

東京邦土木技術研究所 正会員

○華野 郁

阿部 博

小川 好

## 1. はじめに

地盤の液状化は、振動三軸による液状化試験から得られるくり返しせん断応力比  $R_d (= \frac{\sigma_d}{2\sigma'_v})$  を用いて表わされるが、不攪乱工の液状化強さは拘束応力と比例するとは限らず、また、振動三軸試験では圧縮側と伸張側で“応力～ひずみ”関係に対称性は欠けるなどの問題点がある。ここでは、不攪乱工を用い、拘束応力を変化させて液状化試験を行い、拘束応力が液状化特性に及ぼす影響を調べた。また、地盤の応力状態の再現性の良い中空ねじり試験により液状化試験を行い、振動三軸と比較した。

## 2. 試験概要と試料の物理特性

拘束応力を変化させた液状化試験は、江戸川區小松川一丁目（防災拠点地区、以後Aと称す）で採取した試料（沖積砂、沖積シルト）を用い、拘束応力  $\sigma'_v$  は上載圧を  $\sigma'_v$  とし、 $\sigma'_v = \sigma'_v$ ,  $\sigma'_v$ ,  $2\sigma'_v$  である。中空ねじりと振動三軸の比較試験は、江戸川區葛西沖積立地の荒川堤防（以後Bと称す）で採取した試料（埋立山砂、沖積砂、沖積シルト）と、江戸川區の旧江戸川河口の堤防建設地（以後Cと称す）で採取した試料（埋立山砂、沖積砂）を用いた。試料の物理特性は表-1に示す。AとCは自然堆積工であるが、Bはサンドコンパクション工法により地盤改良された後の試料である。

圧密時間は24時間とし、バックプレッシャーは  $30 \text{ kgf/cm}^2$  とした。また、くり返しした応力はサイン波の  $1.0 \text{ Hz}$  である。

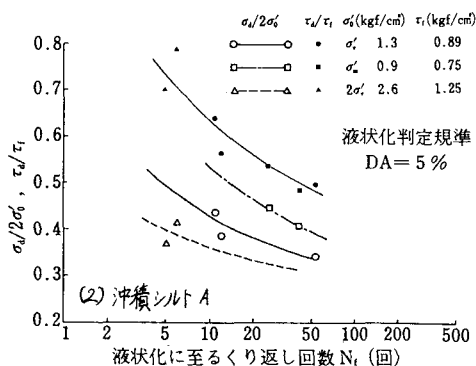
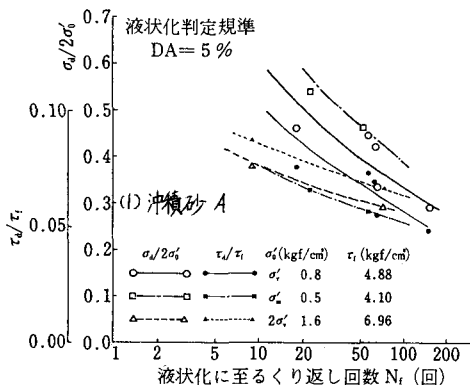
## 3. 拘束応力の影響

液状化試験の拘束応力  $\sigma'_v$  を、 $\sigma'_v = \frac{2}{3}\sigma'_v (= \sigma'_m = \frac{1+2K_0}{2}\sigma'_v)$ ,  $\sigma'_v$ ,  $2\sigma'_v$  とし、 $DA=5\%$  を液状化の判定といたときのくり返しせん断応力比  $\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$  ～くり返し回数  $N_f$  (回) の関係を図-1(1)（沖積砂）、(2)（沖積シルト）に示す。沖積砂、沖積シルトともに、 $\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v} \sim N_f$  の関係は、図-1(1), (2)に示すように、 $\sigma'_v = \frac{2}{3}\sigma'_v$ ,  $\sigma'_v$ ,  $2\sigma'_v$  の順で、 $\sigma'_v$  が大きくなるにしたがい  $\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$  は小さくなっており、拘束応力の違いによる  $\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$  の差は大きいことがわかる。

一方、図-1(1), (2)に、同一拘束応力における静的せん断強度  $\tau_f$  と、動的せん断応力  $\tau_d (= \frac{\sigma_d}{2})$  の比  $\frac{\tau_d}{\tau_f}$  と  $N_f$  の関係を併記した。ここでは、圧密非排水三軸圧縮試験から拘束応力  $\sigma'_v$  における軸差応力の  $\frac{1}{2}$  を静的せん断強度  $\tau_f$  とし、動的せん断強度  $\tau_d$  は、 $DA=5\%$  の  $\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$  から、 $\tau_d = \frac{1}{2}\sigma_d = (\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}) \cdot \sigma'_v$  と求めて、沖積砂の  $\frac{\tau_d}{\tau_f} \sim N_f$  の関係は、図-1(1)に示すようにばらつきは見られるが、 $\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v} \sim N_f$  の関係が拘束応力の違いによって生じる差より狭い範囲に収まる。また、沖積シルト

表-1 試料の物理特性

| 試料名    | 平均粒径<br>$D_{50}(\text{mm})$ | 細砂含有量<br>$F_c(\%)$ | 相対密度<br>$D_r(\%)$ | 軸差強度<br>$\sigma_{ac}(\text{kgf/cm}^2)$ |
|--------|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------------------|
| A 沖積砂  | 0.22                        | 7                  | 71                | —                                      |
| 沖積シルト  | —                           | —                  | —                 | 0.640                                  |
| B 埋立山砂 | 0.20~0.28                   | 7~10               | 93~104            | —                                      |
| 沖積砂    | 0.15~0.16                   | 10~16              | 91                | —                                      |
| 沖積シルト  | —                           | —                  | —                 | 1.945                                  |
| C 埋立山砂 | 0.245                       | 9                  | 71                | —                                      |
| 沖積砂    | 0.13~0.23                   | 6~13               | 88                | —                                      |

図-1  $\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$ ,  $\frac{\tau_d}{\tau_f} \sim N_f$  の関係

の  $\tau_d/\sigma'_v \sim N_f$  の関係は、拘束応力の影響が現われず、ほぼ一つの曲線と現わせることがわかる。

#### 4. 中空ねじりと振動三軸

中空ねじりと振動三軸との比較試験では、ポアソン比を 0.5 とすると、せん断ひずみは軸ひずみの 1.5 倍に相当する。液状化判定を軸ひずみ両振幅  $DA=5\%$ 、中空ねじりにおけるせん断ひずみ両振幅  $\gamma_{DA}=7.5\%$  とし、中空ねじりと振動三軸の液状化試験から、応力比  $\tau_d/\sigma'_v$  (中空ねじり)、 $\sigma_d/2\sigma'_v$  (振動三軸)  $\sim N_f$  の関係を求め、その一例を図-2 (沖積砂: B) に示す。また、図-2 には、残留間隙水圧  $u_d/\sigma'_v = 0.8$  に至る " $\tau_d/\sigma'_v$ ,  $\sigma_d/2\sigma'_v \sim N_f$ " の関係も併記した。中空ねじりと振動三軸で等価なひずみ  $\gamma_{DA}=7.5\%$ 、 $DA=5\%$  に至る応力比は、図-2 に示すように、沖積砂の場合、中空ねじりは振動三軸より小さくなる。同一残留間隙水圧  $u_d/\sigma'_v = 0.8$  に至る応力比も中空ねじりは振動三軸より小さい。

つぎに、B, C 試料の液状化試験から  $N_f=20$  回の場合の応力比 ( $\tau_d/\sigma'_v$ ,  $\sigma_d/2\sigma'_v$ ) とひずみ ( $\gamma_{DA}$ ,  $1.5 DA$ )、残留間隙水圧  $u_d/\sigma'_v$  の関係を図-3 (1) (埋立山砂), (2) (沖積砂), (3) (沖積シルト) に示す。山砂の場合、中空ねじりと振動三軸と比較すると、同一ひずみ、同一残留間隙水圧に至る応力比は、若干ではあるが中空ねじりの方が振動三軸より大きく、沖積砂と沖積シルトの場合、同一ひずみ、同一残留間隙水圧に至る応力比は、中空ねじりの方が振動三軸より小さくなり、その差は大きい。

$N_f=20$  回の場合、 $\gamma_{DA}=7.5\%$  と  $DA=5\%$  の応力比  $\tau_d/\sigma'_v$  と  $\sigma_d/2\sigma'_v$  を図-4 に示す。山砂の場合、 $\tau_d/\sigma'_v$  は 4~14% 程度  $\sigma_d/2\sigma'_v$  より大きく、逆に、沖積砂では、 $\tau_d/\sigma'_v$  は 25~55% 程度  $\sigma_d/2\sigma'_v$  より小さく、沖積シルトでは、 $\tau_d/\sigma'_v$  は 20% 程度  $\sigma_d/2\sigma'_v$  より小さくなる。

#### 5. おわりに

不攪乱工の液状化試験による  $\sigma_d/2\sigma'_v$  は  $\sigma'_v$  が小さいほど大きくなり、 $\tau_d/\sigma'_v$  で表示した方が  $\sigma'_v$  の影響が小さい。このことは、低拘束応力下や盛土が予測される時の液状化強度は、静的試験の結果を応用して求められることを示唆している。

中空ねじりと振動三軸の比較からは、自然堆積工の場合、中空ねじりの方が振動三軸より小さくなる。これは、中空ねじりではせん断面が土粒子の配向面と一致し、土の構造的な異方性も一つの要因をなすと思う。このことは、振動三軸は地盤の液状化強度を大きく予測することになる。

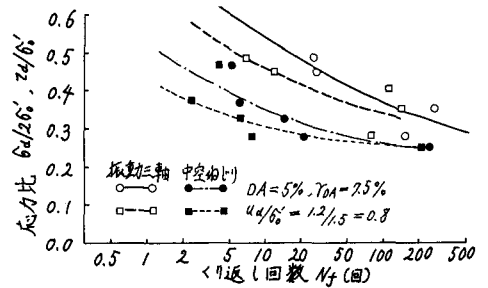


図-2  $\tau_d/2\sigma'_v$ ,  $\tau_d/\sigma'_v \sim N_f$  の関係

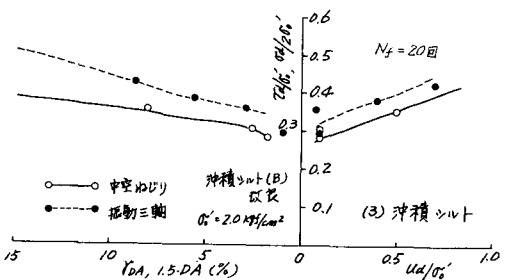
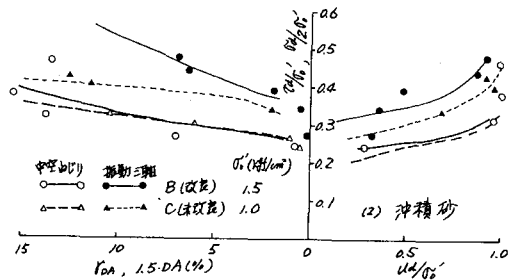
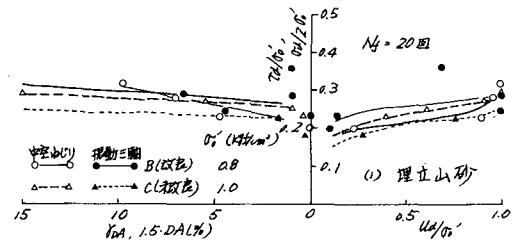


図-3 応力比とひずみ、残留間隙水圧の関係

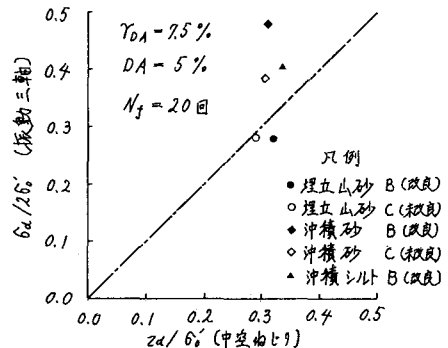


図-4  $\sigma_d/2\sigma'_v \sim \tau_d/\sigma'_v$  の関係