

神戸層群の切土斜面における風化削剥プロセス

Weathering and Denudation Process on a Cut Slope in the Kobe Group, Japan

廣田清治* (愛媛大学大学院・理工), 村井政徳 (高知大学大学院・黒潮圏海洋)

Kiyoharu HIROTA (Ehime Univ.) and Masanori MURAI (Kochi Univ.)

キーワード: 神戸層群, リル, 風化, 削剥, 切土斜面

Keywords: Kobe Group, rill, weathering, denudation, cut slope

1. はじめに

神戸層群は三田盆地を中心に分布する古第三系である(図-1)。掘削によって切土斜面に現れた神戸層群は急速に劣化し、数年以内で地表面は削剥されてリルが刻まれ、そのとき流出する土砂で側溝や水田が埋められる。第四系の大阪層群をも超える削剥速度で、とうてい古第三紀堆積物の削剥速度とは思われない。

切土斜面の長期安定性を考える上で、凝灰岩をはじめとする神戸層群の風化・削剥形態を記載し、解明することは重要である。本研究では、人工的に地表面に現れた神戸層群がどのような風化および削剥プロセスをたどって斜面の形態を形成しているかを明らかにする目的で、継続研究を行っている成果について発表する。



図-1 位置図

2. 調査対象地

調査対象地は、兵庫県神戸市北区大沢町日西原の農道切土斜面である(図-2)。この斜面は切土後10数年が経過しており、1:0.8~1:1.0 勾配で切り取りされている。当該斜面の斜面長は10~18mで、鉛直高さは10m前後である。斜面の地質は下位から礫



図-2 調査対象斜面近景

岩、砂岩、礫岩、粗粒凝灰岩、細粒凝灰岩および礫岩で構成される。

神戸層群の岩相は礫岩、砂岩、泥岩といった碎屑岩とそれに挟在する凝灰岩からなり、さらに凝灰岩は粒度や軽石の含有量の違いから様々な岩相を呈する(図-2)。岩質も多様で、切土斜面に露出したときにはすでに軟質化している岩相があり、その一方で硬質な岩相もある。

3. 斜面の削剥形態

図-3~5は、研究対象斜面の地質の分布とリルの分布を示したものである。

斜面を構成する岩相で、より風化・軟質化しやすい細粒凝灰岩層には、斜面全体が削剥されるような面状侵食が卓越し、リルの幅は比較的広いのに対し、深さは非常に浅い。一方、粗粒凝灰岩および砂岩・礫岩層では、細粒凝灰岩層でみられるような幅が広く浅いリルではなく、節理に沿って直線的に深く挟られるような形態を示すリルが形成されている(図-6)

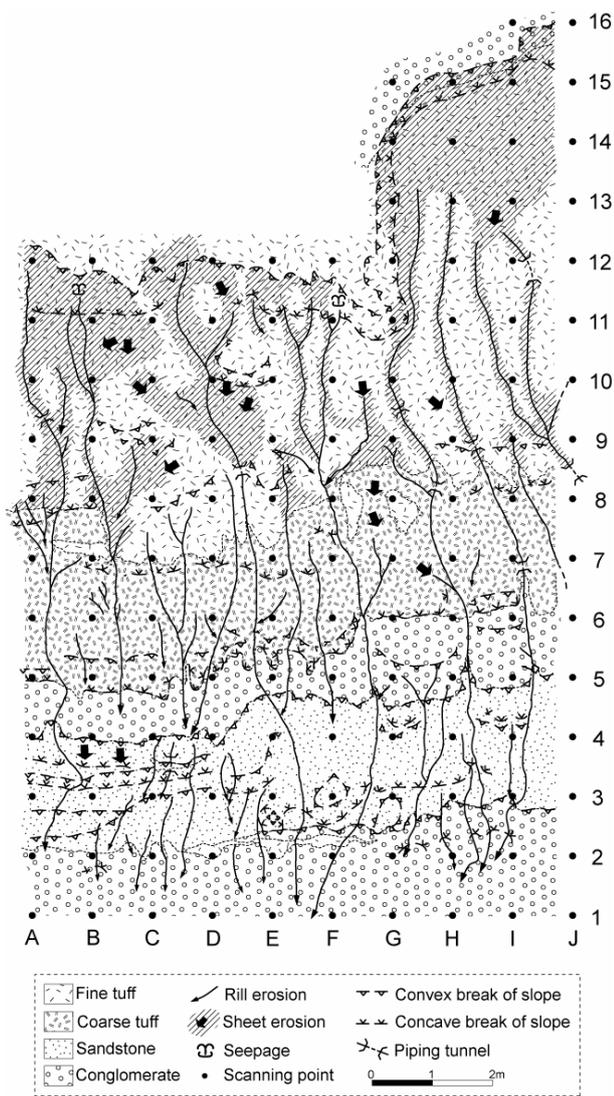


図-3 切土斜面展開図

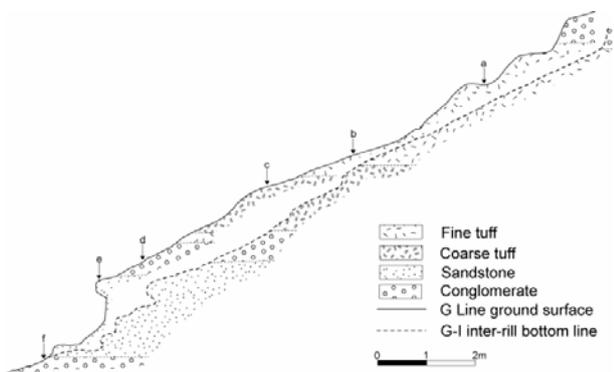


図-4 地形・地質断面(G測線と隣接H側リル断面)

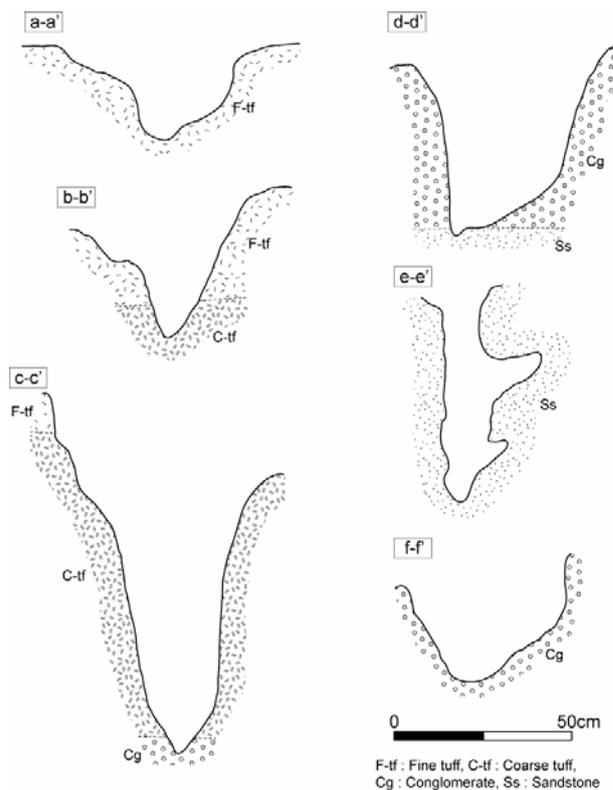


図-5 岩相によるリルの形状(H側リル横断)

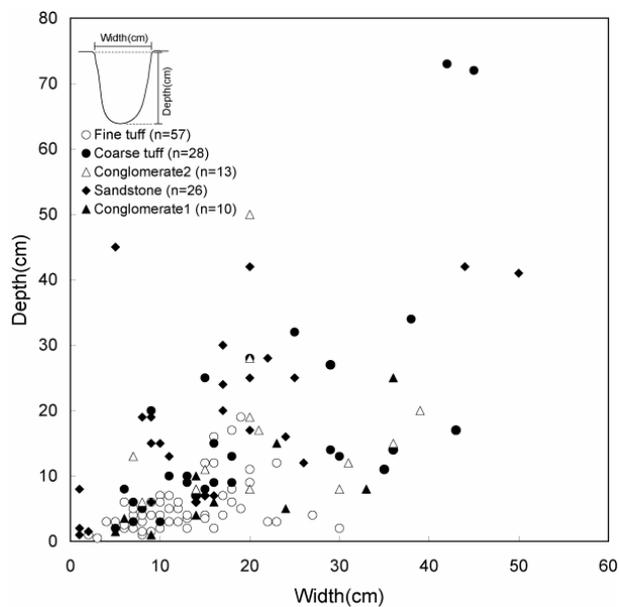


図-6 リルの深さと幅の比

また、図-5 に示すように、粗粒凝灰岩や砂岩・礫岩層に発達するリルは、断面形状が非対称であるのが特徴である。高角度の直線的な面は節理面に相当し、節理に沿って地下水が浸透し削剥していった

ことを暗示するものと考え、節理の存在がリルを形成する重要なファクターになっている。また、砂岩層では図-5の e-e' 断面に示すように、水平方向にも挟られている。砂岩層にはコンクリーションにより強く固結した耐侵食性の高い部分と侵食されやすい部分とが互層しており、その境界面に沿って侵食が進行している。

リルの分岐の発生箇所は、細粒凝灰岩、粗粒凝灰岩層の順で多く、粒径の大きい砂岩および礫岩層では分岐はほとんど生じない。砂岩、礫岩層のリルが分岐しているように見えるのは、節理の交差によるものである。

4. 斜面構成物質の性質

4.1 斜面構成物質の力学的性質

斜面構成物質の力学的性質を調べるために山中式土壌硬度計を用いて強度を測定した。表-1には、コーン貫入量と換算一軸圧縮強度を示す。もともと強度が小さいのは細粒凝灰岩層で一軸圧縮強度は161.3~1370.3kPaである。砂岩・礫岩層は強度が高く、低い箇所でも500kPa以上の強度があり、中硬岩に相当する。

表-1 山中式土壌硬度計測定結果

		Max.		Min.	
		mm	kPa	mm	kPa
Higher	Cg	29.0	2955.7	19.5	572.2
	F-tf	25.0	1370.3	11.0	161.3
	C-tf	35.0	17265.2	24.0	1156.2
	F-tf	22.0	837.4	16.5	368.5
	Cg	33.5	9778.3	20.0	616.6
	Ss	38.0	117156.9	31.5	5376.7
Lower	Cg	38.0	117156.9	23.0	981.5

(Cg:礫岩, F-tf:細粒凝灰岩, C-tf:粗粒凝灰岩, Ss:砂岩)

4.2 凝灰岩の物理的性質

粒度分析の結果、三角ダイアグラム上では細粒凝灰岩は“粘土”，粗粒凝灰岩は“粘土質シルト～砂質シルト”にプロットされる(図-7)。

コンシステンシー特性については図-8に塑性図として示す。細粒凝灰岩と粗粒凝灰岩とでは、明瞭な違いが認められ、細粒凝灰岩は“CH(高塑性粘土)”，粗粒凝灰岩は“CHとMH(低塑性粘土)”の中間的な性質を示す。

図-3に●点で示した、1m格子の各交点で採取し

た細粒凝灰岩試料のpH、電気伝導度 EC(ms/m)、土の湿潤密度 ρ_t (g/cm³)は、それぞれ、pH 9.2~9.6(m=9.4)、EC 16.7~32.0(m=22.3)、 ρ_t 1.35~2.07(m=1.61)である。細粒凝灰岩の性質として、ベントナイト(pH9.7)に匹敵する高アルカリ性で、有機質粘土(横浜市で EC 20.2ms/m; 地盤工学会, 2000)程度の電気伝導度を持ち、土の湿潤密度はやや小さい性質を挙げることができる(飽和度 Sr は50%を越える)。

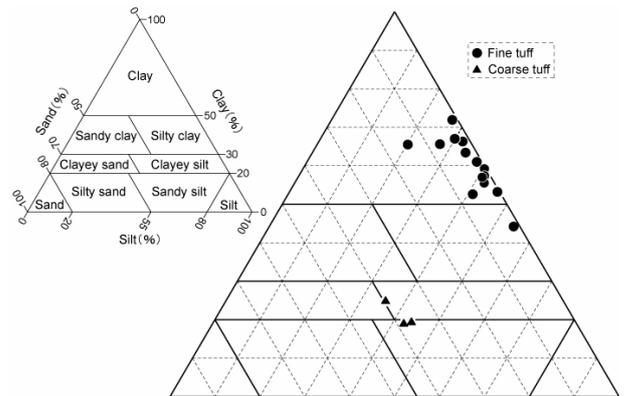


図-7 凝灰岩の粒度三角ダイアグラム

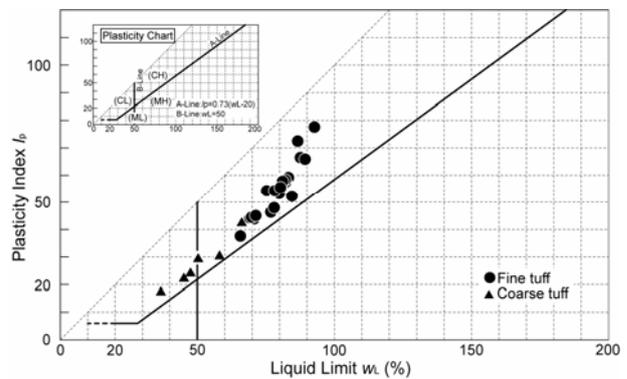


図-8 凝灰岩の塑性図

4.3 凝灰岩の粘土鉱物学的性質

軟質粘土化した凝灰岩には多量のスメクタイトが含まれている。また、化学分析をした結果、軟質粘土化凝灰岩層中のスメクタイトは Ca 型のスメクタイトである。

5. 切土斜面の風化・削剥プロセス

複数の風化プロセスが神戸層群の劣化に関与していることは疑いないが、個別的にそれぞれの風化

プロセスがどの程度の影響力を持って劣化に関与しているかについては現在研究中である。

スメクタイトの膨潤による劣化は確実に起こっており、乾燥収縮によるマイクロクラックの発生、土中の蒸散作用による塩類風化も一部認められる。冬期、掘削面の表層部はしばしば完全に凍っており、凍結融解が岩石表面の劣化に影響していると考えられる。

図-9 は細粒凝灰岩が流動化した箇所で、冬季一日を通し、表層から 5cm 刻みで 30cm 深までの地温を測ったデータである(地上 1.5m 高データも含む)。これによると、凍結融解は地表部で 10cm 深より浅い箇所で生じている可能性がある。

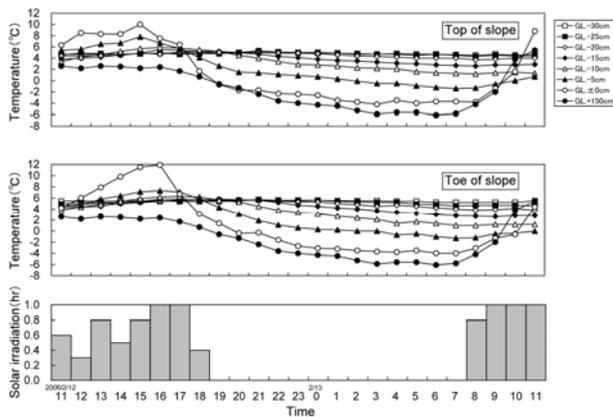


図-9 切土斜面表層における地温の日変化

つぎに、風化・削剥の規制要素を述べ、プロセスについて言及する。

風化・削剥の規制要素は、地質構造規制と岩相規制に分けることができ、地質構造規制による侵食・削剥は、砂岩・礫岩層のような硬質な岩相に優先的に、岩相規制による侵食・削剥は、軟化しやすい凝灰岩層に優先的に認められる(廣田・村井;2005a, b)。

<地質構造規制>

砂岩・礫岩層中のリルは、図-10 に示す N30° W, N80° E の卓越した 2 方向の節理に沿って発達しており、地質構造に規制されている。

<岩相規制>

神戸層群にみられる諸岩相の一軸圧縮強度は数千倍から数万倍の差異がある。切土斜面では一軸圧縮強度の大きく異なる岩相が数 cm～数 m 間隔で互層し、掘削面の風化・削剥形態は斜面毎に多様を

極める。

このようにリルの形態・発達密度は岩相によって変化する。砂岩・礫岩層は一軸圧縮強度も 100MPa 程度を示す中硬岩であり、リルは節理沿いこのみ発達する。一方、凝灰岩は一軸圧縮強度も 1MPa 以下と非常に軟質で、リルもほぼ等間隔に発達する。凝灰岩層の中で細粒なものほど削剥されやすく、斜面勾配も緩くなる。削剥が進行していくと斜面の不安定化が進み、流動型の崩壊が発生する(細粒凝灰岩)。

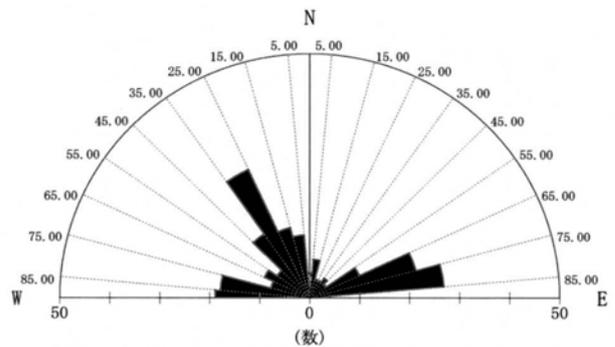


図-10 節理の方向を示すローズダイアグラム
<風化・削剥プロセス>

神戸層群は、深部まで風化がすすむものの、暴露しなければ固結度の高い地質である。岩相的には細粒凝灰岩が風化しやすく、固結度の高いものでは節理沿い、層理面境界から風化が進む。雨滴侵食、面状侵食は各岩相すべてが被る侵食作用であるが、細粒凝灰岩で削剥作用が進行しやすい。とくに、表層 3cm 程度の厚さで顕著に侵食が行われている(自然含水比が 30~40%、飽和度 50%以上の表層土で、重さ約 60g、長さ 40cm の鉄棒を 1m 高さから落下した結果の侵入深さから判断)。パイピングは細粒凝灰岩中の浅部(30cm 以内)で特徴的に生じている(トンネル侵食:Tunnel scour)。表層崩壊・移動(Mass wasting)は細粒凝灰岩分布域で顕著に生じる。砂岩分布域では、節理、亀裂を利用した浸透、層理面を介しての浸出水による浸食(Seepage erosion)を起こしている。礫岩分布域では、節理、亀裂に浸透した水により削剥が進むが、凝灰岩を挟在する箇所ではルーフ及びケイブを形成する。

引用文献 =省略=