

(Ⅲ-32) 掘削時の応力・変形挙動を考慮した土の強度特性

(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. はじめに

近年の社会的背景に伴って、大深度掘削に対するより安全な設計法と施工法の開発が要求され、特に最近では、動態観測による情報化施工管理システムを適用した施工例が多く見受けられる。しかしながら、FEM解析などの数値解析より予測される周辺地盤の変位量は、対象となる地盤の不確定な物性値、土のモデル、あるいは地盤モデルの設定次第によって、大きく影響されることが予想される。従って、解析においては、予測結果に大きく影響する不確定な地盤定数をいかに決定するかが重要な課題と考えられる。

本研究は、想定される山留め掘削時の応力状態を室内の三軸試験装置内で再現することにより、確実性の高い地盤定数の評価（設定）と土のモデル化についての検討を行ったものである。

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の概要を図2-1に示す。本装置は、軸応力、拘束圧、背圧の三系統のサーボシステムと軸ひずみ（大、小）、体積変化のセンサーを有し、任意の応力経路あるいはひずみ経路に沿って、連続的に細かく制御（2ms/回）することができる完全自動型の多機能三軸試験装置である。

試験に用いた試料は、珪砂6号である。供試体（ $\phi 50\text{mm} \times h100\text{mm}$ ）は、AP法により相対密度60%となるよう密度調整した後、三軸セル内でCO₂と脱気水により完全飽和（B値 ≥ 0.95 ）させた。試験条件を表2-1に示す。試験条件は、掘削時の土の応力変形挙動を考慮して、図2-2に示す応力経路（模式図）に対して、圧密過程およびせん断過程を設定した。特に、原地盤がK₀圧密状態にあること、また、掘削問題に対しては、地盤の応力状態が伸張状態を表すなど、通常行われる等方圧密での圧縮試験に対して検討することを考慮している。なお、K₀圧密過程では、既往のK₀試験結果¹⁾に基づき、主応力比一定（ $\sigma_3/\sigma_1=K_0$ 値）条件下で所定の圧密状態まで載荷した。

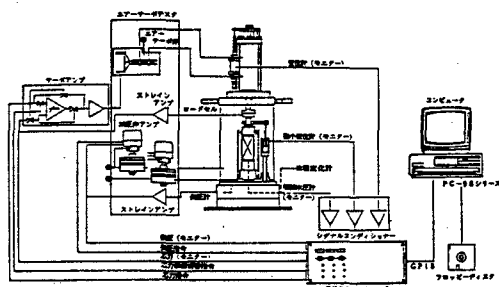


図2-1 三軸試験装置制御系概要図

表2-1 試験条件

圧密過程	せん断過程	応力経路
等方圧密	平均主応力一定試験	P-E
	軸圧一定側圧減少試験	P-B
	軸圧減少側圧一定試験	P-D
K ₀ 圧密	軸圧一定側圧減少試験	O-A
	軸圧減少側圧一定試験	O-C

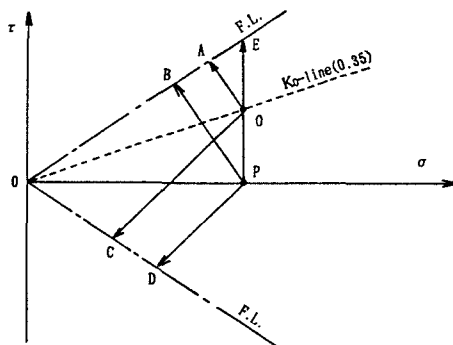


図2-2 応力経路図

3. 試験結果および考察

(1) 排水せん断強さについて

各試験条件より得られた内部摩擦角(ϕ_a)を表3-1に示す。また、破壊包絡線を図3-1に示す。内部摩擦角は、試験条件により異った値をとる。伸張試験から得られる排水せん断強さは、圧縮試験時に比べて約0.5~0.7倍とかなり小さい。また、試験時の圧密状態に着目すると、圧縮試験時の排水せん断強さに有意な差違は見られないが、伸張試験時には、 K_0 状態に対するせん断強さは、等方圧密状態に比べて約0.7倍とかなり小さくなる。このことは、掘削時の地盤のせん断強さ(強度定数)を通常行われている圧縮試験から評価することに問題があることを示唆している。

伸張試験による排水せん断強さが、圧縮試験の場合よりかなり小さくなることはよく知られている関係であり²⁾、この他に実際の地盤では、応力変化のみならず平面ひずみ条件、異方性など、さまざまな応力条件と排水条件下で地盤変状が起こっていることに注意する必要がある。

(2) 土の応力~ひずみ関係のモデル化について

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、試験結果を基に双曲線近似等によりモデル化され、FEM解析等に適用される。図3-2は、三軸試験結果から主応力差のピーク強度までを双曲線近似した結果を示したものである。同図は、圧密およびせん断条件にかかわらず極めて高い相関で近似されることを表わしている。このことは、一般に用いられているDuncan-Chang³⁾モデル等に代表される解析方法が適用できることを示唆している。しかしながら、掘削時の初期応力状態(K_0)および伸張状態などを加味したモデル式の補正が必要である。

4. おわりに

今後は、自然地盤に対する地盤の状態(密度、飽和度、異方性等)あるいは応力履歴(過圧密比、せん断履歴等)などの影響に対する物性値の決定と土のモデル化に対する妥当性を確認することを考えている。特に、繰返し載荷時に対する変形係数の取扱いについては、さらに詳細な検討が必要と考えられる。

[謝辞]本研究にあたっては、ヒロセ株式会社および川商リースシステム株式会社の御理解、御協力を得た。ここに記して御礼申し上げる。

[参考文献]

- 1)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
- 2)Wayne, P.W.: Stress Anisotropy effects on clay strength, Jour. of the G.E. Div., ASCE, Vol. 111, No. 3, pp356-366, 1985
- 3)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, pp. 1629-1653, 1970

表3-1 内部摩擦角

圧密過程	せん断過程	ϕ_a (度)
等方圧密	平均主応力一定試験	38.3
	軸圧一定側圧減少試験	36.5
	軸圧減少側圧一定試験	26.8
K ₀ 圧密	軸圧一定側圧減少試験	35.9
	軸圧減少側圧一定試験	18.6

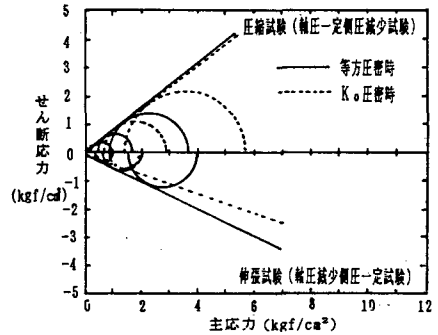


図3-1 破壊包絡線

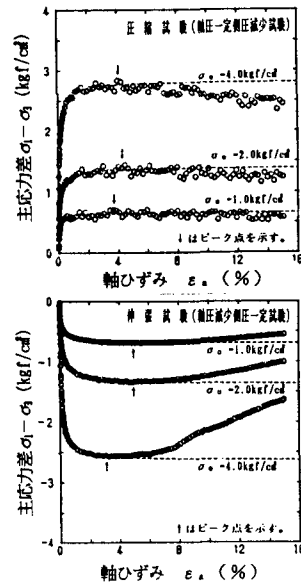


図3-2 応力~ひずみの関係 (双曲線近似)