

S1-4-7 緩和曲線輪重減少抑制性能を有する空気ばね制御装置の実用化に関する研究

(試作大流量 LV を用いた走行模擬試験)

[機] ○王 文軍 (東京大学大学院) [機] 須田 義大 (東京大学)
[機] 小峰 久直 (東京大学) 佐藤 與志 (住友金属)
[機] 中居 拓自 (住友金属) [機] 下川 嘉之 (住友金属)

Practical Use of Air Suspension Control Device To Prevent Wheel Load Reduction at Transition Curve (Bench Test with Trial Manufactured Large Air Flow LV)

Wenjun Wang, (Graduate School of the University of Tokyo), Yoshihiro Suda, (The University of Tokyo)
Hisanao Komine, (The University of Tokyo), Yoshi Sato, (Sumitomo Metal Industries)
Takuji Nakai, (Sumitomo Metal Industries), Yoshiyuki Shimokawa, (Sumitomo Metal Industries)

Four-point supporting mechanism of two-axle bogie causes wheel load unbalance at transition curve. Wheel load of first axle outside reduces seriously at exit transition curve in case of low speed running. Automatic leveling adjusting function of air suspension system encourages the wheel load reduction at low speed transition curve negotiation. In this study, new concept air suspension control device was proposed to manipulate leveling valve (LV) by actuator. And 2-step airflow characteristic LV was proposed to enhance the control performance and to assure failsafe. Experiment was done to test its control performance for practical use, with full-scaled test bench in which active rotary 2-step LV was trial manufactured. Variation of wheel load and pressure of air spring were measured throughout curve passing imitation. Wheel load reduction of first axle outside was relieved remarkably.

キーワード：空気ばね、制御、輪重抜け、緩和曲線、自動高さ調整弁

Keyword: Air Suspension, Control, Wheel Load Reduction, Transition Curve, Leveling Valve

1. はじめに

都市鉄道では、地形的な制約から急曲線が数多く存在しているため、急曲線通過安全性は重要な課題になっている。一方、快適性が追求されている旅客車は、空気ばねが普及されている。鉄道車両の空気ばね系は、自動高さ調整機能が備えているため、ばね常数を小さくすることができ、定常走行中には優れた安定性と乗り心地が実現しているものの、個別の空気ばねに対する機械的なフィードバック制御は、緩和曲線上での輪重アンバランスを助長し、横圧の大きい急曲線通過する時に輪重抜けを引き起こし、脱線係数を増大させ、急曲線通過安全性のマージンを減少させる原因となる。⁽¹⁾

本研究は曲線通過安全性を向上するため、低速で緩和曲線通過時の輪重抜けを抑制する観点から、空気ばね系の新方式制御を行った。提案した制御手法は、現状の機械式制御手法（自動高さ調整装置：LV 機構）を前提とする方式であり、実用性と共にフェイルセーフ性を備え

ている。

実用化するために、大空気流量特性 LV を試作し、提案した LV の 2 段空気流量特性を実現し、実物大の一車両モデル試験機を用い、走行模擬試験を行い、輪重抜け抑制制御効果を確認した。

2. 空気ばね系の自動高さ調整機能

車体・台車間の空気ばねのモデルを図 1 に示す。空気ばねのたわみ量を一定範囲内にするために LV（高さ調整弁）がつけられている。

LV は空気ばねのたわみが設定値を超えると給気弁または排気弁が開き、給気または排気してたわみが設定値以内に返されるように機能する。給気ときは車体に備えられている空気元溜めから LV へ、排気ときは LV から大気へと空気が送り込まれる。このような給排気機能を備えていることにより、空気ばねは柔らかいばね定数を持ちながら、車体高さを一定に保つことが可能になっており、同時に乗り心地を向上させている。

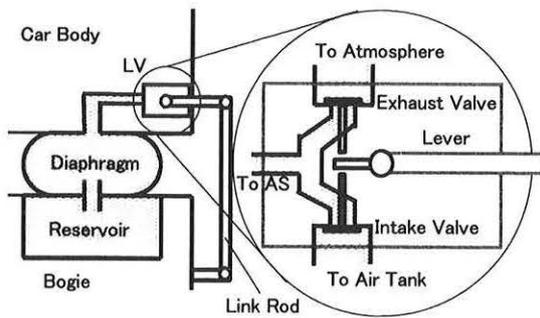


Fig. 1 LV Function

3. 緩和曲線での輪重抜け

緩和曲線軌道のねじれを台車のたわみの差で吸収するために輪重変動を生じる。四点支持方式の空気ばね車両には、空気ばねが緩和曲線軌道のねじれにより強制変位を受けるにもかかわらず、各々のLVが独立に高さを一定に保とうとして給排気制御を継続するため、大きな内圧変動を生じやすい。

特に図2のように低速走行中の出口緩和曲線では、輪重抜けの発生する第1台車外軌側で、空気ばねが伸ばされ、それゆえに排気を行なってさらに空気ばねが伸びるという悪循環が生じ、内圧が大きく減少して輪重抜けを助長してしまう。

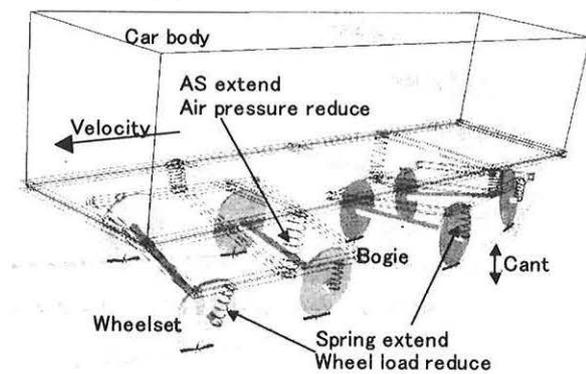


Fig. 2 Wheel Load Reduction

4. 研究の経緯

4.1 履歴効果の解明

シミュレーションの解析と一車両モデル試験機でのベンチ試験により、曲線通過中の空気ばね系の挙動は走行履歴に関わり、速度が低いほど入口緩和曲線長の違いによる影響が大きくなり、入口緩和曲線長が長いほど出口緩和曲線での輪重が減少することがわかった。(2)

4.2 連結棒を伸縮させる方式の制御装置の提案

空気ばね系を制御する機構として、従来試みられた電磁弁を用いて空気ばねの給排気を制御する方式(3)ではなく、車体・台車間の上下相対変位を伝達する役目を持つ連結棒の長さを、直動アクチュエータを用いて伸縮させるという新方式の装置を図3のように考案した。(4)

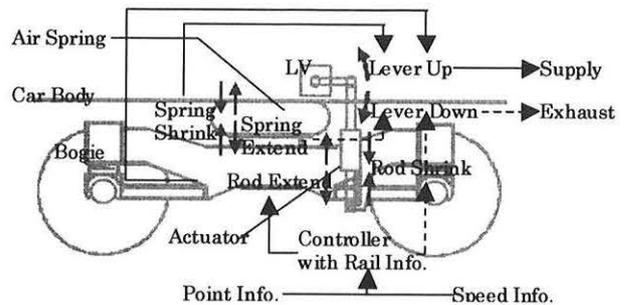


Fig. 3 Control Device

運行線路の軌道情報(曲線長、カントなど)を入力したコントローラが路面マーカ、エンコーダなどから車両の地点情報と走行速度を得て、あらかじめ軌道条件や走行速度に応じて制御方法が一意に対応づけられているフィードフォワード制御を行い、アクチュエータの動作を決定することを想定しており、試験とシミュレーション両方で、制御効果を確認した。

4.3 LV本体を回転させる方式の制御装置の提案

図4に示したように、LV本体は回転軸を介し、車体に装着され、アクチュエータで回転させ、連結棒にリンクしているレバーとLV本体の相対回転変位を利用し、LV内部の給排気弁を操作できる同時に、空気ばねの振動隔離性能が優れたため、アクチュエータは激しいばね下振動を受けず、使用寿命の延長と制御機能の確保について、利点がある。

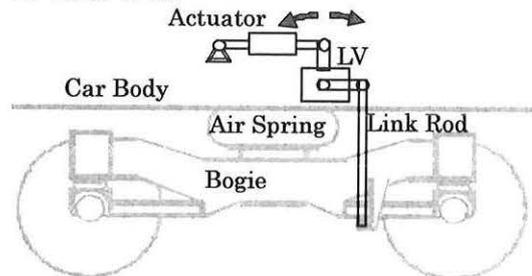


Fig. 4 Active Rotary LV

4.4 二段空気流量特性を有するLVの提案

個別の機械的なフィードバック制御に適用している現状LVの空気流量特性は必ずしもアクティブ制御に最適ではないと考え、図5に示したように、軌道ねじれが発生するLVレバー回転角度範囲内に、現状の空気流量

特性を維持させ、通常走行時 LV レバーが至らない回転角度範囲内に大空気流量特性を設けることにより、2 段空気流量特性 LV を提案した。(5)

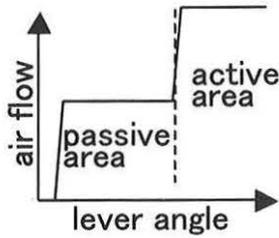


Fig. 5 2-Step LV

アクチュエータで大流量エリアを利用し、制御効果を向上させ、フェイルした時にアクチュエータが生じるレバー角は戻しばねにより、ゼロに戻させ、パッシブエリアの従来 LV 流量特性しか利かなくなり、現状維持でき、フェイルセーフ性が確保された。

5. 大流量 LV の試作

二段 LV 特性を提案した段階には、複数の現状の LV を並列させ、大空気流量特性を実現したが、実用化にもう一步近づき、一つの LV で大流量特性を実現することを考案した。

LV 内部のポート径を拡大し、大空気流量を目指した。大空気流量 LV の不感帯を、通常走行中の軌道ねじれが起こせるレバー角に至れないように改造した。従来 LV と試作した大流量 LV の組み合わせで、提案した二段 LV 特性を実現することが可能である。

試作した大流量 LV を用い、特性測定試験を行い、不感帯および空気流量は図 4 に示す。

Table 1 LV Property

	Dead Zone	Relative Air-Flow
Current LV	±5.6 mm	1
Large Air-Flow LV	±30 mm	2.3

6. 実験装置

図 6 に示したように、現状の LV と試作した大流量 LV を並列して、提案した二段空気流量特性を実現した。

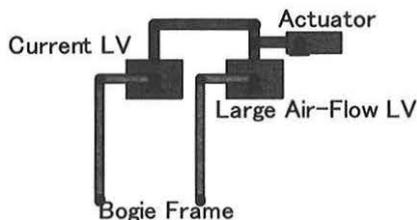


Fig. 6 Concept of Experimental Device

リンク機構で二個の LV を連動させ、アクチュエータで LV 本体を回す実験装置をつかった。(図 7)

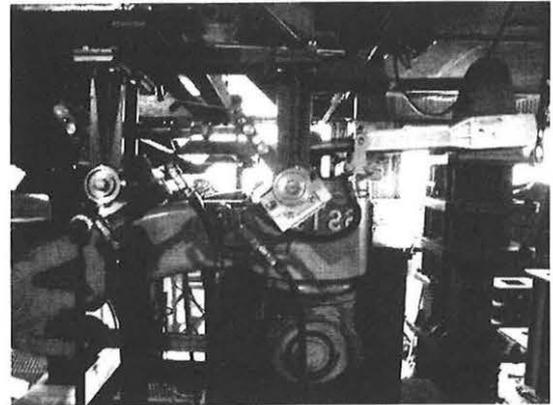


Fig. 7 Photo of Experimental Device

図 8 に示した一車両モデル試験機に、上記の試験装置を取り付け、走行模擬試験を行った。

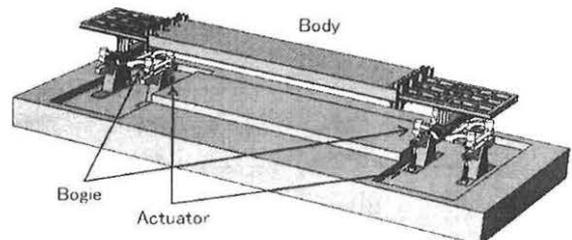


Fig. 8 Full Scale One-Car-Model Test Bench

7. 試験結果

軌道データと走行速度をパラメータとし、パッシブ、従来の LV による制御および試作した大流量 LV を追加し、二段特性 LV による制御の対比試験を行った。

入口緩和曲線長を 90m とし、出口緩和曲線を 18m、30m、54m に変動させ、注目した輪重抜け地点（出口緩和曲線中点付近）での第一軸外軌側の輪重変動率を図 9 に示す。

◇印はパッシブ、△印は、従来 LV による制御、○印は二段特性 LV による制御の結果である。同じ出口緩和曲線長と制御条件の三つの試験結果は、走行速度を 5km/h、10km/h、15km/h のように変動した結果である。

提案した空気ばね系の制御により、出口緩和曲線での第一軸外軌側の輪重抜けをよく抑制できることを確認した。また、従来 LV による制御より、試作した大流量 LV で構成した二段特性 LV による制御は、効果がさらに向上したことが確認した。

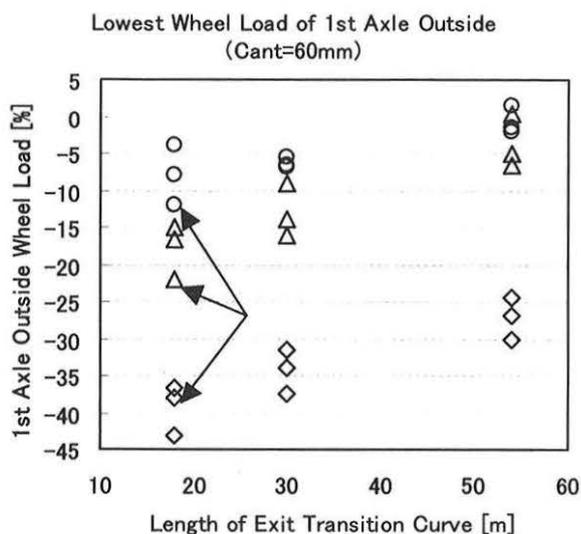


Fig. 9 Experimental Results

走行速度 10km/h、入口緩和曲線長 90m、出口緩和曲線長 18m の実験ケース（図 9 の中の矢印で示したマーク）の時系列結果は、図 10 に示す。

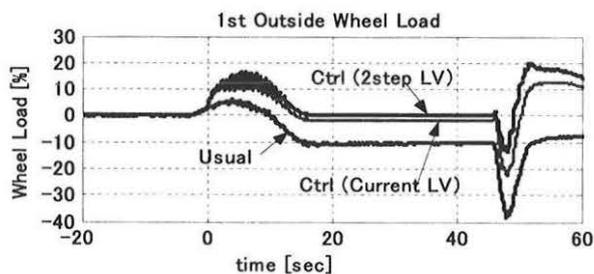


Fig. 10 Time Domain Result

8. 結論

本研究は輪重抜けを抑制することで曲線通過安全性を向上することを目指し、一車両モデル試験機を用い、ベンチ試験を行い、空気ばね系の輪重抜け抑制制御効果を確認した。また、提案している二段空気流量特性 LV を試作し、その制御性能向上効果を確認し、さらに実用化に向かいもう一歩進めた。

謝辞

本研究は、メトロ文化財団の公益基金の交付を受けて行われました。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- (1) 須田・熊木；非線形な空気ばね系を考慮した車両の曲線通過特性の研究、機論 C, 64-617 (1998), pp.104-109
- (2) 須田・黒崎・小峰他；鉄道車両用空気ばね系の非線形過度特性に関する研究(緩和曲線における走行履歴の影響)、機論 C, 70-695, (2004.7), pp154-159
- (3) 小林ほか；鉄道車両用空気ばね制御システムの開発、機論 C 編、57-541, (1991-9), pp.76-81.
- (4) 須田・王他；鉄道車両用空気ばね系の輪重抜け抑制制御に関する研究、機論 C, 71-702, (2005.2), pp94-99
- (5) 須田・王他；鉄道車両空気ばね系の緩和曲線輪重減少抑制制御性能向上に関する研究、日本機械学会第 13 回交通・物流部門大会講演論文集、(2004.12),pp195-198