

ひずみ軟化型弾-粘塑性構成式によるモデル地盤における進行性破壊の解析

京都大学工学部	正会員	足立紀尚
岐阜大学工学部	正会員	岡二三生
京都大学大学院	学生員	○張 鋒
京都大学大学院	学生員	曾良岡宏

1. まえがき

地盤材料の時間依存性挙動としては、主に、クリープ挙動、ひずみ速さ効果および応力緩和現象の3つが挙げられる。著者は、軟岩に対して適用性の示された足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式を發展させて、ひずみ硬化-軟化挙動ならびに時間依存性挙動の双方を表現できる弾-粘塑性構成式を誘導した¹⁾。軟岩に対する排水クリープ試験および排水三軸せん断試験への同構成式の適用性について検討した結果、上記の3つの時間依存性挙動を表現できることがわかった。本研究では、進行性破壊のメカニズムを解明するために同構成式を適用して、有限要素法によってモデル地盤における斜面の進行性破壊現象を解析した。

2. 解析結果と分析

解析の対象とするモデル地盤は強風化軟岩を想定したものであり、その材料定数をTable 1に示す。Fig. 1は本研究で提案したひずみ軟化型弾粘塑性構成式によって得られたモデル軟岩の応力-ひずみ関係を示している。モデル地盤における斜面の勾配は4/3、高さが20m、幅が15mである。有限要素解析に用いられる要素は8節点のアイソパラメトリック要素であり、要素数と節点数はそれぞれ570と1817である。本研究では、解析地盤内の初期応力は自重応力場の初期応力解析を行って解析領域内に応力を発生させる方法を採用することとした。また、簡単のため、本解析では斜面の掘削にあたる所要時間がゼロと仮定する、すなわち、斜面は瞬間的に完成したものと仮定する。

Fig. 2はクリープ破壊領域の経時変化を示している。破壊が局部的に始まり、次第にほかの部分に広がることが本解析で確認された。Fig. 3に応力場の経時変化を示す。このうち、Fig. 3(a)は掘削直後の応力場を示すものである。斜面から離れた地点の主応力方向は水平方向と鉛直方向に卓越しており、水平主応力と垂直主応力の比は K_0 とほぼ等しいことがわかる。Fig. 3(b)は斜面できてから156.3分経過した時点の応力場を示すものである。掘削直後の応力場に比較すると、応力場がかなり変化している。斜面底面近辺の最大主応力の方向は40度程度回転し、水平方向に傾いている傾向がみられる。水平主応力と垂直主応力の比は著しく増加し、場所によっては1より大きいこともある。これはクリープ効果により斜面頂面の地盤が斜面底面へ流れ込むことによって生じたものと考えられる。

Fig. 4はクリープ破壊状態における地盤の変位ベクトル図である。この図より、斜面が円弧すべりのように滑ろうとする傾向がはっきりみられるのみならず、クリープ破壊に至ると、地盤内に局部的な大変形が発生することもわかる。

Fig. 5は斜面ののり面底部付近の要素の応力経路を示している。要素150は掘削直後の段階で残留強度線を越えているが、ピーク強度にはまだ達していない。せん断により正八面体せん断応力は最大強度まで増加し、その後軟化領域に入り次第に残留状態に至る。一方、要素180は掘削直後の段階ではせん断応力が減少するが、ある時点から増加に転じ、最終的に破壊状態に達する。このように要素180のせん断応力が増加するのはのり面底部要素150のせん断強度がクリープ破壊により次第に減少するにつれて、応力が再分配される結果と考えられる。この現象より、本構成式による解析は破壊が局部的に始まり次第にほかの部分に広がるような進行性破壊のメカニズムをよく表現できると言える。

Fig. 6(a)は要素150の正八面体せん断ひずみ速度と経過時間の関係を示している。遷移クリープから加速クリープ状態への変化が明確に示されていることから、境界値問題のクリープ破壊現象を有限要素解析で表現できることがわかった。Fig. 6(b)は要素180の正八面体せん断ひずみ速度と経過時間の関係を示している。近傍の要素のクリープ破壊の影響を受けてクリープひずみ速さには多少の振動が見受けられるが、全体的な傾向としては要素150と同様に遷移クリープから加速クリープ状態への変化が観察されることがわかった。

Fig. 7(a)は要素150の正八面体せん断応力とひずみの関係を示す。典型的な地盤のひずみ軟化挙動を示すことがわかる。一方、Fig. 7(b)に示す要素180の正八面体せん断応力と塑性ひずみの関係は、この点が初期段階でほぼ応力緩和状態であるために、一旦せん断応力が減少し、近傍の要素がクリープ破壊に至るとせん断応力が増加に転じ最終的に破壊状態に至ることを示唆している。

3. 結論

モデル地盤における進行性破壊解析した結果、著者が提案した構成式に基づいて有限要素法によって斜面の進行性破壊の境界値問題を取り扱うことができることが分かった。

4. 参考文献

1) 足立紀尚、岡二三生、張 鋒、曾良岡宏、地盤材料の弾-粘塑性構成式の誘導とその適用性について、第29回土質工学研究発表会、1994(投稿中)

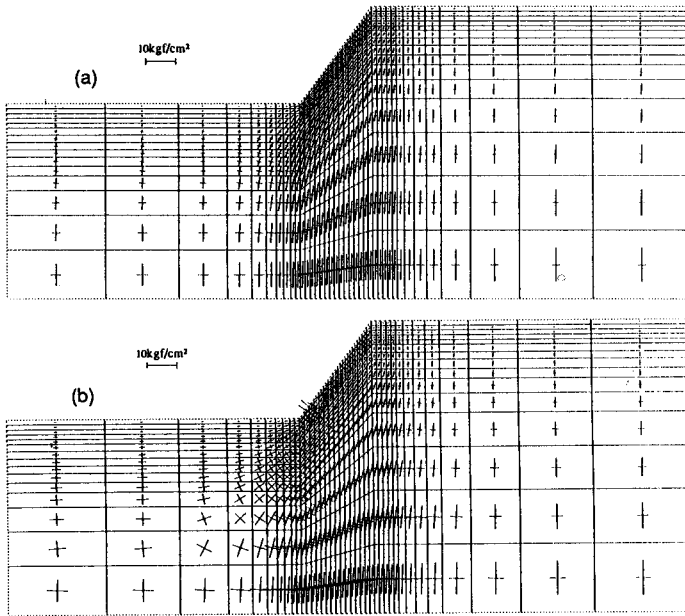


Fig.3 主応力場(a)(t=0.0min.), (b)(t=5554.8min.)

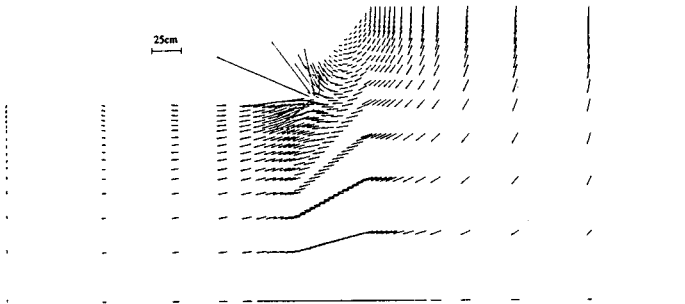


Fig.4 変位ベクトル(t=5554.8min.)

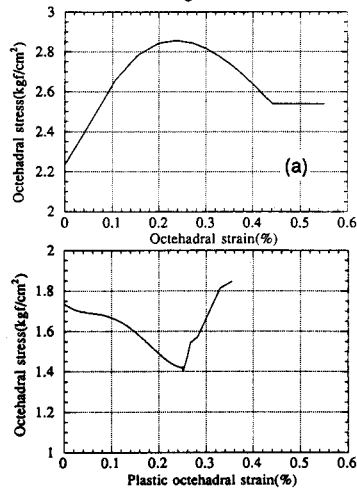


Fig.7 正八面体せん断応力-正八面体せん断ひずみ関係(a)要素150, (b)要素180

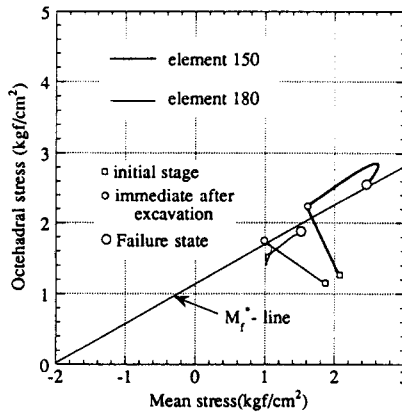


Fig.5 のり面要素での応力経路

σ_{m0} (kgf/cm ²)	0.10	K (kgf/cm ²)	847.2
M_r^*	0.528	b (kgf/cm ²)	2.0
a	-0.10	σ_{mb} (kgf/cm ²)	29.0
G'	150.0	M_m	1.194
G (kgf/cm ²)	484.1	τ	24.15
α	0.614	β	0.11
g	1.0		

Table 1 解析に用いた材料定数

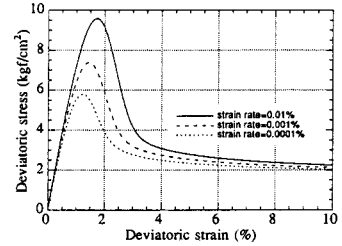


Fig.1 軸差応力-ひずみ関係

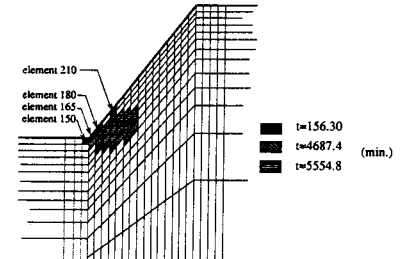


Fig.2 クリープ破壊領域の経時変化

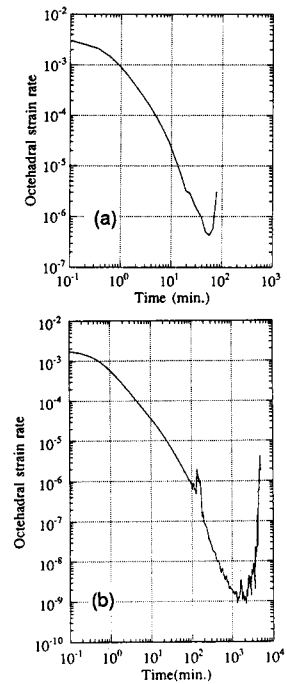


Fig.6 ひずみ速さ-時間関係
(a)要素150, (b)要素180