

# レーザー誘起ブレイクダウン分光法によるコンクリートの炭酸化評価

## Evaluation of carbonation of concrete by laser-induced breakdown spectroscopy

江藤修三<sup>1), 2)</sup>, 松尾豊史<sup>1)</sup>, 松村卓郎<sup>1)</sup>, 藤井隆<sup>1)</sup>, 田中雅慶<sup>2)</sup>

電力中央研究所<sup>1)</sup>, 九州大学<sup>2)</sup>

S. Eto<sup>1), 2)</sup>, T. Matuo<sup>1)</sup>, T. Matumura<sup>1)</sup>, T. Fujii<sup>1)</sup> and M. Y. Tanaka<sup>2)</sup>

Central Research Institute of Electric Power Industry<sup>1)</sup>, Kyushu University<sup>2)</sup>

**Abstract:** The carbonation of reinforced concrete (RC) specimen was evaluated by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). The concrete core was prepared from RC beams with cracking damage and salt water spraying. LIBS was performed to the concrete core, and the line scan of laser pulses gave the two-dimensional emission intensity profiles. The carbonation was estimated on the basis of the relationship between carbon and calcium emission intensities. When the carbon emission intensity was statistically higher than the calcium emission intensity at the measurement point, we determined that the point was carbonated. The estimation results were consistent with the spraying test results using phenolphthalein solution.

### 1. はじめに

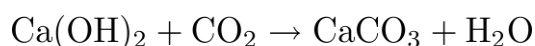
鉄筋コンクリート (RC) 製構造物が臨海部に建設されている場合、主に RC 表面からの海水浸透による鉄筋腐食や、大気中の二酸化炭素の吸収による中性化が主な劣化原因として挙げられる。鉄筋腐食の調査や予測のために行なわれる塩分量測定は、コンクリートを粉砕して電位差滴定法を用いて塩化物イオン濃度を求めることが一般的である。一方、本研究ではコンクリートの粉砕等の処理を行わずに元素分析が可能なレーザー誘起ブレイクダウン分光法 (LIBS) に着目し、塩素の高感度検出[1, 2]や2次元濃度分布計測[3]を行ってきた。LIBS では、塩素以外にも炭素やカルシウム等の元素も計測可能である。今回、炭素とカルシウムの発光強度に着目し、中性化で生じる炭酸化現象について定量的に評価した。

### 2. 実験方法

実験では、長さ 2.8m、高さ 0.4m、奥行き 0.2m のはり部材からコア抜きしたコンクリートコアを計測した。本部材は、あらかじめ曲げ載荷することにより、地震等を想定したひび割れが導入され、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[4]。LIBS では、Fig.1 に示すように Q-sw Nd:YAG レーザの第 2 高調波を焦点距離 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した。各元素の検出感度を向上するために、2 つのレーザー光に時間差を設けて照射することにより発光強度を増加させた[2]。また、自動ステージを用いて試験体を深さ方向および径方向に移動させながら発光スペクトルを計測することにより、発光強度の二次元分布を得た[3]。炭酸化の評価では、同一箇所の炭素とカルシウムの発光強度のデータを用いた。

### 3. 実験結果

得られた発光強度の 2 次元分布を Fig.2 に示す。炭素やカルシウムは、骨材よりもモルタルに相対的に多く含まれている事が分かる。水酸化カルシウムの炭酸化反応は次の式で表わされる。



炭酸カルシウムの増加により、コンクリート中ではカルシウムに対して炭素の量が相対的に増加する。

これまでに、炭素の発光強度が高い箇所と炭酸化の範囲が対応することは、中性化を人工的に促進させたモルタルに対して LIBS を行った結果で示されている [5]。しかし、骨材の含まれていないモルタルと異なり、コンクリートでは Fig. 2 に示すようにモルタルと異なる組成の骨材では炭素の発光強度は大きく異なる。したがって、炭素の発光強度の増減のみで炭酸化の有無を評価する場合、発光強度のばらつきが大きいため、明確な評価閾値を設けることが難しいと考えられる。そこで、炭素とカルシウムの発光強度との相関を求め、炭酸化した箇所でも得られた発光強度の特徴について調べた。そして、フェノールフタレイン噴霧による中性化試験の結果と比較を行った。中性化した箇所は必ず炭酸化が生じていると判断されるため、中性化した深さと炭酸化したと評価した箇所を比較した。本発表では、発光強度の相関を求めることにより得られる統計的指標を用いて炭酸化を評価した結果について報告する。

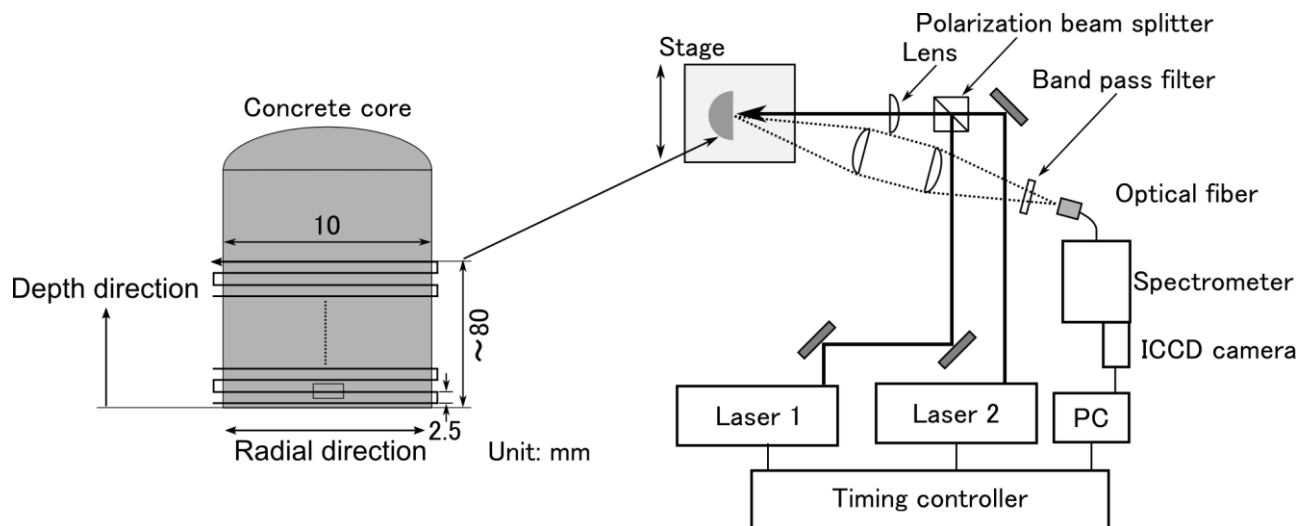


Fig. 1. Experimental setup and the laser irradiation method.

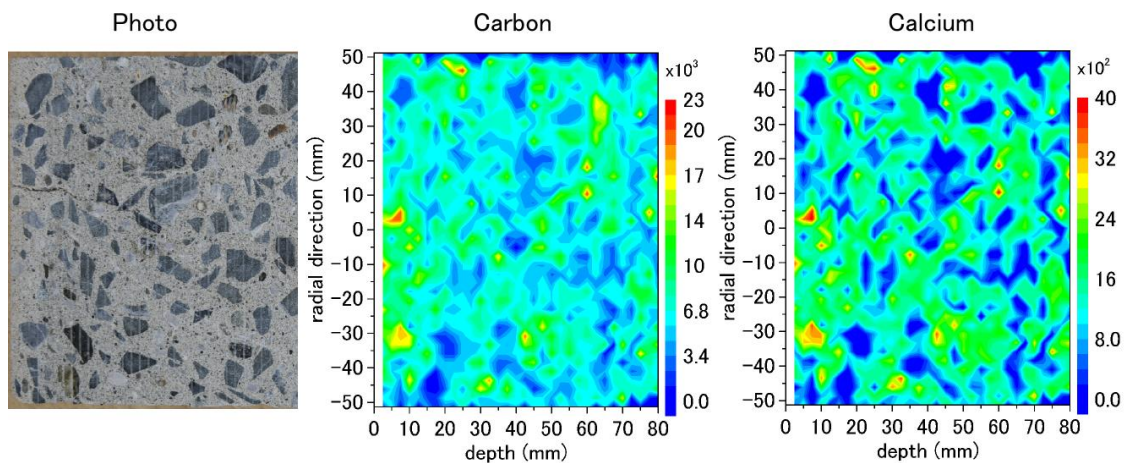


Fig. 2. Two-dimensional profile of the carbon and the calcium emission intensity.

#### 参考文献

- [1] K. Sugiyama, T. Fujii, T. Matsumura, Y. Shioyama, M. Yamaguchi and K. Nemoto, *Appl. Optics*, **49** (2010) C181-C190.
- [2] 江藤, 木下, 藤井, 田中, 日本物理学会講演概要集, 第 69 巻第 2 分冊 (2014) p.280.
- [3] 江藤, 松尾, 松村, 藤井, 電力中央研究所 研究報告 H11012 (2012).
- [4] 松尾, 松村, 藤井, 江藤, 電力中央研究所 研究報告 H11077 (2011).
- [5] K. Kagawa, N. Idris, M. Wada, H. Kurniawan, K. Tsuyuki and S. Miura, *Appl. Spectrosc.*, **8** (2004) 887-896.