

5.2.5 風化・劣化を考慮した対策工の考え方、
5.2.6 のり面施行中，施行後の留意点

著者	楠見 晴重
雑誌名	岩盤斜面の調査と対策
ページ	201-205
発行年	1999-11
URL	http://hdl.handle.net/10112/6045

5.2.5 風化・劣化を考慮した対策工の考え方

a. 地質の違いによる対策工の考え方：長大切土のり面の場合は切土による応力解放が大きいいため、切土後の強度低下が著しく、特に膨張性の岩の場合この傾向が強い。また一般に切土前の固結度は同程度であっても、切土後の強度低下を起こしやすい岩で構成されているのり面では、強度低下を起こしにくい岩からなるのり面より、設計勾配を大幅に緩くする必要がある。これらを考慮すると、のり面の設計時には、①岩が当初保持していた堅さ（固結度）の評価（弾性波速度（P波）、一軸圧縮強度、単位体積重量による）、②岩の風化による強度低下の評価（自然吸水膨張試験、液性限界、乾燥湿潤繰返し試験による吸水量増加率・最大吸水量による）によって、のり面勾配を決定する必要がある。

このうち、乾燥湿潤繰返し試験による吸水量増加率と切土後の風化に対する耐久性の関係は以下のように考えられている²⁰⁾。

第三紀以降の堆積層では応力解放による吸水膨張を起こしやすい。堆積してからの経過年数が比較的短いため固結度が低く、このため切土後の風化作用に対しても耐久性が弱い傾向を示す。切土後の風化は、降雨や湧水による湿潤と、日射等による乾燥の繰返し作用によるもので、泥質岩の吸水量増加率とせん断強さ、特に粘着力（一軸圧縮強さ q_u ）とは反比例関係にある。吸水量増加率が10%/回を超えると急激に崩壊率が高くなっている。岩の地山の場合、地下水面がボーリング孔中の水頭として表れないことが多く（下で抜けたりする）、特に水みちなどを把握することが困難な場合も多いが、第三紀層は多量の地下水を含むことがあり、地下水の流出が多量なほど崩壊率が高く、湧水がない斜面ほど低い傾向にある。

一方、中古生層の場合は岩自体の固結度は高いが、地殻変動を受け片理、節理、断層等多くの不連続面が存在しており、破碎の度合いが大きいと脆弱化される傾向にある。亀裂の頻度が高かったり、層理や片理等が流れ盤になると切土後、滑動しやすい。また、第三紀層とは異なり、湧水の顕著なものほど崩壊率が高いという傾向は少なく、むしろ、降雨時のみに湧水がある部分が最も崩壊率が高くなっている。このような傾向は、中古生層は比較的透水性がよいので常時は排水の状態がよく安定であるが、豪雨時には水の供給と排出のバランスが崩れ異常に地下水が増加するため崩壊が発生するものと考えられる。

b. 保護工の効果：切土のり面は、施工時に健全であっても時間経過とともに風化等により劣化してゆく。安定側に変化する要素としては、わずかに植生の繁茂による浸食防止と根系による緊縛力の増加にすぎない。したがって、のり面保護工は、切土時点の安定条件をできるだけ長期間保存すること、および降雨等の外力からのり面を保護することが主目的である²⁰⁾。風化抑制工法としては、密閉型の保護工（表面水を浸透させない防止工）と解放型の保護工（表面水の浸透は許す浸食防止工）および抗土圧型構造物がある。既設のり面保護工の調査結果からは、密閉型の保護工や抗土圧型構造物が施工されたのり面は、無処理（構造物を用いない植生工、落石防止ネット、裸地等ののり面）や解放型防護工が施工されたのり面より、施工後の密度の変化が小さく風化しにくい傾向がある。また、これらののり面保護工は、新第三紀の軟岩より中古生層の硬岩に対してその効果を発揮しやすい。

①密閉型保護工はモルタル・コンクリート吹付工、コンクリート張り工、平板ブロック張り工、練り石詰めり棒、亀裂充てん工等で、表層の小浮石を固定するとともに、不透水性材料によって地山を密閉することにより乾燥を防止し、また降雨の浸透をも防ぐ（乾燥湿潤の繰返し作用の阻止）ことにより風化や浸食を抑制しようとするものである。これらで密閉されたのり面は初期のゆるみが抑制され、その後の風化の進行もかなり抑制されている。特に中古生層のような硬質岩ほどその効果が期待できる。景観上の問題や地下水の排水を十分考慮すれば、有効な風化抑制工法である。しかし、第三紀層のような軟質岩では風化の進行速度は遅いが、確実に時間経過とともに風化は進んでおり、永久構造物とはいえない。なお、モルタル・コンクリート吹付工については、吹付工の背後の地山の変状がわかりにくいとともに、施工後の時間の経過に伴う吹付面の老朽化によって、当初の岩盤の風化防止効果が損なわれることがあるので、この点も十分留意して施工する必要がある。

このように、のり面を密封していれば風化を抑制することはできるが、コンクリート吹付けには吹付け後のコンクリート収縮によるクラック（割れ目）が入ることが多い。クラックが入ると、表面水が入り、せっかくの密閉型保護工の効果が薄れてしまう。図5.2.10は、高速道路の吹付のり面において目地、小段で区切られた一単位ののり面の面積と割れ目発生率（単位面積あたりの割れ目の総延長 cm/m^2 ）との関係を示したものである²⁰⁾。この図によると、一単位ののり面として 300 m^2 以内に目地を設ければ収縮クラックは少ないといえる。

吹付工は、のり面にモルタルやコンクリートを付着させる工法であるが、最近厚さ $15\sim 20 \text{ cm}$ といった厚い吹付けを採用するケースが増えている。厚さ 20 cm を超えると、それ自体もたれ擁壁的な性格をもってくる。しかし、もたれ擁壁では基盤に基礎を設けることになっているが、厚いコンクリート吹付けでは基礎がないため、写真5.2.1のように押し出す（スライド）現象が現れることがある。この場合、十分にアンカーを設けるか、基礎の根入れを十分にとる必要があろう。

吹付工は表面水の地下への浸透を防ぐが、裏返せばのり面内部の水を封じ込める欠点もあるため、地下水が吹付けと地山との間を流れ、両者との間にすき間ができ、空洞化することがある。土砂や湧

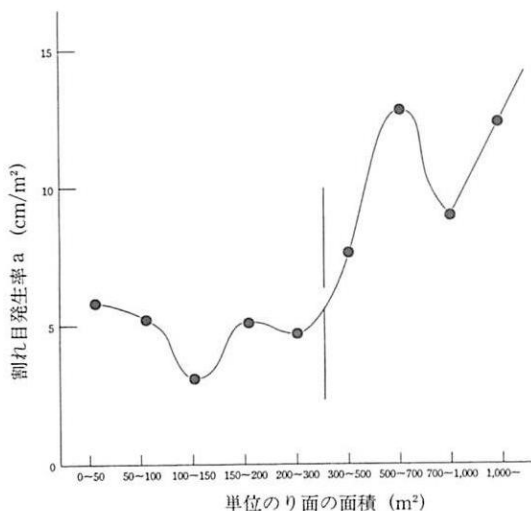


図 5.2.10 単位のり面（目地、小段で区切られた面）の面積と割れ目発生率の関係²⁰⁾



写真 5.2.1 厚いコンクリート吹付け基底部の前面への押し出し²⁰⁾

水の多いのり面には、吹付工は適していない。どうしても採用する場合、湧水処理（裏側に盲排水溝等）をして吹き付ける必要がある。

②解放型保護工は空石詰めのみ枠で、表面水の浸透を許す浸食防止工であり、風化抑制効果は無処理と同じく期待できない。湧水の多いのり面については表層部の泥流化や浸透崩壊の防止の効果を期待して採用されるが、のり枠の裏側での地山表面の排水溝を充実しないと、栗石と地山表面との境界を水が集中して流れるため、部分的に差別浸食を受ける可能性がある。また、寒冷地では、湧水箇所に採用すると、凍上により栗石が張り出し、落石のもとになる。

③抗土圧型構造物は擁壁類で代表されるが、もともと密閉されたものが多く、密閉型保護工と同様の効果が期待できる。もたれ擁壁・現場打ちのみ枠・ブロック積み工等で、これらの工種は、若干の土圧にも対抗できる構造になっているが、重力式擁壁や井桁等と異なって背面土圧を検討することなく、あくまでものり面保護工の延長として適用されることが多い。これらは土砂、岩盤、いずれののり面にも適用されているが、風化の早い岩にもたれ擁壁、凹凸の多い岩・湧水の多い岩に現場打ちのみ枠といった使い分けをするのが一般的である。また、吹付コンクリートを利用した現場打ち枠工が多用されているが、これらは従来の現場打ちコンクリート枠工に比べて施工性がよく、凹凸のあるのり面に追随でき、しかも鉄筋を使用するので引張り（曲げ）に強いというのが利点といえる。なお、ブロック積みは、土砂、岩いずれにも使われているのが現状であるが、鉄筋や金網を使用していないため、引張りに弱く、地震時の安定性に若干の問題を残している。これらの構造物は完成すると一体構造物となるため、のり面の一部が局部的に、脆弱化して変状を起こそうとしても、全体の自重によって押しえ込むことができる利点がある。特に膨張性の岩の膨張抑制に効果があると考えられる。

図5.2.11は、切土予定地から蛇紋岩試料をボーリングにより採取し早急に圧密試験用供試体に整形し、採取時の土被り荷重まで載荷させ、その時点で初めて水浸させ、以後徐々に荷重を除荷し、最後の荷重を取り除くまでの膨張量（間隙比で評価）を測定したものである。この図からわかるとおり、応力解放による吸水膨張は最後の、たとえば0.4 Pa (4 tf/m²)の荷重を取るか否かで大きく異なる。逆にいえばたとえ0.1~0.2 Pa (1~2 tf/m²)程度の小さな荷重によってでも押しさえれば、かなりの膨張、すなわち強度低下を抑制することができることになる。ブロック積みやもたれ擁壁程度の重量の構造物によって保護されたのり面が意外に効果的なものもそこに原因があり、別の考え方をすれば、膨張の大部分は土被り圧2~3 m程度以浅の表層で起こっていると推定される。

④のり面切土後の弾性波走時の変化は、表5.2.1、図5.2.12に示す分類の保護工種別の追加調査によれば、どののり面でも風化は進行しているが、特に○や△の無処理（植生）のり面や、解放型（の

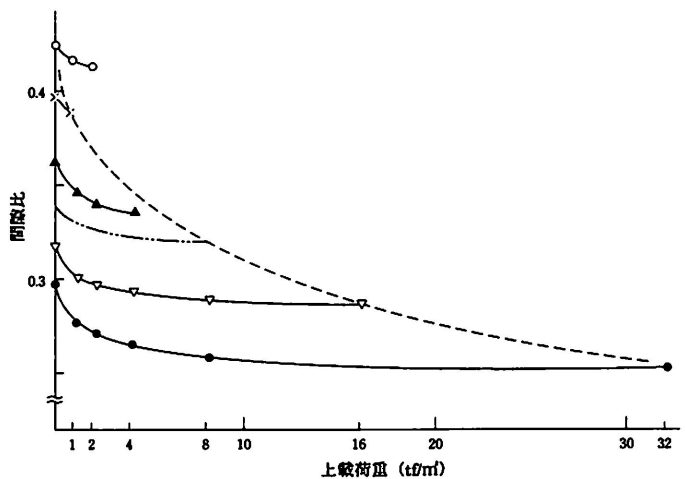


図5.2.11 蛇紋岩の膨張試験結果²⁰⁾

表 5.2.1 のり面保護工の分類²⁰⁾

保護工の分類	定義	例	
構築物による工法	抗土圧型保護工	ある程度の土圧に対処できる工法	重力式、もたれ擁壁・ブロック積み・現場打ちのり枠
	密閉型保護工	表面水を浸透させない工法	モルタル、コンクリート吹付け・練り詰めのり枠・平板ブロック張り
	解放型保護工	表面水の浸透は許す侵食防止工	栗詰めのり枠（空石詰め）
無処	理	構築物を用いない工法	植生工、落石防止ネット・裸地

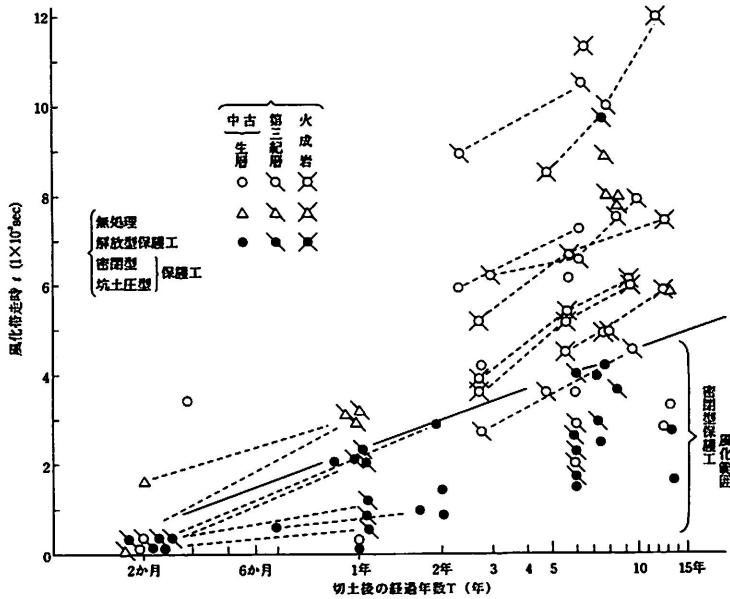


図 5.2.12 保護工種別風化量（風化帯走時）の経時的変化²⁰⁾

り枠程度)ののり面の風化の進行が著しく、逆に●の密閉型（コンクリート吹付け）や抗土圧型（擁壁）ののり面は初期のゆるみを防止し、その後の風化も比較的抑制されていることがわかる。

なお、浸食の心配のない岩ののり面に岩盤緑化工やネット工を行うことは、保護工本来の目的から離れ、むしろ環境（景観）の保全を目的としたものである。また、ゆるみに対する対策はグラウンドアンカー工やロックボルト工等ののり面抑止工、補強工となるので、対象項目を参照されたい。

5.2.6 のり面施工中、施工後の留意点

a. 切土中ののり面露頭観察：切土施工中に地質、地質構造のほか崩壊に直結しやすい要因、たとえば湧水の多い地点、褐色系から青灰色・暗灰色系への変化点（線）、透水層と不（難）透水層との境界地点などを観察記録として残しておく必要がある。

これらの情報と完成後ののり面での変状、たとえばクラックの入り具合・進行状況、落石・肌落ち、はらみ等の発生状況、風化の進行による表層の軟化の度合い、湧水位置の変化、のり面保護工の亀裂や小段排水工の変状等を整理することによって、のり面の崩壊の事前予知に役立てる²¹⁾。

切土のり面は切土直後より時間経過とともに風化等により脆弱化していく。したがって、のり面そ

のものが永久構造物とはいえない。また、のり面保護工はその風化等を抑制するためのものであるが、これも永久構造物と考えず、定期点検と補修が必要である。図5.2.13はコンクリート吹付けの補修の考え方を示したものである。一次調査によって、のり面の変状パターンを①～⑥に分類し、次いで二次調査として、各分類に応じた調査を行い、その結果とのり面保全の重要性から、対策の必要性を判断する。対策も変状パターン分類に応じて、ロックボルト、吹付面裏側の空洞部へのモルタル注入、吹付面のシール、コンクリートの吹き足し、打ち替えがある。

b. 斜面内の進行性破壊（逐次破壊）と計測管理：ある斜面が最終的に破壊（崩壊）するまでに、斜面を形づくる岩盤の運動は、数年間にわたって進行していくことがあるが、これは破壊のプロセスが瞬間的ではなく漸進的であることを示唆している。風化、クリープのように時間に関係する現象は、明らかにこの逐次破壊の進行に重要な役割を果たす。また、崩壊しつつある斜面の内部における岩盤ブロック間のかみ合いの幾何形状も、逐次破壊の進行に影響がある。すなわち、崩壊が一度始めると、崩壊の激しさと崩落岩塊の到達範囲は、崩壊しつつある斜面内部におけるかみ合った岩盤ブロックの幾何形状に影響される。このような進行性破壊の可能性のある斜面変動は、対策を施す必要がないほど軽微な、地質年代的な変動を生じている程度にすぎないけれども、これらの可能性のある斜面を計測し、これがいつ急激な変動に変化するか事前に把握し、安全に対応することがのり面の維持管理上必要となることがある。その方法については、前書²²⁾を参考とされたい。

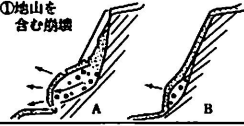
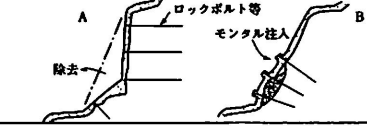

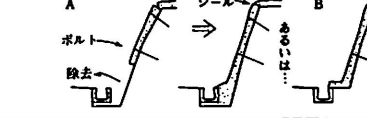
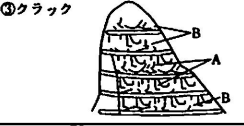
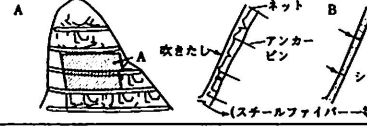

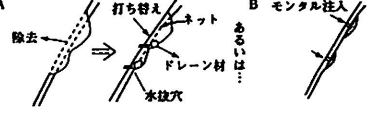
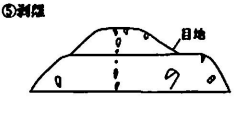
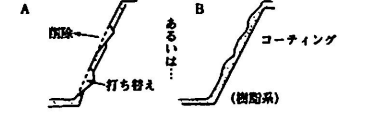

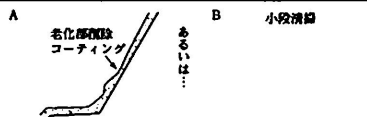
調査法	一次調査	二次調査	対策
	変状パターン分類	調査項目	
現地踏査・写真判読	①地山を含む崩壊 	地山変状調査 (変状土塊土量)	
	②せり出し 	クラック幅 せり出し量	
	③クラック 	クラック密度 クラック幅	
	④空洞 	ハンマー打診 リモートセンシング (熱映像)	
	⑤剥離 	⑤剥離厚 剥離面積	
	⑥表層老化 (ザクザク) 	老化層の厚さ 健全部、残存部の厚さ	

図5.2.13 コンクリート吹付けの健全度調査と対策(案) (奥國原図)²¹⁾