

衝撃弾性波法による鋼板接着補強された RC 床版内部のひび割れ損傷の非破壊評価手法

大阪大学大学院 学生会員 ○石田 卓也 大阪大学大学院 正 会 員 鎌田 敏郎
立命館大学 正 会 員 内田 慎哉 大阪大学大学院 正 会 員 寺澤 広基
阪神高速技術(株) 非 会 員 澤田 友治

1. はじめに

本研究では、鋼板接着補強した RC 床版を対象として、鋼板とコンクリートとの付着が良好な条件下において、コンクリート部分に損傷として曲げひび割れが生じている場合を想定し、衝撃弾性波法による計測を三次元衝撃応答解析によりシミュレートすることで、損傷評価の可能性について検討を行なうことを目的とした。

2. 衝撃応答解析の概要

1) 解析モデル

解析モデルを図-1 に示す。損傷として曲げひび割れを想定し、コンクリート部分に高さ 70mm、長さ 400mm、幅 1mm の版状の空隙部（要素無し）を設けた（ひび割れモデル）。比較のため、ひび割れが無いモデル（健全モデル）も併せて作成した。本研究では、鋼板とコンクリートとの接着状況は良好であるとして、エポキシ樹脂を介して各接点を結合した。各材料の物性値を表-1 に示す。モデルの要素は 8 節点ソリッド要素とした。

2) 弾性波の入力および出力

衝撃弾性波法による計測において、弾性波の入力に使用する鋼球の直径を 19.2mm と想定し、衝撃力の入力関数を既往の研究¹⁾を参考に設定した。荷重の入力位置は図-1 に示す鋼板表面のひび割れ位置から 200mm の節点（入力点）とした。出力位置は、入力位置よりひび割れがある側へ向かって 400mm（出力点）の節点とした。出力点における波形は、鉛直方向上向き（図-1 に示す z 軸正方向）の加速度とした。解析の時間間隔はクーラン条件より 0.5μs とし、波形出力間隔は 1μs、出力点数は 4000 点に設定した。

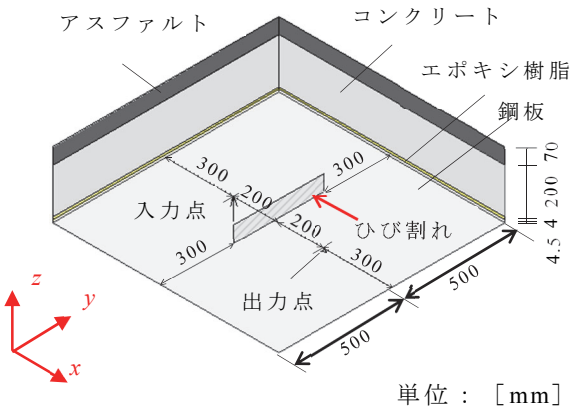


図-1 解析モデルの概要

表-1 解析モデルの物性値

	密度 (g/cm ³)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
アスファルト	2.35	6	0.35
コンクリート	2.3	30	0.2
エポキシ樹脂	1.2	1.5	0.34
鋼板	7.85	200	0.3

3. 解析結果および考察

荷重を入力した時刻から 400μs 経過後の鋼板表面の各節点における 3 方向成分合計の加速度分布を図-2 に示す。健全モデル（図-2 (a)参照）では、荷重の入力点から同心円状に波動が伝搬している様子が確認できる。一方、ひび割れモデル(図-2 (b))では、ひび割れによって波動の伝搬が妨げられていることがわかる。このことは、鋼板表面に設置したセンサによって内部の損傷状態を把握できる可能性を示唆するものである。

続いて、各モデルの出力点で得られた加速度時刻歴波形を図-3 にそれぞれ示す。周期特性

キーワード 衝撃弾性波法, RC 床版, 鋼板接着工法, 非破壊試験, 衝撃応答解析

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL 06-6879-7618

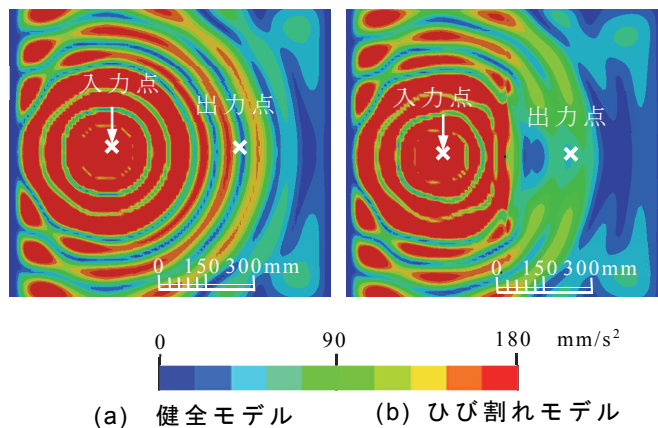


図-2 鋼板表面における
弾性波伝搬状況

はほぼ同じであるものの、2000 μ s以前の時間帯において振幅が異なる傾向を示した。したがって、この時間帯の振幅値の減少を定量的に評価することで鋼板接着補強したRC床版のコンクリート部分における損傷（曲げひび割れ）を把握できると考えられる。実構造物に適用することを想定し、鋼球打撃の強さによって変動しない評価指標として次式を提案する。

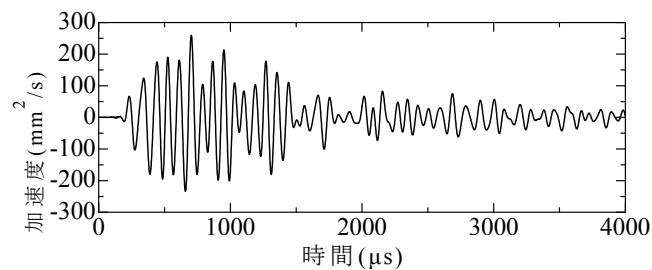
$$E_{\text{int.}}(T) = \frac{\sum_{t=1}^T \{y(t)\}^2}{\sum_{t=1}^{4000} \{y(t)\}^2} \quad (1)$$

ここで、 $E_{\text{int.}}(T)$ ：波形エネルギー積算率、 $y(t)$ ：時刻 $t(\mu\text{s})$ における時刻歴波形の振幅値である。

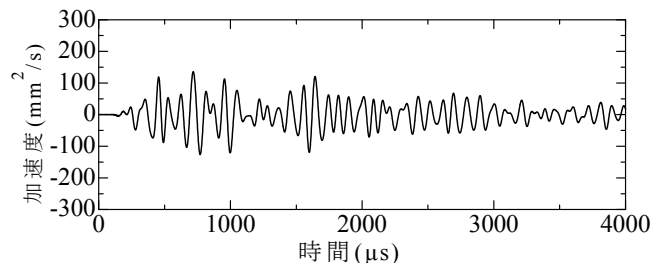
図-3に示す波形に対して、式(1)より計算した波形エネルギー積算率を図-4に示す。図より、ひび割れモデルの場合は、健全モデルに比べて波形エネルギー積算率の前半部分の立ち上がりが遅れ、傾きが小さくなっていることが確認できる。そこで、この傾きの違いを数値化するため次式に示す波形エネルギー積算勾配： $E_{\text{int.grad.}}(t)$ を定義する。

$$E_{\text{int.grad.}} = \frac{0.8}{t_{0.8} - t_0} \quad (2)$$

ここで、 $t_{0.8}$ ：波形エネルギー積算率が0.8となる時刻（B点）、 t_0 ：波形エネルギー積算率が立ち上がる時刻（A点）である。上式により評価指標を計算すると、健全モデルでは750(1/s)、ひび割れモデルでは408(1/s)と約1.8倍の差となることから、内部の損傷を評価する指標として有効であると考えられる。



(a) 健全モデル



(b) ひび割れモデル

図-3 加速度時刻歴波形

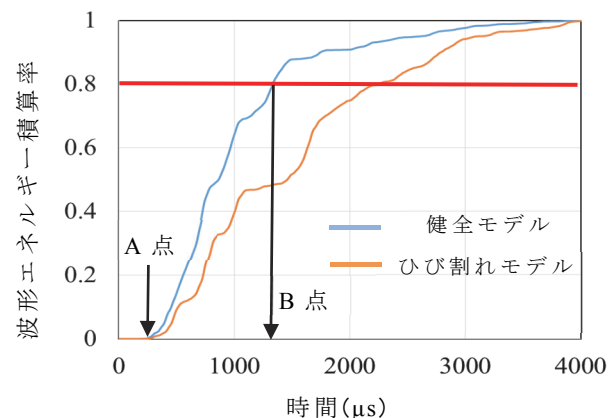


図-4 波形エネルギー積算率

4. まとめ

- 1) RC床版のコンクリート部分の損傷として曲げひび割れを想定した解析モデルでは、ひび割れの無い健全モデルと比較して、弾性波の伝搬挙動が異なる。
- 2) 出力した加速度波形に対して波形エネルギー積算勾配を定義し、これを評価指標として用いることにより、損傷状態を評価できる可能性がある。

参考文献

- 1) 西上康平，内田慎哉，鎌田敏郎，石田卓也：衝撃応答解析に基づくコンクリート部材の水平ひび割れ評価のための可視化手法，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.36，No.1，pp.2122-2127，2014