

VI-154

凍結工法による地中拡幅工事について（その1）

一大断面地中拡幅工事の施工実績一

中部電力㈱ 正会員 上嶋 正樹
 中部電力㈱ 片山 英明
 鹿島建設㈱ 辻井 孝
 鹿島建設㈱ 正会員 臼井 徹弥

1. はじめに

本工事は、名古屋駅近傍の交差点直下にて既設洞道（外径 $\phi 4,350\text{mm}$ ）と新設洞道（外径 $\phi 4,800\text{mm}$ ）の地中接続を行うものである。この接続に伴う既設洞道の大規模な拡幅工事を、地山安定対策として凍結工法を用い全て地中で行うという我が国初の試みを実施し、1996（平成8）年1月に本体構築、同年2月にシールド接続工事を無事完了した。本報文では、地中拡幅工事の設計及び施工実績を報告する。

2. 工法選定

当初計画では既設洞道上に立坑を構築し、新設洞道のシールド機を到達させる予定であったが、交通量の多い交差点内での地上占用が困難であるため、地中施工のみで両洞道を接続させる必要が生じた。補助工法は、施工箇所の地下20m（地下水圧 $1.5\sim 2.0\text{kgf/cm}^2$ ）で長期間自立するとともに遮水性を確保するという条件を満足し、しかも信頼性・安全性の高い工法として凍結工法を採用した。施工は既設洞道内から放射状に凍結管を埋設し、円錐状の凍土壁を造成して地中拡幅・本体構築を行った後に、新設洞道を接続させる方法である。凍土壁の大きさは、拡幅部構築物の形状から最大内空 $\phi =13.0\text{m}$ 、延長 $L=17.8\text{m}$ という大規模なものとなった。

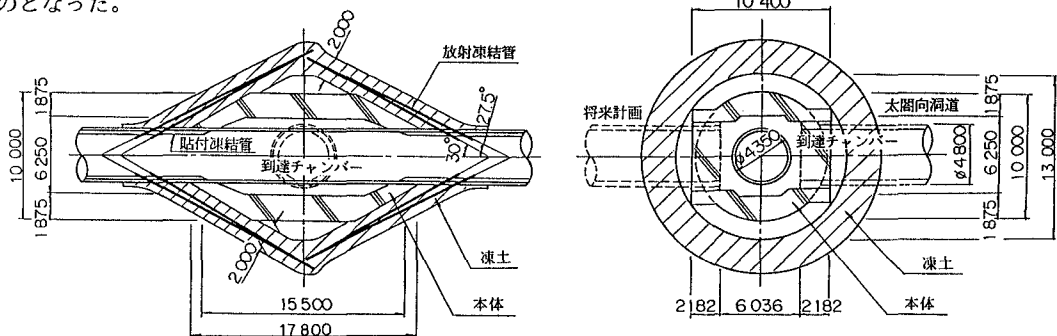


図-1 地中拡幅部断面図（単位：mm）

3. 事前検討

3-1 現地採取試料による必要凍土厚算定

必要凍土厚は、現地付近の採取試料を凍結させ一軸圧縮試験（平均温度 -10°C ）を実施し、凍土の物性値を設定して、軸直角方向（リング方向）及び軸方向の検討により決定した。軸直角方向は、凍土壁の半径が最大となる断面のリングモデルで検討し、軸方向は、リングバネに支持されたへの字型の梁を構造モデルとして検討した。その結果、いずれも凍土厚 $t=2.0\text{m}$ で所要安全率 $F_s=2.5$ を満足することが判った。

3-2 掘削時の凍土壁挙動検討

内部掘削に伴う凍土壁の挙動予測を目的とし、2次元FEM解析（全応力、線形弾性解析）を実施した。凍土の変形係数は温度により変化するため、 -10°C での変形係数を E_0 とし、 $E=0.5E_0, 1.0E_0, 1.5E_0$ の3ケースについて解析を行った。その結果、凍土壁頂部の変位は、上半掘削後のステップ1では $10\sim 30\text{mm}$ の沈下を示すが、それ以降は $6\sim 9\text{mm}$ の隆起を示すことが判明した（図-3参照）。また、各ケースとも凍土の発

表-1 凍土の物性値（ -10°C ）

	砂質土	粘性土	備考
変形係数 (kgf/cm^2)	3360	1888	
圧縮強度 $\sigma_{uc}(\text{kgf/cm}^2)$	45.0	30.0	$\sigma_{uc}=q_{us}$
曲げ強度 $\sigma_{us}(\text{kgf/cm}^2)$	27.0	18.0	$\sigma_{uc}\times 0.6$
せん断強度 $\sigma_{ur}(\text{kgf/cm}^2)$	18.0	15.0	$\sigma_{uc}\times 0.4$

生応力は所要安全率 $F_s=2.5$ を満足していることが確認された。

なお、凍土は発生応力が増加すると、クリープ的な変位増加を示す傾向がある。この変位増加速度は発生応力に支配されるため、変位速度に着目することにより

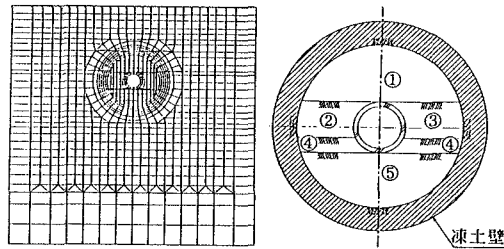


図-2 FEMメッシュ図と掘削ステップ

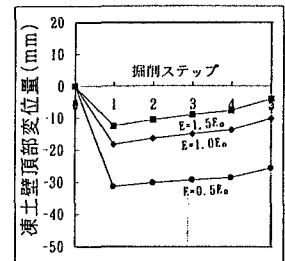


図-3 掘削ステップと

凍土壁頂部変位量

凍土壁の健全度が把握できると考え、クリープ試験を実施した。試験では、所要安全率 $F_s=2.5$ となるクリープ応力 $\sigma_c=18.0\text{kgf/cm}^2$ のケースで若干のクリープひずみが確認され、これを凍土内側への変位速度に換算すると $5\text{mm}/10\text{day}$ であることが判った。

4. 凍土壁の計測管理

凍土の計測は、①全30本（120測点）の測温管による温度測定、②凍土壁（頂部）に埋設した4箇所の測点のレベル測量による凍土壁変位測定の2項目を行った。計測の管理値は、温度については内側（構築側）を $-2\sim-7^\circ\text{C}$ 、外側（地山側）を -12°C で管理した。絶対変位についてはFEM事前解析の $E=1.0E_0$ のケースと実測変位を対比し、変位速度については $5\text{mm}/10\text{day}$ で管理した。

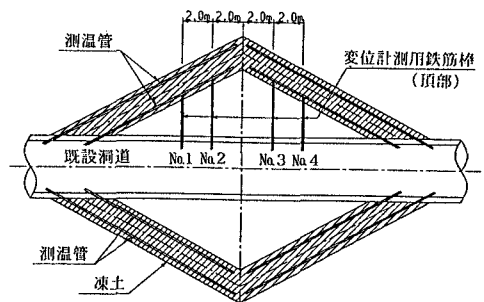


図-4 凍土壁の計測点

5. 施工結果

凍土内掘削は、掘削時の凍土への荷重（土水圧）負担を軽減するために、全断面掘削を回避した分割施工を行った。拡幅部を縦断方向に東テーパ部、西テーパ部、中央部の3ブロックに分割し、ブロックごとに順次掘削・構築を行うものである。掘削時の凍土壁変位の経時変化グラフを図-5に示す。FEM解析より上半掘削時に頂部で $10\sim30\text{mm}$ 程度の沈下を予測していたが、実測値では $0\sim3\text{mm}$ とわずかな値であった。一方、その後の隆起傾向はFEM解析とほぼ同等の $7\sim9\text{mm}$ を示した。また、懸念されたクリープ的な変位増加は認められなかった。

以上より、凍土変形に関しては絶対変位量・変位増加速度ともに管理値内に納まり、良好な施工結果を得ることができた。事前検討による予測値と実測値の差異については、得られたデータを分析するとともに施工条件・物性値を再検討し、今後の凍土挙動予測に活用していきたい。

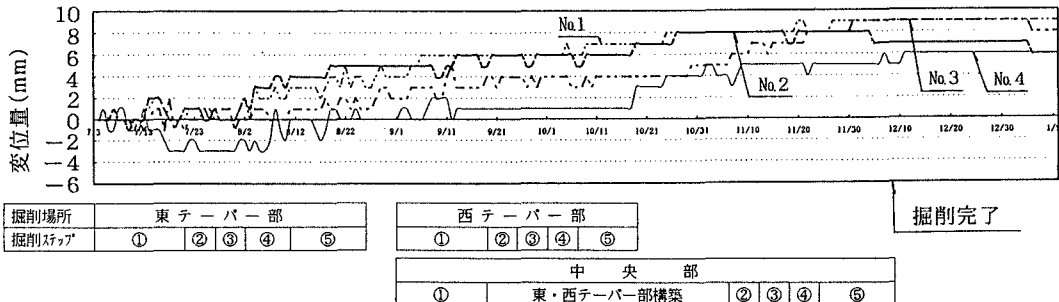


図-5 凍土壁頂部の実測変位経時変化グラフ

6. おわりに

今回紹介した工事のように、地上占用が困難な条件下での地中拡幅工法として、凍結工法は有効な手法と考えられる。本文が同種工事の設計・施工の参考となれば幸いである。