



下水道耐震計算（ボックス縦方向）  
プレキャストボックスカルバート  
通常敷設型

出力例

2006年11月版

# 目次

1	設計条件	1
1-1	適用基準	1
1-2	重要度	1
1-3	設計対象地震動	1
1-4	構造形式	1
1-5	敷設方法	1
1-6	計算条件	1
1-7	構造寸法	2
1-8	コンクリート材料	2
1-9	マンホールスパン	2
1-10	継手	3
1-11	地盤条件	3
1-12	土質条件	4
2	地盤条件	5
2-1	表層地盤の換算単位体積重量	5
2-2	耐震設計上の地盤種別	6
2-3	表層地盤の固有周期	7
2-4	設計応答速度	7
2-5	表層地盤のせん断弾性波速度	8
3	地震振動の波長・変位振幅の計算	9
3-1	地震振動の波長	9
3-2	地盤の変位振幅	10
4	マンホールと矩形きよの接続部	11
4-1	地震動の影響(屈曲角)	11
4-2	地震動の影響(拔出し量)	12
4-3	地盤の液状化に伴う影響(永久ひずみによる拔出し量)	12
4-4	傾斜地での影響(永久ひずみによる拔出し量)	13
5	矩形きよと矩形きよの継手部	14
5-1	地震動の影響(拔出し量)	14
5-2	地盤の液状化に伴う影響(永久ひずみによる拔出し量)	14
5-3	地盤の液状化に伴う影響(地盤沈下による屈曲角)	14
5-4	地盤の液状化に伴う影響(地盤沈下による拔出し量)	14
5-5	傾斜地での影響(永久ひずみによる拔出し量)	15
6	計算結果一覧表	16

## プレキャストボックスカルバート（通常敷設型）

### 1 設計条件

#### 1-1 適用基準

適用基準 「下水道施設の耐震対策指針と解説 - 2006年版 - 」 社団法人 日本下水道協会

参考文献 「下水道施設耐震計算例 - 管路施設編 - 」 社団法人 日本下水道協会

#### 1-2 重要度

重要な幹線等

#### 1-3 設計対象地震動

レベル2

#### 1-4 構造形式

RC製プレキャストボックスカルバート1連1層

#### 1-5 敷設方法

通常敷設型

#### 1-6 計算条件

縦方向の接合材料

PC鋼材

高力ボルト

断面力低減係数算出方法

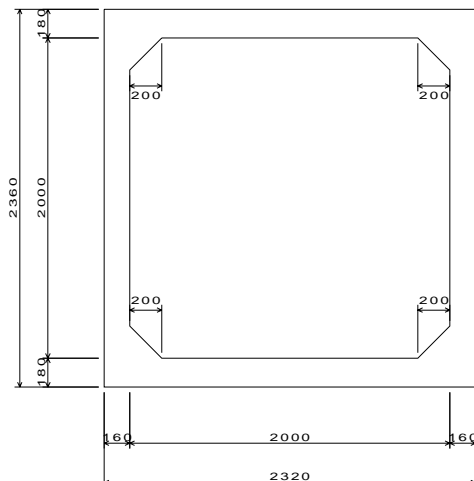
共同溝設計指針(図-解6.4.4~6.4.6)

共同溝設計指針(付1-2~1-3)

任意入力

## 1-7 構造寸法

名称 構造形式RC1連1層  
 呼び寸法 2000x2000  
 形状 標準形



外幅	$h_h = 2320$ (mm)	ハンチ高	$C_1 = 200$ (mm)
外高	$h_v = 2360$ (mm)		$C_2 = 200$ (mm)
中空幅	$B_1 = 2000$ (mm)		$C_3 = 200$ (mm)
中空高	$H_1 = 2000$ (mm)		$C_4 = 200$ (mm)
頂版厚	$T_1 = 180$ (mm)	有効長	$L = 2000$ (mm)
底版厚	$T_2 = 180$ (mm)		
左側壁厚	$T_3 = 160$ (mm)		
右側壁厚	$T_4 = 160$ (mm)		

土被り	$d = 1.000$ (m)
躯体重心位置	$Z_G = 2.180$ (m)
コンクリートの断面積	$A_c = 1.475200$ (m <sup>2</sup> )
断面2次モーメント(水平面内)	$I_h = 1.12248$ (m <sup>4</sup> )
断面2次モーメント(鉛直面内)	$I_v = 1.20789$ (m <sup>4</sup> )

## 1-8 コンクリート材料

ヤング係数	$E_c = 29500.0$ (N/mm <sup>2</sup> ) $= 2.950 \times 10^7$ (kN/m <sup>2</sup> )
-------	--

## 1-9 マンホールスパン

1ピースあたりの長さ	$B = 2.000$ (m)
1ブロックあたりのピース数	$n_c = 26$
マンホールスパン長	$L_s = 50.000$ (m)

## 端部のボックスカルバート

	配置位置 ia (左から ia 番目)	ピース長 Ba (m)
1	1	1.000
2	26	1.000

## 1-10 継手

## マンホールと矩形きよの接続部

地震動による屈曲角と拔出し量

地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出し量

傾斜地での永久ひずみによる拔出し量

マンホールの深さ	$h'$	= 3.360 (m)
最大拔出し量(レベル2地震動時)	$a$	= 45 (mm)
最大屈曲角(レベル2地震動時)	$a$	= 0.01907 (rad)

## 矩形きよと矩形きよの継手部

地震動による拔出し量

地盤の液状化に伴う永久ひずみによる拔出し量

地盤沈下による屈曲角と拔出し量

傾斜地での永久ひずみによる拔出し量

沈下量	$h_0$	= 0.165 (m)
最大拔出し量(レベル2地震動時)	$a$	= 45 (mm)
最大屈曲角(レベル2地震動時)	$a$	= 0.01907 (rad)

## 液状化地盤の永久ひずみ

	地形条件	永久ひずみ量 $g$ [%]
	護岸近傍の液状化地盤 (護岸線から100m未満)	1.5 %
	内陸部の液状化地盤 (護岸線から100m以上)	1.2 %

## 1-11 地盤条件

## 設計応答速度

下水道協会の指針に示すグラフより算出

任意入力

## 地盤の特性値

せん断弾性波速度 $V_s$ より算出

任意入力

表層地盤の固有周期 $T_s$ の算出式

$$T_s = 1.25T_G$$

基盤のせん断弾性波速度

指定

$$V_{BS} = 300.000 \text{ (m/s)}$$

N値より算出

#### 1-12 土質条件

表層のせん断弾性波速度

N値より算出

実測値

表層の土質条件

	深度 (m)	層厚 $H_i$ (m)	土質名	N値	せん断弾性波 速度 $V_{si}$ (m/s)	土の単位体積 重量 $t_i$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	0.500	0.500	砂質土	2.000		18.00
2	3.300	2.800	砂質土	5.000		17.00
3	5.200	1.900	粘性土	3.000		16.00
4	8.500	3.300	砂質土	10.000		17.00
5	20.700	12.200	粘性土	2.000		16.00
6	24.700	4.000	砂質土	12.000		17.00

## 2 地盤条件

### 2-1 表層地盤の換算単位体積重量

表層地盤の換算単位体積重量は、次式により求める。

$$t_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i \cdot H_i)}{H}$$

ここに、

$t_{eq}$  : 表層地盤の換算単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$t_i$  :  $i$ 番目の土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$H_i$  :  $i$ 番目の層厚 (m)

$H$  : 表層地盤の厚さ (m)

$$H = \sum_{i=1}^n H_i$$

よって、表層地盤の換算単位体積重量は、次のようになる。

土層 番号	層厚 $H_i$ (m)	土の単位体積重量 $t_i$ (kN/m <sup>3</sup> )	$t_i \cdot H_i$
1	0.500	18.00	9.00
2	2.800	17.00	47.60
3	1.900	16.00	30.40
4	3.300	17.00	56.10
5	12.200	16.00	195.20
6	4.000	17.00	68.00
	24.700		406.30

$$\begin{aligned} t_{eq} &= \frac{406.30}{24.700} \\ &= 16.45 \text{ (kN/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

## 2-2 耐震設計上の地盤種別

耐震設計上の地盤種別は、次式で算出される地盤の特性値 $T_G$ をもとに区分する。

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

ここに、

$T_G$  : 地盤の特性値 (s)

$H_i$  :  $i$  番目の地層の厚さ (m)

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

ただし、実測値がない場合は次式から求めても良い。

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

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

$$\text{土質に関わらず } N_i = 0 \text{ のとき } V_{Si} = 50$$

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

$i$  : 当該地盤が地表面から基盤面まで  $n$  層に区分されるとき  
地表面から  $i$  番目の地層の番号

耐震設計上の地盤種別

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

ここで、設計条件の耐震設計上の地盤種別を判定すると次のようになる。

土層 番号	深度 (m)	土質名	$H_i$ (m)	$N$ 値	$V_{Si}$ (m/s)	$H_i/V_{Si}$ (s)
1	0.500	砂質土	0.500	2.000	100.794	0.00496
2	3.300	砂質土	2.800	5.000	136.798	0.02047
3	5.200	粘性土	1.900	3.000	144.225	0.01317
4	8.500	砂質土	3.300	10.000	172.355	0.01915
5	20.700	粘性土	12.200	2.000	125.992	0.09683
6	24.700	砂質土	4.000	12.000	183.154	0.02184
						0.17642

よって、地盤の特性値 $T_G$ は、次のようになる。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{Si}} = 4 \times 0.17642 = 0.706 \text{ (s)}$$

ゆえに、表層地盤の種別は 種 とする。

### 2-3 表層地盤の固有周期

表層地盤の固有周期は、次式により求める。

$$T_s = 1.25 \times T_G$$

ここに、

$T_s$  : 表層地盤の固有周期 (s)

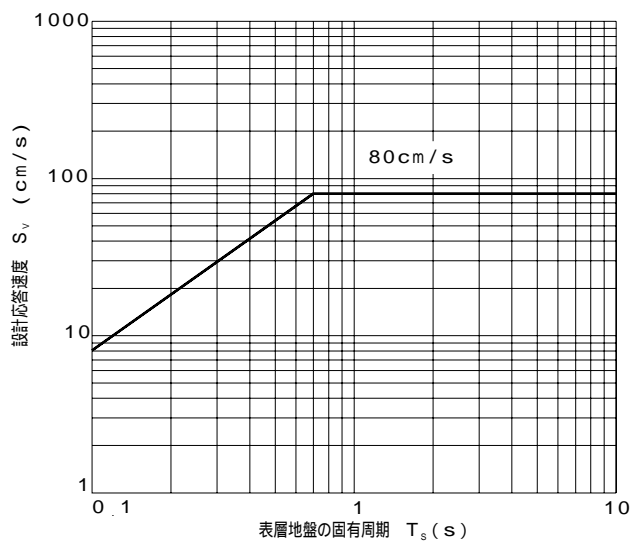
$T_G$  : 地盤の特性値 (s)

よって、表層地盤の固有周期 $T_s$ は、次のようになる。

$$T_s = 1.25 \times 0.706 = 0.883 \text{ (s)}$$

### 2-4 設計応答速度

設計応答速度は、表層地盤の固有周期 $T_s$ より次の図から求める。



よって、

$$\begin{aligned} \text{レベル2地震動} : S_v &= 80.000 \text{ (cm/s)} \\ &= 0.80000 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

## 2-5 表層地盤のせん断弾性波速度

表層地盤のせん断弾性波速度は、次式により求める。

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

ここに、

$V_{Ds}$  : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

$H$  : 表層地盤の厚さ (m)

$T_s$  : 表層地盤の固有周期 (s)

よって、表層地盤のせん断弾性波速度は、次のようになる。

$$\begin{aligned} V_{Ds} &= \frac{4 \cdot H}{T_s} \\ &= \frac{4 \times 24.700}{0.883} \\ &= 111.955 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

以上の結果より、表層地盤を一層系にした場合の諸定数値を次に示す。

表層地盤を一層系にした場合の諸定数値

項 目	数 値
表層地盤の厚さ	$H$ (m) 24.700
地盤の特性値	$T_G$ (s) 0.706
表層地盤の固有周期	$T_s$ (s) 0.883
表層地盤のせん断弾性波速度	$V_{Ds}$ (m/s) 111.955
設計応答速度(レベル2地震動時)	$S_v$ (m/s) 0.80000

### 3 地震振動の波長・変位振幅の計算

#### 3-1 地震振動の波長

地震振動の波長は、調和平均の考え方を採用し次式により求める。

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

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

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

ここに、

L : 地震振動の波長 (m)

T<sub>s</sub> : 表層地盤の固有周期 (s)

V<sub>DS</sub> : 表層地盤のせん断弾性波速度 (m/s)

V<sub>BS</sub> : 基盤のせん断弾性波速度 (m/s)

H : 表層地盤の厚さ (m)

よって、

$$L_1 = V_{DS} \cdot T_s = 111.955 \times 0.883 = 98.800 \text{ (m)}$$

$$L_2 = V_{BS} \cdot T_s = 300.000 \times 0.883 = 264.750 \text{ (m)}$$

$$L = \frac{2L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} = \frac{2 \times 98.800 \times 264.750}{98.800 + 264.750} = 143.899 \text{ (m)}$$

### 3-2 地盤の変位振幅

応答変位法による耐震計算法では、地盤の変位振幅を次式により求める。

$$U_h(Z) = \frac{2}{2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{Z}{2H}$$

ここに、

$U_h(Z)$  : 地表面から深さ $Z$ (m)における水平方向の変位振幅 (m)

$S_v$  : 設計応答速度 = 0.80000 (m/s)

$T_s$  : 表層地盤の固有周期 = 0.883 (s)

$H$  : 表層地盤の厚さ = 24.700 (m)

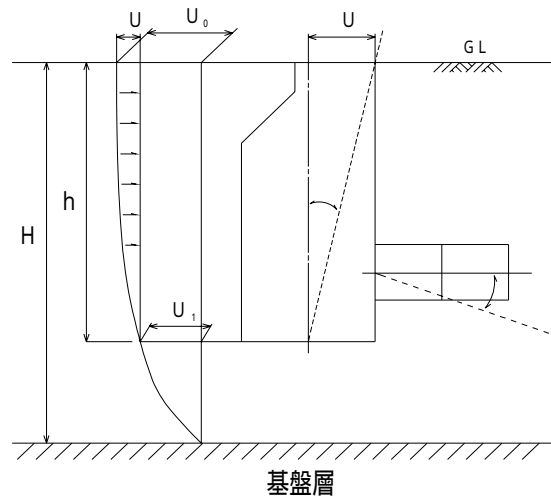
よって、地盤の変位振幅は、次のようになる。

	深さ $Z$ (m)	水平方向の変位振幅 $U_h(Z)$ (m)
地表面	0.000	0.14307
躯体重心位置	2.180	0.14169
マンホールの深さ	3.360	0.13981

#### 4 マンホールと矩形きよの接続部

##### 4-1 地震動の影響(屈曲角)

継手の屈曲角は、マンホールと矩形きよの回転角と同値とみなし、図に示すように次式より求める。



マンホールと矩形きよ接続部の荷重図

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

ここに、

： 継手の屈曲角 (rad)

h : マンホールの深さ (m)

U : 地表面とマンホールの深さにおける水平方向変位振幅の差 (m)

$$U = U_0 - U_1$$

よって、

$$U = U_0 - U_1 = 0.14307 - 0.13981$$

$$= 0.00325 \text{ (m)}$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{U}{h}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.00325}{3.360}\right)$$

$$= 0.00097 \text{ (rad)} \quad a = 0.01907 \text{ (rad)} \quad \dots\dots\dots <OK>$$

## 4-2 地震動の影響(拔出し量)

地震動による本管の拔出し量は、次式より求める。

$$= g_d \cdot l_0$$

ここに、

$g_d$  : 拔出し量 (m)

$g_d$  : 地震動により地盤に生じるひずみ

$$g_d = \frac{1}{L} U_h(Z)$$

L : 地震動の波長 (m)

$U_h(Z)$  : 水平方向の地盤の変位振幅 (m)

$l_0$  : 矩形きよの有効長 (m)

よって、

$$\begin{aligned} g_d &= \frac{1}{L} U_h(z) = \frac{1}{143.899} \times 0.14169 \\ &= 3.09342 \times 10^{-3} \\ &= g_d \cdot l_0 = 3.09342 \times 10^{-3} \times 1.000 \\ &= 0.0031 \text{ (m)} \\ &= 3.1 \text{ (mm)} \quad a = 45.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots < \text{OK} > \end{aligned}$$

## 4-3 地盤の液状化に伴う影響(永久ひずみによる拔出し量)

液状化地盤に矩形きよを布設する場合、地盤の永久ひずみによる拔出し量は次式より求める。

$$= g \cdot l_0$$

ここに、

$g$  : 拔出し量 (m)

$l_0$  : 矩形きよの有効長 (m)

$g$  : 地盤の永久ひずみ

地形条件	永久ひずみ量 $g$ [%]
護岸近傍の液状化地盤 (護岸線から100m未満)	1.5 %
内陸部の液状化地盤 (護岸線から100m以上)	1.2 %

よって、

$$\begin{aligned} &= g \cdot l_0 = 0.015 \times 1.000 \\ &= 0.0150 \text{ (m)} \\ &= 15.0 \text{ (mm)} \quad a = 45.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots < \text{OK} > \end{aligned}$$

## 4-4 傾斜地での影響(永久ひずみによる抽出し量)

非液状化の傾斜地に矩形きよを布設する場合、地盤の永久ひずみによる抽出し量は次式より求める。

$$= g \cdot l_0$$

ここに、

： 抽出し量 (m)

$l_0$  : 矩形きよの有効長 (m)

$g$  : 地盤の永久ひずみ ( = 1.3 %)

よって、

$$= g \cdot l_0 = 0.013 \times 1.000$$

$$= 0.0130 \text{ (m)}$$

$$= 13.0 \text{ (mm)} \quad a = 45.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots <OK>$$

## 5 矩形きよと矩形きよの継手部

## 5-1 地震動の影響( 抜出し量)

マンホールと矩形きよの接続部、地震動の影響( 抜出し量)の項参照。

$$\begin{aligned}
 &= g_d l_0 = 3.09342 \times 10^{-3} \times 2.000 \\
 &= 0.0062 \text{ (m)} \\
 &= 6.2 \text{ (mm)} \quad a = 45.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots < \text{OK} >
 \end{aligned}$$

## 5-2 地盤の液状化に伴う影響( 永久ひずみによる抜出し量)

マンホールと矩形きよの接続部、地盤の液状化に伴う影響( 永久ひずみによる抜出し量) の項参照。

$$\begin{aligned}
 &= g l_0 = 0.015 \times 2.000 \\
 &= 0.0300 \text{ (m)} \\
 &= 30.0 \text{ (mm)} \quad a = 45.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots < \text{OK} >
 \end{aligned}$$

## 5-3 地盤の液状化に伴う影響( 地盤沈下による屈曲角)

地盤の沈下による屈曲角は、次式より求める。

$$= 2 \tan^{-1} \left( \frac{4h_0}{L_s^2} \cdot l_0 \right)$$

ここに、

- ： 継手部の屈曲角 (rad)
- $h_0$  : 沈下量 (m)
- $L_s$  : マンホールスパン長 (m)
- $l_0$  : 矩形きよの有効長 (m)

よって、

$$\begin{aligned}
 &= 2 \tan^{-1} \left( \frac{4h_0}{L_s^2} \cdot l_0 \right) = 2 \tan^{-1} \left( \frac{4 \times 0.165}{50.000^2} \times 2.000 \right) \\
 &= 0.00106 \text{ (rad)} \quad a = 0.01907 \text{ (rad)} \quad \dots\dots\dots < \text{OK} >
 \end{aligned}$$

## 5-4 地盤の液状化に伴う影響( 地盤沈下による抜出し量)

地盤の沈下による抜出し量は、次式より求める。

$$s_{\max} = \frac{l_0}{\cos \left( \frac{n-1}{2} \cdot \right)} - l_0$$

ここに、

- $s_{\max}$  : 最大拔出し量 (m)  
 : 地盤の沈下による継手部の屈曲角 (rad)  
 $l_0$  : 矩形きよの有効長 (m)  
 $n$  : 1ブロックあたりのピース数

よって、

$$\begin{aligned}
 s_{\max} &= \frac{l_0}{\cos\left(\frac{n-1}{2} \cdot \right)} - l_0 = \frac{2.000}{\cos\left(\frac{26-1}{2} \times 1.05600 \times 10^{-3}\right)} - 2.000 \\
 &= 0.0002 \text{ (m)} \\
 &= 0.2 \text{ (mm)} \quad a = 45.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots < \text{OK} >
 \end{aligned}$$

#### 5-5 傾斜地での影響(永久ひずみによる拔出し量)

マンホールと矩形きよの接続部、傾斜地での影響(永久ひずみによる拔出し量) の項参照。

$$\begin{aligned}
 &= g \cdot l_0 = 0.013 \times 2.000 \\
 &= 0.0260 \text{ (m)} \\
 &= 26.0 \text{ (mm)} \quad a = 45.0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots < \text{OK} >
 \end{aligned}$$

## 6 計算結果一覧表

項目			単位	計算結果		許容値		判定
マンホールと 矩形きよの接続部	地震動	屈曲角	rad		0.00097	a	0.01907	
		拔出し量	mm		3.1	a	45.0	
	液状化	永久ひずみによる拔出し量	mm		15.0	a	45.0	
	傾斜地	永久ひずみによる拔出し量	mm		13.0	a	45.0	
矩形きよと 矩形きよの継手部	地震動	拔出し量	mm		6.2	a	45.0	
	液状化	永久ひずみによる拔出し量	mm		30.0	a	45.0	
		地盤沈下による屈曲角	rad		0.00106	a	0.01907	
		地盤沈下による拔出し量	mm		0.2	a	45.0	
傾斜地	永久ひずみによる拔出し量	mm		26.0	a	45.0		