

レーザを用いた岩盤の制御破砕法に関する基礎研究

北海道開発局開発土木研究所*) 正会員 池田憲二、佐藤 京、藤野戸 宏樹
住友重機械工業株式会社 非会員 吉川光昭、黒沢 隆
株式会社地層科学研究所 正会員 里 優

1. はじめに

筆者らは、危険な岩盤斜面の防災工事に適用すべく、レーザによる穿孔を用いた制御破砕法の研究開発を進めている¹⁾。これまでに、6kW の YAG レーザを用いて凝灰岩の穿孔実験を行い、レーザ穿孔が実用的であることを確認した。レーザは、岩石に対して横向き（水平より 5° 上向き）で連続照射し、溶融ドロスが自重で流れるよう配慮したが、開口部下部に堆積したドロスが流れを乱し、滞留して穿孔加工の進展を妨げることが明らかとなった。このため、レーザのエネルギー密度を増加させることや添加剤によって、ドロスの流出を促進する方法をさらに検討した。

2. 穿孔基礎試験

2.1 エネルギー密度の増加

試験では、ビーム径を 10mm にして穿孔能力を評価した。これまでに実施した、4kW 単体での穿孔試験（ビーム径 20mm）と比較すると、単位面積当りのエネルギー密度は 4 倍となる。試験に使用した YAG レーザ発振器は、MW4000（出力 4kW 住友重機械工業（株）製）で照射面上のパワーは 3.2kW である。試験には、これまでと同様の凝灰岩を新たに採取して用いた。また、4kW レーザを 2 台合成した、8kW 出力のレーザを用いた穿孔試験も行った。

試験結果を図-1 に示す。同図には波線で過去の試験結果も併せて示した。図からわかるように、エネルギー密度が増加しているにもかかわらず、それに比例した穿孔深さは得られず、8kW レーザでは、むしろ穿孔能力が低下している。

これは、開口径が 10mm と小さい分だけ、溶融ドロスが開口部に堆積した凝固物に堰き止められ、円滑に流出しなくなることの一因がある。すなわち、投入されたレーザエネルギーは、穿孔部に滞留した溶融ドロスの加熱に費やされ、穿孔部先端の新しい岩石表面の溶融に寄与しないためと考えられる。

また、穿孔能力の差異は岩石の成分の違いにも起因している。今回用いた岩石から生成された溶融ドロスには、過去のものに比べ多くの SiO_2 が含まれている（表-1）。 CaO-FeO-SiO_2 3 元状態図からそれぞれの岩石の溶融温度を推定すると、今回の岩石は約 1,970 K であり、過去の岩石は 1,470 K となる。この 500 度の差は、溶融ドロスの粘性や凝固形状などに大きな影響を与えていると判断できる。

2.2 各種粉末材料の添加効果

これまで述べた試験からは、溶融ドロスの溶融温度を低下させることが、穿孔能力向上に有効であることが示された。一般に、 FeO 、 CaO 等の塩基性酸化物、 CaF_2 等のフッ化物は、 SiO_4^{4-} イオンの網目状構造やリン

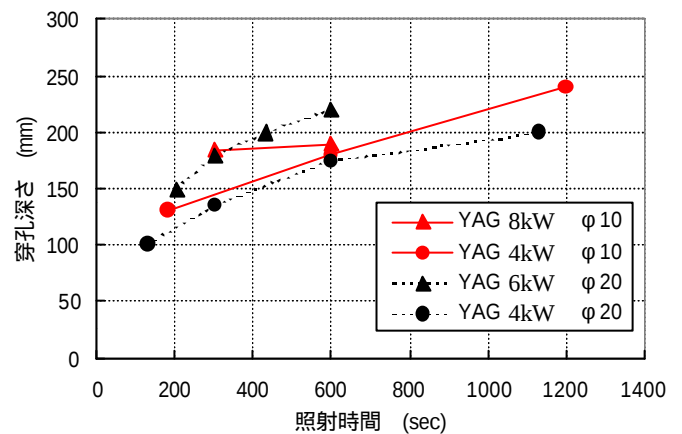


図-1 照射時間と穿孔深さ

表-1 ドロスの主成分（重量％）

元素	供試岩石		過去の供試岩石	
	均質	不均質	A	B
CaO	11.8	15.0	30.0	34.4
FeO	20.7	18.7	29.9	27.6
SiO ₂	67.5	66.3	39.8	38.1

キーワード：岩盤斜面、レーザ、ドロス、添加剤、制御破砕

* 連絡先：〒062-0931 札幌市豊平区平岸一条3丁目 北海道開発局開発土木研究所 Tel. 011-841-1111(代)

グ状結合を破壊して、流動単位を小さくし粘性を低下させる働きがある。次に、これらを添加して穿孔能力の向上度合いを調べることとした。

予備試験として、500W の YAG レーザ(JK701H: 住友重機械工業(株)製)を用いて穿孔試験を行った。鉄筋コンクリート試験材(300mm×300mm×60mm)に対し、パウダー切断器を用いて CaF_2 、 CaO 及び Fe を酸素気流とともに吹き付けた。同時に、レーザをビーム径 $\phi 10\text{mm}$ で 2 分間照射して穿孔深さを調べた。なお、パウダー切断器の粉末送給用ノズルは、ビーム進行方向と粉末送給方向が可能な限り一致するように配置した。結果は、以下のとおりである。

- (1) 添加剤として、 Fe は穿孔能力向上に効果があったが、 CaF_2 や CaO は効果がなかった。
- (2) Fe 粉による能力向上は、 Fe 粉・酸素混合気流吹き付けにより、溶融層で粉末が急速に酸化発熱し、補助熱源として作用することと、生成酸化物がドロス中に溶解して流動性を改善するためである。
- (3) 酸素圧を下げ、 Fe 粉供給ノズル-試験材間距離を短くすることで、 Fe 粉の不必要な拡散や酸素吹き付けによる冷却効果を抑えることができる。
- (3) Fe 粉の供給量を増やし過ぎると、レーザ照射部で溶融・凝固した Fe の塊ができ、逆効果であった。

2.3 自然岩石での実証穿孔試験

最後に、採取した凝灰岩を用いて穿孔試験を行った。試験は、レーザ出力 8kW、ビーム径 $\phi 10\text{mm}$ で 5 分間の照射とした。また、 Fe 粉供給ノズル-試験材間距離 $L_a=35\text{mm}$ 、送給酸素圧 $0.25 \sim 1.25\text{kg}/\text{cm}^2$ の範囲で行った。ノズルは内径 $\phi 1.3\text{mm}$ の低压用ノズルを使用し、粉末送給量は $110\text{g}/\text{min}$ とした。

図-2 に示すように、穿孔深さは、いずれの場合もレーザ照射だけでの穿孔深さ(84mm)より深く、 Fe 粉の添加が穿孔能力向上に有効であることが実証された。特に、酸素圧 $0.25\text{kg}/\text{cm}^2$ で最大深さ 144mm が得られており、適正な圧力によって気流の拡がりや抑えられ、 Fe 粉の効果が深さ方向に有効に作用したと考える。

3. まとめ

今回の試験により、以下のことが明らかとなった。

- (1) 照射径を小さくすることでエネルギー密度を高めても、ドロスの排出が円滑に行われない限り穿孔能力は向上しない。
- (2) Fe 粉を照射部に吹き付けることで、ドロスの流動性を向上させることができ、結果として大幅な穿孔能力の向上が見られた。

今後は、大出力レーザによる穿孔能力の向上、あるいはロボット化を目指した研究開発を進める所存である。

参考文献

- 1)池田 他：レーザによる岩盤斜面の切り取り技術の開発、岩盤力学に関するシンポジウム論文集,2000

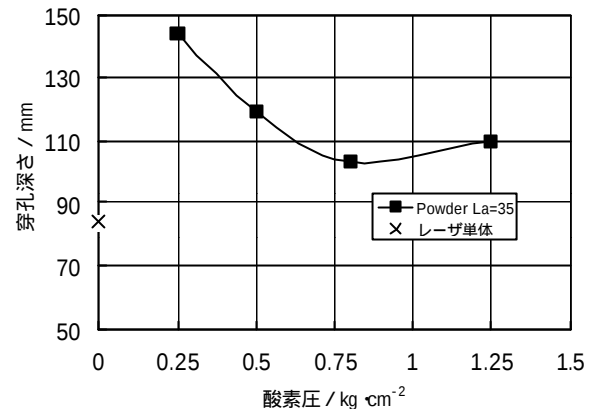


図-2 供給酸素圧と穿孔深さ



図-3 照射の様子(下: Fe 粉有り)