

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○岡野 雅
 京都大学大学院工学研究科 正員 白土 博通

京都大学大学院工学研究科 正員 服部 洋
 京都大学大学院工学研究科 正員 八木 知己
 京都大学大学院工学研究科 学生員 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状態になっている。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onitoring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onitoring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：本研究では振動応答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を必要とせず，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事前に対象構造物に関する情報を多数取得する必要がある事や，外乱やデータ転送中に発生する雑音等による影響を受けやすい事等の問題がある。したがって，解析手段を決定する際に，事前に必要な情報量の削減，ロバスト性の高さという点を検討する必要があると考えられる。このことから，提案手法における振動応答の解析手段に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入出力の教師データから入出力間の関係を構築することが可能であるため，事前に必要とする情報が少なく済む。また，特徴の1つとしてロバスト性が高いことが挙げられ，このことから外乱や雑音等から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

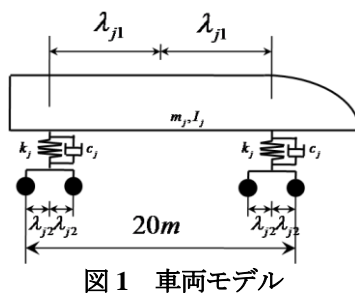
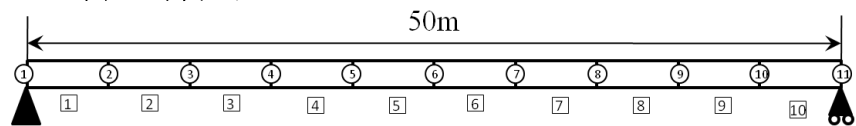


図1 車両モデル

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	$m_{Hj} g$	25.86kN
	Weight of wheel	$m_{mj} g$	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



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

図2 橋梁モデル

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。

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。

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。次に構築の際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。

5.計算結果：本研究ではシミュレーションを行った損傷状態のうち、一部の損傷状態で取得した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。構築したシステムにデータを入力して得られる出力から推定精度を評価する。ここでは、出力と理想値の差が 0.05 未満である場合、出力が理想値に近い数値を出力するとし、推定が正確に行えているとする。はじめに、学習に用いたデータを入力することで学習した損傷状態に対する推定の精度を確認する。得られる

出力のうち、推定の対象である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、全ての出力が理想値に近い数値であることが確認出来る。このことから、提案手法により既知の損傷状態について健全度推定を正確に行うことが可能であると考えられる。次に、学習に用いていないデータから得られる出力による健全度推定の可能性の検討を行う。各推定システムより得られる出力のうち、対象の部材が損傷している状態に対する出力を表 3 に示す。表より、得られる出力の 70% が理想値に近い数値であることが確認出来る。また部材ごとに出力の精度を見ると、部材 1、部材 4、部材 7、部材 10 の各損傷状態に対する出力が理想値に近い数値であることが確認出来る。このことから、提案手法を用いることにより未知の損傷状態についても健全度推定を正確に行える可能性が示された。

6.結論：本研究で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、損傷の有無の推定についての可能であることが確認出来た。また、健全度推定の精度については、70% の出力で正確に行えていることが確認出来た。このことから、提案手法を用いることで部材における損傷を検知することが可能であると考えられる。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。このことから、提案手法を用いることにより効率的かつ安全性の高い維持管理が行えると考えられる。また、一部の部材について各損傷状態に対して理想値に近い出力が得られた。このことから、橋梁を構成する全ての部材に対して高い精度での健全度推定が行える可能性があると考えられる。今後、健全度推定の精度の向上を図ることにより、推定された結果から詳細な検査が必要となる具体的な時期を決定することが可能となり、より効率的な橋梁構造物の維持管理を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

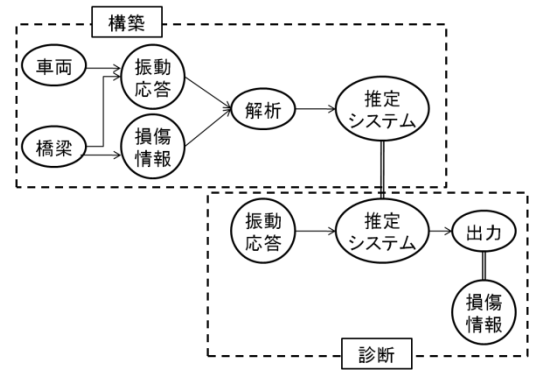


図 3 提案手法の流れ

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

理想値との差が 0.05 以上の出力