

九州大学 工学部 正会員 内田 一郎
九州大学 工学部 正会員 林 皇徳
九州大学 工学部 学生員 〇栗 安直人

1 緒言 実験室では、ひずみ速度が一定のせん断試験が広く行なわれているのであるが、現場での破壊はひずみ速度は一定でなく、フリープのようにひずみ速度が速いものから、地震による破壊のようにひずみ速度の速いものまで様々である。土の種類・状態に大きく依存するものであるが、これらのひずみ速度の違いはせん断強度にかなり影響を与えることが知られている¹⁾。通常ひずみ速度で得られたせん断強度に比べて、40~80%に減少したという結果も報告されている²⁾。現場での破壊のひずみ速度は様々であり、実験室と現場とのギャップを埋める意味でひずみ速度の影響を解明することが必要である。ひずみ速度の影響と研究した文献もかなり見受けられるのであるが、その及ぼす影響は広く、まだ研究の余地がありそうである。

2 試料及び実験方法 試料としては、モリ土 ($w_p=2.714$, 粘土分73%, L.L.=36.0%, P.L.=35.9%, P.I.=11%) を用いた。供試体はJIS 1210で規定された土の締固め試験方法で得られたモリ土の最適含水比14.2%になるように最低48時間ビニール袋で密封養生した試料を、その試験方法に記載されたエネルギー量を与えるべくエネルギー規制法で締固めた。その結果、乾燥密度(JIS 1210によって得たモリ土の最大乾燥密度は 1.807 g/cm^3)は 1.730 g/cm^3 付近に落ち着いたが、ほぼ均一であった。供試体の寸法は直径5.0cm, 高さ12.0cmである。試験機は、ひずみ速度の精度とコストのため応力リングの代りにロードセルを取付けた三軸圧縮試験機を用い、0.01, 0.1, 1.0, 10.0 %/min の4種類のひずみ速度で、拘束圧を1.0, 1.5, 2.0 kg/cm^2 に変えて実験した。試験はUU試験としたが、不飽和土なので(供試体作製時の飽和度69.5%)気相の体積減少、また気相の一部が液相に溶け込むことによる土骨格の圧縮があり、これとひずみ速度によって異なるせん断時の圧縮とを区別するために、せん断前に5時間規定の側圧をかり圧縮した。

3 実験結果及び考察 図-1は拘束圧が 1.5 kg/cm^2 のときの全応力表示による軸差応力~ひずみ~体積ひずみの関係を示したものである。この図からひずみ速度(%)による明瞭な違いは、体積ひずみに現われていることがわかるであろう。図-2は破壊時の体積ひずみ~ひずみ速度の関係を示したものである。ひずみ速度の違いは、体積減少が大きくなり密度の増大することがわかる。これはひずみ速度が遅い為、供試体内の気・液相の移動がスムーズに行なわれ、土骨格が供試体全体にわたって一様に圧縮されるためであると考えられる。ひずみ速度が $0.1 \sim 0.01 \text{ %/min}$ の間で圧縮量が大きくなるのは、気・液体の土骨格に対する透水(気)係数に關係するものと考えることができ、間隙気圧を正確に計測するためのひずみ速度の上限はこの範囲にあるものと考えられる³⁾。また、 0.01 %/min 以下のひずみ速度ではさらに圧縮量は増大すると推定することができるが、このことは、たとえ気・液相がスムーズに移動し得ても、土骨格の変形の時やその移動にも勿論関係するのであるが、別次元の問題である。

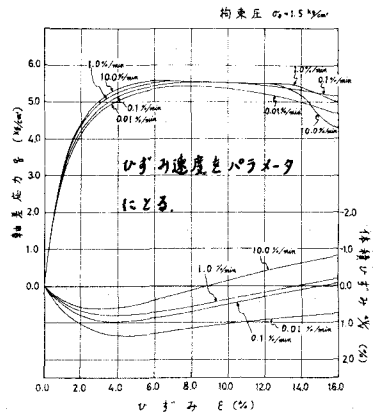


図-1 $\tau \sim \epsilon \sim \Delta V/V$ 曲線

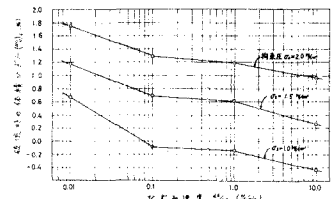


図-2 $(\Delta V/V)_f \sim d\epsilon/dt$ 曲線

ことを示している。また、低ひずみ速度の場合は特に、気・液相の移動のみでひずみ速度の影響を論じ尽くすことはできない。

等方・等質の弾性体に軸差応力 σ_z をかけたとき、その全てがせん断に作用するのではなく、その1/3は等方圧縮の作用に使われることが知られている。低ひずみ速度では気・液相のスムーズな移動と拘束圧の影響も加わって軸差応力の圧縮作用の割合が大きくなると考えられる。これは低ひずみ速度では土粒子の移動が容易なために、土粒子間に別な土粒子が埋まることにより圧縮が進行するものと考えられるからである。逆に、ひずみ速度が速い場合は気・液相の移動が遅滞することに加わって土粒子は移動しにくく、軸差応力の圧縮への作用は小さく、せん断への作用が大きくなるを考える。その結果、低ひずみ速度の場合に比べてひずみが小さいときにダイレイトするようになり、且つその量も大きくなるものと考えられる。図-1でひずみ速度が速い程、ダイレイタンシー指数(D.I.)が0であるところのひずみが小さく上述したことが裏付けられる。図-3は破壊時のD.I. $\sim d\epsilon/dt$ の関係を示したものである。概してひずみ速度の速い程D.I.が大きくなり、低ひずみ速度の場合に比べてダイレイタンシーが顕著に起ることがわかる。

こゝには図示していないが、ひずみ速度が速くなる程初期接線係数は大きくなっている。また、図-1に示す $\sigma \sim \epsilon$ 曲線は弾塑性体のそれに非常によく似ており、 σ が1.5 $\sim$ 2.0%あたりを弾性領域である過圧密状態とみなすことができれば、こゝには図示していないが、ひずみ速度の速い程、 $e \sim \ln p$ (e :間隙比, p :平均主応力) 曲線上の勾配は急になり、弾性係数が大きくなるということができる。これはMoseley他の提唱する応力 $\sim$ ひずみ式の定数の一つである k がひずみ速度の関数になるということであり興味深い。

モールの破壊包絡線より求めた摩擦角・粘着力 $\sim d\epsilon/dt$ の関係を図-4・5に示す。これらの図より、ひずみ速度が速くなる程摩擦角は大きくなり、逆にひずみ速度の速い程粘着力が大きくなっていることがわかる。ひずみ速度が速いと体積圧縮量が大きく密度が大きくなること、また土粒子は変形しやすいためにせん断領域上で土粒子の動員率が大きくなり、その結果摩擦角が大きくなっているように考える。この場合変形が気・液相の移動に比べてゆっくり行なわれるので部分間ギャップの問題は考慮する必要がなくなる。これに比べて、ひずみ速度の速い場合は体積圧縮量も小さく土粒子も移動しにくい為土粒子の動員率が小さく従って摩擦角は小さくなる。またせん断領域に気・液相の移動に比べて急激に負圧が生じ、部分間ギャップの問題が生じる。この負圧は土粒子を相互に強く押し合うことによる摩擦の効果を高めるよりも、マサ土のようにもろい土粒子は点接触による膨大な圧力により粒子破壊を伴いながら、粘着力成分に寄与する効果を大きくするということが出来る。図-4・5よりわかるようにひずみ速度が0.1 $\sim$ 0.01%/minの間で粘着力及び摩擦角の差が大きいことは、透水(気)係数に依存する気・液相の移動のしやすさにより、土骨格の変形に差がでるためである。ひずみ速度による粘着力と摩擦角の大きさの逆転は、あるひずみ速度を境としてそれより速くても遅くてもせん断強度が増加することを意味する。たとえば、締固め不飽和土の通常のせん断強度より少し小さな荷重でのクリープ試験では、時間の経過に伴ってクリープが止まるというような現象はこのことと関係がある。

文献 1) D.W. Taylor: Fundamental of Soil Mechanics PP.377 $\sim$ 378 2) A.Casagrande & S.D.Wilson (1951) Effect of Rate of Loading on the Strength of Clays and Shales at Constant Water Content, Geotechnique, Vol.2, No.4, PP.251 $\sim$ 264 3) 赤井浩一他:飽和粘土のせん断に及ぼす間隙水圧の挙動について, 土木学会論文集 No.85, 昭和37年9月 PP.1 $\sim$ 6

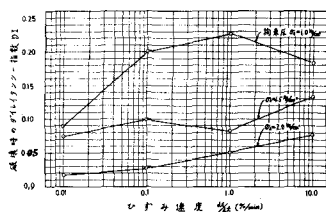


図-3 D.I. $\sim d\epsilon/dt$ 曲線

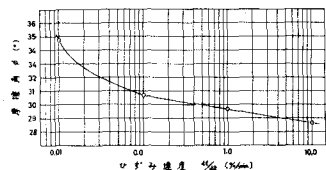


図-4 $\phi \sim d\epsilon/dt$ 曲線

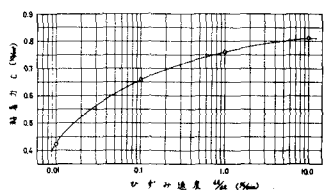


図-5 $c \sim d\epsilon/dt$ 曲線