

融雪水の影響を考慮した警戒雨量値の検討

鉄道総合技術研究所 (正)○伊藤賀章 (正) 川尻峻三 (正) 太田直之
北海道旅客鉄道 (正) 佐名川太亮

1. はじめに

融雪水が盛土へ浸透すると、盛土内水位が一時的に上昇し、比較的少ない降雨で盛土が崩壊する可能性がある。そのため、融雪期には降雨時運転規制値を一時的に下げる措置

が取られることがあるが、その低減割合は主に経験的に決められている。融雪水の影響を定量的に評価し、運転規制値の適正な低減割合を決定することにより、融雪期における鉄道の安全をより高めることが出来る可能性がある。

本稿では、融雪期における鉄道盛土の崩壊事例を対象にした安定計算ならびに飽和・不飽和浸透流解析（以降、浸透流解析）を実施し、融雪水の浸透によって盛土内に形成される水位を算定した。また、この結果を基にして融雪水の影響を考慮した警戒雨量値について議論する。

2. 盛土崩壊事例

図1に盛土崩壊箇所を示す。当該箇所は段丘部の腹付盛土と推定され、崩壊箇所の線路右側に全体的に湿潤な広い平坦地があった。この平坦地のさらに右側は湛水しており、当該箇所からも融雪水が地盤へ浸透し、浸透水として盛土内へ流れ込んでいたと推定される。なお、崩壊発生日以前にまとまった降雨は観測されていなかった。

図2に3/1から盛土崩壊発生日前日までの日融雪量と積算融雪量の変化を示す。融雪量は、ディグリー・デー法¹⁾を用いて算出した。

図3に崩壊した盛土から採取した試料の粒径加積曲線とUSDA (United States Department of Agriculture)の土質分類における「loam」の粒径加積曲線を示す。地盤工学会の基準²⁾では盛土材は「細粒分質礫質砂」であり、その中でもより細粒分が多く含まれた粘性土に近い土質であった。また、盛土材の粒径加積曲線は「loam」の粒径加積曲線と類似していることが分かる。このことから、後述する浸透流解析ではCarrsel and Parish³⁾により整理された「loam」のパラメータを用いた。

3. 検討フロー

本稿における検討は、①盛土崩壊に必要な水位の算定、②通常期（≒融雪期以外の時期）における水位（以後、自然水位）の算定、③融雪水の浸透により形成される盛土内水位（以後、融雪期の盛土内水位）の算定、④融雪水の影響を考慮した警戒雨量値の検討の順で実施した。

4. 崩壊水位の算定

図4に盛土崩壊に必要な水位の分布を示す。この水位は、修正フェレニウス法を用いた安定計算により求めた想定する円弧すべり線での安全率 F_s が1.0となる水位である。なお、安定計算の際は、崩壊した盛土の土質を参考に鉄道構造物等設計標準・同解説土構造物⁴⁾に示された強度定数（分類：土質4）を用いた。

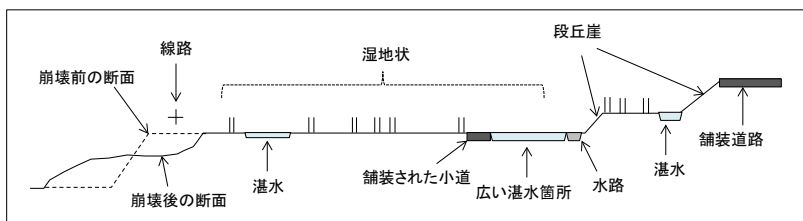


図1 盛土崩壊発生箇所の状況

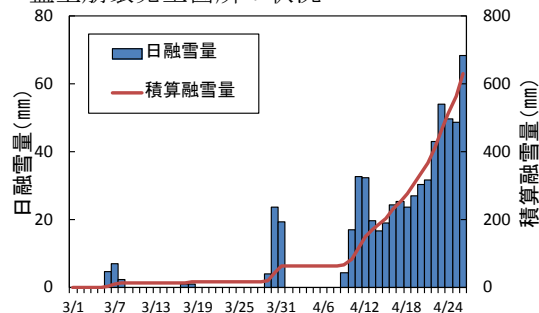


図2 融雪量の経時変化

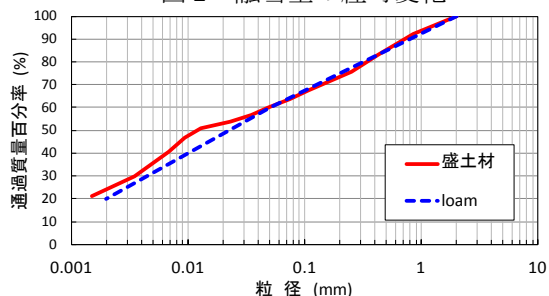


図3 粒径加積曲線

キーワード 盛土崩壊, 融雪水, 飽和・不飽和浸透流解析

連絡先 〒185-8540 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 TEL:042-573-7263

5. 自然水位と融雪期の盛土内水位の算定

図4に示す自然水位は、岡田らの手法⁵⁾を用いて算定しており、13.6mm/dayの降雨を3日に一回の割合で盛土に与えて盛土内水位の変動が定常状態になった水位である。

融雪期の盛土内水位は、自然水位を有する盛土に図2に示した融雪水を与える浸透流解析によって算定した(図4)。これらの浸透流解析における境界条件は、盛土のり面と施工基面を浸透・浸出境界とし、それ以外を不透水境界とした。自然水位と融雪期の盛土内水位を有する各盛土に対し、修正フェレニウス法を用いた安定計算を実施した結果、自然水位を有する盛土の安全率は $F_s=1.303$ であり、融雪期の盛土内水位を有する盛土の安全率は $F_s=1.073$ であった。ただし、これらの安全率を算出する際は、線路右側の湛水箇所から盛土へ浸透する水の影響を考慮していない。

6. 融雪水の影響を考慮した警戒雨量値の検討

図4に示すように、融雪期には融雪水の浸透によって自然水位よりも高い水位の状態となっているため、通常期よりも少ない降雨量で盛土崩壊に至る可能性がある。そこで、融雪水による盛土内水位上昇量を考慮した警戒雨量値についてこれまでの解析データを基に検討する。まず、本検討では降雨量が通常期の運転規制雨量値に達した場合に、盛土は『盛土崩壊に必要な水位』を形成すると仮定した。そして、盛土内の水位が『自然水位』から『盛土崩壊に必要な水位』にまで上昇するために必要な累積降雨量 $R1$ と、盛土内の水位が『融雪期の盛土内水位』から『盛土崩壊に必要な水位』にまで上昇するために必要な累積降雨量 $R2$ を算出した。また、得られた $R2$ と $R1$ の比を $Rrat$ ($=R2/R1$)とした。

表1に降雨強度を25mm/day、30mm/day、35mm/day、40mm/dayとして算出した $R1$ 、 $R2$ 、 $Rrat$ を示す。表1より、概ね $Rrat=0.6$ 程度であることがわかる。これは、融雪水の浸透を受けた場合には、自然水位を有する盛土と比較すると6割程度の累積降雨量で崩壊に至る可能性があることを示している。

以上の結果は、いくつかの解析条件(土質定数や日融雪量、浸透条件など)を仮定して算出した値であり、土質や融雪量が異なる条件下で同じ方法で解析を行った場合は異なる結果が得られると考えられる。

7. まとめ

本稿では、融雪水の浸透によって盛土内に形成される水位を算定し、この結果を基にして融雪水の影響を考慮した警戒雨量値について検討した。

その結果、融雪水の浸透を受けた盛土は、自然水位を有する盛土と比較すると6割程度の累積降雨量で崩壊に至る可能性があることを明らかにした。しかしながら、今回の試算結果は幾つかの解析条件を仮定して算出した結果であり、今後はより現実性に則した条件を用いて検討を進める必要がある。

なお、本研究の一環として、融雪期の水分挙動把握のため、間隙水圧および土壌水分の現地観測を実施している。今後は現地観測で得られたデータを用いた解析的検討を行い、より現実性に則した条件の融雪期の降雨時運転規制について検討を進めていく計画である。

参考文献

- 1) 河島克久, 飯倉茂弘, 杉山友康, 斎藤善樹, 遠藤徹, 藤井俊茂: 気温を用いた融雪量の簡易推定方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.16, No.8, 2002年8月。
- 2) 地盤工学会基準(改正案)地盤材料の工学的分類方法。
- 3) R. F. Carsel and R. S. Parrish: Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics, Water Resources Research, Vol. 24, No. 5, pp. 755-769, 1988。
- 4) 国土交通省鉄道局 監修 (公財)鉄道総合技術研究所 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物 平成19年1月。
- 5) 岡田勝也, 岩崎昭次, 杉山友康, 村石尚: 豪雨時の盛土の安定解析のための定常地下水位の推定, 第34回地盤工学会研究会発表講演集, pp.2121-2122, 1999。

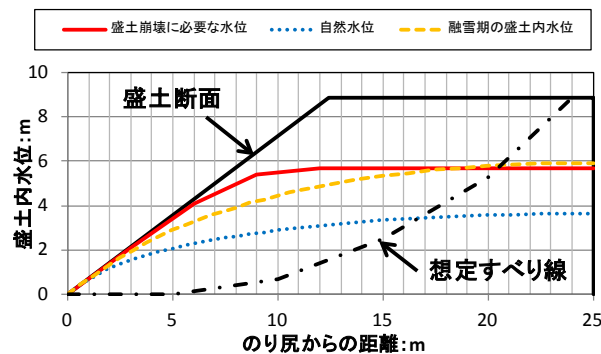


図4 盛土内の水位分布

表1 降雨強度別の $R1, R2, Rrat$

降雨強度 mm/day	盛土崩壊に必要な水位を 形成するまでに必要な累積降雨量 (mm)		$Rrat$ ($R2/R1$)
	自然水位の場合	融雪期における 水位の場合	
	$R1$	$R2$	
25	850	525	0.62
30	660	390	0.59
35	595	385	0.65
40	520	360	0.69