

衝撃弾性波法によるひび割れ注入工法での充填状況の確認方法の検討

リック (株) 正会員 ○片岡 繁人
 リック (株) 正会員 岩野 聡史
 日本大学 正会員 渡部 正

1. はじめに

コンクリートに発生したひび割れの補修工法の1つとして、注入工法が実施されている。注入工法とは、ひび割れに樹脂系またはセメント系の材料を注入し、補修を行うものであり、防水性・耐久性の向上が期待されている。しかし補修工事における注入材の充填状況の評価は、主にコンクリート表面での目視確認に留まっており、コンクリート内部のひび割れまで充填されていることを確認する方法は確立されていないと考えられる。コンクリート構造物の維持管理を十分に行うためには、この確認が重要であると考えられる。そこで本実験では、注入工法によるコンクリート内部の充填状況を、非破壊試験である衝撃弾性波法によって確認することを試みた。実験では、コンクリート表層付近のみに充填されている充填不足の状況を想定した供試体を用い、測定方法及び解析方法について検討した。

2. 実験内容

2. 1 実験方法

測定状況を写真1、図1に示す。実験には、中央1点载荷により曲げひび割れを発生させた角柱供試体(寸法150mm×150mm×530mm)を使用した。ひび割れは、背面側より発生させており、長さは100~110mmと確認されている。表面側は健全であるが、コンクリート内部にひび割れが存在する状態であり、コンクリート表層のみに充填されている充填不足の状況を模擬している。測定は、受信センサーを2点(ch1・ch2)設置し、両センサーで測定された速度波形の位相差に着目する方法を検討した。測定ケースは、鋼球による打撃点から、ひび割れを挟まない位置にch1、挟んだ位置にch2を設置したケース(以下、ひび割れ部とする)と、ひび割れを含まない短手方向にch1とch2を設置したケース(以下、健全部とする)の2種類とした。ch1とch2は打撃点から等距離(50mm)に設置している。

測定に用いた鋼球は直径10mmである。サンプリング時間間隔は2μsに、測定時間長さは500μsに設定した。

2. 2 解析方法

ch1とch2で測定された速度波形に対してフーリエ変換を行った。周波数の分解能は0.05kHzとし、0.1kHz~20kHzの範囲で解析した。次にフーリエ変換により算出したフーリエ余弦係数 a_n 及びフーリエ正弦係数 b_n を式(1)に代入し、各周波数の初期位相を求めた。

$$\theta_f = \tan^{-1}(b_{nf}/a_{nf}) \quad (1)^1$$

ここで、 θ_f : 周波数 f の初期位相(rad)、 a_{nf} : 周波数 f のフーリエ余弦係数、 b_{nf} : 周波数 f のフーリエ正弦係数である。

位相とは、波動のような周期的に変化する現象における時間的なずれ、またはある時刻における振動の過程の位置を示すものであり、特に時刻0での位相を初期位相という。つまり、式(2)

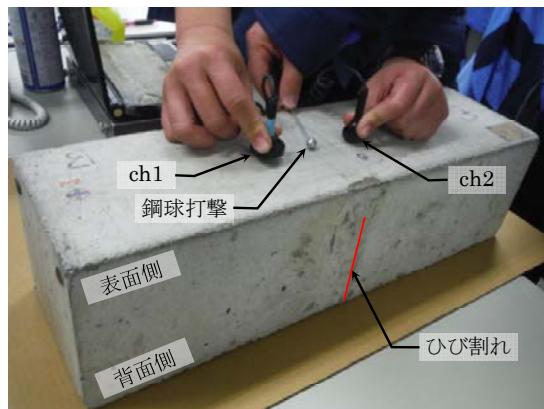


写真1 測定状況

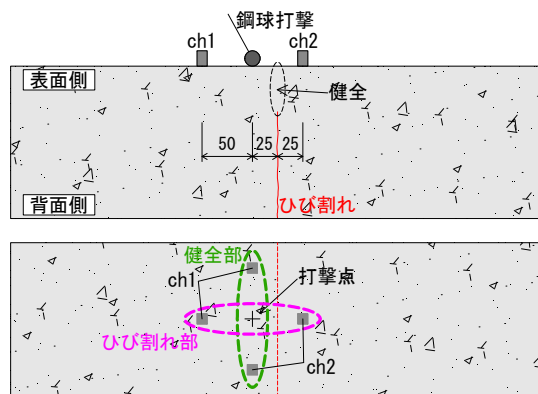


図1 測定位置(上:側面図, 下:平面図)

キーワード: ひび割れ補修, 非破壊試験, 衝撃弾性波法, 位相差

連絡先: 〒143-0004 東京都大田区昭和島 2-4-3 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3764-0198 E-mail skataoka@ri-k.co.jp

に示される周波数 f の正弦波の一般式での $2\pi ft'$ が初期位相であり、式(1)の θ_f は、式(3)の関係となる。

$$y_{(f)} = A \sin 2\pi f(t+t') \quad (2)$$

$$\theta_f = 2\pi ft' \quad (3)$$

ここで、 A : 振幅, f : 周波数, t : 時刻である。

一定の時間間隔で測定された波形では、フーリエ変換により式(1)で求められる初期位相と周波数は比例関係となり、直線で表すことが出来る。この特性を利用し、ひび割れ部、健全部ともに2点(ch1・ch2)の出力波形の初期位相を比較した。また、ch1とch2での初期位相の差(以下、位相差とする)を周波数毎に算出し、ひび割れ部、健全部それぞれで比較した。

3. 実験結果及び考察

測定された速度波形を図2に示す。ひび割れ部においては、ch1の速度波形に対してひび割れを挟んだch2の速度波形は安定せず、時間遅れが生じていることが確認された。一方健全部においては、ch1とch2の速度波形が比較的一致することが確認された。

解析結果を図3及び図4に示す。周波数と初期位相の関係(図3)に関しては、各測定とも概ね比例関係にあることが確認された。次に各測定における初期位相を比較すると、ひび割れ部においては、ch1に比べてひび割れを挟んだch2では全体的に大きくなることを確認された。一方健全部においては、ch1とch2の初期位相の差が小さいことが確認された。また、位相差(図4)は、健全部においては各周波数とも小さくなることを確認された。一方ひび割れ部においては、0.1~5kHzでの位相差は小さいが、5~20kHzと周波数がある程度高くなるにつれ位相差が大きくなることを確認された。

以上の結果から、コンクリート内部にひび割れが存在すると、速度波形に時間遅れが生じ、周波数解析により算出される位相差が大きくなることを確認された。この原因は、鋼球打撃により様々な弾性波が発生するが、周波数5kHz以上については、表面からある程度の深さを伝搬するレイリー波及び、底面で反射するP波であり、これらの弾性波では伝搬経路中にひび割れが存在することとなり、それらが測定結果に影響を及ぼしたと考えられる。この結果から、レイリー波及び、底面で反射するP波が測定される周波数帯域の位相差に着目すれば、内部のひび割れへの注入材の充填状況を評価できると考えられる。一方、5kHz以下の振動は、供試体全体のたわみ振動であると考えられ、ひび割れの存在が影響しなかったものと考えられる。

4. まとめ

ひび割れ注入工法での注入材の充填状況を衝撃弾性波法により確認する方法について検討した。その結果、コンクリート表層のみが充填されている場合には、打撃点と受信センサーとの間のひび割れが存在している状態では、測定される速度波形の初期位相に大きな変化が生じることが確認された。この性質を利用することにより、ひび割れ注入工法での品質管理への適用が期待される。今後は、実際に注入工法により注入材を充填したコンクリート供試体を用いて、実験する予定である。

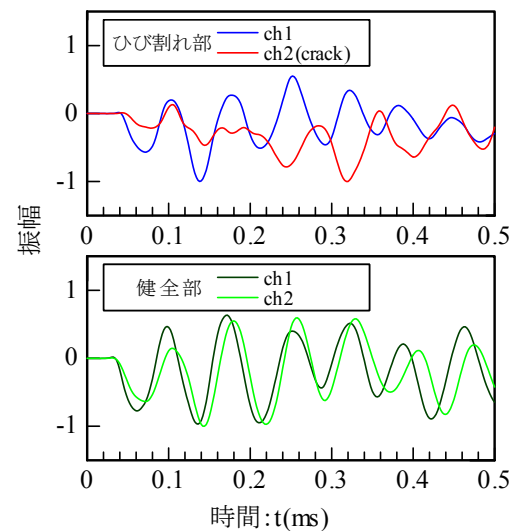


図2 速度波形の関係

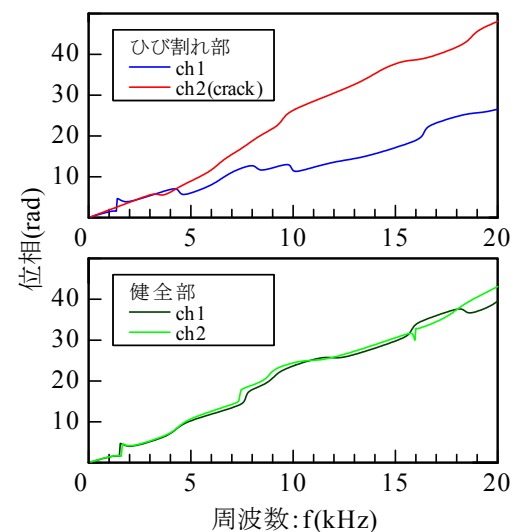


図3 初期位相の算出結果

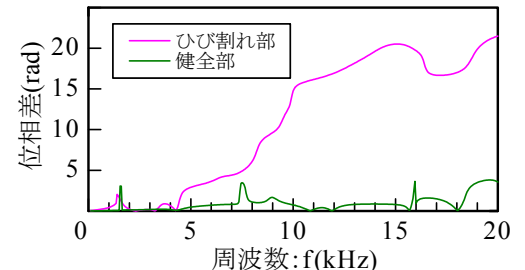


図4 位相差の算出結果