

打撃応答法によるPCおよびRC構造物中の欠陥評価について

○ 九州東海大学 工学部 学生会員 河田匡司
 同上 工学部 正会員 坂田康徳
 同上 工学部 非会員 平木裕佳

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート(RC)構造物のかぶりの剥離やトンネル覆工における各種欠陥に起因すると考えられるコンクリート片の落下事故などが発生しており、コンクリート構造物の維持管理を容易に実施するための非破壊検査手法の開発が緊急課題としている。本研究は、加速度計とインパルスハンマーを組み合わせた打撃応答法により、RC構造物やPC構造物中のPCダクトのグラウト充填度評価を行うための方法について検討したものである。

2. 実験概要

本研究では、大きさの異なる扁平な円盤状欠陥と非充填部を含むPCダクトを埋設した幅1.8m、長さ3m、厚さ25cmの床板模型を製作して実験に供した。盤状欠陥の寸法は直径10、20、30cmとし、その埋設深さはコンクリート上面より約5、7、12.5、20(cm)とした。また、PCダクトは直径約4cmと10cmのものを床板中に配置した。円盤状欠陥は、厚さ約0.5mmのプラスチック板を直径約5mmのボルトで水平に固定した後、その上にスチロール樹脂板をガムテープで貼り付けて埋設した。PCダクトは、予定している充填部分をモルタルで充填した後に、型枠内にダクトを固定・配置して埋設した。床板模型の製作には市販の生コンクリート(スランプ12cm、呼び強度30kN/mm²)を使用した。その外にも若干の欠陥を配置しているがここでは省略する。写真-1はコンクリート打設前の床板模型の欠陥配置状況を示している。

本実験では、加速度計とインパルスハンマーを組み合わせた打撃応答法と超音波スペクトロスコピー法により欠陥部を観測した。ここで使用した加速度センサは共振周波数約30kHzの電圧出力型のものである。打撃応答法ではサンプリングタイム10μsデータ数1000点で時間波形を測定し、FFT解析を行って周波数分布を求めた。また、超音波スペクトロスコピー法では周波数領域0~10kHz間と0~20kHz間を各3回ずつ測定し、各ピーク周波数を求めた。

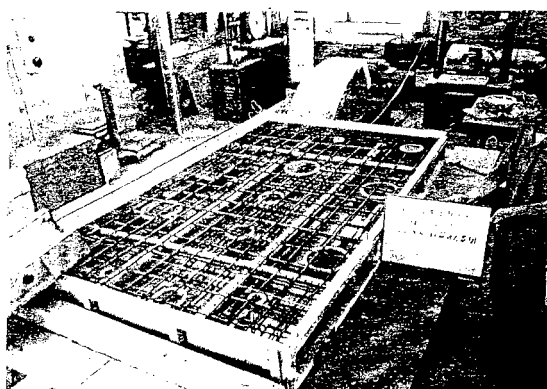


写真-1 コンクリート床板模型の欠陥配置状況

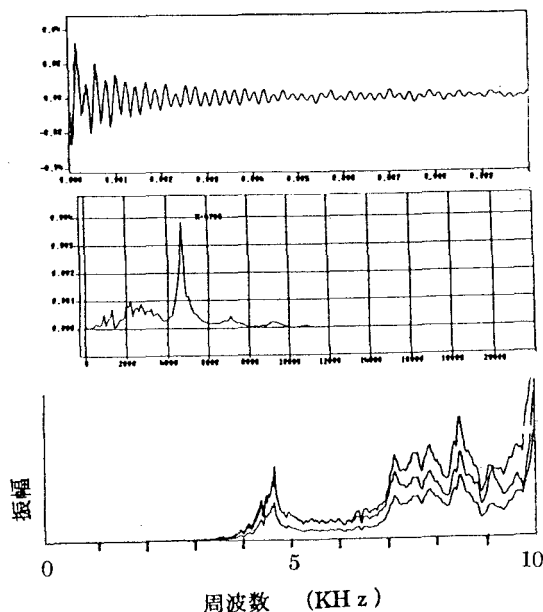


図-1 直径D=20cm、深さH=8cmの欠陥部における打撃応答法による時間波形とFFT解析結果、並びに0~10kHz間の応答スペクトル

3. 結果および考察

図-1(a), (b), (c) は、直径 $D=20\text{ cm}$ 、深さ $H=8\text{ cm}$ の欠陥の中央部で打撃応答法にて計測した時間領域とFFT解析により求めた周波数領域での応答波形、および超音波スペクトロスコピー法に基づく $0\sim10\text{ kHz}$ 間の応答スペクトルを示している。打撃応答法では非常に単純な時間波形が得られ、そのスペクトルには 4.7 kHz 付近に卓越したピークが認められる。また、スペクトロスコピー法で得られた応答スペクトルにもほぼ同じ周波数領域に顕著なピークが見られ、打撃応答法と超音波スペクトロスコピー法との等価性が認められる。しかしながら、応答スペクトルには 10 kHz 付近より高い領域に大きなピークが存在するのに対して打撃応答法による得られたスペクトルにはそれが見られない。これは、両計測システムにおけるセンサを含む計測機器の感度特性が異なるためと考えられる。打撃応答法におけるこのような単純な時間波形は、欠陥寸法が大きくて浅い場合に現れ易く、欠陥寸法が小さくて深い場合には波形が複雑であり、その周波数分布におけるピークの識別が困難となる。

この卓越したピーク周波数は、欠陥寸法とその深さによって変化し、欠陥深さが同じでも欠陥寸法が異なればピーク周波数は異なってくることが既往の研究で知られている。一方、欠陥深さ H を理論的に算出する際に、1次元弾性波動理論に基づく($H=V/2f$)なる式がよく用いられている。この式で V はコンクリート中を伝播する弾性波の音速、 f はピーク周波数である。音速 V が一定とすれば、欠陥寸法が異なる場合でもピーク周波数が同じであれば欠陥深さは同じということになる。仮に、コンクリート中の音速 $V=4000\text{ m/s}$ としてこのケースの欠陥に基づくピーク f_1 と床板厚に基づくピーク f_0 を求めてみると、 $f_1=25\text{ kHz}$ 、 $f_0=8.0\text{ kHz}$ となる。そこで、打撃応答法で得られたスペクトルについてそれに相当する周波数領域を眺めると、 f_0 に相当すると考えられる小さなピークが 7 kHz 付近に見られるものの、欠陥に基づくピークは測定周波数帯域の範囲外にあって確認できない。この板厚に基づくピークは、欠陥に基づく卓越ピークの振幅に比べてかなり小さいため、見え難くなっているものと考えられる。すなわち、式 $H=V/2f$ に基づくピークは板厚の厚み共振であるのに対して、欠陥に基づくピークは欠陥部分のたわみ振動に基づくものであり、厚み共振に比べてコンクリートの表面変位量が格段に小さいためと考えられる。

図-2(a), (b)は直径 10 cm のPCダクト部の充填部と非充填部を超音波スペクトロスコピー法で計測した場合の応答スペクトルの一例を示している。非充填部の応答スペクトルには、約 6 kHz 付近に卓越したピークが見られ、一方、充填部ではそのピークが 7 kHz に移動している様子が判る。これは、シース内がモルタルで充填されている場合には超音波が通過して板厚に基づく厚み共振を起こすのに比べて、シースが空の場合には超音波がシースを迂回して厚み共振を起こすため、共振波長が長くなって共振周波数が低下するためと考えられる。このような関係は打撃応答法においてもほぼ認められるが、打撃応答法ではピーク振幅が小さいため、今回の実験では超音波スペクトロスコピー法に比べて識別し難い結果となった。

4. 結論

1) 扁平な欠陥がコンクリート表面に平行に存在する場合の周波数スペクトルには、たわみ共振に基づく明瞭なピークが存在する。2) 打撃応答法と超音波スペクトロスコピー法では振幅分布は異なるが、欠陥に基づくピーク周波数はほぼ同等である。3) 厚み共振を利用してPCダクトの充填部と非充填部の評価が可能である。

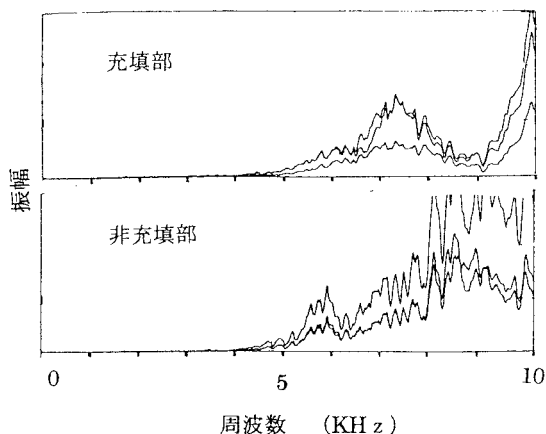


図-2 直径 10 cm のPCダクト部の充填部と非充填部の応答スペクトル