

機動建設工業（株）

正会員 ○木村 勝彦

機動建設工業（株）

西田 広治

京都大学大学院工学研究科

正会員 建山 和由

1. はじめに

推進工法は、管渠計画ラインの両端に発進立坑と到達立坑を構築し、発進立坑の油圧ジャッキにより到達立坑に向かって推進管を順次継ぎ足しながら押し込んでいき、地中に管渠を構築する施工法である。開発当初は直線推進が主であったが、近年はシールド工法の領域であった曲線半径 15m といった急曲線施工も実施されている。しかしながら、シールド工法と異なり、管列全体が動くため、1) 掘進機が曲線外側へ流れていき所定の曲線軌道を描くことができない現象や、2) 曲線区間中の推進管が曲線外側へ張り出し曲線線形を保持できない、といった工法固有の現象が発生する。流れ現象や張り出し量が微小であればよいが、許容範囲を超えると推進不能という大きなトラブルにつながる。そこで著者は、このような現象を数理的に説明し、その対応策をシミュレーションできる、掘進機および推進管列の力学モデルの研究を進めてきた^{1), 2)}。今回は、これらの研究のうちから、掘進機の曲線軌道の形成に対応した方向制御モデルを取り上げ、モデルによる予測と現場施工の実測データとの検証結果を紹介する。

2. 方向制御モデルの概要

方向制御モデルは、シールドにおける曲線トンネル形成時の掘進機と地盤との相互作用の研究³⁾を推進工法に適合させ、構築したものである。推進工法は、シールド工法のようにシールドジャッキで掘進機に旋回モーメントを与え曲線を形成するのではなく、方向制御ジャッキで掘進機前胴部と後胴部を折れ曲げ、傾けた前胴部に地盤反力を受けて掘進機全体が旋回する。そこで、第1段階として擁壁に作用する土圧モデル（図-1）を適用し、掘進機前胴部を折れ曲げた場合の前胴部と地盤反力との相互作用のモデルを作成した。次に、掘進機全体の旋回モデルを作成した（図-2）。なお、近年の曲線施工に多用されているオーバカットは、掘進機の旋回内側地盤を余分に削り取ることににより、旋回に抵抗する土圧を軽減する効果がある。よって、最終的にはオーバカット量を組み入れ、相対変位量の減少による土圧の低減を考慮した方向制御モデルを構築した（図-3）。この方向制御モデルによるシミュレーションでは、1) オーバカットを行わない場合は、所定折れ角以上に曲げないと曲線形成に必要な旋回モーメントを得ることができないこと、2) 適切なオーバカットにより、所定折れ角の折れ曲げでも、旋回に必要なモーメントのバランスが得られ、かつ、方向制御ジャッキの左右の推力の差を低減できること、が分かった。

なお、所定折れ角とは、掘進機前胴部の先端中央、折れ角中心および掘進機後胴部の後端中央が、所定の曲線軌道上にあるときの掘進機前胴部と後胴部との折れ角を言う。

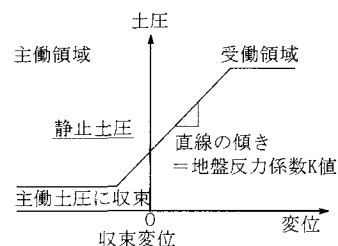


図-1 擁壁に作用する土圧

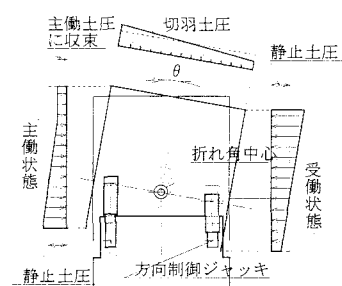


図-2 第1段階のモデル

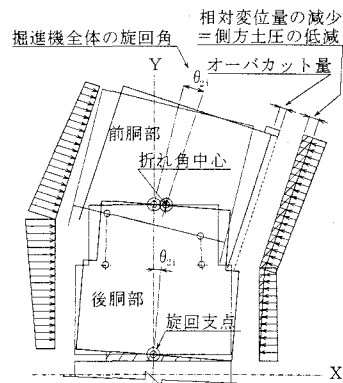


図-3 方向制御モデル

3. 現場の曲線形状とモデルによる予測

対象工事は、内径 3m、土被り約 36m、推進延長 263.3m に 3 カ所の曲線区間（曲線半径 200m、55m、55m）を含む推進工事（図-4）である。土質は細砂および砂質シルト層で、N 値は 6 から 14 と崩壊性の高い地盤であった。

方向制御モデルにより、所定折れ角だけ折れ曲げたときに必要なオーバカット量は、曲線半径 200m 区間で約 1mm、曲線半径 55m の第 2 区間で約 3mm と算定された。

4. 実施工データによる検証結果

図-5 は、横軸に推進距離を取り、縦軸に、曲線半径 200m 区間の実施工の折れ角制御量をプロットしたものである。縦軸には、所定折れ角を 1 としたときの倍率を併せて表示している。図から分かるように、実施工では、予測値をはるかに超え、所定折れ角の約 8 倍の制御量を与えなければならなかった。この主な要因は、掘進機のオーバカット量が必要以上に大きすぎたことが考えられた。すなわち、所定折れ角の折れ曲げでは、オーバカットで緩められた地盤内での掘進機の挙動となり、側方土圧が十分に作用しなかったと推察された。このことは、方向制御モデルのオーバカットが無い場合のシミュレーションで理論的に表現できた。図-6 は、横軸に曲線開始点からの微小掘進距離を取り、縦軸には、掘進機が曲線外側および内側地盤の土圧により掘進機の旋回時に作用するモーメントを取っている。縦軸の 0 の点で曲線軌道に乗ることができるが、図中に丸で囲んで示すように、所定折れ角の 8 倍近く折れ曲げないと旋回できる状態にならないことが分かり、前述の事象と一致した。

曲線半径 55m の区間では、実施工時に、掘進機後端における旋回支点を移動させて曲線を形成する必要があったが、この現象も、方向制御モデルのシミュレーションにより再現できた。

5. おわりに

本論文では、曲線推進に対応した方向制御モデルと、その現場施工データによる検証結果について概説した。現場施工による検証結果から、本モデルは、掘進機挙動の予測および対応策のシミュレーションなど、曲線管渠敷設において、掘進機的设计段階から施工完了まで活用できるツールとなることが検証できた。残された課題としては、今回構築した方向制御モデルをベースとして、軟弱地盤におけるオーバカットの適正量を、さらに詳細に検討できる力学モデルへのシステムアップがある。また、本文では、曲線中の推進管の挙動をシミュレートする推力伝達機構については記述していないが、本研究が、最終的には方向制御モデルと推力伝達機構モデルを組み合わせ、曲線施工時に周辺地盤へ与える影響を最小限に抑え、曲線推進の設計段階から施工完了までの過程を精密にシミュレートすることのできる曲線推進制御システムの確立を目指すものであることを付け加えておく。

[参考文献] 1) 木村勝彦, 西田広治, 建山和由: 曲線推進工法における掘進機の方制御モデルの構築, 地盤工学会中国支部論文報告集「地盤と建設」Vol. 21, No. 1, pp. 30-37, 2003. 2) 木村勝彦, 西田広治, 建山和由: 曲線推進工法における推進管列の推力伝達機構のモデル化, 地盤工学会中国支部論文報告集「地盤と建設」Vol. 21, No. 1, pp. 38-45, 2003. 3) 野崎俊介, 足立紀尚, 建山和由: 地盤特性を考慮したシールド機械の自動方向制御に関する研究, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集 Vol. III-18-1-III-18-2, 1995.

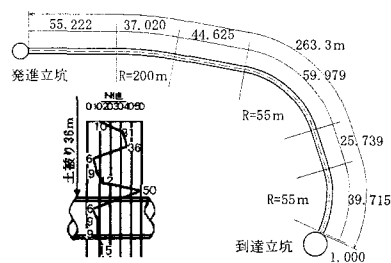


図-4 推進路線図と土質概要

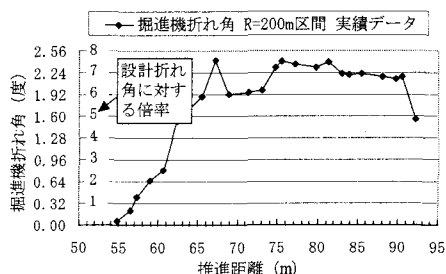


図-5 R=200m区間の折れ曲げ量（実績）

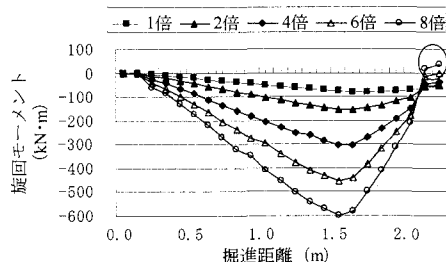


図-6 必要な折れ曲げ量（オーバカット無し）