

CONTENTS

- レーザーを用いた水中コンクリート構造物欠陥探査技術の開発
- EUVリソグラフィに関する国際シンポジウム (EUVL2015)
- 【光と蔭】文殊の智慧
- 主な学会等報告予定



【表紙図】水中コンクリート探傷装置による屋外設備の検査実験時の様子

レーザーを用いた水中コンクリート構造物欠陥探査技術の開発

レーザー計測研究チーム 倉橋慎理、島田義則
レーザー技術開発室 本越伸二

◆はじめに

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査する技術の開発を進めている[1]。パルスレーザー照射によりコンクリートを振動させ、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手法である。我々はこれまで、室内実験での成果を元に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いて試験を実施してその有効性を確認した(Laser Cross No.324、2015 Mar. 他)。現在本技術の実用化に向け、装置の試作や信頼性の向上など開発を加速している。これと関連し、我々はまた、本技術の適用範囲を拡げることを目標に貯水施設など常時滞水した状態のコンクリート構造物の欠陥探査技術についても開発を進めてきた(Laser Cross No.304、2013 Jul.)。水中ではレーザー照射によりコンクリート構造物に振動を誘起するのが困難なため、本技術ではピストンで機械的にコンクリート表面を振動させる方式を導入している。本稿では、我々が試作した欠陥探査装置を用い、実際に屋外施設において動作試験を行った結果について報告する。

◆屋外実設備における動作試験

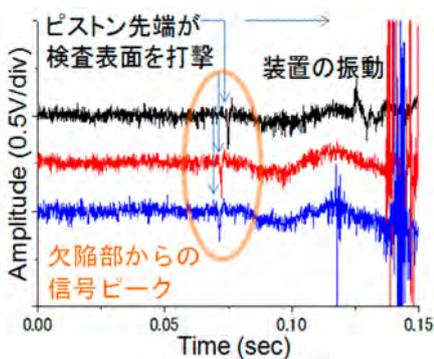
図1に、作製した水中コンクリート欠陥探査装置の写真を示す。本装置は、振動励起用ソレノイドコイル、振動検出用レーザー、ならびに検査面の観測および姿勢確認用のCCDカメラと、これらを保持するためのアルミフレームにより構成されている。振動検出用レーザー、検査面観測用CCDカメラは防水・防圧チャンバー内に格納した。検査面との接触箇所には、ソレノイドコイルでガイドされるピストンと振動計測用レーザー光軸が検査面にほぼ垂直となるようガイドローラーを取り付けた。水中での上昇・下降は、シャックルに通したワイヤーを用いて電動ホイストにより行う。本装置を用い、関西電力(株)所有の貯水施設において欠陥探査試験を行った。表紙図に試験時の様子を示す。検査対象は貯水施設のコンクリート壁面で、健全部と欠陥部(浮き)の位置は抜水時に打音検査によりあらかじめ確認されている。本装置により健全部、欠陥部それぞれの計測を行い、検出信号の比較を行うことでコンクリート壁の健全性を評価した。

図2に、打音検査により欠陥部と判定された領域の計測時に得られた信号波形を示す。試験では同一点にお

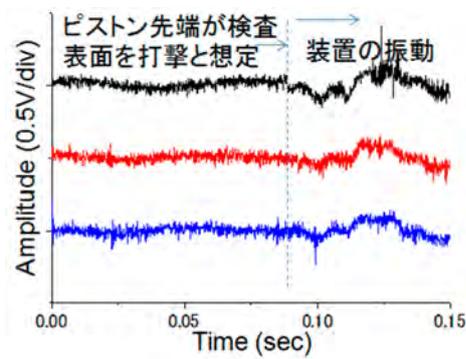
次ページへつづく▶



【図1】レーザーを用いた水中コンクリート探傷装置



【図2】欠陥部において計測された信号波形



【図3】健全部において計測された信号波形

いて3回計測を行い、図にはそれらの信号波形を並べたものを示している。t=0の時点でソレノイドコイルに24Vの電圧が供給され、約70ms経過した後、ピストンの先端が検査面を打撃したと考えられる。打撃の反作用による装置とコンクリート壁面間の相対的な位置変動が、信号波形の打撃が想定される時刻に表れている。3回いずれの計測時にも立ち上がり時間近傍に下向きのピークが確認でき、これらは内部空洞の上部をピストンが打撃した結果生じた板振動による信号と考えられる。また3回の計測波形において、打撃の反作用により装置とコンクリート壁面間の相対的な位置変動がほぼ同位相で検出されている。一方高周波成分は再現性に乏しいが、これは装置の位置変動によるレーザー光の焦点位置の変動か、光路中の浮遊物が要因であると考えられる。焦点位置が変動すると反射光量が減少し、結果として計測感度の低下が生じる。機械式振動励起の場合、電圧が供給されてから実際に打撃するまでの時間は、検査面までの距離や液体の粘性などによって変動すると考えられる。このことから検出時刻が数ミリ秒異なって検出される要因は、装置保持の不安定性から生じる装置-検査面距離のバラつきによるものと考えられる。

打音検査により健全部と判定された領域で得られた信号波形を図3に示す。欠陥部と同様、同一点で3回計測を行った。t=0の時点でソレノイドコイルに電圧が

供給され、約80ms後、ピストンの先端が検査面を打撃したと考えられる。打撃の反作用による装置とコンクリート壁面間の相対的な位置変動が信号波形の打撃想定時刻に表れているが、欠陥部の場合とは異なり立ち上がり時間近傍に下向きのピークは検出されなかった。これは検査箇所付近に内部空洞が存在しないためであると考えられる。以上より、実際の屋外設備において水中のコンクリート欠陥の有無が検出でき、健全性の評価が可能であることが明らかとなった。

◆まとめ

鉄道トンネルや高架橋など、地上コンクリート構造物の欠陥をレーザーで遠隔探査する技術を水中のコンクリート構造物の診断に応用するため、レーザーを用いた水中コンクリート欠陥探査装置を初めて構築し、屋外施設において実証試験を行った。その結果、健全部分と欠陥部分の振動信号に変化が見られ、その比較から水中においてもレーザー振動計測が可能であることが明らかになった。一方で、装置とコンクリート壁面間の相対的な位置変動、浮遊物によるノイズなど、水中計測特有の課題も明らかとなった。今後、装置の位置安定性向上のための改良や計測データの蓄積などを行い、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。

参考文献

[1] 島田義則他, 非破壊検査, 61, pp.519-524 (2012).

EUVリソグラフィに関する国際シンポジウム (EUVL2015)

大阪大学レーザーエネルギー学研究中心 西原功修

2015年10月5日から3日間、オランダのマーストリヒトで「EUVリソグラフィに関する国際シンポジウム」が開催された。2002年に米国グラスで第1回目が開催され

てから第14回目にあたる。2003年に文部科学省リーディングプロジェクト(LP)「極短紫外(EUV)光源開発等の先進半導体製造技術の実用化」が始まり、EUV研究に

まったくの門外漢であった私もLP 【表1】ASML社の発表から

の一端を担うことになり、初めてこのシンポジウムに参加してから干支が一巡したことになる。LP開始に際し、LPでは産業界に寄与する研究成果が問われているときつく

Timing	Source power [W]	Throughput [wafers/hr]	Source availability [%]	Productivity [Wafers/day]
Today	80 (done)	>55 (done)	>70% (CD)	>500 (done)
2015	125 (CD)	>75 (OT)	>80% (OT)	>1000 (CD)
2016	250	>125	>90%	>1500

CD; Capability Demonstrated OT; On track

クギを刺され、私としてはそれなりの覚悟をもって初めてこのシンポジウムに参加したことを、会議に出席している懐かしい顔を見て、思い出しました。

2013年にCYMER社のLPP-EUV光源を搭載した6台のEUVLスキャナーがASML社から出荷されたが、その出力は10Wにも満たず、その後日本のキャノン・ニコンがEUV露光装置開発から撤退し、またCYMER社がASML社に買収されるなど、EUV露光の将来が危ぶまれる状況もあった。現在、レーザー総研とともにNEDOプロジェクト(「250W-EUVプラズマ現象解析プロジェクト」)に参加し、それなりの進展を耳にしていたが、現在の業界全体の雰囲気を感じたくシンポジウムに参加したわけである。

会議の雰囲気は、私の想像をはるかに凌ぐほど、明る

く、また多くの人が2、3年先には(まだ2、3年先と言っているのかとお思いでありましょうが、ちょっと待ってください、ぜひ最後まで読んでください。)大量生産機の実現を信じていることを実感させるものであった。常連の参加者に聞くと、この1-2年、光源を含めレジストなど露光装置に必要な多くの技術の全てにおいて著しい進展が見られたからだとのことであった。それは近年減少していた参加者数が本年は増加(308人)したことにも見られる。特に昨年来の光源の進展は、まだ十分とはいえないが、大量生産にEUV光を採用するための説得力ある成果があったと聞いている。

講演の中から幾つかの具体的な成果を紹介する。今年になり、平均80W出力で1日に500枚以上のウェファーの焼き付けが可能になった。光源についてはほと

山中千代衛



文殊の智慧

先月4日原子力規制委員会は高速増殖炉原型炉「もんじゅ」を安全に運営する能力が日本原子力研究開発機構に欠けているとして、新たに運営主体を

明示するよう文部科学大臣に勧告することになった。

勧告は原子力機構に対して退場を迫ったものである。文科省は依然として運転再開を目指す考えのようである。

原子力機構に代わる運営主体が見つけれないと、当然核燃料サイクル政策が否定される。現実に国内でナトリウムを使う原子炉を管理した経験を持つ事業者は見当たらない。「もんじゅ」の先行は全く不明である。

ナトリウムはきわめて危険な素材だから1995年のナトリウム漏れによる火災事故があり、2012年には1万点に及ぶ機器の点検漏れが判明し、2013年には運転準備を禁止する命令が出ている。

「もんじゅ」は今までに約1兆円、年間200億円の国費が投入されている。高速増殖炉は中国やロシアでは開発をすすめているが、米英独など主要国は既に撤退している。

ではただちに廃炉に出来るかといえば国の原子力エネルギー政策を見直さねばならない。高速増殖炉はウラン資源の有効利用と放射性廃棄物の処理を両立させる、まさに夢の核燃料サイクルという切札になる施設である。

「もんじゅ」の廃止により現在のプルトニウム保有の正当性が問われ兼ねない。まことに厄介な問題を内蔵している。

このような事態の下で責任をとって問題を解決する人物は近頃日本ではなかなか見当たらない。会議が踊るだけの時代となっている。

日本国中無責任体制なのだ。何か欠けている。まさに若人の教育である。

文殊の智慧が欲しいものだ。

【名誉所長】

【表2】ギガフォトン社の発表から

Operation specification	Prototype #1	Prototype #2	Pilot #1 [under construction]
EUV power [W]	25	>100	250
CE [%]	3	3.5	4
Pulse rate [kHz]	100	100	100
Availability	1 week	1 week	>75 %
CO ₂ laser [kW]	5	20	27
Debris mitigation		10 days	>3 month

にかくavailability(可用性)が最も問題となっていたが、顧客先で80W出力時において70%以上の稼働率を達成し、80Wで1カ月以上の連続稼働も実証された。今年中に125Wで稼働率80%の達成を見込んでいる。最大出力では183Wが測定され、大量生産に必要と言われている250Wに肉薄するまでに至っている。また集光ミラーの寿命が80W出力で半年を実現している。EUV出力や変換効率の値そのものは、10年前のLPの目標値と差異はないが、実際の露光装置でそれらを達成し、稼働率が80%近くに向上したことは、EUV光源の実用化を説得させるのに十分な成果と言えよう。またレジスト感度においても、これまでの40mJ/cm²から25mJ/cm²に向上した。

一方、既存の波長193nmエキシマレーザー光源では、例えば26nmの細線露光には6ステップの過程が必要であり、20nmでは8ステップ、10nmでは23ステップ、そして次の目標である7nmでは34ステップが必要となり、価格的にも成り立たなくなりつつある。また、非常に驚いたのは、EUV光源の実現を最も待ちわびているのはやはりメモリー産業ではなくロジック回路産業が必要としていることであった。これもスマホ効果である。INTELやIBMの発表に用いられた会議のシンボリックな言葉は7N (7nm Node)であった。

ASMLと日本のギガフォトンの成果を比較した数値を表1、2に示すが、両者がしのぎを削った競争を繰り広げていることが見てとれる。余談になるが、レーザーアシスト放電方式のウシオはマスクなどの検査用光源として精力的にその開発に取り組んでいるのを知り、LP以降にも関わりがあったことから、彼らの開発への意欲に頼もしさを感じた。

今回は来年10月23日から広島で開催される。大量生産機の実現が見えてきたことから来年が最後になると

の声も聞こえたが、はたして・・・

以下は、最終日の恒例の早朝6時45分に行われた組織委員会でまとめた会議のサマリーと今後の課題である。組織委員会に呼ばれて参加したが、最後に参加した2011年のマイアミの会議とは異なり、雰囲気は本会議と同様に非常に明るいものであった。

Summary and take away message EUVL Symposium 2015, Maastricht, Oct. 5-7

<Source>

Good progress reported in power and reliability;

- Source power: Achieved at customer: 60W on average with champion data of source at 80W
- Source availability: average availability at customer achieved:55-60% with champion data of 70%

<Resist>

Good progress reported ;

- Chemically amplified resists progressed to higher sensitivities at comparable LER: 25-30 mJ/cm² (from >40 mJ/cm²)

<EUV Masks>

- Establishing manufacturing ready mask infrastructure remains challenge 6

<EUV extendibility>

- High NA anamorphic concept maturing



【写真】兵庫県立大学特任教授、木下博雄先生による基調講演「30 years have passed from the first experiment」(写真提供；ギガフォトン社溝口計氏)

主な学会等報告予定

1/9(土)～11(月)レーザー学会学術講演会(名城大学)

染川 智弘「水中レーザーリモートセンシングに向けたCO₂気泡と海水溶存CO₂のラマン分光」

島田 義則「レーザーを用いたトンネル等インフラの診断技術」

倉橋 慎理「レーザーを用いたコンクリート構造物における内部欠陥高速検出技術の開発」