

高密度配置の埋設型傾斜計を用いたまさ土斜面における降雨によるせん断変形の観測

復建調査設計株式会社

○中井 真司

渡邊 聡

高知大学教育研究部

笹原 克夫

中電技術コンサルタント(株)

岩田 直樹

1. はじめに

筆者らは、表層崩壊の発生メカニズム解明を目的として、まさ土斜面に埋設型傾斜計、土壌水分計、テンシオメーターを設置し、降雨時のせん断変形と土壌水分の変化を観測している。2013年5月～10月の観測の結果、降雨浸透に伴い浅層部からせん断変形が始まる傾向が確認され、最大で表層から1mの領域で発生した。変形深度と体積含水率の上昇および土壌水分吸引水頭の低下深度は整合しており、降雨時に高含水状態になった領域で変形が発生したと考えられる。夏季の降雨では変形はその後の無降雨時に初期状態に戻る傾向が見られたが、9月以降の降雨では一部に弾性限界以上と考えられる変形が発生しており、初期含水状態の違い等が影響している可能性も考えられる。

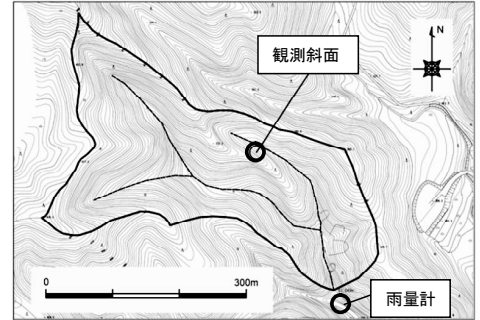


図-1 観測斜面の位置図

2. 原位置高密度観測の概要

観測は、広島県廿日市市に位置する溪流沿いの自然斜面で、1次谷右岸側にあたる勾配40°程度の直線形の北東向き急斜面で行った(図-1)。斜面は広島花崗岩起源のまさ土により構成されており、隣接のトレンチ調査では、上位より表層5cmのA0層、GL-5～40cmのA層、GL-40～120cmのB層、120cm以深のC層が確認されている¹⁾。

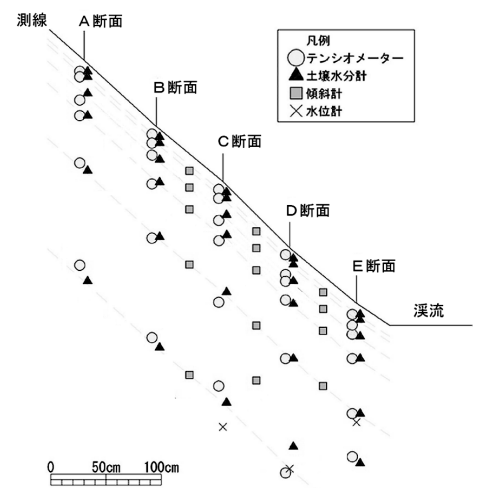


図-2 観測機器の配置

斜面方向に設けた測線上で、2次元的に高密度観測を行うため、測線上の5断面(A～E)において、GL-10cm、15cm、30cm、50cm、100cm、200cmの6深度に土壌水分計、テンシオメーターを設置した。計測機器は、互いに干渉することを避けるため、少し離して配置したが、斜面形状が平面形であり、断面方向の土層構成がほぼ同様であることから、各断面の計測機器は斜面方向の測線に投影して、2次元データとして扱う。

埋設型傾斜計(以下、傾斜計と呼ぶ)はB断面とC断面の間、C断面とD断面の間、D断面とE断面の間(各、BC断面、CD断面、DE断面と呼ぶ)において、GL-15cm、30cm、50cm、100cm、200cmの5深度に設置した。

3. 観測結果

3.1 埋設型傾斜計によるせん断変形

せん断変形の検討には、2013年5月1日～10月31日までの傾斜計観測データを用いた。期間中、BC断面では100cm以浅、CD断面では50cm以浅、DE断面では30cm以浅にせん断変形が見られた。

BC断面の傾斜計の計測結果を図-3に示す。せん断ひずみ $\gamma_{(z)}$ は傾斜計で得られた傾きをもとに、式1により算出した²⁾。

$$\gamma_{(z)} = \tan \theta_z \cdots (1)$$

$\gamma_{(z)}$: 深さZにおけるせん断ひずみ

θ_z : 深さZの位置の傾斜計の傾き(°)

傾斜計は斜面下方に傾くと+になるよう設置しているが、対象斜面に関する降雨時の土中での変動メカニズムが明確でないことから、傾きの方向には着目せず、せん断ひずみ量に着目して検討する。

変形は降雨に伴って発生し、無降雨の時には降雨時と逆方向にゆっくり戻る傾向がみられる。降雨時の変形は湿潤に伴うせ

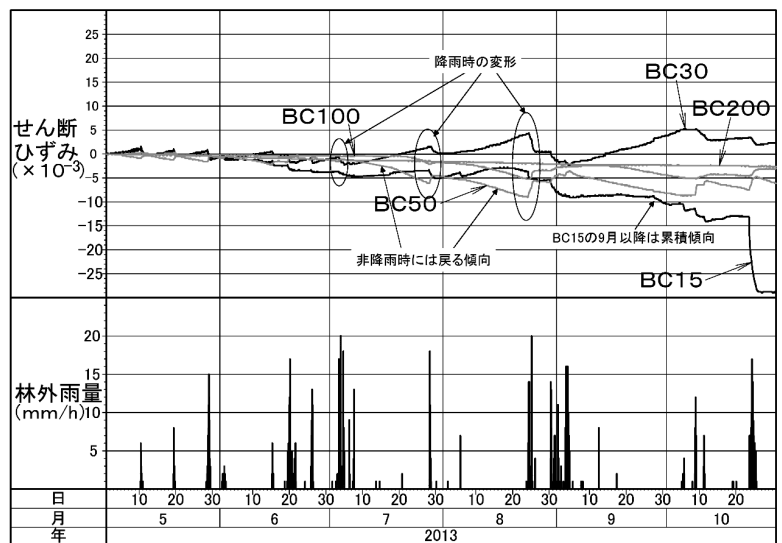


図-3 BC断面の傾斜計の計測結果 (式1によりせん断ひずみに換算)

ん断によるもので、非降雨時の乾燥過程にはせん断ひずみがリセットされると考えられる。乾燥過程の変形は夏季において顕著にみられる傾向がある。一般に、せん断ひずみが弾性限度以内の領域であれば、応力を取り去ればせん断変形は元に戻るが、これを超えると残留ひずみが発生する。さらに応力が上昇しピークせん断抵抗力を超えると崩壊が発生すると考えられる。8月までの降雨で発生したせん断ひずみは、その後の乾燥過程でほぼリセットされているが、9

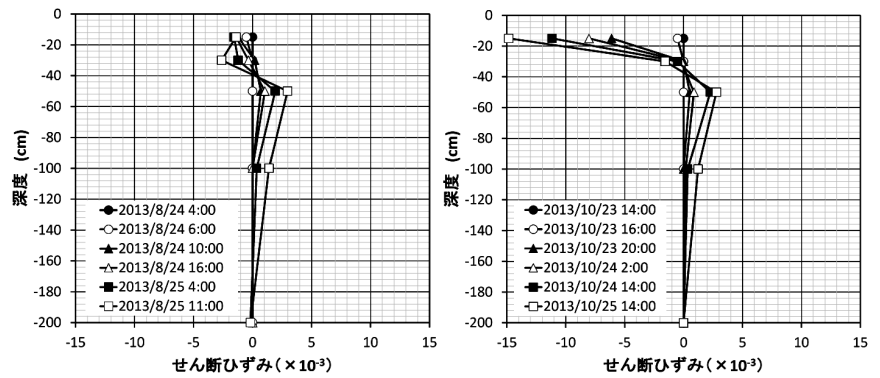


図-4 降雨毎の累積せん断ひずみ量(2013/8/24-25と10/23-25の降雨)

9月以降の降雨ではGL-15cmの傾斜計では変形が戻らないまま次の降雨が発生し、変形が蓄積されている状況が見られる。特に、10月23日からの降雨では 15×10^3 程度の大きな変形が発生している。

図-4は、降雨規模が大きい2つの降雨を取り上げ、BC断面において深度毎にせん断ひずみの累積をプロットしたものである。この図から、せん断ひずみは浅層のGL-15cmから発生し始め、次いでGL-50cm、GL-30cmの順に発生し、GL-100cmまで至っている。GL-200cmでは有意なせん断ひずみは観測されなかった。

3.2 せん断変形と土中の水分状況

せん断変形と土中の水分状況の関係を把握するために、図-5に2013年10月の降雨に対するBC断面のせん断ひずみと、B断面の体積含水率および土壌水分吸引水頭の観測結果を示す。10月20~23日の間はシステムトラブルにより、土壌水分計およびテンシオメーターが欠測している。また、B断面のGL-15cmのテンシオメーターは、他の計器と比較して著しく異なる傾向を示すため、動作不良と考えグラフ化しなかった。

10月5日に24mm、10月8~9日に56mm、10月11日に23mm、10月23~25日に239mmと4回のまとまった降雨があった。10月5日の降雨ではBC15のみ、10月8~9日ではBC15とBC50の2基、10月11日の降雨ではBC15~BC50の3基、10月23~25日の降雨ではBC15~100の4基の傾斜計に変形が観測されている。累積降雨量では、10月5日の降雨よりも11日の降雨の方が少なかったにもかかわらず、11日には5日の降雨では変形しなかった30~50cm付近での変形が確認された。ここで、10月5日と11日の降雨前の体積含水率と土壌水分吸引水頭の値を見ると、11日はGL-50cm以浅の体積含水率が $0.05 \sim 0.15 \text{ (cm}^3/\text{cm}^3)$ 程度高く、土壌水分吸引水頭は $1/10$ 程度の値となっている。このことは、11日の降雨時点で5日および8~9日の先行降雨の影響があったことを示すものと考えられる。

図-6に10月中の4回の降雨における、B断面GL-10cmの体積含水率とBC断面GL-15cmのせん断ひずみ量の関係を示す。10月5日、8~9日、11日の3回の降雨では、概ね同じ傾きで体積含水率の上昇に伴ってせん断ひずみが増加する傾向が見られたが、23~25日の降雨では、他の降雨より大きな勾配でせん断ひずみが増加した。このことは、降雨前の初期含水率が比較的高い状態であったところに、多量の雨が降ったことによると考えられる。

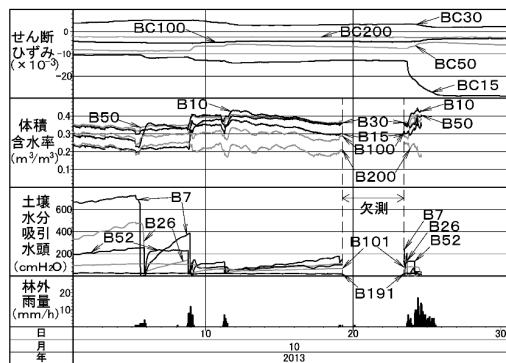


図-5 せん断ひずみと土中水分状態 (2012/10/1~10/31)

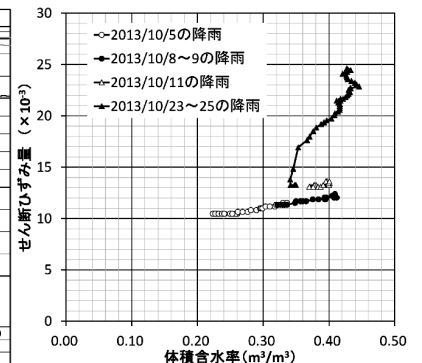


図-6 体積含水率とせん断ひずみ量 (土壌水分計B10と傾斜計BC15)

4. まとめ

短期間の観測ではあるが、今回の観測結果からは、①降雨浸透に伴って概ね浅層から深層に向かってせん断ひずみが発生すること、②8月までの降雨によるせん断ひずみは乾燥過程で戻る傾向があるが9月以降は浅層では累積される傾向があること、など多くの知見が得られた。今後の梅雨期や台風などの豪雨と比較して検証する必要があるが、地盤が乾燥しにくい時期は先行降雨による影響が残りやすく、初期含水率が高くなり、大きなせん断変形が発生しやすい可能性も考えられる。

謝辞：降雨と土壌水分および地中変位の関係の把握にあたっては、流域出口付近で国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所が観測されている降雨データを利用させていただきました。ここに深く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 笹原ら (2010) : 広島西部山系花崗岩風化土斜面の土層構造についての一考察, 平成22年度砂防学会研究発表会
- 2) 笹原ら (2009) : まさ土における降雨時の地盤内せん断変形挙動, 第44回地盤工学研究発表会