

切土のり面の張コンクリート工の健全度を評価する

太田 直之
防災技術研究部
(地盤防災 主任研究員)

高柳 剛
前 防災技術研究部
(地盤防災 研究員)



おおた なおゆき たかやなぎ つよし

はじめに

国土の7割を山間地が占める我が国では、山裾を切り取って敷設された図1のような線路が多くあります。切り取った斜面は切土のり面と呼ばれ、鉄道施設として維持・管理されています。このような切土のり面の劣化を防止するために、図2の写真のようなコンクリートや石積みによってのり面を覆うことがあります。このような対策はのり面工と呼ばれ、昔から多くののり面に施工されてきました。

切土のり面を造る時は、のり面が崩れないような勾配で山を切り取ります。このため、山側からの力(土圧とよびます)は加わらないと考えるのり面工は造られています。

一方で、のり面工の背面の山(地山とよびます)の状態を調べると、のり面が保護されているにもかかわらず、地山の表層部分がもろくなっていたり、軟らかくなっていたりしている(これを風化といいます)ことがあります。地山の風化が著しく進行し土砂化すると、土砂化した部分の土圧がのり面工に作用するようになり、その土圧の大きさによってはのり面工が不安定な状態になっていることが懸念されます。このようなことから、切土のり面工の健全度を適切に評価するためには、のり面工背面の地山の風化程度を考慮して安定性を評価する必要があると考えられます。しかし、風化程度とのり面工の安定性との関係が明らかになっていなかったため、地山の風化を定量的に考慮したのり面工の健全度評価手法はこれまで確立されていませんでした。

このような背景のもと、地山の風化程度を考慮したのり

面工の健全度評価手法を作成するために取り組んだ研究の概要と、その成果として作成したのり面工の健全度評価手法についてご紹介します。

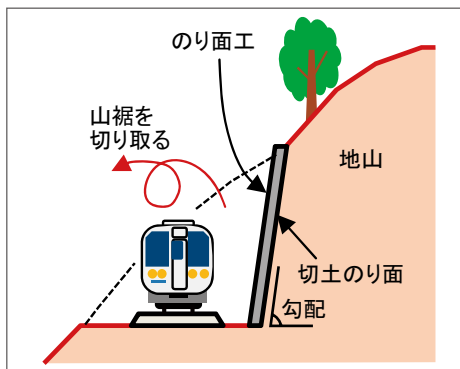


図1 一般的な切土のり面

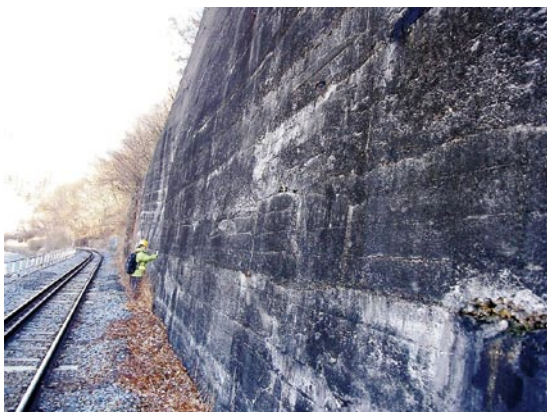


図2 鉄道沿線の切土のり面工(張コンクリート)

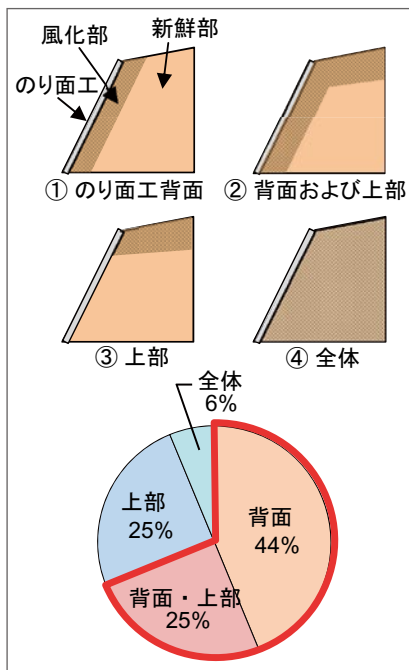


図3 風化パターンとその割合

風化パターンの実態

はじめに、切土のり面工背面の地山表層部分の風化状況の実態を調べました。のり面工に変状が発生している51箇所の切土のり面で実施したボーリング調査結果を基に各々の風化状況を確認し、断面における風化している部分と新鮮部分とに分けた上で風化してい

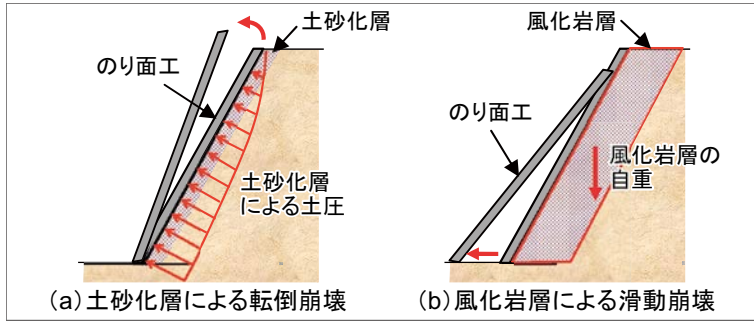


図4 風化度別に考えられる不安定化モード

表1 一般に用いられている岩盤等級¹⁾

名称	特徴（抜粋）
C _L	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており岩質も軟らかくなっている。 節理あるいは亀裂間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって、割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の層が残留する。
D	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており岩質も著しく軟らかくなっている。節理あるいは亀裂間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけでくずれ落ちる。



図5 実験に用いた土槽

る部位の形状を分類しました。その結果、風化パターンは図3のような概ね4種類に分類でき、また、各風化パターンの割合は図2に示すとおり、パターン①ののり面工背面の風化、もしくはパターン②ののり面工背面および上部の風化が全体の約7割を占めることがわかりました。このような実態を基に、のり面工に沿って地山表面の風化が進行している場合を主な対象として検討を進めました。

風化層によるのり面工不安定化のメカニズム

地山の風化を考慮したのり面工の健全度評価手法を作成する場合、地山風化に伴いのり面工がどのように不安定化するのかそのメカニズムを明らかにする必要があります。そこで検討にあたっては、のり面工の不安定化メカニズムを次のように考えました。

まず、のり面工に沿って地山が風化しているものとします。この場合、地山表面の風化が最も進行しており、地山深部ほど風化の進行度は低下するものと考えられます。このような条件では、風化の進行度によって図4のようなふたつの不安定化モードが想定されます。

(a) 土砂化層による転倒モードの不安定化

地山表層部の風化が著しく進行して土砂化した層がのり面工背面に形成されます。このような土砂化した層は粘着力がないため自立性を失い、前面にあるのり面工に土圧を作用させます。この土圧とのり面工の重さとのバランスが崩れることでのり面工が起き上がるように転倒することが予想されます。

(b) 風化岩層による滑動モードの不安定化

土砂化する程ではないが、風化が進行して強度が低下した層（風化岩層）が、その自重で安定性を失い、のり面工ごと足元からすべるように崩壊することが予想されます。

このようなふたつの不安定化モードを検討対象とし、各々安定性評価手法を検討しました。

ここで、上記のような土砂化層と風化岩層との区別は、表1に示す岩盤等級¹⁾を基にして、D級を土砂化層、C_L級を風化岩層と定義することとしました。

実験による土砂化層の土圧の働き方の解明

前述のふたつの不安定化モードのうち、風化岩層の滑動安定性については、くさびすべりまたは円弧すべりを想定した従来の安定性評価方法を適用することができます。一方、土砂化層による転倒に対する安定性は、のり面工沿いに形成された土砂化した層の土圧を用いて評価する必要があります。ここで、土砂化層の厚さはのり面工の高さに比べて非常に薄いため、そのような薄層による土圧に一般に使われている土圧算定式で求められる値を用いてよいか不明でした。そこで、土砂化層を模擬した模型地盤を作成し、これを用いた模型実験によって土砂化層の土圧の働き方を求めました。

実験には図5のような高さ約1.5m、幅0.5m、奥行き1mの鋼製土槽を用いました。のり面工に相当する前面板は7段に分割されており、のり面工に作用する水平方向の土圧 p_h を測定することができます。また、底板にも受圧

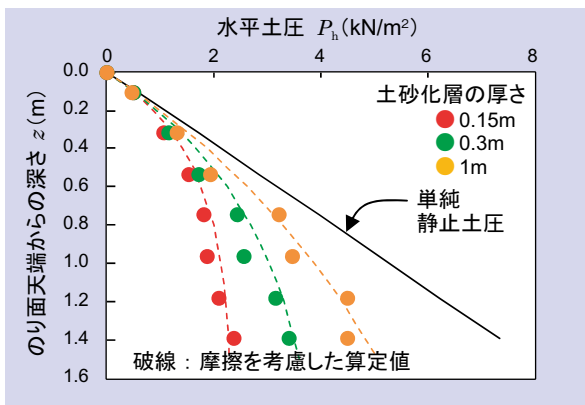


図6 土砂化層厚さの影響

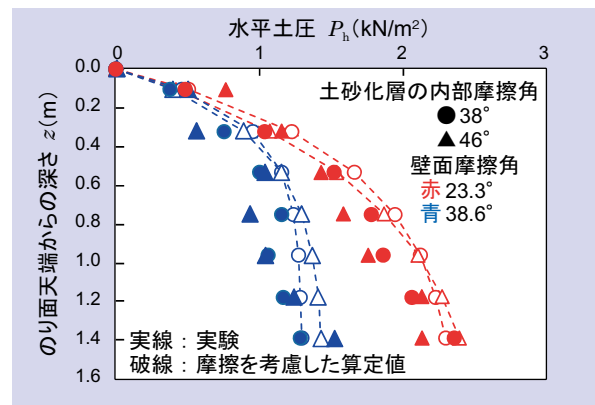


図8 内部摩擦角および壁面摩擦の影響

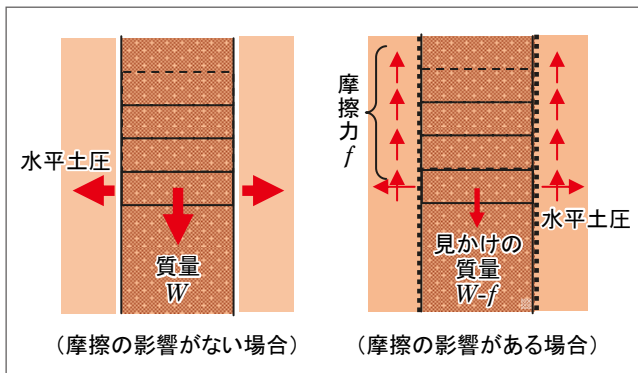


図7 摩擦による見かけの質量の減少

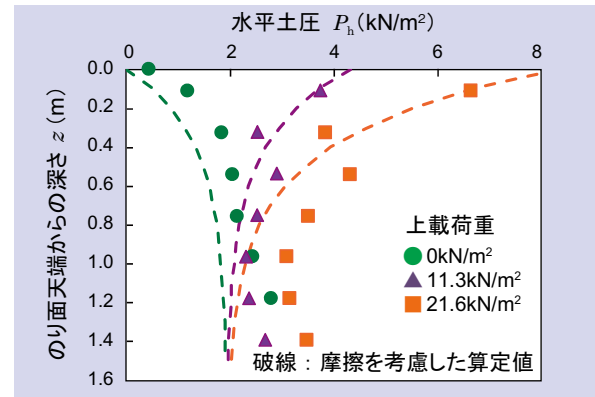


図9 上載荷重の影響

板を設置しており、土砂化層の鉛直土圧を測定できる構造となっています。背面板は可動式であり、土槽の奥行きを変えることで、土砂化層の厚さによる土圧の働き方の違いを確認することができます。また、土槽を傾斜させることにより、任意の勾配で各土圧を測定することもできます。

図5のような実験土槽を用いて、土砂化層の厚さ、土砂化層の風化度(土の内部摩擦角)、境界部に作用する摩擦力(土槽壁面の摩擦)、のり面上部にかかる荷重の大きさを種々変えた実験を行いました。以下に主な実験結果を示します。

図6は、鉛直断面の土圧分布について土砂化層の厚さの影響を比較したものです。図中には、比較のため土砂化層の厚さが無限大と仮定した場合の土圧を単純静止土圧として併記しています。図が示すように、各ケースとも単純静止土圧よりも小さい土圧が測定されており、また、下方ほどその低減割合が大きいことがわかります。さらに、土砂化層が薄いものほど土圧は大きく低減されています。

一般的な土の水平方向の土圧は、鉛直方向の土圧に土圧係数と呼ばれる土の性質に応じた係数を乗ずることで求められます。また、鉛直方向の土圧は土圧測定点より上部にある土の質量から求めることができます。このような一般的な水平土圧の求め方と上記の実験結果とを考え合わせると、土砂化層がのり面工に及ぼす土圧の性質は次のように

仮定されます。すなわち、図7に示すように、土砂化層が薄いことにより、土槽壁面と土砂化層との間に作用する摩擦によって土砂化層の見かけの質量が減少し、のり面下方ほどのり面工に作用する土圧の増加分が小さくなると考えられます。

このような、仮定を検証するために、土槽壁面による摩擦を考慮した土圧算定式を用い、その算定式の実験値への適応性を検討してみました。検討した土圧算定式による計算結果を図6中に破線で示しました。いずれの計算結果も実験結果とよく一致していることがわかります。

また、土砂化層の内部摩擦角および土槽壁面の摩擦を変えた場合の実験結果を図8に、上載荷重が載荷した実験結果を図9に示しました。ここで、上載荷重を載荷した実験は、図3のパターン②のようにのり面工背面の土砂化層の上部に風化土層が存在しているパターンを想定した実験です。各図とも、摩擦を考慮した土圧算定式による土圧分布を破線で示していますが、いずれの場合も計算結果は実験値をよく再現しているといえます。

これらの実験結果から、摩擦を考慮した土圧算定式を用いることで、土砂化層の土圧を適切に求めることができると考え、この算定式を用いて求めた土圧を外力として、安定性評価に用いることとしました。

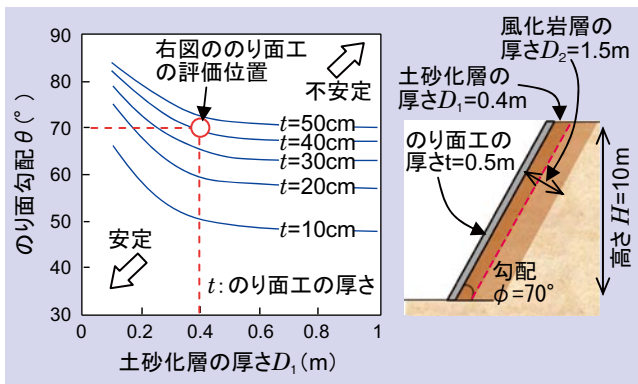


図10 土砂化層の転倒安定性評価ノモグラム (高さ10mの場合)

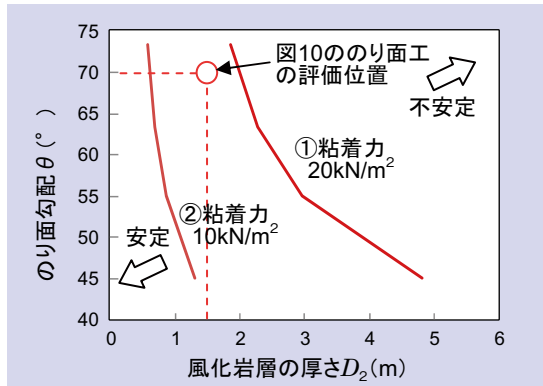


図11 風化岩層の滑動安定性評価ノモグラム (高さ10mの場合)

のり面工の安定性評価ノモグラム

実験結果に基づいて検討した土砂化層の土圧算定式を用いて、のり面の高さ、勾配、土砂化層の厚さ、内部摩擦角、のり面工の厚さに着目して転倒安定性に対するケーススタディを行い、その結果から図10のようなノモグラムを作成しました。このノモグラムでは、のり面勾配、土砂化層の厚さ、のり面工の厚さを選定することで安定性を評価することができます。例えば、図10の右側に示したようなのり面を評価する場合、勾配70°と土砂化層の厚さ0.4mの交点の位置が、のり面工厚さ $t=50\text{cm}$ の曲線の下にあるため安定と評価できます。

また、図4(b)に示した風化岩層の滑動モードの安定性評価については、従来のくさびすべりによる安定計算法を用いたケーススタディを行い、図11のようなノモグラムを作成しました。土砂化層による転倒安定性のノモグラムと同様にのり面勾配、風化岩層の厚さ、風化岩層の概略の強度から風化岩層の滑動安定性を評価することができます。図10の右側に示したようなのり面で風化岩層の粘着力が 20kN/m^2 程度(ローム程度の強度)の場合、勾配70°と風化岩層の厚さ1.5mとの交点が曲線①の左側にあるため、風化岩層の滑動安定性については安定と評価できます。仮に、風化岩層の粘着力が小さく 10kN/m^2 程度であると

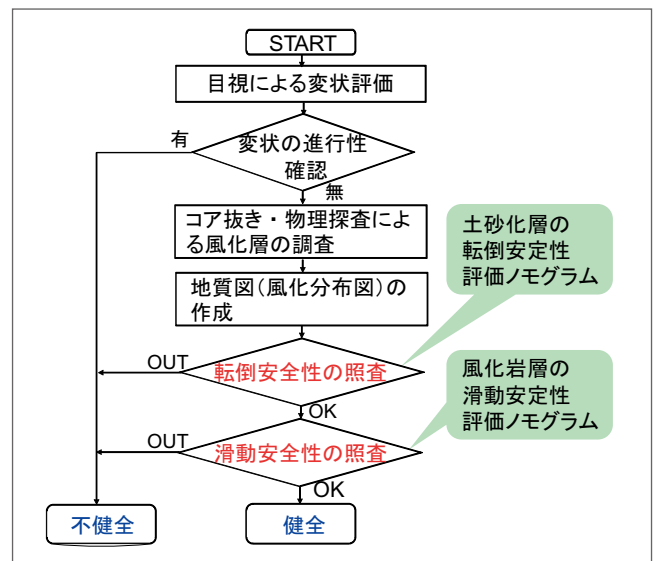


図12 風化を考慮したのり面工の健全度評価フロー

すると、風化岩層の厚さととのり面勾配の交点が曲線②の右側に位置するため、不安定と評価されます。

このような転倒と滑動に対するふたつの安定性評価ノモグラムを用いることで、風化層の厚さを考慮したのり面工の安定性を簡便かつ適切に評価することができます。

図12に地山の風化を考慮した場合ののり面工の健全度評価のフローを示します。目視によって安定性に関連すると考えられる変状を見つけ出し、その変状の進行性を評価します。進行がみとめられる場合には直ちに不健全と判定されますが、進行性が認められない場合には現地調査を行い、風化層の厚さを調べます。調査によって得られた土砂化層(D級)、風化岩層(C_L級)の厚さをもとに、転倒および滑動安定性評価ノモグラムを用い安定性を評価し、両者とも安定と評価された場合のみ地山の風化に対して安定性を維持しているのり面工であると評価されます。

おわりに

地山の風化を考慮してのり面工の健全度を定量的に評価する方法についてご紹介しました。評価にあたっては、評価対象とすべきのり面工を適切に抽出すること、また、抽出したのり面の風化厚さや風化度を精度よく求めることが重要となります。のり面工で覆われた地山の状態を的確に把握する調査方法と、本報で紹介した評価方法を組み合わせることで、のり面工の適切な健全度評価が可能になると考えられます。[RRR]

文献

- 1) 応用地質学会：日本の岩盤分類，応用地質特別号，pp.15-16, 1992