

砂の非排水繰返し三軸試験における有効応力経路の特徴に関する考察

前橋工科大学 学生会員 水野 学
前橋工科大学 正 会 員 土倉 泰

1. はじめに : 砂を非排水条件下で繰返しせん断した場合、その有効応力経路図は変相線を境として、明らかに異なる様相を示すことが知られている。ところが準静的な試験を行うと、ゆる詰め砂では変相線に達する以前に、それまでの変形の連続性からはとらえ難い過剰間隙水圧の急増現象が見られる¹⁾²⁾。そこで、本研究では単調載荷試験から得られる軟化点に着目し、ゆる詰め砂の有効応力経路の特徴について再考する。

2. 試料及び試験方法 : 今回試験に用いた試料は豊浦標準砂で、土粒子密度 $\rho_s = 2.63\text{g/cm}^3$ 、最大間隙比 $e_{\max} = 0.953$ 、最小間隙比 $e_{\min} = 0.607$ である。供試体寸法は、高さ 10cm、直径 5cm の円筒形で、相対密度が約 25% ($e = 0.867$) となるよう供試体作製時にウェットタンピング法にて調整を行った。供試体の飽和には二酸化炭素と脱気水を通し、背圧を 98kPa として B 値 0.96 以上の値を得た。なお試験方法は、非排水条件下で初期拘束圧 98kPa、拘束圧一定のもと振動数を 0.01Hz、0.1Hz、1.0Hz として正弦波を加える繰返しせん断試験と、初期拘束圧 98kPa とし、圧縮・伸張の両側で拘束圧一定の単調載荷試験を行った。また排水条件下での三軸伸張試験も行った。

3. 試験結果および考察 : 図 - 1 は単調載荷の三軸圧縮試験と三軸伸張試験から得られた応力 - ひずみ曲線の初期の部分を示している。ここで、 $q = \sigma_1 - \sigma_3$ である。まず圧縮試験をみると、変形の初期に軟化を示す点があり、そのあと準定常状態に達して破壊へと向かっていることがわかる。ここにみられる軟化点はコプラス点とも呼ばれ砂の構造が喪失する点といわれている。また、曲線の極小点に変相点に対応する。一方、伸張試験では、前述の圧縮試験の結果とは異なり、軟化点を迎えた後、そのまま曲線が徐々に下降して破壊していることがわかる。次に繰返し三軸試験を行い、その結果から得られた有効応力経路図に先ほどの軟化が生じた点と変相点をプロットし、実線と破線で軟化・変相線を描いたものが図 - 2、図 - 3、図 - 4 である。なお、軟化の線、変相線とも原点を通る直線と仮定した。また、

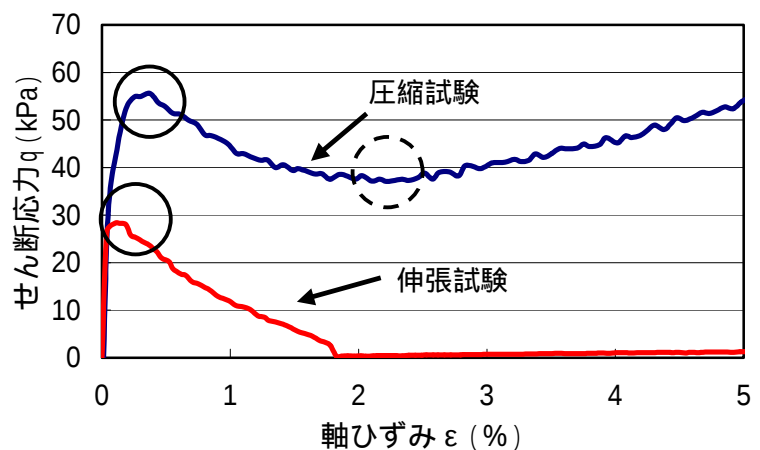


図 - 1 応力 - ひずみ曲線

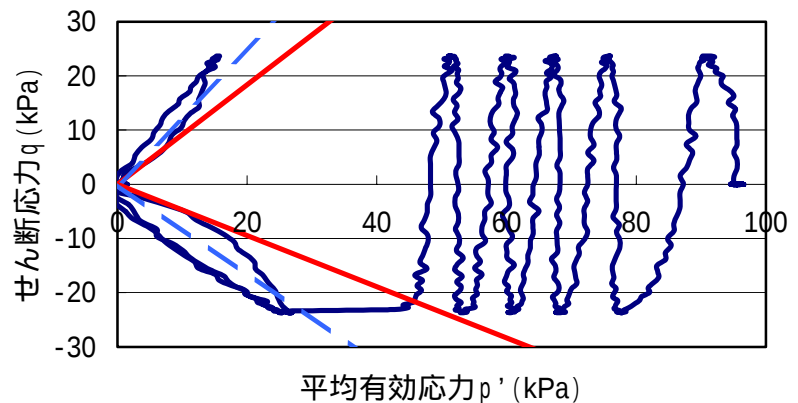


図 - 2 有効応力経路図 (0.01Hz)

キーワード 三軸圧縮試験、非排水試験、液状化試験、ゆる詰め砂

連絡先 〒371-0816 前橋市上佐鳥町 460 Tel 027(265)0111 Fax 027(265)3837

非排水試験では求められなかった伸張側の変相点は排水試験を行って求めた。図 - 2、図 - 3、図 - 4 はそれぞれ、振動数を 0.01Hz、0.1Hz、1.0Hz として行われた試験の結果を示している。振動数が 0.01Hz である図 - 2 をみると、有効応力 98kPa から試験を開始するが、圧縮・伸張を繰返す中で、徐々に有効応力が減少し、伸張側で軟化の線を越えた付近において有効応力が大きく減少していることがわかる。これと対応して過剰間隙水圧がこの時に急増している様子を図 - 5 に示す。図 - 5 は 0.01Hz の試験における時間軸に対する過剰間隙水圧とひずみの変化を表わしたグラフである。この図をみると、460s 付近、つまり、有効応力が大きく減少した付近で過剰間隙水圧が急増していることがわかる。また、この時点でひずみも同様に急増している。次に、振動数がそれぞれ 0.1Hz、1.0Hz である図 - 3、図 - 4 においても、軟化の線の付近で過剰間隙水圧が上昇する傾向にある。振動数 1.0Hz の場合、図 - 2 のように過剰間隙水圧が急増してすぐに変相線まで達することはなかったが、実線の付近で有効応力を表わす曲線の間隔が広がっていることがわかる。

4. まとめ：非排水条件下の三軸圧縮試験より得られた軟化を示す点を繰返し三軸試験の有効応力経路図にプロットして軟化状態を規定すると

考えられる線を描くと、軟化の線の付近で曲線に変化がみられた。特に振動数 0.01Hz、0.1Hz といったゆっくりとした载荷の場合、軟化の線の付近で過剰間隙水圧・ひずみが急激に上昇する現象がみられた。ゆる詰め砂の液状化に至るまでの有効応力経路図は変相線、破壊線に加えて、コプラス点と呼ばれる変形初期の軟化を考慮すると、その特徴をよりわかりやすく整理できることを確認した。

<参考文献>

1) 野村 学克, 土倉 泰: 载荷速度の異なる砂の振動三軸試験について, 第 29 回関東支部技術研究会講演概要集, pp.378-379, 2001.

2) Ishihara, K., Tsutsuoka, F., Yasuda, S.: Undrained deformation and liquefaction of sand under cyclic stresses, Soils and Foundations, Vol.15, No.1, pp.29-44, 1975.

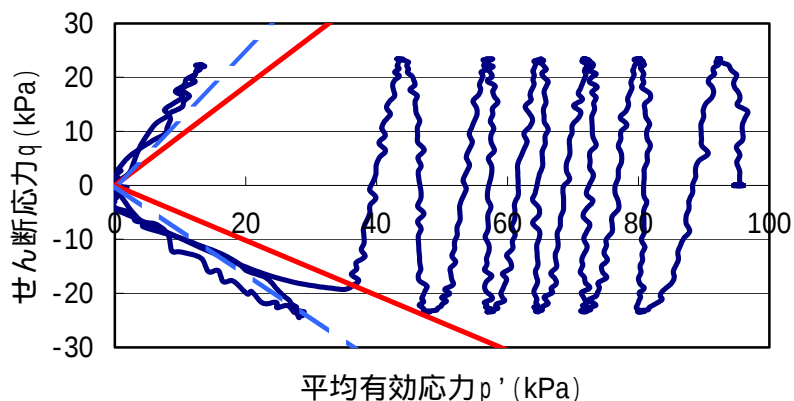


図 - 3 有効応力経路図 (0.1Hz)

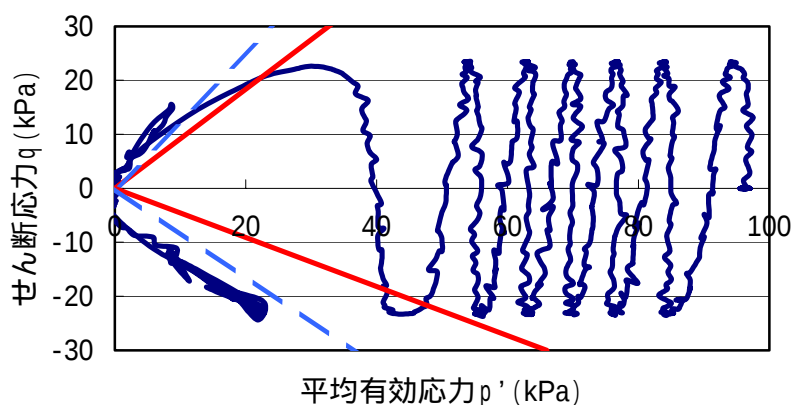


図 - 4 有効応力経路図 (1.0Hz)

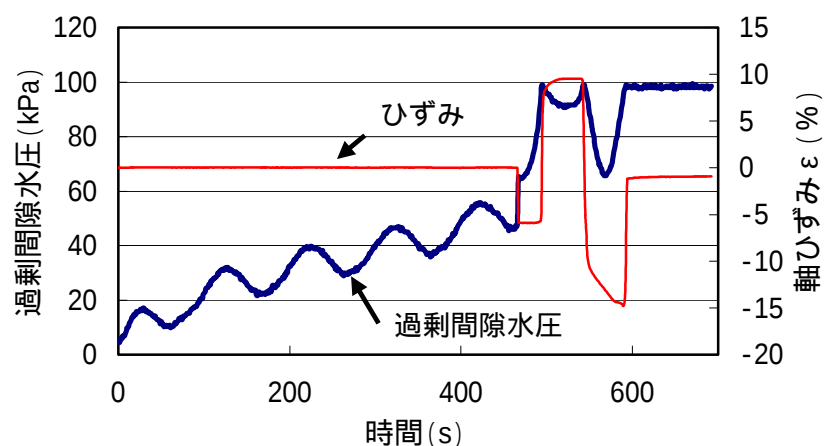


図 - 5 時間軸に対する過剰間隙水圧とひずみの変化 (0.01Hz)