

慣性センサを用いた列車動揺測定装置の開発

東京地下鉄（株）		山下 清貴
東京地下鉄（株）	正会員	大澤 純一郎
東京地下鉄（株）	正会員	小林 実
東京地下鉄（株）	正会員	○工藤 浩之
東京計器レールテクノ（株）		北爪 正弘

1. はじめに

当社は、東京都心部を中心とした地下鉄道網（9路線 195.1 km）の営業線を有し、1日平均 622 万人のお客様を輸送している。曲線においては半径 800m以下の割合が全体の 40%を占め、日常保守している線路の変位状態の管理方法は、軌道検測車を使用した検査及び営業車両に搭載した上下・左右加速度センサを搭載した列車動揺検査により行い、常に営業車両が円滑に運転できるよう線路を検査している。

平成 19 年 2 月に施設及び車両の定期検査に関する告示の一部を改正する告示¹⁾により、営業車両に搭載した列車動揺測定方法では、車両の運用等の兼ね合いから検査基準日に検査することがなかなか困難となりこれまでの営業車両に搭載する方式から慣性センサを用いた可搬式列車動揺測定装置へ変更すべく開発を行った内容について報告をする。

2. これまでの列車動揺測定方法

当初の列車動揺測定方法は、先頭車両のボギーセンター上に設置した動揺駒を用いて倒れた駒の厚さにて動揺値を判定していた。次に上下動・左右動の他に合成加速度を測定できる列車動揺測定装置を使用し、人力により記録用紙の整理及び判定を行ってきた。昭和 50 年代後半には、加速度センサにて測定した上下動・左右動を記録媒体に記録し、コンピュータ処理により測定結果及び判定が可能なシステムが開発された。

コンピュータ処理により、これまで別々に扱ってきた軌道検測車での測定データと列車動揺測定データが複合チャート形式に処理することが可能となり、検査結果が補修計画に反映できる体制となった。

その後、輸送人員の増加に伴い、営業車両内での測定方法ではお客様に多大なご迷惑をおかけするため、現在では、営業車両の搭載した加速度センサを乗務員室内で記録する方法にて検査を実施している。

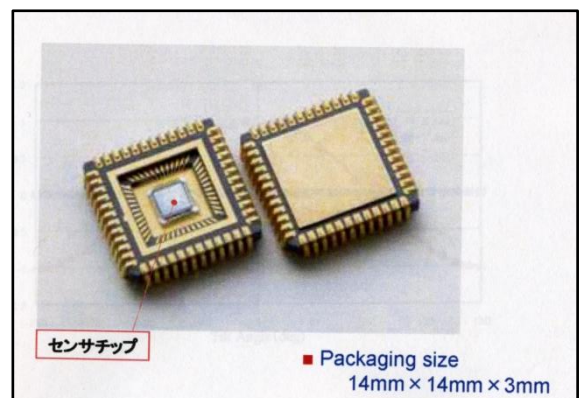
3. 新たな列車動揺測定装置の概要

新たな列車動揺測定装置（以下「本装置」という。）は、これまでの特定の車両で測定方法から全ての車両に対応ができるように可搬式とし、測定部の設置は先頭車両のボギーセンター上床面から乗務員室内床面にて測定する方式とした。

測定するセンサは、これまでの加速度センサから超小型慣性センサを採用し、車上で加速度・角速度を計測記録する装置と管理区で測定されたデータを解析処理する構成となっている。

4. 慣性センサ概要

本装置に使用するセンサは、東京計器株式会社が開発したマルチ出力慣性センサ（以下「MESAG」という。）で直径 1.5 ミリのリングを静電力で浮上させ、これを超高速で回転させることによって 3 方向の加速度と 2 方向の角速度を同時に計測するセンサである。角速度の検出は船



図－1 慣性センサ（MESAG）

キーワード 列車動揺・上下動・左右動・慣性センサ

〒110-0015 東京都台東区東上野五丁目 6 番 3 号 鉄道本部工務部工務事務所 Tel:03-3837-7212

舶や航空機向けの高精度ジャイロと同じ原理の回転式であるが機械支持部を全く持たないのが特長である。また加速度の検出も高精度なサーボ型で、かつ3方向の加速度を同時に計測することができる特長を有している。²⁾ 本慣性センサは、従来のジャイロセンサに比較して安価なことも重要な特長である。(図-1)

5. センサの配置と計測項目

本装置では、2つのセンサにより3軸の加速度と3軸の角速度を計測し、センサⅠでは、上下加速度・左右加速度・前後加速度・ヨー角速度を計測し、センサⅡではロール角速度、ピッチ角速度を計測する。(図-2)

本装置で計測する3項目の車両側の角速度と軌道との関係を図-3に示す。

6. 測定キロ程の処理

測定データにキロ程情報を振り分けるため、測定方法は駅停車時に押しボタンスイッチでデータに駅マーク信号を入力し、予め解析処理装置のデータベースに駅キロ程を登録することで駅マーク点のキロ程処理を行う。

また、データ解析処理にて前後加速度を2回積分して全地点の走行距離を算出し、(図-4) 駅間で走行距離とキロ程との差を按分することで全地点の測定データにキロ程を振り分ける。

7. 線形と角速度の関係

本装置では、従来の上下左右加速度に加えて、新たに3軸の角速度を計測することができる。各角速度は曲線部において、ヨー角速度は曲率と速度、ヨー角積分値は進行方位、ロール角速度は緩和曲線部の平面性と速度、ロール角積分値はカント量に比例する。(図-5) また勾配変化点ではピッチ角速度は縦曲線の曲率と速度、ピッチ角積分値は勾配に比例することが試験走行にて確認することができた。また、各センサ出力は用途に応じて座標変換処理が必要である。

8. まとめ

本装置を東京計器レールテクノ(株)社と共同開発することにより、これまでの加速度センサから慣性センサを用いた可搬式列車動揺測定装置を開発することができた。現在、営業線での試験において、上下・左右・前後加速度データにより当初の目的である乗務員室内での測定が可能である。

今後の課題として各車両の固有振動成分及び振動振幅データの分析が必要であることと角速度を用いることにより従来の列車動揺測定装置では測定不能であった列車走行時の車両の姿勢や軌道状態等の確認に向けて引き続き調査を実施してまいりたい。

【参考文献】

1) 国土交通省告示第二百二十九号 (2007. 02. 26)

2) マルチ出力マイクロ慣性センサ「MESAG」<http://www.tokyo-keiki.co.jp/sensor/j/products/mesag.html>

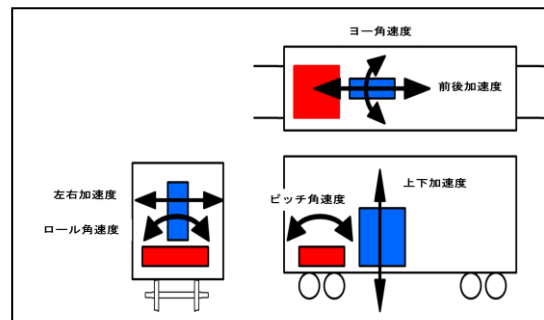


図-2 センサ配置

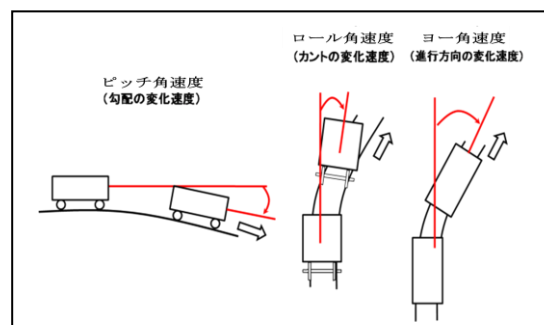


図-3 各角速度と軌道の関係

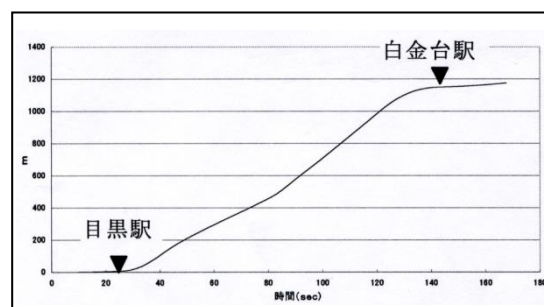


図-4 走行距離

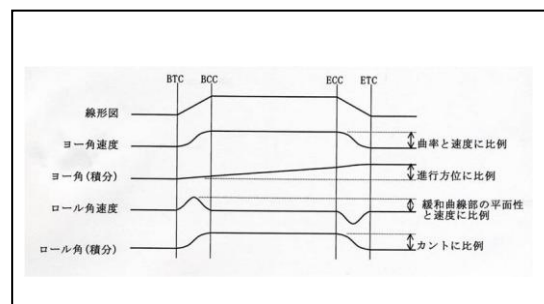


図-5 曲線部での角速度と積分値