

土砂地山・小土被りトンネルの沈下抑制対策と地山挙動について

(独) 鉄道・運輸機構 阿部 信介

戸田建設（株） 正会員 ○内藤 将史*

戸田建設（株） 正会員 小沼 宏嗣*

1. はじめに

土砂地山において、国道直下（土被り 10m）に NATM で新幹線トンネルを建設する上で、トンネル上部帯水層の地下水対策と、国道の沈下抑制が大きな課題であった。これらの地山条件に対して、地下水対策工（排水および止水）、先受け工などの補助工法とインバート仮閉合を行った結果、国道の沈下抑制、施工の安全性確保など、所期の成果を得た。本報では、国道交差部の施工概要と施工結果を示すとともに、計測データによるトンネル掘削時の地山挙動について考察する。

2. 工事概要と国道交差部の基本対策工

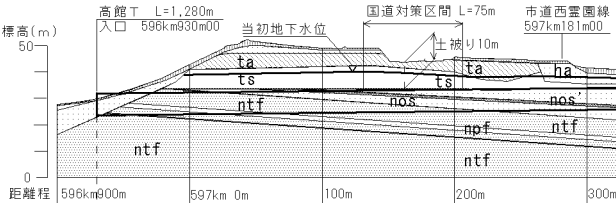
東北新幹線高館トンネルは、八戸駅から新青森に向って2つ目のトンネルであり、標高 40～50m の高館段丘下に位置する延長 1,280m の山岳トンネルで、土被り 3～18m（平均 8m）となっている（図－1 参照）。

国道交差部の主な地質は、トンネル上部および切羽に出現する高館段丘砂層(ts)と野辺地層砂層(nos)で構成される。ts 層は中～細砂が主体であり、均等粒径で細粒分が少ないため、流砂が生じやすく、また、地下水位が砂層の天端付近にあることから帯水層となっている。トンネル掘削断面に出現する nos 層は、凝灰質の微細砂が主体となるが、一部、湧水の生じる粗砂(nos')を挟在している。細粒分が多く比較的安定した性状を示すが、水に弱く、乱すと泥濘化や強度低下が生じやすい。代表的な地質の物性値を表－1 に示す。このような地山条件において、確実な国道の沈下抑制を実現するため、図－2、表－2 に示す基本対策工を適用した。なお、トンネル掘削に伴う国道路面変位の管理目標値を 30mm（二次元弾塑性 F E M 解析）、路面変位による傾斜角の管理目標値を $6\times10^{-3}\text{rad}$ とした。計測については、国道路面変位（図－3 参照）、地中変位、坑内変位（内空変位、天端沈下）を測定した。

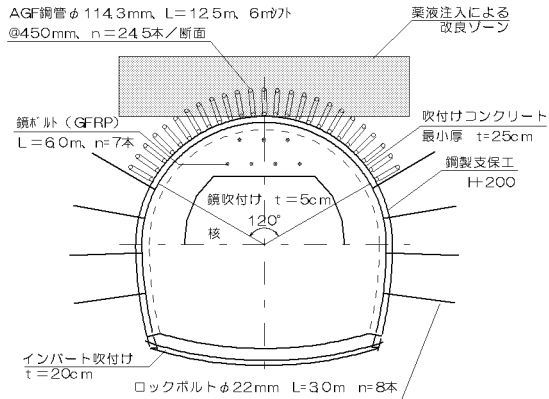
表－1 代表的な地質の物性値

地質時代	地層名	記号	N 値	細粒分含有率(%) Fc	均等係数 Uc	透水係数 k (cm/sec)
第四紀	更新世					
	高館火山灰層 D-土、野石	ta	8 (1～31)	70.9	—	—
新第三紀	更新世					
	高館段丘構成層 細砂	ts	17 (8～46)	8.0～28.9	2.1～6.0 ^{a)}	$5.5\times10^{-3}\sim9.2\times10^{-4}$
	野辺地層 凝灰質砂	nos	28 (9～50以上)	24.2～61.8	7.0～30.8	$4.3\times10^{-4}\sim1.5\times10^{-4}$
	野辺地層 中～粗砂	nos'	29 (15～43)	16.3	—	2.7×10^{-3}
	野辺地層 凝灰岩	ntf	50以上 (39～50以上)	77.8～94.5	—	—

※) 均等係数 $U_c = U_{60} / U_{10}$ で算定するが、細粒分の多い試料では U_{10} を取得できない。表中の値は取得できたデータ範囲を示す。
注) 各物性値は596k930m～597k300m区間の代表値、または範囲値を示す。



図－1 地質縦断面図（596k930m～597k320m）



図－2 基本対策工の標準断面

表－2 基本対策工の概要

分類	目的	適用工法	仕様
補助工法	地下水対策（排水）	スーパーウェルポイント	掘削径550mm、井戸径400mm、深さ18～32.5m、n=6本
	地下水対策（止水）	薬液注入	二重管ストレナー工法、改良ゾーン寸法：平均高さ2.5m×幅812m×延長79.5m
	路面沈下対策	長尺鋼管フォアパイル工（AGF工法）	φ114.3mm×24.5mm、打設ピッチ450mm、打設範囲120°、6m/7ft、注入材（セメント系）
	切羽安定対策	銃吹付けコンクリート	t=5cm
		銃ボルト	φ22mm、L=6.0m×7本、3m/7ft、GFRP製
支保構造	仮インバート	吹付けt=20cmによるインバート仮閉合	
	鋼製支保工		H=200×200、φ1.0m
	吹付けコンクリート		t=25cm（最小厚）
施工方法	ロックボルト		φ22mm、L=3.0m×8本
	切羽安定対策	リングカット工法、分割施工	
掘削工法	ショートベンチカット工法		

キーワード：土砂地山、小土被り、薬液注入、長尺先受工、路面沈下抑制

連絡先※：〒039-1103 青森県八戸市大字長苗代字上碓田 58-1 TEL 0178-70-4506, FAX 0178-70-4508

3. 計測結果および考察

1) 路面変位と坑内変位

図－4、5は、歩道部および車道部の代表箇所における路面変位と坑内変位について、薬液注入から下半掘削（仮インバート含む）完了までの経時変化を示した。図－4において、掘削1D（D：トンネル径＝10m）前から先行変位が発生すると仮定すると、先行変位は11mm程度となる。また、天端沈下、路面変位等の推移に着目すると、切羽の進行に伴い沈下量が増加し、切羽離れが3Dの時点で変位収束している。通常、良好な岩盤では1～2D程度で変位収束するが、塑性化を伴う低強度地山であるため、荷重再配分による周辺地山の応力のつりあいに時間を要したものと考えられる。一方、図－5の車道部では、上半掘削に伴う沈下が増加している段階で、下半掘削・インバート仮閉合を行うことにより早期に変位収束し、収束変位値が小さい結果となっている。

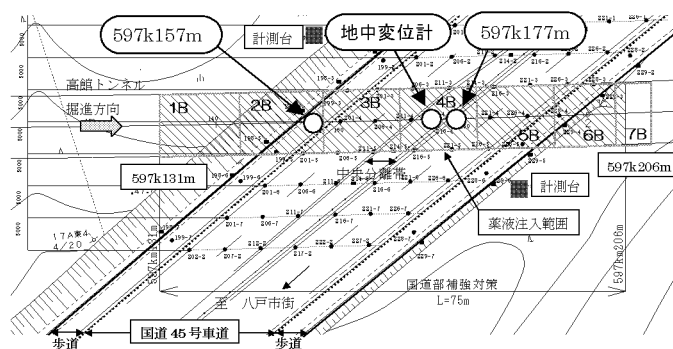
2) 地中変位

図－6、7には、地中変位と区間ひずみの経時変化を示した。地中変位は、薬液注入の影響で路面と同様に30mm程度まで隆起する。その後、上半切羽通過後は全測点が一体となって沈下している。この傾向は下半切羽が通過するまで継続し、ある時点で再度、隆起する状況を示している。また、区間ひずみによると、上半切羽通過前後で地表部の区間Gの引張りひずみが下半掘削以降まで増加し、ある時点で減少傾向を示している。これら区間ひずみGの変化と地中変位の再度隆起した状況は、気温調査の結果から、地表部付近の凍上による隆起と融解による沈下の現象に起因しているものと推察される。

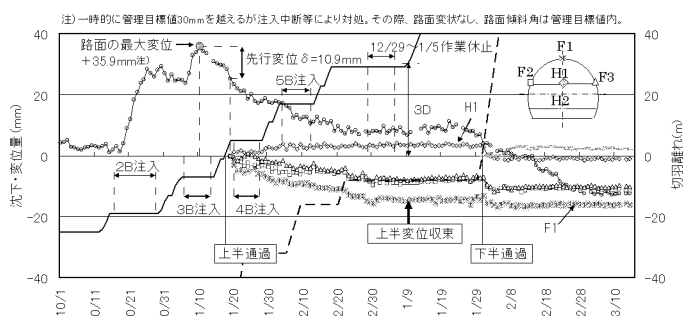
4. おわりに

現在、仮インバートは完了しており、国道路面沈下15mm未満、沈下傾斜角 3×10^{-3} rad未満で共に管理目標値内の値を推移している。これは本対策工による所期の沈下抑制効果が発揮されたものと考えられる。

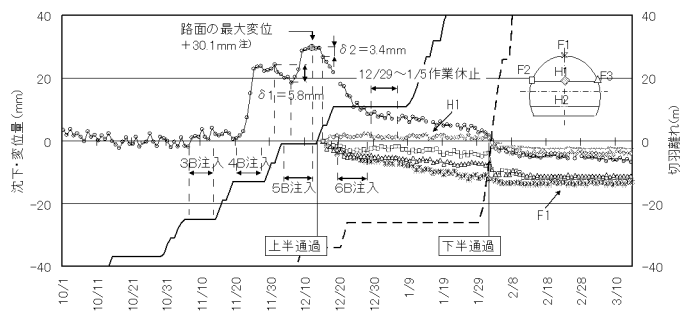
ただし、本対策工による国道路面変位には、薬液注入による隆起、トンネル掘削に伴う沈下、地表部の凍上・融解に伴う隆起および沈下作用が同時進行で影響している。また、薬液注入域の収縮（浸透注入部分の薬液収縮、割裂注入部分の圧密）の影響も考えられる。今後、本工事のデータ分析を進め、類似工事への活用を図っていく所存である。



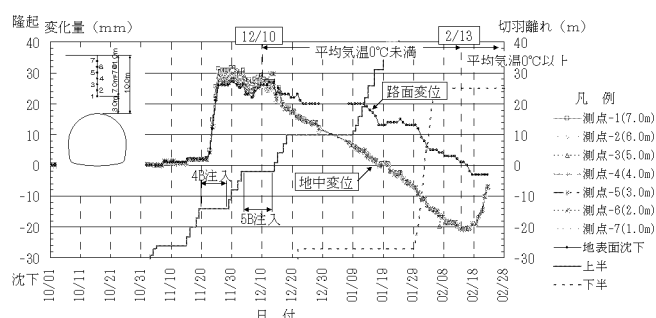
図－3 国道部平面図



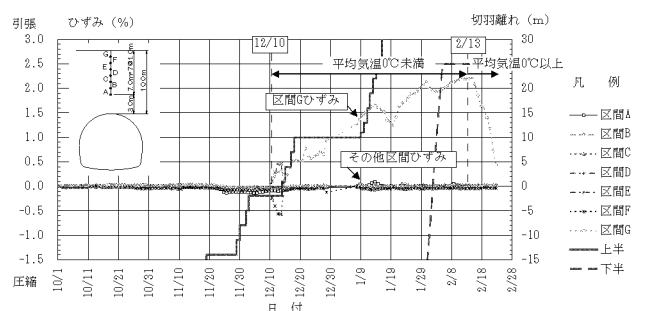
図－4 路面変位と坑内変位（歩道部 597k157m）



図－5 路面変位と坑内変位（車道部 597k177m）



図－6 地中変位（中央分離帯 597k175m）



図－7 区間ひずみ