

レーザー超音波によるコンクリート剥離欠陥検出

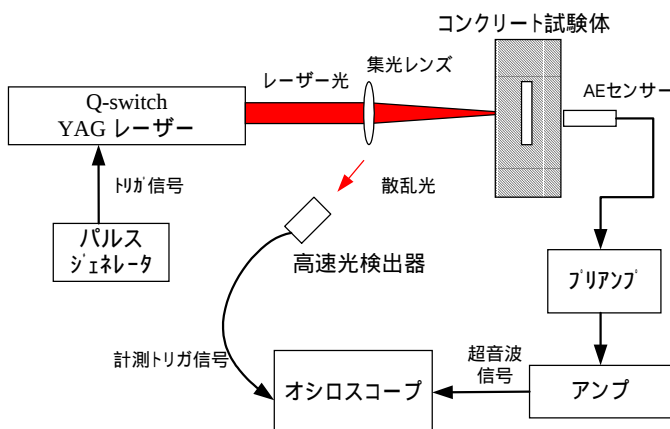
川崎重工業 正会員 ○ 玉木 利裕，西尾 研二
安田 耕三，早川 明良
土木研究所 正会員 河野 広隆，渡辺 博志

1.はじめに トンネルや高架橋などのコンクリート構造物で，施工不良，経年劣化を原因とする剥離欠陥が生じており，中には剥離塊が落下する事故も発生している．多くの土木構造物で，ハンマーによる打音検査が行われているが，検査結果が客観性に乏しい，高所では足場や高所作業車を必要とする，作業効率が低いなどの問題点がある．コンクリートを対象として音響，電磁波，温度，超音波などを用いた非破壊検査が研究されているが，検査作業の効率を向上するためには非接触の手法が不可欠と考えられる．

筆者らは，非接触で欠陥検出が可能と考えられるレーザー超音波のコンクリート構造物への応用を検討している．本論文では，コンクリートを対象としたレーザー超音波計測試験を行い，その結果に基づき，欠陥の有無による波動伝播時間の相違に着目した欠陥検出方法について述べる．

2.コンクリートを対象としたレーザー超音波計測試験 レーザー超音波は固体に極めて短い時間のパルスのレーザーを照射したさいに，局所的な熱応力，化学反応による圧力変化が生じ，弾性波動が発生する現象で，金属材料を対象に材厚の精密計測，欠陥検出などへの適用が検討されている．コンクリートを対象としたものでは，例えばOwino¹⁾らのレーザー超音波により生じた，モルタルの超音波波動伝播の減衰性についての研究，山中²⁾らのタイルの剥離の検出に利用する研究などがあり，超音波の計測についても非接触の手法が用いられている．このように，レーザー照射により発生した超音波を計測し，その伝播特性を評価することによりコンクリートの内部欠陥検出が可能になると考えられる．

ここでは，図 - 1 に示すように，コンクリートを対象にQ-スイッチYAGレーザーおよび接触式超音波探傷子(AEセンサー)を用いて，計測を行った．計測にあたって，レーザー照射に同期してデータ収録を行い，S/N比をあげるために16回の重ね合わせ平均を行った．試験体は，図 - 2 に示すように寸法：100×300×300mm，模擬欠陥として，50,100,150mm角のビニールシート，発泡スチロール板（厚2mm,5mm）を表面から10,20,40mmの位置に埋め込み標準養生を行って製作した．用いたセメントは早強セメントである．



図—1 計測試験装置の構成

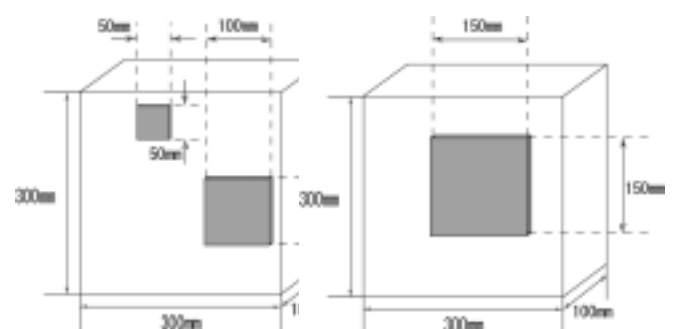


図 - 2 コンクリート試験体

キーワード：レーザー超音波，非破壊検査，剥離欠陥

連絡先：〒278-8585 千葉県野田市二ツ塚 118 番地，Tel:04-7124-0466，Fax.: 04-7124-5917

計測結果の一例として、表面からレーザーを照射し、裏面に取り付けた超音波探傷子によって計測したときの、欠陥の有無による超音波波動の相違を図 - 3 に示す。同じ点にレーザー照射し、同じ点で計測した超音波波動伝播時間は無欠陥の場合に比べて、剥離欠陥がある場合の方が長くなっており、その理由として欠陥による回折が考えられる。すなわち、図 - 4 に示すように、レーザー照射点から欠陥境界を經由してセンサーに至る伝播経路の内最短となる経路をとる。ただし、模擬欠陥としてビニールシートを用いた場合には、欠陥の有無による伝播時間の差異はほとんど見られない。

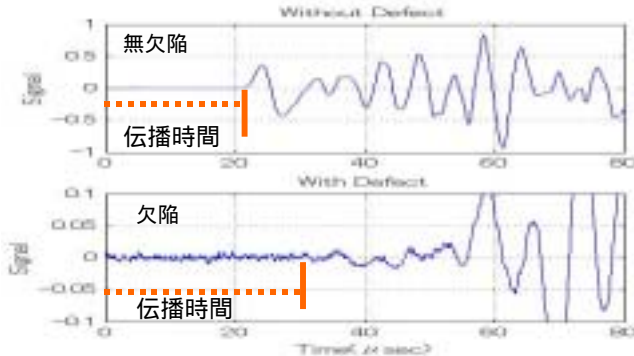


図 - 3 超音波波動計測例

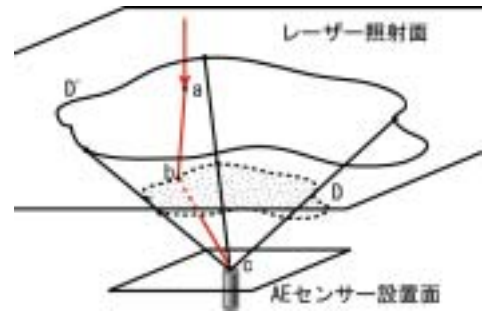


図 - 4 剥離欠陥がある時の超音波伝播経路

3. 剥離欠陥検出方法 剥離欠陥によって、回折が生じ伝播距離が変化する事を利用して、次のように欠陥を同定する方法を検討した。(1)コンクリートのP波速度を求めておく。(2)多数の点でレーザーを照射し、超音波の伝播時間を計測し、伝播距離を評価する。(3)剥離欠陥を表すパラメータ（例えば寸法、形状、深さ）を設定する。(4)各照射点からの伝播距離計測値との誤差が最小となるような欠陥パラメータを次の逆解析手法により求める。例えば欠陥Dを2辺が $a \times b$ の長方形と仮定し、その中心(X_c, Y_c)、深さ d 、回転角 θ に配置されたとする。レーザー照射点 $a(x_i, y_i)$ から、センサー設置点 $c(X_s, Y_s)$ までの超音波伝播距離 $\tilde{L}$ は、欠陥領域Dを点cを中心として拡大した像をD'として、次のように表わされる。

$$\tilde{L} = \begin{cases} \min(\overline{ab} + \overline{bc} \mid b \in \partial D) & (a \in D') \\ \overline{ac} & (a \notin D') \end{cases} \quad (1)$$

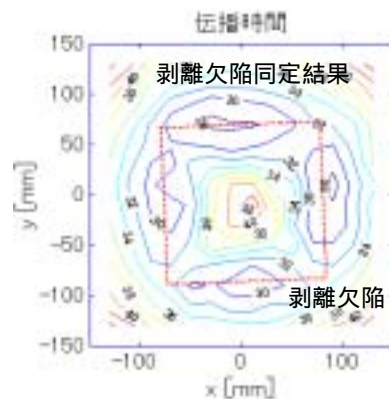
計測値と計算値の差のノルム

$$\varepsilon = \|\tilde{L}(x_i, y_i; a, b, X_c, Y_c, d, \theta) - L(x_i, y_i)\| \quad (2)$$

を最小にするような欠陥パラメータ

$P = \{a, b, X_c, Y_c, d, \theta\}$ を求めることができる。

このようにして、計測値から剥離欠陥を評価した例を図 - 5 に示す。検出した欠陥はやや大きめの寸法となっているが、妥当な結果となっている。



同定結果

計測	欠陥寸法	深さ
1)	155.6 152.6	6.0
2)	164.0 161.0	16.7
3)	165.2 162.2	18.8

実際の欠陥寸法は 150 角

深さは 1) では 10

2), 3) では 20

単位: mm

図 - 5 長方形剥離欠陥同定結果

4. おわりに コンクリートの剥離欠陥検出へのレーザー超音波の適用について、計測試験結果とともに示した。レーザーにより発生した超音波の伝播時間を計測することにより、剥離欠陥の大きさ、深さを検出することができることを示した。超音波をレーザー干渉計など非接触手法で計測すれば、非接触・非破壊の検査手法を構築可能と考えられる。

参考文献

1) Owino J.O. et al. 'Attenuation Measurement in Cement-Based Materials using Laser Ultrasonics', ASCE J. of EM, pp.637-647, 1999. 2) Yamanaka K. et al., 'Low Frequency Laser Ultrasound under 100kHz', proc. of Nondestructive Characterization of Materials X, pp.315-323, 2001