

# 地震時 軸方向断面の検討

## 管軸方向の検討

### 1. 設計条件

#### (1) 設計地震動

地震動	レベル1・レベル2
地域区分	A地域

#### (2) 管きよの諸元

既設管の管種	鉄筋コンクリート管
既設管の呼び径	250
既設管の外径 Bc	306 (mm)
更生管の外径 D	250 (mm)
更生管の管厚 T	10.3 (mm)
工法名	サンプル工法
更生材の材質	硬質塩化ビニル樹脂
更生管の引張弾性係数 (短期) Et	1760 (N/mm <sup>2</sup> )
更生管の圧縮弾性係数 (短期) E	1760 (N/mm <sup>2</sup> )
更生管の曲げ弾性係数 (短期) Em	1760 (N/mm <sup>2</sup> )
更生管の終局限界引張強度 $\sigma_{a1}$	31.9 (N/mm <sup>2</sup> )
更生管の使用限界引張強度 $\sigma_1$	31.9 / 5 = 6.380 (N/mm <sup>2</sup> )
更生管の終局限界曲げ強度 $\sigma_{a2}$	50.0 (N/mm <sup>2</sup> )
更生管の終局限界圧縮強度 $\sigma_{a3}$	40.0 (N/mm <sup>2</sup> )
更生管の使用限界屈曲角 $\theta_{a1}$	1° 39' 45"
使用限界拔出し量 $\delta_{a1}$	37.5 (mm)
更生管の終局限界屈曲角 $\theta_{a2}$	8° 18' 28"
終局限界拔出し量 $\delta_{a2}$	75.0 (mm)

更生管の断面積 A

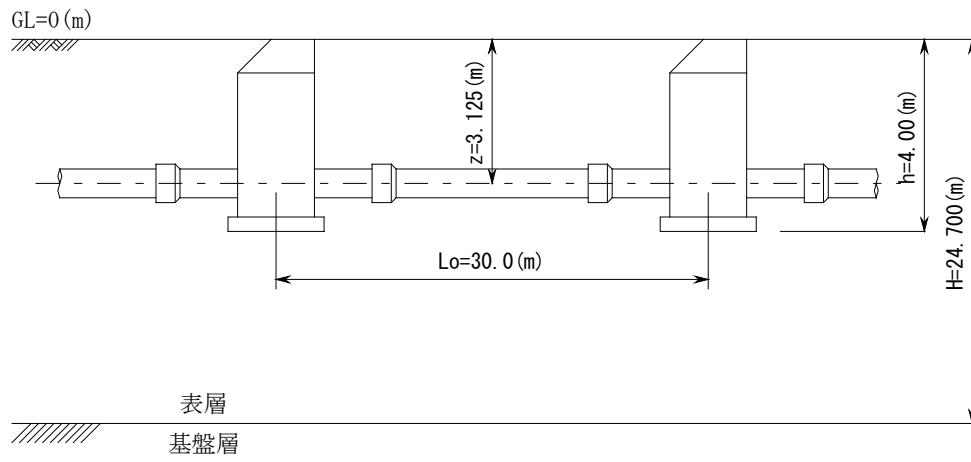
$$A = \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - (D - 2 \cdot T)^2] = 77.56 \text{ (cm}^2\text{)}$$

更生管の断面2次モーメント I

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot [D^4 - (D - 2 \cdot T)^4] = 5581 \text{ (cm}^4\text{)}$$

#### (3) 埋設条件

地表標高 GL	0 (m)
既設管の土被り Ho	2.972 (m)
マンホールの深さ Ho	4.00 (m)
マンホールスパン Lo	30.0 (m)
液状化による地盤沈下量 ho	0.300 (m)
液状化した地盤の最大摩擦量 $\tau'$	0.001 (N/mm <sup>2</sup> )
基盤面のせん断弾性波速度 V <sub>Bs</sub>	300 (m/s)



#### (4) 土質条件

調査名 標準土質モデル(タイプ I)

層 No	深度 (m)	層厚 (m)	土質区分	平均N値 N	単位重量 大気中 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	0.000 ~ 0.500	0.500	砂質土	2.000	18.000
2	0.500 ~ 3.300	2.800	砂質土	5.000	17.000
3	3.300 ~ 5.200	1.900	粘性土	3.000	16.000
4	5.200 ~ 11.200	6.000	砂質土	10.000	17.000
5	11.200 ~ 20.700	9.500	粘性土	2.000	16.000
6	20.700 ~ 24.700	4.000	砂質土	12.000	17.000

# CSD

## 2. レベル1地震動による検討

### (1) 表層地盤の特性値

表層地盤の特性値は、次式より求める。

$$T_G = 4 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{Si}}$$

ここに、

$T_G$  : 表層地盤の特性値 (s)

$H_i$  :  $i$  番目の地層の厚さ (m)

$V_{Si}$  :  $i$  番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

粘性土層の場合  $V_{Si} = 100 N_i^{1/3}$  ( $1 \leq N_i \leq 25$ )

砂質土層の場合  $V_{Si} = 80 N_i^{1/3}$  ( $1 \leq N_i \leq 50$ )

$N_i = 0$  の場合  $V_{Si} = 50$

$N_i$  : 標準貫入試験による  $i$  番目の地層の平均  $N$  値

$i$  : 当該地盤が地表面から基盤面まで  $n$  層に区分されるとき、地表面から  $i$  番目の地層の番号。  
基盤面とは、粘性土層の場合は  $N$  値が 25 以上、砂質土層の場合は  $N$  値が 50 以上の地層の上面、もしくは、せん断弾性波速度が 300 m/s 程度以上の地層の上面をいう。

層 No	土質区分	層厚 $H_i$ (m)	平均 $N$ 値 $N_i$	せん断弾性波速度 $V_{Si}$ (m/s)	$H_i/V_{Si}$ (s)
1	砂質土	0.500	2.000	100.794	0.00496
2	砂質土	2.800	5.000	136.798	0.02047
3	粘性土	1.900	3.000	144.225	0.01317
4	砂質土	6.000	10.000	172.355	0.03481
5	粘性土	9.500	2.000	125.992	0.07540
6	砂質土	4.000	12.000	183.154	0.02184
$\Sigma$	—	—	—	—	0.17065

よって、表層地盤の特性値  $T_G$  は、次のようになる。

$$\begin{aligned} T_G &= 4 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{Si}} \\ &= 4 \times 0.17065 = 0.683 \text{ (s)} \end{aligned}$$

### (2) 表層地盤の固有周期

表層地盤の固有周期は、次のようになる。

$$\begin{aligned} T_S &= 1.25 \cdot T_G \\ &= 1.25 \times 0.683 = 0.854 \text{ (s)} \end{aligned}$$

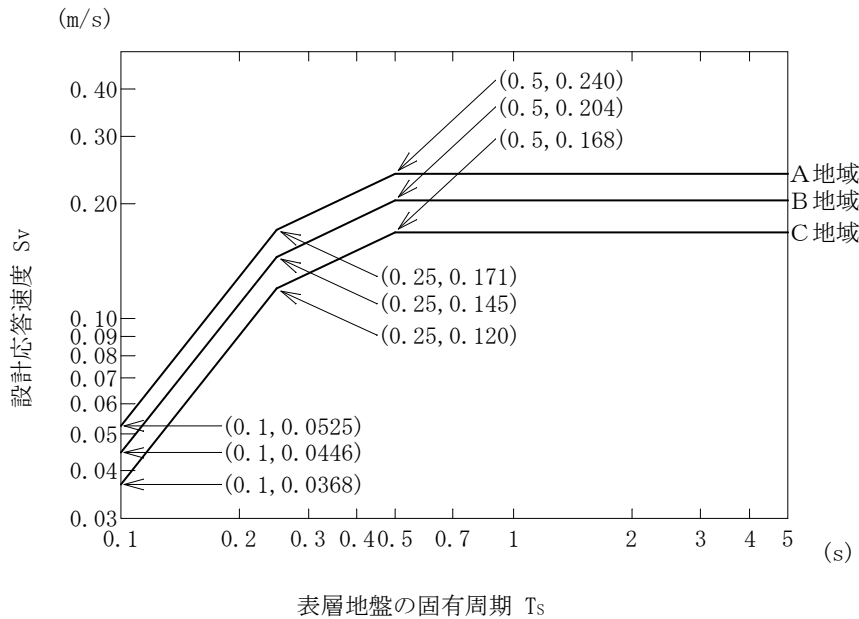
ここに、

$T_S$  : 表層地盤の固有周期 (s)

$T_G$  : 表層地盤の特性値  $T_G = 0.683$  (s)

### (3) 設計応答速度

レベル1地震動の設計応答速度  $S_v$  を下図より求めると、  
 $S_v = 24.000$  (cm/s) となる。



### (4) 表層地盤のせん断弾性波速度

表層地盤のせん断弾性波速度は、次式より求める。

$$V_{Ds} = \frac{4 \cdot H}{T_s}$$

ここに、

- $V_{Ds}$  : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)
- $H$  : 表層地盤の厚さ  $H = 24.700$  (m)
- $T_s$  : 表層地盤の固有周期  $T_s = 0.854$  (s)

よって、表層地盤のせん断弾性波速度  $V_{Ds}$  は、次のようになる。

$$V_{Ds} = \frac{4 \times 24.700}{0.854} = 115.691 \text{ (m/s)}$$

### (5) 地盤振動の波長

地盤振動の波長は、次式より求める。

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}, \quad L_1 = T_s \cdot V_{Ds}, \quad L_2 = T_s \cdot V_{Bs}$$

ここに、

- $L$  : 地盤振動の波長 (m)
- $L_1$  : 表層地盤の地盤振動の波長
- $L_2$  : 基盤面の地盤振動の波長
- $T_s$  : 表層地盤の固有周期  $T_s = 0.854$  (s)
- $V_{Ds}$  : 表層地盤のせん断弾性波速度  $V_{Ds} = 115.691$  (m/s)
- $V_{Bs}$  : 基盤面のせん断弾性波速度  $V_{Bs} = 300$  (m/s)

ここで

$$L_1 = 0.854 \times 115.691 = 98.800 \text{ (m)}$$

$$L_2 = 0.854 \times 300 = 256.200 \text{ (m)}$$

よって、地盤振動の波長  $L$  は、次のようになる。

$$L = \frac{2 \times 98.800 \times 256.200}{98.800 + 256.200} = 142.606 \text{ (m)} = 142606 \text{ (mm)}$$

## (6) 地盤の応答変位

### 1) 地盤の水平変位振幅

管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅は、次式より求める。

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H}$$

ここに、

- $U_h(z)$  : 管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅 (m)
- $z$  : 管きよ中心位置の地表面からの深さ (m)
- $S_v$  : 設計応答速度  $S_v = 0.24000$  (m/s)
- $T_s$  : 固有周期  $T_s = 0.854$  (s)
- $H$  : 表層地盤の厚さ  $H = 24.700$  (m)

管きよ中心位置の地表面からの深さ  $z$  は、

$$\begin{aligned} z &= H_0 + \frac{B_c}{2} \\ &= 2.972 + \frac{0.306}{2} \\ &= 3.125 \text{ (m)} \end{aligned}$$

ここに、

- $H_0$  : 既設管の土被り  $H_0 = 2.972$  (m)
- $B_c$  : 既設管の外径  $B_c = 0.306$  (m)

よって、地盤の水平変位振幅  $U_h(3.125)$  は、次のようになる。

$$U_h(3.125) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24000 \times 0.854 \times \cos \left( \frac{\pi \times 3.125}{2 \times 24.700} \right) = 0.04072 \text{ (m)} = 40.72 \text{ (mm)}$$

### 2) 地盤の剛性係数

埋設管路の管軸方向および管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数は、次式より求める。

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_{SD}^2, \quad K_{g2} = C_2 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_{SD}^2$$

ここに、

- $K_{g1}, K_{g2}$  : 埋設管路の管軸方向および管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数 (kN/m<sup>2</sup>)
- $g$  : 重力加速度  $g = 9.8$  (m/s<sup>2</sup>)
- $V_{SD}$  : 地盤のせん断弾性波速度

$$V_{SD} = V_{SDi} = c_v \cdot V_{si}$$

ここに、

- $V_{SDi}$  : 地盤の剛性係数の算出に用いる管理設層の平均せん断弾性波速度 (m/s)
- $V_{si}$  : 管理設層の平均せん断弾性波速度 (m/s)
- $c_v$  : 地盤ひずみの大きさに基づく補正係数

$$c_v = \begin{cases} 0.8 & (V_{si} < 300 \text{ (m/s)}) \\ 1.0 & (V_{si} \geq 300 \text{ (m/s)}) \end{cases}$$

ここで

$$V_{SD} = 0.8 \times 136.798 = 109.438 \text{ (m/s)}$$

$\gamma_t$  : 管理設層の単位体積重量  $\gamma_t = 17.000$  (kN/m<sup>3</sup>)

$C_1, C_2$  : 埋設管路の管軸方向および管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数に対する定数

$$C_1 = 1.5, \quad C_2 = 3.0$$

よって、地盤の剛性係数  $K_{g1}, K_{g2}$  は、次のようになる。

$$K_{g1} = 1.5 \times \frac{17.000}{9.8} \times 109.438^2 = 31164 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$K_{g2} = 3.0 \times \frac{17.000}{9.8} \times 109.438^2 = 62328 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

### 3) 地盤変位の伝達係数

埋設管路の管軸方向および管軸直交方向の地盤変位の伝達係数は、次式より求める。

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_1 \cdot L'} \right)^2}, \quad \alpha_2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \cdot \pi}{\lambda_2 \cdot L} \right)^4}$$
$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_t \cdot A}}, \quad \lambda_2 = \sqrt{\frac{K_{g2}}{E_m \cdot I}}$$

ここに、

- $\alpha_1, \alpha_2$  : 埋設管路の管軸方向および管軸直交方向の地盤変位の伝達係数
- L : 地盤振動の波長 L = 142.606(m)
- L' : 地盤振動の見かけの波長  
 $L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 142.606 = 201.675$  (m)
- $K_{g1}, K_{g2}$  : 埋設管路の管軸方向および管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数  $K_{g1} = 31164$  (kN/m<sup>2</sup>),  $K_{g2} = 62328$  (kN/m<sup>2</sup>)
- E<sub>t</sub> : 更生管の引張弾性係数 (短期)  
E<sub>t</sub> = 1760 (N/mm<sup>2</sup>) = 1.76 × 10<sup>6</sup> (kN/m<sup>2</sup>)
- E<sub>m</sub> : 更生管の曲げ弾性係数 (短期)  
E<sub>m</sub> = 1760 (N/mm<sup>2</sup>) = 1.76 × 10<sup>6</sup> (kN/m<sup>2</sup>)
- A : 更生管の断面積 A = 7.756 × 10<sup>-3</sup> (m<sup>2</sup>)
- I : 更生管の断面 2 次モーメント I = 5.581 × 10<sup>-5</sup> (m<sup>4</sup>)

ここで、

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{31164}{1.76 \times 10^6 \times 7.756 \times 10^{-3}}} = 1.51095 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$
$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{62328}{1.76 \times 10^6 \times 5.581 \times 10^{-5}}} = 5.01897 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

よって、地盤変位の伝達係数  $\alpha_1, \alpha_2$  は、次のようになる。

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \cdot \pi}{1.51095 \times 201.675} \right)^2} = 0.99958$$
$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2 \cdot \pi}{5.01897 \times 142.606} \right)^4} = 1.00000$$

CSD

## (7) 管体応力の検討

### 1) 地震動による発生応力

地震動による発生応力は、次式より求める。

$$\sigma_X = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2}$$

$$\sigma_L = \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h(z)}{L} \cdot E_t$$

$$\sigma_B = \alpha_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot U_h(z)}{L^2} \cdot E_m$$

ここに、

- $\sigma_X$  : 二乗和の平方根で重畳した場合の合成応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_L, \sigma_B$  : 埋設管の軸方向および曲げ方向応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\alpha_1, \alpha_2$  : 管軸方向および管軸直交方向の地盤変位の伝達係数  
 $\alpha_1 = 0.99958, \alpha_2 = 1.00000$
- $U_h(z)$  : 管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅  $U_h(z) = 40.72$  (mm)
- $L$  : 地盤振動の波長  $L = 142606$  (mm)
- $D$  : 更生管の管外径  $D = 250$  (mm)
- $E_t$  : 更生管の引張弾性係数 (短期)  $E_t = 1760$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_m$  : 更生管の曲げ弾性係数 (短期)  $E_m = 1760$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : 重畳係数  $\gamma = 3.12$

ここで

$$\sigma_L = 0.99958 \times \frac{\pi \times 40.72}{142606} \times 1760 = 1.578 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

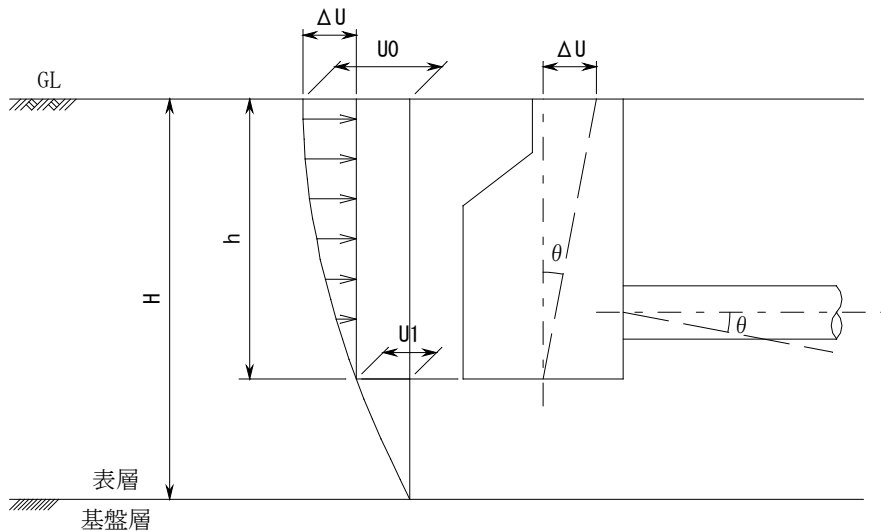
$$\sigma_B = 1.00000 \times \frac{2 \times \pi^2 \times 250 \times 40.72}{142606^2} \times 1760 = 0.017 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

よって、地震動による発生応力  $\sigma_X$  は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_X &= \sqrt{3.12 \times 1.578^2 + 0.017^2} \\ &= 2.787 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_1 = 6.380 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad - 0. \text{ K} - \end{aligned}$$

# CSD

## (8) 地震動による屈曲角の検討



地震動による屈曲角は、上図に示すようにマンホールと本管の回転角を同値と見なし、次式より求める。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta U}{h} \right)$$

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H}$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(h) = U_0 - U_1$$

ここに、

- $\theta$  : 地震動による屈曲角(°)
- $U_h(z)$  : 地表面からの深さ  $z$  における地盤の水平変位振幅(m)
- $S_v$  : 設計応答速度  $S_v = 0.24000$  (m/s)
- $T_s$  : 表層地盤の固有周期  $T_s = 0.854$  (s)
- $H$  : 表層地盤の厚さ  $H = 24.700$  (m)

地表面での地盤の水平変位振幅

$$U_h(0) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24000 \times 0.854 \times \cos \left( \frac{\pi \times 0}{2 \times 24.700} \right) = 0.04153 \text{ (m)}$$

マンホール下端での地盤の水平変位振幅 (マンホールの深さ  $h = 4.00$  (m))

$$U_h(4.00) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24000 \times 0.854 \times \cos \left( \frac{\pi \times 4.00}{2 \times 24.700} \right) = 0.04020 \text{ (m)}$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(4.00) = 0.04153 - 0.04020 = 0.00133 \text{ (m)}$$

よって、地震動による屈曲角  $\theta$  は、次のようになる。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{0.00133}{4.00} \right) = 0.00033 \text{ (rad)} = 0.019 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$= 0^\circ 1' 8'' \text{ (}^\circ\text{)} \leq \theta_{a1} = 1^\circ 39' 45'' \text{ (}^\circ\text{)} - 0.K -$$



### (9) 地震動による拔出し量の検討

地震動による拔出し量は、次式より求める管軸方向継手伸縮量と同値とみなす。

$$|u_J| = u_0 \cdot \bar{u}_J$$

ここに、

- $|u_J|$  : 管軸方向継手伸縮量(mm)
- $u_0$  : 無限連続梁とした場合の梁の管軸方向相対変位量(mm)
- $\bar{u}_J$  : 継手変位係数

$$\bar{u}_J = \frac{2 \cdot \gamma_1 \cdot |\cosh \beta_1 - \cos \gamma_1|}{\beta_1 \cdot \sinh \beta_1}$$

$$u_0 = \alpha_1 \cdot U_a$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma_1}{\beta_1}\right)^2}$$

$$\beta_1 = \left( = \lambda \cdot L_P \right) = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_t \cdot A}} \cdot L_P$$

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_P}{L}$$

ここに、

$U_h(z)$  : 管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅  $U_h(z) = 40.72$  (mm)

$U_a$  : 地盤の管軸方向の水平変位振幅 (mm)

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_h(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 40.72 = 28.79 \text{ (mm)}$$

$A$  : 更生管の断面積  $A = 7756$  (mm<sup>2</sup>)

$E_t$  : 更生管の引張弾性係数 (短期)  $E_t = 1760$  (N/mm<sup>2</sup>)

$L_P$  : 管路長さ (≒  $L_0$  : マンホールスパン  $L_0 = 30000$  (mm))

$K_{g1}$  : 地盤の剛性係数  $K_{g1} = 31.164$  (N/mm<sup>2</sup>)

$L$  : 地盤振動の波長  $L = 142606$  (mm)

$L'$  : 地盤振動の見かけの波長 (mm)

$$L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 142606 = 201675 \text{ (mm)}$$

ここで

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot \pi \times 30000}{201675} = 0.935$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{31.164}{1760 \times 7756}} \times 30000 = 45.329$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{0.935}{45.329}\right)^2} = 1.000$$

$$u_0 = 1.000 \times 28.79 = 28.790 \text{ (mm)}$$

$$\bar{u}_J = \frac{2 \times 0.935 \times |\cosh(45.329) - \cos(0.935)|}{45.329 \times \sinh(45.329)} = 0.04125$$

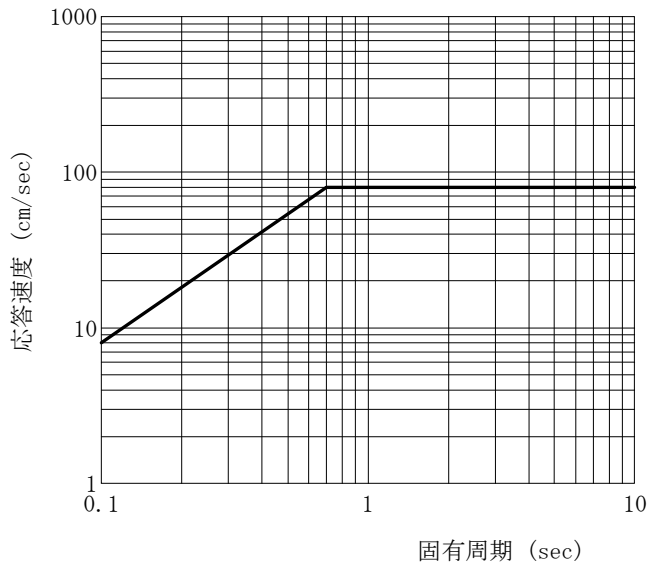
よって、地震動による拔出し量(管軸方向継手伸縮量 $|u_J|$ )は、次のようになる。

$$\begin{aligned} |u_J| &= 28.790 \times 0.04125 = 1.19 \text{ (mm)} \\ &= 1.19 \text{ (mm)} \leq \delta_{a1} = 37.5 \text{ (mm)} \quad - 0. K - \end{aligned}$$

### 3. レベル2地震動による検討

#### (1) 設計応答速度

レベル2地震動の設計応答速度  $S_v$  を下図より求めると、  
 $S_v = 80.000(\text{cm/s})$  となる。



#### (2) 地盤の応答変位

##### 1) 地盤の水平変位振幅

管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅は、次式より求める。

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H}$$

ここに、

- $U_h(z)$  : 管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅 (m)
- $z$  : 管きよ中心位置の地表面からの深さ (m)
- $S_v$  : 設計応答速度  $S_v = 0.80000(\text{m/s})$
- $T_s$  : 固有周期  $T_s = 0.854(\text{s})$
- $H$  : 表層地盤の厚さ  $H = 24.700(\text{m})$

管きよ中心位置の地表面からの深さ  $z$  は、

$$\begin{aligned} z &= H_o + \frac{B_c}{2} \\ &= 2.972 + \frac{0.306}{2} \\ &= 3.125(\text{m}) \end{aligned}$$

ここに、

- $H_o$  : 既設管の土被り  $H_o = 2.972(\text{m})$
- $B_c$  : 既設管の外径  $B_c = 0.306(\text{m})$

よって、地盤の水平変位振幅  $U_h(3.125)$  は、次のようになる。

$$U_h(3.125) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.80000 \times 0.854 \times \cos \left( \frac{\pi \times 3.125}{2 \times 24.700} \right) = 0.13572(\text{m}) = 135.72(\text{mm})$$

### (3) 管体応力の検討

#### 1) 地震動による発生応力

地震動による発生応力は、次式より求める。

$$\sigma_X = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2}$$
$$\sigma_L = \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h(z)}{L} \cdot E_t$$
$$\sigma_B = \alpha_2 \cdot \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot U_h(z)}{L^2} \cdot E_m$$

ここに、

- $\sigma_X$  : 二乗和の平方根で重畳した場合の合成応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_L, \sigma_B$  : 埋設管の軸方向および曲げ方向応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\alpha_1, \alpha_2$  : 管軸方向および管軸直交方向の地盤変位の伝達係数  
 $\alpha_1 = 0.99958, \alpha_2 = 1.00000$
- $U_h(z)$  : 管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅  $U_h(z) = 135.72$  (mm)
- $L$  : 地盤振動の波長  $L = 142606$  (mm)
- $D$  : 更生管の管外径  $D = 250$  (mm)
- $E_t$  : 更生管の引張弾性係数 (短期)  $E_t = 1760$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_m$  : 更生管の曲げ弾性係数 (短期)  $E_m = 1760$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : 重畳係数  $\gamma = 3.12$

ここで

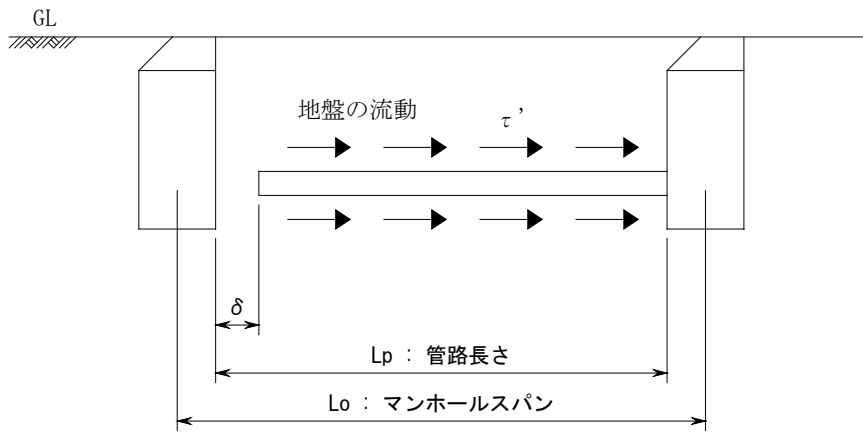
$$\sigma_L = 0.99958 \times \frac{\pi \times 135.72}{142606} \times 1760 = 5.260 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$
$$\sigma_B = 1.00000 \times \frac{2 \times \pi^2 \times 250 \times 135.72}{142606^2} \times 1760 = 0.058 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

よって、地震動による発生応力  $\sigma_X$  は、次のようになる。

$$\sigma_X = \sqrt{3.12 \times 5.260^2 + 0.058^2}$$
$$= 9.291 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_{a1} = 31.9 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad - 0. K -$$

# CSD

## 2) 側方流動による発生応力（圧縮応力）



側方流動により上図のように、管路に縮みが発生した時、管体が発生する圧縮応力は、マンホール際で最大となり、次式より求められる。

$$\sigma = \frac{\tau' \cdot \pi \cdot D \cdot L_p}{A}$$

ここに、

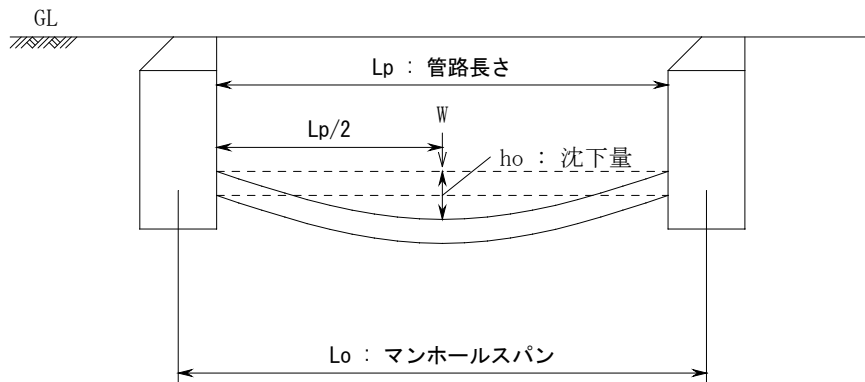
- σ : 側方流動により発生する圧縮応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- τ' : 液状化した地盤の最大摩擦力 τ' = 0.001 (N/mm<sup>2</sup>)
- D : 更生管の外径 D = 250 (mm)
- A : 更生管の断面積 A = 7756 (mm<sup>2</sup>)
- L<sub>p</sub> : 管路長さ (≒ L<sub>0</sub> : マンホールスパン L<sub>0</sub> = 30000 (mm))

よって、側方流動により発生する圧縮応力σは、次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{0.001 \times \pi \times 250 \times 30000}{7756} \\ &= 3.038 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_{a3} = 40.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad - 0. K - \end{aligned}$$

# CSD

### 3) 地盤沈下による発生応力（曲げ応力）



地盤沈下時に管に生ずる曲げ応力は、管路を上図のような単純支持梁と仮定し、人孔間の中間部で地盤沈下が発生した場合に生ずる応力(最大応力)を次式により求める。

$$\sigma = \frac{6 \cdot D \cdot E_m \cdot h_o}{L_p^2}$$

ここに、

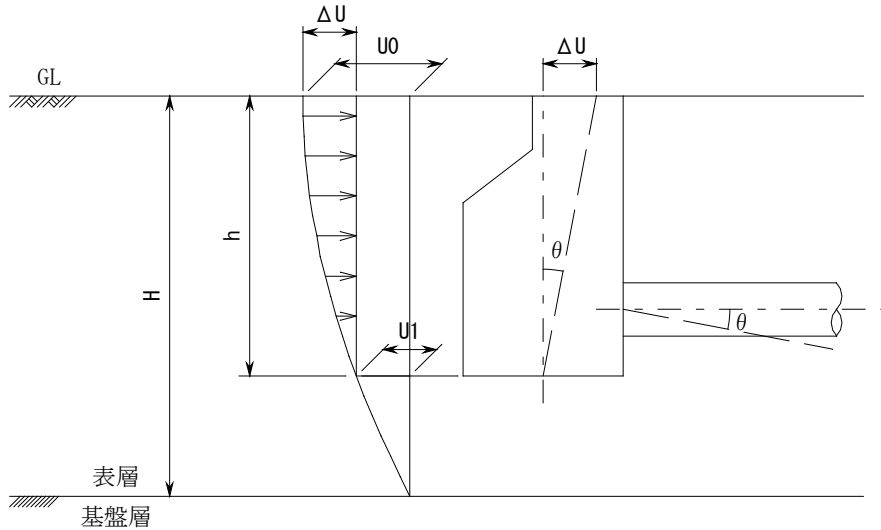
- $\sigma$  : 地盤沈下により発生する曲げ応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $D$  : 更生管の外径  $D = 250$  (mm)
- $E_m$  : 更生管の曲げ弾性係数 (短期)  $E_m = 1760$  (N/mm<sup>2</sup>)
- $h_o$  : 地盤沈下量  $h_o = 300$  (mm)
- $L_p$  : 管路長さ ( $\approx L_o$  : マンホールスパン  $L_o = 30000$  (mm))

よって、地盤沈下により発生する曲げ応力  $\sigma$  は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{6 \times 250 \times 1760 \times 300}{30000^2} \\ &= 0.880 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_{a2} = 50.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad - 0. \text{ K} - \end{aligned}$$

# CSD

#### (4) 地震動による屈曲角の検討



地震動による屈曲角は、上図に示すようにマンホールと本管の回転角を同値と見なし、次式より求める。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta U}{h} \right)$$

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H}$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(h) = U_0 - U_1$$

ここに、

- $\theta$  : 地震動による屈曲角(°)
- $U_h(z)$  : 地表面からの深さ  $z$  における地盤の水平変位振幅(m)
- $S_v$  : 設計応答速度  $S_v = 0.80000$  (m/s)
- $T_s$  : 表層地盤の固有周期  $T_s = 0.854$  (s)
- $H$  : 表層地盤の厚さ  $H = 24.700$  (m)

地表面での地盤の水平変位振幅

$$U_h(0) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.80000 \times 0.854 \times \cos \left( \frac{\pi \times 0}{2 \times 24.700} \right) = 0.13845 \text{ (m)}$$

マンホール下端での地盤の水平変位振幅 (マンホールの深さ  $h = 4.00$  (m))

$$U_h(4.00) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.80000 \times 0.854 \times \cos \left( \frac{\pi \times 4.00}{2 \times 24.700} \right) = 0.13399 \text{ (m)}$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(4.00) = 0.13845 - 0.13399 = 0.00446 \text{ (m)}$$

よって、地震動による屈曲角  $\theta$  は、次のようになる。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{0.00446}{4.00} \right) = 0.00111 \text{ (rad)} = 0.064 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$= 0^\circ 3' 50'' \text{ (}^\circ\text{)} \leq \theta_{a2} = 8^\circ 18' 28'' \text{ (}^\circ\text{)} - 0.K -$$

## (5) 地震動による拔出し量の検討

地震動による拔出し量は、次式より求める管軸方向継手伸縮量と同値とみなす。

$$|u_J| = u_0 \cdot \bar{u}_J$$

ここに、

- $|u_J|$  : 管軸方向継手伸縮量(mm)
- $u_0$  : 無限連続梁とした場合の梁の管軸方向相対変位量(mm)
- $\bar{u}_J$  : 継手変位係数

$$\bar{u}_J = \frac{2 \cdot \gamma_1 \cdot |\cosh \beta_1 - \cos \gamma_1|}{\beta_1 \cdot \sinh \beta_1}$$

$$u_0 = \alpha_1 \cdot U_a$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma_1}{\beta_1}\right)^2}$$

$$\beta_1 = \left( = \lambda \cdot L_P \right) = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_t \cdot A}} \cdot L_P$$

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_P}{L}$$

ここに、

$U_h(z)$  : 管きよ中心位置での地盤の水平変位振幅  $U_h(z) = 135.72$  (mm)

$U_a$  : 地盤の管軸方向の水平変位振幅 (mm)

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot U_h(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 135.72 = 95.97 \text{ (mm)}$$

$A$  : 更生管の断面積  $A = 7756$  (mm<sup>2</sup>)

$E_t$  : 更生管の引張弾性係数 (短期)  $E_t = 1760$  (N/mm<sup>2</sup>)

$L_P$  : 管路長さ (≒  $L_0$  : マンホールスパン  $L_0 = 30000$  (mm))

$K_{g1}$  : 地盤の剛性係数  $K_{g1} = 31.164$  (N/mm<sup>2</sup>)

$L$  : 地盤振動の波長  $L = 142606$  (mm)

$L'$  : 地盤振動の見かけの波長 (mm)

$$L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 142606 = 201675 \text{ (mm)}$$

ここで

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot \pi \times 30000}{201675} = 0.935$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{31.164}{1760 \times 7756}} \times 30000 = 45.329$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{0.935}{45.329}\right)^2} = 1.000$$

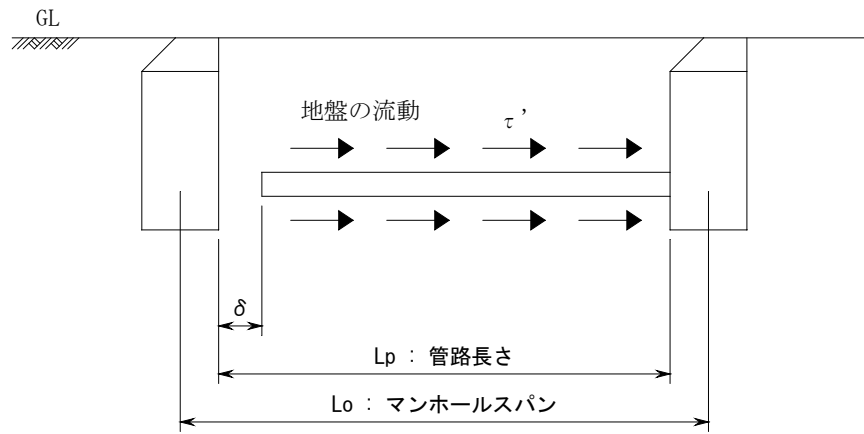
$$u_0 = 1.000 \times 95.97 = 95.970 \text{ (mm)}$$

$$\bar{u}_J = \frac{2 \times 0.935 \times |\cosh(45.329) - \cos(0.935)|}{45.329 \times \sinh(45.329)} = 0.04125$$

よって、地震動による拔出し量(管軸方向継手伸縮量 $|u_J|$ )は、次のようになる。

$$\begin{aligned} |u_J| &= 95.970 \times 0.04125 = 3.96 \text{ (mm)} \\ &= 3.96 \text{ (mm)} \leq \delta_{a2} = 75.0 \text{ (mm)} \quad - 0. K - \end{aligned}$$

(6) 地盤の液状化に伴う側方流動による抜き出し量の検討



側方流動により上図のように管体とマンホールの接続部にひずみ（抜き出し）が発生する。  
側方流動によるマンホール継手部の抜き出し量は、次式より求める。

$$\delta = \frac{\tau' \cdot \pi \cdot D \cdot L_p^2}{2 \cdot A \cdot E}$$

ここに、

- δ : 側方流動によるマンホール継手部の抜き出し量 (mm)
- τ' : 液状化した地盤の最大摩擦力 τ' = 0.001 (N/mm<sup>2</sup>)
- D : 更生管の外径 D = 250 (mm)
- A : 更生管の断面積 A = 7756 (mm<sup>2</sup>)
- E : 更生管の圧縮弾性係数 (短期) E = 1760 (N/mm<sup>2</sup>)
- L<sub>p</sub> : 管路長さ (= L<sub>0</sub> : マンホールスパン L<sub>0</sub> = 30000 (mm))

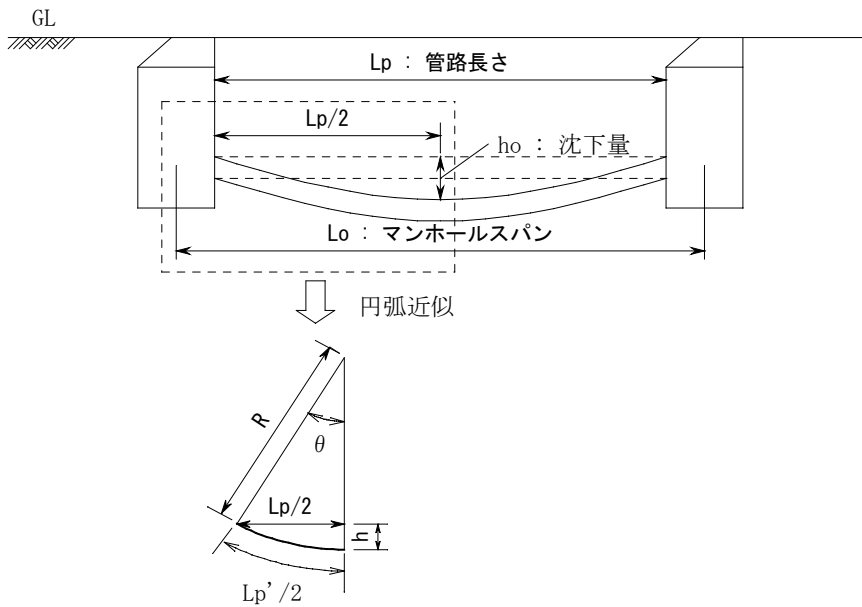
よって、側方流動によるマンホール継手部の抜き出し量 δ は、次のようになる。

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{0.001 \times \pi \times 250 \times 30000^2}{2 \times 7756 \times 1760} \\ &= 25.89 (\text{mm}) \leq \delta_{a2} = 75.0 (\text{mm}) \quad - 0. \text{K} - \end{aligned}$$

CSD



(7) 地盤の液状化に伴う地盤沈下による抜出し量の検討



上図のような近似モデルを仮定すると、地盤沈下によるマンホール継手部の抜出し量は、次式より求められる。

$$\delta = \frac{L_p'}{2} - \frac{L_p}{2}$$

$$\frac{L_p'}{2} = R \cdot \theta$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{L_p / 2}{R} \right) \text{ (rad)}$$

$$R = \frac{h_o^2 + \left( \frac{L_p}{2} \right)^2}{2 \cdot h_o} \text{ (mm)}$$

ここに、

- δ : 地盤沈下によるマンホール継手部の抜出し量 (mm)
- Lp : 管路長さ (≒ Lo : マンホールスパン Lo = 30000 (mm))
- ho : 地盤沈下量 ho = 300 (mm)

ここで

$$R = \frac{300^2 + \left( \frac{30000}{2} \right)^2}{2 \times 300} = 375150 \text{ (mm)}$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{30000 / 2}{375150} \right) = 0.03999467 \text{ (rad)} = 2.292^\circ$$

$$= 2^\circ 17' 31'' \leq \theta_{a2} = 8^\circ 18' 28'' - 0. K -$$

$$\frac{L_p'}{2} = 375150 \times 0.03999467 = 15004.00 \text{ (mm)}$$

よって、地盤沈下によるマンホール継手部の抜出し量 δ は、次のようになる。

$$\delta = 15004.00 - \frac{30000}{2}$$

$$= 4.00 \text{ (mm)} \leq \delta_{a2} = 75.0 \text{ (mm)} - 0. K -$$

#### 4. 計算結果まとめ

##### (1) レベル1 地震動による検討

検討項目	計算値	許容値 (使用限界)	判定
地震動による発生応力	2.787 (N/mm <sup>2</sup> )	6.380 (N/mm <sup>2</sup> )	○
地震動による屈曲角	0° 1' 8"	1° 39' 45"	○
地震動による拔出し量	1.19 (mm)	37.5 (mm)	○

##### (2) レベル2 地震動による検討

検討項目	計算値	許容値 (終局限界)	判定
地震動による発生応力	9.291 (N/mm <sup>2</sup> )	31.9 (N/mm <sup>2</sup> )	○
側方流動による発生応力	3.038 (N/mm <sup>2</sup> )	40.0 (N/mm <sup>2</sup> )	○
地盤沈下による発生応力	0.880 (N/mm <sup>2</sup> )	50.0 (N/mm <sup>2</sup> )	○
地震動による屈曲角	0° 3' 50"	8° 18' 28"	○
地震動による拔出し量	3.96 (mm)	75.0 (mm)	○
側方流動によるマンホール継手部の拔出し量	25.89 (mm)	75.0 (mm)	○
地盤沈下によるマンホール継手部屈曲角	2° 17' 31"	8° 18' 28"	○
地盤沈下によるマンホール継手部の拔出し量	4.00 (mm)	75.0 (mm)	○

CSD