

第V部門

アスファルト舗装を有する道路橋 RC 床版の水平ひび割れの検出における衝撃弾性波法の適用

大阪大学工学部 学生員 ○中山 和也 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎 内田 慎哉
大阪大学大学院工学研究科 学生員 前 裕史 山本 健太 正会員 大西 弘志

1. はじめに

本研究では、道路橋 RC 床版において発生する上面増厚コンクリート界面および既設コンクリート内部の鉄筋位置における水平ひび割れ（図 1 参照）を衝撃弾性波法により検出するため、アスファルト舗装および内部に水平ひび割れを人工的に模擬した RC 床版供試体を作製し、舗装面から衝撃弾性波法による水平ひび割れの評価を行い、弾性波の入力方法ならびに評価における手法の有用性に関する検討を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体

本研究では、道路橋 RC 床版を模擬するため、図 2 に示すとおり供試体を作製した。供試体の内部には、水平ひび割れを模擬するため、厚さ 6mm かつ直径が 200, 250 および 400mm の 3 種類の円形の発泡スチロールを人工欠陥として設置した。設置深さは、供用中の道路橋 RC 床版で発生する水平ひび割れの深さ（図 1 参照）を考慮して、上面増厚コンクリート界面（深さ 100mm）、既設コンクリート内部の上縁側（深さ 130mm）および下縁側鉄筋位置（深さ 250mm）に対応するようにした。

2.2 衝撃弾性波法による計測

弾性波の入力および受信は人工欠陥上のアスファルト表面で行った。入力する弾性波の周波数の違いが、人工欠陥の検出に与える影響について検討するため、弾性波の入力には直径の異なる 3 種類の鋼球（4.0, 6.4 および 11.0mm）を使用した。弾性波の伝播速度については、複数箇所での計測結果より、コンクリートの伝播速度は 3902m/s、アスファルトの伝播速度は 2730m/s とした。

3. 実験結果および考察

3.1 鋼球直径の選定

本手法による水平ひび割れの検出を効率的に行うためには、弾性波の入力に使用する鋼球直径の種類は極力少ない方が好ましい。そこで、ここではまず、縦波共振周波数が最も小さくなる場合として、欠陥が無い場合の供試体厚さ推定を対象とした。続いて、縦波共振周波数が最も大きくなると考えられる欠陥深さ 100mm の場合での測定を行った。この両者を評価することが可能な鋼球

を選定すれば、深さが 130 および 250mm の欠陥（これらの縦波共振周波数は、深さ 100mm のそれよりも小さい）に対しても十分適用が可能であると考えられる。

図 3 に得られた周波数スペクトルを、鋼球直径ごとにそれぞれ示す。図中の矢印は供試体の厚さに相当する理論上の縦波共振周波数（ $f_{厚さ} = 6.5 \text{ kHz}$ ）であり、破線は人工欠陥に相当する理論上の縦波共振周波数（ $f_{ひび割れ} = 16.1 \text{ kHz}$ ）をそれぞれ示している。人工欠陥が無い場合の周波数スペクトル（図 3 a）に着目すると、鋼球直径 6.4 および 11.0mm の場合において、 $f_{厚さ}$ とほぼ同じ位置に明瞭なピークが確認できる。したがって、この場合では、供試体厚さを推定できることがわかった。

これに対して欠陥直径 200mm、深さ 100mm の場合（図 3 b）では、いずれの鋼球直径においても、 $f_{厚さ}$ よりも低い周波数にピーク（約 4.6kHz）が見られる。これは弾性波の伝播経路上に人工欠陥が存在する場合、欠陥を迂回して波が伝播するため、弾性波の伝播距離（打撃点から底面までの最短距離）が、人工欠陥がない場合（図 3a）よりも長くなり、供試体厚さに相当する縦波共振周波数： $f_{厚さ}$ は、低周波数側へシフトするからである。

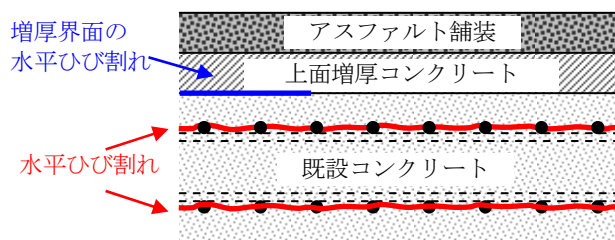


図 1 道路橋 RC 床版の水平ひび割れ発生位置

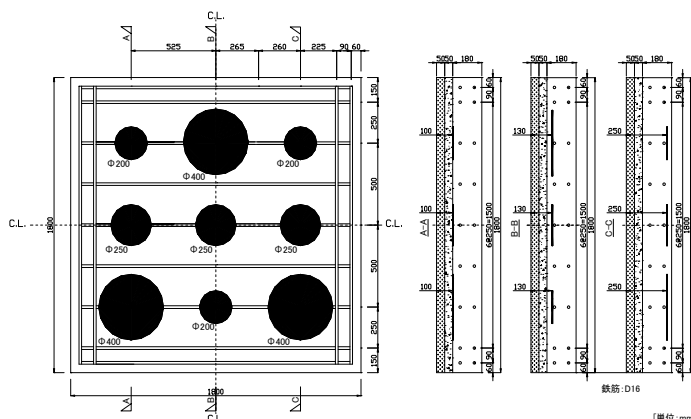


図 2 供試体概要

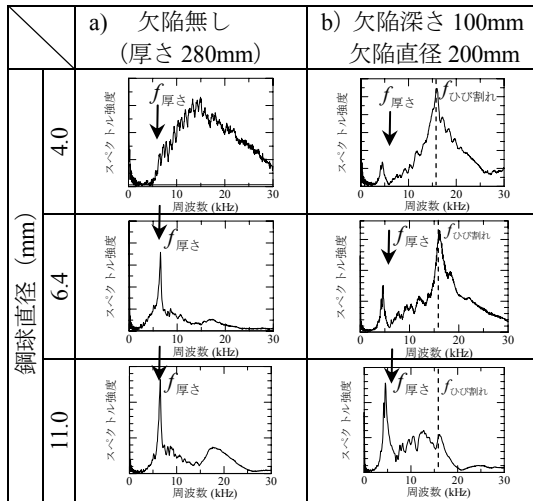


図3 鋼球直径ごとの周波数スペクトル

続いて、人工欠陥に相当する縦波共振周波数: $f_{\text{ひび割れ}}$ 近傍の周波数帯域に着目すると、鋼球直径 4.0 および 6.4 mm では、周波数スペクトル上のピークと $f_{\text{ひび割れ}}$ がよく一致していることがわかる。これに対して、鋼球直径が 11.0 mm の場合では、鋼球直径が大きくなるにつれて、周波数スペクトル上における $f_{\text{ひび割れ}}$ の成分が小さくなっている。したがって、鋼球直径 11.0 mm を使用した場合は、人工欠陥を検出することは困難であると考えられる。

以上より、本研究において、弾性波の入力にあたっては、鋼球直径 6.4 mm を使用することとした。

3.2 計測された周波数スペクトルの特徴

図4に周波数スペクトルを示す。図4中には、図3と同様に、 $f_{\text{厚さ}}$ を矢印、 $f_{\text{ひび割れ}}$ を破線でそれぞれ示している。図より、いずれの欠陥においても、 $f_{\text{ひび割れ}}$ (図中の破線) と周波数スペクトル上におけるピークは、おおよそ一致している。ここで、欠陥直径 200 mm における深さ 100 および 130 mm に着目すると、深さが大きくなると、 $f_{\text{厚さ}}$ が卓越し、 $f_{\text{ひび割れ}}$ が相対的に減衰している。しかも、この傾向は、欠陥直径が 250 および 400 mm の場合もほぼ同様であることがわかる。通常、鋼球打撃により入力された弾性波は、球面波として伝播する。欠陥深さが小さい場合、弾性波が反射する割合は、供試体底面よりも欠陥において大きくなり、周波数スペクトル上において、 $f_{\text{ひび割れ}}$ が $f_{\text{厚さ}}$ よりも卓越したものと考察できる。なお、欠陥深さが 250 mm の場合では、弾性波の反射源である欠陥の深さが供試体底面(深さ 280 mm) とほぼ同じ深さにあるため、周波数スペクトル上において、 $f_{\text{厚さ}}$ と $f_{\text{ひび割れ}}$ の両者を同時に確認することはできない。続いて、深さ 130 mm の周波数スペクトルに焦点を当てると、欠陥直径が大きくなるにしたがって、 $f_{\text{ひび割れ}}$ が $f_{\text{厚さ}}$ よりも卓越し

表1 検出可能な欠陥直径と深さとの関係

直径 (mm)	深さ (mm)		
	100	130	250
200	○	○	△
250	○	○	△
400	○	○	△

○：検出可能，△：検出可能（健全との判別は困難）

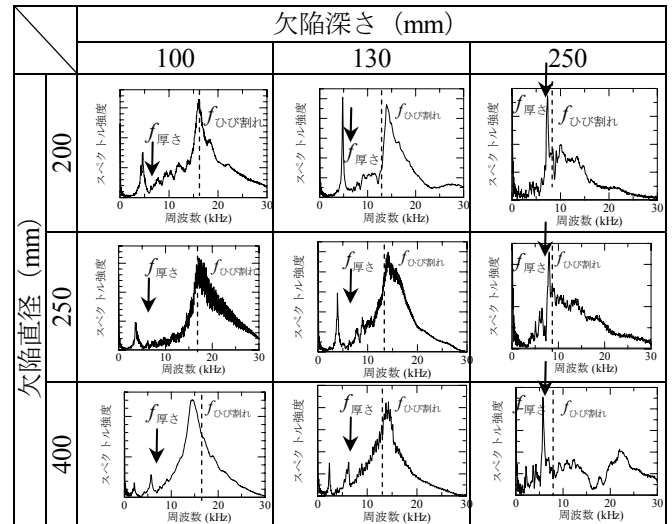


図4 周波数スペクトル

ている。これは、欠陥直径が大きくなることにより弾性波の反射限も大きくなったことに起因している。また、この傾向は、深さ 100 mm の場合でも同じである。

以上より、衝撃弾性波法によって検出可能な欠陥直径と深さとの関係を表1に示す。

4. まとめ

- (1) 一般的な道路橋 RC 床版内部の水平ひび割れを的確に検出する上では、床版厚に相当する縦波共振のピークが確認できる鋼球直径の範囲内で、できるかぎり直径の小さなものを選定するのが効果的である。
- (2) 道路橋 RC 床版の厚さを想定した供試体において、アスファルト舗装面から衝撃弾性波法を実施した結果、水平ひび割れを模擬した深さ 100 および 130 mm の人工欠陥を検出できることが明らかとなった。

謝辞

本研究は、国土交通省委託研究事業 新道路技術会議 技術研究開発プロジェクト「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の援助を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表します。