

(財) 大阪土質試験所 ○正会員 本郷 隆夫
 神戸市道路公社建設第2課 甲斐 充
 (財) 大阪土質試験所 正会員 岩崎 好規

1. まえがき

布引トンネルは、山陽新幹線神戸トンネルの約15m 下の風化花崗岩において、凍結工法を採用し交差工事(トンネル断面約10m)を行なった。工事に先立ちトンネル上半断面を覆うようなアーチ形状の長さ50m、厚さ3mの凍結岩ルーフを造成した。計測は凍結岩の成長状態、力学特性変化の確認をする一方、トンネル掘削に伴う地山の沈下、トンネルに作用する土圧等を求めるために実施した。その計測方法および、結果について報告する。

2. 計測内容および配置図

凍結開始から解凍終了までの期間、各種の計測を行なうために、図-1、表-1 に示すような計器を配置し、自動計測システムを用いて計測値(沈下、荷重等)をリアルタイムに評価し、施工へフィードバックした。

項 目	計 器	記号
岩盤変位計	挿入型連通管沈下計	○
新幹線沈下計	連通管沈下計	△
載荷土圧計	点接型ひずみ計	◇
水 圧 計	パッカー式水圧計	●
エクステンソメータ (間隙水圧計)	ワイヤー式沈下計	☆
ロックボルト軸力計測	ロックボルトひずみ計	◇
孔内載荷試験	特殊孔内載荷試験機	●
P波検層	特殊ピックアップ装置	●

今回の計測は、多くの計測点が凍結岩ゾーン中(-15℃)に埋設するため温度サイクル(20~-15~20℃)を生ずること、測定精度の高いものが必要であり、(m) これらを考慮し温度特性、高精度の計器を開発製作し用いた。特に神戸トンネル構造物の変形挙動を計測し本工事の施工を管理する必要がある、神戸トンネル内

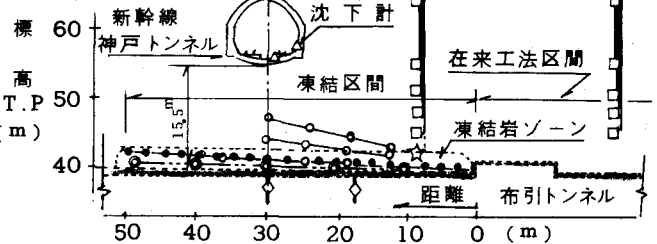


図-1 計器配置図

の中央通路、側壁部の2ヶ所に連通管式相対沈下計を取付け、計測値を電話回線を利用し現場で即時安全性の確認ができるようにパーソナルコンピュータを用い自動計測を実施した。この沈下計は、新幹線の振動、吸引力、風圧に対して安定であり、応答性の速いこと、微小変位0.01mmの分解能があり、さらに小形で壁面に埋め込みができる等を考慮し、使用液体に比重の大きな水銀をまた、センサー部に非接触型変位計を用いた。P波検層は、ピックアップをトンネル天端約2m上部縦断方向に凍結ゾーン長50mに対し2.5mごとに20点のヒータ付き速度型センサーを水平ボーリング孔中に固定し、震源は凍結区間開始付近天端を打撃し、各ピックアップの測定波形より2.5m区間の速度を求めた。

3. 計測結果

(1) 凍結に伴う風化岩盤の力学特性変化

凍結による岩盤の力学特性変化は、P波の伝播速度変化で確認することができた。温度低下による凍結岩の成長とともにP波速度は速くなり常温時の約2.5倍となった。また、亀裂の多い風化($V_p=1.3\text{km/sec}$)が-15℃付近で氷の速度($V_p=3.2\text{km/sec}$)以上となり、地山特性が改良されたことが確認された。ボーリング孔を利用した孔内載荷試験結果においても弾性係数が、未凍結岩の約4倍が大きくなった。

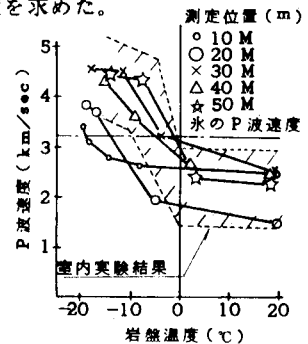


図-2 岩盤温度とP波速度の関係

(2) 地中変位

在来工法区間、凍結工法区間の地中変位(沈下)の深度分布を図-3に示す。Ⅱ工法による沈下特性には、違いがみられ前者にくらべ後者が軟弱にもかかわらず、約1/3程度の小さな沈下であった。

(3) 天端変位と覆工に作用する土圧

天端付近地盤変位と覆工に作用する鉛直土圧を、支保工に取付たひずみ計の変位量を解析して、トンネルに作用する土圧を推定した。図-4に鉛直土圧と天端約1.5m上部の変位(沈下)の関係を示す。掘削終了時に覆工に作用する土圧は約50~55tf/m²、解冻に伴って沈下が発生し土圧も増加して80~100tf/m²となった。これは鉛直土被り荷重175tf/m²に対して約半分程度の値である。また、解冻に伴う沈下は小さく、沈下と土圧増分は直線的な変化を示した。

(4) 施工状況と計測結果

施工状況(掘削、凍結ルーフ)と各種計測結果(沈下、ロックボルト軸力、土圧)の関係を経時的に図-5に示した。上段の図中に施工中の凍結ゾーン厚さの変化を示した。造成した凍結岩の厚さは、導坑掘削の始まる昭和58年2月末で約3m、上半掘削時では6m(ルーフ部約4m)程度であり、インバートコンクリート打設後昭和58年8月末に解冻を開始した。施工の進捗、解冻に伴う計測値の変化を表-2に示した。解冻過程における沈下、鉛直土圧が凍結時から増加し、ロックボルト軸力は、解冻とともに減少し、解冻に伴う変化が確認された。即ち、凍結ルーフによって側壁部地山に集中していた土圧が、解冻によって凍結ルーフ部から覆工部に分担されていく応力再配分の経過を示しているものと思われる。

表-2 施工状況と計測値の変化

施工状況	導坑掘削後	上半掘削後	覆工後	解冻後6ヵ月
新幹線沈下(mm)	-0.1~-0.4	-0.8~1.2	-0.8~-1.3	-1.4~-2.3
土圧 (tf/m ²)		42~43	49~57	80~100
ROCKボルト (t)	3	6~9.5	7~11	0

4. まとめ

布引トンネル工事は、凍結工法を補助工法として採用し無事施工を完了した。即ち、覆工には高い土圧が作用するが、沈下を極小に押さえることに成功した。新幹線神戸トンネル内の沈下は、解冻後は4ヵ月を経て中央通路2.3mm、側壁部1.4mmと管理値3mm以内にとどまり、その後一定値を示している。

参考文献

- 1) 村山, 大野: 風化岩中のトンネルに対する凍結工法の適用性 土木学会誌 pp25~30 1981
- 2) 村山, 松岡: トンネル土圧算定のための鋼アーチ支保における一測定法 土木学会誌 pp39~42 1968. 3

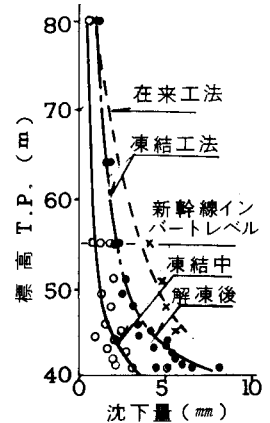


図-3 地中変位曲線

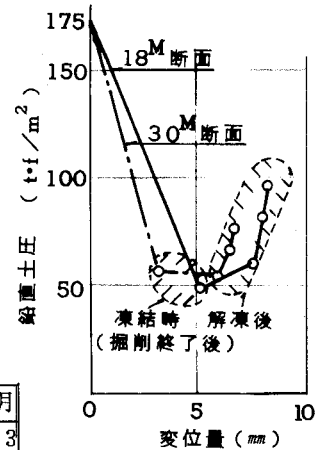


図-4 変位~土圧曲線

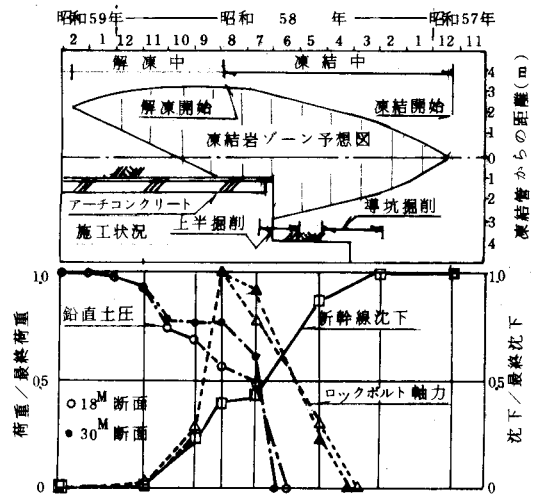


図-5 施工工程と沈下・荷重の割合の関係