

車体剛性向上機能付き吊手棒の開発

車両構造技術研究部 車両振動

主任研究員 瀧上唯夫

1. はじめに

近年の鉄道車両の軽量化やそれともなう車体構造の変化などを背景として、乗り心地の観点から車体の上下曲げ振動が注目されるようになってきた。最近では、優等列車だけでなく、在来線通勤車両などの一般的な車両に対しても、車体曲げ振動低減のための取組みが進められている。

従来、車体の振動特性は主として構体の設計により決定づけられると考えられてきたが、筆者らのこれまでの振動測定によると、構体と完成車とで振動特性が大きく異なることが確認されており⁽¹⁾、このことは、構体のみならず内部骨組や内装、床下機器等が振動乗り心地に影響を与えることを示している。

これに対して筆者らは、従来、強度部材として考慮されていなかった非構造部材を活用した車体剛性向上の試みとして、車室内にリング状内部骨組を取り付けることにより、車体の剛性を向上できることを確認したうえで⁽²⁾、これまでに取り付ける内部骨組の軽量化の検討や、既存の吊手棒の有効活用など、実用性を向上させる取組みを行ってきた⁽³⁾⁽⁴⁾。

ここではその知見を踏まえ、既存の通勤型車両への「後付け」を考慮した「剛性向上機能付き吊手棒」を提案し、この吊手棒を取付けた在来線通勤車両相当の試験車体を対象に、車両試験台における加振試験を実施して、車体曲げ振動特性に与える影響を調査した結果について紹介する。

2. 剛性向上機能付き吊手棒

今回検討対象とした剛性向上機能付き吊手棒は、ステンレス鋼製車体を持つ既存の通勤形車両をベースにした試験車体への取付けを想定して設計した。実用性を考慮し、現状からの大きな設計変更を不要とするため、既存車両に対して「後付け可能」な設計となっている。対象とした試験車体の外観を図1に示す。この試験車体は、内装等の車内設備を有しており、空調装置をダミー質量とした点、照明等の電装品、床下機器を省略している点を除き、ほぼ「完成車相当」の車体である。

設計・試作した剛性向上機能付き吊手棒の車体への配置(平面図)を図2に示す。配置は車体前後で対称のため、半車体分のみを示した。図中の黒色で示した吊手棒(A)~(C)の3種類が今回新たに設計したもので、いずれも車体のまくらぎ方向に取り付ける。灰色で示した箇所(吊手棒、荷棚等)は、既存の車両にもともと装備されているものである。なお、図2のf2c等の記号で示した位置は、3節で後述する振動加速度評価点である。吊手棒(A)は、既存の長手方向の吊手棒と戸袋内柱を連結するもの、吊手棒(B)(C)は長手方向吊手棒と、それぞれ荷棚を車体に固定する受金、



図1 試験車体の外観

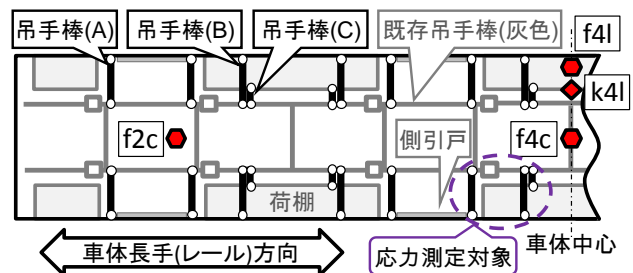


図2 剛性向上機能付き吊手棒の取付状況

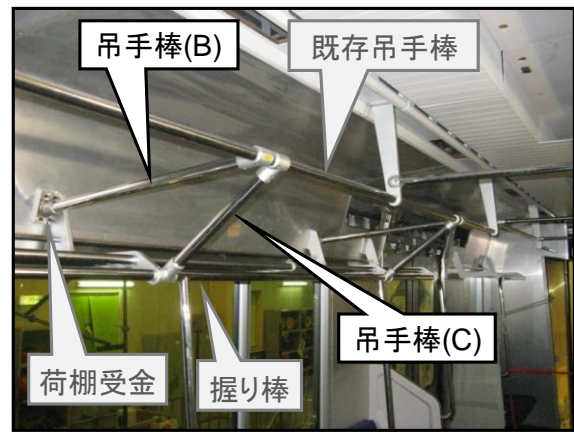
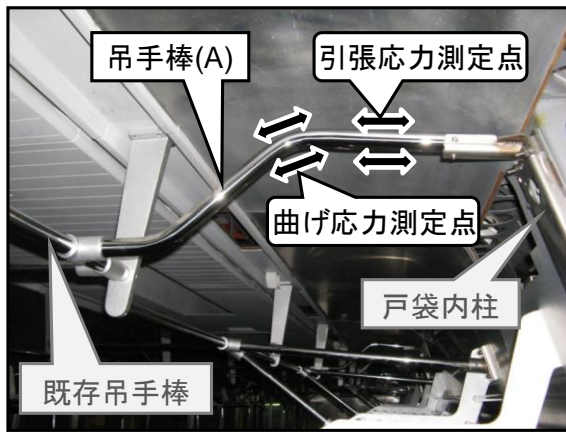


図3 吊手棒の取付状況

もしくは荷棚先端の握り棒を連結するものであり、それぞれの車体への取付状況を図3に示す。吊手棒(A)は荷棚の前後端に設置するため、出入口付近の乗客が荷棚にアクセスすることを考慮し、湾曲させたデザインとした。また、吊手棒(B)(C)も、もともと荷棚に段差が設けられ、手荷物がその前後にわたって置かれることがない位置に配置した。吊手棒(A)~(C)の取付数は(A)16本、(B)(C)が各12本で、質量増は合計70kg程度である。

以下、吊手棒(A)~(D)をいずれも取り付けない場合を「【N】現状条件」(既存の吊手棒は設置)、図2の状態を「【P】吊手棒追加条件」のように記号を付して呼ぶ。

3. 車両試験台加振試験

3.1 試験条件

車両試験台は鉄道総研が保有する試験設備で、レール断面形状を模擬した軌条輪と呼ばれる装置が回転し、これに接した供試車両の車輪が回転することで走行を模擬するとともに、軌条輪が変位することで車両に加振力を与える装置である。

本試験における加振方法は、車両試験台を用いて左右それぞれの車輪に3~30Hzでほぼ平坦な周波数特性を持つ無相関のランダム波を同時に入力する「バンドランダム加振」と、走行時に計測した軸箱加速度を再現する「実軌道模擬加振」とした。加振時の振動は車体(床21点、屋根21点、側10点)に設置した加速度ピックアップにより計測した。後述する図5の線分が交差する点が、車体各面の加速度ピックアップを配置した点に相当する。そのほか、車体中央部の腰掛の加速度もあわせて測定した。

3.2 振動モード解析

条件【N】【P】それぞれの車体に対するバンドランダム加振時の振動を計測し、腰掛を除く52点の加速度により振動モード解析を実施した。同定された固有振動モードのうち主要なものを図4に示す。最

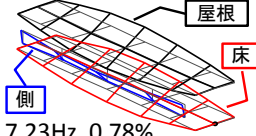
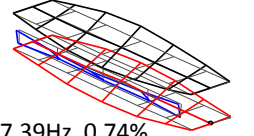
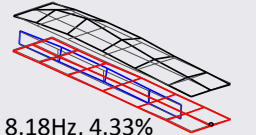
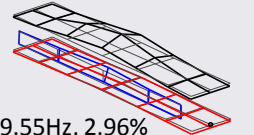
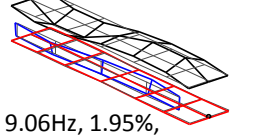
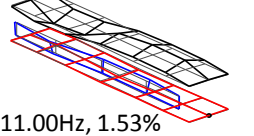
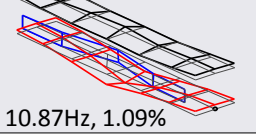
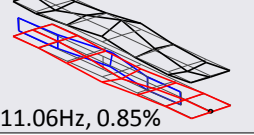
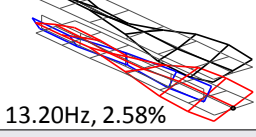
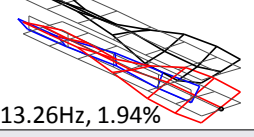
(1) J-1		
(2) Z-10		
(3) Z-20		
(4) A-31		
(5) J-2		
	【N】通常条件	【P】吊手棒追加条件

図4 車体条件による振動モード比較

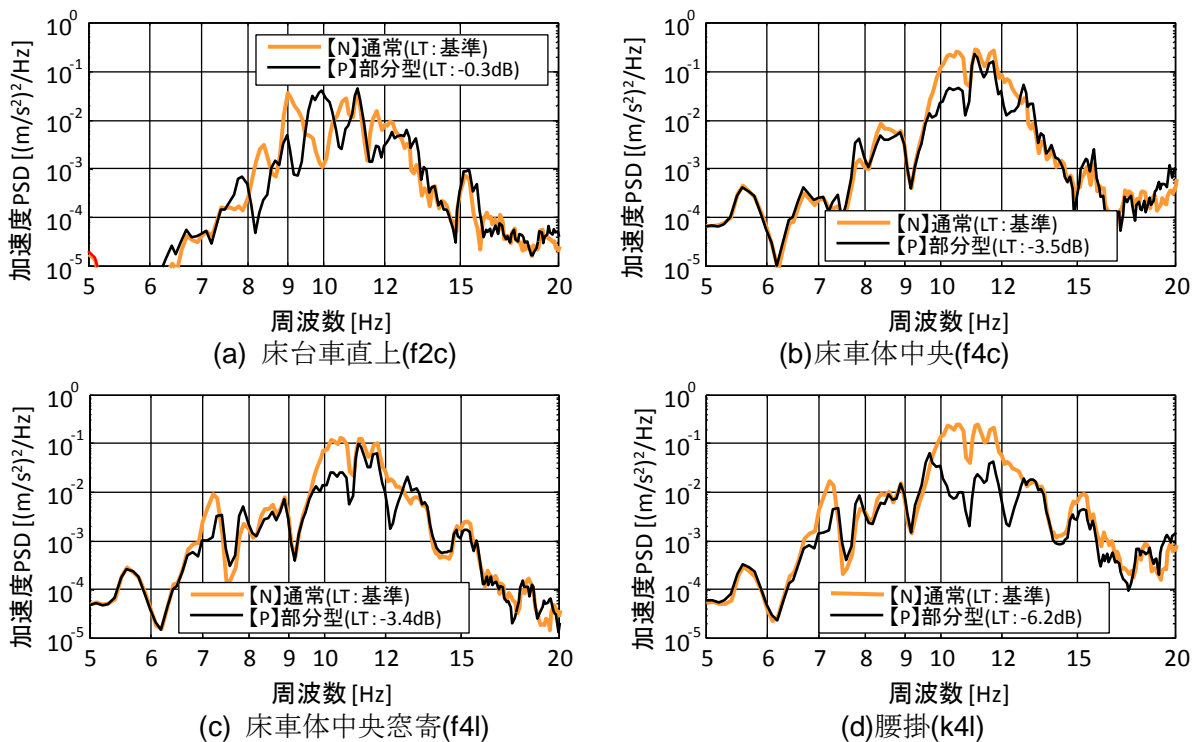


図5 車体条件による加速度 PSD 比較(実軌道模擬加振、走行速度 83km/h 相当)

左欄の Z-10 などの記号は、振動形状の特徴を表したもので、最初の文字は A が屋根と床が車体中央部で逆位相(方向)に変形するもの、Z はその判別が難しいことを示し、その後の 2 桁の数字は、1 つ目が屋根、2 つ目が床の腹の数を表す。また、J は車体断面にせん断変形を生じるモードであり、屋根と床の腹の数が常に同一であったため、数字は一桁とした。また、各モードの左下の数値は各モードの固有振動数、モード減衰比を表す。

図 4 によると、J-2 モードでは吊手棒の違いによる固有振動数の差異がほとんどないが、それ以外は、いずれのモードも条件【N】に対して【P】で固有振動数が上昇しており、今回取り付けした吊手棒が車体の剛性を向上させる効果を有することがわかる。

3.3 加速度 PSD

次に、実軌道模擬加振時(走行速度 83km/h 相当)に測定した振動加速度のうち、代表的な測定点として、図 2 に示した床上 3 点、腰掛 1 点における加速度パワースペクトル密度(PSD)を計算した結果を図 5 に示す。これによると、条件【N】(橙線)では、全体として 10~12Hz 付近の PSD の値が大きい。10.8Hz 付近のピークは図 4 の A-31 モードに対応していると考えられるが、吊手棒を取付けた条件【P】(黒線)ではこのピークはそれほど卓越していない。測定点(c)f4l、(d)k4l では、J-1 モードに対応する 7.2Hz 付近にもピークが存在するが、吊手棒によってピークが高周波側に移動し、PSD の値が小さくなっている。

PSD グラフの凡例には、条件【N】の場合に計算した乗り心地レベル(L_T)を基準とし、条件【P】の L_T の増減をあわせて示した。これによると、床上の(b)f4c、(c)f4l では 3dB 程度、腰掛(d)k4l では 6dB 程度低減していることがわかる。紙面の都合上全ての測定点の結果を示せないが、床上測点では、もともと振動のパワーが小さい個所(図 5(a)f2c など)では、 L_T 低減量が小さい一方、振動が大きい測定点では低減量が大きく、位置による乗り心地のばらつきが平均化される結果となった。

3.4 発生応力

前節までに述べたように、吊手棒によって車体の振動特性に変化が生じることが確認できたが、これ

は、吊手棒が振動により発生した力を伝達していることを示すものと考えられる。そこで、振動発生時に強度上の問題が生じないかを確認するため、条件【P】の吊手棒にひずみゲージを貼付し、応力測定を実施した。

吊手棒には、上述のような車体振動に起因する

動的な荷重のほか、一般には乗客が吊り革につかまることによる準静的な荷重が作用する。本来は、吊り革につかまった状態で加振試験を行えば、これらの効果により発生する応力を同時に評価できるが、今回は試験の都合上、両者をわけて検討した。すなわち、まず車体を加振しない状態で、それぞれの吊手棒を可能な限りの力で押し下げ(以下、静荷重)、そのときのひずみを測定し、応力に換算した。次に、実軌道模擬加振を行って(以下、動荷重)、加振時のひずみを測定し、同様に応力に換算した。

ひずみ(応力)測定は、車体中央付近(図 2(a)の破線円で囲った個所)の吊手棒(A)(B)(C)について、それぞれの引張応力および曲げ応力として測定した。(A)の応力は図 3 の矢印で図示した位置、(B)(C)については図示を省略したが棒の中央部で測定を行った。

静荷重、動荷重(走行速度 83km/h 相当)による応力の観測値(曲げ応力は、最大となる表面の値)を表 1 に示す。吊手棒表面の材質 SUS304 の規格上の耐力は 205MPa、疲労限度は実力値で 220MPa である⁽⁵⁾。これらの値は表 1 に示した値の 3 倍以上であり、安全率を見込んだ応力限界図にプロットした場合でも十分に余裕があると考えられることから、吊手棒に静荷重・動荷重が同時に付加された場合でも、強度的に問題がないことが確認できた。

4. おわりに

本発表では、構体の変更をとまなわない車体の剛性向上を目的として、既存の車両に追加することを想定した実用的な手法として提案した、剛性向上機能付き吊手棒について紹介した。ステンレス鋼製試験車体に試作した吊手棒を取付けて車両試験台による加振試験を実施した結果、曲げ振動の固有振動数が上昇するとともに、振動が低減する効果を有することを確認した。また、振動条件下でも強度的に問題がないこともあわせて確認した。

ただし、ここで提案した吊手棒は、車体の剛性を向上させることを目的としたもので、直接的に振動を低減させるものではない。これに関しては現在、車体振動を直接低減する手法として、吊手棒に減衰機能を付与する検討を行っており、今年度中に加振試験による効果の検証を行う計画としている。この結果については、改めて紹介する予定である。

文献

- (1) 相田, 富岡ほか, J-Rail2010 講演論文集, (2010), pp.325-328.
- (2) 瀧上, 富岡, 相田, 鉄道総研報告, Vol.22, No.9, (2008), pp.11- 16.
- (3) 瀧上, 富岡, 日本機械学会論文集(C 編), Vol.76, No.765, (2010), pp.1115-1123.
- (4) 谷口, 瀧上ほか, J-Rail2009 講演論文集, (2009), pp.421-424.
- (5) 金属材料技術研究所疲れ試験部編, 機械構造用ステンレス棒用 SUS304(18Cr-8Ni)の疲れ特性データシート, No.33, (1983).

表 1 吊手棒の最大応力

種別	引張応力 [MPa]		曲げ応力 [MPa]	
	静荷重	動荷重	静荷重	動荷重
吊手棒A	0.73	1.23	30.44	24.96
吊手棒B	1.33	0.83	67.73	1.20
吊手棒C	0.10	0.76	50.98	3.40