

トンネル坑口斜面における3次元計測管理と応力変形解析

(株)奥村組 正会員 ○森田修二
 (株)奥村組 正会員 西川博敏
 (株)奥村組 正会員 板谷裕次

1. まえがき

東九州自動車道路は北九州市～大分～宮崎～鹿児島を建設ルートとしており、その中で大分県南部から鹿児島県北部は九州山地東縁部に位置する。本報告の飯谷第二トンネル工事は東九州自動車道の日向 IC～都農 IC にあり、その坑口は耳川に浸食を受けた谷間に設けられている。飯谷第二トンネルの終点側坑口は表層が D 級岩盤の斜面に位置しており、トンネル掘削による斜面の挙動監視が必要と考えられた。本工事では、高精度自動追尾 3 次元計測システムによる地表面計測を行い施工方法へのフィードバックを実施している。本報告では、3 次元計測の結果と 3 次元 FEM 解析による応力変形解析による検証結果を報告するものである。

なお、FEM 解析ではトンネル掘削の進捗と支保工設置を考慮した応力変形解析を実施した。数値解析には有限要素法による汎用構造・非構造解析コード“FEAST”を用いた。

2. 地質の概要

図-1 には飯谷第二トンネル終点側坑口部の縦断面図を示した。坑口部付近は崖錐堆積物が層厚 1m をなし、地表浅部より風化した花崗閃緑斑岩が分布している。STA69+20 付近は幅約 4m～5m の著しく砂質土状に風化した部分が挟在（脆弱帯）している。坑口斜面には小規模な表層崩壊跡が見られるが、ボーリング結果から崩壊風化層は表層 3m までであり、地表から約 10m～20m までは D 級岩盤と C 級岩盤が互層をなし、20m 以深は C 級岩盤が形成されている。

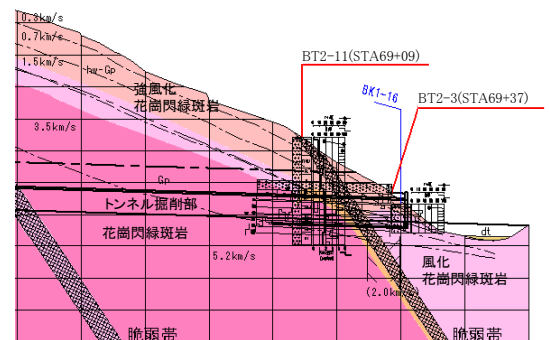
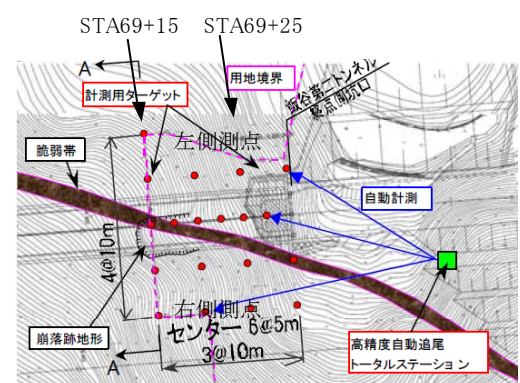


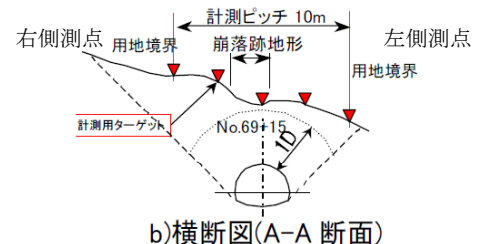
図-1 トンネル坑口付近の地質

3. 3次元計測と管理方法の概要

トンネル断面は掘削幅が約 12m (1D) であり、発破による掘削を行っている。図-2 には自動追尾 3 次元計測システムの計測状況を示した。計測範囲は STA69+15～STA69+45 の 30m の範囲で、トンネル中心から左右 20m まで 5m～10m 間隔に地表面にターゲットを設置して高精度トータルステーションにより一定時間間隔で計測している。脆弱帯付近の斜面の挙動を常時監視し、迅速に対応することを目的とした。計測管理にあたっては、変位速度に対して段階毎の対応策を事前に決定している。



a) 平面図



b) 横断面図(A-A 断面)

図-2 3次元計測の計測地点

4. 計測結果

図-3 には STA69+15 地点と STA69+25 地点におけるトンネル中心上の沈下量を示した。切羽までの距離（トンネル中央で計測地点直下の切羽までの距離、到達前を負符号）が 5m～10m 以下に接近すると沈下が見られる。STA69+25 の方が沈下が早く始まり、最終的に 10mm 程度の沈下量となっている。この 2 地点の沈下には土被りの大きさによる違いが見られる。

図-4 と図-5 にはトンネル左右 10m 地点の水平変位を示した。

キーワード：3 次元計測、自動追尾、斜面、応力変形解析

連絡先：〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2 (株)奥村組 森田修二 (TEL) 06-6625-3980 (FAX) 06-6621-9315

トンネル進行方向（図-2 平面図の右方向）に向かって左右を定め、変位は左方向を正としている。沈下量と同じくトンネル切羽までの距離が 10m 以下で一定の変位が見られる。右測点は左方向へ変位し、左測点は右方向へ変位しており、いずれもトンネル中心方向に変位している。左右を比較するとやや左方向（正）への偏りが見られ、斜面の傾き（左傾斜）に影響を受けていることが分る。図-4 と図-5 を比較すると、STA69+25 の変位が約 2mm 大きく、土被りが STA69+25 の方が小さいことが影響していると考えられる。

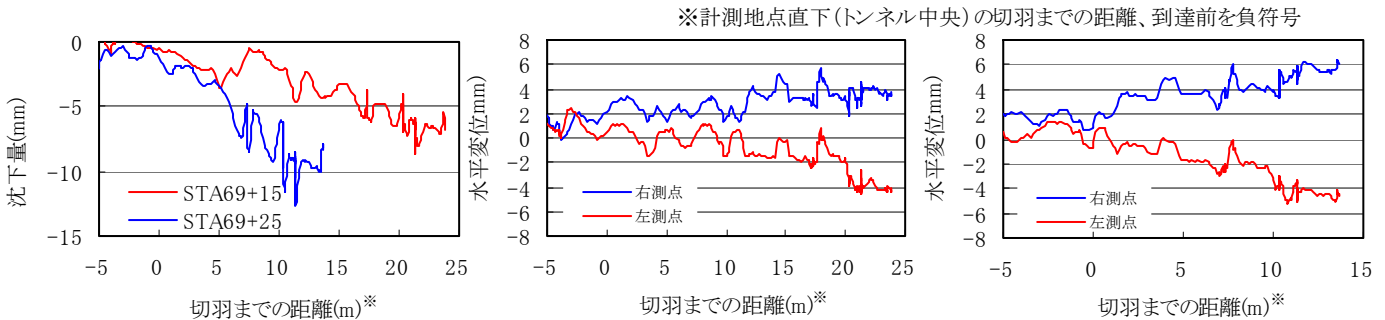


図-3 トンネル中心の沈下量

図-4 トンネル左右の水平変位(STA69+15)

図-5 トンネル左右の水平変位(STA69+25)

5. 解析結果

図-6 には解析に用いた要素分割を示した。解析領域はトンネル軸方向に 100m (STA68+50～STA69+50)、トンネル軸直角方向に左右 100m、鉛直方向には DL+20m (トンネル下端から約 15m) から DL+90m (地表面) までとした。地質状況を参考にして、地層区分は地表面から約 10m で分割し、物性値を以下に設定した。

表-1 解析に用いた物性値

	岩級区分	変形係数 (kN/m^2)	ポアソン比	単位体積重 量(kN/m^3)
地表面～-10m	D, CL	1.0×10^5	0.25	25
-10m～	CL	1.0×10^6	0.25	25

また、トンネル支保工（吹付コンクリート、アーチ支保工、ロックボルト、注入式フォアパイリング）は鋼材やコンクリートの剛性を評価してトラス要素としてモデル化した。なお、これらトラス要素にはコンクリートの構造解析でよく用いられる埋込鉄筋要素を用いた。

図-7 には計測地点と同じく STA69+15 と STA69+20 における沈下量を示した。解析では切羽の離隔が 2D（約 25m）程度に接近すると沈下が見られる。また、計測値と比較するとやや沈下量は小さいが、計測地点での土被りによる沈下量の相違や沈下の現れる位置関係は同様の結果である。図-8 には STA69+15 における左右 10m 地点の水平変位を示した。トンネル中心方向へ変位する傾向や左方向に偏る傾向も見られるが、変位量は計測値に比べて小さい。なお、解析では支保工の効果も定量的に評価できている。

6. あとがき

本報告では、トンネル坑口の斜面における 3 次元計測の結果を示したが、地盤変位はトンネル掘削と斜面地形を反映したものであった。今回の弾性解析で地盤挙動を評価できており、現地では弾性的な挙動を示す安定した状況と推測できる。また、計測管理の対象とした変位速度は小さく、安全に施工が行われており、情報化施工における有効な管理手法と考えられる。

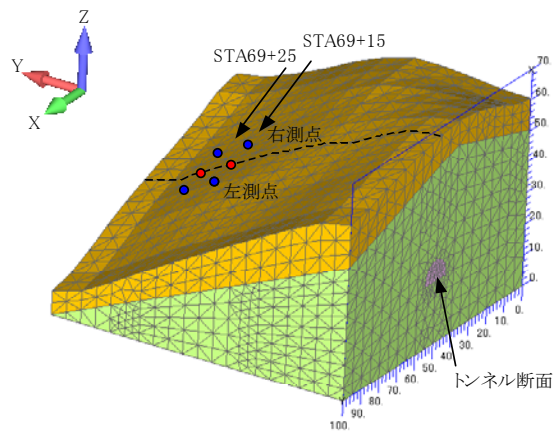


図-6 応力変形解析に用いた要素分割

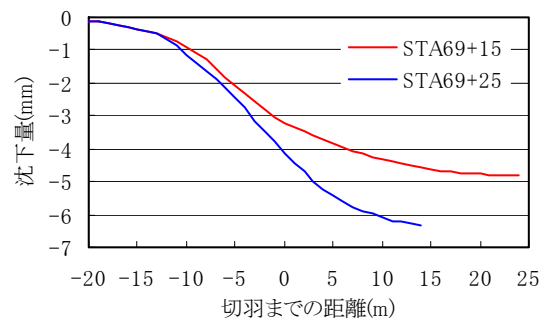


図-7 トンネル中心の沈下量

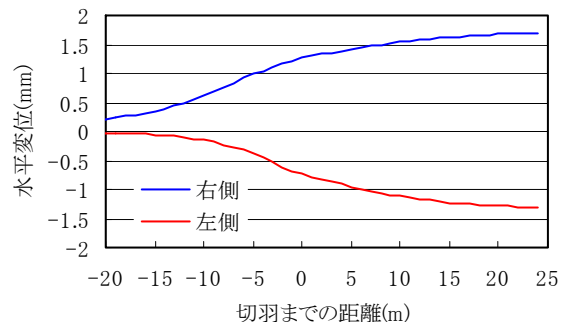


図-8 トンネル左右の変位(STA69+15)