

レーザー技術を用いた浮石検知手法の開発

倉橋 慎理¹, 染川 智弘¹, 新村 亮², 鈴木 健一郎³,
谷口 信博², 奥澤 康一², 渡辺 淳², 川北 章悟²

¹ (公財) レーザー技術総合研究所 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-6)

² 株式会社大林組 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2)

³ 株式会社大林組, (現日本大学 〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40)

Development of a loose stone inspection method using laser technology.

Shinri KURAHASHI¹, Toshihiro SOMEKAWA¹, Akira SHIMMURA², Kenichiro SUZUKI²,
Nobuhiro TANIGUCHI², Koichi OKUZAWA², Atsushi WATANABE², and Shogo KAWAKITA²

¹Institute for Laser Technology., 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

²Obayashi Corporation., 2-15-2 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8502

Abstract: To prevent accidents of falling rocks at mountain tunnel construction sites, we have developed a method for detecting loose stones. In this method, elastic waves generated by hitting the bedrock with heavy machinery are detected using a laser vibrometer, and the vibration of the rock at each measurement point is used to determine whether the rock is sound or loose. In this paper, we report the results of a feasibility study conducted at an actual mountain tunnel construction site.

Key Words: Laser, Measurements, Loose stones, Tunnel construction

1. はじめに

山岳トンネルの工法は、掘削後直ちにコンクリートを吹き付け、支保工、ロックボルトを併用し地山の保持力を利用してトンネルを保持する工法を用い、掘削に伴う変形が収束した後で覆工を施す、NATM(New Austrian Tunneling Method)といわれる施工が1980年代以降主流となっている。

切羽とよばれる山岳トンネル工事における掘削の最先端では地山が露出しており、浮石と呼ばれる地山から剥離した岩石の落下等(肌落ち)による労働災害がたびたび発生している¹⁾。作業員が切羽に近づいて実施する装葉、支保工建込などの作業で災害発生が多い^{2),3)}。肌落ち防止対策の一つに、浮石落とし(「こそく」とも呼ばれる。)がある。「こそく」はブレーカー等の建設機械を用いて比較的小さな浮石を予め落とす作業のことを示す。浮石の確認作業など作業員がやむを得ず切羽に近づく機会があるが、これを低減するための機械化や遠隔化などの技術が防護対策として望まれている。

レーザー技術総合研究所では、これまでレーザーによるトンネルコンクリートの欠陥検査技術を開発してきた。レーザー法は、パルスレーザーを照射してコンクリート内に振動を誘起し、その表面振動をレーザーで検出するものであり、実際の鉄道トンネルや道路トンネルにおいて、コンクリートの浮きを検出する実証試験を行ってきた⁴⁾。また、山岳トンネル工事の現場でこれらの技術を適用するための研究を2018年度より継続して実施しており、切羽における浮石も、原理的にはコンクリートの浮きと同様に、浮石の形状や周囲との接触の状態によって決まる固有のモードで振動することを示した⁵⁾。

実際の山岳トンネル工事現場の切羽において浮石検知の実証試験を実施した。本稿ではそれらの結果について報告する。

2. 山岳トンネル工事現場における実証試験

2.1 実験方法

実際の山岳トンネル工事現場の切羽において浮石検知の実証試験を実施した。バックホウと呼ばれる建設機械の先端に油圧ブレーカーを装着して地山の岩盤を打撃して弾性波を発生させ、岩盤を伝播してきた弾性波を、レーザー振動計(Polytec社、PSV Qtec)を用いて検出した。

実験配置をFig. 1に示す。切羽から約20m離れた位置に振動計測装置を設置した。レーザー振動計システムにはガルバノミラーが内包されており、計測面の走査が可能である。ブレーカー先端の「のみ」が岩

盤を打撃したときに発生した音を、マイクで検出し計測装置のトリガ信号とした。また、各計測点を直接ブレイカーで打撃し、それぞれの計測点の健全性（浮石の有無）を確認した。

計測範囲は約 3 m×3 m で、計測間隔は約 50 cm、7×7 の 49 点で振動データを取得した。計測範囲の左上で、健全で安定した岩盤をブレイカーによる打撃箇所とした。

2.2 実験結果と考察

浮石箇所では計測された信号波形を Fig.2 に、健全箇所では計測された信号波形を Fig.3 に示す。信号波形は時系列データを示しており、縦軸がレーザー振動計から出力された電圧、横軸が時間となっている。電圧に較正値をかけることで、ドップラー速度に変換することが可能であり、マイクに打撃音が到達する前後 100 ミリ秒間のレーザー振動計から出力された信号波形を取得した。

浮石箇所では、ブレイカー打撃により励起された振動の主成分の周波数が約 75 Hz であり、100 ミリ秒以上かけて減衰していく様子が見られた。健全箇所では、ブレイカー打撃により励起された振動の主成分の周波数が約 500 Hz であり、10 ミリ秒程度ですぐに減衰していく様子が見られた。両波形とも、マイクに打撃音が到達した時刻である約 100 ミリ秒以降に、約 600 Hz の振動が検出されていることが分かった。

健全に近い状態の岩盤ではブレイカー打撃により励起された弾性波が表面近傍を伝播する様子を計測することになり、比較的高い周波数の振動が見られたと考えられる。一方、岩盤に生じたひび割れや亀裂などの不連続面が浮石を形成する一因であるとする、浮きであるとされた岩盤では表面近傍を伝播する波は、起振点と計測点の間に不連続面が存在する場合、高周波成分が減衰し回折してきた低周波成分が検出されると考えられる。

加えて、浮きの状態にある岩盤は複数のひび割れや亀裂などの不連続面によって局所的に独立した構造を形成している可能性があり、その場合岩盤はいくつかの固有振動モードを持つと考えられる。浮石箇所で見られた比較的低い周波数で減衰していく振動は、ひび割れ等を回折し、浮きの状態にある岩盤に到達した弾性波のうち、岩盤の固有振動数に近い周波数成分を持つものが共振した結果検出されたと推測される。

100 ミリ秒以降に検出された約 600 Hz の振動はいずれの計測箇所においても検出されており、これはブレイカーによる打撃音が計測装置まで到達し、装置の固有振動モードで共振したためと考えられる。トンネル内のような閉鎖された環境では反響音があるため、長時間にわたって検出されたと思われる。

謝 辞

本研究の一部は株式会社大林組からの受託研究として実施された。関係各位にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 前郁夫, 花安繁郎: トンネル建設工事における労働災害の動向, 産業安全研究所技術資料 (1974)
- 2) 厚生労働省: 山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン
- 3) (独法) 労働安全衛生総合研究所: トンネルの切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案, 労働安全衛生総合研究所技術資料(2012)
- 4) S.Kurahashi et al.: J. Appl. Remote Sens.12(1),015009
- 5) 倉橋慎理、他: ILT2020 Annual Progress report

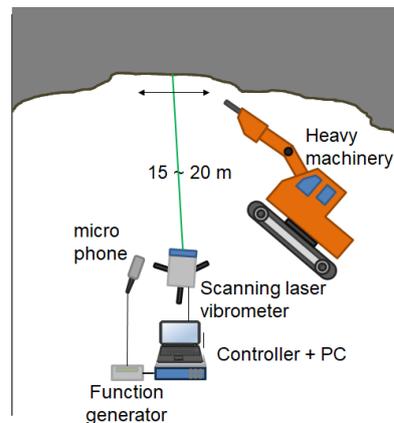


Fig.1 Experimental layout

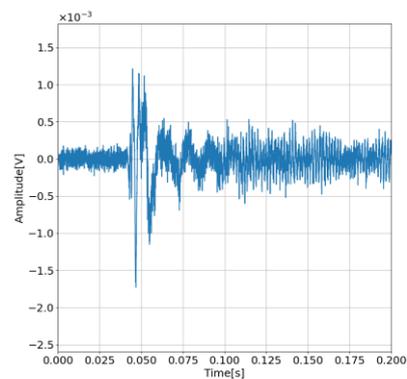


Fig.2 A signal waveform measured from loose stone

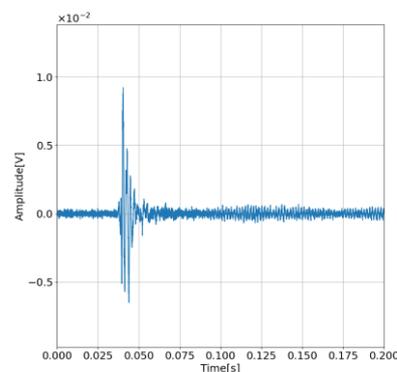


Fig.3 A signal waveform measured from sound stone