

土砂状に風化した泥質メランジュ地山 におけるNATMトンネルの構築

小松 敏彦¹・北村 秀之²・松原 健³・櫻井 孝臣¹

¹ 前田建設工業株式会社 土木技術部 (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-26)

² 前田建設工業株式会社 国際支店 (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-26)

³ 前田建設工業株式会社 盛岡北山トンネル作業所 (〒020-0011 盛岡市三ツ割4丁目1番100号)

¹ 前田建設工業株式会社 土木技術部 (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-26)

北山トンネルは低土被りで丘陵地帯を貫くトンネルである。延長の50%以上がトンネル径1D以下の土被りとなっており、地表部の土地の利用形態は、家屋、道路、畑地、山林と多様であり地表面沈下や構造物への影響に対して合理的な制御が要求される。地質は土砂状に風化した泥岩主体の混在岩(メランジュ)で地質の予測が難しく、掘削の応力解放による緩みが著しいため、影響の制御をさらに難しくしている。本論文は、切羽前方地山の改良、トンネルの天端部や上半脚部の先行補強など、対策の適切な組み合わせにより、地上の利用形態や構造物に対応した合理的な沈下影響の制御を実施した経緯を詳述するものである。

キーワード：付加体，混在岩，早期閉合，切羽前方地山改良，上半脚部先行補強

1. はじめに

トンネル構築法の一つである山岳トンネル工法は、その合理性、経済性から山岳部のみならず都市部での適用事例が増加している。しかし、その適用にあたっては地下水の処理や地表面沈下、周辺構造物への影響の抑制といった課題が残されている。

現在施工中の北山トンネル工事は、人口30万人を抱える岩手県盛岡市の中央北部に位置(図-1)し、市街地縁辺部の住宅用地と市中心部を結ぶ道路の慢性的な交通渋滞の解消のために計画された都市部バイパストンネルである。

延長は約1km、上下線2本のトンネルからなるが、用地上の制約を受けてトンネルの離隔距離が変化するため、双設、近接、超近接へと構造を変える。トンネルの土被りは2.5~20mでありトンネル径1D以下が延長の50%を占め、低土被りで丘陵地帯を貫く。

NATMによる機械掘削で、ダンプトラックによりズリを搬出する。掘削断面積は上り線100m²、下り線80m²である。2004年8月から掘削を開始し、下り線は2006年7月に上り線は同年11月に貫通した。2007年7月には覆工を全線完了する予定である。

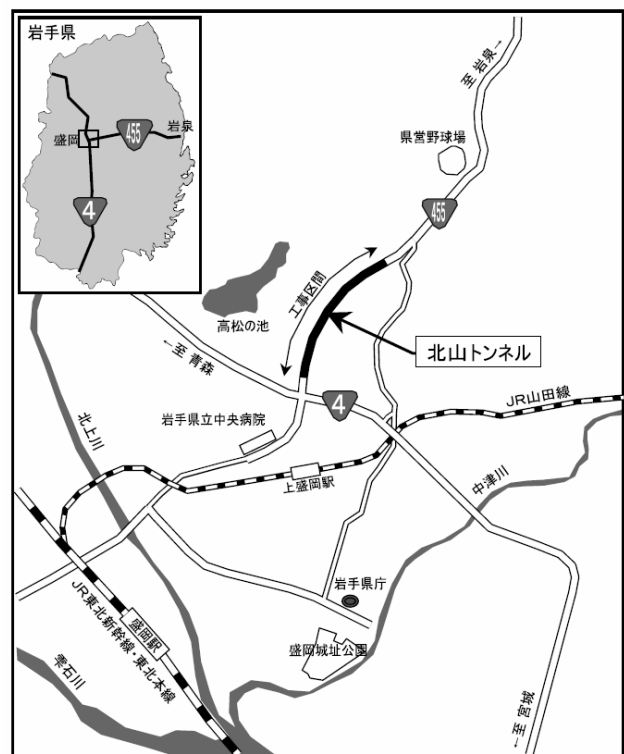


図-1 位置図

2. 地質の特徴

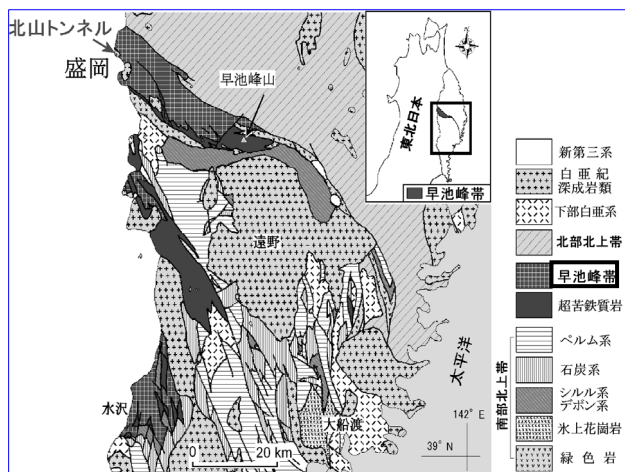


図-2 北上山地の地質構造区分

図-2 に示すように盛岡市近郊は地質構造区分では南部北上帯と北部北上帯の境界部に位置する早池峰帯に属している。また、図-3 の盛岡周辺の地質図では、北山トンネルの位置は早池峰帯の中でも粘板岩と花崗岩類の分布する地域となっている。

早池峰帯は近年地質学の分野において日本列島で最も古い『付加体』の一つであることがわかってきている。

付加体は破断・混在化や変形の程度に応じて整然相、破断相、混在相に大きく区分される。中でも混在岩(メランジュ)は以下のような特徴によりトンネルの設計・施工をより難しくする。

- ・ 生成時に受けた著しいせん断作用に起因する無数の割れ目があり、トンネル掘削時の応力解放により緩みやすく、大きな変状につながることもある。

- ・ 岩石が層を成さず不均質で連続性に乏しいため、その性状がトンネル縦横断方向に大きく変化する。
- ・ 岩体にランダムに存在する硬質部が地質調査におけるN値の判定に悪影響を与える。
- ・ 地表弾性波探査による弾性波速度は地圧の加わった状態で測定されるためトンネルを掘削した状態と異なることがある。

混在岩は事前調査時のN値や弾性波速度が比較的高く評価され、地質構造が把握しにくく、実際にトンネルを掘削したときの状態を事前に想定するのは困難となる。

本トンネルでは設計時に予測された地質性状と異なり、掘削当初より切羽が自立せず崩落が頻発するとともに、上半脚部の地耐力不足による支保工の沈下や大きな地表面沈下が発生した。

これらの事象や掘削開始後の切羽観察や追加地盤調査により、TD700付近までは泥岩を主体とした混在岩、TD700付近以降は緑色岩を主体とした混在岩で、ともにトンネルが位置する部分は大部分が強い破碎と風化を受けていることが明らかになった。

3. 施工上の課題

本トンネルの築造は、低土被りかつ風化の進行した混在岩の中を、地表の構造物を保全しながら実施することが条件でありそこで施工上の配慮すべき事項を以下の3項目に整理した。

- ・ 安全な施工

地山を事前に補強するとともに、早期閉合を図り、切羽の安定を確保すること。

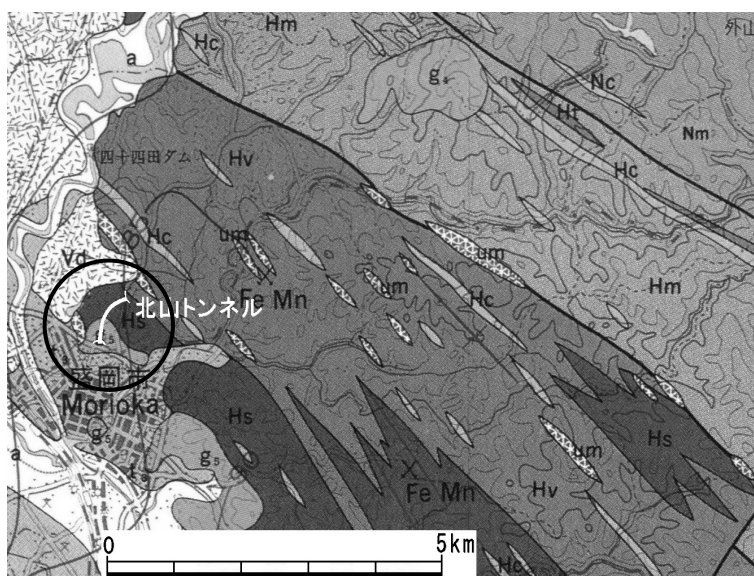


図-3 盛岡周辺の地質図(地質調査所編；1/20万地質図幅「盛岡」より抜粋)

地質時代	地 層 名	記 号	岩 相
新第四紀	完新世	Vd	安山岩岩塊、軽石、スコリア、火山灰、礫、砂、泥など
	更新世	t ₃	礫、砂、粘土
中生代	北部北上帯	Nc	チャート
		Nm	粘板岩、砂岩
	早池峰帯	Hc	チャート
		Ht	苦鉄質火山岩 多色頁岩
		Hm	粘板岩、砂岩
		Hs	粘板岩、砂岩
古生代	貫入岩類	um	はんれい岩
		gs	花崗閃緑岩
		Hv	苦鉄質火山岩

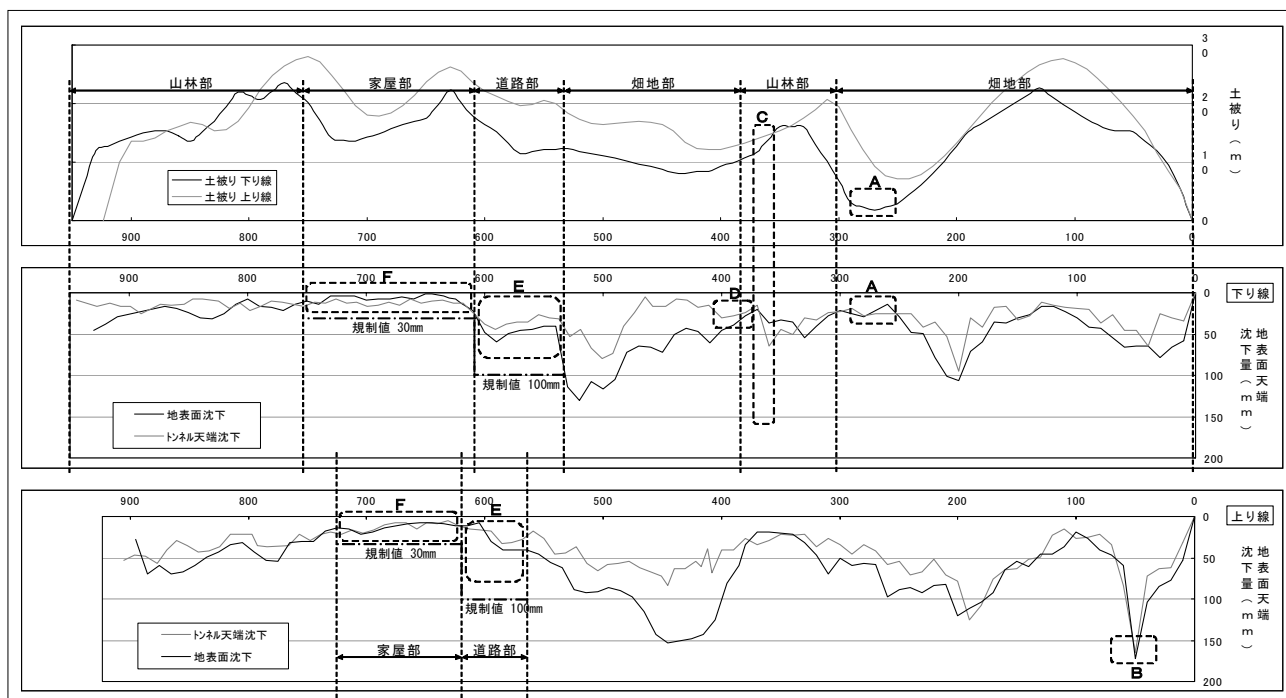


図-4 土被り・地表面沈下・トンネル天端沈下 縦断面図

- ・ 周辺環境に配慮した施工
土地の変状及び道路、水道施設への影響を許容範囲内に抑制すること。
- ・ 経済的な施工
安全を確保しつつも合理的な対策とすること。

グパイルの補助工法を追加した。鏡面はリングカットと鏡吹付けコンクリート(t=5cm～10cm)を切羽毎に行い、必要に応じ充填式長尺鏡ボルトで補強した。天端部分には地質の風化状態により先受け工をフォアポーリングに代え、注入式長尺鋼管先受け工を実施した。

4. 施工

坑口より230～270m区間(図-4のA)に位置する超低土被り部(最小土被り2.5m、区間長 40m)では、歩道を迂回させ、地表部からセメントを機械的に攪拌し地山を改良した後に、トンネルを施工した。

その他の区間については、土地の利用形態により地表部からの工事が出来ないため、トンネル切羽からの補強対策を実施した。

(1) 掘削工法

脆弱な地質におけるトンネル施工では、『加背割り』と『ベンチ長』の選定が重要となる。都市部では、多段ベンチカット工法や導坑先進工法を採用することがあるが、現在では汎用性の高い大型機械を使用し、適切な補強を実施して、2 段ベンチでの施工が主流となっており、本工事もこれを採用した。

(2) 支保工・補助工法

吹付けコンクリート・鋼製支保工は当初設計を基本とし、上半脚部の状況に応じウイングリブやレッ

(3) 施工状況と変状発生



写真-1 輪切り状クラックの発生状況

ベンチ長は上半と下半を同時に施工するために、30～40m とした。上半切羽では全面的な崩落が頻発し、坑口から 40m を過ぎた位置で、上半と下半の境界部の吹付けコンクリートに輪切り状のクラック(写真-1)を伴う変状(図-4 のB)が発生した。

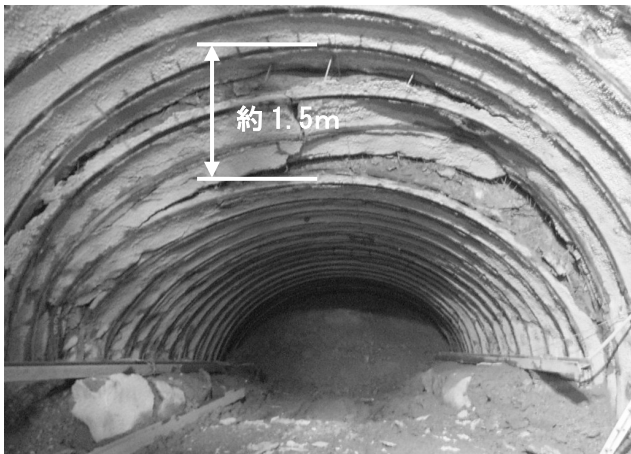


写真-2 沈下変状の発生状況

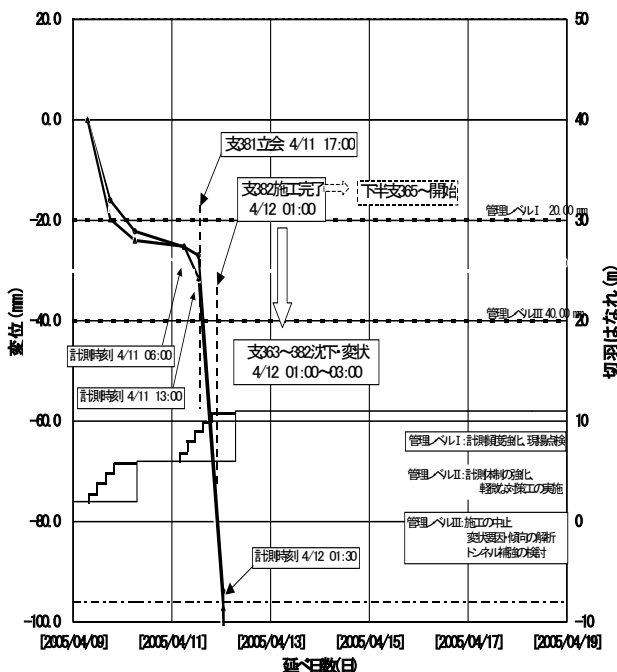


図-5 変状時の計測結果

以降は、ベンチ長を 10m～20m に短縮して、上半と下半を 10m 毎に交互に進める施工に変更し、順調に施工を進めていたが、下り線の切羽位置が TD382m の時点(図-4 のC)で、短時間に上半 20m 区間全体が 1.5m 沈下する大きな変状(写真-2)が発生した。坑内変位は管理レベルの範囲内で収束傾向(図-5)にあり、従来の計測値と大きな差がなかったことから変状の予測は困難であった。

この時点で、学識経験者による北山トンネル技術検討委員会を立ち上げ、詳細な追加地質調査を実施し、泥岩主体の混在岩と緑色岩主体の混在岩の分布、風化破碎の状態やその後のトンネル掘削時の切羽状態の予測について確認した。

また、委員会では以下の 3 項目の施工方針を確認した。

- ・ ベンチ長を出来るだけ短くし、インバートも含めて、早くトンネルを閉合する。(早期閉合)
- ・ 施工の安全確保、緩みの拡大を抑止するために、天端部、切羽部、上半脚部に適切な補強を実施する。(切羽補強対策)
- ・ 支保工はトンネル上部の全土被り荷重に対抗できる剛なものとする。(剛な支保工)

5. 早期閉合と切羽補強対策

上半での崩落が頻発する状況でベンチ長を短くし、加背を大きくする事は、安全な施工環境の確保に逆行する面もあった。しかし、最新の知見をもとに図-6に示す注入式長尺先受け工や注入式長尺鏡ボルト、脚部先行補強等により積極的に地山を改良すること

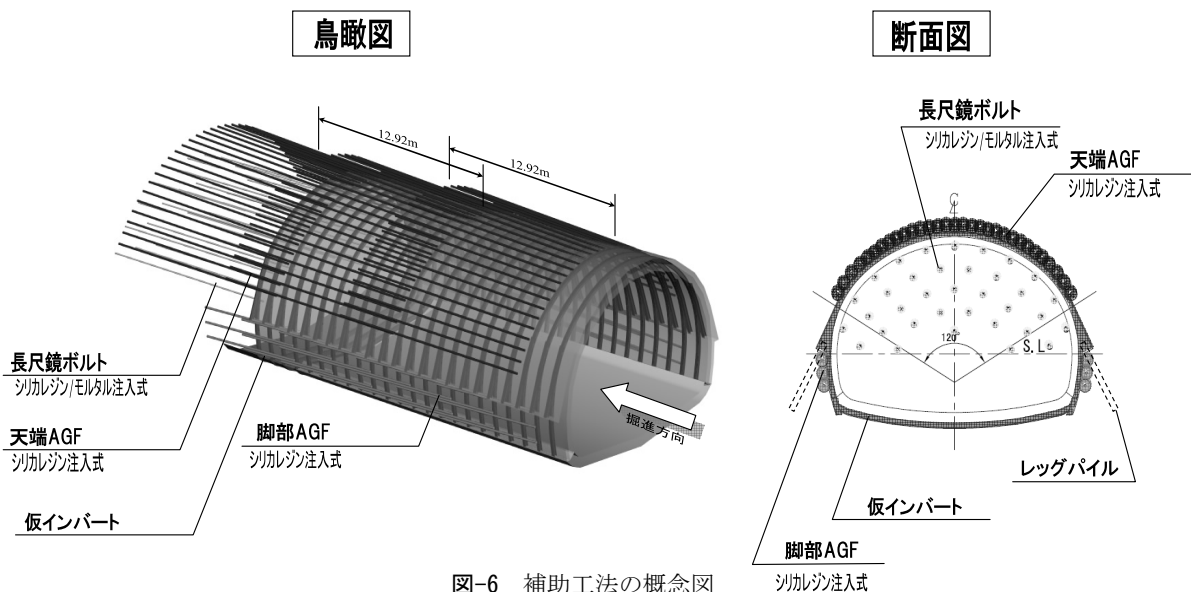


図-6 補助工法の概念図

で切羽の安定を確保し、早期閉合を実施する事は、施工時の安全を確保するだけでなく周辺の地山を緩めないなど、トンネル全体の品質が向上すると考えた。

(1) 早期閉合

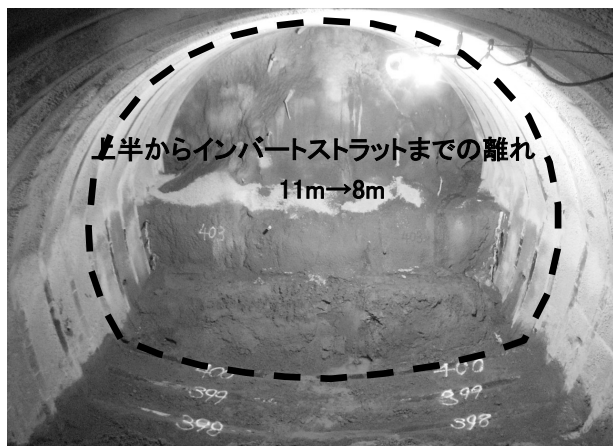


写真-3 早期閉合の施工状況

ベンチ長を3～6mとし、3m毎に上半、下半、インバーストラットを交互に施工する。インバーストラットによる閉合までの距離は上半切羽より最大11m以内とした。(写真-3)

(2) 天端部の補強

注入式長尺先受け(AGF)工法を採用した。12.5mの鋼管(φ114.3mm, t=6.0mm)を天端部120°範囲に45cm間隔に打設する。注入材は、これまでの施工結果から、緩み防止に効果が期待できるウレタン系(シリカレジン)とした。

(3) 鏡部の補強

注入式長尺鏡ボルトを採用した。12.5mの鋼管(φ76.0mm, t=4.0mm)を切羽前方に1.5m間隔で打設する。鋼管を掘削ずりから分別するため、鋼管には50cm間隔にスリットを入れ、掘削機械で容易に切断回収できるものとした。

また、注入材はモルタル系を基本とし、変位制御が必要な場合はウレタン系(シリカレジン)とした。

(4) 上半脚部の先行補強

当初は上半ベンチからレッグパイルで補強していたが、本トンネルのように地耐力が不足している場合、支保工設置後の沈下速度が大きく、レッグパイル施工が後手にまわり十分な効果が望めない可能性があった。そこで、図-7に示す上半掘削前に先行し

てその脚部を補強する方法(脚部AGF)を新たに提案し、これを採用した。

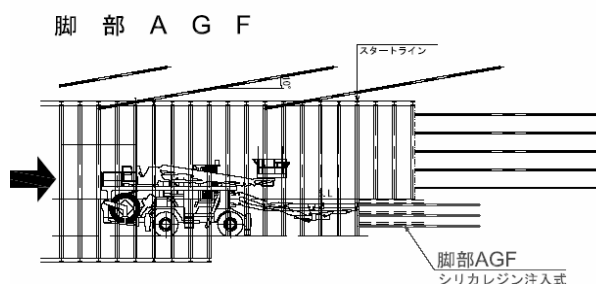


図-7 上半脚部先行補強(脚部AGF)の要領図

上半脚部の沈下は下半、インバーストラットを閉合するまでに発生するが、地耐力が確保できれば(N値50程度)補強はせずに閉合を優先させた。

施工は上半のベンチ長が最短の3mの段階で、下半の切羽の外周部より上半脚部下方に向けて長さ6.5mの鋼管を60cm間隔で天端補強(AGF)と同じ要領で打設する。注入材はウレタン系(シリカレジン)とした。これにより未掘削部の上半脚部を3mに渡り先行補強することが可能となる。同時に、下半掘削時に支保工が完成するまでの不安定な状態を回避できる。

6. 沈下影響の制御

山林や畑地部については、利用上の問題のない限り規制値はないものとした。

道路部には人口2万人に供給する水道管が敷設されており、沈下を許容する可とう管に交換し、100mmの規制値とした。

図-8、図-9に示す家屋影響部については一般的に採用されている、沈下量30mmと沈下勾配1/1000を規制値とした。



図-8 家屋影響部の平面図

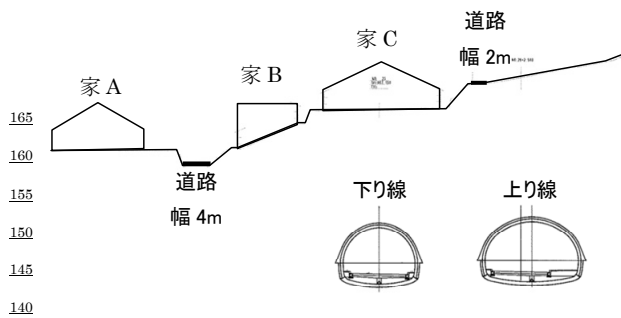


図-9 家屋影響部の断面図

トンネルの掘進は山林と畑地の施工の後に、道路、家屋と徐々に規制値が厳しくなる環境にあった。

それまでの施工データでは鏡前方をウレタン系注入材(シリカレジン)で改良した区間では地表面沈下抑制効果が高いことが明らかになっていた。(図-4のD)

このため道路部の施工に際し、注入式長尺鏡ボルトの一部をウレタン系に変更した。施工時に良好な結果が得られたことからウレタン系注入材の効果を再確認することができた。(図-4のE)

また、家屋部に対しては最も規制値が厳しいことから、補強の注入材を全てウレタン系とし、規制値以内に掘削を完了することができた。(図-4のF)

7. 施工の結果

土砂状に風化した泥質メランジュ地山での施工を通して、以下の知見を得ることができた。

(1) 安全な施工

切羽前方を効果的かつ連続的に補強することで切羽周辺地山の緩みが拡大せず、切羽が安定し変位の抑制になる。

また、前述した適切な切羽補強対策と鏡の吹付けならびに切羽監視を忠実に実施すれば、早期閉合のため、ベンチ長を短くし加背を大きくした場合でも、切羽崩落のリスクは回避でき、安全な施工環境の確保が可能となる。

(2) 周辺への影響や環境に配慮した施工

切羽補強対策において注入材の変更や適用範囲を適宜増減することで、土地の利用形態に対応した経済的な沈下制御が可能となる。

各区間の沈下量を以下に示す。

- ・ 畑地部沈下 100～160mm(規制値なし)
- ・ 道路沈下 30～55mm(規制値 100mm)
- ・ 家屋沈下 3～19mm(規制値 30mm)
- ・ 家屋沈下勾配 0.4～0.7/1000(規制値 1/1000)

(3) 経済的な施工

切羽の安定・安全を確保し、各規制値に対応した制御が出来ていることから実施した対策は合理的かつ経済的な対策であったといえる。

8. おわりに

積極的にトンネルの前方を補強してトンネル周辺の地山を健全に保ち、早期閉合によりトンネルの安定を図ることは、地山の緩みや崩落などのトラブルの発生を未然に防止することとなった。

地山を極力緩ませないことは、その後の負担を軽減し供用後の維持管理も含めて、結果として品質の良い経済性に優れたトンネルを構築することとなる。

本トンネルは、未固結地山を低土被りで、一部地表に構造物を抱えながらトンネルを構築する工事である。工事の条件から開削工法が最も確実であるが、風致地区であることや土地の利用形態などからその選択は現実的でなく、シールド工法はトンネル断面内に分布する中硬岩の存在により掘削が困難であると判断され、結果としてNATMが採用されることとなった。今後、類似する都市部やその他制約を受ける未固結地山でのNATMの選択はさらに増えるものと思われる。本報告書が今後の都市部でのNATMの参考になれば幸いである。

最後に本トンネル設計・施工に当たりご指導、ご助言をいただいた「北山トンネル技術検討委員会」の今田徹委員長をはじめとする委員の皆様など関係各位に対し、誌面を借りて深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 北山トンネル施工検討委員会(第1回～第5回)資料
- 2) 北村秀之、ほか：低土被りの付加体地山における双設トンネルの施工(盛岡北山トンネル)、第58回施工体験発表会(山岳)―最近注目されるトンネル工事―、日本トンネル技術協会、2006。
- 3) ジオフロンテ研究会新技術相互活用分科会付加体地質WG：付加体地質とトンネル施工、2005.11.30。