

# 地盤の液状化の評価法

岡 二三生\*

## 1. 研究の目的

多液状化判定に用いられる液状化強度比については、繰返し三軸試験や繰返し中空ねじり試験が用いられる。この際の載荷応力、ひずみ条件を見直した。その結果、せん断応力に関してはせん断応力の第二不変量を用いると自然試料を用いた両試験結果は 1:1 の対応を示すこと、さらに異方性を考慮した構成式による解析で、単純せん断である中空ねじり試験による強度が低い場合があることを明らかにしてきた<sup>2)</sup>。

## 2. 研究の方法

本報告では、ひずみで液状化を判定した場合、載荷条件の見直しから予測される三軸と単純せん断時の強度の比が自然試料の結果と一致すること、さらに応力の不変量で整理した場合、三軸と単純せん断による液状化強度比は 1:1 の対応となることを示した。なお、繰返し載荷回数  $N$  は 20 回である。

## 3. 得られた成果

### 3.1 繰返し三軸での応力とひずみ

非排水圧縮試験でのひずみ成分は、 $\varepsilon_{11}$  を軸ひずみとして

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & -\varepsilon_{11}/2 & 0 \\ 0 & 0 & -\varepsilon_{11}/2 \end{bmatrix} \quad \text{である。これより、ひずみの第 2 不変量 } I_2 \text{ は、}$$

$$I_2 = e_{ij}e_{ij}/2 = (\varepsilon_{11}^2 + 2\varepsilon_{11}^2/4)/2 = 3\varepsilon_{11}^2/4 \quad (1) \quad \text{となり、} \sqrt{I_2} = \frac{\sqrt{3}}{2}|\varepsilon_{11}| = 0.866|\varepsilon_{11}| \quad (2)$$

5%の軸ひずみでは、 $\sqrt{I_2} = \frac{\sqrt{3}}{2}|\varepsilon_{11}| = 0.866|\varepsilon_{11}| = 4.33\%$  となる。

一方、応力成分については、

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_3 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2q/3 & 0 & 0 \\ 0 & -q/3 & 0 \\ 0 & 0 & -q/3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{bmatrix} \quad \text{より、せん断応力は軸差応力 } q \text{ の } 1/2 \text{ となるから、}$$

$$\tau = \frac{q}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{2}}\sqrt{2J_2}, \quad 2J_2 = s_{ij}s_{ij} \quad (3) \quad \sqrt{2J_2} = \sqrt{2/3}|q| = 2\left|\frac{\sigma_d}{2}\right| \sqrt{2/3} = 1.633\left|\frac{\sigma_d}{2}\right| \quad (4)$$

となる。

### 3.2 繰返し単純せん断（中空ねじり）での応力とひずみ

非排水条件下で、せん断ひずみ成分は

---

\*京都大学・名誉教授

$$\begin{bmatrix} 0 & \varepsilon_{12} & 0 \\ \varepsilon_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

である。7.5%のせん断ひずみの場合は、

$$\sqrt{J_2} = |\varepsilon_{12}| = \gamma_{12} / 2 = 3.75\% \quad (5) \quad \text{となる。7.5\%のせん断ひずみは、非排水条件から、}$$

$\varepsilon_{33} = -\varepsilon_{11} / 2$ ,  $\gamma_{12} = \varepsilon_{11} - \varepsilon_{33} = 1.5\varepsilon_{11} = 7.5\%$  として用いられている。一方、応力成分については、

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & 0 \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \sigma_{12} & 0 \\ \sigma_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{bmatrix} \quad \text{より、}$$

$$\sqrt{2J_2} = \sqrt{2}|\sigma_{12}| = 1.414|\sigma_{12}| \quad (6)$$

となる。すなわち、不変量で表した載荷せん断応力が等しいとすると、下式を求めることができる。

$$\left| \frac{\sigma_d}{2} \right| / |\sigma_{12}| = 0.866 \quad (7)$$

### 3.3 繰返し三軸試験と繰返し中空ねじり試験の結果の対応

これまで多くの地点における乱れの少ない砂試料を用いて、繰返し三軸試験と繰返し中空ねじり試験が実施されてきた<sup>1,2)</sup>。その結果、大阪、他 10 地点で採取した自然砂試料を用いた両試験による従来のせん断に応力よる液状化強度比の対応は、線形フィットとするとその対応は中空ねじり試験による強度が三軸試験によるものの 0.870 倍となり(7)式から予測される結果とよく一致している。一方、液状化強度比をせん断応力の第二不変量で表した場合、線形フィットによる対応は 1:1 であり、良い対応を示している<sup>3)</sup>。また、ピアソンの相関係数はどちらもほぼ 0.743 であり相関はよいと判断される。

謝辞 地盤工学会関西支部の南海トラフ巨大地震に関する被害予測と防災対策研究委員会 及び 関西の地盤情報に基づく防災ハザードマップ開発研究委員会関連の研究の一部を用いた。委員長の 大島昭彦先生、委員の 深井晴夫氏に謝意を表します。

#### 発表論文及び参考文献

- 1) 岡 二三生, 大島 昭彦, 深井 晴夫, 液状化判定に用いられる液状化強度比について, 第 56 回地盤工学研究発表会, 12-4-1-02, 2021.
- 2) 岡 二三生, 大島昭彦, 深井晴夫, 繰返し三軸試験と繰返し中空ねじり試験による液状化強度比について, 第 55 回地盤工学研究発表会, pp.158-159, 2020.
- 3) 地盤工学会関西支部の南海トラフ巨大地震に関する被害予測と防災対策研究委員会報告書, 2016.
- 4) 関西の地盤情報に基づく防災ハザードマップ開発研究委員会報告書, 2019.