

## 論文

## 小型 FWD 試験機を用いた道路橋床版健全度評価の試み

三東豪士\*, 大西弘志\*\*, 岩崎正二\*\*\*, 出戸秀明\*\*\*, 宮村正樹\*\*\*\*

\*岩手大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻 博士前期課程 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

\*\*博士 (工学), 岩手大学准教授, 工学部社会環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

\*\*\*博士 (工学), 岩手大学教授, 工学部社会環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

\*\*\*\*岩手大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻 博士後期課程 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5)

現在の道路橋床版に対する健全度評価手法である目視点検や車両載荷試験に代わる試験方法として FWD 試験に着目した。本研究では実橋の RC 床版において小型 FWD 試験機を用いた衝撃振動試験を行い、床版各所の変位を計測するとともに、加速度計によって衝撃発生時の応答加速度波形を計測した。計測された変位と加速度データの関係性から床版の状態の評価が可能か検討を行った。

キーワード: RC 床版, 健全度評価, 小型 FWD 試験

## 1. はじめに

近年、道路橋の維持管理では床版の健全度を評価することが重要であると認識されている。橋梁床版に対する健全度評価手法としては目視点検や打音検査、車両載荷試験がある。しかし、これらの手法では、多くの費用や労力を要する上、日単位の交通規制を必要とする場合があることなどの理由から効率的であるとはいえない。本研究では RC 床版を対象とした載荷試験方法として FWD (Falling Weight Deflectometer) 試験に着目し、実橋 RC 床版においてより簡易的に使用できる小型 FWD 試験機を用いた衝撃振動試験を行った。小型 FWD 試験機は可搬性に優れており、短時間で多数点での測定が可能であることから、新たな健全度評価手法として期待できる。本研究では FWD を用いた衝撃振動試験において、床版各所の変位を計測するとともに、加速度計を併用することにより、衝撃加振時の応答加速度波形を計測した。計測された変位と加速度のデータの関係性から床版の状態の評価が可能か検討を行った。

## 2. 試験概要

## 2.1 対象橋梁

研究対象とした橋梁は岩手県北上市にある九年橋 (写真-1) である。九年橋は北上市を流れる和賀川にかかる橋梁であり、橋長は 334m, 車道部幅員は 5.5m (2 車線) となっている。南側 9 径間は支間長 16.8m, 幅員 7.45m, 桁高 1.37m の単純 2 主鈹桁橋 (昭和 8 年架設), 北側 8 径間は支間長 20.6m, 幅員 7.45m, 桁高 1.37m の単純 4 主鈹桁橋 (大正 11 年架設) とな



写真-1 九年橋



(a) 試験実施状況



(b) 重錘

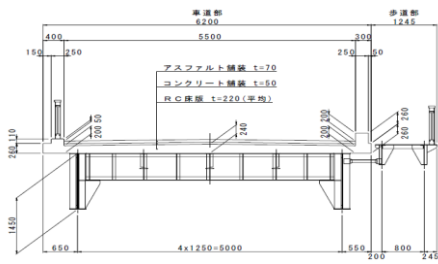


(c) 外部センサ

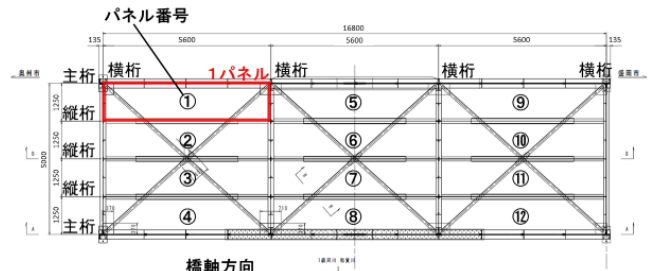


(d) 加速度計

写真-2 小型 FWD 試験



(a) 断面図



(b) 平面図および床版パネルの区分方法

図-1 九年橋 2 主桁桁部一般図

っている。また、下部工形式は重力式橋台およびラーメン型橋脚という形式となっている。調査時には、2 主桁桁部と 4 主桁桁部で構造に応じて床版をパネルに区分し、九年橋の全径間に対して小型 FWD 試験を実施した。

## 2.2 FWD 試験

FWD 試験とは試験機に内蔵されている重錘を計測対象部位に落下させることにより衝撃力を与え、加力時の変形を計測するという形式の試験である。今回の計測で用いた試験機は東京測器研究所製の FWD-Light であり、試験機は高さ約 1100mm、質量約 15kg となっている。今回の計測では試験機本体のほかに付属している変位計測用の外部センサを 4 台用いたシステムで試験を実施しているほか、同時に別個の加速度計を設置することにより、衝撃発生時の加速度波形の計測を行った。(写真-2)

## 2.3 試験方法

図-1 (a), (b) に 2 主桁桁部における断面図と平面図およびパネルの区分方法、図-2 に各パネルでの打撃点と外部センサ、加速度計の配置を示す。九年橋の 2 主桁桁部の主桁間には 3 本の縦桁が配置されており、また 1 径間に横桁が 4 本配置されている。本研究では橋軸直角方向に主桁もしくは縦桁で、橋軸方向に横桁で区切った部分を 1 つのパネルとして扱い、各径間 12 パネルを対象として小型 FWD 試験を実施した。本研究ではパネルの中央を打撃点とし、外部センサを主鉄筋方向に配置した。加速度計は打撃点と外部センサ位置のすぐ横に設置し、感度方向については、鉛直と水平(幅員方向)の 2 方向で計測を行った。

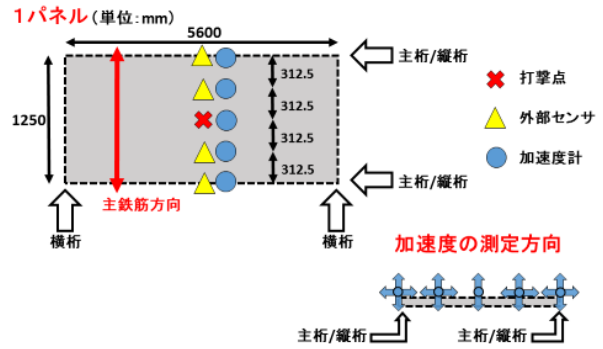


図-2 打撃点と外部センサ・加速度計の配置

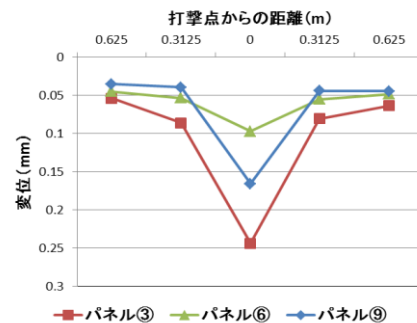


図-3 打撃点と外部センサの変位発生状況

パネル番号	荷重P[kN]	打撃点上のたわみ		変位勾配 ( $\times 10^{-5}$ )		
		$D_0$ [mm]	$D_0/P$ [mm/kN]	$D_0 \cdot D_{30}$	$D_0 \cdot D_{60}$	$D_{30} \cdot D_{60}$
①	23.584	0.152	0.0064	22.773	16.133	9.493
②	23.429	0.166	0.0071	27.307	16.773	6.240
③	22.633	0.244	0.0108	51.253	29.573	7.893
④	21.559	0.236	0.0110	42.667	29.653	16.640
⑤	22.782	0.115	0.0050	17.387	11.227	5.067
⑥	23.024	0.097	0.0042	13.707	8.107	2.507
⑦	22.623	0.128	0.0057	22.347	13.120	3.893
⑧	23.246	0.138	0.0059	28.000	15.120	2.240
⑨	20.741	0.166	0.0080	39.573	20.107	0.640
⑩	22.791	0.106	0.0047	13.227	8.933	4.640
⑪	23.565	0.093	0.0040	10.133	6.213	2.293
⑫	21.603	0.128	0.0059	17.600	12.347	7.093

表-1 第 5 径間の変位発生状況

## 3 試験結果

### 3.1 変位の計測結果

2 主桁桁部の試験結果のうち、第 5 径間における 3 パネル (パネル③, ⑥, ⑨) の変位測定結果を図-3 に示す。図の x 軸は打撃点からの距離で、0m の点が打撃点、他の 4 点が外部センサでの計測結果を示している。図-3 に示すように、変位の大きさはそれぞれのパネルで異なる結果となっていることがわかる。パネル③では、打撃点における変位が大きく、外部センサ位置と比較して変位が大きくなって

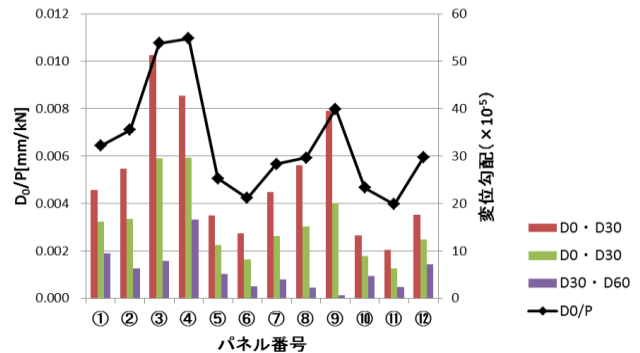


図-4 第 5 径間の変位と変位勾配の関係

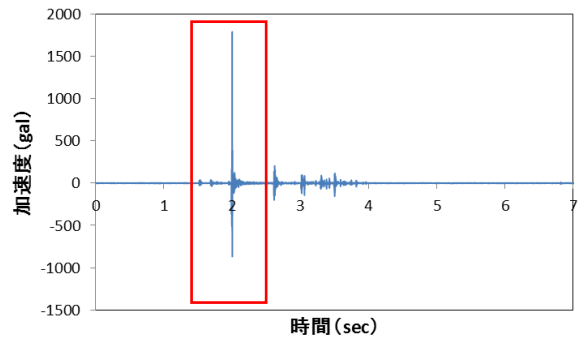
いる。その結果、変位の分布に先鋭な形状が確認できる。このパネルでは、他のパネルと比較して床版の損傷が進行している可能性があると考えられる。

第5径間の各パネルにおける変位の発生状況を表-1に、単位荷重あたりの変位と変位勾配の関係を図-4にそれぞれ示す。表は小型FWD試験時における、発生荷重P、たわみ $D_0$ 、単位荷重あたりのたわみ $D_0/P$ 、そして変位勾配を示している。表と図における変位勾配は打撃点上のたわみを $D_0$ 、打撃点から312.5mm離れた2点のたわみの平均値を $D_{30}$ 、打撃点から625mm離れた2点のたわみの平均値を $D_{60}$ としたときのそれぞれの位置同士の変位の傾きを示している。これを見ると $D_0$ 並びに $D_0/P$ が大きくなっているパネル③、④においては、変位勾配が他のパネルと比べて大きくなっていることがわかる。このことから各パネルの変位勾配の大きさからも床版劣化の検討の可能性が確認できる。そして変位勾配の差は打撃点から近い $D_0 \cdot D_{30}$ で一番明確に表れていたが、打撃点から離れている $D_{30} \cdot D_{60}$ では明確には表れておらず、小型FWD試験機によって与えられる振動が有効となる範囲外である可能性が考えられる。以上のたわみ分布の傾向は4主鈹桁部における試験においても同様の傾向が確認できた。

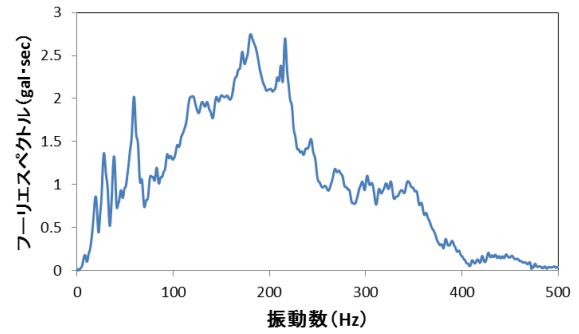
### 3.2 加速度の計測結果

本試験では試験時に加速度計を設置することにより、衝撃加振時の応答加速度波形を計測した。図-5(a), (b)に小型FWD試験時に得られた鉛直方向加速度の波形と、その結果にFFT(高速フーリエ変換)を施すことにより得られたフーリエスペクトル波形の例をそれぞれ示す。なお、解析にあたっては、時間刻み0.001秒毎の加速度データを4096個サンプリングしてスペクトル波形を算出した。小型FWD試験時には重錘の跳ね返りにより、図-5(a)に示すように多数の衝撃が発生するため、FFTの時には小型FWD試験の初撃により発生する部分(図の赤枠)にのみ着目しその他の部分は取り除いた。

図-6(a), (b), (c)に、第5径間のパネル③、⑥、⑨において得られたフーリエスペクトル分布をそれぞれ示す。これらの結果から、同径間内においてもパネルごとに波形の特徴に違いが表れていることが確認できる。卓越振動数の違いを見ると、図-6に示した3つの波形すべてにおいて20~50Hz付近で波形に若干のピークが見られた。これは第5径間のパネルのほとんどの結果において同様の卓越振動数が確認できた。また振動数が大きくなると、波形のピークはそれぞれのパネルにおいて様々な特徴が見られた。次にフーリエスペクトル波形全体の特徴に着目すると、パネル③は計測された変位と加速度が他のパネルと比べて大きく、フーリエスペクトル波形においても振幅が大きくなっていた。この特徴は変位の計測結果が大きかった他のパネルにも同様に表れていた。以上のことから、波形の特徴とそのパネル部分の変位の計測結果がある程度関係していると考えられる。

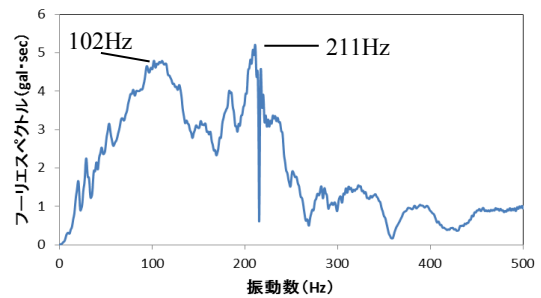


(a) 加速度計測定結果例

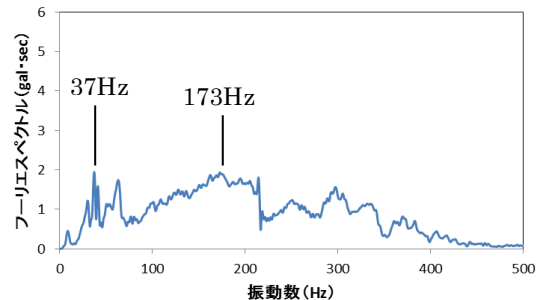


(b) 加速度FFT結果例

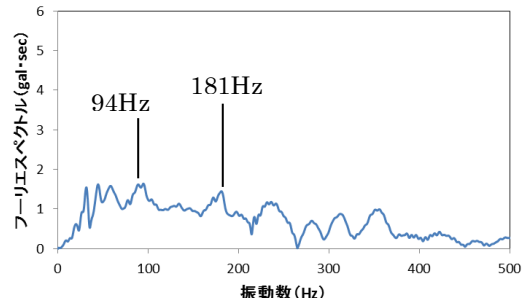
図-5 第5径間パネル⑩の加速度測定結果



(a) パネル③



(b) パネル⑥



(c) パネル⑨

図-6 第5径間における各パネルのフーリエスペクトル分布



### 3. 3 フーリエスペクトル分布の比較

図-7(a), (b), (c)にそれぞれの径間における変位の大きさの違いによるフーリエスペクトルの波形を比較した結果を示す。グラフはそれぞれのパネルで得られた打撃点の変位が最小値に近かったもの(小), 最大値に近かったもの(大), 平均値に近かったもの(中)で選出し, 打撃点上で得られたフーリエスペクトルの波形を示している。この図を見ると, 変位の違いによりそれぞれの波形に異なる特徴が表れていることが確認できる。変位が大きかったパネルで得られた波形はその他のものと比べてフーリエスペクトルの値が大きくなっていた。変位が小さかったパネルと平均値に近かったパネルの波形においては, フーリエスペクトルの大きさの面では波形の違いがあまり見られなかった。このように全体の波形の形状や振幅の大きさの面からも床版の状態のある程度の推定をすることができると考える。またパネルごとにみられる卓越振動数に着目すると, 共通の振動数で波形のピークが表れている部分があることが確認できるが, 現時点では波形のピークがどのモードに対応しているかを解析できていないので, 今後は解析による床版の固有振動数の特定を行っていく必要がある。

## 4 まとめ

本研究において得られた結論を以下に示す。

- (1) 今回の試験結果から, 小型 FWD 試験によって床版の変位分布が得られるとともに, 加速度計の併用によりパネルごとの振動特性の変化を知ることができた。また変位データから得られるパネルごとのたわみ形状からも床版の状態の評価が可能であることを確認できた。
- (2) 加速度波形の計測結果からパネルごとの振動特性の違いを見ることができた。また床版パネルごとの固有振動数の推定についても行うことができたが, 劣化による固有振動数の変化については特定することができなかった。今後は床版のパネルごとの固有値解析に取り組み, 変位データと合わせて固有振動数の変化の面からも床版の損傷・劣化の検討を行っていく必要がある。

### 参考文献

- 1) 大西, 清水ほか: 小型 FWD 試験機による鋼鉄桁橋(九年橋)衝撃振動試験, 鋼構造年次論文報告集, 2013.11, vol.21, pp.246-251
- 2) 小林健二: 音・振動による診断工学, コロナ社, 2000

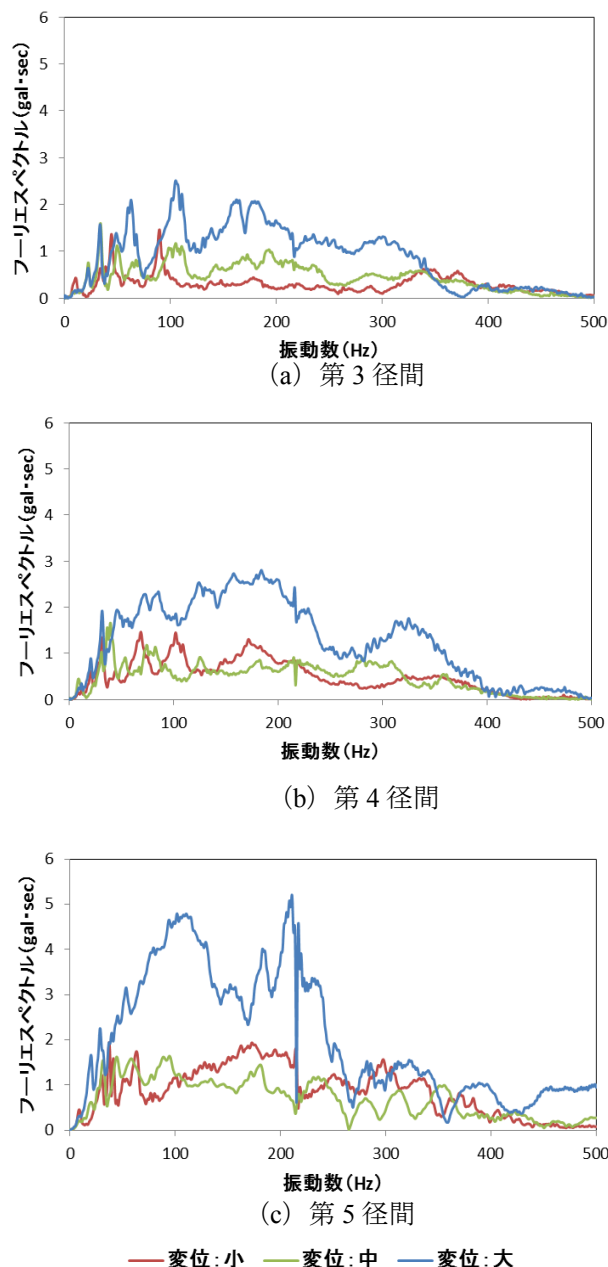


図-7 各径間におけるフーリエスペクトル分布の比較