

床版劣化に関する打音試験方法のデータ処理と評価

Processing method and evaluation of data by tapping sound test about degradation of bridge floor slabs

(株)砂子組 ○正員 長谷川 雅樹 (Masaki Hasegawa)
 札幌開発建設部 千歳道路事務所 非会員 新保 貴広 (Takahiro Sinbo)
 (株)砂子組 正員 川村 正之 (Masayuki Kawamura)
 (株)砂子組 正員 佐藤 昌志 (Masashi Sato)
 (株)K S S 非会員 小澤 靖 (Yasusi Ozawa)

1. はじめに

打音試験法は非破壊検査方法の中でも広く利用されている検査方法であり、他の試験方法と比較して試験方法が単純であり、高価で大掛かりな試験装置や設備を必要としないことから、近接目視とともに橋梁等の実構造物の事前点検では主要な検査方法となっている。しかし、通常行われている点検用ハンマーを用いた試験方法は、健全部と欠陥部の打撃音の違いを検査者の聴覚によって判断するため、検査者の経験や熟練度によって検査結果が異なるなどの欠点を有しており、欠陥部の分布などを定量的に評価するには至っていない。打音試験法に関する研究¹⁾や打撃用ハンマーを改良した研究²⁾があるが、点検用ハンマーの打撃音のみで評価するシステムの構築には至っていない。

このような背景から、本研究は、道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版と記す。）を対象に、打音試験により発生した打撃音を分析することにより、RC床版の健全性や浮きや剥離等の欠陥の有無を定量的に判断する方法を検討した。

2. 検討方法

本研究では、打音試験法の簡便さを損なうことなく検査者の経験や熟練度に影響されない試験方法を目指していることから、打音試験による打撃音をマイクロフォンで集録しFFT解析により周波数特性を分析することにより定量的な評価が可能かを検討した。

最初に、RC床版を模した供試体で試験を行った。この供試体は押抜きせん断試験を実施したものであり、押抜き試験を行っていない供試体を健全な供試体、押抜き

試験を行った後の押抜かれた供試体を劣化供試体と位置付けて打音試験を行った。その結果を踏まえて、RC床版の劣化が認められ床版上面コンクリートの打替えが予定されていた実橋の床版で打音試験を実施し、検証を行った。

3. 供試体による試験結果

供試体全景を写真-1および写真-2に示す。供試体寸法は2800×2800×180mmで、図-1に示す6箇所の測点で打音試験を実施した。なお、図-1は劣化供試体を示しているが、健全供試体でも同様の位置で実施した。打音試験は、各測点で5回の打撃音をマイクロフォンで集録し、その平均値を当該測点の打撃音としてFFT解析により周波数特性を分析した。

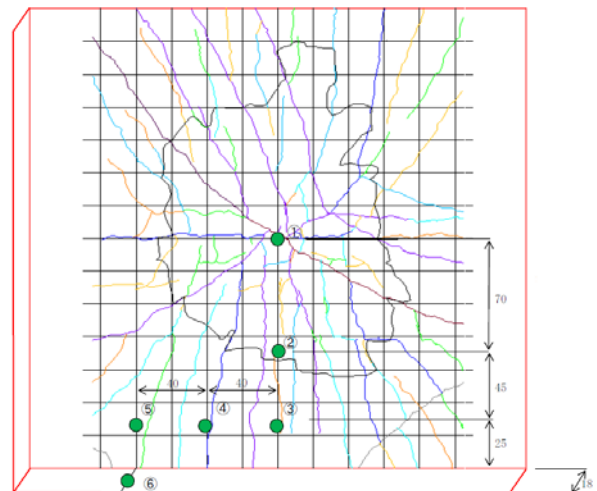


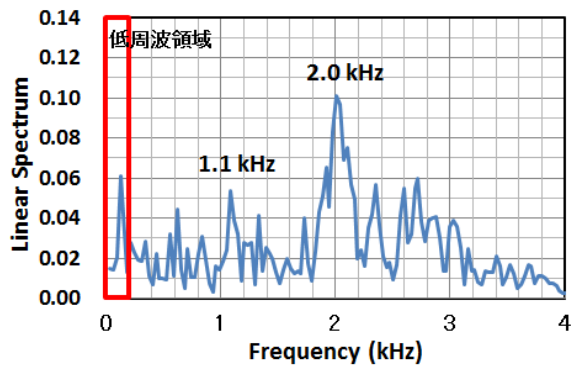
図-1 打音試験実施位置図



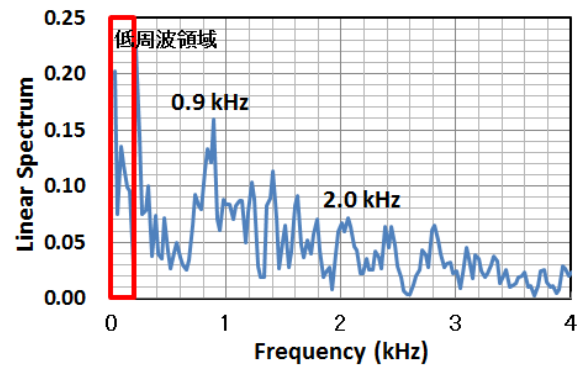
写真-1 供試体全景（健全部）



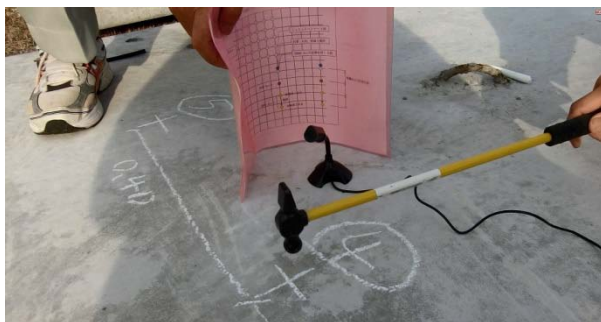
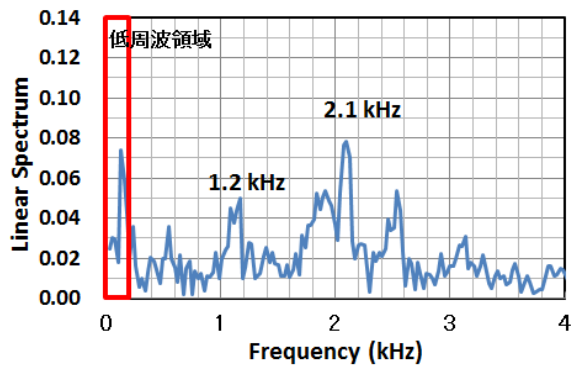
写真-2 供試体全景（劣化部）



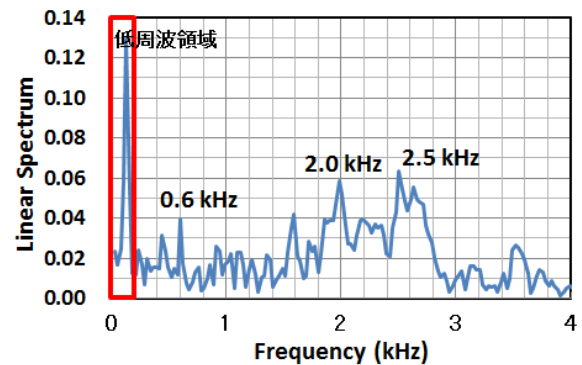
a) 健全供試体 測点 2 の周波数分析結果と状況



b) 劣化供試体 測点 2 の周波数分析結果と状況



c) 健全供試体 測点 4 の周波数分析結果と状況



d) 劣化供試体 測点 4 の周波数分析結果と状況

図-2 主要な測点の打音試験結果と測点の状況

図-2 に主な測点の分析結果と測点の状況を示す。なお、測定は野外で実施しており、風による音も収録されていたが、他の研究で風音は 0.2kHz 以下の低周波数領域に存在することが確かめられている⁴⁾ことから、0.2kHz 以下の低周波数領域は検討の対象から除外した。

健全供試体では、測点 2 および測点 4 とともに、1.1kHz および 2kHz 程度の周波数帯が卓越している。これに対し、劣化供試体の測点 2 では、1.8Hz 程度以下の周波数帯が全般的に高く特に 0.9kHz が卓越している。劣化供試体の測点 2 は押抜き試験により押抜かれた範囲の中に

あり浮き等が発生している箇所である。劣化供試体の測点 4 は 2.0、2.5kHz 程度の周波数帯が卓越しており低い周波数帯では 0.6kHz がやや卓越している。劣化供試体の測点 4 は近傍に微細なクラックはあるものの、押抜き試験による押抜かれた範囲から 40cm 程度離れている箇所である。

ハンマーによる衝撃周波数は 1.5~2Hz であり打撃音はこれによる板の曲げ波によるという報告⁵⁾があるが、2 kHz 程度の卓越周波数は健全部および劣化部ともに見られたことから、ハンマーの打撃状況やコンクリート物

性等による周波数と考えた。一方、1kHz 程度以下で見られる卓越周波数は、健全供試体ではほぼ 1.1kHz であるのに対し、押抜かれた範囲の中にあり浮き等が発生している箇所は測点 2 では 0.9kHz が、近傍に微細なクラック測点 4 では 0.6kHz が卓越していた。

したがって、打音試験による打撃音を集録し FFT 解析により、1 kHz 程度の低い周波領域の特性を分析することにより損傷を判断することは可能であると考えた。

4. 実橋における試験結果

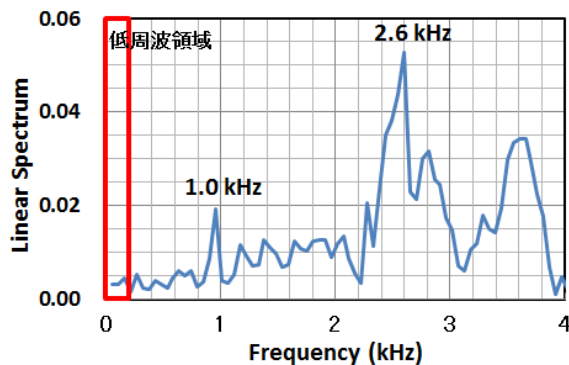
対象とした橋梁は、橋長 160m、アーチ支間 128m の 3 径間中跨式ローゼ橋であり、床版に浮きや砂利化等の損傷が著しかったことから、全面を対象に床版上面を打ち換える対策工が実施されるに至った。

打音試験は、対策工実施の際に舗装を除去した段階で実施し、床版上面をはつた後に当該箇所の劣化状況を確認している。また、供試体の試験と同様に、各測点で

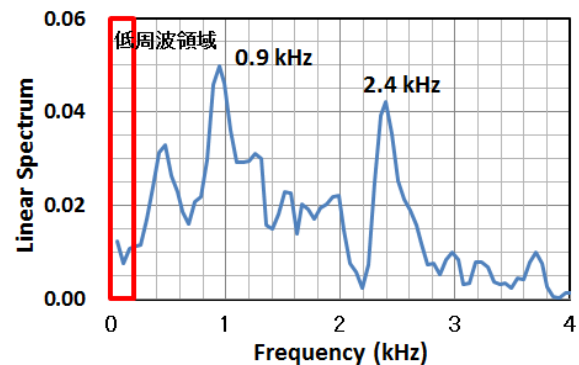
5 回打撃音をマイクロフォンで集録しその平均値を当該測点の打撃音として FFT 解析により周波数特性を解析した。また、0.2kHz 以下の低周波数領域は風音の影響とし検討の対象から除外している。

主要な結果を図-3 に示す。図の a)は健全部の結果であるが 2.6kHz と 1.0kHz 程度で卓越しており、供試体における測定結果と同様の傾向を示した。図の b)は、床版上面をはつた後に砂利化が確認された部分であるが、2.4kHz と 0.9kHz 程度で卓越していることは健全部と同様であるが、2kHz 以下の低い周波数帯が全般的に高くなっており、0.9kHz に加えて 0.5kHz でも卓越周波数が確認できる。

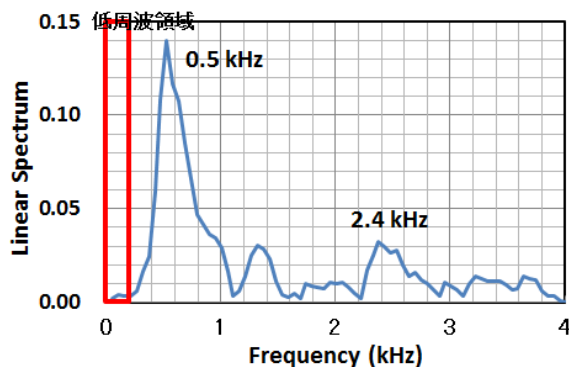
図の c)および d)は床版上部の浮きが確認された部分であり、d)が比較的法的範囲にわたる浮きが確認されている。これらは同様の傾向が見られ、2.5kHz 程度の卓越周波数は確認できるものの明瞭ではなく、1kHz 程度の周波数帯の卓越振動数は確認できず、c)では 0.5kHz が d)で



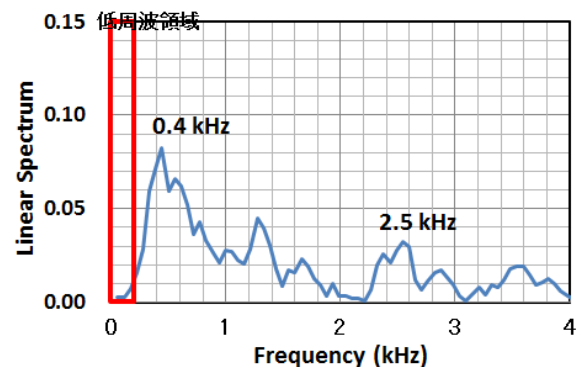
a) 健全部の周波数分析結果と状況



b) 砂利化部の周波数分析結果と上面はつり後の状況



c) 浮き部の周波数分析結果と上面はつり後の状況



d) 浮き部の周波数分析結果と上面はつり後の状況

図-3 実橋における試験結果



写真-3 実橋における試験状況

は 0.4kHz 程度の周波数が大きく卓越している。

以上の結果から、2.5kHz 程度の卓越周波数がコンクリート物性などに起因すると考えられる卓越振動数であり、1kHz 程度の卓越振動数が供試体の形状や損傷などの構造に起因する卓越振動数と評価した。また、砂利化した場合にはこの周端数は大きく変化しないが前後の周波数帯全般が高くなっている。浮きが発生した場合は個の卓越周波数が 0.5Hz 程度まで低下した。

以上の結果から、FFT 解析により周波数特性を分析し供試体の形状や損傷などの構造に起因すると考えられる 1kHz 程度以下の低い周波数帯周波数に着目することにより床版の損傷の有無を判定することが可能と考える。

5. まとめ

本研究では、橋梁の RC 床版を対象に、打音試験法の簡便さを損なうことなく検査者の経験や熟練度に影響されない試験方法を目指して、打音試験による打撃音をマイクロフォンで集録し FFT 解析により周波数特性を分析することにより劣化部の評価が可能かを検討した。最初に、RC 床版を模した供試体で試験を行った。結果を以下にまとめる。

- 1) コンクリート物性などに起因すると考えられる 2kHz 程度の卓越振動数と供試体形状やコンクリートの損傷に影響を受けていると考えられる 1.0kHz 程度の卓越周波数が確認できた。
- 2) 打音試験による打撃音を集録し FFT 解析により 1 kHz 程度の低い周波領域の特性を分析することにより損傷を判断することは可能である。

この結果を踏まえて、床版に浮きや砂利化等の劣化が見られた実橋の床版を対象に試験を行った。

その結果、

- 1) 供試体の測定と同様に、コンクリート物性などに起因すると考えられる 2kHz 程度の卓越振動数と供試体形状やコンクリートの損傷に影響を受けていると考えられる 1kHz 程度の卓越周波数が確認できた。
- 2) 砂利化した場合の測定結果では、1kHz 程度の周波数は大きく変化しないが前後の周波数帯全般が高くなった。

- 3) 浮きが確認された部分では、1kHz 程度の周波数帯の卓越振動数は確認できず、0.5kHz 程度まで卓越周波数は低下していた。

以上の結果から、5 回程度の打撃音を集録しその平均値を FFT 解析により周波数特性を分析し 1kHz 程度の低い卓越周波数の分布に着目することにより床版の劣化を判定することが可能と考える。なお、これらの卓越周波数はコンクリート性状や床版形状などに影響されると考えられることから、予め、健全部でキャリブレーションを行い、この固有の周波数を特定しておくことが不可欠と考える。

参考文献

- 1) 浅野雅則，鎌田敏郎，六郷恵哲，遠藤友紀雄：コンクリートの打撃音特性とその欠陥評価への適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.24 No.1，2002
- 2) 一富哲也，玉井宏樹，園田佳巨：コンクリートの強度が打撃音特性と表面振動に与える影響，土木学西部支部研究発表会論文集，I-008，2010
- 3) 大曲正紘，園田佳巨，宗元理：劣化したコンクリートの橋の回転式打音検査に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31No.1，2009
- 4) 土佐龍司，茂木良平：視覚障害者のための風音除去の方法の検討，秋田高等専門学校研究紀要，第 46 号，2010
- 5) 歌川紀之，伴亨，北川真也：打音法における欠陥検知に関する一考察，土木学会第 58 回年次講演会講演集，2003