

レーザー誘起ブレイクダウン分光法で得られる発光スペクトルと

コンクリートの圧縮強度との相関

江藤 修三, 大塚 拓

一般財団法人電力中央研究所 (〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂二丁目 6 番 1 号)

Correlation between Emission Spectra Obtained by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Correlation between Compressive Strength of Concrete

Shuzo ETO, and Taku OTSUKA

Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka city, Kanagawa 240-0196

Abstract: The compressive strength of a concrete is one of the most important parameters and is used for the durability evaluation of a reinforced concrete structure. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) is one of the candidates for the non-destructive method by using the emission intensity ratio of ionic line and neutral line of same element. The characteristics of spectra were measured by using the concrete samples with different compressive strength. The results show that magnesium ionic line and atomic line can be measured in the ultraviolet wavelength region by LIBS, and the emission intensity ratio of ionic line to atomic line has correlation to the hardness of materials.

Key Words: Laser-induced breakdown spectroscopy, Concrete, Compressive strength

1. はじめに

コンクリートの圧縮強度は、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を評価する上でコンクリートの諸物性の中でも最も重要な指標の一つであり、破壊試験による評価方法が JIS A 1108 で規定されている。破壊試験を行うために構造物からコアと呼ばれる円柱状のコンクリートサンプルを採取する必要があるが、構造物への損傷を低減するために、超音波法や打音法等の非破壊で圧縮強度を推定する方法が開発されている。これらの方法は、骨材の位置により超音波や音波の伝搬経路が計測位置ごとに変化するため、推定値にばらつきが生じる。このように、骨材の偏在に起因する圧縮強度の推定結果のばらつきは、非破壊試験に共通する課題であった。この課題を解決するために、レーザー誘起ブレイクダウン分光法 (LIBS) による圧縮強度推定法が提案されている¹。本方法は、同一元素由来のイオン線と原子線の発光強度の比が圧縮強度に比例することに着目して圧縮強度推定を行う。モルタル試験体を用いた実験にてこの方法の有効性は認められたが、コンクリートを用いた実験的検証が行われていなかった。そこで、本研究では圧縮強度の異なるコンクリート試験体を製作し、本試験体を LIBS で計測した時のスペクトルを用いて圧縮強度を推定する検討を行ってきた²。本報告では、LIBS で得られる発光スペクトルと圧縮強度と相関について実験的に調べた結果について報告する。

2. 実験方法

水とセメントの重量比が異なる配合でコンクリートに使用する材料を練り混ぜることにより、圧縮強度の異なるコンクリートブロックを製作した。セメントに普通ポルトランドセメント、粗骨材に石灰石、細骨材に砂を用いた。そして、試験体を採取する機械を用いてブロックから直径 100 mm、長さ 200 mm のコアを採取した。コアの一つを LIBS で計測し、他の 3 つのコアを JIS 規格に準拠した圧縮強度試験に供することで、LIBS の計測結果と圧縮強度との相関を調べた。直径 100 mm、長さ 200 mm のコンクリート試験体に対して、Nd:YAG レーザ (532 nm, 50 mJ) を焦点距離 150 mm の平凸レンズで集光し、プラズマの発光を分光器とインテンシファイア付き CCD で計測した³。

3. 実験結果と考察

モルタル、石灰石、砂に対してレーザー光を照射した時に得られた発光スペクトルを Figure 1 (a) ~ (c) に示す。セメントには、カルシウムやアルミ、ケイ素、鉄等が含まれているため、それらの元素由来の原子線が計測された。この内、マグネシウムのイオン線(279.55 nm, 280.27 nm)と原子線(285.21 nm)の発光強度比は、モルタルよりも砂を計測した場合に高かった。一般的に、モルタルよりも砂の方が硬いため、マグネシウムの発光強度比は、圧縮強度推定に利用できる可能性があることが示唆された。

一般的に、コンクリートの圧縮強度は、使用する材料の中で最も硬さが小さいモルタルの物性と相関がある。そのため、モルタルを計測した時のスペクトルを用いて圧縮強度推定を行う必要があるが、砂や石灰石が空間的にランダムに含まれるため、モルタルを計測する際に砂や石灰石のスペクトルも同時に計測されてしまう。モルタルは、水とセメント、細骨材から構成されるため、Figure 1 (a) 及び (c) に示す様に、砂とモルタルのスペクトルの一部は形状が類似しているが、スペクトル全体としては形状が異なる。そこで、Figure 1 (d) 及び (e) に示す様に、主成分分析によって材料ごとのスペクトルの特徴量を抽出し、材料分類を行うことを検討した。その結果、ケイ素やカルシウム、アルミの原子線が観測される波長域の主成分係数が大きく、これらの原子線が分類する際に有用であることが分かった。

4. まとめ

コンクリートの圧縮強度を非破壊で推定することを目的として、コンクリートに対して LIBS を適用し、得られる発光スペクトルと圧縮強度との相関について調べた。圧縮強度と相関があると報告されている同一元素由来のイオン線と原子線が同時に観測される計測条件を探索した結果、紫外波長域にてマグネシウムのイオン線と原子線が計測できることが分かった。また、モルタルよりも砂を計測した場合に、マグネシウムのイオン線と原子線の発光強度比は高くなり、本強度比と材料の硬さに相関があることが示唆された。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 19K15068 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) K. Tsuyuki, et al., *Appl. Spectrosc.*, Vol.60, pp.61-64 (2006).
- 2) S. Eto and T. Otsuka, *Proc. LIBS2020*, P2-26 (2020).
- 3) S. Eto, et al., *Spectrochim. Acta B*, Vol.101, pp. 245–253 (2014).

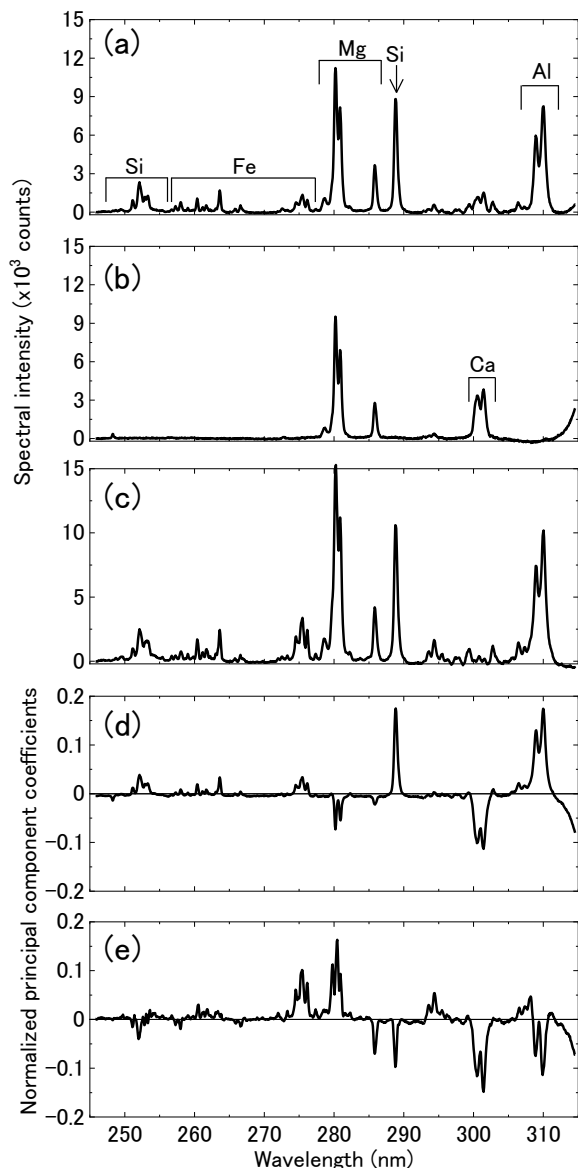


Figure 1. Emission spectrum of (a) mortar, (b) limestone, (c) sand, and (d) first and (e) second principal component coefficients in the wavelength region of 245–315 nm.