

数値解析による不連続性岩盤斜面の安定性の評価

山口大学 学 春名啓治 山口大学 学○小島 稔
山口大学 正 寺戸秀和 山口大学 正 清水則一
山口大学 正 中川浩二

1. はじめに

不連続性岩盤斜面の安定性の評価や崩落予測は、岩盤力学分野における主要な研究課題である。本報告は、山口県内のあるトンネル坑口付近の不連続性岩盤斜面を対象に、UDEEC (Universal Distinct Element Code, ver.2.01, ITASCA 社製)¹⁾ を適用し、不連続性岩盤斜面の安定性を検討したものである。UDEEC とは、個別要素法の商用プログラムである。

2. 不連続性岩盤斜面の安定性評価における UDEEC の適用

対象とする不連続性岩盤斜面における不連続面の調査結果より、図-1 に示すような不連続面の極のコンターマップが得られた。図-1 をもとに安定性評価の上で重要と考えられる 2 組の不連続面を対象とし、図-2 に示す解析モデル図を作成した。安定性評価は、5 パターンのモデルを対象に行った。解析上の力学定数を表-1 に示す。

2.1 現況斜面の安定解析

岩盤斜面の安定性を評価する上で重要な点は、破壊する可能性のある面に沿うせん断強度である。ここでは、まず不連続面の摩擦角を 30° に固定し、粘着力を変化させ、斜面にすべりが生じる粘着力の限界値を求めた。最初に、図-2 に示す状態において不連続面の粘着力を仮に $C=100\text{ kPa}$ とし、重力解析を行った結果、斜面は安定を示した。次に、風化などにより粘着力が低下すると想定し、斜面にすべりが生じるまで徐々にその値を低下させ、限界値を求めた結果、 $C=49\text{ kPa}$ のとき、すべりおよびトップリングが生じた (図-3)。したがって、実際の岩盤の不連続面に $C=49\text{ kPa}$ 以上の強度が見込めるかどうか、対策工を講じるかどうかの目安となる。

2.2 斜面上部切り取り時の安定解析

斜面安定のための対策方法として、斜面上部の切り取りを考える。図-2 に示す重力下で安定した状態において、図-4 のように斜面上部をカットし、不連続面の粘着力の限界値を求めた。そ

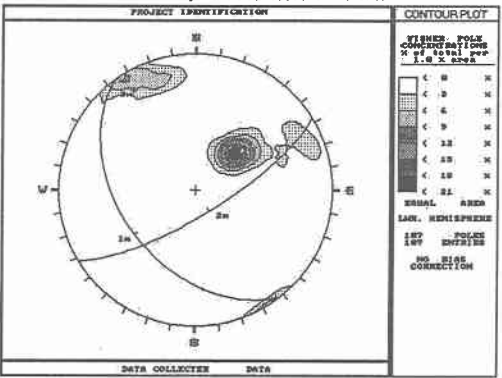


図-1: ステレオネット上に表した不連続面のコンターマップ

表-1: 岩盤、不連続面の力学定数

岩盤の力学定数		不連続面の強度	
弾性係数	$4.0 \times 10^3 \text{ MPa}$	摩擦角	30°
ポアソン比	0.35	引張強度	0 Pa
単位体積重量	28.5 kN/m^3	粘着力	パラメトリックに与える

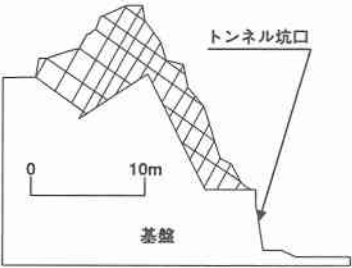


図-2: 解析モデル図

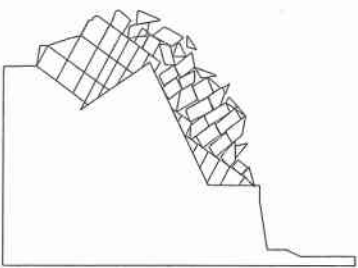


図-3: 斜面崩壊の様子 (C=49 kPa)

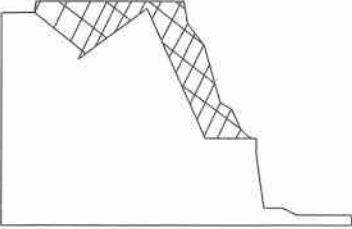


図-4: 解析モデル図 (頂部カット)

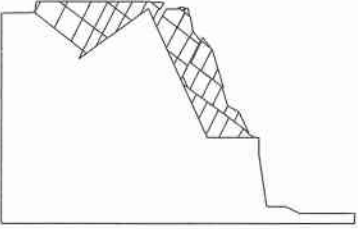


図-5: 斜面崩壊の様子 (頂部カット, C=34 kPa)

の結果、 $C=34\text{ kPa}$ のとき、すべりが生じた(図-5)。斜面上部をカットすることにより、不連続面の粘着力が現況斜面のときよりも低い値であっても斜面は安定することが分かる。また、図-5と図-3を比較すると、トップリングの発生も抑制されている。

2.3 吹付けコンクリートおよびロックボルトによる対策後の安定解析

ここでは、斜面頂部をカットした後に吹付けコンクリートおよびロックボルトを導入した場合の安定解析を行う(図-6)。吹付けコンクリートおよびロックボルトの力学定数を表-2に示す。このとき最悪のケースとして、不連続面の粘着力を $C=0\text{ Pa}$ とした。その結果、吹付けコンクリートおよびロックボルトが有効に働き斜面は安定し、またロックボルトに発生する軸力も最大で 34.6 kN と許容軸力値(45 kN)内に収まった。

2.4 震度法による地震時の安定解析(水平震度 0.15)

斜面頂部をカットした後に吹付けコンクリートおよびロックボルトを導入したケースにおいて、地震時の安定性を検討するために、震度法の考え方により水平震度 0.15 を作用させた解析を行った(図-7)。この場合、不連続面の粘着力は、頂部切り取りを行った場合(図-4参照)の斜面安定の限界値である $C=34\text{ kPa}$ とした。その結果、吹付けコンクリートおよびロックボルトが有効に働き斜面は安定し、またロックボルトに発生する軸力も最大で 27.6 kN であり許容軸力値(45 kN)内に収まった。

2.5 動的解析(水平方向最大速度 0.15g)

図-8に示す重力下で安定した状態において、モデルの底面に水平方向最大加速度 0.15 g (約 150 gal)、周期 0.5 秒のせん断波(単一正弦波)を 30 秒間作用させた。また、このときの不連続面の粘着力を静的な場合において斜面が安定するときの最小値 $C=49\text{ kPa}$ とした。その結果、図-8のようなすべりおよびトップリングの崩壊が生じた。このときの図-8の点 A における水平方向加速度の経時変化を図-9に示す。

表-2: ロックボルト, 吹付けコンクリートの力学定数

ロックボルト (SD295)	吹付けコンクリート
弾性係数	$2.0 \times 10^5\text{ MPa}$
直径 (D19)	19.1 mm
許容強度	45 kN
	弾性係数
	$2.0 \times 10^4\text{ MPa}$
	ポアソン比
	0.3
	吹き付け厚
	20 cm

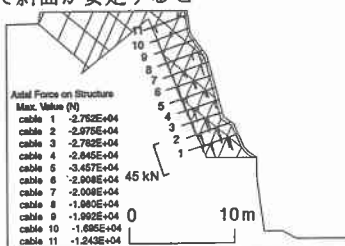


図-6: 吹付けおよびロックボルトによる安定化対策とロックボルトの最大軸力(静的時, $C=0\text{ Pa}$)

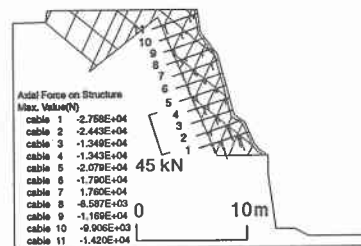


図-7: 吹付けおよびロックボルトによる安定化対策とロックボルトの最大軸力(地震時, $C=34\text{ kPa}$)

3. まとめ

本研究では、個別要素法を用いて、岩盤斜面の安定性を検討した一例を示した。解析においては岩盤斜面の安定化対策として、(1)斜面上部の切り取り、(2)斜面上部の切り取りと吹付けコンクリートおよびロックボルトによる補強について検討した。また、岩盤斜面に安定化対策を施さない場合の、地震による影響を考慮した解析も行った。実務的には、ここで示した検討だけでは不十分で、極限平衡法などの従来法も用いることが必要だが、個別要素法も用い方によっては斜面の安定化対策を考える上で有用であると思われる。

参考文献

- 1) UDEC ver.2.0 user's manual, ITASCA, 1993.

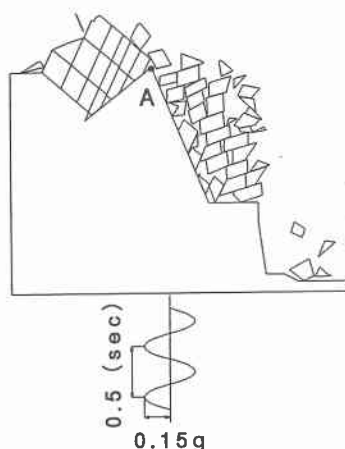


図-8: 動的解析による斜面崩壊の様子 ($C=49\text{ kPa}$)

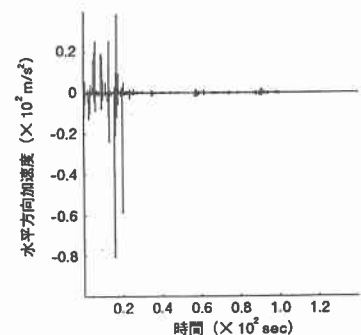


図-9: 点 A における水平方向加速度の経時変化図