

東北新幹線八甲田トンネルの施工

—世界一長い陸上複線トンネル—

佐々木 幹 夫

東北新幹線盛岡・八戸間は平成14年12月に開業し、乗車率も好調な営業を継続しているが、更に、青森間までの81.2kmの延伸工事を現在行っている。八甲田トンネルは、そのうち約1/3を占めるが、平成17年2月27日に貫通したことで、一段と早期完成の気運が高まってきた。工事は、比較的順調に進み、工程管理、安全管理の面でも各工区の特徴ある対策がとられてきた。本トンネル工事でも、自然環境の保護、CO₂排出抑制といった課題について取組んで施工を行ったが、今後、一層の環境対策の工夫が求められる。

キーワード：トンネル、東北新幹線、ずり搬出システム、環境対策

1. はじめに

平成17年2月27日、午前9時25分、轟音とともに後ガスが抜け、反対側のトンネル照明がうっすらと見えてきた。

「万歳、万歳」。大きな歓声と拍手の中、平成10年8月着手以来6年半の歳月を経て、世界一の陸上複線トンネルとなる八甲田トンネル(26.455km)が貫通した。

八甲田トンネルは、東北新幹線八戸・新青森間81.2kmの約3分の1を占める長大山岳トンネルである。青森県上北郡七戸町(旧日間林村)底田地区から、自動車専用道路「みちのく有料道路」とほぼ併行に進み、積雪深3mにもなる豪雪地帯の八甲田山系の北側山麓を東西に貫く。

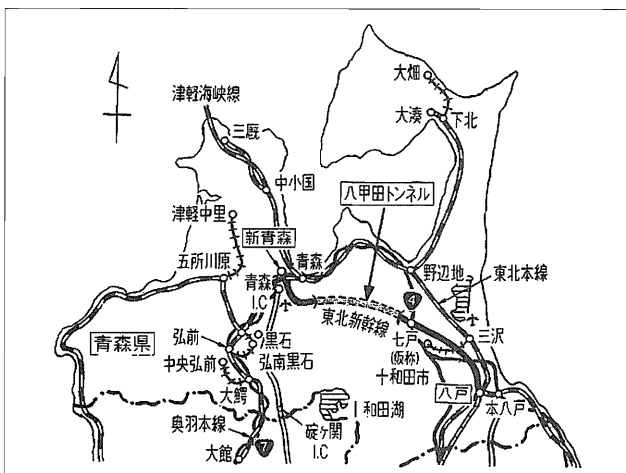


図-1 八甲田トンネル位置図

また、トンネルの両坑口の一部を除き国有林野の下を通過し、ルート近傍には旧鉱山跡地がある。東北新幹線八甲田トンネルの位置を図-1に示す。

工事は、工期短縮、施工条件・環境等を考慮し6工区に分割して進められた。

本報文では、八甲田トンネルの計画と各工区の特徴的な施工について述べる。

2. 地形・地質

東北新幹線(八戸・新青森間)のルートが通る青森県南部から中部にかけては東北地方の中央部を南北に連なる奥羽山脈の北端部にあたり、標高700m~1,500mの山々が十和田湖北側から夏泊半島へと連なり、最高峰の八甲田連峰大岳(1,585m)に代表される。

この奥羽山脈の北側には八甲田山近傍の酸ヶ湯、田代平といった温泉地帯から荒川、駒込川が北流し、さらに北の折紙岳、三角岳付近から野内川が北西に流下し、陸奥湾に注いでいる。

トンネル付近の地質は、新第三紀層が基盤であり、全体的には良く固結した火山起源の地質が主体である。地質構造は、全体的に褶曲構造をなし、トンネル中央付近が背斜軸となっている。

最も古い金ヶ沢層(安山岩)がトンネル中央部に分布し、その両翼に左右対称に、順次新しい四ツ沢層(凝灰岩、泥岩、石英質安山岩)、和田川層(砂岩、泥岩)、市ノ渡層(礫岩、砂岩、泥岩)が覆う。そして、これらの褶曲時とほぼ同時期に活動したと思われる貫

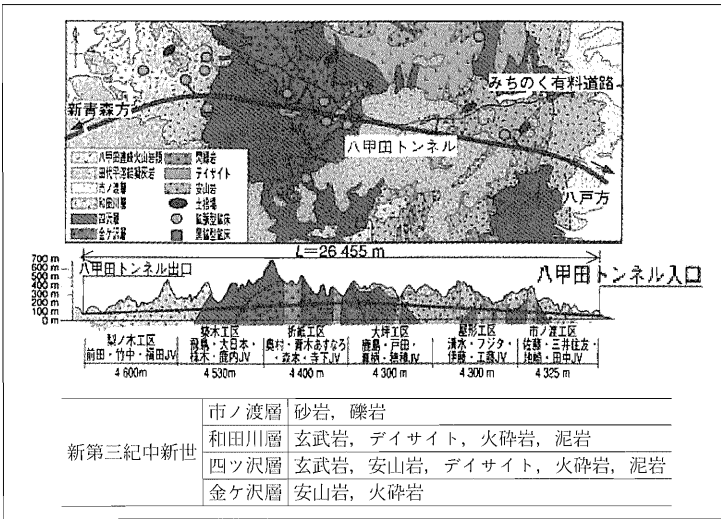


図-2 八甲田トンネル地質図

入岩類（閃緑岩、安山岩）が分布している。八甲田トンネル地質図を、図-2 に示す。

3. 線路計画

東北新幹線の八戸・新青森間の平面線形は、図-1 に示すとおり、八戸駅から半径 4,000 m の曲線を挟んで北西に進み、五戸川・奥入瀬川を渡り、七戸駅（仮称）に至る。さらに約 4 km 進むと八甲田トンネルにさしかかる。ここから東側に位置する「みちのく有料道路」と併行し、半径 8,000 m の曲線で北北西に進み、青森方坑口で半径 8,000 m の曲線を抜け、三内丸山遺跡を避けて青森市平野から北側に向きを変え、新青森駅に至る。

トンネルの縦断勾配は、坑内排水、沢部の土被り、列車運行等を考慮し、ほぼ中間点にあたる青森市と七戸町の行政境をサミットとして 10% の下り勾配となっている。最大土被りは、中央部で 600 m となる。

4. 工事計画

工事は、全体工程、斜路の坑口位置、坑内換気長、沢部の土被り、土捨場位置等

から 6 工区に分割し、両端の工区は坑口から直接掘削し、中間部の 4 工区は斜路を経由して本坑を掘削した。

(1) 斜路

斜路は、坑外の工事基地と本トンネルを結ぶ作業坑であり、掘削発生土、コンクリートの他資材、機材の搬入路、換気・排水経路として用いられる。

断面は、大型車両の運行、風管、排水管の敷設を考慮して約 30 m² とした。勾配は、斜路坑口と本坑との高低差、延長により決定されるが、ずり出し用の大型車両の通行に支障のない 10% を最急とした。また、斜路には車両の行き違い設備として 100 m 間隔に拡幅部を設けた。本坑との取付け位置は、本坑縦断勾配が下り勾配となっている区間とし、本坑の下り勾配区間を 1,000 m 程度として坑内排水に配慮した。

(2) 本坑

本坑は、新幹線複線断面であり直線の内空断面は、約 64 m² である。掘削支保パターンは、山岳 NATM 設計施工指針（日本鉄道建設公団、平成 8 年 2 月制定）新幹線複線トンネルにもとづき、地山等級の標準パターンを設定し、現場計測により地質に合った修正を加えた。なお、八甲田トンネルでは、鉍化変質岩の出現を把握するため、先進ボーリングを施工したことから、事前に地山判定が可能であった。八甲田トンネルの実

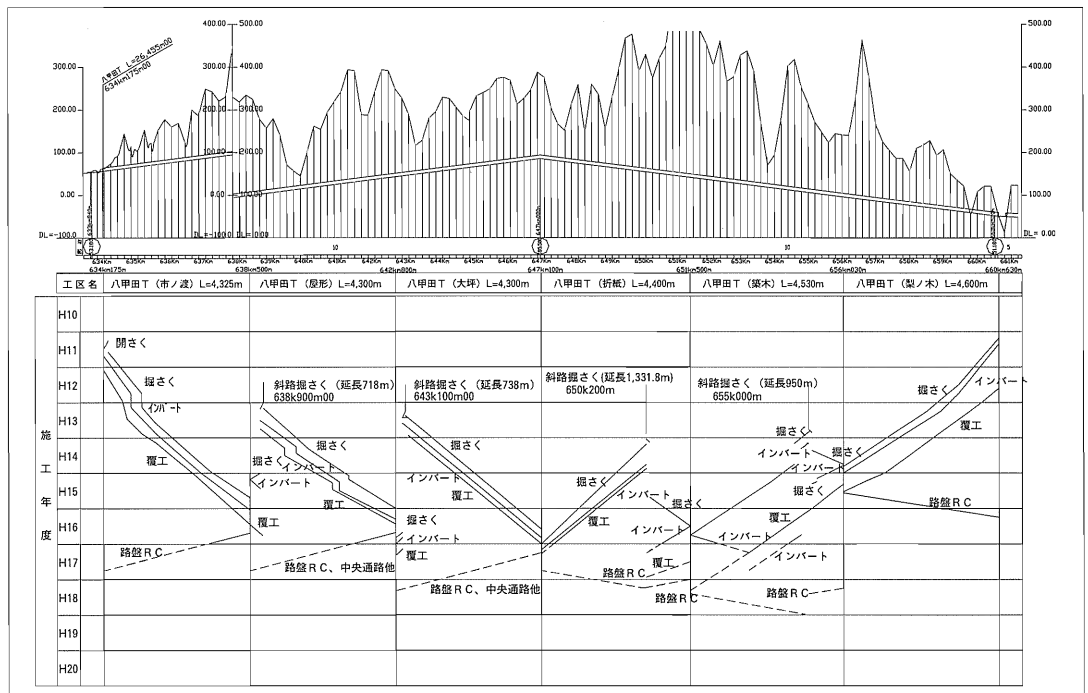


図-3 実績工程表

績工程表を図-3に示す。

八甲田トンネルのルート付近には旧上北鉱山に代表される鉱床が散在し、一部鉱化変質を受け黄鉄鉱を含有する岩石が分布し、掘削発生土として土捨てられた場合、水や空気に触れると水質汚濁や土壌汚染の恐れがあることから、これを管理型のずりに区分して産業廃棄物の最終処分場の構造を参考に、2重シートで遮蔽する構造の土捨て場を設置した。

5. ずり搬出システム

トンネル掘削方法は、山岳 NATM で、軟岩区間はショートベンチカット工法による機械掘削とし、堅岩区間は補助ベンチ付き全断面発破工法とした。機械掘削は、ロードヘッダを、発破掘削は、2デッキ・2〜3ブーム式油圧ジャンボを使用した。ずり出しは、25トンダンプトラックを使用した。市ノ渡工区、大坪工区及び築木工区で坑内及び坑外でずり運搬にベルトコンベヤを採用した。

(1) 市ノ渡工区のずり搬出システム

長大トンネルにおける施工中の坑内環境保持は、坑内換気によるところが大きい。坑内環境をよくする対策としては、換気システムの開発や大型集塵機の採用とあわせて、内燃機関の使用を少なくし、排出ガスを減少する方法が採用されている。

通常のトンネルのずり出し方法は、ダンプトラックによるが、ここではベッセル (8 m³/缶) と 200 m 毎にユニットで延伸するベルトコンベヤの組合せにより、内燃機関からの排出ガスを減少し、作業効率を減少させることなくトンネルのずり出しを行うシステムを用い CO₂ 排出抑制に努めた。システム概要図を図-4に示す。

なお、大坪工区のずり搬出コンベヤシステムでは市ノ渡工区と異なるところは、切羽のずりをベッセルを用いず直接シャフロード (1.2 m³) で切羽からクラッシュまで運搬するシステムとしたことである。

(2) 築木工区の坑外長大カーブ・ベルトコンベヤ坑内で発生したずりは、一般的には指定土捨て場までダンプトラックが使用されるが、当工区では斜路坑口から土捨て場まで延長約 2 km、幅員 4 m の林道を利用することから、コンクリートミキサ車との競合が考えられる。また、この地域は積雪 3 m にも及ぶ豪雪地帯であり、コンスタントなずり運搬ができない。

この地域は国有林内にあり、希少な猛禽類やカモシカ、熊、小動物が生息する静寂な自然豊かな土地であり、自然環境に配慮した安定したずり処理が可能な長大カー

表-1 カーブコンベヤの技術的課題と対策

技術的課題	主な対策
1 曲率半径最小 150 m から最大 300 m 区間の蛇行防止	<ul style="list-style-type: none"> ・U型トラフ (5点式ローラ) ・アイドラの傾斜 ・自動調芯装置の設置 ・ベルト速度の可変速機能 ・複数緊張装置 (ヘッド、テール、中間)
2 長距離輸送 (1,730 m)	<ul style="list-style-type: none"> ・デュアルドライブの採用 ・ベルト縦裂検知、停止装置の設置 ・中央監視遠隔制御システムの採用
3 岩塊の大きさ変動 (運搬可能最大塊 30~40 cm)	<ul style="list-style-type: none"> ・幅広ベルトの採用 (1,200 mm) ・スクリーン、クラッシュの設置
4 設備ヤードの制約	・高架方式
5 騒音・振動・粉塵・冬季 (積雪) 対策	<ul style="list-style-type: none"> ・5点式ローラの採用とローラピッチを狭くする ・全面覆蓋式とする

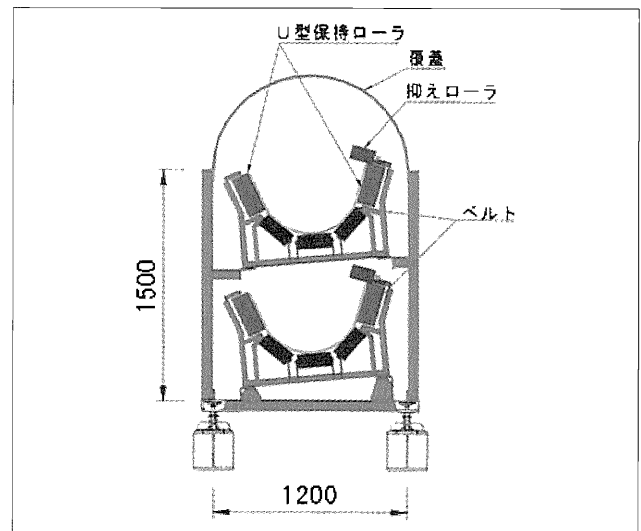


図-5 長大カーブベルトコンベヤ (ヘビコン) 断面図

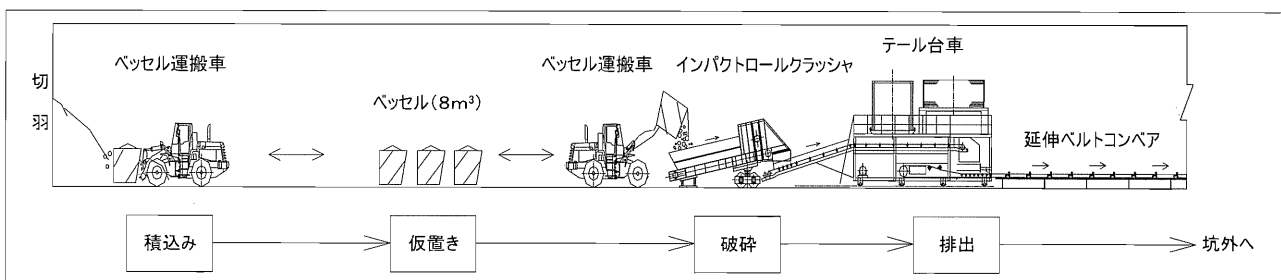


図-4 システム概要図

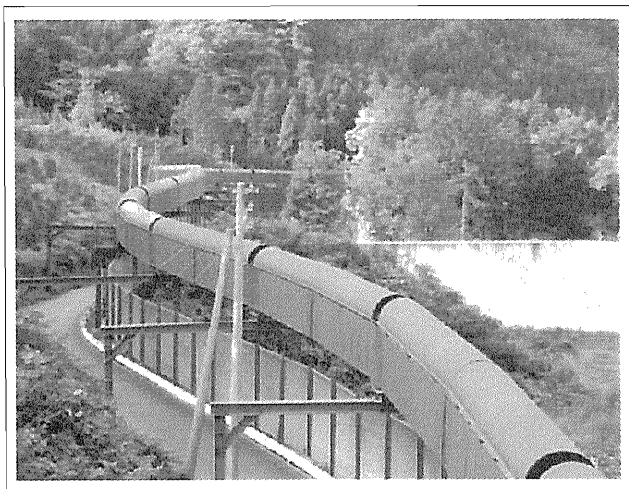


写真-1 ヘビコン



写真-2 U型トラフのベルトコンベヤ

ブベルトコンベヤ（通称ヘビコン）を開発した。開発したカーブコンベヤの技術的課題と対策について表—1に示す。また、ヘビコン断面図を図—5、写真—1、写真—2に示す。運搬能力は250 t/hである。

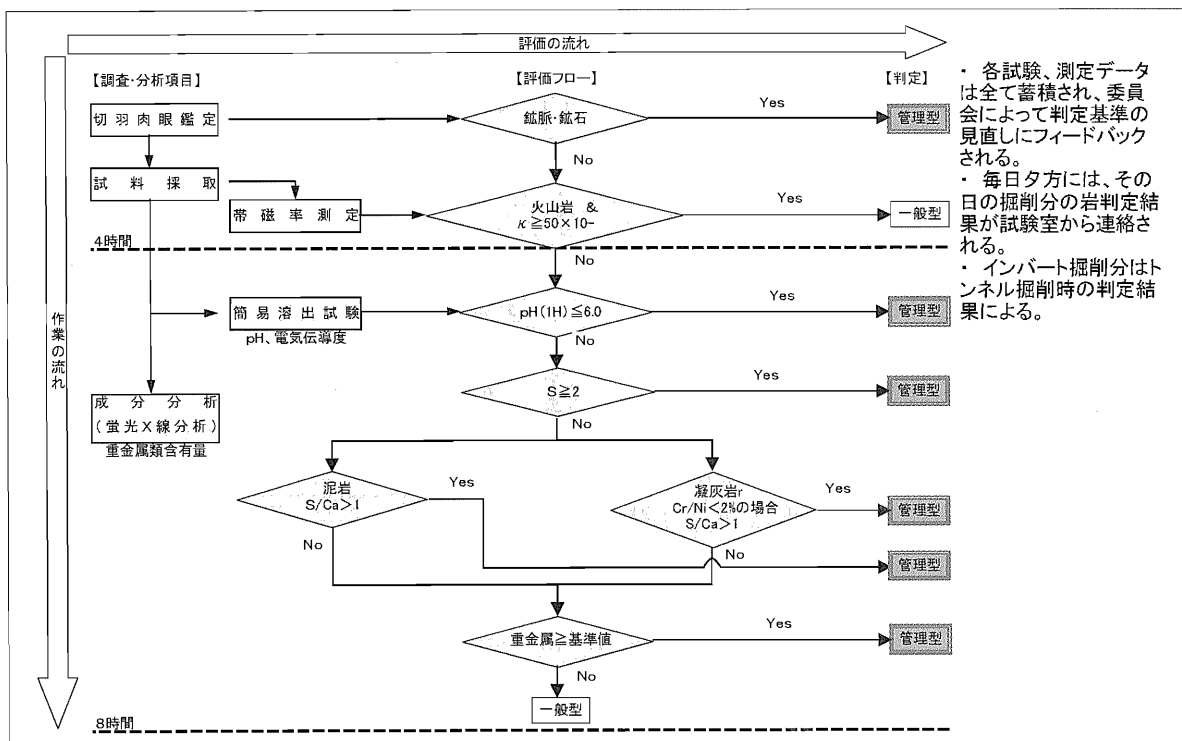
6. 旧鉱山地帯付近を通過するトンネルずりの対策

(1) 管理型土捨場

八甲田周辺には旧上北鉱山等の鉱床が点在し、鉱化、変質の強い岩石が一部に認められた。一般に鉱脈の周辺には、鉱化作用時の熱水変質作用を受けた黄鉄鉱に

富む岩石が分布しており、地中に堆積している時には還元状態にあるが、掘削後、水・空気に触れ長い間放置されると強酸性水を生成し、掘削土の重金属が溶解し、流れだして水質等に悪影響を与える可能性がある。

これら掘削土については、掘削前に行う切羽からのボーリングコアと実際に掘削したずりによる目視観察、全岩化学組成分析、溶出試験等を比較して、硫黄濃度、pH、帯磁率（火成岩では、鉱化変質作用を受けると磁鉄鉱が分解し、磁性が非常に弱くなる）等による判定基準を設定した。現地には、試験室を設置し、鉱山地質の専門家を配置して管理型土捨てと一般土捨ての判別を行った。図—6に掘削ずりの判定フローを示す。



図—6 掘削発生土判定フロー図

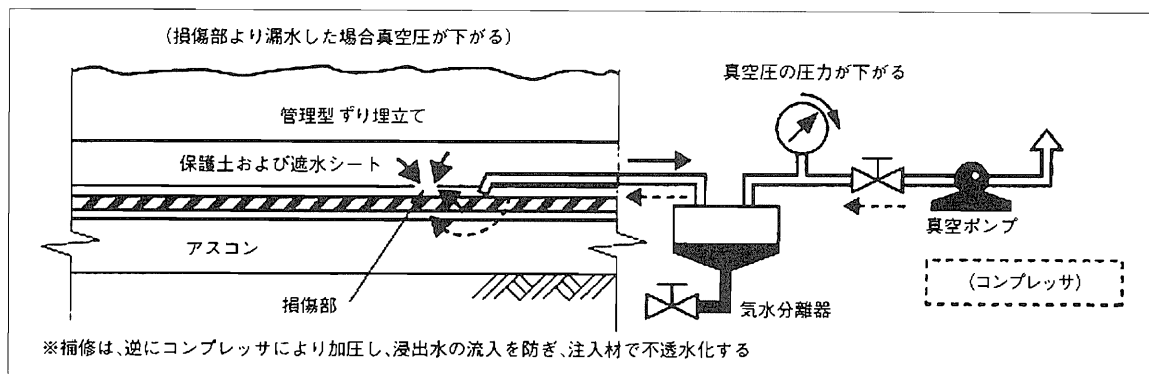


図-7 漏水検知・補修システム

(2) 管理型土捨場の構造

管理型土捨場における遮水構造の基本的な考え方は、「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部改正について」(平成 11 年 2 月 22 日, 厚生省・環境庁)に規程する遮水工構造及び「青森県産業廃棄物最終処分場の構造に係る指針(平成 11 年 2 月 22 日)に定める構造に準拠し, 2 重シートで全体を遮蔽し, 雨水, 地下水を遮断し, 浸出水を発生させないこととした。管理型土捨場の基礎底盤部には, 図-7 に示すシート破損による漏水検知システムを取入れた。これは同時に修復機能も備わっている。

(3) 坑内ボーリング

鉱化変質岩の判定において, 掘削ずりの判定を確実, 迅速に行う必要があり, 事前に黄鉄鉱の含有量, 分布の状況等を把握するため切羽からのボーリングを実施した。このボーリングは, トンネル切羽作業が休止となる土曜～日曜の 2 日間を利用し 1 回 100 m 程度のボーリングを基本とし, ロータリパーカッション方式で高速掘進し, 更に, ワイヤライン方式によりコアが採取できる機種を選定した。また, 掘削の進行を妨げることなく施工するため, 切羽に機械を据え, 段取替えを迅速に行った。

(4) 折紙工区における強酸性の湧水対策

斜路の交点から東京方 835 m の地点にある唐川調査坑では, 弾性波探査により低速度帯や断層の存在及び大量の湧水を確認している。この周辺には旧鉱山跡地(大盛鉱山, 和銅鉱山, 冷沢鉱山)が散在し, 黄鉄鉱染の強い区間が想定されており, 鉱脈周辺に珪化変質帯(粘土化帯)を伴い, それが水みちとなり多量の湧水を誘引することがある。

大盛鉱山の旧坑道近傍では強酸性水(pH 2.8)を示すことから, 本坑に流入する恐れがあるため, 地質・

水理構造を調査した。調査方法は, 先進ボーリング, 比抵抗探査, 電磁波探査(EM), 反射波探査(TSP)を併用した。湧水の pH 観察, 水質変化の観察と合せ, 酸性水は出ないと判断し掘削を行ったが, 酸性水の湧水は認められなかった。

7. 各工区の特徴的な施工

(1) 屋形工区の斜路・本坑交差部付近の変状区間

地質は新第三紀四ツ沢層に属する凝灰岩, 泥岩及び安山岩を主体とし, 軟質な凝灰岩, 泥岩の互層区間では度重なる補強工を余儀なくされ, また, 硬岩区間では突発湧水に遭遇した。

変状区間の地質は凝灰岩・泥岩の成層をなし, 土被り 200 m, 地山強度比 2.5 程度である。掘削後の岩塊では, 凝灰岩・泥岩の層理面から剥離するスレーキング現象が見受けられた。内空変位は切羽通過後約 3 D まで直線的に増加し, その後の増加傾向は弱まるが, 6 D においても収束状態とならない。図-8 に示す通り, 天端沈下:内空変位=1:3~1:5 で内空変位が卓越している。

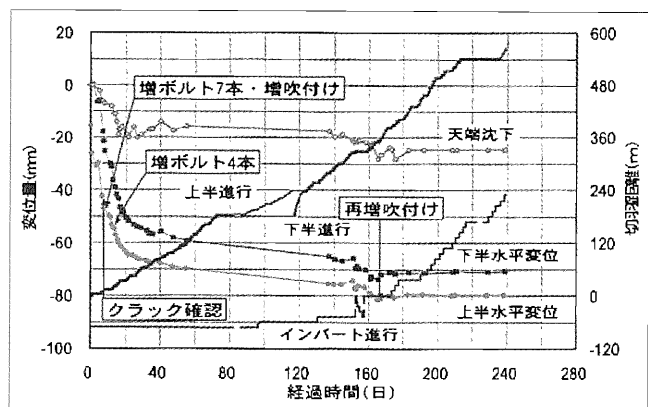
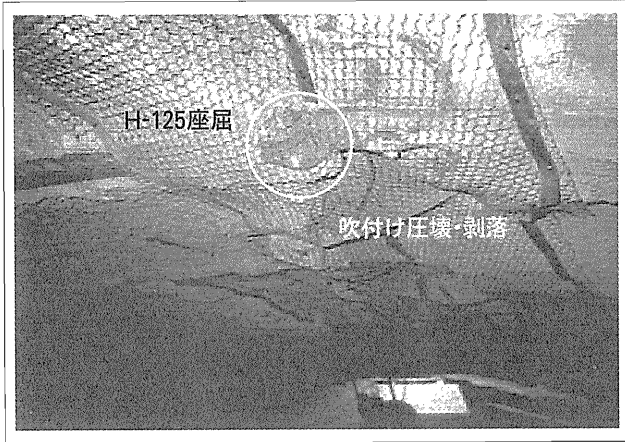


図-8 トンネル内空変位図

吹付けコンクリートのクラック, 剥離, 鋼製支保工の座屈, 破断等の変状が発生し, 増しボルト, 増し吹

付けを繰り返したが、後荷対策として、色々な支保パターンを実施したが、最終的には、インバートコンクリートによる閉合で変位は収束し、効果的であった。二次覆工コンクリートは、SFRCにて補強した。変状の状況について、写真—3に示す。



写真—3 屋形工区坑内変状

(2) 換気立坑

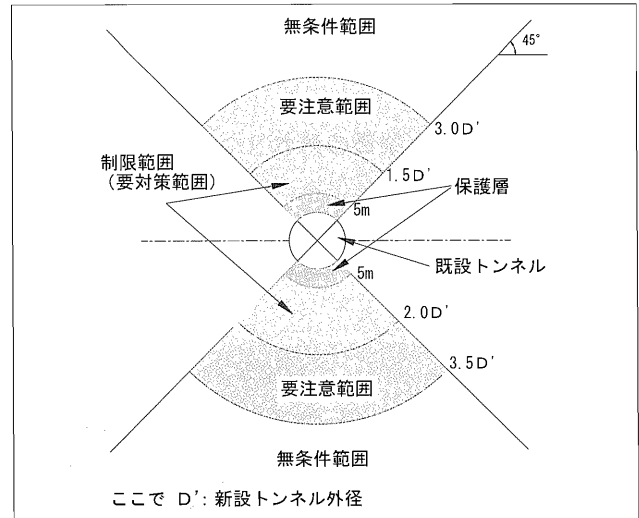
大坪工区では、本坑中間点付近（大坪川）に立坑を設置し換気の強化に努めた。トンネルの粉塵量は、切羽 50 m 地点で 3 mg/m^3 以下にする必要があり、新鮮で所要の風量を供給しなければならないが、摩擦抵抗、漏風率は延長に比例し増加するので、これを勘案する必要がある。片押しで約 5 km となることから、中間点となる土被り 42 m の沢部に $\phi 1,500 \text{ mm}$ の立坑を設置し、換気効率を上げた。

掘削は、大口径掘削機のビッグマンを使用し地上から $\phi 250 \text{ mm}$ のパイロット孔を本坑から取付けた横坑まで貫通させ、 $\phi 1,800 \text{ mm}$ の拡孔ビット（2 段）に交換し、パイロット孔をガイドにして地上へと引上げ掘削後鋼管を挿入しモルタルで裏込めした。

(3) 大坪工区と有料道路トンネルとの近接施工

大坪工区は、みちのく有料道路の下 50 m に位置し、水平の離れで 17 m と最接近する。道路トンネルに与える影響は、地質や既設トンネルの健全度より土被りの補正をすると、 $3.5 D$ となり図—9 の通り、無条件範囲となる。

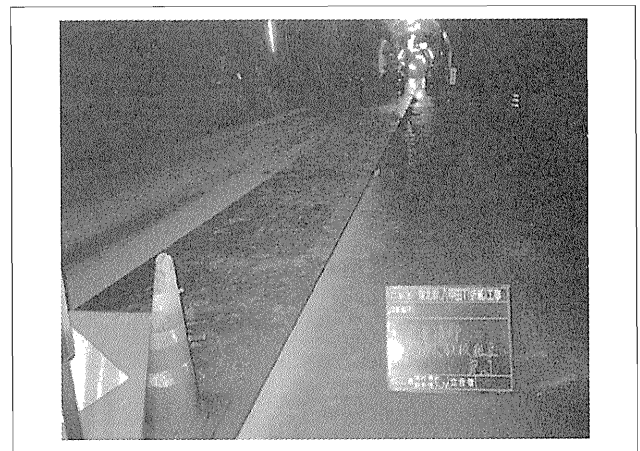
しかし有料道路であること、また在来工法による施工のため、コンクリートジョイントが多いことから火薬量を制御した発破により振動を抑えることとし、トンネル 350 m 間にわたって、振動、変位、クラック等の計測を行い施工管理を十分配慮した。



図—9 干渉度

(4) 移動式覆工板

覆工セントル、インバート栈橋の移動時間の短縮とその際の安全向上のための移動式覆工板（写真—4）を採用した。



写真—4 移動式覆工板

(5) 築木工区におけるコンピュータグラフィック（CG）による設計支援技術

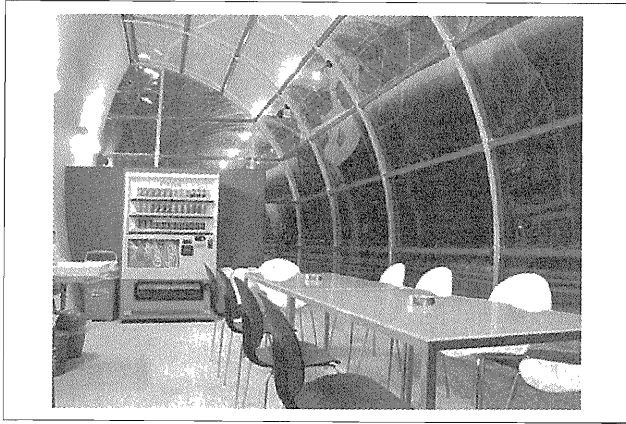
本坑と斜路交点部の設計は、通常、既往の研究成果や施工実績などから設計する機会が多いが、亀裂発生の多いクラッキーで地質の変化が著しいと判断され、また、電気設備としての拡幅断面となることから、複雑な形状をモデル化した「三次元有限要素解析」によって、交差による影響を検討し、さらに、CG による可視化により、施工段階の設計支援に活用した。特に、

- ① 支保工の切断位置の把握や補強部材の設計
- ② 交差部鋭角側のロックボルトの打設角度・位置の把握と設計
- ③ CG アニメーションによる作業員の施工内容や

作業手順の把握
に有効で設計・施工に活用できた。

(6) トンネル作業員の休憩ラウンジ

長いトンネルでの作業員は、同じような環境で、しかも昼夜を通して食事し作業を行っているので、温室風の快適な環境の休憩室（写真—5）を設置した。

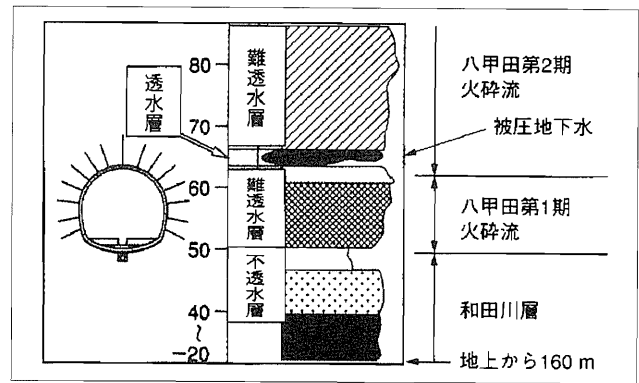


写真—5 休憩ラウンジ

(7) 大深度ディープウエル

昭和 55～56 年に実施した梨ノ木調査工事の掘削中、2度の土砂流出が発生しており、高含水の未固結層を確認していた。この対策として、地下水低下工法が最適と考え、当初 110 m の大深度ディープウエルを実施したが、揚水量が不十分なので、図—10 に示す通り、更に八甲田火砕流の被圧地下水が賦存する深度 160 m までに変更した。

揚水量 400 L/min が得られ、掘削可能な高さまで水位を下げることができ、掘削・復水後もトンネルに大きな変位は発生していない。



図—10 地質模式図

8. 終わりに

八甲田トンネルは、梨ノ木工区を皮切りに平成 10 年 8 月に着手し、気象条件の厳しい中、6 年半の歳月で貫通した。

鉾化変質岩の対応で環境に配慮したトンネル工事として、平成 16 年度土木学会「環境賞」受賞の栄に浴した。また、工事において、死亡事故 1 件が発生し残念であったが、その後、各施工会社が一貫した安全管理に努めた結果、死亡事故は発生しなかった。ここに深く敬意を表したい。

今後は、路盤鉄筋コンクリート工事を残すだけであるが、無事故で完成させる所存である。 J C M A

[筆者紹介]

佐々木 幹夫 (ささき みきお)
独立行政法人鉄道建設・運輸施設
整備支援機構
鉄道建設本部東北新幹線建設局
工事第四課
課長

