

模擬損傷を有する床版の打音の周波数特性に関する研究

前橋工科大学 学生会員 ○秋山 拓也
一般財団法人小林理学研究所 廣江 正明

前橋工科大学 正会員 谷口 望
蔦井株式会社 塚田 忠康

1.背景・目的

現状の橋梁検査は、目視検査と併用してコンクリート表面をハンマーで叩いた時の音（以下、打音という）を耳で聞き、浮きやはく離などの異常を判断している。この方法は音の違いを主観的基準で判断するため、経験や能力によって個人差が生じるなどの課題が残る。本研究では、内部に空隙（以下、模擬損傷という）をもつコンクリート供試体を用いた打音試験を行い、打音と模擬損傷の有無の関連性を分析・評価する。

2.コンクリート供試体の設定

コンクリート供試体は寸法が 1000 mm×1000 mm×150 mm で内部に 300 mm 四方で深さ 50 mm の空隙と 200 mm 四方で深さが 100 mm の空隙と 300 mm 四方で深さ 100 mm の空隙をもっている。(図 1 参照)コンクリートの配合は 30-12-20N とした。(表 1 参照)また、SD295 D10 の鉄筋を格子径 100 mm、深さ 75 mm、4 隅から 100 mm 内側の位置で互いにクロスするようにセットした。

3.実験方法

インパクトハンマーでコンクリート供試体を打撃し、打音と打撃力の時間波形をサンプリング周波数 $f_s=51.2\text{ kHz}$ で収録した。(写真 1 参照) 打撃点は供試体表面の周囲から 50 mm 内側から、100 mm 間隔でメッシュ状に配置した計 100 点で、一つの打撃点につき 7 回程度打撃し、5 つ以上の良好な打音を収録した。(図 2 参照)

4.実験結果

打撃箇所の下に模擬損傷がある場合とない場合で打音の聴こえにどのような違いが生じるかを把握する為、打音を周波数分析した。周波数分析には、一定の周波数幅ごとの音圧の強さを分析する FFT 分析を用いた。打撃力や打音を含む 2.56 秒間（FFT 点数 $N=131,072$ 、周波数分解能 $\Delta f=f_s/N=0.39\text{ Hz}$ ）の時間

表 1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					
		水	セメント	細骨材	粗骨材	No.70	303A
55.0	47.4	174	316	826	947	3.16	1.90

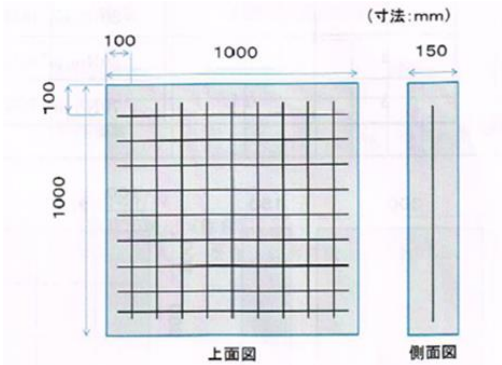


図 1 コンクリート供試体の寸法



写真 1 打音試験の様子

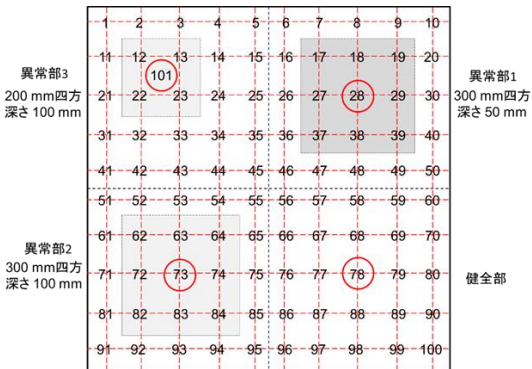


図 2 模擬空隙の設置位置と打撃点

キーワード 打音検査 RC 床版 維持管理

連絡先 〒371-0816 前橋市上佐鳥町 460-1 前橋工科大学 TEL 027-265-0111

波形を分析した。FFT 分析結果から周波数成分ごとの振幅を求める。

打撃点 28、73、78、101 の打音を FFT 分析した結果、図 3 のように異常部 1 (打撃点 28) の打音にのみ周波数 2 kHz に顕著なピークが認められた。

5. 考察

異常部 1 を大きさ 300 mm×300 mm、厚さ 50 mm で周囲を単純支持されたコンクリート平板と仮定し、その曲げ振動の共振周波数を次式¹⁾で計算した。

$$f = \frac{\lambda \pi}{2a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}}$$

$$D = Eh^3/12(1 - \nu^2)$$

$$\lambda = m^2 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 n^2$$

D は板の曲げ剛性、 E はヤング率、 ρ は密度、 a 、 b は平板の長辺、短辺の長さ、 h は板厚、 ν はポアソン比である。

$a=b=0.3$ m、 $h=0.05$ m、配合と圧縮試験の結果から $\rho=2.31 \times 10^3$ kg/m³、 $E=2.99 \times 10^4$ N/mm²、 $\nu=0.3$ を代入すると、 $f \approx 1.90$ kHz となる。

推定と実測のピーク周波数がほぼ一致することから、異常部 1 の顕著なピーク周波数はコンクリート平板の曲げ振動の共振周波数と考えられる。

また、異常部 2、3 についてもコンクリート平板の曲げ振動の共振振動数の推定計算を行った結果、前者の共振周波数は $f \approx 2.74$ kHz、後者は 5.71 kHz となった。異常部 2 におけるピーク周波数の実測値は $f \approx 2.52$ kHz であったが、異常部 3 には顕著なピーク周波数はなかった。

6. 打音の周波数特性を用いた健全度判定の試み

打音の周波数特性をもとに健全度(模擬損傷の有無)の判定を試みた。まず、健全部中央(打撃点 78)で得られた平均的な周波数特性を健全部の代表周波数とする。そして、他の供試体表面の位置で得られた平均周波数特性と比較し、その類似度(もしくは相違度)を数値化する。この類似度指数に閾値を設定し、健全部と異常部を判定する。このとき、類似度指数は健全部→異常部に対して単純減少(相違度指数の場合は単純増加)であること、また判定の再現性が高いことが望まれる。今回は健全度検討の第一段階として、健全部の代表周波数と他の周波数特性の内積を類似度指数とした。内積計算の為、この類似度指数は 0.0~1.0 の範囲となる。

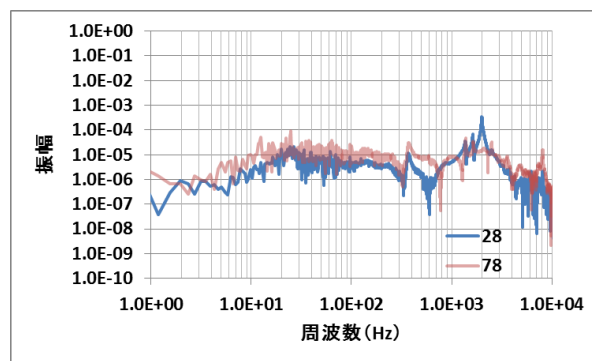


図 3 打撃点 28 と 78 の FFT 分析結果

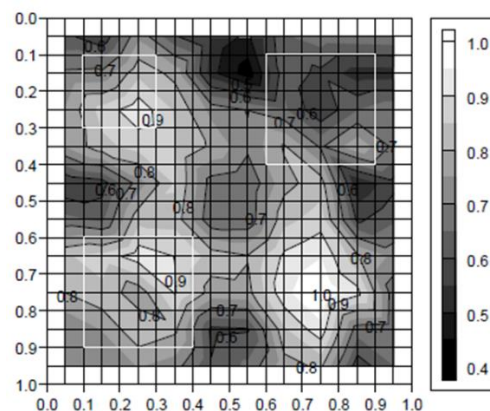


図 4 類似度指数による判定結果の分布

図 4 はコンクリート供試体の打撃面における健全部の代表周波数に対する類似度指数の分布図である。図中の白線で描いた 3 つの正方形は、異常部 1~3 に配置した模擬損傷を表している。

内積を利用した類似度指数の場合、異常部 1 の深さ 50 mm の模擬損傷とは良い一致が見られた。

7. まとめ

コンクリート供試体の健全部と異常部 1、2、3 の FFT 分析結果の比較から、異常部 1 の打音の周波数特性に示される顕著なピーク周波数は、コンクリート平板の曲げ振動の共振周波数であるということが確認できたが、異常部 2、3 や健全部の打音の周波数特性の特徴をコンクリート平板の曲げ振動のみで説明することは難しく、曲げ振動以外の要因を考慮する必要があると考えられる。

内積を利用した類似度指数の場合、異常部 1 の浅い位置(深さ 50 mm)の模擬損傷とは良い一致が見られる。ただし、異常部 2、3 の模擬損傷(深さ 100 mm)や健全部と異常部の境界、供試体の周辺部でも類似度指数が小さくなっており、まだ改善・検討の余地が残されている。

参考文献

- 1) 日本機械学会 第 5 章構造振動工学