

PS 2

曲管(TULIP工法)を利用した地盤改良工の実証実験

株式会社 精 研	凍結本部	正会員○加藤哲次
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
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

近年、我が国の飛躍的な経済活動の発展と共に、今まで未利用に近かった地下空間が見直され、その方面の活用技術の研究が盛んに行われている。

本報告では、このようなニーズのなか、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、薬液注入等の地盤改良工を行い、リング壁を造成、その効果を確認するために行った実証実験について述べる。



写真-1 先端装置

2. 曲線ボーリングマシンの開発

開発の第一段階として、定曲率曲線ボーリングの実証実験に使用できる装置の開発を行った。

- ・削孔法 : ダウンザホール方式の先端駆動装置の開発/回転ならびに制御
- ・推力 : 曲線推進装置の開発/2次元自由推進機能装備
- ・線形保持: 曲線線形保持/内管剛性と外管剛性を利用した曲率保持
- ・スライム: パキューマーによる掘削スライムの搬出

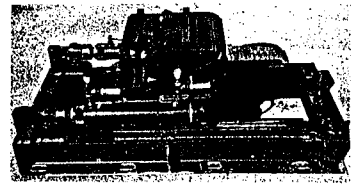


写真-2 推進装置

写真-1に先端装置、写真-2に推進装置を示す。

3. 曲線ボーリングの応用技術の開発

(1) TULIP凍結工の開発

1) 実証実験の内容

実証実験内容は図-1に示す通りで、曲率 $R=3\text{ m}$ 、管長 $L=9.42\text{ m}$ 、凍結管本数 $N=4$ 本、削孔用外管径は 8 B ($=216.3\text{ mm}$)、凍結管外径は 6 B ($=165.2\text{ mm}$)、凍結管間隔は $P_i=90\text{ cm}$ である。

①ベントナイト水溶液封入

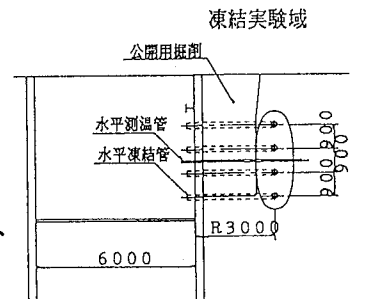
外管内残存空気による熱伝導率の低下を防止することと、曲線ボーリングを地下水面以下で実施する場合に生じる地下水の閉塞凍結膨張の解決手段を得ることを目的として、熱伝導効率は測温結果並びに掘削目視観察で確認し、ベントナイト水溶液の凍結過程に生じる膨張影響は凍結管の変形確認で検証した。

熱伝導率の低下は図-2に示す凍土成長の理論値の結果と測温結果の比較からベントナイト水溶液の封入で1割以内の低下に回避できたことが判明した。

ベントナイト水溶液の凍結膨張による管材破損については、次に示すような対応手段により、凍結管に若干の変形を及ぼした程度であった。

イ) 充填施工上で生じる残留空隙の利用

ロ) 挿入ゴムホースの熱抵抗による時間差凍結と圧力変形による部分閉鎖型凍結の回避



A-A 断面図

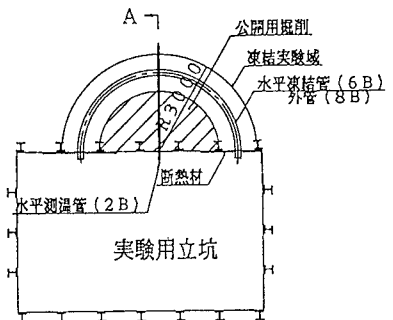


図-1 実証実験概要図

ハ）ベントナイト水溶液の封入口を利用した間隙水の抜取り

②凍土の造成確認

計測結果に基づいて解析した凍土造成の状況および掘削確認の結果は図-3のように円形の内側と外側で大きく差異が生じているが、立坑内外気温の低下に伴う地盤温度の降下と円筒冷却に伴う形状効果で説明ができる。

③凍土強度の確認

現場で採取した不飽和砂質凍土（ -10°C ）、図-2 凍土成長比較図

飽和凍土の一軸圧縮強度試験の結果は、表-1の通りである。表-1 凍土の土質定数と一軸圧縮強度結果

曲線ボーリングによる凍結は、形状からアーチ構造になるため、通常の設計で使用する曲げ強度や剪断強度よりも圧縮強度を利用することになる。

従って、この現場のような不飽和砂質土でも、 $20\sim 30\text{kgf}/\text{cm}^2$ の圧縮強度が利用でき、今まで凍結の利用範囲に無かった不飽和凍土での実施工についても可能性が高くなった。

（2）TULIP注入工の開発

1）実証実験の内容

図-4に示すように、TULIP管の外周面に注入ノズル（周辺方向に4カ所、管延長方向に3カ所/1m）を装着した曲管を凍結工と同様に設置し、このTULIP管を注入外管とした二重管ダブルパッカー方式の注入を行った。

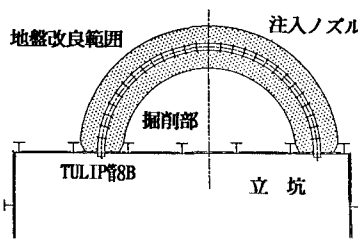


図-4 注入部施工図

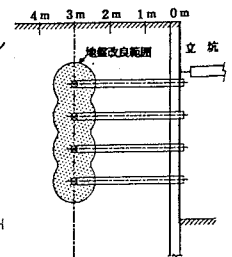


図-5 改良固結状態

2）施工フロー

- ①曲管製作後、電動ドリルにて注入孔を作成し、注入ノズル（図-6）を取付。
- ②注入ノズルを装着した曲管（TULIP管）をボーリングにより設置する。
- ③掘進完了後、TULIP管の周囲にセメントベントナイトを注入し、薬液の注入管周囲よりのリークを防止、限定注入を図る。
- ④低粘性、長ゲルタイムの浸透性に富む薬液で砂質土の固結（図-7）する。
- ⑤注入後、立坑背面と改良リング壁の間を掘削し目視による確認を行い、改良形態の観察をする。

3）改良形態

注入改良後掘削により固結形状の確認を行った。その結果、TULIP管をセンターとしたほぼ同心円状の固結形状を確認することができた。改良径は土質性状により多少のばらつきはあるが、概ね $\phi 1400\text{mm}$ の固結体が形成され、図-5のような固結形状を示した。

なお、改良土の強度は一軸圧縮強度試験の結果、 $5\sim 8\text{kgf}/\text{cm}^2$ であった。

4. おわりに

この実証実験の結果、垂直・水平ボーリングで設置された曲管（TULIP管）と凍結工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、鉄建建設、西武建設、利根、ライト工業、日特建設との共同研究である。

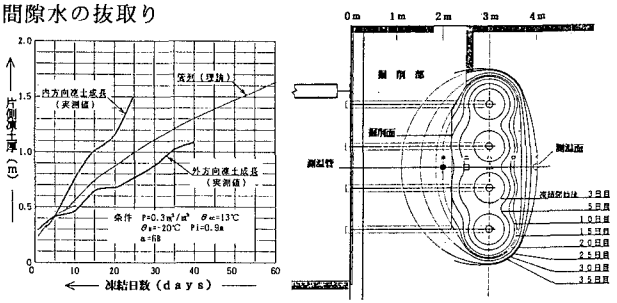


図-3 凍土成長図

試料土		濕潤密度	含水比	乾燥密度	間隙比	水飽和度	一軸圧縮強度	變形係數
		(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(%)	(kgf/cm ²)	(kgf/cm ²)
砂質	不飽和	1.508	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	19.40	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 $1\text{ N}/\text{min}$

図-6 注入ノズル断面図

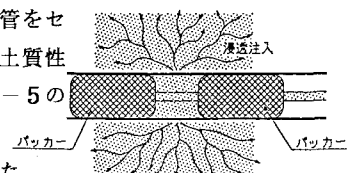


図-7 注入部略図