

削孔検層を利用した効率的な発破施工法の検討 OBSERVATIONAL BLASTING METHOD USING THE RESULTS OF DRILL LOGGING SYSTEM

戸井田 克 *・三澤 広典 **・福田 博之 ***・南 春雄 ****
Masaru TOIDA, Hironori MISAWA, Hiroyuki FUKUDA, Haruo MINAMI

Authors have been using the drill logging system to estimate the rock mass beyond the cut face of tunnel. In this paper, we proposed the observational blasting method by the drilling energy coefficients of blasting boreholes. In this method, the necessary amount of dynamite can be decided by the drilling energy coefficients of rock mass which was obtained from the blasting boreholes of cut face. We described the results of in-situ blasting experiments to develop the observational blasting method.

1. はじめに

山岳トンネルの施工に際しては、作業の安全や効率的な切羽進行を確保するために前方探査を実施するケースが増えている。筆者らは、簡便に前方探査が行える手段として、油圧ドリルの削孔時データから地山情報を取得・評価できる削孔検層に着目して研究開発を進めてきた。その結果、これまでの実績で破壊エネルギー係数によって、削孔検層から地山の硬軟に関する情報を迅速に得られるという知見を得ている^{1) 2)}。今回、この削孔検層をトンネル掘削における発破孔の削孔に適用し、毎切羽ごとの地山情報を得るとともに、装薬および発破効果に関するデータとの収集・対比を行って、効率的な発破方法についての知見を得ることができた。

具体的には、発破孔での削孔検層から得た破壊エネルギー係数と掘削時の単位装薬量との相関関係を整理し、削孔長に対する進行長の比や発破時の飛石状況に着目して、効率的な発破であったかどうかについて検討を行った。その結果、削孔検層を利用することにより、地山状況に応じた適正装薬方法を現場で迅速かつ合理的に設定できる見通しが得られたので、これらの現場試験結果について報告する。

2. 試験概要

試験の実施場所は、図-1に示すように森林開発公団岐阜地方建設部管轄の索道平・鬼ヶ城トンネルであり、全長988m、地質構成は堅硬な花崗岩、最大土被りは約200mである。施工は上り勾配での片押しで行っており、今回の発破試験は、堅岩部が安定して出現した区間で実施した。

* 正会員 鹿島建設(株)技術研究所
** 鹿島建設(株)北陸支店
*** 鹿島建設(株)関西支店
**** 森林開発公団岐阜地方建設部林道課

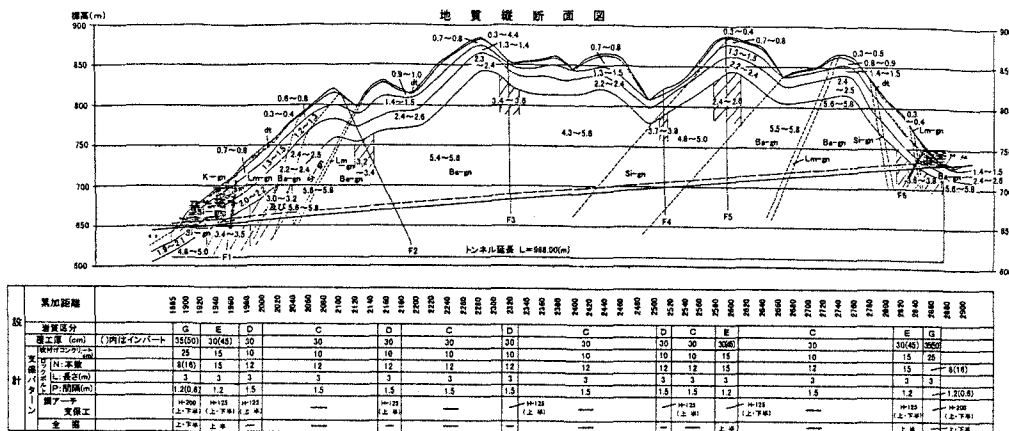


図-1 トンネルの概要

3. 試験方法

今回の試験，検討は，図-2に示すフローに従って実施した。すなわち，正確な地山情報を把握するとともに（3.1），この地山に適用した削孔や装薬に関する情報を入手し（3.2），発破後の状況を観察して次の発破へ必要に応じてフィードバックを行う（3.3）。そして，このサイクルを何回も繰り返すことで，より効率的な発破を達成するために必要な地山に応じた適切な単位薬量の設定が行えるかどうかを試みた。上記の3項目についての検討方針やデータの収集・整理方法の概要を以下に述べる。

3.1 地山情報の入手

発破の対象となる地山の情報をより的確に入手するため，切羽前方探査に実用化している削孔検層を複数の発破掘削に適用してデータを収集した。従来の削孔検層システムを発破孔の削孔に適用する際には，「収集・整理すべきデータが膨大になるが，施工への迅速な反映が求められる」という厳しい条件をクリアする必要がある，データ取得時のノイズ除去やデータ伝送の無線化等の措置を施した（図-3参照）。削孔検層からは，図-4に示すように1つの発破ごとに約50の発破孔について破壊エネルギー係数を深度方向にプロットしたデータが得られる。なお，破壊エネルギー係数の算出は図-3中の式によっている。そして，発破ごとの地山特性を表わすデータとして，破壊エネルギー係数の平均値，標準偏差，分布幅（図-4参照）に注目した。分布幅については，一般的な統計指標ではないが，標準偏差だけでは分布データのバラツキを充分に表すことが難しいケースが実測値中にみられたため，今回の検討での指標に加えた。

また，トンネル工事で日常的に実施されている切羽観察の記録も利用し，発破施工にとって最も重要な地山の硬軟に関するデータを中心に「切羽の状況」，「素掘面の状態」，「圧縮強度」，「風化強度」，「割れ目の頻度」，「割れ目の状態」，「割れ目の形態」という項目ごとに点数をつけ，「地山評点」として整理した。この評点が大きいほど地山状況が不良であることを表わしている。

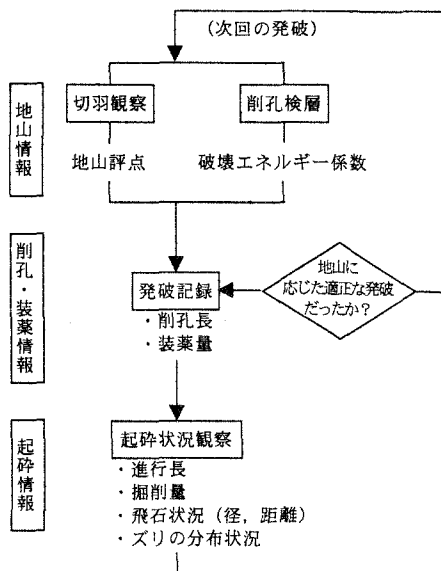
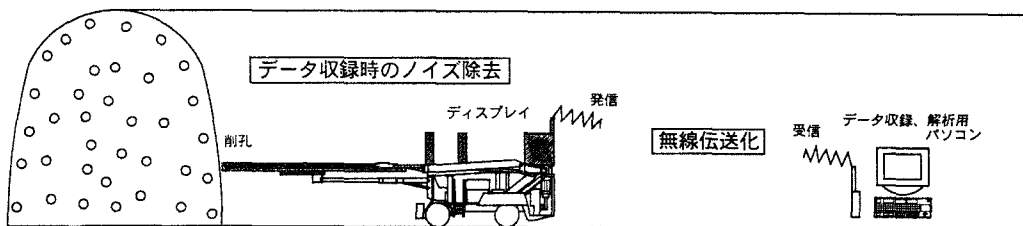


図-2 検討フロー



破壊エネルギー係数
単位体積の岩盤を破壊するのに要する
油圧ドリルのエネルギー

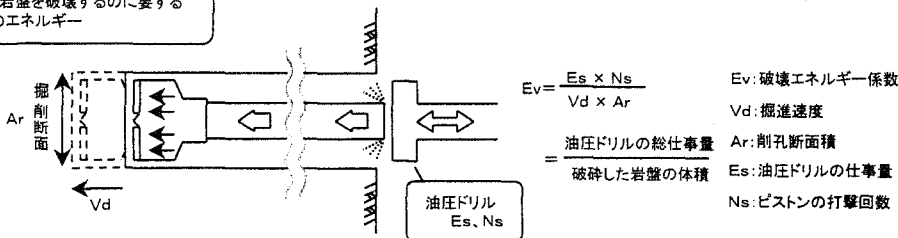


図-3 発破孔における削孔検層の概要

3. 2 削孔・装薬情報の入手

実施した発破に関する情報として、各発破ごとにすべての発破孔の削孔長や装薬量を発破記録等を元に整理した。なお、削孔長については、削孔検層システムの導入によってオペレータの手元で削孔長が表示できるため、計画削孔長に対して $\pm 10\text{cm}$ の精度で削孔が実施できている。

3. 3 起砕状況に関する情報の入手

発破による起砕状況に関する情報については、現場で比較的容易に収集できるデータであること、発破が適切なものであったかどうかをできるだけ具体的に確認できるデータであることが必要と考え、「進行長および掘削長」、「飛石状況（飛石径、飛石距離）」、「掘削ズリの分布状況」という項目について各発破ごとに調査した。

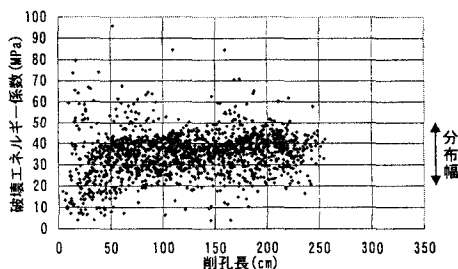


図-4 削孔検層データの一部

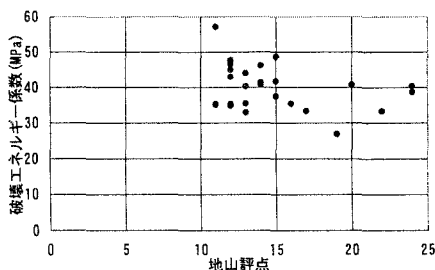


図-5 地山評点と破壊エネルギー係数（平均値）の関係

4. 試験結果と効率的な発破工法の検討

一定の試験期間中にデータ収集を行った後、比較的削孔長の長い2.6m以上の発破を行ったときのデータ約20を検討対象とした。図-5は検討対象としたすべての発破について、地山評点と破壊エネルギー係数（平均値）との関係を示したものである。図-5中の1つの破壊エネルギーの値は、図-4に示した1回の発破で得られた約50孔での破壊エネルギー係数データから算出した平均値である。図-5より、全体の傾向として地山評点が小さい（地山が良い）ほど破壊エネ

ルギー係数が大きくなっていることがわかる。すなわち、破壊エネルギー係数により、地山の大きな硬軟を把握することが可能と判断されたので、以下の発破作業における単位薬量等のデータについての検討を進めた。

4. 1 単位薬量について

図-6は発破ごとの単位薬量と破壊エネルギー係数の関係を示したものである。図中の単位薬量は発破後の進行長から算出した地山掘削量を使用総薬量で除した値である。これより両者の間には大きなスケールでの相関関係が認められ、地山が硬いほど掘削に多くの火薬量を必要としているが、一部この関係からはずれるデータも存在することがわかる。

4. 2 適切な発破の確認

前項で示した図-6からは、各々の発破が効率的だったか否かの判定はできない。したがって、この点を評価するために「進行長／削孔長（外周孔）」という指標に着目し、これと単位薬量との関係を図-7として整理した。図より、進行長／削孔長が小さかった発破は非効率的な発破と判断することができると考え、これまでの実績に基づいてその値が0.8未満のデータに○印をつけた。次に別の観点から発破の効果を判定するため、飛石の飛距離をパラメータとして単位薬量との関係を整理したものが図-8である。図中、飛石の距離が大きかったものも非効率的な発破と考えられるため、相対的な基準ではあるが飛石距離が90m以上のものに□印をつけた。

以上の検討より、図-7、8に示した「進行長／削孔長の小さい発破」や「飛石距離の大きい発破」を非効率的な発破と考え、図-6を見直したものが図-9である。すなわち、図-9に示した○、□印以外のデータが効率的な発破の実施に有効と考え、これ以降の本サイトでの発破作業において破壊エネルギー係数から単位薬量を設定するための標準データとした。

図-9に基づいてこの後数ヶ月間の発破作業を実施した結果、順調な進行を確保でき、飛石距離も過大なものとはならない発破作業を達成することができている。

4. 3 地山の亀裂の影響について

図-6等に表示された削孔検層による破壊エネルギー

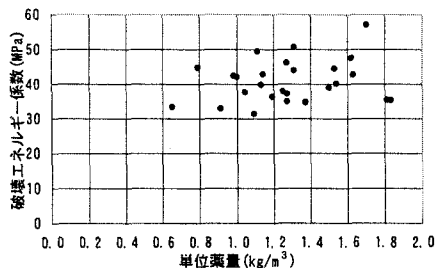


図-6 単位薬量と破壊エネルギー係数の関係

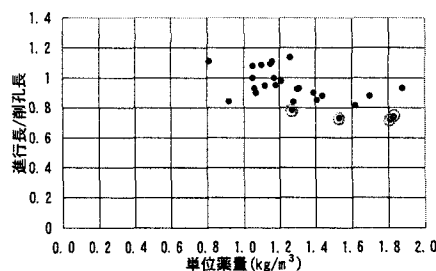


図-7 単位薬量と進行長／削孔長の関係

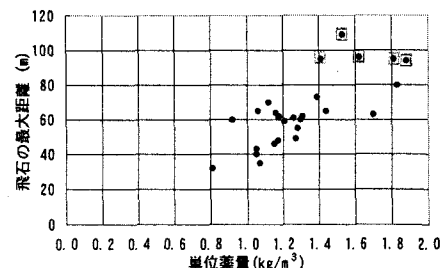


図-8 単位薬量と飛石の最大距離の関係

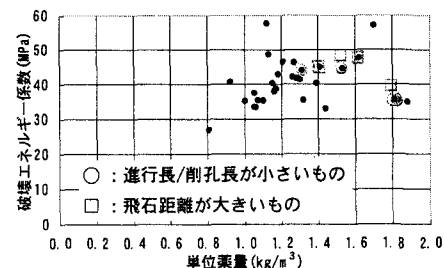
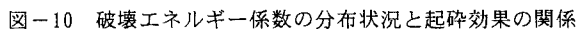


図-9 効率的な発破工法のための「単位薬量と破壊エネルギー係数の関係」

・破壊エネルギー係数平均値＝33.0MPa ・進行長／削孔長＝0.88 ・破壊エネルギー係数平均値＝33.6MPa ・進行長／削孔長＝1.08
・標準偏差＝10.5MPa ・飛石最大距離＝65m ・標準偏差＝19.4MPa ・飛石最大距離＝40m
・分布幅＝10MPa ・分布幅＝40MPa



本論文では、トンネルの前方探査に実用化中の削孔検層を発破孔の削孔に適用し、より効率的な発破施工法、すなわち地山の硬軟に応じた適切な単位薬量の設定や、亀裂の存在を考慮した単位薬量の設定に関する基礎的な実験結果を整理した。今後は、異なる岩種での同様のデータ蓄積を行い、より普遍的な発破施工に関する情報化施工の高度化を図る予定である。

6. 参考文献

- 115 -