

放電衝撃破碎とブレーカ掘削による避難連絡坑の掘削

EXCAVATION OF CROSSCUT USING BY FRACTURING SYSTEM EMPLOYING THE SHOCK FORCE BY ELECTRIC DISCHARGE METHOD AND BREAKER

川井洋二¹⁾, 八島明生²⁾, 青木竜一²⁾, 笠 博義³⁾, 荒井浩成⁴⁾

Youji KAWAI, Akio YASHIMA, Ryuichi AOKI, Hiroyoshi KASA, Hiroaki ARAI

Fracturing system employing the shock force by electric discharge method was applied as a technology that excavation of crosscut of the expressway tunnel for emergency cars. This technology is fracturing system for rockmass by expansive pressure of sudden melting and evaporation of the wire with electricity of the high voltage. Effective and safety construction could be done by the application of combination of this technology and breaker without giving a neighboring section a bad influence.

Key Words: fracturing system employing the shock force by electric discharge, breaker, crosscut, blockcut, vibration

1. はじめに

近年、高速道路の交通量増加に伴うⅡ期線建設等に伴い、供用中のトンネルに近接した条件下でのトンネル掘削が行われる事例が増えている。こうした工事の中で、供用中のⅠ期線と新設のⅡ期線とを連絡する避難連絡坑の建設は、供用路線への影響を極力抑える必要があるため、振動・騒音等の環境面や、振動による既設構造物への影響などが生じないように厳しい条件下での施工となることが多い。特に、岩盤が硬質である場合は、掘削自体が困難となる例も多く、割岩工法などが適用されることとなるが、十分な破碎力が得られないことや施工性が大幅に低下するなどの問題があった。

本報告は、供用中のⅠ期線との最小離隔 0.5m で、最大変位速度振幅 4cm/s という厳しい条件下において、避難連絡坑を掘削するために、放電衝撃破碎技術とブレーカ掘削を組み合わせた破碎工法により硬質岩盤を破碎・掘削した工事事例について報告するものである。

2. 工事概要

本報告の対象工事は、長野県上田市と長野市の中間に位置する日本道路公団上信越自動車道五里ヶ峯トンネル工事（延長 4500m）であり、Ⅰ期線の交通量増大に伴い、Ⅱ期線を掘削するものである。この工事の中で、本報告はⅠ期線とⅡ期線を連絡する避難連絡坑の掘削に関するものである。この中には、先行して爆破掘削した区間に引き続き施工された、連絡坑断面を掘削する部分（全断面掘削部と呼ぶ）と、避難連絡坑内に防火用扉の設置部分のみを箱抜き掘削する部分（箱抜き掘削部と呼ぶ）とが含まれている。具体的には、図-1 に示すように、今回対象となった No.2,4,8,10 の連絡坑のうち、岩盤が硬質でブレーカのみでは掘削が困難であった No.2,4 坑の箱

1)正会員 日本道路公団東京建設局佐久工事事務所, 2)ハザマ北陸支店五里ヶ峯トンネル作業所,

3)正会員 ハザマ本店トンネル統括部, 4)日立造船鉄鋼エンジニアリング(株)鉄鋼工事部

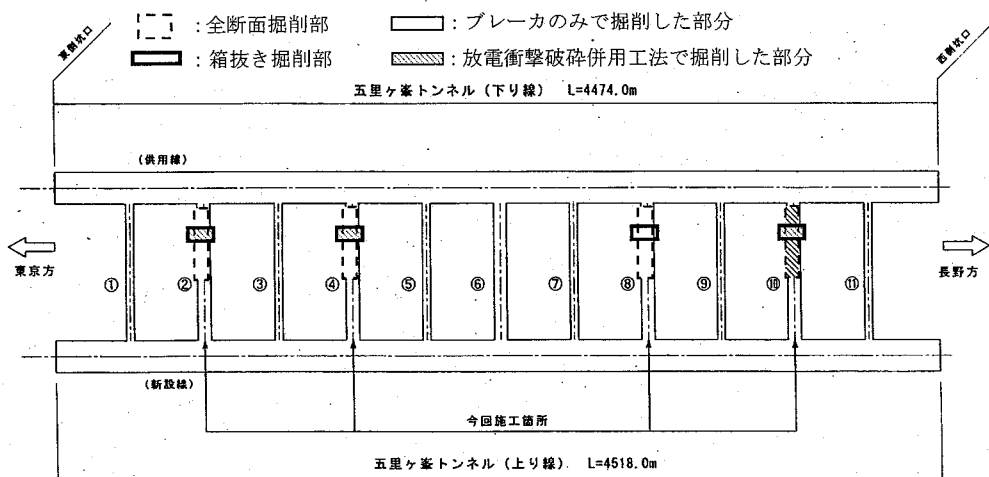


図-1 工事概要

抜き掘削部と No.10 坑の全断面掘削部および箱抜き掘削部に本工法を適用した。

トンネルが位置する地域は、「北部フォッサマグナ」地域に属し、新第三紀中新世以降の各種堆積岩および火砕岩と、それらを貫く石英閃緑岩、ひん岩等の貫入岩類からなっている。五里ヶ峯トンネル周辺の地質は黒色頁岩を主体とし、一部にひん岩の貫入が見られる。この黒色頁岩の一軸圧縮強度は全般的に 150MPa を超え、250～350MPa に達する部分も見られるなど、非常に硬質である。

3. 放電衝撃破砕

本工事に適用した放電衝撃破砕技術は、金属細線に高電圧、高電流の電気エネルギーを瞬時に供給することで、金属細線が瞬間的に溶融・気化する際に発生する気化膨張力によって岩盤等を破壊する技術である。図-2 にシステムの構成を示した。この技術を用いた放電衝撃破砕システムは、金属細線を液状媒体が封入されたカートリッジに挿入し、このカートリッジにコンデンサで蓄えた電気エネルギーを放電供給して破壊を行うもので、供給する電圧や液状媒体の容量を調整することによって、所定の衝撃エネルギーを得ることができるものである。すなわち、この技術は、図-3 に示すように、カートリッジ一本当たりダイナマイト 1g～100g に相当する範囲で比例的に破砕力を制御することが可能で、電力供給装置 1 台当たり、3～4 系統での電力供給が可能である。また、本システムはケーブル先端部を分岐させることにより、最大で同時に 12 個のカートリッジを用いた破砕が可能である。

この技術は、上記のように破砕エネルギーを制御できることから振動や騒音の制御が容易である以外に、非火薬破砕技術であることから、カートリッジは電力が供給されない限り爆発することはないため、保管・運搬時の安全性に優れ、火薬取り扱い申請も不要であるなどの特長がある。

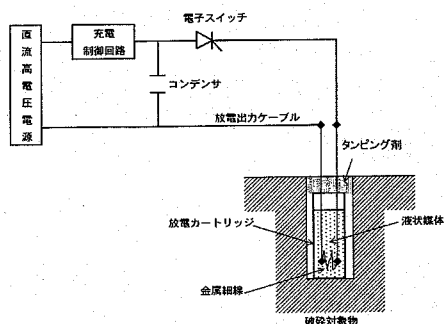


図-2 放電衝撃破砕システムの構成¹⁾

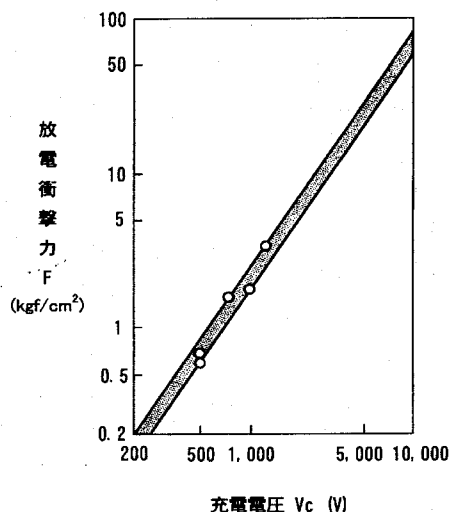


図-3 充電電圧と放電衝撃力の関係¹⁾

4. 施工法の検討

本工事では、掘削に先立って硬岩掘削方法について比較検討を行った。その結果を表－1にまとめた。この検討においては、今回の条件における破砕性能が明確ではなかった、静的破砕剤、ジャッキ式割岩工法、ブレーカ掘削については、表－2に示したような予備的な試験施工を行ってその評価を行った。また、放電衝撃破砕工法については、東海北陸自動車道の袴腰・城端トンネル避難坑において試験的に適用された結果²⁾などをもとに評価を行うと同時に、別途、試験施工を行ってその効果を確認した。その結果、表－1に示したように、放電衝撃破砕工法を採用することとした。

従来の放電衝撃破砕は、今回の箱抜き掘削に相当するような、比較的小規模なコンクリート構造物等の破砕に適用されており、破砕領域・規模ともに限定されていたために、施工性が問題となることは少なかったが、今回の全断面掘削部のように掘削規模や数量が増大すると、施工性が、工期やコストに大きく影響することとなる。そのため、本工事では、放電衝撃破砕の役割や施工手順について見直し、施工性の向上を図った。

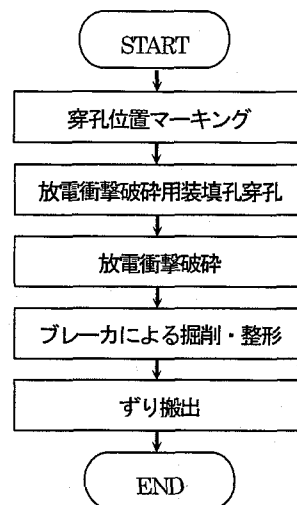
本工事において、施工性が低下する原因は岩盤自体が硬質であることと同時に、節理等の不連続面が少なく、狭い作業スペースで稼働できる小型のブレーカ等では岩盤を破砕できないことにある。このため、岩盤内にき裂を発生させることができれば、ブレーカによる掘削も可能となるものと考えられる。そこで、放電衝撃破砕は、主として岩盤内にき裂を発生させる目的で実施することとし、岩塊の掘削自体はブレーカによって行うこととした。さらに、従来は1回の破砕ごとに行っていた装填孔の穿孔を先行して行うこととし、そのパターンも岩盤状況によって適宜変化させることとした。こうして、順次放電衝撃破砕を行い、き裂が発達し全体に緩んだ岩盤をブレーカで掘削することによって、施工性を大幅に改善することができた。作業の流れを図－4に示した。

表－1 岩盤破砕方法の比較検討

工法	破砕能力	振動制御	施工性	本工事への適用性	備考
制御発破	◎	×	◎	×	振動制御が困難
緩性火薬工法(CCR)	○	△	◎	×	同上
非火薬破砕薬	○	△	○	×	同上
静的破砕剤	×～△	◎	△	×	試験施工結果にて確認
ジャッキ式割岩工法	×～△	◎	△	×	試験施工結果にて確認
ブレーカ掘削	×～△	△	△	×	試験施工結果にて確認
放電衝撃破砕	○	○	△	△	経済性、施工性が課題
放電衝撃破砕＋ブレーカ掘削	○	○	○	○	施工性が改善され、工期短縮によりコストも抑制される

表－2 予備破砕実験結果

工法	施工条件	結果
静的破砕剤	深さ1m、間隔20cmの装填孔に静的破砕剤充填	3時間後、20時間後ともにクラックは認められず。その後のブレーカ破砕も不可。
ジャッキ式割岩	20cm間隔で穿孔を行い、パッカーを装填	クラックは発生せず。その後のブレーカによる破砕も不可。
ブレーカ掘削	φ75のビットで15cm間隔で穿孔した後、ブレーカで打撃	破砕不可。



図－4 掘削手順

5. 掘削結果と振動の低減効果

(1) 掘削結果

上述の施工法により拡大掘削を行った状況を写真－1に、防火扉設置部の箱抜き状況を写真－2に示した。これらの写真に示したように、本工法により、ブレーカ掘削単独や静的破砕剤等では掘削ができなかった硬岩掘削を確実に行うことが可能となった。特に、箱抜き掘削では上向きに小規模な岩塊を確実に掘削することができており、本工法以外では効果的な掘削ができなかったものと考えられる。

また、全断面掘削においては、放電衝撃破砕とブレーカ掘削の役割を明確にし、施工手順を見直すことで、全体工程を放電衝撃破砕工法主体の工程に比較して、およそ2/3に短縮することができた。

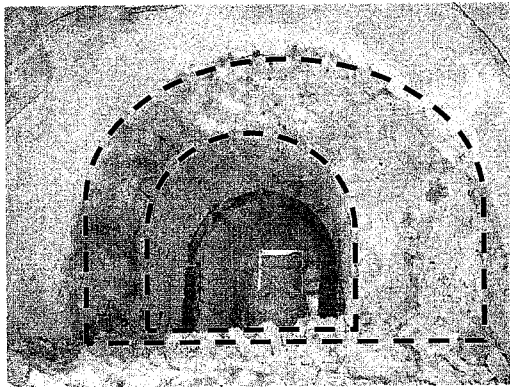


写真-1 全断面掘削状況

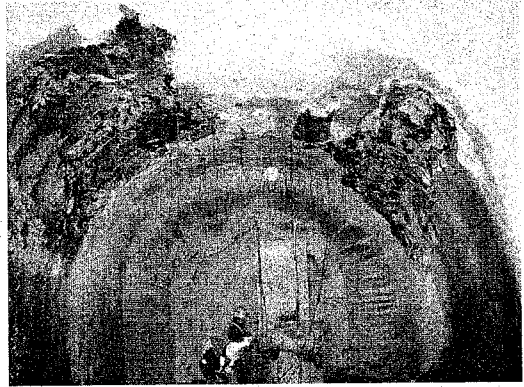


写真-2 箱抜き掘削状況

(2) 振動計測結果

本工事では、硬質岩部の掘削性と同時に供用中のⅠ期線に影響を与えないことが必要であった。特に、振動は日本道路公団の基準である最大変位速度振幅 4cm/s 以下に抑制することが必要であったため、図-5に示すような配置で振動計を設置し、掘削時の振動を測定しながら施工を行った。最も厳しい離隔 0.5m における計測結果を図-6に示したが、この図からわかるように、放電衝撃破砕時ならびにその後のブレーカ掘削時とも、最大変位速度振幅は 4cm/s 以下であり、制限値以下での施工が可能であったことが確認された。

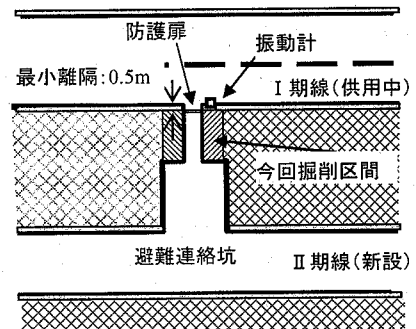


図-5 振動計測概要

6. まとめ

本工事は、硬質岩、振動規制、狭い作業スペースといった厳しい施工条件化において実施されたものである。このため、既存の発破工法や機械掘削ならびに割岩工法の適用が困難であったが、放電衝撃破砕技術にブレーカ掘削を組み合わせることで効果的な避難連絡坑掘削が可能となった。

この技術は、従来より小規模なコンクリート破砕等には適用されてきたが、今回実施したような組合せ工法により、規模の大きな岩盤を対象とした掘削工法としても有効に適用することが可能となったものと考えられる。こうした技術はトンネルの活線拡幅における既設コンクリートの破砕や硬質岩掘削に効果的に適用することが考えられ、今後はこうした条件下における適用についても検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 日立造船㈱：放電衝撃破砕法の概要，2002.9
- 2) 水端八郎，山田義教，笠博義，清水学，荒井浩成：放電衝撃破砕技術を用いた高速道路車道用連絡坑の拡幅，土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集 VI-236，pp.473～474，2001

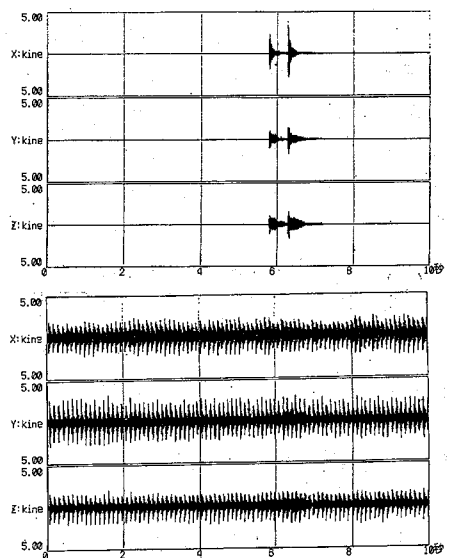


図-5 振動計測結果

上：放電衝撃破砕時，下：ブレーカ掘削時