

輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その7) AE センサデータを用いた加速度センサデータ分析結果の検証

富士通 (株) 正会員 ○金児純司, 非会員 梅田裕平, 正会員 菊地英幸
(株) 富士通研究所 非会員 梅宮茂良
鹿島建設 (株) 正会員 新井崇裕, フェロー会員 古市耕輔
土木研究所 正会員 石田雅博

1. はじめに

平成 27 年度に RAIMS が実施した輪荷重走行試験では, RC 床版の疲労劣化に関する各種モニタリング技術の検討がなされた¹⁾。本報では, 静的計測データの分析結果を踏まえ, 全実験期間を通して連続的かつ動的に採取されたモニタリングデータを相互に参照し分析することで, より精確に疲労劣化の進行を推定できる可能性があることを示す。

2. 連続計測データの分析

輪荷重走行試験では, たわみ, ひび割れ幅, 鉄筋ひずみ, およびコンクリート内部ひずみに関わる 14 種類のデータがリファレンスとして連続計測された。これらを往復载荷回数に対して可視化し, 静的計測データの分析結果と照合することで, 限定的ではあるが, 疲労劣化の進行に関わる変状発生を直接的に捉えることができた²⁾。一方, 実橋梁への適用を視野に, 連続的かつ動的なモニタリングがなされたのは, 3 軸加速度センサおよび AE センサであった。

2.1. 3 軸加速度センサデータの分析

加速度センサデータについては, 静的载荷時点のデータなどから計算される物理量が静的計測リファレンスデータから判定された疲労劣化の進行と相関が見られること, また, これらの物理量が異なる損傷程度に対し感度をもつことが報告されている²⁾。

2.2. AE センサデータの分析

AE センサは実験床版全体に 24ch が設置され, 採取されたデータは 2 種類の AE パラメータ (AE ヒット数, AE エネルギー) への変換を行ったうえで, 累積 AE エネルギーと劣化現象 (たわみ, ひび割れ密度) との相関性が確認された。さらに, 100 往復回ごとの AE ヒット数および AE エネルギーを往復载荷回数に対して可視化のうえ, 静的計測データの分析結果と照合することで, 損傷程度の評価もなされた³⁾。

2.3. トポロジカルデータ解析による 3 軸加速度センサデータの分析

筆者らは, 加速度センサデータ全体と連続計測リファレンスデータ全体との関係を調べるために, トポロジカルデータ解析 (Topological Data Analysis 以後 TDA と略す)⁴⁾を導入し, 床版の振動パターンの変状指数 (異常度, 変化度) を算出している⁵⁾。連続計測リファレンスデータと振動パターンの変状指数を対比した結果は図-1 に示すとおりであり, 振動パターンの変化度が大きくなるタイミングと内部ひずみの変状発生時が一致していることを確認できた。この結果は, 加速度センサによる外部モニタリングにより, 内部損傷の進行を推定できる可能性を示唆している。振動パターンの変化度は, リファレンスデータから捉えられる変状発生時以外にも数多くの時点で大きく現れていることから, 加速度センサは, リファレンス連続計測用の 14ch のセンサ配置箇所以外での変状発生を捉えていると考えられる。

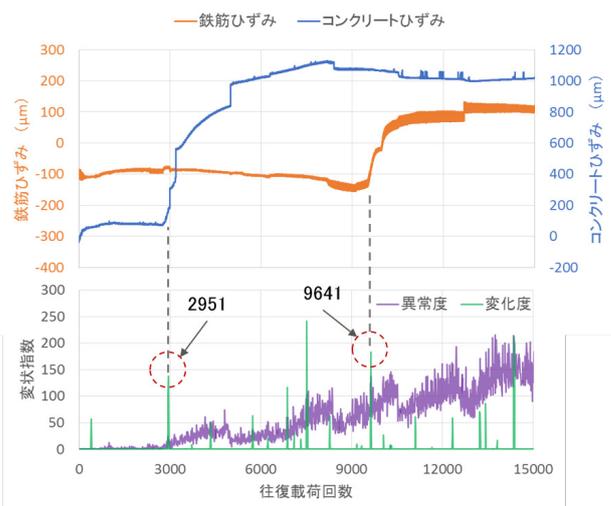


図-1. リファレンスデータ (内部ひずみ) と TDA により加速度センサデータから導かれた振動パターンの変化度

キーワード モニタリング, RC 床版, 疲労劣化, 加速度センサ, AE センサ, トポロジカルデータ解析
連絡先 〒211-8588 川崎市中原区上小田中 4-1-1 (株) 富士通研究所 人工知能研究所 TEL 044-754-2674

3. AE センサデータを用いた加速度センサデータ

分析結果の検証

加速度センサの配置や検知範囲について検討するために、実験床版全体の数多く（24ch）の位置で連続計測された AE センサデータ³⁾に着目し、TDA による加速度センサデータの分析結果⁵⁾を検証する。

3.1. AE イベントと TDA 変化度の比較検証

TDA により導かれた振動パターンの大きな変化度と比較検証する AE イベント抽出にあたっては、輪荷重走行試験最初期の 100 往復回時点までに発生したひび割れを検出できる AE エネルギーのレベルに関連する事象を抽出した。図-2 に往復载荷回数に対する AE イベントと TDA 変化度の比較を示す。

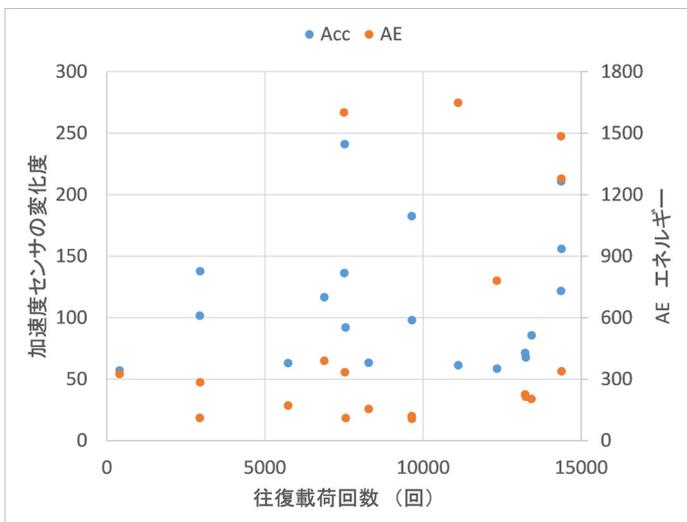


図-2. AE イベントと TDA 変化度

図中の凡例において、Acc は加速度センサ (No.3) の TDA 変化度、AE は AE エネルギーを示す。TDA 変化度の大きさと AE イベントのエネルギーの大きさに相関はないが、変状発生検出のタイミングはほぼ一致している。

3.2. AE イベント発生位置と加速度センサ位置との距離

図-2 に示される TDA 変化度が大きく現れた時点に発生した AE イベントの発生位置と加速度センサ位置との距離を計算した。その結果を表-1 に示す。これによれば、AE イベント発生源と加速度センサ間の最大距離は約 1,300mm であり、AE エネルギーもさほど大きくない。以上により、加速度センサデータから導かれる TDA 変化度は AE イベント発生位置での疲労劣化に関わる変状に紐づけできる可能性があることが分かるとともに、AE イベントに対する加速度センサの検知範囲は 1,300mm 程度と判断できる。

表-1. AE イベント発生源と加速度センサとの距離

| 往復载荷回数 | AE エネルギー | AE イベント発生源と加速度センサの距離 (mm) |
|--------|----------|---------------------------|
| 403 | 325 | 243 |
| 2942 | 111 | 607 |
| 2951 | 285 | 448 |
| 5730 | 171 | 1201 |
| 6878 | 390 | 1023 |
| 7502 | 1601 | 1202 |
| 7528 | 334 | 1302 |
| 7558 | 110 | 337 |
| 8282 | 155 | 880 |
| 9641 | 120 | 681 |
| 9651 | 107 | 890 |
| 11110 | 1648 | 902 |
| 12336 | 780 | 966 |
| 13229 | 225 | 748 |
| 13251 | 214 | 786 |
| 13430 | 204 | 783 |
| 14362 | 1485 | 984 |
| 14373 | 1278 | 974 |
| 14381 | 338 | 485 |

4. まとめ

加速度センサの TDA 変化度が大きく現れる時点と大きな AE イベントが現れる時点とがほぼ一致し、TDA 変化度が AE イベントと関連している可能性が高いことが確認できた。加速度センサの検知範囲についても、AE イベントの規模とその発生源との関係をもとに一定の評価を得ることができた。

謝辞

本報はモニタリングシステム技術研究組合 (RAIMS) が実施した研究による成果である。分析対象としたモニタリングデータは、内閣府の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究のために取得され、ご提供いただいたものであることを特記し、ここに深く感謝する。

参考文献

- 古市, 新井, 岩井, 小原: 輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その 1) 試験の概要とリファレンス計測による損傷程度の評価, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 CS7-036, 2016.
- 遠藤, 皆川, 山本, 山岸: 輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その 2) 低周波 3 軸加速度センサによる RC 床版の疲労損傷解析, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 CS7-037, 2016.
- 新井, 岩井, 古市, 湯山, 李: 輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その 5) アコースティックエミッション法による疲労損傷の評価, 土木学会第 71 回年次学術講演会概要集 CS7-040, 2016.
- Umeda, Y.: Time Series Classification via Topological Data Analysis, 人工知能学会論文誌 32 卷 3 号 D, pp.1-12, 2017.
- 金児, 梅宮, 梅田, 北島, 菊地, 新井, 古市, 廣江: 輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その 6) 各種分析方法とモニタリングデータによる疲労劣化の評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集 CS14-022, 2017.