

積雪地域の切土のり面における地下水位挙動

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 正会員○高柳 剛, 正会員 宮下 優也
佐藤 亮太, 正会員 太田 直之
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 山村 啓一

1. 目的

積雪地域ののり面では融雪水の浸透が原因で土砂災害が発生する場合があります、鉄道では融雪期に土砂災害の警戒を強化するなどの措置が取られている。しかし、融雪水の浸透によるのり面の不安定化現象について不明な点が多く、融雪期ののり面の不安定化を定量的に評価する手法は確立されていない。そこで本研究では過去に融雪に起因する土砂災害が発生した鉄道沿線の切土のり面において、のり面の不安定化と密接な関係のある地下水位等の挙動を継続的に観測し、観測結果に基づき融雪期ののり面の不安定性を定量的に評価する手法について検討した。

2. 計測機器の設置状況

観測対象は積雪地域の河岸段丘の末端に位置する高さ 10m 程度の切土のり面である。当該箇所では融雪期に地山からの湧水に起因する土砂災害（崩壊深さ 0.5m 程度の表層崩壊）が発生した。その後、災害箇所では格子枠工等による対策工が実施されている。ボーリング調査および簡易貫入試験の結果、当該のり面の地質は主に砂質土または礫質土からなり、表土（黒ぼく）はのり肩で 1.1m 程度の厚さで分布していた。なお現場透水試験（ピエゾメータ法）から、砂質土の飽和透水係数は $k=1.28 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 、礫質土は $k=3.66 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ と推定された。表土の黒ぼくについては不攪乱試料を用いた簡易透水試験より $k=1.8 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ が得られた。

計測機器の設置状況を図 1 に示す。旧崩壊箇所付近ののり肩のボーリング孔内部に地下水位計（非大気圧開放型・温度計測機能付き）を合計 2 箇所、さらに水位の大気圧変動を補正するために大気圧計をボーリング孔内部に 1 箇所設置した。また格子枠工が施工されていない切土のり面の表土に土壌水分計（誘電率式・温度計測機能付き）を合計 5 箇所設置した。なお土壌水分計は深さ 25cm の位置に埋設しているが、のり肩は表土が厚いため同一箇所に深さ 25cm、50cm、70cm の 3 点で設置した。またのり面の積雪状況を監視する目的でのり肩にインターバルカメラを 1 箇所設置した。

3. 観測結果

2014 年 1 月 1 日から 2014 年 11 月 1 日までの現地における日最高気温・最低気温（周辺アメダスより取得）、地表面温度（のり肩深さ 25cm）、地下水の水温（地下水位計①）、地下水位、積雪深（周辺アメダスより取得）、体積含水率（のり肩 3 点）の経時変化を図 2 に示す。当該年度は最大 153cm の積雪があり、3 月から 4 月にかけて気温の上昇に伴って融雪が進行し地下水位が大きく上昇していることが分かる。なお地下水位は 4 月 4 日にピークが確認された。周辺アメダスでは、根雪の消雪日は 4 月 2 日と記録されているが、カメラの状況から現地では 4 月 3 日に地表面の一部が露出し、4 月 15 日に完全に消雪したことが確認されている。地表面温度（のり肩深さ 25cm）は 1 月から 1.8℃程度を保っており、融雪の進行に伴って 0.3℃程度まで低下しているが 0℃を下回ることにはなかった。これらの結果から当該箇所では凍上は発生していないと推測される。

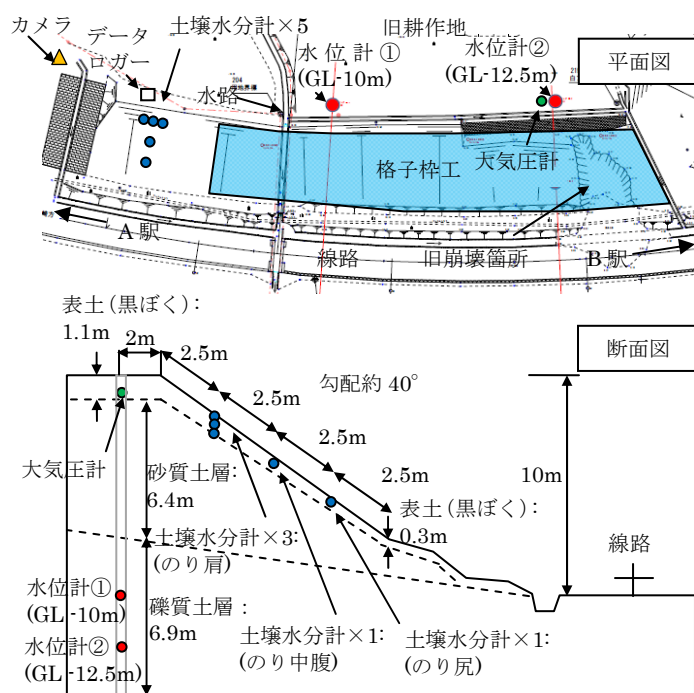


図 1 切土のり面における計測機器の設置状況

キーワード 融雪, 切土, 実効雨量, 地下水位, 現地観測

連絡先 〒185-0034 東京都分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL 042-573-7263

4. 不安定性評価手法の検討

のり面の不安定性は地盤内の水分挙動によって大きく影響を受けると考えられる。このため融雪期ののり面の不安定性評価手法として、融雪量を降雨量に合算した値（以下、浸透水量と呼ぶ）に基づいて不安定性を判断する方法が考えられる。これは融雪量を降雨量と同様に扱う方法である。ただし融雪に起因する土砂災害は融雪期の後半に発生することが多いため、このような浸透水の長期的な作用に対する地盤内水分の応答を適切に評価することが重要である。そこで今回は地盤内の水分の流入・流出過程をモデル化した雨量指標である実効雨量¹⁾に着目し、浸透水量から算出した実効雨量と現地の地下水位（水位計①）の関係性を検証することによって、融雪期ののり面の不安定性評価手法に対する同雨量指標の適用性を検討した。なお融雪量は熱収支法²⁾に基づき周辺アメダスの気象データ（気温・降水量・風速・日照時間）を用いて1時間ごとに水量を算定した²⁾。

図3に算出した浸透水量の経時変化を示す。3月から4月の浸透水量は時間当たりで最大 5mm/h 程度であるにも関わらず、図2の地下水位は大きく上昇したことが分かる。図4に浸透水量から算出した実効雨量の経時変化を示す。実効雨量は採用するパラメータ（半減期 $t_{1/2}$ ）によってその挙動が異なる。今回は半減期に① $t_{1/2}=24$ 時間、② $t_{1/2}=120$ 時間、③ $t_{1/2}=293$ 時間を採用した結果を示す。なお半減期 $t_{1/2}=24$ 時間は JR 東日本が雨量規制に採用している最も長い半減期であり、半減期 $t_{1/2}=293$ 時間は地下水位の観測結果と最も相関性が高い半減期を反復法によって求めたものである。図2と図4の比較から、地下水位と実効雨量のピークは概ね一致しており、実効雨量は地下水位の変動を適切に評価できていることが分かる。図5に地下水位と実効雨量の相関関係を示す。半減期 $t_{1/2}=293$ 時間を採用した方が両者の相関性が高い一方、半減期 24 時間の実効雨量でも融雪期における地下水位の上昇過程においては高い相関関係が得られることが分かった。

5. まとめ

今回は鉄道切土のり面の地下水位挙動の観測結果とともに、融雪期の土砂災害警戒基準として実効雨量が有効な手法の一つであることを示した。

参考文献：

- 1) 島村誠；雨、風、地震に対する列車運転規制方法の改良，東京大学博士論文，2008
- 2) 栗原靖，飯倉茂弘他；融雪底面流出量の推定手法，鉄道総研報告，Vol.27，No.11，Nov.2013

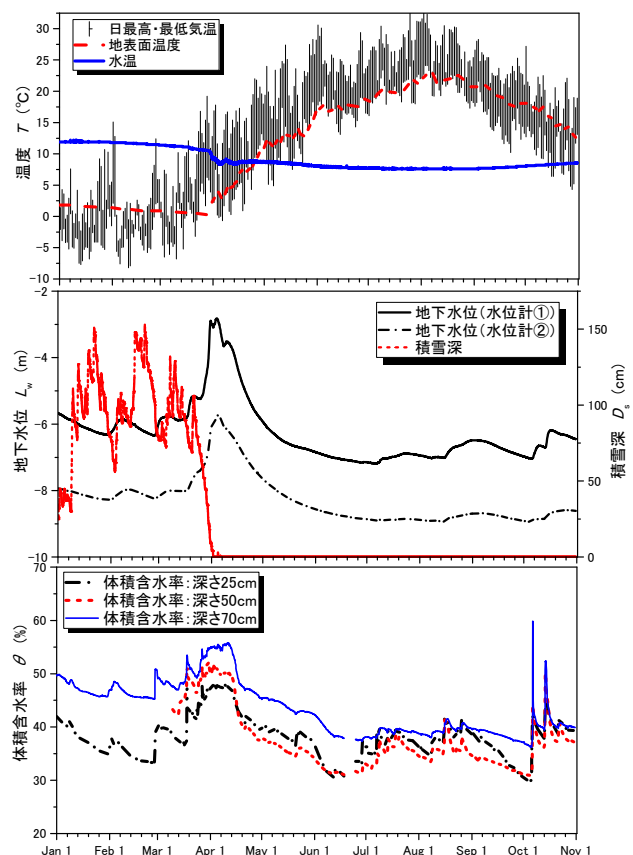


図2 現地観測値の経時変化

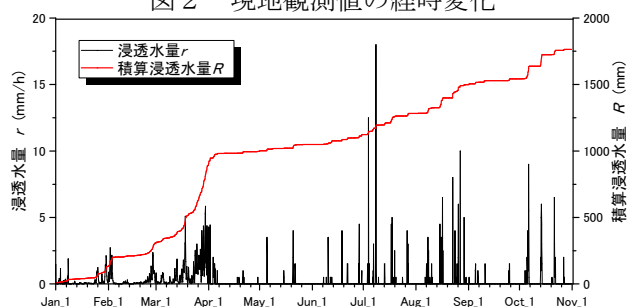


図3 浸透水量の経時変化

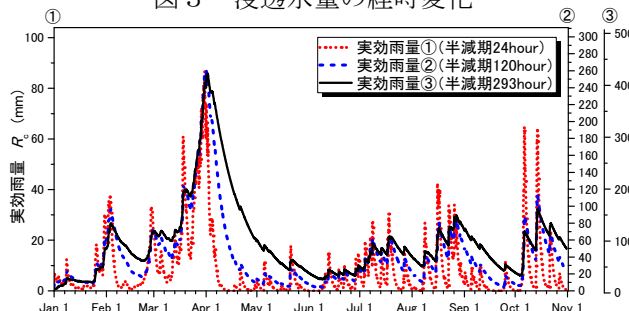


図4 浸透水量より算出した実効雨量

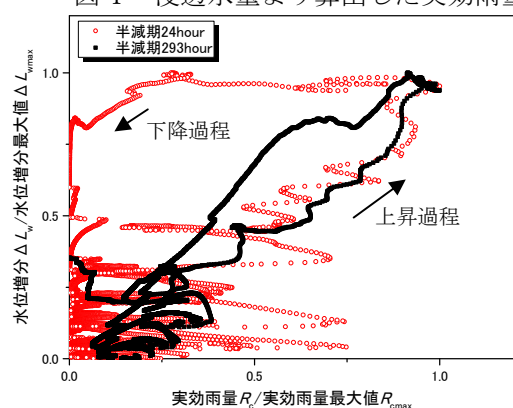


図5 実効雨量と地下水位の相関関係