

レーザーを用いた岩石弾性波の遠隔測定における表面形状の影響

(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 倉橋 慎理, コチャエフ オレグ

1. はじめに

レーザーを用いて、遠隔で岩石に刺激を与え、弾性波と同様の特性が得られれば、落石の危険があるような場所に立ち入って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。このような遠隔測定を目的として、筆者らは、レーザーパルスが岩石表面に照射して表面波を発生させ、遠隔で表面波の伝搬速度を測定することにより、岩石特性同定への適用の可能性を調べてきた。これまでの研究^{1),2)}においては、表面形状が比較的スムーズでクラックが存在しない岩サンプルを用いて実験を行い、岩石の弾性波特性との比較により同様の指標となる可能性を明らかにした。しかし、実際の自然岩は表面形状が様々であり表面波の伝搬に複雑な影響を与えることが考えられる。この研究では表面形状がレーザー計測に与える影響を調べた。

2. 試料および実験条件

実験には、流紋岩と花崗岩を用いた。流紋岩は斜面より採取した落石そのものの面（自然面）とコアリングした面（写真-1）、花崗岩は、円柱供試体底面（研磨面）とせん断破壊したせん断面（写真-2）を比べることで、表面形状の違いによるレーザー反射特性について検討を行った。実験ケースを表-1に示す。測定距離は、反射鏡を用いて5mと10mを再現した。測定間隔は、レーザーパルスの印加点と表面波の測定点の間隔である。インパクトソースとして用いたのは、パルス間隔8nsのNd-YAGレーザーである。パルスレーザー照射により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。表面波の測定には、Polytec社のレーザー振動計RSV-150を用いて、変位分解能1 μ mで振動測定を行った。

計測は、参考ケースとして計測側に反射テープを貼付して計測を行い、次にそれぞれレーザー反射波が低ノイズで取れるように位置を微調整して、10回の計測を行い、平均を求めた。

3. 結果および考察

図-1は、参考ケースとして実施した流紋岩自然面に反射テープを用いて計測距離10m、測定間隔80mmの場合の波形である。波形に示す矢印は、表面波到達時間を指している。流紋岩においては、図-2に示すコアリング面でも図-3に示す自然面でも同様の波形が得られたが、反射テープでの計測結果比べてノイズが大きい計測結果もあり、計測の位置調整が必要であった。図-4に、花崗岩研磨面の距離10m、計測間隔40mmレーザー出力0.4Jの結果を示す。研磨面での計測波形は、比較的振動到達時間が読み取れる程度の立ち上がりを示している。計測間隔が80mmの場合は、

表-1 実験ケース

	表面形状	測定距離	測定間隔	インパクトレーザー出力
流紋岩	コアリング面	5m	40mm	0.4J
	コアリング面	5m	80mm	0.4J
	コアリング面	10m	40mm	0.4J
	コアリング面	10m	80mm	0.4J
	自然面	10m	40mm	0.4J
	自然面	10m	80mm	0.4J
花崗岩	研磨面	5m	40mm	0.4J
	研磨面	5m	80mm	0.4J
	研磨面	10m	40mm	0.4J
	研磨面	10m	80mm	0.4J
	せん断破壊面	5m	40mm	0.4J
	せん断破壊面	5m	80mm	0.4J
	せん断破壊面	10m	40mm	1J
	せん断破壊面	10m	80mm	1J



写真-1 流紋岩の表面形状
左：コアリング面、右：自然面



写真-2 花崗岩の表面形状
左：研磨面、右：せん断破壊面

キーワード 岩石 表面形状 弾性波速度 レーザー

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 TEL042-495-1015

明瞭な波形が得られなかった。図-5には、せん断破壊面を10 m距離でレーザー出力を1 Jで計測した場合の波形を示した。表-2にこれらの波形から得た到達時間を基に表面波速度を計算した結果をまとめて示した。流紋岩では、全6ケースともほぼ同等の速度が得られたが、花崗岩のせん断破壊面では、研磨面の78%と77%と明らかに低速度の結果となり、面の局所的な弾性波速度を反映したものと考えられる。せん断破壊面は、一軸圧縮試験により作製してせん断面であり、表面にはガウジがあり、クラックが存在している。岩盤不連続面の壁面強度を推定のための一つの指標になるものと考えられる興味深い結果となった。

4. まとめと今後の課題

実験の結果、5 mと10 m離れた位置から表面波を光計測することが可能であると示された。

コアリング面や研磨面に比べて自然面やせん断破壊面では、表面形状や状態により表面波計測の位置によるばらつきが大きいことが確認された。その原因は、自然面の形状や破壊面でのクラックやゲージの存在が挙げられる。

実際の自然岩への適用においては複数の測定点で計測を行い、データを統計処理することで速度測定精度が上げられる。また、表面波励起用レーザーのパルスエネルギーはなるべく大きく、且つ遠距離計測においては光学系を用いてなるべく小さな点に集光し、レーザーアブレーションによる衝撃を最大化することが必要となる。

測定距離10 mを実験室で再現したが、原位置で計測するには、より高出力のレーザーを用いて、遠隔で岩石に刺激を与えることで、弾性波と同様の特性が得られ、落石の危険があるような場所に立ち入って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。

参考文献

- 1) 鈴木ら：土木学会第74回年次学術講演会講演要旨，III-314，2019。
- 2) 鈴木ら：土木学会第75回年次学術講演会講演要旨，III-351，2020。

表-2 全試験結果

	表面形状	測定距離	測定間隔	速度
流紋岩	コアリング面	5m	40 mm	3109 m/s
	コアリング面	5 m	80 mm	3071 m/s
	コアリング面	10m	40 mm	3154 m/s
	コアリング面	10 m	80 mm	3247 m/s
	自然面	10 m	40 mm	3114 m/s
	自然面	10 m	80 mm	3179 m/s
花崗岩	研磨面	5m	40 mm	2402 m/s
	研磨面	5 m	80 mm	2318 m/s
	研磨面	10 m	40 mm	2438 m/s
	研磨面	10 m	80 mm	2468 m/s
	せん断破壊面	5m	40 mm	1875 m/s
	せん断破壊面	5 m	80 mm	—
	せん断破壊面	10 m	40 mm	1846 m/s
	せん断破壊面	10 m	80 mm	—

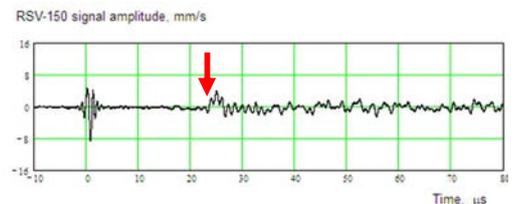


図-1 反射テープによる流紋岩自然面の計測波形（距離10 m，間隔80 mm）

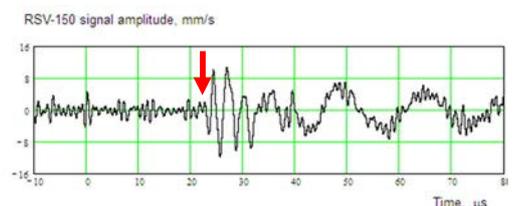


図-2 流紋岩コアリング面の計測波形（測定距離10 m，測定間隔80 mm）

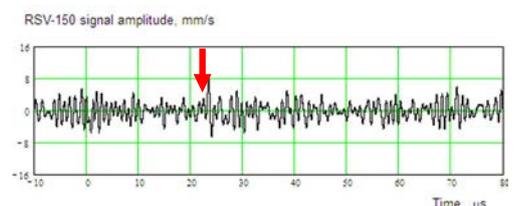


図-3 流紋岩自然面の計測波形（測定距離10 m，測定間隔80 mm）

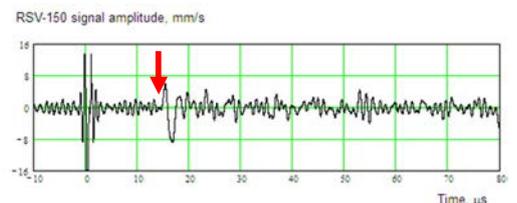


図-4 花崗岩研磨面の計測波形（測定距離5 m，測定間隔40 mm）

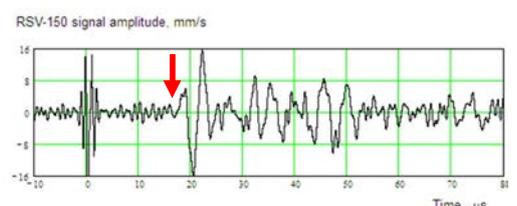


図-5 花崗岩せん断破壊面の計測波形（測定距離10m，測定間隔40mm，出力1 J）