

京都大学工学部 正 員 足立紀尚, 吉田信之
清水建設 正 員 ○中山かおり

1. はじめに

堆積軟岩における掘削斜面の安定性は掘削完了後時間の経過とともに低下する傾向にある。この長期不安定化の主要因の一つとして、掘削に伴う吸水膨張や風化作用に伴う構造劣化などに起因した時間依存性現象である軟弱劣化が挙げられる¹⁾。また、軟岩はひずみ軟化挙動を呈するため、進行性破壊も潜在的に安定性を低下させる。本報では、軟弱劣化による時間依存性強度低下、材料のひずみ軟化挙動と地盤内の初期 K_0 応力状態を考慮してモデル地盤における掘削斜面の弾塑性有限要素解析を実施し、掘削に伴う斜面の逐次破壊に関して考察を加える。

2. 解析概要

解析手順として、まず、初期応力場を仮想ポアソン比を用いてスイッチ・オン・グラヴィティ法により解析地盤に導入する。このとき得られた応力を初期応力として、ポアソン比を真値に換え、多段階掘削シミュレーションを行なう。掘削完了後に地盤が軟弱劣化し始めることとし、軟弱劣化解析を行なう。なお、軟弱劣化は、時間経過とともに地盤材の破壊包絡線がその低応力レベルでの非線形性の消失を伴いながら縮小していく現象として表すことができる¹⁾。モデル地盤の構成材は表-1に示すような仮想材料を仮定するが、これはほぼロンドン粘土に相当するものである。掘削は、水平地盤を30度の角度で1mずつ深さ8mまで多段階掘削するので、その有限要素メッシュを図-1に示す。完全軟化状態に至る時間は100年とし、また、地盤全体が軟弱劣化するものとする。

3. 結果と考察

本報では紙数の都合上、 K_0 が0.8の場合について得られた結果の一部のみ示すこととする。図-2、3はそれぞれ掘削段階および軟弱劣化過程におけるのり先(Toe)及びのり肩(Crest)の変位変化を示したものである。なお、変位の符号は鉛直上向きを正に、水平方向は右向きを正にとっている。また、図-3では、掘削中に生じた変位量をゼロとして表示している。のり先、のり肩とも掘削により上方向へ変位しているが、軟弱劣化過程でのり先はさらに上方向へと変位するが、のり肩では逆に下方向への変位が生じていることがわかる。なお、掘削段階では地盤内に降伏は認められなかった。軟弱劣化過程では70年から変位が徐々に増大していくが、これは掘削後70年で斜面ののり先付近から降伏し始めることに付随している。掘削後斜面崩壊に達するまでの時間は94.4年である。

図-4、5に、のり先近傍および掘削底面近傍での初期、掘削段階、軟弱劣化過程における応力経路を、破壊包絡線の変化とともに示す。なお、破壊包絡線はピーク時、完全軟弱劣化時、残留時のみ描いてある。図中の矢印は初期応力状態である。のり先および掘削底面では、掘削に伴いまず σ_1 方向に、続いて σ_3 方向に応力が解放されていくのがわかる。また、強度低下による地盤の降伏とともに、応力が σ_3 をほぼ一定に保ったまま完全軟弱劣化状態へと減少していく様子がわかる。また、T1では応力が低下している一方、斜面内部では(T3からT5)応力の増加が認められるが、これはのり先

Toshihisa Adachi, Nobuyuki Yoshida, Kaori Nakayama

での降伏により生じた超過応力が斜面内部へと伝播したためであると考えられる。また、掘削底面下でも同様な応力変化を示すように思われる。

4. 結論

本解析より、軟弱劣化により地盤が逐次的に降伏していき、変形が進むとともに地盤内応力が再分配されていくことが認められた。

参考文献

1) Yoshida, N., Morgenstern, N. R. and Chan, D. H.: Finite-element analysis of softening effects in fissured, overconsolidated clays and mudstones, Can. Geotech. Jour., Vol.28, pp.51-61, 1991.

表-1 モデル地盤材料の強度変形特性

$\gamma(\text{MN/m}^3)$	0.02	B_u	1.873
$\sigma_v(\text{MPa})$	0.206	S_u	-0.083
A_u	3.773	$E'(\text{MPa})$	13.79
A_v	1.040	ν'	0.25
A_c	0.581		

注)サブスクリプト0,fs,rは初期、完全軟弱劣化時、残留時を表す

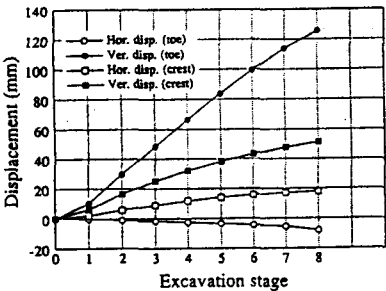


図-2 のり先およびのり肩における変位の掘削に伴う変化

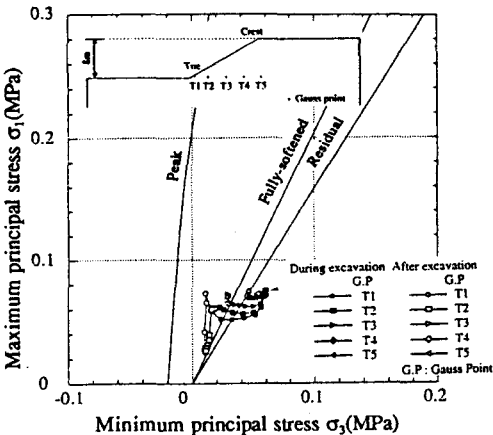


図-4 のり先近傍の応力経路

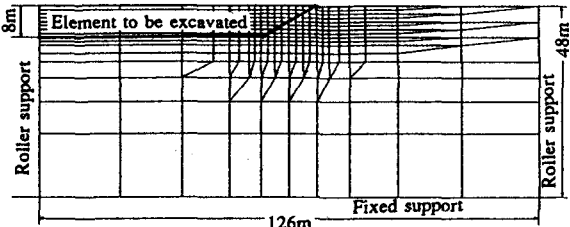


図-1 有限要素メッシュ(節点数358、要素数348)

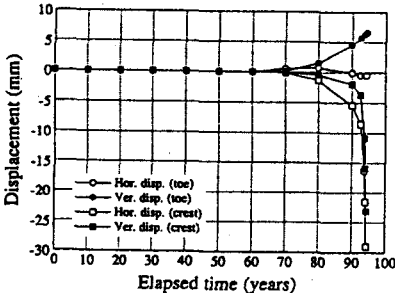


図-3 軟弱劣化によるのり先およびのり肩における変位の経時変化

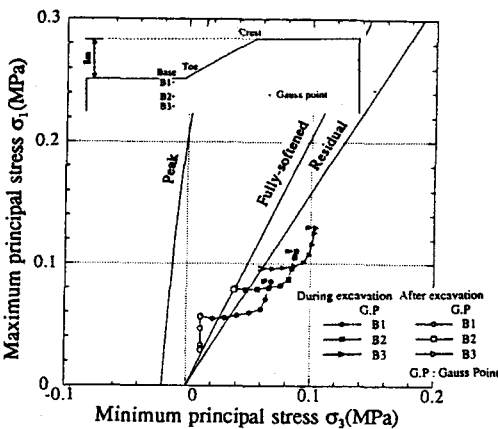


図-5 掘削底面近傍の応力経路