

4. 表層崩壊を群発させる斜面土層構造と、その構造を生み出す原因

—岩石組織と岩石風化の観点から—

The slope surface structure, which induces many shallow landslides, and the causes of the occurrence of the structure

- from the view points of rock texture and rock weathering -

○戸邊 勇人 (京都大学大学院), 千木良 雅弘 (京都大学防災研究所)

Hayato Tobe and Masahiro Chigira

1. はじめに

花崗岩山地では、多くの場合、深層風化によって生じたマサと呼ばれる砂状の物質が、未風化ないし弱風化岩盤を厚く覆っている。マサは豪雨を誘因として表層崩壊しやすく、今日までに多くの表層崩壊を発生させてきた¹⁾。マサの表層崩壊は、著しく風化の進んだ部分より、弱く風化を受けた部分で多く発生する。そのため、同一の降雨を受けた場合でも、風化の進み方に差のある岩石間で、崩壊の発生に差が生じうる¹⁾。実際、1972年の西三河山地の豪雨災害では、花崗閃緑岩地域における斜面崩壊が、花崗岩地域に比較して著しく少なかった¹⁾。

ほぼ同じ時間、長期的な深層風化を受けたと認められる岩体の間で、風化の進行程度に差が生じることがある。この差の生じる原因は、岩体間の岩石組織の差によるものと考えられる²⁾。すなわち花崗閃緑岩に多く含まれる斜長石は、石英やアルカリ長石に比較すると速く風化するために、斜長石を多く含み、かつ斜長石結晶間の連結性の強い花崗閃緑岩は、これに乏しい花崗岩に比べて全体的に速く風化すると考えられる。

強風化した岩石では、おもに長石類や有色鉱物の風化によって生成された粘土鉱物が、周囲の未風化の鉱物粒子に膠着する¹²⁾。強く風化した岩石では、岩石全体にこの膠着効果が生じる。そのため、斜面表層の緩みの発生が、膠着効果によって抑えられ、崩壊しにくくなる。その一方、比較的風化の進んでいないマサでは、膠着効果の発生に乏しいため、斜面表層が緩み、崩壊しやすい土層構造を形成すると考えられる。

筆者らは、風化によって生成した斜面表層物質の物性を実際に比較するために、簡単な原位置試験機を製作し、それを用いて花崗閃緑岩における粘着力の発生を確認した。原位置せん断試験機は、以前の研究²⁾においても製作したが、十分な測定精度を期待できなかったと考えられる。そこで本研究は、試験機の改良を行うとともに、降雨によって飽和された状態でのせん断強さの測定も実施し、その結果から表層崩壊を起こしやすい斜面土層構造の考察を行った。

2. 測定の概要

2.1. せん断試験機の形状

今回製作した測定機は、金棒、デジタルフォースゲージ (株式会社イマダ製、DS2-200N)、および錘からなる (図1)。棒はステンレス製で、その大きさは、棒の内側の開口面積 63mm^2 (横 $7\text{cm} \times$

縦 9cm)、高さ 3cm である。棒の肉厚は、上面側で 1cm であり、下面側に向かって薄く、下面では約 2mm である。すなわち金棒の側面は刃状になっている。このような形状にした理由は、後述のように供試体と金棒とを密着させ、測定の精度を高めるためである。錘は鉛製で、一つあたり質量 1kg のものを用いた。デジタルフォースゲージは、フックを介して棒に接続し、供試体をせん断した時の最大引張強さを測定する。測定機の重量は、錘を除くと 1kg 程度である。なお、この試験機は、山本ら³⁾の研究を参考に製作した。

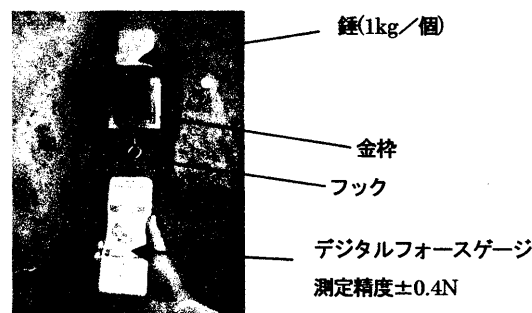


図1 原位置せん断試験機

2.2. 測定方法

測定は以下の順に行った。測定者は、まず金棒の内側の開口部より少し大きく供試体を作成する。次に供試体の上から金棒を押し込み、棒の刃先で供試体の余分な部分を削り取る。これによって金棒が供試体と密着する。次に、測定者は、垂直応力を得るための錘を、供試体の上に設置する。このとき、金棒上に錘が載ると、正しく垂直応力を載荷できないので注意する。最後に、測定者は、金棒のフックにデジタルフォースゲージを接続し、手で手前に引いて供試体をせん断する。このときゲージは最大値を保持するように設定し、せん断時の強さを測定後にも読取れるようにする。せん断速度は、1秒当たり 2N の割合で引張強さを増加させた。

さらに、降雨時の飽和状態でのせん断強さを測定するために、筆者らは、供試体の周囲を厚さ 0.5mm のアルミ板で囲い、ジョウロで上から水を降らせ、供試体を5分間飽和させ、せん断試験を行った。

本研究では、せん断強さの測定にデジタルフォースゲージを用い、以前の測定機に比べ、より高い精度の測定結果が得られるように改良した。以前の筆者の研究では、せん断強さの測定にバネ秤が使われていた²⁾。しかしバネ秤では、せん断時にた

るみによって振動が発生する。この振動は、供試体を破壊しうるだけでなく、指示針の読み取り精度を低くしていた。デジタルフォースゲージは、振動を発生せず、また、引張力を電子的に保持するため、より正確な測定を可能にしたと考えられる。

3. 結果

製作したせん断試験機を用い、西三河豪雨災害の被災地（愛知県豊田市北部）で、花崗岩と花崗閃緑岩の風化生成物の物性を測定した。風化生成物は、本州四国連絡橋公団の岩盤分類に基づき、DH, DM, DLの各岩級（DHは固結した砂状の状態、DLは強く風化して土状になった状態、DMはその中間）に区分し、それぞれの岩級の代表的な露頭において物性を測定した（図2）。

その結果、風化進行に伴うせん断強度の変化には、岩相間で差が認められた。すなわち、花崗岩では、風化の進行によって内部摩擦角が減少し（DH59°, DM47°, DL43°）、粘着力がDLでやや大きくなる（5.8kPa）。これに対し、花崗閃緑岩では、内部摩擦角に変化がなく（DM47°, DL46°）、粘着力はDLで大きく増加（8.1kPa）した。

飽和状態にした結果では、とくに強風化状態（DL級）の物性に大きな差が認められた。花崗岩のDL級岩盤で、自然含水状態において認められた5.8kPaの粘着力は、飽和状態では2.6kPaと半分以下にまで減少した。その一方、花崗閃緑岩では、6.2kPaであり、自然含水状態から約1/4程度減少しただけであった。

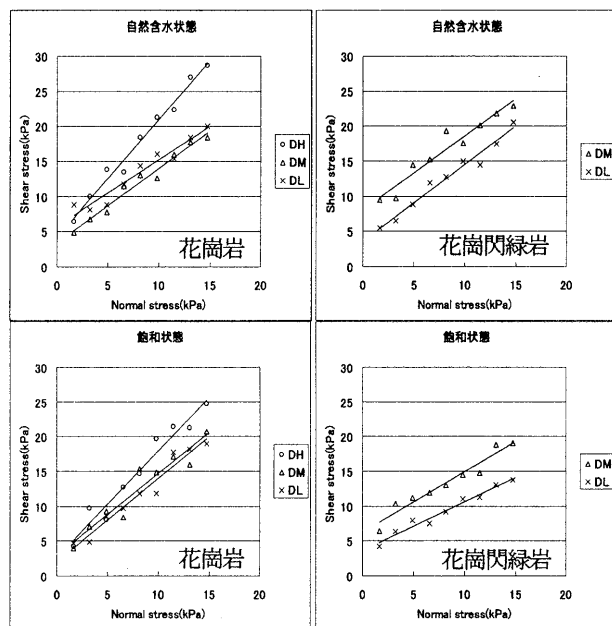


図2 原位置せん断試験結果

4. 考察

強風化状態（DL級）で、とくに飽和状態でせん断強度に差が生じた原因は、花崗閃緑岩における斜長石粒子間の連結性の強さによると考えられる⁴⁾。斜長石は、石英やカリ長石に比べて速く風化して粘土鉱物に変化する⁵⁾。そのため、斜長石結晶のつながりに富む花崗閃緑岩の風化により、鉱物粒子相互の連結

性の強い粘土鉱物が生じる。そして、この粘土鉱物が周囲の鉱物に粘着し、岩石全体に粘着力を発生させたと考えられる。

DL級まで風化した状態では、カリ長石も風化しているが、斜長石の場合とは異なり、粘土鉱物の生成による粘着力は、ほとんど発生していないと考えられる。花崗岩には、連結性の強いカリ長石が多く含まれている⁴⁾。自然含水状態の花崗岩のDL級岩盤は、DH・DM級より高い粘着力をもつ。そのため、強風化状態ではカリ長石の風化による膠着効果が生じているように見える。しかし、飽和状態にすると、DL級の花崗岩の粘着力は、DH級やDM級の花崗岩にほぼ等しい値に減少する。これらのことから、花崗岩のDL級の粘着力は見かけ上のものであり、おそらくは機械的な風化により生じた微細粒子間のサクシオンによって生じたものであると考えられる。

このような膠着効果の発現の差に対応して、風化花崗岩では斜面表層部で粒子が分解しやすくなり大きな緩みを受け、崩壊しやすくなるのに対し、風化花崗閃緑岩では緩みが進行しにくく、崩壊しにくいと考えられる。緩みの発生により、花崗岩斜面では表層に緩み層が生じる。この斜面土層構造の差が、崩壊の差を生み出す大きな原因になると考えられる。すなわち、風化花崗岩斜面では、緩みの生じた層とその下方の緩みの生じていない層との間で、透水性のギャップが生じる。そのため緩み層は降雨時に飽和しやすい。飽和状態の風化花崗岩は、風化花崗閃緑岩に比べると、大きく粘着力を減少させる。そのため、花崗岩の斜面表層は、花崗閃緑岩に比べて、より崩壊を発生しやすい土層構造になっていると考えられる。

5. 参考文献

- 戸邊勇人・千木良雅弘・土志田正二(2007): 愛知県旧小原村の風化花崗岩における崩壊発生密度の岩相間での比較, 応用地質, 48, 2, pp. 66-79
- Hayato TOBE and Masahiro CHIGIRA(2006): Causes of shallow landslides of weathered granitic rocks - from the view point of weathering styles and petrologic textures -, Disaster Mitigation of Debris Flows Slope Failures and Landslides, (ed. Marui, H. et al.), Proceedings of INTERPRAEVENT International Symposium September 25-29, 2006 in Niigata, Japan, UNIVERSAL ACADEMY PRESS, INC., vol.2 of 2, pp.493-501
- 山本哲朗・鈴木素之・村上俊秀・三浦壹章・芋岡敏彦(1999): 斜面土を対象とした簡易現場せん断試験装置の開発 山口大学工学部研究報告書, 50 巻, 1 号, pp15-22
- 戸邊勇人・千木良雅弘(2006): 花崗岩類における鉱物のつながり方の定量的測定法とその適用例, 平成 18 年度応用地質学会講演集, pp. 291-294.
- White, A. F., Bullen, T. D., Shulz, M. S., Blum, A. E., Huntington, T. G. and Peters, N. E.(2001): Differential rate of feldspar weathering in granitic regoliths. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, pp.847-869.