

道路トンネルにおける長孔発破の施工報告

川島 義和¹・田辺 洋一²・畑生 浩司³・島根 米三郎⁴・中川 浩二⁵

¹鉄建建設株式会社 土木本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

E-mail:yoshikazu-kawashima@tekken.co.jp

²鉄建建設株式会社 名古屋支店 (〒450-6036 愛知県名古屋市中村区名駅1-1-4 JRセントラルタワーズ 36階)

E-mail:youichi-tanabe@tekken.co.jp

³正会員 鉄建建設株式会社 土木本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

E-mail:kouji-hatabu@tekken.co.jp

⁴正会員 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

E-mail:yonesaburou-shimane@tekken.co.jp

⁵名誉会員 NPO法人臨床トンネル工学研究所 理事長 (〒755-0084 山口県宇部市川上南側181)

亥谷山トンネルは、避難坑を併設した全長3,197mの2車線の道路トンネルであり、本工区は賀田側から1,511mをNATMで掘削するものである。トンネルの施工基面上には、非常に硬質で亀裂が少ない花崗斑岩が連続して分布することが想定され、約8割が掘削支保パターンBで設計されていた。そこで、本坑の掘削において、Bパターンと判定した区間を対象に、設計一掘進長2.0mに対して、実施工では、平均一掘進長6.3m以上を目標に長孔発破を実施した。本報告では、長孔発破の計画および、施工の実績について報告する。

Key Words : long hole blasting, cylinder cut, parallel cut, smooth blasting

1. はじめに

一般国道42号熊野尾鷲道路は、東紀州地域において観光のほか、異常気象時や災害時の交通機能を確保し、生活環境の向上に重要な役割を果たす自動車専用道路である。その一部である亥谷山トンネルは、三重県南部尾鷲市に位置し、避難坑を併設する2車線の道路トンネルである。トンネル延長は3,197mで、掘削断面積は本坑75.6m²～95.7m²、避難坑16.0m²であり、土被りは最大約500mに達する。

本工事は、亥谷山トンネル全長のうち、1,511mを賀田側からNATMにより施工する。トンネル計画部の地質は、熊野酸性岩類花崗斑岩が主体で、弾性波探査速度が概ね5.0km/s前後の新鮮で亀裂が非常に少ない硬質な状態が連続して分布していることが推測された。そのため、本工区のトンネル延長の約8割が掘削支保パターンBで設計されていた。

一般的に、山岳トンネルは掘進に伴って地山状態が良好になると支保を軽減し、一掘進長を延伸する掘削パターンが採用され、道路トンネルでは、Bパターンの一掘進長は、2.0mを標準としていることが多い。近年では、

技術の進歩に伴って、急速施工やコスト縮減など効率的な施工を目的に、2.0m以上の一掘進長を延伸させる長孔発破の事例が報告されている。欧米では7.0mを超える長孔発破の施工¹⁾が報告されているが、国内では4m程度までの施工実績が多い^{2)～5)}。

そこで、掘削時の安全性を確保できることを前提に、同様な地質が確認されBパターンと判定した区間を対象として、効率的な掘削方法を検証する目的で、平均一掘進長を6.3m以上の長孔発破を実施した。



図-1 亥谷山トンネル位置

2. 工事概要

- ・工事名称：平成20年度熊野尾鷲道路
 亥谷山トンネル賀田工区工事
- ・工事場所：三重県尾鷲市賀田町
- ・発注者：国土交通省中部地方整備局
- ・施工者：鉄建建設株式会社
- ・工期：平成21年2月26日～平成24年7月31日
- ・工事内容：
 本坑および避難坑 トンネル延長各1,511m
 避難連絡坑 4箇所（図-2、図-3参照）

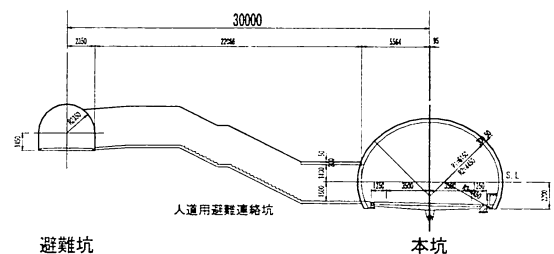


図-2 本坑および避難坑標準断面図

3. 地形、地質概要

亥谷山トンネルは、亥谷山（標高688.5m）を最高峰とした急斜面の中～小起伏山地からなり、南側は東方へ流下する古川、北側は東方へ流下する八十川によって境された地域である。トンネル周辺の地質は新生代第三紀に構成された熊野酸性岩類花崗斑岩である。熊野酸性岩類花崗斑岩の構成鉱物は粒径が粗く不均一である。一般に、斜面に分布する岩盤は風化進行により褐色を呈し軟質である。一方、河床に分布する岩盤はおおむね新鮮で、硬質である場合が多い。特徴として、全般的に節理が卓越しややクラッキーであり、板状に節理が発達している。節理の大半は開口していることが多く、表層部では風化の程度も進行している。

亥谷山トンネルの施工基盤上では、熊野酸性岩類花崗斑岩が主体であり、弾性波速度は5.0km/s前後で、一軸圧縮強度は平均114MN/m²、RQD70%以上の亀裂が非常に少なく新鮮なCM～CH級の硬岩が分布することが想定された。

4. 長孔発破の施工計画

(1) 過去の長孔発破事例による課題の抽出

国内では、地質が複雑であり、一発破あたりの爆薬量が膨大になることなどの理由から、安全性および経済性に劣る場合もあり、4m以上の一掘進長を採用した例は非常に少ない。したがって、長孔発破を計画する上で、過去の長孔発破の事例^{1)～5)}により一掘進長の決定と長孔発破に関する課題の抽出を実施した。

一般的に発破の心抜きをVカット方式で掘削した場合、穿孔長に対して、得られる進行長は約90%程度である。一方、海外においては、技術を駆使して硬岩地山において、約7.0mの長孔発破の実績がある。これらのことから、

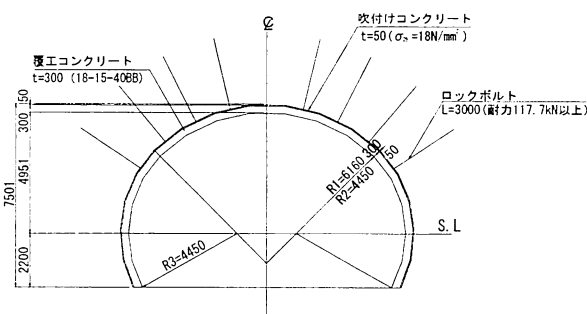


図-3 標準支保パターン図（本坑 Bパターン）

穿孔長を7.0mとし、約90%程度の進行が得られるものと仮定し、目標の平均一掘進長を6.3mとした。

次に、長孔発破に関する課題として、事前の岩盤評価方法、確実に発破を実施するための穿孔精度の確保、心抜きや周辺孔に関する発破設計、発破効率のよい爆薬の選択、サイクル向上のための機械選定、安全性を確保した施工方法などが挙げられた。計画においては、これらの事例を踏まえ、施工計画に反映した。

(2) 長孔発破の施工概要

a) 掘削工法および施工機械

掘削工法は、急速施工に有利な全断面工法を採用した。施工機械では、穿孔精度を向上させるためにコンピュータージャンボや自動マーキングシステムを導入した。また、サイクル向上のための機械の大型化を図った（表-1参照）。

表-1 施工機械

工種	仕様
穿孔	コンピューター制御3ブーム2バケットドリルジャンボ（ドリフター重量170kg超級）
ロッド継足	ロッドチェンジャー搭載式ガイドシェル
削孔精度	コンピューター制御モニターによる削孔 自動ナビゲーションシステム
装薬	自動装填機
コソク	1.6t級大型ブレーカー
積込	山積3.0m ³ 級サイドダンプ式ホイールローダー
運搬	30t積ダンプトラック
ズリかき寄せ	山積0.7m ³ 級バックホウ
吹付コンクリート	25m ³ /h級一体型コンクリート吹付機
ロックボルト	3ブーム2バケットドリルジャンボ（ドリフター重量170kg超級）
換気	排気方式（1500m ³ /h 補助送気1000m ³ /h）

長孔発破は、心抜き部や周辺孔に高い穿孔精度のほか、高精度の起爆、余掘り低減、周辺地山の損傷抑制が要求される。コンピュータジャンボは、機械本体に様々なセンサーが取り付けられ、施工時データを瞬時に可視化することが可能である。事前にトンネル線形や機械の位置座標、穿孔箇所との距離、発破パターン、設計穿孔長、設計穿孔角度等を入力することで、穿孔時には、入力データのほかに、実測穿孔長、ブームの位置、穿孔速度、打撃データ等の施工データがリアルタイムにモニターに表示される。これにより、人為的な誤差を低減し、穿孔精度が向上するため、発破孔の連結や、穿孔誤差の拡大を防止できる。また、自動制御によって切羽の凹凸を発破孔ごとに距離程として把握するため、トンネル断面の直角方向にのみ尻を正確に揃えることが可能となり、次の穿孔切羽の平滑性を保持し、凹凸が少なく穿孔が容易になる。そのほか、コンピューター制御の確認のため、発破パターンのレーザーマーキングシステムを併用した。

b) 施工フロー

長孔発破は支保構築までの素掘り状態の時間や、一度に解放する素掘り面積が標準施工に比較して増加する。したがって、施工の安全性を確保するため、事前の地山評価をより確実に実施する必要がある。施工時には、先行して施工する避難坑実績により、花崗斑岩の走向傾斜、亀裂の程度、風化の度合い等に着目して本坑の地山予測を行った。また、地山判定は切羽観察に加えて、長孔発破実施直前に、発破対象となる区間の探り削孔により穿孔速度、スライム、湧水の有無、ジャーミングの有無、孔内の目視観察等により定量的判断を実施した。

そのほか、装薬方法に自動装填機を採用し、切羽直近での装薬作業を回避すること、ズリだしと吹付けコンクリートを2分割に施工し、素掘り面直下に作業員が立ち入らないことで安全性を確保した（図-4参照）。

(3) 発破計画

a) 長孔発破の基本概要

長孔発破は、通常発破に比較して穿孔長が増大するため、目標の掘進長を達成するためには、パラレルカット工法が適している。パラレルカット工法には以下の利点がある。

- ・トンネル断面に制約されることなく、穿孔することが可能で、穿孔長と同じ長さの進行が得られる。
- ・穿孔方向と穿孔長は常に一定であるため、掘進長を変更しても穿孔パターンを変更する必要がない。
- 一方、欠点は以下の通りである。
- ・穿孔径が大口径のため、特殊なロッド、ビットが必要である。
- ・火薬量が増大するとともに、誘発防止のための穿孔精度を高める必要がある。
- ・過装薬による焼結現象がある。
- ・心抜き部の自由面が確実に得られるまでの起爆は、順次1孔もしくは2孔ずつ起爆させる必要が生じ、雷管の段数を多く必要とする。
- ・平行穿孔となるため、発破の連結や、亀裂の拡大による穿孔不良などが生じる場合がある。

これらのことから発破方法の課題に対する対策は穿孔精度を高めることのほか、使用する爆薬や雷管に着目し

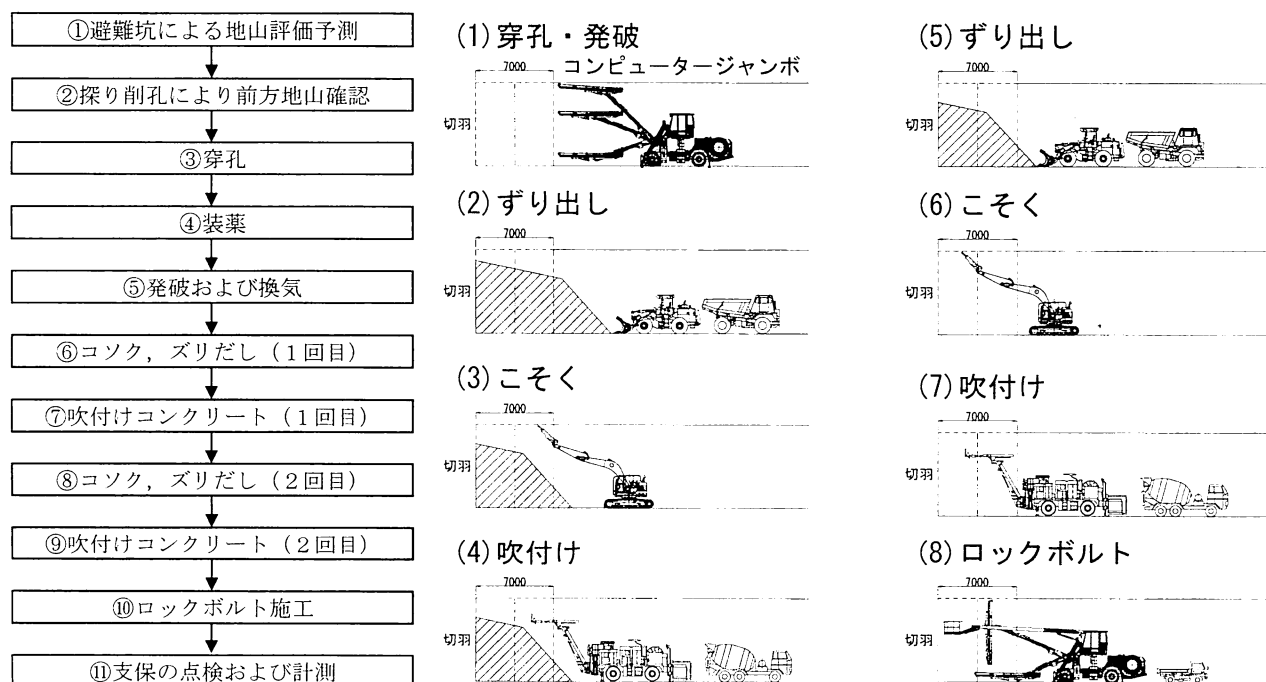


図-4 長孔発破施工フロー

て対策を講じた。

b) 使用爆薬および、雷管

アンホ爆薬、粒状エマルジョン爆薬（粒状含水爆薬）、含水爆薬（標準的に使用される紙筒）の3種類の爆薬を使用し、装薬位置や、発破目的によって配置位置を変更した。アンホ爆薬は、一般的に含水爆薬に比較して爆薬性能は小さいが、穿孔孔を大きくし密充填させることによって爆薬性能を確保できる。それにより、穿孔数を低減でき掘削サイクルを短縮することが期待できる。しかし、アンホ爆薬は耐水性、発破環境（後ガス）、帯電性の課題を有する。耐水性対策として、粒状エマルジョン爆薬（耐水性を有した粒状の含水爆薬）を踏まえ部に採用した。後ガスに対する課題は、長孔発破に使用する爆薬量は通常の発破に比較して膨大になるため、換気設備の大型化のみでは対応できない。したがって、環境測定を実施し、換気時間を通常より長くすることで対応した。帯電性については、非電気式の雷管を使用することで対処した。

周辺孔の爆薬にアンホ爆薬を密充填すると、高い爆破威力によって必要以上にトンネル外周面を損傷させ、余掘り増加や支保の不安定化が懸念されたため、含水爆薬（φ30mm200g /本）によるスムーズブラッシングを採用した。

雷管は斉発性の良好な非電気式の導火管付雷管（10.2m）を採用した。耐電気性に優れ、雷管の内部には高い精度を有する延時装置を持ち、秒時精度が正確である。一般的に、起爆した岩石は40～60m/sで移動するため、穿孔長を7mとした場合は、1孔あたり120～170ms程度の秒時差が必要となる。したがって、多段発破が可能な導火管付雷管により心抜き部が高い精度に起爆され、確実な自由面を形成することが可能となる（表-2参照）。

5. 発破パターンの検討

(1) 心抜き部

穿孔長が長くなることから、心抜き部の起爆した岩石を切羽手前に移動させ、確実に心抜き部に自由面を形成させるために、大口径ボアホールを併用した心抜きパターンとした。

a) 空孔（ボアホール）の直径と数

長孔発破における一発破進行率（穿孔長に対して得られる一掘進長の割合）を確実に得るためには、空孔の直径が重要な要素の一つとなり、空孔、穿孔長および、一発破進行率には密接な関係⁹⁾（図-5参照）がある。しかし、本計画では、穿孔長が6m以上となるため、図中には記載はなく、詳細は実施工で確認するものとして、空

表-2 使用爆薬および、雷管

爆薬の使用位置	使用する爆薬	雷管	装填方法
心抜き部	アンホ爆薬	導火管付雷管 (10.2m)	機械
一般孔	アンホ爆薬		機械
最外周部	含水爆薬 (紙筒)		人力
踏まえ部	粒状エマルジョン爆薬 (粒状の含水爆薬)		機械

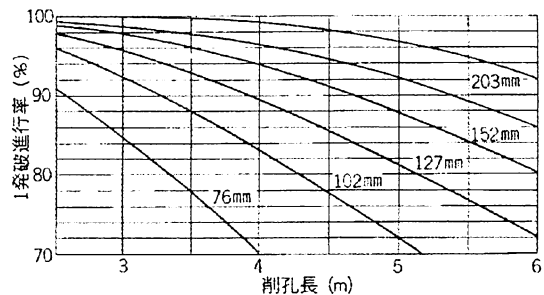


図-5 空孔、穿孔長と一発破進行率の関係

孔が203mm以上（穿孔長が6mの時に約92%の一掘進長が得られる空孔径）となるように、既存のビット径を考慮して、空孔の直径127mm、3ヶと決定した。

なお、複数の空孔を採用する場合には、換算直径として次式(1a)により計算する。

$$D = d\sqrt{n} \quad (1a)$$

ここで、
 D : 空孔の換算直径
 d : 空孔径
 n : 空孔の数

したがって、空孔径を127mm、空孔の数を3ヶとした場合の換算直径は220mm（>203mm）となる。

b) 装薬孔の直径

穿孔長が長くなることから、ロッドを継ぎ足す必要があり、装薬孔の直径については、ビットおよび、ロッド径により64mmとした。

c) 空孔と装薬孔との中心間隔

一般的に空孔と装薬孔の中心間隔は、空孔の1.5倍程度までとするのが良いとされている⁹⁾。空孔と装薬孔の間隔が大きければ亀裂が生じるだけとなり、自由面が形成されず不発の原因となる。一方、間隔が小さいと空孔と発破孔が連結が生じる。したがって、本計画では、換算空孔が220mmであるため、空孔と装薬孔との中心間隔は300mm（換算空孔の約1.4倍）とした。

(2) 払い孔

パラレルカット等により穿孔方向を平行する場合、起爆する岩塊の形状は穿孔方向と同様に直線状となるため、標準的なVカット方式でのアーチ形状の穿孔方法に比較して爆破時の抵抗が小さくなる理由から、抵抗線長を比較的大きくできる。本計画においては、発破威力が向上できるアンホ爆薬による密充填の装薬となるため、穿孔数を低減することが容易な格子状の配置とした。

(3) 周辺孔

スムーズブラスティングでは、掘削面の高い平滑性と地山への損傷抑制のために、亀裂の方向性を制御する必要がある。余掘り量の低減に重要な要因となる。穿孔精度を向上させ、電気雷管より起爆秒時精度の高い導火管付雷管で精度よく斉発する計画としているが、その他の検討事項について以下に示す。

a) 穿孔間隔と最小抵抗線

スムーズブラスティングを効果的にするために、穿孔間隔（E）は最小抵抗線（V）の0.8倍程度とするのがよい。また、穿孔間隔は600mm程度で過装薬しないことが重要である。本計画では、穿孔間隔を800mm、最小抵抗線を700mmとして、双方の比を1.15で設計を行った。これは、周辺孔を穿孔角度を5度で7m穿孔した場合穿孔先は約600mm拡大することになる。その平均値の300mmを最小抵抗線に加算し、見掛け上の最小抵抗線を1,000mmとして、穿孔間隔と最小抵抗線の比率を算出すると標準的な0.8になるようにした。

b) デカップリング係数

デカップリング係数（薬径に対する装薬孔の比）は、1.5～2.5の範囲で採用され、損傷領域の抑制の観点から2前後が適切といわれている⁷⁾。ここで、アンホ爆薬を使用したC I 区間での試験施工において、周辺孔付近の亀裂が発達した場合には、カットオフや、余掘り量の増大が確認され、さらには、含水爆薬に比較してアンホ爆薬を使用した場合には、装薬孔壁に対する爆薬圧力は含水爆薬に比較して約1.45倍程度⁷⁾⁸⁾になることから、周辺孔は通常の含水爆薬を使用するものとした。

周辺孔の径および薬径は、 $\phi 64\text{mm}$ 、 $\phi 30\text{mm}$ であるため、デカップリング係数は2.13となる。

c) 装薬量と装薬長

周辺孔の装薬には、孔径デカップリングと体積デカップリングを併用するものとした。装薬孔 $\phi 64\text{mm}$ に対して、標準の含水爆薬の径は $\phi 30\text{mm}$ であるため、装薬孔を大きくした。さらに、標準的な装薬長は経験的に70%～80%程度確保するので、装薬長を穿孔長の約80%（穿孔長7mの場合、装薬長5.5m）とし、込物と爆薬の間に

$\phi 20\text{mm}$ の紙製スペーサーで空間を保持した。爆薬の体積に対する穿孔内体積の比率は4～6が標準⁷⁾とされており、本計画では5.9となる。

(4) 発破パターン

以上の検討結果に基づき、発破パターン、心抜き部および、装薬図を図-6～図-8に示す。なお、心抜き部のボアホール径は $\phi 127\text{mm}$ 3ヶ、その他の装薬孔は $\phi 64\text{mm}$ 118ヶとした。

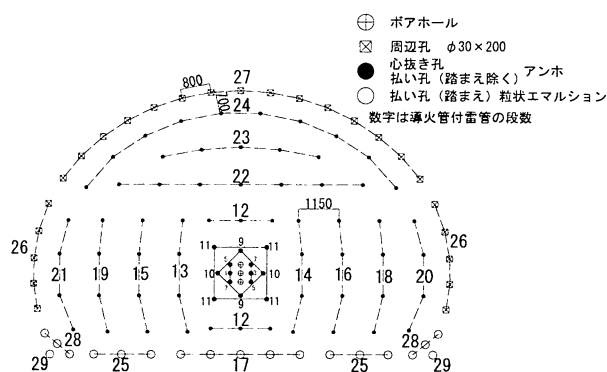


図-6 発破パターン

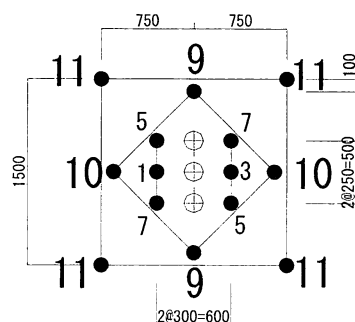


図-7 心抜き部

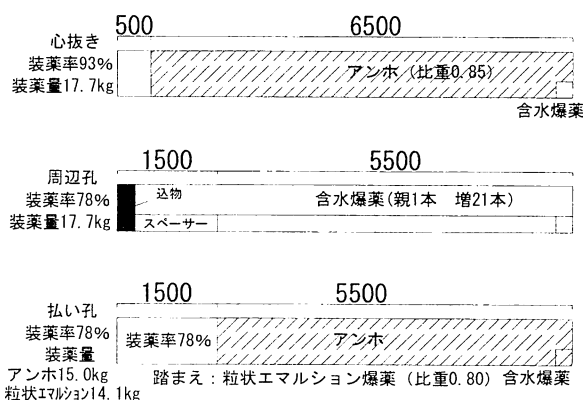


図-8 装薬図

6. 長孔発破の施工実績

(1) 施工実績の概要

本坑において長孔発破は計13回実施し、最長7.2m最短6.3m 平均一掘進長6.45mの結果となった。施工時は、当初想定した新鮮で硬質な岩盤の分布が少なく、亀裂の発達や風化の影響が顕著であった。そのため、岩判定によりCⅠもしくは、CⅡパターンに変更となり、長孔発破の実施回数が当初予定より少なくなった。

(2) Bパターンの地山評価

避難坑は、切羽に分布する花崗斑岩の走向傾斜は、トンネルに対して直角方向の走向や、70°～90° 程度の高い傾斜が卓越する傾向にあり、本坑は避難坑同様の地質が分布すると想定された。しかし、断面積が大きく（本坑：避難坑の約4倍の掘削断面積）避難坑と同程度の切羽の自立性が得られなかったことや、風化や亀裂の程度が異なるために、簡易的に避難坑から本坑の地山評価を行うには至らなかった。したがって、実施工では切羽観察記録（Bパターン：評価点65点以上）と探り削孔データによりBパターン判定を行い、長孔発破を実施した。これらの区間では、高い強度を示し（一軸圧縮強度推定値：100～250MPa程度）、穿孔速度の低下が顕著であった。また、地山の亀裂間隔は大きく50cm程度を示し、亀裂の開口は1mm以下で密着度が高い結果であった。

(3) 発破パターンの修正

a) 心抜き部

長孔発破を実施した第1回目において、作業の不慣れや穿孔間隔が近い等により心抜き部において、大口径のボアホールが連結するトラブルが生じた。心抜き部のボアホール連結概要図を図-9に示す。

- ・①孔ボアホールが上部ボアホールと設計穿孔長に満たない状態で連結する（①孔穿孔長不足）。
- ・①孔の代替として②孔をボアホールとして穿孔するがビット脱落により穿孔不能となる（②孔穿孔長不足）。
- ・③孔をボアホールとし、設計長穿孔した。
- ・④10段装薬孔がボアホールと連結したため、④孔に装薬せずに、近傍の⑤孔を10段の代替として装薬孔とした（④孔穿孔長不足）。

ボアホールの連結により、装薬孔および、雷管の配置の変更を余儀なくされたが、発破後の一掘進長は目標以上となる6.40mを得られた。ボアホールの数は3ヶであるが、ボアホールの孔間隔は設計250mmに対して、400～500mm程度に広くせざるをえなかったが、焼結現象や、破碎不良や発破不良はみられなかったため、次降より心

抜き部のボアホールを2ヶに変更した（図-10参照）。

そのほか、ボアホールの穿孔速度の低減、親子ビットのリーミング穿孔長の低減を実施することで穿孔の連結防止を行った。φ127mmとφ64mmの親子ビットによるボアホールの穿孔速度は0.3m/min程度で穿孔に時間を要するため、2ヶにすることで、大幅な穿孔時間の短縮につながった。

b) 穿孔数の低減

段階的に穿孔間隔や最小抵抗線を変更し、穿孔数を低減することで、穿孔時間や装薬時間の短縮を試みた。最終的に装薬孔は102孔まで穿孔数を低減し、目標の一掘進長を得られることが可能となった（図-11参照）。周辺孔は穿孔間隔900mm、最小抵抗線1,100mmまで拡大することが可能となり、穿孔開始位置の比率は標準的な0.8程度となった。

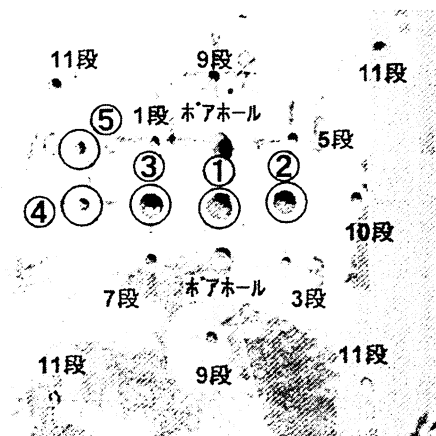


図-9 心抜き部のボアホール連結概要図

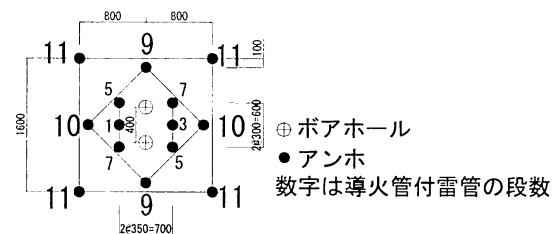


図-10 心抜き部の変更パターン

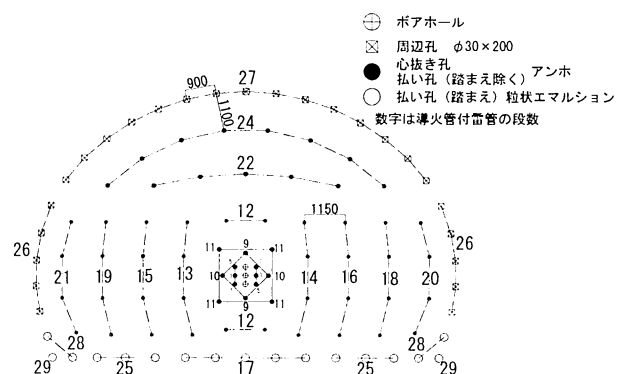


図-11 最終発破パターン（102孔）

c) 装薬量の低減

最適な装薬量を算出することを目的に、第2回長孔発破において、図-8に示した当初設計の装薬長を全ての孔に対して50cm低減して実施した。その結果、一掘進長が6.3mとなり、目標一掘進長に達したが、未装薬長が50cm長くなることで、発破後のズリの岩塊が1m以上のものも存在し、岩塊が大きくなることで、ずり出しの施工性に影響を与える結果となった。したがって、施工性の観点から当初設計の装薬長（図-8参照）が最適であると判断できる。

(4) 穿孔精度

穿孔精度は、ノンプリズム方式のトータルステーションにより穿孔した口元の座標を測定し設計座標と比較することで誤差により評価した。ランダムに、心抜き部、周辺孔、払い孔と穿孔位置により各長孔発破ごとに測定した結果、口元の誤差はほとんどが50mm以内となった。これは、コンピュータジャンボの導入による機械的な可視化の効果であると判断できる。

(5) 余掘り量とのみ跡率

スムーズブラスティングの効果として余掘り量と上半部分のみ跡率（穿孔長に対するのみ跡長の割合）を長孔発破実施ごとに測定することで評価した。余掘り量と周辺孔の上半部分のみ跡率を図-12に示す。

長孔発破全体の平均余掘り量は、284mmであった。Bパターンの標準積算による余掘り量は270mmであるため、ほぼ同等の余掘り量にすることが可能となった。また、のみ跡率は平均で約50%であった。図-13に発破後のトンネル壁面の状態を示す。想定した以上にトンネル壁面は平滑に保持され、直進性を保持してのみ跡も多く残存していることから、削孔精度が高く、周辺岩盤の損傷を最小限に抑制できたと判断できる。

(6) 一掘進長およびサイクルタイム

長孔発破の実績を表-3に示す。一掘進長は平均6.45mであり目標の平均一掘進長6.3m以上とすることができた。ここで、穿孔長に対する一掘進長を進行効率とし、進行効率は平均で97%の実績となった。アンホ爆薬を密充填する場合、爆破威力が向上するため、発破の効率は非常によく、ほとんど穿孔のノミ尻が残留しない状態が確認できた。単位あたりに換算したサイクルタイムは最大331分/m、最小205分/m、平均241分/mであった。最大サイクルタイムが非常に時間を要しているのは、第1回目の長孔発破であり、機械トラブルのほか、心抜きのボアホール連結トラブルが原因である。ここで、Bパターン

の標準的な積算（設計一掘進長2.0m）と長孔発破の実績のサイクルタイムを割合で示した比較図を図-14に示す。長孔発破では、標準と比較して抜本的なサイクルタイムの向上にはつながらなかった。機械の大型化によりずり出し時間にサイクル短縮がみられるが、削孔、装薬、発破、換気時間が全体の半分以上を占め時間を要している。主原因は、穿孔数の低減が完全ではない、作業の習熟度が低い、装填に改善が必要であることが挙げられる。

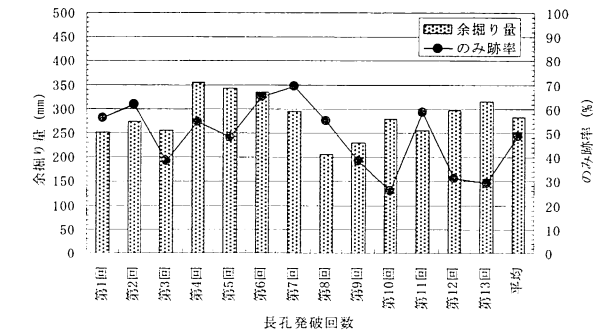


図-12 余掘り量とのみ跡率



図-13 発破後のトンネル壁面

表-3 長孔発破の実績

	一掘進長	進行効率	穿孔数	装薬量	サイクルタイム
	m	%		kg/m ³	分/m
平均	6.45	97	—	2.9	241
最大	7.20	103	118	3.5	331
最小	6.30	93	102	2.4	205

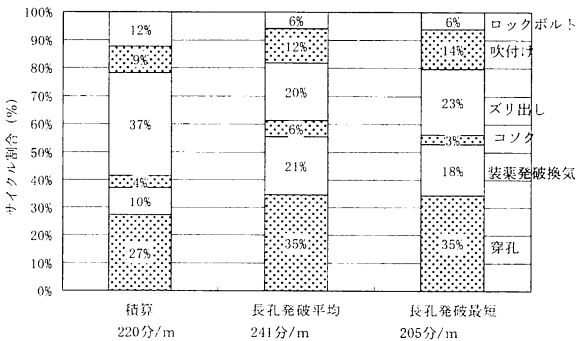


図-14 サイクルタイムの比較

(7) 今後の展望

今回の実績は高精度、高性能の機械等の使用により施工性観点から限界に近い掘進長の長孔発破と判断できる。しかし、穿孔径の拡大や一発破あたりの爆薬量の増大に伴う穿孔時間や装薬時間を占める割合が大きい。そのため、サイクル向上のためには、穿孔数の低減、自動装填機の改良による装薬時間の短縮等が必要である。

今後は、今回の実績を踏まえ、効率的な長孔発破の施工方法を選定するためには、一掘進長に着目して施工性、経済性観点から総合的に検討し、施工実績を蓄積する必要がある。

謝辞：長孔発破を実施するにあたり、多大なる御協力を得ました関係各位に深い感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 共立出版：現場技術者のための発破工学ハンドブック，pp.368-369，2001.
- 2) 例えば，加納 米二ら：4mの長孔発破に挑む 今市導水トンネル，トンネルと地下，土木工学社，pp15-27，1983.2.
- 3) 例えば，小池 弘昭ら：NONEL 雷管と ANFO 爆薬による長孔発破 北陸新幹線五里ヶ峯トンネル上田工区，トンネルと地下，土木工学社，pp7-12，1994.11.
- 4) 例えば，剣持 三平ら：長大山岳トンネルにおける急速施工 北陸新幹線五里ヶ峯トンネル，トンネルと地下，土木工学社，pp17-23，1996.2.
- 5) 例えば，齋藤 貴ら：不動の滝直下 20mを制御発破で施工 JR 吾妻線付替工事 川原湯トンネル，トンネルと地下，土木工学社，pp7-14，2004.12.
- 6) 山海堂：最新発破技術ハンドブック，pp.123-146，1992.
- 7) 共立出版：現場技術者のための発破工学ハンドブック，pp.263-267，2001.
- 8) 日本火薬工業会：あんな発破 こんな発破 発破事例集，pp.26-28，2002.

(2012.9.3 受付)

REPORT OF LONG HOLE BLASTING IN A ROAD TUNNEL PROJECT

Yoshikazu KAWASHIMA, Youichi TANABE, Kouji HATBU,
Yonezaburou SHIMANE and Kouji NAKAGAWA

The Igataniyama Tunnel is a two-lane road tunnel 3,197 m long with a separate evacuation tube. A segment 1,511 m long of this tunnel was excavated by the NATM from the Kata side. Very hard granite porphyry with insignificant cracking was assumed to lie continuously at the tunnel formation level. About 80 percent of the segment was designed with the excavation support pattern B. In the section with the B pattern, long hole blasting was performed for achieving an average advance per round of 6.3 m or greater in actual construction, exceeding the designed advance per round of 2.0 m. This paper reports the planning of the long hole blasting and the result of the work.