



トッピングとはどのような現象ですか？
土木地質的にどのような問題がありますか？



地層が立った受け盤斜面において、地層の節理・断層・層理面などを分離面として斜面下方に転倒・傾倒する現象です。トッピングが発生すると地山に緩みが生じ、斜面崩壊を引き起こす原因となります。

トッピングの発生場としては尾根先が多く、地質構造としては層理等が高角度の受け盤構造の事例が多いです。また、掘削時の場合には急速に変位を生じる事例が多いことも特徴です。

（１）トッピングの発生

斜面においては、一般的に受け盤斜面は安定性が高く、流れ盤斜面は安定性が低いと考えられています。しかし、受け盤斜面ではトッピングという現象が斜面の不安定化をもたらすことが知られています。

トッピングとは、「山側に急傾斜した節理・断層・層理面等を分離面として、単独または複数のブロックが、下部のある点を軸にして前方へ回転する運動」¹⁾と解説されています。



写真-1 斜面のトッピング（左：粘板岩²⁾：鉛直に近い地層の下方への折れ曲がり
右：砂岩泥岩の切土斜面³⁾：切土のり面が鋸歯状に変形）

上野（2012）⁴⁾は、トッピングの発生条件として以下を示しています。

- ①地層の不連続面（層理面・片理面・断層面など）が高角度の受け盤構造である。
- ②斜面や法面の方向と不連続面の走向がほぼ平行（交角 20～30°）である。
- ③斜面や法面が尾根地形である。

トッピングが発生、あるいは進行している地点では、特徴的な微地形として平行する

山向き小崖、斜面頂部の細長い凹地が認められる場合があります。さらに、トップリングによる斜面変動が顕著な場合には、斜面や切土のり面では地層の折れ曲がり（写真1：左）や鋸歯状（ノコギリの刃のようにギザギザとなっている様子）の変状（写真1：右）を呈することがあります。

（２）土木地質における問題

トップリングに伴う変状・崩壊についてはこれまでに数多くの事例が報告されています。以下に地質毎の事例を紹介します。

・事例-1（結晶片岩）⁵⁾

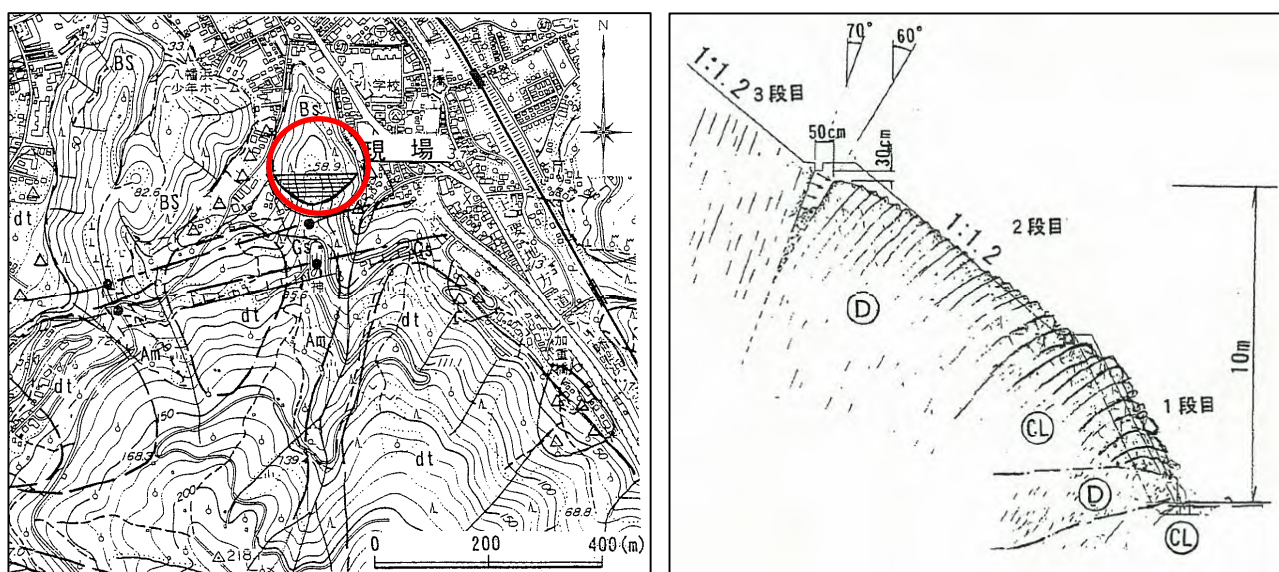


図-1 結晶片岩地域のトップリング事例⁵⁾（左：調査平面、右：断面）

図-1は半島状に尾根筋が北へ張り出した尾根先の切土において発生したトップリングに起因した岩盤すべりの事例です。地質は三波川帯の黒色片岩が主体であり、法面に対して片理面傾斜は60～70°の受け盤構造となっています。

掘削に伴い開口亀裂が発生し、最下段掘削後には法面全体に変状が広がったようです。孔内傾斜計での観測も実施しており、せん断変位ではなく地山が傾倒している結果が得られています。また地山のゆるみにより、地山弾性波速度も掘削前4.5 km/sであった地山が掘削後には1.5/s kmに低下したことも認められています。

・事例-2（堆積岩）⁶⁾

地質は和泉層群の風化した砂岩頁岩互層で、法面に対して層理面傾斜は70～80°程度の急傾斜受け盤構造となっています。

当地点では台風に伴う豪雨により大崩壊が発生しましたが、崩壊前のボーリング調査では、崩壊部分のコアは土砂～岩片状を呈し一様に酸化されていたこと、弾性波探査による弾性波速度 V_p は1.0 km/s以下であったことから、もともとトップリングにより地山にゆるみが生じていた斜面と考えられます。

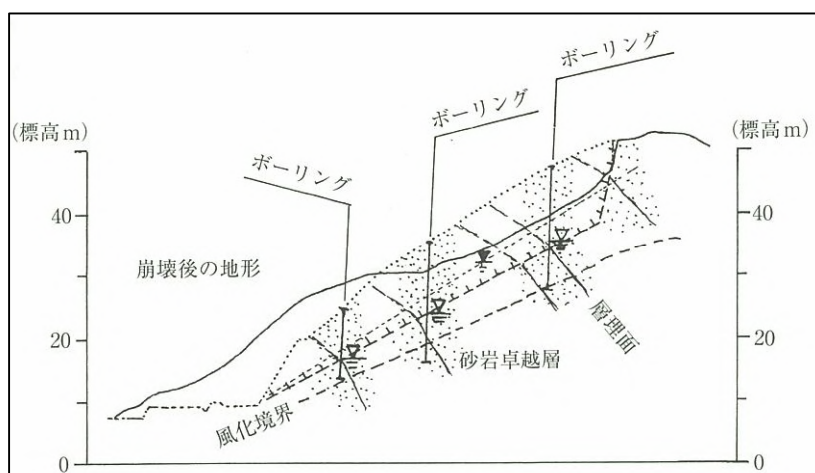


図-2 堆積岩地域のトッピング断面図（事例）⁶⁾

・事例-3（花崗岩）⁶⁾

花崗岩地域における切土斜面でトッピングが発生した事例です。風化花崗岩中の熱水変質した厚さ1 cm以下の薄い粘土層を受け盤状に挟んでおり、施工途中に延長約60mの切土のり面全体に鋸歯状の変状が発生したようです。本事例は事例-1、-2の層理面、片理面とは異なりますが、弱面（粘土層）が受け盤状に分布する場合でもトッピングが発生した事例です。

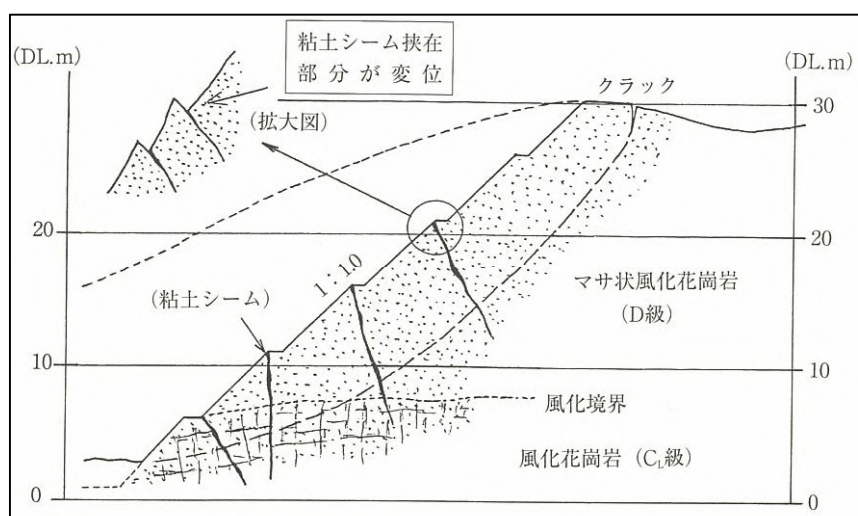


図-3 花崗岩地域のトッピング断面図（事例）⁶⁾

上記は切土後比較的直後に変状・崩壊が発生した事例ですが、切土後やや時間をおいてトッピングによる崩壊が発生する事例もあるので、長期的なクリープ変動によるトッピングの進行にも注意が必要です。

これらの事例のように、トッピングは「受け盤斜面でも変状・崩壊が発生する可能性がある」ところが注意点です。

(3) トップリングへの対応

① トップリングが発生しやすい斜面

上野 (2012) ⁴⁾ はトップリングが発生した斜面や法面の傾斜と層理面等の不連続面の傾斜の関係から、「不連続面の傾斜が斜面や法面に対して垂直に交わる角度以上に急な場合」が不安定領域であるとしています。トップリングが懸念される斜面やのり面においては、上記の視点から安定性を検討することが有意と思われます。

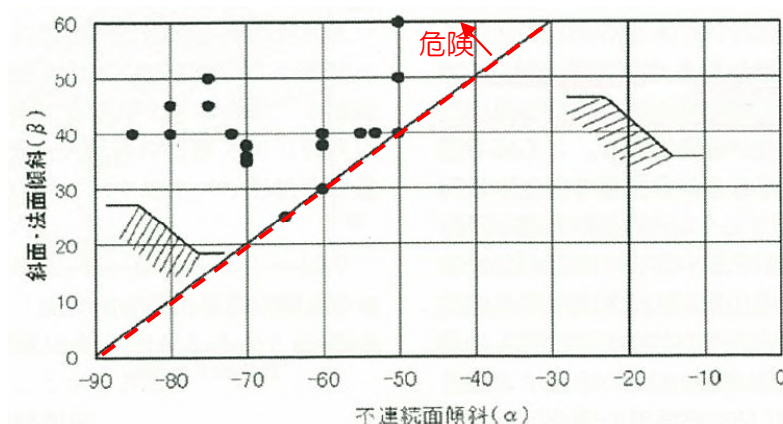


図-4 トップリングの発生した受け盤斜面・法面の領域（上野（2012）に加筆）

また、中国四国地方の発生事例としては、高柳ほか (2001) ⁵⁾ の事例のように、半島状の尾根筋の先端を切土した場合に発生した事例が多く（山原ほか(2003)⁷⁾、目代ほか(2001)⁸⁾、松岡ほか (2003) ⁹⁾、吉岡 (2003) ¹⁰⁾ など）、張り出した尾根筋では応力場として尾根筋のつま先方向に向かう応力が流れ、せん断応力が強く働いていることも要因の一つと考えられることから、注意地形のポイントの一つと言えます。

② トップリング深度の推定

トップリングへの対策においてはその発生深度を把握することが重要となります。

上野 (2012) ⁴⁾ は、トップリングは地表付近ほど変位量大きいという特徴があることから、不連続面の傾斜の変化分だけ地盤が板状に回転したと仮定して、不連続面の地表変位量 $\ell = \pi D (\alpha - \alpha') / 180$ (図-5) の近似値を提案しています。地層が板状に変形している場合には、前式からトップリングの深度を推定することができます。またボーリング調査においては、深度方向にコアの層理面の傾斜角変化を調べることでより深度を評価することができます。ボアホールカメラによる孔内状況の観察も有効です。他には地すべりと同様に孔内傾斜計観測での推定も可能です。

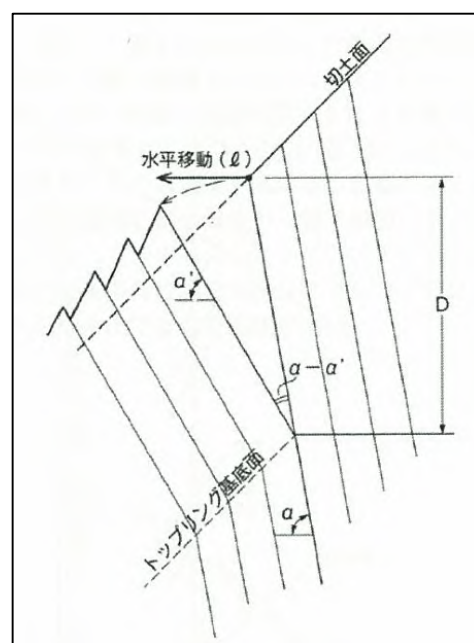


図-5 トップリング深度の推定 ⁴⁾

ℓ : 地表の変位量
 $\alpha - \alpha'$: 不連続面の傾斜角の変化
 D : トップリングの基底面深度

③対策

切土におけるトップリングの発生を避けるためには、上記①で述べた不安定領域を避けることが望ましいですが、設計・施工上困難な場合も多々あります。トップリングは重力による変形であることから、ロックボルトやグラウンドアンカー等、力による対策が必要と考えられます。

【引用文献】

- 1) 地学団体研究会 (1996) : 新版地学辞典, 平凡社, pp. 922
- 2) 千木良雅弘 (1995) : 風化と崩壊, 近未来社, 口絵写真④
- 3) 地質情報ポータルサイト :
https://www.web-gis.jp/GS_GeoGuide/GeoDocument/GeoSite_J07-006.html (2020 年 12 月 27 日閲覧)
- 4) 上野将司 (2012) : トップリングタイプ斜面変動の調査と対策, 応用地質技術年報 No. 31, pp25-41.
- 5) 高柳朝一・永野潤・池田小織・菊池利夫 (2002) : 大規模掘削に伴うトップリング事例, 地盤災害・地盤環境問題論文集第 2 巻, pp17-24.
- 6) 上野将司 (2004) : 切土のり面の設計・施工のポイント, 理工図書, pp. 6, 11
- 7) 山原茂雄・高柳朝一 (2003) : トップリング崩壊の変状と機構の考察、愛媛大学・地盤工学会四国支部編、地盤災害・地盤環境問題論文集第 3 巻, pp69-78.
- 8) 目代邦康・千木良雅弘・長谷川修一 (2001) : 急傾斜する頁岩砂岩互層のトップリングにより出現した斜面変形—小規模な山向き小崖とその内部地質構造—、地形、第 22 巻、第 5 号、pp837-856.
- 9) 松岡知史・北側隆司・地下まゆみ (2003) : 粘土細脈の存在する花崗岩法面の変状例、愛媛大学・地盤工学会四国支部編、地盤災害・地盤環境問題論文集第 3 巻, pp29-36.
- 10) 吉岡崇 (2003) : たわみ性トップリングの調査と自動計測、地質と調査「私の経験した現場」、第 4 号、pp55-58.

(回答者 藤本 耕次・田村 栄治)