

風化花崗岩山地における原位置試験を用いた基岩内地下水の流動層の把握

立命館大学理工学研究科 ○馬場 直輝

立命館大学理工学部 藤本 将光・深川 良一

京都大学大学院農学研究科 CREST (JST) 小杉 賢一郎

京都大学大学院農学研究科 谷 誠

1 背景・目的

近年, 異常豪雨により引き起こされる土砂災害が注目されている. 既往の研究では斜面崩壊において岩盤内地下水が重要な要因であると指摘されている. しかし基岩内地下水の動態の観測研究は少ない. そこで地下水動態把握の一環として, 地下水流動層の把握を行うことができる多点温度検層を実施した. 多点温度検層とはボーリング孔内の温度を意図的に上昇させることで発生する温度変化によって, 地下水流動層を把握する手法である (竹内, 1996). 既往の試験では温水を注入することでボーリング孔内の水温を上昇させた (馬場ほか, 2013). しかし, 温水注入法ではボーリング孔内の水位を上昇させることになる. そのため水頭差が生じ, 自然状態ではなく人為的な地下水の流れが発生した可能性がある. そこで本研究では, 地下水を加熱することで水位を上昇させずに水温上昇を可能にする多点温度検層を実施し, 自然条件下での地下水流動層を把握することを目的とする.

2 調査方法

調査は滋賀県南部に位置する田上山地の不動寺水文試験地で行った. 基岩地質は風化花崗岩である. 調査は, 斜面中腹に位置する深度 15m のボーリング孔 BW2 において 2012 年 12 月 13 日 (馬場ほか, 2013), 2014 年 3 月 27 日に計 2 度行った.

本研究では水温変化をより明確にするため各深度における上昇した温度が元の試験前水温に戻る温度変化率を求めた. 温度変化率は以下の式を用いて求める (竹内, 1996).

$$\frac{(0 \text{ 分時の温度}) - (\text{任意の経過時間における温度})}{(0 \text{ 分時の温度}) - (\text{自然状態の温度})} \times 100$$

2012 年 12 月 13 日の試験では温水を注入し (温水注入法), 2014 年 3 月 27 日では水槽用ヒーターを用い加熱させ (加熱法), ボーリング孔内の水温を上昇させた.

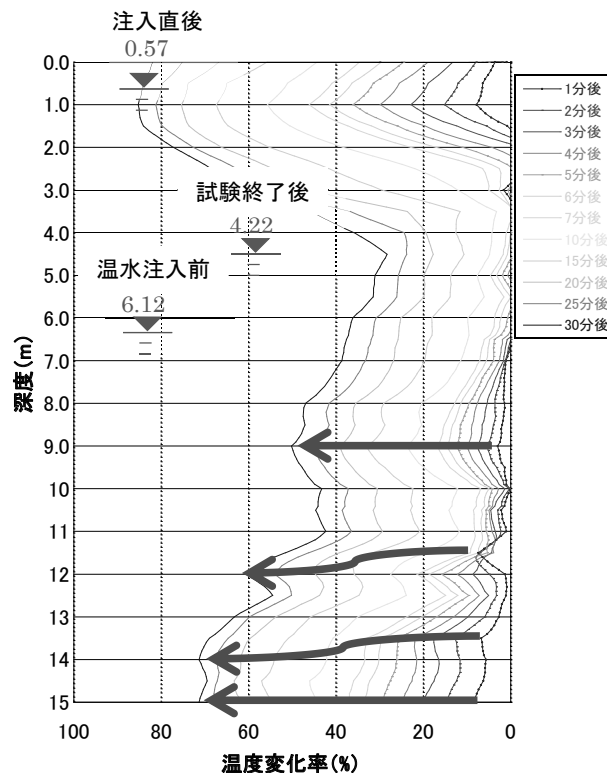


図-1 温水注入法による多点温度検層結果 (赤い矢印で推測される地下水の流れを示す).

その後 30 分間ボーリング孔内の水温を 10cm 間隔に計測し, 温度変化を計測した.

3. 結果・考察

3.1 温水注入法

図-1 に検層結果を示す. 温水注入法では地下水位が温水注入前, 注入直後, 試験終了後で変動した. 試験終了後の地下水位以深では 12, 14, 15m 地点の試験開始 30 分後の温度変化率が約 70%や 60%など変化率が高くなった. この結果から流出する流動層が存在すると推測された. また試験開始 30 分後の変化率が 9m 地点で変化率 50%を超える上昇がみられ, 9m 地点にも弱いながらも流出する流動層が存在すると推測された.

また試験開始直後の水温変化によって流入する流動層を確認する。11.5, 13.5, 15.0m 付近では、試験開始1分後の水温の変化が6%を超えた。他深度の変化率は平均約1%であるため、11.5, 13.5, 15.0m 付近から地下水が流入し、それぞれ12.0, 14.0, 15.0m に流出したと推測された。また9.0m 付近の試験開始1分後の変化率は3%であった。11.5, 13.5, 15.0m と比較すると変化率は低いが他深度よりは大きいため、比較的弱い流入する流動層が9.0m に存在していると推測された。

### 3.2 加熱法

図-2 に検層結果を示す。試験開始30分後の温度変化率は15.0m 付近で50%を超えた。深度12.5m では局所的に変化率が上昇し、変化率が40%を超えた。また、深度8.0~10.5m にかけての変化率が40%以上であった。これらの結果から、深度8.0~10.5, 12.5, 15m に流出層があると考えられる。

試験開始直後の水温変化によって流入する流動層を確認する。試験開始直後の変化率の結果では、8.5, 9.0, 9.5, 13.5, 15.0m の開始1分後の変化率が約4%を超えていた。他深度の平均約2%より大きく、上記の深度で地下水の流入が認められた。

### 3.3 異なる手法を用いた地下水流動層の把握

加熱法では実験前と実験直後に地下水位の上昇に伴う強制的な地下水の流れが生じなかったため、変化率が60%を超えなかった。しかし、加熱方法の結果は強制的な地下水流動がない中で、15.0m 地点の変化率が50%を超えることから、地下水流動層があると考えられる。また、12.5m にも弱い流動層があると推測されるが流入箇所については不明である。温水注入方法と同様に加熱方法でも、9.0, 13.5, 15.0m の3カ所で試験開始後1分後の変化率が高かった。この結果から9.0, 13.5, 15.0m の3カ所に流入する流動層があると推測された。加熱法では上記の9.0m 付近の8.5, 9.5m に流入する地下水の流れが存在することが示され、変化率が8.0~10.5m にかけて40%を超える結果となったと考えられる。試験中に地下水位の上昇を生じさせない加熱方法では、自然条件下での弱い地下水流動をより詳細に把握することができる可能性が示された。

## 4 まとめ

加熱法を用いた多点温度検層によって自然条件下

で強制的な地下水の流れが生じない地下水流動の把握を試みた。その結果、深度15.0m 地点では温度変化率が50%を超え、地下水流動層が存在すると考えられた。また、温水注入法と加熱法の異なる手法にて試験開始直後の変化率が、深度9.0, 13.5, 15.0m 地点で同様に大きく、同じ地下水流動層が検出されたと考えられる。

本研究では、水位を上昇させずに水温上昇を可能にする多点温度検層を実施することで、より詳細な流動層の把握が可能となることが示された。しかし、本研究の結果は地下水位差がある異なる条件下で行われているため、今後は様々な条件下で試験を行うことや、流向流速計などを用いることで、正確な流動層の把握を目指す予定である。

### <参考文献>

- 1) 竹内篤雄：温度測定による流動地下水調査法 pp278-295, 1996.
- 2) 馬場直輝：風化花崗岩山地におけるトレーサー試験を用いた基岩内地下水流動の把握に関する研究, 平成25年度砂防学会, pp.B402-B403. 2013.

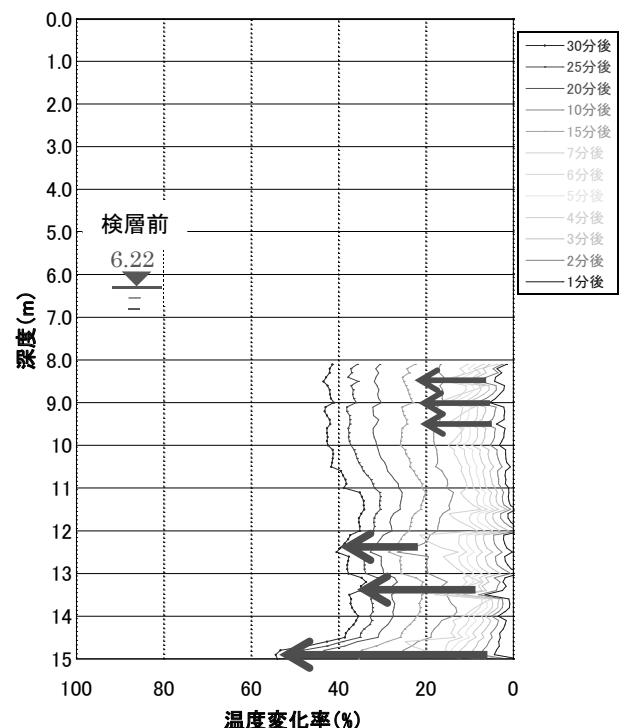


図-2 加熱法による多点温度検層結果  
(矢印は図-1 と同様)