

K.K. 奥村組 ○奥蘭 清 青木 保
東海大学工学部 宇都一馬 冬木 衛

1. まえがき

シールド曲線部の施工に当って、シールドの特殊な装置を用いない限り、一般に、すでに設置されたセグメントに反力を取り偏心荷重をシールドに作用させて推進する。この場合の偏心荷重は、シールド本体の形式、形状、地盤条件、施工法、その他の施工環境などによって異なるものになるが、一般には、あらかじめシールド本体に組み込まれているジャッキを熟練したオペレーターがうまく操作して、偏心荷重を作用させ、曲線部の推進を行っているのが現状のようである。このような曲線部におけるシールドの動きを理論的に明らかにしておけば、計画、設計の段階での施工方法や機種の選定、その他施工中の施工環境の変化に対応してすみやかに処置をとりやすくなる。そこで、今回、図-1に示すように、シールド本体に作用する外力条件のモデル化を行ない、曲線部施工中のシールド本体に作用させる推進力と偏心モーメントの算定式を求めたので報告する。

2. 解析法(図-1参照)

シールドの曲線部における推進力 P と偏心モーメント M を求めるに当っての仮定と定義を列記する。

- ① シールド本体は弾性変形をしない剛体である。
- ② シールドは、図-1に示すように回転角 θ を生じた状態で、1セグメントの長さだけ推進する。
- ③ シールドの切羽部 CD には、垂直力 Q_0 と回転によって生じるせん断力 F_0 が作用する。
- ④ シールド本体側面には、回転角 θ によって生じる変位に比例する側圧力 Q_1, Q_2 と摩擦力 F_1, F_2 が作用する。これらの力は、シールド本体が地盤に押し込まれる部分のみに働くものとする。ただし、軟弱地盤中では、地盤からシールド本体が離れる部分へも土がめり込んでくるので摩擦力が作用することになるが、これについては、前面の垂直力 Q_0 で評価する。

⑤ シールド本体の AB 部分には、ジャッキによる推進力 P と偏心モーメント M の他に、組立てられた後方のセグメントから水平反力 H が作用する。この H は、回転角 θ によって生じる AB 部分の変位に比例するものとする。なお、杭の水平抗抗の問題と同様に、 AB 部分より後方のセグメントには、 $Chang$ の式を適用しうるものとする。

⑥ シールド側面の地盤反力係数は、 CG 部分を α とし、切羽 C, D のいずれかの部分をゆるめることがあるので、 BT 部分および組立てられたセグメントの側面部分を α とす。ここに α を α の低減比と呼ぶ。

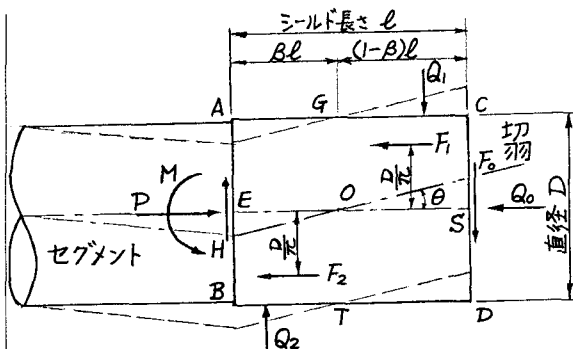


図-1 シールドの偏心状態

2.1 作用力の釣合式

推進力 P は、 Q_0, F_1, F_2 と釣合っているので

$$P = Q_0 + F_1 + F_2 \quad (1)$$

となり、水平方向力は、切羽前面のせん断力 F_0 、シールド側面の圧力 Q_1, Q_2 およびセグメントからの水平反力 H が釣合うことになるので、次式となる。

$$Q_1 - Q_2 + F_0 - H = 0 \quad (2)$$

偏心モーメント M は、 F_0, F_1, F_2, Q_1, Q_2 の各力の E 点に対するモーメントと釣合うはずであるから、

$$M = F_0 l + (F_2 - F_1) \frac{D}{\pi} + Q_1 \frac{1}{3} (2 + \beta) l - Q_2 \frac{1}{3} \beta l \quad (3)$$

となり、偏心距離 d は、偏心モーメント M と、推進力 P から次式で求められる。

$$d = M/P \quad (4)$$

2.2 各作用力のとり方

切羽前面の圧力 Q_0 は、推進中に前面の土を排除して、

その抵抗力を適当に減少しうるものであり、過去の実績によれば側面摩擦の約2倍程度であるので、次式のようにおいてよいものとする。

$$Q_0 = 2(F_1 + F_2) \quad (5)$$

側面反力 Q_1, Q_2 は、変位に比例する反力分布になると仮定したので、それぞれ、次式となる。

$$Q_1 = \frac{\epsilon \theta D L^2}{2} (1 - \beta)^2 \quad (6)$$

$$Q_2 = \frac{\alpha \epsilon \theta D L^2}{2} \beta^2 \quad (7)$$

切羽前面のせん断力 F_0 、側面に作用する摩擦力 F_1, F_2 は、土の粘着力を C 、せん断抵抗角を ϕ 、シールド本体と土との摩擦角 δ とすれば、それぞれ次式のようになる。

$$F_0 = \frac{1}{4} \pi D^2 C + Q_0 \tan \phi \quad (8)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} \pi D (1 - \beta) L C + Q_1 \tan \delta \quad (9)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \pi D \beta L C + Q_2 \tan \delta \quad (10)$$

セグメントから作用する水平反力 H は、次式となる。

$$H = K \theta L \beta \quad (11)$$

ここに、 K はセグメントのバネ係数であり、セグメントの曲げ剛性を EI 、セグメントの直径がシールドの直径 D に近似的に等しいとすれば、次式で与えられる。

$$K = \left[\frac{1}{4} EI (\alpha \epsilon D)^3 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (12)$$

なお、シールドの回転角 θ は、テーパセグメントの平均幅 L 、曲線部の半径を R とすれば、次式で与えられる。

$$\theta = L/R \quad (13)$$

4. 試算例

以上に述べた算定式で、シールド曲線部の推進力 P と偏心モーメント M を表-1に示す3例について試算し、実測値と比較してある。これらは、ほぼ良好な結果を得ているものと見られる。

5. あとがき

極めて簡単な外力条件を仮定して、シールド曲線部施工時の偏心荷重に関する算定式を求めた。

この算定式を用いて求めた値と、3箇所の施工実績との比較ではおおむね良好な結果を得た。今後、更に多くの施工実績を収集し、算定式による値との比較と同時に、施工中のシールドの挙動を観測し、算定式の誘導に当たっての仮定の再吟味や土質定数のとり方の問題などを明らかにし、算定式の改善を行なうつもりである。

2.3 β の決定

シールド本体の回転中心 O の位置を求めるには、 β を決定する必要がある。

(2)式に(6)、(7)、(8)、(11)式を代入して、これを β について解けば、次式となる。

$$\beta = \frac{1}{1 - \alpha} \left[\left(1 + \frac{2K}{\epsilon D L} \right) - \sqrt{\left(1 + \frac{2K}{\epsilon D L} \right)^2 - (1 - \alpha)} \right] \left\{ 1 + \frac{\pi D^2 C + 4 Q_0 \tan \phi}{2 \epsilon \theta D L^2} \right\} \quad (14)$$

ただし、 $\alpha = 1$ の場合には、次式となる。

$$\beta = \frac{1}{2 \left(1 + \frac{2K}{\epsilon D L} \right)} \left[1 + \frac{\pi D^2 C + 4 Q_0 \tan \phi}{2 \epsilon \theta D L^2} \right] \quad (15)$$

3. 土質定数(C, ϕ, ϵ)のとり方

以上、2.で述べた算定式を用いる場合に、 C, ϕ, ϵ などの土質定数は、現象に適用しうる試験によって決定すべきであろうが、現在、一般に行なわれている土質調査では、このような主旨によるものはないようである。そこで、実用的には、道路協会、下部構造設計指針を参考にして、 N 値を用いて、次式によるのも一方法と考える。すなわち、

砂質土の場合、(8)(9)(10)式において、 $\phi = \delta = 0$ とおき、 α 一項の C を次式で求める。

$$C = N/2 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (16)$$

粘性土の場合の粘着力 C は、

$$C = N \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (17)$$

とし、また、地盤反力係数 ϵ は、

$$\epsilon = \epsilon_0 y^{-1/2} = 0.2 \times 28 N D^{-3/4} y^{-1/2} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (18)$$

とする。ここに、 y は基準変位量であり、シールドを対象にする場合には、一般に変位量が大いので、2.5~3.5cm程度の値をとるとよからう。

表-1

施 工 箇 所	NO.1	NO.2	NO.3
曲線部半径(R) m	14.5	30	50
シールド直径(D) m	2.5	3.93	4.43
シールドの長さ(L) m	3.45	4.87	4.9
N値(改良後)	3~4	3~4	6~7
推進力(P) t	計算値	61~80	270~360
	実測値	60~80	250~345
偏心モーメント (M) t・m	計算値	22~43	196~261
	実測値	20~45	150~190
			500~760