

## 融雪と蒸発散を考慮した実効雨量法による地すべり地の地下水位変動解析

北海道大学 ○桂真也・溝口芽衣\* (\*現・大地コンサルタント(株))

## 1. はじめに

地すべり地の安定解析には雨水や融雪水の供給に対する地下水位変動の把握が必要であり、その方法として実効雨量法やタンクモデル法などがこれまで提案されてきた。このうち実効雨量法は簡便な手法として多くの研究で用いられてきたが、積雪地域において1年を通して地下水位変動解析を行った事例は見当たらない。そこで本研究では、寒冷多雪地域の地すべり地において融雪を考慮した実効雨量法により、1年を通じた地下水位変動の解析を行った上で、さらなる精度向上のための方法を検討した。

## 2. 研究方法

## 2.1 研究対象地および地下水位・気象・積雪観測

研究対象地は北海道芦別市野花南地区の地すべり地である。地質は斜面上部が砂岩泥岩互層、下部が頁岩砂層であり、旧期の地すべり移動土塊が表層に20m程度堆積している。2010年に長さ300m、平均幅150m、土砂量20万 $m^3$ の地すべり(旧期地すべり移動土塊の再移動と考えられる)が発生したため、林野庁北海道森林管理局空知森林管理署により集水井工、横ボーリング工などが施工された。

地下水位の解析はBV2孔(掘削深度43.0m, GL-17.0m付近にすべり面)とBV22孔(掘削深度20.0m, 地すべり範囲外)を対象とし、圧力式水位計を用いて日平均地下水位  $GL_{obs}$  を計測した。両孔とも全孔ストレーナである。また、気温を連続観測するとともに、積雪期間中に計4回、積雪水量を計測した。降水量と風速は最寄りのアメダス芦別の値を用いた。観測期間は2016年11月16日~2017年11月15日の1年間である。

2.2 地表面到達水量  $MR$  の算定および実効  $MR$  を用いた地下水位変動の解析

積雪地域における冬期の降水は様々な過程を経て、時間的な遅れや強度の変化を伴いながら地表面に到達する。そこで、桂ら(2016)を参考に、以下の方法により、地表面に到達する水量(地表面到達水量  $MR$ )を求めた。①日平均気温が $2^{\circ}C$ 以上の日の降水はすべて降雨、 $2^{\circ}C$ 未満の日の降水はすべて降雪と判定した。②降雨、降雪それぞれについて、その日の日平均風速を用いて、雨量計の捕捉率を考慮した補正(横山ら, 2003)を行った。③積雪期については、根雪初日(11月22日)、積雪水量の計測日、および消雪日(4月5日)を区切りとする各期間の水収支を考え、積算暖度法(degree hour法)により各期間の融雪係数  $K$  を求めた。ここで、積雪期間中の降雨や積雪表面の融雪水はただちに地表面に到達するものとした。④ $K$ と気温から求められる時間融雪量を24時間分足し合わせた日融雪量に日降雨量を足し合わせ、 $MR$ とした。

実効雨量の計算式において、日雨量の代わりに  $MR$  を用いることにより、実効  $MR(EMR)$  を算出した。そして、半減期  $H$ ,  $MR$  が地下水面に到達するまでに要する時間(遅延日数)  $d$  の  $EMR(EMR_{H,d})$  と地下水位との間に直線関係を仮定し、単回帰分析により  $GL_{obs}$  を最も良く再現する最適半減期、最適遅延日数、回帰直線の傾き  $a$  と切片  $b$  を求めた。

## 3. 結果および考察

本研究で得られた積雪期の各期間の  $K$  は  $0\sim 0.247\text{ mm}^{\circ}C/\text{hour}$  であり、一般的な値の範囲内にあることから、融雪量を適切に推定できたと考えられる。観測結果を図1に示す(地下水位は地下水面の標高で表示した)。図1aから、厳冬期に積雪層に捕捉・貯留された降水(降雪)が、融雪期に  $MR$  として地表面に到達する状況が見てとれる。

単回帰分析の結果を図2および表1に、計算地下水位  $GL_{cal}$  の経時変化を図1c, 1dに、それぞれ示す。回帰直線の決定係数は  $0.4104\sim 0.4751$  で、精度は「やや良い」(菅, 2001)と判断された。 $GL_{cal}$  は概ね良好に  $GL_{obs}$  の変動を再現できていることが分かる。

さらなる精度向上のため、図1を詳しく見ると、冬期は  $GL_{obs} > GL_{cal}$ 、夏期は  $GL_{obs} < GL_{cal}$  の傾向が読み取れる。その理由として蒸発散の影響が考えられる。 $MR$ の一部は実際には蒸発散により大気に戻り、地下水位には寄与しないが、上記の解析ではそのことが考慮されていないため、蒸発散量の季節変化に応じて上記のような傾向が表れたと考えられる。

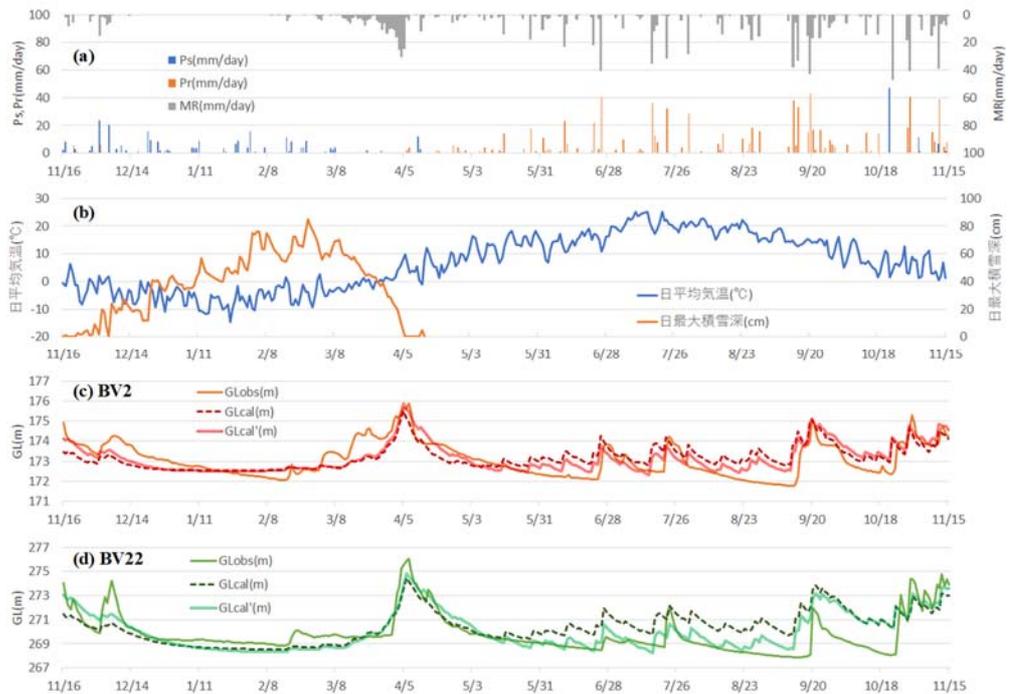


図1 (a)日降雨・降雪・地表面到達水量、(b)日平均気温、日最大積雪深、(c)BV2孔と(d)BV22孔の地下水位の経時変化

そこで、気象官署に典型的な森林の存在を仮定して月蒸発散量を求めた近藤ら(1992)のうち、研究対象地に最も近く、気象条件も近い旭川の値を用いて、各月の日平均値を  $MR$  から差し引いた  $MR'$  により上記と同様の解析を行い、計算地下水位  $GL_{cal}'$  を求めた。その結果、 $GL_{obs}$  と  $GL_{cal}'$  の差が小さくなり、精度は「良い」(菅, 2001)に向上した(図1, 3, 表1)。

#### 4. まとめ

寒冷多雪地域における地すべり地において、通常は無視される蒸発散を考慮した実効雨量法により1年を通して精度よく地下水位変動を再現することができた。本手法は、地下水排除施設の合理的な計画・設計や施工後の効果判定、長期的な機能低下の定量的な把握など実用面への応用が可能であり、今後も適用事例を増やして手法の妥当性を検証する必要がある。

【謝辞】本研究を実施するにあたり、林野庁北海道森林管理局には資料の提供等のご協力をいただきました。本研究は、JSPS 科研費 JP16K16376 の助成を受けたものです。

【引用文献】桂ら(2016), 日本地すべり学会誌, 53, 1, 1-12; 横山ら(2003), 雪氷, 65, 3, 303-316; 菅(2001), Excelで学ぶ多変量解析入門, オーム社; 近藤ら(1992), 水文・水資源学会誌, 5, 4, 8-18

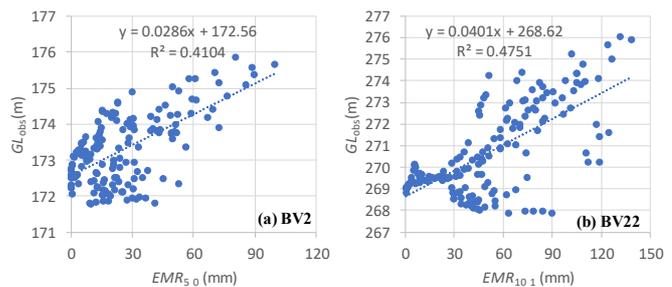


図2  $EMR$  と  $GL_{obs}$  の関係 (蒸発散を考慮せず)

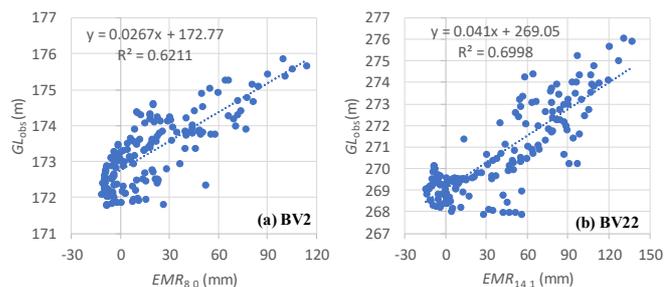


図3  $EMR$  と  $GL_{obs}$  の関係 (蒸発散を考慮)

表1 最適半減期と最適遅延日数

観測孔	蒸発散	最適半減期 (日)	最適遅延日数 (日)
BV2	考慮せず	5	0
	考慮	8	0
BV22	考慮せず	10	1
	考慮	14	1