

## P6. 化学的・鉱物学的観点から見たすべり面評価事例

A sliding surface evaluation example in utilizing Chemical and Mineralogical analysis

○和田佳記・磯野陽子・吉岡正治（㈱エイト日本技術開発）

### 1. はじめに

四国中央部の三波川帯結晶片岩が分布する地域において、ある施工中の切土法面が崩壊した。さらに、斜面末端部を切土する計画のため、掘削に伴うすべりを考慮した対策工を実施する必要があった。対策工を設計する上ですべり面判定は重要である。しかし、結晶片岩分布域におけるすべり面付近のコアは礫混じり粘土状等になることが多く、判断しにくいためコア肉眼観察だけでは必ずしも客観性があるとは言えない。また、緊急の対策となるため動態観測において明瞭な変動が出ないと推測された。そこで、崩壊斜面で実施した調査ボーリング試料を用いて、pH・酸化還元電位・色彩測定及びX線回折を実施し、化学的・鉱物学的観点から基盤岩の性状把握とすべり面評価について考察を行なった。

### 2. 調査地の地形・地質概要

調査地は河川の下流域にあり、右岸側の急峻な崖と左岸側のなだらかな緩斜面という対照的な地形が特徴的である。崩壊した法面は左岸側に位置する。調査地付近の地質は三波川帯の泥質片岩主体としており、その上をルーズな礫混じり崩積土が覆う。崩積土は主に泥質片岩の風化岩塊を含み、一部、塩基性片岩の岩塊も見られる。

### 3. 分析方法

崩壊斜面内において調査ボーリングを2本実施し、崩壊上部のボーリング孔をNo.1、崩壊中部のボーリング孔をNo.2とした。試料はほぼ1m間隔で採取し、測定・分析を行った。

#### 3.1 pH及び酸化還元電位(Eh)測定

pH測定装置(堀場製作所 F-22)、酸化還元電位測定装置(堀場製作所 D-54)を用いて、岩石を粉砕してほぼ同量のイオン水と攪拌した試料を作製し、直ちに測定を行なった。一般的に風化が進行している地表付近ではpHは小さい値を、酸化還元電位は高い値を示し、地下深部ではその逆の値を示す傾向がある。しかし、破碎帯等においては地下水や新たに生成された粘土鉱物などの影響で周囲と異なる値を示すと推測でき、基盤岩中の不連続面、弱線の抽出に利用した。

#### 3.2 色彩測定

色彩測定装置(ミノルタ CR300)を用いて、水簾試料をガラス板の上で乾燥させた試料の色彩を測定した。色彩は国際標準に準じて、L\*a\*b\*座標系を用いた。基盤岩の色彩を数値化し岩種・含有鉱物・風化変質状況の相違を定量化できる。一般的に岩盤の色彩は地表に向かって風化(酸化)が進行すると、a\*b\*値が大きくなる傾向がある。しかし、破碎帯等においては周囲の岩盤と異なる色調を呈している可能性が高く、基盤岩中の不連続面、弱線の抽出に利用した。

#### 3.3 X線回折分析

X線分析装置(島津製作所 XD-D1)を用いて、水簾試料をガラス板の上で乾燥させた試料を作成し、定方位法により試料に含有する鉱物種の同定を行なった。鉱物種により岩石の風化・変質状況を把握と弱線の抽出に利用した。

## 4. 分析結果

### 4. 1 pH 及び酸化還元電位(Eh)測定結果

結果を pH-酸化還元電位の関係図(図-1、図-2)に示す。pH と酸化還元電位の関係は正の相関を示す。崩積土と基盤岩ではデータの分布範囲、傾きが異なる。

### 4. 2 色彩測定結果

結果を色彩値の関係図(図-3、図-4)に示す。a\*-b\*の関係は正の相関を示す。L\*は明瞭な違いは見られなかった。崩積土は基盤岩と比較して a\*b\*値ともに高い値を示す。

### 4. 3 X 線回折分析結果

結果を X 線分析結果一覧(表-1、表-2) に示す。No. 1、No. 2 ともにほぼすべての試料において泥質片岩の構成鉱物のセリサイトと弱酸性熱水変質鉱物のカオリナイトが確認された。崩積土と基盤岩の一部においてはセリサイト/スメクタイト混合物が確認された。

## 5. 崩積土・基盤岩の風化・変質特性

pH-酸化還元電位の結果より崩積土と基盤岩は化学的性質が異なることが示され、その間には化学的な観点から見た不連続面が推定される。

色彩結果より No. 1、No. 2 ともに崩積土ほど a\*b\*値が高い値を示し、風化・酸化作用に伴う色調変化傾向を示す。崩積土は一般的な風化作用を受けていると考えられる。崩積土と基盤岩の間には化学的な観点から見た不連続面が推定される。

No. 1 の G. L. -5.0~5.6m の基盤岩データは図-1、図-3 において崩積土の分布領域にプロットされており、地すべり活動で化学的性質が崩積土にシフトしていった可能性が指摘できる。

基盤岩である泥質片岩が剥離性に富み配向性のある鉱物であるセリサイトを主成分としており、地すべり・崩壊しやすい素因を持っている。

崩積土、基盤岩全体に回折線のシャープなカオリナイトが生じており、結晶度の低いハロサイトが見られないことから、調査地一帯弱酸性熱水変質作用を受けていると考えられる。

土木的に問題のあるスメクタイト(混合層鉱物)は崩積土、脆い基盤岩上部で回折線が見られ、基盤岩の中には明瞭に見られない。したがって、カオリナイトの弱酸性熱水変質とスメクタイトの中性熱水変質の 2 種類の熱水変質作用を受けた脆弱な基盤岩が不安定化し、地すべり・崩壊を起こしていると推定される。

## 6. 弱線抽出検討

物性値が大きく変化をする深度は、化学的・物理的性質の不連続面で基盤岩中の弱線となり得る。そこで、No. 1、No. 2 の N 値・pH・酸化還元電位・色彩値を深度方向に整理し(図-5、6)、すべり面と推定される弱線の深度を考察する。

図-5 から、No. 1 は G. L. -5.1~6.5m の間に各物性値が変化しており、最も活動度の高いと推定される不連続面が認められる。この区間は N 値も小さく、基盤岩が脆弱化している様子が示されている。

図-6 から、No. 2 は G. L. -7.0~8.2m 付近で各物性値が不連続に変化しており、最も活動度が高く、すべり面になりやすい深度といえる。また、崩積土内の a\*b\*値を見ると、地表面付近よりも深部に向かって値が大きくなり、より風化色を示している。これは、その深度付近が地表付近よりも乱れが大きいと予想でき、何度も土砂移動面となってきたことが指摘できる。

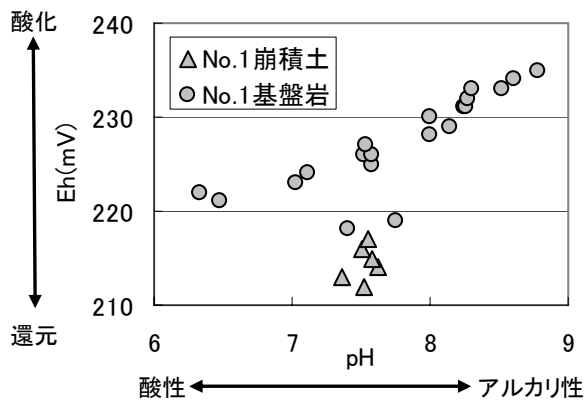


図-1 No.1pH-酸化還元電位関係図

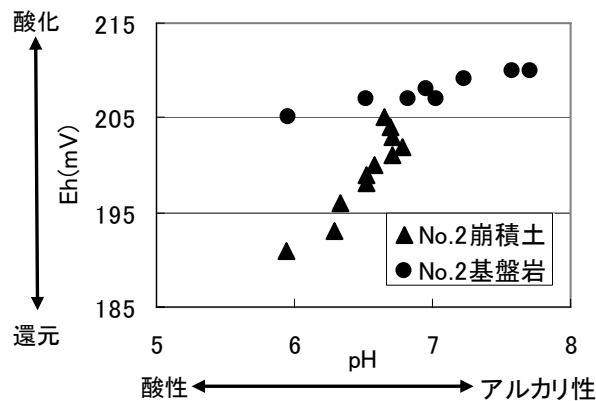


図-2 No.2pH-酸化還元電位関係図

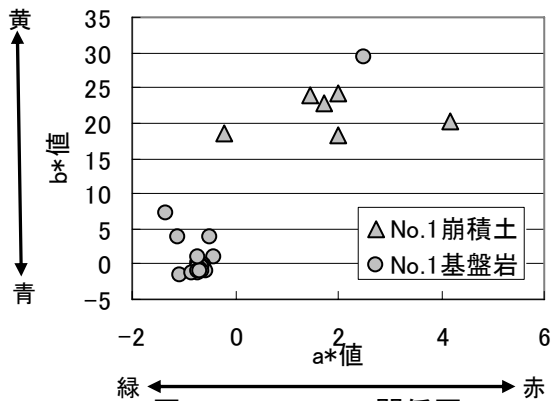


図-3 No.1a\*-b\*関係図

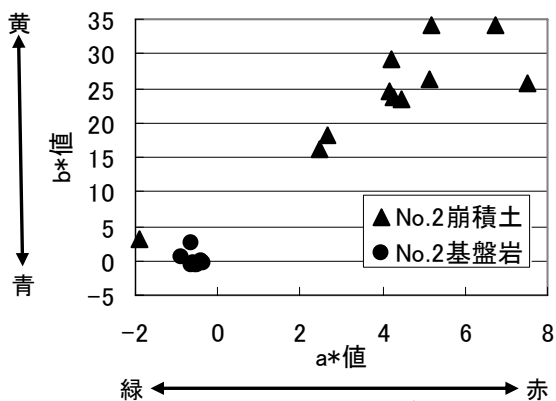


図-4 No.2a\*-b\*関係図

表-1 No.1X 線回折分析結果一覧

深度 (m)	地質	岩級	N 値	X線回折結果									
				K	M	Ch/M	Se/M	Se	Ch	Am	Pl	Q	Cal
1.0-1.5	崩積土		5	x	△	x	x	●	△	x	x	x	x
2.0-2.5			18	○	x	x	△	●	x	△	○	x	x
2.75			50/9	◎	x	x	●	●	x	x	x	x	x
3.0-3.3				◎	x	x	●	●	x	x	x	x	x
3.4				◎	x	x	●	●	x	x	x	x	x
4.55	基盤岩	D	30	◎	x	x	●	●	○	x	x	x	x
5.0-5.5			◎	x	x	○	●	●	○	x	x	x	x
5.6			●	x	○	△	●	x	x	○	x	x	x
5.85		●	x	△	△	●	x	x	○	○	x	x	
6.0-6.5		24	●	x	△	△	●	x	x	○	○	x	○
6.95		○	x	x	x	●	◎	x	○	◎	x	x	
7.5		C L	○	x	x	x	●	○	x	△	◎	x	x
8.5			○	△	x	x	●	x	x	△	△	x	x
9.5			○	x	x	x	●	x	x	△	x	x	x
10.6		D	○	x	x	x	●	x	x	○	◎	x	x
11.1			◎	△	x	x	●	x	x	△	x	x	○
12.8			○	x	△	△	●	x	x	○	○	x	x
13.7		C L	○	x	△	x	●	x	x	○	x	x	x
14.5			◎	x	x	△	●	x	x	○	x	○	○
15.5			◎	x	x	x	●	x	x	○	○	x	○
16.7	△	x	x	x	●	x	x	○	◎	x	x		
17.6	C M ~ C H	◎	x	x	x	●	x	x	○	x	x	x	
18.5		◎	x	x	△	●	x	x	△	△	x	x	
19.9		○	x	x	x	●	x	x	○	x	x	x	
20.3		○	x	x	x	●	x	x	○	x	x	x	
21.25		○	x	x	x	●	x	x	○	○	x	x	

表-2 No.2X 線回折分析結果一覧

深度 (m)	地質	岩級	N 値	X線回折結果									
				K	M	Se/M	Se	Ch	Pl	Q	Cal	Gy	
1.0-1.5	崩積土		5	x	x	○	●	○	○	○	x	x	
1.8			6	○	x	○	●	○	x	x	x	x	
2.0-2.5			2.2	◎	x	○	●	○	△	△	x	x	
2.9				◎	x	○	●	○	△	△	x	x	
3.0-3.5				2.2	◎	x	○	●	○	△	△	x	x
3.6				◎	x	○	●	○	△	△	x	x	
4.0-4.5			2.6	○	x	○	●	○	△	○	x	x	
4.8			基盤岩	D	2.0	◎	x	○	●	△	x	x	x
5.0-5.5	2.0	◎			x	○	●	△	x	x	x	x	
6.0-6.5	1.9	◎			x	△	●	△	x	x	x	x	
7.0-7.5	2.3	◎		x	x	●	△	△	x	x	x		
7.9	C L	○		x	△	●	x	○	○	x	x		
8.2		○		x	x	●	x	○	○	x	○		
8.8		●		x	○	●	x	○	○	x	x		
9.7		○	x	x	●	x	○	○	△	x			
10.5	C M ~ C L	●	x	x	●	x	○	○	○	○			
11.5		○	x	x	●	x	○	○	○	x			
12.35		○	x	x	●	x	○	△	x	x			
13.5		◎	x	x	●	x	○	△	x	x			

K:カオリナイト M:スメクタイト Ch/M:緑泥石/スメクタイト混合層鉱物 Se/M:セリサイト/スメクタイト混合層鉱物  
 Se:セリサイト Ch:緑泥石 Am:角閃石 Pl:斜長石 Q:石英 Cal:方解石 Gy:石膏  
 x:回折線が見られない △:回折線が1cm以下 ○:回折線10cm以下 ◎:回折線が10~20cm ●:回折線が20cm以上

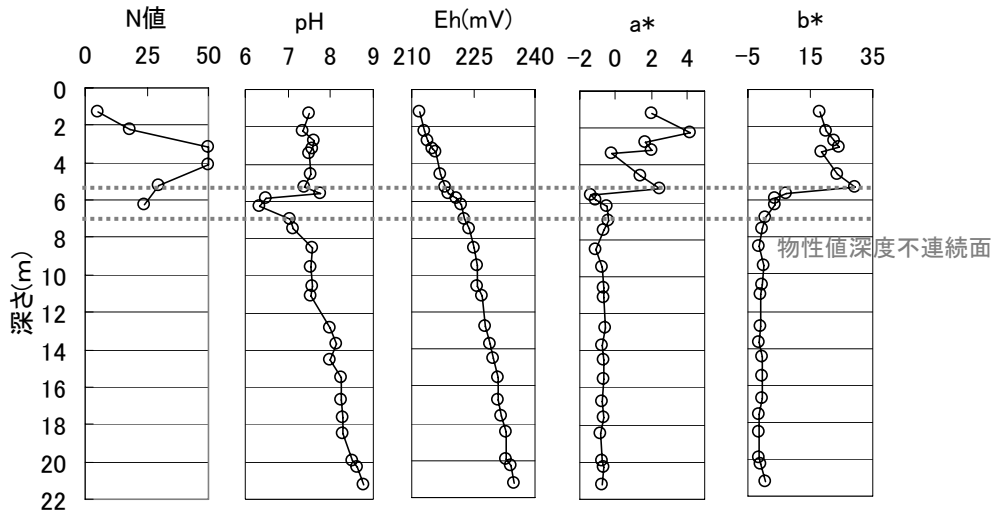


図-5 No.1 物性値深度方向変化図

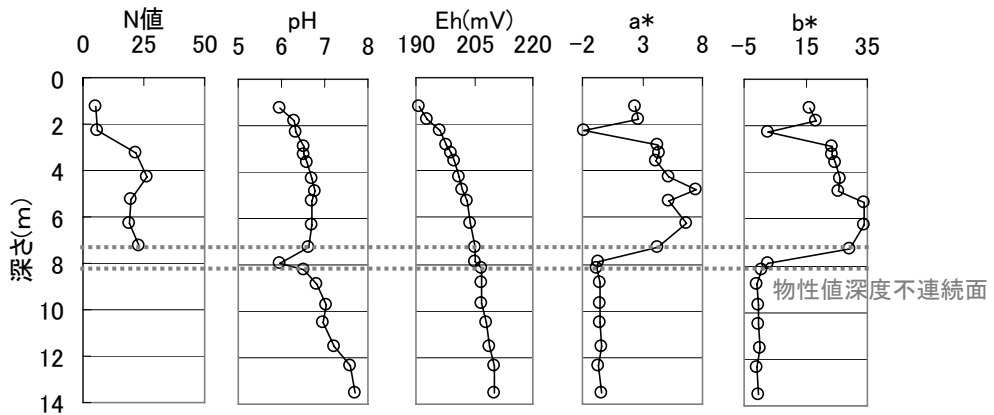


図-6 No.2 物性値深度方向変化図

以上より、熱水変質を受けた斜面背後の脆弱な基盤岩と不連続面より上位の崩積土が崩壊、すべりを繰り返していると推定される活発な斜面を切土した結果、熱水変質、風化作用を受けて脆弱化した基盤岩が不安定化し、すべり面と判断される弱面を形成したと考えられる。

## 7. おわりに

pH、酸化還元電位、色彩及びX線回折を測定し整理することによって、すべり面と判断される弱面のせん断帯が確認された。また、コア観察によるすべり面判定と同調的な結果となった。化学的・鉱物学的観点から見たすべり面評価は、今回のようなコアの状態が悪く、コア観察によるすべり面判定が困難な場合やすべり面予測などに有効な1手法と考えられる。引き続き同様な検討を行い、精度を高めていきたいと考える。

## 【参考文献】

磯野陽子、木村隆行、高田正治、諏訪陽子：岩石の鉱物・化学的特徴を用いた地すべり調査事例第46回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp97-100.2007.