

84-1 ~ 85-1

推進延長 L= 275.00 m

(1) 管にかかる等分布荷重

1) 土による鉛直等分布荷重

(a) 設計条件

管の呼び径	:	D	1000 mm
管厚	:	t	100 mm
土の単位体積重量	:		17.1 kN/m ³
土の粘着力	:	c	2.0 kN/m ²
土の内部摩擦角	:		36.4 °
土の摩擦係数	:	$\mu = \tan$	0.737
土被り	:	H	8.74 m
管外径	:	Bc	1.200 m
テルツァギーの側方土圧係数	:	K	1.00
(テルツァギーは実験研究の結果から、沈下する幅の中央部で K=1 としている)			

(b) 土による鉛直等分布荷重

$$B_t = B_c + 0.10 \qquad B_e = B_t \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1 + \sin(45 - \phi/2) \\ \cos(45 - \phi/2) \end{array} \right\}$$
$$= 1.300 \text{ m} \qquad = 2.113 \text{ m}$$

$$C_e = \frac{1}{2 \cdot K \cdot \mu / B_e} \left\{ 1 - e^{- (2 \cdot K \cdot \mu / B_e) \cdot H} \right\}$$
$$= 1.430$$

$$w = \left(1 - \frac{2 \cdot c}{B_e} \right) \cdot C_e$$
$$= 21.7 \text{ kN/m}^2$$

ここで、
Bt : トンネル外径(m)
Be : 土のゆるみ幅(m)
Ce : テルツァギーの土荷重の係数
w : 土による鉛直等分布荷重(kN/m²)

2) 活荷重による鉛直土圧

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

ここで、

p:	活荷重(kN/m ²)	T -	250
P:	設計荷重		100 kN
i:	後輪荷重		0
C:	衝撃係数		2.75 m
a:	車体有占幅		0.20 m
H:	車輪接地長さ		8.74 m
:	土被り		45 °
:	荷重の分布角		0.9
:	低減係数		

衝撃係数 (i)

H(m)	H ≤ 1.5	1.5 < H < 6.5	6.5 ≤ H
i	0.5	0.65 - 0.1 H	0

$$p = 3.7 \text{ kN/m}^2$$

3) 管にかかる等分布荷重

$$q = w + p$$

$$= 21.7 + 3.7$$

$$= 25.4 \text{ kN/m}^2$$

ここで、

- q: 管にかかる等分布荷重(kN/m²)
- w: 土による鉛直等分布荷重(kN/m²)
- p: 活荷重による鉛直土圧(kN/m²)

(3) 推進力の計算

下水協修正式 () / 2000年指針 による。

3)-1 推進管および線形条件

呼び径		1000 mm
掘進機外径	Bs =	1.220 m
管外径	Bc =	1.200 m
管の単位重量	W =	8.303 kN/m
推進管の単位長	l =	2.43 m
曲線半径	R =	100 m
曲線推進長	CL =	75.00 m
直線推進長 (発進 ~ BC)	ℓ =	150.00 m
(EC ~ 到達)	ℓ̄ =	50.00 m
土被り	H =	8.74 m
推進管中心までの高さ h は		
$h = H + Bc/2$		
$= 8.74 + 1.220/2$	=	9.35 m

3)-2 土質条件

土質区分	砂質土
地下水位	GL- hw = 2.00 m
土の単位体積重量	= 17.1 kN/m ³
土の粘着力	C = 2.0 kN/m ²
土の内部摩擦角	= 36.4 °
N値	12

3)-3 推進設備条件

元押ジャッキ最大設備推進力	Fm = 3,920 kN
中押ジャッキ最大設備推進力	Fn = 2,950 kN

4) 推進抵抗値の算定と推進設備の検討

4)-1 全区間の推進抵抗

曲線推進における推進抵抗 F は次式による。

$$F = (F_0 + \phi \cdot \mathbf{1}) K^n + \phi \cdot CL + \phi \cdot \mathbf{2}$$

ここで、 F : (kN)

F₀ : 初期抵抗 (kN)

φ : 直線推進における1m当りの抵抗値 (kN/m)

K : 曲線での管 1本毎の推進抵抗増加率

n : 曲線部の推進管本数

$$= CL / l$$

$$= 75.00 / 2.43$$

$$= 30.9 \text{ 本}$$

但し、 CL : 曲線推進長 = 75.00 m

l : 推進管単位長 = 2.43 m

φ : 曲線部と直線部の推進抵抗比率

2 : 直線推進長 (発進 ~ BC) = 150.00 m

1 : 直線推進長 (EC ~ 到達) = 50.00 m

初期抵抗 F₀ は次式により求まる。

$$F_0 = (P_w + P_e) \cdot [B_s / 2]^2$$

$$= (93.5 + 150.0) \times [1.220 / 2]^2$$

$$= 284.6 \text{ kN}$$

ここで、 B_s : 掘進機外径 = 1.220 m

チャンバー内圧力 P_w は泥水式より

$$P_w = (\text{地下水圧}) + 20.0 \text{ kN/m}^2$$

$$= (h - h_w) \times 10.0 + 20.0 \text{ kN/m}^2$$

$$= (9.35 - 2.00) \times 10.0 + 20.0$$

$$= 93.5 \text{ kN/m}^2$$

切削抵抗 P_e は N 値より

$$P_e = (N \text{ 値}) \times 10.0 \text{ kN/m}^2$$

$$= 12.0 \times 10.0 = 120.0 \text{ kN/m}^2$$

ただし、 $N < 15$ の場合は $P_e = 150 \text{ kN/m}^2$

$N > 50$ の場合は $P_e = 500 \text{ kN/m}^2$

故に、採用値は

$$P_e = 150.0 \text{ kN/m}^2$$

直線推進における m 当たりの推進抵抗値 f_0 は次式による。

$$f_0 = \{ (B_c q + W) \mu' + B_c C' \}$$

$$= 0.45 \times \{ (1.200 \times 25.4 + 8.303) \times 0.3288 + 1.200 \times 0.0 \}$$

$$= 15.40 \text{ kN/m}$$

ここで、 μ' : 推進力低減係数 = 0.45 (砂質土)

土質	推進力低減係数
砂質土	0.45
粘性土	0.35
砂礫土	0.60
固結土	0.35

$$B_c : \text{管外径} = 1.200 \text{ m}$$

$$q : \text{管にかかる等分布荷重} = 25.4 \text{ kN/m}^2$$

$$W : \text{管の単位重量} = 8.303 \text{ kN/m}$$

$$\mu' : \text{管と土との摩擦係数}$$

$$= \tan(\phi / 2) = \tan(36.4^\circ / 2) = 0.3288$$

$$\phi : \text{内部摩擦角} = 36.4^\circ$$

$$C' : \text{管と土の付着力}$$

$$\text{粘性土}(N < 10) : C' = 8$$

$$\text{固結土}(N \geq 10) : C' = 5$$

$$N = 12 \text{ (砂質土)} \quad \text{故に、} \quad C' = 0$$

また、推進抵抗増加率 K と推進抵抗比率は次式により求められる。

$$K = \frac{1}{\cos \alpha - k \sin \alpha}$$

$$= \frac{1}{\cos 1.401^\circ - 0.5 \times \sin 1.401^\circ}$$

$$= 1.013$$

$$\begin{aligned}
&= K^{(n+1)} - K \\
&= n(K - 1) \\
&= 1.013^{(30.9+1)} - 1.013 \\
&= 30.9 \times (1.013 - 1) \\
&= 1.237
\end{aligned}$$

ここで、 θ : 曲線部で隣接する推進管の折れ角度

$$\begin{aligned}
\theta &= 2 \cdot \sin^{-1} \left[\frac{l}{2(R - D/2)} \right] \\
&= 2 \cdot \sin^{-1} \left[\frac{2.43}{2 \times (100.00 - 1.20/2)} \right] = 1.401^\circ
\end{aligned}$$

但し R: 曲線半径 = 100 m
D: 管外径 = 1.200 m
l : 推進管単位長 = 2.43 m

k: 曲線部の推進方向に対する法線方向力の摩擦抵抗に

係わる係数 (通常 k = 0.5)

n: 曲線推進本数 = 30.9 本

故に、全区間の推進抵抗 F は、

$$\begin{aligned}
F &= (F_0 + \rho \cdot l) K^n + \rho \cdot C L + \rho \cdot l \\
&= (284.6 + 15.40 \times 50.00) \times 1.013^{30.9} \\
&\quad + 1.237 \times 15.40 \times 75.00 + 15.40 \times 150.00 \\
&= 5,311 \text{ kN}
\end{aligned}$$

4)-2 推進設備の検討

元押しジャッキ最大設備推進力 $F_m = 3,920 \text{ kN}$

全区間の推進抵抗 $F = 5,311 \text{ kN}$

$F_m < F$ より

中押し設備の検討が必要である。

4)-3 許容推進延長の計算

推進管の許容耐荷力に基づく直線区間での許容推進延長を求める。

今、管の許容耐荷力を F_a とすれば $F_a = F$ として、 L を未知数 L_a として置き換えれば基本式より次式を得る。

$$L_a = \frac{(F_a \text{ or } F_m) - F_0}{\bar{\sigma}}$$

ここに、 L_a : 許容推進延長(m)

F_a : 管の許容耐荷力

$$F_a = 1000 \cdot m_a \cdot A_e = 3,766 \text{ kN} \quad (50\text{N/mm}^2)$$

$$= 5,070 \text{ kN} \quad (70\text{N/mm}^2)$$

$$F_m : \text{元押しジャッキ最大設備推進力} = 3,920 \text{ kN}$$

$$A_e : \text{管の有効断面積} = 0.2897 \text{ m}^2$$

$$m_a : \text{管の許容平均圧縮応力度} = 13.0 \text{ N/mm}^2 \quad (50\text{N/mm}^2)$$

$$= 17.5 \text{ N/mm}^2 \quad (70\text{N/mm}^2)$$

$$F_0 : \text{初期抵抗力} = 93.5 \text{ kN}$$

$$\bar{\sigma} : \text{直線推進における1m当りの抵抗値} = 15.40 \text{ kN/m}$$

故に、直線区間での許容推進延長は

$$50\text{N/mm}^2 \quad L_{a50} = \frac{3,766 - 93.5}{15.40} = 238.5 \text{ m}$$

$$70\text{N/mm}^2 \quad L_{a70} = \frac{5,070 - 93.5}{15.40} = 323.1 \text{ m}$$

$$\text{元押しジャッキ} \quad L_{ajm} = \frac{3,920 - 93.5}{15.40} = 248.5 \text{ m}$$

$$\text{以上より} \quad L_a = L_{ajm} = 248.5 \text{ m}$$

(4) 中押し推進の検討

1) 計算条件

呼び径			1000 mm
初期抵抗力	F0	=	284.6 kN
直線推進 1m当り抵抗値	f	=	15.40 kN/m
曲線部推進抵抗増加率	K	=	1.013
曲線部の推進管本数	n	=	30.9 本
			2.43 m/本
曲線部推進抵抗比率		=	1.237
曲線推進長	CL	=	75.00 m
直線推進長 (EC ~ 到達)	l1	=	50.00 m
直線推進長 (発進 ~ BC)	l2	=	150.00 m
元押しジャッキ最大設備推進力	Fm	=	3,920 kN
中押しジャッキ最大設備推進力	Fn	=	2,950 kN

2) 1段目中押しジャッキによる推進延長

EC ~ 到達区間	$Ln1 = \frac{Fne}{K^n}$	-	F0
		f	
曲線区間	$Ln1 = \frac{Fne}{f}$	-	F0
		f	
発進 ~ BC区間	$Ln1 = \frac{Fne}{f}$	-	F0
		f	

3) 2段目以降中押しジャッキによる推進延長

EC ~ 到達区間	$L_{n2} =$	F_{ne} / K^n
		f
曲線区間	$L_{n2} =$	$F_{ne} /$
		f
発進 ~ BC区間	$L_{n2} =$	F_{ne}
		f

4) 元押しジャッキによる推進延長

EC ~ 到達区間	$L_m =$	F_{me} / K^n
		f
曲線区間	$L_m =$	$F_{me} /$
		f
発進 ~ BC区間	$L_m =$	F_{me}
		f

ジャッキ設備推力による推進延長が設計区間延長以上となる場合は推力に余裕を生じるが
これは後続区間推力へ加算して計算する。

余裕推力 F は各区間毎に次式による。

EC ~ 到達区間	$F = f (L - l_1) K^n$
曲線区間	$F = f (L - CL)$
発進 ~ BC区間	$F = f (L - l_2)$

ここで、 L は L_n または L_m である。

5) 推進設備計画

	EC ~ 到達区間 50.00 m		曲線区間 75.00 m		発進 ~ BC区間 150.00 m	
	許容延長 (m)	余裕推力 (tf)	許容延長 (m)	余裕推力 (tf)	許容延長 (m)	余裕推力 (tf)
元押しは 1 中押しは 2						
1段目 2 Fn= 2950 kN	110.04	1378.12	72.34			
元押し 1 Fm= 3920 kN			205.78	3869.38	251.26	1559.38