

シールド工事における地盤凍結工法について

中部電力(株) 西野健三

中部電力(株) 名和芳久

知多シールド(Ⅱ) 〇 橋詰 清
共同企業体

1. はじめに

シールド工事においては、立坑からの発進時に山留壁を開放状態にするため、地下水圧および土圧に対抗できる防護工が必要となる。一般には薬液注入等による地盤改良工法が採用されているが、今回の工事において、地盤凍結工法を用いたことにより、良好な結果が得られたので、その概要を報告する。具体的には、地盤凍結に際して行なわれた凍土の設計、地中温度測定管理、凍土および解凍後の沈下に対する検討、ならびに、この凍土に接して打設施工された立坑本体壁のコンクリートの温度に関する検討と測定等の概要である。

2. 凍結工法採用にあたって

発進防護工法に要求される山留開放時の地山の自立、止水に対し、各種補助工法を検討したが、特に、地層境界、山留鋼矢板沿いからの地下水浸入に関し、より確実な工法として、地盤凍結工法が採用された。この地盤凍結工法は、確実な止水が期待できるという点の他に、従来の凍土強度試験結果等により、理論に基づいた設計ができるという点で、非常に優れているといえる。なお、凍結方式としては、大規模な地盤凍結でよく用いられるブライン方式とした。(図-1参照)

地盤凍結工法を採用するにあたり、当工事では次の項目に対しての検討を必要とした。① 凍結対象部の地下水は塩化ナトリウム換算で2.5%の塩化物を含むため、凍土の強度低下が考えられる。②

凍結部の地質は、凍上、解凍沈下の検討を要する地質である。③ 工程的に、立坑本体壁コンクリートが、凍土に接しての打設となるため、コンクリートの品質管理が必要である。以上の問題点に対しての事前検討および現場測定管理を実施した。

3. 各種検討と現場測定 イ) 高塩分含有土対策 表-1に塩分含有土の強度試験結果を示すが、強度低下により当初設計凍土厚1.3mに対し、1.6mの凍土厚とした。凍結形式としては、地上からのボーリングによる管列凍結方式(鉛直限定凍結管)とし、さらに、高塩分含有土であること、コンクリート打設の温度上昇により、凍土面の解凍が懸念されたため、立坑内面の鋼矢板へ貼付凍結管を図-2のように配置した。

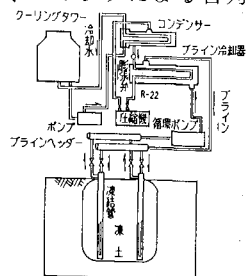


図-1 ブライン方式概要図

表-1 塩分含有土の強度試験

凍土温度	凍土強度(砂質)
-10℃	20~40
	凍分2.5%(砂質)
	15~19

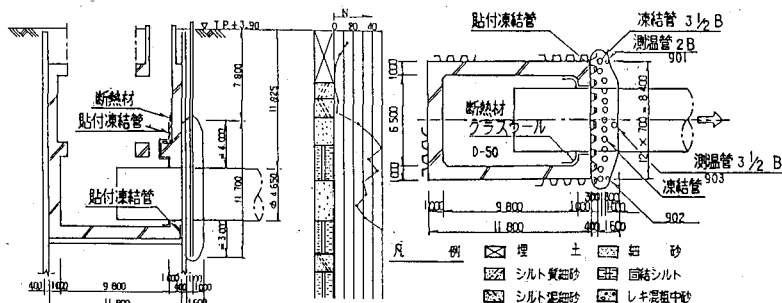


図-2 発進立坑、凍結範囲、凍結管配置図

ロ) 地中温度測定

凍土の成長状況、凍結速度の確認、地下水流の影響などを管理するため、地中温度測定は最も重要な管理項目である。

図-3、測定結果での903測温管は凍結管より1mの地点に設置してあり、この位置での地中温度が、所要凍土強度をうるための温度 -10°C になることを管理の主眼とし、両端部の温度は凍土成長確認に利用した。計画による運転日数39日に対し、32日でほぼ -10°C に達した。

ハ) 凍上及び解凍による沈下予測

シルト粘土層では、凍上、解凍による地盤沈下に対しての予測と対策を必要とすることがあるため、当工事では、過去のデータより、表-2に示す凍上膨張率、沈下率を用いて、戸部、秋元の三次元凍上変位計算法¹⁾によって推定した。

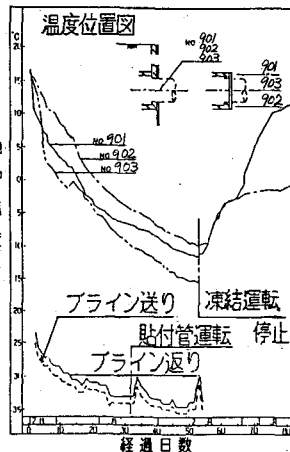


図-3 地中温度測定結果

$$G(x,y) = \int_{-h}^h F(x,y) = \frac{2}{4} \int_{-h}^h \left[\operatorname{erf}\left(\frac{1-x}{\alpha h}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{1-x}{\alpha h}\right) \right] \left[\operatorname{erf}\left(\frac{y}{\alpha h}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{y}{\alpha h}\right) \right] dh$$

計算による値は、凍上量が最大3mm、沈下量が4mmであったが、実測ではレベル測定誤差範囲の値であり、凍結による影響であると思われる傾向は、ほとんど認められなかった。

表-2 凍上、沈下率 (単位%)

	上部凍上	上部沈下	中間凍上	下部沈下
膨張率	0.5	1.2	0	1.2
沈下率	1.0	1.2	0	1.2

ニ) コンクリート温度測定

凍土に接してコンクリートを打設するため、コンクリート、凍土の相方への影響を最小限とするため、次項を考慮した。① コンクリートは寒中コンクリートとして扱い、圧縮強度が 50Kgf/cm^2 以上となった時点より2日以上は表面温度を 0°C 以上に保つ。② そのため貼付凍結管は3日前より停止し、場合によっては温水を循環できる体制をとる。③ 鋼矢板とコンクリートの間は、グラスウール断熱材を配置する。コンクリート打設に先だち、戸部の式を引用し、壁内温度分布の推定計算を行なった。

図-4に計算値と実測値を示す。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = K \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\theta_0 r}{c} e^{-rt} \dots (2)$$

推定計算、コンクリート養生試験より

5日間で所要強度が得られると判断し、安全をみて9日間は 0°C 以上

に保てるとの確信を持ち施工に入った。図-5にはコンクリート温度

測定の結果を示すが、結果的には、特別な対策をとることなく 図-4 壁内温度分布図

所定の養生日数を確保することができた。

4. おわりに

地盤凍結工法は、一部特殊な地盤を除いては、凍上、沈下の影響も少なく、その安全性、確実性、経済性を考慮した場合、シールド発進防護工として優れた工法であると思われる。参考文献; 1) 戸部、秋元「凍上変位計算法」土木学会年次講演会集 1979, 11-123

2) 戸部暢「地盤凍結工法施工時に接して打設したコンクリートの壁内温度分布」土木学会論文報告集第343号、1984年2月

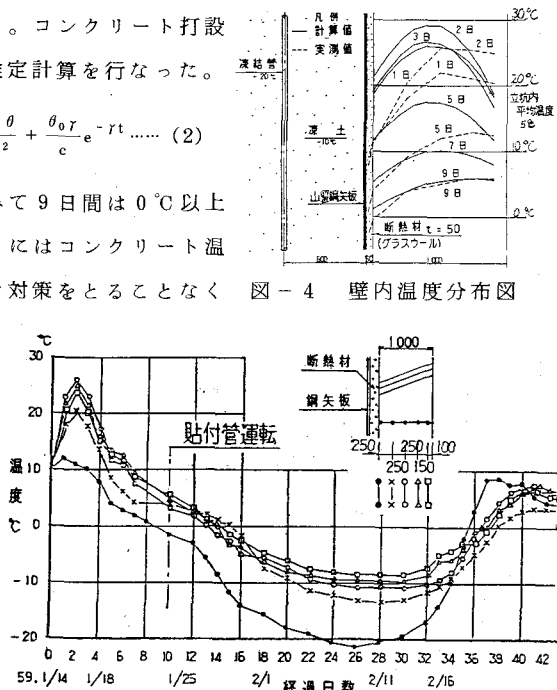


図-5 温度測定経時変化