

SLDV と空中放射音波を用いたコンクリート非破壊検査

— 非接触欠陥検出法としての実用可能性に関する検討 —

赤松 亮¹・杉本 恒美¹

桐蔭横浜大学工学部

(2012 年 3 月 27 日 受理)

1. 概要

現在、コンクリート表層部のはく落等による重大な第三者被害を防ぐため、主に叩き点検を用いた定期的な点検が実施されている。この手法では検査者がコンクリート表面をテストハンマーで直接打撃し、その打撃音から欠陥の有無を判定する方法であり、目視点検では点検しきれない表面近傍の内部欠陥を検知する事が出来る。コストがそれほど多くかからず、実施も比較的簡便であるため、現在最も主流とされているが、欠陥の判定には検査者の経験と勘による技量に大きく依存する事から、定量的な判断に欠けるという問題をかかえている。さらに広い場所をすべて検査しきるには検査者にとって苦渋と労力を伴い、1日で検査可能な範囲もそれほど大きくないという問題がある。

定量的に評価する検査手法として、打音法、超音波探傷法、電磁波法などが開発、利用されているが、その多くが対象物に接触もしくは極めて接近する必要があるという課題を持ち、自動化・高速化という観点では完成されていない。

したがって現在、非接触計測法という観点から、レーザドップラ振動計を用いた計測法が提案され始めている。特にパルスレーザを振源とする非接触探傷法^[1]が期待されている。

一方、本研究室ではスキャニング振動計(以下 SLDV)と空中放射音波を用いた極浅層地中地雷探査を目的とした非接触音響探査法^[2-3]に関する研究を行ってきた。そこで、本研究では非接触音響探査法をコンクリート表層部の新たな検査手法として適用する事を提案している^[4]。今回は本手法を用いて実用的に必要なとされる遠距離において、欠陥検出が行えるか確認するため、空隙を模した発泡スチロールを埋設したコンクリート供試体を用いた探査実験を行った。また、現状での検出可能な平面規模及び深さ、最大測定可能距離について検討した。本報告ではそれらの実験結果について述べる。

2. SLDV を用いた探査概要

2.1 探査原理

非接触音響探査法の基本探査概要図^[2-3]を

¹ Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Toin University of Yokohama, 1614 Kurogane-cho, Aoba-ku, Yokohama, Japan 225-8503

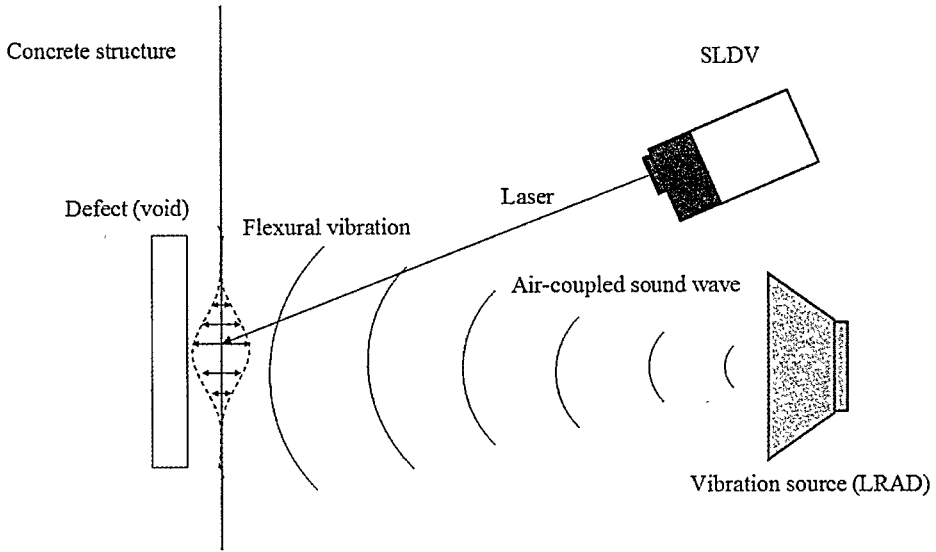


Fig.1 Fundamental concept image of non contact acoustic imaging method.

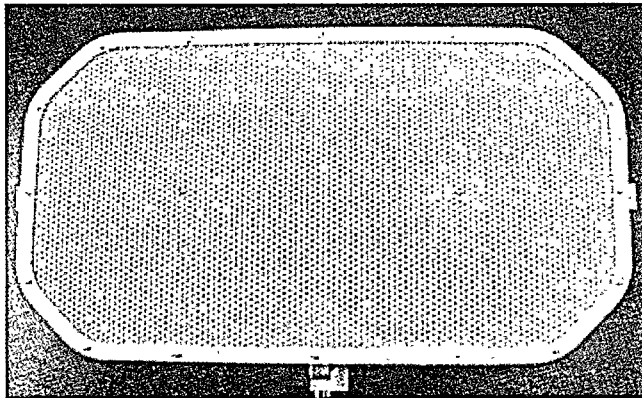


Fig.2 Sound source (LRAD Corp., LRAD-300X)

Fig.1 に示す。振源から発した音波によりコンクリート壁面を励振し、その振動速度の垂直成分を SLDV (Polytec Corp., PSV400-H4) により二次元的に計測する。もしコンクリート壁面下に空隙などの欠陥が存在していた場合、その欠陥上と健全部の振動特性は明らかに異なるため、振動速度分布映像から欠陥位置を特定することが出来る。また、埋設物からの強い応答が見られる周波数帯を応答周波数帯と呼び、送振波形には欠陥部の応答周波数帯を含んだ波形を使用する必要がある。

2.2 振源

本研究では、振源に Long Range Acoustic Device (以下 LRAD と略す) を使用する (Fig.2 参照)。LRAD (LRAD Corp., LRAD 300X) は非常に鋭い指向性を持ち、遠距離でも大音圧を出力する事が出来る軍用規格のスピーカーで、米軍や世界各国の軍隊、警察、消防機関に導入されている事で有名である。過去の地中探査研究では平面スピーカ (FPS Corp., FPS2030M3P1R) という、比較的指向性の高いスピーカを使用していたが、今回 LRAD を用いる事により、飛躍的に広域にわたる探

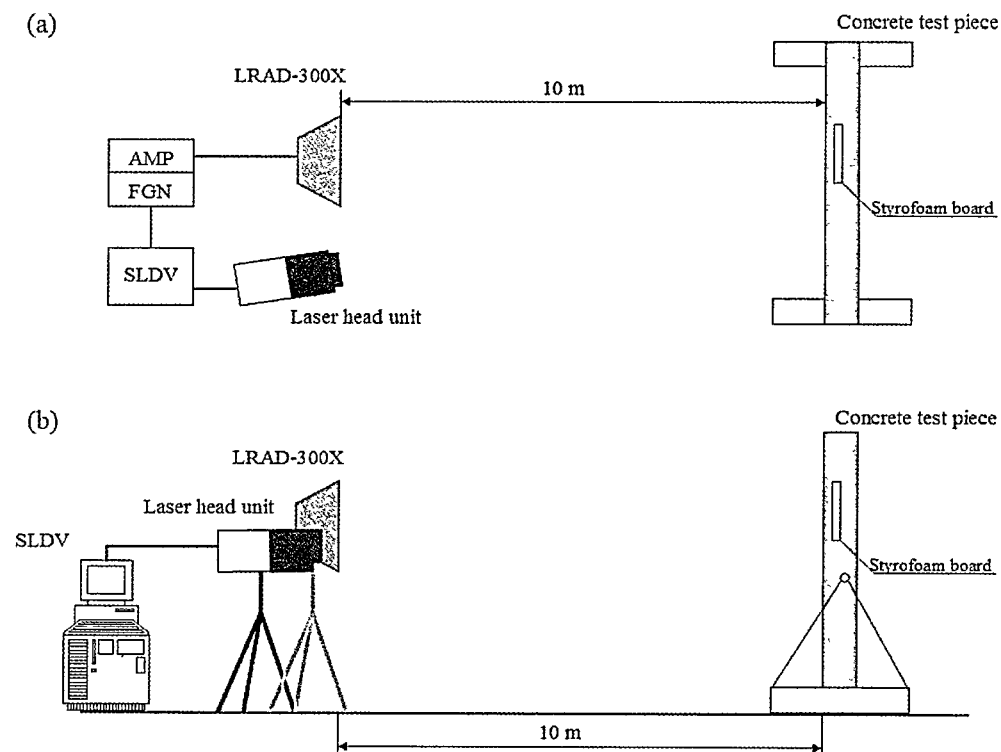


Fig.3 Experimental setup for long distance. (a)Top view, (b) Side view.

査が可能になると期待される。

3. 実験概要

3.1 実験セットアップ

Fig.3 に実験セットアップ図を示す。供試体と振源である LRAD は 10 m に設定した。発生音圧を最大限に活かすため、LRAD はコンクリート供試体に対し正対させている。その為、SLDV のレーザ照射はやや斜めからの角度となる。供試体の大きさは $150 \times 200 \times 30$ cm と加振の際に系全体が振動しないよう大型に製作した。供試体内部には厚さ 25 mm、寸法が 100, 200, 300, 500 mm 角の発泡スチロール板が深さ 25, 50, 75 mm の位置にそれぞれ合計 12 種類の空洞欠陥として埋設されている。出力音圧はコンクリート表面付近で 110 dB で、スキャンポイント数は合計 195 ポイント。1 ポイントあたりの測定時間

は 2 秒で、1 回の測定時間は約 10 分程度である。具体的な探査手順としてはまず、探査用に広い周波数帯域を持った Chirp 波を送振し、欠陥部の応答周波数帯を確認する。次にその応答周波数帯に帯域を絞った Chirp 波を再度送振することで欠陥部からより強い応答を得るという流れである。

3.2 遠距離探査実験結果

まず、300 mm 角、深さ 50 mm の欠陥を対象に測定を行った。測定より得られた欠陥部の応答周波数帯の輝度映像結果^[3]を Fig.4 に示す。探査用のリニアアップチャープ (500-4200 Hz) を送振した結果、2 kHz 周辺に応答があったため、帯域を絞った Chirp 波 (1800-2400 Hz) を送振した。Chirp 波 (1800-2400 Hz) 送振時の SLDV の振動速度分布の映像化例を Fig.5 に示す。この映像から埋設物中心での綺麗なたわみ振動が見てとれる。この

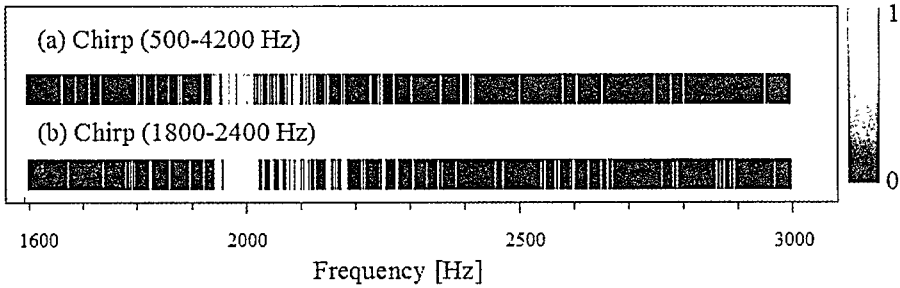


Fig.4 Brightness image of the response frequency range.
 (a) Chirp (500-4200 Hz), (b) Chirp (1800-2400 Hz).

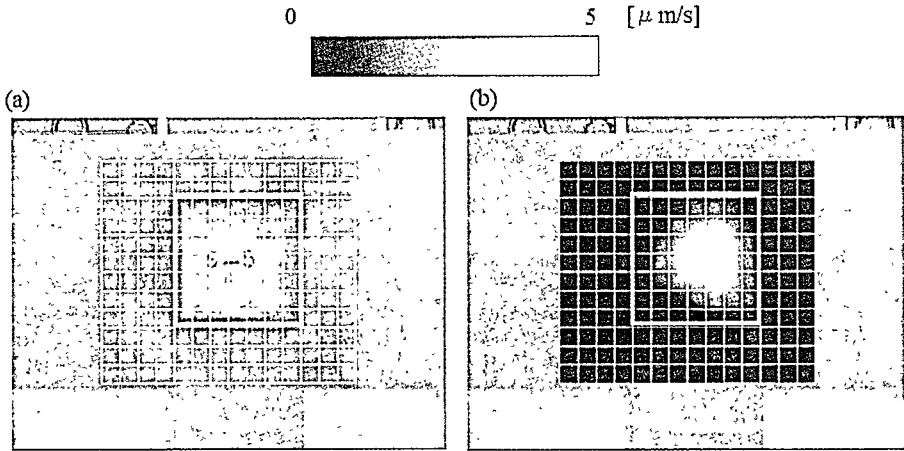


Fig.5 Experimental result. (a) Scan area and position of the buried object by CCD,
 (b)Imaging result by SLDV. Output wave : Chirp(1800-2400 Hz) Imaging frequency 2004 Hz.

結果から、10 m の離隔においても、欠陥の検出が可能であることを確認した。

3.3 検出可能な平面規模及び深さについて

供試体に埋設された様々な寸法、深さの欠陥を対象に探査を行い、検出可能な平面規模及び深さについて検討を行った。深さ 50 mm、300 mm 角の対象測定時の欠陥部と健全部を比較した振動速度スペクトルを Fig.6 に示す。この図から、2 kHz あたりで強い応答がある事がわかる。このように、健全部と欠陥部で明確に差が見られる卓越周波数を持つ対象を検出可能とし、まとめたものを Table 1 に示す。深さ 25 mm の対象は全て検出可能であったが、50 mm の場合、100 mm 角の対象には卓越周波数は見られず、深さ 75

Table 1 Summary of the experiment results.

Propriety	Depth(mm)	Size(mm)
○	25	500×500
○	25	300×300
○	25	200×200
○	25	100×100
○	50	500×500
○	50	300×300
○	50	200×200
×	50	100×100
○	75	500×500
×	75	300×300
×	75	200×200
×	75	100×100

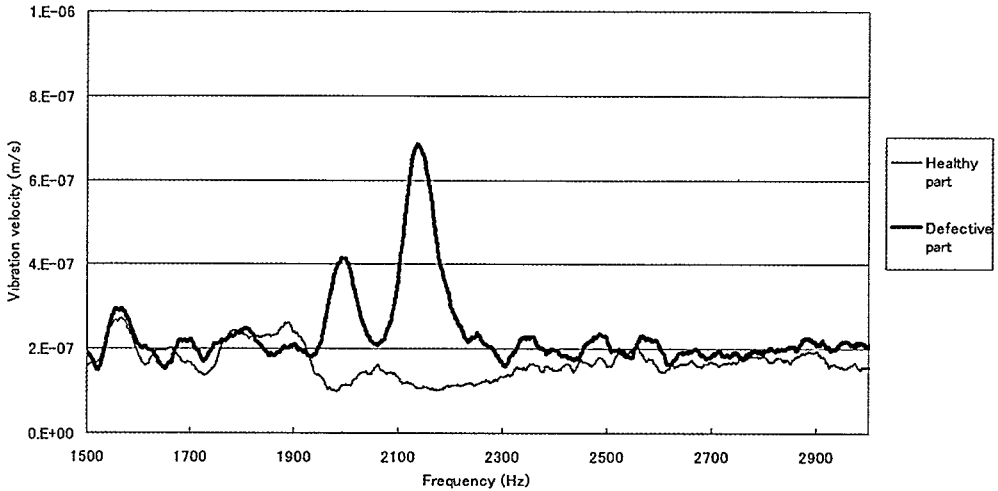


Fig.6 Example of vibration velocity spectrum which compared with defect and healthy part.

Brightness imaging result
Output wave : Chirp (1800-2200 Hz)

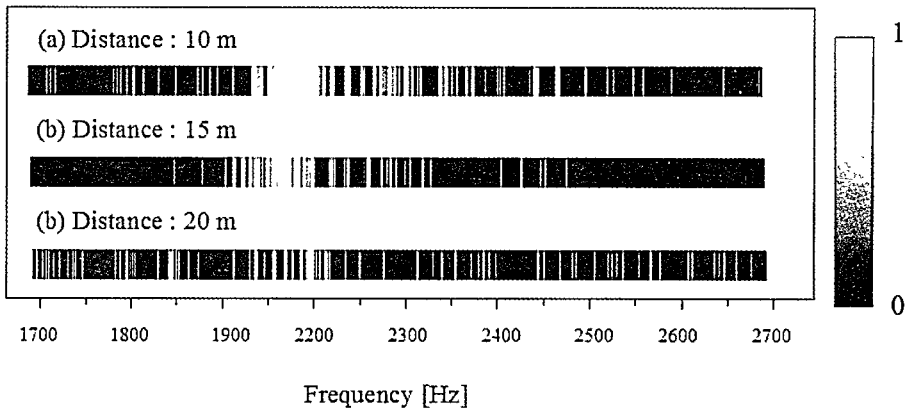


Fig.7 Brightness image of the frequency response of the vibration velocity. The distance between a concrete test piece and a LRAD is (a) 10m, (b) 15m and (c) 20 m.

mmのものに関しては一番大きな500mm角のものは検出出来た。これらの結果から、検出可能な深さと大きさの関係は、平面規模が小さくなるほど検出可能な深さも浅くなる傾向があると思われる。

3.4 最大測定距離の検討

更に、本手法における最大測定距離を検討するため、前節の実験で用いたコンクリート供試体を使って実験を行った。測定は10

m、15 m、そして20 mと振源とコンクリート供試体間を離隔して行った。出力した音圧はコンクリート表面付近で約120 dBである。Fig.7に距離別の欠陥部の応答周波数帯の各輝度映像化結果を示す^[4]。距離を離すにつれ、応答周波数帯が微弱になっていっている事がわかる。これは、SLDVのレーザ受信感度が落ちているためと思われる。SLDVの振動分布映像と併せて見ても、20 mでは応答がかなり弱くなっていた。したがって、本手

法における最大測定距離は 20 m 以内にあると思われる。

4. まとめと今後の課題

本研究ではコンクリート表層部の非接触かつ定量的な検査手法として SLDV と空中放射音波を用いた探査法を提案した。今回の実験結果から、10 m 離隔した条件でも欠陥の検出が行えることを確認した。また、検出可能な深さは 75 mm 未満であり、欠陥の平面規模が小さくなるほど検出可能な深さも浅くなるということがわかった。さらに現状の最大測定可能距離が 20 m 程度以内にあると思われる。今後の課題としては、今回埋設した発泡スチロールは 25 mm のものだったが、現実的にあり得るコンクリート内部のクラックを想定した供試体の製作及び探査実験を行い、今回と同様に検出可能かどうか検討する。更にレーザヘッドの防振対策や、欠陥検出アルゴリズムの開発そして測定機器の角度依存性についても検討を行っていく予定である。

謝辞

本研究は平成 21 年度の JST シーズ発掘試験 (A) 「長距離音響発生装置を用いた極浅層地中探査システムの開発と応用」および平成 22 年度の国土交通省 道路政策の質の向上に資する技術研究開発 (FS 研究) 「非破壊検査のための非接触音響探査法についての研究開発」の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 島田他, 土木学会第 65 回年次学術講演会予稿集 pp327-328 (2010.9)
- [2] T.Sugimoto and T.Abe. Jpn.J.Appl.Phys., Vol.50, 07HC18 (2011.9)
- [3] T.Abe and T.sugimoto, Jpn.J.Appl.Phys., Vol.49,07HC15 (2010.7)
- [4] 赤松, 杉本, 音響春季講論集, 1569, 3-8-7, (2011.3)