

車体間ヨーダンパ

—車体間の動きを利用して乗り心地改善—

藤本 裕((財)研友社(元 鉄道総研))

研究開発の経緯

研究を始めた当時は、1964年(昭和39年)に新幹線が開業して30年近く経過して、JR西日本を中心に後に500系の原型となる新幹線の高速度車の開発が進められていました。一方、当時の東海道、山陽新幹線車両は100系が中心で最高速度は230km/hのレベルでした。この時期に最後尾車の左右の振動が大きくなる現象が問題となり、筆者らはその現象解明と防振対策の研究を進めることになりました。その結果、

- (1) 車体間の「ばね」拘束は後尾車振動を増長させる可能性があります、
- (2) 左右方向の振動は車体間の動きが大きくなるので、後尾車左右振動の防振には減衰効果のある拘束が良い、

と言う結論に達し、車体間に「ダンパ」を使って防振するという方針が決まりました。そこで、実測の車体振動加速度を調べると後尾車の振動はヨーイング振動が主体で、前車体とは「く」の字の逆位相になることが判明しました。一方、図1のような車端部の各々離れた左右2箇所にダンパを前後方向に取り付けると、車体のヨーイング振動低減に大きな効果があることが蛇行動特性解析並びに時刻歴数値シミュレーションでわかり、この構成のダンパを提案し開発することになりました。

このように「車体間」に取り付け、「ヨーイング」を低減する目的からこのダンパを「車体間ヨーダンパ」とネーミングしました。

低速・急曲線走行時の設計限界と 高速時の振動低減効果の両立

ヨーイングの低減に効果があっても、実際に車体に取り付け高い信頼性を維持しながら使用するためには、実際に走行する場面を想定して確実な値の仕様に設計しなければ

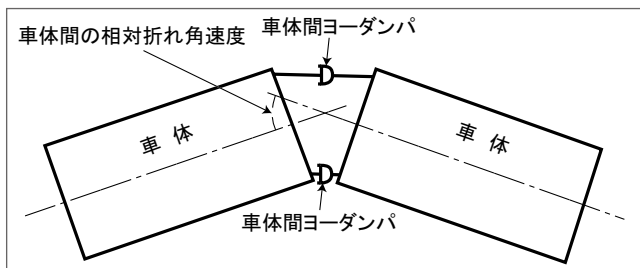


図1 車体間の相対折れ角速度に比例する減衰力の車体間ヨーダンパ

なりません。最初に苦心したのが、車両基地内での急曲線走行への対応でした。

まず、博多総合車両所など車両基地での最小曲線半径は規定で200mとされています。この曲線に対応するため、ダンパ・ピストンのストロークは安全を見て500mmと大きな伸縮を許容するものとしました。一方、ダンパ力による振動低減が求められる高速走行時の車体間のヨーイングの主振動は、片振幅2mm、振動数1.2Hzで、振幅はストロークの1/100以下であり、ダンパの減衰定数に直列に入る等価ばね定数が低下して等価減衰定数が公称値より大きく低下することがわかりました。そこで、ダンパのピストン径を増大するかダンパの作動油の剛性を高くして直列に入る等価ばね定数を高くして等価ばね定数が低下を防ぎ性能向上を図ることにしました。

まず走行試験用のダンパは、引っ張り側と圧縮側で油室体積の変動が小さく、両行程でほぼ等しい減衰定数(減衰力の増分/速度の増分)が得られる両ロッド型ダンパを採用しました。この型のダンパは図2のようにダンパの両端にロッドがあり、引っ張り側と圧縮側で同容積の油室が確保できるものです。また、直列に入る等価ばね定数の増大策として、水を混入した特殊な液体をダンパの作動油の代わりに用いればダンパの直列ばね剛性を上げられることがわかりましたが、保守性の問題がありダンパのピストン径を大きくすることで対応することになりました。

走行試験結果

新幹線100N系車両の後尾車とその前の車両間に車体間ヨーダンパを付けた時の効果を、減衰定数750kN/(m/s)と3000kN/(m/s)に切り替えて走行試験を行い、それぞれの結果



図2 車体間に取り付けた両ロッドダンパ

果を数値シミュレーションの結果と比較しました。

この結果、図3のように走行試験、シミュレーションとも750kN/(m/s)の定数で効果が認められ、3000kN/(m/s)にしてもその効果は変わらないことがわかりました。さらに新幹線500系車両開発

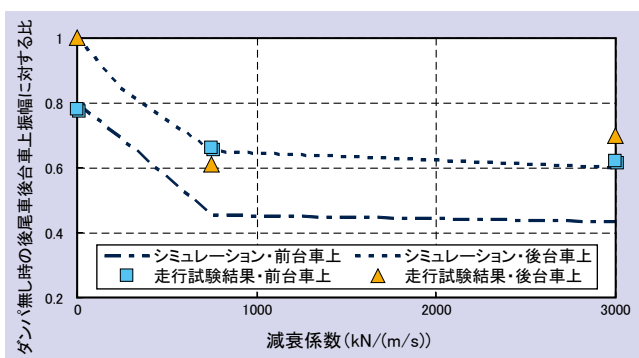


図3 後尾車とその前の車両間に車体間ヨーダンパを付けた時の減衰定数と後尾車振動低減効果の違い(230km/h時)

時の試験車両 WIN350の6両の全車体間に車体間ヨーダンパを取り付けて走行試験を行った結果、図4のように6両全車両で効果が認められ、後尾車だけでなく特に中間車両で大きな振動低減効果が認められました。ダンパ定数は750kN/(m/s)と1500kN/(m/s)とを切り替えて測定しましたが、両者の明確な差は認められませんでした。以上のことから、ダンパ定数はダンパ作動油の等価直列ばねによる低下も見込んで1000kN/(m/s)としました。

500系量産先行車用のダンパの設計

以上に述べた成果を踏まえ、営業用車両の原型となる量産先行車への車体間ヨーダンパの採用が決定し、その設計検討を行いました。走行試験では両ロッド型ダンパを用いましたが、両ロッド型は、

- (1) 全長が長くなり、取り付けスペースを多く必要とする、
- (2) 微振幅特性を得るために組立時に加圧する必要があり、保守に手間を要する、

ことから片ロッドタイプにして、ダンパのピストン径を70mmから80mm(中間車両)と90mm(後尾車とその前車両)に増大しました。こうして、ダンパを実績のある現状タイプに据え置いてもダンパの等価直列剛性を高くすることができ、高速走行時に要求される1~2Hzの微振幅に対してはほぼ所定の減衰係数値が得られるようにしました。また、取り付け部のガタや変形も直列剛性の低下、そして減衰定数低下に繋がることからポリアセタールと呼ばれる強度、弾性率、耐衝撃性に優れた樹脂をダンパ取り付け軸受けに採用し、0.04mm/tの剛性を確保することにより1mm程度の微振幅に対しても減衰性能に影響が出ないようにしました。

こうして設計した車体間ヨーダンパを装備した500系量産先行車の走行試験でも予想通りの効果を得ることができました。

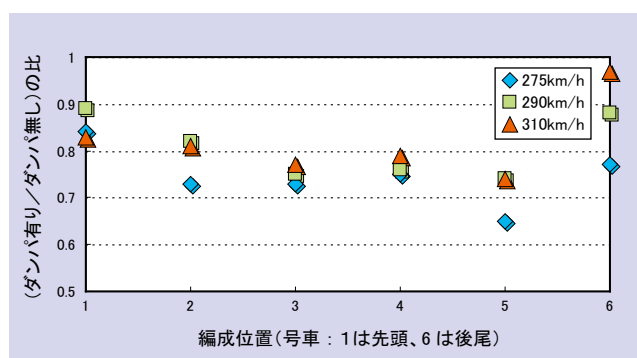


図4 全車体間にダンパを付けたときのヨーイング振動低減効果



図5 新幹線電車に装備された車体間ヨーダンパ

営業用車両に採用

車体間ヨーダンパは、センサー・制御系を経ずに防振するパッシブ制振に属し、制御系の故障を考えずに済むことと比較的コストが抑えられることから多くの箇所に設置するのに適しています。車体間ヨーダンパとはほぼ期を同じくして開発・実用化されましたセミアクティブダンパ(最近ではアクティブダンパも併用されています)も高性能の防振効果を発揮していますが、車体間ヨーダンパはこれらを高信頼度、低コストで補強するものとして新幹線車両の乗心地向上に一役買っております。

営業車両として500系新幹線に初めて採用された車体間ヨーダンパ(図5)は、その後の新幹線営業用電車にも採用されています。

高速車両振動抑制のための補助装置として研究・開発してきた車体間ヨーダンパは、高速車両の台車・車体間の左右動ダンパ、ヨーダンパとともにパッシブ制振の基本要素になりつつあるようです。また、世界の環境重視政策とそれに伴う鉄道復権の波に乗り、日本の新幹線技術が海外進出するようですが、車体間ヨーダンパを備えた新幹線が海外に出て行くことを研究・開発に携わった一員として陰ながら喜んでおります。