

(株) 配管コンサルタント 正員 佐藤 直 昭
東京 都 立 大 学 正員 山 本 稔

1. はじめに 推進工法に関する資料は日本下水道協会を中心に整備され、下水道推進工法用鉄筋コンクリート管規格(JSWAS A-2)、下水道推進工法の指針と解説などが発行された。しかし、下水道協会の推進力算定式は実際の施工実績と比較すると過大になる場合が多いといわれている。その原因の第1は、土圧を円管の周囲に作用させていること、第2に初期抵抗力の算定式に土中に貫入した場合の実績値を用いているためと考えられる。本研究では推進工法実績から実体に合う推進力算定式を求めようとするものである。

2. 推進力算定式 推進工法の理想的な施工方法は、土砂の取込率100%で推進管内に流入する土砂は100%排出されることである。なお、土砂の管内面の抵抗は生じないものとする、推進力と延長の関係は直線で表すことができる。次に推進管と土砂との間に発生する抵抗力は、通常の土質を考え、管の外面と土砂との間にせん断面が発生するとし、クーロンの破壊規準にしたがうものと仮定する。一方、管に働く法線方向の圧力には鉛直荷重、水平土圧、管の自重等がある。管の自重の扱いとしてその地盤反力を外力と考え、その反力から管に働く法線方向応力を求める。したがって推進力算定基本式は次のようになる。

$$F = F_0 + \pi E_c \cdot \alpha_a \cdot L \quad \cdots \cdots (1)$$

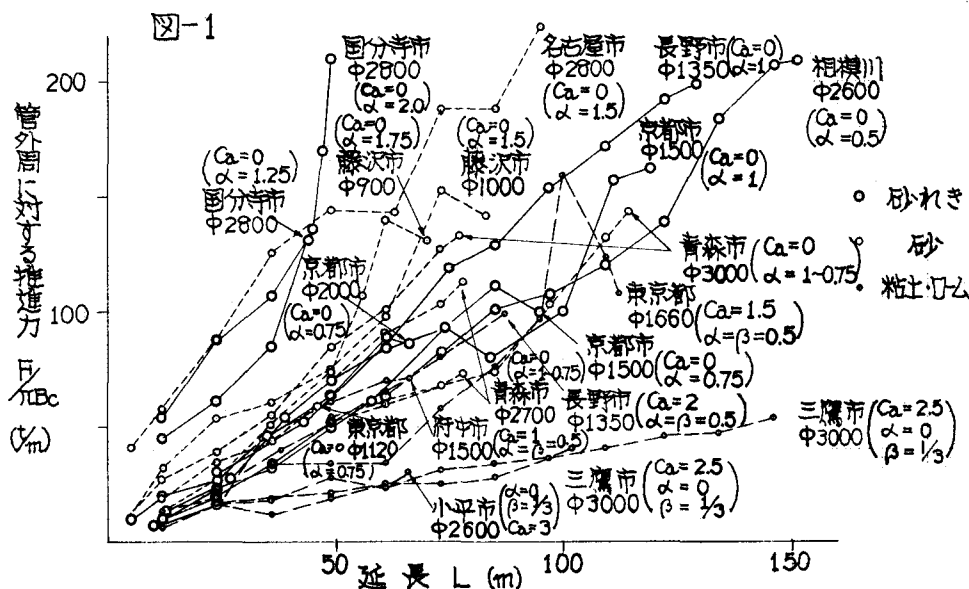
$$\alpha_a = \beta \cdot \alpha_a + \sigma \cdot \mu \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\sigma = \alpha \cdot \gamma + \frac{2 \cdot W}{\pi^2 (E_c - t)} \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\mu = \tan \delta \quad \cdots \cdots (4)$$

$$\delta = \frac{\phi}{2} \quad \cdots \cdots (5)$$

ここに、F:推進力(t)、F₀:初期抵抗力(t)、E_c:管外径(mm)、α_a:管と土とのせん断強度(％)、L:推進延長(m)、β:管と土との付着力の影響を示す係数、α_a:管と土との付着力(％)、σ:管に働く法線方向の圧力(％)、μ:管と土との摩擦係数、α:管に働く法線方向圧力の範囲を表す係数(自重は除く)、γ:鉛直荷重(％)、W:管の重量(％)、t:管厚(mm)、δ:管と土との摩擦角度、φ:土の内摩擦角度。



3. 推進力と延長との実績 推進実績を検討するのに基本式を次のように変形して考える。

$$\frac{F}{\pi \cdot B_c} = \frac{F_0}{\pi \cdot B_c} + \gamma_a \cdot L \quad \cdots \cdots (6)$$

このように基本式の両辺を管外周で割ることによって推進力と推進延長の関係は管の外径に關係なく並べることができる。そして入手した資料のうち管外周に対する推進力と推進延長の關係を示すと図-1のようになる。

次に、式(6)をさらに延長して割って推進力と延長の關係を圧力単位で表現し、式を移項すると次式となる。

$$\frac{F}{\pi \cdot B_c \cdot L} - \frac{F_0}{\pi \cdot B_c \cdot L} = \gamma_a \quad \cdots \cdots (7)$$

入手した資料を式(7)により管路表面積に対する推進力から初期抵抗力の影響を差し引いた値、すなわち、管と土とのせん断強度と延長の關係を示すと図-2のようになる。なお、管自重のみが作用しない場合には、管の垂直軸に平行に等しい荷重が円周上に働くとして求めた次式を式(3)の代りに用いる。

$$\sigma = \frac{4 \cdot W}{\theta^2 \left(\frac{B_c}{t} - t \right)} \sin \frac{\theta}{2} \quad \cdots \cdots (8)$$

$$s = \frac{B_c}{2} \times \theta \quad \cdots \cdots (9)$$

ここに、 θ ：支承角、 s ：支承の弧長。

4. 考 察 (1) 実績をみると土質を4種類に分類できる。1) 関東ロームで地山が自立する場合： $\alpha=0$ ， $\beta=\frac{1}{3}$ ， $G_a=2.5 \sim 3.0$ 係見込めばよい。2) 粘土で地山が自立しない場合： $\alpha=0.5$ ， $\beta=0.5$ ， $G_a=1.0 \sim 2.0$ 係とする。なお、図-1で原点を通る線の傾きが急になるほど G_a は小さくみる。3) 砂れきの場合：地山が補助工法等で自立する場合には $\alpha=0.5$ ， $G_a=0$ 。普通に周囲から荷重が作用するときは $\alpha=0.75 \sim 1.0$ ， $G_a=0$ 。荷重により相当に管が締め付けられるときは $\alpha=1.25 \sim 2.0$ ， $G_a=0$ とする。4) 砂及びシルトの場合：普通に周囲から荷重が作用するとき $\alpha=0.75 \sim 1.0$ ， $G_a=0$ とする。荷重によりひどく管が締め付けられるときには $\alpha=1.5 \sim 1.75$ ， $G_a=0$ とする。(2) 蛇行量を定量的に明確にしていないため、図-1、2ではそれぞれその量を含んでいる。そのため蛇行荷重 γ にかかる係数 α は1以上にはなり得ないけれども1を越える扱いとした。(3) 図-2の管と土とのせん断強度は蛇行の影響を含んでいるため見掛けの値である。この値により α をおおよそ定められるけれども、蛇行荷重、土質、管径等で異なってくる。
5. おわりに クーロンの破壊限界をもとにして実績を検討した結果は、土質を4種に分けて、 α ， β ， G_a を定めることができた。これを用いて土質別に推進力と延長の關係を推定することができる。特に、今回は初期抵抗力については検討しないで、実績値を用いて議論をすすめた。

