

## III-240 密づめ砂の異方圧密特性

北海道大学大学院 学生会員 劉 朝鋼  
 北海道大学工学部 正会員 土岐 祥介  
 室蘭工業大学工学部 正会員 三浦 清一

通常の三軸試験機を用いて、密な砂に対する主ひずみ比を一定に保つように制御した異方圧密試験から得られた2、3の結果を以下に報告する。

## 1. 試験方法

用いた試料はあらかじめ水洗いして、炉乾燥した豊浦砂( $G_s=2.64$ ,  $e_{max}=0.998$ ,  $e_{min}=0.616$ )で、供試体は多重ふるい落下法(MSP法)<sup>1)</sup>によって作製したものである。その直径は70mm、高さは170mmで、相對密度はすべて、圧密終了時( $P_c=98\text{kPa}$ )に $90\pm3\%$ の範囲に収まるように多重ふるい落下装置を調節した。三軸装置にセットした供試体は9.8kPaの等方自立応力下で、 $\text{CO}_2$ と脱気水を通した後、196kPaのバックプレッシャーを供給して、飽和した。この時点での応力状態( $\sigma'_r=\sigma'_\theta=\sigma'_v=9.8\text{kPa}$ )は圧密開始の基準状態で、すべての試験において同じである。

圧密は排水条件の下で、軸ひずみと側方ひずみの比 $\varepsilon_r/\varepsilon_\theta$ を一定に保ちながら、軸応力 $\sigma_\theta$ と側方応力 $\sigma_r$ を段階的に載(除)荷するという手法で行った。 $\varepsilon_\theta$ は載荷ラムに取り付けたダイヤルゲージによって直接測定し、 $\varepsilon_r$ はビュレットから測定した供試体の体積ひずみ $\varepsilon_v$ を用いて、 $\varepsilon_v=\varepsilon_\theta+2\varepsilon_r$ の関係に基づいて間接的に求めた。また、ビュレットから得た体積変化量に対して、メンブレン貫入の補正を行った。なお、体積変化量の測定精度を上げるために差圧計(富士電機製 model FFB22)を取り付けた直立型ビュレットを採用した。差圧計の分解能は1mVに対応する水頭変化が0.0633mmであり、これは本試験において体積ひずみ約 $\pm 0.0018\%$ に相当する。

試験ケースは主ひずみ比を種々の値に変え、各主ひずみ比毎に、過圧密比を1、2、4としたものである。図-1はひずみ経路の模式図である。図中の角度パラメータ $\alpha$ は主ひずみ比値と等価のもので、供試体の異方圧密条件を表すのに便利である。 $\alpha$ 値と $\varepsilon_r/\varepsilon_\theta$ の対応関係は表-1に示す。

表-1  $\alpha$ 値と主ひずみ比 $\varepsilon_r/\varepsilon_\theta$ の対応関係

|                                    |      |      |       |       |       |          |       |       |
|------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|
| $\varepsilon_r/\varepsilon_\theta$ | -0.3 | 0    | 0.5   | 1.5   | 3.0   | $\infty$ | -1.3  | -0.8  |
| $\alpha$ (deg)                     | 73.3 | 90.0 | 116.6 | 146.3 | 161.6 | 180.0    | 217.6 | 231.3 |

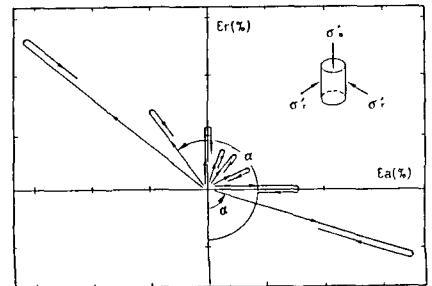


図-1. ひずみ経路

## 2. 試験結果および考察

図-2に主ひずみ比 $\varepsilon_r/\varepsilon_\theta$ 一定の異方圧密中における主応力比の変化を示す。載荷直後においては初期状態の影響を受けるためK値の変動が大きいが、圧密応力( $P'$ )の増大に従って、Kはある値に収束していく傾向が見られる。K値と $\alpha$ 値の関係は、図-3に示すように、従来のK一定試験から求めたもの<sup>2)</sup>(図中のプロット点)とほぼ一致している。このことから、異方圧密中の主ひずみ比と主応力比の関係は応力経路あるいはひずみ経路によらず、一義的に定まることが言える。

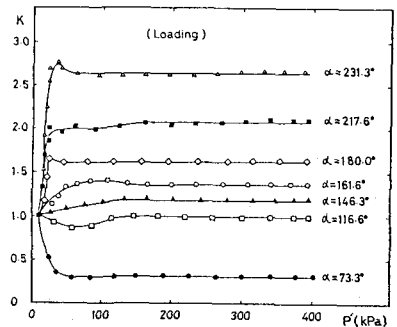


図-2. 主応力比の変化

図-3の $\alpha \sim K$ 関係を用いて、 $K_0$ 値を推定することが可能である。ここで、側方向変形が拘束された場合( $\varepsilon_r=0$ あるいは $\alpha=90^\circ$ )のK値を $K_0$ 、軸方向変形が拘束された場合( $\varepsilon_\theta=0$ あるいは $\alpha=180^\circ$ )のK値

を $K_{0a}$ と称すれば、それぞれ、 $K_{0r}=0.58$ 、 $K_{0a}=1.62$ という値が図-3から求められる。従来、Jákyや大河内らによって $K_0$ 値の算定式が提案されている。

$$\text{Jákyの式} \quad K_{0r} = 1 - \sin \phi' \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{大河内らの式}^{3)} \quad K_{0r} = 0.52 e_i \quad \dots\dots(2)$$

異方圧密後に行った排水せん断試験によって有効内部摩擦角 $\phi'$ を求め(種々の $\alpha$ 値を変えたすべての試験<sup>2)</sup>)において、 $\alpha$ 値によらず $\phi'=44.2^\circ \pm 1^\circ$ 、式(1)を用いて計算した $K_{0r}$ 値は約0.30で、圧密開始時の間隙比 $e_i(=0.657)$ を式(2)に代入して求めた $K_{0r}$ 値は約0.34である。いずれも本試験より求めた $K_{0r}$ 値とかなり異なっている。式(1)に含まれる問題点もあるが<sup>3)</sup>、式(2)はメンブレン貫入(MP)補正を行わない試験から得たものである。主応力比 $K$ 一定異方圧密試験結果<sup>2)</sup>より、MP補正をしない $K_{0r}$ 値は0.39となって、補正をした場合の値0.58に比べて、31%低い値となる。本試験の結果は、金氏らが同じ方法でMP補正をして、 $K$ 一定試験から求めたもの( $K_{0r}=0.61$ )<sup>4)</sup>と近い。

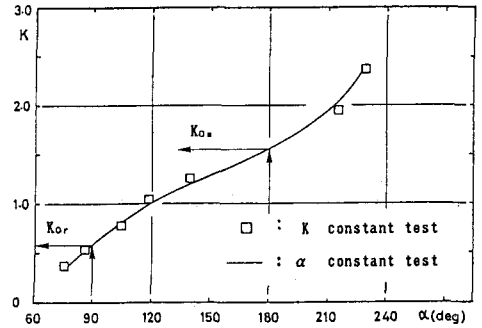


図-3.  $\alpha \sim K$ 関係

図-4は主ひずみ比一定の下での異方圧密および除荷の全過程を応力経路で示したものである。図の中には、 $\alpha=73.3^\circ$ 、 $161.6^\circ$ 及び $180^\circ$ のケースを例にして、実測値をプロットしてある。図より明らかなように、主ひずみ比一定で圧密する場合、砂供試体の正規圧密状態における応力経路と過圧密状態(除荷)における応力経路が大きく異なっている。前者は直線的であるが、後者は曲線状を呈している。

過圧密状態にある砂の主応力比 $K$ 値は、粘性土と同様に次式によって、表されることが報告<sup>3)</sup>されている。

$$K_{oc} = K_{nc}(OCR)^\beta \quad \dots\dots(3)$$

ここで、 $K_{nc}$ は正規圧密状態での $K$ 値、 $K_{oc}$ は除荷(過圧密)時の $K$ 値で、 $\beta$ は定数である。一方、本研究での主ひずみ比一定の異方圧密試験結果から $K_{oc}/K_{nc}$ と $OCR$ の関係を両対数紙上にプロットしたものが図-5である。図より、 $K_0$ 圧密( $\epsilon_r=0$ あるいは $\epsilon_a=0$ )条件のみにおいて、直線関係が成立する、つまり、

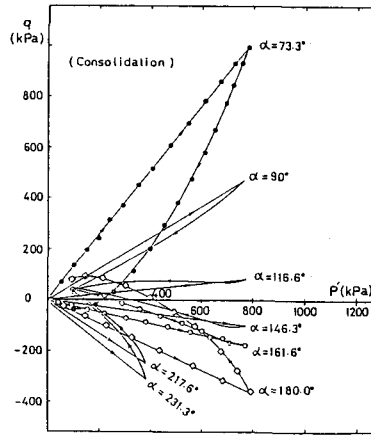


図-4. 載荷、除荷の応力経路

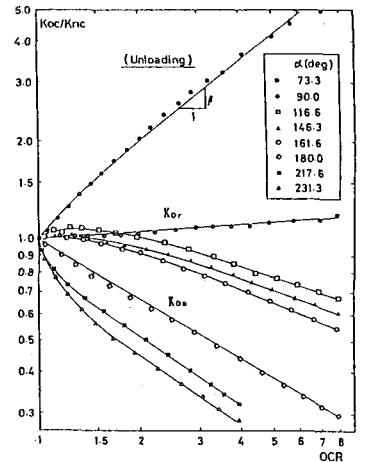


図-5. 除荷時の主応力比変化

式(3)を満足することが分かる。他の条件の異方圧密では、除荷開始後 $OCR=2$ 程度まで、直線関係を満足していないが、 $OCR>2$ では、 $\beta$ 値が一定になるような傾向がみられる。

謝辞： 試験およびデータ整理に協力を得た村上 毅(元北大4年)、横田 聖哉(室蘭工大M2)、大石 学、山下 賢次(元室蘭工大4年)君に記して謝意を表す。

★参考文献：1). Miura, S. and Toki, S. (1982) : S & F, Vol.22, No.1, pp.61-77

2). 土岐、三浦、劉、横田 (1986) : 土質工学会北海道支部技術報告集 第26号 pp.75-84

3). Okochi, Y. and Tatsuoka, F. (1984) : S & F, Vol.24, No.3, pp.52-68

4). 金氏、深川、日高、太田(1979) : 第14回土質工学研究発表会 pp.377-380