

九州大学工学部 正員 ○林 重徳

“ “ 山内豊聡

“ “ 森林一博

1. はじめに

土質力学において土のせん断定数 (c, ϕ) の持つ意味は、今日なお、極めて重要である。また Mohr-Coulomb の破壊規準と Tresca や von Mises のそれを比較するまでもなく、近年多くの人々によって精力的に研究が続けられている土の応力変形特性 (構成方程式) 関係においても、土が基本的に摩擦則に従う材料であることは、多くの研究者の認めるところである。

筆者らは以前より、三軸圧縮試験の結果をマクロな立場から考察し、土の変形に伴うせん断定数の動員過程の解明とともに (c, ϕ) へのひずみの導入を試みている^{1)~3)}。今回は、粒状材料としての土に特有な現象であるダイレイタンシーに着目し、同一材料の間隙比を4段階に変化させて三軸圧縮試験を行った結果、間隙比およびダイレイタンシーがせん断定数のモビライジング・プロセスにどのような影響を及ぼすものであるかが明らかになったので報告する。

2. 供試体および試験方法

用いた試料は豊浦標準砂である。供試体は、約6%の含水比に調整された試料を2つ割れモールド (内径4.95cm, 高さ12.0cm) 内に、特製ランマーで所定のエネルギーとなるように突固めて作製した。供試体の呼び名およびランマーの重量や落下高等のエネルギー区分は、表-1に示すとおりである。試験結果を統計的に処理するため、各エネルギー区分について15個の供試体を作製した。図-1には作製した供試体の間隙比の分布状態とともに各区分の平均間隙比および平均含水比を示す。間隙比の最も大きなe-4の場合、いく分ばらついているものの、全体として供試体の品質は良好な精度で作製されたことが認められる。

試験は圧密排水 (等) 条件のもとで行い、軸ひずみ速度は0.5%/minとし、軸ひずみ (ϵ_a) が15%に達するまで圧縮した。側圧は、0.2, 0.4, …, 3.0 kg/cm²と15段階に変化させ、圧密および圧縮時の体積変化量はピュレットにより測定した。

3. 試験結果と考察

3.1. 軸差応力とせん断ひずみの関係

試験結果の一部を図-2~4に示す。横軸のせん断ひずみ (γ) は、測定結果の軸ひずみ (ϵ_a) と体積ひずみ (ϵ_v) を用い、 $\gamma = \frac{1}{2}(3\epsilon_a - \epsilon_v)$ より計算される。軸差応力 ($\sigma_a - \sigma_r$) は、e-1の場合にはほぼ5~7%で、またe-2およびe-3の場合にはほぼ13~17%といづれもピークを示す。e-4もほぼ15~18%でピークとなりがあまり明瞭ではない。

表-1

供試体 呼び名	ランマー 重量 (gr)	落下高 (cm)	層数 (層)	落下回数 (回/層)	空室の エネルギー (cm kg/cf)
e-1	62.3	1.5	5	4.0	8.1
e-2	62.3	1.5	5	7	1.4
e-3	13.0	4	5	1.7	0.14
e-4	13.0	2	5	5	0.028

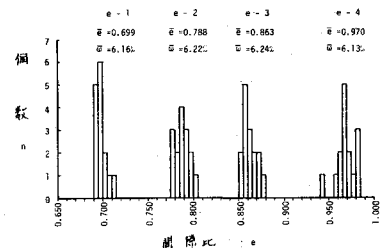


図-1

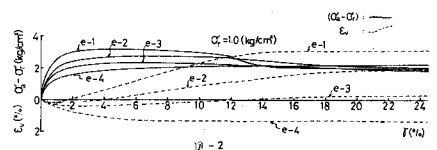


図-2

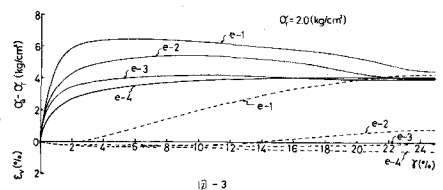


図-3

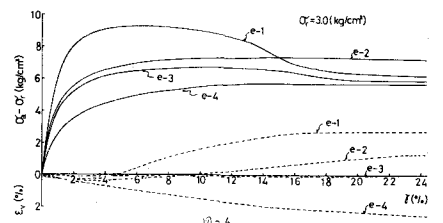


図-4

しかし、いずれの場合もせん断ひずみが約23%以上になると、間隙比にかかわらず、側圧に応じた一定の値に漸近し残留応力状態に入る。

体積変化は、e-1およびe-2の場合いづれも、その初期段階で収縮し、 ρ の増加とともに体積膨張するが、e-4ではすべて体積収縮を示す。またe-3の場合、小さな側圧段階で膨張するが側圧の大きな段階では収縮傾向を示す。

3.2. 全応力法によるせん断定数のモビライジング・プロセス

軸差応力 $(\sigma_a - \sigma_r)$ と側圧 (σ_r) についての等せん断ひずみ包絡線(ρ -strain envelope)より求められたせん断定数のモビライジング・プロセスを、図-5に示す。また図-6は、e-1についての $(\sigma_a - \sigma_r)$ と (σ_r) の1次相関係数の変化状態である。相関係数(R)は、 $\rho = 0.5\%$ 以前および $\rho = 17 \sim 20\%$ のところごく小さい値となるが、 $\rho = 0.5 \sim 17\%$ では $R = 0.99$ 以上であり、等せん断ひずみ包絡線が極めて高い精度で直線近似されたことを示す。他のe-2~4の場合もほぼ同様である。

図-5より、せん断定数のモビライジング・プロセスに及ぼす間隙比の影響(これは強度効果ともいえるものである)が明らかになる。c成分の動員過程への影響は、 $\rho = 1\%$ 以下の初期ひずみにおいてわずかに見られる程度であるが、 ϕ 成分の動員過程には全ひずみ段階において、間隙比の著しい影響が見られる。

3.3. ダイレイタンシー補正とせん断定数のモビライジング・プロセス
Poorooshasb⁴⁾らの提案したエネルギー補正法により、ダイレイタンシーの補正を行った。補正された軸差応力 $(\sigma_a - \sigma_r)_0$ は、平均主応力を p とし、 $(\sigma_a - \sigma_r)_0 = (\sigma_a - \sigma_r) + p \frac{\Delta \epsilon_v}{\Delta \epsilon_s}$ で表わされる。

図-7は、 $(\sigma_a - \sigma_r)_0$ と σ_r についての等せん断ひずみ包絡線より求められたせん断定数のモビライジング・プロセスである。図は割愛したが、これらの場合も、 $(\sigma_a - \sigma_r)_0$ と σ_r の1次相関係数はほとんど0.99以上が確保された。e-1~4の各々について、図-5と図-7を比較することによりせん断定数の動員過程に及ぼすダイレイタンシーの影響が明らかになる。 $\tan \phi$ の曲線には、いずれの場合もほとんど変化は見られないがcの曲線には著しい変化が見られる。すなわち、ダイレイタンシーの影響は、摩擦角成分にはほとんど現われず、粘着力成分に大きく発現する。図-8は、体積膨張を示すe-1~3の各々について図-5と図-7の粘着力成分の差をプロットしたものであり、せん断定数のモビライジング・プロセスに及ぼすダイレイタンシーの影響量を抽出したものと考えることができればよい。

4. おわりに

以上のように、砂のせん断定数のモビライジング・プロセスに及ぼす、間隙比ならびにダイレイタンシーの影響が明らかになった。これらLambe⁵⁾の提案したせん断抵抗の発現模式図と比較すると、間隙比の影響はInterferenceに対応しており、他の各成分とも良い相対性を示しているといえる。

文献

- 1) 林・内田;土の応力-変形特性について—三軸圧縮試験結果からの一考察—, 土木学会西部支部研究発表会 1974
- 2) 林・内田; " (オ2報) オ9回土質工学研究発表会 1974
- 3) 林・山内;三軸圧縮試験における砂のせん断定数のモビライジング・プロセス, オ13回 " 1978
- 4) Poorooshasb, H.B. and K.H. Roscoe; The Correlation of the Result of Shear Tests with Varying Degree of Dilatation, Proc. 5th ICSMFE, Vol. 1, 1961
- 5) Lambe, T.W.; A Mechanistic Picture of Shear Strength in Clay, Proc. ASCE, 1960

