

第 66 回施工体験発表会(山岳)

— 山岳トンネルにおける創意工夫事例 —

日 時 : 平成 22 年 11 月 1 日 (月)
場 所 : 北の丸公園 科学技術館地下「サイエンスホール」
主 催 : 社団法人 日本トンネル技術協会
〒104-0041 中央区新富2-14-7 新光第一ビル
TEL: 03-3553-6174
FAX: 03-3553-6145
<http://www.japan-tunnel.org/>

第 66 回(山岳)施工体験発表会プログラム

開催日：平成 22 年 11 月 1 日(月)

- 司 会 事業委員会委員 (飛島建設(株)土木事業本部土木技術部トンネル技術グループ部長) 松原 利之
- 9:30 開 会 事業委員会委員長 (日本交通技術(株)相談役) 桑原 彌介
- 9:35 大規模地すべりにおけるトンネル安定確保と地すべりへの影響低減対策 1
-北海道横断自動車道 占冠トンネル東工事-前田建設工業(株)土木事業本部営業部マネージャー 本藤 敦
- 10:00 既設道路と近接交差するトンネル施工-県営広域営農団地農道整備事業(京築三期地区)トンネル工事- 9
西松建設(株)土木施工本土木設計部設計課係長 亀谷 秀樹
- 10:25 覆工コンクリートのひび割れゼロを目指す-前田覆工マルチ工法- 17
前田建設工業(株)土木事業本部土木部トンネルグループリーダー 鈴木 淳一
- 10:50 【休 憩】
- 司 会 事業委員会委員 (株)大林組生産技術本部トンネル技術部部長) 居相 好信
- 11:00 小土被り土砂 NATM による構造物近接施工-城山八王子トンネル(その1)工事- 25
鹿島建設(株)横浜支店城山八王子トンネルJV工事事務所工事係 佐藤 崇洋
- 11:25 環境に配慮した住宅直下でのトンネル施工-級河川安永川トンネル新設工事(水源工区)- 33
間・大啓建設共同企業体工事課長 初山 雅彦
- 11:50 採石場跡地の軟弱埋戻し地山における山岳トンネルの設計と施工-北関東自動車道出流原工事- 41
鴻池組・本間組・矢作建設工業共同企業体出流原工事事務所副所長 宮本 武司
- 12:15 【昼 食】
- 司 会 事業委員会委員 (戸田建設(株)土木本部土木工事技術部技術一課長) 岡村 光政
- 13:15 周辺水環境などに配慮し中央導坑方式で石灰岩層を掘削-四国横断自動車道歯長山トンネル工事- 49
五洋建設(株)名古屋支店土木部工事所長 成瀬 哲哉
- 13:40 大深度立坑施工に油圧ジャッキ昇降式スcaffordを採用してコスト縮減-大月桂台エレベーター施設新設工事- 57
清水建設(株)関東支店土木部工事長 清水 邦英
- 14:05 山岳トンネル覆工コンクリートのひび割れ防止対策-四国横断自動車道大坂谷トンネル- 65
(株)奥村組西日本支社土木技術部主任 倉田 桂政
- 14:30 トンネル交差点部縦坑3連貯水槽の解析検討と計測結果-北陸新幹線高丘トンネル(南)工事- 73
戸田建設(株)名古屋支店土木工事事務所高丘T(南)他工事副所長 戸田 一生
- 14:55 【休 憩】
- 司 会 事業委員会委員 (株)間組土木事業本部技術第三部長) 鈴木 雅行
- 15:05 大断面トンネルにおける脚部沈下抑制-第二東名高速道路島田第一トンネル- 81
(株)大林組北陸支店氷見第11トンネル工事事務所主任 下村 哲雄
- 15:30 並列トンネルにおけるずり処理システムの開発-尾道・松江自動車道大万木トンネル工事- 89
飛島建設(株)西日本土木支社中四国土木事業部大万木トンネル作業所工事主任 小塩 崇之
- 15:55 トンネル上部の明かり掘削の影響を考慮した超大断面トンネルの施工 97
-首都圏中央連絡自動車道南浅川トンネル工事- 大成建設(株)千葉支店圏央道小西作業所課長代理 西本 和行
- 16:20 供用中の既設トンネルとの最小離隔1mでトンネル施工-岐阜県国道156号福島第3トンネル- 105
大日本・金子特定建設工事共同企業体所長 増田 光泉
- 16:45 閉 会

環境に配慮した住宅街直下でのトンネル施工

— 一級河川安永川トンネル新設工事(水源工区) —

三瓶 尚志^{※1}、初山 雅彦^{※2}、稲葉 秀雄^{※3}

キーワード 低土被り，地盤改良，長尺鋼管先受工，硬岩，割岩掘削，騒音振動対策

1. はじめに

安永川は、愛知県豊田市の中心市街地の雨水排水を担う流域面積 10km²の河川である。安永川流域は四方を矢作川、籠川の堤防と丘陵地で囲まれた盆地地形であり、2ヶ所のポンプ場とトンネル河川により矢作川へ雨水を排水している。現況の安永川は流下能力不足のため、これまで度々、大雨による浸水被害を受けており、市民生活や経済活動に甚大な被害を与えた。

このため、現河川トンネルの西側に新たな排水トンネル(全長 L=2065m)を建設する河川整備計画が策定された(図1)。新設安永川トンネルは住宅街直下での施工であり、騒音・振動低減等の環境配慮が重要であった。また、予期せぬ硬岩の出現等により、さらに厳しい施工条件となった。ここでは、当工事での環境配慮の事例について報告する。

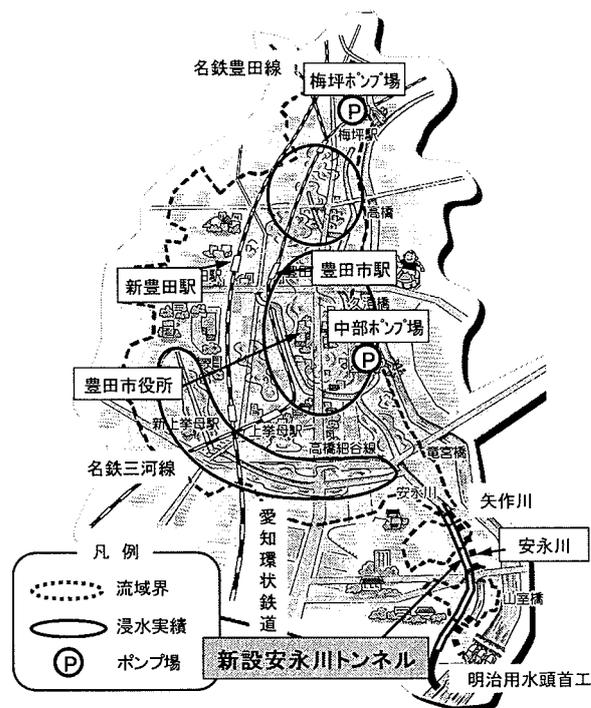


図1. 安永川流域概要図

2. 工事概要

- 工事名 : 一級河川安永川トンネル新設工事(水源工区)
- 発注者 : 愛知県豊田市
- 施工者 : 間・太啓建設共同企業体
- 工事場所 : 愛知県豊田市水源町
- 工期 : 平成20年9月30日～平成23年2月28日
- 工事内容 : トンネル掘削 L=204m (設計掘削断面積 91.5m²、図2参照)

- ※1 : 間・太啓建設共同企業体 安永川トンネル(作) 所長
- ※2 : 間・太啓建設共同企業体 安永川トンネル(作) 工事課長
- ※3 : (株)間組 土木事業本部 技術第三部 課長

トンネル計画箇所約 1.8km は、領家帯に属する堅硬な伊奈川花崗岩が基盤に広く分布し、その上部に病院・集合住宅・道路等がある。そのため、トンネル掘削時の騒音や振動を低減するため、硬岩部分では TBM にて芯抜き導坑を掘削して、その後 NATM にて拡幅する計画となっている。

当工事は、TBM によるトンネル掘削が困難と思われるマサを主体とした低土被り住宅街直下の区間（土被り 2.5m~13m）を補助工法併用 NATM にて迎え掘り（吐口側の L=204m）するものである。

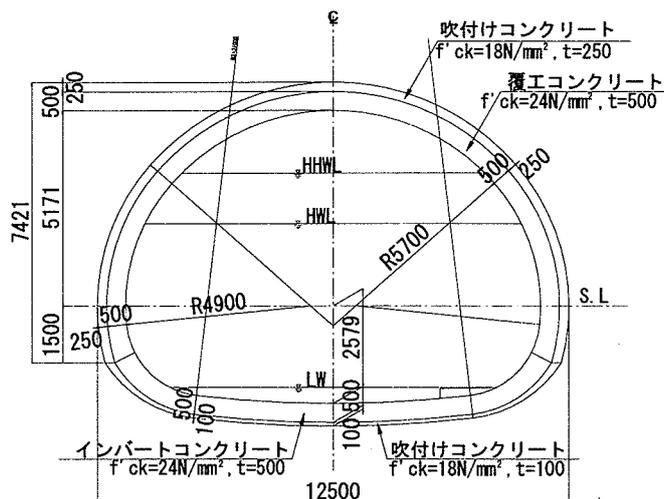


図 2. 標準断面図

3. 坑口付近の補助工法

3.1. 坑口付近の地上制約条件

吐口側坑口は、なだらかな丘陵地を宅地造成した住宅街に位置している（図 3.1）。当初設計では、土被りが 2.5~5.5m と非常に小さい坑口より 65m の区間において、3 点式大型杭打ち機をベースマシンとする深層混合改良による地盤改良（H=2.5~5.8m）が計画されていた。しかし、トンネル上部に存在する市道やライフラインなどの制約条件から、部分的に地盤改良ができない状況であった。また、トンネルの右側は、民地境界 3m 付近までの地盤改良を必要とすることや、地盤改良箇所より約 2m 低くなった場所に住宅が近接しており、大型地盤改良機械の転倒対策や威圧感の低減等も考慮する必要があった。



図 3.1. 坑口付近トンネル概要図

3.2. 補助工法の選定

地盤改良は、トンネルの上半 120°、掘削断面内側 1m、断面外側 2m の範囲の N 値 < 50 の部分を $qu=1500 \text{ k N/m}^2$ まで改良する設計で、深層混合改良が計画されていた。しかし、前述したような地上制約条件等により、浅層混合改良工法であるエスミックスラリー工法と坑内からの先受工を組み合わせる施工した。補助工法の採用に当たっては、下記の点に留意した。

- 事前にラムサウンディングにて N 値分布の再調査を実施し、地盤改良を実施する範囲を決定した。

- 大型地盤改良機械の転倒防止や威圧感低減のため、なるべくコンパクトな機械を使用する地盤改良工法を採用する。
- 地盤改良の範囲は、N 値<50 までとなっており玉石等の混入も予想されるため、浅層混合改良では比較的硬い地盤まで改良できる工法を採用する。
- 浅層混合改良の改良深度は 3m 程度に限定されるため、改良深度がそれを超える場合は 2 層改良を採用する (図 3.2.1)。
- 道路付近で地上から地盤改良できない箇所は、トンネル坑内より長尺鋼管先受工を採用する (図 3.2.2)。
- 2 層改良が行えず、地盤改良範囲が部分的に残る箇所は、天端安定対策として充填式フォアポーリングを採用する (図 3.2.2)。
- 地盤改良箇所は外周に防音シートを設置して騒音低減に努めた (写真 3.2.4)。

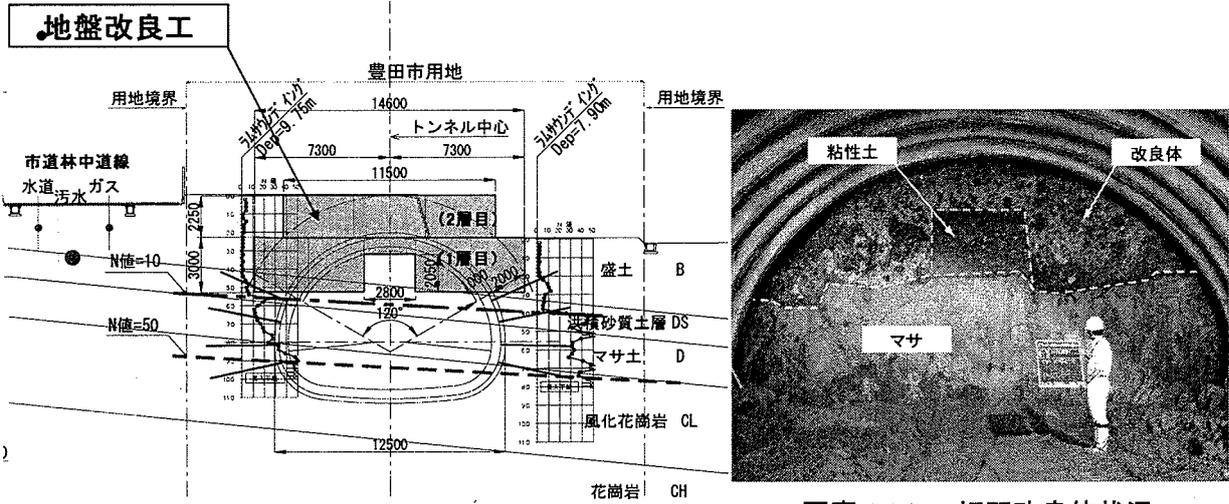


図 3.2.1. 浅層混合改良(2層改良)による補助工法断面図

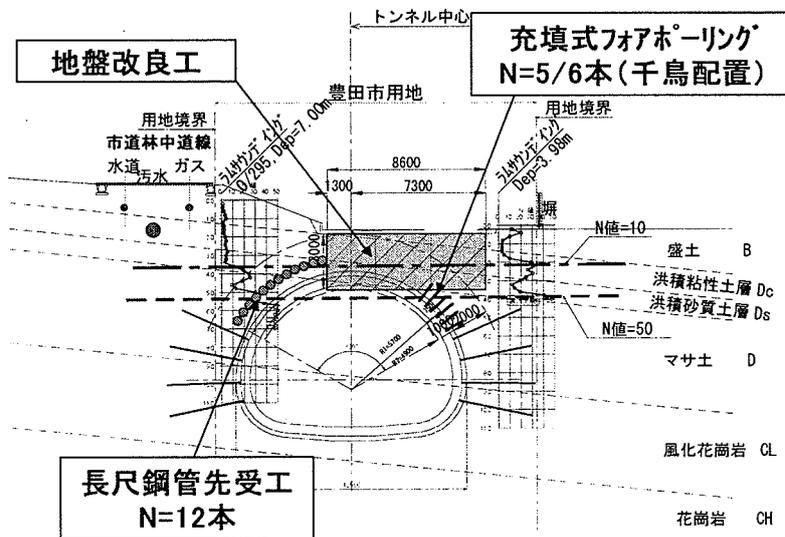


図 3.2.2. AGFと浅層混合改良を組み合わせた補助工法断面図

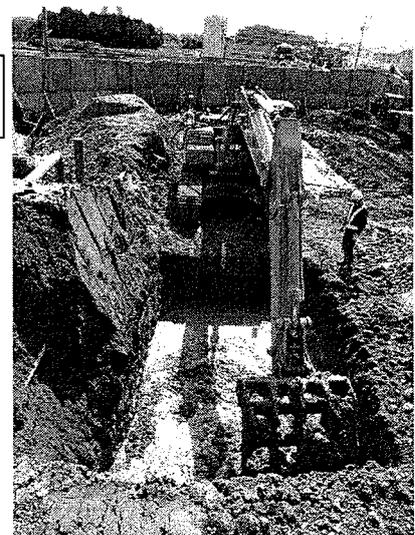


写真 3.2.4. 地盤改良状況 (エスミックスラリー工法)

3.3. 坑口付近の地表面沈下

地盤改良部分では一様に改良された改良体をトンネル掘削時に確認することができ、安定した切羽状態でトンネル掘削を行うことができた。当該箇所地表面沈下は、トンネル直上の地盤改良部分（土被り3m、買収地内）では最大34mm、長尺鋼管先受工を採用した道路部分では最大20mmに抑制することが出来た。

4. 低土被り住宅街直下での硬岩掘削

4.1. 硬岩の出現状況

坑口より80m付近までは、当初設計で想定されたマサがトンネル断面内に出現していたが、次第に花崗岩風化残留核が多くなり、坑口より87mにて一軸圧縮強度150MPa程度の新鮮な花崗岩が全面に出現して、自由断面掘削機による機械掘削ができない状況となった。油圧ジャンボによる水平地質調査の結果、この硬岩は約24m継続して出現することが判明した。硬岩出現箇所は土被り10m程度であり、トンネル中心より左側は道路直下に位置して、切羽前方では道路を横断してトンネル掘削する箇所となっている。このいずれの道路にもガス、下水道・上水道等のライフラインが埋設されており、またトンネル壁面から住宅までは4mに近接している（図4.1）。

坑口より155m付近にてほぼ垂直な傾斜で再び新鮮な花崗岩が出現した。硬岩出現箇所は土被り12m程度であり、トンネル中心より左側は道路直下に位置して、右側は宿泊施設の玄関ロータリーの直下となっており宿泊者の往来が多い場所となっている。この硬岩は、約25mの区間でトンネル掘削断面全体に出現した。それ以降については、トンネル上部にはマサが出現してその下部には継続して硬岩が出現した。

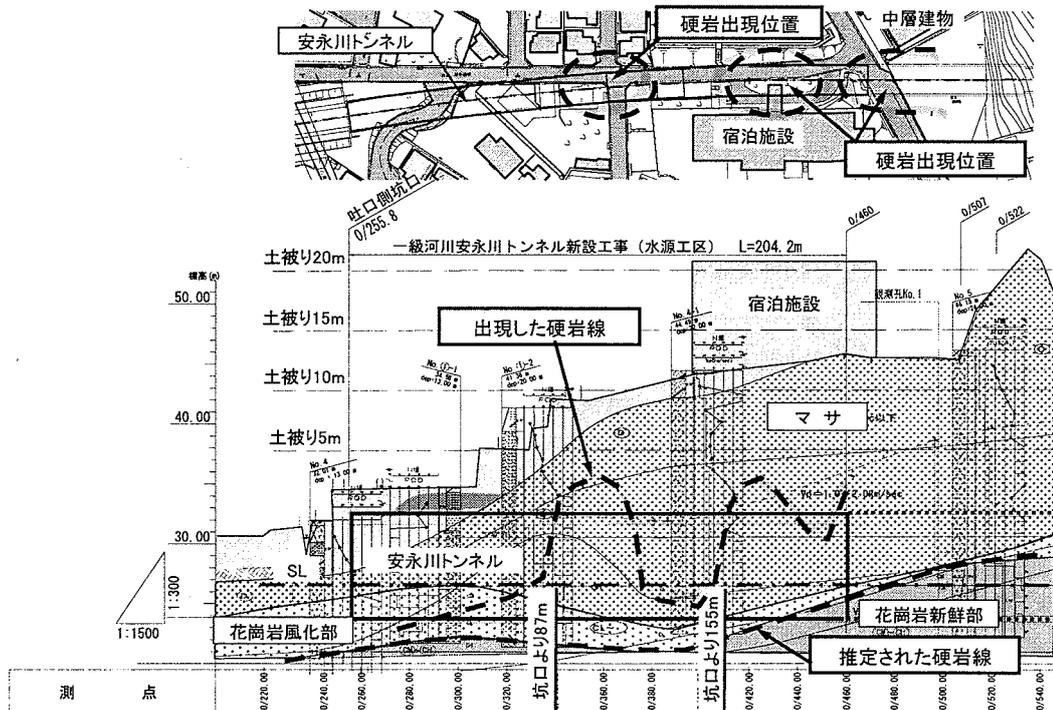


図 4.1. 全体平面図および地質縦断面図

いずれも事前に行ったボーリング調査の間を狙ったように硬岩が出現しており、まったく想定していなかったものである。

4.2. 割岩掘削の採用

硬岩の出現箇所は、土被りが少なく住宅等に近接していることから、火薬類の使用が事実上できない状態であった。また騒音・振動についても配慮する必要があったため、割岩掘削工法を採用した。割岩掘削には、汎用油圧ジャンボで施工出来るFON工法を採用した。この工法は、ジャンボにSABロッドと呼ばれる専用のアタッチメントを装着して連続孔（ $\phi 102\text{mm}$ ）を穿孔して（写真 4.2.2）、その後割岩孔（ $\phi 102\text{mm}$ ）の穿孔、超大型油圧式岩盤破碎機（ビッグー）による一次破碎（写真 4.2.3）、油圧ブレーカーによる二次破碎を行うものである（図 4.2.1）。割岩掘削試験施工の結果、出現している花崗岩が非常に堅硬であるため、割岩孔の間隔は $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ を標準とした。

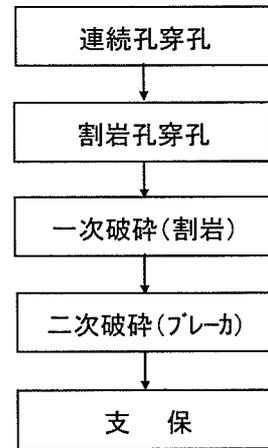


図 4.2.1. FON 工法フローチャート

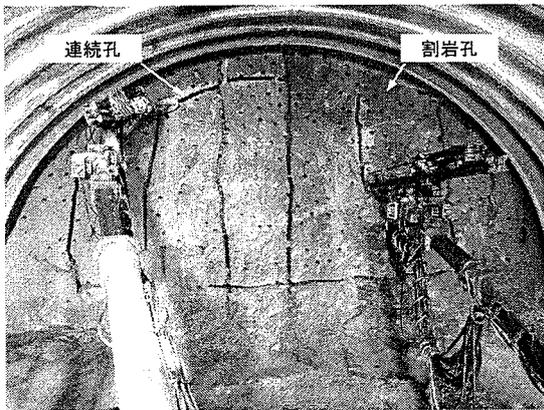


写真 4.2.2. FON 工法による連続孔穿孔状況



写真 4.2.3. 一次破碎状況

4.3. 割岩掘削箇所の補助工法

当工事ではトンネルの大部分が土被りの少ない道路直下での施工となる。したがって道路直下の区間では地表面沈下を抑制するため長尺鋼管先受工（AGF-P 工法 N=29 本、 120° ）が計画されていた。

しかし、実際には土砂と硬岩が交互に出現したため、土砂区間は基本的に長尺鋼管先受工を採用して、割岩掘削を行った硬岩区間では充填式フォアポーリングにて天端安定対策を講じた。硬岩区間から土砂区間に変化する場合は、硬岩区間より長尺鋼管先受工を打設して前方土砂区間の沈下抑制に努めた（図 4.3.1）。

トンネル掘削断面の上部はマサ、下部は新鮮な花崗岩となり割岩掘削を必要とするような場合は、上部の脆弱部 90° のみを長尺鋼管先受工としてその他の部分は充填式フォアポ

ーリングを打設して、地質状況に合わせた先受工を実施した（図 4.3.2）。

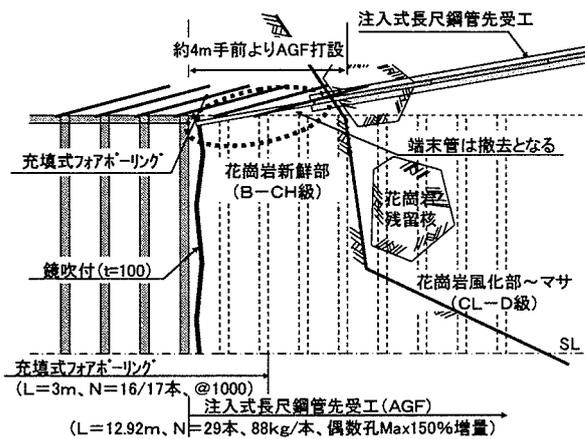


図 4.3.1. 層境補助工概要図

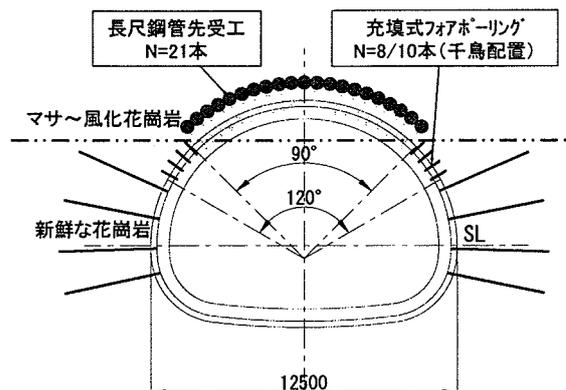


図 4.3.2. 補助工法断面図

4. 4. 割岩掘削併用機械掘削

当工事では土被りが少ないため、全区間で H-200×200 の鋼製支保工を建てこむ DIII パターンが採用されている。マサの部分では、短時間であれば一次吹付で地山崩落を防止することが可能であったが、割岩掘削に時間を要し二次破碎の油圧ブレイカー振動が長時間繰り返す状態では、一次吹付の剥落や天端の緩みを増大させる可能性があった。したがって、トンネル掘削断面の上部はマサ、下部は新鮮な花崗岩で割岩掘削を必要とするような場合は、硬岩部分を割岩掘削であらかじめ仕上げた後に上部を機械掘削して速やかに支保を実施して沈下抑制に努めた。

5. トンネル掘削時の環境配慮

当工事箇所は住宅街に位置することから、トンネル掘削時に様々な環境配慮が必要となった（写真 5.1.1）。

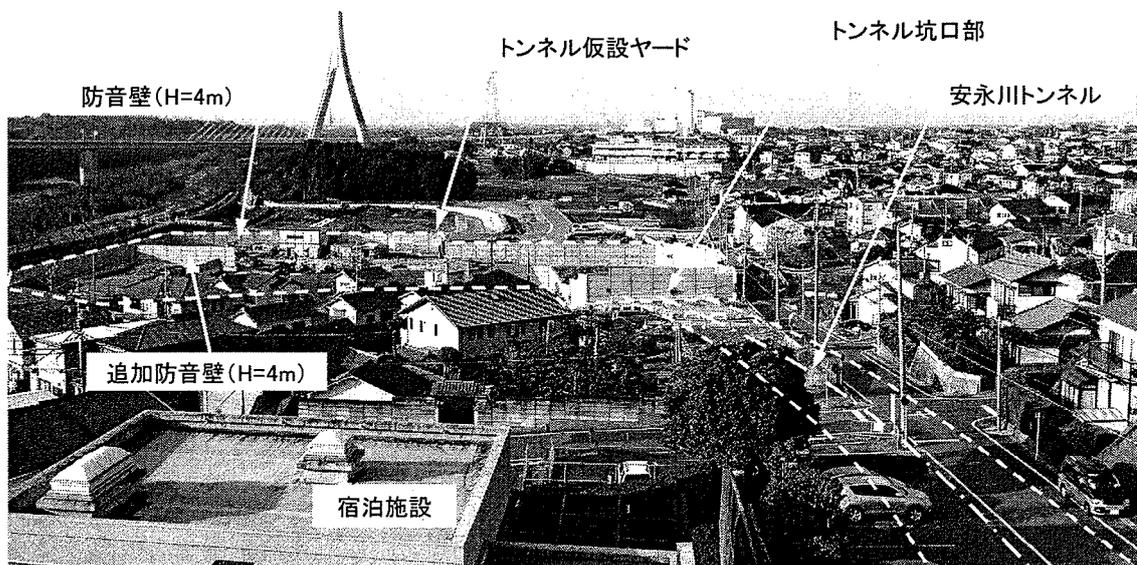


写真 5.1.1 工事箇所全景 (近接する宿泊施設屋上より撮影)

5.1. 設備面での対応

仮設ヤードの設備面では以下の環境対策を実施した。

- トンネル坑口に防音ハウスを設置してトンネル掘削初期段階より掘削時の騒音発生源を覆って騒音低減に努めた (写真 5.1.2)。
- 指定仮設の防音壁 (H=4m) のほかに、ズリ仮置き場の荷下ろし・積込みの騒音を低減するため追加防音壁 (H=4m、L=20m) を設置した。
- 騒音発生源となるバッチャープラントは設置せず、吹付けコンクリートは生コン工場から調達した。
- 仮設ヤードおよび坑口進入路の車両通行箇所は、粉塵抑制や騒音・振動低減のため舗装した。
- 矢作川沿岸水質保全対策協議会 (矢水協) の指導に従い、濁水処理設備の処理水や仮設ヤードからの雨水排水を竹ソダ柵を設置した最終沈殿池に集めて浄化した後に河川に放流した (写真 5.1.3)。

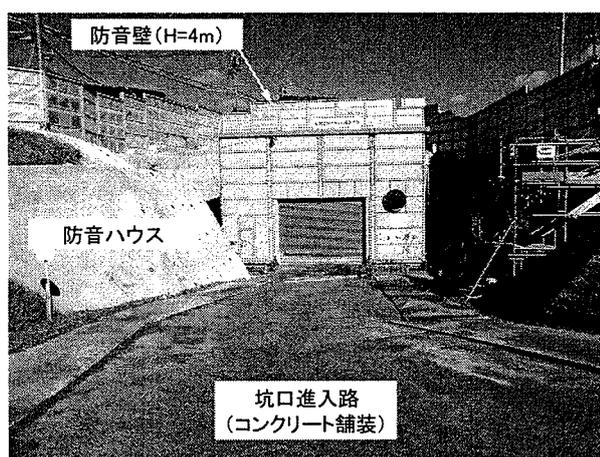


写真 5.1.2 坑口部防音ハウス



写真 5.1.3 竹ソダ式最終沈殿池

5.2. 施工面での対策

5.2.1. 騒音・振動の管理基準値

騒音と振動の管理基準値は以下の通りである。住宅街でのトンネル施工なので、当初は昼間の1方施工で計画されていた。

- 騒音管理基準値：65 dB (技術提案による上乗せ管理目標値：60 dB)
- 振動管理基準値：65 dB

5.2.2. 機械掘削時の騒音・振動

土被りが少ないことから切羽から発生する騒音と振動抑制が重要であった。そのため切羽上部の地表面付近に騒音計と振動計を配置して常時計測を実施した。坑口付近ではマサなど脆い地質であったため、防音壁や防音ハウスなどの設備面の対応で掘削時の騒音・振動は管理基準値内であった。

5.2.3. 割岩掘削時の対策

当初、作業時間は8:00~19:00までの1方施工で計画されていた。しかし、坑口から80m付近より当初想定されていなかった硬岩が出現したため、工事工程の大幅な遅延が予想された。そのため、地元住民の了承を得た上で、昼夜でトンネル掘削作業を実施した。

夜間の作業は、地表面への騒音の影響が比較的少ない穿孔(φ102mm)と割岩等に限定し、また防音ハウスのシャッターを閉め切った状態で作業した。夜間の騒音自主管理目標値は50dBとし、騒音測定データと実際の作業状況の把握を行い、住民からの聞き取り情報を踏まえて作業方法を改善した。土被り10~12mでの直近民家や宿泊施設での騒音・振動状況は以下の通りであった。

- 割岩掘削では、振動は最大40dB程度で問題とならなかった。
- 穿孔作業は、坑内では110dB程度の騒音が発生しているが、地上では50dB以下まで低下している。また連続的な騒音であるため、住民からの苦情は少なかった。
- 超大型油圧式岩盤破碎機(ビッグー)による一次破碎(割岩)は、スムーズに割れれば地上では40dB以下の騒音で体感的には聞こえなかった。一方、岩盤が硬く割れにくい場合は、クサビ中央の刃先が挿入できず油圧による打撃音が発生する。この打撃音が岩盤直接を伝わって地表面まで聞こえた。そのため割れにくい部分に関しては割岩孔を追加穿孔して割岩抵抗線を短くしてスムーズに割れるように努めた。
- 直接基礎の宿泊施設には、一次破碎時の騒音が基礎岩盤を伝わって直接建物躯体から聞こえるという現象が発生した(約55dB)。宿泊施設の近接部では夜間の割岩作業を中断せざるをえなかった。
- 割岩掘削の油圧ブレーカーによる二次破碎作業は昼間作業に限定して地上では60dB以下の騒音であった。しかしながら、局所的な当り箇所では油圧ブレーカーのノミ先が滑って長時間のブレーカー作業となったため宿泊施設や住民から不満が寄せられた。
- 油圧ブレーカーの作業時間をなるべく少なくするため、掘削断面の整形には自由断面掘削機を使用した。硬岩での切削ではカッターヘッドが跳ねる状況であったが、地上では40dB程度の騒音に抑制することができた。

6. おわりに

当工事では住宅街直下に山岳工法にてトンネルを構築するため、騒音や振動などに対する近隣住民からの苦情が懸念された。また、坑口より80m付近より予期せぬ硬岩が出現して、工事工程と環境対策のバランス確保はさらに難しいものとなったが、工事着手時よりほぼ毎月地元工事説明会を開催して住民とのコミュニケーションを図るとともに、施工方法の改善を行い工事に対する理解を得た。

トンネル掘削開始以来約1年が過ぎたが、現場を広く公開して現場見学を開催し、見学者は700名以上に達した。平成22年9月上旬には、上半は無事到達する予定である。

本報告が同種の住宅街でのトンネル工事等で参考になれば幸いである。最後に当工事施工に際して近隣の住民の方々のご指導及び助言を頂いた方々に感謝の意を表す。