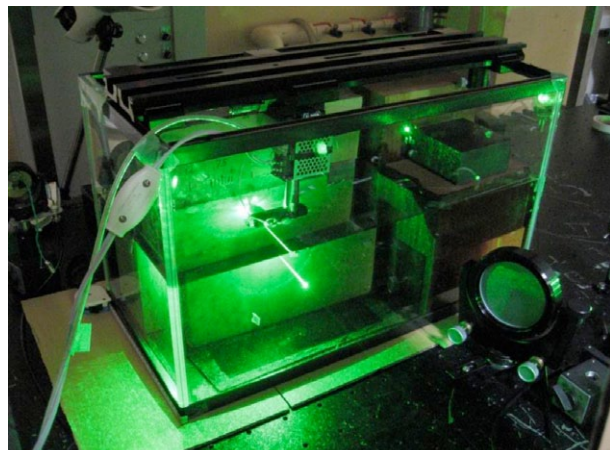


CONTENTS

- 水中におけるコンクリート欠陥検査技術の開発
- レーザー損傷閾値の温度依存性評価と定量解析
- 【光と蔭】戦争と平和
- ILTの研究を紹介！レーザー-EXPO2013
- 主な学会等報告予定

【表紙写真】水中でのコンクリート欠陥検出実験時の様子



水中における コンクリート欠陥検査技術の開発

レーザー計測研究チーム 島田義則

■はじめに

当研究所ではこれまで、レーザーを用いたコンクリート欠陥検査技術の開発を進めてきた(Laser Cross 2013 Mar.他)が、対象物はトンネルや高架橋等地上の構造物であり、計測は大気中で行うことを前提としてきた。一方社会インフラの中には、水力発電所や浄水場等水に満たされた構造物も多く、それらの老朽化も今後問題になると予想されるため、我々の技術を水中計測にも適用できればその応用範囲は大きく広がるものと考えられる。しかしながら、水中のレーザー計測には水の光吸収や不純物粒子(水の濁り)による散乱、水の揺動(水流)等が悪影響を与える恐れがあり、それらの効果を実験的、定量的に把握する必要がある。本報告では、水中でのコンクリート欠陥計測技術の開発を目標とし、水の濁度および揺動がレーザー特性に与える影響について検討した結果について述べ、さらに実際に水中でコンクリートの欠陥検出実験を行った結果についても述べる。

■水の濁り、水流の影響

水の濁りが欠陥計測に与える影響について検討するため、水の濁度を变化させた場合のレーザー光の透過率を計測した。実験には粒径約100nmの研磨剤を水に添加して作成した模擬試料を用いた。水の濁度は研磨剤の添加量により調整した。濁度の異なる水中をレーザーが伝搬した場合の透過率の変化を図1に示す。レーザーは図の右側から入射している。濁度の増大と共に光の散乱が大きくなり、それに伴い透過率は低下する。研磨剤濃度が0.015 g/lのとき、レーザーの減衰係数は

0.014 cm⁻¹であった(図1(a))。この条件ではレーザーは数メートル先まで伝搬するため、遠距離での欠陥検出検査が可能である。一方、研磨剤濃度を0.09 g/lに上げると減衰係数は0.145 cm⁻¹に増大し、伝搬距離は数10cmまで減少した(図1(b))。このことから、濁度が高い条件では対象物から1m以内の近距離での計測が必要となることが分かった。次に水の揺動の影響について検討するため、水を攪拌した状態でのレーザー振動計測を行い、静水状態での結果と比較した。実験では、ピエゾアクチュエーターにより周波数2kHz(可聴域)で微小振動させたコンクリート片に水槽(幅18.5cm)越しにレーザー光を照射し、反射光の周波数変調信号を計測した。反射光は試料表面の微小振動に起因した周波数変調を受けており、参照光と干渉させて変調部分を抽出した後スペクトル変換処理を行うことにより振動モードの検出が可能になる(レーザー干渉法)。水の攪拌はへらにより行い、流速を1~5cm/sの間で変化させた。実験の結果、両条件とも2kHzの振動ピークが明確に検出され、スペクトル強度および計測のS/N比もほぼ等しく違いは見られなかった。また周波数を50kHz(超音波域)に変更した場合にも結果は同様であった。このことから、少なくとも5cm/s以下の流速では、水の揺動が計測に悪影響を及ぼすことはないものと考えられる。

■水中でのコンクリート欠陥検出実験

次に、実際にコンクリート試料を水中に配置してレーザー振動計測を行い、欠陥検出が可能であるかについて検討した。試料には表面から1cm内部に深さ

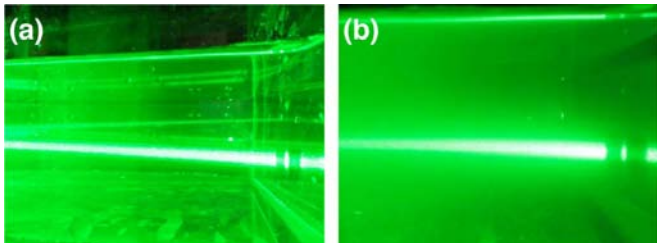
次ページへつづく▶

水中におけるコンクリート欠陥検査技術の開発

約1cmの欠陥を施したコンクリート試供体を用いた。ピストンにより試料表面に衝撃を与え、生じる振動をレーザー干渉法により計測した。実験結果を図2に示す。欠陥部を計測した場合には、内部欠陥によりコンクリート表面が大きく振動するため顕著な変調信号が検出された(図2(a))。一方、欠陥のない部分(健全部)では大きな振動は起こらないため信号は検出されないことが分かる(図2(b))。この結果は大気中での計測と基本的に同様であることから、水中においてもレーザーによる欠陥検査は可能であることが明らかとなった。

■まとめ

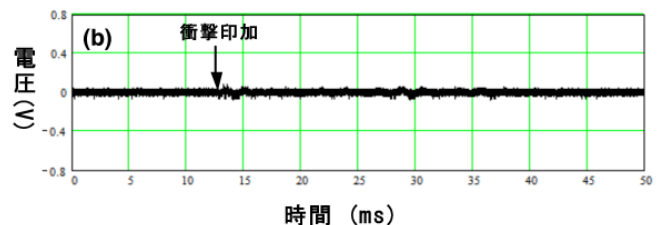
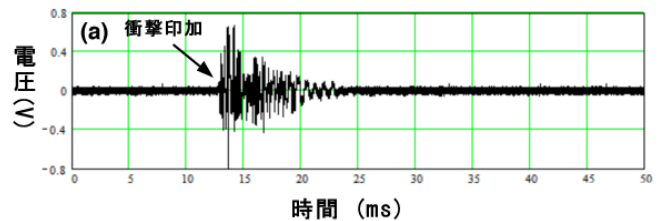
水中におけるコンクリート欠陥検査技術を開発するため、本研究では水の濁度、揺動がレーザー計測に与える影響について検討した。その結果、水の濁度の増加に伴い計測可能な距離が減少することが分かった。この結果は、欠陥検査を行う際に水の濁度を十分に考慮する必要があることを示している。一方、水の揺動(水



【図1】水の濁度によるレーザーの透過性の変化((a)研磨剤濃度0.015 g/l、(b)研磨剤濃度0.09 g/l)

流)については計測値に与える影響は小さいことが分かった。また実際に水中でのコンクリートの欠陥検出実験を行った結果、欠陥部と健全部の計測値の違いが明確にみられ、水中においてもコンクリート欠陥検査は基本的に可能であることが分かった。また、水中計測でのみ起こりうる他の阻害要因についても現在検討を行っており、今後具体的な検査装置の開発に向けて研究を進めていく。

〈関西電力(株)からの受託研究〉



【図2】水中での(a)欠陥部、(b)健全部のコンクリート欠陥検出実験結果

TOPICS

レーザー損傷閾値の温度依存性評価と定量解析

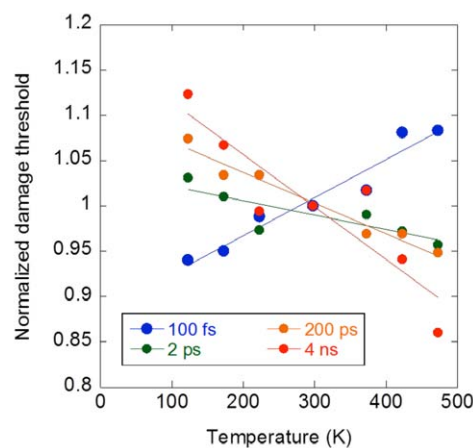
日本学術振興会特別研究員 三上勝大

レーザー技術開発室 本越伸二

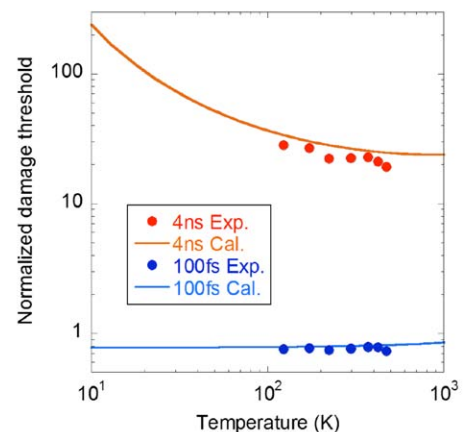
より高いレーザー損傷閾値(以下、LIDT: Laser-Induced Damage Threshold)を持つ光学素子を開発するためには、レーザー損傷が生じる機構(以下、損傷機構)を理解することが重要である。そのために、波長やパルス幅など照射レーザー光の条件に対するLIDTが評価され、多くの報告が行われている。本稿では、LIDT温度依存性の評価結果と定量解析の取り組みについて紹介する。

●LIDT温度依存性評価

評価にはNd:YAGレーザー(波長1064 nm、パルス幅4 ns)およびチタンサファイアレー



【図1】異なったパルス幅によるSiO₂単層膜のLIDT温度依存性



【図2】SiO₂単層膜のLIDT実験値と理論計算値の比較

ザー(波長800 nm, パルス幅100 fs, 2 ps, 200 ps)を用い、電子ビーム蒸着法によって石英ガラス基板上に製膜したSiO₂, MgF₂, Al₂O₃, HfO₂, ZrO₂, Ta₂O₅単層膜を試料とした。評価試料は真空容器内(真空度～5 Pa)に設置し、液体窒素およびヒーターを用いて123～473 K(–150～200℃)の範囲で温度調節した。試験は照射位置を固定し、レーザー強度を低強度から徐々に増加し、損

傷が生じるエネルギー密度をLIDTとして決定した(N-on-1方式)。

評価結果例としてSiO₂単層膜の評価結果を図1に示す。図の縦軸は、室温のLIDTで規格化した値である。パルス幅4 ns, 200 psの評価では冷却に従いLIDTが増加したのに対し、パルス幅2ps, 100 fsでは冷却に従い逆にLIDTが減少した。薄膜材料により温度依存性の

山中千代衛



戦争と平和

昭和16年12月以降わが陸海軍は一挙にその占領地を拡大し、ハワイ空襲に続きマレー半島進攻作戦を進め、イギリスの誇る不沈戦艦プリンス・オブ・ウェールズ、レパルスを航空戦力により撃沈、香港を占領、さらには昭和

17年2月にはシンガポールを陥落させた。この地は日本が昭南と命名した。

フィリピンではバターン半島のコレヒドール要塞で米軍は頑強に抵抗したが、これも4月には陥落し、マッカーサー元帥はオーストラリア方面へ逃走した。

ビルマ戦線でも英軍を退け3月にはラングーンが陥落し、ジャワ、パレンバン攻略には2月落下傘部隊が降下し、オランダ領インドシナは日本軍の手に落ちた。これで石油資源を手中に出来たのである。わが機動部隊は遠くオーストラリアのポートダーウィンにも進出し、空襲をしかけた。米国西海岸には伊号潜水艦が通商破壊戦を試みた。

緒戦において予想以上の成功をおさめたが、政府はなお早急に米英を屈服させることは期待出来ずいずれ反攻あるべしとの立場から今後の検討を行った。英国は国力が限界に達し、戦力逐次低下の形だが、米国は次第に戦力を飛躍的に増強してくるものと判断した。

それに対し我が国は既得の戦果を基礎にして不敗の戦略態勢を確立し、長期持久戦略よりは独伊と連携を密にし、今や攻勢の態勢に転じうる気運になったと判断した。政府内で東郷外相や一部の人は独ソ間幹旋や中国問題の解決による講和への準備を考えたがジャーナリズムをはじめ国民は戦果に酔い全く耳をかさない状況にあった。

その頃米国でも日本奇襲を計画し、空母ホーネットにDo Little隊のB25陸軍爆撃機16機を載せ進攻して来た。途中監視の日本漁船に発見されたので、計画を前倒して慌てて東京を急襲した。4月18日東京、川崎、名古屋、四日市、神戸を銃爆撃し、中国大陆に逃げ込んだのだ。

このアメリカンの奇襲攻撃の実害はまさにdo littleだったが、日本をゆるがす心理的圧力は大きかった。筆者の高校同級生も神戸で見慣れぬこのB25を目撃している。

昭和17年6月ミッドウェイ海戦がケチのつき始め、6月わが海軍陸戦隊がガダルカナル島に上陸するや8月に米軍もガダルカナル島上陸を始めた。

この時三川軍一中将指揮の第8艦隊は米軍来襲阻止のため、サボ島沖にて米豪連合軍と夜戦を行い、重巡洋艦4隻を撃沈する大戦果を収めた。いわゆる第一次ソロモン海戦である。この時日本海軍の伊達者振りが発揮された。うしろに控える敵輸送船団に目もくれず何ら攻撃を加えなかった。戦は軍艦同士という侍気質がガダルカナル敗戦に導いたと言っても過言でない。

阪大工学部で同僚であった三川 禮教授は軍一中将の息であるが、常にこの作戦の不徹底を嘆いていた。近代戦では武士道は通じないのである。情報戦、スパイ、謀略、騙し討ち、暗号解読いや何でもありなのだ。

わが軍は兵力逐次投入の愚を犯しガダルカナルで一木支隊全滅、ラバウル海軍航空隊の奮戦も次第に消耗戦に陥り、兵力漸減となる。この頃元阪大総長山村雄一先生は学医として海軍航空隊のメンバーを支援されていた。このあたりの状況は弟の山村好弘君からよく聞かされた。決死の覚悟の航空隊員には全く私心がなく、畏敬すべき優秀な人達であったという。

“銀翼連ねて 南の前線

ゆるがぬ守の 海鷲たちが

肉弾砕く 敵の主力

栄えある我ら ラバウル航空隊”

まこと日本軍は補給のない中よく戦った。あまりに健気すぎるのである。

今日の平和はこの人達の犠牲の上にある。

【名誉所長】

傾きは異なるが、短パルスにより依存性が逆転することは全ての単層膜試料で確認された。

●定量解析と今後の展望

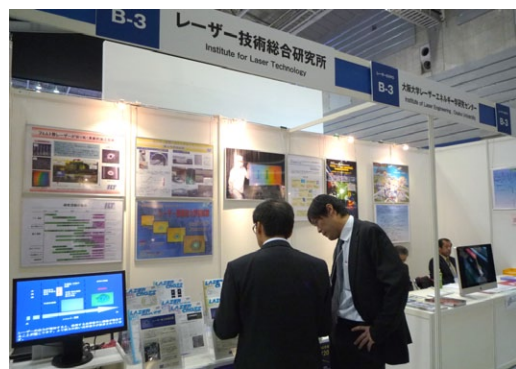
レーザー光に対する吸収がほとんど存在しない透明誘電体材料では、単純な熱破壊では説明できない。これまでの研究では、高強度のレーザーパルスが照射されると、自由電子を持たない誘電体材料中に自由電子が生成し、プラズマ化することにより破壊に至ると説明されている。これまでの損傷機構の理論は、(1)自由電子の生成、(2)電子雪崩(衝突電離)による電子増倍、(3)

プラズマ加熱の過程に分けられる。この過程をまとめたモデルを構築し、LIDTの定量解析を試みた。

図2に上記SiO₂単層膜について算出したLIDTと実験値の比較を示す。非常に良い一致を示すことが分かる。4 nsと100 fsの算出値のラインが異なるのは、パルス幅の違いにより支配的な損傷機構が異なるためである。この計算は材料自身や製膜条件で決まる物性値より求められるため、光学材料の高耐力条件などの解析に繋がると期待される。今後、更に定量解析を進め、高耐力光学素子の開発を目指す。

REPORT

ILTの研究を紹介！レーザーEXPO2013



【写真】ILT展示ブースの様子

紹介ブースを出展し、研究紹介ならびに技術相談を行った。本展示会は、「レンズ設計・製造展」等レーザー・光学技術に関する6つの展示会が併設された一大展示会(OPIE '13)のひとつであり、毎年4月に開催されている。来場登録者の総数は3日間で12,217名であり、出展社数は283社・団体に及ぶ。また、昨年度から国際会議「OPIC (Optics & Photonics International Congress) 2013」

レーザープロセス研究チーム 染川智弘

も同会議センターで開催され、国際会議の参加者の展示会参加も多く見受けられた。

ILTのブースでは、レーザー加工、レーザー損傷評価試験、レーザー超音波探傷の研究成果を中心にパネルで紹介するとともに、最近の研究成果として本誌のバックナンバーを設置し、研究紹介のスライドを放映した(写真)。今年も多くの方にお立ち寄り頂いた。中でも、光学素子に係る企業の参加が多かったためかレーザー損傷評価試験への問い合わせが多く、試験費用やデータベース化試験について紹介した。ある光学メーカーでは、その試験結果を元に自社製品の光学素子耐力の向上を図り、成果が出てきていると伺った。また、レーザー超音波探傷については装置が入手できるのかなど、関心が高いことが伺えた。

来年のレーザーEXPOは4月23日から3日間の開催がすでに決定している。さらに多くのアピールができる技術を持って臨みたい。

主な学会等報告予定

- 9月4日(水)～6日(金) 土木学会全国大会(日本大学生産工学部津田沼キャンパス)
島田義則 「レーザーリモートセンシング装置を用いたコンクリート欠陥探傷実験結果(2)」
- 9月8日(日)～13日(金) 慣性核融合と応用に関する国際会議(IFSA2013)(奈良県立新公会館)
砂原 淳 「Direct heating of imploded plasma in the fast-ignition scheme」
- 9月16日(月)～20日(金) 2013年秋季第74回応用物理学会学術講演会(同志社大学京田辺キャンパス)
砂原 淳 「EUV光源の発光効率向上」
染川智弘 「コヒーレント白色光を用いた水蒸気差分吸収ライダーの開発」
ハイクコスロビアン 「Coherent combination of 5 beams using a spatial modulator」
古河裕之 「レーザーピーニングにおける多次元効果等の評価Ⅱ」
古河裕之 「高平均出力固体レーザーの熱効果解析」
李 大治 「グレーティングによる放射の理論研究」
- 9月22日(日)～25日(水) Laser Damage Symposium2013(米・ボルダー)
本越伸二 「Database on Damage Thresholds for Dichroic Mirrors at 1064nm and 532nm」
- 9月25日(水)～28日(土) 物理学会秋季大会(徳島大学)
砂原 淳 「高繰返し対向照射高速点火方式小型レーザー核融合の研究 -炉心プラズマシミュレーション-