

付属資料 1 地震時に大変位する車両の諸元調査

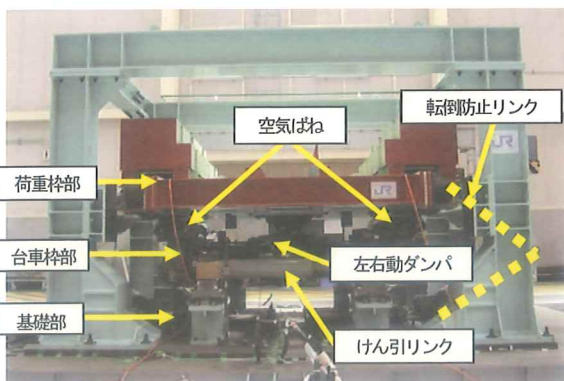
1. はじめに

車両諸元は通常走行時を想定して性能を定めている。しかし、地震時には車体が大きくロール振動を起こすなど大きく変位する。車両部品の中で、空気ばね、左右動ダンパ、左右動ストッパについては大きく変位することで、通常時とは異なる性能を示し、かつその性能が車両挙動に影響を及ぼす可能性が考えられる。そこで、脱線した試 7932B 列車 (E2 系, 4号車, 226 形車両) について、車両の挙動に影響の大きい空気ばね、左右動ストッパ、左右動ダンパの地震時を想定した特性試験を行い、諸元を同定した。

2. 空気ばね性能

2.1 空気ばね特性試験

大変位時の空気ばねの性能を測定するために、付図 1-1 に示す大型振動試験装置で運用する車両 2 次サスペンション試験装置を用いて空気ばね特性を測定した。本装置は、大変位時の車体一台車間の 2 次サスペンションの挙動調査を目的に開発した。装置は実物の新幹線用台車を基に製作し、基礎部、台車枠部、荷重枠部から構成されている。この台車枠部と荷重枠部の間に供試空気ばねおよびダンパ類を配置し加振試験を実施する。なお、2 次サスペンションの特性を把握しやすくするため、車輪・レールを排し、基礎部として車軸と軸箱体を振動台に剛に結合し、台車枠が基礎部から軸ばね、軸ダンパで構成する 1 次ばね系で支持されている。また、本装置は 1 台車半車体モデルであり、半車体に相当する荷重枠は 2 組・1 対の空気ばねで支持されるため、荷重枠の転倒を防止するため基礎部を介して振動台と荷重枠との間に転倒防止リンクが設けられている。空気ばね特性試験では、本装置を大型振動試験装置にて左右方向に正弦波加振を行い、このときの空気ばねの変位および空気ばね力を測定することで、空気ばねの作用力特性を得る。



付図 1-1 車両の 2 次サスペンション試験装置

2.2 空気ばねモデル

地震時の車両運動シミュレーションに用いる空気ばねモデルとしてはシンプルな線形ばねモデルが便利である。一方で、特定の振動周波数に特化したパラメータを用いると、地震動のようにさまざまな周波数成分を用いた振動に対する応答を求める際には多少なりとも誤差を有することとなる。これに対し、前節の実験から以下のモデルが比較的地震時の車両運動解析に適している⁽¹⁾。

車両に装荷した空気ばねが大変位する挙動に関し、空気ばね左右力 F_y および上下力 F_z について、以下の式でモデル化を行っている。

$$\text{左右力: } F_y = k_{Ty} \cdot y + c_{Ty} \cdot \dot{y} + k_{Try} \cdot \phi + c_{Try} \cdot \dot{\phi}$$

$$\text{上下力: } F_z = k_{Tz} \cdot z + c_{Tz} \cdot \dot{z}$$

ここで、

y, \dot{y} : 空気ばね左右変位, 速度

z, \dot{z} : 空気ばね上下変位, 速度

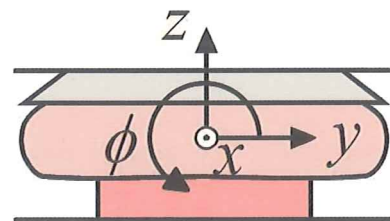
$\phi, \dot{\phi}$: 空気ばねロール角変位, 速度

k_{Ty}, c_{Ty} : 空気ばね左右ばね定数, 減衰係数

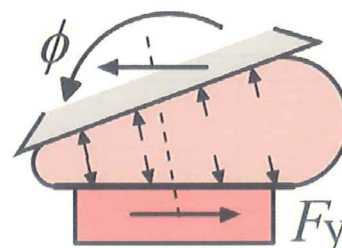
k_{Tz}, c_{Tz} : 空気ばね上下ばね定数, 減衰係数

k_{Try}, c_{Try} : 空気ばね左右・ロール連成ばね定数, 減衰係数

である。空気ばねの座標系を付図 1-2 に、ロール変位による左右力発生の概念図を付図 1-3 に示す。



付図 1-2 空気ばねの座標系



付図 1-3 ロール変位による左右力発生の概念図

2.3 諸元同定結果

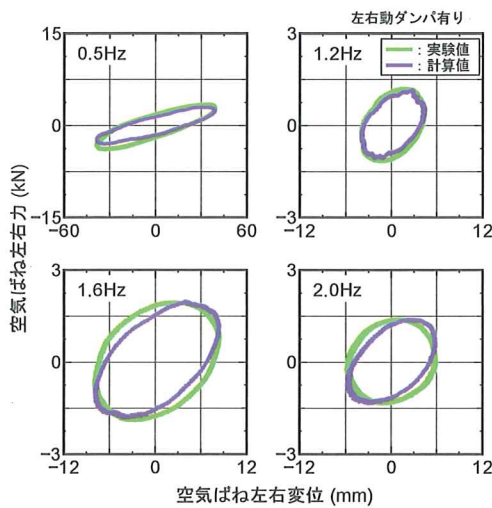
推定地震動が1.4Hz~2.0Hzの比較的高い周波数帯の成分を多く含んでいることがわかったため、その周波数帯の振動に重点を置いたパラメータ同定を行った。その結果

$$k_{ry}=120\text{kN/m}, c_{ry}=13\text{kNs/m}$$

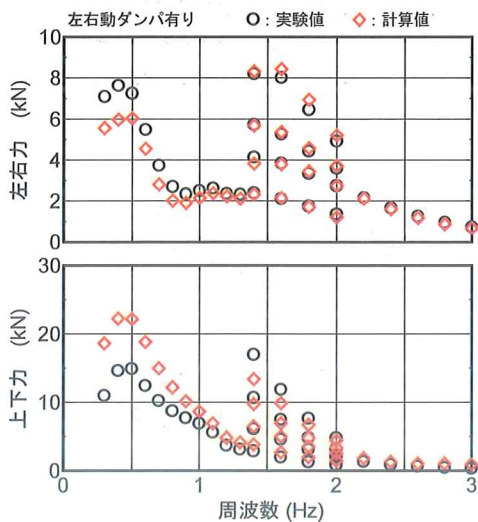
$$k_{rly}=100\text{kN/rad}, c_{rly}=-4\text{kNs/rad}$$

$$k_{rz}=380\text{kN/m}, c_{rz}=20\text{kNs/m}$$

となった。実験値と同定結果を用いた計算値との比較を左右変位と左右力のリサージュ線図について付図1-4に、左右力および上下力の周波数特性について付図1-5に示す。付図1-4、付図1-5より左右力モデルは実験結果を良く表現しているといえる。一方、上下力モデルについては周波数1.4Hz~2.0Hzの範囲に重点を置いたため、低周波数領域で実験値と計算値との乖離がみられる。



付図1-4 左右力-変位のリサージュ線図



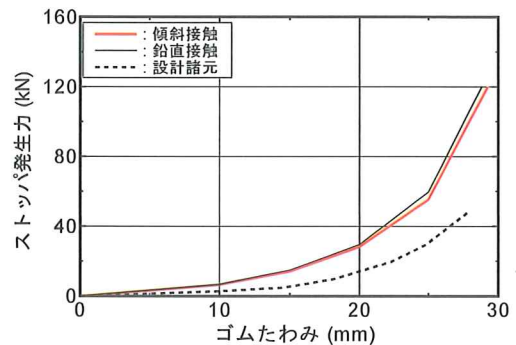
付図1-5 左右力および上下力の周波数特性

3. 左右動ダンパ性能

左右動ダンパについて、E2系226形車両は1台車あたりセミアクティブダンパ2本を装備している。地震時には初期段階で異常振動検知によりパッシブ状態となる。そこで、ダンパの性能試験はパッシブ状態で行った。ピストン速度30cm/s以上の領域で圧縮行程と伸長行程で発生力に差が生じているが、左右動ダンパモデルでは、圧縮・伸長の平均値を用いた。また、高ピストン速度時に減衰力に欠けが生じていたが、これについては等価的な減衰力の低下で表現することとした。

4. 左右動ストッパ性能

左右動ストッパについては単体の圧縮試験を行った。左右動ストッパ接触時には車体はロール変位を伴っている可能性が高いため、鉛直に圧縮する試験に加え、5度傾斜させて圧縮する試験も行った。試験結果および設計時の計画線図も合わせて付図1-6に示す。付図1-6より、鉛直に圧縮するよりも傾斜させて圧縮する方が発生力がやや小さいことがわかる。しかし、設計時の計画線図よりも大きい値であった。シミュレーションでは傾斜させた試験結果「傾斜接触」の特性を用いることとした。



付図1-6 ストッパゴム特性試験結果

参考文献

- (1) 飯田浩平, 鈴木貢, 宮本岳史, 遠竹隆行, 植木健司: 車両2次サスペンションの大変位時における特性, 鉄道総研報告, 第25巻, 第6号, pp. 23-28, 2011.