

車両と軌道の相互作用に関するシミュレーション技術とその活用

三輪 昌弘 (JR東海)

Simulation Technology of Vehicle/Track Interaction and Its Practical Use Masahiro Miwa (Central Japan Railway Company)

It is very important for railway R&D to combine three process; (1) understanding field phenomena, (2) theoretical analysis and simulations and (3) validation with testing equipment. Some examples of our R&D using this approach are shown in this paper.

キーワード: コンピュータシミュレーション, 車両と軌道の相互作用,
(Keywords, Computer Simulation, Vehicle/Track Interaction)

1. はじめに

鉄道の研究開発のプロセスは、「フィールドにおける現象の把握」、「理論解析とシミュレーション」、「試験装置による検証」の3つを組み合わせることが重要である。筆者が所属するJR東海の技術開発部(小牧研究施設)では、これら3つのプロセスを“研究開発の基本的なサイクル”として組み合わせながら(図1)、技術開発に取り組んでいる⁽¹⁾。

本稿では、これらの取り組みの中から、車両と軌道の相互作用の技術課題におけるシミュレーション技術と、その活用事例について概要を紹介する。

2. 事例紹介

〈2・1〉 輪重変動と軌道の応答 車両と軌道の互作用

の研究には、軌道の多くの物理的、構造的パラメータの特性を明らかにすることが重要である。しかしながら、現地での実物列車に対する測定だけでは、これらを精度良く同定することは困難である。

また、車両のどの部位の挙動が、軌道狂いや軌道材料劣化への影響度が大きいかわかることが重要である。

これら技術課題に取り組むために、大型試験装置である「移動式載荷試験車」とコンピュータシミュレーションを組合わせた研究を行った^{(2)~(4)}。

〈2・2〉 レール削正形状の設計

新幹線車両における台車の高速走行安定性をより高めることを目的に、レール削正形状の設計を行った。この取り組みでは、車両運動シミュレーションを用いて、レールの新品断面や目標削正断面等の種々の条件で車両挙動の推定を行い、新品と摩耗の両方の車輪に共通する、理想的なレール削正形状を設計した。

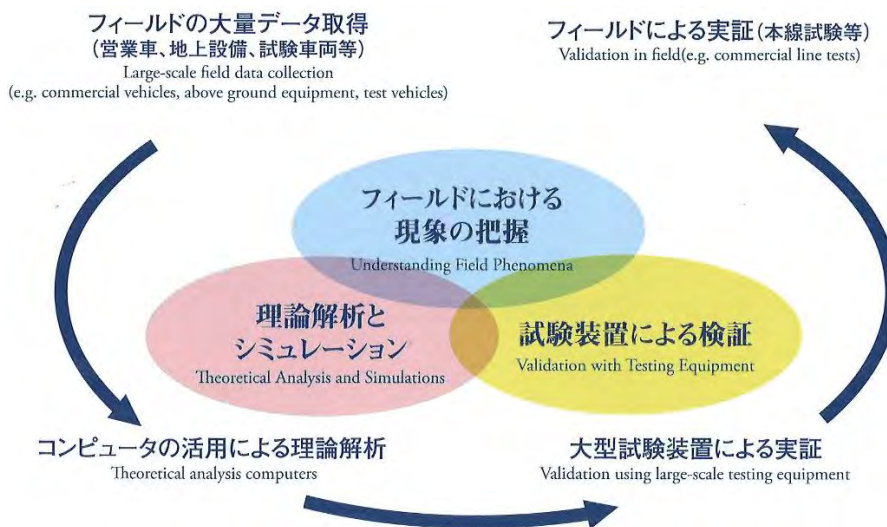


図1 研究開発の基本的なサイクル

また、有限要素法による車輪とレールの接触解析を行い、接触応力に対する確認も行った。そして、実フィールドにおいて設計形状でレールを削正し、走行安定性向上への効果を確認した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

〈2・3〉 車輪の摩耗予測 車輪とレールの接触状態は、走行安全性をはじめとする車両運動特性に大きく関わる。従って、これらの形状を適切に管理することは、極めて重要である。しかし、実フィールドにおいては、車両及び軌道の各条件が互いに複雑に絡み合って作用するため、普遍性のある摩耗係数を得ることが難しいとされている。

そこで、同形式の車両が専用の軌道と同じ運行パターンで走行する東海道新幹線の鉄道システムに着目し、車輪の摩耗係数を同定した。この手段として、大量のフィールドデータの分析、軌条輪模型での試験、車両運動シミュレーションを用いた^{(7)~(9)}。

〈2・4〉 バラストの挙動 バラスト軌道は、一定割合で発生する軌道狂いに対する保守を前提としている。一部の区間では周囲に比べて特に上下方向の軌道狂いの進行が速く、高頻度の保守を必要としている。この要因には、構造物境界などの他に多くのものが挙げられるが、筆者らは路盤剛性に着目したバラスト挙動の解明に取り組んだ。

実フィールドでの測定、移動式載荷試験車での試験、個別要素法 (DEM) での解析を組み合わせ用い、バラストの動的な挙動の特性について分析・考察した^{(10)~(12)}。

〈2・5〉 地震時の車両挙動 2004年10月に上越新幹線で、2022年3月に東北新幹線で、地震によって営業中の列車脱線が発生した。これら以外に、東北新幹線 (2011年3月) と九州新幹線 (2016年4月) で、地震によって回送列車等が脱線した。地震に対する安全性向上を目的に、新幹線を運行する鉄道事業者各社において、各種安全対策を進めている。

この中で当社は、実台車加振試験、縮小模型試験、コンピュータシミュレーションを組み合わせ用い、地震時の車両挙動の解明、各種安全対策の有効性の推定評価を行っている^{たとえば(13)~(17)}。

3. むすび

以上のように、車両と軌道の相互作用に関するシミュレーション技術とその活用について述べた。図1に示した研究開発の基本的なサイクルにおける3つのプロセスの中で、シミュレーションは比較的短時間で多くの条件に対する現象を把握することができ、かつ、安価でこれらを行うことができる。ただし、実フィールドでの試験や試験装置による測定結果との比較により、その精度が十分であることの確認が重要である。

今後も、技術開発を実施する中でコンピュータシミュレーションを有効に活用し、効率的に開発成果を得ていく計画である。

文 献

- (1) 森村勉：最近の技術開発について思うこと, JREA, Vol.51, No.1 pp.8-11 (2008)
- (2) 三輪昌弘・吉村彰芳：試験装置とコンピュータシミュレーションによる軌道と車両のダイナミクスに関する研究, J-Rail 2006, pp.135-138 (2006)
- (3) Y. Kawasaki, M. Miwa and A. Yoshimura : Study on the influence of track conditions on dynamic wheel load variation, Computers in Railways (COMPRAIL) XI, pp.663-672 (2008)
- (4) M. Miwa, Y. Kawasaki and A. Yoshimura : Influence of vehicle unsprung-mass on dynamic wheel load, Computers in Railways (COMPRAIL) XI, pp.715-724 (2008)
- (5) 三輪昌弘・飯田研吾・勝浦克仁・友善守：車輪接触と車両運動を考慮した新幹線のレール削正, J-Rail 2012, pp.653-656 (2012)
- (6) 三輪昌弘・飯田研吾・勝浦克仁・友善守：車輪との接触を考慮したレール削正形状の設計と試施工, 鉄道工学シンポジウム論文集, No.16 pp.165-168 (2012)
- (7) 原聡・曄道佳明・谷藤克也：フィールドデータに基づく高速鉄道の車輪摩耗特性解析, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.878 pp.91-104 (2019)
- (8) 原聡・原聖・曄道佳明・谷藤克也：軌条輪上を走行する輪軸の摩耗特性解析, 日本機械学会論文集, Vol.886 No.889 pp.64-81 (2020)
- (9) 原聡・川崎雅弘・曄道佳明・谷藤克也：マルチボディダイナミクスを援用したフィールドにおける車輪/レール系の摩耗係数導出方法, 日本機械学会論文集, Vol.87, No.902 pp.97-116 (2021)
- (10) 千田耕大・三輪昌弘・川崎祐征：軌道狂い進みに伴うバラスト挙動の経時変化に関する一考察, 土木学会第71回年次学術講演会公演概要集, DVD-ROM (2016)
- (11) 千田耕大・三輪昌弘・川崎祐征・松島亘志：路盤剛性と加振周波数がバラスト軌道の沈下特性に与える影響, 鉄道工学シンポジウム論文集, No.21 pp.121-128 (2017)
- (12) 千田耕大・松島亘志・三輪昌弘・川崎祐征：路盤振動がバラスト層の塑性沈下挙動に及ぼす影響に関する研究, 土木学会論文集 A1, Vol.75, No.1 pp.1-16 (2019)
- (13) 森村勉・関雅樹：新潟県中越地震後の東海道新幹線の地震対策について, J-Rail 2009, pp.545-548 (2019)
- (14) 三輪昌弘・坂上啓・足立昌仁・村松浩成：実台車を用いた脱線防止ガードの効果確認試験, J-Rail 2009, pp.557-560 (2019)
- (15) 足立昌仁・森村勉・石川栄・深田淳司・曄道佳明：地震時の脱線メカニズムと脱線防止ガード機能に関する研究 (1/5 模型加振試験), J-Rail 2009, pp.483-486 (2019)
- (16) 西村和彦・曄道佳明・森村勉・深田淳司：回転軌条輪上での大変位加振時の脱線メカニズム (軌条輪上での1/10 模型加振試験), J-Rail 2009, pp.487-490 (2019)
- (17) 森村勉・西村和彦・曄道佳明・曾我部潔：地震時の脱線メカニズムおよび脱線防止ガード機能に関する解析, J-Rail 2009, pp.561-564 (2019)