

三浦市総務部財政管理課 殿

既設耐震貯水槽
ダクタイル鉄管の構造計算
(呼び径 2600、4.5 種管)

令和 2 年 8 月

株式会社クボタ

(公社) 日本水道協会規格、JWWA G 113・114:2010 (水道用ダクタイル鋳鉄管及び異形管) 解説に準じて、管の構造計算を行う。

1. 検討条件

(1) 呼び径	: $D = 2600$
(2) 管種	: 4.5 種管 (L U F)
(3) 公称管厚	: $T = 0.025 \text{ m}$
(4) 静水圧	: $P_s = 750 \text{ k N/m}^2 (\times 10^{-3} \text{ MP a})$
(5) 水撃圧	: $P_d = 550 \text{ k N/m}^2 (\times 10^{-3} \text{ MP a})$
(6) 土被り	: $H = 1.50 \text{ m}$
(7) 路面荷重	: $25T$
(8) 管底支持角	: $2\theta = 90^\circ$
(9) 土の単位体積重量	: $\gamma_s = 18 \text{ k N/m}^3$
(10) 土の内部摩擦角	: $\phi = 30^\circ$

2. 構造計算

2. 1 計算管厚

管の構造計算に用いる計算管厚を下記に示す。

$T - 0.0025 \geq 0.010 \text{ m}$ より

$$t_1 = \frac{T}{1.1} - 0.002 = \frac{0.025}{1.1} - 0.002 = 0.0207 \text{ m}$$

$$t_2 = \frac{T}{1.1} = \frac{0.025}{1.1} = 0.0227 \text{ m}$$

ここに、 T : 公称管厚 ($= 0.025 \text{ m}$)

$t_1^{1)}$: 応力計算管厚 (m)

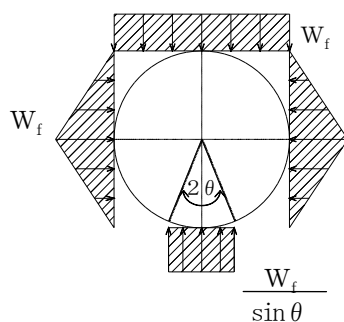
$t_2^{2)}$: たわみ計算管厚 (m)

注 1) 公称管厚 T から管厚の許容差および腐食に対する余裕代を引いたもの。

2) 公称管厚 T から管厚の許容差を引いたもの。

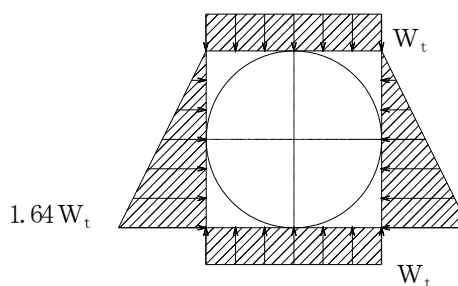
2. 2 土圧分布

土被りおよび路面荷重による土圧分布を図 1 に示す。



2θ : 管底支持角

土被りによる土圧分布



路面荷重による土圧分布

図 1 土圧分布

2. 3 応力に対する検討

2. 3. 1 内圧により管体に発生する引張応力

(1) 静水圧により管体に発生する引張応力

$$\sigma_{t1} = \frac{P_s D}{2 t_1} = \frac{750 \times 2.6}{2 \times 0.0207} \\ = 47039.5 \text{ k N/m}^2$$

ここに、 σ_{t1} ：静水圧により管体に発生する引張応力 (k N/m²)

P_s ：静水圧 (=750 k N/m²)

D ：呼び径 (=2.6 m)

t_1 ：応力計算管厚 (=0.0207 m)

(2) 水撃圧により管体に発生する引張応力

$$\sigma_{t2} = \frac{P_d D}{2 t_1} = \frac{550 \times 2.6}{2 \times 0.0207} \\ = 34495.6 \text{ k N/m}^2$$

ここに、 σ_{t2} ：水撃圧により管体に発生する引張応力 (k N/m²)

P_d ：水撃圧 (=550 k N/m²)

D ：呼び径 (=2.6 m)

t_1 ：応力計算管厚 (=0.0207 m)

2. 3. 2 外圧により管体に発生する曲げ応力

(1) 曲げモーメント係数

管頂および管底における曲げモーメント係数を表1に示す。ここで、土被りによる曲げモーメント係数 K_{f1} および K_{f2} は管底支持角 90° の場合を示す。路面荷重による曲げモーメント係数 K_{t1} および K_{t2} は定数である。

表1 曲げモーメント係数

管 頂		管 底	
K_{f1}	K_{t1}	K_{f2}	K_{t2}
0.12	0.076	0.16	0.011

(2) 土被りによる土圧

土被りによる土圧は、土被り 2 m 以下は垂直公式で計算し、2 m を越える場合はヤンセン公式の値と土被り 2 m の垂直公式の値を比較して大きい方を使用する。

ただし、盛土の場合、および矢板施工で矢板引抜き時の土の緩みを考慮する場合は、土被りが 2 m を越える場合であっても垂直公式で計算する。

本検討では、以下に示す垂直公式で計算した。

$$\begin{aligned}W_f &= \gamma_s H \\&= 18 \times 1.5 \\&= 27.000 \text{ k N/m}^2\end{aligned}$$

ここに、 W_f : 土被りによる土圧 (k N/m²)
 γ_s : 土の単位体積重量 (=18 k N/m³)
 H : 土被り (=1.5 m)

(3) 路面荷重による土圧

$$W_t = 12.499 \text{ k N/m}^2$$

ここに、 W_t : 路面荷重による土圧 (k N/m²)

なお、上記の土圧の計算根拠を以下に示す。

(計算根拠)

ラフタークレーン作業時の路面荷重による土圧は、図2に示すようにアウトリガー1脚分の軸重が作用する。

$$\begin{aligned}W_t &= q_{TC} \cdot (1+i) \cdot \frac{1}{(a+2h \tan \theta)(b+2h \tan \theta)} \\&= 130.2 \times (1+0.2) \times \frac{1}{(0.5+2 \times 1.5 \times \tan 45^\circ)(0.5+2 \times 1.5 \times \tan 45^\circ)} \\&= 12.499 \text{ k N/m}^2\end{aligned}$$

ここに、 W_t : 路面荷重による土圧 (k N/m²)

q_{TC} : アウトリガー最大荷重

(1脚軸重に吊荷荷重が作用すると仮定した)

{=65.0+65.2=130.2 k N}

a : アウトリガー敷鉄板の長さ (=0.5 m) ※仮定

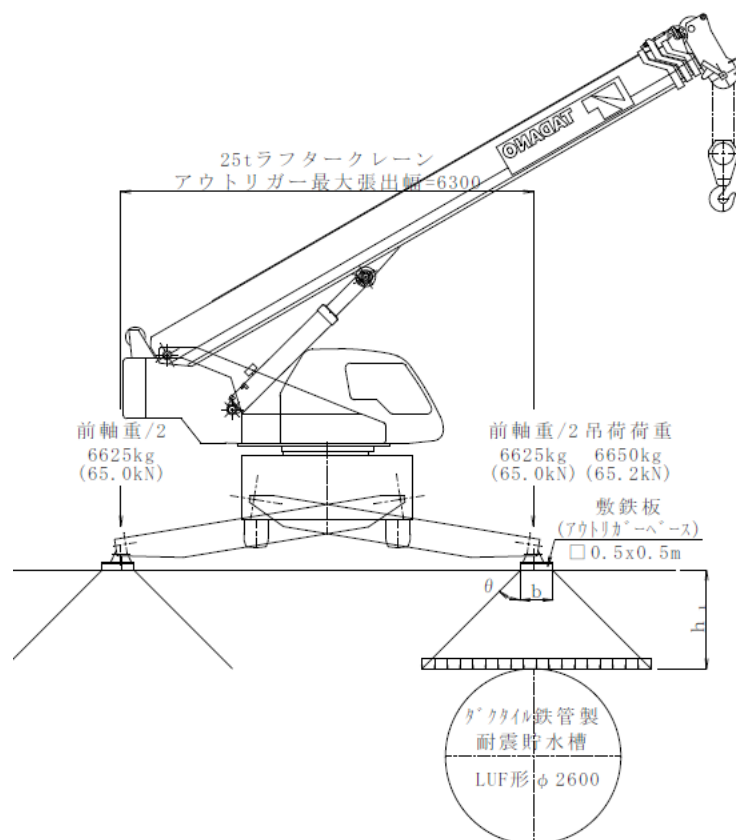
b : アウトリガー敷鉄板の幅 (=0.5 m) ※仮定

h : 管頂までの深さ (=1.5 m)

i : 衝撃係数 (=0.2)

θ : 地中への分散角 (=45°)

(参考図) ラフタークレーンの载荷状況



※ 軸重は、タダノTR-250M型仕様書より。
吊荷荷重は横型仕切弁6600kg+吊り具50kgと仮定。

(4) 外圧により管体に発生する曲げ応力

外圧により管体に発生する曲げ応力は、管頂および管底について計算し、大きい方の値を使用する。

①管頂に発生する曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_{b1} &= \frac{6 (K_{f1} W_f + K_{t1} W_t) R^2}{t_1^2} \\ &= \frac{6 \times (0.12 \times 27.000 + 0.076 \times 12.499) \times 1.3^2}{0.0207^2} \\ &= 98891.7 \text{ k N/m}^2\end{aligned}$$

②管底に発生する曲げ応力

$$\begin{aligned}\sigma_{b2} &= \frac{6 (K_{f2} W_f + K_{t2} W_t) R^2}{t_1^2} \\ &= \frac{6 \times (0.16 \times 27.000 + 0.011 \times 12.499) \times 1.3^2}{0.0207^2} \\ &= 105206.8 \text{ k N/m}^2\end{aligned}$$

ここに、 σ_{b1} ：外圧により管頂に発生する曲げ応力 (k N/m²)

K_{f1} ：土被りによる管頂の曲げモーメント係数 (=0.12)

W_f ：土被りによる土圧 (=27.000 k N/m²)

K_{t1} ：路面荷重による管頂の曲げモーメント係数 (=0.076)

W_t ：路面荷重による土圧 (=12.499 k N/m²)

R ：管半径 ($=\frac{D}{2}=1.3 \text{ m}$)

t_1 ：応力計算管厚 (=0.0207 m)

σ_{b2} ：外圧により管底に発生する曲げ応力 (k N/m²)

K_{f2} ：土被りによる管底の曲げモーメント係数 (=0.16)

K_{t2} ：路面荷重による管底の曲げモーメント係数 (=0.011)

したがって、外圧により管体に発生する曲げ応力は、 $\sigma_b=105206.8 \text{ k N/m}^2$ となる。

2. 3. 3 合計応力

内圧による引張応力と外圧による曲げ応力に 0.7 を乗じて引張応力に換算したものに、それぞれ規定の安全率を見込んで足し合わせたものを合計応力とする。

$$\begin{aligned}\sigma &= (S_{f1} \sigma_{t1} + S_{f2} \sigma_{t2}) + 0.7 S_{f3} \sigma_b \\ &= (2.5 \times 47039.5 + 2 \times 34495.6) + 0.7 \times 2 \times 105206.8 \\ &= 333879.5 \text{ k N/m}^2 \leq \sigma_0\end{aligned}$$

ここに、 σ : 合計応力 (k N/m²)

S_{f1} : 静水圧に対する安全率 (=2.5)

σ_{t1} : 静水圧により管体に発生する引張応力
(=47039.5 k N/m²)

S_{f2} : 水撃圧に対する安全率 (=2)

σ_{t2} : 水撃圧により管体に発生する引張応力
(=34495.6 k N/m²)

S_{f3} : 土被りおよび路面荷重による土圧に対する安全率
(=2)

σ_b : 外圧により管体に発生する曲げ応力
(=105206.8 k N/m²)

σ_0 : ダクタイル鉄管の引張強さ (=420000 k N/m²)

2. 4 たわみに対する検討

2. 4. 1 たわみ係数

土被りおよび路面荷重に対するたわみ係数を表 2 に示す。ここで、土被りに対するたわみ係数 k_f は管底支持角 90 ° の場合を示す。路面荷重に対するたわみ係数 k_t は定数である。

表 2 たわみ係数

k_f	k_t
0.084	0.030

2. 4. 2 土被りによるたわみ量

$$\begin{aligned}\delta_f &= k_f \frac{W_f R^4}{E I} \\ &= 0.084 \times \frac{27.000 \times 1.3^4}{160000000 \times 0.978 \times 10^{-6}} \\ &= 0.0414 \text{ m}\end{aligned}$$

ここに、 δ_f : 土被りによるたわみ量 (m)

k_f : 土被りに対するたわみ係数 (=0.084)

W_f : 土被りによる土圧 (=27.000 k N/m²)

R : 管半径 ($= \frac{D}{2} = 1.3 \text{ m}$)

E : ダクタイル鋳鉄の弾性係数 (=160000000 k N/m²)

I : 断面2次モーメント (管長1 m当り)

$$\left(= \frac{t_2^3}{12} = 0.978 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m} \right)$$

t_2 : たわみ計算管厚 (=0.0227 m)

2. 4. 3 路面荷重によるたわみ量

$$\begin{aligned}\delta_t &= k_t \frac{W_t R^4}{E I} \\ &= 0.030 \times \frac{12.499 \times 1.3^4}{160000000 \times 0.978 \times 10^{-6}} \\ &= 0.0068 \text{ m}\end{aligned}$$

ここに、 δ_t : 路面荷重によるたわみ量 (m)

k_t : 路面荷重に対するたわみ係数 (=0.030)

W_t : 路面荷重による土圧 (=12.499 k N/m²)

R : 管半径 ($= \frac{D}{2} = 1.3 \text{ m}$)

E : ダクタイル鋳鉄の弾性係数 (=160000000 k N/m²)

I : 断面2次モーメント (管長1 m当り)

$$\left(= \frac{t_2^3}{12} = 0.978 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m} \right)$$

t_2 : たわみ計算管厚 (=0.0227 m)

2. 4. 4 合計たわみ量およびたわみ率

$$\begin{aligned}\delta &= \delta_f + \delta_t \\ &= 0.0414 + 0.0068 \\ &= 0.0482 \text{ m}\end{aligned}$$

ここに、 δ : 合計たわみ量 (m)

δ_f : 土被りによるたわみ量 (=0.0414 m)

δ_t : 路面荷重によるたわみ量 (=0.0068 m)

$$\begin{aligned}R_b &= \frac{\delta}{D} \times 100 \\ &= \frac{0.0482}{2.6} \times 100\end{aligned}$$

$$= 1.8549 \% \leq 3 \% \text{ (設計たわみ率¹⁾)}$$

ここに、 R_b : たわみ率 (%)

δ : 合計たわみ量 (=0.0482 m)

D : 呼び径 (=2.6 m)

注1) 設計たわみ率 (たわみ/呼び径) は、モルタルライニングのクラック発生や施工のバラツキ等を考慮して、一般に 3%以下とする。

3. まとめ

以上の検討より、ダクタイル鉄管の引張り強さは発生応力に対して規定の安全率を確保しており、たわみ率も3%以下となる。

したがって、管は安全であると考えられる。

以 上