

フラインド・シールドの推進力の算定と実験

大阪大学工学部	正員	伊 藤 昌 雄
大阪大学工学部	正員	松 井 保
大阪府庁	正員	〇 高 本 敏

[1] はしほき

本文は、フラインド式シールド工法適用時の所要推進力を流動理論によって求めた算定式および模型実験による結果を考察したものである。

[2] 推進力の計算法

図-1は長さ L 、外径 R_1 、スリ取り口の半径 R_2 の円形フラインドシールドの断面である。このシールドを一定速度で推進させる場合、全推進力 P は、シールド外面、 $AD, A'D'$ に作用する力 P_1 および先端部 $AC, A'C'$ に作用する力 P_2 の和であると考えられる。即ち

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{----- (i)}$$

これら2力の計算における主な仮定は次の通りである。

(a) シールドを一定速度で推進させる時、シールドの外周面および先端部の粘性土はBingham流動状態であり、この流動特性はPipe Flow試験等から既知であるものとする。(参考文献1)

(b) $ACC'A'$ 内の粘性土の流動方向は常に中心 O に向かうものとする。

(c) 任意の半径 r における微小部分 $EFF'E'$ における流動は弧 EE' を直径とするPipe Flowと相似であり、壁面に作用する力はそれと比例関係にあるものとする。

(1) シールド外面面に作用する力 P_1 の計算法

シールド外面面に作用する力 P_1 は杭を引抜きときに杭表面に作用するフリクションと同じであると考えられるので、参考文献2を参照して次式で表わすことができる。

$$v_0 = \frac{P_1}{2\pi L \mu_p} \left(\ln \frac{P_1}{2\pi L t_g R_1} + \frac{2\pi L t_g R_1}{P_1} - 1 \right) \quad \text{----- (ii)}$$

ここに v_0 : シールド推進速度, t_g : 粘性土の降伏応力, μ_p : 塑性粘度である。従って、 μ_p, t_g, R_1 が既知とすれば上式より P_1 は v_0 と L の関数として表わされることになる。

(2) シールド先端部に作用する力 P_2 の計算法

図-1に示すシールド先端部の微小部分 $EFF'E'$ において、 $EF, E'F'$ に作用する力 dp_2 は前述した仮定より、直径 $EE' = 2r\alpha$ 、長さ dr のPipe Flowにおいて壁面に作用する力と比例するから、

$$dp_2 = 2\pi k dr \left\{ (\mu_p v_r + r\alpha t_g) \pm \sqrt{(\mu_p v_r + r\alpha t_g)^2 - (r\alpha t_g)^2} \right\} \quad \text{----- (iii)}$$

ここに k : 比例定数 v_r : 栓の速度。

栓の速度 v_r は、シールド推進速度 v_0 のとき次式で表わされるものとする。

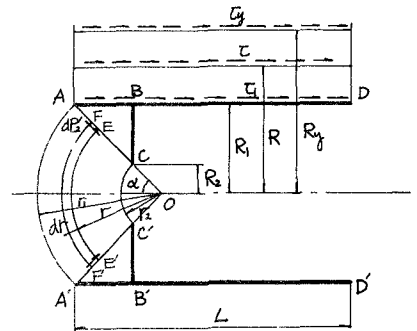


図-1

$$V_r = R^2 V_0 / 2r^2 (1 - \cos \alpha) \quad \dots \dots \dots (iv)$$

従ってシールド先端部に作用する力 P_2 は dp_1' の水平成分を $r=r_2$ から r_1 まで積分したものと
して求まり。

$$P_2 = \int_{r_2}^{r_1} \cos \alpha dp_1' = \pi k \cos \alpha \left\{ \frac{a}{\sin \alpha} (R^2 - R_2^2) + 4 \frac{b}{\sin \alpha} (R^{\frac{5}{2}} - R_2^{\frac{5}{2}}) - 2rc \sin \alpha (R_1 - R_2) - \frac{2c}{5rD} (\sin \alpha)^5 (R_1^{\frac{5}{2}} - R_2^{\frac{5}{2}}) \dots \dots \dots (v) \right.$$

ここに $a = \alpha \cdot \tau_y$, $b = \alpha R^2 \mu_p \tau_y V_0 / (1 - \cos \alpha)$, $c = \{ R_1^2 \mu_p V_0 / 2(1 - \cos \alpha) \}^2$
以上のようにして求めた P_1 , P_2 を (i) 式に代入すれば全推進力 P を求めることができる。

[3] 実験装置および方法

上に求めた全推進力 P の内、 P_1 のみが貫入長さ L の関数として表示されるので、図-2 に示すような実験装置によって、模型フラインドシールドを粘土の中へ貫入させて、貫入長さ L とその時の貫入力 P を測定する。一例として実験結果を図示すると図-3 の如くになり、 P と L はほぼ直線関係にあり、直線の切点より R/L , 縦軸との交点より P_2 が得られる。(参考文献3)

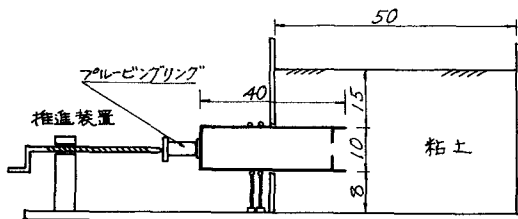


図-2 (単位 cm)

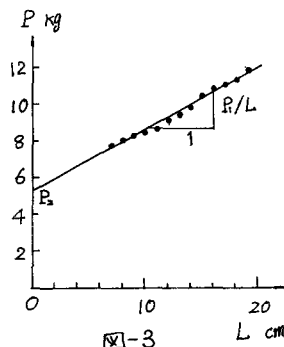


図-3

シールド先端部の形は α を一定角度 45° とし、 R_2 を種々変化させているが、今回の実験においては、開口比 0.5, 0.25, 0.1 のものを用いた。試料は L.L.=72%, R.L.=31%, 比重=2.65 であり、含水比 86.8%, 80%, 77.6% の 3 種類について実験を行った。また貫入速度 V_0 は 1 cm/min , 1 mm/min の 2 種とした。

[4] 実験結果および考察

前述の Pipe Flow 実験により求めた粘土の μ_p, τ_y はそれぞれの含水比に対して表-1 のように求まる。これらの値を使って (ii) 式より求めた R/L と実験値を比較すると表-2 の通りである。ここに実験値として示す値は 3 種類の開口比の平均値である。次に実験により求めた P_2 を (i) 式に代入して比例定数 k を求めるも表-3 の如くなる。この表より k は 5~6 前後でほぼ一定値をとるようである。この k の値は主にシールド先端部の断面の変化に起因するものと思われるが、更に詳細に検討する必要がある、今後の課題である。

<参考文献>

- 1) 松井 竹本「軟弱地盤の流動特性について」昭和43年度建設省土木研究所報告
- 2) 松井 竹本「ネガティブフリクションの計算法に関する試案」昭和42年度
- 3) 前掲 内藤 鍾木「フラインドシールド工に対する推進力の求め方」昭和42年度建設省土木研究所報告

含水比 %	86.8	80.0	77.6
τ_y (g/cm ²)	5.84	8.51	9.73
μ_p (g/cm ²)	67.6	53.7	27.4

表-1

	含水比 %	86.8	80.0	77.6	
	貫入速度	10 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	1 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	10 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	10 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$
R/L (kg/cm)	實驗値	0.232	0.229	0.307	0.343
	理論値	0.210	0.187	0.341	0.355

表-2

	含水比 %	86.8	80.0	77.6	
	貫入速度	10 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	1 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	10 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	10 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$
開口比	0.5	6.4	5.5	5.8	4.8
	0.25	5.8	5.4	6.0	5.5
	0.10	6.2	6.5	6.1	4.8

表-3