模型実験による橋梁損傷の振動特性変化推定

神戸大学大学院フェロー川谷充郎京都大学大学院正会員金哲佑神戸大学大学院学生員〇土井宏政

1. 研究の目的 振動モニタリングによる橋梁の健全度評価は有効で あると報告されている^{1),2)}.本研究では道路橋を対象として単純桁模 型橋梁の走行実験を行い,段階的に損傷を与えることによってどの程 度の損傷であれば検知が可能か検討を行う.橋梁の振動特性推定には AR(Auto Regressive)モデル^{3),5)}を用い,模型桁車両走行実験から得ら れる振動データから推定する振動特性を統計的に処理することで,迅 速で簡易な橋梁の振動特性の変動パターンの分析を試みる.また,健 全と損傷のデータを定量的に評価することを目的としてそれぞれの 推定結果について仮説検定を行う^{6,7)}.

2. 模型桁車両走行実験 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 I 型断面の鋼桁である. 車両は路面凹凸を再現 したレール上を走行する. 実験に使用する模型車両を Fig. 2 に示す. 実験では,質量およびばね定数の変化による振動特性の異なる 3 種類 の車両を用い,車両走行速度は 2 種類用いる. 車両走行シナリオを Table 1 に示す. 桁 L/4, L/2, 3L/4 点に加速度計を取り付ける. 橋桁に 与える損傷は 3L/8-L/2 間のフランジ下を段階的に削り取る. 深さ 5mm の損傷 (D1), 深さ 10mm (D2)の損傷とする. 自由振動加速度波形よ り算出された 1 次振動数と減衰定数と,静的たわみから算出された曲 げ剛性の変化を損傷シナリオごとに Table 2 に示す. 損傷によって段 階的に振動数は低下し,減衰定数は増加していることが確認できる.

車両 V1 (2.93Hz, 21.6kg) が S1 (0.93m/s) で走行したときの健全, D1, D2, 時の桁 L/2 点の加速度応答を Fig.3 に示す. 損傷によって加速度 応答が大きくなっている箇所を確認できる.

3. ARモデルによる振動特性推定 ARモデルを用い振動数お よび減衰定数を推定する.各損傷パターン(健全,D1,D2) において走行シナリオごとに各5回計測しているが,今回の 推定にあたり,5回分のデータをひとまとめとしており,S1は7500 個,S2は5000個を一区分として推定を行う.これは,ARモデル での推定にはある程度多くのデータ数が必要であるためである.推 定結果をFig.4,5に示す.振動数は1次で健全とD2を比較した場 合低下傾向が見られ,3次では全シナリオ全測点で損傷度に応じて 低下が見られる.減衰定数は1次で健全とD2を比較した場合増加 傾向が見られ,3次ではS2で損傷度に応じて増加傾向が見られる. 損傷による振動特性の変化をとらえることができている.



Fig. 1 Experimental girder.



Fig. 2 Vehicle model with data acquisition system.

Table 1	Property	of model	vehicle
---------	----------	----------	---------

Vehicle type	Speed	
V1-21 6kg 2 02Hz	S1=0.93m/s	
v 1–21.0kg ,2.95Hz	S2=1.16m/s	
V2-21 6kg 2 61Hz	S1=0.93m/s	
v 2–21.0kg ,3.01Hz	S2=1.16m/s	
$V_{2-25} \approx 282U_{2} (202U_{2})$	S1=0.93m/s	
v 5=23.8kg ,2.83HZ (2.93HZ)	S2=1.16m/s	

Table 2 Senario of damage section			
	Intact	Damage I	Damage II
振動数 (Hz)	2.65	2.62	2.57
減衰定数	0.008	0.011	0.013
剛性低下率(%)	-	6	20



キーワード Bridge health monitoring, Laboratory experiment, AR model, 仮説検定 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学研究科 市民工学専攻 Phone 078-803-6383

-637-

4. 仮説検定 振動特性の推定結果を定量的に評価するため, 仮 説検定を行う.本実験では1次,3次固有振動数および減衰定数 に着目する. 検定すべく 2 標本を ц, ц, とすると, 帰無仮説 H₀と対立仮設 H₁は以下のように表される.

 $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (1) $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

本手法は2標本を対象とするため帰無仮説Hoを「健全とD1, D1 と D2, 健全と D2 の振動特性は等しい」, 対立仮説 H₁を「健 全と D1, D1 と D2, 健全と D2 の振動特性は等しくない」とし、 低次、高次における振動数、減衰定数それぞれについて仮説検 定を行う. その際, 有意水準 α=0.05 とする.

振動数に関しては全データ、減衰定数に関しては車両速度 S2 における仮説検定結果を Table 4.5 に示す.1 次振動数について 健全と D1, D1 と D2 において仮説が棄却されないことか は. ら、振動特性は等しいという結果になる。よって損傷による変 化を推定するには至らない結果となる. それ以外の場合では振 動特性は等しくないという結果になり、損傷による振動特性の 変化があると言える。特に健全と D2 の変化は振動数,減衰定 数共にあらわれるため D2 程度の損傷であれば AR モデルを用 いた健全度評価が可能であると考えられる. しかし今回の標本 数は少なく、仮説検定結果に影響が出た可能性も考えられるた め標本数を増やして再検討を行う必要がある.

5. 結論と今後の展望 本研究では、段階的に損傷を与えた模型 橋梁で車両走行実験を行い,得られた振動データより AR モデ ルによる橋梁の健全度評価の可能性検討を行う. AR モデルに よる振動数推定結果より3次振動数の損傷による変化を安定し て推定できる.また減衰定数推定結果の定性的な検討から S2 で減衰定数に増加傾向が見られる.また仮説検定結果より D2 程度の損傷であれば AR モデルによる健全度評価は可能である といえる.しかし微小な損傷を明確にとらえるには至らず、検 討が必要である.また、振動特性変化をとらえることはできる が、損傷に対する明確な指標としては不十分であるため、それ らの検討も必要である. その他にも統計的な判断を伴うため必 要なデータ数を把握する必要があると考えられる.

【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.
- 3) Yangbo Chen, Maria Q.Feng, Chin-An Tan: Modeling of Traffic Excitation for System Identification of Bridge Structure, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 21, 57-66, 2006.
- 4) Huang, C.S.: Structural Identification from Ambient Vibration Measurement using the
- Multivariate AR Model, Journal of Sound and Vibration, Vol.241, No.3, pp.337-359, 2001. 5)川谷 充郎,金 哲佑,尾崎 隆弥,伊勢本 遼:模型桁車両走行実験における橋梁振動特性推 5月1日 5日41, 金 百宿, 宅町 陸小, ビライ 返 : (安主町平回)と口, 表示における間未成動行住作 定と異常診断, 第65 回土木学会年次学術講演会概要集, 1-521, 2010.9 6) 川谷 充郎, 金 哲佑, 尾崎 隆弥 : 交通振動実験における橋梁の振動特性推定結果の仮説検
- 定, 第 64 回土木学会年次学術講演会概要集, I-288, 2009.9
- 7)Helmut Wenzel: Health monitoring of bridges, Wiley, pp.151-185, 2008.





Fig. 5 Estimated damping constants by AR model

Table 3 Results of hypothesis test for frequencies

1st	data	Critical region Z	t-value	reject	result
I vs D1	18	Z<-2.110,2.110 <z< td=""><td>1.591</td><td>×</td><td>H_0</td></z<>	1.591	×	H_0
D1 vs D2	18	Z<-2.110,2.110 <z< td=""><td>0.866</td><td>×</td><td>H_0</td></z<>	0.866	×	H_0
I vs D2	18	Z<-2.110,2.110 <z< td=""><td>2.452</td><td>0</td><td>H_1</td></z<>	2.452	0	H_1
		-			
3rd	data	Critical region Z	t-value	reject	result
I vs D1	18	Z<-2.110,2.110 <z< td=""><td>21.826</td><td>0</td><td>H_1</td></z<>	21.826	0	H_1
D1 vs D2	18	Z<-2.110,2.110 <z< td=""><td>13.826</td><td>0</td><td>H_1</td></z<>	13.826	0	H_1
	10		07.514	0	

Table 4 Results of hypothesis test for damping constants

1st	data	Critical region Z	t-value	reject	result
I vs D1	9	Z<-2.306,2.306 <z< td=""><td>3.510</td><td>0</td><td>Hı</td></z<>	3.510	0	Hı
D1 vs D2	9	Z<-2.306,2.307 <z< td=""><td>-4.528</td><td>0</td><td>Hı</td></z<>	-4.528	0	Hı
I vs D2	9	Z<-2.306,2.308 <z< td=""><td>-3.955</td><td>0</td><td>Hı</td></z<>	-3.955	0	Hı
3rd	data	Critical region Z	t-value	reject	result
3rd I vs D1	data 9	Critical region Z Z<-2.306,2.306 <z< td=""><td>t-value -3.878</td><td>reject O</td><td>result H1</td></z<>	t-value -3.878	reject O	result H1
3rd I vs D1 D1 vs D2	data 9 9	Critical region Z Z<-2.306,2.306 <z Z<-2.306,2.307<z< td=""><td>t-value -3.878 -3.056</td><td>reject O O</td><td>result H1 H1</td></z<></z 	t-value -3.878 -3.056	reject O O	result H1 H1