

# 特集：埋設管路の耐震設計システム Ver2.0

令和4年5月記事更新  
(株)SIPシステム

## 管路新進方向の耐震設計が可能

—はじめに—

本システムは、土地改良「パイプライン（令和3年6月）」、日本下水道協会「下水道施設設計（2014年度版）」および日本上水道協会の「水道施設設計指針（2021年度版）」に準拠した管体縦断方法の地震時（レベル1・レベル2）の構造計算を行います。適用管種は、「不とう性管」および「とう性管」に対応し標準登録されている管種DBから特性値の読み込みも可能です。計算範囲としては、「液状化」や「浮上」の検討および地震時の「マンホールと管きょ」「管きょ継手部」等の検討が可能です。

### ①適用基準

- 農林水産省農村振興局  
土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」基準書・技術書（R3/6/30）
- 日本下水道協会  
下水道施設計画・設計指針と解説 前編 2014年版・耐震計算例（2015年）
- 日本水道協会  
水道施設設計指針 2012（H24/7）

### ②設計範囲

1. 管体縦断方向の地震時（レベル1&2）の検討が可能
2. 管種は「不とう性管」&「とう性管」に対応、管種は標準DB（CSV）化されているので編集・登録が可能
3. 検討対象の土層について液状化の判定が可能
4. 管体構造としてマンホールと管きょ接合部及び管きょと管きょ継手部について耐震検討（屈曲角・拔出量・ひずみや応力度）が可能
5. 常時荷重による継手の伸縮量の検討が可能
6. 計算書では、Indexの作成やWord変換が可能

注) 本システムでは、地震時の管体の鉛直断面方向の検討は行いません。  
管体の地震時の鉛直断面強度については「管路構造計算システム」で検討が可能です。

### ③適用管種

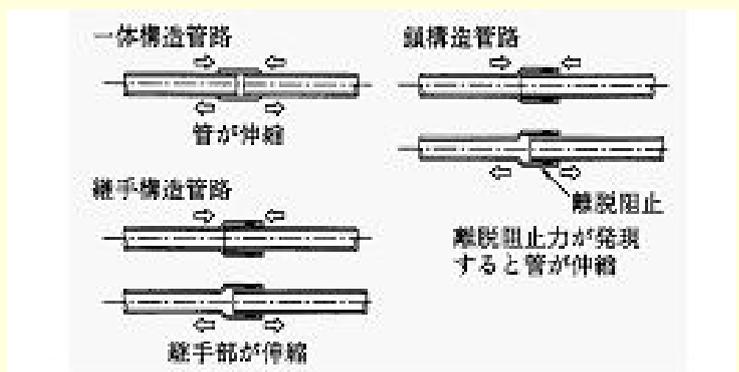
1. 標準管は「規格管」として「管体重量」や「呼径」等の材料特性値を管種DBへ登録済み。
  2. 標準管以外の各管種の特性値を「登録管」として任意に登録が可能。
- <定義>  
とう性管とは、管体の許容される「たわみ率」が $\geq 3\%$ の管をいい、不とう性管は $< 3\%$ の管としている。

管分類	管種名の分類	管種名	
不とう性管	遠心力鉄筋コンクリート管	遠心力鉄筋コンクリート管	
	コア式プレストレスコンクリート管	コア式プレストレスコンクリート管	
とう性管	ダクタイル鉄管	ダクタイル鉄管 農業用ダクタイル鉄管	
	鋼管	圧力配管用炭素鋼管	圧力配管用炭素鋼管
		水輸送用炭素鋼管	水輸送用炭素鋼管
		配管用アーケ炭素鋼管	配管用アーケ炭素鋼管
		配管用炭素鋼管	配管用炭素鋼管
	農業用プラスチック被覆鋼管	農業用プラスチック被覆鋼管	
とう性管	硬質ポリ塩化ビニル管	硬質ポリ塩化ビニル管 水通用硬質ポリ塩化ビニル管 農業用水用厚肉硬質ポリ塩化ビニル管	
	ポリエチレン管	一般用ポリエチレン管	一般用ポリエチレン管
		水通用ポリエチレン管	水通用ポリエチレン管
		ガラス繊維強化ポリエチレン管	ガラス繊維強化ポリエチレン管
強化プラスチック複合管	強化プラスチック複合管 内挿用強化プラスチック複合管		

### ④耐震設計上の埋設管路の分類

埋設管路は、一体構造管路と継手構造管路に分類される。一体構造管路とは、主として溶接鋼管、ポリエチレン管を使用した管路で、継手構造管路は、主としてダクタイル鉄管、強化プラスチック複合管を使用した管を指すが、伸縮可とう継手を挿入した溶接鋼管路についても、継手構造管路として取り扱う事とする。

また、地震時における埋設管の応答は地震の変形（ひずみ）に支配されるが、管路自体の応答は接合部の特性によるので、耐震設計上は右の図に示すように埋設管を分類している。



## ⑤要求される耐震性能-1

表-9.6.2 パイプラインの重要度区分と耐震性能

重要度区分	地震動レベル	レベル1地震動	レベル2地震動(タイプII)
	A	耐震性能	健全性を損なわない
B	耐震設計	耐震設計を行う	耐震設計を行う
	耐震性能	健全性を損なわない	—(対象としない)
C	耐震設計	耐震設計を行う	—(耐震設計を行わない)
	耐震性能	—(対象としない)	—(対象としない)
	耐震設計	—(耐震設計を行わない)	—(耐震設計を行わない)

表-9.6.3 耐震性能の定義

耐震性能	定義(損傷度)
健全性を損なわない	設計通水能力を維持できること (設計水圧によって計画最大流量が流れる)
致命的な損傷を防止する	圧力管路を維持できること (静水圧で漏水を生じない)

## ⑤要求される耐震性能-2

表2.1 日本下水道協会が定める管路の要求耐震性能

	レベル1地震動			レベル2地震動		
	設計流下能力の確保	交通機能の確保	流下機能の確保	設計流下能力の確保	交通機能の確保	流下機能の確保
重要な幹線等	○	○*1				○
その他の管路	○			-	-	-

\*1被災時に重要な交通機能への障害を及ぼすおそれのある緊急輸送路等に埋設されている管路

表2.2 日本下水道協会が定める管路の要求耐震性能

重要度区分	レベル1地震動		レベル2地震動	
	耐震性能1	耐震性能2	耐震性能1	耐震性能2
ランクA1	○	△*1	-	○
ランクA2	○	△*1	-	○
ランクB	-	○	-	-

- ・耐震性能1:地震によって健全な機能を損なわない性能
- ・耐震性能2:地震によって生じる損傷が軽微であり地震後に必要とする修復が軽微なものにとどまり、機能に重大な影響を及ぼさない性能

\*1 液状化等の地盤変状により地盤ひずみが著しく増大する場合、レベルA1,A2であっても耐震性能2を満足する必要がある

## ⑥耐震検討項目一覧表-1

表1.1 検討項目一覧表(重要な幹線等)

差し込み継手管きよ		a.マンホールと管きよの接合部				b.管きよと管きよの接合部		c.鉛直断面の強度		d.管軸方向の強度	
		地震動による				地震動による		(c-1) 耐荷力	(c-2) 応力度	(d-1) ひずみ	(d-2) 応力度
		(a-1) 屈曲角	(a-2) 抜出量	(b-1) 屈曲角	(b-2) 抜出量						
レベル1	鉄筋コンクリート管	○	○	○	○	○				○	
	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○	○	○	○					
	強化プラスチック複合管	○	○	○	○	○					
	ダクタイル鋳鉄管	○	○	○	○	○					
レベル2	鉄筋コンクリート管	○	○	○	○	○				○	
	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○	○	○	○					
	強化プラスチック複合管	○	○	○	○	○					
	ダクタイル鋳鉄管	○	○	○	○	○					
一体構造管きよ		e.傾斜地永久ひずみによる		f.地盤の硬軟急変化等		g.液状化の判定(FL値)		h.液状化地盤の場合			
		(e) 抜出量		(f) 抜出量		(g) 抜出量		永久ひずみによる地盤沈下による			
								(h-1) 抜出量 (h-2) 屈曲角 (h-3) 抜出量			
レベル1	鉄筋コンクリート管	○	○*1				○	○	○	○	
	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○*1				○	○	○		
	強化プラスチック複合管	○	○*1				○	○	○		
	ダクタイル鋳鉄管	○	○*1				○	○	○		
レベル2	鉄筋コンクリート管	○	○*1				○	○	○	○	
	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○*1				○	○	○		
	強化プラスチック複合管	○	○*1				○	○	○		
	ダクタイル鋳鉄管	○	○*1				○	○	○		
一体構造管きよ		a.マンホールと管きよの接合部				b.管きよと管きよの接合部		c.鉛直断面の強度		d.管軸方向の強度	
		地震動による				地震動による		(c-1) 耐荷力	(c-2) 応力度	(d-1) ひずみ	(d-2) 応力度
		(a-1) 屈曲角	(a-2) 抜出量	(b-1) 屈曲角	(b-2) 抜出量						
レベル1	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○	-	-	-	-	-	-	○	
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
	鋼管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
	鋼管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
レベル2	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○	-	-	-	-	-	-	○	
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
	鋼管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
	鋼管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
一体構造管きよ		e.傾斜地永久ひずみによる		f.地盤の硬軟急変化等		g.液状化の判定(FL値)		h.液状化地盤の場合			
		(e) 抜出量		(f) 抜出量		(g) 抜出量		永久ひずみによる地盤沈下による			
								(h-1) 抜出量 (h-2) 屈曲角 (h-3) 抜出量			
レベル1	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	鋼管	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	鋼管	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
レベル2	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
	鋼管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	
	鋼管	-	-	○	○	-	-	-	-	○	

\*1 条件により計算不要の場合がある。

## ⑦耐震検討項目一覧表-2

表 1.2 検討項目一覧表(その他の管路)

「管路構造計算システム」にて対応

差し込み継手管きよ

		a. マンホールと管きよの接合部		b. 管きよと管きよの接合部		c. 鉛直断面の強度		d. 管軸方向の強度	
		地震動による		地震動による		(c-1) 耐荷力	(c-2) 応力度	(d-1) ひずみ	(d-2) 応力度
		(a-1) 屈曲角	(a-2) 拔出量	(b-1) 屈曲角	(b-2) 拔出量				
レベル1	鉄筋コンクリート管	○	○	-	-	-	-	-	-
	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○	○	○	-	-	-	-
	強化プラスチック複合管	○	○	○	○	-	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	○	○	-	-	-	-	-	-
レベル2	鉄筋コンクリート管	-	-	-	-	-	-	-	-
	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	-	-	-	-	-	-
	強化プラスチック複合管	-	-	-	-	-	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	-	-	-	-	-	-

		e. 傾斜地永久ひずみによる	f. 地盤の硬軟急変化等	g. 液状化の判定 (FL値)	h. 液状化地盤の場合		
		(e) 拔出量	(f) 拔出量		永久ひずみによる	地盤沈下による	
					(h-1) 拔出量	(h-2) 屈曲角	(h-3) 拔出量
レベル1	鉄筋コンクリート管	-	-	○	-	-	-
	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	○	-	-	-
	強化プラスチック複合管	-	-	○	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	○	-	-	-
レベル2	鉄筋コンクリート管	-	-	-	-	-	-
	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	-	-	-	-
	強化プラスチック複合管	-	-	-	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	-	-	-	-

一体構造管きよ

「管路構造計算システム」にて対応

		a. マンホールと管きよの接合部		b. 管きよと管きよの接合部		c. 鉛直断面の強度		d. 管軸方向の強度	
		地震動による		地震動による		(c-1) 耐荷力	(c-2) 応力度	(d-1) ひずみ	(d-2) 応力度
		(a-1) 屈曲角	(a-2) 拔出量	(b-1) 屈曲角	(b-2) 拔出量				
レベル1	硬質ポリ塩化ビニル管	○	○	-	-	-	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	-	-	-	-	-	-
	鋼管	-	-	-	-	-	-	-	-
レベル2	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	-	-	-	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	-	-	-	-	-	-
	鋼管	-	-	-	-	-	-	-	-

		e. 傾斜地永久ひずみによる	f. 地盤の硬軟急変化等	g. 液状化の判定 (FL値)	h. 液状化地盤の場合		
		(e) 拔出量	(f) 拔出量		永久ひずみによる	地盤沈下による	
					(h-1) 拔出量	(h-2) 屈曲角	(h-3) 拔出量
レベル1	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	○	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	○	-	-	-
	鋼管	-	-	○	-	-	-
レベル2	硬質ポリ塩化ビニル管	-	-	-	-	-	-
	ダクタイル鋳鉄管	-	-	-	-	-	-
	鋼管	-	-	-	-	-	-

\*1 条件により計算不要の場合がある。

## ⑧液状化の判定（検討の必要がある土層）

構造物の基礎地盤の砂質層が、下記の3つの条件全てに該当する場合には、地震時に液状化を生じる可能性があるため液状化の判定を行う必要がある。としています。

- 1) 地下水が現地盤面から10m以内にあり、かつ、現地盤から20m以内の深さに存在する飽和土層。
- 2) 細粒分含有率FCが35%以下の土層、又は、FCが35%を超えても塑性指数Ipが15以下の土層。
- 3) 平均粒径D<sub>50</sub>が10mm以上で、かつ、10%粒径D<sub>10</sub>が1mm以下である土層。

## ⑨設計条件項目の指定

### 1. マンホールと管きよ接合部、管きよと管きよ接合部共通の指定

- マンホール底面の深度・地盤の傾斜に伴う永久ひずみ・地盤の硬軟急変化部の影響による永久ひずみ

### 2. マンホールと管きよの接合部の指定

- 地盤の液状化に伴う永久ひずみ

### 3. 管きよと管きよの接合部の指定

- 地盤の液状化に伴う永久ひずみ・マンホールスパン&本数・地盤の不均一の程度

### 4. 管きよの管軸方向のひずみ・応力度の指定

- 重畳係数・管路の可とう継手の長さ・管きよと地盤の摩擦力・降伏ひずみ・地盤の剛性係数

### 5. 地盤の液状化に伴う浮き上がりの検討の指定

- 管周辺の土砂の飽和体積重量

### 6. 常時荷重による継手の伸縮量の指定

- 内圧による継手伸縮量・自動車荷重による継手の伸縮量・温度変化による継手の伸縮量
- 不同沈下による継手の伸縮量

## ⑩地震時の照査

任意の深さ  $x$  における地盤の水平変位振幅は次式で求める。

$$U_h(x) = \frac{z}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K_{hi}^0 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{2H}\right) \quad (\text{地震動レベル1})$$

$$U_h(x) = \frac{z}{\pi^2} \cdot S_v^0 \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{2H}\right) \quad (\text{地震動レベル2})$$

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \left( \frac{H_i}{V_i} \right)$$

$$K_{hi}^0 = C_z \cdot K_{h01}^0$$

$$V_i = \begin{cases} 129 \cdot N^{0.183} & \text{洪積層粘性土層の場合} \\ 123 \cdot N^{0.125} & \text{洪積層砂質土層の場合} \\ 122 \cdot N^{0.0777} & \text{沖積層粘性土層の場合} \\ 61 \cdot 8 \cdot N^{0.211} & \text{沖積層砂質土層の場合} \end{cases}$$

ここに、 $U_h(x)$ : 深さ  $x$  における最大変位振幅

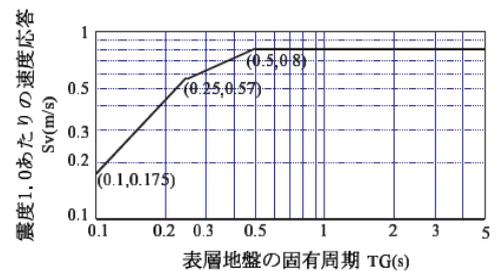
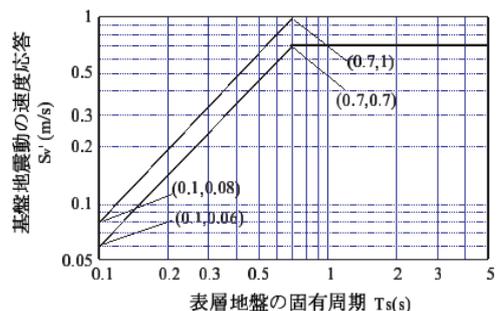


図 6.1 設計用速度応答スペクトル(レベル1)



# 埋設管路の耐震設計システムの機能と操作画面の概要

「埋設管路の耐震設計システム Ver2.0」の主な機能と操作画面についてご案内しています。

### 管材DBから検討管材の指定

標準的な管材は「規格管」としてDB登録されています。  
また、新規に管種をユーザ登録して「登録管」として検討管種とする事も可能です。

登録されている標準管材DBはCSV化され登録されていますので、直接Excel等で管材の登録変更も可能です。  
DBの管材は、他「管路構造計算」「スラスト対策工」と共通DBとしています。

## 埋設管路の検討項目の指定

検討項目の選択 --- ヒューム管450φサンプル --- D:\(sip)aSIP業務関連データファイル\%(\sip)bサンプルデータ\%16埋設管路の耐震設計システム...

### 検討項目の選択

項目	単位	常時	許容値		
			レベル1地震時	レベル2地震時	
地盤の液状化の判定			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
マンホールと管きよの接合部	地震動による屈曲角 (度)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6.50 / 7.10
	地震動による拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	60.00 / 80.00
	地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.00 / 20.00
	地盤の傾斜に伴う永久ひずみによる拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.00 / 20.00
	地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.00 / 20.00
管きよと管きよの接合部	地震時における継手の屈曲角 (度)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.43 / 2.85
	地震時における継手の伸縮量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.50 / 29.00
	地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15.00 / 80.00
	地盤の液状化に伴う地盤の沈下による屈曲角 (度)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	地盤の液状化に伴う地盤の沈下による拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.00 / 80.00
	地盤の傾斜に伴う永久ひずみによる拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.00 / 80.00
	地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.00 / 80.00
浅層不整形地盤の影響による拔出量 (mm)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.00 / 80.00	
管きよの管軸方向のひずみ (%)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.11 / 0.48	
管きよの管軸方向の応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	283.50 / 283.50	
地盤の液状化に伴う浮上りからの検討(安全率)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10.00 / 10.00	
内圧による軸方向ひずみ (%)		<input checked="" type="checkbox"/>		10.00	
自動車荷重による軸方向ひずみ (%)		<input checked="" type="checkbox"/>		10.00	
温度変化による軸方向ひずみ (%)		<input checked="" type="checkbox"/>		10.00	
不同沈下による軸方向ひずみ (%)		<input checked="" type="checkbox"/>		10.00	

許容値の入力

推奨1: 重要な幹線などの場合  
推奨2: その他の管路

全選択 全解除

## 検討項目毎に設計条件の指定

管路の諸値 --- ヒューム管450φサンプル --- D:\(sip)aSIP業務関連データファイル\%(\sip)bサンプルデータ\%16埋設管路の耐震設計システムVer...

### マンホールと管きよの接合部、管きよと管きよの接合部共通

マンホール底面の深度 G.L.- 11.620 (m)

地盤の傾斜に伴う永久ひずみ  
レベル1地震時 1.30 (%) / レベル2地震時 1.30 (%)

地盤の硬軟急変化部通過の影響による永久ひずみ  
レベル1地震時 0.50 (%) / レベル2地震時 0.50 (%)

### マンホールと管きよの接合部

地盤の液状化に伴う永久ひずみ  
 護岸近傍の液状化地盤(護岸より100m以内)  
 内陸部の液状化地盤(護岸より100m以上)  
 その他 レベル1地震時 1.20 (%) / レベル2地震時 1.20 (%)

### 管きよと管きよの接合部

地盤の液状化に伴う永久ひずみ  
 護岸近傍の液状化地盤(護岸より100m以内)  
 内陸部の液状化地盤(護岸より100m以上)  
 その他 レベル1地震時 1.20 (%) / レベル2地震時 1.20 (%)

マンホールスパン 96.200 (m)  
マンホールスパンの管きよ本数 39 (本)

地盤の不均一の程度  
 均一  不均一  極めて不均一

### 管きよの管軸方向のひずみ・応力度

重畳係数  $\gamma=1.00\sim 3.12$  レベル1 1.00 / レベル2 1.00

管路の可とう継手間の長さ 2.430 (m)

管きよと地盤の摩擦力 10.00 (kN/m<sup>2</sup>)

管体の隆伏ひずみ 10.000 (%)

地盤の剛性係数に対する係数 C1 1.50 / C2 3.00

### 地盤の液状化に伴う浮上りからの検討

管周辺の土砂の飽和体積重量 10.00 (kN/m<sup>3</sup>)

### 常時荷重による軸方向ひずみ

内圧による軸方向ひずみ  
内圧 0.50 (kN/m<sup>2</sup>) / 静水圧 0.25 (kN/m<sup>2</sup>) / 水圧 0.25 (kN/m<sup>2</sup>)

自動車荷重による軸方向ひずみ  
自動車荷重 T-20 / 鉛直方向地盤反力係数 2500.00 (kN/m<sup>3</sup>)  
 未舗装道路  コンクリートまたはアスファルト舗装道路

温度変化による軸方向ひずみ  
線膨張係数 1.150  $\times 10^{-5}$  / 温度変化 10.00 (°C)

不同沈下による軸方向ひずみ  
軟弱地盤区間 0.50 (m) / 軟弱地盤区間中央における沈下量 0.300 (m)

検討管種についての設計項目の指定と諸元の入力指定を行います。全ページの検討項目により、表示(表示・非表示)が異なります。

表-9.6.8 地盤の不均一度係数  $\eta$

不均一の程度	不均一度係数 $\eta$	地盤条件
均	1.0	洪積地盤、均一な沖積地盤
不均	1.4	層厚の変化がやや激しい沖積地盤、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

(注) 洪積地盤であっても平坦でない地形の場合は、不均一地盤と見なす。

## 検討結果一覧表 (画面表示)

液状化の判定結果表示

地盤の液状化に対する検討

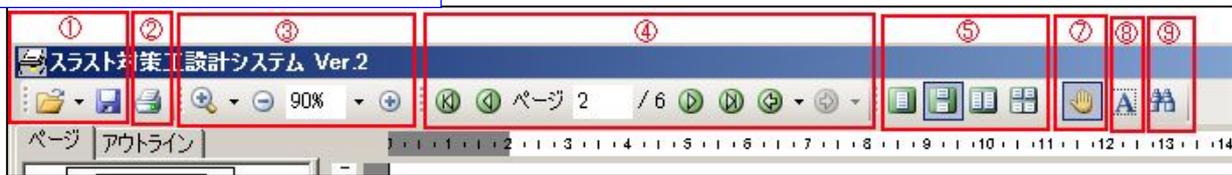
層厚 (m)	土質	N値	液状化に対する低効率 FL			
			レベル1地震時	レベル2地震時	レベル1地震時	レベル2地震時
1	沖積層 砂質土	2.0	1.042	非液状化層	0.308	液状化層
2	沖積層 砂質土	5.0	1.421	非液状化層	0.481	液状化層
3	沖積層 粘性土	3.0	0.000	液状化層	----	液状化層
4	沖積層 砂質土	10.0	1.087	非液状化層	0.409	液状化層
5	沖積層 粘性土	2.0	0.000	液状化層	----	液状化層
6	沖積層 砂質土	12.0	0.951	液状化層	0.326	液状化層

マンホールと管きよの接合部・管きよと管きよの接合部・管きよの管軸方向の検討

項目	単位	常時		レベル1地震時		レベル2地震時	
		計算値	許容値	計算値	許容値	計算値	許容値
マンホールと管きよの接合部							
地震動による屈曲角	(度)			0.01	5.0	0.05	5.0
地震動による拔出量	(mm)			2.79	10.0	20.89	10.0
地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出量	(mm)			72.00	10.0	72.00	10.0
地盤の傾斜に伴う永久ひずみによる拔出量	(mm)			78.00	10.0	78.00	10.0
地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出量	(mm)			30.00	10.0	30.00	10.0
管きよと管きよの接合部							
地震時の継手の屈曲角	(度)			0.01	5.0	0.10	5.0
地震時の継手の伸縮量 (常時荷重を含む)	(mm)			5.62	10.0	23.20	10.0
地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出量	(mm)			72.00	10.0	72.00	10.0
地盤の液状化に伴う地盤の沈下による屈曲角	(度)			6.22	5.0	8.48	5.0
地盤の液状化に伴う地盤の沈下による拔出量	(mm)			460.19	10.0	905.02	10.0
地盤の傾斜に伴う永久ひずみによる拔出量	(mm)			78.00	10.0	78.00	10.0
地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出量	(mm)			30.00	10.0	30.00	10.0
浅層不整形地盤の影響による拔出量	(mm)			18.21	10.0	27.58	10.0
管きよの管軸方向のひずみ (常時荷重を含む)	(%)			0.10	0.11	0.09	0.33
管きよの管軸方向の応力度 (常時荷重を含む)	(N/mm <sup>2</sup> )			39.71	255.0	41.73	255.0
地盤の液状化に伴う浮上がり安全率				----	----	0.15	2.0
内圧による軸方向ひずみ	(%)	0.01	10.0				
自動車荷重による軸方向ひずみ	(%)	0.01	10.0				
温度変化による軸方向ひずみ	(%)	0.02	10.0				
不同沈下による軸方向ひずみ	(%)	0.00	10.0				

検討結果一覧の示は、検討項目の指定により表示項目が異なります。

## 印刷出力と印刷プレビュー機



1 設計条件

1.1 準拠指針  
土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」平成21年3月  
農林水産省 農村振興局

1.2 使用管種  
配管用アーク溶接炭素鋼管φ800 (STPY 400)  
外径 D<sub>e</sub>=812.8 (mm), 管厚 T=6.4 (mm)

1.3 管きよの諸値  
管きよの重要度 A種  
管きよの継手構造 一体構造管きよ (可とう継手あり)

管体の単重 77.0 (kN/m)  
モルタルの単重 21.0 (kN/m)  
管体のヤング係数 200.00×10<sup>4</sup> (kN/m<sup>2</sup>)  
管体のポアソン比 0.300  
管きよの有効長 6.000 (m)  
管きよの土締め 1.200 (m)

1.4 地盤条件

層厚 (m)	土質	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ' <sup>*</sup> (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	φ (度)	N値	F <sub>v</sub> (%)	D <sub>u</sub> (mm)
1	沖積層 砂質土	15.00	5.00	10.0	5.0	2.0	40.0	0.080
2	沖積層 砂質土	17.50	7.50	0.0	20.5	2.0	40.0	0.080
3	沖積層 砂質土	18.00	9.00	0.0	24.5	8.0	30.0	0.150
4	沖積層 砂質土	18.00	9.00	30.0	10.0	8.0	30.0	0.150
5	沖積層 砂質土	20.00	10.00	0.0	30.0	15.0	0.0	0.350
Σ								

地下水位 G.L.- 1.000 (m)  
表層地盤のせん断弾性波速度 V<sub>s</sub> 81.90 (m/s)  
基礎のせん断弾性波速度 V<sub>s</sub> 300.00 (m/s)  
基礎地震動の速度応答スペクトル S<sub>v</sub> 0.900 (m/s)



# 埋設管路の耐震設計システム

土地改良事業設計基準・下水道施設の耐震対策指針・水道施設耐震工法指針(縦断方向の埋設管路) 価格 ¥231,000- (税+HASP 込)

本商品をオンライン方式をご利用の場合、価格は¥222,200~ (税込) となります。

## 適用基準

- 土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」(R3/6)
- 下水道施設の耐震対策指針 (社) 日本下水道協会 (2014)
- 水道施設耐震工法指針 (社) 日本水道協会 (2009年)

## 適用管種

- 不とう性管 ○とう性管

## 主な機能

- 地震時挙動レベル1&2の検討
- 液状化の検討
- マンホールと管きよ接合部検討
- 管きよ継手部の検討
- 管きよの管軸方向の検討
- 管きよ継手部の伸縮量の計算
- 液状化に伴う浮上りの検討

## 計算範囲

- 1.本システムは、縦断方向の埋設管路に対する常時及び地震時挙動の**レベル1地震動・レベル2地震動**の検討が可能です。
- 2.管種(とう性管・不とう性管)の特性値は、**管種別に登録されたDBファイル**より読み込みが可能。他、管種DBは**CSV登録**されており**直接管種データの登録・編集**が可能です。
- 3.設計水平震度の算出における**標準値**は、液状化の判定に用いる場合と通常の地震時に適用される場合とで区分けされ、**地域別補正係数(Cz)**を判断し設計水平震度が計算されます。
- 4.地盤条件に応じて、地盤のひずみに影響を与える「**地盤の不均一度係数(η)**」の指定が可能です。
- 5.液状化検討の対象となる土層について**液状化の判定**を行います。
- 6.**マンホールと管きよ接合部**及び**管きよと管きよ継手部**の検討が可能です。
- 7.マンホールと管きよ部および管きよと管きよ部の耐震設計項目として**屈曲角**や**拔出量**の検討の他、**管軸方向のひずみや応力度**の検討を行います。
- 8.管体部の**常時荷重による継手の伸縮量**(内圧による場合、上載荷重による場合温度変化による場合、不同沈下による場合)の検討を行います。
- 9.計算結果は画面表示され、計算書の印刷は「**入力データ印刷**」「**詳細計算書**」「**検討結果一覧表**」について印刷が可能です。また、RTF変換による**Wordでの編集・出力**も可能です。



## システム環境

CONTACT (TEL) : 06-6125-2232 (FAX) : 06-6125-2233

- 基本OS : Windows8 (32bit&64bit)、Windows10&11 (64bit)
- ハード環境 : HD容量500MB以上、メモリ容量4GB以上
- プロテクト方式 : HASP (USB) 方式、オンライン (IN) 方式、ネット認証システム (Lan 対応版)

## お問合せ

ACCESS (URL) : <http://www.sipc.co.jp> (Mail) : [mail@sipc.co.jp](mailto:mail@sipc.co.jp)

株式会社 SIP システム  
〒542-0081  
大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501 (大阪事務所)  
TEL : 06-6125-2232 FAX : 06-6125-2233

### ご案内

- ・本商品に関するご質問、資料請求、見積依頼等につきましては、お電話、メール等にて弊社「大阪事務所」迄お問合せ下さい。
- ・弊社ホームページより各商品概要のリーフレット、出力例等のダウンロードや体験版プログラムのお申込み等が可能です。

# 土木設計「パイプライン設計シリーズ」のご案内



土地改良設計及び上水道設計業務に携わる皆様へ「パイプライン設計シリーズ」のご案内です。

「かんがい用水・上水道」の「管網計算システム」から管の横断および縦断方向の検討を行う「管路構造計算システム」と「埋設管路の耐震設計システム」、スラストの検討を行う「スラスト対策工設計システム」まで、一連のパイプラインの設計業務が可能です。身近な設計ソフトウェアとしてご検討頂ければ幸いです。(株)SIPシステム

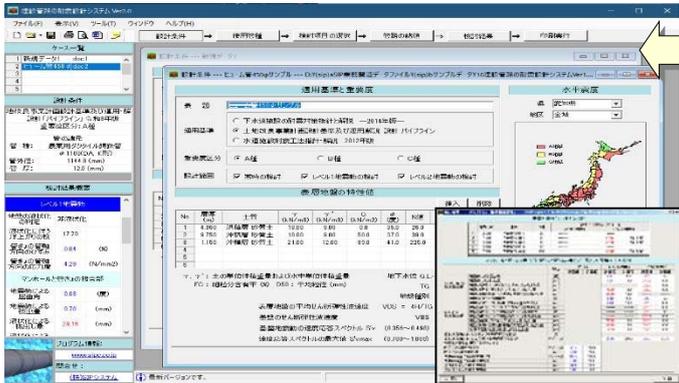


## ＜管網計算システム／¥319,000 (税+HASP込)＞

- ① 節点水頭法により樹枝状および網状の管網計算が可能。
- ② 動水節点(多点可)+流量節点+折れ点の配置数は、無制限。
- ③ 背景地図を読み込み、管網図を作成、管路長は自動算出。
- ④ 折れ点に増減圧ポンプ・減圧弁の指定やわん曲部等については、「各種損失係数」の指定が可能。
- ⑤ 管径比較検討機能により、適正管径を選択指定も可能。
- ⑥ 計算書、平面図、縦断面図をプレビュー表示後、印刷可能。
- ⑦ 「かんがい用水量」「上水道給水量」「DXFコンバータ」「管路データ CSV 入出力」等のオプション商品も充実。

## ＜管路構造計算システム／¥231,000 (税+HASP込)＞

- ① とう性・不とう性管の管断面の常時・地震時の検討が可能。
- ② 適用基準として、土地改良、下水道施設、上水施設に対応。
- ③ 埋設深の検討として「浮上り」「凍結深」の検討が可能。
- ④ 施工断面は「溝形・突出形・逆突出形・矢板施工・簡易土施工」より選択、矢板撤去する場合の検討も可能。
- ⑤ 検討断面は、ピッチ入力して一括登録が可能。
- ⑥ 計算書は、許容値のグラフ表示や検討断面毎の作成が可能。

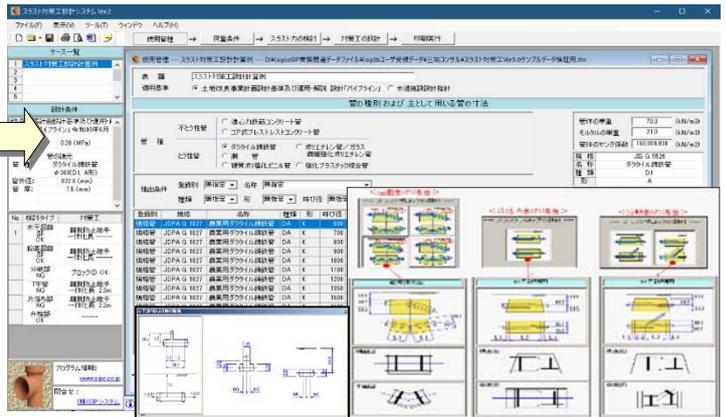


## ＜埋設管路の耐震設計システム／¥231,000 (税+HASP込)＞

- ① とう性管、不とう性管の縦断方向の埋設管の耐震設計が可能。
- ② 地震時の挙動としてレベル1&2の検討が可能。
- ③ 地震時の検討は「マンホールと管きよ」「管きよと管きよ」接合部について管軸方向の検討が可能。
- ④ 常時の検討として管きよ継手部の伸縮量の計算が可能。
- ⑤ 地震時の液状化の判定および浮上り等の検討が可能。
- ⑥ 計算書は、目次作成の他、結果一覧表、Word出力が可能。

## ＜スラスト対策工設計システム／¥209,000 (税+HASP込)＞

- ① 適用管種は、とう性管、不とう性管の検討が可能。
- ② 「屈曲部」「分支部(Y字・T字)」「片落部」「弁栓部」のスラスト力の検討が可能。
- ③ スラスト力の対策工として「一体化長の計算」(離脱防止金具 or 溶接・接着継手)および「スラストブロック」(固定形状や任意形)による対策検討が可能。
- ④ 地下水位や設計水圧について検討断面毎に指定が可能。
- ⑤ 計算書の目次作成や一覧表、また Word出力変換が可能。



その他商品の紹介	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 「DXFファイルコンバータ」(¥110,000)、「管路データ CSV 入出力システム」(¥55,000)：管網計算システムのオプション商品</li> <li>2. 「上水道給水量計算システム」(¥55,000)、「かんがい用水量集計システム」(¥110,000)：管網計算システムのオプション商品</li> <li>3. 「水路設計計算システム」、「集水樹構造計算システム」、「長方形板の計算システム」など</li> </ol>	(税込価格で表示)
----------	---	-----------

株式会社 SIPシステム  
 〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501  
 TEL : 06-6125-2232 FAX : 06-6125-2233  
 OS : Windows8, Windows10&11 (32bit&64bit) 対応  
 HD : 500MB 以上。USB ポート&DVD-ROM 必須。  
 プロテクト方式 : HASP 方式 (USB) またはオンライン方式

＜お問い合わせは大阪事務所まで＞

- ・商品に関するお問合せは、お電話メール等でお受けしております。(受付時間 平日9:00~17:00)
- ・商品の詳細は、弊社ホームページでもご確認いただけます。  
<http://www.sipc.co.jp> [mail@sipc.co.jp](mailto:mail@sipc.co.jp)



# 埋設管路の耐震設計システム

Ver2.0

適用基準

- 土地改良事業計画設計基準：設計「パイプライン」（令和3年6月版）
- 下水道施設の耐震対策指針と解説－2015年版－
- 水道施設耐震工法指針・解説（2012年版）

出力例

適用基準：土地改良設計基準「パイプライン」  
管材：ダクタイル鋳鉄管φ800（D1、PI管）

○詳細計算印刷

○計算結果一覧表

開発・販売元

(株)SIP システム お問い合わせ先：大阪事務所（技術サービス）

〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場1-18-24-501

TEL：06-6125-2232 FAX：06-6125-2233

<http://www.sipc.co.jp>      [mail@sipc.co.jp](mailto:mail@sipc.co.jp)

# 目 次

1	設計条件	3
1.1	準拠指針	3
1.2	使用管種	3
1.3	管きよの諸値	3
1.4	地盤条件	3
2	設計水平震度	4
2.1	計算式	4
2.2	耐震設計上の地盤種別	5
2.3	地域区分	6
2.4	設計水平震度	7
3	地震動の最大変位振幅	7
4	地盤振動の波長	8
5	地盤の液状化の判定	9
5.1	計算式	9
5.2	全上載圧	10
5.3	有効上載圧	11
5.4	タイプⅠ地震動	11
5.4.1	繰り返し三軸強度比	11
5.4.2	地震時せん断応力比	11
5.4.3	液状化に対する抵抗率	12
5.5	タイプⅡ地震動	12
5.5.1	繰り返し三軸強度比	12
5.5.2	地震時せん断応力比	12
5.5.3	液状化に対する抵抗率	13
6	常時荷重による継手の伸縮量の検討	14
6.1	内圧による軸方向応力および継手の伸縮量	14
6.2	自動車荷重による軸方向応力および継手の伸縮量	15
6.3	温度変化による継手の伸縮量	17
6.4	不同沈下による継手の伸縮量	17
7	マンホールと管きよの接続部の検討	18
7.1	地震動による屈曲角および拔出し量	18
7.1.1	計算式	18
7.1.2	レベル1地震動	19
7.1.3	レベル2地震動	19
7.2	地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出し量	20
8	管きよ継手部の検討	21
8.1	地震動による継手の軸方向伸縮量	21
8.1.1	計算式	21
8.1.2	レベル1地震動	23
8.1.3	レベル2地震動	23
8.2	地震動による継手の屈曲角	24

8.2.1	計算式.....	24
8.2.2	レベル1地震動.....	24
8.2.3	レベル2地震動.....	24
8.3	液状化に伴う地盤の沈下による屈曲角と拔出し量.....	25
8.3.1	計算式.....	25
8.3.2	レベル1地震動.....	26
8.4	地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出し量.....	26
9	管きよの管軸方向の検討.....	27
9.1	管きよの軸方向応力度.....	27
9.1.1	計算式.....	27
9.1.2	地盤変位の伝達係数.....	28
9.1.3	管きよの応力補正係数.....	29
9.1.4	レベル1地震動.....	33
9.1.5	レベル2地震動.....	34
10	地盤の液状化に伴う浮上がりに対する検討.....	35
10.1	計算式.....	35
10.2	レベル1地震動.....	35
10.2.1	有効上載圧.....	35
10.2.2	非液状化層のせん断抵抗力.....	36
10.2.3	浮上がりに対する安全率.....	36

# 1 設計条件

## 1.1 準拠指針

土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」令和3年版  
農林水産省 農村振興局

## 1.2 使用管種

ダクタイル鋳鉄管  $\phi 800$ (D1, P I 形)

外径  $D_e=812.8$  (mm) , 管厚  $T=13.5$  (mm)

計算管厚  $t=T/1.1=13.5/1.1=12.2$  (mm) ( $t+1 \geq 10\text{mm}$ ,  $\phi 800$ 以上より)

## 1.3 管きよの諸値

管きよの重要度 A種

管きよの継手構造 差し込み継手管きよ (可とう継手あり)

管体の単重	70.0 (kN/m <sup>3</sup> )
モルタルの単重	21.0 (kN/m <sup>3</sup> )
管体のヤング係数(短期)	$160.00 \times 10^6$ (kN/m <sup>2</sup> )
管体のヤング係数(長期)	$160.00 \times 10^6$ (kN/m <sup>2</sup> )
管体のポアソン比	0.280
管きよの有効長	6.000 (m)
管きよの土被り	1.200 (m)

## 1.4 地盤条件

	層厚 (m)	土質	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (度)	N値	$F_c$ (%)	$D_{50}$ (mm)
1	2.500	洪積層 砂質土	15.00	5.00	10.0	5.0	15.0	40.0	0.080
2	7.500	洪積層 砂質土	17.50	7.50	4.0	20.5	18.0	40.0	0.080
3	3.000	洪積層 砂質土	19.00	9.00	10.0	24.5	11.0	30.0	0.150
4	3.000	洪積層 砂質土	19.00	9.00	30.0	10.0	17.0	30.0	0.150
5	7.000	洪積層 砂質土	20.00	10.00	6.0	30.0	15.0	0.0	0.350
$\Sigma$	23.000								

地下水位	G. L. - 1.000 (m)
表層地盤の平均せん断弾性波速度 $V_{BS}$	173.28 (m/s)
基盤のせん断弾性波速度 $V_{B5}$	300.00 (m/s)
基盤地震動の速度応答スペクトル $S'_v$	0.900 (m/s)
速度応答スペクトルの最大値 $S'_{vmax}$	0.950 (m/s)

## 2 設計水平震度

### 2.1 計算式

液状化の判定に用いる地盤面における設計水平震度は式(1)により求める。

$$k_{hgl} = C_z \cdot k_{hgl0} \quad \dots\dots\dots (1)$$

また、レベル1地震動の耐震計算上の基盤面における設計水平震度は式(2)により求める。

$$K'_{h1} = C_z \cdot K'_{h01} \quad \dots\dots\dots (2)$$

- ここで、 $k_{hgl}$ ：液状化の判定に用いる地盤面における設計水平震度
- $k_{hgl0}$ ：液状化の判定に用いる設計水平震度の標準値
- $k'_{h1}$ ：レベル1地震動の耐震計算上の基盤面における設計水平震度
- $k'_{h01}$ ：レベル1地震動の基盤面における基準水平震度  $k'_{h01}=0.15$
- $C_z$ ：地域別補正係数(表2参照)

表1 設計水平震度の標準値

地震動	地盤種別	設計水平震度の標準値 $k_{hgl0}$
レベル1	I種地盤	0.16
	II種地盤	0.20
	III種地盤	0.24
レベル2	I種地盤	0.60~0.70
	II種地盤	0.70~0.80
	III種地盤	0.40~0.60

表2 地域別補正係数

地域区分	地域別補正係数 $C_z$
A区分	1.0
B区分	0.85
C区分	0.7

## 2.2 耐震設計上の地盤種別

耐震設計上の地盤種別は地盤の固有周期 $T_g$ より表3により求める。なお、地盤の固有周期は式(3), (4)により求める。

$$T_g = 4 \cdot \sum \frac{H_i}{V_{si}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$V_{si} = \begin{cases} 129 \cdot N_i^{0.183} & (0 < N_i) \quad (\text{洪積層粘性土層の場合}) \\ 123 \cdot N_i^{0.125} & (0 < N_i) \quad (\text{洪積層砂質土層の場合}) \\ 122 \cdot N_i^{0.0777} & (0 < N_i) \quad (\text{沖積層粘性土層の場合}) \\ 61.8 \cdot N_i^{0.211} & (0 < N_i) \quad (\text{沖積層砂質土層の場合}) \\ 50 & (N_i = 0) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $T_g$ : 地盤の固有周期 (sec)  
 $H_i$ :  $i$ 番目の土層の厚さ (m)  
 $V_{si}$ :  $i$ 番目の土層の平均せん断弾性波速度 (m/s)  
 $N_i$ :  $i$ 番目の土層の平均N値

表3 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の固有周期 $T_g$ (s)
I種	$T_g < 0.2$
II種	$0.2 \leq T_g < 0.6$
III種	$0.6 \leq T_g$

	層厚 H <sub>i</sub> (m)	土の種類	平均N値 N <sub>i</sub>	V <sub>si</sub> (m/sec)		H <sub>i</sub> /V <sub>si</sub> (sec)
1	2.500	洪積層 砂質土	15.0	123 × 15.0 <sup>0.125</sup> =	172.55	0.014
2	7.500	洪積層 砂質土	18.0	123 × 18.0 <sup>0.125</sup> =	176.53	0.042
3	3.000	洪積層 砂質土	11.0	123 × 11.0 <sup>0.125</sup> =	165.99	0.018
4	3.000	洪積層 砂質土	17.0	123 × 17.0 <sup>0.125</sup> =	175.27	0.017
5	7.000	洪積層 砂質土	15.0	123 × 15.0 <sup>0.125</sup> =	172.55	0.041
	23.000					0.133

$$T_G = 4 \cdot \sum \frac{H_i}{V_{si}} = 4 \times 0.133 = 0.531 \text{ (sec)}$$

よって、 $0.2 \leq T_G < 0.6$  (sec) であるから II種地盤

液状化の判定に用いる設計水平震度の標準値

レベル1地震動  $k_{hgl0} = 0.15$

レベル2地震動  $k_{hgl0} = 0.70$

## 2.3 地域区分

位置 鳥取県 鳥取市 (A地域)

地域別補正係数  $C_z = 1.00$

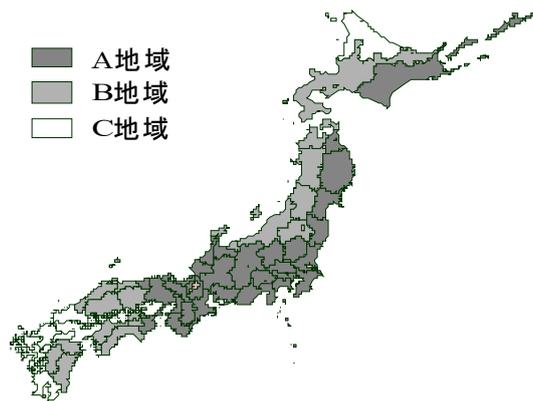


図2.1 地域区分

## 2.4 設計水平震度

液状化の判定に用いる地盤面における設計水平震度

$$\text{レベル1地震動 } k_{hgl} = C_z \cdot k_{hgl0} = 1.00 \times 0.15 = 0.15$$

$$\text{レベル2地震動 } k_{hgl} = C_z \cdot k_{hgl0} = 1.00 \times 0.70 = 0.70$$

耐震計算上の基盤面における設計水平震度

$$\text{レベル1地震動 } K'_{h1} = C_z \cdot K'_{h01} = 1.00 \times 0.15 = 0.15$$

## 3 地震動の最大変位振幅

任意の深さ $z$ における地震動の最大変位振幅は式(5), (6)で求める。

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_g \cdot K'_{h1} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right) \quad (\text{地震動レベル1}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S'_v \cdot T_g \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right) \quad (\text{地震動レベル2}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$T_g = 4 \cdot \sum \frac{H_i}{V_{si}} = 0.531 \quad \dots\dots\dots (7)$$

- ここで、 $U_h(z)$ : 深さ $z$ における最大変位振幅 (m)
- $z$ : 地表面からの深さ (m)
- $H$ : 地表面から基盤層までの深さ (m)
- $S_v$ : 基盤地震動の単位震度当たりの速度応答スペクトル (図3.1参照) (m/s)
- $S'_v$ : 基盤地震動の速度応答スペクトル (m/s) (図3.2参照)
- $K'_{h1}$ : 耐震設計上の基盤面における設計水平震度  $K'_{h1}=0.15$
- $T_g$ : 表層地盤の固有周期 (s) (式(3)の地盤の固有周期に等しい。)

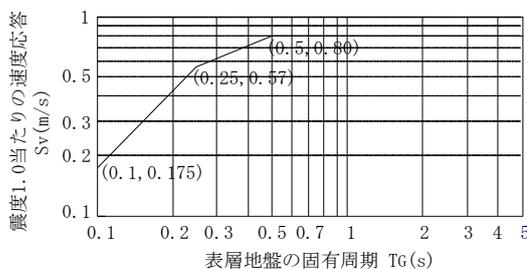


図3.1 速度応答スペクトル(レベル1)

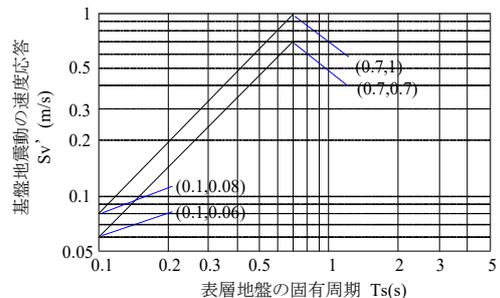


図3.2 速度応答スペクトル(レベル2)

速度応答スペクトル

$$T_g = 0.531 \text{ (s) より、}$$

$$\text{レベル1地震動 } S_v = 0.8000 \text{ (m/s)}$$

$$\text{レベル2地震動 } S'_v = 0.9000 \text{ (m/s)}$$

地震動の最大変位振幅

$$U_h(z) = \begin{cases} \frac{2}{\pi^2} \times 0.8000 \times 0.531 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi \times z}{2 \times 23.000}\right) & \text{(レベル1地震動)} \\ \frac{2}{\pi^2} \times 0.9000 \times 0.531 \times \cos\left(\frac{\pi \times z}{2 \times 23.000}\right) & \text{(レベル2地震動)} \end{cases}$$

## 4 地盤振動の波長

地盤振動の波長は式(8)～(10)で求める。

$$L = \frac{2L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \dots\dots\dots (8)$$

$$L_1 = T_g \cdot V_{DS} \dots\dots\dots (9)$$

$$L_2 = T_g \cdot V_{BS} \dots\dots\dots (10)$$

ここで、L: 地盤振動の波長 (m)  
 $V_{DS}$ : 表層地盤の平均せん断弾性波速度 173.28 (m/s)  
 $V_{BS}$ : 基盤のせん断弾性波速度 300.00 (m/s)  
 H: 表層地盤の厚さ 23.000 (m)  
 $T_g$ : 表層地盤の固有周期 0.531 (s)

$$L_1 = 0.531 \times 173.28 = 92.00 \text{ (m)}$$

$$L_2 = 0.531 \times 300.00 = 159.28 \text{ (m)}$$

地盤振動の波長

$$L = \frac{2 \times 92.00 \times 159.28}{92.00 + 159.28} = 116.63 \text{ (m)}$$

## 5 地盤の液状化の判定

### 5.1 計算式

液状化を生じる可能性があるとして判定された場合、式(11)～(21)により液状化に対する抵抗率 $F_L$ を求め、この値が1.0以下の土層は地震時に液状化するものとみなす。

$$F_L = R/L \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$R = c_w \cdot R_L \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$L = \gamma_d \cdot k_{hgl} \cdot \sigma_v / \sigma'_v \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$R_L = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N_a/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\gamma_d = 1.0 - 0.015x \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\sigma_v = \gamma_{i1} \cdot h_w + \gamma_{i2} (x - h_w) \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$\sigma'_v = \gamma_{i1} \cdot h_w + \gamma'_{i2} (x - h_w) \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$c_w = \begin{cases} 1.0 & \text{(タイプ I 地震動の場合)} \\ 1.0 & \text{(タイプ II 地震動の場合, } R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & \text{( " " " " , } 0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & \text{( " " " " , } 0.4 < R_L) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$N_a = \begin{cases} c_1 \cdot N_1 + c_2 & \text{(砂質土の場合)} \\ \{ 1 - 0.361 \log_{10} (D_{50}/2) \} \cdot N_1 & \text{(れき質土の場合)} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$c_1 = \begin{cases} 1.0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC+40)/50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC/20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$c_2 = \begin{cases} 0.0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC-10)/18 & (10\% \leq FC) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (22)$$

ここで、 $F_L$ : 液状化に対する抵抗率

$R$ : 動的せん断強度比

$L$ : 地震時せん断応力比

$c_w$ : 地震動特性による補正係数

$R_t$ : 繰り返し三軸強度比

$\gamma_d$ : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

$k_{hgl}$ : 液状化の判定に用いる地盤面における設計水平震度

$\sigma_v$ : 全上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_v$ : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$x$ : 地表面からの深さ (m)

$\gamma_{i1}$ : 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{i2}$ : 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma'_{i2}$ : 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$h_w$ : 地下水位の深さ (m)

$N$ : 標準貫入試験から得られるN値

$N_i$ : 有効上載圧 100kN/m<sup>2</sup>相当に換算したN値

$N_a$ : 粒度の影響を考慮した補正N値

$c_1, c_2$ : 細粒分含有率によるN値の補正係数

FC: 細粒分含有率 (%)

(粒径75  $\mu$ m 以下の土粒子の通過質量百分率)

$D_{50}$ : 平均粒径 (mm)

## 5.2 全上載圧

	地表面からの深さ (m)	全上載圧 $\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	
1	1.250	15.00 × 1.250	18.75
2	6.250	18.75 + 15.00 × 1.250 + 17.50 × 3.750	103.13
3	11.500	103.13 + 17.50 × 3.750 + 19.00 × 1.500	197.25
4	14.500	197.25 + 19.00 × 1.500 + 19.00 × 1.500	254.25
5	19.500	254.25 + 19.00 × 1.500 + 20.00 × 3.500	352.75

### 5.3 有効上載圧

	地表面からの深さ (m)	有効上載圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	
1	1.250	15.00×1.000+5.00×0.250	16.25
2	6.250	16.25+5.00×1.250+7.50×3.750	50.63
3	11.500	50.63+7.50×3.750+9.00×1.500	92.25
4	14.500	92.25+9.00×1.500+9.00×1.500	119.25
5	19.500	119.25+9.00×1.500+10.00×3.500	167.75

### 5.4 タイプ I 地震動

#### 5.4.1 繰り返し三軸強度比

	N	FC (%)	D <sub>50</sub> (mm)	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	N <sub>i</sub>	N <sub>e</sub>	R <sub>i</sub>
1	15.0	40.0	0.080	16.25	1.600	1.667	29.565	48.971	14.625
2	18.0	40.0	0.080	50.63	1.600	1.667	25.368	42.255	5.861
3	11.0	30.0	0.150	92.25	1.400	1.111	11.525	17.247	0.281
4	17.0	30.0	0.150	119.25	1.400	1.111	15.271	22.490	0.345
5	15.0	0.0	0.350	167.75	1.000	0.000	10.726	10.726	0.222

ただし、R<sub>i</sub>：繰り返し三軸強度比

#### 5.4.2 地震時せん断応力比

	x (m)	$\gamma_d$	k <sub>hg</sub>	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	L
1	1.250	0.981	0.15	18.75	16.25	0.170
2	6.250	0.906	0.15	103.13	50.63	0.277
3	11.500	0.828	0.15	197.25	92.25	0.265
4	14.500	0.783	0.15	254.25	119.25	0.250
5	19.500	0.708	0.15	352.75	167.75	0.223

ただし、L：地震時せん断応力比

### 5.4.3 液状化に対する抵抗率

	$R_L$	$c_v$	R	L	$F_L$	判定	層厚(m)
1	14.625	1.000	14.625	0.170	86.115	非液状化層	----
2	5.861	1.000	5.861	0.277	21.164	非液状化層	----
3	0.281	1.000	0.281	0.265	1.060	非液状化層	----
4	0.345	1.000	0.345	0.250	1.379	非液状化層	----
5	0.222	1.000	0.222	0.223	0.993	液状化層	7.000
液状化層の合計厚							7.000

ただし、 $F_L$ ：液状化に対する抵抗率

$F_L \leq 1.0$ なら液状化層、 $F_L > 1.0$ なら非液状化層

## 5.5 タイプII地震動

### 5.5.1 繰返し三軸強度比

	N	FC (%)	$D_{50}$ (mm)	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_1$	$c_2$	$N_1$	$N_a$	$R_L$
1	15.0	40.0	0.080	16.25	1.600	1.667	29.565	48.971	14.625
2	18.0	40.0	0.080	50.63	1.600	1.667	25.368	42.255	5.861
3	11.0	30.0	0.150	92.25	1.400	1.111	11.525	17.247	0.281
4	17.0	30.0	0.150	119.25	1.400	1.111	15.271	22.490	0.345
5	15.0	0.0	0.350	167.75	1.000	0.000	10.726	10.726	0.222

ただし、 $R_L$ ：繰返し三軸強度比

### 5.5.2 地震時せん断応力比

	x (m)	$\gamma_d$	$k_{hg}$	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	L
1	1.250	0.981	0.70	18.75	16.25	0.793
2	6.250	0.906	0.70	103.13	50.63	1.292
3	11.500	0.828	0.70	197.25	92.25	1.239
4	14.500	0.783	0.70	254.25	119.25	1.168
5	19.500	0.708	0.70	352.75	167.75	1.041

ただし、L：地震時せん断応力比

### 5.5.3 液状化に対する抵抗率

	$R_L$	$c_v$	R	L	$F_L$	判 定	層 厚(m)
1	14.625	2.000	29.250	0.793	36.906	非液状化層	----
2	5.861	2.000	11.721	1.292	9.070	非液状化層	----
3	0.281	1.598	0.449	1.239	0.363	液状化層	3.000
4	0.345	1.809	0.624	1.168	0.534	液状化層	3.000
5	0.222	1.401	0.310	1.041	0.298	液状化層	7.000
液状化層の合計厚							13.000

ただし、 $F_L$ ：液状化に対する抵抗率

$F_L \leq 1.0$ なら液状化層、 $F_L > 1.0$ なら非液状化層

## 6 常時荷重による継手の伸縮量の検討

### 6.1 内圧による軸方向応力および継手の伸縮量

内圧による軸方向応力は式(23)～(25)で、継手の伸縮量は式(26)で求める。

$$\sigma_{Pi} = \sigma_{Pi1} + \sigma_{Pi2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$\sigma_{Pi1} = \nu \cdot \frac{P_1 \cdot (D-t)}{2t_0} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\sigma_{Pi2} = \nu \cdot \frac{P_2 \cdot (D-t)}{2t_0} \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$l_i = l \cdot \left( \frac{\sigma_{Pi1}}{E_L} + \frac{\sigma_{Pi2}}{E_S} \right) \quad \dots\dots\dots (26)$$

ここで、 $\sigma_{Pi}$ ：	内圧による軸方向応力	(kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma_{Pi1}$ ：	静水圧による軸方向応力	(kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma_{Pi2}$ ：	水撃圧による軸方向応力	(kN/m <sup>2</sup> )
$l_i$ ：	内圧による継手の伸縮量	(m)
$l$ ：	管長	6.000 (m)
$E_L$ ：	管のヤング係数(長期)	160.00×10 <sup>6</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
$E_S$ ：	管のヤング係数(短期)	160.00×10 <sup>6</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
$\nu$ ：	ポアソン比	0.280
$P_1$ ：	静水圧	0.25 (kN/m <sup>2</sup> )
$P_2$ ：	水撃圧	0.25 (kN/m <sup>2</sup> )
$D$ ：	管外径	0.8128 (m)
$t$ ：	管厚	0.0135 (m)
$t_0$ ：	計算管厚	0.0122 (m)

内圧による軸方向応力

$$\sigma_{Pi1} = \nu \cdot \frac{P_1 \cdot (D-t)}{2t_0} = 0.280 \times \frac{0.25 \times (0.8128 - 0.0135)}{2 \times 0.0122} = 2.29 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma_{Pi2} = \nu \cdot \frac{P_2 \cdot (D-t)}{2t_0} = 0.280 \times \frac{0.25 \times (0.8128 - 0.0135)}{2 \times 0.0122} = 2.29 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Pi} &= \sigma_{Pi1} + \sigma_{Pi2} = 2.29 + 2.29 = 4.59 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ &= 0.00 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_a = 189.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (0k) \end{aligned}$$

内圧による継手の伸縮量

$$l_i = l \cdot \left( \frac{\sigma_{Pi1}}{E_L} + \frac{\sigma_{Pi2}}{E_S} \right) = 6.000 \times \left( \frac{2.29}{160.00 \times 10^6} + \frac{2.29}{160.00 \times 10^6} \right)$$

$$= 0.00000 \text{ (m)} = 0.00 \text{ (mm)} \leq l_a = 10.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (0k)$$

## 6.2 自動車荷重による軸方向応力および継手の伸縮量

自動車荷重による軸方向応力は式(27)で、継手の伸縮量は式(28)で求める。

$$\sigma_{P0} = \frac{0.322W_m}{Z} \cdot \sqrt{\frac{E_S \cdot I}{k_v \cdot D}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$l_o = \frac{l \cdot \sigma_{P0}}{E_S} \quad \dots\dots\dots (28)$$

- ここで、 $\sigma_{P0}$ : 自動車荷重による軸方向応力 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $l_o$ : 自動車荷重による継手の伸縮量 (m)  
 $l$ : 管長 6.000 (m)  
 $W_m$ : 自動車荷重。式(29)で求める。 (kN/m)  
 $k_v$ : 鉛直方向地盤反力係数 7000.00 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $E_S$ : 管のヤング係数(短期) 160.00×10<sup>6</sup> (kN/m<sup>2</sup>)  
 $I$ : 断面2次モーメント 0.002459 (m<sup>4</sup>)  
 $I = \pi/64 \cdot \{D^4 - (D-2t_o)^4\}$   
 $= \pi/64 \times \{0.8128^4 - (0.8128 - 2 \times 0.0122)^4\} = 0.002459 \text{ (m}^4\text{)}$   
 $Z$ : 断面係数  $Z = I/(D/2) = 0.002459/0.4064 = 0.006051 \text{ (m}^3\text{)}$   
 $D$ : 管外径 0.8128 (m)  
 $t_o$ : 設計管厚 0.0122 (m)

$$W_m = W_w \cdot D \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$W_w = \frac{P \cdot \beta}{0.2+2h} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$P = \frac{2P_r}{B} \cdot (1+i) \quad \dots\dots\dots (31)$$

ここで、 $W_m$ ：自動車荷重 (kN/m)  
 $W_w$ ：輪荷重による鉛直荷重 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $P$ ：進行直角方向単位長さ当たりの後輪荷重 (kN/m)  
 $P_r$ ：後輪荷重 100.0 (kN)  
 $\beta$ ：断面力の低減係数 0.9  
 $h$ ：土被り 1.200 (m)  
 $B$ ：車両占有幅 2.75 (m)  
 $i$ ：衝撃係数(表4参照)  
 コンクリートまたはアスファルト舗装道路、  
 土被り1.8m未満より  $i=0.3$

表4 衝撃係数

	土被り (m)		
	1.8m 未満	1.5m~2.5m未満	2.5m 以上
未舗装道路	0.4	0.3	0.2
コンクリートまたはアスファルト舗装	0.3	0.2	0.1

進行直角方向単位長さ当たりの後輪荷重

$$P = \frac{2P_r}{B} \cdot (1+i) = \frac{2 \times 100.0}{2.75} \times (1+0.3) = 94.55 \text{ (kN/m)}$$

輪荷重による鉛直荷重

$$W_w = \frac{P \cdot \beta}{0.2+2h} = \frac{94.55 \times 0.9}{0.2+2 \times 1.200} = 32.73 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

自動車荷重

$$W_m = W_w \cdot D = 32.73 \times 0.8128 = 26.60 \text{ (kN/m)}$$

自動車荷重による軸方向応力

$$\begin{aligned} \sigma_{p0} &= \frac{0.322W_m}{Z} \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot I}{k_v \cdot D}} \\ &= \frac{0.322 \times 26.60}{0.006051} \times \sqrt{\frac{160.00 \times 10^6 \times 0.002459}{7000.00 \times 0.8128}} \\ &= 11771.68 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ &= 11.77 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_a = 189.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (Ok) \end{aligned}$$

自動車荷重による継手の伸縮量

$$e_0 = \frac{l \cdot \sigma_{p0}}{E_s} = \frac{6.000 \times 11771.68}{160.00 \times 10^6}$$

$$= 0.00044 \text{ (m)} = 0.44 \text{ (mm)} \leq l_a = 10.00 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (0k)$$

### 6.3 温度変化による継手の伸縮量

温度変化による継手の伸縮量は式(32)で求める。

$$l_t = \alpha \cdot \Delta t \cdot l \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$= 1.15 \times 10^{-5} \times 15.0 \times 6.000$$

$$= 0.00104 \text{ (m)} = 1.04 \text{ (mm)} \leq l_a = 10.00 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (0k)$$

ここで、 $l_t$ ： 温度変化による継手の伸縮量 (m)  
 $\alpha$ ： 管の線膨張係数  $1.15 \times 10^{-5}$  (1/°C)  
 $\Delta t$ ： 温度変化 15.0 (°C)  
 $l$ ： 管長 6.000 (m)

### 6.4 不同沈下による継手の伸縮量

不同沈下による継手の伸縮量は式(33)で求める。

$$l_d = \Delta l = \sqrt{\left(\frac{L_d}{2}\right)^2 + s^2} - \frac{L_d}{2} \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{50.000}{2}\right)^2 + 0.200^2} - \frac{50.000}{2}$$

$$= 0.00080 \text{ (m)} = 0.80 \text{ (mm)} \leq l_a = 10.00 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (0k)$$

ここで、 $l_d$ ： 不同沈下による継手の伸縮量 (m)  
 $\Delta l$ ：  $l_d$ 区間における軸心の伸び (m)  
 $L_d$ ： 軟弱地盤区間 50.000 (m)  
 $s$ ：  $l_d/2$ 地点における沈下量 0.200 (m)

## 7 マンホールと管きよの接続部の検討

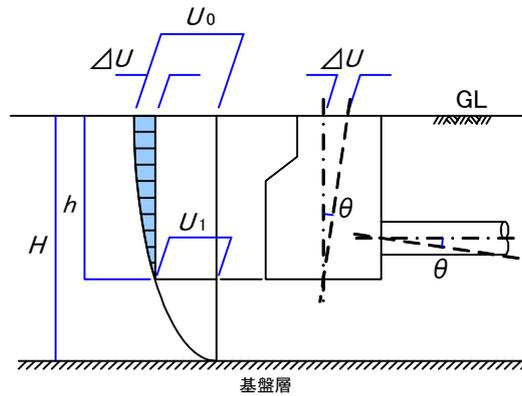


図7.1 マンホールと管きよの接続部の荷重

### 7.1 地震動による屈曲角および拔出し量

#### 7.1.1 計算式

マンホールと管きよの接続部の継ぎ手の屈曲角はマンホールおよび本管の回転角と同じとして式(34), (35)で求める(図7.1参照)。

また、地震動による本管のマンホールからの拔出し量は式(36), (37)で求める。

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{\Delta U}{h} \right) \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(h) = U_0 - U_1 \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} \cdot U_p \quad \dots\dots\dots (37)$$

- ここで、 $\theta$ ：マンホールおよび本管の回転角(継ぎ手の屈曲角) (rad)  
 $\delta$ ：地震動による本管のマンホールからの拔出し量 (m)  
 $U_h(z)$ ：深さzにおける最大変位振幅。式(5), (6)で求める。 (m)  
 $z$ ：地表面からの深さ (m)  
 $U_0$ ：地表面における最大変位振幅 (m)  
 $U_1$ ：マンホール底面位置における最大変位振幅 (m)  
 $U_p$ ：管きよ中心深度(1.606(m))における最大変位振幅 (m)  
 $h$ ：マンホールの深さ 2.500 (m)  
 $\varepsilon_{gd}$ ：地震動により地盤に生じるひずみ  
 $l$ ：管の有効長 6.000 (m)  
 $L$ ：地盤振動の波長 116.63 (m)

### 7.1.2 レベル1地震動

地表面における最大変位振幅

$$\begin{aligned}
 U_0 &= \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_G \cdot K'_{hl} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right) \\
 &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.8000 \times 0.531 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi \times 0.000}{2 \times 23.000}\right) = 0.01291 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

マンホール底面位置における最大変位振幅

$$U_1 = \frac{2}{\pi^2} \times 0.8000 \times 0.531 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi \times 2.500}{2 \times 23.000}\right) = 0.01272 \text{ (m)}$$

管きよ中心深度における最大変位振幅

$$U_p = \frac{2}{\pi^2} \times 0.8000 \times 0.531 \times 0.15 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.606}{2 \times 23.000}\right) = 0.01283 \text{ (m)}$$

地震動により地盤に生じるひずみ

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} \cdot U_p = \frac{\pi}{116.63} \times 0.01283 = 0.000346$$

地震動による屈曲角

$$\begin{aligned}
 \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta U}{h}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.01291 - 0.01272}{2.500}\right) \\
 &= 0.0001 \text{ (rad)} = 0.004 \text{ (度)} \leq \theta_a = 5.0 \text{ (度)} \quad \dots\dots\dots (0k)
 \end{aligned}$$

地震動による拔出し量

$$\begin{aligned}
 \delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l = 0.000346 \times 6.000 \\
 &= 0.0021 \text{ (m)} = 2.07 \text{ (mm)} \leq 10.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (0k)
 \end{aligned}$$

### 7.1.3 レベル2地震動

地表面における最大変位振幅

$$\begin{aligned}
 U_0 &= \frac{2}{\pi^2} \cdot S'_v \cdot T_G \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{2H}\right) \\
 &= \frac{2}{\pi^2} \times 0.9000 \times 0.531 \times \cos\left(\frac{\pi \times 0.000}{2 \times 23.000}\right) = 0.09683 \text{ (m)}
 \end{aligned}$$

マンホール底面位置における最大変位振幅

$$U_1 = \frac{2}{\pi^2} \times 0.9000 \times 0.531 \times \cos\left(\frac{\pi \times 2.500}{2 \times 23.000}\right) = 0.09542 \text{ (m)}$$

管きよ中心深度における最大変位振幅

$$U_p = \frac{2}{\pi^2} \times 0.9000 \times 0.531 \times \cos\left(\frac{\pi \times 1.606}{2 \times 23.000}\right) = 0.09625 \text{ (m)}$$

地震動により地盤に生じるひずみ

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} \cdot U_p = \frac{\pi}{116.63} \times 0.09625 = 0.002593$$

地震動による屈曲角

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta U}{h}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.09683-0.09542}{2.500}\right) \\ &= 0.0006 \text{ (rad)} = 0.032 \text{ (度)} \leq \theta_a = 5.0 \text{ (度)} \quad \dots\dots\dots (Ok) \end{aligned}$$

地震動による抜出し量

$$\begin{aligned} \delta &= \varepsilon_{gd} \cdot l = 0.002593 \times 6.000 \\ &= 0.0156 \text{ (m)} = 15.56 \text{ (mm)} > 10.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (NG) \end{aligned}$$

## 7.2 地盤の液状化に伴う永久ひずみによる抜出し量

地盤の永久ひずみによる本管のマンホールからの抜出し量は式(38)で求める。

$$\delta = \varepsilon_g \cdot l \quad \dots\dots\dots (38)$$

- ここで、 $\delta$ ： 地盤の永久ひずみによる本管の  
マンホールからの抜出し量 (m)
- $\varepsilon_g$ ： 地盤の永久ひずみ
- $l$ ： 管の有効長 6.000 (m)

レベル1地震動  $\varepsilon_g=1.20\%$

$$\delta = 0.0120 \times 6.000 = 0.0720 \text{ (m)} = 72.0 \text{ (mm)} > \delta_a=10.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (NG)$$

## 8 管きよ継手部の検討

### 8.1 地震動による継手の軸方向伸縮量

#### 8.1.1 計算式

本管継手部の地震動による軸方向伸縮量は式(39)～(46)で求める。

$$|u_j| = u_0 \cdot u_j \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$u_0 = \alpha_1 \cdot \frac{U_h}{\sqrt{\frac{2}{2}}} \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (40)$$

$$u_j = \frac{2\gamma_1 \cdot |\cosh \beta_1 - \cos \gamma_1|}{\beta_1 \cdot \sinh \beta_1} \quad \dots\dots\dots (41)$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + (\gamma_1 / \beta_1)^2} \quad \dots\dots\dots (42)$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_L \cdot A}} \cdot l \quad \dots\dots\dots (43)$$

$$\gamma_1 = \frac{2\pi \cdot l}{L'} \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 \quad \dots\dots\dots (45)$$

$$L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 116.6 = 164.9 \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots (46)$$

- ここで、 $|u_j|$ : 管軸方向継手伸縮量 (m)  
 $u_j$ : 継手変位係数  
 $u_0$ : 無限連続梁とした場合の管軸方向継手伸縮量 (m)  
 $L$ : 地盤振動の波長 116.6 (m)  
 $L'$ : 地盤振動の見かけの波長 (m)  
 $U_h$ : 管きよ敷設深度1.606(m)における地盤の最大変位振幅  
 式(5), (6)で求める (m)  
 $K_{g1}$ : 管軸方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $\gamma_t$ : 表層地盤の換算単位体積重量  $\gamma_t = \Sigma \gamma_{ti} H_i / \Sigma H_i$  (kN/m<sup>3</sup>)  
 $V_s$ : 管路位置での表層地盤のせん断弾性  
 波速度 134.13 (m/s)  
 $C_1$ : 管軸方向単位長さ当たりの地盤剛性係数に対する定数  $C_1=1.50$   
 $E_L$ : 管材のヤング係数(長期)  $160.00 \times 10^6$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $A$ : 管きよの断面積  
 $A = \pi / 4 \times (0.8128^2 - 0.7884^2) = 0.030685$  (m<sup>2</sup>)  
 $l$ : 継手間の長さ 6.000 (m)  
 $\eta$ : 地盤の不均一度係数(表5参照)  
 均一のため 1.0

表5 地盤の不均一度係数  $\eta$

不均一の程度	$\eta$	地盤条件
均一	1.0	洪積地盤、均一な沖積地盤
不均一	1.4	層厚の変化がやや激しい沖積地盤、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

(注) 洪積地盤であっても平坦でない地形の場合は、不均一な地盤と見なす。

表層地盤の換算単位体積重量

	層厚 $H_i$ (m)	単位体積重量 $\gamma_{si}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{si}H_i$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	2.500	15.00	37.50
2	7.500	17.50	131.25
3	3.000	19.00	57.00
4	3.000	19.00	57.00
5	7.000	20.00	140.00
	23.000		422.75

$$\gamma_t = \frac{422.75}{23.000} = 18.38 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

管軸方向および管軸直角方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 = 1.50 \times \frac{18.38}{9.8} \times 134.13^2 = 50616.10 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_L \cdot A}} \cdot l = \sqrt{\frac{50616.10}{160.00 \times 10^6 \times 0.030685}} \times 6.000 = 0.6092$$

$$\gamma_1 = \frac{2\pi \cdot l}{L'} = \frac{2 \times \pi \times 6.000}{164.9} = 0.2286$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + (\gamma_1 / \beta_1)^2} = \frac{1}{1 + (0.2286 / 0.6092)^2} = 0.8766$$

継手変位係数

$$u_j = \frac{2\gamma_1 \cdot |\cosh\beta_1 - \cos\gamma_1|}{\beta_1 \cdot \sinh\beta_1} \dots\dots\dots (41)$$

$$= \frac{2 \times 0.2286 \times |\cosh 0.6092 - \cos 0.2286|}{0.6092 \times \sinh 0.6092} = 0.252$$

### 8.1.2 レベル1地震動

管きょ敷設深度における最大変位振幅

無限連続梁とした場合の管軸方向継手伸縮量

$$u_0 = \alpha_1 \cdot \frac{U_h}{\sqrt{2}} \cdot \eta = 0.87662 \times \frac{0.012833}{\sqrt{2}} \times 1.0 = 0.0080 \text{ (m)}$$

管軸方向継手伸縮量

$$|u_j| = u_0 \cdot u_j = 0.00795 \times 0.252$$

$$= 0.00200 \text{ (m)} = 2.00 \text{ (mm)} \leq \delta_a = 10.0 \text{ (mm)} \dots\dots\dots (Ok)$$

継手の伸縮量合計

	拔出し量 (mm)
内圧による継手の伸縮量	0.00
自動車荷重による継手の伸縮量	0.44
温度変化による継手の伸縮量	1.04
不同沈下による継手の伸縮量	0.80
地震動による継手の伸縮量	2.00
合 計	4.28

$$\delta = 4.28 \text{ (mm)} \leq \delta_a = 10.0 \text{ (mm)} \dots\dots\dots (Ok)$$

### 8.1.3 レベル2地震動

管きょ敷設深度における最大変位振幅

無限連続梁とした場合の管軸方向継手伸縮量

$$u_0 = \alpha_1 \cdot \frac{U_h}{\sqrt{2}} \cdot \eta = 0.87662 \times \frac{0.096248}{\sqrt{2}} \times 1.0 = 0.0597 \text{ (m)}$$

管軸方向継手伸縮量

$$|u_j| = u_0 \cdot u_j = 0.05966 \times 0.252$$

$$= 0.01503 \text{ (m)} = 15.03 \text{ (mm)} > \delta_a = 10.0 \text{ (mm)} \dots\dots\dots (NG)$$

継手の伸縮量合計

	拔出し量 (mm)
内圧による継手の伸縮量	0.00
自動車荷重による継手の伸縮量	0.44
温度変化による継手の伸縮量	1.04
不同沈下による継手の伸縮量	0.80
地震動による継手の伸縮量	15.03
合 計	17.30

$$\delta = 17.30 \text{ (mm)} > \delta_a = 10.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots \text{(NG)}$$

## 8.2 地震動による継手の屈曲角

### 8.2.1 計算式

本管継手部の地震動による屈曲角は式(47)で求める。

$$\theta = \frac{4\pi^2 \cdot l \cdot U_h \cdot \eta}{L^2} \quad \dots\dots\dots \text{(47)}$$

- ここで、 $\theta$ ：地震動による継手の屈曲角 (rad)  
 $l$ ：継手間の長さ 6.000 (m)  
 $L$ ：地盤振動の波長 116.6 (m)  
 $U_h$ ：管きょ敷設深度1.606(m)における地盤の最大変位振幅 (m)  
 式(5), (6)で求める  
 $\eta$ ：地盤の不均一度係数(表5参照) 均一 のため 1.0

### 8.2.2 レベル1地震動

管きょ敷設深度における最大変位振幅

地震動による継手の屈曲角

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{4\pi^2 \cdot l \cdot U_h \cdot \eta}{L^2} \\ &= \frac{4 \times \pi^2 \times 6.000 \times 0.01283 \times 1.0}{116.6^2} \\ &= 0.000223 \text{ (rad)} = 0.013 \text{ (度)} \leq \theta_a = 5.0 \text{ (度)} \quad \dots\dots\dots \text{(Ok)} \end{aligned}$$

### 8.2.3 レベル2地震動

管きょ敷設深度における最大変位振幅

地震動による継手の屈曲角

$$\theta = \frac{4\pi^2 \cdot l \cdot U_h \cdot \eta}{L^2}$$

$$= \frac{4 \times \pi^2 \times 6.000 \times 0.09625 \times 1.0}{116.6^2}$$

$$= 0.001676(\text{rad}) = 0.096(\text{度}) \leq \theta_a = 5.0(\text{度}) \quad \dots\dots\dots (0k)$$

### 8.3 液状化に伴う地盤の沈下による屈曲角と抜出し量

#### 8.3.1 計算式

地盤の液状化に伴う地盤沈下による屈曲角は、マンホール間の沈下状況を図8.1のように2次曲線で近似し、式(48)で求める。また、液状化に伴う地盤沈下による抜出し量は式(49)で求める。

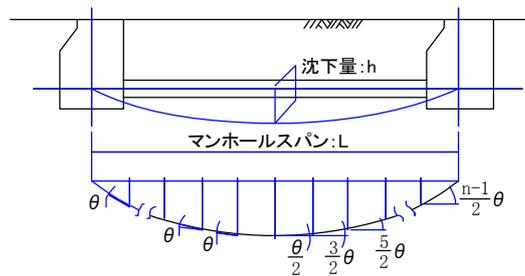


図8.1 地盤の沈下による屈曲角

$$\theta = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{4h}{L^2} \cdot l \right) \quad \dots\dots\dots (48)$$

$$\delta_{s \cdot \max} = \frac{1}{\cos \left( \frac{n-1}{2} \cdot \theta \right)} - 1 \quad \dots\dots\dots (49)$$

- ここで、 $\theta$ ：継ぎ手の屈曲角 (rad)  
 $\delta_{s \cdot \max}$ ：最大抜出し量 (m)  
 $h$ ：液状化に伴う地盤沈下量 (m)  
 液状化層の合計厚の5%とする。  
 $L$ ：マンホールスパン 20.000 (m)  
 $l$ ：管の有効長 6.000 (m)  
 $n$ ：マンホールスパンの管きよ本数 8 (本)

### 8.3.2 レベル1地震動

液状化層の合計厚 7.000(m)

液状化に伴う地盤沈下量  $h = 7.000 \times 0.05 = 0.350$ (m)

液状化に伴う地盤の沈下による屈曲角

$$\begin{aligned} \theta &= 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{4h}{L^2} \cdot l \right) = 2 \times \tan^{-1} \left( \frac{4 \times 0.350}{20.000^2} \times 6.000 \right) \\ &= 0.0420 \text{ (rad)} = 2.406 \text{ (度)} \leq \theta_a = 5.0 \text{ (度)} \quad \dots\dots\dots (Ok) \end{aligned}$$

液状化に伴う地盤の沈下による拔出し量

$$\begin{aligned} \delta_{s \cdot \max} &= \frac{l}{\cos \left( \frac{n-1}{2} \cdot \theta \right)} - l = \frac{6.000}{\cos \left( \frac{8-1}{2} \times 0.0420 \right)} - 6.000 \\ &= 0.0654 \text{ (m)} = 65.40 \text{ (mm)} > 10.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (NG) \end{aligned}$$

### 8.4 地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出し量

推進工法により敷設された管きよが地盤の硬軟急変化部を通過する場合、地盤の永久ひずみによる管きよ継手部の拔出し量は式(50)で求める。

$$\delta = \varepsilon_{gd2} \cdot l \quad \dots\dots\dots (50)$$

ここで、 $\delta$ ：硬軟境界部に生じるひずみによる

管きよ継手部の拔出し量 (m)

$\varepsilon_{gd2}$ ：硬軟境界部に生じるひずみ

$l$ ：管の有効長 6.000 (m)

レベル1地震動  $\varepsilon_{gd2} = 0.50$  (%)

$$\delta = 0.0050 \times 6.000 = 0.0300 \text{ (m)} = 30.0 \text{ (mm)} \leq \delta_a = 30.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (Ok)$$

レベル2地震動  $\varepsilon_g = 0.50$  (%)

$$\delta = 0.0050 \times 6.000 = 0.0300 \text{ (m)} = 30.0 \text{ (mm)} \leq \delta_a = 30.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (Ok)$$

## 9 管きよの管軸方向の検討

### 9.1 管きよの軸方向応力度

#### 9.1.1 計算式

管軸方向断面引張応力度は式(51)～(54)で照査する。

$$\sigma_x = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$\sigma_L = \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h}{L} \cdot E_L \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (52)$$

$$\sigma_L = \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot l}{2A} \quad \dots\dots\dots (53)$$

$$\sigma_B = \alpha_2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot D \cdot U_h}{L^2} \cdot E_L \cdot \eta \quad \dots\dots\dots (54)$$

- ここで、 $\sigma_x$ : 可とう継手から管軸方向に距離  $x$ (m) の位置における軸方向力と曲げ方向応力の合成応力 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\sigma_L$ : 管きよの軸方向応力 (kN/m<sup>2</sup>)  
 レベル1地震動のとき式(52)で求める  
 レベル2地震動のとき式(52), 式(53)で求めた値の大きいほうを用いる  
 $\sigma_B$ : 管きよの曲げ方向応力 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $U_h$ : 管きよ敷設深度における最大変位振幅。式(5), (6)で求める。 (m)  
 $z$ : 管きよ敷設深度 1.606 (m)  
 $L$ : 地盤振動の波長 116.6 (m)  
 $E_L$ : 管きよの弾性係数 (長期) 160.00×10<sup>6</sup> (kN/m<sup>2</sup>)  
 $D$ : 管の外径 0.813 (m)  
 $A$ : 管きよの断面積  
 $A = \pi / 4 \times (0.8128^2 - 0.7884^2) = 0.030685$  (m<sup>2</sup>)  
 $l$ : 管長 6.000 (m)  
 $\tau$ : 管きよと地盤の摩擦力 10.00 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $\gamma$ : 重畳係数  $\gamma=2.00$  (レベル1地震動)  
 $\gamma=1.00$  (レベル2地震動)  
 $\alpha_1$ : 管軸方向の地盤変位の伝達係数。式(55)で求める。  
 $\alpha_2$ : 管軸直角方向の地盤変位の伝達係数。式(55)で求める。  
 $\eta$ : 地盤の不均一度係数(表5参照) 均一 のため  
 $\xi_2$ : 管きよの可とう継手がある場合の応力補正係数。式(60)で求める。

### 9.1.2 地盤変位の伝達係数

管軸方向および管軸直角方向の地盤変位の伝達係数は式(55)～(58)で照査する。

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L'} \right)^2}, \quad \alpha_2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_2 \cdot L} \right)^4} \quad \dots\dots\dots (55)$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_L \cdot A}}, \quad \lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{E_L \cdot I}} \quad \dots\dots\dots (56)$$

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2, \quad K_{g2} = C_2 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 \quad \dots\dots\dots (57)$$

$$L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 116.6 = 164.9 \text{ (m)} \quad \dots\dots\dots (58)$$

- ここで、 $L'$ ：地盤振動の見かけの波長 (m)  
 $E_L$ ：管きよの弾性係数(長期)  $160.00 \times 10^6$  (kN/m<sup>2</sup>)  
 $A$ ：管きよの断面積  $A = \pi / 4 \times (0.8128^2 - 0.7884^2) = 0.03068$  (m<sup>2</sup>)  
 $I$ ：管きよの断面2次モーメント  
 $I = \pi / 64 \times (0.8128^4 - 0.7884^4) = 0.00246$  (m<sup>4</sup>)  
 $K_{g1}$ ：管軸方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数 (kN/m<sup>2</sup>)  
 $K_{g2}$ ：管軸直角方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数 (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_t$ ：表層地盤の換算単位体積重量  $\gamma_t = \Sigma \gamma_{ti} H_i / \Sigma H_i$  (kN/m<sup>3</sup>)

	層厚 $H_i$ (m)	単位体積重量 $\gamma_{ti}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{ti} H_i$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	2.500	15.00	37.50
2	7.500	17.50	131.25
3	3.000	19.00	57.00
4	3.000	19.00	57.00
5	7.000	20.00	140.00
	23.000		422.75

$$\gamma_t = \frac{422.75}{23.000} = 18.38 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

- $g$ ：重力の加速度  $9.8$  (N/s<sup>2</sup>)  
 $V_s$ ：管路位置での表層地盤のせん断弾性波速度  $134.13$  (m/s)  
 $C_1$ ：管軸方向単位長さ当たりの地盤剛性係数に対する定数  $C_1=1.50$   
 $C_2$ ：管軸直角方向単位長さ当たりの地盤剛性係数に対する定数  $C_2=3.00$

管軸方向および管軸直角方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 = 1.50 \times \frac{18.38}{9.8} \times 134.13^2 = 50616.1 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$K_{g2} = C_2 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 = 3.00 \times \frac{18.38}{9.8} \times 134.13^2 = 101232.2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{E_L \cdot A}} = \sqrt{\frac{50616.1}{160.00 \times 10^6 \times 0.03068}} = 0.1015$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{E_L \cdot I}} = \sqrt[4]{\frac{101232.2}{160.00 \times 10^6 \times 0.0025}} = 0.7122$$

管軸方向および管軸直角方向の地盤変位の伝達係数

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L'} \right)^2} = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{0.1015 \times 164.9} \right)^2} = 0.8766$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_2 \cdot L} \right)^4} = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{0.7122 \times 116.6} \right)^4} = 1.0000$$

### 9.1.3 管きよの応力補正係数

管きよの可とう継手がある場合の応力補正係数は式(59), (60)で求める。

$$\xi_1 = \frac{\sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2}}{\exp(\nu' \cdot \lambda_1 \cdot L') - \exp(-\nu' \cdot \lambda_1 \cdot L')} \dots\dots\dots (59)$$

$$\xi_2 = \sqrt{\phi_3^2 + \phi_4^2} \dots\dots\dots (60)$$

$$\nu = \frac{1}{L} = \frac{6.000}{116.6} = 0.0514 \quad , \quad \nu' = \frac{1}{L'} = \frac{6.000}{164.9} = 0.0364$$

$$\mu = \frac{x}{L} = \frac{3.000}{116.6} = 0.0257 \quad , \quad \mu' = \frac{x}{L'} = \frac{3.000}{164.9} = 0.0182$$

ここで、L: 管路の可とう継手間の長さ 6.000 (m)

x: 応力度算出位置。可とう継手間の中央とする。

$$6.000 / 2 = 3.000 \text{ (m)}$$

$\phi_1 \sim \phi_4$ : 式(61)～(64)で求める。

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \{ \exp(-\nu' \lambda_1 L') - \cos(2\pi \nu') \} \cdot \exp(\mu' \lambda_1 L') \\ &\quad - \{ \exp(\nu' \lambda_1 L') - \cos(2\pi \nu') \} \cdot \exp(-\mu' \lambda_1 L') \\ &\quad + 2 \sinh(\nu' \lambda_1 L') \cdot \cos(2\pi \mu') \end{aligned} \dots\dots\dots (61a)$$

$$\begin{aligned} &= \{ \exp(-0.0364 \times 0.1015 \times 164.9) - \cos(2\pi \times 0.0364) \} \\ &\quad \times \exp(0.0182 \times 0.1015 \times 164.9) \\ &\quad - \{ \exp(0.0364 \times 0.1015 \times 164.9) - \cos(2\pi \times 0.0364) \} \\ &\quad \times \exp(-0.0182 \times 0.1015 \times 164.9) \\ &\quad + 2 \times \sinh(0.0364 \times 0.1015 \times 164.9) \times \cos(2\pi \times 0.0182) \\ &= 0.0655 \end{aligned}$$

$$\phi_2 = 2 \sin(2\pi \nu') \cdot \sinh(\mu' \lambda_1 L') - 2 \sin(2\pi \mu') \cdot \sinh(\nu' \lambda_1 L') \dots\dots\dots (61b)$$

$$\begin{aligned} &= 2 \sin(2\pi \times 0.0364) \times \sinh(0.0182 \times 0.1015 \times 164.9) \\ &\quad - 2 \sin(2\pi \times 0.0182) \cdot \sinh(0.0364 \times 0.1015 \times 164.9) \\ &= -0.0075 \end{aligned}$$

$$\phi_3 = f_3 \cdot e_3 - f_1 \cdot e_2 - f_4 \cdot e_1 - \sin(2\pi \mu) \dots\dots\dots (61c)$$

$$\begin{aligned} &= -0.028 \times 1.29153 \times 10^{-1} + 0.135 \times 2.37133 \\ &\quad - 0.111 \times 2.15100 - \sin(2\pi \times 0.0257) \\ &= -0.0831 \end{aligned}$$

$$\phi_4 = e_4 + f_2 \cdot e_3 - f_2 \cdot e_2 - f_5 \cdot e_1 - \cos(2\pi \mu) \dots\dots\dots (61d)$$

$$\begin{aligned} &= 1.42383 \times 10^{-1} - 1.084 \times 1.29153 \times 10^{-1} + 1.084 \times 2.37133 \\ &\quad - 0.974 \times 2.15100 - \cos(2\pi \times 0.0257) \\ &= -0.5096 \end{aligned}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{4E_L \cdot I}} = \sqrt[4]{\frac{101232.2}{4 \times 160.00 \times 10^6 \times 0.00246}} \dots\dots\dots (61d)$$

$$= 0.5036 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

$$e_1 = \sin(\mu \beta L) \cdot \sinh(\mu \beta L) \dots\dots\dots (62a)$$

$$\begin{aligned} &= \sin(0.0257 \times 0.5036 \times 116.6) \times \sinh(0.0257 \times 0.5036 \times 116.6) \\ &= \sin(1.5108) \times \sinh(1.5108) = 2.15100 \end{aligned}$$

$$e_2 = \sin(\mu \beta L) \cdot \cosh(\mu \beta L) \dots\dots\dots (62b)$$

$$= \sin(1.5108) \times \cosh(1.5108) = 2.37133$$

$$e_3 = \cos(\mu \beta L) \cdot \sinh(\mu \beta L) \dots\dots\dots (62c)$$

$$= \cos(1.5108) \times \sinh(1.5108) = 1.29153 \times 10^{-1}$$

$$e_4 = \cos(\mu \beta L) \cdot \cosh(\mu \beta L) \dots\dots\dots (62d)$$

$$= \cos(1.5108) \times \cosh(1.5108) = 1.42383 \times 10^{-1}$$

$$C_1 = \sin(\nu \beta L) \cdot \sinh(\nu \beta L) \dots\dots\dots (63a)$$

$$= \sin(0.0514 \times 0.5036 \times 116.6) \times \sinh(0.0514 \times 0.5036 \times 116.6)$$

$$= \sin(3.0216) \times \sinh(3.0216) = 1.22506$$

$$C_2 = \sin(\nu \beta L) \cdot \cosh(\nu \beta L) \dots\dots\dots (63b)$$

$$= \sin(3.0216) \times \cosh(3.0216) = 1.23089$$

$$C_3 = \cos(\nu \beta L) \cdot \sinh(\nu \beta L) \dots\dots\dots (63c)$$

$$= \cos(3.0216) \times \sinh(3.0216) = -1.01646 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = \cos(\nu \beta L) \cdot \cosh(\nu \beta L) \dots\dots\dots (63d)$$

$$= \cos(3.0216) \times \cosh(3.0216) = -1.02130 \times 10^{-1}$$

$$f_1 = \frac{1}{\Delta} \cdot [ \{ C_1 (C_4 - C_1) - C_3 (C_3 + C_2) - C_1 \cos(2\pi \nu) \} \cdot \frac{2\pi}{\beta L}$$

$$+ (C_3 + C_2) \cdot \sin(2\pi \nu) ] \dots\dots\dots (64a)$$

$$= \frac{1}{1.04806 \times 10^2} \times [ \{ 1.22506 \times (-1.02130 \times 10^{-1} - 1.22506)$$

$$+ 1.01646 \times 10^{-1} \times (-1.01646 \times 10^{-1} + 1.23089)$$

$$- 1.22506 \times \cos(2\pi \times 0.0514) \} \times \frac{2\pi}{0.5036 \times 116.6}$$

$$+ (-1.01646 \times 10^{-1} + 1.23089) \times \sin(2\pi \times 0.0514) ]$$

$$= -0.1352$$

$$f_2 = \frac{1}{\Delta} \cdot [ C_1 \cdot (C_3 - C_2) - C_4 \cdot (C_3 + C_2) + (C_3 + C_2) \cdot \cos(2\pi \nu)$$

$$+ C_1 \cdot \frac{2\pi}{\beta L} \cdot \sin(2\pi \nu) ] \dots\dots\dots (64b)$$

$$= \frac{1}{1.04806 \times 10^2} \times [ 1.22506 \times (-1.01646 \times 10^{-1} - 1.23089)$$

$$+ 1.02130 \times 10^{-1} \times (-1.01646 \times 10^{-1} + 1.23089)$$

$$+ (-1.01646 \times 10^{-1} + 1.23089) \times \cos(2\pi \times 0.0514)$$

$$+ 1.22506 \times \frac{2\pi}{0.5036 \times 116.6} \times \sin(2\pi \times 0.0514) ]$$

$$= -1.0842$$

$$f_3 = \frac{1}{\Delta} \cdot [ \{C_1 \cdot (C_4 + C_1) - C_2 \cdot (C_3 + C_2) - C_1 \cdot \cos(2\pi \nu)\} \cdot \frac{2\pi}{\beta L} + (C_3 + C_2) \cdot \sin(2\pi \nu) ] \dots\dots\dots (64c)$$

$$= \frac{1}{1.04806 \times 10^2} \times [1.22506 \times (-1.02130 \times 10^1 + 1.22506) - 1.23089 \times (-1.01646 \times 10^1 + 1.23089) - 1.22506 \times \cos(2\pi \times 0.0514)] \times \frac{2\pi}{0.5036 \times 116.6} + (-1.01646 \times 10^1 + 1.23089) \times \sin(2\pi \times 0.0514)]$$

$$= -0.0283$$

$$f_4 = \frac{1}{\Delta} \cdot [ \{C_3 \cdot (C_4 + C_1) - C_2 \cdot (C_4 - C_1) + (C_2 - C_3) \cdot \cos(2\pi \nu)\} \cdot \frac{2\pi}{\beta L} - 2C_1 \cdot \sin(2\pi \nu) ] \dots\dots\dots (64d)$$

$$= \frac{1}{1.04806 \times 10^2} \times [-1.01646 \times 10^1 \times (-1.02130 \times 10^1 + 1.22506) - 1.23089 \times (-1.02130 \times 10^1 - 1.22506) + (1.23089 + 1.01646 \times 10^1) \times \cos(2\pi \times 0.0514)] \times \frac{2\pi}{0.5036 \times 116.6} - 2 \times 1.22506 \times \sin(2\pi \times 0.0514)]$$

$$= 0.1112$$

$$f_5 = \frac{1}{\Delta} \cdot [ (C_3 - C_2)^2 + 2C_1 \cdot C_4 - 2C_1 \cdot \cos(2\pi \nu) - (C_2 - C_3) \cdot \frac{2\pi}{\beta L} \cdot \sin(2\pi \nu) ] \dots\dots\dots (64e)$$

$$= \frac{1}{1.04806 \times 10^2} \times [ (-1.01646 \times 10^1 - 1.23089)^2 + 2 \times 1.22506 \times (-1.02130 \times 10^1) - 2 \times 1.22506 \times \cos(2\pi \times 0.0514) - (1.23089 + 1.01646 \times 10^1) \times \frac{2\pi}{0.5036 \times 116.6} \times \sin(2\pi \times 0.0514) ]$$

$$= 0.9744$$

$$\begin{aligned}
\Delta &= (C_3 + C_2) \cdot (C_3 - C_2) + 2C_1^2 && \dots\dots\dots (64f) \\
&= (-1.01646 \times 10^{-1} + 1.23089) \times (-1.01646 \times 10^{-1} - 1.23089) \\
&\quad + 2 \times (1.22506)^2 \\
&= 1.04806 \times 10^{-2}
\end{aligned}$$

管きよの可とう継手がある場合の応力補正係数

$$\begin{aligned}
\xi_1 &= \frac{\sqrt{\phi_1^2 + \phi_2^2}}{\exp(\nu' \cdot \lambda_1 \cdot L') - \exp(-\nu' \cdot \lambda_1 \cdot L')} \\
&= \frac{\sqrt{(0.0655)^2 + (-0.0075)^2}}{\exp(0.0364 \times 0.1015 \times 164.9) - \exp(-0.0364 \times 0.1015 \times 164.9)} \\
&= 0.0509
\end{aligned}$$

$$\xi_2 = \sqrt{\phi_3^2 + \phi_4^2} = \sqrt{(-0.0831)^2 + (-0.5096)^2} = 0.5163$$

#### 9.1.4 レベル1地震動

管きよ中心深度における最大変位振幅

管きよの軸方向応力

$$\begin{aligned}
\sigma_L &= \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h(z)}{L} \cdot E_L \cdot \eta \\
&= 0.877 \times 0.0509 \times \frac{\pi \times 0.01283}{116.6} \times 160.00 \times 10^6 \times 1.0 \\
&= 2467.6 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 2.47 \text{ (N/mm}^2\text{)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_L &= \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot l}{2A} \\
&= 0.0509 \times \frac{\pi \times 0.8128 \times 10.00 \times 6.000}{2 \times 0.030685} \\
&= 127.1 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 0.13 \text{ (N/mm}^2\text{)}
\end{aligned}$$

よって、 $\sigma_L = 2.47 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

管きよの曲げ方向応力

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \alpha_2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot D \cdot U_h(z)}{L^2} \cdot E_L \cdot \eta \\ &= 1.000 \times 0.5163 \times \frac{2\pi^2 \times 0.8128 \times 0.01283}{116.6^2} \times 160.00 \times 10^6 \times 1.0 \\ &= 1250.3 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 1.25 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

軸方向力と曲げ方向応力の合成応力

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} = \sqrt{2.00 \times 2.47^2 + 1.25^2} \\ &= 3.71 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_a = 283.50 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (Ok)\end{aligned}$$

合計応力

	軸方向応力 (N/mm <sup>2</sup> )
内圧による軸方向応力	0.00
自動車荷重による軸方向応力	11.77
地震動による軸方向応力	3.71
合計	15.48

### 9.1.5 レベル2地震動

管きよ中心深度における最大変位振幅

管きよの軸方向応力

$$\begin{aligned}\sigma_L &= \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h(z)}{L} \cdot E_L \cdot \eta \\ &= 0.877 \times 0.0509 \times \frac{\pi \times 0.09625}{116.6} \times 160.00 \times 10^6 \times 1.0 \\ &= 18507.0 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 18.51 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

管きよの曲げ方向応力

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \alpha_2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot D \cdot U_h(z)}{L^2} \cdot E_L \cdot \eta \\ &= 1.000 \times 0.5163 \times \frac{2\pi^2 \times 0.8128 \times 0.09625}{116.6^2} \times 160.00 \times 10^6 \times 1.0 \\ &= 9377.6 \text{ (kN/m}^2\text{)} = 9.38 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

軸方向力と曲げ方向応力の合成応力

$$\sigma_x = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} = \sqrt{1.00 \times 18.51^2 + 9.38^2}$$

$$= 20.75 \text{ (N/mm}^2\text{)} \leq \sigma_a = 283.50 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (Ok)$$

合計応力

	軸方向応力 (N/mm <sup>2</sup> )
内圧による軸方向応力	0.00
自動車荷重による軸方向応力	11.77
地震動による軸方向応力	20.75
合計	32.52

## 10 地盤の液状化に伴う浮上がりに対する検討

### 10.1 計算式

浮上がりに対する安全率は式(65), (66)で求める。

$$F_s = \frac{W_B + Q_s}{V_0 \cdot \gamma_s} \quad \dots\dots\dots (65)$$

$$Q_s = 2 \sum (t_i \cdot \tau_{si})$$

$$= 2 \sum \{t_i \cdot (K_0 \cdot \sigma'_{vi} \cdot \tan \phi_{si} + C_{si})\} \quad \dots\dots\dots (66)$$

ここで、 $F_s$ : 浮上がりに対する安全率

$W_B$ : 管の自重

$$W_B = \pi/4 \times [0.813^2 - (0.813 - 2 \times 0.012)^2] \times 70,000 = 2.148 \quad (\text{kN/m})$$

$Q_s$ : 非液状化層のせん断抵抗力  $(\text{kN/m})$

$t_i$ : 管より上にある*i*番目の非液状化層の層厚  $(\text{m})$

$\tau_{si}$ : 管より上にある*i*番目の非液状化層のせん断抵抗力  $(\text{kN/m})$

$K_0$ : 静止土圧係数  $K_0 = 0.5$

$\sigma'_{vi}$ : 浮上がり検討における各層中央での有効上載圧  $(\text{kN/m}^2)$

$\phi_{si}$ : 非液状化層の内部摩擦角  $(\text{度})$

$C_{si}$ : 非液状化層の粘着力  $(\text{kN/m}^2)$

$V_0$ : 管の単位長さ当たり体積

$$V_0 = \pi/4 \times 0.813^2 = 0.519 \quad (\text{m}^3/\text{m})$$

$\gamma_s$ : 管周辺の土砂の飽和体積重量  $18.00 \text{ (kN/m}^3\text{)}$

### 10.2 レベル1地震動

#### 10.2.1 有効上載圧

	地表面からの深さ (m)	有効上載圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	
1	0.600	$5.00 \times 0.600$	3.00

### 10.2.2 非液状化層のせん断抵抗力

	$t_i$ (m)	$\phi_i$ (度)	$C_i$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma_{vi}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$F_L$	$t_i K_0 \sigma_{vi} \tan \phi_i$ (kN/m)	$t_i C_i$ (kN/m)
1	1.200	5.00	10.00	3.00	86.115	0.16	12.00
合計						0.16	12.00

$$Q_s = 2 \sum \{ t_i \cdot (K_0 \cdot \sigma'_{vi} \cdot \tan \phi_{si} + C_{si}) \}$$

$$= 2 \times (0.16 + 12.00) = 24.31 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

### 10.2.3 浮上がりに対する安全率

$$F_s = \frac{W_B + Q_s}{V_0 \cdot \gamma_s} = \frac{2.15 + 24.31}{0.519 \times 18.00} = 2.83 \geq F_a = 1.00 \quad \dots\dots\dots (Ok)$$

# 目 次

1	表題 .....	2
2	設計条件 .....	2
	2.1 適用基準と重要度.....	2
	2.2 表層地盤の特性値.....	2
	2.3 水平震度.....	3
3	使用管種 .....	3
4	検討項目の選択 .....	3
	4.1 常 時.....	3
	4.2 地震時.....	4
5	管路の諸値 .....	4
	5.1 マンホールと管きよの接合部, 管きよと管きよの接合部共通.....	4
	5.2 マンホールと管きよの接合部.....	4
	5.3 管きよと管きよの接合部.....	5
	5.4 管きよの管軸方向の応力度.....	5
	5.5 地盤の液状化に伴う浮上がりの検討.....	5
	5.6 常時荷重による継手の伸縮量.....	5
	5.6.1 内圧による継手の伸縮量.....	5
	5.6.2 自動車荷重による継手の伸縮量.....	5
	5.6.3 温度変化による継手の伸縮量.....	5
	5.6.4 不同沈下による継手の伸縮量.....	5

# 1 表題

パイプライン 継手構造管きよ

## 2 設計条件

### 2.1 適用基準と重要度

適用基準 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」令和3年版

重要度区分 A種

設計範囲 常時の検討 する  
レベル1地震動の検討 する  
レベル2地震動の検討 する

### 2.2 表層地盤の特性値

	層厚 (m)	土質	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (度)	N値	F <sub>c</sub> (%)	D <sub>50</sub> (mm)
1	2.500	洪積層 砂質土	15.00	5.00	10.0	5.0	15.0	40.0	0.080
2	7.500	洪積層 砂質土	17.50	7.50	4.0	20.5	18.0	40.0	0.080
3	3.000	洪積層 砂質土	19.00	9.00	10.0	24.5	11.0	30.0	0.150
4	3.000	洪積層 砂質土	19.00	9.00	30.0	10.0	17.0	30.0	0.150
5	7.000	洪積層 砂質土	20.00	10.00	6.0	30.0	15.0	0.0	0.350
$\Sigma$	23.000								

地下水位 G.L. -1.000 (m)

表層地盤の平均せん断弾性波速度  $V_{BS}$  173.28 (m/s)

基盤のせん断弾性波速度  $V_{BS}$  300.00 (m/s)

基盤地震動の速度応答スペクトル  $S'_v$  0.900 (m/s)

速度応答スペクトルの最大値  $S'_{vmax}$  0.950 (m/s)

## 2.3 水平震度

位置 鳥取県 鳥取市

地域別補正係数  $C_z$  1.00

液状化の判定に用いる地盤面における設計水平震度標準値

レベル1地震動  $k_{\text{reqLO}} = 0.15$

レベル2地震動  $k_{\text{reqLO}} = 0.70$

基盤盤面における設計水平震度標準値

レベル1地震動  $k'_{\text{h01}} = 0.15$

## 3 使用管種

ダクタイル鋳鉄管  $\phi 800$  (D1, P I 形)

管厚 13.5 (mm)

外径 812.8 (mm) , 内径 785.8 (mm)

モルタルライニング なし

管体の単重 70.0 (kN/m<sup>3</sup>)

モルタルの単重 21.0 (kN/m<sup>3</sup>)

管体のヤング係数  $160.0 \times 10^6$  (kN/m<sup>2</sup>)

管体のポアソン比 0.280

管体の許容応力度 189.00 (N/mm<sup>2</sup>)

管きよの継手構造 差し込み継手管きよ  
可とう継手あり

管きよの有効長 6.000 (m)

管きよの土被り 1.200 (m)

管路位置での表層地盤のせん断弾性波速度 134.13 (m/s)

## 4 検討項目の選択

### 4.1 常時

	単位	検討項目	許容値
内圧による継手伸縮量	(mm)	○	10.0
自動車荷重による継手伸縮量	(mm)	○	10.0
温度変化による継手伸縮量	(mm)	○	10.0
不同沈下による継手伸縮量	(mm)	○	10.0

## 4.2 地震時

	単位	検討項目		許容値	
		レベル1	レベル2	レベル1	レベル2
地盤の液状化の判定		○	○	---	---
マンホールと管きよの接合部					
地震動による屈曲角	(度)	○	○	5.0	5.0
地震動による拔出量	(mm)			10.0	10.0
地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出し量	(mm)	○		10.0	---
地盤の傾斜に伴う永久ひずみによる拔出し量	(mm)			---	---
地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出し量	(mm)			---	---
管きよと管きよの接合部					
地震時における継手の屈曲角	(度)	○	○	5.0	5.0
地震時における継手の伸縮量	(mm)			10.0	10.0
地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出し量	(mm)			---	---
地盤の液状化に伴う地盤の沈下による屈曲角	(度)	○		5.0	---
地盤の液状化に伴う地盤の沈下による拔出し量	(mm)			10.0	---
地盤の傾斜に伴う永久ひずみによる拔出し量	(mm)			---	---
地盤の硬軟急変化部通過の影響による拔出し量	(mm)	○	○	30.0	30.0
浅層不整形地盤の影響による拔出し量	(mm)			---	---
管きよの管軸方向のひずみ	(%)			---	---
管きよの管軸方向の応力度	(N/mm <sup>2</sup> )	○	○	283.50	283.50
地盤の液状化に伴う浮上りの検討(安全率)		○		1.0	---

## 5 管路の諸値

### 5.1 マンホールと管きよの接合部, 管きよと管きよの接合部共通

マンホール底面の深度 2.500 (m)

地盤の傾斜に伴う永久ひずみ (%)

レベル1地震時 ---- , レベル2地震時 ----

地盤の硬軟急変化部通過の影響による永久ひずみ (%)

レベル1地震時 0.50 , レベル2地震時 0.50

### 5.2 マンホールと管きよの接合部

管きよの位置 内陸部の液状化地盤 (護岸より100m以上)

地盤の液状化に伴う永久ひずみ (%)

レベル1地震時 ---- , レベル2地震時 ----

### 5.3 管きよと管きよの接合部

地盤の液状化に伴う永久ひずみ (%)

レベル1地震時 ---- , レベル2地震時 ----

マンホールスパン 20.000 (m)

マンホールスパンの管きよ本数 8 (本)

地盤の不均一の程度 均一

### 5.4 管きよの管軸方向の応力度

重畳係数 レベル1地震時 2.00

レベル2地震時 1.00

管路の可とう継手間の長さ 6.000 (m)

管きよと地盤の摩擦力 10.00 (kN/m<sup>2</sup>)

管体の降伏ひずみ ---- (%)

地盤の剛性係数に対する係数 C1 1.50

C2 3.00

### 5.5 地盤の液状化に伴う浮上がりの検討

管周辺の土砂の飽和体積重量 18.00 (kN/m<sup>3</sup>)

### 5.6 常時荷重による継手の伸縮量

#### 5.6.1 内圧による継手の伸縮量

静水圧 0.250 (kN/m<sup>2</sup>)

水撃圧 0.250 (kN/m<sup>2</sup>)

#### 5.6.2 自動車荷重による継手の伸縮量

自動車荷重 : T-25

鉛直方向地盤反力係数 7000.00 (kN/m<sup>2</sup>)

舗装 : コンクリートまたはアスファルト舗装道路

#### 5.6.3 温度変化による継手の伸縮量

線膨張係数  $1.150 \times 10^{-5}$

温度変化 15 (°C)

#### 5.6.4 不同沈下による継手の伸縮量

軟弱地盤区間 50.000 (m)

軟弱地盤区間中央における沈下量 0.200 (m)