

大阪大学工学部 学生員 ○門田 篤
大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎

佐賀大学大学院工学系研究科 正会員 内田 慎哉
大阪大学大学院工学研究科 学生員 加藤 大基

1. はじめに

コンクリート内部の接触界面（ひび割れ）の評価手法の 1 つに超音波法がある。この手法では、図 1 に示すひび割れが完全に開口した状態のひび割れが評価対象となる。そのため、ひび割れ面が接触した状態のひび割れ（図 2 参照）を評価することは困難である。

これに対して、金属分野においては、鋼材における閉口したひび割れの評価に対して、超音波の非線形性を活用した手法（「非線形超音波法」）に関する研究が行われている¹⁾。非線形超音波法は、大振幅の超音波を入射し、閉口したひび割れ部分を強制的に開閉口させ、この開閉口振動をセンサで計測することにより、閉じたひび割れを評価する手法である。具体的には、閉口したひび割れを弾性波が透過すると、透過波形に「ひずみ」が生じ、これに伴い受信波の周波数スペクトル上に入射周波数の整数倍の位置にピーク（「高調波」）が出現する。これらを評価指標とすることで、閉口したひび割れを評価することが可能となる。しかしながら現状では、コンクリート分野へ非線形超音波法を適用した事例はほとんど無い。

そこで、本研究では、非線形超音波法に着目し、コンクリート中の接触界面における非破壊評価への非線形超音波法の適用可能性について把握することを目的とした。実験では、モルタル供試体 2 体を突き合わせた際に形成される界面の接触状態の違いが「受信波形」および「高調波成分の出現」に与える影響についての検討を行った。

2. コンクリート用非線形超音波法装置の概要

本研究で製作した非線形超音波法装置を写真 1 に示す。この装置は、金属分野における汎用装置を、コンクリートへ適用できるように改良したものである。主な改良点としては、コンクリート中における弾性波の減衰を考慮して、印加電圧の最大値：1800V とし、入力周波数の帯域：20kHz～1MHz、受信周波数の帯域：15kHz～20MHz の間でそれぞれ設定できるものとした。

3. 実験概要

3.1 供試体

写真 2 に供試体を示す。供試体は、100mm×100mm×50mm の寸法のモルタル（W/C=50%）を 2 体作製した後、両者の各 1 面（100mm×100mm）をそれぞれ突き合わせることで閉口したひび割れを模擬したものである。閉口するひび割れ部分（突き合わせ面）には、超音波探傷試験で使用される接触媒質と滑石を主原料とするタルカムパウダー（以降、パウダー）をそれぞれ介在させ、接触界面の状態に 2 ケース設けた。すなわち、接触媒質の場合は界面状態が「密着」であると考えられ、パウダーでは「微小空隙」を想定している。

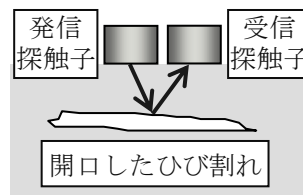


図 1 開口したひび割れ

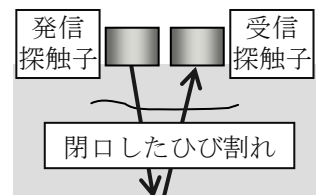


図 2 閉口したひび割れ



写真 1 新たに製作した非線形超音波法装置

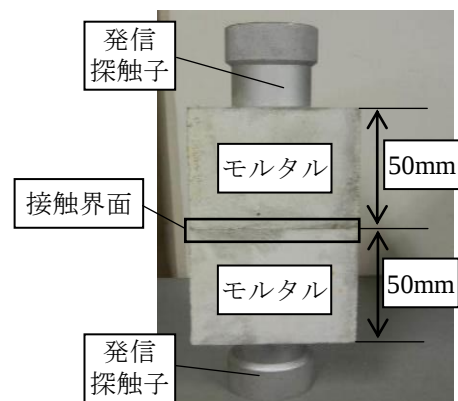


写真 2 供試体および計測概要

3.2 非線形超音波法による計測

計測状況を写真 2 に示す。供試体上面にはコンクリート用超音波発信探触子を、下面には受信探触子をそれぞれ設置した。探触子の中心周波数はいずれも 500kHz である。写真 1 に示す非線形超音波装置により周波数 300kHz の正弦波を 10 波生成させた。発信探触子を介してこれをトーンバースト波としてコンクリート中へ弾性波を発信させ、コンクリート中を伝搬した弾性波を下面に設置した探触子で受信した。

4. 実験結果および考察

4.1 受信波形

図 3 に入射波の波形を、図 4 には介在物が接触媒質の場合に受信した波形をそれぞれ示す。いずれの波形も、取得した全波形の一部を拡大したものである。接触媒質を透過した受信波形は、入射波のそれと比較すると、波形の一部にひずみが生じていることが確認できる（図 4 中の○）。なお、パウダーの場合も波形にひずみが生じていた。

4.2 周波数スペクトル

図 5 および図 6 に、入射波および接触媒質を透過した受信波の周波数スペクトルをそれぞれ示す。入射波の周波数スペクトルには、装置で設定した入射周波数である 300kHz に単独のピークが出現している。これに対して、接触媒質の場合では、入射周波数以外に入射周波数の 2 倍および 3 倍の周波数の位置にもピーク（高調波）が出現していることがわかる（図 6 中の矢印）。

4.3 高調波スペクトル強度

周波数スペクトル上に出現した高調波成分を数値データとして表現し、接触界面の接触状態の違いを定量的に評価するために、「高調波スペクトル強度比」を算出した。これは、入射波の周波数スペクトル上で出現したピーク（入射周波数）の強度に対する 2 次および 3 次の高調波成分の強度を加えたものの比として定義した。各介在物において算出した高調波スペクトル強度比を図 7 に示す。接触媒質のスペクトル強度比がパウダーのそれよりも大きくなった。接触界面の状態が「密着」している場合は、「微小空隙」の場合と比較して、透過する弾性波による界面の開閉口振動が大きくなり、高調波がより励起されたものと考えられる。

5. まとめ

1) コンクリート用に新たに製作した非線形超音波法装

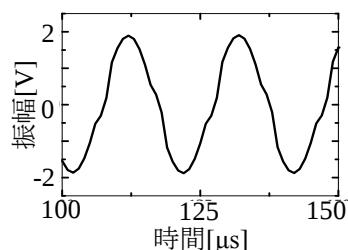


図 3 入射波形

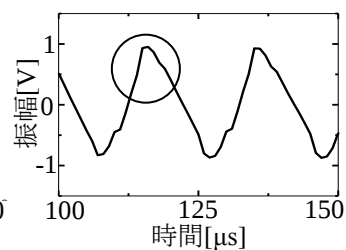


図 4 受信波形（接触媒質）

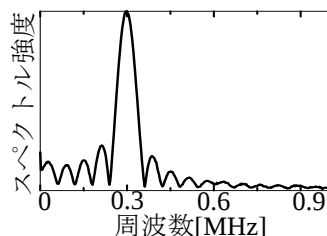


図 5 入射波形の周波数スペクトル

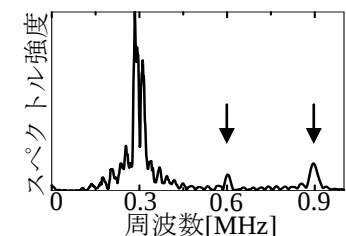


図 6 受信波形の周波数スペクトル（接触媒質）

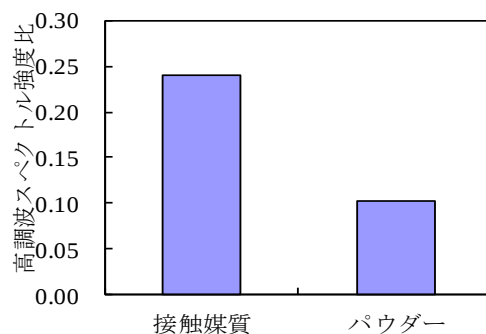


図 7 高調波スペクトル強度比

置を用いることで、モルタル供試体の接触界面において、「受信波形のひずみ」および「高調波成分が出現」することを明らかにした。

- 2) 「高調波スペクトル強度比」は、接触界面における接触状態の違いにより変動する評価パラメータであることもわかった。
- 3) 以上より、非線形超音波法のコンクリート分野での適用可能性が示唆された。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究 24656271）の援助を受けて行なったものである。また、非線形超音波法装置は、インサイト株式会社の協力により製作したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 例えば、林高弘ら：ポンピング波によるき裂開閉口を利用した非線形超音波非破壊検査，非破壊検査，第 58 巻，5 号，pp.196-201，2009