

車内で計測した通過音に基づいた鋼製フィンガージョイントの異常検知の試み

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社（研究当時，岐阜大学大学院） 正会員 ○加藤瑛那子

岐阜大学 正会員 木下幸治

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社

多賀翔一

1. はじめに

橋梁に設置される伸縮装置は維持管理上，各種点検が実施されている．伸縮装置の劣化・損傷速度は場合によっては非常に速いが，交通規制を必要とするような箇所では5年に1度の定期点検以外に直接点検を行う機会がないのが通常であるため，点検を実施した伸縮装置であっても損傷事例が報告される場合がある．こうした現状から，定期点検の間に発生する変状の兆候あるいはその初期段階で発見する手段の開発が求められている．一方，既往研究¹⁾で明らかとされた鋼製フィンガージョイントの損傷メカニズムより，損傷に伴う剛性の変化が加速度や通過音の変化として現れる可能性があることから，これまでに，日常点検における点検者の感覚に基づく判断に代わるような異常検知の試みが行われ，損傷に起因した通過音や加速度の変化から異常検知の可能性が示されている^{2,3)}．しかし，伸縮装置の個体差等を原因としたばらつきにより定量的な評価が難しく，未だ実用化に至った例は少ない．以上の背景から，著者らは点検者の点検技術と補完し合い異常を検知するシステムの構築を目指し，通過音に着目した異常検知を検討することとした．既往研究⁴⁾において，車外で計測した通過音は走行音に埋もれてしまう可能性が高く，車内で計測した通過音では損傷による傾向を捉えられる可能性を示したことから，本研究では，車内で計測した通過音に基づいた検討を行った．まず，損傷を模擬した伸縮装置の通過音から，損傷に起因した通過音の傾向を明らかとした．次に，高速道路で供用中の伸縮装置の通過音から，模擬した損傷と同様の傾向が捉えられるか検討したのち，通過音に基づく損傷評価を行った．また，経時的な通過音の収集のため，約1年後の通過音の計測を実施した．

2. 損傷を模擬した伸縮装置の通過音の計測

酒井ら¹⁾は，鋼製フィンガージョイントがフェースプレート破断に至るまでの損傷メカニズムを報告している．はじめに①アンカープレート溶接部が破断し，②リブとフェースプレート溶接部が破断，③ウェブとフェースプレート溶接部にき裂が進展し，④フェースプレートにき裂が発生するというメカニズムである．岩吹らは①から③までの損傷を模擬した試験体と健全な試験体を製作し，それぞれ健全，損傷Ⅰ，損傷Ⅱ，損傷Ⅲとしている²⁾．これらの試験体は施工技術総合研究所テストコースに設置されており，本計測ではこの試験体を対象に計測を行った．図-1に試験体の図面を示す．各損傷で剛性が変化することを確認するため，

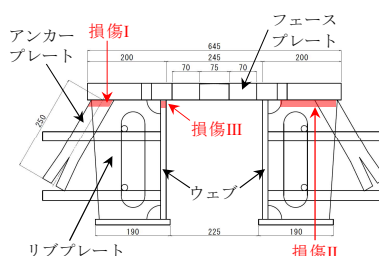


図-1 試験体図面



図-2 計測車両及び計測位置

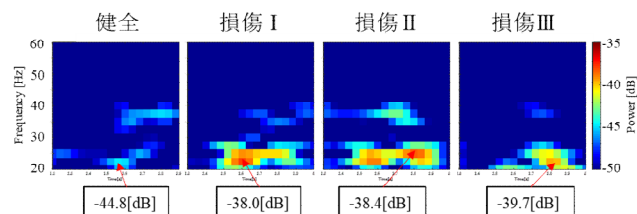


図-3 損傷ごとの短時間フーリエ変換結果

質量 1.0kg 程度の金属ハンマーによる打撃音の計測・分析を行い，対象とする伸縮装置の固有振動数の1次モードは1,450Hz程度であり，損傷Ⅲまで進行すると，150Hz程度小さくなることを確認した．計測では，道路点検車と同程度の大きさの普通自動車を用い，車内に RION 普通騒音計 NL-06（サンプリング周波数 25,600Hz）を設置し計測を行った．図-2に計測車両及び計測位置を示す．伸縮装置の通過時点を確認するため小型カメラを設置し，走行速度を時速 60km で統一して3回計測を実施した．図-3に計測した通過音の，損傷ごとの短時間フーリエ変換（以降，STFT）結果を示す．STFTは窓関数にハニング窓を用い，フレーム長 10,240点，フレームシフト量 1,024点で解析を実施した．マイクの測定可能周波数範囲が20Hz以上のため，20Hzから60Hzの結果を示している．この結果から，伸縮装置通過時に20～40Hzのパワースペクトルが大きくなることが確認できた．また，各損傷段階で大きくなる周波数帯及び時間方向の変化の仕方，その最大値が異なることが確認できる．健全では20～25Hz，35～40Hzにおいて最大で-43[dB]であり，損傷Ⅰでは20～27Hzで最大が-38[dB]となる．損傷Ⅱでは，損傷Ⅰの傾向に加え，35～40Hzも大きくなる．損傷Ⅲでは，20Hzが大きくなった後，20～30Hzで最大が-40[dB]となった．この傾向は，計測回数に寄らず同様であった．

キーワード：伸縮装置，異常検知，通過音，短時間フーリエ変換

連絡先：〒470-1202 愛知県豊田市渡刈町大屋敷 57 TEL：0565-21-6415

3. 高速道路で供用中の伸縮装置の通過音の計測

本計測では、高速道路で供用中の 387 基の伸縮装置を対象とし、前章と同様の計測機器及び計測条件にて 2 または 3 回計測を実施した。供用中の伸縮装置の通過音の STFT 結果においても、伸縮装置通過時に 20～40Hz のパワースペクトルが大きくなることが確認できた。紙面の関係上割愛させていただくが、実橋にて損傷以外の車内計測音に表れる可能性のある要因の影響を検討した結果、20～40Hz には損傷に起因した傾向が表れる可能性があることを確認した。このことから、損傷を模擬した伸縮装置の通過音の傾向を基に、供用中の伸縮装置の損傷評価を行った。表-1 に評価結果の一部を示す。健全と評価された通過音が 53.0%、損傷Ⅰが 19.9%、損傷Ⅱが 13.4%、損傷Ⅲが 2.1%、その他が 11.6%という結果となった。通過音の傾向による損傷評価が難しい場合を「その他」としている。以上より、供用中の伸縮装置を、損傷を模擬した伸縮装置の通過音の傾向を基に損傷評価できる可能性があることが示された。一方で、実橋では 387 基すべての伸縮装置において詳細点検が実施されているが、損傷Ⅲと評価された 8 基は、点検記録では異常なし、または損傷度の低い損傷であることが確認されており、点検では損傷度の低い伸縮装置においても、通過音では損傷Ⅲと類似した傾向を示す場合があることが確認された。

続いて、通過音の傾向の比較を行う損傷評価の高速化を図るため、機械学習を用いた損傷評価を検討した。機械学習の一種であり、画像の分類について有用性が示されてきている⁹⁾、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) は、入力層、中間層、出力層の 3 種類の層状にニューロンが配置されており、中間層には、画像の特徴抽出を得意とする層が構成されている。本検討では 15 層のシンプルな構造のネットワークを用い、学習率 0.01、学習回数 10 回で、損傷を模擬した通過音の STFT 結果 12 枚を学習させた。表-2 に、このモデルによる損傷評価の内訳を、人による評価結果と合わせて示す。健全、損傷Ⅰにおいては点検結果と同程度であり、損傷Ⅱでは半数、損傷Ⅲの割合が高いことが確認できる。損傷Ⅲの内訳を確認すると、人では健全と評価した結果が含まれており、STFT 結果の傾向においても損傷Ⅰ、Ⅱと比べ傾向は近いことから、評価が寄った可能性も考えられる。こうした部分は人の点検と補完し合うことで、機械学習を用いた損傷評価を活用できる可能性がある。

ここまでの検討では、損傷を模擬した伸縮装置の通過音の傾向を基に、供用中の伸縮装置の損傷を評価できる可能性を示したが、実際の損傷が点検では確認できないことから、経時的な伸縮装置の通過音の計測により、損傷の進行に伴う通過音の傾向の変化を捉える必要があると考え、約 1 年後の通過音の計測を実施した。表-3 に約 1 年後の通過音の STFT 結果との比較を示す。この結果から、損傷度が高い可能性のある損傷Ⅲと評価した伸縮装置を含め、約 1 年後の計測結果においても類似した傾向が確認できた。このことから、

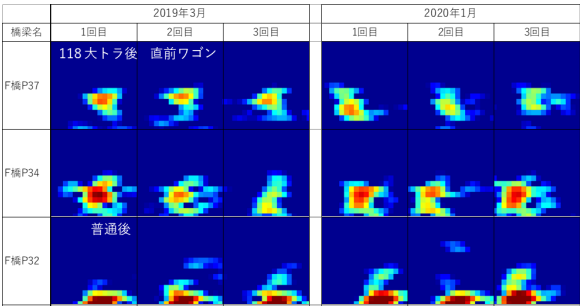
表-1 損傷評価結果

橋梁名	1回目	2回目	判定	橋梁名	1回目	2回目	3回目	判定
C橋P4	43 大トラ後		損傷Ⅱ	D橋P34	167 普通後			損傷Ⅰ
B橋P20	普通後		健全又は損傷Ⅱ	D橋P32				損傷Ⅰ

表-2 機械学習による損傷評価結果

損傷状況	人	機械学習	
		1回目	2回目
健全	205	209	200
損傷Ⅰ	77	82	75
損傷Ⅱ	52	21	30
損傷Ⅲ	8	75	82
その他	45	0	0
計	387	387	387

表-3 約 1 年後の通過音の STFT 結果



経時的な通過音の計測を実施することで、損傷に伴う通過音の傾向の変化を追うことができる可能性について、期待されることが示された。

4. 結論

- 本研究で得られた知見を以下に示す。
- ✓ 車内で計測した伸縮装置の通過音の STFT 結果において、20～40Hz に損傷に起因した傾向が表れる可能性があることを示した。
 - ✓ 損傷を模擬した伸縮装置の通過音の 20～40Hz に表れる傾向を基に、供用中の伸縮装置の損傷を評価できる可能性があることを示した。これは機械学習を用いた場合にも、同様の可能性を示した。
 - ✓ 同一の伸縮装置の約 1 年後に計測した通過音の傾向が、約 1 年前の傾向と類似したことから、経時的な通過音の変化を捉えられる可能性があることを示した。

以上の知見から、今後、損傷に至るまでの伸縮装置の通過音のデータを蓄積し、損傷の進行に伴う通過音の傾向の変化を追うことで、緊急性の高い損傷を有する伸縮装置を検知できる可能性が示された。

【参考文献】

1) 酒井ら：道路橋の鋼製フィンガージョイントの損傷メカニズム，鋼構造論文集，第 21 巻第 84 号，pp.9-21，2014.12. 2) 岩吹ら：損傷段階を模擬した鋼製フィンガージョイントの製作及び振動特性に関する研究，土木学会第 73 回年次学術講演会，pp.909-910，2018.8. 3) 服部ら：車両通過音を活用した道路橋伸縮装置の異常検知に関する基礎的研究，土木学会論文集 A2 (応用力学)，Vol. 67, No. 2 (応用力学論文集 Vol.14)，I_865-I_873，2011. 4) 木下ら：通過音による鋼製フィンガージョイントの異常検知に関する検討，鋼構造年次論文報告集，第 27 巻，pp. 701-706，2019. 11. 5) Matthew, B. and Saeed, S, G.: Convolutional Neural Networks for Image Processing: An Application in Robot Vision, Lecture Notes in Computer Science, pp.641-652, 2003.