

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

染川 智弘<sup>1,2</sup>, 名古屋 通義<sup>3</sup>, 藤田 雅之<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> (公財) レーザー技術総合研究所 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-6)

<sup>2</sup> 大阪大学レーザー科学研究所 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-6)

<sup>3</sup> 中日本ハイウェイエンジニアリング名古屋 (〒920-0025 金沢市駅西本町 3-7-1)

## Development of Remote LIBS Technique for Salt Damage Assessment in Concrete Structures

Toshihiro SOMEKAWA<sup>1,2</sup>, Michiyoshi Nagoya<sup>3</sup>, and Masayuki FUJITA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Laser Technology, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

<sup>2</sup>Institute of Laser Engineering, Osaka Univ., 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

<sup>3</sup>Central Nippon Highway Engineering Nagoya., 3-7-1 Ekinishihonmachi, Kanazawa, Ishikawa 920-0025

We demonstrated the salt damage assessment in concrete structures using the remote laser induced breakdown spectroscopy (LIBS). The LIBS signal of Na at 589.6 nm allows us to evaluate the surface concentration of the highway viaduct at a remote distance of 5 m. The results showed that the remote LIBS system would be useful to the salt damage assessment in areas that are difficult to access.

**Key Words:** LIBS, remote sensing, salt damage, highway viaduct

### 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、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。コンクリート構造物の塩分量の調査は、コンクリートコアを採取し、スライスして粉碎した試料を電位差滴定法によって測定するのが一般的であるが、試料の前処理が必要であるため現場で瞬時に塩害を判断できない。また、試料の採取位置によっては、足場を組む必要もあり、時間と費用も要する。そこで、遠隔からリアルタイムに塩分を評価可能な手法として、レーザー誘起ブレイクダウン分光 (LIBS: Laser Induced breakdown Spectroscopy) 法を用いた手法を開発している。

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<sup>1)</sup>。気体・液体・固体といった物質の状態に依らず分析が可能であり、検出下限も 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

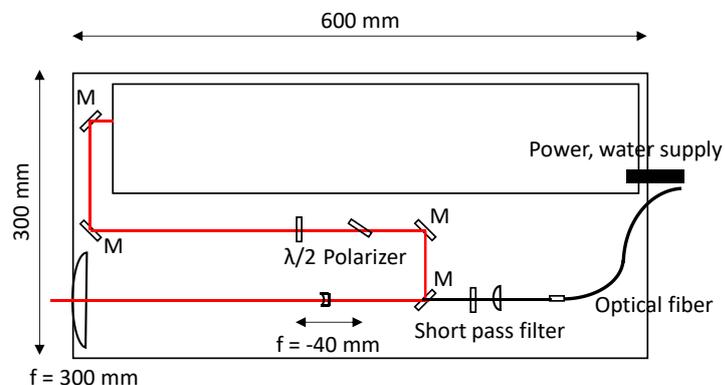


Fig. 1 (Left) Portable remote LIBS system and (Right) optical layout of the LIBS system.

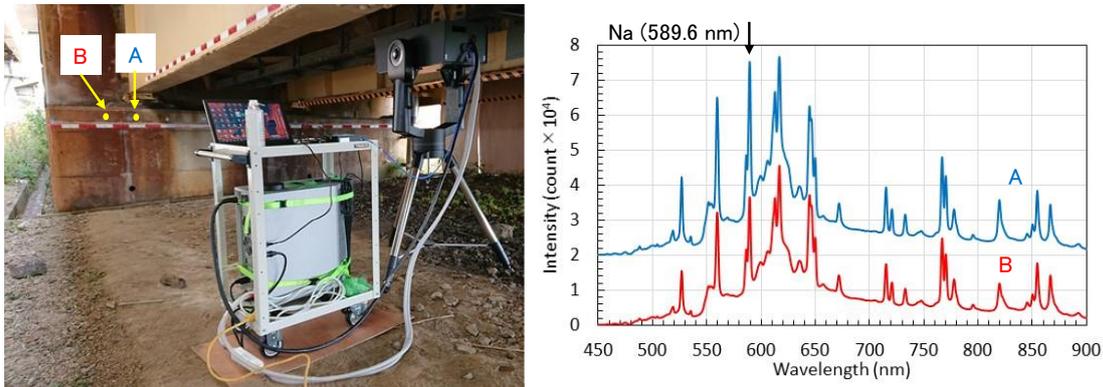


Fig. 2 (Left) Remote LIBS experimental site at the highway viaduct and (Right) LIBS spectra of the concrete structures.

が期待できる。筆者のグループでは、これまでに高強度フェムト秒レーザーを利用した遠隔 LIBS 手法の基礎研究を進めているが<sup>2,3)</sup>、本発表では、産業応用を目指した扱い易い可搬型のリモート LIBS システムを紹介し、実際の応用例として高架橋での実証試験結果を報告する。

## 2. 可搬型リモート LIBS システムによる高架橋の塩分測定

Fig. 1 に可搬型リモート LIBS システムの外観と計測ヘッド部の光学配置を示す。LIBS システムの計測ヘッドは横方向の 360° 回転と、縦方向の 90° までの仰角の変更が可能であり、計測ヘッド内の凹凸レンズ対間距離を調整することで 10 m 程度までのリモート LIBS 測定が可能である。また、レーザー電源、ミニ分光器、制御用のノートパソコンは、車輪付きのラックに搭載し、電源は 1.5 kVA の可搬型のインバータ発電機によって供給可能であるため、システムの移動は容易である。

使用したレーザーは、波長 1064 nm、繰り返し 10 Hz、パルス幅 6 ns、パルスエネルギーは 210 mJ (最大: 450 mJ) である。レーザー (赤線) は、凹凸レンズ対からなるレーザー照射・プラズマ発光受光系に導かれる。遠隔で生成したプラズマ発光はレーザー照射と同軸で戻って来るが、波長 1064 nm の誘電体ミラーは波長 1064 nm 付近のみを 90° 方向に反射するために、それ以外のプラズマ発光の波長成分 (黒線) は透過する。プラズマ発光は、さらに波長 1000 nm のショートパスフィルターで極微量の透過した波長 1064 nm の成分を除去した後、レンズでミニ分光器の光ファイバーに導かれ、ミニ分光器 (観測可能波長範囲: 350 ~ 1050 nm, 波長分解能: 1.4 nm) で LIBS スペクトルを測定した。

Fig. 2 の左図に金沢地区の高架橋ランプ橋の橋台の遠隔 LIBS 実験の様子と LIBS スペクトルを示す。測定距離は 5 m とし、レーザーはほぼ水平に照射した。Fig. 2 の右図にランプ橋の橋台の代表的な LIBS スペクトルを示す。左図に示した A, B の位置の観測結果である。スペクトルが見やすいように、 $2 \times 10^4$  カウントだけ足して重ねてある。Na は波長 589.6 nm に鋭い輝線を持ち、長波長側の波長 616.6 nm にピークを持つ少しブロードな信号が Ca の信号である。Na の LIBS 信号強度が計測位置によって異なっており、これらの値を指標として遠隔からコンクリート構造物の塩害の評価が可能である。

## 3. まとめ

コンクリート構造物の塩害劣化を遠隔から評価する手法として、可搬型のリモート LIBS システムを開発し、金沢地区の高架橋にて実証試験を実施した。Na の 589.6 nm の輝線を利用することで、5 m 離れた位置からコンクリート構造物の塩害が評価できることがわかった。今度は、さらに遠い距離からの測定や、定量評価手法を検討する予定である。

## 参考文献

- 1) D. A. Cremers and L. J. Radziemski: *Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (Wiley, 2006).
- 2) T. Somekawa, M. Otsuka, Y. Maeda, and M. Fujita: *Jpn. J. Appl. Phys.* **55** (2016) 058002.
- 3) T. Somekawa, M. Otsuka, H. Kuze, Y. Maeda, J. Kawanaka, M. Fujita: *Spectrochim. Acta Part B* **164** (2020) 105755.