

# 地盤の液状化の判定法

## 砂質土と砂質土を改良したボンテラン改良土の液状化抵抗率 $F_L$ の算定

[道路標示方書・同解説Ⅴ耐震設計編に関する参考資料、平成27年3月、公益社団法人、日本道路協会による。]

### 1. 砂質土の性状

含水比 $w = 27.9$  [%]

乾燥密度 $\rho_d = 1.402$  [g/cm<sup>3</sup>]

乾燥単位体積重量 $\gamma_d = \rho_d \cdot g$

$$= 1.402 \times 9.8$$

$$= 13.74 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

湿潤密度 $\rho_t = 1.792$  [g/cm<sup>3</sup>]

湿潤単位体積重量 $\gamma_t = \rho_t \cdot g$

$$= 1.792 \times 9.8$$

$$= 17.56 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} \text{ [g/cm}^3\text{] より} \dots \dots \dots (1)$$

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \dots \dots \dots (2)$$

$\rho_s$ : 土粒子の密度 [g/cm<sup>3</sup>] ここでは $\rho_s = 2.60$  [g/cm<sup>3</sup>] とする。

$e$ : 土の間隙比 [-]

$\gamma_{sat}$ : 飽和単位体積重量

$$\gamma_{sat} = \frac{\rho_s + \rho_w \cdot e}{1+e} \cdot g \text{ [kN/m}^3\text{]} \dots \dots \dots (3)$$

$\rho_w$  : 水の密度 [g/cm<sup>3</sup>] ここでは $\rho_w = 1.00$  [g/cm<sup>3</sup>] とする。

(2)式より

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

$$= \frac{2.60 - 1.402}{1.402} = 0.854$$

$$\gamma_{sat} = \frac{2.6 + 1.0 \times 0.854}{1 + 0.854} \times 9.8$$

$$= 18.25 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

## 2. ボンテラン改良土の性状

含水比  $w = 35.7$  [%]

乾燥密度  $\rho_{d-B} = 1.270$  [g/cm<sup>3</sup>]

$$\begin{aligned}\text{乾燥単位体積重量 } \gamma_{d-B} &= \rho_d \cdot g \\ &= 1.270 \times 9.8 \\ &= 12.45 \text{ [kN/m}^3\text{]}\end{aligned}$$

湿潤密度  $\rho_{t-B} = 1.723$  [g/cm<sup>3</sup>]

$$\begin{aligned}\text{湿潤単位体積重量 } \gamma_{t-B} &= \rho_{t-B} \cdot g \\ &= 1.723 \times 9.8 \\ &= 16.88 \text{ [kN/m}^3\text{]}\end{aligned}$$

$$\rho_{d-B} = \frac{\rho_s}{1+e} \text{ [g/cm}^3\text{] より} \dots \dots \dots (1)$$

$$e = \frac{\rho_s - \rho_{d-B}}{\rho_{d-B}} \text{ [-]} \dots \dots \dots (2)$$

$\rho_s$ : 土粒子の密度 [g/cm<sup>3</sup>] ここでは  $\rho_s = 2.60$  [g/cm<sup>3</sup>] とする。

$e$ : 土の間隙比 [-]

$\gamma_{sat}$ : 飽和単位体積重量

$$\gamma_{sat} = \frac{\rho_s + \rho_w \cdot e}{1+e} \cdot g \text{ [kN/m}^3\text{]} \dots \dots \dots (3)$$

$\rho_w$ : 水の密度 [g/cm<sup>3</sup>] ここでは  $\rho_w = 1.00$  [g/cm<sup>3</sup>] とする。

(2)式より

$$e = \frac{\rho_s - \rho_{d-B}}{\rho_{d-B}}$$

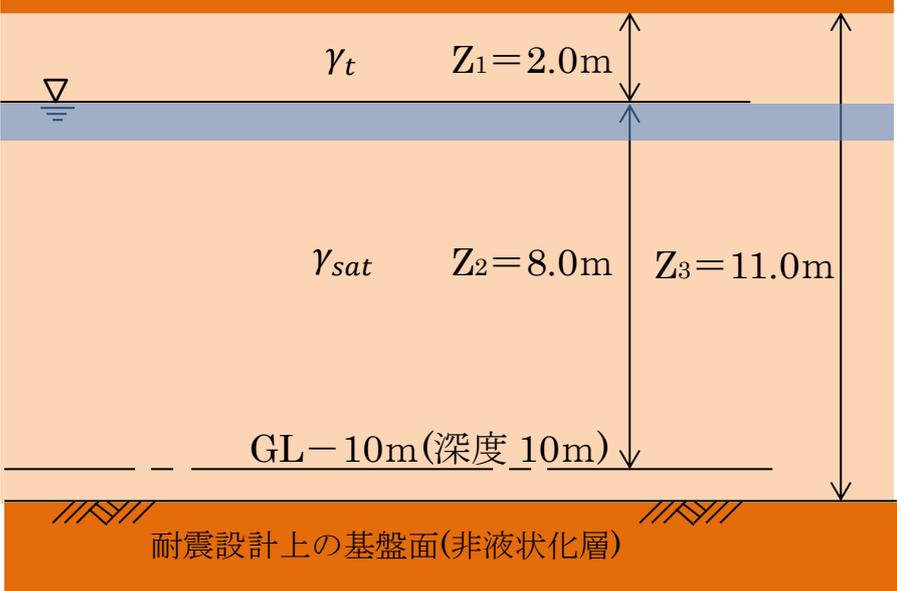
$$= \frac{2.60 - 1.27}{1.27} = 1.05$$

$$\gamma_{sat} = \frac{2.6 + 1.0 \times 1.05}{1 + 1.05} \times 9.8$$

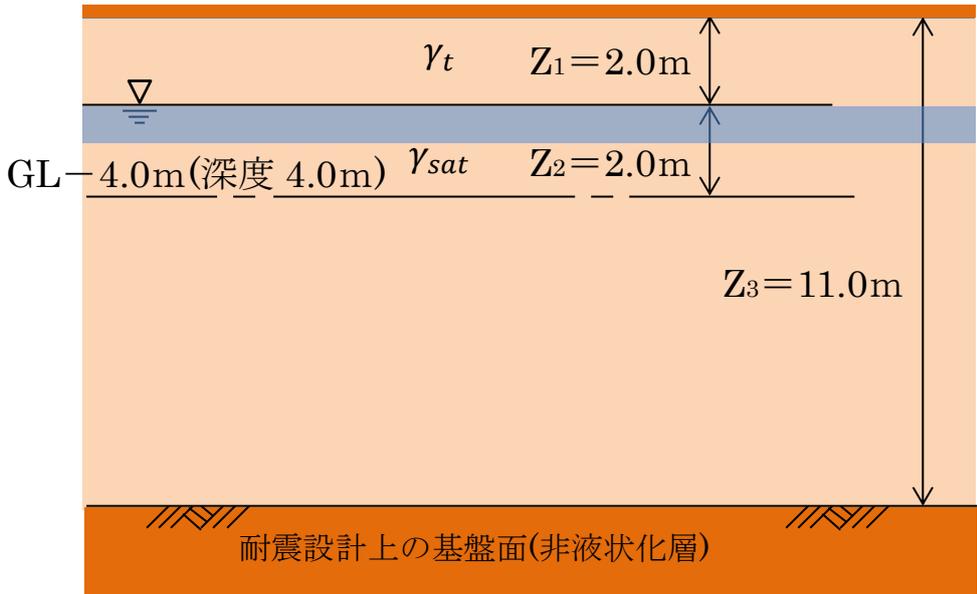
$$= 17.45 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

### 3.地層条件

#### ①深度 GL-10m の場合



#### ②深度 GL-4m の場合



#### 4.液状化に対する抵抗率 $F_L$ の算定

$$F_L = \frac{\text{動的せん断強度比}}{\text{地震時せん断応力比}} = \frac{R}{L}$$

$$L = \gamma_m \cdot \gamma_d \frac{\alpha_{smax}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v}$$

ここに

$\gamma_d$  : せん断応力に関する補正係数

$$\gamma_d = 1 - 0.015Z$$

$\gamma_m$  :  $L$  を最大せん断応力で評価する場合は 1

$\alpha_{smax}$  : 地表面における最大水平加速度

$\sigma_v$  : 鉛直全応力

$\sigma'_v$  : 鉛直有効応力

$$R = \frac{\sigma_d}{2\sigma'_0}$$

$\sigma'_0$  : 土の繰返し非排水三軸試験における有効拘束圧 [kN/m<sup>2</sup>]

$\sigma_d$  : 土の繰返し非排水三軸試験における繰返し軸差応力 [kN/m<sup>2</sup>]

$F_L$ の算定結果

①GL-10 [m] の場合

|   |  | 砂質土                                   |                       |                       | ボンテラン改良土                              |       |       |
|---|--|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------|-------|
| 深度<br>GL-10[m]                                  |  | Z <sub>1</sub> +Z <sub>2</sub> =10[m] |                       |                       | Z <sub>1</sub> +Z <sub>2</sub> =10[m] |       |       |
| 全上載圧 $\sigma_v$<br>[kN/m <sup>2</sup> ]         |  | 181.1                                 |                       |                       | 173.4                                 |       |       |
| 有効上載圧 $\sigma'_v$<br>[kN/m <sup>2</sup> ]       |  | 102.7                                 |                       |                       | 95.0                                  |       |       |
| 地震の<br>外力                                       | 地表面加速度<br>$\alpha_{max}$ [cm/s <sup>2</sup> ]  | 150                                   | 200                   | 350                   | 150                                   | 200   | 350   |
|   | 低減係数 $\gamma_d$<br>$\gamma_d = 1 - 0.015 \cdot Z$  | 0.85                                  | 0.85                  | 0.85                  | 0.85                                  | 0.85  | 0.85  |
|   | 深度Zにおける<br>せん断応力最大値<br>$T_{dmax} = \alpha_{max} \cdot \gamma_d \cdot \frac{\sigma_v}{g}$ | 23.6                                  | 31.4                  | 55.0                  | 22.6                                  | 30.1  | 52.6  |
| 地震時最大せん断応力比<br>$L = \frac{T_{dmax}}{\sigma'_v}$ |  | 0.23                                  | 0.31                  | 0.54                  | 0.24                                  | 0.32  | 0.55  |
| 動的せん断応強度比<br>$R = \frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$  |  | 0.135                                 | 0.135                 | 0.135                 | 1.104                                 | 1.104 | 1.104 |
| $F_L$ 値<br>$F_L = \frac{R}{L}$                  |  | 0.59                                  | 0.44                  | 0.25                  | 4.60                                  | 3.45  | 2.00  |
| $\frac{F_L(\text{ボンテラン})}{F_L(\text{砂質土})}$     |  | $\frac{4.60}{0.59} =$                 | $\frac{3.45}{0.44} =$ | $\frac{2.00}{0.25} =$ |                                       |       |       |
|   |  | 7.80                                  | 7.84                  | 8.0                   |                                       |       |       |

・全上載圧 $\sigma_v$ の計算(砂質土)

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + \gamma_{sat} \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + 18.25 \times 8.0 \\ &= 181.1 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

・全上載圧 $\sigma_v$ の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + \gamma_{sat-B} \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + 17.45 \times 8.0 \\ &= 173.4 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

・有効上載圧 $\sigma'_v$ の計算(砂質土)

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + (18.25 - 9.8) \times 8.0 \\ &= 102.7 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

・有効上載圧 $\sigma'_v$ の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + (\gamma_{sat-B} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + (17.45 - 9.8) \times 8.0 \\ &= 95.0 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

②GL-4 [m] の場合

|   |  | 砂質土                                  |                               |                               | ボンテラン改良土                             |       |       |
|---|--|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|
| 深度<br>GL-4[m]                                   |  | Z <sub>1</sub> +Z <sub>2</sub> =4[m] |                               |                               | Z <sub>1</sub> +Z <sub>2</sub> =4[m] |       |       |
| 全上載圧 $\sigma_v$<br>[kN/m <sup>2</sup> ]         |  | 71.6                                 |                               |                               | 68.7                                 |       |       |
| 有効上載圧 $\sigma'_v$<br>[kN/m <sup>2</sup> ]       |  | 52.0                                 |                               |                               | 49.1                                 |       |       |
| 地震の<br>外力                                       | 地表面加速度<br>$\alpha_{max}$ [cm/s <sup>2</sup> ]  | 150                                  | 200                           | 350                           | 150                                  | 200   | 350   |
|   | 低減係数 $\gamma_d$<br>$\gamma_d = 1 - 0.015 \cdot Z$  | 0.94                                 | 0.94                          | 0.94                          | 0.94                                 | 0.94  | 0.94  |
|   | 深度Zにおける<br>せん断応力最大値<br>$T_{dmax} = \alpha_{max} \cdot \gamma_d \cdot \frac{\sigma_v}{g}$ | 10.3                                 | 13.7                          | 24.0                          | 9.9                                  | 13.2  | 23.1  |
| 地震時最大せん断応力比<br>$L = \frac{T_{dmax}}{\sigma'_v}$ |  | 0.2                                  | 0.26                          | 0.46                          | 0.20                                 | 0.26  | 0.47  |
| 動的せん断応強度比<br>$R = \frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$  |  | 0.135                                | 0.135                         | 0.135                         | 1.104                                | 1.104 | 1.104 |
| $F_L$ 値<br>$F_L = \frac{R}{L}$                  |  | 0.68                                 | 0.52                          | 0.29                          | 5.52                                 | 4.25  | 2.35  |
| $\frac{F_L(\text{ボンテラン})}{F_L(\text{砂質土})}$     |  | $\frac{5.52}{0.68} =$<br>8.12        | $\frac{4.25}{0.52} =$<br>8.17 | $\frac{2.35}{0.29} =$<br>8.10 |                                      |       |       |

・全上載圧 $\sigma_v$ の計算(砂質土)

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + \gamma_{sat} \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + 18.25 \times 2.0 \\ &= 71.6 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

・全上載圧 $\sigma_v$ の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + \gamma_{sat-B} \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + 17.45 \times 2.0 \\ &= 68.7 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

・有効上載圧 $\sigma'_v$ の計算(砂質土)

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + (18.25 - 9.8) \times 2.0 \\ &= 52.0 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

・有効上載圧 $\sigma'_v$ の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + (\gamma_{sat-B} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + (17.45 - 9.8) \times 2.0 \\ &= 49.1 \text{ [kN/m}^2\text{]} \end{aligned}$$