交通振動を用いた鋼ゲルバートラス橋の異常検知

京都大学大学院	学生員	〇北内 壮太郎	京都大学大学院	学生員	伊勢本 遼
京都大学大学院	正会員	金 哲佑	京都大学大学院	正会員	杉浦 邦征

1. はじめに

我が国では高度経済成長期に多くの中小スパン 橋梁が建設され、現在、それらの橋梁の劣化・老 朽化が憂慮されている.従って、大量にある中小 スパン橋梁の効率的な維持管理の実現に向け, 簡 易で迅速な異常診断手法の開発は重要なテーマで あると考える.実際に、いずれも鋼トラス橋であ る木曽川大橋(1963 年竣工)と本荘大橋(1966 年竣 工)が, それぞれ 2007 年 6 月と 8 月において, 床版 コンクリートを貫通した H 断面引張斜材が局部的 に腐食して破断に至る事例が発生している.

筆者らは、交通振動を用いた振動モニタリング による異常診断手法として,線形システムモデル である AR モデルの AR 係数を用いた異常診断指 標 DI(Damage Indicator)の利用に着目している¹⁾. 本研究では DI の, 鋼トラス橋の損傷推定への適用 性を検討するため,実橋梁において車両交通によ る振動計測を行い,さらに,マハラノビス距離(MD) を用いるパターン分析手法である MTS(Mahalanobis-Taguchi System)²⁾を適用し,実橋 梁の異常検知の可能性について検討を行う.

2. 実験概要

Fig.1に示す9径間連続ゲルバートラス橋を対象 に、車両走行による振動計測を行う.計測対象は P5-P6 径間とする. 橋梁に与える損傷は, Fig. 2の 赤色で示した車両進入側から第4斜材を破断させ, 損傷を模擬した.与えた損傷の写真をFig.3に示す.

43.68m 65.52m 65.52m 65.52m 65.52m 65.52r 65.52m 65.52m P2 P4 Fig. 1 Elevation view of bridge. Vehicle pathway (13) 12 14 2 3 4 5 6 T 8 (9 (10) 1 32760 32760-65520 Unit : mm : Damaged member Wired accelerometer i : Joint **Photoelectric switch** E: Data logger ○ : Hinge Fig. 2 Observation points.

NEC システムテクノロジー株式会社 甲斐

Monitored spar

邦征

正義

Fig.3 Photo of damage member.

Table 1 Scenario of moving vehicle test.					
Tune of vehicle	Speed —	Observation times			
Type of venicle		Intact	Damage		
Truck	10 km/h	4	3		
Truck	20km/h	7	6		
Truck	40 km/h	7	6		
	Table 1 Scenar Type of vehicle Truck Truck Truck Truck	Table 1 Scenario of movin Type of vehicle Speed Truck 10km/h Truck 20km/h Truck 40km/h	Table 1 Scenario of moving vehicle test Type of vehicle Speed Observa Truck 10km/h 4 Truck 20km/h 7 Truck 40km/h 7		

サンプリング周波数は 200Hz とし, 橋梁の計測点は損傷部材近傍で密になるように設置し, 14 測点とする (Fig. 2 参照). 本実験で用いる車両は荷台に H 鋼を積み,総重量が 25t になるように調整されている. 車両速度が橋梁振動 に与える影響を考慮し、10km/h、20km/h および 40km/h に変化させ振動計測を行う. 車両走行シナリオを Table 1 に示す. なお, 橋梁上には部材切断作業用の作業スペースが設けられているので, 車両の走行位置は切断斜材があ る車線とは反対車線とする.

線形システムパラメータに着目した異常診断 3.

従来の AR モデルによる振動特性に着目した異常診断では, AR モデルのモデル次数を推定結果より経験的に決

異常診断,線形システムモデル,交通振動, Mahalanobis-Taguchi System キーワード

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3421 定しており、橋梁それぞれについて試行錯誤で次数を決める煩雑さが問題である.もちろん、AIC等による最適 AR 次数の決定方法はあるが、本研究のように交通振動に適用した場合、橋梁の振動特性とは無関係な数値的な解も数 多く推定され、モニタリング対象とする振動特性の抽出が困難である.そこで、異常診断指標として式(1)に示す 3 次までの AR 係数から得られる DI₃(Damage Indicator)を用いる¹⁾.

$$DI_{3} = |a_{1}| / \sqrt{\sum_{i=1}^{3} a_{i}^{2}}$$
(1)

ここで *a*_i(*i*=1, 2, 3)は *i* 次 AR 係数である.

例として、Scenario 2 および Scenario 3 における損傷前後の DI₃を測点別に Fig. 4 に示す.青い棒グラフは損傷前後の変化率 である.図より,損傷位置付近において損傷による変化が大き く,相対的に高速である Scenario 3 の方がその傾向が明確であ ることが分かる.次に、MTS²⁾を適用し、マハラノビス距離で ある MD を比較することで異常診断を行う.MTS に用いる項目 数は、観測数未満であれば任意であるが、損傷位置に近い測点 の影響が多岐に渡ることを低減するため、損傷位置推定の観点 から、Table 2 に示すように隣り合う 2 測点を MTS に用いる事 にする.また、閾値は交差確認法³⁾を用いて決定する.例とし て Scenario 2 および Scenario 3 における MTS の適用結果を Fig. 5 に示す.図中の赤線は閾値を示しており、A から L のアルファ ベットは Table 2 に示す項目の組み合わせを示している.図 より、損傷による変化が明確であることが分かる.また、損傷

位置付近の測点を項目とした MTS の適用結果は,他の測点 を項目とした結果に比べ損傷 によるパターンの変化が卓越 しており,損傷位置推定の可能 性を示唆する.

4. 結論

本研究では鋼ゲルバートラ ス橋を対象に交通振動に着目 し,AR係数を用いる異常診断 指標 DI₃と MTS による異常診 断の検討を行った.その結果, DI₃が損傷により変化すること を確認した.また,異常検知だ けでなく,損傷位置の推定の可 能性も確認されたが,さらなる 検討が必要である.



Fig. 4 DI₃ with respect to observation points : a) Scenario 2 and b) Scenario 3.

Table 2 Combination of evaluation items in MTS R D G K F F Н point ① point 2 point 3 point 4 point 5 point 6 point 7 point 8 point 9 point 10 point 12 point 13 and point 2 point 3 point 4 point 5 point 6 point 7 point 8 point 9 point 1 point 1 point 1 point 4



【参考文献】1)金哲佑,伊勢本遼,川谷充郎,杉浦邦征:模型桁車両走行実験における異常診断の可能性の検討,土木学会論 文集 A2, Vol.67, No.2, I_833-I_842, 2011. 2) Taguchi, G. and Jugulum, R.: New trends in multivariate diagnosis, Indian J. of Statistics, 62, Series B, pp.233-248, 2000. 3) Bishop, C. M.: Pattern Recognition and Machine Learning, pp.32-33, springer, 2008.

-094