

### 3) 曲線推進の検討

#### 3)-1 曲線推進推進力算定式

1曲線推進における推進抵抗 F は次式による。

$$F = (F_0 + f \cdot 1) K^n + f \cdot CL + f \cdot 2$$

ここで、 F : 曲線推進における推進抵抗(kN)  
 F<sub>0</sub> : 初期抵抗力 (kN)  
 f : 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'  
 但し、 CL : 曲線推進長 (m)  
 l' : 推進管単位長 (m)  
 : 曲線部と直線部の推進抵抗比率  
 2 : 直線推進長 (発進 ~ BC)(m)  
 1 : 直線推進長 (EC ~ 到達)(m)

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。

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

$$= \frac{K^{n+1} - K}{n(K - 1)}$$

ここで、  $\theta$  : 曲線部で隣接する推進管の折れ角度

$$= 2 \cdot \sin^{-1} \left[ \frac{l'}{2(R - B_c/2)} \right]$$

但し、 R : 曲線半径 (m)  
 B<sub>c</sub> : 管外径 (m)  
 l' : 推進管単位長 (m)

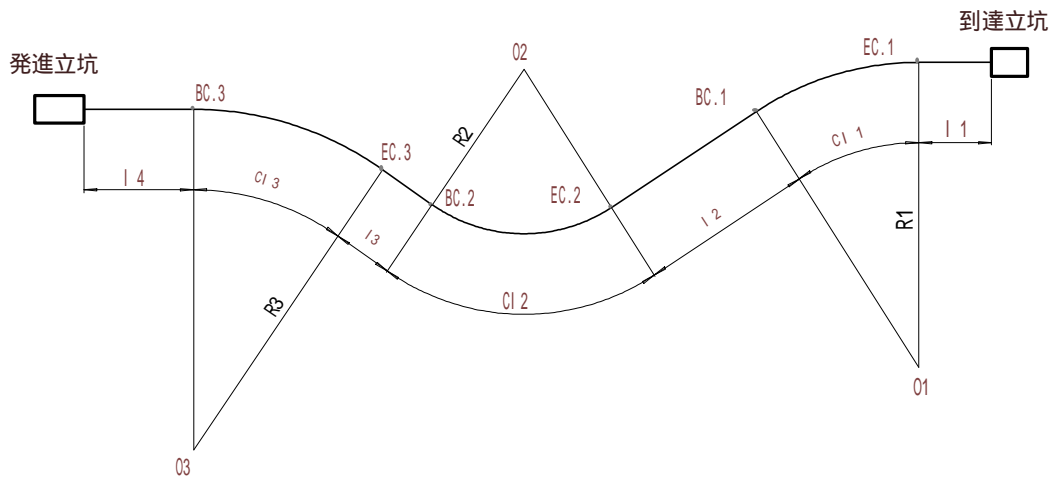
k : 曲線部の推進方向に対する法線方向力の摩擦抵抗に係わる係数

$$\text{通常 } k = 0.5$$

### 3)-2 多曲線推進推進力算定式

1スパンに複数の曲線が設定される場合、推進抵抗力は各BC点にて、到達側から各到達点～BC点間の推進力を順次合成していき、これに元押し地点からの直線区間推進力加えることにより求める。

ここで、各曲線番号は到達側から発信側へかけて若い番号とする。



BC.1 地点の推進力 (到達点～BC.1)

$$F_{BC1} = (F_0 + f \cdot l_1) \cdot K_1^{n_1} + f \cdot Cl_1$$

BC.2 地点の推進力 (到達点～BC.2)

$$F_{BC2} = (F_{BC1} + f \cdot l_2) \cdot K_2^{n_2} + f \cdot Cl_2$$

⋮

BC.x 地点の推進力 (到達点～BC.x)

$$F_{BCx} = (F_{BC(x-1)} + f \cdot l_x) \cdot K_x^{n_x} + f \cdot Cl_x$$

元押し推進力 (到達点～元押し地点)= 総推進力

$$F = F_{BCx} + f \cdot l_{(x+1)}$$

ここで、x は曲線番号

3)-3 多曲線推進力計算表

推進力算出地点名	元押し		BC. 4	BC. 3	BC. 2	BC. 1
曲線番号	-		4	3	2	1
呼び径 : (mm)	800		800	800	800	800
管外径 :Bc (m)	0.96		0.96	0.96	0.96	0.96
推進管単位長 l' (m)	2.43		2.43	2.43	2.43	2.43
直線推進区間長 l (m)	14.05		12.14	15.11	21.64	9.87
曲線推進区間長 :CI (m)	-		20.47	15.31	29.66	18.05
曲線半径 :R (m)	-		150	300	100	100
初期抵抗力 :F0 (kN)	-		-	-	-	109.2
単位推進抵抗値 f (kN/m)	16.03		16.03	16.03	16.03	16.03
曲線摩擦係数 k	-		0.5	0.5	0.5	0.5
推進管折れ角 : (°)	-		0.931	0.465	1.399	1.399
曲線部推進管本数 n (本)	-		8.4	6.3	12.2	7.4
推進抵抗増加率 :K	-		1.008	1.004	1.013	1.013
推進抵抗比率 :	-		1.038	1.015	1.090	1.056
BC点推進力 :F <sub>BC</sub> (kN)	-		2,865	2,166	1,627	600
総推進力 :F (kN)	3,090					

直線推進区間長計  $l = 72.81 \text{ m}$

曲線推進区間長計  $CI = 83.49 \text{ m}$

推進区間長  $L = l + CI = 156.30 \text{ m}$

### 3)-4 推進管耐荷力の検討

算出された総推進力に対して、推進管の耐荷力、および元押し設備能力が適合するかどうかを検討する。

下水道推進工法用管 800 (JSWAS A-2 or A-6)の許容耐荷力は次式による。

$$F_a = 1,000 \cdot m_a \cdot A_e$$

ここに、

$$\begin{aligned} F_a &: \text{管の許容耐荷力 (kN)} \\ m_a &: \text{管の許容平均圧縮応力度 (N/mm}^2\text{)} \\ &= 13.0 \text{ N/mm}^2 \text{ (50N管)} \\ &= 17.5 \text{ N/mm}^2 \text{ (70N管)} \end{aligned}$$

$$A_e : \text{管の有効断面積} = 0.1766 \text{ m}^2$$

故に、50N 管の許容耐荷力は

$$F_{a_{50}} = 1,000 \times 13.0 \times 0.1766 = 2,296 \text{ kN}$$

70N 管の許容耐荷力は

$$F_{a_{70}} = 1,000 \times 17.5 \times 0.1766 = 3,091 \text{ kN}$$

これに対して、総推進力は

$$F = 3,090 \text{ kN} > 2,296 \text{ kN} = F_{a_{50}}$$

$$F = 3,090 \text{ kN} < 3,091 \text{ kN} = F_{a_{70}}$$

したがって、50N管で耐荷力が不足する区間に 70N管を用いることにより推進可能である。

次に、元押しジャッキ最大設備推進力について 800 管では

$$F_m = 3,920 \text{ kN}$$

これに対して、総推進力は

$$F = 3,090 \text{ kN} < 3,920 \text{ kN} = F_m$$

すなわち、元押しジャッキ最大設備推進力は満足する。

3)-5 BC点における許容推進力算定式

BC点では曲進が始まることにより 推進力に対する地盤反力ベクトルが管側圧となって発生する。

そこでは、力の釣合条件より次式が成立する。

$$F_{aBC} \cdot \sin \theta = \frac{l}{4} \cdot 2r \cdot q_a$$

- ここで、 $F_{aBC}$  :BC点での許容推進力 (kN)  
 $\theta$  :管一本当りの折れ角度 (°)  
 $l$  :管 1本の長さ (m)  
 $r$  :管圧中心半径 (m)  
 $q_a$  :管にかかる許容等分布側圧 (kN/m<sup>2</sup>) (= 曲線推進による地盤反力)

$$F_{aBC} = \frac{l \cdot r \cdot q_a}{2 \sin \theta}$$

外圧 1種管 許容等分許容等分布側圧計算表

呼び径 (mm)	外圧強度 Pr (kN/m)	Pa = Pr / 1.2 (kN/m)	自重 W (kN/m)	管厚中心 半径 r (m)	抵抗曲げモーメント (kN・m/m) Ma = 0.318 Pa・r + 0.239W・r	許容等分布側圧 (kN/m <sup>2</sup> ) qa = Ma / (0.314 r <sup>2</sup> )
250	32.36	26.97	1.266	0.1525	1.354	185.402
300	34.32	28.60	1.536	0.1785	1.689	168.815
350	37.27	31.06	1.857	0.2050	2.116	160.329
400	39.23	32.69	2.202	0.2315	2.528	150.256
450	42.17	35.14	2.615	0.2585	3.050	145.376
500	44.13	36.78	3.012	0.2850	3.538	138.723
600	46.09	38.41	4.106	0.3400	4.486	123.597
700	48.05	40.04	5.367	0.3950	5.536	113.005
800	35.40	29.50	5.314	0.4400	4.686	77.092
900	38.30	31.92	6.725	0.4950	5.820	75.640
1,000	41.20	34.33	8.303	0.5500	7.096	74.710
1,100	42.70	35.58	9.550	0.6025	8.193	71.876
1,200	44.20	36.83	11.415	0.6575	9.495	69.948
1,350	47.10	39.25	13.917	0.7375	11.658	68.262
1,500	50.10	41.75	17.330	0.8200	14.283	67.649
1,650	53.00	44.17	20.380	0.9000	17.024	66.935
1,800	55.90	46.58	23.671	0.9800	20.061	66.524
2,000	58.90	49.08	28.730	1.0875	24.442	65.817
2,200	61.80	51.50	34.276	1.1950	29.360	65.477
2,400	64.80	54.00	40.309	1.3025	34.915	65.542
2,600	67.70	56.42	46.828	1.4100	41.077	65.800
2,800	70.70	58.92	53.853	1.5175	47.963	66.331
3,000	73.60	61.33	61.328	1.6250	55.512	66.950

外圧2種管 許容等分布側圧計算表

呼び径 (mm)	外圧強度 Pr (kN/m)	Pa = Pr / 1.2 (kN/m)	自重 W (kN/m)	管厚中心 半径 r (m)	抵抗曲げモーメント (kN・m/m) Ma = 0.318 Pa・r + 0.239W・r	許容等分布側圧 (kN/m <sup>2</sup> ) qa = Ma / (0.314 r <sup>2</sup> )
250						
300						
350						
400						
450						
500						
600						
700						
800	70.70	58.92	5.314	0.4400	8.802	144.800
900	76.50	63.75	6.725	0.4950	10.830	140.769
1,000	82.40	68.67	8.303	0.5500	13.101	137.929
1,100	85.40	71.17	9.550	0.6025	15.010	131.688
1,200	88.30	73.58	11.415	0.6575	17.179	126.554
1,350	94.20	78.50	13.917	0.7375	20.863	122.160
1,500	101.00	84.17	17.330	0.8200	25.344	120.036
1,650	106.00	88.33	20.380	0.9000	29.665	116.634
1,800	112.00	93.33	23.671	0.9800	34.631	114.836
2,000	118.00	98.33	28.730	1.0875	41.473	111.682
2,200	124.00	103.33	34.276	1.1950	49.057	109.405
2,400	130.00	108.33	40.309	1.3025	57.419	107.788
2,600	136.00	113.33	46.828	1.4100	66.597	106.681
2,800	142.00	118.33	53.853	1.5175	76.635	105.984
3,000	148.00	123.33	61.328	1.6250	87.551	105.590

3)-6 BC点外圧管種検討表

推進力算出地点名		BC. 4	BC. 3	BC. 2	BC. 1
曲線番号		4	3	2	1
呼び径	: (mm)	800	800	800	800
管単位長	:l (m)	2.43	2.43	2.43	2.43
管厚中心半径	:r (m)	0.4400	0.4400	0.4400	0.4400
管 1本当折れ角度	: (°)	0.931	0.465	1.399	1.399
許容等分布側圧 :q	1種管 (kN/m <sup>2</sup> )	77.09	77.09	77.09	77.09
	2種管 (kN/m <sup>2</sup> )	144.80	144.80	144.80	144.80
BC点許容推進力 :F <sub>BC</sub>	1種管 (kN)	2,536	5,078	1,688	1,688
	2種管 (kN)	4,764	9,538	3,171	3,171
BC点発生推進力 :F <sub>BC</sub> (kN)		2,865	2,166	1,627	600
判 定 ( F <sub>BC</sub> < F <sub>aBC</sub> ) ならば可	1種管				
	2種管				
		O.K	O.K	O.K	O.K