

降雨等により被災を受けた盛土の列車荷重の載荷に対する安定計算

鉄道総合技術研究所 正 ○尾崎 匠 松丸貴樹 佐藤武斗
正 笠原康平 富田佳孝 高木翔太

1. はじめに

降雨等により鉄道盛土が被災した際に、線区として崩壊箇所が限られている場合には早期の運行再開が求められる。崩壊が小さく列車の運行に問題がないと判断される場合は、シートなどで降雨の流入を防ぐなどの軽微な養生等を行いながら列車を運行することが多い。一方、崩壊が大きく列車の運行に支障すると判断される場合は、応急的に大型土のうなどで盛土を抑えながら、徐行を前提として運行再開できる場合もある。このような判断は経験的に行われており、応急復旧が必要となる断面形状などは決まっていない。また、既往研究¹⁾では実規模の盛土で、崩壊後に列車荷重相当の載荷を行っても支持性能を満足できる結果が得られている。本検討では崩壊が生じた盛土上を列車が徐行する場合を想定し、崩壊した盛土の断面形状を用いた円弧すべり解析を、崩壊規模を変えながら行った。これにより、列車荷重載荷時に安定を保つ崩壊後の断面形状について検討した。

2. 崩壊後の盛土断面形状を用いた円弧すべり解析による検討の概要

高さ 6m および 3m、のり面勾配を 1:1.3 の既設盛土を検討対象とした。荷重条件や盛土物性は図 1 に示すものを使用した。盛土物性は、鉄道の既設盛土の三軸圧縮試験（非圧密非排水）結果を整理したものを参考に過度に安全側にならない妥当な範囲内で設定した（図 2）。なお、図 2 は鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物）²⁾記載の土質³⁾（粒度配合の悪い砂礫、砂質土等）に該当する結果のみを整理している。当該盛土が崩壊した際（1 次崩壊）を想定し、1 次崩壊時の断面形状（以下、「1 次崩壊形状」）を円弧形状として図 1 中に示す崩壊角と崩壊範囲を基に複数パターン設定した。この円弧に含まれるすべり土塊を除去した形状を解析モデルとして作成し、円弧すべり解析を実施した。この 1 次崩壊形状に対して円弧すべり解析をした事例は、地震時を対象とした駒井らの研究が挙げられる³⁾。1 次崩壊形状は、のり先を起点とした崩壊範囲（のり長全体を 100% とする）、および崩壊角を定義し図 1 のように設定した。ここでのり

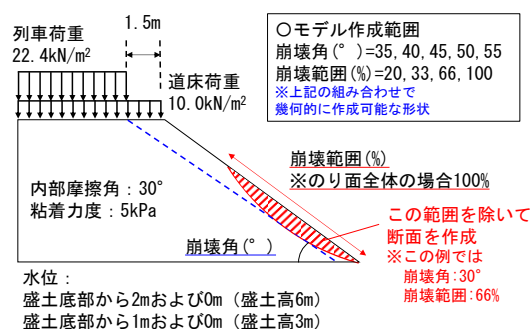


図 1 モデル作成条件

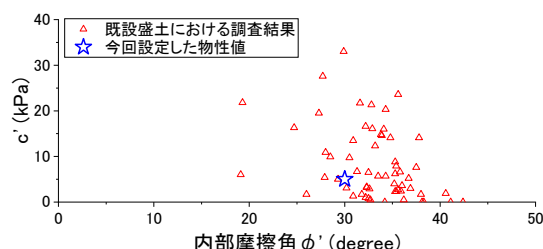


図 2 モデルにおける盛土物性の設定

先を起点としたのは、既往研究¹⁾のように、降雨時の盛土の崩壊はのり先から生じることが多くあるためである。また、降雨後の盛土内水位の有無により 2 パターンを設定した。解析は鉄道の盛土設計で一般的に用いられる修正フェレニウス法を用いた²⁾。なお、円弧すべり抵抗係数は徐行による列車運行再開を前提として行うことを想定し、最低限の値を確保する目的で 0.91（安全率約 1.1）としている。この条件で求めた照査値が 1 以下であれば、盛土の安定を満足すると判断した。また、解析の結果、2 次崩壊が列車荷重載荷範囲に達しない場合、列車の運行再開に支障する可能性があるか考慮するため、列車荷重の載荷端を起点とした円弧に関しても検討した。

3. 検討結果

1 次崩壊形状に基づいて列車荷重載荷時の安定を検討する目的から、横軸を崩壊角、縦軸をのり面に占める崩壊範囲とし、円弧すべり解析で得られた照査値をもとにコンター図を作成した（図 3）。崩壊角が浅く、元の断面形状に近いものは列車荷重載荷時に 2 次崩壊が生じにくい傾向にあり、崩壊角が深いものは列車荷重載荷時に 2 次崩

キーワード 降雨・盛土・円弧すべり

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町 2 丁目 8-38 （公財）鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

壊が生じやすいことがわかる。これは、崩壊角が深い場合の1次崩壊形状は、急勾配な台形状の盛土に近く不安定な状態のためと考えられる。また、水位が盛土内にある場合では（図3a)c), 盛土高6mにおいては崩壊形状によらず照査値が1以上となって安定を満足しない一方で、盛土高3mにおいては崩壊角 35° と 40° の一部のケースで安定を満足する結果となった。次に水位が低下した場合について比較すると（図3b)d), 盛土内水位を有する条件と比較して、盛土高3mでは1断面、6mでは4断面が照査値1を下回った。これは抵抗モーメントの低下要因である間隙水圧の影響がなくなったことに起因している。また、1次崩壊範囲の土塊を除いているため、通常の盛土の円弧すべり解析と比較すると、すべり土塊の重量自体が小さく間隙水圧の抵抗モーメントへの寄与率が相対的に高いと考えられる。盛土高さで比較を行うと、盛土高が高い場合、崩壊のない安定勾配の盛土と同様に、抵抗モーメントにおいて拘束圧の増加に伴う内部摩擦角の寄与率が向上することやすべり土塊重量が大きいこと等により、同じ水位条件でも照査値が大きくなると考えられる。なお、盛土高6mで安定を満足ようになった崩壊形状が多いのは、間隙水圧の変動量による影響が大きいと考えられる。本検討では水位は盛土高さの1/3の位置に設定したため、すべり面に含まれる部分の間隙水圧の大きさが盛土高6mの方が大きい。これにより水位低下時に抵抗モーメントが盛土高6mのケースで大きく増加し、安定を満足する崩壊形状が増えたと考えられる。

また、列車荷重を載荷した条件での円弧すべり解析結果について、1次崩壊の考慮の有無による比較例を図4に示す。図4より、1次崩壊を考慮したことで、すべり土塊重量の減少に起因して、起動・抵抗モーメントともに減少することがわかる。また、図4のケースでは臨界すべり面（最も照査値が大きくなるすべり面）は1次崩壊を考慮した方が若干奥側に生起したが、1次崩壊時に崩壊角が大きい場合等では、盛土表層に急勾配な箇所が生じることで局所的な滑りを誘発するため、台形断面の盛土と比べて手前にすべり面が生じる場合もある。このように、1次崩壊を考慮すると、土塊重量の減少や急勾配化により、臨界すべり面が生じる箇所が変化することがわかる。

4. まとめ

1次崩壊を考慮した円弧すべり解析を系統的に行うことで、列車荷重載荷時に安定を保つ被災後の盛土の断面形状について検討した。これにより、1次崩壊の規模が小さい場合に安定が保たれることや、盛土高さが低い場合や水位が低い場合で安定が保たれることを確認した。また、1次崩壊を考慮した円弧すべり解析では、主にすべり土塊重量の減少や急勾配化により臨界すべり面が生じる箇所が変化することを確認した。

本検討で実施した1次崩壊形状の整理結果は、盛土の被災を発見した際に、現地の崩壊規模を確認することで応急復旧の要否を判断する際の判断材料となると考えられる。

なお、本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

参考文献 1) 佐藤武斗, 杉山健太, 阿部慶太, 笠原康平, 松丸貴樹, 富田佳孝: 実物大盛土の降雨実験による盛土損傷に伴う耐荷性能の評価, 第63回地盤工学シンポジウム, 2022. 2) 国土交通省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造物), 丸善, 2007. 3) 駒井尚子, 秦吉弥, 常田賢一: ケーススタディに基づく大規模地震による宅地造成斜面の崩壊範囲の評価に関する基礎的検討, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4(地震工学論文集第33巻), I_304-I_322, 2014.

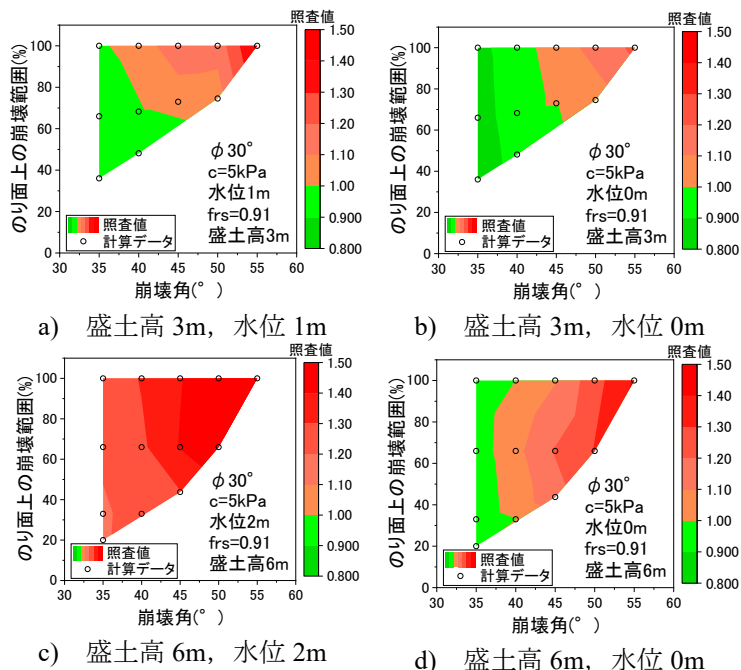


図3 複数の1次崩壊後の形状・水位を用いた解析の結果

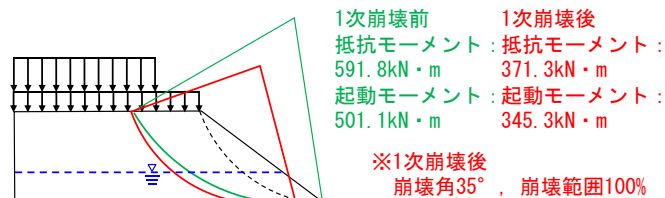


図4 1次崩壊の考慮の有無が解析結果に与える影響
(盛土高 3m, 水位 1m のケースの例)