

都市部硬岩地山における小断面トンネルの施工に関する一考察

(株)鴻池組 本社 土木技術部

(株)鴻池組 大阪本店 名塩道路城山地区切土工事

国土交通省 近畿地方整備局 兵庫国道事務所

正会員 ○山田 浩幸

平松 丈

後藤 啓太

1. はじめに

生瀬トンネルは、都市部における延長 $L=311\text{m}$ の山岳トンネルである。本トンネルを取り巻く厳しい施工条件下での施工にあたり、課題の解決のために施工者の高度な技術と経験を取り入れることのできる技術提案交渉方式の技術協力・施工タイプ（ECI 方式）が採用された。本トンネル終点側において、トンネルの暫定供用（トンネル交互通行）時に交差点改良の関係から歩道の一部（終点側 $L=37\text{m}$ 区間）のスペースが車道と干渉するため、歩行者用の人道トンネルが追加発注となった（写真-1）。

終点側坑口付近は住宅地に近接しており、硬岩地山の小断面トンネルの掘削時には騒音・振動等の影響が懸念された。

本稿では、都市部硬岩地山における小断面の人道トンネルで採用した非火薬岩盤破碎工法をはじめ掘削時の工夫について報告する。

2. 施工概要

表-1 に工事概要を示す。トンネルの地質は、全体的に亀裂の発達した硬質の溶結凝灰岩が分布しており、旧 JR 隧道と本坑の交差部分（ $L=115\text{m}$ ）と鉄塔近接部に関しては、ECI の検討結果より、補助工法として施工範囲を限定した長尺鋼管フォアパイリングを施工した。また、終点側坑口付近で暫定交差点改良の関連から歩行者用の人道トンネル（ $L=37\text{m}$ ）が追加施工となった。本坑（ $A=80.9\text{ m}^2$ ）では、4 t 級+2 t 級ブレーカ併用で掘削を行ったが、歩行者用の人道トンネル（ $A=17.4\text{ m}^2$ ）の掘削では断面が小さいため 0.8 t 級のブレーカの使用が限界であった。そこで、硬岩地山部で非火薬岩盤破碎工法（ロックラック）を採用し、掘削サイクルの向上を図った。

3. 非火薬岩盤破碎工法の概要

非火薬岩盤破碎工法とは、酸化還元反応（テルミット反応）により破碎剤中に含まれる結晶水が瞬時に気化して水蒸気（ガス圧）に変わり、破碎孔内に高い膨張圧が作用し、岩盤やコンクリート構造物を破碎する工法である。

以下にその特徴を示す。

- ①非火薬のため火薬類取締法の適用を受けず、保管や消費許可等に係る取扱いが簡便である。
- ②膨張圧で岩盤を破碎するため、爆薬に比べ低振動の破碎を行うことが可能となる。
- ③瞬発点火具は通常の発破器で点火することができ、経済的である。
- ④電子制御による段発点火具を使用することができ、トンネルや深礎等での破碎効果が向上する。
- ⑤取扱いも火薬と同様であり、トンネル作業員が作業することで安全性が確保できる。



写真-1 終点側坑口部全景

表-1 工事概要一覧

工 事 名 称	名塩道路 城山トンネル工事
工 事 場 所	兵庫県西宮市塩瀬町城山地先
工 期	平成31年3月～令和4年9月
発 注 者	国土交通省 近畿地方整備局
施 工 者	株式会社 鴻池組
延 長	本坑トンネル $L=311\text{m}$ 、人道トンネル $L=37\text{m}$
断 面	①2車線道路トンネル：掘削断面積 $A=80.9\text{ m}^2$ ②人道トンネル：掘削断面積 $A=17.4\text{ m}^2$
施 工 法	NATM
掘 削 方 式	機械掘削（大型ブレーカ）、非火薬岩盤破碎
掘 削 工 法	本坑：DⅢバターン、DⅢバターン（補助工法併用） 人道：DⅠバターン、DⅠr（補助工法併用）DⅢr
補 助 工 法	天端安定対策： ①長尺鋼管フォアパイリング （ $L=12.5\text{m}$, $\phi 114.3\text{mm}$, @450mm, 打設間隔9m） ②小口径長尺鋼管フォアパイリング（多段式） （ $L=13.5\text{m}$, $\phi 76.3\text{mm}$, @450mm, 打設間隔5m） ③注入式フォアボーリング 本坑：（ $L=3.0\text{m}$, $\phi 24\text{mm}$, @600mm, 打設間隔1m） 人道：（ $L=2.0\text{m}$, $\phi 24\text{mm}$, @600mm, 打設間隔1m） 鏡面の安定対策：鏡吹付（ $t=50\text{mm}$ ） 脚部の安定対策：吹付けインパート（ $t=250\text{mm}$ ）

キーワード 山岳トンネル，小断面トンネル，硬岩地山，非火薬岩盤破碎，騒音・振動対策

連絡先 〒541-0057 大阪府中央区北久宝寺町 3-6-1 (株)鴻池組 本社 土木技術部 TEL06-6245-6568

4. 小断面トンネルの施工

本坑では、写真-2 に示すように 4 t 級+2 t 級大型ブレーカ併用で掘削を行ったが、人道トンネルは写真-3 のとおり小断面のため、0.8 t 級ブレーカでの施工となった。補助的に空穴の削孔などサイクル向上対策を講じていたが、硬岩部では掘削に半日以上かかる状況であった。

人道トンネルの施工は昼間一方施工であり、吹付けコンクリートはプラント購入生コンを使用した。そのため、掘削サイクルの遅れが工事全体の遅延につながる懸念があったため、非火薬岩盤破碎工法を採用した。

硬岩部において、自由面を形成するための芯抜き部（中央）や当り取りを含めた外周部および隅踏前（足元）を岩盤破碎することで掘削時間の短縮が図れた。なお、トンネルの施工サイクルは、非火薬岩盤破碎工法の採用により 1 サイクル/日（1m/日）の進行を確保できた（写真-4）。

5. 現場周辺環境の確保

非火薬岩盤破碎工法の採用にあたっては、破碎により想定される振動・騒音について予測するとともに、事前に試験破碎を行い、騒音・振動を測定して周辺住宅地への影響を確認した。

図-1 に試験破碎時の終点側近接住宅付近の騒音測定値を示す。

発生騒音に関しては最大値で 66.1dB であり、火薬学会の発破を対象とした管理値を参考にして設定した自主管理値 95dB（暗騒音 65dB+30dB）を大きく下回る値であった。

なお、振動は 48.4dB（管理値：73dB）、低周波は 96.9dB（管理値：130dB）といずれも自主管理値内で収まった。

騒音（低周波）・振動に関しては、感じ方に個人差があるため、円滑に施工を進める目的で以下の工夫を実施した。

- ①非火薬破碎にあたっては、斉発量低減のため、5 段の分割とし、最大 30 孔/1 破碎として分割破碎を行った。
- ②人道トンネル坑口に関しては防音シートを設置した。
- ③非火薬による破碎時間を予め定め、事前に住民に周知した。
- ④発破時は影響が想定されるトンネル近接住居に出向き、住民とともに破碎時の状況を確認することで理解を得た。

6. おわりに

今回、生瀬トンネル終点側の人道トンネルの施工において、硬岩地山における非火薬岩盤破碎工法による掘削に関して報告した。

小断面トンネルの施工では、小断面であることによる制約条件から掘削に必要な大型ブレーカが使用できないため、火薬類取締法の適用を受けない非火薬岩盤破碎工法を採用した。また、当該箇所は都市部で住居に近接することから、岩盤破碎時の周辺環境の確保に配慮し、住民への説明及び破碎時の環境測定（騒音・振動測定）を行うことで無事硬岩部のトンネル掘削を完了できた（写真-5）。今回の報告が、同種施工条件のトンネルの施工において参考になれば幸いである。



写真-2 本坑掘削状況



写真-3 人道トンネル掘削状況



写真-4 非火薬岩盤破碎状況

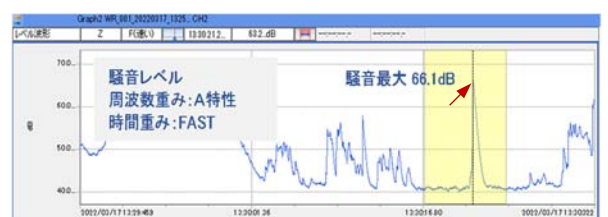


図-1 騒音測定結果 (近接住宅: 人道トンネルより 100m)



写真-5 本坑掘削状況