

共同研究報告書

整理番号第457号

地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測
に関する共同研究

共同研究報告書

平成26年5月

独立行政法人土木研究所
応用地質株式会社
株式会社オサシ・テクノス
国土防災技術株式会社
坂田電機株式会社

Copyright © (2014) 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。

地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測 に関する共同研究

共同研究報告書

【要 旨】

本報告書は、土木研究所地すべりチームと民間企業4社が、平成22年度から平成25年度にかけて実施した共同研究「地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究」における成果をとりまとめたものである。

本共同研究では、地下水調査・観測における現状の問題点や課題の分析を行い、その結果をふまえて、地下水状況（帯水層や難透水層の分布）を的確に把握できる調査手法及びすべり面付近の間隙水圧の観測が可能な観測手法を提案した。

キーワード：地すべり、地下水、間隙水圧、部分ストレナ孔、地下水検層、試錐日報解析

執筆者名簿

(独) 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	石井 靖雄	
	元上席研究員	武士 俊也*	
	主任研究員	杉本 宏之	
	交流研究員	中野 英樹	
	元交流研究員	宇都 忠和**	
	交流研究員	樽角 晃	
	元交流研究員	本間 宏樹***	
	交流研究員	柴崎 宜之	
	応用地質株式会社 工務本部ジオテクニカルセンター 工務本部ジオテクニカルセンター エンジニアリング本部コンサルティング一部 工務本部ジオテクニカルセンター 計測システム事業部製造部	副センター長	北原 哲郎
		専任職	千葉 伸一
専任リーダー		金井 哲男	
主任		本間 宏樹	
副部長		中村 英俊	
株式会社オサシ・テクノス 開発本部	本部長	古島 広明	
		田中 龍一	
国土防災技術株式会社 技術本部	本部長	榎田 充哉	
	技術本部斜面防災部 部長	山崎 勉	
	技術本部技術部 グループ長	大野 亮一	
坂田電機株式会社 計測工事部技術課	係長	才田 誠	
	計測工事部技術課 主任	藤田 裕之	
	新事業開発グループ 課長	後藤 知英	

* 現 ブラジル連邦共和国都市省、** 現 株式会社エイト日本技術開発、*** 現 応用地質株式会社

所属は平成 26 年 3 月末時点

目 次

1. はじめに	1
1. 1 研究の背景と目的	1
1. 2 実施体制	1
1. 3 活動履歴	1
1. 4 本報告書の構成	4
2. 地下水調査・観測の実態と課題	5
2. 1 アンケート調査	5
2. 2 地下水調査の実態と課題	43
3. ボーリング孔における地下水把握手法	50
3. 1 水理地質調査の必要性	50
3. 2 連続ステップ孔内試験による水理地質調査	50
3. 3 連続ステップ孔内試験の適用性	54
3. 4 地下水検層手法の適用性	55
4. すべり面付近の間隙水圧の調査手法	73
4. 1 部分ストレナ孔の設置	73
4. 2 塩ビ管ねじ部引張り試験	81
4. 3 記録の様式化・施設台帳化	86
5. 地下水位の変動特性の評価	91
5. 1 検討方法	91
5. 2 解析結果	92
5. 3 まとめ	92
6. 地下水調査・観測の標準化	93
6. 1 共同研究における成果のまとめ	93
6. 2 「部分ストレナ孔による間隙水圧観測の手引き（案）」の作成	94
巻末資料1 部分ストレナ孔による間隙水圧観測の手引き（案）	巻末 1-1
巻末資料2 アンケート調査結果	巻末 2-1

1. はじめに

1.1 研究の背景と目的

地すべりの機構解析や斜面安定解析を実施するためには、すべり面の間隙水圧の把握が必要である。特に、難透水層によって隔てられた複数の帯水層が地すべり地に存在する場合には、すべり面付近の帯水層の間隙水圧を観測する必要があるが、多くの現場では全区間ストレーナ孔（全孔ストレーナともいう）が採用されている。このような場合、全区間ストレーナ孔では他の帯水層への逸水や複数帯水層の水位の合成により、すべり面の間隙水圧を正しく観測できないケースが多いとみられる。これらの課題を解決するために、埋設型間隙水圧計やすべり面付近のみストレーナ加工した部分ストレーナ孔による観測が提案されているが、これらの手法は普及には至っていない。

そこで本共同研究では、まず、地下水調査・観測における現状の問題点や課題の分析を行い、その結果をふまえて、地下水状況（帯水層や難透水層の分布）を的確に把握できる調査手法及びすべり面付近の間隙水圧の観測が可能な観測手法を提案することを目的とする。

1.2 実施体制

本共同研究は地すべり地における地下水の調査・観測手法に関する研究であり、地すべり地における地下水調査及び観測に関する専門的な技術、経験及び知識が必要であることから、コンサルタント会社、計測器メーカーを参画企業として公募した。その結果、表 1.1 に示すとおりコンサルタント会社から 2 社、計測器メーカーから 2 社、計 4 社が参画し共同研究を実施した。

表 1.1 参画企業

コンサルタント会社	計測器メーカー
応用地質株式会社	株式会社オサシ・テクノス
国土防災技術株式会社	坂田電機株式会社

1.3 活動履歴

本共同研究は、平成 22 年 12 月から平成 26 年 3 月までの 3 年 4 か月間実施した。本共同研究の実施工程を表 1.2 に、また活動履歴を表 1.3 に示す。

表 1.2 実施工程表

研究の分担							
研究項目	研究細目	研究分担		年次計画			
		土研	共同研究者	22年度	23年度	24年度	25年度
①地下水調査・観測の実態調査	①-1. 事例調査	○	◎	←→			
	①-2. 実態把握・課題分析	○	◎	←→	←→		
②ボーリング孔による地下水把握手法の検討	②-1. 地下水把握手法の整理	○	◎	←→			
	②-2. 室内・現場試験	○	◎		←→	←→	←→
	②-3. 手法の適用性検討	◎	○			←→	←→
	②-4. 地下水把握手法の検討	◎	○			←→	←→
③すべり面に作用する間隙水圧の調査手法の検討	③-1. 間隙水圧測定手法の整理	○	◎	←→			
	③-2. 室内・現場試験	○	◎		←→	←→	←→
	③-3. 手法の適用性検討	◎	○			←→	←→
	③-4. 適切な地下水観測孔の設置方法の検討	◎	○			←→	←→
④安定解析に用いる地下水位の検討	④-1. 安定解析に用いる地下水位の判定	○	◎		←→	←→	←→
	④-2. 地下水排除工の効果評価手法の検討	○	◎			←→	←→
⑤地下水調査・観測の標準化	⑤-1. 地下水調査・観測手法の提案	◎	○				←→
	⑤-2. マニュアル作成	◎	○				←→



写真 1.1 打ち合わせ状況



写真 1.2 現地比較試験状況

本共同研究において実施した会議、現地調査等の活動の概要は以下のとおりである。

表 1.3 共同研究の活動概要

年月日	種別	場所	内容
H23.6.20	第 1 回会議	土木研究所	研究計画の確認
H23.7.25	第 2 回会議	土木研究所	地下水調査・観測の課題整理
H23.9.27	第 3 回会議	土木研究所	地下水調査に関するアンケート (以下、アンケート) 実施についての検討
H23.10.11 ~H23.10.12	現地調査 (1)	滝坂地すべり (福島県)	連続ステップ孔内試験実施状況 の視察
H23.12.12	第 4 回会議	土木研究所	地下水調査・観測の課題整理
H24.1.31	第 5 回会議	土木研究所	地下水調査・観測の課題整理
H24.4.23	第 6 回会議	土木研究所	アンケート結果の報告
H24.5.21	第 7 回会議	土木研究所	アンケート結果の分析
H24.7.4	第 8 回会議	土木研究所	地下水調査・観測の課題の解決の 方向性検討
H24.9.3 ~H24.9.4	現地調査 (2)	由比地すべり (静岡県)	地下水検層比較調査
H24.9.24	第 9 回会議	土木研究所	現地調査結果報告、 地下水調査・観測の課題の解決の 方向性検討
H24.11.12	第 10 回会議	土木研究所	部分ストレーナ孔による間隙水 圧観測の手引き (案) (以下、手 引き) の作成検討
H25.2.5	現地調査 (3)	平久里下地すべり (千葉県)	地下水検層比較調査
H25.2.12	第 11 回会議	土木研究所	現地調査結果報告
H25.4.15	第 12 回会議	土木研究所	地下水調査・観測手法の検討
H25.5.27	第 13 回会議	土木研究所	地下水調査・観測手法の検討
H25.6.24	第 14 回会議	土木研究所	地下水調査・観測手法の検討
H25.8.7 ~H25.8.8	現地調査 (4)	滝坂地すべり (福島県)	地下水検層比較調査
H25.9.3	第 15 回会議	土木研究所	現地調査結果報告、 手引きの作成検討
H25.10.21	第 16 回会議	土木研究所	手引きの作成検討
H26.1.24	第 17 回会議	土木研究所	手引き、共同研究報告書の作成
H26.3.3	第 18 回会議	土木研究所	手引き、共同研究報告書の作成

なお、本共同研究にて得られた知見等を含めて以下の論文・学会発表を行った。

表 1.4 関連する学会発表

年月日	学会、発表会	場所	発表内容
H23.8.30 ～H23.9.2	第 50 回日本地すべり 学会研究発表会	静岡県	「地すべり地における地下水観測の課題と改善について」
H24.5.23 ～H24.5.25	平成 24 年度 砂防学会研究発表会	高知県	「善徳地すべりにおける高密度ステップ孔内試験結果と地下水観測結果との比較について」
H24.11 月	日本地すべり学会誌 第 49 巻第 6 号	—	「善徳地すべりにおける高密度ステップ孔内試験結果と地下水観測結果との比較について」
H24.8.29 ～H24.8.31	第 51 回日本地すべり 学会研究発表会	北海道	「滝坂地すべりにおける高密度ステップ孔内試験による地下水状況把握」 「アンケート分析による地すべり地の地下水調査の現状と課題」
H25.5.29 ～H25.5.31	平成 25 年度 砂防学会研究発表会	静岡県	「地すべり地における地下水観測の課題と解決の方向性」
H25.8.28 ～H25.9.1	第 52 回日本地すべり 学会研究発表会	島根県	「部分ストレーナ観測孔によって計測された地下水位の変動特性の評価」

1.4 本報告書の構成

本共同研究では、はじめに地下水調査・観測の実態把握・課題分析をアンケート調査によって実施した（2章）。実態把握と課題分析の結果、適切に間隙水圧を調査するための手法の普及を図ることが最重要課題であると考えられたため、ボーリング孔における地下水把握手法（3章）及びすべり面付近の間隙水圧の調査手法（4章）について重点的に検討を行い、連続ステップ孔内試験による地下水調査及び部分ストレーナ孔によるすべり面付近の間隙水圧の観測を提案した。また、部分ストレーナ孔と全区間ストレーナ孔の観測水位の比較をおこない、安定解析や地下水排除工の効果評価に用いる地下水データについて検討した（5章）。これらの調査によって明らかとなった知見をとりまとめ、「部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の手引き（案）」を最終的にとりまとめた（6章）。

2. 地下水調査・観測の実態と課題

2.1 アンケート調査

本共同研究では、地下水状況を的確に把握できる調査手法及びすべり面付近の間隙水圧の観測が可能な観測手法を提案することを目的としている。そのためには、まず、地下水調査・観測における現状の問題点や課題の分析を行うことが重要である。そこで、地すべり地における地下水調査・観測の現状を把握するとともに、適切な間隙水圧（地下水位）の計測を行う上での課題を抽出するためのアンケート調査を行った。アンケートの対象は、地すべり対策の経験を有する都道府県の地すべり対策事業の担当者、地すべり調査・解析の経験を有する民間企業の技術者を対象とし、都道府県は各都道府県における基準や標準的な仕様を確認する位置づけ、民間企業は地下水調査における技術者個人の経験やノウハウを把握する位置づけとした。

2.1.1 調査方法

アンケートの項目は、都道府県では自治体独自のマニュアルの有無や準拠する基準書に関するもの、試錐日報や地下水検層などの地下水把握手法に関するもの、および変位観測との併用の有無やストレーナの構造など地下水観測孔設置に関するものである。民間企業では、過去 10 年以内で地下水調査を行った代表的な業務をイメージしながら試錐日報解析や地下水検層および物理探査の工夫や課題などの地下水把握手法に関するもの、地下水観測孔設置における使用材料や工夫・課題に関するもの、計測器を使用した間隙水圧調査における課題やトラブル対処事例などの項目とした。

アンケートの方法は、都道府県の砂防関係課に依頼し、民間企業は社団法人全国地質調査業協会連合会と社団法人斜面防災対策技術協会を通じて地すべり対策の経験を有する会員各社に依頼した。民間企業については、できるだけ多くの情報を得るため、支社・支店等へも声掛けしてもらうようにした。また、アンケートは選択式と自由記入式のアンケート票への記入・回収をする方式とした。

アンケート実施時の依頼文書やアンケート票を図 2.1～2.11 に示す。

平成 24 年 2 月 16 日

各都道府県砂防関係課長 殿

独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ上席研究員 武士俊也

地すべり対策における地下水調査に関するアンケート調査について（依頼）

日頃より土木研究所の研究業務に対しましてご理解とご協力を賜っておりますことを厚く御礼申し上げます。

現在、土木研究所地すべりチームでは、地すべり解析や対策工設計に用いるための間隙水圧（地下水位）の適切な計測方法の標準化を目的として「地すべり斜面の地下水位観測手法の標準化に関する研究」を行っているところです。なかでも現場における計測方法については、民間会社に多くのノウハウが蓄積されていることに鑑み、計測方法の検討あたっては土木研究所と民間 4 社の公募型共同研究「地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究」*によって進めることとしています。

これらの検討に当たっては地下水調査の現状について把握する必要があることから、地すべり対策の経験を有する都道府県を対象として、現状把握のためのアンケート調査を実施させていただくこととしました。つきましては、別添アンケート票へ記入していただき、下記返送先へお送りくださいますようお願いいたします。御多忙の時期に大変恐縮ですが、ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

*共同研究「地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究」

共同研究参加機関：独立行政法人土木研究所、応用地質株式会社、株式会社オサシテクノス、
国土防災技術株式会社、坂田電機株式会社

1. アンケート回答方法：別添アンケート電子ファイル（エクセル形式）に回答を記入の上、下記のアンケート回答専用メールアドレスに返送してください。
2. アンケート送付先
アンケート回答専用メールアドレス：XXXXXXXXXXXXXXXXXX
3. 回答期限：平成 24 年 3 月 23 日（金）
4. 問い合わせ先
土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 主任研究員 杉本宏之
電話：XXXXXXXXXX FAX：XXXXXXXXXX 電子メール：XXXXXXXXXXXXXXXXXX

図 2.1 アンケートの依頼文（都道府県）

地すべり対策における地下水調査に関するアンケート調査

◆趣 旨

日頃より土木研究所の研究にご理解とご協力を賜っておりますことを厚く御礼申し上げます。

さて、現在私たちは「地すべり斜面の地下水位観測手法の標準化に関する研究」と称する研究課題を進めています。この中では、土木研究所と民間4社（応用地質株式会社、株式会社オサシテクノス、国土防災技術株式会社、坂田電機株式会社）の共同研究により、課題の分析・整理を実施しているところです。

そこで、地すべりの地下水観測に携わっておられる都道府県を対象として、アンケート調査を実施させていただきますこととしました。

ご多用の折の勝手なお願いで誠に恐れ入りますが、ご協力を賜りますよう何卒宜しくお願い申し上げます。

アンケートのご回答について

1. 下記がアンケートの調査票となっております。メールでの回答をお願いします。
2. ご回答いただき、3月23日までに、下記のメールアドレスにご返送下さい。

アンケート回答専用メールアドレス：xxxxxxxxxxxxx

◆アンケート調査票担当者連絡先

都道府県名	
所属名	
役職名	
氏 名	
電 話	
メールアドレス	

図 2.2 アンケート票 1（都道府県）

【1. 地すべり調査全般に関するアンケート】

※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述、書ける範囲でお書き下さい(複数選択可)。

質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
1.1 自治体独自に策定した地すべり調査に関する指針・マニュアルや手引きはありますか？	① あり (発行年月: 発行部署:) ② なし	
1.2 地すべり調査の特記仕様書に明示している基準書や参考図書類はありますか？	a.河川砂防技術基準(案)同解説 1997年10月建設省河川局 b.地すべり防止技術指針及び同解説 2008年4月国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所 c.道路土工一切土工・斜面安定工指針(平成21年度版)2009年6月社団法人日本道路協会 d.いつでも、どこでもすぐに役に立つ地すべり観測便覧 1996年10月 社団法人地すべり対策技術協会 e.ボーリングポケットブック(第4版)2003年8月 全国地質調査業協会連合 f.その他()	

※ 1.1の自治体独自で策定している指針類、および標準的な特記仕様書を参考までご提供ください。

【2. 地下水把握手法に関するアンケート】

※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述、書ける範囲でお書き下さい(複数選択可)。

質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
2.1 試錐日報の提出を義務付けていますか	① 義務付けている(成果品の一部として) ② 報告書に試錐日報解析の記載があれば、試錐日報自体の提出は必要ない ③ 特に定めはない ④ その他()	
2.2 地すべり地において地下水位観測孔を設置する際、地下水検層などの帯水層調査を実施していますか	① 標準仕様として必ず実施 ② 必要に応じて実施 ③ 特に定めはない ④ その他()	
2.3 2.2で地下水検層を行う場合の手法について教えてください	① 自然水位のみ実施 ② 孔内水汲み上げを併用して実施 ③ ステップ検層を実施※1 ④ 実施業者にまかせる ⑤ その他()	
2.4 過去5年の業務を対象にして、すべり面付近の間隙水圧測定のための間隙水圧計(または部分ストレーナー+水位計)を設置した事例はありますか	① 設置事例あり ② 設置事例なし ③ その他()	
2.5 2.4で「事例あり」の場合、どのような判断基準で設置を指示しますか	① マニュアル等の規定がある ② 状況判断して発注者からの指示 ③ 受注業者からの提案 ④ その他()	
2.6 2.4で「事例なし」の場合の理由を教えてください。	自由記入	
2.7 地下水位観測孔の構造を検討する際に、どのような地下水把握手法を用いていますか	① 試錐作業日報 ② 地下水検層 ③ 実施業者に任せる ④ その他()	

※1 ステップ検層: ボーリング掘削の1工程(1~2m程度)毎に実施する地下水検層

図 2.3 アンケート票 2 (都道府県)

【3. 地下水観測孔設置に関するアンケート】

※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述、書ける範囲でお書き下さい(複数選択可)。

質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
3.1 地下水位観測孔と変位観測孔(パイプひずみ計や孔内傾斜計)を併設する際、標準的な発注仕様を教えてください	① それぞれ専用の観測孔として設置 ② 併用孔として1孔にまとめて設置 ③ その他()	
3.2 右に示す地下水位観測孔の構造について用いられる頻度を教えてください(①~③についてa~eからお答えください)	① すべり面を貫いてオールストレーナー ② すべり面以浅をオールストレーナー ③ 部分ストレーナー a. ほぼ全て b. 7~8割程度 c. 半分程度 d. 2~3割程度 e. ほとんどない	①() ②() ③()
3.3 3.2に示したものの以外の構造があればお教えてください(できれば理由も)	自由記入	
3.4 地下水位観測孔を設置する際のボーリング削孔径を教えてください(①~②についてa~eからお答えください)	① 66mm ② 86mm a. ほぼ全て b. 7~8割程度 c. 半分程度 d. 2~3割程度 e. ほとんどない	①() ②()
3.5 3.4に示したものの以外であればその削孔径をお教えてください(できれば理由も)	自由記入	
3.6 標準的な保孔管の種類を教えてください	① VP40塩ビ管 ② VP50塩ビ管 ③ その他()	
3.7 標準的なストレーナーの開口率・配置などについて定めていれればお教えてください(不明な部分については記載しなくても構いません) ※開口率は「4開口率」シートを参考	a.ストレーナーの径 b.千鳥の間隔や方向(四方など) c.開口率	a.ストレーナーの径(mm) b.千鳥(cm 方千鳥) c.開口率(約 %) ※ その他自由記載
3.8 透水区間の間詰材について指定のものがあれば教えてください	① 洗い砂 ② 珪砂 ③ 豆砂利 ④ 指定なし ⑤ その他()	
3.9 地表水・表層地下水位の進入防止手法や孔口保護の方法について定めがあれば教えてください	① 仕様書・マニュアルなどで規定 ② 特に定めなし ③ その他()	

図 2.4 アンケート票 3 (都道府県)

平成 24 年 2 月 ● 日

社団法人全国地質調査業協会連合会
会員 各位

独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ上席研究員 武士俊也

地すべり対策における地下水調査に関するアンケート調査について（依頼）

日頃より土木研究所の研究業務に対しましてご理解とご協力を賜っておりますことを厚く御礼申し上げます。

現在、土木研究所地すべりチームでは、地すべり解析や対策工設計に用いるための間隙水圧（地下水位）の適切な計測方法の標準化を目的として「地すべり斜面の地下水位観測手法の標準化に関する研究」を行っているところです。なかでも現場における計測方法については、民間会社に多くのノウハウが蓄積されていることに鑑み、計測方法の検討あたっては土木研究所と民間 4 社の公募型共同研究「地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究」*によって進めることとしています。これらの検討に当たっては地下水調査の現状について把握する必要があることから、地すべり対策の経験を有する社団法人全国地質調査業協会連合会の会員各社様を対象として、現状把握のためのアンケート調査を実施させていただくこととしました。つきましては、別添アンケート票へ記入していただき、下記返送先へお送りくださいますようお願いいたします。なお、本アンケートは社団法人斜面防災対策技術協会の会員各位にもお願いしており、重複してご依頼差し上げている場合には、どちらかにご回答ください。御多忙の時期に大変恐縮ですが、ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

*共同研究「地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究」

共同研究参加機関：独立行政法人土木研究所、応用地質株式会社、株式会社オサシテクノス、
国土防災技術株式会社、坂田電機株式会社

1. アンケート回答方法：

土木研究所地すべりチームサイトからアンケート電子ファイル（エクセル形式、右のアドレスからダウンロード可能：xxxxxxxxxxxxxx）をダウンロードし、回答を記入の上、下記のアンケート回答専用メールアドレスに返送してください。

2. アンケート送付先

アンケート回答専用メールアドレス：xxxxxxxxxxxxxx

3. 回答期限：平成 24 年 3 月 23 日（金）

4. 問い合わせ先

（アンケートの実施目的等について）

土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム 杉本、本間、宇都

電話：xxxxxxxxx FAX: xxxxxxxxxxxx 電子メール：xxxxxxxxxxxxxxxxxx

（アンケートの内容・回答方法について）

応用地質株式会社エンジニアリング本部コンサルティング二部 北原哲郎・千葉伸一

電話：xxxxxxxxx FAX: xxxxxxxxxxxx 電子メール：xxxxxxxxxxxxxxxxxx

図 2.5 アンケート依頼文（民間企業）

地すべり対策における地下水調査に関するアンケート調査

◆趣 旨

日頃より土木研究所の研究にご理解とご協力を賜っておりますことを厚く御礼申し上げます。
 さて、現在私たちは「地すべり斜面の地下水位観測手法の標準化に関する研究」と称する研究課題を進めています。この中では、土木研究所と民間4社（応用地質株式会社、株式会社オサシテクノス、国土防災技術株式会社、坂田電機株式会社）の共同研究により、課題の分析・整理を実施しているところ です。

そこで、地すべりの地下水観測に携わっておられる民間の方々を対象として、アンケート調査を実施させていただくこととしました。

アンケートの実施にあたりましては、貴協会を通じて会員各社の皆様にアンケート調査にご協力を頂きたいと考えております。

ご多用の折の勝手なお願いで誠に恐れ入りますが、ご協力を賜りますようお願い申し上げます。なお、できるだけ多くの情報を得たいと考えており、支社・支店等へもお声掛けをいただければ幸いです。

アンケートのご回答について

1. 下記がアンケートの調査票となっております。メールでの回答をお願いします。
2. ご回答いただき、3月23日までに、下記の担当者宛にご返送下さい。

＜内容に関するお問い合わせ＞

国土防災技術株式会社 山崎宛

e-mail: xxxxxxxxxxxxxxxx TEL: xxxxxxxxxxxx

＜アンケートの返送先＞

(独)土木研究所 地すべりチーム 杉本、本間、宇都宛

e-mail:xxxxxxxxxxxxxxxxx TEL: xxxxxxxxxxxx

◆アンケート調査票記入担当者（できれば氏名、連絡先のご記入をお願い致します）

会社名・所属・氏名	
経験年数	
連絡先（電話 or メールアドレス）	

◆アンケート回答時にイメージした事業（発注機関）

質問1	質問2	回答欄(選択or記述)
a.国土交通省 b.農林水産省(農地) c.林野庁 d.地方自治体事業 e.NEXCO f.水資源機構 g.その他()	h.地すべり対策事業 i.道路事業 j.ダム 貯水池地すべり k.その他()	
差し支え慣れければ発注機関や現場名をご記入ください(複数可)		

◆対象者

本アンケート調査は、地すべり調査・解析の経験を有する方を対象とします。
 過去10年以内で地下水調査を行った代表的な業務をイメージしてご回答下さい。
 回答可能な部分だけ記載して頂いて結構です。

できるだけ多くの情報を得たいと考えていますので、支社・支店等へもお声掛けをいただければ幸いです

図 2.6 アンケート票 1（民間企業）

土木研究所: 地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究		
【1. 地下水把握手法に関するアンケート】		
ここでの地下水把握とは、「適正な地下水観測孔の設置や地下水排除工の配置を検討するために地すべり地内の地下水の賦存状況に関する情報を入手すること」		
1. 1 試錐日報解析 ※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述を書ける範囲でお書きください(複数回答可)。		
質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
0 全般		
0.1 地すべり地内における地下水の賦存状況を把握するために有効と考えている調査種は何ですか？(複数回答可)	a. 試錐日報解析、b. 食塩検層(地下水検層)、c. 温度検層、d. 微流速計、e. 簡易揚水試験、f. 電気探査、g. トレーサ試験、h. その他(具体的に)	
0.2 0.1の回答の中で最も有効と考えている調査種は何ですか？	a. 試錐日報解析、b. 食塩検層(地下水検層)、c. 温度検層、d. 微流速計、e. 簡易揚水試験、f. 電気探査、g. トレーサ試験、h. その他(具体的に)	
0.3 0.2の回答の理由を教えてください。	自由記入	
1.1 試錐日報解析		
1.1.1 試錐日報解析を地すべり地の地下水把握のために利用していますか？	a. 利用している b. 利用していない	
1.1.2 試錐日報の記載や掘削前後の地下水位観測などで工夫している点がありますか？	自由記入	
1.1.3 試錐日報の記載及び解析における課題はありますか？	自由記入	
1.1.4 試錐日報解析結果によって把握している地下水情報の種類は？	a. 有圧地下水帯(湧水)位置、 b. 地層の透水(漏水)性、c. 地層毎の地下水位、d. その他(具体的に)	
1.1.5 過去に実施した試錐日報解析の中で、良い解析ができた事例や解析が難しい事例がありましたら、以下の資料を提出願います。 ①試錐日報解析結果 ②当該孔のコア写真及び地質柱状図		

図 2.7 アンケート票 2 (民間企業)

土木研究所:地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究

【1. 地下水把握手法に関するアンケート】

ここでの地下水把握とは、「適正な地下水観測孔の設置や地下水排除工の配置を検討するために地すべり地内の地下水の賦存状況に関する情報を入手すること」

1. 2地下水検層

※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述を書ける範囲でお書きください(複数回答可)。

質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
1.2 地下水検層		
地すべり地の地下水把握のために利用している検層の種類は？(複数回答可)	a. 食塩検層(地下水検層)、b. 温度検層、c. 微流速計、d. 簡易透水試験、e. その他(具体的に)	
1.2.1 1.2.1の回答の中でよく利用している検層の種類は？(複数回答可)	a. 食塩検層(地下水検層)、b. 温度検層、c. 微流速計、d. 簡易透水試験、e. その他(具体的に)	
1.2.3 1.2.2の理由を教えてください。	自由記入	
地すべり地の地下水帯の位置などの地下水状況を把握するためにどの手法が有効だと考えていますか？(複数回答可)	a. 食塩検層(地下水検層)、b. 温度検層、c. 微流速計、d. 簡易透水試験、e. その他(具体的に)	
1.2.5 1.2.4の理由を教えてください。	自由記入	
よく利用している検層においてステップ検層(ボーリング掘進に合わせた日毎検層)を実施していますか？	a. 実施している(利用している検層の種類) b. 実施していない。	
1.2.6		
よく利用している検層において孔内水汲み上げを併用した検層を実施していますか？	a. 実施している(利用している検層の種類) b. 実施していない。	
1.2.7		
よく利用している検層の実施において良い結果を得るために工夫している点がありますか？	自由記入	
1.2.8		
よく利用している検層の実施及び解析における課題はありますか？	自由記入	
1.2.9		
過去に実施した地下水検層の中で、良い解析ができた事例や解析が難しい事例がありましたら、以下の資料を提出願います。 ①地下水検層結果のグラフ ②当該孔のコア写真及び地質柱状図		
1.2.10		

図 2.8 アンケート票3 (民間企業)

土木研究所：地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究

【1. 地下水把握手法に関するアンケート】

ここでの地下水把握とは、「適正な地下水観測孔の設置や地下水排除工の配置を検討するために地すべり地内の地下水の賦存状況に関する情報を入手すること」

1. 3電気探査・物理探査

※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述を書ける範囲でお書きください(複数回答可)。

質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
1.3 電気探査・物理探査		
1.3.1 地すべり地の地下水把握のために電気探査や物理探査を利用したことはありますか？	a. ある(探査種) b. ない	
1.3.2 地下水把握を目的とした電気探査又は物理探査の解析における課題はありますか？	a. ある(具体的に) b. ない	
1.3.3 地下水把握を目的とした電気探査又は物理探査の解析で工夫していることがあれば教えてください。	自由記入	
1.3.4 過去に実施した地下水把握を目的とした電気探査又は物理探査の中で、良い解析ができた事例や解析が難しい事例がありましたら、以下の資料を提出願います。 ①探査結果の解析断面図 ②当該断面の地質断面図 ③当該断面上の観測孔のコア写真及び地質柱状図		

図 2.9 アンケート票 4 (民間企業)

【2. 地下水観測孔設置に関するアンケート】

※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述、書ける範囲でお書き下さい(複数選択可)

質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
2.1 設置することが多い地下水位観測孔の構造を教えてください	a.すべり面を貫いてオールストレーナー b.すべり面以浅をオールストレーナー c.部分ストレーナー d.複数の帯水層対象の観測孔 e.その他()	
2.2 地下水位観測孔に使用する塩ビ管の種類やストレーナー構造について、特記仕様書等で指定されていますか	a.ほぼ指定 b.概ね指定 c.あまり指定されない d.ほぼ指定されない	
2.3 2.1で指定された以外の材料やストレーナー構造を提案した経験がある方は、その種類・構造や理由をご記入ください	自由記入	
2.4 塩ビ管を使用した場合、接続方法を教えてください	a.ねじ切り b.ソケット c.印籠継ぎ手 d.その他()	
2.5 使用している止水材の種類と選定した理由をご記入ください	a.モルタル b.ベントナイト c.ベントナイトペレット d.ナイスシール e.昆布 f.パッカー g.棕櫚(しゅろ) h.その他() + 自由記入	
2.6 使用しているフィルター材の種類と選定した理由をご記入ください	a.防虫網 b.伸縮フィルター c.さらし d.その他() + 自由記入	
2.7 使用している間詰材(透水区間)の種類と選定した理由をご記入ください	a.洗い砂 b.珪砂 c.豆砂利 d.その他() + 自由記入	
2.8 止水材や間詰材の充填方法をご記入ください	自由記入	
2.9 地表水・表層地下水位の進入防止手法や孔口保護の方法をご記入ください	自由記入	
2.10 複数の帯水層が確認され多層観測したことがある場合は、選定した経緯や観測孔の設置方法をご記入ください。可能なら4資料シートに構造図を添付ください	自由記入	
2.11 地下水位観測孔の設置方法や使用材料について、地質・地下水条件により使い分けている事例がありましたらご記入ください	自由記入	
2.12 地下水位観測孔が深い場合、工夫している事例がありましたら教えてください。また、その深度もご記入ください	自由記入	
2.13 部分ストレーナの地下水位観測孔を設置して、帯水層を外す・水位が変動しない・水位が無い、などの失敗談がありましたらお聞かせ下さい	自由記入	
2.14 水位観測孔設置において、施工性や設計に寄与するという観点から、今後変更すべき点などがありましたらご意見ください	自由記入	

図 2.10 アンケート票5 (民間企業)

【3. 間隙水圧調査(部分ストレーナー+水位計含む)に関するアンケート】

※選択肢の中から選んで回答欄に選択した記号とその他の記述、書ける範囲でお書き下さい(複数選択可)

質問	選択肢	回答欄(選択or記述)
3.1 地すべり調査で水圧式水位計を使用して、苦勞・失敗した事例をお答えください。	自由記入(例:水位が上がらなかった、水位が変動しなかった、レンジオーバーで測定不能、サージ・動物により計器が故障、温度変化の影響を受けた、観測孔の変形により水位計が抜けなくなった など)	
3.2 3.1の理由をお聞かせください。	自由記入(観測孔の構造が不適切、ペントチューブに浸水、ケーブルに保孔管を被せていなかった、予想以上に水位が上昇 など)	
3.3 3.3の対処方法をお答えください。	自由記入(水位計を交換、修理、水位観測を終了 など)	
3.4 地すべり調査で埋設型間隙水圧計を使用したことがある方は、設置状況や使用した理由をお答えください。	自由記入	
3.5 間隙水圧調査について、今後改善すべき点があると思いますか？	自由記入(例:ほとんどが全ストレーナーで実施されており、比較できなくなる、設置・測定に手間がかかる割に評価されない など)	
地すべり対策における地下水調査について、ご自由にご意見を述べてください		

本アンケートは、地すべり対策における地下水調査に関する貴重な意見にさせていただきます。ご協力ありがとうございました。

図 2.11 アンケート票6 (民間企業)

2.1.3 調査結果

1) 都道府県アンケート結果

都道府県からの回答数は、41であった。

都道府県を対象としたアンケート結果をグラフ化した結果を図2.12～2.18に示す。集計時のデータや一覧表は巻末資料に示す。なお、グラフ中に表現されない自由回答は、同様の意見が複数寄せられたものや特筆すべき内容について、本文中に記載し、その他の意見については、巻末資料に取りまとめた。

1.1.自治体独自に策定した地すべり調査に関する指針・マニュアルや手引きはありますか？

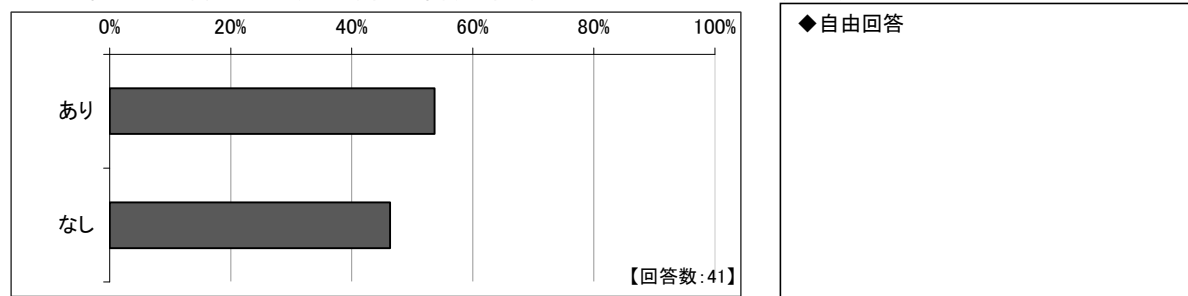


図 2.12 自治体独自に策定した指針等の有無

1.2.地すべり調査の特記仕様書に明示している基準書や参考図書類はありますか？

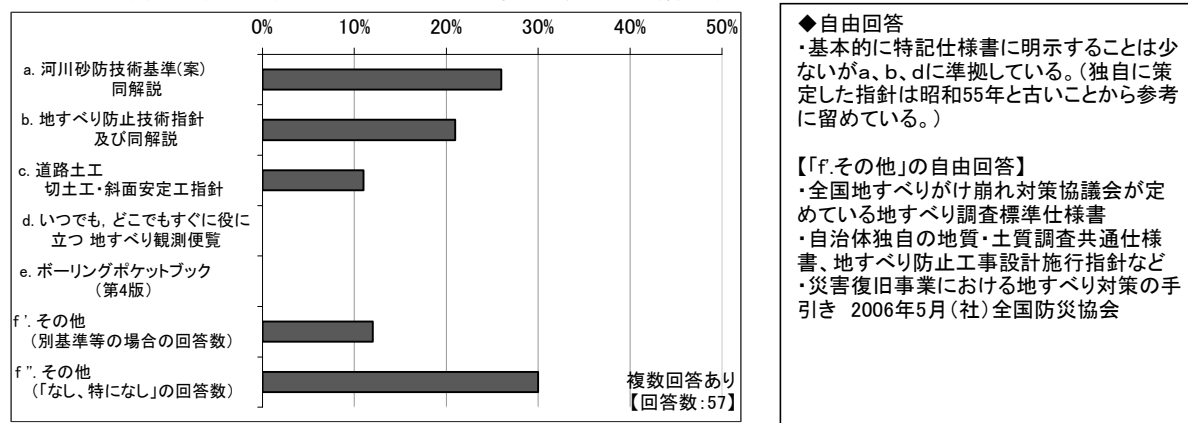
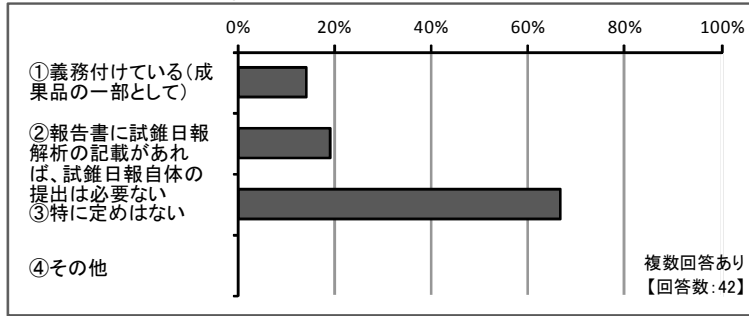


図 2.13 特記仕様書に示している基準書など

【2. 地下水把握手法に関するアンケート】

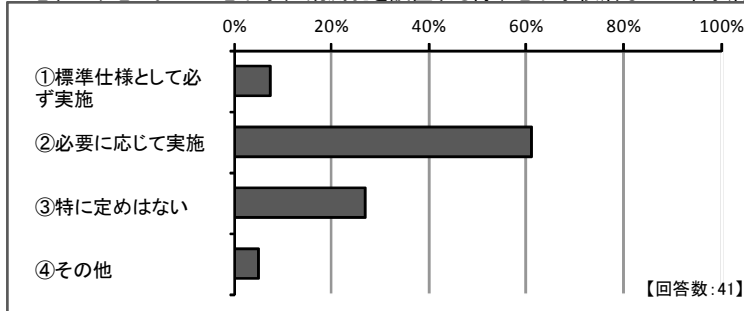
2.1. 試錐日報の提出を義務付けていますか？



◆自由回答
【④の自由回答】
・特に定めていないが、成果品として提出。
・ボーリングを行った際には、報告書に柱状図とコアの写真、考察が入る為、試錐日報自体の提出は特に定めていない。
・義務付けていないが、地下水位を把握を目的としている場合は、提出を求めている。基本的に受託者は指示がなくても提出している。
・地質・土質調査共通仕様書 第204条4

図 2.14 試錐日報提出の義務

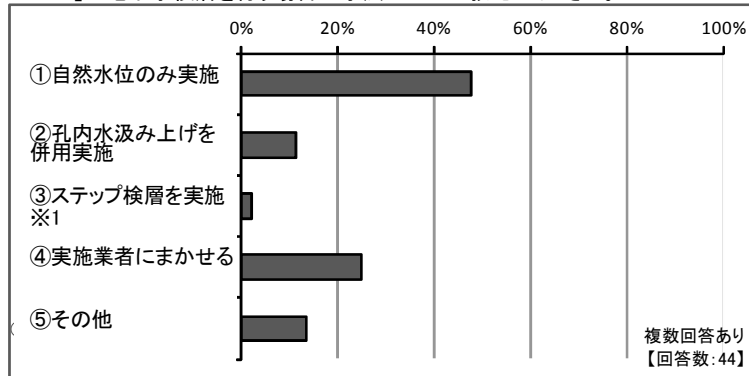
2.2. 地すべり地において地下水位観測孔を設置する際、地下水検層などの帯水層調査を実施していますか？



◆自由回答

図 2.15 帯水層調査の実施

2.3. 「2.2」で地下水検層を行う場合の手法について教えてください。

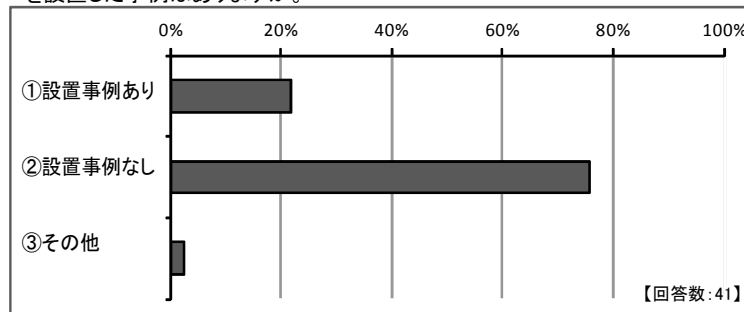


◆自由回答
【⑤の自由回答】
・箇所ごとに発注者と受注者の協議で手法を決めている。
・JGS1317(トレーサーによる地下水流動層検層方法)に準拠している。
・状況判断して発注者からの指示又は受注業者からの提案。
・事例がない。
・手法を定めていない。

※1: ステップ検層: ボーリング掘削の1工程(1~2m程度)毎に実施する地下水検層

図 2.16 地下水検層実施の手法

2.4. 過去5年の業務を対象にして、すべり面付近の間隙水圧測定のための間隙水圧計(または部分ストレーナ+水位計)を設置した事例はありますか。



◆自由回答
【①の自由回答】
・箇所浅層、深層と観測深度を変えて複数の水位観測孔設置事例あり。また、地すべり土塊を抜けてその下位の岩盤で地下水が逸水し水位が認められない場合、部分ストレーナ+水位計を設置した実績あり。

図 2.17 間隙水圧計(部分ストレーナ孔)の設置事例

【2. 地下水把握手法に関するアンケート】

2.5. 2.4で「事例あり」の場合、どのような判断基準で設置を指示しますか。

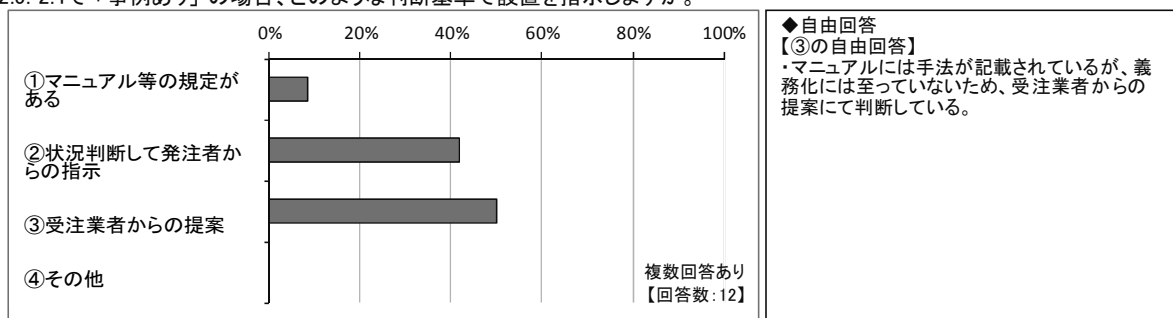


図 2.18 間隙水圧計等の事例ありの場合の判断基準

2.6. 2.4で「事例なし」の場合の理由を教えてください。

【自由記入】

- ・地下水位計の値等を代用する場合もあり、間隙水圧の測定器を入れるメリットが小さい。
- ・現状ではオールストレーナでの観測としている。
- ・著しい被圧地下水が存在しなかったため。
- ・間隙水圧計は、地下水位計と比べ高価であるため
- ・規模や特殊性から判断し、必要なしと判断した。
- ・すべり面に作用する水頭をオールストレーナでの水位で代表させている。
- ・地すべり土体内水位＝自由地下水位であるケースが多いため。
- ・パイプ歪計を併用しているケースが多いため。
- ・地すべり事業の対策工の早期施工を進めるため、水位専用孔を設置する時間的猶予がなかったため。
- ・すべり面深度が特定されない地すべりが多いため。
- ・発注仕様上求めていないため。
- ・平成14年度以降、地すべりが発生していないため。
- ・自記式水位計で観測した最高水位を解析に利用しているため。
- ・費用大であること、孔内水位で大概可能と考えている。
- ・すべり面に関する調査の必要がなかったため。
- ・ボーリング孔内の地下水位をもって代えている。
- ・水位観測孔における水位を地下水位計で観測し、すべり面上の水位を用いて安定解析等を行なっているため。
- ・測定において、特段、必要と思われる場所がなかったから。
- ・自然水位の高さによる水位評価を行っているため。
- ・すべり面付近の間隙水圧を測定するためには、まずパイプ歪計や傾斜計等により、すべり面深度を把握する必要があるが、その後再度、間隙水圧測定用のためにのみボーリング調査を実施することは財政難のため困難なため。
- ・地下水位を間隙水圧として代用しているため、計器設置時すべり面が想定であるため等の理由による。
- ・地下水位を観測するため。
- ・すべり面や地下水位を特定できない。

図 2.19 間隙水圧計等の事例なしの場合の理由（自由記入）

2.7. 地下水位観測孔の構造を検討する際にどのような地下水把握手法を用いていますか。

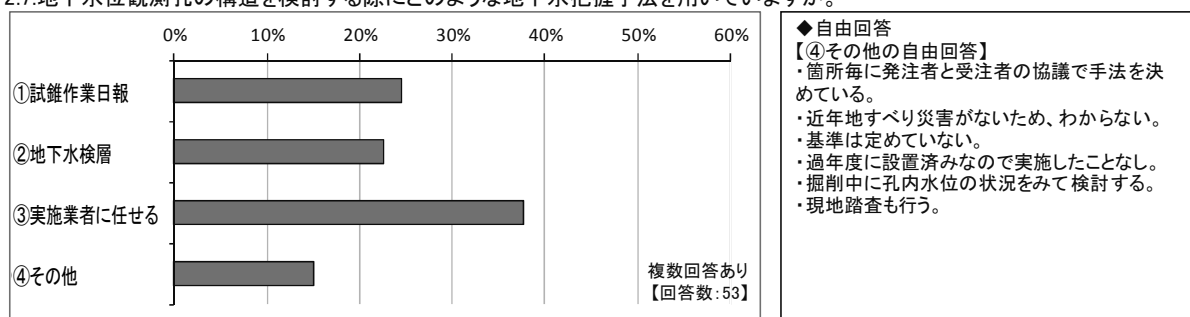
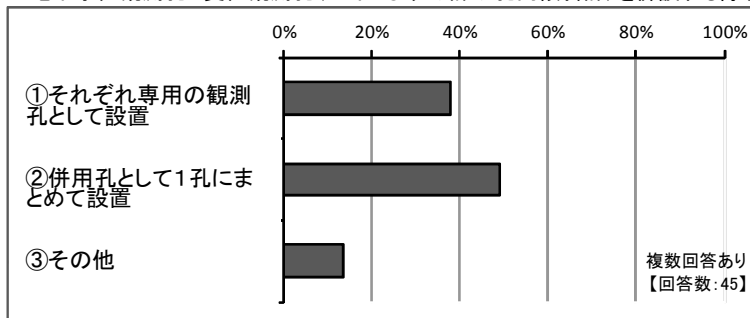


図 2.20 観測孔の構造検討の際の地下水把握手法

【3. 地下水観測孔設置に関するアンケート】

3.1. 地下水位観測孔と変位観測孔（パイプひずみ計や孔内傾斜計）を併設する際、標準的な発注仕様を教えてください。



◆自由回答

- ・基本的には①専用孔であるが状況に応じて②併用孔とする。
- ・ほとんどの箇所が②併用孔であるが、①専用孔とする場合もある。
- ・破砕帯では②併用孔を採用する。
- ・パイプ歪計は②併用孔、孔内傾斜計は①専用孔とする。
- ・ボーリング掘進時にすべり面付近で逸水した場合は、協議し別孔を設置する場合がある。

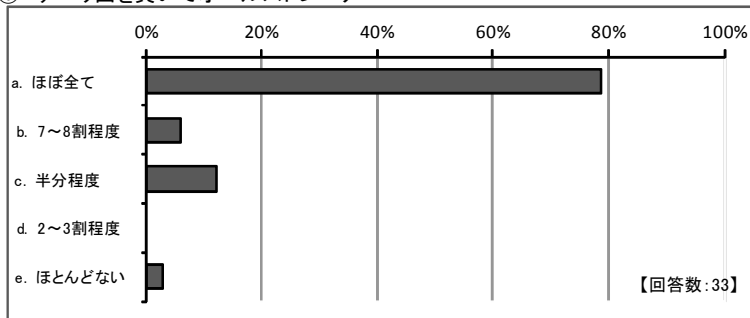
【③その他の回答】

- ・標準的な発注仕様は無い。現場条件に応じ兼用孔とする場合がある。
- ・標準的な仕様等は特に定めていない。
- ・標準的な発注仕様は定めておらず、実績は①57% ②43% である。
- ・協議により決定する。

図 2.21 変位観測孔を併設する際の発注仕様

3.2. 右に示す地下水位観測孔の構造について用いられる頻度を教えてください。（①～③についてa～eからお答えください）

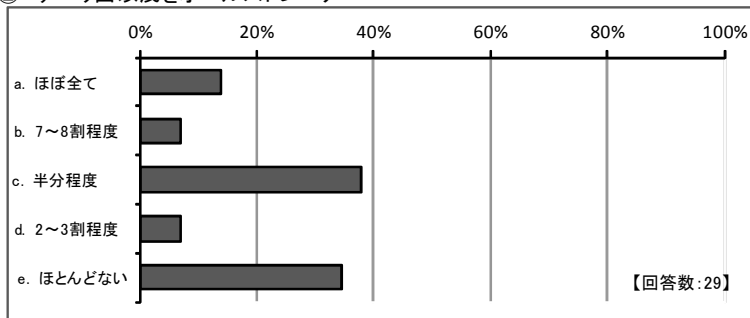
① すべり面を貫いてオールストレーナー



◆自由回答

- ・特記仕様書では、帯水層あるいは保孔管全区間にわたりストレーナーとしており、実際は全区間ストレーナー加工している。
- ・地下水位面より深い部分をストレーナーとしている。

② すべり面以浅をオールストレーナー



③ 部分ストレーナー

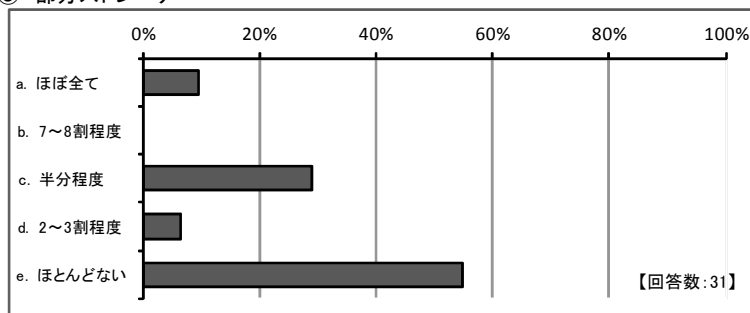


図 2.22 水位観測孔の構造の頻度

【3. 地下水観測孔設置に関するアンケート】

3.3. 3.2に示したものの以外の構造があれば教えてください。(できれば理由も)

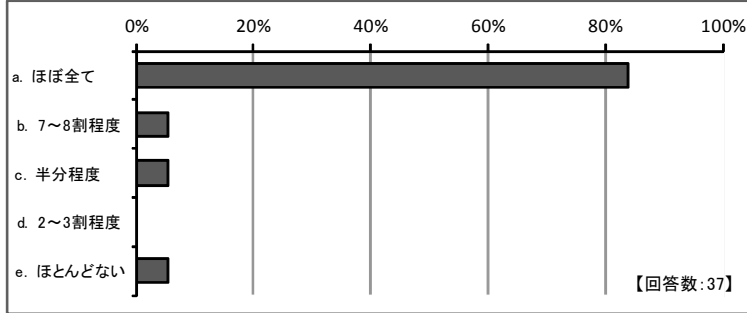
【自由記入】

- ・特になし。
- ・すべり面掘り止めでオールストレーナーとしている。

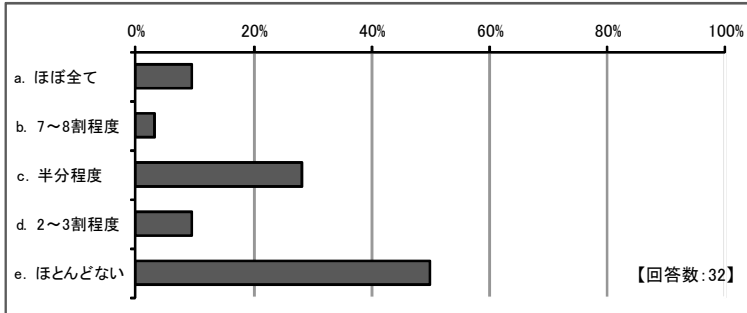
図 2.23 質問 3.2 以外の構造

3.4. 地下水位観測孔を設置する際のボーリング削孔径を教えてください。(①～②についてa～eからお答えください)

① 66mm



② 86mm



◆自由回答

- ・一部の箇所では以下の使用実績がある。
- ①66mm(d) ②86mm(b)
- ・孔内傾斜計を設置する際は86mm、パイプ歪み計を設置する際は66mm。ただし、パイプ歪み計は耐用年数が短くあまり適用していない。
- ・近年観測箇所が少なく回答できないが、一般的には①66mmがほぼ全てである。

図 2.24 地下水位観測孔設置時のボーリングの削孔径

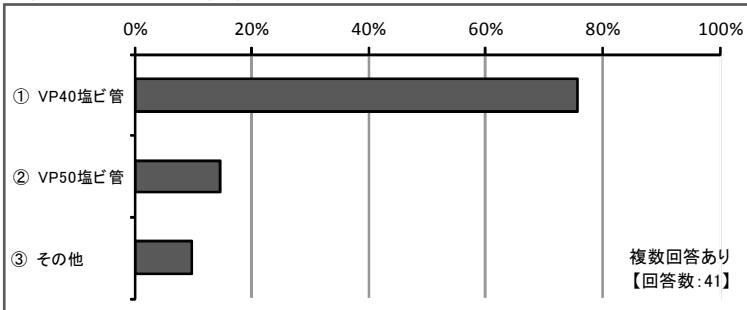
3.5. 3.4に示したものの以外であればその削孔径をお教えてください(できれば理由も)

【自由記入】

- ・特になし。
- ・積算基準上は上記の径としているが、近年地すべりが発生していないことから、特別な基準はない。

図 2.25 質問 3.4 以外の削孔径

3.6. 標準的な保孔管の種類を教えてください



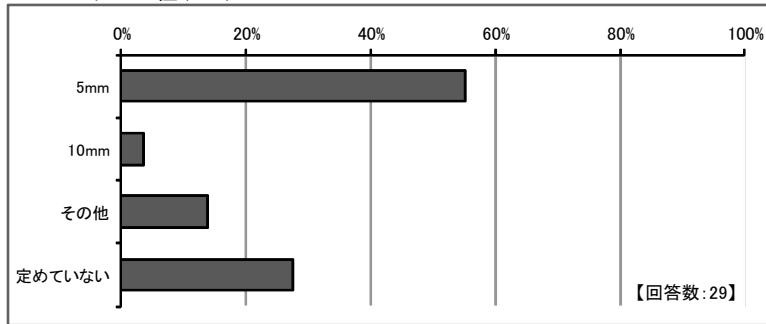
◆自由回答

- ・近年は①VP40塩ビ管が主流と思われる。
- ・基本は①VP40塩ビ管であるが、一部で②VP50塩ビ管を標準としている箇所もある。
- ・一般的には②VP50塩ビ管であるが、箱根地区の場合はHT40or50パイプ or フェノール積層管(耐熱耐酸性を考慮)を使用する。
- ・地下水観測は以前はフロート式のため86mm掘削、VP50塩ビ管であったが、最近は水位センサに圧力変換器を使用しているため、66mm掘削、VP40塩ビ管で対応している。
- ・共通仕様書においては径の指定はなく、VP塩ビ管を使用する事としている。
- ・標準仕様を定めておらず、実績は①VP40塩ビ管:82%、②VP50塩ビ管:9%、③その他:9%(アルミケーシングパイプφ47)である。
- ・掘削径(66mm、86mm)に合わせ①VP40塩ビ管、②VP50塩ビ管を使い分けしている。

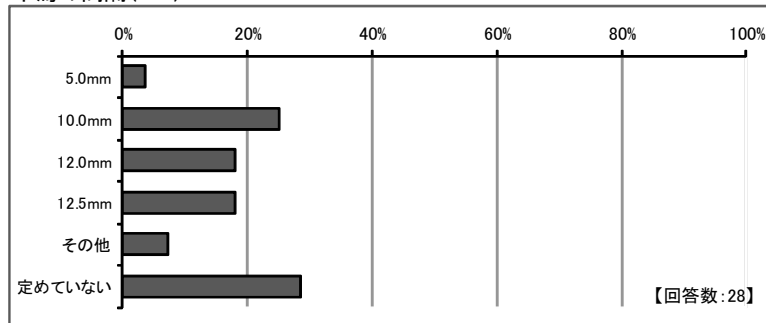
図 2.26 標準的な保孔管の種類

3.7. 標準的なストレーナーの開口率・配置などについて定めていればお教えてください
 (不明な部分については記載しなくても構いません) ※開口率は「4開口率」シートを参考

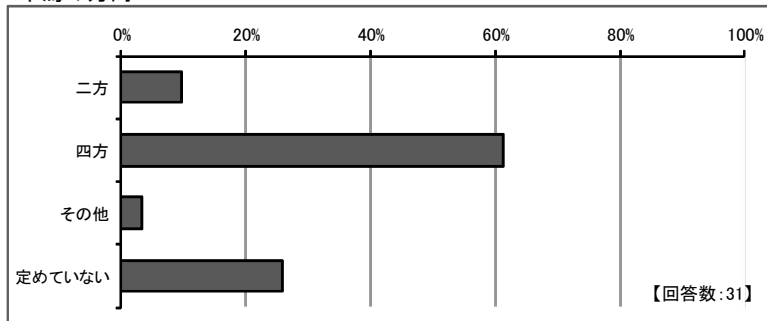
a. ストレーナーの径 (mm)



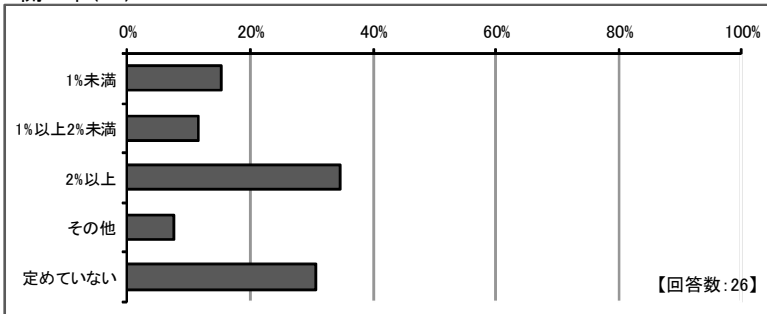
b. 千鳥の間隔 (mm)



b. 千鳥の方向



c. 開口率 (%)

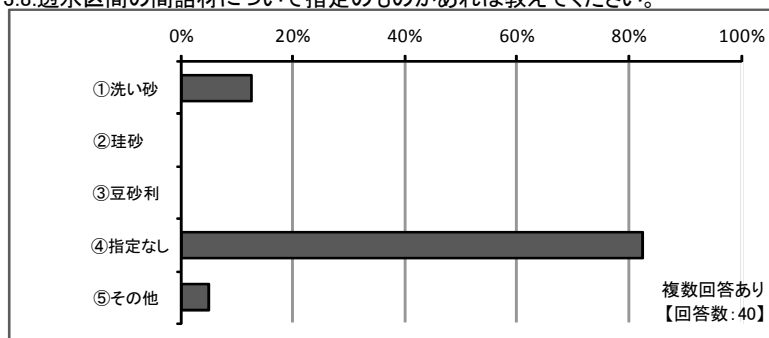


◆自由回答

- ・特記仕様書にて定めていない。
- ・特に定めていない。
- ・特に定めていないが、地すべり防止技術指針及び同解説 2008年4月 国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所の横ボーリング工に準ずるようにしている。
- ・パイプ歪み計との併用の場合、開口率はより低いと思われる。
- ・地下水測定兼用のパイプ歪計を使用しているが開口率・配置等は不明である。
- ・標準仕様を定めていないが、VP40四方千鳥、VP50八方千鳥 の実績がある。

図 2.27 標準的なストレーナーの開口率や間隔

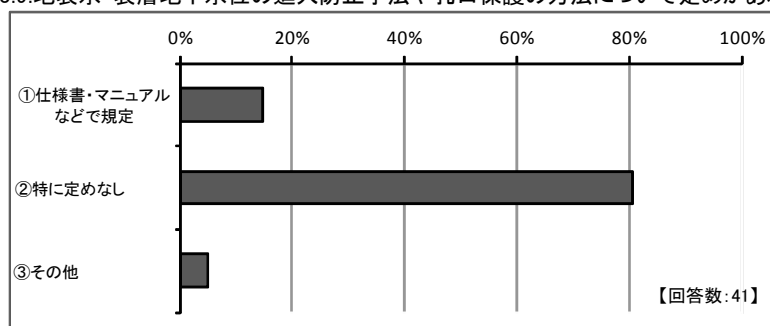
3.8.透水区間の間詰め材について指定のものがあれば教えてください。



- ◆自由回答
- ・指定していないが、①洗い砂又は③豆砂利が多いと思われる。
 - ・良質な砂とし、監督員が指示する。
 - ・特に指定していないが、洗い砂が大半である。
 - ・基本的には粒度の均一な珪砂や豆砂利を用いている。
 - ・指定はしていないが、③豆砂利が多い(もしくは②珪砂)
 - ・特に指定はないが①洗い砂、③豆砂利で実施することが多い。

図 2.28 間詰め材の指定

3.9.地表水・表層地下水位の進入防止手法や孔口保護の方法について定めがあれば教えてください。



- ◆自由回答
- ・①仕様書・マニュアルなどで規定しており、設置後、速やかに孔口に蓋をする。(モルタルで塞ぐ)
 - ・特に定めていないが、孔口周辺から流入がないようにする孔口止め程度する。
 - ・方法を定めていないが、実績としてモルタルによる孔口保護を実施している地区もある。
 - ・セメントで保護する。
 - ・特に定めていないが、孔口部に型枠を組んでコンクリートを打設している。
 - ・特に定めていないが、一般的に口元コンクリート 300×300×200程度を行っている。

図 2.29 孔口保護の方法の指定

2) 民間企業アンケート結果

(1) 基本事項

社団法人全国地質調査業協会連合会および社団法人斜面防災対策技術協会の会員からの回答数は89であった。

民間企業対象のアンケートでは、アンケート時に回答者に地すべり調査の経験年数やイメージした事業・発注機関などの基本事項について記載を求めた。経験年数の平均値は22年、中央値は21年であった(図 2.30)。アンケート回答時にイメージした発注機関は地方自治体が半数以上と多く、次いで国土交通省の約3割であった(図 2.31)。回答時にイメージした事業は、地すべり対策事業が7割と最も多く、次いで道路事業が約2割程度であった(図 2.32)。

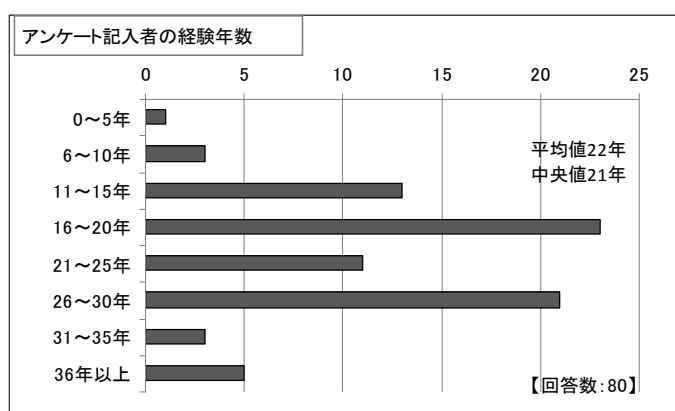


図 2.30 アンケート記入者の経験年数

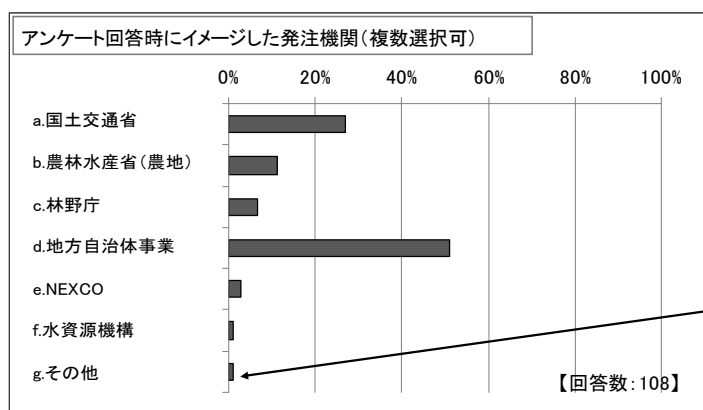


図 2.31 回答時にイメージした発注機関

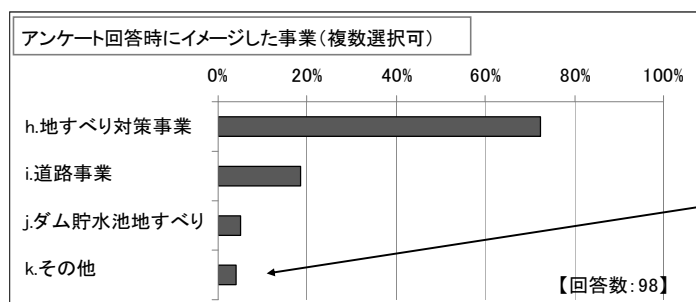


図 2.32 回答時にイメージした事業

(2)アンケート結果

民間企業の技術者を対象としたアンケート結果をグラフ化した結果を図 2.33～2.51 に示す。
自由記入式のアンケートは取りまとめたものを掲載した。集計時のデータは巻末資料に示す。

1. 0 全般

0.1 地すべり地内における地下水の賦存状況を把握するために有効と考えている調査種は何ですか？(複数回答可)

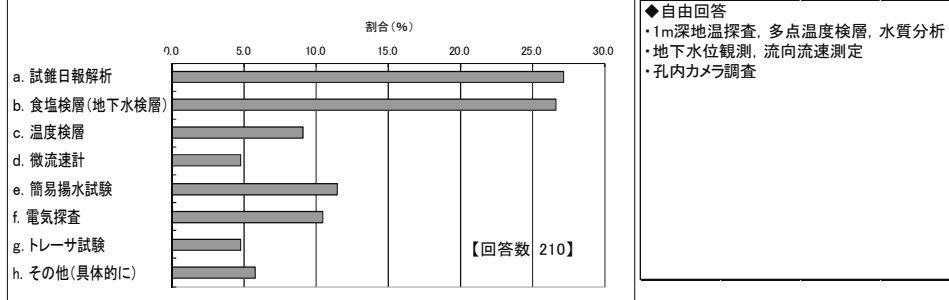


図 2.33 地下水賦存状況把握に有効と考えている調査

0.2 0.1の回答の中で最も有効と考えている調査種は何ですか？

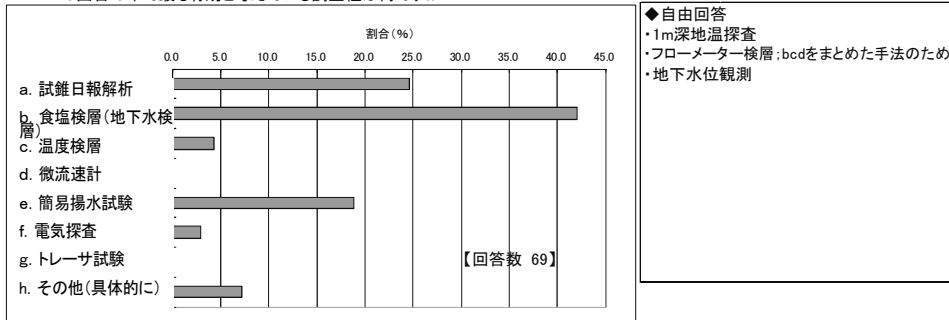


図 2.34 質問0.1の中で特に有効と考えている調査

表 2.1 もっとも有効な調査種を選定した理由

0.3 最も有効な調査種を選定した理由

a. 試錐日報解析

選定理由	回答数
地層毎の水位の把握	6
信頼性が高い	2
簡単	2
すべり面付近の水圧の把握	2
帯水層と不透水層の把握	2
低コスト	2
自由地下水、被圧地下水の把握	2
漏水、湧水深度の把握	2
基本的な情報入手	1
調査深度に制限がない	1

b. 食塩検層(地下水検層)

選定理由	回答数
流動層などの明確な判断が可能	14
実績が多い	6
低コスト	5
汲み上げと併用可能	4
複数の流動層の把握	3
簡単・手軽にできる	3
コア状況と一致する	3
地層毎の地下水賦存状況把握	2
帯水層の把握	2
降雨後や融雪時の測定可能	2
地下水流動の経時変化の把握	2
孔内の地下水流の把握	2
地下水文条件の把握	1
圧力水頭の把握	1
地下水の賦存量の把握	1
他の検層との比較として	1
再現性がある	1
ケーシングの影響がない	1
ステップ検層が可能	1
発注者への説明が容易	1

c. 温度検層

選定理由	回答数
精度が高い	1
地下水位が浅い状況把握	1
1m地温探査との併用による3D把握	1
コア状況と一致する	1

e. 簡易揚水試験

選定理由	回答数
地下水量などの定量的な判断が可能	9
深度毎の地下水賦存量の把握	6
低コスト	2
帯水層の把握	1
地質・土質によるバラツキが少ない	1
対策工の集水量との相関が高い	1
すべり面深度の推定	1

f. 電気探査

選定理由	回答数
面的な情報が得られる	2

h. 多点温度検層

選定理由	回答数
他の調査より総合的に優れている	1

h. フローメーター検層;bcdをまとめた手法

選定理由	回答数
流動層と地下水賦存状況を把握可能	1

h. 地形・地質解析

選定理由	回答数
地質(岩相)の水利特性を把握可能	1

d. 微流速計、g. トレーサ試験は記載なし

1.1 試錐日報解析

1.1.1 試錐日報解析を地すべり地の地下水把握のために利用していますか？

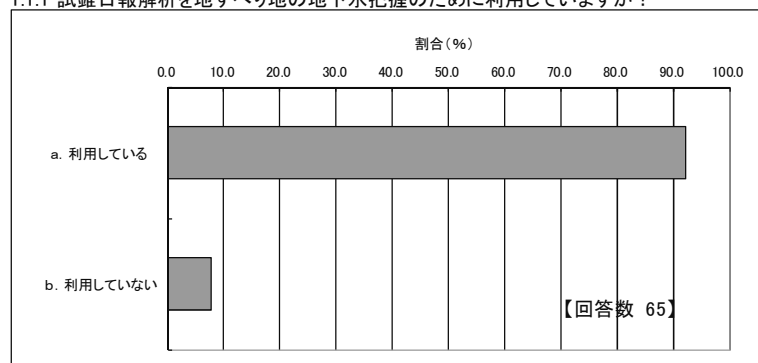


図 2.35 試錐日報解析の利用

表 2.2 試錐日報の記載や掘削前後の地下水観測での工夫

1.1.2 試錐日報の記載や掘削前後の地下水位観測などで工夫している点がありますか？

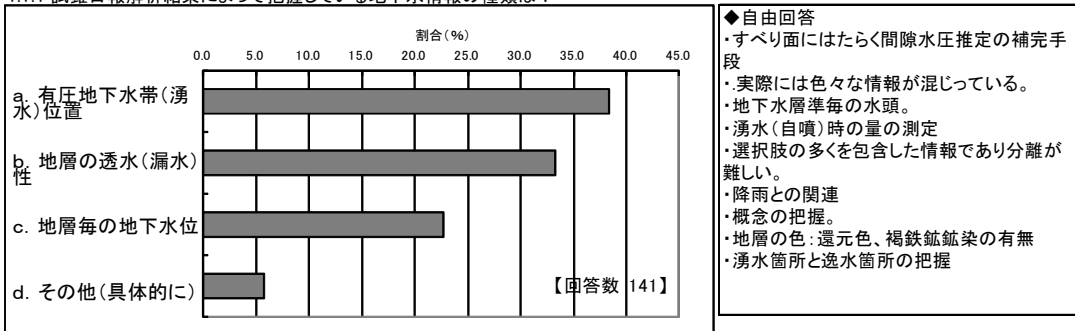
No.	内容	件数	区分
1	削孔中のケーシング位置, 湧水, 逸水の深度, 湧水量, 水頭, 逸水量を詳細に記入している。	16	
2	削孔水の影響を小さくするために汲み上げもしくは注水を行っている。	11	削孔水の影響排除
3	掘進時の地下水状況を詳細に記載	5	
4	簡易揚水試験後の回復水位を記入し, 掘削水の影響を排除している。	3	削孔水の影響排除
5	掘進・保孔と地下水位の関係をグラフにまとめる。	3	
6	ケーシング挿入前水位も記載	3	
7	泥水の使用状況を詳細に記載	2	
8	ケーシング挿入を我慢して裸孔を残す。	2	
9	削孔水の影響を排除するため一定時間において掘削後水位を測定	2	削孔水の影響排除
10	作業前, 作業終了後の他, ケーシング抜管後の地下水も計測	1	
11	必要に応じて昼休み前後にも水位を計測	1	
12	すべり面掘進後の水位変化を把握するためすべり面付近では掘進速度を管理している。	1	
13	すべり面に達したらケーシングをその深度まで引き上げて揚水した後次の作業前に再度地下水位を計測	1	
14	平衡水位の把握	1	
15	掘削時の孔内状況(崩壊, 昇降時の障害の有無等)を記入	1	
16	試錐にベントナイトを使用しない。	1	
17	日報に頼らずオペレータから直接状況を聞いている	1	
18	測定わずれをなくす	1	
19	送水圧が大きく変化する場合は日報に記載	1	
20	掘削後に清水で孔内洗浄。	1	
21	作業前後の地下水位計測時の時刻を記載	1	
22	現場情報を正確に把握する。	1	
23	漏水, 湧水等を考慮してケーシング深度を設定	1	
24	前日との水位比較以外に, 削孔後水位又は削孔前水位同士を比較して透水性を判断。	1	
25	水位変動と掘進長及びケーシング長との関係がわかるように整理	1	
26	日掘進長を3~5m程度に抑えている。	1	
27	ボーリングコアも総合判定に加味している。	1	
28	夕方水位も記載	1	
29	初期水位を観測するまではできるだけ無水掘を実施	1	
30	毎日掘削終了後に孔内を満水とする。	1	
31	掘削深度, ケーシング深度, 水位等をCADで着色しわかりやすくしている。	1	
32	掘進中のリターン水を詳細に記入	1	

表 2.3 試錐日報の記載や解析の課題（自由記入）

1.1.3 試錐日報の記載及び解析における課題はありますか？

No.	区分	内容	件数
1	オペレータ技能	オペレータの技能や意識の差によって結果が異なる。	9
2		急激な地下水位低下や湧水状況等の記載漏れをオペレータに確認する必要がある。	3
3		掘進時送水量、漏水量を自記記録するシステムが必要。	2
4		水位の記載漏れがある。	1
5		掘削後の水位変化(上昇、一定、下降)も記載する必要がある。	1
6		オペレータによって送水量と排水量の正確さが異なる。	1
7		記載様式の統一化がなされていない。	1
8	掘進速度とコスト	掘進速度が速い場合や掘削時間が短い場合、地下水位変化が把握できない。	11
9		ボーリング単価を考えると解析優先にしない。情報を多く得るためにはコスト増となる。	3
10		一日の掘進量が多く、複数の土層を貫くケースが多い	2
11	ケーシングの影響	掘進速度が早い場合は送水量や排水量の変化に着目する必要がある。	1
12		ケーシング挿入による解析不能区間が生じるケースが多い	5
13		ケーシングの止水性がわるく適正な裸孔部の水位を測定できないケースが多い。	4
14		地層毎の判断がケーシング挿入長に左右される。	2
15		ケーシング挿入のタイミングの判断が難しい。	1
16		掘進時の水位とケーシングの関係を正確に把握することが重要	1
17		安定地盤ではケーシングを用いないのでいろいろな地層の地下水位が混ざる。	1
18	すべり面となり得る深度では孔壁の押出しや孔崩れが起きやすく、ケーシングにより判定不能となるケースが多い。	1	
19	結果の利用	試錐日報解析結果が水位観測孔設置方法の基準化につなげていない	1
20	削孔水の影響	削孔水の影響を小さくするために汲み上げもしくは注水を行っている。	11
21		作業後水位は掘削水による孔内水位であり、本来の地下水位を反映していない。削孔水の影響排除。	6
22		作業後の水位が安定しない場合、水位測定のタイミングを判断することが難しい。	2
23		作業後のどの段階(コア取り、ケーシング立て込みなど)で作業後水位を計測したかによって評価が異なる。	1
24		日作業終了時の条件の標準化が必要。	1
25	使用制限	浅い地すべりの場合、うまく把握できない。	1
26	判定基準	判定の統一基準が無い	2
27		単純な水位比較だけではなく、複数の可能性を仮定して、コア性状や地下水検層結果を比較して総合判定する	1
28		孔内水位が急低下した場合の判断が難しい。	1
29		試錐日報解析図の作図が煩わしい	1
30		日ごとの掘進がすべり面付近で止まるとは限らないためすべり面付近の情報が得られないことが多い	1
31		適切な孔井構造になっていない場合は情報の信頼性が落ちる。	1
32		経験により解析結果が異なる	1

1.1.4 試錐日報解析結果によって把握している地下水情報の種類は？

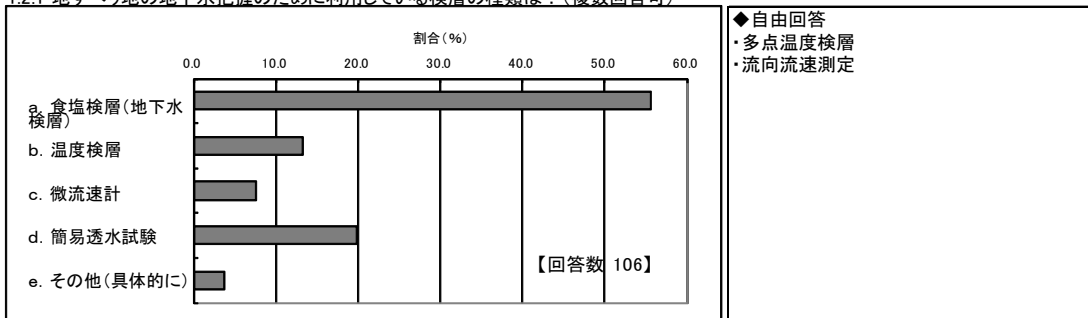


- ◆自由回答
- ・すべり面にはたらく間隙水圧推定の補完手段
 - ・実際には色々な情報が混じっている。
 - ・地下水層毎の水頭。
 - ・湧水(自噴)時の量の測定
 - ・選択肢の多くを包含した情報であり分離が難しい。
 - ・降雨との関連
 - ・概念の把握。
 - ・地層の色: 還元色、褐鉄鉱染の有無
 - ・湧水箇所と逸水箇所の把握

図 2.36 試錐日報解析によって把握している地下水情報

1.2 地下水検層

1.2.1 地すべり地の地下水把握のために利用している検層の種類は？(複数回答可)



- ◆自由回答
- ・多点温度検層
 - ・流向流速測定

図 2.37 地下水把握のために利用している検層の種類

1.2.2 1.2.1の回答の中でよく利用している検層の種類は？(複数回答可)

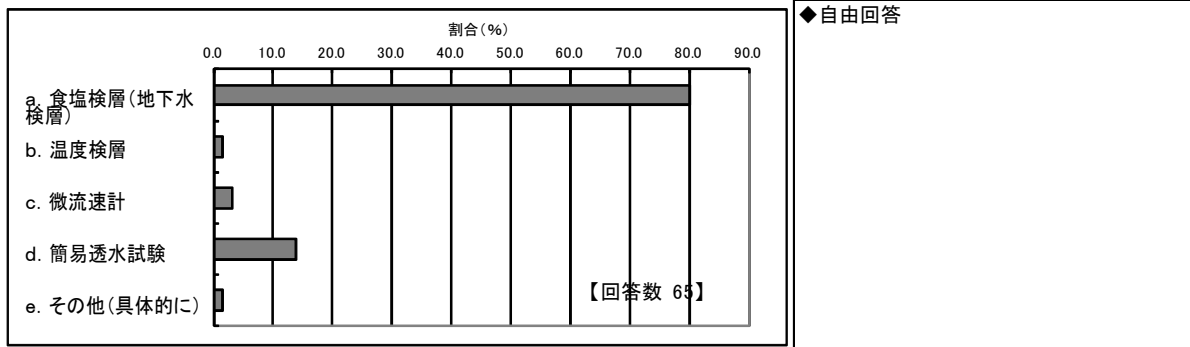


図 2.38 質問 2.1 でよく利用している検層の種類

表 2.4 よく利用している検層の種類理由 (自由記入)

1.2.3 自由記入まとめ(よく利用する検層の理由)

手法	試験が簡単	機材費安価	仕様		技術的要因				
			役所の仕様	一般的・自社仕様	正確・判りやすい	流動状況の把握容易	圧力水頭の把握が容易	他の試験と併用し補足	施工を考慮している
a:食塩検層	31	4	3	19	6	14	2	2	7
b:温度検層				1		1			1
c:微流速計	1					2			1
d:簡易透水試験	7	1	2	1	1	3		2	4
e:その他(地温探査)						1			1

1.2.4 地すべり地の地下水帯の位置などの地下水状況を把握するためにどの手法が有効だと考えていますか？(複数回答可)

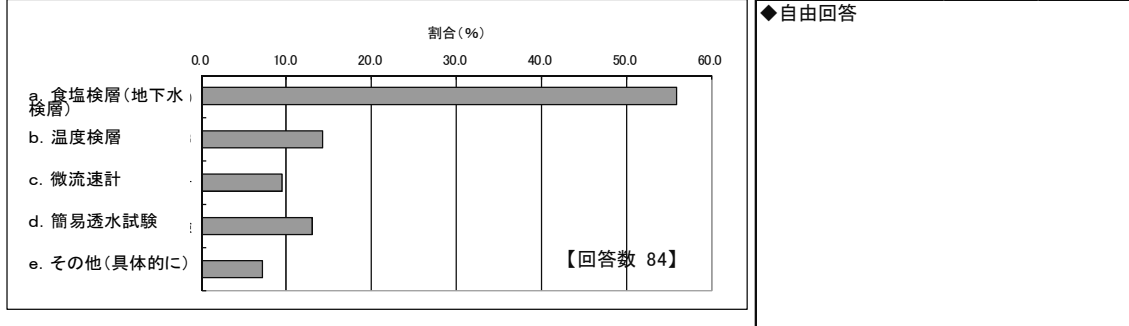


図 2.39 帯水層などの地下水状況把握に有効な調査

表 2.5 有効と考えている地下水調査の理由 (自由記入)

1.2.5 自由記入まとめ(地すべり地で最も有効だと思う理由)

手法	試験が簡単	機材費安価	一般的・実績が多い	技術的要因				
				正確・判りやすい	流動状況の把握容易	地下水無くても可能	他の試験と併用し補足	施工を考慮している
a:食塩検層	11	1	13	21	6		6	3
b:温度検層	4			7	2	2	3	
c:微流速計			1	4			1	
d:簡易透水試験	1		2	9	1		2	2
e:その他				2	1		3	

1.2.6 よく利用している検層においてステップ検層(ボーリング掘進に合わせた日毎検層)を実施していますか？

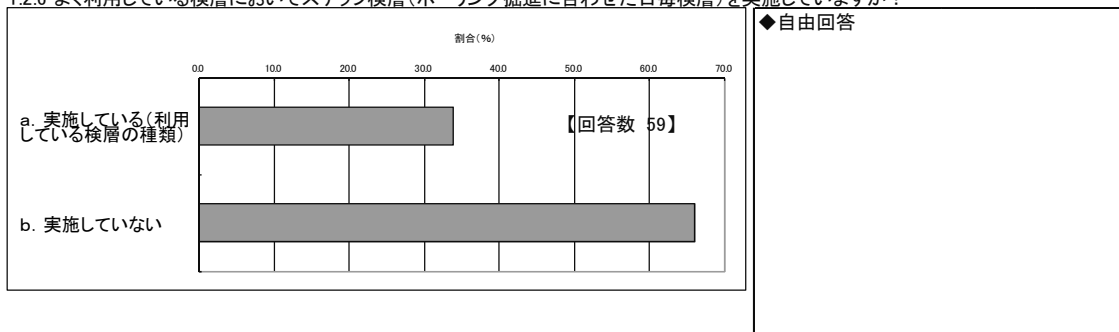


図 2.40 ステップ検層の実施の有無

1.2.7 よく利用している検層において孔内水汲み上げを併用した検層を実施していますか？

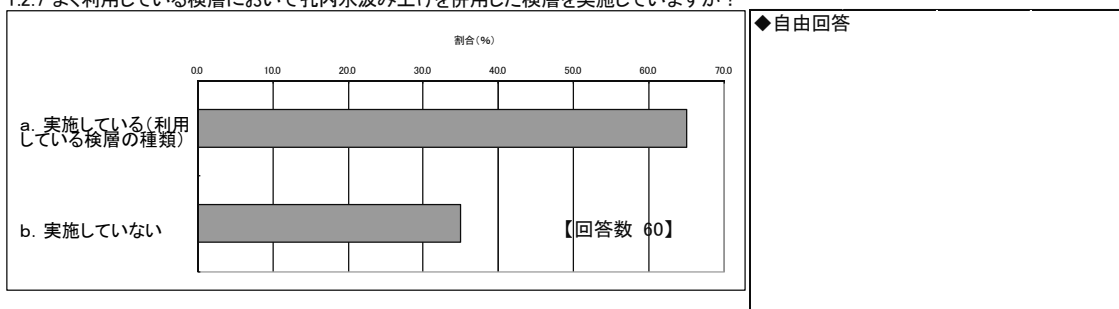


図 2.41 汲み上げ検層の実施の有無

表 2.6 良い検層結果を得るための工夫

1. 2. 8 自由記入まとめ(良い検層結果を得るための工夫)

手法	目的	方法	回答数
a: 食塩検層	塩分濃度を均等にする	充分攪拌する	7
		バックグラウンドにより濃度を変える	5
		孔内水を置換する	1
		段取りを良くする	1
		食塩の投入方法を工夫している	2
		方法の記入特に無し	8
	データの信頼性向上	水位上昇時に観測する	6
		削孔の影響を避ける為観測の間を置く	3
		孔壁を自然状態に保つ	5
		ストレーナパイプ使用	2
		予めボーリングコアからすべり面を想定しておく	1
		挿入固定型(20~25cm)試験器使用	1
		塩分濃度を比抵抗0.81にして試験を行う	1
		複数回試験を行う	2
他の試験を併用している。	5		
地表水の流入を止水している	2		

手法	目的	方法	回答数
d: 簡易透水試験	データの信頼性向上	汲み上げ量・間隔の調整	1
		保孔管の開口率を大きくする	1
		汲み上げが追いつかない場合は採水ポンプを利用	1
		孔壁を洗浄し自然状態にする	2
	止水	ケーシングの先端を止水する	2
		上部帯水層からの流入を防止している	1

* 他の試験方法については、回答数が少なく未集計

表 2.7 検層における課題

1.2.9 よく利用している検層の実施及び解析における課題はありますか？(最多の地下水検層の課題のみ抽出)

区分	内容	件数	
判定基準	解析の判定基準が統一されていない。	2	
	良い結果が得られない場合の評価方法が不明	1	
	流動層検出結果の信頼性が不明	1	
作業および仕様の標準化	食塩を均一に溶解することが困難	6	
	必要十分な汲み上げ能力を持つ機器等がない。	3	
	保孔管の開口率30%で十分であるか疑問	3	
	測定者の技能によって結果が異なる。	1	
	汲み上げ検層が重労働	1	
	測定結果の手入力による入力ミスが発生する。	1	
	直前の検層の影響でバックグラウンド値が正確に把握できない。	1	
	ソンドの昇降による攪乱が発生する。	1	
	検出能力の限界	食塩の攪拌が不十分だと流動層の検出精度が低下する。	6
		すべり面貫通などによる大きな逸水があると実施できない。	4
		優勢な地下水帯がある場合、それ以深の地下水帯が検出不能となる。	3
降雨条件によって結果が異なる。		3	
ペーラーによる汲み上げ能力が小さいために検出できない場合がある。		3	
流入量の小さな層は検出できない。		2	
削孔水の影響を受ける		2	
透水係数などの地下水文条件を定量評価できない。		1	
地下水位が低い場合は検出できない区間が多くなる。		1	
観測孔の仕上げやスライムの付着状況によって結果が異なる。		1	
透水性の良い地盤の流動層には良いがその他には不適。		1	
機器の維持管理	深部で比抵抗値が小さくなる変化が現れる。	1	
	流動層の流速を定量的に評価できない。	1	
	汲み上げや注水を併用しない場合は流動層の検出精度が低下する。	1	
	塩分濃度の高い地盤では実施できない。	1	
	比抵抗値が時間と共に逆に変化することがある。	1	
	検層器の維持管理が困難	1	
	解析結果の利用	地下水排除工の効果推定に利用できない。	1
		解析結果が対策工計画などに利用されていない	1

表 2.8 検層における課題(分類、集計)

1.2.9 自由記入まとめ(検層における課題は)

手法	項目	課題	回答数	
a: 食塩検層	実施	塩分濃度	均一にする事は難しい	5
			時間経過で変化する	8
		地下水	流動が多い(水位高い)	7
			流動が少ない(水位低い)	8
		孔壁	自然状態に戻す	3
		ストレーナ	開口率の影響	4
		経験	熟練度により試験結果が変わる	1
	試験機	維持管理が困難・高価	1	
	労力	負担大きい	1	
	解析	判断基準	定量的な解(基準)が無い	5
			コア観察と検層結果が異なる	1
			海辺付近で不向き	1
			他の試験法との併用が望ましい	5
対策工	試験結果が十分に反映されない	2		

* 他の試験方法については、回答数が少なく未集計

1.3 電気探査・物理探査

1.3.1 地すべり地の地下水把握のために電気探査や物理探査を利用したことはありますか？

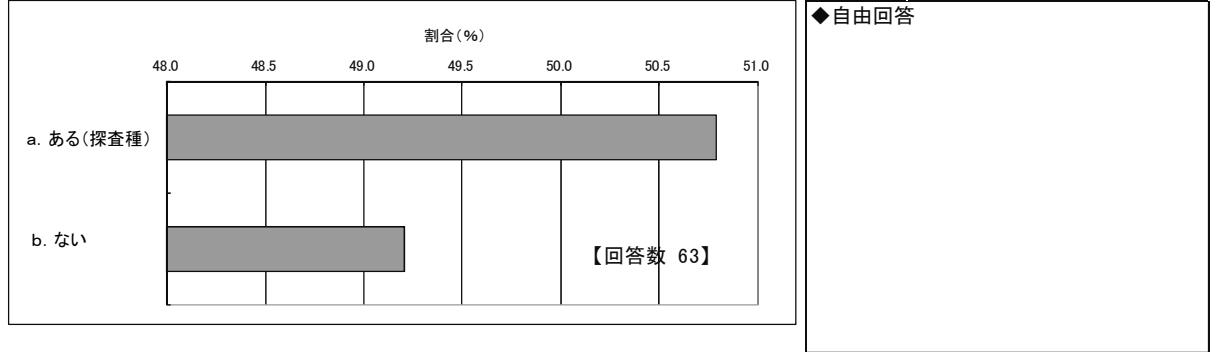


図 2.42 地下水把握のための物理探査の利用

1.3.2 地下水把握を目的とした電気探査又は物理探査の解析における課題はありますか？

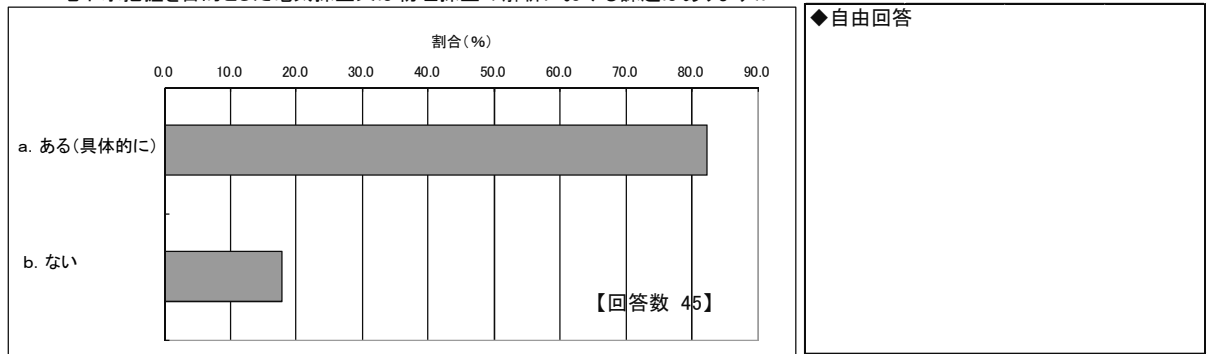
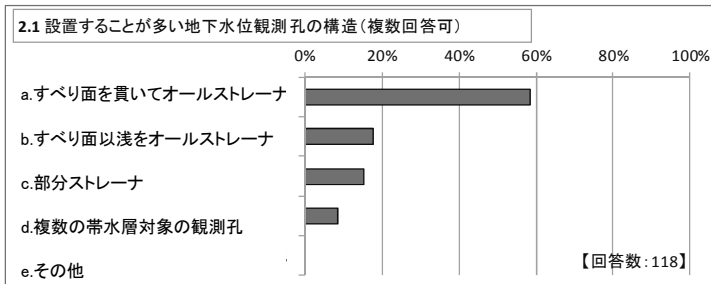


図 2.43 地下水把握のための物理探査の課題

表 2.1.9 物理探査の解析の課題

1. 3. 3 自由記入まとめ(各探査法の解析で工夫していることは)

探査方法	工夫していること	回答数
電気探査	他の試験・資料を参考にする	10
	調査点の密度を濃くする	2
	地形的要素を考慮する	1
電気検層	ソンドをゆっくり移動させる	1
	他の調査を参考に逆解析を行う	1
弾性波	地下水観測孔を等間隔に配置	1
	他の試験・資料を参考にする	1
1m地温測定	調査実施時期を考慮	3
	確認される地表水の水温を測定	1
方法未記入	他の試験・資料を参考にする	5
	条件を変えて複数回実施	2
	地形変化点に調査孔を配置	1



◆自由回答
 ・a主体。但し、掘進中の水位変動などから判断し、すべり面以深を無孔管又はセメンテーションを行う。×2名
 ・観測水位が地表から1~2m程度の時は、2mにバツカーをかけ、上を無孔管とする。
 ・オールストレーナが多い
 ・当初はaで発注されるが、bに提案(その他なし)

図 2.44 設置することが多い地下水位観測孔の構造

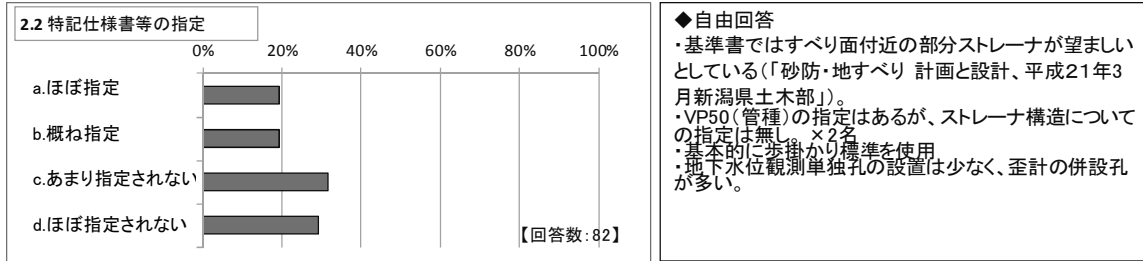


図 2.45 地下水位観測孔の構造の特記仕様書等の指定

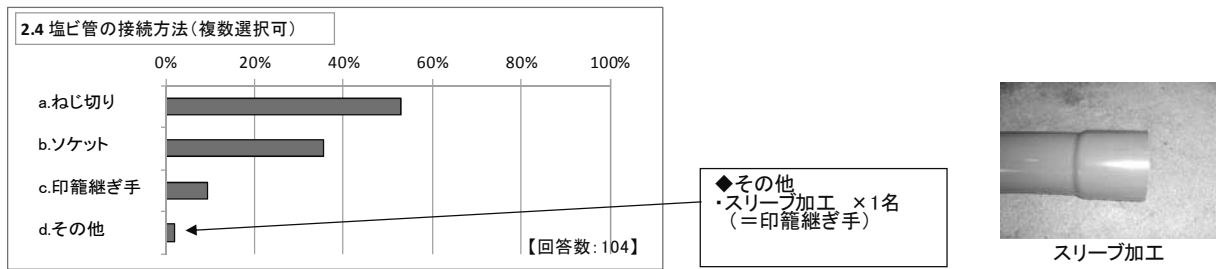


図 2.46 塩ビ管の接続方法

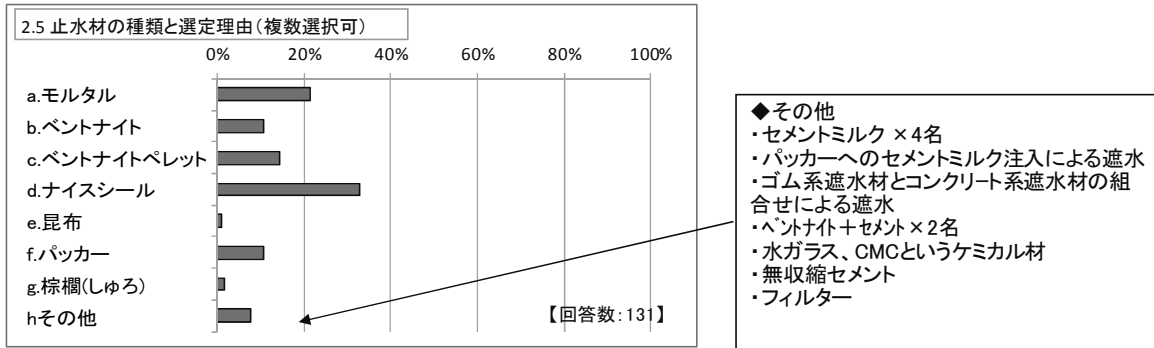


図 2.47 止水材の種類と選定理由

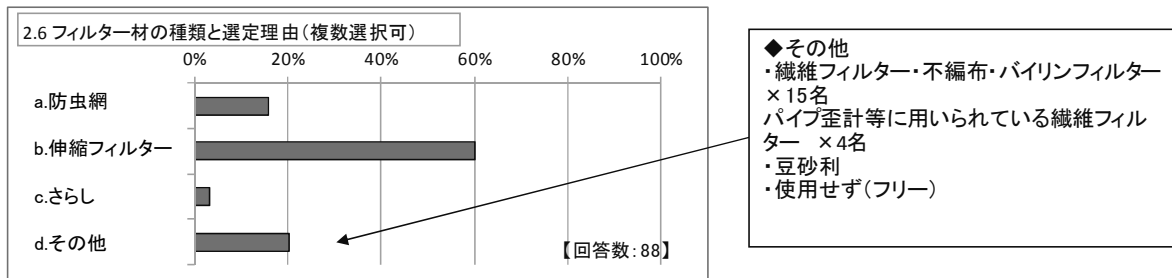


図 2.48 フィルター材の種類と選定理由

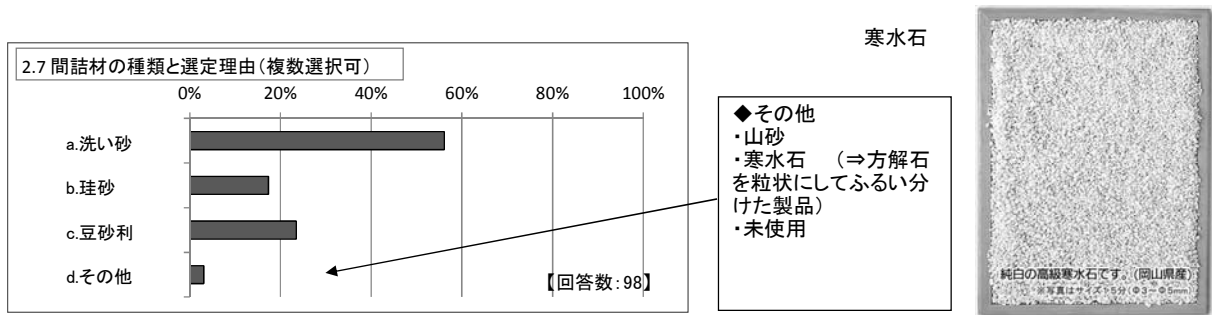


図 2.49 間詰め材の種類と選定理由

表 2.10 止水材や間詰め材の充填方法 (自由記入)

2.8 止水材や間詰め材の充填方法(自由記入)

区分	回答
止水材の充填方法	止水材(セメントミルク)は、ホースをパイプ(VP管)につけて手押し式ポンプで(底から)注入。 ×3名 ミストエース(SFCグラウト管)による注入
	ナイスシールで止水し、ナイスシールの直上にベントナイトペレットを詰め、その上をセメントミルクで充填する。
	保孔管と孔壁に余裕がある場合はポリパイなどによるトレミー(トレミー管)を行う。 ×2名
	止水(ナイスシール)は先に装着し、その後間詰め材を充填。 ×3名
止水材の工夫	布パッカー使用、4分のポリパイで手押しポンプで充填 ×6名
	ホースを抱かせて(SFC社製)ストロングパッカーを設置してグラウト。
	注入管(ロッド・塩ビ等)先端を注入位置まで降ろし、手押しポンプ等でセメントミルクを注入。 ×3名
	モルタルは緩い状態で、パイプの内と外に手押しポンプで注入する。
	細いロッド(φ数 ^{ミリ})をつないで充填深度を測定。またロッドでベントナイトペレットを押しつぶす。
	サッカーロッドで加圧(押し込み棒)
	ベントナイトペレットを孔口部から投入し、検尺棒で深度確認する。
	ナイスシールは1箇所当たり2~3列で2~3重に巻いて、瞬間接着剤で点付け固定する。
止水材: 塩ビ管に直接2段巻き(ナイスシールの設置方法の説明をしている可能性高い)	
ナイスシールは塩ビパイプへのビニルテープまたは番線で固定する	
間詰め材の充填方法	孔口から直接投入(自由落下) ×13名 必要に応じて水を注入
	塩ビ管と孔壁との空隙に口元から送水しながら砂を充填、水締め等 ×25名
	VP25により充填、 注入パイプ(軟質ポリエチレン管)を使用
間詰め材の工夫	塩ビ管を揺らしながら空隙充填を促進させる。 ×2名
	間詰め材は少量ずつ水と一緒に投入する ×4名
	ケーシング2~3本分ずつこまめに充填を行う。
	塩ビ管と孔壁の間に常時水を送りながら砂を充填(投入)する。
	ポリエチレンパイプを測定管と同時に挿入し、パイプから間詰め材(珪砂)を清水で送入する。
	検尺棒などで突いて締め固める
	孔内洗浄を徹底した後、送水しながら洗い砂利を時間をかけて少量ずつ充填し、数日後に砂利が下がったことを確認する。
間詰め材設置深度までは、観測孔径の5割増しのケーシングで拡孔し、段階毎に充填しながら、引き抜き完全充填を行う。	
その他	農業用のダンポール(支柱やミニハウス用)で検尺しながら充填深度を確認している。
	特に工夫無し
	用途、現場の段取等で判断している

表 2.11 地表水等の浸入防止、孔口保護（自由記入）

2.9 地表水・表層地下水の進入防止、孔口保護(自由記入)

区分	回答
孔口止水方法	孔口の塩ビ管と地山の間を粘土で充填後、コンクリートを打設し塩ビパイプを固定する。×2名
	地表面まで砂を充填、長期間観測する場合はコンクリート打設
	ナイスシールで孔壁を充填した後セメントベースを施工
	孔口を一回り大きい塩ビ管で保護し、コンクリートで固定。
	モルタル(コンクリート、グラウト)で孔口を保護(止水処理)する ×24名
保護コンクリートの寸法	縦20cm、横20cm、高さ10cm程度
	30cm×30cm×H10cm ×4名
	30cm×30cm×H10~15cm
	30cm×30cm×H20cm
	30cm×30cm×H30cm 程度・以上 ×3名
	40cm×40cm×H10cm ×3名
	40cm×40cm×H20cm ×3名
	特記仕様書に記載(40×40×20cm、40~50cm四方)
	50cm×50cm×H10cm
	30~45cm角
40cm角	
無孔管設置深度記載	地表より10~30cm間に粘土を詰め、その上地表までの10cm間にコンクリートを打つ
	地表から1m(以上)は無孔管 ×4名
	地表から1m程度は粘土等の難透水性材料(またはモルタル)で充填 ×5名
	発注者仕様(GL-1.0mまでVP75を設置)
	孔口部で表層から深度1.5mまでベントナイトペレット充填。
	希に孔口コンクリートや深度2m程度まで無孔管設置。
	塩ビ管の立ち上げ部~GL-2m程度までは無孔管とする。さらに、GL-1m程度まで、φ100の塩ビ管を外管として埋設し、内側の塩ビ管との間をセメントでグラウトする。
	地表部の2m程度を無孔管とし、無孔部はベントナイトペレットなどの止水材で遮水する。
	モルタルによる孔口止め。GL-2~4m程度を無孔管にして、ナイスシールを装着する。
	表層部を無孔管(3m程度)
	表層から数m、ストレーナ加工なしとしている。
コア判定から表層土砂層厚を読み取り、その下側に止水材を取付け、セメントを流し込んで流入防止するとともに、孔口型枠にて保護させる。	
崖錐堆積物区間は無孔管にしてセメントで充填	
その他	地表近くの塩ビ管は無孔管としている。 ×4名
	塩ビ管の先端にキャップを付ける。
	固化材処理
	固定版設置
	状況に応じて、ハッカーを設置して止水。 ×2名
	孔口保護はマンホール仕上げを提案することが多い(積雪対策)
	積雪対策で保護マスを設置(雪で持って行かれないように埋める)
	帯水層以浅については無孔管としベントナイトセメント等で間詰め
	流入層が始めから分かっている場合は、流入層下端にナイスシールを巻き、無孔管とする。更に流入防止を確実にしたい場合は、パイプの外側からモルタルを充填しナイスシールまでグラウトする。
	ケーシングプログラムで対応一回り大きなケーシングを埋設セメンテーションし、遮水する。
	地表付近の間詰め粘土質の土で埋め戻すとともに、孔口基礎コンクリートを孔周にも多少流す。
	通常10cm程度の孔口止めをしているのみ
	積雪による破損防止のため、孔口部はガス管を使用し立ち上がりを50cm以下にする。
	侵入防止は単管の柵を設け防獣網を設置。豪雪地ではさらにコンパネを併用して雪囲いを設ける。
地下水遮断工や暗渠工の採用 ⇒勘違いしている回答と思われる	
なし	特に工夫はない。
	孔口保護はあまりしていない。

表 2.12 多層観測の選定の経緯や設置方法（自由記入）

2.10 多層観測を選定した経緯や観測孔の設置方法(自由記入)

区分	回答
経緯(なぜ多層観測を実施)	ボーリングコア判定、地下水状況、動態観測結果、断面形の検討により確定もしくは想定したすべり面位置に設置。
	試錐日報及び地下水検層結果より選定した
	調査ボーリング時、すべり面を貫いた時の地下水が貫く前よりも地下水位が大きく低下した時
	試錐時の地下水位記録より判断、パイロット孔の地下水位記録より観測孔の孔底深度を検討(2層程度)
	周辺の状況と地質から、すべり面の可能性が最も高い深度に選定
	2層のすべり面が確認された箇所での、各すべり面付近の間隙水圧測定のための提案
	対応する深度毎の調査孔設置による
1孔で2層の滞水層を把握する方法	ナイスシールで遮水しその上下で水圧を観測したことがある。
	地すべり調査では経験ありませんが、トンネルの調査でMGLシステムを利用しました(別資料HP)
	大小2重管構造にして2つの水位を観測する
	深部に間隙水圧計を設置し、その上下をベントナイトペレットで遮水する。その上の観測部はストレーナ加工で自由地下水として観測。
	パイプ内側をソケットで遮水、パイプ外側はパッカーで上下を分離(2層の水位を観測)
	深い深度に間隙水圧計を埋めこらしにし、浅い深度に水位観測孔を設置する
	VP30を反切りで2本設置し86mm内側に設置した
単孔多段水位観測孔	
間隙水圧計の使用	電気式間隙水圧計を対象層ごとに透水材とともに設置し上下は止水材・モルタルで充填。
別孔設置	帯水層厚を確認した後対象帯水層のみストレーナ加工して、同じ地点で1対象層・1孔で対応する(深層地下水と浅層地下水の2つ)。×11名(善徳事例など)
	VP30で設置。
	掘削中に地下水が逸水し、特にすべり面が2面以上の可能性がある場合は、それぞれのすべり面に対応する深度の観測孔を設置。
	孔内水位が低下するため、浅めの別孔を掘削したことがある。単独孔で多層観測は経験なし。
	パイプ歪み計を設置後(砂充填)に食塩検層を実施して複数の帯水層を確認する機会が多いので多層観測はできない。必要な場合は別孔を掘る。
別孔設置(方法)	別孔を設置し、上位の帯水層区間をグラウト×3名
	対象地下水区間を部分ストレーナ+止水。
	帯水層を模式区分し、各層別の観測孔を設置。遮水はセメントまたはナイスシール×2名
	帯水層の数に応じた観測孔を設置。帯水層深度を孔底にしたボーリングを行い、帯水層のみストレーナとして上部をナイスシールで止水。
	すべり面付近に被圧水頭が確認され、その付近のみの部分ストレーナの観測孔を追加した。(構造図添付)
	想定されるすべり面が複数にわたる場合において、各すべり面付近に留めた地下水位観測孔を設置した事例がある。
その他	すべり面深度が浅い場合、オールストレーナ、深い場合は部分ストレーナとしている。
	同じ足場で、ボーリングマシンを反転させた地点で水位専用孔として設置。
	パッカー法を採用
	特になし ×13名

表 2.13 地質地下水条件による設置方法・材料の使い分け（自由記入）

2.11 設置方法や使用材料を地質・地下水条件による使い分け(自由記入)

区分	回答
地下水条件	削孔方法は、サウンディング器具を用いた人力削孔で可能な場合で、かつ地下水位が浅い場合は、水位観測孔としてVP20ストレーナーを用いる場合がある。
	すべり面を貫くまでは地すべり土塊中に滞水していた地下水が、すべり面を過ぎてから水位がすべり面以深に低下してしまった。その為すべり面より浅い観測孔を別孔で設けた。
	逸水層や漏水層が確認された場合、地下水位変動が規制されるので留意する。特に、平常地下水位より高い位置にある逸水層は見逃しやすく上昇水位のピークを規制するので特に注意。
	掘削中にすべり面深度以深で地下水が逸水した時、観測孔(塩ビ管)に布パッカーを設置して、逸水箇所を止水した。
	自噴するほどの被圧水が有る所で、間隙水圧計を入れて上下をグラウトした結果、地表面以上の水位(水圧)変化を観測できた
地質条件等	片岩やせん断性基盤岩地帯のように透水性の高いところではすべり面を挟んだ上下パッカー仕様、逸水の心配のない三紀層や御荷鉢帯などの地すべりでは深度毎の水位孔など
	地質によってフィルター材を使い分ける。 粒径に合わせる。
	地熱が高い(80℃以上)の場合は、HT管(耐熱性)を使用。
その他	ケースバイケースで一概には言えない、考慮して決定
	塩ビ管内部にインナーパッカーを設置し、間隙水圧が平衡になるまでの時間を短縮する
	深度調整が容易で材質の変化の少ないVP材主流 ×2 観測孔はオールケーシング掘削。
	複数の帯水層があつて多層観測する場合は、塩ビ管の径を細くする
	特にないが、山形県の地すべり地ではアルミ製の孔内傾斜計のパイプが1年間で腐食した経緯もある。 特になし ×24名

表 2.14 地下水観測孔が深い場合の工夫、深度（自由記入）

2.12 地下水位観測孔が深い場合の工夫、深度(自由記入)

区分	回答
掘削時の工夫	ケーシング孔径を大きくする。
	測定したい帯水層の地下水位が測れるよう、ケーシングプログラムを設計する。
	地下水が逸水した場合、すべり面まで孔内グラウト(災害復旧事業における地すべり対策の手引き)。 歪計併用孔の場合、保孔管設置時に歪計のコードが太くなるため、掘削口径を大きくする。
観測孔の構造の工夫	ねじ切りがよいと思う(ソケット式を使用した)が孔内で外れて、水位計が設置できず掘りなおし。
	水圧で止水がもれないように、パッカー長を長くする(パッカー式部分ストレーナーの場合)
	地下水位が深い場合、浅い水位はそのボーリング孔周辺において地すべりとの関与が低いと考えられるので、ストレーナーを設けない。深い場合、ケースバイケースであるがすべり面周辺とすべり面より10m前後をストレーナー区間とする。
	歪計の同時施工の場合、6芯式コードを採用することにより、孔内でコードが煩雑にならずストレーナーの開口率を下げることなく設置出来る。L=40.0m
観測孔設置時の工夫	ワイヤー等で補助的に支えて挿入する。
	砂の充填は時間をかけて慎重に実施する。
異なる帯水層の観測の工夫	50mを超えた時に浅い観測孔を別途設置したことがある(目的: 深度が深くパイプ歪計が設置できなかったため、別孔を歪計を設置して水位も観測した)
	基岩部で漏水しているのであれば、別に水位観測孔を設ける。
	観測孔2本設置する。
計器の選定の工夫	接触式水位計で計測が難しい場合水圧式水位計を使用する。
	自記水位計の場合はボーリング孔が鉛直でない場合があり、フロートやワイヤーが孔壁と摩擦し、感度が鈍くなることがあった(60m)。最近では水圧計のため特に問題なし。
	触針式では塩ビ管に張り付いてしまうため正確な測定が困難。水圧式水位計がよい。
	水圧式自動観測が十分に普及していない頃は、フロート式を水圧センサー式に変更するよう提案。 水圧式水位計に変えてからは特になし。
その他	特になし×9名

表 2.15 部分ストレーナ設置時の失敗事例（自由記入）

2.13 部分ストレーナ設置時の失敗談(自由記入)

区分	回答
計画・ノウハウ	全孔ストレーナの観測孔の近辺に部分ストレーナの観測孔を設置したが、両者の地下水位にほとんど差異がなかった(同じ帯水層区間と思われる)。
	部分ストレーナ区間以外で地すべり変動が確認された(パイプ歪計による)。次年度にこれに対応した地下水観測専用孔を再設置。
	予定していない区間に、地下水の流動があった。
	観測対象の地層はコアボーリングする他電気検層等複数チェックする。
	自由地下水やキレツの多い風化岩では部分ストレーナは効果がない場合がある
観測孔設置	孔内をグラウトで充填する際、保孔管が軽量なため、浮き上がった。
	水圧計を埋設型にしようとしたが、砂充填の際、加減がつかめず砂を入れすぎて帯水層まで埋めた(測定すべき深度での測定ができなかった)。
止水不良	バクカーにセメント注入後孔内を洗浄しすぎて、水圧でバクカーに水みちができ止水に失敗した。
	バクカー下面に流入層が出現する(止水が完全でないため)。
	設置直後は水が形成されたが、徐々に漏水したり、上部試錐部から地下水が侵入してしまう。
	帯水層の上部に遮水材料としてナイスシールを複数段設置しなかったため、完全遮水できないケースがあった。
正しくないデータの取得	部分ストレーナ+ナイスシールで遮水したが、遮水性を保てなかった
	試錐時の地下水位記録の検討不十分に起因。水位が無い観測孔を設置してしまった。
	地下水観測孔周辺の地層全て不透性で、観測孔施工時は常に水位が確認できていたが、徐々に地下水位が低下し、すべり面を下回ったことがある。
	融雪期後の水位観測では水位が全く変動しなくなった(今年の融雪期に変動する可能性はある)。コア採取孔削孔が融雪期で、自噴した。試錐日報解析、削孔中の観察より、地表水の進入防止のため、表層部を無孔管とし、バクカーにて遮水。
その他	水位が変動しない
	時々あり×2名、解析に影響することもある、伝え聞き
	特になし×10名、経験なし

表 2.16 観測孔設置で今後変更すべき点（自由記入）

2.14 観測孔設置で今後変更すべき点(自由記入)

区分	回答
設置計画	解析断面のみならず、地下水排除工を計画する位置付近に水位観測孔があると効果的と考える。
	地下水流動状況を別孔で確認してから観測孔深度を設定する必要がある。
	主断面だけでなく、地下水観測孔を設けた方がよいが、実施されていない。
	地すべりに対する地下水排除工の効果を検証するためには、せめて代表孔のみでも、すべり面対応の部分ストレーナ仕様の、地下水観測孔を設置すべき。
	地すべりの場合、近年は可能な限り事業の早い時期に対策工を開始するので、初期の調査孔がダメにあることもある。対策工計画が立案でき、対策工を実施する前に必要な箇所に調査孔を設けておくことが必要であるが、予算の都合上、必要数をそろえるのに複数年かかることが多い。
	孔内傾斜計など移動量測定孔を最初に掘り、このとき同時に地下水に関するデータも取る。2孔目で1孔目で把握した内容を確認し、地下水観測孔を仕上げる。
	動態観測と水位観測孔を併用し、全深度ストレーナとすることが多く、明確な間隙水圧が把握されていない。
	別孔による水位観測専用孔の設置を積極的に設計に組み入れる仕様書の整備を望む
複数帯水層を考慮した観測	地すべり観測孔(孔内傾斜計、パイプ歪計)と地下水位観測孔は孔別とする。 ×5名
	すべり面を貫かない観測孔を別孔で設けるべきである。
	すべり面上位と下位の地下水位を、別々の地下水位観測孔で計測するのが標準仕様としてはと考える。
	地下水流動層の地下水位を測るようにしたい。場合によっては複数孔を設けた方がよいと思われます。
設置前の孔の処理	地下水観測工は1孔だけでなく、多数設置しなければならないケースがある。
	帯水層が複数存在する場合、帯水層毎に観測孔を設置し、地下水位を観測する。
止水材の使用	すべり面貫通時及び岩盤掘削に伴う逸水がよく確認されるため、この部分の止水は必須であると思われる。
	設置前の孔内洗浄の標準化(経費計上)
計測器の選定	埋設資材(止水材以外)の選定と使用
	細粒分の沈積による孔内水位の変化(一般に水位上昇)防止の観点から、フィルターを明文化すべきと思います。
その他	ストレーナ区間の上下に、シール材のようなものを巻き、水を含むと膨張して、止水できるようなものを持ちいて、だれが施工しても簡単に間違いないでできるものが良いと思います
	観測孔外部の遮水材を対象の帯水層状面のどの位置に設置し、ベントナイトペレットなどの遮水材をどれくらい入れるかを地質に応じて決める
計測器の選定	施工時に支障とならないよう、センサーと収録器が一体となった孔内設置型の計器を開発できないか。(海外製品にはある)
	水圧計の小型化と値下げ、ロガーの省電力化
その他	地すべり面に作用している間隙水圧を計測するのはかなり難しいが開発すべき。土圧とバランスする場合もあるが、地すべりに対する地下水の影響を把握する上では必要(現状では、地下水位の水頭相当の水圧が作用していると考えているだけ)
	すべてにおいて施工性と経済性が良くなってほしい
	一律の仕様というものは難しいと思うが、現場毎の特記仕様が良いのでは。
その他	無孔管部をエアボーリングで施工性を上げる。有孔管部をコアボーリングする。
	ケースバイケースで試行錯誤するしかない。
	特になし ×6名

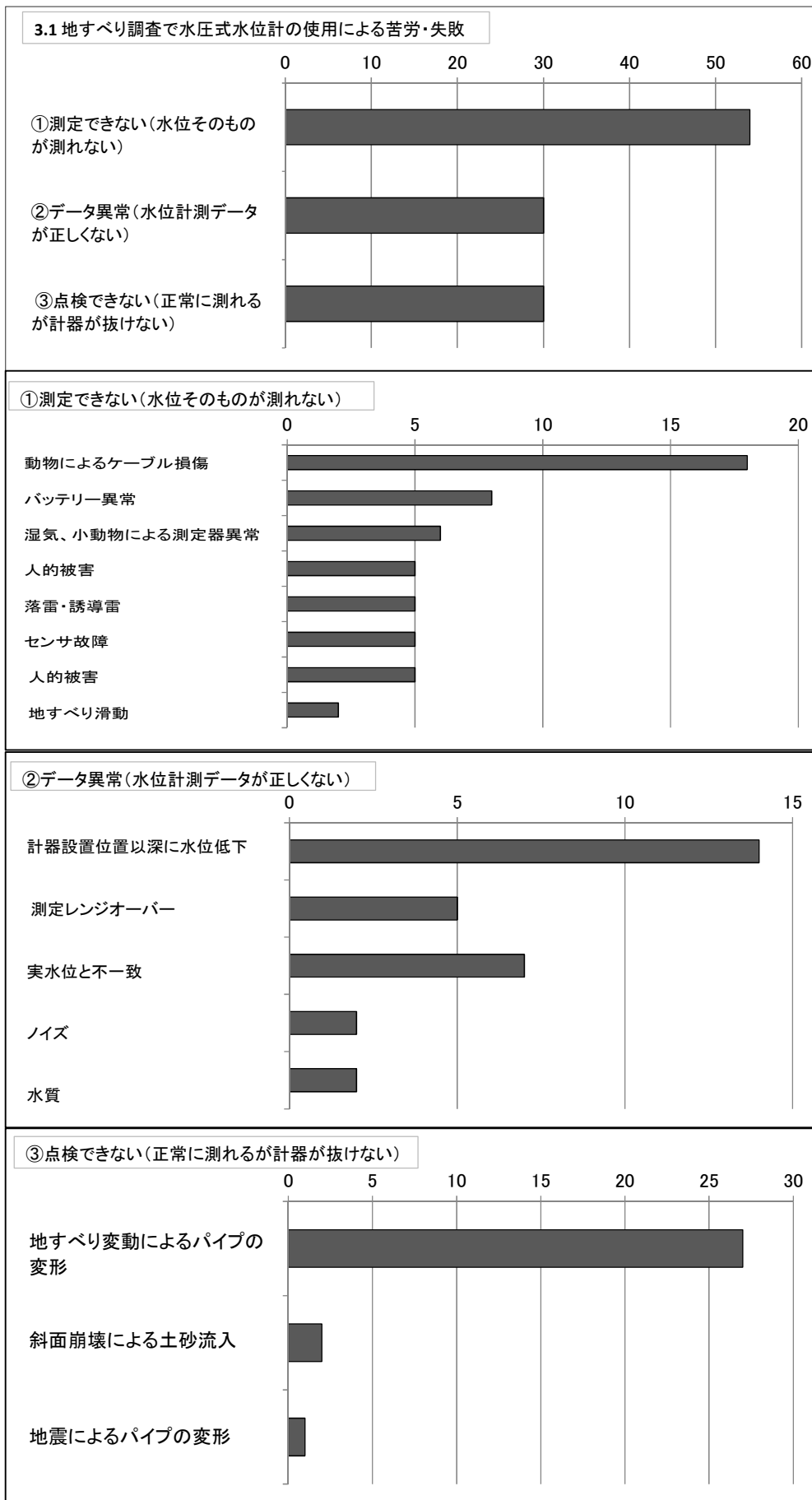


図 2.50 水圧式水位計の使用における苦勞、失敗

表 2.17 質問 3.1 の理由 (自由記入)

大区分	原因	3.2 3.1の理由
		自由記入
測定できない (水位そのものが測れない)	落雷 誘導雷	対雷キットを使用した、接続ケーブルに誘導雷 耐雷をつけていなかった
	動物による ケーブル損傷	ケーブルに保孔管を未設置、不十分 ×10名 計測器および付属品の保護が不十分 ケーブルの保護はしていたが、調査孔と保護箱間をイノシシが通過し、ケーブル接続箇所が切断した これまでに事例がなく、水位計コードに保護管を設置していなかったため パイプから記録部までのケーブルが剥き出しのまま地面を這っていた
	地すべり滑動	地すべりの滑動性やすべり面深度に対する推定が甘かった 通常の地下水位はすべり面以深で形成されており、滑動時のみすべり面より上昇するため
	センサ故障	地下水が酸性のためセンサーが腐食した。 経年劣化 ×3
	バッテリー異常	設置時は正常に動作していたが、電池が老朽化しており、急激に電圧低下してバッテリー切れとなった。 劣化し易い構造の電源は不適(温度変化大、多湿な環境)。 データロガーに電池残量の表示機能がなかった。 電池との接続線不良 機械の個体によって電池消費量が違う。(湿気のため?)
	湿気、小動物による 測定器異常	保護箱の気密性 不適切な防虫対策。 ベントチューブに浸水 保護箱の気密性 計測器および付属品の保護が不十分
	人的被害	草が繁茂し、目立たなかった。 ×2名 ケーブル保護が不適切
	データ異常 (水位計測データが正しくない)	測定レンジオーバー
ノイズ		原因不明、雷の影響か
計器設置位置以深に 水位低下		予想以上の水位低下 ×3名 水位計のタイプの選定ミス。 予想したよりも水位変動幅が大きかった。 集水ボーリングが施工されており、予想以上に水位が下がったため ×2名 地下水が逸水してしまった。(観測孔が深すぎた) ×2名 推定していた地質構造ではなかった可能性がある。 帯水層の評価を間違った。 観測孔の構造が不適切であった可能性がある。 ×2名 すべり面より深い位置だと嘔まれ、最低地下水位より浅い位置だと、地下水位変動データの欠測が生じる。
点検できない (正常に測れるが抜けない)	地すべり滑動による 観測孔の変形	地すべり滑動によるパイプの変形 ×13名 定期的に確認すべきだった。 地下水排除工が施行されていたものの、積雪量が多く融雪による水位上昇が想定以上であった 地すべり活動を予想はしていたが、観測中の何時孔曲がりが進んでセンサーが回収できなくなるか解らないため 地震により塩ビ管が変形したと考えられる 観測孔上方の急斜面が崩壊し、その土砂で埋まったため孔内に土砂が入った。
その他	-	コントローラーの通信速度の上昇と、ケーブルの改良 すべり面(粘性土)の厚さが30cm程度であり、間隙水圧計直上の遮水に使用したモルタルが完全に塞ぎきれなかった。 水圧式水位計の検定書などの提出を求められた。

表 2.18 質問 3.1 の対処方法 (自由記入)

大区分	原因	3.3.3.1の対処方法
		自由記入
測定できない (水位そのものが測れない)	落雷 誘導雷	2度入れ替えたが、その度に落雷 交換断念(将来光ファイバー等に変える必要あり) 水位計を交換 × 4名
	動物による ケーブル損傷	水位計の修理・交換、保護管の設置 × 12名 観測終了 地上部の設備を軽視しない 保護管の使用とケーブルを地面から浮かせた
	地すべり滑動	ケーブル切断事案では水位観測を終了せざるを得なかった センサーを見捨てても測定する
	センサ故障	水位計のセンサー部分を水道水を満たしたポリ袋に密封した。 水位センサーを新規購入 × 3名 修理 × 2名
	バッテリー異常	未使用の電池であっても、古いものは使用しない。 機器を交換・孔内の清掃 電池残量の表示機能のある機種に変更 メンテナンスを考えたデータ収集間隔を密にする必要あり。
	湿気、小動物による 測定器異常	通信をUSBや赤外線などでできないのか? × 3名 防虫対策 × 2名 ベントチューブの保護・浸水防止用の乾燥剤 地上部の設備を軽視しない。
	人的被害	機器を交換、ケーブルが刈られないように目立たせた。 地上部ケーブルに別途保護管を設置
データ異常 (水位計測データが正しくない)	測定レンジ オーバー	水位計の設置深度を変更した 測定幅が大きい仕様の水位計に交換した × 2名 水位変動幅に対応するセンサーの再設置・水面を追尾するフロート型センサーを用いる
	水質	機器を交換・孔内の清掃
	実水位と不一致	水位計を交換。 計器の交換 小型の水圧式水位計に重りを付けて再設置したところ、計測データが安定した。 始めは観測頻度を密(1時間ごと)とし調査孔の水理特性(変動幅、周期)を把握した上で、解析・設計上問題とならないような測定間隔に調整すべきと思われる。 検定、較正、修理を確実に
	ノイズ	水位計再設置 アースを設置したら良くなった場合がある。
	計器設置位置以深に 水位低下	深い位置に水位計再設置 × 2名 水位計の変更 掘り増しなど センサー設置位置の再検討・水面を追尾するフロート型センサーを用いる 観測孔を孔底を一部グラウトして、逸水を防いだ 地質構造が複雑であることが予測される場合は、計画段階において水位観測孔を複数掘ることを提案する。 浅めの別孔を掘削(それでも水位低下→結果、ほぼ測定不能) 他の観測孔の状況から総合的に評価。 スライム除去 水位観測終了 すべり面より下位に設置していたので、滑動により引き上げ不能であった。このため計器は破棄した。 噛まれてしまった場合は、そのまま使用。最低地下水位より浅いことが判明した時点で、直ちに設置位置修正。最低地下水位がすべり面より深い場合は、発注者と協議し、極力、設置位置はすべり面付近までとさせて頂く。
点検できない (正常に測れる が抜けない)	地すべり滑動による 観測孔の変形	水位計を交換 × 3名 放棄(観測は可能だったので最後まで継続) × 5名 対処していない(あきらめた)、観測終了 × 5名 水位センサーを活動中の地すべり地に設置したときは消耗品と考え、データは地上で回収できる機種を選定する 観測孔の再設置、水位計再設置 × 5名 すべり面深度と変動状況が把握できた段階で、速やかにすべり面の上位にセットし直せば良い 水位計を途中で切断し、手計りに切り替えた センサー設置位置の再検討・発注者に消耗品とし積算してもらう 観測終了
その他		1年後にリセットしたが、再度ボーリングを掘削し直した。 水圧式水位計の検定書のコピーを提出した。

表 2.19 埋設型間隙水圧計の設置状況や使用理由（自由記入）

3.4 地すべり調査使用した埋設型間隙水圧計の設置状況や使用理由

区分		回答
止水方法	モルタル	間隙水圧計の周りを砂で満たし、上下をモルタルで密閉 電気式間隙水圧計を対象層ごとに透水材とともに設置し上下は止水材・モルタルで充填。
	グラウト	自噴するほどの被圧水が有る所で、間隙水圧計を入れて上下をグラウトした結果、地表面以上の水位（水圧）変化を観測できた
	ベントナイトペレット	すべり面直上に埋設型（土中）間隙水圧計を設置し、その上下をベントナイトペレットで遮水した。 すべり面想定深度に複数（浅層・深層）設置。ベントナイトペレット、豆砂利にて充填。 φ135ボーリング孔に地震計と一緒に埋設し、ペレット状のベントナイトで上下を止水した。
	パッカー	すべり面上下にパッカーを設置した孔で、管内においても水圧式水位計の上方を止水し、間隙水圧計と同等の観測は実施。孔内水位より水圧の方が変化を捉えやすいため。
設置状況		すべり面のみに作用する間隙水圧を計測するためであった。 地震計と連動させるため、水位の細かなデータが必要であったため。 ある。MGL。ボーリング孔で各計器間のシールが難しい ある孔で、複数の地下水流動区間が認められたのですべり面周辺に限って間隙水圧を測定した。 実際の状況に、より近い環境とした場合での、地下水変動状況を把握するため。 地下水流動層をあらかじめ別孔で確認（地下水検層）し、流動層部のみ地下水が侵入してくるように設置した。 水位が上がらないため
	その他	未記入 ×27名 設置なし ×18名

3.6 地すべり対策における地下水調査について自由意見

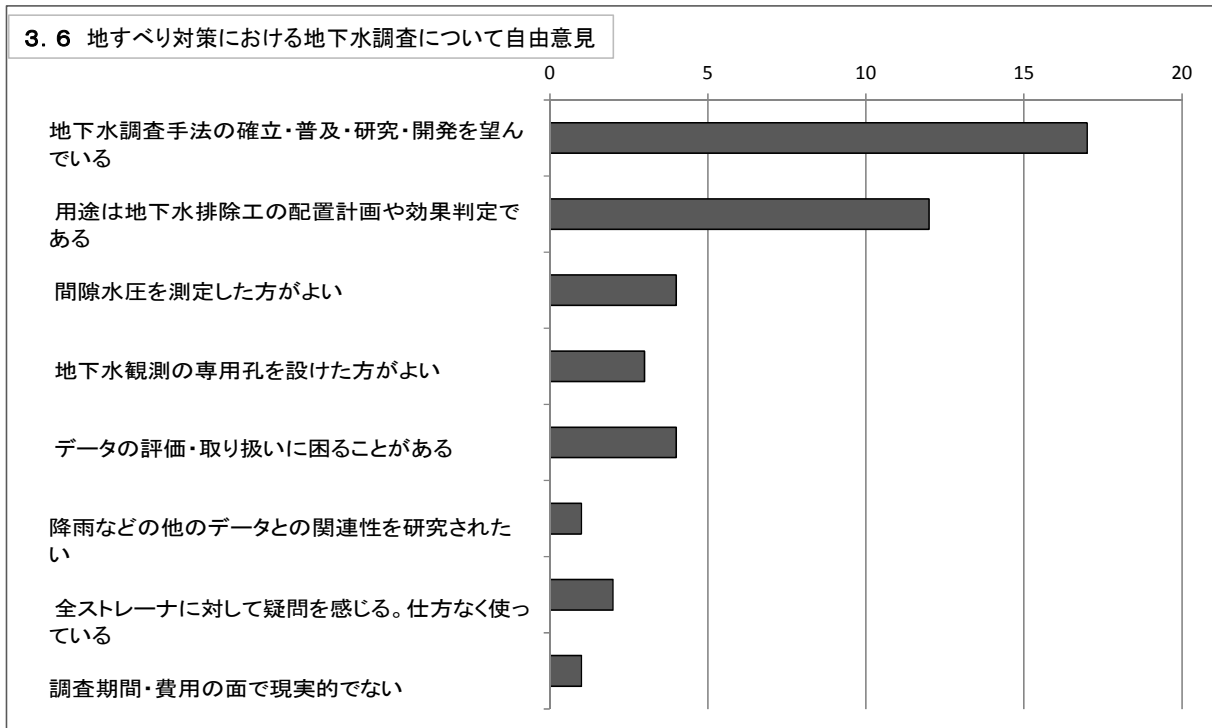


図 2.51 地下水調査についての自由意見

表 2.20 間隙水圧調査について今後改善すべき点

3.5 間隙水圧調査について、今後改善すべき点

区分	回答
止水方法の 開発	すべり面付近の間隙水圧を確実に測定できる方法の開発
	解析に必要なすべり面に作用する間隙水圧のみを把握するには、計器の上下を遮水し、すべり面のみの間隙水圧を計測できる土中間隙水圧計の設置が浸透すべきと思われる。
	どの滞水層の地下水水位を計測しているかが判って観測している
	止水パッカーを用いた水位専用孔による観測を行ったが、止水効果がいまいち発揮できていないように思う。効果の検証や、確実な止水方法の開発が必要では。
	シールの確実性が不安である。
部分ストレーナの 使用方法開発	動態観測と水位観測孔を併用し、全深度ストレーナとすることが多く、明確な間隙水圧が把握されていない。部分ストレーナの水位観測専用孔が望まれる。
	オールストレーナとしているため、地すべりに関与していると思われる帯水層が複数存在する場合は、帯水層毎の水位を観測する。
	同じ現場にオールストレーナ、部分ストレーナの地下水水位計と間隙水圧計が混在している場合、計測値をどの様に評価及び比較し、解析に結びつけるかが課題です。
	部分ストレーナで対応するのがよいが、施工が非常に困難となる。
すべり面の 特定方法開発	停止している地すべりでは、すべり面の位置を特定することが難しい。豪雨、融雪期等に滑動する地すべりにおいてはセンサーが壊れる可能性が高い。
	特記仕様により水位観測専用孔の設置が望ましい
	地すべりの場合、すべり面付近に必ずしも地下水帯が存在するとは限らないようなので、その場合、どの地下水帯を測定すべきかという課題がある。よって場合によってはオールストレーナ観測もあり得るため、単純な比較は困難である。
	一度パイロット孔を掘って、適切に設計して、設置することが望ましい。
	地中部に設置するため、確実に観測すべき地層以外の影響が除去されているが確信をもてない。
評価手法の 検討	設置・測定に手間がかかる。水圧変動の少ない孔も多く、評価されない。
	最も重要な情報にもかかわらず、発注者に説明しても、標準的な手法ではなく前例に乏しいため、採用されていない。標準的手法とすべきだ。
	設置・測定に手間がかかる割に評価されない 地下の設置状況を確認できないため、測定を信用して良いものかどうか迷う
	通常はオールストレーナ孔による観測から始まることが多いが、部分ストレーナへ移行する提案が受け入れられない場合がある。追加観測孔の設置前に地下水排除工が施工される事例も多く、新規孔の臨界水位の設定が難しい。
	間隙水圧計では水位変化が小さく現れる場合があり、安定解析の与条件に使えない。真実を測っていても評価されない、使われない。既往の地すべり解析モデルの水位の考えが正しいのか・・・との見方もある。
	せめて、地すべりの地下水排除工効果判定の指標用として、代表孔のみでもすべり面对応の間隙水圧観測孔を設置されるよう、普及を進めることが、目標安全率到達を延々目指すよりも経済的であることを、発注者に伝えていきたい(伝えている)。
	設置歩掛が確立されておらず、手間がかかる割にもうけが少ないため、こちらから提案しづらい。設置歩掛の改善が必要だと思う
	設置に手間がかかりますが、データの利用や活用方法が難しいため、その点が改善すべきと思われます。
その他	価格が高いこと以外は、概ね満足
	回収可能となるような水圧計があるといい。
	連続的なデータの取得に限界がある
	殆ど使用していないのでわからない。
	未記入 ×24名
	なし ×7名

2.2 地下水調査の実態と課題

2.2.1 検討方法

地すべり地における地下水調査・観測の実態と課題を把握することを目的として、本共同研究において、平成23年度に都道府県、地すべり対策の経験を有する民間会社を対象としたアンケート調査を実施した。また、これに先立ち、土木研究所において平成22年度に直轄地すべりを対象とした資料分析等の調査を行った。これらの調査から明らかになった地すべり地における地下水調査・観測の実態を基に、課題の整理と解決の方向性についての検討を行った。なお、これらの検討結果は、日本地すべり学会研究発表会及び砂防学会研究発表会において発表した（杉本ほか、2012；武士ほか、2013；武士ほか、2014）。

2.2.2 アンケート調査による地下水調査の実態把握

都道府県、地すべり対策の経験を有する民間会社を対象としたアンケート調査の結果を2.1に整理した。その結果から明らかになった実態について、その概要を以下に述べる。

(1) 帯水層調査の実施状況

地下水観測孔を設置する際の帯水層調査は、必要に応じて実施する場合は61%、特に定めていないが27%で、標準仕様として必ず実施するが7%程度であった（図2.52）。この結果から、帯水層調査は必ずしも標準とされておらず、状況に応じて適宜判断されていることが伺える。

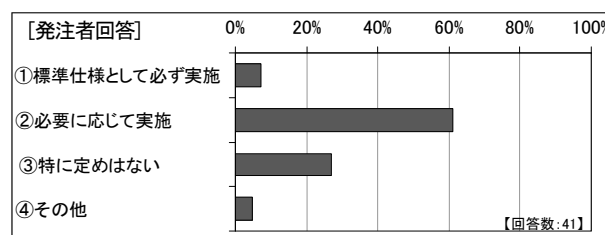


図 2.52 地すべり調査における帯水層調査の実施状況

(2) 地下水把握方法

地下水観測孔の構造を検討する上で有効と考えている調査は、試錐日報解析と食塩検層（地下水検層）がそれぞれ約28%と最多で、次いで簡易揚水試験が12%、電気探査が10%であった（図2.53）。その中で最も有効と考えている調査を1つ選ぶ場合は、食塩検層（地下水検層）が最多の46%となり、試験が簡単で実績が多く、精度も高くわかりやすい等の意見が多数あった。

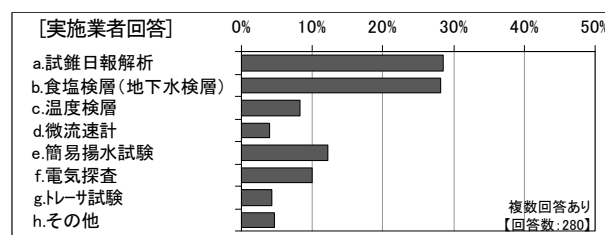


図 2.53 地下水の賦存状況を把握する有効な調査手法について

また、試錐日報解析は地下水把握に有効と回答した実施業者の技術者は95%に達し、有圧地下水帯の位置、地層の透水性、地層毎の地下水位などの地下水情報の把握に利用されている。

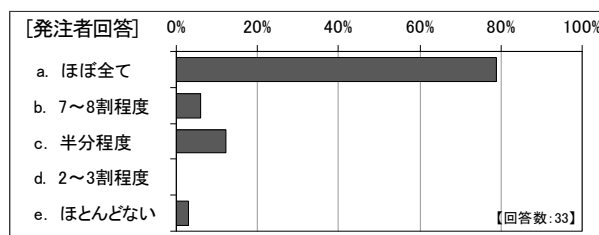


図 2.54 すべり面を貫く全区間ストレーナ孔としている頻度

(3) 地下水観測孔の構造

都道府県の地すべり調査に用いられる地下水観測孔の頻度のうち約80%の回答が、すべり面を貫く全区間ストレーナとしているとの回答であった(図2.54)。部分ストレーナの設置については、55%がほとんどないと回答した。実施業者においても概ね同様の傾向にあり、部分ストレーナの有効性は多くの技術者が理解しているものの、実施されている例は少ない。

2.2.3 資料分析調査による地下水調査の実態把握

全国9地区の直轄地すべりにおいて、長期間の地下水観測データがあり、機構解析を実施している地すべりブロックを各地区から1ブロックずつ選定して観測孔設置時の資料及び観測データの収集を行った。対象となった観測孔は約170孔となり、それらについて、観測方法、ストレーナ位置、地下水調査実施状況、試錐日報解析などの実施状況を整理した。また、資料が整っている28孔で試錐日報解析を改めて行い、観測結果と地すべり挙動との連動性、観測結果の妥当性を評価した。

(1) 地下水位観測方法

調査した9地区のうち8地区で、調査対象観測孔の全てにおいて、間隙水圧調査として、ボーリング孔内の地下水位観測が行われていた。間隙水圧計による観測が一部でも実施されている地区は1地区のみであった。

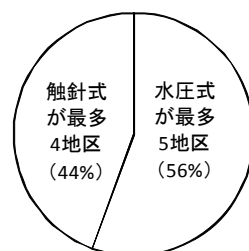


図 2.55 センサ種別

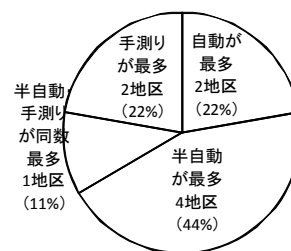


図 2.56 観測方式

水位計センサー種別については、9地区中5地区で水圧式水位計の使用割合が最多となっている(図2.55)。ただし、本調査では長期間の観測データがあるブロックを選定したために、触針式の比率が高くなった可能性はある。

観測方式は、半自動の使用割合が最多となっている地区が9地区中4地区と最も多い(図2.56)。

(2) ストレーナ位置

すべり面を貫く全区間ストレーナ孔を最も多く採用している地区が5地区と最も多く、その他の地区では、すべり面を貫かない全区間ストレーナ孔を最も多く採用している地区が2地区、すべり面を貫かない部分ストレーナ孔を最も多く採用している地区が1地区、不動層の部分ストレーナ孔を最も多く採用している地区が1地区であった。すべり面を含めた部分ストレーナ孔の設置事例はみられなかった。

すべり面を貫く全区間ストレーナ孔は、地下水観測孔のみを設置する場合での採用事例が多い。すべり面を貫かない全区間ストレーナ孔は、先行して孔内傾斜計観測孔等を掘削し、すべり面位置や地下水状況を把握してから別孔ですべり面を貫かないように観測孔を設置している事例が多い。

観測孔設置の報告書ですべり面に関与する帯水層について言及しているのは1地区であり、それ以

外の 8 地区ではストレーナの構造決定に関する記述が無く、ストレーナ構造決定までのプロセスは不明であった。また、ストレーナ構造や遮水方法等の情報が残っていない観測孔もみられた。

(3) 地下水調査実施状況

最も多く実施されているのは地下水検層（6 地区）で、他に簡易揚水試験（2 地区）、現場透水試験（1 地区）、湧水圧試験（1 地区）、微流速測定（1 地区）が実施されていた。しかし、これらの地下水調査が実施されているにもかかわらず、多くの観測孔に全区間ストレーナ孔が採用されており、地下水調査結果がストレーナの構造決定に必ずしも活用できていないことが窺える。

(4) 試錐日報解析実施状況

試錐日報解析が一部ででも実施されているのは 2 地区のみであった。解析に必要な水位記録が揃っていない地区もあり、試錐日報解析が地下水調査として活用されているとは言い難い状況である。

(5) 観測結果と地すべり挙動との連動性、観測水位の妥当性の評価

試錐日報解析を実施した 28 孔の地下水観測孔のうち、観測結果と地すべり挙動の連動性があると判断されるのが 5 孔（18%）、連動している期間と連動していない期間の両方があるのが 5 孔（18%）、連動性が低いと判断される観測孔が 11 孔（39%）、判断不能が 7 孔（25%）であった。

また、観測結果の妥当性の評価については、「(A) 地すべり挙動との連動が認められ、かつ、すべり面付近の帯水層の間隙水圧を良好に捉えている」と評価される観測孔は 2 孔（7%）のみであった。この 2 孔はすべり面を貫かない全区間ストレーナ孔であるが、すべり面の上位に帯水層が 1 層のみの単純な構造であるため、良好なデータがとれていると考えられる。

その他の観測孔は、「(B) 地すべり挙動との連動性がかならずしも明瞭ではなく、または、複数の帯水層の合成水位または部分的に漏水しているとみられ、すべり面付近の帯水層のみを良好にとらえているとはいえない」が 14 孔（50%）、「(C) 観測水位がすべり面より深い位置で変動しているか、漏水層の影響で水位変動がなく明らかにすべり面の水位ではない」が 5 孔（18%）、残りの 7 孔（25%）は判定困難であった（図 2.57）。

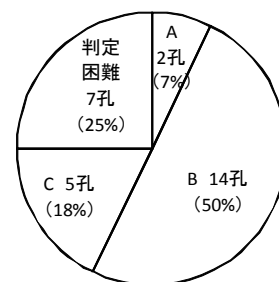


図 2.57 観測水位とすべり面との関係

2.2.4 地下水調査の課題

前節までに述べた調査結果を基に、地下水観測に関する課題を調査、計画等の段階に分けて整理した（表 2.21）。以下、各段階における課題について概説する。

(1) 地下水観測全般

地すべり対策で最も多く実施されている地下水排除工を検討するにあたり、地下水調査は非常に重

要であるが、地下水調査の重要性が十分に理解されていないことが課題として指摘される。

また、すべり面付近の地下水を観測するための部分ストレーナ孔の構造や設置に関する具体的な方法について整理されているものは少なく、調査を実施する各技術者の経験や判断に委ねられているのが現状である。地すべり対策を効果的に計画するためにも、部分ストレーナ孔による地下水観測の標準化や適用性の整理が重要である。

表 2.21 地すべり地における地下水調査の課題

段階	課題	原因	調査
全般	地下水調査、間隙水圧計測が実施されない	<ul style="list-style-type: none"> ・間隙水圧計・部分ストレーナで水位変動を把握する重要性が理解されていない ・対策工計画における地下水調査結果の重要性が理解されていない 	B
	掘進速度が速い場合やケーシングにより、細かな水位変化が把握できず、削孔水の影響もあって、本来の地下水水位を反映しない。	<ul style="list-style-type: none"> ・掘進速度が速いとすべり面などの重要な地下水帯の水頭および透水性が判定できない ・作業後の地下水水位は削孔水の影響を受けている 	B
調査	試錐日報解析の判定の個人差	<ul style="list-style-type: none"> ・標準的な区分、どの程度の水位変動を有意とするかの評価基準がない 	A
	全深度掘削後に検層をすることが多いため、逸水や複数の地下水帯の影響で、すべり面の地下水帯の状況が把握できない。	<ul style="list-style-type: none"> ・逸水や優勢な地下水帯により、地下水検層が不能となる ・優勢な地下水帯があると孔内水が低下しない 	B
		<ul style="list-style-type: none"> ・食塩を均一に溶かすことが難しく、不均一だと検出精度が低下する 	B
		<ul style="list-style-type: none"> ・孔内水条件（平衡状態では流出入がなくなる）によって結果が異なる 	B
計画	地下水検層等が実施されても観測孔構造に反映されない（全区間ストレーナになってしまう）	<ul style="list-style-type: none"> ・調査時点では、すべり面位置が不明確 ・帯水層・逸水層が複雑すぎて確定できない ・オールストレーナでの観測を標準仕様としている 	A
			A
			B
設置	部分ストレーナとする場合の基本的な作業手順・方法	<ul style="list-style-type: none"> ・決まった手法がなく、各技術者の経験や判断に委ねられている 	B
	ストレーナの仕様およびフィルターと間詰材の選定・使用方法	<ul style="list-style-type: none"> ・帯水層から孔内への水の出入りが阻害されているのかわからない ・予定区間を正確に間詰めすることが難しい 	B
	すべり面を掘り抜いた時の埋戻し方法	<ul style="list-style-type: none"> ・決まった手法がなく、担当技術者の経験や判断に委ねられている 	AB
	止水材の選定・使用方法	<ul style="list-style-type: none"> ・地質や地下水条件に応じた確実性の高い止水をするための各種止水材の使用方法がわからない ・予定区間へ正確に止水材を設置することが難しい 	B
	解析時に地下水観測孔の諸元が不明なことがある	<ul style="list-style-type: none"> ・報告書に記載されていない 	A
観測	地下水位が設置した水位計の測定範囲に収まらない	<ul style="list-style-type: none"> ・レンジオーバー ・測定間隔が粗いと水位変動のピークや周期を捉えきれない場合がある ・計器設置深度以下に水位が低下する場合がある 	B
	計測機器の破損・故障	<ul style="list-style-type: none"> ・動物によるケーブルの破損 ・バッテリー異常 ・落雷、湿気等による故障 	B

調査A：直轄地すべりを対象とした資料分析調査（H22調査）

調査B：都道府県及び民間会社を対象としたアンケート調査（H23調査）

(2) 調査段階

試錐日報解析と地下水検層が実施される機会の多さを反映してか、これらの調査手法に関する指摘

が多い。

試錐日報解析では、試錐日報解析における判定の個人差による評価のバラツキ、掘進速度とコストのバランス、削孔水による解析精度への影響などの課題があげられる。また、試錐日報を作成するオペレータに重要性を理解してもらうことが課題とする意見も多く、それらのためのマニュアルの整備や啓蒙方法の検討を行う必要があると考えられる。

地下水検層（食塩検層）は帯水層の把握に最も多く利用されているが、その一方で課題も多く、塩分濃度を均一にする難しさ、劣勢な流動状態による検出限界、孔壁状態やストレーナの開口率による地下水流動への影響に関する検討の必要性などがある。

(3) 計画段階

計画段階では、試錐日報解析や地下水検層の調査結果が地下水観測孔のストレーナ区間や構造の決定に活用されていないことが指摘される。地下水検層は多くの地区で実施されていたが、その結果を活用してストレーナ区間が設定されることがなされていないことが明らかとなった。また、試錐日報解析でも地下水状況に関する情報が得られるが、これも活用されていない。その結果、すべり面に作用する地下水をうまく捉えられていないことが多いようである。もちろん、すべり面付近に複数の帯水層が存在するためにすべり面に作用する地下水帯を特定することが困難な場合や、地下水調査以外の要素として、ボーリング段階でコア判定等からすべり面を特定することが難しいという場合もある。しかし、そのような難しい状況でない限りは、地下水調査結果に基づいて、すべり面付近の地下水帯を観測出来るように検討すべきである。

地下水観測孔の構造の計画については、ストレーナや間詰め材、止水材等が仕様で定められていることは少なく、各現場で判断されていることが多いようである。そのため、今回のアンケートから判明した課題について、標準的手法やノウハウを整理し、普及を図っていくことが重要と考えられる。

(4) 設置段階

設置段階では、標準的手法がないことや現場作業の難しさが指摘される。ストレーナ構造を決定した考え方が報告書等に残されていない事例が多かったが、機構解析や対策工の効果評価にあたっては、観測された地下水位を解釈することも必要であり、地下水観測孔の設置に関する情報は重要である。

(5) 観測段階

観測段階では、観測不能となることを避けることが課題である。特に、動物によるケーブルの破損、バッテリー異常、落雷、湿気等により測定不能となった例が多い。これらの苦勞・失敗事例とその対処のノウハウを継承していくことで、失敗の少ない計器設置につながると考えられる。

2.2.5 地下水調査の解決の方向性について

これらの課題に対して、それぞれの原因・背景を分析しながら解決の方向性を見いだしていくこと

が必要である。次に、いくつかの課題について具体的に解決の方向性を述べる。

(1) 地下水観測孔の設置手法の標準化

地下水調査に基づく地下水観測孔の設置方法の標準化（手引きの作成）をすることが必要と考えられる。試錐日報解析や地下水調査等の結果をストレーナの位置の決定に反映させる手法やその際に注意すべき事項等が内容として必要であると考えられる。すべり面に関与する地下水位を捉えるためのストレーナの設置方法についても標準化または適用性の整理が必要であると考えられる。

また、試錐日報解析を地域差や個人差なく同じ指標・精度で行うための判定基準の作成や事例集の作成も有効と考えられる。

(2) 試錐日報解析と地下水検層等の総合的な解析と連続ステップ孔内試験

調査段階での課題解決の方向性として、試錐日報解析と地下水検層等の総合的な解析が重要であると考えられる。

詳細な帯水層把握が必要な場合には、連続ステップ孔内試験によって計測区間を短く取りつつ、詳細に帯水層や逸水層を調査することが有効である。連続ステップ孔内試験では裸孔区間で孔内試験を行うため、感度良く地下水流動を捉えることができる。これに汲み上げ法を併用すれば、劣勢な流動層や地下水位が平衡状態になっている場合でも、流動層の検出が出来る。また、連続ステップ孔内試験は掘進する過程で実施するため、掘進完了後にすべり面が特定できれば、部分ストレーナ孔を設置することが可能である。

試錐日報解析による流動層の判定は、どの程度の水位変動を有意とするのかの評価が難しい。しかし、孔内試験を実施する区間以外はケーシングで止水されている連続ステップ孔内試験であれば、前日作業後水位と翌日作業前水位の比較により、相当程度、流動層を区分することは可能と考えられる。

(3) 部分ストレーナ孔設置時における留意点

観測孔設置時における遮水材や間詰材の選定および充填方法は、担当技術者の経験によって、各現場で工夫されているのが現状である。そのため、手法と留意点を整理することは有用であると考えられる。

間詰めに際しては、間詰材と保孔管に巻くフィルター材は地下水の流動性とフィルター効果（地山の細粒分や間詰材が保孔管内に入らないようにする効果）を両立する素材を選定する必要がある。特に砂など細かい間詰材の場合は、孔内水の区間で沈降する時間が掛かるため、充填しすぎないように投入後に時間をおいて次の投入を行う等の対応が必要である。

止水に際しては、実績のある材料があるので、適用条件、削孔径や地質・地下水状況に応じて適宜選定し、適切に組み合わせることも効果的である。

(4) 記録の様式化・施設台帳化

記録の様式化を図り、施設台帳として整備することも重要であると考えられる。特にストレーナ設置方法やその考え方を記録し、次の観測孔設置や観測水位の妥当性検証、対策工の効果検証の際にも活かすことが出来ると考えられる。

引用文献

- 杉本宏之・宇都忠和・本間宏樹・武士俊也・南澤正幸・栗真人・山本潤（2011）地すべり地における地下水位観測の課題と改善について、第 50 回日本地すべり学会研究発表会講演集、p147-148.
- 武士俊也・中野英樹・北原哲郎・古島広明・榎田充哉・樋口佳意（2012）：アンケート分析による地すべり地の地下水調査の現状と課題、第 51 回日本地すべり学会研究発表会講演集、p244-245.
- 武士俊也・中野英樹・北原哲郎・古島広明・榎田充哉・樋口佳意（2013）：地すべり地における地下水観測の課題と解決の方向性、平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集、p372-373.

3. ボーリング孔における地下水把握手法

3.1 水理地質調査の必要性

地すべりの機構解析や斜面安定解析を実施するためには、すべり面の間隙水圧の把握が必要である。間隙水圧は直接的に間隙水圧計等によって測定することが望ましいが、困難な場合が多く、ボーリング孔内の地下水位で代用されることが多い。しかし、地すべり土塊内には、地すべりの滑動に直接関係しない地下水も含めて複数の帯水層が存在している場合が少なくない。そのため、地下水位で代用する場合でも、部分ストレーナ孔等によって、すべり面付近の間隙水圧を観測することが望ましい(国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所、2009)。

すべり面付近の間隙水圧を観測する場合、観測孔とするボーリング孔におけるすべり面付近の水理地質(地下水の有無や地盤の透水性の状況)を調査し、すべり面付近の帯水層の間隙水圧のみを適切に計測できるよう、調査結果に基づいて観測孔構造を計画する必要がある(檜垣ほか、1991)。

水理地質状況を把握するための調査としては、地下水検層が一般的に用いられているが、多くの場合、孔壁保護などの理由から掘削したボーリング孔を全孔ストレーナ孔として仕上げた後に地下水検層を実施している。このため、部分ストレーナ孔を設置するためには水理地質調査のためのボーリング孔が別に必要となり、コストや時間の点で不利である。この点も、部分ストレーナが広く普及しない原因の一つであると考えられる。この問題を解決するためには、部分ストレーナを設置するボーリング孔において、地下水観測孔を仕上げる前に水理地質状況を把握できる手法が必要と考えられる(石田ほか、2012)。

地下水観測孔を仕上げる前に水理地質状況を把握できる手法としては、試錐日報解析やステップ検層(申、1989; 石田ほか、2012)等が考えられる。ここでは、試錐日報解析やステップ検層を組み合わせた水理地質調査方法を「連続ステップ孔内試験」として提案する。

3.2 連続ステップ孔内試験による水理地質調査

3.2.1 概要

連続ステップ孔内試験における1ステップの実施例を図3.1示す。通常、1ステップを1日で実施する。掘削中のボーリング孔の先端に裸孔区間があり、この裸孔区間の水理地質の状態を把握するために、作業前水位の測定、地下水検層を行う。これらの調査が終われば、ケーシングを孔底まで挿入する。ボーリングの掘進を行い、作業終了時に作業後水位を測定する。そして、翌日も同じサイクルを繰り返す。

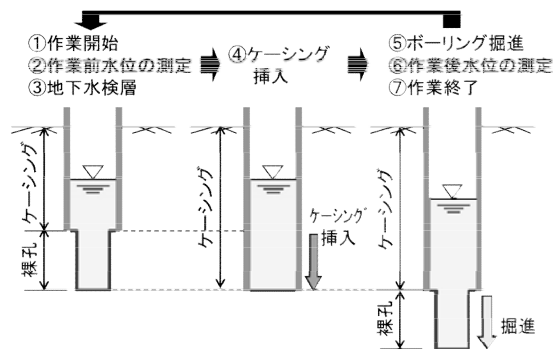


図 3.1 連続ステップ孔内試験における 1 ステップの実施例

部分ストレーナ孔の構造検討を目的とする場合の連続ステップ孔内試験の調査項目としては、試錐日報解析と地下水検層が最低限必要と考えられる。一方、地下水排除工の配置計画等の検討資料とするためにボーリング孔の全区間における水理地質の把握を目的とする場合などは、試錐日報解析と地下水検層だけでなく、簡易間隙水圧計測（湧水圧試験）やボアホールカメラ等の調査手法も同時に行ってデータを取得するのが望ましいと考えられる。

3.2.2 試錐日報解析

一般的な試錐日報解析は、ボーリング作業直後の水位（作業後水位）と翌日掘削日の作業前の水位（翌日水位）の水位変化の状況から裸孔区間の地盤の透水性と地下水の有無を判定する。ここでは更に、作業前水位の測定において、孔内水位を低下させて、その時の水位変化の状況も加味して判定する方法を提案する。

汲み上げによる作業前水位の測定手順は以下の通りである。なお、汲み上げても水位が低下しない場合は、地下水の流入があると判断する。

＜汲み上げによる作業前水位の測定手順＞

- 1) 自然水位を測定する。
- 2) 孔内水を汲み上げて水位を 30～50cm 程度低下させる。
- 3) 低下させた状態の水位を測定する。
- 4) 水位を低下させてから 10 分後に水位を測定し、水位回復の状態を把握する。

※地下水検層を実施する場合、自然水位での検層の後に 2)以降を実施する。

3.2.3 地下水検層

地下水検層は、ボーリング孔内の地下水の流動状況を把握する調査で、地下水の流動状況から試験区間の地盤の透水性と地下水の有無を判定する。地下水検層手法には、食塩検層、溶存酸素検層、(加熱式)温度検層、孔内流向・流速測定等がある。どの手法でも連続ステップ孔内試験に適用可能である。地下水検層には自然水位（平衡水位）で実施する方法と、孔内水を汲み上げて地下水帯から孔内へ地下水が供給される状態で実施する方法がある。帯水層の検出精度を高めるために、両者を併用して

実施することが望ましいと考えられる

3.2.4 水理地質区分と判定

部分ストレーナ区間、部分ストレーナ孔の構造（止水区間、止水方法等）を検討するためには、観測孔とするボーリング孔におけるすべり面付近の水理地質（地下水の有無や地盤の透水性の状況）を調査し、すべり面付近の帯水層の間隙水圧のみを適切に計測できるよう、調査結果に基づいて観測孔構造を計画する必要がある。

水理地質調査の結果は、地下水の有無と地盤の透水性を組み合わせた表 3.1 の水理地質区分を用いて、帯水層、漏水層、非透水層（いわゆる難透水層および不透水層に相当）を判定する。その結果から、すべり面付近の帯水層を観測対象とし、かつ、観測対象以外の帯水層から地下水がボーリング孔内に流入しないようにストレーナ区間を設定する。また、ストレーナ区間の上下の非透水層において止水処理を行う。なお、ここでは、部分ストレーナ孔の構造を計画することを主眼として、単純化した水理地質区分とした。また、各区分の名称も、観測孔構造を計画する立場から、水理地質の状態を想像しやすい名称としている。そのため、従来の区分名称とは異なる部分がある。

表 3.1 水理地質区分





		地盤の透水性	
		高い	低い
地下水	有り	帯水層	非透水層
	無し	漏水層	

試錐日報解析のみを実施する区間では、試錐日報解析結果から、裸孔区間ごとに水理地質区分の判定を行う。試錐日報解析と地下水検層を実施する区間では、地下水検層と試錐日報解析を組み合わせ、水理地質区分の判定を行う。この場合は、地下水検層による流動状況から、裸孔区間内をさらに細分して判定することが可能である。

1) 試錐日報解析のみを実施する区間

水理地質区分の判定（表 3.2）は、裸孔区間ごとに、全漏水の有無、汲み上げ後の水位上昇の有無、翌日水位の低下量の組み合わせによって、帯水層・漏水層・非透水層の判定を行う。翌日水位の低下量の大小を分ける基準は地下水の賦存状態や地盤状況によって異なると考えられるため一律に決めることは難しいが、1～3m 程度としている例が多いようである。






表 3.2 試錐日報解析（汲み上げ）を用いた水理地質区分の判定

水位の変化の特徴			試錐日報解析判定	水理地質区分		
全漏水	汲み上げ後の水位上昇	翌日水位の低下量				
有り	—	—	全漏水	漏水層	裸孔区間に透水性が著しく高い漏水層が存在する	
無し	有り	—	流入	帯水層	裸孔区間に帯水層が存在する	 水頭高さ GL-12.45m
	無し	大	逸水	漏水層	裸孔区間に透水性が比較的高い漏水層が存在し、帯水層は存在しない	
		小	変化なし	非透水層	裸孔区間全体が透水性の低い地盤からなる	

2) 試錐日報解析と地下水検層を実施する区間

水理地質区分の判定（表 3.3）は、地下水検層の結果を、流入、全漏水、逸水（流入なし）、非検出（一部）、上昇流・下降流、非検出（全区間）、逸水（流入不明）に区分し、全区間非検出の場合に試錐日報の判定を併用する。この判定では、裸孔区間内をより細分した判定が可能である。

表 3.3 地下水検層・試錐日報解析を用いた水理地質区分の判定

地下水検層判定 （自然・汲み上げ併用）	試錐日報解析判定 （作業前後比較）	水理地質区分	
流入	/	帯水層	 水頭高さ GL-12.45m
全漏水		漏水層	
逸水 （流入がないことを確認）		非透水層	
非検出 （一部区間）			
上昇流・下降流		変化なし	
非検出 （全区間）	全漏水	漏水層	
	逸水 （流入の有無は不明）	漏水層あるいは帯水層	

3.3 連続ステップ孔内試験の適用性

国土交通省の直轄地すべり対策事業を実施している地すべり地において、連続ステップ孔内試験が試みられている（石田ほか2012；武士ほか、2012；菖蒲ほか、2013）。これらの試験によって、次のことが分かってきた。

連続ステップ孔内試験では、ボーリングの掘進に合せた短い裸孔区間を試験区間として孔内試験を実施する。これにより、優勢でない帯水層の把握を可能にするなどの検出精度の向上が期待される。また、ステップ間隔を小さくして高密度に調査を行えば、帯水層や流入区間の検出が高い分解能で可能になる。

ただし、ステップ間隔を小さくして高密度に調査を行った場合、費用面では不利となる。部分ストレーナ区間の決定に目的を絞る場合、分解能は低下するものの、地下水検層の実施区間をすべり面の上部10mと下部5mに絞ることや、ステップ間隔を日掘進量（地すべり地においては3～5mが多い）にあわせる等の工夫で、より効果的に実施することが可能となる。

3.4 地下水検層手法の適用性

3.4.1 検討方法

連続ステップ孔内試験では、試錐日報解析と地下水検層を行うが、地下水検層には複数の手法がある。そこで、同一孔にて複数の手法での調査を実施して、各手法の適用性の確認を行った。あわせて、平衡水位を予測するための地下水位の変化データを取得することを目的として、作業終了後から翌朝の作業前までの地下水位変動について自記式水位計を用いて観測を行った。

(1) 調査地の概要

調査は、由比地区・平久里下地区・滝坂地区の3箇所で実施した。調査孔名と実施日を表3.4に、調査孔の位置を図3.2～図3.4に示す。

表 3.4 調査概要

回数	調査位置	調査孔	実施日
1回	静岡県 由比地区	SC-9 先行ボーリング	H24.9.3～9.4
2回	千葉県 平久里下地区	24RBV-5・24BV-4	H25.2.5
3回	福島県 滝坂地区	BV-24-289 (Bor.2)	H25.8.7～8.8

① 由比地区大久保ブロック (SC-9 先行ボーリング)



図 3.2 由比地区調査孔位置図 (富士砂防事務所提供資料)

② 平久里下地区 (24RBV-5・24BV-4)

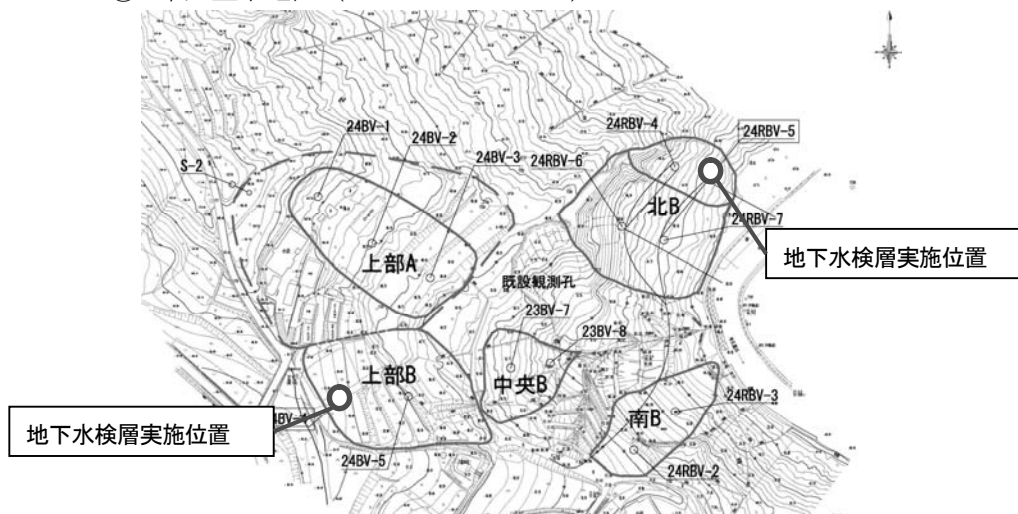


図 3.3 平久里下地区調査孔位置図 (千葉県安房土木事務所提供資料)

③ 滝坂地区 (BV-24-289(Bor.2))



図 3.4 滝坂地区調査孔位置図 (阿賀野川河川事務所提供資料)

(2) 調査孔の概要

検層を実施したボーリング孔の状態例を図 3.5 に示す。平久里下地区の 24RBV-4 は既設孔であり、VP40 (全区間ストレーナ) が設置されている。

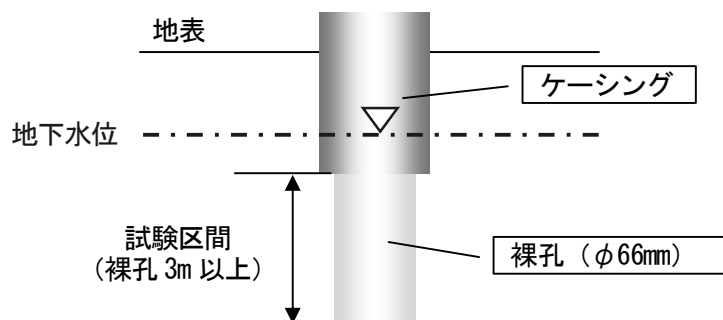


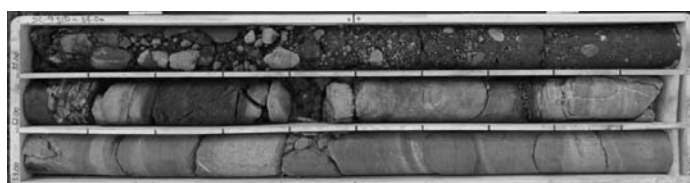
図 3.5 調査時のボーリング孔のイメージ図

表 3.5 調査概要

調査位置	調査孔	削孔径	裸孔区間(GL-m)	地下水位(GL-m)
由比地区	SC-9 先行	86mm	51.0～58.0	47.7m
平久里下 地区	24RBV-5	66mm	6.0～10.0	1.38m
	24RBV-4(既設)	66mm	VP40 (全区間ストレーナ)	0.8m
滝坂地区	BV-24-289(Bor.2)	86mm	45.0～49.0m	26.9m

各地区の試験実施区間付近のボーリングコアを以下に示す。

① 由比 SC-9 先行ボーリング 深度 51.0～54.0m



②平久里下 24RBV-5 深度 6.0～10.0m

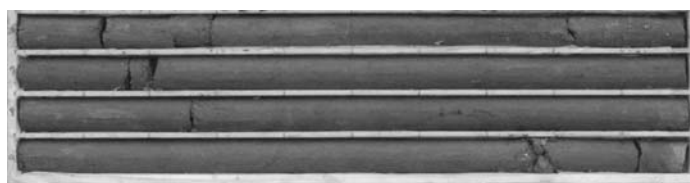


写真 3.1 試験実施区間のコア状況

(①富士砂防事務所／②千葉県安房土木事務所 提供資料)

3.4.2 地下水検層手法の概要

検討を行った地下水検層手法の概要は以下の通りである。

(1) 食塩検層

食塩検層は、孔内水を食塩水の電解質で置き換え、流入してくる地下水による水比抵抗値の増大から地下水流動の鉛直的な分布状況の把握を目的とする。

単点式は、測定する電極部は1つのものを使用し、電極を25cm間隔で上下させて測定を行う方法で(図3.6)、固定式は電極が25cm間隔であらかじめ固定されたピックアップ部を孔内に挿入して、地上部の測定器で電極を順次切り替えて測定する方法である。

計測は、固定式は自然水位法(一部地下水の汲み上げあり)、単点式は自然水位法と汲み上げ法で行った。自然水位法は、孔内水位を変化させずに自然状態で電極部を上下させて測定する方法で、くみ上げ法はベラー等を用いて孔内水をくみ上げ、強制的に水位を変化させて測定を行う方法である(図3.7)。

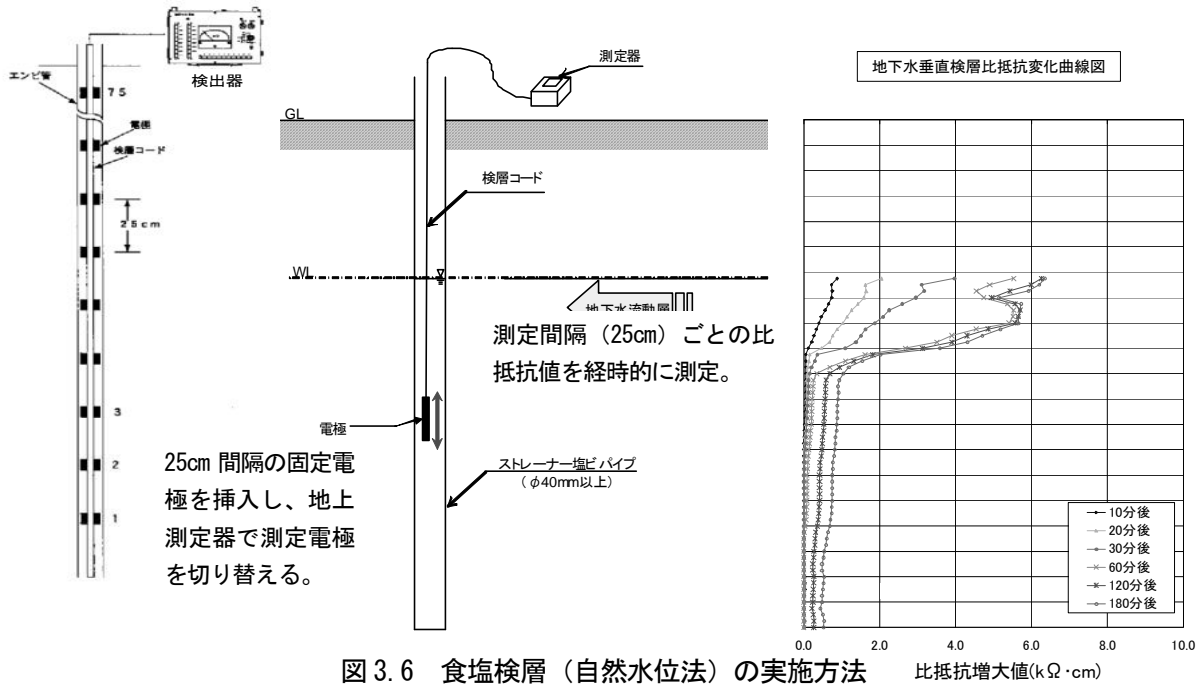


図 3.6 食塩検層（自然水位法）の実施方法

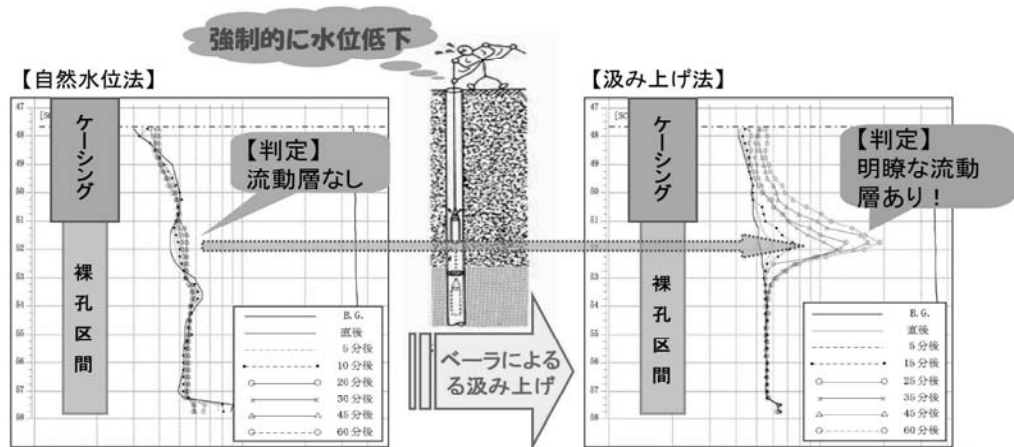


図 3.7 食塩検層（汲み上げ法）の実施例

(2) 微流速計

孔内微流速測定は、ボーリング孔内の鉛直方向の透水区間における地下水流動区間や流動方向の把握を目的とする。自然水位の状態を計測したのち、水頭条件を変化させて測定を行う。水頭条件の変化は一般的な注水で行い、注水による流動層検出の変化を把握する（図 3.8）。

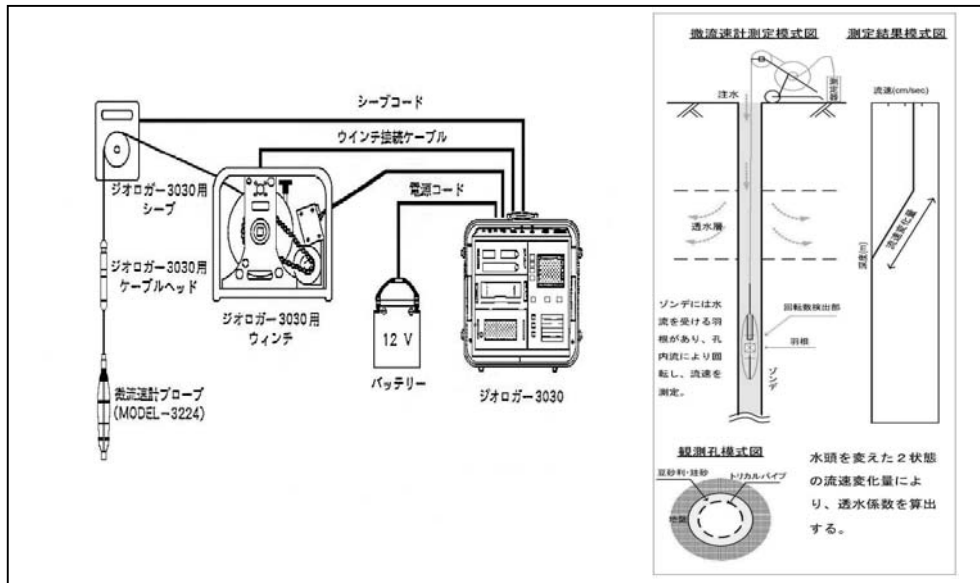


図 3.8 微流速測定の概要

(3) 流向流速測定

地下水に混入している微細物質の動きをカメラに捉え、その移動量・移動時間・移動方位から地下水の流向・流速を測定する。流れが見られた箇所でも 5 箇所程度、5cm 程度の間隔で測定する(図 3.9)。

ゾンデ部の外形は 34mm と細く、内径 40mm のストレーナパイプでの観測も可能で、深度 100m まで観測できる。電源は内蔵電池、AC100V、自動車用バッテリーの 3 種類が使用できる。

- ① 流向：磁北に対するトレーサ物質の 2 点間移動方向測定
- ② 流速：トレーサ物質の 2 点間移動速度測定
- ③ 水温：半導体水温計によるゾンデ温度計測

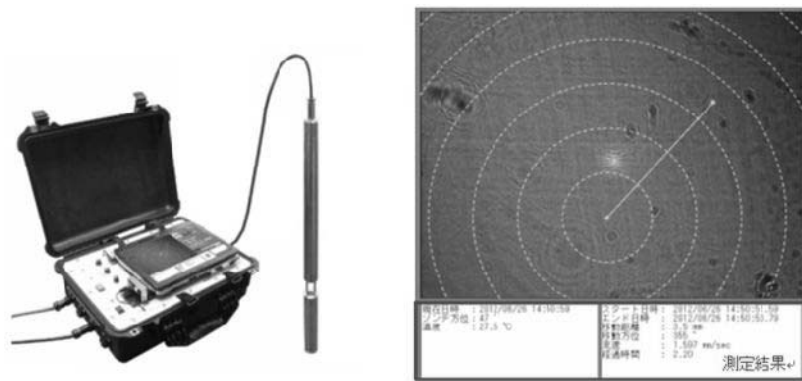


図 3.9 流向流速測定の概要

(4) 平衡水位調査 (孔内水位測定)

ボーリング作業終了後の水位から平衡水位になるまでの地下水位変化を把握し、平衡水位を予測する手法を得ることを目的とする。水位変化から平衡水位を予測し、効率的な汲み上げ量の予測や次の掘進工程の計画に利用することができる。

平衡水位調査は、水圧式水位計を用いて作業終了後から翌日の作業前までの水位変化を観測する。

3.4.3 由比地区

(1) 食塩検層（単点式）

①概要

以下の条件で計測を実施した。

- a) 自然水位法：裸孔・地下水位 GL-47.7m
- b) 汲み上げ法：裸孔・地下水位 GL-47.7m
- c) 汲み上げ法：保孔管（VP-50・フィルター巻）・地下水位 GL-47.58m

②結果

a)およびb)の検層結果を図 3.10 に、c)の検層結果を図 3.11 に示す。

深度 51.0~58.0m 区間では、自然水位条件では地下水流入はなく、汲み上げ法によりごくわずかな揚水で深度 51.25~52.25m で地下水の流入がみられた。

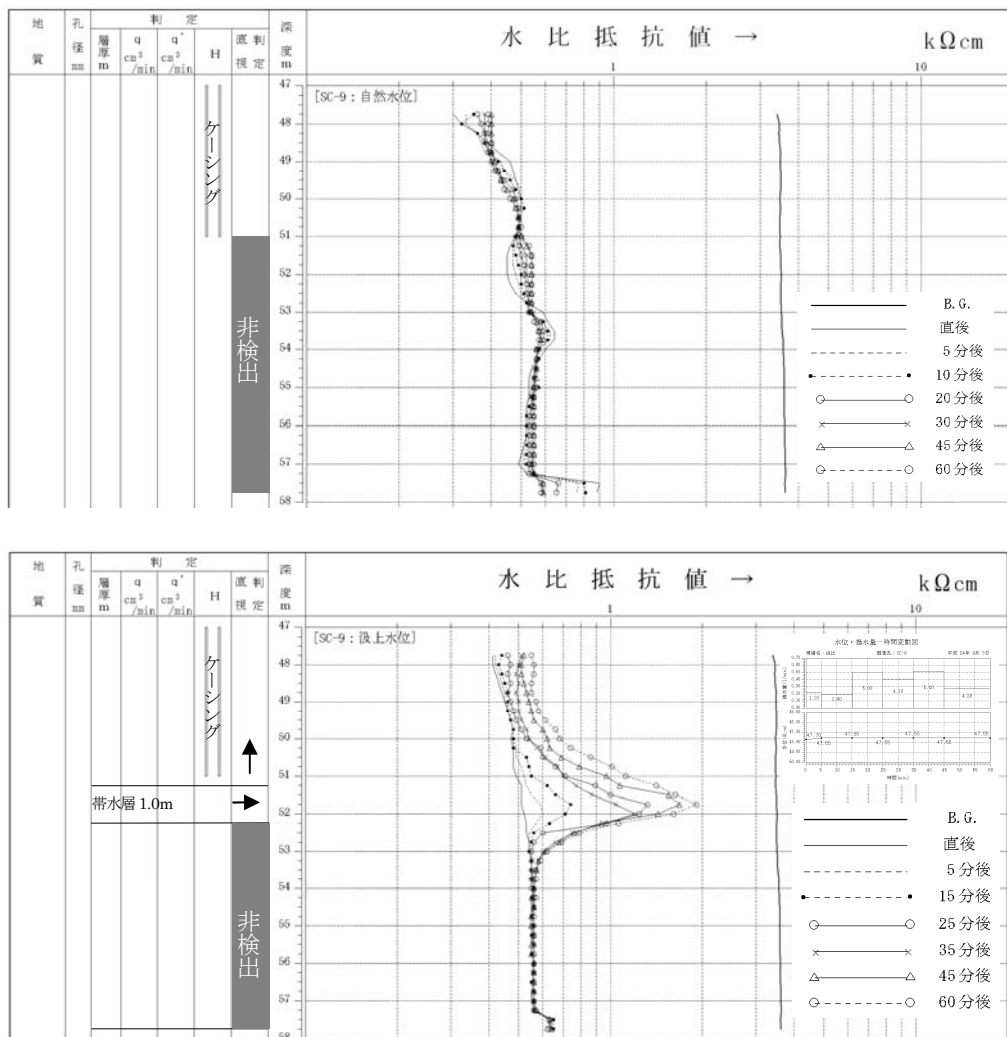


図 3.10 裸孔における検層結果（上：自然水位法、下：汲み上げ法）

保孔管を挿入した場合と裸孔での汲み上げ検層結果と比較すると、流入部での回復の遅延やピークの不鮮明化がみられるほか、ケーシング部における全層流入のような変化（どの深度も同じ程度で比抵抗地が増加していく状態）、基岩部の比抵抗地の微増、などの差異が認められた。

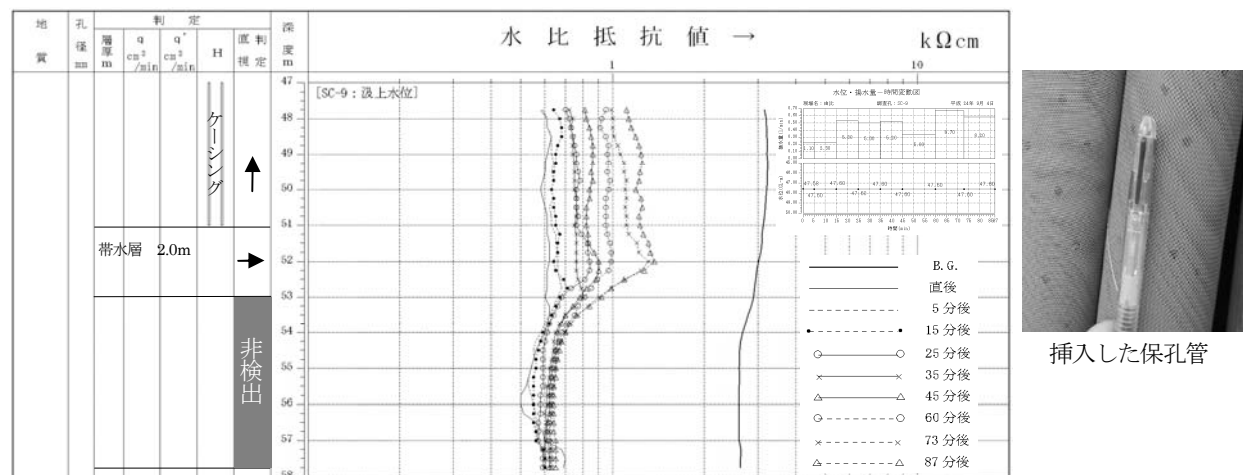


図 3.11 保孔管内での検層結果（汲み上げ法）

自然水位条件では、全区間で非流入層と判定されるが、前日水位が深度 47.7m より高かったことから、本区間には逸水層があり、本試験時の孔内水は平衡状態にあったものと考えられる。

深度 51.25～52.25m は、自然水位条件の検層では地下水流入はなく、ごくわずかな揚水で地下水流入が生じたことから帯水層と推測される。

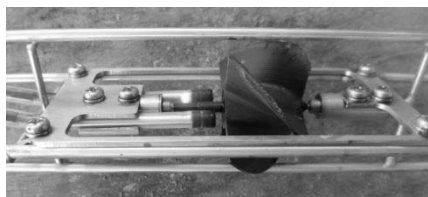
すべり面以深の基岩部は、逸水も流入がみられなかったことから、裂か水を有していない非透水層と考えられる。したがって、孔内水位が深度 47.7m より上昇した場合に、孔内水は深度 51.25～52.25m で逸水していると考えられる。

保孔管による影響については、保孔管の影響で食塩の溶解が保孔管外に及びにくく、濃度が保孔管の内外で異なること、揚水によって保孔管外の低濃度の孔内水が、ストレーナをとおして保孔管内に流れ込むことが原因で、裸孔状態よりも流動層が不鮮明になると推測される。

(2) 微流速測定

①概要

試験の条件は、裸孔－自然水位法、裸孔－注水法、保孔管－自然水位法および保孔管－注水法を計画した。試験区間は深度 51.0～56.6m である。当初は改良型微流速計（応用地質株製）を使用した。濁り水の影響でいずれの条件とも正しいデータが取得できなかったため、後日従来型の微流速計にて試験を行った。注水法における注水量は、試験時に使用したポンプや注水時の上昇量に応じて 5～20L/分の間で調整した。使用資材のセンサ部および孔内の濁り水を写真 3.2～写真 3.3 に示す。改良型がセンサ部の羽が固定式であるのに対し、従来型は取り外して分解可能なタイプである。



改良型
羽は固定式



従来型
羽は取り
外し可能

写真 3.2 使用機材のセンサ部



写真 3.3 孔内の濁り水

②結果

改良型微流速計は、濁り水でセンサが正常に作動せず測定ができなかった。一方従来型微流速計では、濁り水区間以外は正常に測定ができた。従来型では自然水位法ではほとんど動きがなく、注水法で流動層が検出された。流動層は、ケーシング下端の深度 51m 付近が裸孔・保孔管条件とも明瞭で、裸孔条件の流動層は深度 51.0～52.0m、保孔管条件では深度 51.25～51.5mであった。

試験結果の一覧を表 3.6 に示す。

表 3.6 微流速測定試験結果一覧

計測器	実施日	試験結果概要			
		裸孔自然条件	裸孔注水条件	保孔管自然条件	保孔管注水条件
改良型 微流速計	H24/9/4	濁り水で 試験不能	濁り水で 試験不能	実施せず	濁り水で 試験不能
従来型 微流速計	H24/9/6	流動層なし	51～52m で 流動層検知	51.25～51.50m に わずかな流動層	51～51.25m で 流動層検知

試験が可能であった従来型微流速計で得られたデータのうち、濁り水の影響を受けた深度のデータは除外して裸孔条件および保孔管条件でグラフを作成した。試験結果を図 3.12 に示す。

自然状態で比較すると、裸孔条件では流動層が検出されなかったが、保孔管条件では深度 51.25～51.5m 付近にわずかな上昇流が検出された。一方注水条件で比較すると、ケーシング内は一定の下降流であり難透水層であり、下端の深度 51m 付近で流速が落ちることからケーシング下端の深度 51m 付近が透水層 ($K=3.1 \times 10^{-5} \text{m/s}$) になっていることを示す。また、裸孔条件では深度 51.25～52m 付近に流動層 ($K=1.3 \times 10^{-6} \text{m/s}$) が検出されたのに対し、保孔管条件では深度 51.25～51.5m 付近であった。

以上により、裸孔条件と保孔管条件で地下水の流動層の検出深度が若干異なっていた。この理由として、水位観測孔は一般には孔壁と塩ビ管の間に豆砂利等を充填するのに対し、今回の保孔管条件では豆

砂利が無いので孔壁と塩ビ管の隙間が水みちとなり、地山の地下水流動層が塩ビ管内で正確に測定できなかったと考えられ、保孔管のストレーナの位置関係が検層結果に影響を与える可能性もある。

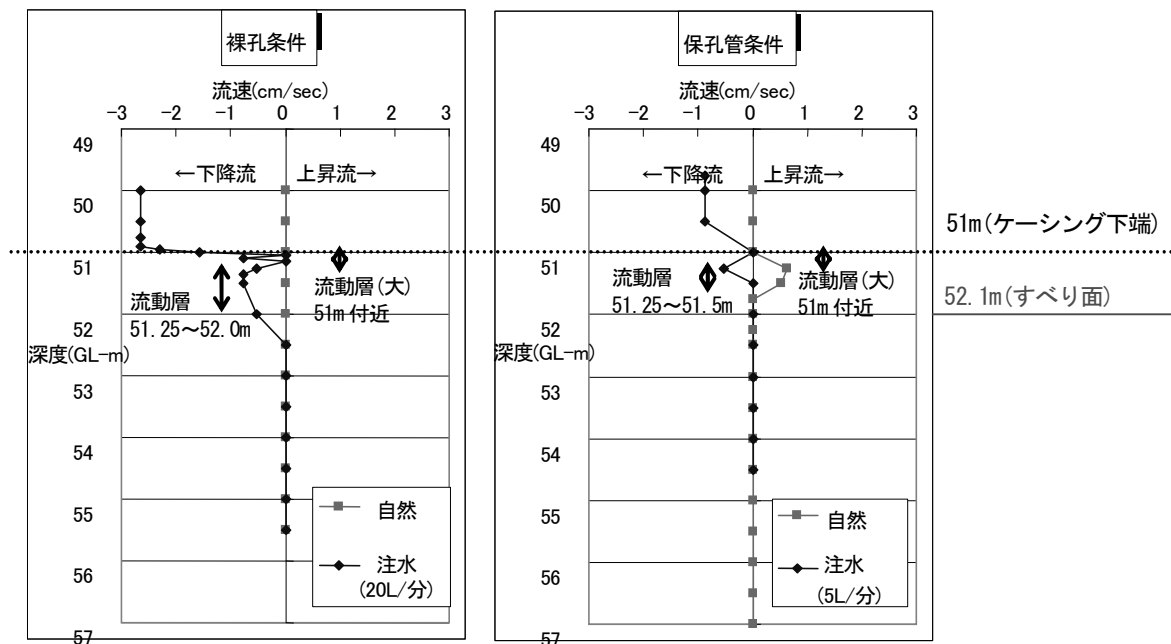


図 3.12 測定結果のまとめ

なお、改良型微流速計で試験ができなかった理由は次のように考察される。

- 原因 1 : 孔内水が濁り水のため、羽の回転を光学センサにより検知する本計器では検知できない。
- 原因 2 : 羽が固定形式で取付け部がベアリング式であり、濁り水の細粒分などが入ると動きが鈍くなる。さらに羽が固定式のため分解清掃ができない。清水を流して何度か洗浄を行ったが、回転は戻らなかった。

3.4.4 平久里下地区

(1) 食塩検層（単点式）

①概要

以下の条件で計測を実施した。

24RBV-5：自然水位法および汲み上げ法、裸孔・地下水位 GL-1.38m

24RBV-4：自然水位法および汲み上げ法、VP40・地下水位 GL-0.8m

②結果

測定結果を図 3.13～図 3.14 に示す。

24RBV-5・24RBV-4 とともに、自然水位法・汲み上げ法のどちらにおいても、明瞭な比抵抗の回復はみられなかった。

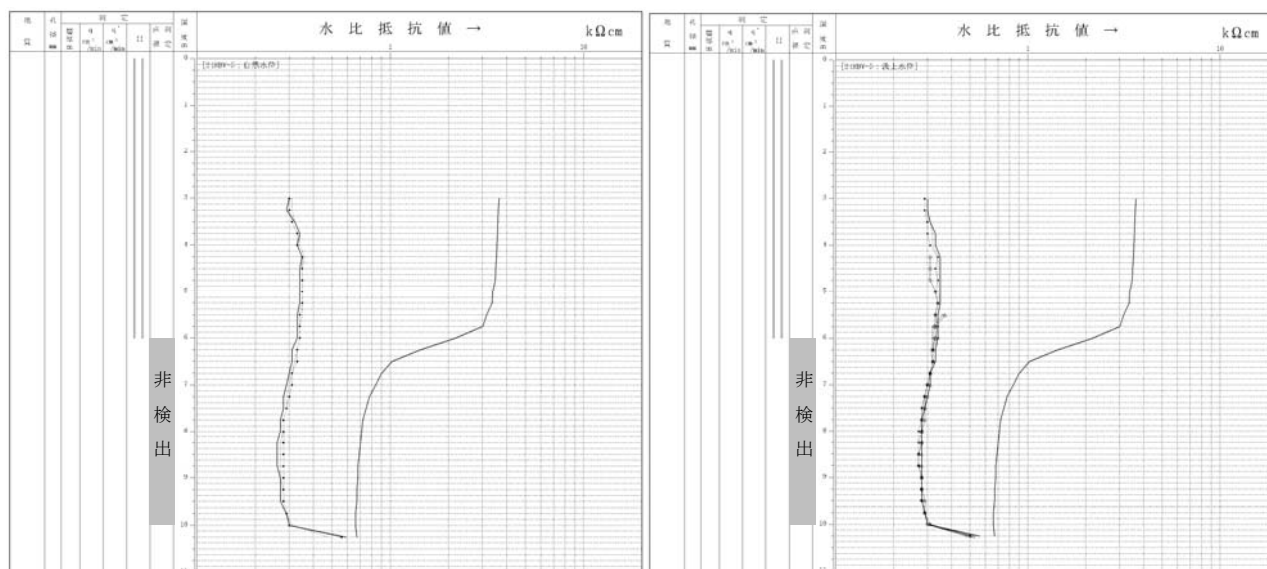


図 3.13 24RBV-5 単点式検層結果（左：自然水位法、右：汲み上げ法）

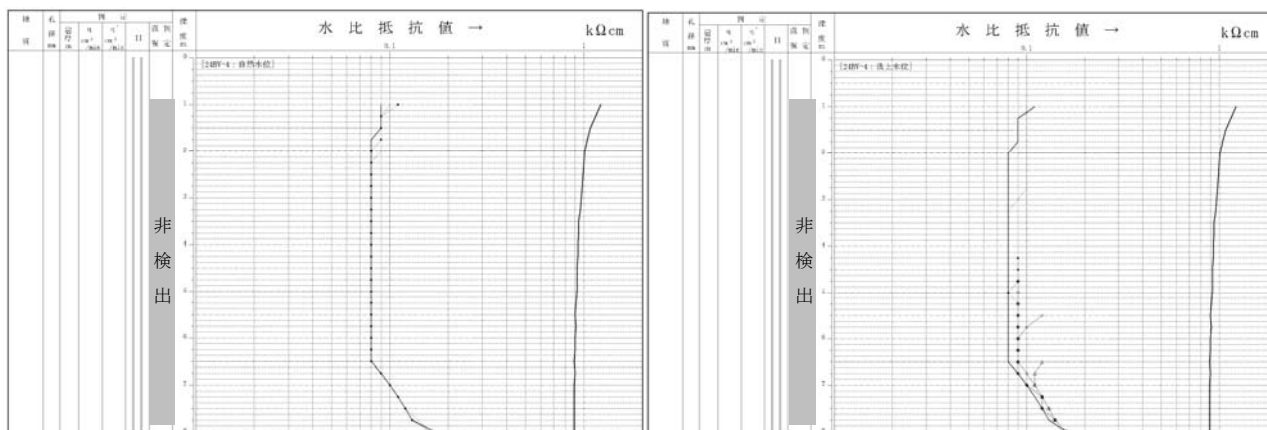


図 3.14 24RBV-4 単点式検層結果（左：自然水位法、右：汲み上げ法）

(2) 食塩検層（固定式）

①概要

既設観測孔（24BV-4）において自然水位における固定式食塩検層を実施した。計測時間は 0,5,10,20,30,60,90 分である。

自然水位法観測後に、観測孔内水の汲み上げを実施して計測を行った。

②結果

測定結果を図 3.15 に示す。自然水位法では明瞭な比抵抗値の回復は見られなかった。また、観測孔内水の汲み上げを実施したが、孔内水位の回復が見られなかった。

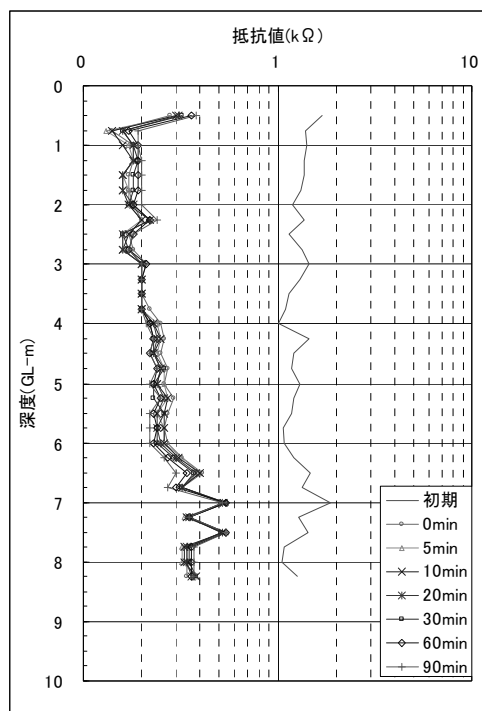


図 3.15 固定式食塩検層結果（自然水位法）

(3) 微流速測定

①概要

ボーリング掘進中の 24RBV-5 において微流速想定を実施した。調査対象地は固結度の低い泥岩であり孔内水の濁りが予想されたため、センサ部が分解清掃できる従来型の微流速計を使用した。試験は、裸孔自然条件、裸孔注水条件の 2 条件で、深度 6.00~10.25m 区間を試験区間とした。なお、試験前日は 2.5 時間かけて孔内洗浄を行い、できるだけ濁りはとるよう試みた。

②結果

裸孔自然条件は、やや濁りがあつた区間も含めて羽の回転は検出されなかった。深度 7m 以深は濁りで羽の回転が検知できなかった。その理由として、7m 以深はゾンデ引き上げ時に濁りを巻き上げたため、濁りがやや生じてしまったと考えられる。

裸孔注水条件では先に 30 分程度孔内洗浄を行い、0.1L/分注入して孔内水が 2.22m 上昇した状態で測定を実施した。洗浄時の孔内水はやや濁りが生じていたが（写真 3.4）ほぼ正常に測定ができた。孔内の流速は検知でされなかった。深度 6.5~8m 間は濁りのため、羽の回転の検知が完全にはできなかった。なお、両条件とも、試験終了後には灰色の泥がセンサの羽も含めて付着していた（写真 3.5）。



写真 3.4 洗浄時の戻り水の濁り状況



写真 3.5 試験後の羽の状況

試験結果を図 3.16 に示す。

自然状態では、濁り水の影響のための羽の回転が検知できなかった。孔内洗浄後に行った注水条件での試験では、濁り水の影響は少しあったが孔内水の動きがないことが確認された。

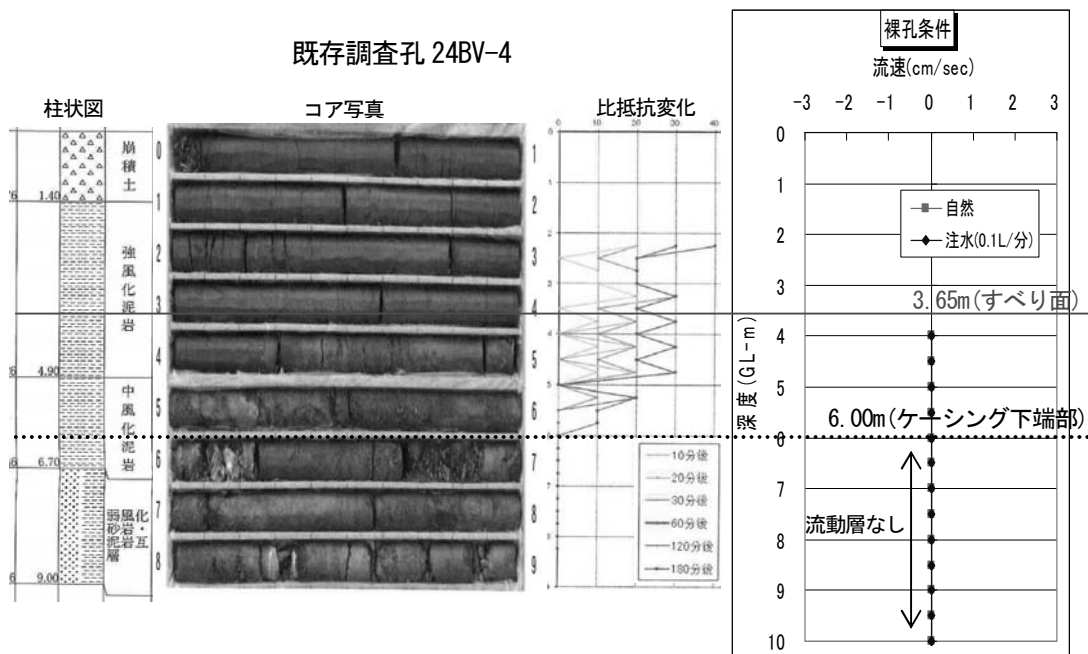


図 3.16 測定結果のまとめ (柱状図等は千葉県安房土木事務所提供資料)

3.4.5 滝坂地区

(1) 食塩検層（単点式）

①概要

裸孔・地下水位 GL-26.9m の条件において、自然水位法で 10 分計測後、食塩は再投入せずに汲上げ法に移行し、計測を実施した。

②結果

検層結果を図 3.17 に示す。自然水位法（10 分計測後まで）では地下水の流動はみられない。汲上げ法により、深度 45.00~45.25m をピークとする比抵抗の増加がみられ、ケーシング内での比抵抗増加が顕著となった。ケーシング下端付近から地下水が流入し、ケーシング内を上昇したことを示す。深度 45.5~47.0m では、わずかに比抵抗値の回復がみられる。

翌日（1065 分後）、水位が上昇し全体的に比抵抗値は増加したが、ピークは消失している。その後、汲上げを実施したところ、前日と同様に深度 45.00~45.25m からの流入と上昇流がみられたが、深度 45.75~47.0m での流動はみられなかった。

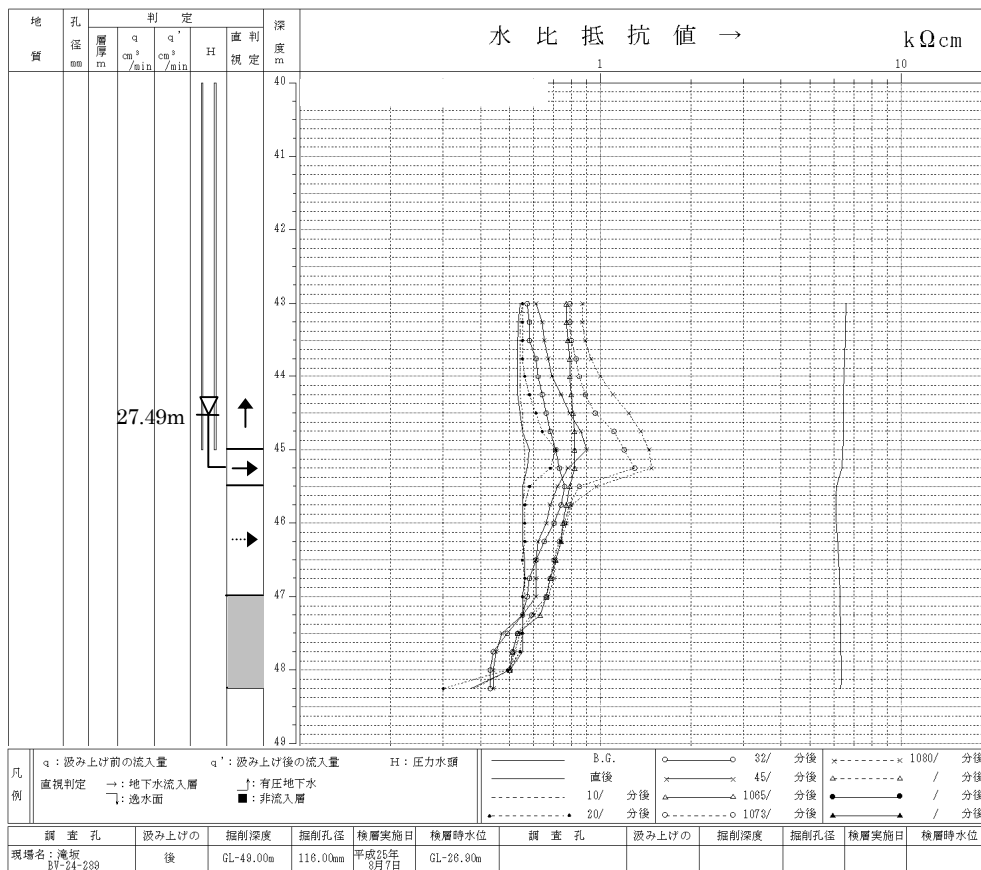


図 3.17 単点式食塩検層結果

深度 45.0~45.5m の流入はケーシング先端に相当するため、保孔区間からの流入水である可能性があり、帯水層とは断定できない。また、深度 45.5~47.0m の変化も優勢ではなく、帯水層と確定はで

きない。

(2) 食塩検層（固定式）

①概要

自然水位における固定式食塩検層を実施した。計測時間は0,5,10,20,30分である。

②結果

検層結果を図 3.18 に示す。自然水位法における食塩検層では明瞭な比抵抗値の回復は見られなかった。

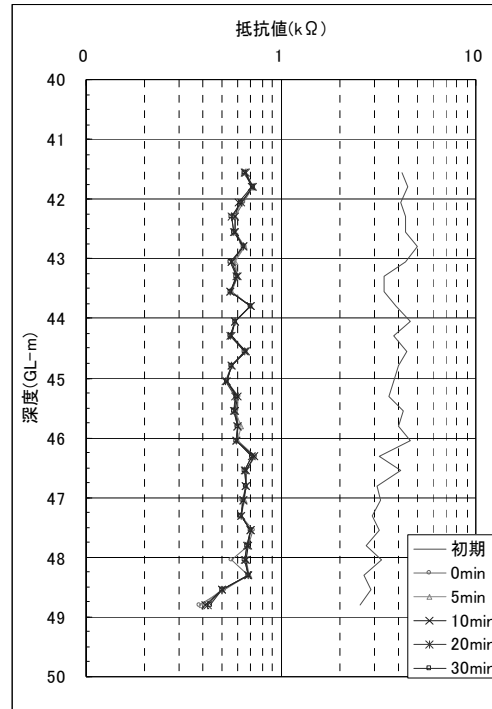


図 3.18 固定式食塩検層結果

(3) 微流速測定

①概要

対象地域は強風化花崗岩（マサ）が分布し濁り水が予想されたため、従来型の微流速計を使用した。裸孔自然条件、裸孔注水条件の2条件で試験を実施し、深度 45.00～47.50m 区間を試験区間とした。

②結果

裸孔条件では、水の流れは検出されなかった。

裸孔注水条件では、20L/分注入して孔内水が 7.88m 上昇した状態で測定を実施した。この条件では、最初に上下流判定を行った後に測定したところ、注水条件にもかかわらず回転を検知しなかった。ゾンデを引き上げたところ羽の回転が渋くなっていたことから、上下流判定でゾンデを下した際に回転部分に土粒子が入り込んだものと考えられる。その後、羽を分解洗浄したら試験が可能となった。

試験の結果、ケーシング下端から 50cm 区間で下降流が検出され、地下水の流動層が確認された。流速が局所的に早くなることからケーシング下端の一部から逸水していると考えられる。なお、両条件とも試験終了後にゾンデを引き上げたところ、泥などの付着物は特に見られなかった。

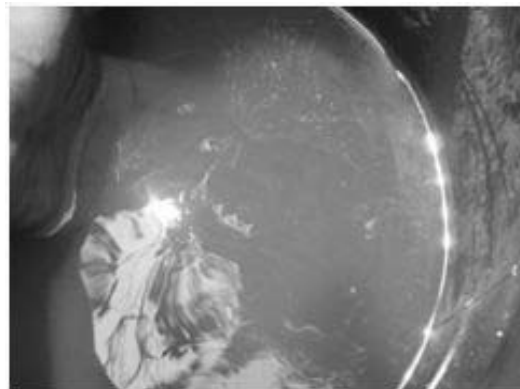


写真 3.6 孔内水の濁りの状況

試験結果を図 3.19 に示す。自然状態では流速は確認されなく、20L/分の注水条件では下降流が生じてケーシング下端付近で逸水している状況が確認された。深度 44.5m の流速が 2.2cm/s の下降流であるのに対し、深度 44.85m が 2.8cm/s と早くなっていた。この理由として、ケーシング下端の全体から逸水したのではなく、局所的に逸水したため水みちが絞り込まれて流速が上がったものと考えられる。この局所的な流速増加を除いた深度 44.75m と深度 45.25m 付近の流速変化から透水係数を算出したところ、 $7.8 \times 10^{-5} \text{m/s}$ が得られた。

微流速計を適用するにあたっては、孔内水の濁りが懸念される条件では孔内水を攪拌しないように測定の後で上下流の判定を実施した方が良かったことが分かった。

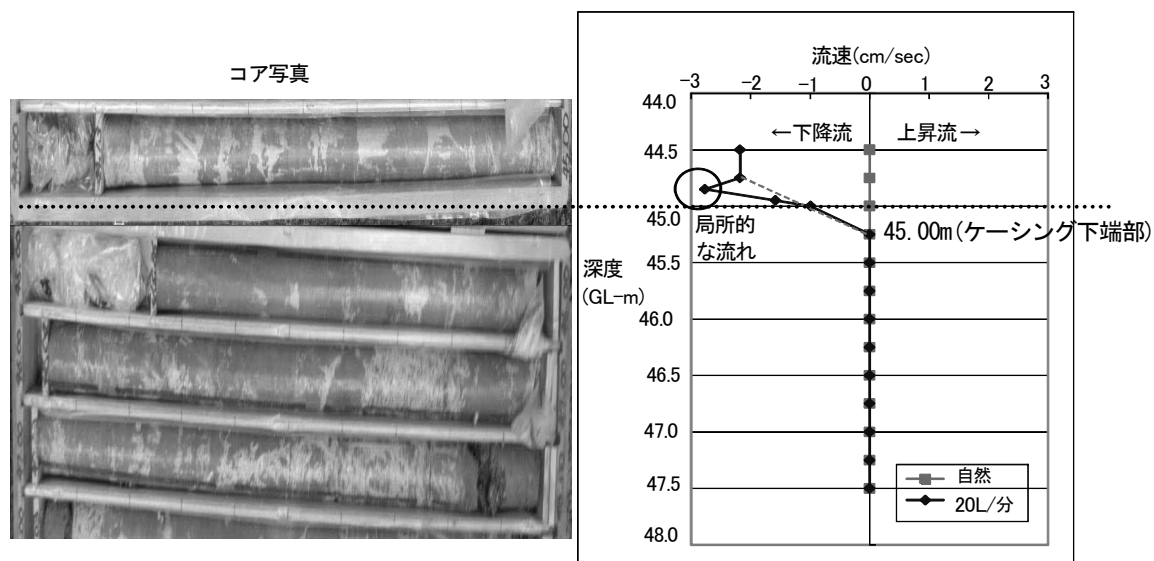
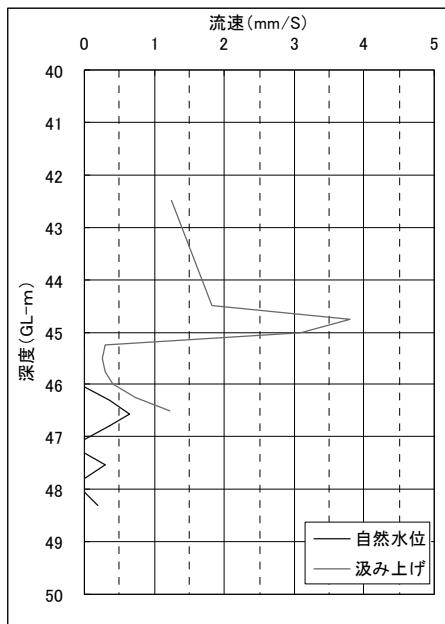


図 3.19 調査結果のまとめ

(4) 流向流速測定結果

滝坂地区の新規ボーリング孔 (BV-24-289) において自然水位および汲み上げ法における流向流速測定を実施した結果を図 3.20 に示す。裸孔区間の深度 45.3~48.3m の区間で測定を実施したところ、自然水位法における流向流速測定では、北北東から南南西にかけて $0.36 \sim 0.65 \text{mm/s}$ の水の流れが確認された。測定結果の地下水の流れの方向と斜面 (標高の高→低) の方角がほぼ一致していた。

汲み上げ法における流向流速測定は、他の汲み上げ地下水検層で変化の見られた深度 45m を中心として、深度 42.5~46.5m の区間で測定を実施し、深度 45m 付近で大きな流速が確認できた。しかし、流向が一致しないため、上下流が発生していると思われる。



自然水位

測定深度 (m)	流速 (mm/s)	流向
45.30	0	
45.55	0	
45.80	0	
46.05	0	
46.30	0.36	南南西
46.55	0.65	南西
46.80	0.36	南南西
47.05	0	
47.30	0	
47.55	0.29	南南西
47.80	0	
48.05	0	
48.30	0.2	南南東

汲み上げ法

測定深度 (m)	流速 (mm/s)	流向
42.50	1.25	
44.50	1.83	南南西
44.75	3.8	北北西
45.00	3.09	南東
45.25	0.3	
45.50	0.25	
45.75	0.3	
46.00	0.4	
46.25	0.74	南南西
46.50	1.23	西北西

図 3.20 流速測定結果

(5) 平衡水位

平衡水位予測検証のため、平成 25 年 8 月 7 日～8 日に滝坂地すべりで水位観測を行ったが、各種検層を行った後の平衡水位に近い水頭からの観測開始であったことから水位変動が 3cm と極端に少なく有効なデータを得ることは出来なかった。このことから、水位予測検証時の水位条件の考察を行い水位観測のタイミングを検討する必要がある。滝坂地すべりで観測した水位データを図 3.21 に示す。

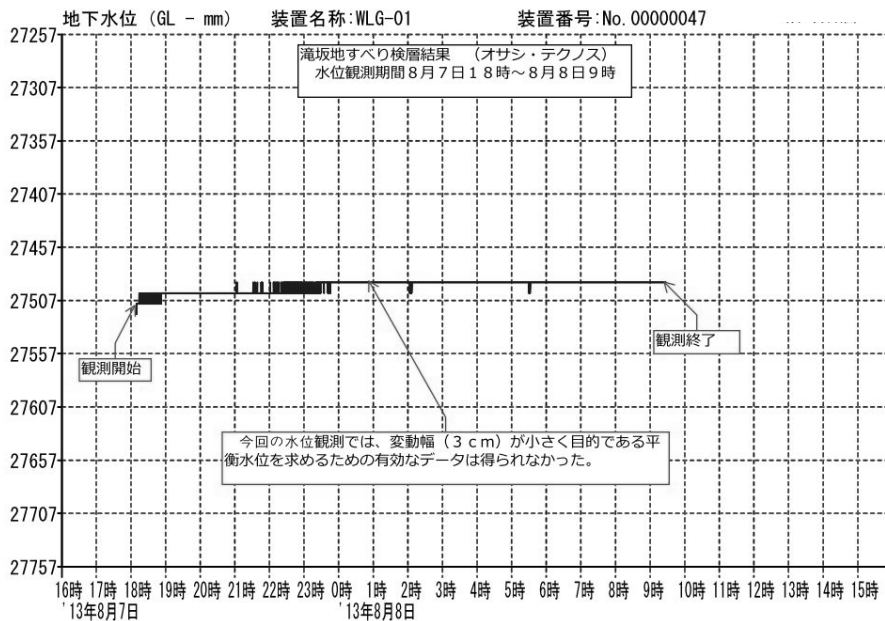


図 3.21 平衡水位計測結果

3.4.6 まとめ

(1) 食塩検層（単点式）

①食塩検層の有効性

裸孔状態での食塩検層は、自然水位法・汲み上げ法ともに、試錐日報による水位変動と整合する良好な結果が得られた。今回実施した試験条件において、食塩検層は、有効な地下水検層法のひとつであると判断される。

しかし、自然水位法だけでは、孔内水位が平衡状態に達している場合には、帯水層なのか非透水層なのか判定できないので、水理地質の鉛直分布を把握するためには、汲み上げ法との併用が必要である。

以上から、地下水流動を把握するためには他の検層法でも同様に、強制的に水位を変化させる汲み上げ法または注水法が必要である。

②保孔管の影響

食塩検層では、保孔管がある場合は、裸孔に較べて地下水流動が不鮮明になる。これは、保孔管内側と外側を均一の濃度にすることが困難であることが理由と推測される。

保孔管の開口率を増加させれば、影響は小さくなると予想されるが、今回の試験ではストレーナの開口率による違いについては調査していない。

ボーリング孔の最終仕上げ時の砂詰めが不十分な部分では同様の現象が生じることが想定される。

(2) 微流速測定

自然条件では、3地区のうち2地区で流動層が検出されなかった。試験区間が2.5～5.5m程度と短かったため、水頭差がある2つの帯水層に当たらなかったためと考えられる。一方、注水条件では2地区で流動層が検出できた。ステップ式など試験区間が短い条件で微流速測定を実施する場合は、注水など水頭を強制的に変化させる方法が良いことが分かった。

由比地区では、保孔管の有無により地下水の流動層の検出深度が若干異なっていた。この理由として本地区における保孔管条件は孔壁との間に間詰め材が存在しないため、孔壁と塩ビ管の間隙が水みちとなったためと考えられる。

微流速計を適用するにあたっては、孔内水の濁りが懸念される条件では事前に孔内洗浄を行うとともに試験前に沈殿剤を投入し、さらにセンサ部が分解清掃できる従来型の微流速測定器を使用することが望ましいことが確認された。さらに、孔内水を攪拌しないように後で上下流の判定を実施した方が良いことが分かった。

(3) 平衡水位

孔掘削時の途中段階において短時間で平衡水位を知るために、初期の1時間程度の地下水位データから理論式を用いて平衡時の水位を予測する検討を行った。地下水位データとしては由比地区で取得した5回分のデータを使用し、理論式としては盛土などの沈下量推定に使用する双曲線法(坂田電機)、

電気コンデンサの放電式（オサシ・テクノス）を用いた。結果としては、どちらの理論式もあるデータについては平衡時の実測水位と理論水位の差が 10cm 以内に収まったが、全てのデータに適用した場合、誤差が大きくなるデータがあった。今回使用したデータは孔内の地盤の透水性が良かったため、今後、透水性の悪い地盤でのデータを使用して検討を行う必要がある。

（4）流向流速測定結果

滝坂地区の新規ボーリング孔（BV-24-289）において自然水位および汲み上げ法における流向流速測定を実施した結果、自然水位法における流向流速測定では水の流れが確認され、測定結果の地下水の流れの方向と斜面（標高の高→低）の方角がほぼ一致していた。

引用文献

檜垣大助・丸山清輝・吉田克美・吉松弘行（1991）：地すべり地における間隙水圧変動の観測，地すべり，Vol. 28， No. 3， pp. 9-16.

石田孝司・杉本宏之・武士俊也・高川智・二木重博・宇都忠和（2012）：善徳地すべりにおける高密度ステップ孔内試験結果と地下水観測結果との比較について、日本地すべり学会誌 Vol.49-6 p35-41.

国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所（2008）：地すべり防止技術指針及び同解説，社団法人全国治水砂防協会.

申潤植(1989)：地すべり工学 ー理論と実践ー、山海堂, pp.419-431.

武士俊也・杉本宏之・宇都忠和・本間宏樹・佐藤俊英・帆苅正敏・井藤嘉教・高澤忠司（2012）：滝坂地すべりにおける高密度ステップ孔内試験実施による地下水状況の調査、第 51 回日本地すべり学会研究発表会講演集、p165-166.

菖蒲幸男・浅野目和明・松村大志（2013）：志津地すべりでの高密度ステップ孔内試験、第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集、p175-176.

4. すべり面付近の間隙水圧の調査手法

4.1 部分ストレーナ孔の設置

4.1.1 間隙水圧観測の観測手法の整理

間隙水圧観測で得られたデータは、以下のような地すべりの機構解析、安定解析、対策工の配置計画等を行うために用いられる。

- 地下水位変動と降雨や地すべり滑動との対応関係の解析（地すべり機構解析）
- 安定解析への入力値としての間隙水圧（安定解析）
- 地下水分布状況に基づいた地下水排除工の配置の計画（対策工の配置計画）
- 地下水排除工施工後の間隙水圧と地すべり移動量の変化に基づく効果の評価（対策工の効果評価）
- 地下水位変動と降雨や地すべり滑動との対応関係の評価（概成判断）

これらの解析等を精度良く行うためには、適切に観測されたすべり面付近の間隙水圧を用いる必要がある。そのため、複数の帯水層が存在する場合には、部分ストレーナ孔または間隙水圧計による計測を行うことが望ましい。現在、地すべり地で行われている間隙水圧観測の方法には、主に以下の3種類がある。

(1) 全区間ストレーナ孔

全区間ストレーナ孔による観測は簡便であるものの、地すべり土塊内に複数の帯水層が存在している場合は、これら複数の帯水層が合成されたものとして観測されることから、対象とする帯水層の間隙水圧を正しく観測できない。

(2) 部分ストレーナ孔

部分ストレーナ孔による観測は、複数の帯水層がある場合や逸水層がある場合でも、目的とする深度にストレーナ区間を限定することで、すべり面付近の間隙水圧を観測できる利点がある。

(3) 埋設型間隙水圧計

埋設型間隙水圧計による調査は、間隙水圧を直接計測できる利点があるが、測定区間の上端を完全に遮水する等の設置が技術を要することや、計測機器が故障した場合は観測孔の再設置を行う必要がある（社団法人斜面防災対策技術協会 地すべり観測便覧編集委員会、2012）など、技術的・費用的に難しい面がある。

このような観測手法の特性を踏まえ、本共同研究では、すべり面付近の間隙水圧を観測する手法として、部分ストレーナ孔を中心に検討していく。

本章では、部分ストレーナ観測孔の標準的な構造を示し、地盤状況や水理地質区分に合ったボーリング削孔径や設置資材の選定方法を述べる。また、部分ストレーナ観測孔の設置において各部分の所定の機能を発揮し、施工不良や異常を生じさせないための留意点について解説する。

なお、ここでは部分ストレーナ観測孔を対象とし、全区間ストレーナ孔およびパイプ歪計等との変位計測併用孔は対象としない。

4.1.2 部分ストレーナ観測孔の計画

部分ストレーナ孔による間隙水圧観測では、すべり面付近の帯水層の水頭高さをすべり面の間隙水圧とする。そのため、ストレーナ区間を適切な位置に設置することが必要である。

ストレーナ区間の上部及び下部は、他の帯水層からの水の回り込みや漏水が生じないように確実な止水を行う。すべり面まで掘り止めた調査孔（ストレーナ区間の下部で漏水がない観測孔）では、止水処理はストレーナ区間の上部のみで行う。すべり面を貫通する観測孔の止水は、上部及び下部について検討しなければならない。

ストレーナ区間および止水区間の設定の考え方を表 4.1 に示す。

表 4.1 部分ストレーナ区間および止水区間の設定

ストレーナ区間	<ul style="list-style-type: none"> ・ストレーナ区間は、すべり面を含むか、または、その直上に位置する帯水層区間とする。 ・すべり面の近くに複数の帯水層がある場合、それらの水頭高さがすべり面付近の帯水層と同じであれば、それを含めてストレーナ区間としてもよい場合がある。しかし、帯水層間に漏水層がある場合や、すべり面直上の帯水層とは異なる水頭高さをもつ帯水層である場合は含めてはならない。
上部止水区間	<ul style="list-style-type: none"> ・上部止水区間は、ストレーナ区間より上部にあり、十分な厚さを有する非透水層とする。
下部止水区間	<ul style="list-style-type: none"> ・下部止水区間は、すべり面以深まで掘削した孔で、すべり面以深に漏水層や水頭高の低い帯水層があり、漏水が懸念される場合に設ける。 ・下部止水区間は、ストレーナ区間より下部にあり、十分な厚さを有する非透水層とする。 ・すべり面直下に漏水層がある場合は、埋め戻しを行う。

4.1.3 部分ストレーナ観測孔の標準的な構造および設置資材の選定

(1) 概要

部分ストレーナ観測孔は、保孔管、止水材、間詰材およびフィルター材等の設置資材から構成され、止水材の種類に応じて3つの標準的な構造に分けられる。

設置資材は、地盤状況や水理地質区分に応じて適切に選定する。

(2) 部分ストレーナの標準的な構造

部分ストレーナ観測孔の標準的な構造を図 4.1 に示す。部分ストレーナ観測孔は、保孔管、止水材、間詰材およびフィルター材等の設置資材から構成され、止水材の種類に応じて3つの標準的な構造に

分けられる。1つ目は、吸水により膨張する性質のゴム製止水材を保孔管に巻きつけて孔内に挿入し、地山の地下水により止水材が膨張することで止水する方法である。2つ目は、孔内に保孔管を入れた後にベントナイト系の材料を孔口から投入し、地山の地下水により材料が吸水膨張することで止水する方法である。3つ目は、パッカーを保孔管に被せて孔内に挿入し、パッカーに水圧をかけて膨らまして孔壁と密着させて止水する方法である。

いずれの方法もこれまでに実績があるので、削孔径や水理地質鉛直分布調査時の状況や部分ストレーナ区間の検討結果に基づき選定する。止水材の選定方法の詳細は、「(4) 止水材」で述べる。

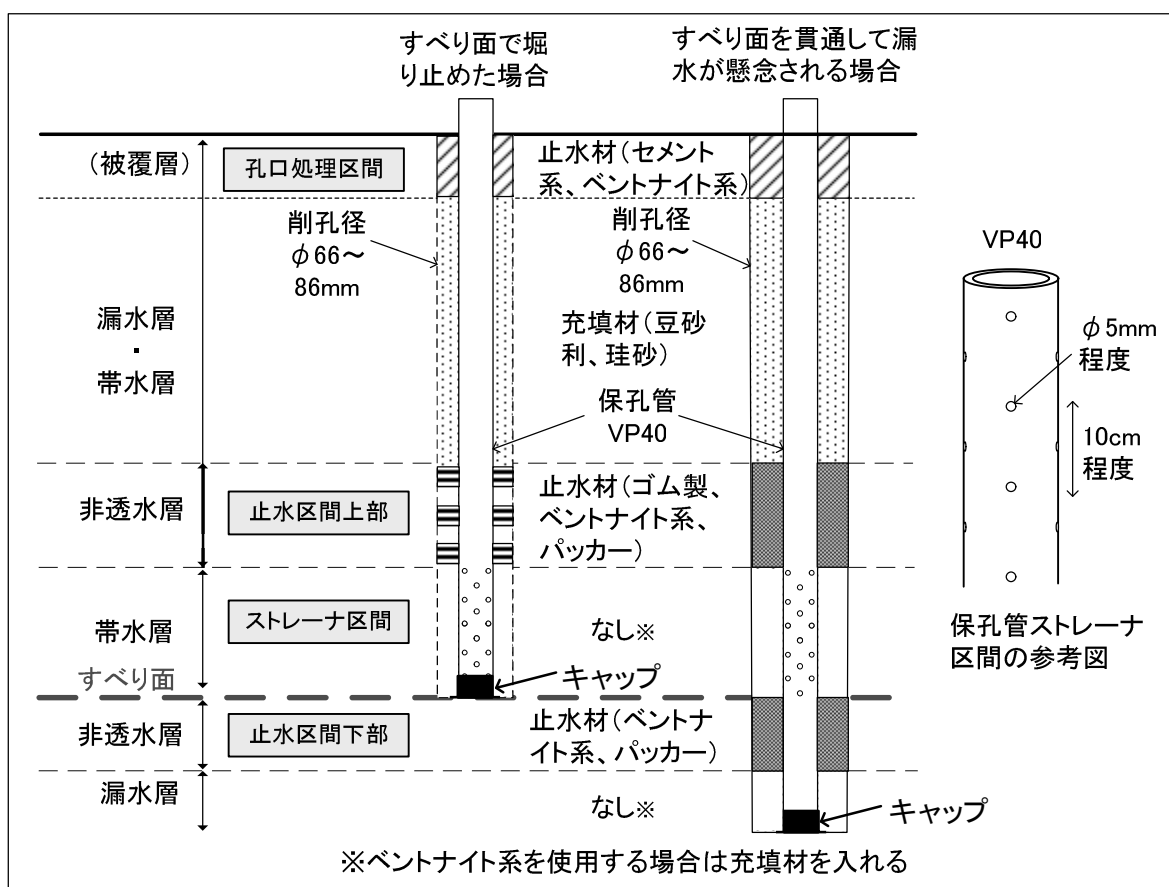


図 4.1 部分ストレーナの標準図

(3) ボーリングの孔径

削孔径は $\phi 66\text{mm} \sim 86\text{mm}$ が標準的であり、使用する保孔管や接続方法、止水材の種類等を考慮して決める。削孔径と保孔管の外径とのクリアランスが小さい場合は、止水材や間詰め材の使用時に詰まりや充填不良などのリスクが高くなるので作業には細心の注意が必要となる。

$\phi 66\text{mm}$: VP40 塩ビ管でねじ切り接続・止水材はゴム製止水材やベントナイトを使用する場合

$\phi 86\text{mm}$: VP40 塩ビ管でソケット接続・止水材はベントナイトペレットを使用する場合

VP50 塩ビ管でねじり接続、孔内微流速測定など内径 50mm までの機器を挿入する場合

VP40 塩ビ管で止水材にパッカーを使用する場合

1 孔に VP30 塩ビ管を 2 本入れて 2 層の帯水層の地下水位を計測する場合 など

(3) 保孔管

保孔管には塩ビ管が通常用いられ、保孔管内外の水の出入りを妨げないようにストレーナ加工を施す。塩ビ管の径は VP40 が標準的であるが、検層を行う場合に孔径の大きい VP50 を、複数深度で観測するために複数の塩ビ管を設置する場合など場合に VP20～30 を使用することがある。保孔管の接続方法はねじ切りが標準的であり、削孔径に余裕がある場合には、ソケット式やスリーブ継手などの方法も用いられる。

ねじ切り加工の塩ビ管を使用する場合、深度管理に注意することが必要である。ねじ加工をした分、塩ビ管を継いだときの長さが短くなることを考慮し、使用本数を算出する必要がある。また、ねじ切りの加工に偏心が無いことも重要である。精度良く加工された塩ビ管の接続部（ねじ部分）は十分な引張強度を有している（図 4.2）。VP40 の場合、安全率として 3 を見込んでも、200m 程度の長さまで自重に耐える（接続した塩ビ管の端を持ち上げても切れることはない）が、ねじ加工の軸が偏心している場合は、設置作業中にねじ部が切れることがある。

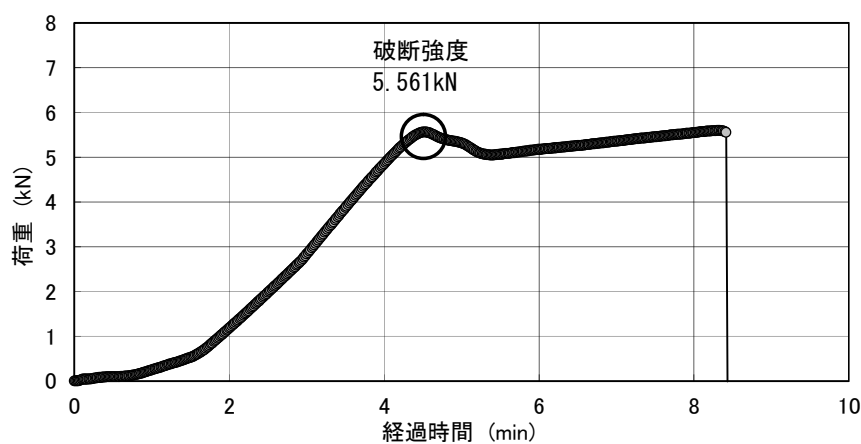


図 4.2 引張試験結果の例 (VP40)

(4) 止水材

一般的な止水材の組み合わせを図 4.4 に示す。孔口からの地表水の流入を防止するためには、止水材にセメント系（セメントミルク、モルタル）、ベントナイト系（ベントナイト、ベントナイトペレット）を用いる。また、ストレーナ区間の上下の止水区間には、ベントナイト系、ゴム製止水材、パッカーを用いる。また、上部止水区間の範囲がはっきりしない場合などに、確実な止水を期待するために、複数の止水材を組み合わせることもある。止水区間の止水材の選定の考え方を次に示す。

例)

ベントナイト系；非透水層が不明瞭で、できるだけ長い止水区間を設けた方が良い場合。削孔径

と保孔管のクリアランスが十分に確保できない場合。

ゴム製止水材 ; 非透水層が明瞭で、かつ帯水層の地下水位が止水区間より低下することが無いと予想される場合。

パッカー ; 非透水層が明瞭で、削孔径と保孔管の十分なクリアランスが確保できる場合。帯水層の地下水位が止水区間より低下することが予想される場合。



図 4.3 ゴム製止水材

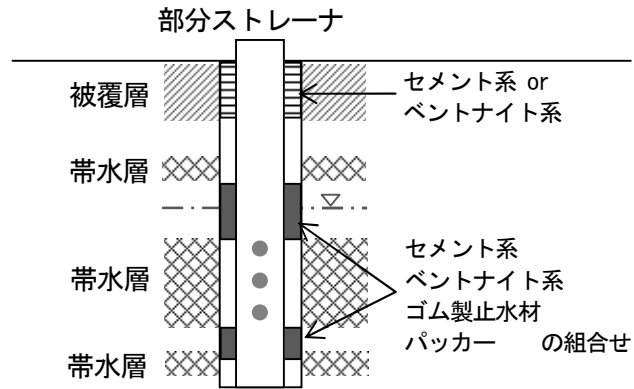


図 4.4 止水材の種類組み合わせ (一般的な方法)

(5) 間詰材・フィルター材

間詰材とフィルター材は、孔内外の水の流れを妨げず、フィルター効果（地山の細粒分や間詰材が保孔管内に入らないようにする効果）を両立する組み合わせとなるように選定する。ストレーナ計画区間の帯水層のコアの状況から下記を参考にして判断する。

例)

細粒分が少ない：間詰材は豆砂利や2～3号珪砂、フィルター材は防虫網

細粒分が多い：間詰材は砂や3～4号珪砂、伸縮フィルターや繊維フィルター など

※珪砂6～8号は地下水の流れに影響する可能性があるので使用しない

(6) 孔口処理

地表水や表層地下水の浸入防止を図るためには、塩ビ管に無孔区間を設ける方法や、塩ビ管と地山の間をセメント系やベントナイト系の止水材で充填する方法などがある。

塩ビ管の立ち上がり部を積雪等の外力から保護するためには、保護コンクリートを打設する方法、孔径の大きい塩ビ管やガス管を被せる方法、マンホールや保護箱に埋めるなどの方法がある。

4.1.4 部分ストレーナ観測孔の設置における留意点

(1) 概要

部分ストレーナ観測孔の設置においては、観測孔の各部分が所定の機能を発揮できるようにするため、施工の不良や異常が生じないように確認しながら行うことが重要である。本節では、ボーリング径の選定、設置前のスライムや漏水等の孔内状況の確認および対処、保孔管の取り扱いや止水材等の各設置部材の使用上の留意点について詳述するとともに、設置後の作業として孔口処理や孔内洗浄および水頭高の確認について述べる。

(1) 設置前の孔内状況の確認および対処

保孔管設置前に計画した構造の観測孔が設置できるか、以下の項目を確認する。

- ①裸孔部分の崩壊による孔閉塞
- ②スライムの堆積による深度不足
- ③漏水などの孔内状況

①の場合はコアチューブ挿入による再掘削、②はロッドクラウンによる孔内洗浄など、ボーリングマシンによる作業となる。孔壁崩壊が止まらない際は、ケーシングの挿入や余堀り区間の設定など、対処方法を検討する。

③は、孔内水がすべり面より低下する現象への対処であり、掘進中の状況からすべり面以深の漏水区間（漏水層）を掘りぬいたと判断される場合は（図 4.5）、すべり面の間隙水圧を測れるように孔内水が回復するように埋戻し、あるいは止水を行う。埋戻しは、濃い目のセメントミルク、ベントナイト、吸水膨張性高分子材を用いる（図 4.6）。

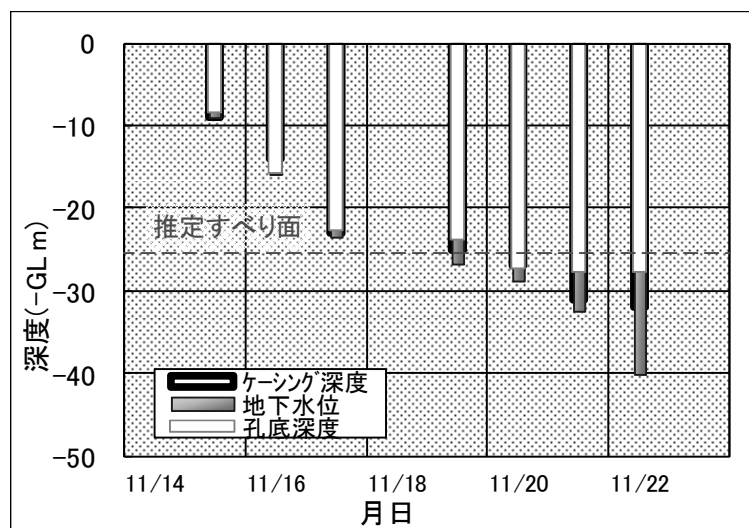


図 4.5 すべり面以深で孔内水が低下した試錐作業日報

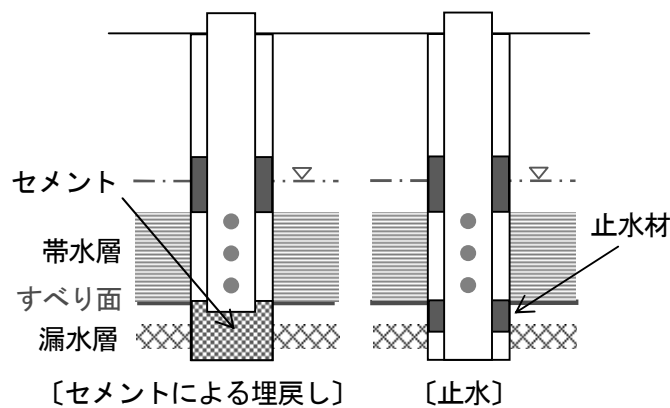


図 4.6 すべり面下の漏水層を掘りぬいた場合の対処法

(4) 保孔管の取扱い

正常の精度で削り加工された塩ビ管のねじ部は十分な引張強度を有しているが、ねじ部が運搬中の衝撃などで割れている場合は、ねじ部が切れて設置中に落下する事故につながる恐れがある。特に、VP30 以下では雌ねじ部の肉厚が薄くなるので注意が必要である。ねじ部の破断状況を図 4.7 に示す。

保孔管をボーリング作業箇所まで運搬にする際には、保孔管の端部を保護するとともに丁寧に取り扱い、さらに挿入時には運搬時の衝撃による破損が無いことを確認する。



図 4.7 引張試験の破断後の状況

(5) 保孔管の挿入方法

設置深度が浅い場合は保孔管を手で保持しながら挿入できる。ただし、ストレーナ区間に巻いたフィルター材は滑りやすいので注意すること。深度が深い場合は、落下防止のため、塩ビ管用の固定バンドや吊り下げ治具を使う方法、または孔底に固定したワイヤで吊り下げる方法で設置する。深度の目安としては、VP40 で 40m、VP50 で 30m を超える場合である（フィルター材を巻いている場合）。なお、細いワイヤ(φ2mm 以下)はキンクして切れやすいため、つり下げ等に使用しないことが望ましい。

(6) 止水材の設置方法

止水材には、①あらかじめ塩ビ管に設置するもの（ゴム製止水材、パッカー）と、②保孔管設置後に孔口から投入するもの（ベントナイト、ベントナイトペレット）がある。

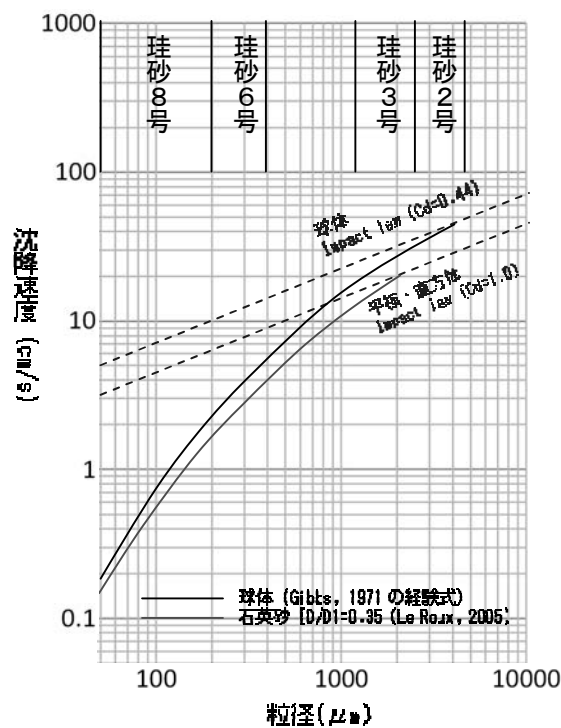
①については、計画した深度に対応する塩ビ管にあらかじめ材料を取り付けておく。ゴム製止水材は十分な止水性能を確保できるように、保孔管と孔壁のクリアランスや予想される水頭から適切な巻き方や段数を調整する。パッカーは、加圧した際にボーリング孔に確実に密着する径や長さのものを使用する。特に、大深度では止水部にかかる水圧が高くなるためパッカー区間を長くする。ゴム製止水材を使用する場合は止水区間がケーシング挿入区間と重なる場合は、塩ビ管挿入後に速やかにケーシングを抜管して、ケーシング内でゴム製止水材が膨張しないようにする。

②については、保孔管設置後に孔口から材料を投入して計画した深度に到達するよう、触針式水位計や検尺棒などで沈殿状況を確認しながら設置し、過不足がないようにする。ベントナイトペレットを用いる場合は、より確実な止水降下を得るために材料投入時に適宜突き固めを行うことが望ましい。

(7) 間詰材の充填方法

孔口から直接投入する方法を原則とする。充填不良を防ぐための留意事項は次の通りである。

- ・水を流し込みながら充填作業を行い、触針式水位計や検尺棒などで沈殿状況を確認しながら設置する。
- ・塩ビ管の口もとを手で揺らしながら少量ずつ時間をかけて充填する。特に砂など細かい間詰材を使用する場合は孔内水の区間で沈降する時間が掛かるため、充填しすぎないように投入後に時間をおいてから次の投入を行うなどの対応が必要である（図 4.8）。
- ・ケーシングを挿入している場合は抜管しながら充填を繰り返す(2～3本ずつが良い)。
- ・細い径の塩ビ管を投入管路として用いて、孔底から引き揚げながら充填すると、より確実に充填ができる（適用深度 50m 程度まで）。



珪砂 2号、3号、6号、8号 4.8～2.4mm、2.4～1.2mm、 0.4～0.2mm、0.2～0.05mm

図 4.8 砂粒子の粒径と沈降速度の関係

(8) その他

観測孔設置後は、目詰まりを防止するため孔内洗浄を十分に行う。また、観測孔設置後の地下水位と帯水層の調査時の水頭高を比較することで、計画した部分ストレーナ観測孔が正しく設置されているか確認する。

4.2 塩ビ管ねじ部引張試験

(1) 目的

水位観測孔の保孔管として使用する塩化ビニール管（以下、塩ビ管）を設置する際に、吊り下げて設置する方法ではねじ部が破断する事故がまれに発生することがある。そこで、ねじ部の引張強度を把握し、破断事故の原因検討の基礎資料とするとともに孔底へのワイヤ固定の吊り下げ補助が必要な深度を把握する。

(2) 方法

VP30,VP40 の塩ビ管について 3 供試体ずつ引張試験を行い、破断強度の平均値を把握する。その後、塩ビ管の重量から吊り下げて設置が可能な深度を算出する。

塩ビ管の重量：VP30（1本 4m）2168g、VP40（1本 4m）3164g

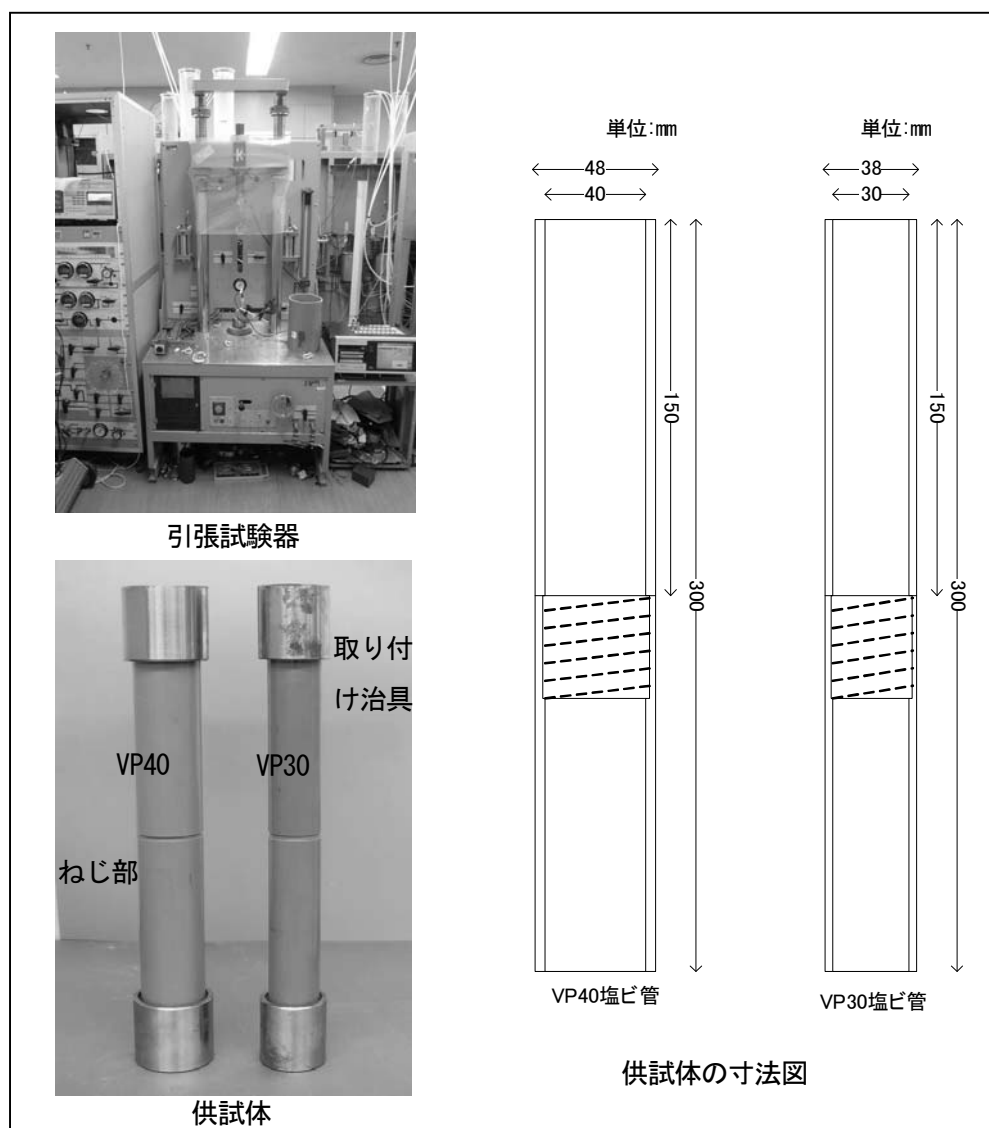


図 4.9 試験機や供試体

(3) 結果

破断強度は VP30 で平均 4.374kN(446kgf)、VP40 で平均 5.768kN(588kgf)であった。破断箇所は、いずれも VP30 が雌ねじの根元で VP40 が雄ねじの根元であった。

接続可能な塩ビ管の本数は単純計算で VP30 が約 200 本、VP40 が約 185 本であり、フィルターやシール材などを取り付けてもねじ部は十分な強度があることが確認された。

以前、ねじ部の破損事故があった理由として加工が正常でなかったことや衝撃で割れがあったためと考えられる。したがって、マニュアル等には設置時に①ねじ部の加工が正常であること（センターがずれていない）、②運搬時の衝撃による破損が無いことを確認することを記載する。破断状況から、塩ビ管の径が小さいほど、雌ねじ部が薄くなり割れやすいともいえる。

また、設置時に手で安全に保持できない深度(概ね VP40 で 50m 超)を超えた場合は、塩ビ管用の固定バンドと吊り下げ治具を使う方法と、孔底に固定したワイヤで吊り下げる方法がある。

表 4.1 引張試験結果

供試体	破断強度(kN)		従来単位(kgf)	
VP30-1	4.243	4.374	432.7	446.1
VP30-2	4.876		497.2	
VP30-3	4.004		408.3	
VP40-1	5.561	5.768	567.1	588.2
VP40-2	5.564		567.4	
VP40-3	6.180		630.2	

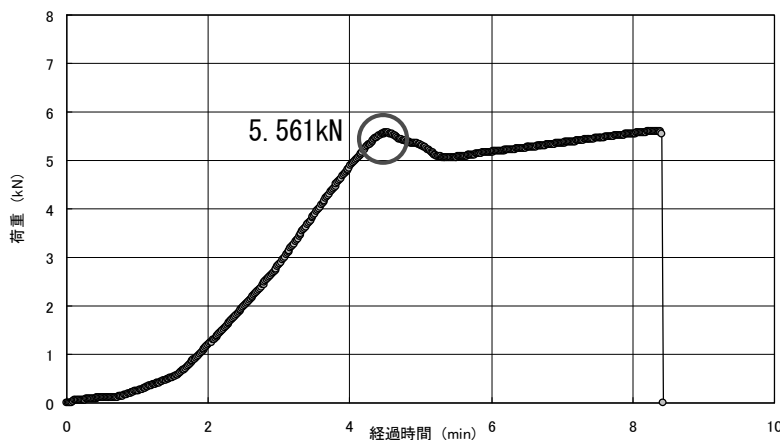


図 4.10 引張試験結果の例 (VP40)

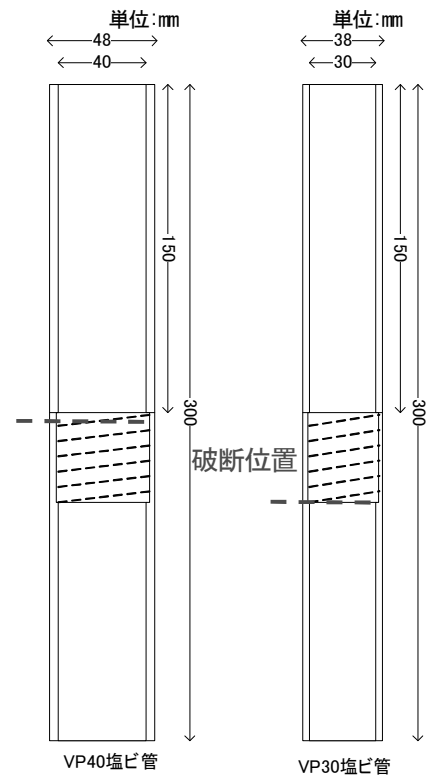
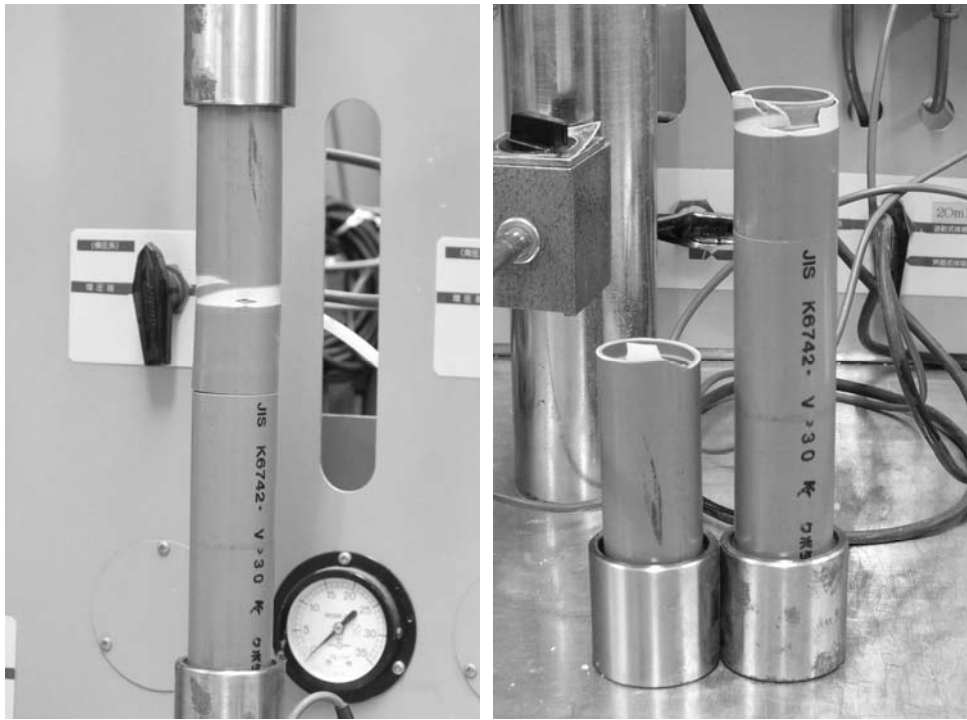


図 4.11 破断位置



引張試験の破断後、雌ねじの根元で破断 (VP30-1)



引張試験の破断後、雄ねじの根元で破断 (VP40-1)

図 4.12 試験後の破断状況写真

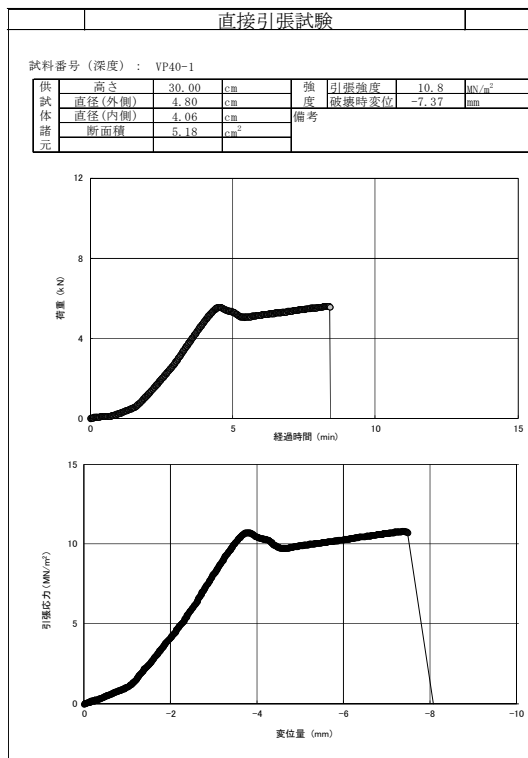
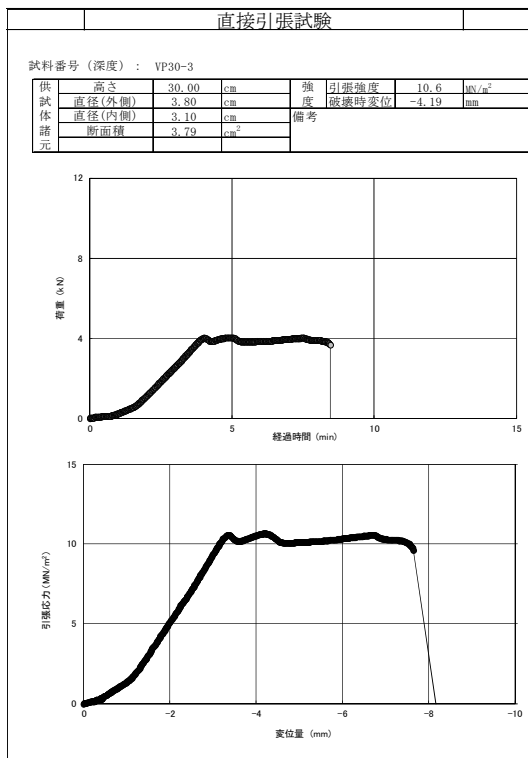
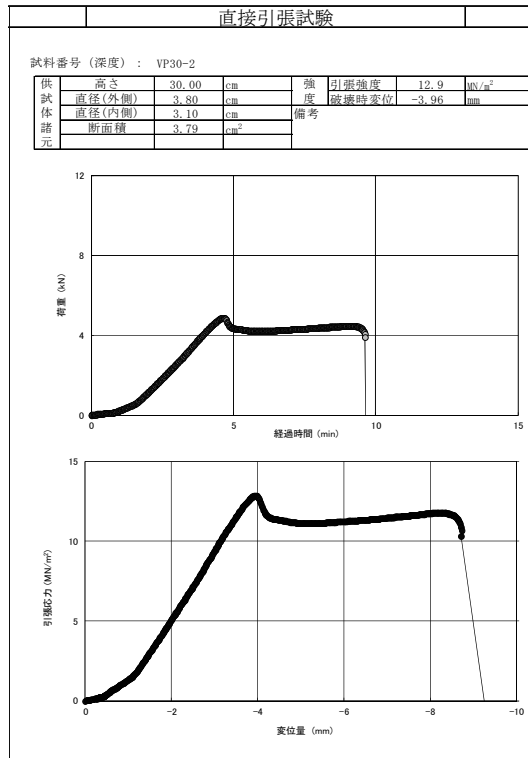
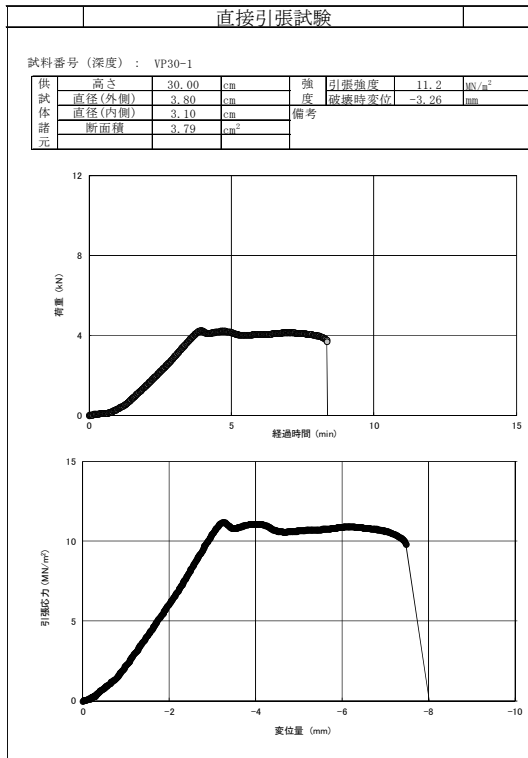


図 4.13 直接引張試験結果

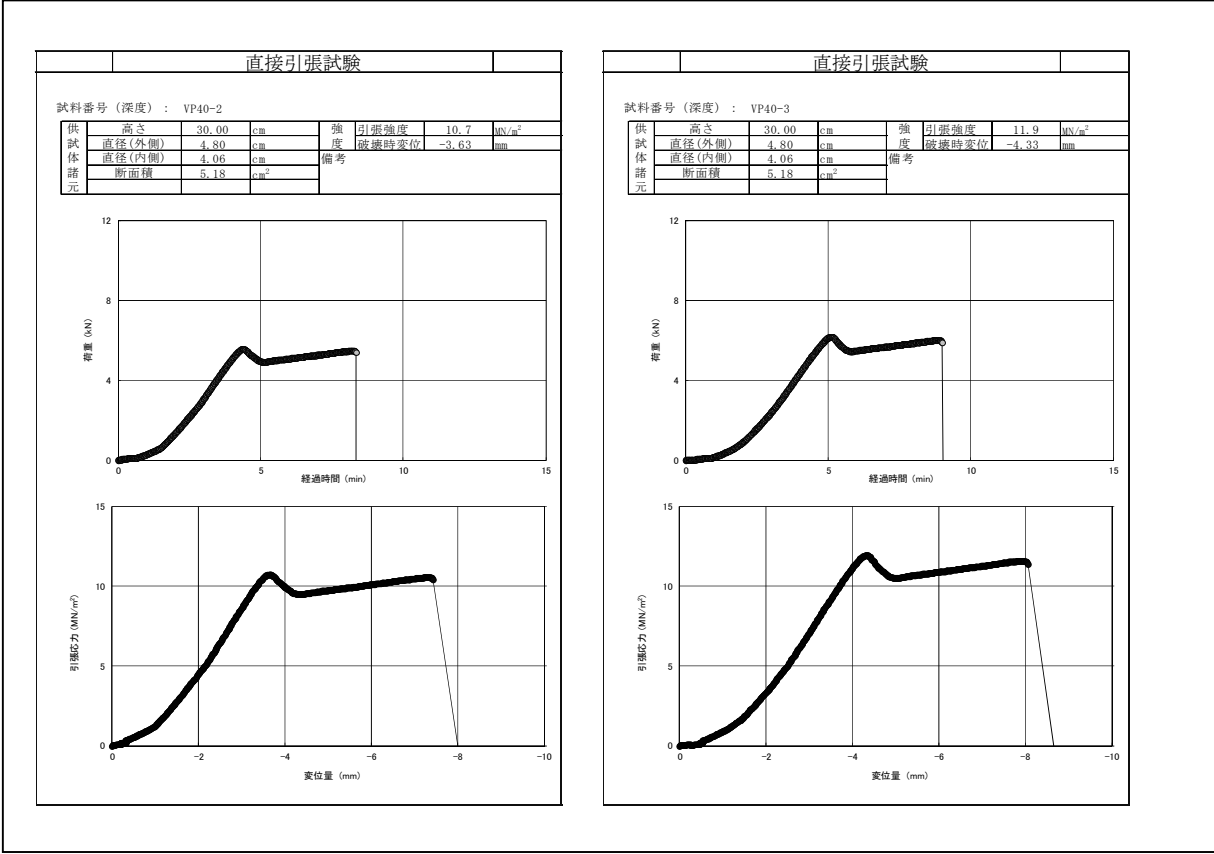


図 4.14 直接引張試験結果

4.3 記録の様式化・施設台帳化

4.3.1 部分ストレーナ孔及び観測機器の点検

地下水調査の実態と課題について検討した結果、課題の一つとして、ストレーナ構造を決定した際の考え方が報告書等に残されていない事例が多く、機構解析や対策工の効果評価の際に、地下水観測孔の設置に関する情報を参照できないことがあるということが明らかとなった。この課題を解決するためには、設置時に観測孔や観測機器の仕様を記録し、また、点検した際には結果を記録する台帳を整備することが望ましいと考えた。そのような設置・点検台帳（案）として、表 4.2 と表 4.3 を提案した。

4.3.2 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳（案）

(1) 観測孔設置時に作成する帳票（A票）

観測孔の設置時には、観測孔の仕様やそれを決める根拠となった鉛直水理地質調査総括図、部分ストレーナ孔構造図等を台帳に記録する。各項目の記入要領は以下の通り。

(1) 地区名／ブロック名

観測孔を設置した地すべりの地区名及びブロック名を記載する。

(2) ボーリング孔番号

観測孔を設置したボーリング孔の番号（記号）を記載する。

(3) 設置年月日

観測孔を設置した年月日を記載する。

(4) ボーリング孔の緯度経度

ボーリング孔の緯度経度を記載する。

(5) 設置業務名／受注者

観測孔を設置した業務名と受注者を記載する。設置時の詳細な状況を調べる必要が生じた際に、設置作業が含まれる業務報告書を参照できるようにする。

(6) 削孔長／削孔径

観測孔を設置したボーリング孔の削孔長と削孔径を記載する。

(7) 鉛直水理地質調査総括図および部分ストレーナ孔構造図

部分ストレーナ孔の構造を決める根拠となった鉛直水理地質調査総括図および部分ストレーナ孔構造図を貼付する。

(2) 計測器及び観測孔の点検時に作成する帳票（B票）

観測孔の設置時の初回点検とデータ回収時の定期点検の点検結果を台帳に記録する。各回の点検毎に1枚の台帳を作成し、通し番号（帳票番号）をつけて整理する。下記項目の(1)～(4)は基本的な項目、(5)～(7)はデータ回収時に実施する項目、(8)～(11)は異常が認められる際に実施する項目、(12)～(17)

は水位計を設置（再設置）した際に記載する項目である。各項目の記入要領は以下の通り。

(1) 地区名／ブロック

観測孔を設置した地すべりの地区名及びブロック名を記載する。

(2) ボーリング孔番号

観測孔を設置したボーリング孔の番号（記号）を記載する。

(3) 点検年月日

点検を実施した年月日を記載する。

(4) 点検者／所属

点検実施者の氏名及び所属を記載する。

(5) 目視による外観チェック

観測機器（センサ、ケーブル、端子、ロガー）及び保護設備等に腐食、破損、変形等の異常が生じていないか点検を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(6) 簡易動作試験 1（触針式水位計との比較）

正確な水位が計測できているか確認するため、触針式水位計と比較を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(7) 簡易動作試験 2（センサを上下動させた場合の追従性）

正確な水位が計測できているか確認するため、センサを上下させた際の追従性の確認を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(8) 孔底深度の確認

観測孔の変形・閉塞状況や孔内への土砂流入状況を確認するため、孔底深度の確認を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(9) CCDカメラ等による内部視認

観測孔の変形・閉塞状況や孔内への土砂流入状況を確認するため、CCDカメラ等による内部視認を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(10) 揚水による水位回復確認試験

ストレーナの目詰まりを確認するため、揚水による水位回復確認試験を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(11) 検層による流動層の確認試験

ストレーナの目詰まりを確認するため、検層による流動層の確認試験を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(12) 製造者／型式

水位計の製造者（メーカー名）及び型式を記載する。

(13) 計測間隔

水位データの計測間隔（記録間隔）を記載する。

(14) データ最大蓄積期間

水位データの最大蓄積期間を記載する。

(15) 係数／初期値

製造者から指定された水位計固有の係数や初期値を記載する。

(16) 水位計設置深度

水位計設置深度を記載する。

引用文献

Gibbs, R. J., Matthews, M. D., and Link, D. A. (1971): The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41, no. 1, pp.7-18.

Le Roux, J. P. (2005): Grains in motion: A review. *Sedimentary Geology*, 178, no. 3-4, pp.285-313.

社団法人斜面防災対策技術協会 地すべり観測便覧編集委員会 (2012) : 地すべり観測便覧, 社団法人斜面防災対策技術協会.

表 4.2 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳 (A票)

部分ストレーナ観測孔 設置・点検台帳 (A票)	
項 目	内 容
地区名／ブロック名	
ボーリング孔番号	
設置年月日	
ボーリング孔の緯度経度	
設置業務名／受注者	
削孔長／削孔径	
鉛直水理地質調査総括図および部分ストレーナ構造図	

表 4.3 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳 (B 票)

部分ストレーナ観測孔 設置・点検台帳 (B票)					
帳票番号 B-					
項目		内容			
地区名／ブロック名					
ボーリング孔番号					
点検年月日					
点検者／所属					
点検時期	種別	点検目的	点検方法	点検結果 (注)	備考
データ回収時	観測機器・保護設備等	1. 観測機器・保護設備等の確認	目視による外観チェック (センサ・ケーブル・端子・ロガー・保護設備等)	良好・不良 ・その他	
		2. 測定値の信頼性検証	簡易動作試験1 (触針式水位計との比較)	良好・不良 ・その他	
			簡易動作試験2 (センサを上下動させた場合の追従性)	良好・不良 ・その他	
異常等が認められる場合	水位観測孔	1. 観測孔の変形・せん断による閉塞の状況確認	孔底深度の確認	良好・不良 ・その他	
		2. 観測孔内への土砂流入状況の確認	CCDカメラ等による内部視認	良好・不良 ・その他	
		3. ストレーナの目詰まり状況の確認	揚水による水位回復確認試験	良好・不良 ・その他	
			検層による流動層の確認試験	良好・不良 ・その他	
設置(再設置)時	水位計仕様				備考
	製造者／型式				
	計測間隔				
	データ最大蓄積期間				
	係数／初期値				
水位センサ設置深度					

(注): 「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

5. 地下水位の変動特性の評価

5.1 検討方法

地すべり地の地質・水文条件は複雑で、複数の帯水層や逸水層が存在するケースが少ない。そのため、地すべり地の地下水観測孔はそれらの影響を受ける全区間ストレーナの観測孔より、個々の帯水層の地下水位をとらえることができる部分ストレーナによる観測孔のほうが望ましいと考えられる。

ここでは、善徳地すべり（徳島県）において全区間ストレーナ観測孔、すべり面付近の部分ストレーナ観測孔、浅層の部分ストレーナ観測孔の3孔を近接して設置し、得られた観測したデータを用いて、降雨応答特性の分析を行い、それぞれの観測データが捉えている地下水位の変動特性の評価を試みた。なお、この結果は平成25年度の第52回日本地すべり学会研究発表会において発表した（杉本ほか、2013）。

解析対象の地下水観測孔は、同一箇所に設置された、構造・深度の異なる3孔である（図5.1）。これらの観測孔の1時間間隔の観測データを用いた。なお、地下水観測孔の設置時に連続ステップ孔内試験等（石田ほか、2012）の分析によって帯水層が3層確認されている。雨量は国土交通省の善徳観測所の1時間毎の観測データを用いた。解析期間は、2010年4月～2011年11月とした。実効雨量の解析（海野ほか、2008）では、回帰計算で最も相関の高くなる半減期及び遅延時間を用いて実効雨量を計算した。

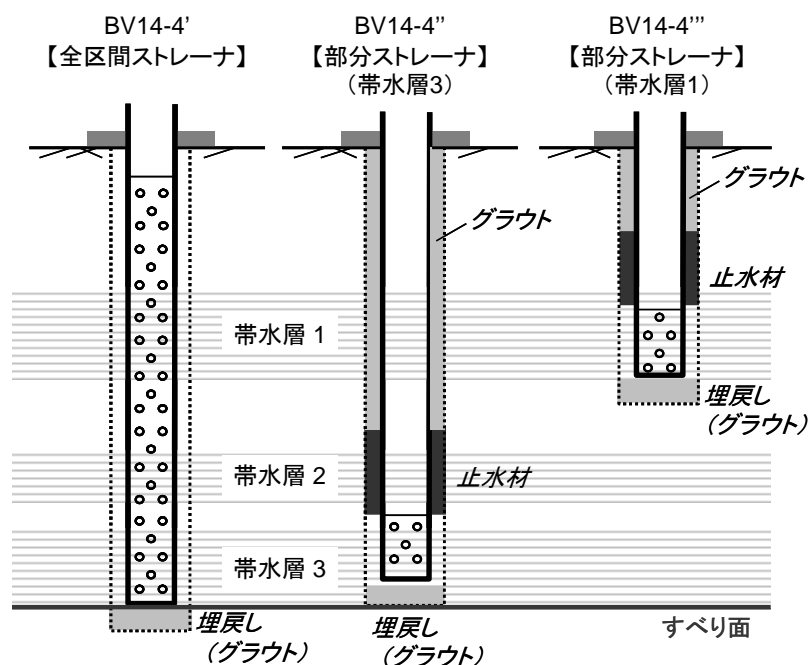


図 5.1 地下水観測孔の模式図

5.2 解析結果

実効雨量の解析結果から、各孔の最も相関の高くなる半減期を表 5.1 に示す。

表 5.1 実効雨量解析における地下水位半減期

孔番号		BV14-4'	BV14-4''	BV14-4'''
観測孔仕様		全区间 ストレーナ	部分ストレーナ (すべり面付近)	部分ストレーナ (浅層地下水)
集水井 施工前	半減期	10年	43.75日	24時間
	相関係数	0.705	0.861	0.830

BV14-4' (全区间ストレーナ観測孔) は、水位変動幅がごく小さく、観測期間中、ほぼ一定の水位であった。複数帯水層の合成水位で、更に逸水層からの流出もあることが原因と考えられる(石田ほか、2012)。解析結果は、半減期が 10 年と非常に長く、降雨への応答は不明瞭である。安定解析や対策工の効果判定に用いる地下水位としては適切でないと考えられる。

BV14-4'' (帯水層 3 の地下水位を対象とした部分ストレーナの観測孔) はそれぞれの降雨と対応した水位変動が確認され、実効雨量と水位変動の相関性は良い。また、半減期は 43.75 日であり、後述する BV14-4''' と比較して、深い地下水の長期的な変動がよく再現されていると考えられる。

BV14-4''' (帯水層 1 の地下水位を対象とした部分ストレーナの観測孔) もそれぞれ降雨と対応した水位変動が確認され、実効雨量と水位変動の相関性も良い。半減期は 24 時間で、浅い地下水の変動がよく再現されていると考えられる。

5.3 まとめ

構造・深度の異なる観測孔の地下水位データについて降雨応答解析を行い、それぞれの地下水変動特性の評価を行った。それぞれの特性の比較を行うことで、部分ストレーナの観測孔は全区间ストレーナの観測孔に比べ、対象とする帯水層の地下水位の変動特性を良くとらえていると評価することができた。

引用文献

- 石田孝司・杉本宏之・武士俊也・高川智・二木重博・宇都忠和 (2012) : 善徳地すべりにおける高密度ステップ孔内試験結果と地下水観測結果との比較について、日本地すべり学会誌 Vol.49-6 p35-41.
- 杉本宏之・中野英樹・樽角晃・武士俊也・石井靖雄・北原哲郎 (2013) : 部分ストレーナ観測孔によって計測された地下水位の変動特性の評価、第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集、p245.
- 海野寿康・中里裕臣・井上敬資・高木圭介 (2008) : 破碎帯地すべり地区における地下水位計測と実効雨量に基づく地下水位の降雨応答特性、地すべり、45 (3)、p219-226.

6. 地下水調査・観測の標準化

6.1 共同研究における成果のまとめ

共同研究で得られた主な成果を以下にまとめる。

アンケート等による地下水調査・観測の実態把握と課題分析によって、以下の成果が得られた（2章）。

- ①現在、多くの現場では全区間ストレーナ孔が採用されていることが、アンケート等の調査でも確認された。部分ストレーナ孔の有効性は多くの技術者が理解しているものの、実施されている例は少なかった。
- ②試錐日報解析や地下水検層は実施されているものの、その調査結果が地下水観測孔のストレーナ区間や構造の決定に活用されていないことが明らかとなった。
- ③部分ストレーナ孔の構造や設置に関する具体的な方法について整理されているものは少なく、調査を実施する各技術者の経験や判断に委ねられている現状が明らかになった。部分ストレーナ孔による地下水観測の普及のためには、調査方法や設置方法を整理し、標準化を図っていくことが重要である。
- ④地下水観測孔のストレーナ構造を決定した考え方が報告書等に残されていない事例が多かった。機構解析や対策工の効果評価を行う際に、観測された地下水位の解釈のために地下水観測孔の設置に関する情報が必要となる。そのため、記録の様式化を図り、施設台帳として整備することが重要であると考えられる。特にストレーナ設置方法やその考え方を記録し、次の観測孔設置や観測水位の妥当性検証、対策工の効果検証の際にも活かすことが出来ると考えられる。

ボーリング孔における地下水把握手法の検討によって、以下の成果が得られた（3章）。

- ①連続ステップ孔内試験（試錐日報解析、地下水検層）によって、水理地質調査（地下水の有無、地盤の透水性の状況の調査）と部分ストレーナ孔の設置を一孔で行う方法を提案した。連続ステップ孔内試験では裸孔区間で孔内試験を行うため、地下水流動を捉えることができる。また、連続ステップ孔内試験は掘進する過程で実施するため、掘進完了後にすべり面が特定できれば、部分ストレーナ孔を設置することが可能である。
- ②試錐日報解析と地下水検層での帯水層の検出精度を高めるため、自然水位状態と汲み上げ状態での計測を併用することを提案した。自然水位と汲み上げ時の計測を併用すれば、劣勢な流動層や地下水位が平衡状態になっている場合でも、流動層を感度良く検出することができる。
- ③部分ストレーナ構造を検討するため、単純化した水理地質区分を提案し、水理地質区分に基づく部分ストレーナ構造の計画方法を示した。

すべり面付近の間隙水圧の調査手法の検討によって、以下の成果が得られた（4章）。

- ①部分ストレーナ観測孔の標準的な構造および保孔管、止水材、間詰材およびフィルター材等の設置資材の選定の考え方を整理した。

- ②部分ストレーナ観測孔の設置における留意点として、ボーリング径の選定、設置前のスライムや漏水等の孔内状況の確認および対処、保孔管の取り扱いや止水材等の各設置部材の使用上の留意点について整理した。
- ③設置時に観測孔や観測機器の仕様を記録し、また、点検した際には結果を記録する台帳を整備することが望ましいと考え、設置・点検台帳（案）を提案した。

安定解析や地下水排除工の効果評価に用いる地下水データについて検討し、以下の成果が得られた(5章)。

- 構造・深度の異なる観測孔の地下水位データについて降雨応答解析を行い、それぞれの地下水変動特性の評価を行った。それぞれの特性の比較を行うことで、部分ストレーナの観測孔は全区間ストレーナの観測孔に比べ、対象とする帯水層の地下水位の変動特性を良くとらえていると評価することができた。

6.2 「部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の手引き（案）」の作成

前節にまとめた成果を基にして、「部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の手引き（案）」(巻末資料1)を作成した。この手引きでは、部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の普及を目的として、部分ストレーナ孔を計画するための標準的な調査・計画手法を提案するとともに、観測孔の設置に関する留意点を示した。手引きの本文では、設置に必要な調査と設置手法の全体像が容易に把握できるよう、要点のみを記述した。現地での計画・設置に関する詳細な方法については、解説資料に記述した。

共同研究の中で整理した課題のなかには、現時点で解決することが難しいものもあった。部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の事例を蓄積することで将来的に解決を図っていくことが重要である。

謝辞 本研究を行うにあたり、国土交通省直轄地すべり担当事務所、都道府県、一般社団法人全国地質調査業協会連合会及び会員企業、一般社団法人斜面防災対策技術協会及び会員企業には、地下水調査・観測の実態把握のためのアンケート等の調査にご協力を頂いた。また、北陸地方整備局阿賀野川河川事務所、中部地方整備局富士砂防事務所、四国地方整備局四国山地砂防事務所、千葉県には、現地調査等に関してご協力を頂いた。ご協力頂いた皆様に深く感謝いたします。

巻末資料 1 部分ストレナ孔による間隙水圧観測の手引き（案）

巻末資料 2 アンケート調査結果

部分ストレナ孔による
間隙水圧観測の手引き (案)

目 次

はじめに	巻末 1-3
1. 総説	巻末 1-4
1. 1 間隙水圧観測の目的	巻末 1-4
1. 2 部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の適用	巻末 1-5
1. 3 部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の手順	巻末 1-6
2. 水理地質調査	巻末 1-7
2. 1 概説	巻末 1-7
2. 2 連続ステップ孔内試験	巻末 1-8
2. 3 水理地質の鉛直分布の調査	巻末 1-12
3. 部分ストレーナ孔の設置計画	巻末 1-17
3. 1 部分ストレーナ区間の検討	巻末 1-17
3. 2 観測孔の構造の検討	巻末 1-18
3. 3 観測機器等の検討	巻末 1-19
4. 観測孔の設置	巻末 1-20
4. 1 部分ストレーナ孔の設置	巻末 1-20
4. 2 観測機器等の設置	巻末 1-20
4. 3 地下水観測孔の設置・点検台帳の整備	巻末 1-20
5. 観測データの回収と確認・観測孔等の点検	巻末 1-21
5. 1 観測データの回収と確認	巻末 1-21
5. 2 観測孔の点検	巻末 1-21
5. 3 観測機器等の点検	巻末 1-21
解説資料 1 地すべり地における地下水観測の実態と課題	巻末 1-23
解説資料 2 試錐日報解析による水理地質区分の判定	巻末 1-30
解説資料 3 地下水検層による水理地質区分の判定	巻末 1-36
解説資料 4 部分ストレーナ孔の標準的な構造の検討と設置における留意点	巻末 1-48
解説資料 5 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳（案）	巻末 1-55

はじめに

地すべりの機構解析や斜面安定解析を実施するためには、すべり面の間隙水圧の把握が必要となる。特に、難透水層によって隔てられた複数の帯水層が地すべり地に存在する場合には、すべり面付近の帯水層の間隙水圧を観測する必要があり、観測を行うボーリング孔の帯水層や難透水層の分布を、調査によって把握することが重要となる¹⁾。

地すべり地における地下水観測の実態について平成 22～23 年度に調査を行った結果（解説資料 1 参照）によると、多くの現場で地下水検層等の調査が行われているものの、帯水層や難透水層の分布を踏まえて間隙水圧を観測している現場は少ないことが明らかとなった。また、多くの現場では全区間ストレーナ孔（全孔ストレーナ孔ともいう）が採用されている。しかし、難透水層によって隔てられた複数の帯水層がある場合、全区間ストレーナ孔では他の深度の帯水層への逸水や複数の帯水層の水位の合成により、目的とする帯水層の間隙水圧を正しく反映した孔内水位が形成されないため、すべり面の間隙水圧を正しく観測できないケースが多い。このような間隙水圧データでは、地すべりの機構解析や斜面安定解析を適切に行うことは出来ない。

これらの課題を解決するために、埋設型間隙水圧計やすべり面付近のみをストレーナ加工した部分ストレーナ孔による観測が行われている²⁾。埋設型間隙水圧計は、間隙水圧を直接計測できる利点があり、良好なデータが得られると考えられるが、深いすべり面への設置やメンテナンス等には技術を要するという指摘もある³⁾。一方、部分ストレーナ孔は、間隙水圧計よりも設置やメンテナンスが比較的容易である。これまでの実績において全区間ストレーナ孔がほとんどの現状を鑑みると、現時点においては、部分ストレーナ孔の採用が上記課題の現実的な解決法と考えられる。しかし、部分ストレーナ孔による観測であっても、現在のところ普及するには至っていない。その理由としては、①部分ストレーナ孔を計画・設置する標準的な手法が示されていないこと、②全区間ストレーナと比較すると設置が難しいことが挙げられる。

本手引きでは、部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の普及を目的として、部分ストレーナ孔を計画するための標準的な調査・計画手法を提案するとともに、観測孔の設置に関する留意点を示した。

本手引きは、本文と解説資料 1～5 からなり、次の点に留意してとりまとめた。

- 連続ステップ孔内試験（試錐日報解析、地下水検層）によって、水理地質調査（地下水の有無、地盤の透水性の状況の調査）と部分ストレーナ孔の設置を一孔で行う方法を提案した。
- 試錐日報解析と地下水検層での帯水層の検出精度を高めるため、自然水位状態と汲み上げ状態での計測を併用することを提案した。
- 部分ストレーナ構造を検討するため、地下水の有無と地盤の透水性の高低を組み合わせた単純な水理地質区分を提案し、その水理地質区分に基づく部分ストレーナ構造の計画方法を示した。
- 観測孔の設置について、現場でのノウハウ等の留意点をとりまとめた。

本文では、設置に必要な調査と設置手法の全体像が容易に把握できるよう、要点のみに絞って記述しているため、計画・設置を行う際は、解説資料 1～5 も参照していただきたい。

1. 総説

1. 1. 間隙水圧観測の目的

すべり面の間隙水圧観測は、地すべりの機構解析や斜面安定解析等を実施するために必要な間隙水圧データを得る事を目的として実施する。間隙水圧は直接的に間隙水圧計等によって測定することが望ましいが、それが困難な場合には、ボーリング孔内の地下水位で代用する。

地すべり土塊内には、地すべりの滑動に直接関係しない地下水も含めて複数の帯水層が存在している場合が少なくない。したがって、地下水位で代用する場合には、部分ストレーナ孔等によって、すべり面付近の間隙水圧を観測する。

解説

1) 間隙水圧観測の目的

間隙水圧観測で得られたデータは、以下のような地すべりの機構解析、安定解析、対策工の配置計画等に用いられる。

- 地下水位変動と降雨や地すべり滑動との関係についての解析（地すべり機構解析）
- 安定解析への入力値としての間隙水圧（安定解析）
- 地下水分布状況に基づいた地下水排除工の配置の計画（対策工の配置計画）
- 地下水排除工施工後の間隙水圧と地すべり移動量の変化に基づく効果の評価（対策工の効果評価）
- 地下水位変動と降雨や地すべり滑動との対応関係の評価（概成判断）

これらの解析等を精度良く行うためには、適切に観測されたすべり面付近の間隙水圧を用いる必要がある。そのため、複数の帯水層が存在する場合には、部分ストレーナ孔または間隙水圧計による計測を行うことが望ましい。

2) 間隙水圧観測の方法

現在、地すべり地で行われている間隙水圧観測の方法には、主に以下の3種類がある。

(1) 全区間ストレーナ孔

全区間ストレーナ孔による観測は簡便であるものの、地すべり土塊内に複数の帯水層が存在している場合は、これら複数の帯水層が合成されたものとして観測されることから、対象とする帯水層の間隙水圧を正しく観測できない。

(2) 部分ストレーナ孔

部分ストレーナ孔による観測は、複数の帯水層がある場合や逸水層がある場合でも、目的とする深度にストレーナ区間を限定することで、すべり面付近の間隙水圧を観測できる利点がある。

(3) 埋設型間隙水圧計

埋設型間隙水圧計は、間隙水圧を直接計測できる利点があり、良好なデータが得られると考えられるが、深いすべり面への設置やメンテナンス等には技術を要するという指摘もある³⁾。

図1-1に、隣接して設置した部分ストレーナ孔と全区間ストレーナ孔による、実際の地下水観測結果を示す。この事例では、全区間ストレーナ孔による観測結果は水位が低く、かつ変動も小さく、部分ストレーナ孔で観測されているような、すべり面付近の間隙水圧は正しく測定できていない。全区間ストレーナ孔での観測は、他の帯水層への逸水や複数の帯水層の水位の合成によって、すべり面の間隙水圧を正しく観測できないケースとみられる。この事例の全区間ストレーナ孔のような観測結果では、地すべりの機構解析や斜面安定解析を適切に行うことは出来ない。このように、複数の帯水層が存在する場合には、部分ストレーナ孔または間隙水圧計による計測を行うことが望ましい。

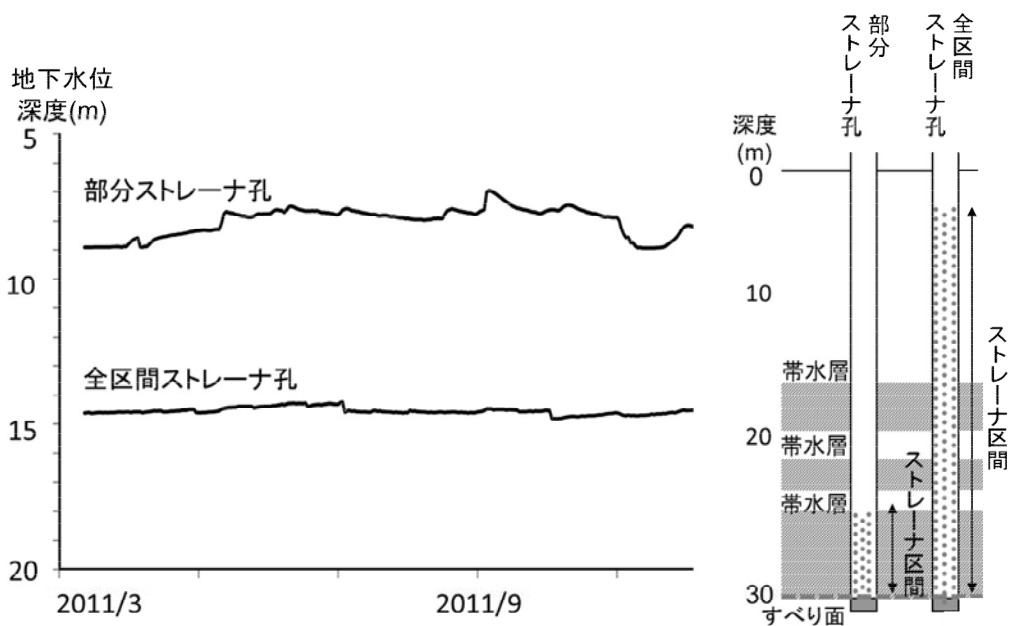


図1-1 部分ストレーナ孔、全区間ストレーナ孔による地下水観測例
(左：水位変動グラフ、右：観測孔の構造)

1. 2 部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の適用

部分ストレーナ孔を設置するためには、設置箇所においてすべり面深度が把握できている必要がある。

解説

ストレーナ区間（深度）を設定するためには、すべり面深度についての情報が必要である。そのため、部分ストレーナ孔を設置できるのは、既往調査によってすべり面の深度が明らかな場合や、すべり面の地質的特徴が明らかで、コア観察ですべり面が特定できる場合となる。

1. 3 部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の手順

部分ストレーナ孔による間隙水圧観測は、以下の手順に従って実施する。

- ①観測孔を設置するボーリング孔における水理地質の鉛直分布の調査
- ②ストレーナ区間、観測孔の構造（止水区間、止水方法等）の計画
- ③部分ストレーナ孔及び観測計器の設置
- ④観測及び点検

解説

部分ストレーナ孔のストレーナ区間と構造を計画するためには、すべり面深度の把握とともに、複数の帯水層や漏水層の鉛直分布の把握が必要である。

観測孔のストレーナ区間と構造の計画は、すべり面付近の間隙水圧のみを計測するため、他の帯水層からの水の回り込みや漏水が生じないように、調査結果に基づいて適切なストレーナ区間および止水区間・方法を計画することが重要である。

部分ストレーナ孔及び観測計器の設置では、計画した深度にストレーナを設置し、他層からの水の回り込みや漏水を防止するために確実に止水処理を行うことが必要である。また、施工不良が生じないように設置状況を確認しながら設置を行うことが重要である。

観測孔・計測器の設置後は、継続的に観測を行うとともに、データ回収等に合わせて定期的な点検・整備を実施し、正確な観測が継続できるように努める。

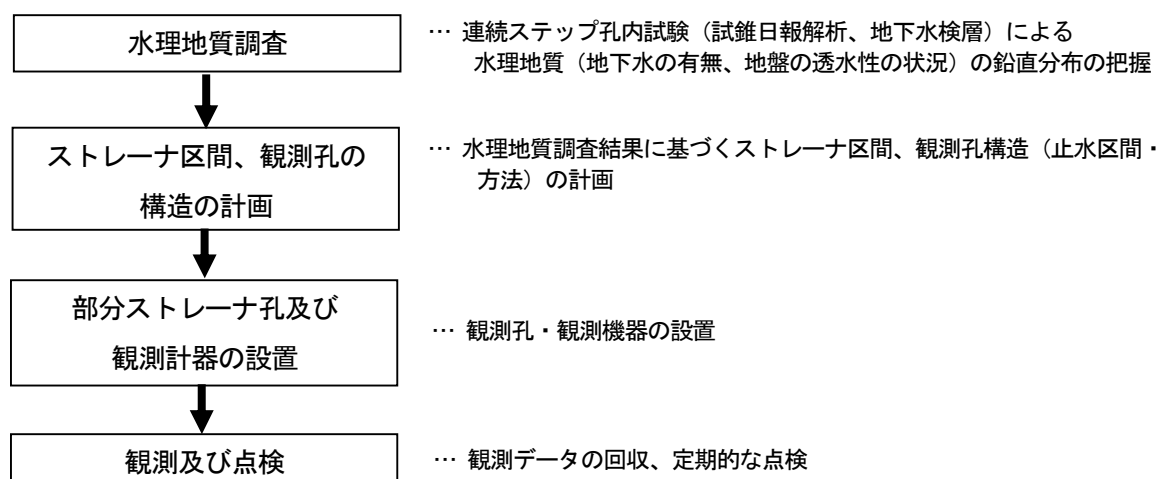


図 1-2 部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の手順

2. 水理地質調査

2. 1. 概説

水理地質調査は、観測孔の構造を検討するため、地下水検層や試錐日報解析等の調査によって、観測孔を設置するボーリング孔の水理地質（地下水の有無、地盤の透水性の状況）の鉛直分布を把握する。

解説

部分ストレーナ区間、観測孔の構造（止水区間、止水方法等）は、観測孔とするボーリング孔におけるすべり面付近の水理地質（地下水の有無や地盤の透水性の状況）を調査し、すべり面付近の帯水層の間隙水圧のみを適切に計測できるよう、調査結果に基づいて計画する必要がある。

水理地質調査は、地下水検層や試錐日報解析によって行われる。本手引きでは、一孔で水理地質調査と部分ストレーナ孔の設置を行うことができる連続ステップ孔内試験^{4, 5)}について解説する。連続ステップ孔内試験は、ボーリング掘削中に水理地質を把握できるため、掘削完了後に部分ストレーナ管を設置できるのが利点である。それに対して、一般的な地下水検層は、ボーリング掘削後に全区間ストレーナ管をボーリング孔に挿入し、孔壁を保護した上で行うため、そのボーリング孔では部分ストレーナ孔を設置することが出来ない。

水理地質調査の結果は、地下水の有無と地盤の透水性を組み合わせた表 2-1 の水理地質区分を用いて、帯水層、漏水層、非透水層（いわゆる難透水層および不透水層に相当）を判定し、後述する水理地質調査総括図（図 2-4）として整理する。その結果から、すべり面付近の帯水層を観測対象とし、かつ、観測対象以外の帯水層から地下水がボーリング孔内に流入しないようにストレーナ区間を設定する。また、ストレーナ区間の上下の非透水層において止水処理を行う。

本手引きでは、部分ストレーナ孔の構造を計画することを主眼として、単純化した表 2-1 の水理地質区分を用いた。

表 2-1 水理地質区分

		地盤の透水性	
		高い	低い
地下水	有り	帯水層	非透水層
	無し	漏水層	

2. 2. 連続ステップ孔内試験

連続ステップ孔内試験は、裸孔区間に重複や欠落が生じないようにボーリングの掘進とケーシングパイプの挿入を繰り返して連続的に試験区間（裸孔区間）を設け、試錐日報解析と地下水検層等を行い、水理地質の鉛直分布を把握する。

解説

1) 概要

連続ステップ孔内試験の1ステップの手順を図2-1に示す。掘削中のボーリング孔の先端に裸孔区間があり、この裸孔区間の水理地質の状態を把握するために、作業前水位の測定、地下水検層等（必要に応じて、簡易間隙水圧計測、ボアホールカメラ）を行う。これらの調査が終われば、ケーシングを孔底まで挿入する。ボーリングの掘進を行い、作業終了時に作業後水位を測定する。通常、1ステップを1日で実施し、翌日以降も同じ手順を繰り返す。なお、本手引きでは、掘削前の水位を「作業前水位」、掘削直後の水位を「作業後水位」とよぶ。試錐日報解析においては、翌掘削日の作業前水位を「翌日水位」とよび、作業後水位との比較を行う（解説資料2を参照）。

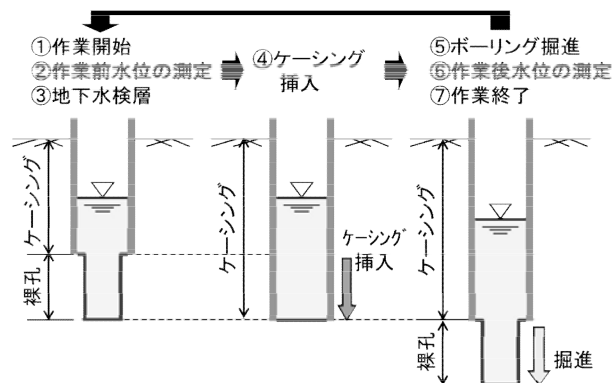


図2-1 連続ステップ孔内試験における1ステップの手順

1ステップの試験区間（裸孔区間）の長さは、計測の分解能と作業性を考慮して設定する。1ステップの長さは3~5mとしても実用的なデータが得られる。ただし、地すべり地においては地盤が脆く孔壁の保持が困難な区間もあるので、そのような場合には、ステップ間隔を1~2mと短くしながら、実施可能な区間で試験を行い、実施が困難な区間では孔壁の保持を優先する。

2) 連続ステップ孔内試験における調査項目

連続ステップ孔内試験の調査項目は、試錐日報解析と地下水検層が標準である。一方、地下水排除工の配置計画等の検討資料とするためにボーリング孔の全区間における水理地質の把握を目的とする場合などは、試錐日報解析と地下水検層だけでなく、簡易間隙水圧計測（湧水圧試験）やボアホール

カメラ等の調査も同時に行って、地すべり地内の水理地質状況についてのデータを取得することが望ましい。連続ステップ孔内試験における調査項目の例を表2-2に示す。

表2-2 連続ステップ孔内試験における調査項目例

調査手法		目的	概要（地下水調査への活用）
標準	試錐日報解析	水理地質区分の判定 水位（水頭）の把握	作業後水位と翌日水位を比較する。汲み上げ法では作業前水位の計測時に汲み上げによる水位の回復状況も調査し、解析を行う。
	地下水検層	水理地質区分の判定	地下水の流動層の把握を行う。地下水検層手法として、食塩検層、溶存酸素検層、(加熱式)温度検層、孔内流向・流速測定等が用いられている。連続ステップ孔内試験は、どの手法でも実施可能である。
必要に応じて実施	簡易間隙水圧計測 (湧水圧試験)	湧水圧（水頭）、透水係数の把握	透水・湧水圧試験器を使用して、湧水圧や地盤の透水係数を計測する。
	ボアホールカメラ	亀裂の状態等の地質構造の把握	ボアホールカメラによる孔壁観察によって、亀裂の状況（開口状況）等の透水性に関わる地質構造を把握する。地下水の流入が観察できる場合もある。

①試錐日報解析

試錐日報解析は、作業後水位と翌日水位の水位変化、翌日水位の汲み上げ時の水位変化から、裸孔区間の水理地質区分を判定する。また、水位は裸孔区間の水頭（水圧）の目安となる（解説資料2を参照）。本手引きにおいて試錐日報解析で用いる水位は、対象区間の掘削日を基準として、作業前水位・作業後水位・翌日水位とよぶ。作業後水位の測定は、水位変化を的確に捉えるため、掘削後直ちに実施することが望ましい。作業前水位の測定は、ほぼ平衡水位に達したと考えられる自然水位の測定と、汲み上げを行った時の水位回復の状態の把握を行うことが望ましい。ただし、地下水検層を実施する場合、地下水検層の実施よりも先に汲み上げを行うと、自然水位での地下水検層が出来なくなるため、地下水検層時に汲み上げを行う。

汲み上げによる作業前水位の測定手順の概要は以下の通りである（詳細は解説資料2を参照）。なお、汲み上げても水位が低下しない場合は、地下水の流入があると判断して測定を終了する。

<汲み上げによる作業前水位の測定手順（概要）>

- 1) 自然水位を測定する。
- 2) 孔内水を汲み上げて水位を 30～50cm 程度低下させる。
- 3) 低下させた状態の水位を測定する。
- 4) 水位を低下させてから 10 分間の水位の変化を測定し、水位回復の状態を把握する。

※地下水検層を実施する場合、自然水位での検層の後に 2)以降を実施する。

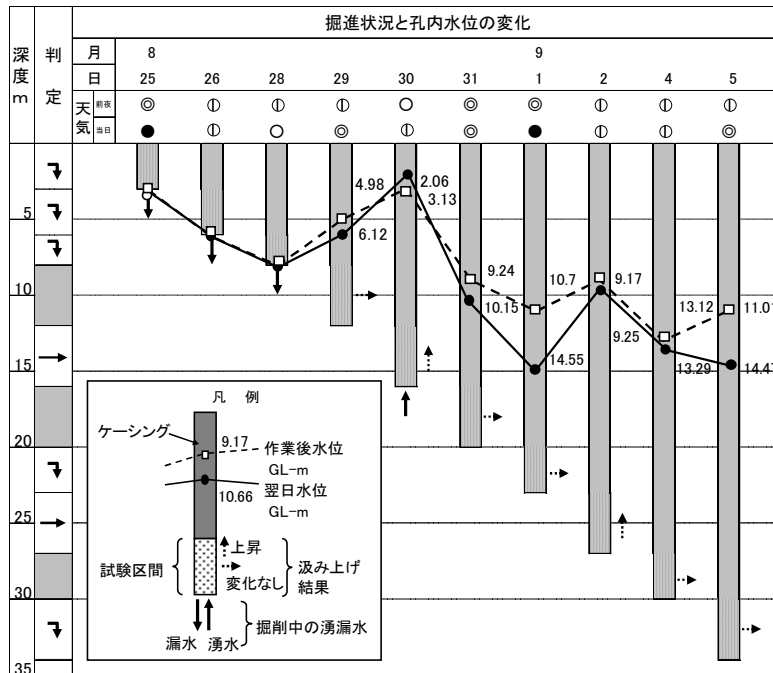


図 2-2 試錐日報解析図の例

②地下水検層

地下水検層は、ボーリング孔内の地下水の流動状況を把握する調査で、地下水の流動状況から試験区間の地盤の透水性と地下水の有無を判定する。地下水検層手法には、食塩検層、溶存酸素検層、(加熱式) 温度検層、孔内流向・流速測定等があり、どの手法でも連続ステップ孔内試験に適用可能である。地下水検層には自然水位(平衡水位)で実施する方法と、孔内水を汲み上げて地下水帯から孔内へ地下水が供給される状態で実施する方法があり、帯水層の検出精度を高めるために、両者を併用して実施することが望ましい。計測結果から、流入区間や漏水区間などの分布深度を把握する。(解説資料3を参照)

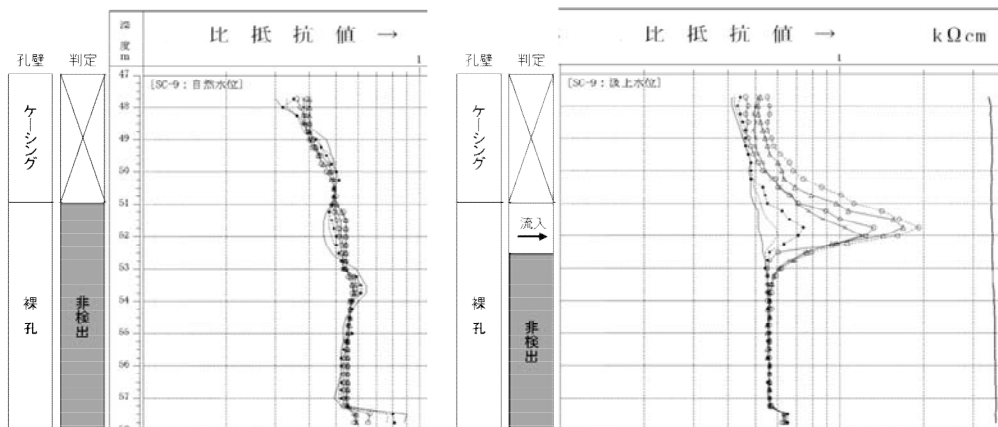


図 2-3 食塩検層の計測結果例 (左: 自然水位、右: 汲み上げ)

3) 連続ステップ孔内試験の調査計画

連続ステップ孔内試験を実施する際の調査項目と実施区間の計画例を表2-3に示す。

部分ストレナ孔の構造検討に必要な最小限の調査は、表2-3の①に示す全区間の試錐日報解析とすべり面付近の地下水検層である。

地すべり機構解析や地下水排除工の設計等の基礎資料として、全区間の水理地質状況を把握する場合は、表2-3の②のように試錐日報解析と地下水検層を全区間で行う。その場合は、地下水観測孔に限らず、孔内傾斜計観測孔等の掘削時に行うこともできる。

すべり面の下に漏水層が存在する場合は、すべり面を貫通した際に漏水して地下水検層が実施できない場合がある。そのため、事前に近隣のボーリング孔の試錐日報等を確認し、漏水が予想される場合には、すべり面直上で試験区間を一旦区切ることが望ましい。

表2-3 連続ステップ孔内試験の調査項目と実施区間の計画例

ボーリングの位置 (深度)		①部分ストレナ孔の構造検討に必要な最小限必要な調査計画			②全区間の水理地質状況の把握を目的とした場合の調査計画		
		試錐日報解析	地下水検層	判定間隔 (分解能)	試錐日報解析	地下水検層	判定間隔 (分解能)
土塊 地すべり	地下水なし	水位なしを記録	/	裸孔区間長 (通常 3~5m)	水位なしを記録	/	裸孔区間長 (通常 3~5m)
	地下水あり	実施			実施		
すべり面付近 (目安として 上10m+下5m程度)			実施	実施		検層の測定間隔 (通常 25cm)	実施
基盤		/		裸孔区間長 (通常 3~5m)	/	/	

2. 3. 水理地質の鉛直分布の調査

水理地質の鉛直分布の調査は、試錐日報解析と地下水検層の解析結果から水理地質区分を行う。

解説

水理地質区分は、帯水層、漏水層、非透水層の3つに区分する。帯水層については、調査結果に水頭高さを記載する。





試錐日報解析のみを実施する区間では、試錐日報解析結果から、裸孔区間ごとに水理地質区分の判定を行う。試錐日報解析と地下水検層を実施する区間では、地下水検層と試錐日報解析を組み合わせ、水理地質区分の判定を行う。この場合は、地下水検層による流動状況から、裸孔区間長さよりも細かく判定が可能である。

1) 試錐日報解析のみを実施する区間

試錐日報解析による水理地質区分の判定は、裸孔区間ごとに、全漏水の有無、汲み上げ後の水位上昇の有無、翌日水位の低下量の組み合わせによって、帯水層、漏水層、非透水層の判定を行う（表2-4）。翌日水位の低下量の大小を分ける判断基準は、地下水の賦存状態や地盤状況によって異なると考えられるため一律に決めることは難しいが、1~3m程度としている例が多いようである。

図2-4に水理地質区分を判定した例を示す。この例では深度25mまでが試錐日報解析のみを実施した区間で、裸孔区間ごとに水理地質区分の判定を行っている。



表2-4 試錐日報解析（汲み上げ）を用いた水理地質区分の判定

水位の変化の特徴			試錐日報 解析判定	水 理 地 質 区 分		
全漏水	汲み上げ後 の水位上昇	翌日水位の 低下量				
有り	—	—	全漏水	漏 水 層	裸孔区間に透水性が著しく高い漏水層が存在する	
無し	有り	—	流 入	帯 水 層	裸孔区間に帯水層が存在する	 水頭高さ GL-12.45m
	無し	大	逸 水	漏 水 層	裸孔区間に透水性が比較的高い漏水層が存在し、帯水層は存在しない	
		小	変化なし	非透水層	裸孔区間全体が透水性の低い地盤からなる	

2) 試錐日報解析と地下水検層を実施する区間

地下水検層を実施する場合の水理地質区分の判定は、地下水検層の結果から、流入、全漏水、逸水（流入なし）、非検出（一部）、上昇流・下降流、非検出（全区間）、逸水（流入不明）に区分し、全区間非検出の場合に試錐日報の判定を併用する（表2-5、解説資料3を参照）。この判定では、裸孔区間長よりも細かい判定が可能である。

表2-5 地下水検層・試錐日報解析を用いた水理地質区分の判定

地下水検層判定 (自然・汲み上げ併用)	試錐日報解析判定 (作業前後比較)	水理地質区分	
流入	/	帯水層	 水頭高さ GL-12.45m
全漏水		漏水層	
逸水 (流入がないことを確認)			
非検出 (一部区間)		非透水層	
上昇流・下降流			
非検出 (全区間)	変化なし	漏水層	
	逸水		
逸水 (流入の有無は不明)	/	漏水層あるいは帯水層	

3) 水理地質総括図の作成

水理地質区分の判定を行った結果は、図2-4のような水理地質調査総括図としてまとめる。この例では深度25m以下が試錐日報解析と地下水検層を実施した区間で、地下水検層の結果に基づいて、裸孔区間長よりも細かく水理地質区分の判定を行っている。判定結果の概要を以下に示す。

<深度0~14m、17~21m、24~25m>

試錐日報解析：変化なし、水理地質：非透水層

水位の変化の特徴は、全漏水は無し、汲み上げ後の水位上昇は無し、翌日水位の低下量は小さいことから、表2-4に基づいて、試錐日報解析判定は「変化なし」、水理地質判定は「非透水層」と判定される。

<深度14~17m>

試錐日報解析：逸水、水理地質：漏水層

水位の変化の特徴は、全漏水は無し（翌日水位は形成されているため）、汲み上げ後の水位上昇は無

し、翌日水位の低下量は大きいことから、表 2-4 に基づいて、試錐日報解析判定は「逸水」、水理地質判定は「漏水層」と判定される。

<深度 21～24m>

試錐日報解析：流入、水理地質：帯水層

水位の変化の特徴は、全漏水は無し、汲み上げ後の水位上昇は有ることから、表 2-4 に基づいて、試錐日報解析判定は「流入」、水理地質判定は「帯水層（水頭高さ GL-2.0m）」と判定される。水頭高さは、翌日水位から GL-2.0m と判断される。

<深度 25～28m>

試錐日報解析：変化なし、地下水検層：流入／非検出（一部区間）、水理地質：帯水層／非透水層

試錐日報解析は表 2-4 に基づいて「変化なし」と判定される。地下水検層では、25.00～26.75m が「流入」、26.75～28.00m が「非検出（一部区間）」と判定される。試錐日報解析と地下水検層の結果を基に、表 2-5 によって、水理地質判定は 25.00～26.75m が「帯水層（水頭高さ GL-4.9m）」、26.75～28.00m が「非透水層」と判定される。

<深度 28～31m>

試錐日報解析：逸水、地下水検層：流入／下降流／逸水（流入不明）、

水理地質：帯水層／非透水層／漏水層あるいは帯水層

試錐日報解析は表 2-4 に基づいて「逸水」と判定される。地下水検層では、28.00～29.50m が「流入」、29.50～30.50m が「下降流」、26.75～28.00m が「逸水（流入不明）」と判定される。表 2-5 によって、水理地質判定は 28.00～29.50m が「帯水層（水頭高さ GL-9.0m）」、29.50～30.50m が「非透水層」、26.75～28.00m が「漏水層あるいは帯水層」と判定される。

<深度 31～34m、37～40m>

試錐日報解析：変化なし、地下水検層：非検出（全区間）、水理地質：非透水層

試錐日報解析は表 2-4 に基づいて「変化なし」と判定される。地下水検層では「非検出（全区間）」と判定される。表 2-5 によって、水理地質判定は「非透水層」と判定される。すべり面付近の帯水層の上下の非透水層であり、31～34m に上部止水区間、37～40m に下部止水区間を設定する。（3. 1 参照）

<深度 34～37m>

試錐日報解析：流入、地下水検層：流入／下降流、水理地質：帯水層／非透水層

試錐日報解析は表 2-4 に基づいて「流入」と判定される。地下水検層では、34.00～36.25m が「流入」、36.25～37.00m が「下降流」と判定される。表 2-5 によって、水理地質判定は 34.00～36.25m が「帯水層（水頭高さ GL-3.4m）」、36.25～37.00m が「非透水層」と判定される。すべり面深度が 36m であり、34.00～36.25m の帯水層にあわせてストレーナ区間を設定する。（3. 1 参照）

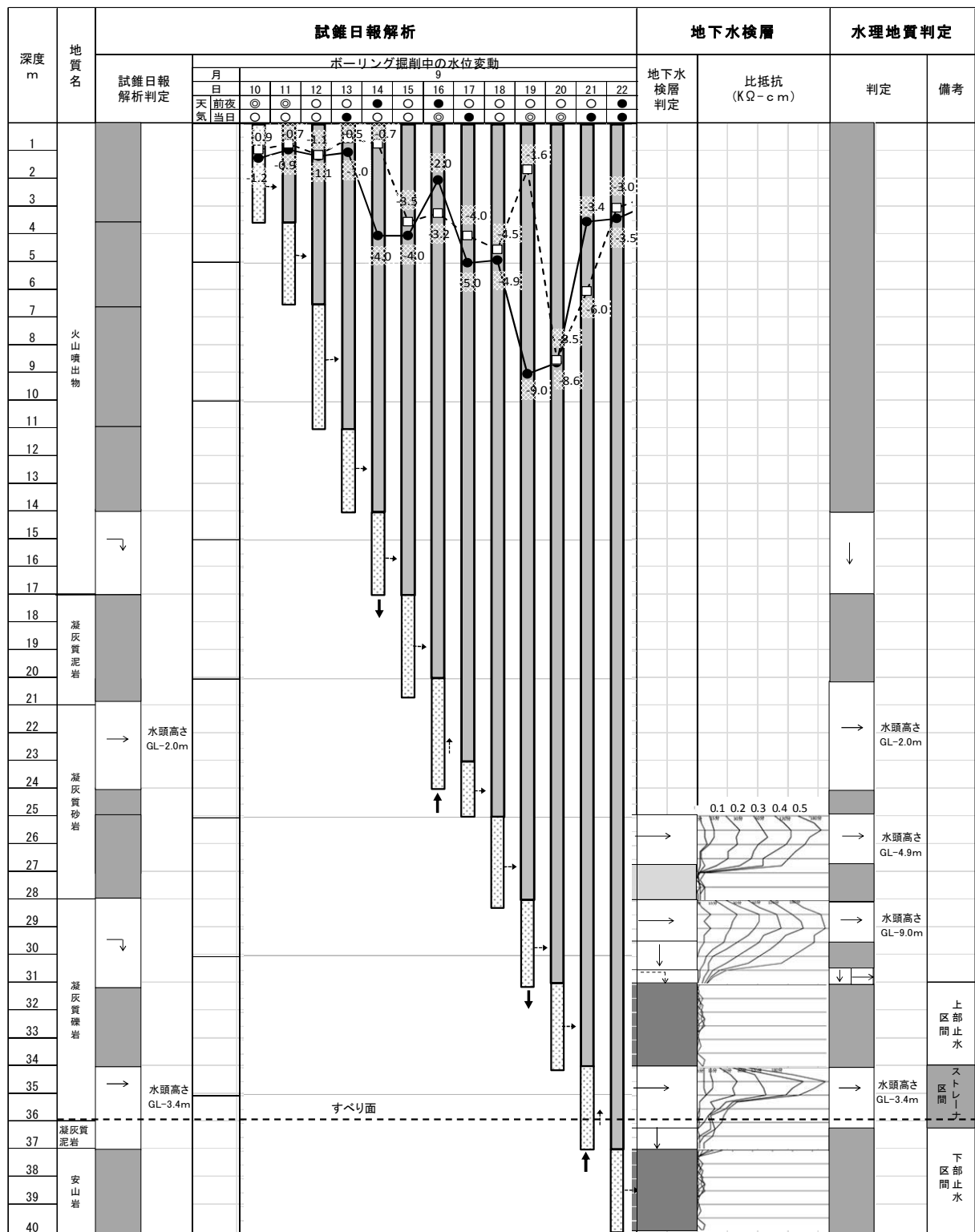
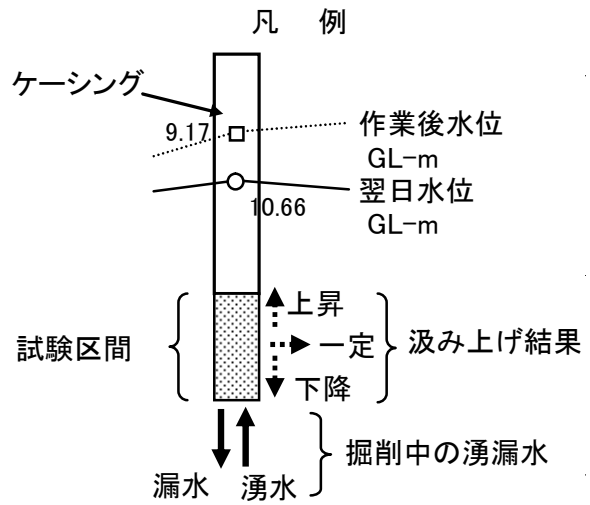


図 2-4 (1) 水理地質総括図

試錐日報解析判定

判定	記号
全漏水	
流入	水頭高さ GL-12.45m
逸水	
変化なし	



ボーリング掘進中の水位変動凡例

地下水検層判定

判定	記号
全漏水	
非検出(全区間)	
非検出(一部区間)	
流入	
逸水(流入なし)	
逸水(流入不明)	
上昇流	
下降流	

水理地質判定

区分	凡例
帯水層	水頭高さ GL-12.45m
漏水層	
非透水層	
漏水層あるいは帯水層	

図2-4(2) 水理地質総括図(凡例)

3. 部分ストレーナ孔の設置計画

3. 1. 部分ストレーナ区間の検討

ストレーナ区間は、目的とするすべり面付近の間隙水圧のみを計測するため、水理地質調査結果をもとに計画する。

解説

部分ストレーナ孔による間隙水圧観測では、すべり面付近の帯水層の水頭高さをすべり面の間隙水圧とする。そのため、ストレーナ区間を適切な位置に設置することが必要である。

ストレーナ区間の上部及び下部は、他の帯水層からの水の回り込みや漏水が生じないように確実な止水を行う。すべり面まで掘り止めた調査孔（ストレーナ区間の下部で漏水がない観測孔）では、止水処理はストレーナ区間の上部のみで行う。すべり面を貫通する観測孔の止水は、上部及び下部について検討しなければならない。

ストレーナ区間および止水区間の設定の考え方を表3-1に示す。

表3-1 部分ストレーナ区間および止水区間の設定

ストレーナ区間	<ul style="list-style-type: none">・ストレーナ区間は、すべり面を含むか、または、その直上に位置する帯水層区間とする。・すべり面の近くに複数の帯水層がある場合、それらの水頭高さがすべり面付近の帯水層と同じであれば、それを含めてストレーナ区間としてもよい場合がある。しかし、帯水層間に漏水層がある場合や、すべり面直上の帯水層とは異なる水頭高さをもつ帯水層である場合は含めてはならない。
上部止水区間	<ul style="list-style-type: none">・上部止水区間は、ストレーナ区間より上部にあり、十分な厚さを有する非透水層とする。
下部止水区間	<ul style="list-style-type: none">・下部止水区間は、すべり面以深まで掘削した孔で、すべり面以深に漏水層や水頭高の低い帯水層があり、漏水が懸念される場合に設ける。・下部止水区間は、ストレーナ区間より下部にあり、十分な厚さを有する非透水層とする。・すべり面直下に漏水層がある場合は、埋め戻しを行う。

3. 2. 観測孔の構造の検討

観測孔構造は、ストレーナ区間での透水性を損なわず、かつ、止水区間で確実に止水ができるよう、地盤状況や地下水状況に合った構造及び部材とする。

解説

部分ストレーナ孔は、保孔管、止水材、間詰材、フィルター材等で構成される。また、孔口部分には、表流水の侵入を防ぐための孔口処理を施す。図3-1に部分ストレーナ孔の標準的な構造を示す。(解説資料4を参照)

保孔管には、塩ビ管が一般的に用いられ、観測区間にのみ保孔管内外の水の出入りが可能なようにストレーナ加工を施す。

ストレーナ区間上下の止水区間の止水材としては、セメント類やベントナイト、ゴム製止水材、パッカーが用いられ、削孔径や地質・地下水状況に応じて適切なものを選定する。すべり面以深で漏水層までボーリングを掘進して地下水位が大きく低下した場合は、漏水層の埋戻しあるいは漏水層上部の非透水層において止水処理を行う。

間詰材とフィルター材は、孔内外の水の流れを妨げず、フィルター効果（地山の細粒分や間詰材が保孔管内に入らないようにする効果）を発揮するものを選定する。

孔口保護の方法には、保護コンクリートの打設、大口径の塩ビ管やコンクリート枠等による保護などの方法がある。

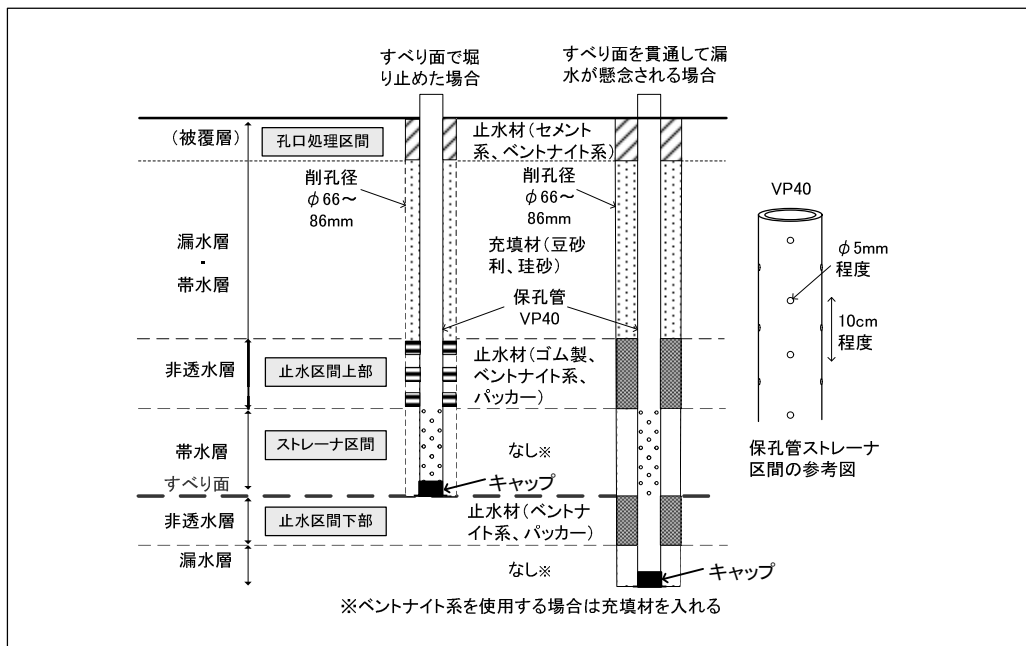


図3-1 部分ストレーナの標準図

3. 3. 観測機器等の検討

水位計や記録器等は、計測レンジやサイズ、記録容量等を考慮し、十分な性能を有する機器を選定する。水圧式水位計の設置深度は、計測期間中の最低水位以下の深度にする必要がある。また、安定的に計測が出来るよう十分な電源容量を確保する。観測機器等は収納箱等を用いて保護する。

解説

水位計は、想定される水位変動幅をカバーできる計測レンジを有し、観測孔に設置可能なサイズの機器を選定する。最近では設置の容易さ、データ処理の簡便さから水圧式水位計が多く用いられている。圧力センサには大気圧補正機能の付いたものと補正機能が別に必要な絶対圧水位計の2種類があるため、選定にあたっては注意を要する。

水圧式水位計の設置深度は、計測期間中の最低水位以下の深度にする必要がある。計測期間中に地下水排除工が施工される場合には、地下水排除工による水位低下も考慮する必要がある。

記録器は、観測期間（データの回収間隔）と測定間隔を考慮し十分な記録容量を有するものとする。地すべり機構解析に用いるためには、移動量計測の時間間隔を考慮し、測定間隔は1時間またはそれよりも短い間隔で計測することが望ましい。電源（電池）は、欠測が生じないように定期的に交換する、特に冬期間の観測では十分な容量を確保する。

収納箱（記録器を地上に設置する場合）は、風雨や直射日光を防ぐだけでなく記録器を湿気から保護するため防湿性のあるものを用いる。また積雪地においては雪囲いで保護することが必要である。電気式水圧計は検出部にひずみゲージ等の精密機器を使用する 경우가多く、落雷等により検出部及びケーブルが破損する可能性があることから、落雷が懸念される現場では避雷対策を行う必要がある。

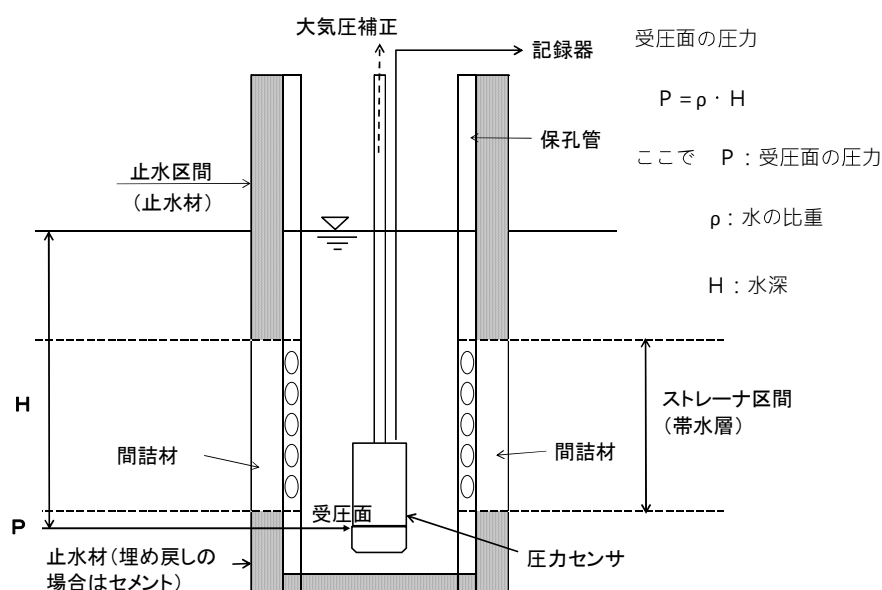


図3-2 部分ストレーナ孔・水圧式水位模式図

4. 観測孔の設置

4. 1. 部分ストレーナ孔の設置

部分ストレーナ孔の設置においては、計画した深度にストレーナを設置し、確実な止水処理を行う。また、施工不良が生じないように作業状況を確認しながら設置を行うことが重要である。

解説

部分ストレーナ孔の設置においては、まず、孔壁崩壊物やスライムの孔底への堆積による深度不足、予期しない漏水等の異常がないか等、ボーリング孔の状態を確認してから行う。保孔管の設置にあたっては、接合部の破損や孔内への落下等に注意する。セメント系、ベントナイト系の止水材については、所定の深度に到達するように触針式水位計や検尺棒などで沈殿状況を確認しながら設置する。セメント系はグラウトホースを用いるとより確実に設置できる。間詰材についても、充填不良を防ぐために触針式水位計や検尺棒などで沈殿状況を確認しながら設置する（解説資料4を参照）。

観測孔設置後は、目詰まりを防止するため孔内洗浄を十分に行うほか、観測孔設置後の地下水位と観測対象とした帯水層の調査時の水頭高さを比較し、大きな差がないことを確認する。

4. 2. 観測機器等の設置

観測機器等の設置後は、正確なデータが取得されていることを触針式水位計の計測結果と比較して確認する。

解説

観測機器等を計画に基づき設置した後には、触針式水位計の計測結果との比較確認、センサを上下させた際の追従性の確認等によって、データが正しく取得されているかを確認する。保護設備等については、設置が適切に行われているか目視等で確認する。点検結果は設置・点検台帳に記録する（解説資料5を参照）。

4. 3. 地下水観測孔の設置・点検台帳の整備

観測孔および観測機器に関する情報は、設置・点検台帳に記録し、維持管理に役立てる。

解説

設置・点検台帳には、観測孔及び観測機器の仕様や作動状況についての情報を記載する。台帳の例は解説資料5に示した。観測孔の設置時には、観測孔の仕様やその根拠となった水理地質調査総括図、部分ストレーナ孔構造図等を台帳に記録し、設置及び点検時には点検結果を台帳に記録する。

5. 観測データの回収と確認・観測孔等の点検

5. 1. 観測データの回収と確認

半自動観測の場合は、記録器の記録容量を超える前に適切な間隔で観測データの回収を行う。また、観測データに異常な値が記録されていないか確認を行い、必要に応じて観測孔や観測機器の点検を行う。

解説

記録器の記録容量を超えた場合、データが上書き記録されるなどして、一部のデータの消失が生じるため、適切な間隔で観測データの回収を行う必要がある。

観測データを回収した後には、観測データに異常な値が記録されていないか確認を行う。異常な値が記録されている場合は、観測孔や観測機器の点検を行う。適切に観測された間隙水圧データであれば、降雨量や地すべり移動量との応答が見られることが多い。

5. 2. 観測孔の点検

観測孔の点検は、水位変動がほとんど無いなど異常が疑われる観測孔に対して、地すべり活動による観測孔の変形（閉塞）やストレーナの目詰まり等の有無の確認し、必要に応じて洗浄等の対応を行う。

解説

地すべり活動による観測孔の変形（閉塞）やストレーナの目詰まり等の疑いがある場合は、孔底深度の確認、くみ上げによる水位回復や地下水検層等による観測孔としての機能確認を実施することが望ましい。異常が確認された観測孔については、観測目的や重要度に応じて洗浄や再設置等の対応を検討する。点検結果は設置・点検台帳に記録して維持管理に役立てることが望ましい（解説資料5を参照）。

5. 3. 観測機器等の点検

観測機器等の点検は、データ回収時に1回／年以上行い、観測機器や保護設備等に腐食、破損、変形等の不具合が生じていないか点検し、必要に応じて修理や交換等を行う。また、水位が正確に計測できているか確認を行う。

解説

観測機器は屋外の厳しい自然条件下にさらされるため、長期間にわたって正確な観測を継続してい

くためには、定期的な点検が必要である。点検では観測機器や機器を保護するための保護設備等に腐食、破損、変形等の不具合が生じていないかを確認し、必要に応じて修理や交換等を行う。また、正確な水位が計測できているか、触針式水位計の計測結果との比較確認、センサを上下させた際の追従性を調査して確認する。点検は1回／年以上をデータ回収時に行い、結果は設置・点検台帳に記録して維持管理に役立てることが望ましい（解説資料5を参照）。

文献

- 1) 檜垣大助・丸山清輝・吉田克美・吉松弘行（1991）：地すべり地における間隙水圧変動の観測，地すべり，Vol. 28， No. 3， pp. 9-16.
- 2) 国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所（2008）：地すべり防止技術指針及び同解説，社団法人全国治水砂防協会.
- 3) 社団法人斜面防災対策技術協会 地すべり観測便覧編集委員会（2012）：地すべり観測便覧，社団法人斜面防災対策技術協会.
- 4) 申潤植(1989)：地すべり工学 ー理論と実践ー. 山海堂, pp.419-431.
- 5) 石田孝司・杉本宏之・武士俊也・高川智・二木重博・宇都忠和（2012）：善徳地すべりにおける高密度ステップ孔内試験結果と地下水観測結果との比較について，日本地すべり学会誌, Vol. 49, No. 6, pp. 35-41.

解説資料 1 地すべり地における地下水観測の実態と課題

1. はじめに

複雑な水文地質構造を呈する地すべり地において斜面安定解析や地すべり機構解析を適切に実施するためには、すべり面に作用する間隙水圧を適切に観測する必要がある。しかし、これまでの間隙水圧観測結果（または、間隙水圧の代用としてのボーリング孔内の地下水位）の中にはすべり面の間隙水圧を適切に観測できていない事例も認められている。

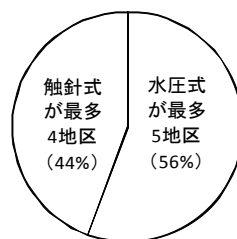
そこで、地すべり地における地下水観測の実態と課題を把握することを目的として、平成 22 年度に直轄地すべりを対象とした資料分析調査を行い、また、平成 23 年度に都道府県、地すべり対策の経験を有する会員各社を対象としたアンケート調査を実施した。これらの調査から明らかになった地すべり地における地下水観測の実態を基に、課題の整理と解決の方向性についての検討を行った。

1) 資料分析調査による地下水観測の実態把握

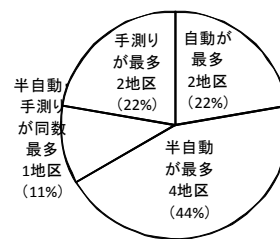
全国 9 地区の直轄地すべりにおいて、長期間の地下水観測データがあり、機構解析を実施している地すべりブロックを各地区から 1 ブロックずつ選定して観測孔設置時の資料及び観測データの収集を行った。対象となった観測孔は約 170 孔となり、それらについて、観測方法、ストレナ位置、地下水調査実施状況、試錐日報解析などの実施状況を整理した。また、資料が整っている 28 孔で試錐日報解析を改めて行い、観測結果と地すべり挙動との連動性、観測結果の妥当性を評価した。

(1) 地下水観測方法

調査した 9 地区のうち 8 地区で、調査対象観測孔の全てにおいて、間隙水圧調査として、ボーリング孔内の地下水位観測が行われていた。間隙水圧計による観測が一部でも実施されている地区は 1 地区のみであった。



図解 1-1 センサ種別



図解 1-2 観測方式

水位計センサ種別については、9 地区中 5 地区で水圧式水位計の使用割合が最多となっている（図解 1-1）。ただし、本調査では長期間の観測データがあるブロックを選定したために、触針式の比率が高くなった可能性はある。

観測方式は、半自動の使用割合が最多となっている地区が 9 地区中 4 地区と最も多い（図解 1-2）。

(2) ストレナ位置

すべり面を貫く全区間ストレナ孔が最多なのが 5 地区と最も多く、その他の地区では、すべり面を貫かない全区間ストレナ孔が最多（2 地区）、すべり面を貫かない部分ストレナ孔が最多（1 地区）、不動層の部分ストレナ孔が最多（1 地区）となっていた。すべり面を含めた部分ストレナ孔の設置事例はみられなかった。

すべり面を貫く全区間ストレーナ孔は、地下水観測孔のみを設置する場合での採用事例が多い。すべり面を貫かない全区間ストレーナ孔は、先行して孔内傾斜計観測孔等を掘削し、すべり面位置や地下水状況を把握してから別孔ですべり面を貫かないように観測孔を設置している事例が多い。

観測孔設置の報告書ですべり面に関与する帯水層について言及しているのは1地区であり、それ以外の8地区ではストレーナの構造決定に関する記述が無く、ストレーナ構造決定までのプロセスは不明であった。また、ストレーナ構造や遮水方法等の情報が残っていない観測孔もみられた。

(3) 地下水調査実施状況

最も多く実施されているのは地下水検層（6地区）で、他に簡易揚水試験（2地区）、現場透水試験（1地区）、湧水圧試験（1地区）、微流速測定（1地区）が実施されていた。しかし、これらの地下水調査が実施されているにもかかわらず、多くの観測孔に全区間ストレーナが採用されており、地下水調査結果がストレーナの構造決定に必ずしも活用できていないことが窺える。

(4) 試錐日報解析実施状況

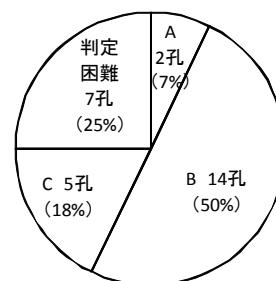
試錐日報解析が一部ででも実施されているのは2地区のみであった。解析に必要な水位記録が揃っていない地区もあり、試錐日報解析が地下水調査として活用されているとは言い難い状況である。

(5) 観測結果と地すべり挙動との連動性、観測水位の妥当性の評価

試錐日報解析を実施した28孔の地下水観測孔のうち、観測結果と地すべり挙動の連動性があると判断されるのが5孔（18%）、連動している期間と連動していない期間の両方があるのが5孔（18%）、連動性が低いと判断される観測孔が11孔（39%）、判断不能が7孔（25%）であった。

また、観測結果の妥当性の評価については、「(A) 地すべり挙動との連動が認められ、かつ、すべり面付近の帯水層の間隙水圧を良好に捉えている」と評価される観測孔は2孔（7%）のみであった。この2孔はすべり面を貫かない全区間ストレーナ孔であるが、すべり面の上位に帯水層が1層のみの単純な構造であるため、良好なデータがとれていると考えられる。

その他の観測孔は、「(B) 地すべり挙動との連動性がかならずしも明瞭ではなく、または、複数の帯水層の合成水位または部分的に漏水しているとみられ、すべり面付近の帯水層のみを良好にとらえているとはいえない」が14孔（50%）、「(C) 観測水位がすべり面より深い位置で変動しているか、漏水層の影響で水位変動がなく明らかにすべり面の水位ではない」が5孔（18%）、残りの7孔（25%）は判定困難であった（図解1-3）。



図解1-3 観測水位とすべり面との関係

2) アンケート調査による地下水調査の実態把握

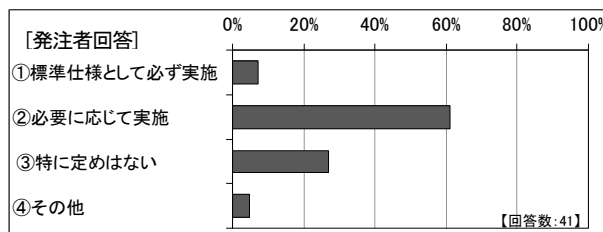
アンケートは地下水調査の実態把握を目的として、発注者側として都道府県、実施者側として地す

べり対策の経験を有する社団法人全国地質調査業協会連合会および社団法人斜面防災対策技術協会の会員の各社を対象として実施した。

回答数は、都道府県を対象とした調査が41、社団法人全国地質調査業協会連合会および社団法人斜面防災対策技術協会の会員を対象とした調査が89であった。

(1) 帯水層調査の実施状況

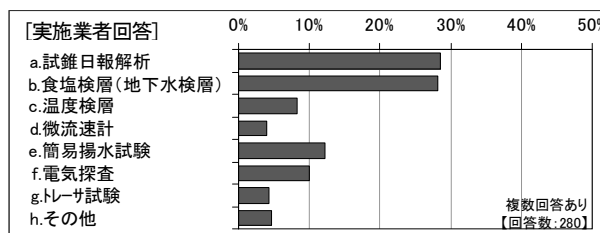
地下水観測孔を設置する際の帯水層調査は、必要に応じて実施する場合は61%、特に定めていないが27%で、標準仕様として必ず実施するが7%程度であった(図解1-4)。この結果から、帯水層調査は必ずしも標準とされておらず、状況に応じて適宜判断されていることが伺える。



図解1-4 地すべり調査における帯水層調査の実施状況

(2) 地下水把握方法

地下水観測孔の構造を検討する上で有効と考えている調査は、試錐日報解析と食塩検層(地下水検層)がそれぞれ約28%と最多で、次いで簡易揚水試験が12%、電気探査が10%であった(図解1-5)。その中で最も有効と考えている調査を1つ選ぶ場合は、食塩検層(地下水検層)が最多の46%となり、試験が簡単で実績が多く、精度も高くわかりやすい等の意見が多数あった。

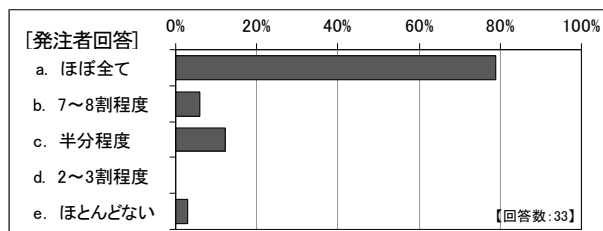


図解1-5 地下水の賦存状況を把握する有効な調査手法について

また、試錐日報解析は地下水把握に有効と回答した実施業者の技術者は95%に達し、有圧地下水帯の位置、地層の透水性、地層毎の地下水位などの地下水情報の把握に利用されている。

(3) 地下水観測孔の構造

都道府県の地すべり調査に用いられる地下水観測孔の頻度のうち約80%の回答が、すべり面を貫く全区間ストレーナとしているとの回答であった(図解1-6)。部分ストレーナの設置については、55%がほとんどないと回答した。



図解1-6 すべり面を貫く全区間ストレーナ孔としている頻度

実施業者においても概ね同様の傾向にあり、部分ストレーナの有効性は多くの技術者が理解しているものの、実施されている例は少ない。

2. 地下水調査の課題

これらの調査結果を基に、地下水観測に関する課題を調査、計画等の段階に分けて整理した（表 解 1-1）。以下、各段階における課題について概説する。

表 解 1-1 地すべり地における地下水調査の課題

段階	課題	原因	調査
全般	地下水調査、間隙水圧計測が実施されない	<ul style="list-style-type: none"> ・間隙水圧計・部分ストレーナで水位変動を把握する重要性が理解されていない ・対策工計画における地下水調査結果の重要性が理解されていない 	B
調査	掘進速度が速い場合やケーシングにより、細かな水位変化が把握できず、削孔水の影響もあって、本来の地下水位を反映しない。	<ul style="list-style-type: none"> ・掘進速度が速いとすべり面などの重要な地下水帯の水頭および透水性が判定できない ・作業後の地下水位は削孔水の影響を受けている 	B
	試錐日報解析の判定の個人差	<ul style="list-style-type: none"> ・標準的な区分、どの程度の水位変動を有意とするかの評価基準がない 	A
	全深度掘削後に検層をすることが多いため、逸水や複数の地下水帯の影響で、すべり面の地下水帯の状況が把握できない。	<ul style="list-style-type: none"> ・逸水や優勢な地下水帯により、地下水検層が不能となる ・優勢な地下水帯があると孔内水が低下しない 	B
		<ul style="list-style-type: none"> ・食塩を均一に溶かすことが難しく、不均一だと検出精度が低下する 	B
		<ul style="list-style-type: none"> ・孔内水条件（平衡状態では流入がなくなる）によって結果が異なる 	B
計画	地下水検層等が実施されても観測孔構造に反映されない（全区間ストレーナになってしまう）	<ul style="list-style-type: none"> ・調査時点では、すべり面位置が不明確 	A
		<ul style="list-style-type: none"> ・帯水層・逸水層が複雑すぎて確定できない 	A
		<ul style="list-style-type: none"> ・オールストレーナでの観測を標準仕様としている 	B
設置	部分ストレーナとする場合の基本的な作業手順・方法	<ul style="list-style-type: none"> ・決まった手法がなく、各技術者の経験や判断に委ねられている 	B
	ストレーナの仕様およびフィルターと間詰材の選定・使用方法	<ul style="list-style-type: none"> ・帯水層から孔内への水の出入りが阻害されているのかわからない 	B
		<ul style="list-style-type: none"> ・予定区間を正確に間詰めすることが難しい 	B
	すべり面を掘り抜いた時の埋戻し方法	<ul style="list-style-type: none"> ・決まった手法がなく、担当技術者の経験や判断に委ねられている 	AB
	止水材の選定・使用方法	<ul style="list-style-type: none"> ・地質や地下水条件に応じた確実性の高い止水をするための各種止水材の使用方法がわからない ・予定区間へ正確に止水材を設置することが難しい 	B
解析時に地下水観測孔の諸元が不明なことがある	<ul style="list-style-type: none"> ・報告書に記載されていない 	A	
観測	地下水位が設置した水位計の測定範囲に収まらない	<ul style="list-style-type: none"> ・レンジオーバー ・測定間隔が粗いと水位変動のピークや周期を捉えきれない場合がある ・計器設置深度以下に水位が低下する場合がある 	B
	計測機器の破損・故障	<ul style="list-style-type: none"> ・動物によるケーブルの破損 ・バッテリー異常 ・落雷、湿気等による故障 	B

調査A：直轄地すべりを対象とした資料分析調査（H22調査）

調査B：都道府県及び民間会社を対象としたアンケート調査（H23調査）

1) 地下水観測全般

地すべり対策で最も多く実施されている地下水排除工を検討するにあたり、地下水調査は非常に重

要であるが、地下水調査の重要性が十分に理解されていないことが課題として指摘される。

また、すべり面付近の地下水を観測するための部分ストレーナ孔の構造や設置に関する具体的な方法について整理されているものは少なく、調査を実施する各技術者の経験や判断に委ねられているのが現状である。地すべり対策を効果的に計画するためにも、部分ストレーナ孔による地下水観測の標準化や適用性の整理が重要である。

2) 調査段階

試錐日報解析と地下水検層が実施される機会の多さを反映してか、これらの調査手法に関する指摘が多い。

試錐日報解析では、試錐日報解析における判定の個人差による評価のバラツキ、掘進速度とコストのバランス、削孔水による解析精度への影響などの課題があげられる。また、試錐日報を作成するオペレータに重要性を理解してもらうことが課題とする意見も多く、それらのためのマニュアルの整備や啓蒙方法の検討を行う必要があると考えられる。

地下水検層（食塩検層）は帯水層の把握に最も多く利用されているが、その一方で課題も多く、塩分濃度を均一にする難しさ、劣勢な流動状態による検出限界、孔壁状態やストレーナの開口率による地下水流動への影響に関する検討の必要性などがある。

3) 計画段階

計画段階では、試錐日報解析や地下水検層の調査結果が地下水観測孔のストレーナ区間や構造の決定に活用されていないことが指摘される。地下水検層は多くの地区で実施されていたが、その結果を活用してストレーナ区間が設定されることがなされていないことが明らかとなった。また、試錐日報解析でも地下水状況に関する情報が得られるが、これも活用されていない。その結果、すべり面に作用する地下水をうまく捉えられていないことが多いようである。もちろん、すべり面付近に複数の帯水層が存在するためにすべり面に作用する地下水帯を特定することが困難な場合や、地下水調査以外の要素として、ボーリング段階でコア判定等からすべり面を特定することが難しいという場合もある。しかし、そのような難しい状況でない限りは、地下水調査結果に基づいて、すべり面付近の地下水帯を観測出来るように検討すべきである。

地下水観測孔の構造の計画については、ストレーナや間詰め材、止水材等が仕様で定められていることは少なく、各現場で判断されていることが多いようである。そのため、今回のアンケートから判明した課題について、標準的手法やノウハウを整理し、普及を図っていくことが重要と考えられる。

4) 設置段階

設置段階では、標準的手法がないことや、現場作業の難しさが指摘される。ストレーナ構造を決定した考え方が報告書等に残されていない事例が多かったが、機構解析や対策工の効果評価にあたっては、観測された地下水位を解釈することも必要であり、地下水観測孔の設置に関する情報は重要であ

る。

5) 観測段階

観測段階では、観測不能となることを避けることが課題である。特に、動物によるケーブルの破損、バッテリー異常、落雷、湿気等により測定不能となった例が多い。これらの苦勞・失敗事例とその対処のノウハウを継承していくことで、失敗の少ない計器設置につながると考えられる。

3. 地下水調査の解決の方向性について

これらの課題に対して、それぞれの原因・背景を分析しながら解決の方向性を見いだしていくことが必要である。次に、いくつかの課題について具体的に解決の方向性（案）を述べる。

(1) 地下水観測孔の設置手法の標準化

地下水調査に基づく地下水観測孔の設置手法の標準化（手引きの作成）をすることが必要と考えられる。試錐日報解析や地下水調査等の結果をストレーナの位置の決定に反映させる手法やその際に注意すべき事項等が内容として必要であると考えられる。すべり面に関与する地下水位を捉えるためのストレーナの設置方法についても標準化または適用性の整理が必要であると考えられる。

また、試錐日報解析を地域差や個人差なく同じ指標・精度で行うための判定基準の作成や実例集の作成も有効と考えられる。

(2) 試錐日報解析と地下水検層等の総合的な解析と連続ステップ孔内試験

調査段階での課題の解決の方向性として、試錐日報解析と地下水検層等の総合的な解析が重要であると考えられる。

詳細な帯水層把握が必要な場合には、連続ステップ孔内試験によって計測区間を短く取りつつ、詳細に帯水層や逸水層を調査することが有効である。連続ステップ孔内試験では裸孔区間で孔内試験を行うため、感度良く地下水流動を捉えることができる。これに汲み上げ法を併用すれば、劣勢な流動層や地下水位が平衡状態になっている場合でも、流動層の検出が出来る。また、連続ステップ孔内試験は掘進する過程で実施するため、掘進完了後にすべり面が特定できれば、部分ストレーナ孔を設置することが可能である。

試錐日報解析による流動層の判定は、どの程度の水位変動を有意とするのかの評価が難しい。しかし、孔内試験を実施する区間以外はケーシングで止水されている連続ステップ孔内試験であれば、前日作業後水位と翌日作業前水位の比較により、相当程度、流動層を区分することは可能と考えられる。

(3) 部分ストレーナ孔設置時における留意点

観測孔設置時における遮水材や間詰材の選定および充填方法は、担当技術者の経験によって、各現場で工夫されているのが現状である。そのため、手法と留意点を整理することは有用であると考えら

れる。

間詰めに際しては、間詰材と保孔管に巻くフィルター材は地下水の流動性とフィルター効果（地山の細粒分や間詰材が保孔管内に入らないようにする効果）を両立する素材を選定する必要がある。特に砂など細かい間詰材の場合は、孔内水の区間で沈降する時間が掛かるため、充填しすぎないように投入後に時間をおいて次の投入を行う等の対応が必要である。

止水に際しては、実績のある材料があるので、適用条件、削孔径や地質・地下水状況に応じて適宜選定し、適切に組み合わせることも効果的である。

（４）記録の様式化・施設台帳化

記録の様式化を図り、施設台帳として整備することも重要であると考えられる。特にストレーナ設置方法やその考え方を記録し、次の観測孔設置や観測水位の妥当性検証、対策工の効果検証の際にも活かすことが出来ると考えられる。

4. おわりに

資料分析調査及びアンケート調査から明らかになった地すべり地における地下水観測の実態を基に、課題の整理と解決の方向性についての検討を行った。これらの課題を解決するため、現時点の知見を基に「部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の手引き（案）」をとりまとめた。幾つかの課題については対応が出来なかったものもあるが、部分ストレーナ孔による間隙水圧観測の事例を蓄積することで将来的に課題の解決を図っていくことが重要である。

解説資料 2 試錐日報解析による水理地質区分の判定

1. 手法と原理

試錐日報解析は、ボーリング掘削前後の水位の変化から、裸孔区間の水理地質区分（地下水の有無や地盤の透水性の状況）の判定を行うものである。連続ステップ孔内試験では、前の掘削区間をケーシングで止水をしながら掘進を進めるので、前区間の帯水層や漏水層の影響を受けずに、掘進先端の裸孔部分の水理地質区分や帯水層の水頭高さを把握することができる。

試錐日報解析で用いる水位は、対象区間の掘削日を基準として、作業前水位・作業後水位・翌日水位と定義する（図 解 2-1）。ひとつの孔の掘削では、ステップ区間に応じた個数のそれぞれの水位があるため、それらを区別する場合は日付をつけ、例えば6月12日であれば、6/12 作業前水位・6/12 作業後水位・6/12 翌日水位とする。6/12 翌日水位は、6/13 掘削区間を基準とする場合は作業前水位である。

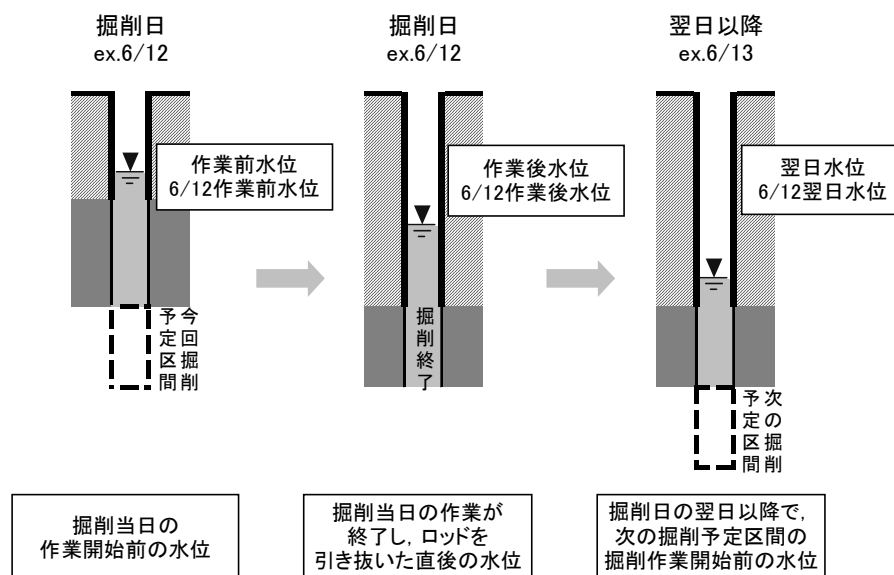


図 解 2-1 試錐日報解析で用いる水位の名称の定義

ボーリング孔内水の作業後水位と翌日水位の状況とその変化には次の4つのパターンがある（図 解 2-2）。

- 作業後水位に較べて、翌日水位が上昇する。
- 作業後水位と翌日水位がほとんど変化しない。
- 作業後水位に較べて、翌日水位が大きく低下する。
- 翌日水位を形成しない、あるいは孔底付近まで落ち込む。

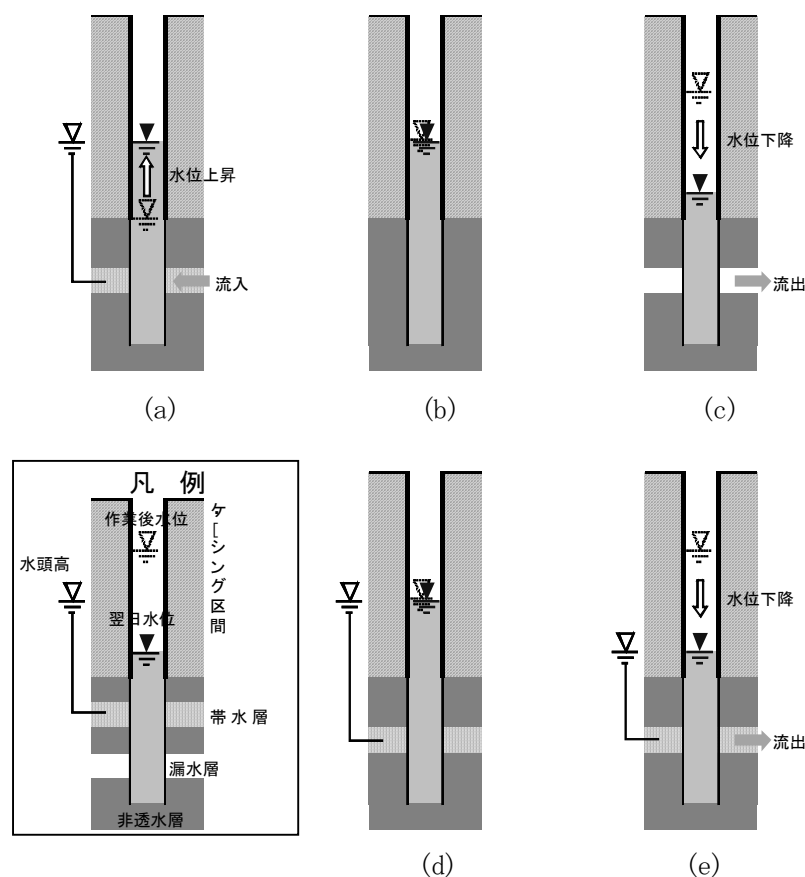


図 解 2-2 試錐日報解析に用いる孔内水の変動パターン

ここで、裸孔区間に高い水頭を有する帯水層がある場合は、図 解 2-2 の(a)のように翌日水位は上昇するが、裸孔区間に漏水層がある場合は (c)のように翌日水位は低下する。また、裸孔区間が非透水層の場合には、(b)のように翌日水位はほとんど変化しない。このように、試錐日報解析では、裸孔区間ごとに、地下水の有無や地盤の透水性の状況を把握することができる。しかし、(e)のように、裸孔区間に作業後水位よりも水頭高が低い帯水層がある場合にも、(c)と同様に水位が低下し、(d)のように作業後水位と帯水層の水頭高がほぼ同じ場合は、(b)との区別ができないことからわかるように、従来の試錐日報解析では、「非透水層と帯水層」、「漏水層と帯水層」の区別が困難なケースがある。

帯水層では、帯水層のもつ水頭高さより孔内水位を低下させると、帯水層から地下水の流入が生じて水位の上昇が生じるが、非透水層や漏水層では孔内への地下水の流入はないため水位は上昇しない (図 解 2-3)。このため、翌日水位計測後に、孔内水位を低下させて孔内水位の変化を計測すれば、帯水層か否かの識別ができ、帯水層の持つ水頭高さも知ることができる。このため、試錐日報解析は、汲み上げを併用して実施することが望ましい。

試錐日報解析では、試験区間ごとに帯水層・非透水層・漏水層の判定を行う。

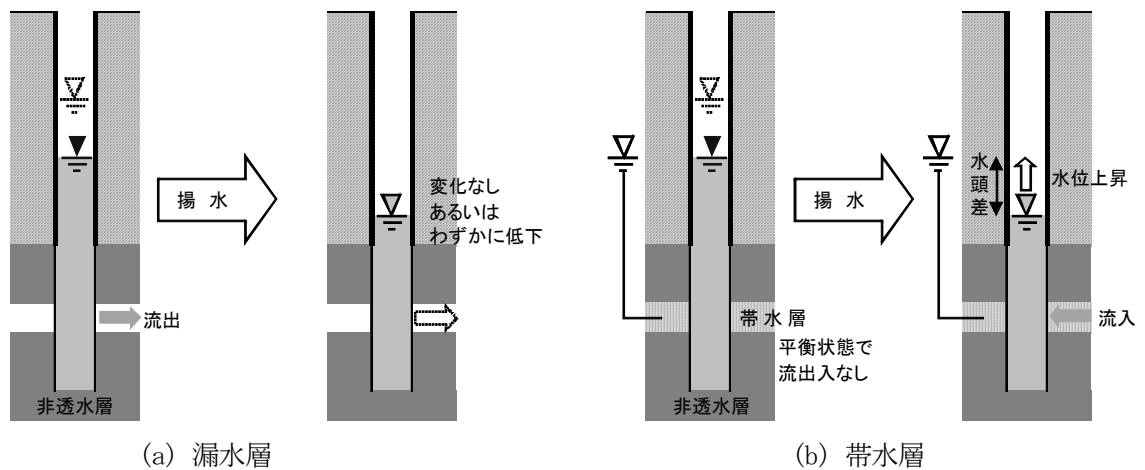


図 解 2 - 3 汲み上げ法による帯水層の識別

2. 測定方法と結果の整理

測定の手順を次に示す。食塩検層を実施する区間などで汲み上げを実施しない場合は3)～4)を省いて行う。

- 1) 掘進作業前の孔内水位（作業前水位）と計測時刻を記録する。計測は、ロッド等の挿入前に行う。
- 2) 作業前水位計測後、ペーラー等を用いて汲み上げを行い、水位を低下させる。帯水層は比較的透水係数が大きく、翌日水位が平衡水位に近くなるので、汲み上げは少量でよいことが多い。目標とする低下量の目安は、30～50cm 程度である。このとき、汲み上げ後の水位と汲み上げた水量を記録する。
- 3) 水位変化を 10 分間継続して計測し、1 分または 2 分ごとの水位を記録する。汲み上げ直後の時点で既に水位が回復している場合は、地下水の流入があると判断する。
- 4) ケーシングを挿入する。ケーシングを挿入した区間と作業時刻、およびケーシング挿入作業前後の地下水水位を記録する。
- 5) 掘進を進める。
- 6) 掘進中の送水の有無と送水量を記録する。掘削作業中に漏水や湧水があった場合は、その位置とその湧漏水量を記録する。
- 7) 掘削終了後の孔内水位（作業後水位）と計測時刻を記録する。計測は、ロッドを引き抜いた後、ただちに行う。
- 8) 作業後水位計測後、10 分程度の間隔をおいて水位計測を行い、水位と計測時刻を記録する。これは、平衡水位を予測するために用いる水位である。

試錐日報解析図は、ボーリング掘削作業の内容を記録した試錐日報から、図 解 2 - 4 に示す事例を参考に整理する。この事例では、掘削区間に対応する作業後水位と翌日水位を、掘削を行った日に記入している。

3. 調査における留意点

掘進中のケーシングによる適切な止水と確実なデータの採取が重要である。1 日の掘進区間が長い場合や、ケーシングを用いずに掘進を進めた場合には、判定は複雑で困難となるほか、作業終了時にケーシングを孔底まで挿入すると解析ができなくなるので、次の点に留意する。





- 1) 掘進は、ケーシングで湧水・漏水区間を確実に止水しながら進める。
- 2) 原則として当日掘削区間のみを裸孔とする。掘削区間に崩壊等が生じた場合はケーシングを挿入せずに、その状態で計測を進める。
- 3) 前日掘削区間のケーシングによる保孔は、作業前水位計測および汲み上げ時の水位変化の計測後に行う。(地下水検層等を実施する場合も保孔前に行う。)
- 4) 掘進中にケーシング保孔が必要な場合は、ケーシング挿入前と挿入後の地下水位を記録する。
- 5) 全深度掘進終了後、ケーシングを抜いた作業完了後の孔内水位も記録する。
- 6) 前夜および当日の天候を記録する。
- 7) データは、欠測がないようにしなければならない。

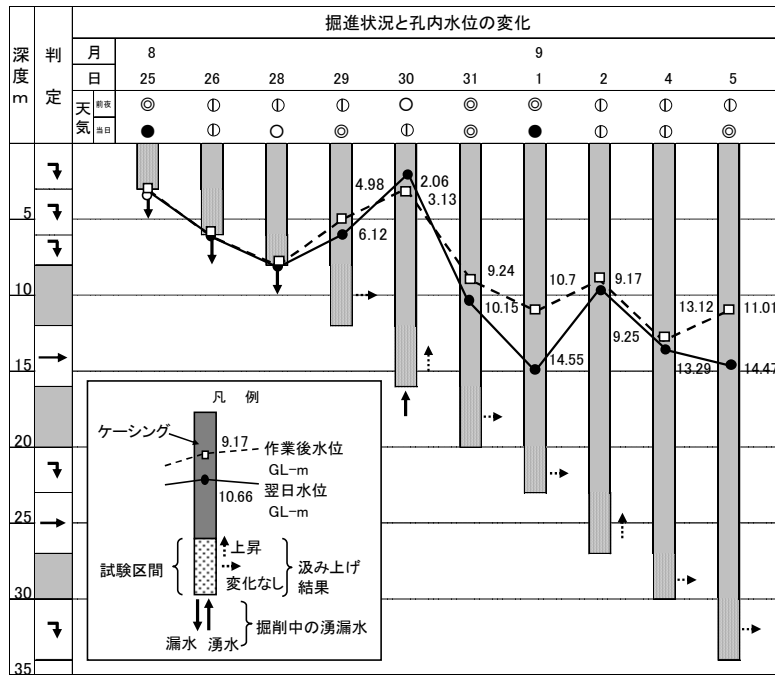
4. 結果の判定

試錐日報解析（汲み上げ法併用）の判定基準を表 解 2-1 に示す。判定は、試験区間ごとに行う。まず、作業後水位と翌日水位の変化によって、帯水層・漏水層・非透水性あるいは帯水性・漏水層あるいは帯水性の 4 つに分類する。これは、食塩検層との総合判定の際に用いる。

汲み上げ法では、「非透水性あるいは帯水層」、「漏水層あるいは帯水層」について、水位上昇が計測されていれば帯水性、そうでなければ非透水性・漏水層と判定し、分類を絞り込む（表 解 2-2）。

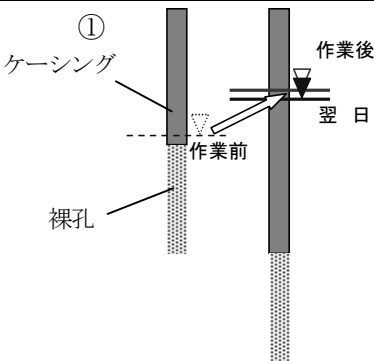


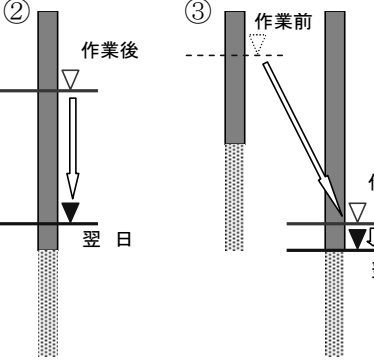


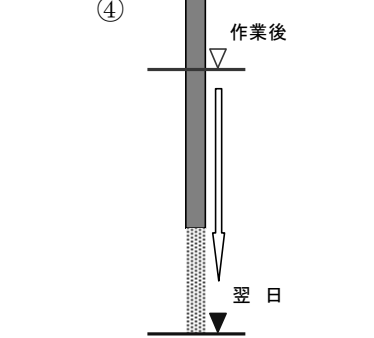

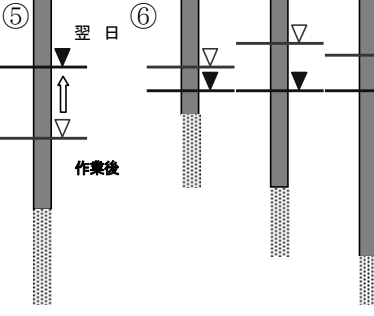


表 解 2-1 試錐日報解析（汲み上げ）を用いた水理地質区分の判定

水位の変化の特徴			試錐日報 解析判定	水 理 地 質 区 分		
全漏水	汲み上げ後 の水位上昇	翌日水位の 低下量				
有り	—	—	全漏水	漏 水 層	裸孔区間に透水性が著しく高い漏水層が存在する	
無し	有り	—	流 入	帯 水 層	裸孔区間に帯水層が存在する	 水頭高さ GL-12.45m
	無し	大	逸 水	漏 水 層	裸孔区間に透水性が比較的高い漏水層が存在し、帯水層は存在しない	
		小	変化なし	非透水性層	裸孔区間全体が透水性の低い地盤からなる	



図解 2-4 試錐日報解析 (汲み上げ法) 判定例

表 解 2-2 孔内水位変化による判定と汲み上げを併用した判定の対比

作業前後の孔内水位変化による判定（従来の方法）		汲み上げを併用した判定		
孔内水位の状況	模式的概念図	判定分類	水位変化と判定	記号
①作業前水位より作業後水位が上昇し、作業後水位と翌日水位がかわらない、ないしはわずかに低下している。		非透水層 あるいは 帯水層	◆水位が変化しない →変化なし (非透水層)	
			□水位が上昇する →流入（帯水層） 翌日水位が水頭高となる。	
②作業後水位に較べて、翌日水位が大きく低下している。 ③作業後水位に較べて翌日水位の低下量は小さいが、作業前水位に較べて作業後水位が大きく低下している。		漏水層 あるいは 帯水層	◆水位が変化しない →逸水（漏水層）	
			□水位が上昇する →流入（帯水層） 翌日水位が水頭高となる	
④作業後水位および／あるいは翌日水位がほぼ孔底まで落下している。		漏水層	全漏水	
⑤作業後水位に較べて、翌日水位が上昇している。 ⑥①～③で数ステップ間にわたり翌日水位がほぼ一定となる。 翌日水位が水頭高となる。		帯水層	□水位が上昇する →流入（帯水層）	
			◆水位が変化せず、⑤は上昇量が非常に小さい →変化なし (非透水層)	

※ この判定は、前日掘削区間がケーシングで止水されており、当日掘削区間だけが裸孔状態の場合（ステップ式調査）にのみ適用できる。それ以外の場合は別途検討する必要がある。

解説資料 3 地下水検層による水理地質区分の判定

1. 地下水検層の手法と原理

地下水検層は、ボーリング孔の孔内水の濃度や温度の変化、孔内に生じた地下水の流れを計測し、その変化や孔内水の流動状況から、帯水層や非透水層・漏水層などの位置を把握する。

図 解 3-1 は、ボーリング孔内で地下水流動が生じる様子を示したものである。帯水層が 1 枚で平衡状態にある場合(a)には、孔内への地下水の流入はなく、孔内水は流動しない。帯水層と漏水層がある場合(b)には、帯水層から流入した地下水が孔内を下降して漏水層から流出(逸水)する。水頭差のある複数の帯水層がある場合(c・d)には、水頭の高い帯水層から流入し、孔内を上昇ないし下降して、水頭の低い帯水層から流出する。

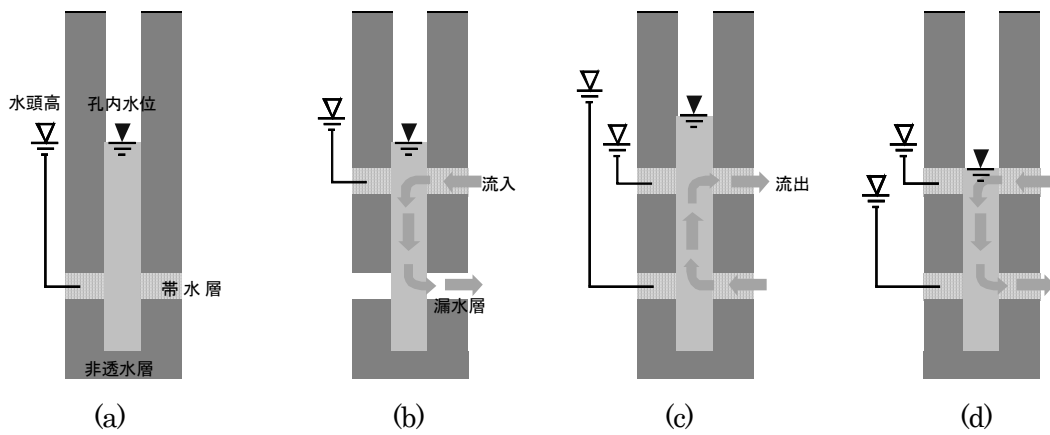


図 解 3-1 ボーリング孔内の地下水流動の原理

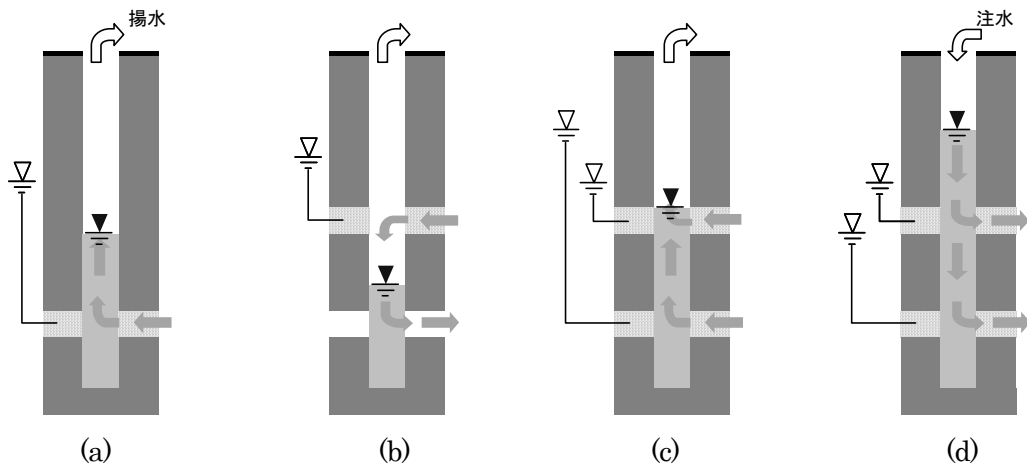


図 解 3-2 強制的に水位を変化させた場合の孔内の地下水流動

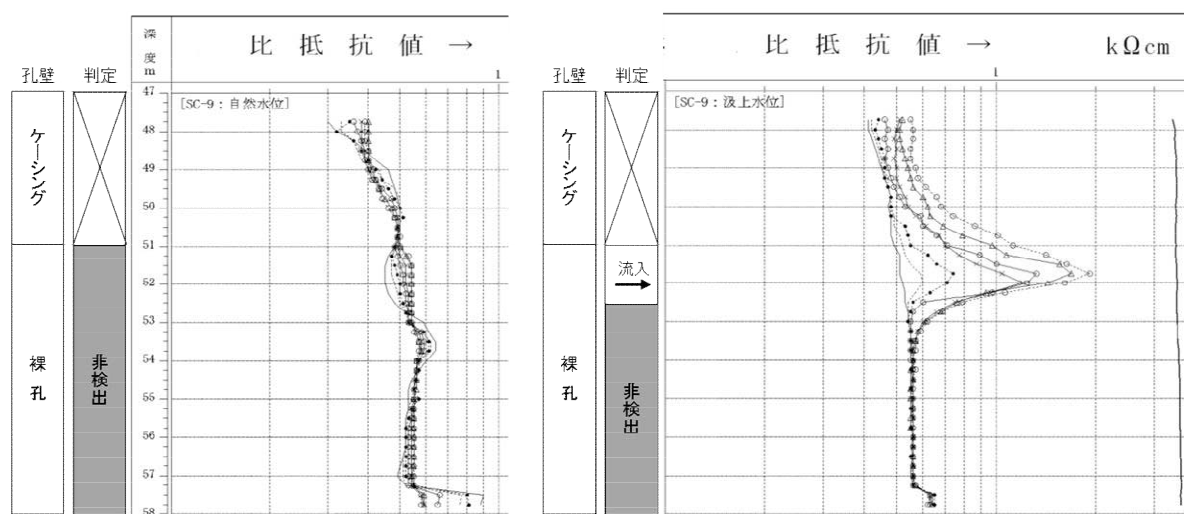
図 解 3-1 に示すように、帯水層が平衡状態にある場合は、孔内水は流動しないので、地下水検層ではそれを検出することができない。また、地下水が流出する区間が非帯水層か帯水層かは、この

ような自然状態の水位ではわからない。

図解3-2は、図解3-1の状態から水位を変化させた場合の孔内水の流動状況を示している。(a)では、水位を低下させると、孔内の地下水位が帯水層の水頭より低くなり、帯水層から孔内に地下水が流入して上昇流が生じるため、帯水層が捉えられる。(b)は、水位を低下させても地下水の流れはかわらないが、逸水区間が帯水層ではないことが確認できる。(c)は、水位を低下させると、孔内水位が逸水区間の帯水層の水頭より低下した時点で流入が生じ、帯水層であることを確認することができる。また、汲み上げによる水位低下だけでなく、注水による水位上昇によっても流動の変化が生じる(d)。

図解3-3は、平衡状態にある帯水層を含む区間において、自然状態で実施した食塩検層結果と汲み上げ法により水位を低下させて実施した検層結果を示したもので、汲み上げ法により帯水層からの明瞭な流入が捉えられている。

地下水検層には、食塩検層や孔内微流速測定・流向流速測定・加熱式地下水検層などの方法があるが、地下水検層は、自然状態（自然水位法）と強制的に水位を低下させた状態（汲み上げ法）で実施する。

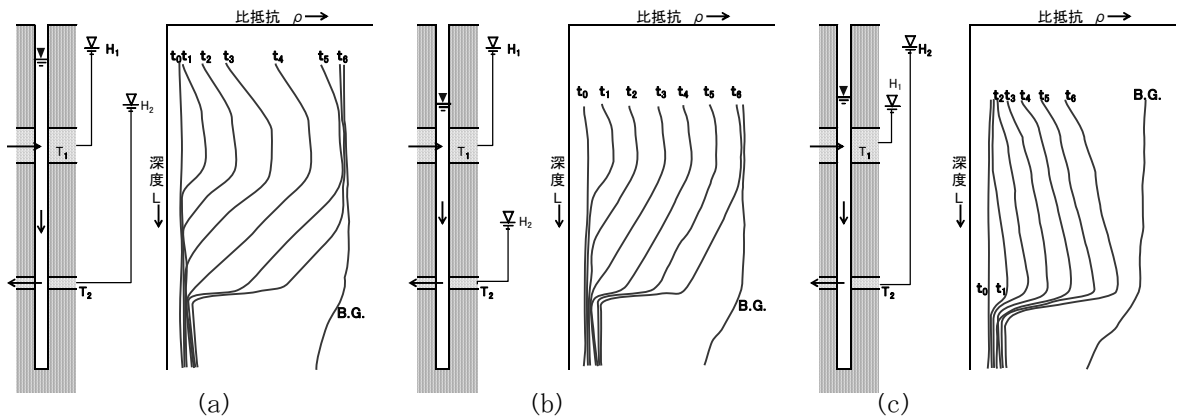


図解3-3 食塩検層による自然水位法と汲み上げ法による結果

2. 食塩検層

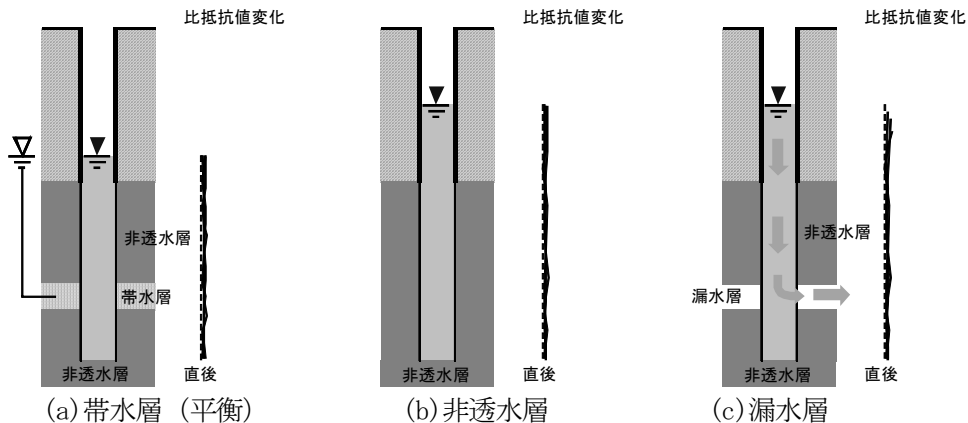
1) 手法と原理

ボーリング孔には、帯水層や透水層の影響を受けて、孔内水に流動が生じていることがある。このような場合に、孔内に均一に食塩を溶かして孔内水を電気抵抗の低い水に置き換えると、外部からは電気抵抗の高い地下水が流入して食塩濃度が薄められるため、電気抵抗を計測することで地下水の流入を知ることができる。孔内に流入した地下水は、孔内を上昇あるいは下降しながら、鉛直方向に孔内水を徐々に希釈させ、その希釈率は流入部ほど大きいので、上昇流や下降流を検出することができる（図解3-4）。



図解3-4 複数の帯水層と地下水流動の検出の事例

連続ステップ孔内試験では、裸孔区間が短いので、試験区間に性状が大きく異なる帯水層や漏水層が複数枚あることは少なく、図解3-5のような状況が多い。帯水層は、透水係数が比較的大きいので、帯水層が一枚の場合、翌日水位がほぼ平衡水位となる。このため、試験区間に帯水層があっても自然水位法ではほとんど流動が起らない。また、非透水層は透水性が極めて小さいので流動が起らず、漏水層では流動があっても検出できないので、帯水層と区別することができない。



図解3-5 連続ステップ孔内試験での食塩検層（自然水位法）で流動が検出されない事例

帯水層や漏水層が複数枚あるとき（図解3-6）は、平衡状態では孔内水位は帯水層の水頭と一致

しないので、自然水位でも孔内には流動が生じ、流入部に帯水層があることや漏水層があることが把握できる。

しかし、自然状態では、逸水区間が孔内水位より水頭が低い帯水層であるか、漏水層であるのかはわからない。このように自然水位法だけでは、水理地質を十分に把握することはできない。

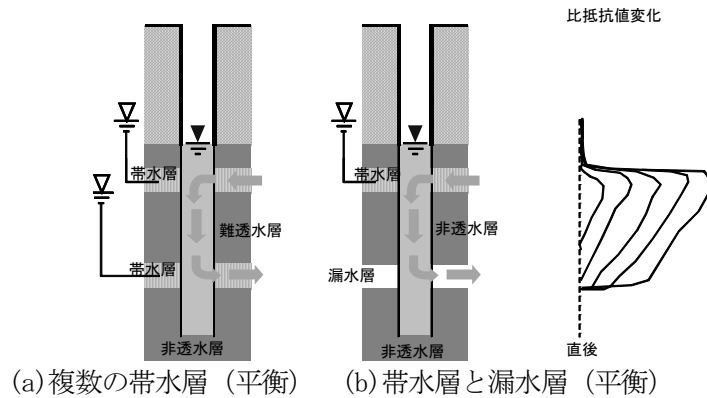


図 解 3-6 連続ステップ孔内試験での食塩検層（自然水位法）で流動が検出される事例

図 解 3-5 a の状態で孔内水を汲み上げると、孔内水位より帯水層の水頭が高くなるため、帯水層からの地下水流入と孔内の上昇流が生じ、帯水層を検出することができる（図 解 3-7 a）。帯水層の水頭高さは、平衡水位に等しく、明瞭な逸水区間はあらわれない。

汲み上げ法でも流動がほとんど認められない場合（図 解 3-7 b・c）には帯水層はなく、非透水層が漏水層である。ただし、非透水層と漏水層の識別は汲み上げ法ではできない。

図 解 3-6 の例で孔内水を汲み上げて水位を低下させていくと、逸水区間が帯水層の場合（図 解 3-6 a）には、孔内水位がその水頭を下回った時点で流入に変化する（図 解 3-7 d）。この帯水層の水頭高さは、流入が始まったときの孔内水位に等しい。一方、逸水層が漏水層の場合（図 解 3-6 b）では、地下水位をいくら低下させても流入が生じない（図 解 3-7 e）。

連続ステップ孔内試験における食塩検層では、自然水位法と汲み上げ法を実施する。

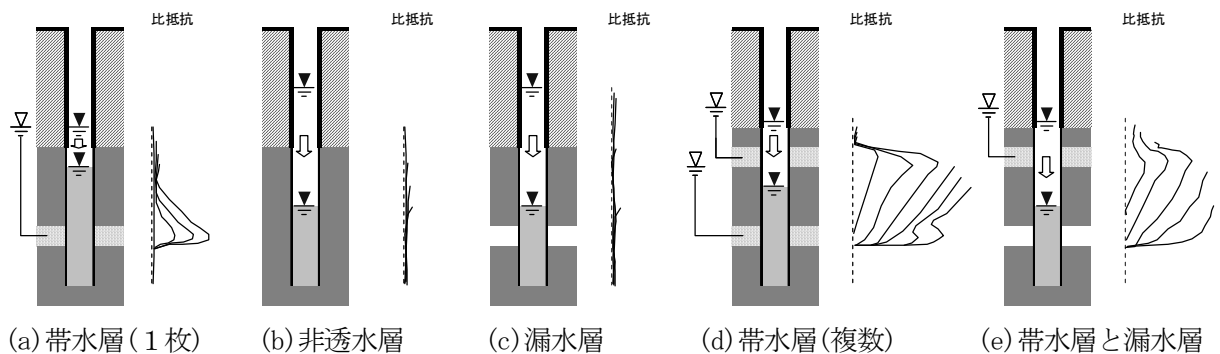


図 解 3-7 連続ステップ孔内試験における汲み上げ法による検層結果

2) 測定方法と結果の整理

食塩検層の実施方法については、地盤工学会基準（JGS1317-2003）トレーサーによる地下水流動検層方法で基準化されており、検層方法などの詳細は同基準に準じるものとする。ただし、連続ステップ孔内試験においては、自然水位法と、汲み上げ法の両者を実施することを標準とする。電気抵抗の計測方法には、電極を 25cm ごとにつけた多極式と電極が先端部のみにつけた単極式がある。

<自然水位法>

- ① あらかじめ孔内水の電気抵抗値（バックグラウンド値：BG 値）を測定する。
- ② この値の 1/10 程度の電気抵抗値になるように食塩等の電解物質を孔内に均一に注入する。
- ③ 食塩水投入直後、10・20・30・60 分などの間隔で孔内水の電気抵抗値を測定する。
- ④ 各計測前には孔内水位を計測し、水位低下があるか否かをチェックする。
- ⑤ 測定時間は、電気抵抗値の回復がほとんどない場合はそれが確認できた時点で終了し、回復がみられる場合は明瞭な流入が確認できた時点で終了とし、引き続き汲み上げ検層を実施する。

<汲み上げ法>

自然水位法が終了した後、汲み上げ法を行う。

汲み上げ法の実施方法は、自然水位法で明瞭な流入があるか否かによって、表 解 3-1 のように実施する。測定ごとに必ず水位を計測する。

検層結果は、時間ごとの比抵抗値の変化を地質柱状図に対比させて記入する。

表 解 3-1 汲み上げ法の実施方法

自然水位法の結果	汲み上げ法の実施方法
流入がない	食塩は再投入せずに、引き続き汲み上げ法を実施する。 流入が生じるまで段階的に水位を低下させる。 測定は、5～10分間隔程度で行い、流入の有無が確認できた時点、あるいは大幅に水位を低下させても流入がないことを確認した時点で終了。
流入がある	食塩は再投入せずに、引き続き汲み上げ法を実施する。 水位を段階的に低下させながら計測を行い、逸水部の有無と、逸水から流入への変化を確認する。計測は5～10分間隔程度で行い、終了判断は次のようにする。 <明瞭な逸水部がない場合> 裸孔区間に逸水がないことが確認できた時点で測定を終了。 <明瞭な逸水部がある場合> 逸水部から明瞭な流入が確認できた時点、あるいは大幅に水位を低下させても逸水部から流入がみられないことを確認した時点で終了。 最大汲み上げ量でも水位が低下しない場合はその時点で終了する。

3) 調査の留意点

判定精度を向上させるためには、食塩を均一な濃度に溶かすことが重要である。濃度の差が大きい部分では、拡散等によって流動がない部分でも変化が生じることがある。また、ベラー等による攪

拌も効果的である場合がある。












地下水検層は、裸孔で行うことを標準とする。崩壊等の危険があり、保孔管を挿入して実施する場合は、裸孔の場合にくらべて流動が不鮮明になることが多く、判定に留意する必要がある。

ケーシング下端付近からの流入がみられる場合は、ケーシング区間の帯水層からの地下水の可能性があり、ケーシングによる止水が十分であったかどうかを検討する必要がある。

4) 結果の判定

自然水位法および汲み上げ法による孔内水の比抵抗値の変化状況から、表 解3-2のように、流入検出・上昇流状検出・下降流状検出・非検出・その他（逸水など）の判定を行う。それぞれの判定に対応する水理地質分類もあわせて示す。なお、食塩濃度と比抵抗値の関係は直線関係にはなく、比抵抗値の絶対差が流入量の多寡とは限らないので、BG 値（バックグラウンド値）・食塩投入直後の比抵抗値・比抵抗値の変化状況を踏まえて判定する必要がある。

表 解3-2 食塩検層結果の判定基準

判定	記号	比抵抗値の変化の特徴	水理地質区分	
全漏水		孔内水位が形成されない。	漏水層	
非検出		地下水の流動がほとんどみられない。	非透水層	
流入		周囲よりも回復が大きい。	帯水層	 水頭高さ GL-12.45m
逸水(流入なし)		鉛直流の比抵抗値が急激に低下あるいは消滅する。逸水区間付近まで水位を低下させてもそこからの流入がない。	漏水層	
逸水(流入不明)		鉛直流の比抵抗値が急激に低下あるいは消滅する。水位が低下しないなどの理由で流入の有無は不明。	漏水層 あるいは 帯水層	
上昇流		流入した電気抵抗の大きな地下水が孔内を鉛直に上昇する区間で、回復は流入部で最も大きく、徐々に上に向かって小さくなる。 自然状態では、ふつう、流入部からケーシング下面までの間に1つ以上の逸水区間が存在する。	非透水層	
下降流		流入した電気抵抗の大きな地下水が孔内を鉛直に下降する区間で、回復は流入部で最も大きく、徐々に下に向かって小さくなる。 自然状態では、ふつう、帯水層から孔底までの間に1つ以上の逸水区間が存在する。	非透水層	

3. 孔内流向流速測定

孔内流向・流速測定はボーリング孔内の孔内水の流向・流速を測定できるプローブを挿入し、深度方向に連続して測定することで水みちを検出する計測手法である。計測器は、プロペラ式や電磁式フローメーターにより鉛直方向の水流を測定するもの、ビデオカメラにより孔内水中の浮遊粒子の方向と量から水平方向の流速・流向を解析するものなど複数存在する。また計測手法は、孔内水位を定常状態で測定するもの、注水あるいは揚水により孔内水の水頭を変化させることで水みちを検出しやすくする手法もある。

地すべり調査で適用できる、現在国内で入手可能な孔内流向・流速測定器を表 解 3-3 に示し、試験結果の例を図 解 3-8 に示す。

1) 孔内微流速測定¹⁾

①手法と原理

ボーリング孔内水の鉛直方向の流速を計る調査手法で、透水係数が 10^{-6}m/s (10^{-4}cm/s) 以上の比較的高い透水性を示す地盤に適した試験である。また、不圧地下水と被圧地下水の区別なく透水係数が求められること、試験区間を限定する必要がない、すなわち試験区間を長くとった方がより良いデータが得られるという特徴がある。

また、孔内水の水質には影響を受けないので、食塩検層では実施が難しい電気伝導度が高い地下水でも実施可能である。

ただし、孔内微流速計の測定原理は、孔内水の動きを羽根の回転を光学センサにて検出するため、孔内水が濁っている場合には羽根の回転部に微粒子が詰まって回転が渋くなること、あるいは光学センサの感度が下がることがある。そのため、ステップ式で使用する場合は孔底に溜まっている沈殿物をできるだけ巻き上げないように注意するとともに、沈殿材を投入するなどの測定条件（環境）を改善する。

②測定手順

一般的にはプローブを孔底まで降下し、各深度で流速を測定しながら引き上げる。測定間隔は 0.25~0.5m 間隔が標準であるが、流速の変化する箇所は 0.1m、変化のない区間は 1m など適宜調整する。

孔内水の上下流の判定は、同一区間にてプローブを上下させて上昇時にカウント数で減少するなら上昇流、上昇時に増加するなら下降流である。なお、孔内水が濁っている場合は沈殿物を巻き上げないようにプローブを下げながら測定を行い、上昇流・下降流の判定は流速の計測後に実施するなど工夫が必要である。

③結果の解釈

測定結果の模式図を図 解3-8に示す。自然状態での測定により、2層以上の透水層が存在する場合は水頭の高い層から低い層へとボーリング孔を通じて上昇流あるいは下降流が生じる。このとき、流速が変化する区間が帯水層であり、その流向からそれら帯水層が被圧している帯水層（湧水区間）か漏水層（逸水区間）かを判別できる。

また、注水（あるいは揚水）して自然状態から水頭を変化させることで、孔内水の流速や流向が変化する。自然状態と注水状態の差を取り、流速差の勾配が急な部分は透水性が高い、逆に勾配が緩い部分は透水性が低いことを示す。

なお、流速差の勾配は単位区間あたりの湧水あるいは逸水の変化量であり、de Dupit の式を適用して透水係数を求めることができる（算出方法は文献¹⁾を参照）。

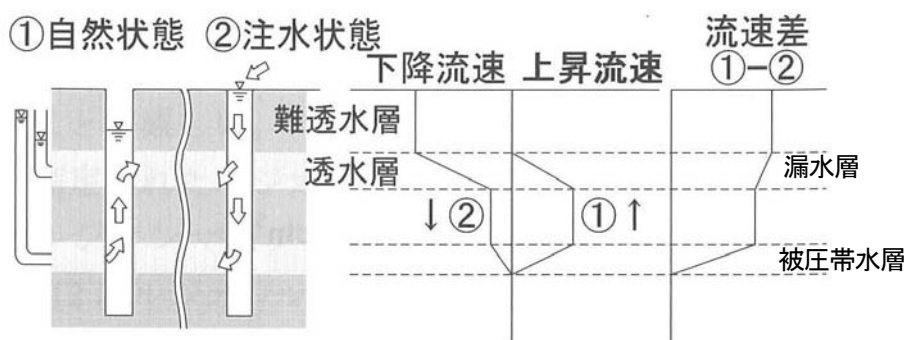


図 解3-8 孔内微流速測定概念¹⁾に加筆

2) 流向流速測定

①手法と原理

ボーリング孔内水の水平方向の流向と流速を計る調査手法で、透水係数が $1 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-3} \text{m/sec}$ ($1 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$) の透水性を示す地盤に適した試験である。孔内水の水質には影響を受けないので、食塩検層では実施が難しい電気伝導度が高い地下水でも実施可能である。

孔内微流速計の測定原理は、地下水中に混入している微細物質をトレーサーとして動きをカメラで捉え選択して移動距離と方向を求めるものである。撮影映像を保存することにより、測定後に結果を整理することも可能である。地下水中の微細物質に光を当ててできた影を捉えるため、孔内水の濁度が高い場合には影を捉えにくくなることがある。そのため、孔底に溜まっている沈殿物をできるだけ巻き上げないようにプローブの上げ下げには注意が必要である。

②測定手順

プローブを測定深度まで移動させ固定した後に撮影映像を確認しながら、タブレット PC に撮影された画像に表示された微細物質の移動をタッチペンで追尾することで流向と流速を即時に確認する。各深度にプローブを移動させることにより孔内水が掻き乱されるため、孔内水の流れが一定になることを確認した後に測定を実施する必要である。

表 解 3-3 孔内流向・流速計測手法一覧

計測手法	適用径	概要
孔内微流速測定	φ 50mm 以上 (外径 42mm)	<ul style="list-style-type: none"> ・プローブに取り付けられたプロペラの回転により、孔内水の下降流・上昇流の流速を計測する。 ・プロペラの回転数は、光電素子により検出するため孔内水の濁度が高い場合は測定することができない。 ・注水あるいはくみ上げにより孔内水の水頭を変えて測定すると透水係数の算出が可能。 ・適応流速 2~200cm/秒。 ・従来型はセンサ部が組立式なので、現場での分解清掃が容易。改良型はセンサ部が固定式なので取扱いは容易。
流向流速測定	φ 40mm 以上 (外径 34mm)	<ul style="list-style-type: none"> ・ビデオカメラで撮影した孔内浮遊粒子の動きの方向や速度から水平方向の流向・流速を半自動で算出する。 ・浮遊粒子がない清水の場合は、トレーサーを投入する。 ・適応流速 0.01~6.00mm/秒。 ・孔内水の濁度が高いと測定できない。

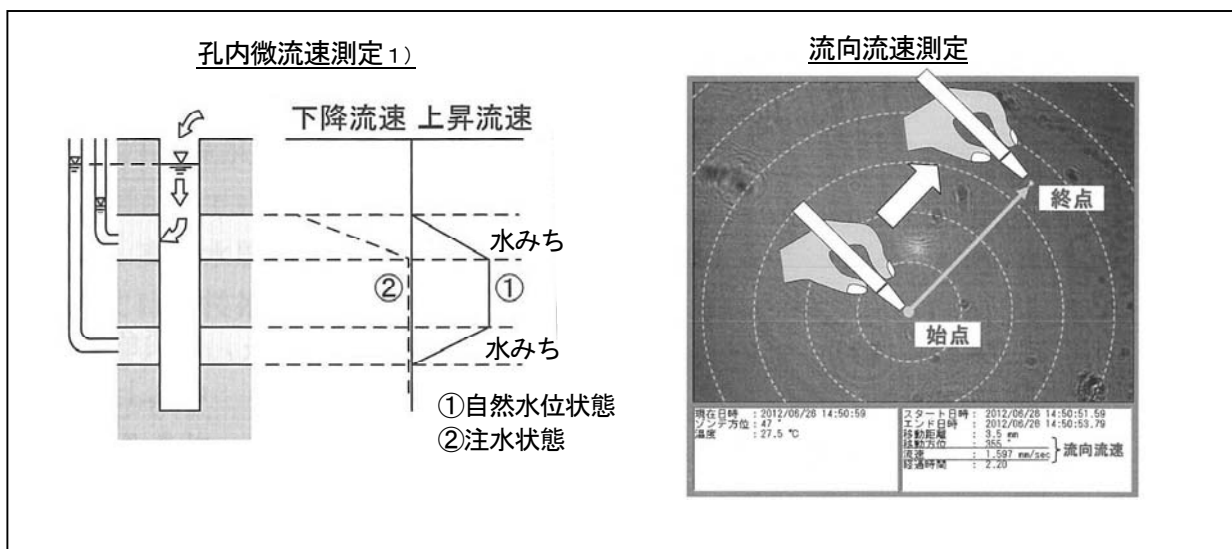
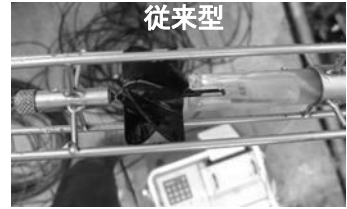


図 解 3-9 孔内流向・流速測定の結果例

③実施上の留意点

孔内流向・流速測定を実施する際は、計測器の外径に応じた削孔径や保孔管を使用する必要がある。したがって、使用する計測器や実施時期などの計画をボーリング調査の計画時にあらかじめ立てておく必要がある。

孔内流向・流速測定を裸孔条件で実施する場合は、孔壁崩壊や浮遊物の沈殿による孔内事故に留意する。孔内事故の軽減のためには、先に手計り式水位計や確認用のプローブ等を挿入して安全を確認したうえで計測機器を挿入する方法がある。

水理地質区分の検討は、測定結果に加えボーリングコアの割れ目などの状況や試錐日報解析の結果を考慮する。その際、計測時の揚水や注水によりボーリング孔の孔壁や周辺の水みちの状態が変化し、計測の前後で透水性が変わることがあることに留意する。

3) 加熱式地下水検層

①測定の方法と機器の構成

加熱式地下水検層は、ヒータで加熱された地下水の温度の変化から地下水流動層の深度と規模を検出する方法で、その原理は、発熱体による孔内水温の上昇・下降が地下水流動による熱損失で変化すると考えに基づいている。

加熱式地下水検層器の機器構成の模式図を図 解 3-10 に、使用機器を図 解 3-11 に示す。加熱式地下水検層器は、ヒータと温度センサを配置した「検層器」、検層器を一定速度で降下させる「昇降機」、データ計測・収集の「計測器類」で構成される。

検層器のセンサの配置を図 解 3-12 に示す。検層器は、地下水を加熱するヒータの上下に地下水温を測定する温度センサを取り付けたプローブである。センサを降下させながら観測孔内の温度を約 1 cm ごとに計測する。地下水流動層では、ヒータによりいったん上昇した地下水温が、ボーリング孔内に流入する地下水で熱が奪われることにより低下することを利用して流動層を検出する。

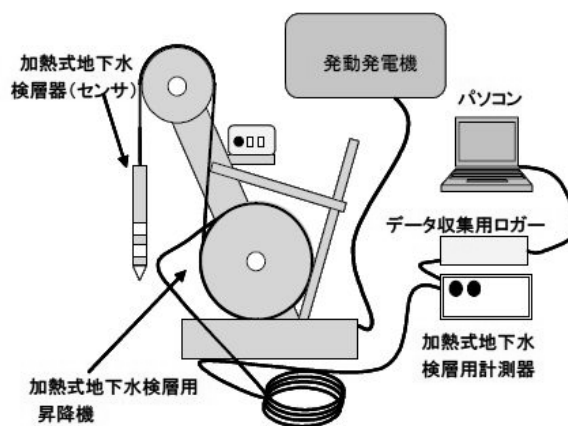


図 解 3-10 加熱式地下水検層器の構成模式図

②測定と結果の整理

観測孔内の地下水面にセンサを降下させながら、もとの地下水温 T_{w1} 、ヒータにより加熱された地下水温 T_h 、加熱後一定時間経過した後の地下水温 T_{w2} を計測する。ここから、各深度における加熱率 λ を

$$\lambda = (T_{w2} - T_{w1}) / (T_h - T_{w1}) \quad \dots (1)$$

により求める。地下水の流動が大きいほど、加熱された地下水温が素早く低下し、 λ が小さくなる。



- ①加熱式地下水検層器センサ
 - ②昇降機
 - ③計測器
 - ④AD 変換器
 - ⑤ノート PC
 - ⑥発動発電機
- (総重量約 70 kg)

図 解 3 - 1 1 加熱式地下水検層器の機器構成

ただし、流動層の検出の基準となる水流の影響のない深度の加熱率 λ_b は、観測孔ごとに異なる（地質、水質等の影響と推察される）。そこで、 λ_b を標準化するため、水流がないと考えられる深度の加熱率を 1.0 とする基準化した加熱率 λ_d を

$$\lambda_d = \lambda / \lambda_b \quad \dots (2)$$

により求めた上で、 λ_d から流量 Q を求める以下の実験式が提案されている。

$$Q = 495.53\lambda_d^2 - 1187.30\lambda_d + 691.36 \quad \dots (3)$$

ただし、式 (3) を作成するために実施された実験では、センサ部の流量を直接計測したわけではないため、(3) 式により求められる流量は、供給される流量の多少を表しているものと解釈すべきである。

加熱式地下水検層による地下水調査結果の一例を図 解 3 - 1 3 に示す。この観測孔では、地下水面付近（深度 31.5 m 以浅）の Q が大きく、大きな地下水流動が存在すると判断される。

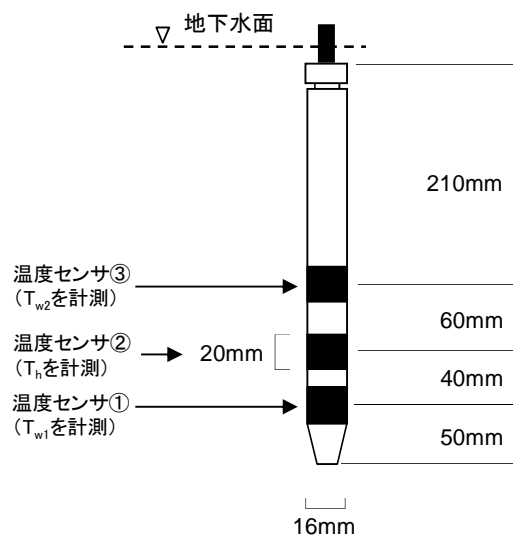


図 解 3 - 1 2 検層器センサ配置図

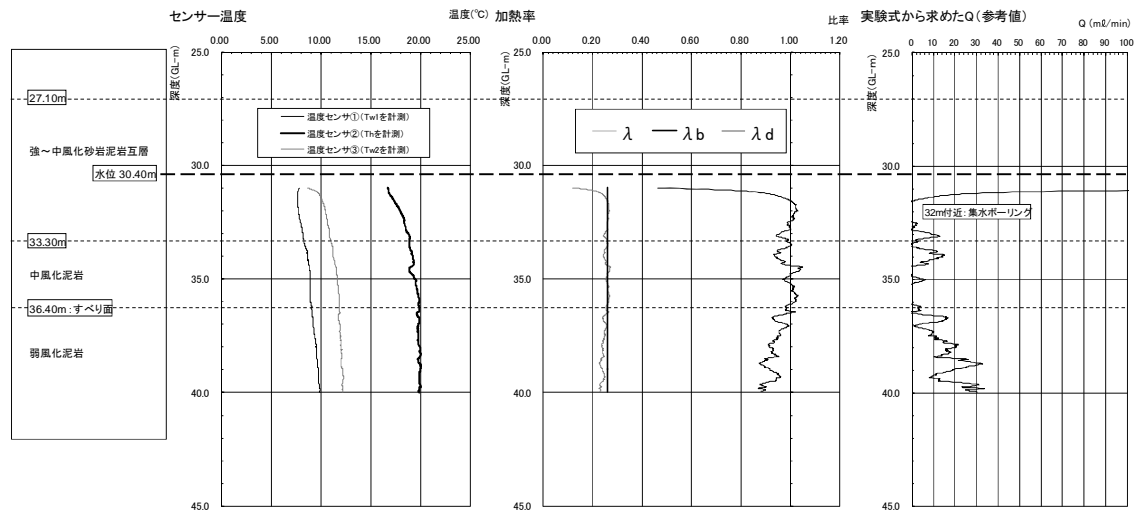


図 解 3 - 1 3 加熱式地下水検層の結果の一例

参考文献

- 1) 関東地質調査業協会 (2005) : 現場技術者のための地質調査技術マニュアル、pp.188-191.

解説資料 4 部分ストレーナ孔の標準的な構造の検討と設置における留意点

1. 概説

本章では、部分ストレーナ孔の標準的な構造を示し、地盤状況や水理地質区分に合ったボーリング削孔径や設置資材の選定方法を述べる。また、部分ストレーナ孔の設置において各部分の所定の機能を発揮し、施工不良や異常が生じないための留意点について解説する。

なお、ここでは部分ストレーナ孔を対象とし、全区間ストレーナ孔および変位計測併用孔（パイプ歪計と地下水観測の併用等）は対象としない。

2. 部分ストレーナ孔の標準的な構造および設置資材の選定

1) 部分ストレーナ孔の標準的な構造

部分ストレーナ孔の標準的な構造を図 解 4 - 1 に示す。部分ストレーナ孔は、保孔管、止水材、間詰材およびフィルター材等の設置資材から構成され、止水材の種類に応じて3つの標準的な構造に分けられる。1つ目は、吸水により膨張する性質のゴム製止水材を保孔管に巻きつけて孔内に挿入し、地山の地下水により止水材が膨張することで止水する方法である。2つ目は、孔内に保孔管を入れた後にベントナイト系の材料を孔口から投入し、地山の地下水により材料が吸水膨張することで止水する方法である。3つめは、パッカーを保孔管に被せて孔内に挿入し、パッカーに水圧をかけて膨らまして孔壁と密着させて止水する方法である。いずれの方法も実績があるので、削孔径や水理地質鉛直分布調査時の状況や部分ストレーナ区間の検討結果に基づき適宜選定する。止水材の選定方法の詳細は4) で述べる。設置資材は地盤状況や水理地質区分に応じて適切に選定する。

2) ボーリングの孔径

削孔径はφ66mm～86mmが標準的であり、使用する保孔管や接続方法、止水材の種類等を考慮して決める。削孔径と保孔管の外径とのクリアランスが小さい場合は、止水材や間詰め材の使用時に詰まりや充填不良などのリスクが高くなるので作業には細心の注意が必要となる。

φ66mm：VP40 塩ビ管でねじ切り接続・止水材はゴム製止水材やベントナイトを使用する場合

φ86mm：VP40 塩ビ管でソケット接続・止水材はベントナイトペレットを使用する場合

VP50 塩ビ管でねじり接続、孔内微流速測定など内径50mmまでの機器を挿入する場合

VP40 塩ビ管で止水材にパッカーを使用する場合

1孔にVP30 塩ビ管を2本入れて2層の帯水層の地下水位を計測する場合 など

3) 保孔管

保孔管には塩ビ管が通常用いられ、保孔管内外の水の出入りを妨げないようにストレーナ加工を施す。塩ビ管の径はVP40が標準的であるが、検層を行う場合に孔径の大きいVP50を、複数深度で観測

するために複数の塩ビ管を設置する場合など場合に VP20~30 を使用することがある。保孔管の接続方法はねじ切りが標準的であり、削孔径に余裕がある場合には、ソケット式やスリーブ継手などの方法も用いられる。

ねじ切り加工の塩ビ管を使用する場合、深度管理に注意することが必要である。ねじ加工をした分、塩ビ管を継いだときの長さが短くなることを考慮し、使用本数を算出する必要がある。また、ねじ切りの加工に偏心が無いことも重要である。精度良く加工された塩ビ管の接続部（ねじ部分）は十分な引張強度を有している（図 解 4-2）。VP40 の場合、安全率として 3 を見込んでも、200m 程度の長さまで自重に耐える（接続した塩ビ管の端を持ち上げても切れることはない）が、ねじ加工の軸が偏心している場合は、設置作業中にねじ部が切れることがある。

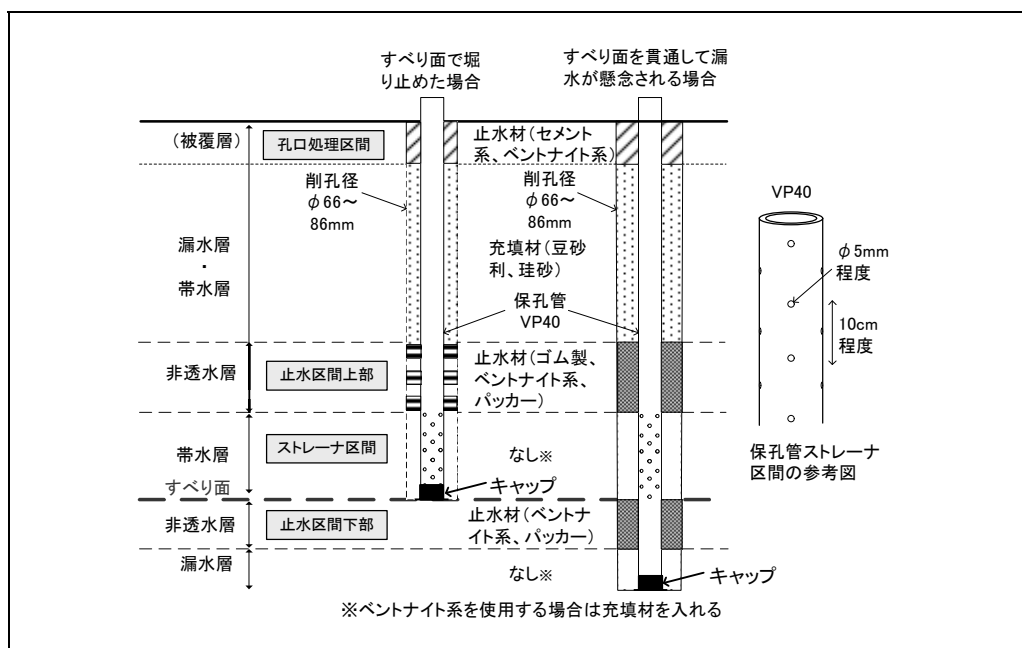


図 解 4-1 部分ストレーナの標準図

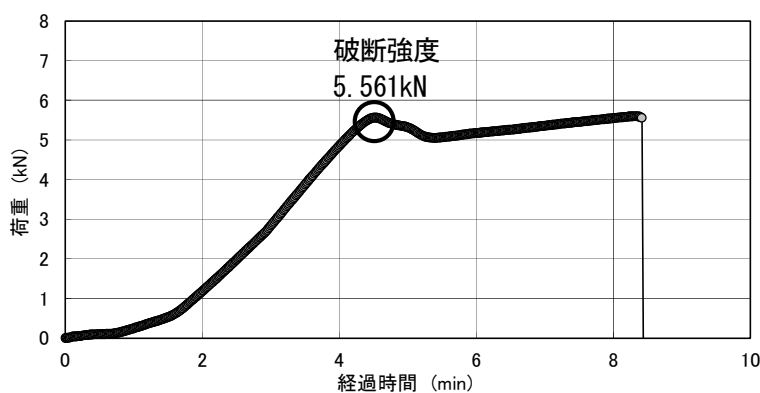


図 解 4-2 引張試験結果の例(VP40)

4) 止水材

一般的な止水材の組み合わせを図 解 4-4 に示す。孔口からの地表水の流入を防止するためには、止水材にセメント系（セメントミルク、モルタル）、ベントナイト系（ベントナイト、ベントナイトペレット）を用いる。また、ストレーナ区間の上下の止水区間には、ベントナイト系、ゴム製止水材、パッカーを用いる。また、上部止水区間の範囲がはっきりしない場合などに、確実な止水を期待するために、複数の止水材を組み合わせることもある。止水区間の止水材の選定の考え方を次に示す。

ベントナイト系；非透水層が不明瞭で、できるだけ長い止水区間を設けた方が良い場合。削孔径と保孔管のクリアランスが十分に確保できない場合。

ゴム製止水材；非透水層が明瞭で、かつ帯水層の地下水位が止水区間より低下することが無いと予想される場合。

パッカー；非透水層が明瞭で、削孔径と保孔管の十分なクリアランスが確保できる場合。帯水層の地下水位が止水区間より低下することが予想される場合。



図 解 4-3 ゴム製止水材の例

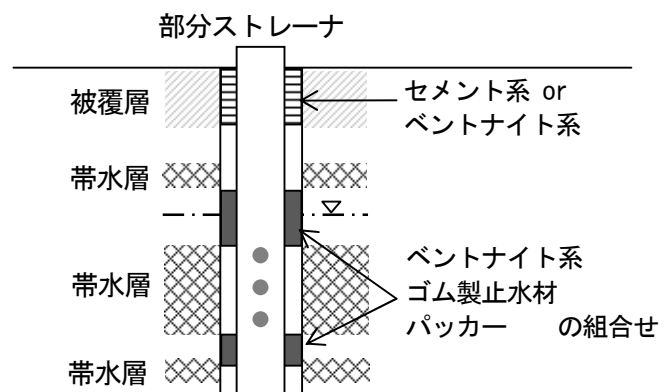


図 解 4-4 止水材の種類組み合わせ（一般的な方法）

5) 間詰材・フィルター材

間詰材とフィルター材は、孔内外の水の流れを妨げず、フィルター効果（地山の細粒分や間詰材が保孔管内に入らないようにする効果）を両立する組み合わせとなるように選定する。ストレーナ計画区間の帯水層のコアの状況から下記を参考にして判断する。

細粒分が少ない：間詰材は豆砂利や2～3号珪砂、フィルター材は防虫網

細粒分が多い：間詰材は砂や3～4号珪砂、伸縮フィルターや繊維フィルター など

※珪砂6～8号は地下水の流れに影響する可能性があるので使用しない

6) 孔口処理

地表水や表層地下水の浸入防止を図るためには、塩ビ管に無孔区間を設ける方法や、塩ビ管と地山

の間をセメント系やベントナイト系の止水材で充填する方法などがある。

塩ビ管の立ち上がり部を積雪等の外力から保護するためには、保護コンクリートを打設する方法、孔径の大きい塩ビ管やガス管を被せる方法、マンホールや保護箱に埋めるなどの方法がある。

3. 部分ストレーナ孔の設置における留意点

部分ストレーナ孔の設置においては、観測孔の各部分が所定の機能を発揮できるようにするため、施工の不良や異常が生じないように確認しながら行うことが重要である。本節では、ボーリング径の選定、設置前のスライムや漏水等の孔内状況の確認および対処、保孔管の取り扱いや止水材等の各設置部材の使用上の留意点について詳述するとともに、設置後の作業として孔口処理や孔内洗浄および水頭高の確認について述べる。

1) 設置前の孔内状況の確認および対処

保孔管設置前に計画した構造の観測孔が設置できるか、以下の項目を確認する。

- ①裸孔部分の崩壊による孔閉塞
- ②スライムの堆積による深度不足
- ③漏水などの孔内状況

①の場合はコアチューブ挿入による再掘削、②はロッドクラウンによる孔内洗浄など、ボーリングマシンによる作業となる。孔壁崩壊が止まらない際は、ケーシングの挿入や余掘り区間の設定など、対処方法を検討する。③は、孔内水がすべり面より低下する現象への対処であり、掘進中の状況からすべり面以深の漏水区間（漏水層）を掘りぬいたと判断される場合は（図 解4-5）、すべり面の間隙水圧を測れるように孔内水が回復するように埋戻し、あるいは止水を行う。埋戻しは、濃い目のセメントミルク、ベントナイト、吸水膨張性高分子材を用いる（図 解4-6）。

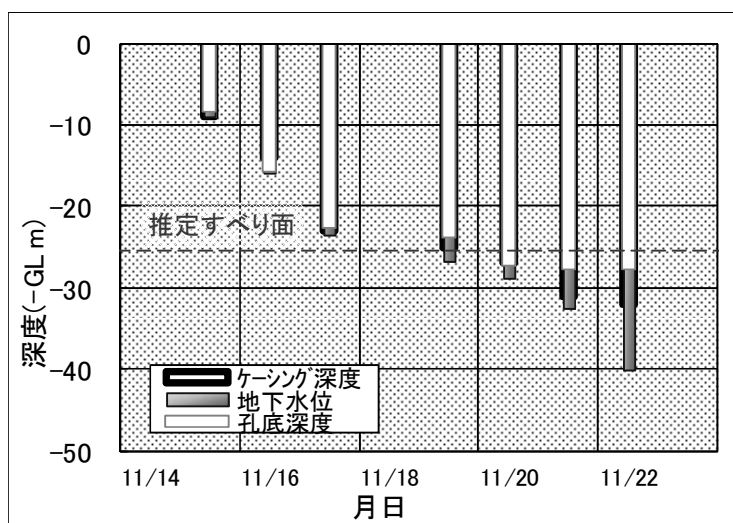


図 解4-5 すべり面以深で孔内水が低下した試錐作業日報

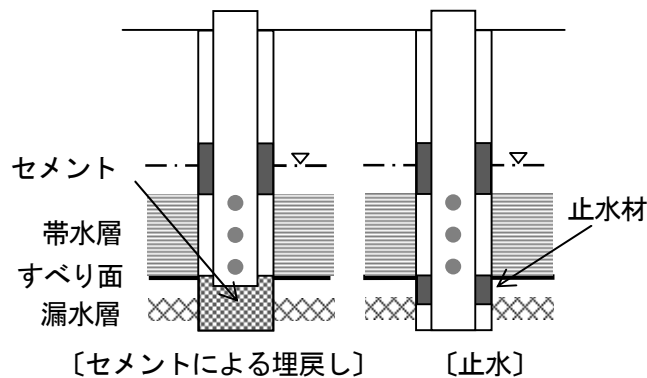


図 解 4-6 すべり面下の漏水層を掘りぬいた場合の対処法

2) 保孔管の取扱い

正常の精度で削り加工された塩ビ管のねじ部は十分な引張強度を有しているが、ねじ部が運搬中の衝撃などで割れている場合はねじ部が切れて設置中に落下する事故につながる恐れがある。特に、VP30以下では雌ねじ部の肉厚が薄くなるので注意が必要である。ねじ部の破断状況を図 解 4-7 に示す。保孔管をボーリング作業箇所まで運搬にする際には、保孔管の端部を保護するとともに丁寧にとり扱い、さらに挿入時には運搬時の衝撃による破損が無いことを確認する。



図 解 4-7 引張試験の破断後の状況

3) 保孔管の挿入方法

設置深度が浅い場合は保孔管を手で保持しながら挿入できる。ただし、ストレーナ区間に巻いたフィルター材は滑りやすいので注意すること。深度が深い場合は、落下防止のため、塩ビ管用の固定バンドや吊り下げ治具を使う方法、または孔底に固定したワイヤで吊り下げる方法で設置する。深度の目安としては、VP40 で 40m、VP50 で 30m を超える場合である（フィルター材を巻いている場合）。なお、細いワイヤ（φ2mm 以下）はキンクして切れやすいため、つり下げ等に使用しないことが望ましい。

4) 止水材の設置方法

止水材には、①あらかじめ塩ビ管に設置するもの（ゴム製止水材、パッカー）と、②保孔管設置後に孔口から投入するもの（ベントナイト、ベントナイトペレット）がある。

①については、計画した深度に対応する塩ビ管にあらかじめ材料を取り付けておく。ゴム製止水材は十分な止水性能を確保できるように、保孔管と孔壁のクリアランスや予想される水頭から適切な巻き方や段数を調整する。パッカーは、加圧した際にボーリング孔に確実に密着する径や長さのものを使用する。特に、大深度では止水部にかかる水圧が高くなるためパッカー区間を長くする。ゴム製止水材を使用する場合で止水区間がケーシング挿入区間と重なる場合は、塩ビ管挿入後に速やかにケーシングを抜管して、ケーシング内でゴム製止水材が膨張しないようにする。

②については、保孔管設置後に孔口から材料を投入して計画した深度に到達するよう、触針式水位計や検尺棒などで沈殿状況を確認しながら設置し、過不足がないようにする。ベントナイトペレットを用いる場合は、より確実な止水効果を得るために材料投入時に適宜突き固めを行うことが望ましい。

5) 間詰材の充填方法

孔口から直接投入する方法を原則とする。充填不良を防ぐための留意事項は次の通りである。

- ・水を流し込みながら充填作業を行い、触針式水位計や検尺棒などで沈殿状況を確認しながら設置する
- ・塩ビ管の口もとを手で揺らしながら少量ずつ時間をかけて充填する。特に砂など細かい間詰材を使用する場合は孔内水の区間で沈降する時間が掛かるため、充填しすぎないように投入後に時間をおいてから次の投入を行うなどの対応が必要である（図 解4-8）。
- ・ケーシングを挿入している場合は抜管しながら充填を繰り返さず（2~3本ずつが良い）。
- ・細い径の塩ビ管を投入管路として用いて、孔底から引き揚げながら充填すると、より確実に充填ができる（適用深度 50m 程度まで）。

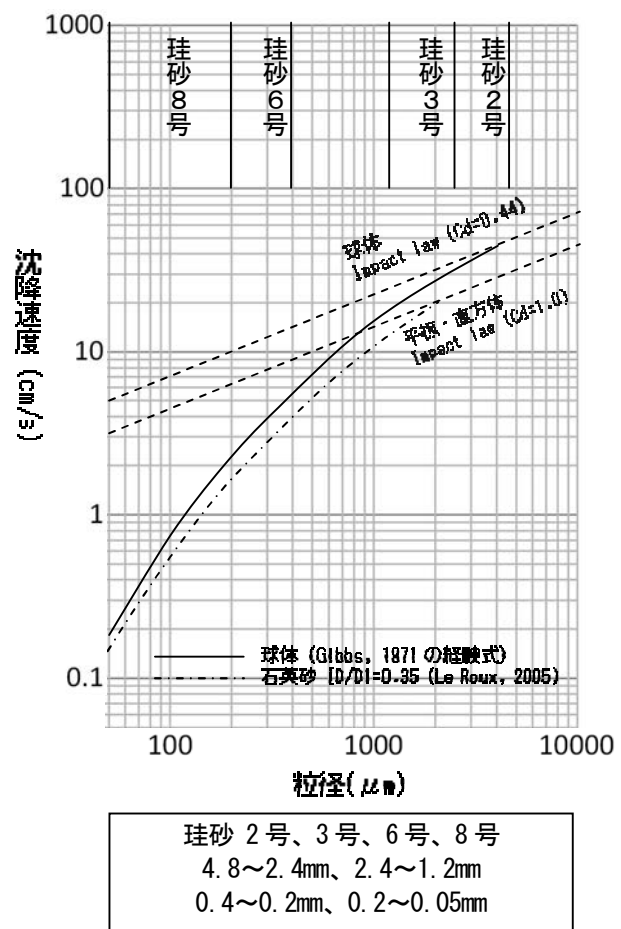


図 解4-8 砂粒子の粒径と沈降速度の関係^{1)~2)}

6) その他

観測孔設置後は、目詰まりを防止するため孔内洗浄を十分に行う。また、観測孔設置後の地下水位と帯水層の調査時の水頭高を比較することで、計画した部分ストレーナ孔が正しく設置されているか確認する。

参考文献

- 1) Gibbs, R. J., Matthews, M. D., and Link, D. A. (1971): The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41, no. 1, pp. 7-18.
- 2) Le Roux, J. P. (2005): Grains in motion: A review. *Sedimentary Geology*, 178, no. 3-4, pp. 285-313.

解説資料5 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳（案）

1. 部分ストレーナ孔及び観測機器の点検

観測機器は屋外の厳しい自然条件下にさらされるため故障や破損が生じる場合がある。また、地すべり活動による部分ストレーナ孔の変形（閉塞）やストレーナが目詰まり等が生じて、観測に支障を来す場合がある。そのため、長期間にわたって異常のない観測を継続していくためには、定期的な点検が必要である。点検は1回／年以上をデータ回収時に行うことが望ましい。

2. 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳（案）

以下のような場合、観測孔や観測機器の仕様、現在の状態等の情報が必要となる。

○観測データや計測器等に異常が見られた際の不具合理由の推定

○同一の帯水層の観測を継続するために観測孔を再設置する場合

そのため、設置時には観測孔や観測機器の仕様を記録し、点検した際にはその結果を記録する台帳を整備することが望ましい。本手引きでは、そのような設置・点検台帳（案）として、表 解5-1と表 解5-2に様式案を示した。

3. 観測孔設置時に作成する帳票（A票）

観測孔の設置時には、観測孔の仕様やそれを決める根拠となった鉛直水理地質調査総括図、部分ストレーナ孔構造図等を台帳に記録する。各項目の記入要領は以下の通り。

(1) 地区名／ブロック名

観測孔を設置した地すべりの地区名及びブロック名を記載する。

(2) ボーリング孔番号

観測孔を設置したボーリング孔の番号（記号）を記載する。

(3) 設置年月日

観測孔を設置した年月日を記載する。

(4) 緯度／経度

観測孔設置位置の緯度及び経度を記載する。

(5) 設置業務名／受注者

観測孔を設置した業務名と受注者を記載する。設置時の詳細な状況を調べる必要が生じた際に、設置作業が含まれる業務報告書を参照できるようにする。

(6) 削孔長／削孔径

観測孔を設置したボーリング孔の削孔長と削孔径を記載する。

(7) 部分ストレーナ設置深度

部分ストレーナ区間の上端と下端深度を記載する。

(8) 水理地質総括図／部分ストレーナ孔構造図

部分ストレーナ孔の構造を決める根拠となった水理地質総括図と部分ストレーナ孔構造図を貼付する。

4. 計測器及び観測孔の点検時に作成する帳票（B票）

観測孔の設置時の初回点検とデータ回収時の定期点検の点検結果を台帳に記録する。各階の点検毎に1枚の台帳を作成し、通し番号（帳票番号）をつけて整理する。

下記項目の(1)～(4)は基本的な項目、(5)～(7)はデータ回収時に実施する項目、(8)～(11)は異常が認められる際に実施する項目、(12)～(16)は水位計を設置(再設置)した際に記載する項目である。各項目の記入要領は以下の通り。

(1) 地区名／ブロック

観測孔を設置した地すべりの地区名及びブロック名を記載する。

(2) ボーリング孔番号

観測孔を設置したボーリング孔の番号（記号）を記載する。

(3) 点検年月日

点検を実施した年月日を記載する。

(4) 点検者／所属

点検実施者の氏名及び所属を記載する。

(5) 目視による外観チェック

観測機器（センサ、ケーブル、端子、ロガー）及び保護設備等に腐食、破損、変形等の異常が生じていないか点検を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(6) 簡易動作試験1（触針式水位計との比較）

正確な水位が計測できているか確認するため、触針式水位計と比較を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(7) 簡易動作試験2（センサを上下動させた場合の追従性）

正確な水位が計測できているか確認するため、センサを上下させた際の追従性の確認を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(8) 孔底深度の確認

観測孔の変形・閉塞状況や孔内への土砂流入状況を確認するため、孔底深度の確認を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(9) CCDカメラ等による内部視認

観測孔の変形・閉塞状況や孔内への土砂流入状況を確認するため、CCDカメラ等による内部視認を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(10) 揚水による水位回復確認試験

ストレーナを目詰まりを確認するため、揚水による水位回復確認試験を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(11) 検層による流動層の確認試験

ストレーナを目詰まりを確認するため、検層による流動層の確認試験を行い、その結果を記載する。「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

(12) 製造者／型式

水位計の製造者（メーカー名）及び型式を記載する。

(13) 計測間隔

水位データの計測間隔（記録間隔）を記載する。

(14) データ最大蓄積期間

水位データの最大蓄積期間を記載する。

(15) 係数

製造者から指定された水位計固有の係数を記載する。

(16) 水位計設置深度

水位計設置深度を記載する。

表 解5-1 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳（1）

部分ストレーナ孔 設置・点検台帳（A票）

帳票番号 A-_____

項 目	内 容
地区名／ブロック名	
ボーリング孔番号	
緯度／経度	
設置年月日	
設置業務名／受注者	
削孔長／削孔径	
水理地質総括図／ 部分ストレーナ孔構造図	

表 解 5 - 2 部分ストレーナ孔の設置・点検台帳（2）

部分ストレーナ孔 設置・点検台帳（B票）					
帳票番号 B-_____					
項 目		内 容			
地区名／ブロック名					
ボーリング孔番号					
点検年月日					
点検者／所属					
点検時期	種別	点検目的	点検方法	点検結果 ^(注)	備考
データ回収時	観測機器・保護設備等	1. 観測機器・保護設備等の確認	目視による外観チェック (センサ・ケーブル・端子・ロガー・保護設備等)	良好・不良 ・その他	
		2. 測定値の信頼性検証	簡易動作試験1 (触針式水位計との比較)	良好・不良 ・その他	
			簡易動作試験2 (センサを上下動させた場合の追従性)	良好・不良 ・その他	
異常等が認められる場合	水位観測孔	1. 観測孔の変形・せん断による閉塞の状況確認	孔底深度の確認	良好・不良 ・その他	
		2. 観測孔内への土砂流入状況の確認	CCDカメラ等による内部視認	良好・不良 ・その他	
		3. ストレーナの目詰まり状況の確認	揚水による水位回復確認試験	良好・不良 ・その他	
			検層による流動層の確認試験	良好・不良 ・その他	
設置（再設置）時	水位計仕様				備考
	製造者／型式				
	計測間隔				
	データ最大蓄積期間				
	係数／初期値				
	水位センサ設置深度				

(注)：「不良」、「その他」とした場合は備考に状況を記載する。

巻末資料2 アンケート調査結果

1. 都道府県アンケート

【アンケート回答率】

選択肢	回答数	割合
①回答あり	41	87%
②回答なし	6	13%
総数	47	100%

【1. 地すべり調査全般に関するアンケート】

1.1.自治体独自に策定した地すべり調査に関する指針・マニュアルや手引きはありますか？

選択肢	回答数	割合
あり	22	54%
なし	19	46%
総数	41	100%

1.2.地すべり調査の特記仕様書に明示している基準書や参考図書類はありますか？

選択肢	回答数	割合
a. 河川砂防技術基準(案)同解説 1997年10月 建設省河川局	15	26%
b. 地すべり防止技術指針及び同解説 2008年4月 国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所	12	21%
c. 道路土工一切土工・斜面安定工指針(平成21年度版) 2009年6月 社団法人日本道路協会	6	11%
d. いつでも、どこでもすぐに役に立つ地すべり観測便覧 1996年10月 社団法人地すべり対策技術協会	0	0%
e. ボーリングポケットブック(第4版) 2003年8月 全国地質調査業協会連合	0	0%
f'. その他(別基準等の場合の回答数)	7	12%
f''. その他(「なし、特になし」の回答数)	17	30%
総数	57	100%

※複数回答あり

【2. 地下水把握手法に関するアンケート】

2.1.試錐日報の提出を義務付けていますか？

選択肢	回答数	割合
①義務付けている。(成果品の一部として)	6	14%
②報告書に試錐日報解析の記載があれば、試錐日報自体の提出は必要ない。	8	19%
③特に定めはない。	28	67%
④その他	0	0%
総数	42	100%

※複数回答あり

2.2.地すべり地において地下水位観測孔を設置する際、地下水検層などの帯水層調査を実施していますか？

選択肢	回答数	割合
①標準仕様として必ず実施	3	7%
②必要に応じて実施	25	61%
③特に定めはない	11	27%
④その他	2	5%
総数	41	100%

2.3.「2.2」で地下水検層を行う場合の手法について教えてください。

選択肢	回答数	割合
①自然水位のみ実施	21	48%
②孔内水汲み上げを併用実施	5	11%
③ステップ検層を実施 ※1	1	2%
④実施業者にまかせる	11	25%
⑤その他	6	14%
総数	44	100%

※1:ステップ検層:ボーリング掘削の1工程(1~2m程度)毎に実施する地下水検層

※複数回答あり

2.4.過去5年の業務を対象にして、すべり面付近の間隙水圧測定のための間隙水圧計(または部分ストレーナー+水位計)を設置した事例はありますか。

選択肢	回答数	割合
①設置事例あり	9	22%
②設置事例なし	31	76%
③その他	1	2%
総数	41	100%

【2. 地下水把握手法に関するアンケート】

2.5. 2.4で「事例あり」の場合、どのような判断基準で設置を指示しますか。

選択肢	回答数	割合
①マニュアル等の規定がある	1	8%
②状況判断して発注者からの指示	5	42%
③受注業者からの提案	6	50%
④その他	0	0%
総数	12	100%

※複数回答あり

2.7.地下水位観測孔の構造を検討する際にどのような地下水把握手法を用いていますか。

選択肢	回答数	割合
①試錐作業日報	13	25%
②地下水検層	12	23%
③実施業者に任せる	20	38%
④その他	8	15%
総数	53	100%

※複数回答あり

3.1. 地下水位観測孔と変位観測孔(パイプひずみ計や孔内傾斜計)を併設する際、標準的な発注仕様を教えてください

選択肢	回答数	割合
①それぞれ専用の観測孔として設置	17	38%
②併用孔として1孔にまとめて設置	22	49%
③その他	6	13%
総数	45	100%

※複数回答あり

3.2. 右に示す地下水位観測孔の構造について用いられる頻度を教えてください(①～③についてa～eからお答えください)

① すべり面を貫いてオールストレナー

選択肢	回答数	割合
a. ほぼ全て	26	79%
b. 7～8割程度	2	6%
c. 半分程度	4	12%
d. 2～3割程度	0	0%
e. ほとんどない	1	3%
総数	33	100%

② すべり面以浅をオールストレナー

選択肢	回答数	割合
a. ほぼ全て	4	14%
b. 7～8割程度	2	7%
c. 半分程度	11	38%
d. 2～3割程度	2	7%
e. ほとんどない	10	34%
総数	29	100%

③ 部分ストレナー

選択肢	回答数	割合
a. ほぼ全て	3	10%
b. 7～8割程度	0	0%
c. 半分程度	9	29%
d. 2～3割程度	2	6%
e. ほとんどない	17	55%
総数	31	100%

3.4. 地下水観測孔を設置する際のボーリング削孔径を教えてください(①～②についてa～eからお答えください)

① 66mm

選択肢	回答数	割合
a. ほぼ全て	31	84%
b. 7～8割程度	2	5%
c. 半分程度	2	5%
d. 2～3割程度	0	0%
e. ほとんどない	2	5%
総数	37	100%

② 86mm

選択肢	回答数	割合
a. ほぼ全て	3	9%
b. 7～8割程度	1	3%
c. 半分程度	9	28%
d. 2～3割程度	3	9%
e. ほとんどない	16	50%
総数	32	100%

3.6. 標準的な保孔管の種類を教えてください

選択肢	回答数	割合
① VP40塩ビ管	31	76%
② VP50塩ビ管	6	15%
③ その他	4	10%
総数	41	100%

※複数回答あり

3.7. 標準的なストレーナーの開口率・配置などについて定めていればお教えてください(不明な部分については記載しなくても構いません) ※開口率は「4開口率」シートを参考

a. ストレーナーの径

5mm	16	55%
10mm	1	3%
その他	4	14%
定めていない	8	28%
	29	

b. 千鳥の間隔

5.0mm	1	4%
10.0mm	7	25%
12.0mm	5	18%
12.5mm	5	18%
その他	2	7%
定めていない	8	29%
	28	

b. 方向

二方	3	10%
四方	19	61%
その他	1	3%
定めていない	8	26%
	31	

c. 開口率

1%未満	4	15%
1%以上2%未満	3	12%
2%以上	9	35%
その他	2	8%
定めていない	8	31%
	26	

2. 民間企業アンケート

アンケート記入者の経験年数

経験年数	人
0～5年	1
6～10年	3
11～15年	13
16～20年	23
21～25年	11
26～30年	21
31～35年	3
36年以上	5
計	80

アンケート回答時にイメージした事業(複数選択可)

選択肢	回答数	割合
a.国土交通省	29	27%
b.農林水産省(農地)	12	11%
c.林野庁	7	6%
d.地方自治体事業	55	51%
e.NEXCO	3	3%
f.水資源機構	1	1%
g.その他	1	1%
総数	108	100%

アンケート回答時にイメージした発注機関(複数選択可)

選択肢	回答数	割合
h.地すべり対策事業	71	72%
i.道路事業	18	18%
j.ダム貯水池地すべり	5	5%
k.その他	4	4%
総数	98	100%

1. 2. 3 地すべり地の地下水把握のために利用している検層について自由意見

自由記入	
1	地下水流動状況の把握ができるため。
2	圧力水頭を把握できる。一定程度であれば、人為的に水圧を変化させることで、試験条件変えることが可能である。
3	作業が比較的簡単で安価
4	測定機器を自社で保有しているから
5	深度方向に25cmの精度で地下水の賦存状況を推定することができ、汲み上げ法と併用することで間隙水圧の水頭を把握できるため、安定解析の精度向上にも有用である。
6	簡単にできるから
7	03の回答と03の回答:平面的な把握ではなくボーリング孔における賦存状況の把握をイメージして選択しました。概ね消去的な選択です。ボーリング時はどうしても掘削を優先し地下水分布の把握のために、掘削を中断するようなことはないため、試験日報に記載される情報だけでは判断できない場合が多い。その他の検層も色々問題がある中、多点温度検層は原理が比較的簡単で、条件次第で孔内水位よりも高い位置の地下水流動も把握できるため。
8	試験方や機材が比較的簡便で、適宜試験が可能。
9	簡易揚水試験は標準仕様であるため。地下水検層は、手軽で比較的高精度の調査が可能のため。
10	地下水検層か温度検層しかしたことがない。温度検層ではいい結果が得られなかったため、ほとんど実施していない。
11	比較的容易に実施できるため。温度検層は、その適用時期が水温と地表の気温のコントラストがある時期に限定される。
12	1. 安価 2. 資機材の手配が容易
13	最も直接的な情報が得られる
14	簡易透水(揚水)試験は削孔しながら行うので、実施時期(降雨後、融雪後等)を選べないため。また、調査孔毎の対比を行う上でも気象条件が異なる場合があるため単純な比較ができないことがある。
15	資料整理後は地下水の動きが視感的に見える。
16	社内設備、仕様。地下水検層が最も手軽に出て、解析が容易である。
17	たまたま県の仕様書がそうになっていた。
18	比較的良好な結果が得られる。
19	透水性が低いと判定不明となるケースが多いが、普遍的に採用されているため
20	食塩検層の測定および解析が容易であり、地下水の流動状況(流動深度)が他手法に比べて分かり易い。
21	簡単である
22	地下水量の多い少ないを量(数字)で確認できる。
23	自社にて機器を有しているので、実施し易い
24	各深度ごとの地下水賦存量が具体的に算出可能。実施が比較的簡便である。
25	a:最も地下水流動状況が把握できやすい d:aの補足や確認のため
26	発注者の仕様
27	・簡易 ・一般的
28	地下水流動状況が把握しやすい。
29	地下水の流れを把握できるので、もっとも有効と考えました。
30	安価で流動層を把握する事ができる試験であるから
31	発注項目であるため
32	比較的、調査方法が単純でわかりやすい
33	地下水の流動する層が把握できる
34	観測機器が手軽。 流入層検出の精度が高い。
35	簡便で利用しやすい。
36	地下水の有無及び地下水帯の位置も明確に把握できる。
37	実行が容易である。
38	一般的である。結果の解釈が容易である。
39	最も普及している。試験が簡単。
40	試験が容易である。 結果の解釈が容易である。
41	深度的に正確に地下水流動層を確認できる
42	地下水の流動区間とその量について把握するため。
43	こまめに簡単に実施できる
44	自社で標準となっている観測種であり、これ以外の検層種類による解析補完の必要が生じたケースが、これまでなかったため。
45	地層の透水性の深度方向への変化を連続的にかつ容易に把握することができる。
46	ボーリング孔を利用して、一人で手軽にできる手法であるため。
47	平易であるため
48	横ボーリングなどの施工位置を把握することができるから
49	その他の検層は、地すべり調査では一般的ではなく、提案が通らないケースが多い。
50	地下水流動層を把握する手法として、古くから豊富な実績がある試験方法である。
51	その他の検層は、地すべり調査では一般的ではなく、提案が通らないケースが多い。
52	計測が容易 透水係数が求められる。
53	一人で持ち運べる機材であり、車から離れていても測定が容易
54	作業、装置、測定が容易
55	検層の中で一般的
56	経済性を優先している(させられている?)⇒特に発注者が県の場合、高価な調査の実施は難しい。
57	地下水流動層の特定とその間隙水圧の把握が最も重要と考える
58	設計書による試験項目である。他の試験を実施する場合は、発注者との協議にて実施している。aは透水性や地下水の流動性が低い土質では明確な結果が得難い。
59	資材の準備が簡単で、地下水の流動状況がタイムリーにわかりやすいため。
60	機材や方法が比較的簡易で、機構解析や対策設計に必要な(それなりの)データが得られるから
61	実施が容易
62	発注の仕様指定されている
63	調査実績が多い。
64	道具類など持ち込む機器が少ない。 実績が多い。
65	深度方向における地下水流動層を把握し、地下水排除工の施工目標位置を確定するため。集水井等の計画では平面的な地下水流脈の把握、および地下水流脈の定量的な評価を行い、より効率的な施工位置を選定するため。
66	地下水調査として比較的簡易で一般的である。
67	地下水流動層が最も明確に確認できるため
68	地下水排除工を検討するため。
69	水の流れの深度を把握できる
70	地下水検層、簡易揚水試験共に、通常のφ66孔で地下水賦存状況を確認できる点で、利用しやすい。温度検層は地下水位が低い孔などで地下水検層の代替としての利用のため、頻度は小さい。対策工配置の検討には、集水量が予想できる簡易揚水試験が有利と考えている。
71	業務として大深度にすべり面分布が想定される大規模地すべりなどを実施していないからか、a、bとも地下水特性とすべり面位置の関係が把握しやすく、地すべり機構の解析と対策工計画立案に非常に有効と考えている。
72	実績が多く、客先に説明し易い。費用も大がかりとならない等。
73	集水井ボーリングの施工位置決めるため
74	簡易に実施可能
75	一般的に行われており、有効な成果が得られた経験が多くあるため。
76	試験が容易

1. 2. 5 地すべり地の地下水帯の位置などの地下水状況を把握するための手法についての自由意見

自由記入	
1	地下水の流動状況と水温を対比することにより、地下水状況の把握ができる。
2	1.2.3と同じ(圧力水頭を把握できる。一定程度であれば、人為的に水圧を変化させることで、試験条件変えることが可能である。)
3	簡易透水試験だと定量的な判断ができるため。
4	測定に用いる器具が汎用性に富み、手法としては間接的な測定ながら、結果から地下水文状態に関する多くの知見が得られる可能性があり、信頼度も高い。
5	他の方法を実施したことが無い
6	鉛直方向の地下水帯の位置を把握するには、最も効果的であると考えているから。
7	微流速計については相対的な流速変化に着目して位置を特定。 多点温度検層については深度方向に連続的データが得られるため。
8	試験内容が単純で、解析が容易に出来る。
9	地下水の流動層や、地下水が供給され易い層を直接把握できるため。
10	過去のデータが多く、判定基準もある。
11	特になし。
12	1. 精度が高い 2. 地下水位が浅い深度でも温度の変化を見るので、潜在的な水みちが分かる 3. 1m地温探査と組み合わせると、三次元的な流動層把握が可能
13	正直言って他の手法を十分活用した経験がない
14	特に汲み上げ地下水検層を行うことにより、直接的に地下水流動層を確認可能である。降雨、融雪後等任意の時期に測定可能である。
15	資料整理後は地下水の動きが視認的に見える。 地下水位以下で連続的に把握できる。
16	食塩やお湯は均一に混じっているか。微流速計は乱流を捕らえていないかなど、不安事項が多い。
17	簡易に地下水の動きのある位置をとらえられる。
18	判定が容易である。
19	地下水流動層と地盤状況(ポアホールカメラ)が同時に確認できる (孔壁崩壊の場合は、この限りでない)
20	食塩検層で地下水流動区間(流動深度)の判定から、地下水排除工の施行位置(深度)が的確に検討できる。
21	コアとの深度的対比が比較的簡単である
22	地下水量の多い少ないを量で確認できる。地下水検層では変化が顕著に表れる場合があり、地下水の存在に確信が持てる。揚水量が多く確認されても地下水検層で変化が出ない場合があり、地下水の流動性を考える参考になる。
23	a: 条件を変えながら、実施できる c: 深度が50m以上の孔の場合
24	解析方法が確立されており、ボーリングオペレーターによる実施が容易なため。
25	地層には何れにも水通が存在すると考えられるが、他の地下水層の影響を排除した間隙水圧を把握することが出来る。
26	地下水の賦存箇所を直接確認できる
27	地下水流動層が簡単に把握できる。
28	流動地下水帯であれば、a, b両方法とも感度よく反応するため。
29	地下水の流れを把握できるので、もっとも有効と考えました。
30	安価で流動層を把握する事ができる試験であるから
31	孔内水位が低下している場合が多いが、温度検層は孔内水位に関わらず測定できるため
32	まずは基本的な調査方法として。その他調査は現地状況に応じて有効と思われる場合実施。
33	日々の掘進毎に簡易の透水試験を実施し、深度ごとの透水性を把握することが有効
34	裂か水を対象としていることから、大まかな流れをつかむだけで良い(場所によって異なることから、ピンポイントの情報は不要)。
35	a)について、地下水の状況を掴むのに適し、更に深度も明確である。
36	実行が容易である。
37	一般的である。結果の解釈が容易である。
38	帯水層の数、被圧不圧の違いなどによって使い分けか、試験条件(バックアップ設置)を揃えることなども必要である。
39	判断基準があり、流動が容易に把握できるから。
40	地下水位が高い場合、地下水流動区間がある程度の精度を持って把握するのに有効である。また、その強さによって量的なものが推定でき、1孔において排除する順位付けができる。
41	1.2.3および0.3に同じ。 (1.2.3: 自社で標準となっている観測種であり、これ以外の検層種類による解析補完の必要が生じたケースが、これまでなかったため。 0.3: 最も直接的に把握できるため。 ただし、裸孔区間内での流入や逸水箇所の限定は不可能。)
42	地層の透水性の深度方向への変化を連続的にかつ容易に把握することができる。
43	地下水の分布を多面的に捉えることができる。
44	比較的簡易に実施が可能。
45	地下水流動層を把握する手法として、古くから豊富な実績がある試験方法である。
46	比較的簡易に実施が可能。
47	b,d計測が容易で数値がダイレクトに特徴に結びつく。
48	機材が簡易であることから、測定回数や測定箇所を増やすことが容易であり、多くのデータサンプルから判断できる
49	漏水区間の欠測が少ない
50	コントラストが得やすいと思われる。検層後の食塩水の処置(機器腐食)がない
51	最も現実的(信頼性に富む)と考える。 ⇒従来の塩ビ管設置後に実施する各種検層は、開口率の影響など、不透明な点がある。
52	地下水流動層の特定とその間隙水圧の把握が最も重要と考える
53	地下水検層に類似する試験は、地質・土質状況によりその結果にバラツキがある。したがって、地質踏査結果を踏まえ簡易揚水試験を主体とした複数の地下水調査を実施することが望ましい。
54	どの手法も地下水帯の分布が把握可能であり、特に理由はない
55	a)は最も普及しており実績もある手法 c)はやや大変であるが上・下流の流速や透水係数が定量的に把握できる
56	自然状態と汲み上げた状態を併用することにより、比較的正確なデータが容易に把握できる。
57	水頭圧の影響を受けにくい。簡易揚水試験で大まかに把握し、食塩検層で絞り込むことで、湧水深度が分かりやすく、説明しやすい。
58	調査実績が多い。
59	流動地下水リーンの把握には最も適しており地下水排除工設計施工での実績が極めて有効である。
60	深度方向と平面的な地下水流動層が把握できるため。また、地温探査では平面的な分布に加え、深度方向における地下水帯の位置とその規模が推定できる。したがって、地下水検層等の結果と合わせて地下水帯推定の精度が高くなる。
61	比較的確実に地下水の流動区間を把握でき、ある程度の経験があれば個人差が少ないと思われる。
62	地下水検層で流動層を把握し、現場透水試験により透水係数を捉えることができるため
63	地下水排除工を検討するため。
64	水の流れの深度を把握できる
65	地下水検層、簡易揚水試験共に、通常のφ66孔で地下水賦存状況を確認できる点で、利用しやすい。地下水帯の位置の把握方法としては、深度方向の変化が細かく採れる地下水検層、温度検層がより有利と考えている。
66	1.2.3-回答と同じ(1.2.3業務として大深度にすべり面分布が想定される大規模地すべりなどを実施していないからか、a, bとも地下水理特性とすべり面位置の関係が把握しやすく、地すべり機構の解析と対策計画立案に非常に有効と考えている。)
67	流動層が存在する場合、明確な結果が得られる。 作業も単純であり、均質な成果が得られる等。
68	一般的に行われており、有効な成果が得られた経験が多くあるため。
69	試験孔の密度と関係するが1断面あたり3孔(@50m以内)程度であればa,bの試験程度で良いと思う。

1. 2. 8 よく利用している検層の実施において良い結果を得るための工夫点についての自由意見

自由記入	
1	長時間後(たとえば翌日)の検層を加えることで、逸水面や確流動層厚の確認、回復水位による圧力水頭の確認を実施している。
2	食塩水検層においては、測定中の食塩濃度希釈状況(地下水流入状況)や、地質条件より疑われるすべり面対象深度に応じた汲み上げの量やインターバルを調整している。
3	食塩を均等に溶かす。
4	地下水位が上昇した時(降雨後)に合わせて試験を実施する。
5	特になし。試験方法に忠実に行うようしている。特に簡易揚水試験は、ケーシングの先端を焼きつかせ、しっかり止水されるよう留意している。
6	地下水位が上昇したときに実施している。それ以外は実施していない。
7	食塩検層において塩分濃度の調整や攪拌に注意はしているが、特に工夫点は無し。
8	降雨時や地下水位上昇時など異なる条件下で数回実施してみる
9	いかに均一に食塩を溶かせるか、経験と技術が必要。状況に応じた汲み上げ方(汲み上げ量の調整等)を行っている。
10	・ボーリング結果から、すべり面深度を想定する。ベラー汲み上げにおいて、すべり面付近のデータを飛ばさないようにしている。飛ばした場合は再検層を実施する。 ・食塩が孔内水に均等に混合するように留意している。
11	複数の試験を実施
12	降水状況等を考慮する。
13	フロームーター検層においては、モニタリングポンプで揚水しながら計測できるので、自然状態で把握できない流動層も把握できる
14	ステップ検層時(汲み上げた場合)にケーシング先端から地下水流入が起こらないように、先端は止水性を重視している。これには、ケーシングを無水(先端掘止め)で挿入し、止水性を高める。
15	漏水が顕著な場合は、漏水箇所をセメントミルクで閉塞後、再度実施
16	バックグラウンドの抵抗値を見て、濃度を変える。
17	表層から孔内に水が流入している可能性がある場合は、表層部を無孔管とし、パッカーによる遮水を施した観測孔を仕上げ、検層を実施。
18	地下水検層(食塩濃度を均一にするため孔内濃度を均一にするため、孔内水の置換を行う場合が多い)
19	地下水検層の留意点は ・出来るだけボーリング直後とする。 ・出来るだけ降雨後とする。 ・地下水の流動が少ない場合は翌日～1週間後まで計測を続ける。
20	食塩検層;濃度を上げすぎると、値が変化しない。 地下水位面は地下水流動面である事が多く、測定開始時には既に大きく還元してしまっている事があるため、上部は濃いめとする。 全層、ほぼ一定の濃度になるように塩分を投入する。
21	ボーリング作業後、2週間～1ヶ月程度の時間をおいて、地下水の流れを落ち着かせてから検層を実施しています。
22	食塩検層で食塩水の濃度ムラがでないようにする
23	汲み上げあるいは注水により水頭を変化させてやる事が重要 食塩は少量薄く溶かしたほうが良い
24	掘進中途中における検層を確実に実施するため ストレーナ付きケーシングパイプを使用する。
25	食塩投入時に濃度をできるだけ均一化する。 汲み上げ時には、稀釈度合いを参考にしながら汲み上げ量を加減する。
26	地下水検層時に、食塩を溶かす方法(事前に水に溶かしておく、食塩の専用容器を用いる など)
27	2.5に記載(2.5:帯水層の数、被圧不圧の違いなどによって使い分けるが、試験条件(パッカー設置)を揃えることなども必要である。)
28	比抵抗値の増加があまり期待できない泥岩地帯などでは、孔内水の攪拌を十分にを行い、塩分濃度を安定させる。
29	温度検層にて、地下水位と異なる地下水流動を確認
30	観測孔を仕上げしてから半月以上の間隔を開けてから空けてから検層を行う。
31	食塩水検層における、初期値の一定化。
32	地下水検層において、食塩水投入後一定の濃度になるようにベラーで一度攪拌している。また、ノイズがでにくいよう、食塩投入直後の抵抗を0.8程度になるようにしている。
33	ボーリング時に孔壁保護剤を多用しない。 掘進後の孔内洗浄。
34	バックグラウンドの抵抗値より、投入する食塩の量を調整している。
35	ボーリング時に孔壁保護剤を多用しない。 掘進後の孔内洗浄。
36	上部帯水層(対象外の地区)からの影響を除くための遮水。
37	食塩の投入をむら無くおこない、深度毎の初期値ができるだけ同じになるようにしている
38	測定間隔(20～25cm)の挿入固定型を作製、使用
39	孔壁の洗浄
40	前述のステップ式地下水検層やくみ上げ法を実施している
41	a.食塩を入れすぎない、十分に攪拌させる(器具を工夫)
42	食塩の攪拌
43	攪拌を入念に行い濃度を均一化する。 ・高水位時に検層するよう、降雨直後に実施を心がけている。
44	・従来は地上から食塩水を投入していたが、均質な投入が困難なため、ロープの先端部に食塩入りフィルターを付けて食塩濃度の均質化を図っている。(試行段階)
45	孔内洗浄を徹底的に行う。 原則的に裸孔でおこなうが、保孔管を挿入する場合は、保孔管の開口率をできるだけ大きくする。
46	微弱な流動層などは、地下水位が高い場合には検出されない場合があるため、孔内水汲み上げを併用した検層を実施している。また、削孔後の孔内洗浄ではスワビングとベラーまたはポンプによる汲み上げで泥壁を十分に取り除く。
47	・食塩を小口径の塩ビ管に入れ(フィルターをして)、地下水検層のゾンデに繋げ、比抵抗値が低くなり過ぎないように確認しながらできるだけ均一に溶解する。
48	ステップ検層や汲み上げ検層は有効だと考えますが、実施していないのが実状です。 食塩の均等分散などに気を付けています
49	くみ上げ検層において、ベラーで追いつかない程度透水性の良い孔の場合、採水ポンプを利用して、くみ上げを行っている。
50	ボーリングと平行して簡易揚水試験を実施し、概略の地下水特性を事前把握し、地下水検層の方法を検討する。ステップ検層は業務上実施しないケースが多いが、水頭により流動が確認されづらいことが予想された場合に採用の検討を行う。
51	・掘削の影響が残らないよう、しばらく時間をおいてから試験を実施する。 ・降雨後の高水位時に試験を実施。
52	食塩水の攪拌を丁寧に行う、迅速に作業する。

1. 2. 9 よく利用している検層の実施及び解析における課題について自由意見

自由記入	
1	高い水圧の流入があり、くみ上げによる水位低下が図れない場合に同流入層以深の圧力水頭が不明。
2	地下水検層では、定量的な解釈(透水係数など)が得られないため、地下水排除工によってどのくらい水位が下がるかが判断できない。
3	食塩水検層において、汲み上げ作業に係る労力上の負担が大きい。
4	地下水位が低い場合は適用が難しい。
5	地下水検層で食塩が十分に攪拌されているのか。
6	a)について、湧水量が小さい場合は、深度方向の塩分濃度変化がノイズとなり、地下水流動層が把握できないことがある。
7	観測孔の仕上げ状況(新設孔の場合)やスライムの付着・沈殿状況(特に古い観測孔など)によって結果が大きく変わる場合がある。
8	降雨条件等に左右されやすい
9	地下水検層の場合、各社で解析手法、判断基準(どういうパターンが地下水流入層か)が異なるため、ある程度の技術基準を設ける必要があるのでは。
10	食塩を孔内水に混合するときに、地下水位面から深部までほぼ同じ抵抗値に下げたいが、うまく混合しない時がある。その場合解析(判断)に苦労している。
11	良い結果が得られない場合の評価方法
12	地下水検層は、透水性の良い地盤しか流動層しか把握できず、保護管の開口率(30%)で問題がないか疑問です
13	孔内保護管(塩び管など)の開口率が、地下水流動判定にどの程度の影響があるのか、実験による検証を望む。
14	食塩を均一に溶解するのは難がある
15	深部で抵抗値が小さくなる変化が現れる。(希釈変化の小さい孔でその傾向が多い) データ入力を手入力しているので、入力手間と入力ミスの点検が大変。
16	塩分の沈殿 濃い食塩水を予め作成し、ホースにて孔内に投入することも実施したが、予期したほどの効果は無かった。
17	微流速測定(湧水量が少ない場合、解析が困難)
18	食塩検層で流動していると判定しても、本当に流動しているのか、その流速はどのくらいかは、もっと微流速計とのクロスチェックのデータの蓄積が必要と思われる。
19	食塩を均等に浮遊させることが最も難しいので、その方法が課題と思われます。
20	くみ上げ、注水などを併用していないこと グラフから視覚的に読み取れる流動層のみを扱い、解析結果に踏み込んで考察しない場合が多い
21	流動が少ない場合は流動層が把握できない
22	解析結果に個人差がある。
23	すべり面の貫通及び岩盤掘削における逸水が多々あり地下水位が皆無の場合もある
24	地下水流入層が厚い場合には、深部の有圧水帯が見えにくい場合がある。 地質によっては、地下水位が観測孔底面付近に落ちてしまう。
25	汲み上げ検層時の「ペーラー(人力)による孔内水の汲上げ量」には限界があり、低下させたい水位まで下げることができない場合がある。 一方で、VP40の内径に入り、適用できる高揚程の水中ポンプがない。
26	2.5に記載(2.5:帯水層の数、被圧不圧の違いなどによって使い分けられるか、試験条件(バクカー設置)を揃えることなども必要である。)
27	僅かな地下水流動の場合、孔内を移動させるブロープの影響が懸念される。比抵抗値の変化がどの程度あるかの検討が必要と思われる。
28	降雨やボーリング掘削水の影響
29	汲上可能量よりも流入量が多い孔での、孔内水位の低下方法。
30	孔壁の状態と保孔管の開口率が計測結果にあたる影響が明らかとなっていない。
31	・地下水の流入の多い地区では、汲み上げが追いつかない。 ・実施時期によっては地下水を形成せず実施できない。
32	掘進時の逸水による地下水位の低下 →温度検層の提案
33	海岸付近の地すべり地では、地下水の塩分濃度が元々高く、効果的に流動層を把握できないことがある。
34	掘進時の逸水による地下水位の低下 →温度検層の提案
35	継続的成は経時的変動(安定)が不安
36	機材が簡易であるがために、測定者の熟練度に結果が左右される場合がある
37	コア観察結果と不一致が稀にある
38	dを通常は1回/3m程度の頻度で半ば機械的に実施するが、複数の滞水層に対して適切な区間設定とするためには、後述するパイロット孔(別孔)調査を含めて発注者側の理解が必要である。
39	食塩検層の場合、深部の方へ食塩が移流し実際の希釈とは逆の数値が示される。
40	地下水検層、定水位のあと汲み上げを行った場合、定水位実施時の食塩水が孔内に残っている場合があり、バックグラウンドが正確に把握できないことがある
41	ゾンデの昇降に伴い孔内水の攪乱がおこる ストレナーナの孔明率が低い
42	・結果的にあまり抑制工配置検討に十分反映されていない。(費用対効果が少ない) ・水位観測孔はオールストレナーナが一般的でせっかくの検層結果が活用されていない。
43	試験孔内の洗浄状況によって結果の良否が決まる。 場合によっては洗浄を繰り返し、数回の試験を行うケースがあり、手間がかかることがある。
44	・比抵抗値が時間とともに低くなる場合がある。
45	地下水検層の場合、食塩の濃度が濃い場合は、塩分が沈降し電気抵抗が変化することがある
46	・検層器の維持管理が困難(試験実施の機会が少ないわりに機器が高価)。

1.3.3 地下水把握を目的とした電気探査又は物理探査の解析で工夫していることについて自由意見

自由記入	
1	比抵抗だけではわからないことがあるので、電磁探査を併用し、分極率や可充電率を測定したことがある。
2	他の検層や原位置試験、試験日報などの情報を加味して解析を行う。
3	地下水の把握を目的として探査を行っていないため不明。
4	地下水観測孔を、探査測線上に出来る限り等間隔に配置する。
5	比抵抗値などの探査データのみで結論づけず、他の調査種のデータとの照合及び相補に努める
6	過去の井戸のデータを参考にしている。
7	同地点で実施している地下水観測結果を参考にして、電気探査結果を解釈した。
8	地下水をみだしたり、電気の感度をあげるため、できるだけゆっくりと実施する。
9	他の調査項目と併用して調査を行い、総合的に評価する(単独では実施しない)
10	地形的な要素を考慮して測線設定
11	地質状況、岩盤状況、地下水位状況を含めた総合的な解釈が必要で、地下水位状況や降雨状況などの条件を替えて探査を実施するのも解釈に有効。
12	最近では社会環境(弾性波)や周辺土地(電気探査)で実施が少なくなっている。
13	電気探査:省力型3次元電気探査の活用(ただし、地下水把握を目的とした活用事例は今のところまだ無い)
14	高密電気探査…一般的な注意事項 1m深地温探査…探査実施時期
15	電磁探査により、地下深い情報が良くなった
16	地温探査の場合、確認した地表水の水温を全て測定する。
17	他の観測種とのクロスチェック。
18	調査点の密度を濃くする。 1m深地温探査については調査実施時期。
19	調査点の密度を濃くする。 1m深地温探査については調査実施時期。
20	電気探査は水平無限の地層構造を前提としている。 現実には、指〇起伏があり、側線方向、解析上のp-a曲線の扱い方等、曲線の相対的判断と資料の対極が重要
21	電気検層結果のある既設の井戸の直近で垂直探査により、比抵抗のチェックを行う
22	できる限り周辺の既往水文データを収集するようにしている。ボーリングデータや地質踏査データetc.
23	実際には行っていないが、豊水期と渇水期での調査を行い、それぞれの結果を比較検証する。これらの残差を取ることで地下水の通り易い箇所や通りにくい箇所の評価が可能となる。
24	地質の違いや構造物の影響も考慮する。自分で表示のレンジを変えてみる(物探屋が調整したレンジだけの解釈ではもったいない)。
25	孔内検層との対比
26	ボーリング等の地下水観測孔との併用を常とする。
27	ボーリング孔を利用した比抵抗トモグラフィーは有効と思われるが、経費が大きくなる割には成果の精度は低い。
28	1.3.1に示した探査では、地温の分布状況から、熱源(地下水脈)の深度方向の分布、規模を熱伝動方程式で推定する。併せて食塩検層の結果と対比して地下水帯の分布形態をモデル化し、対策工の施工位置を検討する基礎資料としている。
29	比抵抗値の上下分布や繋がりをみて、帯水層かどうかを推定している。
30	上記のような場合は、他の調査で判明していることを条件に入れて、逆解析を行う。
31	なるべく地形変化点に調査ボーリングを配置するようにした。

【2. 地下水観測孔設置に関するアンケート】

2.1 設置することが多い地下水位観測孔の構造(複数選択可)

選択肢	回答数	割合
a.すべり面を貫いてオールストレナー	69	58%
b.すべり面以浅をオールストレナー	21	18%
c.部分ストレナー	18	15%
d.複数の帯水層対象の観測孔	10	8%
e.その他	0	0%
総数	118	100%

2.2 特記仕様書等の指定

選択肢	回答数	割合
a.ほぼ指定	16	20%
b.概ね指定	16	20%
c.あまり指定されない	26	32%
d.ほぼ指定されない	24	29%
総数	82	100%

2.4 塩ビ管の接続方法(複数選択可)

選択肢	回答数	割合
a.ねじ切り	55	53%
b.ソケット	37	36%
c.印籠継ぎ手	10	10%
d.その他	2	2%
総数	104	100%

2.5 止水材の種類と選定理由(複数選択可)

選択肢	回答数	割合
a.モルタル	28	21%
b.ベントナイト	14	11%
c.ベントナイトペレット	19	15%
d.ナイスシール	43	33%
e.昆布	1	1%
f.パッカー	14	11%
g.棕櫚(しゆる)	2	2%
h.その他	10	8%
総数	131	100%

2.6 フィルター材の種類と選定理由(複数選択可)

選択肢	回答数	割合
a.防虫網	14	16%
b.伸縮フィルター	53	60%
c.さらし	3	3%
d.その他	18	20%
総数	88	100%

2.7 間詰材の種類と選定理由(複数選択可)

選択肢	回答数	割合
a.洗い砂	55	56%
b.珪砂	17	17%
c.豆砂利	23	23%
d.その他	3	3%
総数	98	100%

2.3 2.1以外を提案した場合の水位観測孔の種類・構造や理由(自由記入)

区分	回答
検層	流向流速測定用
	開口率が問題となる場合、塩ビ管内からの電気検層、揚水試験の観測孔など
	微流速測定を実施する場合は、スリット加工のVP管を使用している。
変位計測	最近では、孔内傾斜計を設置することが多い。その場合、孔内傾斜計一オールコア採取、「b.すべり面以浅をオールストレナー」一標準貫入試験 という組み合わせで調査を実施している。
	孔内傾斜計観測孔用のアルミケーシングに孔を空けて網掛けしてストレナー管とした。
	歪計との併設が多い。
保孔管の種類	観測孔が地下水の流動を極力阻害しないように、開口率を30%程にストレナー加工された塩ビ管を使用
	できるだけ開口率を大きくし、目詰まりを防止する。
	ネトロンパイプ(地下水流動性の確認のため)
	VP40の使用が標準であるが、VP50をなるべく使っている。(口径が大きい為、フロートや水圧計を入れやすい)
	設置する水圧センサーが33mmあって、それが入るようVP50ねじ切りにしたことがある
	通常VP50のストレナーパイプを使用している
	塩ビでなくトリカルパイプを使用、塩ビより透水性を高めるため
開口率30%程度以上必要な場合、スクリーン管等を使用。	
部分ストレナー(パッカー)	パッカーへのセメントミルク注入による遮水・ゴム系遮水材とコンクリート系遮水材の組合せによる遮水
	すべり面を挟んだ上下をパッカーで止水し、その間のみストレナー加工とする構造
	すべり面で掘り止めとし、地すべり粘土区間のみストレナー加工、区間上面でパッカー止水。
オールストレナー仕様を、すべり面深度の部分ストレナーへ変更提案した。ストレナーの上下はパッカーによる止水を行っている。	
部分ストレナー	部分ストレナー×3、遮水構造、ため池周辺を掘進する時に使用。

2.5 止水材の種類と選定理由(自由記入)

区分	回答
a.モルタル	安価・作業が容易×2
	容易に入手できるため×2
	孔内傾斜計の固定に利用することが多く、オペレータが使用に慣れている。
	信頼性が高い
	止水効果が確実
浅い遮水に使用	
b.ベントナイト	止水が容易
	現地で調達しやすい。ストレナーの位置によって使い分けている。
c.ベントナイトペレット	信頼性が高い 高価だが長い区間を止水できる
	施工が容易で充填深度の確認ができる
d.ナイスシール	取り扱いが簡単・気軽さ ×2
	特定の止水区間を形成するために、端部をナイスシールで、区間をベントナイトペレットもしくはCBIにて対応するケースが多い。
	設置が確実・狙った位置で止水しやすい・深さや地層を選ばない ×5
f.パッカー	パッカーは、セメントミルクで固結させ概ねうまく止水できていると考える
	確実に特定区間が止水可能と考えているから。
hその他	セメントミルク ×3、 これまでの仕様で確実である。
	パッカーへのセメントミルク注入による遮水・ゴム系遮水材とコンクリート系遮水材の組合せによる遮水
	(ベントナイト+セメント) 理由: 作業性、確実性
その他意見	水ガラス、CMCというケミカル材
	止水材を使用したことがない×4、 止水はめったに行わない
	オペレーターにとって使用経験の多いものを採用することが多い。 (異なる止水材の)併用はしない

2.6 フィルター材の種類と選定理由(自由記入)

区分	回答
a.防虫網	極、まれに使用する
	防虫網は目が粗いので、フィルター効果は低そう(使用しない理由)
b.伸縮フィルター	作業が容易×3名
	信頼性が高い
	メーカーで既に設置済み
	保孔管の挿入が容易であるため
	適度な網目。歪計との併設が多い。
	孔壁の地質によって、粘性土が多いときはb、他はa。
	メーカーから専用フィルターを購入。現在まで材質が問題となるトラブルは起きていない 他の材料で行われていることは、知らなかった。
c.さらし	これまで使用していて特に問題が発生した事例がない。
	さらしは透水性が悪くかさばりそう(使用しない理由)
d.その他	繊維フィルター・不編布・バイリンフィルター ×10名
	パイプ歪計等に用いられている繊維フィルター ×3名
	繊維フィルター;比較的細粒な土砂でも管に流入しない(土砂の孔内流入防止)×2
	繊維フィルター;過去から普遍的に利用しており、問題はないと考えている
	繊維フィルター;〇〇〇製
	豆砂利またはフリー
	製品化されているからよく分からない(⇒おそらく不織布タイプ)
	メーカーの既製品に頼ることが多いため、特に選定しているというわけではない

2.7 間詰材の種類と選定理由(自由記入)

区分	回答
a.洗い砂	安価 ×6
	手に入りやすい ×7
	砂を使用 ×2
	これまでに使用していて特に問題が発生した事例がない。 ×2
	間詰めが容易
	詰まりが少ない×2
	特筆する理由無し
	ボーリング孔径により適宜選択
	パイプ歪み計を利用して地下水観測孔としている場合が多いため、洗い砂を使用。
	流水により深部まで充填しやすい。
	仕様書による指定
洗い砂(海砂)は地下水検層の障害となるため不可	
b.珪砂	実施が多い
	入手が容易
	粒径が概ね一様で透水性が良い まれに使用(2号、3号、6号、8号をそれぞれ使い分け)
c.豆砂利	地下水の流動が大きい場合や、地すべり変動がある箇所では、豆砂利が有効だが、高価で何処でも手に入らない欠点がある
	入手しやすいから×3
	比較的早く沈降するため
	特筆する理由無し、手に入りやすいもの
	極、まれに使用
	仕様書による指定
	信頼性が高い 種々の地層に適合、容易
d.その他	山砂
	寒水石 (⇒方解石を粒状にしてふるい分けた製品)
	未使用

3.1 地すべり調査で水圧式水位計の使用による苦勞・失敗

大区分	原因	3.1 地すべり調査で水圧式水位計の使用による苦勞・失敗	
		自由記入	
測定できない (水位そのものが測れない)	落雷・誘導雷	落雷・誘導雷に計器が故障 ×5	
	動物による ケーブル損傷	水位計のケーブルが動物にかじられ、破損した ×14	
		動物により計器が故障	
		大型動物が水位計ロガー及びケーブルにじやれついたらしく、異常値を観測	
		水位計コードが動物によって切断された	
	地すべり滑動	動物によるケーブルの切断	
		地すべりの滑動により水位計のケーブルが切断された ×2	
	センサ故障	水圧センサーが破損した。	
		計測機器(センサー部)の経年劣化による異常値	
		計器が故障 ×3	
バッテリー異常	水位が変動しなかった。 ×2		
	古い機器では電源(小型バッテリー)が不安定で、異常値が続くことが多かった。		
	冬季積雪地で電池電圧低下による欠測。雪囲いが必要であった。		
	バッテリー切れによる欠測 ×2		
	水位が変動しなかった。		
湿気、小動物による 測定器異常	電池切れによる欠測。		
	ハチが保護箱内に巣を作り、計器が故障。		
	蟻が浸入し、計器が故障した。 ×2		
	水位データの異常		
人的被害	湿気による漏電、故障。		
	水圧式は継続観測、自記式が多いが湿気で観測不能であった		
人的被害	草刈で破損した。 ×4		
	工事業者に破壊された。		
データ異常 (水位計測データが正しくない)	測定レンジオーバー	レンジオーバーで測定不能 ×5	
	水質	水位計付近に藻か何かが多量に付着し、異常値を観測。	
		孔内水が赤水であったため使用不能となった。	
	実水位と不一致	気付きにくい故障をした例があった。データは回収出来ているが、実際の地下水位とすこしずつ乖離が生じた。	
		データ異常 ×2	
		レンジが大きすぎて値が荒い	
		小型の水圧式水位計を設置したときに、計測値にばらつきが見られた。	
		同一箇所での自記水位計のデータ比較したとき、水位変動幅小さく、HWLがm単位で差が出た。	
	ノイズ	補正係数を取り間違い、変動幅を過大に評価	
		水位が正確な値を示さなかった。異常と思われる数値を示す	
計器設置位置以深に 水位低下	原因不明のケバケバしたノイズ状の変動を観測することがある。		
	水位計よりも水位が低下した。 ×5		
	水位が上がらなかった ×3		
	水位が変動しなかった。 ×3		
	水位が低下して、計器設置深度以下になってもデータとれていた。そのデータの信頼性が疑問であった。		
	水位計設置深度決定における、滑動中の地すべりでの、最低地下水位面とすべり面との区間の見極め。		
点検できない (正常に測れるが抜けない)	地下水位が低くなると、測定データがおかしくなる。		
	地すべり滑動による 観測孔の変形	観測孔の変形により水位計が抜けなくなった ×27	
その他	地震により観測孔が変形し、水圧センサーが抜けなくなった。また、徐々に地下水位が低下する異常値を示すようになった		
	地すべり変動によりセンサーが埋まった ×2		
	データ回収の際に、コントローラーの線が抜けやすい。		
その他	すべり面に設置した貫入設置型の間隙水圧計の遮水が完璧でなく、観測途中に計測値が著しく変動した。		
	仕様がりシャール式となっていたものを、水圧式水位計に変更したとき。		
	水位変化の予測のためには水収支の視点を取り込むことも必要		

3.1 地すべり調査で水圧式水位計の使用による苦勞・失敗

苦勞・失敗したこと		件数
1	①測定できない(水位そのものが測れない)	54
2	②データ異常(水位計測データが正しくない)	30
3	③点検できない(正常に測れるが計器が抜けない)	30

①測定できない(水位そのものが測れない)

原因		件数
1	動物によるケーブル損傷	18
2	バッテリー異常	8
3	湿気、小動物による測定器異常	6
4	人的被害	5
5	落雷・誘導雷	5
6	センサ故障	5
7	人的被害	5
8	地すべり滑動	2

②データ異常(水位計測データが正しくない)

原因		件数
1	計器設置位置以深に水位低下	14
2	測定レンジオーバー	5
3	実水位と不一致	7
4	ノイズ	2
5	水質	2

③点検できない(正常に測れるが計器が抜けない)

原因		件数
1	地すべり変動によるパイプの変形	27
2	斜面崩壊による土砂流入	2
3	地震によるパイプの変形	1

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.457 May 2014

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

