

レーザー照射による岩石中の弾性波速度の評価

(株)大林組 正会員 ○鈴木 健一郎, 奥澤 康一 新村 亮
(公財) レーザー技術総合研究所 島田 義則 倉橋 慎理 オレグ コチャエフ

1. はじめに

超音波を用いた非破壊検査技術は種々の材料に対して適用できるため、その内部欠陥や疲労状態を検出する方法と多くの手法が研究され、橋梁やトンネル覆工などのコンクリート構造物の維持管理において、実用に供されている¹⁾。その中でレーザー超音波法は超音波の励起と検出の両方をレーザー光を用いて行うもので、非接触探傷、遠隔探傷が可能であることや、レーザー光をスキャンさせることにより高速で探傷できる利点がある。岩盤斜面における不安定な岩塊の検出・監視²⁾や、トンネル覆工コンクリートの打音検査の代わりに用いること¹⁾などが提案されている。

一方、岩石の硬軟を推定するために用いられる超音波速度試験³⁾では、超音波パルスを岩石試料端で発振し他端で透過したパルスを受振し、伝播時間から速度を算出する。原位置弾性波測定でも受振子を岩盤に直接設置しなければならず危険な場所での設置は問題となる。

これらの研究背景から、ここでは、第一段階として、岩盤や岩石といった不均質な材料に対して刺激を与える手段としてレーザーを用いることが可能であるか、何が得られるかを確かめる目的で、岩石円柱供試体を用いた室内実験を行った。ピエゾ素子発振の超音波速度で 1.2 km/s の泥岩から 5.0 km/s の花崗岩までの弾性波伝播速度を持つ 5 種類の岩石について、レーザーによる発振により同様の弾性波速度が得られるかを調べた結果について報告する。

表-1 超音波速度試験結果一覧

岩種	直径	高さ	重量	単位体積重量	弾性波速度	
	D	H	weight	γ_t	Vp	Vs
	(cm)	(cm)	(g)	(kN/m ³)	(m/sec)	(m/sec)
泥岩	3.01	5.44	62.78	15.89	1257	860
砂岩	3.03	6.23	113.12	24.69	2758	1948
石灰岩	3.07	6.09	103.10	22.46	3983	2539
凝灰岩	5.02	9.43	253.32	13.32	1885	1274
花崗岩	4.98	9.88	506.01	25.78	4429	2855

2. 岩石供試体および試験方法

実験には、上総層群泥岩、来待砂岩、琉球石灰岩、大谷凝灰岩、稲田花崗岩の 5 種類の岩石円柱供試体を用意した。物理諸量と 50 kHz 超音波速度試験結果は表-1 のようである。ここで得られた P 波速度を「Piezo 発振受振 Vp」と呼ぶことにする。

実験ケースを図-1 に示す。発振はすべてレーザーによる衝撃で与えた。発振用の衝撃を与えるレーザーは、カンタレーの PRO-290 で出力エネルギー 1 J、パルス間隔は 8 ns の Nd-YAG レーザーである。Nd-YAG レーザーとは、ネオジウム (Nd-Neodymium) を封入した、イットリウム (Y)、アルミニウム (A)、ガーネット (G) で構成する YAG ロッドを発振器とし、それに強い光を当ててレーザー光を励起・発振させる固体レーザーの一種である。CASE1 では、レーザードップラー振動計 (LDV) にて検出し、CASE2 では、圧電素子 (中心周波数 100 kHz、直径約 6 mm) で振動を検出した。CASE3 と 4 では、円柱供試体側面にレーザー照射し、離間 40 mm の振動を LDV で計測した。CASE3 では、反射テープ (図中の□部) を円柱供試体表面に張り、CASE4 では反射テープ無しで振動を計測した。

3. 試験結果と考察

レーザー発振による弾性波速度の計測結果を図-2 に示す。

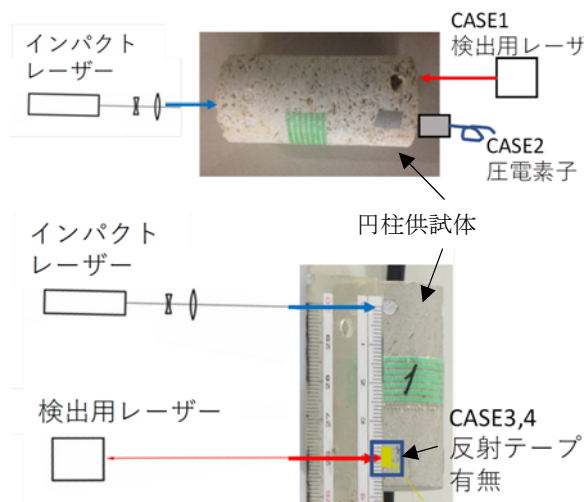


図-1 実験ケース

キーワード 弾性波速度, レーザー, レーザードップラー振動計

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL 042-495-0916

圧電素子で発振受振した透過 V_p は、レーザーで発振受振した透過 V_p に比べて低い傾向にあった。これはレーザーによる発振が、小さな発破のような状態で様々な周波数の波を発生させ、そのうち到達時間の早いものを計測しているためと考えられる。また、石灰岩と花崗岩の V_p の値が圧電素子計測とレーザー計測で逆転している理由は、岩石の不均質性などの影響⁴⁾⁵⁾が考えられるが、今後の検討課題である。図-3 には、圧電素子発振受振の透過 V_p とレーザー発振圧電素子受振の透過 V_p の関係を示した。図-2 の CASE1 の場合と同様な傾向を示した。これより室内弾性波速度測定とレーザー発振圧電素子受振との関係は発振側の違いによるものと判断される。図-4 には、供試体側面にレーザーで衝撃を与え、離間距離 40 mm の位置に貼付した反射テープを介して LDV で到達時間を計測した結果を CASE1 の透過 V_p との関係を示した。この結果は、表面計測によって透過 V_p の計測が可能であることを示している。1:1 に対応していないのは、到達時間の読み取り誤差と考えられる。図-5 には、表面発振受振で得られる速度において、供試体に直接レーザー照射して反射波を計測したものである。この場合は、表面波の影響を受けて P 波の到達時間が不明瞭となるため到達時間を遅く評価することになる。

4. まとめと今後の課題

室内超音波速度試験結果とレーザー発振、レーザードップラー振動計による弾性波の計測を行い、両者を比較することで、以下の知見を得た。

- ① 室内弾性波速度測定結果とレーザー発振受振で計測された弾性波速度は相関があり、レーザー発振受振で求めた速度の方が大きく、係数は 1.25 となる。
- ② 岩石供試体側面にレーザーでインパクトを与え、計測した弾性波速度は中心付近の透過波と同等の速度となる。
- ③ 反射テープがない場合は、表面波の影響を受けるため低速側に判定される。

今後、原位置岩盤において、レーザードップラー速度計を用いた計測を行い、岩種や風化度により振動の違いが得られたところで、トンネル切羽やダム基礎岩盤での岩盤の安定性評価にも繋がっていく所存である。

参考文献

- 1) 御崎 哲一：レーザーを用いたトンネル覆工コンクリートの欠陥検出方法に関する研究，博士論文，2015。
- 2) 上半文昭ら：非接触振動計測による岩塊崩落危険度の定量評価システムの開発，第 13 回岩の力学国内シンポジウム，pp.43-48，2013。
- 3) 土質工学会編：岩の調査と試験，第 47 章超音波速度試験，pp.387-395，1989。
- 4) 中村敏明，小泉和広，中島雅之，杉田信隆：岩石試料の超音波速度に与える周波数の影響，全地連「技術 e-フォーラム 2003」93，2003。
- 5) 西澤 修：岩石中の地震伝播 I：不均質媒体のモデル化と弾性波速度，地学雑誌，114 (6) pp.921-948，2005。
- 6) 西澤 修，雷 興林，佐藤隆司：不均質媒体での地震波伝播モデル実験—レーザードップラー速度計を用いた波動計測—，地質調査所月報，第 47 巻，第 4 号，pp.209-222，1996。

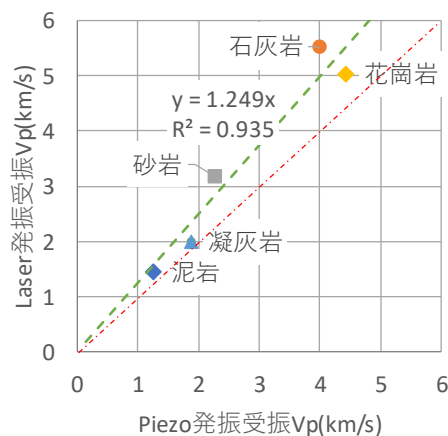


図-2 圧電素子計測とレーザー計測 (CASE1) の関係

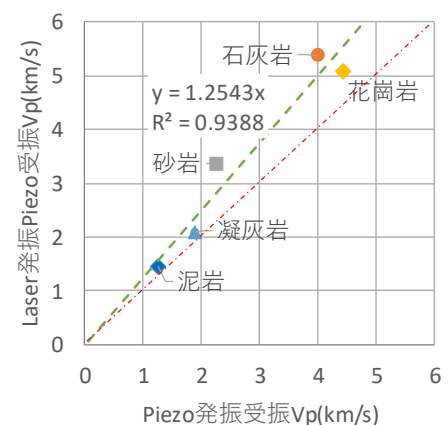


図-3 圧電素子計測とレーザー計測の (CASE2) 関係

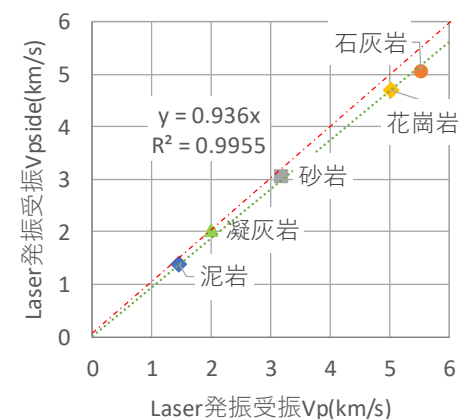


図-4 透過 V_p (CASE1) と側面 V_p (CASE3) の関係

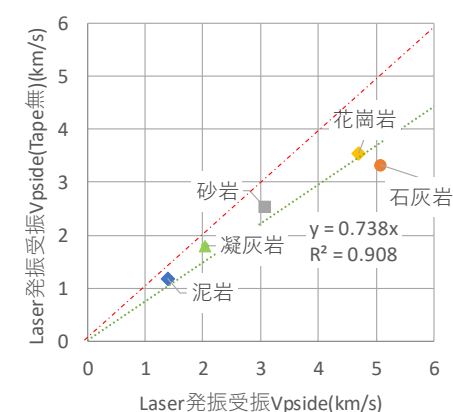


図-5 透過 V_p (CASE1) と側面 V_p (CASE4) の関係