

受け盤斜面のトップリング解析について

芙蓉コンサルタント 法人会員○中藤 亮太, 法人会員 関谷 和哉, 正会員 須賀 幸一

はじめに

道路等の工事により高角度の受け盤斜面を切土した場合、トップリングを生じる事例は知られており、その崩壊事例についても報告されている。しかし、事前のり面勾配や受け盤斜面の走向傾斜角の関係などから安定性を評価する方法や切土のり面のトップリング安定解析を実施し対策を講じた事例は、ほとんど報告されていない。本論ではトップリングの安定解析事例と安定性評価の実践的な手法について紹介する。

1. トップリングの解析手法

切土のり面の崩壊形態として、流れ盤構造による斜面崩壊はよく知られているが、受け盤構造においても不安定化する場合がある。以下にトップリングの解析手法の一例を示す。

(1) 斜面上の単一ブロックにおける滑動とトップリングの安定条件
 トップリングの安定解析を考える際、斜面上の単一ブロック（層理面や節理面などの分離面で区切られた部分）に作用する力の釣り合いから、ブロック底面に揚圧力が作用せず底面の粘着力 $c = 0$ の場合、トップリングの安定条件は、①転倒条件式： $b/h > \tan \theta$ ，②滑動条件式： $\phi \geq \theta$ となる（図-1 参照）。

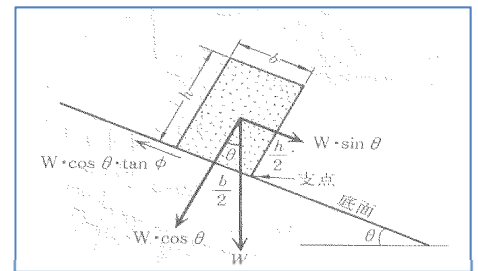


図-1 転倒の限界状態にある単一ブロック

(2) 斜面全体のブロック・トップリングの安定解析

実際の斜面においては多くの形状比の異なるブロックが存在し、またそれらのブロックが重なり合っって斜面を形成している。従って斜面全体に関するトップリングの安定性については、それぞれのブロックにおける力の作用を考えながら、斜面にあるブロック全体の安定性を検討する必要がある。

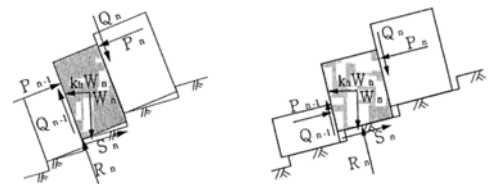


図-3 n 番目ブロックの転倒(左)及び滑動(右)

Hoek, Goodman&Bray 等¹⁾は階段状の基盤上に生じるトップリング（ブロック・トップリング）の極限平衡法による安定解析を提案した。図-3 に示すようなブロックの系において $\phi_* > \alpha$ となる合理的な摩擦角 ϕ の値を仮定し、上方から順次ブロックがトップリング及び滑り出すための極限条件（側方力 P_n ）を求めてゆく。極限平衡解析におけるトップリング破壊の安全率 F_s は、 $P_0 = 0$ となる極限平衡状態にある内部摩擦角 ϕ_* に対し、 $F_s = \tan \phi / \tan \phi_*$ で定義される。

2. モデルを用いたトップリング解析

切土法面の永久法面の切土勾配として多く用いられる“1:1.2 (40°):切土高 10m”のモデルを作成して、前述の解析手法に基づく安全率の確認を行った。トップリングに関するその他のパラメータは、層理面の傾斜角 60°，のり面高 10m，のり面勾配 1:1.2 (40°)，せん断摩擦角 35°，ブロック幅 0.5m とした。ブロック・トップリングの極限平衡法による安定解析の結果、トップリング破壊の安全率は、 $F_s = 1.13 < 1.2$ (長期) となった（図-4：上）。

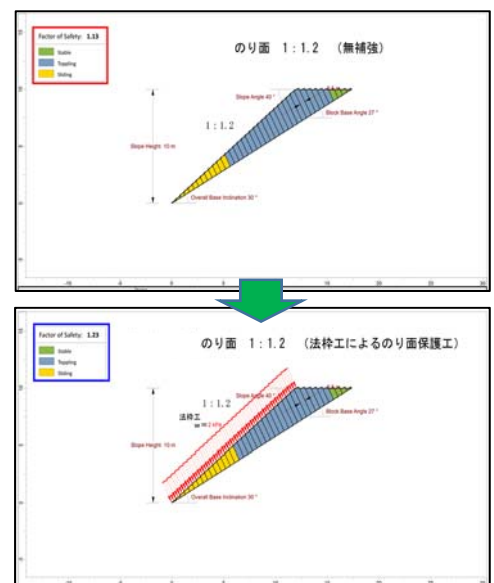


図-4 ブロック・トップリングの安定解析結果

実務上、短期の計画安全率は 1.10 または 1.05、長期の計画安全率は 1.20 とされており、今回設定したモデルでは永久法面として追加対策が必要と判断される。対策工として法枠工を施工した場合(図-4 下)について、対策工設置による法面への荷重増加を考慮して解析すると、 $F_s=1.23$ となる。これより、法面の風化浸食防止として用いられる法面保護工としての法枠工などがトップリング崩壊対策に効果があることがわかる。

3. トップリングの概要と安定性評価手法

須賀²⁾は、和泉層群における崩壊事例から、層理面の傾斜角と切土のり面勾配の関係(安定条件)を幾何学的安定条件と力学的安定条件を組み合わせることにより、受け盤のり面の崩壊形態と安定性を図-5 のように提案している。上野³⁾は、受け盤斜面におけるトップリング崩壊事例から、節理面の幾何学的安定条件($\beta - \alpha > 90$)を図-6として提案している。また、Goodman⁴⁾は、岩盤斜面でトップリングが発生する前に層間すべりが発生することから、各層の摩擦角を ϕ とし、岩盤層の傾斜角を β 、切土勾配を α とした場合、トップリングが発生する幾何学的安定条件が、 $(90 - \beta) + \phi < \alpha$ であることを示した。これは、須賀²⁾や上野³⁾が示した受け盤のり面におけるトップリングの安定条件に、層間摩擦力 ϕ が加算されたものである。

4. 新たなトップリング安定性評価図の提案

前述の安定評価手法の条件を全て反映した新たなトップリングの安定性評価図(図-7)を提案する。トップリングの力学的安定条件と幾何学的安定条件を表記し、受け盤斜面の崩壊形態と安定領域を示す図表である。なお、Goodmanの安定式は、岩盤の層理面の摩擦抵抗角 ϕ を考慮しており、掘削におけるのり面での安定条件を示している。上野の安定式は、既にトップリングが発生した斜面で、層間のすべり抵抗が働いていない状態($\phi = 0$)における幾何学的安定条件を示している。従って、短期のトップリングの安定性評価はGoodmanの安定式($\beta \geq (90 + \alpha) + \phi$)を、長期に亘って岩盤斜面が風化作用や劣化を受け、層面間の摩擦力の低下を考慮する場合は、上野の安定式($\beta \geq (90 + \alpha)$)を採用するのがよい。

5. まとめ

解析モデルの条件を提案した安定性評価図に当てはめた場合、短期的な安定は確保できるが、長期的には不安定という判定になり、計算結果と概ね評価が合致する結果となった。

そのため、安定性評価図については高角度の受け盤における切土設計を行う際の施工時の安定性評価や永久法面としての追加対策の要否判断に有効活用できる。今後、さらに崩壊・解析事例の整理を行い、評価の妥当性を検証していく。

【参考文献】

- 1) フック, ブレイ: 岩盤斜面工学, 朝倉書店, PP. 187-197, 1979
- 2) 須賀幸一他: 和泉層群における切土のり面の安定性評価, 第 38 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 1001-1002, 2003. 7
- 3) 上野将司: 切土のり面の設計・施工ポイント, 理工図書, PP. 57-58, 2004
- 4) R. E. Goodman: わかりやすい岩盤力学, 鹿島出版会, PP. 190-191, 1984

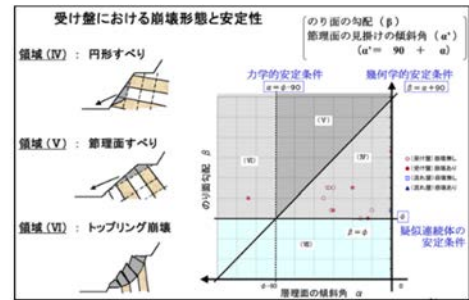


図-5 受け盤斜面のトップリングの安定性評価(須賀)

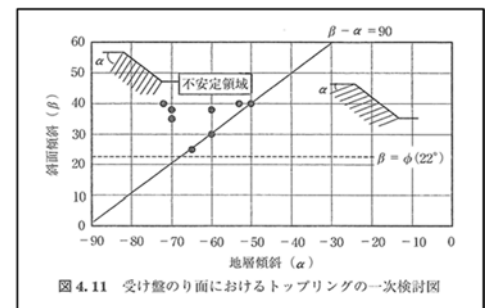


図-6 受け盤斜面のトップリングの安定性評価(上野)

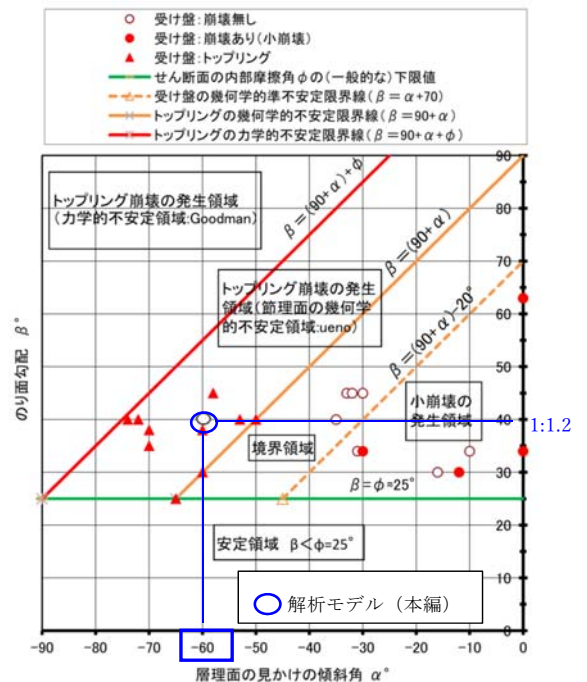


図-7 新たな受け盤斜面のトップリング安定性評価図