

信号設備が受ける振動と耐久性の評価



押味 良和
Yoshikazu Oshimi
信号技術研究部
信号システム研究室
主任研究員



潮見 俊輔
Shunsuke Shiomi
信号技術研究部
信号システム研究室長

はじめに

鉄道の信号設備は、「列車の進行、停止」や「安全に進む線路を確保する」などの役割を持つ列車の安全運行に欠かせない設備であり、レールやまくらぎ、沿線の器具箱や信号機器室などに設置されています。列車がレールの上を通過すると、列車からの振動が車輪とレールの接触や、レール・まくらぎなどのしなりによって周囲に広がり、信号設備は、その振動を受けることとなります。こうした振動が続くと、時間が経つにつれてボルトがゆるんだり、金属にひびが入ったりして、設備が正しく動かなくなることが考えられます。そのため、信号設備は、実際に設置される場所で受ける振動をあらかじめ見込んで設計し、さらに振動に対する耐久試験で適合を確認し、正しく動作し続けるように製作する必要があります。

信号設備の振動耐久試験規格とその課題

信号設備の振動耐久試験規格の制定と改正の経緯

信号設備の振動耐久試験は、日本産業規格 JIS E 3014 (鉄道信号保安部品—振動試験方法、以下、JIS E 3014) に規定されています。JIS E 3014は、1972年度に社団法人信号保安協会に設置された原案作成委員会の審議を経て、1976年12月に制定されました¹⁾。JIS E 3014では、どこに設置する設備か (例：レール、まくらぎ、器具箱内など) の設置箇所ごとに、実施すべき試験項目と試験条件 (加振加速度振幅、試験時間、加振**周波数**^②) が定められています。試験の流れは次の通りです。

1. 共振周波数の探査：振動耐久試験に先立ち、試験対象設備の**共振周波数**^③を探査するため、加振周波数を連続的に変えながら共振

② 周波数

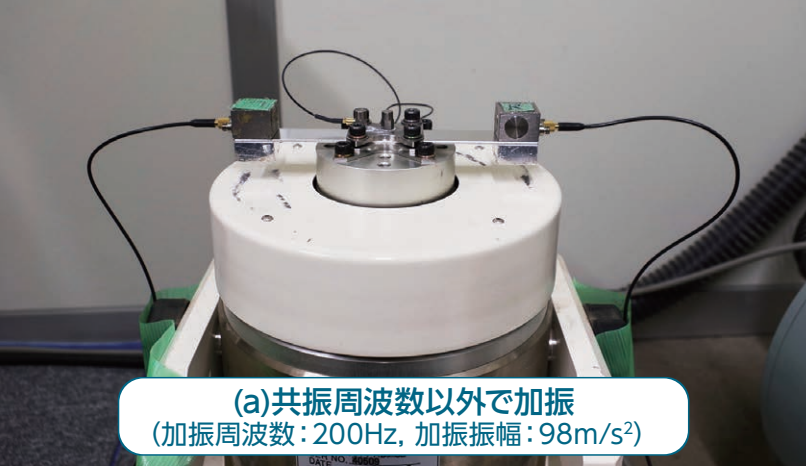
波や振動が1秒間に何回繰り返されるかを表す量、単位はヘルツ [Hz]。1秒間の繰り返し回数であり、振動の強さは振幅で表します。

③ 共振周波数

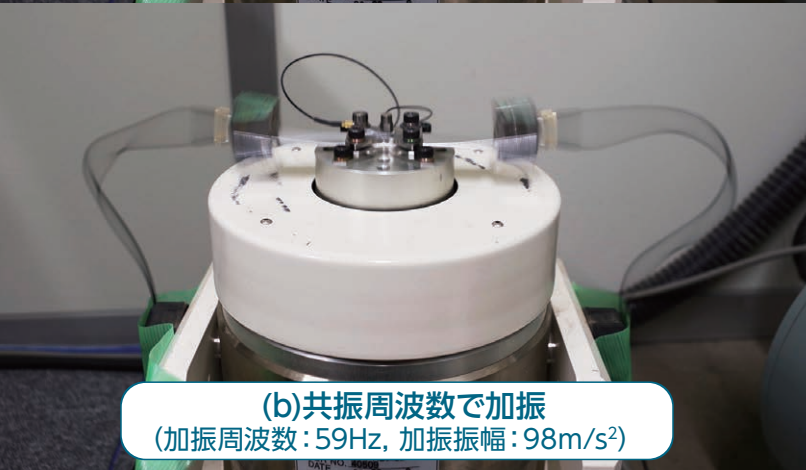
物体が振動しやすい周波数のこと。共振周波数で加振した場合、物体の振動は大幅に増幅されます。例、ブランコをちょうどよいタイミングで押すと大きく揺れるように、物体が特に振動しやすくなる特定の周波数。

④ 正弦波

振幅、周波数が一定で周期的に繰り返される滑らかな波。



(a)共振周波数以外で加振
(加振周波数: 200Hz, 加振振幅: 98m/s²)



(b)共振周波数で加振
(加振周波数: 59Hz, 加振振幅: 98m/s²)

図1 共振発生時の様子

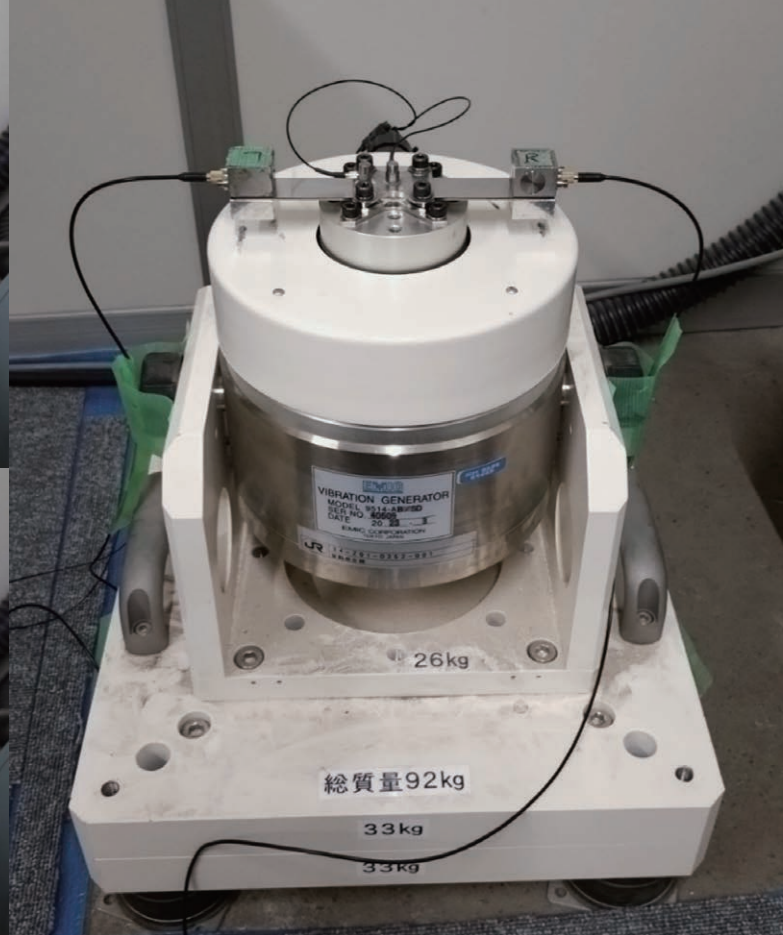


図2 加振試験装置

が生じる周波数を特定します。共振が生じている状態を図1に示します。

- 振動耐久試験：共振周波数の把握後，設置箇所ごとの振動環境に応じた区分に従って試験を実施します。試験条件を表1，加振試験装置の例を図2に示します。

試験方法は，設備に対して3軸 (x, y, z軸) 方向全て同じ振幅の正弦波[※]加振が規定されて

います。加振周波数は，原則として設備の共振周波数とし，1kHzまでに共振周波数がない場合は，100Hzを用います。なお，1976年の制定以降，列車速度の向上や新しい構造物，軌道の導入など，振動に影響しうる要因が変化してきたにもかかわらず，この規格の試験項目や試験条件の大きな見直しは，行われていませんでした¹⁾²⁾³⁾。

表1 JIS E 3014 試験条件の概要

種類	適用部品	加振振幅 [m/s ²]
1種	信号機器室など室内に設置される機器の部品	4.9
2種	沿線の器具箱など線路わきに設置される機器の部品	9.81
3種	まくらぎ上に設置される機器の部品	147
4種	レール直結で設置される機器の部品	981

過去の振動環境調査とその課題

JIS E 3014は、信号設備が鉄道の沿線に設置された際に振動にある程度耐えられるかどうかを確認するための試験方法を定めた規格です。この試験方法を制定する際の振動調査は、当時(1970年代)、主に**バラスト軌道**で行われ、高架橋(橋の上)での調査は少なく、列車の最高速度も今より低めの場所が中心でした(新幹線でおおよそ200km/h、在来線で100km/h前後)。その後、列車の高速化が進み、新しいタイプの軌道や構造物も増えました。そのため、信号設備が受ける振動も変化している可能性があります。その変化がJIS E 3014の試験条件には反映されていないという課題がありました。

そこで、現在、実際に信号設備が設置されている環境で、信号設備がどのような振動を受けているのかを測定しました。現地測定により、JIS E 3014の見直しに役立つデータを集め、JIS E 3014で規定されている試験方法である正弦波加振で実際の使用条件に合った試験条件

(どの向きに、どれくらいの強さ加振するかなど)の検討と提案を行いました。

現地における信号設備の振動調査

振動加速度調査の箇所選定

現在の新幹線および在来線では、JIS E 3014制定当時に振動調査が行われた土構造物や高架橋に敷設されたバラスト軌道の区間に加えて、**スラブ軌道**や**直結軌道**などの軌道構造が採用されている線区があります。また、営業最高速度も向上しており、新幹線で320km/h、一部在来線で130~160km/hで走行している区間もあります。今回行った調査では、現在の使用環境で信号設備が受ける振動を把握するため、実際に信号設備が設置されている場所で振動加速度の測定を行いました⁴⁾⁵⁾。調査箇所は、特に厳しい条件になりやすい場所を選定しています。新幹線では高速走行を行う区間、在来線では、貨物列車(重くて編成が長い)や特急列車が走行する区間を抽出し、これらの区間で構造物種別が異なる、計44箇所です。列車通過時の振

表2 振動加速度の測定箇所数

	構造物種別	軌道種別	線形	測定箇所数
新幹線	土構造	バラスト	分岐	1
		高架橋	バラスト	分岐
			直結	分岐
在来線	土構造	バラスト	直線	8
			曲線	6
			分岐	6
	高架橋	バラスト	直線	3
			曲線	1
			分岐	4
		直結	直線	2
			分岐	4
			スラブ	直線
		分岐	4	
	橋梁	直結	直線	2

バラスト軌道

バラスト(砂利)、まくらぎ、レールから構成される軌道。バラストの上さまくらぎとレールを載せて敷設する軌道。

スラブ軌道

バラストを使わずコンクリート路盤やコンクリート道床の上に軌道スラブを据え付け、隙間にセメントアスファルトモルタルなどの充てん材を注入して固定する軌道。

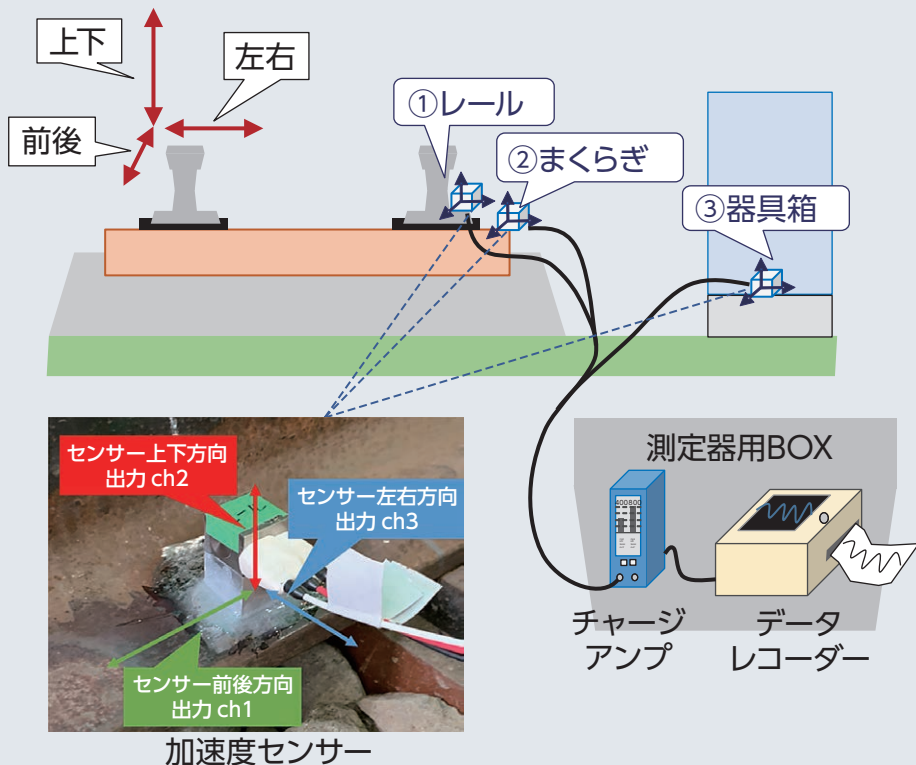
直結軌道

バラストを使わずにレールとまくらぎまたは軌道スラブをコンクリート道床などで支持する軌道。

動加速度の調査を行いました。構造物種別，軌道種別などの内訳は，表2に示す通りです。

現地振動調査の測定項目および測定方法

測定は，各調査箇所においてレール底部，まくらぎ上を必須とし，近隣に信号設備の器具箱が設置されている場合は，その器具箱を含めた3点で実施しました。測定の際の加速度センサー取付箇所と各軸方向を図3，現地測定のイメージを図4に示します。以下，3軸の加速度の測定方向は，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表記します。

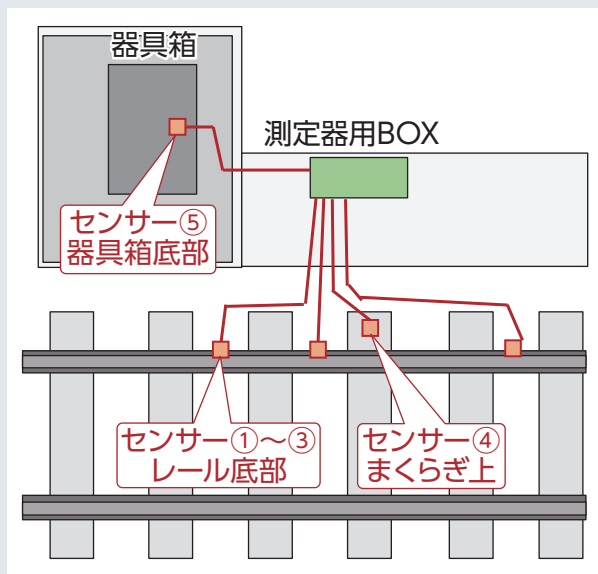


加速度センサー

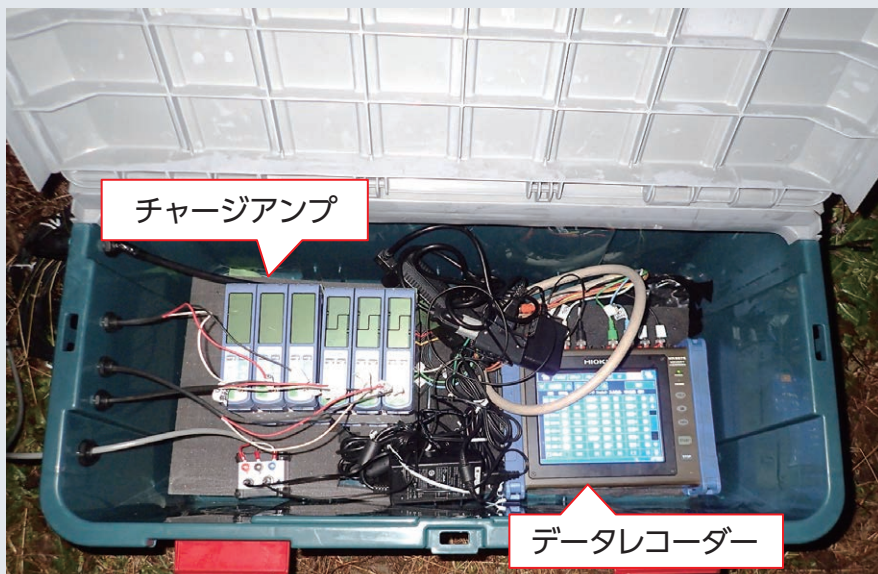
加速度センサー 直交座標の3軸を同時に計測	
寸法 [mm]	16(H)×21(W)×21(D)
質量 [g]	30
最大測定加速度 [m/s ²]	10000
使用温度範囲 [°C]	-50 ~ 160

図3 加速度センサー取付箇所と各軸方向

図4 現地測定のイメージ



(a) 加速度センサー設置例



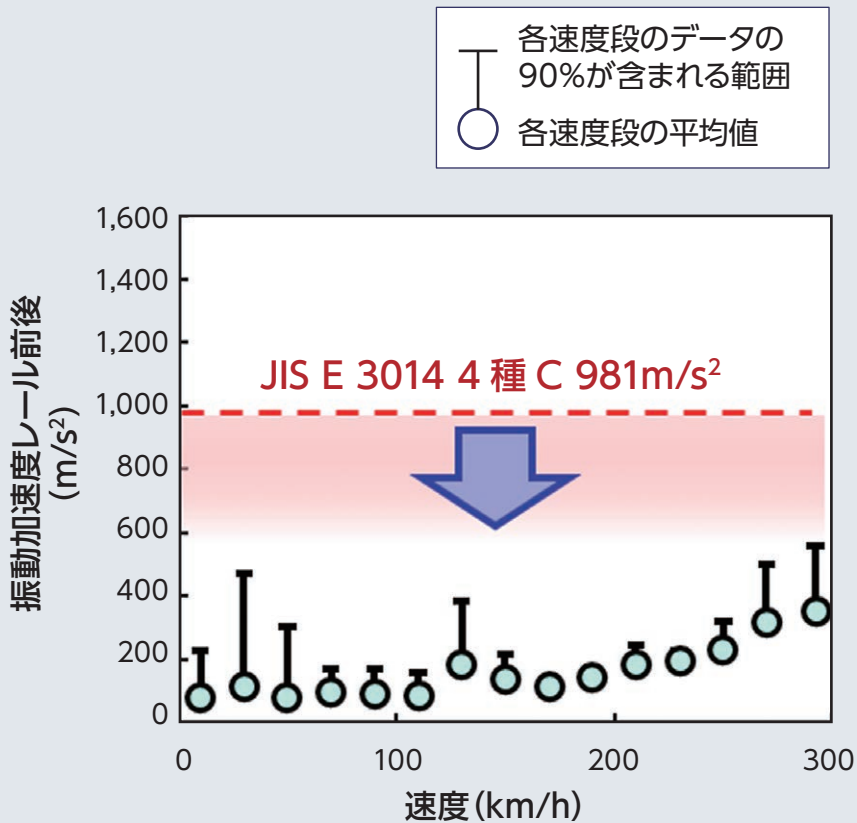
(b) 測定器用BOX

現地測定結果に基づく加振加速度振幅の在り方を踏まえたJIS E 3014の改正

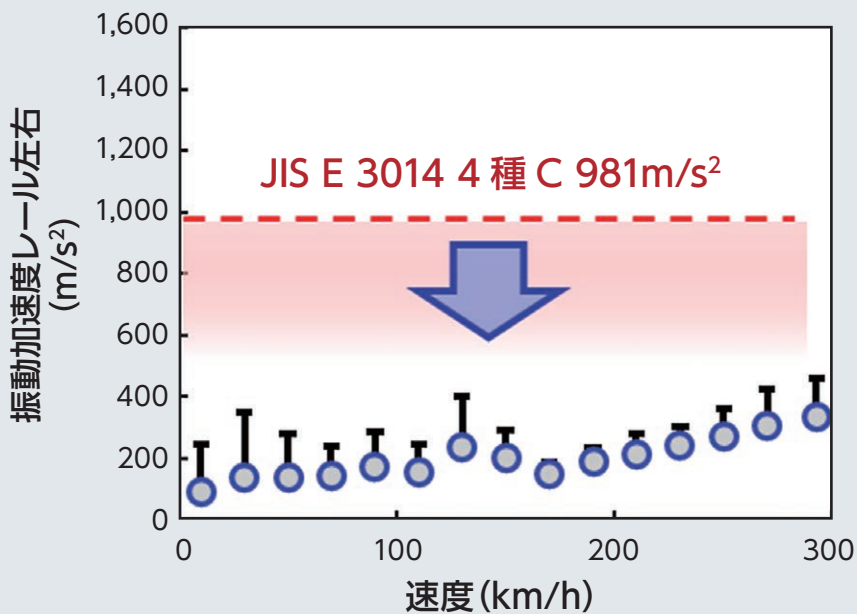
現状の一般的な使用環境における振動加速度の目安値を得るため、今回の測定結果から算出したレール、まくらぎ、器具箱の各測定点における振動加速度の大きさと、JIS E 3014規定の加振加速度振幅を比較・検討し、使用環境を考慮した加振加速度振幅の在り方について評価しました。

通過列車ごとの現地測定結果を基に、各速度段における振動加速度の平均値と、各速度段の測定データの90%が含まれる範囲（以下、90%包含範囲）を算出しました。その結果を図5に示します。

レールの振動加速度はJIS E 3014規定の加振加速度振幅981 m/s²に対して、90%包含範囲の上限値で前後方向が約550 m/s²、左右方向が約450 m/s²でした。さらに、実際の設置状態で受ける振動にはさまざまな周波数成分が含まれており、信号設備側の振幅が大幅に増幅される共振周波数のみで加振される状態ではありません。こうした実情を踏まえると、実使用環境を想定した正弦波加振試験において、レールの前後・左右方向は加振加速度振幅の緩和が可能であることを示す結果



(a) レール前後方向



(b) レール左右方向

図5 振動加速度測定結果

表3 JIS E 3014 改正前と改正後の加振振幅

種類	適用部品	加振方向	加振振幅 [m/s ²]	
			改正前	改正後
4種	レール直結で設置される機器の部品	上下	981	981
		左右	981	450
		前後	981	550

となりました。

一方、レールの上下方向および、まくらぎと器具箱の各3軸方向について同様に検討したところ、測定データから得られた振動加速度の大きさはおおむね JIS E 3014の加振加速度振幅程度であったことから、これらの項目については現行の加振加速度振幅が妥当であると考えられます⁴⁾。このように、緩和が妥当な項目(レールの前後・左右)と現行維持が妥当な項目(レール上下、まくらぎ・器具箱の各軸)が実測データにより明確化されました。

以上の知見を踏まえ、得られた実測データを根拠としてJIS規格改正原案作成委員会に対し、表3に示すように振動耐久試験における正弦波加振試験の加振加速度振幅の低減(対象：レール前後、左右方法)を提案しました。その結果、本提案は委員会で認められ、2026年2月にJIS E 3014が改正され、レールに設置する信号設備に対する正弦波加振の加振加速度振幅の見直しが正式に行われました⁶⁾。

ランダム波

複数の周波数成分の波が不規則に足し合わされた波のこと。

おわりに

本稿では、列車通過時に信号設備が受ける振動加速度の傾向を把握するため、新幹線と在来線の列車通過時の振動を対象として、計44箇所振動加速度を測定し、現状の一般的な使用環境における振動加速度を明らかにした。その成果として、2026年2月に改正されたJIS E 3014にこれを踏まえた新しい試験条件として反映されました。今後は、より実使用環境に即した試験条件の高度化を図るため、正弦波加振に代えて、実際の設置環境の振動を再現したランダム波[®]を用いた振動耐久性評価へと展開していく予定です。実使用環境のデータと加振試験結果の比較検討などを通じて、JIS E 3014の一層の実効性向上に資することを目指してまいります。RRR

文献

- 1) 日本工業規格：鉄道信号保安部品－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，神谷剛志，一色竜杜，高崎建，会田直矢：鉄道信号設備の振動耐久試験手法，第30回鉄道技術・政策連合シンポジウム，J-RAIL2023，講演論文集，No.S3-1-1，pp.288-291，2023
- 5) 一色竜杜，押味良和，潮見俊輔，高崎建，神谷剛志，会田直矢：構造物・軌道の種類に対する信号機器が受ける振動の分析，電気学会 交通・電気鉄道研究会資料，TER-23-036，2023
- 6) 日本産業規格：鉄道信号保安部品－振動試験方法，JIS E 3014：2026，日本規格協会，2026