

自然環境に配慮した新しい斜面崩壊防止技術 「ESネット工法」

歳藤 修一

ライト工業株式会社 西日本支社 技術営業部 営業企画室

昨今の気象変動により、過去に経験したことのない豪雨が多発している。このような豪雨は時として、道路斜面や急傾斜地の崩壊をもたらし、道路インフラの寸断や民家へ直接影響を与える。斜面災害を防止する斜面对策工は、現場吹付のり枠工による保護が一般的であったが、無機質なコンクリート面が露見するなど景観面に課題があった。近年では、周辺環境に配慮したワイヤケーブルとロックボルトを主材とするワイヤー連結工の施工が増加している。本稿では、自然環境に配慮した新しい斜面崩壊防止技術であるESネット工法（以下本工法と略す）について紹介する。

キーワード 地山補強土, 斜面防災, 自然環境, ワイヤー連結工

1. 工法の概要

(1) 工法の特徴

本工法は、ワイヤケーブルを主材としたコンクリートを使用しないのり面保護工で、ワイヤケーブルとロックボルトを相互に結合することで斜面の表層崩壊を防止する効果がある。ロックボルトを地山へ押し込むことで連結されたワイヤケーブルが地山を緊縛し、すべり土塊を主導的に押し込むため、崩壊防止効果が高い。また、ワイヤケーブルを現地で加工しながら施工を行うため、既存木を残した施工が可能である。図1.1に本工法の概要図を示す。

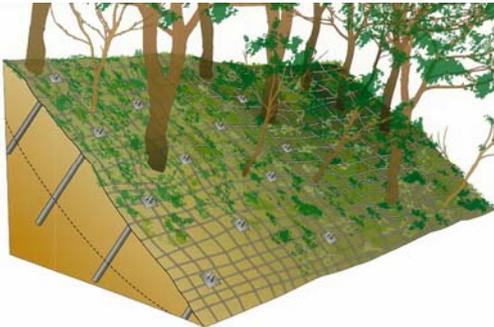


図1.1 概要図

(2) 構成と機能

本工法は図1.2のような部材で構成される。φ10mmのワイヤケーブルを0.5m間隔に斜面へ配し、各交点をSKクロスリップで固定する。ロックボルトの頭部にはESプレートを設置し、ES-Uボルトを使用してワイヤケーブルとESプレートを連結している。このような相互連結により、ロックボルトの応力を地山へロス無く伝達することができる。また、ロックボルト締付け時に押えパイプを地山へ押し込むことで、連結されたワイヤケーブルが地山を緊縛し、土塊を主導的に押し込む。

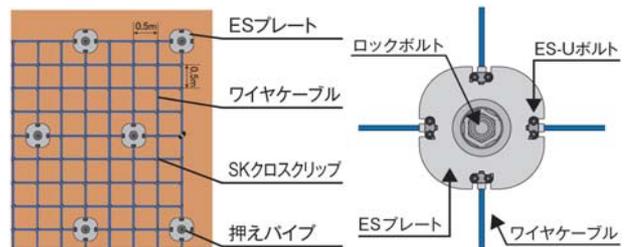


図1.2 基本構成

(3) 使用部材

使用する材料は、軽量・簡易であるため、施工性が高い（写真1.1、図1.3、1.4）。主要部材であるワイヤケーブルはアルミ亜鉛合金メッキ処理を施すことで、高い防食性能を有している。



写真1.1 ワイヤケーブル(左)、ES-Uボルト(右)



図1.3 押えパイプ

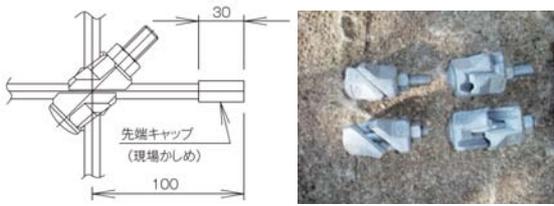


図1.4 SKクロスクリップ

本ネット工法はその開発時において、構造部材の応力照査を確認するための実物大載荷試験と、設計に必要な係数を求める土層試験を行っており、次項よりその試験概要と結果について述べる。

2. 実物大載荷試験

(1) 試験概要

本工法の有用性を確認するため、使用する部材単体の強度だけでなく、ネット構造全体としてどの程度の強度を有するかを確認する必要がある。そこで、ネット構造全体での応力照査を行うために、実物大の工法製品による載荷実験を実施した(図2.1、写真2.1)。¹⁾

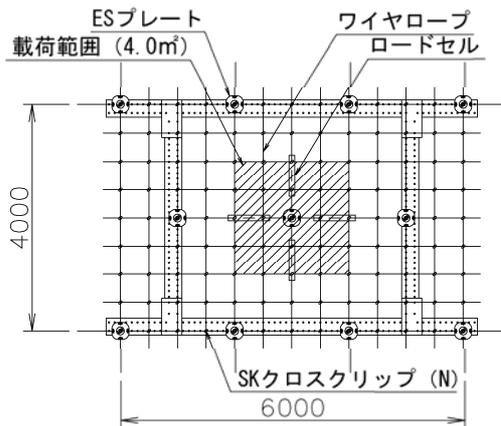


図2.1 試験装置平面図



写真2.1 試験装置

(2) 試験条件

実験は施工に使用する部材を組み立てた実物大ネットに、斜面崩壊土砂を模した錘を載荷する方法で実施した。載荷荷重は、標準的にロックボルトからワイヤケーブルに作用する荷重(荷重①)と、最大荷重としてロックボ

ルトの許容引張荷重(荷重②)までとした。計測項目は載荷範囲中央部の垂下量とワイヤケーブルの張力とした(写真2.2)。



写真2.2 変位計設置(左)、ロードセル(右)

(3) 試験結果

試験結果を表2.1に示す。荷重①が作用した場合において、各部材の変形やすべりは発生せず、垂下量についても規格内であった。また荷重②が作用した場合(写真2.3)においても、ワイヤケーブルの破断やSKクロスクリップとワイヤケーブルの滑りは発生せず、500mm×500mmのワイヤ格子目の変形は見られなかった(写真2.4)。

表2.1 試験結果

	載荷荷重	ワイヤ発生張力	垂下量
荷重①	35.1kN/4.0m ²	10.0kN	142.0mm
荷重②	93.2kN/4.0m ²	46.2kN	508.0mm



写真2.3 実物大載荷試験状況



写真2.4 試験後のクロスクリップ状況

実物大の荷重載荷試験を実施して、各部材の変形量や応力照査を行った。載荷した荷重について、システム全体として保持し、また大きな変形も発生しなかったことから、実際の斜面においてもワイヤ間隔を保持して、崩壊土塊を補足できるものと判断される。

3. 土層試験

本工法のロックボルト設計に必要なのり面低減係数 μ ²⁾については、土層試験を実施してその値を求めた³⁾。

(1) 試験概要

本工法の仕様に基づき、斜面・のり面に施工する実物の1/5スケールで室内模型試験装置を製作した（幅90cm、長さ120cm、高さ50cm）。図3.1に試験装置の概要を示す。

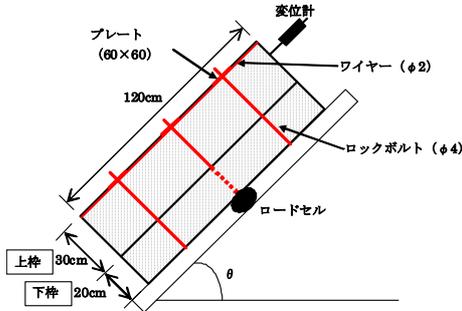


図3.1 試験装置概要図

(2) 試験条件

試験条件を表3.1に示す。試験は、のり面工が無い条件(RB1)とワイヤケーブル(φ2mm)とプレート(60mm×60mm)を設置した条件(ES1)について実施した。また、ワイヤケーブルの効果を確認するためにプレートのみ設置した(PL1)の試験もあわせて実施した。

表3.1 試験条件と試験結果

実験ケース	組合せパターン			実験結果
	ロックボルト	プレート(mm)	ワイヤケーブル	
RB1	○	無	無	42.5°
ES1	○	60×60	有	48.5°
PL1	○	60×60	無	44.0°

(3) 試験手順

試験装置を徐々に傾斜させて土の自重によりせん断破壊を起こさせた(写真-3.1)。このとき、のり面全体を代表して2本のロックボルトに作用する引張り荷重を引張り型ロードセルで測定した。また、上枠の上方に設置した変位計でせん断面と平行な方向のせん断変位量を、下枠側面の傾斜計でせん断時の斜面勾配を測定した。

(4) 試験結果

実験ケースごとのせん断変位量と引張り荷重の関係を図3.2に示す。ワイヤケーブルの無いケース(RB1, PL1)と比較して、ワイヤケーブルを設置したケース(ES1)は、大きな引張り力が発生している。崩壊の形状は、ワイヤケーブルが無いケースでは試験中に中抜け崩壊が発生したが、ワイヤケーブルを設置したことで中抜け崩壊が起こらず、上枠内の土砂は一体となって滑動した。

また、各試験の崩壊角度の比較では、ワイヤケーブルを設置したケースの崩壊角度が大きく、滑動に対してより抵抗していることが確認された(表3.1)。

これらのことから、ロックボルトからプレートへ伝達した引張り力がワイヤケーブルを介して表土層を拘束し、大きな補強効果を発揮していることが分かった。



写真3.1 試験状況

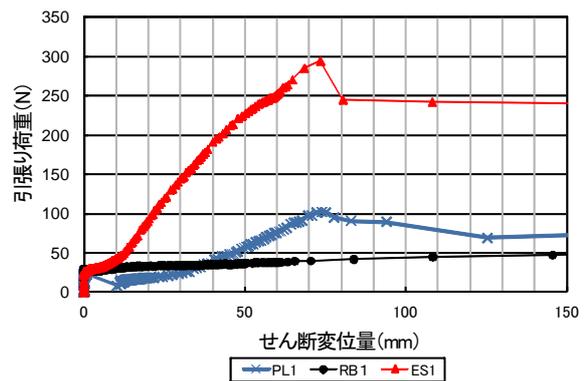


図3.2 せん断変位量と引張り荷重

試験結果を基に、のり面工低減係数 μ を次式にて算出した²⁾。

$$\mu = T0 / T1pa$$

$$= (T1pa - Tt) / T1pa$$

ここで、 Tt : のり面工(ワイヤケーブルやプレート)が無い場合の引張り力

$T1pa$: のり面工がある場合の引張り力

本試験から得られた本工法ののり面工低減係数は0.86であった。したがって本工法の設計に用いるのり面工低減係数は0.7程度とすることが妥当であることが確認された。

4. 施工事例

本工法の施工事例を次項に紹介する。いずれの事例も斜面崩壊防止対策として行われた事例である。既存の樹木の多くを残しながら斜面を補強することができた。

(1) 事例1

工事名：角石地区斜面对策（その2）工事
施工場所：兵庫県西宮市
発注者：近畿地方整備局六甲砂防事務所
工期：平成25年7月～平成26年2月



写真4.1 施工後6ヶ月

(2) 事例2

工事名：渦ヶ森地区斜面对策（その2）工事
施工場所：兵庫県神戸市東灘区
発注者：近畿地方整備局六甲砂防事務所
工期：平成25年9月～平成26年2月



写真4.2 施工直後

(3) 事例3

工事名：葺合地区斜面对策工事
施工場所：兵庫県神戸市中央区
発注者：近畿地方整備局六甲砂防事務所
工期：平成25年7月～平成27年2月



写真4.3 施工後5ヶ月

(4) 事例4

工事名：葺合地区斜面对策（その2）工事
施工場所：兵庫県神戸市中央区
発注者：近畿地方整備局六甲砂防事務所
工期：平成26年8月～平成27年3月



写真4.4 施工直後

(5) 事例5

工事名：鶴甲地区斜面对策（その2）工事
施工場所：兵庫県神戸市灘区
発注者：近畿地方整備局六甲砂防事務所
工期：平成26年1月～平成27年2月



写真4.5 施工直後

5. まとめ

既存木を残したまま斜面補強を行うことができる新しいのり面保護工の施工事例について紹介した。コンクリートを使用しない環境にやさしい工法であり、今後の活用が期待される。また、本工法には耐久性の高い材料が使用されているが、構造物の長寿命化が求められる中、劣化度合いに応じた維持管理手法の確立及びマニュアル化が今後の課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 実物大実験によるESネット工法の機能確認と施工事例：
歳藤ほか、土木学会第69回年次学術講演会
- 2) 切土補強土工設計・施工要領：2009年1月 東日本高速道路株式会社
- 3) ESネット工法ののり面補強効果に関する模型試験：九田ほか、土木学会第69回年次学術講演会