

高有機質土のフリーズ破壊に関する一考察

秋田大学 正 員 宮 川 勇
 学生員 〇五十嵐 勝
 学生員 須 貝 直樹

1 はじめに

粘性土のフリーズ破壊に関する報告はしばしばみられるが高有機質土のそれに関する報告は多いとはいえない。著者らは高有機質土の非排水状態でフリーズ破壊に関して若干の実験的研究を行っている。その結果の一部について報告する。

2 試料及び実験方法

試験に用いた高有機質土試料は雄物川上流地域から採取したものでその物性は 比重 $G 1.79 \sim 1.86$, 液性限界 $LL 410 \sim 460\%$, 塑性限界 $PL 183 \sim 204\%$, 強熱減量値 $I_s 57 \sim 61\%$ の $Peat$ というよりむしろ $Muck$ に近いものである。この試料をその LL 以上の含水比のもとでスラリー状に練り返し $0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 \text{ kg/cm}^2$ の五種の等方圧密圧力で圧密し供試体を作成した。供試体はすべて直径 3.5 cm 高さ 8.75 cm の円柱形で、試験はすべて圧密排水圧縮フリーズ破壊試験である。なおフリーズ試験は所定の圧密過程がほとんど終了してから軸差応力を瞬間的に載荷する方法である。ヒズミは軸方向ヒズミのみをダイヤルゲージで測定し間ゲキ水圧は供試体底面において測定した。なお圧密を促進するためにすべての供試体にパーパードレーンを用いた。

3 結果及び考察

軸ヒズミの測定結果の例を Fig 1 (圧密圧力 $0.9, 1.2 \text{ kg/cm}^2$) に、また間ゲキ水圧の時間的変化を Fig 2 (圧密圧力 $0.9, 1.2 \text{ kg/cm}^2$) に示す。これらの図から $\varepsilon \sim \log t$ 曲線は破壊点付近で急激なヒズミの増加を示し破壊に至るが、間ゲキ水圧の時間的変化をみると圧密圧力が 0.9 kg/cm^2 の場合、下に凸なる曲線を示し 1.2 kg/cm^2 の場合、上に凸なる曲線を示して破壊に至る傾向を示しているが、この違いは圧密圧力の違いよりも破壊時間の違いによるようである。

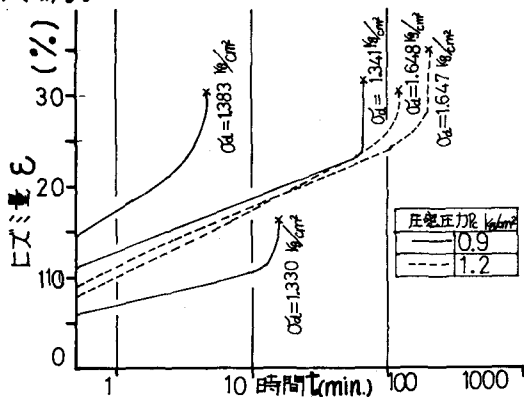


Fig 1 軸ヒズミと時間の関係

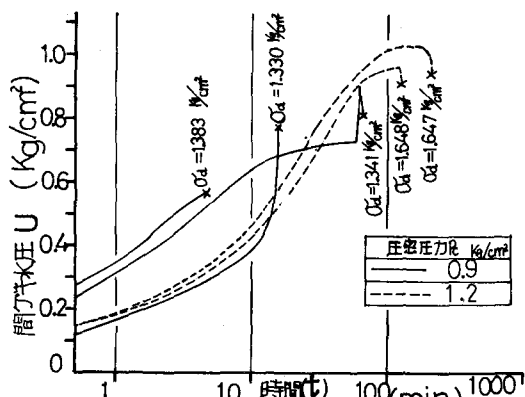


Fig 2 間ゲキ水圧 U と時間の関係

時間の対数に対するヒズミ速度、すなわち $d\varepsilon/d\log t$ (対数ヒズミ速度) の時間的変化を示すと Fig 3 となる。一般的には遷移フリーズ領域はゆるやかな勾配をもった直線関係、定常フリーズ領域は 45° の角度をもった直線関係、加速フリーズ領域は 45° 以上の勾配をもった下に凸なる曲線となっている。ここで興味深いことは定常フリーズ状態をほとんど示すことなくある時間から急にほとんど直角に折れ曲がって破壊に至る場合もあることである。これは供試体中のある面において急激な破壊の成長に伴いヒズミが急に増加したためと考えられる。

フリー試験の場合、破壊点の決める方にはいろいろの論があり統一はなされていないようである。ほとんどの場合遷移フリープ、定常フリープを経過のち加速フリープ開始点からある時間のち有効応力比 (σ_1/σ_3) が最大値をとり破壊点に至っている。定常フリープ及び加速フリープ過程は材料中に破壊の要因が発生し進行する過程と考えられる。このことは定常フリープ及び加速フリープの状態においてなんらかの形の局部的な破壊領域の発生を意味するが、しかし有効応力比が最大値を示すまでは、スベリ面における抵抗の増大があると考えられる。ここでズミ速度の動向を基準とした場合、加速フリープ開始点が破壊点と考えられ、有効応力比の変化を基準とした場合は有効応力比が最大値を示した点が破壊点と考えられる。そこで着者は加速フリープ開始点と有効応力比 (σ_1/σ_3) が最大値を示した点とに注目し破壊付近の経過をみることにする。

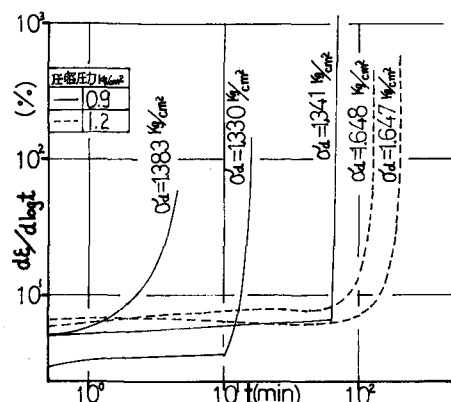


Fig3 粒子速度 $d\epsilon/d\log t$ と時間 t の関係

45°面工のベクトルカーブの一例をFig4に示す。非排水フリープではフリープ中に間ゲキ水圧が発生するので有効応力状態は変化し着者の実験方法では軸差応力も断面模の変化とともに変化する。そこで曲線は多少下降線をたどり有効応力比の最大値点 $(\sigma_1/\sigma_3)_{max}$ でこの基準による破壊包絡線に接し間ゲキ水圧の減少とともに円弧を描いて破壊点に至っている。

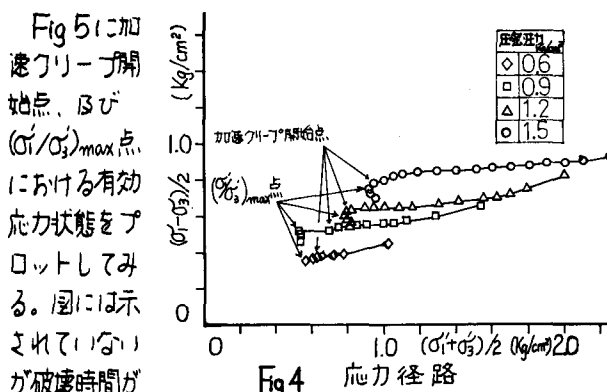


Fig4 応力経路

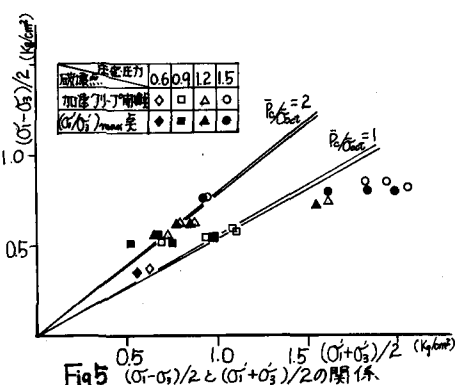


Fig5 $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ と $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ の関係

Fig5に加速フリープ開始点、及び $(\sigma_1/\sigma_3)_{max}$ 点における有効応力状態をプロットしてみる。図には示されていないが破壊時間が長くなるほど有効応力比 σ_1/σ_3 も小さくなり破壊時の過圧密比が大きくなっている。それを正八面体面における過圧密比 $(\bar{p}/\sigma_{oct})$ で示すと、加速フリープ開始点を破壊規準とした場合は $(\bar{p}/\sigma_{oct})=2$ 付近で内部摩擦角 $\phi=50.6^\circ$ 、 $(\bar{p}/\sigma_{oct})=1$ 付近で $\phi=33.0^\circ$ となった。また $(\sigma_1/\sigma_3)_{max}$ を破壊規準とした場合には $(\bar{p}/\sigma_{oct})=2$ 付近で $\phi=51.9^\circ$ 、 $(\bar{p}/\sigma_{oct})=1$ 付近で $\phi=33.9^\circ$ となった。同じ $(\bar{p}/\sigma_{oct})$ で ϕ の値を比較してみると $(\sigma_1/\sigma_3)_{max}$ を破壊規準とした場合の方が多少大きいが大差はなかった。

次に強度増加率について吟味してみる。圧密圧力 $\bar{p}$ と非排水強度 c_u との関係をあらわしたものがFig6である。フリープ破壊強度増加率 $\Delta c_u/\bar{p}_e$ は加速フリープ開始点を破壊点とした場合0.52~0.69の範囲にあり、有効応力比最大値点を破壊点とした場合0.51~0.65の範囲になった。どちらの点を破壊点とした場合も大差なく若干加速フリープ開始点の $\Delta c_u/\bar{p}_e$ の値が大きい程度であった。これら ϕ 、 $\Delta c_u/\bar{p}_e$ からみ

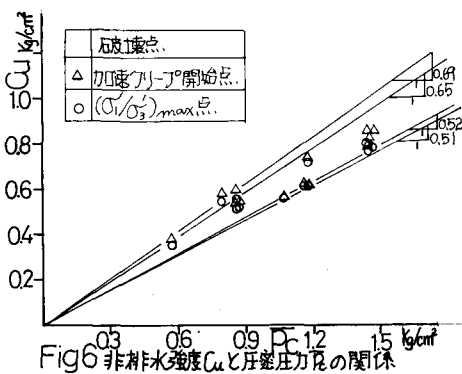


Fig6 非排水強度 c_u と圧密圧力 p_c の関係

る限りではどちらの点でも破壊点として大差ないことがわかった。

有効応力比(σ/σ_s)が最大値、すなわち破壊時におけるヒズミ量 ε_b と有効圧密圧力 p_c との関係をFig 7に示す。ほとんど破壊時における $\varepsilon_b \sim p_c$ はある帯状の右下ガリの傾向となっている。このことは圧密圧力が大きいほど破壊ヒズミ量が小さくなるという傾向を示す。

フリープ中におけるヒズミ速度の最小値である定常フリープ速度 $\dot{\varepsilon}_s$ とフリープ破壊時間 t_r (有効応力比が最大値をとるまでに要する時間)との関係を両対数グラフに示すとFig 8のようになり、測定値が帯状に分布する傾向がみられる。これは $\dot{\varepsilon}_s$ と t_r との間に逆比例関係があることを示し $\dot{\varepsilon}_s \cdot t_r = \text{Const.}$ が成り立つ。これはフリープ破壊の場合、しばしば理論解析に用いられている形式であるが、著者らの用いた高有機質土でもこの表示が成り立つことを示している。しかし斎藤・上沢²⁾によって示された粘性土における簡略式 $\dot{\varepsilon}_s \cdot t_r = 0.214$ (t_r : 分, $\dot{\varepsilon}_s$: %/分) の比例定数を高有機質土のそれと比べると、高有機質土の場合 2~10 というかなり大きな値を持っていることになる。これは同じヒズミ速度でみた場合、粘性土に比して高有機質土の破壊に要する時間が長いことを示し、同じ破壊時間でみた場合は粘性土の破壊時のヒズミ速度に比して高有機質土のそれは一般的に大きいことを示す。

非排水強度 q_u と平均ヒズミ速度 $\dot{\varepsilon}$ との関係をFig 9に示す。ここでいう平均ヒズミ速度とは次式で示される。
$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_r}{t_r} = \frac{\varepsilon_{0.1}}{t_{0.1}}$$

ただし ε_r : 破壊時のヒズミ量, $\varepsilon_{0.1}$: 6秒時のヒズミ量, t_r : 破壊時間, $t_{0.1}$: 6秒である。

図によれば q_u と $\dot{\varepsilon}$ との関係は圧密圧力別にみると $\dot{\varepsilon}$ の増大に伴って q_u がやや増加する傾向を示すようである。

4 おわりに

雄物川上流地域から採取した高有機質土について行った三軸非排水フリープ試験から得られた主な結論は次のとおりである。 1) 破壊時間の大小により間隙水圧の時間的变化は異なる形の挙動を示した。 2) 定常フリープ状態をほとんど示さずに破壊に至る場合もあった。 3) 破壊点として加速フリープ開始点と有効応力比の最大値とを比較したが大きな違いはなかった。 4) 3)で有効応力比の最大値点で $\Delta\sigma/p_c = 0.51 \sim 0.65$, $\phi = 51.9^\circ$ (ただし $p_c/\sigma_{oct} = 2$) 加速フリープ開始点で $\Delta\sigma/p_c = 0.52 \sim 0.69$, $\phi' = 50.6^\circ$ (ただし $p_c/\sigma_{oct} = 2$) であった。 5) 定常フリープ速度と破壊時間との間には近似的に逆比例関係があり、比例定数は普通の粘性土のそれよりかなり大きい値を示した。 6) 圧密圧力が増すと破壊時ヒズミ量は減少する傾向が示された。 7) 平均ヒズミ速度が増大すると非排水強度も増大する傾向が示された。

5. 参考文献 1) 斎藤則夫, 土のフリープ破壊に関する実験的研究, 土木学会論文集 202号 1972年6月 Page 59~71
2) 斎藤上沢, 土のフリープ破壊に関する実験的研究, 鉄道技術研究報告第128号 1960年6月

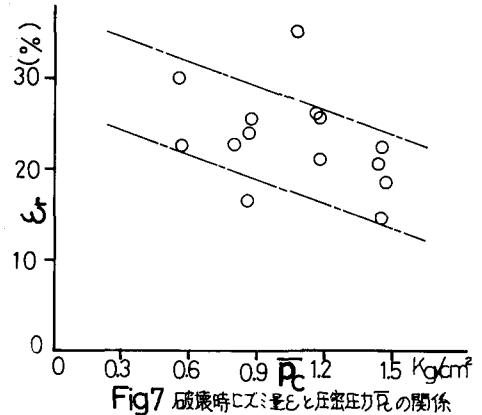


Fig 7 破壊時ヒズミ量 ε_b と圧密圧力 p_c の関係

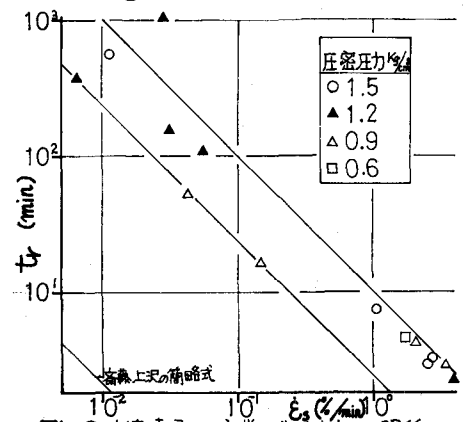


Fig 8 破壊時間 t_r と定常ヒズミ速度 $\dot{\varepsilon}_s$ の関係

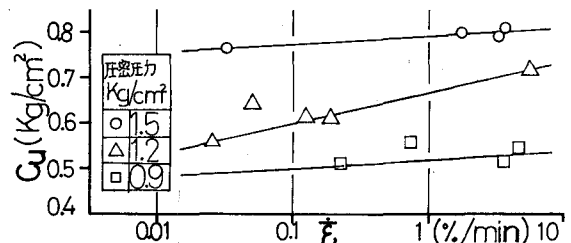


Fig 9 非排水強度 q_u と平均ヒズミ速度 $\dot{\varepsilon}$ の関係