

# 画像認識と車外音の短時間フーリエ変換による鋼製フィンガージョイントの損傷検知手法提案

東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 学生会員 ○今井貴教

正会員 蘇迪、水谷司、薛凱

## 1. はじめに

伸縮装置は、車両の荷重を直接支持し、段差による衝撃も受けやすいことから、損傷しやすい。現在、高速道路各社では、車線規制を行った上で打音検査を実施し、維持管理を行っているが、時間コストや人件費の面で負担であり、熟練技術者の退職などの課題も抱えている。人間の知覚に頼らない検知手法として、車両の通過音を用いた研究が行われているが、誤検出が高いという課題が残る<sup>[1]</sup>。本研究では、損傷を模擬した鋼製フィンガージョイントを使用した実験を行い、車外通過音を用いた損傷検知手法を提案する。その後、供用中の伸縮装置に対して手法を適用し、誤検出の低減を確認する。また、車体前方に設置したスマートフォンで撮影した動画に対し物体検出を適用し、通過時刻の同定を試みる。

## 2. 損傷を模擬した伸縮装置を用いた実験

施工技術総合研究所のテストコースには、5基の鋼製フィンガージョイントが約10 m間隔で設置されており、うち1基は健全、残り4基では段階に応じた損傷が模擬してある<sup>[2]</sup>。鋼製フィンガージョイントは、①アンカープレート破断、②リブとフェースプレート溶接部破断、③ウェブとフェースプレート溶接部破断、④フェースプレートへの亀裂発生、の4段階で損傷することが報告されている。このうち、①～③の損傷を模擬した試験体を、それぞれ損傷Ⅰ、損傷Ⅱ、損傷Ⅲとする。また、段階③において、損傷Ⅲよりも破断長さ・深さが進展したものを損傷Ⅳとする。実験に使用した車両は日産マーチ(重量約1 t)とトヨタアルファード(重量約2 t)の2種類、走行パターンは約30 km/h、約50～60 km/hの2条件とした。鋼製フィンガージョイントは走行方向奥側が損傷しやすいことが知られており、この向きに5回ずつ、マイクを車体後方に設置し、44100Hz、24bitの設定で録音し、走行試験を実施した。



図2 マイク設置位置

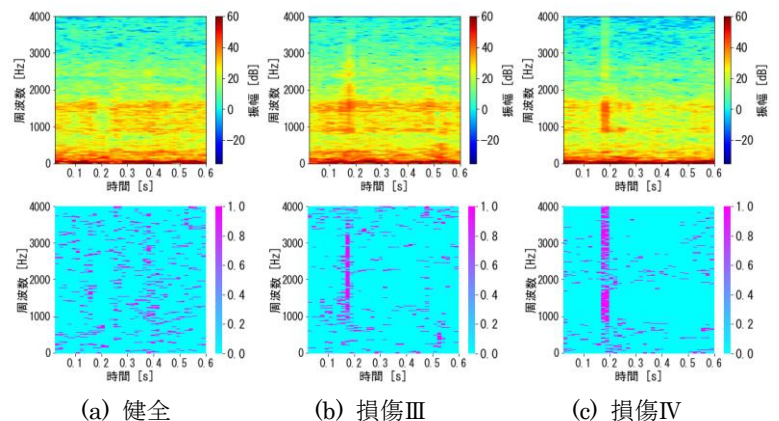


図1 正規化前後のスペクトログラム(アルファード、60km/h)

約0.6秒の伸縮装置通過音に対し、フレーム長0.064秒、オーバーラップ長0.048秒の

短時間フーリエ変換を適用した。その結果、損傷Ⅰ、Ⅱの伸縮装置では目立った特徴は現れなかったが、損傷Ⅲ、Ⅳの伸縮装置を通過した際には、1000 Hz以上に特徴が現れることが判明した。しかし、スペクトログラムは全帯域におけるフーリエ振幅を用いてスケールされるため、特定の周波数が強調されてしまう。そこで、各周波数帯域について、その帯域の振幅の最大値で振幅を割る正規化処理を施した後、0.8以下の値を無視した。結果として、図1のように損傷Ⅲ、Ⅳの伸縮装置を通過した際に発生する音の特徴が明瞭となった。本研究では1000から4000 Hzの正規化後の値の和を取ることによってこの特徴を数値化することを試みる。ある周波数  $f$ 、タイムステップ  $n$  における短時間フーリエ変換と正規化後のフーリエ振幅を  $c_{nf}$  として、損傷スコア  $D$  を次の式(1)で定義する。

キーワード 伸縮装置、鋼製フィンガージョイント、短時間フーリエ変換、損傷検知、画像認識、物体検出

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 工学部1号館 東京大学大学院工学研究科社会基盤学専攻

$$D = \max \left\{ \sum_{i=f_l}^{f_h} c_{1i}, \sum_{i=f_l}^{f_h} c_{2i}, \dots, \sum_{i=f_l}^{f_h} c_{mi} \right\} \quad (1)$$

$f_l$ は1000Hz、 $f_h$ は4000Hzにあたるインデックスである。5回走行した際の損傷スコアの最大値をまとめたのが図3である。損傷Ⅲの伸縮装置は、健全なものに比べてどの条件でも明らかに高いスコアを出している。一方、損傷Ⅳの伸縮装置はアルファード、60 km/hの条件以外では損傷Ⅲと比較して小さいスコアとなっている。

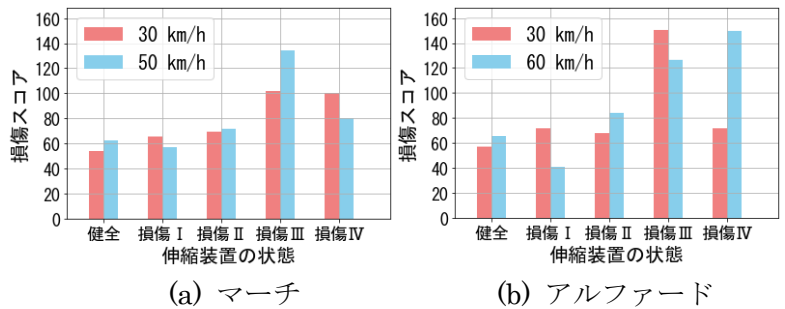


図3 損傷スコアの最大値

これは、損傷音がウェブとフェースプレートなどの部材が接触することにより発生している可能性が高く、亀裂が大きい場合、軽い車や遅い速度など衝撃が加わり辛い条件では、部材同士が接触しにくいためと考えられる。なるべく大きい衝撃を加えることで、損傷Ⅲ、Ⅳの重度損傷状態の鋼製フィンガージョイントの検知が可能となる。

### 3. 供用中の伸縮装置への手法適用

首都高速道路で供用中の鋼製フィンガージョイントに対し本手法を適用する。1回約30分のルートを設定し、フロントガラスにスマートフォン、車体後方にマイクを設置し、マーチで4回、アルファードで2回走行を行った。物体検出は画像内の位置と種類を推定する技術であり、本研究では、50000枚の画像を教師データとして学習したYOLOv5<sup>[3]</sup>モデルを用いた(図4)。走行動画に対し、物体検出を適用す

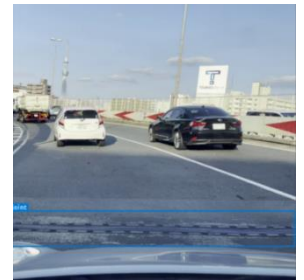


図5 物体検出の様子

ることで伸縮装置通過時刻の同定が可能となり、音響データとの同期により、通過音の自動抽出を行うことができる。ルート上に鋼製フィンガージョイントは59基存在した。その最大損傷スコアを参考値として示しているが、全ての伸縮装置のスコアが、損傷伸縮装置のスコアよりも低い値となった。供用中の伸縮装置は定期的なメンテナンスが成されており、健全なものがほとんどと考えられるため、本手法による誤検出は少ないことが示唆される。また、スコアの分布は正規分布に近い形となっており、今後損傷伸縮装置のデータを収集することにより、検知の確率的な議論が行える可能性がある。

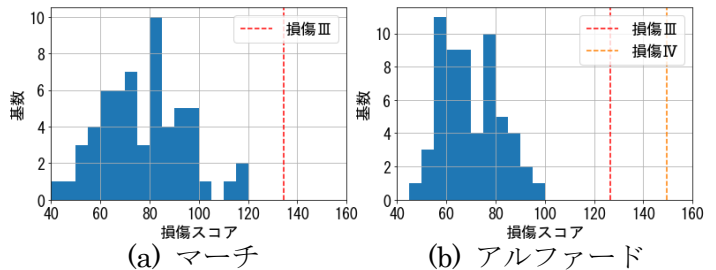


図4 供用中の鋼製フィンガージョイントの損傷スコア

縮装置のスコアが、損傷伸縮装置のスコアよりも低い値となった。供用中の伸縮装置は定期的なメンテナンスが成されており、健全なものがほとんどと考えられるため、本手法による誤検出は少ないことが示唆される。また、スコアの分布は正規分布に近い形となっており、今後損傷伸縮装置のデータを収集することにより、検知の確率的な議論が行える可能性がある。

### 4. まとめ

本研究では実験を行い、通過音に対し短時間フーリエ変換と正規化を用いることにより、鋼製フィンガージョイントの重度損傷を検知できる可能性を示した。また、首都高速道路で供用中の鋼製フィンガージョイントに対し手法を適用し、本手法による誤検出の少なさを示した。

### 謝辞

この研究は、2020年度大林財団の助成金交付により研究が遂行されたものです。この場を借りて深く御礼申し上げます。

### 参考文献

- [1] 大島義信, 福田翔平, Heng Salpisoth, 服部洋, 塚本成昭 : 車両通過音を用いた道路橋伸縮装置の異常検知における高精度化に関する検討, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 68, No. 2, I\_751-I\_759, 2012
- [2] 岩吹啓史, 中崎邦夫, 中崎邦夫 : 損傷段階を模擬した鋼製フィンガージョイントの制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, 2018
- [3] YOLOv5 : (<https://github.com/ultralytics/yolov5>)