

LIBSによるコンクリート含有塩分計測

Measurement of chloride concentration originated from salt in concrete sample by LIBS

杉山精博, 藤井隆*, 松村卓郎*, 塩竈裕三*, 根本孝七*

K. Sugiyama, T. Fujii*, T. Matsumura*, Y. Shioyama*, and K. Nemoto*

東京工業大学, *(財)電力中央研究所

Tokyo Institute of Technology, *Central Research Institute of Electric Power Industry

Abstract

The chloride concentration in a concrete sample was measured by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). To maximize the fluorescence intensity of chloride line (837.59nm), the laser irradiation timing and monitoring timing were optimized. The linear correlation between the chloride density and the fluorescence intensity of chloride line was obtained within the region of chloride concentration from 0.65kg/m^3 to 5.6kg/m^3 , and the detection limit of chloride concentration for single and double pulse mode were estimated 0.19kg/m^3 and 0.11kg/m^3 , respectively.

1. 結論

臨海部のコンクリート構造物は塩分を原因とする鉄筋の腐食により、その強度が低下することが知られている。構造物の強度低下にかかわる塩分濃度を定量的に計測することは、構造物の強度変化を知る上で重要であり、現場で即座に塩分濃度が計測可能な測定技術の開発が望まれる。LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) はレーザーによりプラズマを測定対象物上に生成し、その分光計測によって対象物に含まれる成分を検出する方法であり、現場において遠隔かつリアルタイムでの計測が可能である。これまでにLIBSを用いたコンクリート含有Clの計測が報告されているが¹⁾、測定感度が0.15wt%($\sim 3.48\text{kg/m}^3$)であり、さらなる高感度化が望まれる。今回、LIBSによるCl発光計測の高感度化について報告する。

2. 実験方法

実験配置図を Fig.1 に示す。レーザー1、2は2台の Q スイッチ Nd:YAG レーザー (Continuum, Powerlite8010) であり、パルス繰り返し 10Hz でエネルギー50~640mJ のレーザー光を発生し、1台のタイミングコントローラーにより制御される。レーザー1の出射光は対象物に垂直に入射され、焦点距離250mmのレンズによりサンプル上に集光され、アブレーションプラズマを生成する。レーザー2の出射光は対象物に平行に入射され、焦点距離250mmのレンズを用いてレーザー1により生じたプラズマ中に集光される。プラズマからの発光は、レーザー1の集光点から150mmの位置に設置した直径50mm、焦点距離150mmのレンズにより平行光にされ、焦点距離200mmのレンズ、減光フィルタおよびバンドパスフィルタ(中心波長838nm、バンド幅14nm)を通した後、ファイバー端面に集光される。その後分光器により分光され、ICCDカメラにより受光される。ICCDカメラはレーザー発振と同期した信号によりゲート遅延時間やゲート幅の操作が可能である。本実験では、連続した50パルスのプラズマ発光を1データとしてパソコン上で積算し、同一条件で取得された3~5データを用いてデータ解析を行う

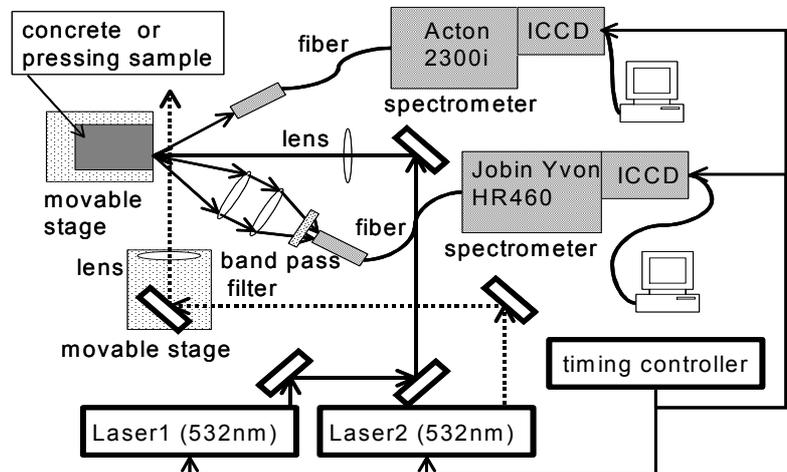


Fig. 1 Experimental Setup

た。対象物には、4 種類の異なる含有塩分濃度 (5.60、2.65、1.04、0.65kg/m³) のコンクリートを粉砕、微粒子化した後に、圧力 10MP a でプレスしたサンプルを用いた。

3. 実験結果

レーザー1 の出射光のみを用いた場合 (シングルパルス) と、レーザー1 および 2 を用いた場合 (ダブルパルス) において、Cl 発光 (波長 : 837.59nm) 強度を測定した。シングルパルスの場合、レーザー1 出射光 (エネルギー : 200mJ) 照射 1.0 μs 後に ICCD カメラのゲートを 2.0 μs 開放した。ダブルパルスの場合、レーザー1 出射光照射 1.5 μs 後にレーザー2 出射光 (エネルギー : 300mJ) を照射し、レーザー2 出射光照射 1.0 μs 後に ICCD カメラのゲートを 2.0 μs 開放した。含有濃度 5.60kg/m³ のサンプルを用いて計測されたスペクトルを Fig.2 に示す。Fig.2 より、シングルパルスに比べて、ダブルパルスでは、全体のバックグラウンドノイズを低減しつつ、測定対象としたClの発光強度を増加させることができた。これは、シングルパルスでは、レーザー1 出射光により生成されたプラズマの制動輻射の影響を含めて計測しているが、ダブルパルスでは、レーザー1 出射光により生成された対象物のプラズマそのものを再励起しているため、プラズマの制動輻射が原因であるバックグラウンドノイズが減少したものと考えられる。

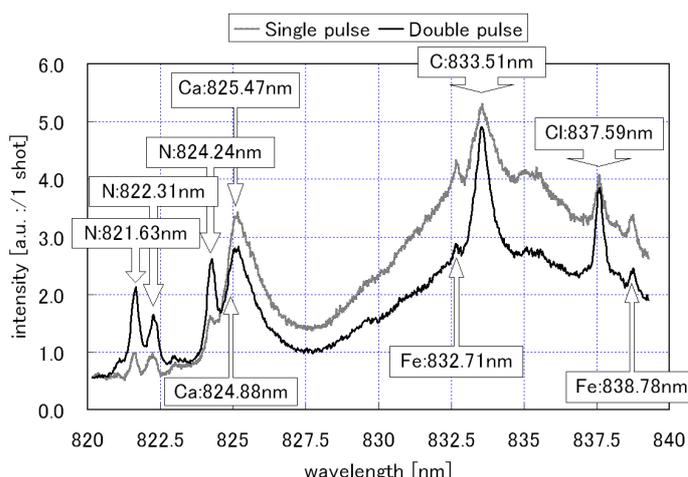


Fig.2 LIBS spectrum of single and double pulse condition (chloride concentration : 5.60kg/m³)

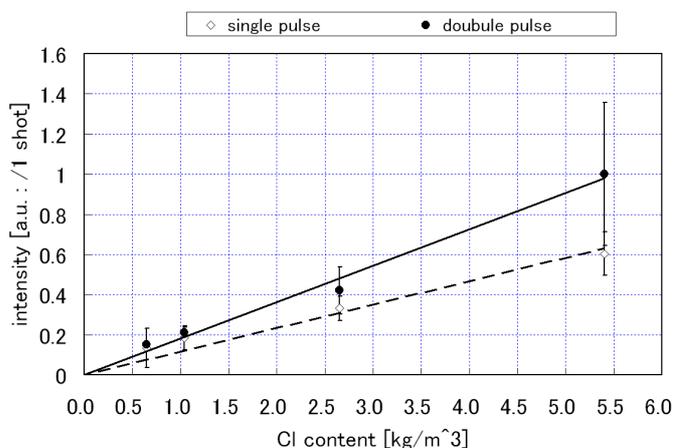


Fig. 3 Correlation between Cl content of concrete pressing sample and intensity of Cl spectral line

含まれたCl発光のピーク値を Fig.3 に示す。これより、シングルパルスの場合に比べて、ダブルパルスの場合には信号強度が約2倍に増加することが分かる。今回の実験では、0.65kg/m³の含有 Cl 濃度まで計測できており、この値は G. Wilsch らの実験で得られた検出限界 (~3.48kg/m³) の 5.3 倍になる。また、含有 Cl 濃度の検出限界は、バックグラウンドノイズの標準偏差を σ、Fig.3 に示される直線の傾きを m として、

$$\text{検出限界} = 3\sigma / m$$

として求めた。^{2) 3)} この式を用いて、シングルパルス、ダブルパルスそれぞれにおける含有 Cl 濃度の検出限界を算出すると、0.19kg/m³、0.11kg/m³と見積もられた。

4. 結論

今回、Nd:YAGレーザーを用いてコンクリート含有塩分濃度の計測を行い、Cl発光輝線 (波長 : 837.59nm) を利用した定量的計測が可能であることを示し、これまでの報告に比べて 5.3 倍の高感度化が得られた。また、得られた結果をもとに見積もられた含有Cl濃度の検出限界は、シングルパルス、ダブルパルスそれぞれにおいて、0.19kg/m³、0.11kg/m³と見積もられた。

参考文献

- 1) G. Wilsch et al. *Construction and Building Materials* 19 (2005) 724~730
- 2) K. M. Lo, N. H. Chernug : *Appl. Spectrosc.*, 56, 682 (2002)
- 3) H. Zhang, F-H. Yueh, P. Singh : *Appl. Optics.*, 38, 1459 (1999)