

地震時斜面安定のためのロックボルト・ロープネット併用工法 に関する変形量を基にした設計法の提案

兵庫県農林水産部農林水産局治山課
兵庫県六甲治山事務所
(株)ダイヤコンサルタント 正会員
(株)ダイヤコンサルタント 正会員

村上 晴茂
金子 哲朗
木村 裕之
○ 鏡原 聖史

1. はじめに

阪神淡路大震災を契機に、自然斜面を対象として地震時の斜面安定を目的に、兵庫県は林野庁の補助事業である「森林土木効率化等技術開発モデル事業」の中で、ロックボルト・ロープネット併用工法(図-1)を検討してきた。振動台実験および非線形解析を用いた研究を通して、本対策工は地震時の斜面安定に効果を有することが明らかになった。さらに、実験および解析による知見から、変形を基にした新しい設計法を提案する。

本設計法において、地震時の変形量を算出する方法を提案する。現段階において、新しい設計法はせん断変形を精度よく予測でき、振動台実験結果や非線形動的解析結果ともよく整合している。従来の設計法のように安全率をもとにした場合、不確実な要素を包含するような許容値をとって経験則によって安定性を確保してきた。しかし、変形量を基にした設計法の場合、調査結果をもとに具体的な物理量を指標とするため、今後さらに変形量予測手法の精度の向上が必要と思われる。



図-1 ロックボルト・ロープネット併用工法

2. 基本的な考え方

本設計法の対象としている対策工法は、植生があるような自然斜面において森林を保全し、樹木の伐採量を極力少なく施工できることから、斜面の耐震性向上とともに、「環境保全」および「景観の保全」も配慮できる点が特徴である。設計法の基本的な考え方は、大規模な地震に対して有効かつ経済的に斜面が安定を確保できるように、ある程度の変形量（あるいはひずみ量）を許して設計することを目指している。

本設計法では、想定地震動を震度に置き換え、地盤のせん断変形を繰り返し求める方法（直接変形算出法と仮称）を提案している。

本設計法の対象は、風化花崗岩(まさ土)、風化岩が地表面より比較的浅く分布し、新鮮岩盤が地表面に露出しておらず、地震時に粒状ではなく土塊として表層崩壊や表層すべりが予想される自然斜面に適用する。

対策工の効果は、次のように考える。ロックボルトは、地盤に変形が顕著に発生しない小規模な地震力がかかる段階に軸力 T_{RB} （引っ張り力）による引き止め効果を発揮する。ロープネットは、地盤変形が進み塑性変形が発生するような大規模な地震力がかかる段階に斜面上方に吊り上げる効果 T_{RN} （引っ張り力）がある。地震力が大きくなるに従って、ロックボルトとロープネットの効果が発生し、それらに囲まれた地盤が圧縮力を

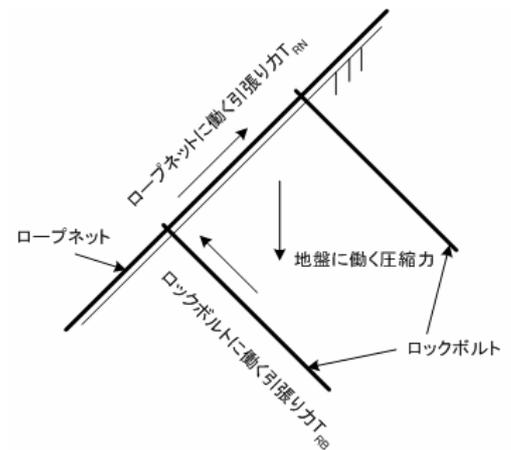


図-2 対策工メカニズム

キーワード 斜面安定 設計法 新工法

連絡先 〒564-0045 大阪府吹田市金田町 28-21 (株)ダイヤコンサルタント TEL 06-6339-9141/ FAX 06-6339-9357

受けながら、力の三角形が閉じる形でバランスする。その結果、変形が進むとともに地盤の強度を引き出す（図-2）。最終的に斜面全体が崩壊するような場合は、ロープネットが崩壊して落ちる土砂を待ち受けるような効果を発揮する。以上、これらは主に振動台実験結果から得られた知見に基づいて考察した。

3. 直接変形算出法

変形量の算出は、対策工を設置した斜面において、地震時の変形量を算出し、対策工の効果によって斜面の安定を確認することを目的としている。変形量を算出する手法は安定計算と同様にいくつかの手法があるが、一連の振動台実験および動的解析結果を踏まえて、地盤が地震力によってせん断変形する状態を模擬した直接変形算出法（(3)式参照）を提案した。図-2における投影面で見ると、土をロックボルト（断面積 A_{RB} ）によって囲まれた長方形のブロックとして

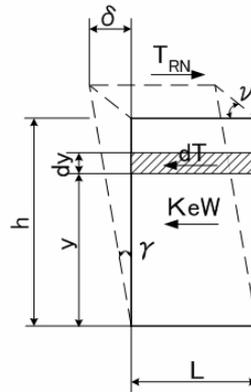


図-3 土ブロックのせん断変形

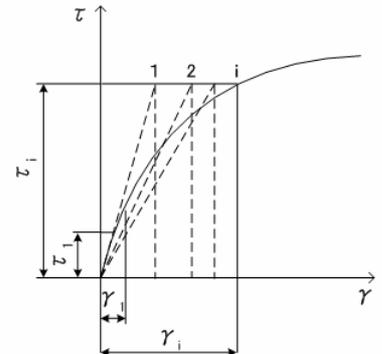


図-4 繰り返し計算

考え、土は仕事量の釣り合いを保ちながら、平行四辺形の形にせん断変形すると仮定している（図-3）。

外力仕事量 W_E は外力×変位より(1)式で求める。

$$W_E = \int_0^h \gamma \cdot y \cdot dT - T_{RN} \cdot \gamma \cdot h = \frac{1}{2} \cdot k_e \cdot W \cdot \gamma \cdot h - T_{RN} \cdot \gamma \cdot h \quad (1)$$

内力仕事量は、土のせん断およびロックボルトの伸びを考慮し、体積変形にかかる仕事量を無視する。土微小要素の内力仕事量を土ブロック全体にわたって積分することにより、せん断内力仕事量を求めることができる。土ブロック内の各部分においてせん断弾性係数 G とせん断ひずみ γ が一定として、土ブロック全体のせん断内力仕事量とロックボルトの伸びによる仕事量より内力仕事 W_I は(2)式のようになる。ここでロックボルトが周囲土塊と同様に变形すると仮定し、伸びひずみ ϵ を土のせん断変位 $\epsilon \approx \tan \nu \cdot \gamma + 1/2 \cdot \gamma^2$ から算出することができる。

$$W_I = \frac{1}{2} G \cdot \gamma^2 \cdot B \cdot L \cdot h + \frac{1}{2} E \cdot A_{RB} \cdot h \cdot \left(\frac{1}{4} \gamma^4 + \tan \nu \cdot \gamma^3 + \tan^2 \nu \cdot \gamma^2 \right) \quad (2)$$

以上より、外力仕事量と内力仕事量を等値として、せん断ひずみ γ について(3)式を得る。

$$\gamma^3 + 4 \tan \nu \cdot \gamma^2 + \left[\frac{4GBL}{E_{RB} A_{RB}} + 4 \tan^2 \nu \right] \cdot \gamma - \frac{(4k_e W - 8T_{RN})}{E_{RB} A_{RB}} = 0 \quad (3)$$

ここで L はロックボルトの配置間隔、 B は、ブロックの奥行き、 h は潜在崩土層厚さ、 ν はダイレタンシ角、 E_{RB} はロックボルトのヤング係数、 A_{RB} はロックボルト断面積、 W は土ブロックの重量、 k_e は斜面方向の震度を示す。地震力は重力と合わせ、土の要素がせん断変形する。同時に、外力による仕事量と、等価な内力のひずみエネルギーが発生する。せん断弾性係数 G はせん断ひずみ γ の大きさによって変化する性質があるため、せん断応力 τ をステップに細分し、せん断ひずみの増加に依存してせん断弾性係数を変化させる（図-4）。式(3)に代入して繰り返し計算をすることで、せん断弾性係数の非線形性を表し、最終的に収束したせん断ひずみの値を用いる。変形量を基に、斜面の破壊形態を予測し¹⁾、対策工の適用性を判定する。

4. おわりに

本設計法は、現在も検討中であり試験施工などを踏まえ、計測結果などと比較検討をさらに進める予定である。なお、本設計法を検討するにあたりさまざまな助言、ご指導を頂いたアドバイザーの先生方および関係者に敬意を表する。

参考文献

1) 福政ほか：自然斜面の耐震工法に関する実験と解析、第36回地盤工学研究発表会