

打音法で得られたスペクトログラムを用いた道路橋 RC 床版

内部欠陥の非破壊評価手法の検討

日本道路（株） 技術部 ○長谷 啓司
富山県立大学 内田 慎哉
富山県立大学大学院 森本 亮
同 青沼 拓朗

1. はじめに

道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版と記す）では、アスファルト舗装の打換工事に伴い、コンクリートの点検を行う。点検の際はハンマの打撃音を点検者の耳で聞き分ける打音検査が簡便であることから利用され主要な検査方法となっている。しかしながら、従来の打音検査は検査員の聴覚によって健全部と劣化部の打撃音の違いを聞き分けるもので、検査結果が検査員の経験や熟練度によって異なる。加えて舗装打換工事の区間は長く点検検査が広範囲となり人手も多くなり時間も必要になる。このような背景から、測定者によらず、同じ結果になり効率的な手法の確立が喫緊の課題である。

本研究は打音検査で得られる打撃音を分析することで、RC 床版の健全性、内部の欠陥の有無を定量的に評価でき、客観的に判断する簡便な打音法の確立を試みた。

そこでコンクリート内部に直径・深さの異なる複数の人工欠陥を埋設した RC 床版供試体を対象に打音法による計測を行い得られた波形をウェーブレット変換することでスペクトログラム（時間一周波数のカラー画像）を算出し、打撃応答特性の可視化により欠陥を非破壊で評価する方法を検討した。

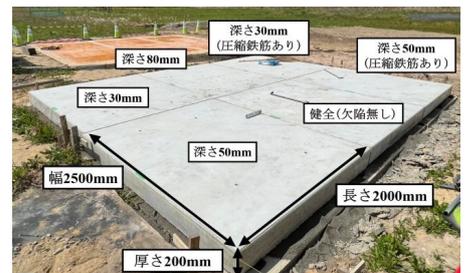


写真1 RC床版供試体の概要

2. 実験概要

写真1に6体のRC床版供試体を示す。供試体1体当たりの寸法は幅2500mm×長さ2000mm×厚さ200mmとなる。人工欠陥の配置状況の例を写真2に示す。人工欠陥は、厚さ5mmの円形の発泡スチロールを用いて作製した。直径は500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 50mmの8種類とした。これらの人工欠陥をコンクリート表面から30, 50, 80mmに設置した。また、人工欠陥を埋設していない健全な供試体も作製した。これら4体の供試体には引張側にのみ鉄筋を配置している。なお、引張鉄筋に加えて、圧縮鉄筋も設置した供試体も2体作製した。埋設深さは30および50mmの2種類に設定した。

打音法による計測状況を写真3に示す。弾性波の入力には加速度計を内蔵したハンマを用い、打撃音の受信にはマイクロフォンを使用した。ハンマの打撃位置は、埋設された人工欠陥の中心の直上に相当するコンクリート表面とした。一方、受信位置は、入力位置から半径方向に30mm、その位置から垂直方向に50mm離れた箇所に設定した。この位置関係は全ての人工欠陥に共通している。なお、健全部においては、代表的な1箇所において、同様に計測した。

弾性波の受信には、0.007~20kHzの間でフラットな応答感度を有するマイクロフォンを使用した。受信した信号は、デジタル化した後、波形収集装置に記録した。また、入力で使用したハンマも波形収集装置に接続し、マイクロフォンと同じ条件でデジタル化した後、打撃波形を記録した。

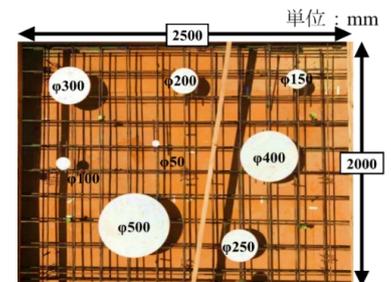


写真2 人工欠陥の配置状況

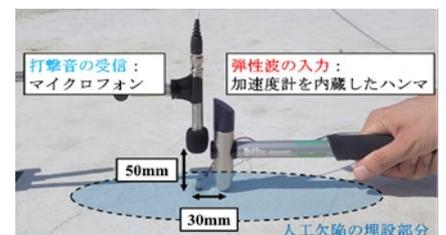


写真3 打音法による計測状況

3. 実験結果および考察

3. 1 受信波形

マイクロフォンでは、打撃力の違いにより受信する打撃音が変動するため、受信波形をハンマで得られる打撃波形の最大振幅値で除すことで正規化した。

健全部および欠陥深さ 30mm、欠陥直径 500mm の受信波形

を図 1 に示す。健全部の波形は、振幅が小さく減衰の大きい波形になっている。ハンマによる打撃は、非常に短い時間であるため、幅広い周波数成分を含むインパルス応答になる。一方、欠陥深さ 30mm、欠陥直径 500mm の波形は、周期的で減衰しにくく、振幅の最大値が大きい。これは、欠陥上部のコンクリートが打撃によりたわみ振動しているためである¹⁾。また、引張、圧縮鉄筋ともに受信波形は概ね同じ形状を示すことを確認した。

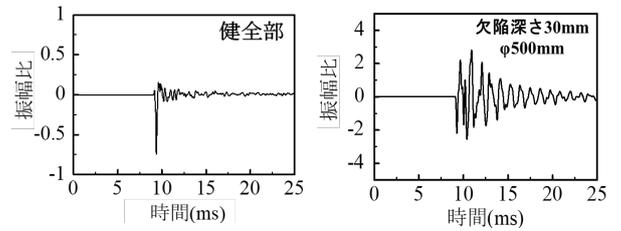


図 1 受信波形の例

3. 2 周波数スペクトル

図 1 の受信波形に対して、高速フーリエ変換 (FFT) することにより求めた周波数スペクトルを図 2 に示す。健全部の周波数スペクトルは、0~8kHz 程度の幅広い周波数成分を有していることがわかる。一方、欠陥部の周波数スペクトルでは、概ね単一の鋭いピークが出現している。この

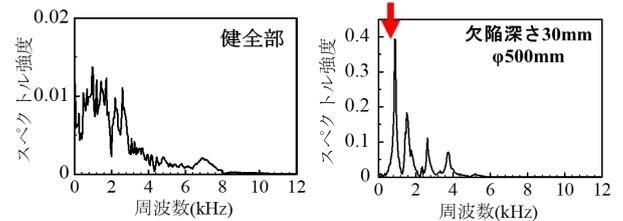


図 2 周波数スペクトルの例

ピークは、たわみ現象により生じた共振と考えられる。たわみ共振周波数の理論値は、JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」を参考にすれば算出できる。計算により求めた理論上のたわみ共振周波数を、図 2 中に赤矢印で示した。図上のピークと若干異なるものの、理論値と概ね一致している。

3. 3 スペクトログラム

受信波形に対して連続ウェーブレット変換することによりスペクトログラムを算出²⁾した。得られたスペクトログラムの特徴から、RC 床版内部の欠陥評価を試みた。

本研究では、受信波形 (図 1 参照) に対して、時間軸上で畳込み演算を行った。ウェーブレット変換により得られたスペクトログラムを図 3 に示

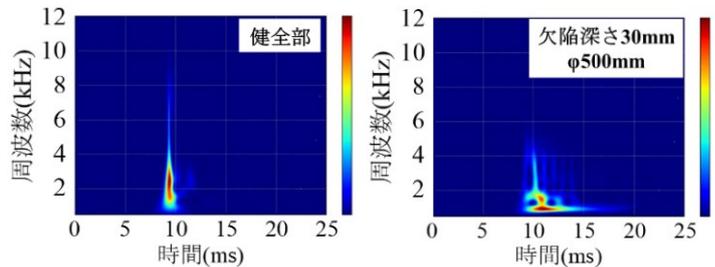


図 3 スペクトログラムの例

す。スペクトログラムでは、相関が最も高い領域を濃い赤、低い領域を濃い青として図中の凡例に示すとおり段階的に色分けしている。図中に示す健全部のスペクトログラムでは、短い時間で幅広い周波数を含み、相関の高い領域が縦に延びる現象 (インパルス応答) を確認した。一方、欠陥深さ 30mm、欠陥直径 500mm のスペクトログラムでは、たわみ現象と考えられる同一周波数で相関の高い領域が時間軸方向に延びる現象を確認した。しかも、理論上のたわみ共振周波数と相関の高い領域は、概ね一致している。

4. まとめ

打撃応答特性をスペクトログラムにより可視化した結果、圧縮鉄筋の有無に関わらず、コンクリート表層の人工欠陥を非破壊で評価できることがわかった。紙面の都合で割愛したが検出可能な人工欠陥は、本研究の範囲内では、深さ 30~80mm、直径 200~500mm である。今後は、RC 床版欠陥を信号処理に詳しくない検査員でも評価可能な欠陥判断を自動分類するシステムの構築を目指している。

参考文献

- 1) 例えば、鎌田敏郎, 浅野雅則, 国枝稔, 六郷恵哲: コンクリート表層部欠陥の定量的非破壊検査への打音法の適用, 土木学会論文集, No. 704, V-55, pp. 65-79, 2002. 5
- 2) 例えば, P. S. Addison, 新誠一, 中野和司監訳: 図説ウェーブレット変換ハンドブック, 朝倉書店, 2005