

## 論文の内容の要旨

論文題目： 曲線部におけるレール波状摩耗の発生防止と鉄道車両の急曲線通過性能の向上に関する研究

氏 名： 松本 陽

鉄道車両は、曲線通過性能よりも高速での走行安定性を重視して設計されるのが一般的であるため、急曲線通過に伴い種々の問題が発生する。その代表的なものが、曲線部で発生するレール波状摩耗などの異常摩耗であり、他方が、車輪の乗り上がり脱線などの事故の発生である。波状摩耗は多くの鉄道路線の曲線部で発生しており、乗り上がり脱線は、これまでの防止対策により減少しているが、ひとたび発生すると甚大な被害が生じる有害な事象である。現在まで、実際の鉄道では、これらの問題を許容できる範囲に収めて運転を続けるという対処療法的な対策によって、運転を続けてきたと言わざるを得ない面があり、これらの問題を統合的な方法により解決して、理想的な状態での急曲線通過を実現するという観点に欠けていた面があった。

本研究では、レール波状摩耗の発生メカニズムを解明して防止対策を得るとともに、乗り上がり脱線に対する安全度を高めるために脱線係数を低下させるという、“理想的な状態での急曲線通過”を実現する方策について研究した。具体的な方法としては、①実路線において現象の詳細な観測をして問題点を把握し、②実物大の台車を用いて曲線通過状態を模擬できる試験機を開発して台上試験により特性を把握し、さらに③計算機を用いた数値シミュレーションによって効果の検証を行うという手順で研究を進めた。

この結果、急曲線で発生するレール波状摩耗の発生を防止し、乗り上がり脱線の危険性を高める脱線係数の増加を抑えるには、車輪・レール間で、「パーフェクト・ローリング (円周方向にすべりを生じないで車輪が完全転動する状態をいう。)」を実現することが重要であり、それにより急曲線通過に伴って発生する有害な事象の多くを解決できるという、統合的な方法を得ることができた。

以下に、その成果を示す。

### (1) 急曲線通過時の実態把握と好ましくない現象の把握

車輪軸が曲線を通るメカニズムとその理想的な状態について考察し、それに対して現実に生じている好ましくない現象を把握するために、新しい測定方法などを用いて実際の状態を詳細に測定し、急曲線に生じる諸問題を把握して、何を改善すべきかについて検討した。その結果、急曲線通過時の台車に発生している好ましくない現象の代表は、「(1) 前車軸に発生する過大なアタック角とそれにより発生する過大な横クリープ」と「(2) 後車

軸に発生する内外軌車輪間の回転半径差不足による過大な縦クリープ」であることを把握した（図1参照）。また、これらを解消するために、内外軌車輪間に「パーフェクト・ローリング」のできるだけの回転車輪半径差を確保することが最も重要であるという、問題を改善するための基本的方向性を明らかにした。

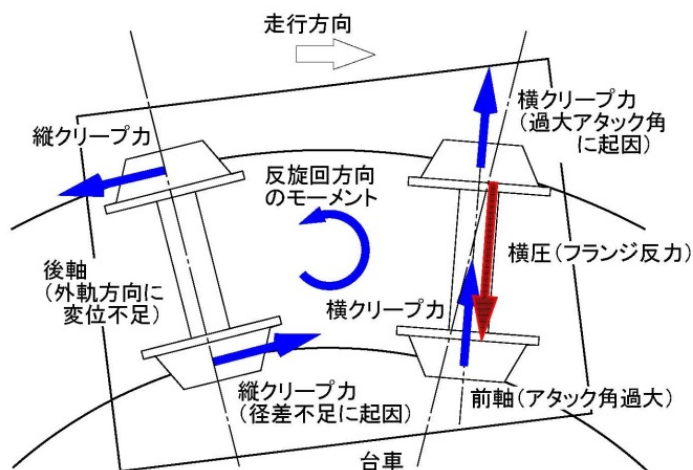


図1 急曲線通過時の台車姿勢と好ましくない現象

## (2) レール波状摩耗の発生メカニズムと発生防止策

最も問題となっている曲線部内軌側レールに発生するものに対象を限り、波状摩耗の発生メカニズムとその防止策について考察した。波状摩耗については、これまで国内外で多くの研究が行われているが、これまで、発生メカニズムについての定説はなかった。これに対し、波状摩耗の発生実態の分析、車輪・レール系の基本特性の把握、台車回転試験機による台上試験、計算機シミュレーションによる検討の結果、この種の波状摩耗は、「車輪・レール間に過大なすべり（クリープ）があるときに、輪重の変動が生じると、車輪・レール間にスティック・スリップ振動（「転がりすべり」の反復）が生じ、それによりレールに周期的な摩耗が生じることにより発生」し、そのメカニズムは、「すべり（クリープ率）対クリープ力」の特性平面上に描かれるループの繰り返しとして説明できることを示した（図2参照）。さらに、この結果に基づき、効果的な防止策を系統的に示し、最も重要な対策は、過大なすべり（クリープ）を発生させないこと、すなわち「パーフェクト・ローリング」の実現であり、具体的方策の多くは、脱線係数を低減して曲線通過性能を向上させることと共通していることを示した。

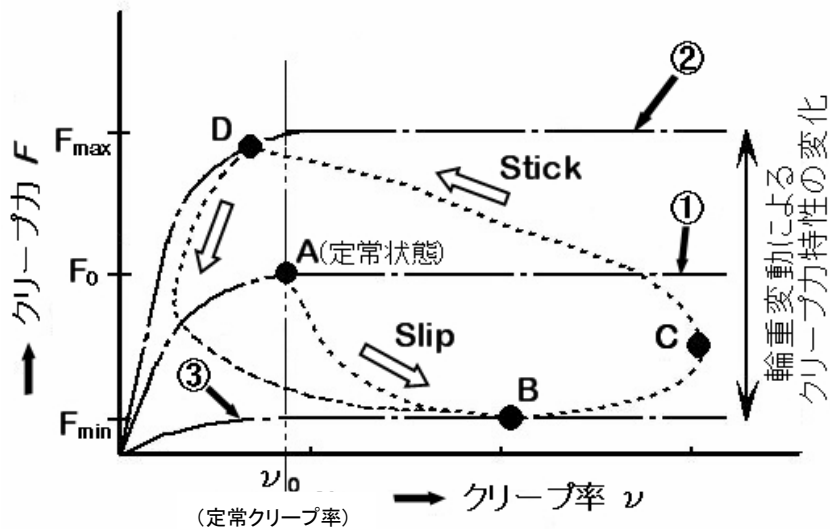


図2 スティック・スリップの発生メカニズム

1. 定常状態A点ではクリープ力特性は①の線上にある。
2. 輪重が減少して最小値をとる時、クリープ力特性は③の線となる。
3. 輪重が増加して最大値をとる時、クリープ力特性は②の線となる。

### (3) 急曲線通過性能の向上策

鉄道車両が曲線を円滑かつ安全に通過するための諸方策について考察した。内容としては、「車輪・レール接触系の幾何学的形状による改善」として、新しい車輪踏面形状（「曲直両用新円弧踏面」）、レール頭頂面の傾斜削正、レール左右間隔（スラック）の拡大などによって、曲線における内外軌車輪間の回転半径差を獲得して「パーフェクト・ローリング」に近づけ、脱線係数等を低減して曲線通過性能を改善する方法を示した。

また、車輪・レール接触系の摩擦係数をコントロールすることによっても、曲線通過性能を改善することができることを示した。この方法は、他の方法に比べて横圧の大幅な低減を図れる可能性がある一方で、その状態を維持するのが難しい点を指摘し、その対応策として状態モニタリングの併用が重要となる点を指摘した。

さらに、台車構造の変更も一部加味した検討結果として、曲直両用新円弧踏面と後輪独立回転車輪台車や前後非対称剛性支持などの台車構造に関する諸技術を組み合わせることにより、通常は背反する直進安定性と曲線通過性能の両立を図ることができることを示した。

### (4) レール波状摩耗の防止策と急曲線通過性能の向上策の共通性

「曲線部におけるレール波状摩耗の発生」と、「曲線部における脱線係数の増大等の不安全事故の発生」など、急曲線に発生する有害な事象の原因は同根であり、これらは共通の方法で防止できる。そのために最も重要なことは、「車輪がレール上を、縦方向及び横方向

にすべることなく転動する（すなわち「アタック角」を持たずに、「パーフェクト・ローリング」して、過大なクリープ力を発生させない）状態を常に実現することである。

その具体的方法としては、車輪とレールの接触面である、車輪踏面とレール頭頂面形状の組み合わせの最適化、スラックの拡大やタイプレート角の非対称化などレール敷設方法の最適化などにより、内外軌間車輪間の回転半径差を拡大することが最も効果的である。また、後輪独立回転車輪などの台車構造の改良や、車輪・レール間の摩擦調整など摩擦コントロールを併用するとより効果的である。

また、これらの方策を有効に機能させ、常に、有害な事象を発生することなく良好な状態での曲線通過状態を実現していくためには、車輪・レール接触系の状態変化を常時監視し、それに基づいて車輪・レール系を管理・制御して、常に理想的な状態に近づけていくことが重要である。