

—特に滑材の影響について—

早稲田大学理工学部

正会員

速藤郁夫

東京都

〃

永田伸之

早稲田大学理工学部

学生員

〇松本 正

1. 結 論 推進工法は都市の過密化, 交通事情, 既設地中構造物のため, 開削工法が困難となっている現在, その推進延長の増加が余儀なくされている。推進工法の平均推進延長は現在, 元押しで50m前後, 中押しで約90m位となっている。このような状況において, 今後の大きな課題は堅坑の数を少なくするために推進延長を延ばすことである。本研究では, 特に長距離推進に不可欠である滑材の効果について, 推進力, 管摩擦係数, 推進距離および推進停止時間等, 種々の観点から解析的検討を加えたものである。

2. 実験方法 100t能力のジャッキを基に圧力計及び変位計を設置し, 推力, 管摩擦係数, 推進距離および停止時間等との関係を求めた。さらに, 滑材の注入量およびその状況を記録した。また, 本研究での実験の対象は泥水加圧式推進工法であり, ヒューム管外径 1.83m, 土質性状は細砂で $N(N値) = 40$, γ (単位体積重量) $= 2.0 \text{ t/m}^3$, ϕ (内部摩擦角) $= 30^\circ$, C (粘着力) $= 0 \text{ t/m}^2$ であり, H (土層り) $= 12 \text{ m}$, 地下水水位 $GL = -3.5 \text{ m}$ であった。

3. 推進力算定式 推進工法における推進力の算定には管の外周と土のせん断抵抗, 管の推進に伴う先端切羽抵抗および管の自重による摩擦抵抗等などを考慮して, 以下次のような式が用いられている。

$$F = F_0 + [(\pi B_c \gamma + W) \mu' + \pi B_c C] L \quad (1)$$

F : 推進力 (t), F_0 : 先端切羽抵抗 (t), B_c : 管外径 (m), γ : 等分布荷重 (t/m²), W : 管の重量 (t/m), μ' : 管と土の摩擦係数, $\mu' = \tan \delta$, δ : 管と土の摩擦角 (全断面推進では $\delta = \phi/2$ とする), ϕ : 土の内部摩擦角 (度), C : 土の粘着力 (t/m²), L : 推進延長 (m)

$$\gamma = w + P \quad (2)$$

w : 土による鉛直等分布荷重 (t/m²), P : 活荷重 (t/m²)

w はテルツァギーの土荷重の考えに基づき次のようにする。

$$w = (r - 2C/B_c) \cdot C_e \quad (3)$$

$$C_e = \frac{1}{\frac{2K\mu}{B_c}} \left[1 - e^{-\frac{2K\mu}{B_c} H} \right] \quad (4)$$

$$B_c = B_t \left[\frac{1 + \sin(45^\circ - \phi/2)}{\cos(45^\circ - \phi/2)} \right] \quad (5)$$

$$B_t = B_c + 0.1 \quad (6)$$

B_c : 土のゆるみ幅 (m), B_t : トンネル直径 (m), C_e : テルツァギーの土荷重の係数 (m), K : テルツァギーの側方土圧係数 (テルツァギーは実験結果より沈下する幅の中央上部で $K = 1$ としている), μ : 土の摩擦係数 ($= \tan \phi$)

P はここでは自動車荷重の影響を考慮して次式のように表す。

$$P = 3.78 / (H + 0.1) \quad (7)$$

$P < 1.0 \text{ t/m}^2$ のときは $P = 1.0 \text{ t/m}^2$ とする。

(2)式に経験値の $F_0 = 4.0$ を代入し, γ はテルツァギーの土荷重の考え方をそのまま用いると(8)式のようになる。

$$F = 4.0 + 6.04 L \quad (8)$$

(8)式を図-1に実線で示した。また, 実験値と比較するため実験値から最小二乗法により実験式を導くと(9)式が得

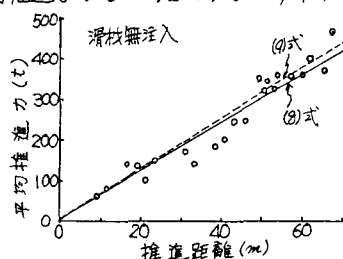


図-1 推進距離と平均推進力

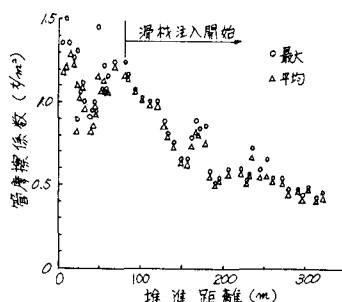


図-2 推進距離と管摩擦係数

られた。(9)式を国-1に点線で示した。

$$F = 1.8 + 6.02L \quad (9)$$

推進工法において、推進力を合理的に算定することは極めて困難であるが、テルツァギーの土荷重の理論により γ を算定し、(8)式を用いれば砂層における推進力を近似的に求めることができるものと考えられる。ここで、(8)式において、ジャッキの公称能力を800トンとすれば $L=131\text{ m}$ 、(9)式より $L=132\text{ m}$ となる。したがって、細砂層中では800トン、管径1.83mの推進最大延長は130mと考えることができる。

4. 滑枝の効果 国-3は滑枝の効果を示したものである。滑枝の連続注入により単位面積当たりの管摩擦抵抗力を著しく減少させ、これによって推進力の増加をおこえることができた。また、滑枝注入量 $V(\text{t/m}^2)$ と管摩擦係数 (t/m^2) との関係を国-3に示した。これより、最大管摩擦係数 $F_1(\text{t/m}^2)$ は次式によって表わすことができた。

滑枝注入量： $0 \leq V \leq 33.25(\text{t/m}^2)$ の範囲

$$F_1 = -0.0188V + 1.2182 \quad (10)$$

滑枝注入量： $33.25(\text{t/m}^2) \leq V$ の範囲

$$F_1 = -0.0045V + 0.7427 \quad (11)$$

最大管摩擦係数は $1.2(\text{t/m}^2)$ から滑枝注入により減少し、滑枝注入量が $33(\text{t/m}^2)$ 付近よりほぼ一定の $0.5(\text{t/m}^2)$ となり、 $1/2.4$ の減少率を得ることができた。このことは、800トンの能力をもつ元押しジャッキを用いると、本研究の対象である外径1.83mのヒューム管を推す場合、推進距離が滑枝を $33(\text{t/m}^2)$ 以上注入すること、130mから312mに伸ばすことができる

と考えられる。

また、管摩擦抵抗力は推進前の停止時間に極めて大きな影響を受ける。そのため、停止時間と管摩擦係数 (t/m^2) との関係を国-4および国-5に示した。滑枝無注入区間における管摩擦係数を国-4に示した。推進停止時間10時間以下では、停止時間の増加とともに管摩擦係数は著しく増大した。しかし、最大と平均はほぼ同じ値であることが認められた。それらの関係を(12)式に示した。また、10時間以上では管摩擦係数は際々に増大し、最大は平均に比べてかなり大きいことが認められた。それらの関係をそれぞれ(13)および(14)式に示した。

推進停止時間10時間以下

$$F_1 = 4.873 \log t - 3.346 \quad (12)$$

推進停止時間10時間以上

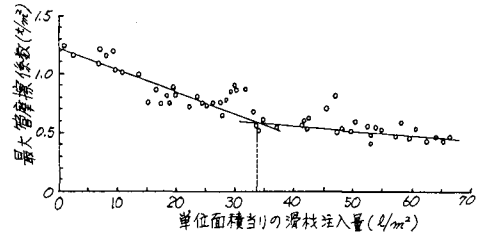
$$\text{最大: } F_1 = 0.4092 \log t + 1.010 \quad (13)$$

$$\text{平均: } F_2 = 0.4560 \log t + 0.7273 \quad (14)$$

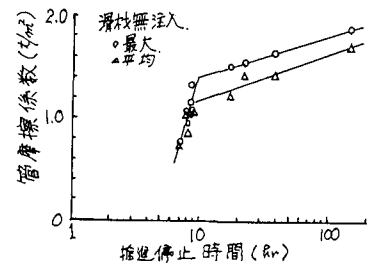
t : 推進停止時間 (hr)

国-5は滑枝を十分注入した場合を示した。この場合は推力停止時間と最大管摩擦係数とは殆んど関係なく、一定値 (0.8 t/m^2) であった。しかも、最大と平均との差異のないことが認められた。

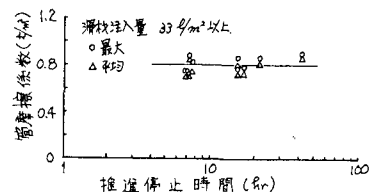
5. 結論 下水管渠の泥水加圧式推進工法に関して、推進延長の増大を計るため、滑枝の注入を行なった。その効果は、管摩擦係数の減少および最大管摩擦係数に対する推進停止時間の影響など、極めて顕著であった。その結果、中押しを採用することなく、推進延長距離を約300mまで達することができた。



国-3 滑枝注入量と管摩擦係数



国-4 推進停止時間と管摩擦係数



国-5 推進停止時間と管摩擦係数