

# レーザー誘起ブレイクダウン分光法を用いたコンクリートコア断面における 各元素の2次元濃度分布計測

## Two-dimensional measurement of elements on the surface of split concrete core by laser-induced breakdown spectroscopy

江藤修三, 松尾豊史, 松村卓郎, 藤井隆

電力中央研究所

S. Eto, T. Matuo, T. Matumura, T. Fujii

Central Research Institute of Electric Power Industry

**Abstract:** The spatially resolved measurement of concentrations of chlorine, calcium, carbon and iron on the surface of split reinforced concrete (RC) core was performed by laser-induced breakdown spectroscopy. Corrosion tests under simulated tidal environment and the flexural loading test for 22 month were conducted for the RC. Second-harmonic of Q-sw Nd:YAG laser was focused onto the cross section of the RC core and emission spectra from laser-induced plasma were measured by using a spectrometer and intensified CCD camera. Two-dimensional distribution of chlorine fluorescence showed that chlorine was concentrated around reinforcing bar and cracking.

### 1. はじめに

鉄筋コンクリートの鉄筋腐食において、塩素 (Cl) イオン濃度およびその空間分布は鉄筋腐食の開始や腐食量評価の目安となる。特に、Cl 濃度の深さ方向分布は Cl の浸透のしやすさ (すなわち拡散係数) を評価する上で重要となり、コア抜きされた試験体を深さ方向に分割して電位差滴定法で求める事が一般的である。しかし、電位差滴定法では試験体を破砕するため、Cl の浸透状況を空間的に調べる事はできない。レーザー誘起ブレイクダウン分光法 (LIBS: Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) では、試験体を粉砕せずに Cl の計測が可能である。本研究では、ひび割れを有するコンクリート部材からコア抜きされた試験体に対して LIBS を行い、Cl の 2 次元濃度分布を計測した[1]。また、同時に炭素(C)、カルシウム(Ca)、鉄(Fe)の 2 次元濃度分布を計測し、計測結果の妥当性を評価した。

### 2. 実験方法

実験で用いたコア抜きされた試験体の断面写真を Fig.1 に、LIBS の装置構成を Fig.2 に示す。本試験体は、長さ 2.8m、高さ 0.4m、奥行き 0.2m のはり部材からコア抜きされたものであり、部材は地震等の外力によって生じた損傷を模擬するために、あらかじめ載荷することでひび割れを導入し、その後にはわが国の海岸における最も厳しい塩害環境を想定した塩水噴霧が実施された[2]。そのため、Fig.1 に示すようにひび割れと鉄筋腐食が認められる。LIBS では、ひび割れを含む範囲における各元素の 2 次元濃度分布を明らかにするために、横 (x) 10cm×深さ (z) 5cm の範囲を計測した。Q-sw Nd:YAG レーザーの第二高調波 (レーザーエネルギー 200mJ) は、焦点距離 250mm の凸レンズを用いて集光し、試験体の計測面に対して垂直に照射された。この時、試験体を自動ステージにより横方向に 1mm/s の速さで移動し、ヘリウムガスを約 0.1MPa の圧力で噴霧した。さらに、z ステージを用いて深さ方向に試験体を移動させた後に、自動ステージを用いて同様に x 方向に移動させながら発光スペクトルを計測した。x 方向において、各 10 箇所得られた発光スペクトルを積算平均し、各元素の発光強度を算出した。これは、計測間隔 1mm に相当する。

### 3. 実験結果

得られた発光強度の2次元分布を Fig.3 に示す。Cl は骨材部分では発光強度が低く、主にモルタルの部分からコンクリート内部に浸透している様子が分かる。特に、 $x=8\sim 9\text{cm}$  の範囲においては、ひび割れに沿って Cl 濃度が高く、鉄筋付近においても Cl 濃度が高くなる結果が得られた。Ca および C も同様に、骨材部では発光強度が低く、また Fe の発光強度は鉄筋の位置において高かった。Ca や C は、モルタルに相対的により多く含まれている事が分かっており、これらの結果より LIBS による各元素の2次元濃度分布計測の結果が妥当であることが分かる。

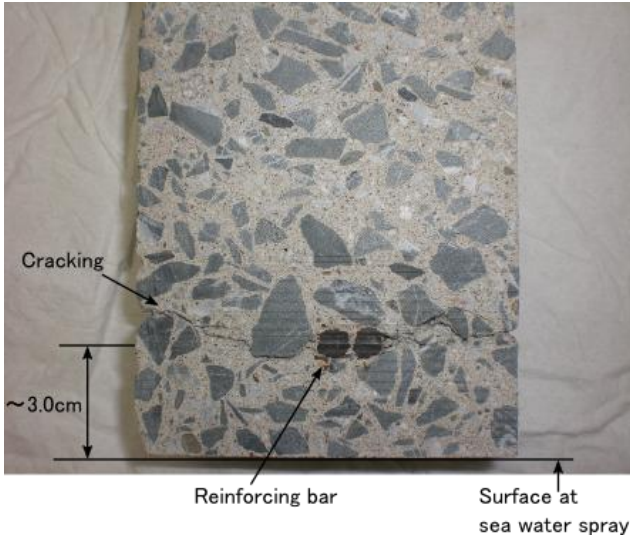


Fig. 1. Photo of a cross section of RC core

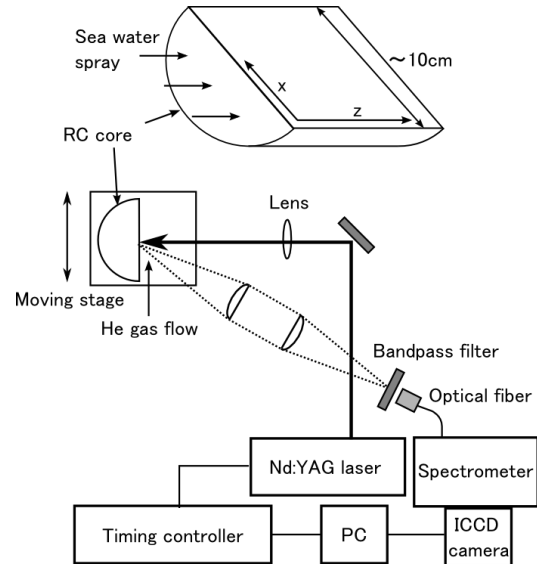


Fig. 2. Experimental set up

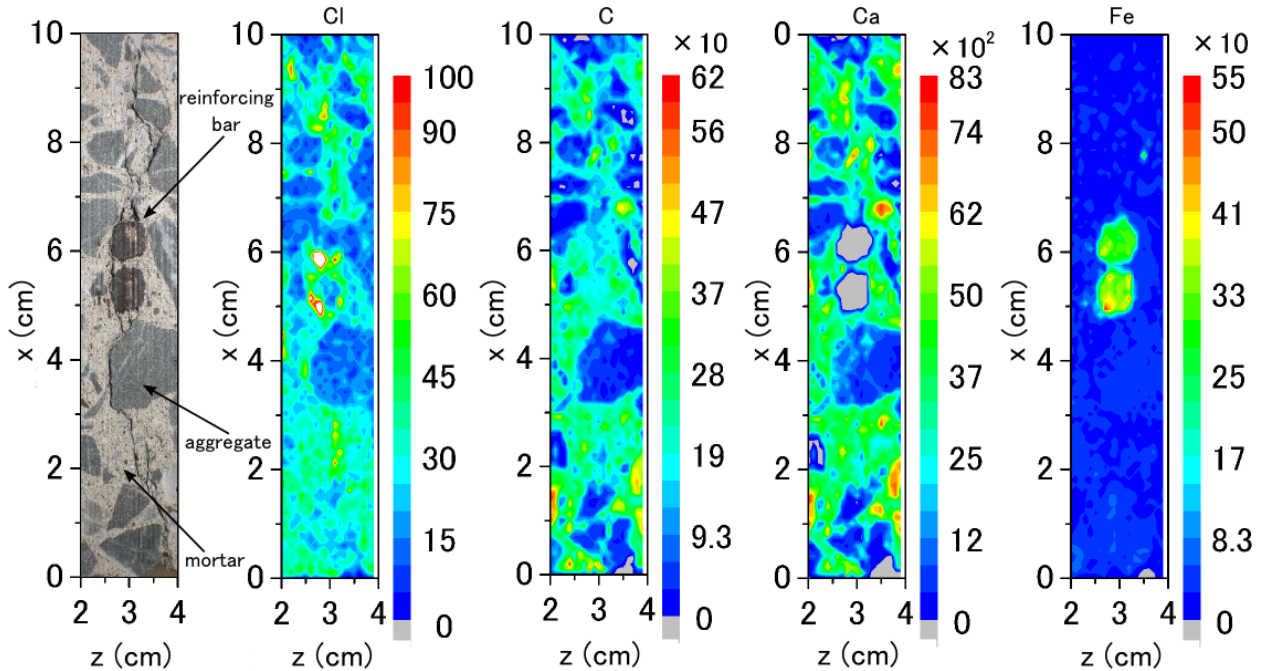


Fig. 3. Two-dimensional distribution of fluorescence intensity of chlorine, calcium, carbon and iron.

### 参考文献

- [1]江藤, 松尾, 松村, 藤井, 電力中央研究所 研究報告 H11012 (2012).
- [2]松尾, 松村, 藤井, 江藤, 電力中央研究所 研究報告 H11077 (2011).