飽和砂の非排水センダン特性に関する一考察

東北大学工学部　学生員○　伴　一彦
東北大学工学部　正　員　　柳沢栄司

1.) はじめに

液状化現象を考える場合，それに関連する応力～歪領域は、従来の静的破壊問題を取り扱う時に比べて、歪の大きさが、はるかに小さい領域となることが知られている。特に液状化で問題となる"ゆるづめ砂"では、その領域において、負のダイレタンシーに起因して発生する過剰間ゲキ水圧をいかに推定するかが、重要となる。本報告では、初歩段階として、静的三軸試験条件下での負のダイレタンシ特性　及びそれに伴って発生する過剰間ゲキ水圧を推定する為に、通常の三軸圧縮試験機を用いた排水試験結果から、体積歪のダイレタンシー成分と等方圧成分を分離し、分離されたダイレタンシー成分を使って、飽和砂の非排水条件下で発生する過剰間ゲキ水圧の推定を試みている。

2.) 試料及び実験概要

本実験で使用した試料は、$e_{max}=0.89$，$e_{min}=0.55$　$G_s=2.64$の豊浦標準砂である。供試体寸法は、高さ12.5cm、直径5.0cm を標準とする円柱供試体である。供試体は、まず含水比3～4％の不飽和砂を作り、5層程度に分けてモールドに詰め、各層をタンピングする作製法を用いた。この時の初期間ゲキ比は、$e_0=0.76\sim0.81$である。供試体の飽和度を高める為に、供試体に二酸化炭素を通し、脱気水を十分流した。（非排水試験を行なう場合は、更に1.0kg/cm^2のバックプレッシャーをかけた。）実験は、以下の3つのタイプから成る。

a）等方圧縮、除荷試験：　等方応力σ'_{cmax} = 1.0，2.0，4.0 kg/cm^2まで各々等方圧縮を行なった後，各々のσ'_{cmax}値から$\sigma'_c=0$まで除荷試験を行なって，体積変化量ΔV_cをビューレットにて，測定する。

b）拘束圧一定排水試験：　σ'_c = 1.0，2.0 kg/cm^2の2ケースで供試体を十分（90分以上）圧密した後、側圧一定の条件で単調載荷排水試験を行ない，体積変化ΔV_wをビューレットにて測定する。

c）非排水試験：　σ'_c = 1.0，2.0 kg/cm^2で供試体を十分圧密した後、非排水試験を行ない、発生する間ゲキ水圧Δuを計測する。

なお，b）及びc）は、歪速度 = 0.079mm/minの歪制御試験である。

3.） 結果及び考察

a）$\Delta\varepsilon_{vd}$の算定：　通常の載荷条件において生じる体積歪増分$\Delta\varepsilon_v$は、有効等方応力成分に依存する体積歪増分$\Delta\varepsilon_{vc}$と，センダンに伴うダイレタンシー成分$\Delta\varepsilon_{vd}$の和として表わされると仮定する[1]。すなわち、

$$\Delta\varepsilon_v = \Delta\varepsilon_{vc} + \Delta\varepsilon_{vd} \qquad (1)$$

従って拘束圧一定排水試験の結果から得られる$\Delta\varepsilon_v=\Delta V_w/V_0$から、等方圧縮試験における体積歪増分，$\Delta\varepsilon_{vc}$を引けば、$\Delta\varepsilon_{vd}$を求めることが出来る。一方，本実験における等方圧縮試験の結果は、次式で近似することが、出来る。

$$\Delta\varepsilon_{vc} = K_c \ln\left(1+\frac{\Delta P'}{P'}\right) \qquad (2)$$

ここで　K_c：等方圧縮曲線の勾配　　　P'：平均応力（$=\frac{1}{3}(\sigma'_1+2\sigma'_3)$）

$\Delta P'$：載荷に伴う平均応力P'の増分

又、σ_3 = Const　より　$\Delta P'=\Delta\sigma_1/3$　である。これを考慮すれば，(1)(2)式より、$\Delta\varepsilon_{vd}$は、次のように書くことが出来る。

$$\Delta \varepsilon_{vd} = \frac{\Delta V_w}{V_0} - K_c \ln\left(1+\frac{\Delta\sigma_1/3}{\sigma_3}\right) \qquad (3)$$

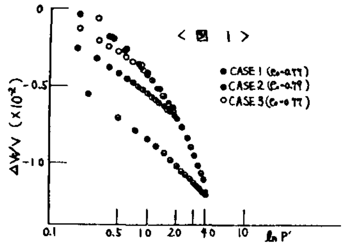
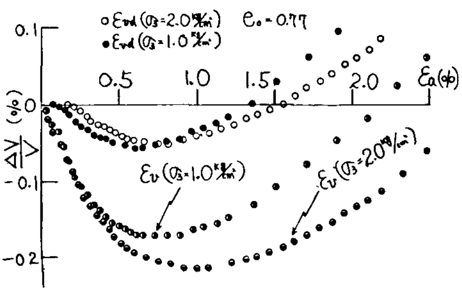


図1に等方圧縮及び除荷試験の結果を示す。図を見ればわかるように、圧縮曲線については、$p'=2.0$ kg/cm² 付近で曲線の勾配が，大きく変化する。従って(2)式におけるK_cとして，$\sigma_3=1.0$ kg/cm² では、0.24，$\sigma_3=2.0$ kg/cm² では、0.35を用いた。

図2には、各々の拘束圧における，$\varepsilon_a \sim \varepsilon_v$ 関係，及び上述の手法で計算を行なって算出した $\varepsilon_a \sim \varepsilon_{vd}$ 関係を示している。これから，載荷初期においてε_{vd}が，ほとんど発現していない。これは 供試体作製時における初期乱れ，及び等方圧縮試験におけるメンブレンミスフィットによる$\Delta\varepsilon_{vc}$の過大評価が，主因と考えられる。又、図3には，データーの妥当性を調べる為に，Stress－Dilatancy 関係との対応を示している。これによると，高い応力比（σ_1'/σ_3'）では，データの再現性は良いが，液状化で問題となる様な低応力比では，ばらつきの大きいことが分かる。

<図2>



b)過剰間ゲキ水圧Δuの推定： 飽和砂において非排水条件を考えれば，$\Delta\varepsilon_v=0$であり、(1)式から

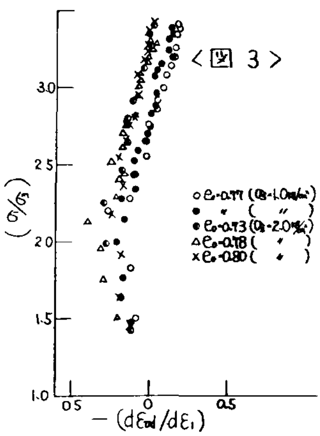
$$\Delta\varepsilon_{vcr} + \Delta\varepsilon_{vd} = 0 \qquad (4)$$

ここで$\Delta\varepsilon_{vcr}$ は、p'の減少による回復性体積歪増分であり，

$$\Delta u + \Delta p' = 0 \qquad (5)$$

を仮定すれば，図1の除荷曲線から、$\Delta\varepsilon_{vcr}$ は，次のように表現できる。

$$\Delta\varepsilon_{vcr} = -K_{cr} \ln \frac{\sigma_3}{\sigma_3 - \Delta u} \qquad (6)$$



ここで K_{cr}：除荷曲線の勾配

従って先に問題となったメンブレンミスフィット補正2)を考慮すれば，(3)(4)(6)式より Δuは，次のように表現することが出来る。

$$\Delta u = \sigma_3\left\{1-\exp\left[-\frac{\dfrac{\Delta V_w}{V_0} - K_c' \ln\left(1+\dfrac{\Delta\sigma_1/3}{\sigma_3}\right)}{K_{cr}}\right]\right\} \qquad (7)$$

ここで K_c'：メンブレンミスフィットを考慮した等方圧縮曲線の勾配

排水試験データを用い，(6)式によって算定したΔU_cと非排水試験で計測したΔU_m について ΔU_{max} 値を比較してみると $\Delta U_{cmax}/\Delta U_{m\,max} = 0.7 \sim 0.8$ であった。

4.) おわりに

本報告では 載荷時の体積歪増分に注目し、飽和砂の非排水セン断特性における主影響要因Δuの算出を試みた。しかし、応力比あるいは、セン断歪の小さい領域では、供試体の初期乱れ，メンブレインミスフィット, etcの効果が相対的に大きくなり、これらを精度よく見積もることが、まず重要となる。これらについて今後検討していくつもりである。

参考文献 1) Martin and Seed pro, of ASCE GT6 1979 P739〜758 2)金氏他 第14回土質工学研究発表会講演集 P377〜P380