

ロバスト性を考慮した交通振動による橋梁構造物の健全度推定に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○岡野 雅 京都大学大学院工学研究科 正会員 服部 洋
 京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通 京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
 京都大学大学院工学研究科 学生会員 松山 卓真

1.序論：日本では橋梁等の土木構造物の建設が高度経済成長期より始まった．そして現在，初期に建設された橋梁の老朽化が深刻な問題になっている．このことから，橋梁の維持管理を行うことにより橋梁の健全性を保ち，供用することが重要であると考えられる．また，維持管理の方法として，対象構造物にセンサーを設置して物理量等を取得し，それを解析することで健全性を評価する構造ヘルスマモニタリングという考え方を導入した手法が注目されている．本研究では，構造ヘルスマモニタリングに基づいた，従来の点検の補助とすることが可能な，振動応答による橋梁構造物の健全度評価手法の構築を試みる．

2.研究概要：本研究で提案する手法において解析する物理情報として車両走行時に発生する振動応答を用いる．交通振動を用いることにより，計測を行う際に交通規制や特別な機器の必要がなく，効率的な計測が可能となる．また，従来の研究で主に用いられている解析手段では検査時の環境の変化による影響を受けやすいという問題点がある．このことから，これらの変化による影響の小さい解析手段として，本研究ではソフトコンピューティングの一種であるニューラルネットワークを用いる．ニューラルネットワークはノンパラメトリックな解析手段の1つであり，ロバスト性が高いため，環境の違いにより発生する差異の影響が小さくなると考えられる．

3.数値シミュレーション：本研究で用いる振動応答は北海道大学大学院工学研究科助教何興文氏が開発した橋梁 - 車両連成振動解析手法による高架橋振動応答の数値シミュレーション[1]による加速度応答とした．数値シミュレーションに用いた車両モデルを図1，橋梁モデルを図2に示す．車両モデルは橋梁上を60km/hで通過する1両編成の鉄道車両を想定し，各パラメータを表1に示す．橋梁モデルは平均的な諸元を有する鋼桁橋を想定し，50mの橋梁を11の節点と10の部材でモデル化した．橋梁モデルの損傷は各部材の曲げ剛性の健全度を低下させることで表現し，本研究では橋梁の損傷状態を，全ての部材の曲げ剛性が健全であるパターンといずれか1つの曲げ剛性の健全度が90%から30%まで10%刻みで低下しているパターンを想定した．

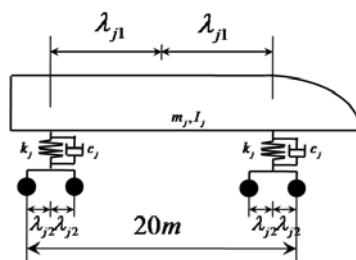


図1 車両モデル

表1 車両モデルのパラメータ

	Definition	Notation	Value
Parameter	Weight of car body	$m_j g$	321.62kN
	Weight of front or rear bogie	$m_n g$	25.86kN
	Weight of wheel	$m_{wv} g$	8.85kN
	Mass moment of inertia of car body	I_j	24623.75kN·s ² ·m
	Spring constant of upper spring	k_j	886.02kN/m
Geometry	damping coefficient of upper spring	c_j	43.20kN·s/m
	1/2 distance of bodie centers	λ_{j1}	8.75m
	1/2 distance of axes	λ_{j2}	1.25m

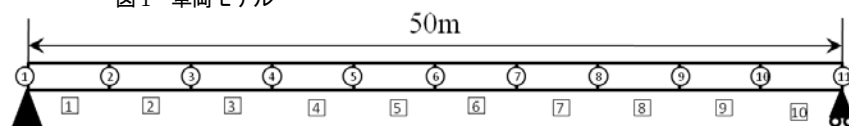


図2 橋梁モデル

Unit length weight: $\gamma = 1.5tf / m^2$
 Young's modulus: $E = 2.1 \times 10^7 tf / m^2$
 ①: 節点 ②: 部材

4.提案手法：提案手法の構成を図3に示し，振動応答から健全度推定を行う具体的な手順を以下に示す．

- 1) 数値シミュレーションや模型実験，実測を行うことで対象の橋梁構造物上を車両が通過する際に発生する振動応答を取得する．
- 2) 取得した振動応答を入力，データ取得時における推定の対象となる部材の曲げ剛性の健全度(例えば70%であれば0.7とする)を出力とし，ニューラルネットワークの学習機能を利用することで，部材ごとに推定システムの構築を行う．
- 3) 検査用に計測した振動応答を構築した推定システムに入力し，得られる出力を基に各部材の曲げ剛性の健全度の推定を行う．

キーワード：維持管理，構造ヘルスマモニタリング，ニューラルネットワーク，ロバスト性，交通振動

連絡先：〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂C クラスター1-3-457 TEL 075-383-3170

本研究では前述した車両モデルと橋梁モデルを用いて数値シミュレーションを行うことで車両通行時に発生する橋梁中央部における振動応答を 0.005 秒ごとに 5 秒間取得し、1000 個の加速度データを作成する。作成した 1000 個のデータを入力、対象の部材の曲げ剛性の健全度を出力として推定システムを構築する。次に学習に用いていない損傷状態における加速度データを推定システムに入力する。これにより得られる出力と推定システムの対象である部材の曲げ剛性の健全度を比較することで提案手法の有効性について検討を行う。また、図 3 より、検査に用いる振動応答は車両や橋梁の状態により変化することが考えられる。このことから、本研究では車両の重量をシステム構築時から変更して振動応答を取得し、推定システムに入力することにより、提案手法のロバスト性について検討を行う。

5.計算結果：本研究では想定した損傷状態の一部の加速度データを用いて部材ごとに推定システムを構築する。推定システムにより得られる出力から健全度推定の精度を評価する。本研究では出力と理想値の差が 0.05 未満である場合に、推定が正確に行えているとする。得られる出力のうち、学習したデータにより推定される対象の部材が損傷している状態に対する出力を表 2 に示す。表より構築したシステムにより学習した状態における推定は正確に行えることが確認できる。このシステムにより、学習していない損傷状態で得られるデータから得られる出力を表 3 に示す。表より、損傷の有無を確認でき、また一部の部材については正確に健全度を推定できることが示された。次に、検査を行う際の環境の変化による影響を検討する。車両重量を構築時の重量の 1.05 倍にして得られるデータから出力された結果を表 4 に示す。表より、損傷を健全と推定することはなく、健全度推定の精度については、検討を行った損傷状態の 80%が推定できることが確認できる。

6.結論：本研究では構造ヘルスマモニタリングに基づいた振動応答による橋梁構造物の健全度評価手法の構築を試みた。構築した推定システムより得られた未知の損傷状態に対する出力から、損傷の有無の推定が可能であり、健全度推定の精度については検討した損傷状態の 70%が推定できることが確認できた。このことから、提案手法を用いた部材の損傷の検知が可能と考えられる。したがって、詳細な検査を提案手法によって損傷の存在が推定された部材に対して行うことにより、目視による見落とし等を防ぐことが可能となる。また、車両重量を変更して得られたデータを用いた出力から、損傷の有無の推定が可能であり、検討した損傷状態の 80%を推定できることが確認できる。このことから、推定システムがロバスト性を有しており、損傷検知や健全度推定の精度に対する車両重量の変化による影響は少ないと考えられる。したがって、検査時における車両や環境の変化による影響を受けず、健全度推定が正確に行えると考えられる。

参考文献

[1]何興文, 林川俊郎, 川谷充郎, 松本高志 ; 「振動解析とソフトコンピューティングによる橋梁損傷同定法の開発」, 鋼構造年次論文報告集, 18, pp.425-430,2010

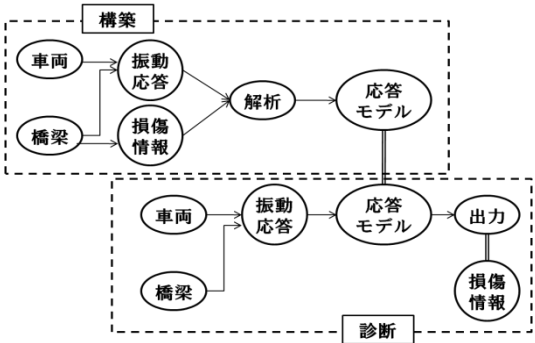


図 3 提案手法の流れ

表 2 学習に用いたデータに対する出力

健全度	理想値	部材(番号)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90%	0.90	0.90	0.90	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.92	0.91	0.92
70%	0.70	0.67	0.68	0.71	0.69	0.72	0.71	0.69	0.71	0.69	0.69
50%	0.50	0.48	0.48	0.51	0.49	0.51	0.51	0.49	0.50	0.49	0.49
30%	0.30	0.29	0.28	0.30	0.29	0.30	0.30	0.29	0.30	0.29	0.29

表 3 学習に用いていないデータに対する出力

健全度	理想値	部材(番号)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80%	0.80	0.76	0.73	0.80	0.83	0.75	0.75	0.81	0.75	0.83	0.81
60%	0.60	0.64	0.63	0.70	0.56	0.71	0.68	0.62	0.74	0.56	0.64
40%	0.40	0.44	0.53	0.33	0.40	0.36	0.48	0.35	0.40	0.50	0.38

表 4 車両重量が変更した場合に対する出力

健全度	理想値	部材(番号)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
90%	0.90	0.94	0.90	0.93	0.94	0.89	0.88	0.90	0.92	0.92	0.93
80%	0.80	0.84	0.73	0.78	0.82	0.69	0.67	0.80	0.73	0.84	0.82
70%	0.70	0.74	0.67	0.69	0.67	0.66	0.65	0.67	0.70	0.69	0.70
60%	0.60	0.70	0.62	0.68	0.53	0.67	0.61	0.61	0.73	0.55	0.64
50%	0.50	0.52	0.47	0.48	0.47	0.47	0.45	0.47	0.50	0.48	0.50
40%	0.40	0.41	0.51	0.31	0.38	0.35	0.44	0.33	0.40	0.49	0.39
30%	0.30	0.30	0.27	0.28	0.28	0.29	0.27	0.27	0.30	0.29	0.30

理想値との差が0.05以上