

積雪地域の盛土内地下水挙動に関する再現解析

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 (正) ○湯浅 友輝, (正) 高柳 剛
佐藤 亮太, (正) 太田 直之
北海道旅客鉄道株式会社 伊藤 賀章

1. 目的

融雪期の盛土は、融雪水の影響がない時期の盛土よりも安定性が低下していると考えられる。しかしながら、融雪水が盛土の不安定化に及ぼす影響を盛土の土質条件や融雪量に応じて定量的に評価することは難しい。このため、各鉄道事業者は経験的に降雨時運転規制値を下げるなどの措置を行っている。本稿では、融雪水の盛土に及ぼす影響を定量的に評価するための基礎検討として、融雪水が盛土表面より浸透した場合の地下水位応答を推定するために実盛土を対象とした飽和・不飽和浸透流解析を行った。さらに当該盛土で盛土内地下水位の現地観測を行い解析値と実測値との比較を行うことでその妥当性を検討した。

2. 解析モデル

本解析では、実際の鉄道盛土を元に解析モデルを作成した。図1にこれを示す。なお現場は湿地堆積物からなる基礎地盤に盛られた高さ 6.7m の盛土であり、のり面工は施工されていない。また、周囲は集水地形ではないため融雪や降雨以外に盛土への水の流入はないと考えられる。盛土材は室内土質試験の結果、地盤材料の工学分類¹⁾において礫まじり砂質粘性土であった。現地の盛土で採取した乱れの少ない試料を用いた簡易透水試験結果を参考に解析では透水係数を $k=1.18 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ とした。また図2に保水性試験結果を示す。図2より、今回は水分特性曲線モデルに van Genuchten モデル^{2), 3)}を採用し吸水過程及び排水過程の両方から算出されたパラメータをそれぞれ用いて解析した。また基礎地盤の土質定数は実測値がないため、湿地堆積物であることを考慮して USDA(United States Department of Agriculture)の土質分類の中から盛土部分よりも透水性が低い「silt」の値⁴⁾を適用した。表1に計算に使用した解析パラメータのまとめを示す。なお今回の解析では飽和・不飽和浸透流解析ソフトの 3D-flow を用いた。

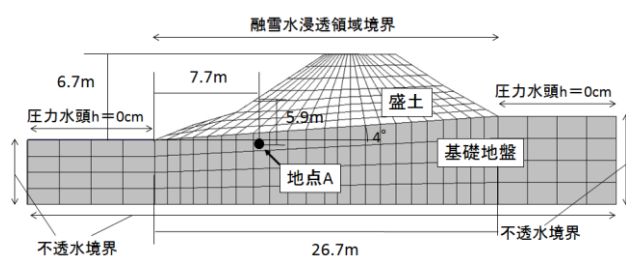


図1 解析モデル

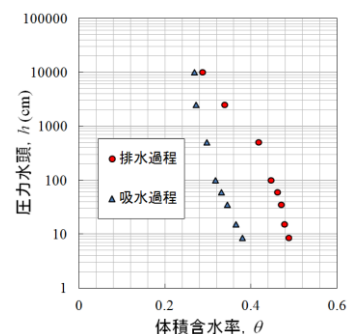


図2 水分特性曲線

表1 解析に用いたパラメータ

	基礎地盤(silt)	盛土(排水過程)	盛土(吸水過程)
透水係数 k (m/s)	6.94×10^{-7}	1.18×10^{-4}	1.18×10^{-4}
α (cm ⁻¹)	0.02	0.01	1.38
n	1.37	1.24	1.22
θ_s	0.46	0.49	0.42

3. 解析手法

まず本解析を行う前に盛土内水位が自然水位となる状態を再現する必要がある。そこで、本解析では、現地周辺のアメダス観測結果より 2013 年 9 月 1 日から 11 月 30 日の降雨量を降雨条件として入力した後、積雪が観測され始めた 12 月 1 日から融雪が始まる 2014 年 2 月 28 日までは水が盛土に浸透しない条件として(浸透水量(融雪量と降雨量を合算した値) $r=0 \text{ mm/day}$)、2 月 28 日の盛土の状態を初期条件とした。

本解析では、融雪期である 2014 年 3 月 1 日から 40 日間を対象とし、現地に設置していた平地ライシメーターの計測結果を浸透水量 r として浸透条件に設定し、盛土直上から均一に与えることで飽和・不飽和浸透流解析を行った。図3に平地ライシメーターで計測された浸透水量の経時変化を示す。なお平地ライシメーターは盛土から 50m ほど離れた平坦地に設置されている。

以上の条件のもと作成した解析モデルを用い、本稿では地下水位計が設置されている図1の地点Aを基準として、

キーワード 融雪, 盛土, 飽和・不飽和浸透流解析

連絡先 〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38(公財)鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL042-573-7263

実際の地下水位と解析による水位の経時変化を比較した。

4. 解析結果

図3に盛土内地点Aの地下水位の実測値と解析結果の経時変化の比較を示す。なお、図中の地下水位とは地表面からの距離である。図3より、水分特性曲線のモデルに吸水過程のパラメータを用いた解析の場合は、実測値や排水過程に比べて水位上昇が遅く最大値も小さいことがわかる。一方で、排水過程のパラメータを用いた解析結果は実測値と概ね一致していることがわかる。しかし、地下水位の解析値は融雪が大きく増える3月24日から急に増加するのに対して、地下水位の実測値は3月12日付近からなだらかに増加している。これは平地ライシメーターでは確認できない融雪期初期の浸透水量の増加が影響しているためと考えられる。盛土斜面に積もった雪と平地ライシメーターの近傍に積もった雪を断面観測した結果、平地ライシメーターの近傍に積もった雪には氷の層が多く見られた。そのため、この氷の層が融雪水の鉛直浸透を阻害し、融雪水が下方ではなく水平方向へと逃げてしまい観測値が少なく計測されたと推測される。

5. 熱収支法を用いた浸透流解析

これまでの解析では浸透条件として平地ライシメーターで観測された浸透水量を用いて飽和・不飽和浸透流解析を行ったが、融雪水による積雪地域の盛土の不安定化に対する影響を評価する際にライシメーターを鉄道沿線に数多く設置することは、コストやメンテナンスの面で現実的ではない。そこで、アメダス等から容易に入手できる気象4要素(気温、降水量、風速、日照時間)を用いて熱収支法により積雪表面融雪量が算出できる栗原ら⁵⁾の推定方法を用いて融雪水量を推定し、その上で融雪水による盛土内地下水位挙動の再現解析を試みた(図4)。

5. 1 解析手法

図3, 4から熱収支法より計算された浸透水量と平地ライシメーターの計測値を比較すると、熱収支法による浸透水量は平地ライシメーターの計測値と傾向が概ね一致していることがわかる。推定方法より算出した浸透水量を用いて、同様に飽和・不飽和浸透流解析を行い、地下水位の実測値と比較した。なお、初期条件の設定手順は3章の方法と同様である。

5. 2 解析結果

図4に盛土内地点Aの水位の実測値と熱収支法で計算した解析値の比較を示す。図4より、水分特性曲線のモデルパラメータに排水過程のものを用いた解析値は実際の地下水位挙動と良好に一致していることがわかる。

6. まとめ

平地ライシメーターの実測値を浸透水量として排水過程でのパラメータを用いて飽和・不飽和浸透流解析を行うことで、地下水位の挙動を概ね再現できることがわかった。さらに、熱収支法から算出された浸透水量を用いて、飽和・不飽和浸透流解析を行うことでも地下水位の挙動を概ね再現できることがわかった。今後はこれらの結果をもとに安定解析等を行い、融雪水が盛土の不安定化に及ぼす影響についてさらに検討を進めていく予定である。

参考文献 1) 地盤工学会基準(改正案)地盤材料の工学的分類方法。2) van Genuchten, R. : Calculating the Unsaturated Hydraulic Conductivity with a New Closed-form Analytical Model, Res. Rep., 78-WR-08, Princeton Univ., Princeton, 1978 3) van Genuchten, M. Th. : A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.44, pp.892~898, 1980. 4) Carsel, R. F. and Parrish, R. S. : Developing Joint Probability Distribution of Soil Water Retention Characteristics, Water Resour. Res., Vol.24, pp.755~769, 1988. 5) 栗原靖, 矢野真也, 飯倉茂弘, 高橋大介, 鎌田慈 : 融雪水の積雪底面流出量の推定手法, 鉄道総研報告, Vol.27, No11, Nov.2013.

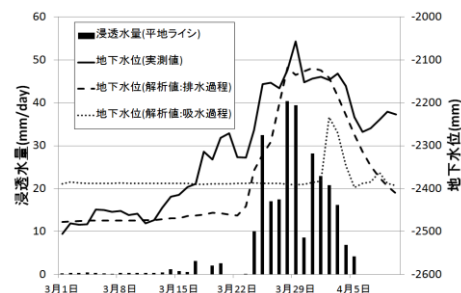


図3 浸透水量(平地ライシ)と地下水位の実測値と解析値の比較

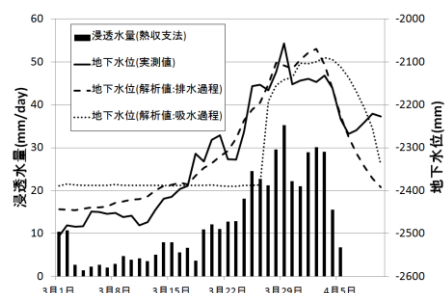


図4 浸透水量(熱収支法)と地下水位の実測値と解析値の比較