

鉄筋コンクリート管

下水道協会式

1. 設計条件

管種	:	下水道小口径推進工法用鉄筋コンクリート管
土圧計算公式	:	下水道協会式
管の呼び径	D	: 450 (mm)
管の外径	Bc	: 0.584 (m)
掘削溝幅	Bd	: 2.100 (m)
埋戻し土の内部摩擦角	ϕ	: 35 (°)
埋戻し土の単位体積重量	γ	: 18.000 (kN/m ³)
土被り	H	: 1.000 (m)
矢板引き抜き考慮	:	矢板引き抜きあり
矢板長	:	7.000 (m)
矢板の種類	:	鋼矢板
地盤の変形係数	埋戻し土	Eg : 30000 (kN/m ²)
	基礎地盤	Eo : 20000 (kN/m ²)
支承条件	:	コンクリート基礎
支承角度	θ	: 90 (°)
基礎コンクリート幅	Bb	: 0.500 (m)
基礎コンクリート厚さ	Ch	: 0.250 (m)
活荷重	:	T-250

2. 鉛直土圧

矢板引き抜きを行う場合のコンクリート基礎の計算
コンクリート基礎 $Bb < Bc, Be > (Bd - Bc)/2$ の場合

埋戻しを行ったときの管の状態で矢板の引き抜きを行うとゆるみが生じる。
このゆるみ範囲は境界線が管、基礎コンクリートに接しない場合・管に接する場合・
基礎コンクリートに接する場合が考えられ、管頂レベルにおける「ゆるみ幅 Be 」は、
それぞれ次式で表せられる。

《管に接しない場合》

$$\begin{aligned} Be_1 &= l_0 \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \\ &= 6.000 \times \tan\left(45^\circ - \frac{35}{2}\right) \\ &= 3.123 \end{aligned}$$

《管に接する場合》

$$\begin{aligned} Be_2 &= \frac{Bd - Bc \cdot \tan\left\{\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)/2\right\}}{2} \\ &= \frac{2.100 - 0.584 \times \tan\left\{\left(45^\circ + \frac{35}{2}\right)/2\right\}}{2} \\ &= 0.873 \end{aligned}$$

《基礎コンクリートに接する場合》

$$\begin{aligned} Be_3 &= \frac{Bd - Bb + Bc \cdot (1 + \cos\theta) \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)}{2} \\ &= \frac{2.100 - 0.500 + 0.584 \times (1 + \cos 45.000) \times \tan\left(45^\circ - \frac{35}{2}\right)}{2} \\ &= 1.059 \end{aligned}$$

この場合のゆるみ幅 B_e は、算定値のうち小さい方の値をとる。
したがって、 $B_e = 0.873(\text{m})$ とする。

ここに、

B_e : ゆるみ幅 (m)	
l_0 : 管頂レベルから矢板先端までの長さ	$l_0 = 7.000 - H$ $= 7.000 - 1.000$ $= 6.000(\text{m})$
H : 土被り	$H = 1.000(\text{m})$
B_d : 掘削溝幅	$B_d = 2.100(\text{m})$
B_c : 管外径	$B_c = 0.584(\text{m})$
B_b : 基礎コンクリート幅	$B_b = 0.500(\text{m})$
θ : 有効支承角の $1/2$	$\theta = 90/2$ $= 45.000(^{\circ})$
ϕ : 埋戻し土の内部摩擦角	$\phi = 35(^{\circ})$

矢板引き抜き後に管にかかる鉛直土圧 w は、ゆるみ幅 B_e の値により次式によって求める。
ただし、 $H \leq H_1$ のときの土被り $H = 1.000(\text{m})$ の場合の計算を示す。

$$H_1 = \frac{B_d - B_c}{2 \cdot \tan \phi}$$

$$= \frac{2.100 - 0.584}{2 \times \tan 35}$$

$$= 1.083(\text{m})$$

$$K_{01} = \frac{E_0}{0.3} \cdot \left(\frac{B_b}{0.3}\right)^{-3/4}$$

$$= \frac{20000}{0.3} \times \left(\frac{0.500}{0.3}\right)^{-3/4}$$

$$= 45448.775(\text{kN/m}^3)$$

$$K_{02} = \frac{E_0}{0.3} \cdot \left(\frac{H \cdot \tan \phi}{0.3}\right)^{-3/4}$$

$$= \frac{20000}{0.3} \times \left(\frac{1.000 \times \tan 35}{0.3}\right)^{-3/4}$$

$$= 35304.462(\text{kN/m}^3)$$

$$A_{c1} = \frac{1}{K_{02}} + \frac{1}{E_g} \cdot \left\{ \frac{B_c}{2} \cdot (1 + \cos \theta) + Ch \right\}$$

$$= \frac{1}{35304.462} + \frac{1}{30000} \times \left\{ \frac{0.584}{2} \times (1 + \cos 45.000) + 0.250 \right\}$$

$$= 0.0000533$$

$$\psi'_{c1} = \frac{A_{c1}}{A_{c1} + H \cdot \tan \phi / (K_{01} \cdot B_b)}$$

$$= \frac{0.0000533}{0.0000533 + 1.000 \times \tan 35 / (45448.775 \times 0.500)}$$

$$= 0.6336710$$

$$q_1 = \frac{\gamma \cdot H \cdot (B_c + H \cdot \tan \phi) \cdot \psi'_{c1}}{B_c}$$

$$= \frac{18.000 \times 1.000 \times (0.584 + 1.000 \times \tan 35) \times 0.6336710}{0.584}$$

$$= 25.082(\text{kN/m}^2)$$

$$q_2 = \frac{\gamma \cdot H \cdot \{B_d - (B_c + H \cdot \tan \phi) \cdot \psi'_{c1}\}}{B_d - B_c}$$

$$= \frac{18.000 \times 1.000 \times \{2.100 - (0.584 + 1.000 \times \tan 35) \times 0.6336710\}}{2.100 - 0.584}$$

$$= 15.272(\text{kN/m}^2)$$

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{q_2}{q_1} \\ &= \frac{15.272}{25.082} \\ &= 0.609\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w &= \alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot Bd / \{Bd - Be - (1 - \xi) \cdot (Bd - Bc)^2 / (4 \cdot Be)\} \\ &= 1.1 \times 18.000 \times 1.000 \times 2.100 / \{2.100 - 0.873 \\ &\quad - (1 - 0.609) \times (2.100 - 0.584)^2 / (4 \times 0.873)\} \\ &= 42.881 \text{ (kN/m}^2\text{)}\end{aligned}$$

ここに、

w : 埋戻し土による鉛直土圧 (kN/m²)

α : 補正係数 (=1.1)

H : 土被り

Bd : 掘削溝幅

Bc : 管外径

Bb : 基礎コンクリート幅

Ch : 基礎コンクリート厚さ

θ : 有効支承角の 1/2

γ : 埋戻し土の単位体積重量

ϕ : 埋戻し土の内部摩擦角

Eg : 埋戻し土の変形係数

EO : 地盤の変形係数

ϕ'_{c1} : コンクリート基礎における管の土圧分担係数

K₀₁ : 管下部基礎地盤の反力係数 (kN/m³)

K₀₂ : 管側部下部基礎地盤の反力係数 (kN/m³)

H = 1.000 (m)

Bd = 2.100 (m)

Bc = 0.584 (m)

Bb = 0.500 (m)

Ch = 0.250 (m)

$\theta = 90/2$

= 45.000 (°)

$\gamma = 18.000 \text{ (kN/m}^3\text{)}$

$\phi = 35 \text{ (°)}$

Eg = 30000 (kN/m²)

EO = 20000 (kN/m²)

$\phi'_{c1} = 0.6336710$

CSD

3. 活荷重

活荷重については、ここでは自動車荷重の影響を考える。
 自動車荷重は「道路橋示方書・同解説」（日本道路協会発行）に定められた T-250 の後輪荷重を用いる。
 一般には前輪荷重の影響は無視するものとし、衝撃係数は土被りによって変化するもので、
 縦断方向には接地幅 0.2m で 45 度に分布するものとする。

活荷重による鉛直等分布荷重 p は、

$$p = \frac{2 \cdot P \cdot (1 + i) \cdot \beta}{C \cdot (a + 2 \cdot H \cdot \tan \theta)}$$

$$= \frac{2 \times 100.000 \times (1 + 0.500) \times 0.900}{2.75 \times (0.2 + 2 \times 1.000 \times \tan 45)}$$

$$= 44.628 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに、

p : 活荷重 (kN/m²)
 H : 土被り $H = 1.000 \text{ (m)}$
 P : 1 後輪荷重 (=100.000kN)
 a : 車輪接地長さ (=0.2m)
 C : 車体占有幅 (=2.75m)
 θ : 分布角度 (=45°)
 i : 衝撃係数 (土被りにより次の値を用いる) $i = 0.500$

	$H \leq 1.5$	$1.5 < H < 6.5$	$H \geq 6.5$
i	0.5	$0.65 - 0.1 \times H$	0

β : 断面力の低減係数 $\beta = 0.900$

	$H \leq 1.0$ かつ 管内径 $D \geq 4.0$	左記以外
β	1.0	0.9

4. 埋設管にかかる等分布荷重

以上により、埋設管にかかる等分布荷重 q は、

$$q = w + p$$

$$= 42.881 + 44.628$$

$$= 87.509 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに、

q : 等分布荷重
 w : 埋戻し土による鉛直土圧 $w = 42.881 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
 p : 活荷重 $p = 44.628 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

5. 管の抵抗曲げモーメント

管の抵抗曲げモーメント M_r は、

《1 種管》

$$M_r = 0.318 \cdot Q \cdot R + 0.239 \cdot W \cdot R$$

$$= 0.318 \times 42.2 \times 0.2585 + 0.239 \times 2.615 \times 0.2585$$

$$= 3.631 \text{ (kN} \cdot \text{m/m)}$$

《2 種管》

$$M_r = 0.318 \cdot Q \cdot R + 0.239 \cdot W \cdot R$$

$$= 0.318 \times 84.4 \times 0.2585 + 0.239 \times 2.615 \times 0.2585$$

$$= 7.099 \text{ (kN} \cdot \text{m/m)}$$

ここに、

M_r : 管の抵抗曲げモーメント (kN・m/m)
 Q : ひび割れ荷重:

《1 種管》 $Q = 42.2 \text{ (kN)}$

《2 種管》 $Q = 84.4 \text{ (kN)}$

R : 管厚中心半径

$R = 0.2585 \text{ (m)}$

W : 管自重

$W = 2.615 \text{ (kN/m)}$

6. 管の許容曲げモーメント

管の許容曲げモーメント Mr' は、安全率を 1.50 として、

《1種管》

$$\begin{aligned} Mr' &= Mr/1.50 \\ &= 3.631/1.50 \\ &= 2.421 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)} \end{aligned}$$

《2種管》

$$\begin{aligned} Mr' &= Mr/1.50 \\ &= 7.099/1.50 \\ &= 4.733 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)} \end{aligned}$$

ここに、

Mr' : 管の許容曲げモーメント (kN・m/m)

Mr : 管の抵抗曲げモーメント

《1種管》 $Mr = 3.631 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$

《2種管》 $Mr = 7.099 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$

7. 管体に生じる曲げモーメント

管体に生じる曲げモーメントは、

$k = 0.303$ とすると、

$$\begin{aligned} M &= k \cdot q \cdot R^2 \\ &= 0.303 \times 87.509 \times 0.2585^2 \\ &= 1.772 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)} \end{aligned}$$

ここに、

M : 管体に生じる曲げモーメント (kN・m/m)

R : 管厚中心半径

$R = 0.2585 \text{ (m)}$

q : 等分布荷重

$q = 87.509 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

k : 管の断面位置、支承条件によって変わる係数

基礎形式	砂基礎			コンクリート基礎		
	支持角	60°	90°	120°	90°	120°
k	0.377	0.314	0.275	0.303	0.243	0.220

鉄筋コンクリート管

下水道協会式

管の呼び径	D = 450 (mm)
活荷重	T-250
許容安全率	F = 1.50
基礎形状	コンクリート基礎
基礎支承角度	90°

支承条件ごとの発生曲げモーメントと、これに対応する管種を選定すると次表のようになる。

《1種管》

土被り H (m)	等分布荷重 q (kN/m ²)	許容曲げ モーメント Mr' (kN・m)	抵抗曲げ モーメント Mr (kN・m)	発生曲げ モーメント M (kN・m)	安全率	判定
1.000	87.509	2.421	3.631	1.772	2.049	OK
1.500	100.091	2.421	3.631	2.027	1.791	OK
2.000	118.442	2.421	3.631	2.398	1.514	OK
2.500	139.744	2.421	3.631	2.829	1.283	NG
3.000	162.634	2.421	3.631	3.293	1.103	NG
3.500	186.572	2.421	3.631	3.778	0.961	NG
4.000	210.968	2.421	3.631	4.271	0.850	NG
4.500	235.736	2.421	3.631	4.773	0.761	NG
5.000	260.835	2.421	3.631	5.281	0.688	NG

《2種管》

土被り H (m)	等分布荷重 (kN/m ²)	許容曲げ モーメント Mr' (kN・m)	抵抗曲げ モーメント Mr (kN・m)	発生曲げ モーメント M (kN・m)	安全率	判定
1.000	87.509	4.733	7.099	1.772	4.006	OK
1.500	100.091	4.733	7.099	2.027	3.502	OK
2.000	118.442	4.733	7.099	2.398	2.960	OK
2.500	139.744	4.733	7.099	2.829	2.509	OK
3.000	162.634	4.733	7.099	3.293	2.156	OK
3.500	186.572	4.733	7.099	3.778	1.879	OK
4.000	210.968	4.733	7.099	4.271	1.662	OK
4.500	235.736	4.733	7.099	4.773	1.487	NG
5.000	260.835	4.733	7.099	5.281	1.344	NG