

## コンピュータジャンボによるトンネル掘削の急速施工と余掘り低減

鹿島建設(株) 正会員 ○渡邊 正 川野広道 日野博之 橋本 基 堀 智之  
清水 亮 熱野皓己 朝日章太 白鷺 卓 飛田南斗

### 1. はじめに

ハイパーカミオカンデ（以下HK）は、東京大学宇宙線研究所が神岡鉱山（岐阜県飛騨市）内で計画するニュートリノ実験施設で、地下650mに直径・高さ約70mの巨大水槽を建設する世界最大規模の地下空洞掘削工事となる（図-1）。2022年2月現在、空洞へと向かうアクセス坑道の掘削中であるが、2027年度の観測開始が目標となっており、かつ、土木工事の後には多くの設備工事等が控えていることから、工程短縮が強く求められている。当報文では、アクセス坑道工事でのコンピュータジャンボを用いた急速施工と余掘り低減の実績について報告する。

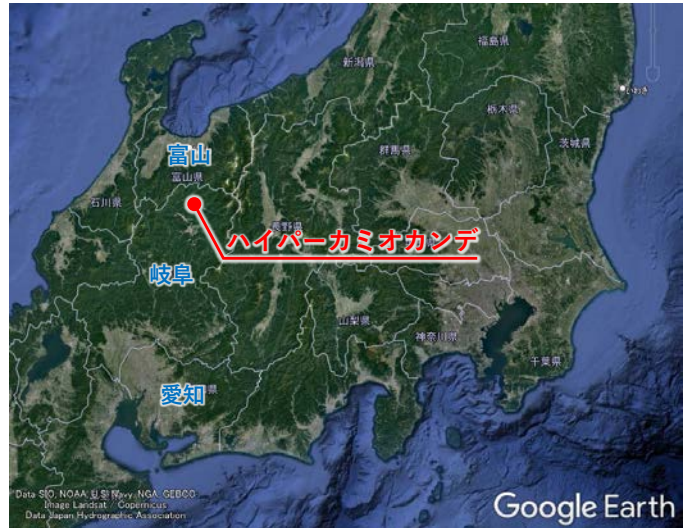


図-1 ハイパーカミオカンデ位置図

### 2. アクセス坑道概要

アクセス坑道の坑口は、標高626m程度で、周辺には1000m級の山地が分布する。トンネルは、約6%の下り勾配で、延長約1900mである。現場周辺は、神岡鉱山の坑道が多数存在しており、これらの坑道等の設備に影響を与えない位置で、かつ、最短距離のルートとなるように設定された。トンネル断面は、施工上の必要最小限の断面（径1500mmの風管を配置した1車線断面）として、高さ5m、幅5mとした。また、重機離合を目的とした拡幅部（高さ6m、幅8.2m、区間長30~35m）を延長約200mごとに設置している（図-2）。

### 3. 地質概要

地質は、坑口からの距離（TD）800m程度までは中生代の花崗岩、それ以降は飛騨変成帯の片麻岩や伊西岩が分布する。既存の地質調査結果では、地山等級がB級~CI級の堅硬な地山が全体の89%程度を占めている。一方、TD820m地点とTD1730m地点に断層が想定されており、幅は1m程度である。湧水は、既存の神岡鉱山の坑道で確認できるが少量である。

### 4. 急速施工のための長孔発破

逢神曾根トンネル<sup>1)</sup>やKAGRA<sup>2)</sup>などで実績のある長孔発破による工程短縮を図った。対象区間はB級~CI級岩盤の区間とし、1発破進行長を3~4mとした。火薬類は、親ダイに含水爆薬、増しダイには粒状含水爆薬を密装填することで発破効果を向上させるとともに装薬時間の短縮を図った。また、雷管は導火管付雷管を使用し、結線時間を短縮した。

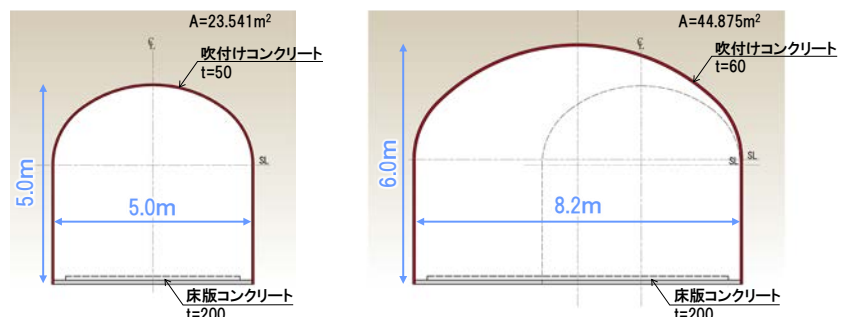


図-2 標準断面図（左：一般部、右：拡幅部）

芯抜きについては、トンネル断面積が小さく、Vカットでは抱き角度が十分に取れないため、平行芯抜きを用いた。平行芯抜きでは、孔同士が交差しても、孔間隔が広がりすぎても起砕効率が落ちるため、精度良く平

キーワード トンネル, コンピュータジャンボ, 余掘り低減, 工程短縮, 長孔発破  
連絡先 〒460-0003 名古屋市中区錦二丁目20番15号 鹿島建設(株)中部支店土木部 TEL 052-307-5111

行に穿孔する必要がある。また、芯抜き孔の孔尻をそろえる必要がある。そこで、高い穿孔精度を確保できるコンピュータジャンボを使用することで対応した。長孔発破の課題の一つとして、1 発破の穿孔長が長いと余掘りが大きくなりやすいが、コンピュータジャンボにより、外周孔の穿孔精度も向上し、余掘りの低減も期待できる。

## 5. コンピュータジャンボの効果実績

### 5.1 穿孔精度の向上による1 発破進行率の向上

コンピュータジャンボによる穿孔精度を確認するために、進行率（＝切羽の実進行長／穿孔長の平均）を算出した（図-3）。TD1400m 地点までの結果であるが、平均進行率が約 100%と非常に高く、さらに、ばらつきが小さい安定した値を得た。この進行率は、花田ら<sup>2)</sup>の進行率約 93%に比べて約 7%向上する結果となっており、これは、コンピュータジャンボにより削孔精度が向上したためと考えている。

### 5.2 差し角制御による余掘り低減

掘削後の断面形状を測定し、余掘り量（吹付仕上がり面の設計離れ）の定量評価を行った。測定は、3D レーザースキャナを用い、全区間の点群データを取得後、40m 間隔で断面形状を作成し（図-4）、断面ごとの余掘り量の平均値を算出した（図-5）。

掘削初期の TD240m 地点は、余掘り量が最大 60cm 程度（右肩付近）あり、平均 34cm であった。一方、TD440m 地点では平均 13cm であった。また、B 級岩盤の全区間の平均は約 14cm であり、過去の一般的な実績（参考：国交省の B 級岩盤の余掘り量 27cm）よりも小さい。これは、3D スキャナ計測結果を穿孔開始位置や差し角の設定にフィードバックしたことにより、それらを最適化できたことを示している。

## 6. おわりに

国内最大月進記録をもつ花田ら<sup>2)</sup>は、平均 194m/月（最大 359m/月）を記録したが、当アクセス坑道の B 級岩盤区間では 2021 年 9 月から 2022 年 2 月までの平均が約 245m/月とこれを上回る結果となっている。同時に余掘りも低減できており、コンピュータジャンボによるトンネル施工の生産性向上効果を確認できた。

## 参考文献

- 1) 花田ら：国内最長の長孔発破－熊野尾鷲道路 逢神曾根トンネル工事－，第 68 回施工体験発表会（山岳）CD-ROM, pp.42-49, 2011.
- 2) 花田ら：小断面トンネルでの長孔発破による急速施工 東京大学（宇宙線）大型低温重力波望遠鏡施設（掘削その他）工事報告，建設機械施工，Vol.66, No.11, 2014.

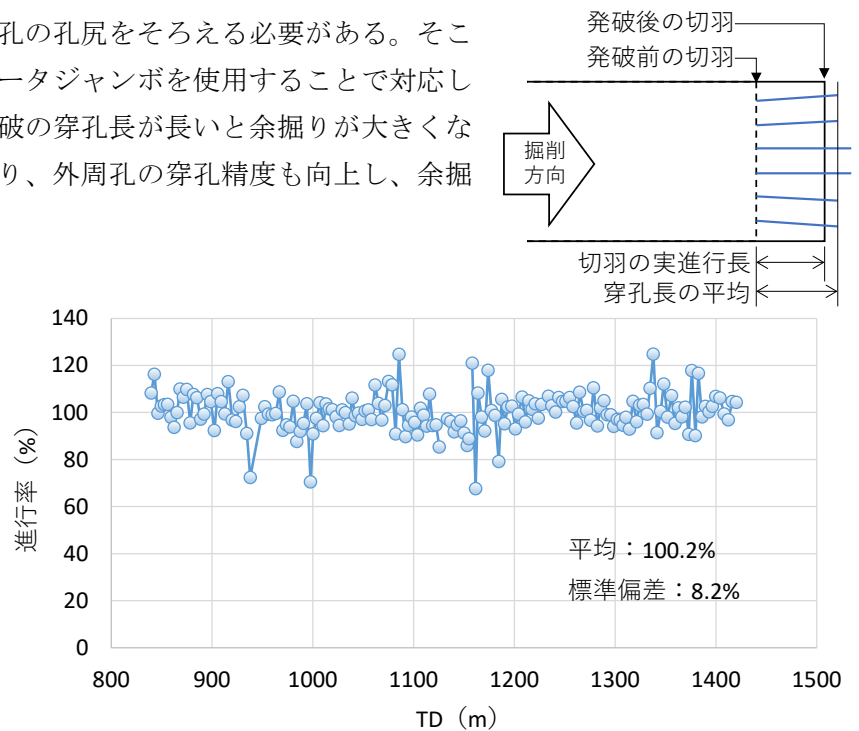


図-3 進行率概念図（右上）と TD に対する進行率の推移

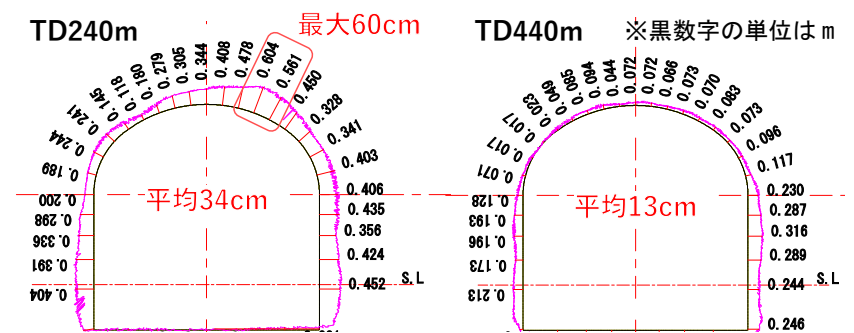


図-4 掘削形状測定結果比較

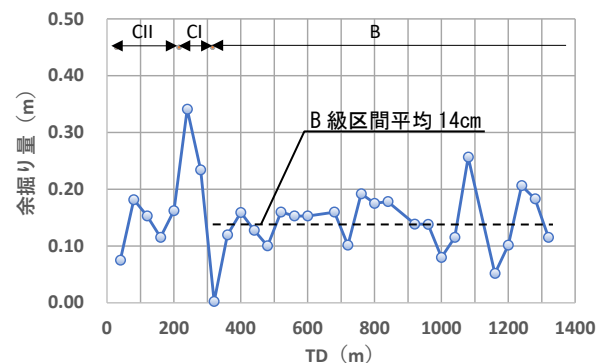


図-5 TD に対する平均余掘り量の推移