# 管路解析モデルによる余掘りが推進力・推進管作用土圧に与える影響評価

長岡技術科学大学　学○品田悟，Auttakit Asanprakit，伊藤隼人，正　杉本光隆

## 1.はじめに

推進工法は管を地中に押込んで管路を形成するため，推進諸抵抗の中で推進力に最も影響を与える要因は，管と地山との摩擦抵抗であると考えられる．このため，余掘りが推進力へ与える影響は非常に大きい．しかし，推進力算定の従来モデル[1)]では，地盤とトンネルとの間の隙間と無関係に推進力が定まるため，摩擦抵抗と付着力に大きな影響を与えると考えられる余掘りを考慮することができない．その代わりに，土圧としては緩み土圧を用い，推進力低減係数βを土質別に与えている．

既往の研究[2)]で，開発した余掘りを考慮できる推力算定モデル(管路解析モデル)により，仮想現場の条件で合理的な力学挙動を表現できることを確認し，実測データを用いて管路解析モデルの妥当性を検証した．

そこで，管路解析モデルを用いて，推進工法に関するパラメータスタディを行い，各パラメータが推進力・推進管作用土圧に与える影響を評価し，管路解析モデルの妥当性について検討した．本報告では，余掘りが推進管作用土圧に与える影響について述べる．

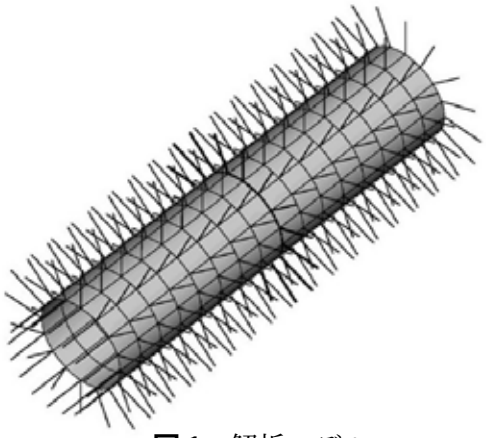

**図 1**　解析モデル

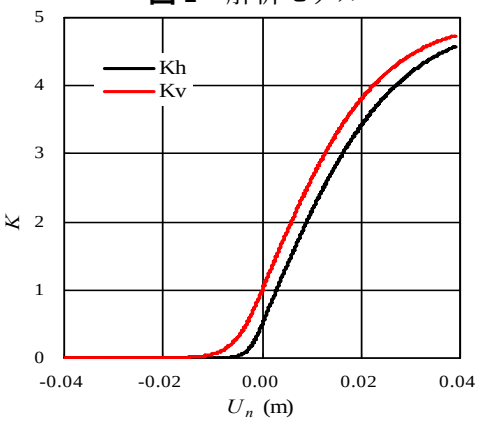


**図 2**　地盤反力曲線

## 2.推進力算定モデル

**図 1** に解析モデルを示す．解析では，推進管を半径方向 32 本の地盤ばね(**図 2**)によって支えられる曲面シェル，推進管継手部と先端抵抗(マシンコネクション)を圧縮ばねとせん断ばねとしてモデル化した．また，管周面抵抗を表現するために，管と地盤の間にインターフェイス要素(Mohr-coulomb モデル)を設定した．

## 3.解析条件

推進管は管長 L=2.43m，呼び径 3250mm，厚さ 250mm である．解析延長は推進管 28 管分で，第 1 曲線部（曲線半径 R=50m）を含め 19.2m で，曲線始点は Pipe6 の近傍，曲線終点は Pipe18 の近傍である．

地盤条件は，地盤反力係数 15MN/m$^3$，側方土圧係数 0.50，土被り 2D(D=推進管外径)，砂質土地盤で，土水分離として，解析を行った．

## 4.解析結果

余掘り量$U_{n0}$を 5，10，15mmとした推進管周面地盤変位分布$U_n$，推進管周面地盤反力分布$\sigma_n$を**図 3，4** に，推進力を**表 2** に示す．**図 3** の$U_n$から以下のことがわかる．①曲線部の始点と終点では，推進管は曲線内側に変位している．②曲線中央部では，推進管は曲線外側に変位している．③曲線部では，曲線内側では推進管の中央部，曲線外側では推進管の端部で推進管はトンネル外側に変位している．④推進管が切羽側に近づくにつれて外側に押し込む変位が減少している．⑤推進管は，全体的に上に変位し，上部で受働状態に，下部で主働状態となっている．なお，発進立坑では，推進管の軸直角方向変位を拘束しているので，変位は 0 になっている．⑥推進管は，横長に変形している．また，先端では，円形を保持している．

キーワード：推進工法，管路解析，余掘り，地盤変位，地盤反力

連絡先：〒940-2188　新潟県長岡市上富岡 1603-1　長岡技術科学大学建設系　TEL: 0258-46-6000　FAX: 0258-47-9600

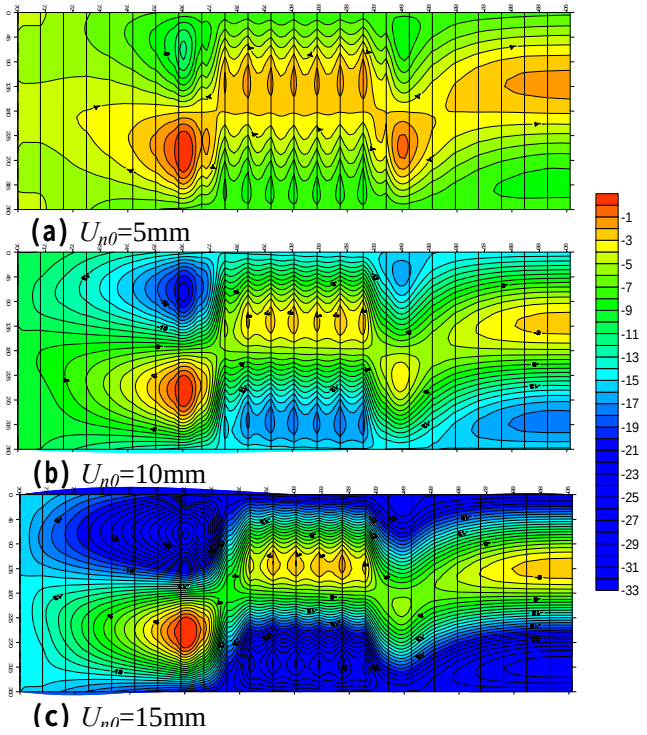


**図 3**　推進管周面地盤変位分布

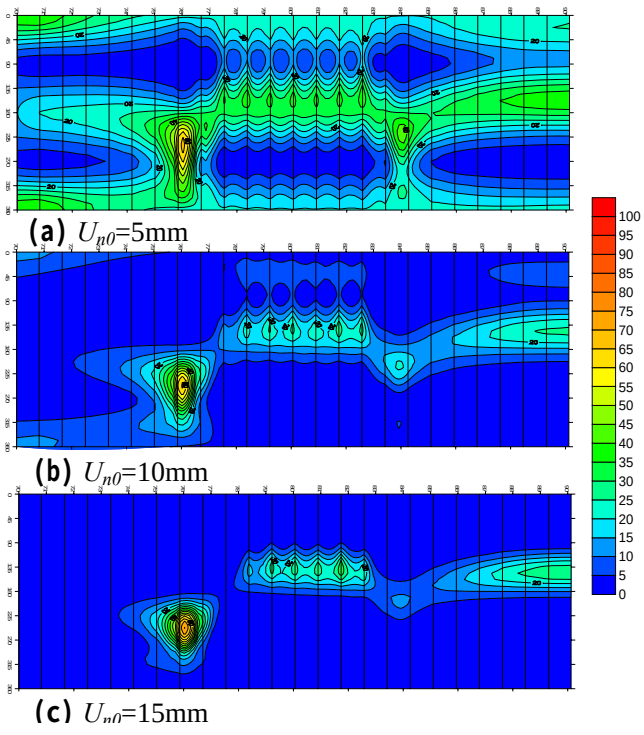


**図 4**　推進管周面地盤反力分布

これらは以下のように考えられる．①，②は，推進力伝達材の剛性が高いため，推進管が掘削面内で曲がりにくいこと，推進力が作用していることのためである．③は，推進管の剛性が高いため，曲線内側では推進管中央部が，曲線外側では推進管端部が地山に近づくからである．④は，推進管の周面摩擦により推力が切羽に近づくにつれて減少するため，推進管を曲線外側へ押し込む力が弱くなるためである．⑤は，浮力のためである．⑥は，側方土圧係数 0.5 のためである．

**図 4** の$\sigma_n$は，**図 3** の$U_n$に**図 2** の地盤反力曲線を適用して得られるので，$U_n$と同様の傾向を示す．

また，これらの図表より余掘り量$U_{n0}$の影響について，以下のことがわかる．①$U_n$：$U_{n0}$が大きくなると，上部$U_n$が増加し，その他の所で$U_n$が小さくなる．これは，$U_{n0}$が増大すれば，幾何学的に$U_n$が減少するからである．②$F_R$，$F_J$：$U_{n0}$が大きくなると，推進管周面抵抗$F_R$，ジャッキ力$F_J$が減少する．これは，**図 2** に示す地盤反力曲線からわかるように，$U_n$が減少すれば，地盤反力$\sigma_n$が減少し，その結果，$F_R$，$F_J$も減少するからである．

**表 1**　解析条件

| 条件 | パラメータ | 値 |
|---|---|---|
| 地盤条件 | 地盤反力係数 $k$ (MN/m$^3$) | 15 |
| | 側方土圧係数 $K_{Ho}$ | 0.5 |
| | 土被り $h$ (m) | 2D |
| 推進条件 | 余掘り $U_{n0}$ (m) | 0.005 0.010, 0.015 |
| | 管周面摩擦係数 $m$ | 0.1 |
| 構造物条件 | EPS発泡倍率 $F_J$ | 2.0 |
| | 推進力伝達材 $\theta$ （deg） | 90 |
| 管路条件 | 直進部の長さ $L_s$ (m) | 5 |
| | 曲線中心角 $\alpha$ （deg） | 10 |
| | 平面曲線半径 $R_H$ (m) | 50 |
| 推進管条件 | 推進管長さ $L_P$ (mm) | 800 |
| | 推進管厚さ $t_a$ (mm) | 250 |

注： D = 推進管外径

**表 2**　推進力一覧

| 余掘り量 m | ジャッキ力 $F_J$ kN | 先端抵抗 $F_f$ kN | 推進管周面抵抗$F_R$ kN | $F_R/L$ kN/m | $F_R/A$ kN/m$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.005 | 1457.02 | 1142.72 | 314.30 | 16.37 | 1.60 |
| 0.010 | 1265.18 | 1145.28 | 119.90 | 6.25 | 0.61 |
| 0.015 | 1227.07 | 1147.84 | 79.23 | 4.13 | 0.40 |

## 5. まとめ

管路解析モデルは，推進管周面変位分布，推進管周面地盤反力分布，推進力，推進管周面抵抗力を合理的に表現できることを確認した．また，余掘り量は推進管周面抵抗に大きく影響することがわかった．

## 参考文献

1)日本下水道管渠推進技術協会：推進工法講座　基礎知識編，2004.
2)Auttakit Asanprakit，藩少雄，杉本光隆，望月崇：実測データによる推進工法の推力算定モデルの検証，土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集Ⅲ，Ⅲ-298，2008.