

## 衝撃弾性波法と開口合成法の組合せによる RC 床版の水平ひび割れ検出の基礎検討

首都大学東京 学生会員 ○萩原 将 正会員 大野 健太郎  
 首都大学東京 正会員 宇治 公隆 正会員 上野 敦

### 1. はじめに

既設 RC 床版では、目視できない水平ひび割れの平面的な範囲および深さの推定に際し、非破壊試験の活用が望まれているが、衝撃弾性波法を用いた既往の検討<sup>1), 2)</sup>では欠陥直径 200mm あるいは 100mm 以下の場合に検出が困難とされ、より精度の高い検出技術が求められている。本研究では、水平ひび割れを模擬した人工欠陥を含む供試体にて、衝撃弾性波法と開口合成法の組合せによる、水平ひび割れの平面的な位置および深さの推定手法について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 供試体概要

図-1 に示す供試体を 4 体作製した。Case1 を健全な供試体とし、水平ひび割れを模擬した円形スチレンボード（厚さ 1mm）4 枚を位置と深さを変えて埋設したものをそれぞれ Case2, 3, 4 とした。コンクリートの計画配合を表-1 に示す。材齢 28 日でのコンクリートの圧縮強度は 39.2N/mm<sup>2</sup> であり、静弾性係数は 25.0kN/mm<sup>2</sup> であった。衝撃弾性波法による測定は、厚さ 50mm のアスファルト舗設前後の計 2 回実施した。

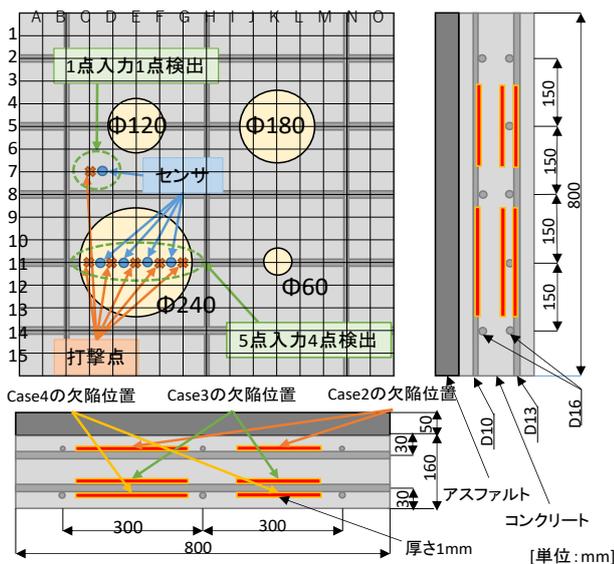


図-1 供試体概要

表-1 コンクリートの計画配合

Gmax (mm)	SL (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単体量(kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	S	G	Ad
20	8.0	50	4.5	45.6	172	344	790	957	1.032

#### 2.2 衝撃弾性波法の測定概要

##### (1) 1 点入力 1 点検出による方法

衝撃弾性波法では、鋼球打撃により床版内部に弾性波を伝搬させ、弾性波入力面とそれに平行な反射面（水平ひび割れあるいは供試体底面）との間で生じる多重反射波をセンサにより受信する。この測定波形を周波数分析することで算出される卓越周波数を式(1)に代入する。その結果、供試体底面あるいは水平ひび割れまでの深さ  $d$  を推定することができる。

$$f_d = \frac{C_p}{2a} \quad (1)$$

ここに、 $f_d$ : 基本周波数(Hz),  $C_p$ : コンクリート中での弾性波伝搬速度(m/s)とする。

本検討では、アスファルト舗設前の RC 床版上面にて 50mm 間隔の各格子点上の 1 点を鋼球で打撃し、右側 25mm の位置で弾性波を 1 個の加速度計により受信した。弾性波の入力には、床版厚が 160mm であることから、版厚推定時に推奨される鋼球の直径を NDIS2426-2<sup>2014</sup>) を参考に 11.0mm とした。さらに、水平ひび割れ直上では、弾性波の伝搬距離が短くなると想定し、入力周波数がより高くなる直径 3.2mm, 6.4mm の鋼球を併用した。

##### (2) 5 点入力 4 点検出による方法

弾性波の 5 点入力 4 点検出により測定した波形を開口合成法に適用し、測定領域内を可視化することで水平ひび割れの検出を試みた。本検討では、欠陥からの反射波のみを開口合成法の入力値とすることを考え、欠陥部波形と健全部波形の差（差分波形）に着目し、振幅の極性を反映させた差分二乗値を開口合成法の入力値に適用した。図-2 に、各供試体の K5 点にて 3.2mm 鋼球で打撃した際の受信波形（振幅値は各波形の最大値で正規化）と Case2, 3, 4 から Case1 の波形を差し引いた差分波形を示す。Case2, 3, 4 の差分波形では、受信波形の時間経過に伴い、人工欠陥埋設深さに応じて健全供試体での波

キーワード RC 床版, 水平ひび割れ, 多重反射理論, 開口合成法, 差分二乗値

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL : 042-677-1111

形との差が生じている。差分値の大きさは Case2 が最も大きく、Case3 や Case4 のように埋設深さが深いほど小さいこともわかる。すなわち、差分波形は人工欠陥からの反射情報を有すると考えられる。また、センサと鋼球は、2.2.(1)と同じものを用い、加速度計 4 個を 50mm 間隔で配置し、5 か所で鋼球打撃を行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 弾性波の多重反射理論に基づく結果

図-3 に弾性波の多重反射理論に基づく卓越周波数分布を示す。卓越周波数に着目した水平ひび割れの検出方法では、版厚に相当する卓越周波数(12.5kHz)より高い周波数が検出される場合、水平ひび割れの存在が示唆されるが、直径 120mm 以上の欠陥上では版厚相当の卓越周波数よりも低い値となり、深さ推定が困難であった。また、深さ 60mm の欠陥では検出が困難となった。

#### 3.2 開口合成法による結果

図-4 に鋼球径 3.2mm での開口合成法の解析結果を示す。Case2 では、欠陥位置よりもやや深い位置と版厚に相当する位置で差分二乗値(反射強度)が高く出現している。Case3 では、全ての欠陥径において精度の高い結果が得られている。Case4 では、欠陥径 60mm では検出できていないが、120mm 以上の欠陥径では欠陥部で反射が得られている。また、鋼球径 6.4mm, 11.0mm においても同様の結果が得られ、高い精度で欠陥の検出ができることが認められた。

#### 3.3 アスファルト舗装上での測定結果

アスファルト舗装上からの欠陥検出を 2.2.(2)の方法を用いて検討した。図-5 に鋼球径 3.2mm の解析結果の一部を示す。いずれの場合においても、アスファルト舗設前に比べ、検出性能が著しく低下していることがわかる。本検討においては、弾性波の入力エネルギーが小さく、弾性波がコンクリート内に十分に伝わらなかったためと考えられる。

### 4. まとめ

弾性波の多重反射理論に基づく方法では、アスファルト舗設前の RC 床版において欠陥径 120mm 以上で平面位置は推定可能だが、欠陥深さ推定は困難であった。欠陥部波形と健全部波形の差分波形を開口合成法に適用した結果、アスファルト舗設前において、高い精度で欠陥検出が可能となった。一方、アスファルト舗装上では、弾性波の入力方法などの改善が必要と考えられる。

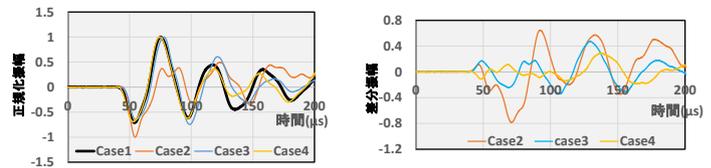


図-2 鋼球径 3.2mm の測定波形と差分波形

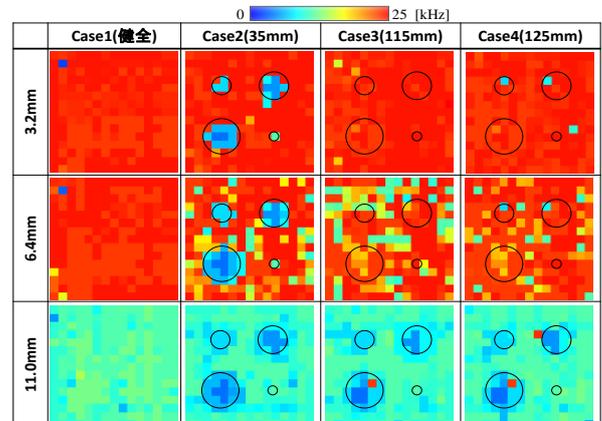


図-3 卓越周波数分布

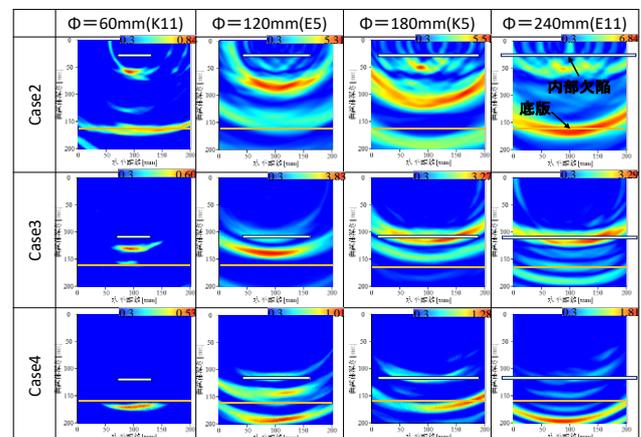


図-4 鋼球径 3.2mm の開口合成法解析結果

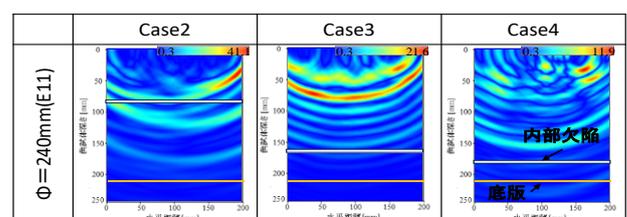


図-5 アスファルト解析結果 (3.2mm)

### 謝辞

本研究は、一般財団法人上田記念財団の 2019 年度研究助成を受けて実施した。また、実験に際し日本道路(株)の藤井洋志氏にご協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 中山和也ほか: 弾性波法による道路橋 RC 床版の水平ひび割れの評価手法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp2113-2118, 2009
- 2) 野内彩可ほか: 応答信号取得位置を固定した打撃試験における自己組織化マップによるコンクリート内部の欠陥領域判定, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp1755-1760, 2018
- 3) NDIS2426-2<sup>2014</sup>: コンクリートの非破壊試験—弾性波法—第 2 部: 衝撃弾性波法, 一般社団法人日本非破壊検査協会, pp.13-18, 2014.9