

常時微動を用いた洗掘モニタリング装置の開発

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○足立 啓二
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 加藤 健二
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 木下 一孝

坂田電機(株) 非会員 飯田あゆ美
 坂田電機(株) 非会員 才田誠

1. はじめに

河川増水により橋脚基礎周辺の土砂などが流出する洗掘は、最終的に橋脚の傾斜や沈下に至り列車運行の安全を脅かす災害である。そこで、洗掘から列車の安全を確保するため、水位計や洗掘モニタリング装置の測定値に基づいて列車運転規制を行っている。現行の洗掘モニタリング装置では傾斜計を用いて洗掘による橋脚の傾斜を検知する。一方で、橋脚が傾斜に至る前に安定度の低下を把握できることが望ましい。そこで、橋脚の傾斜に加え、傾斜には至っていない洗掘状態の把握も可能な新しい洗掘モニタリング装置の開発を進めている。

傾斜には至っていない洗掘状態の把握のため、橋脚の常時微動（以下微動と記述）を用い、微動から得られたスペクトル波形より、一定時間ごとにピーク振動数を抽出して経時的に追跡することで、洗掘の有無を把握する研究に取り組んできた¹⁾。2019年度からは、複数の鉄道橋脚に加速度計および制御機器を設置し長期観測を行っている。観測期間中、洗掘に至らない小規模な増水を含めた水位変動は経験しており、得られたデータからは安定した固有振動数の算出が行えることを確認している。

2. 洗掘モニタリング装置実用機の開発

2021年に実用化に向け洗掘モニタリング装置の実用機を試作した。また、実運用を踏まえ製作した試作品に対し、振動や電氣的のノイズといった外的要因に対する信頼性の確認を目的とし室内試験及び営業線での試験を行った。試作品は、傾斜計と加速度計からなるセンサー部、傾斜判定や

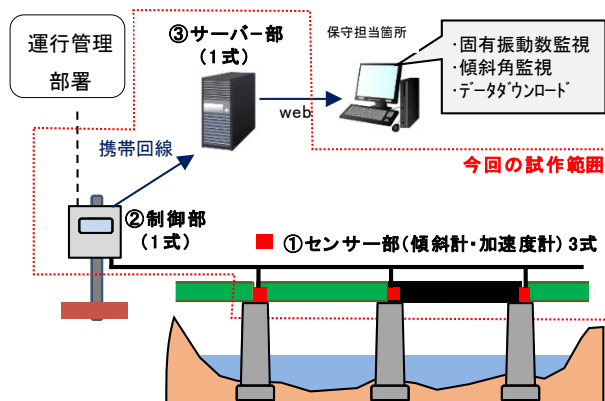


図1 洗掘モニタリング装置試作品

表1 洗掘モニタリング装置仕様

機器名	仕様・機能	
センサー部	加速度計	・タイプ：MEMS型 ・成分：1方向 ・分解能：0.5μG以上
	傾斜計	・タイプ：差動トランス型 ・成分：2方向 ・精度：0.01°以上
	制御部	・傾斜判定
		・固有振動数算出
・データ送信		
サーバー部	・データ受信	
	・時系列表示	
	・データ蓄積	

データ送信を行う制御部、データ受信や固有振動数算出および時系列表示を行うサーバー部から構成される(図1)。

表1に試作品の仕様を示す。加速度計のサンプリング周期は200Hzである。

屋外機器であるセンサー部と制御部は、雷対策および電磁波ノイズ対策を実施した。サーバー部では、固有振動数をリアルタイムで算出可能とするため、固有振動数に相当するスペクトルのピークを追跡するアルゴリズム²⁾(図2)を組み込んだ。

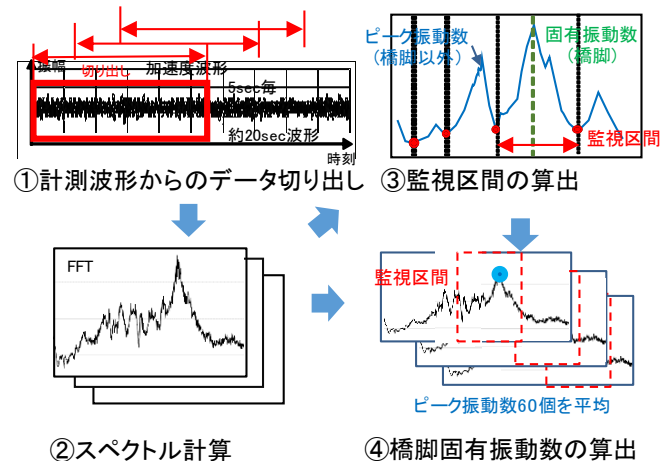


図2 固有振動数算出アルゴリズム

3. 各種確認試験

今回試作した洗掘モニタリング装置はJR東日本管内の多種多様な環境下の線路沿線に設置することを前提としている。そこで、温度や振動・大雨等の気象条件に耐えるか確認するため、下表に記載した試験項目および条件下に

キーワード 洗掘, 固有振動数, 橋脚, 傾斜

連絡先 埼玉県 さいたま市北区日進町 2-479 JR東日本研究開発センター 防災研究所 TEL 048-651-2693

において室内耐久試験を行った。その結果、指定した項目・条件下での正常動作を確認した。

表2 各種確認試験項目

項目	試験方法	試験等級	試験等級の概要	対象機器
高温および低温試験	JIS E3019	6種	屋外の極寒地域 温度範囲：-30°C~60°C	センサー部 制御部
振動試験	JIS E3014	2種	器具箱や線路わきに設置される機器 加速度範囲：~1G	センサー部 制御部
防水試験	JIS E3017	3種 (R3)	線路敷地内の機器 真上から真横の範囲で散水	センサー部
		2種 (R2)	線路沿線の器具箱 鉛直から60°Cの範囲で散水	制御部

4. 長期稼働試験

試作した洗掘モニタリング装置を鉄道沿線で実用化するには、営業線において安定した挙動を示すかどうか確認する必要があった。そのため、JR 東日本管内の営業線の橋りょうに設置し、長期稼働試験を実施した。設置橋脚は流水部にあたる2P・3P・4Pの3橋脚を選定した。観測は2021年9月より観測を開始し、2022年4月時点において継続中である。

設置した機器の各種写真を図3に示す。センサー部は橋脚天端上に傾斜計・加速度計を別々に設置し、保守作業等による損傷を防止するためカバーを設置した。機器の固定方法に関しては、凍結融解の繰り返しによりセンサーの不陸が生じないことを別途確認した。

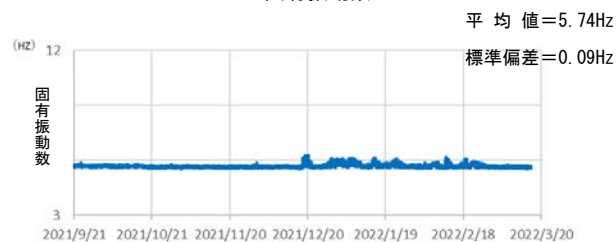
また、制御部はデータを収集するとともに制御部においてもリアルタイムで固有振動数を算出可能なプログラムを組み込んだPCと、停電時に一定時間観測を継続するための無停電電源装置から構成されている。

図4に2021年9月から2022年3月までの3Pにおける固有振動数の時系列と傾斜値（橋軸方向・橋軸直角方向）のリサージュ図を示す。なお、傾斜値からは列車の通過によるものと思われる一時的な変動は取り除いた。期間中に洗掘に至るような大増水は観測されず、洗掘による傾斜も発生していない。



図3 設置機器写真

固有振動数



傾斜値

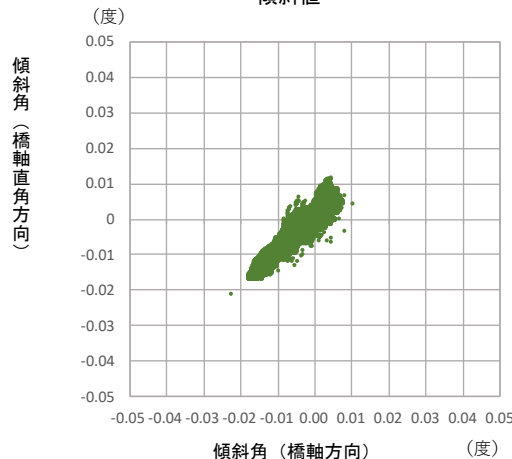


図4 観測期間中の固有振動数と傾斜値（リサージュ図）

固有振動数については期間中、事前に実施した衝撃振動試験の値(5.7Hz)付近に連続して算出した。また、12月~2月においては、気温低下時に固有振動数の一時的な上昇が見られた。これは、レールの伸縮に伴い上部工の部材の固有振動数が卓越したためと考えられるが、これを加味しても期間中の固有振動数の標準偏差は平均値の1.5%程度であり、固有振動数値は安定していた。また、この変動傾向は、過去当該橋脚に設置した別の加速度計データから算出した固有振動数の変動傾向とも一致していた。

傾斜値については、列車通過に伴う一時的な値の変動を除くと観測値は±0.02°以内であった。軌道の変位から要求される橋脚の傾斜管理値は、厳しい橋りょうで±0.1°（6分）程度であることから、実運用上問題ない範囲に収まっていることを確認した。

5. おわりに

本研究では微動を用いた洗掘モニタリング装置を開発し、各種試験を行い実環境下における外的要因に対する信頼性を確認した。また、営業線の実橋りょうにおいて長期稼働試験を行い、リアルタイムで安定した傾斜値・固有振動数が算出可能であり、実用に供することを確認した。

文献

- 1) 樺健典, 鈴木修: 橋脚の健全度モニタリングが可能な新しい洗掘検知装置の開発, JR East Technical Review, No.45, pp.53-58, 2013.
- 2) 足立啓二, 加藤健二: 常時微動により固有振動数の特定が可能な橋脚に関する分析, J-RAIL2021 講演論文集, pp.235-237, 2021.