

京都大学工学部
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科

学生員
フェロー
正会員
学生員

○星野雅彦
足立紀尚
木村 亮
斎藤雄也

1. はじめに

わが国における斜面災害は、泥岩を多く含む第三紀層堆積軟岩の分布する地域に多数発生している。このような地域で行われる切土工事においては、斜面崩壊が発生することがあり、人的被害の発生など大きな社会問題となっている。このような斜面崩壊は、進行性破壊に起因するものであると考えられており、進行性破壊による斜面崩壊のメカニズムを解明することは重要な問題となっている。そこで本研究では、泥岩切土斜面崩壊の実事例を挙げ、足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式¹⁾を用いて有限要素解析を行い、斜面安定解析を行う。本稿では、解析結果と実事例との比較を行い、静止土圧係数 K_0 が斜面崩壊に与える影響について検討する。

2. 泥岩斜面における崩壊事例

崩壊事例は、第三紀層堆積軟岩が分布する能登半島、石川県鳳至郡門前町濁池斜面で発生している。濁池斜面は、道路の二車線化に伴い、切土が行われた斜面である。濁池斜面の断面図を図-1に示す。図中、左側が山側で水田となっており、右側が谷側で、耕作地・濁池川支流と続いている。斜面周辺には多くの沢が存在し、雨水や雪解け水は斜面を伝って谷側の濁池川支流へと流れている。この濁池斜面は、平成5年3月中旬に切土工事が行われ、切土完了直前3月下旬に底部破壊を起こした。斜面高さ12 m、斜面角1:1であり、すべり面は砂質泥岩である。

3. 解析条件

進行性破壊は、局所的に発生したひずみが時間経過に伴い周辺に広がり、せん断帯を形成し、破壊に至るという現象である。本研究では、この進行性破壊の要因を、地盤内部の過剰間隙水圧の時間変化に伴う有効応力の変化として捉える。そこで、足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式¹⁾を用いて、過剰間隙水圧の時間変化を考慮にするため、水-土連成有限要素解析を行い、実事例との比較・検討する。

地盤材料を把握するため、濁池斜面周辺の地盤に対して行われた排水三軸試験から解析パラメータを設定する。また、原位置の地盤に対して行われた非排水三軸試験では、ひずみ軟化を呈していることから、求められた残留強度 c' 、 ϕ' により、解析パラメータの1つであるひずみ硬化-軟化パラメータ M_f^* を算出する。本研究では、斜面法先部分における拘束圧 $\sigma_3 = 0.196$ MPaの試験結果を用いてパラメータを決定している。

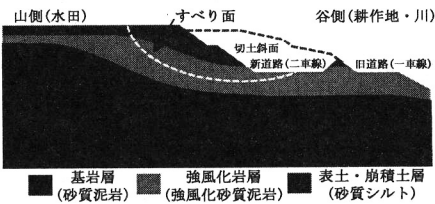


図-1 濁池斜面の断面図

表-1 解析に用いるパラメータ

せん断弾性係数 G (MPa)	7.06
体積弾性係数 K (MPa)	9.82
ひずみ硬化-軟化パラメータ M_f^*	0.529
ひずみ硬化-軟化パラメータ G'	85.0
塑性ポテンシャルパラメータ b (MPa)	0.0001
過圧密境界面パラメータ σ_{mb} (MPa)	2.00
過圧密境界面パラメータ $\bar{M}_m$	1.22
応力履歴パラメータ τ	0.040

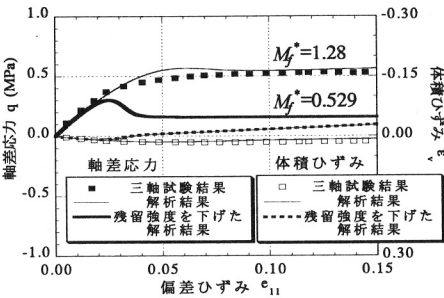


図-2 三軸試験結果およびシミュレーション結果

表-2 解析地盤の材料定数

水中単位体積重量 γ' (kN/m ³)	7.3
静止土圧係数 K_0	0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0
透水性係数 k (m/sec)	10^{-7}

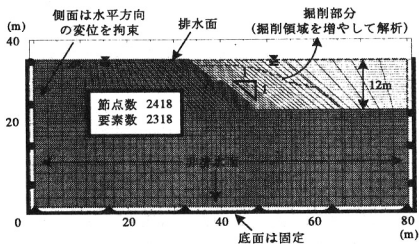


図-3 濁池斜面の断面図

Toshihisa ADACHI, Makoto KIMURA, Yuya SAITO, and Masahiko HOSHINO

解析で用いるパラメータを表-1に示す。三軸試験結果およびシミュレーション結果を図-2に示す。また、解析地盤の材料定数を表-2に示す。静止土圧係数 K_0 は、0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.0の7通りとする。

境界条件および解析メッシュを図-3に示す。底面は水平・鉛直方向ともに拘束し、側面は水平方向のみ拘束する。排水面は地表面のみとし、掘削後にできる地表面も排水面となる。地下水面は掘削前は地表面にあるが、掘削に伴い掘削後にできる地表面に推移させる。掘削は11.6日で完了するものとし、応力開放率 0.05 %/step、時間ステップ 2000 step (500sec/step)で行う。掘削完了後、時間ステップ 18000 step (500sec/step)、104.2日間放置する。

4. 解析結果

図-4にそれぞれの K_0 における塑性せん断ひずみを示す。図は掘削完了後104.2日後(20000 step目)の塑性せん断ひずみのコンター図である。斜面法先部分の発生状況を見ると、 $K_0 = 2.0$ で最も発生しているが、せん断帯の形成には至らず、実事例のすべり面に相当するものではなかった。そこで、 $K_0 = 2.0$ の場合で要素レベルの破壊の進行を調べるため、斜面法先から左上方向内部に3つの要素(要素番号1199, 1236, 1273)を抽出し、これらの要素の経時変化を見る。

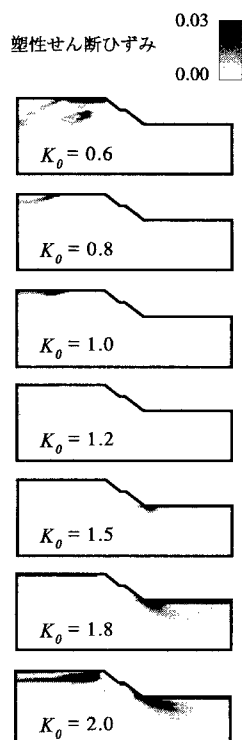


図-4 塑性せん断ひずみ

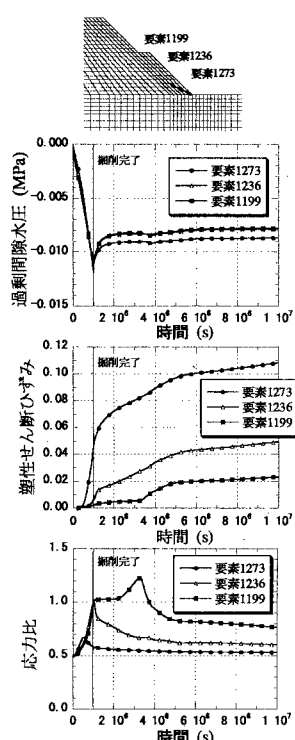


図-5 各要素の経時変化

図-5に示す。塑性せん断ひずみが時間のずれを伴いながら発生しており、応力比についても同様に時間のずれを伴いながら軟化している様子を捉えている。ひずみや応力の変化が斜面内部方向に伝播していることがわかる。また、応力経路および応力履歴経路を図-6に示す。掘削により負の過剰間隙水圧が発生し、せん断応力の増加に伴い一時的に要素は安定する。しかし、負の過剰間隙水圧の消散に伴い、有効応力の減少・応力の集中が起こり、ひずみ軟化が起こる。こうして、応力経路および応力履歴経路は M_y^* -Lineに漸近し、破壊に至ったと考えられる。そして、破壊要素の斜面内部への伝播が見られ、進行性破壊現象の前兆を捉えることができたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、泥岩切土斜面における進行性破壊現象について、足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式を用いて、水・土連成有限要素解析により検討を行った。濁池斜面の泥岩は、過圧密な地盤に相当するような静止土圧係数の大きな地盤であると考えられる。また、要素レベルの破壊形態を確認することができ、斜面法先部分の要素の個々の状態を確認することで、斜面内部に破壊が伝播しているという進行性破壊現象の前兆を捉えることができた。

謝辞: 本研究は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)(2)No.12450191(研究代表者:足立紀尚)の補助を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 足立紀尚・岡二三夫: 軟岩のひずみ軟化型弾塑性構成式, 土木学会論文報告集, 第445号 pp.9-16, 1992.

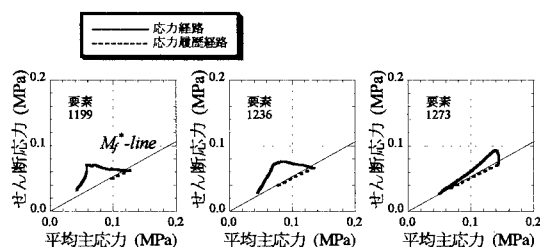


図-6 応力経路および応力履歴経路