

「回転式打音検査法」を用いたコンクリート構造物の健全度評価に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○中山 歩

九州大学工学部 非会員 三好 茜

九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

(株)建設技術研究所 正会員 吉田 直紹

1. 緒言

近年、既存構造物に対して適切に維持・補修管理を行い、ライフサイクルコストの低減を図ることが重要視されている。コンクリート構造物は、経年劣化により使用性や安全性が低下するため、定期的に検査を行い耐久性の評価を行う必要がある。しかし、従来の非破壊検査法の多くは費用が高額であるだけでなく、計測環境の適用条件が厳しいなどの問題を有しており、実際の構造物の点検業務では目視や打音による検査が主体となっている。本研究は、非破壊検査法の中でも簡易で低コストな打音検査について、検査精度と効率を向上させることを期待して開発された「回転式打音検査法」の診断メカニズムを、音響解析によって理論的に検証するものである。

2. 「回転式打音検査法」について

「回転式打音検査法」とは、図-1 に示すように先端に金属製の多面体を取り付けた検査器をコンクリート面に押し当てた状態で移動・回転させ、一定時間間隔で発生する打撃音を測定し、その変化をもとにコンクリート内部の異常箇所を探索する手法である。特徴としては、従来の打音検査法に比べて構造物に与える打撃力のばらつきを低減することができること、打撃が加わる点が移動することで検査効率を飛躍的に向上させることができることなどがあり、大規模な野外構造物に対しても有効な検査法であると考えられる。

本研究では、「回転式打音検査法」の診断メカニズムを音響解析によって理論的に検証することで、検査員の感覚で欠陥の評価を行う診断方法を、数値解析によって理論的に裏付けられた評価システムに置き換えることを目的とする。

3. 周波数応答解析

3.1 音響解析の概要

音響解析は、以下の波動方程式を基礎式としている。

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1)$$

ここで、 p は音圧、 c は音の伝播速度を表している。音響解析は、式 (1) を適切な境界条件のもとで解き、任意点の音圧 p を求めるものである。

本研究では、有限要素法を用いて、コンクリート表面に検査器による打撃力を入力した際の空間内の評価点での音圧特性の変化を比較した。一般に、打音検査では健全なコンクリートの場合には高い音が、剥離や空洞などの欠陥が存在する場合には低い音を得られることが知られており、欠陥の有無によって打音のピーク周波数が異なることが予想される。そこで、周波数応答解析によって、コンクリート内部における欠陥（空隙）状況を変化させた場合の音圧－周波数関係を比較・検討し、音響解析によるコンクリート構造物の健全度評価の可能性を考察した。

3.2 解析対象および解析モデル

本解析では、コンクリート供試体およびその周囲空間を有限要素でモデル化した。解析対象は、図-2 に示すように直径 1000mm、高さ 300mm のコンクリート円柱供試体が開空間内に存在することを想定したもので、開空間の条件を考慮するために、直径 1600mm の半球状の領域の境界に無

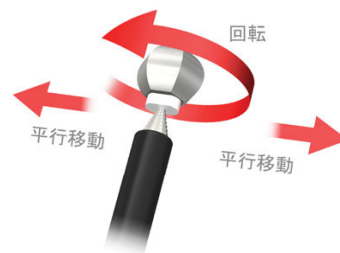


図-1 回転式打音検査器

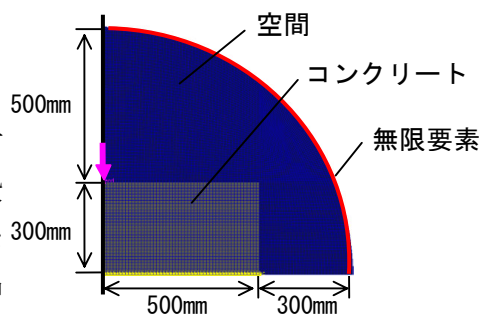


図-2 解析モデル

表-1 本解析に用いた材料定数

コンクリート	
ヤング係数 [N/mm ²]	2.1×10 ⁴
ポアソン比	0.2
密度 [g/cm ³]	2.45
空間 空隙	
密度 [kg/m ³]	1.225
音速 [m/sec]	340

限要素を配置した．ここでは，計算負荷を低減させるために軸対称要素を用いてモデル化し，コンクリート底面の節点の全自由度を拘束した．コンクリートおよび欠陥（空気要素）の材料定数を表-1 に示す．本解析では，欠陥状況が打音に与える影響を基礎的に考察するために，欠陥の形状・位置・寸法等を変化させた場合の音圧一周波数特性を比較・検討した．具体的には，1)図-3 に示すように水平・鉛直方向長さを変化させた欠陥形状に関する検討，2)図-4 に示すようにコンクリート表面からの距離を 10mm から 100mm まで変化させた欠陥位置に関する検討，3)図-5 に示すような相似的に欠陥の大きさを変化させた欠陥寸法に関する検討の 3 通りの考察を行った．

3.3 解析条件

検討対象の周波数領域は，人間の可聴周波数を考慮した上で 20～5000Hz とし，対称軸上に大きさ 1N の検査器による打撃荷重を想定し，打点より 100mm 離れた空間内の音圧のピーク周波数の変動によって欠陥状態の予測の可能性を検討した．

3.4 解析結果および考察

図-6 に欠陥の形状を 15mm×80mm（水平方向に長い欠陥），120mm×10mm（鉛直方向に長い欠陥），40mm×30mm と変化させた場合の音圧一周波数関係を比較した．3000～4000Hz の範囲内で，欠陥形状が水平方向に長くなるにつれてピーク周波数が低周波域に変動していることが認められた．このことから，実際の打音データの周波数特性を利用して形状を予測できる可能性があることが予想される．図-7 は欠陥の位置をコンクリート表面から 30mm，60mm，90mm と変化させた場合の周波数特性を示したもので，1000Hz 程度の低周波領域に波形の変化が認められた．このことから，欠陥の位置についても音圧の変化で把握できる可能性があると考えられる．図-8 は欠陥の寸法を相似形状で変化させた場合の周波数特性を示したもので，ピーク周波数の変化が非常に小さいことが認められる．これは，欠陥寸法を相似形で変化させた場合には，打点を起点として球面状に伝播する音の中で，欠陥内を伝播する音波の経路に大きな相違が無いことが一因であると考えられる．

4. 結論

「回転式打音検査法」の音響解析シミュレーションにより，音圧一周波数特性を比較することで，欠陥状態の予測の可能性を確認できた．今回の解析で，欠陥の位置や形状の変化による打音のピーク周波数に有意な変化が確認されたことから，打音検査の有用性が解析的に認められた．今後，信頼性が高い予測を行うには，時刻歴応答解析による打音の減衰性にも着目し，図-9 に示すような時間一周波数解析による音圧波形の特性を考慮する必要があると考えられる．

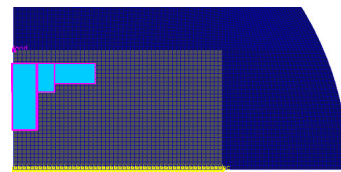


図-3 形状を変化させた場合

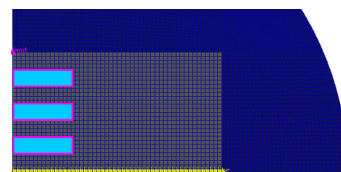


図-4 位置を変化させた場合

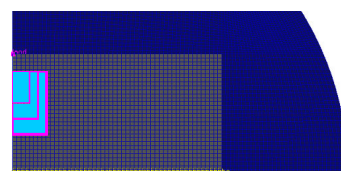


図-5 寸法を変化させた場合

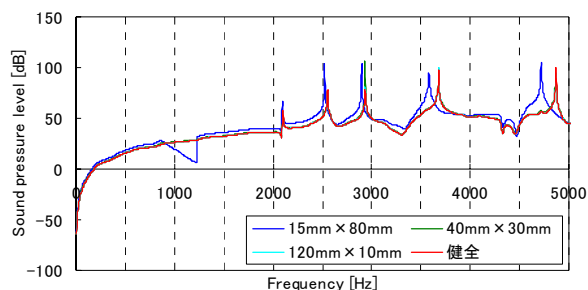


図-6 形状を変化させた場合の周波数特性

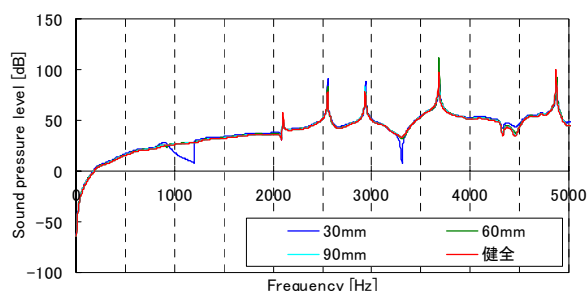


図-7 位置を変化させた場合の周波数特性

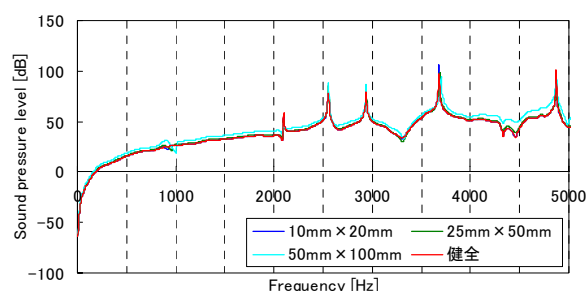


図-8 寸法を変化させた場合の周波数特性

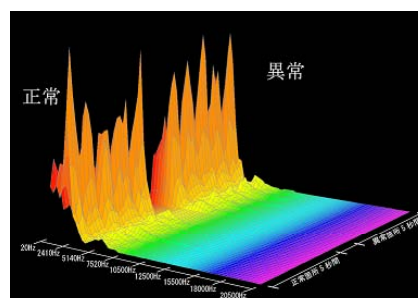


図-9 時間一周波数解析結果の例