

第 部門

損傷が模型橋梁の走行車両による動的応答に与える影響

神戸大学大学院 フェロー 川谷 充郎  
 神戸大学大学院 学生会員 藤本 達貴

神戸大学大学院 正会員 金 哲佑  
 神戸大学工学部 学生会員 利波 立秋

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの橋梁構造物は耐用年数を迎える時期に来ており、劣化や老朽化が進行している。このような状況の中、土木構造物におけるヘルスマonitoringの重要性が高まっている。通常、構造物においては、部材の損傷や劣化はその質量、減衰や剛性等の材料特性、固有振動数、減衰比や振動モード等の動特性の変動として現れる。したがって、振動モニタリングによる構造物の健全度評価は有効であると報告<sup>1)</sup>されている。振動モニタリングの実用化に際しての問題点の一つは、構造物に動的な外力をどのようにして与えるかである。供用中の道路橋の交通による常時振動データ(交通振動データ)は橋梁の損傷推定に欠かせない重要なデータである。そこで本研究では、模型橋梁車両走行装置を用いて走行実験を行い、得られた振動データから損傷による橋梁の振動特性を把握する。さらに、走行車両の振動データより橋梁の固有振動数を抽出<sup>2)</sup>の可能性を同時に検討する。

2. 走行実験概要

**2.1 模型橋梁車両走行装置** 走行実験で用いる模型橋梁車両走行装置を Fig. 1 に示す。模型橋梁は、支間長 5.4m の H 型鋼桁である。車両はレールに沿って走行し、レールには路面凹凸を再現する。橋梁に与える損傷は、橋梁 L/4-L/2 間の左右のフランジに等間隔に 3 箇所スリットの損傷(Damage section I)と、3L/4 - L 間の左右フランジの下を最大で 20 mm 斜めに削り取る(Damage section II)。損傷による曲げ剛性の変化は静的たわみから逆算した結果、Damage section I において 11%、Damage section II において 23%低下している。損傷シナリオとして、模型橋梁が Damage section I のみ持つ場合(D1)、Damage section I と Damage section II とともに持つ場合(D2)の 2 シナリオとする。実験に使用する模型車両を Fig. 2 に示す。実験では、質量、ばね定数、振動特性の異なる 3 種類の車両 V1, V2, V3 を使用する(Table 1 参照)。自由振動実験により得られた橋梁の健全時と損傷シナリオ D1 および D2 における固有振動数と減衰定数の変化を Table 2 に示す。損傷によって 1 次固有振動数は低下し、減衰定数は損傷箇所や損傷度により変化することが分かる。

**2.2 走行実験** それぞれの損傷シナリオにおいて、車両走行による振動計測を行う。観測点として、模型桁での L/4, L/2, 3L/4 の 3 点に加速度計、変位計をそれぞれ設置し、車両の前後軸 2 点に加速度計を設置する。サンプリング間隔は 100Hz である。車種や車両速度

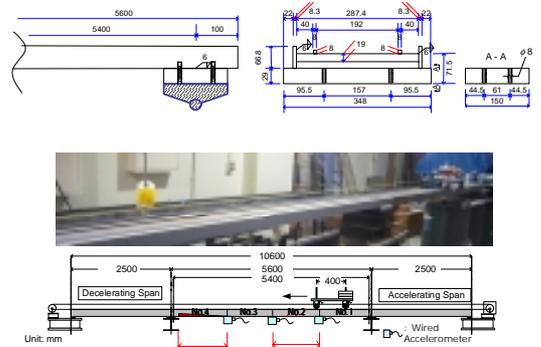


Fig.1 Experimental girder .

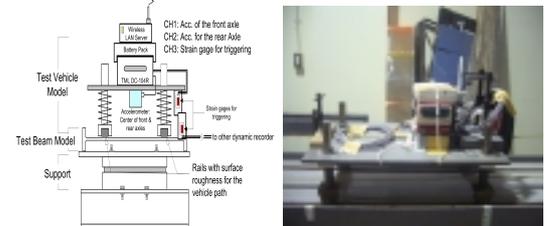


Fig.2 Vehicle model with data acquisition system.

Table 1 Scenarios of laboratory moving vehicle test

シナリオ(I:健全時, D1:Damage section I, D2:Damage section I-II)	車両種類	車両速度
I-1, D1-1, D2-1	V1(M=21.6kg, f=2.93Hz)	S1=0.93m/s
I-2, D1-2, D2-2	V1(M=21.6kg, f=2.93Hz)	S2=1.63m/s
I-3, D1-3, D2-3	V2(M=21.6kg, f=3.76Hz)	S1=0.93m/s
I-4, D1-4, D2-4	V2(M=21.6kg, f=3.76Hz)	S2=1.63m/s
I-5, D1-5, D2-5	V3(M=25.8kg, f=3.03Hz)	S1=0.93m/s
I-6, D1-6, D2-6	V3(M=25.8kg, f=3.03Hz)	S2=1.63m/s

Table 2 Dynamic properties of model girder

	健全時		D1		D2	
	Frequency (Hz)	Damping constant	Frequency (Hz)	Damping constant	Frequency (Hz)	Damping constant
1次	2.69	0.0337	2.59	0.0471	2.54	0.0245
2次	10.7		9.8		10.2	
3次	23.3		23.1		22.6	

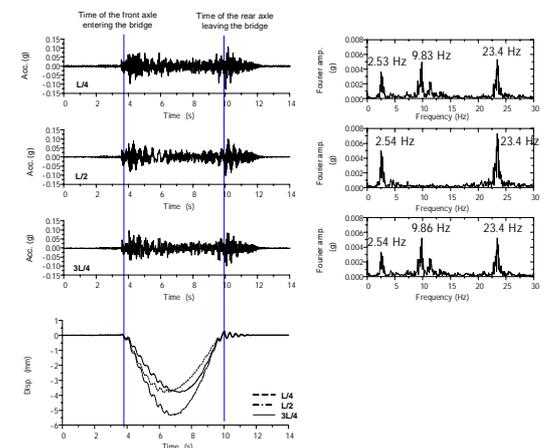


Fig.3 Responses of experimental girder under scenario I-3.

による応答への影響を勘案し、走行シナリオとして Table 1 に示すように、振動特性の異なる 3 種類の車両と 2 種類の走行速度 0.93m/s と 1.63m/s の組み合わせによる計 6 シナリオについて検討する。

### 3. 実験結果

**3.1 橋梁の応答比較** Table 1 の V2 車両が速度 0.93m/s で走行するときの模型橋梁健全時と損傷シナリオ D1 および D2 のそれぞれにおける橋梁応答と、そのフーリエスペクトルを Fig.3, Fig.4, Fig.5 に示す。加速度応答をみると、健全時に比べ損傷シナリオ D1 において振幅が低減し、D1 に比べ D2 の場合は振幅が増加している。これは、損傷による減衰定数の変化のような振動特性の変化に影響を受けていると考えられる。また、フーリエ振幅スペクトルを比較すると、損傷を与えたことにより 1 次、3 次固有振動数のフーリエ振幅が低下することがわかる。また損傷シナリオ D2 においては自由振動実験では検出されなかった 17.5Hz 付近の卓越周波数が見られる。これについては、その原因を特定できず今後の検討が必要である。当然のことだが、変位は損傷を与えるにつれ増加している。

**3.2 車両の応答** 模型橋梁が健全である場合(I-3)と模型橋梁に損傷を 1 箇所与えた場合(D1-3)、2 箇所与えた場合(D2-3)のそれぞれにおける車両前軸から得られた加速度応答と、そのフーリエスペクトルの 1 例を Fig.6 に示す。フーリエ振幅スペクトルをみると、それぞれにおいて橋梁の一次固有振動数と考えられる卓越周波数は確認できるものの、明確には現れず、損傷度による定量的判断も難しい。

### 4. まとめ

本研究では、模型橋梁車両走行装置を用いて走行実験を行い、得られた橋梁および車両の振動データから橋梁の振動特性の把握を行った。橋梁の加速度応答振幅は、損傷の影響を受けていることを確認した。また、橋梁の加速度応答から得られたフーリエ振幅スペクトルからは、損傷により健全時に卓越していた振動数の変化が観察された。この結果から橋梁交通振動データに基づいた橋梁のヘルスマonitoringは可能であると考えられる。また走行車両の振動データを用いた橋梁の固有振動数抽出の可能性検討に関して、橋梁の一次固有振動数と考えられる卓越周波数は確認できるものの、明確には現れず、現状では損傷度による定量的判断も難しい。今後、車両ばね下の加速度応答に着目し、固有振動数把握を試みる予定である。

**参考文献** 1) Doebling et al.: Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A Literature Review, Los Alamos National Laboratory report LA-13070-MS, 1996.  
2) 橋本国太郎 他: 走行車両の振動応答を利用した橋梁の固有振動数推定に関する模型実験, 土木学会第 63 回年次学術講演会, I-035, 平成 20 年 9 月。

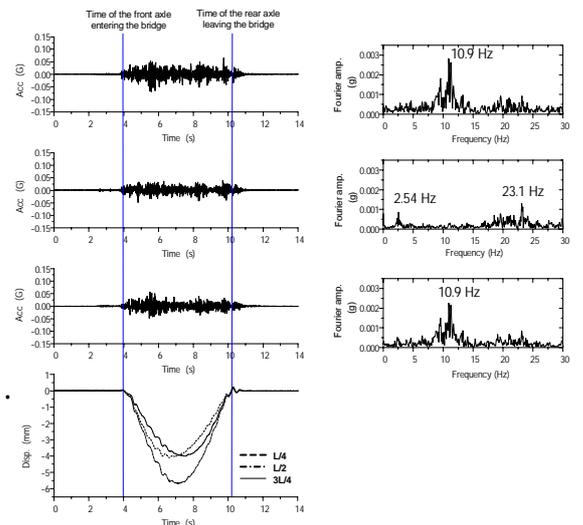


Fig.4 Responses of experimental girder under scenario D1-3.

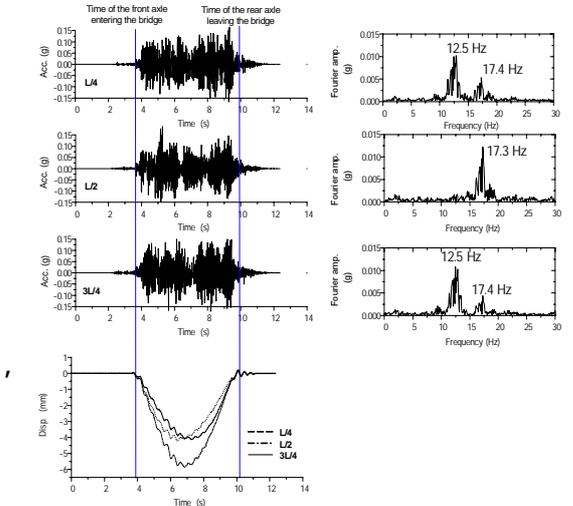


Fig.5 Responses of experimental girder under scenario D2-3.

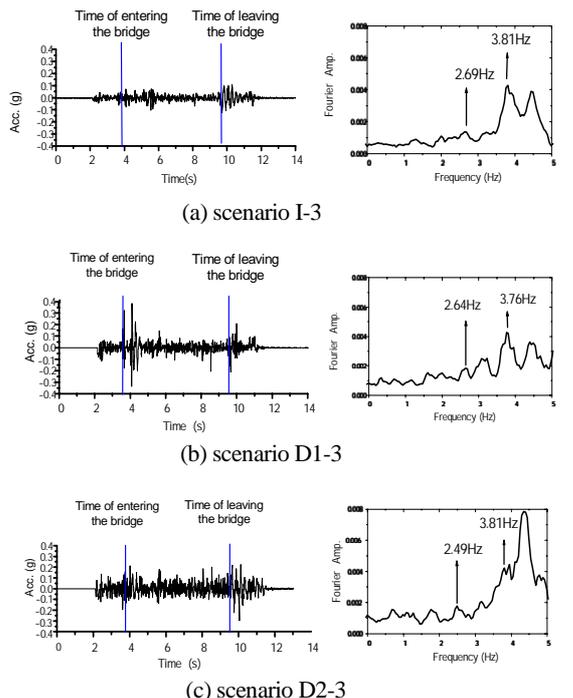


Fig.6 Responses of experimental vehicle.