

拡張個別要素法を用いた岩盤斜面に生じる進行性破壊メカニズムの解明

長崎大学工学部 学生会員 山崎崇正 長崎大学大学院 学生会員 李 博
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 長崎大学工学部 フェロー 棚橋由彦
 (財)電力中央研究所 正会員 澤田昌孝 九州電力(株) 正会員 山下裕司、大熊信之

1. はじめに

わが国は国土の4分の3が山地を占めるため、自然災害に伴う岩盤斜面崩壊により、多くの被害が生じている。また、崩壊が危惧される岩盤斜面は全国に多数存在している。一旦岩盤斜面が崩壊し始めると、人命に関わる事故だけでなく社会的にも多大な影響を与える恐れがある。斜面崩壊による被害を軽減・防止するために、風化や強度低下による新規亀裂の発生と進展に伴う岩盤斜面の進行性破壊メカニズムの解明が求められている。本研究では、まず、亀裂進展解析コードの検証を行うために、亀裂を有するテストピースを用いて一軸圧縮試験を実施し、拡張個別要素法¹⁾(EDEM)を用いた解析と比較する。次に、拡張個別要素法による数値シミュレーションを実施し、岩盤斜面に生じる進行性破壊メカニズムを解明して、実現場斜面における管理基準を提案することを最終目的とする。

2. 亀裂進展解析コードの検証

2.1 要素試験の概要

本試験は、Tokuyama Dental 社製岩石模擬材(石膏)Rock-1と豊浦標準砂、水を表-1の配合比で図-1に示すような厚さ2cm、幅5cm、高さ10cmのテストピースを作成した。その際、テストピース中にテフロンシートを挿入することで予め亀裂を再現した上で、一軸圧縮試験を行う。テストピースには長さ2.82cmの既存亀裂を与えており、水平に対する傾斜角度を45°とした。なお、テストピースの養生条件は、25℃で1昼夜自然乾燥した後、40℃の乾燥炉で完全乾燥させた。一軸圧縮試験での載荷速度は0.25mm/minとした。

表-1 テストピースにおける配合比(質量比)

	石膏	標準砂	水	遅延剤
配合比	1	3	0.4	0.04

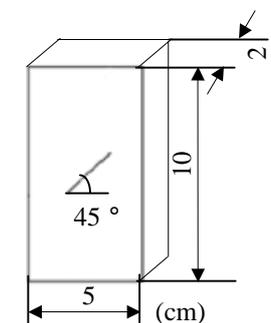


図-1 供試体サイズ

2.2 亀裂進展解析の概要

不連続面の分離や新規亀裂の発生、進展状況を表現することができる拡張個別要素法¹⁾を用いて、テストピースにおける亀裂の発生と進展を解析的に考察する。テストピースの物性値は表-2に示す。

2.3 結果と考察

図-2(a)は試験結果(1例)を示す。新規亀裂が既存亀裂の両端から斜め方向に生じた後、上下方向に進展したことがわかる。また、既存亀裂の上端部では新規亀裂が既存亀裂とほぼ直角の方向に発生している。

図-2(b)に拡張個別要素法を用いた解析結果を示す。試験結果と同様に、解析結果では、既存亀裂の両端から直角の方向に新規亀裂が発生した後、上下の方向に進展していくこと²⁾がわかる。

図-3は応力とひずみとの関係の比較を示す。5個のテストピースを用いた試験の平均最大応力は6.33MPaに対し、解析の最大応力は6.17MPa、試験の平均変形係数は2506MPaに対し、解析の変形係数は2254MPaで、ピーク値までの傾向がよく一致していることから拡張個別要素法は岩盤の変形、亀裂進展特性を捉える上で有効な手段であると考えられる。しかし一方で、解析の残留強度が試験結果と大きく異なることから、今後は要素分割のサイズや接触面の剛性などについて再検討する必要がある。

表-2 テストピースの物性値

項目	値
密度(g/cm ³)	1.81
体積係数(MPa)	1.93
せん断弾性係数(MPa)	16
粘着力(MPa)	2.6
内部摩擦角(°)	25.6
引張強度(MPa)	1.5

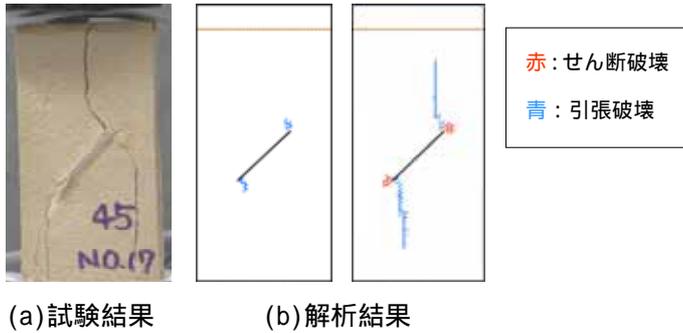


図-2 新規亀裂発生・進展の比較

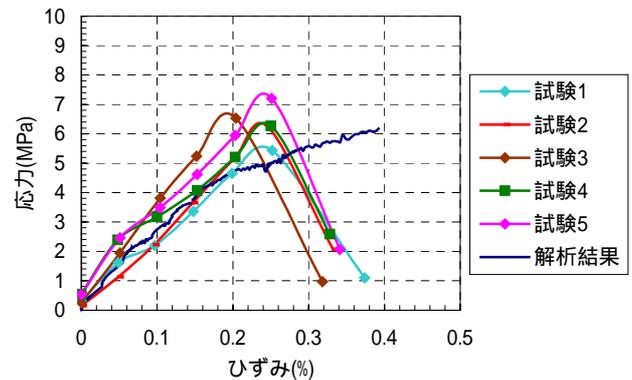


図-3 応力とひずみとの関係の比較

3. 岩盤斜面に生じる進行性破壊メカニズムの解明

3.1 概要

前節の結果を踏まえ、実現規模の斜面を想定したシミュレーションを行う。岩盤斜面のモデルを図-4に示す。傾斜角を 60° とし、斜面上に測点としてA、B、C点を設定する。解析における強度特性は一例として、粘着力 0.28MPa 、内部摩擦角 29° 、引張強度 0.1MPa を用いた。

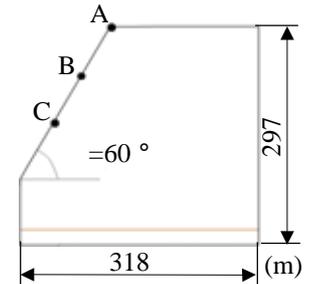


図-4 解析モデル

3.2 解析結果と考察

図-5に解析結果を示す。この図から

のり先からせん断破壊が徐々に天端に向かって進展していることがわかる。引張破壊による亀裂も図-5(b)からすべり帯状に顕著に発生した。図-5(d)ではすべり帯が完全に形成され、のり先に崩壊が見られた。図-6には、

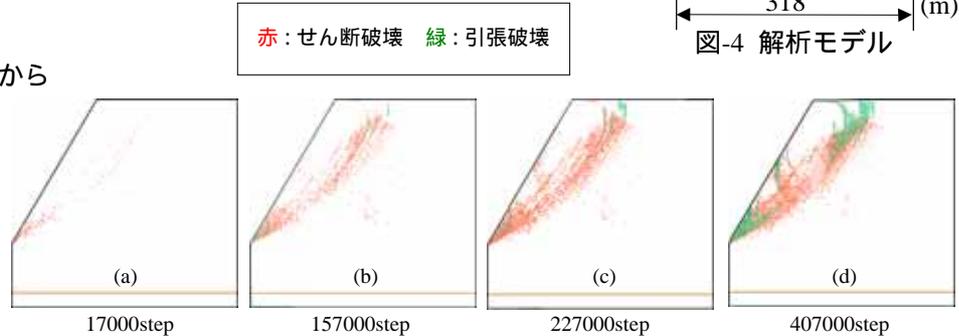


図-5 解析結果(新規亀裂の発生とすべり帯の形成)

各測点の変位の変化を示す。図-5の状態(c)から(d)にかけて変位が収束することなく急速に伸び、斜面崩壊が発生していることがわかる。また、グラフの傾きから変位速度を求めることができ、状態(c)以降は変位速度が3倍以上に急増し、一気に崩壊が進むこともわかる。これは、せん断破壊と引張破壊が円弧状に複合したためと考えられる。斜面における変位の変化や変位速度を求めることにより、斜面崩壊時間を予測し、岩盤斜面の維持管理に寄与することが出来ると思われる。

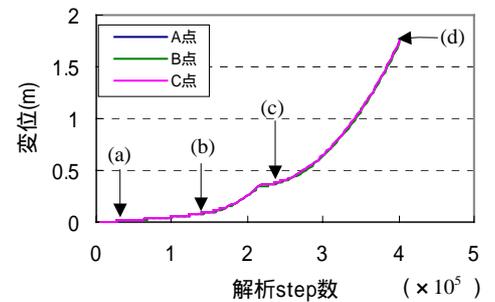


図-6 測点 A、B、C の変位図

4. おわりに

本研究では、テストピースにおける亀裂進展特性を捉えることができ、拡張個別要素法の有効性を示した。また、岩盤斜面に適用することにより、崩壊部やすべり帯の発生プロセスを明らかにし、進行性破壊メカニズムを再現することができた。今後は、解析物性値を変化させ、実現場における危険箇所の特異や崩壊メカニズムの把握など岩盤斜面の安定性評価に適用し、管理基準の提案を行う。

参考文献:

- 1)中川光雄, 蔣宇静: 亀裂発生・進展を考慮した拡張個別要素法の岩盤挙動解析への適用性について, 土木学会論文集, No.673/ -54, pp.101-110, 2001
- 2)R.H.C.Wong : Splitting failure in brittle rocks containing pre-existing flaws under uniaxial compression, Engineering Fracture Mechanics, 69, pp.1853-1871, 2002