

レーザー超音波によるコンクリート内部欠陥の計測技術

鹿島建設	正会員	○露木	健一郎
鹿島建設		片村	立太
鹿島建設	正会員	三浦	悟
東北大学		浅沼	宏

1. 目的・概要

インフラ構造物の大更新時代を控え、構造物の健全性を調査・点検する技術の重要性は、今後さらに高まると予想される。しかし現状の調査点検は、依然として調査員の主観に頼った労働集約的な手法により行われることが多く、より定量的で効率的な検査技術の開発が急務と言える。

非接触の加振及び測定が可能という従来手法にない特長をもつレーザー超音波法に着目し、効率的で定量的な健全性調査技術を開発することを目的として、レーザー超音波の速度分散解析に基づく内部欠陥の計測技術を考案した。本稿では、その適用可能性を実験的に検討した結果について報告する。

2. レーザー超音波

パルスレーザーをコンクリート表面に集光して照射すると、照射点では温度上昇あるいはアブレーション（原子の噴出）が生ずる。このとき、熱ひずみあるいは衝撃波の反作用によりコンクリート中に超音波が発生することが知られており、この超音波を光学式の振動計で測定することにより、非接触で加振と受振を行う非破壊検査が可能である。この技術はレーザー超音波法と呼ばれ、近年注目されている¹⁾。レーザー超音波法では、測定対象内部への超音波送受信のための音響結合材料が不要であり、また測定される超音波波形の再現性も高いため、大規模構造物などの広範囲を面的かつ高精度に調査できる可能性がある。

3. 実験装置・供試体

実験装置の配置を図-1に示す。超音波の発生には、パルスあたりのエネルギーが大きいTEA CO₂レーザー（波長 10.6μm、最大 4J/pulse）を用い、アームにより供試体上に導光した後、レンズ（焦点距離 200mm）によりコンクリート表面に集光・照射し超音波を発生させた。超音波の測定には、レーザードップラ振動計（最大測定周波数 2MHz）を用い、その振動速度波形はデジタルオシロスコープにより加振用パルスレーザーの照射に同期して積算平均後、記録した。

空洞など、コンクリート構造物の内部欠陥検知に関する適用可能性を検討するため、発泡スチロール製の薄板（150×150×10mm）を所定の位置に埋設した供試体を作製し、実験に供した。供試体の概要を図-2に示す。また、本手法を用いて検知可能な欠陥の深さを検討するため、深さの異なる3種類の模擬欠陥部を設けた（欠陥部A～Cと記載）。

4. レーザー超音波の速度分散解析

供試体の健全部と欠陥部に対するレーザー超音波の時間波形を比較したところ、表面波到達後の波形に違いが見られたため、また振幅が大きく検出が比較的容易な表面波に着目することがS/Nの点でも有利であることから、表面波の速度分散に基づく速度構造推定技術である多チャンネル解析法²⁾を適用した。



図-1 実験装置の配置

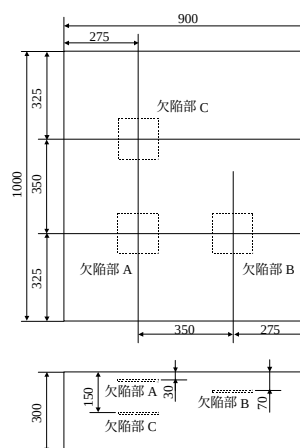


図-2 供試体の概要

キーワード レーザー超音波, 空洞, はく離, 速度分散, 非接触, 非破壊検査

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設（株）技術研究所 TEL 0424-85-1111（代）

速度分散解析の適用に際して健全部、欠陥部を表すモデルは図-3 のように仮定した．実験では本図のように，加振点を固定して，等間隔の多点で超音波を測定した．供試体の縦波速度（3750m/s），横波速度（2340m/s）は，ポアソン比を 1/6 と仮定した上で，表面波位相速度の実測値と解析値が高周波領域で一致するように決めた．

5. 実験結果

多点で測定したレーザー超音波波形を図-4 に示す（受振点の最小間隔 2mm，最大間隔 150mm）．図中で波の到来を明瞭に確認できる部分が表面波である．これらの速度波形群 $v(t, x_n)$ からフーリエ変換により周波数領域のスペクトル群 $V(\omega, x_n)$ を求め，ある仮定した位相速度との相関の強さを周波数領域で求めたものが図-5 に示す位相速度の分散曲線である．

図-5 は欠陥部 A（欠陥深さ 30mm）について求めた分散曲線であるが，約 70kHz 以下の周波数領域において位相速度の大きいモードと小さいモードの存在が確認できる．これらは図-3 に示す欠陥部（空気層）の上部を伝搬する板波の分散曲線と良く一致する．健全部で求めた分散曲線（図-6）と比較すると，これらモードの変化から欠陥の存在を判別できる．

空洞深さの検知性能を検討するために，図-3 に示す欠陥部のモデルにおいて供試体厚さ h をパラメータとして分散曲線を求め，実験値から得た分散曲線とのフィッティングを行った．結果を図-7 に示す．図中に黒丸で示す実験値は，図-5 のコンターから極大値を抽出したものであり，この実験値と供試体厚さ h をパラメータとして求めた分散曲線の一致度が最も高くなる時の h を空洞深さの推定値とした． h は 33mm と求められ，高い精度で空洞深さを推定できることが確かめられた．同様の検討を欠陥部 B, C についても実施したところ，欠陥部 B は誤差 14% 程度で検出できたが，欠陥部 C は検出困難であった．より深い欠陥を検出するためには，受振点の最大間隔を広げることなどが考えられる．

6. まとめ

コンクリート内部欠陥の有無・深さの検知技術として，レーザー超音波の速度分散解析に基づく手法を考案し，欠陥模擬試験体による実験を行い，その有効性を確認した．欠陥深さを高精度に計測可能であることが分かった．

参考文献

- 1) 例えば，山中：レーザー超音波法の原理と応用，非破壊検査，Vol.49，2000 年，第 49 巻 5 号，pp292-299
- 2) Park, et al.: Multichannel analysis of surface waves, Geophysics, 64, 1999, pp800-808

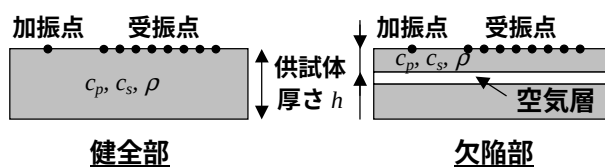


図-3 2次元解析モデル

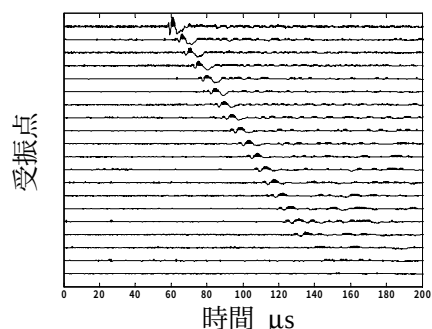


図-4 測定した波形群（欠陥部 A）

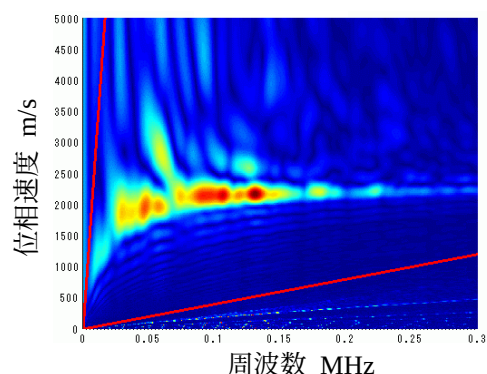


図-5 位相速度の分散曲線（欠陥部 A）

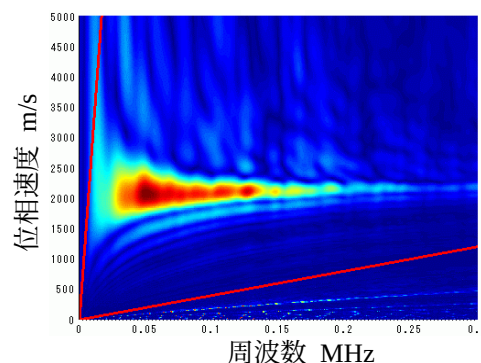


図-6 位相速度の分散曲線（健全部）

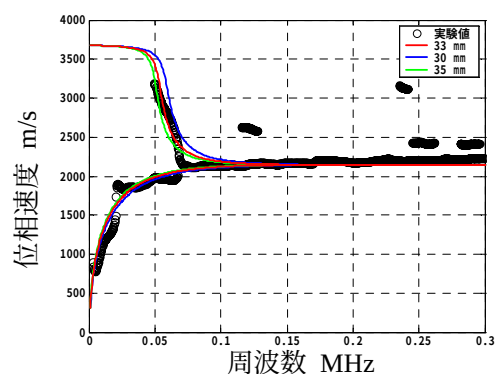


図-7 分散曲線による空洞深さの推定