

地震力を受ける岩盤斜面の安定性評価に関する研究

長崎大学工学部 正会員 棚橋 由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
長崎大学大学院 学生員 肖 俊 長崎大学工学部 学生員 大塚 政伸

1. 研究の背景と目的

近年、長大な切り取り斜面が形成される事例が増加しているため、場所によっては、地震時に山崩れ、崖崩れや地盤の破壊に起因した被害が生じる可能性がある。一方、岩盤斜面の安定性に関しては、静的状態に対する解析的・理論的評価は様々な手法でなされているが、地震時における安定性評価に関する報告は少ないように思われる。そこで本研究では、地震時の岩盤斜面災害の発生を想定し、不連続解析手法である個別要素法 (DEM) を用いた数値シミュレーションにより、地震時の岩盤斜面崩壊の発生メカニズムを明らかにするとともに、合理的補強対策について検討する。

2. 岩盤斜面崩壊メカニズムの解析的評価

2.1. 解析モデル

ここでは、まず基礎的研究として、規則的に配列された不連続面が含まれる岩盤斜面を想定する。重力のみで安定した斜面に地震荷重を作用させた時の安定性の評価を行う。解析モデルを図-1 に示す。一例として斜面の高さ (H) を 15m とし、不連続面の配列を、貫通したものと、これに貫通せず千鳥状に配列した 2 セットの不連続面を考慮した。挙動解析で用いる入力地震波を図-2 に示す。これは、1995 年に起こった阪神・淡路大震災の地震波を想定したものである。岩盤斜面のトップリング的崩壊の発生条件を調べるために、入力地震波として最大速度 0.7m/s のせん断波を作用させる。

2.2. 解析結果と考察

DEM による数値解析では、斜面の高さ (H) と不連続面によって区切られたブロックの長さ (b) で除して無次元化した H/b をパラメータとし、 b を変化させた。また、崩壊プロセスと領域を明確に考慮するために、 p/b を $1/4$ 、ブロックの縦横比 (b/t) を 1.5 と 3.0、 $\theta = 100^\circ$ と設定する。変動パラメータとして、 b を 2~10m、 θ を $45 \sim 80^\circ$ に変化させる。また、重力のみの静的荷重の作用で安定した斜面には、モデルの底面に地震波を作用させて動的安定解析を行った。解析結果として図-3 にトップリングを生じる境界を表わす H/b と θ の関係を示す。この図より、静的状態および動的状態において $\theta = 60 \sim 70^\circ$ 付近で H/b が最小値をとることがわかる。さらに、どの曲線も θ が 80° に近づくにつれ、安定領域が広がっていることもわかった。また、動的荷重の場合は静的荷重の場合に比べて、不安定領域は広がる。つまり、 H/b が大きくなるとトップリングを起す領域が広がり、逆に小さくなると不安定となる θ が限られてくること分かった。

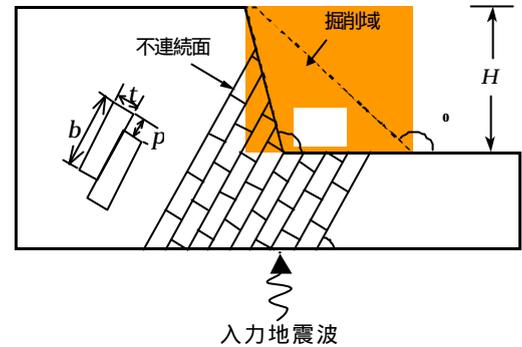


図-1 解析モデル

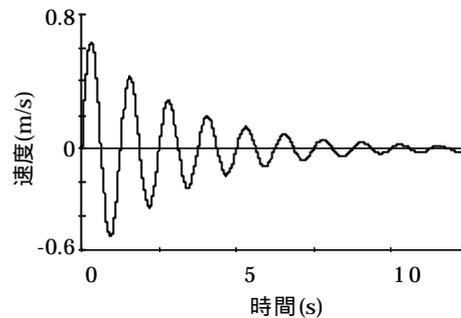


図-2 せん断方向の地震

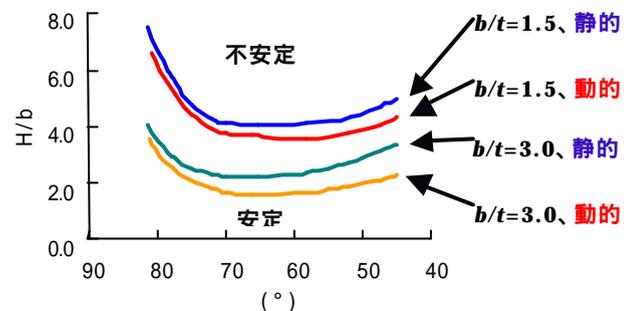


図-3 ブロックの密度 (H/b) と不連続面の傾斜角 (θ) の関係

キーワード：個別要素法，不連続性岩盤斜面，地震荷重，トップリング，進行性崩壊

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 14-1 長崎大学工学部 TEL 095-847-1111 FAX 095-848-3624

3. ロックボルトによる補強効果

これまでの不連続性岩盤斜面の解析ケースからトップリングを起こしたモデル ($b/t=3.0$ 、 $\theta=70^\circ$ 、 $H/b=3.0$) を1つ選び、ロックボルトを用いた岩盤斜面の補強効果を検討した。ロックボルトを斜面表面に対し垂直に挿入し、ボルトの打設本数 (N) を2~6本、ボルトの長さ (L) を2~6mと変化させることにより、地震時におけるロックボルトの合理的補強設計をDEM解析によって明らかにする。図-2に示す地震波をモデルに作用させて、図-4のA点での最大変位量を調べる。図-4はロックボルトの打設パターン ($N=4$) を示している。図-5にロックボルトによる補強の解析結果を示す。この図より、ボルトの長さに関係なく、4本以上打設したときの変位量はほぼ一定に抑えることがわかる。これから、4本以上打設しても、効果に大差はみられないことが分かった。よって、地震波を受けてもボルトを4本打設すれば、有効な打設効果が得られるということが分かった。ボルトの長さに関しては、あまり差はないが、3~4mが適切であるといえる。以上のことから、斜面の岩盤ブロックの長さや傾斜角などをよく調べて、不安定性の発生条件を事前解析等により確認した上で対策を施せば、岩盤斜面の崩壊による災害を防止することができると考えられる。

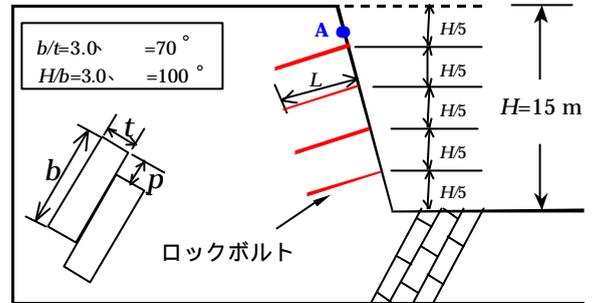


図-4 ロックボルト配置図

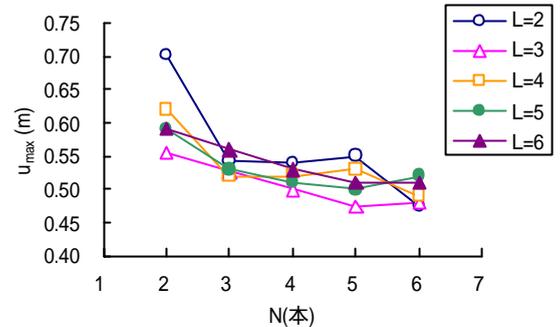


図-5 A点での u_{max} と N の関係

4. 岩盤斜面の進行性崩壊のシミュレーション

外的作用によって岩盤斜面内部の極限せん断抵抗が生ずる部分が、せん断すべり面に沿って次第に移動していく破壊を進行性崩壊という。ここでは、進行性崩壊を生じる岩盤斜面のシミュレーションを行い、さらにロックボルトによる補強設計を試みる。新たに開発した拡張個別要素法 EDEM による亀裂進展解析でのモデルを図-6(a)に示す。図-6(a)に地震荷重を作用させることにより、図-6(b)に示すようにせん断による新規亀裂が進展し、さらに時間が経過すると崩壊に至る(図-6(c))。そこで、新規亀裂の進展を抑制し、斜面の安定性を向上させるロックボルトの補強効果を評価する。ロックボルトは、それぞれの斜面表面に垂直に、3本づつ等間隔に打設した(図-6(c))。地震荷重を作用させても、新規亀裂の進展に伴う斜面の崩壊がロックボルトによって有効に抑制された。

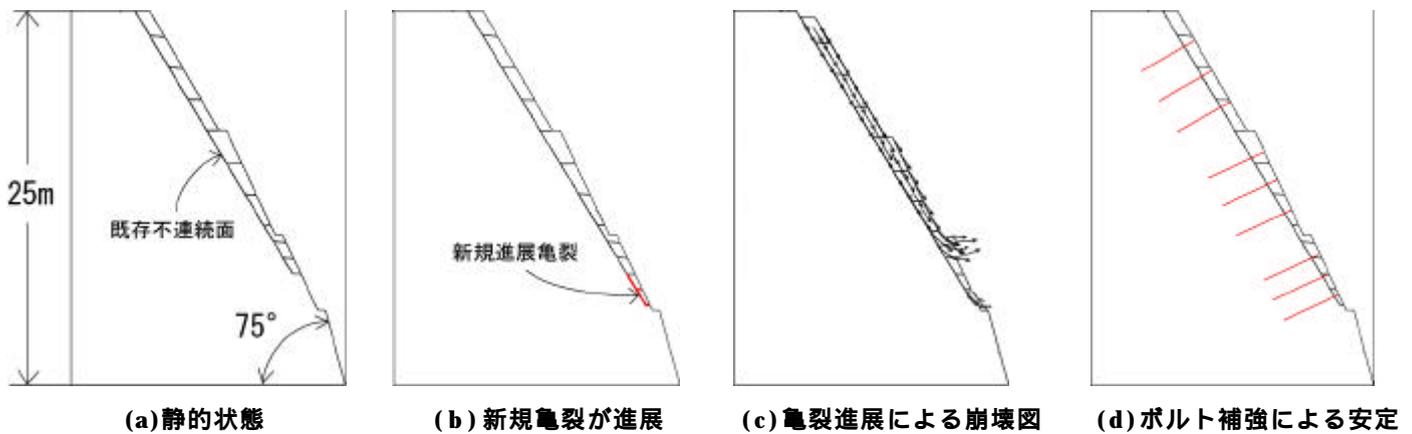


図-6 進行的崩壊のプロセス

5. まとめ

本研究に示した解析手法を用いて、静的状態のみならず、地震時における岩盤斜面に生じるトップリングの発生条件と進行性崩壊のメカニズムを明らかにすることができた。また斜面崩壊を抑制するための合理的ロックボルトの打設パターンを明らかにすることができた。