車体傾斜方式の違いによる緩和曲線通過時の乗り心地比較

Comparison of Riding Comfort in Transition Curve between Different Tilting Mechanisms

○ 学 面川 雅博 (新潟大・院) 正 谷藤 克也 (新潟大) 正 相馬 仁 (新潟大)

正 上倉 彰義 (JR 東日本) 正 加藤 博之 (JR 東日本)

Masahiro OMOKAWA, Niigata University, 8050, Ikarashi 2-no-cho, Niigata 950-2181

Katsuya TANIFUJI, Niigata University

Hitoshi SOMA, Niigata University

Akiyoshi UEKURA, East Japan Railway Company, Nisshin-cho2-479, Kita-ku, Saitama-City 331-8513

Hiroyuki KATO, East Japan Railway Company

Key Words: Car-body Tilting Vehicle, Tilting Beam, Air Spring, Multi-Body Software, Riding Comfort

1. はじめに

近年、鉄道は自動車や航空機との競争が激しくなり、鉄道車両の高速化が求められている。特に日本の在来線は地理的条件から曲線が多く存在するため、到達時間の短縮のためには曲線区間での高速化が課題となる。その方策として車体傾斜車両が導入されており、車体傾斜角が5度の振り子梁式と2度の空気ばね式が存在する。この中で空気ばね式は機構が簡単であるため近年採用が進められている。しかし、空気ばね式は傾斜角が小さく左右定常加速度を大きく減ずることができないため、乗り心地を損なわずにどれだけ高速化が可能であるかが検討の対象となる。そこで本研究ではマルチボディソフトSIMPACK⁽¹⁾を用いて車体傾斜車両の曲線通過シミュレーションを行い、緩和曲線中の乗り心地総合評価指標 TC_T ⁽²⁾を用いて空気ばね式と振り子梁式の乗り心地を評価、比較する。また、空気ばね式については TC_T 値を改善するための方策を検討する。

2. 車両モデル

2.1 SIMPACK による解析 SIMPACK は構築されたモデルの運動方程式を自動的に生成してシミュレーションが実行され、任意のパラメータを出力することができる。また、SIMPACK では図1に示すように、シミュレーションの車両挙動をアニメーションで表示させることも可能である。モデルは物体要素(車体、台車など)と作用力要素(軸ばね、空気ばねなど)の各要素を繋ぎ合わせ、パラメータ値を入力することで作成する。なお、本研究では車体傾斜車両の制御を行うために、MATLAB-Simulink との相互シミュレーション機能を用いて制御力を計算する。

Fig.1 SIMPACK Animation

2.2 車体傾斜車両の車両モデル 振り子梁式は、振り子梁をロール方向のみの1自由度で拘束することで曲線での振り子動作を可能にしており、1車両で合計36自由度を有して

いる。振り子梁式の制御については、目標傾斜角と実際の傾斜角との差にゲインをかけたものを振り子アクチュエータの制御力としてフィードバックさせる。ここで制御力は応答遅れを再現するために時定数1秒の一次遅れを発生させている。

空気ばね式は1車両で合計34自由度を有している。空気ばね式の制御については、外軌側の内圧を緩和曲線中で徐々に変化させて車体を持ち上げ、定常円曲線中において車体が2度傾斜するような内圧変化パターンを与えて車体を傾斜させる。空気ばね式も空気ばねの応答遅れを再現するために、内圧パターンに対して時定数1秒の一次遅れを発生させたものを実際の内圧変化とする。

3. 乗り心地の比較

3.1 乗り心地総合評価指標 TC_T TC_T は一つの緩和曲線に対して適用され、緩和曲線走行時における車体振動の四つの状態量に対してそれぞれ重み付けをして合成した値で表される。乗客の姿勢別に定められており、以下のような式で求められる⁽²⁾。

$$\text{立位: } TC_T = 0.6y_p + 0.3y_j + 0.03\theta_p + 0.12\theta_j + 0.5 \quad \cdots(1)$$

$$\text{座位: } TC_T = 0.4y_p + 0.4y_j + 0.02\theta_p + 0.04\theta_j + 0.8 \quad \cdots(2)$$

ここで y_p は左右振動加速度最大値、 y_j は左右ジャーク最大値、 θ_p はロール角速度最大値、 θ_j はロール角加速度最大値である。この計算結果が3を超えると不快、2以下であれば問題なしという評価となる。

3.2 解析条件 実際の路線を想定した連続曲線の走行シミュレーションを行い、乗り心地を比較する。この曲線は3つの曲線が連続し、それぞれ曲線半径、カント量が400m、105mmである。走行速度は本則+25km/hの100km/hとする。軌道不整は通り狂いのみ考慮する。ここでは評価区間を図2のように分割する。なお、特急車両を想定しているため、座位 TC_T についてのみ比較する。

Fig.2 Track condition and evaluated sections

3.3 解析結果の比較 図3にそれぞれの傾斜方式における左右加速度とロール角速度のシミュレーション結果を、表1にシミュレーション結果より算出した TC_T を示す。図

Fig.3 Comparison of simulation results between the tilting mechanisms

Table 1 Comparison of TC_T values between the tilting mechanisms

Evaluated section		A	B	C	D
TC_T	Tilting beam type	1.48	1.48	1.49	1.61
	Air spring type	1.64	1.64	1.54	1.79

3(a)より、左右加速度 α については振り梁式のほうが空気ばね式よりも定常値が抑えられている。これは最大傾斜角の違いによるものである。また図 3(b)に示されるように、振り梁式は空気ばね式に比べロール角速度 $\dot{\phi}$ の変動が抑えられている。振り梁式は車体が軌道狂いの影響を受けにくい特徴を持っており、変動の抑制はこの効果によるものと考えられる。 TC_T 算出結果を見ると、どの評価区間においても TC_T は2を下回り、問題なしという評価である。ここで両者を比較すると、空気ばね式のほうが大きい値となっている。空気ばね式は最大車体傾斜角が小さいため y_p を大きく減ずることができず、それが TC_T の算出結果に影響したものといえる。

4. 空気ばね式における TC_T 値の改善

空気ばね式における TC_T を改善することを目的として、内圧変化パターンを変化させたシミュレーションを行う。解析条件は前節と同様とし、パターン変更の効果を検討する区間は比較的軌道不整の影響が小さい評価区間Aとする。

空気ばね式は y_p を大きく減ずることはできないため、 TC_T を改善するには θ_p 、 θ_j を抑える必要がある。図4に示すパターン①は、緩和曲線形状に合わせた内圧変化パターンであり、空気ばねの応答遅れが考慮されている(前節で用いたパターン)。 θ_p 、 θ_j を小さくするために、このパターン①よりも前後1秒ずつ傾斜時間を伸ばしたパターン②でシミュレーションを行い、 TC_T を算出した。表2より両者を比較すると、 θ_p 、 θ_j を小さくすることができているものの、 TC_T はパターン①を上回っている。これは傾斜動作がパターン①よりも遅くなったために y_p が増大していること、またパターン①よりも早い段階で傾斜の動作が始まるため図5に示されるように曲線進入前の左右加速度が増大し、 y_j が大きくなっていることが要因である。式(2)からも分かるように、 y_p 、 y_j の重み付け係数は θ_p 、 θ_j と比較して大きいので、 y_p 、 y_j の増大は TC_T の増加に大きく影響している。

y_j を小さくするために、パターン①の後方のみを1秒伸ばしたパターン③を検討する。結果を見ると、 y_j は小さく

Fig.4 Actual change of internal pressure

Fig.5 Comparison of simulation results between the different patterns

Table 2 Parameter values and TC_T values

Pattern	①	②	③
y_p [m/s²]	0.87	0.89	0.89
y_j [m/s³]	0.62	0.79	0.7
θ_p [°/s]	4.65	3.63	4.26
θ_j [°/s²]	3.81	3.09	3.85
TC_T	1.64	1.67	1.67

なったものの、傾斜に要する時間が短くなったため θ_p 、 θ_j が増大し、 TC_T 値は改善されていない。以上、ここで検討したパターンの範囲では、空気ばね式車体傾斜車両に対して TC_T を振り梁式のそれに近づけるには至らなかった。

5. まとめ

本研究では振り梁式と空気ばね式の車体傾斜車両の曲線通過シミュレーションを行い、乗り心地総合評価指標 TC_T を用いて乗り心地を比較した。また、空気ばね式の TC_T 改善を目的として、空気ばねの内圧変化パターンの変更による効果を検討し、以下の結果を得た。

- (1) 振り梁式と空気ばね式の乗り心地を TC_T を用いて比較した結果、傾斜角度の違いによる左右加速度の大きさの差が影響し、空気ばね式の値が振り梁式よりも大きい値となった。
- (2) 空気ばね式について、今回検討した内圧変化パターンの範囲では TC_T を振り梁式のそれに近づけるには至らなかった。

参考文献

- (1) G.SCHUPP, ほか3名, The Manchester benchmarks for rail vehicle simulation, Vehicle System Dynamics, Supplement to 31,(1999), pp.101-118
- (2) 鈴木浩明, ほか4名, 車体傾斜車両の緩和曲線走行時の乗り心地評価法, 鉄道総研報告(1999)