

# 水道用ダクティル鉄管の構造計算

## サンプルデータ

### 1. 設計条件

管の種類	:	水道用ダクティル管
接合形式	:	K形
管の呼び径	:	1000
種類	:	1種管
管外径	D	:1041.0(mm)
管内径	d	:1008.0(mm)
管厚	t	:16.5(mm)
静水圧	$P_s$	:1.40(MPa)
水撃圧	$P_d$	:0.55(MPa)
土被り	H	:1.200(m)
埋戻し土の単位体積重量		:18.000(kN/m <sup>3</sup> )
土圧		:マーストン(溝型)公式
活荷重		:T-25
管材の引張強さ	S	:420.0(N/mm <sup>2</sup> )
埋戻し土の内部摩擦角		:30(°)
管頂部における溝幅	B	:1.500(m)
設計支承角		:60(°)

### 2. 埋設管にかかる等分布荷重

#### (1) マーストン(溝型)公式

$$W_f = Cd \cdot \gamma \cdot B$$
$$= 0.68872 \times 18.000 \times 1.500 \times 10^{-3}$$
$$= 0.018595(\text{MPa})$$

ここに、

$$Cd = \frac{1 - e^{-2 \cdot K \cdot \mu' \cdot H/B}}{2 \cdot K \cdot \mu'} = 0.68872$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = 0.333$$

$$\mu' = \tan \phi = 0.577$$

$W_f$	: 埋戻し土による鉛直土圧(MPa)	
$\gamma$	: 土の単位体積重量	18.000(kN/m <sup>3</sup> )
H	: 土被り	1.200(m)
Cd	: 溝型の場合の土圧係数	0.68872
K	: Rankine(ランキン)の土圧係数	0.333
$\phi$	: 埋戻し土の内部摩擦角	30(°)
$\phi'$	: 埋戻し土と溝側面の摩擦角	30(°) (通常 $\phi' = \phi$ )
$\mu'$	: 埋戻し土と溝側壁との摩擦係数	0.577
B	: 管頂部における溝幅	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「道路橋示方書・同解説」(日本道路協会発行)に定められた T-25 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  $W_t$  は、

$$W_t = \frac{2 \cdot P \cdot (1 + i) \cdot}{C \cdot (a + 2 \cdot H \cdot \tan \theta)} \cdot 10^{-3}$$

$$= \frac{2 \times 100,000 \times (1 + 0.500) \times 0.900}{2.75 \times (0.2 + 2 \times 1.200 \times \tan 45^\circ)} \times 10^{-3}$$

$$= 0.037762 \text{ (MPa)}$$

ここに、

$W_t$	: 活荷重による鉛直等分布荷重 (MPa)	
H	: 土被り	1.200 (m)
P	: 1 後輪荷重	100.000 (kN)
a	: 車輪接地幅	0.2 (m)
C	: 車体占有幅	2.75 (m)
	: 分布角度	45 (°)
i	: 衝撃係数	0.500
	: 断面力の低減係数	0.900

表-1 衝撃係数 i

土被り H(m)	H < 1.5	1.5 < H < 6.5	6.5 < H
i	0.5	0.65 - 0.1 × H	0

### 3. ダクティル管管厚計算

#### (1) 管厚計算式の誘導

ダクティル管の管厚計算式は、静水圧、水撃圧、埋戻し土による鉛直土圧および活荷重による鉛直等分布荷重を全部同時に考慮している。

内圧によって発生する引張応力  $t$  は、

$$t = t_s + t_d = \frac{(P_s + P_d) \cdot d}{2 \cdot t}$$

$$t_s = \frac{P_s \cdot d}{2 \cdot t} \dots \dots \dots (1)$$

$$t_d = \frac{P_d \cdot d}{2 \cdot t} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

- $t$  : 内圧によって発生する引張応力
- $t_s$  : 静水圧によって発生する応力
- $t_d$  : 水撃圧によって発生する応力
- $P_s$  : 静水圧
- $P_d$  : 水撃圧
- $d$  : 管内径

t : 管厚

外圧によって発生する曲げ応力  $\sigma_b$  は、

$$\sigma_b = \frac{(M_f + M_t)}{Z} \dots\dots\dots (3)$$

$$Z = \frac{b \cdot t^2}{6}$$

ここに、

- $M_f$  : 埋戻し土による鉛直土圧によって発生する曲げモーメント
- $M_t$  : 活荷重による鉛直等分布荷重によって発生する曲げモーメント
- Z : 断面係数
- b : 管長(単位長さで考えれば  $b = 1$ )
- t : 管厚

$$Z = \frac{t^2}{6}$$

なので、(3)式は

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot (M_f + M_t)}{t^2} \dots\dots\dots (4)$$

埋戻し土による鉛直土圧によって発生する曲げモーメント  $M_f$ 、活荷重による鉛直等分布荷重によって発生する曲げモーメント  $M_t$  は、

$$M_f = K_f \cdot W_f \cdot R^2$$

$$M_t = K_t \cdot W_t \cdot R^2$$

ここに、

- $K_f, K_t$ : 管底支持角により定まる係数
- $W_f$  : 埋戻し土による鉛直土圧
- $W_t$  : 活荷重による鉛直等分布荷重
- R : 管半径

これらを(4)式に代入すると、

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) \cdot R^2}{t^2} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

$\sigma_b$  は曲げ応力であるから、引張応力に換算するために 0.7 を乗じ、許容応力を  $\sigma_z$  とすると、管厚は次式を満足するように決定すればよいことになる。

$$t + 0.7 \cdot \sigma_b = \sigma_z \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

- 静水圧に対する安全率 2.5
- 水撃圧に対する安全率 2.0
- 埋戻し土による鉛直土圧に対する安全率 2.0
- 活荷重による鉛直等分布荷重に対する安全率 2.0

を見込み、管材の引張強さを S とすると、(6)式は、

$$2.5 \cdot t_s + 2.0 \cdot t_d + 1.4 \cdot t_b = S \dots\dots\dots (7)$$

R = Dm / 2 とおいて、(7)式に(1)式,(2)式,(5)式を代入すると、(Dm: 管厚中心半径)

$$S \cdot t^2 - (1.25 \cdot P_s + P_d) \cdot d \cdot t - 2.1 \cdot (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) \cdot Dm^2 = 0$$

Dm d とおいて、t について解くと、(d: 管内径)

$$t = \frac{(1.25 \cdot P_s + P_d) + \sqrt{(1.25 \cdot P_s + P_d)^2 + 8.4 \cdot (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) \cdot S}}{2 \cdot S} \cdot d$$

となる。

ここに、

- t : 設計管厚(mm)
- P<sub>s</sub> : 静水圧(MPa)
- P<sub>d</sub> : 水撃圧(MPa)
- K<sub>f</sub>, K<sub>t</sub>: 管底支持角により定まる係数
- W<sub>f</sub> : 埋戻し土による鉛直土圧(MPa)
- W<sub>t</sub> : 活荷重による鉛直等分布荷重(MPa)
- S : 管材の引張強さ(N/mm<sup>2</sup>)
- d : 管内径(mm)

さらに公称管厚 T は、

$$T = (t + 2) \cdot 1.1(\text{mm}) \quad t + 2 \geq 10(\text{mm}) \text{ の場合}$$

$$T = [(t + 2) + 1](\text{mm}) \quad t + 2 < 10(\text{mm}) \text{ の場合}$$

である。

## (2) 管厚計算

管頂における管厚計算

$$t_1 = \frac{(1.25 \cdot P_s + P_d) + \sqrt{(1.25 \cdot P_s + P_d)^2 + 8.4 \cdot (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) \cdot S}}{2 \cdot S} \cdot d$$

$$= \left\{ (1.25 \times 1.40 + 0.55) \right.$$

$$+ \sqrt{(1.25 \times 1.40 + 0.55)^2 + 8.4 \times (132 \times 10^{-6} \times 0.018595 + 76 \times 10^{-6} \times 0.037762) \times 420.0} \left. \right\}$$

$$/ (2 \times 420.0) \times 1008.0$$

$$= 5.525(\text{mm})$$

ここに、

- t<sub>1</sub> : 管頂における設計管厚(mm)
- P<sub>s</sub> : 静水圧 1.40(MPa)
- P<sub>d</sub> : 水撃圧 0.55(MPa)
- K<sub>f</sub> : 管底支持角により定まる係数 132 × 10<sup>-6</sup>
- K<sub>t</sub> : 管底支持角により定まる係数 76 × 10<sup>-6</sup>
- W<sub>f</sub> : 埋戻し土による鉛直土圧 0.018595(MPa)
- W<sub>t</sub> : 活荷重による鉛直等分布荷重 0.037762(MPa)

S	: 管材の引張強さ	420.0(N/mm <sup>2</sup> )
d	: 管内径	1008.0(mm)

公称管厚 T<sub>1</sub> は、

$$\begin{aligned}
 T_1 &= [(t_1 + 2) + 1] && 5.525 + 2 < 10(\text{mm}) \\
 &= [(5.525 + 2) + 1] \\
 &= 8.525(\text{mm})
 \end{aligned}$$

管底における管厚計算

$$\begin{aligned}
 t_2 &= \frac{(1.25 \cdot P_s + P_d) + \sqrt{(1.25 \cdot P_s + P_d)^2 + 8.4 \cdot (K_f \cdot W_f + K_t \cdot W_t) \cdot S}}{2 \cdot S} \cdot d \\
 &= \frac{\{(1.25 \times 1.40 + 0.55) \\
 &\quad + \sqrt{(1.25 \times 1.40 + 0.55)^2 + 8.4 \times (233 \times 10^{-6} \times 0.018595 + 11 \times 10^{-6} \times 0.037762) \times 420.0}\}}{2 \times 420.0} \times 1008.0 \\
 &= 5.524(\text{mm})
 \end{aligned}$$

ここに、

t <sub>2</sub>	: 管底における設計管厚(mm)	
P <sub>s</sub>	: 静水圧	1.40(MPa)
P <sub>d</sub>	: 水撃圧	0.55(MPa)
K <sub>f</sub>	: 管底支持角により定まる係数	233 × 10 <sup>-6</sup>
K <sub>t</sub>	: 管底支持角により定まる係数	11 × 10 <sup>-6</sup>
W <sub>f</sub>	: 埋戻し土による鉛直土圧	0.018595(MPa)
W <sub>t</sub>	: 活荷重による鉛直等分布荷重	0.037762(MPa)
S	: 管材の引張強さ	420.0(N/mm <sup>2</sup> )
d	: 管内径	1008.0(mm)

公称管厚 T<sub>2</sub> は、

$$\begin{aligned}
 T_2 &= [(t_2 + 2) + 1] && 5.524 + 2 < 10(\text{mm}) \\
 &= [(5.524 + 2) + 1] \\
 &= 8.524(\text{mm})
 \end{aligned}$$

したがって、公称管厚は管頂と管底の計算結果の大きいほうを採用する。

$$T = 8.525(\text{mm}) \quad t = 16.5(\text{mm}) \quad - \text{OK} -$$

ここに、

t	: 管厚	16.5(mm)
---	------	----------

#### 4. 結果一覧

管の種別	:水道用ダクタイル管
接合形式	:K形
管の呼び径	:1000
種類	:1種管
管外径	D :1041.0(mm)
管内径	d :1008.0(mm)
管厚	t :16.5(mm)
静水圧	$P_s$ :1.40(MPa)
水撃圧	$P_d$ :0.55(MPa)
埋戻し土の単位体積重量	:18.000(kN/m <sup>3</sup> )
土圧	:マーストン(溝型)公式
活荷重	:T-25
管材の引張強さ	S :420.0(N/mm <sup>2</sup> )
埋戻し土の内部摩擦角	:30(°)
管頂部における溝幅	B :1.500(m)
設計支承角	:60(°)
計算土被り	:1.000~2.000(m)

土被り (m)	鉛直土圧		設計公称管厚			判定
	埋戻し土 $W_f$ (MPa)	活荷重 $W_t$ (MPa)	管頂 $T_1$ (mm)	管底 $T_2$ (mm)	採用値 T (mm)	
1.000	$1.5879 \times 10^{-5}$	$4.4628 \times 10^{-5}$	8.525	8.524	8.525	OK
1.100	$1.7255 \times 10^{-5}$	$4.0909 \times 10^{-5}$	8.525	8.524	8.525	OK
1.200	$1.8595 \times 10^{-5}$	$3.7762 \times 10^{-5}$	8.525	8.524	8.525	OK
1.300	$1.9902 \times 10^{-5}$	$3.5065 \times 10^{-5}$	8.525	8.525	8.525	OK
1.400	$2.1176 \times 10^{-5}$	$3.2727 \times 10^{-5}$	8.525	8.525	8.525	OK
1.500	$2.2418 \times 10^{-5}$	$3.0682 \times 10^{-5}$	8.525	8.525	8.525	OK
1.600	$2.3628 \times 10^{-5}$	$2.8684 \times 10^{-5}$	8.525	8.525	8.525	OK
1.700	$2.4807 \times 10^{-5}$	$2.6909 \times 10^{-5}$	8.525	8.526	8.526	OK
1.800	$2.5957 \times 10^{-5}$	$2.5321 \times 10^{-5}$	8.525	8.526	8.526	OK
1.900	$2.7077 \times 10^{-5}$	$2.3891 \times 10^{-5}$	8.525	8.526	8.526	OK
2.000	$2.817 \times 10^{-5}$	$2.2597 \times 10^{-5}$	8.525	8.526	8.526	OK

管の種類 :水道用ダクティル管  
 接合形式 :K形  
 管の呼び径 :1000  
 種類 :2種管  
 管外径 D :1041.0(mm)  
 管内径 d :1012.0(mm)  
 管厚 t :14.5(mm)  
 静水圧  $P_s$  :1.40(MPa)  
 水撃圧  $P_d$  :0.55(MPa)  
 埋戻し土の単位体積重量 :18.000(kN/m<sup>3</sup>)  
 土圧 :マーストン(溝型)公式  
 活荷重 :T-25  
 管材の引張強さ S :420.0(N/mm<sup>2</sup>)  
 埋戻し土の内部摩擦角 :30(°)  
 管頂部における溝幅 B :1.500(m)  
 設計支承角 :60(°)  
 計算土被り :1.000~2.000(m)

土被り (m)	鉛直土圧		設計公称管厚			判定
	埋戻し土 $W_r$ (MPa)	活荷重 $W_t$ (MPa)	管頂 $T_1$ (mm)	管底 $T_2$ (mm)	採用値 T (mm)	
1.000	$1.5879 \times 10^{-5}$	$4.4628 \times 10^{-5}$	8.547	8.546	8.547	OK
1.100	$1.7255 \times 10^{-5}$	$4.0909 \times 10^{-5}$	8.547	8.546	8.547	OK
1.200	$1.8595 \times 10^{-5}$	$3.7762 \times 10^{-5}$	8.547	8.546	8.547	OK
1.300	$1.9902 \times 10^{-5}$	$3.5065 \times 10^{-5}$	8.547	8.547	8.547	OK
1.400	$2.1176 \times 10^{-5}$	$3.2727 \times 10^{-5}$	8.547	8.547	8.547	OK
1.500	$2.2418 \times 10^{-5}$	$3.0682 \times 10^{-5}$	8.547	8.547	8.547	OK
1.600	$2.3628 \times 10^{-5}$	$2.8684 \times 10^{-5}$	8.547	8.547	8.547	OK
1.700	$2.4807 \times 10^{-5}$	$2.6909 \times 10^{-5}$	8.547	8.548	8.548	OK
1.800	$2.5957 \times 10^{-5}$	$2.5321 \times 10^{-5}$	8.547	8.548	8.548	OK
1.900	$2.7077 \times 10^{-5}$	$2.3891 \times 10^{-5}$	8.547	8.548	8.548	OK
2.000	$2.817 \times 10^{-5}$	$2.2597 \times 10^{-5}$	8.547	8.548	8.548	OK

CSD

管の種類 :水道用ダクタイル管  
 接合形式 :K形  
 管の呼び径 :1000  
 種類 :3種管  
 管外径 D :1041.0(mm)  
 管内径 d :1015.0(mm)  
 管厚 t :13.0(mm)  
 静水圧  $P_s$  :1.40(MPa)  
 水撃圧  $P_d$  :0.55(MPa)  
 埋戻し土の単位体積重量 :18.000(kN/m<sup>3</sup>)  
 土圧 :マーストン(溝型)公式  
 活荷重 :T-25  
 管材の引張強さ S :420.0(N/mm<sup>2</sup>)  
 埋戻し土の内部摩擦角 :30(°)  
 管頂部における溝幅 B :1.500(m)  
 設計支承角 :60(°)  
 計算土被り :1.000~2.000(m)

土被り (m)	鉛直土圧		設計公称管厚			判定
	埋戻し土 $W_r$ (MPa)	活荷重 $W_t$ (MPa)	管頂 $T_1$ (mm)	管底 $T_2$ (mm)	採用値 T (mm)	
1.000	$1.5879 \times 10^{-5}$	$4.4628 \times 10^{-5}$	8.563	8.562	8.563	OK
1.100	$1.7255 \times 10^{-5}$	$4.0909 \times 10^{-5}$	8.563	8.562	8.563	OK
1.200	$1.8595 \times 10^{-5}$	$3.7762 \times 10^{-5}$	8.563	8.563	8.563	OK
1.300	$1.9902 \times 10^{-5}$	$3.5065 \times 10^{-5}$	8.563	8.563	8.563	OK
1.400	$2.1176 \times 10^{-5}$	$3.2727 \times 10^{-5}$	8.563	8.563	8.563	OK
1.500	$2.2418 \times 10^{-5}$	$3.0682 \times 10^{-5}$	8.563	8.563	8.563	OK
1.600	$2.3628 \times 10^{-5}$	$2.8684 \times 10^{-5}$	8.563	8.564	8.564	OK
1.700	$2.4807 \times 10^{-5}$	$2.6909 \times 10^{-5}$	8.563	8.564	8.564	OK
1.800	$2.5957 \times 10^{-5}$	$2.5321 \times 10^{-5}$	8.563	8.564	8.564	OK
1.900	$2.7077 \times 10^{-5}$	$2.3891 \times 10^{-5}$	8.563	8.564	8.564	OK
2.000	$2.817 \times 10^{-5}$	$2.2597 \times 10^{-5}$	8.563	8.565	8.565	OK



管の種類 :水道用ダクティル管  
 接合形式 :K形  
 管の呼び径 :1000  
 種類 :4種管  
 管外径 D :1041.0(mm)  
 管内径 d :1017.0(mm)  
 管厚 t :12.0(mm)  
 静水圧  $P_s$  :1.40(MPa)  
 水撃圧  $P_d$  :0.55(MPa)  
 埋戻し土の単位体積重量 :18.000(kN/m<sup>3</sup>)  
 土圧 :マーストン(溝型)公式  
 活荷重 :T-25  
 管材の引張強さ S :420.0(N/mm<sup>2</sup>)  
 埋戻し土の内部摩擦角 :30(°)  
 管頂部における溝幅 B :1.500(m)  
 設計支承角 :60(°)  
 計算土被り :1.000~2.000(m)

土被り (m)	鉛直土圧		設計公称管厚			判定
	埋戻し土 $W_r$ (MPa)	活荷重 $W_t$ (MPa)	管頂 $T_1$ (mm)	管底 $T_2$ (mm)	採用値 T (mm)	
1.000	$1.5879 \times 10^{-5}$	$4.4628 \times 10^{-5}$	8.574	8.573	8.574	OK
1.100	$1.7255 \times 10^{-5}$	$4.0909 \times 10^{-5}$	8.574	8.573	8.574	OK
1.200	$1.8595 \times 10^{-5}$	$3.7762 \times 10^{-5}$	8.574	8.574	8.574	OK
1.300	$1.9902 \times 10^{-5}$	$3.5065 \times 10^{-5}$	8.574	8.574	8.574	OK
1.400	$2.1176 \times 10^{-5}$	$3.2727 \times 10^{-5}$	8.574	8.574	8.574	OK
1.500	$2.2418 \times 10^{-5}$	$3.0682 \times 10^{-5}$	8.574	8.574	8.574	OK
1.600	$2.3628 \times 10^{-5}$	$2.8684 \times 10^{-5}$	8.574	8.575	8.575	OK
1.700	$2.4807 \times 10^{-5}$	$2.6909 \times 10^{-5}$	8.574	8.575	8.575	OK
1.800	$2.5957 \times 10^{-5}$	$2.5321 \times 10^{-5}$	8.574	8.575	8.575	OK
1.900	$2.7077 \times 10^{-5}$	$2.3891 \times 10^{-5}$	8.574	8.575	8.575	OK
2.000	$2.817 \times 10^{-5}$	$2.2597 \times 10^{-5}$	8.574	8.576	8.576	OK

CSD