

車体振動加速度を用いた軌道異常の検出

日大生産工(院) ○廣瀬 亮太

日大生産工 綱島 均

日大生産工(院) 林田 悠一

1 緒言

鉄道は軌道に案内される乗り物であるため、軌道を検査し、異常箇所を補修することで、事故を防ぐことが重要である。そのため、軌道は常時監視するのが望ましい。

軌道の予防保全を目的として、営業車両に車体動揺計測装置を設置し、車体振動加速度を計測することで、軌道を診断するシステムが開発されている。このシステムは、軌道状態診断システムと呼ばれており、軌道検測車や保線係員による軌道検査と比べて、低コストかつ高頻度で行える。診断方法は車体振動加速度を RMS 値に換算し、軌道状態を診断する仕組みである。

しかし、RMS 値による診断方法は、周波数情報が欠落するため、軌道異常を判別するのは不可能である。そこで、車体振動加速度を時間周波数解析することで、軌道異常を検出できる方法が提案されている。先行研究では、連続ウェーブレット変換(CWT : Continuous Wavelet Transform)で車体振動加速度を時間周波数解析し、軌道異常を検出できる可能性を示した¹⁾。しかし、車体の振動加速度を利用しているため、周波数成分が低いことにより、軌道異常の局在性が悪いという問題があった。

本研究では、時間的变化をより詳細に解析可能なヒルベルト・ファン変換(HHT : Hilbert-Huang transform)を用いて、車体振動加速度から軌道異常を検出できるか検討する。HHT は、時間的変換の特徴を CWT よりも詳細に解析できるため、軌道異常の局在性が良くなると示唆されている。

2 軌道状態診断システム

軌道状態診断システムを図 1 に示す。本システムは車両動揺計測装置を営業車両に搭載し、車体振動や走行速度、位置情報を GPS やセンサで計測する。計測データは携帯電話回線を利用し、解析部に伝送され、診断ソフトで軌道を診断する。診断結果はスマートフォンやタブレットを通じて、鉄道事業者にフィードバックされる。診断結果をもとに、鉄道事業者は軌道の補修を行う。このシステムの長所として、軌道の異常が確認された場合、早期に軌道の補修、対応が可能となる。

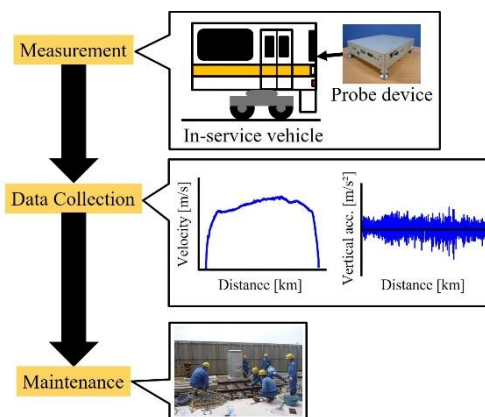


Fig. 1 Track condition monitoring system

3 車体振動加速度を用いた軌道異常の検出

車体は軌道に異常のある区間を通過すると、軌道異常の種類に応じて特有の振動が発生する。そこで、振動加速度に対して時間周波数解析を行うことで、異常の種類、異常が発生している位置の特定が可能である。

3.1 連続ウェーブレット変換 (CWT)

CWT とは、マザーウェーブレットと呼ばれる小さな波を伸縮し、周波数成分と時間的变化の特徴を同時に検出する方法である²⁾。非定常信号の瞬時的な周波数成分を解析に適している。本研究で使用したマザーウェーブレットは Morlet とした。

3.2 ヒルベルト・ファン変換 (HHT)

HHT とは、元信号を経験的モード分解(EMD : Empirical Mode Decomposition)後、ヒルベルト変換を行う方法である³⁾。EMD 後の波形を固有モード関数(IMF : Intrinsic Mode Function)と呼び、分解された各モード(IMF)にヒルベルト変換を行うことによって、元信号の瞬時振幅と瞬時周波数を求めることができる。HHT は非線形、非定常の信号の時間周波数解析に適した方法である。

4 地方鉄道の軌道異常検出への適用

4.1 解析データの選定

地方鉄道において、2018 年 5 月 31 日の車体振動加速度を採用した。上下方向の軌道異

Track fault detection from car-body acceleration

Ryota HIROSE, Hitoshi TSUNASHIMA, Yuichi HAYASHIDA

常が存在する区間の、上下の車体振動加速度に CWT および HHT を行った。解析対象区間は、軌道状態診断システムによって、軌道異常が確認された 25.2~25.5[km]とした。

4.2 解析結果

図 2 に車体上下振動加速度、図 3 に CWT の解析結果を示す。図 3 にカラーバーを記載しており、周波数エネルギーを多く含むほど赤く表示される。はじめに、図 2 において、25.26~25.31[km]の振動加速度が大きい。次に、図 3 において、同じ区間で 1~2[Hz]の周波数エネルギーを多く含んでいる。対象とした地方鉄道の車体の固有振動数が約 1.5[Hz]であることから、軌道の変位によって、車体振動加速度の周波数付近で振動が増大したものと考えられる。

次に、HHT の結果を示す。信号の特徴が現れている IMF2,3 に対する評価結果を示す。

図 4(a), (b)に IMF2 とその HHT を示す。カラーバーは瞬時振幅の大きさを表している。25.3[km]地点において、1~2[Hz] の周波数成分の大きな振動があることが分かる。特に CWT と HHT を比較すると、異常の局在性において HHT が優れていることがわかる。

図 5(a), (b)に IMF3 とその HHT を示す。IMF2 とは異なる周波数成分を含む信号からより詳細な軌道異常の解析を行えると考えられる。

図 3, 4, 5 を比較すると、HHT の方が CWT よりも周波数の検出された位置において、異常の局在性が良いことが分かった。したがって、軌道異常を検出する場合に、HHT が有効であると考えられる。

5 結言

本研究は地方鉄道において、車体振動加速度を時間的変化の特徴を CWT より詳細に解析可能な HHT を用いて、軌道異常を検出できるか検討した。その結果、HHT を用いた軌道異常検出方法の有用性を示した。

今後は、様々な軌道異常を模擬した入力を用いた走行シミュレーションを行い、より詳細な検討を行う予定である。

「参考文献」

- 1)萩野 誠之, 地方鉄道向け軌道状態診断システムの開発, 第3章 シミュレーションによる軌道状態診断システムの検証(2015), pp.35-37.
- 2)芦野 隆一 他, ウェーブレット解析 誕生・応用, 共立出版(1997), pp.35-37.
- 3)Huang N E, Shen Z, Long S R, The Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis, *Proceeding of the Royal Society of London Series A Mathematical Physical and Engineering sciences* 454(1971), pp.903-995.

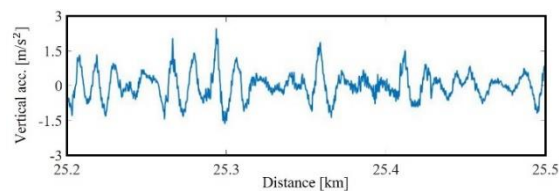


Fig. 2 Vertical acceleration

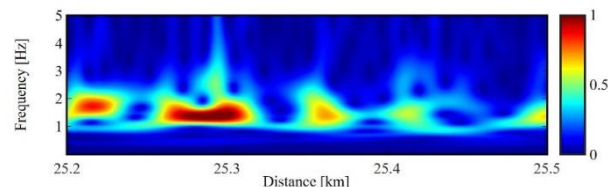
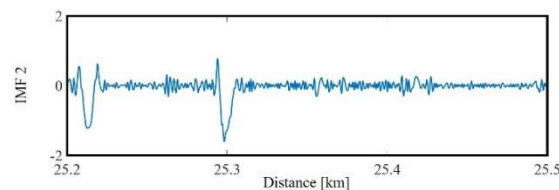
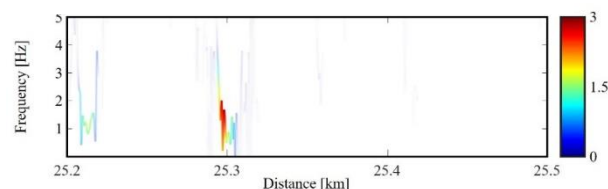


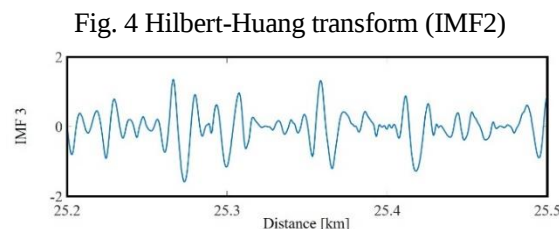
Fig. 3 Wavelet transform



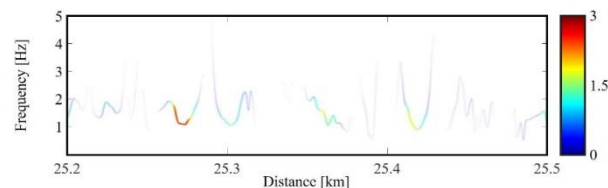
(a) IMF2



(b) Hilbert spectra (IMF2)



(a) IMF3



(b) Hilbert spectra (IMF3)

Fig. 5 Hilbert-Huang transform (IMF3)