

権兵衛トンネルにおける地山変位計測結果に基づく塑性地山の評価

国土交通省 飯田国道工事事務所 田島 功 宮内國一 加納洋二
飛鳥建設 技術研究所 正○熊谷幸樹 正 松元和伸 正 近久博志

1. はじめに

一般国道 361 号権兵衛トンネルは、伊那谷と木曽谷間の中央アルプスに位置する権兵衛峠での交通不能区間の解消に向けて進められている、最大土被り 650m、延長 4,467m の 2 車線道路トンネルである。本トンネルでは、多量湧水と破碎された泥質粘板岩での切羽崩落や支保変状のため、水抜き坑や E パターンを採用して鋭意掘削中である。このような塑性地山でのトンネル施工では、事前調査で得られた地盤情報だけでなく、施工時に得られる計測結果などに基づき、施工方法を鑑みたトンネル支保の設計や施工を行うことが重要である。筆者らは、変形の大きい塑性地山でのトンネル支保や二次覆工の補強方法の設計を行うため、任意方向で三次元の地山変位計測が可能である光学式地盤変位計¹⁾を用いて周辺地山の緩み域を計測する²⁾とともに、その計測結果に基づく二次元弾塑性解析により地山変形およびせん断強度特性の評価を行った。

2. 計測および施工概要

光学式地盤変位計による計測は、図-1 および図-2 に示すように、木曽側坑口より約 960m に位置する先行トンネルから本坑切羽 52m 前方に計測管を水平に設置し、本坑切羽（掘削幅 D=12m）進行に伴う地山変位を先行変位も含めて計測した。また、本坑と先行トンネルでは、同一断面で坑内 A 計測を実施した。

坑内観察記録から確認されている地質および施工状況は、表-1 に示す通りである。当該区間の地質は破碎状の泥質粘板岩が主体であり、本坑切羽での湧水はわずかであった。掘削工法は、インバート吹付け早期閉合による上半先進ミニベンチカット工法であり、インバート吹付け閉合は上半通過後 13 日目に完了した。

3. 計測結果

(1) 本坑の A 計測結果

図-3 に、切羽到達後の本坑 A 計測結果を示す。同図より、上半水平変位はインバート閉合後も切羽進行

キーワード：トンネル，地山変位計測，二次元弾塑性解析，逆解析，せん断強度，光学式地盤変位計

連絡先：〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 TEL：04-7198-7572 FAX：04-7198-7586

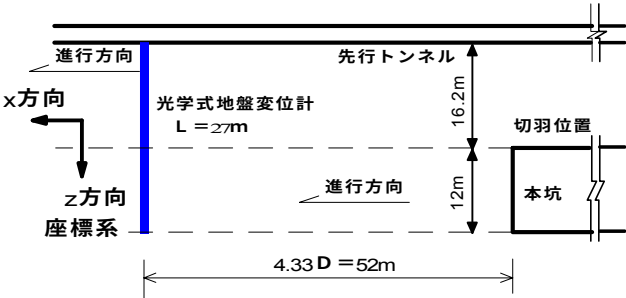


図-1 地盤変位計測平面図

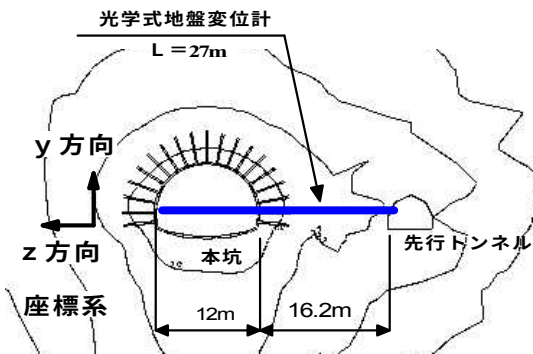


図-2 地盤変位計測断面図

表-1 地質および施工状況

土被り	382m
地質概要	層理、葉理面の発達した泥質粘板岩が主体
掘削工法	早期インバート吹付け閉合による上半先進ミニベンチカット工法
支保パターン	Eパターン
支保部材	鋼製支保工 全周、H-200(高規格) 吹付けコンクリート 全周、t=250mm、鋼繊維補強、 $\sigma_{ck}=27\text{N/mm}^2$ ロックボルト 上下半、L=4m、N=19本
切羽進行	下半通過 上半通過4日後、上半切羽6m インバート通過 上半通過13日後、上半切羽10m

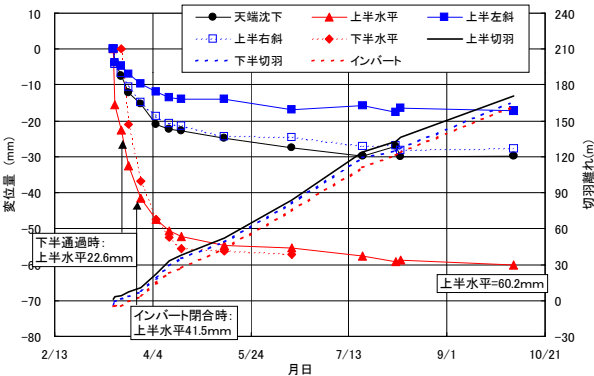


図-3 本坑坑内の A 計測結果

に従って増加し、6月以降は1ヶ月で1mm程度微増する挙動を示し、計測最終時点で約60mmとなった。

(2) 緩み域の計測結果

図-4に、先行トンネルと本坑間のz方向伸縮量について、初期測定からの累積伸縮量分布を施工段階毎に示す。同図より、本坑切羽到達2.4D手前の時点では伸縮量はほとんどなく、切羽到達0.5D以降本坑中心への伸縮が発生していたことがわかる。また、本坑切羽通過後、本坑壁面より4.0m範囲の伸びが近傍の領域に比べて大きいことから、本坑周辺地山の緩み域は、ボルト長と同じ4.0m程度であったと考えられる。

4. 二次元弾塑性解析による地山強度の評価

図-4に示した本坑側壁近傍測点（測定深度-14mで、以下測点Aと呼ぶ）の累積伸縮量から求めた切羽進行と地山変位量の関係を図-5に示す。二次元弾塑性解析による逆解析では、地山物性が一様であると仮定し、図-5に示す計測結果と一致するように地山の变形係数とせん断強度（C、φ）を同定した。表-2に、解析条件と逆解析結果を示す。なお、逆解析では、内部摩擦角は各種試験結果を考慮して25°と設定した。

図-5に、逆解析結果に基づく測点Aの弾塑性解析値を弾性解析値と併せて示す。同図より、側圧係数1.0で内部摩擦角が25°の場合、粘着力0.3N/mm²で弾塑性解析値は計測値を良く再現し、その変形は弾性挙動よりも塑性挙動が卓越していることがわかる。

図-6に、弾塑性解析によるインバート閉合時の地山安全率図を示す。同図より、地山安全率が1.0未満の塑性域は3.5~4.0m以内で収まっており、緩み域計測結果とほぼ一致した。このことから、二次元弾塑性解析により実用上問題なく周辺地山の安定性評価やトンネル支保の設計解析が可能であると考えられる。

5. おわりに

本論文では、光学式地盤変位計を用いた地山変位計測結果に基づく解析的な検討により、本トンネルで遭遇した泥質粘板岩のせん断強度などを明らかにし、支保パターンの妥当性を検証した。今後は、ここで得られた地山物性を考慮して、二次覆工の補強方法などについて合理的な設計と施工に取り組んでいきたい。

【参考文献】1) 松元和伸, 近久博志, 小林薫, 中原博隆, 筒井雅行: CCD カメラを用いた地盤傾斜計の開発, 土木学会第54回年次学術講演会概要集第3部(A), pp.750-751, 1999.9. 2) 松元和伸, 近久博志, 熊谷幸樹: 光学式地盤変位計測システムのトンネルゆるみ計測への適用について, 土木学会第57回年次学術講演会概要集第III部門, pp.1451-1452, 2002.9.

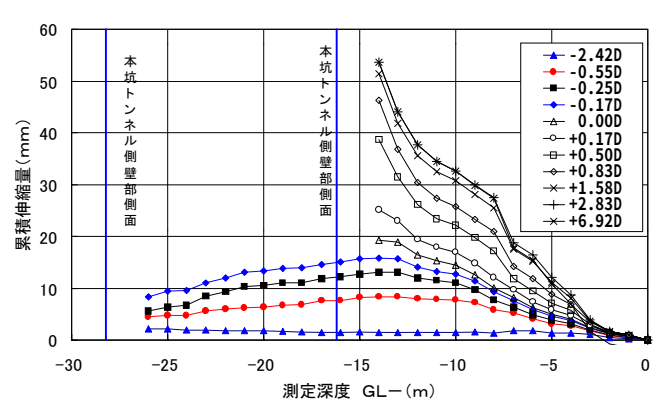


図-4 z方向の累積伸縮量分布図

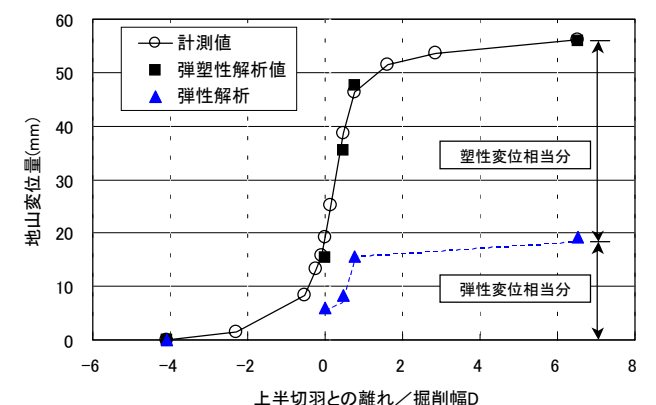


図-5 地山変位曲線（計測値と解析値）

表-2 解析条件と逆解析結果

地山物性				地山のせん断強度		
単位体積重量 (kN/m ³)	変形係数 (N/mm ²)	ポアソン比	側圧係数 Kh	粘着力C (N/mm ²)	内部摩擦 角φ(°)	引張強度 (N/mm ²)
22.5	1147 (同定)	0.35	1.0	0.3 (同定)	25.0	0.1 × C

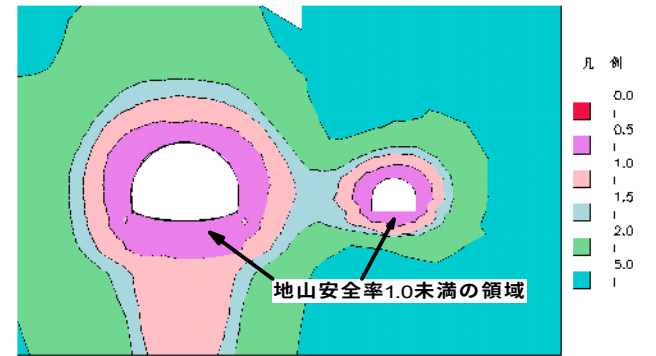


図-6 トンネル周辺の地山安全率図