

接触亀裂面の弾性波伝播特性に関する実験的研究

東北大学工学部 学生員 安部 将哉
東北大学大学院 正 員 京谷 孝史
東北大学大学院 正 員 寺田 賢二郎
東北大学大学院 正 員 加藤 準治

1. はじめに

社会基盤として非常に多くのコンクリート構造物が存在しているが、定量的な検査基準や方法が現在も確立されていない。中でもトンネルの維持管理の現状として、変形やひび割れが発見されて初めて対処を行う場合が多い。この点検には目視検査と打音検査を組み合わせた方法が広く用いられているが、内部の変状を正確に把握することが困難であり、より定量的な健全度評価手法の確立が求められている。そこで本研究では、覆工コンクリートの定量的な健全度評価手法の確立を目的として、衝撃弾性波法に着目し、弾性波試験による結果とEFIT(動弾性有限積分法)を用いた数値解析の結果から、亀裂面を透過する弾性波の伝播特性を調べた。

2. 実験方法

亀裂の入った直方体の供試体側面に図-1の様に8個の加速度センサーを取り付け、鋼球と棒を組み合わせたハンマーで軽く打撃し、弾性波を発生させた。各加速度センサーで得られた弾性波のデータから、伝播の様子やその変化について検討を行った。

供試体は計4種類である。材質が石こうとセメントモルタルの2種類、加えてそれぞれ2種類のサイズ(サイズA:10cm×10cm×40cm, サイズB:15cm×15cm×52cm)のものを作成した。加速度センサーは図-1のように一直線に一定間隔で取り付け、端から順にch-1からch-8とした。センサーの取り付け間隔はサイズAの供試体で4cm, サイズBの供試体で6cmであり、ch-4とch-5のちょうど中間に亀裂面がくるように加速度センサーを配置する。また実験の際には圧縮機を用いて図-2の様に供試体の両端に圧縮力をかけ、亀裂面にかかる圧力を100kPaから900kPaまで200kPaごと5段階に変化させて実験を行った。

弾性波の入力は直径10mmと直径20mmの鋼球による打撃と、任意波形発生装置を用いて発生させたパルス波の3パターンである。この時、任意波形発生装置は、生じる弾性波の中心周波数が50kHzとなるよう設定した。

入力位置は図-2の様なch-1近傍と、ch-3とch-4の間である。まずch-1近傍で入力する目的は、ch-1からch-8へと進んでいく弾性波の振幅等の減衰の様子や波速の変化を観察することである。またch-3とch-4の間での入力は、亀裂面や端部で生じる反射波の影響ができるだけ小さいようなデータをとるためである。サンプリング数は1 μ sec

ごと10,000ポイント, 計10msecとした。

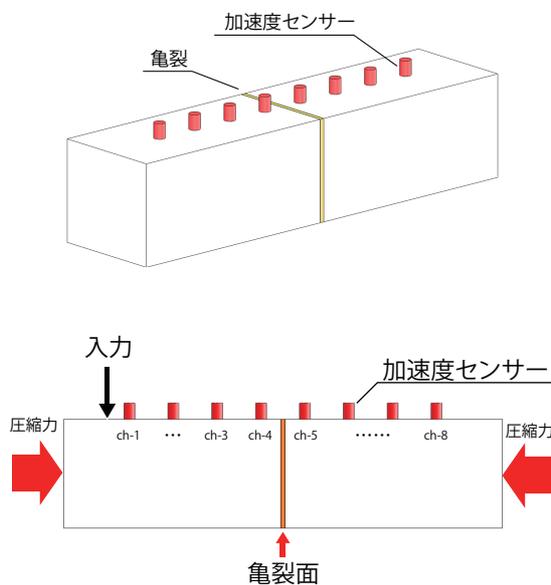


図-2 実験図

3. データの整理

波速, 振幅, 周波数スペクトルに着目して整理した。波速については, 各加速度センサー間での第一波の到達時間の差と, 加速度センサーの距離から, センサー間の平均波速を求めた。それらを理論値と比較したり, 亀裂前後での変化などを見た。

振幅については, 各加速度センサーがとらえた第一波の振幅を比較した。波速と振幅に関してはch-1近傍で入力を行ったデータを用いた。

フーリエ周波数スペクトルには, ch-3とch-4の間で入力を行ったデータを用いた。また高速フーリエ変換する加速度データは, 逆方向へと進行していった表面波が供試体端部で反射し, 再びch-4に到達する直前の時間までのものとした。これはできるだけ反射波の影響を取り除いたデータを使用するためである。

4. 実験結果

波速について, 図-3は石こう供試体に鋼球で入力を行った場合である。亀裂面で波速は低下しているものの, 亀裂部以外での変化と比較した際, 特別大きな変化をしているとは言い難い。本来固体中の弾性波の波速は一定であるが, 計算で求めた波速が増減していることに関し, 測定時の加速度センサーの取り付け位置のずれや, データ処理時, 亀

裂透過の際に波形が乱れていたことで、弾性波の亀裂透過後の第一波到達時間を正確にピックアップできていない場合があったことも要因であると考えられる。セメントモルタル供試体の場合、亀裂透過後の波速の乱れや、亀裂面での波速の変化はさらに顕著である。

振幅については、上と同様に石こう供試体に鋼球での入力を行った場合を図-4に示す。鋼球で入力した他の場合に関しても、振幅は次第に増加していく傾向が概ね見られた。またパルス波を入力した場合、逆に振幅は減少していった。石こう供試体に比べ、セメントモルタル供試体はどの方法で入力を行った場合も亀裂面の前後で振幅が減衰しており、供試体にかかる圧力が大きくなるにつれ、亀裂面での振幅の減衰が多少小さくなっていく傾向も見られた。図-5はセメントモルタル供試体において、パルス波の入力を行った場合である。図-5と図-4を比べた場合、図-5では振幅が次第に減少し、亀裂面を挟むch-4とch-5の間で、その前後よりもさらに大きく減少している様子が見て取れた。

図-6に、石こう供試体に鋼球で入力した場合のフーリエ周波数スペクトルの分布を示す。亀裂前後でスペクトルの変化を比較すると、供試体の材質・サイズ、弾性波の入力の方法に関係なく、亀裂透過後のch-5でスペクトルが大きく減衰しており、鋼球の打撃による入力の場合、供試体にかかる圧力が増えることでスペクトルの減衰が小さくなっていく傾向も見られた。しかしパルス波の場合、亀裂面でスペクトルは減衰するものの、供試体にかかる圧力と減衰との関係性をはっきりと見ることはできなかった。

5. EFITによる数値解析

実験で使用した供試体と同じサイズのモデルを3次元CADで作成し、1辺が2mmの立方体要素にメッシュ分割した。入力波の入力位置と解析位置は、それぞれ上記の実験での入力位置と加速度センサーの取り付け位置と同様である。入力波の波形データは、中心周波数15kHzのリッカー波とした。これは、亀裂の入っていない健全な供試体を用いて上記の実験を行った場合の結果から、10kHzから20kHzの周波数帯に、他の周波数よりも比較的卓越したスペクトル強度を持つ周波数が多くみられたためである。また亀裂面のモデル化であるが、亀裂面は立方体要素2層分でヤング率を低下させた弱層とし、そのヤング率として健全部の1/2, 1/10, 1/50の3パターンを設定した。健全部と弱層の境界面が連続している点で実際の亀裂とは異なり、亀裂の密着度合の変化が弾性波に与える影響を、弱層の強度を変化させることで表現できるのか否かについても検討した。結果は実験と同様に整理する

6. 終わりに

今後は供試体にかかる圧力との関係をさらに詳しくまとめていく。また数値解析の結果を踏まえ、反射波による影

響や、実際の亀裂と弱層における違いを検討中である。得られた追加の結果に関しては当日発表する。

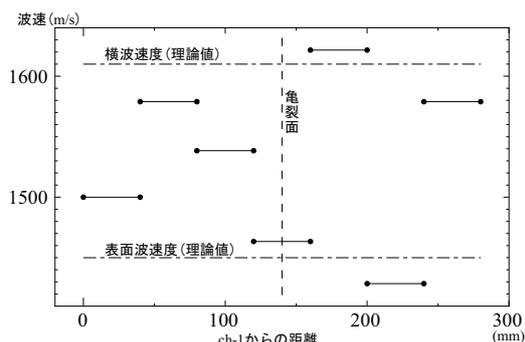


図-3 ch-1からの距離-波速

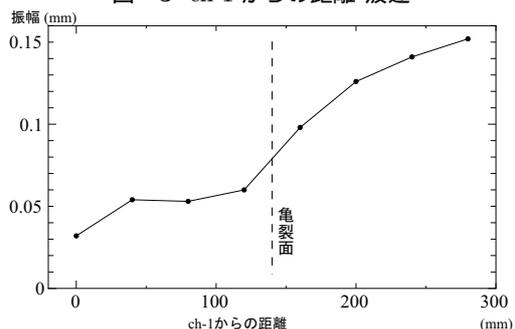


図-4 ch-1からの距離-振幅

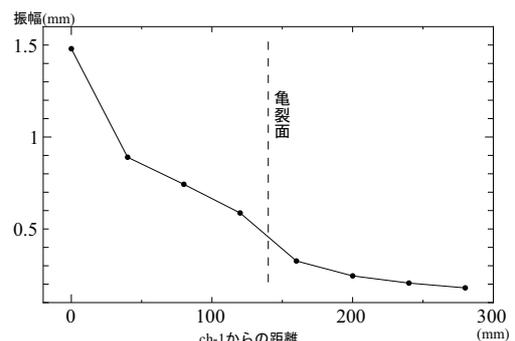


図-5 ch-1からの距離-振幅

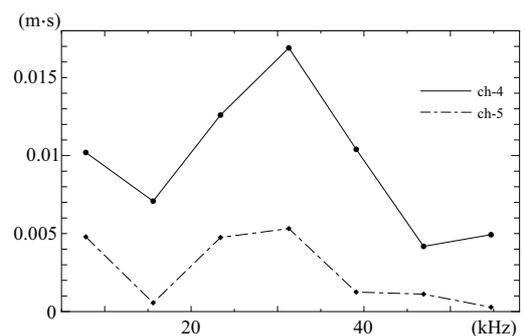


図-6 周波数-スペクトル強度

参考文献

- 1) 徳岡辰雄：工学基礎 波動論．サイエンス社，1984
- 2) 戸川隼人：有限要素法による振動解析．サイエンス社，1975
- 3) 土門齊，越出慎一：やさしい非破壊検査技術．工業調査会，1996