

斜面問題にも有効な地盤調査法「表面波探査」および「微動アレイ探査」の紹介

美馬 健二, 川浪 聖志, 太田 英将 (有限会社太田ジオリサーチ)

Kenji MIMA, Seishi KAWANAMI, Hidemasa OHTA (Ohta Geo Research Co., Ltd.)

1. はじめに

地形・地質の専門知識があれば、詳細な土質が不明確であっても、地盤の硬軟度だけで斜面問題（崩壊や沈下等）を解決できるケースは少なくない。理由は、斜面が問題となるケースの多くが、盛土またはN値3以下の土だからである。したがって、この経験でいえば、ボーリングは必要とせず、安価なスウェーデン式サウンディングを用いて多数の硬軟度を計測するだけで、斜面問題を解決できる。しかし、スウェーデン式サウンディングは、盛土に混入する礫で掘り止めになるという弱点があり、誤った評価をしてしまうリスクもあるため、万能な地盤調査法とはいえない。

筆者らは、斜面問題を解決する調査法として、表面波探査（正確には多チャンネル式表面波探査）が有効であると考えている。表面波探査の利点は下表のとおりである。

表-1 斜面对策における望ましい基礎地盤調査方法

No.	斜面問題に適用する地盤調査法の課題	適用できない場合のある調査法			有効な調査法
		ボーリング調査	スウェーデン式サウンディング	弾性波探査（屈折法）	表面波探査・微動アレイ探査
1	土の硬軟情報の取得	○	○	○	○
2	礫混入地盤	○	×	○	○
3	多地点の実施	×	○	○	○
4	軟質な地層の挟在	○	○	×	○
5	狭小地	×	○	○	○
6	調査期間	長い	短い	短い	短い

凡例 ○:適用可 ×適用困難(または非現実的)

本論文は、斜面問題に適用した表面波探査の事例を紹介する。また、表面波探査の限界探査深度約20mを超えた箇所については、微動アレイ探査が適用できるので、その事例も紹介する。事例の一覧を下表-2にまとめた。

表-2 本論文で紹介する表面波探査及び微動アレイ探査の事例

探査方法	事例
表面波探査	2. 2 盛土の抽出
	2. 3 古いモルタル吹付内部の地山強度の測定
	2. 4 擁壁壁面の剛性測定による擁壁の危険度判定
微動アレイ探査	3. 2 山地の地質調査
	3. 3 活断層調査
	3. 4 アンカー定着層の探査

2. 表面波探査

2. 1 表面波探査の概要

表面波探査は、カケヤで地面を起振するなどして人工的に表面波（レイリー波）を発生させ、鉛直のゆれのみ測定可能な受振器で表面波の周波数と速度を測定し、解析により複雑な地盤のS波速度を求める探査手法である（図-1、図-2）。多数の受振器を線状に設置することによって、水平方向に高精度な探査が可能となる。探査結果は図-3のようなS波速度と深さの断面図で示すことができる。

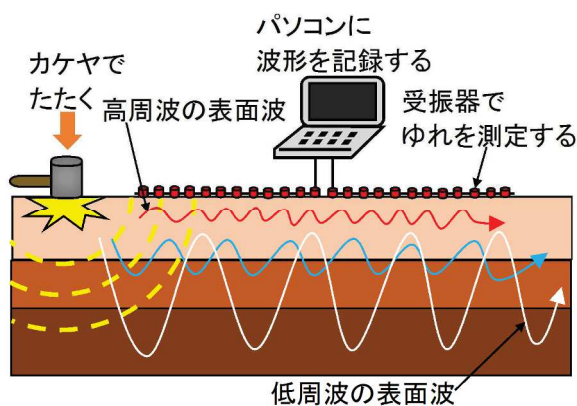


図-1 表面波探査の方法



図-2 表面波探査の状況

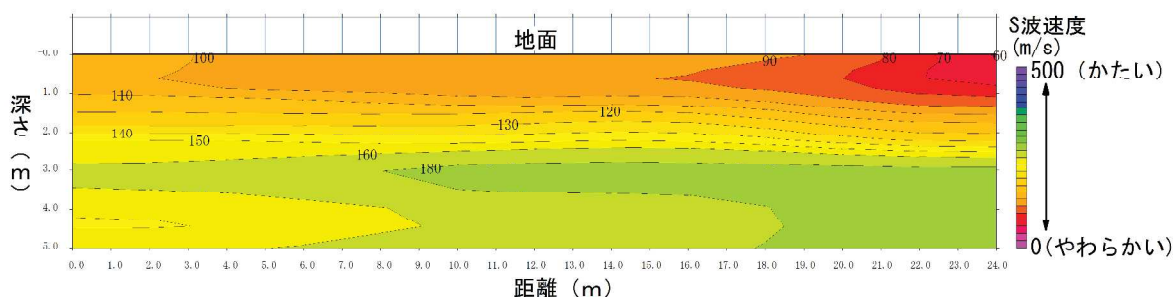


図-3 表面波探査結果の例

レイリー波は、波の伝わり方に2つの特性がある。ひとつは位相速度であり、軟らかい地層は速度が遅く、硬い地層は速度が速くなるという点である。もうひとつは周波数であり、浅いところは高周波が伝わり、深いところは低周波が伝わるという点である。これらの特性を応用し、考案されたものが表面波探査と微動アレイ探査である。表面波速度は、S波速度とほぼ同じであり、表面波探査の結果は、地盤の硬軟の指標として広く用いられているS波速度（以下、 V_s ）で示される。なお、解析方法の詳細は、「物理探査学会：物理探査適用の手引き、H20、p. 91～109」及び「地盤工学会：地盤調査の方法と解説、H25、p. 147」を参照されたい。

V_s は、 N 値と相関があり、 N 値は下記換算式で推定できる¹⁾。

$$V_s = 97.0 N^{0.314}$$

目安として、 N 値 $3 \div V_s 140$ m/s、 N 値 $50 \div V_s 330$ m/s である。

2. 2 盛土の抽出

盛土は、基本的に地山と比べて著しく軟らかい。このため、表面波探査を行えば、盛土と地山の境界を簡単に調査することができる。表面波探査が最も得意とする調査である。

図-4 は、石積擁壁背面の腹付け盛土の範囲を表面波探査で抽出した事例である。受振器を設置した位置は、擁壁背面の天端である。本事例では、擁壁左端～2.0m、深度約1.5mの範囲が周辺に比べて V_s が遅く、盛土であることが推定できた。このように盛土部を特定すれば、地震時に石積擁壁が不安定化する可能性があるものとして、優先的に補強等の対策を行うことが可能となる。

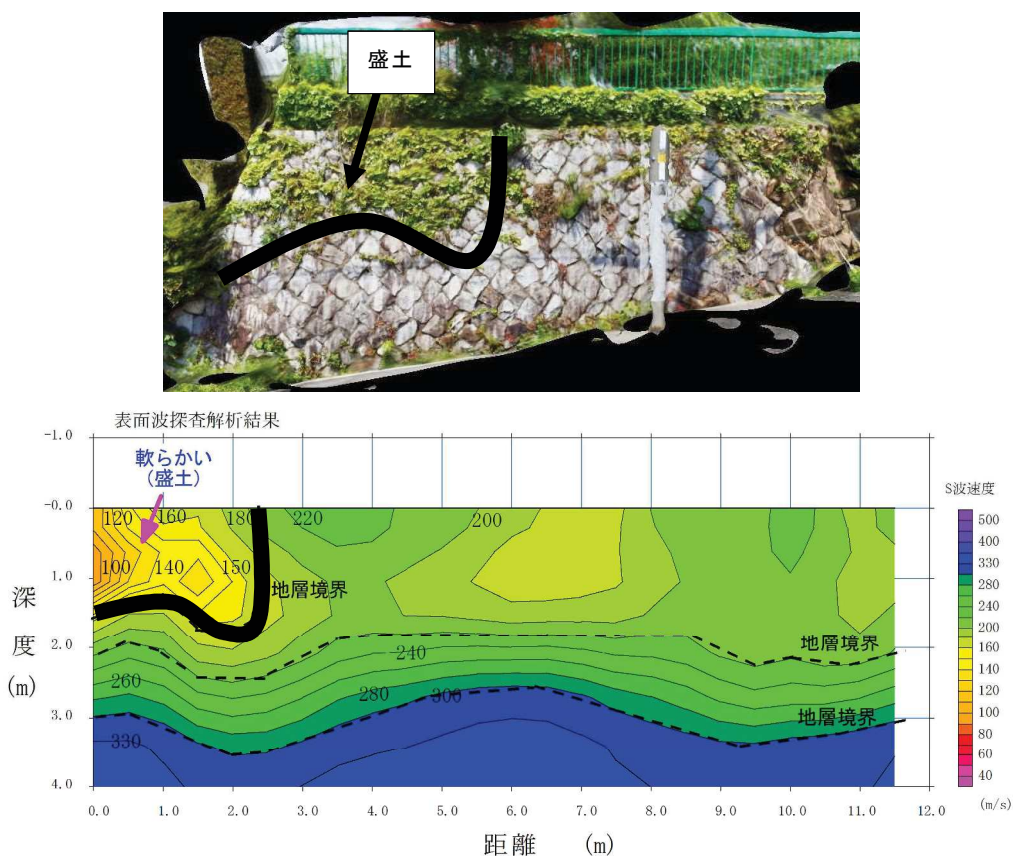


図-4 石積擁壁背面の腹付け盛土の範囲抽出事例

図-5 は、宅地造成地の谷埋め盛土の範囲や深さを表面波探査で調査した事例である。このように V_s の断面図で表現すれば、谷の軸や深さが容易に判読できる。宅地造成地は、地盤調査をするにしても、地表がコンクリートで覆われていたり、狭小地であったりすることも多く、取壊し等を含むサウンディングが適用できないケースは

少なくない。表面波探査は、非破壊調査であり、機材の搬入も容易であるため、宅地には非常に適している。なお、参考までであるが、著者らの経験では、最小幅 80cm の狭小地で探査したこともある（図-6）。

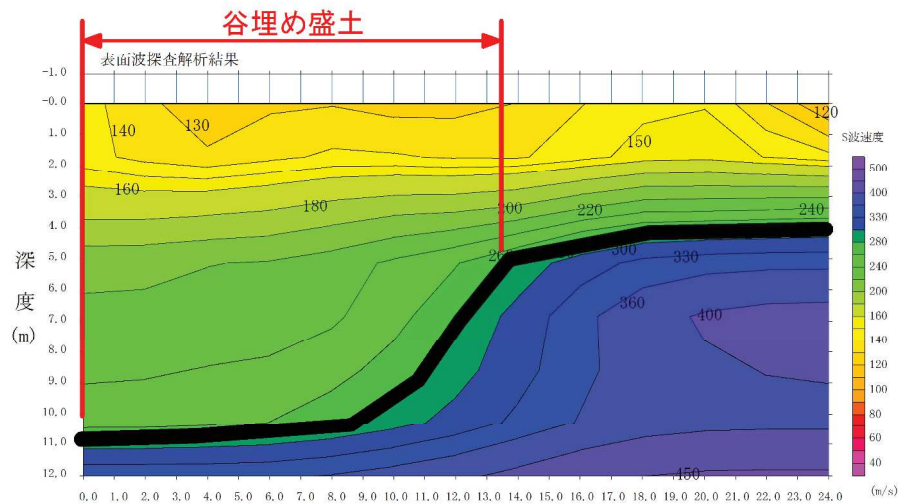


図-5 谷埋め盛土の表面波探査結果

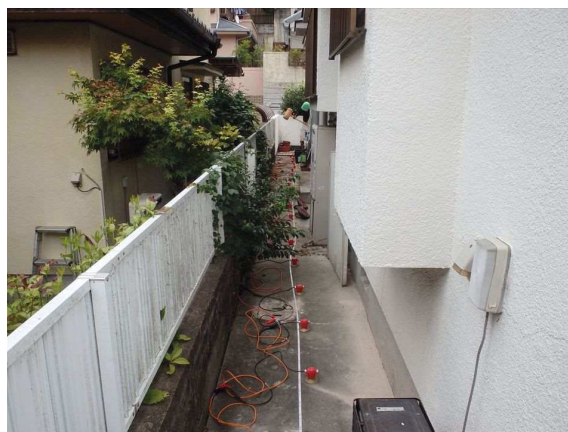


図-6 狭小地での表面波探査状況

2. 3 モルタル吹付内部の地山強度の測定

モルタル吹付で被覆した斜面は、吹付内部の地山の風化程度を直接目視することができない。したがって、モルタルにひびわれが認められた場合、単にひびわれを埋めるだけの補修で良いのか、あるいは地山の緩みを想定し補強すべきなのかは目視のみの観察では判断が困難である。施設管理者であれば、地山の緩みの有無を確認したいところであろう。

図-7、図-8 は、モルタル吹付をした切土斜面で、表面波探査を実施した事例である。モルタル吹付を施工した時期が不明であり、モルタル背面の地山が土砂なのか岩盤なのかを確認するために実施した。受振器を設置した箇所は、モルタル吹付斜面の切土小段であり、探査延長は 165m である。結果は、起点と終点の端部のみ土砂状に風化が進行しており、主たる部分は、軟岩以上の安定した岩盤であるものと評価することが

できた。なお、当該現場は、依頼のあった探査深度が40mまでであったため、深度0～20m付近までを表面波探査、深度20～40mを微動アレイ探査で補い、それぞれ解析データを重ねて図-8のように深度40mの断面図を作成した。



図-7 モルタル吹付斜面の表面波探査状況

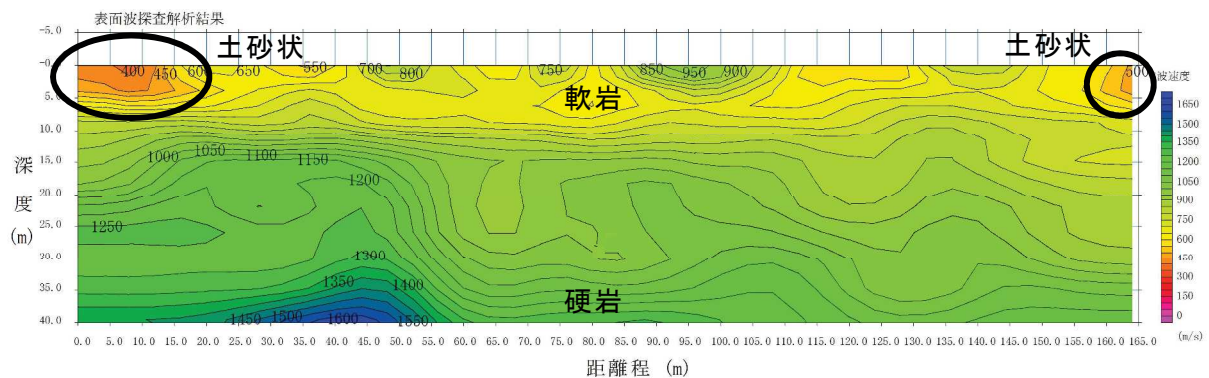


図-8 モルタル吹付斜面で実施した表面波探査結果

2. 4 擁壁壁面の剛性測定による擁壁の危険度判定

石積擁壁は、自然外力や老朽化によって崩壊することがある。これまで、石積擁壁は、主に目視点検によって安定性が評価されてきており、目視できない擁壁内部の劣化や地山の緩みを確認できないことが課題となっていた。この課題に対応し、擁壁内部を評価する方法として、2013年国土技術政策総合研究所により擁壁の表面波探査法が考案された(図-9、図-10)²⁾。この表面波探査法は、これまで評価できなかった壁体内部と背後地盤の剛性(V_s)を測定することができる新技術である。なお、最終的な危険度は、表-3に準拠し、S波速度によって危険度大、中、小で判定することとなっている。

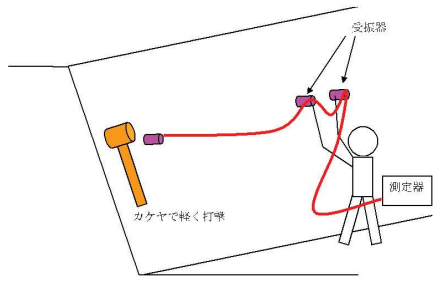


図-9 擁壁の表面波探査方法

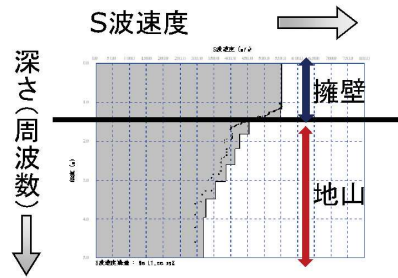


図-10 解析のイメージ

表-3 表面波探査による判定基準

S波速度 (m/s)		危険度区分
壁体	背後の地盤	
1000以上	かつ100以上	小
500~1000	かつ100以上	中
500未満	又は100未満	大

図-11～図-13 は、実際の表面波探査状況及び解析、探査結果である。図-13 によると、擁壁は V_s =約 750m/s、背後の地盤は V_s =約 530m/s となり、表-3 を基に判定すると、危険度は「中」となる。



図-11 擁壁の表面波探査状況

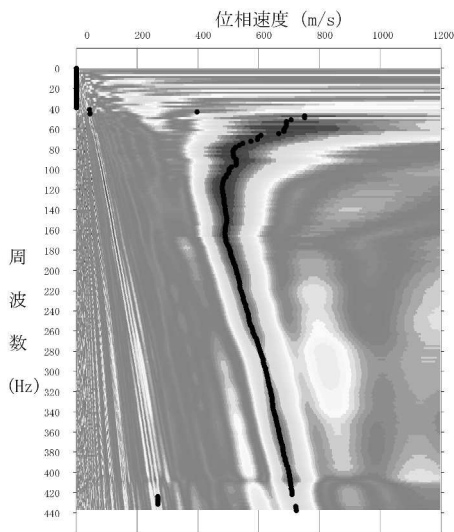


図-12 周波数-位相速度分散特性

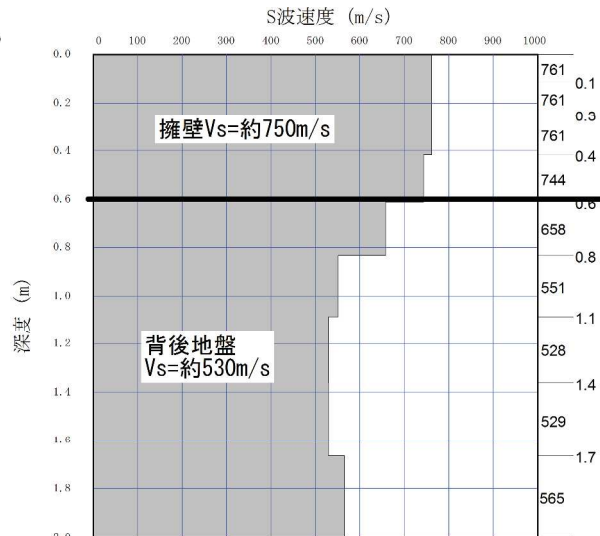


図-13 S波速度構造 (解析結果)

3. 微動アレイ探査

3. 1 微動アレイ探査の概要

微動アレイ探査は、常時微動（図-14）に含まれるレイリー波を複数の受振器で測定・解析することによって、地盤のS波速度を求める探査手法である（図-15、図-16）。固有周波数0.1Hzといった低周波測定用の受振器を用いれば、深さ数kmの探査も可能である。微動アレイ探査の結果は、図-17に示すように、S波速度と深さのグラフで示される。なお、解析方法の詳細は、「物理探査学会：物理探査適用の手引き，H20，p.111～125」及び「地盤工学会：地盤調査の方法と解説，H25，p.149」を参照されたい。

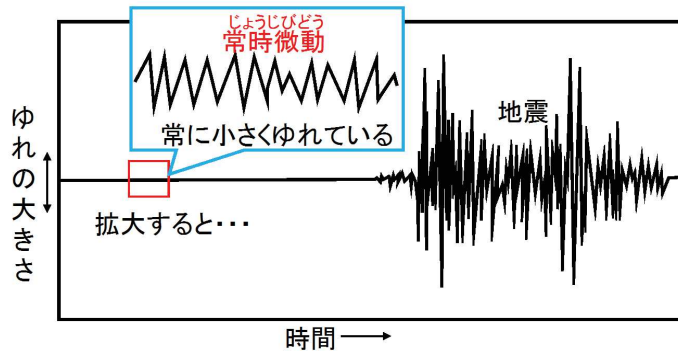


図-14 常時微動

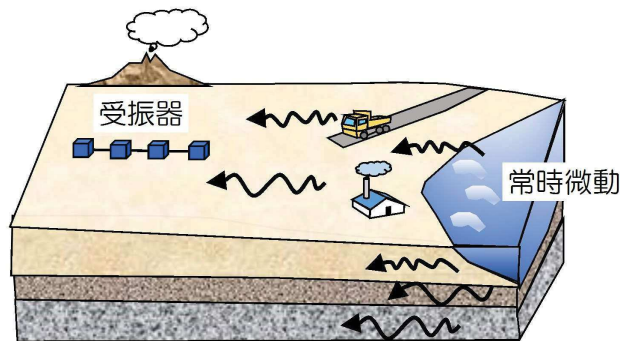


図-15 微動アレイ探査のイメージ

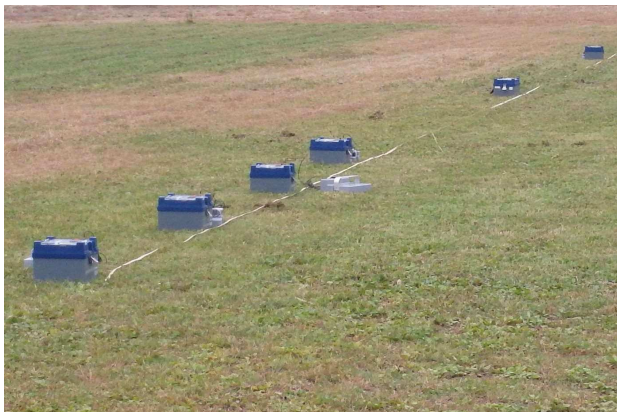


図-16 微動アレイ探査の状況

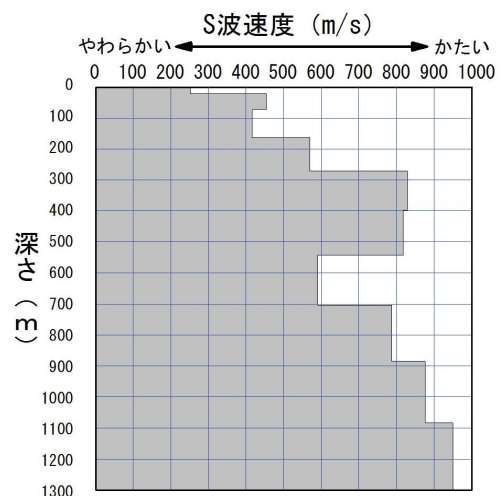


図-17 微動アレイ探査結果の例

3. 2 山地の地質調査

山地の探査は、弾性波探査（屈折法）がよく用いられる。屈折法は、地表から深部に従い硬くなることを前提とした解析手法である。このため、途中で弾性波速度 (V_p) の低速度層（逆転層）が挟在していれば、誤った解析結果を導くこともある。

このような逆転層の挟在が想定される現場は、微動アレイ探査が適用できる。例えば、火山地帯のように、軟質な堆積物や硬質な溶岩が複雑に挟在しているところに有効である。

紹介する微動アレイ探査の事例は、平成 30 年 4 月大分県耶馬溪で大規模な斜面崩壊が発生した箇所である。対象地は大規模火砕流堆積物が分布する。崩壊後に、微動アレイ探査を行った結果を図-18 に示す。この S 波速度構造断面図は、微動アレイ探査を 3 地点で行い、地球統計学的手法（Kriging 法）によって V_s を等高線で表現したものである。 V_s が、尾根付近の 700m/s から深部にかけて 400m/s に低下しているのが特徴的である。屈折法では、このように深部にかけて軟らかくなる地盤は表現できない。今回は 2 次元断面で表現しているが、3 次元的に探査地点を増やせば、3 次元モデルの作成も可能である。なお、断面図の作成期間は、約 1 週間程度（現地測定 2 日、解析 3 日、断面図作成 1 日）であった。災害対策など、早急に地盤情報が必要な場合は、有効な地盤調査法であると考えられる。

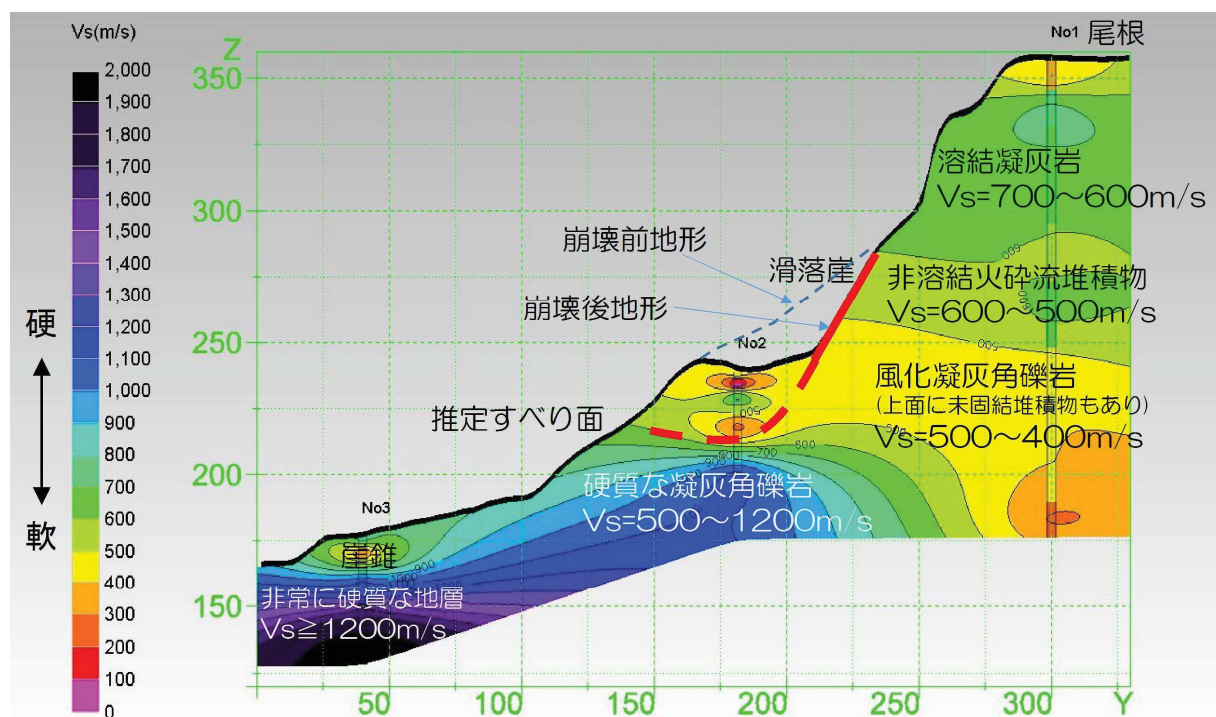


図-18 平成 30 年 4 月、大分県耶馬溪崩壊斜面における微動アレイ探査を用いて作成した S 波速度構造断面図（2018 年 5 月 12～13 日微動アレイ探査実施）

3. 3 活断層調査

防災上、断層位置を特定することは重要であるが、都市圏活断層図は、2万5千分の1の地形図が用いられ、断層位置の精度は低い。さらに、位置が不明確な活断層も示されており、断層位置が曖昧になっているものもある。

紹介する事例は、微動アレイ探査を9地点で実施し、各地点の微動アレイ探査結果（Vs構造）を3次元モデル化することで活断層位置を特定した例である。当該地は、宅地造成工事により大規模に地形改変が行われた花崗岩分布域であり、活断層図には「活断層（位置やや不明確）」と示される破線が描かれていた。微動アレイ探査結果を図-19に示す。同図によれば、Vs=400m/sのA速度層がA'の位置に隆起していることが読み取れる。また、深部のVs=700m/sのB速度層もB'の位置に隆起していることが読み取れる。これらにより、A-A'とB-B'の間に逆断層型の活断層が存在することを特定することができた。

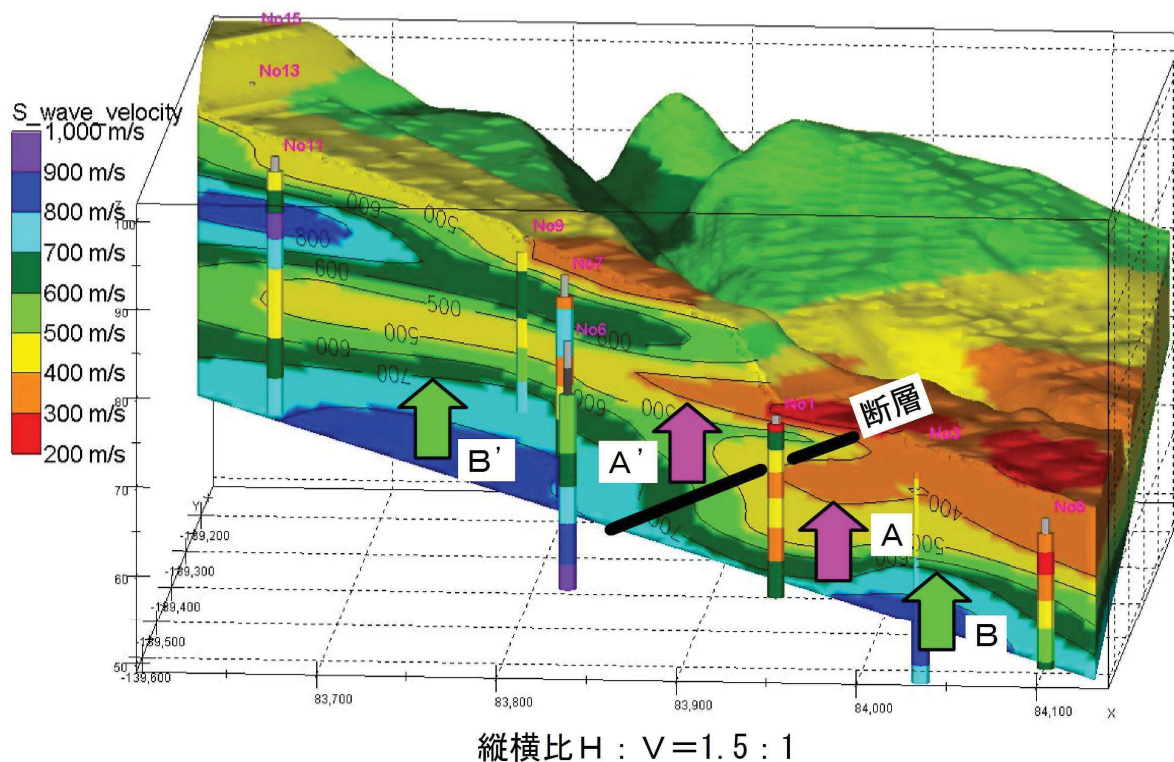


図-19 微動アレイ探査と3次元モデリングにより活断層位置を特定したVs断面図

3. 4 アンカー定着層の探査

一般に、斜面对策工設計のための地盤調査は、ボーリング調査が行われる。ボーリング調査は、調査期間が長く、また高価な地盤調査であるため、多地点の調査は採用されにくい。場合によっては、延長数100mの法面でボーリング1本の調査しか実施されないケースもある。斜面は、平地（沖積地盤）とは異なり、地形や地層の凹凸が大きく、

3次元的に複雑になっていることも多いため、1箇所のボーリングデータのみで地質断面を推定し、斜面对策工を設計することは、設計ミスとなるリスクが非常に高い。例えば、地すべり抑止工のアンカーの場合、定着層の深度を誤ると、図-20のように、アンカーが引き抜けてしまい、地すべりが抑止できなくなる。

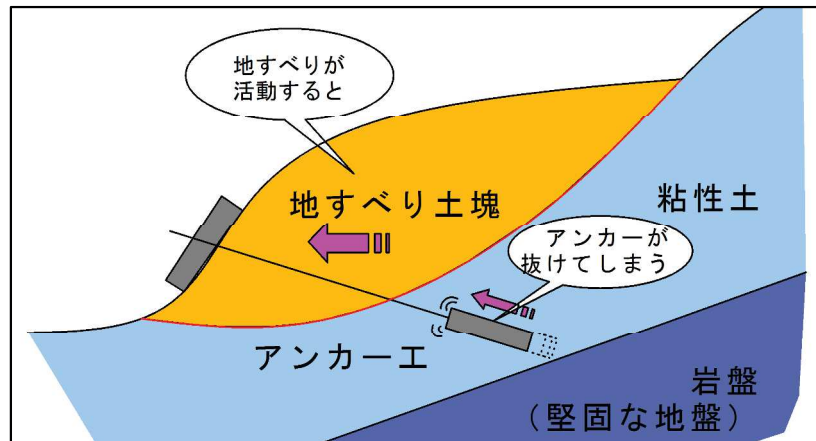


図-20 アンカーの設計ミス事例

以下に、斜面对策工の設計時に微動アレイ探査を実施した事例を紹介する。当該現場では、ボーリング調査は1地点でしか行われておらず、図-21のようにアンカーの定着層の深度が特定できなかったため、微動アレイ探査で補うこととした。

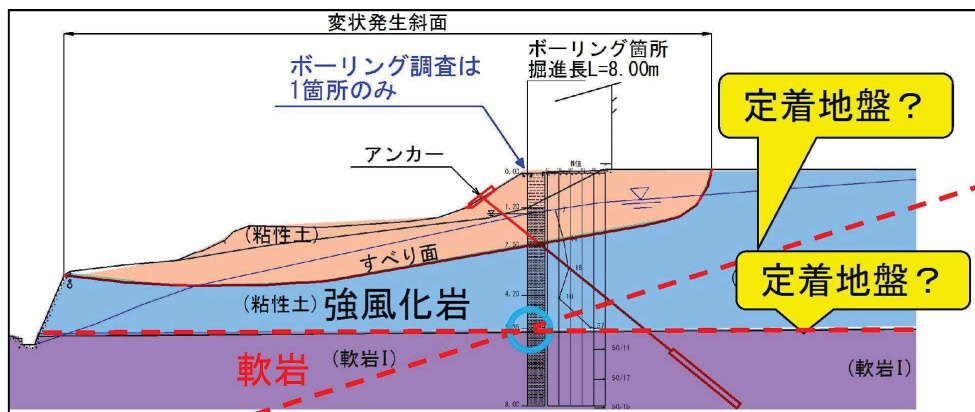


図-21 アンカー設計時に微動アレイ探査を行うことになった経緯

微動アレイ探査を行った地点は、図-22に示す2地点 (No.1及びNo.2) である。微動アレイ探査No.1は、ボーリング調査地点直上に位置し、ボーリング柱状図と微動アレイ探査の軟岩深度を比較するために行った。その結果、図-23に示すように、アンカー定着層となる軟岩の出現深度の誤差は数cmとなり、十分設計に使用できる探査結果が得られることが確認できた。なお、軟岩のVsは、400~700m/sが目安である。

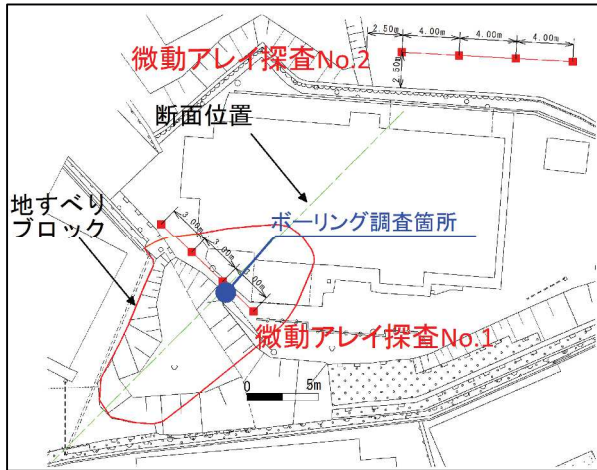


図-22 微動アレイ探査地点位置図

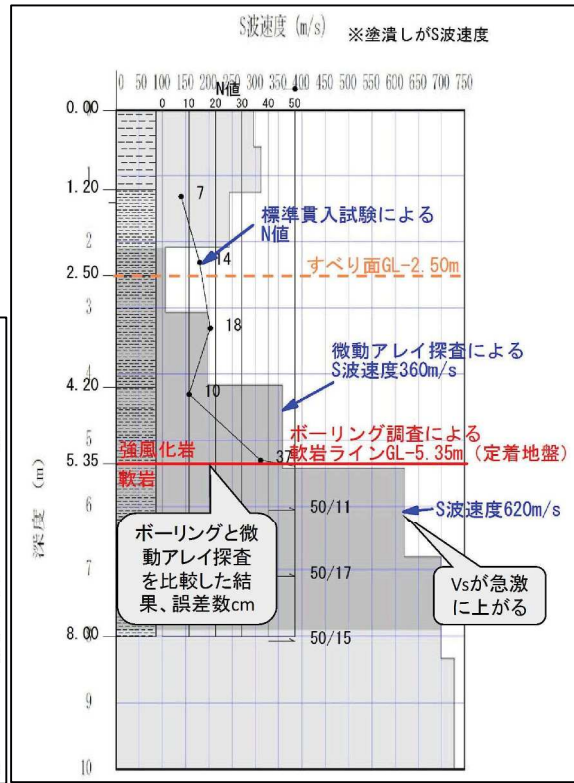


図-23 ボーリング調査と微動アレイ探査 No. 1 の軟岩深度の比較

図-21 の地質断面に、微動アレイ探査の情報を追記し、再検討した地質断面図を図-24 に示す。同図によれば、アンカー定着層となる軟岩は、ほぼ水平に分布していることが分かる。このように、ボーリング結果に微動アレイ探査による調査結果を踏まえた断面図を作成することによって、アンカー設計の信頼性が高まり、設計ミスリスクを低減させることができる。

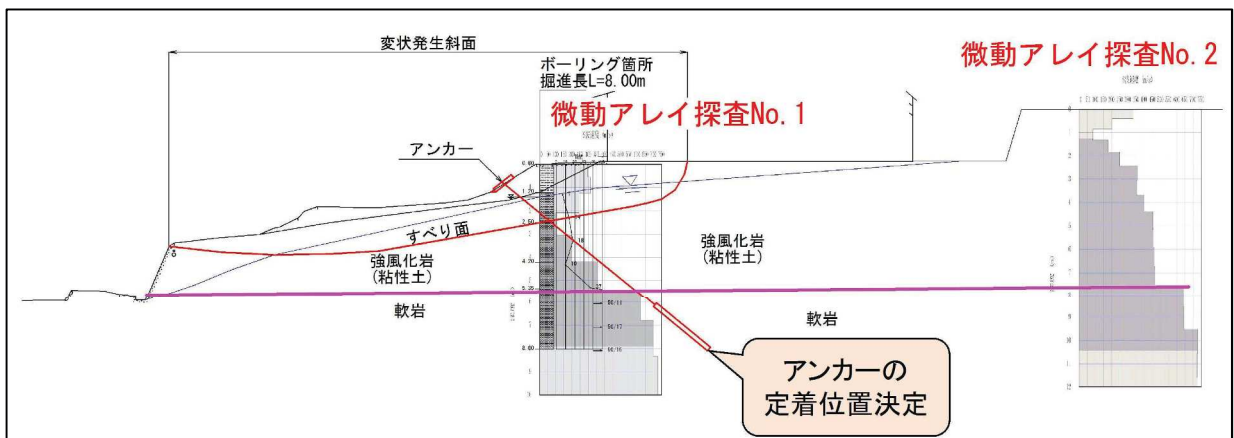


図-24 微動アレイ探査によってアンカー設計の信頼性を高めた地質断面図

4. まとめ

斜面問題に対する有効な調査法として、表面波探査と微動アレイ探査を取り上げた。適用できる調査としては下記のようなものがある。

- (1) 盛土の調査
- (2) モルタル吹付背面の地山強度の調査
- (3) 目視できない擁壁内部の剛性調査
- (4) 逆転層を含む複雑な地質調査
- (5) 詳細な活断層位置及び構造の調査
- (6) 土木の基礎地盤調査（アンカー定着層の調査など）

これまで、現地概査として表面波探査を用いることがあったが、結局はこの表面波探査だけで斜面問題を解決できたことが多い。高精度だが疎な情報（例えばボーリング調査）よりも、精度はやや劣るが密な情報（表面波探査）の方が正確に斜面の現象を評価することができる場合は少なくない。斜面对策等の土木設計分野においても、将来的には、ボーリング調査をせず、あるいは最小限のボーリング調査で表面波探査や微動アレイ探査を実施し、設計することも可能になるかもしれない。

また、ボーリングオペレーターの高齢化や若手オペレーターの不足が深刻となっている昨今、本論によって表面波探査がより一般的な調査法として認知・普及する一助となれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 今井常雄, 殿内啓司. 1982. N 値と S 波速度の関係およびその利用例, 基礎工, Vol. 16, No. 6, pp. 70~76
- 2) 国土技術政策総合研究所. 2013. 多世代利用型超長期住宅及び宅地の形成・管理技術の開発, 国総研プロジェクト研究報告第 42 号, pp. V-8

大呂地すべり地の水質

On the water qualities in the area of Ohro slide

日浦啓全

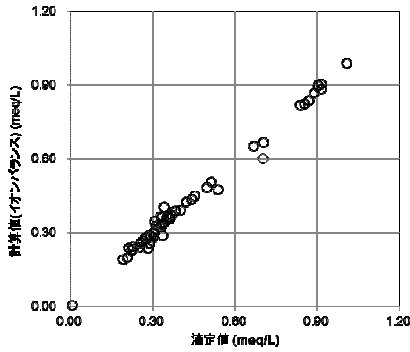
Hiromasa Hiura

1. 話題提供の進め方 2つの段階に分けて実施した。第1として、地すべり地における陸水の指標として、 HCO_3^- を地盤の風化の指標として取り上げ、5項目に分けて説明した。(1) 主要陰イオンである HCO_3^- とイオンバランス、(2) CO_2 , CO_2 分圧とpH, ECの関係、(3) 六甲山の山崩れと HCO_3^- 、(4) 結晶片岩地すべりの HCO_3^- と SO_4^{2-} 、そして(5) 移動土塊内では化学的風化が盛ん、である。続く第2段では、大呂地すべり地の地下水について、まずは鳥取県全般の地下水の中で位置づけ、そして大呂地区について移動土塊と背面の地山の水質の違いに着目して考察した後、「まとめ」を行った。大呂地すべりで採水された水の分析結果については日本工営株式会社の提供によるが、鳥取県の許可のもとに転載している。参考文献はスライド内に表示したが、それ以外の事実は日浦が実際に分析の結果得たものである。

2. 前段のまとめ：総イオン量、EC値、 HCO_3^- の溶存量のそれぞれがリニヤに対応している、また地すべり活動でもまれている土塊ほど化学的変化が盛んである。したがって溶存分量（イオンの溶存量）が多くなる。

3. 大呂地すべり地の地下水についてのまとめ：(1) 日浦がこれまで行った四国の三波川帯の地すべりの地下水は殆んどCa- HCO_3^- 型であったが、鳥取の水は地すべり地由来のものも含めて概観しても陰イオンでは HCO_3^- が卓越するが、陽イオンで卓越するのは Ca^{2+} 以外に Na^+ 、 Mg^{2+} の場合もある。(2) 移動土塊と背面山地では地質が異なるが、それが水の型の違いとなって出ている。(3) 移動土塊内の水は降水そのものとは異なり、一度土中に浸透したものである。鳥取県の類似の水としては溝浮泉(スライド No.17中の12.)に近い。(4) 移動土塊に背面にある水は用呂(スライド No.17中1.)に似る。溶存分量は多く、この近辺では普遍的な水である。(5) 水の型の連続性から見て、背面の地山の水と移動土塊内の水は別のものである。(6) 移動土塊の地下水の溶存成分が少ないのは対策工施工に伴い表層の植生がはぎとられたため、すなわち表層に存する溶存成分を多く溶かし出す層が除去されたためではないか。今後、地盤の風化が進み地下水による化学的風化を盛んに受けて、同じような水質になる可能性もあるが、対策工事の開始からの年数を考慮してみて、「もともと存在していた移動土塊中の可溶性の成分が出してしまった」、ということは考えにくい。

1) 風化の指標としてHCO₃⁻



上：椿山地すべり
(結晶片岩)での1年間
(2005年)の観測結果(日浦)

公定法には、陰イオンの主成分であるHCO₃⁻が測定項目には入っていない⇒アルカリ度から求める必要がある。そこで！

水質分析の公定法(工業用水試験法・上水試験法)：

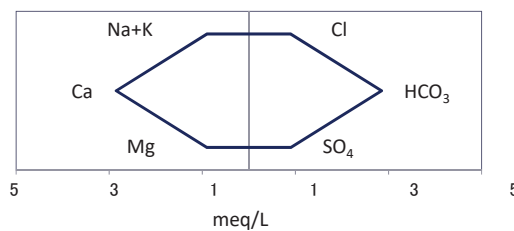


イオンクロマトグラフィーで分析できる主なイオン
陽イオン：Na, K, Ca, NH₄, Mg, Li
陰イオン：Fe, Cl, SO₄, NO₂, NO₃

総陽イオン量 = 総陰イオン量
(計算式) HCO₃⁻の溶存量 =
総陽イオン量 - 陰イオン量
陰イオン中に占めるHCO₃⁻の割合：
45.7~65.1% (2005.04.06サンプリング)

水質の図式表現

⇨溶存成分(イオン)濃度の図解表示



ヘキサダイアグラム

主要イオンの溶存量を六角形のダイアグラムで表す。
図上にプロットされた形により分布を視覚的にとらえ、
水の組成を把握するのに適している。
横軸は(meq/L: 溶液1リットル中のモル濃度),
あるいは(μeq/L=1000×meq/L)で表す。

○炭酸ガスの分圧と重炭酸イオン

地中の高い圧力下では炭酸ガスを多く含む(=CO₂の分圧が高い)。そこに存在する地下水はその空気と平衡する。大気圧下では、地下水から炭酸ガスが抜けて、その空気と平衡する。

箱根蛸子(元箱根19号泉)の例(栗屋による)、深さ525mにある源泉を異なる方法で地上に汲み上げた後の炭酸ガスの分圧の比較である;

エアリフトポンプ: 0.00011atm(log(PCO₂)=-1.1 × 10⁻⁴), pH=8.1

水中ポンプ: 0.18atm(log(PCO₂)=-1.8 × 10⁻¹), pH=6.5

(採水された水は、採水時点の地下水の情報を保持している)

断層を經由してCO₂に富む地下水が供給される場合もあるが、地すべり地帯には池・沼・湿地帯が存在し、地すべり活動によって多量の有機物が土中に埋没することにより、土壤空気のCO₂濃度が多くなったことも考えられる。

このような空気と接している水では、下式のような化学変化が地表の水よりも進行し、溶出する各種のイオンが高濃度化する。逆に地表で、水中の炭酸ガスが分離脱出すると、下の反応は起こりにくくなると考えられる。

一定の分圧を有する水が岩石・土壤中を通過する段階で、その水中の炭酸ガスは岩石・土壤中と反応しながらHCO₃⁻濃度、pHを高めていく。

炭酸ガスが水に溶けると：



3

吉岡はこのことを利用し、地すべり地で採水した水の炭酸ガスの分圧の計算式を導き、地下深部の水であるのか表層部に近い水であるのかという分類をしている;

吉岡らが導いた式：

$$\log[P(\text{CO}_2)] = 7.8 + \log(\text{HCO}_3^-) - \text{pH}$$

ここに、P(CO₂):炭酸ガスの分圧、HCO₃⁻:溶液1リットル中のモル濃度である。

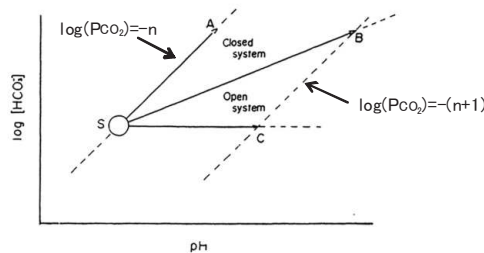
図は吉岡によるpH-HCO₃-P(CO₂)ダイアグラムで、右上がりの線は炭酸ガスの等分圧線。

吉岡は表流水が下図のopen system の範囲内に分布し、湧水・水平ボーリング孔の水のほとんどがclosed system 内に分布するという結果を得ている。

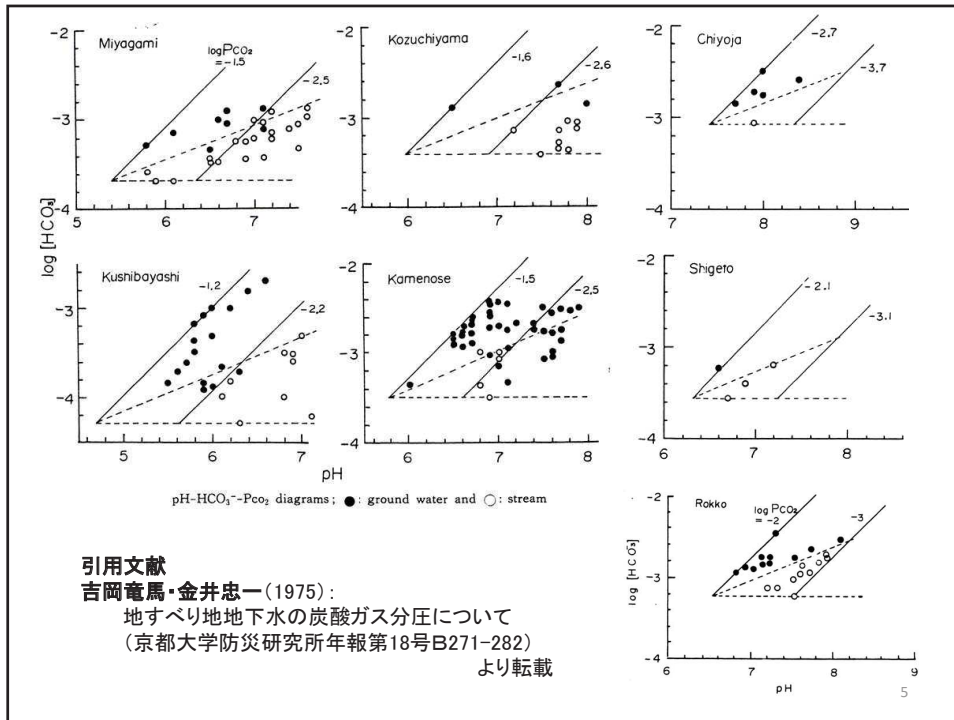
風化花崗岩地帯(六甲山系での崩壊調査)の地下水:P[CO₂]=10^{-2.2}~10^{-3.0}

地すべり地帯の地下水:P[CO₂]=10^{-2.2}~10^{-2.4}

**pH-HCO₃-P(CO₂)
ダイアグラム**



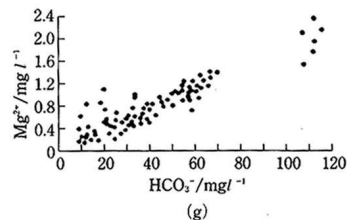
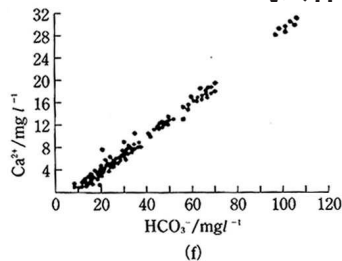
4



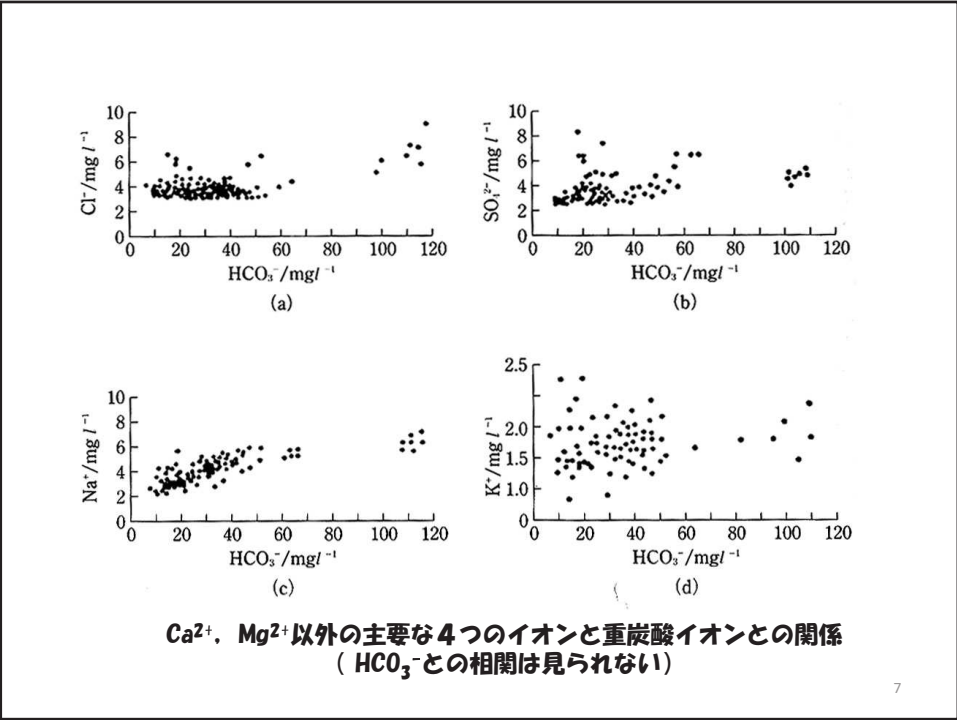
HCO₃⁻ と岩石の風化 (⇔北野らの仕事)

- 二酸化炭素(水中でHCO₃⁻に変容)を含む水は、岩石からCaやMgを水中に溶かしだし、岩石自体は粘土に変質する。
 - 水中のCaイオンとMgイオンの合計濃度の大きいところで山崩れが起こった(六甲山系)
 - 下の図はCaやMgイオンが炭酸水素イオン(HCO₃⁻)と直線的にしかも、CaやMgイオンの合計当量が炭酸水素イオンと等しい大きさで変化することを証明している。
- ⇒岩石の科学的風化(岩石崩壊)を炭酸水素イオン濃度または、CaイオンとMgイオンの合計濃度が示してくれる。

「水の科学」(北野 康、NHK7ヶ月729)



(北野康, 加藤喜久雄, 金森悟, 金森暢子, 吉岡龍馬, 1967)



炭酸ガスと岩石の化学的風化

花崗岩の風化

六甲山は花崗岩でできていて、地下から表面に向かってCO₂が出てきている。地表からは雨水などが地下に浸透してくる。地下からのCO₂と地表からの水が出会うと、そこに存在する花崗岩は激しく化学的風化を受ける(⇒長石からCaやMgが溶け出し、長石は粘土化する)。(北野康「水の科学」p.82)

泥岩の風化

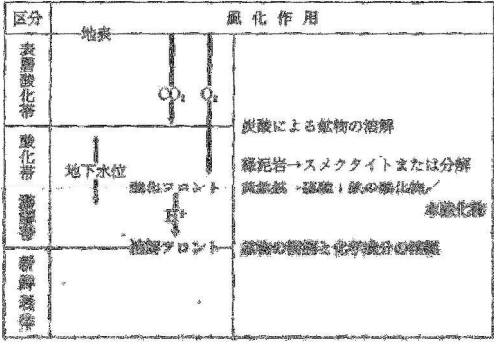
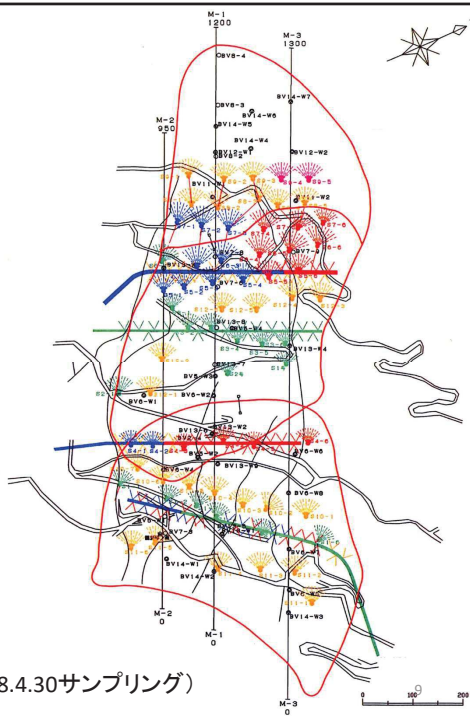
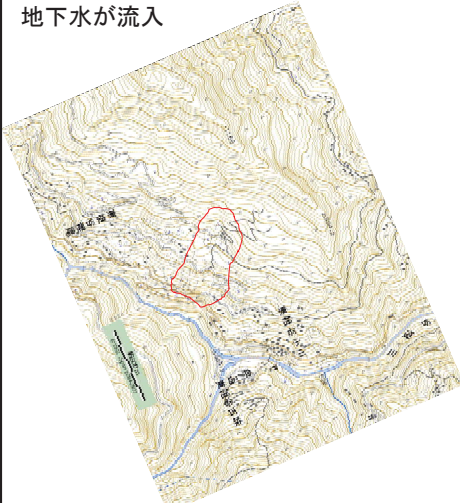


図1.5 埋蔵性炭素の風化における水-岩石相互作用の模式図 (千本良, 1996) 24

移動土塊内では科学的風化が盛ん(1)

檜尾地すべり(民有林直轄治山事業地):
檜尾谷川に流入する地すべり地由来の
地下水が流入



地すべりより上流: $\Sigma(\text{イオン})=37.84 \text{ mg/L}$

地すべりより下流: $\Sigma(\text{イオン})=57.86 \text{ mg/L}$

SO_4^{2-} :4倍、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 、 Na^+ が1.5~2倍 (2008.4.30サンプリング)

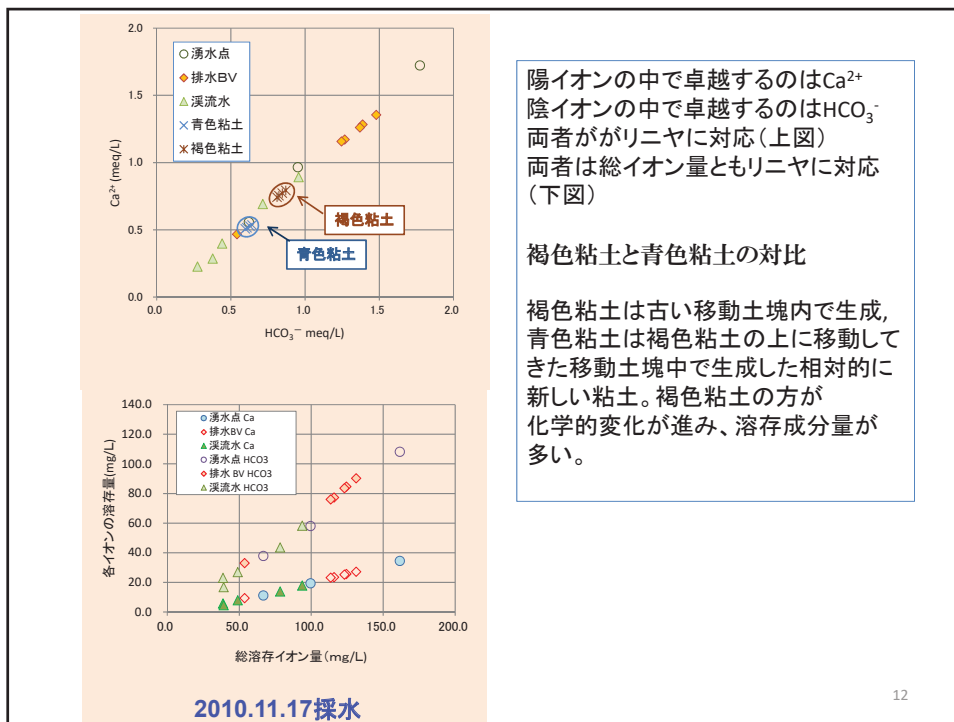
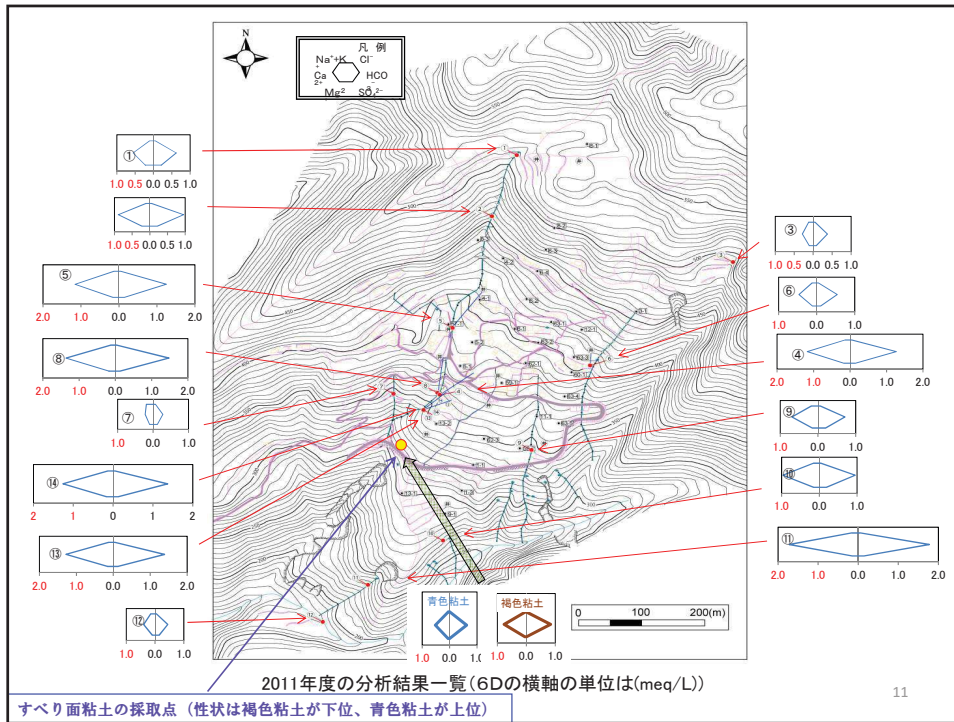
移動土塊内では科学的 風化が盛ん-2

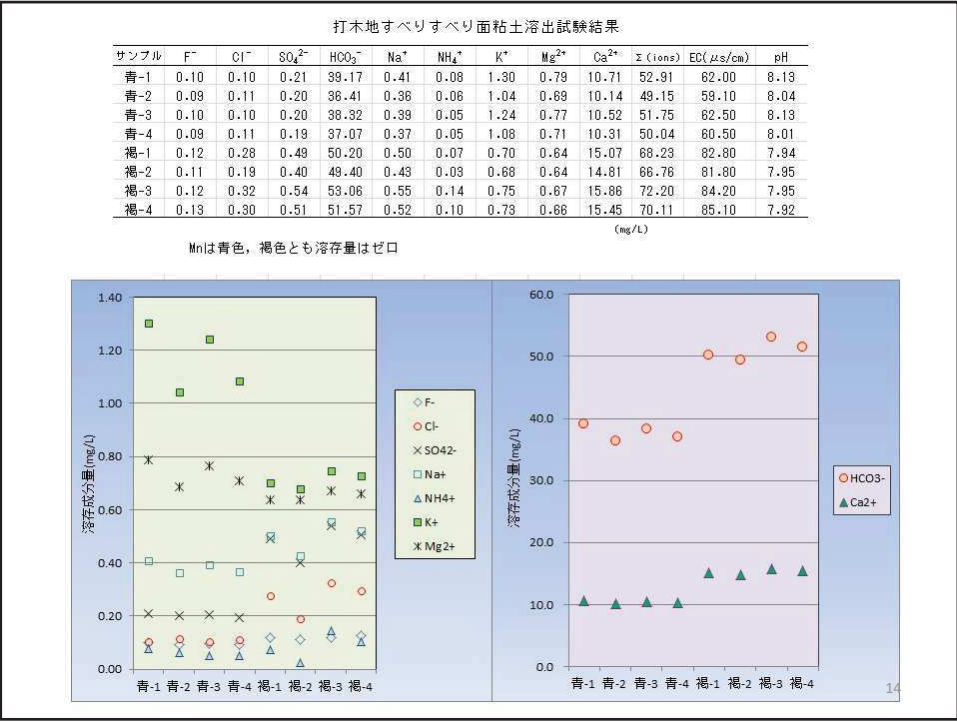
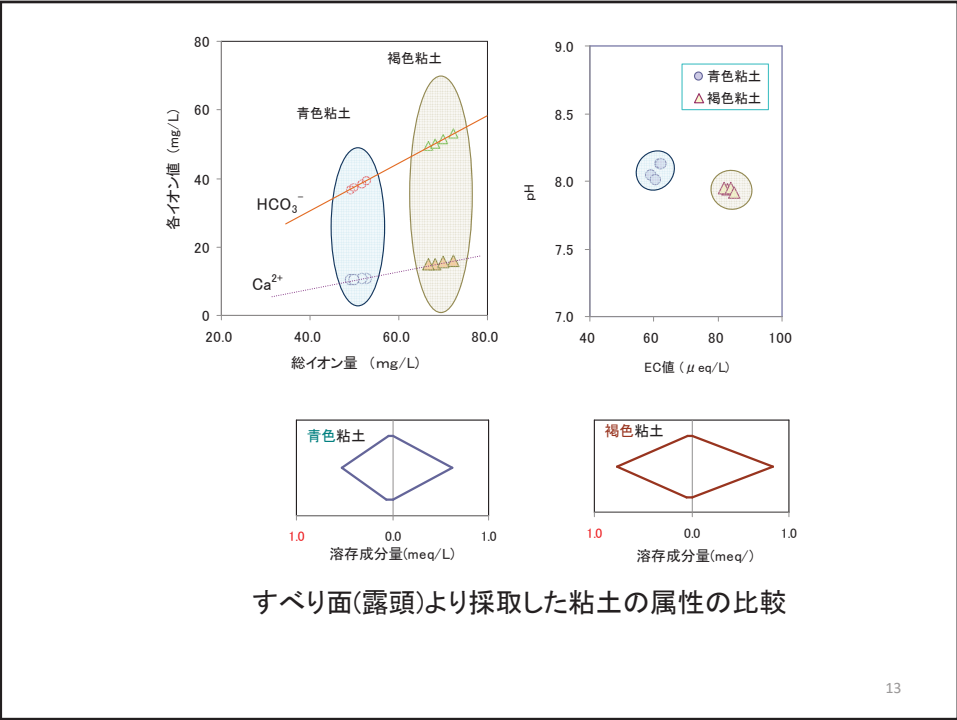
地すべりの末端が河床より高標高に位置する⇒
河川浸食が地すべりの不安定化に影響しない⇒
いつまでも滑動が収まらない



高知県打木地区(秩父帯の地すべり)

露頭する青色・褐色粘土(科学的風化の程度の違いから考える)





四国の地すべり地の地下水の水質（横田らによる）

No.	名称	地質帯	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	総量	水の型
1	沢渡	三波川/	7.6	171	0.19	0.03	0.00	0.89	0.72	0.16	1.19	0.32	0.05	117.6	Ca-SO ₄
2		御荷鉢帯	7.6	181	0.25	0.04	0.00	1.04	0.67	0.16	1.35	0.32	0.05	129.4	Ca-SO ₄
3	善徳	三波川帯	7.7	324	0.29	0.06	0.00	2.99	0.33	0.07	1.33	0.00	2.27	277.5	Ca-HCO ₃
4			7.8	315	0.29	0.06	0.00	2.60	0.33	0.07	1.99	0.00	1.19	235.5	Ca-SO ₄
5	怒田	御荷鉢帯	7.6	210	0.11	0.07	0.00	0.99	0.92	0.10	0.39	0.01	1.59	155.9	Ca-HCO ₃
6			7.0	256	0.12	0.08	0.00	1.15	1.06	0.11	1.16	0.04	1.10	170.7	Ca-HCO ₃
7	谷の内	秩父帯	7.5	440	0.28	0.04	0.00	3.72	0.74	0.06	1.76	0.00	2.96	358.4	Ca-HCO ₃
8			7.6	435	0.28	0.04	0.00	3.66	0.72	0.06	1.73	0.00	2.91	352.5	Ca-HCO ₃
9	長者	秩父帯	9.2	147	0.34	0.06	0.00	0.86	0.40	0.23	0.37	0.00	3.15	250.1	Ca-HCO ₃
10			10.2	163	0.64	0.05	0.00	0.72	0.01	0.41	0.30	0.00	2.51	213.1	Na-HCO ₃
11	粒野	三波川帯	7.5	598	1.13	0.08	0.01	3.69	1.19	0.20	2.67	0.03	3.47	466.1	Ca-HCO ₃
12			7.2	770	1.22	0.10	0.06	4.42	1.20	0.21	3.29	0.02	3.57	520.1	Ca-HCO ₃

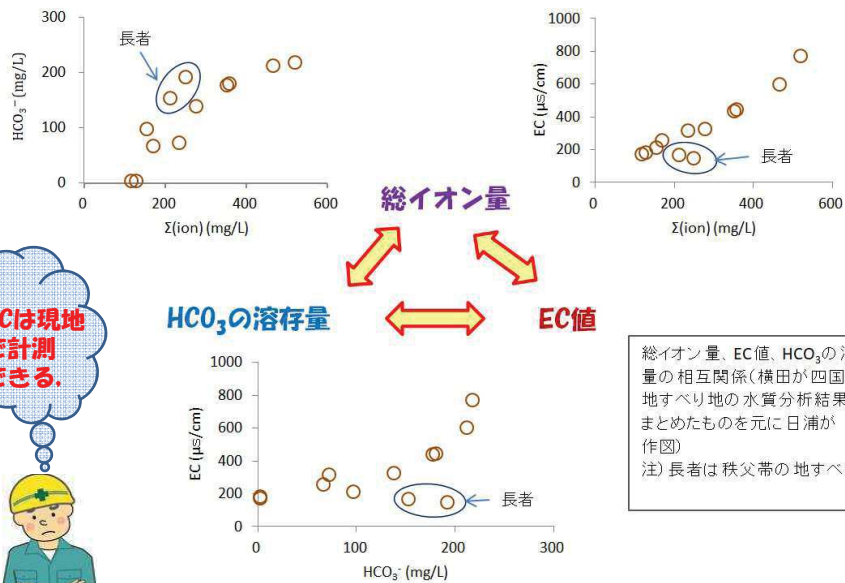
(単位:EC(μs/cm), 溶存量(meq/L), ただし, 溶存成分の総量(mg/L) への換算, 水のタイプ分けは日浦がおこなった)

横田公忠・八木則男・二神治・柴田隆洋(1997):
四国の地すべり地の地下水の水質特性.
平成9年度第3回四国支部技術発表会
講演概要集, 256-257, 社団法人土木学会四国支部.

溶存成分量(meq/L)
=(mg/L)÷(分子量)

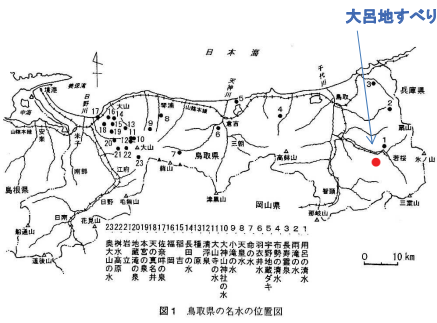
15

四国の地すべり地の総イオン量とECとHCO₃⁻

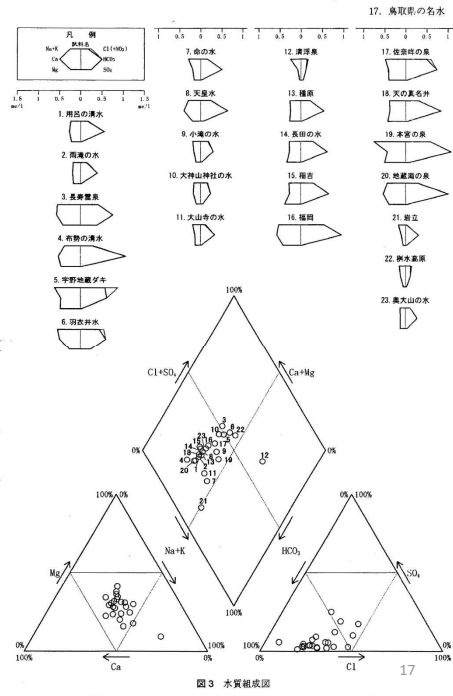


16

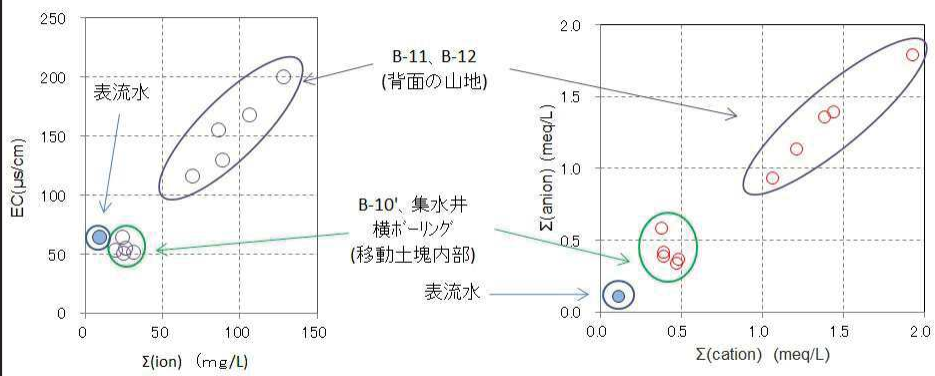
2) 大呂地すべりの地下水を考える



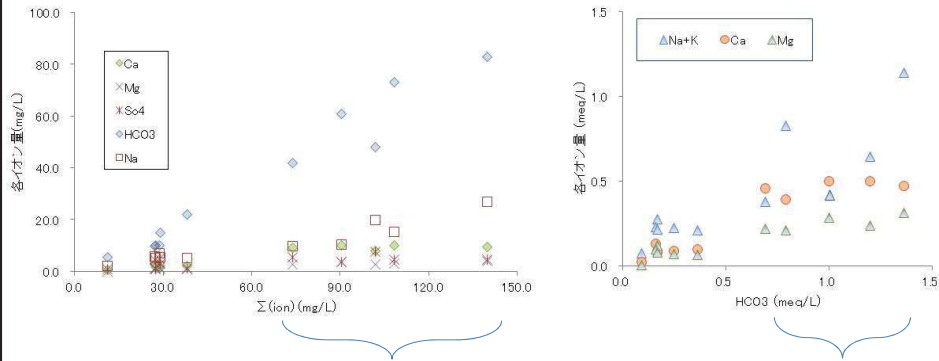
引用文献: 名水を訪ねて(55)鳥取県
の名水、地下水学会誌、Vol.43(4) 2001
より転載



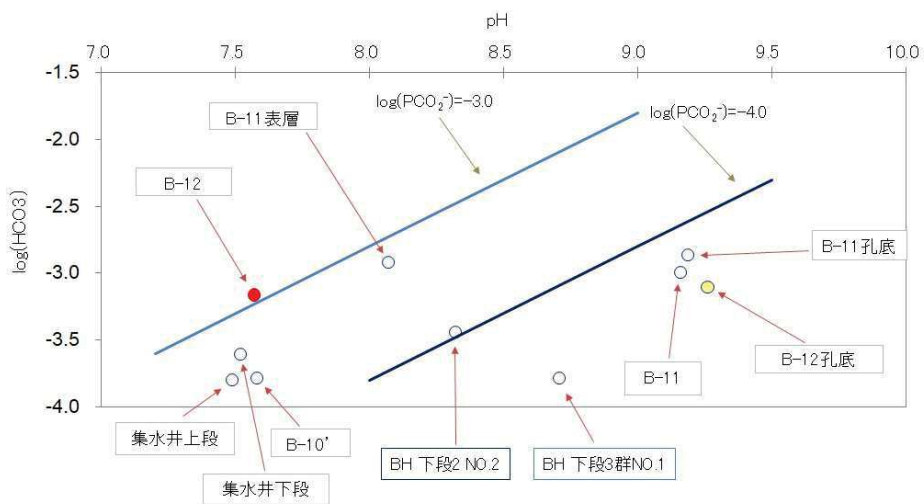
大呂地すべり地の地下水の溶存量の比較(1)



大呂地すべり地の地下水の溶存量の比較(2)



総イオン量が70mg/L以上(左図)、HCO₃が0.6以上(右図)の5ヶ所のプロットはすべて背面の地山起源の地下水



大呂地すべり地の地下水のP(CO₂)-log(HCO₃)-pH 図
 どの水も地下の深部に由来するものではない

