

住宅連担地に位置する山岳トンネルの 周辺環境に配慮した硬質地山掘削

舟橋 孝仁¹・浦川 信行²・萩原 一隆³・田辺 洋一⁴
木村 隆則⁵・宇田 誠⁶

¹正会員 鉄建建設(株)土木本部 トンネル技術部 (〒101-8366東京都千代田区三崎町二丁目5番3号)
E-mail:takahito-funahashi@tekken.co.jp

²正会員 西日本高速道路(株)九州支社 長崎高速道路事務所 長崎北工事区 (〒854-0063長崎県諫早市貝津町1008)
E-mail:n.urakawa.aa@w-nexco.co.jp

³西日本高速道路(株)九州支社 長崎高速道路事務所 長崎北工事区 (〒854-0063長崎県諫早市貝津町1008)
E-mail:hagiwara.ab@w-nexco.co.jp

⁴鉄建建設(株)九州支店 中里トンネル作業所 (〒851-0103長崎県長崎市中里町893-1)
E-mail:youichi-tanabe@tekken.co.jp

⁵鉄建建設(株)九州支店 中里トンネル作業所 (〒851-0103長崎県長崎市中里町893-1)
E-mail:takanori-kimura@tekken.co.jp

⁶正会員 鉄建建設(株)土木本部 トンネル技術部 (〒101-8366東京都千代田区三崎町二丁目5番3号)
E-mail:makoto-uda@tekken.co.jp

中里トンネルにおける機械掘削区間の地域沿線では、坑口周辺およびトンネル直上に住居が連担している。施工時の課題として、施工前より坑口沿線住民に対する掘削時の騒音対策、硬質地山の出現による施工難航が懸念された。初期掘進時の騒音対策では防音シェルターを設置し、施工中には掘削困難な硬質砂岩に遭遇し工程の遅れが生じたため、施工方法の変更を行った。施工方法の検討の結果、最優先に坑口沿線住民、トンネル直上住民の生活環境に配慮すべく、多段式非火薬岩盤破砕剤と4 t級の大型ブレーカとの併用掘削、導火管付き雷管を使用した制御発破を採用した。これらの施工は、地域住民への丁寧な事前説明、積極的なコミュニケーションを図ったことにより、現在も沿線住民との合意形成を図れており、順調に工事を円滑に進めることができている。

Key Words : residential area bestriding districts boundary, hard rock ground, rock mass crushing, cautious blasting, environmental conservation measures

1. はじめに

住宅連担地におけるトンネル施工は、周辺住民の生活環境に影響を与えることがあるため、施工方法や施工時間に十分な配慮が必要となる。その際、受発注者が計画している工事の施工方法について、地域住民に説明し理解を得て、周辺環境を優先した施工方法を採用することが重要と考える。

長崎自動車道 中里トンネル(Ⅱ期線)は、終点側の機械掘削区間に、トンネル坑口周辺やトンネル直上に住宅が連担する。そのため、施工前からトンネル沿線住民

に対する掘削時の騒音、硬質地山の出現による施工方法の見直し等が懸念された。施工中には実際、想定を上回る硬質な砂岩が出現し、機械掘削のみでは困難となり、掘削進捗の大幅な低下が生じることから、施工方法の変更を行う必要が生じた。

本稿では、住宅連担地における山岳トンネルの施工で、硬質地山のトンネル掘削について、トンネル掘削中に実施した沿線住民の生活環境を最優先とした施工計画、掘削方式の変更と施工内容および密接な地域住民との対応について報告する。

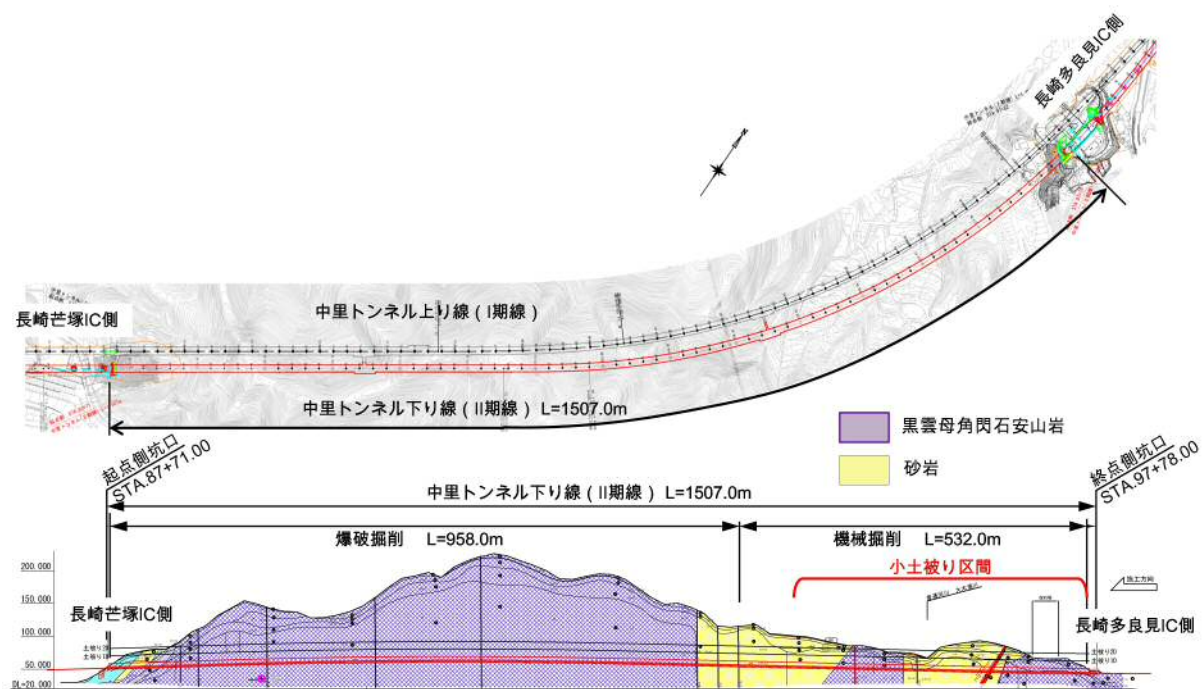


図-1 中里トンネル平面図および地質縦断図

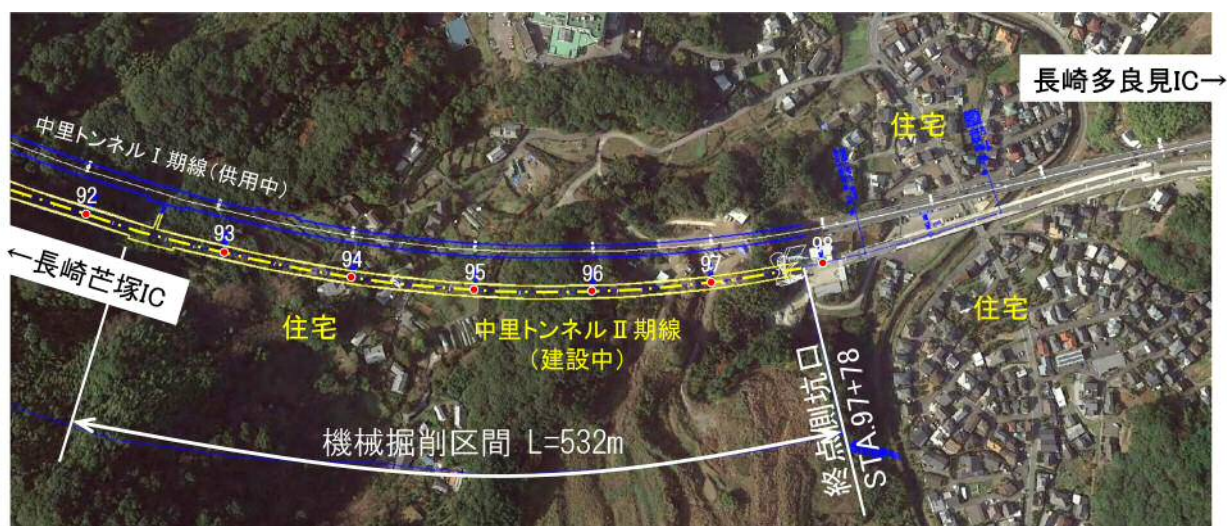


図-2 終点側坑口～約500m区間における高速道路沿線の住環境

2. トンネルの概要

(1) 地質概要

中里トンネル(Ⅱ期線)平面図および地質縦断図を図-1に示す。トンネル周辺の地質は、古第三紀始新世の堆積岩類(矢上層群)を基盤として、新第三紀鮮新世の火山活動により貫入した行仙岳火山岩類(溶岩ドーム)により形成されている。トンネルルート上は、起点側約1,000mは黒雲母角閃石安山岩(以降、安山岩と呼ぶ)が分布し、終点側約500mは砂岩およびそれに貫入する安山岩が分布している。

(2) トンネルの立地および地山条件

トンネルの立地条件として、終点側坑口から約500m区間の沿線の住環境を図-2に示す。坑口周辺に多数住宅が近接し、STA.94付近のトンネル直上に住宅が存在する。また、終点側坑口より320m付近(直上に住宅が存在する区間の始まり付近)の土被りは、2D(D:トンネル掘削幅)以下と非常に小さい(図-1参照)。

地山条件は、既往の地質調査より、岩石の一軸圧縮強さは、安山岩で80～130N/mm²、砂岩で20～80N/mm²と硬質であり、岩盤等級はC_M～C_H、地山の弾性波速度は2.0～3.5km/secを主体とする。

地山条件のみを判読した施工であれば一般に発破掘削となるが、当初設計から、終点側坑口から532m区間は、



写真-1 トンネルルート周辺に露頭した岩盤



写真-3 ブレーカによる掘削状況



写真-2 4t級の大型ブレーカ



写真-4 防音シェルター

また、補助掘削機として1.3 tブレーカも併用し、更なる掘削効率の向上を目指した（写真-3参照）。

次の3点の理由により大型ブレーカを用いた機械掘削方式を採用した。

- 1) 発破時の騒音，振動による周辺住民への影響を配慮したこと
- 2) 非常に土被りの小さい区間の施工であること
- 3) I 期線の当該区間の施工実績から，大型ブレーカによる機械掘削方式としたこと

3. 施工前に想定した課題と対策

(1) 硬質地山の掘削に対応した機械選定

地山条件，I 期線トンネルの施工記録および事前の地表踏査より，土被りが小さい区間においても硬質な地山が存在することが想定された（写真-1参照）。そこで，施工計画段階では，硬質地山の掘削対応として，掘削機の施工能力の向上を目的に，写真-2に示す4 t級の大型ブレーカ（以降，4 tブレーカと呼ぶ）を主要掘削機とした。

(2) 初期掘削時における騒音対策

地質縦断図からは坑口部付近では一部土砂化した強風化安山岩（岩盤等級D）の分布が想定されているが，局所的に未風化の岩塊や硬質な岩盤が出現する可能性もある。それらを掘削する際，4 tブレーカによる打撃音や掘削騒音で坑口沿線住民の生活環境に影響が生じることが想定された。そこで，初期掘削時の騒音低減を目的に，坑口付け完了後，坑口付け支保工から手前15 m間に写真-4に示すような，防音シェルターを構築した。当シェルターは，鋼製支保工（HH-154）をつなぎ材により1 m間隔で連結し，脚部を根固めコンクリートにより固定した後，キーストンプレートにより全体を覆う構造とした。その端部にはコンクリート充填式の防音扉を設置し，閉塞された空間内において掘削作業を行い，初期掘削段階から騒音が坑外に漏れるのを防いだ。

ブレーカ掘削時，防音シェルターの効果確認のため，騒音測定を実施し，坑口付け箇所から屋外側に約25 m地点で，地元代表者の了承を得て，防音扉を開閉した場合

表-1 騒音測定結果（防音扉開閉の効果）

測定箇所	防音扉 開	防音扉 閉	防音扉の効果
坑口前25m付近	88dB（平均）	74dB（平均）	-14dB



写真-5 切羽状況（硬質な砂岩）

のそれぞれで測定を行った。騒音レベルの測定結果を表-1に示す。防音扉の開閉による騒音値の差は約14 dBであり、当扉の設置で騒音レベルが小さくなる効果を確認した。初期の着手段階で、防音シェルターにより、十分な騒音低減効果が得られたことは、有効な騒音対策であったといえる。

4. 施工時における硬質地山の掘削と環境対策

坑口から約100 m程度の地山は、風化の影響を受け亀裂も多く、亀裂沿いには薄く粘土が挟在した軟岩（岩盤等級D～C_M）であった。そのため、4 tブレーカと1.3 tブレーカとを併用する機械掘削で対応できた。しかしながら、STA.96+30付近（終点坑口より約136 m）より、切羽には部分的に硬質な安山岩や砂岩が出現し始め、STA.96+20付近での切羽状況は、写真-5に示すように、ブレーカの”ノミあと”が明瞭に残る程硬質な地山となり、亀裂、節理等がよく密着している箇所も存在した。点载荷試験機を用いた岩片の強度試験¹⁾による岩石の推定一軸圧縮強さは、50 MPa以上の硬岩が多く、中には100 MPaを超えるものもあった。とくに、切羽に硬質な砂岩が出現した区間では、日進0.7 m程度まで進捗が低下し、機械掘削のみでは安定した進捗の確保が困難な状況となった。ところが、STA.96+25付近には地質不良箇所が想定されたため、事前にドリルジャンボの削岩機による削孔検層によりその存在の確認を行ったが、探查結果からは明瞭な地質の変化は確認できなかった。そのため、切羽前方には引き続き硬質な砂岩地山が想定され、現状の掘削方法では今後の工程に大きく影響することが懸念された。今回、硬質砂岩地山のトンネル掘削にあたり、割岩工法の採用、破碎剤の使用および発破掘削等への施

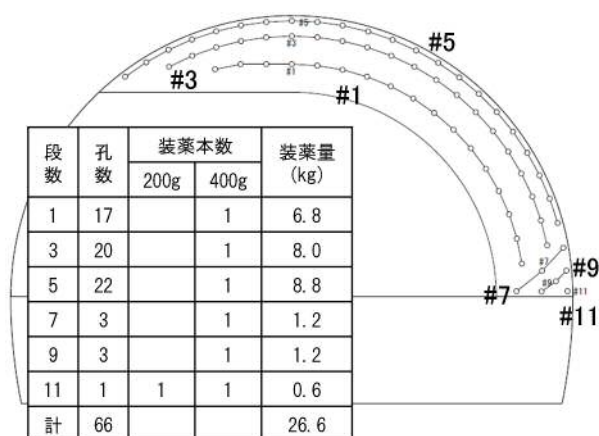


図-3 破碎パターンの一例

工方法の変更が必要となった。一方で、騒音、振動を伴う施工方法は、トンネル坑口沿線住民の生活環境に影響を与える可能性もあるため、工法選定は影響を最小限に抑えられる施工方法の選定が必要不可欠であった。選定にあたっては、坑口沿線住民への配慮を最優先とし、施工性、工程、経済性等を総合的に勘案した上で、次の施工方法を立案した。

1) 4 tブレーカと多段式非火薬岩盤破碎剤とを併用した掘削

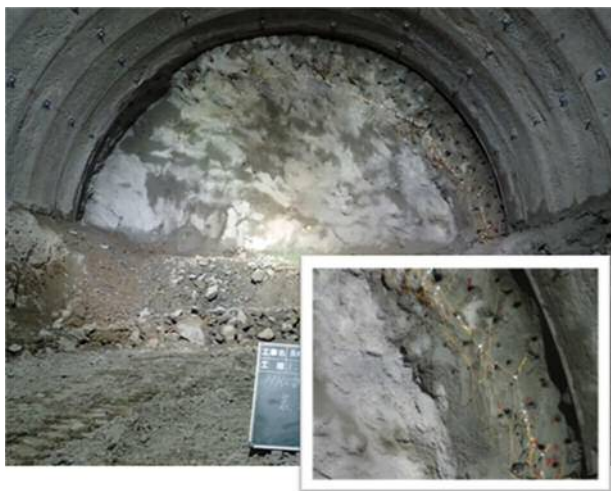
2) 導火管付き雷管を用いた制御発破

まず、施工方法の変更に伴い、工事の騒音、振動による影響が想定されるトンネル沿線住民に、掘削方式変更の必要性、破碎掘削にあたって事前に説明会を開催した。説明会では、騒音、振動を極力低減させる施工とする事や騒音、振動が大きくなる作業は夜間に行わない事を約束し、住民から施工の了解を得た。

(1) 4tブレーカと多段式非火薬岩盤破碎剤とを併用した掘削

a) 岩盤破碎計画

多段式非火薬岩盤破碎剤（以下、「非火薬破碎剤」という）は、非火薬のため火薬類取締法の適用を受けないため、比較的に取扱いも容易である。しかし、一般的な爆薬に比べ反応速度が小さく破碎能力が低い（カヤク・ジャパン(株)ホームページ：<http://www.kayakujapan.co.jp/sale/nrc.html>を参照）。非火薬破碎剤を用いて効果的な岩盤破碎を行うためには、火薬類による発破と同様に自由面を形成し、発破よりも削孔間隔を狭くする必要があるが、削孔時間や破碎剤量が増大するため、切羽の大部分の岩盤を破碎するには、施工性、経済性の面で課題が残る。また、破碎時には騒音、振動が発生するため、それらを極力低減させ、沿線住民への影響を最小限とする破碎計



(a) 破砕剤装薬，結線完了



(b) 破砕後

写真-6 破砕剤装薬完了および破砕後の状況

画が必要不可欠であった。そこで，事前に非火薬破砕剤を用いた試験破砕を実施し，その結果を踏まえ，以下の1)～4)に示す破砕計画とした。破砕パターン計画図の一例を図-3に示す（図-3は天端～右側に硬質な岩盤が存在した場合の例）。なお，破砕時に生じる騒音を低減させる環境対策として，坑口部には前述のコンクリート充填式の防音扉を設置している。

- 1) 夜間において，4 tブレーカにより芯周りや部分的に亀裂の卓越した箇所の掘削を行うことにより切羽に自由面を形成
- 2) 昼間において，非火薬破砕剤を使用し，とくに硬質な岩盤部，掘削作業に時間を要する払い周りや隅部の部分的範囲の破砕
- 3) 破砕は振動や騒音を低減するため段発破砕を採用
- 4) 試験破砕より孔間隔，抵抗線を30～60 cm程度に設定

b) 破砕状況と効果

非火薬破砕剤を用いた岩盤破砕は，装薬，結線，点火等の作業手順が発破工法と類似しているため，作業員も

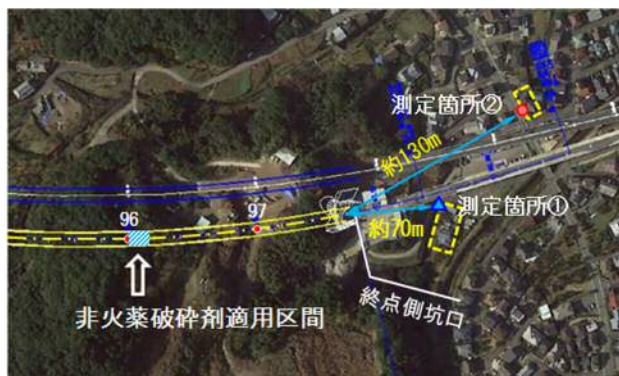


図-4 騒音，振動測定箇所

表-2 自主管理基準値

	騒音レベル	振動レベル
昼 間	80dB (暗騒音+30dB)	70dB
夜 間	70dB (暗騒音+20dB)	60dB
備 考	火薬学会を参考	振動規制法 道路交通振動 を参考

戸惑い無く作業ができた。装薬，結線完了状況および破砕後の状況を写真-6に示す。破砕後のずりはやや大きめであったものの，所定の破砕範囲の岩盤は，問題なく除去できていることが伺える。また，非火薬破砕剤を用いた岩盤破砕は，計10回実施したが，破砕剤使用量の実績は平均 1.1 kg/m^3 であった。

一方，トンネル進捗に関して，非火薬破砕剤を併用した機械掘削は，ブレーカのための施工に比べ，約2倍の進捗となった。機械掘削のみでは時間を要した硬質岩盤を，4 tブレーカでは掘削し難い払い周りの岩盤を，共に効率良く破砕でき，相当の効果が得られた。

c) 騒音，振動測定結果

破砕時，坑口周辺の家屋位置で騒音，振動測定を行った。測定は図-4に示す終点側坑口から約70 m離れた最も近い家屋付近（測定箇所①）と，約130 m離れた家屋付近（測定箇所②）の2箇所で実施した。騒音，振動の自主管理基準値は，表-2に示す値とした。騒音レベルの自主基準値は，予め暗騒音を測定した上で，昼間は「暗騒音+30dB」²⁾，夜間は「暗騒音+20dB」²⁾とした。一方，振動レベルの自主基準値は，振動規制法の道路交通振動に該当する第2種区域の値を参考とし，夜間に関してはより厳しい基準を設けた。

騒音，振動測定結果を図-5に示す。図-5の測定値は，昼間限定で非火薬破砕剤を使用した計測データである。騒音レベルは測定箇所①で最大73 dB（昼間），測定箇所②で最大70 dB（昼間），振動レベルは測定箇所①で最大53 dB（昼間），測定箇所②で最大42 dB（昼間）で

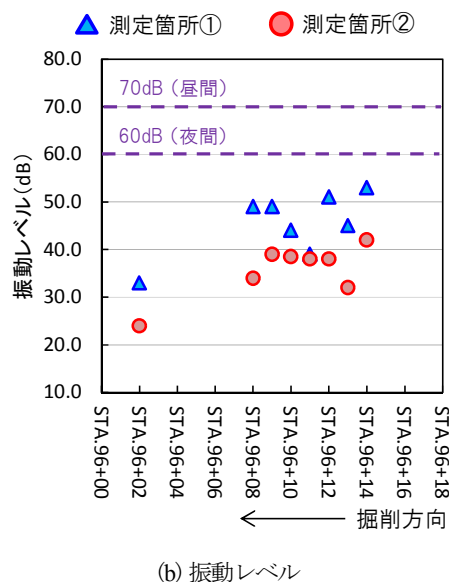
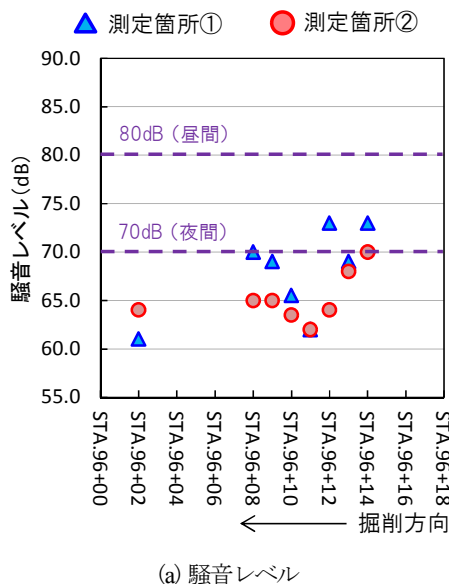


図-5 騒音、振動測定結果（非火薬破砕剤）

あり、騒音、振動ともに昼間の自主基準値を下回っていることが確認できた。とくに、振動に関しては、基準値を大きく下回っていることがわかる。また、坑口沿線住民にヒアリングを行ったところ、受認される作業音とのことだった。これらのことから、機械掘削と非火薬破砕剤を併用したトンネル掘削は、騒音、振動を極力抑え、坑口沿線住民の生活環境の保全に有効な施工方法であったといえる。

(2) 導火管付き雷管を用いた制御発破によるトンネル掘削

非火薬破砕剤を併用した掘削を継続的に実施し、また掘削効率を上げるために破砕範囲を大きくすることは、削孔時間の増大や経済的に不利となる。そこで、非火薬破砕剤を用いた施工期間を約3週間、施工延長は15mと

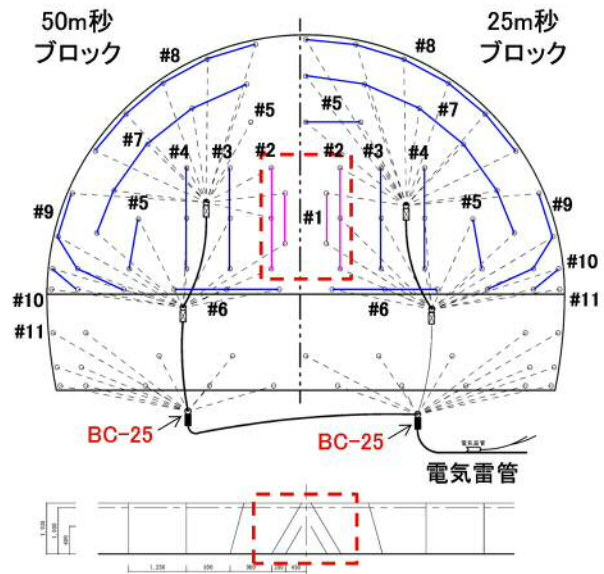


図-6 制御発破パターンおよびコネクター結線図

限定して使用した。その後、非火薬破砕剤の使用から、段階的に施工効率を向上させるため、STA.96+01付近（終点坑口より約165 m）より制御発破掘削に変更した。

a) 発破計画と対策

制御発破掘削は、騒音、振動の低減を目的に、導火管付き雷管を用いた制御方法（以降、制御発破と呼ぶ）を採用した。制御発破の標準パターン図を図-6に示す。計画では多段発破にすることによる斉発薬量の低減、補助心抜きを採用による心抜きの斉発薬量の低減により、騒音、振動低減に努めた。さらに、騒音対策として以下の1)～3)を実施した。

- 1) 坑口部における防音扉の前でダンプトラックのベッセルを上げ、坑内より伝播する音波を遮蔽する
- 2) 坑内に防音カーテンの設置
- 3) 防音扉の周囲にグラスウールを張り、音漏れを防ぎ、防音効果の向上に努める

初期の発破では、地元代表者の立会のもと試験発破を実施し、発生する騒音、振動を実際に確認して頂いた。“この程度の発破なら生活環境面に問題ない”と、理解を得て、これにより、住民の方々の振動、騒音に対する不安を払拭し、振動や感じ方をお互いに共有できた。

b) 騒音、振動測定結果

騒音、振動測定結果を図-7に示す。図-7に示した測定結果は、制御発破を実施した昼間の測定データである。騒音、振動測定箇所は、非火薬破砕剤使用時の測定箇所と同位置である。数回の試験発破を行い、騒音レベルおよび振動レベルの確認を行った。その結果、振動の値は昼間および夜間の自主基準値を満足できたが、騒音レベルについては、昼間の自主基準値は満足するものの、測

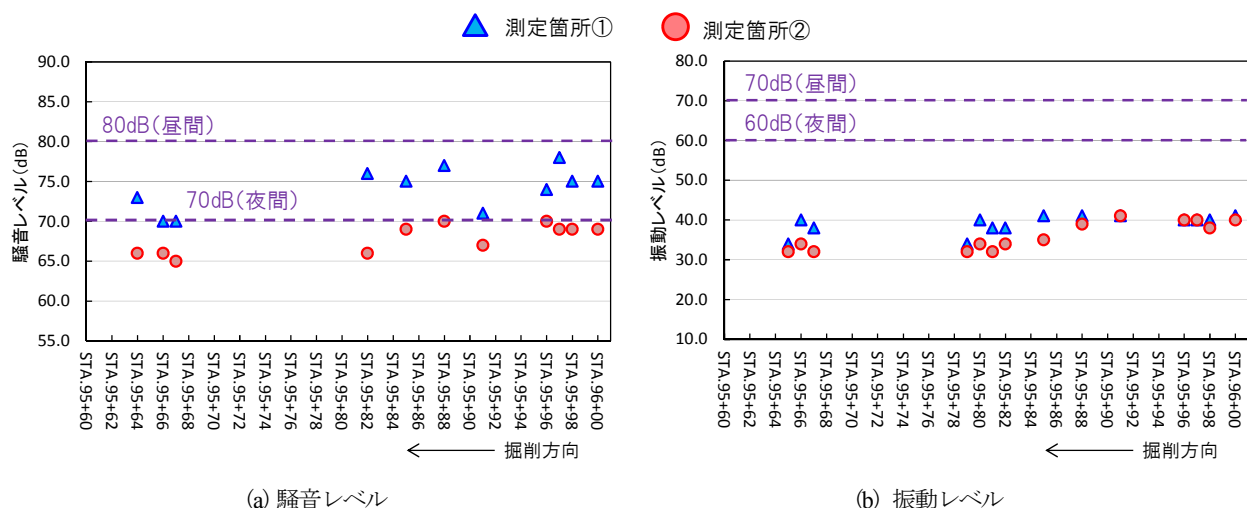


図-7 騒音、振動測定結果（制御発破）

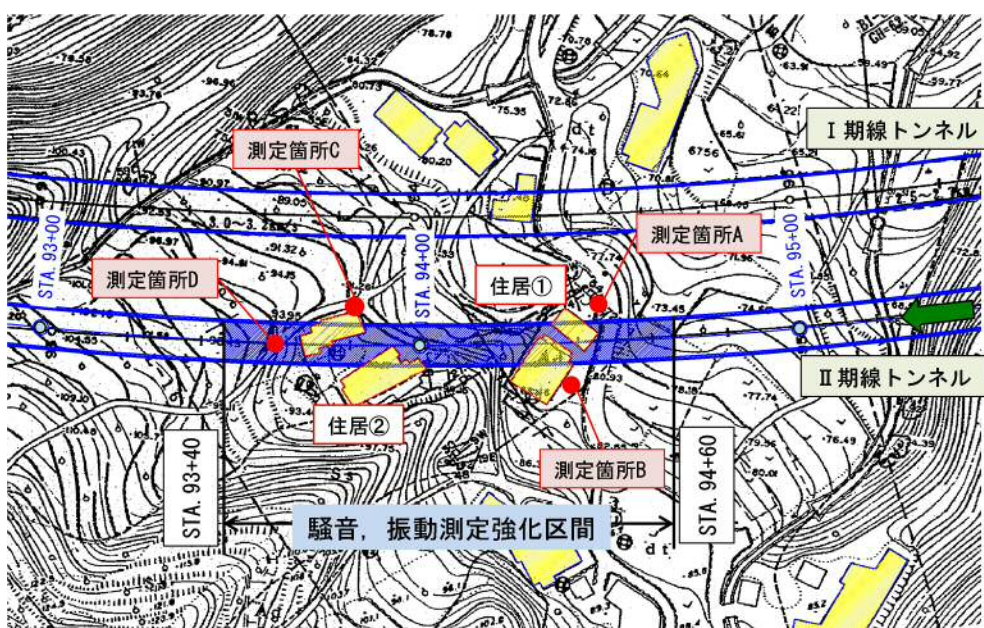


図-8 トンネル直上に住居が位置する区間の平面図

定箇所①で、夜間の基準値を超過する傾向が続いた。そのため、発破は夜間（22:00～翌6:00）には行わず、昼間のみ制御発破による掘削を行うこととした。途中、地山の状況に応じて、爆薬量を減らすことや、発破は実施せず4tブレーカによる掘削を行うことで、騒音、振動のさらなる抑制に努めた。その結果（図-7参照）、制御発破を行った区間では、騒音、振動ともに昼間の基準値を下回り、とくに、振動レベルは夜間の基準値に対しても大きく下回ることが出来た。

騒音、振動の感じ方は人それぞれであるため、坑口周辺住民の方に感想や要望等を伺うなど、約束したことをきちんと守り、それを施工へフィードバックさせ、コミュニケーションを図ることで円滑に工事の進めることができた。また、現地には、お知らせ掲示板を沿線各箇所に設置し、トンネルの進捗や切羽の状況写真を掲げ、地

域住民との合意形成を得るうえで大切なツールとした。

制御発破によるトンネルの進捗は、2～3 m/日を確保でき、機械掘削のみの場合に比べ2～4倍程度の向上が図れた。

5. トンネル直上の住民に配慮したトンネル掘削

(1) 発破計画と対策

STA.93+00～STA.95+00付近の平面図を図-8に示す。トンネル直上には住居が位置し、土被りは2～3D（D：トンネル掘削幅）と比較的小さい。また、当該区間のトンネル掘削部の地質は、C₆級の安山岩および砂岩が分布しており、I期線の施工実績もCII-aパターンであった。このことから、当該区間の掘削にあたっては既施工区間

同様、硬岩地山の出現により機械掘削のみでは対応できないことが想定された。そこで、この区間の施工方法は、既施工区間同様の制御発破を計画した。施工にあたっては、当該区間の土被りが比較的小さいため、住居直下付近で発破する際、それに伴う騒音、振動により住民の生活環境に影響を及ぼすことが懸念された。そこで、当該地区の住民に説明会を開催した。住居直下付近の掘削方法について説明し、下記1)～3)の事項を施工計画に反映することで、施工の了解を得た。

- 1) 夜間（22:00～翌6:00）の発破は行わない
- 2) 騒音、振動を最小限に抑えた発破計画とする
- 3) 騒音、振動測定強化区間の設定（測定頻度の増加）

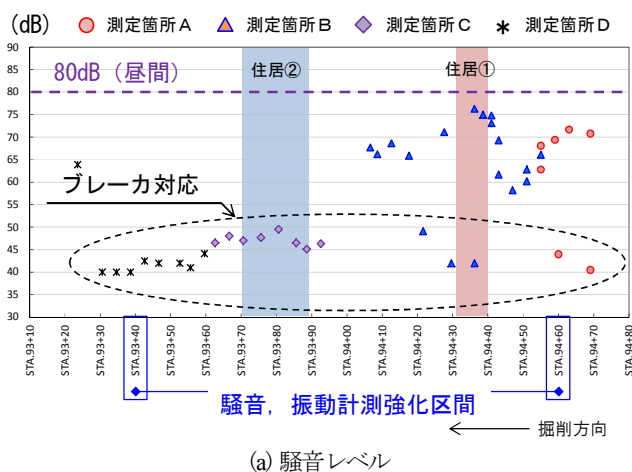
施工段階では、さらなる対応として、地山の状況に応じて孔当りの爆薬使用量を低減（0.6 kg/孔未満）し、4 t ブレーカのための掘削も実施。最優先にトンネル直上の住民への影響を最小限にすることを考え施工を行った。また、施工最中では、トンネル直上の住民との密接なコミュニケーションを図るため、ほぼ毎日、受発注者が顔を出し、顔を見て住民の感じ方を把握することに努めた。

(2) 騒音、振動測定結果

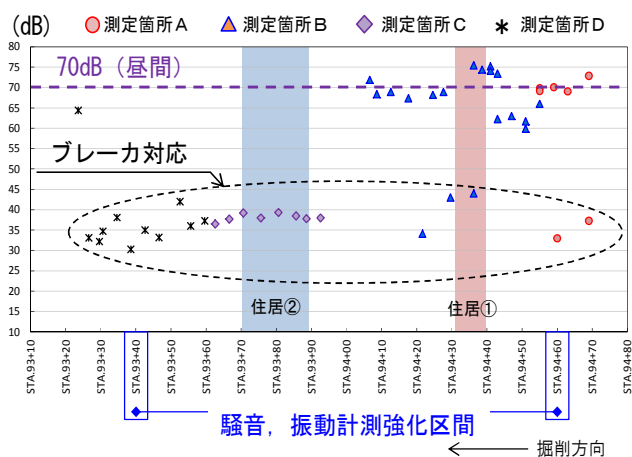
図-8に騒音、振動測定位置、図-9に測定結果および写真-7にトンネル直上住居付近の騒音、振動測定状況を示す。騒音レベルは自主基準値を超過することがなかったが、振動レベルは住居①直下に差し掛かる直前より、自主基準値を超過する傾向が確認できた。このことを踏まえ、住居①の住民に対して、振動の感じ方や生活等への支障はないか伺ったところ、生活には支障はないものの、発破振動の影響と考えられる窓ガラスの微振動が生じていることを確認した。そこで、影響の軽減を図るため、1段あたりの爆薬量をさらに低減、部分的な発破を実施した。しかしながら、振動レベルの大幅な低減には至らなかったため、住居①直下区間はブレーカ掘削を主とした機械掘削で行うこととした。一方、住居②の直下およびその付近の掘削も、ブレーカ掘削のみで対応した。そのため、振動レベルはかなり小さい値であり、直上にお住いの方は受認される作業として理解頂き、住居直下区間を無事に通過することができた。

6. まとめ

当トンネルの機械掘削区間は、トンネル沿線に多くの住民の方が生活している。また、想定を上回る硬質地山に遭遇し、ブレーカ掘削のみでは掘削困難であり、トンネル掘削進捗の大幅な低下が生じた。そこで、トンネル掘削に際し、トンネル沿線住民の生活環境の保全に努めるべく、施工計画・施工方法の変更を行った。以下に実



(a) 騒音レベル



(b) 振動レベル

図-9 騒音、振動測定結果(トンネル直上住居付近通過時)



写真-7 騒音、振動測定状況(トンネル直上住居付近にて)

施して得られた知見をまとめる。

- (1) トンネル掘削初期の坑口沿線住民への騒音対策として、防音シェルターを設置した。その効果は、防音扉開閉のみで約14 dBの騒音低減効果が確認でき、有効な騒音低減対策と考えられる。
- (2) 4 t ブレーカ掘削では施工困難な硬質砂岩の出現に対し、最優先に坑口沿線住民への騒音、振動による影響を最小限にすることとし、先行の手法として、「4 t ブレーカと多段式非火薬岩盤破碎剤とを併用し

た掘削」を採用した。次に段階的手法として、「導火管付き雷管を使用した制御発破」を用いた。

- (3) 4tブレーカと多段式非火薬岩盤破砕剤とを併用した掘削の破砕効果は、所定の破砕範囲の硬質岩盤を効率よく除去でき、ブレーカ掘削のみの場合に比べ、約2倍の進捗を確保した。また、騒音、振動ともに自主基準値を大きく下回り、坑口沿線住民へのヒアリングからも一定の理解を得た。
- (4) 導火管付き雷管を使用した制御発破では、騒音、振動低減対策として、1孔当りの薬量低減、補助心抜き採用、坑内外における更なる防音対策等を実施した。昼間限定の制御発破であったが、騒音、振動ともに自主基準値を下回る結果が得られ、進捗も機械掘削に比べ2～4倍の進捗を可能とした。
- (5) トンネルルート直上に住居が位置する区間では、事前に地区住民へ発破掘削の必要性を説明。施工時間等の制約があるものの、施工計画に反映し掘削を行った。導火管付き雷管を使用した制御発破は、施工中、振動レベルが自主基準を上振れする傾向が続いたため、ブレーカ掘削にて対応し、直上地区へ真摯に向き合うことで、住居直下区間を無事に通過することができた。

7. おわりに

住宅連担地に位置する山岳トンネルの施工は、円滑な工事進捗のために、沿線住民への丁寧な説明、要望の把握を確認することが必要不可欠と考え、それをひたすら実行した。施工過程においても常に住民との積極的なコミュニケーションを図り、施工時の環境測定、施工計画の見直しを繰り返し行い、改善と工夫を試行錯誤しながら、常に住民の安心、安全を第一に考え、住民のニーズにこたえるように努めた。

現在も沿線住民との深い信頼関係が実存する。その背景には、以上の地道な取組みに有るものと確信している。

参考文献

- 1) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：NEXCO 試験方法 第7編 トンネル関係試験方法, p.19, 2015.
- 2) 火薬学会 発破専門部会：発破振動・騒音・振動・低周波の規制値に関する提言（第1報），EXPLOSION, Vol.4, No.3, pp.159-160, 1994.

(2017. 8. 11 受付)

ENVIRONMENTALLY AWARE EXCAVATION OF A MOUNTAIN TUNNEL IN A RESIDENTIAL AREA BESTRIDING DISTRICTS BOUNDARY, THROUGH HARD ROCK GROUND

Takahito FUNAHASHI, Nobuyuki URAKAWA, Kazutaka HAGIWARA,
Youichi TANABE, Takanori KIMURA and Makoto UDA

Along the tunnel area of mechanical excavation in the Nakazato Tunnel, there are numerous residential buildings in the vicinity of the tunnel portal and directly above the tunnel. Before start of construction, there were concerns about noise problems for the residents in the vicinity of the tunnel portal in the initial stages of excavation and the necessity of having to revise work methods in the event that hard rock ground was encountered. Noise shelters were installed as a measure to deal with the noise problem in the initial stages of excavation. The method adopted included excavation through joint use of a non-explosive rock crushing agent and a 4t class large breaker, and cautious blasting that used a shock tube detonator. In these operations, the company in charge of the project provided local residents with sufficient explanation and engaged in proactive communication.