

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正員 ○有岡良祐

〃 〃 〃 野村由司彦

〃 〃 〃 梅津孝雄

1. まえがき

現在、当研究所では小口径の管路布設を対象として、方向制御機能を付加した掘削機（以下、地中穿孔機という）により、無排土でトンネルを築造する工法（以下、地中穿孔法という）の研究を進めている。従来からこの領域には水平ボーリング機械に代表されるホリゾンタルオーガ工法があるが、方向制御機能がないため、方向精度を考慮に入れた場合、適用し得る掘進距離に限りがあった。地中穿孔法はこの掘進距離を拡大するため、穿孔機に方向修正機構と姿勢位置計測をとり入れた方向制御機能を有したことを特徴としている。筆者らはこれまで地中穿孔法のもう一つの特徴である無排土掘削についての土質的限界を求めるため、掘削先端形状と貫入抵抗および土質・土硬と貫入抵抗の関係など一連の貫入特性を検討し報告してきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。ここでは、これら貫入特性の検討より決定した先端形状および方向制御機能を構成する方向修正機構、姿勢位置計測装置等を装備した地中穿孔機の概要を述べるとともに、この穿孔機を用いて行った掘進実験で、地盤への貫入能力、方向修正能力、姿勢位置計測精度などの特性が判明したので報告する。

2. 地中穿孔法

本工法は、地中穿孔機を貫入しながら、中350mmの防護管を後方の発進立坑から推進し、電話ケーブル用管路5条を布設するものであり、その概要を図-1に示す。

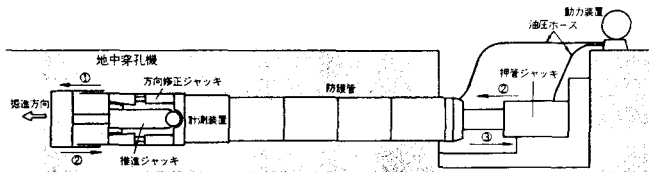


図-1 地中穿孔法の概要

3. 地中穿孔機

地中穿孔機は直径40cm、長さ2mの円筒状物体で、図-2に示すように本体部と先端部に分割されており、相互は球状のジョイントで連結されている。表-1には穿孔機の主な仕様を示す。本体部には先端部推進用の推進ジャッキと方向修正機構があり、本体の後部に姿勢位置計測部がある。以下に穿孔機設計の主要部分である先端形状、方向修正機構、姿勢位置計測について説明する。

3.1 先端形状 先端形状としては機内に装備

でもる動力が限定されることから、貫入抵抗の小さいものが望ましい。図-3に示すように、砂地盤では貫入抵抗は先端角の影響を受けないが、関東ロームでは先端が鋭角になるほど抵抗は減少する。したがって、先端形状を平端とした。

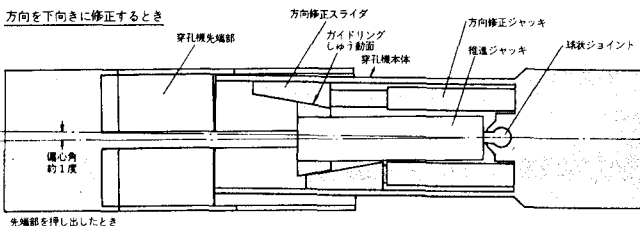


図-2 地中穿孔機

3.2 方向修正機構 専用の方向修正ジャッキを設け、従来方式と比

べて確実に修正効果が期待できるメカニズムを採用した。機構上の特徴は次のとおりである。①図-2に示すように推進ジャッキのピストンと先端部とは一体構造であるので、先端部は本体の軸方向に対して、球状ジョイントの可動範囲だけ自由に偏心できる。②直進専用の位置決めジャッキと方向修正ジャッキをそれぞれ独立して装備している

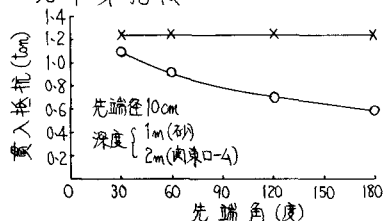


図-3 先端角と貫入抵抗の関係

。③方向修正ジャッキは、推進ジャッキを中心として円周上に90°の間隔で本体に固定して4本設け、互いに180°離隔した2本の修正ジャッキもそれぞれ伸縮の組合せで用いることにより、4方向の修正が可能である。

3.3 姿勢位置計測 穿孔機の姿勢と位置を計測するための検討を行い、計測

項目と計測方法を次のように定めた。まず、位置は水平位置と深度、姿勢は方位角(ヨー)、仰角(ピッチ)、回転角(ロール)に分けられる。これらのうち、深度は連通管の原理を用いて水位の高低差あるいは水圧差で、仰角と回転角は重力方向からの傾きを知る傾斜計で計測することとした。しかし、水平位置と方位角については、レーザ光線やジャイロスコープを用いることが考えられるが、レーザは直線には適用できない、ジャイロスコープは掘進距離が長くなると誤差が大きくなる欠点があるので、本工法では穿孔機の中に小形の発振器をとう載し発振コイルからの電磁波を地上で探知する方法を採用した。この方法における特徴は、発振・受信コイルは軸に常に鉛直方向を向くようにジンバル構造の枠に取付けたので、曲率を持たない中心磁束も探知することになり、誤差の小さい測定が可能となる。

4. 掘進実験結果

4.1 実験条件 掘進実験は、土被2~3mの範囲で行った。この範囲の土質は肉来ローム層であり、N値3~5のかなり均質な土層である。この肉来ローム層の物理的、力学的性質を表2、表3に示す。

4.2 実験結果

(1) 地盤への貫入能力 図4に示すように先端形状のほか、貫入抵抗を支配する要因は、砂地盤では深度とN値(先端部の単体実験で検討)、肉来ロームではN値である。これにより、装備推力を30tonとすればN値10、深度3mまでの貫入が可能であると考えられる。

(2) 方向修正能力 図5から明らかなように肉来ロームでは1掘進当りの変角は、曲率半径200mに対応する所要変角0.1度を得た。

(3) 姿勢位置計測精度 表4、図6から明らかなように、深度3mより浅い所の掘進では、計測精度は方位角を除き、それぞれの目標値を満足した。方位角の精度は目標値より1桁悪いため、今後この計測値と水平位置の軌跡を併用して推定していく。

5. あとがき 本工法のキーポイントは方向制御である。今回、更

地盤で20mの掘進実験を行い、方向修正効果も諸特性を報告したが、今後、実験を重ね精度の高い

表4 計測精度

項目	計測方法	計測精度(目標精度)
水平位置	電磁法	±5cm(±5cm)
深度	連通管法	±3cm(±5cm)
方位角(ヨー)	電磁法	±0.5度(±0.05度)
仰角(ピッチ)	傾斜計	±0.05度(±0.05度)
回転角(ロール)		

データを得るとともに修正のタイミングを明確にし、方向制御方法も確立していく予定である。

参考文献、1)2)3)4)、有岡他:地中穿孔体の土中貫入特性の一考察(90)(91)(92)(93)(94)、土木学会報、3334(94年12月)、5)9)、野村他:地中穿孔体の砂地盤への貫入特性の検討、土木学会報335、36(95年12月)、清水他

表1 地中穿孔機の仕様

外 径		400 mm
全 長		2000 mm
先 端 角		180°
推進 ジャッキ	推力	20 ton
	ストローク	300 mm
方向修正 ジャッキ	本数	1
	推力	10 ton
位置決め ジャッキ	本数	4
	推力	4 ton
位置決め ジャッキ	本数	4
	推力	4 ton

表2 関東ロームの物理的性質

比重	含水比	粒度組成(%)			液性 限界	塑性 限界	単位体積 重量	間隙比
		砂	シル	粘土				
G _s	W(%)				W _L (%)	W _p (%)	γ _s (g/cm ³)	e
2.66	102	14	50	36	110	44	1.28	3.21

表3 関東ロームの力学的性質

一軸圧強	変形係数	粘着力	せん断抵抗角
q _u (kg/cm ²)	E ₅₀ (kg/cm ²)	Cu(kg/cm ²)	φ _u
0.350、0.503 0.990	30.7、74.0 170.6	0.18	6°00'

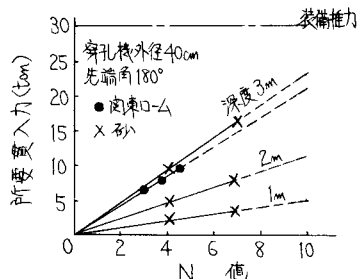


図4 穿孔機推力

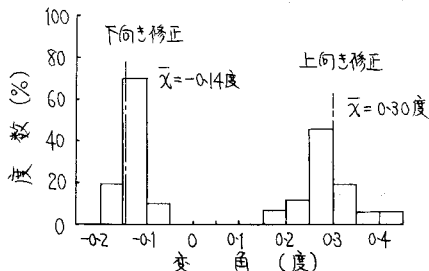


図5 1掘進(30cm)当りの変角分布

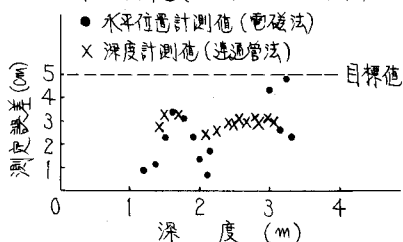


図6 位置の測定誤差