



Title	レーザーを用いたコンクリートの劣化に対する非接触検査法の開発
Author(s)	倉橋, 慎理
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61792
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (倉橋 慎理)

論文題名

レーザーを用いたコンクリートの劣化に対する非接触検査法の開発

論文内容の要旨

本論文は、レーザーを用いた非接触検査法の開発に関する研究内容をまとめたものである。

コンクリート構造物の劣化に対する検査手法には、一般的には打音検査や圧電素子を用いた接触式の探傷法がよく用いられている。これらの検査手法では検査対象への近接が必要であるため、対象が高温であったり、放射線状況下にあったりなど、適用が困難となる条件がいくつか存在する。これを解決する検査手法の一つにレーザー超音波技術が挙げられる。この手法では、従来接触の必要があった信号の送受信をレーザーで行うため、遠隔、非接触の検査を行うことが出来る。一方で、信号の受信側では主にレーザー干渉計が用いられるため、コンクリートのような表面状態が均一でない構造物への適用には課題が残るとされてきた。

本研究では、これらの課題解決のため、受信側にフォトリフレクティブ型レーザー干渉計を用い、また光検出器を多チャンネル化することで、従来型と同等の確度を有する遠隔・非接触検査法の開発を行った。また、背景雑音成分となる環境振動の低減のためレーザー差動干渉法を用いることを提案し、この手法を用いることで環境振動による背景雑音成分が低減できることを実証した。

本論文は7章よりなる。

第1章では、本研究の背景である、現在用いられているコンクリート構造物の劣化に対する検査手法とその適用条件をまとめ、遠隔・非接触検査技術の必要性を述べた。さらに、遠隔・非接触検査技術として期待されるレーザー超音波法について述べた。最後に、本研究の目的が、従来のレーザー超音波法が持つ課題を改善し、信頼性のあるコンクリート構造物に対する遠隔・非接触の検査手法の開発であることを述べた。

第2章では、フォトリフレクティブ型レーザー干渉計で用いられた非線形結晶の光学的特性を実験により確認し、まとめた。装置の検出感度に影響する非線形効果による利得の、信号光と参照光の間の角度に対する依存性、電界の有無に対する依存性について述べた。

第3章では、レーザーにより励起された表面波による検査手法についてまとめた。表面波の検出時刻とその振幅に着目したひび割れ深さの評価について述べた。

第4章では、多チャンネル検出器を用いたレーザー励起超音波による検査手法についてまとめた。光検出器の多チャンネル化により信号対雑音比が向上したことを述べ、ひび割れによって回折された縦波に着目したひび割れ深さの評価について述べた。

第5章では、傾いたひび割れに対する検査手法についてまとめた。ひび割れによって反射された横波に着目したひび割れ傾き角度の評価について述べた。

第6章では、レーザー差動干渉法を用いた環境振動による背景雑音成分低減手法についてまとめた。信号光、参照光ともに検査対象に照射し、戻ってきた光を干渉させることで環境振動の影響を低減することが可能であることについて述べた。

第7章では、これらの研究によって得られた成果をまとめ、著者らの開発した検査法は従来困難であったコンクリート構造物表面ひび割れのレーザーによる遠隔・非接触検査を高い確度で行えることを示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (倉 橋 慎 理)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教授	乗松孝好
	副 査	教授	矢吹信喜
	副 査	教授	猿倉信彦

論文審査の結果の要旨

日本では高度成長期から50年近くが経過し、当時建設された社会インフラが老朽化し、安全、安心の社会に陰を落とし始めている。特にコンクリートの劣化は避けがたく平成11年の新幹線トンネル内コンクリート片の剥落事故、平成24年笹子トンネル天井パネル落下事故など、重大事故にもつながりかねない事態が発生している。コンクリートの劣化の検査では打音法、超音波検査などが中心に行われてきたが、いずれも検査場所に人がアクセスする必要があり、足場の設置などが必要で、時間的にも経費的にも多くの制限が発生した。申請者の研究は打音法、超音波検査に相当する検査をレーザーを用いて非接触で検査地点に近づくことなく行おうとする研究である。具体的にはレーザーパルスをコンクリート表面に照射しプラズマを発生させ、そこから発生した表面波の伝達速度等を別のレーザービームで検出し、コンクリート内に発生しているひび割れ等を非接触で短時間に検出する試みである。この方法で予想される技術的課題はコンクリートの様な表面の粗い物質では従来の干渉計測が困難であること、実際の現場で行う場合、環境から余分な振動が入ってくる点などにある。

このような研究に対し審査委員会は平成29年2月2日に公聴会、最終試問を開催するとともに引き続き審査委員会を開き、その内容を評価した。

申請者はフォトリフラクティブ結晶を用いることによりコンクリート表面の凸凹情報を干渉計測の参照光に重畳させ、消し去ることができることに着目し、コンクリート表面の反射光から超音波振動を取り出すことに成功した。フォトリフラクティブ結晶は光の強度により屈折率が変化する物で、屈折率が変化するのに10ms程度の時間を要する。結晶の中で参照光と信号光を干渉させると動かないコンクリートの表面の凸凹に対応した屈折率の変化が多数の縞として結晶内部に発生し、参照光に表面情報を載せて反射する。超音波振動では屈折率変化が追従しないので、参照光と信号光を干渉させると超音波振動だけが検出できる。申請者は報告されている多数のフォトリフラクティブ結晶の特性を精査し、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ が最も実験目的に適切であることを発見した。

また、人為的に作られたひび割れを挟んで振動発生レーザーとプローブレザーを照射することにより、表面波の伝達速度にひび割れの深さに応じた遅れが発生することを発見した。この遅れに着目することにより、音響特性の異なる構造材がランダムに入っている試料でも精度良くひび割れを検出できることを証明した。

上記の単ショット、1検出器による原理検証の後、検出器を多チャンネル化することで検出感度の向上を目指した。レーザー照射から励起された波の検出までの時間とひび割れ深さに有意な関係が見られた。また、信号光を多チャンネルに分割して検出することで信号雑音比（SN比）が上がることを確認した。SN比が向上することにより、表面波だけでなく縦波も検出可能となった。さらにレーザー打点をスキャンすることにより、ひび割れの深さだけでなく、平面内での方向、表面となす角度も推定できるようになり、カメラや目視などによる表面ひび割れ検査手法では困難であったひび割れの深さ方向に対する検査に成功した。

以上の技術開発は被測定物が静止しているのが大前提である。トンネルなどの検査には最適であるが、橋梁などは車両の通行により、音波振幅よりも3桁以上大きいmmオーダーの振幅の振動が重畳されることになり、従来の干渉計測は不可能であった。申請者らは橋梁を模した鉄板で覆われ、内部に空洞がある試験片で原理検証実験を行い、差動干渉法を導入することにより、橋梁のたわみによる成分を除去して音波振動のみを検出することに成功した。

以上のように、本論文は実験室レベルでのレーザー生成衝撃波の遠隔検出の可能性を証明した物で、従来の超音

波検査や打音検査に代わる能力があることを証明した。これらの成果は博士論文とりまとめ以降も継続され、ビームスキャン速度の向上、計算アルゴリズムの改良と自動化が進められ、実際の新幹線のトンネルの中でのデモ実験に発展し、ひび割れに由来する欠陥の検出に成功している。現在、現場作業に適したようにシステムの改良が行われていて、実用化は近いといえる。

申請者の研究は安全安心の社会を構築する礎になりつつある。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。