

曲線ボーリング工法の開発と実証実験

鉄建建設株式会社	エンジニアリング本部	正会員○粕谷太郎
株式会社 精研	凍結本部	正会員 加藤哲次
ライト工業株式会社	技術本部 グラウト部	藤沢伸行
日特建設株式会社	技術本部 開発部	三上 登

1. はじめに

21世紀を間近に控え、建設分野での技術革新は目覚ましい進歩を遂げているが、このなかで、大都市部におけるトンネルの築造技術は、地上部の構造物や輻輳する地下施設等に影響を及ぼすことなく、地域の都市機能をできる限り阻害することなく、かつ、効率よく建設できることが望まれており、さらに大規模化・大深度化・長距離化等に対応できることが重要な技術課題となる。

本文は、このようなニーズのなか、地中での空間を築造するための要素技術の一つとして、曲線ボーリング（TULIP工法）により埋設された曲管を利用して、凍結、薬液注入を施しリング壁を造成し、その効果を確認するために行った実証実験について報告する。

2. 実証実験の概要

(1) 開発の経緯

立坑の地中拡幅、地中でのトンネルの接合・拡幅・分岐合流や管敷設等、地下の狭隘な空間で施工が可能な要素技術の開発が望まれ、各方面で活用技術の研究が盛んに進められている。筆者らも既存の技術に新しいアイデアを導入することで、いままで施工が難しいとされていた領域を、施工可能な領域とするため、①曲線ボーリング用機械の開発、②曲線ボーリングの応用技術の開発（・TULIP凍結工の開発・TULIP注入工の開発）等について研究開発を行い、実施工を目指して実証実験を実施した。

(2) 曲線ボーリング機械用の開発

1) 曲線ボーリング先端装置

先端装置は、図-1に示すように、所定の曲線を有した管内にオイルモーターを内蔵しており、ビット径は225mm、ボーリングが終了して引抜くときは200mmとなる拡縮型で、ビット部分以外は径190.7mmの内管と径216.3mmの排土用外管に収められている。

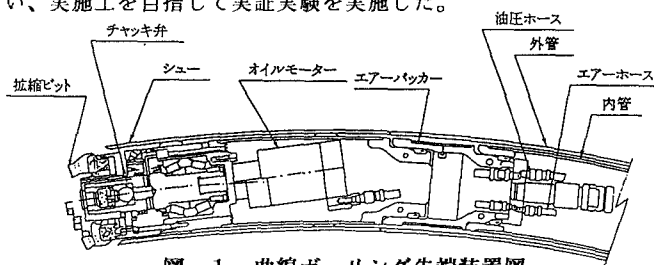
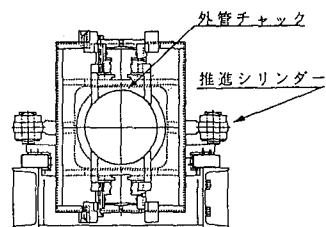


図-1 曲線ボーリング先端装置図

2) 曲線ボーリング推進装置

推進装置は、図-2に示すように、フィード方式でストロークは300mm、30tの推力を有する油圧二連シリンダーを装備しており、外管を油圧ホルダーで固定して接線方向に推進を繰返す構造である。



(3) 曲線ボーリングの応用技術の開発

実証実験は、鉄建建設の技術研究所敷地内に設けた立坑を利用して行った。

1) TULIP凍結工の開発

図-3に示すように、曲率半径R=3m、管径8B（216.3mm）の曲管を水平ボーリングにより、約90cm間隔（半円状、管長L=9.42m）に4段の凍結用外管埋設、内部に凍結管を挿入し、そのなかを冷却されたブ

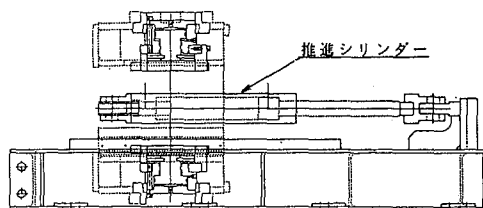


図-2 曲線ボーリング推進装置図

ライン溶液が循環することにより凍土(リング壁)を造成し、①凍結管挿入、②ベントナイト水溶液封入：外管内残存空気による熱伝導率の低下を防止する等の目的(図-4)、③凍結管の温度収縮、④凍土強度、⑤凍土造成状況(図-5)等について確認した。

2) TULIP注入工の開発

図-3に示すように、曲率半径 $R=3\text{m}$ 、管径 $8B(216.3\text{mm})$ の曲管(外周面に周辺方向

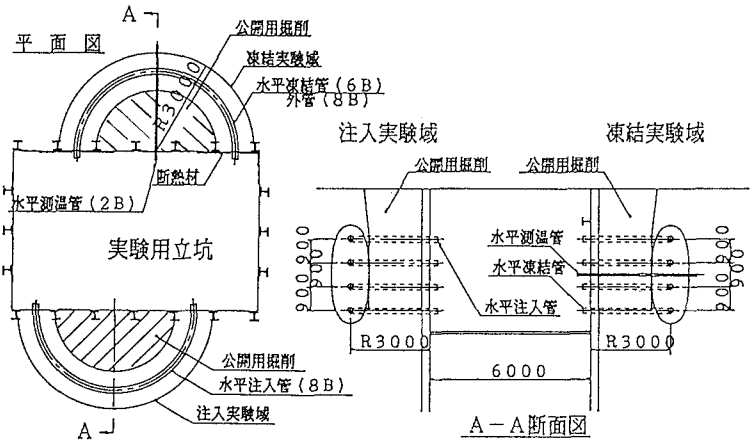


図-3 実証実験概要図

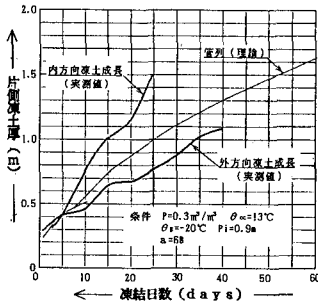


図-4 凍土成長の理論値と実測値

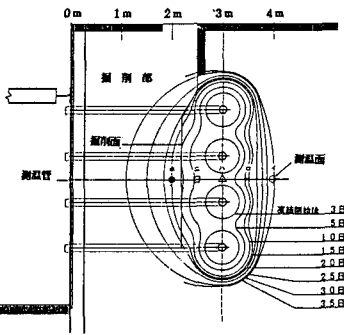


図-5 凍土成長図

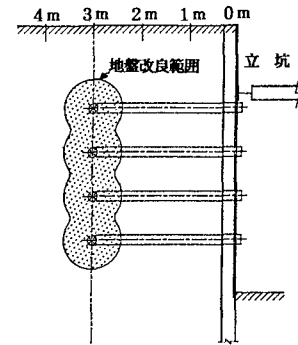


図-6 予想改良固結状態

に4カ所、管延長方向に3カ所/1mの注入ノズルをあらかじめ取付けたものを水平ボーリングにより、約90cm間隔(半円状、管長 $L=9.42\text{m}$)に4段の注入用外管(図-7)埋設、二重管ダブルパッカー方式の注入により、改良土のリング壁(図-6)を造成、改良土強度、リング壁の目視確認、横載荷試験を行った。

3. 実験結果

立坑の背面と地盤改良リング壁(約1,400mm程度)の間を掘削し、凍土と改良土の固結状況を確認した結果、計画通りのリング壁が造成されていた。地盤は不飽和砂質土であったが一軸圧縮強度(表-1)は凍土(-10°C)で30~40kgf/cm²、改良土では5~8kgf/cm²であることが確認された。

4. おわりに

この実証実験の結果、多様な地盤環境において、垂直・水平ボーリング、凍結工法ならびに薬液注入工法の組合せを選定することにより、立坑の拡幅やトンネルの拡幅等の施工が可能となった。

なお、今回の実証実験は建設機械化研究所の指導のもと、西武建設、利根、精研、ライト工業、日特建設との共同研究である。

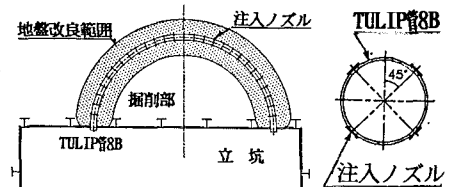


図-7 TULIP注入管図

表-1 凍土の土質定数と一軸圧縮強度結果

試料土		湿潤密度	含水比	乾燥密度	間隙比	水飽和度	一軸圧縮強度	変形係数
		(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)				
砂質シルト	不飽和	1.503	35.07	1.113	1.354	74.0	37.2	1814
	飽和	1.707	43.88	1.186	1.208	100.0	59.2	6413
砂	不飽和	1.707	18.32	1.443	0.854	62.6	46.3	2610
	飽和	1.991	13.40	1.668	0.604	93.7	94.9	11810

※供試体寸法 直径5cm 高さ10cm、試験温度 -10°C 、試験速度 1%/min