

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員○野村由司

正員 塩見 博司

正員 保科 宏

1. まえがき 近年、管埋設工事において、トンネル工法が多く用いられるようになってきており、その中でも800mm以下の小口径管埋設の需要は極めて大きい。小口径管埋設の分野において、現状では直線施工が行われているのみであるが、道路の線形に合わせたり、障害物を避けるため、曲線施工ができる工法の実用化が望まれている。曲線施工を達成するためには、(1)トンネルマシンが確実で高い方向修正性能を有し、(2)水平位置が計測できることが必要である。そこで筆者らは圧入無排土方式で、(1)穿孔ヘッドの傾動・推進による方向修正方式、(2)マシン内に設置されたコイルからの磁界を地上のコイルによって検知する水平位置計測方式（電磁法）を装備した小口径管推進工法（地中穿孔法）を開発し、関東ローム実地盤において推進長50mで曲率半径150mのSカーブを推進したのでその概要を報告する。

表1. 地中穿孔法の諸元

地中穿孔機	穿孔ヘッド	外径 長さ 傾動角度	340 445, 220 15°	mm mm °
	本体部	外径 長さ 推力	330 1746 1MN	mm mm N
押管装置	長さ 幅 高さ 総ストローク 推力	3900 1200 915 2850 1MN	mm mm mm mm N	
	動力装置	流量 圧力	1600~5700 70MPa	cm ³ /min MPa
鋼管	外径 長さ 板厚	318.5 2700 7.9	mm mm mm	

2. 工法 地中穿孔法のシステムを図1に、その諸元を表1に示す。本工法はトンネルマシン（地中穿孔機）と埋設される鋼管、発進坑に設置された鋼管推進用の押管装置、動力装置、計測・操作装置、および電磁法受信装置から成っている。推進は以下の順に行われる。(A) 初期状態 電磁法によって計測された水平位置、軌跡から計算した方位角、傾斜計によって計測された傾斜角、および傾斜角から計算した垂直位置を求める。(B) 穿孔ヘッド傾動 計画線との偏差を修正する方向へヘッドを傾動させる。なお傾動の方向・角度は上下左右4本の方角修正ジャッキのストロークを調節することによって全方向へ15°の範囲で設定できる。(C) 穿孔ヘッド推進 推進ジャッキを伸ばしてヘッドを土中に圧入推進させる。(D) 鋼管推進 第1油圧駆動系によって推進ジャッキを縮めると同時に、第2油圧駆動系によって押管ジャッキを伸ばして穿孔機本体と鋼管

を推進させる。この時、穿孔機本体は先に推進されたヘッドに引き込まれるように方向修正される。

3. 方向修正性能の理論解析

線形弾性解析により、本体部長さ L_b 、ヘッド長さ L_h 、一回当りの推進長さ L_s 、ヘッド傾動角度 θ 、および修正角度 ϕ の関係を検討した。図2に上述の推進手順による穿孔

電磁法受信装置

動力装置 計測・操作装置

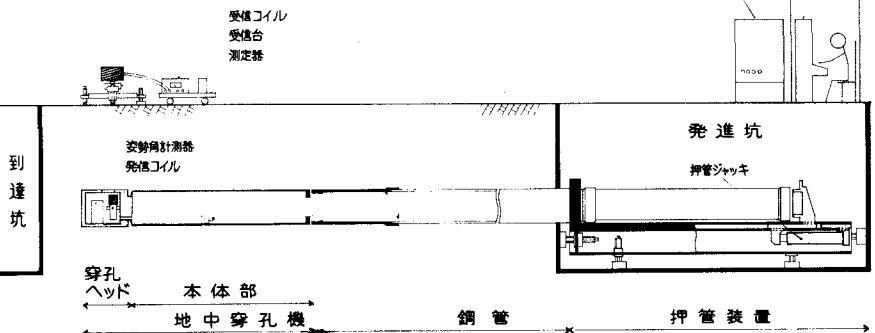


図1. 地中穿孔法システム図

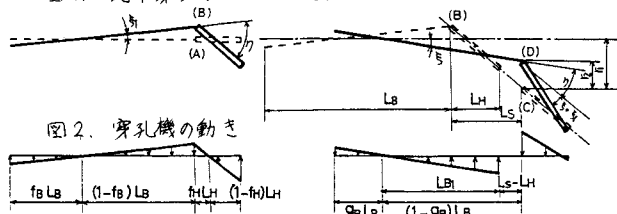


図2. 穿孔機の動き

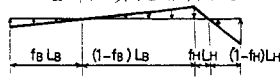
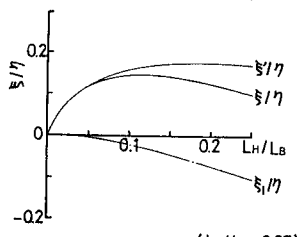


図3. 穿孔機に作用する地盤からの反力

図4. 方向修正性能(計算値) ($L_s/L_b = 0.25$)

機の動きを示す。そして図3に示すごとく、穿孔機への地盤からの反力が横変位に比例し、かつ穿孔機が弾性的に支持されているとして力とモーメントのつり合いを考え、 $L_s/L_B=0.25$ に対して L_H/L_B をパラメータとして、連続して方向修正を行ううちの一回目の修正効率 δ/η を計算した。さらに、二回目以後の修正効率、すなわちヘッ드의傾動による反動 δ が存在しない場合の修正効率 δ/η を計算し、図4に示す。図4から L_H/L_B が $0.1 \sim 0.25$ のとき δ/η は約 0.2 となり、 $\eta=1.5^\circ$ とすれば δ は 0.3° 、すなわち曲率半径 86m ($L_s=45\text{cm}$ のとき)となる。また δ/η の観点からは L_H/L_B は 0.12 程度が良いと推測される。

4. 推進実験 実地盤における本工法による推進実験結果の一例について述べる。

4.1 実験概要 場所：茨城電気通信研究所内 線形：曲率半径 150m のスカークを含む 51.5m 土質：到達点で 2m 土質：関東ローム (N値 $2 \sim 5$)

4.2 方向修正性能に関する実験結果 実機による曲線施工は L_H/L_B を 0.25 と 0.12 の2種類とし、2回行った。その結果、 $L_H/L_B=0.25$ の場合は左向傾動角度 $\eta=0.96^\circ$ の方向修正を20回行ったことにより、方位角は右向 $5.7 \pm 0.5^\circ$ から $1.3 \pm 0.5^\circ$ となり、二回目以後の修正効率 δ/η は 0.23 ± 0.05 であった。一方、 $L_H/L_B=0.12$ の場合は右向傾動角度 $\eta=1.4^\circ$ の方向修正を21回行ったことにより、方位角は左向 $7.6 \pm 0.5^\circ$ から $0.6 \pm 0.5^\circ$ となり、 δ/η は 0.24 ± 0.03 であった。これらの実験結果は上記解析結果にはほぼ一致している。なお、方位角は電磁法により、(計測した水平位置(精度は 20mm 程度))から計算した。また、一回目の修正効率 δ/η を常に精度良く計測できる傾斜角から求めたところ、 $L_H/L_B=0.25$ の場合は -0.1 、 $L_H/L_B=0.12$ の場合は 0.04 であり、 $L_H/L_B=0.12$ の方が δ/η 、 δ/η のいずれについても良いことが明らかとなった。



写真1. 到達した地中穿孔機

4.3 その他の実験結果 傾斜角から計算した垂直位置と電磁法によって計測した水平位置を修正操作の内容とともに図5に示す。穿孔機は修正操作に応じて確実に方向修正されていることがわかる。なお、写真1に穿孔機のマンホールへの到達状況を示す。次にヘッ드의圧入に要する推進ジャッキ推力と鋼管の推進に要する押管ジャッキ推力を図6に示す。推進ジャッキ推力は全体に 100kN 程度であり、押管ジャッキ推力は推進とともに増大して最大 50kN に達している。なお押管ジャッキ推力は同じ地盤における曲率半径 100m の曲線施工では 560kN であり、直線施工の 360kN に対して、曲線施工は5割増である。

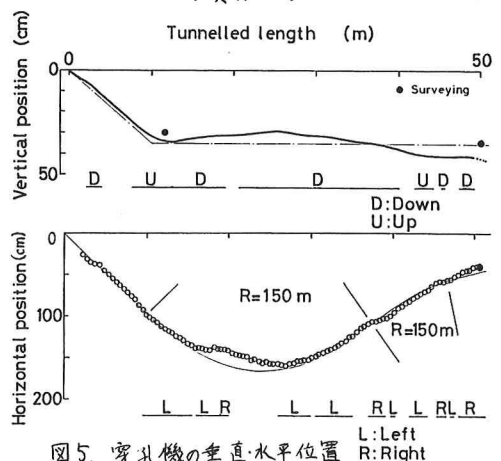


図5. 穿孔機の垂直・水平位置

5. まとめ 本報告を要約すれば以下の通りである。(1)穿孔ヘッ드의傾動推進による方向修正方式と電磁法による水平位置計測方式を開発し、曲率半径 150m のスカークを施工できた。(2)本方向修正方式においては、 $L_s/L_B=0.25$ に対して、 $L_H/L_B=0.12$ 、すなわちヘッド長は一回当りの推進長の $1/2$ 程度が適しており、方向修正性能はヘッド傾動角度 1.5° の時、曲率半径 72m 相当であった。(3)曲線施工での鋼管推進に要する押管ジャッキ推力は直線施工の5割増となった。

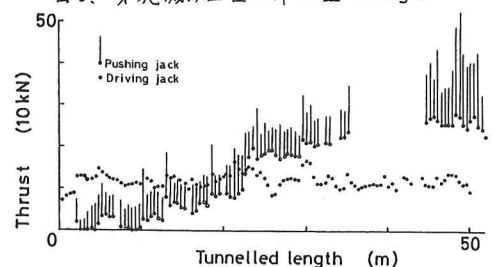


図6 推力

参考文献 1) 梅津他:磁界を用いたトンネルマシンの水平位置計測法の検討、今年大会に投稿