

(株) テクノソール 正会員 ○鈴木 博

(株) テクノソール 正会員 辰井俊美

東 洋 大 学 正会員 石田哲朗

1. まえがき

山留め・掘削工事においては、掘削地盤周辺も含めた事前の変状予測が工事の安全性に重要な課題の一つとされている。しかし、変状予測の解析に用いられる地盤の入力物性値は、ほとんどの場合、設計者の経験的な判断に委ねられたり、一般的な試験方法に準じて得られた強度定数等を用いるのが通常である。これらの入力物性値は、必ずしも掘削周辺地盤の応力条件を満足している値ではなく、また、確認されないまま適用されている。従って、筆者らは、想定される山留め掘削時の地盤状態を考慮した室内試験を行い、入力物性値と解析手法に関する土のモデル化への適用性について検討を行ってきた。¹⁾²⁾本報では、砂質土に対する密度状態の物性値への依存性および掘削・切梁等による除荷・再載荷の連続的な土のモデル化に関する知見を述べる。

2. 試験方法および試験条件

本研究で使用した三軸試験装置は、軸応力、拘束圧、背圧の三系統を制御することができるサーボシステムを有しており、任意の応力経路あるいはひずみ経路に沿って、連続的に制御できる機構となっている。試験に用いた試料は、珪砂6号である。供試体（ $\phi 50\text{mm} \times h 100\text{mm}$ ）は、空中落下法により相対密度がそれぞれ60%、80%になるよう密度調整した後、三軸セル内で CO_2 ガスと脱気水により完全飽和（ B 値 ≥ 0.95 ）させた。試験条件を表1に示す。試験は、一般に行われる等方圧密状態での圧縮試験のほか、掘削時の応力・変形挙動を考慮した応力経路（図1）に沿ってせん断過程を設定した。 K_0 圧密過程では既往の K_0 試験結果³⁾に基づき、主応力一定（ $\sigma_3/\sigma_1=K_0$ 値）条件下で所定の圧密状態まで載荷した。

表1 試験条件

圧密条件	せん断過程	相対密度 D_r (%)	応力経路
等方圧密	平均主応力一定	60, 80	P-E-P-E'
	軸圧一定側圧減少	60, 80	P-B-P-B'
	軸圧減少側圧一定	60, 80	P-D-P-D'
K_0 圧密	平均主応力一定	60	O-E
	軸圧一定側圧減少	60	O-A
	軸圧減少側圧一定	60, 80	O-C

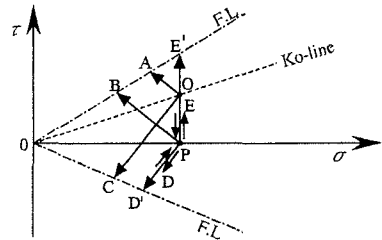
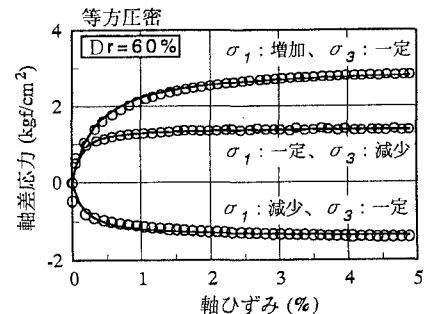


図1 応力経路図（模式図）

3. 試験結果および考察

各試験条件より得られた応力～ひずみの関係（ K_0 圧密 2kgf/cm^2 ）を図2に示す。土の応力～ひずみ関係は、掘削による周辺地盤の変形を予測するためのFEM解析等に適用され、応力～ひずみ関係のモデル化の適合性が予測される変形挙動に大きく左右される。図中の曲線は、Duncan-Chang⁴⁾モデルに代表される双曲線により、最大主応力差が現われるひずみレベルまでを回帰した結果である。 K_0 および等方圧密条件下での土の応力～ひずみ関係は、地盤の初期応力状態およびせん断状態にかかわらず、双曲線回帰により極めて高い相関で近似されることを示している。また、密度状態が異なる場合でも、同様の傾向を示している。図3は、双曲線回帰より得られた定数（ $1/a$ ）と密度の関係を整理した結果である。双曲線回帰より得られる定数 a の逆数は初期変形係数、 b の逆数は主応力差のピーク強度の大きさを示す。変形係数は初期の応力状

図2 (a) 応力～ひずみ関係（等方・ $D_r=60\%$ ）

態により異なった値を示しており、 K_0 圧密条件下での変形係数は、一般に行われる等方圧密条件下での三軸圧縮試験より2倍以上大きな値を示すことがわかる。また、最大主応力差に関しては、初期の応力状態にかかわらず同じ大きさを示すが、せん断状態により異なった値を示している。今回は砂質土を対象としており、この最大主応力差の差異は強度定数に密接に関係するもの考えることができ、せん断状態によって強度定数は異なることが予想される。

図4は、山留め掘削時の施工形態（切梁軸力）を考慮して実施した繰返し載荷時の応力～ひずみの関係（圧密圧 2kgf/cm^2 ）を示したものである。また、図5は各ひずみレベルでの載荷時の変形係数を整理したものである。これらより、ひずみレベル1%程度内での再載荷時における変形係数は、ひずみレベルの大きさに関係なくほぼ同じ値を与えることがわかる。このことは、再載荷時に対する土のモデル化が複雑化されることなく、一義的にモデル化されることを示していると言える。

これらのことより、地盤の初期応力、密度、せん断状態に関係なく、一般に用いられるDuncan-Chang、ネルソンモデル等に代表される解析手法が適用されることを示唆しているが、入力する物性値については、掘削時の応力状態を加味した補正が必要となる。

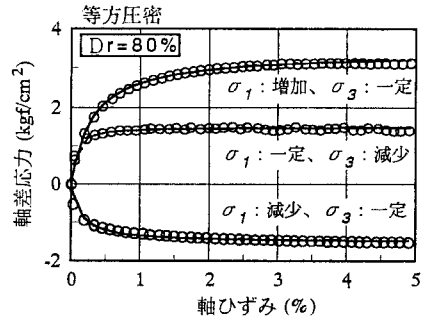


図2 (b) 応力～ひずみ関係（等方・ $Dr=80\%$ ）

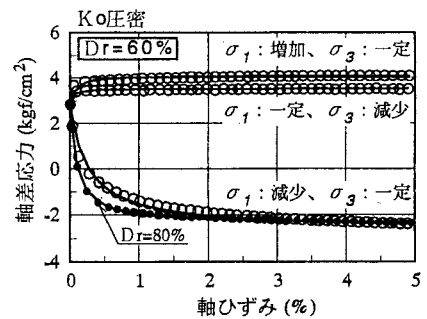


図2 (c) 応力～ひずみ関係（ K_0 ・ $Dr=60\%$ ）

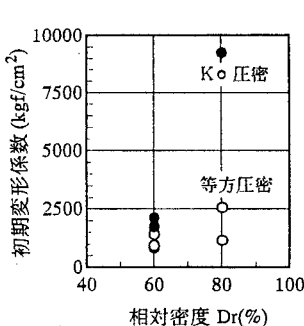


図3 初期変形係数と相対密度の関係

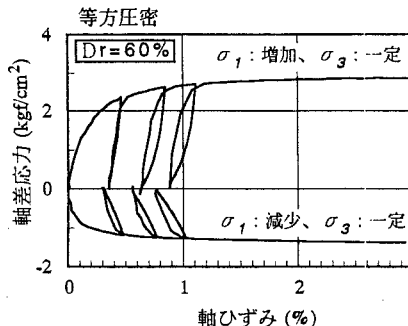


図4 繰返し載過時の応力～ひずみ関係

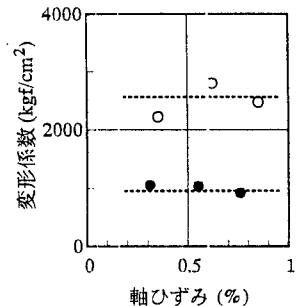


図5 変形係数とひずみの関係

4. あとがき

本報は、砂質土を対象とした限られた条件下での結果であり、今後は、種々の土質を対象として山留め掘削時の応力状態を考慮した入力物性値の決定と土のモデル化に対する解析手法への適用性に関する確認を考えている。さらに、これらの適用性に影響を与えると思われる拘束圧、過圧密比、飽和度、異方向性などについて検討していきたい。最後に、本報は東洋大学の石塚太、寺島健悟君らの卒業研究と共同で進めてきた実験の一部分を基にまとめたものである。彼等の実験に対する熱意に対して、心から感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 鈴木・辰井・石田：掘削時の応力・変形挙動を考慮した土の強度特性；第22回関東支部技術研究発表会講演集，土木学会，pp274-275，1995.3
- 2) 鈴木・辰井・石田：掘削時の応力・変形挙動を考慮した土の強度特性（その2）；第23回関東支部技術研究発表会講演集，土木学会，pp342-343，1996.3
- 3) 辰井・佐藤・鈴木： K_0 状態における土の応力・変形特性について；第28回土質工学研究発表会講演集，土質工学会，pp439-440，1993.6
- 4) Duncan J.M. and Chang C.Y.: Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils, *jour. of S.M.F. Div., ASCE*, Vol.96, No.SM5, pp1629-1653, 1970