

大規模地震動に対応した治山工法の設計手法の提案その2

神戸大学都市安全研究センター
兵庫県但馬地域山地地すべり対策室
兵庫県農林水産部農林水産局治山課
株式会社ダイヤコンサルタント
株式会社ダイヤコンサルタント

沖村 孝
西原玲二
竹下洋一
荒木繁幸
○鏡原聖史

1. はじめに

阪神淡路大震災を契機として、兵庫県は地震時の山腹崩壊(厚さ2.5m程度までの表層崩壊を対象)を予防する治山工法の開発を進めてきた。その予防治山工法(以下、本工法)は、ロープネット、ロックボルトと支圧板を組合せた構造である(図1参照)。本工法は、樹林を伐採せずに施工できること、大規模な地震時にはある程度変形することによって、ボルト軸力、ネット張力が発揮され、全体的な山腹崩壊を防げることが特徴である。

このような特徴を考慮し、風化花崗岩の表層崩壊に限定した本工法の設計手法を提案^①した。その後、兵庫県の山崎断層帯周辺の地質などに対して現地調査、振動台模型実験、数値解析を実施し、さらに適用性の広い設計手法を整理^②した。

本稿では、現地調査結果、それに基づいた振動台模型実験の概要と結果、ならびに地震時の変形挙動の違いを考慮した一連の設計手法の流れを紹介する。

2. 現地調査

兵庫県の代表的な活断層周辺に分布する花崗岩の斜面(有馬-高槻・六甲-淡路断層帯周辺)や古生代堆積岩の斜面(山崎断層帯周辺)を対象に現地調査を実施した。特に今後崩壊する可能性のある層(以降、潜在崩土層)を把握する目的で、簡易動的コーン貫入試験(以降、簡易貫入試験)を主体に実施した。この潜在崩土層は、文献、周辺崩壊地の調査ならびに機構解析により設定した。次にこの調査によって、図2に示すNc値プロファイル³を参考に、それぞれの調査地の特徴を花崗岩の調査地はA、B型が卓越するタイプ(以降、単層構造)、古生層の調査地はC型が卓越するタイプ(以降、二層構造)に分類した。以上、この分類したタイプが、地震時にどのような変形挙動を示すのか、また本工法は有効に作用するのかを調べるため振動台模型実験を行った。

3. 振動台模型実験

3.1 振動台実験の概要

振動台模型実験は、独立行政法人港湾空港技術研究所の三次元水中振動台を用いて実施した。模型の縮尺は実斜面の1/10を想定し、斜面勾配を45度とした。模型の形状寸法、対策工の配置を図3に示す。加振実験は、一回の加振に対して2ケースを並列に設置して行った。模型斜面の作成は、現地調査結果を基に、単層構造は上層、下層とも温潤密度 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ で締め固めた。これに対して二層構造は、境界が明瞭な地盤構造を有する斜面を模擬するため、下層を温潤密

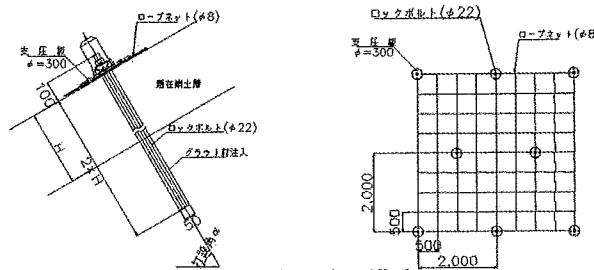


図1 本工法の構造

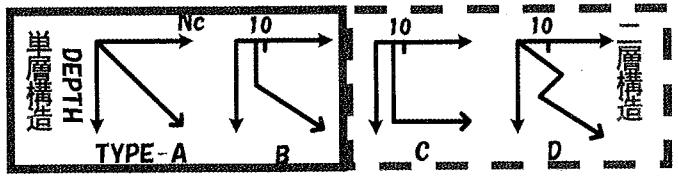


図2 Nc値のプロファイル分類³⁾

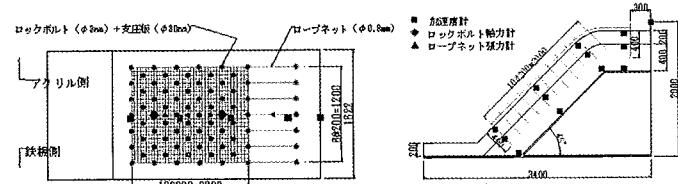


図3 振動台模型実験の概要

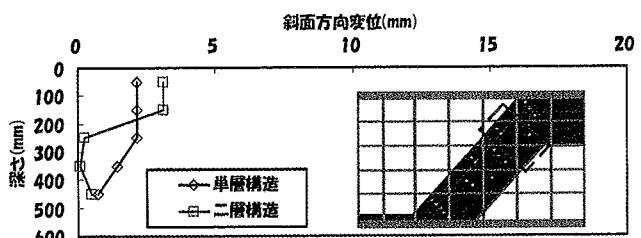


図4 単層構造と二層構造の側面変位比較

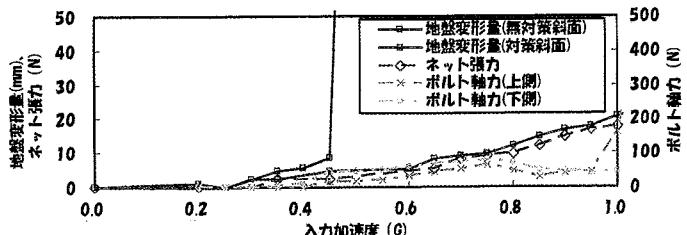


図5 地盤変形量とボルト軸力・ネット張力の関係

表 1 破壊の定義

破壊状態	損傷程度	定義	限界ひずみ (現地スケール)	
			単層構造	二層構造
亀裂発生	小	亀裂が発生した状態	1%	—
局所破壊	中	局所的な崩落を含む天端沈下、のり尻隆起などの永久変形を生じる破壊	5%	10%
全体破壊	大	連続した破壊面がのり尻を含む斜面の大部分を占める破壊	—	—

度 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ に締め固め、上層を湿潤密度 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ で締め固めた。加振方法は水平一方向に周波数 5Hz の正弦波を 50 波与え、模型斜面が破壊するまで加速度を段階的に大きくした。対策斜面の対策工模型は本工法を模擬させ、ロックボルトは斜面に $\phi 3\text{mm}$ のアルミ棒、ロープネットはポリエチレンの漁網 ($5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 、 $\phi 0.8\text{mm}$) を図 3 に示すように配置した。また、支圧板は円形アルミ板 $\phi 30\text{mm}$ をアルミ棒頭部に取り付けた。

計測は外力、地盤変形量と対策工の効果を把握する目的で、各ステップごとに架台の入力加速度と斜面内の加速度 (13 箇所)、ボルト軸力 (4 深度、2 本)、ネット張力 (4 箇所)、地盤変位 (正面、側面) の計測を行った。

3. 2 振動台実験結果

図 4 は、単層構造と二層構造の無対策斜面の側面変位を比較したものである。単層構造は、変位量が上層から下層にかけて徐々に小さくなるせん断変形を、二層構造は、上層部 (200mm) がほぼ同様の変位量を示し、すべり変形を起こしていることがわかる。このことから、地盤構造の違いによって、地震時の変形挙動が異なることが明らかになった。次に、無対策斜面と対策斜面の変形量の違いならびに変形量と対策工の軸力、張力の発現機構について図 5 に整理した。図は二層構造の例であるが、対策斜面は無対策斜面が崩壊する $0.5G$ 以上の入力加速度でも破壊に至らず、斜面変形量に追随して対策工の軸力、張力が増加していることが明らかになった。この傾向は、単層構造も同様であった。以上のことから本工法による耐震効果は、変形抑制効果として発揮されていることがわかった。

4. 設計手法

4. 1 変形予測式の提案

単層構造、二層構造ともに振動台模型実験で認められた破壊状態を表 1 のように定義し、その破壊状態を変形量 (変形量を移動層厚で無次元化) で関連付けた。これは、大規模地震時に現場斜面がどの程度の変形を許容できるかによって、本工法の適用性を判断しようと考えたためである。また、現地斜面の変形量を簡易に予測する手法として、模型実験の整理から単層構造で認められたせん断変形には直接変形算出法⁴⁾、二層構造で認められたすべり変形にはすべり変形算出法⁵⁾を提案した。

4. 2 設計手法の流れ

図 6 にこれまでの検討結果を考慮した設計手法の流れを示すが、紙面の関係上、ここでは特に地震時設計の流れについて記述する。まずははじめに地震時設計の必要性判断を行う。地震時の検討は、これまでの地震時山腹崩壊事例が断層から 15km 以内で多数発生していることから耐震設計範囲を断層から 15km 以内とした。次に、設計対象地点での地震外力を設定するため、断層からの距離で最大加速度を求めることができる距離減衰式を用いて、設計対象地点の最大加速度を求め、それを等価な設計震度に置換えることとした。その設計震度を加えた多平面安定解析を行い地震時に危険となる箇所を特定⁶⁾し、その箇所に対策工を計画する。さらに、簡易貫入試験結果である N_c 値プロファイル分類によって、単層構造、二層構造の判断を行い、地震時の変形挙動に応じた変形予測式を適用し、想定

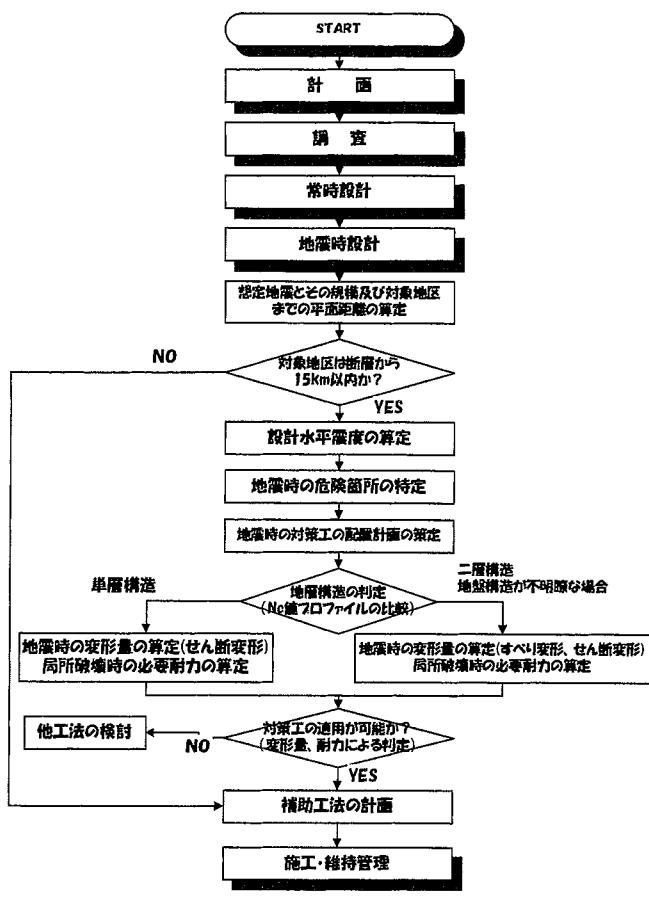


図 6 設計の流れ

地震時の変形量を算出する。最後に想定地震時の変形量が、許容値 (設定した斜面の損傷の程度で兵庫県の場合は、せん断ひずみ 5% 、すべりひずみ 10%) 以内であれば要求性能を満足できることとなり、補助工法と組合せて実際に現地施工する流れとなる。

5. おわりに

本稿では、現地調査を基に、振動台模型実験を実施し、地震時の変形挙動の違いを考慮した一連の設計手法の流れを紹介した。これら詳細は、紙面の関係で記載することが出来なかつたため、本工法の設計施工指針(案)または参考文献を参照していただきたい。なお、本工法の開発については、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」の中で実施した。この場をお借りし御礼申し上げる。

(参考文献)

- 1) 沖村他(2006) : 大規模地震動に対応した治山工法の設計手法の提案, 平成 18 年度砂防学会研究発表会概要集, p.26-27.
- 2) 兵庫県農林水産部農林水産局治山課(2007) : ロープネット・ロックボルト併用工法設計・施工指針(案)
- 3) 奥西他(1978) : 愛知県小原村周辺の山崩れについて(1)斜面形、土層構造と山崩れについて, 京都大学防災研究年報, 第 21 号, B-1, pp.297-311.
- 4) 村上他(2002) : 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, 土木学会第 57 回年次学術講演会, III, 418.
- 5) 西原他(2007) : 地震時における斜面の変形量と耐震治山工法の補強メカニズム, 土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム, pp.261-266.