

北大工学部(正) 三浦清一  
 北大工学部(正) 土岐祥介  
 北大学院(学) 成田凡史

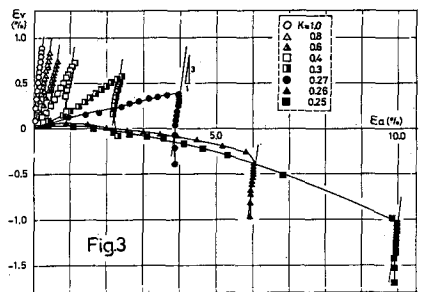
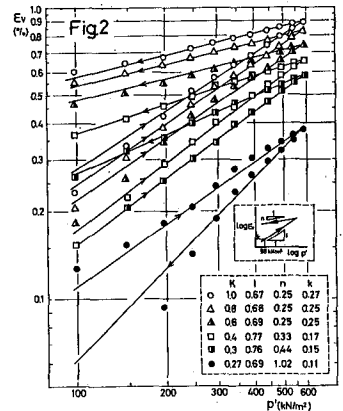
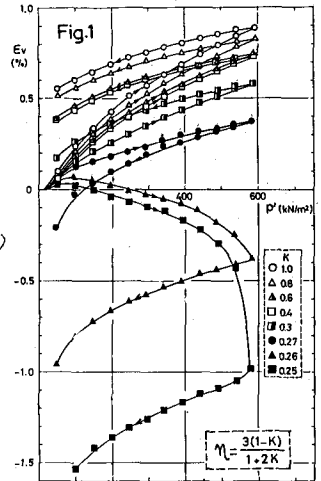
[まえがき] 原位置における砂地盤の応力～ひずみ関係や液状化特性を推定するための基礎的研究の一つとして、圧密に関する応力～ひずみ式を把握することは重要である。異方圧密・膨張試験( $\eta=90^\circ$ 一定試験)は従来多くの研究者により報告されているが、密ぐめの供試体についての場合がほとんどである。ゆるぐめ供試体についての広範な応力比のもとでの研究はEl-Sohbyら<sup>1)</sup>の報告が代表的である。そこで、各種の応力比( $K=0\sim\infty$ )のもとで比較的ゆるぐめ供試体の $\eta (= \frac{3(1-K)}{1+2K})$ 一定試験を行なったので以下に報告する。さらに有効平均主応力 $p' (= (\sigma_1 + 2\sigma_2)/3)$ 一定試験および通常の軸対称三軸試験との比較で応力経路依傍性についても述べる。

[試料および実験方法] 実験に用いた試料は豊浦標準砂( $e_{max}=0.992, e_{min}=0.625, G_s=2.65$ )である。供試体作製は筆者らが先に提案した多重ふるい落下法<sup>2)</sup>で行ない、相対密度 $D_r=53$ ±3%に調整した。 $\eta$ -一定、 $p'$ -一定試験においては載荷、除荷を行ない除荷曲線から弾性ひずみを評価した。なお側圧の変化する試験においてはメンブレン貫入補正を行なっている。

[実験結果]

1)  $\eta$ -一定試験 図-1は体積ひずみ $e_v$ と有効平均主応力 $p'$ の関係を示したものである。載荷曲線は $K$ 値に応じて異なり、特に $K=0.27\sim 0.2b$ の間で、 $p'$ の増加にもかかわらず収縮から膨張へと移っている。一方除荷曲線は $K$ 値によらずほぼ同様な傾向を示す。一般に粘土の圧密に関する応力～ひずみ式は周知のように $e(e_v) \sim \log p'$ の直線関係である。しかし片対数紙上の直線関係は砂においては満足されないので、両対数紙上にプロットしたのが図-2である。比較的よい直線性が認められ砂の圧密に関する応力～ひずみ式を定式化可能であると思われる。図-3は体積ひずみ $e_v$ と軸ひずみ $e_a$ との関係を示したものである。除荷曲線は $K$ 値にかかわらず $e_v/e_a=3$ の勾配上にはほぼ乗っている。したがって弾性ひずみは $K$ 値によらず等方的であると言えるが載荷曲線は $K$ 値の減少に伴い勾配が小さくなっている。

2) 等体積ひずみ線と等せん断ひずみ線  $\eta$ -一定試験における等 $e_v$ 線は古田ら<sup>3)</sup>がすでに密ぐめ砂について明らかにしている等 $e$ 線と同様のものとなった。図-4は $\eta$ -一定試験および筆者ら<sup>4)</sup>の構成式によって側圧一定排水条件(CD)として求めた等 $e_v$ 線と通常非排水圧縮試験(CU)の比較を示している。理論解による等 $e_v$ 線はCU経路に近い形状を示すものの、 $\eta$ -一定試験からのそれはCU経路とはせん断初期で大きく異なっている。さらに $\eta$ -一定試験から推定される有効せん断抗角はCUやCD条件のそれよりも小さい。この結果は古田ら<sup>4)</sup>の推論を支持するものである。図-5は粘土の $\eta$ -一定試験を行



な、A.S. Balasubramaniam<sup>b)</sup>のデータから等 $E_v$ 線を求めたものと通常の非排水経路とを比較したものである。体積収縮のみを示す粘土においては比較的一致していると言えるが、各強度の関係は上述の傾向と逆である。これはダイレイタンスーの方向(正負)の相違にもとづくものであると思われる。このような事実は粘土においても砂質土と同様排水せん断強度と非排水せん断強度が異なることを示唆している。

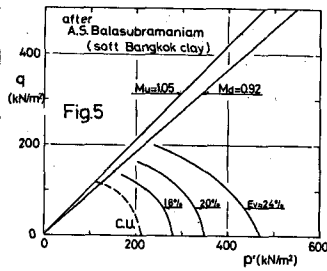
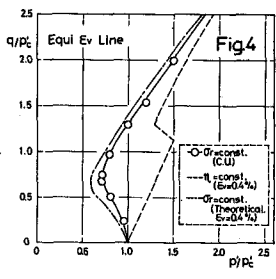
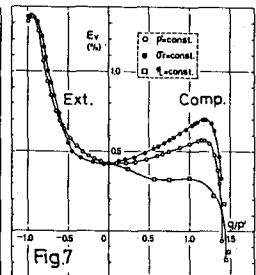
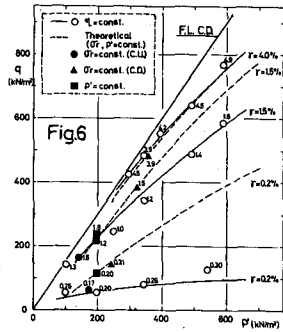


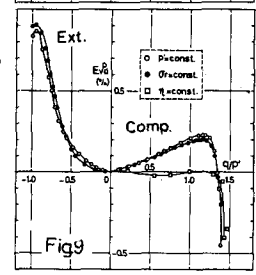
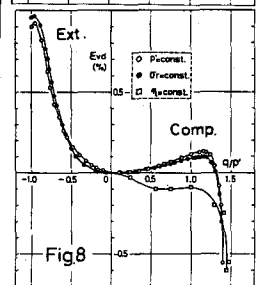
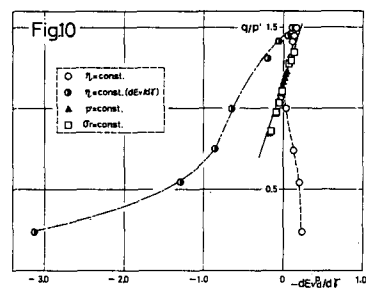
図-6は側圧一定試験,  $p'$ 一定試験および $\eta$ 一定試験の等 $E_v$ 線を示している。破壊線に近い $\gamma=40\%$ は各経路によらず同一とみなしうる。一方せん断初期の $\gamma=0.2\%$ は $\eta$ 一定試験と側圧一定,  $p'$ 一定試験との間に相違が認められる。



3) 応力経路依存性 体積ひずみ $E_v$ を(1)式のように分離する。

$$E_v = E_{vs} + E_{v\sigma} + E_{v\sigma'} + E_{v\sigma''} \quad (1)$$

(サフィックス $s, d, p,$   $e$ はそれぞれ体積ひずみの等方応力成分, 偏差応力成分, 塑性成分, 弾性成分を意味する。) 全体体積ひずみ $E_v$ , 偏差応力成分による体積ひずみ $E_{v\sigma}$  および偏差応力成分による塑性体積ひずみ $E_{v\sigma'}$  と応力比 $\eta$ との関係を示したものがそれぞれ図-7, 8, 9である。これらの図において側圧一定試験と $p'$ 一定試験の $E_{vd}, E_{vp}$ は圧縮, 伸張両側において比較的良好一致を示している。 $\eta$ 一定試験では正のダイレイタンスーが卓越してくる $\eta$ の大きい所で他の2つの応力経路の $E_v$ に近い値を示すが,  $\eta$ の小さい所では体積ひずみをどの成分に分離しても一致しない。この事実は $\eta$ の小さい部分でのダイレイタンスー特性は応力状態( $q, p$ )のみでは確定できないことを示唆するものであろう。図-10は偏差応力による塑性ひずみのみの仕事に着目してRoscoeら<sup>7)</sup>のエネルギー式(2式)に従って応力比 $\eta$ と塑性ひずみ増分比 $dE_{v\sigma'}/d\eta$ との関係を示したものである。



$$p' dE_{v\sigma'} + \frac{2}{3} q d\eta = \frac{2}{3} M \cdot p' d\eta \quad (2)$$

大きな $\eta$ では経路によらず理論直線(2式)にのるものとみなせる。一方 $\eta$ 一定経路の場合, 圧密成分の卓越する小さな $\eta$ で(2式)から大きくはなれることが認められ, ダイレイタンスー特性の応力経路依存性が強いことを示している。

【むすび】 以上より砂質土の変形特性を正確に把握するためには圧密に伴うダイレイタンスー特性とせん断に伴うダイレイタンスー特性とは別個に取り扱う必要がある。最後に本研究について御教示頂いた北郷 繁教授ならびに実験およびデータ整理に多大の協力を得た昭和54年度本学卒業生永田永昌(現北大大学院), 橋田太郎(現飛島建設)両君に謝意を表す。

【参考文献】 1) El-Sohby (1969) Proc. 7th ICSMFE Vol.1  
 2) 土岐・三浦(1979) 第24回土質工学シンポジウム  
 3) 古田・豊部(1976) 土学会第31回年次学術講演会  
 4) 古田・豊部(1978) 土学会第33回年次学術講演会

5) 三浦・土岐・佐々木(1979) 技術報告集 19号  
 6) A.S. Balasubramaniamら(1978) J. ASCE GT9  
 7) たとえば K.H. Roscoeら(1963) Geotechnique Vol.13