低コストのり面工の開発

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○中村　大輔
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　田村　隆志
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　四宮　卓夫
日本植生株式会社　正会員　中村　剛

１．はじめに

日本は国土の多くが山岳地帯であるため，鉄道路線の多くは土を盛った盛土区間，地山を切取って整形した切取区間で構成されている．その為，台風や集中豪雨時あるいは融雪期の盛土や切取の土砂崩壊は，大きな列車事故につながる恐れがあり，安全運行上の大きな課題となっている．崩壊の危険性が高いと思われる斜面に対しては，のり面工の設置が進められているが、現在ののり面工は大規模なのり面崩壊に対応するため比較的剛性が高い構造が主流であり，これらは単価が 2～5 万円/㎡とコストが高い．また，のり面工を施工する際に表面を整正する必要がある場合が多く，表面侵食防止に寄与している既存の植生を破壊するという問題もある．

一方，崩壊の形態は，盛土の大規模な崩壊・切取斜面の深層崩壊から，表層の崩壊・表面浸食等さまざまであるが，これまでに発生したのり面崩壊をみると，その多くは表層の小規模な崩壊が占めている．そこで，のり面表層の崩壊防止に機能を絞った低コストなのり面工を開発することとした．

２．のり面工の概要

本開発では，斜面に補強材を挿入し，表層地盤を強化する構造とした．補強材には丸鋼をラセン状に加工した杭（以下，ラセン杭，図 1）を用いた．ラセン杭は，頭部に鋼管等を差し込み，回転させることで人力施工も可能な補強材である．基本構造は，ラセン杭を斜面表層土に一定間隔で打ち込み，杭頭部を連結することで表層崩壊に対する抑止力を向上するものである．崩壊の抑止効果は，局部的に発生しようとする表層崩壊に対する補強材のせん断補強効果，あるいはすべり力を連結材を介して複数のラセン杭で負担する群杭効果が期待される．以下に実験を通して確認した本のり面工法の定量的な評価と，実用化に向けた検討について述べる．

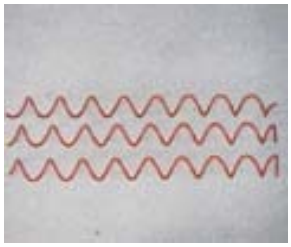

図１　ラセン杭

３．各種実験による効果確認

3.1　補強材の基礎特性

ラセン杭の基礎特性を把握するため，実際の盛土で長さ 560㎜ のラセン杭を打設して水平載荷試験を行い，既存のモルタル杭（長さ 630㎜）との耐力の比較を行った．水平耐力はラセン杭 3.0～3.8kN/本，モルタル杭 4.8～5.8kN/本を示した．長さが違うので単純に数値を比較することはできないが，ラセン杭がモルタル杭と同様にのり面の補強に寄与することは明らかである．また，載荷開始から頭部が変形し，その後完全に引き抜ける直前まで耐力が増加する傾向があり，じん性が高いと言える．引き抜き後のラセン杭は，頭部に若干の変形が見られるもののラセン部に変形はほとんど見られなかった．

3.2　杭長の検討

次に，打設可能な杭長さを検討するため，最長 1.2m のラセン杭を用いて盛土・切取 3 箇所で打設試験および引き抜き試験を実施した．試験前に実施した簡易貫入試験によると，各試験区とも N_d 値は深さ 0.5m 程度まで 5 以下，1.0m 以上は 5～10 であった．3 試験箇所で合計 44 本のラセン杭を打設したところ，切取では一部転石が見られ施工性が悪くなったが，転石に阻害され最後まで打設できなかった数本を除き，平均 1.5 分/本で打設することができた．一般的な鉄道盛土と一部の切取斜面では人力施工が十分可能であると思われる．

ここで，杭長 1.0m・1.2m の杭についてそれぞれ引き抜き耐力を測定したが，両者の値に差は認められなかった．以上より，施工性を考慮すると，杭長は 1.0m が適当であると考えられ，この長さの杭について検討を進めることとした．

キーワード　表層崩壊，斜面安定工法，補強材
連絡先　〒331-8513　埼玉県さいたま市北区日進町２－０　JR 東日本テクニカルセンター　ＴＥＬ048-651-2389

3.3　傾斜台実験

土砂を充填した鋼製容器を傾斜させて土砂を崩壊させる傾斜台実験を実施し，ラセン杭の打設による崩壊抑止効果を把握した．試験にはマサ土，礫粒土，砂の 3 種類を使用し，杭の打設間隔は 0.8m，1.0m，1.2mの 3 ケースとしてラセン杭の有無等による崩壊角度を比較した．また，その時の水分条件を，TDR 水分計を使用して測定した．一例としてマサ土を用いた実験の結果を図 2 に示す．

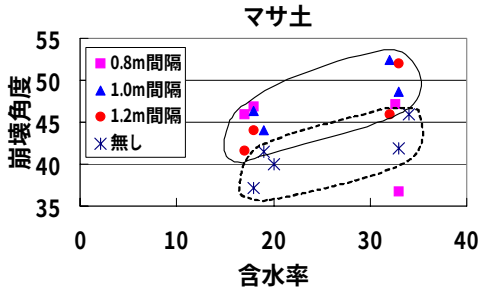

図 2　傾斜台実験結果

マサ土と礫粒土を用いた実験では，杭の打設によってほとんどの条件で崩壊角度が 3～7 ° 上昇し，ラセン杭の崩壊抑止効果が認められた．この値は見かけ上の粘着力の上昇値を示すものであると考えられる．一方，砂を用いた実験ではラセン杭の崩壊抑止効果は認められなかった．砂の場合粘着力がなく，ラセン杭の間をすり抜けるためと考えられる．続いて，1/3 縮小模型を用いて崩壊実験を実施し，ラセン杭の群効果および連結方法が抑止力に及ぼす影響を検討した．その結果，杭がある場合には一度に崩壊が進まない効果があり，さらに縦方向に杭頭部を連結した場合には，ラセン杭によって補強された土層が杭の長さまで一体となって移動することから，群効果が確認できた．よって，杭の長さ（1m）程度までの深さの崩壊に有効と考えられる．

3.4　適用条件の検討

傾斜台実験の結果を二次元 FEM モデルにより再現し，ラセン杭の根入れ部の厚さ及び N_d 値とせん断強度の向上との関係を定量的に求め，実際の斜面への適用条件を検討した．この結果をもとにのり面の条件に応じた適用範囲を一覧にまとめたものが表 1 である．これにより，現地ののり勾配と N_d 値から本工法適用の可否およびラセン杭の必要間隔を容易に判断することができる．

表 1　本工法適用表

深さ ＼ のり勾配		1:1.5	1:1.6	1:1.7	1:1.8
Nd≧4となる地表からの深さ	～50cm	1.0	1.0	1.0	1.0
	～65cm		1.0	1.0	1.0
	～75cm		0.8	1.0	1.0
	75cm～				

4．詳細仕様の検討と試験施工

今回開発した低コストのり面工を実用化するために，実施工を考慮した詳細の検討を行った．ラセン杭の頭部にはキャップを設けて視認性を向上させ，転倒事故防止を図った．頭部連結材は，杭に作用する荷重を考慮し，適切な引張り強度を有する連結材を選定した．今回開発したのり面工の模式図を図 3 に示す。

施工については人力での施工が可能であるが，施工速度，労働衛生面，経済面から機械施工も検討した．その結果，市販の油圧ハンドオーガを利用した施工用機械（約 14kg）を製作した．当機械により 1 分弱/本での連続打設が可能となった．

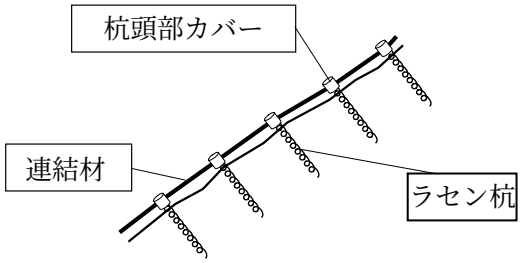

図 3　今回開発したのり面工の模式図

5．　まとめ

今回，人力施工も可能な補強材を用いた低コストのり面工を開発した．その特徴をまとめると以下のようになる．

・発生頻度の高い，深さ 1 m未満の崩壊に有効
・他の抑止工に比べ 1 万円/㎡以下と低コストである
・根株除去やのり面整形が不要でのり面を傷めない
・大掛りな施工機械を必要としない
・施工が容易で施工速度が早い

実際の運用にあたっては，表層崩壊に対する効果が高いこと，転石等が多い箇所では施工性が悪いことから，高さ 5m 以下の盛土への施工が考えられる．

今後，実施工の状況を確認しつつ，新しい素材の採用，さらなる施工速度向上とコストダウン，適用範囲拡大等に取り組んでいく．