TOPICS

マルチボディダイナミックスを応用した鉄道車両の運動解析とその動向

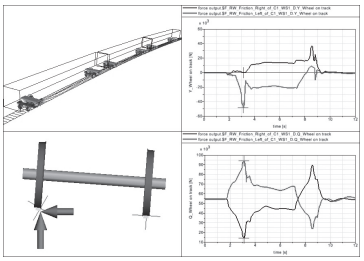

図１　車輪・レール接触解析
（提供：インテックジャパン（株））

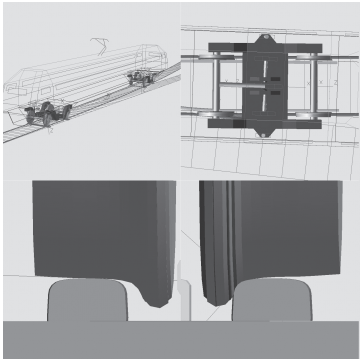

図２　分岐走行解析
（提供：インテックジャパン（株））

1. はじめに

近年，計算機性能の発展とともに著しい進展を遂げたマルチボディダイナミックス（以下，MBD）の考え方を利用して，鉄道車両の運動解析技術が格段に向上している．マルチボディダイナミックスとは，計算機援用による多体系動力学解析を目指す学術分野であり，近年では，汎用ソフトウェアも各種機械システムの設計や性能評価に大きな貢献を果たしている．鉄道車両運動解析では，レール・車輪接触問題，パンタ・架線接触問題，軌道の詳細構造に対応する数学モデルが構築され，計算機援用の高速，かつ高精度な解析方法が駆使される．

新幹線などの高速走行や都市部鉄道に多く見かけられる急曲線通過では，車輪とレールの接触状態が，乗り心地，安定性，安全性に大きくかかわる．環境負荷が低い鉄道システムがさらなる進化を果たすために，車両・軌道系の運動解析技術の向上は大きな貢献を果たすと考えられる．このような大型システムにおいては，営業線では実施不可能な実験に対応する数値解析，車両設計時の動的性能の予測，試作や改良コストの低減などが期待されるからである．

2. 先端研究の動向

前述のとおり，車両の運動を議論するうえで，レールと車輪の接触問題は大きな解析課題となる．複雑な車輪とレールの形状を考慮し（動的解析を行ううえでの運動学的拘束となる），フランジの接触，すべりの発生など，時々刻々変化する接触様態に対応する解析法が提案されている[1]．レールに対する車輪の回転接触において，車輪踏面とレール頭頂面との接触位置を時系列的に解いていくことは，車輪・レール形状の連続的表現と拘束式への反映，支配方程式の積分法の選択など，解の精度確保に細心の注意を要する．

また，わが国独特の鉄道事情の一つとして，近年の大規模地震の頻発が挙げられる．このような想定下での運動解析においては，車輪とレールが必ずしも接触していない状態までを考慮に入れる必要がある．その際には車輪とレールとの断続的接触を精度良く表現する方法が必要となる[2][3]．

さらにわが国特有の鉄道技術課題として，急曲線部を多く有することが挙げられる．曲線部では，車輪とレール間のすべりが避けられず，これによってレールの摩耗が助長される．この種の問題では，そのメカニズムの解明や防止策の構築のために運動解析が有用である．実際の営業線での摩耗の発生や伸展については，測定方法の困難さ，機器の設置や方法の制限，摩耗進展に時間を要するために，観察が長期間にわたるなどの課題があるからである．このような表面形状の変化を取り込んだ数値シミュレーション法も研究が進んでいる[4]．

3. MBD ソフトウェアの発展

前述の鉄道車両・軌道運動解析の特化した諸問題を考慮した汎用 MBD ソフトウェアが開発，市販されている．このようなツールでは，簡易な入力作業により，複雑な現象の視覚化が実現される．すなわち，ユーザーは解析対象である機械システムについて，構成要素とそれぞれの結合条件を入力することで，一般化座標の選定，運動方程式の自動生成がなされ，運動学かつ動力学の双方の観点から必要な情報を得ることができる．本稿で取り上げた鉄道車両の運動解析における代表的取り組みとしては，車輪・レール間の鉛直方向接触力（輪重）と横方向の力（横圧）や，車輪・レールの接触位置，分岐での車両走行など，鉄道車両の乗り心地，安定性，安全性を議論するうえで必要不可欠な情報を入手することができるのである．もちろんこれらのソフトウェアを駆使するためには，モデリングや解析法の正しい理解が必要となるが，その解析精度は実用に十分耐えられるものである．図１，２は，このような MBD ソフトウェア利用によるレール・車輪接触解析の様子を示している．図１では，列車が曲線を通過する際のレール・車輪間に発生する輪重や横圧がカント等を考慮の上計算されており，また図２では分岐通過時の車輪踏面やフランジのレールとの接触状況などが計算されている．

4. おわりに

本稿では，計算力学の一角を担うマルチボディダイナミックスの応用による鉄道車両の運動解析法の先端技術について概要を述べた．複雑な接触問題の解法，車両と軌道の連成運動，車体の柔軟性の考慮など，対応すべき課題は多く残るが，架線から軌道までを取り込んだ解析対象，レールや車輪の摩耗進展，潤滑などによるレール表面の特性変化などを取り込んだ総合的運動解析手法の開発は一段と加速される傾向にある．

（原稿受付　2008 年 10 月 15 日）

〔曄道佳明　上智大学〕

●文　献

（1）杉山博之・ほか，バックゲージ接触も考慮した車輪 / レール２点接触幾何解析手法，日本機械学会論文集，**73**-729, C（2007），1457-1464.

（2）宮本岳史・ほか，Numerical Simulation Study to Improve Bogie for Running Safety of Railway Vehicles during Seismic Vibrations, *The 3rd Asian Conference on Multibody Dynamics*,（2008-8），CD-ROM.

（3）西村和彦・ほか，振動軌道上における高速鉄道車両の走行安全性に関する解析的研究，日本機械学会論文集，**74**-744, C（2008），2023-2030.

（4）Terumichi. Y.，ほか，Wear Development on Flexible Track during Passage of Rolling Disk, *International Conference on Advances in Computational Multibody Dynamics,*（2003-7），CD-ROM.