

6. 土質調査

(基準書 第2章、2.3(5)関連)

6.1 調査の目的

地すべりブロックがどのような土から構成されているかを明らかにし、ブロック内に発生するせん断力と、ブロック内（特にすべり面）で発揮されるせん断抵抗力にかかる土の物性を把握するために土質調査を行う。各試験の目的と得られるデータとの関連を示すと以下のとおりである。

- ① 他地区で得られた記録との比較を行うとともに、将来行われる対策に資するために土の分類を行い記録する。粘土におけるコンシステンシー（液性限界、塑性限界等）や粒度分布は単なる分類上の指標にとどまらず、地すべりブロックの安定を考える上での貴重な情報となる。たとえば $2\mu\text{m}$ 以下の粒度分を多く含む高塑性粘土は長期的にせん断強度の低下を起すおそれがあり、また、粒径のそろった密度の低い砂は飽和時に短期的な強度低下を起すおそれがあるため、これらの物理的性質の把握は力学的性質との関係からも必要である。
- ② 土の密度、土粒子の密度、自然含水比は土の基本的特性として把握する必要がある。これらの値は地すべりブロック内に発生するせん断力を決定する上で重要である。
- ③ 土の力学的性質の試験（室内力学試験及び原位置力学試験）結果からは土のせん断強度が求められ、地すべりブロック内（特にすべり面）で発揮されるせん断抵抗力を決定することができる。

6.2 調査方法の選定

調査方法の選定区分を、表-2.6.1に示す。

表-2.6.1 調査方法の選定区分

選定区分	調査方法	明らかにされる情報・数値の概要
通常実施	試料の採取	試験のための土やすべり面粘土等の試料を採取する。試料は、攪乱試料、不攪乱試料に区分されるが、実施する試験の方法に留意し採取方法を検討する。
	物理試験	土やすべり面粘土等の基本的な物性値（土粒子の密度、粒度分布、液性・塑性限界、自然含水比、土の密度）を求める。
	土の分類	土やすべり面粘土等の土質分類を行う。
	室内力学試験	土やすべり面粘土等の強度特性（ c 、 ϕ ）を求める。
必要に応じ実施	原位置力学試験	土や岩盤の強度定数（地盤反力、せん断強度等）を求める。

6.3 調査内容

6.3.1 試料の採取

試料採取に当たっては、試料の乱され方の程度が問題となり、表-2.6.2に示す注意事項により適切な方法で試料を採取する。

表-2.6.2 土質調査と試料の採取

試験項目		試料採取の注意事項
土の物理的性質の試験	土粒子の密度試験 (JIS A 1202)	乾燥により性質が著しく変化する土（アロフェン、加水ハロイサイト等の粘土鉱物を含む土質）の場合には、空気乾燥しないよう注意する。
	土の液性限界・塑性限界試験 (JIS A 1205)	
	土の粒度試験 (JIS A 1204)	乾燥により性質が著しく変化する土及び粗粒子が壊れやすい土（風化の進んだ礫分を含む土等）では、性質の変化に注意する。
	土の含水比試験 (JIS A 1203)	試験まで含水状態が変化しないように保管する。
土の密度試験 (JIS A 1225)	JIS A 1225 “土の湿潤密度試験方法” の場合は、試料は乱さない状態で採取し、試験まで水分及び体積が変化しないように保管する。	
土の力学的性質の試験	土の三軸試験 (JGS 0521, 0522, 0523, 0524)	すべり面の生じていない部分是不攪乱試料でなければならない。すべり面を含む土については不攪乱試料が望ましいが、採取できないときは、スラリ状態にした後「完全軟化強度（正規圧密試料のピーク強度）」又は「残留強度」を求める。
	土の一面せん断試験 (JGS 0560, 0561)	
	リングせん断試験	

注) 表中でJISとしたものは「日本産業規格」、JGSとしたものは「地盤工学会基準」であり、それぞれ「地盤材料試験の方法と解説（第一回改訂版）」(2020)（地盤工学会編）、「地盤調査の方法と解説」(2013)（地盤工学会編）を参照する。

※一面せん断試験は、技術書「IV資料編、5.1.1 室内力学試験」を参照する。

6.3.2 物理試験

物理試験は、表-2.6.3による。

表-2.6.3 試験項目と試験法の適用

試験項目	試験法
土粒子の密度試験	4.75mmふるいを通過した土を対象とする場合はJIS A 1202 “土粒子の密度試験方法”によることとし、4.75mm以上の場合はJIS A 1110 “粗骨材の密度及び吸水率試験方法”による。
土の液性限界・塑性限界試験	基本は、JIS A 1205 “土の液性限界・塑性限界試験方法”による。
土の粒度試験	粒径75mm未満を対象とした試験方法がJIS A 1204 “土の粒度試験方法”であり、粒径75mmを超える石分を対象とした地盤材料の粒度を求める試験方法が、JGS 0132 “石分を含む地盤材料の粒度試験方法”である。細粒分から石分まで幅広く含む場合は、両者の試験を行い、結果を組合わせて表す。粒度を詳細に調べる必要が無く細粒分が判ればよいという場合には、JIS A 1223 “土の細粒分含有率試験方法”が適用される。
土の含水比試験	基本は、JIS A 1203 “土の含水比試験方法”によるが、迅速に測定する必要があるときには、JGS 0122 “電子レンジを用いた土の含水比試験方法”を用いることも可能である。ほかに、JGS 1614 “RI計器による土の密度試験方法”や“砂容器法・アルコール燃焼法”がある。JGS 1614 “RI計器による土の密度試験方法”の場合、「地盤調査の方法と解説」(2013) (地盤工学会編) の記述による校正曲線の精度を調べるために、少なくとも1か所でほかの方法による測定を行うことが望ましい。
土の密度試験	基本は、JIS A 1225 “土の湿潤密度試験方法”によるが、現地で行う場合は、JIS A 1214 “砂置換による土の密度試験方法”、JGS 1611 “突き砂による土の密度試験方法”、JGS 1612 “水置換による土の密度試験方法”、JGS 1614 “RI計器による土の密度試験方法”によることとし、それぞれ、「地盤調査の方法と解説」(2013) (地盤工学会編) の記述による。ガンマ線密度計による場合には、校正曲線の精度を調べるために少なくとも1か所でほかの方法による測定を行うことが望ましい。 室内試験による場合には、成形法及び体積置換法又は非成形法によることとし、それぞれ「地盤材料試験の方法と解説 (第一回改訂版)」(2020) (地盤工学会編) を参照する。土の湿潤密度と土粒子の密度、土の含水比から、土の乾燥単位体積重量、湿潤単位体積重量、飽和単位体積重量、水中単位体積重量、間隙比を計算することができる。

6.3.3 土の分類

土の分類は、「地盤材料試験の方法と解説 (第一回改訂版)」(2020) (地盤工学会編) に記載された分類法による。

なお、土の分類に当たっては、目的に応じた分類手法がある。例えば切土工の法面勾配を決める場合には、硬岩・軟岩・砂・粘性土等での分類^{*1}が一般的である。

*1 (公社)日本道路協会「道路土工 切土工・斜面安定工指針 (平成21年度版)」 pp.134~136 (2009)

6.3.4 室内力学試験

土の力学的性質である土の強度定数を求めるための試験を行う。これらの値は、地すべりブロックの安定性を定量的に評価するための重要な資料となるので地すべりの機構を考慮した最適の条件で試験を行う必要があるが、技術的にもほかの土質試験に比べて熟練を要する作業が多いので、測定のために適した試験機、試験方法及び試験条件を選択し、慎重な試験を行うことが望ましい。

試験の詳細については、「地盤材料試験の方法と解説（第一回改訂版）」（2020）（地盤工学会編）によるものとする。

なお、安定解析に用いる強度定数の取扱いについては、技術書「Ⅲ計画設計編、1. 強度定数」及び「Ⅳ資料編、5.1 強度定数を推定するための試験」を参照する。

6.3.5 原位置力学試験

原位置力学試験は、技術書「Ⅳ資料編、5.1 強度定数を推定するための試験」を参照する。

7. 気象・水文調査

(基準書 第2章、2.3(6)関連)

7.1 調査の目的

気象・水文調査の目的は次のとおりである。

- ① 降雨・融雪等と地すべり移動との相関関係を明らかにする。
- ② 地すべり地域の水循環過程を把握し、適切な地表水処理、地下水排除を計画する基礎資料とする。
- ③ 地表水の流況について、地表水排除工や侵食防止工の具体的配置・設計に必要な資料を得る。

7.2 調査方法の選定

調査方法の選定区分を、表-2.7.1に示す。

表-2.7.1 調査方法の選定区分

選定区分	調査方法	明らかにされる情報・数値の概要
通常実施	気象調査(降水量、積雪深、気温)	降水量、積雪深、気温の状況
	水文調査(湧水)	湧水量等
必要に応じ実施	気象調査(その他)	その他の気象データ
	水文調査(河川流況、豪雨時地表水状況、水質、その他)	河川流況、豪雨時地表水状況、水質 その他の水文データ

7.3 調査内容

7.3.1 気象調査

(1) 降水量観測

降水量は微地形変化によりかなりの地域差が認められることから、原則としてすべての地区において地すべり地域内に自記雨量計を1か所以上設置して観測を実施する。この場合、観測は調査開始から工事概成までの期間を通して行う。

なお、地すべり地域内に気象観測所、AMeDAS(地域気象観測システム、アメダス)等がある場合には、その観測値を利用する。やむを得ず近傍観測所の降水量を用いる場合は、あらかじめ地すべり地域内の実測値との相関をとり、補正して用いることが望ましい。

(2) 積雪深観測

積雪地帯においては融雪量を推定するために積雪深を測定する。融雪地すべりの変動傾向や春先の地下水位の上昇との相関を確認するため、測定は地すべり地域内において毎日行うことを原則とするが、豪雪地帯で地域内に人家がない等の場合は積雪条件が類似した近傍地点を選定し測定する。積雪深が目視で観測されていたときの慣例では、当日の午前9時から翌日の午前9時の積雪の深さの差を日新積雪深としていたことから、目視観測では午前9時に計測する事例が多い。

連続データの取得には、地上部の固定点から下方の雪面に向かって超音波やレーザー光を發しその反射時間を測定する手法や、積雪深ポール内から水平方向にレーザー光を發し雪面からの反射を得る方式がある。

道路管理者や市町村、除雪業者が観測をしている場合はこれらのデータを利用することも可能である。

(3) 気温観測

積雪地帯では、気温の上昇に伴う急激な融雪による地すべり発生も多く、気温の計測が重要である。積雪深測定地点においては積雪深が目視で観測されていたときの慣例から午前9時の気温及び最高最低気温を毎日測定することを基本とし、連続データの取得が望ましい。

(4) その他

台風、集中豪雨、地震等が襲来、発生した場合には、その記録をとり、地すべりの移動状況との関係について分析する。

7.3.2 水文調査

(1) 湧水調査

地すべりに関する地下水の影響を推定するとともに、地下水排除工等の計画基礎資料とするため、地すべり地域内の湧水について、位置、湧水量及び濁りを調査する。湧水量については、その季節変化、降雨による変化、移動状況との関係にも注意する必要がある。

地下水排除工施工後には、排水孔等からの排水量も観測する。

(2) 河川流況調査

地表水排除工（特に排水路工）や侵食防止工の配置・規模を決定する基礎資料として、区域内河川（溪流を含む）における渇水時及び洪水時の流況（水位、流量、流路幅、侵食状況等）を調査する。

溪流暗渠工等を計画する場合の設計諸元調査としては、対象溪流の河川流量を定常観測し洪水時の流況を正確に把握する必要がある。

(3) 豪雨時地表水状況調査

地表水排除工（特に排水路工）の配置等を定めるため、河川以外の地表水についても、豪雨時の水の流れ方を把握しておくことが望ましい。

(4) その他

用排水路等からの漏水は、地すべりを助長する可能性があるため、その漏水状況について調査する。また、地すべり地域内にため池等があり、そこからの漏水が地すべりの移動を促進しているおそれがある場合は、ため池の水位変化を測定しておく。

その他水循環の過程を把握できるよう各種水利用の実態を把握しておく。

7.3.3 水質調査

(1) 目的

地すべり地域における水質調査は、以下の目的で行う。

- ① 地表水と地下水の相互関係を明らかにし、地下水に転化しやすい地表水を明確にする。
- ② 地下水の賦存状況及び流動状況を明らかにするための参考とする。

地すべり地域の地下水といえども元は降水であり、その一部が地下浸透したものである。この

地下浸透についてはどこでも同じように浸透するわけではない。たとえば、新第三紀層泥岩分布域の水田は正常に管理されていれば地下浸透は極めて少ない。一方、同じ地すべり地域内であっても頭部の引張領域では開口亀裂ができやすいため一般に地下浸透しやすい。このような場所に池ができたりすると多量の地下浸透を生ずることとなる。また、地下浸透は表層の地質状況によっても大きく異なる。これらは、降雨時の状況について肉眼観察により判断できる場合もあるが、実際には困難なことが多い。しかし、地表から浸透して間もない地下水は表層水としての水質特性を強く残すため、ため池や河川等の表層水と、ボーリング孔等から採水した地下水との水質を比較することにより、地表水が地下浸透しやすい場所を把握できる場合がある。

また、浸透した地下水は土粒子や岩石と接触しながら流れるために、次第に成分が変化していく。この場合、単純に土粒子や岩石の成分が溶け出していくだけではなく、浸透水に含まれていた成分が、逆に土粒子や岩石に吸着される場合もある。当然、土粒子や岩石を構成する鉱物の種類（成分）によっても水質の変化過程は変わってくる。これらの水質変化は、地下水の流動にしたがって徐々に生ずるため、ボーリング孔や湧水から採取した地下水の水質変化を追跡することにより、地下水の流動経路を把握する参考となることが多い。また、特殊な事例としては、地下のマグマの影響を受けた温泉水が混合して水質が変化したり、深部の岩石（堆積岩）中に含まれる化石海水（堆積岩ができたときの海水）が湧出して混合したりする場合もある。この場合には、通常急激かつ著しい水質変化をきたす。

(2) 地下水の水質変化の原理

地下水は、降水や河川水のほかさまざまな種類の水が変成・混成したものであり、地下水の起源となるこれらの水の水質は、次のような特徴を持っている。まず地下水の最も主要な起源である降水は、一般に溶存成分が極めて少ないという特徴をもつ。これに対して河川水は、 Ca^{2+} 、 SiO_2 が多く、陰イオンとしては HCO_3^- が主体となっているのが特徴である*1。

地下水の水質は、このような地下水の起源となる水の基本的な化学組成に支配されているほか、地下水と岩石・ガスとの接触に伴うさまざまな相互化学作用の影響を受けて、水循環の過程で次第にその組成を変化させていく。

基本となる地下水の水質変化は、水が接触している地層や岩石の種類、並びにその接触時間等に支配されている。したがって、地下水の水質変化には一定の方向性が認められるのが普通であって、このような地層との反応による水質の変化を水質的進化とよぶことがある*2。特に、同一帯水層内ではその変化は連続していて、逆に変化の連続性が認められないときには、異種の水の混合や断層による水の流路の遮断等があると考えられる。

今泉*3は、地すべり地域の地下水流動脈（水みち）を流れる地下水にも水質的進化があることを示した。

(3) 水質データの整理・解析法

分析項目は水温、pH、電気伝導度の3項目とし、より精度の高い調査を行う場合はその他に Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 SiO_2 等の濃度を加える。

*1 建設省河川局監修：地下水調査および観測指針（案）、山海堂、p. 330（1993）

*2 杉崎ら（1961）：地下水の地球化学的研究（第2報）—濃尾平野における地下水と地質構造との関連性—、地質学雑誌67. 791、pp. 427～439

*3 今泉（1996）：第三紀層泥岩地すべり斜面の浅層地下水の水質変化—新潟県板倉町大池地すべりを例として—、応用地質37. 1、pp. 2～18

解析に当たっては、水温、pH、電気伝導度については測定値の類似性に基づくグループ化を行い、各種イオン濃度についてはキーダイヤグラム、ヘキサダイヤグラム等を作成して検討する。これらは河川水、ため池の水や湧水とともに、ボーリング孔から採水した水も併せて分析・整理・解析する。

ア. キーダイヤグラム

キーダイヤグラムは、地下水の水質による区分の大まかな目安となるもので、**図-2.7.1**のような水質型を示すものである*1。菱形をなすキーダイヤグラムでは、陽イオンは $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 、陰イオンは HCO_3^- と $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$ の濃度比を示している。トリリニアダイヤグラムは、キーダイヤグラムに加え、陽イオンと陰イオンの濃度比が示されていた2つの三角ダイヤグラムを示したものである。

なお、これらのダイヤグラムでは、成分量の比較はできないことに留意されたい。

I : アルカリ土類炭酸塩型

HCO_3^- と Ca^{2+} 、 Mg^{2+} を主成分とし、わが国の地下水・河川水に最も多く認められる。

II : アルカリ炭酸塩型

HCO_3^- と Na^+ 、 K^+ を主成分とし、停滞的（還元的）環境下にある地下水で、一応深層地下水と判定され、また、 Ca^{2+} と Na^+ とのイオン交換が進行している水と解釈される。

III : アルカリ土類非炭酸塩型

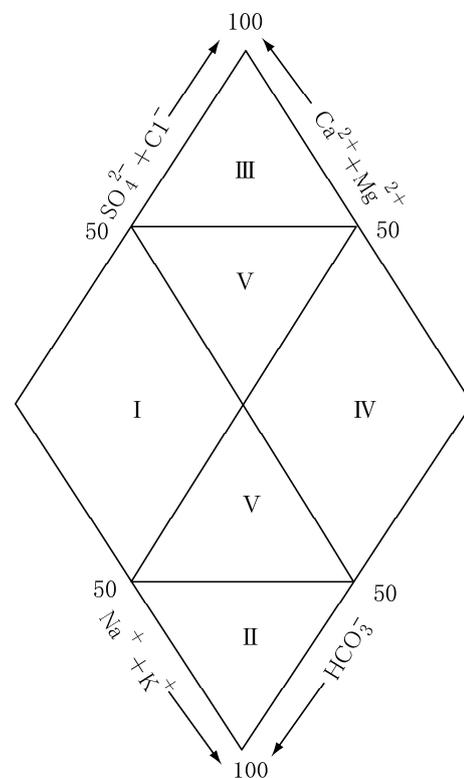
Ca^{2+} と Cl^- 、 SO_4^{2-} あるいは Mg^{2+} と Cl^- 、 SO_4^{2-} を主成分とし、温・鉱泉水、化石水等に多く認められ、通常の地下水には希である。

IV : アルカリ非炭酸塩型

Na^+ と Cl^- 、 SO_4^{2-} あるいは K^+ と Cl^- 、 SO_4^{2-} を主成分とし、海水、塩水化された地下水、温・鉱泉水等に認められる。

V : 中間的組成

I～IVの中間的な型の水で、河川水、伏流水、浅層地下水等に認められる。



領域 I : アルカリ土類炭酸塩型
 II : アルカリ炭酸塩型
 III : アルカリ土類非炭酸塩型
 IV : アルカリ非炭酸塩型
 V : 中間的組成

図-2.7.1 キーダイヤグラムによる地下水分布

イ. ヘキサダイヤグラム

ヘキサダイヤグラムは、キーダイヤグラムが成分の比率（質的關係）を示すもので、その濃度の高低関係を示せないのに対して、**図-2.7.2**に描かれているように各成分の濃度（meq/l）の

*1 吉岡（1990）：地すべり（4）地すべりと水—地球化学的調査（その1）、地下水学会誌32.3、pp.147～162

高低を図の大きさで表現している。このため、図形から水質組成の判定が容易であり、しかも図形の大小関係から溶存成分濃度の高低の判定も容易である。このヘキサダイアグラムを平面図や断面図の上に採水地点に対応させて貼り付け、その形状変化をトレースしていくことにより、溶存成分濃度の消長から水塊の区分の推定が可能である*1。

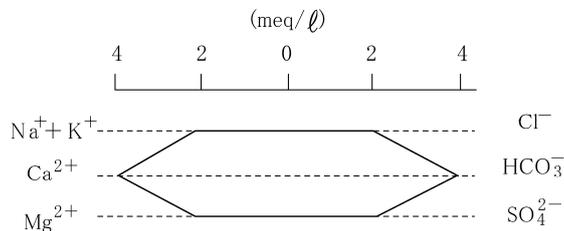


図-2.7.2 ヘキサダイアグラム

(4) 分析結果

ア. キーダイアグラムの例

図-2.7.3に分析結果例を示す。

この例は、(3)に示した分析項目に加えてNO₃⁻、NH₄⁺、CO₃²⁻、OH⁻の分析も行っている。

ここで、①のグループはこの地域の代表的な地下水の水質であるが、ため池（菅生池）に比べて著しくNa⁺やHCO₃⁻に富んでおり停滞性の強い地下水と言えよう。これに対して②及び③のグループは比較的流動速度が速いか、地中に浸透してからの時間が比較的短い地下水であると考えられる。また、湧水の水質はかなり散らばっているがいずれも比較的浅い地下水が湧出したものであって、深部にある地下水の湧出ではないことがわかる。しかしながら、ため池の水質はこれらの地下水とはかなり離れた分布をしている。たとえば、ため池の水が地下浸透して①のグループの水と混合しつつ流動したとすれば、①と③のグループを繋ぐような水質の水があってもよいと思われるが、そのような分析結果は得られていない。このことから、ため池からの大量の地下浸透が生じている可能性は小さいものと考えられる。

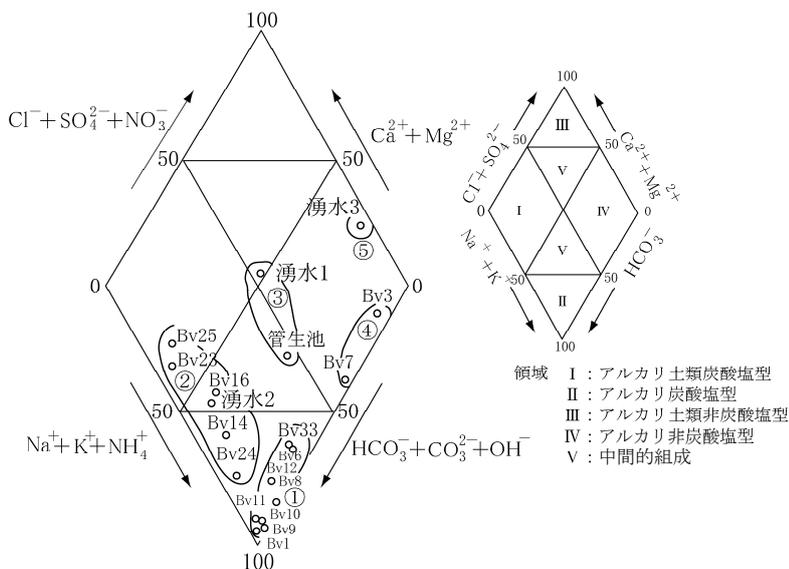


図-2.7.3 水質分析結果検討例（キーダイアグラム）

*1 渡（1975）：地すべりと地下水およびその調査方法、地下水学会誌17.3、pp.23～30

イ. ヘキサダイアグラムの例

日浦ら*1は四国の結晶片岩地すべり地域で実施した水質分析の結果に基づき、地下水の流動経路（水みち）を推定している。ここで、地下水の水質指標の中では、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} の2つのイオンが地すべりの活動性の重要な指標であることを示している。

図-2.7.4～図-2.7.6に樫尾地区（徳島県）における水みちの推定例を示す。集水井S9-2、S6-5、S1-5及び4号、5号排水トンネルはいずれも典型的なCa- HCO_3 型であるが、排水トンネルは SO_4^{2-} を多く溶存している。一方、集水井S3-2及び3号、1号排水トンネルはCa- SO_4 型の水が流出しており、地下水の流入経路の違いがあることが推定される。加えて、排水トンネルから流出する水量の水収支計算を行った結果、地すべり地域内に供給された降雨だけでは説明できない水量が排水されていることから、図-2.7.6に示すような広域な範囲の地下水谷が水みちとして想定された。

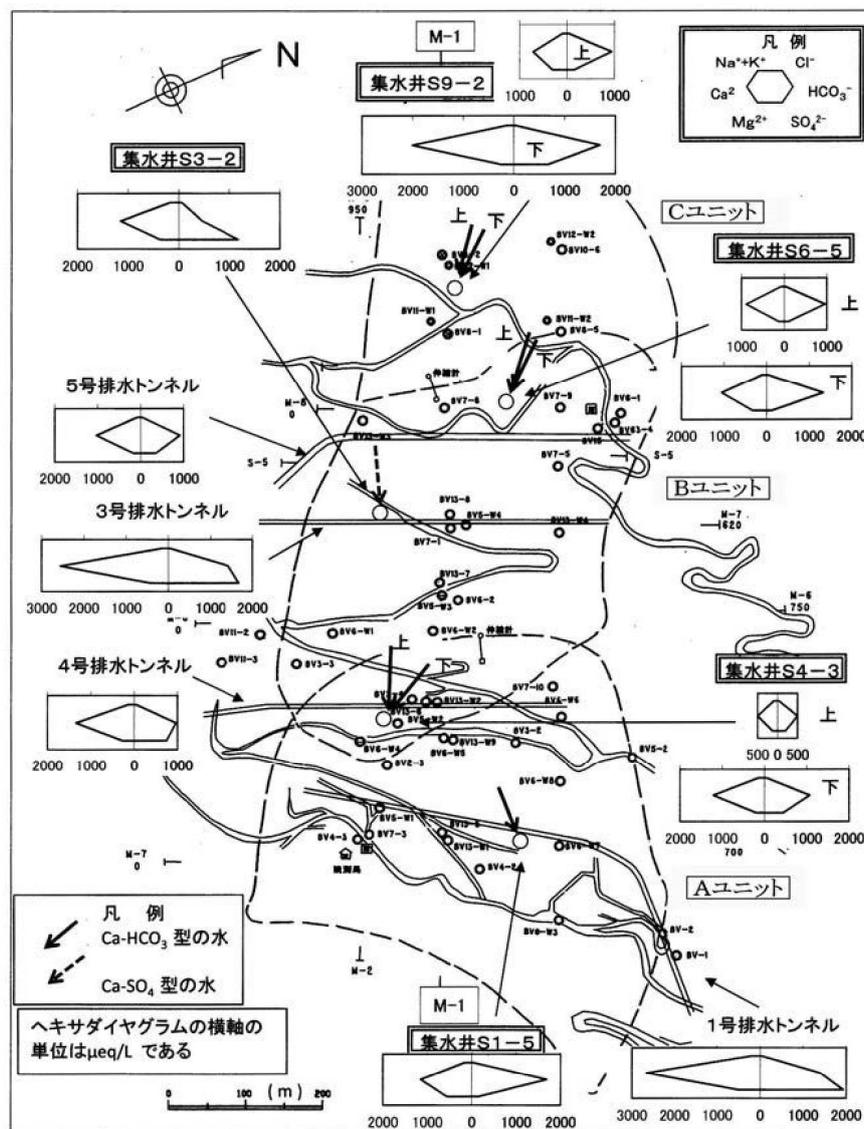


図-2.7.4 地すべり地域内での採水点の位置とヘキサダイアグラム（樫尾地区（徳島県））

*1 日浦ら（2018）：四国の結晶片岩地すべりにおける地下水の水文地質学、日本地すべり学会誌55.4、pp.5～14

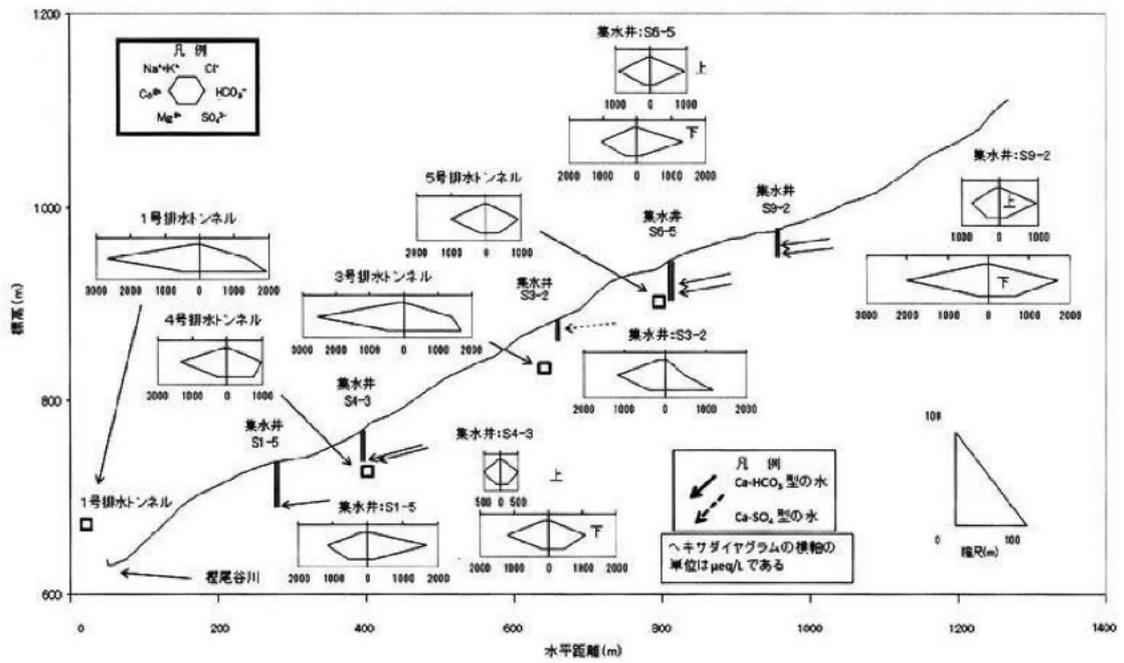


図-2.7.5 地すべりブロックの中心測線上に投影した各採水点の位置とヘキサダイアグラム

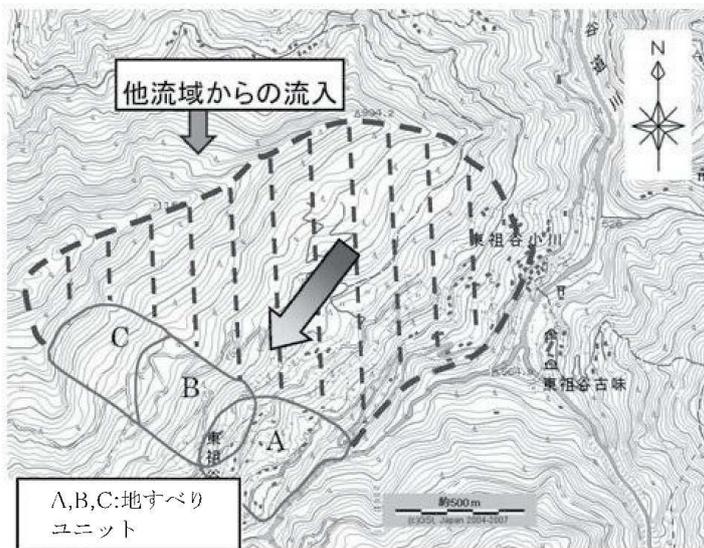


図-2.7.6 榑尾地区（徳島県）において想定される地下水の集水域