三次元解析を用いた坑口部の情報化施工

西松建設㈱　関東土木支社　正会員　○岡田 謙吾　奈良 聡　原島 大
西松建設㈱　土木設計部　正会員　鈴木 健
中日本高速道路㈱　東京支社　正会員　丸山 大輔

１．はじめに

新東名高速道路湯船原トンネル工事は，静岡県駿東郡小山町から御殿場市の区間における工事であり，そのうち，上下線複線トンネルそれぞれ約 1,600m を施工する．本トンネル工事では，施工事例の少ないスコリアと称する火山噴出物が堆積した未固結の地層を掘削する．そのため，切羽・天端の変状の監視を強化しながら掘削するとともに，事前に地山の特性を把握しておくことが重要である．また，地表面の挙動，施工方法による影響および近接施工の影響を把握するためにも坑口部全体をモデル化し，掘削ステップを考慮した三次元解析を行った．

本稿では，トンネルの坑口部（DⅢ区間）の掘削にあたり，事前に三次元 FEM 解析を実施し，事前予測をしたうえで，実施工での変位状況を確認しながら情報化施工を行った内容を報告する．

２．事前予測（三次元解析）

掘削開始前に，既知の地質調査より得られた土質定数，追加ボーリング調査結果，土質分布状況，施工サイクル，および掘削ステップを考慮して，三次元 FEM 解析を行った．得られた解析結果より管理レベル毎の管理基準値と管理体制を設定した．施工サイクルは，土被り 2D（D:トンネル掘削幅 11.7m）まではアーチアクションが形成されにくく，坑口斜面への影響およびスコリアという特殊地山を考慮して，上半先進工法とし，それ以奥を早期断面閉合とした．ただし，切羽後方での地表面沈下および坑内変位が収束しない場合には，土被り 2D 以下でも，早期断面閉合を開始することとした．迅速に対応するために，ベンチ長は 10～20m 程度とし，また，上下線の掘削における影響を軽減するため，下り線を先行掘削し，変位収束後に上り線を掘削することとした．表-1 に掘削ステップを，図-1 に三次元 FEM 解析モデル図を，図-2 および図-3 に各工法のステップ図を，表-2 に管理体制表を示す．

表-1　掘削ステップ

土被り	測点		掘削工法，サイクル
	下り線(先行掘削)	上り線(後行掘削)	
土被り2D以下	坑口～STA.261+90 (TD=0～73mまで)	坑口～STA.262+00 (TD=0～73mまで)	上半先進工法 ・上半ベンチ長10mを確保 ・上半掘削10m→下半・一次インバート掘削3m(交互掘削)
土被り2D以上	STA.261+90～STA.262+91 (TD=73～174mまで)	STA.261+90～STA.262+91 (TD=73～169mまで)	全断面早期閉合工法 ・上半3m→下半・一次インバート掘削3m(交互掘削)

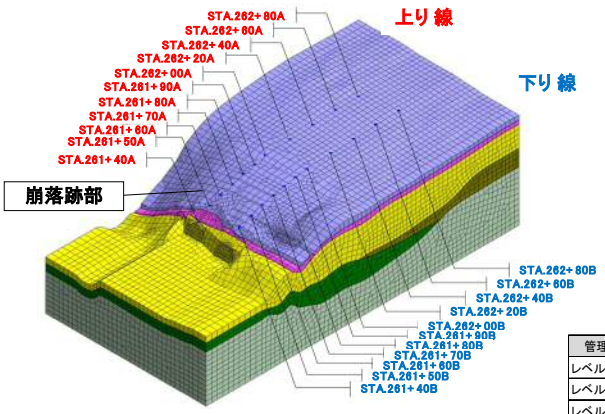

図-1　三次元 FEM 解析モデル図

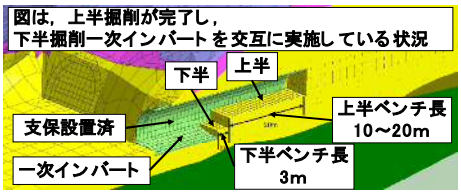

図-2　上半先進工法ステップ図

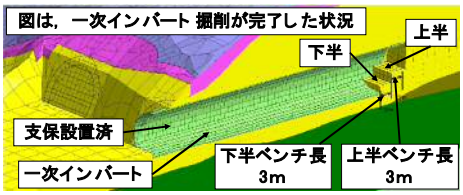

図-3　早期閉合工法ステップ図

表-2　管理体制表

管理レベル	体制	計測頻度	対策工
レベルⅠ以内	通常監視体制	計測工指針に基づく	―
レベルⅡ以内	注意監視体制	通常監視体制の2倍	軽微な対策工の検討
レベルⅢ以内	要注意体制	通常監視体制の2倍	軽微な対策工の検討・実施
レベルⅢ以上	厳重注意体制	通常監視体制の2倍	施工中止，追加対策工の検討・実施

※ただし，この管理体制とは別に，
鏡面の安定性が低下した場合　→　鏡補強工の追加
切羽天端の安定性が低下した場合　→　天端先受工の追加
について検討することとする．

キーワード　トンネル坑口部　情報化施工　計測監視　3 次元解析
連絡先　〒410-1326 静岡県駿東郡小山町用沢 1393-5 西松建設株式会社関東土木支社 湯船原工事事務所 0550-88-8820

3. 施工実績

以下に実施工での上下線の計測結果を解析結果と併せて示す．各変位量（天端沈下量，内空変位量，地表面沈下量）は掘削完了後の収束値を表す．

1) 下り線施工実績（図-4）

土被り 2D 以下の区間では，天端沈下，地表面沈下ともに最大-20mm 程度の変位が生じた．土被りが小さいために，アーチアクションが形成されず，天端部から地表面部までの地山が一体となって変位している状態である．ただし当該区間は，上半先進工法を採用し，掘削断面を小さくして慎重に掘削したことで，レベル I 以下で収束させることができた．土被り 2D 以上の部分においては，早期閉合の効果もあり，地山のアーチアクションが働き，天端沈下，地表面沈下ともに-15mm 程度の変位（レベル I 以下）に収まった．内空変位は-10mm 程度と少ない．変位は，おおむね解析結果と同等もしくはそれ以下の値となり，解析と同様に沈下卓越型の傾向となった．

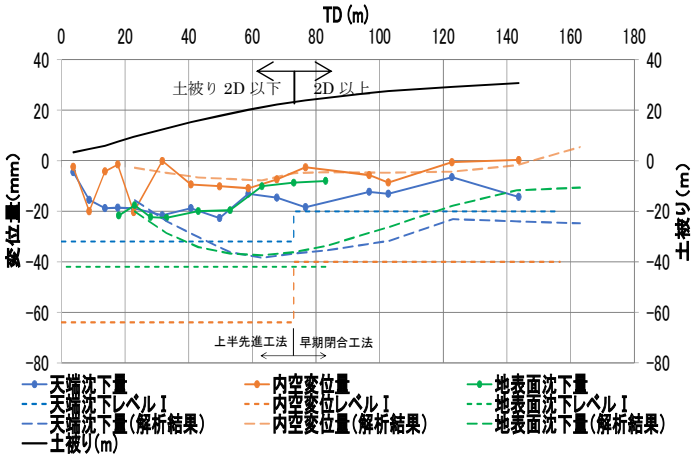

図-4 下り線 A 計測結果

2) 上り線施工実績（図-5，図-6）

土被り 2D 以下の TD23m 付近において，図-5 の通り，天端沈下は-32mm，地表面沈下は-38mm とレベル I を超える変位が生じた．また図-6 の通り，初期変位速度が-5mm/日と大きく，切羽進行後も地山変位が収束しなかった．さらに，坑口部の地表面に微細クラックも見られたことから，TD31.5m にて，上半掘削を停止し，下半および一次インバートを切羽に追いつけ，早期閉合工法を実施（当初：TD73m より実施予定，表-1 参照）した．その際，掘削速度も通常の施工サイクルより緩めて施工した．早期閉合工法を採用後は，天端沈下，地表面沈下ともに-15mm 程度の変位でレベル I 以下に収まっている．変位が大きくなった要因としては，上り線坑口左部に崩落跡部（地すべり跡，図-1 参照）が存在し，左側面の側方抵抗不足があったのではないかと推定される．

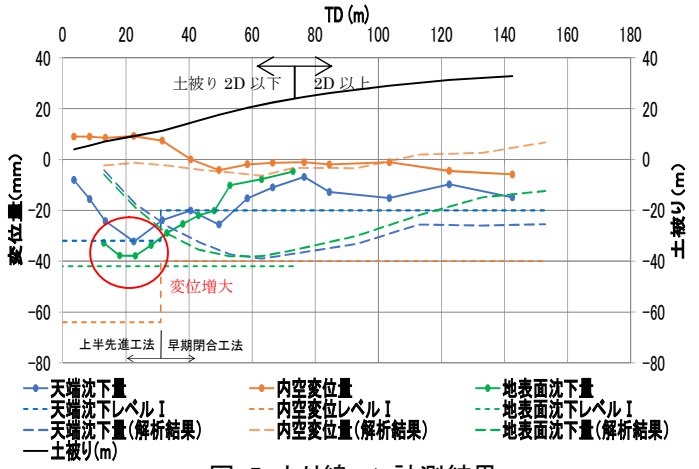

図-5 上り線 A 計測結果

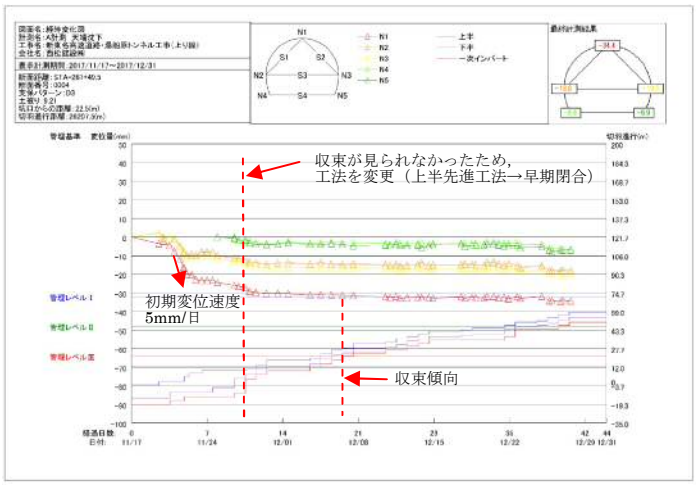

図-6 上り線 TD23m の沈下計測経時変化図

3) 上下線の掘削による影響

後行掘削の上り線掘削による下り線への影響について，解析結果からは 3mm 程度，実施工では 1mm 程度の変位量で収まった．上下線の離隔距離が 3D 程度離れていることもあり，ほとんど影響がなかったと考える．

4．まとめ

事前にトンネル掘削時の変位状況等を予測し，管理体制を計画することで，実施工時におけるトンネルの変状に対して，瞬時な判断と迅速な対応が可能となる．その結果，安全で，経済的かつ効率的なトンネル掘削ができた．スコリアという特殊地山は，変位の収束性は良いが，未固結な地山であるため，天端の崩落や，吹付と地山の付着度の悪さ等，様々な課題が発生している．今後も地山に即した工法の採用，慎重な施工に努めたいとを考えている．