

VI-263

小口径推進工法における推力算定に関する研究

編 関 電 工 正会員 ○横田祐二
 豊 橋 技 術 科 学 大 学 正会員 栗林栄一
 株 式 会 社 ホ ウ シ ョ ウ 日高典純

1. はじめに

近年各都市では、分流式下水道管渠を採用していることから、小口径管の埋設が増加し、従来は難しいとされていた塩ビ管を用いた小口径推進工法が注目され、且つ普及しつつある。また、現在、下水道事業における推進工法の推力算定には日本下水道協会の提案式(以下、協会式)を用いることが一般的となっている。これは所要推力を土質工学的な見地から導く理論的な式として協会に正式に認められたもので幅広く用いられている。しかし、多種多様化する推進工法に対して、協会式を半ば強引にあてはめているのが現状である。本研究では、協会式の検討を行うとともに塩ビ管推進工法(以下、本工法)に適応する式を提案する。

2. 協会式の検討

$$F = F_0 + \{(\pi \cdot B_e \cdot q + W) \cdot \mu' + \pi \cdot B_e \cdot C\} \cdot L$$

F : 所要推力 F_0 : 先端抵抗力 B_e : 管外径 q : 管にかかる鉛直等分布荷重 W : 管の単位長さ当たりの重量

μ' : 管と土との摩擦係数 C : 土の粘着力 L : 推進延長

1) 先端抵抗力(F_0) $\rightarrow F_0 = 1.32\pi \cdot B_e \cdot N$ N : 推進管周辺土の N 値

この式は、刃口推進工法における貫入抵抗力を多くの工事例から経験的に求めたものである。しかし、本工法はオーガー工法であり、推力によって先端のオーガーを地山に押しつけると同時に回転力により土を削り取ってスクリーで排土するというシステムである。つまり、先端抵抗力は地山にオーガーを押しつけるだけの力でよいと考えられ、推進管の断面積分の受動土圧が先端抵抗力であると考えられる。

ランキンの土圧論(粘着力考慮)を用いて、以下の式を用いるのが妥当である。

$$F_0 = \frac{\pi \cdot B_e^2}{4} \cdot \gamma_e \cdot \left(H + \frac{B_e}{2} \right) \cdot K_p + 2C \cdot \sqrt{K_p} \quad \gamma_e: \text{土の単位体積重量} \quad H: \text{土かぶり} \quad K_p: \text{受動土圧係数}$$

2) 推進管外周面にかかる荷重による摩擦抵抗力(F_1) $\rightarrow F_1 = \pi \cdot B_e \cdot q \cdot \mu' \cdot L$

所要推力の構成要因の中で最も大きなウエイトを占め、推進管外周面にかかる死荷重(w)と活荷重(p)によるものであり、地山の自立状態に大きく左右される。死荷重(w)は、テルツァギーの土圧公式によって求める。一方、活荷重(p)は、「鋼道路橋設計示方書」に定められたT-20の後輪荷重を用いる。よって、単位延長当たりの管上部に作用する鉛直等分布荷重(q)は $q=p+w$ で表わされ、これより推進管外周面法線方向の土圧の合力(Q_r)を算出する。協会式では、管上下面に鉛直等分布荷重(q)が作用するとき、左右からもこれと同じ荷重が水平に作用すると仮定して上記の式を導いた。しかし、本工法は、塩ビ管(撓性管)を用いることから、滞水砂層等の特別な場合を除いて、水平土圧は二等辺三角形分布とする。

法線土圧の合力(Q_r)は、 k_a (主動土圧係数)=1(安全側)とすると、

$$Q_r = \left(\pi - \frac{2}{3} \right) \cdot B_e \cdot q \quad \text{となり、}$$

$$\text{従って、} F_1 = \left(\pi - \frac{2}{3} \right) \cdot B_e \cdot q \cdot \mu' \cdot L \quad \text{とするのが妥当である。}$$

3) 推進管の自重による摩擦抵抗力(F_2) $\rightarrow F_2 = W \cdot \mu' \cdot L$

塩ビ管の単位長さ当たりの重量は小さいが、安全側とするため考慮する。

$$F_2 = W \cdot \mu' \cdot L \quad W: \text{塩ビ管の単位長さ当たりの重量}$$

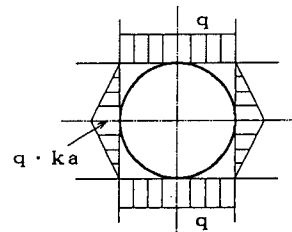


図1 載荷状態

4) 推進管外周面と土との付着による抵抗力(F_a) $\rightarrow F_a = \pi \cdot B_c \cdot C \cdot L$

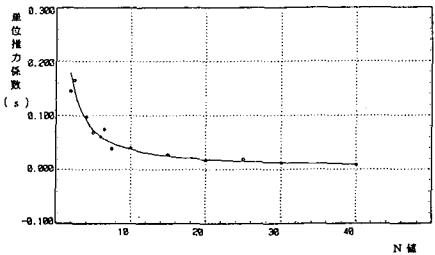
この式によると、固結粘土のように粘着力の大きい土質の場合には非常に大きな値となるが、実際には硬い粘土ほど地山は自立し、推進管外周面と土との付着による抵抗力は極めて小さいものとなる。つまり、粘性土の場合、管と土との付着力はN値と相反する関係にある。よって、粘性土に対しては、粘着力(C)ではなく、付着力(A)を考えることにする。

$$F_a = \pi \cdot B_c \cdot A \cdot L \quad A: \text{土と管の付着力}$$

3. 施工実績から求めた推力算定式

所要推力を土質物性値から理論的に求める方法に対して、多くの工事例から帰納的に求めようとする考え方がある。それには、対象とする推進工法の工法および方式が限定されていること、また、補助工法によって地山の性状が大きく変化してないことが重要である。本研究では、塩ビ管推進工法(オーガー工法)に限定しており、また、補助工法についても滞水砂層や腐食土等の特別な場合を除いては使用されることは少ない。従って、N値と推力との相関が極めて高い状態となっている。また、標準貫入試験は地盤調査において最も一般的なものとなっており、N値と推力との相関性を求めるのが現実的で、且つ説得力があると思われる。本研究では、推進管周辺土の平均N値と到達坑に到達する直前の推力との相関を調べ、N値と推進延長より、直ちに所要推力を推定できる推力算定式を導いた。

◇解析方法 オーガー掘削推進(2工程目)において、到達坑に到達する直前の推力(F)を推進延長(L)で除して、推進延長に関わりのない単位推力を求め、これを推進管周辺土の平均N値で除した数値(単位推力係数(s))を算出する。また、本工法で用いる管は径が小さく、その範囲も限られている(200mmと250mmで約90%を占める)ため、管径については考慮しない。算出された単位推力係数(s)をN値別に分類し、その平均値をプロットし、最小2乗法により、N値と単位推力係数(s)の回帰式を求める。



◇解析結果 推力は以下の式によって推定することができる。

図2 N値と単位推力係数(s)の関係

$$F = s \cdot N \cdot L$$

ただし、 $s = 0.348N^{-0.000}$ F : 推力 N : N値 L : 推進延長 s : 単位推力係数

4. 推進管のたわみ計算

本工法は推進管(塩ビ管)内部にスクリーが通っており、管内壁とスクリーとのクリアランスが少ない。そこで、仮想仕事の原理を用いて、推進中の塩ビ管の水平方向と鉛直方向のたわみ量(δ_x, δ_y)を求め、スクリーの回転に支障をきたすことがないか検証する。なお、管が最も変形しやすい場合を想定するため、水平土圧については考慮しないこととする。

$$\delta_x = \frac{q \cdot r^4}{E \cdot I} \int_0^{\pi/2} \cos 2\theta \cdot \left(\frac{1}{\pi} - \frac{\sin \theta}{2} \right) d\theta = \frac{1}{6} \frac{q \cdot r^4}{E \cdot I}$$

$$\delta_y = \frac{q \cdot r^4}{E \cdot I} \int_0^{\pi/2} \cos 2\theta \cdot \left(\frac{1}{\pi} - \frac{\cos \theta}{2} \right) d\theta = -\frac{1}{6} \frac{q \cdot r^4}{E \cdot I}$$

$E = 29700 \text{ kg/cm}^2$: 塩化ビニルのヤング係数 $I = 1/12 \cdot b \cdot t^3$: 塩ビ管本体の断面2次モーメント(cm^4)

$b = 100$: 単位幅(cm) t : 塩ビ管本体肉厚(cm)

◇解析結果 上記の式を用いて検証を行った結果、想定し得る中で最大の載荷状態の下においても、スクリーの回転に支障をきたす程のたわみ量とならなかった。

●参考文献

南野輝久: 推進工法の設計と施工, 森北出版, 1989.9.1

建設産業調査会: 最新トンネル工法・機材便覧, 1988.9.1