第95回

のり面防護対策

はじめに

鉄道沿線で降雨により発生する代表的な土砂災害として，のり面崩壊，土石流，地すべりなどがあげられます。古い時代に建設された鉄道土構造物に対して，1960年ごろまでは被害を受けた箇所を補修する「事後防災」の考え方が主体となっていました。しかし1960年代以降，当時の国鉄内に土木構造物の健全度を専門的に検査する機関（「構造物検査センター」）が組織され，弱点箇所を抽出して降雨により被災する前に補修や防護を行うという「事前防災」の考え方に移行しました。

今回は，このような鉄道防災の変遷を踏まえて，おもにのり面崩壊に関する防護対策の歴史や技術的な展望について，盛土と切土のり面に分けて紹介します。

盛土ののり面防護対策

鉄道盛土は，軌道を支持する人工地盤を地盤材料を締め固めて原地盤上に造成するものです。盛土は原地盤よりも水に対して脆弱（ぜいじゃく）であることが多く，盛土のり面に降雨が作用することで，雨水によって表面が侵食されたり，雨水が地盤に浸透して土の自重が増加し，さらには土のせん断抵抗力が低下して斜面が不安定化する懸念があります。このような盛土の降雨に対する防災強度を向上させる防護対策として，過去においてはまず植生工（**図1**）を主体としたのり面防護を図ることが原則とされていました[1]。なお，のり面の地表に配置する防護対策を「のり面工」（または「のり面防護工」）とよびます。

植生工とは，のり面工の一種として，のり面に植物を導入する行為であり，盛土では植生工として筋芝など（**図2**）が主体的に導入されていました。植生はのり面に活着することで，その根が表層土を緊縛します。これによって，とくに雨水による表層土の侵食を抑制する効果が期待されます。これら植生工が多用された背景として，使用する野芝などの植生は地表面をはって経年にともなって広がり，他ののり面工と比べて安価で，施工が容易で，自然な景観を実現できるなどのメリットが存在することがあげられます。なお，このような植生工がのり面工として取り扱われたのは，「のり面防護工写真図説［植生防護工編］（1957年3月）」[2]が発行された以後のことです。

植生工は上記のメリットがある一方で，根の深さは数10cmにとどまるため，これより深く生じる盛土のり面の崩壊に対しては斜面安定効果が低いこと，土質によっては植生の活着が困難であるなどのデメリットがあります。植生工の採用が適当でない場合には，必要に応じて植生工以外ののり面工として，例えば岩座張（板状の岩石をのり面上に敷き詰めるのり面工）などが古くから使われることがありました。

さらに東海道新幹線の建設以降，新幹線などの重要路線において，「事前防災」の考え方に基づく防災強度向上

図1　鉄道盛土における植生工の例

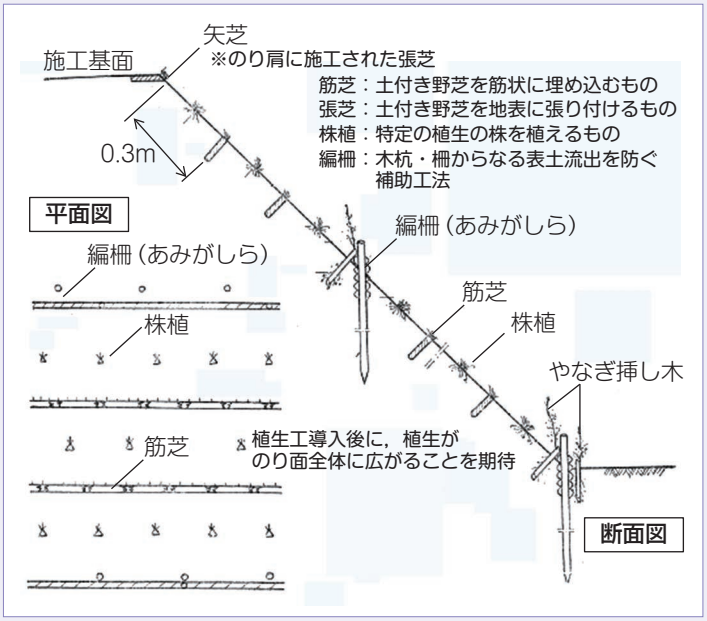

図２　のり長３m以上の築堤（盛土）のり面の植生工：鉄道防災改良施工法[4]に加筆

表１　盛土に適用するのり面工の例[5]に加筆

主なのり面工の例	機能					
	遮水	表層の浸食防止	表層すべり防止	凍上による表層の崩落防止	湧水による土砂流出防止	緑化による環境保全
植生工	—	○	—	○	—	◎
岩座張	—	◎	○	○	○	—
張ブロック工	◎	◎	○	○	○	—
格子枠工	—	◎	◎	◎	◎	◎
防草シート	◎	◎	—	—	—	○

※比較的新しいのり面工

◎高い機能を有する　○機能を有する　－機能を有しない

図３　張ブロック工の例

図４　排水パイプの例

の必要性がいっそう高まり，これを受けてコンクリートを用いたのり面工が多用されるようになりました。東海道新幹線の建設においては，当初は「のり面防護のための植生工法について（1963年２月）」に基づいて積極的に植生工が適用されていましたが，新幹線開業直後に降雨による土羽部（盛土のり面の表層部）の流出など，のり面被害が各所で発生しました[2]。このため，東海道新幹線では格子枠工（棒状のブロックを四角形の枠に組み立てて配置するのり面工），張ブロック工（**図３**）などの比較的新しいのり面工が追加的に施工されてきました。

これらのブロック状の固体をのり面上に配置するのり面工は，その自重によって表層土を拘束するとともに，地表を覆う面積が広いのり面工については，盛土への雨水浸透を遮断する効果が期待されます。

なお，盛土は切土と比較して施工後に一定程度の沈下を生じることがあるため，盛土の変形にある程度は追随することが期待されるのり面工がおもに適用されてきました。現在，鉄道盛土に適用されるのり面工の種別は，「鉄道構造物等設計標準・同解説　土構造物（平成19年）」[5]において，機能別に整理されています（**表１**）。のり面工は現地の土質や水文環境（湧水の有無など）などに応じて適切なものを選定する必要があります。

また，東海道新幹線の建設以降に普及した重要なのり面防護対策として「排水パイプ」があげられます。東海道新幹線では開業以降，格子枠工および張ブロック工によるのり面防護を進めてきたものの，1965年に台風や前線の停滞にともなう豪雨による被害を受けました[3]。これらの災害の原因は，雨水が砂質盛土の土羽部に集中的に浸透して地下水位が上昇し，地盤内の水圧の増大により土の強度が低下して崩壊に至ったものと推定されました。このように，のり面の安定性を維持するためには，のり面の含水量を低減させることが非常に重要となります。排水パイプには盛土に浸透した雨水を盛土外へすみやかに排出させる効果があり，とくに前述ののり面工と組み合わせる

ことで，盛土の防災強度をさらに高めることができます。排水パイプの研究開発には当時の鉄道技術研究所（国鉄）も関わり，現在ではさまざまな材料が各メーカーより提案されています。基本的には多くの水抜き孔が設けられた鋼管（パイプ）を既設盛土に貫入することで施工されます（**図4**）。

また，最近ののり面工に関する技術動向として，ジオセル（**図5**）を利用した工法の検討が進んでいます。

ジオセルとは，高密度ポリエチレン樹脂の部材をハニカム状に広げセル（枠）内に現地発生土や砕石を充填し，これをのり面上に敷設することで，のり面工を構築するものです。軽量でコンパクトであるため施工性が高く，また緑化や排水など目的に応じた中詰めの材料を適用できる点などがメリットです。なお，鉄道総研では，降雨などによる崩壊が懸念される盛土に対する斜面安定化工法として，ジオセルののり面への敷設と地山補強土工（次章で解説）の施工を組み合わせたRRS（Reinforced Railroad / Road Slope Structures with Geocell and Reinforcing bar）工法[6]を提案するなどしています。

切土の防護対策

切土のり面とは，もともと安定していた地山を掘削することで生じたのり面のことです。原則として，施工直後の地盤の安定性は施工前の状態と比べて低下することになります。一般的に地山（原地盤）は人工的な盛土よりも密度が高い状態であるため，盛土と比べて急勾配に施工することができるものの，降雨や応力開放（土被りが押さえつける力の作用がなくなること）の影響を受け続けるため，のり面の風化や緩みが進行し，経年にともなって斜面安定性は低下し続けます。このような観点から，切土の安定性を維持し続けるために多様なのり面防護対策が適用されてきました。

土構造物の設計施工指針（案）［日本国有鉄道建設局編，1968年］[1]によれば，土および風化した岩石で崩壊のおそれが少ない切土のり面に対しては，植生工（張芝，株植など）が採用され，風化または湧水によって崩壊のおそれがある時は，割石空張り（ぐり石（大きい礫）と間知石のみを積み上げて構築する石積み，**図6**の切土の場合），割石練張り（モルタルを混ぜた

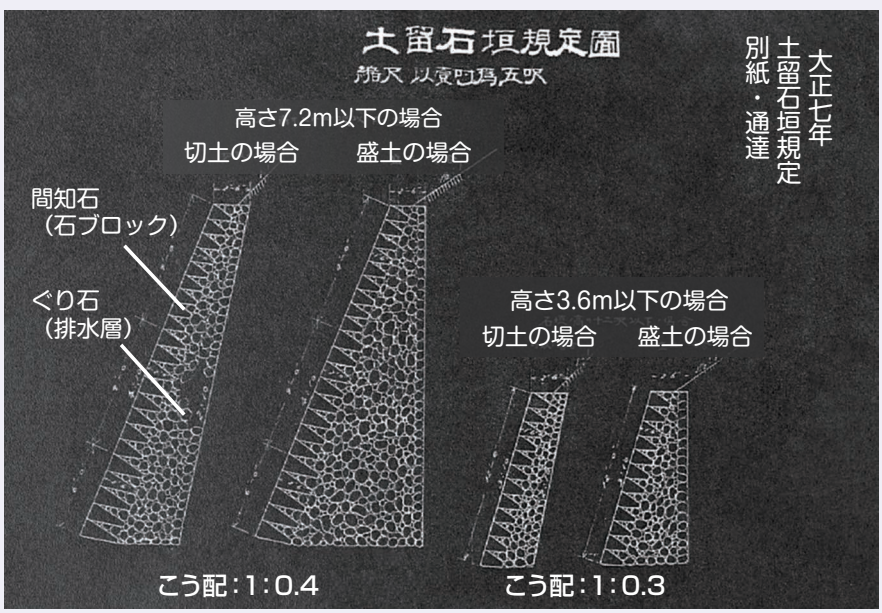

図6　土留石垣（石積み）規定図[7]に加筆

図5　ジオセルの例（緑化中詰め）

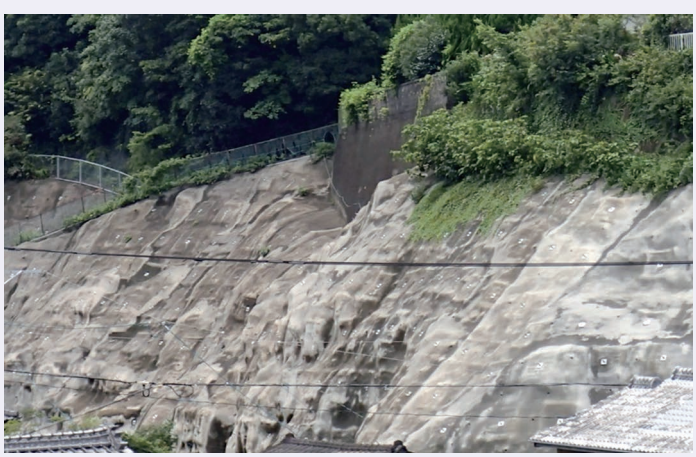

図7　切土のり面におけるモルタル吹付の例

図８　吹付のり枠工の施工例

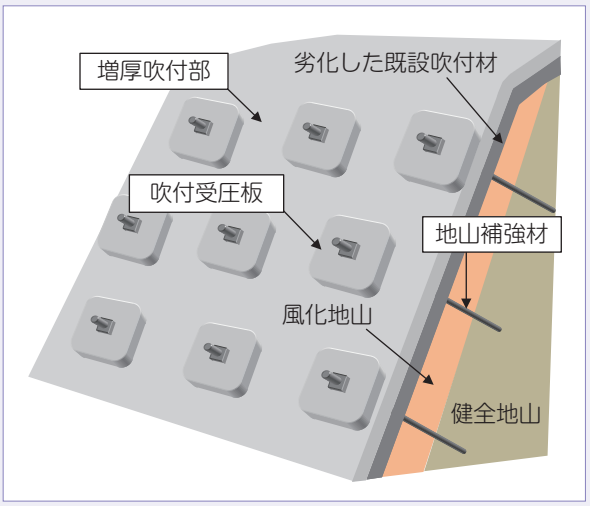

図９　吹付受圧板工法のイメージ

ぐり石と間知石を積み上げた石積み），張コンクリート，モルタル吹付またはコンクリート吹付によって保護されるものと定められていました。現在の鉄道構造物等設計標準[5]においては，石積みは地震に対して脆弱であるといった事情のため，切土のり面に適用するのり面工の例として記述されていないものの，高い排水性を有しているため，過去にはとくに湧水が浸出する地盤条件において利用されてきました。一方で，軟岩またはき裂の多い硬岩で風化剥落のおそれがあり，湧水のないのり面ではモルタル吹付（**図7**），またはコンクリート吹付を用いてもよい，と前述の指針案で定められていました。このような吹付工は地山の風化を抑制する効果があるものの，背面地盤の状態を目視で点検することが難しくなるなどのデメリットがあり，また吹付工自体の剛性は高くないため，経年劣化にともなうモルタル片の剥落などの変状が生じることもありました。

のり面の部分崩落が懸念される場合には，剛性の高いのり面工として鉄筋コンクリート製（現場打ち）の格子枠工が適用されていましたが，1975年には金網型枠を用いた吹付のり枠工[8]が開発されました（**図8**）。同工法は，それまでの現場打ちの格子枠工での施工が困難であった箇所に適用され，近年においては鉄道沿線の切土のり面の防護対策として広く普及しています。

また，近年においてはのり面工による切土のり面の表面保護だけではなく，地山補強土工法などの防護対策も広く普及するようになっています。同工法は1950年代にヨーロッパにおいて自然斜面あるいは切土のり面に棒状の引張補強材を貫入配置し，のり面を安定化させる工法として開発されました。日本では昭和40～50年代（1965年～1984年ごろ）にトンネル内部の崩壊を防ぐ支保工として，多数のロックボルトとよばれる鉄筋を地盤に貫入させるNATM工法が技術導入され，これを契機に，斜面の安定化を図る工法としても採用されるようになりました。

最後に，最近の技術動向を紹介します。前述したとおり，過去に施工された吹付工では経年劣化にともなう変状が生じるようになっています。鉄道総研では，このような既設老朽化吹付のり面の補修補強工法として，地山補強土工の考え方を取り入れた吹付受圧板工法を開発しています（**図9**）[9]。

おわりに

今回は盛土および切土のり面の防護対策の技術に関する変遷について紹介しました。鉄道における効果的かつ経済的な土砂災害の低減対策に向けて，今後もさらなる技術開発を進めてまいります。

（髙柳 剛／防災技術研究部
地盤防災研究室）

文　献

1）日本国有鉄道建設局：土構造物の設計施工指針（案），日本鉄道施設協会，1968
2）日本国有鉄道施設局：のり面防護工写真図説［植生防護工編］，日本国有鉄道，1957
3）鉄道施設技術発達史編纂委員会：鉄道施設技術発達史，日本鉄道施設協会，1994
4）高坂柴朗：鉄道防災改良施工法，三報社印刷，1955
5）鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説　土構造物，丸善，2007
6）原田道幸，矢崎澄雄，小島謙一，横田弘一，清川伸夫，田村幸彦，佐藤武斗，伊藤正博：ジオセルと地山補強材による地山安定化工法の開発，ジオシンセティックス論文集，31 巻，2016
7）太田直之：間知石を用いた石積壁の地震時安定性評価と耐震補強工法に関する研究，国士舘大学学位論文，2008
8）フリーフレーム協会：フリーフレーム工法 設計・施工の手引き，理工図書，1993
9）鉄道総合技術研究所：老朽化吹付のり面の補強工　設計・施工要領　－ 吹付受圧板工法　FSCパネル －，鉄道総合技術研究所，2016