

花崗岩山地における風化基岩内の亀裂が雨水浸透に及ぼす影響

京都大学大学院農学研究科 寺山祐司・正岡直也・小杉賢一郎

1. はじめに

森林土壌は降雨を一時的に貯留する機能を果たすと言われてきたが、その研究の中心は山地表面の厚さ 1~2m 程度の土壌であった。だが、近年では、その下の基岩層の涵養機能が注目されている¹⁾²⁾。山体浅部の強風化基岩は構成粒子の一部が土壌化し、水がマトリックス（組織）の間隙内を移動することが近年の研究で確認された³⁾。また、花崗岩地質の森林における研究で、基岩の透水性が土壌に比べて低い値であることが報告されている。しかし、ボーリング孔内の水位の観測によると、数十メートルの深さでも降雨に対し素早く水位が上昇することがある。こうした矛盾の原因として考えられるのが亀裂を伝った雨水浸透である⁴⁾。ボーリングコアの観察から、花崗岩流域には山体の浅い部分に多数の亀裂が存在していることが分かっているが、亀裂が鉛直浸透にどの程度の影響を与えるかは分かっていない。そこで、本研究では、地表付近の風化基岩内の亀裂を伝った不飽和鉛直浸透プロセスの解明を目的とする。



写真1 観測地風景

2. 観測地諸元

観測地である不動寺試験地は、滋賀県大津市の田上山地に位置している。今回、観測には工事によって基岩が露出した露頭を用いた（写真1）。地質は田上花崗岩地質で、植生は天然林とヒノキ人工林である。年平均降水量は 1,972mm、年平均気温は 10.9℃である。露頭の基岩にある亀裂は、中が土砂で詰まった 1mm 程度の裂け目であった。

3. 研究手法

写真1の場所には、二種類のテンシオメータを埋めた。露出した基岩に埋めたものを基岩内テンシオメータ、基岩の上の森林土壌に埋めたテ

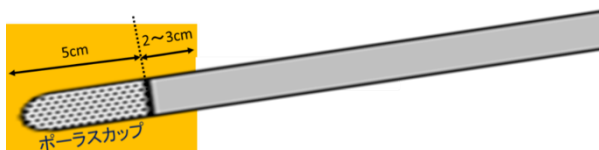


図1 基岩内テンシオメータ設置断面図



写真2 基岩内テンシオメータ

ンシオメータを土層内テンシオメータとする。花崗岩の強風化基岩の露頭を整形し、基岩の組織の部分（M1~M3）と亀裂の部分（C1~C4）のそれぞれにハンドドリルで横に穴を開けて、基岩内テンシオメータを挿入した（図1）（写真2）。これらのテンシオメータの位置関係は図2の通りである。土層内テンシオメータに関しては、基岩の露出した場所から少し離れた土壌に、地表から垂直に 30cm の深さに S1 を、55 cm の深さに S2 を埋めた。林外雨量は、観測地近傍に設置した転倒ます式雨量計を用いて計測した。C1 から地表面、基岩面までの距離はそれぞれ 100cm、60cm である。測定インターバルは 5 分、観測期間は 2019/7/30~2019/12/10 である。

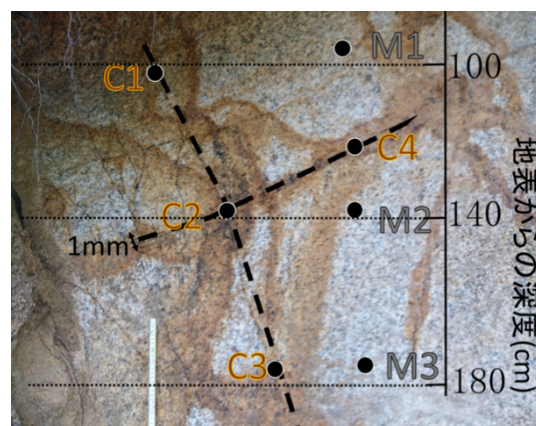


図2 亀裂と地表からの深度

4. 結果と考察

それぞれのテンシオメータにおいて測定した数値から、圧力水頭を算出した。図3では、このうち、観測期間中で最大規模だった 10 月 12 日の降雨イベントについて解析した。10 月 12 日の 0 時時点では、土壌も基岩も乾燥した状態であった。その 7 時間後、降雨ピークの時、地表面境界が

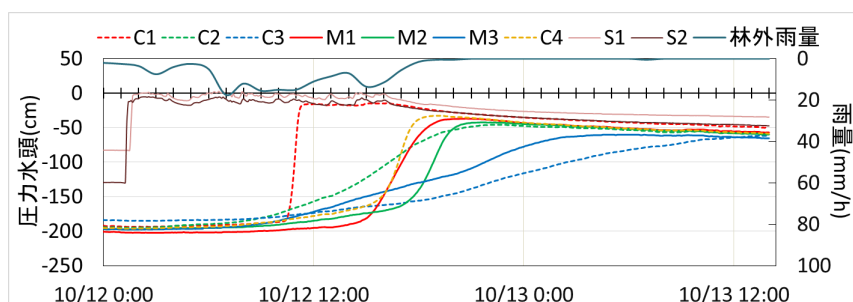


図3 10月12日の降雨イベントにおける圧力水頭

ら基岩面境界までは圧力水頭が上昇しているが、基岩はまだ乾燥している。午前11時ごろに亀裂への水浸透が始まり、C1における圧力水頭が上昇し始めた。それから1時間もかからないうちにC1の圧力水頭は最大になった。C2の圧力水頭はここで上がり始めており、この降雨イベントでは亀裂への浸透が組織部分より早く起こっている。17時になると、M1,M2,C4の圧力水頭が上がり始めた。これ以降は、13日が始まるころまでの間C3,M3の圧力水頭がゆっくりと上昇した。それからは、10月13日の0時の時点で、全ての場所の圧力水頭が緩やかに下がりにながら、ほとんど同じ値に収束していることが分かる。

図4では、亀裂への素早い浸透が見られた降雨イベントと、亀裂への素早い浸透が見られなかったイベントを、総雨量とC1前の圧力水頭の二つの軸で比較した。総雨量40mm以上の降雨ではすべてのイベントで水浸透が確認された。総雨量20mmから40mmの降雨では降雨前の圧力水頭が高い場合に限り水浸透が確認された。また、20mm以下では亀裂への水浸透は見られなかった。

図5では、地表から100cmほどの深さにあるC1とM1の圧力水頭の伝播速度を散布図にまとめ、比較した。伝播速度は、地表から各テンシオメータまでの距離を、圧力水頭のピーク時から降雨ピーク時までの時間で割ったものである。亀裂への降雨が多いほどC1の伝播速度が大きくなる傾向で、亀裂への早い浸透が見られた7イベント中どのイベントもM1よりC1の伝播速度が大きかった。地表から140cmほどの深さにあるC2とM2の圧力水頭は、ほとんど同じ速度であった。

降雨時の条件として、総雨量ごとに亀裂への浸透有無を確認することで、20mm以下では亀裂への浸透が見られず、20~40mmの降雨では土壌が予め湿っている時のみ浸透が見られ、それ以上の降雨では浸透が確認された。

深度の条件として、C1,M1（地表から約100cm）までは亀裂による浸透ピークの違いが確認されたが、C2,M2（地表から約140cm）からはそのような違いが確認されなかった。

基岩で深部まで水浸透が起きなかった原因の考察として、地表近くの強風化基岩では亀裂に土砂化した岩が詰まっており、開水路よりは透水性がさほど高くなく、基岩の深部までの素早い浸透が起きなかった、と推測できる。

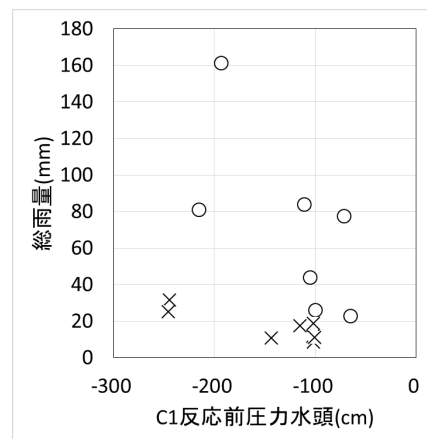
5. 結論と課題

花崗岩山地の表層付近の基岩においては、水の浸透は基岩の組織部分の透水係数だけで説明でき、不均質な亀裂分布を考慮しなくていい可能性が示された。

今後の課題としては、具体的な水の浸透過程を明らかにするために、染色液を用いたトレーサー実験や岩石の採取による透水性の測定をする必要がある。

参考文献

- 1) K.Kosugi, M.Fujimoto, S. Katsura, H.Kato, Y.Sando, and T.Mizuyama (2011) : Localized bedrock aquifer distribution explains discharge from a headwater catchment, WATER RESOURCES RESEACH, Vol.47, pp.1-16
- 2) C.P.Gabrielli, J.J.McDonnell, and W.T.Jarvis (2011) : The role of bedrock groundwater in rainfall-runoff response at hillslope and catchment scales, Journal of Hydrology, Vol.450-451, pp.117-133
- 3) S.Katsura, K.Kosugi, T.Mizutani, and T.Mizuyama (2009) : Hydraulic Properties of Various Weathered Granitic Bedrock in Headwater Catchments, Vadose Zone Journal, Vol.8, No.3, pp.557-573
- 4) R.Salve, D.M.Rempe, and W.E.Dietrich (2012) : Rain, rock moisture dynamics, and the rapid response of perched groundwater in wathered, fractured argillite underlying a steep hillslope, WATER RESOURCES RESEACH, Vol.48, pp.1-25



×：亀裂への早い浸透が見られない
○：亀裂への早い浸透が見られる

図4 亀裂への浸透条件

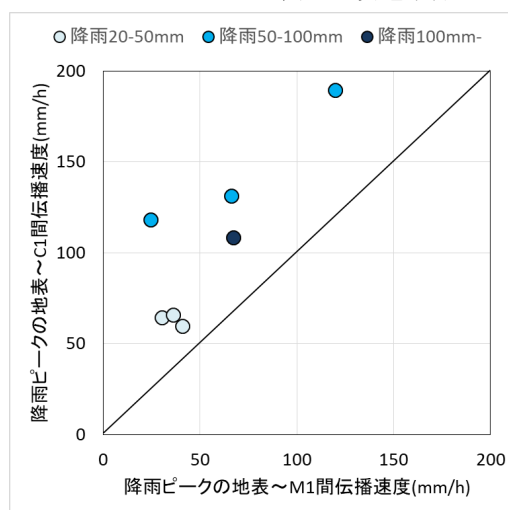


図5 C1とM1における伝播速度の比較