降雨に対する地下水位変動の変化に与える地すべり滑動の影響

○小林壮悟， 桂真也， 青木太志， 笠井美青， 早川裕弌（北海道大学）

1．はじめに

地すべりは雨水や融雪水が地下に浸透して、地下水位ならびにすべり面に作用する間隙水圧が上昇することで発生するため、雨水や融雪水の供給に対する地下水位の変動パターンを把握することは重要である。これまで、地下水変動パターンを解析する研究(浸透流解析[1]、実効雨量法[2]等)がさかんに行われてきたが、その多くは地すべり滑動が沈静化した地すべり地を対象としてきた。地すべり滑動により地下水位変動パターンが変化したことを示す研究[3]もあるが、土塊の滑動との関係は示されていない。そこで本研究の目的は、活動的な地すべり地を対象に、顕著な滑動が見られた期間の前後で実効雨量法を適用し、降雨に対する地下水位変動パターンが変化するかどうかを、土塊の圧縮・引張という変形に着目して明らかにすることとした。

2．研究対象地

研究対象地は、北海道沙流郡平取町のオタリマップ川沿いの地すべり(42°42'52.2"N, 142°22'04.3"E, 図 1)である。延長約 240m、幅 30～120m、規模約 2ha、基岩地質は泥岩である。ハード対策は実施されておらず、現在も滑動が続いている。現在は 7 つの地すべりブロックに分かれている(図 1)。

3．研究方法

3．1．実効雨量法

実効雨量法を適用する期間は、地すべり地外から地すべり範囲に向けて撮影したタイムラプスカメラ(図 1)の動画から推定された日滑動速度により決定した。日滑動速度 24mm/day 未満の期間を解析対象期間(A:2023/10/18～11/6, C:2023/11/20～2024/6/6)とし、期間 A と C の間の期間(B:2023/11/7～11/19)で生じた 4m程度の顕著な滑動の影響について検討した。地下水位は、地すべり地内に設置された地下水位観測孔 No.1～4(図 1)で毎時観測し、日平均地下水位を算出し用いた(観測期間 2023/10/18～2024/6/6)。降水量は、最寄りのアメダス仁世宇とアメダス旭の日単位のデータから重みづけ距離平均を算出し用いた。実効雨量法

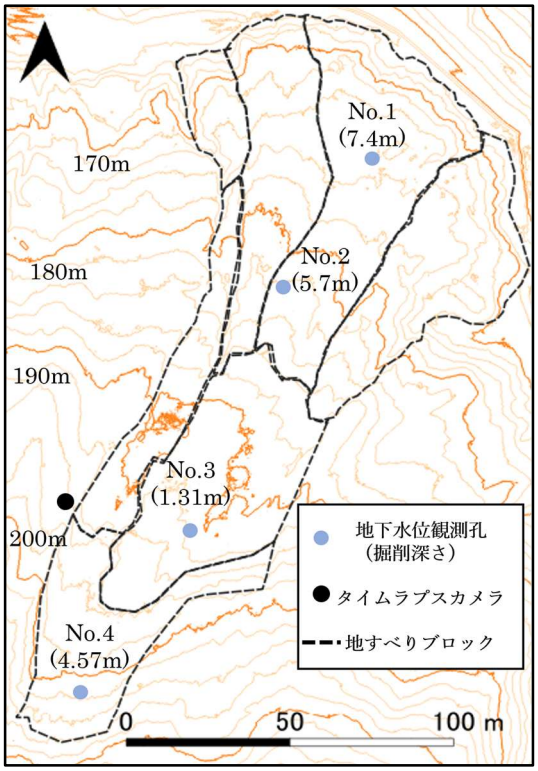

図 1: オタリマップ地すべり

は、通常降水量をそのまま用いるが、本研究対象地は冬期に積雪がみられることと、長期の地下水位変動解析では蒸発散の影響を考慮すべきとの既往研究[4]から、日雨量と日融雪量(積雪層内の水収支と積算暖度法から推定)の合算である地表面到達水量 MR から蒸発散量(熱収支法より推定[5])を差し引いた MR′[4]を用いた。MR'を用いた実効雨量は以下の式(1),(2)で表される。

$$EMR' = \alpha MR'_0 + \alpha EMR'_{-1} \quad (1)$$

$$\alpha = (0.5)^{\frac{1}{M}} \quad (2)$$

ここに、EMR′:当日の実効 MR'(mm)，EMR'_{-1}:1 日前の実効 MR'(mm)，MR'_0:当日の MR'(mm)，α:減少係数，M:半減期(日)である。d 日前の EMR'と地下水位との間に直線関係を仮定し、観測値との誤差が最小となるよう M、d を最適化した[3]。

3．2．圧縮率の算定

期間 B で地すべり土塊に圧縮または引張の変形が生じたか、滑動距離を推定したのち、地すべりブロック

ごとに圧縮率を算出して判断した。用いたデータは、UAV で計測した LiDAR の DEM(解像度 20cm、計測日:2023/11/9 と 2024/6/6)である。滑動距離の鉛直方向は標高差分法、水平方向は Matlab 上で PIV 解析[6]を用いてそれぞれ推定し、三平方の定理より斜面方向の滑動距離を 5m グリッドで推定した。こうして求めた滑動距離には期間 B の最初の 2 日間が含まれておらず、また期間 C が全期間含まれるが、タイムラプスカメラの動画から実質的に期間 B の滑動距離を表していると判断できる。次に、地すべりブロック内において、地下水位観測孔が設置されている標高で上部と下部に分割し、「上部の平均滑動距離」を「下部の平均滑動距離」で除すことで圧縮率を算出した。圧縮率が 1 を超えていれば圧縮、下回れば引張と判断した。

4．結果と考察

解析結果を表 1 に示す。また、MR'と No.1～4 の地下水位の観測値、および最適化した M、d（表 1）を用いた地下水位の計算値の経時変化を図 2 に示す。解析期間は点線で区切られている(No. 3 の 2023/12/23～2024/5/8、No.4 の 2024/2/7～4/9,2024/4/12～5/8 は欠測)。MR'を用いて実効雨量法を適用することで、概ね地下水位の観測値を再現することができた。半減期 M は、圧縮と判断した No.1,2 では増加、引張と判断した No.4 では減少、どちらとも判断できない No.3 では変化なしだった。増加/減少したのは、地すべり滑動によって土塊に圧縮/引張の変形が生じ、土塊の間隙率がそれぞれ減少/増加することで、透水性が低下/上昇したためと考えられる。遅延日数 d は、No.4 以外は、1 日から 0 日に減少した。これは地すべり滑動により、土塊内の亀裂が発達したことで、MR'が地下水面に到達しやすくなった可能性が考えられる。以上から、地すべり滑動による土塊の変形の影響により、降雨に対する地下水位変動が変化することが示された。本研究では無視していた、24mm/day 未満の滑動の影響については、今後も検討する必要があると考える。

表 1:解析結果

観測孔	解析期間	M(日)	d(日)	決定係数	圧縮率
No.1	A	7	1	0.60	1.15
	C	12	0	0.56	
No.2	A	7	1	0.74	1.26
	C	14	0	0.64	
No.3	A	2	1	0.61	1.02
	C	2	0	0.37	
No.4	A	9	0	0.48	0.69
	C	4	0	0.80	

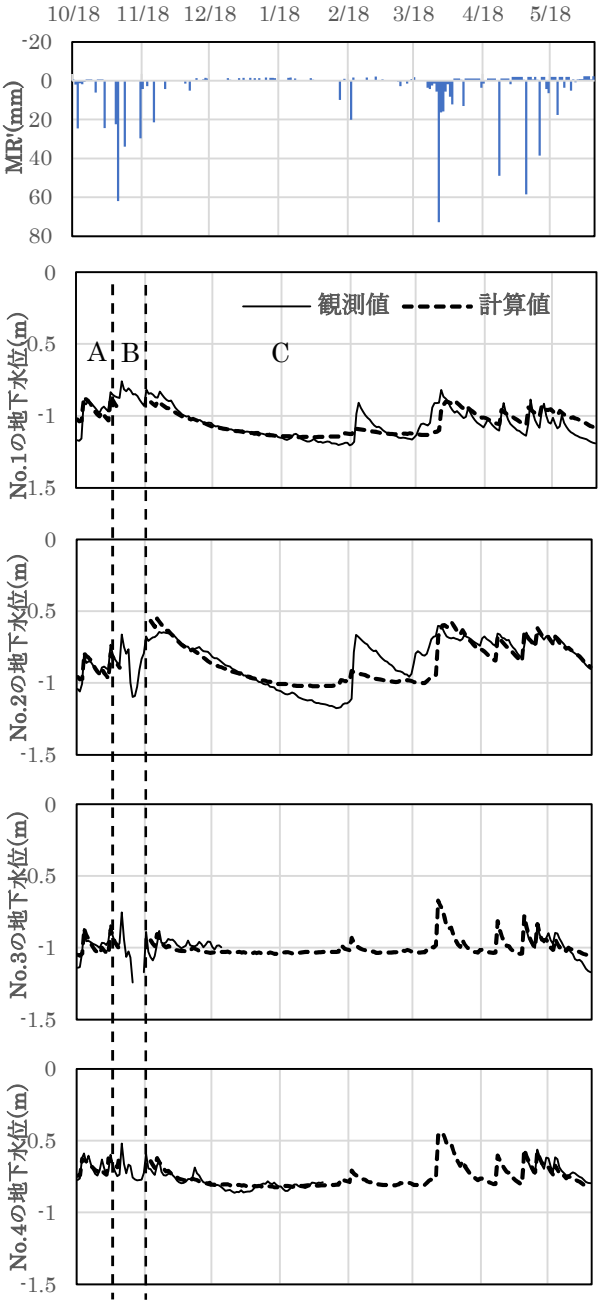

図 2:MR'と No.1～4 の地下水位の観測値と計算値の経時変化

【参考文献】

[1] 浅野ら(2005):応用地質, Vol.45,No.6,pp.304-315.

[2] 桂ら(2016):地すべり学会誌, Vol.53,No.1,pp.1-12.

[3] 増山(2009):日本地すべり学会誌, Vol.45,No.5,pp.383-390.

[4] 溝口・桂(2019):日本地すべり学会誌, Vol.56,No.1,pp.8-18.

[5] 近藤ら(1992):水文水資源学会誌, Vol.5,No.4,pp.8-18.

[6] Thielicke,W(2021):Journal of open research software, Vol.9,No.1,pp.1-12.