

車両走行加振による動的応答を用いた橋梁損傷推定の模型実験

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

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。近年の社会基盤施設を巡る状況を見ると、施設の新規整備に比べ、相対的には既存施設の維持管理や有効活用の比重が高まってくる。既存施設の維持管理には構造物の劣化に関する将来予測、補修の意思決定を行ううえで、現状の構造物の健全度の評価が必要不可欠であり、適切なアセットマネジメントを行う上でも健全度評価は大変重要なテーマとなっている。特に我が国のように地震の頻発する国々では、地震発生後、周辺地域の社会基盤施設の劣化はさらに急速に進む可能性が高く、迅速な損傷推定手法の開発は重要な課題である。そこで、本研究では短支間道路橋を対象とし、時間領域での走行車両による橋梁の動的応答を用いて、橋梁の損傷度を推定する方法¹⁾の有効性を検討するため、模型橋梁を用いる走行実験を行う。

2. 損傷推定アルゴリズム 損傷により橋梁の剛性のみが変化すると仮定すると、橋梁および走行車両の動的応答を測ることにより、橋梁-車両連成系の運動方程式の橋梁剛性 K_{be} の変化から損傷を推定することができる。橋梁剛性の変化を推定する指標として、損傷前後の要素剛性比である要素剛性指標 (ESI: Element Stiffness Index) (Eq.(1))を導入する。

$$x_e = (K_{be})_d / (K_{be})_i \quad (1)$$

ここで、 $(K_{be})_i$ および $(K_{be})_d$ はそれぞれ e 要素の損傷前後の剛性を示す。すなわち、橋梁が健全な場合の要素剛性指標は常に 1.0 になり、損傷により 30%の剛性低下がある場合は健全時に対する相対値として 0.7 になる。

3. 損傷推定理論の妥当性検討 3.1 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 型の鋼桁である。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、Damage section I として、Fig.2 (a)に示すように橋梁 $L/4-L/2$ 間の左右のフランジに等間隔に 3 箇所スリットによる損傷と、Damage section II として、Fig.2 (b)に示すように $3L/4-L$ 間の左右フランジの下を最大で 20 mm 斜めに削り取る。損傷による曲げ剛性の変化は静的たわみから逆算して、Damage section I において約 11%，Damage section II において約 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。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, 損傷シナリオ D2 における固有振動数と減衰定数の変化を Table 1 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。

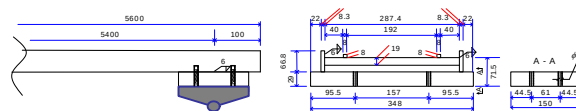
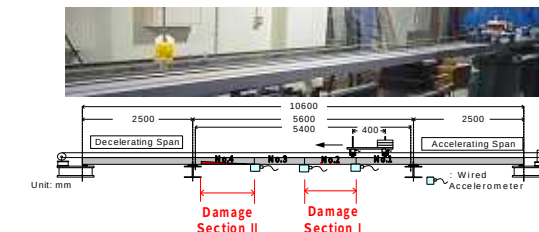


Fig.1 Experimental girder.



(a) Damage section I

(b) Damage section II

Fig.2 Damage sections.

Table 1 Structural properties of model girder

	Intact		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	—

Table 2 Scenarios of moving vehicle laboratory experiment

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

キーワード: 橋梁交通振動, 損傷推定, 走行模型実験.

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 Phone:078-803-6383

3.2 走行実験 走行シナリオとして Table 2 に示すように、振動特性の異なる 3 種類の車両の速度を 0.93m/s と 1.63m/s の 2 種としそれぞれ 6 シナリオで行う。観測点として、模型桁での L/4, L/2, 3/4 L 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。一例として、健全時 (I-3), 損傷を 2 箇所与えた場合(D2-3) それぞれにおける橋梁・車両から得られた応答と、そのフーリエスペクトルを Fig.3 と Fig.4 に示す。

3.3 損傷推定結果 損傷評価に用いた橋梁モデルは観測点が 3 点であることを勘案し、Fig.5 に示すような 4 要素モデルを用いて逆解析を行う。実験より得られた応答を用いた損傷シナリオ D1, D2 における損傷評価結果を Fig.6, Fig.7 にそれぞれ示す。損傷シナリオ D1 の結果を見ると、走行シナリオ D1-3 以外において、損傷を与えた要素 No.2 の ESI 値が最も低下している。また、要素 No.2 における推定された ESI と剛性低下値(11%)との誤差は全走行シナリオにおいて 6%以下となることから、本手法により損傷位置や損傷度の検出が可能であると考えられる。また、要素 No.1 と要素 No.3 の ESI 値が低下している原因として、Damage section I が隣接する要素にも影響したものと考えられる。次に、損傷シナリオ D2 の結果を見ると、全走行シナリオにおいて、損傷を与えた要素 No.2 と要素 No.4 の ESI が低下し、損傷位置の把握が可能であることがわかる。また、それぞれの要素における ESI と剛性低下値(No.2:11%, No.4:23%)との誤差は、要素 No.2 において 9%, 要素 No.4 において 11%以下となり、損傷が 2 箇所の場合も本手法により損傷箇所や損傷度の検出が可能であると考えられる。すべての結果から、本手法により、車両種類や車両速度にかかわらず損傷位置の把握と損傷度の検出が可能であるといえる。

4. まとめ 本研究では、損傷推定手法の妥当性検討を目的として、模型橋梁車両走行装置を用いた走行実験データからの損傷度評価を行った。実験より得られた振動データを用いた損傷推定結果より、車両種類や車両速度にかかわらず、模型橋梁の損傷箇所・損傷度の検出が可能であることがわかる。

参考文献 1) C.W. Kim and M. Kawatani: Pseudo-static approach for damage identification of bridges based on coupling vibration with a moving vehicle, Structure and Infrastructure Engineering, Vol.4, No.5, pp.371-379, 2008.

2) 金哲佑, 川谷充郎: 単一車両走行による橋梁振動データを用いた橋梁の健全度評価, 鋼構造論文集, 第 15 巻, 第 58 号, pp.37-46, 2008.

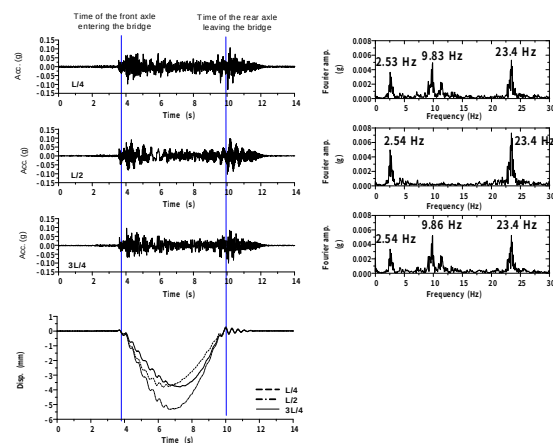


Fig.3 Responses of experimental girder under scenario I-3.

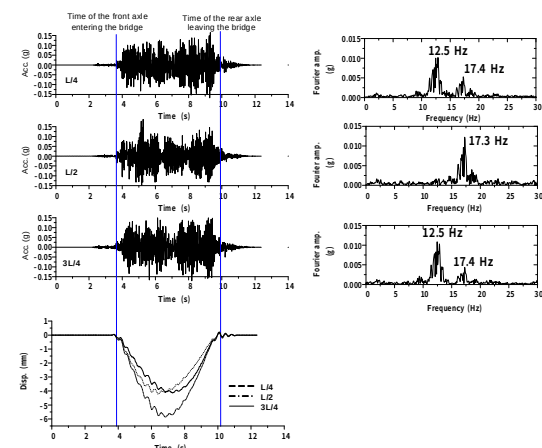


Fig.4 Responses of experimental girder under scenario D2-3.

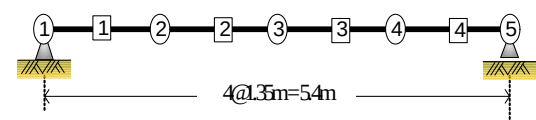


Fig.5 Bridge model for damage identification.

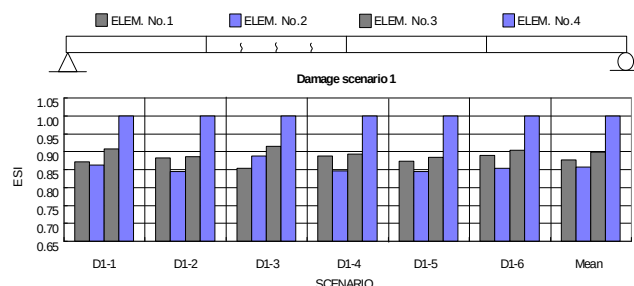


Fig.6 Identified damage location and severity of the bridge with damage at ELEM. No.2.

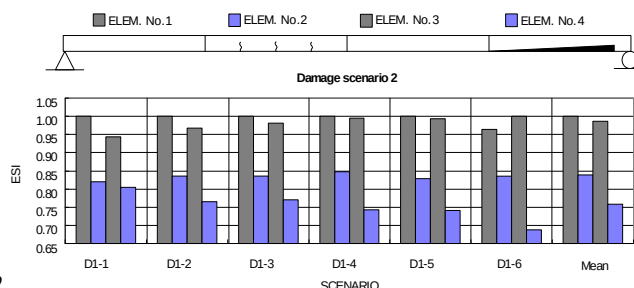


Fig.7 Identified damage location and severity of the bridge with damages at ELEM. No.2 and ELEM. No.4.