあける。  
 ・2日～1週間。 ・指定がない場合は一週間以上置く ・最低でも1週間。  
 ・状況が許せば1週間以上放置 ・1週間放置を目安とし、その後の計測で値が落ち着いたときを初期値とする。 ×3  
 ・7～10日を目処(天候の状況に応じて) ・10日前後  
 ・10～14日養生する ×2 ・2週間養生する ×2 **平均7.0日**  
 2)条件  
 ・グラウト配合により変化する  
 ・業務の工期、緊急性で変更する。 ×4  
 ・地すべりの変位速度によって変わる(早い場合はできるだけ早く図る)。  
 ★養生期間は北ほど長く、南ほど短い傾向がある。

図 6.4 孔内傾斜計熟練者へのアンケート結果③

## 7. マニュアル等の作成

### 7.1 マニュアル(案)

挿入式孔内傾斜計の設置や観測を行っている実務者を対象に、本研究の実験過程で得られた重要な事項や、挿入式孔内傾斜計観測に関する基礎な事項を早期に公開する目的で「地すべり地における挿入式孔内傾斜計計測マニュアル(案)」の作成を行った。マニュアル(案)は、グラフの倒れこみを適正に補正する「解析支援ソフト」とともに、平成20年11月に土木研究所地すべりチームのホームページに公開した。

マニュアル(案)は、同一の目次から構成される「本編」と「資料編」から構成される(表7.1)。「本編」では挿入式孔内傾斜計観測の重要事項を述べており、「資料編」では利用者に分かりやすいように、詳細な作業方法やデータの検定方法など、本編を解説する内容を記載した。

「はじめに」では、マニュアル(案)作成にいたった背景の説明と、挿入式孔内傾斜計に関する類似用語の統一と解説を行った。

第1章では、正しい観測データを得るために最も重要な作業であるガイド管の設置作業、第2章では、良質なデータを取得するために必要な測定器の整備、および観測の際の機器の正しい取り扱いについて具体的に記載した。

第3章では、正しい測定を行った場合でも、計測器の特性によりグラフの倒れ込み現象が発生することがあるので、測定値の検定方法、および測定器の特性が原因で発生する観測グラフの倒れ込み現象について、補正が可能な条件(グラフの倒れ込みの量が、計測器メーカー基準以下である場合)と補正方法を解説した。倒れ込みが基準以下の場合には、「解析支援ソフト」を用いて補正が可能である。倒れ込みが基準を超える場合は本ソフトで補正するのではなく、再測定や計器の検定を推奨している。

最後の第4章では、得られたデータの報告書などへの記載方法を、例文も含めて紹介した。

また、平成20年11月に初版のマニュアル(案)を公開した後は、ユーザーから電子メールや電話などで表7.2に示したような意見が寄せられた。また、初版マニュアルにはその後の実験を通じて修正事項が生じたため、平成21年2月に表7.3に示した修正を施した上で改訂版を掲載した。

表7.1 「マニュアル(案) 平成20年11月」の目次

|                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| 全体の構成：「本編」・「資料編」             |                     |
| はじめに                         |                     |
| 第1章                          | 観測孔の設置              |
| 1-1                          | 設置孔の孔径              |
| 1-2                          | 掘削作業からの地盤情報の収集      |
| 1-3                          | 準備段階                |
| 1-4                          | ガイド管の取扱い            |
| 1-5                          | ガイド管の組立と設置          |
| 1-6                          | A0方向の測定             |
| 1-7                          | 充填材の養生              |
| 第2章                          | 観測                  |
| 2-1                          | 測定手順                |
| 2-2                          | 測定器のクイックチェック        |
| 2-3                          | 測定器の取扱いについて         |
| 第3章                          | 測定値の検定・補正           |
| 3-1                          | 判定の流れ               |
| 3-2                          | 測定値の検定、補正           |
| 第4章                          | 観測結果の報告方法           |
| 4-1                          | 0点補正の基本的原理          |
| 4-2                          | 0点補正の説明             |
| 4-3                          | 0点補正を行ったデータの記載方法の説明 |
| 付録：解析支援ソフト (Microsoft Excel) |                     |

なお、本マニュアル(案)は、書籍版マニュアルが出版された後はホームページでの公開は行わないこととした。

表7.2 マニュアル(案)公開後に寄せられた意見や質問および回答

|    | 意見や質問   | 回答と対応   |
|----|---|---|
| 1  | マニュアル(案)で最も重要な事項などのようなことでしょうか。  | 挿入式孔内傾斜計の観測結果に最も影響するのはガイド管の設置作業と考えています。地下水位が低い、あるいは亀裂が多く漏水する地盤ではパッカーの使用を推奨しています。  |
| 2  | パッカーはどこから購入できるのでしょうか。   | メーカーの連絡先をご紹介しました。マニュアル(案)には連絡先を記載していませんので、webで検索するか、あるいは土木研究所地すべりチームまでお問合せ下さい。  |
| 3  | 測定時にプローブを入れる方向、およびプローブの軸方向(A軸、B軸)の記載があった方が親切だと思います。                                 | メーカーの取り扱い説明書に記載していますが、マニュアル(案)説明書として使用するユーザーの方もいらっしゃると思いますので追記しました。   |
| 4  | プローブとガイド管の組合せについて、メーカーを変えるとA軸かB軸のどちらかの精度が悪くなると思うのですが。                               | プローブの車輪とガイド管の溝のかみ合わせの違いにより、いずれかの軸の精度が下がる可能性が考えられます。共同研究で検証して、マニュアルに反映させるようにします。   |
| 5  | 故障などでプローブやケーブルが変わった場合は盛り替えが必要でしょうか。反転させるので機械誤差ではなく、ケーブルの劣化による伸びの影響が大きいのではないでしょうか？   | 機器を変えた場合、両方の影響を受けると考えています。測定値はほとんど同じ場合とずれる場合がありますので、マニュアル(案)では初期値を取り直しこととし、盛り替えはデータ整理作業が煩雑になりますので、推奨しておりません。  |
| 6  | 土木情報サイトやメールマガジンで紹介したいが良いでしょうか。  | リンクを貼るのも含めてご自由にどうぞ。   |
| 7  | 補正ソフトは見た目以上に使いやすいと感じました。ソフトの0°側と180°側の別算のグラフは180°側の表示は逆ではないでしょうか。                   | どうもありがとうございます。補正ソフトは、ソフト開発過程において0°側と180°側のグラフを重ねるか、対称形にするかを比較し、対称形の方が分かりやすいと考えました。補正ソフトの説明書には、別算グラフの表示機能について追加説明を加えるようにいたします。<br>[追加]別算グラフにの重合と対称形の選択機能を追加しました。 |
| 8  | 解析支援ソフトの固有誤差の標準偏差が基準を超えるのですが。   | 固有誤差が3m間隔で変わっていないでしょうか。その場合は、ガイド管の継ぎ目とプローブの車輪が重なっていると考えられるので、マニュアル(案)にしたがって、ガイド管の残尺を調整します。  |
| 9  | 解析支援ソフトで表示される測定データは5回分ですが、もっと表示できないのですが。  | 解析支援ソフトは、測定データの検定や0点補正に機能を絞ったものです。お手持ちのソフトで、解析支援ソフトの機能で出力したデータにてグラフなどを作成頂くようお願いいたします。   |
| 10 | 施工不良・計器誤差の場合とすべり面にせん断力のみ働く場合・鉛直ブロック移動力も働く場合・それらの卓越性という区分けが必要ではないですか。                | 計器誤差の検定方法はマニュアル(案)に記載しています。施工不良や鉛直変位の影響は、現在行っている現場実験に基づいて、正常データとの見分け方をマニュアルに反映させるようにいたします。  |
| 11 | 応用地質製傾斜計からの出力は小数点以下4桁の数値ですが、マニュアルや支援ソフトでは4桁の整数です。支援ソフトに観測値を入力する際は、どのようにすれば良いのでしょうか。 | 出力値は使用するソフトにより種類あり、どちらも正しい表示です(例; 0.2624 or 2624)。マニュアルでは、固有誤差の表示などを見やすくするために後者で表現しています。前者の場合は1万倍して(=小数点以下の部分)支援ソフトに入力します。                                      |

表 7.2 マニュアル(案)の改訂版修正事項一覧表

| 目次           |              | ページ  | 修正内容                                |
|--------------|--------------|------|-------------------------------------|
|              |              | 全体   | 「第 部」を「第 章」に訂正                      |
| §1<br>本編     | はじめに         | 1-1  | 観測原理の図に補足説明を追加                      |
|              |              | 1-7  | ガイド管の一覧表を追加( 50mm程度のアルミ製)           |
|              |              | 1-8  | 充填材の混和材と膨張材の記載が混同していたため修正           |
|              |              | 1-9  | パッカーの鋼管矢板の追記、パッカー使用のイメージ図の修正        |
|              | 1. 観測孔の設置    | 1-14 | 6)A軸方向の調整 を追加                       |
|              |              | 1-15 | 充填材の配合の説明で、強度と粘度の記載を分けて修正           |
|              | 2. 観測        | 1-18 | OYOプローブのA0方向(上向き車輪)の図を追加            |
|              |              | 1-18 | OYOデータロガーの測定開始状態の表示画面を追加            |
|              |              | 1-19 | OYOプローブ反転時のA180方向(下向き車輪)の記載を追加      |
|              |              | 1-20 | OYOプローブの収納にコメントを追加                  |
|              |              | 1-21 | SAKATAプローブのA0方向(上向き車輪)の記載を追加        |
|              |              | 1-22 | SAKATAプローブ反転時のA180方向(下向き車輪)の記載を追加   |
|              |              | 1-25 | OYOプローブの点検方法にコメントを追加                |
|              |              | 1-26 | OYOケーブルの点検方法にコメントを追加                |
|              | 3. 測定値の検定・補正 | 1-40 | 「3 - 2. 測定値の検定、補正」の節を追加( §2資料編との対応) |
|              | 4. 観測結果の報告方法 | 1-41 | 上記追加に伴いページ番号の変更(1-42も同様)            |
| §2<br>資料編    | 1. 観測孔の設置    | 2-8  | ガイド管の一覧表を追加( 50mm程度のアルミ製)           |
|              |              | 2-9  | 充填材の混和材と膨張材の記載が混同していたため修正           |
|              |              | 2-17 | 7)A軸方向の調整 を追加                       |
|              |              | 2-18 | パッカーの鋼管矢板の記載、図を追記                   |
|              |              | 2-19 | パッカー使用のイメージ図の追加                     |
|              |              | 2-21 | 表の充填材の混和材と膨張材の記載が混同していたため修正         |
|              |              | 2-27 | 孔口部の切断状況の写真を追加                      |
|              |              | 2-29 | ガイド管のねじれの原因に、製作時の公差の累積を追記           |
|              |              | 2-30 | A0方向の測定に、日本の西編分布図を追加                |
|              | 2. 観測        | 2-35 | 測定開始状態の表示画面を追加                      |
|              | 3. 測定値の検定・補正 |      | -                                   |
| 4. 観測結果の報告方法 |              | -    |                                     |

Ver.1.0(H20/11) Ver.1.1(H21/2) 誤字や脱字などの軽微な修正は省略

マニュアル(案)の普及と書籍版マニュアル出版予定を周知するために、平成 22 年 4 月以降に図 7.1~2 に示すピラを作成して頒布するとともにホームページに掲載した。

# 地すべり地における 挿入式孔内傾斜計計測マニュアル(案)の紹介

## マニュアル(案)作成の背景

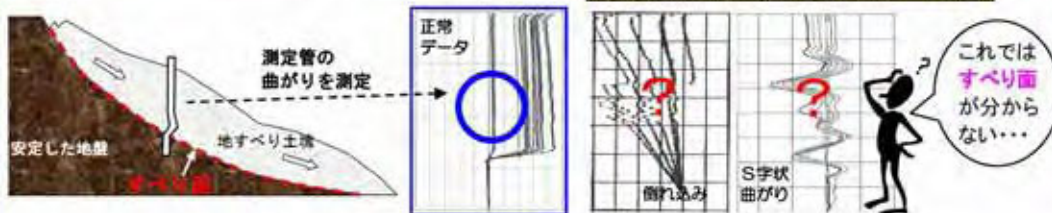


平成20年度 岩手宮城内陸地震で発生した岩手県栗原市栗駒の荒砥沢地区地すべり(平成20年6月15日撮影)

日本の各所で、大雨や地震により地すべりなどの土砂災害が毎年のように発生し、道路や住宅が被害を受けています。

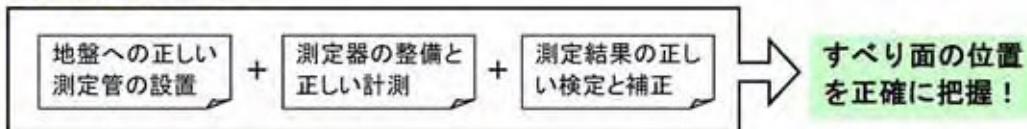
地すべりによる被害を防ぐためには、地すべりが動かないような対策をする必要があります。そのためにはすべり面の位置(地すべりが動いている深さ)を調べなければなりません。

## 孔内傾斜計計測で発生する不良データの例



挿入式孔内傾斜計は、地すべりのすべり面を決める際に多く使われますが、地盤の動きとは思えないデータが得られることがあります。その場合は適切な対策設計が行えません。そこで、土研地すべりチームではそのような不良データ発生の予防や適切な補正を行う方法を記載した「マニュアル(案)」を作成しました。

## どのような内容か?



## 入手方法は?

「地すべりチーム」でweb検索!  
または以下のアドレスを入力  
<http://www.pwri.go.jp/team/landslide>  
⇒ 地すべりチームトップページ



【お問合せ先】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

〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 TEL:029-879-6787 FAX:029-879-6729 <http://www.pwri.go.jp>

図7.1 マニュアル(案)紹介のピラ(表)



## マニュアル(案)の構成

**はじめに**


- ・マニュアル(案)作成の背景
- ・用語の統一や解説



プローブ(測定器)  
ガイド管(測定管)  
地盤  
孔内傾斜計システム図

**第1章 観測孔の設置**

- ・ガイド管の適切な設置
- ・亀裂地盤でのバッカー使用



漏水が多い場合は…  
バッカーを使って設置

**第2章 観測**

- ・測定器の整備
- ・正しい取り扱いによる計測



潤滑油の注油  
反転時の注意事項  
しっかりと手で回転を押さえる

**第3章 測定値の検定・補正**

- ・測定値の検定
- ・倒れ込み現象の補正が可能な条件、補正方法



補正できないデータ

**第4章 観測結果の報告方法**

- ・報告書などへの記載



報告書の例文  
データシート

### 付録 解析支援ソフト(Excel)

・「倒れ込み」を直すソフト



倒れ込みの量が基準を超えた場合は…

再測定・計器の検定を推奨

計測器の機械誤差により「倒れ込み」現象が発生することがあります。

本ソフトは、その誤差分を補正して倒れ込みを直すものです。ただし、この補正は計測器メーカーの補償する基準内である場合に適用されます。

今後の実験データや、本マニュアル(案)の公開後に寄せられたご意見・ご要望を反映させて、平成21年度末には**挿入式孔内傾斜計計測マニュアル(正式版)**を書籍として発刊する予定です。

本マニュアル(案)は、応用地質株式会社・坂田電機株式会社・日本工営株式会社と、土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチームとの共同研究により作成したものです。

図7.2 マニュアル(案)紹介のピラ(裏)

## 7.2 解析支援ソフト

解析支援ソフトは、測定値補正ソフトと累積変位鳥瞰図作成ソフトの2種類である。ソフトの概要や使用時の留意事項は以下のとおり。

### 7.2.1 測定値補正ソフト


#### 1) ソフトの機能

補正ソフトには、正しく計ったデータをより良くするための次の機能を盛り込んだ。

- ①測定値の固有誤差検定、固有偏差グラフや0° 180° 別算グラフ等の表示
- ②挿入式孔内傾斜計測の機構上、正しく計っても発生する誤差範囲内の0点ドリフトを適正に補正
- ③ガイド管の製造工程やボーリング時の孔曲がりなどに伴い発生することがあるガイド管のねじれについて、A軸方向の方位を測ったデータで測定値を補正

**タイトル画面**

表紙    操作マニュアルへ

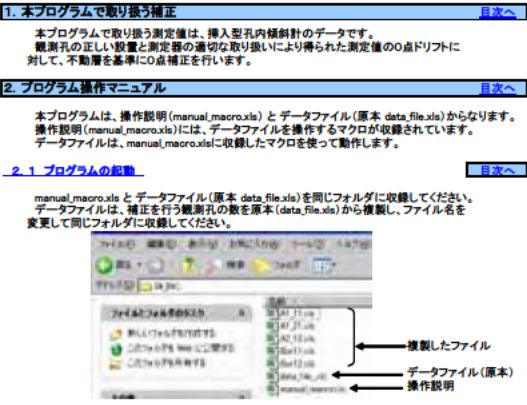


**操作マニュアル**

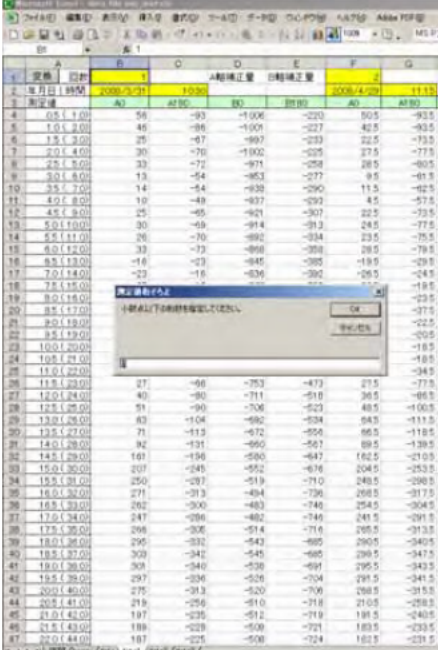
1. 本プログラムで取り扱う補正 [目次へ](#)

2. プログラム操作マニュアル [目次へ](#)

2.1 プログラムの起動 [目次へ](#)



**データ入力画面**



**補正操作の画面**

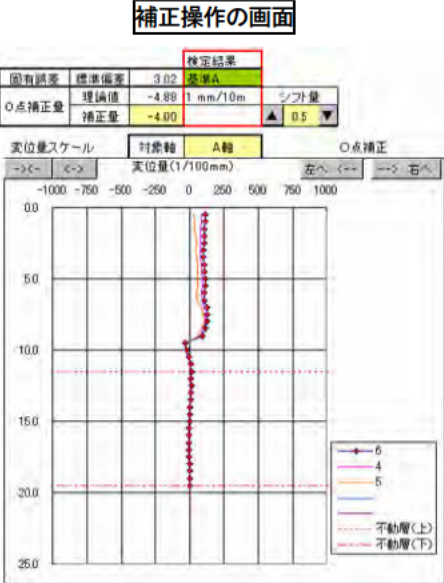


図 7.3 測定値補正ソフトの表示画面

## 2)ソフト使用時の留意事項

- ・挿入式孔内傾斜計は正しく設置して計るのが原則である。0点補正のソフトは、挿入式孔内傾斜計計測の機構上、正しく計っても発生する誤差範囲内の0点ドリフトを補正して、正しく計ったデータをより良くするものである。
- ・本マニュアルで推奨している基準値を超えて傾斜が生じているデータは、本ソフトでそれを直すのではなく、計測器の検定や再測定を行うこととする。
- ・磁性を利用した測定器でガイド管の方位測定を行った場合は、測定値にバラツキや異常値が生じることがある。この場合は、本ソフトには異常値の削除や移動平均によるバラツキの平滑化などを行った値を入力する。

## 7.2.2 累積変位鳥瞰図作成ソフト

### 1) ソフトの機能

挿入式孔内傾斜計の観測結果を立体的に図示し、表示角度の調整やグラフの回転を行うものである。赤：青の透明フィルムの付いたメガネで見ると立体像になる機能も有している。

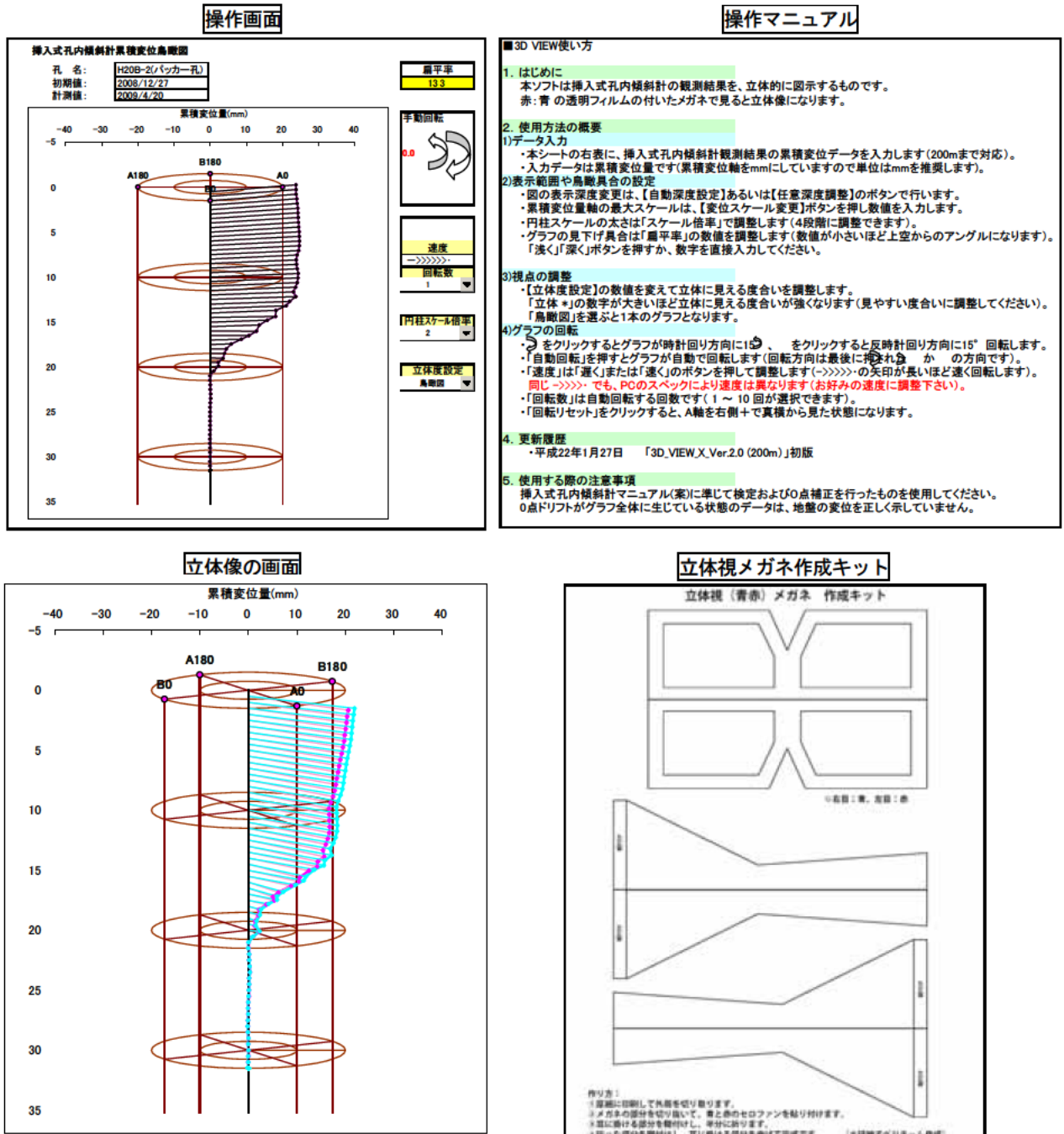


図 7.4 累積変位図鳥瞰図作成ソフトの表示画面

## 2) ソフト使用時の留意事項

0点ドリフトがグラフ全体に生じている状態のデータは、地盤の変位を正しく示したものではないため、鳥瞰図作成ソフトに入力するデータは、マニュアルに準じて検定および0点補正を行った累積変位の使用を推奨することとした。

以上、作成した解析支援ソフトの構成と内容は次の通りである（平成22年3月段階）。

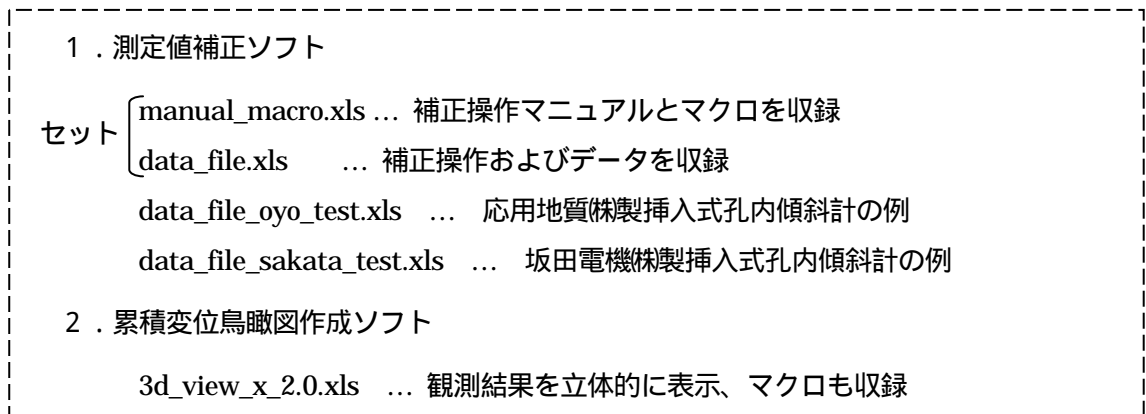


図7.5 解析支援ソフトの構成と内容

## 7.3 特記仕様書と参考価格

挿入式孔内傾斜計の異常値を予防するためには、ガイド管設置時にパッカーを使用して充填不良を防ぐことが重要かつ効果的であることがわかった。しかし、研究実施段階ではパッカーを使用したガイド管設置の仕様書や歩掛かりが無かったため普及の支障となっており、パッカーは自主的(企業努力)に使用されるに留まっていた。

そこで、パッカーの使用の標準化と普及を図るために、特記仕様書の文案の作成と、参考価格(歩掛)の検討を行った。

### 1) 特記仕様書

パッカーを使用したガイド管の設置は、ボーリング作業や解析等調査(コア観察、断面図作成等)と合わせて行われ、ガイド管設置後には同一業務ないし別の観測業務で挿入式孔内傾斜計の観測が行われることが一般的である。

そこで、挿入式孔内傾斜計に関する一連の作業に関する特記仕様書の文案を作成し、平成21年10月に土研のホームページで公開した。なお、本共同研究で開発したガイド管の方位計測についても記載した。特記仕様書の文案は、図7.6~8に示す。

地区地盤調査観測業務  
特記仕様書（案）

- 第1条 適用範囲  
第2条 目的  
第3条 主任技術者  
第4条 担当技術者  
第5条 照査技術者
- } 略

第6条 業務内容

1. 業務の目的

本業務は、機械ボーリングによるコア試料採取を行うとともに、挿入式孔内傾斜計観測孔の設置および観測を行うものである。

2. 業務内容

業務内容は次のとおりとする。なお、内容に変更がある場合は監督職員と協議するものとする。

- (1) 機械ボーリング
- (2) 孔内傾斜計観測孔の設置
- (3) ガイド管ねじれの測定
- (4) 解析等調査
- (5) 孔内傾斜計観測

(1) 機械ボーリング

ボーリング位置は、現地調査結果に基づいて監督職員と協議して決定するものとする。また、ボーリング孔の仕様は下記の通りとし、詳細については観測職員と協議して決定するものとする

BV- 孔

- ・削孔方向：鉛直下方
- ・孔 径： 86mm
- ・深 度：XXm（砂質土XXm、礫混じり土砂XXm、軟岩XXm）
- ・用 途：コア採取、挿入式孔内傾斜計観測孔

BV- 孔

- ・削孔方向：鉛直下方
- ・孔 径： 66mm
- ・深 度：XXm（砂質土XXm、礫混じり土砂XXm、軟岩XXm）
- ・用 途：ノンコア、地下水位観測孔

なお、高品質ボーリング工法への変更については、事前に監督職員と協議しなければならない。

(2) 孔内傾斜計観測孔の設置

孔内傾斜計観測孔の設置にあたっては「地すべり地における挿入式孔内傾斜計マニュアル(案)平成20年11月 土木研究所地すべりチーム」（以下、傾斜計マニュアル）を参考にし、特記事項は以下の通りとする。

図7.6 特記仕様書の文案

#### 規格

- ・孔内傾斜計用の測定管（以下、ガイド管）は2軸方向を測定できるものとし、地すべり面を正確にとらえられる構造や材質とする。

#### 設置

- ・設置位置はBV- 孔の調査ボーリング孔に設置するものとする。
- ・ガイド管の接続部は継ぎ手を用い自重に耐え、またガイド管にねじれが生じないように確実に固定するものとする。
- ・ガイド管の片方の軸は、地すべりの変位方向に合わせるものとする。
- ・ガイド管と孔壁との空隙は、セメント系の充填材でグラウトホースなどを用いて確実に間詰めするものとし、原則パッカーを使用することを原則とする。パッカーの種類、充填材の材料および配合などについては監督職員と協議するものとする。

#### (3) ガイド管の方位測定

観測孔の深度が30m以上の場合、ガイド管のA0方向の方位を1m間隔で全深度測定する。ガイド管の設置深度が30m未満の場合、または地山等の磁性の影響により磁石を使用する計器による測定ができなかった場合は、実施の有無や代替手法について監督職員と協議するものとする

#### (4) 解析等調査

解析等調査の内容は、以下に定めるところによる。

##### 資料整理取りまとめ

- ・ボーリングコア写真撮影  
「地質・土質調査成果電子納品要領(案) 平成20年12月」の第5編 コア写真編に準じて行う。撮影前には、コア表面の焼きつき部の剥ぎ取りおよび削り屑の清掃を行い、霧吹き等で表面を適度に湿らせてから撮影すること。
- ・ボーリング試料の観察  
すべり面と考えられる箇所は、ボーリングコア写真撮影後にコア試料を割って鏡肌や条線の有無を観察すること。
- ・ボーリング柱状図の作成  
「地質・土質調査成果電子納品要領(案) 平成20年12月」の第2章 ボーリング柱状図編に準じて行う。柱状図は地すべり様式を原則とする。  
地すべり様式：土木研究所資料第3868号 地すべり調査用ボーリング柱状図作成要領（案）平成14年6月（以下、柱状図作成要領）
- ・ボーリング掘進中の水位変動図  
「柱状図作成要領」のボーリング掘進中の水位変動図を参考にすること。
- ・掘進時やガイド管設置時の状況整理図  
「傾斜計マニュアル」の孔内傾斜計に関する掘進時やガイド管設置時の状況整理例を参考にすること。
- ・ガイド管のねじれ測定  
ガイド管のねじれの測定結果は、「傾斜計マニュアル」を参考に整理する。

##### 断面図等の作成

- ・土性および地層の工学的判定を行う。

図 7.7 特記仕様書の文案

|  |  |            |           |
|--|--|------------|-----------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・土質または地質断面図の作成を行う。なお、断面図は着色するものとする。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面図には、必要に応じて挿入式孔内傾斜計の代表的な観測データを重ねて図示する。</li> </ul> </li> </ul> <p>(5) 孔内傾斜計観測</p> <p>孔内傾斜計の観測にあたっては「傾斜計マニュアル」を参考にし、特記事項は以下の通りとする。</p> <p>使用する計測器</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2軸方向の傾斜を測定できるプローブを使用する。測定間隔は0.5mないし1.0mとし、監督職員と協議の上決定する。</li> <li>・使用するプローブは、ガイド管と同じメーカーのものを使用するか、あるいはガイド管の溝とプローブの車輪の幅が異なる場合は車輪を溝の形状に合うものに交換する。</li> </ul> <p>観測</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・観測孔は、BV- 孔の調査ボーリング孔に設置したガイド管とする。</li> <li>・プローブが挿入不能になった場合は、観測の継続の有無や代替え手法について監督職員と協議するものとする。</li> </ul> <p>資料整理</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既往観測資料がある場合は、観測結果と合わせて経時的な取りまとめを行う。</li> <li>・ガイド管のねじれの測定を行った場合は測定結果に基づき、観測グラフや変位方向を補正する。</li> <li>・観測期間中に計測器を修理あるいは交換した場合は、初期値を観測しなおすことを原則とする。</li> </ul> | <p>第7条 成果品の提出</p> <p>第8条 再委託</p> <p>第9条 疑義</p> | <p>} 略</p> | <p>以上</p> |
|--|--|------------|-----------|

図 7.8 特記仕様書の文案

2) 参考価格

挿入式孔内傾斜計観測で有意なデータを得るためには、パッカーなどを使用して確実にガイド管を設置することが前提であるので、本共同研究の成果としてより現実的な設置歩掛を提案したいと考えた。そこで、現在存在する従来のパッカーを使用しない挿入式孔内傾斜計の設置に関する歩掛りを収集した。その結果、図 7.9 に示したように上側の国土交通省が監修する設計業務等標準積算基準書(通称青本)、下側の全国地質調査業協会連合会が発行している全国標準積算資料(通称赤本)の2通りが存在するが、両者を比較すると、特に後者の方が労務費に約2倍の開きがあった。

そこで、どちらをベースにするかを検討するために、作成に至った背景の調査を行った結果、前者は一般的な地盤を対象にしたガイド管設置を対象としているのに対し、後者は挿入式傾斜計導入初期の菱チューブ(熱で収縮する筒状の保護材)使用の歩掛である、傾斜地での作業を想定、孔壁状況が悪い場合を見込んでいるとのことであった。については、現在はほとんど



塗装が施されているガイド管が使用されていること、②③の場合はボーリングの積算で考慮されていることから、前者をベースに検討することとした。

| 3-3-4 挿入式孔内傾斜計   |            |                |                |                         | 青本       |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|--|------------|----------------|----------------|-------------------------|----------|-----------------|-------|----------------|----------------|-------|----|-----|-----|-----|-----|
| (1) 設置   |            |                |                |                         | (1孔当たり)  |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 種別   | 細別         | 単位             | 数量             | 摘要                      |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 人件費  | 地質調査技師     | 人              | 0.4            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 主任地質調査員    | 〃              | 0.4            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 地質調査員      | 〃              | 0.4            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 普通作業員      | 〃              | 0.8            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 材料費  | アルミケーシング   | 本              | 注1             | φ47mm×3mもの立上<br>がり1mを含む |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | アルミカップリング  | ヶ              | 注2             |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | ケーシングキャップ類 | 組              | 1.0            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 雑品         | 式              | 1              |                         |          | 材料費の7%          |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  |            |                |                |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| (注) 1. アルミケーシング数量の算出は、次式による。<br>$M(\text{本数}) = D(\text{深度m}) \div 3 + 1$ (端数切り捨て)<br>2. アルミカップリング数量の算出は、次式による。<br>$N(\text{個数}) = M(\text{アルミケーシング本数}) - 1$<br>3. 本表は、1方向または2方向で0.5~1.0m間隔、深度50m以内の場合に適用し、<br>これ以外の場合には、別途考慮する。   |            |                |                |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 平成21年度版 設計業務等標準積算基準書<br>設計業務等標準積算基準書(参考資料)<br>国土交通省大臣官房技術調査課 P2-3-15   |            |                |                |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| (1) 設置   |            |                |                |                         | 赤本       |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 1孔当たり(深度30m未満) 歩掛表   |            |                |                |                         | (IV-143) |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 種別   | 細別         | 単位             | 数量             | 摘要                      |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 人件費  | 地質調査技師     | 人              | 1.0            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 主任地質調査員    | 〃              | 1.0            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 地質調査員      | 〃              | 1.0            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 普通作業員      | 〃              | 1.0            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 材料費  | 溝付パイプ      | 本              | 11.0           | φ47mm×3m立上り1mを含む        |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | アルミカップリング  | 個              | 10.0           |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 溝付パイプキャップ類 | 組              | 1.0            |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | アルミリベット    | 箱              | 0.11           |                         |          | 1000本入          |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | シール材       | m              | 31.0           |                         |          | 埋設深度+立上り1m      |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | ポリホース      | 〃              | 35.0           |                         |          | φ20mm, 立上り5mを含む |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | グラウト材      | 〃              | 30.0           |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
|  | 雑品         | 式              | 1.0            |                         |          | 上記材料費計の3%       |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 機械等損料  | ボーリングマシン   | 日              | 1.0            | 油圧式100m型                |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| (注) 1. 使用する計器によって材料が異なる場合は別途計上のこと。<br>2. 調査深度により次の表で修正する。  |            |                |                |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 深度補正表 <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>深度m</th> <th>20m未満</th> <th>20m以上<br/>30m未満</th> <th>30m以上<br/>40m未満</th> <th>40m以上</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>係数</td> <td>0.8</td> <td>1.0</td> <td>1.3</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table> |            |                |                |                         |          | 深度m             | 20m未満 | 20m以上<br>30m未満 | 30m以上<br>40m未満 | 40m以上 | 係数 | 0.8 | 1.0 | 1.3 | 1.5 |
| 深度m  | 20m未満      | 20m以上<br>30m未満 | 30m以上<br>40m未満 | 40m以上                   |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 係数   | 0.8        | 1.0            | 1.3            | 1.5                     |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |
| 全国標準積算資料 土質調査・地質調査<br>平成20年度改訂歩掛版<br>社団法人 全国地質調査業協会連合会 IV-111  |            |                |                |                         |          |                 |       |                |                |       |    |     |     |     |     |

図 7.9 挿入式孔内傾斜計に関する既存の歩掛 (平成 21 年度)

参考価格の作成にあたっては、人件費と材料費に分けて検討を行った。人件費は、パッカーをガイド管に被せたり縫い合わせたりする作業を伴うので、その増分を2割見込んで地質調査技師・主任地質調査員・地質調査員が0.5、普通作業員が1.0とした。

また、雑品は7%と括られている材料費の部分はメーカーによって変動する部分であるので、応用地質(株)製、川崎興業(株)製および坂田電機(株)製のガイド管の詳細な積み上げ積算を行った。その結果、雑品の割合は日本工営(株)10%、応用地質(株)11%、坂田電機(株)7%程度であったので、10%が雑費の目安と考えた。作成した参考価格は、平成21年10月に土研のホームページで公開した(図7.10の上側)。

また、参考としてガイド管ねじれ測定 of 参考価格について、設計業務等標準積算基準書の傾斜計観測をベースに作成した(図7.10の下側)。機械損料については、現段階では十分に普及していない計測器であることから機械賃料(リース)とした。

| 参考価格(単価見積)   |            |    |      |        |         |                 |
|--|------------|----|------|--------|---------|-----------------|
| 諸経費は含まれておりませんので、別途計上願います。  |            |    |      |        |         |                 |
| 1. 孔内傾斜計設置(パッカー使用) 深度50m以下、1孔当たり   |            |    |      |        |         |                 |
| 種別   | 細別         | 単位 | 数量   | 単価     | 金額      | 適用              |
| 人件費  | 地質調査技師     | 人  | 0.5  | 34,800 | 17,400  | 注1              |
|  | 主任地質調査員    | "  | 0.5  | 27,800 | 13,900  |                 |
|  | 地質調査員      | "  | 0.5  | 22,000 | 11,000  |                 |
|  | 普通作業員      | "  | 1.0  | 12,500 | 12,500  |                 |
| 材料費  | ガイド管       | 本  | 17   | 6,800  | 115,600 | 注2、継ぎ手接続済       |
|  | 継ぎ手        | ヶ  | 16   | 0      | 0       | 注3、ガイド管に接続済     |
|  | キャップ類      | 組  | 1    | 4,000  | 4,000   | ボトム、キャップ        |
|  | パッカー       | m  | 52   | 550    | 28,600  | 注4              |
|  | 雑品         | 式  | 1    | 14,820 | 14,820  | 注6、材料費の10%(積上げ) |
| 計  |            |    |      |        | 217,820 |                 |
| (注)1. 人件費単価は年度や都道府県によって変動、準備作業やパッカー使用した設置作業の分を25%割増した。<br>2. ガイド管数量の算出は、M(本数) = D(深度m) ÷ 3 + 1 (端数切捨て)<br>3. 継ぎ手数量の算出は、N(個数) = M(ガイド管本数) - 1<br>4. 地盤条件により、使用するパッカーを選定する必要有。価格帯300～4500円。計測深度 + 2.0m。<br>5. 材料費は、メーカーの違いや製品の種類により変動する(青文字部分)。<br>6. 雑品の割合は、材料費雑品および機械損料を積み上げて算出。<br>7. 当該見積りは深度50m以内の場合に適用し、これ以外の場合には別途考慮する。 |            |    |      |        |         |                 |
| 2. ガイド管方位測定 深度50m以下、1孔・1回当たり   |            |    |      |        |         |                 |
| 種別   | 細別         | 単位 | 数量   | 単価     | 金額      | 適用              |
| 人件費  | 地質調査技師     | 人  | 0.13 | 34,800 | 4,524   | 観測 資料整理         |
|  | 主任地質調査員    | "  | 0.4  | 27,800 | 11,120  |                 |
|  | 地質調査員      | "  | 0.4  | 22,000 | 8,800   |                 |
|  | 雑品         | 式  | 1    |        | 244     |                 |
| 機械賃料   | 孔内カメラ装置リース | 回  | 1    | 42,000 | 42,000  | 注9              |
| 計  |            |    |      |        | 66,688  |                 |
| (注)8. 人件費単価は年度や都道府県によって変動、孔内傾斜計の観測および資料整理の2/3とした。<br>9. 測定器は応用計測サービス(株)の孔内カメラ(Qスコープ)とし、リース期間は最小の3日とした(1回の測定孔数が7孔以下)。測定孔数が8孔を超える場合や複数回に分けて計測する場合、あるいは他の測定器を使用する場合は別途考慮する。<br>10. 当該見積りは深度50m以内、測定間隔1mの場合に適用し、これ以外の場合には別途考慮する。   |            |    |      |        |         |                 |

図7.10 作成した歩掛(平成21年度)

## 7.4 書籍版マニュアル

共同研究の最終成果として、平成 22 年度初旬の発刊を目指して書籍版の「挿入式孔内傾斜計計測マニュアル」の作成を行った。

マニュアルは、「本編」「資料編」および「解析支援ソフト」の3つから構成されている。本編は、挿入式孔内傾斜計観測の重要事項について要点を絞って箇条書きを主体に述べたもの、資料編は本編を補足する位置づけで理論や原理などの説明や詳細な作業方法を記載したもの、解析支援ソフトは観測結果の0点補正やガイド管のねじれ補正、および累積変位鳥瞰図の作成機能を有した Excel ファイルである。

マニュアルの構成は図 7.11 に示したとおりである。「はじめに」では、マニュアル作成にいたった背景や目的の説明、用語解説を行っている。第 1 章ではガイド管の適切な設置作業、第 2 章では計測器の整備および正しい取り扱いによる計測について記載した。第 3 章では様々な形態の不良データの紹介とそれらの対応策や補正の可否について、第 4 章ではそれまでで得られた正しい観測データからすべり面などを認定する方法について解説した。また、第 5 章では得られたデータの報告書などへの記載方法について、第 6 章では設置式孔内傾斜計や孔内伸縮計などの周辺技術について紹介した。第 7 章は現場での設置時・測定時、および検定・解析時に発生するトラブルへの対応について述べた。

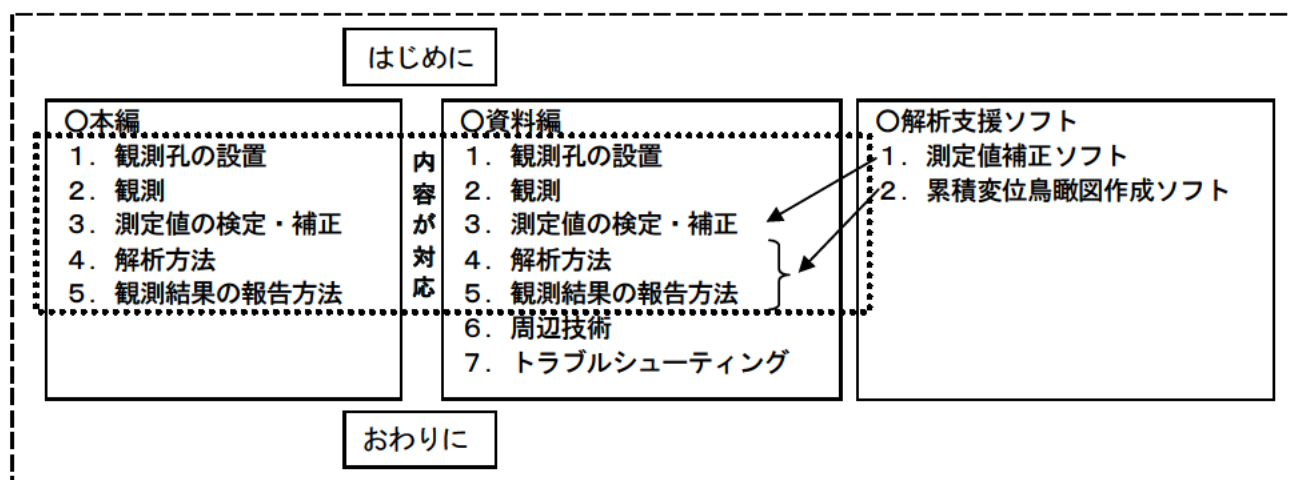


図 7.11 書籍マニュアルの構成

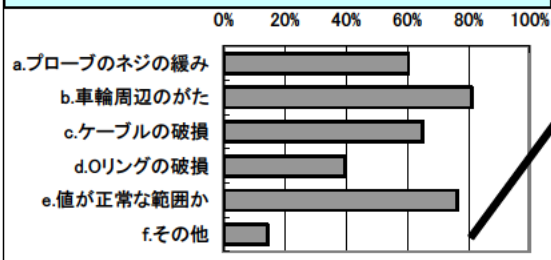
Q14.その他観測孔の設置に関して、良い観測結果を得るために気がついている点がありましたら記載下さい。

■a.意見  
 1)ボーリング  
 ・孔曲がりを防止する(マシンの固定、無理に掘らない等) ×2  
 2)ガイド管  
 ・孔内に清水を入れて洗浄、水抜けを確認する。×2  
 ・ガイド管の埋設時に無理に押し込まない、回転を掛けない。  
 ・ガイド管の方向確認、A軸が地すべり移動方向に合うように指示。  
 ・ガイド管の接続部が隙間無く差し込まれているかを確認して孔内に挿入する。  
 ・ガイド管の継ぎ手の処理に特に気を遣う。また、ガイド管を長期間放置しない。  
 ・ガイド管にシートをかけて保管する。  
 ・孔口部の切断時はできるだけ水平に切ってバリをきれいに落とす ×8  
 ・孔口部を丁度50cmで切る。 ・ガイド管の立ち上がり高さを統一する。  
 ・ガイド管の立ち上がり部に継ぎ手が来ないように配慮。

■a.意見  
 3)間詰め  
 ・ガイド管と同時にグラウトホースを挿入し、グラウト充填を確実に。×3  
 ・孔口付近を良くグラウトする ×2  
 ・グラウト材を地盤に近い硬さに配合し、確実にグラウトできる手法を選択する。  
 ・地山の透水性が高い場合や長尺となる場合はジオテキスタイルパッカーを使用する。  
 ・原則としてジオテキスタイルパッカーを使用して設置を行う ×2  
 4)その他  
 ・水位観測孔と併用しない方が良い。  
 ・オペに状況や内容を事前に説明しておく  
 ・測定して孔曲がりを確認する。  
 ・業務担当者や測定者が設置に立合い、機長と話し合って最善の方法を取るべき(経験が必要)。  
 ・良い観測結果はグラウトの施工品質による部分が多い、設置が全てと言って過言ではない。 ×2  
 (パイプ内を水で満たし、内部温度をなるべく一定に。 →漏れるのでは?)

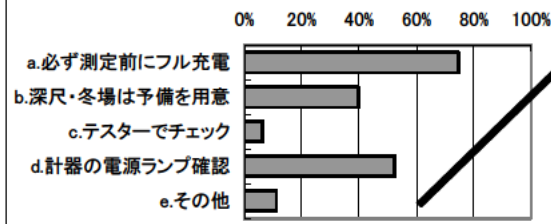
### Ⅲ 測定器の取り扱い・観測

Q15.測定を行う前の計器のチェック項目について、具体的に何を  
 行っているか教えてください。



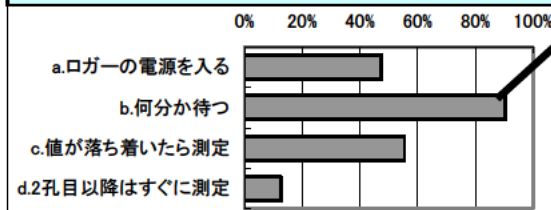
■f.その他の意見  
 1)プローブ  
 ・地上部にてプローブの傾けて数値を確認 ×2  
 ・車輪がスムーズに回るか。 ・車輪の付着物の有無。  
 ・接続部の増し締めとビニールテープを巻く (oyo製)  
 ・端子の汚れなど  
 2)ケーブル  
 ・ケーブルのねじれの有無 ×2  
 ・ケーブルを叩いたりして数字に異常な変化ないか確認  
 3)その他  
 ・a~eは測定前の最低限の確認と思う。定期的にケーブルの絶縁、抵抗確認、鉛直時の出力(0点ドリフトの確認)。

Q16.電源(バッテリー)の残量確認・確保はどのようにしていますか



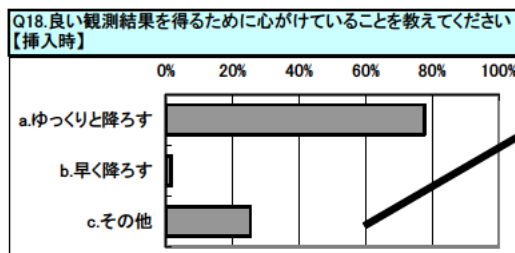
■e.その他の意見  
 ・車用のDC-ACを使用  
 ・孔底に降ろしたときの指示値を前データと比較  
 ・時々、使用可能時間の確認  
 ・常に予備を用意 ×2  
 ・bは現実的に複数は無理  
 ・バッテリーの充電残量のランプを確認  
 (測定終了後にフル充電 →測定条件があるはず)

Q17.プローブを孔底に入れた後は何をしていますか(温度なじみや計器のウォームアップ)。

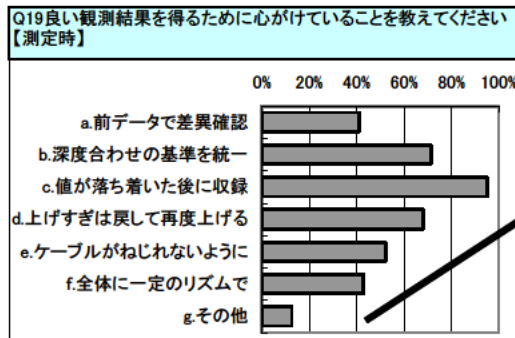


■b.孔底放置の時間  
 ・5分 ×1 ・10分 ×7 ・15分 ×11 ・5~15分 ×1 ・10~15分 ×1  
 ・15~20分 ×1 ・20分 ×11 ・5~30分 ×2 ※1 ・10~30分 ※1  
 ・30分 ×16 ・20~30分 ×1 平均21分  
 ・寒い時期は長めにウォームアップの時間をとる。  
 ・とにかく、測定前の「なじみ」の時間を十分にとる  
 ■その他の意見  
 ※1 季節によって変わる ×2  
 ・2孔目以降は5分 ×2、10分 ×2、15分、値が落ち着いたら  
 ・水温になじませる  
 ・使用する計器の温度特性で異なる。測定開始判断として2分間で1~2カウントの変化で収まるまで待つ  
 ・2孔目すぐ計るのは場所が近い場合。

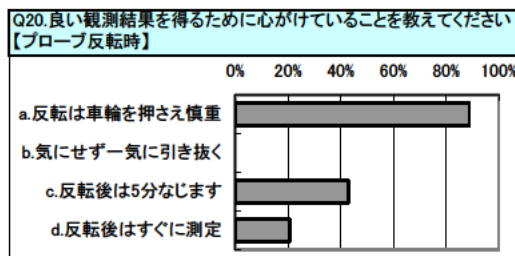
図 6.5 孔内傾斜計熟練者へのアンケート結果④



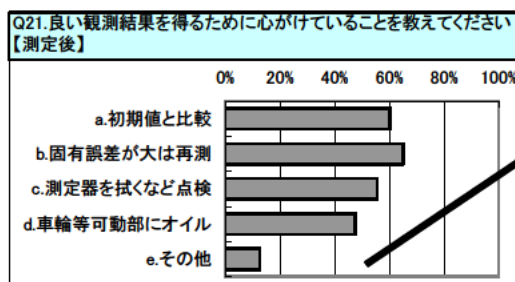
- c.その他の意見
- 1)降ろす際
    - ・車輪を押さえながら慎重に挿入する。
    - ・一定の速度で静かに降ろす。 ×2
    - ・挿入深度を確認しながら、丁寧に挿入する。
    - ・降ろす際のケーブルを伝わる感触、入りづらい区間 ×3
    - ・測定ピッチの関係で数値でわからないわずかな変位、引っかかり等を手の感触で見つけるように集中して挿入している
    - ・プローブに衝撃を与えないようにする。 ×2
    - ・衝撃を与えない程度に適度な速度で降ろす ×3
    - ・特にすべり面付近の挿入時には脱輪などが生じないように慎重に行う
    - ・パイプが大きく変位している場合はプローブを無理に落下させない
  - 2)孔底付近、観測前
    - ・孔底付近で数回上下し車輪の状態を確認。 ×2
    - ・観測前に前後1~2m上げ下げする。
    - ・孔底で衝撃を与えないように、孔底付近ではゆっくり下ろす ×3



- g.その他の意見
- ・観測値が十分に落ち着くまで待つ。
  - ・前後の数値に対して異常はないか常に注意してロガーを見ている
  - ・前深度との値の変化が大きい場合は、プローブを上下させ確認
  - ・固有誤差を適時計算して、プレの有無を見る。
  - ・1年に1回は4方向測定をする。
  - ・前回と値がかなり違う場合は再測定する。
  - ・孔内水位から上では、徐々に孔内の温度が上昇し、夏の場合は孔口では外気温となる。そのような温度特性によりグラフが湾曲する。
  - ・時間を掛け過ぎて測定してもグラフは湾曲する。
  - (マーカー合わせが人ごとに異なることがある →意見)



- 意見
- ・反転時の放置時間も気温により異なる(5~30分)
  - ・反転時は10分なじませる。1~2分なじませる。
  - ・なじませる時間は使用する計器で異なる。基本は値が落ち着くこと。
  - ・反転時は値が落ち着いていることを確認後測定。
  - ・反転時に細心の注意を払ってプローブを入れ替える。



- e.その他の意見
- ・手抜きグラウト等の場合ガイドケーシングががたつので手でゆすって確認
  - ・"a""b"は整理の段階で。再測定も検討。"c"は、現場で明らかに測定値が異常な時。"d"は、定期的に行う
  - ・測定値について固有誤差の平均値確認、ばらつき確認
  - ・現場で前回の値と比較する。 ×2
  - ・ガイド管の中を汚さないようにする。
  - ・プローブは立てて保管(坂田電機) ・測定器の整備を行う。
  - ・初期値との差を図表化し、データが異常な場合に再測定

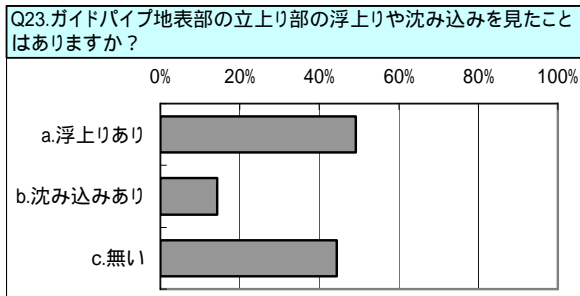
Q22.その他、測定器の取り扱いや観測に関して、良い観測結果を得るために心がけている点がありましたら記載下さい。

- a.意見
- 1)測定環境
    - ・測定に集中する、計り始めたら休憩しない。 ×3
    - ・殺虫剤、蚊取り線香を用意して観測に集中する ×5
    - ・椅子を用意して安定した姿勢を確保し観測に集中する ×7
    - ・無理の無い体勢で測定、傾斜地が多いのでしっかりとした体勢が取れるよう、足場を整えるなど工夫して観測 ×4
    - ・測定器を安定した場所において測定する。 ×2
    - ・なるべく悪天候時の作業を避け、時間と人員に余裕をもつようにしている ×2
    - ・降雨時は機器をぬらさない(雨の日はバツキが大きいと思う)
    - ・熊、マムシ、スズメバチ対策に定期的な草刈による順路、作業エリアの確保等も心がけている
    - ・下草刈り用の草刈鎌で測定環境を整える。

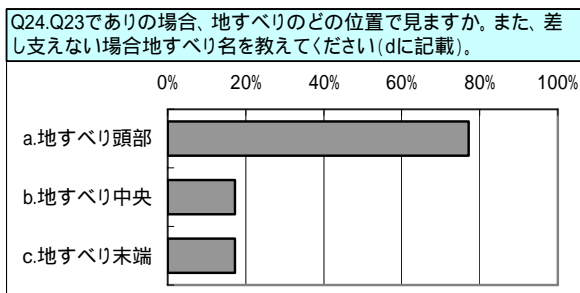
- 2)機器の取り扱い
  - ・移動時もガイド管に入れ、背負子に固定。
  - ・移動するときは、一旦測定器とケーブルを外して、ケースに収納して運搬する。 ×2 ・測定器にクッションパットを用意している。
  - ・プローブ等の計器を直射日光に当てない。
  - ・車載時には測定器が振動を受けないようにする(シートに置く)。 ×2
  - ・衝撃を与えないように、丁寧に運搬や取り扱いを行う ×6
  - ・保守点検全体が重要 ・コネクター部が特に断線しやすいので
- 3)測定時
  - ・2人で声を出し、合図とともに測定をする。
  - ・深度合わせの基準を統一する。
  - ・観測はなるべく同じ人が実施する。測定位置(ホルダー、ガイド管とケーブルの印の位置関係)を常に同一にする。
  - ・測定後は必ず孔口に施錠する。
  - ・初期値観測時にプローブを数回上下させてなじみを作る
  - ・ケーブルに一切のよじれをつげずに正巻きで巻き取り正確な印合わせにて測定する。
  - ・ホルダーを常に同じ向きに合わせて取り付ける。
- 4)その他
  - ・前回問題の箇所はPCで現地で整理する。
  - ・パイプ歪計など他の計測機器との比較。

図 6.6 孔内傾斜計熟練者へのアンケート結果⑤

**その他**



意見  
 ・埋設の翌日に1.5m浮き上がった(浮力?)



d.地すべり名  
 ・6地区の地すべり地が報告。  
 ・災害関連の場合、見る頻度が多い。  
 ・比較的多くの地すべり地で見える。  
 [地すべり以外]  
 ・盛土工事の動態観測  
 ・土留めの変形計測で、変形に応じた沈み込みを見た。  
 ・地表付近1~2mの区間で沈下(凸状データ)してガイド管が浮上った。  
 [傾向]  
 ・浮上りは地すべり頭部の割合が多い。  
 ・沈み込みは地すべり以外の土留や盛土などの割合が多い。

自由意見  
 基本的に埋設に問題の無い観測孔では、余程のことが無い限りトラブルは考えにくい(測定に慣れていない人及び計測器を理解していない人を除く)

図 6.7 孔内傾斜計熟練者へのアンケート結果

参考文献

- 1) 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

## 8. まとめと今後の課題

### 8.1 まとめ

本研究は、挿入式孔内傾斜計による地中変位計測の標準化を目的に、不良データの発生の原因と考えられる 測定者による観測、計測器の特性、ガイド管の設置の3つの要因について、発生機構を把握するための計 24 項目の再現実験や資料収集を行った。さらに、マニュアル作成の基礎資料として、資機材の精度や衝撃に対する資料収集と検討を行うとともに、挿入式孔内傾斜計計測の熟練者を対象にしたトラブル対応事例や正しい観測を行うための留意点についてアンケート調査を行った。以下に、本研究で得られた重要事項について抜粋して述べる（特に重要なものを）。

#### (1) 観測

- ・ケーブルマーカーは引き上げた状態でできるだけ正確な位置で合わせる。データは指示値が安定してから取得する。
- ・上げすぎた際には戻してから位置を合わせる。
- ・反転作業は車輪が急に開放しないように慎重に行う（特に応用地質製）  
ガイド管の残尺は、プローブの車輪がガイド管の継ぎ目と重ならないように設定する。
- ・ケーブルはできるだけねじれない状態で測定する。

#### (2) 計測器の特性

孔底保持は、応用地質製・坂田電機製とも 30 分以上を推奨。なお、温度変化が大きいほど変化量が大きいので、厳冬期や猛暑日は孔底保持を長めにとると良い。

- ・データを解析する際は、孔内水の位置、固有誤差、累積変位図、およびボーリングコア状況などを総合的に解釈する。
- ・ガイド管と同じメーカーのプローブでの測定を原則とする。同じメーカーのものを使用できない場合は、車輪を交換して溝の幅と合わせるなどして対応する。

#### (3) ガイド管の設置

亀裂性地山では必ずパッカーを使用する。設置不良による S 字データでは、設置後には復旧方法が無いので、充填不良が懸念される場合はパッカーを使用する。

- ・充填材の養生は最低 3 日程度行う必要があり、微小な変位を捉える場合は 1 週間以上が推奨
- ・深度 30m 以上の場合はガイド管の方位計測を行い、必要に応じて観測データを補正する。  
充填作業時のガイド管の押しつぶしを防ぐため、一回の充填高さは 60m で圧力は 0.5MN/m<sup>2</sup> とする。

#### (4) 精度や衝撃に対する検討

- ・パイプの引き伸ばし工程で保証精度内でありながらねじれが生じていると、1 ロッド全体に同じ方向の微小なねじれが発生し、それらが同一孔で使用された場合はねじれが累積する可能性がある。その他は、異常値の発生に繋がる要因は特に無い。  
プローブの取り扱いには衝撃厳禁である

以上の重要事項を遵守して設置・観測を行い、適正に補正を行うことで、挿入式孔内傾斜計の不良データは無くなるものと期待できる。

## 8.2 今後の課題

本研究を通じて得られた課題について以下に述べる。

### 1)計測器本体の改良について

本研究では、研究開始時に考えられた不良データの発生原因について多くの再現実験を行ったものであるが、計測器の温度特性や耐衝撃性ガイド管の補償精度内のねじれなどについては、本共同研究では使い方での対応(ソフト対応)にとどめている。今後は、メーカー側の製品改良(ハード対応)についても期待したい。

### 2)ガイド管の方位計測について

本研究で新たに導入した手法であり、現段階ではデータの蓄積は十分とは言えないので、今後多くの測定および補正が望まれる。なお、現在は磁気を使用した計測器のみであるため、磁気の影響により測定精度が低い、あるいは測定が不可能な現場もある。加速度計式など、今後の技術の発展により磁気の影響を受けない計測器の開発を期待したい。

### 3)地すべり土塊の移動に伴う鉛直方向も含めた変位

本研究では、日本では前例が無い地すべり地での層別沈下量の連続観測を行った。その結果、地すべり土塊の移動に伴う相対的な鉛直方向の圧縮が計測され、ガイド管孔口部の浮き上がり現象の発生機構は図 8.1 のように考えられた。しかし、本研究では地表面やガイド管の絶対標高がどのように変化しているかの把握、すなわち 地すべり土塊の位置ズレに伴う沈下と 土塊の圧縮現象の分離はできていない。

そこで、中山地すべりなど孔口の浮上りが確認される箇所において、詳細な鉛直変位計測や絶対標高も含めた観測事例を増やすことで、浮上り現象の発生機構の仮説はさらに信頼性が高まると思われる。鉛直変位観測が可能な計測器は、孔内伸縮計、スライディングマイクロメーター、スライディングデフォーメーター および層別沈下計の 4 種類あるが、区間毎の詳細な水平変位と鉛直変位が同時に計測可能な計測器としてスライディングデフォーメーターを、地すべり土塊の沈下やすべり面付近の相対的な位置ズレに伴う鉛直変位を分離するために 2 深度に分けた孔内伸縮計の設置を提案する。さらに、土塊地表面の絶対変位を把握するため地盤やガイド管天端の座標と高さを不動点から精密に測量する。観測は 1 回/月とし、融雪や梅雨などの影響を把握するために最低 1 年は計測することが考えられる。

実施計画を図 8.2 に、使用する計測器を図 8.3 に、参考としてスライディングデフォーメーターの計測例を図 8.4 に示す。

：スイス国 Solexperts 社の計測器



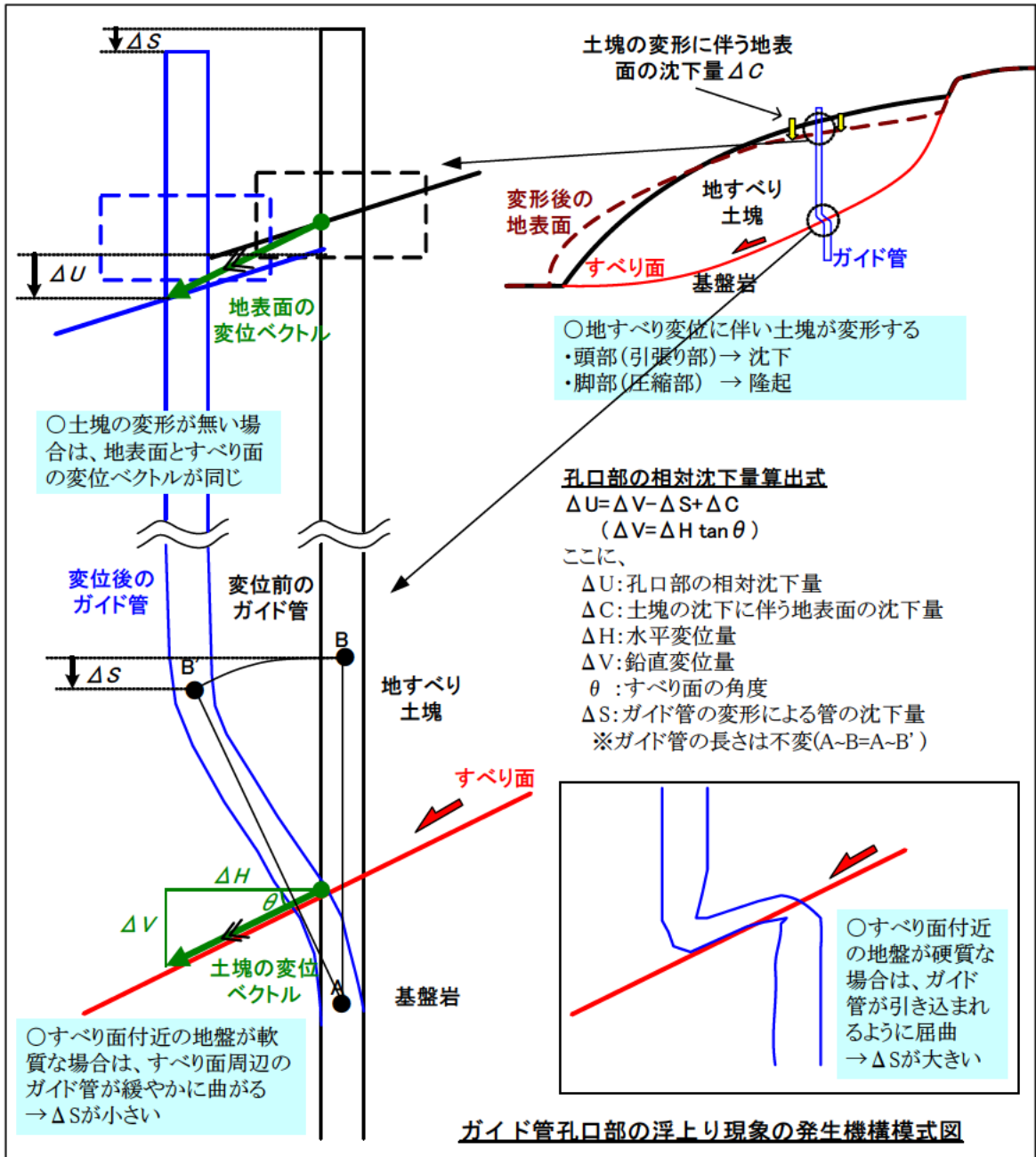


図 8.1 ガイド管孔口部の浮き上がり現象の発生機構模式図

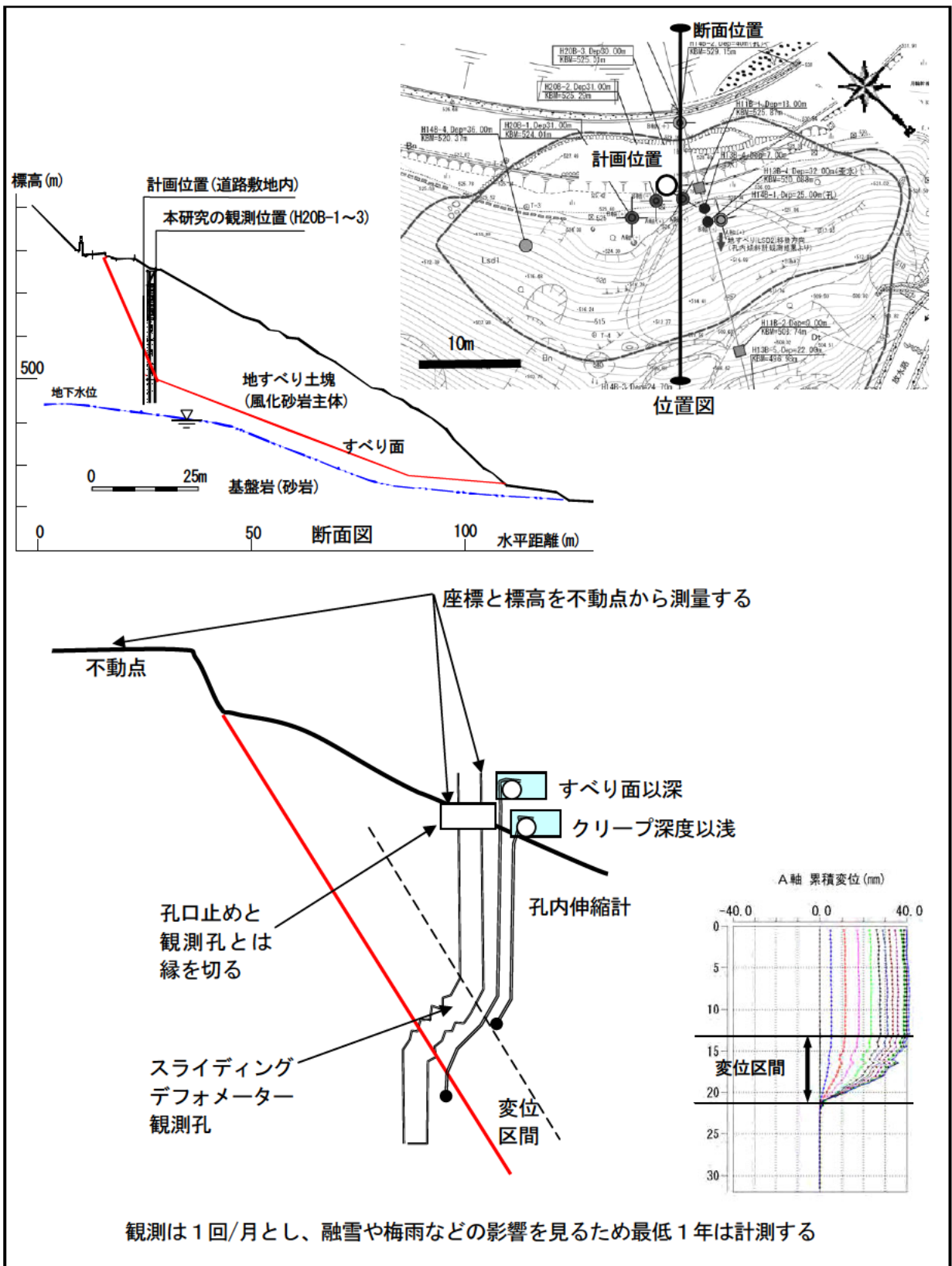
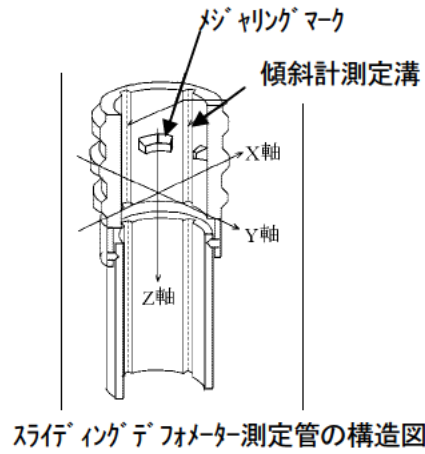
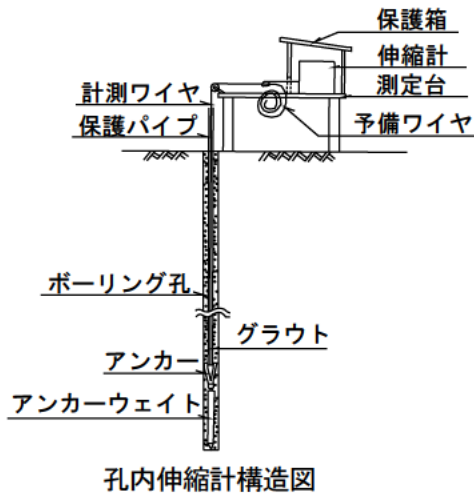


図 8.2 鉛直変位調査の計画位置と観測方法模式図



孔内伸縮計：  
すべり面以深に設置したアンカーに連結したワイヤを地上まで伸ばし、地すべりに伴う計測ワイヤの引込み量を伸縮計により計測する計測器。ワイヤはグラウト内でもよく滑るようにパイプ（チューブ）で保護されている。

スライディングデフォーメーター：  
埋設した専用の溝付きガイド管にプローブを挿入し、深度1mごとにプローブを移動させて測定する。メジャリングマークの位置で軸方向の鉛直変位と水平変位を計測する計測器である。

図 8.3 使用する計測器の概要

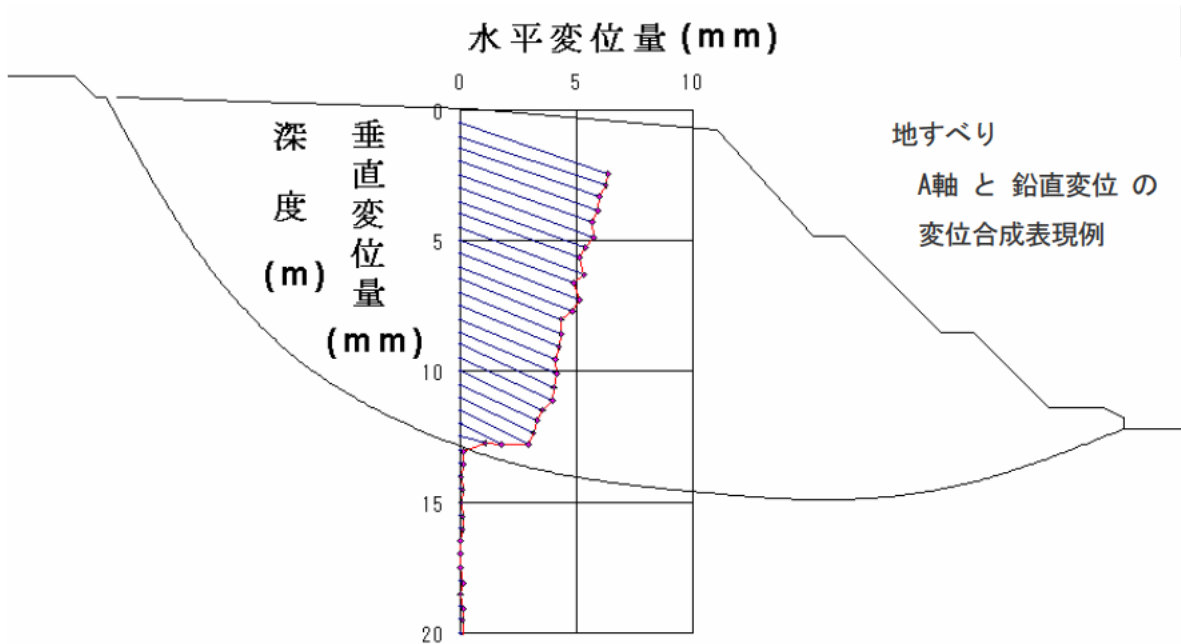


図 8.4 スライディングデフォーメーターによる計測事例

### 8.3 おわりに

挿入式孔内傾斜計は、地中内部の動きを計る技術の1つとして1975年に日本に導入されてから今日に至るまで多くの現場で使用され、計測器の改良が重ねられてきた。しかし、しばしば地盤の動きとは考えられない不良データが発生していたことも事実であり、今までは個々の現場ごとでの工夫あるいは観測者などの社内マニュアルに留まっており、広く一般には反映されているとは言えなかった。そのような背景の中で、計測技術の標準化が求められていた。

マニュアルの作成には、不良データの全国一斉アンケート調査や、60人を越える傾斜計計測熟練者へのアンケート、および不良データ発生の要因ごとに分けた計24項目もの室内・現場実験を行ったため、関連する共同研究の実施期間も含めて3年の期間を要した。マニュアルのコンセプトは、原理や理論などを細かく述べる学術的なものではなく、挿入式孔内傾斜計を使用している実務者を対象にし、共同研究での各種実験成果や著者らの実務経験を反映させた実践的な内容とすることにした。

次に、共同研究者らの実験やマニュアル作成を通じて得た実感としては、挿入式孔内傾斜計は「計画 設置 観測 検定・補正 解析」まで一連の作業を有する技術であり、どれをおろそかにしても正しい地中変位を把握することはできないということであった。また、関係する分野はボーリング技術、計測機器、地質・土質、斜面对策工事など複数の専門分野に及んでいるため、正しい設置やデータの解釈のためにはそれらを横断的に理解する必要もあることが判った。挿入式孔内傾斜計にかかわる技術者は、自身の専門以外の分野の裾野を広げることで挿入式孔内傾斜計の理解がより深まるものと思われる。

最後に、今後の計測器の改良や研究などを通して技術水準が向上し、現場における実績の積み重ねから挿入式孔内傾斜計による地中変位の把握技術がさらに発展することで、地すべり災害の防止や被害の軽減に資することを期待する。

- 以上 -

### 謝辞

本共同研究を実施するにあたり、中山地すべりにおいて国土交通省郡山国道事務所の関係各位には、ガイド管の設置試験や現場での測定実験などの実施に関して便宜を図っていただいた。また、胡桃地すべりにおいては、富山県高岡土木センター氷見土木事務所の関係各位に層別沈下計の設置や観測実験の実施に関して便宜を図っていただいた。

また、ガイド管工場の見学にあたっては三協マテリアル(株)高岡西工場、宮越工芸(株)、(株)広瀬アルミ高岡工場の関係各位にご協力いただいた。

末筆ながら、ここにご協力頂いた方々に感謝の意を表します。

---

共同研究報告書  
Cooperative Research Report of PWRI  
No.397 Mar 2010

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課  
〒305 - 8516 茨城県つくば市南原1 - 6 電話029 - 879 - 6754