

【下水道用リブ付ポリエチレン管 耐震設計 計算書】

1-1. はじめに

下水道用リブ付ポリエチレン管(外圧管)の耐震計算は、(社)日本下水道協会発行の「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」、「下水道用リブ付ポリエチレン管(JSWAS K-15)」に準拠して行う。

また、耐震設計で考慮する地震動は、レベル1(※1)、レベル2(※2)に分け、各地震動レベルに対して耐震設計を行う。

(※1)レベル1地震動: 供用期間中に1~2回発生する確率を有する地震動

(※2)レベル2地震動: 陸地近傍に発生する大規模なプレート境界地震や、直下型地震による地震動で、供用期間中に発生する確率は低い、大きな強度を持つ地震動

2-1. 耐震設計計算

下水道用リブ付きポリエチレン管(外圧管)を開削工法により埋設した場合の耐震設計を行う。なお、耐震設計の方針は「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年版)」の「差し込み継手管渠」に基づく。

また、マンホールは下水道用リブ付ポリエチレン管に比べ、相対的に大きい構造物のため、地震時のマンホール間隔の変動はないものとする。

(1) 設計条件

① 管体仕様 : RP 3種
 管呼び径(内径) $d=$ 0.30 m
 管外径 $B_c=$ 0.372 m
 管厚(換算肉厚) $t=$ 0.0147 m
 弾性係数 $E=$ 980 N/mm²
 管1本当たり長さ $L=$ 5.00 m

② 管路条件
 土の単位体積重量 $\gamma =$ 18 kN/m³
 マンホールスパン $L'=$ 40.00 m
 管頂土被り $h=$ 1.20 m
 マンホール深さ $h'=$ 1.70 m

③ 耐震設計条件
 せん断ひずみを考慮した係数 $\alpha_D=$ 1.25
 重畳係数 $\gamma =$ 3.12

(2) 地盤条件

① 地盤条件
 土質モデル: 「下水道施設耐震設計例—管路施設編」((社)日本下水道協会)の標準土質モデル I とする。

層番号	下端深度 (GL-m)	層厚 (m)	土質	平均 N値	係数	乗数	せん断弾性波速度 Vsi (m/s)
1	0.50	0.50	砂質土	2	80	0.333	100.77
2	3.30	2.80	砂質土	5	80	0.333	136.73
3	5.20	1.90	粘性土	3	100	0.333	144.17
4	8.50	3.30	砂質土	10	80	0.333	172.22
5	20.70	12.20	粘性土	2	100	0.333	125.96
6	24.70	4.00	砂質土	12	80	0.333	183.00
7							
8							
9							
10							

② 地域区分 : A地域

2-2. 安全照査に関して
(1) 安全性の照査項目

表2-1 管路の耐震設計の考え方

地震動	検討部材	検討内容		照査の基準
レベル1	管渠継手部	地震動	屈曲角	発生拔出し量 ≤ 許容拔出し量 発生屈曲角 ≤ 許容屈曲角
			拔出し量	
		地盤硬軟急変部	地盤ひずみ	
	拔出し量			
	浅層不整形地盤による拔出し量			
	マンホール継手部	地震動	屈曲角	
拔出し量				
地盤硬軟急変部		拔出し量		
管体	引張応力度		発生引張応力度 ≤ 許容引張応力度	
レベル2	管渠継手部	地震動	屈曲角	発生拔出し量 ≤ 許容拔出し量 発生屈曲角 ≤ 許容屈曲角
			拔出し量	
		地盤沈下	屈曲角	
			拔出し量	
		地盤硬軟急変部	地盤ひずみ	
			拔出し量	
	傾斜地盤	永久ひずみ		
		拔出し量		
	浅層不整形地盤による拔出し量			
	マンホール継手部	地震動	本管との回転角	
拔出し量				
地盤硬軟急変部		拔出し量		
		傾斜地盤	拔出し量	
管体	引張応力度		発生引張応力度 ≤ 許容引張応力度	

備考1: 1) 拔出し量および屈曲角は、水密性保持が可能な値以内とする。
2) 引張応力度は管材各々の材質に応じた、引張耐力以内とする。

(2) 安全照査のための性能値

以下の表2-2に、屈曲角、拔出し量および発生応力に対する許容値を示す。
なお、照査に用いる許容値は、レベル1地震動については、使用限界(許容値)、レベル2地震動については、終局限界(試験性能値)とする。

表2-2 管路の安全照査のための性能値

呼び径	レベル1地震動			レベル2地震動		
	屈曲角 (°)	拔出し量 (mm)	発生応力 (引張強さ) (MPa)	屈曲角 (°)	拔出し量 (mm)	発生応力 (引張強さ) (MPa)
300	2.5	37	6.4	5.0	75	27
350						
400						
450	2.0	42		4.0	85	
500		40			80	
600		47			95	
700		45			90	
800	1.5	60		3.0	120	
900						
1000						

2-3. 耐震設計

2-3-1. 表層地盤の特性値の算定

(1) 平均せん断弾性波速度

i 番目の地盤の平均せん断弾性波速度 V_{si} は下式により求める。

$$\begin{aligned} \text{粘性土の場合} & \quad V_{si} = 100 \cdot N_{si}^{-1/3} \\ \text{砂質土の場合} & \quad V_{si} = 80 \cdot N_{si}^{-1/3} \end{aligned}$$

ここに、
 V_{si} : i 番目の地盤のせん断弾性波速度
 N_{si} : 標準貫入試験による i 番目の地盤の平均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にの地表面から
i 番目の地層の番号

※ ここで言う基盤面とは、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、またはせん断弾性波速度が 300m/s 以上の地層上面をいう。

(2) 表層地盤の固有周期

表層地盤の固有周期は、下式により求める。

(i) レベル1地震動

$$\begin{aligned} T_s &= \alpha_D \cdot T_G \\ &= 1.25 \times 0.706 = 0.883 \quad (\text{s}) \end{aligned}$$

(ii) レベル2地震動

$$\begin{aligned} T_s &= \alpha_D \cdot T_G \\ &= 2 \times 0.706 = 1.412 \quad (\text{s}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_G &= \sum_{i=1}^n \frac{4 \cdot H_{si}}{V_{si}} \\ &= 0.706 \quad (\text{s}) \end{aligned}$$

ここに、
 T_s : 表層地盤の固有周期(s)
 T_G : 地盤の特性値(s)
 α_D : 地震時に生じるせん断ひずみの大きさを考慮した係数
 H_{si} : i番目の地盤の厚さ(m)

表2-3 各層のせん断弾性波速度

層番号	層厚 H_{si} (m)	土質	平均 N値	せん断弾性波速度 V_{si} (m/s)	H_{si} / V_{si} (s)
1	0.50	砂質土	2	100.77	0.005
2	2.80	砂質土	5	136.73	0.020
3	1.90	粘性土	3	144.17	0.013
4	3.30	砂質土	10	172.22	0.019
5	12.20	粘性土	2	125.96	0.097
6	4.00	砂質土	12	183.00	0.022
7					
8					
9					
10					
合計	24.70				0.176

表2-4 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 T_G (s)
I種	$T_G < 0.2$
II種	$0.2 \leq T_G < 0.6$
III種	$0.6 \leq T_G$

したがって、表2-4 より、 III種 地盤となる。

(3) 表層地盤の動的せん断弾性波速度

(i) レベル1地震動

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

$$= \frac{4 \times 24.70}{0.883}$$

$$= 111.9547 \text{ (m/s)}$$

(ii) レベル2地震動

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

$$= \frac{4 \times 24.70}{1.412}$$

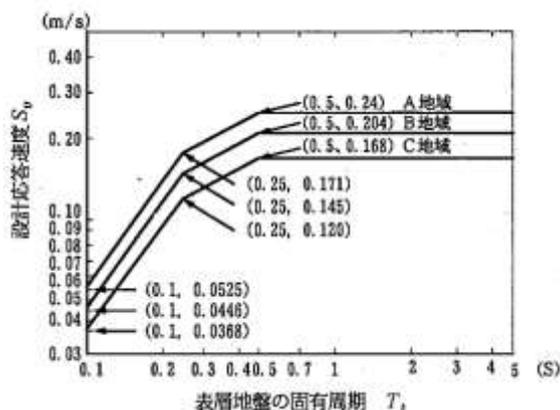
$$= 69.97 \text{ (m/s)}$$

ここに、 H : 表層地盤の厚さ (m)
T_s : 表層地盤の固有周期 (s)

2-3-2. レベル1地震動に対する検討

(1) 設計に用いる地震外力

レベル1地震動に用いる設計応答速度は、「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」による。



「下水道施設の耐震対策指針」P37の抜粋

上図より、固有周期 T_s = 0.883 (s) の場合、 A地域 の設計応答速度 Svは、

$$S_v = 0.24 \text{ (m/s) となる。}$$

① 管軸深さにおける地震水平方向の変位振幅の算定

表層地盤の固有周期 T_s における設計応答速度は、以下の通りである。
これを基に水平方向変位振幅を算定する。

- ・ 設計応答速度 Sv = 0.24 (m/s)
- ・ 管軸深さ 管軸位置 z = 土かぶり + 管外径/2
= 1.386 (m)
- ・ 水平方向振幅

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

$$U_h(1.386) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24 \times 0.883 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.386}{2 \times 24.70}\right)$$

$$= 0.04275 \text{ (m)}$$

② 地震動の波長

1) 計算式

地震動の波長を算出する計算式は、以下の通りである。

$$L = \left(\frac{2 \cdot L1 \cdot L2}{L1 + L2} \right)$$

$$L1 = V_{SD} \cdot Ts$$

$$L2 = V_{SDB} \cdot Ts$$

ここに、
L : 地震動の波長 (m)
V_{SD} : 表層地盤の動的せん断弾性波速度 (m/s)
V_{SDB} : 基盤層の動的せん断弾性波速度 (m/s)

2) 地盤の波長 L の算定

表層地盤の動的せん断弾性波速度及び基盤層の動的せん断弾性波速度は、以下の通りである。
これを基に、地震時の波長の算出を行う。

- ・ 表層地盤の動的せん断弾性波速度 $V_{SD} = 111.9547$ (m/s)
- ・ 基盤層の動的せん断弾性波速度 $V_{SDB} = 300$ (m/s)

※ 基盤層の N値が粘性土層で 25以上、砂質土層で 50以上である場合には、 $V_{SDB}=300$ (m/s)と定める。

$$L = 143.90 \text{ (m)}$$
$$L1 = 98.80 \text{ (m)}$$
$$L2 = 264.75 \text{ (m)}$$

(2) マンホールと本管の接続部の計算

① 地震動による屈曲角

1) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

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

ここに、
 θ : マンホールと本管との回転角 (rad)
(マンホールと継手の屈曲角)
h : マンホールの設置深さ (m)
 ΔU : 地表面と深さ h における水平方向変位振幅の差 (m)

2) 計算

$$Uh(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot Sv \cdot Ts \cdot \cos \left(\frac{\pi \cdot z}{2H} \right)$$

$$Uh(0) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24 \times 0.883 \times \cos \left(\frac{\pi \times 0}{2 \times 24.70} \right) = 0.04292 \text{ (m)}$$

$$Uh(1.7) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.24 \times 0.883 \times \cos \left(\frac{\pi \times 1.70}{2 \times 24.70} \right) = 0.04267 \text{ (m)}$$

$$\Delta U = 0.00025 \text{ (m)}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta U}{h} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.00025}{1.70} \right) = 0.0084 \text{ (}^\circ\text{)}$$

② 地震動による抜き出し量

1) 計算式

地震動による抜き出し量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$1\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 1δ : 継手部の抜き出し量 (m)
 ε_{gd} : 地震動により生じた地盤に生じる歪み
 l : 管の有効長 (m)

$$\varepsilon_{gd} = \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z)$$

η : 不均一係数 (表2-5 参照)
 L : 地震時の波長 (m)

表2-5 不均一係数

不均一の程度	不均一係数(η)	地 盤 条 件
均 一	1.0	洪積地盤、均一な沖積地盤
不 均 一	1.4	層厚の変化がやや厳しい沖積地盤、普通の丘陵宅造地
極めて不均一	2.0	河川流域、おぼれ谷などの非常に不均一な沖積地盤、大規模な切土・盛土の造成地

2) 計算

下記の条件を基に、地震動による抜き出し量を算出する。

不均一係数 $\eta = 1.0$
 地震動の波長 $L = 143.90$ (m)
 管軸位置の地盤水平変位振幅 $U_h(1.386) = 0.04275$ (m)
 管の有効長 $l = 5.00$ (m)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{gd} &= \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{143.9} \times 0.04275 \\ &= 0.093 \quad (\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.093 \times 5.00 \\ &= 0.00465 \text{ (m)} \\ &= 4.65 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

③ 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

1) 計算式

地盤の硬軟急変部を通過する管渠のマンホールからの抜き出し量は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_{gd^2} \cdot l$$

ここに、 ε_{gd^2} : 硬軟境界部に生じるひずみ 0.00025
 l : 管の有効長 (m)

2) 地盤硬軟急変部の抜き出し量の算定

$$\delta = 0.00025 \times 5.0 \times 0.0013 \text{ (mm)}$$

(3) 管渠と管渠継手部の計算

① 地震動による屈曲角

1) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

$$1\theta = \left(\frac{2\pi}{T_s} \right)^2 \cdot \frac{U_h(z)}{V_{SD}^2} \cdot l$$

ここに、 1θ : 継手部の屈曲角 (rad)
 $U_h(z)$: 検討位置での最大変位振幅 (m)
 V_{SD} : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)
 l : 管の有効長 (m)

2) 計算

下記の条件を基に、地震動による屈曲角を算出する。

検討位置での地盤水平方向変位振幅	$U_h(1.386) =$	0.0428 (m)
表層地盤のせん断弾性波速度	$V_{SD} =$	111.95 (m/s)
管の有効長	$l =$	5.00 (m)

$$\begin{aligned} 1\theta &= \left(\frac{2\pi}{T_s} \right)^2 \cdot \frac{U_h(z)}{V_{SD}^2} \cdot l \\ &= \left(\frac{2\pi}{0.883} \right)^2 \times \frac{0.0428}{111.95^2} \times 5.00 \\ &= 0.050 \text{ (}^\circ\text{)} \end{aligned}$$

② 地震動による抜きし量の算定

1) 計算式

地震動による抜きし量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$1\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 1δ : 継手部の抜きし量 (m)
 ε_{gd} : 地震動により地盤に生じる歪み
 l : 管の有効長 (m)

$$\varepsilon_{gd} = \alpha \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z)$$

α : 不均一係数 (表2-5 参照)
 L : 地震時の波長 (m)

2) 計算

下記の条件を基に、地震動による抜きし量を算出する。

不均一係数	$\alpha =$	1.0
地震動の波長	$L =$	143.90 (m)
管軸位置の地盤水平変位振幅	$U_h(1.386) =$	0.04275 (m)
管の有効長	$l =$	5.00 (m)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{gd} &= \alpha \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{143.90} \times 0.04275 \\ &= 0.093 \text{ (}\%\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.093 \times 5.00 \\ &= 0.00465 \text{ (m)} \\ &= 4.65 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

③ 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

1) 計算式

地盤の硬軟急変部を通過する管渠のマンホールからの抽出量は以下の通りである。

$$\bar{\delta} = \varepsilon \cdot g d^2 \cdot l$$

ここに、 $\varepsilon \cdot g d^2$: 硬軟境界部に生じるひずみ 0.00025
 l : 管の有効長(m)

2) 地盤硬軟急変部の抽出量の算定

$$\bar{\delta} = 0.00025 \times 5 \times 0.0013 \text{ (mm)}$$

③ 浅層不整形地盤を通過する場合の影響

浅層不整形地盤における地盤ひずみの計算式

$$\varepsilon_{G2} = (\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2)^{1/2}$$

ここに、 ε_{G2} : 浅層不整形地盤におけるひずみ
 ε_{G1} : 設計地点における一様地盤ひずみ (= $\varepsilon \cdot g d$)
 ε_{G3} : 基盤傾斜角が大きいことにより、応答変位量に差が出て発生するひずみ
 $\varepsilon \cdot g d$: 地震動により地盤に生じるひずみ

(a) 浅層不整形地盤における地盤ひずみ

浅層不整形地盤における地盤ひずみは、次式により求める。

$$\begin{aligned} \varepsilon_{G2} &= (\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2)^{1/2} \\ \varepsilon_{G2} &= (0.000933^2 + 0.003^2)^{1/2} \\ &= 0.314 \text{ (\%)} \end{aligned}$$

(b) 浅層不整形地盤での抽出量

浅層不整形地盤における地盤での抽出量は、次式により求める。

$$\begin{aligned} \bar{\delta} &= \varepsilon \cdot g d \cdot l \\ &= 0.00314 \times 5.00 \\ &= 0.0157 \text{ (m)} \\ &= 15.7 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

(4) 管体部の応力の計算 — 管軸方向引張応力計算法 —

① 計算式

管体応力の計算式は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \sigma_x &= (\gamma' \cdot \sigma_L(x)^2 + \sigma_B(x)^2)^{1/2} \\ \sigma_L &= \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_{h(z)}}{L} \cdot E \\ \sigma_B &= \alpha_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot B_G \cdot U_{h(z)}}{L^2} \cdot E \end{aligned}$$

ここに、 σ_x : 二乗和の平方根で重畳した場合の合成応力 (N/mm²)
 σ_L 、 σ_B : 埋設管の軸方向及び曲げ方向応力 (N/mm²)
 α_1 、 α_2 : 管軸及び管軸直角方向の地盤変位の伝達係数
 $U_{h(z)}$: 管軸位置の水平方向変位振幅 (m)
 E : ヤング係数 (N/mm²)
 γ' : 重畳係数 (重要度に応じて 1.00~3.12 の値とする)

② 管体部の応力の算定

$\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ は地盤に生じた歪みの管路に対する伝達率であり、ポリエチレン管は地盤との滑りを考慮せず、 $\alpha 1 = \alpha 2 = 1.0$ とする。

また、 γ は地震の波動成分によって1.00～3.12の値をとり、重要度に応じた値とする。

$$\begin{aligned}\sigma L &= \alpha 1 \cdot \frac{\pi \cdot U_{h(z)}}{L} \cdot E \\ &= 1.0 \times \frac{\pi \times 42.75}{143900} \times 980 \\ &= 0.915 \quad (\text{N/mm}^2)\end{aligned}$$

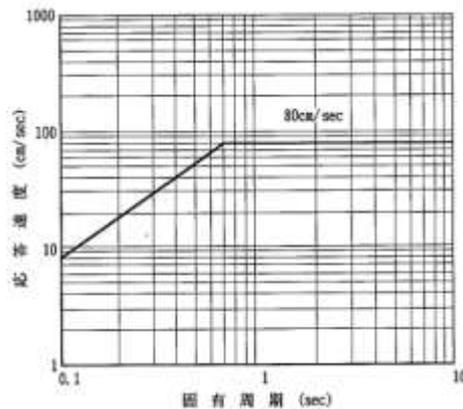
$$\begin{aligned}\sigma B &= \alpha 2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot Bc \cdot U_{h(z)}}{L^2} \cdot E \\ &= 1.0 \times \frac{2\pi^2 \times 372 \times 42.75}{143900^2} \times 980 \\ &= 0.015 \quad (\text{N/mm}^2)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma x &= (\gamma \cdot \sigma L(x)^2 + \sigma B(x)^2)^{1/2} \\ &= (3.12 \times (0.915)^2 + (0.015)^2)^{1/2} \\ &= 1.616 \quad (\text{N/mm}^2)\end{aligned}$$

2-3-3. レベル2地震動に対する検討

(1) 設計に用いる地震外力

レベル2地震動に用いる設計応答速度は、「下水道施設の耐震対策指針と解説(2014年度版)」による。



「下水道施設の耐震対策指針」P37の抜粋

上図より、固有周期 $T_s = 1.412$ (s) の場合、設計応答速度 S_v は

$$S_v = 0.8 \quad (\text{m/s}) \quad \text{となる。}$$

① 管軸深さにおける地震水平方向の変位振幅の算定

レベル1地震動と同様に計算を行う。

- ・ 設計応答速度 $S_v = 0.8$ (m/s)
- ・ 管軸深さ 管軸位置 $z = 0$ (m)

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

$$\begin{aligned}U_h(0) &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8 \times 1.412 \times \cos\left(\frac{\pi \times 0}{2 \times 24.70}\right) \\ &= 0.2289 \quad (\text{m})\end{aligned}$$

② 地震動の波長

レベル1地震動と同様に計算を行う。

$$\begin{aligned}L &= 160.23 \text{ (m)} \\L1 &= 98.80 \text{ (m)} \\L2 &= 423.60 \text{ (m)}\end{aligned}$$

(2) マンホールと本管の接続部の計算

① 地震動による屈曲角

1) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta U}{h} \right)$$

ここに、 2θ : マンホールと本管との回転角 (rad)
(マンホールと継手の屈曲角)
 h : マンホールの設置深さ (m)
 ΔU : 地表面と深さ h における水平方向変位振幅の差 (m)

2) 計算

$$\begin{aligned}U_h(z) &= \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \left(\frac{\pi \cdot z}{2H} \right) \\U_h(0) &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8 \times 1.412 \times \cos \left(\frac{\pi \times 0}{2 \times 24.70} \right) = 0.2289 \text{ (m)} \\U_h(1.7) &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8 \times 1.412 \times \cos \left(\frac{\pi \times 1.70}{2 \times 24.70} \right) = 0.2276 \text{ (m)}\end{aligned}$$

$$\Delta U = 0.0013 \text{ (m)}$$

$$2\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta U}{h} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.0013}{1.70} \right) = 0.0438 \text{ (}^\circ\text{)}$$

② 地震動による抜き出し量

1) 計算式

地震動による抜き出し量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\delta = \varepsilon \cdot g d \cdot l$$

ここに、 2δ : 継手部の抜き出し量 (m)
 $\varepsilon \cdot g d$: 地震動により生じた地盤に生じる歪み
 l : 管の有効長 (m)

$$\varepsilon \cdot g d = n \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z)$$

n : 不均一係数 (表2-5 参照)
 L : 地震時の波長 (m)

2) 計算

下記の条件を基に、地震動による抽出し量を算出する。

不均一係数	$\alpha =$	1.0
地震動の波長	$L =$	160.23 (m)
管軸位置の地盤水平変位振幅	$U_h() =$	0.2289 (m)
管の有効長	$l =$	5.00 (m)

$$\begin{aligned}\varepsilon_{gd} &= \alpha \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{160.23} \times 0.2289 \\ &= 0.449 \quad (\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.00449 \times 5.00 \\ &= 0.02245 \text{ (m)} \\ &= 22.45 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

③ 傾斜地の場合の影響

1) 計算式

非液状化の人工改変地の傾斜地盤における永久ひずみによる抽出し量を算出する計算式は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 ε_g : 傾斜地盤の永久ひずみ (= 0.013)
 ε_{gd} : 地震時の波長 (= 5.00m)

2) 傾斜地の影響による抽出し量の算定

$$\begin{aligned}\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.013 \times 5 = 0.065 \text{ (m)} \\ &= 65.00 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

ここに、 ε_g : 傾斜地盤の永久ひずみ (= 0.013)
 ε_{gd} : 地震時の波長 (= 5.00)

④ 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

1) 計算式

地盤の硬軟急変部を通過する管きよのマンホールからの抽出し量は以下の通りである。

$$\delta = \varepsilon_{gd^2} \cdot l$$

ここに、 ε_{gd^2} : 硬軟急変部に生じるひずみ (= 0.005)
 l : 管の有効長 (m)

2) 地盤硬軟急変部の抽出し量の算定

$$\delta = 0.005 \times 5.00 = 25.0 \text{ (mm)}$$

(3) 管渠と管渠継手部の計算

① 地震動による屈曲角

1) 計算式

地震動による屈曲角を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\theta = \left(\frac{2\pi}{T_s} \right)^2 \cdot \frac{U_h(z)}{V_{SD}^2} \cdot l$$

ここに、 2θ : 継手部の屈曲角 (rad)
 $U_h(z)$: 検討位置での最大変位振幅 (m)
 V_{SD} : 表層地盤の動的せん断弾性波速度 (m/s)
 l : 管の有効長 (m)

2) 計算

下記の条件を基に、地震動による屈曲角を算出する。

表層地盤の固有周期	$T_s =$	1.412 (s)
検討位置での地盤水平方向変位振幅	$U_h(1.386) =$	0.2280 (m)
表層地盤の動的せん断弾性波速度	$V_{SD} =$	69.97 (m/s)
管の有効長	$l =$	5.00 (m)

$$\begin{aligned} 2\theta &= \left(\frac{2\pi}{T_s} \right)^2 \cdot \frac{U_h(z)}{V_{SD}^2} \cdot l \\ &= \left(\frac{2\pi}{1.412} \right)^2 \times \frac{0.2280}{69.97^2} \times 5.00 \\ &= 0.264 (^\circ) \end{aligned}$$

② 地震動による抜き出し量の算定

1) 計算式

地震動による抜き出し量を算出する計算式は、以下の通りである。

$$2\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l$$

ここに、 2δ : 継手部の抜き出し量 (m)
 ε_{gd} : 地震動により生じた地盤に生じる歪み
 l : 管の有効長 (m)

$$\varepsilon_{gd} = \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z)$$

η : 不均一係数 (表2-5 参照)
 L : 地震時の波長 (m)

2) 計算

下記の条件を基に、地震動による抜き出し量を算出する。

不均一係数	$\eta =$	1.0
地震動の波長	$L =$	160.23 (m)
管軸位置の地盤水平変位振幅	$U_h(1.386) =$	0.2280 (m)
管の有効長	$l =$	5.00 (m)

$$\begin{aligned} \varepsilon_{gd} &= \eta \cdot \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z) \\ &= 1.0 \times \frac{\pi}{160.23} \times 0.2280 \\ &= 0.447034 (\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2\delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l \\ &= 0.447034 \times 5.00 \\ &= 0.022352 (m) \\ &= 22.35172 (mm) \end{aligned}$$

③ 地盤沈下による屈曲角

1) 計算式

地盤沈下による屈曲角は、下式により求める。

$$2\theta = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{4 \cdot h}{L_o^2} \cdot l \right)$$

ここに、 2θ : 継手部の屈曲角 (°)
h : 想定沈下量 (m)
 L_o : マンホールスパン (m)
l : 管の有効長 (m)

2) 計算

下記の条件を基に、地盤沈下による屈曲角を算出する。

想定沈下量 $h = 0.500$ (m)
マンホールスパン $L_o = 40.00$ (m)
管の有効長 $l = 5.00$ (m)
※ 想定沈下量hは、液状化地盤の層厚の5%と想定している。

$$\begin{aligned} 2\theta &= 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{4 \cdot h}{L_o^2} \cdot l \right) \\ &= 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{4 \times 0.500}{40.00^2} \times 5.00 \right) \\ &= 0.0125 \text{ (rad)} = 0.716 \text{ (°)} \end{aligned}$$

④ 地盤沈下による抜きし量

1) 計算式

地盤沈下による抜きし量は、下式により求める。

$$2\delta = \frac{l}{\cos \left(\frac{(n-1)}{2} \cdot 2\theta \right)} - l$$

ここに、 2δ : 抜きし量 (m)
l : 管の有効長 (m)
n : マンホールスパンの管本数 (本)
 2θ : 地盤沈下による屈曲角 (°)

2) 計算

下記の条件を基に、地震動による抜きし量を算出する。

管の有効長 $l = 5.00$ (m)
マンホールスパンの管本数 $n = 8$ (本)
地盤沈下による屈曲角 $2\theta = 0.716$ (°)

$$\begin{aligned} 2\delta &= \frac{l}{\cos \left\{ \frac{(n-1)}{2} \cdot 2\theta \right\}} - l \\ &= \frac{5.00}{\cos \left(\frac{(8-1)}{2} \times 0.716 \right)} - 5.00 \\ &= 4.79 \text{ (m)} \end{aligned}$$

3) 傾斜地盤の場合の影響

液状化地盤(内陸)における抜き出し量を算出する計算式及び計算結果は以下の通りである。

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \varepsilon_g \cdot l \\ &= 0.013 \quad \times \quad 5.00 \\ &= 0.065 \quad (\text{m})\end{aligned}$$

ここに、 $\bar{\delta}$: 液状化地盤(護岸近傍)の抜き出し量
 ε_g : 地盤の永久ひずみ $\varepsilon_{g1} = 1.5$ (%)
 l : 管の有効長 $l = 5.00$ (m)

⑤ 地盤の硬軟急変部を通過する場合の影響

非地盤の硬軟急変部を通過する場合の管きよと管きよの継手部の抜き出し量を算出する計算式及び計算結果は以下の通りである。

$$\begin{aligned}\bar{\delta} &= \varepsilon_{g2} \cdot l \\ &= 0.005 \quad \times \quad 5.00 \\ &= 0.025 \quad (\text{m})\end{aligned}$$

ここに、 $\bar{\delta}$: 継手部の抜き出し量(m)
 ε_{g2} : 硬軟急変部に生じるひずみ (= 1.2%)
 l : 管の有効長 (m)

⑥ 浅層不整形地盤を通過する場合の影響

1) 浅層不整形地盤における地盤ひずみ

$$\begin{aligned}\varepsilon_{G2} &= (\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2)^{1/2} \\ &= (0.012^2 + 0.003^2)^{1/2} \\ &= 0.01237 \\ &= 1.237 \quad (\%) \end{aligned}$$

ここに、 ε_{G2} : 浅層不整形地盤における地盤ひずみ
 ε_{G1} : 設計地点における一様地盤ひずみ (= ε_{Gd})
 ε_{G3} : 基盤傾斜角が大きいことにより、応答変位量に差が出て発生するひずみ
(= 1.3%)
 ε_{Gd} : 地震動により地盤に生じるひずみ (= 0.00447)

(g) 浅層不整形地盤での抜き出し量

地盤急変部での抜き出し量は、次式により求める。

$$\begin{aligned}2\bar{\delta} &= \varepsilon_{Gd} \cdot l \\ &= 0.00447 \quad \times \quad 5.00 \\ &= 0.022352 \quad (\text{m}) \\ &= 22.35172 \quad (\text{mm})\end{aligned}$$

(4) 管体部の応力の計算 — 管軸方向引張応力計算法 —

① 計算式

管体応力の計算式は以下の通りである。

$$\sigma_x = (\sigma_L^2 + \sigma_B^2)^{1/2}$$

$$\sigma_L = \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_{h(z)}}{L} \cdot E$$

$$\sigma_B = \alpha_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot B_c \cdot U_{h(z)}}{L^2} \cdot E$$

ここに、 σ_x : 二乗和の平方根で重畳した場合の合成応力 (N/mm²)

σ_L, σ_B : 埋設管の軸方向及び曲げ方向応力 (N/mm²)

α_1, α_2 : 管軸及び管軸直角方向の地盤変位の伝達係数

$U_{h(z)}$: 管軸位置の水平方向変位振幅 (m)

E : ヤング係数 (N/mm²)

② 管体部の応力の算定

α_1, α_2 は地盤に生じた歪みの管路に対する伝達率であり、ポリエチレン管は地盤との滑りを考慮せず、 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$ とする。

$$\begin{aligned} \sigma_L &= \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_{h(z)}}{L} \cdot E \\ &= 1.0 \times \frac{\pi \times 0.2280}{160.23} \times 980 \\ &= 4.381 \quad (\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_B &= \alpha_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot B_c \cdot U_{h(z)}}{L^2} \cdot E \\ &= 1.0 \times \frac{2\pi^2 \times 0.372 \times 0.2280}{160.23^2} \times 980 \\ &= 0.064 \quad (\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_x &= (\sigma_L^2 + \sigma_B^2)^{1/2} \\ &= (4.381^2 + 0.064^2)^{1/2} \\ &= 4.381 \quad (\text{N/mm}^2) \end{aligned}$$

2-4. 計算結果

耐震設計の計算結果を表2-7に示す。

表2-7 耐震設計計算結果

条 件			レベル1地震動			レベル2地震動		
			計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
応 力			1.62	6.4	○	4.38	27	○
管渠継手部	地震動	屈曲角 (°)	0.050	2.5	○	0.264	5	○
		拔出し量 (mm)	4.7	37	○	22.4	75	○
	地盤沈下	屈曲角 (°)	---			0.72	5	○
		拔出し量 (mm)	---			4.8	75	○
	地盤硬軟急変部	地盤ひずみ (%)	0.31	---		1.24	---	
		拔出し量 (mm)	1.3	37	○	25.0	75	○
	傾斜地盤	永久ひずみ (%)	---			1.5	---	
		拔出し量 (mm)	---			65.0	75	○
浅層不整形地盤による拔出し量		(mm)	15.7	37	○	26.9	75	○
マンホール継手部	地震動	本管との回転角 (°)	0.0084	3	○	0.04	5	○
		抜け出し量 (mm)	4.7	37	○	22.3	75	○
	地盤硬軟急変部	地盤ひずみ (%)	---			---		
		拔出し量 (mm)	1.3	37	○	25.0	75	○
	傾斜地盤	永久ひずみ (%)	---			---		
		拔出し量 (mm)	---			65.0	75	○

計算結果から、発生する継手の屈曲角、拔出し量、管軸方向応力はすべて管体の性能値(許容値)以下であり、十分安全であると考えられる。