

環境に配慮して開削工法区間を 山岳トンネル工法に変更した事例

丸山 大三¹・玉澤 隆¹・四方田 雄一²・宇田 誠³・笹尾 春夫⁴

¹東日本高速道路(株) 関東支社 宇都宮工事事務所 (〒321-0954 栃木県宇都宮市元今泉3-22-1)

²アジア共同設計コンサルタント (〒321-0954 栃木県宇都宮市元今泉3-22-1)

³正会員 鉄建建設(株) 土木本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

⁴フェロー 博(工) 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

北関東自動車道足利中工事北郷トンネルは下り線685m, 上り線678mの高速道路トンネルである。中間部の小土被り区間では開削工法での施工を予定していたが, 進入路となる工事用道路が狭く, 民家に非常に近接しているために安全と騒音・振動の問題が懸念された。更にこの沢部周辺は, 猛禽類(サンバ)の営巣地域であり, 工事による影響が問題であった。そのため, 上り線トンネルを工事用道路として中間部に盛土を施工し, その中を山岳トンネル工法で掘削することに計画変更した。結果として, 当初予定していた民家に隣接して通過する工事用道路を使用しなかった事で, 安全と騒音・振動に関してほとんど問題なく, 環境負荷低減効果を達成できたと言える。また, 猛禽類への影響についても一定の効果があったと考えられる。

Key Words : environment, raptors, small overburden, embankment, soil cement

1. はじめに

北関東自動車道は, 群馬県高崎市から茨城県ひたちなか市に至る延長150kmの高速道路であり, 現在, 太田桐生～佐野田沼ICの建設事業を行っている。そのうち, 足利中工事は, 栃木県の南側, 群馬県との県境付近の足利市に位置し, 北郷トンネル区間(下り線685m, 上り線

678m)と明かり区間(1,079m)で構成される全長1,764mの工区である。

北郷トンネルは, 終点側坑口から約460mの中間部で土被りが無くなり, トンネル天端部が地表面に出る形で沢部を横断する(図-1)。当初計画では, この沢部で約60m区間の開削工法での施工を行った後, 再び約160mの

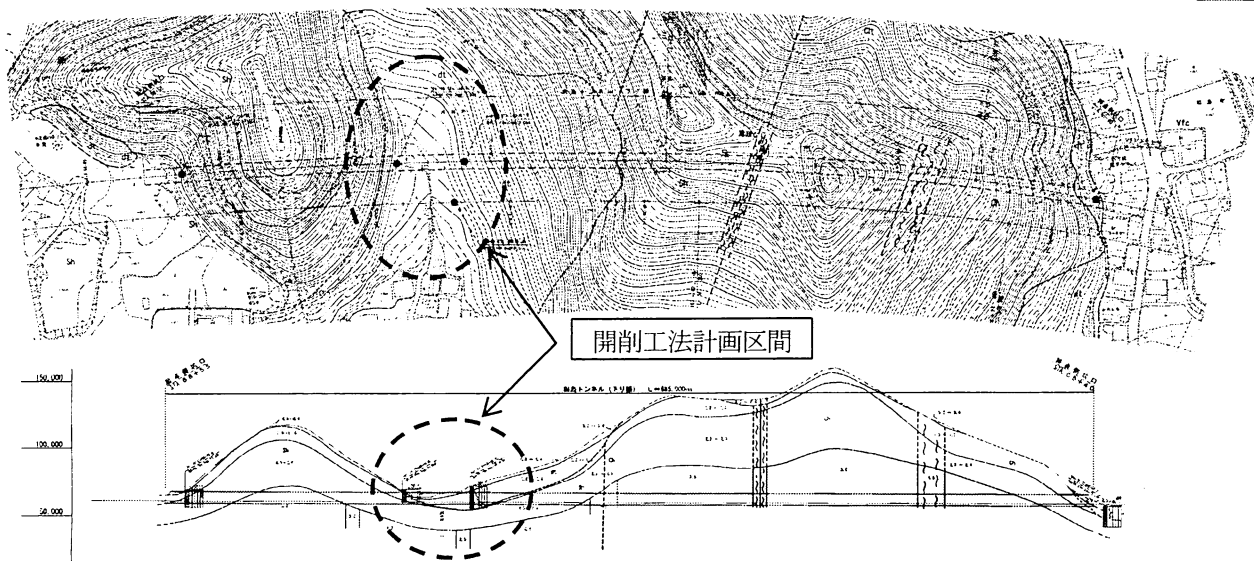


図-1 北郷トンネル(下り線)平面/縦断面図

トンネル掘削を行い、起点側に到達する計画であった。

中間部の開削工法区間(沢部)は進入路となる工事用道路が狭く、民家に非常に近接しているため、工事用車両の通過時に安全と騒音、振動の問題が懸念された。更に、この沢部周辺は、猛禽類(タカ科のサシバ)の営巣地域であり、工事による騒音、振動が及ぼす影響が問題であった。また、この沢部には上り線トンネル(下流側)の下方10mまでN値20以下の軟弱層が分布しているため、トンネル支持地盤の地耐力不足が懸念された。

2 当初計画

(1) 計画概要

当初計画のアーチカルバートによる施工は、経済的に最も有利であるとの判断で採用したものであり、カルバートの構築に先立って、浅層改良工により地耐力を確保した後、アーチカルバートを組み立て、埋め戻しを行う計画であった(図-2、図-3)。

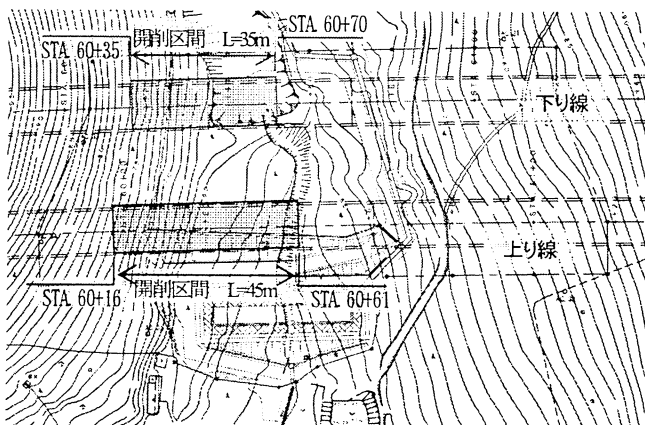


図-2 当初計画平面図

(2) 当初計画の問題点

当初計画は、実施工段階において以下に列記する問題が発生し、施工上、有利な工法でないと判断し、環境に配慮した施工方法の再検討に入った。

①公道から中間部への進入路が狭く、工事用道路として使用するには安全、環境上無理がある(写真-1)

②工事用道路の迂回路(起点側から中間部への迂回路の約200m)設置も起点側の用地的な問題から、事実上設置不可である。

③猛禽類の営巣場所であることが判明したため繁殖期の明かり工事が制約される。

3. 計画変更

(1) 変更の概要

周辺環境への負荷低減が最大の課題となったため、中間部における山岳トンネル工法の採用が最良と考えた。開削工法から山岳工法に変更(図-4)することにより、前述の当初計画における問題点が以下のように解決すると考えられた。

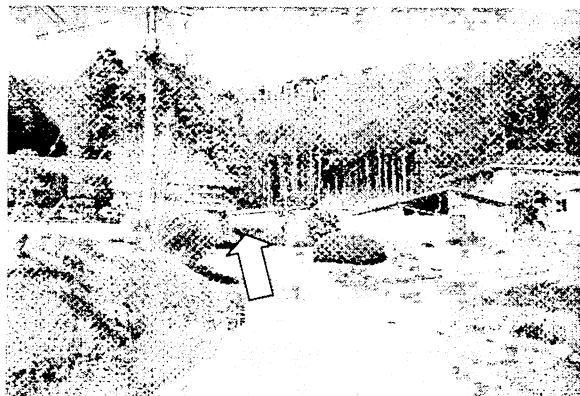


写真-1 中間部の状況

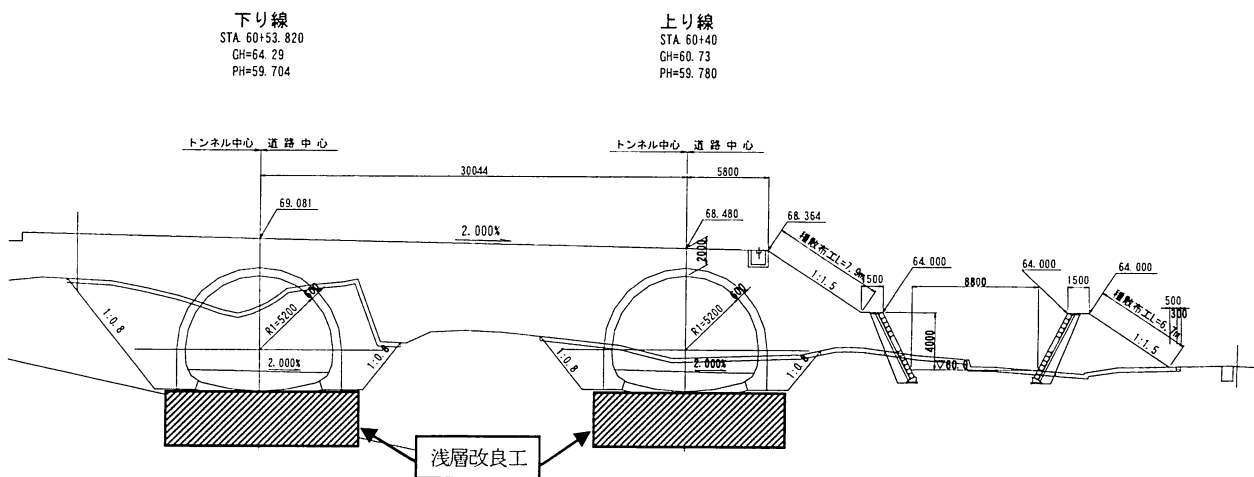


図-3 当初計画断面図

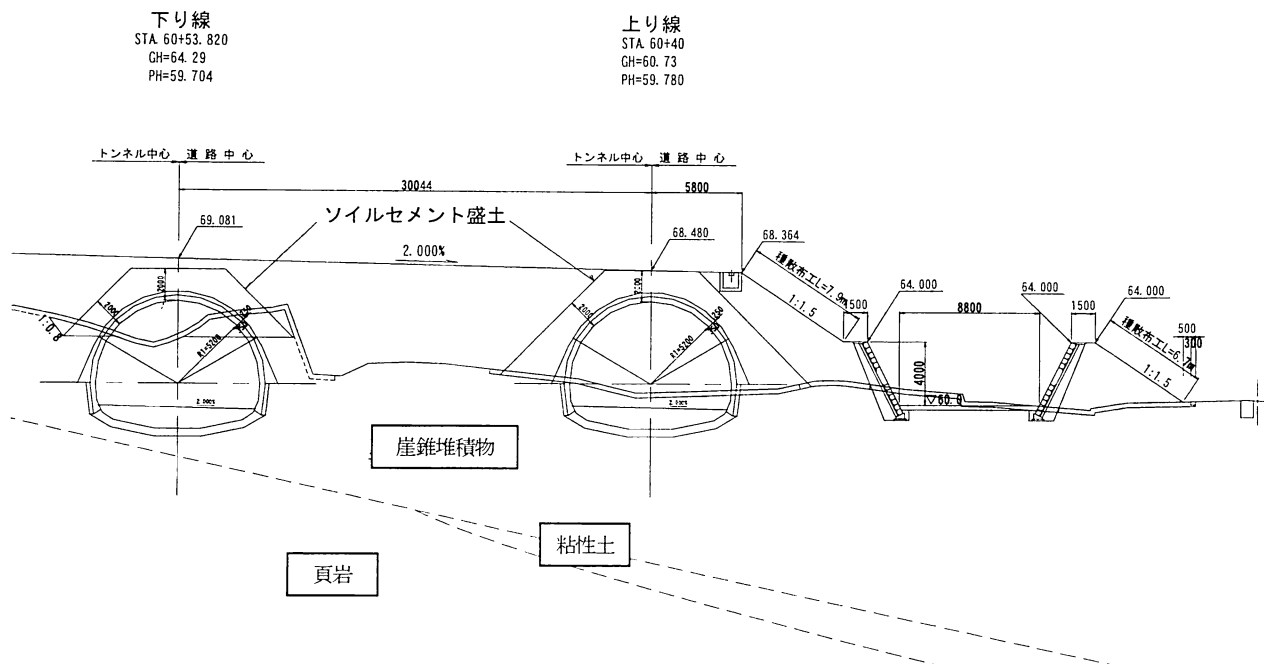


図-4 変更計画断面図

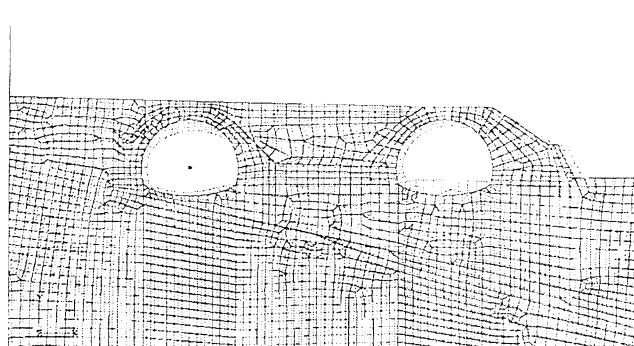


図-5 解析結果 (変位分布図)

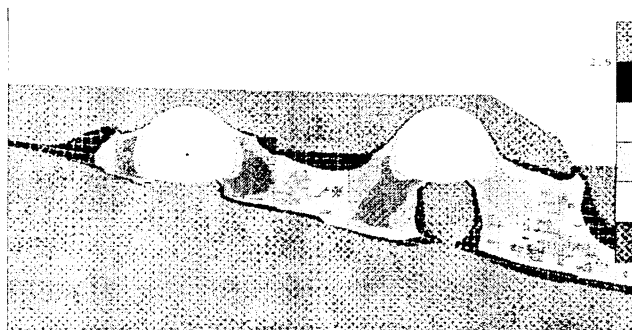


図-6 解析結果 (安全率コンター図)

③猛禽類への影響については、明かり工事の工程上、繁殖期の作業制約期間を外すことができる。

(2) 数値解析による検討

山岳トンネル工法に変更した場合、工法上、地盤支持力についての規定がないため、明かり工事において実施する予定であった浅層改良工は不要となった。その場合、N値20以下の地盤上にトンネルを構築するための検証が必要になった。解析は二次元平面ひずみモデルによる線形有限要素法プログラムで行った。解析断面および解析モデルは、下り線STA60+58.32、上り線STA60+40の断面を対象として作成した。解析領域は、技術資料¹⁾を参考に、水平方向4D、鉛直下方3Dとした。

地盤、改良体の入力物性値は、事前の地質調査資料やマニュアル²⁾を参考にして決定した。支保部材の入力物性値は、マニュアル³⁾に示されている値に準拠して定めた。なお、支保部材の仕様は、吹付けコンクリート $t=250\text{mm}$ 、鋼製アーチ支保工H-200、インバートコンクリート $t=500\text{mm}$ とした。

(3) 解析結果

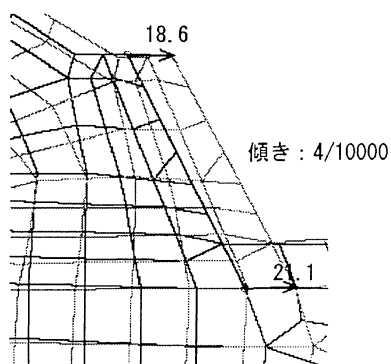


図-7 トンネル側水路擁壁最終変位 (mm)

- ①上り線トンネルを先行掘削して中間部まで到達させ、中間部施工のための工事用道路とすることにより周辺民家への騒音、振動の問題を低減することができる。
- ②山岳トンネル工法に変更することにより、当初計画のアーチカルバート構築工と埋め戻し工が大規模土工のみに変更出来ることになり、明かり工事の工期を短縮し、環境負荷を低減できる。

変位分布図(図-5)を見ると、トンネル全体が右側方(谷側)に変位している。地表面沈下はトンネル直上のみが沈下し、沈下領域の側方への拡がりは小さくなっている。また、上り線部分では、インバート下の隆起が大きくなっている。なお、トンネルの側方変位は2.3mm、天端沈下は9.5mmであった。

解析におけるトンネル周辺地山の安全率は、概ね1.0以上が確保されているが、改良体下部から下半側壁部にかけて1.0以下の領域が部分的に形成され、脚部下方部にも広がっていたため、掘削時の側壁部の肌落ちや脚部沈下の発生が懸念された。

また、トンネル側水路擁壁の最終変位を図-7に示す。解析による擁壁の傾きは、一般的なコンクリートブロック建造物の許容変形角2/1000に比較して十分小さく、安定を損なうことは無いと判断した。

4. 施工

(1) 施工フロー

解析結果より現状の地盤上にソイルセメント盛土を施工することでトンネル掘削が可能であると判断し、当初計画の変更を決定した。施工に当たって、中間部への上り線到達方法、盛土工事、盛土完了後のトンネル閉塞工法および盛土施工後の上下線トンネルの掘削工法の詳細計画を作成した。変更計画の施工フローを図-8に示す。

(2) 上り線トンネルの到達方法と支保

上り線トンネルが中間部へ到達する箇所の坑口処理として、到達箇所から3基の上下半支保工を建て込むが、この3基については、最終的に盛土の荷重が載荷されるため、支保工脚部の崖錐層の支持力不足のため不等沈下の発生が懸念された。そのため、ストラットと吹付けコンクリートによる仮閉合を行った(図-9)。なお、トンネル掘削に当たっては、長尺鋼管フォアパイリング工法(ウレタン系シリカレジン注入)による天端部の補強を

行った。

(3) 盛土工とソイルセメント盛土

中間部の盛土量は約20,000 m^3 であり、主に下り線トンネルの掘削ずりを盛土材として使用した。その際、トンネル周辺部の6,000 m^3 については、解析結果によりソイルセメント盛土を採用した。盛土材として使用したのは土砂状のチャートで、現場強度1.0 MN/m^2 、目標強度1.25 MN/m^2 として配合を検討した結果、高炉セメントB種を使用し、セメント添加量は182 kg/m^3 とした。図-10に断面図を示す。盛土部のトンネル掘削を行う際、土被りが約2mと非常に小さいため、天端部の崩落を防ぐために

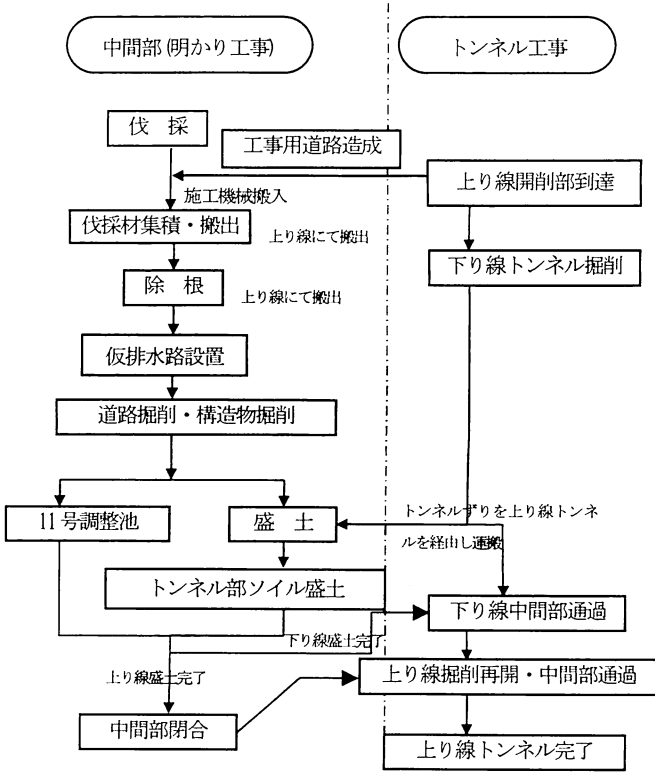


図-8 施工フロー

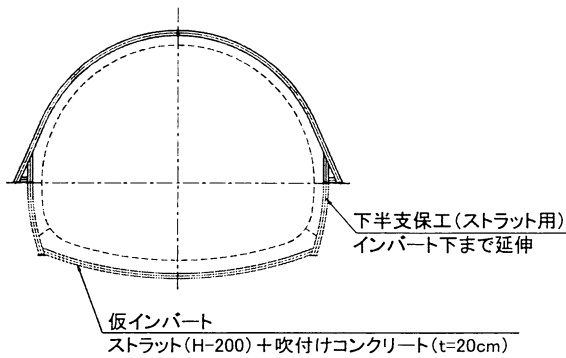


図-9 仮インバート断面図

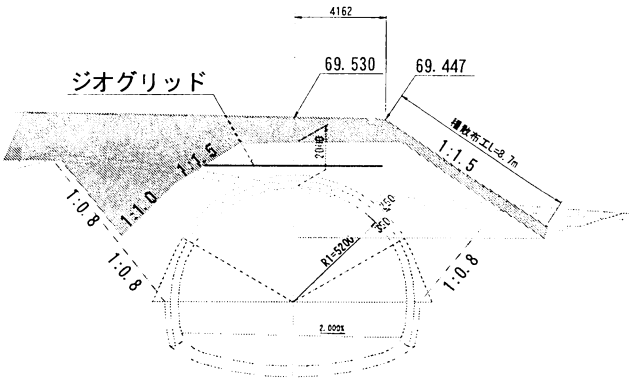


図-10 トンネル周辺盛土断面図

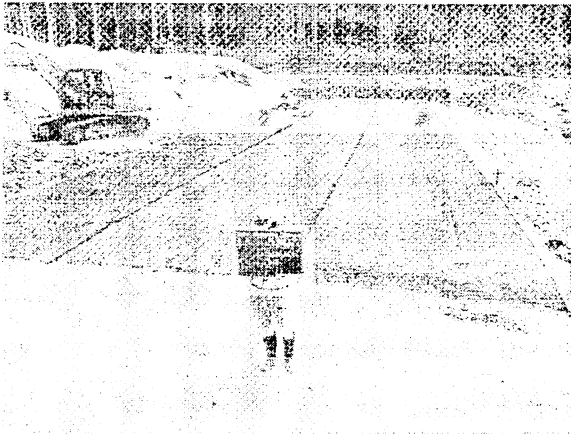


写真-2 ソイルセメント盛土とジオグリッド

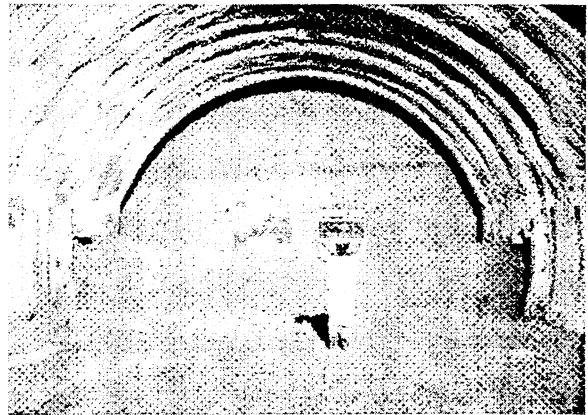


写真-3 下り線STA60+60付近切羽状況



写真-4 上り線STA60+41付近切羽状況

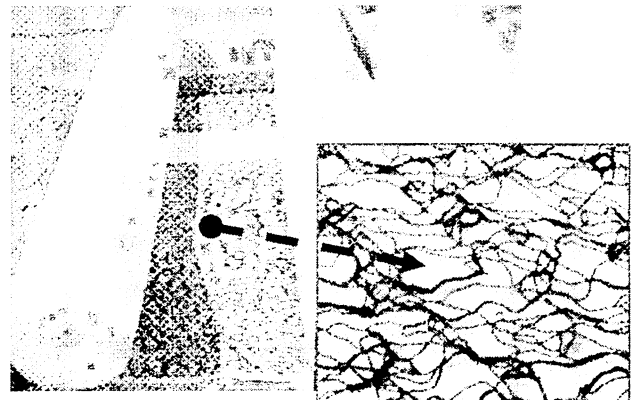


写真-5 高排水性能防水シート

表-1 変位量

計測位置	上り線 STA60+25 mm	下り線 STA60+65 mm
天端沈下	19.8	24.7
脚部沈下（左）	20.3	23.7
脚部沈下（右）	18.2	17.5
水平（上）	-2.7	2.6
水平（下）	3.8	6.4
地表沈下	27.0	36.0

盛土補強材（ジオグリッド，17kN/m）をソイルセメント盛土天端より1m下の位置に2層敷設した。写真-2にソイルセメント盛土とジオグリッドの状況を示す。

(4) トンネル掘削

盛土区間の下り線トンネルは，ソイルセメント盛土が完了してから約1ヶ月後に掘削を行った。掘削は，補助ベンチ付き全断面掘削工法で，大型ブレーカー（1.3t級）を使用した機械掘削を採用した。掘削時，ソイルセメント盛土部は安定しており，切羽の状態は良好であった。また，天端部は，ジオグリッドの効果により抜け落

ち等の変状は発生しなかった。写真-3に切羽状況を示す。

また，上り線トンネルは，下り線が起点側に貫通後，掘削を再開して中間部を突破した。こちらも下り線同様，安定した地山状況の中を掘削することができた。写真-4に切羽状況を示す。

(5) 計測結果

中間部掘削中の地山は非常に安定しており良好であった。最大変位が発生した断面の変位量を表-1に示す。この表からわかるように，内空変位は少ないものの沈下量は比較的大きく，またトンネル全体が共下がり状態になり，沈下は地表部までおよんでいる。ただし，インバート完了後には変位は収束した。計測値は解析結果の倍程度の値になったが，トンネルの安定に問題はなかった。また，トンネル側水路擁壁の変位はほぼ0であった。

なお，トンネル内の計測値が解析値より大きくなった原因として，盛土部の地盤と支保の物性値の設定に問題があったものと想定される。今後，同様の解析を行う場合の検討事項と考えられる。

(6) 防水処理工

トンネルの中間部は沢地形であり，トンネル土被りが約2mと小さいことから降雨時の地下水の浸透が懸念さ

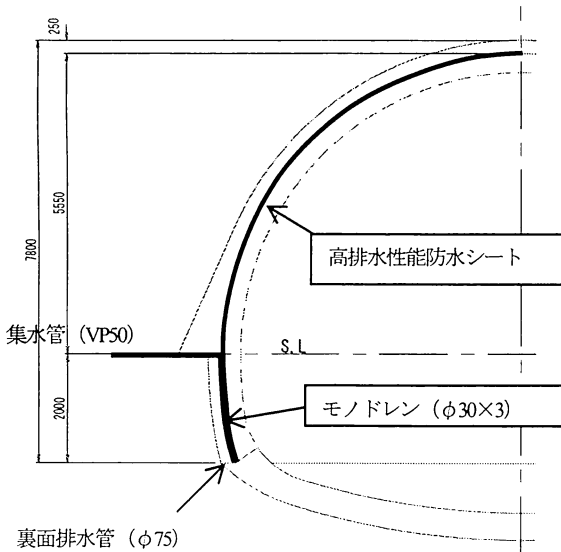


図-11 防水処理工横断図

れた。集中的な降雨の場合、通常の防水工および排水工では排水が間に合わず、覆工コンクリート背面に湛水する可能性があり、水圧が外力として覆工に作用し、トンネルの安定を損なう恐れがある。

そのため、最も地下水の影響を受けやすい沢部上流側の下り線トンネル区間60mでは、高排水性能防水シート(立体網状体付き防水シート、写真-5)を施工し、防水対策を行った。さらに、トンネル周辺に湛水しないように、トンネル両側に2m間隔で集水管(L=2m)を施工し、それを排水材(モノドレン、φ30×3)に接続することにより排水することとした(図-11)。

上り線トンネルでは施工時の湧水が多かった区間(L=17m)で高排水性能防水シートを使用した。シートの仕様を表-2に示す。

5. 周辺環境への影響

民家に近接した中間部への進入路を使用せず、上り

表-2 高排水性能防水シートの仕様

種類	シート厚 (mm)	備考
EVAシート	0.8	NEXCO規定
不織布	3.0	NEXCO規定
立体網状体	5.0	メーカー規定

線トンネルを工事用道路としたことにより、安全、騒音、振動に関してほとんど影響を与えず、周辺住民への環境負荷低減を達成できたといえる。地元住民からの苦情をいただくこともなく、無事に施工を完了できた。

また、猛禽類への影響については定量的な評価は難しいが、少なくとも明かり工事における大幅な施工期間の短縮(大規模盛土への変更による盛土工期短縮、アーチカルバートを施工する期間の削減等)と工程の変更により、一定の効果があつたと考えられ、その後のモニタリング調査で問題無いことが確認された。

6. おわりに

トンネル中間部の小土被り区間において、ソイルセメント盛土を行った後、補助ベンチ付き全断面掘削工法で機械掘削を採用した。また、トンネル中間部は沢地形であることから、防水処理工を実施した。本報告がトンネル関係者の参考になれば幸いである。

謝辞：工事を施工するにあたり、ご協力を戴きました関係省庁、地元の皆様に改めて御礼を申し上げます。

参考文献

- 1)日本道路公団試験研究所：トンネルの標準設計に関する研究報告書、1986。
- 2)沿岸技術研究センター：事前混合処理工法技術マニュアル(改訂版)，沿岸技術ライブラリーNo.34, 2008
- 3)日本道路公団試験研究所：トンネル数値解析マニュアル

CHANGE OF TUNNELING METHOD FROM CUT-AND-COVER TO MOUNTAIN TUNNELING DUE TO ENVIROMENTAL CONCERN

Daizou MARUYAMA, Takashi TAMASAWA, Yuuichi YOMODA,
Makoto UDA and Haruo SASAO

For the intermediate section of Kitago Tunnel with a shallow overburden, the cut-and-cover method was initially planned. However, considering the narrow access road for tunneling and close proximity to residences, issues relating to safety, noise and vibration were anticipated. Because of these issues, the tunneling method was changed. The method chosen was: using the eastbound tube for access for work, make an embankment in the intermediate section, and bore the embankment by the mountain tunneling method. Consequently, the road near the residences was not used for this project, resulting in safe work and less environmental impact, with almost no issues of noise and vibration.