

Q

地質調査の報告書で「岩盤が熱水変質を受けて軟質化」などの記述を見ます。熱水変質作用は風化作用と何が違うのですか？またどんな問題が起こるのでしょうか。

A

熱水変質作用も風化作用も定義がありますが、極端に言えば、熱水変質作用は「地下深くから上がってきた熱水が岩石と化学反応し、劣化すること」を指し、風化作用は「地表から浸透した酸素を含む水が岩石と化学反応し、劣化すること」と思えば土木地質上は分かりやすいと思います。

熱水変質作用を受けた岩盤は地中深くでも軟質であったり亀裂沿いが劣化していたりするので、地すべりや斜面崩壊など土木地質上の問題を起こすことがあります。

（１）熱水変質作用とは

熱水変質は、岩石を構成する鉱物が熱水やガスと化学反応して別の鉱物に変化する作用です。たとえば火山地帯では、図-1のようにマグマだまりやマグマに伴う熱水が、周辺岩盤を変質させるイメージになります。

土木地質分野でいう熱水変質作用は脆く軟質な鉱物に変化することを指すことが多く、熱水変質作用を受けた岩盤は脆くなったり、亀裂沿いに粘土を挟んではなく離したりします。岩盤が地下深くで熱水と化学反応することであり、風化作用と関係なく、「未風化岩盤であるにもかかわらず熱水変質を受けたので脆い」ということが起こります。そのため、ボーリング掘削すると深部で熱水変質した軟質岩盤に出くわすこともあります。

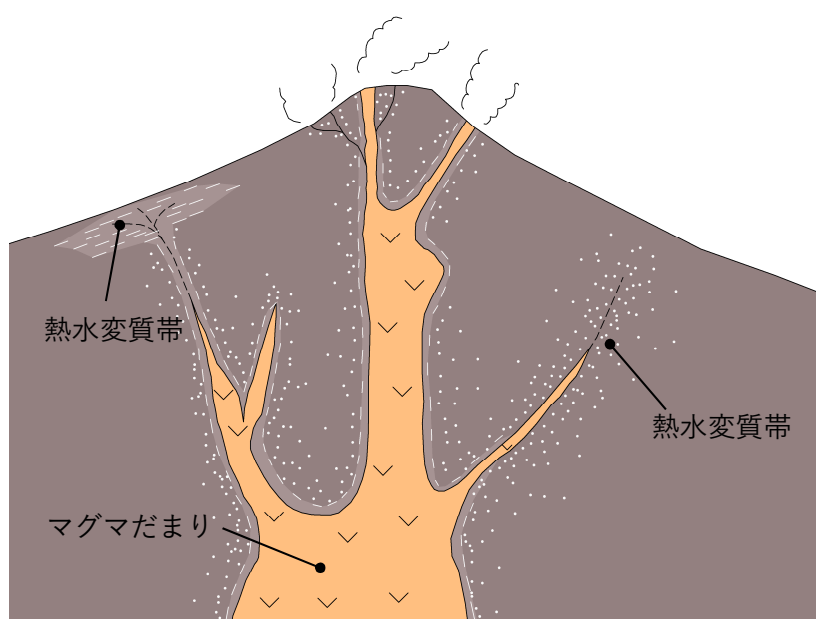


図-1 火山地帯での熱水変質概念図

土木地質分野では表層付近が調査対象になることが多いため、変質と風化作用が合わさった岩盤がしばしば認められます。図-2 は風化と熱水変質の関係を模式図として表現したものです。変質帯は比較的深部に存在し、風化帯は表層付近に分布します。ただ実際は変質帯も風化するので、風化帯と変質帯を明確には区分できないことが多いです。

なにより、「風化は表層から地下へ」「熱水変質は深部から表層へ」というイメージで捉えていただければと思います。

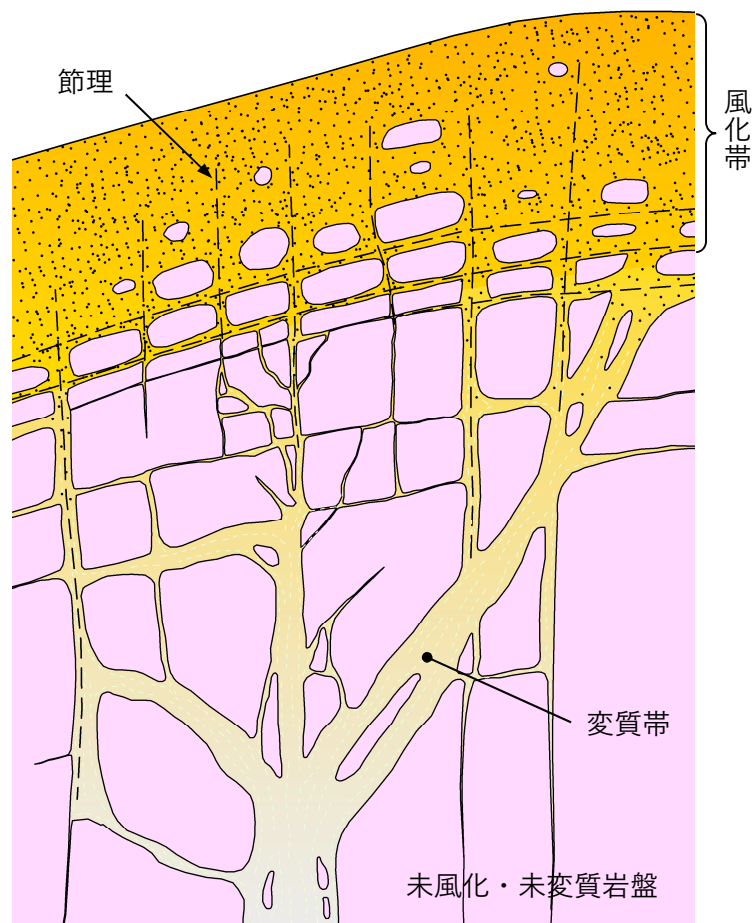


図-2 熱水変質作用と風化作用の概念図

（２）熱水変質の実例

熱水が岩石中を流動する期間が短く、化学反応があまり進まなかったら、変質を受ける範囲は cm 以下オーダーのスケールに留まりますが、熱水が長い間流動し、岩石が熱水と十分に化学反応すると数 10m オーダーのスケールに至ることもあります。具体的に言えば、熱水変質作用がボーリングコアのひび割れ沿いに留まることも、コア全体にまで及ぶこともあります。

写真-1 は花崗岩での熱水変質帯です。このような幅 1 cm 程度の変質脈が網目状に発達しているのを粘土細脈とも呼びます（防-2 粘土細脈参照）。これらは、花崗岩の岩体生成時に熱水が花崗岩の中に入り込み、出来たものと考えられています。この例では変質は脈沿いに留まっており、広く見ても数 10cm 幅が変質帯と言える程度です。

しかし、粘土細脈を構成する粘土がスメクタイトなどの膨潤性粘土鉱物を含むことがあり、そのため、切土掘削時にこの粘土細脈がはく離して法面崩壊を誘発することがあります。幅数 cm の細脈と言っても侮れません。



写真-1 花崗岩中の熱水変質脈（広島県広島市）

次はもう少し大規模な熱水変質帯の例です。

土木地質では、熱水変質を受けて劣化したゾーンの拡がりが問題となります。例えば図-3 に示すように流紋岩の一部が不規則に変質していることもあります。ここでの流紋岩はあまり風化していませんが、幅 1m 程度の白～黄土色の不規則熱水変質帯の中は土砂状に劣化しています。これは風化、つまり雨や酸素に触れることで岩盤が劣化したのではなく、流紋岩が地中にあった時に流動した熱水が流紋岩の構成鉱物と反応し、粘土鉱物などになったためです。さらによく見ると、流紋岩の傾斜した地層構造と関係なく熱水変質帯が分布していることが分かります。このように、熱水変質の分布は地層構造と関連ないことがしばしばあります。

このように熱水変質帯が不規則な分布だと、ボーリングなどの地質調査で捉えられず、工事時に想定外の劣化岩盤が出現することになります。地質技術者は、熱水変質が調査地域に無いかその兆候を逃さないよう、ボーリングコアの割れ目一つにも注意を配る必要があります。実際は難しいのですが…。



図-3 流紋岩中の熱水変質脈スケッチ（広島県庄原市）

写真-2 は網目状に熱水脈が分布する状況です。元々の岩盤は粘板岩ですが、熱水脈が卓越し過ぎて地質構造が失われ、まるで礫岩のように見えます。礫状になった粘板岩を手でひっかくと、ポロポロと簡単にはく落します。熱水変質により劣化・粘土化することだけでなく、この例のように、はく落を招くこともあります。

写真-3 は泥質片岩での熱水変質脈です。露頭スケールで見ると、熱水変質脈は脈状に分布するように見えますが、近づくと網目状に熱水が入り込み、岩盤を変質させていることが分かります。

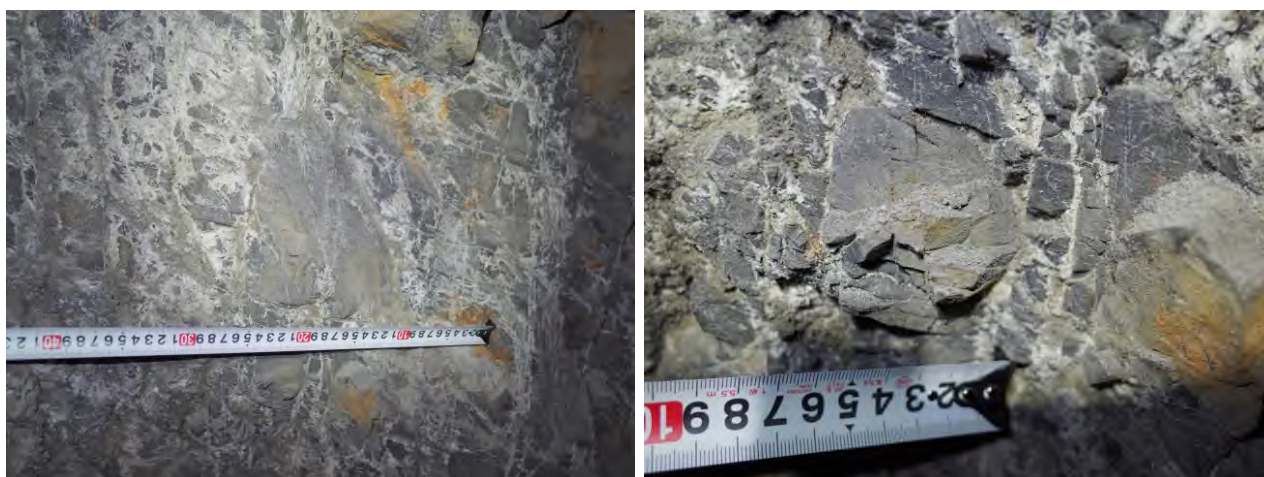


写真-2 粘板岩中の網目状に発達した熱水変質脈（岡山県美咲町）

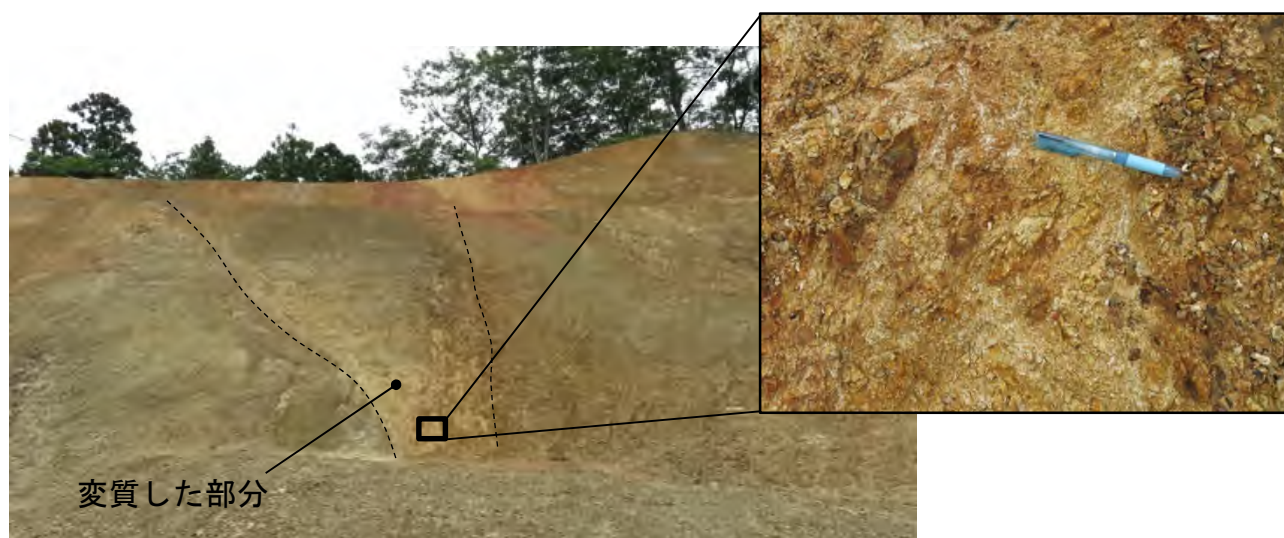


写真-3 泥質片岩中の熱水変質脈（島根県浜田市）

写真-4 は花崗岩を貫く断層がさらに熱水変質を受けている例です。断層はその変動により岩盤を破碎しますが、さらに熱水が通って一部が粘土状になっています。このように断層が熱水変質を受けたら、さらに岩盤が劣化します。

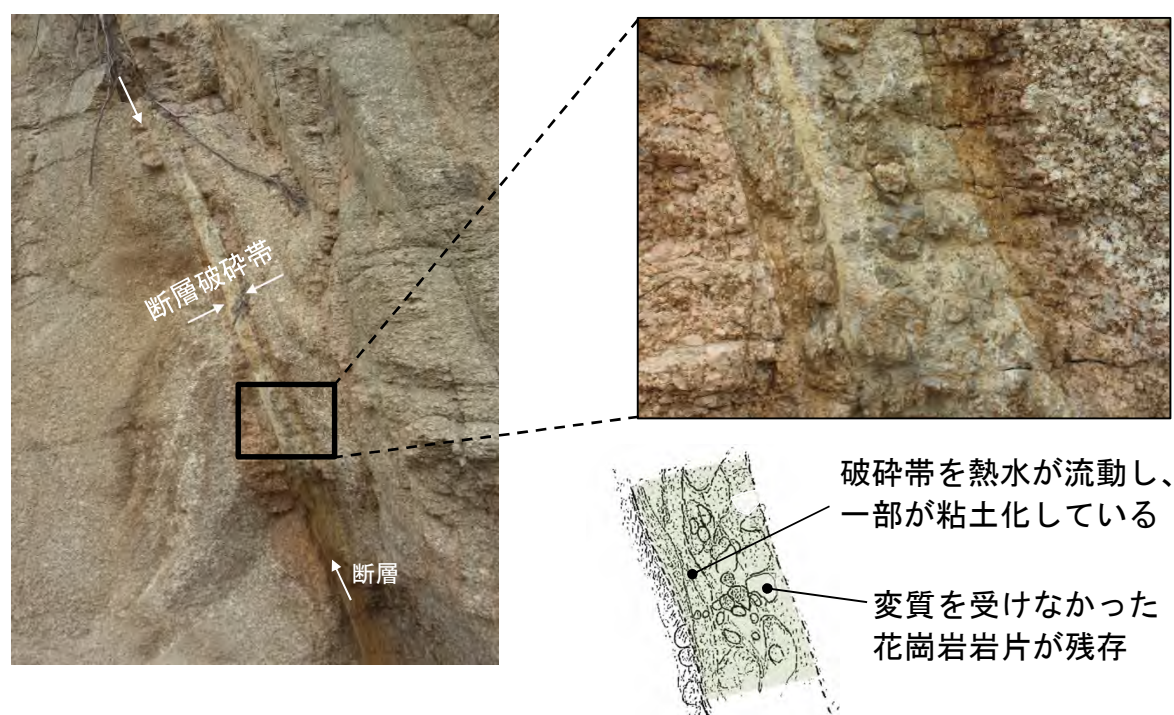
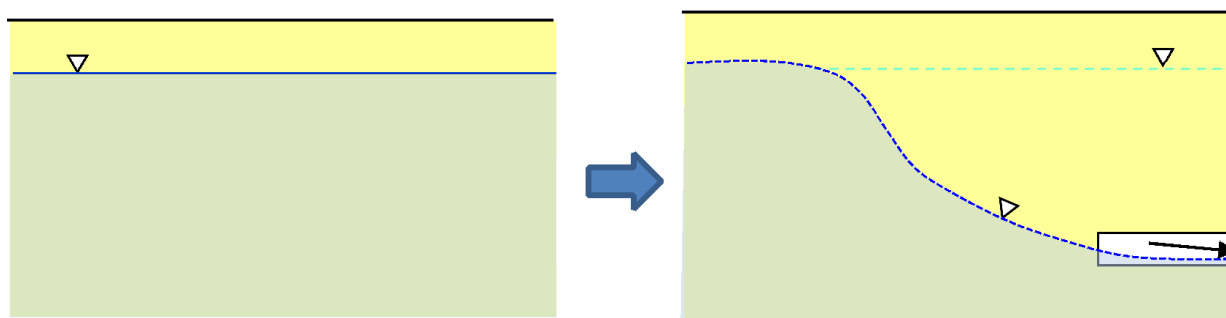


写真-4 断層とその部分の熱水変質（広島県広島市）

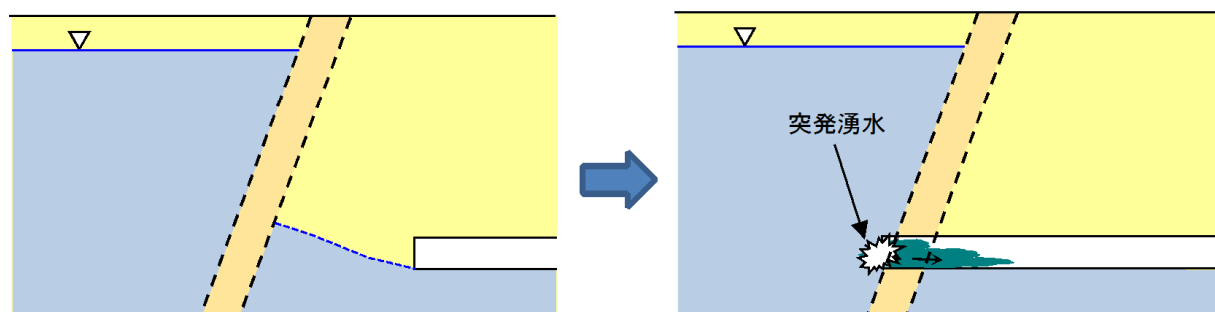
また、この粘土化した断層が壁となって地下水流動を規制し、土木上の問題と起こすことがあります。たとえばトンネルの突発湧水です。

通常、トンネルを掘削すると地下水位は低下します。そのためトンネル掘削面はある程度水が抜けた状態となっており、通常問題ありません。ところが掘削前方に粘土化した断層がある場合、断層が壁になり、トンネル掘削による地下水位低下が断層の向こうまで及びません。そのため、掘削が進んで断層の壁を抜けた瞬間、地下水が一気にトンネルに流れ込み、突発湧水となります（図-4）。

このように土木地質上、熱水変質は大きな影響を及ぼす地質要因なのです。侮れません。



通常のトンネル掘削では、掘削に伴って前方の地下水位も低下するので、突発湧水は起こらない



しかし粘土化した断層があると前方の水位が低下せず、断層突破時に突発湧水が起こり得る

図-4 トンネル掘削時の突発湧水模式図

(回答者 小笠原 洋)