

完成車体における横方向吊手棒の車体剛性向上効果

今岡 憲彦* 谷口 宏次 (東急車輛)

瀧上 唯夫 富岡 隆弘 相田 健一郎 (鉄道総研)

Effects on Rigidity of Railway Carbody with Complete Interior by Transverse Rails for Hand Strap

Norihiko Imaoka*, Koji Taniguchi, (Tokyu Car Corporation)

Tadao Takigami, Takahiro Tomioka, Ken-ichiro Aida, (Railway Technical Research Institute)

In this study, the authors have investigated the rigidity of railway vehicle by non-structural members. Additional transverse rails for hand strap have been attached into a test car, which is improving rigidity of carbody. In particular, these transverse rails affect rigidity of roof structures. In foregoing investigations had been on non-interior carbody. This paper describes the effect for rigidity of carbody by transverse rails for hand strap installed to interior arranged carbody. The effect is similar to non-interior carbody by excitation test. Additional results of excitation test are acceleration peaks on seat frame which come from carbody vibration modes.

キーワード：車体剛性，乗り心地，内部骨組，吊手棒，固有振動モード

(Rigidity of carbody, Riding comfort, Inner frame, Rails for hand strap, Natural mode of vibration)

1. はじめに

鉄道車両の軽量化と快適性向上を求める要求は、近年特に高まりを見せている。在来線通勤車両に幅広く用いられているステンレス鋼製車体は、車両の軽量化、メンテナンス性の向上、製造工程の省力化などに大きく貢献し、要求に答えてきた。このステンレス鋼製車体は、振動形態に特徴があり、床、屋根、側といった車体を構成する各面体が他の面体と同調して振動する傾向が低く、どちらかと言えば各面体が独立して振動する特徴を示している⁽¹⁾⁽²⁾。なお、この特徴は必ずしも乗り心地の良し悪しを判断するものではない。

我々は、従来強度部材として考慮されていなかった内部骨組などの非構造部材に着目し、ステンレス鋼製車体の基本構造を変更せずに車体剛性の向上を目指す検討を行っている。このコンセプトを確認するため、種々の構造検討を容易に行えるような内装の無い試験車体（構体状態車体）を製作し、内部骨組を車体断面で一周するようリング状に構成した構造（インナーリング）によって車体剛性の向上が可能であることを確認した⁽³⁾⁽⁴⁾。さらに、補強部材の軽量化と実用性の向上を目指し、インナーリング構成部材の中で特に剛性向上効果の高い天井骨組補強を、車幅方向に通る吊手棒で置き換える検討も行った。それにより、僅少な質量増加だけで車体剛性を向上させる見通しを得た⁽⁵⁾。

構体状態車体では確認を行ったが、実際の営業車両に近い条件でも剛性向上効果が得られるか、確認する必要がある。特に内装パネル、腰掛、荷棚などの車内設備（以下、まとめて内装材と呼ぶ）は吊手棒よりも質量の大きい非構造部材であるため、吊手棒による剛性向上効果に影響を及ぼすと考えられる。そこで、内装材を有する別の試験車体（振動試験車体）に剛性向上のための吊手棒を追加して、剛性向上効果の確認を行った。さらに腰掛フレームに加速度計を設置し、加速度ピークとその車体振動モードを測定することで吊手棒の効果を調べた。それら結果について報告を行う。

2. 試験概要

〈2・1〉 振動試験車体の概要

本報告で使用した振動試験車体は、近年営業運転に供されている一般的なステンレス鋼製 20m 級 4 扉通勤車両の中間付随車をベースに製作した。構造部材の他、腰掛、荷棚、天井風道、内装パネルなどの内装材、それらを固定する内部構体を有している。車両搭載機器のうち、車体振動特性への影響が大きいと考えられる集中型屋根上空調機については、取付方法および質量を実物と一致させたダミーを取り付け、表現している。また台車は、現在多数使用されている一般的な空気ばね付きボルスタレス付随台車を用いている。後述する試験装置（車両試験台）に載せた振動試験



図1 振動試験車体と車両試験台

車体の写真を図1に示す。

(2・2) 試験装置および試験条件

今回、車両試験台における加振試験により車体剛性の評価を行った。

車両試験台は、レール頭頂面形状を円周面に持った軌条輪と呼ばれる車輪を供試車両の各車輪下方に設置し、軌条

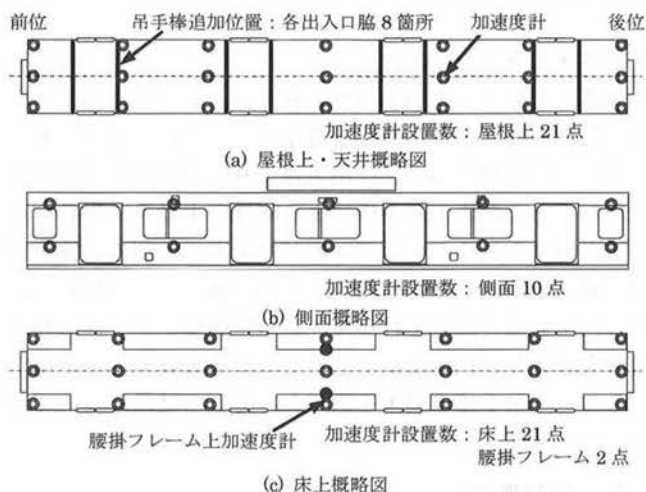


図2 吊手棒・加速度計配置

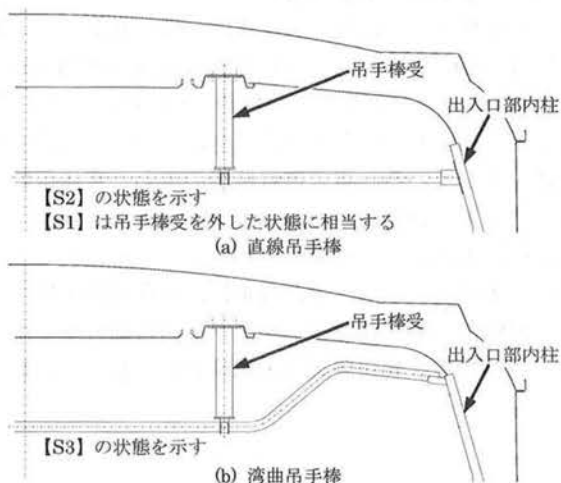


図3 吊手棒追加位置屋根断面図

表1 試験条件記号一覧

試験条件記号	追加吊手棒	吊手棒受
【N】	なし	なし
【S1】	直線8本	なし
【S2】	直線8本	あり
【S3】	湾曲8本	あり

【N】は一般通勤車両と同等の吊手棒を取り付けた状態。

輪を回転させることで供試車両の車輪も回転させ、走行を模擬する試験装置である。軌条輪は変位をさせることで車両に加振力を与えることができるようになっている。

入力となる加振信号は、3～30Hzの範囲でほぼ平坦な周波数成分を含むバンドランダム波とした。床上21点、側面10点、屋根上21点、腰掛フレーム部2点に加速度計を設置し、各点の応答加速度を測定した。図2に加速度計の設置位置を示す。

振動試験車体には、一般の通勤車両に存在する程度の吊手棒を取り付けた通常状態の他、既報⁽⁵⁾と同様の車体内幅全体にわたる直線吊手棒ないしは湾曲吊手棒を追加取付した状態で試験を実施した。通常状態を【N】、直線吊手棒のみを追加設置した状態を【S1】、さらに吊手棒受を追加設置した状態を【S2】、通常状態に湾曲吊手棒と吊手棒受を追加設置した状態を【S3】とする。図3に吊手棒の取付状態を屋根断面図で示す。表1に試験条件記号と吊手棒設置状況の一覧を示す。

3. 試験結果

(3・1) 車体振動モード

加振試験により得られた車体各点の応答加速度から振動モード解析を実施した。その結果のうち代表的な振動モードの固有振動数を表2に示す。また【S3】の主要な固有振動モードを図4に示す。

ところで、表中のZ-10などの記号は振動形状の特徴を表したもので、最初の文字がSの時は屋根と床が車体中央断

表2 代表的な振動モードの固有振動数

振動モード	上段：固有振動数 下段：【N】に対する増減率			
	【N】	【S1】	【S2】	【S3】
J-1	7.23 Hz —	7.25 Hz +0.28 %	7.31 Hz +1.11 %	7.26 Hz +0.41 %
Z-10	8.18 Hz —	9.54 Hz +16.63 %	9.66 Hz +18.09 %	9.60 Hz +17.36 %
Z-20	9.06 Hz —	10.76 Hz +18.76 %	10.92 Hz +20.53 %	11.03 Hz +21.74 %
A-31	10.87 Hz —	11.07 Hz +1.84 %	11.12 Hz +2.30 %	11.04 Hz +1.56 %
J-2	13.20 Hz —	13.24 Hz +0.30 %	13.27 Hz +0.53 %	13.22 Hz +0.15 %

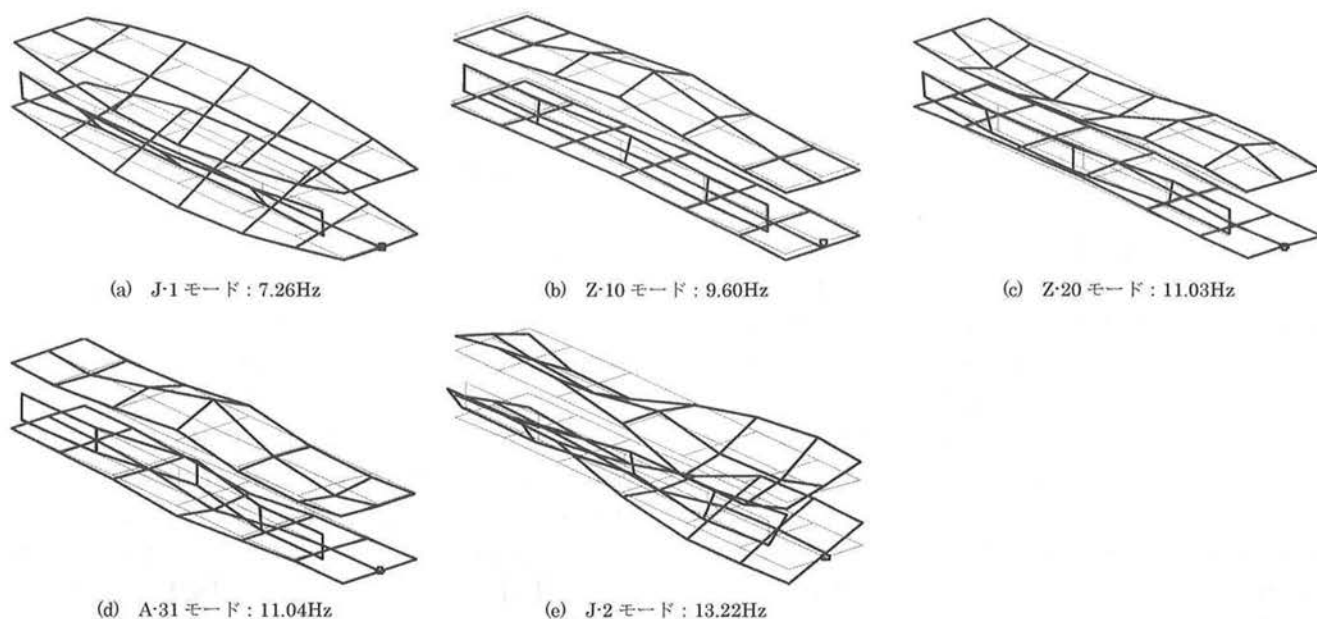


図 4 【S3】の代表的な固有振動モードと固有振動数

面で同位相 (同方向), A の時は逆位相で変形していることを示す。Z はその判別が難しいか、もしくは屋根と床の振幅が著しく異なる場合を示す。ハイフン後の 2 桁の数字は、10 の位が屋根の、1 の位が床の、腹の数を示している。最初の文字が J の時は車体断面にせん断変形を生じている時の振動モードであり、J-1 は車体中央部の断面がひし形に変形するモード、J-2 はねじりモードである。断面がせん断変形する際には屋根と床の腹の数は常に同一となったため、J の場合は 1 桁の数字で示す。

車体各点で測定した応答加速度からパワースペクトル密度 (PSD) を計算した。主要な点の加速度 PSD グラフにつ

いて図 5 に示す。

以上の試験結果から吊手棒追加取付効果を考察する。

直線吊手棒での吊手棒受の効果を見るため【S1】と【S2】を比較する。表 2 より、それぞれ同じ振動モード同士ではほぼ同一の固有振動数となることがわかる。また図 5 (f) より、加速度 PSD もほぼ同一のグラフとなる。吊手棒の影響を受けやすいと考えられる屋根上応答加速度でも差が出ないことから、直線吊手棒については吊手棒受の有無が車体剛性に影響を与えないと言える。構体状態車体⁽⁵⁾では、湾曲吊手棒は吊手棒受の有無が車体剛性へ影響を与える結果となったが、直線吊手棒では異なる結果となった。これにより、

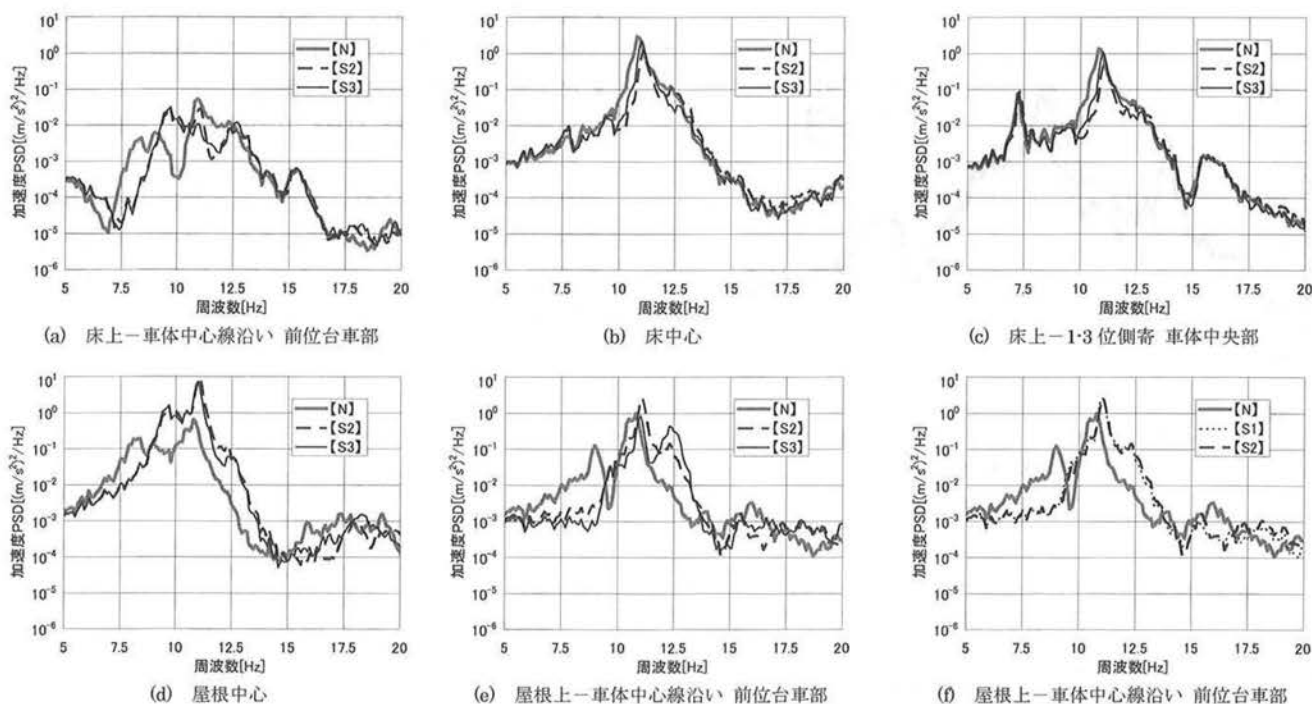


図 5 車体加速度 PSD

以降の考察では【S1】の結果を【S2】にまとめて行うこととする。

固有振動数の増減から車体剛性の比較を行う。表 2 より、相対的に屋根側が大きく振動する Z-10、Z-20 モードにおいて吊手棒を追加した車体の固有振動数が 17~22% 程度増加しており、吊手棒による車体剛性向上効果が出ていると考えられる。【S2】と【S3】の差は小さい。一方、車体断面がせん断変形する J-1、J-2 モードにとっては【N】からの固有振動数の変化は 1% 程度であり、ほとんど差が無いと言える。また車体中央断面で床・側・屋根が全体で同調して変形する A-31 モードにおいても【N】からの固有振動数の変化はほとんど無い。このあたりの傾向は、構体状態車体⁽⁵⁾のものと非常によく似ており、また固有振動数の増減率も近いものとなった。

加速度 PSD で車体の挙動の比較を行う。床上に関する図 5 (a), (b), (c) を見ると、吊手棒を追加した車体条件ではグラフが周波数の高い側へシフトし、かつピークが下がる傾向が出ている。そのため、台車部分では 7~9Hz 付近、車体中央部では 9~11Hz 付近で加速度 PSD が小さくなっている。これらは Z-10 モードの固有振動数が【N】の 8.18Hz から 9.6Hz 前後へ増加したことと、Z-20 モードの固有振動数が【N】の 9.06Hz から 11.0Hz 前後へ増加したことが関係していると言える。また、図 5 (c) の加速度 PSD を見ると、9.5~11Hz 付近で【S2】と【S3】に違いが見える。床面にとって 1 次曲げとなる A-31 モードに対し、吊手棒形状の違いによって影響の差異が生じたためと考えられる。

屋根上に関する図 5 (d), (e) に着目すると、吊手棒を追加した車体条件で全体的に周波数が高い側へシフトすると同時にピークが上がり、カーブがやや鋭くなる傾向が出ている。これは、特に屋根剛性が向上したことが原因と考えら

れる。なお、構体状態車体⁽⁵⁾では吊手棒追加設置によりピークが上がる傾向は出なかった。内装材が存在することによる影響も大きいと想定できる。

〈3・2〉 腰掛フレームの振動加速度

加振試験により得られた腰掛フレームでの応答加速度から、加速度 PSD を計算した結果を図 6 に示す。

ピークは、7.3Hz 付近と 11Hz 付近にある。7.3Hz 付近のピークは J-1 振動モードによるものであり、吊手棒による車体剛性向上効果は確認できない。8Hz 付近から 11Hz 付近のピークまで、吊手棒を追加した車体条件で加速度 PSD が小さくなっている。また、【S2】と【S3】の間にも違いが見える。これらは、9~11Hz の範囲における車体中央部の床上加速度 PSD (図 5 (c)) の傾向と非常に似ている。

表 3 に、11Hz 付近のピークにおける各車体の加速度 PSD の差を【N】に対する増減率で示す。【S2】が一番小さくなり、【N】の半分以上に減少している。

4. まとめ

本報告では、構体状態車体⁽⁵⁾で効果のあった吊手棒による車体剛性向上策が、内装材を有する試験車体で効果があるか検討を行った。以下にその結果を列挙する。

- 直線吊手棒は、吊手棒受の有無による車体剛性向上効果にほとんど差が出ない。
- 屋根の低次振動モードに相当するモードでは、吊手棒の追加取付による剛性向上に効果が見られた。剛性向上効果は内装材の有無にあまり影響を受けない。
- 車体断面がせん断変形する振動モードには、車体内幅全体にわたって設置する、今回のような吊手棒を追加取付する効果は低い。
- 腰掛フレームに発生する振動加速度のうち、15Hz 以下でピークとなるのは、J-1 モードと A-31 モードである。
- 吊手棒の追加取付により、腰掛フレームに発生する振動加速度のうち、8~11Hz の加速度成分を低減する効果が見られた。

内装材のある車体においても、吊手棒による車体剛性向上効果は得られることが確認できた。今後は車体断面がせん断変形する振動モードにも有効な強度部材の開発を行い、実車への適用を目指す予定である。

文 献

- (1) 瀧上、富岡：最近の軽量車両の固有振動モード特性、鉄道総研報告、Vol.16, No.5, pp.22-28, 2002
- (2) 相田、富岡、瀧上：車体構造の違いによる在来線車両の車体固有振動モード特性の比較、J-Rail2007 講演論文集、pp.143-146, 2007
- (3) 瀧上、富岡、相田：非構造部材を活用した車体剛性向上手法、鉄道総研報告、Vol.22, No.9, pp.11-16, 2008
- (4) 瀧上、富岡、相田：天井内部骨組による車体剛性向上手法の検討、J-Rail2008 講演論文集、pp.81-84, 2008
- (5) 谷口、瀧上、富岡、相田、牧野、市川：湾曲型吊手棒による車体剛性向上効果、J-Rail2009 講演論文集、pp.421-424, 2009

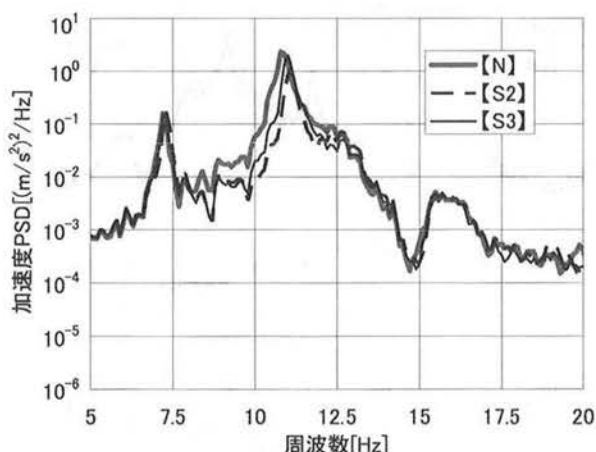


図 6 腰掛フレーム加速度 PSD

表 3 腰掛フレーム加速度 PSD ピーク比較

	【N】	【S2】	【S3】
ピーク周波数[Hz]	10.8	11.1	11.0
加速度 PSD 増減率[%]	—	-54.0	-13.6