

---

# 下水道用リブ付硬質塩化ビニル管の 耐震対策について

---

塩化ビニル管・継手協会

# 目 次

---

|   |    |
|---|----|
| 1. リブパイプ管路の耐震対策の考え方 .....                             | 1  |
| 1.1 「下水道施設の耐震対策指針と解説」((公社)日本下水道協会)での管路の耐震対策の考え方 ..... | 1  |
| 1.2 被害調査結果から見た管路の耐震対策の考え方 .....                       | 2  |
| 1.3 リブパイプの耐震設計の考え方 .....                              | 3  |
| 2. 耐震設計 .....   | 4  |
| 2.1 耐震設計計算の考え方 .....                                  | 4  |
| 2.2 設計地震動の計算式 .....                                   | 4  |
| 2.3 管体部の応力計算式 .....                                   | 5  |
| 2.4 管きよ継手部の計算式 .....                                  | 7  |
| 2.5 計算結果とリブパイプ管路の安全性 .....                            | 10 |
| 3. 耐震対策案(耐震設計例) .....                                 | 12 |
| 4. Q & A .....  | 13 |
| Q1. リブパイプの特長は? .....                                  | 13 |
| Q2. リブ構造の特性は? .....                                   | 14 |
| Q3. リブパイプに適用可能な基礎材は? .....                            | 15 |
| Q4. e寸法の根拠は? .....                                    | 16 |
| Q5. リブパイプのゴム輪接合部の突っ込み時の安全性は? .....                    | 17 |
| Q6. 耐震対策指針の基本的な考え方とは? .....                           | 18 |
| Q7. 応答変位法とはどういう考え方ですか? .....                          | 19 |
| Q8. 液状化対策工法は? .....                                   | 21 |

# 1. リブパイプ管路の耐震対策の考え方

## 1.1 「下水道施設の耐震対策指針と解説」((公社)日本下水道協会)での管路の耐震対策の考え方

阪神・淡路大震災以後、(公社)日本下水道協会では「下水道施設地震対策指針と解説－1981年版－」の改定作業を進め、この度「下水道施設の耐震対策指針と解説－1997年版－」を発行しました。

その中で述べられている管路の耐震対策の考え方の主な点は、次の通りです。

### (1) 地震動レベル

地震動を「レベル1<sup>\*1</sup>」と「レベル2<sup>\*2</sup>」に分け、かつ管路施設を「重要な幹線等」と「その他の管路」に区別します。また、「重要な幹線等」は既設、新設ともにレベル1地震動に対して「設計流下能力の確保<sup>\*3</sup>」ならびにレベル2地震動に対して「流下機能の確保<sup>\*4</sup>」とし、「その他の管路」は新設を対象にレベル1地震動に対してのみ「設計流下能力の確保」としています。

### (2) 管路の耐震対策

管路の耐震対策は、できるだけ柔軟な構造で外力を分散させる構造とすることとしています。例えば

- 1) 地震動による引張り、圧縮、曲げ、せん断等が生じる部位それぞれに対応した構造とする。
- 2) 沈下、浮上等を受ける場合は、地盤改良等の対策や屈曲可能な柔軟な構造とする。

のような対策を提唱しています。

また、具体的対策法をレベル1地震動とレベル2地震動に分けて記述していますがその要点は次の通りです。

- 1) 液状化の恐れのある地盤の埋戻し材  
液状化の恐れのない埋戻し材(改良土または砕石等)を用います。
- 2) マンホールと管きよの接続部等の対策  
可とう性継手を用いる等により耐震性の向上を図ります。また、取付け管のますや本管への接続箇所においても、可とう性継手等の採用を検討します。
- 3) 管きよ接合部の対策(レベル2の対策)  
抜け出しと円周方向クラックを防止するために、差し込み長さを長くするとともに曲げが可能な水密構造の継手とします。
- 4) 地盤特性が急変する場所の対策(レベル2の対策)  
地盤改良や可とう性継手等の採用により耐震性の向上を図ります。

### (3) 管路の耐震計算

管路の耐震計算には原則として応答変位法を用い、設計地震外力はレベル1地震動、レベル2地震動それぞれに対応する値を用いて計算します。また、本管継手部の管軸方向ズレは主として地震の永久ひずみに対する対策を耐震設計として考えます。この場合、レベル2地震動に対応した地盤の永久ひずみは、兵庫県南部地震の観測結果より設定したひずみ量を用います。

#### 注) 用語の説明

「下水道施設の耐震対策指針と解説」の用語の定義は、下記の通りです。

- ※1「レベル1地震動」とは、施設の供用期間内に1～2度発生する確率を有する地震動をいいます。
- ※2「レベル2地震動」とは、施設の供用期間内に発生する確率は低いが大きな強度を有する地震動をいいます。
- ※3「設計流下能力の確保」とは、流量計算書に記載された当該管きよの流下能力の確保をいい、具体的には、当該管きよの拔出しを防ぐとともに、管きよ断面に発生する応力が許容応力以内の状態を示します。
- ※4「流下機能の確保」とは、地震によって本管部のクラックや沈下等の被害が生じ、設計流下能力の確保が困難となっても、補修や布設替え等の対策を講じるまでの間は、管路として下水を上流から下流に流せる状態をいい、具体的には土砂の流入を防ぐとともに、管きよ断面がひび割れを起こしているが破壊しない状態を指します。

## 1.2 被害調査結果から見た管路の耐震対策の考え方

硬質塩化ビニル管の被害調査結果から見た管路の耐震対策の考え方は次の通りです。

- (1) 震度が同じでも、地形、地質、埋設深等の地盤条件により被害度や被害形態が大きく異なるので、耐震設計に当たっては埋設場所の地盤条件に最も適合する設計法を選択することが望ましい。
- (2) 軟弱地盤や液状化地盤では、管のたるみや蛇行を防止するために地盤改良及びマンホール・ますを含めた基礎の選定が最も重要です。
- (3) マンホール周辺では、マンホールと管の接続部の可とう性の確保、基礎地盤の強化等が必要です。なお、マンホール継手は可とう性だけでなく、できればマンホールと管の移動の相対差によるせん断的な動きにも対応できるものが望ましい。
- (4) 塩ビ管の直管部の接合形式は、ゴム輪接合、接着接合いずれでも良いと考えられますが、地震により発生する地盤ひずみが大いだと予想される場所では、管の抜けやマンホール内への管の突き出しが生じないような考慮が必要です。
- (5) 本管と支管の接合部の耐震対策の強化が必要です。
- (6) 取り付け管路では、接合部での伸縮継手の採用による伸縮移動の吸収や可とう性の確保のほか、基礎工法の選定による管路の移動防止等の対策が必要です。

---

### 1.3 リブパイプの耐震設計の考え方

- (1) 1.1 および 1.2 からリブパイプ管路の耐震設計は、配管システムについてだけでなく管路の基礎構造についても行うことが重要です。
- (2) 耐震配管の設計は、
  - 1) レベル 1 地震動とレベル 2 地震動に分け、それぞれ埋設地盤の種類別に前提条件として地震により発生する地盤の弾性ひずみを計算するための諸数値、および液状化地盤、傾斜地盤等での永久ひずみ等を設定し行います。
  - 2) 地盤の弾性ひずみによって生ずる管体部の応力や継手部の屈曲角・抜け出し量については、応答変位法によって計算します。管体部の応力については、地盤の弾性ひずみを管とのすべりを生じることなく管体で吸収するという考えで計算します。また、継手部の屈曲角や抜け出し量は、管体が剛体でかつ地盤との間ですべりが生じすべて継手部で吸収するという考えで計算します。
  - 3) 地盤の永久ひずみや地盤沈下によって生ずる継手部の屈曲角・抜け出し量の計算は、レベル 2 地震動の場合についてのみ行います。
- (3) 耐震基礎構造の設計は、
  - 1) 耐震配管設計の計算をもとに、地震動レベルと埋設地盤の種類に分けて行います。
  - 2) リブパイプはとう性管であり、かつ主として比較的口径が小さい本管に使用されているため、レベル 2 地震動での液状化地盤、傾斜地盤、地盤急変部等では特に耐震対策が重要であり、「下水道施設の耐震対策指針と解説」に述べられている管路の耐震性向上の具体的対策法を参考に行います。
  - 3) 耐震基礎構造の設計においては、塩ビ管は過去の地震被害調査結果から、レベル 1 地震動相当の地震でも砂基礎では、液状化により相当な被害を生じています。そこで液状化地盤についてはレベル 1 地震動でさえも基礎構造について検討が必要です。しかし、リブパイプの基礎は、塩ビ管では唯一碎石基礎が可能で液状化による管路浮上防止工法としては有効です。

## 2. 耐震設計

### 2.1 耐震設計計算の考え方

リブパイプの耐震設計は、(公社)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年版)」(以下「下水道耐震指針」と言う。)に準拠して行います。設計のポイントは以下に示したとおりです。

- (1) レベル1地震動とレベル2地震動に分け、それぞれ埋設地盤の種類別に前提条件として地震により発生する地盤の弾性ひずみを計算するための諸数値及び液状化地盤、傾斜地盤等での永久ひずみ等を設定し行います。
- (2) 地盤の弾性ひずみによって生ずる管体部の応力や継手部の屈曲角・抜け出し量については応答変位法によって計算します。
- (3) 地盤の永久ひずみや地盤沈下によって生ずる継手部の屈曲角・抜け出し量の計算はレベル2地震動の場合についてのみ行います。

### 2.2 設計地震動の計算式

- (1) 地表面から管軸深さZにおける地盤水平方向の変位振幅

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_V \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi \cdot Z}{2H}$$

ここに、

$U_h$ : 水平方向変位振幅 (m)

$H$ : 表層地盤の厚さ (m)

$S_V$ : 設計応答速度 (m/s)

$T_s$ : 表層地盤の固有周期 (s)

$$T_s = \alpha_D \cdot T_G$$

$T_G$ : 表層地盤の特性値 (s)

$$T_G = \sum_{i=1}^n \frac{4H_i}{V_i}$$

$\alpha_D$ : 地震時におけるせん断ひずみの大きさを考慮した係数  
(レベル1:  $\alpha_D=1.25$  レベル2:  $\alpha_D=2.00$ )

$H_i$ : i層の地盤厚さ (m)

$V_i$ : i層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

砂質土層の場合

$$V_i = 80N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$$

粘性土層の場合

$$V_i = 100N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25)$$

その他

$$V_i = 50 \text{ (m/s)} \quad (N = 0)$$

- (2) 地震動の波長

$$L = \frac{2L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

$$L_1 = V_{SD} \cdot T_s = 4H$$

$$L_2 = V_{SDB} \cdot T_s$$

ここに、

$L_1$ : 表層地盤のせん断振動により地盤変位が最大となる時の波長 (m)

$L_2$ : 表層地盤の固有周期に相当する時間に基盤内に伝播するせん断波動の進む距離 (m)

$L$ : 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)

$V_{SDB}$ : 基盤の動的せん断弾性波速度 (=300) (m/s)

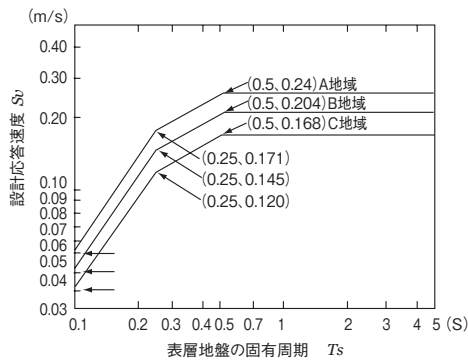


図 2-1 レベル 1 地震動の速度応答スペクトル

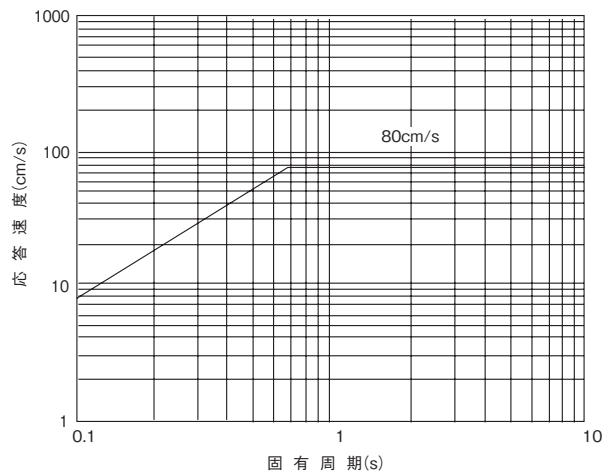


図 2-2 レベル 2 地震動の速度応答スペクトル

レベル 1 とレベル 2 地震動のそれぞれに用いる設計応答速度は、図 2-1、図 2-2 のそれぞれの速度スペクトルより求めます。ただし、レベル 1 地震動の速度応答スペクトルにある A、B、C 地域は建設省告示第 1621 号 (昭和 53 年 10 月 20 日) の地域区分に従っており、地域区分 A、B、C に対する補正係数は、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」((公社) 日本道路協会発行) に従って 1.0、0.85、0.7 とします。

### 2.3 管体部の応力計算式

(公社) 日本水道協会発行の「水道施設耐震工法指針・解説 (2009 年度版)」(以下「水道耐震指針」) の 3.2.4 応答変位法による継手変位法による継手構造管路の耐震計算法により計算を行います。)

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

$$\sigma_L = \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h}{L} \cdot E$$

$$\sigma_B = \alpha_2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot D \cdot U_h}{L^2} \cdot E$$

ここに、

- $\sigma_x$  : 管きよの軸方向応力と曲げ応力の合成応力 (MPa)
- $\sigma_L, \sigma_B$  : 管きよの軸方向応力, 曲げ応力 (MPa)
- $\alpha_1, \alpha_2$  : 管きよの管軸方向, 管軸直交方向の地盤変位の伝達係数
- $\xi_1, \xi_2$  : 管きよに可とう性継手がある場合の管きよの軸方向応力補正係数, 曲げ応力補正係数

※  $\alpha_1, \alpha_2$  及び  $\xi_1, \xi_2$  は「水道耐震指針」の 3.2.4 応答変位による継手構造管路の耐震計算法により求めます。

- $U_h$  : 管布設深さにおける水平方向変位振幅 (m)
- $E$  : 弾性係数 (MPa)
- $D$  : 管外径 (m)
- $\gamma$  : 重畳係数 (重要度に応じて 1.00 ~ 3.12 の値とします)

以上により、設計地震の計算例の条件を表 2-1 に、計算結果（管体の発生応力）を表 2-2 に示します。

表 2-1 計算例の条件

| 地層番号        | 層厚 (m) | N 値                         | 土質   | V <sub>si</sub> (m/s) | T <sub>G</sub> (s) | ΣT <sub>G</sub> (s) | T <sub>s</sub> (s) | S <sub>v</sub> (m/s) | Z (m) | U <sub>h</sub> (Z)(m) |
|-------------|--------|-----------------------------|------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-------|-----------------------|
| 1           | 0.5    | 2                           | 砂質土  | 101                   | 0.020              | —                   | —                  | —                    | —     | —                     |
| 2           | 2.8    | 5                           | 砂質土  | 137                   | 0.082              |                     |                    |                      |       |                       |
| 3           | 1.9    | 3                           | 粘性土  | 144                   | 0.053              |                     |                    |                      |       |                       |
| 4           | 3.3    | 10                          | 砂質土  | 172                   | 0.077              |                     |                    |                      |       |                       |
| 5           | 12.2   | 2                           | 粘性土  | 126                   | 0.387              |                     |                    |                      |       |                       |
| 6           | 4.0    | 12                          | 砂質土  | 183                   | 0.087              |                     |                    |                      |       |                       |
| 基盤          | —      |                             |      | 300                   | —                  |                     |                    |                      |       |                       |
| 表層地盤の厚さ (m) |        | 地域区分 (A=1.0, B=0.85, C=0.7) |      | 重畳係数 $\gamma$         |                    |                     |                    |                      |       |                       |
| レベル 1       | 24.7   | 1                           | 3.12 |                       | 0.706              | 0.883               | 0.24               | 1.2                  | 0.043 |                       |
| レベル 2       |        |                             | 1.00 |                       |                    | 1.412               | 0.80               |                      | 0.228 |                       |

表 2-2 管体の発生応力

単位：MPa

| 呼び径 | レベル 1      |            |            | レベル 2      |            |            |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|     | $\sigma_L$ | $\sigma_B$ | $\sigma_X$ | $\sigma_L$ | $\sigma_B$ | $\sigma_X$ |
| 150 | 2.74       | 0.02       | 4.84       | 12.38      | 0.08       | 12.38      |
| 200 | 2.72       | 0.03       | 4.80       | 11.92      | 0.11       | 11.93      |
| 250 | 2.68       | 0.03       | 4.73       | 11.22      | 0.13       | 11.22      |
| 300 | 2.60       | 0.04       | 4.59       | 10.29      | 0.16       | 10.30      |
| 350 | 2.54       | 0.04       | 4.49       | 9.71       | 0.18       | 9.72       |
| 400 | 2.46       | 0.05       | 4.35       | 8.99       | 0.21       | 8.99       |
| 450 | 2.38       | 0.06       | 4.21       | 8.38       | 0.24       | 8.38       |



## 2.4 管きよ継手部の計算式

### (1) 地震動による屈曲角と抜け出し量

$$\theta_1 = \left( \frac{2 \cdot \pi}{T_s} \right)^2 \frac{U_h}{V_{SD}^2} \ell$$

ここに、

$\theta_1$  : 継手部の屈曲角 (rad)

$V_{SD}$  : 地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

$\ell$  : 管の有効長 (m)

$$\delta = \epsilon_{gd} \cdot \ell$$

ここに、

$\delta$  : 抜け出し量 (m)

$\ell$  : 管の有効長 (m)

$\epsilon_{gd}$  : 地震動による地盤のひずみ

$$\epsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} U_h$$

$L$  : 地盤振動の波長 (m)

$U_h$  : 地盤水平方向変位振幅 (m)

計算結果を表2-3に示します。

表 2-3 地震動による屈曲角と抜け出し量の計算結果

| 有効長<br>$\ell$<br>(m) | 波長<br>$L$<br>(m) | レベル 1                    |                          |                          | レベル 2                    |                          |                           |
|----------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                      |                  | 屈曲角<br>$\theta_1$<br>(°) | 地盤ひずみ<br>$\epsilon_{gd}$ | 抜け出し<br>$\delta$<br>(mm) | 屈曲角<br>$\theta_1$<br>(°) | 地盤ひずみ<br>$\epsilon_{gd}$ | 抜け出し量<br>$\delta$<br>(mm) |
| 4                    | 143.9            | 0.0398                   | 0.00094                  | 3.76                     | 0.211                    | 0.0045                   | 18.0                      |

(2) 地盤の沈下による屈曲角と抜け出し量

$$\theta_2 = 2 \tan^{-1} \left( \frac{4h}{L_0^2} \ell \right)$$

ここに、

$\theta_2$  : 継手部の屈曲角 (rad)

$h$  : 沈下量 [m] ※

$L$  : マンホールスパン (m)

$\ell$  : 管の有効長 (m)

※道路橋示方書では沈下量 $h$ =液状化層厚 $h_1 \times \epsilon$  (2~3%) で建築基礎構造設計指針では沈下量 $h$ =液状化層厚 $h_1 \times \epsilon$  (3~5%) です。

$$\delta_{\max} = \frac{\ell}{\cos \left( \frac{n-1}{2} \cdot \theta_2 \right)} - \ell$$

ここに、

$\delta_{\max}$  : 最大抜け出し量 (m)

$n$  : マンホールスパンの管きよ本数 (本)

計算結果を表 2-4 に示します。

表 2-4 地盤の沈下による屈曲角と抜け出し量の計算結果

| 管の有効長<br>$\ell$<br>(m) | ひずみ<br>$\epsilon$<br>(%) | 液状化層厚<br>$h_1$<br>(m) | 沈下量<br>$h$<br>(m) | マンホールスパン<br>$L_0$<br>(m) | 屈曲角<br>$\theta_2$<br>(°) | 抜け出し量<br>$\delta_{\max}$<br>(mm) |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 4                      | 5                        | 3.3                   | 0.165             | 40                       | 0.19                     | 0.44                             |

(3) 地盤の永久ひずみによる抜け出し量

$$\delta = \epsilon_g \cdot \ell$$

ここに

$\delta$  : 抜け出し量 (m)

$\epsilon_g$  : 地盤の永久ひずみ

$\ell$  : 管の有効長 (m)

計算結果を表 2-5 に示します。

表 2-5 地盤の永久ひずみによる屈曲角と抜け出し量の計算結果

| 地盤の種類      |      | 管の有効長<br>$\ell$<br>(m) | 地盤の永久ひずみ<br>$\epsilon_g$<br>(%) | 抜け出し量<br>$\delta$<br>(mm) |
|------------|------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 液状化地盤      | 護岸近傍 | 4                      | 1.5                             | 60                        |
|            | 内陸部  | 4                      | 1.2                             | 48                        |
| 非液状地盤の傾斜地盤 |      | 4                      | 1.3                             | 52                        |

---

(4) 浅層不整形地盤での抜け出し量

$$\delta = \varepsilon_{G2} \cdot l$$

ここに、

$\delta$  : 浅層不整形地盤での抜け出し量 (m)

$\delta$  : 管の有効長 (m)

$\varepsilon_{G2}$  : 浅層不整形地盤における地盤ひずみ

$$\varepsilon_{G2} = \sqrt{\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2}$$

ここに、

$\varepsilon_{G1}$  : 設計地点における一様地盤ひずみ (=  $\varepsilon_{gd}$ )

$\varepsilon_{G3}$  : 基盤傾斜角の大きい場合に応答変位量に差が生じて発生するひずみ  
(基盤傾斜角  $\theta \geq 5^\circ$  に適用) (=0.3%)

## 2.5 計算結果とリブパイプ管路の安全性

### 耐震計算結果

表2-6の条件においてリブパイプを埋設した場合の耐震計算結果を表2-7に示します。

表 2-6 耐震計算条件

| 土質条件                        | 層番号  | 下端震度 (GL-m) | 層厚 (m) | 土質  | 単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) | 平均N値 | せん断弾性波速度 (m/s) |
|-----------------------------|------|-------------|--------|-----|-----------------------------|------|----------------|
|                             | 1    | 0.5         | 0.5    | 砂質土 | 18                          | 2    | 101            |
|                             | 2    | 3.3         | 2.8    | 砂質土 | 17                          | 5    | 137            |
|                             | 3    | 5.2         | 1.9    | 粘性土 | 16                          | 3    | 144            |
|                             | 4    | 8.5         | 3.3    | 砂質土 | 17                          | 10   | 172            |
|                             | 5    | 20.7        | 12.2   | 粘性土 | 16                          | 2    | 126            |
|                             | 6    | 24.7        | 4.0    | 砂質土 | 17                          | 12   | 183            |
|                             | 7    | 基盤          |        |     |                             |      |                |
| 地域別補正係数の地域気分                |      |             |        |     | A地区                         |      |                |
| 地盤沈下量                       |      |             |        |     | 液状化層厚(3.3m) × 5% = 0.165m   |      |                |
| 地表面から管軸までの深さ                |      |             |        |     | 1.2m                        |      |                |
| 地路急変部での基盤傾斜角                |      |             |        |     | 30°                         |      |                |
| 重畳係数                        | レベル1 |             |        |     | 3.12                        |      |                |
|                             | レベル2 |             |        |     | 1.00                        |      |                |
| レベル1地震動における地上部の設計水平速度(Ⅲ種地盤) |      |             |        |     | 0.259                       |      |                |
| レベル2地震動における地上部の設計水平速度       |      |             |        |     | 0.589                       |      |                |
| スパン                         |      |             |        |     | 40m                         |      |                |
| 管の有効長                       |      |             |        |     | 4m                          |      |                |

表 2-7 耐震計算結果

|          | 呼び径     | レベル1       |            |       | レベル2  |      |       |    |   |
|----------|---------|------------|------------|-------|-------|------|-------|----|---|
|          |         | 計算値        | 許容値        | 判定    | 計算値   | 許容値  | 判定    |    |   |
| 応力 (MPa) | 150     | 4.84       | 10.8       | ○     | 12.38 | 45*  | ○     |    |   |
|          | 200     | 4.80       |            | ○     | 11.93 |      | ○     |    |   |
|          | 250     | 4.73       |            | ○     | 11.22 |      | ○     |    |   |
|          | 300     | 4.59       |            | ○     | 10.30 |      | ○     |    |   |
|          | 350     | 4.49       |            | ○     | 9.72  |      | ○     |    |   |
|          | 400     | 4.35       |            | ○     | 8.99  |      | ○     |    |   |
|          | 450     | 4.21       |            | ○     | 8.38  |      | ○     |    |   |
| 管きよ継手部   | 地震動     | 地盤ひずみ (%)  |            | 0.094 | —     | —    | 0.448 | —  | — |
|          |         | 屈曲角 (°)    |            | 0.040 | 3     | ○    | 0.211 | 5  | ○ |
|          |         | 抜け出し量 (mm) |            | 3.76  | 30    | ○    | 18.0  | 61 | ○ |
|          | 液状化地盤   | 地盤沈下       |            | —     |       | 0.19 | 5     | ○  |   |
|          |         | 抜け出し量 (mm) |            | —     |       | 0.44 | 61    | ○  |   |
|          |         | 護岸近傍       | 抜け出し量 (mm) | —     |       | 60   | 61    | ○  |   |
|          | 傾斜地盤    | 抜け出し量 (mm) |            | —     |       | 48   | 61    | ○  |   |
|          |         | 抜け出し量 (mm) |            | —     |       | 52   | 61    | ○  |   |
|          | 浅層不整形地盤 | 抜け出し量 (mm) |            | 3.76  | 30    | ○    | 18.0  | 61 | ○ |

※JSWAS K-13-2003では、許容値は47MPaであるが、JIS K 6741-2007及びJSWAS K-1-2010より、45MPaとした。

### (1) リブパイプ本体の安全性

- ①リブパイプの引張り使用限界は、10.8MPaであり、レベル1地震動に対して管体は最大応力4.84MPaで十分安全であるため、地震後も長期使用できます。
- ②レベル2地震動での最大発生応力は、12.38MPaであるが、終局限界引張強度45MPa(23℃)と比較して1/3以下であり管体自体の安全性を確保しています。

### (2) 継手部の抜け出し量の安全性

呼び径150～450のいずれも定尺4mであり、計算結果は全サイズ表2-7の値と同一です。管と地盤にすべりが生じたとした場合、継手でその変位を吸収することになります。これを各想定地震形態に対してリブパイプの接合長さeとの関係を図2-3に示します。

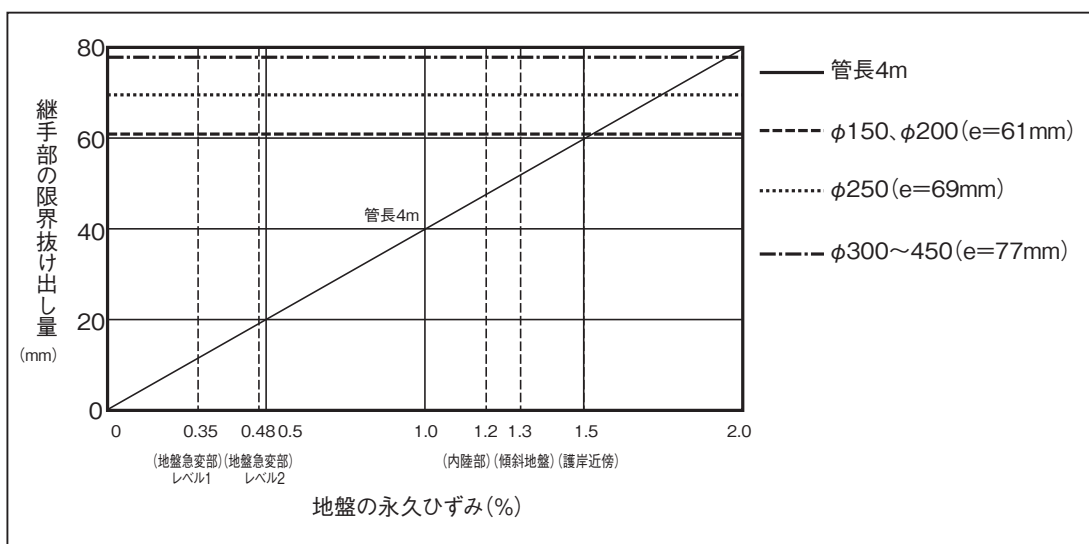


図 2-3 継手部の抜け出し量

図2-3の地震時の地盤のひずみとリブパイプ定尺4mの交点が抜け出し量となり、想定した地盤条件ではリブパイプは4mの定尺ですべての想定地盤変位を吸収できるものと考えられます。

### (3) 継手部の屈曲角の安全性

表2-7の計算結果からも分かるように、地震動による屈曲角については非常に小さく、レベル1地震動については耐震対策を考慮する必要はありません。また、レベル2地震動については、地震動による屈曲角を考え、ここでは、マンホール間隔40m、中央部の沈下量0.165mで計算した結果、屈曲角5°以下であり、問題ないといえます。

# 3. 耐震対策案（耐震設計例）

「1. リブパイプ管路の耐震対策の考え方」および「2. 耐震設計」を参考に、下水道用リブパイプの耐震対策案を以下に示します。

表 3-1 に耐震配管例および基礎構造例一覧表を示します。

表 3-1 耐震配管例および基礎構造例

| 取付管                          | マンホール接続部                                  | 本管  | 耐震配管例  |
|------------------------------|---|---|--|
|                              |   | <p>両受管を中央で切った短管を使用し1本当たりの接合部伸縮量を減らす。</p>        | <p>普通地盤</p>  |
| <p>取付管のVU管部は最大粒径20mmとする。</p> | <p>管およびマンホール継手部の基礎は、地盤別に左図の基礎構造を採用する。</p> | <p>普通地盤</p> <p>軟弱地盤</p> <p>液状化地盤・傾斜地盤・地盤急変部</p> | <p>耐震基礎構造例</p> <p>砕石基礎 (Crushed stone foundation)</p> <p>砕石 (Crushed stone)</p> <p>取付管のVU管部は最大粒径20mmとする。</p> |

## 4. Q & A

---

### Q 1. リブパイプの特長は？

A 1. リブパイプには以下のような特長があります。

- (1) 高い偏平強度をもつ  
1本1本独立したリブ構造による剛性のアップで、管の重さを増すことなく高い偏平強度を実現しました。深埋設、超浅埋設、車道下埋設など幅広い現場状況に対応可能です。
- (2) 施工性が良い
  - ①軽量で運搬、取扱いが容易です。
  - ②基礎工においては、砂基礎はもちろん、地震により液状化が発生した場合の管の浮上防止として有効な碎石基礎にも適しています。
  - ③本管の接続はゴム輪接合でスピーディーな施工が可能です。
  - ④管の切断もリブとリブの間の切断溝によって簡単に切断でき、切断後の面取りは不要です。
- (3) 管の色が明るい青紫色  
管の色がグレーではなく、明るい青紫色にすることによって下水道のイメージを一新しました。更に、この色は太陽熱を吸収しにくく、夏場でも管表面の温度上昇を抑えられ、管が曲がりにくくなっています。
- (4) 優れた耐食性  
硬質塩化ビニル樹脂を使用しているため、広い範囲の耐食性をもっています。酸性土壌によって腐食されることもなく、また、下水中の酸、アルカリにも影響を受けません。
- (5) 優れた水理性と水密性  
リブパイプの内面はなめらかで摩擦係数が小さく、汚水の流れはスムーズです。流量の経年変化が少なく管渠の維持管理が簡単です。また、特殊形状のゴム輪接合方式により、優れた水密性を発揮し、漏水や地下水の浸入を防止します。

## Q2. リブ構造の特性は？

A2. 一般に管の剛性をアップさせるためには、管厚を厚くすることが考えられますが、これでは同時に管の重量もアップし、材料コストが高くなり経済性が失われてしまいます。リブパイプはこの問題を管外周面に効率よく環状リブを設けることにより解決しました。

このリブ構造の特性について以下に説明します。

埋設管にはたらく土圧等の荷重による管の扁平を小さくするには、管の剛性を大きくする必要があります。管に土圧がかかった場合、管壁に曲げモーメントが作用し管壁がたわみます。このたわみが小さいほど剛性が高いことになります。

一般に同一の平板部材に同じ力を加えた場合、力の加える方向の部材の厚さが厚いほどたわみにくくなります。すなわち、剛性が高いことが知られています。この原理を応用し、限られた材料で最大限の剛性を得よう管外周面にリブを設けたのが、このリブパイプのリブ構造です。

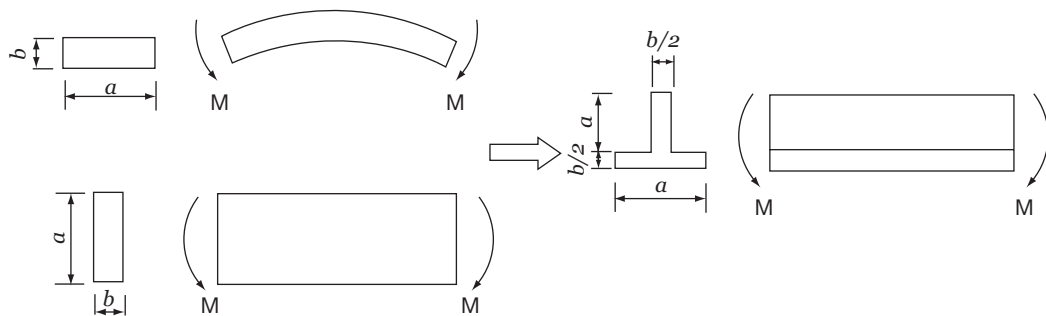


図 4-1 リブ構造

実際の設計では、リブのピッチ・厚さなど数多くの組み合わせをコンピューターを駆使して有限要素法による挙動解析を行うとともに、クリープ試験・疲労試験等の種々の実験を行って、合理的なリブのピッチ・厚さ等の断面形状が決定されています。



**Q3. リブパイプに適用可能な基礎材は？**

**A3** 合成樹脂管の基礎材、埋戻し材としては (1) 砂、(2) 砕石、(3) 固化改良土等がありますが、液状化対策としては、砕石、固化改良土が有効です。

リブパイプは基礎および埋戻し材料として砕石 (C40以下) を使用することができます。また、下水道耐震指針には次のように記載されています。

2) 砕石等による埋戻し

透水係数の高い砕石等の材料により埋戻しを行うもので、地震時に生じる過剰間隙水圧を消散させ、液状化の発生及び浮上りの被害を防止するものである。

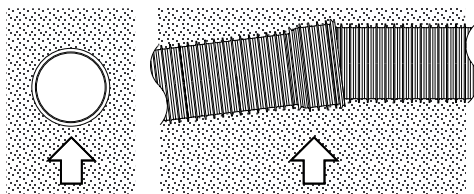
リブパイプの基礎材及び埋戻し材として使用可能な砕石の種類と粒度範囲は表4-1のとおりです。

表4-1 使用可能な砕石の種類と粒度範囲

| 種類       | 種類        | 粒度範囲 (mm) |
|----------|-----------|-----------|
| クラッシャーラン | C-40      | 40 ~ 0    |
|          | C-30      | 30 ~ 0    |
|          | C-20      | 20 ~ 0    |
| 粒度調整砕石   | M-40      | 40 ~ 0    |
|          | M-30      | 30 ~ 0    |
|          | M-25      | 25 ~ 0    |
| 単粒度砕石    | S-13 (6号) | 13 ~ 5    |
|          | S-5 (7号)  | 5 ~ 2.5   |

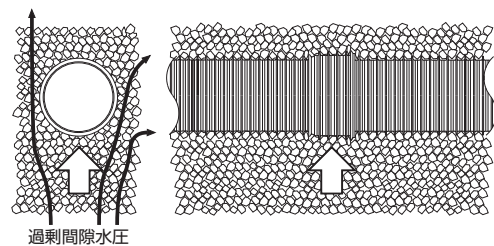
砕石基礎は、軟弱地盤、湧水地盤等の基礎材としても有効です。

**砂基礎の場合**



砂基礎の場合、地震時に管周辺部の砂が液状化する場合があります。このような場合、管に浮力が作用し、その結果、管の一部が持ち上がり、管路勾配が大きく変動し、下水の流下に支障をきたすことがあります。

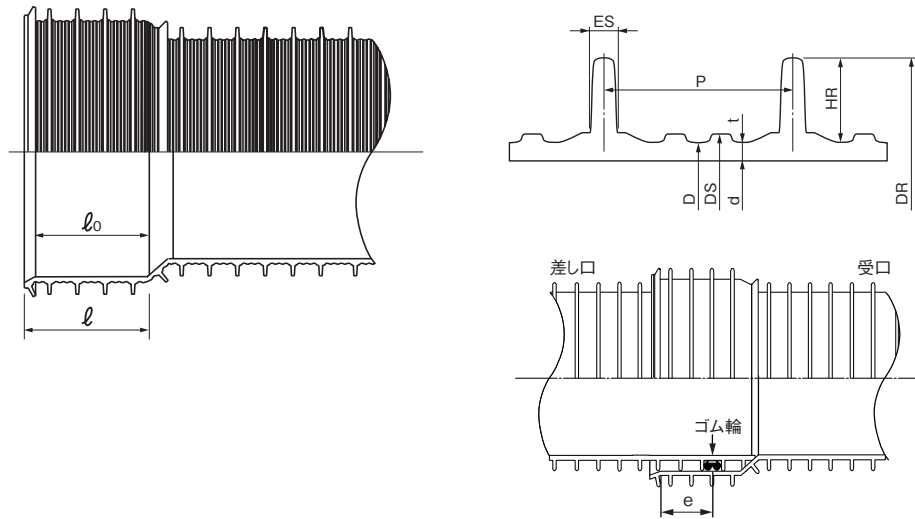
**砕石基礎の場合**



砕石基礎の場合、液状化現象による管の浮上が起こりにくいことに加え、管の下部で液状化が発生しても過剰間隙水圧は砕石のすきまを通り抜け消散するため、管に浮力等の力が作用することがなく、管路勾配は適性に維持されます。

**Q 4. e 寸法の根拠は？**

**A 4.** リブパイプの受口長さ、平行部長さ、リブ間隔は下図及びと表 4-2 のとおりであり、e 寸法は次の式により求めます。



$e = \text{平行部長さ } l_0 - (1.5 \times \text{リブ間隔 } P)$

表 4-2 リブパイプの各部寸法

単位：mm

| 呼び径 | 受口長さ $l$ | 平行部長さ $l_0$ | リブ間隔 $P$ | 接合長さ $e$ |
|-----|----------|-------------|----------|----------|
| 150 | 100      | 90          | 19.1     | 61.3     |
| 200 | 115      | 100         | 25.4     | 61.9     |
| 250 | 140      | 115         | 30.5     | 69.2     |
| 300 | 170      | 135         | 38.1     | 77.8     |
| 350 |          |             |          |          |
| 400 |          |             |          |          |
| 450 |          |             |          |          |

**Q5. リブパイプのゴム輪接合部の突っ込み時の安全性は？**

**A5.** 地震時の受口部の突っ込みに対する安全性を確認するため、圧縮試験機で地震動レベル2での最大伸縮量である60mm以上の変位を与え、リブパイプ受口部の状況を観察した結果、流下機能を満足する結果を得ました。

(1) 試験方法

圧縮試験機で地震動レベル 2 での最大伸縮量である 60mm、さらにその 2 倍の 120mm 以上の変位を与え、リブパイプ受口部の状況を観察します。

(2) 試験条件

- 1) 試験機 圧縮試験機 (最大能力 250kN)
- 2) 供試体 呼び径 200
- 3) 試験速度 20mm/min

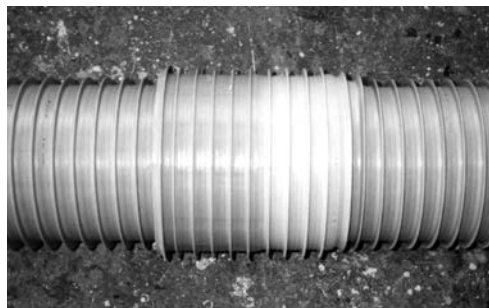
(3) 試験結果

表 4-4 圧縮試験結果

| 試験最大突っ込み量<br>(mm) | 最大荷重値<br>(kN) | 試験結果                       |
|-------------------|---------------|----------------------------|
| 123               | 37.0          | 受口部の白化は見られるが割れなどの損傷はありません。 |



写 4-1 供試体断面状況



写 4-2 供試体継手外面状況

**Q6. 耐震対策指針の基本的な考え方とは？**

**A6.** 下水道管路施設の耐震における要求性能には耐震性能があります。

この耐震性能は、設計地震動のレベルに応じて設定します。ただし、既存施設は、施設を更新するまでの当面の間、段階的な耐震性能を設定することができます。

耐震性能は、既存、新設ともに次の要求がなされています。

「重要な幹線等」は、レベル1地震動に対して設計流下能力を確保するとともに、レベル2地震動に対して流下機能を確保します。

「その他の管路」は、レベル1地震動に対して設計流下能力を確保します。

**表4-5 管路の耐震設計の考え方**

| 耐震性能 1                 |                    | 耐震性能 2              |                              |
|------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| レベル 1 地震動              |                    | レベル 2 地震動           |                              |
| 重要な幹線等<br>及び<br>その他の管路 | 設計流下能力を<br>確保できる性能 | 重要な幹線等              | 流下機能を確保できる性能                 |
|                        |                    | 軌道や緊急輸送路<br>等下の埋設管路 | 流下機能を確保できる性能<br>交通機能を阻害しない性能 |

また、下水道耐震指針には次のように記載されています。

管路施設は、大きな排水区域を受け持つ重要な幹線から各家庭からの排水を受け持つ枝線に至るまで、重要度、設置条件等が多様である。また、面的に膨大な延長を有することから、すべての管路施設の耐震性能を同一レベルで確保することは費用対効果の観点から現実的に困難であると考えられる。このため、耐震設計では「重要な幹線等」と「その他の管路」に区分し、設計地震動に応じてそれぞれに要求される耐震性能を考慮して耐震設計を行う。

「重要な幹線等」は、次に掲げるものを基本とする。

- a.流域幹線の管路
- b.ポンプ場・処理場に直結する幹線管路
- c.河川・軌道等を横断する管路で地震被害によって二次災害を誘発するおそれのあるもの及び復旧が極めて困難と予想される幹線管路等
- d.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
- e.相当広範囲の排水区を受け持つ吐き口に直結する幹線管路
- f.防災拠点や避難所、又は地域防災対策上必要と定めた施設等からの排水をうける管路
- g.その他、下水を流下収集させる機能面から見てシステムとして重要な管路

なお、「その他の管路」については、「重要な幹線等」を除く管路施設とする。

Q7. 応答変位法とはどういう考え方ですか？

A7. 地上の構造物は地震による慣性力（外力）の影響を受けてその構造物固有の揺れ方をするのに対し、地中の構造物は慣性力の影響をほとんど受けず地盤の変形に追従して変形することが知られています。

応答変位法は『地震により応答した地盤の変位が構造物に影響を与えると考えて、構造物の変位や断面力などを静的に計算する方法』と定義することができます。

地盤の変位は応答スペクトル線図を用いて求めることができます。応答スペクトルとは、表面地盤を単純なせん断振動系と考え、系のもつ振動特性（固有周期、減衰定数）を種々変化させて地震応答計算を行い、その最大値を求めるもので、通常減衰定数をパラメータとし、横軸に系の固有周期、縦軸に最大応答値とする応答スペクトル線図として求められています。応答値としては変位、速度、加速度の三種類ありますが、通常は応答速度値が用いられています。

スペクトルというのは本来、光を分光器で分解して得られる成分のことをいいますが、広義には『複雑な組成をもつものを単純な成分に分解し、その成分を特徴づけるある量の大小を順にならべたもの』として定義されています。

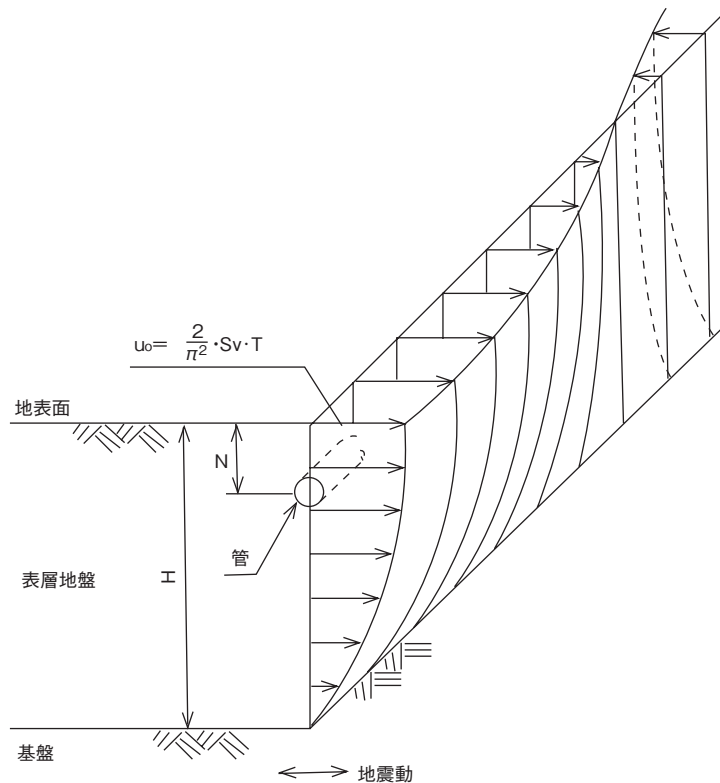


図 4-2 応答変位法による表層地盤の変位

応答スペクトルの“スペクトル”とは広義の意味で用いられており、固有周期を成分としていることからこの言葉が用いられています。

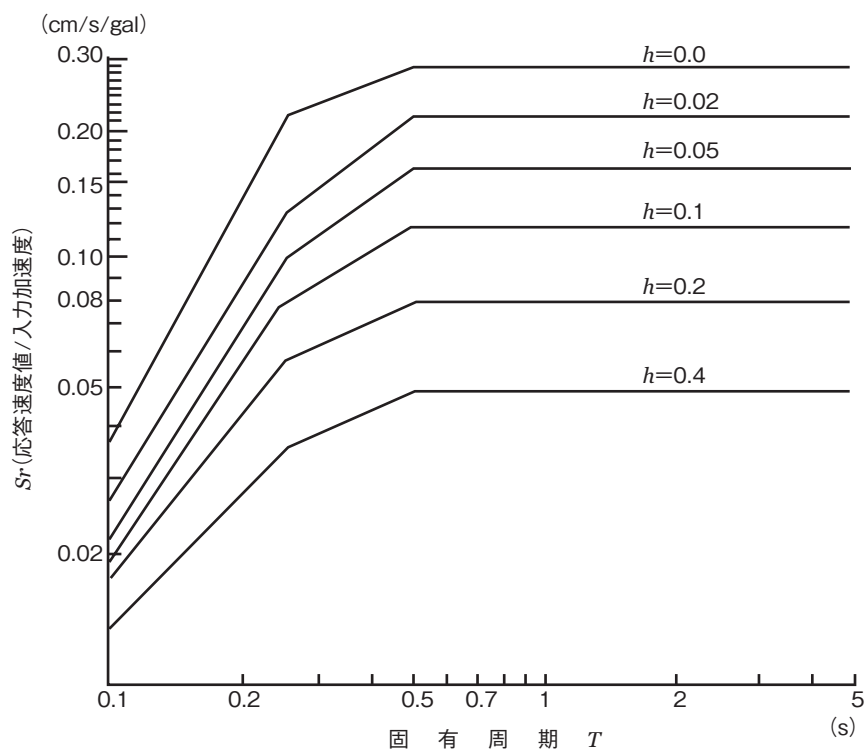


図 4-3 入力加速度 1gal 当たりの応答速度値

図4-2は、建設省土木研究所（現 独立行政法人土木研究所）による応答スペクトル線図の例ですが、図4-3は表層地盤への入力加速度の値を1galとしています。

レベル1地震動の耐震計算に用いる『共同溝設計指針』の応答スペクトル線図は、図4-3の中の減衰係数  $h = 0.2$  の線を用い、A 地域の入力加速度を300gal, B 地域を255gal, C 地域を210galとして作成されています。従って、この線図は入力加速度がパラメータになっています。

## Q 8. 液状化対策工法は？

A 8. 埋戻し土の液状化対策には、「埋戻しの固化」、「碎石等による埋戻し」、「埋戻し土の締固め」があります。

リブパイプは基礎工法として「碎石基礎」を標準としているため、それが液状化対策工法となります。

碎石基礎工法は、「透水係数の高い碎石等の材料により埋戻しを行うもので、地震時に生じる過剰間隙水圧を消散させ、液状化の発生及び浮上りの被害を防止するものである。」と、下水道耐震指針にも記載されています。

また、碎石等による埋戻しの「管理基準」、「設計及び施工上の留意点」についても下水道耐震指針に次のように記載されています。

### 1) 管理基準

透水性の高い材料（例えば10%通過粒径 $D_{10}$ が1.0mm超の碎石,又は排水効果の確認されている材料）を用いる。地震時には過剰間隙水が上方へ排水される必要があるので,排水量を勘案し碎石等による埋戻しは地下水位より上方まで行う。また,施工性を考慮して,管周り（管上方30cm程度まで）は砂質土により埋戻しを行ってもよい。

一般にドレーン工法で用いられる碎石等,排水効果が確認されている材料は使用することができる。ただし,周辺地盤が砂質土の場合には,ドレーン内への水の流れにより周辺地盤の土粒子が碎石内に入り込み,周辺地盤の陥没や目詰まりによるドレーン効果の低下を引き起こすおそれがある。このような場合には,「埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）」<sup>31)</sup>等を参考に,目詰まり防止に対する検討を行い,適切な材料を選定することが望ましい。

### 2) 設計及び施工上の留意点

- ①クラッシャーランや粒度調整碎石を使用する場合,粒度の細かい材料が混入するおそれがあることから使用の際は十分注意して使用する必要がある。過去の被災事例で粒度の細かい材料（ $D_{10} \geq 600 \mu m$ ）を使用したために被災した例があるので,使用材料については十分注意する。
- ②締固めに関しては,道路管理者等の基準を準用するとともに,タンパ等による入念な転圧を行う。
- ③土留めの矢板引抜きに伴い埋戻し土がゆるむ可能性があるため,ゆるみを残留させないように十分留意して施工を行うものとする。





---

## 参考文献

1. (公社) 日本下水道協会「下水道施設の耐震対策指針と解説」(2014年版)
2. (公社) 日本下水道協会「下水道施設耐震計算例―管路施設編」(2015年版)
3. (社) 日本下水道協会「下水道の地震対策マニュアル」(1997.8)
4. (社) 日本下水道協会「下水道の地震対策についての検討報告書(概要)」(1997.8)
5. (財) 下水道新技術推進機構「耐震性管路材料技術資料 - 特別編集版 -」(1995.9)
6. (公社) 日本道路協会「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」(2012.3)
7. (社) 日本道路協会「共同溝設計指針」(1986.3)
8. (公社) 日本下水道協会規格(塩ビ管関係)
  - ① JSWAS K - 1 -2010 下水道用硬質塩化ビニル管
  - ② JSWAS K - 6 -2009 下水道用推進工法用硬質塩化ビニル管
9. (公社) 日本水道協会「水道施設耐震工法指針・解説」(2009年版)
10. 塩化ビニル管・継手協会「下水道用硬質塩化ビニル管路の地震被害調査報告書」(1997.1)
11. 塩化ビニル管・継手協会「下水道用硬質塩化ビニル管の耐震対策について」(2012.3)
12. 強プラ管協会「強化プラスチック複合管の耐震性技術資料」(1998.3)

## 関連文献

1. (社) 日本下水道協会規格
  - ① JSWAS K - 13-2003 下水道用リブ付硬質塩化ビニル管
  - ② JSWAS K - 17-2009 下水道用硬質塩化ビニル製リブ付小型マンホール
2. プラスチックリブパイプ協会規格
  - ① PRP - 11-2004 下水道用リブ付硬質塩化ビニル管
  - ② PRP - 12-2014 下水道用硬質塩化ビニル製リブ付小型マンホール
3. プラスチックリブパイプ協会資料
  - ① 「下水道用リブ付硬質塩化ビニル管プラスチックリブパイプ」カタログ
  - ② 「下水道用リブ付硬質塩化ビニル管プラスチックリブパイプ」ガイドブック
  - ③ 「下水道用リブ付硬質塩化ビニル管プラスチックリブパイプ」施工ハンドブック

## 塩化ビニル管・継手協会

正会員名 旭有機材株式会社  
(50音順) アロン化成株式会社  
株式会社ヴァンテック  
株式会社クボタケミックス  
積水化学工業株式会社  
タキロンシーアイ株式会社  
東栄管機株式会社  
前澤化成工業株式会社

事務局 〒107-0051 東京都港区元赤坂1-5-26 東部ビル3F  
TEL.03(6438)9059 FAX.03(3470)4407  
ホームページ:<http://www.rib-pipe.jp>

不許転載

平成14年 4月 初 版  
平成28年 5月 改訂3版

塩化ビニル管・継手協会

下水道用リブ付硬質塩化ビニル管の  
耐震対策について

資料コード PRP04-03

2016.5. 0TH TX