

レーザー誘起ブレイクダウン分光法を利用したコンクリート構造物の 塩分評価手法の開発

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 ○名古屋 通義
 (公財) レーザー技術総合研究所/大阪大学レーザー化学研究所 非会員 染川 智弘
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 小塚 正博

1. はじめに

高架橋やトンネルなどのコンクリート構造物では、海からの飛来塩分や凍結防止剤の散布による塩化物の供給によって、鉄筋の腐食およびコンクリート片の剥落などの塩害劣化が深刻化している¹⁾。コンクリート構造物の塩分量の調査は、コンクリートコアもしくはドリル粉を採取し、分析試験により測定するのが一般的であるが、試料採取および分析に時間を要するため現場で瞬時に塩害を判断できない。そこで、リアルタイムに塩分評価可能な手法として、測定現場へ搬入可能なレーザー誘起ブレイクダウン分光 (Laser Induced Breakdown Spectroscopy; LIBS) 法を用いた手法を開発している。

2. LIBS システム

LIBS は被測定対象物質に短パルスレーザーを照射し、発生したプラズマからの発光を分光測定することで、その場でリアルタイムに物質の元素分析を行う手法である²⁾。気体・液体・個体といった物質の状態に依らず分析が可能であり、検出下限が ppm オーダーであるため、コンクリート構造物の微量な塩分評価に期待出来る。コンクリート構造物などでの LIBS による成分分析例は数多く報告されているが可搬型システムとして運用している報告例は少ない^{3~5)}。

3. 可搬型 LIBS システム

図.1 に可搬型 LIBS システムの外観を示す。コンクリート構造物の調査において、高架橋などの上部構造の調査では、検査通路へはしごを登って行くことも想定されるため、フィールド観測用に持ち運びが容易になるよう小型の装置を開発した。測定ヘッド (図.1 右側装置) は上部にフックがあり、肩掛けベルトを装着し運搬が容易である。また、コントローラーと分光器 (図.1 中央装置) は小型の市販リュック等に入れ、解析用ノート PC (図.1 左側装置) は PC ホルダーに入れることで肩掛け運搬が可能であり、図.2 に示すように装置を持ったまま梯子を上ることが可能で、バッテリー内蔵型のため外付けでの電力供給が不要であり、検査通路上のような狭所での測定も容易である。

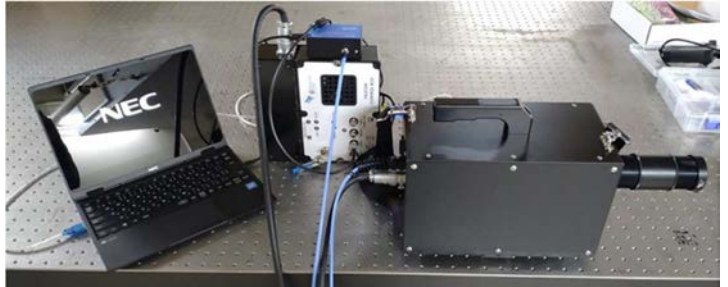


図.1 開発した可搬型 LIBS システムの外観



図.2 実際の運搬・計測の様子

可搬型 LIBS システムは、測定対象をプラズマ化させるための高強度パルスレーザーを設置した測定ヘッド部と、レーザーのコントローラー、生成したプラズマの発光スペクトルを分析する分光器から構成される。測定ヘッド右部の筒は、50~150 mm まで長さが可変であり、ドリル掘削孔においても 100 mm 深さまで測定が可能である。また、Cl 濃度の評価は Na と Ca の LIBS 信号強度比から導く直線式で算出した。

キーワード レーザー誘起ブレイクダウン分光法, コンクリート構造物, 塩害, 塩分評価手法

連絡先 〒920-0025 石川県金沢市駅西本町3丁目7番1号 道路技術部 TEL076-264-7872

4. フィールド計測

フィールド計測を北陸地方の高速道路橋梁の橋脚部で実施した(図.3). あらかじめ蛍光 X 線測定によって表面 Cl 濃度を測定した, Cl が存在する測定点 1~3 の 3 点の表面と, 2cm ずつ, 6cm までドリルで掘削しながら測定を実施した. 図.4 に可搬型 LIBS システムを利用した LIBS スペクトルの例として測定点 1 での測定結果を示す. 照射条件は, レーザーは 1 回照射, 5 回平均スペクトルで評価している. ドリル掘削孔の測定では, ドリル深さに応じて, 測定ヘッドの筒の長さを調製し, 壁面に筒を押し付けることで計測距離を一定にして測定した. スペクトル図は見やすいように 0.5 ずつ足して表示している. 深さ方向の測定でも, 波長 589.6nm の Na や, 強度校正に利用する波長 616.6nm 付近の Ca の LIBS 信号の測定が可能であることを確認した.

得られた LIBS 測定結果をあらかじめ室内試験で作成した Na/Ca の直線式から Cl 濃度に換算し, LIBS 測定時の掘削によって発生した各層のコンクリート粉を電位差滴定法で精密分析し, Cl 濃度の評価をした(表.1). LIBS 測定結果は測定点 1~3 の平均値で評価しており, 0-20mm は表面と 20mm 掘削先端面の平均値で評価し, 他の層においても同様に評価した. 電位差滴定法の結果では深さ方向に塩分濃度が小さくなる傾向にあるが, LIBS 測定結果では逆に大きくなる傾向を示した. また, 塩分量は 1 桁程度大きな値を示している. 電位差滴定法では深さ方向での平均値であるのに対して, LIBS 測定では微小な 1 点の測定結果であるため, 局所的な塩素濃度の影響を受けやすいことが考えられる.

5. まとめ

可搬型 LIBS システムを用いて 2021 年 11 月にフィールド計測試験を実施した. 検査はしごや橋梁上部構造の検査通路等の狭所でも取り回しが容易であり, 可搬型装置としての機能は良好であることを確認した. また, 2cm ごとにドリル掘削した掘削孔先端の LIBS 測定に成功したが, 電位差滴定法での塩分分析結果と差が見られ, 濃度評価手法においてはより安定した測定装置の開発や, 定量評価手法のさらなる検討が必要であると考えられる.

参考文献

- 1) コンクリート委員会, コンクリート標準示方書改定小委員会編: 2018 年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編] (土木学会, 2018)
- 2) D. A. Cremers and L. J. Radziemski: Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (Wiley, 2006).
- 3) T. A. Labutin, A. M. Popov, S. M. Zaytsev, N. B. Zorov, M. V. Belkov, V. V. Kiris, and S. N. Raikov: Spectrochim. Acta Part B 99 (2014) 94.
- 4) S. Eto, T. Matsuo, T. Matsumura, T. Fujii, and M. Y. Tanaka: Spectrochim. Acta Part B 101 (2014) 245.
- 5) W. T. Li, Y. N. Zhu, X. Li, Z. Q. Hao, L. B. Guo, X. Y. Li, X. Y. Zeng, and Y. F. Lu: J. Anal. At. Spectrom. 33



図.3 フィールド計測の様子

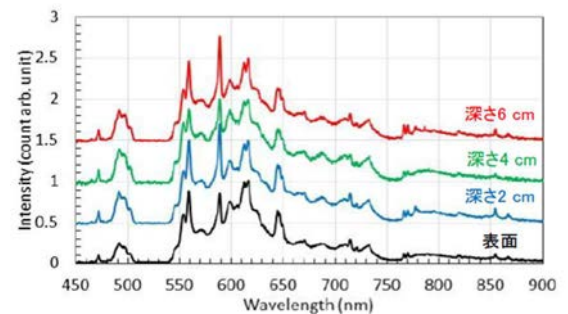


図.4 測定深さのスペクトル(測定点 1)

表.1 深さ方向での電位差滴定法と LIBS 測定結果の比較

測定深さ	塩化物イオン量 (kg/m ³)	
	電位差滴定	LIBS
0-20 mm	0.35	2.62±9.44
20-40 mm	0.12	7.30±16.59
40-60 mm	0.09	10.5±18.0