

山梨大学工学部 学生会員 山邊 恵太

山梨大学工学部 正 会 員 後藤 聡

### 1. はじめに

液状化が発生すると、上下水道などの地下構造物は被害を受ける。しかし、埋め戻し地盤は締固め転圧だけで、液状化対策として地盤改良されていないのが一般的である。また、地下構造物が被害を受けると復旧に多大な時間がかかるため、液状化の発生を軽減する必要がある。そこで、山梨県で実際に用いられている下水道の埋め戻し砂の締固め度と液状化特性について実験的な検討を行った。

### 2. 実験で用いた埋め戻し試料の物理特性

実験で用いた試料の物理特性および粒径加積曲線を表-1および図-1にそれぞれ示す。表-1および図-1より、この試料は礫分29.5%、砂分67.75%、細粒分2.75%から構成されており、砂分が多く含まれていることが分かる。一般的に細粒分5%未満の粗粒土に対し、均等係数 $U_c < 10$ の土を「分級された」といい、締固め特性の悪い土、すなわち最適含水比を得るのが難しいとされている<sup>1)</sup>。この試料の場合、 $U_c = 9.6$ であるが10に近いので締固め特性は悪いとはい言い切れない。また、図-1に締固め試験前と後の粒径加積曲線を示す。試験前と後では粒径加積曲線は、ほとんど同じなので粒子破碎は生じていないと言える。

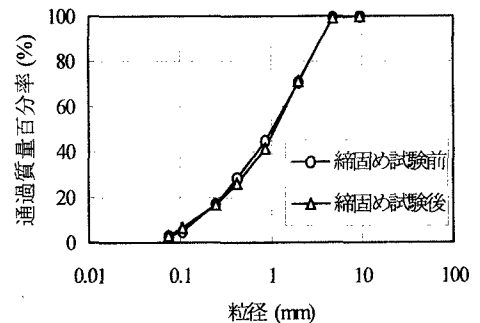


図-1 粒径加積曲線

表-1 用いた試料の物理特性

| 土粒子密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 粒度分布               |                       |                         | 平均粒径<br>$D_{50}$ (mm) | 均等係数<br>$U_c$ | 曲率係数<br>$U_c'$ | 最大粒径<br>(mm) |
|----------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|----------------|--------------|
|                                        | 礫分 (%)<br>(2mm 以上) | 砂分 (%)<br>(2~0.075mm) | 細粒分 (%)<br>(0.075mm 以下) |                       |               |                |              |
| 2.68                                   | 29.5               | 67.75                 | 2.75                    | 1.01                  | 9.6           | 0.63           | 9.5          |

### 3. 締固め特性

図-2に締固め試験結果を示す。締固め試験では、鉄の突き棒(直径14mm、質量123.44g)、モールド(容積113.28cm<sup>3</sup>)を用いて、締固めエネルギー $E_c = 5.584$ で行った。図-2は、締固め試験結果と液状化試験での供試体作成時の含水比および乾燥密度をプロットし、近似曲線を引いた結果である。最大乾燥密度 $\rho_{dmax} = 2.051$ g/cm<sup>3</sup>、最適含水比 $\omega_{opt} = 9.6\%$ であった。

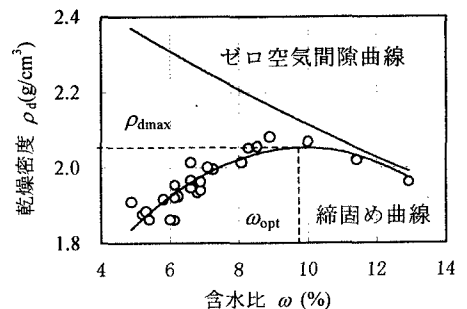


図-2 締固め試験結果

### 4. 液状化特性

#### 4.1 液状化試験方法

供試体は高さ12cm、直径6cmの円柱供試体を用いて行った。あらかじめ所定の含水比に調整した試料を、三軸装置に装着したモールドの中で5層に分けて締固め、供試

キーワード：締固め度 液状化特性 埋め戻し砂

連絡先：400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 TEL055-220-8526

体を作成した。突き棒は締固め試験時と同様のものを用いた。その後、有効拘束圧 $\sigma'_c=30\text{kPa}$ で自立させ、供試体の飽和は、二重負圧法の下で脱気水を2～3時間通水させた後、背圧 $\sigma_{BP}=100\text{kPa}$ 加圧することにより行った。次に、B値が0.95以上であることを確認し、 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ まで等方圧密を行い、繰返し載荷周波数0.005Hz、有効拘束圧100kPaのもとで液状化試験を行った。

4.2 試験結果および考察

表-2に供試体の密度および液状化試験結果を示す。表-2において液状化強度 $R_{L20}$ は、繰返し載荷回数20回の時に両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に達するような繰返し応力振幅比である。供試体作成時の締固めエネルギーは一定であったが、表-2より供試体A、BおよびCそれぞれで、乾燥密度にばらつきが生じた。また、供試体作成時と圧密後の締固め度から、圧密後に締固め度が増加していることが分かる。

図-3および図-4に繰返し応力振幅比と繰返し載荷回数の関係および液状化強度と締固め度（圧密後）の関係をそれぞれ示す。図-4は、図-3より求めた液状化強度 $R_{L20}$ と供試体A、BおよびCの締固め度（圧密後）をそれぞれ平均した値であり、約93.0%、約95.5%、約97.5%である。

図-3および図-4より、締固め度が大きくなると液状化強度が高くなっていることが分かる。さらに、供試体Aでは液状化強度は低い、供試体BおよびCを見るとAに比べて顕著に液状化強度が高くなっていることが分かる。つまり、わずかな締固め度の増加で液状化強度が高くなることが分かる。

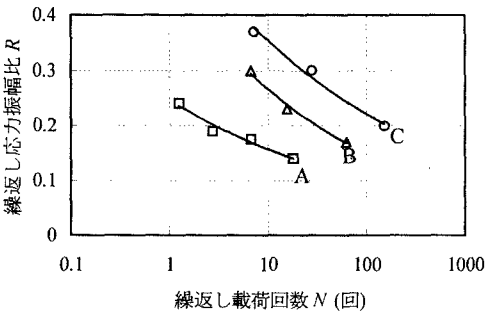


図-3 繰返し応力振幅比と繰返し載荷回数の関係

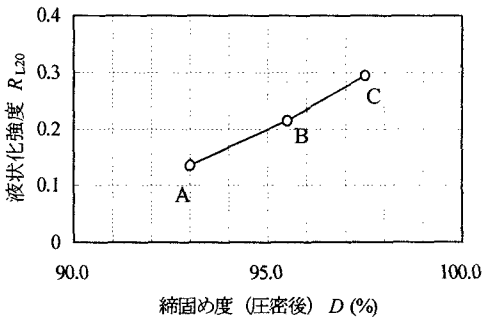


図-4 液状化強度と締固め度（圧密後）の関係

表-2 供試体の密度および液状化試験結果

| 供試体 No |                                     | A-1   | A-2   | A-3   | A-4   | B-1   | B-2   | B-3   | C-1   | C-2   | C-3   |
|--------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 供試体作成時 | 含水比 $w(\%)$                         | 5.4   | 6.0   | 5.2   | 5.3   | 5.8   | 6.8   | 6.9   | 6.9   | 6.5   | 6.6   |
|        | 乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$ | 1.863 | 1.863 | 1.876 | 1.886 | 1.918 | 1.933 | 1.940 | 1.964 | 2.015 | 1.968 |
|        | 間隙比 $e$                             | 0.439 | 0.439 | 0.429 | 0.421 | 0.397 | 0.386 | 0.381 | 0.365 | 0.330 | 0.362 |
|        | 締固め度 $D(\%)$                        | 90.8  | 90.8  | 91.5  | 92.0  | 93.5  | 94.2  | 94.6  | 95.8  | 98.2  | 96.0  |
| 圧密後    | 乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$ | 1.906 | 1.904 | 1.906 | 1.917 | 1.954 | 1.957 | 1.963 | 1.984 | 2.034 | 1.983 |
|        | 間隙比 $e$                             | 0.406 | 0.408 | 0.406 | 0.398 | 0.371 | 0.369 | 0.365 | 0.351 | 0.304 | 0.200 |
|        | 締固め度 $D(\%)$                        | 92.9  | 92.8  | 92.9  | 93.5  | 95.3  | 95.4  | 95.7  | 96.7  | 99.2  | 96.7  |
| 試験結果   | B 値                                 | 0.990 | 0.998 | 0.990 | 0.998 | 0.982 | 0.982 | 0.974 | 0.974 | 0.974 | 0.982 |
|        | 繰返し応力振幅比 $R$                        | 0.14  | 0.20  | 0.25  | 0.175 | 0.17  | 0.25  | 0.30  | 0.20  | 0.30  | 0.39  |
|        | 繰返し載荷回数( $DA=5\%$ ) $N$ (回)         | 17.75 | 2.75  | 1.25  | 6.75  | 62.75 | 15.75 | 6.75  | 149   | 27.75 | 7.25  |
|        | 液状化強度 $R_{L20}$                     | 0.135 |       |       |       | 0.215 |       |       | 0.295 |       |       |

5. まとめ

本研究では、山梨県の下水道で実際に用いられている埋め戻し砂について、締固め度（ $D$ ）と液状化特性について検討した。その結果、わずかな締固め度の増加で液状化強度 $R_{L20}$ が高くなることが分かった。

【参考文献】

1) (社) 地盤工学会:土質試験の方法と解説-第一回改訂版-2000 第2編物理試験 第4章粒度試験