

レーザーを用いた岩石弾性波の遠隔測定

(株)大林組 正会員 ○鈴木健一郎 奥澤 康一 新村 亮 谷口信博
(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

レーザーを用いて、落石の危険があるような場所から数m～十数mの遠隔で岩石に刺激を与え、発生した弾性波の速度を計測できれば、岩盤強度評価を行うための指標を得るための目視観察や打音調査などの作業を行うリスクを低減することが可能となる。

弾性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、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⁾。筆者らは、トンネル切羽で岩盤の強度を遠隔で、迅速に測定する目的で、研究を進めている²⁾。この報告では、1) 文献2の計測に加えてレーザーで発振し、レーザーでその振動を検知する方法（以下レーザー法、という）と超音波速度試験法³⁾を比較する、2) レーザー法によるP波速度と表面波速度を比較する、3) 周波数特性から岩石の不均質性に関する考察を行った、点について以下に報告する。

2. 岩石供試体および試験方法

実験には、文献2で用いた上総層群泥岩、来待砂岩、琉球石灰岩、大谷凝灰岩、稲田花崗岩に加えて風化花崗岩、別地点の砂岩を用意した。これらのうち、凝灰岩、花崗岩、風化花崗岩は直径50mm、高さ100mmの円柱であり、泥岩、石灰岩、砂岩は、直径30mm、高さ60mmの円柱である。これらは、鉱物粒子の大きさや分布、空隙の大きさや分布が異なる不均質な岩石である。しかし、計測寸法においては、等価な均質媒体として弾性波の伝搬を評価することが可能であると考えられる⁴⁾。表-1にこれらの岩石試料の物理諸量と超音波速度試験結果を示した。

表-1 岩石物理諸量

	直径	高さ	単位体積重量	Vp	Vs
	cm	cm	kN/m ³	m/sec	m/sec
泥岩	3.01	5.44	15.89	1.26	0.86
石灰岩	3.07	6.09	22.46	3.98	2.54
砂岩	3.03	6.23	24.69	2.76	1.95
花崗岩	4.98	9.88	25.78	4.43	2.86
凝灰岩	5.02	9.43	13.32	1.89	1.27
風化花崗岩	5.02	9.68	13.31	2.63	1.68
砂岩2	2.96	5.78	26.37	5.35	2.72
砂岩3	2.95	5.73	26.37	5.31	2.38



図-1 透過波測定模式図²⁾

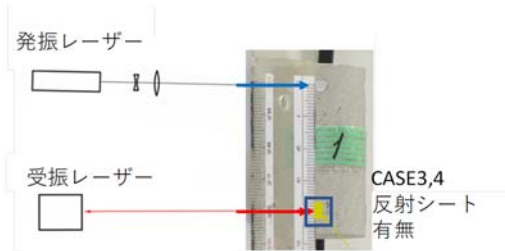


図-2 透過波測定模式図²⁾

透過波計測の模式図を図-1に、供試体を拘束した計測状況を写真-1に示す。発振のソースとして用いたのは、出力エネルギー0.4J、パルス間隔は8nsのNd-YAGレーザーである。発振レーザーを岩石に照射すると岩石表面がアブレーションあるいは温度上昇により内部に弾性波が発生する。受振レーザーは、Polytec社RSV-150を用いて、変位分解能1μmで速度振幅値を測定した。ピエゾセンサーは中心周波数100kHzである。側面でのレーザー法計測の模式図を図-2に、計測状況を写真-2に示した。発振と受信の間隔は40mm一定である。

3. 試験結果と考察

レーザー法による透過波の計測結果と超音波速度試験(JGS2110)結果の比較を図-3に示す。両者は1:1の対応を示した。したがって、レーザー法と超音波速度試験は同等の結果が得られるものと判断できる。



写真-1 透過波測定状況 写真-2 表面波測定状況

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

遠隔で対象とする岩盤の弾性波速度を計測する場合には、岩盤表面に衝撃を与えてその振動を計測することになる。円柱供試体の側面の弾性波伝播をレーザー法で計測した結果と超音波速度試験結果と比較したのが図-4である。今回用いたレーザーのインパクトによるP波到達時間が不明瞭であるため、表面波の到達時間から弾性波速度が計算された。そのため、透過P波速度に対して67%の速度となった。曲面での反射を確実にする反射シート無しの結果であるが、反射シートを介しても同程度バラついた。遠隔でレーザーにより岩石の弾性波速度を計測する場合、レーザーインパクトによって得られる弾性波速度は、表面波の速度となり、透過P波速度を考える場合には、図-4の相関からP波速度を推定する必要がある。

速度のスペクトルを取って、フラクタル次元を文献5に従って、 $D=(5-\alpha)/2$ より算出した。ここで α はスペクトルの傾きである。移動平均を取ったスペクトルの例を図-5と図-6に示す。それぞれ、凝灰岩と砂岩の例であり、周波数0.1~1MHzでの傾きからDを求めると、砂岩で $D=1.47$ と全試料の中で最小値を示し、凝灰岩では $D=1.94$ と最大値を示した。供試体スケールでの不均質により散乱波が発生し、周波数特性に違いが現れると考えられる。

4. まとめと今後の課題

レーザー発振により弾性波の透過到達時間をレーザー振動計で計測し、室内超音波速度試験結果と比較することで、岩石物性の評価への適用性を検討した。

- ・レーザー法と超音波速度試験結果はほぼ一致する。
- ・岩盤表面で計測することを想定して、円柱供試体の側面においてレーザー法を適用した。側面の表面波が計測され、透過P波より67%程度小さな速度となることに留意を要する。
- ・速度波形のスペクトルからフラクタル次元を求めた。造岩鉱物や空隙の存在という不均質により散乱波が発生するため、不均質の程度とフラクタル次元の関係は今後の検討課題となった。
- ・今後、トンネル切羽やダム基礎岩盤での実際の計測を通して、岩盤の安定性評価のための物性評価に繋げていく所存である。

参考文献

- 1) 例えば、上半文昭：岩盤斜面評価用非接触振動計測システムの提案、鉄道総研月例発表会講演要旨、No. 374/I-6, pp. 249-259, 1986.
- 2) 鈴木健一郎、奥澤康一、新村亮、谷口信博、島田義則、倉橋慎理、オレグ コチャエフ：レーザー照射による岩石中の弾性波速度の評価、土木学会第74回年次学術講演会講演要旨、No. 374/I-6, pp. 249-259, 2019.
- 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) 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
- 5) 高安秀樹：フラクタルの物理、物性研究、44(6)、pp. 885-981, 1985

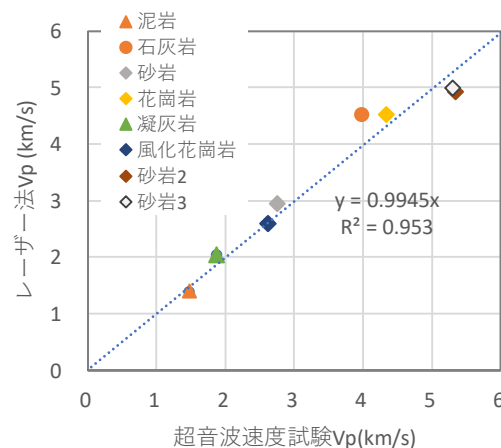


図-3 透過波計測における超音波速度試験結果とレーザー法の比較

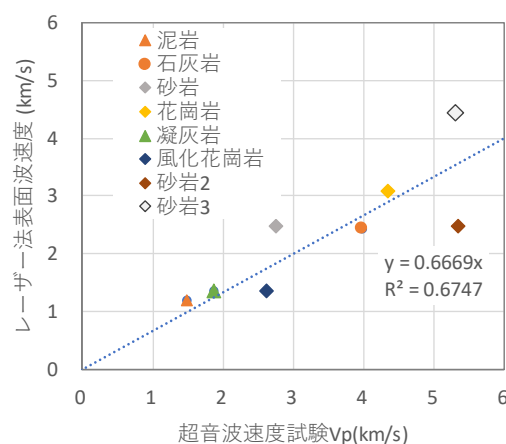


図-4 側面計測における超音波速度試験結果とレーザー法の比較

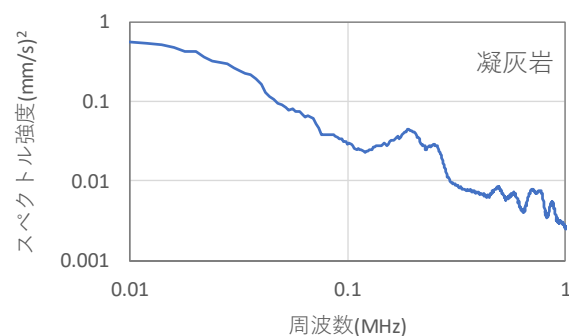


図-5 凝灰岩のスペクトル

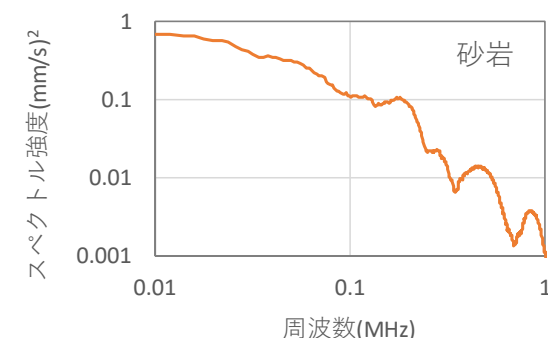


図-6 砂岩のスペクトル