

大阪大学工学部 学生会員 ○石田 卓也 立命館大学理工学部 正会員 内田 慎哉
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎 大阪大学大学院工学研究科 学生会員 西上 康平
 東北学院大学工学部 正会員 李 相勲

1. はじめに

本研究では、道路橋 RC 床版などに生じる水平ひび割れを対象として、衝撃弾性波法による計測を3次元衝撃応答解析によってシミュレーションし、水平ひび割れを可視化する手法についての検討を行った。

2. 衝撃弾性波法による水平ひび割れの評価原理

衝撃弾性波法によるコンクリート部材内部の水平ひび割れの評価原理を図-1に示す。受信波形を周波数分析して得られた周波数スペクトルにおいて、縦波の多重反射によるピーク（図中の矢印）を特定し、その周波数の値からひび割れ深さを評価するものである。

3. 可視化手法の概要

本研究で提案する可視化手法は、まず、複数の計測点において、衝撃弾性波法による計測を行い、各点において周波数スペクトルを算出する。続いて、各計測点で求めた周波数スペクトルにおける横軸の値（周波数）を次式により計測点直下の見かけの深さに換算した。

$$h = C_p / 2f_h \tag{1}$$

ここで、 f_h ：周波数スペクトルにおける横軸の値（周波数）、 C_p ：コンクリートを伝搬する縦波の速度、 h ：コンクリート上面からの見かけの深さ（換算深さ）である。その後、各深さにおける反射強度を、換算深さに対応する縦軸の値（スペクトル強度）として求めた。最後に、上記の計算を全計測点で行い、得られた全ての反射強度を外挿することで、断面における2次元の可視化画像を求めた。

4. 衝撃応答解析の概要

図-2に解析モデルを示す。モデル寸法は、長

さ 900mm×幅 900mm×高さ 230mm である。要素は8節点ソリッドとし、各要素の寸法を 10mm

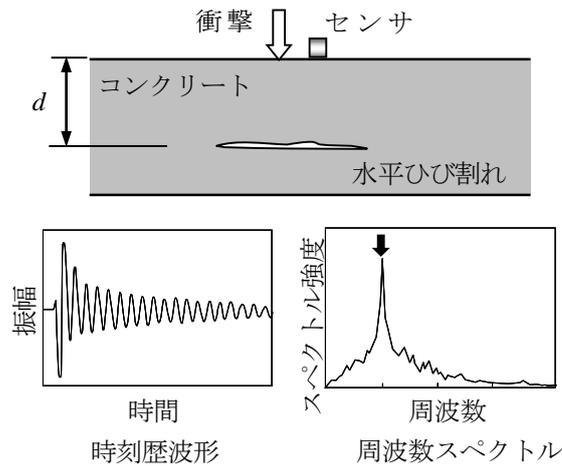


図-1 衝撃弾性波法による水平ひび割れの評価原理

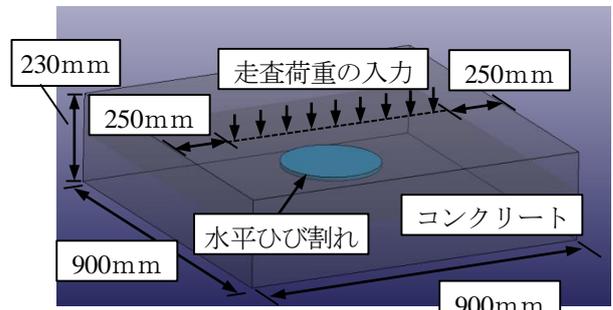


図-2 解析モデル概要

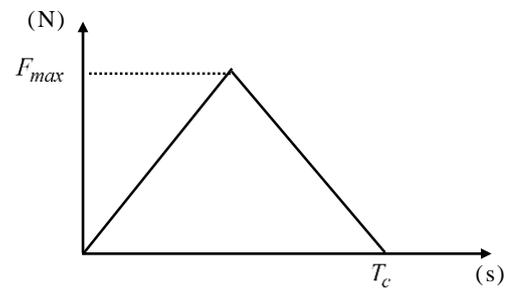


図-3 入力関数

表-1 解析モデルの物性値

密度(kg/m ³)	弾性係数(N/mm ²)	ポアソン比
2.3×10 ³	2.0×10 ⁴	0.2

に設定した。水平ひび割れを模擬するために円形の空隙部を設けており，空隙部の直径はφ250mm，深さは50および100mmとした。モデルの四方側面では全節点の変位を固定し，側面からの反射を無視する条件とした。表-1にモデルの物性値を示す。鋼球直径 D : 6.4mm での打撃による弾性波入力を模擬するため，図-3に示す入力関数を用いた。図中の T_c (s)は接触時間であり，次式により算出した。

$$T_c = 0.0043D \quad (2)$$

5. 解析および可視化の結果

衝撃弾性波法による水平ひび割れ深さの評価においては，表面波の影響が指摘されている。本解析の条件の範囲内においては，表面波は周期的な成分は持たないが，大きな振幅を有するため，FFTによる周波数分析方法では周波数スペクトル上に表面波の成分が大きく現れる。表面波による影響を確認するために受信波形全体と表面波通過後の波形それぞれに対してFFTにより周波数スペクトルを求めた。得られた結果を図-4に示す。図中の矢印は，理論上の縦波共振周波数の位置を示している。波形全体から周波数スペクトルを求めたひび割れ深さ50mmの場合では，理論上の縦波共振周波数の位置に明瞭な単独のピークが出現している。しかしながら，ひび割れ深さ100mmでは縦波共振周波数以外にも強度の大きい成分が分布していることがわかる。これに対して，表面波通過後の波形から求めた周波数スペクトルでは，いずれのひび割れ深さにおいても，理論上の縦波共振周波数の位置に明瞭なピークが出現している。

本研究で提案する手法により求めた可視化画像を図-5に示す。図中の色は明るい領域ほど反射強度が大きいことを示す。ひび割れ深さが50mmの場合には，表面波の有無に関わらず，両者とも水平ひび割れを概ね可視化できていると考えられる。一方，ひび割れ深さが100mmの場合では，波形全体にFFTを行った結果から得た画像には反射強度の大きな領域がひび割れとは異なる位置に出現し，水平ひび割れを可視化できていない。しかしながら，表面波通過後から得た画像ではそれらの成分が除去され水平ひ

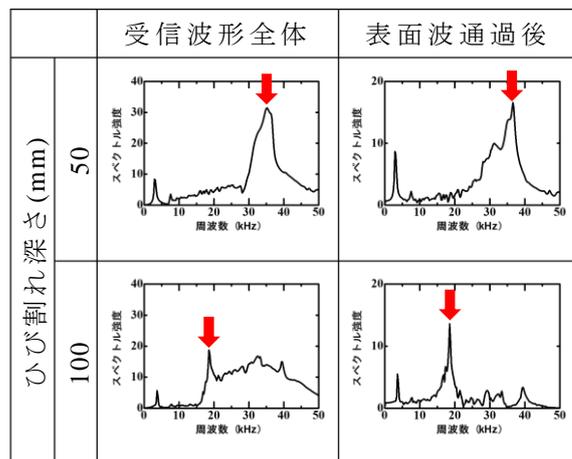


図-4 FFTにより求めた周波数スペクトル

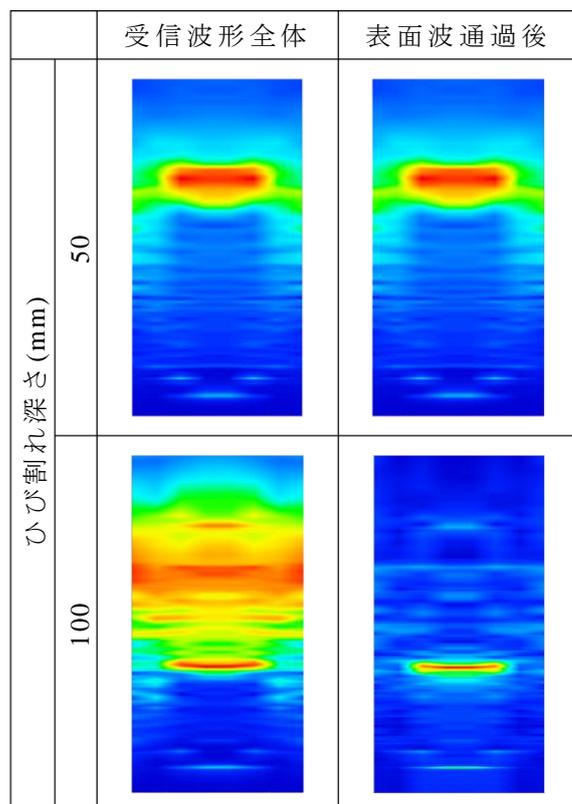


図-5 提案する手法により求めた可視化画像

び割れの位置を概ね可視化できていると考えられる。

6. まとめ

提案した可視化手法を用いた水平ひび割れの評価では，表面波を除去した波形を用いることで，水平ひび割れまでの深さや平面的な広がりを2次元の可視化画像として表すことが可能であった。

謝辞

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（C）25420462）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。