

VI-100

山岳トンネルの発破パターン自動照射システムの開発

清水建設（株）： 正会員 ○河野重行、同 宮下国一郎、同 金岡幹、小野啓二、正会員 長谷川彰男

1. はじめに：昨今の急激な地下開発とともに、山岳トンネルの掘削技術の進歩は目覚ましい。特に、長大トンネルや大断面トンネルにおいては、施工の急速化や生産性の向上が望まれており、雷管や火薬の進歩とともに効率的な発破工法の研究・開発が行われている。

発破は、地山に対する影響などの安全性の観点だけでなく、余掘りに起因する覆工コンクリートの増加などの経済性および周辺民家への振動・騒音など種々の観点から、適切に設計されなければならない。したがって、発破の管理は非常に重要である。そのためには、適切な発破設計が行われるだけでなく、発破設計の妥当性の定量的な把握のためには、発破設計通りに正しく、発破を行うことが必要である。

著者らは、地山にあった最適な発破設計を自動で行う「発破設計システム」〔I1〕を開発したが、今回、設計された発破パターンを切羽にレーザー光を用いて正しくマーキングする「発破パターン自動照射システム」を開発し、現在、その効果を実トンネル現場において検証中であるので、その概要を報告する。

2. 現状における課題：著者らが本照射システムの開発に着手した背景には以下の課題がある。

- 1) 作業員が、高所作業車に乗り、人力で切羽に削孔位置をペンキでマーキングしており、時間がかかる。
- 2) 切羽に接近してのマーキング作業は落石などの危険があり、安全上に問題が残る。
- 3) 作業員の不安定な姿勢でのマーキング作業はマーキングの精度の低下を招き、発破品質に影響を及ぼす。
- 4) 作業員の不安定な姿勢でのマーキング作業は苦渋作業であり、安全上に問題が残る。

上記のような現状の問題点に対し、現在、設計された発破パターンをレーザー光により切羽に照射するシステムが開発・実用化されているが、切羽後方からのパターン照射のため、削孔中の削孔機が照射の障害となり、その結果、外周孔しか照射できなかったり、もしくは、削孔機を切羽前方に設置する前に照射された削孔位置にペンキでマーキングを行わざるを得ない。

3. システムの概要：著者らが今回、開発した照射システムは切羽前方に設置したレーザー照射機から、別途設計した発破パターンを切羽面に自動照射するシステムである。本システムは図-1に示すように、トータルステーション、CCD内蔵のレーザー・光波受光器（以下ターゲットと呼ぶ）を組み込んだレーザー照射機、制御用コンピュータ等から構成される。

システムの稼働手順は以下の通りである。（図-2参照）

- 1) 既知点に設置したトータルステーションから切羽面上のプリズムに光波を照射し、切羽面の絶対位置およびトータルステーションと切羽面の距離を自動測定・算出する。
- 2) 切羽前方で削孔機などの障害にならない任意の位置に、レーザー照射機を設置する。
- 3) トータルステーションからのレーザー光（赤）および光波をターゲットに当てることにより、その結果、レーザー照射機の絶対位置が自動算出される。
- 4) 1) と3) より、レーザー照射機と切羽の相対位置関係が自動算出される。

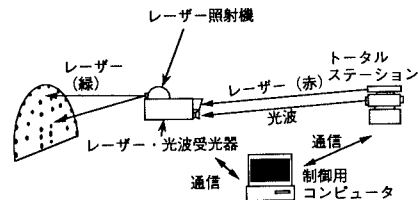


図-1 システム構成図

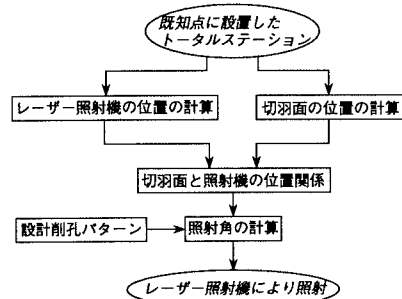


図-2 システムフロー図

5) 制御用コンピュータが、事前に登録した、1) で計算された切羽位置に対する発破パターンを呼び出す。
6) レーザー照射機と切羽の位置関係にもとづき、切羽面上で5) の発破パターンが照射されるように、レーザー照射機からのレーザー光（緑）の照射角が自動調整され、切羽面上に発破パターンが照射される。

本システムの機能上の特徴として、(1) レーザー照射機から、1本のレーザー光が切羽面上で高速に動くため、目の残像効果により、発破パターンの全体像が視認できる。（写真-1参照）(2) 切羽面が芯抜きを中心としてすり鉢状になっている場合、平面形状を前提とした切羽面上に照射された発破パターンがゆがむ可能性がある。したがって、本システムでは、切羽面を数個の平面部分に分割して、発破パターンを照射できる機能がある。(3) レーザー照射機を任意の位置に設置できるため、実用性が高い。(4) 照射速度の調整を含め、本システムをリモコン1つで全て操作することができ、実用性は高い。



写真-1 発破パターン照射像（実験上）

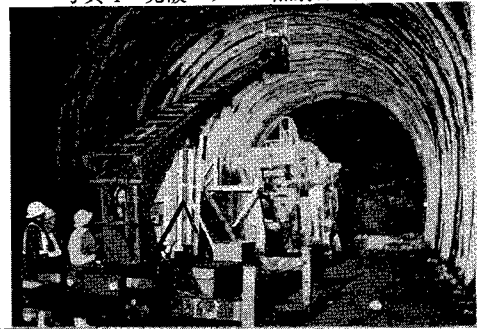


写真-2 発破パターン照射状況

4. 実際への適用：本システムおよび発破設計システムを富山県で施工中のトンネル現場に導入し、現在、その効果を検証中である。当トンネル現場は、硬岩の部分が多く、その為、適正な発破設計にもとづく正確な発破が要求され、本照射システムが採用された。この事例においては、ターゲットを組み込んだレーザー照射機を別途用意した高所作業車のバケットに取付け、照射は削孔機の直後に高所作業車を設置することにより行った。その状況を写真-2に示す。

本システムの導入当初は、各構成機器のスイッチの操作などが必要なため、システムを設置してから照射開始まで時間がかかり（約30分）、実用性にやや問題があった。そのため、スイッチを含む全ての操作をリモコンのみで行えるようにし、かつ、操作回数を減らしたため、同時間が7～8分程度になった。

また、一般の傾向として、照射対象の断面積が大きいほど、つまり、照射する削孔数が多いほど、1点あたりの光量が減少する傾向にあり、見づらくなることがある。この場合、照射速度を調整する（遅くすることにより、改善できる。実際には、残像効果がやや弱まるものの、各削孔位置に対する照射像は削岩機の操作席からも容易に判別できるため、削孔作業には問題を生じないと考えられる。

本システムの効果の詳細は、紙面の都合上、割愛するが、発表時において報告する。

5. おわりに：山岳トンネルの発破作業において、設計された発破パターンを正しく切羽に照射できる当システムを導入することは、設計された発破の効果を定量的に把握でき、その結果、適正な発破が可能となるだけでなく、削孔のためのマーキング手間の低減や安全性の向上など、トンネル工事における意義は非常に大きいと思われる。今後は、設計システムのさらなる改善と対応して、亀裂の有無などの地山の情報をリアルタイムに取り入れた、より実用性の高い発破パターン照射システムの開発を目指すものである。

参考文献：[1] 菅沼義則、河野重行 他、山岳トンネルの発破における情報化施工の開発、土木学会第49回年次学術講演会、1994年9月