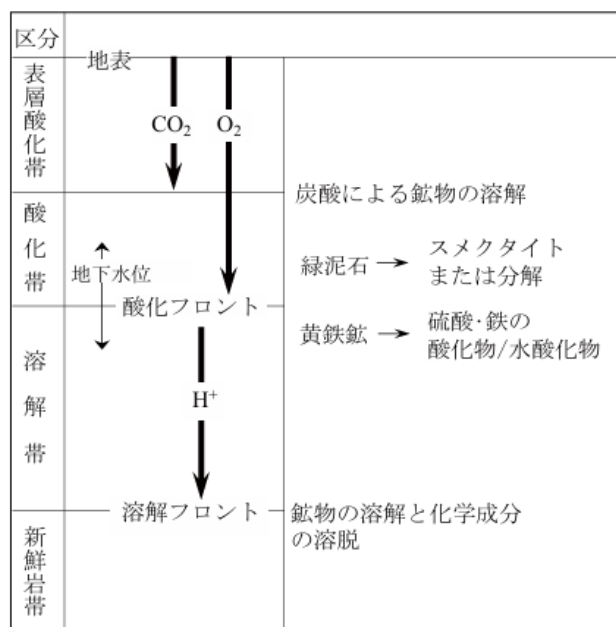


第一話 風化のメカニズム (つづき 1)

No.11 で述べたように土質力学分野における「風化」の関心は主に物理的風化であった。化学的風化のメカニズムの理解は、地質学、特に応用地質学分野で研究の進展がみられるようである。千木良の 2018 年著「災害地質学ノート」¹⁾では、風化帯構造という節で、堆積岩、花崗岩、火山岩、火成岩、降下火砕流、石灰岩に分けて風化のメカニズムが解説されている。ここでは、1995 年に出版された「風化と崩壊」²⁾に紹介されている堆積性軟岩の風化メカニズムと火山灰の風化メカニズムを学んでみたい。

1. 3 堆積性軟岩の風化メカニズム

千木良¹³⁾は、1990 年に山地の泥岩の化学的風化に関する論文を発表した。1990 年論文の内容を題材に「風化と崩壊」²⁾では、堆積性軟岩の風化メカニズムとして図一 4 を示している。図一 4 は、堆積性軟岩の風化帯は表層から深部に向かって、表層酸化帯、酸化帯、溶解帯、新鮮岩帯に分かれることを示している。千木良は酸化帯と溶解帯の境界を「酸化フロント」、溶解帯と新鮮岩石帯の境界を「溶解フロント」と名付けた。



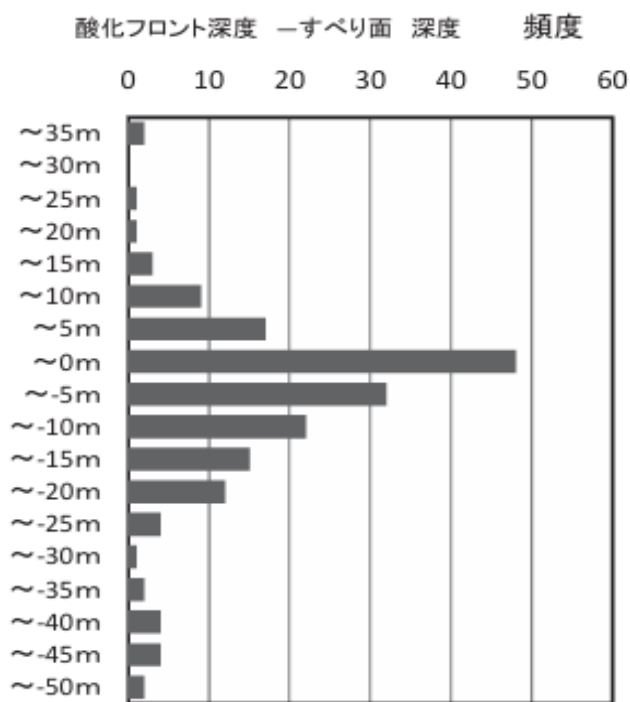
図一 4 堆積性軟岩の化学的風化のメカニズム. 出典：千木良(1995)²⁾

彼は重要な化学的風化はこれらの層の境界となる酸化フロントと溶解フロントで起きると考え、大略以下のように説明している。「堆積軟岩に含まれる黄鉄鉱が、浸食や人為的な掘削等によって地表に晒されると、酸化されて硫酸を作り、この硫酸がさらに岩石を溶解していき、結果的に岩石の強度が低下する。酸化フロントでは、緑泥岩が膨潤性の粘土スメクタイトになり、黄鉄鉱が酸化され、硫酸と鉄の酸化物あるいは水酸化物になる。生成された硫酸は下方に移動していき、溶解フロントで鉱物を溶解して化学成分を溶脱する。その結果、溶解帯では密度が小さく、間隙

率が大きくなる」。この記述は、彼が岩石の風化プロセスを「風化一流れる水と岩石の反応―物性の変化」として捉えていることを表している。

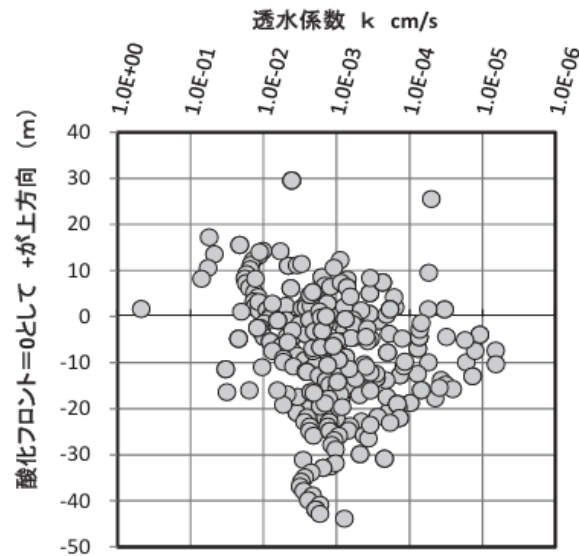
スメクタイトを含む地盤では、切土による地すべり、切土地盤の盤膨れ、トンネル掘削時における内空変位等が発生することが知られている。千木良は 1990 年の論文¹³⁾で、酸化フロントにおけるスメクタイトの増加は、地すべりと密接に関連しているであろうと述べている。この推測の傍証として、1995 年著の「風化と崩壊」²⁾では、高速道路の新第三紀泥岩ののり面掘削後の地すべりが、浅部の黄褐色部分と深部の暗灰色部分との境界付近にすべり面が出来ている口絵写真を示し、2007 年著の「崩壊の場所」⁴⁾、7 章地すべり地帯をおそった地震―2004 年新潟県中越地震―では、酸化フロントの下に溶解帯が存在すること、酸化フロント付近にすべり面をもつ地すべりがしばしば発生すること、地震時には溶解フロント付近にすべり面が生じること等を論じている。

図―5 は木村ら (2015)¹⁴⁾ が、四国中央部に位置する御荷鉾緑色岩類で構成される地すべり地における既往資料を用いて作成した酸化フロントを 0 点としたすべり面位置の頻度分布である。すべり面位置は、0+/-5m に集中し、千木良の「酸化フロント付近にすべり面をもつ地すべりがしばしば発生する」との主張とよく整合している。



図―5 酸化フロント = 0 としたすべり面頻度. 出典：木村隆行ら (2015)¹⁴⁾

図―6 は、同じく木村ら (2015)¹⁴⁾ が作成した、酸化フロントを 0 点とした透水係数の分布であり、すべり面下 10m~20m 区間で透水係数が他より二桁低いデータポイントが多くみられる。このことは、酸化フロント下部に透水性の低い層があることを意味している。



図一 6 酸化フロントと透水係数分布、 出典：木村隆行ら（2015）¹⁴⁾

道路建設に伴う切土法面の風化の進行を考える場合、物理的風化と化学的風化が相対的にどのような速さで進行するのかが関心事の一つである。図一 2 によれば London 粘土の掘削現場では物理的風化の影響のため約 40 年程度で崩壊を迎える。潜在的なすべり線位置に関係すると言われる酸化フロントの速度はどの程度なのであろうか？

永田ら(2020b)¹⁵⁾ は、東名高速道路の泥岩切土法面を対象として、切土掘削から約 50 年にわたる物理的および化学的風化の進行の検討結果から、掘削から 50 年後には泥岩の一軸圧縮強度が新鮮な状態の圧縮強度の 1/4～1/5 に低下すると報告している。化学的風化には X 線回折法 (XRD) による鉱物分析と pH、目視でのボーリングコア観察結果を用いて検討を行い、化学的風化のメカニズムについて「岩盤中に存在する黄鉄鉱が水に溶解して硫酸を生成すると酸化帯を形成する。生成した硫酸は緑泥石や方解石を溶解するとともに、スメクタイトを生成し、溶解帯の形成を促す」と述べて千木良の図一 4 の整理を追認し、「切土法面は表層から「酸化帯」と「溶解帯」および「深成岩（未風化帯）」に区分でき、最終的に酸化フロントは地表から 2.5m 程度の深さに達すると予想される。掘削前の地表面に近い法面上部では領域を明瞭に区分できる一方、法面下部では未だ「酸化帯」が形成されておらず、今後黄鉄鉱の酸化と緑泥石や方解石の溶解が進み、化学的風化が進展していくものと予想される」と述べて、化学的風化は計測時点でも進行の途中段階にあると結論付けている。つまり物理的風化は化学的風化に比べて相対的に早期に発現し、化学的風化はより長期間にわたって進行すると理解しておくことが出来そうである。

酸化フロント・溶解フロントに関して興味のある読者には、関（1998）¹⁶⁾、前田ら（2006）¹⁷⁾、山崎・千木良（2008）¹⁸⁾ などの論文があることを付記しておく。

（つづく）



参考文献

- 13) Chigira, M. (1990): A mechanism of chemical weathering of mudstone in a mountainous area, Engineering Geology, 29, pp.119-138.
- 14) 木村隆行、磯野陽子、鬼武裕二、石田孝志司、竹下航、尾嶋百合子(2015): 御荷鉾帯地すべり地の風化帯と透水性特性、日本応用地質学会研究発表会講演論文集、P04, pp.141-142.
- 15) 永田政司、Sharmily Bhowmik, 菊本統、藤原優、佐藤尚弘 (2020b): 半世紀にわたる泥岩切土法面の風化過程と法面安定への影響、地盤工学ジャーナル Vol.17, No.1, pp.73-89.
- 16) 関陽児 (1998): 資料・解説 土壌・風化帯の形成と水質変化、地質調査所月報, 第49巻、第12号、pp.639-667.
- 17) 前田寛之、松木義則、長谷部賀宣、何洋 (2006): "グリーンタ" 地域に分布する堆積軟岩の酸化的条件における化学的風化プロセス—新潟県虫生岩戸及び百川地すべり地域の例、Landslides-Journal of the Japan Landslide Society Vol.42, No.5, pp.381-388.
- 18) 山崎新太郎、千木良雅弘 (2008): 泥質片岩の風化メカニズム, および, 風化と地すべりとの関係について: 四国三波川帯の不攪乱ボーリングコアを用いた解析、地質学雑誌、第114巻、第3号、pp.109-126.

バックナンバー

シリーズ2

No.11 2025年11月21日

シリーズ1

No.10 2025年11月7日

No.9 2025年10月24日

No.8 2025年10月10日

No.7 2025年9月26日

No.6 2025年9月12日

No.5 2025年8月22日

No.4 2025年8月 8日

No.3 2025年7月25日

No.2 2025年7月 4日

No.1 2025年6月20日

