

# LIBS によるコンクリート含有塩分計測Ⅲ

## —コンクリート試験体を用いた Cl 濃度計測—

### Measurement of salt concentration in concrete by LIBS III

#### - Measurement of Cl concentration using concrete core sample -

藤井 隆<sup>1</sup>, 杉山 精博<sup>2</sup>, 松村 卓郎<sup>1</sup>, 根本 孝七<sup>1,2</sup>

Takashi Fujii<sup>1</sup>, Kiyohiro Sugiyama<sup>2</sup>, Takuro Matsumura<sup>1</sup>, Koshichi Nemoto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>電力中央研究所, <sup>2</sup>東京工業大学

<sup>1</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry, <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology

**Abstract:** The chlorine concentration in concrete core samples was measured by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). The chlorine spectra at wavelength 837.59 nm were detected even for the chlorine concentration of 0.28 kg/m<sup>3</sup>. The linearity between the chlorine fluorescence intensity and the chlorine concentration was demonstrated. In addition, a high spatial resolution of less than 1 mm in the longitudinal direction of the core sample was demonstrated. These results show LIBS is an attractive tool for the high-speed, high spatial resolution and high sensitivity on-site measurement of chlorine concentration in concrete structures.

#### 1. はじめに

コンクリート構造物の耐荷性能は、外部から浸入する塩化物イオンを原因とする鉄筋の腐食により低下する。そのため、塩素 (Cl) 濃度の定量測定は構造物の寿命を知る上で重要である。レーザー誘起ブレイクダウン分光 (Laser Induced Breakdown Spectroscopy : LIBS) は、サンプル前処理を必要としない、非接触計測や遠隔計測が可能、リアルタイム計測が可能等の利点があり、現場計測に適している<sup>1)</sup>。今回、外部より塩分を浸透させたコンクリート試験体を作製し、切り出したコアサンプルの断面において LIBS 計測を行い、Cl の発光スペクトルを計測した。

#### 2. 実験系

実験配置を図 1 に示す。パルス繰り返し 10Hz の Nd:YAG レーザーの第 2 高調波 (200mJ) をコアサンプル断面に集光し、プラズマを生成した。バッファガスとして He をレーザー照射点より 10mm 下方から噴射した。コアサンプルは移動ステージに設置し、径方向へ 1mm/秒の速度で移動させながらレーザー光を照射した。コアサンプルが 80mm 移動する間のレーザー照射 800 ショット

における発光を積算して 1 データとし、コアサンプルを軸方向 (試験体深さ方向) へ 1mm 間隔で移動させながらこの計測を繰り返し、軸方向の発光強度の変化を測定した。

プラズマからの発光はバンドパスフィルター (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した。ファイバーからの出射光は焦点距離 300mm の分光器により分光され、ICCD カメラにより受光した。レーザー照射から ICCD カメラのゲート開放までの遅延時間は 0.5 $\mu$ s、ゲート開放時間は 5.0 $\mu$ s とした。

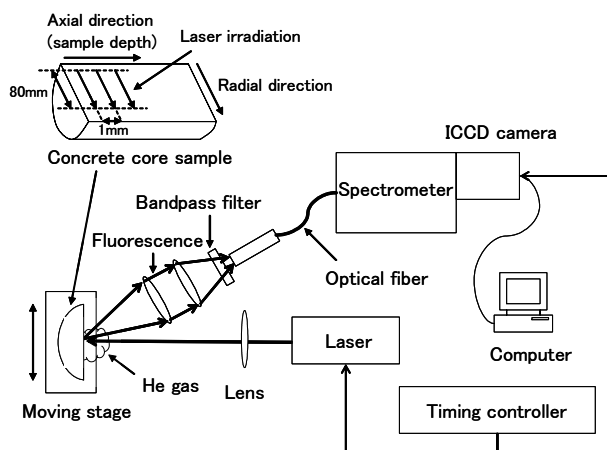


Fig. 1. Experimental setup.

### 3. 実験結果

□ 図 2 に 837.59nm における Cl の発光スペクトルを示す。図中には、各発光スペクトルの計測を行った軸方向位置（試験体深さ）と、それぞれの位置を中心とした厚さ 5mm のスライス片を用いた滴定計測（JIS A 1154）による Cl 濃度を示している。図 2 に示すように、Cl 濃度が滴定限界近傍の  $0.28\text{kg/m}^3$  においても発光ピークが S/N 比 4.8 で明瞭に観察された。

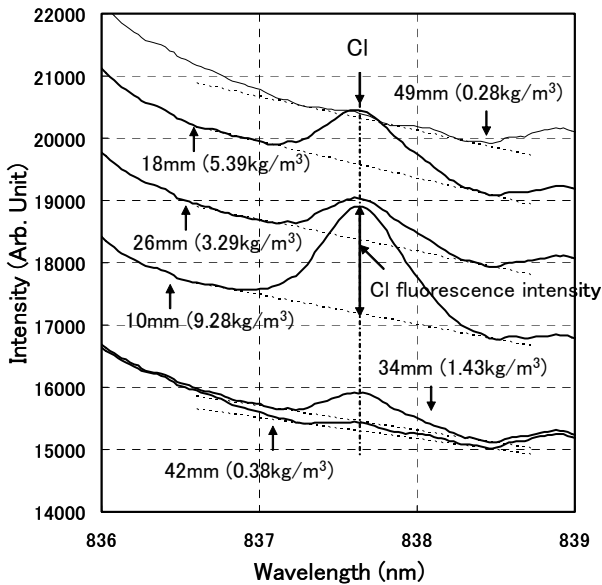


Fig. 2. Cl fluorescence spectra at various sample depth.

図 3 に、軸方向位置に対する、滴定計測による Cl 濃度と LIBS 計測による Cl 発光強度を示す。滴定計測は軸方向に約  $7 \square 8\text{mm}$  毎に行い、Cl 濃度は軸方向に単調減少を示している。一方、LIBS 計測は軸方向に 1mm 毎に行い、軸方向位置 8mm  $\square$  14mm において Cl 発光強度が急激に増加し、その後 18mm にかけて急激に減少している様子が観察される。図 4 に、各滴定計測に相当する軸方向領域（幅 5mm）で行った 5 ラインの LIBS 計測結果の積算値を、Cl 濃度に対して示す。LIBS 計測による Cl 発光強度は滴定計測による Cl 濃度に対して十分な線形性を示していることが分かる。以上の結果から、LIBS により、構造物深さ方向において、空間分解能 1mm 以下における Cl 濃度の定量計測の可能性を示した。

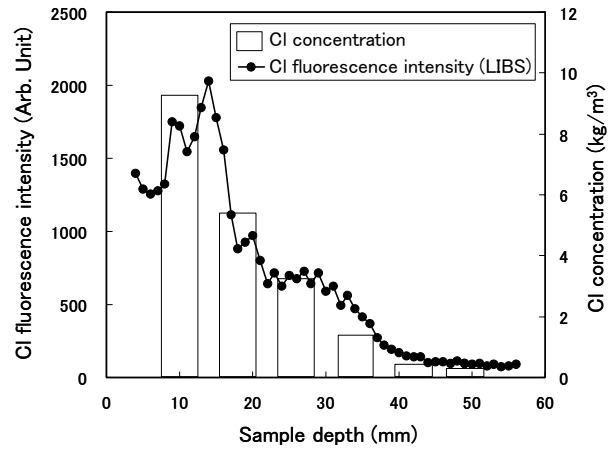


Fig. 3. Cl concentration and Cl fluorescence intensity measured by LIBS versus sample depth.

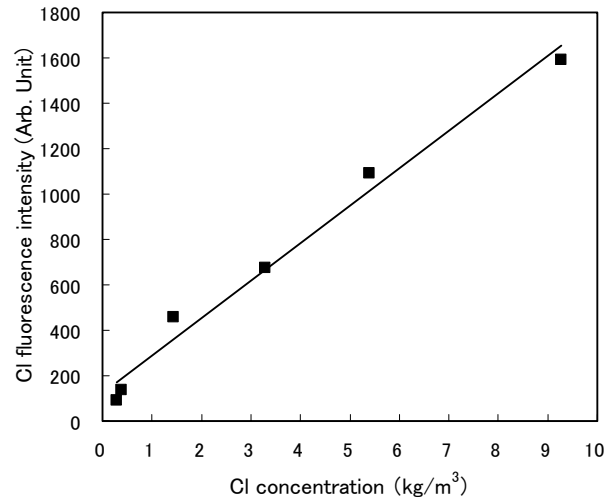


Fig. 4. Cl fluorescence intensity measured by LIBS versus Cl concentration.

### 4. まとめ

コンクリート試験体から切削したコアサンプルに対して LIBS 計測を行った。Cl 発光強度をコアサンプルの軸方向に 1mm 間隔で計測し、Cl 濃度  $0.28\text{kg/m}^3$  においても Cl 発光を計測することに成功し、Cl 濃度に対して良好な線形性を得た。以上の結果より、LIBS により、コンクリート構造物の塩分浸透分布を現場において、迅速、高感度、高空間分解能で計測できる可能性を示した。

### 参考文献 □

[1] 杉山 □ 他、第25回レーザーセンシングシンポジウム予稿集、pp. 123-124、2007.