

道路橋 RC 床版における内部水平ひび割れ検出法に関する提案

(株)ソーキ 正会員 ○中山 昭二
鳥取大学 正会員 小野 祐輔

鳥取大学 正会員 谷口 朋代
阪神高速道路(株) 正会員 佐藤 彰紀
阪神高速道路(株) 正会員 堀岡 良則

1. はじめに

橋梁 RC 床版における内部水平ひび割れは目視調査等外観から確認することが困難な劣化現象であり、(図-1 参照) 非破壊調査により簡便に把握する必要がある。そこで、水平ひび割れ面とその上側のコンクリートで形成される平板の動的応答に着目してコンクリート内部の水平ひび割れの検出に関する研究¹⁾²⁾を進めてきた。本稿では、橋梁の RC 床版内部に生じる水平ひび割れおよびその拡がりを平板の振動問題に帰着させて損傷部分を検出できるかどうかを実証するものである。

2. 対象とした供試体

RC 床版に内部水平ひび割れを模擬したビニル片を配置した供試体を作製し RC 床版表面を掃引加振して、水平ひび割れ面から RC 表面までを厚みとみなした平板の動的応答を励起させる実験を行った。

(図-2, -3 参照)

3. 平板の動的特性

図-4 に示す座標系における平板の自由振動の運動方程式は式 (1) で表される。³⁾

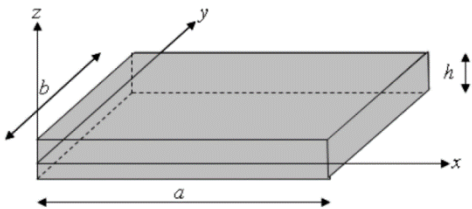


図-4 平板の座標系

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$
$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

ここで、 h : 板厚、 D : 平板の曲げ剛性、 w : 平板のたわみ、 μ : 平板の単位面積当たり質量である。

境界条件が周辺単純支持の場合の 1 次モードの固有振動数 f_s (Hz) は式 (2) で、周辺固定支持かつ $a/b=1$ (正方形) の場合の固有振動数 f_f (Hz) は式 (3) で表される。

$$f_s = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D}{\mu} \left[\left(\frac{1}{a} \right)^2 + \left(\frac{1}{b} \right)^2 \right]} \quad (2)$$



図-1 RC 床版の内部水平ひび割れの事例

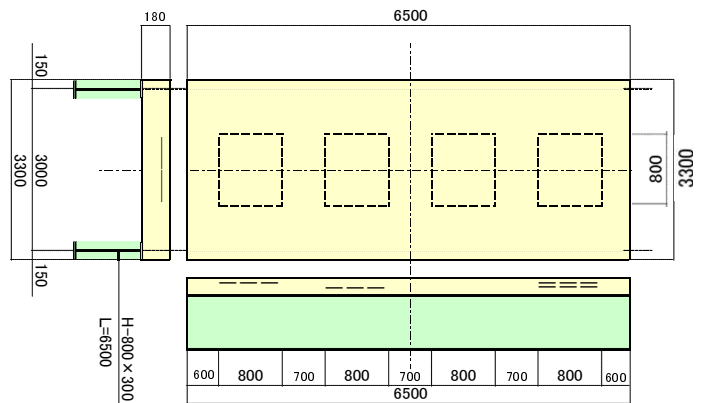


図-2 供試体および模擬ひび割れ配置図

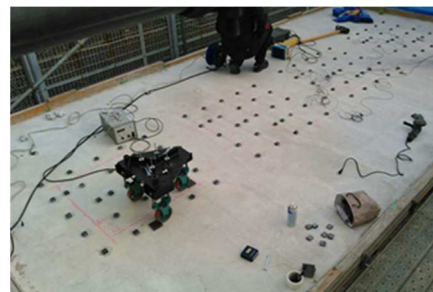


図-3 計測図 (手前、加振機を装着した計測台車を使用)

$$f_f \cong \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\lambda^2}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\mu}} \quad (3)$$

ここで、固有値 $\lambda^2=35.99$ (正方形の場合) である。

4. 掃引加振手法による計測

表面を掃引加振する実験を行い、RC 床版の表面で計測される加速度応答から伝達関数およびモード形状を求める。共振周波数が平板の固有振動数から推定できる場合、動力学の性質に基づいて損傷部分を検出できる可能性があると考えられる。図-2 の供試体に対し、表-1 に示すような模擬ひび割れを施し、別途作製した計測台車を用いて計測を行った。(図-3 参照)

表-1 模擬ひび割れの諸元

計測ケース	供試体寸法(m) 床版支間W× 床版厚t×桁長L	表面からの深さ h(m)	模擬ひび割れ の寸法 a×b(m)	模擬ひび割れ の材料・仕様
クラック1	W=3.0 ×	0.03	0.8×0.8	市販のA4判クリアホルダーを用いて80cm角に継ぎ足し接着加工したポリプロピレン製厚さt=0.02mm
クラック2	t=0.18 ×	0.118	0.8×0.8	
クラック3	L=6.5	無し	無し	
クラック4		0.03 および0.118	0.8×0.8 を2層配置	

固有振動数の理論解は表-2 に示すとおりである。

表-2 固有振動数の理論値

計測ケース	振動対象の板厚 h (m)	振動対象の拡がり a×b (m)	薄板理論における理論解(計算値)	
			周辺単純支持	周辺固定支持
			f_s (Hz)	f_f (Hz)
上層鉄筋面付近 (クラック1)	0.03	0.7×0.7	200	364
		0.8×0.8	153	279
		0.9×0.9	121	220

今回用いた加振機の性能は、加振力；200N，周波数範囲；DC～5,000Hz（無負荷時），最大加速度；285m/s²（正弦波入力，無負荷時），重量；15kg である。また，加速度計は汎用型一軸加速度計を用いた。

5. 計測結果

計測ケースのうちクラック 1 の計測結果を図-5 に示す。

306 344

[m/s²/N] 130 182.5 282.5 392.5 479 507

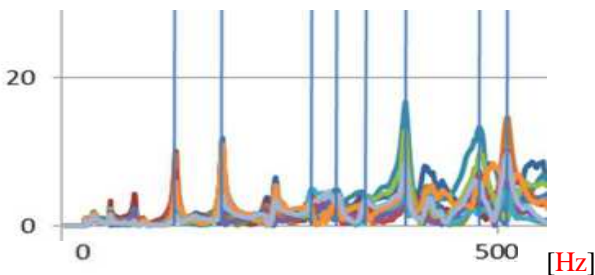


図-5 モード図 (クラック 1)

さらに，検出したピーク値のうち，計測時の位相変化や実稼動図に照らして本ケースに該当すると考えられる固有周波数およびその実稼動図を図-6 に示す。RC床版全体が振動しながらも，クラック 1 の 1 次モードが励起されていることがわかる。

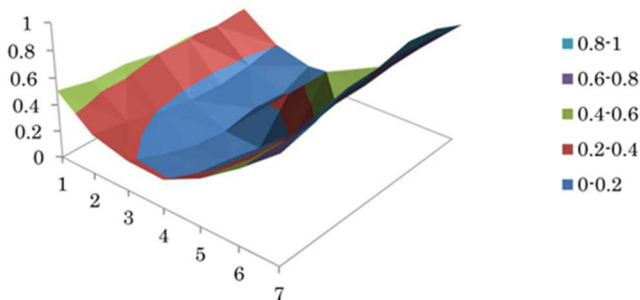


図-6 実稼動図 (182.5Hz 計測値)

6. 考察

計測結果は，表-2 に示す理論値，ここでは周辺単純支持 f_s に近い理論値におおむね合致し，模擬したひび割れが検出できたと考えられる。

掃引加振計測においては，一般にすべての部材の振動が励起され検出されることになる。検出対象物の周波数や位相変化を実稼動図をもとに適切に抽出することが重要である。

また，実計測に際しては，表-2 に示すような数値表がないし，それら数値を図化した図-7 に示すような平面寸法と固有周波数の関係図を事前に作成し，手元資料として準備しておくことが適当である。

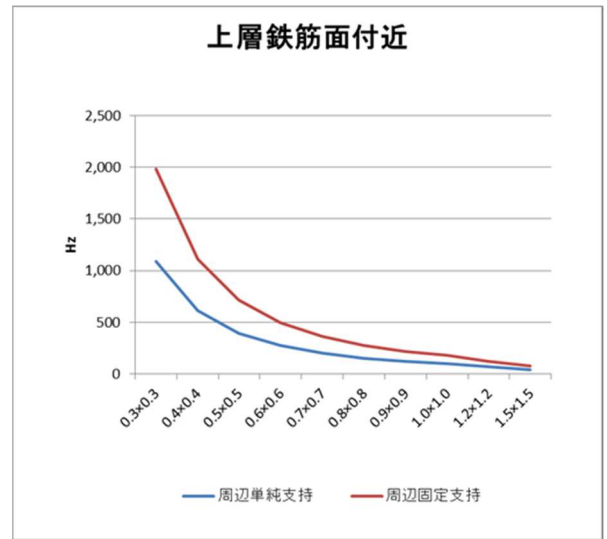


図-7 ひび割れの平面寸法と固有周波数の関係図

7. まとめ

交通規制を短時間で済ませられ，かつ非破壊で RC床版の内部水平ひび割れを把握する本手法の適用可能性について検討した。まだ課題はあるものの，計測手法としては十分適用可能であることが示された。

参考文献

- 1) 中山昭二，谷口朋代，小野祐輔：平板の動的応答に着目したコンクリートの内部水平ひび割れ検出に関する基礎的研究，日本材料学会，コンクリート構造物の補修補強アップグレード論文報告集，第 15 集，pp.235-240，2015.10
- 2) 中山昭二，谷口朋代，小野祐輔：RC床版の内部水平ひび割れ部を平板と見なした場合の動的応答の特徴，日本材料学会，コンクリート構造物の補修補強アップグレード論文報告集，第 16 集，pp.347-352，2016.10
- 3) Arthur W. Leissa：Vibration of plates，NASA SP-160，pp.41-159，1969