

信号設備の使用環境下における振動加速度調査

押味 良和* 潮見 俊輔 高崎 建 神谷 剛志 (鉄道総研)

Investigation of the Vibrational Acceleration to Signalling Systems in the Installation Environment

Yoshikazu Oshimi*, Shunsuke Shiomi,

Ken Takasaki, Tsuyoshi Kamiya, (Railway Technical Research Institute)

Signalling systems tend to be installed at a place where vibrations due to train passing are caused via rails, sleepers, and roadbeds. In recent years, the installation environment of signal equipment has been changing due to the speedup of trains and changes in tracks and structures. Therefore, we investigate the current usage environment of signalling equipment to grasp the actual situation. In this report, we show the background of vibration measurement so far and the current issues, and report the status of investigations to date.

キーワード：信号設備，振動，加速度，振動耐久試験，加速度測定

(Signalling systems, Vibration, Acceleration, Vibration endurance test, Acceleration measurement)

1. はじめに

鉄道信号保安装置は、列車通過時の振動をレールやまくらぎ、路盤等を介して受ける位置に設置されることから、その機能を損なわないために、使用環境における振動の影響を考慮して設計する必要がある。JIS E 3014 (鉄道信号保安部品—振動試験方法) では、装置の設置箇所ごとに実施すべき試験項目と加振方向、試験時間、振動数や複振幅等の試験条件が定められているが、昭和 50 年に制定されて以来、当該規格の試験項目や試験条件の大きな見直しは、行なわれていない⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

また、近年の列車速度向上や軌道、構造物の構造変更等により、その設置環境は変化しているが、信号設備に対する振動の伝播状態に関しては調査が進んでいない状況であった。そこで、現在の信号保安装置の使用環境を調査し、その実態を把握する取り組みを行なった。本稿では、在来線における軌道・構造物種別や直線・曲線区間ごとの振動に関する環境について、現在までの調査結果を報告する。

2. 調査箇所の選定

現在の在来線においては、JIS E 3014 の規格制定時の調査では、対象とされていなかったスラブ軌道や直結軌道などの軌道構造が、より一般的に採用されている。

また、営業最高速度については、当時の 120km/h に対して一部在来線では、130km/h～160km/h に向上している。本調査では、信号保安装置が設置される環境で振動加速度の測定を行ない、現在の振動環境の実態を把握することを目的

とし、在来線における貨物列車や特急列車が走行する区間、さらに構造物が異なる区間を条件として選定を行なった。本稿では、表 1 に示す在来線区間での調査結果を報告する。これまでに全国 29 箇所にて測定を実施しており、その内訳は、軌道種別では、バラスト軌道 19 箇所、直結軌道 4 箇所であり、構造物別では、土構造区間 11 箇所、高架区間 16 箇所、橋梁区間 2 箇所である。

表 1 調査実施箇所

在/幹	構造物種別	軌道種別	線形	箇所数
在来線	土構造	バラスト	直線	4
			曲線	2
			分岐器	5
	高架	バラスト	直線	3
			曲線	1
			分岐器	4
		直結軌道	直線	1
			分岐器	3
		スラブ軌道	分岐器	4
	橋梁			

3. 振動加速度測定

〈3・1〉 測定項目・測定方法 測定には、圧電型の 3 軸加速度センサ (リオン PV-93) およびチャージアンプ (リオン UV-15, UV-16) を使用し、測定開始のトリガとして、車軸検知器 (近接センサ) を設置した。レール底部への加速度センサの取り付けは、レール底部のテーパにあわせた取付治具を使用して接着剤で固定し、まくらぎ、器具箱について

は、直方体の取付治具を使用して対象物に絶縁の亚克力板を介した状態で接着剤により固定した。なお、加速度の各軸方向の表記は、レール長手方向を前後、垂直方向を上下、まくらぎ方向を左右とする。

〈3・2〉 データの処理 測定した振動加速度の結果は、振動加速度の時間変化波形として記録される。この波形に対して、以下の処理を実施した。

- ①ローパスフィルタ
- ②Peak to Peak 値の算出
- ③通過軸数による平均 Peak to Peak 値の算出

車両走行時の振動を原因とする信号保安装置の機械的な損傷は、構成部材の共振による疲労破壊によるものが多いことが知られている。また、損傷する部材の重量や弾性特性から、その共振周波数は 1kHz 以下であることを考慮して過去の調査⁽⁴⁾と同様に 1kHz のローパスフィルタで処理を行った。

また、振動加速度の大きさを示す指標として、加速度の時間変化波形全体における最大値と最小値の差（最大最小値）ではなく、局所的な 1 波の山と谷の差（Peak to Peak 値、以下 p-p 値、図 1）が一般的に用いられている。本調査では、ローパスフィルタ処理後の波形について、p-p 値の列車毎の最大値（以下、最大 p-p 値）を算出した。

現地で測定した振動加速度波形の例を図 2 に示す。図 2 の例では、測定箇所付近を輪軸が通過する際に加速度のピークが認められるが、車輪の周形状がブレーキ等により平面状となった状態（車輪フラット）の車輪が通過した場合、図 3 に示すように正常な形状の車輪通過時と比べて大きな

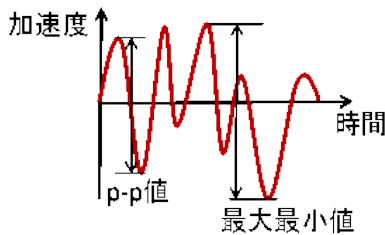


図 1 Peak to Peak 値 (p-p 値)

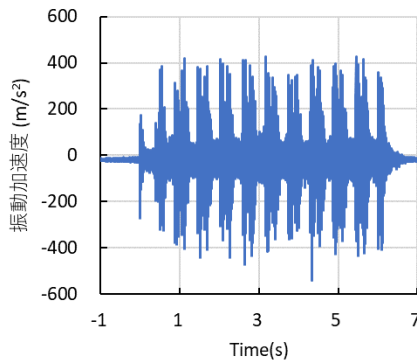


図 2 振動加速度波形の例（車輪フラットなし）

衝撃が記録されるため、フラットを持つ輪軸が通過したときの p-p 値が他の輪軸と比べて特異な傾向を示す。

今回は列車通過時の定常振動について評価を行なうことから、列車一編成の輪軸通過に伴う p-p 値に対するフラットの影響を排除するため、上位 N データ (N=通過列車の軸数) の平均値（以下、平均 p-p 値）を算出した。また、列車の推定速度を車両の軸距と台車間距離を用いて算出した。

4. 測定結果の分析

〈4・1〉 最大 p-p 値と平均 p-p 値 列車ごとに算出した最大 p-p 値と、平均 p-p 値についての傾向を把握するため、両者の比較検討を行った。測定の結果、各測定点の 3 軸方向において上下方向の振動加速度が最も大きい傾向であったため、以下、代表例として上下方向について報告する。図 4 にレール上下方向の最大 p-p 値と平均 p-p 値に対して、5km/h から 135km/h まで 10km/h ごとの速度段階別の平均値 μ と標準偏差 σ を算出した結果を示す。車輪フラットの影響を強く受ける最大 p-p 値と平均 p-p 値の速度段階別の μ を比較すると、その差はレール上下方向の振動加速度で 100m/s^2 より小さい場合が多いことがわかる。この傾向から、確率的に発生する車輪フラット等による大きな衝撃に対する影響評価においては、最大 p-p 値やその発生確率について議論をする必要があると考えるが、列車通過時の定常振動に関する速度と p-p 値の全体的な傾向を判断する上では平均 p-p 値の μ

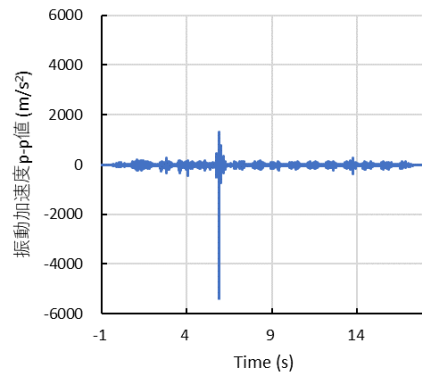


図 3 振動加速度波形の例（車輪フラットあり）

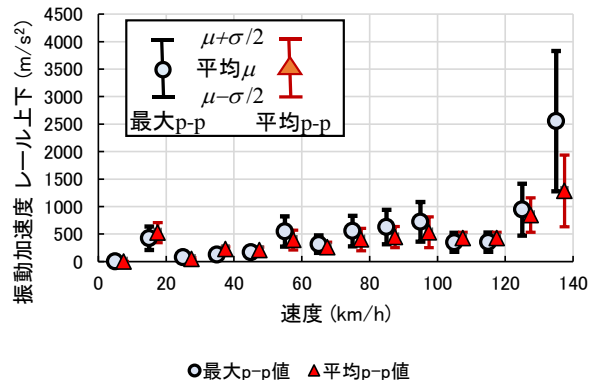


図 4 最大 p-p 値と平均 p-p 値の比較（レール上下）

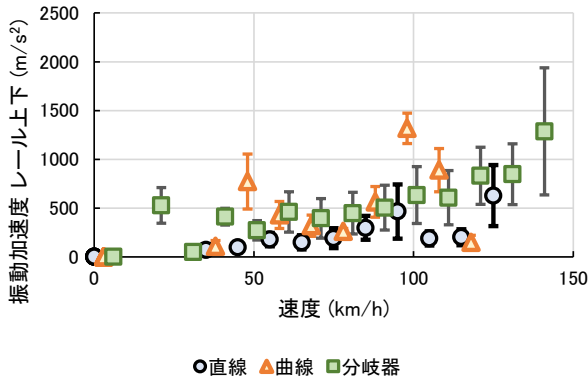


図 5(a) 線形の影響 (レール上下)

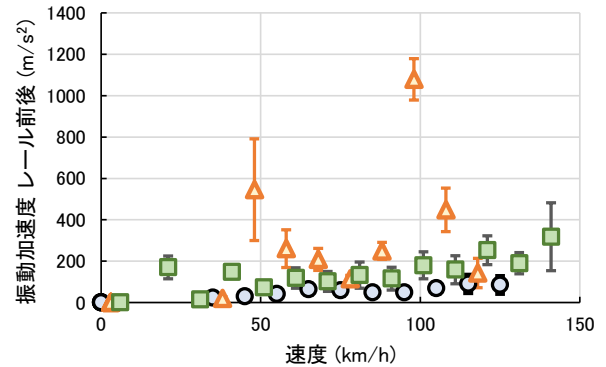


図 5(c) 線形の影響 (レール前後)

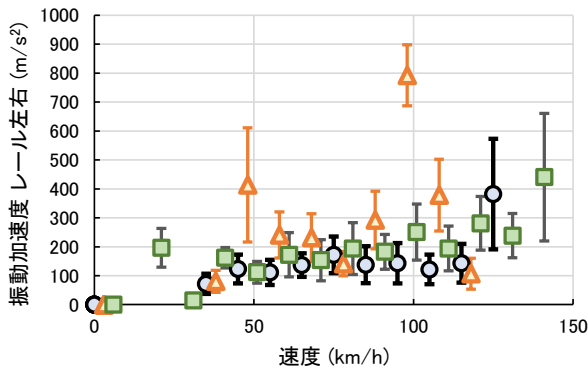


図 5(b) 線形の影響 (レール左右)

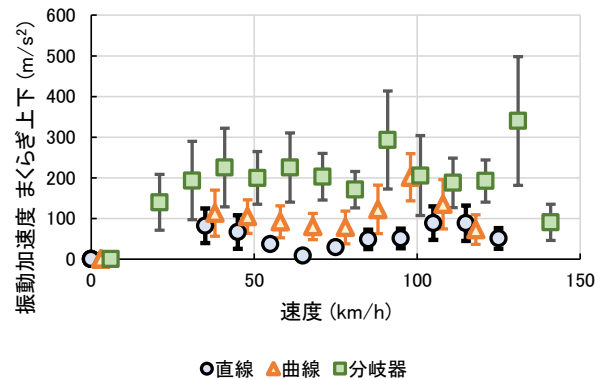


図 6 線形の影響 (まくらぎ上下)

や σ を用いても差し支えないと考える。今回の分析では、この平均 p-p 値の μ と σ により評価を行うこととした。

〈4・2〉 線形 (直線, 曲線, 分岐器) の影響 線形毎の振動加速度の例として, レール各軸方向の平均 p-p 値の μ と $\mu \pm \sigma/2$ を図 5 (a) から図 5 (c), まくらぎ上下方向の平均 p-p 値の μ と $\mu \pm \sigma/2$ を図 6 に示す。

レール上下方向の平均 p-p 値は, 分岐器部に比べて直線区間の方が小さい傾向にある。また, 各線形とも振動加速度は, 概ね JIS E 3014 に規定されている 980m/s^2 を下回っており, かつ, その大きさは上下, 左右, 前後の順となる傾向が認められた。曲線区間では, 低速度でも大きな値が観測される事例が認められた。時間波形を確認したところ, 曲線区間の進入時から加速度センサの出力が徐々に増大する曲線区間特有の傾向が認められた。本測定では, 曲線外軌側のレール, まくらぎを測定しており, 外軌側レールとフランジが接触した際に加速度センサ固有の共振周波数に近い高周波振動が発生した可能性が考えられる。今後, 共振周波数の異なる加速度センサによる測定で検証を行なう予定である。

また, まくらぎの上下方向の平均 p-p 値は, 分岐器部が最も大きく, 曲線部がこれに次いでいる。曲線部や直線部の平均 p-p 値の μ は, JIS E 3014 に規定されている 147m/s^2 に対

して小さい傾向を示したが, 分岐器部ではやや高い傾向を示した。また, 分岐器部や曲線部では測定箇所ごとのばらつきが大きい結果となった。

〈4・3〉 構造物の影響 構造物ごとの比較を行なうにあたり, 曲線等の線形の影響を排除するため, 直線区間における測定結果を対象として影響を分析した。レールの各軸方向の平均 p-p 値の μ と $\mu \pm \sigma/2$ を図 7 (a) から図 7 (c), まくらぎ上下方向の平均 p-p 値の μ と $\mu \pm \sigma/2$ を図 8 に示す。なお, 直線区間におけるデータに限定して分析を行ったため, 各条件ともデータ数は限られたものであることに留意が必要である。(レール 土構造: 4 箇所 463 本, 橋梁: 2 箇所 83 本, 高架: 4 箇所 458 本) (まくらぎ 土構造: 4 箇所 463 本, 橋梁: 1 箇所 18 本, 高架: 2 箇所 179 本)

レールの上下方向の平均 p-p 値については, 橋梁の測定結果が土構造や高架に比べて大きい傾向にあった。また, 土構造区間の一部の速度の結果で大きな平均 p-p 値が認められた。なお, レールの左右方向, 前後方向については, 構造物の違いによる平均 p-p 値の傾向に大きな違いは認められなかった。なお, まくらぎの各軸方向については, 構造物の違いによる平均 p-p 値の傾向の違いは認めにくく, 測定箇所ごとのばらつきが大きい結果となった。

5. まとめ

在来線の振動加速度の測定結果について、線形、構造物の種類による傾向の違いについて分析を行った結果、以下の結果が得られた。

線形の影響について、分岐器部の振動加速度が一般区間(直線、曲線)に比べて大きい傾向が認められた。また、曲線区間において測定された加速度の増大については、レールとフランジの接触により、加速度センサ固有の共振周波数に近い高周波振動が発生した可能性が考えられる。今後、共振周波数の異なる加速度センサによる測定で検証を行う予定である。

構造物の影響について、橋梁においてレール上下方向の振動加速度がやや大きい傾向が認められたが、それ以外に大きな違いは認められなかった。ただし、直線区間の限られたデータ数のみに対する評価であることに留意が必要である。

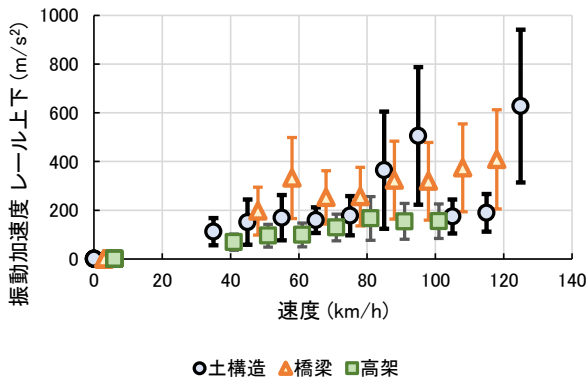


図 7(a) 構造物ごとの比較 (レール上下)

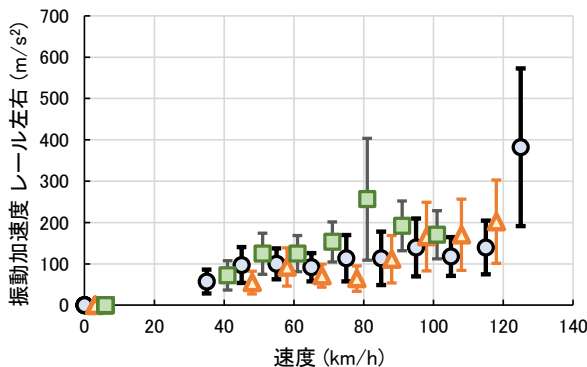


図 7(b) 構造物ごとの比較 (レール左右)

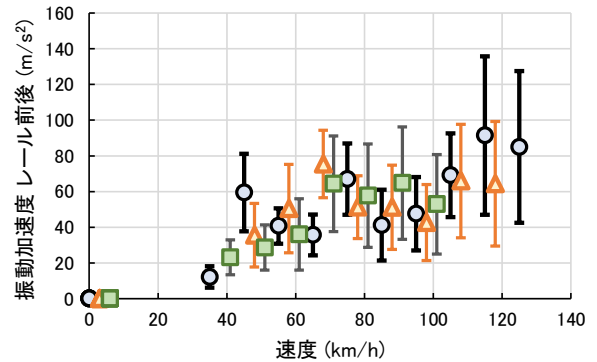


図 7(c) 構造物ごとの比較 (レール前後)

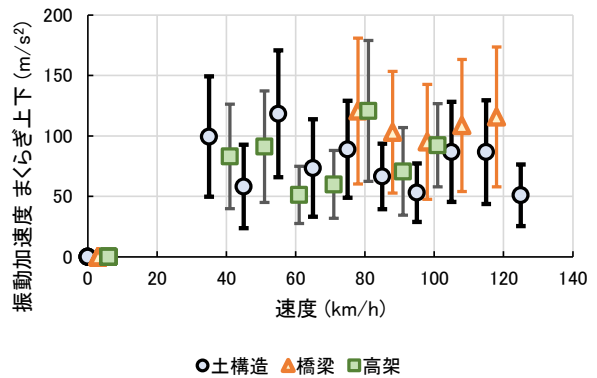


図 8 構造物ごとの比較 (まくらぎ上下)

6. おわりに

本稿では、在来線における軌道・構造物種別や直線・曲線区間ごとの振動に関する環境について報告した。本稿では、輪軸数で平均化した p-p 値を用いて評価を行ったが、信号設備への衝撃の影響について検討を行う際には、車輪のフラット等の影響による散発的な大きな振動加速度に対する評価も必要となる。今後、車輪フラットの発生確率や車輪フラットが直上を通過した際の振動加速度の推定について取り組んでいく予定である。

文 献

- (1) 日本工業規格 鉄道信号保安部品の振動試験方法, JIS E 3014:1976, 日本規格協会, (1976)
- (2) 日本工業規格 鉄道信号保安部品—振動試験方法, JIS E 3014:1992, 日本規格協会, (1992)
- (3) 日本産業規格 鉄道信号保安部品—振動試験方法, JIS E 3014:1999, 日本規格協会, (1999)
- (4) 押味良和, 潮見俊輔, 椿健太郎, 高崎建, 往古直之: 「信号設備の振動環境調査」, 日本機械学会 第 28 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, (2021)