

斜面表層崩壊対策工の効果を視覚的に理解する簡易な模型実験教材の検討

ロープネット・ロックボルト併用工法研究会

○鏡原聖史, 植田誠司, 久米啓介, 佐柳 武, 種平一成
寺岡克己, 西原玲二, 幸 徹, 荒木繁幸, 沖村 孝

1. はじめに

近年、自然斜面の表層崩壊を予防する対策工として、樹木を残したまま自然斜面を補強できるロープネット・ロックボルト併用工法（以降、本工法）が施工される事例がある。この工法は、通常の支圧板と鉄筋挿入工にネットまたはワイヤーを併用することで地盤変形の追従性を高め地盤の変形を抑制する工法である。変形を抑止する工法であることから、各部材の働きを理解する上では地盤が変形して、どのような現象に効果が発現されるかを理解することが重要である。そこで、簡易な模型実験を用いて対策工の効果を視覚的に理解できる教材について検討を行ったので報告する。

2. 本工法の概要¹⁾

本工法は、ロックボルトを斜面直角方向に打設し、その頭部を支圧板とロープネットによって連結することにより斜面安定を図るもので樹木を残したまま斜面を補強できる特徴がある（図 1 参照）。この工法は、豪雨、地震時において、斜面の変形および破壊状態に対応して各部材が効果を発揮することにより、変形抑制する機能を有する構造で、変形で安定性を照査する設計手法を採用している特徴²⁾がある。

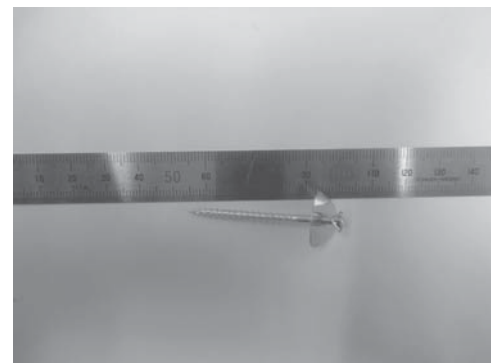
3. 模型教材の検討

対策工の効果を視覚的に理解できる教材を検討するにあたって、「Shun ちゃんの模型実験動画」³⁾を参考にした。特に、鉄筋挿入工をイメージした実験で、鉄筋の間隔や岩の大きさが違うとどのような挙動となるのか理解できる「がけ崩れ補強実験 2」が参考になった。この実験は、木製で作成された木箱（長さ 30cm、幅 20cm、高さ 5cm 程度）の真ん中を板で区切り、片方にボルトを配置し、もう片方はそのままとして、木箱にレキを敷き均し木箱を傾斜させ、レキの落下する状況を比べる。鉄筋挿入工がある場合は、高角度までレキが落下しないことで、その補強効果を視覚的に理解できるものである。この模型実験を参考に、著者らが対象とする自然斜面の表層土砂の移動が表現できる材料について検討した。実際の自然斜面の表層は、樹木根系の土壌緊縛力があり土塊として移動する現象である。そのため、砂、ビーズなどのバラバラの材料ではなく土塊状となるもので、かつ実験材料として取り扱い易い材料を検討した。検討の結果、選定した材料は、Kinetic Sand⁴⁾というものである。この材料は、スウェーデンで開発された特殊な砂で 98%が純粋な砂で出来ており、特許技術（2%）によって乾燥せず、締固まり、土塊を維持できるものである。この材料を用いて、まず、基盤上にある表層土砂のすべりを再現してみた。具体的には、摩擦が期待できるコルクボード板を基盤に見立て、その板に Kinetic Sand をのせ、板を傾斜させることで土塊のまま滑動するか確認を行った。その結果、45 度程度の傾斜で土塊のまま滑り落ちる現象が再現できた。つぎに、ボルト、支圧板、ネットの材料について検討を行った。実際の材料に近づけることも検討したが、低コストで容易に手に入る材料をもちいる方が見て人に親近感を抱いてもらえるのではないかと考えた。ボルト、支圧板、ネットになりそうなものを幾つか集め、傾斜実験を行った。その結果、図 2 (a) に示すようなトタン釘がボルトと支圧板と同じような形状、効果を発揮すること、ネットは防鳥ネット

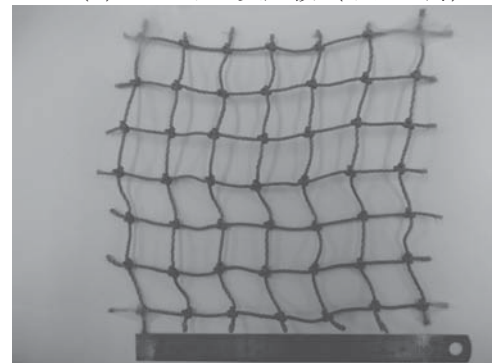
（2.5cm 目合：図 2 (b)）でネットの効果を表現できることを確認した。以上の検討の結果、基盤としてコルクボード（30cm×45cm×1cm）、土材料として Kinetic Sand、ネットは防鳥ネット（2.5cm 目合）、ボルト・支圧板はトタン釘（長さ 4.5cm）を用いることとした。また、ボルトの配置は、5cm 間隔、土層の厚さは 4cm を標準とすることで繰り返し同様な実験ができることがわかった。



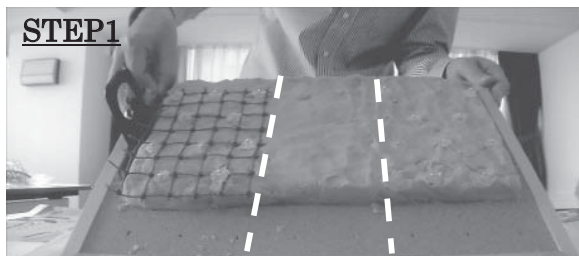
図 1 本工法の施工状況



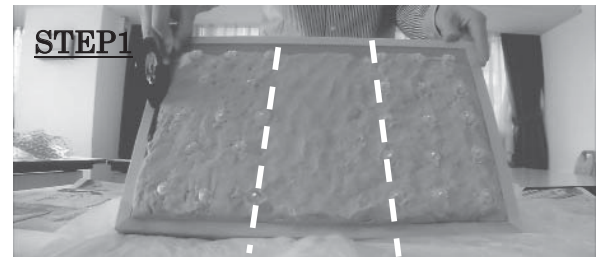
(a) ボルト・支圧板（トタン釘）



(b) ネット（防鳥ネット）
図 2 対策工（模型実験用）



③対策斜面 B ①無対策斜面 ②対策斜面 A



③対策斜面 2 ①無対策斜面 ②対策斜面 1



図 3 対策工の比較

図 4 対策工の配置間隔の比較

4. 対策工の効果確認実験

対策工の効果確認実験として、①無対策斜面、②対策斜面 A（ボルト・支圧板）、③対策斜面 B（ボルト・支圧板・ネット）の比較を行うメニューとした。実験の状況を図 3 に示した。この図からわかるように、まず①無対策斜面が滑動し、その後、②対策斜面 A がボルトの間から土塊が抜け、その影響が上部に伝搬する。一方、③対策斜面 B は、②対策斜面 A よりも遅れて、ボルトの間の土塊が抜けるが、ネットによって土塊がボルト間に保持され崩壊の時間が遅れる効果があることがわかる。一連の実験から、ボルト、支圧板によって土塊のすべりが抑制され、土塊が細分化され、さらに細分化された土塊がネットに引っかかり、落下することを抑制する効果があることが理解できた。

つぎに、ボルトの配置間隔について実験を行った。実験は、①無対策斜面、②対策斜面 1（格子配置：ボルト・支圧板）、③対策斜面 2（千鳥配置：ボルト・支圧板）とした。実験の状況を図 4 に示す。この図から先の実験と同じように①無対策斜面が滑動し、その後、②対策斜面 1 が格子上のボルトで縁切りされた土塊が滑動する。最後に③対策斜面 2 がボルトで細分化され、千鳥状に配置されたボルトを支点として土塊が回転しながら崩落することが確認できた。この現象は、現地や降雨模型実験でも確認⁹⁾されており、現実の現象に近い挙動であった。以上のように対策工の配置や組合せの違いなどによる対策工の効果と比較検討できることが明らかになった。

5. おわりに

一連の検討結果を踏まえ、模型教材の作成を進めている。この教材を用いることで、設計計算のみではわかりにくい対策工の配置や各部材の効果が視覚的に理解できるため、設計者が対策工の効果を理解できるひとつのツールであると言える。さらにこの模型を通して、住民に対策工の効果を説明するなどして、治山事業などの事業説明時の合意形成を図る場面などで活用できると考える。

参考文献

- 1) R・R 工法研究会 web : <http://www.rr-kouhou.com/index.html>
- 2) 兵庫県：ロープネット・ロックボルト併用工法 設計・施工指針（案）,2015.
- 3) 地盤工学会 web : Shun ちゃんの模型実験動画, https://www.iiban.or.jp/mov/mov_shun.html
- 4) Kinetic Sand web : <http://www.kineticsand.com.au/>
- 5) 西原ら：豪雨に対する対策工の効果と配置に関する考察, 第 43 回地盤工学研究発表会, 987,pp.1973-1974,2008.