

下水道用ポリエチレン管の耐震性照査

(呼び径 75)

2015年6月

(1) 設計条件

耐震性の計算例として以下の諸元を設定する。

- ①管体仕様
 - 呼び径 : Bc 75
 - 管径(外径) 0.090 (m)
 - 管厚 : t 0.00715 (m)
 - 管材質 : 下水道用ポリエチレン管(JSWAS K-14)
- ②埋設条件 : 土被り = h = 1.2 (m)
- ③設計内圧 : P_i = 1.0 (MPa)
- ④活荷重 : T-25 P_m = 100 (kN)
- ⑤温度変化 : Δt 15 (°C)
- ⑥地盤モデル :

土質	層厚	N値	せん断弾性波速度	Hi/Vsi	土質
No	(m)	(-)	(m/s)		
1	1.0	2	71.53	0.01398	沖積層-砂質土
2	1.3	5	86.79	0.01498	沖積層-砂質土
3	2.6	25	121.89	0.02133	沖積層-砂質土
4	7.5	16	110.93	0.06761	沖積層-砂質土
5	5.6	3	132.87	0.04215	沖積層-粘性土
6			0		
7			0		
8			0		
9			0		
10			0		
合計	18.0		524.01	0.16005	

(2) 常時荷重による管体発生歪み

1) 内圧による軸方向歪み

地中埋設された水道用ポリエチレン管で軸方向の変化が拘束されている場合、内圧による管軸方向ひずみ ε_{pi} は次式によって求められる。

$$\epsilon_{pi} = \nu \frac{P_i \cdot (Bc - t)}{2 \cdot t \cdot E} \dots\dots\dots (1)$$

$$= 0.356\%$$

ここに

- ε_{pi} : 内圧による管軸方向歪み
- ν : ポアソン比 (ポリエチレン) 0.47
- P_i : 設計内圧 1.0 (MPa)
- Bc : ポリエチレン管の外径 0.090 (m)
- t : 管厚 0.00715 (m)
- E : ポリエチレン管の弾性係数 765 (MPa)

2) 活荷重による軸方向歪み

活荷重による埋設管の軸方向歪みは ϵ_{p0} は、次式によって求められる。

$$\epsilon_{p0} = \frac{0.322 \cdot W_m}{Z_p \cdot E} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{K_v \cdot B_c}} \dots\dots\dots (2)$$

$$= 0.149\%$$

ここに、

ϵ_{p0}	: 自動車による管軸方向歪み	
W_m	: 活荷重	
B_c	: ポリエチレン管の外径	0.090 (m)
K_v	: 鉛直方向地盤反力係数	9.80E+06 (N/m ³)
E	: ポリエチレン管の弾性係数	765 (MPa)
Z_p	: ポリエチレン管の断面係数	3.57E-05 (m ³)
I	: ポリエチレン管の断面二次モーメント	1.61E-06 (m ⁴)

ただし活荷重 W_m は

$$W_m = \frac{2 \cdot P_m \cdot B_c \cdot \beta}{C \cdot (a + 2 \cdot h \cdot \tan \theta)} \cdot (1+i) \dots\dots\dots (3)$$

$$= 3399 \text{ N/m}$$

ここに

P_m	: 自動車後輪1輪当たりの荷重	100 (kN/輪)
a	: 接地幅	0.2 (m)
h	: 土被り	1.2 (m)
θ	: 荷重分布角	45 (°)
i	: 衝撃係数	0.5
β	: 断面力の低減係数	0.9
B_c	: ポリエチレン管の外径	0.090 (m)
C	: 車体占有幅	2.75 (m)

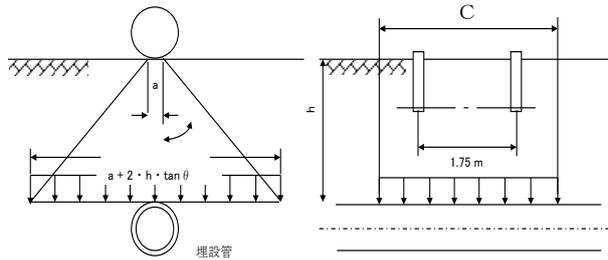


図-2 自動車荷重の分布図

3) 温度変化による軸方向ひずみ

ポリエチレン管の温度変化による軸方向歪みは、次式によって求められる。

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t \dots\dots\dots (4)$$

$$= 0.195\%$$

ここに

ϵ_t	: 温度変化による軸方向歪み	
α	: ポリエチレン管の線膨張係数	1.3E-04 (1/°C)
Δt	: 温度変化	15 (°C)

4) 不同沈下による軸方向歪み

不同沈下によって発生する軸方向歪みの計算に際しては、盛土による地盤の沈下を対象とした計算を行う。

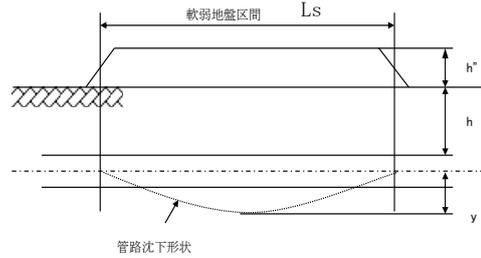


図-3 不同沈下想定図

融着したポリエチレン管路を弾性床上の梁とし、最大曲げモーメントは、構造力学公式集（土木学会）によると、以下の M_1 又は M_2 の大きな値によって、安全側に近似することができる。

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{W_d}{2\beta_0^2} \exp\left[-\frac{\beta_0 L_s}{2}\right] \sin \frac{\beta_0 L_s}{2} \\
 &\doteq 0 \\
 M_2 &= 0.3877 \frac{W_d}{\beta_0^2} \cdot \left[0.2079 + \exp(-\beta_0 L_s) \cdot (\sin \beta_0 L_s - \cos \beta_0 L_s) \right] \\
 &= 0.58
 \end{aligned} \tag{5}$$

ここに、

L_s : 軟弱地盤区間 50 (m)

W_d : 鉛直土荷重

$$\begin{aligned}
 W_d &= \gamma_z \cdot h \cdot Bc \\
 &= 1944 \text{ (N/m)}
 \end{aligned}$$

γ_z : 土の単位体積重量 18 (kN/m³)

h : 土被り 1.2 (m)

E : ポリエチレン管の弾性係数 765 (MPa)

I : ポリエチレン管の断面二次モーメント 1.61E-06 (m⁴)

K_{g2} : 軸直角方向に関する地盤の剛性係数 360.9 (MPa)

Bc : ポリエチレン管の外径 0.090 (m)

β_0 : 基礎特性値 (m⁻¹)

$$\beta_0 = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{4E I}} = 16.46$$

よって、 $M_1 < M_2$ より、最大発生歪み： ϵ_{P1} は、以下のように求まる。

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{P1} &= \frac{M_2}{E I} \times \frac{Bc}{2} \\
 &= 0.002\%
 \end{aligned}$$

(3) 地震時の管体発生ひずみ

1) 表層地盤の固有周期

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$= 0.640 \text{ (s)}$$

ここに、

- T_G : 地盤の固有周期
- H_i : 第*i*層の厚さ (m)
- V_{si} : 第*i*層のせん断弾性波速度 (m/s)

2) 地震動の波長

$$L = \frac{2L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$= 107.7 \text{ (m)}$$

ここに、

- L : 地震動の波長 (m)
- L_1 : $V_{SD} \cdot T_G$ 72.0 (m)
- L_2 : $V_{SB} \cdot T_G$ 213.9 (m)
- T_G : 表層地盤の固有周期 0.640 (s)
- V_{SDB} : 基盤層の動的せん断弾性波速度 334 (m/s)

基盤層 (砂質土・洪積世) の動的せん断弾性波速度は、次式より求める。

$$V_{SDB} = 205 \times N^{0.125} \quad (1 \leq N \leq 50)$$

ここに、

- N : 標準貫入試験 (N値) による基盤層の平均N値 $N=50$
- V_{SD} : 表層地盤の動的せん断弾性波速度
- V_{SB} : 設計基盤面における水平震度 334 (m/s)

$$V_{SD} = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{V_i}}$$

$$= 112.5 \text{ (m/s)}$$

3) 地盤の剛性係数

$$K_{g1} = C_1 \frac{\gamma_t}{g} V_s^2$$

$$= 180.45 \text{ (MPa)}$$

$$K_{g2} = C_2 \frac{\gamma_t}{g} V_s^2$$

$$= 360.90 \text{ (MPa)}$$

} (8)

ここに、

- K_{g1} : 軸方向変位に関する地盤の剛性係数
- K_{g2} : 軸直角方向に関する地盤の剛性係数
- H : 表層厚 18 (m)
- γ_t : 土の単位体積重量 18 (kN/m³)
- V_s : 埋め戻し土の平均のせん断弾性波速度 255.92 (m/s)
- 埋め戻し土のN値 $N=5.9$
- 埋め戻し土の土質区分 = 砂質土
- 埋め戻し土の堆積時代 = 洪積土

$$V_s = 205 \times 5.9^{0.125}$$

- g : 重力加速度 9.8 (m/s²)
- C_1 : 軸方向変位に関するポリエチレン管単位面積当たりの地盤の剛性係数に対する定数 1.5
- C_2 : 軸直角変位に関するポリエチレン管単位面積当たりの地盤の剛性係数に対する定数 3.0

4) 伝達係数

$$\begin{aligned}
 \lambda_1 &= \sqrt{\frac{K_{g1}}{EA}} \\
 &= 11.258 \text{ m}^{-1} \\
 \lambda_2 &= \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{EI}} \\
 &= 23.27 \\
 \alpha_1 &= \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 L'}\right)^2} \quad (L' = \sqrt{2} \cdot L) \\
 &= 1.000 \\
 \alpha_2 &= \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 L}\right)^4} \\
 &= 1.000
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

ここに、

K_{g1}	: 軸方向変位に関する地盤の剛性係数	180.45 (MPa)
K_{g2}	: 軸直角方向に関する地盤の剛性係数	360.90 (MPa)
L	: 地震波の波長	107.74 (m)
B_c	: ポリエチレン管の外径	0.090 (m)
A	: ポリエチレン管の断面積	1.86E-03 (m ²)
E	: ポリエチレン管の弾性係数	765 (MPa)
I	: ポリエチレン管の断面二次モーメント	1.61E-06 (m ⁴)

5) 地震動レベル1における管体発生ひずみ

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} S_v \cdot T_G K'_{hl} \cdot \cos \frac{\pi z}{2H} \dots\dots\dots (10)$$

$$= 0.0156 \text{ m}$$

ここに、

- U_h : 管軸位置の地盤の水平変位振幅
- z : 地表面から管路中心位置までの深さ 1.245 (m)
- H : 表層地盤の厚さ 18 (m)
- S_v : 速度応答スペクトル 0.80 (m/s)
- T_G : 表層地盤の固有周期 0.640 (s)
- K'_{hl} : 設計基盤面における水平震度

$$K'_{hl} = C_z \cdot K'_{h01}$$

$$= 0.15$$

ここに、

- C_z : 地域別補正係数 1.0
- K'_{h01} : 基盤面における基準水平震度 0.15

管体発生ひずみは、

$$\begin{aligned} \varepsilon_G &= \eta \frac{\pi U_h}{L} && = 4.76E-06 \\ \varepsilon_{1B} &= \alpha_2 \frac{2\pi Bc}{L} \cdot \varepsilon_G && = 4.76E-06 \\ \varepsilon_{1L} &= \alpha_1 \cdot \varepsilon_G && = 9.08E-04 \\ \varepsilon_{1X} &= \sqrt{\gamma[\varepsilon_{1L}]^2 + [\varepsilon_{1B}]^2} && \\ &= 0.16\% && \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \varepsilon_G \\ \varepsilon_{1B} \\ \varepsilon_{1L} \\ \varepsilon_{1X} \end{aligned}} \right\} (11)$$

ここに、

- ε_{1X} : 軸歪みと曲げ歪みの合成歪み
- ε_{1L} : 埋設ポリエチレン管路の軸歪み 9.08E-04
- ε_G : 地盤歪み (管軸方向) 9.08E-04
- ε_{1B} : 埋設ポリエチレン管路の曲げ歪み 4.76E-06
- γ : 重畳係数 3.12
- U_h : 管軸位置の地盤の水平変位振幅 0.0002 (m)
- L : 地震波の波長 107.74 (m)
- Bc : ポリエチレン管の外径 0.090 (m)
- η : 地盤の不均一度係数 2.0

不均一の程度	均一	不均一	極めて不均一
不均一度係数 η	1.0	1.4	2.0

6) 地震動レベル2における管体発生ひずみ

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} S_v' \cdot T_G \cdot \cos \frac{\pi z}{2H} \dots\dots\dots (12)$$

$$= 0.1154 \text{ m}$$

ここに、

- $U_h(x)$: 管軸位置の地盤の水平変位振幅
- x : 地表面から管路中心位置までの深さ 1.245 (m)
- H : 表層地盤の厚さ 18 (m)
- S_v' : 地震動レベル2の速度応答スペクトル 0.9 (m/s)
- T_G : 表層地盤の固有周期 0.640 (s)

下水道用ポリエチレン管は、地盤変状にほぼ完全に追従すると考えられるので、地震動レベル1と同様に設計する。

$$\begin{aligned} \epsilon_G &= \eta \frac{\pi U_h}{L} &= 6.73E-03 \\ \epsilon_{2B} &= \alpha_2 \frac{2\pi Bc}{L} \cdot \epsilon_G &= 3.53E-05 \\ \epsilon_{2L} &= \alpha_1 \cdot \epsilon_G &= 6.73E-03 \\ \epsilon_{2X} &= \sqrt{[\epsilon_{2L}]^2 + [\epsilon_{2B}]^2} \\ &= 0.673\% \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \epsilon_G \\ \epsilon_{2B} \\ \epsilon_{2L} \\ \epsilon_{2X} \end{aligned}} \right\} (13)$$

ここに、

- ϵ_{2X} : 軸歪みと曲げ歪みの合成歪み
- ϵ_{2L} : 埋設ポリエチレン管路の軸歪み 6.73E-03
- ϵ_G : 地盤歪み (管軸方向) 6.73E-03
- ϵ_{2B} : 埋設ポリエチレン管路の曲げ歪み 3.53E-05
- U_h : 管軸位置の地盤の水平変位振幅 0.0002 (m)
- L : 地震波の波長 107.74 (m)
- Bc : ポリエチレン管の外径 0.090 (m)
- η : 地盤の不均一度係数 2.0

不均一の程度	均一	不均一	極めて不均一
不均一度係数 η	1.0	1.4	2.0

(4) 管体発生ひずみの計算結果

単位：%

項 目		管体発生ひずみ	
		レベル1	レベル2
常時	内圧 (Pi = 1.0MPa)	0.356	0.356
	活荷重 (T-25)	0.149	0.149
	温度変化 ($\Delta t = 15^{\circ}\text{C}$)	0.195	0.195
	不同沈下	0.002	0.002
地震動		0.160	0.673
ひずみの合計		0.863	1.376
判 定		合格	合格
許容ひずみ		3.0	