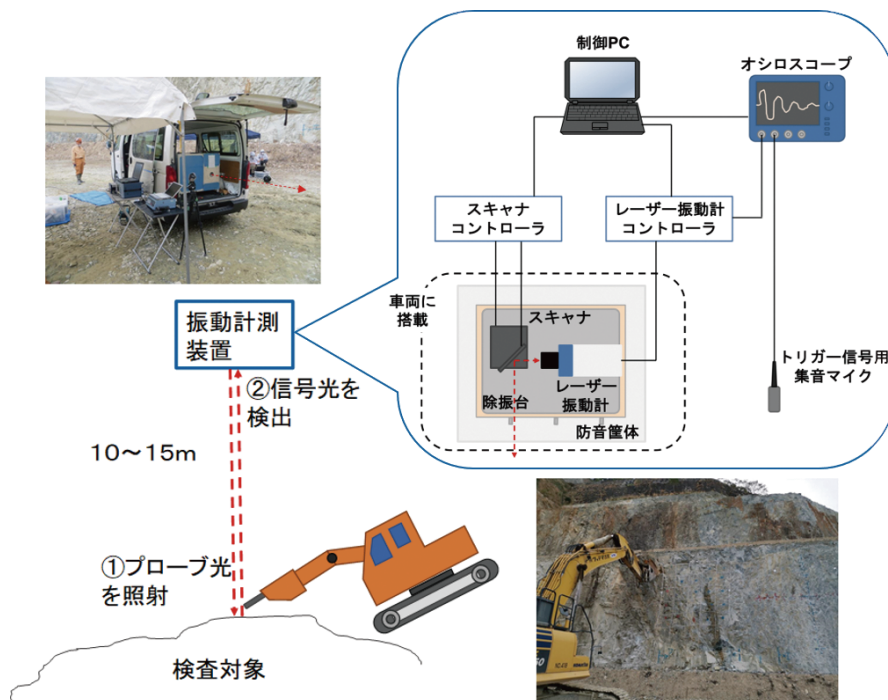


CONTENTS

レーザー計測による浮き石検知技術の開発
～現場への適用を目指して～
レーザー総研オープンセミナー
「レーザー加工からインフラ診断まで」
～ILT2022 令和3年度研究成果報告会～



【表紙図】野外浮き石検知実験の配置図と実験時の様子

レーザー計測による浮き石検知技術の開発 ～現場への適用を目指して～

レーザー計測研究チーム 倉橋慎理、コチャエフオレグ

レーザー技術開発室 本越伸二

レーザープロセス研究チーム 藤田雅之

■はじめに

切羽(きりは)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、浮き石と呼ばれる地山から剥離した岩石の落下(肌落ち)などによる労働災害がたびたび発生している。作業員が切羽に近づいて実施する装薬、支保工建込などの作業で災害発生が多い。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」はブレイカー等の建設機械を用いて比較的小さな浮石をあらかじめ落

とす作業のことを示す。「こそく」に多くの時間がかかると、掘削した地山を長時間大気に開放することとなり、地山の状態に変化が生じ肌落ちにつながる恐れがあるため、作業は迅速に行われる必要がある。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。

当研究所ではこれまで、レーザーを用いたコンクリート構造物の内部欠陥検査技術の開発を行い、実際



レーザー計測による浮き石検知技術の開発 ～現場への適用を目指して～

の鉄道トンネルや道路トンネルにおけるコンクリート壁の“浮き”を検出する実証試験を行ってきた(Laser Cross No.371, 2019 Feb, No.396, 2021 Mar.)。現在、これらの技術を山岳トンネル工事に応用するための研究を進めている。これまでに、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(Laser Cross No. 392, 2020 Nov.)。本稿では、山岳トンネルの切羽に比較的近い構造を模擬できる碎石場の切羽において、浮石検知に用いるブレイカーによる打撃の伝播特性を知るための基礎的な試験を実施した結果について報告する。

■碎石場で野外試験を実施

表紙図に実験配置図を示す。検査対象である岩盤をブレイカーとよばれる先端に「のみ」のついた建設機械により打撃し、発生した振動を10～15 m離れた位置に設置したレーザー振動計測装置により検出する。配置図における赤の破線がレーザー光路を示している。振動計測装置からの出力光を検査面に照射し、散乱光として戻ってきた光を信号光として検出する。計測位置を走査するための二軸スキャナとレーザー振動計が除

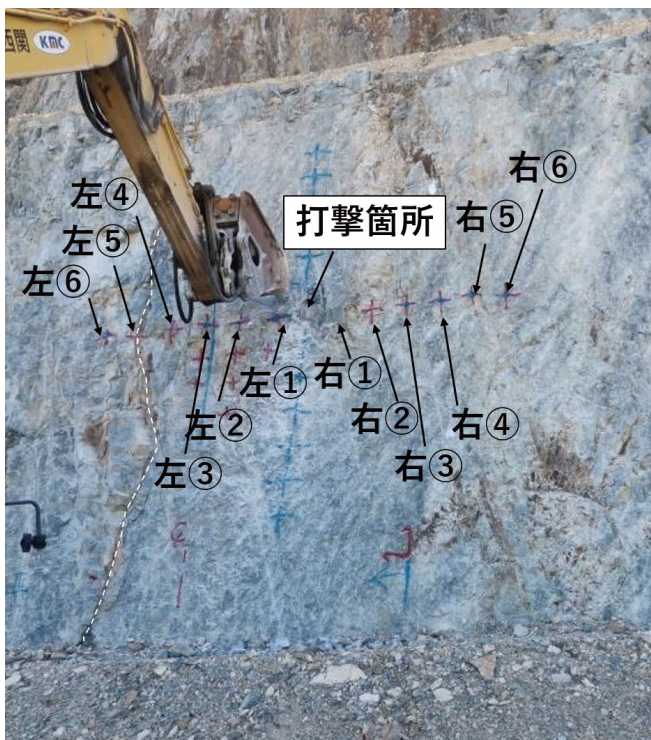
振台の上に設置されており、それらが防音防塵筐体に格納されている。筐体を車両に搭載することで、計測にかかる工程の削減を試みた。レーザー振動計、スキャナそれぞれのコントローラはPCにより制御される。レーザー振動計により計測された振動波形はオシロスコープにより記録される。また、検査面を打撃したタイミングを決定するために集音マイクを利用し、ブレイカーが岩盤を打撃した際に発生した音をトリガ信号に用いた。

岩盤が固く、一部断層を有する箇所を検査対象とし、ブレイカーで励起された振動の様子が断層の有無によりどのように異なるかを計測した。図1に検査対象の写真を示す。ブレイカーの打撃位置を中心として、左右方向に500 mm間隔で計測を行った。計測箇所は打撃位置に近いところから順に①、②、…⑥と名付け、左右それぞれ6点ずつ計測を行った。各計測点で得られた信号波形に対して高速フーリエ変換を行い、振幅スペクトルを得た。

■岩盤の振動伝搬特性と断層の影響を検証

図2に、打撃位置の左側および右側の各計測箇所から得られた信号波形と、それぞれを高速フーリエ変換して得られた振幅スペクトルを示す。右側の計測箇所(図2(b))の信号波形では、打撃位置に近いほど振幅が大きく、離れるにつれて減衰していくという挙動を示した。振幅スペクトルには、数kHzの範囲にわたって特定の周波数を持つ振動のピークが複数検出されており、そのピーク比は計測位置によって変化した。右①で顕著に観測される180 Hz程度の低周波振動は、右②の位置で振幅が大きく減衰するものの、それ以降ではほぼ同程度の振幅で伝播する。一方、右②以降で観測される約750 Hzや1 kHz以上の比較的高い周波数の振動は、打撃位置からの距離に応じて徐々に減衰し、打撃位置から3 m 離れるとほぼ消失した(右⑥)。この結果は、岩盤における振動の伝播特性が周波数によって異なり、振動周波数が高い場合には距離に対する振幅の減衰が起こりやすくなることを示している。

断層を含む左側の計測箇所(図2(a))では、信号波形が断層付近(左④)において特定の周波数で大きく振動する挙動を示した。振幅スペクトルでは、右側での計測と同様に約180 Hzの低周波振動が検出され、左②の位置では大きく減衰するが、それ以降は左④を除いて



【図1】検査対象の写真。打撃箇所とその左右の計測箇所6点(①～⑥)を図示した。左⑤の位置に断層(点線)が存在する

ほぼ同程度の振幅で伝播することがわかった。一方右側とは異なり、左側では約550 Hzの周波数成分を持つ振動が検出され、その振幅は断層がある左④方向に近づくにつれ大きくなる、という現象が新たにみられた。原因として、断層により岩盤の一部が梁状の構造物のように振る舞い、梁の先端に相当する断層に近づくにつれ振幅が大きくなった、あるいは、断層近傍の領域では連続している領域と比べて岩盤の拘束力が弱いため振幅が大きくなった、などが考えられる。また振幅スペクトルには1 kHz以上の高周波振動も観測されるが、これらの振動成分は断層が存在する左④と左⑤を境にして急激な減衰を示した。振動の伝播経路に存在する断層などの不連続面が、高周波振動を遮断するフィルターのような振る舞いをするためであると考えられる。

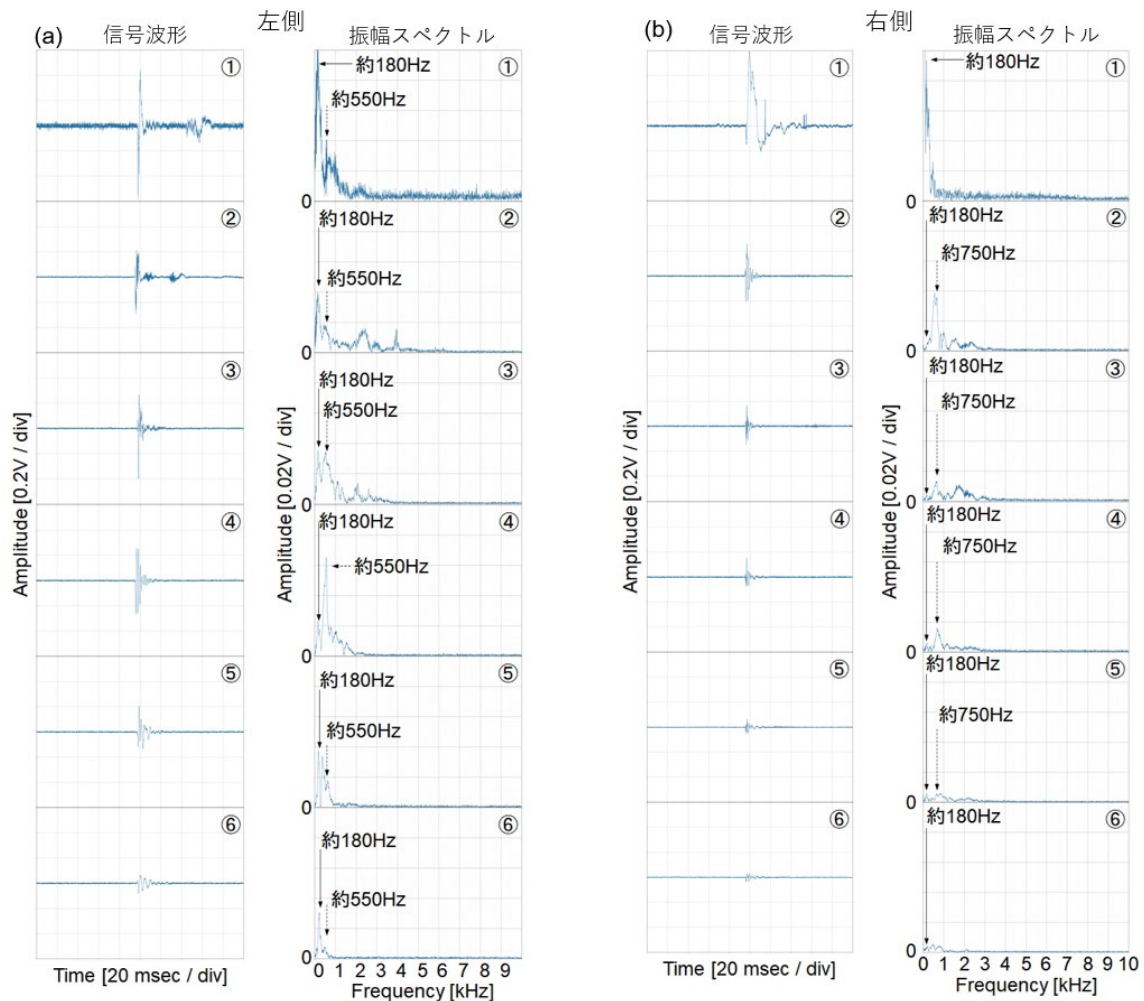
■まとめ

山岳トンネルの切羽に比較的近い構造を模擬できる

碎石場の切羽において、浮石検知に用いるブレーカーによる打撃の伝播特性を知るための基礎的な試験を実施した。ブレーカーで岩盤を打撃したとき、励起された振動が岩盤内を3～4 m程度範囲離れた距離まで伝播することがわかった。その振動を岩盤から10 m程度離れた位置から遠隔検出することに成功した。岩盤中の断層の有無による励起振動の伝播特性の変化を計測した。断層がある場合、断層に近づくほど振幅が大きくなる振動成分が存在するなど、断層がない場合にみられた打撃位置からの距離に応じた減衰以外の新たな現象が起こることを確認した。また、断層によってキロヘルツ以上の高周波振動成分が除去される現象が観測された。

謝辞：

本研究は株式会社大林組からの受託研究として実施された。研究の遂行にご協力いただいた新村亮氏、鈴木健一郎氏、谷口信博氏、奥澤康一氏に感謝いたします。



【図2】打撃箇所の(a)左側、(b)右側の計測箇所(各6点)で観測された振動波形とそれぞれの波形から計算した振幅スペクトル



レーザー総研オープンセミナー

「レーザー加工からインフラ診断まで」

～ILT2022 令和3年度研究成果報告会～

令和3年度の研究成果報告会 ILT2022は、光・レーザー・画像計測関連機器の技術展示会「第4回光・レーザー関西2022」の併催イベントとして開催いたします。本報告会では、レーザー加工からインフラ診断まで、多岐にわたる研究テーマについて、昨年度の研究成果をわかりやすく報告します。ポスター発表では、研究員との直接対話により技術的なご相談にも対応いたします。泰山賞贈呈式や受賞者による特別講演もございますので、ぜひご参加ください。

◆プログラム

- | | | | |
|---------------|---|-----------------|------------|
| 11:00 ～ 11:15 | 挨拶 レーザー技術総合研究所概要 | 所長 | 井澤靖和 |
| 11:15 ～ 11:40 | ここまでのレーザー加熱3Dプリンターで建材作製 | 主席研究員 | 藤田雅之 |
| 11:40 ～ 13:00 | 休憩 | | |
| 13:00 ～ 13:20 | 【泰山賞贈呈式】 光渦レーザーの開発とその応用の開拓 | | |
| | | 千葉大学大学院工学研究院 教授 | 尾松孝茂氏 |
| 13:20 ～ 14:00 | 【特別講演】 光渦レーザーの開発と物質科学への展開 | | |
| | | 千葉大学大学院工学研究院 教授 | 尾松孝茂氏 |
| 14:00 ～ 14:25 | 長距離レーザー伝送を効率化！高速動作・高光耐性デフォーミブルミラーの開発 | | |
| | | 主任研究員 | 谷口誠治 |
| 14:25 ～ 14:50 | フェーズコントロールでレーザーを高輝度化！新しいコヒーレントビーム結合技術の開発 | | |
| | | 副主任研究員 | ハイクコスロービアン |
| 14:50 ～ 15:05 | 休憩 | | |
| 15:05 ～ 15:30 | 有害ガスをレーザーで可視化！フラッシュ共鳴ラマンライダーによるSO ₂ ガスの漏えいモニタリング | | |
| | | 主任研究員 | 染川智弘 |
| 15:30 ～ 15:55 | 測れる厚みはいくらまで！レーザーを用いたコンクリート構造物の厚さ測定技術の開発に向けて | | |
| | | 研究員 | 倉橋慎理 |
| 15:55 ～ 16:20 | 3Dプリンティングによる回折格子の作製を！シリコン油の屈折率変化の評価 | | |
| | | 主任研究員 | 本越伸二 |
| 16:20 ～ 16:30 | 閉会 | | |
| 16:30 ～ 17:00 | ポスター発表 | 常務理事 | 中神保秀 |

◆開催概要

- <日時> 2022年7月20日(水) 11:00 ～ 17:00
- <場所> マイドームおおさか 8F 第3会議室 大阪市中央区本町橋2番5号
 アクセス：Osaka Metro 堺筋線「堺筋本町」駅12号出口から徒歩6分
 Osaka Metro 中央線「堺筋本町」駅1号出口から徒歩6分
 Osaka Metro 谷町線「谷町四丁目」駅4号出口から徒歩7分
 京阪電鉄「天満橋」駅東改札口から徒歩10分
- <受講料> 無料
- <申込み方法> 下記HPよりお申し込みいただけます。
 光・レーザー関西 ILT2022開催案内HP：<https://www.opt-seminar.jp/ilt2022/index.php>
- <申込み締切> 定員(50名)になり次第締め切らせていただきます。
- <お問い合わせ> 公益財団法人レーザー技術総合研究所 (E-mail:seika@ilt.or.jp)

