

本坑・斜坑交点部のインバート早期断面閉合トンネルの設計・施工について

清水・岩倉・新谷・高橋特定建設工事共同企業体 正会員 ○波柴拓也・石黒聡
 鉄道建設・運輸施設設備支援機構 正会員 石井秀和 非会員 望月一磨・桑原佑莉

1. はじめに

北海道新幹線、渡島トンネル（上二股）は、新函館北斗～札幌間において新函館北斗駅から最初の山岳トンネル（全長 32.675km）のうち厚沢部町と八雲町境に位置する中間工区の本坑 L=4,540m と斜坑 L=1,220m を構築する工事である（図-1）。本坑と斜坑は交差角 90° で接続させており、こうした交点部では特殊な形状となることから、局所的に応力集中が起りやすいため、3次元 FEM を用いて交差部支保構造の設計（別稿に譲る）・施工を実施した（図-2）。

交差部直前に低強度の膨張性凝灰岩に起因する大変形が生じたため、厚肉円筒理論によりインバート早期閉合を追加して支保をリング構造に再設計し、施工を実施した¹⁾。

2. 地質概要

斜坑は当初、新第三紀の細粒砂岩層で設計されていたが、実際の交点部付近に関しては新第三紀の堆積岩類の凝灰岩、凝灰角礫岩、泥岩の薄層を挟む細粒砂岩が主体であった。細粒砂岩及び凝灰岩、凝灰角礫岩の岩石試験結果を表-1 に示す。

3. 交点部の地層区分想定

交点部付近の切羽では比較的厚い凝灰岩・砂岩の互層及び、小断面に沿った破碎帯が存在しており（図-3）、吹付コンクリートにクラックが発生した。そこで斜坑の切羽写真を元に凝灰岩・砂岩の互層の分布を予測した（図-4）結果、交点部は押し出し性の低強度地山の分布することが想定された。

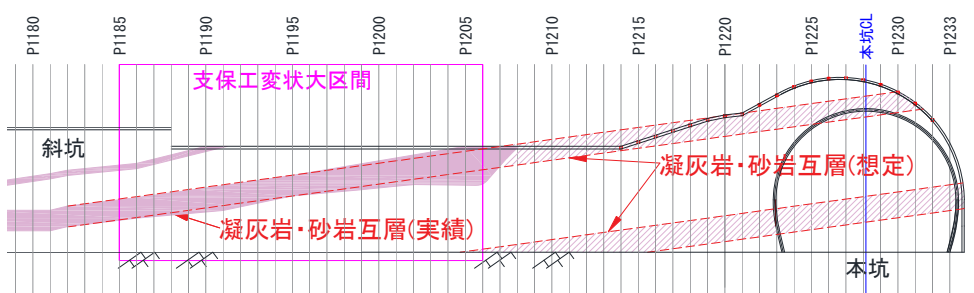
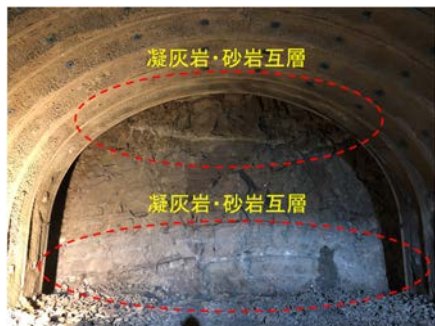


図-4 交点部の地層区分想定

4. 全断面早期閉合トンネルの設計の考え方

交点部の全断面早期閉合トンネル構造は、地山強度比 G_n を設計パラメーターとし、トンネル支保部材仕様および多心円リングの上半-インバート構造半径比 r_3 を検討し設計した（表-2）。

表-2 交点部の地層区分想定

地山強度比 G_n (-)	下半半径比 r_2/r_1	上半-インバート構造半径比 (r_3/r_1)	変形余裕量 (cm)
$1 < G_n \leq 2$	1.5	2.0	0
$0.5 < G_n \leq 1$	1.5	1.5	10

キーワード 山岳トンネル、本坑・斜坑交点部、インバート早期断面閉合

連絡先 〒060-8617 札幌市中央区北1条西2丁目1 札幌時計台ビル 清水建設(株)北海道支店 TEL(011)214-3531



図-1 渡島トンネル(上二股)位置図

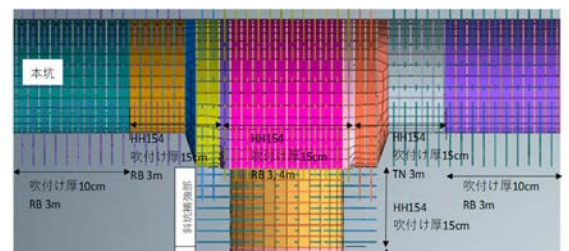


図-2 砂岩均一層として FEM 解析により設計した交点部上下半支保パターン

表-1 岩石試験結果

地質	P波速度 V_p (km/s)	圧縮強度 q_u (MPa)	地山強度比	浸水崩壊度	スメクタイト含有量 (%)
細粒砂岩	2.75	12.9	3.58	2・2・2	21
凝灰角礫岩	1.99	3.41	0.94	4・4・4	44
凝灰岩(低強度部)	-	2.44	0.67	4・4・4	61

早期閉合トンネル支保部材は、標準掘削パターン I sip を基本とし、曲げ圧縮部材の吹付コンクリートと曲げ部材の鋼製支保工、周辺地山補強と降伏後岩盤強度を保持するロックボルトである。全断面早期閉合トンネルの支保工パターンは、地山強度比に対応させて、これらの組み合わせで定める。主要部支保部材の吹付コンクリートは、地山強度比から作用土圧を推定、厚肉円筒理論を用いて土圧に対応する吹付け仕様(リング構造・吹付厚さ全周 25cm)を再設計した¹⁾。鋼製支保工は、標準掘削パターンに準拠し、吹付けコンクリート仕様との対応で定め、曲げ圧縮耐荷力を付与する(表-3)。

表-3 交点部 吹付仕様 (IS-1(直))

上半-インバート構造半径比 (r3 / r1)	早期閉合構造半径 r3 (m)	インバート吹付軸力 Nf (kN/m) (=P0×r3)	必要吹付け厚 t (m) (=Nf / fck)	設計吹付け厚 (cm)
1.4	9.235	4,618	0.257	25

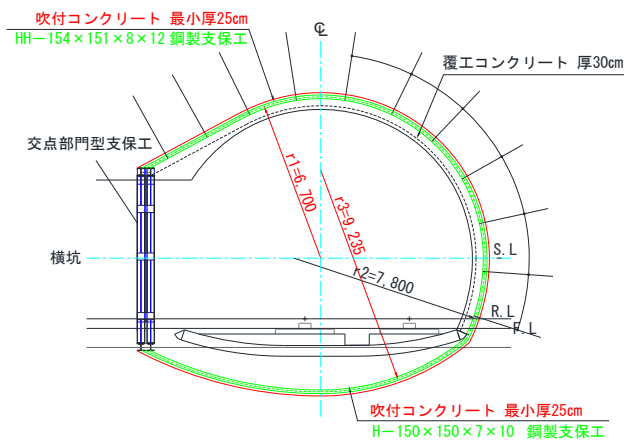


図-5 交点部の支保パターン図(本坑拡幅部)

5. 交点部の施工 (176km700m)

交点部の施工方法としては本坑支保工を早期に建込むことで、導坑方式に比べ地山の緩みの進行を抑えることができる先行支保方式とした。1. 矩形断面の仮設支保工(H-125)を使用し、斜坑側より交点部に向けて地盤を切上げながら本坑の形に拡幅掘削を行う。2. 斜坑側脚部を交点部入口で受けるための門型支保工を設置し、門型を利用して本設の本坑拡幅支保工を建込んだ。3. 仮設支保工側部を撤去して本坑を構築した。4. 交点部影響範囲(30m)の上下半支保完了後、本坑から斜坑に向けて1次インバート閉合を実施した(図-6)。

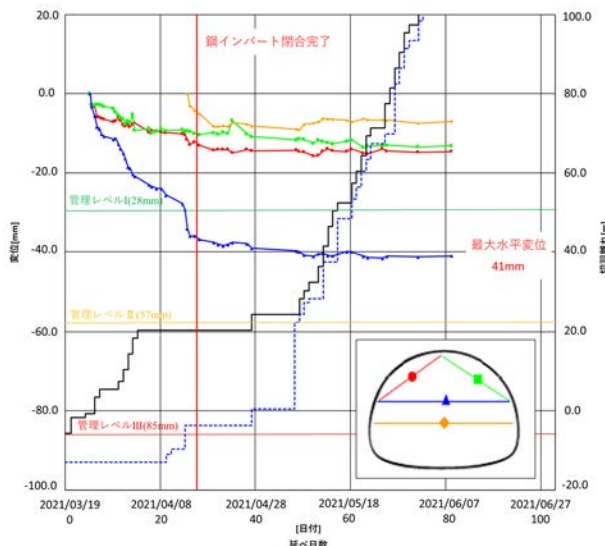


図-7 176km688m の A 計測結果(内空変位)

6. まとめ

当該箇所(176km688m)の A 計測結果は、初期変位速度は 6mm/日で上半水平変位が大きく変形したが、インバート早期閉合によって、最大変位 41mm(管理レベル 2 以内)で収束した(図-7)。特殊な形状の交点部施工において、事前の調査・解析・設計・柔軟な設計の見直しからインバート早期閉合を設計・施工することにより、安全に安定したトンネル交点部を構築した。

参考文献：1)佐藤 淳, 楠本 太, 今田 徹, 西村 和夫：低強度地山における全断面早期閉合工法に関する実証的研究，トンネルと地下，第 46 巻 9 号, pp53-63, 2015

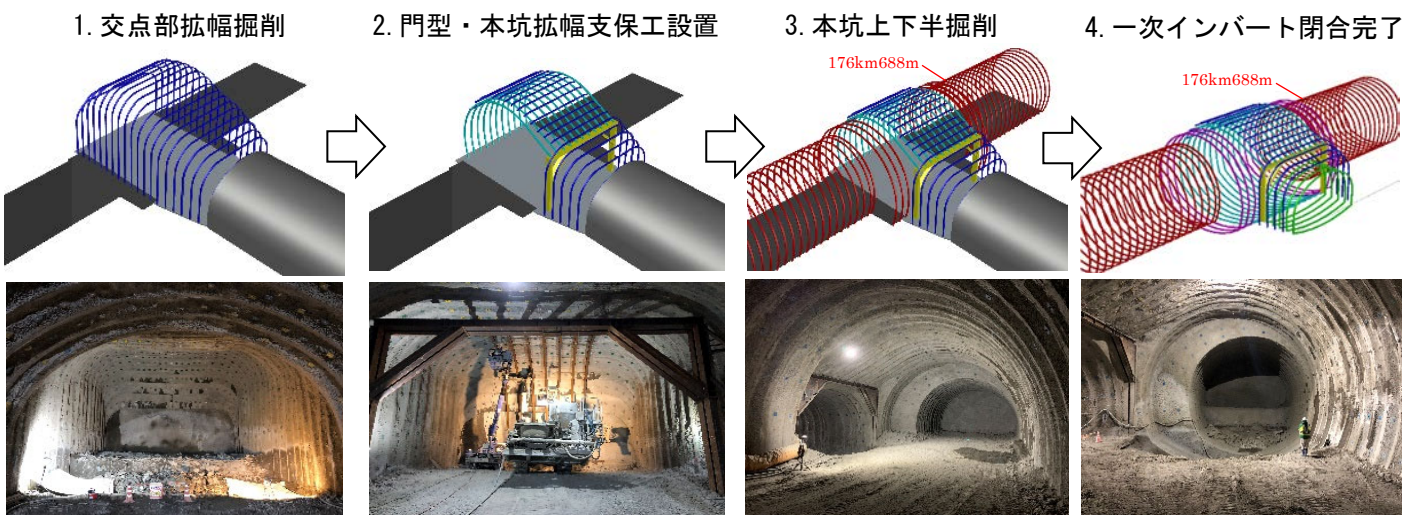


図-6 交点部掘削の施工ステップ図・施工状況写真