

都市部における超近接無導坑メガネトンネルの 施工と新技術の適用に関する一考察

山田 浩幸¹・大槻 文彦²・木村 圭吾³

¹ 正会員 (株) 鴻池組 本社土木事業本部 技術部 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1)
E-mail:yamada_hy@konoike.co.jp

² (株) 鴻池組 大阪本店 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1)
ohtsuki_fh@konoike.co.jp

³ (株) 鴻池組 大阪本店 (〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1)
kimura_kg@konoike.co.jp

名塩八幡トンネルは，上下線が約1mで近接する超近接メガネトンネル構造（特殊断面トンネル）であり，無導坑方式で計画されていた．また，都市部での施工であったため，トンネル周辺には，供用中の高速道路，神社，マンション等の重要構造物が近接しており，厳しい制約条件のもと，安全管理と周辺環境の保全を確実に実施する必要があった．トンネルの施工においては，種々の課題を解決する目的から最新技術の導入を行った．

今回，超近接メガネトンネルの施工時に導入した最新技術の紹介とその効果について報告する．

Key Words: Mountain Tunnel, Urban-areas Construction, Twin-bore Tunnel, Safety Management, New Technology

1. はじめに

西宮市から宝塚市へ至る国道 176 号の改良工事のうち，名塩道路八幡トンネル工事は，先行して整備を進める第 1 工区 (L=1.4km)，西宮市名塩南之町～東之町に至る延長 L=242m の山岳トンネル工事であり，用地の制約条件から超近接無導坑メガネトンネルの構造で計画されていた．都市部での施工ということもあり，周辺環境の保全と安全管理を確実に実施する目的から最新技術の導入を行った．

本報告では，八幡トンネル工事で適用した新技術のうち，切羽前方予測に活用した CIM (3D 地質モデル) と周辺環境保全対策として導入したエキセントリックリッパの紹介と導入効果について述べる．

2. 工事の概要

当工事は，表-1に示すとおり，名塩道路に計画された延長L=242mの山岳トンネル工事である．

名塩八幡トンネルの構造は，上下線の最小離隔距離が約1m（最小部分82cm）で近接した，超近接無導坑メガネトンネル構造であった（写真-1，図-1）．

周辺制約条件として，南側に中国自動車道，上部に神社，北側にマンションが近接し，最大土被りが22mで，全線にわたり土被りが2D以下と小さい．

トンネルの地質は，神戸層群の砂岩・礫岩の互層であり，設計では，比較的良好な地山で，一軸圧縮強度は，概ね10～20MN/m²，最高値が23.1 MN/m²であることから，早期閉合時の施工性を考慮してツインヘッドによる機械掘削が計画されていた．



写真-1 トンネル施工状況

表-1 工事概要

工 事 名 称		名塩道路 八幡トンネル工事	
工 事 場 所		兵庫県西宮市塩瀬町名塩南之町地区～東之町地区	
工 期		平成25年2月～平成27年6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	
工 事 内 容	延 長	L=288m (トンネル延長L=242m、上下線)	
	断 面	掘削断面積A=87㎡ (上り線) ,117㎡ (下り線) 超近接無導坑メガネトンネル	
	施 工 法	NATM	
	掘削方式	機械掘削	
	掘削工法	DⅢパターン (早期閉合) DⅠパターン (早期閉合)	
	補助工法	天端安定対策：多段式長尺鋼管フォアパイリング 注入式フィアポーリング	
		鏡面の安定対策：鏡吹付、鏡ボルト 脚部の安定対策：脚部補強工 (フットパイル)	

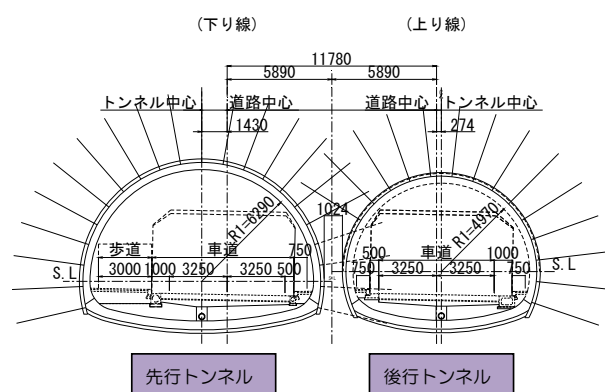


図-1 トンネル標準断面

しかしながら、実際の切羽は、写真-2, 3に示すように、砂岩、礫岩層に人頭大から2mの硬質の玉石（100Mpa以上）を含んでおり、DⅠ区間においては、切羽全体が硬質な状態であった。

このような地質条件の下でのトンネル掘削にあたり、工程管理の上で切羽前方予測の必要があった。

一方、終点側のマンション近接部分の切土工事では、トンネル同様の硬質の玉石を含む地山の切土作業において、周辺環境の保全（騒音・振動対策）のため、最新機械であるエキセントリックリッパの採用により、低騒音での作業を実現することができた。

3. 施工上の課題と新技術の適用

工事概要でも述べたとおり、施工上の課題として以下の事項が考えられた。

- ①硬質玉石混じり地山における安全管理
- ②切羽前方予測に基づく工程管理
- ③終点側切土工事における騒音・振動対策

以下に課題に対する対策として適用した新技術の紹介とその効果について述べる。

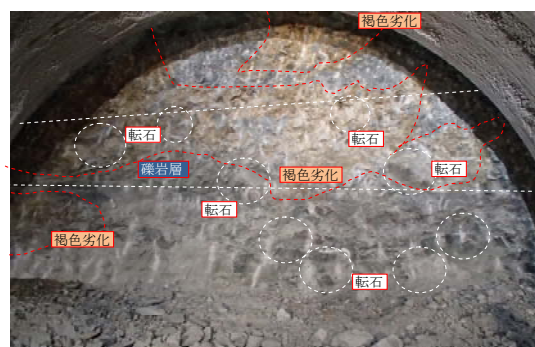


写真-2 トンネル切羽状況（沢部通過時）



写真-3 硬質の玉石出現状況（沢部通過時）



写真-4 掘削状況（下り線 DⅠ区間）

(1) トンネル掘削時における安全管理

a) 硬質玉石混じり地山における掘削¹⁾

前述のとおり、硬質の玉石を含む地山条件のもと、当初計画されていたツインヘッダによる掘削が困難となった。

しかしながら、周辺環境への配慮から火薬が使用できないことから、掘削方式は機械掘削のままであったが、掘削機械を大型ブレイカ（3t、1.3t）に変更した（写真-4）。

また、後進坑である上り線の施工では、写真-5, 6に示すとおり、設計の掘削サイクルを確保する目的から、芯抜き部分に非火薬岩盤破砕剤（ガンサイザー）を併用してサイクルの向上を図った。



写真-5 上り線（D I S）岩盤破碎状況



写真-6 上り線（D I S）掘削状況



写真-7 地表面沈下自動計測状況

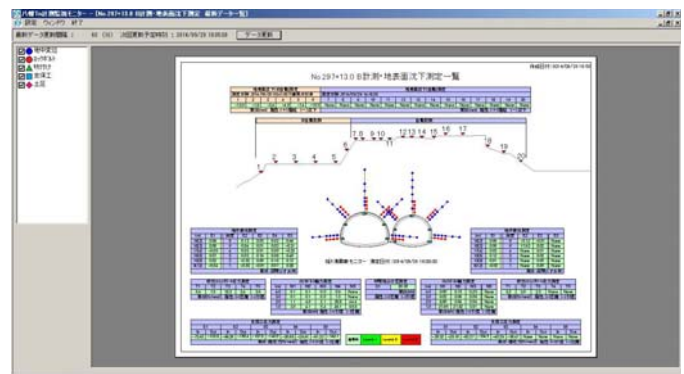


図-2 計測統合管理システム 管理画面

b) 掘削時の安全管理

トンネル坑内および地表面沈下の測定に自動計測システムを導入するとともに、事務所にてリアルタイムに確認できる計測統合管理システムを構築した。

トンネル掘削時はトンネル相互の影響度合いを確認しながら慎重な施工を実施した。システム内では管理基準値の注意レベルⅠ～Ⅲをそれぞれ緑色、黄色、赤色に設定し、基準を超えた箇所と値がひと目で確認できるよう工夫した（写真-7、図-2）。

また、メガネトンネル特有の課題である中間地山（干渉部）の安定性の確認に関しては、光る変位計²⁾を設置し、作業員が現地でリアルタイムに確認できるように工夫した（写真-8）。



写真-8 光る変位計設置状況（干渉部）

図-3に内空変位の経時変化図の一例を示す。

本トンネルでは、メガネトンネルという特殊性を考慮して、早期閉合（切羽から7mでインバートストラットによる全断面閉合）を実施していたこともあり、上下線相互の影響としては、上り線の切羽が10m（1D）まで接近した時点より影響（先行変位）が見られ、インバート閉合後は、速やかに収束に移行していくことが分かる。

地表面沈下に関しても、神社の社殿付近の傾斜角が $0.13 \times 10^{-3} \text{ rad}$ と管理レベルⅠ（ $0.15 \times 10^{-3} \text{ rad}$ ）以下で収まった。

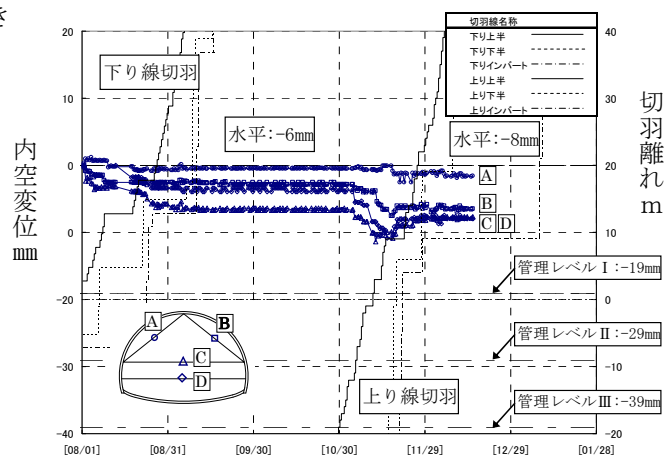


図-3 トンネル坑内変位 経時変化

(2) CIMによる切羽前方探査

a) CIMによる切羽前方探査¹⁾

前述の地質状況のもとでのトンネル掘削にあたり、工程管理の上では、切羽前方予測の必要性があった。

本トンネルでは、①地層がほぼ水平（8～10度北落ち）であったこと、②トンネル設計のために比較的多くのボーリングデータがあったこと、③メガネトンネルであるため先進坑（下り線）の切羽データが後進坑（上り線）へ速やかにフィードバックできるといった理由からCIM（3D地質モデル）の採用に至った。まず、地質データに基づき、既製のプログラム（GEORAMA）を用いて3D地質モデルを作成した。

施工時には、先進坑（下り線）の切羽観察結果を用いてモデルの修正（当初想定地質の検証）を行い、トンネルの施工とともに精度を高めた。

図-4に当初の3D地質モデルを示し、図-5に施工時の3D地質モデルの修正状況を示す。

b) 3D地質モデルの活用

3D地質モデルを用いた切羽前方予測の活用効果として以下の事項が挙げられる。

- ①安全性の向上：地山崩落の可能性の判断（天端礫岩層の有無により小崩落の可能性を判定）
- ②現場管理の効率化：施工機械（掘削機械）、支保工他の材料手配の効率化

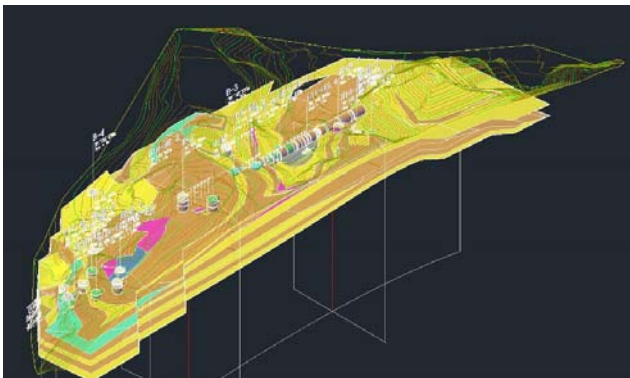


図-4 三次元地質モデル

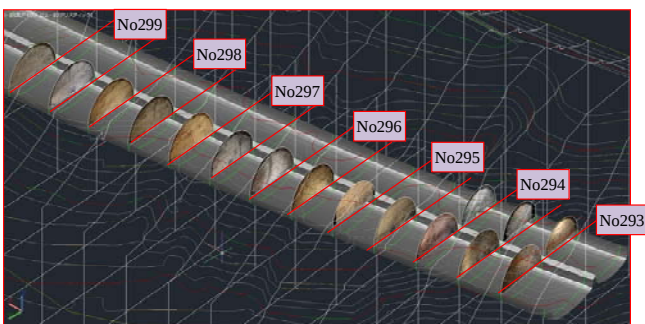


図-5 先進坑切羽観察結果に基づくモデルの修正

③設計変更の効率化：補助工法の必要性、補助工法適用区間長の決定

④情報化施工への活用：計測結果との整合を図り、地山挙動の把握の高度化

⑤施設管理の効率化・高度化：施工時のデータ（地質状況、計測結果、支保工等）保存

CIM（3D地質モデル）の活用方法としては、図-6に示す断面図を作成し、岩判定時に前方の切羽予測を用いて、切羽安定対策としての補助工法の適用範囲の判断に活用できた。なお、当工事の地山の特性から、天端部分に礫岩層が存在する場合には肌落ちや小崩落が発生しやすいため、天端安定のための長尺鋼管フォアパイリング等の補助工法を採用することとした³⁾。また、硬質の岩盤を掘削するための機械選定にも大いに参考になった。掘削時には、先進坑での計測結果の実績に基づき、後進坑での変位量の予測および先進坑への影響判定に活用した。

一方、終点側の既設盛土区間（マンション建設時に造成）では、存置された既設排水管が突然先進坑の切羽に出現した（写真-9）。後進坑の掘削に先立ち、先進坑の出現位置に基づき3D地質モデルにより後進坑での出現箇所を推定し、緩み防止対策（干渉部補強工）を先進坑側から施工することができた。

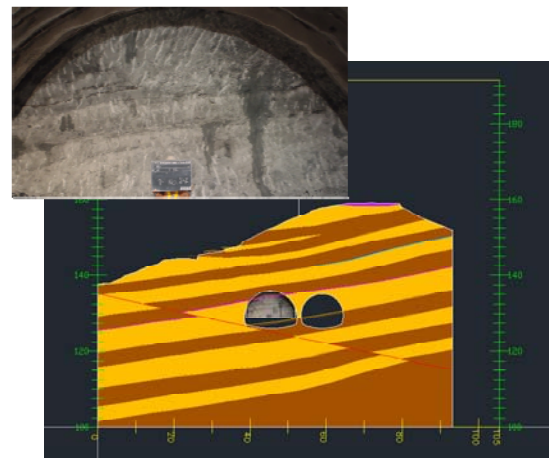


図-6 三次元地質モデルによる断面図作成



写真-9 既設排水管出現状況（先進坑）

(3) 終点側切土工事における周辺環境対策

a) 終点側切土掘削

終点側坑口の切土掘削に関しては、マンションが約20mで近接しており、トンネル同様、硬質の玉石(100MPa以上)を含む硬質地山であり、切土時の騒音・振動といった環境保全対策が必須であった。

なお、住民からの要望で大型ブレーカに関しては、低騒音型であっても適用が困難な状況であった。

このような施工条件の中で、当初、トンネルで使用するツインヘッドによる切削を試みた(写真-10)。

しかしながら、ツインヘッドによる掘削時には、粉じんの発生が著しく、すぐに集塵装置をつけたものの、適用可能な地山強度が50Mpa以下であることから、切削作業の施工性が著しく低下し、工程管理上大きな課題となった。

b) エキセントリックリップパによる施工

エキセントリックリップパの掘削機構は偏心モータによりリップパを地山にさし込み、硬質の玉石ごと掘り起こすものであり、当現場で採用した機械の掘削能力は当初、ツインヘッドで計画していた20m³/hのものとした。



写真-10 ツインヘッドによる掘削状況



写真-11 エキセントリックリップパ掘削状況

写真-11にエキセントリックリップパによる掘削状況を示す。エキセントリックリップパによる掘削では、地山にリップパをさす際に「ブルブル」という作業音はするものの、写真-12に示すとおり、敷地境界で75dB程度の騒音であり、写真-13および図-7に示すとおり、振動測定の結果においても52.2dB(24m地点)と特定建設作業での昼間の規制値(騒音:85dB、振動75dB)以下となり、マンション住民への影響を最小限に抑えた施工が可能であった。エキセントリックリップパの採用により、切土工程の確保が可能となり、施工期間4ヶ月を要したものの、何とか所定の期限内での掘削を完了することができた。

今回のような都市部での集合住宅に近接した硬岩の掘削作業における適用性が検証できた。



写真-12 エキセントリックリップパ騒音測定状況



写真-13 エキセントリックリップパ振動測定状況

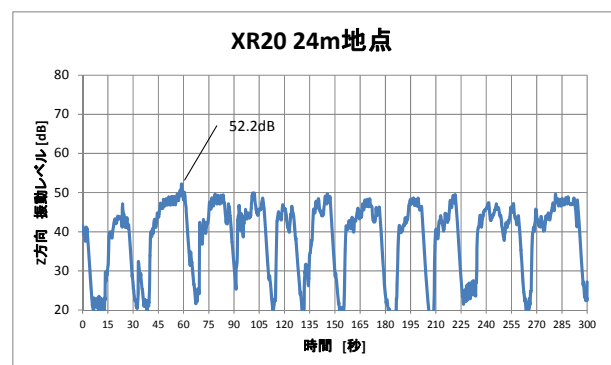


図-7 エキセントリックリップパ振動測定結果

4. おわりに

名塩道路八幡トンネル工事において、施工の課題に対する対応策として適用した最新技術のうち、
①掘削時の安全管理として導入した自動計測に基づく統合管理システムと計測結果の見える化
②CIM（3D地質モデル）による切羽前方探査
③マンション近接部での周辺環境保全対策として導入したエキセントリックリップによる切土掘削に関して、新技術の概要と施工における活用及び効果について報告した。

名塩八幡トンネルは、都市部での施工に加え、高速道路、神社、集合住宅（マンション）といった重要構造物に近接した超近接無導坑メガネトンネルの施工という厳しい制約条件のもと、最新技術を駆使してこれらの構造物に大きな影響を与えることなく、トンネルの施工を無事完了することができた。

掘削時の安全管理においては、自動計測に基づく統合管理システムと計測の見える化を適用し、従来の計測管理における課題の1つであった計測から警告の発信までのタイムラグの発生を防止し、現場における安全性の向上と変状に対しての早期の対策を行った。また、CIMに関しては、今後、適用事例が増えるものと期待されるが、CIM（3D地質モデル）は言わば、地質の見える化であり、工程管理や対策工の適用の合理化にも寄与したものと考えられる。

さらに、エキセントリックリップは新しい機械であるが、都市部等の厳しい制約条件の中での対応が可能なことを今回検証できた。



写真-14 起点側坑口部 全景

今回の報告した各々の最新技術が、同種トンネル工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 山田浩幸，大槻文彦：名塩道路八幡トンネル～都市部山岳トンネル工事における安全の見える化技術について～，平成27年度近畿地方整備局研究発表会，施工・安全管理対策部門：No.03，pp.1-6，2015.6.
- 2) 芥川真一，森翔矢，大村修一，山田浩幸：トンネル掘削工事中の安全管理における光る変位計の適用例，トンネル工学研究論文集，pp.23-28，2009.11.
- 3) 山田浩幸，大槻文彦，木村圭吾：都市部における超近接無導坑メガネトンネルの設計と施工に関する一考察，トンネル工学研究報告集，I-15，pp1-8，2014.12.

(2015. 8.7 受付)

A STUDY ON CONSTRUCTION AND APPLICATION OF A NEW TECHNOLOGY FOR SUPER-PROXIMITY NON-PILOT TWIN-BORE TUNNEL IN URBAN AREAS

Hiroyuki YAMADA, Fumihiko OOTSUKI, Keigo KIMURA

An up-and-down line is the super-proximity twin-bore tunnel structure (special section tunnel) which approaches at about 1m, and the noted Najio Road Hachiman tunnel was planned by the non-pilot tunnel.

The important structure which are freeways, shrines and apartments, etc. around the tunnel approached, and existed because it was constructing in an urban area. It was also necessary to preserve safety control and ambient surroundings certainly with the one of the severe constraints by constructing. A new technology was introduced to settle a problem on the building in a site.

In this paper, the construction of a super-proximity twin-bore tunnel and the application effect of new technology introduced in construction are reported.