

採炭跡を挟在する老朽化トンネル直下での 交差トンネルの施工

TUNNEL CONSTRUCTION DIRECTLY UNDER AN EXISTING DECREPIT TUNNEL IN A FORMER COAL-MINING AREA

梅本利男*・鈴木英雄**・河村 巧**・岡田正之***・鷹田雅宏***

Toshio UMEMOTO, Hideo SUZUKI, Takumi KAWAMURA, Masayuki OKADA, Masahiro TAKADA

The areas around the Kamisunagawa tunnel were dotted with many cavities from old coal mines. Furthermore, as this tunnel was planned to pass 6m beneath a very decrepit existing tunnel, there was a fear that the two would interfere with each other.

The main results obtained through this construction method are as follows.

- (a) Under complex ground conditions, as in the case of this tunnel, "urethane-injected rock-bolts" are an effective reinforcing measure, as they do not require special equipment.
- (b) When excavating the new tunnel beneath the existing one, a distorted settlement phenomenon occurred in the existing tunnel, due to weak strata. When weak strata exist, natural ground reinforcement is required in wide areas.

Keywords: former coal-mining area, existing decrepit tunnel, urethane-injected rock-bolts, reinforcing measure

1. はじめに

上砂川トンネルは、北海道でも有数の産炭地であった上砂川町市街より約3km奈井江町側に位置する全長310mの山岳トンネルである。(図-1)

本トンネルの特徴としては、次の事項が挙げられる。

- (a) トンネル周辺には採炭坑が多数点在しており、掘削時に採炭跡が出現する可能性が極めて高い。
- (b) 老朽化した既設トンネル(旧上砂川トンネル)直下6mを斜交するヶ所がある。

以上のことから、計画当初より難工事が予想されたトンネルであった。

本報では、これらにおける施工結果について述べるものである。

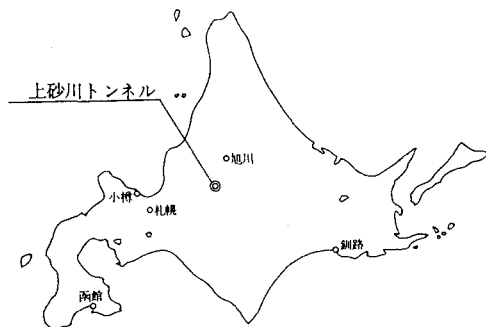


図-1 位置図

* 北海道 札幌土木現業所

** (株)地崎工業 土木部

*** 北海道開発コンサルタント(株)

2. 工事概要

2・1 トンネル概要

- (a) 路線名：主要道道赤平奈井江線
- (b) 構造規格：3種3級
- (c) 線形：縦断勾配 -2.98391%
平面線形 曲線半径=160m
緩和曲線(カロイト')
- (d) 設計速度：40km/h
- (e) 掘削工法：上半先進フォートナ工法
標準断面図は、図-2に示す。
- (f) 掘削方式：機械掘削(RH-8J)

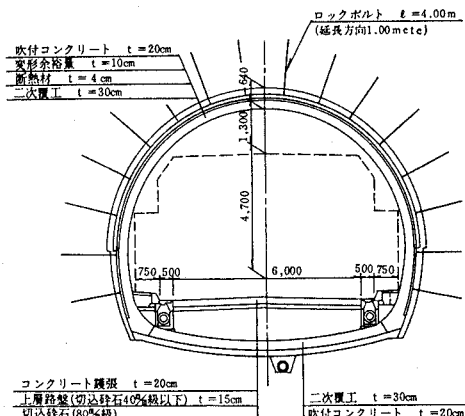


図-2 標準断面図(Dパターン)

2・2 地質・地形概要

本トンネル区間の地質は、古第三紀の石狩層群を基盤岩とし、表層部はこれらを覆って第四紀の現河床堆積物、崖錐堆積物が分布している。石狩層群は、美唄層と若鍋部層に分類され、それらの境は断層になっている。施工位置は、断層を境に起点側約40mが若鍋部層で残り238.5mが美唄層である。

若鍋層は頁岩を主体とし少量の砂岩を伴う。頁岩は一般に風化が著しく赤褐色から黄土色に変色しており、非常に脆弱である。美唄層は空知地区における最も有力な挾炭層で、石炭・砂岩・頁岩・砂質頁岩の互層を主体とし、下位の若鍋層から整合漸移する。

地形的には、褶曲や断層によって複雑に転位した、標高200m～260mの山岳地帯である。両坑口は、節理の発達した強風化帯となっている。地質縦断図を図-3に示す。

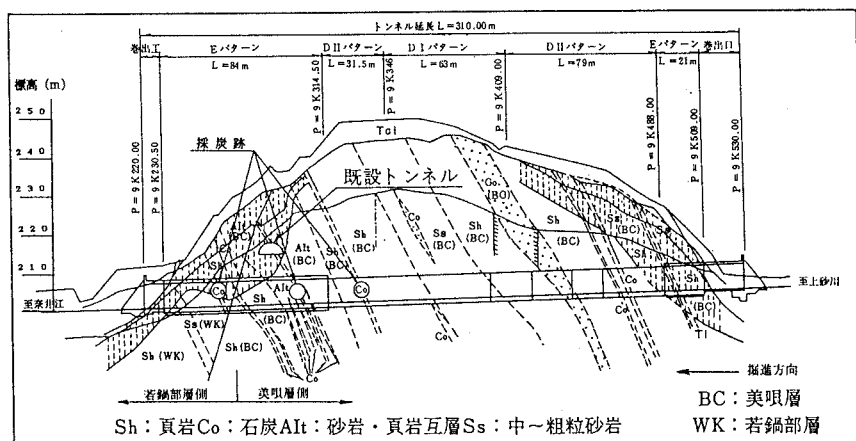


図-3 地質縦断図

3. トンネル施工上の問題点

事前の調査結果から採炭跡については推定2ヶ所以上、斜交する既設トンネル直下2mは人為的に乱されており、地山としては4m程度であること、また直下手前(上砂川側)約10m間かなり脆弱な層(施工時に採炭跡と判明)が存在することが確認された。この脆弱層は走行・傾斜の関係で既設トンネルに一番影響を与える層となる。(図-4)

したがって施工上の問題点としては以下の点が考えられた。

- (a) 採炭跡は空洞や崩壊土砂等が複雑に存在しており、周辺のゆるみ域が広範囲である可能性が大きく、新設トンネルの施工上大きな障害となる。
- (b) 既設トンネル直下手前の脆弱層での施工に際しては、既設トンネルの老朽化と考え合せた場合、新設・既設トンネル双方への影響が大きいと考えられる。

4. 交差部周辺の施工

4・1 既設トンネル直下の施工

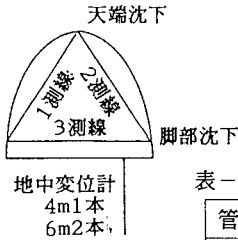
(1)計測管理

交差部の施工に際しては、次の3点について計測管理基準を設定することとした。

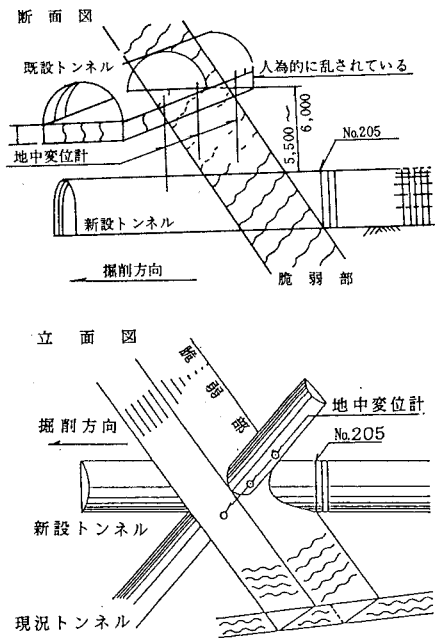
- ①既設トンネルの挙動、
- ②トンネル間地山の挙動、
- ③新設トンネルの挙動

これらの挙動は、図－4からも分かるように、交差の仕方が一様でない上、地山状況も複雑に絡み合っており不確定要素が多いことから、各々の挙動だけで安全性を判断するのは難しい。

したがって、計測管理基準は各々に対して決めるが、各挙動を他の挙動と考え合わせて総合的に判断することとした。右に既設トンネル、トンネル間地山の計測管理値を示す。それぞれの管理基準は、地山資料試験・2次元弾塑性FEM解析結果、既計測結果等を総合的に判断して設定した。



図－5 既設トンネル計測断面図



図－4 既設・新設トンネル、脆弱層関係図

表－1 既設トンネル内空の計測管理基準値（FEM解析結果を参考）

管理基準値		
天端沈下	7 mm	内空変位 4 mm

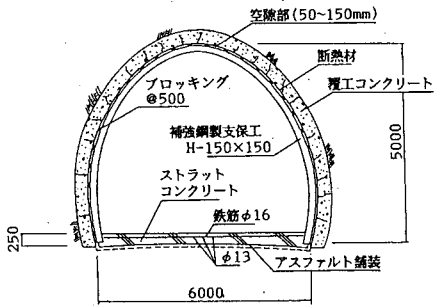
表－2 トンネル間計測（地中変位）管理基準値

管理レベル	区間変位	日変位量	底盤沈下
レベルⅠ	3mm	3mm	10mm
レベルⅡ	9mm	5mm	
レベルⅢ	23mm	10mm	

(2) 通過対策

既設トンネル交差部の施工では、事前計画として既設トンネルへの対策、新設トンネルからの対策に分け、数タイプ立案し施工性、経済性を考慮して選定した。

- ①既設トンネル補強対策としては、既設補強支保工と覆工との一体化のためのブロッキングを行い、また横方向変位の拘束により既設トンネルの耐荷力を増すためにストラットコンクリートの施工を行った。
- ②脆弱層の対策としては、既設トンネルへの影響を最小限にするため、脆弱層を改良する注入工法を考え、注入材を比較検討した結果、ウレタン系岩盤固結工法を採用した。



図－6 既設トンネル補強図

実施工において脆弱層は、当初予想されていたSP=9K304付近において切羽面左脚部より出現した。この層は一部粘土を挟む頻亀裂状態で、亀裂が大きく、抜け落ちる状況であったため、直ちに岩盤固結工法を実施した。この脆弱層の中間付近で出現した石炭層は、水平ボーリングでは判明しなかったが、粉炭状の石炭が詰まっている状態で、木片、レールも確認されたことから、採炭跡であることが分かった。したがって、約10m間の脆弱層はこの採炭跡に起因するものと思われる。

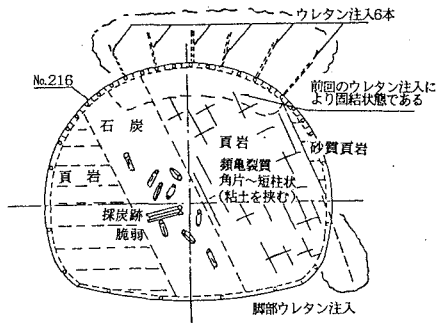


図-7 切羽観察図(SP=9^K298.2)

図-7 に代表的な切羽観察図、図-8 に対策図を示す。

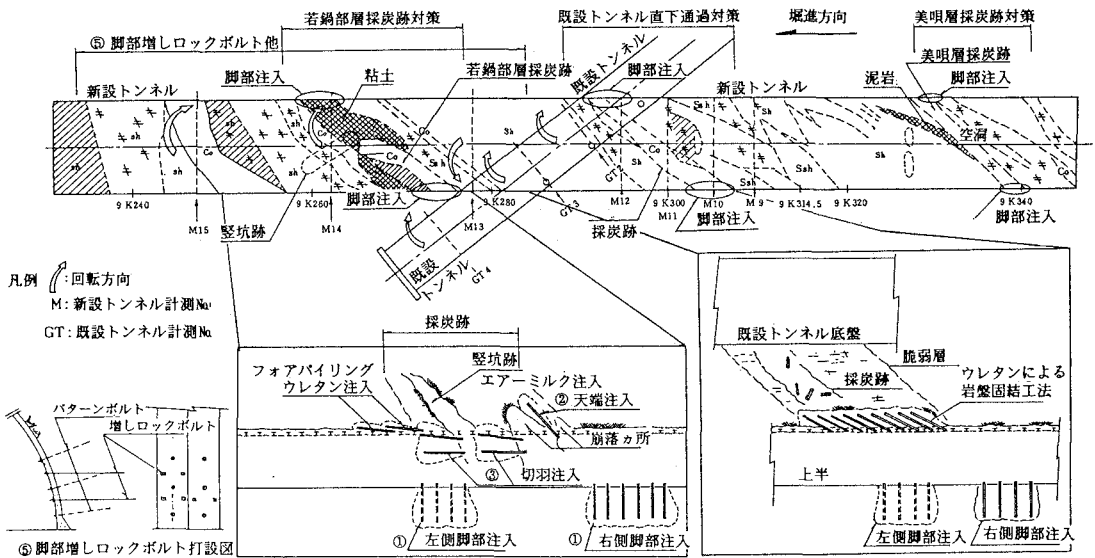


図-8 既設トンネル直下対策・若鍋部層採炭跡対策図

4・2 若鍋部層（奈井江側）採炭跡の施工

採炭跡の施工としては、次の3パターンが考えられ、それぞれの施工方法を事前計画として立案した。

パターン1	堅固な形で空洞があり、作業員が中に入れる状態における施工方法。
パターン2	空洞周辺が塑性化し、作業員が中に入れない状態における施工方法。
パターン3	空洞が崩落により、埋まっている状態における施工方法。

掘削ヶ所がどの施工パターンに対応するかは、さぐり削孔、切羽観察により判断し選定した。

若鍋部層の石炭層まで到達した時点において現況確認を行った結果、当トンネル最大の採炭跡であることが判明した。掘削進行に伴い、図-8のように既設トンネル・新設トンネルが採炭跡方向へ引きずられるようにねじれ沈下を始めた。この原因である新設トンネルの沈下に対し、以下の対策を順次行った。

①脚部注入：支保工の沈下防止・下半土平の自立。

採炭跡の掘削を進めていく過程で、脚部沈下が生じた。また同時に既設トンネルが、採炭跡の方向に回転するような変位が認められたため、事前に設定した管理基準と照らし合わせて脚部注入を実施した。

②天端注入：細粒石炭の崩落防止。

通常のフォアパイリングを行っているにもかかわらず、細粒石炭の崩落が生じたため、その範囲をさぐり穿孔により確認し、限定した範囲で実施した。

③鏡 注 入：上半切羽の自立。

天端注入を実施した次の間において、切羽と天端が崩落した。この崩落は主に切羽の安定性に起因していると判断し、良質岩盤を確認するまで注入を実施した。

④P U I F 工法：天端崩落の防止。

地質縦断図（図-3）を見て分かるように、掘削部は流れ目になっており、切羽から良質部が現れてきても天端部にはまだ細粒石炭部が残っているため、事前に崩落防止措置として実施した。

⑤脚部増しロックボルト：支保工の沈下防止。

ウレタン注入を主な補助工法として採炭跡を通過したが、そのヶ所ではねじれ沈下が続き、収束する傾向が見られなかった。既設トンネルの一部の測点では、前述した管理値を越え始め、新設トンネルでは管理レベルⅡを越える可能性が生じたため実施した。

⑥その他

採炭跡は、ほぼ上記の対応で通過することができたが、その後の地山に関しても、脆弱部が続くため、パターボルトの増設・吹付ウレタン等により対処した。また、沈下に対して巻厚確保の意味から支保工の上越しを随時行った。

5. 対策工の効果

図-9 に、代表断面の内空変位経時変化図を示す。

(a) 脚部注入

美唄層採炭跡、既設トンネル直下部については、支保工の沈下抑止に効果が現れ(M-10)、また脆弱部であるにもかかわらず下半土平掘削時も良好に施工ができ効果的であった。若鍋部層採炭跡では、脚部注入だけでは変位が収まらず、脚部増し ロックボルト、早期閉合との併用により対応している。閉合による速やかな収束は、早期に鏡注入・天端注入等も併用した地山改良を行った結果とも言えよう(M-13・M-14)。

(b) 岩盤固結工法

脆弱層での岩盤固結による対策は、事前計画に基づき早期に判断して実施したため、新設トンネルの変位も比較的小さく(M-11:M-10程度)、既設トンネルへの影響もほとんどなく、効果があったとも言えよう。

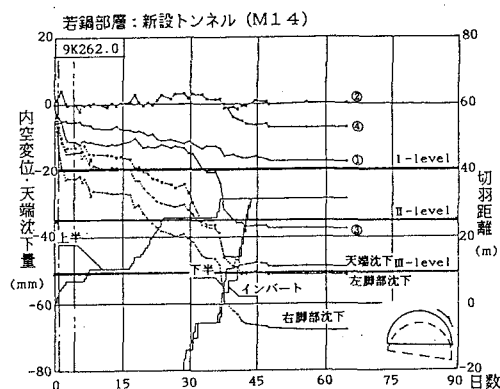
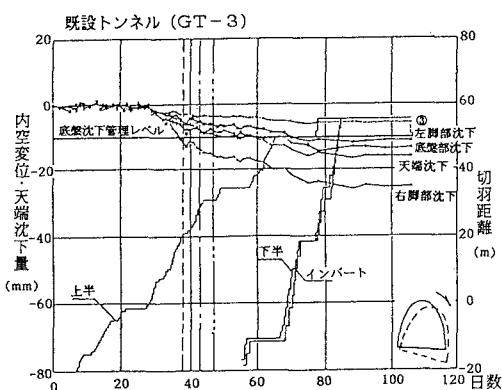
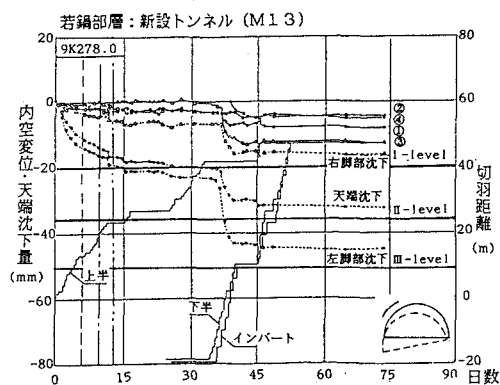
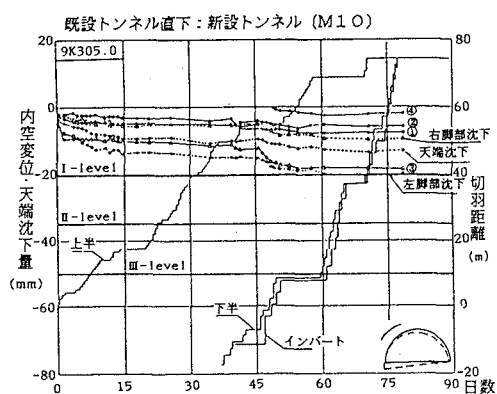
一方、既設トンネル直下を過ぎた若鍋部層側では採炭跡の影響が広範囲であり、部分的には天端、切羽の崩壊を起こし、また脚部の脆弱区間の範囲が広いこともあって、トンネル変位が管理レベルⅡ～Ⅲを越えることとなった(M-13・M-14)。このため既設トンネルはこの採炭跡に引きずり込まれるような形で変位し、予想より大きな値となった(GT-2・GT-3)。結果的には切羽注入なども積極的に行ったことで大きな問題を生ずることもなく施工できたが、この採炭跡が手前の美唄層側よりも広範囲で、かつ脆弱な地質であることが判明した段階で、トンネル直下の脆弱層と同じ岩盤固結工法に踏み切れば、より小さな変位で納めることも可能であったと思われる。

なお、トンネル間で行った地中変位については、ほぼ剛体変位となっており、区間変位は明確に確認できなかった。

(c) ストラットコンクリート・補強支保工と覆工の一体化

既設トンネル内の変位を見ると、管理レベルを越えた項目があり(GT-2・GT-3・GT-4)、トンネルの挙動としては、弱層部へ引きずられる形でねじれを起こしている(M-13・M-14)。また変位は、トンネル進行に関係なく長期に渡って続いていることから、採掘跡の地山は粘性的と考えられる。

したがって、ストラットの施工により既設トンネルを閉合したことは、新設トンネル掘削の影響による様々な応力に対して既設トンネルの挙動を最小限にし、周辺地山の挙動も拘束したと考えられ、新設・既設トンネルに対して有効な対策であったと考えられる。



凡 例 : 左側脚部ウレタン注入 -----、 右側脚部ウレタン注入 -----
(新設トンネル) 増しロックボルト・パターンボルト増 -----

図-9 内空変位経時変化図

6. おわりに

今回の施工を通して得られた成果としては、次の点がある。

- 今回のように複雑な地山では、特別な設備を必要とせず施工サイクルへの取込みが容易で、小さな節理でも固結できるウレタン注入式ロックボルトを地山状況に応じて施工することが、非常に有効であった。
- 交差部の計測結果からは、トンネル通過時までは既設トンネルにほとんど影響を与えることなく施工できたが、通過後の脆弱層に引きずられるような形でねじれ沈下現象を生じたことから、脆弱な地山の交差トンネルでは既設トンネル直下通過後も広範囲に渡って地山補強する必要があることが分かった。
- 当トンネルでは施工計画段階から、採炭跡が数ヶ所出現すると予想されており、それに伴う計測管理が頻繁になると考えられた。そのため、現行の測定方法（コンバージェンスメジャー・レベルによる測定）では対応しきれないと判断し、三次元計測システムを採用した。この採用により、地山の初期の挙動を遅滞なく把握することができ、対応策の措置が早期にできたことも、本トンネルのような問題を含むトンネルにおいて安全に施工ができた要因の一つと考えられる。

本トンネルは平成3年7月の着工以来、採炭跡・既設トンネル直下の通過等幾多の問題があったが、平成4年11月に無事工事を完了することができた。本報告が、今後の同様条件下の計画・設計・施工の参考になれば幸いである。