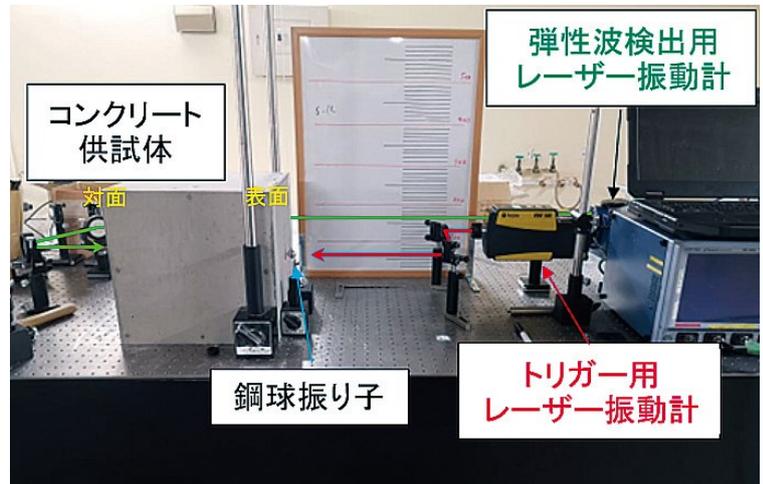


レーザーによる厚肉コンクリート部材の
肉厚測定技術の開発

Optica Laser Congress
and Exhibition 2022報告

レーザー総研オープンセミナー(ILT 2022)を
東京で開催



【表紙図】コンクリート供試体肉厚測定実験の様子

レーザーによる厚肉コンクリート部材の 肉厚測定技術の開発

レーザー計測研究チーム 倉橋慎理、染川智弘

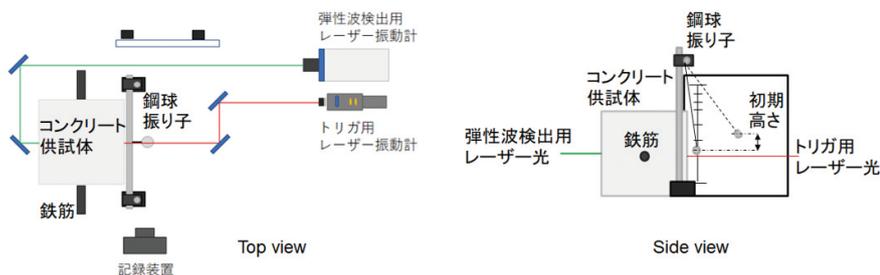
レーザーエネルギー研究チーム 大道博行

■はじめに

大きな重量を支える鉄筋コンクリート部材では、減肉の発生が保安上の懸念となるため、その厚みを非破壊で測定する技術が求められている。コンクリート部材の寸法や厚さの非破壊計測に用いられる手法として超音波法、衝撃弾性波法¹⁾が知られている。超音波法とは、主に圧電効果を利用した探触子の振動によって弾性波を励起し、振動を電圧信号に変換する機能を持つ探触子によって検出する形態の手法全般のことを指す。衝撃弾性波法は、コンクリート表面をハンマーや鋼球等で機械的に打撃した際に生じる弾性波を、表面や裏面に設置した加速度センサーや変位センサーなどによって検出する方法である。この方法で励起される弾性波は、超音波法により励起された弾性波と比べエネルギーが大きく、かつ可聴域から条件によっては超音波領域まで広帯域の周波数成分を含む特徴がある。しかし、コンクリートが1 mを超える厚肉では測定が

困難な場合もある。また人が立ち入ることが困難な場所では、遠隔や水中での評価が必要な場合も想定される。

当研究所では、レーザーを用いて弾性波の励起と検出を非接触・遠隔で行う技術について研究を進めてきた²⁾。弾性波の励起にはパルスレーザーを用いる。照射領域にごく短時間で大きなエネルギーを吸収させ、アブレーションもしくは熱膨張を引き起こすことで弾性波が励起される。弾性波の検出には、微小な振幅のレーザー励起弾性波を精度よく検出できるレーザー干渉計を用いる。この組み合わせにより、コンクリート部材の弾性波の励起と検出を遠隔から完全な非接触で行うことが原理的に可能である。しかしながら、厚さが1 mを超えるような厚肉部材への適用については検証が必要である。本稿では、厚さ30 cmまでの鉄筋コンクリートに対し、エネルギーの大きな弾性波を比較的容易に励起できる機械的打撃によって誘起した超音



【図1】コンクリート供試体肉厚測定実験配置図

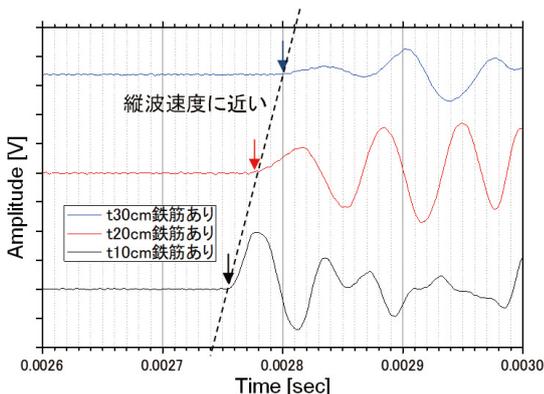
波をレーザー振動計で測定した結果を報告する。

■鉄筋コンクリート供試体の弾性波を検出

鋼球振り子を用いてコンクリート供試体を打撃し、誘起された弾性波をレーザー振動計により対面側から非接触で検出した。表紙図に実験時の写真、図1に実験配置を示す。実機を模擬した材質構成³⁾のコンクリート部材から供試体を作製した。寸法は高さ30 cm、横30 cmで、厚さ方向は10 cm、20 cm、30 cmの3種とした。それぞれの供試体を2個ずつ作製し、一方には鉄筋を挿入した。異形棒鋼SD345、呼び径D38、長さ50 cmのねじ筋鉄筋を用い、厚さ10 cmの供試体は中央に、厚さ20 cm、30 cmの供試体は表面から10 cmで高さ15 cmの位置に配置した。鋼球振り子を用いてコンクリート供試体の表面中央(側面から15 cm下面から15 cm)を打撃し、振り子の初期高さを変えることで入力するエネルギーを変えた。弾性波検出用のレーザー光を打撃位置の対面側中央(側面から15 cm下面から15 cm)に照射し、伝播してきた振動を検出した。トリガ用のレーザーを打撃位置の下方2 cmの位置(側面から15 cm下面から13 cm)に照射し、打撃により生じた振動がこの位置に到達した時間を時間原点とした。

鋼球は直径約1 cm、質量約4.22 gのものを用い、鋼球振り子の初期高さは約45 cmとした。それぞれの厚さ

の鉄筋あり供試体に対して10回計測を行い、時間波形を平均化したものを図2に示す。供試体の厚さが増加するにつれて最初に到達する弾性波の検出までの時間が遅れていく様子が見られる。各厚さにおける検出時間と厚さ



【図2】鉄筋あり供試体の振動波形(10回平均)

の関係より、弾性波の伝搬速度は約4400 m/secと求められた。この速度はコンクリートの縦波速度に近いことから、鋼球振り子の打撃により縦波が励起され、コンクリート供試体内を伝播した縦波をレーザー振動計が検出していると考えられる。また、時間波形で最初に検出される振動は縦波による

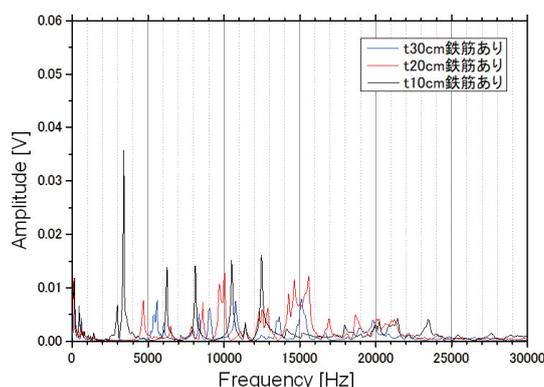
ものみを示していると仮定すると、供試体の厚さが大きくなるにつれて縦波振幅が減衰していく様子が分かる。

それぞれの時間波形を高速フーリエ変換し、同様に平均化した振動の振幅スペクトルを図3に示す。厚さによって異なる複数の卓越振動数を示す振動モードが励起されている。供試体の固有振動モードに加え、鉄筋自体が振動するモードが検出されているものと考えられる。またそれぞれの厚さにおいて、縦波の多重反射モードと見られる周波数のピーク(約22 kHz/t10 cm, 約11 kHz/t20 cm, 約7.3 kHz/t30 cm)が検出された。1 kHz以下で同一の振動数を示す場合があり、これらは計測系の固有振動に起因している可能性がある。

鋼球の打撃で励起できる弾性波の上限周波数 f_{max} (kHz)は(1)式で与えられる⁴⁾。ここでDは鋼球の直径(mm)である。

$$f_{max} = 291 / D \quad (1)$$

実験に用いた鋼球の直径D = 10 mmを用いると $f_{max} = 29.1$ kHzとなり、実験で得られた縦波速度約4400 m/secより、波長の最小値は約15.1 cmとなる。これより縦波の減衰は、骨材や空隙による散乱減衰よりも距離による減衰が支配的であると考えられる。



【図3】鉄筋あり供試体の振幅スペクトル

■まとめ

厚さ1 m程度の鉄筋コンクリート部材の肉厚を測定するための技術開発を目指して、基礎的な検討を行った。鋼球振り子を用いてコンクリート供試体に弾性波を励起させ、励起した弾性波をレーザー振動計によって検出し、供試体内を伝播してきた弾性波の挙動を計測した。最短距離で伝播する縦波の検出時間や、供試体内部を伝播する弾性波の多重散乱周波数よりコンクリート部材の厚さを測定できる可能性がある。

謝辞：

本研究の一部は、東京電力ホールディングス株式会社との共同研究として実施された。研究の遂行にご協

力いただいた手塚英志氏、飯田英男氏、小林保之氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 蒲田敏郎、内田慎哉、コンクリート工学、51(4), pp.340-347, 2013.
- 2) O. Kotyayev, Y. Shimada, S. Kurahashi, ILT2019年報、pp.37-43, 2020.
- 3) 野村顕雄、田中宏志、白阪靖人、コンクリート・ジャーナル、Vol.12, No.6, pp.72-78, 1974.
- 4) Sansalone, M. J. and Streett, W. B., Impact Echo, Bullbrier Press, Ithaca, N.Y., 1997.

REPORT

Optica Laser Congress and Exhibition 2022 報告

レーザープロセス研究チーム コスロービアン ハイク

■レーザー開発とその応用に関する国際会議

2022年12月11日～15日、バルセロナ国際コンベンションセンター(スペイン)で開催された、国際会議「Optica Laser Congress and Exhibition」(主催：OPTICA(旧米国光学会OSA))に参加し、研究発表を行った。本会議は、固体レーザー開発およびレーザー応用に関する最新の研究成果が報告される場であり、世界各国の主要都市へと会場を移し毎年開催されている。コロナ禍以降、開催はハイブリッド形式となっているが、今回は45カ国から約330人(登録者の約半数)の直接参加があり、会場へと足を運ぶ研究者も増加している。会議は同時開催のトピック別会議(Advanced Solid-State Lasers (ASSL)、Application of Lasers for Sensing and Free Space Communications (LS&C)、Laser Applications Conference (LAC))とポスター発表、併設された展示会から構成される。筆者はASSLにおいて長距離レーザー伝送のための高速動作変形鏡の開発とその制御に関する研究成果を発表した。以下に、本会議で報告されたトピックを紹介する。

■超小型高ピークパワーレーザー

SONY R&Dセンターの田中博士から、同社が開発した超小型高ピークパワーレーザーの開発に関する報告があった(招待講演)。このレーザーは、励起光源となる外部垂直共振器型面発光レーザー(VECSEL)と固体レーザー(パッシブQスイッチYb:YAGレーザー)の共振器をオーバーラップさせることにより、励起光を

集光するレンズを必要とせず、またVECSEL内部でレーザー結晶が励起されるため効率的な光吸収が起こるといった特徴を持つ。レーザーのサイズ1 mm³(1 mm×1 mm×1 mm)、繰り返し18 kHz、パルス時間幅450 psで最大57 kWのピーク出力が得られ



【写真】会議場にて(左から A. Bulgakov教授(HiLASE、チェコ)、I. Buchvarov教授(ソフィア大、ブルガリア)、筆者

たとのことであった。今後LiDAR、レーザー加工、レーザー医療など幅広い応用に期待できる。

■レーザーセラミックスの分光学的評価

本会議ではレーザー開発に関連したワークショップも多数催された。筆者はレーザー利得媒質(Emerging Solid-State Gain Media)のワークショップに参加した。その中で、応用物理学研究所(伊)のA. Pirri博士から、最近各国で製作されているレーザーセラミックスの分光学的な評価を行った結果が報告された。オランダ、イタリア、日本などで製作された多種のレーザーセラ

ミックスを評価した結果、日本(神島化学工業)で製作されたレーザーセラミックスが透明性や損傷閾値など分光学的に特に優れているとのことであった。この分野は技術的に日本がリードしており、現在日本製のレーザーセラミックスが世界の標準となっている。

■リモート物質判定分光システム

本会議では防衛分野へのレーザー応用に関する研究も多数報告される。J. Daigle 博士(防衛研究開発機構カナダ、バルカルティエ研究センター)は、HELIOS (High Energy Laser Induced Oxidation Spectroscopy) と名付けられた分光計測システムについて報告した。このシステムでは、金属燃焼(酸化)時に発生する炎のスペクトルを分光計測することで、爆発物などの種類を遠距離(100~1000 m)からリアルタイムで判別することができる。またこのシステムを高出力レーザーと組み合わせることにより、弾薬や爆発物などの種類の判別および廃棄処理を遠隔から行うことが可能になるとのことである。

■ビームプロファイル可変ファイバーレーザー

現在販売されている加工用レーザーのほとんどは、加工条件が異なる場合レンズなどの光学素子を取り替えてビームプロファイルを調整する必要があるため、時間効率が低下することが懸念される。これに対しnLight社(米)は、光学素子を使用せずにビームプロファイルの変更が可能なファイバーレーザーを開発した。彼ら独自の技術により、ビーム径を縮小・拡大したり、リング状にするなど、出力ビームのプロファイルをプログラム制御により瞬時に変更できる。同様にポインティングの制御も可能とのことである。また発表では、通常の加工用ファイバーレーザーの出力では切断が困難な厚い材料を切断の様子がデモンストレーションされ、印象的であった。

■次回開催予定

今回は2023年10月8日~12日、アメリカワシントン州のグレーター・タコマ・コンベンションセンターでの開催が予定されている。

NEWS

レーザー総研オープンセミナー(ILT 2022)を東京で開催

■ILTオープンセミナーを東京で開催

去る11月9日、東京都立産業貿易センター浜松町館(東京都港区)にて、レーザー総研オープンセミナー「レーザー技術の最先端~レーザー加工からインフラ診断まで~」(ILT 2022)を開催いたしました。本セミナーは、秋に開催される展示会「光とレーザーの科学技術フェア」の併催イベントとして毎年開催しています。セミナーでは、月面模擬砂や珪砂などの土質材料から建材を造形する技術、大気中レーザー伝送を可能にする可変形鏡の開発、漏えい有害物質を遠隔からモニターする共鳴ラマンライダー、熱によるコンクリートの劣化を遠隔診断する技術、シリコン油をガラス化し立体構造を形成する技術など、当研究所の最新の研究成果を報告するとともに、レーザー応用に関するさまざまな技術の基礎や現状について解説いたしました。当日は多数のご参加をいただき、研究に関する多くのご質問や貴重なご意見をいただきました。

■光とレーザーの科学技術フェアに出展

光技術に関する秋の展示会「光とレーザーの科学技術フェア2022」(主催: オプトロニクス社)が11月9日~

11日にわたり開催されました。「レーザー科学技術フェア」に加え、「光学薄膜フェア」、「オプティクスフェア」、「分光フェア」など6つの展示会が併設されました。当研究所はレーザー科学技術フェアへ出展し、当研究所の技術紹介パネルや本誌レーザークロスバックナンバーの展示、技術相談を行い、多くの方にご来訪いただきました。次回の「光とレーザーの科学技術フェア2023」は11月7日~9日、横浜パシフィコにて開催されます。



【写真】ILTオープンセミナー