

本坑・斜坑交点部の支保構造に関する検討

清水建設株式会社 正会員 ○森山和・長谷陵平・淡路動太
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

1. はじめに

北海道新幹線、渡島トンネル（上二股）工事では、本坑掘削のためのアプローチとして斜坑が計画されており、本坑と斜坑は交差角 90° で接続する。このような交点部では特殊な形状となることから、局所的な応力集中が起りやすいことが知られている。また、本坑交点部近傍の斜坑において比較的大きな側方変位(-73.2mm)が確認されたため、このような地山状況が交点部まで分布する場合、交点部を構成する支保工に作用する荷重が大きくなり、支保工の応力状態が一般部と異なるため、構造的に弱点になる可能性が高い。

本稿では、斜坑掘削時のトンネル内空変位計測結果を用いて、交点部構築区間の地山条件を推定し、推定された地山条件を用いて、3次元FEMによる数値解析を行うことで、交点部支保構造の安定性を確保するための仕様検討を行った事例について報告する。

2. 地質概要

調査ボーリングの結果より本坑交点部は、八雲層プロピライトおよび黒松内層下部の細粒砂岩の分布が想定された（図-1）。二つの物性値は各調査ボーリングの本坑交点部と同等の値で得られている。細粒砂岩とプロピライトの間では物性値に顕著な違いは認められないため、細粒砂岩の地山物性値を用いた解析を行い、掘削時の変位を推定した。斜坑掘削時には、交点部付近の切羽で凝灰岩・砂岩の互層が確認されたが、想定より大きな変位が発生した。切羽観察の結果、凝灰岩・砂岩の互層は交点部にも存在することが予測され、交点部は想定よりも低強度の地山が分布することが考えられた。

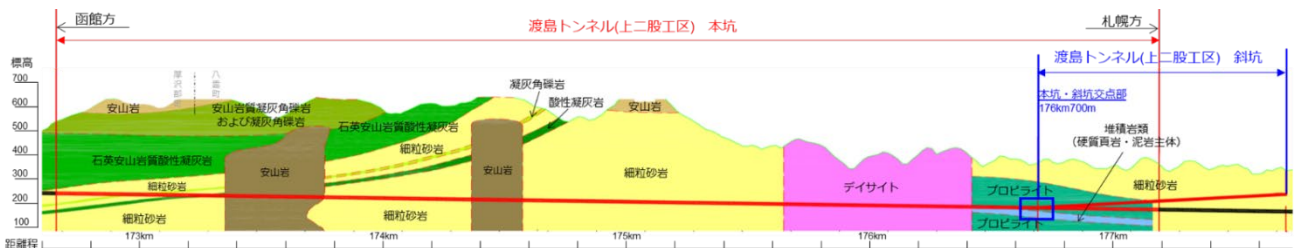


図-1 渡島トンネル交点部付近の地質縦断面図

3. 検討方法

交点部における地山物性値を再評価するため、斜坑で計測された内空変位を指標とした再現解析を実施した。再現解析で推定する地山物性値は、変形係数及び、変形係数に伴って変化する一軸圧縮強度、粘着力、引張強度とし、その他の地山物性値は調査ボーリング結果を用いて設定した。再現解析で推定された地山物性値を用いて、交点部の予測解析を実施した。斜坑の再現解析及び、交点部における支保構造の検討は、本坑・斜坑のトンネル構造および周辺地山を3次元でモデル化した数値解析により検討を行った。解析コードはMidas社のGTSNX(ver.3)を用いた。解析モデルを図-2に示す。

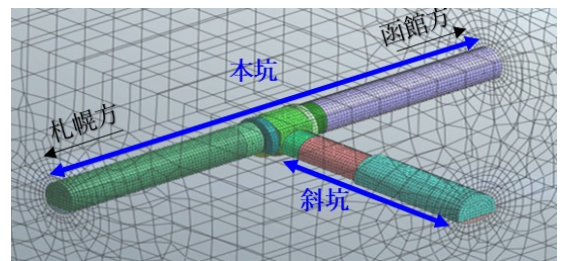


図-2 解析モデル図

4. 交点部における地山物性値の推定

斜坑区間の内、交点部付近で変状が確認された区間において、安全側に考慮して、最大の内空変位量が確認された断面(P1200)を着目断面とする。着目断面の計測結果を図-3に示す。この断面における変位は、掘削から間もないため収束していない。そのため、下記の式に示す近似曲線を用いることで、着目断面に発生する最終

キーワード 山岳トンネル, 3次元FEM, 数値解析, 交点部

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設(株) 土木技術本部 地下空間統括部 TEL:03-3561-3887

変位量を推定し、再現解析の着目値を内空変位量-73.3mm、天端沈下量-19.4mmに設定して、再現解析を実施した。なお、推定された最終変位量は、インバート施工前のデータから算出したものである。インバート施工直前に計測された変位量は、内空変位量-73.6mm、天端沈下量-21.1mmであり、同程度であったことから、今回設定した着目値は掘削時の挙動を再現する妥当な値であると評価できる。

$$\begin{aligned} \text{内空変位量: } \delta_c [mm] &= -73.23 \{ \exp(0.41t^{0.43}) \} \\ \text{天端沈下量: } \delta_1 [mm] &= -19.44 \{ \exp(0.26t^{0.52}) \} \\ t: \text{掘削経過日数 (日)} \end{aligned}$$

トンネル変位量の実測結果は沈下量に対して内空変位量が卓越しており、再現解析結果の変位量と合致しない。そのため、側圧係数は実測値に近い1.2とし、着目値のうち内空変位量が発生する変形係数を算出した。再現解析の結果、着目箇所の変位は、着目値(内空変位量)と同程度の変位(内空変位量:-73.7mm)となった。推定された地山物性値を表-1に示す。この地山条件を用いて、交点部における支保構造の検討(予測解析)を実施した。

5. 予測解析・照査結果

予測解析における交点部の支保部材は、鋼製支保工(上下半: HH-154×151×8×12(HT590/SS540)、インバート: H-150×150×7×10(SS400))と吹付けコンクリート(設計基準強度18N/mm²、厚さ250mm)とし、これらの合成梁としてシェル要素でモデル化した。

予測解析結果で得られる軸力は合成梁を構成する鋼製支保工・吹付けコンクリートに作用するため、合成梁の発生軸力から鋼製支保工の許容軸耐力の差分を吹付けコンクリートに作用する応力として換算し、合成梁全体としての安全性照査を行った。交点部における合成梁の軸力分布図を図-4に示す。この結果、斜坑と交点部の交差断面における下半・インバート接続部付近で最大軸力が発生していることが明らかとなった。この断面の吹付けコンクリートに発生する換算応力分布図を図-5に示す。これらの結果、鋼製支保工(上下半: HH-154×151×8×12(HT590/SS540)、インバート: H-150×150×7×10(SS400))において吹付けコンクリート厚さを250mm以上にすれば、発生する応力は許容値11.8N/mm²未満となり、交点部の支保部材の安定性が確保されることとなった。

6. まとめ

本稿では、本坑・斜坑交点部において鋼製支保工・吹付けコンクリートを対象とした3次元数値解析による支保部材の検討を実施した。交点部に近い斜坑区間の内、大きな内空変位量が確認されたP1200断面の推定された収束変位量を再現する地盤物性値を求め、予測解析を行うことで、交点部における鋼製支保工・吹付けコンクリートの仕様を決定した。この予測解析結果を踏まえ、施工中は計測データを注視しながら掘削を行うことで、大きな変位等の問題はなく、交差部の掘削を完了している。

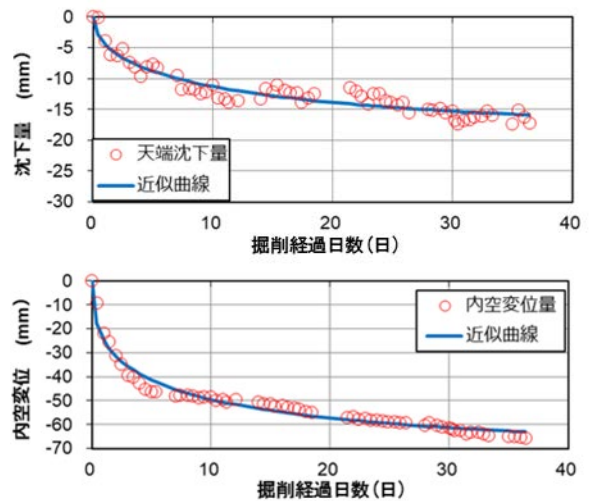


図-3 斜坑区間における内空変位量

表-1 斜坑部の推定地山物性値

単位体積重量 [Ⓔ]	変形係数 [Ⓔ]	一軸圧縮強度 [Ⓔ]	粘着力 [Ⓔ]	内部摩擦角 [Ⓔ]	ポアソン比 [Ⓔ]	引張強度 [Ⓔ]
γ (kN/m ³) [Ⓔ]	D_0 (MN/m ²) [Ⓔ]	q_u (MN/m ²) [Ⓔ]	c (kN/m ²) [Ⓔ]	ϕ (°) [Ⓔ]	$\nu_{0.2}$	σ_T (kN/m ²) [Ⓔ]
22.4 [Ⓔ]	620 [Ⓔ]	3.8 [Ⓔ]	564 [Ⓔ]	35 [Ⓔ]	0.3 [Ⓔ]	113 [Ⓔ]

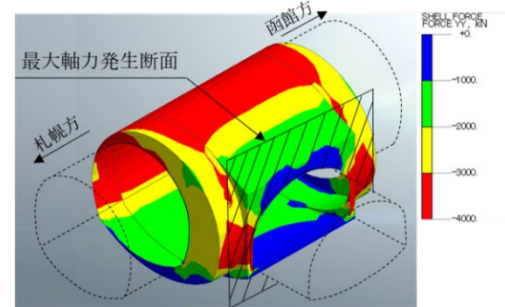


図-4 合成梁に発生する軸力分布図

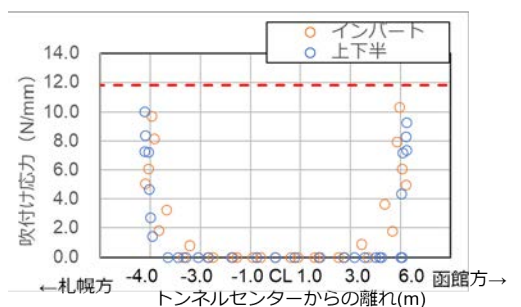


図-5 吹付けコンクリートに発生する応力分布