

地山の風化を考慮した切土のり面工の健全度評価手法

防災技術研究部 地盤防災研究室
主任研究員 太田 直之

1. はじめに

山間部を走る線区には数多くの切土のり面があり、その多くには、のり面の劣化防止を目的として図1のようなのり面工が施工されている。そのようなのり面工背面の地山の状態を調べると風化が進行している場合がある。風化が著しく進行して地山が土砂化すると、土砂化した部分の土圧が図2のように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る。このような場合、のり面工背面の地山の風化程度を考慮してのり面工の安定性を評価する必要があるが、これまで、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確立されていなかった。そこで、地山の風化程度を考慮した切土のり面工の健全度評価手法を作成した。



図1 切土のり面工(張コンクリート)の例

2. 地山の風化パターン

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されたボーリング調査結果を基にして、風化形態を分類した。その結果、風化パターンは図3のような概ね4種類に分類できることが明らかになった。また、各風化パターンの割合は図4に示すとおりであり、パターン①のり面工背面の風化、もしくはパターン②のり面工背面および上部の風化が全体の約7割を占めている。このような実態調査の結果から、のり面工背後の地山が風化している場合には、そのほとんどがのり面工に沿って地山の風化が進行していると捉えられることから、このような風化パターンを対象として評価方法を検討することとした。

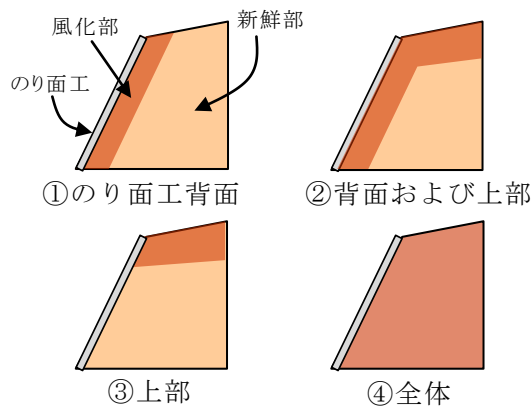


図3 風化パターン

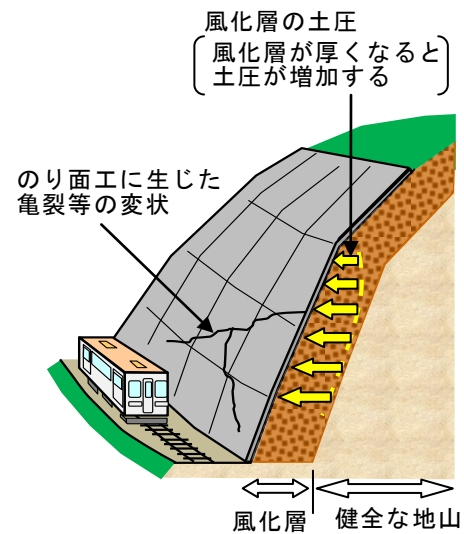


図2 地山の風化によるのり面の不安定化

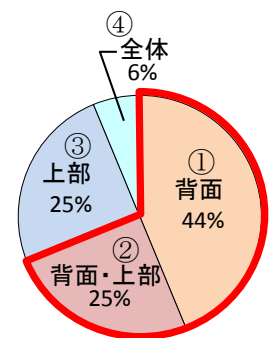


図4 風化パターンの内訳

3. 破壊モードとのり面工不安定化メカニズム

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、地山が風化することによってのり面工がどのように不安定化するのか、そのメカニズムを特定しておく必要がある。そこで、本検討では、次のような不安定化メカニズムを仮定した。

のり面工に沿って地山が風化している場合、地山表面の風化が最も進行し、地山深部ほど風化の進行度は低下するものと考えられる。このような条件では、風化の進行度に応じて以下のようなふたつの破壊モード毎に異なる不安定化メカニズムが想定される。

(a) 転倒モードの不安定化 (図 5(a))

地山表層部の風化が著しく進行して土砂化した層（土砂化層）がのり面工背面に形成される。このような土砂化層は粘着力がないため自立性がなく、前面にあるのり面工に土圧を作用させる。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。

(b) 滑動モードの不安定化 (図 5(b))

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。

このようなふたつの破壊モード別に、各々安定性評価手法を検討した。

ここで、上記のような土砂化層と風化岩層との区別は、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た。

4. 実験による土砂化層の作用土圧の解明

上述のふたつの破壊モードのうち、風化岩層の滑動安定性については、楔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る。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層の土圧を用いて評価する必要がある。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の評価に一般に使われている土圧算定式から求められる値を用いた場合、土圧を過大に評価する可能性が考えられた。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特性を明らかにした。

実験には図 6 のような高さ約 1.5m、幅 0.5m、奥行き 1m の鋼製土槽を用いた。のり面工に相当する前面板は上下方向に 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る。また、底板にも受圧板を設置しており、土砂化層の鉛直土圧を測定できる構造

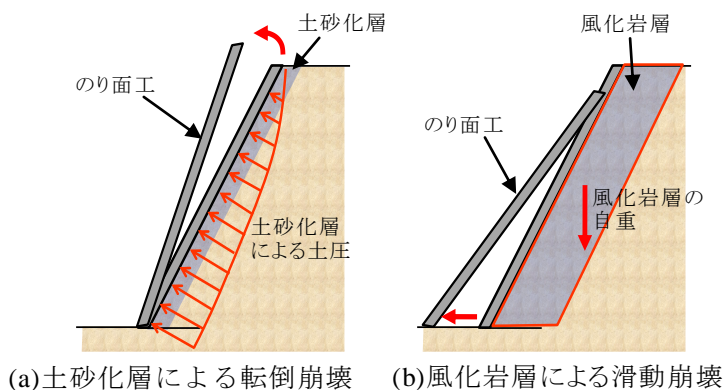


図 5 風化度別に想定される崩壊モード

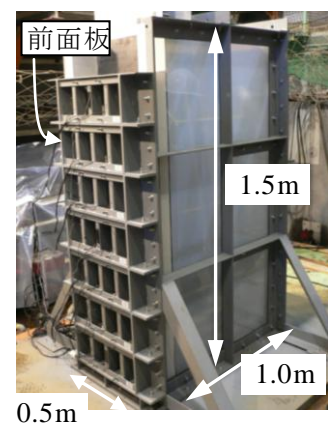


図 6 実験土槽

となっている。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る。また、土槽を傾斜させることで、任意の勾配で各土圧を測定することもできる。

この実験土槽を用いて、土砂化層の厚さ、土砂化層の風化度（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った。以下に主な実験結果を示す。

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を図7に示す。図中には、比較のため風化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る。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る。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る。

このような実験結果は、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、このため図7に示すように、のり面下方ほどのり面工に作用する土圧が小さくなると考えられる。

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た。検討した土圧算定式による計算結果を図7中に破線で示す。いずれの計算結果も実験結果とよく一致している。

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に示す。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ある。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るが、いずれの場合も計算結果は実験値をよく再現している。

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た。

5. 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

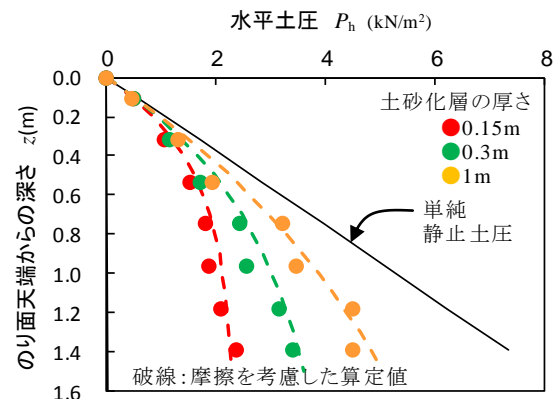


図7 土砂化層の厚さの影響

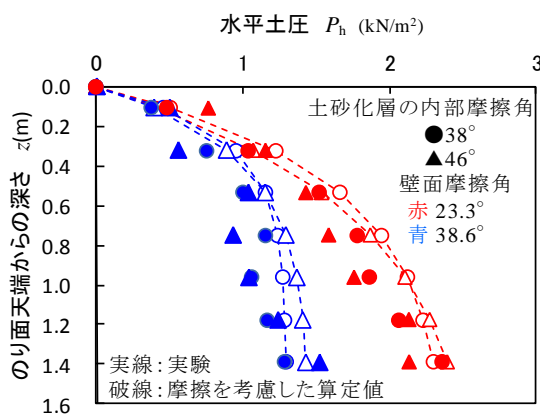


図8 内部摩擦角および壁面摩擦の影響

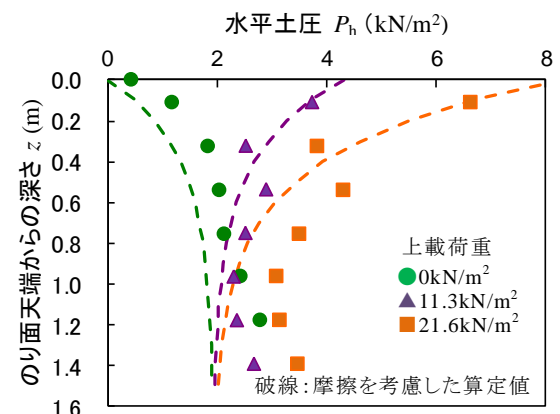


図9 上載荷重の影響

さ、内部摩擦角、のり面工の厚さに着目してケーススタディを行い、図 10 のようなノモグラムを作成した。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転倒安定性を評価することができる。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 $t=0.5\text{m}$ の曲線の下にあるため安定と評価できる。

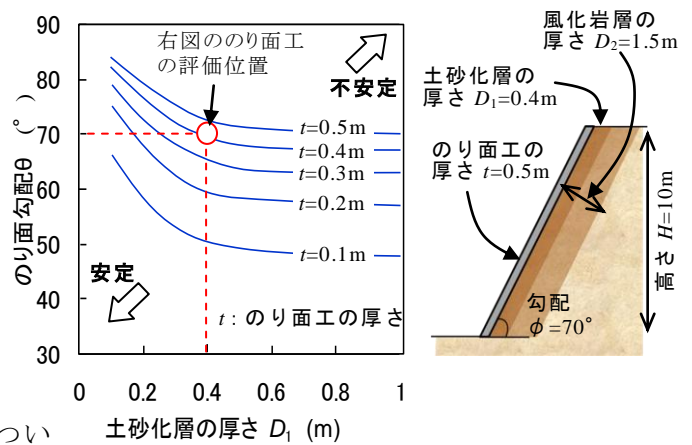


図 10 土砂化層の転倒安定性評価ノモグラム(高さ 10m の場合)

また、風化岩層の滑動モードの安定性評価については、従来の楔すべりによる安定計算法を用いて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る。図 10 の右側に示したようなのり面で風化岩層の粘着力 c が 20kN/m^2 程度とすると安定と評価され、 10kN/m^2 程度であるとすると、風化岩層の厚さと のり面勾配の交点が曲線②の右側に位置するため、不安定と評価される。一方、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る。

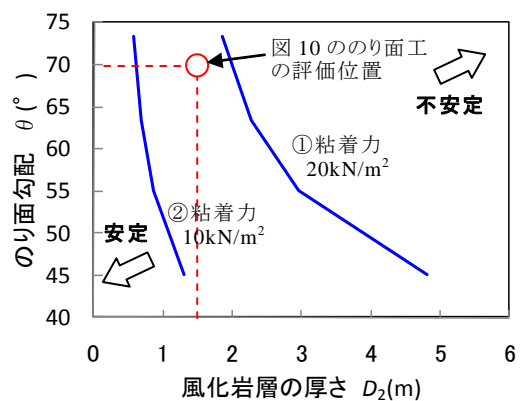


図 11 風化岩層の滑動安定性評価ノモグラム(高さ 10m の場合)

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する。進行がみとめられる場合には直ちに不健全と判定されるが、進行性が認められない場合には改めて現地調査を行い、土砂化層 (D 級) および風化岩層 (CL 級) の厚さ等を求める。これらの調査結果を基にして、本稿で提案する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健全な のり面工であると評価される。

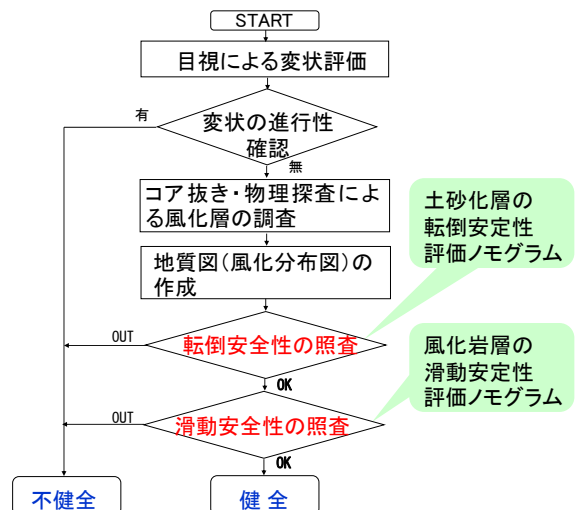


図 12 風化を考慮したのり面工の健全度評価フロー

6. おわりに

本研究では、地山の風化を考慮した切土の のり面工の簡便な健全度評価手法を提案した。今後不安定と評価されたのり面工に対する適切な安定化対策について検討する。

【参考文献】

- 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