

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 8 月 6 日現在

機関番号：74417

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560584

研究課題名(和文)高感度ダイナミックホログラム・レーザー超音波法を用いた欠陥検出に関する研究

研究課題名(英文)Development of defect investigation technique using multi channel detector

研究代表者

島田 義則 (Shimada, Yoshinori)

公益財団法人レーザー技術総合研究所・レーザー計測研究チーム・主任研究員

研究者番号：80250091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリートのような表面状態が均一でない試験体からの反射光はスペckル状になっている。これに伴う位相分布の乱れはフォトリフラクティブ型干渉計を用いることにより解決できるが、空間的な強度分布は依然存在し、シグナル/ノイズ比が空間的に異なる。そこで、多チャンネル光検出器を用いて信号光を空間的に分割し、感度の低いチャンネルを除去するなどの処理を行い、S/N比の向上を図った。本検出では1.9倍のシグナル/ノイズ比の向上があった。コンクリート表面を2次元で計測しコンクリート表面の弾性波伝搬の可視化する基礎実験を行った。ピエゾアクチュエーター表面の振動を2次元で計測できていることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The scattered light from the concrete surface has become speckle-like. Although the disorder of the phase distribution could be solvable by using a photo refractive type interferometer, spatial intensity distribution still exists and the signal noise ratio differs spatially. Then, signal light was spatially divided using the multi-channel optical detector, and it processed removing a channel with low sensitivity etc., and aimed at improvement in S/N ratio. In this detection, there was improvement in 1.9 times of S/N ratio.

The basic experiment which measures the concrete surface by two dimensions and the elastic wave propagation on the surface of concrete visualizes was conducted. It was successful that vibration of the piezo actuator surface was measured by multi-channel optical detector.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造・地震工学・維持管理工学

キーワード：レーザー コンクリート マルチチャンネル

1. 研究開始当初の背景

高度成長期時代に建設されたコンクリート構造物は 40-50 年が経過し、保守管理のための検査方法が重要となりつつある。検査の主流は打音検査法であるが、労力がかかりことや、個人差が生じること、さらに客観的なデータとして保存することが困難であるなどの不具合から、接触式超音波法、電磁波法、赤外線法、あるいは X 線検査法などの研究が盛んに行われている。新しい探傷技術の一つとしてレーザーを用いた欠陥探傷技術がある (図 1)。この技術は、遠隔から非接触で高速にコンクリート欠陥を探傷できる特長があり、打音検査に代わる新しい探傷技術として期待されている。レーザーを用いて欠陥を検出する方法は図 2 に示すように超音波エコー法と板振動検出法の 2 種類ある。板振動計測法は打音法と同じ 20 kHz までのコンクリート振動モードを用いて内部の欠陥の有無を計測する。この手法は打音検査の代わりに用いることが出来る利点がある。当研究所ではこの方式を用いて、新幹線橋梁のコンクリートを対象に野外での探傷実験を行い、コンクリート欠陥を 2 次元的に可視化した (図 3)。ただし、板振動検出法は、欠陥深さやクラック深さ等の情報を正確に得ることが出来ない。上述の情報を得るためには、図 3 a) に示す **レーザー超音波法の併用が必要である**。しかし、コンクリート表面の超音波の振動振幅は非常に小さく、1~0.1 nm オーダーで、この振幅を 5~10 m 遠方から計測することは現状装置の S/N 比では困難であり、S/N 比の向上が求められている。

コンクリートは表面が粗く反射光がスペckル状となって戻ってくる (図 4)。戻ってきた光を図 5 に示す参照光と干渉させることにより振動を計測する (レーザー干渉計)。この際、明部は振動情報を持つが、暗部は持っておらず、ノイズを増加させる原因となる。

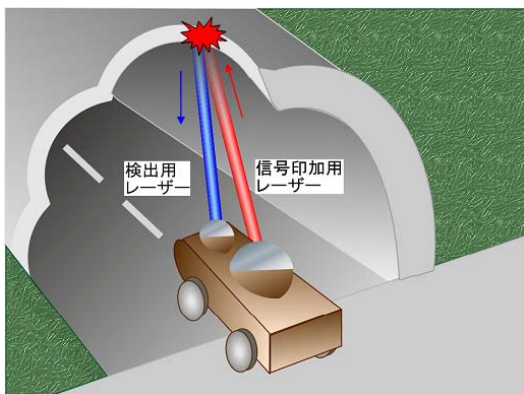
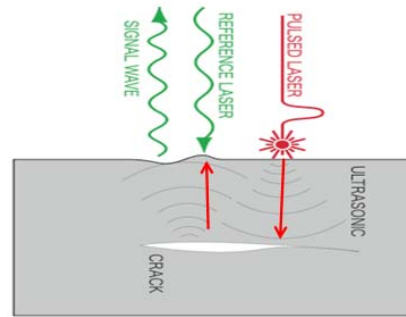
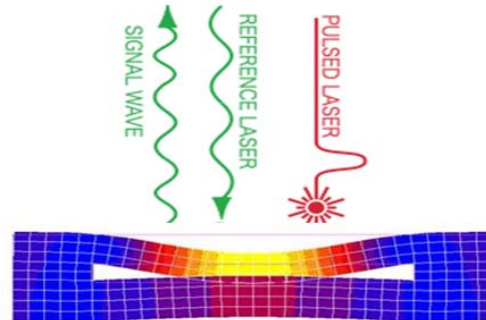


図 1 レーザーリモートセンシングシステム



f : ~100 kHz

a) 超音波エコー法



f : 1~20 kHz

b) 板振動検出法

図 2 超音波エコー法と板振動検出法との違い

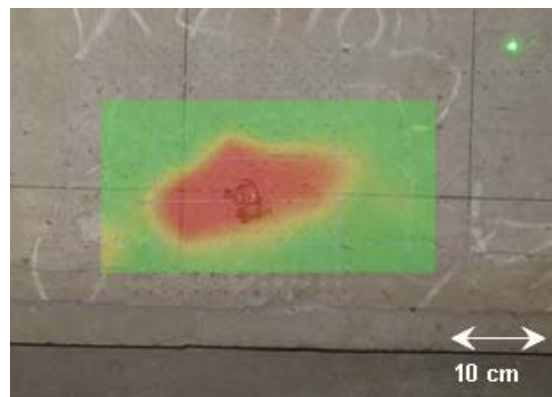


図 3 レーザーを 2 次元に走査しコンクリート欠陥を可視化 (緑色部分はレーザーによる探傷領域、中心の赤色部分が欠陥)



図 4 スペckルパターン

2. 研究の目的

スペックルパターン明暗の配置はレーザー照射位置を変化させると違ったスペックルパターンとなる。常に揺らぐ暗部を削除出来れば、ノイズが低減出来、S/N の向上が期待出来る。当研究は現状の装置にマルチチャンネル検出技術を導入して明部のみの振動情報を得る装置の開発と、それを用いることにより5倍程度のS/N比の向上を達成し、超音波エコーによる欠陥情報を得ることが目的である。

3. 研究の方法

欠陥深さやクラックの深さを精度良く計測するために、図5中のダイナミックホログラム結晶から出射される信号をマルチチャンネル検出器で受け、S/N比の高いチャンネルのみを選択的に抽出することにより、高S/N比のレーザー超音波探傷技術を開発した(図5Aの部分)。

4. 研究成果

マルチチャンネル検出器を用いた信号検出器の概念を図6に示す。ダイナミックホログラムから出力された光を拡大し、マルチチャンネル検出器に入射させる。ディスクリミネーターで信号強度の高いチャンネルのみを抽出して、その信号をマルチプレクサーで積分する。これによりシグナル/ノイズ比を向上させる。

図7は浜松ホトニクスで市販されているマルチチャンネル検出器で、1チャンネルの大きさは5.8×5.8mmである。ディスクリミネーターは差動増幅器を組み込んだ波形認識装置である。ディスクリミネーター、マルチプレクサーは特注である。ディスクリミネーターは多チャンネルのオシロスコープを用い、マルチプレクサーはパソコン上で波形を積算することで行った。

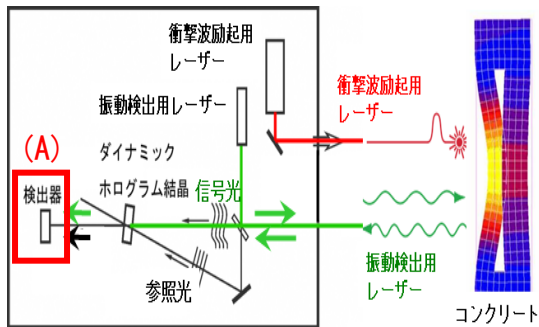


図5 ダイナミックホログラム結晶を用いたレーザー超音波探傷装置

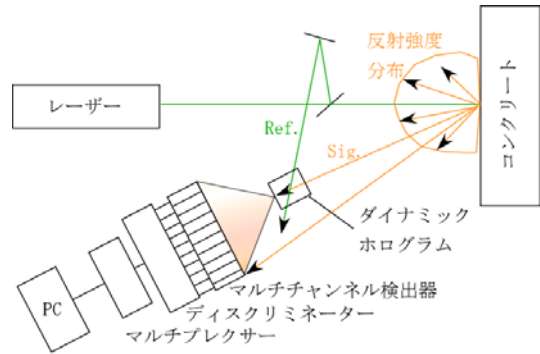


図6 マルチチャンネル検出器を用いた信号検出器の概念



図7 マルチチャンネル検出器

4-1. マルチチャンネル検出器を用いたシグナル/ノイズ比の向上

炭酸ガスレーザー (ALLTECH ALLMARK 870) を衝撃波励起用レーザーとして2台用いた。エネルギーは合計約7J、パルス幅は100nsのメインパルスに2μsの波尾を有す。ビームサイズは12mm×16mmの矩形である。このパルスを300×300×250mmで正面中央を上部から下部まで達する模擬ひび割れ(幅1.2mm、深さ25mm、50mm、75mm)を有するコンクリート表面に照射して表面に振動を励起させ、その信号を検出した。検出用レーザーは0.7WのCW、Nd:YVOレーザー(波長532nm)を用いた。レーザー干渉計装置には、フォトリフレクティブ結晶(BSO)、光検出器には多チャンネル光検出器(浜松フォトニクスH8500C)を用いた。分割するチャンネル数による違いを確認するため、16チャンネル分の信号データを結合し、擬似的に1, 2, 4, 8チャンネルのデータを作成した。

図8にひび割れ無し供試体から得られた衝撃波の信号波形を示す。縦軸に電圧、横軸に時間を示す。レーザーインパクトの時刻をt=0とした。信号波形の最初に現れる下向きのピークが検出される時刻と距離との関係より、波の伝播速度を約4300m/secと求めた。

図9にひび割れ深さ25mm、インパクト位置25mm、ディテクション位置25mmにおける、

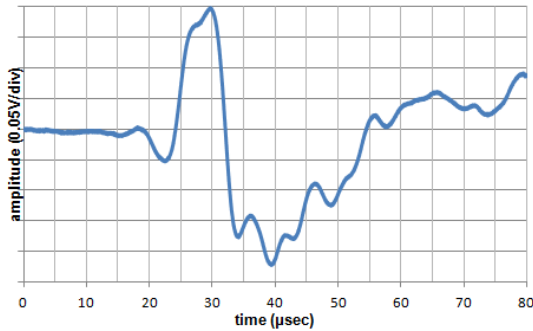


図8 ひび割れ無し供試体から得られた信号波形

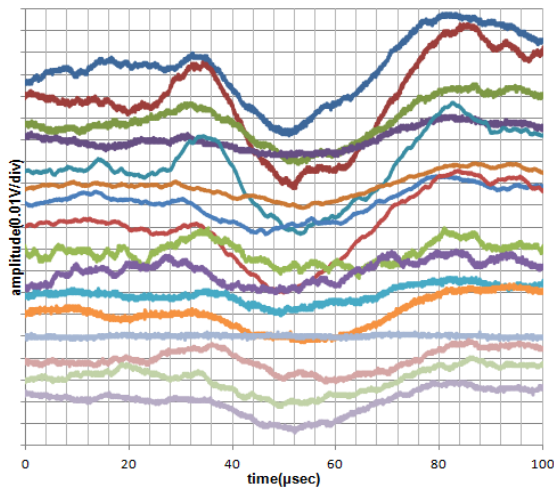


図9 各チャンネルにおける信号波形

1回の照射で得られた信号波形を示す。チャンネル数は16で、縦軸が電圧、横軸が時刻を表す。各チャンネルで波が検出され、波形が異なる。

最大値と最小値を振幅とし、ノイズレベルとの比 (S/N比) が最大となるようチャンネルの取捨選択を行い、検出感度が向上する組み合わせを求めた。図10にインパクト位置25mm、ディテクション位置25mmにおける、各ひび割れ深さに対して得られた信号波形を示す。それぞれの深さについて、S/N比の最大化を行い、それらの20ショットの平均を示す。縦軸が電圧、横軸が時刻を表す。ひび割れ深さが深くなるにつれて、波の検出時刻が遅れる様子が確認できた。

分割するチャンネル数による違いを確認するため、得られた16チャンネル分の信号データを結合し、擬似的に1, 2, 4, 8チャンネルのデータを作成した。チャンネル数に対してS/N比がどのように変化したかを図11に示す。1チャンネルでのS/N比を基準として (S/N比=1) 増加割合を示す。使用するチャンネル数が増えるとS/N比も大きくなり、最大で約1.9倍となった。これは、使用する検出器の1チャンネルあたりの面積と、信号光のスペックル

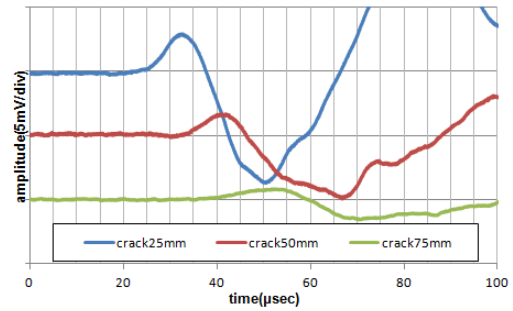


図10 ひび割れ有り供試体から得られた信号

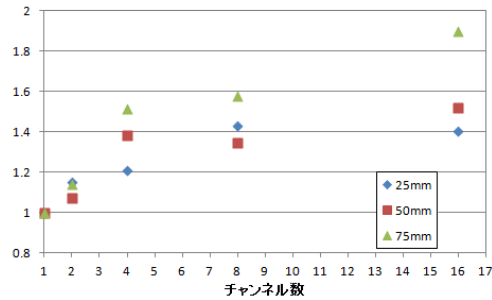


図11 チャンネル数と S/N 比

パターンの明部または暗部の面積が適切となるよう決定したことで、S/N比が向上した。

3. マルチチャンネル検出器を用いた二次元表面波形測

多チャンネル光検出器を用いてコンクリート表面を二次元で計測しコンクリート表面の弾性波伝搬の可視化する基礎実験を行った。コンクリート表面の代わりにピエゾアクチュエーターを設置し、そこに検出用レーザーを面状に照射した。その像をダイナミックホログラムと多チャンネル検出器に像転送してピエゾアクチュエーターの振動を検出する方法を用いた。図12にマルチチャンネル検出器の配置を示す。この内、中央付近の35番、36番、37番、38番、43番、44番、45番、46番の8チャンネルを用いた。

実験配置を図13に示す。サンプルの部分にピエゾアクチュエーターを用いた。ピエゾアクチュエーターの振動周波数は25kHzを用いた。図14にピエゾアクチュエーター表面に照射されたレーザーを示す。半分を紙で覆い、他の半分を振動させて計測を行った。すなわち、図14の右図 (“1”と表示) は全面にレーザーを照射。図中 (“2”と表示) は右半分をレーザーを照射。左図 (“3”と表示) は左半分をレーザーを照射した場合を示す。図15に実験結果を示す。“1”は図15の青線に相当する。全てのチャンネルにレーザーを照射してその振動を計測した。各チャンネルとも振動を計測した。

次に “2” (図15 赤線) では右半分をレ

レーザーを照射したので35番、36番、43番、44番チャンネルが計測出来ており、その他のチャンネルは計測できていない。

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

図12 マルチチャンネル検出器のフォトマル配置

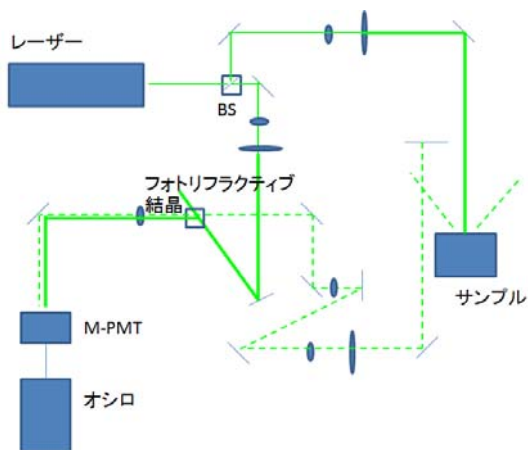
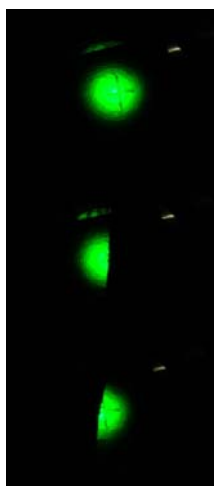


図13 実験配置



- 1 : 全面にレーザーを照射
- 2 : 右半分にレーザーを照射
- 3 : 左半分にレーザーを照射

図14 ピエゾアクチュエーター表面の半分を紙で覆い、他の半分の振動させて計測

“3” (図15 緑線) では左半分にレーザーを照射したので37番、38番、45番、46番チャンネルが計測出来ており、その他のチャンネルは計測できていない。この結果よりピエゾアクチュエーター表面の振動を2次元で計測

できていることを確認した。今後はコンクリート表面での2次元計測を行う予定である。

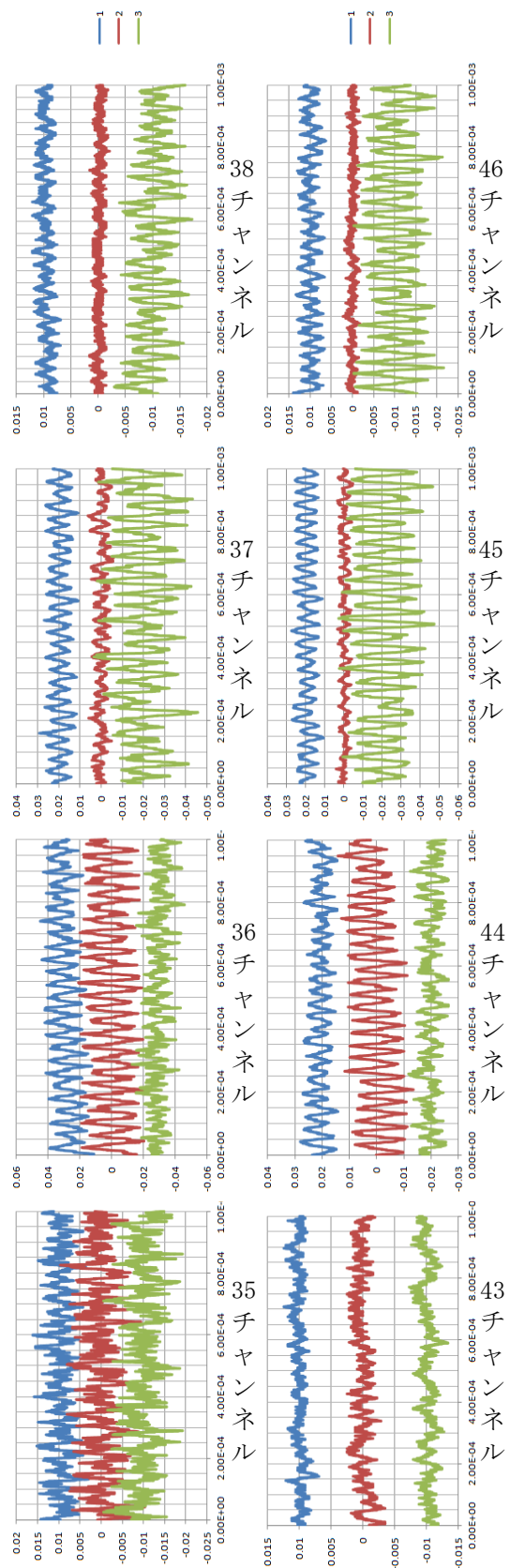


図15 実験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

〔査読付き論文〕

- (1) 倉橋慎理、島田義則、乗松孝好、石井政博、河野幸彦、“レーザー励起表面波を用いたコンクリート表面のひび割れ深さ計測”、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム論文集、Vol.11, pp. 299-304, (2011).
- (2) 倉橋慎理、島田義則、乗松孝好、石井政博、河野幸彦、“マルチチャンネルディテクターを用いたレーザー励起超音波によるコンクリート表面のひび割れ深さ計測”、日本材料学会 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol.12, pp. 329-334, (2012).
- (3) S. Kurahashi, Y. Shimada, O. Kotyaev, T. Norimatsu, Y. Kono, S. Nakata, and M. Ishii, “Measurement of surface crack depth in concrete using laser-ultrasonic technique with multichannel detector”, THE 39TH ANNUAL REVIEW OF PROGRESS IN QUANTITATIVE NONDESTRUCTIVE EVALUATION, AIP Conf. Proc. 1511, pp. 317-323, (2012).

〔査読無し論文〕

- (4) S. Kurahashi, Y. Shimada, O. Kotyaev, T. Norimatsu, Y. Kono, S. Nakata and M. Ishii, “Measurement of depth of surface cracks in concrete by laser-ultrasonic technique”, Proceedings of the first international conference on civil and building engineering Informatics, ICCBEI 2013, pp. 515-520, (2013).

〔学会発表〕(計7件)

- (1) 倉橋慎理、島田義則、オレグ・コチャエフ、乗松孝好、河野幸彦、中田正剛、石井政博、“レーザーを用いたコンクリートひび割れ計測”、平成23年度第2回レーザー超音波研究会(非破壊検査協会)、平成23年8月8日、Spring-8.
- (2) 倉橋慎理、島田義則、乗松孝好、石井政博、河野幸彦、“レーザー励起表面波を用いたコンクリート表面のひび割れ深さ計測”、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、平成23年10月28日、京都テルサ.
- (3) 倉橋慎理、島田義則、オレグ・コチャエフ、乗松孝好、河野幸彦、“レーザー励起超音波を用いたコンクリート表

面ひび割れの深さ評価”、レーザー学会年会、平成24年1月30日、TKP仙台カンファレンスセンター.

- (4) 倉橋慎理、島田義則、オレグ・コチャエフ、乗松孝好、河野幸彦、中田正剛、“レーザー励起超音波を用いたコンクリート表面のひび割れ深さ計測”、電気学会全国大会、平成24年3月23日、広島工業大学.
- (5) 倉橋慎理、島田義則、オレグ・コチャエフ、乗松孝好、河野幸彦、中田正剛、石井政博、“レーザー励起超音波を用いたコンクリート表面ひび割れの評価”、平成25年1月30日、姫路商工会議所.
- (6) 倉橋慎理、島田義則、乗松孝好、石井政博、河野幸彦、“マルチチャンネルディテクターを用いたレーザー励起超音波によるコンクリート表面のひび割れ深さ計測”、日本材料学会 コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、平成25年11月2日、京都テルサ.
- (7) S. Kurahashi, Y. Shimada, O. Kotyaev, T. Norimatsu, Y. Kono, S. Nakata, and M. Ishii, “Measurement of Depth of Surface Cracks in Concrete by Laser-Ultrasonic Technique”, 1st International Conference on Civil and Building Engineering Informatics, 平成25年11月8日、東京国際交流会館.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 義則 (SHIMADA, Yoshinori)
公益財団法人 レーザー技術総合研究所
研究者番号: 80250091

(2) 研究分担者

無し ()

(3) 連携研究者

無し ()