

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○李 興洙 正会員 鎌田 敏郎
正会員 内田 慎哉 学生員 岩崎 俊樹

1. はじめに

本研究では、道路橋から切り出した RC 床版の内部に発生する水平ひび割れを衝撃弾性波法によりの確かつ効率良く検出するため、まず、計測対象の RC 床版をモデル化した上で 3 次元衝撃応答解析を行い、「I：弾性波の入力方法」、「II：弾性波の受信方法」および「III：周波数分析方法」の最適な方法をそれぞれ決定した。続いて、得られた解析結果に基づき、衝撃弾性波法により切り出し RC 床版の水平ひび割れの検出を試みた。

2. 道路橋から切り出した RC 床版の概要

図-1 に示す RC 床版は、アスファルト舗装（厚さ 60mm）、増厚コンクリート（厚さ 60mm）、既設コンクリート（厚さ 200mm）で構成されている。

3. 衝撃応答解析を援用した衝撃弾性波法の概要

3.1 解析概要

解析モデルの一例を図-2 に示す。モデル内部には水平ひび割れを模擬した直径 200mm の空隙部を深さ 60mm の位置に設けた（欠陥ありモデル）。比較のため、空隙部のないモデル（欠陥なしモデル）も併せて作成した。

モデル要素は 1 辺 10mm の 8 節点ソリッドである。モデルの支持は、図-2 に示す斜線部とした。支持面の境界条件は、節点の全方向の変位を固定とした。鋼球打撃による弾性波入力を模擬するため、正弦波の半波を三角波により近似した波形を衝撃力として与えた。衝撃力の入力位置は、モデル中央の 1 節点（図-2 中の矢印）である。弾性波の出力位置は、衝撃力を入力した節点から y 方向へ 50mm 離れた節点とした。サンプリング間隔は 1μs、サンプリング数は 10000 点である。

3.2 弾性波の入力方法の選定

弾性波の入力方法を決定するため、鋼球直径を 3.2、6.4 および 12.8mm の 3 ケースに設定し、欠陥ありおよび欠陥なしモデルを対象に解析を行なった。解析で得られた加速度波形を高速フーリエ変換（FFT）して求めた周波数スペクトルを図-3 に示す。図中には、理論上の版厚共振周波数： f_r を矢印、欠陥共振周波数： f_d を破線でそ

れぞれ示している。欠陥なしモデルでは、鋼球直径に関わらず f_r 付近にピークが出現した。しかしながら、鋼球直径が 3.2mm の場合には、 f_r 近傍のピーク以外にもそれと同程度のピークが複数出現している。したがって、鋼球直径は 6.4 および 12.8mm が適切であると考えられる。続いて、欠陥ありモデルでは、鋼球直径 3.2 および 6.4mm のケースで f_d 近傍にピークが出現している。以上



図-1 道路橋から切り出した RC 床版の概要

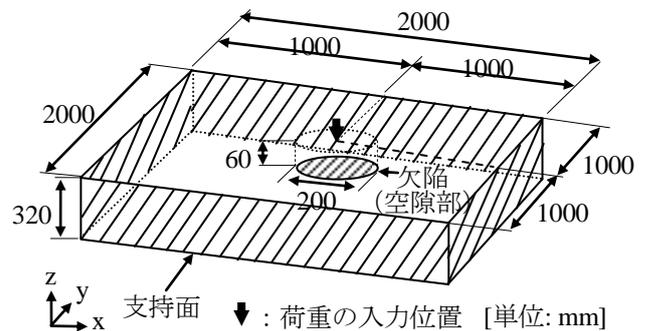


図-2 欠陥ありモデルの概要

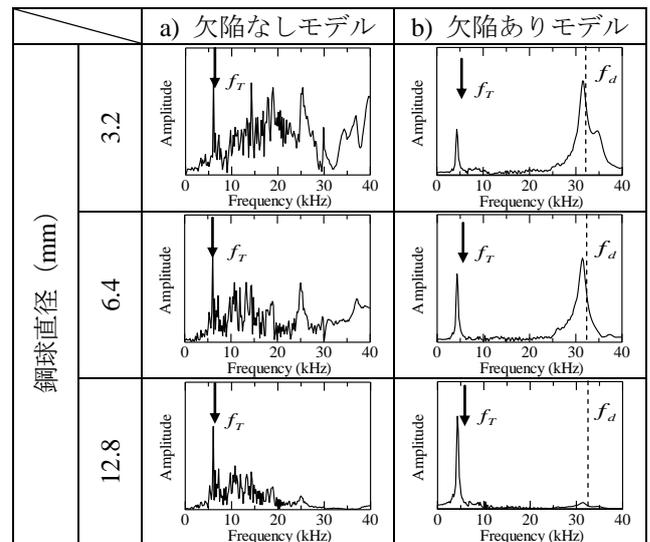


図-3 鋼球直径ごとの周波数スペクトル

ことから、鋼球直径は 6.4mm が適切であると判断した。

3.3 弾性波の受信方法の選定

弾性波の受信方法を決定するため、出力する波の種類を加速度および変位の 2 ケースに設定した。弾性波の入力に使用した鋼球直径は 6.4mm である。変位波形を FFT することにより求めた周波数スペクトルを図-4 に示す。

加速度波形の場合の結果は、図-3 に既に示している。変位波形の周波数スペクトルは、欠陥なしモデルでは f_r 位置近傍にピークが出現しているものの、欠陥ありモデルでは f_d 周辺にピークは出現していない。よって、加速度波形を出力することが適切であると考察できる。

3.4 周波数分析方法の選定

周波数分析方法は、FFT および最大エントロピー法 (MEM) の 2 ケースとした。なお、弾性波の入力は鋼球直径 6.4mm、出力は加速度波形である。MEM により算出した周波数スペクトルを図-5 に示す。FFT の結果は、図-3 に既に示している。それぞれの周波数スペクトルを比較すると、MEM を使用することにより、 f_r あるいは f_d 位置近傍に出現しているピークの形状が鋭くなり、かつ、これらのピーク周波数以外の周波数成分が若干ではあるが小さくなっていることが確認できる。したがって、周波数分析方法としては、MEM が好ましいと考えられる。

4. 切り出し RC 床版に対する本手法の適用性

4.1 計測概要

衝撃弾性波法による計測は、図-1 に示す床版底面のコンクリート表面で行った。弾性波の入力、受信および周波数分析は、解析結果に基づき、鋼球直径 6.4mm、加速度センサおよび MEM とした。

4.2 計測結果および考察

計測結果の一例を図-6 に示す。計測箇所 B では f_r 近傍にピークが出現しており、水平ひび割れは発生していないと考えられる。これに対して計測箇所 A および C では、 f_r よりも高い周波数領域に単独のピークがそれぞれ出現している。コンクリートの縦波速度とピーク周波数の値から、計測箇所 A では床版底面から 125mm の位置、C では 167mm の位置に水平ひび割れがそれぞれ発生していると考えられる。計測による推定結果を確認するため、計測箇所 A、B および C の位置で削孔を行い、孔内に棒状のスカナーを挿入し、内部のひび割れ発生状況を撮影した。図-7 に示す撮影結果より明らかとなり、推定結果は、削孔結果と概ね一致した。

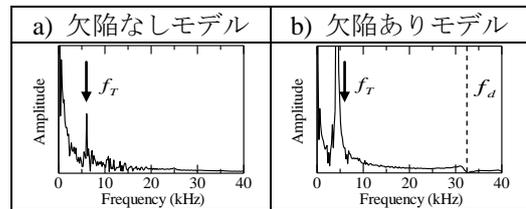


図-4 変位を出力した場合の周波数スペクトル

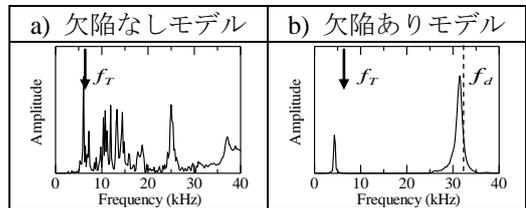


図-5 MEM を使用した場合の周波数スペクトル

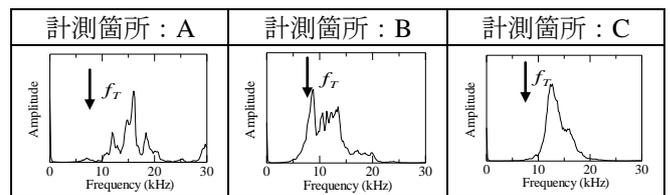


図-6 計測により得られた周波数スペクトルの一例

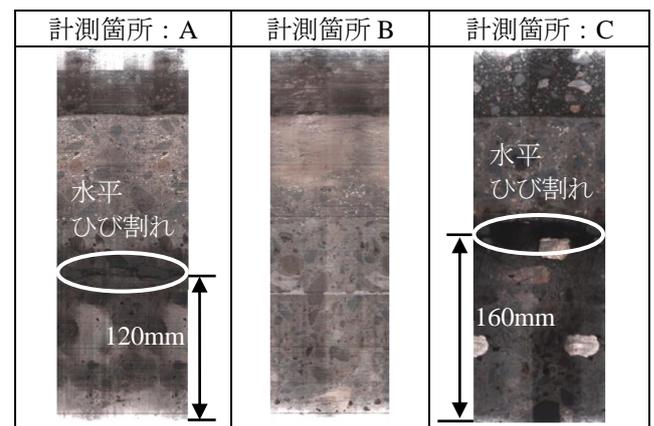


図-7 削孔結果

5. まとめ

本研究では、道路橋から切り出した RC 床版の内部における水平ひび割れの検出を目的として、あらかじめ衝撃応答解析を行い、「I：弾性波の入力方法」、「II：弾性波の受信方法」および「III：周波数分析方法」をそれぞれ事前に決定した。得られた条件のもと、対象とする床版で衝撃弾性波法による計測を行なった結果、本手法により推定した結果は削孔により確認された実際の状況と概ね一致す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す。