

水道用鋼管の構造計算

サンプルデータ

1. 設計条件

管の種別	: 水道用鋼管
管の呼び径	: 700
種類	: STW 400
呼び厚さ	: A
管外径	D : 711.2 (mm)
管厚	t : 7.0 (mm)
管厚中心半径	R : 352.1 (mm)
断面係数	Z : 8.167 (mm ³ /mm)
断面二次モーメント	I : 28.583 (mm ⁴ /mm)
弾性係数	E : 200000 (MPa)
内圧	P : 1.0 (MPa)
土被り	H : 1.500 (m)
埋戻し土の単位体積重量	: 18.000 (kN/m ³)
土の反力係数	E' : 1.4 (MPa)
土圧	: 鉛直土圧式
活荷重	: T-25 (2台) ブーシネスク式
許容変形率	X _a : 5 (%)
許容曲げ応力度	a : 140 (MPa)
設計支承角	: 60 (°)

2. 内圧に対する検討

内圧による円周方向応力度は次式により算定する。

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad a \\ &= \frac{1.0 \times 697.2}{2 \times 7.0} \quad 140.0 \\ &= 49.8 \text{ (MPa)} \quad 140.0 \text{ (MPa)} \quad - \text{OK} - \end{aligned}$$

ここに、

σ_t	: 内圧による円周方向応力度 (MPa)	
P	: 内圧	1.0 (MPa)
D _i	: 管の内径	697.2 (mm)
t	: 管厚	7.0 (mm)
a	: 許容曲げ応力度	140.0 (MPa)

3. 外圧に対する検討

(1) 鉛直土圧式

$$\begin{aligned} W_v &= \gamma \cdot H \cdot 10^{-3} \\ &= 18.000 \times 1.500 \times 10^{-3} \\ &= 0.027 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

ここに、

W_v : 埋戻し土による鉛直土圧(MPa)
: 埋戻し土の単位体積重量 18.000(kN/m³)
 H : 土被り 1.500(m)

(2) 活荷重

活荷重については、自動車荷重の影響を考える。
自動車荷重はブーシネス式を用いる。

活荷重による鉛直等分布荷重 W_t は、

$$\begin{aligned} W_t &= \cdot (1+i) \cdot P \cdot \cdot 10^{-3} \\ &= 0.328588 \times (1+0.500) \times 100.000 \times 0.900 \times 10^{-3} \\ &= 0.044359(\text{MPa}) \end{aligned}$$

ここに、

W_t : 活荷重による鉛直等分布荷重(MPa)
 P : 1 後輪荷重 100.000(kN)
: 断面力の低減係数 0.900
 i : 衝撃係数 0.500
: 自動車荷重による鉛直荷重係数 0.328588(m⁻²)

表-1 衝撃係数 i

土被り H (m)	$H < 1.5$	$1.5 < H < 6.5$	$H > 6.5$
i	0.5	$0.65 - 0.1 \times H$	0

$$\begin{aligned} &= \frac{H}{l/2 \cdot D/2} \\ &= \frac{4 \cdot H}{l \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0.058423}{1.000 \times 0.7112} \\ &= 0.328588(\text{m}^{-2}) \end{aligned}$$

ここに、

H : ブーシネスクの式により求められる深さ H における
荷重面積上に作用する荷重の和
 H : 埋設深さ 1.500(m)
 l : 輪加重の分布長さ 1.000(m)
 D : 輪加重の分布幅 (= 管外径とする) 0.7112(m)

集中荷重 P 直下の 1 隅にある長方形の面積に働く鉛直荷重の和 H は次式で表される。

$$\begin{aligned} H &= F(A, B, H) \\ &= 0.25 \cdot \frac{1}{2} \times \left\{ \sin^{-1} H \cdot \sqrt{\frac{A^2 + B^2 + H^2}{(A^2 + H^2) \cdot (B^2 + H^2)}} - \frac{A \cdot B \cdot H}{\sqrt{A^2 + B^2 + H^2}} \cdot \left(\frac{1}{A^2 + H^2} + \frac{1}{B^2 + H^2} \right) \right\} \end{aligned}$$

台数 2 台の場合

自動車 2 台が平行同時通過の時は、隣接しあう自動車の後輪間隔をとり $l = 100\text{cm}$ とする。
荷重は後輪 4 個について考える

$$\begin{aligned}
& P1 \text{ による荷重} & H_1 &= F(175 + I / 2, D / 2, H) - F(175, D / 2, H) \\
& P2 \text{ による荷重} & H_2 &= F(I / 2, D / 2, H) \\
& P3 \text{ による荷重} & H_3 &= F(I, D / 2, H) - F(I / 2, D / 2, H) \\
& P4 \text{ による荷重} & H_4 &= F(175 + I, D / 2, H) - F(175 + I / 2, D / 2, H) \\
& \text{合計} & H &= H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \\
& & &= F(175 + I, D / 2, H) + F(I, D / 2, H) - F(175, D / 2, H) \\
& & &= 0.058423
\end{aligned}$$

4. 強度計算

埋設鋼管に土圧、各種上戴荷重等が作用したときの変形量および曲げ応力度は次式により算出する。

(1) 変形量及び変形率

変形量(X)

$$\begin{aligned}
X &= \frac{2 \cdot K_x \cdot (W_v + W_t) \cdot R^4}{E \cdot I + 0.06146 \cdot E' \cdot R^3} \\
&= \frac{2 \times 0.10258 \times (0.027 + 0.044359) \times 352.1^4}{200000 \times 28.583 + 0.06146 \times 1.4 \times 352.1^3} \\
&= 23.754(\text{mm})
\end{aligned}$$

変形率(X)

$$\begin{aligned}
X &= \frac{X}{2 \cdot R} \cdot 100 \quad X_a \\
&= \frac{23.754}{2 \times 352.1} \times 100 \quad 5 \\
&= 3.373(\%) \quad 5(\%) \quad - \text{OK} -
\end{aligned}$$

ここに、

X	: 水平方向の変形量(直径分)(mm)	
X _a	: 変形率(%)	
W _v	: 埋戻し土による鉛直土圧	0.027(MPa)
W _t	: 活荷重による鉛直等分布荷重	0.044359(MPa)
R	: 管厚中心半径	352.1(mm)
E	: 鋼の弾性係数	200000(MPa)
I	: 管の単位幅の断面二次モーメント	28.583(mm ⁴ /mm)
E'	: 土の反力係数	1.4(MPa)
K _x	: 水平方向変形係数	0.10258
X _a	: 許容変形率	5(%)

(2) 曲げ応力度

曲げ応力度(b)

$$\begin{aligned}
b &= \frac{2}{f \cdot Z} \cdot (W_v + W_t) \cdot \frac{A}{E \cdot I + 0.06146 \cdot E' \cdot R^3} \quad a \\
&= \frac{2}{1.5 \times 8.167} \times (0.027 + 0.044359) \times \frac{156942010641.176000}{200000 \times 28.583 + 0.06146 \times 1.4 \times 352.1^3} > 140.0 \\
&= 193.018(\text{MPa}) > 140.0(\text{MPa}) \quad - \text{NG} -
\end{aligned}$$

ここに、

$$\begin{aligned}
A &= K_b \cdot R^2 \cdot E \cdot I + (0.06146 \cdot K_b - 0.08303 \cdot K_x) \cdot E' \cdot R^5 \\
&= 0.18859 \times 352.1^2 \times 200000 \times 28.583 \\
&\quad + (0.06146 \times 0.18859 - 0.08303 \times 0.10258) \times 1.4 \times 352.1^5 \\
&= 156942010641.176000
\end{aligned}$$

σ_b	: 外圧による管底部曲げ応力度(MPa)	
f	: 形状係数	1.5
Z	: 管の単位幅の断面係数	8.167(mm ³ /mm)
W_v	: 埋戻し土による鉛直土圧	0.027(MPa)
W_t	: 活荷重による鉛直等分布荷重	0.044359(MPa)
R	: 管厚中心半径	352.1(mm)
E	: 鋼の弾性係数	200000(MPa)
I	: 管の単位幅の断面二次モーメント	28.583(mm ⁴ /mm)
E'	: 土の反力係数	1.4(MPa)
K_b	: 管底における曲げモーメント係数	0.18859
K_x	: 水平方向変形係数	0.10258
σ_a	: 許容曲げ応力度	140.0(MPa)

CSD

5. 結果一覧

管の種別	:水道用鋼管
管の呼び径	:700
種類	:STW 400
呼び厚さ	:A
管外径	D :711.2(mm)
管厚	t :7.0(mm)
管厚中心半径	R :352.1(mm)
断面係数	Z :8.167(mm ³ /mm)
断面二次モーメント	I :28.583(mm ⁴ /mm)
弾性係数	E :200000(MPa)
内圧	P :1.0(MPa)
埋戻し土の単位体積重量	:18.000(kN/m ³)
土の反力係数	E' :1.4(MPa)
土圧	:鉛直土圧式
活荷重	:T-25(2台) プーシネス式
許容変形率	X _a :5(%)
許容曲げ応力度	a :140(MPa)
設計支承角	:60(°)
計算土被り	:1.000~2.000(m)

土被り (m)	内圧による 応力 (MPa)	鉛直土圧		発生応力度 管底 (MPa)	変形率 (%)	判定
		埋戻土 W _v (MPa)	活荷重 W _t (MPa)			
1.000	49.8	0.018000	0.071448	241.947	4.228	NG
1.200	49.8	0.021600	0.058181	215.798	3.771	NG
1.300	49.8	0.023400	0.052900	206.383	3.607	NG
1.400	49.8	0.025200	0.048330	198.890	3.476	NG
1.500	49.8	0.027000	0.044359	193.018	3.373	NG
1.600	49.8	0.028800	0.040619	187.770	3.281	NG
1.700	49.8	0.030600	0.037345	183.783	3.212	NG
1.800	49.8	0.032400	0.034461	180.851	3.161	NG
1.900	49.8	0.034200	0.031909	178.817	3.125	NG
2.000	49.8	0.036000	0.029638	177.543	3.103	NG

管の種別 : 水道用鋼管
 管の呼び径 : 700
 種類 : STW 400
 呼び厚さ : B
 管外径 D : 711.2(mm)
 管厚 t : 6.0(mm)
 管厚中心半径 R : 352.6(mm)
 断面係数 Z : 6.00(mm³/mm)
 断面二次モーメント I : 18.0(mm⁴/mm)
 弾性係数 E : 200000(MPa)
 内圧 P : 1.0(MPa)
 埋戻し土の単位体積重量 : 18.000(kN/m³)
 土の反力係数 E' : 1.4(MPa)
 土圧 : 鉛直土圧式
 活荷重 : T-25(2台)
 ブーシネスク式
 許容変形率 X_a : 5(%)
 許容曲げ応力度 σ_a : 140(MPa)
 設計支承角 : 60(°)
 計算土被り : 1.000~2.000(m)

土被り (m)	内圧による 応力 (MPa)	鉛直土圧		発生応力度 管底 (MPa)	変形率 (%)	判定
		埋戻し土 W_v (MPa)	活荷重 W_t (MPa)			
1.000	58.3	0.018000	0.071448	290.828	5.456	NG
1.200	58.3	0.021600	0.058181	259.397	4.867	NG
1.300	58.3	0.023400	0.052900	248.079	4.654	NG
1.400	58.3	0.025200	0.048330	239.073	4.485	NG
1.500	58.3	0.027000	0.044359	232.014	4.353	NG
1.600	58.3	0.028800	0.040619	225.706	4.235	NG
1.700	58.3	0.030600	0.037345	220.914	4.145	NG
1.800	58.3	0.032400	0.034461	217.389	4.079	NG
1.900	58.3	0.034200	0.031909	214.944	4.033	NG
2.000	58.3	0.036000	0.029638	213.413	4.004	NG