

VI-155

凍結工法による地中拡幅工事について（その2）

ー現場凍土の力学特性についてー

中部電力（株）正会員 上嶋 正樹
 鹿島建設（株）正会員 田中 益弘
 同 上 辻井 孝
 同 上 正会員 臼井 徹弥

1. はじめに

既設洞道にこれより大きい口径のシールドトンネルを地中にて接続するため、凍結工法による既設洞道の拡幅工事が行われた。工事は幹線道路交差点直下20m で直径約10m の大断面を掘削して拡幅するため、高い信頼性と安全性が要求された。すなわち、拡幅による凍結空洞は十分安定であると共に凍上及び解凍沈下による道路や地下埋設物に影響を与えないことである。このため、造成した凍土（現場凍土）の力学特性を調べ安定評価を行うと共に種々計測管理を行った。

この報文は、主として現場凍土の力学特性を設計段階のものと比較し、凍結空洞の安定を検討した結果について紹介するものである。

2. 現場凍土の試験概要

凍結空洞の安定のために要求される現場凍土の力学特性としては強度、クリープ変形特性さらに周辺部への影響を検討するための凍上・解凍沈下特性である。

1) 凍土のサンプリング

凍土のサンプリングはハンドボーリングによるコアサンプリングとピックハンマで掘り起こしたブロックサンプリングの2種類の方法によった。

2) 凍土の圧縮試験

図-1にサンプリング深度での強度（設計凍結温度である-10℃の平均強度とそのバラツキの範囲）を示す。図中に示すように、設計段階（室内凍土）では凍結範囲にはいる全層について実施したが、現場凍土は平均強度が設計基準強度より小さい火山灰質砂と粘土層について実施した。

3) 凍土のクリープ試験

図-2に代表的な応力レベル〔深さ18.6mを中心とした最大掘削断面（半径7m）として凍結リング断面に発生する最大応力度〕における現場凍土のクリープ曲線を実線で示す。また、設計段階で実施した同じ応力レベルのクリープ曲線を点線で示した。

4) 凍土の凍結状態と解凍沈下試験

粘土凍土の凍結状態を調べるため凍土を約5mm にスライスして含水比の変

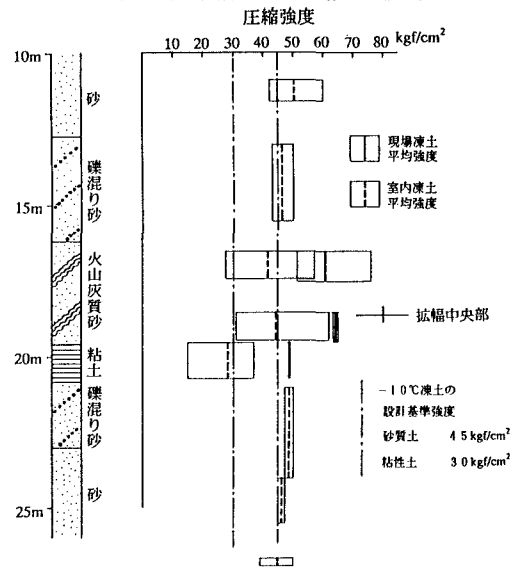


図-1 サンプリング位置での凍土の強度

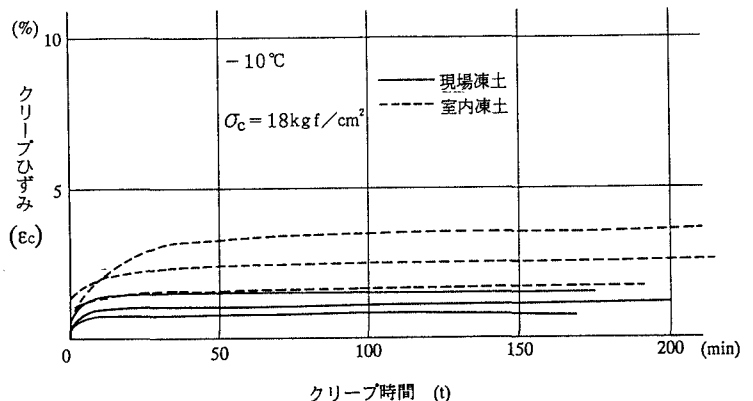


図-2 凍土のクリープ曲線

化を測定した結果、層状に含水比の高い部分と低い部分が見られ、さらに凍土を無拘束状態で融解してみると凍土はほぼ10mmと一定間隔で分割されたスライス状を呈し、アイスレンズ状凍結であることが確認された。また、現場凍土の解凍沈下特性を調べるため開放型凍上試験装置を用いて所定の応力下で自然解凍させ沈下量を測定した。図-3は模式的に表した試験結果の一例である。

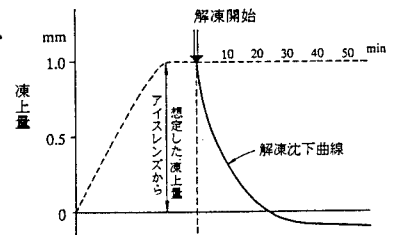


図-3 解凍沈下曲線

3. 現場凍土の力学特性による安定評価

現場が幹線道路の交差点直下で直接現場の土をサンプリング出来ないため設計段階の試験に用いた室内凍土の試料は、約25m離れた地点で採取したものである。この凍土の試験結果と現場凍土の力学特性を比較することで凍結工法による地中掘削工の安定評価をすると以下ようになる。

1) 凍土厚さ

凍土の設計基準強度は室内試験から砂質土で45kgf/cm²、粘性土で30kgf/cm²と設定し、凍結空洞が最大となる断面で凍土厚さ2.0mの凍土リングより表-1に示す断面応力度と安全率を計算し、設計基準安全率SF≥2.5を確認した。しかし、スプリングラインに近い粘性土層においては強度のバラツキも大きいので、工事の安全性確保のうえからも本格的な掘削に先立って現場凍土の強度を調べることにした。その結果、事前の強度よりほぼ1.5倍の強度が得られ、凍土厚さは2.0mで十分安全であることが確認出来た。

表-1 断面応力度と安全率

角 度 (deg)	0	90	180
曲げモーメント (ton/m)	30	1	13
軸 力 (ton/m)	171	217	251
外 縁 応 力 (ton/m ²)	121	111	105
内 縁 応 力 (ton/m ²)	50	106	146
安 全 率 (砂質土)	3.7	4.0	3.1
(粘土土)		2.7	

2) 凍土壁のクリープ変形

内部掘削に伴う大断面凍結空洞とるため凍土壁のクリープ変形が予測されたので凍土のクリープ試験を実施した。図-3に示した結果は安全率SF=2.5となるクリープ応力18kgf/cm²のケースである。事前の試験ではクリープひずみ ϵ_{ct} は $\epsilon_{ct}=2.3\%$ を想定したが、現場凍土では同じ応力レベルでもクリープひずみ $\epsilon_{ct}=0.7\%$ であり、掘削に伴う凍土壁のクリープ変形も少ないことが確認出来た。これは強度の増加によるものと思われる。

3) 地下埋設物および道路面の変状

凍上および解凍沈下による変状影響を予測するため、事前に粘土層の凍結膨張率 $\xi=4\%$ と解凍収縮率 $\zeta\leq 0$ （解凍浮上）を室内試験で求めた。2.4)で述べたように現場凍土のアイスレンズの厚さと発生位置の間隔から凍結膨張率を推定すると $\xi=0.5\text{mm}/10\text{mm}=5\%$ となり、また凍土の含水比変化から凍結膨張率を次式で推定するとほぼ $\xi=5.6\%$ となる。

$$\xi = Gs(1.09\omega_1 - \omega_0) / (1 + Gs \cdot \omega_0)$$

ここに、Gs：土の比重、 ω_0 、 ω_1 ：それぞれ凍結前後の土の含水比

したがって、現場凍土の凍結膨張率 $\xi=5\sim 6\%$ 、解凍収縮率 $\zeta>0$ であり事前の試験値より大きくなった。しかし、粘土層の厚さは薄いので、この程度の値の増加は本工事にはほとんど問題とならなかった。

4. おわりに

今回の凍結工法による掘削工事は十分な管理のもとに、ほぼ満足の凍土の造成ができ、支障なく終了することが出来た。