

「回転式打音検査法」による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 ○三好 茜,
九州大学大学院 学生会員 中山 歩,

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. 目的

コンクリート構造物は、経年劣化により安全性や使用性が低下するため、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や計測環境の適用条件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. 「回転式打音検査器」とは

「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。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大幅に低減することが可能であること、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の特徴があり、大規模な野外構造物に対して有効な検査法であると考えられる。

3. 解析概要

音響解析は、以下の波動方程式を基礎式とする。

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

ここで、 p は音圧、 c は音の伝播速度を表す。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。

本研究では回転式打音検査器のシミュレーションを2段階に分けて行う。まず、回転式打音検査器の特徴を把握するために、検査器がコンクリートに衝突した際の衝撃力の大きさおよび周波数特性を解析的に求める。次に、コンクリート表面に正弦波形の単位荷重を入力した際の周囲空間に設定した評価点での音圧特性を調べる。以上の手順により、回転式打音検査で得られる打音の音圧特性を用いて、コンクリート内部の欠陥の有無を把握可能であるか、音響解析結果をもとに考察した。

4. 回転式打音検査器による衝撃力解析

4. 1 解析モデルおよび解析条件

解析対象は回転式打音検査器およびコンクリート供試体とした。

図-2 に解析モデルの全体図を示す。検査器に関しては、幅 25mm、高さ 19mm、重量 130g の先端部分を対象とし、8 節点のソリッド要素を用いてモデル化した。本解析で用いた材料定数を表-1 に示す。境界条件として、コンクリート供試体底面の節点を全自由度拘束し、自重を考慮するため検査器およびコンクリート供試体の全要素に重力を鉛直下向きに与えた。また、検査器およびコンクリート供試体はどちらも線形弾性体を仮定した。



図-1 回転式打音検査器

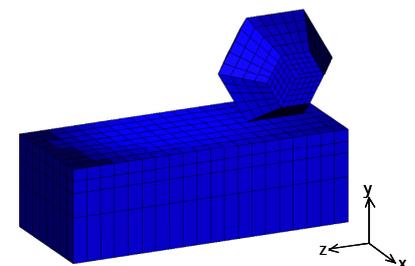


図-2 衝撃力解析モデルの全体図

表-1 衝撃力解析で用いる材料定数

	検査器	コンクリート
ヤング係数 [N/mm ²]	2.1×10 ⁵	2.1×10 ⁴
ポアソン比	0.3	0.2
密度 [g/cm ³]	7.85	2.45
摩擦係数	0.3	0.5

キーワード 音響, 回転式打音検査法, 有限要素法, 周波数応答解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番 TEL 092-802-3370

衝突解析を行う際に必要となる直接時間積分法には、無条件安定であるシングルステップフォーボルト法を用い、最小時間刻みが $1.0 \times 10^{-5} \text{sec}$ 、最大時間刻みが $1.0 \times 10^{-1} \text{sec}$ の範囲で自動制御するものとした。解析条件として、図-3 に示すように検査器中心に鉛直下向きに 300gf の支圧力を設定すると同時に、水平方向に 700mm/sec の並進速度とそれに見合う角速度を与えた。本解析には、非線形有限要素解析ソフトウェア MSC.Marc2005 を用いた。

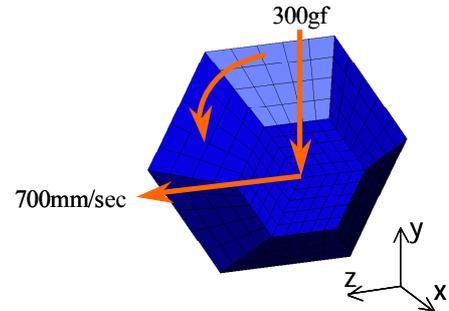


図-3 検査器に与える荷重条件

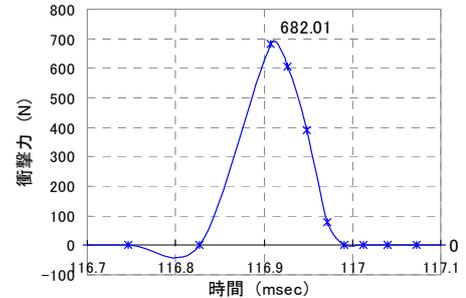


図-4 衝撃力波形

4. 2 解析結果および考察

図-4 に回転式打音検査で発生する衝撃力波形を解析的に求めた結果の一部を示す。検査器先端がコンクリート表面に衝突する瞬間に発生する荷重の継続時間は約 0.2msec と非常に短く、600N 程度の値が発生することが認められた。この結果から、打撃荷重の周波数は 2000~5000Hz 程度であることが認められた。

5. 周波数応答解析

5. 1 解析モデルおよび解析条件

周波数応答解析では、コンクリート供試体および周囲空間を有限要素でモデル化した。解析対象は、図-5 に示すような半径 500mm、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半径 800mm の半球状の領域の境界に無限要素を配置した。また、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周囲空間の材料定数を表-2 に示す。コンクリート内部の欠陥は半径 50mm の円形の剥離を想定し、コンクリート表面より 50mm の位置に設定した。

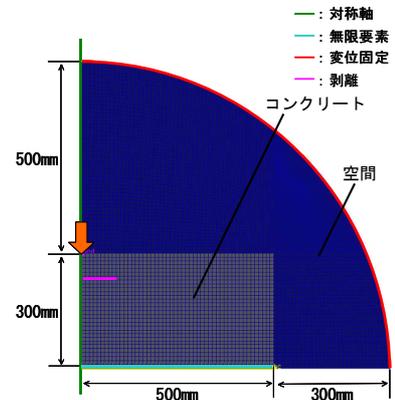


図-5 解析モデル

表-2 周波数応答解析で用いた材料定数

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

入力荷重として対称軸上に正弦波形の単位荷重を与え、周波数を変化させた場合の評価点における打音の音圧を調べた。評価点は実際の検査における録音機の位置を考慮して打点より 100mm 離れた空間内に設定し、前述の衝撃力解析結果を踏まえて、打撃荷重の周波数領域(2000~5000Hz)における欠陥の有無による音圧特性の変動を検討した。

5. 2 解析結果および考察

図-6 にコンクリート内部に剥離を有している場合と正常な場合の音圧特性を示す。検査器の衝撃力波形の周波数 2000~5000Hz の範囲で、音圧が著しく異なる領域が存在していることが認められた。このことから、回転式打音検査による打撃入力で行った場合に、音の大きさや音質に明確な相違が認められる可能性が高いと考えられる。

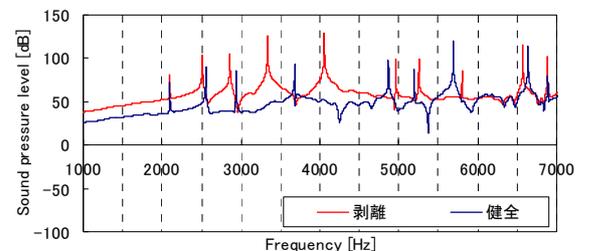


図-6 形状を変化させた場合の周波数特性

6. 結論

音響解析により回転式打音検査のシミュレーションを行った結果、検査器の衝撃力の周波数領域における打音の音圧特性の相違より欠陥の有無を予測できる可能性を確認できた。今後は、欠陥状態を様々に変化させた場合の欠陥状態と打音データの相関性に関する検討を行う必要があると考えられる。