

○大成建設株式会社 正会員 内田 渉
神戸市道路公社 衣笠 秀三
大成建設株式会社 山口 克己

1. まえがき

山麓バイパス布引トンネルは延長2.7kmの2車線道路トンネルで、東坑口付近の布引交差部において、山陽新幹線神戸トンネルの下を通過する。地質は、図-1.に示すとおり、付近を走る諏訪山断層の影響を受けた風化花崗岩（一軸圧縮強度50～500 kg/cm^2 ）である。離間距離15.5m、影響区間は50mで、工事期間中、新幹線の運行を阻害しないよう沈下3mm以内という規制値が設定された。このため、山岳トンネルの補助工法として、新たに凍結岩ルーフ工法が提案され、適用された。

この工法は、トンネル掘削に先立ち、アーチ外周の地山内に、強固な凍結岩のルーフを形成させて、掘削に伴う地盤沈下の影響を上部に及ぼさないようにしようとするものである。このたび、無事規制値をクリアーし、施工が完了したので、本稿では、その概要及び施工経過について報告する。

2. 凍結管埋設ボーリング工事

凍結管は、上半掘削線の外周に、ボーリングにより先端間隔約80cmのアーチ状に埋設する。その中に、冷凍機で-25℃に冷却したブラインを循環させ、ルーフ状の凍結岩を形成させる。ボーリング工事は、孔径153mm、長さ50m、総延長2,427mで、トンネル断面を拡張して作業基地を設け、そこにスライド式のボーリング架台を設置して行なった。凍結管は間隔が開き過ぎると良好なルーフが形成されないため、1/100以上の高い埋設精度が要求される。しかし、岩盤においてこのような条件のボーリング工事は実績がなく、岩質の類似した場所において試験施工を行なった。その結果、施工性や精度の点から、ロータリーパーカッション2重管方式を選定し、高トルク型の大型穿孔機を使用、ケーシングやガイドセルの剛性を増したり、機械の遊びを少なくするなど改良や工夫を重ね、精度の向上に努めた。（図-2）

施工地点の岩質は、未風化で堅硬な部分や、ほとんど真砂土化している部分があるなど変化に富み、ツールの損耗や穿孔スピードが悪く非常に難航したが、正確な芯出しや角度設定、地質変化点での回転力や推力のチェックなど細心の注意をはらった施工の結果、ジャーミングなど大きなトラブルはなく、所定の精度内で凍結管の埋設を完了した。なお、孔曲りの測定には、トランシットによる直接視率と、その補助に、レーザー発振器とTVカメラを内蔵した測定器を開発、使用した。（表-1.）

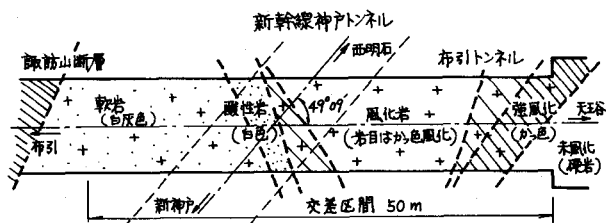


図-1. 交差部地質平面図

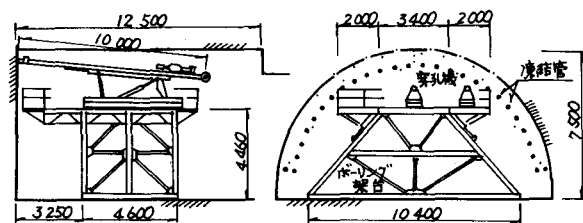


図-2. ボーリング施工図

表-1. ボーリング施工実績

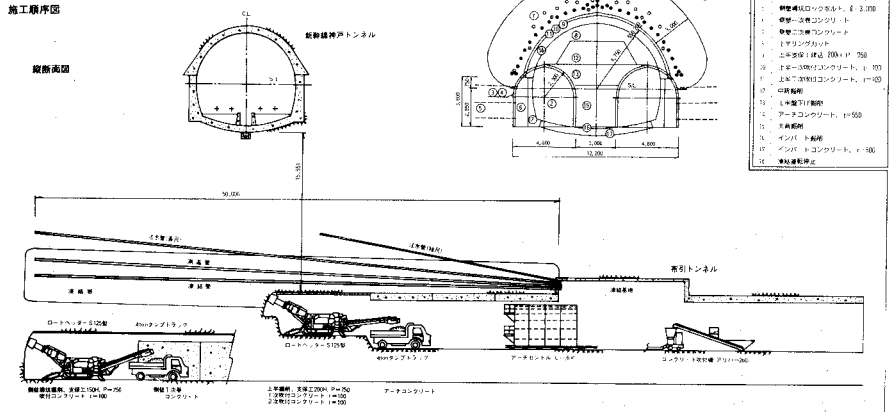
穿孔機	ビュラー2HR-100高トルク改造型
穿孔スピード	0.3～8.0 m/H, 平均1.2 m/H
回転力	最大トルク 350 $\text{kg}\cdot\text{m}$
推力	油圧 40～60 kg/cm^2
埋設精度	1/100～1/555, 平均1/145

3. 交差部トンネル工事

交差部のトンネル

施工法は、側壁導坑
先進の順巻工法で、
すべて機械掘削によ
り行なった。掘削機
には、硬岩用のロー
ドヘッダーを、側壁
導坑、上半部ともに
使用した。支保工は
導坑は150 H鋼、上
半は200 H鋼を75cm

図-3. 凍結岩ルーフ工法施工図



間隔で建込み、吹付コンクリート10~20cm厚を併用した。また凍結岩ルーフの支持部である側壁岩盤を補強する目的で、3 mのロックボルトを75cm間隔に6本打設した。(図-3)

当工法の特長は、NATMと違い、地山の変位を微量で拘束してしまうかわりに、トンネルに大きい土圧が作用することは甘受するということで、施工においても支保剛性をチェックし、支保工と地山間や、覆工基底部に空隙を生じないように、ていねいな施工に留意し、アーチコンクリートも切羽いっぱいまで詰めて打設した。また、吹付コンクリート及びアーチコンクリートは、凍結面に接して打設されるが、凍害防止や早期の強度発現のため、吹付コンクリートの単位セメント量を増したり、アーチコンクリートには早強セメントを使用するなど初期発熱量の多い配合とし、打設後も、コンクリート内に测温素子を入れて養生温度を管理した。

凍結岩ルーフ工法は、凍結管の埋設や冷凍機設置などの仮設工事に4ヶ月を要し、昭和58年12月、凍結運転を開始した。その後3ヶ月で所定の凍土造成を行ない、翌年3月より側壁導坑の掘削に着手した。風化花崗岩といえど凍結の影響などで部分的に堅硬な箇所もあり、機械掘削限度いっぱいの施工条件となったため、能率の低下、機械トラブル、ビットの消耗増など苦勞も多かったが、6ヶ月後の8月末、無事交差部の施工を完了、凍結運転を停止し自然解凍を行なった。そして昭和59年2月、完全に解凍した後、注水管などの管内外注入工事を行ない復旧した。(表-2, 3, 4)

4. 結語

新幹線の沈下は、トンネル掘削時0.8~1.2 mm、解凍時0.6~1.1 mm、合計1.4~2.3 mmで収束した。凍結岩ルーフ工法は、凍上や解凍時の沈下が非常に小さく、強度的にも現地盤の2~3倍に改良され、工事中安定して上部の地山荷重を受持ち、新幹線の下を約15 mの離間で交差する山岳トンネルの施工を可能とした。解凍が完了した現在、トンネルにかかっている荷重は約100 t/m²で、この荷重がトンネル工事中、凍結岩ルーフで支えられ、上部の新幹線の沈下が最小限に抑えられたのである。

表-2. 側壁導坑掘削平均サイクルタイム

掘削準備	掘削	掘出し	機械交換	支保工建込	吹付コンクリート	ロックボルト	ロスタイム
0.8 ^H	4.4 ^H	0.6 ^H	0.9 ^H	1.2 ^H	1.4 ^H	1.9 ^H	2.0 ^H
1サイクル当り平均 13.2 ^H							

表-3. 上半掘削平均サイクルタイム

掘削準備	導坑支保工	掘削	掘出し	機械交換	支保工建込	吹付コンクリート	ロスタイム
0.5 ^H	1.6 ^H	3.9 ^H	0.7 ^H	0.6 ^H	1.2 ^H	1.3 ^H	0.9 ^H
1サイクル当り平均 11.0 ^H							

表-4. 機械掘削実績

	側壁導坑	上半
掘削機	ロードヘッダー-S-125型	ロードヘッダー-S-125型
断面積	19.0 m ² × 2	39.0 m ²
総掘削量	2,191.6 m ³	2,126.7 m ³
1 ^H 当り掘削量	3.1 ㊦	7.6 ㊦
ビット消耗量	0.53 ㊦	0.35 ㊦