

コンクリートのレーザ溶断過程の再現に向けた光粒子を用いた粒子法シミュレーション

筑波大学 学生会員 ○山崎 辰和

筑波大学 正会員 亀田 敏弘

1. 背景・目的

コンクリート構造物の解体手法として低騒音・低粉塵のレーザ溶断が期待されている．実験によりコンクリートの溶断条件を求めるのは困難なため、シミュレーションにより検討した．本研究では、コンクリートのレーザ溶断シミュレーションにおいて適切な溶断条件を求めるため、単位時間当たりの熱量が溶断に与える影響、重力が溶断に与える影響、溶断後の溶断面の形状の考察を目的とする．

2. シミュレーション理論

コンクリートのレーザ溶断現象は固・液・気 3 相の問題であるが、固体を粘性の大きい流体と仮定すると、流体のみの運動としてナビエ・ストークス方程式により定式化することができる．また気体は無視し、表面への再付着はないものと仮定する．支配方程式はナビエ・ストークス方程式、連続式、熱伝導方程式である．

本シミュレーションでは離散化手法として、相が変化する問題に適する粒子法を採用することとする．粒子法は連続体を粒子の集合として離散化する手法である．

本シミュレーションではレーザ照射を仮想的な概念である光粒子によりモデル化している．レーザを光子として扱うには大量の光子が必要であり、計算コストが飛躍的に増大するためである．レーザからコンクリートへの熱吸収率は、理論的吸收率にパラメータ α （表面の凹凸を再現する係数）を乗じたものとする．

3. シミュレーション手法

3. 1 計算手段

本シミュレーションは海洋研究開発機構 JAMSTEC のスーパーコンピュータである地球シミュレータ ES4 により実施し、主計算装置は CPU ノード部を利用する．

3. 2 単位時間当たりの熱量が溶断に与える影響

シミュレーション対象を図 1 に示す．コンクリートに対し $-z$ 方向で y 方向下端部にレーザを照射し、さらに照射位置を $+y$ 方向に移動させることとする．重力の向きは $-y$ 方向とする．この際、コンクリートに与える総熱量は一定の 24 J とし、単位時間当たりの熱量を変化させることとする．表 1 にシミュレーションにおけるレーザ光の出力条件を番号を付して示す．総熱量一定の条件下において、単位時間当たりの熱量を変化させると溶断の程度が変化することを確認する．

3. 3 重力が溶断に与える影響

シミュレーション対象は前節と同様とする．対象に対し $-z$ 方向で正方形中心にレーザを照射し（図 1）、重力を $-z$ 方向・ $-y$ 方向に作用させることとする．重力の方向を変化させると溶断の程度が変化することを確認する．

3. 4 溶断後の溶断面の形状

シミュレーション対象は前節と同様とする．対象に対し $-z$ 方向で y 方向下端部にレーザを照射し、さらに照射位置を $+y$ 方向に移動させ（図 1）、この際、重力の向きは $-z$ 方向とする．計算終了後の溶断面の形状を確認する．

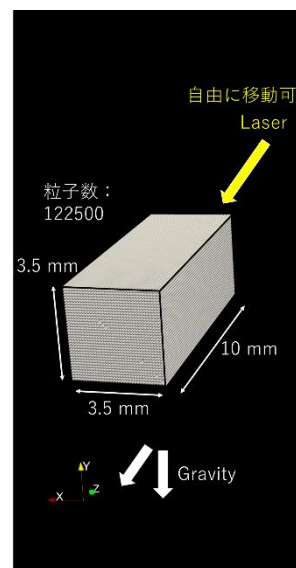


図 1 対象コンクリート

キーワード コンクリート，レーザ溶断，光粒子，粒子法，シミュレーション

連絡先 s1911179@s.tsukuba.ac.jp

4. 結果・考察

4. 1 単位時間当たりの熱量が溶断に与える影響

シミュレーション終了時の溶断の様子を図2・図3に示す。図2は溶融粒子数が最大（条件3）の場合であり、図3は最小（条件5）の場合である。単位時間当たりの熱量に対する溶融

表 1 レーザ光の出力条件

番号	単位時間当たり熱量[W]	時間[s]	レーザ速度[mm/s]
1	80	0.3	9.7335
2	160	0.15	19.467
3	240	0.1	29.2
4	360	0.0667	43.778
5	720	0.0333	87.602

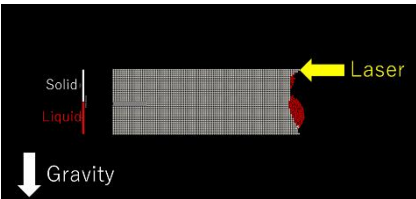


図2 溶融粒子数最大

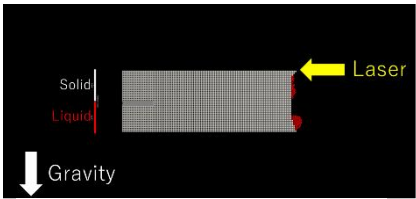


図3 溶融粒子数最小

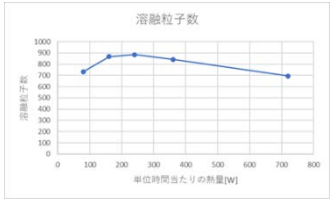


図4 ワット数に対する溶融粒子数

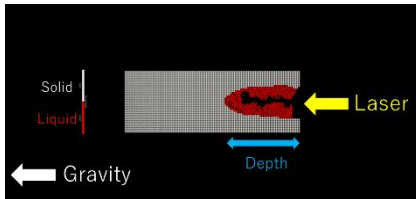


図5 重力-z 方向

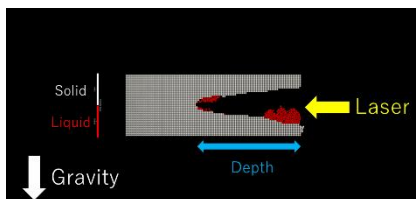


図6 重力-y 方向

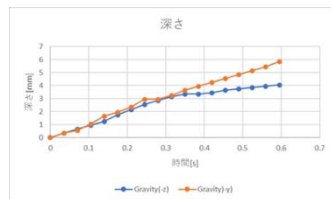


図7 溶断深さの時間変化

粒子数のグラフを図4に示す。図4

より、コンクリートに同熱量を与えたとしても、単位時間当たりの熱量を変化させると溶融量の差が生じることが確認できる。これはワット数が大きいと固体の溶融だけでなく液体の気化にも熱が消費され、ワット数が小さいと固体が融点に到達しないためであると考えられる。

4. 2 重力が溶断に与える影響

シミュレーション終了時の溶断の様子を図5・図6に示す。図5は重力が-z方向であり、図6は-y方向である。深さの時間推移のグラフを図7に示す。図7より、重力-y方向がより深いことを確認できる。これは重力-y方向では溶融部分が重力に引っ張られてレーザ照射位置より排出されるのに対し、重力-z方向では溶融部分が照射位置に留まり溶断の進行が滞るためであると考えられる。

4. 3 溶断後の溶断面の形状

シミュレーション終了時の溶断の様子を図8に示す。図8より、レーザを移動させた方向に従って（左に向けて）深くなることが確認できる。これは照射開始時の熱伝導の分だけ左の方が温度が高くなるためであると考えられる。また左端付近において溶融していない箇所は、溶融部分により一時的に溶断の進行が滞ったためであると考えられる。この形状は先行研究における実験結果と整合性を持つ。

5. 結論

本シミュレーションにより、コンクリートが最も溶融する単位時間当たりの熱量、重力に対しコンクリートが最も溶融するレーザの照射方向が存在することが確認できた。また実験による溶断後の溶断面の形状を高い整合性で再現することができた。以上の結果により、本手法はコンクリート構造物解体へのレーザ溶断への適用が期待できると考えられる。

参考文献

・千村 伊作, 川人 洋介, 村川 英一, 片山 聖二, “X 線透視観察と粒子法に基づくチタンのレーザ溶接におけるキーホール形成因子の解明”, 軽金属溶接, 第54巻, 第6号, pp. 18-25, 2016

・K. Nagai, K. Shimizu, “Using a High-Power Fibre Laser to Cut Concrete”, Applied Sciences, 11(10), 4414, 2021, <https://doi.org/10.3390/app11104414>

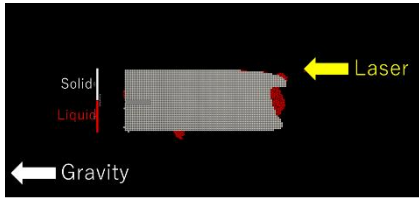


図8 溶断面形状