

膨張性粘土鉱物を含む地山条件下での早期閉合を含む補助工法の施工

西松建設(株) 正会員 ○小山内 綺羅, 諏訪 至

1. はじめに

本工事は、北海道新幹線建設事業の新函館北斗駅～新八雲駅（仮称）にある全長 32,675m の渡島トンネルのうち新青森起点 155km160m～158km660m の本坑延長 3500m, および斜坑 447.9m を施工する工事である。渡島トンネルは全部で7工区に分かれ施工をしており、本工区は起点側から二番目に位置する台場山工区である。

本トンネルでは、斜坑掘削完了後、本坑掘削に移行して 155km680m 付近を掘削中に急激な変位増加、および吹付コンクリートにクラック等の変状が見られ、155km716m 地点では凝灰質砂岩の変質帯が出現した。先進調査ボーリングのコアにより地質調査を行った結果、この変状区間では膨張性粘土鉱物（スメクタイト）の含有が確認された。変質帯区間の内空変位等の外力に対する抵抗性、および膨張性粘土鉱物による盤ぶくれ等に対し、長期的なトンネルの安定性の確保が可能な支保パターンを選定し、早期閉合を含む補助工法の施工を行う必要があった。本稿では、この施工実績について報告する。

2. 地質概要

変質帯が出現した本坑 155km716m までの地質は、第三紀鮮新世中部黒松内層（UMt1）である。切羽全体で暗灰色の凝灰質砂岩であり、固結度は低く地下水などの水分を含むと脆弱になる地質であった。この区間は、小土被りかつ国道 227 号線直下、大野川直下の影響範囲区間であったことから、注入式長尺鋼管先受工（以降記載を AGF とする） $120^{\circ} \sim 180^{\circ}$ を併用しながら慎重に掘削を行っていた。掘削を進める過程で実施した先進調査ボーリング（L=60.0m）の結果、155 km 685m から凝灰質砂岩の変質帯が出現すると想定されていた。

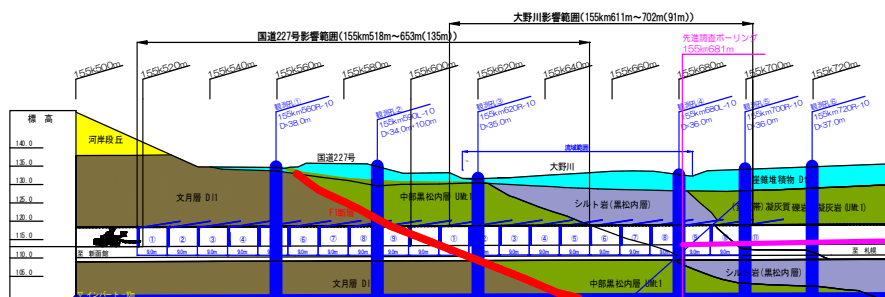


図-1 地質縦断面図

3. 変状対策および坑内 A 計測変形特性

当初、掘削工法は、上半先進ショートベンチカット工法で掘削を行っていた。変質帯の影響を受け、155 km 689m～698m 付近の A 計測は当初設定していた管理レベルⅢを大きく超える変形が生じた（図-2 参照）。

このため、変状対策工として、支保工連結、補強ボルト、

AGF の施工の後、上半掘削を再開した。しかしながら、急激な変位増加（初期変位速度 $\approx 25\text{mm}/\text{日}$ ）や吹付コンクリートのクラック等の変状を抑制できなかったため、切羽後方の追加対策工として、サイドパイル、上半仮インバート、フットパイルを施工した。その後、掘削補助工法を併用しながら更に上半掘削を進めた。しかしながら、変位は増加し続けたため、上半仮インバートを追加施工後、掘削を一時中止し、抜本的な掘削方法の見直しおよび検討を余儀なくされた。この変質帯区間周辺の A 計測は以前の変形特性と大きく異なり、掘削直後の初期変位速度が大きく（変位速度 $> 25\text{mm}/\text{日}$ ）、掘削休止時でも塑性変形の傾向が確認された。

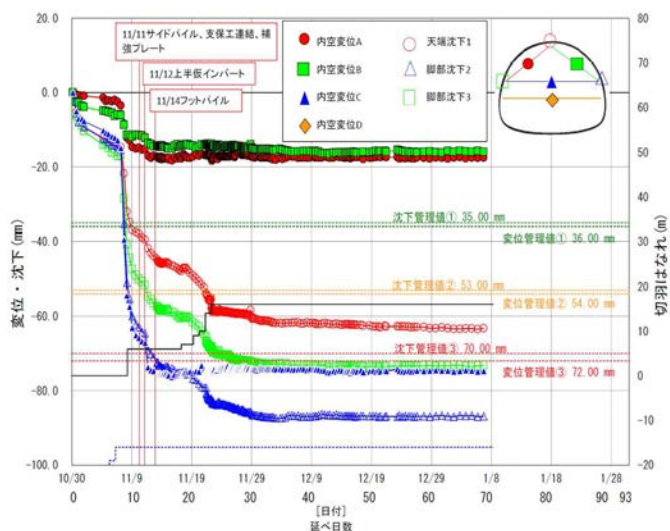


図-2 155 km 698m の A 計測経時変化図

キーワード 膨張性粘土鉱物、小土被り、河川影響範囲、塑性変形、トンネル

連絡先 〒980-0804 宮城県仙台市青葉区大町 2-8-33 西松建設(株)北日本支社 TEL 022-261-8161

4. 全断面早期閉合の採用

上半掘削を一時中止した 155 km 714m 以奥の掘削方法の検討は、まず切羽前方の地質性状を把握するため、155km681m で実施した先進調査ボーリングのコアを試料とし、X 線回折（スメクタイト含有量試験）を実施した。その結果、155km699m 以奥のすべての試料からスメクタイトの含有が確認された（表-1 参照）。スメクタイトについては、含有量に関わらず、「存在が明確になった場合は、いずれ膨張する可能性がある」と判断し、対策を検討する必要がある¹⁾とされている。掘削直後に大きな変状が発生しなかった場合でも、掘削に伴う地下水の変化等によりインバート設置後に盤ぶくれ等の変状が発生する可能性も懸念されるため、掘削から供用開始後までを含めた長期的なトンネルの安定を確保する必要があった。また、前述の通り掘削直後の初期変位速度が非常に大きいことから、内空変位等の外力に対して早期の抵抗性を確保する必要があり、掘削工法として全断面早期閉合を採用した。なお、断面形状は新幹線断面特有である中央排水管（φ1000）を包含する必要があること、可能な限り外力に対して抵抗性を大きくする必要があることから完全円形断面に近い形状とした（図-3 参照）。

表-1 スメクタイト分析結果一覧

採取地点	155 km										
	690	696	699	735	744	756	765	776	786	797	805
スメクタイト含有量 (%)	なし	なし	18.6	30.1	11.5	0.5	1.9	1.4	1.8	2.1	63.3

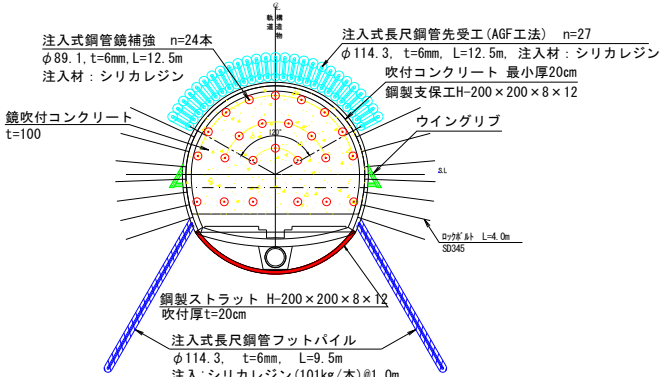


図-3 全断面早期閉合の支保パターン図

5. 掘削管理基準値の設定

当初、弾性波速度を用いた限界ひずみ法により設定していた A 計測の管理基準値と比較して、既掘削区間の変形量に大きな差異が見られたことから、変位増大区間の管理基準値の見直しを行った。見直しは、155km714m で行った追加の先進調査ボーリングコアからの一軸圧縮強度試験結果（σc≒9.0Mpa）を用いた限界ひずみ法、および既掘削区間の A 計測結果をもとに行った逆解析（Pas-Def®）結果を比較した。その結果、より実現現象と一致するコアからの一軸圧縮強度試験結果を用いた管理基準値を採用することとした（表-2 参照）。

表-2 見直し後の管理基準値

地層名	断面	天端沈下・脚部沈下・内空変位 (mm)		
		レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ
凝灰質砂岩 シルト岩	特S	68	102	136

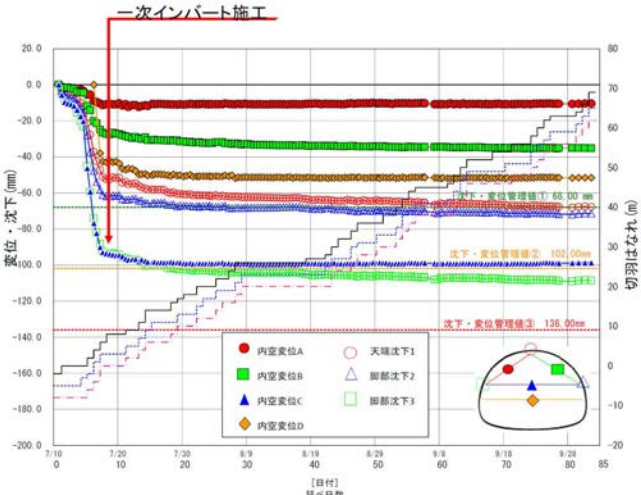
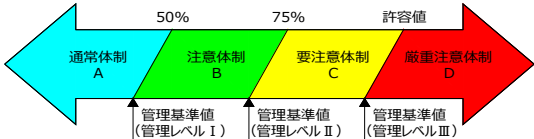


図-4 155 km 752m の A 計測経時変化図

6. 施工結果

155 km 714m 以奥の掘削については、図-4 に示すような全断面早期閉合工法に加え、AGF120°・鏡ボルト（上半）・鏡吹付・上半ウィングリブ・下半フットパイルの補助工法を併用して掘削を行った結果、天端および切羽の崩落や支保に変状を生じさせることなく安全に掘削することができた。なお、既掘削区間の A 計測の変位傾向の相違は確認されたものの、初期変位速度が大きい傾向に変化はなかった。しかしながら、全断面早期閉合（鋼製ストラット）の支保効果が顕著に表れ、閉合後直ちに、変位を収束させることができた（図-4 参照）。

7. おわりに

本工事の変質帯区間の掘削は現時点（2021 年 3 月）でも続いているが、地質の性状や変位量に応じて適宜補助工法の追加対策を検討しながら無事故で掘削・覆工等工事完了を目指していく所存である。

参考文献 1) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構:山岳トンネル設計施工標準・同解説, 平成 26 年 5 月