

8. 地下水調査

(基準書 第2章、2.3(7)関連)

8.1 調査の目的

地下水調査の目的は次のとおりである。

- ① 地すべりの誘因としての地下水の賦存形態、性質、流動経路、流動量を三次元的に把握し、地すべり機構の解明を行うとともに地下水排除工の基礎資料とする。
- ② 安定解析を行う際の地すべり面にかかる間隙水圧を把握する。
- ③ 地下水排除工の効果の追跡を行う。

地すべり地域は、複雑な地質構造のため、地下水の性質及び挙動は一様でない。たとえば、透水性が大きく均質な地層内では地下水の水圧は静水圧分布とみなすことができるので、地層内のある点の間隙水圧は観測孔内に生じる地下水位に反映される。しかし、粘土層等では間隙水圧と地下水位の変動が一致しないことがある。また、不透水層が挟在しているところでは、その上位と下位の地下水はそれぞれ独立した間隙水圧や地下水位を持っている。このような複雑な地下水の賦存形態等を把握するためには、各調査手法を適切に選択して実施する。

地下水位の変動状況は、地すべりの安定度に大きく影響するものであるから、降雨の多い時期、積雪期、融雪期等、地すべり変動が特に顕在化する時期の観測が不可欠である。なお、対策工完了後の観測時期・期間については、技術書「Ⅲ計画設計編、11. 概成」を参照する。

8.2 調査方法の選定

調査方法の選定区分を、表-2.8.1に示す。

表-2.8.1 調査方法の選定区分

選定区分	調査方法	対応する他基準	明らかにされる情報・数値の概要
通常実施	地下水位測定	JGS 1311 JGS 1312	地下水位（降雨と地下水位変動の相関）
必要に応じ実施	1 m深地温探査		地下水流動（浅層地下水の流動経路）
	トレーサ調査		地下水流動（地下水の流動経路及び流速の推定）
	地下水検層	JGS 1317	地下水流動層（流動地下水の流入箇所及び流入程度）
	簡易揚水試験		地すべりブロックの透水係数や地下水賦存量の概略の把握
	間隙水圧計による測定	JGS 1313	すべり面にかかる間隙水圧
	水質調査		地下水の流下経路や賦存状況（技術書「Ⅱ 調査編、7.3.3 水質調査」参照）
特殊条件下で実施	湧水圧試験	JGS 1321	岩盤の平衡水位及び透水係数

注) 表中でJGSとしたものは「地盤工学会基準」であり、「地盤調査の方法と解説」（2013）（地盤工学会編）を参照する。

8.3 調査内容

8.3.1 地下水位測定

(1) 適用

地下水位の測定は、すべり面にかかる間隙水圧を地下水位として把握しようとするもので、地下水調査の中で最も重要なものの一つである。測定は、すべての地下水位測定孔について、ある一時点での地下水位分布を把握する一斉観測と、重要な地点の測定孔について自記水位計を設置して経時的な地下水位変化を測定する継続観測とに分けられる。調査方法は、地盤工学会基準の「ボーリング孔を利用した砂質・礫質地盤の地下水位の測定方法」(JGS 1311)、「観測井による砂質・礫質地盤の地下水位の測定方法」(JGS 1312)として定められている。

地下水位の変動状況は、地すべりの安定度に大きく影響するものであるから、降雨の多い時期、積雪期、融雪期等、地すべり変動が特に顕在化する時期の観測が不可欠である。なお、対策工完了後の観測時期・期間については、技術書「計画設計編Ⅲ、11. 概成」を参照する。

(2) 測定孔の設置

一般に地すべり地域の地下水は地すべりブロックや基盤中の網の目状亀裂内を流動する脈状水であることが多く、その場合間隙水圧(≒地下水位)は、地下水の流動系によって異なることが多い。したがって、同じボーリング孔であっても深度が異なれば流動系が異なり、地下水位も異なってくることもあり(例を図-2.8.1及び図-2.8.2に示す)、地下水位測定孔としては地すべりに最も大きな影響を与える流動系の地下水位を測定できるようストレーナを設けなければならない(一般にはすべり面付近に設置)。試錐日報(図-2.8.2)において掘進中の孔内水位に変化がある区間や、地下水検層、電気検層の結果から地下水の流動が認められる区間がある場合には、ボーリングコアとの対比により、すべり面の可能性がある区間に部分ストレーナを設置する。

すべり面を通過して掘削した際に、セメンチングを実施しても逸水により地下水位が計測されない場合には、新たに観測孔を掘削する必要がある。

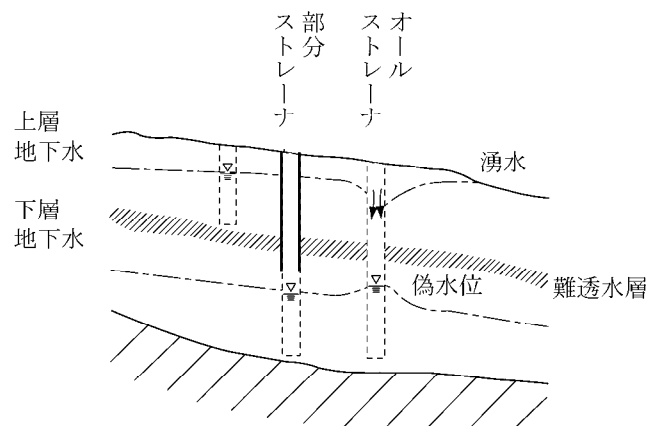
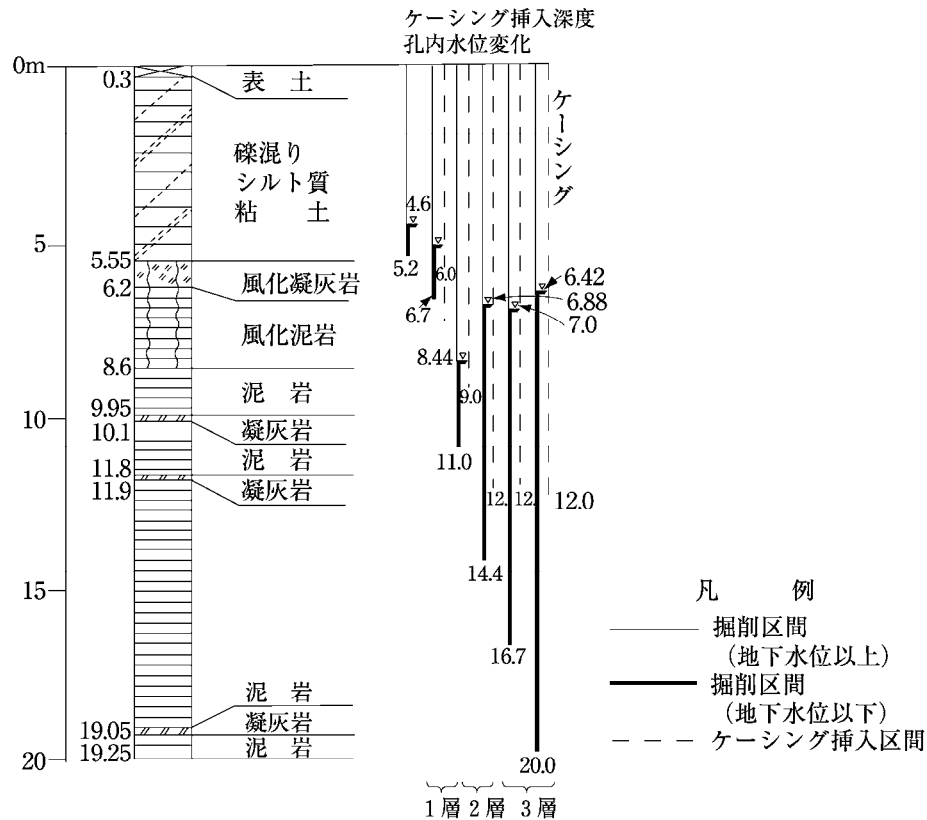


図-2.8.1 多層地下水の概念図



注) この図の右側に示したのは翌朝の掘削前の地下水位を図にしたものである。このボーリング例では掘削に際して、孔壁の崩壊を防止するためにケーシングの使用を行っている。したがって地下水について考える場合にはケーシング区間は遮水されていると考えてよい。この結果と地質柱状図との比較から次のような地下水構造が読み取れる。

- GL-0.3~5.55m : 第1帯水層 : 地下水位GL-4~5m
 GL-5.55~8.6m : 第1遮水層 (又は第1帯水層)
 GL-8.6~11.8m : 第2帯水層 : 地下水位GL-8.44m前後
 (ただし9.95~10.1mの凝灰岩層で更に二分されている可能性あり)
 GL-11.8~11.9m : 第2遮水層
 GL-11.9m以深 : 第3帯水層 : 地下水位GL-6~7m

図-2.8.2 試錐日報 (多層地下水測定事例)

なお、被圧地下水位の確認等の特定の区間の地下水位を測定する際には、図-2.8.3に示すような、吸水膨張する特殊樹脂をパッカーのような状態で挿入設置する方法も多くなっている。

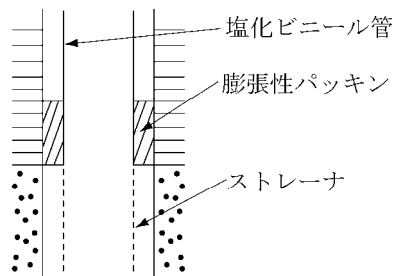


図-2.8.3 膨張性パッキンの挿入例

また、特に新第三紀層泥岩中等の粘土質の崩土を持つ地すべりでは、設置後1～2年のうちにストレーナの目詰まりを生じて地下水位の変動を測定できなくなってしまうことがあるので、ストレーナ周囲にフィルター材を設ける必要がある。フィルター材には不織布、防虫網や薄手のグラスウールシート等だけではなく図-2.8.4に示すように洗い砂等を用いる必要がある。

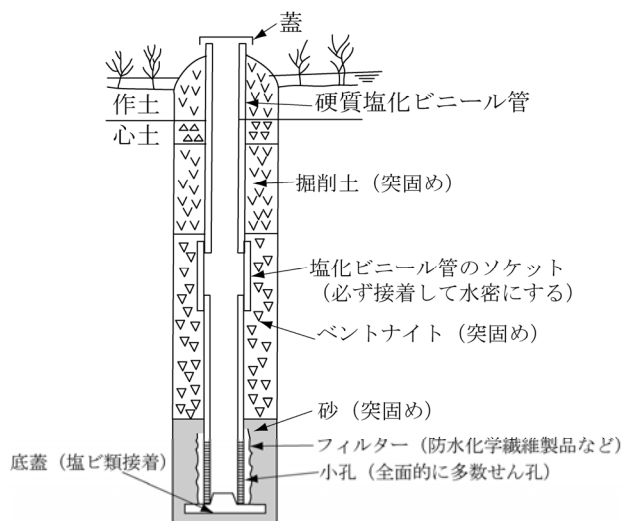


図-2.8.4 観測孔構造例

観測孔の孔径については、一斉観測孔は25mm以上、継続観測孔は設置する自記水位計の機種に合わせた孔径とする。

なお、このような開放（オープンピエゾ）型の観測孔の場合、孔内水位の変動には孔周辺の地盤と孔内との間で水の出入りが生じ、そのため、地盤周辺の間隙水圧あるいは地下水位と孔内水位との間にタイムラグを生じる。透水性の低い粘性土地盤、孔管径が大きい場合にはこの影響が大きなものになるので、これを考慮する必要がある。

(3) 地下水位の測定手法の事例

① 部分ストレーナ加工を施した水位観測孔の設置例

複数の帯水層が存在する場合、図-2.8.5に示すように部分ストレーナ（パッカーを使用）の地下水位観測孔を設置し、目的に沿った地下水位評価を行うことが肝要である。

図-2.8.6のように、地表からのグラウトによる左側の構造では、遮水が不完全で目的の帯水層の地下水位の測定に支障が出るので、高瀬地区（高知県）においては同図の右側の構造のように、ストレーナ区間は、すべり面付近の帯水層と判断される区間のみとし、上端は浅層からの地下水の流入を確実に防止することを目的としてパッキンに加えシームレスパッカーで完全遮水することで目的の帯水層の地下水位の測定を可能にしている（これより上部はグラウトにより充填）。

水位観測孔のストレーナ区間は、試錐日報を参考に掘削中の孔内水位変動に基づき、最深部のすべり面付近の帯水層と判断される区間及び掘削中の漏水区間を考慮し設定している。

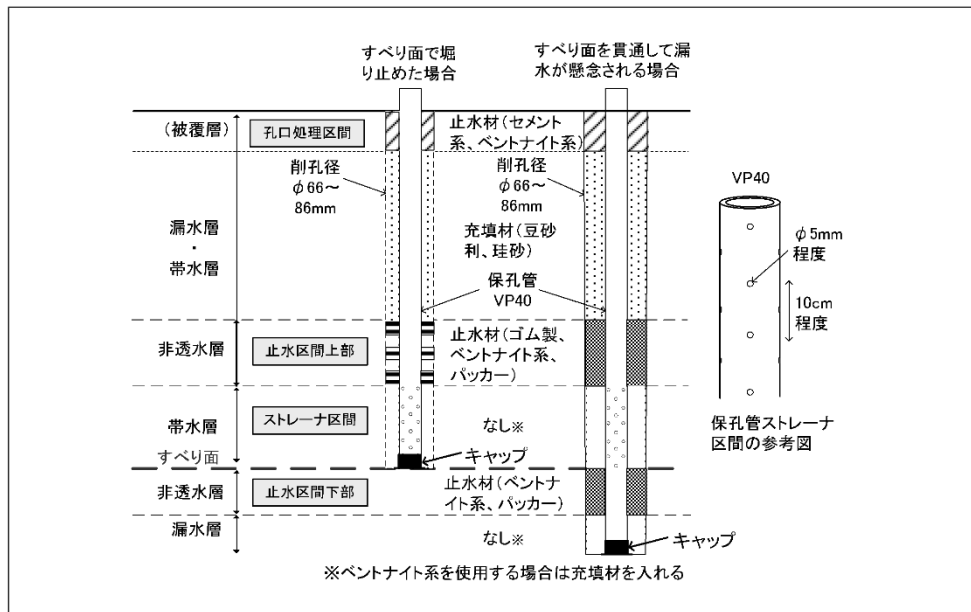
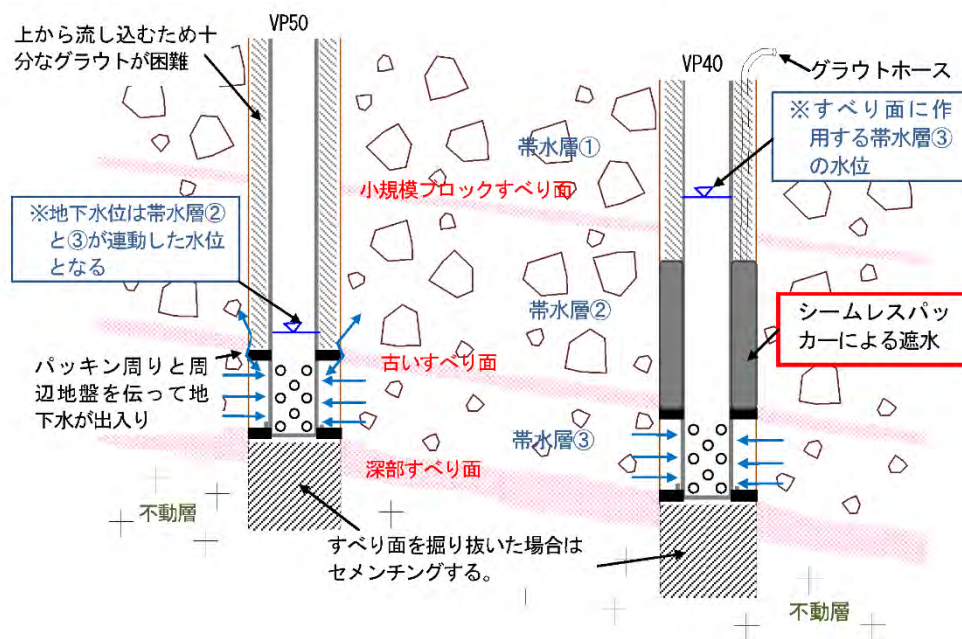


図-2.8.5 部分ストレーナの標準図*1

図-2.8.6 高瀬地区（高知県）における部分ストレーナを施した水位観測孔設置例
(左：設計例、右：施工例)

*1 (独) 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)」土木研究所資料第4283号 p. 17 (2014)

② 部分ストレーナ孔とオールストレーナ孔の水位比較例

庄内あさひ地区（山形県）では、部分ストレーナ孔とオールストレーナ孔との観測結果の対比が行われている。図-2.8.7に水位観測孔設置位置を、図-2.8.8に部分ストレーナ孔の間隙水圧観測結果を、図-2.8.9にオールストレーナ孔の間隙水圧観測結果を示す。

対比の結果、以下の整理が行われている。

- ・ オールストレーナ孔の観測水位は、最大12mの年変動を示すものと、年変動の乏しい観測孔がある。
- ・ オールストレーナ孔の観測水位は部分ストレーナ孔に比べ、降雨応答に対する感度が高い傾向にある。
- ・ 例えばB-8-2（部分ストレーナ孔）とB-8-1（オールストレーナ孔）、B-3-2（部分ストレーナ孔）とB-3-1（オールストレーナ孔）を比較した場合、オールストレーナ孔の方が対策工施工後のすべり面にかかる間隙水圧を過大に評価したり、降雨に対する間隙水圧の応答を正確に把握できないことが想定される。

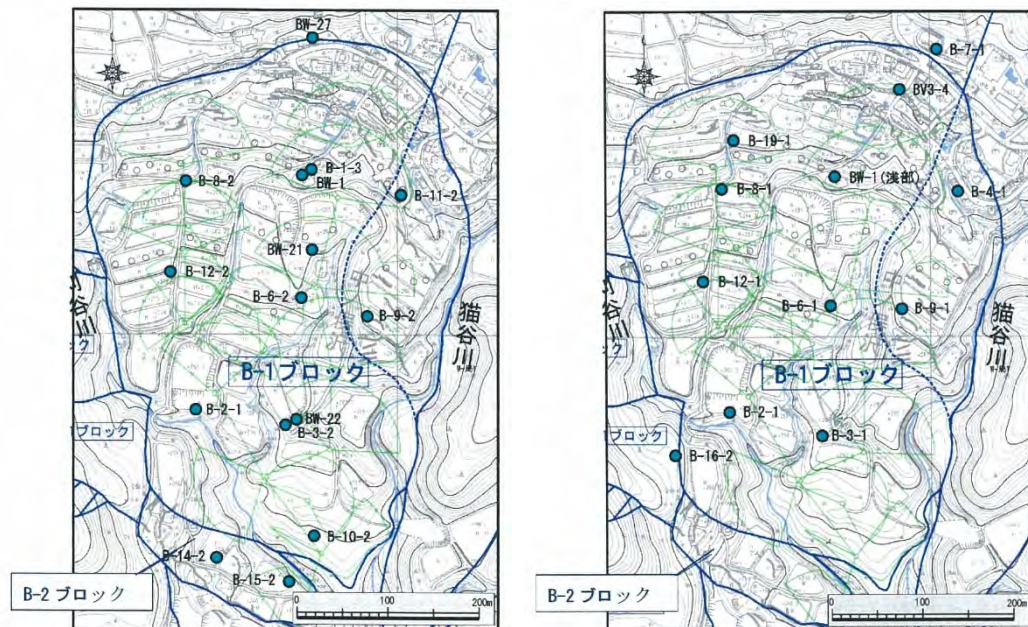


図-2.8.7 庄内あさひ地区（山形県）における水位観測孔設置例

（左：部分ストレーナ孔観測位置図 右：オールストレーナ孔観測位置図）

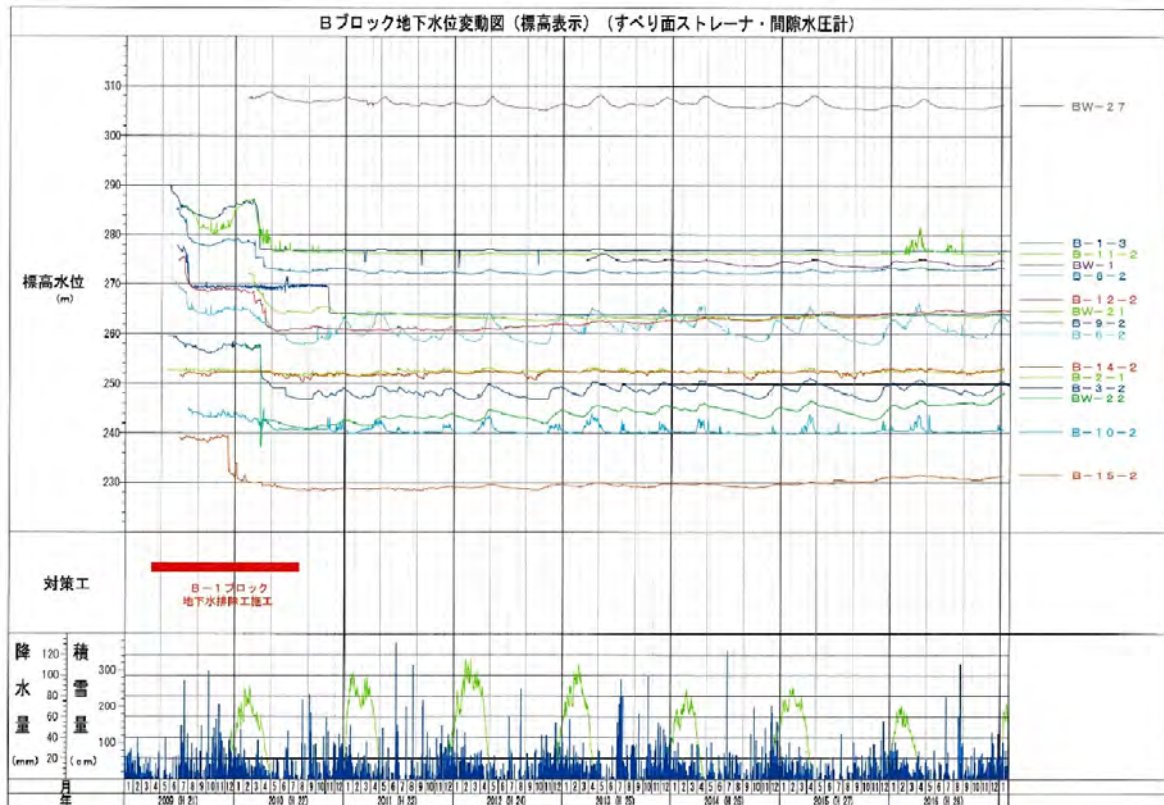


図-2.8.8 庄内あさひ地区（山形県）における部分ストレナ孔の間隙水圧観測結果

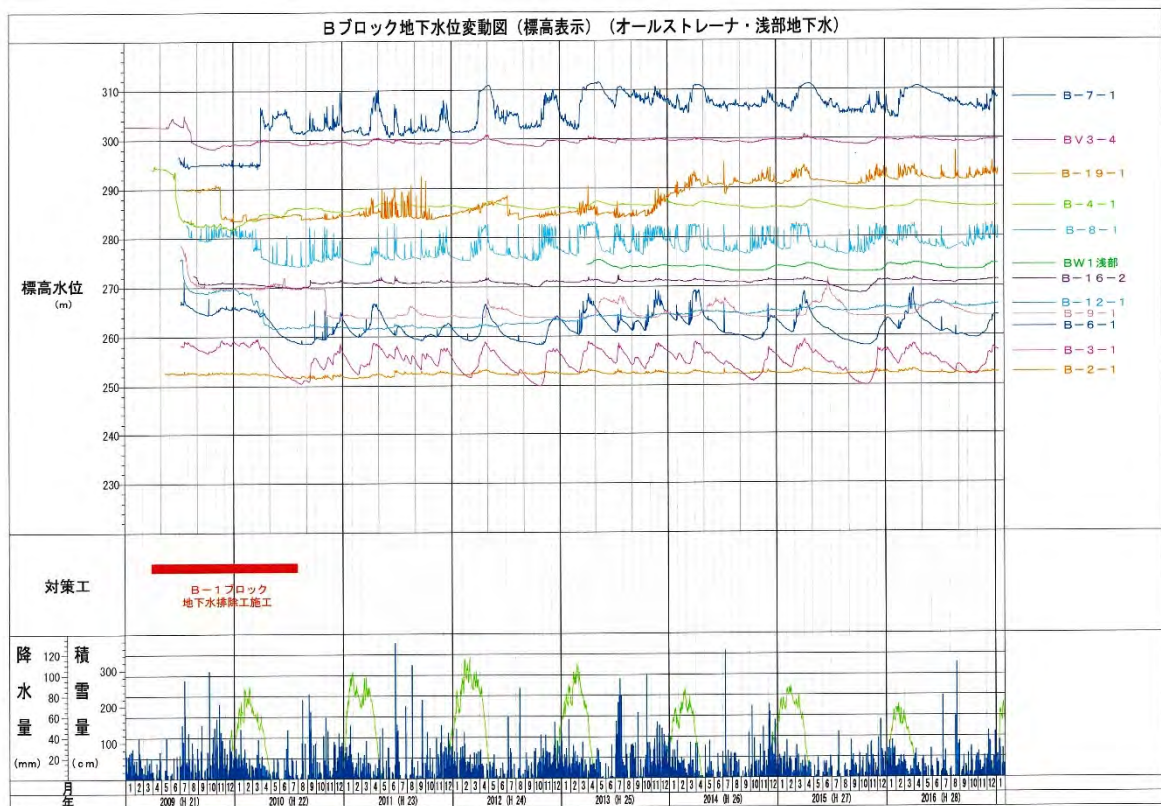


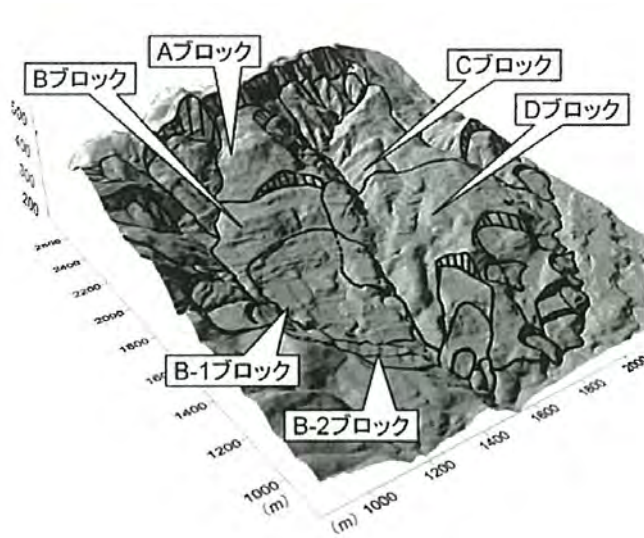
図-2.8.9 庄内あさひ地区（山形県）におけるオールストレナ孔の間隙水圧観測結果

③ 自動観測システムによる地下水位測定例

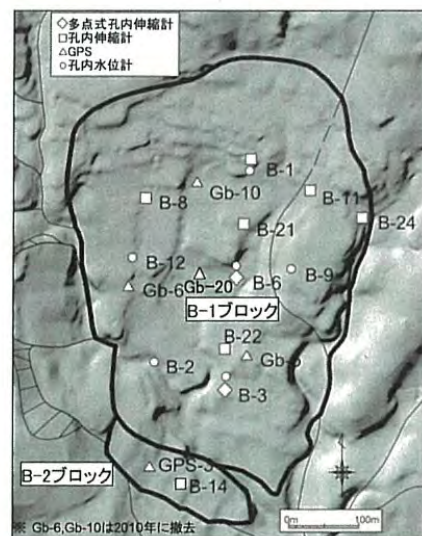
地すべり自動観測システムは、災害時の警戒避難のためのリアルタイム監視に用いられる場合が多いが、近年では豪雪地域の地すべり等において機構解析や対策工事の効果検証のための継続的な観測を省力化する手段として用いられる事例も増えてきている。また、水位上昇により変動が活発化することが把握されている地すべりに対しては、地下水位の自動観測結果を危機管理に活用することもできる。

庄内あさひ地区（山形県）では、地すべり活動の変位・機構解明のために以下の事由を考慮し図-2.8.10、図-2.8.11^{*1}に示す自動観測システムが導入され、それ以降対策工の進捗に伴う地すべり活動の沈静化や隣接ブロックの活動確認等、取り巻く環境の変化に応じて改良を繰り返しつつ、運用を継続している。図-2.8.12に自動観測の結果例を示す。当地区では、観測が困難となる積雪期でも遠隔地から容易に地すべりの活動状況を確認できることや、地すべりの活動が活発化した際には管理者に対して自動で通知が行えることから、自動観測を導入している。

地すべり活動が活発な場合は、有線を多用すると地すべり活動に伴う断線により通信異常や停電が発生する可能性が高くなることから、電力供給は太陽電池を使用するとともに、通信手段を携帯ポケット通信とし、各地点から直接事業所内に設置した監視サーバまでデータを伝送するシステムを構築することが望ましい。



庄内あさひ地区 鳥瞰図



B-1・B-2ブロック観測機器配置図

図-2.8.10 庄内あさひ地区（山形県）の自動観測計器位置図

*1 齋藤ら（2013）：山形県七五三掛地すべりにおける自動観測システムの構築と改良、日本地すべり学会誌50. 4、pp. 10～17

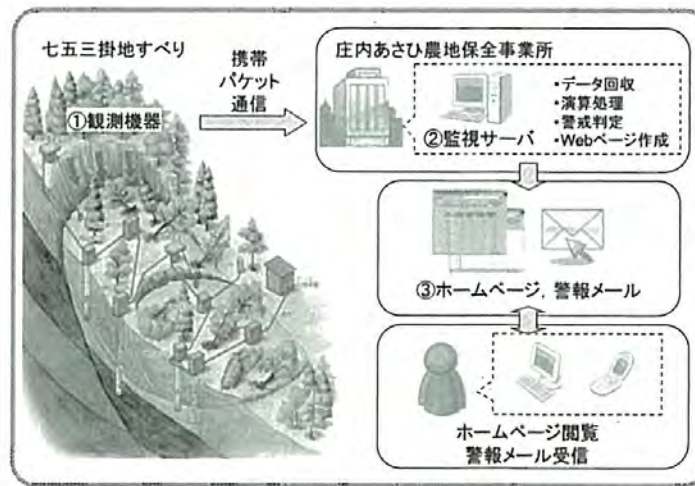


図-2.8.11 庄内あさひ地区（山形県）の自動観測システム概要図

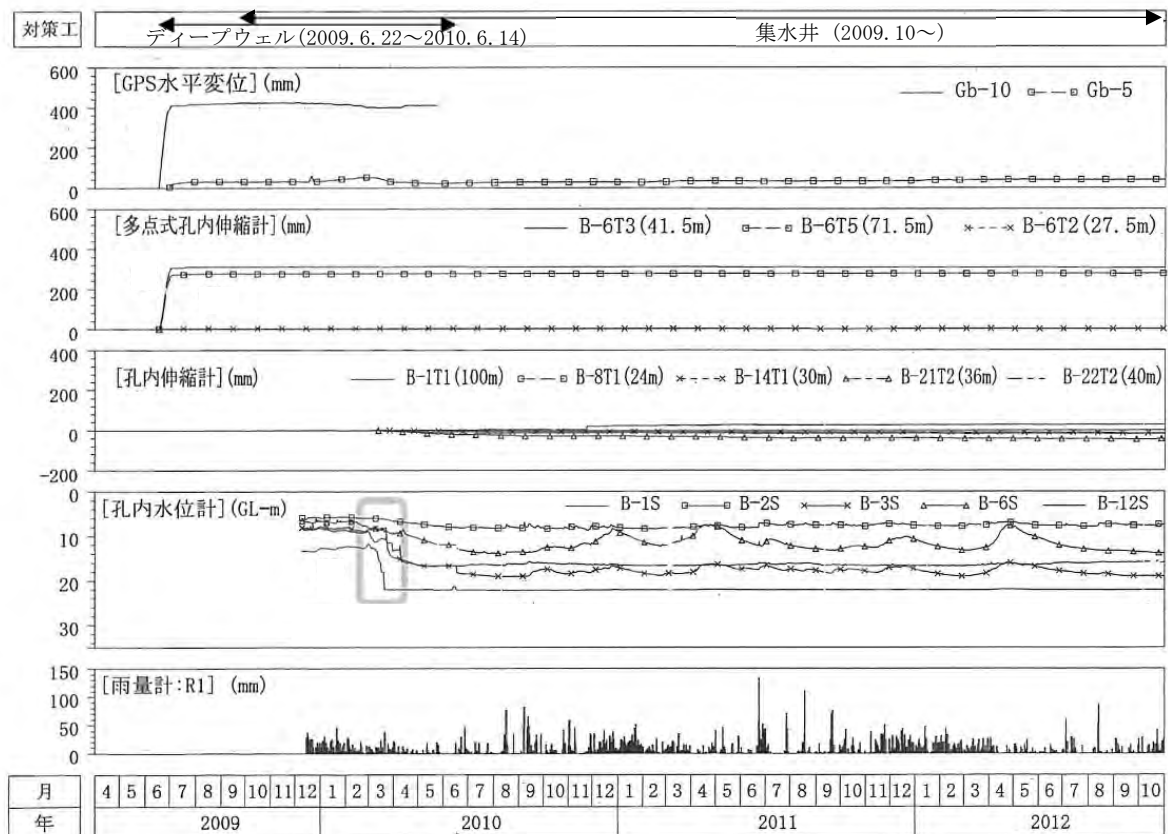


図-2.8.12 庄内あさひ地区（山形県）の自動観測結果例
 （集水井工の施工に伴い地下水位が低下したことが確認されている。）