

鉄道総研におけるメンテナンスの研究開発の取組みと展望

内田 雅夫
(財)鉄道総合技術研究所(理事)



うちだ まさお

はじめに

我が国の鉄道メンテナンスの体系は人力に依存した随時修繕方式から効率性を追求した定期修繕方式へ、さらに損傷・劣化予測を踏まえた予防保全へと移りつつあり、機械化・システム化やメンテナンスフリー構造・長寿命化等の努力が継続されています。同時に、メンテナンスの高精度化と低コスト化を目指した地道な研究開発が継続され、数多くの技術開発成果が生み出されてきました。しかしながら、今後のメンテナンス技術の変革を目指すためには、今まで以上に新しい発想や新しい技術や材料の活用が求められています。

本号の特集「メンテナンス技術」では、地上設備や車両のメンテナンスに関する最近の研究開発成果を紹介しますが、本稿では、鉄道メンテナンス全般に関する研究開発対象を整理し、鉄道総研における研究開発の取組み状況と今後の展望等について述べます。

鉄道のメンテナンスに関する研究開発対象

ここでは鉄道のメンテナンスに関する研究開発の対象を以下の5つに分類してみました。

(1)劣化・損傷メカニズムの解明

劣化・損傷メカニズムの解明の目的は、寿命の定量化による検査・補修時期の明確化と、劣化・損傷の予防技術の確立にあります。劣化・損傷には様々な形態がありますが、特に、ダイナミクスやトライボロジーに関連した境界領域の現象に関する研究開発の重要性は極めて高いと考えます。

(2)検査・診断技術の自動化・高精度化

検査・診断技術の自動化・高度化の分野では、検査データを的確に高精度で得るための自動計測装置・システムの開発と、劣化・損傷や機能異常の有無を診断するアルゴリズムやシステムの開発が対象となります。

(3)効率的な検査・補修計画策定手法

空間的な広がりを持ち、時間経過とともに保守レベルが

変化していく線路設備の保守作業を、効率的かつ経済的に実施するための計画策定手法や、ライフサイクルコストを最小にするための検査・補修計画の策定手法の開発が研究開発対象となります。これらにはコスト算定手法が重要となります。

(4)効果的な補修・取替技術

有道床軌道において、適正な軌道形状を想定した補修計画量を出力するシステムが、補修技術に関する研究開発対象の一例です。その他、レール削正や車輪転削時の適正な形状に関する検討もその事例です。また、取替を前提としない構造物も50～100年オーダーで寿命を迎えるため、早い時期からの補修による延命技術が必要です。さらに、レールやトロリ線等の長尺部材の取替・交換のための更なる自動化・ロボット化等の技術開発が望まれています。

(5)メンテナンスフリー構造の開発・材料の長寿命化

メンテナンスの対象を無くすことがメンテナンスフリー化への近道であり、列車荷重により沈下・変形するバラストを排除したスラブ軌道や回転ブラシが無い交流誘導電動機等はその代表例です。また、列車荷重や地震等の自然現象による外力に対する抵抗力をアップすることも研究開発の大きな目標です。厳しい摩擦・摺動環境や振動環境にさらされる部材の耐久性を高め寿命を延伸するための材料の開発・改良も重要な課題です。

鉄道総研のメンテナンスに関する研究開発への取組み

鉄道総研は、昭和62年に活動を開始して以来、概ね5年間を目途とした中長期基本計画を策定(表1)し、研究開発活動を中心とした活動の基本方針を定めてきました。その中で、メンテナンスに関する研究開発はその時々で重要な位置づけの下に着実に推進され、数々の成果を挙げてきました。以下では、これまでの経過を3つの期間に区分して振り返るとともに、今後の取組みについて述べます。

(1)初期(昭和62年度～平成6年度)

表1 鉄道総研における中長期基本計画の推移

年度	基本計画等	プロジェクト等	トピック
昭和62年度	研究開発の基本方針	<ul style="list-style-type: none"> ◆浮上式鉄道の開発 ◆新幹線300km/h化・環境対策 ◆知能列車 ◆次世代運転制御システム ◆在来線のシステム・チェンジ 	<ul style="list-style-type: none"> ◆研究開発活動開始(S62.4) ◆第1回鉄道総研講演会(S63.11)
平成2年度	中長期基本計画	<ul style="list-style-type: none"> ◆浮上式鉄道の開発 ◆新幹線の高速化(ATLAS計画) ◆在来線の高速化(NEXT250計画) ◆保守の改善 	<ul style="list-style-type: none"> ◆山梨実験線等計画認可(H2.6) ◆新車両試験装置(1車両)竣工(H2.11) ◆運技審答申SUCCESS21(H6.11) ◆兵庫県南部地震復旧支援(H7.1～)
平成7年度	中長期基本計画 〔改定〕	<ul style="list-style-type: none"> ◆浮上式鉄道の開発 ◆新幹線の高速化・環境対策 ◆保守の改善 ◆都市圏輸送の改善 ◆地震対策 	<ul style="list-style-type: none"> ◆大型低騒音風洞竣工(H7.6) ◆鉄道技術推進センター発足(H7.7) ◆山梨実験線走行試験開始(H9.4) ◆WCRR'99開催(H11.10)
平成12年度	RESEARCH21	<ul style="list-style-type: none"> ◆将来指向課題(14課題) ◆浮上式鉄道の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ◆急曲線乗り上がり脱線試験(H13.8) ◆山梨リニア最高速度581km/h(H16.12) ◆新潟県中越地震復旧支援(H16.10～)
平成17年度	RESEARCH2005	<ul style="list-style-type: none"> ◆将来指向課題(13課題) 	<ul style="list-style-type: none"> ◆燃料電池車両走行試験(H18.4～)

初期
中期
現在

守低減策」では、軌道の最大の弱点であるレール継目と分岐器を対象として、構造解析モデルの構築や寿命評価、変状対策の検討等を実施しました。続く基本計画－RESEARCH2005－（平成17～21年度）においても、将来指向課題として13課題を実施しており、その中でメンテナンスに関する以下の4課題を実施しています。

初期の活動の中心は浮上式鉄道の開発、新幹線高速化等であり、これらと並んでメンテナンスに関する研究開発も主要な柱に位置づけ、横断的なプロジェクトとして「在来幹線のシステムチェンジ」を実施しました。次いで、JR各社のメンテナンス改善への取組みの本格化に伴い、平成5年にはメンテナンス技術推進部を設置し、特に、軌道や電車線等の地上の長大設備を中心に、状態監視保全のための要素技術の開発（慣性測定方式軌道検測手法、マイクロボックス、トロリ線摩耗測定装置、トンネル壁面検査システム等）に取り組みました。さらに、既設線省力化軌道の開発にも力を入れ、ラダーマクラギ軌道を提案しました。また、車両と地上設備の相互作用による破壊・劣化現象の解明や、車両の検査周期延伸の検討にも取り組みました。

(2) 中期(平成7年度～平成11年度)

平成7年度からの中長期基本計画の下では、改めて軌道・電車線・車両に関する保守の改善プロジェクトを推進し、新材料等による保守の省力化・長寿命化（耐シェリング用ベイナイト鋼レール、PHCトロリ線等）や、新しい保管理システム（マルチ投入計画策定支援システム、車軸超音波探傷の自動化等）の開発に取り組みました。保守プロジェクトと並行して実施された地震対策プロジェクトの中でも、既設構造物の耐震補強工法や非常制動距離短縮のための増粘着材噴射装置（セラジェット）等のメンテナンスに関連した研究開発成果があります。その他、アルカリ骨材反応や塩害に対する劣化コンクリートの診断・補修法の開発や架線・パンタグラフ系ダイナミクスに関する研究も精力的に進めました。

(3) 現在(平成12年度～現在)

基本計画－RESEARCH21－（平成12～16年度）では、ミニ・プロジェクト的に推進する「鉄道の将来に向けた研究開発」（将来指向課題）を合計14課題設定しました。そのうち、メンテナンスに関する課題「軌道の強度評価と保

○設備管理業務へのセンシング技術・ITの適用

構造物等の地上設備ならびに車両の維持管理のためのセンシング・モニタリング技術、取得したデータの伝送のための通信ネットワーク技術、さらには膨大なデータの解析技術等、最新のITを活用した技術の総合化を狙います。

○レール損傷・バラスト軌道劣化モデルと保守低減技術評価

軌道の劣化の代表であるレール損傷とバラストの沈下のメカニズム解明をシミュレーション解析や実験を通じて行うとともに、保守量低減策の検討を進めるテーマです。

○省保守・低騒音新形式軌道の開発

保守量低減と転動音・構造物音低減を目指し、従来のレール断面形状を大きく変更した新形状レールと、直結・プレキャストの支承体をコンセプトとした新しい発想に基づく軌道構造の提案を目指します。

○集電系の高性能化と保守の高度化に関する研究

新幹線300km/hを越える速度域における営業運転のもとで、トロリ線局部摩耗や離線等の発生を抑制し、安定した集電性能を維持するための保守管理方法を検討します。

(4) 今後の取り組み

○相互作用・境界問題への取組とメカニズム解明

劣化・損傷のメカニズム解明と寿命の定量化は、検査・修繕時期を的確に知るとともに、それらの予防・抑制技術に繋げることができます。そのため、車輪／レールや架線／パンタグラフ等の境界領域のダイナミクスやトライボロジーに関する研究開発が極めて重要となります。

レールの損傷・摩耗に例をとりますと、メカニズム解明によりレールの寿命予測技術が深度化されるとともに、レール削正技術の進展やレールの使用区分の適正化等が期待できます。特に、車輪／レール間の摩擦を制御することによって、トライボロジー的現象である摩耗、損傷、波状摩耗等の減少をもたらす車輪／レール摩擦緩和システムの実用化への期待は大きいものがあります。「フリモス」

(図1)はカーボンを主体とした摩擦係数を適度に減少させる粉体をセラジェットと同様の車上の噴射制御装置から急曲線部内軌側のレール/車輪間に吹き付け、曲線転向横圧の低減、外軌側の車輪フランジやレールの摩擦、きしり音の低減に繋げることができます。

○ITの活用等による検査・診断技術の自動化

車両や地上設備の診断・評価に必要な検査データを的確に高精度で得るための自動計測装置・システムの開発、営業車両を活用した軌道や電車線の低コストの検測システムの実用化、IT等の新技術を活用した構造物のヘルス・モニタリング・システムの開発に力を注いでいます。

一例として、構造物の常時微動を非接触のレーザ変位計「Uドップラー」(図2)で測定し、周波数特性の変化を把握して、構造物の健全度診断に活用するシステムを提案しています。橋梁だけでなく、斜面や落石などの防災面への活用も期待されています。また、パンタグラフに作用する曲げ応力や慣性力を測定して接触力を推定(図3)することにより、線路長手方向のトロリ線の架設状況を把握し、効率的な診断につなげる技術の確立を目指しています。

○効果的な補修・取替計画を策定するための総合的な設備管理システム

有道床軌道の補修計画を効率的に策定するマルチ補修計画策定支援システムは既に実用レベルに達していますが、対象作業の拡大、コスト試算精度向上等を目指しています。一方、構造物は数10年オーダーの長期にわたって徐々に劣化が進むとともに、取替・補修にコストを要するため、ライフサイクルコストやリスクを考慮した補修計画策定が有効となります。構造物維持管理におけるリスクマネジメントの定性的な考え方は定着しつつありますが、リスクのコスト換算の方法や劣化・延命モデルの精度向上が求められています。

○車両・地上設備の保守量低減・排除

保守量を低減あるいは保守対象を排除するためのメンテナンスフリー構造や長寿命材料の開発は、メンテナンスの研究開発対象の重要な柱です。この中で、厳しい使用環境にさらされる各種部材の耐久性を高め寿命を延伸するため

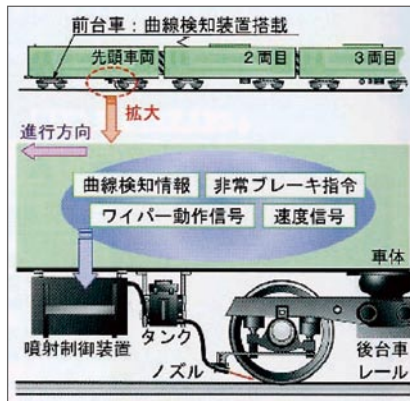


図1 車輪/レール摩擦緩和システム (フリモス)

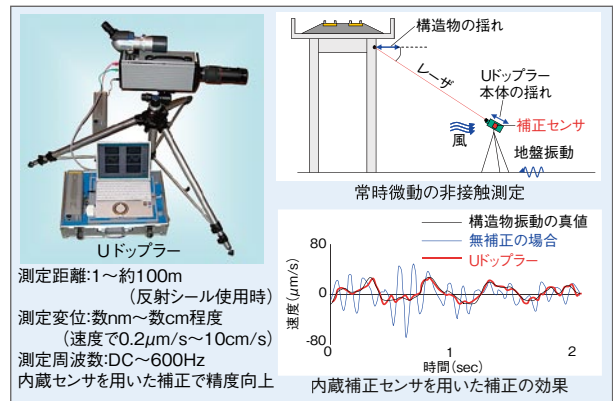


図2 Uドップラーを用いた常時微動測定

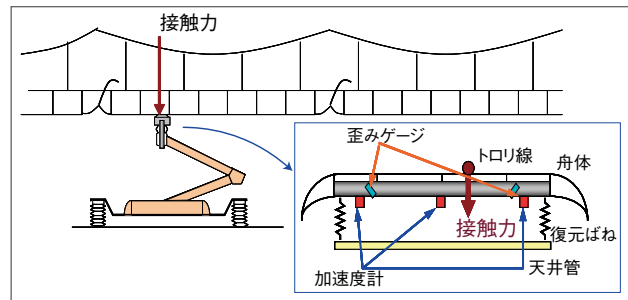


図3 パンタグラフ接触力測定法

の材料の開発・改良では、メンテナンスに直結する高性能・高強度材料を中心に、インテリジェント・マテリアルやナノマテリアルにも基礎研究として取り組んでいます。

以上、「鉄道総研におけるメンテナンスに関する研究開発への取組み」について述べました。紹介したトピック以外のものも含めて、この20年余の鉄道総研の研究開発成果を技術分野毎、研究開発対象の5項目毎に抽出・整理したものを表2に示します。

構造物では、検査・診断技術が圧倒的に多く、軌道では、検査診断技術や構造・材料の耐久性向上が主体で、劣化メカニズム・補修取替と続きます。車両では、劣化メカニズム解明と材料長寿命化に力点が置かれています。電気では、特に電車線関連が、軌道と同様の傾向を示しています。このように、技術分野別に見て技術開発対象が異なることや、全体を通して計画策定手法や補修・取替技術に関する成果が少ないことなどの特徴が窺えます。

鉄道のメンテナンスの今後の展望

高度成長を遂げた20世紀から持続可能な社会を目指す21世紀に入り、鉄道のメンテナンス技術も様変わりや余儀なくされています。設計時の寿命を超える設備の維持や、より効率的で低コストのメンテナンスが要求されています。これらを実現するためには、新たな発想と新技術の活用による以下の事項の実現が必要と考えます。

表2 鉄道総研におけるメンテナンスに関する研究開発成果(例)

技術分野 研究開発対象	車 両	構 造 物	軌 道	電 気
劣化・損傷 メカニズム (予測・防止策)	フラット防止装置 車輪滑走制御装置(旅客車用、貨車用) 増粘着材噴射装置(セラジェット) 台車枠疲労損傷防止指針 車両用IC寿命評価 主電動機改良型グリスボケット	コンクリート診断・抑制・補修法 (アルカリ骨材反応、塩害) トンネル内鉄バクテリア汚泥発生抑制剤	レールシェリング予防削正手法 レール・レール継目寿命予測・延伸法 車輪/レール摩緩和システム(フリモス)	トロッポ線波状摩耗対策 トロッポ線オーバーラップ構成診断手法 新型転てつ減摩器 電子機器雷害対策
検査・診断技術	ディーゼル機関非解体診断法(油分析法) 中実・中ぐり車軸超音波探傷法 軸受け寿命評価・非解体検査法	コンクリート構造物健全度診断システム 鋼橋健全度診断システム 衝撃振動試験法(インパクト) 非接触振動測定システム(Uドブラー) トンネル検査診断エキスパートシステム 覆工変状検知装置(トンネルスカナー) トンネル健全度診断システム 斜面・のり面健全度判定法 河川増水時橋脚基礎安定性評価法	マイクロロボックス 新幹線長波長軌道狂い管理手法 レール頭頂面短波長凹凸管理手法 2台車高速軌道検測車 営業車搭載軌道検測装置(慣性正矢法) レール溶接部超音波探傷法・判定基準	トロッポ線摩耗測定装置 (ナトリウム式、固体レーザ式) 電線類腐食劣化判定装置 パンタグラフ接触力測定法 離線データ処理装置(交流式) レールボンド接合部超音波診断法
検査・補修計画 策定手法		構造物管理支援システム 設備管理図面自動作成システム	設備管理図面自動作成システム	マルチ運用計画策定支援システム
補修・取替技術		コンクリート吹付け修復工法 (ジョツクリート、ポリマー系) 変状トンネル補強・補修マニュアル	スラブ軌道補修マニュアル 現場施工型接着絶縁継目 復元原形による軌道整備方法 軟弱路盤対策(ブリツツ工法)	剛体電車線用切削装置
メンテナンスフリー 構造・材料の 長寿命化	長寿命ゴム製部品(軸ばね、ホース) すり板(焼結合金、カーボン系) 合金鑄鉄制輪子 スーパータービン油 主電動機絶縁軸受け 直接駆動方式主電動機 全閉形永久磁石同期主電動機	高強度コンクリート・鉄筋の適用 鋼構造物防食塗装系	合成まくらぎ 改良有道床弾性まくらぎ ラダーまくらぎ軌道 E型鋪装軌道 土路盤上スラブ軌道 アスファルト路盤直結軌道 ロングレール適用範囲拡大(急曲線、分岐器区間) 耐シェリング用ペイナイト鋼レール レールガス圧接法の改良	高張力架線構造 長寿命トロッポ線(CS、PHC) 無線列車制御システム(カラット) 分離形転てつ機

(1) 予防保全の更なる高度化

劣化・損傷メカニズムの解明と検査・診断データの蓄積・分析により高精度の寿命予測が可能となり、検査周期の適正化・延伸ならびに補修要否の適切な判断が効率的に実施され、画一的な検査周期や補修基準からの脱却が実現できるのではないのでしょうか。そのためには、IT等の新技術によるセンシング・モニタリング技術を駆使した高精度・高効率の検査装置・システムと診断技術の確立が必須であります。また、ライフサイクルコストや劣化損傷に伴うリスクを考慮した設備のメンテナンスも今後の進むべき方向です。これには、コスト試算技術やリスクの定量化等の課題が多く残されています。さらに、メカニズム解明へのシミュレーション技術の採用が新たな検査・診断技術を生む可能性が高いものと考えます。

(2) 境界領域問題の解決によるトータルコスト・ミニマムの実現へ

鉄道のメンテナンス対象には、相互にダイナミクス・トライボロジー的な影響を及ぼし合って劣化・損傷を生じる部材が多く存在します。過去のメンテナンスでは、当該技術分野で管理対象とする部材の耐力アップや寿命延伸を直接的に図る技術開発が主体に進められてきましたが、今後は車輪とレール、トロッポ線とすり板等の例に見られるように劣化・損傷メカニズムに立ち返り、相手部材を含めたトータルコストを低減する方策を追及することが重要です。最終的には技術分野の境界を越え、鉄道事業としての最適解を求めることが肝要です。

(3) 検査・補修の自動化・省力化

少子高齢化や3K作業忌避による労働力不足ならびに技術継承問題は大きな社会現象ですが、21世紀前半で解決できる見通しは乏しいと思われます。これを凌ぐためには、

検査から補修にいたるメンテナンス全般にわたって徹底した自動化・省力化をさらに強力に推進する必要があります。しかし、高速・高密度線区では、新たな技術開発の導入や設備投資が可能ですが、中小民鉄等におけるいわゆる閑散線区においては、進んだ技術の適用や新たな投資は困難な状況にあります。これらは技術問題というよりも経営的要素が強い課題であり、解決策の一法として、検査装置や補修機械を鉄道事業者単位で保有・運用するのではなく、保守組合等による共同使用の形態が考えられますし、それに適した技術開発が必要になると考えます。

おわりに

鉄道メンテナンスに関わる技術者の長年の経験・知識とデータの蓄積・分析の継続が、メンテナンス技術にとって極めて重要であることはこれからも変わらないと思えますが、今まで以上に、安全性・信頼性を維持するための品質の高いメンテナンスを効率よく提供していくためには、新たな発想と新技術を活用したメンテナンス技術の変革が強く必要とされるものと考えます。その際には、車輪とレール、架線とパンタグラフなどに代表される境界領域問題に対して、技術分野の垣根を越え、安全性と経済性を総合した経営判断を期待したいと考えます。また、鉄道事業者間を越えた情報の共有・活用も重要なことがらと考えます。

RRR

文 献

- 1) 内田雅夫：鉄道のメンテナンスに関する研究開発の現状と展望、第20回鉄道総研講演会要旨集、2007.11