

コンクリート構造物の打音検査に関する実験と解析を用いた基礎的研究

九州大学工学部 学生会員 ○川端 健太
九州大学大学院 学生会員 三好 茜
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

コンクリート構造物のライフサイクルコストを低減するために、既設構造物の健全性の評価を行う方法として多くの非破壊検査法が開発されている。しかし、その大半は高価な計測装置を必要としたり、センサーの取り付けなどに時間を要したりするため、広範囲を短時間で計測することは困難である。本研究では、非破壊検査の中でも簡易かつ低コストで行うことができる打音検査について、供試体レベルの実験と音響解析ソフトを用いた解析を比較し、実験で得られる打音特性をコンピュータでシミュレートできるかを検証するとともに、打音法によるコンクリートの表面加速度と音圧の周波数特性について考察した。

2. 供試体実験について

実験で用いる供試体は、図-1 に示すような 400mm×100mm×100mm のモルタル角柱供試体とした。欠陥を模した供試体には、供試体中央に 200mm×70mm×20mm の発泡スチロールを、供試体中央の打撃位置から 20mm 下の部分に埋設した。

実験の手順として、図-1 のように両端から 50mm の場所に円柱状の金属を設置し、その上にモルタル供試体を載せ、供試体中央をインパルスハンマーで軽打する。その際に発生する供試体表面の加速度と音圧を、打撃点から 40mm 離れた位置で加速度計と騒音計を用いて計測した。この実験から得られる健全な場合と欠陥を有する場合の加速度-時間関係および音圧-時間関係を比較した。

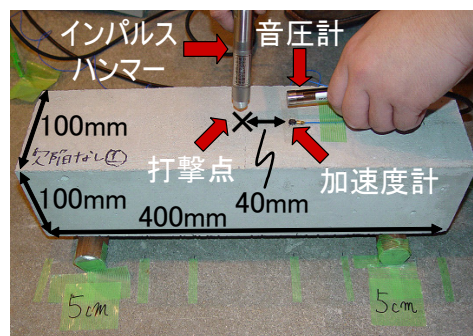


図-1 供試体実験の様子

表-1 振動解析の材料定数

	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	密度 (g/cm ³)
供試体	3.238×10^4	0.2	2.184
欠陥部	2.2×10^3	0	2.9×10^{-2}

3. 数値シミュレーションについて

3.1 打音シミュレーションの概要

打音検査のメカニズムを理論的に考察するために、最初に供試体実験でインパルスハンマーにより得られた荷重を入力値とした振動解析を実施し、次に振動解析により得られたコンクリート表面の加速度データを入力値とした音響解析の2段階の計算を行った。以上の解析により得られた加速度・音圧と実験で得られた加速度・音圧を比較することで、数値解析による打音検査のシミュレーションの精度を検討した。

音響解析は以下の波動方程式を基礎式としている。

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

ここで p は音圧、 c は音の伝播速度を表している。音響解析では、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。

本研究では有限要素法を用いた音響解析を行った。供試体およびその周囲空間を解析領域としてモデル化し、ハンマーで供試体を打撃する際の表面振動と空間内の音圧特性を求め、欠陥の有無による音圧や表面振動の変化を比較した。

3.2 振動解析

振動解析では、供試体実験と同様に 400mm×100mm×100mm のモルタル角柱供試体を対象とし、健全な場合と欠陥を有する場合でハンマーによる打撃を与えた際の供試体表面の加速度応答を求めた。振動解析で用いたモルタル供試体の材料定数を表-1 に示す。境界条件としてモルタル供試体の底面を図-2 のように固定した。入力荷重とし

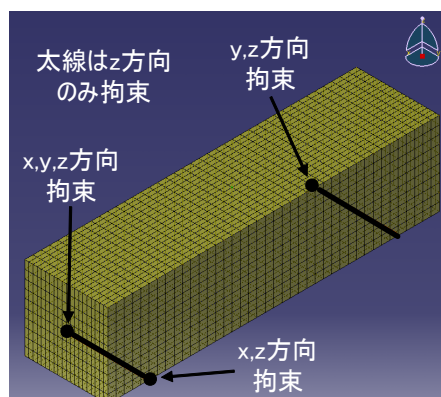


図-2 供試体の構造モデルと境界条件

て、供試体実験でインパルスハンマーにより得られた荷重-時間特性を供試体表面の中央に与えた。

3.3 音響解析

音響解析では、供試体が健全な場合と欠陥を有する場合で発生する打音の特性を評価するため、供試体の周囲空間を対象に直径 480mm の半球上の領域でモデル化し、開空間状態を考慮して空間の境界面には無限要素を配置した。音響解析モデルのイメージを図-3 に示す。音響解析に用いた空間の材料定数は、伝播速度 $3.4 \times 10^2 \text{m/sec}$ 、密度 $1.225 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ とし、打音の評価点は打撃点から供試体に対して水平長手方向に 40mm、鉛直方向に 10mm の空間内に設定した。入力条件として、供試体との境界面の各節点に振動解析で得られた時刻歴加速度データを与え、各入力条件における評価点の音圧の時刻歴応答を計算した。この解析から得られる健全な場合と欠陥を有する場合の加速度-時間関係および音圧-時間関係を比較した。

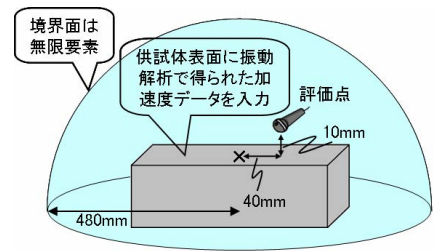


図-3 音響解析のイメージ

4. 供試体実験と音響解析との比較

供試体実験と解析の2通りの方法で、健全な供試体と欠陥を有する供試体で得られる加速度-時間関係を比較した結果を図-4 に示す。この図より、加速度の最大値を比較すると、解析値と実験値で2倍程度の相違が見られるが、健全よりも欠陥を有する方が供試体表面の加速度が大きくなる傾向は再現できることが確認された。次に、音圧-時間関係を供試体実験と解析の2通りで比較した結果を図-5 に示す。この図より、加速度応答と同様に、欠陥を有する供試体の方が健全な供試体の方よりも最大音圧が大きくなる傾向にあることが、実験と解析両方の結果から確認できた。

次に、実験における加速度と音圧のスペクトルを比較した図を図-6 に示す。図中の値は、加速度・音圧のピークスペクトル値が異なるので、それぞれ最大スペクトル値で正規化している。この図から分かるように、加速度スペクトルと音圧スペクトルの相関性が非常に高いことから、打撃の際の供試体表面の振動のみを入力条件として打音の解析を行うことの妥当性が確認された。

5. 結言

今回の実験と解析によって、健全な供試体と欠陥を有する供試体における最大音圧の関係を数値解析により把握可能であることが確認された。なお、供試体表面の加速度応答には実験と解析に大きな相違が認められ、解析精度が低いことから、今後は供試体のモデル化や解析方法について再検討する必要があると考えられる。

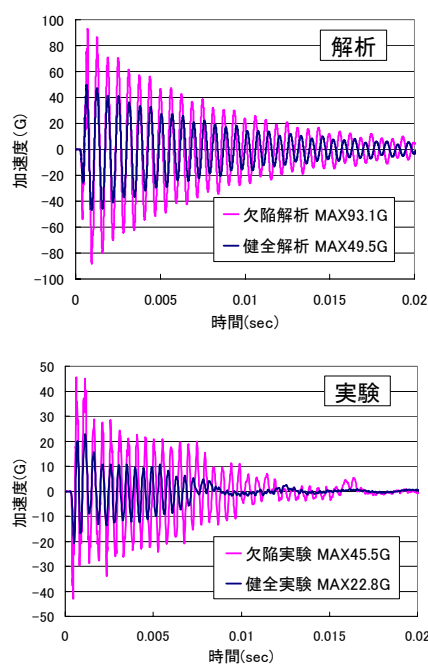


図-4 加速度-時間関係の比較

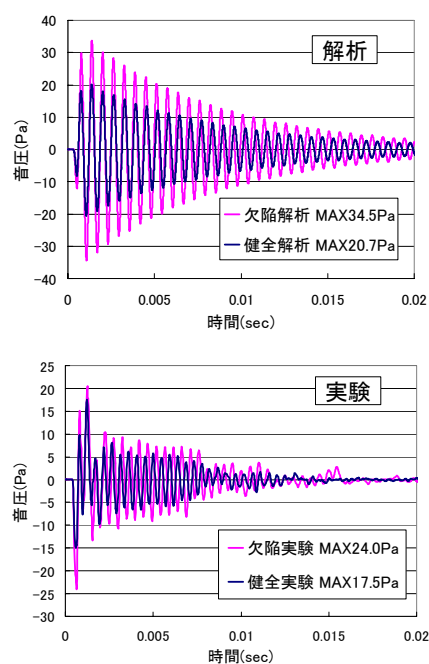


図-5 音圧-時間関係の比較

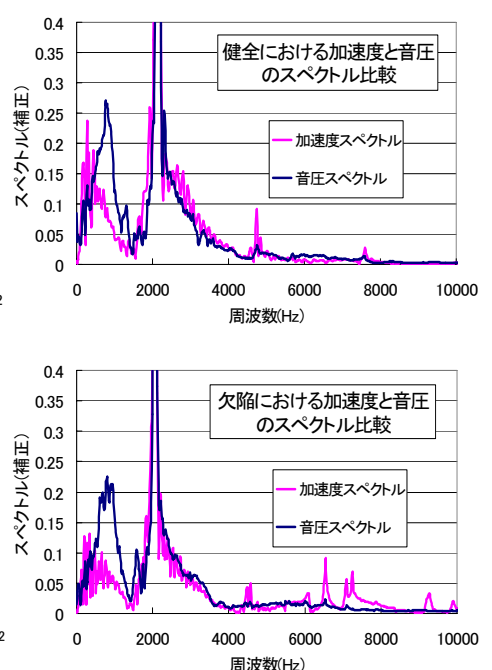


図-6 実験におけるスペクトルの比較