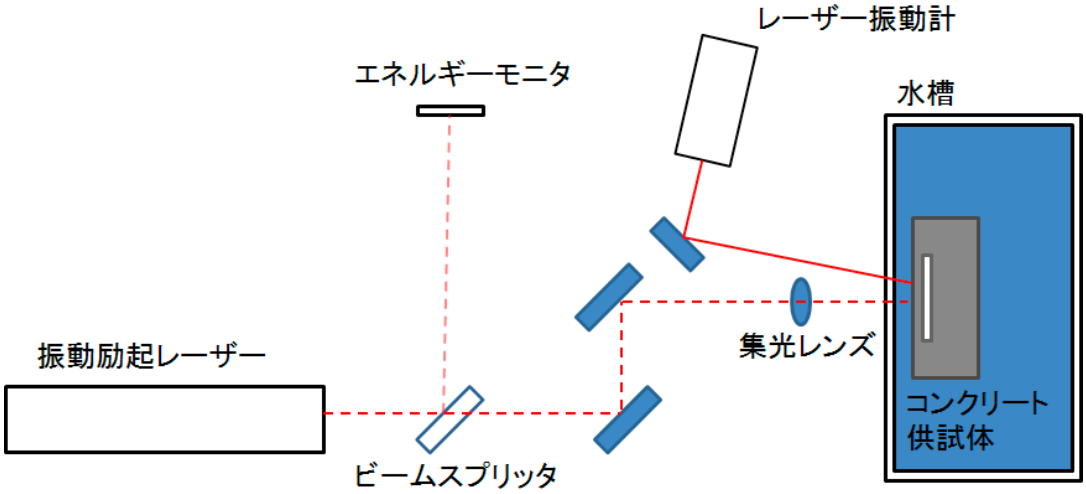
ISSN 0914-9805
Institute for Laser Technology
LASER CROSS レーザー・クロス
2016, Nov.
No. 344

CONTENTS

レーザーによる水中コンクリート構造物の内部欠陥検出技術の開発
【光と蔭】十有五にして
SPIE Remote Sensing 2016国際会議報告
主な学会等報告予定



【表紙図】レーザー打撃法による水中コンクリート欠陥検出試験の実験配置

レーザーによる水中コンクリート構造物の内部欠陥検出技術の開発

レーザー計測研究チーム　倉橋慎理、本越伸二、島田義則

■はじめに

トンネルや橋梁などのコンクリートからなる社会インフラの多くが、高経年による老朽化を懸念されており、適切な保守管理技術が必要とされている。この現状を受け、当研究所では鉄道トンネルや高架橋などコンクリート構造物の欠陥をレーザーで遠隔探傷する技術の開発を進めてきた[1,2]。パルスレーザー照射によりコンクリートに振動を励起させ、その表面振動をレーザー干渉計で検出し、振動の周波数分析などを通して欠陥の有無を評価するものである。室内実験の成果を基にして野外実験が可能な装置を開発し、山陽新幹線や高速道路における試験を実施してその有効性を確認した。現在実用化に向けて、欠陥探傷装置の試作や信頼性向上、検査速度の高速化などの開発を加速している。

一方で我々は現在、検査の対象をダムや水力発電所のサージタンク（流量の平準化を目的として備えられた貯槽類のこと）、河川護岸など、常時滞水した状態で使用されるコンクリート構造物にまで広げることを目標とした研究を行っている。これまでに、屋外設備への導入をめざして装置を試作し、稼働中の実設備において試験を行った（Laser Cross No.333, 2015 Dec.）。その際、水中における装置の姿勢制御には困難が伴い、装置と検査面の距離が変動すると、ピストンを用いた機械式の打撃機構では十分に振動が励起されない場合があることがわかった。この結果を受け平成27年度には、振動励起機構にレーザーを採用し、レーザー打撃法

次ページへつづく▶

の水中コンクリート構造物検査への適用性を検証するための室内試験を実施した。本稿では、振動励起用レーザーの入射エネルギー、および波長に対する振動振幅依存性について述べる。

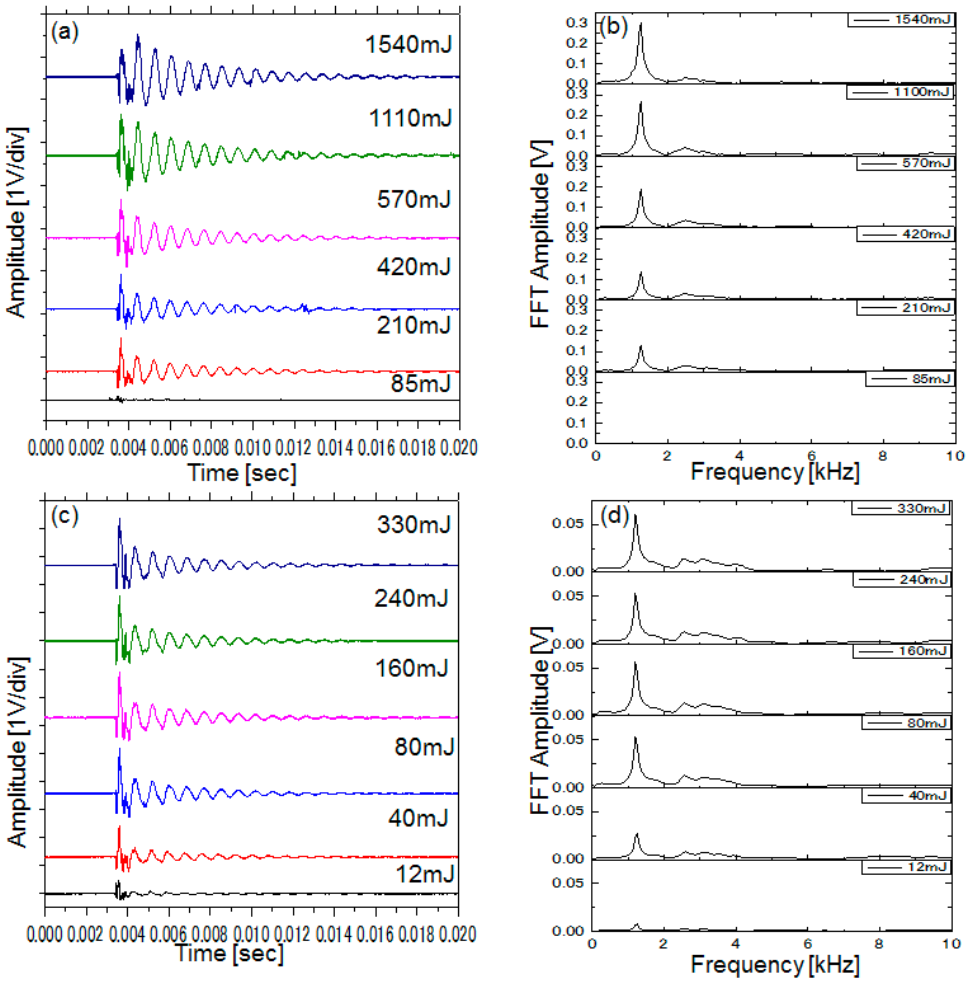
■水中構造物へのレーザー打撃法の適用

表紙図に実験配置を示す。振動励起用レーザーには、Spectra-Physics社のQuanta-Ray PRO-Series Pulsed Nd:YAG Lasers システムを用いた。レーザーの発振波長は1064 nm、パルス幅は約10 ns、繰返し数は10 Hzである。レーザー光はビームスプリッタで分割し、エネルギーモニタおよび振動励起用ビームに用いた。振動励起用のビームは、焦点距離100 mmの集光レンズを通して水槽内に設置されたコンクリート供試体にビーム径約10 μmとなるよう照射した。集光レンズは水槽から約30 cmの位置に設置した。コンクリート供試体の大きさは300×300×100 mmで、その内部には人工的に欠陥が施されている。コンクリート供試体は水で満たされた水槽壁面から約90 cmの位置に設置した。レーザー照射によってコンクリート供試体表面に励起された振動を、水槽外に設置されたレーザー振動計を用いて検出した。内部欠陥を有する領域にパルスレーザーを照射すると、内部欠陥の大きさや欠陥が存在する深さにより決まる周波数でたわみ振動が励起されるため、この振動の検出により、検査領域における内部欠陥の有無を判定することが可能となる。試験では、入射エネルギーを1540 mJから85 mJまで段階的に変化させて信号波形の取得を行った。

それぞれのエネルギーにおける信号波形を図1(a)に、それぞれの波形を高速フーリエ変換したものを図1(b)に示す。計測は入射エネルギーごとに5回ずつ行った。示した波形はそれぞれの平均値を表す。内部欠陥を有する領域には約1250 Hzの固有振動数を持つたわみ振動が励起され、指数関数的に減衰することがわかる。この時の時定数は約3.6ミリ秒であった。また入射エネルギーの増加に応じて振動スペクトル値が大きくなることが確認できたが、入射エネルギーが100 mJを下回ると信号レベルが大きく低下したため、背景雑音成分によっては計測が困難となることも予測される。

■レーザー波長効果の検討

波長変換素子を用いて振動励起レーザーの波長を532 nmに変換し、入射エネルギーに対する振動振幅の依存性を求めた。振動励起用のビームは、焦点距離100 mmの集光レンズを用いて試供体表面でのビーム径が約5 μmとなるよう調整し、以降は波長1064 nmの場合と同様の実験配置で計測を行った。入射エネルギーを



【図1】各入射エネルギーにおける信号波形と周波数スペクトル
(a),(b) λ=1064nm, (c),(d) λ=532nm

330 mJから12 mJまで段階的に変え、信号波形の取得を行った。それぞれのエネルギーにおける信号波形を図1(c)に、それぞれの波形を高速フーリエ変換したものを図1(d)に示す。示した波形はそれぞれ5回測定の平均値である。内部欠陥を有する領域には約1250 Hzの固有振動数を持つたわみ振動が励起され、時定数約3.6ミリ秒で指数関数的に減衰した。この結果から、励起されたたわみ振動の固有振動数や減衰の時定数は、照射されるパルスレーザーの波長には依存しないことが確認された。一方入射エネルギー依存性については、入射エネルギーが約80 mJに達するまでは振動スペクトル値の増加がみられたが、それ以降は入射エネルギーによらずほぼ一定値となることがわかった。何らかの原因でエネルギーの一部のみがたわみ振動励起に寄与するものと推測される。

■まとめ

レーザー打撃法の水中コンクリート構造物検査への適用性について検討するため、本研究においてコンクリート試供体を用いた室内試験を実施した。その結果、コンクリート表面に一定量のレーザーエネルギーを到達させることができれば、水中においてもたわみ振動を励起させることが可能であることがわかった。また、励起されるたわみ振動の固有振動数および減衰の時定数は、振動励起レーザーの波長には依存しないことがわかった。一方、たわみ振動の振幅の大きさにはレーザーの入射エネルギーに対する依存性が見られ、投入エネルギーが増加するにつれて振動振幅が大きくなる傾向にあることが確認された。ただしレーザー波長に532 nmを用いた場合には、投入エネルギーの一部のみがたわみ振動の励起に寄与する現象も見られた。今後この要因を明らかにするとともに、本技術の確立を目指してさらに開発を進めていく予定である。

本研究は関西電力株式会社からの受託により実施しました。ご協力いただいた方々に感謝いたします。

参考文献

1) 島田義則　他：非破壊検査, 61, 519-524, 2012.
2) 倉橋慎理　他：レーザー研究, 42, 849-853, 2014.

山中千代衛　花信……231

十有五にして

論語に曰く「十有五にして学に志し、三十にして立つ。四十にして不惑、六十にして耳順う。七十にして心の欲する所に従いて則を越えず」という。

筆者の経験からして十五歳で旧制高等学校理系を選んだのはまさに論語のいう通りである。「青年老い易く、学なり難し」はこのあたりを指している。三十歳に大阪大学工学部の講師になったが、やはり「立つ」というのはこのことであった。責任のある地位に初めて就いた訳である。

さて三十八歳の時大阪大学教授に昇任した。まさに「不惑」である。他に道はない。これ一筋で突き進むのが使命と感じた次第である。最早いろいろ進路を探る余裕はなくなった。

六十歳にして「耳順」とは修練がすすみ、開く所、理にかなえば何らの障害なく理解しうるという心境とされている。この辺から実際の現代人生と論語の世界は次第に乖離が生じていく。中々耳は従わぬのである。

七十にして「心の欲する所に従いて則を越えず」はそもそも活動力が衰えてきた証拠であろうか。大徳寺の尾関宗園師の「七十、八十働き盛り」の方が元気があって、現代的である。現実に七十、八十歳の年輩者が実社会で大活躍している。

それでも九十ともなれば、心は欲しても肉体が動かぬという時代がやってくる。まさに心の欲するところに従いて則をこえられずということになる。

人生は長いようで、実は大変短い。やるべきことがまだまだ山のように毎日押し寄せてくる。いかにうまく捌くかが腕の見せ所である。力の限り、体の働く限り、突き進みたいものである。

「十有五にして学に志す」の時代が懐かしい。　【名誉所長】

SPIE Remote Sensing 2016国際会議報告

レーザープロセス研究チーム　染川智弘

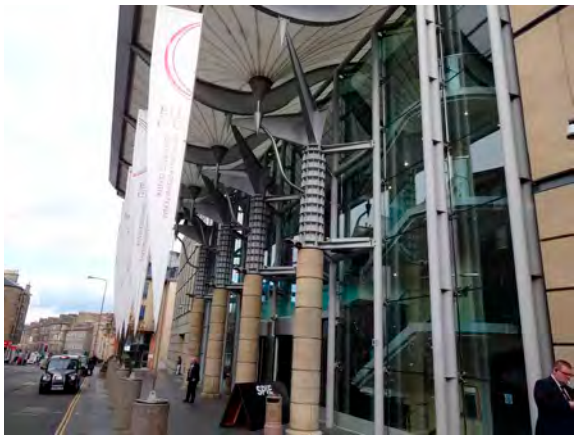
◆SPIE Remote Sensing 2016がスコットランド、エジンバラで開催

国際会議(SPIE Remote Sensing 2016)がスコットランド、エジンバラのエジンバラ国際会議場で9月26日～29日の4日間にわたり開催された。エジンバラはスコットランドの首都であり、街の全体が世界遺産に登録されている。エジンバラ空港からはバス、トラムで市街地まで30分以内で移動が可能であり、非常に便利であったが、帰りの早朝のフライト時間にはトラムが動いておらず、シャトルバスに慌てて飛び乗ることになった。学会会場のエジンバラ国際会議場は、会場運営もよく、快適であった。

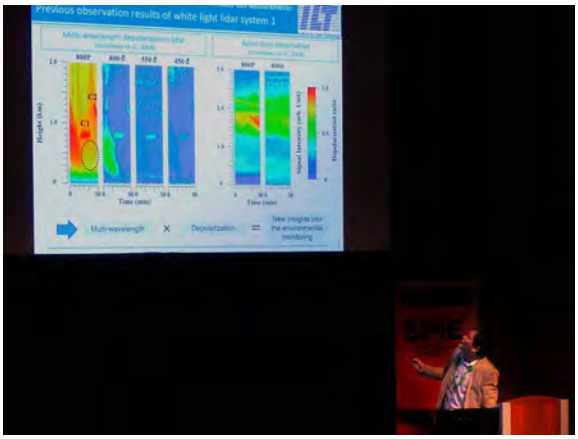
SPIE Remote Sensingは農業応用、水圏観測、ライダー技術等の11のセッションに別れており、併設のSecurity + Defenceの会議を聴講することも可能であった。筆者は主にLidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensingのセッションを聴講した。また筆者が2014年の同会議で発表したセッション(Remote Ssensing of the Ocean, Sea Ice Coastal Waters, and Large Water Region)で予定されていた、レーザー誘起蛍光を用いた海のモニタリングに関する研究を聴講しにいったが、発表はキャンセルされており残念であった。今回は中国研究者の発表キャンセルが多かったように思う。

◆「リモートセンシング」をキーワードに幅広い分野の研究者が集まる

ライダー技術のセッションでは、温室効果ガスの吸収ライダー、雲・エアロゾルの衛星ライダー、ライダーネットワーク観測、衛星搭載ドップラーライダーによる風の計測等の報告があった。また今回から、LEDやマイクロチップレーザーの小型の光源を用いたライダー応用に関するセッションが新たに加えられており、招待講演ではLEDライダーの第一人者である千葉大の椎名先生が、火星探査車に搭載可能な小型のLEDライダーについて報告された。また、ヨーロッパ宇宙機関(ESA)の研究グループから、高度計に使用するYb:Erガラスを用いた波長1.5 μm帯域のマイクロチップレーザーの開発に関する報告があった。まだ低出力ではあるが、10 nsのパルス幅で出力80 μJのレーザー発振が得られていた。パルスエネルギーが大きなマイクロチップレーザーはライダー観測には有効であるので、今後はドローンへの搭載など、小型で可搬性のあるライダーシステムへの応用が進んでいくように思う。



【写真1】エジンバラ国際会議場



【写真2】発表する筆者

主な学会等報告予定

1月7日(土)～9日(月)　レーザー学会学術講演会第37回年次大会(徳島大学常三島キャンパス)
染川智弘「配電設備へのレーザー利用」
染川智弘「水中レーザーリモートセンシングに向けた竹富島海底温泉の海水影響評価」
藤田雅之「炭素繊維強化プラスチックのパルスレーザー加工における波長・パルス幅依存性」

発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所 編集者代表／谷口誠治 〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル4F TEL(06)6443-6311 FAX(06)6443-6313
掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表・谷口誠治(E-mail:taniguchi@ilt.or.jp)までお願いいたします。