

早期閉合で施工した超近接双設トンネル変位挙動の3次元解析

清水建設 正会員 ○ 奥野哲夫・淡路動太・牛田和仁
中日本高速道路 正会員 中堀千嘉子・稲垣太浩・川北眞嗣

1. はじめに

舞鶴若狭自動車道鳥浜トンネル(延長 149m)は、両坑口部が超軟弱地盤であり、その対策範囲の軽減を目的に上下線のトンネル中心間距離を約 13m としたことにより、掘削面間離隔が約 2m の超近接双設トンネルである。本トンネルでは、先進坑・後進坑の全線で切羽後方 5~10m で吹付けコンクリートとストラット支保工によるインバートの早期閉合を行うことで、地山の緩みを極力抑制し、センターピラー部の地山改良等の補強工を実施せずに無導坑方式で双設トンネルを掘削した。本検討では、早期閉合で施工した超近接双設トンネル周辺地山の基本的なメカニズムを評価するため、3次元弾塑性解析による変位挙動の検討結果を報告する。

2. 現場概要と解析モデル

図1に本トンネルの地質縦断面図を示す。本トンネルは、標高 55~59m のやせ尾根に対して計画高 13m 付近を掘削幅約 11m で通過し、両坑口部の山腹斜面は 35~40° 前後の急傾斜を呈する。トンネルを構成する基盤岩は中生代・前期~中期ジュラ紀の丹波テレーンに属する混在岩で、砂岩基質中に頁岩をレンズ状に混入し、褶曲に伴って層理面は不規則で変化に富み、部分的に破碎帯を介在する。トンネル中間部の地山等級はDIに相当する。図2に、内空・壁面変位の計測位置を示す。掘削工法は機械掘削による補助ベンチ付き全断面工法を採用し、計測断面位置においては先進坑・後進坑の両方で上半切羽 7~8m 後方で吹付けコンクリート、ストラット支保工によるインバートの早期閉合を実施した。その他の現場状況は参考文献1),2)を参照されたい。

現場ボーリング孔の孔内水平載荷試験から岩盤物性として評価された値を表1に示す。本検討では早期閉合により施工された超近接双設トンネル掘削時の基本的な変形特性を把握する目的から、3次元解析モデルを用いた数値解析によりその挙動を評価する。その解析モデルを図3に示す。解析領域は高さ 80m×横 100m×奥行き(トンネル軸方向)100mで、土被りはトンネルSLから50mで一定とし、岩

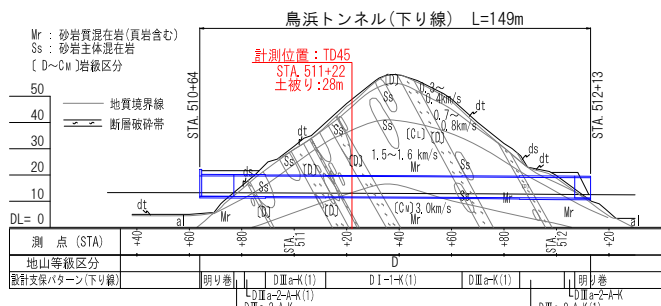


図1 鳥浜トンネル地質縦断面図(下り線:先進坑)

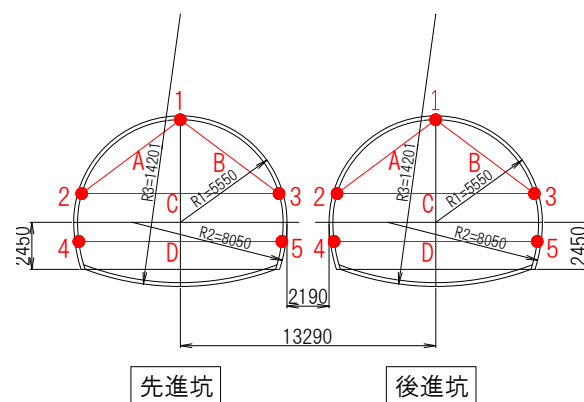


図2 内空変位計測断面の計測位置

表1 岩盤物性

岩盤	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
CL1 級岩盤	22.0	101,000	0.35	200	34

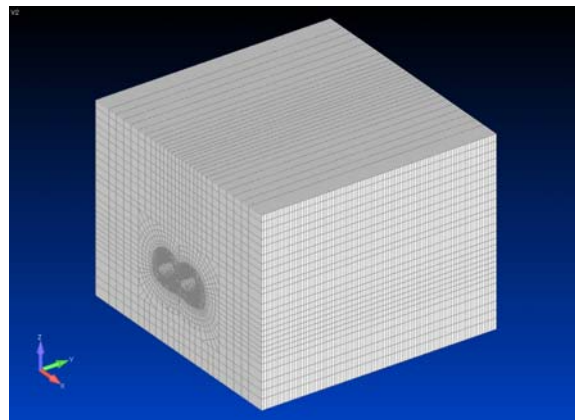


図3 3次元解析モデル図(解析メッシュ図)

キーワード 山岳トンネル, 双設トンネル, 弾塑性解析, 三次元解析, インバート早期閉合

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島三丁目4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL 03-3820-8356

盤物性も表1のCL1級岩盤で均一な弾塑性材料(Mohr-Coulomb破壊規準に従う弾完全塑性材料)とした。掘削は全線100mにわたり、掘進長1mで先進坑・後進坑とも上半切羽3m後方で下半を掘削し、上半切羽7m後方で早期閉合を繰り返す掘削過程でモデル化した。実施にに合わせて掘削直後に吹付けコンクリート(設計強度:先進坑36MPa 後進坑18MPa, 厚さ:20cm), 鋼アーチ支保工(先進坑HH-154, 後進坑NH-150)の施工をモデル化し, 吹付けコンクリートは弾塑性材料(弾完全塑性), 鋼アーチ支保工は弾性係数, 断面諸量を実際の値に一致させた棒要素(弾性材料)でモデル化した。図3のトンネル軸方向50m位置(中央断面位置)に図2と同じ計測断面を設け, 切羽進行に伴う各種変位を算出した。

3. 解析結果

図4～6に後進坑掘削時の先進坑の計測断面位置での各測点(1～5)・測線(A～D)の変位量を, 計測結果と解析結果を比較して示す。先進坑掘削後の後進坑掘削の影響を調べる目的から, 全て後進坑の上半切羽到達前-20m位置での各変位を初期値とし, その後の変位増分を示している。なお, 計測値は早期閉合を上半切羽から5m後方で実施した(後進坑のみ)計測断面TD45(図1参照)であり, 解析で設定した7m後方とわずかながら異なる。

両者の比較により, 全般的に解析結果は計測結果と類似した挙動を示す。壁面鉛直変位(図4)では, 測点1,3,5は解析値と計測値は共に切羽通過時(後進坑上半切羽と計測断面の距離0)以前から沈下が増加し始め, 切羽が40m程度離れた時点で12～15mm程度の沈下となり良い一致を示す。壁面水平変位(図5)は測点2,4の挙動が若干異なるが, 切羽通過時から測点1,3,5は解析値と計測値が共に水平方向(x軸正の方向)の変位を示し, 切羽が40m程度離れた時点で10mm以内の変位となる。内空変位(図6)は, 測線B,C,Dが後進坑上半切羽通過時付近で伸長方向に動き, 数mm～7mm程度伸びる。一方, 測線Aは数mm程度短縮方向に変化するが, いずれも切羽が7～10m程度離れると収束傾向を示す。

4. 考察とまとめ

以上の変位挙動から, 特に後進坑の掘削による影響として先進坑の後進坑側ピラー部の測点1,3,5が沈下ならびに後進坑側に動くモードが解析により再現されている。また, 先進坑の内空変位は, 後進坑の掘削による影響は受けるものの, 後進坑上半の切羽通過後7～10m程度で収束していることも解析で再現され, 上半切羽から早期閉合までの距離が解析では7mであることから早期閉合の効果の可能性が考えられる。このことから本解析では, 早期閉合により施工した超近接双設トンネルの掘削時の基本的な挙動がある程度再現されているものと判断できる。今後は解析結果を基に, 応力, 支保断面力, 土圧などの解析値と計測値の分析を継続実施し, トンネル周辺地山の挙動のメカニズム検討と評価を行う予定である。

参考文献

1)稲垣太浩ほか:早期閉合で施工された超近接双設トンネルの変形挙動,第47回地盤工学研究発表会(投稿中),2012, 2)高本純也ほか:早期閉合で施工した超近接双設トンネルの一般部D I区間での双設影響(その1),土木学会第67回年次学術講演会(投稿中),2012

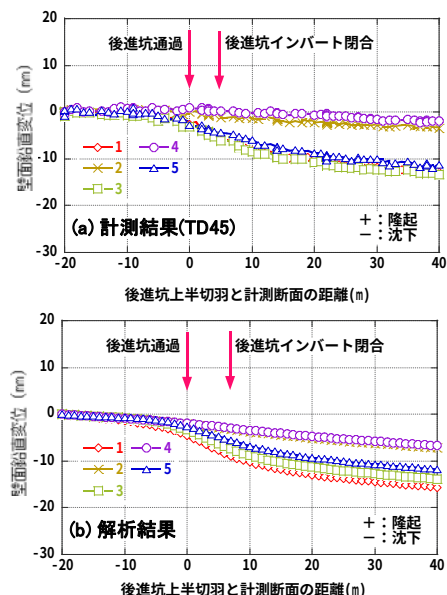


図4 先進坑鉛直変位の比較

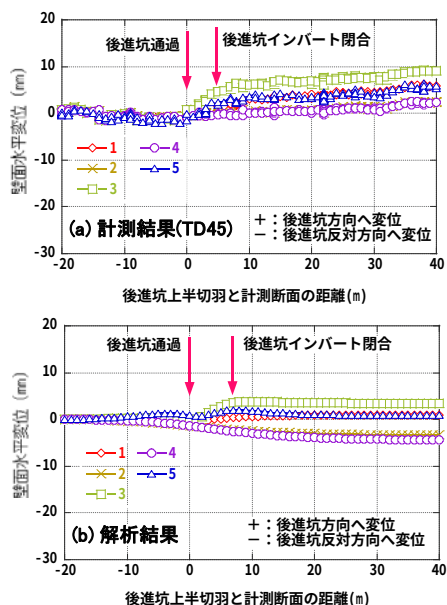


図5 先進坑水平変位の比較

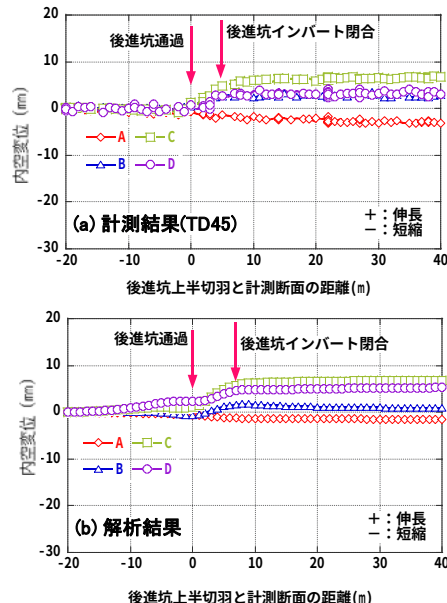


図6 先進坑内空変位の比較