車輪／レール間の摩擦制御と曲線 旋回性能

Curving Performance with Friction Control between Wheel and Rail

執筆者プロフィール

留岡 正男

Masao TOMEOKA

■1984年明治大学工学部機械工学科卒業

■主として行っている業務・研究

・鉄道車両の設計・開発

■所属学会および主な活動

日本機械学会

■勤務先

東京地下鉄（株） 鉄道本部 車両部設計課
課長

（〒110-8614 東京都台東区東上野 3-19-6）

1. はじめに

鉄道車両の走行性能は、車輪／レール間の摩擦特性に大きく依存し、加減速の際には高い摩擦係数が求められ、急曲線通過の際は、横圧やキシリ音の低減、波状摩耗の抑制から低い摩擦係数が要求される。そのため古くから、砂まき、塗油の手法がとられてきたが、これらは万能な対処方法とは言えないものであった。そこで、車輪／レールの潤滑に最適と思われる摩擦調整材の特性に着目し、急曲線上に摩擦調整材を車上から噴射することで、車輪／レール間の摩擦特性を積極的に制御し、車両の曲線通過性能の改善を図る手法を考案した。試験装置による基礎実験や現車試験、数値解析などを通じて得られた知見を基に摩擦調整材噴射装置を開発し、現在では、東京地下鉄（株）の一部路線の車両に搭載することで、空転や車輪滑走等を誘発するこ

となく、曲線通過に伴って生ずる車輪／レール接触の諸問題を解決しており、営業線の運営に多大な貢献をしている（図1）。

2. 摩擦調整材と摩擦制御のメカニズム

車両の高速走行安定性を定める蛇行動特性は、主として車輪／レール間の滑りが微小な領域の特性が支配的であるが、いっぽう、曲線旋回性能においては、微小滑り領域から巨視的滑り領域（車輪・レール間が完全に滑っている状況）まで全体が影響するため、車輪／レールのクリープ（転がり滑り摩擦）曲線がどのような特性を有しているかが重要となる。

この技術において使用する摩擦調整材（KELTRACK™ HPF）は、車両の曲線通過時に相当する小さい滑りに対しては、車輪／レール間の摩擦係数を適度に低く保ちながら、滑り率が増加するに伴って摩擦力も増加するポジティブな摩擦特性を有している（図2）。このような特性により本摩擦調整材は、横圧低減やレール波状摩耗・キシリ音抑制に有効でありながら、車輪滑走・空転を誘発しにくい摩擦特性を有していることから、油のように適用場所の制約を受けず、車両が加減速を行う場所においても適用可能で、車輪／レール接触に伴う諸問題を解決できる有用な潤滑材である。

摩擦調整材による2軸台車の急曲線通過性能向上のメカニズムを図3に示す。本来鉄道車両の輪軸は、左右の車輪径差に起因する前後クリープ力を利用して旋回するメカニカルな自己操舵機能を持っている。しかし、車輪径差で内外軌の行路差が吸収できない急曲線では、前軸外軌側の車輪がフランジ接触を伴いながら曲線を通過し、横圧の増大を招く。このフランジ力を

増大させる主たる要因は、後軸に発生する縦クリープ力（①）と前軸内軌側に発生する横クリープ力（②）があげられ、前軸外軌側のフランジ力とそれぞれのクリープ力の相関は次のように考えられている。

①一般的に急曲線では後軸が外軌側に寄らず中立位置付近を通過する。これにより内外軌の車輪径差が得られず、大きな後軸の縦クリープ力が発生する。この力は前軸外軌側のアタックアングルを増加させる方向のヨーイングモーメントを発生させる。結果、前軸のフランジ力が発生する。

②他方、前軸内軌側には、曲線半径などに応じた滑りが生じており、この滑りの枕木方向成分によって前軸内軌側には外軌側方向に横クリープ力が作用する。その結果、内軌横クリープ力の反力として前軸外軌側にはフランジ力が作用する。このようにして前軸外軌側に作用しているフランジ力が、現象として前軸外軌側の横圧を増大する形で現れる。

曲線通過時にはこのようなメカニズムで前軸外軌側横圧が増大していることから、内軌側レール頭頂面に摩擦調整材を塗布することで、後軸の縦クリープ力と前軸内軌側の横クリープ力を抑制し、その相乗効果により前軸外軌側の横圧を低減することが可能となる。その結果、脱線係数は低減され安全性が向上され、さらに内軌側レールに見られる波状摩耗とキシリ音の抑止が可能となる。

3. 技術の内容

この摩擦調整材を車両側から精度よくレールに噴射することで、車輪／レールの摩擦状態を制御する車上装置を開発した（図4）。この装置では、適用対象曲線の内軌レール頭頂面に、

図1 摩擦調整材噴射装置を搭載した営業線車両

図3 摩擦制御のメカニズム

図2 摩擦調整材の特性

図4 摩擦調整材車上噴射装置概要

図5 摩擦調整材車上噴射システム

図6 横圧・振動・騒音測定値

微量の摩擦調整材を編成最後尾に配置された噴射ノズルから霧状に噴射し、列車通過後のレールに塗布する。このことで、レールに塗布された摩擦調整材の乾燥時間を極力短縮するとともに、車輪／レール間の接触だ円の中に摩擦調整材を点在させることで、粘着を確保することができる。車上による制御という簡便性があり、噴射列車の後続列車が恩恵を受けるという鉄道の特色を利用したシステムとなっている(図5)。

これまで取り組んできた試験結果のうち、図6に車輪／レール間の各境

界条件で実測した急曲線における外軌側レール横圧、レール小返り(左右)振動、軌道近傍の騒音の測定値(平均値)を示す。摩擦調整材噴射が横圧、振動、騒音の抑制に有効であることが確認できる。また、レールの状態観察の結果、波状摩耗の発生もないことが確認されている。

4. おわりに

急曲線通過にかかわる諸問題を解決するために、車輪／レール間の摩擦係数を積極的に制御する技術を鉄道へ新

たに導入するため、摩擦調整材の車上噴射装置を開発・実用化した。本装置により、横圧の低減やキシリ音の抑制等、急曲線における車両の運動性能が大幅に向上した。さらに現在は、車輪／レール間の摩擦状態を台車に装着したセンサにより検知し、摩擦調整材を必要最小量のみ供給するフィードバック制御の導入による改良に取り組み、いっそうの性能向上とともに効率性、経済性向上を目指している。

なお、この研究は東京大学、住友金属工業(株)、住友金属テクノロジー(株)との共同研究である。