

スラスト対策工設計システム

Ver3.0

適用基準

- 土地改良事業計画設計基準：設計「パイプライン」(R3/6)

出力例

管種：農業用ダクタイル鋳鉄管 600φ

対策工：水平&鉛直屈曲管・T字管・片落ち管・弁栓部

- 入力データの印刷
- 詳細計算書の印刷
- 結果一覧表の印刷

開発・販売元

(株)SIP システム お問い合わせ先：大阪事務所（技術サービス）

〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501

TEL：06-6125-2232 FAX：06-6125-2233

<http://www.sipc.co.jp> mail@sipc.co.jp

目 次

1	表題	2
2	使用管種	2
3	荷重条件	2
	3.1 埋戻し土.....	2
	3.2 設計水圧.....	2
	3.3 その他の定数.....	2
	3.4 安全率.....	2
4	検討断面	3
	4.1 断面 1 (鉛直屈曲部).....	3
	4.2 断面 2 (鉛直屈曲部).....	4
	4.3 断面 3 (T字管).....	4
	4.4 断面 4 (片落ち部).....	5
	4.5 断面 5 (弁栓部).....	6

1 表題

スラスト対策工設計計算例

2 使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 600 (DB, K形)

管厚 7.5 (mm)

外径 630.8 (mm) , 内径 615.8 (mm)

モルタルライニング なし

管体の単重 70.0 (kN/m³)

モルタルの単重 21.0 (kN/m³)

管体のヤング係数 160.0×10^6 (kN/m²)

3 荷重条件

3.1 埋戻し土

埋戻し土の単位体積重量 w 18.0 (kN/m³)

埋戻し土の水中単位体積重量 w' 10.0 (kN/m³)

内部摩擦角 ϕ 30.0 (°)

水の単位体積重量 w_0 9.8 (kN/m³)

管内水の単位体積重量 w_{0i} 9.8 (kN/m³)

コンクリートの単位体積重量 γ_c 23.0 (kN/m³)

3.2 設計水圧

設計水圧 H 0.300 (MPa)

3.3 その他の定数

管側面と土の摩擦係数 μ 0.50

土とコンクリートの摩擦係数 μ' 0.50

曲面の受働土圧の補正係数 F 0.65

管の線膨張率 α 1.15×10^{-5}

3.4 安全率

	スラスト力の検討 (裸管)	構造物の設計
滑動	1.50	1.50
浮上	1.20	1.20
沈下	1.20	1.00

4 検討断面

4.1 断面 1 (鉛直屈曲部)

使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 $\phi 600$ (DB, K形)

管厚 7.5 (mm)

外径 630.8 (mm) , 内径 615.8 (mm)

上流側継手までの距離	L_1	0.640 (m)
下流側継手までの距離	L_2	0.640 (m)
曲がり中心半径	R	0.600 (m)
水平曲がり角度	θ_h	----- (°)
管上流側と水平のなす角	β_u	0.0 (°)
管下流側と水平のなす角	β_d	45.0 (°)
地表面から屈曲点までの深さ	H_c	2.500 (m)
地下水位	H_w G.L. -	0.100 (m)
管内平均流速	V	0.800 (m/sec)
管の重量	W_p	0.95 (kN)
管内水重	W_w	3.71 (kN)
管底面の地盤の許容支持力度	σ_{rv}	100.00 (kN/m ²)
設計水圧が作用する断面積	外径	
設計水圧	H	0.300 (MPa)

スラスト対策工： スラストブロック①

スラストブロックの寸法 (m)

L_1	1.000	B_1	1.500	H_1	1.828
L_2	1.400	B_2	1.000	H_2	0.672
L_3	1.000	B_3	-----	H_3	0.778
L_4	-----				

管の重量 1.69 (kN)

管内水重 6.62 (kN)

滑動検討時のスラスト鉛直分力 考慮しない

4.2 断面 2 (鉛直屈曲部)

使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 600 (DB, K形)

管厚 7.5 (mm)

外径 630.8 (mm) , 内径 615.8 (mm)

上流側継手までの距離	L_1	0.640 (m)
下流側継手までの距離	L_2	0.640 (m)
曲がり中心半径	R	0.600 (m)
水平曲がり角度	θ_h	----- ($^{\circ}$)
管上流側と水平のなす角	β_u	15.0 ($^{\circ}$)
管下流側と水平のなす角	β_d	0.0 ($^{\circ}$)
地表面から屈曲点までの深さ	H_c	2.300 (m)
地下水位	H_w G.L. -	1.000 (m)
管内平均流速	V	0.800 (m/sec)
管の重量	W_p	0.97 (kN)
管内水重	W_w	3.78 (kN)
管底面の地盤の許容支持力度	σ_{rv}	100.00 (kN/m ²)
設計水圧が作用する断面積	外径	
設計水圧	H	0.200 (MPa)

4.3 断面 3 (T字管)

上流側使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 600 (DB, K形)

管厚 7.5 (mm)

外径 630.8 (mm) , 内径 615.8 (mm)

分岐管使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 400 (DB, K形)

管厚 5.5 (mm)

外径 425.6 (mm) , 内径 414.6 (mm)

本管上流側継手までの距離	L_1	0.700 (m)
本管下流側継手までの距離	L_2	0.700 (m)
枝管継手までの距離	L_3	0.700 (m)
地表面から管中心までの深さ	H_c	1.340 (m)
地下水位	H_w G.L. -	1.000 (m)
設計水圧	H	0.300 (MPa)

スラスト対策工： 離脱防止継手による接合

安全率	S	1.50
単管1本の長さ	L_p	6.000 (m)

4.4 断面 4 (片落ち部)

上流側使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 600 (DB, K形)

管厚 7.5 (mm)

外径 630.8 (mm) , 内径 615.8 (mm)

下流側使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 400 (DB, K形)

管厚 5.5 (mm)

外径 425.6 (mm) , 内径 414.6 (mm)

地表面から管中心までの深さ H_c 2.800 (m)

管の寸法 L_1 1.200 (m)

L_2 0.600 (m)

L_3 0.400 (m)

地下水位 H_c G. L. - 1.000 (m)

管の重量 W_p 1.15 (kN)

管内水重 W_w 4.52 (kN)

管底面の地盤の許容支持力度 σ_{rv} 100.00 (kN/m²)

設計水圧 H 0.200 (MPa)

スラスト対策工 : スラストブロック①

スラストブロックの寸法 (m)

L_1	0.000	B_1	0.700	H_1	2.000
L_2	2.000	B_2	0.700	H_2	0.800
L_3	0.000	B_3	-----	H_3	0.800
L_4	-----				

管の重量 1.12 (kN)

管内水重 4.47 (kN)

滑動検討時のスラスト鉛直分力 考慮しない

4.5 断面 5 (弁栓部)

使用管種

農業用ダクタイル鋳鉄管 $\phi 600$ (DB, K形)

管厚 7.5 (mm)

外径 630.8 (mm) , 内径 615.8 (mm)

地表面から管中心までの深さ	H_c	4.000 (m)
管体の軸方向許容圧縮応力度	σ_a	2.36 (N/mm ²)
コンクリートの許容押抜きせん断応力度	τ_a	0.45 (N/mm ²)
スティフナーの許容せん断応力度	τ_{ta}	0.36 (N/mm ²)
せん断力を受けるコンクリート厚	d	20.0 (mm)
スティフナー厚	t_s	10.0 (mm)
スティフナー周長	b_p	980.0 (mm)
設計水圧	H	0.200 (MPa)

スラスト対策工： 離脱防止継手による接合

安全率 S 1.50

目 次

1	断面 1	3
1.1	設計条件	3
1.2	設計断面	4
1.3	スラスト力の算出	4
1.4	鉛直曲がりに伴う滑動に対する検討	6
1.5	浮上に対する検討	7
1.6	スラストブロックの計算	9
1.6.1	形状寸法図	9
1.6.2	スラスト力	9
1.6.3	スラストブロック底面に加わる全荷重	9
1.6.4	スラストブロック底面に加わる全荷重（沈下検討用）	10
1.6.5	スラストブロックに働く浮力	10
1.6.6	鉛直曲がりによるスラストブロックの滑動	11
1.6.7	浮上に対する検討	12
1.6.8	沈下に対する検討	13
2	断面 2	14
2.1	設計条件	14
2.2	設計断面	15
2.3	スラスト力の算出	15
2.4	鉛直曲がりに伴う滑動に対する検討	17
2.5	浮上に対する検討	18
2.6	沈下に対する検討	20
3	断面 3	21
3.1	設計条件	21
3.2	設計断面	22
3.3	スラスト力の算出	22
3.4	滑動に対する検討	23
3.5	一体化長さの計算	24
3.5.1	計算式	24
3.5.2	一体化長さの算出	24
4	断面 4	25
4.1	設計条件	25
4.2	設計断面	26
4.3	スラスト力の算出	26
4.4	滑動に対する検討	27
4.5	スラストブロックの計算	28
4.5.1	形状寸法図	28
4.5.2	スラスト力	28
4.5.3	スラストブロック底面に加わる全荷重	28
4.5.4	スラストブロック底面に加わる全荷重（沈下検討用）	29
4.5.5	スラストブロックに働く浮力	29
4.5.6	スラストブロックの滑動に対する照査	30

4.5.7	浮上に対する検討.....	31
4.5.8	沈下に対する検討.....	32
5	断面 5.....	33
5.1	設計条件.....	33
5.2	スラスト力の算出.....	33
5.3	管体応力の検討.....	34
5.4	スティフナー固定部の照査.....	34
5.5	スティフナー溶接部の検討.....	35
5.6	一体化長さの計算.....	36

1 断面 1

1.1 設計条件

準拠指針： 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」
令和3年6月 農林水産省農村振興局整備部設計課
(以後、基準書と略称する)

スラスト形式： 鉛直屈曲部

管 種： 農業用ダクタイル鑄鉄管 $\phi 600$ (DB, K形)
外径 $D_o=630.8$ (mm) , 管厚 $T=7.5$ (mm)
計算管厚 $t=T-2=7.5-2=5.5$ (mm)
(基準書 p. 313, $t+1 < 10\text{mm}$, $\phi 700$ 以下より)
計算内径 $D=D_o-2t=630.8-2 \times 5.5=619.8$ (mm)

曲がり中心半径： 0.600 (m)
上流側継ぎ手までの管長： 0.640 (m)
下流側継ぎ手までの管長： 0.640 (m)
屈曲角度 水平屈曲角度： ----- ($^{\circ}$)
鉛直屈曲角度(上流側)： 0.0 ($^{\circ}$)
鉛直屈曲角度(下流側)： 45.0 ($^{\circ}$)
合成屈曲角度： 45.0 ($^{\circ}$)
地表面から屈曲点までの深さ： 2.500 (m)
地下水位 G.L. - 0.100 (m)

設計水圧： $H = 0.300$ (MPa) = 300.00 (kN/m²)
管内平均流速： 0.800 (m/s)

土の内部摩擦角： 30.0 ($^{\circ}$)
管底面地盤の許容支持力度： 100.0 (kN/m²)

単位体積重量 埋戻し土： 18.00 (kN/m³)
地下水： 9.80 (kN/m³)
管内水： 9.80 (kN/m³)
コンクリート： 23.00 (kN/m³)

1.2 設計断面

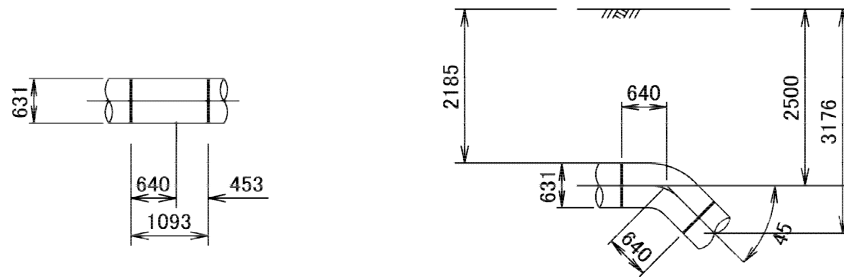


図-1.1 寸法図

1.3 スラスト力の算出

スラスト力は式(1)により求める。(基準書 p.415)

$$P' = 2 \cdot H \cdot a_c \cdot \sin \frac{\theta}{2} + \frac{2a \cdot w_0 \cdot V^2}{g} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、
- P' : スラスト力 (kN)
 - H : 設計水圧 300.0 (kN/m²)
 - a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積
a_c = π/4 × 0.6308² = 0.3125 (m²)
 - θ : 屈曲角度 (°)
 - a : 設計水圧が作用する断面積
a = π/4 × 0.6198² = 0.3017 (m²)
 - w₀ : 管内水の単位体積重量 9.80 (kN/m³)
 - V : 管内平均流速 0.800 (m/s)
 - g : 重力の加速度 9.80 (m/s²)

鉛直曲がりによるスラスト力

鉛直屈曲角度 $\theta = 45.0$ (°)

$$P' = 2 \times 300.0 \times 0.3125 \times \sin \frac{45.0}{2} + \frac{2 \times 0.3017 \times 9.8 \times 0.800^2}{9.8} \times \sin \frac{45.0}{2} = 71.90 \text{ (kN)}$$

スラスト力の水平分力

$$P_h = p' \cdot \sin(\theta/2 \pm \beta) = 71.90 \times \sin\left(\frac{45.0}{2} + 0.0\right) = 27.52 \text{ (kN)}$$

ただし、 β ：上下流の管路のうち、水平に近いほうの管路が水平面となす角。
なお、上下流の管路が水平面の異なる側にあるとき正、
同じ側にあるときを負とする。

スラスト力の鉛直分力(上向き)

$$P_v = p' \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2} \pm \beta\right) = 71.90 \times \cos\left(\frac{45.0}{2} + 0.0\right) = 66.43 \text{ (kN)}$$

1.4 鉛直曲がりに伴う滑動に対する検討

管の鉛直曲がりに伴う滑動は式(2)～(6)により検討する。(基準書 p.417～419)

$$R_h \geq S \cdot P_h \quad \dots\dots\dots (2)$$

(地下水位が管底より低い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(地下水位が管頂より高い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(その他の場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w(H_2^2 - H_1^2) - (w-w')(H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 R_h ：	水平方向抵抗力(管背面の受働土圧)	(kN)
P_h ：	スラスト力の水平分力	27.52 (kN)
S ：	安全率	1.50
F ：	曲面の受働土圧の補正係数	0.65
w ：	土の単位体積重量	18.00 (kN/m ³)
w' ：	土の水中単位体積重量	10.00 (kN/m ³)
B_b ：	管背面の幅 $B_b=D_c$	0.6308 (m)
H_1 ：	地表面から管頂面までの深さ	2.185 (m)
H_2 ：	地表面から管底面までの深さ	3.176 (m)
H_w ：	地下水面までの深さ	0.100 (m)
K_p ：	受働土圧係数	
ϕ ：	土の内部摩擦角	30.0 (°)

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{30.00}{2} \right) = 3.0000$$

$$R_h = 0.65 \times \frac{1}{2} \times 3.000 \times 0.631$$

$$\times \left\{ 10.00 \times (3.176^2 - 2.185^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 0.100 \times (3.176 - 2.185) \right\}$$

$$= 33.64 \text{ (kN)}$$

$$S \cdot P_h = 1.50 \times 27.52 = 41.28 \text{ (kN)} > R_h = 33.64 \text{ (kN)}$$

よって、滑動に対して対策が必要である。

1.5 浮上に対する検討

管の浮上に対する検討は式(7)～(10)により行う。(基準書 p.417～419)

$$R_v + W - U \geq S \cdot P_v \quad \dots\dots\dots (7)$$

(地下水位が管底より低い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

(地下水位が管頂より高い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

(その他の場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left\{ w(H_2^2 - H_1^2) - (w-w')(H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

- ここで、 R_v : 管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN)
 P_v : スラスト力の鉛直分力(上向き) 66.43 (kN)
 w : 土の単位体積重量 18.00 (kN/m³)
 w' : 土の水中単位体積重量 10.00 (kN/m³)
 L : 管側面の摩擦を受ける長さ
 $2 \times 1.093 = 2.185$ (m)
 μ : 管側面と土の摩擦係数 0.50
 H_1 : 地表面から管頂面までの深さ 2.185 (m)
 H_2 : 地表面から管底面までの深さ 3.176 (m)
 H_w : 地表面から地下水面までの深さ 0.100 (m)
 ϕ : 土の内部摩擦角 30.0 (°)
 W : 管底面に加わる全荷重 (kN)
 $W = W_1 + W_2$
 W_1 : 管上の埋戻し土による鉛直土圧 (kN)
 $W_1 = w \cdot H_w \cdot A = 18.0 \times 2.457 \times 0.689 = 30.48$ (kN)
 W_2 : 曲管類の重量および管内水重 (kN)
 $W_2 = 0.95 + 3.71 = 4.66$ (kN)
 H_w : 地表面からの平均深さ 2.457 (m)
 A : 管底面積
 $A = (0.640 \times \cos 0.0 + 0.640 \times \cos 45.0) \times 0.6308 = 0.689$ (m²)
 U : 管の浮力 (kN)
 $U = \pi / 4 \times 0.6308^2 \times 9.8 \times 1.254 = 3.84$ (kN)
 S : 安全率 1.20

$$\begin{aligned}
R_v &= \frac{1}{2} \times 2.185 \times 0.50 \times \tan^2 \left(45 - \frac{30.00}{2} \right) \\
&\quad \times \left\{ 10.00 \times (3.176^2 - 2.185^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 0.100 \times (3.176 - 2.185) \right\} \\
&= 9.96 \text{ (kN)} \\
R_v + W - U &= 9.96 + (30.48 + 4.66) - 3.84 = 41.26 \text{ (kN)} \\
&< S \cdot P_v = 1.20 \times 66.43 = 79.72 \text{ (kN)}
\end{aligned}$$

よって、浮上に対して対策が必要である。

1.6 スラストブロックの計算

1.6.1 形状寸法図

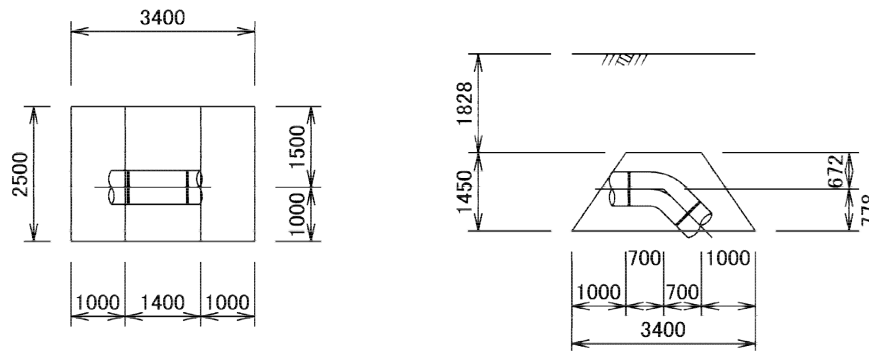


図-1.2 寸法図

1.6.2 スラスト力

水平方向スラスト力	$P_h =$	0.00 (kN)
鉛直方向スラスト力	$P'_v =$	71.90 (kN)
水平分力	$P_v =$	27.52 (kN)
鉛直分力	$P_v =$	66.43 (kN)

1.6.3 スラストブロック底面に加わる全荷重

	名称	計算式	重量 (kN)
1	ブロック自重 1	$3.400 \times 1.450 \times 2.500 \times 23.0$	283.48
2	ブロック自重 2	$-1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 23.0$	-41.69
3	ブロック自重 3	$-1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 23.0$	-41.69
4	管の控除	$-0.313 \times (0.915 + 0.852 + 0.471) \times 23.0$	-16.09
5	$3.400 \times 0.100 \times 2.500 \times 18.00$	15.30	
6	埋戻し土 2	$3.400 \times 1.728 \times 2.500 \times 10.00$	146.88
7	埋戻し土 3	$1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 10.00$	18.13
8	埋戻し土 4	$1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 10.00$	18.13
9	管重	$0.756 \times (0.915 + 0.852 + 0.471)$	1.69
10	管内水重	$0.3017 \times 9.80 \times (0.915 + 0.852 + 0.471)$	6.62
合計			$W_s = 390.75$

1.6.4 スラストブロック底面に加わる全荷重（沈下検討用）

	名 称	計 算 式	重量 (kN)
1	ブロック自重 1	$3.400 \times 1.450 \times 2.500 \times 23.0$	283.48
2	ブロック自重 2	$-1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 23.0$	-41.69
3	ブロック自重 3	$-1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 23.0$	-41.69
4	管の控除	$-0.313 \times (0.915 + 0.852 + 0.471) \times 23.0$	-16.09
5	埋戻し土 1	$3.400 \times 0.100 \times 2.500 \times 18.00$	15.30
6	埋戻し土 2	$3.400 \times 1.728 \times 2.500 \times 18.00$	264.38
7	埋戻し土 3	$1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 18.00$	32.63
8	埋戻し土 4	$1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 18.00$	32.63
9	管 重	$0.756 \times (0.915 + 0.852 + 0.471)$	1.69
10	管内水重	$0.3017 \times 9.80 \times (0.915 + 0.852 + 0.471)$	6.62
合 計			$W_s = 537.26$

1.6.5 スラストブロックに働く浮力

	名 称	計 算 式	重量 (kN)
1	ブロック 1	$3.400 \times 1.450 \times 2.500 \times 9.8$	120.79
2	ブロック 2	$-1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 9.8$	-17.76
3	ブロック 3	$-1/2 \times 1.000 \times 1.450 \times 2.500 \times 9.8$	-17.76
合 計			$U = 85.26$

1.6.6 鉛直曲がりによるスラストブロックの滑動

管の鉛直曲がりによるスラストブロックの滑動は式(11)～(16)により照査する。(基準書 p.422～423)

$$R_h = R_{h1} + R_{h2} \geq S \cdot P_h \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$R_{h1} = \mu \cdot (W_s - U) \quad \dots\dots\dots (12)$$

(地下水位がブロック下面より低い場合)

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_s \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \quad \dots\dots\dots (13)$$

(地下水位がブロック上面より高い場合)

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_s \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (14)$$

(その他の場合)

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_s \cdot \left\{ w (H_2^2 - H_1^2) - (w-w') (H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (16)$$

ここで、 R_h ：	水平方向抵抗力	(kN)
R_{h1} ：	スラストブロック底面の摩擦抵抗力	(kN)
R_{h2} ：	スラストブロック背面の受働土圧	(kN)
P_h ：	スラスト力の水平分力	27.52 (kN)
S ：	安全率	1.50
μ ：	スラストブロックと土の摩擦係数	0.500
W_s ：	スラストブロック底面に加わる全荷重	390.75 (kN)
U ：	スラストブロックに働く浮力	85.26 (kN)
w ：	土の単位体積重量	18.00 (kN/m ³)
w' ：	土の水中単位体積重量	10.00 (kN/m ³)
B_s ：	スラストブロック背面の幅	2.500 (m)
H_1 ：	地表面からブロック頂面までの深さ	1.828 (m)
H_2 ：	地表面からブロック底面までの深さ	3.278 (m)
H_w ：	地表面から地下水面までの深さ	0.100 (m)
K_p ：	受働土圧係数	
ϕ ：	土の内部摩擦角	30.0 (°)

$$R_{h1} = 0.500 \times (390.75 - 85.26) = 152.75 \text{ (kN)}$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{30.00}{2} \right) = 3.000$$

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \times 3.000 \times 2.500$$

$$\times \left\{ 10.00 \times (3.278^2 - 1.828^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 0.100 \times (3.278 - 1.828) \right\}$$

$$= 286.34 \text{ (kN)}$$

$$S \cdot P_h = 1.50 \times 27.52 = 41.28 \text{ (kN)} \leq R_h = 152.75 + 286.34 = 439.09 \text{ (kN)}$$

よって、滑動に対して安全である。

1.6.7 浮上に対する検討

スラストブロックの浮上に対する検討は式(17)～(20)により行う。(基準書 p.423)

$$R_v + W_s - U \geq S \cdot P_v \quad \dots\dots\dots (17)$$

(地下水位がブロック下面より低い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (18)$$

(地下水位がブロック上面より高い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w - w') H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

(その他の場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left\{ w (H_2^2 - H_1^2) - (w - w') (H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (20)$$

ここで、R _v ：	ブロック側面の主働土圧による摩擦抵抗力	(kN)
P _v ：	スラスト力の鉛直分力	66.43 (kN)
S：	安全率	1.20
w：	土の単位体積重量	18.0 (kN/m ³)
w'：	土の水中単位体積重量	10.0 (kN/m ³)
L：	ブロック側面の摩擦を受ける長さ (ブロックの周長)	9.800 (m)
μ：	ブロック側面と土の摩擦係数	0.50
H ₁ ：	地表面からブロック頂面までの深さ	1.828 (m)
H ₂ ：	地表面からブロック底面までの深さ	3.278 (m)
H ₃ ：	地表面から地下水面までの深さ	0.100 (m)
φ：	土の内部摩擦角	30.0 (°)
W _s ：	ブロック底面に加わる全荷重	390.75 (kN)
U：	スラストブロックに働く浮力	85.26 (kN)

$$R_v = \frac{1}{2} \times 9.800 \times 0.50 \times \tan^2 \left(45 - \frac{30.00}{2} \right) \\ \times \left\{ 10.00 \times (3.278^2 - 1.828^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 0.100 \times (3.278 - 1.828) \right\} \\ = 62.36 \text{ (kN)} \\ R_v + W_s - U = 62.36 + 390.75 - 85.26 = 367.85 \text{ (kN)} \\ \geq S \cdot P_v = 1.20 \times 66.43 = 79.72 \text{ (kN)}$$

よって、浮上に対して安全である。

1.6.8 沈下に対する検討

スラストブロックの沈下に対する検討は式(21)により行う。(基準書 p.423)

$$\sigma_{rv} \geq S \cdot \sigma_v = S \cdot \frac{W_s}{A} \dots\dots\dots (21)$$

ここで、σ _{rv} ：	スラストブロック底面の地盤の許容支持力度	100.00 (kN/m ²)
S：	安全率	1.00
σ _v ：	スラストブロック底面に加わる荷重強度	(kN/m ²)
W _s ：	スラストブロック底面に加わる全荷重	537.26 (kN)
A：	スラストブロックの底面積	8.500 (m ²)

$$\sigma_v = \frac{W_s}{A} = \frac{537.26}{8.500} = 63.21 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$S \cdot \sigma_v = 1.00 \times 63.21 = 63.21 \text{ (kN/m}^2\text{)} \leq \sigma_{rv} = 100.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

よって、沈下に対して安全である。

2 断面 2

2.1 設計条件

準拠指針： 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」
令和3年6月 農林水産省農村振興局整備部設計課
(以後、基準書と略称する)

スラスト形式： 鉛直屈曲部

管 種： 農業用ダクタイル鑄鉄管 $\phi 600$ (DB, K形)
外径 $D_o=630.8$ (mm) , 管厚 $T=7.5$ (mm)
計算管厚 $t=T-2=7.5-2=5.5$ (mm)
(基準書 p. 313, $t+1 < 10$ mm, $\phi 700$ 以下より)
計算内径 $D=D_o-2t=630.8-2 \times 5.5=619.8$ (mm)

曲がり中心半径： 0.600 (m)
上流側継ぎ手までの管長： 0.640 (m)
下流側継ぎ手までの管長： 0.640 (m)
屈曲角度 水平屈曲角度： ----- ($^{\circ}$)
鉛直屈曲角度(上流側)： 15.0 ($^{\circ}$)
鉛直屈曲角度(下流側)： 0.0 ($^{\circ}$)
合成屈曲角度： 15.0 ($^{\circ}$)
地表面から屈曲点までの深さ： 2.300 (m)
地下水位 G.L. - 1.000 (m)

設計水圧： $H = 0.200$ (MPa) = 200.00 (kN/m²)
管内平均流速： 0.800 (m/s)

土の内部摩擦角： 30.0 ($^{\circ}$)
管底面地盤の許容支持力度： 100.0 (kN/m²)

単位体積重量 埋戻し土： 18.00 (kN/m³)
地下水： 9.80 (kN/m³)
管内水： 9.80 (kN/m³)
コンクリート： 23.00 (kN/m³)

2.2 設計断面

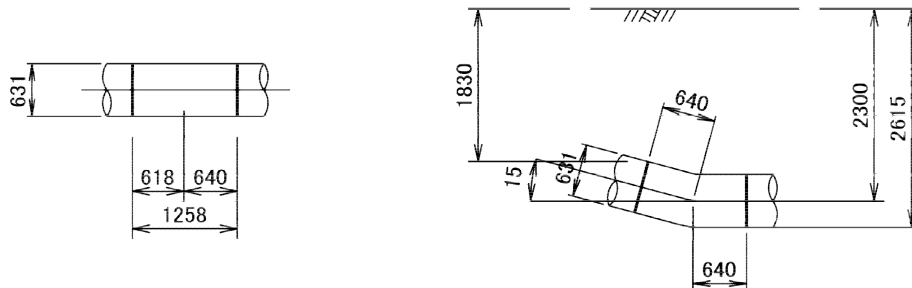


図-2.1 寸法図

2.3 スラスト力の算出

スラスト力は式(1)により求める。(基準書 p.415)

$$P' = 2 \cdot H \cdot a_c \cdot \sin \frac{\theta}{2} + \frac{2a \cdot w_0 \cdot V^2}{g} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

- ここで、
- P' : スラスト力 (kN)
 - H : 設計水圧 200.0 (kN/m²)
 - a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積
 $a_c = \pi/4 \times 0.6308^2 = 0.3125$ (m²)
 - θ : 屈曲角度 (°)
 - a : 設計水圧が作用する断面積
 $a = \pi/4 \times 0.6198^2 = 0.3017$ (m²)
 - w_0 : 管内水の単位体積重量 9.80 (kN/m³)
 - V : 管内平均流速 0.800 (m/s)
 - g : 重力の加速度 9.80 (m/s²)

鉛直曲がりによるスラスト力

鉛直屈曲角度 $\theta = 15.0$ (°)

$$P' = 2 \times 200.0 \times 0.3125 \times \sin \frac{15.0}{2} \\ + \frac{2 \times 0.3017 \times 9.8 \times 0.800^2}{9.8} \times \sin \frac{15.0}{2} = 16.37 \text{ (kN)}$$

スラスト力の水平分力

$$P_h = p' \cdot \sin(\theta/2 \pm \beta) = 16.37 \times \sin\left(\frac{15.0}{2} + 0.0\right) = 2.14 \text{ (kN)}$$

ただし、 β ：上下流の管路のうち、水平に近いほうの管路が水平面となす角。
なお、上下流の管路が水平面の異なる側にあるとき正、
同じ側にあるときを負とする。

スラスト力の鉛直分力(下向き)

$$P_v = p' \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2} \pm \beta\right) = 16.37 \times \cos\left(\frac{15.0}{2} + 0.0\right) = 16.23 \text{ (kN)}$$

2.4 鉛直曲がりに伴う滑動に対する検討

管の鉛直曲がりに伴う滑動は式(2)～(6)により検討する。(基準書 p.417～419)

$$R_h \geq S \cdot P_h \quad \dots\dots\dots (2)$$

(地下水位が管底より低い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(地下水位が管頂より高い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(その他の場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w(H_2^2 - H_1^2) - (w-w')(H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

- ここで、 R_h : 水平方向抵抗力(管背面の受働土圧) (kN)
 P_h : スラスト力の水平分力 2.14 (kN)
 S : 安全率 1.50
 F : 曲面の受働土圧の補正係数 0.65
 w : 土の単位体積重量 18.00 (kN/m³)
 w' : 土の水中単位体積重量 10.00 (kN/m³)
 B_b : 管背面の幅 $B_b=D$ 0.6308 (m)
 H_1 : 地表面から管頂面までの深さ 1.830 (m)
 H_2 : 地表面から管底面までの深さ 2.615 (m)
 H_w : 地下水面までの深さ 1.000 (m)
 K_p : 受働土圧係数
 ϕ : 土の内部摩擦角 30.0 (°)

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{30.00}{2} \right) = 3.0000$$

$$R_h = 0.65 \times \frac{1}{2} \times 3.000 \times 0.631$$

$$\times \left\{ 10.00 \times (2.615^2 - 1.830^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 1.000 \times (2.615 - 1.830) \right\}$$

$$= 29.21 \text{ (kN)}$$

$$S \cdot P_h = 1.50 \times 2.14 = 3.20 \text{ (kN)} \leq R_h = 29.21 \text{ (kN)}$$

よって、滑動に対して安全である。

2.5 浮上に対する検討

管の浮上に対する検討は式(7)～(10)により行う。(基準書 p.417～419)

$$R_v + W - U \geq S \cdot P_v \quad \dots\dots\dots (7)$$

(地下水位が管底より低い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

(地下水位が管頂より高い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

(その他の場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left\{ w(H_2^2 - H_1^2) - (w-w')(H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

- ここで、 R_v : 管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN)
 P_v : スラスト力の鉛直分力(上向き) -16.23 (kN)
 w : 土の単位体積重量 18.00 (kN/m³)
 w' : 土の水中単位体積重量 10.00 (kN/m³)
 L : 管側面の摩擦を受ける長さ
 $2 \times 1.258 = 2.516$ (m)
 μ : 管側面と土の摩擦係数 0.50
 H_1 : 地表面から管頂面までの深さ 1.830 (m)
 H_2 : 地表面から管底面までの深さ 2.615 (m)
 H_w : 地表面から地下水面までの深さ 1.000 (m)
 ϕ : 土の内部摩擦角 30.0 (°)
 W : 管底面に加わる全荷重 (kN)
 $W = W_1 + W_2$
 W_1 : 管上の埋戻し土による鉛直土圧 (kN)
 $W_1 = w \cdot H_w \cdot A = 18.0 \times 1.907 \times 0.794 = 27.25$ (kN)
 W_2 : 曲管類の重量および管内水重 (kN)
 $W_2 = 0.97 + 3.78 = 4.75$ (kN)
 H_w : 地表面からの平均深さ 1.907 (m)
 A : 管底面積
 $A = (0.640 \times \cos 15.0 + 0.640 \times \cos 0.0) \times 0.6308 = 0.794$ (m²)
 U : 管の浮力 (kN)
 $U = \pi / 4 \times 0.6308^2 \times 9.8 \times 1.279 = 3.92$ (kN)
 S : 安全率 1.20

$$\begin{aligned}
R_v &= \frac{1}{2} \times 2.516 \times 0.50 \times \tan^2 \left(45 - \frac{30.00}{2} \right) \\
&\quad \times \left\{ 10.00 \times (2.615^2 - 1.830^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 1.000 \times (2.615 - 1.830) \right\} \\
&= 9.96 \text{ (kN)} \\
R_v + W - U &= 9.96 + (27.25 + 4.75) - 3.92 = 38.04 \text{ (kN)} \\
&\geq S \cdot P_v = 1.20 \times -16.23 = -19.47 \text{ (kN)}
\end{aligned}$$

よって、浮上に対して安全である。

2.6 沈下に対する検討

管の沈下に対する検討は式(22), (23)により行う。(基準書 p. 417~420)

$$\sigma_{rv} \geq S \cdot \sigma_v = S \cdot \frac{W+P_v - R_v}{A} \dots\dots\dots (22)$$

$$R_v = 1/2 \cdot w \cdot L \cdot \mu \cdot (H_2^2 - H_1^2) \cdot \tan^2 (45 - \phi / 2) \dots\dots\dots (23)$$

- ここで、 σ_{rv} : 管底面の地盤の許容支持力度 100.00 (kN/m²)
 S: 安全率 1.20
 σ_v : 管底面に加わる荷重強度 (kN/m²)
 W: 管底面に加わる全荷重 W=W₁+W₂ (kN)
 W₁: 管上の埋戻し土による鉛直土圧
 $W_1 = w \cdot H_m \cdot A = 18.0 \times 1.907 \times 0.7937 = 27.25$ (kN)
 W₂: 曲管類の重量および管内水重
 $W_2 = 0.97 + 3.78 = 4.75$ (kN)
 H_m: 地表面からの平均深さ 1.907 (m)
 A: 管底面積
 P_v: スラスト力の鉛直分力(下向き) 16.23 (kN)
 R_v: 管側面の主働土圧による摩擦抵抗力 (kN)
 w: 土の単位体積重量 18.00 (kN/m³)
 L: 管側面の摩擦を受ける長さ 2×1.258=2.516 (m)
 μ : 管側面と土の摩擦係数 0.500
 H₁: 地表面から管頂面までの深さ 1.830 (m)
 H₂: 地表面から管底面までの深さ 2.615 (m)
 ϕ : 土の内部摩擦角 30.0 (°)

管側面の主働土圧による摩擦抵抗力

$$R_v = \frac{1}{2} \times 18.00 \times 2.516 \times 0.500$$

$$\times (2.615^2 - 1.830^2) \times \tan^2 \left(45 - \frac{30.0}{2} \right) = 13.18 \text{ (kN)}$$

管底面に加わる荷重強度

$$\sigma_v = \frac{27.25 + 4.75 + 16.23 - 13.18}{0.794} = 44.15 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

安全性の照査

$$S \cdot \sigma_v = 1.20 \times 44.15 = 52.98 \text{ (kN/m}^2\text{)} \leq \sigma_{rv} = 100.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

よって、沈下に対して安全である。

3 断面 3

3.1 設計条件

準拠指針： 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」
令和3年6月 農林水産省農村振興局整備部設計課
(以後、基準書と略称する)

スラスト形式： T字管

上流側の管種： 農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 600 (DB, K形)
外径 $D_e=630.8$ (mm) , 管厚 $T=7.5$ (mm)
計算管厚 $t=T-2=7.5-2=5.5$ (mm)
(基準書 p. 313, $t+1 < 10\text{mm}$, ϕ 700以下より)
計算内径 $D=D_e-2t=630.8-2 \times 5.5=619.8$ (mm)

分岐管の管種： 農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 400 (DB, K形)
外径 $D_e=425.6$ (mm) , 管厚 $T=5.5$ (mm)
計算管厚 $t=T-2=5.5-2=3.5$ (mm)
(基準書 p. 313, $t+1 < 10\text{mm}$, ϕ 700以下より)
計算内径 $D=D_e-2t=425.6-2 \times 3.5=418.6$ (mm)

地表面から管中心までの深さ： 1.340 (m)

地下水位 G.L. - 1.000 (m)

設計水圧： $H = 0.300$ (MPa) = 300.0 (kN/m²)

土の内部摩擦角： 30.0 (°)

単位体積重量 埋戻し土： 18.00 (kN/m³)

地下水： 9.80 (kN/m³)

管内水： 9.80 (kN/m³)

コンクリート： 23.00 (kN/m³)

3.2 設計断面

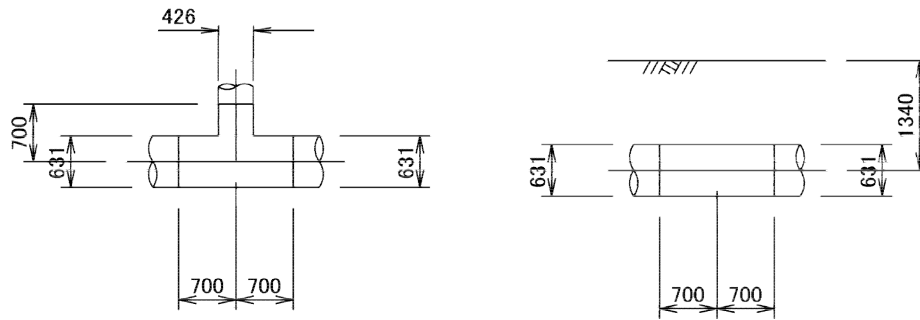


図-3.1 寸法図

3.3 スラスト力の算出

T字管のスラスト力は式(24)により求める。

$$P_h = H \cdot a = 300.0 \times 0.14226 = 42.68 \text{ (kN)} \quad \dots\dots\dots (24)$$

ここで、 P_h : T字管に作用するスラスト力 (kN)

H : 設計水圧 300.0 (kN/m²)

a : 設計水圧が作用する断面積 $\pi/4 \times 0.4256^2 = 0.14226$ (m²)

3.4 滑動に対する検討

管の滑動に対する検討は式(25)～(29)により行う。(基準書 p.415～417)

$$R_h \geq S \cdot P \quad \dots\dots\dots (25)$$

(地下水位が管底より低い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \quad \dots\dots\dots (26)$$

(地下水位が管頂より高い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (27)$$

(その他の場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w(H_2^2 - H_1^2) - (w-w')(H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (29)$$

ここで、

R_h ：	水平方向抵抗力(管背面の受働土圧)	(kN)
P ：	分岐部に作用するスラスト力	42.68 (kN)
S ：	安全率	1.50
F ：	曲面の受働土圧の補正係数	0.65
w ：	土の単位体積重量	18.00 (kN/m ³)
w' ：	土の水中単位体積重量	10.00 (kN/m ³)
B_b ：	管背面の幅	1.400 (m)
H_1 ：	地表面から管頂面までの深さ	1.025 (m)
H_2 ：	地表面から管底面までの深さ	1.655 (m)
H_w ：	地下水面までの深さ	1.000 (m)
K_p ：	受働土圧係数	
ϕ ：	土の内部摩擦角	30.0 (°)

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{30.00}{2} \right) = 3.0000$$

$$R_h = 0.65 \times \frac{1}{2} \times 3.000 \times 1.400$$

$$\times \left\{ 10.00 \times (1.655^2 - 1.025^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 1.000 \times (1.655 - 1.025) \right\}$$

$$= 36.85 \text{ (kN)}$$

$$S \cdot P = 1.50 \times 42.68 = 64.02 \text{ (kN)} > R_h = 36.85 \text{ (kN)}$$

よって、滑動に対して対策が必要である。

3.5 一体化長さの計算

3.5.1 計算式

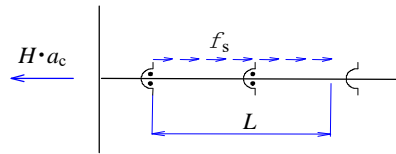


図-3.2 記号説明図

周面摩擦力による合力 F_s (kN)は式(30)で求めることができる。

$$F_s = L \cdot f_s = L \cdot \mu \cdot \Sigma wH \cdot \pi \cdot D_c \quad \dots\dots\dots (30)$$

- ここで、 μ : 摩擦係数 0.50
 ΣwH : 管心より上の土の重量 (kN/m²)
 地下水位より上なら土の単位体積重量18.00kN/m³を
 下なら土の水中単位体積重量10.00kN/m³を使用する。
 D_c : 管の外径 0.4256 (m)
 f_s : 単位m当たりの周面摩擦力 (kN/m)
 L : 分岐管の一体化長 (m)

力のつり合いを考え、安全率Sを考慮すると次式が成り立つ。

$$H \cdot a_c \leq \frac{F_s}{S} = \frac{1}{S} \cdot L \cdot \mu \cdot \Sigma wH \cdot \pi \cdot D_c$$

- H : 設計水圧 300.000 (kN/m²)
 a_c : 設計水圧が作用する範囲の断面積 (m²)
 $a_c = \pi / 4 \times D_c^2$
 S : 安全率 1.50

前式を変形し、Lについて整理すると式(31)のようになる。

$$L \geq \frac{S \cdot H \cdot D_c}{4 \mu \cdot \Sigma wH} \quad \dots\dots (31)$$

3.5.2 一体化長さの算出

$$L = \frac{1.50 \times 300.0 \times 0.426}{4 \times 0.50 \times (18.00 \times 1.000 + 10.00 \times 0.340)} = 4.475 \text{ (m)}$$

よって、所要一体化長 $L=4.47$ (m)
 また、離脱防止金具の使用個数は片側で1個となる。

4 断面 4

4.1 設計条件

準拠指針： 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」
令和3年6月 農林水産省農村振興局整備部設計課
(以後、基準書と略称する)

スラスト形式： 片落ち部

上流側の管種： 農業用ダクティル鑄鉄管 ϕ 600 (DB, K形)
外径 $D_e=630.8$ (mm) , 管厚 $T=7.5$ (mm)
計算管厚 $t=T-2=7.5-2=5.5$ (mm)
(基準書 p. 313, $t+1 < 10\text{mm}$, ϕ 700以下より)
計算内径 $D=D_e-2t=630.8-2 \times 5.5=619.8$ (mm)

下流側の管種： 農業用ダクティル鑄鉄管 ϕ 400 (DB, K形)
外径 $D_e=425.6$ (mm) , 管厚 $T=5.5$ (mm)
計算管厚 $t=T-2=5.5-2=3.5$ (mm)
(基準書 p. 313, $t+1 < 10\text{mm}$, ϕ 700以下より)
計算内径 $D=D_e-2t=425.6-2 \times 3.5=418.6$ (mm)

地表面から管中心までの深さ： 2.800 (m)

地下水位 G.L. - 1.000 (m)

設計水圧： $H = 0.200$ (MPa) = 200.0 (kN/m²)

土の内部摩擦角： 30.0 (°)

単位体積重量 埋戻し土： 18.00 (kN/m³)

地下水： 9.80 (kN/m³)

管内水： 9.80 (kN/m³)

コンクリート： 23.00 (kN/m³)

4.2 設計断面

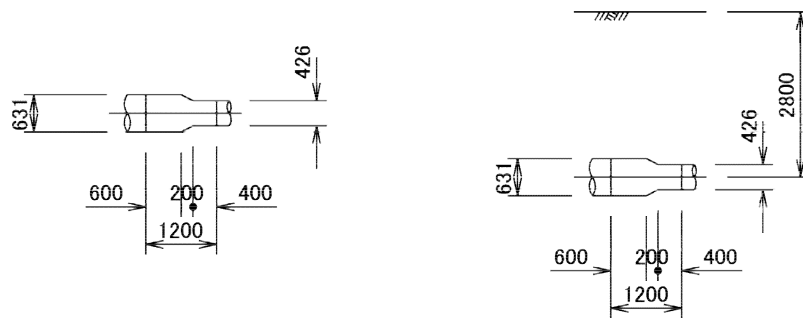


図-4.1 寸法図

4.3 スラスト力の算出

片落管のスラスト力は式(32)により求める。

$$P = H \cdot (A_c - a_c) = 200.0 \times (0.313 - 0.142) = 34.05 \text{ (kN)} \quad \dots\dots\dots (32)$$

ここで、P：片落管に作用するスラスト力 (kN)

H：設計水圧 200.0 (kN/m²)

A_c：上流側の管外径断面積

$$A_c = \pi/4 \times 0.6308^2 = 0.31252 \text{ (m}^2\text{)}$$

a_c：下流側の管外径断面積

$$a_c = \pi/4 \times 0.4256^2 = 0.14226 \text{ (m}^2\text{)}$$

4.4 滑動に対する検討

管の滑動に対する検討は式(33)～(37)により行う。(基準書 p.415～417)

$$R_h \geq S \cdot P \quad \dots\dots\dots (33)$$

(地下水位が管底より低い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \quad \dots\dots\dots (34)$$

(地下水位が管頂より高い場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (35)$$

(その他の場合)

$$R_h = F \cdot \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_b \cdot \left\{ w(H_2^2 - H_1^2) - (w-w')(H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (37)$$

- ここで、 R_h : 水平方向抵抗力(管背面の受働土圧) (kN)
 P : 片落部に作用するスラスト力 34.05 (kN)
 S : 安全率 1.50
 F : 曲面の受働土圧の補正係数 0.65
 w : 土の単位体積重量 18.00 (kN/m³)
 w' : 土の水中単位体積重量 10.00 (kN/m³)
 B_b : 管背面の幅(管外径) 0.631 (m)
 H_1 : 地表面から管頂面までの深さ 2.485 (m)
 H_2 : 地表面から管底面までの深さ 3.115 (m)
 H_w : 地下水面までの深さ 1.000 (m)
 K_p : 受働土圧係数
 ϕ : 土の内部摩擦角 30.0 (°)

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{30.00}{2} \right) = 3.0000$$

$$R_h = 0.65 \times \frac{1}{2} \times 3.000 \times 0.631$$

$$\times \left\{ 10.00 \times (3.115^2 - 2.485^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 1.000 \times (3.115 - 2.485) \right\}$$

$$= 27.93 \text{ (kN)}$$

$$S \cdot P = 1.50 \times 34.05 = 51.08 \text{ (kN)} > R_h = 27.93 \text{ (kN)}$$

よって、滑動に対して対策が必要である。

4.5 スラストブロックの計算

4.5.1 形状寸法図

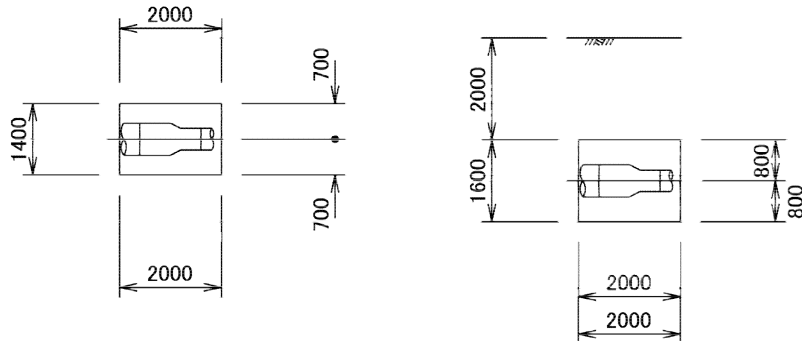


図-4.2 寸法図

4.5.2 スラスト力

水平方向スラスト力 $P_h = 34.05$ (kN)

4.5.3 スラストブロック底面に加わる全荷重

	名称	計算式	重量 (kN)
1	ブロック自重 1	$2.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 23.0$	103.04
2	ブロック自重 2	$-1/2 \times 0.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 23.0$	0.00
3	ブロック自重 3	$-1/2 \times 0.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 23.0$	0.00
4	管の控除 1	$-0.313 \times 1.000 \times 23.0$	-7.19
5	管の控除 2	$-1/2 \times (0.313 + 0.142) \times 0.200 \times 23.0$	-1.05
6	管の控除 3	$-0.142 \times 0.800 \times 23.0$	-2.62
7	埋戻し土 1	$2.000 \times 1.000 \times 1.400 \times 18.00$	50.40
8	埋戻し土 2	$2.000 \times 1.000 \times 1.400 \times 10.00$	28.00
9	管重	0.756×1.000	0.76
10	〃	$1/2 \times (0.756 + 0.325) \times 0.200$	0.11
11	〃	0.325×0.800	0.26
12	管内水重	$0.3017 \times 9.80 \times 1.000$	2.96
13	〃	$1/2 \times (0.3017 + 0.1376) \times 9.80 \times 0.200$	0.43
14	〃	$0.1376 \times 9.80 \times 0.800$	1.08
合計			$W_s = 176.18$

4.5.4 スラストブロック底面に加わる全荷重（沈下検討用）

	名 称	計 算 式	重量 (kN)
1	ブロック自重 1	$2.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 23.0$	103.04
2	ブロック自重 2	$-1/2 \times 0.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 23.0$	0.00
3	ブロック自重 3	$-1/2 \times 0.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 23.0$	0.00
4	管の控除 1	$-0.313 \times 1.000 \times 23.0$	-7.19
5	管の控除 2	$-1/2 \times (0.313 + 0.142) \times 0.200 \times 23.0$	-1.05
6	管の控除 3	$-0.142 \times 0.800 \times 23.0$	-2.62
7	埋戻し土 1	$2.000 \times 1.000 \times 1.400 \times 18.00$	50.40
8	埋戻し土 2	$2.000 \times 1.000 \times 1.400 \times 18.00$	50.40
9	管 重	0.756×1.000	0.76
10	〃	$1/2 \times (0.756 + 0.325) \times 0.200$	0.11
11	〃	0.325×0.800	0.26
12	管内水重	$0.3017 \times 9.80 \times 1.000$	2.96
13	〃	$1/2 \times (0.3017 + 0.1376) \times 9.80 \times 0.200$	0.43
14	〃	$0.1376 \times 9.80 \times 0.800$	1.08
合 計			$W_s = 198.58$

4.5.5 スラストブロックに働く浮力

	名 称	計 算 式	重量 (kN)
1	ブロック 1	$2.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 9.8$	43.90
2	ブロック 2	$-1/2 \times 0.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 9.8$	0.00
3	ブロック 3	$-1/2 \times 0.000 \times 1.600 \times 1.400 \times 9.8$	0.00
合 計			$U = 43.90$

4.5.6 スラストブロックの滑動に対する照査

スラストブロックの滑動に対する照査は式(38)～(43)により行う。

$$R_h = R_{h1} + R_{h2} \geq S \cdot P' \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$R_{h1} = \mu \cdot (W_s - U) \quad \dots\dots\dots (39)$$

(地下水位が管底より低い場合)

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \cdot w \cdot K_p \cdot B_s \cdot (H_2^2 - H_1^2) - \frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot K_p \cdot \Sigma wH \quad \dots\dots\dots (40)$$

(地下水位が管頂より高い場合)

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_s \cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w-w')H_w (H_2 - H_1) \right\} - \frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot K_p \cdot \Sigma wH \quad \dots\dots\dots (41)$$

(その他の場合)

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot B_s \cdot \left\{ w (H_2^2 - H_1^2) - (w-w') (H_2 - H_w)^2 \right\} - \frac{\pi}{4} D_c^2 \cdot K_p \cdot \Sigma wH \quad \dots\dots\dots (42)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (43)$$

ここで、 R_h ：	水平方向抵抗力	(kN)
R_{h1} ：	スラストブロック底面の摩擦抵抗力	(kN)
R_{h2} ：	スラストブロック背面の受働土圧	(kN)
P' ：	スラスト力	(kN)
S ：	安全率	1.50
μ ：	スラストブロックと土の摩擦係数	0.500
W_s ：	スラストブロック底面に加わる全荷重	176.18 (kN)
U ：	スラストブロックに働く浮力	43.90 (kN)
w ：	土の単位体積重量	18.00 (kN/m ³)
w' ：	土の水中単位体積重量	10.00 (kN/m ³)
ΣwH ：	管心位置における鉛直応力	(kN/m ²)
B_s ：	スラストブロック背面の幅	1.400 (m)
H_1 ：	地表面からブロック頂面までの深さ	2.000 (m)
H_2 ：	地表面からブロック底面までの深さ	3.600 (m)
H_w ：	地表面から地下水面までの深さ	1.000 (m)
H_c ：	地表面から管中心までの深さ	2.800 (m)
D_c ：	下流側の管の外径	0.4256 (m)
K_p ：	受働土圧係数	
ϕ ：	土の内部摩擦角	30.0 (°)

スラストブロック底面の摩擦抵抗力

$$R_{h1} = 0.500 \times (176.18 - 43.90) = 66.14 \text{ (kN)}$$

スラストブロック背面の受働土圧

$$R_{h2} = \frac{1}{2} \times 3.000 \times 1.400$$

$$\times \left\{ 10.00 \times (3.600^2 - 2.000^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 1.000 \times (3.600 - 2.000) \right\}$$

$$- \frac{\pi}{4} \cdot 0.426^2 \times 3.000 \times (18.00 \times 1.000 + 10.00 \times 1.800)$$

$$= 226.56 \text{ (kN)}$$

安全性の照査

$$S \cdot P_h = 1.50 \times 34.05 = 51.08 \text{ (kN)} \leq R_h = 66.14 + 226.56 = 292.69 \text{ (kN)}$$

よって、滑動に対して安全である。

4.5.7 浮上に対する検討

スラストブロックの浮上に対する検討は式(17)～(20)により行う。(基準書 p.423)

$$R_v + W_s - U \geq S \cdot P_v \quad \dots\dots\dots (17)$$

(地下水位がブロック下面より低い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot w \cdot (H_2^2 - H_1^2) \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (18)$$

(地下水位がブロック上面より高い場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\cdot \left\{ w' (H_2^2 - H_1^2) + 2(w - w') H_w (H_2 - H_1) \right\} \quad \dots\dots\dots (19)$$

(その他の場合)

$$R_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \mu \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$\cdot \left\{ w (H_2^2 - H_1^2) - (w - w') (H_2 - H_w)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (20)$$

ここで、R _v ：	ブロック側面の主働土圧による摩擦抵抗力	(kN)
P _v ：	スラスト力の鉛直分力	0.00 (kN)
S：	安全率	1.20
w：	土の単位体積重量	18.0 (kN/m ³)
w ₀ ：	土の水中単位体積重量	10.0 (kN/m ³)
L：	ブロック側面の摩擦を受ける長さ (ブロックの周長)	6.800 (m)
μ：	ブロック側面と土の摩擦係数	0.50
H ₁ ：	地表面からブロック頂面までの深さ	2.000 (m)
H ₂ ：	地表面からブロック底面までの深さ	3.600 (m)
H ₃ ：	地表面から地下水面までの深さ	1.000 (m)
φ：	土の内部摩擦角	30.0 (°)
W _s ：	ブロック底面に加わる全荷重	176.18 (kN)
U：	スラストブロックに働く浮力	43.90 (kN)

$$R_v = \frac{1}{2} \times 6.800 \times 0.50 \times \tan^2 \left(45 - \frac{30.00}{2} \right) \\ \times \left\{ 10.00 \times (3.600^2 - 2.000^2) + 2 \times (18.00 - 10.00) \times 1.000 \times (3.600 - 2.000) \right\} \\ = 65.28 \text{ (kN)} \\ R_v + W_s - U = 65.28 + 176.18 - 43.90 = 197.56 \text{ (kN)} \\ \geq S \cdot P_v = 1.20 \times 0.00 = 0.00 \text{ (kN)}$$

よって、浮上に対して安全である。

4.5.8 沈下に対する検討

スラストブロックの沈下に対する検討は式(21)により行う。(基準書 p.423)

$$\sigma_{rv} \geq S \cdot \sigma_v = S \cdot \frac{W_s}{A} \dots\dots\dots (21)$$

ここで、σ _{rv} ：	スラストブロック底面の地盤の許容支持力度	100.00 (kN/m ²)
S：	安全率	1.00
σ _v ：	スラストブロック底面に加わる荷重強度	(kN/m ²)
W _s ：	スラストブロック底面に加わる全荷重	198.58 (kN)
A：	スラストブロックの底面積	2.800 (m ²)

$$\sigma_v = \frac{W_s}{A} = \frac{198.58}{2.800} = 70.92 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$S \cdot \sigma_v = 1.00 \times 70.92 = 70.92 \text{ (kN/m}^2\text{)} \leq \sigma_{rv} = 100.00 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

よって、沈下に対して安全である。

5 断面 5

5.1 設計条件

準拠指針： 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」
令和3年6月 農林水産省農村振興局整備部設計課
(以後、基準書と略称する)

スラスト形式： 弁栓部

管 種： 農業用ダクタイル鑄鉄管 $\phi 600$ (DB, K形)
外径 $D_c=630.8$ (mm) , 管厚 $T=7.5$ (mm)
計算管厚 $t=T-2=7.5-2=5.5$ (mm)
(基準書 p. 313, $t+1 < 10$ mm, $\phi 700$ 以下より)
計算内径 $D=D_c-2t=630.8-2 \times 5.5=619.8$ (mm)

設計水圧 : $H = 0.200$ (MPa) = 200.0 (kN/m²)

管体の軸方向許容圧縮応力度 : $\sigma_a = 2.4$ (N/mm²)
コンクリートの許容押抜きせん断応力度 : $\tau_a = 0.45$ (N/mm²)
スティフナーの許容せん断応力度 : $\tau_{ta} = 0.4$ (N/mm²)

5.2 スラスト力の算出

弁栓部のスラスト力は式(44)により求める。

$$P_h = H \cdot a = 200.0 \times 0.31252 = 62.50 \text{ (kN)} \quad \dots\dots\dots (44)$$

ここで、 P_h : 弁栓部に作用するスラスト力 (kN)
 H : 設計水圧 200.0 (kN/m²)
 a : 設計水圧が作用する断面積 $\pi/4 \times 0.6308^2 = 0.31252$ (m²)

5.3 管体応力の検討

弁栓部のスラスト力による管体応力の検討は式(45)により行う。

$$\sigma = \frac{P_h}{A_p} \leq \sigma_a \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots (45)$$

ここで、 σ ：管体の軸方向圧縮応力度 (N/mm²)
 P_h ：弁栓部に作用するスラスト力 62.50 (kN) = 62503.3 (N)
 A_p ：管の断面積
 $A_p = \pi/4 \times (0.6308^2 - 0.6198^2) = 0.01080 \text{ (m}^2\text{)} = 10804.4 \text{ (mm}^2\text{)}$
 σ_a ：管体の許容軸方向圧縮応力度 2.4 (N/mm²)

$$\sigma = \frac{62503.3}{10804.4} = 5.78 \text{ (N/mm}^2\text{)} > \sigma_a$$

よって、管体の軸方向圧縮応力度は許容値を満足していない。

5.4 スティフナー固定部の照査

弁栓部のスティフナー固定部の押抜きせん断応力度は式(46)により照査する。

$$\tau_p = \frac{P_h}{b_p \cdot d} \leq \tau_a \quad \dots\dots\dots (46)$$

ここで、 τ_p ：押抜きせん断応力度 (N/mm²)
 P_h ：弁栓部に作用するスラスト力 62.50 (kN) = 62503.3 (N)
 b_p ：スティフナー周長 980.0 (mm)
 d ：せん断力を受けるコンクリート厚 20.0 (mm)
 τ_a ：コンクリートの許容押抜きせん断応力度 0.5 (N/mm²)

$$\tau_p = \frac{62503.3}{980.0 \times 20.0} = 3.19 > \tau_a$$

よって、スティフナー固定部の押抜きせん断応力度は許容値を満足していない。

5.5 スティフナー溶接部の検討

弁栓部のスティフナー溶接部におけるせん断応力度は式(47)により照査する。

$$\tau_t = \frac{P_h}{A_t} \leq \tau_{ta} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \dots\dots\dots(47)$$

ここで、 τ_t ： スティフナーと管体との溶接部におけるせん断応力度 (N/mm²)

P_h ： 弁栓部に作用するスラスト力 62.50 (kN) = 62503.3 (N)

A_t ： スティフナーと管体との溶接面積

$$A_t = \pi \cdot D_c \cdot t_s = \pi \times 630.8 \times 10.0 = 19817.2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

t_s ： スティフナー厚 10.0 (mm)

τ_{ta} ： スティフナーの許容せん断応力度 0.4 (N/mm²)

$$\tau_t = \frac{62503.3}{19817.2} = 3.15 \text{ (N/mm}^2\text{)} > \tau_{ta}$$

よって、スティフナー溶接部におけるせん断応力度は許容値を満足していない。

5.6 一体化長さの計算

安全率Sを考慮した必要一体化長さは式(48)で求める。

$$L \geq \frac{S \cdot P}{\mu \cdot \Sigma wH \cdot \pi \cdot D_c} \quad \dots (48)$$

ここで、L：必要一体化長さ

S：安全率 1.50

P：弁栓部に作用するスラスト力 62.5 (kN)

μ ：摩擦係数 0.50

ΣwH ：管心より上の土の重量 (kN/m²)

地下水位より上なら土の単位体積重量18.00kN/m³を

下なら土の水中単位体積重量10.00kN/m³を使用する。

D_c ：管の外径 0.6308 (m)

$$L = \frac{1.50 \times 62.5}{0.50 \times 10.00 \times 4.000 \times \pi \times 0.631} = 2.366 \text{ (m)}$$

よって、所要一体化長 L=2.37 (m)

また、離脱防止金具の使用個数は片側で2個となる。

目 次

1	鉛直屈曲部の検討.....	2
1.1	使用管種.....	2
1.2	スラスト力の検討.....	2
1.3	スラスト対策工の設計.....	3
2	片落ち部の検討.....	4
2.1	スラスト力の検討.....	4
2.2	スラスト対策工の設計.....	4
3	弁栓部の検討.....	5
4	T字管の検討.....	6
4.1	使用管種.....	6
4.2	スラスト力の検討.....	6

1 鉛直屈曲部の検討

1.1 使用管種

断面名	使用管種	水平屈曲角 $\theta_h(^{\circ})$	鉛直屈曲角		
			上流側 $\beta_u(^{\circ})$	下流側 $\beta_d(^{\circ})$	合成屈曲角($^{\circ}$)
断面 1	農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 600 (DB, K形)	-----	0.0	45.0	45.0
断面 2	農業用ダクタイル鋳鉄管 ϕ 600 (DB, K形)	-----	15.0	0.0	15.0

1.2 スラスト力の検討

断面名	滑動の検討(水平曲り) (kN)			滑動の検討(鉛直曲り) (kN)			浮上の検討 (kN)			沈下の検討 (kN/m ²)			判定
	スラスト力 P_h		水平方向 抵抗力 R_h	スラスト力 P_h		水平方向 抵抗力 R_h	スラスト力 P_v		抵抗力 R_v+W-U	荷重強度 σ_v		許容 支持力度 σ_{rv}	
	$S \cdot P_h$			$S \cdot P_h$			$S \cdot P_v$			$S \cdot \sigma_v$			
断面 1	-----		-----	27.52			66.43			-----		-----	NG
				41.28	>	33.64	79.72	>	41.26				
断面 2	-----		-----	2.14			-16.23			44.15			OK
				3.20	\leq	29.21	-19.47	\leq	38.04	52.98	\leq	100.00	

ここで、S:安全率 滑動に対してS=1.50、浮上に対してS=1.20、沈下に対してS=1.20

1.3 スラスト対策工の設計

断面名	対策工	滑動の検討 (水平曲り) (kN)			滑動の検討 (鉛直曲り) (kN)			浮上に対する 検討 (kN)			沈下に対する 検討 (kN/m ²)			判定
		P _h		R _h	P _h		R _h	P _v		R _v +W-U	σ _v		σ _{rv}	
		S.P _h			S.P _h			S.P _v			S.σ _v			
断面 1	スラスト・ブロック	-----		-----	27.52			66.43			63.21			OK
					41.28	≦	439.09	79.72	≦	367.85	63.21	≦	100.00	
断面 2	-----	-----		-----	-----		-----	-----		-----	-----		-----	----

ここで、S:安全率 滑動に対してS=1.50、浮上に対してS=1.20、沈下に対してS=1.00

2 片落ち部の検討

2.1 スラスト力の検討

断面名	上流側管種	下流側管種	滑動に対する検討 (kN)				判定
			スラスト力		水平方向抵抗 抗力 R_h		
			F_x	$S \cdot F_x$			
断面 4	農業用ダクタイル鋳鉄管 $\phi 600$ (DB, K形)	農業用ダクタイル鋳鉄管 $\phi 400$ (DB, K形)	34.05	51.08	>	27.93	NG

2.2 スラスト対策工の設計

断面名	対策工	滑動に対する検討 (kN)				沈下の検討 (kN/m ²)				判定
		スラスト力		水平方向抵抗 抗力 R_h	荷重強度		許容支持力 度 σ_{rv}			
		F_x	$S \cdot F_x$		σ_v	$S \cdot \sigma_v$				
断面 4	スラストブロック	34.05	51.08	\leq	292.69	70.92	70.92	\leq	100.00	OK

3 弁栓部の検討

断面名	管種	管体応力			コンクリートの 押し抜きせん断応力度			スティフナー溶接部の せん断応力度			判定	所要 一体化 長さ (m)
		σ (N/mm ²)		$\sigma \tau_a$ (N/mm ²)	τ_p (N/mm ²)		τ_a (N/mm ²)	τ_s (N/mm ²)		τ_{sa} (N/mm ²)		
断面 5	農業用ダクタイル鋳鉄管 φ 600 (DB, K形)	5.78	>	2.36	3.19	>	0.45	3.15	>	0.36	NG	2.366

4 T字管の検討

4.1 使用管種

断面名	本管の管種	枝管の管種
断面 3	農業用ダクタイル鋳鉄管 φ 600 (DB, K形)	農業用ダクタイル鋳鉄管 φ 400 (DB, K形)

4.2 スラスト力の検討

断面名	滑動に対する検討 (kN)			判定	対策工
	スラスト力		抵抗 R_h		
	F_x	$S \cdot F_x$			
断面 3	42.68	64.02	>	36.85	NG 枝管側一体化長 4.475 (m)

ここで、S:安全率 滑動に対してS=1.50