

地山の風化を考慮した切土のり面工の健全度評価法に関する検討

(財)鉄道総合技術研究所 (正会員) ○高柳 剛
(正会員) 太田 直之
(フェロー) 杉山 友康

1. はじめに

切土のり面の多くには表面の侵食や風化防止を目的として張コンクリートなどの切土のり面工が施工されている。しかし、施工後数十年が経過したのり面工を調べると、風化によって背面の地山が脆弱化している場合がある。一般にのり面工は抗土圧構造物としては設計されておらず、風化した地山がのり面工に対して負荷をかける場合にはのり面が崩壊する懸念がある。のり面工背面の地山の風化によって不安定化したのり面を検査によって見つけ出すためには、風化した地山がのり面を不安定化させるメカニズムを解明するとともに、ボーリング調査等から得られる地山の風化程度に基づくのり面工の健全度評価法を確立する必要がある。本稿では、これまでに実施した土圧実験¹⁾および斜面安定解析の結果に基づいて、地山の風化厚さに応じた切土のり面工の健全度評価法について検討した結果を述べる。



図1 鉄道沿線ののり面工

2. 土砂化層の土圧を考慮した転倒安定性の照査

のり面工の不安定化の原因については、第一に著しく風化して土砂化した地山がのり面工に土圧をかけてのり面工を倒壊させる可能性が考えられる。なお、本稿では「電研式岩盤分類²⁾」におけるD級岩(節理が著しく発達して見掛けの固結強度が著しく低下した岩)以下に分類される岩で粘着力を有しない層を「土砂化層」と定義する。土砂化層はのり面工と健全な地山の間挟まれた特種な条件にあるため、のり面工に作用する土圧は土砂化層の厚さに影響されると想定され、一般的な土圧公式を用いて算定することができない。そこで、のり面工背面に一定厚さで土砂化層が形成される状況を想定した模型地盤(高さ:1.5m, 材料: 珪砂6号(内部摩擦角 $\phi=38.1^\circ$), 砕石6号($\phi=46.4^\circ$))を異なる厚さおよび材料で複数構築し、側壁に対して法線方向に作用する土圧を測定する土圧実験を実施した¹⁾(図2)。この土圧実験結果より、土砂化層に発生する土圧はのり面工や未風化の地盤から摩擦抵抗を受けるため、土砂化層厚さ D_{es} が薄いほど土圧が低減することが分かった。この土砂化層厚さ D_{es} に応じた土圧低減効果の影響を考慮できる土圧算定式として式1を提案する。なお、のり面勾配 θ の土圧への影響は、実験結果を基にのり面勾配 θ と土砂化層の内部摩擦角 ϕ から導いた実験式(式2)により考慮する。

$$p = \alpha k_0 \frac{\gamma_s (1 - e^{-\omega x})}{\omega} \dots (式1)$$

$$\alpha = \frac{90 - \theta}{90 - \phi} > 0 \dots (式2)$$

- p : 側方土圧 (kN/m²)
- x : 天端からの深さ(m)
- k_0 : 静止土圧係数 ($\approx 1 - \sin \phi$)
- γ_s : 土砂化層の密度 (kN/m³)
- ϕ : 土砂化層の内部摩擦角(°)
- θ : のり面勾配(°)
- μ : 周面摩擦係数 ($= 1 / \tan \phi$)
- ω : $2\mu k_0 / D_{es}$

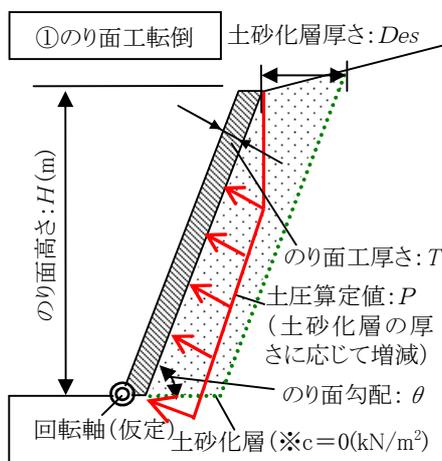


図2 土圧実験モデル

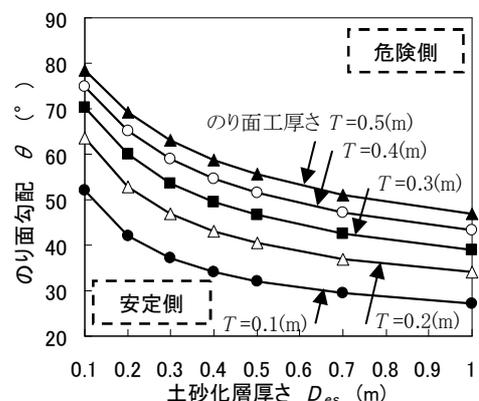


図3 転倒安定性評価ノモグラム例 (高さ $H=10m$, 内部摩擦角 $\phi=15^\circ$, コンクリート密度 $\gamma_c=24kN/m^3$)

キーワード のり面, 風化, 鉄道, 土圧, 安定解析, 維持管理

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 Tel: (042) 573-7263

土砂化層厚さ D_{es} の影響を考慮した土圧算定式 (式 1) を用いて、のり面工転倒の安全率 F_s が 1.5 になる際の土砂化層の厚さ D_{es} と、のり面勾配 θ の関係を示す転倒安定性評価ノモグラムを作成した。一例として、のり面高さ $H=10\text{m}$ 、土砂化層の内部摩擦角 $\phi=15^\circ$ 、地盤密度 $\gamma_s=18\text{kN/m}^3$ 、のり面工コンクリート密度 $\gamma_c=24\text{kN/m}^3$ 、におけるのり面の転倒安定性を評価した場合のノモグラムを図 3 に示す。土砂化層厚さ D_{es} とのり面勾配 θ の関係がノモグラム線より上に位置した場合、のり面は危険であると判定される。

3. 風化岩の滑動安定性の照査

のり面工の不安定化の原因として、第二に、風化によって全体的に脆弱化したのり面表層の風化岩層の岩塊が自立性を失って滑動する可能性が考えられる (図 4)。なお、本稿では前述の岩盤分類の CL 級岩以下の地山を滑動の可能性のある地盤とみなし「風化岩層」と定義する。風化岩層厚さ D_{wr} が厚いほど滑りを起こす岩塊の自重は増大するため、のり面の安定性は低下すると予測される。そこで、風化岩層厚さ D_{wr} の異なる複数の地盤モデルに対して、くさび滑りモードの斜面安定解析を実施し、それぞれのケースで斜面の自立性を保つために必要 (条件: 斜面安全率 $F_s=1.0$) な風化岩層の粘着力 c_f と摩擦せん断抵抗力 s_f を求めた。この粘着力 c_f と摩擦せん断抵抗力 s_f の関係から、一定の粘着力 c の地盤条件の安全率 F_s を逆算することができる。解析結果より、風化岩層厚さ D_{wr} の増加に応じた安全率 F_s 低下の影響を把握することができ、同様の解析をのり面勾配 θ の異なる複数の地盤条件で実施し、のり面勾配 θ ごとに安全率 F_s と風化岩層厚さ D_{wr} の関係を求めた。

また、斜面解析結果に基づいて、風化のり面の滑動の安全率 F_s が 1.5 になる際の土砂化層の厚さ D_{wr} とのり面勾配 θ の関係を示す滑動安定性評価ノモグラムを作成した。地盤高さ $H=10\text{m}$ 、風化岩の内部摩擦角 $\phi=15^\circ$ 、風化岩の地盤密度 $\gamma_s=24\text{kN/m}^3$ 、風化岩の粘着力 $c=20\text{kN/m}^2$ におけるのり面の滑動安定性を評価した場合のノモグラムを図 5 に示す。これら 2 種類の安定性評価基準を用いた切土のり面の健全度評価フローを図 6 に示す。

5. まとめ

本報告では、これまでに行った土圧実験結果および斜面解析結果に基づいて、地山の風化厚さに基づく風化切土のり面の健全度評価法を提案した。

参考文献

- 1) 高柳剛 他 ; のり面工背面の風化層が作用する土圧に関する検討, 第 44 回地盤工学研究発表会, 517, 2009.8
- 2) 応用地質学会 ; 「日本の岩盤分類」, 「応用地質」 特別号, p15-16, 1992.4

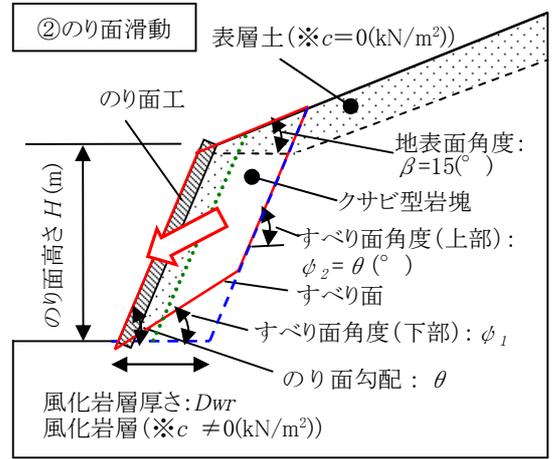


図4 斜面安定解析モデル

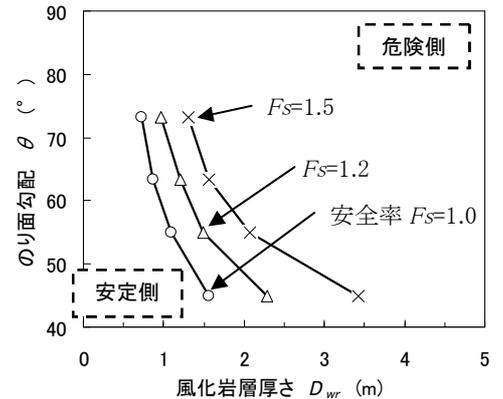


図5 滑動安定性評価ノモグラムの例 (高さ $H=10\text{m}$, 内部摩擦角 $\phi=15^\circ$, 粘着力 $c=20\text{kN/m}^2$)

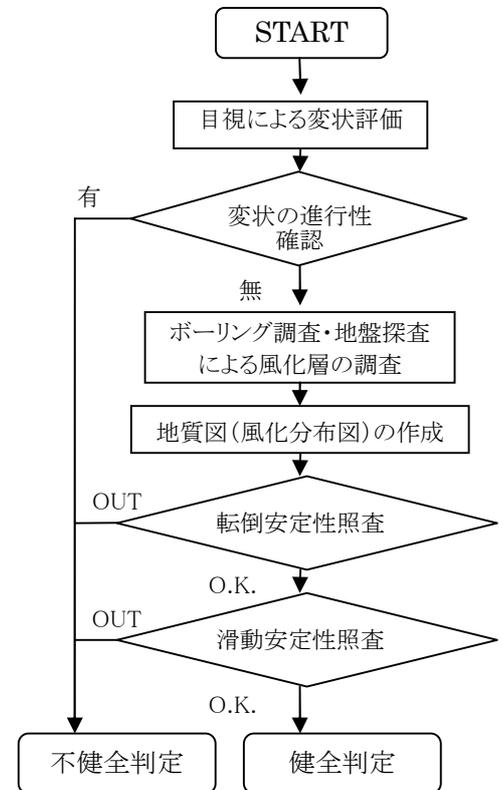


図6 風化切土のり面の健全度評価フロー