

打音試験法における衝突加速度と打撃音による周波数特性の相関

(株) 砂子組 正会員 ○幌村 瑛奈 正会員 田尻 太郎 正会員 佐藤 欣治
正会員 古川 大輔 正会員 長谷川 雅樹

1. はじめに

打音試験法は他試験方法と比較して試験方法が単純、高価で大掛かりな試験装置や設備を必要としないため、近接目視とともに橋梁等実構造物の事前点検では主要な非破壊検査方法であるが、点検用ハンマー(以降ハンマー)を用いた打音試験は、健全部と欠陥部の打撃音(以下打音)の違いは検査者の聴覚による判断であり主観的であるなど欠点を有していることから、筆者らは打撃音の周波数解析結果に基づいた損傷評価を試みてきた 1), 2)。

打撃音が、ハンマーと検査対象との衝突加速度に起因するのは明らかことから、衝突加速度(入力)と打音(出力)の周波数特性を直接関連付けるため、高サンプリング周波数で測定を行い、周波数特性の相関を検討した。

2. 試験概要

試験はコンクリート橋台壁面で行い(図-1)、加速度計は容量 200G を打撃点より 10 cm、亀裂を挟み 30 cm の位置に設置、容量 1000 G をハンマーの金属部に設置し(図-2)、打撃強度を変えて小、中、大を各 15 回をサンプリング周波数 20 kHz で測定した。打音は iPhone で撮影した動画の音声のみ Wav ファイルに変換し、Bits/Block・Sampling Rate は 16 bits・44.1 kHz として各 15 回の平均を解析した。

フーリエ解析での加速度の波形抽出時間は 0.5s、スペクトル分布の分解能は 2.0Hz とし、打音は交通騒音や風音等のノイズの混入が避けられないことから波形抽出時間を 0.02s として波形の立ち上りが明確である記録のみの平均を用いた。以後測定データは、打音振幅(音圧)と比較する目的で、全て最大値を 1 として表示する。



図-1 橋台における打音試験状況

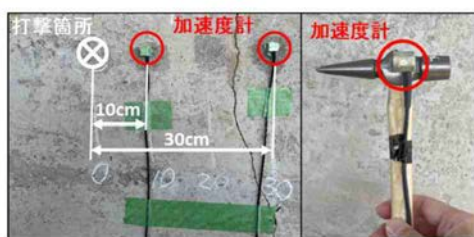


図-2 加速度計の設置状況

3. ハンマーの入力加速度

図-3-小～大に示す赤ラインはハンマーによる入力打撃加速度で、ハンマー加速度は全てほぼ同じ波形となり、打撃の強弱による特性変化はあまりないとわかる。また、表-1 に各ケースの平均ハンマー最大加速度を示す。

図-3 に示す黄ハッチ部は、加速度計の正方向は壁面から直角に離れる方向のためハンマーとコンクリート壁面との衝突過程と考えられることから、ハッチ部のみを取り出した振幅スペクトルを図-4 に示す。

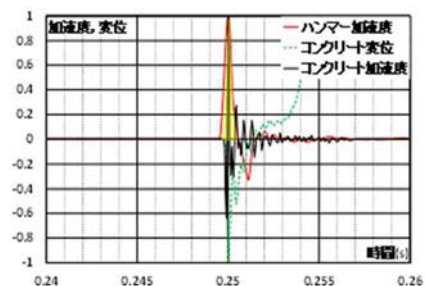


図-3-小 ハンマー加速度とコンクリート加速度

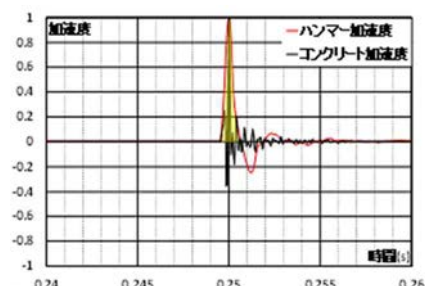


図-3-中 ハンマー加速度とコンクリート加速度

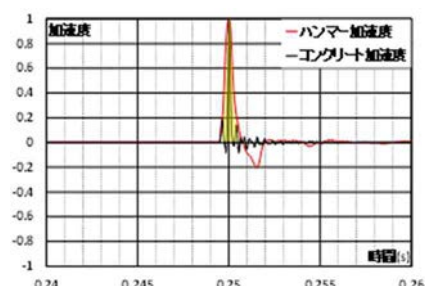


図-3-大 ハンマー加速度とコンクリート加速度

表-1 最大加速度

	小	中	大
ハンマー(m/s^2)	11630	19665	26498
コンクリート(m/s^2)	55	108	208
伝達率	0.0047	0.0055	0.0079

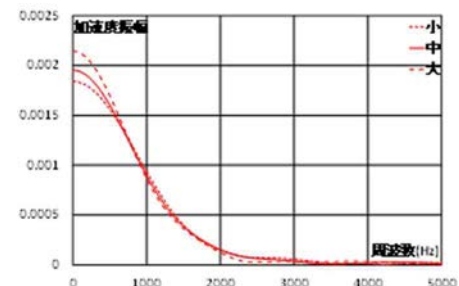


図-4 ハンマー加速度の振幅スペクトル

キーワード 非破壊試験, 打音試験, 打音解析, 衝突加速度, 周波数特性

連絡先 〒079-0394 空知郡奈井江町字チャシュナイ 987 番地 4 (株) 砂子組 TEL 0125-65-2326

4. コンクリートの応答加速度

図-5-小～大に示すコンクリート振幅スペクトル(図-5 黒線)のピーク周波数より, ω_0 と ζ は表-2と判断できる. モデルを図-6と仮定すると式.1～3が得られ, 図-4, 表-2, 式.1～3より $\alpha(\omega)$, $\beta(\omega)$ を計算して最小二乗法で図-5の応答振幅にフィッティングすると, 強制振動(図-5赤線)が得られ, 応答波形のフーリエ振幅から強制振動を引くと自由振幅スペクトル(図-5緑線)が得られた. 図-5より, 入力加速度が大きいほど自由振動が大きく励起され, 低周波領域とピーク周波数の振幅が増大した.

表-2 コンクリートの ω_0 と ζ

	小	中	大
ピーク周波数(ω_0 , Hz)	2442	2444	2512
臨界減衰比(ζ)	0.050	0.040	0.050

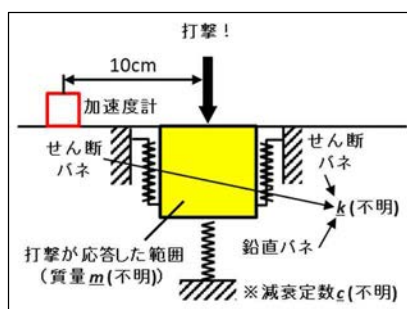


図-6 仮定モデル

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = \sum_j (a_j \cos \omega_j + b_j \sin \omega_j) \quad \cdots \text{式. 1}$$

$$\alpha = \frac{\left(1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right)a + \frac{2\zeta\omega_0}{\omega}b}{\left(1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{2\zeta\omega_0}{\omega}\right)^2} \quad \cdots \text{式. 2}$$

$$\beta = \frac{\frac{2\zeta\omega_0}{\omega}a + \left(1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right)b}{\left(1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{2\zeta\omega_0}{\omega}\right)^2} \quad \cdots \text{式. 3}$$

5. 打音の周波数特性

図-7-小～大に打音の振幅スペクトル(青線)とコンクリートの強制振動(赤線)で示す. 打音における700～1500 Hzにコンクリートの応答波形には見られないピーク(ハッチ部)はハンマー自体が発する音やノイズの影響, 録音機材の特性などが考えられ, その領域を除いた打音の周波数特性はコンクリート応答の強制振動が音として現れたと解釈する事は可能である.

ハッチ部(図-7)を除外して比較した強制振動と打音の振幅相関(図-8)では, ケース(大)についてはばらつきが大きいものの, 少なくとも(小, 中)のケースでは, 回帰直線の傾き ≈ 1 , R^2 値も0.699とかなり高い.

6. まとめ

- (1) ハンマー入力に打撃の大きさに関わらず, ほぼ一定の波形とスペクトル分布を持つが, ハンマー入力が大きいと自由振動の方が大きく励起されるものの, 打音への影響はほとんどなかった.
- (2) 打音はハンマー入力による強制振動が音として現れたとほぼ説明可能.
- (3) 打音検査の定量化にあたり, 比較的手軽な日用品による収録でも十分であると考えられる.

[参考文献]

- 1) 床版劣化に関する打音試験方法のデータ処理と評価, 長谷川他, 北海道支部論文報告集第72号E-34, 2016年.
- 2) 床版端部の劣化推定と補修に関する一提案, 井元他, 北海道支部論文報告集第73号E-05 1-4, 2017年.

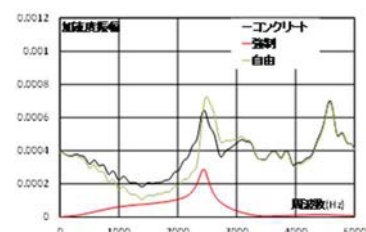


図-5-小 振幅スペクトル(コンクリート加速度)

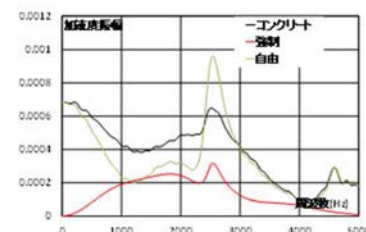


図-5-中 振幅スペクトル(コンクリート加速度)

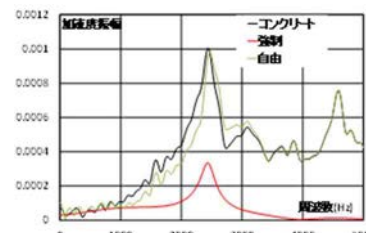


図-5-大 振幅スペクトル(コンクリート加速度)

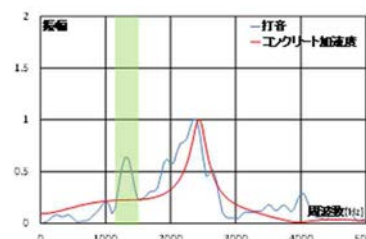


図-7-小 振幅スペクトル(打音・強制振動)

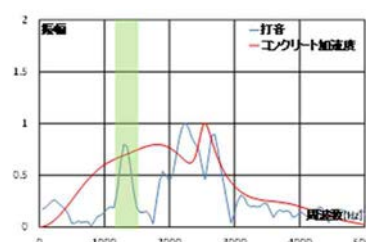


図-7-中 振幅スペクトル(打音・強制振動)

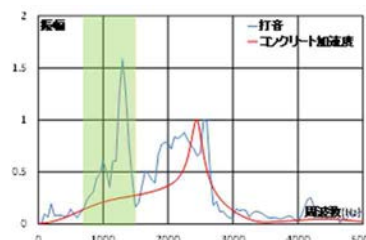


図-7-大 振幅スペクトル(打音・強制振動)

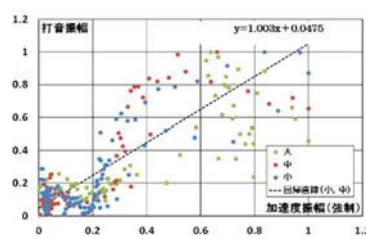


図-8 強制振動と打音の振幅相関