

コンクリート構造物の打音検査による劣化診断に関する基礎的考察

九州大学大学院 学生会員 ○川端 健太

九州大学大学院

正会員 園田 佳巨

1. 緒言

打音法は、コンクリート構造物に対する劣化診断法の中でも比較的簡易な手法として良く用いられているが、健全部と欠陥部の判別を検査者の感覚に頼って行っているため、客観性に乏しいものとなっている。本研究では、人間の感覚に依存しない理論的に裏付けされた診断システムを構築するため、供用中の橋梁を対象とした打音検査と欠陥を模した供試体を用いた実験を行い、数値解析による基礎的な考察を試みた。

2. 実橋梁における打音調査について

現在も供用中である A 橋に対して、写真-1 に示すような器具を用いて橋脚を打撃し、健全と思われる 2 箇所と、欠陥と思われる 2 箇所、合計 4 箇所、一箇所につき 10～20 回の打音を収録した。

健全部と思われる場所と欠陥部と思われる場所での音圧の時刻歴波形の一例を図-1 に示す。この図より、健全部と欠陥部を比べると音圧の大きさや振動周期、減衰性に明瞭な違いが生じることが確認できた。そこで、本研究では音圧の最大値について考察した。

図-1 より、欠陥部は健全部に比べて明らかに音圧の最大値が大きいことが確認できた。しかし、音圧の最大値には検査員の打撃力のバラツキの影響が含まれるため、直接比較を行うことができない。そこで、インパルスハンマーにより得られた最大荷重と最大音圧の関係について考察した。その関係を示した図を図-2 に示すが、これより、入力荷重の大きさと最大音圧にはほぼ比例関係が成り立つことが確認できた。また、健全部よりも欠陥部の方が単位入力荷重に対する音圧の応答値が大きく、また、欠陥部の状態によって異なる大きさの応答を示すことが確認された。しかし、実橋梁では内部の欠陥状態を確認することができず、欠陥と打音の相関性を検証することができないことから、欠陥を模擬した供試体を作成し、実験・数値解析を行うことで、欠陥の状態による打撃音の変化を理論的に考察することにした。

3. 供試体を用いた実験について

写真-2 に示すような $400 \times 100 \times 100 \text{ mm}$ のモルタル角柱供試体を用い、欠陥を模した供試体には、 $200 \times 70 \times 20 \text{ mm}$ の発泡スチロールを、供試体中央の打撃位置から深さ 20mm の位置に埋設した。実験の手順として、両端から 50mm の位置を支持し、供試体中央をインパルスハンマーで打撃した際に発生する音圧を、打撃点から 40mm の位置において計測した。各供試体から得られた音圧の時刻歴波形を図-3 に示す。この図より、欠陥を有する供試体の方が健全な供試体よりも音圧の最大値が大きくなることが確認された。また、インパルスハンマーにより得られた最大荷重と最大音圧の関係を示したものを図-4 に示す。この図より、実橋梁調査と同様に、健全な供試体よりも欠陥を有する供試体の方が単位入力荷重に対する音圧の応答値が大きいたことが確認された。

次に、この結果に対して供試体実験を数値解析で再現し、打音検査のシミュレーション精度を検討した。



(a) 計測の様子 (b) 打撃点近傍の様子
写真-1 A 橋における計測の様子

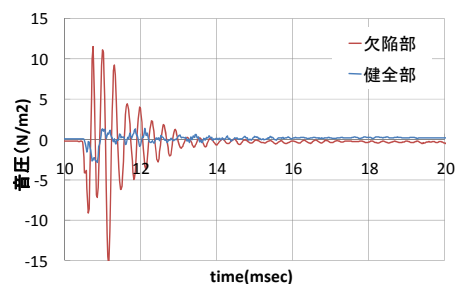


図-1 橋梁調査で得られた音圧の時刻歴波形

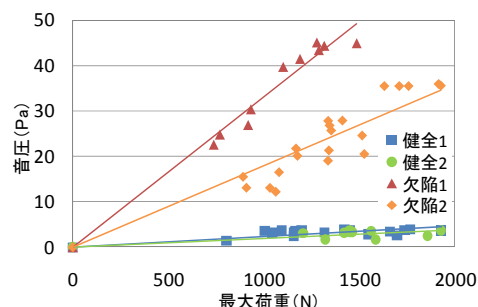


図-2 荷重と音圧の関係（橋梁）

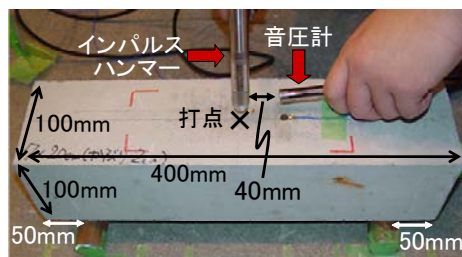


写真-2 供試体実験の状況

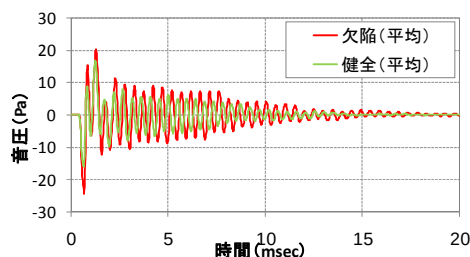


図-3 供試体実験で得られた音圧の時刻歴波形

4. 打音検査のシミュレーション解析

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計測さ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供試体表面の加速度データを入力値とした音響解析を実施するという2段階の計算を行った。

4.1 振動解析

振動解析では、供試体実験と同様に $400 \times 100 \times 100 \text{mm}$ 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の支持軸上を固定した。入力荷重として、供試体実験で実際に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。

4.2 音響解析

音響解析では、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-5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、打音の評価点は実験と同じ位置とした。入力条件として、供試体表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、評価点の音圧の時刻歴応答を計算した。

4.3 解析結果と考察

この解析で得られた音圧の時刻歴波形を図-6に示す。この結果より、音圧の最大値について解析値と実験値を比較すると、解析値の方が実験値より1.2~1.4倍ほど大きな値であったが、欠陥を有する供試体の方が健全な供試体よりも音圧の最大値が大きくなる傾向は再現された。そこで、同じ手法を用いて欠陥深さが打音に与える影響について解析的な考察を試みた。

4.4 欠陥深さによるシミュレーション

欠陥深さを 20mm 、 40mm 、 60mm とパラメトリックに変えた場合の解析結果を表-2に示す。この結果より、欠陥の位置が深くなるにつれ、単位入力荷重あたりの音圧が小さくなる傾向が確認できる。以上より、打音検査において音圧が大きいほど浅い位置に欠陥があるということが推測される。

5. 結言

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 実橋梁に対する打音検査によって、健全部と欠陥部で、音圧の大きさや振動周期、減衰性において違いが認められた。さらに音圧の大きさについて考察すると、欠陥部の状態によって異なる大きさの応答を示すことが確認された。
- (2) 欠陥の大きさや深さが既知である供試体を用いて打音試験を行い、有限要素法を用いて様々な欠陥深さについて解析することによって、浅い位置に欠陥があると音圧が大きくなるということがわかった。

今回は音圧の大きさについてのみ考察を行った。実橋梁調査では、音圧の大きさの他に振動周期や減衰性においても違いが認められることから、これらについても解析的に検討していくことが必要であると考えられる。

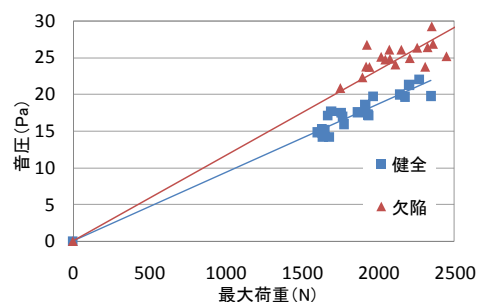


図-4 荷重と音圧の関係（供試体）

表-1 供試体の材料定数

	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比	密度 (g/cm^3)
供試体	3.24×10^4	0.2	2.18
欠陥部	1.0×10^1	7.5×10^{-2}	2.90×10^{-2}

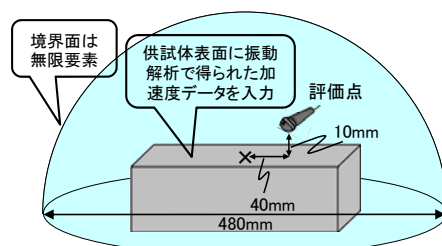


図-5 音響解析のイメージ

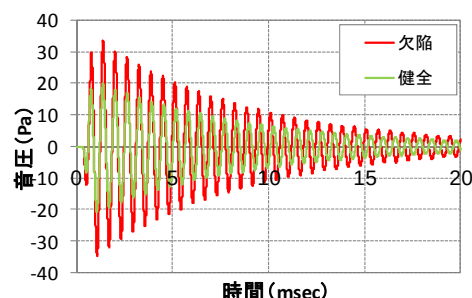


図-6 解析で得られた音圧の時刻歴波形

表-2 欠陥の深さによる音圧の変化

	欠陥深さ 2cm	欠陥深さ 4cm	欠陥深さ 6cm	健全
単位入力荷重 あたりの音圧 (Pa/kN)	17.58	17.52	17.27	15.13