

東北中央自動車道栗子トンネル（山形側）工事 における国道 13 号直下のトンネル掘削について

高橋義政¹・牛田久雄¹・坂見忠政¹・鷹嘴智司²・植岡民幸³

¹正会員 三井住友建設㈱東北支店栗子トンネル（作）（〒992-1122山形県米沢市万世町梓山字下川原445-2）
E-mail: tadamasasakami@smcon.co.jp

²正会員 三井住友建設 本店 土木技術部（〒104-0051 東京都中央区佃2丁目1番6号）

³国土交通省 東北地方整備局 福島河川国道事務所。（〒980-8584 福島県福島市黒岩字榎平36番地）

坑口から国道13号直下までを土被り10m（1D以下）で通過し、地層は固結度の低い段丘堆積物が分布していた。小さい土被りでの掘削時の地山挙動監視と的確な対策工の選定が必要とされ、地山物性値の推定、管理基準値の設定、地山の緩みを抑制し早期安定化させる工法を考えた。坑口から50m区間をトライアル区間と位置付け、計測結果をもとに2次元FEM解析を行い国道直下区間の管理基準値を設定した。計測工Aに加え、地中沈下測定、地表面沈下測定を自動計測し緊急通報システムで監視した。掘削はミニベンチ工法とし、高強度吹き付けコンクリートによるインバート早期閉合で路面沈下抑制とAGFと注入式長尺鏡ボルトを採用し、先行緩みを抑制し、切羽の安定を確保し、無事に通過することが出来た。

Key Words : Road subsidence, measurement, management standard value, [kuriko] tunnel, Yamagata

1. はじめに

東北中央自動車道栗子トンネル（山形側）工事は、福島県福島市の福島JCTから山形県米沢市の米沢IC間L=28.6kmにおいて、福島県と山形県の県境に位置している延長L=8,972mの山岳道路トンネルである。栗子トンネル（山形側）工事は山形県側L=3,826mの内、1期工事L=1,520mを施工している。東北中央自動車道栗子トンネルは、山形側坑口から50～110m間において国道13号直下を土被り10mで通過する。

当該区間には固結度の低い土砂が分布しており、トンネル掘削時には許容値を上回る路面沈下や変状の発生し、国道の通行に影響を及ぼすことが懸念された。このため、国道直下の手前である坑口部から50m間をトライアル区間と位置づけて計測および解析を実施し、その結果を国道13号影響監視区間（国道直下）の掘削に反映させることで路面沈下を許容値以下に抑制して通過することができた。本稿では、国道13号直下のトンネル掘削における計測および施工について報告する。

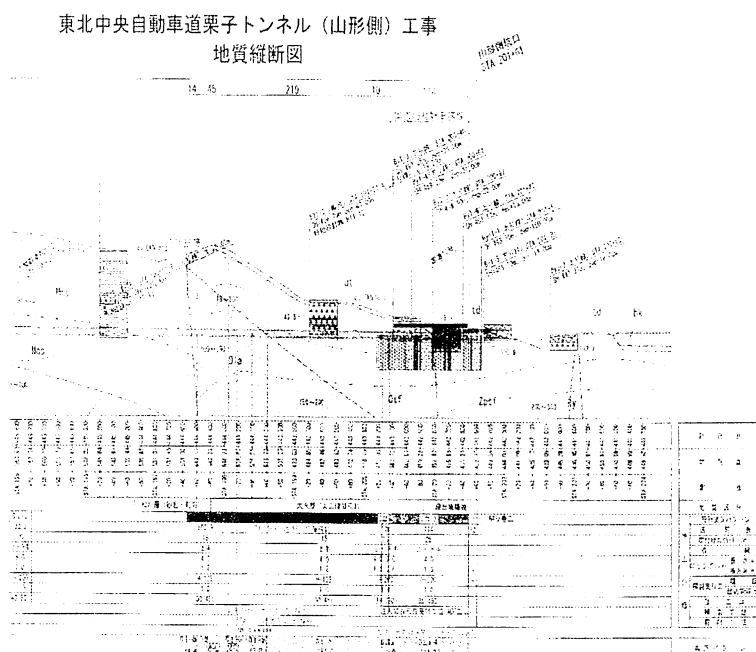


図-1 栗子トンネル地質縦断面図

2. トライアル区間の施工と管理基準値の設定

国道13号直下を通過する際に適切かつ迅速な対応を講ずるために、山形側坑口から50m間をトライアル区間と位置づけて、トンネル掘削時の計測結果と事前解析結果の検証を行い、その結果を坑口から50～110m間の国道13号影響監視区間の施工に反映させることとした。

(1). 路面沈下の管理基準値

- 以下の考え方で設定する。 1) 2) 3)
- ①FEM 解析の結果 13mm 管理レベル I
 - ②地山の崩壊に基づく算定値に国道 13 号という重要性を考慮し、安全率を (sf=2.0) とし
55/2=28mm 管理レベルⅢ
 - ③管理レベル I と管理レベルⅢの中間値
(13+28) /2=21mm 管理レベルⅡ
 - ④路面の走行性などから定めた沈下量 30mm (10m 間)
沈下差 (@ 5m) 各レベル 10mm 20mm 30mm
 - ⑤天端沈下は全沈下量の概ね 50%であることから、路面沈下の管理基準値の 50%とした。
 - ⑥地中連続沈下測定は路面下部約 2 m 付近に配置したことから、路面沈下量と等しくした。
- 以上より、トライアル区間の管理基準値を表-2 に示す。

表-1 各種管理基準値設定手法での値

設定手法	許容値：路面沈下
2.2 舗装の保守・管理	30mm(10m 間)
2.3 FEM 解析	13.3 mm (先受け工対策時)
2.4 地山の破壊に基づく	55 mm (極限值)
2.5 施工事例	10～90 mm

表-2 トライアル区間の管理基準値

管理 レベル	路面沈下 mm	沈下差(@5m) mm	天端沈下 mm	地中連続 沈下 mm	備考 (安全率他)
I	13	10	7	13	FEM 解析結果
Ⅱ	21	20	11	21	管理レベルⅠとⅢの中央値
Ⅲ	28	30	14	28	= 極限值/SF=55/2.0
備考	極限沈下:55mm	維持修繕基準 段差:30mm	路面沈下 ×50%	路面沈下 に同じ	

(2). トライアル区間の計測と施工方法

天端沈下および内空変位測定等の計測工 A に加えて図-23 に示すように、地表面沈下測定（横断方向 写真-1）地中沈下測定（坑外 写真-2）を実施した。トライアル区間の施工では、図-2 に示すように先受け工（AGF）⁴⁾ および注入式長尺鏡ボルト（F-S 鏡ボルト）による先行緩みの抑制、高強度吹付けコンクリートによるインバート早期閉合及びミニベンチ工法など、トンネル掘削による地山の緩みを極力抑える対策を講じた。



写真-1 地表面沈下自動測定器

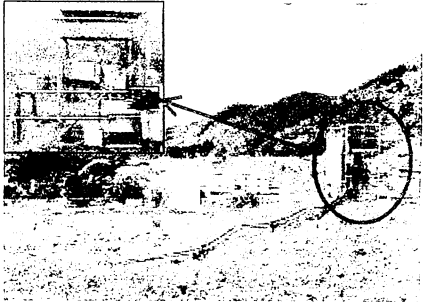


写真-2 地中連続沈下自動測定器

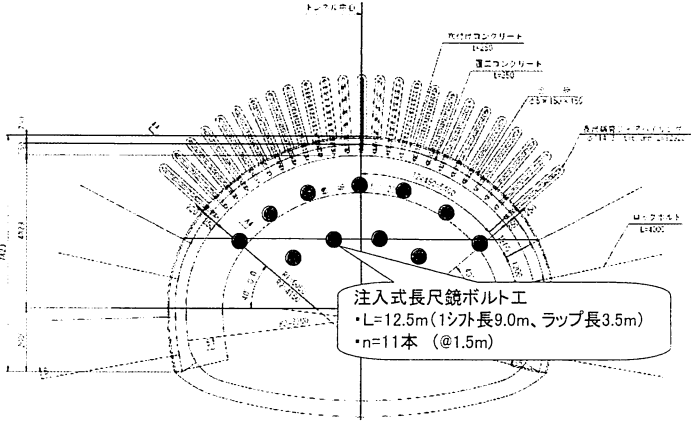


図-2 トライアル区間およびの支保構造



写真-3 高強度吹付けによるインバート早期閉合

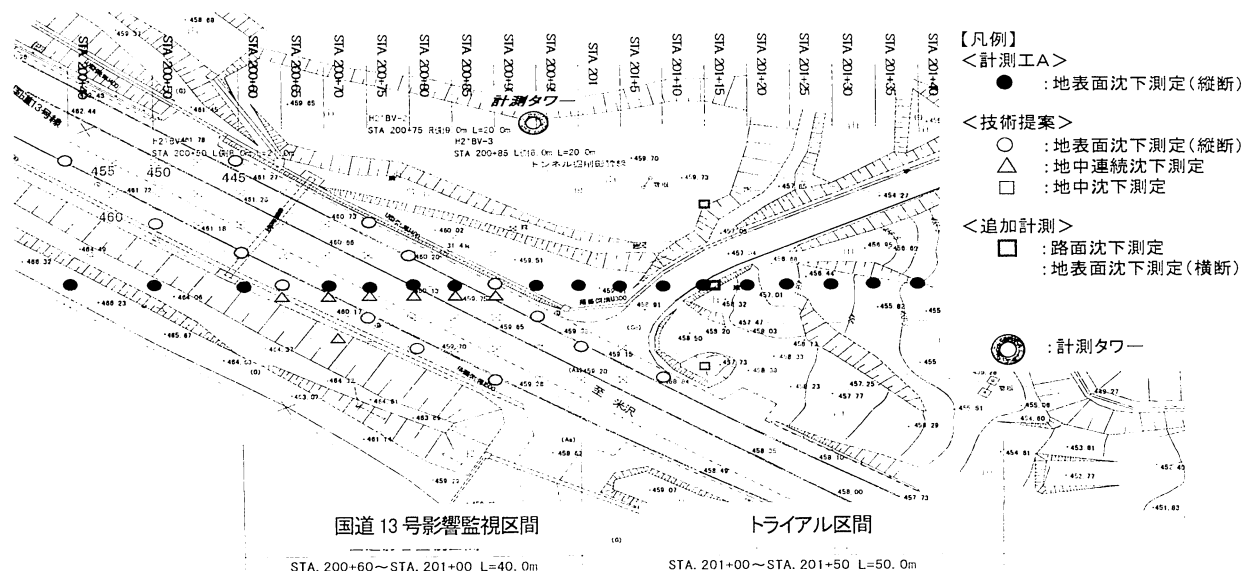


図-3 計測機器配置平面図

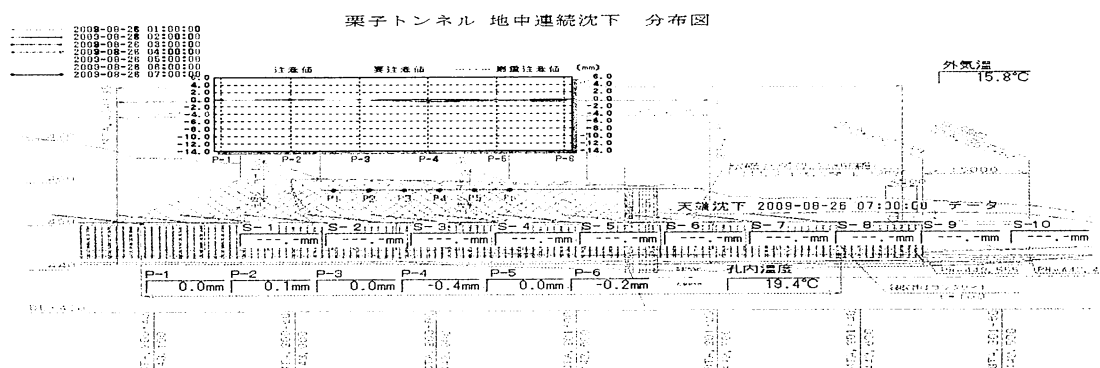


図-4 計測機器配置縦断面図

(3) 解析モデル

当該地点の支保パターンは図-5 に示すように、DIII-Aパターンで先受け工として、AGF 鋼管での先行補強を1シフト9mで施工している。このため、トンネル周辺地山の改良帯を考慮した解析モデルを設定した(図-6 参照)。また、鏡補強工としてF-S鋼管での長尺鏡ボルトを打設している。長尺鏡ボルトの効果は、先行応力解放率の抑制として考慮している(先行応力解放率は通常、40%に対し、20%を採用)。

なお、吹付けコンクリートは技術提案として高強度($\sigma_{cf}=36 \text{ N/mm}^2$)コンクリートを施工しているため、変形係数の向上としても考慮している。

当該地山は非線形性が高いことから、解析は「非線形弾性解析」で行っている。

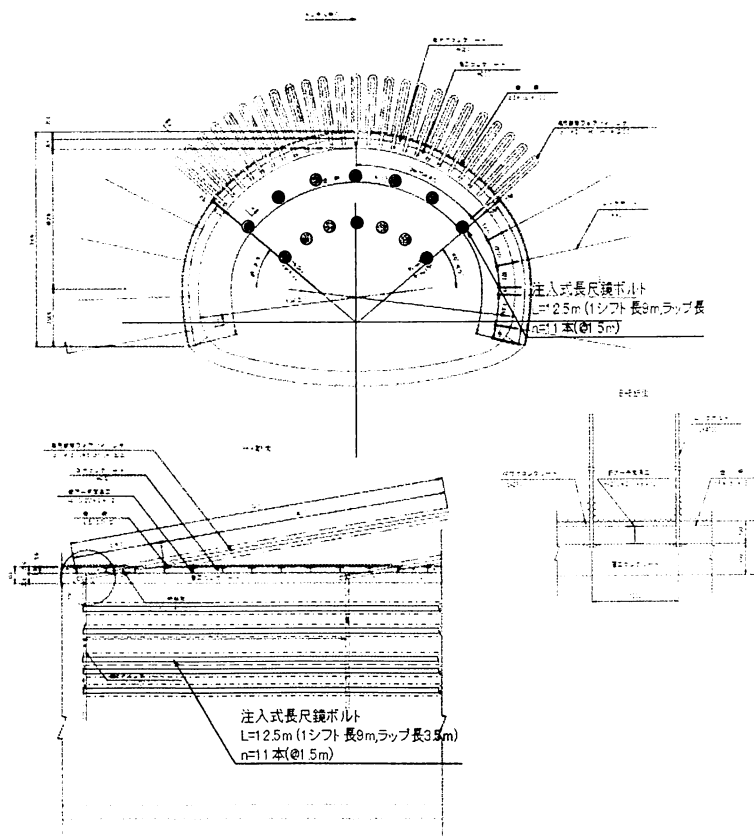


図-5 支保構成及び対策工

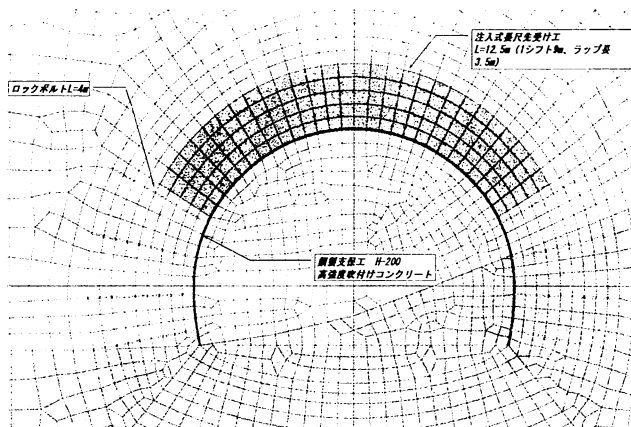


図-6 解析モデル

(4) 地質構造

当該地点の地質構成モデルは、同地点付近の追加ボーリング調査などから得られた新たな地質構成図に基づき設定した。(図-7参照)

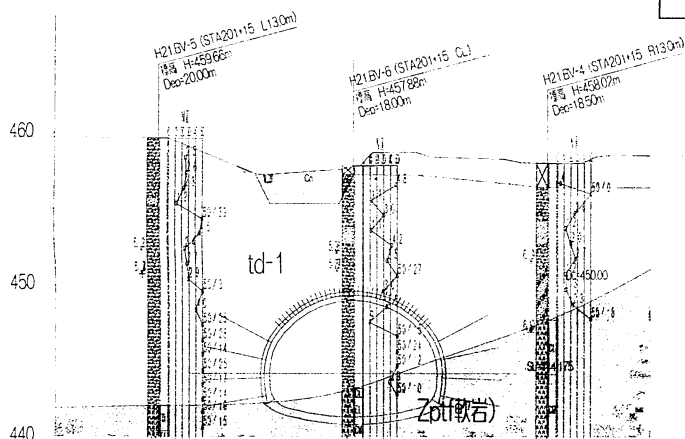


図-7 地質構成図

(5) 解析方法

解析検討は、2次元FEM解析（非線形弾性解析）で行う。

解析ツール：Mr.Soil（CRCソリューション製）

表-3 解析方法

項目		分類
解析手法	解析手法	2次元弾性非線形解析
	モジュール	地山
	モジュール	支保工

(6) 解析結果

トライアル区間の計測データを反映した二次元FEM解析結果は以下の表-4に示す。

表-4 解析結果

	変位図	安全率分布図
断面状況		
計算・考査	①変位図より、最終時で地表面沈下量は18.6mmで、当初設定した管理レベルⅡ（21mm）に近い沈下量が予想される。 ②先受け工により、段丘堆積物層が改良され、地山の安全率が急速に上昇する。 ③支保部材の応力は、強度などを考えると十分に安全側にある。	①AGF施工範囲の安全率はSF2.0以上となっている。 ②td-1層でAGF施工範囲より下方の左上部部においても平均安全率がSF1.0以上の部分がある。これに対しOGF層の右下部で確認されたSF1.0以下の部分は見られた。 ③吹付けコンクリートの応力は、最大1.82N/mm²で、コンクリートの強度（設計強度）に比べて十分余裕がある。 ④鋼管支保工の最大応力は303kNで、吹付けコンクリートと同様にトンネルの安全側に余裕がある。

(7) 解析の結果考察

- ① 最終時で地表面沈下量は 18.6mm で、当初設定した管理レベルⅡ（21mm）に近い沈下量が予想される。
- ② 先受け工により、段丘堆積物層が改良され、地山の安全率が急速に上昇する。
- ③ 支保部材の応力は、強度などを考えると十分に安全側にある。

以上より、トライアル区間の支保構造・対策工（AGF＋F-S 鏡ボルト）を考えると、国道の許容の沈下量に抑制できると考える。また、トライアル区間での FEM 解析から地表面沈下は 18.6mm で当初の管理基準の 13mm より大きい値がでたが、実施工ではミニベンチ工法とインポート吹付けによる早期閉合の効果により、当初の管理基準値（13mm 程度）で管理できたことから、管理基準値はトライアル区間の体制のままとした。

以下表-5 に設定した管理基準値を示す。

表-5 国道 13 号影響監視区間の管理

管理レベル	【国道 13 号影響監視区間】				備考 (安全率)
	路面沈下 mm	沈下差 (@5m) mm	天端沈下 mm	地中連続 沈下 mm	
I	13	10	7	13	安全率 1.5
II	21	20	11	21	第2種IIIとIの中央値
III	26	30	14	26	= 第2種IIIとIの中央値 = 第2種IIIとIの中央値 = 55/2.0
備考	路面沈下: 55mm	天端沈下基準: 30mm	路面沈下: 5.0%	天端沈下: 10mm	

3. 国道13号影響監視区間の施工と計測結果

国道 13 号影響監視区間（国道直下）の支保構造はトライアル区間と同じとし（図-5），機械掘削のミニベンチカット工法で吹付けインバートによる早期閉合を実施し，トンネル掘削による国道路面沈下の抑制を図った。

また，国道 13 号影響監視区間の掘削完了後，切羽を一次休止し，坑奥からインバートコンクリートを打設し，トンネル構造の更なる安定化を図った（写真-4）。地表面および国道路面の沈下は，国道路肩保護盛土部にかかる範囲のトンネルセンター上で最大 18mm（管理レベルⅡ以下）沈下したが，その他の箇所では 10～12mm の沈下に収まり，目視による路面変状等は一切観察されなかった（図-8）。また，規制標識などの構造物にも影響は観られなかった。また，STA200+90 の国道路面沈下 18mm に対して，トンネル天端沈下は 10.5mm（路面沈下の 58%），脚部沈下 8.5mm（同 47%）であった。

以上のことから小さい土被りで国道直下を掘削するにあたり、トライアル区間を設け逆解析から地山物性値を推定した施工について有用な知見がえられたと確信する。

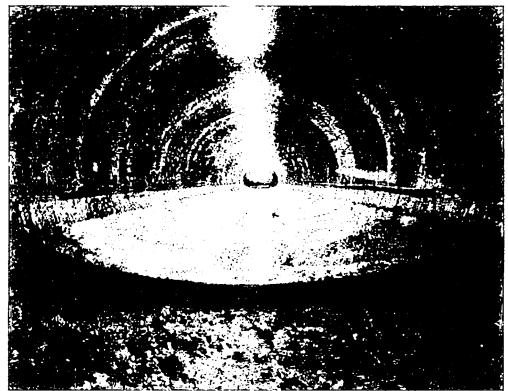


写真-4 インバートコンクリート全景

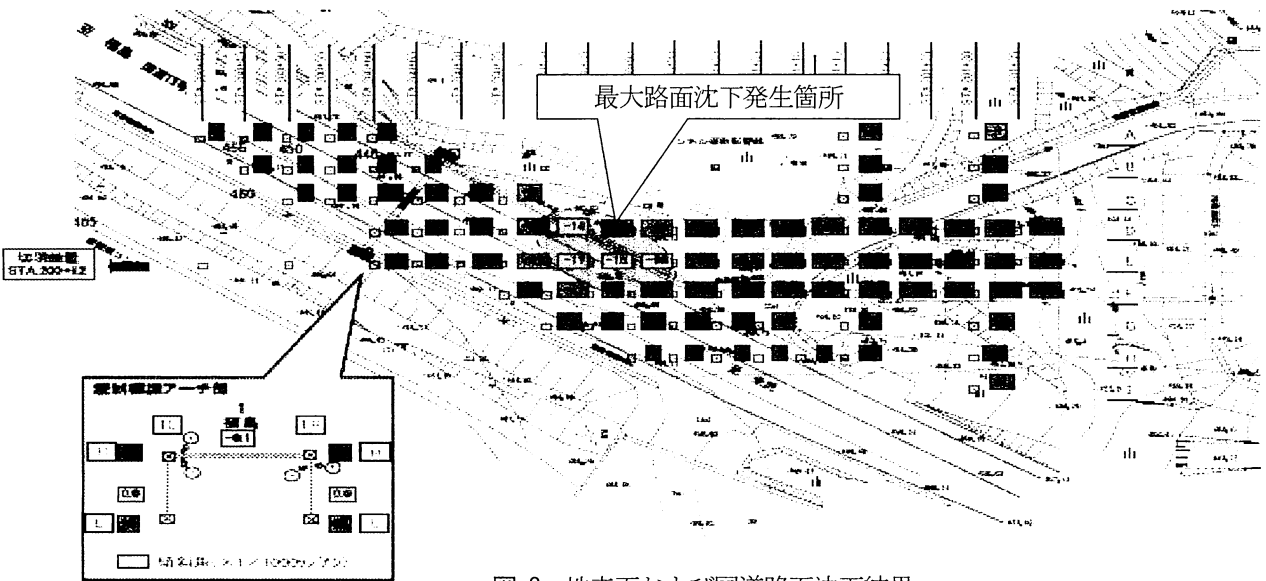


図-8 地表面および国道路面沈下結果

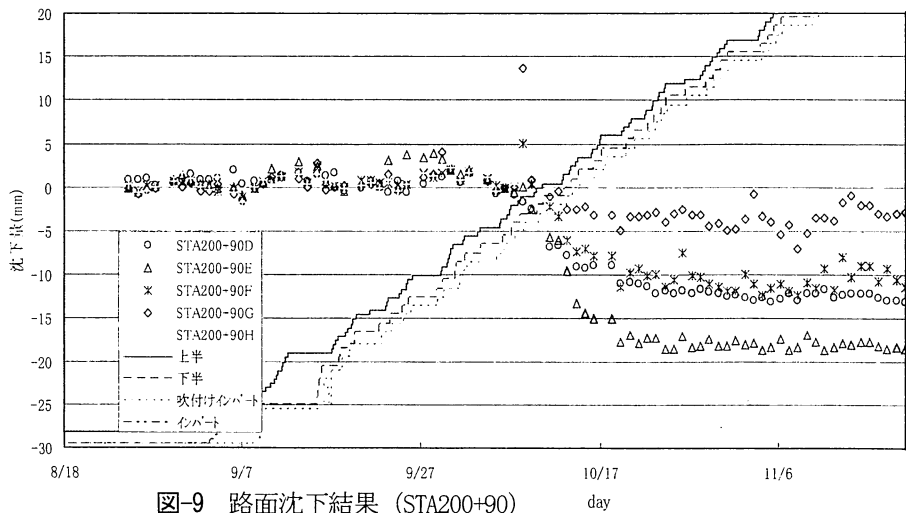


図-9 路面沈下結果 (STA200+90)

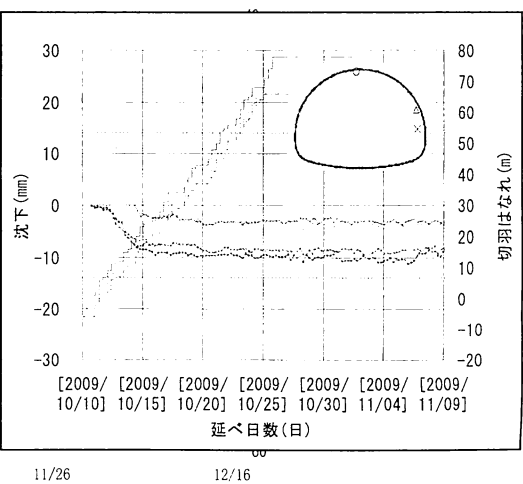


図-10 天端沈下結果 (STA200+90)

4. おわりに

完成すると国内の道路トンネルでは4番目の長さとなる栗子トンネルのうち、山形側を施工する栗子トンネル（山形側）工事では、8月末現在で約650mまで掘削が進んでいる。国道直下以降の施工に関しては、別の機会に発表したいと考えている。本稿が同様の施工に際し、参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針 pp.20-81, 2009.
- 2) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, pp.99-256, 2003.
- 3) 土木学会：トンネル標準示方書 pp188-215, 2006.
- 4) ジェオフロンテ研究会アンブレラ工法分科会：注入式長尺先受工法（AGF 工法）技術資料（五訂版）AGF 工法の考え方とその適用, pp18-237, 2006

ABOUT THE TUNNEL EXCAVATION RIGHT UNDER THE HEAVY TRAFFIC ROAD IN KURIKO TUNNEL (YAMAGATA SIDE)

Yosimasa TAKAHASI, Hisao USIDA, Tadamasa SAKAMI, Satoshi TAKANOHASI
and Tamiyuki NARAOKA

In kuriko tunnel, the low overburden (about 10m) and the soft terrace deposit under route 13 with heavy traffic requires fine measurement of ground behavior and selection of adequate measures around yamagata side portal. The trial section (about 50m long) is installed before the tunnel intersects under the road, control criteria and excavation method are determined through FEM analysis using measurement results of this section. In the section that intersects with the road, automatic measurement and warning system adopted for ground surface measurement and mini bench cut method with steel pipe forepoling and long face bolt selected for tunnel excavaton secures the stability of the tunnel and the safty of the traffic.