

初期擬似飽和体積含水率を用いた通行規制の運用に向けたセンサ設置位置の決定方法

大阪大学大学院	学生会員	○山本	健史
大阪大学大学院	正会員	小泉	圭吾
大阪大学大学院	正会員	小田	和広
西日本高速道路(株)	正会員	櫻谷	慶治
岡山大学	正会員	小松	満

1. はじめに

近年, 突発的かつ局所的な集中豪雨による表層崩壊が多発しており, それに対する予測技術の開発が課題として挙げられる. 降雨時の表層崩壊を未然に予測する研究はこれまでも盛んに行われており, その多くは変形や間隙水圧の発生が確認された時点を中心とし, その時点から崩壊時刻や安全率を予測する手法が取られている¹⁾. 一方, 住民避難や高速道路管理の視点で考えると, 変形や間隙水圧の発生が確認された時点から避難勧告や通行止め準備を行って崩壊が発生するまでに避難や通行止めを完了できないケースも予測される. そのため, 変形や間隙水圧が発生する可能性自体を未然に予測することで, ある程度の時間的余裕を持って避難や通行止めを完了できる指標(準備のための指標)の提案が必要であると考え.

これに対し, 当研究グループでは既往の研究から, 模型斜面に一定強度で散水を行うと土中の体積含水率が一旦平衡状態を示し, その後, 体積含水率が再び上昇傾向を示すとともに斜面変形が進展することで崩壊に至ることを明らかにした(図-1)²⁾. そこで, この平衡状態を示した時点の体積含水率を初期擬似飽和体積含水率(IQS)と定義し, IQSを越えなければ変形が発生しない, つまり体積含水率がIQSに到達する時点を中心にモニタリングすることで, 降雨による斜面変形をある程度の時間的余裕を持って予測できるものと考えた. 一方, この考え方を実斜面に適用するためには幾つか解決すべき問題が残されており, その一つとしてIQSをどの位置で計測すべきかという点が挙げられる. そこで本研究では, IQSを避難や通行止めの準備指標として用いる際の現場における体積含水率の計測位置の考え方について検討を行った.

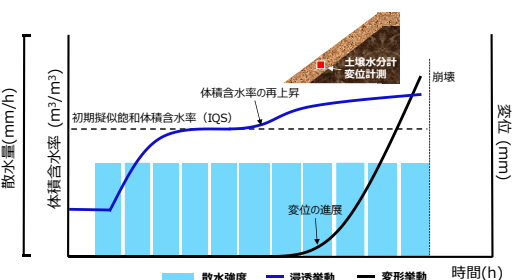


図-1 小型模型斜面実験における体積含水率と変位の関係

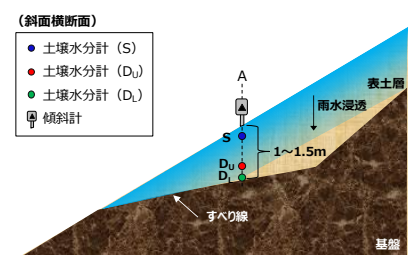


図-2 センサの設置位置

2. 体積含水率の計測位置についての基本的な考え方

斜面内の体積含水率を計測するセンサの一つに土壌水分センサが挙げられる. 図-2はこの土壌水分計を斜面内に設置することを想定した際の設置位置の概念図を示しており, 図-3は降雨強度一定条件下における各計測位置における体積含水率の挙動を模式的に示したグラフである. なお, 図-3において t_s , t_{Du} および t_{Dd} は図-2のそれぞれ, 深度S, D_u および D_d の体積含水率がIQSに到達した時点を表しており, また, 図-2は時間 $t=t_s$ における浸透の様子を表している. まず土壌水分計の設置位置を決定する事前準備として斜面内部の表土層の厚さを推定する必要がある. ここでは, 簡易動的コーン貫入試験機を用いて斜面に沿って各地点の深度ごとのNd値を求め, 図-2に示すような表土層と基盤層の境界線を推定する. 本研究では, 経験的にNd=10 あるいはNd値が大きく変化する深度をすべり線と仮定して境界線を引くこととした. ただしこれは, 筆者らの経験によるものであり, 更なる検討が必要である. また, Nd値が10を下回る深度が続

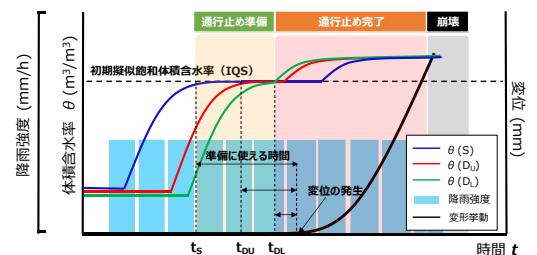


図-3 各センサ位置での体積含水率と変位の挙動

キーワード 表層崩壊, 擬似飽和, 体積含水率, 現地計測, 土壌水分計, 傾斜計

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL 06-6879-7346

いた場合、表層崩壊の発生深度が概ね 1m~1.5m 程度であると仮定し、この深度をすべり線とする。

次に、土壌水分計の設置位置、設置深度についての考え方を述べる。まず斜面方向における土壌水分計の設置位置について、すべり線（境界線）を基に、雨水の集まりやすいと考えられる位置とする。具体的には、図-2 の地点 A のような雨水が集水しやすい表土層下部で、かつ、表層崩壊の発生深度を考慮して、深度 1m~1.5m の地点がちょうどすべり線と一致する位置を土壌水分計の設置位置とする。設置深度については、図-3 に示す準備に使える時間が長い深度 S を一つ目の候補地点とする。これは、体積含水率が IQS に到達してから変形が発生するまでの時間を避難や通行止め完了のための準備時間として利用するという考え方に基づいている。一方、深度 S のみで計測を行った場合、雨水がすべり面まで到達したかどうかの判断がつかない。また、雨水がすべり面に到達したとして、その後地下水位が発生するかどうかの変形挙動の鍵となるため、地下水位発生の有無も計測することが重要となる。そこでこれらの情報を収集するために、図に示す深度 D_U 、 D_L を土壌水分計設置の候補地点とする。 D_L はすべり線に雨水が浸透したことを確認するためのものであり、 D_U は図-3 に示すように D_L の体積含水率が再上昇した直後に D_U の再上昇を確認することで、間接的に地下水位の上昇を推定するためのものである。一方、土壌水分計のみでは斜面の動きを検出することはできないため、同じ地点 A に傾斜計を設置することで斜面変形をモニタリングすることとする。

以上を纏めると、斜面上の雨水の集まりやすい地点を測点とし、その地点における深度方向の比較的浅い深度、すべり線付近およびその直上の 3 深度に土壌水分計を配置することで避難や通行止めの準備のための情報を収集し、更に同地点に傾斜計を設置することで、実際に変位が発生し始めたかどうかの情報を収集することとした。

3. 現地斜面におけるセンサの設置事例

ここでは、前章で示した設置位置の基本的な考え方にに基づき、実斜面で土壌水分計および傾斜計を設置し、計測を行った事例を示す。対象斜面は、切土間の谷筋を盛土材で埋めて建設された盛土斜面であり、まさ土で構成されている。図-4 は斜面の横断面を示しており、簡易動的コーン貫入試験の結果から、 $N_d=10$ の地点を結ぶことですべり線とした。この結果を基に、雨水の集まりやすい位置を想定し、想定すべり層厚が 1m である地点（法肩から 4m の地点）において、深度 20cm、80cm および 100cm にセンサを設置した。また、変位の発生を検知するために、傾斜計を土壌水分センサの近傍に設置し、同斜面上に雨量計を設置した。なお、それぞれの機器の計測間隔は 10 分である。

図-5 は、2017/11/2-2018/2/10（欠損：12/18-1/13）の期間に計測された体積含水率と傾斜角の時系列変化を示している。同図より、深度 20cm の体積含水率は降雨に反応しており、早期に雨水浸透を捉えられていることが分かる。一方、深度 80cm、100cm および傾斜角には動きが見られないことから、計測期間中の降雨は深度 80cm 以深には浸透しておらず、変形が生じていないことが確認された。現在、この地点での IQS を推定中であり、今後設定した IQS に基づき当グループで提案している指標の検証を行っていく予定である。

4. まとめ

本稿では、表層崩壊を未然に予測するためのセンサの設置位置の決定方法を提案した。今後は、IQS の推定を行い、それに基づき当グループで提案している指標の検証を行っていく予定である。

参考文献：1) 斎藤迪孝，上沢弘：斜面崩壊時期の予知，地すべり，Vol.2, No.2, pp.7-12, 1966. 2) 小泉圭吾，櫻谷慶治，小田和広，伊藤真一，福田芳雄，Maria Q. FENG，竹本将：降雨時の表層崩壊に対する高速道路通行規制基準の高度化に向けた基礎的研究，土木学会論文集 C(地圏工学)，Vol.73, No.1, pp.93-105, 2017.

謝辞：本研究の一部は、独立行政法人日本学術振興会とインドネシア LIPI との二国間交流事業（共同研）による支援を得た。ここに記して謝意を表します。

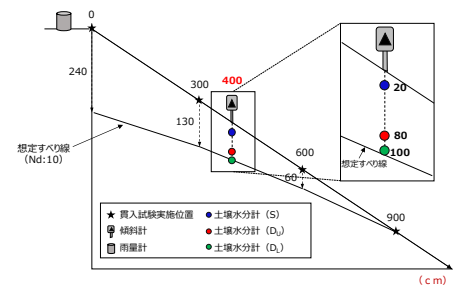


図-4 現地斜面におけるセンサの設置

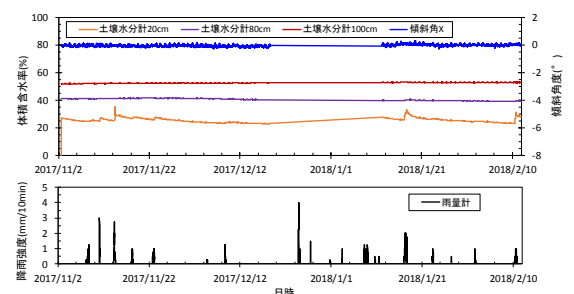


図-5 計測期間中の体積含水率，傾斜角および降雨量の時系列変化