

キロ程ベースでの位置情報一元化による 鉄道設備統合管理システム

吉田 尚史* 田中 博文* 西本 正人* 三和 雅史*

Integrated Railway Facility Management System with Uniform Location on a Kilometerage Basis

Takafumi YOSHIDA Hirofumi TANAKA Masahito NISHIMOTO Masashi MIWA

For facility management railway companies manage ledger data and inspection data every field separately, such as track, civil engineering, electricity, and signal. We are working on development of a centralized management system, hoping that if we can integrate these data, we can improve the quality of facility management. In this paper, we show the elemental technologies required for development of the centralized management system and their development status, after organizing the merits of centralized data management. In addition, we show some examples of using the centralized management system for facility management across fields.

キーワード：位置情報，軌道管理，キロ程，一元管理，鉄道設備，維持管理

1. はじめに

鉄道事業者では、鉄道設備の維持管理のため、軌道や土木、電力、信号等の各分野において様々な検査が日々実施され、それぞれの分野で管理している設備台帳データとともに検査データが記録・管理されている。従来は、これらのデータは分野毎、検査毎で別々に管理されることが多く、各分野の設備の劣化原因の推定にはその個別分野のデータを中心に分析して保守に活用されるという使われ方が一般的であった。一方、近年では、軌道の検査のために検測車等で定期的に車上測定されているデータを用いた共振橋梁の検知手法¹⁾や、構造物境界部における盛土内部の状態評価手法²⁾が提案されるなど、他分野で取得されたデータを活用した設備の診断・管理法が提案されつつある。そこで、各分野で取得・管理されているデータを統合できれば、設備の維持管理の品質を向上させることが可能になると考え、著者らは、台帳データや検査データを一元的に管理できる鉄道設備統合管理システム（以下、「一元管理システム」という）の開発に取り組んでいる^{3) 4) 5)}。

ここで、保線業務においては、キロ程ベースの設備台帳データや時系列データの処理に特化し、様々な角度から分析・加工できる機能を備えた、軌道保守管理データベースシステム（LABOCS）⁶⁾がJR各社や一部の民鉄に導入されている。一方、LABOCSで扱えるのは波形や台帳データのみであり、一元管理システムで実現が期待される画像や映像、音声のようなデータを扱うことはできない。そこで、先述のような特徴を有するLABOCSを活用

して、キロ程をベースに他分野のデータや多様な様式のデータの取り込みが可能なシステムに発展させることで、一元管理システムを効率的に開発できるものとする。

本稿ではまず、データの一元管理のメリットを整理した上で、一元管理システムへの実装を想定している機能を示す。また、これらの機能の実現に必要な要素技術とその開発状況を報告する。さらに、一元管理システムを活用した設備の維持管理例を示す。

2. 鉄道設備の維持管理の現状と一元管理の必要性

鉄道設備の維持管理においては、設備の老朽化対策や、労働力人口の減少を見据えた検査・診断・保守の省力化・省人化が重要である。以下では、例として軌道分野における維持管理サイクル効率化の取り組み状況を紹介した後、他分野も含めた鉄道設備全体の維持管理の効率化の必要性を示す。

2.1 軌道の維持管理サイクルの効率化

図1に、軌道の維持管理サイクルのイメージを示す。軌道の維持管理では、軌道状態を把握する「検査」、軌道変位や材料状態の劣化進みを把握する「診断」、診断結果に応じて保守計画を立案する「保守計画策定」、そして保守計画に基づいた「保守実施」というPDCAを繰り返す。このサイクルの内、検査から保守計画策定までを支援することを目的に、鉄道総研ではLABOCSや保守計画策定支援システム⁷⁾の開発・改良を進めている。

これらのシステムは、現状では個別のシステムとして開発しているが、将来的には1つのシステムに統合する

* 軌道技術研究部 軌道管理研究室

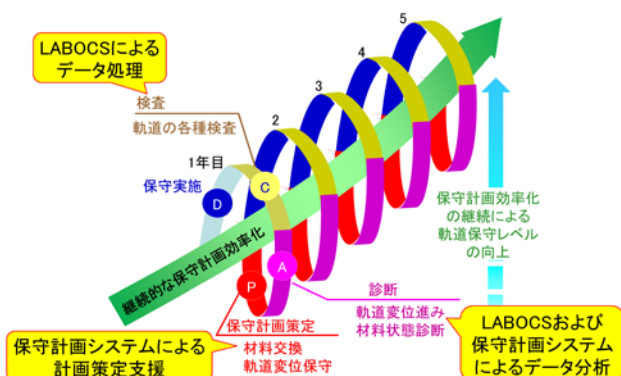


図1 軌道の維持管理サイクルの効率化



図2 LABOCS の概要

ことを検討している。具体的には、LABOCS では、軌道の各種検査で取得されたデータを一元的に管理することで各種検査データへのアクセスを容易にする。また、これらのデータの内、軌道検査の履歴データ等、保守計画策定に必要なデータを計画システムへ受け渡せるように処理する。そして計画システムでは、受け取ったデータを用いて軌道変位進み予測や材料状態診断を実施して、軌道変位保守計画案や材料交換計画案を出力する。以上のような一連の流れによる出力結果を基に保守を実施して、また検査から始まる次のサイクルへと進む。このような軌道の維持管理サイクルの継続的な効率化を支援することが、LABOCS や一元管理システムに望まれる性能である。

2.2 LABOCS の概要と他分野データの一元管理のニーズ

LABOCS は、図2のように、軌道変位や車両動揺、設備台帳データ等、軌道管理のための多様なデータを、様々な角度から分析・加工できるソフトウェアである⁸⁾。

軌道の検査やモニタリングの装置は、様々なメーカーや鉄道事業者において多くの開発がなされており、鉄道総研においてもいくつかの装置を開発し、実用化している^{9) 10)}。これらの装置で得られるデータは、従来は各装置付属の専用ソフトや台帳で個別に管理されることが多く、測定値を管理値と照合して個々の設備等の保守の

表1 他分野データの一元管理のニーズ例

活用分野	活用データ	活用例
軌道のデータを活用した構造物管理のニーズ	軌道の整備情報 (特に高低)	橋りょうのキャンパー(上下方向のたわみ)の経時変化 盛土区間等における地盤沈下の評価 種々の変状の検知
構造物のデータを活用した軌道管理のニーズ	駅やトンネルなどの建築限界の情報 盛土区間における検査データ	検査の効率化 軌道変位の状態や推移との比較により変状を検知

必要性を判断するという使われ方が多かった。また、各種検査項目についても、検査結果を個別に印刷して並べることでしか、項目間の関係性を分析できないことが多かった。そのため、検査データ等を多角的・総合的に分析し、不具合事象の診断や原因究明、またそれに対応する適切な保守方法の検討を容易に行えるようにするためには、個別に管理されていたデータをまとめて管理できるようにし、種々の検査データ間の関係性を簡単に分析できることが望まれる。そして、このことは軌道分野内のデータに限定されるものではなく、他分野のデータについてもまとめて管理することで、同様な分析・原因究明・保守方法の検討が可能になると考えられる。

以上のことから、一元管理によって他分野のデータが得られることで改善が期待されるニーズを調査し、整理した。表1は、例として、軌道分野と構造物分野のニーズを示している。同表より、いずれの分野においても自分分野の設備の変状検知のために、他分野のデータを活用したいというニーズが存在することがわかる。よって、LABOCS を一元管理システムに発展させる際には、従来の軌道分野に留まらず、構造物等の他分野のデータも管理できるようにすることが重要である。但し、これまで扱ってこなかった他分野にも軌道分野と同様に様々な検査装置が存在することから、どのようなデータが扱われているかを十分に調査した上で、一元管理システムの仕様を決めることが課題である。

2.3 一元管理に向けた新機能のニーズ

前節に示した一元管理システムへのニーズに対応するために一元管理システムが具備すべき機能を検討した。

例として、表2に、軌道分野における新機能のニーズを整理した結果を示す。同表より、全球測位衛星システム (GNSS) 位置情報の活用や、リアルタイムな情報共有に関するニーズが多いことがわかる。これらの内、GNSS 位置情報をキロ程に自動変換する機能や、写真・音声メモ貼付け機能、さらにはデータのグループ間共有機能等は、どの分野にも共通して活用できる重要な機能と考えられる。ここで、現行のLABOCSでは、位置情報としてキロ程をベースとした処理に特化しているため、写真や映像のように位置情報としてキロ程を持たな

表2 一元管理に向けた新機能のニーズ例

分類	提案機能	目的
GNSS位置情報の活用	GNSS位置情報と連動して現場のチャートを自動表示	巡視(徒歩、列車)の効率化
	現場の写真をスマホ・デジカメ等で撮影すると、GNSSデータをキロ程に自動変換して軌道変位チャートと連動	巡視(徒歩、列車)の効率化
	線路立ち入り箇所へのアクセスルートや駐車可能箇所等のナビシステム	保線関係者が誰でも線路立ち入り箇所へのアクセスを容易にする
リアルタイムな情報共有	任意区間の軌道変位履歴から、推奨するMTT施工計画を自動作成し、ユーザ間で共有	施工検討会議の簡略化・リモート化
	自動巡視システムで得られた現場VR空間データと軌道検測データの融合	施工検討会議の簡略化・リモート化
	テレビ会議システムへの対応	災害・事故対策会議のリモート化
	軌道変位チャートへの手書きメモ入力、写真・音声メモ貼付け機能と、これら付加データのグループ間共有	リモートグループワーク

いデータをそのまま扱うことはできない。そこで、キロ程を持たないデータについても統一的に位置情報を付与する方法の開発が重要となる。また、同表に示したように、会議のリモート化へのニーズもある。現在は、取得されたデータを事務所で確認して、保守方法の検討や保守計画策定等に活用するという使われ方が一般的であるが、事務所と現場を通信により接続できれば、例えば現場で取得した写真や映像を直ちに共有することで、保守の必要性を即座に判断して、緊急性が高ければその場で応急処置の指示をする等の柔軟な対応が可能になると考えられる。

2.4 一元管理のメリットとシステム開発

以上に述べたことをまとめると、検査データ等を一元管理することで、設備の変状検知や、不具合の原因究明、適切な保守方法の検討に活用できると考えられ、図1における維持管理サイクルを鉄道設備全般にも適用できるものと考え、一元管理は「診断」と「保守計画策定」の側面でメリットがある。

以上のような一元管理のメリットをユーザが享受できるようにするため、開発する一元管理システムでは各分野の各種データを統一的に扱えることが重要である。また、扱うデータの種別は各分野で管理されている検査帳票や検査写真等に対応して多岐にわたるため、これらを総合的に閲覧・分析できることが重要である。

3. 一元管理システム

図3は、開発中の一元管理システムの完成形のメイン画面のイメージである。現在までに、従来のLABOCSで実現してきたチャートに、位置情報をキロ程に変換することで紐づけられた検査帳票、検査写真、地図データ、線路動画を同時に表示できるインターフェースまでを実装した一元管理システムのプロトタイプを開発済みである。以下では、一元管理システムを完成させるために、さらに実装を想定している機能について、開発済みの機能も含めて説明する。

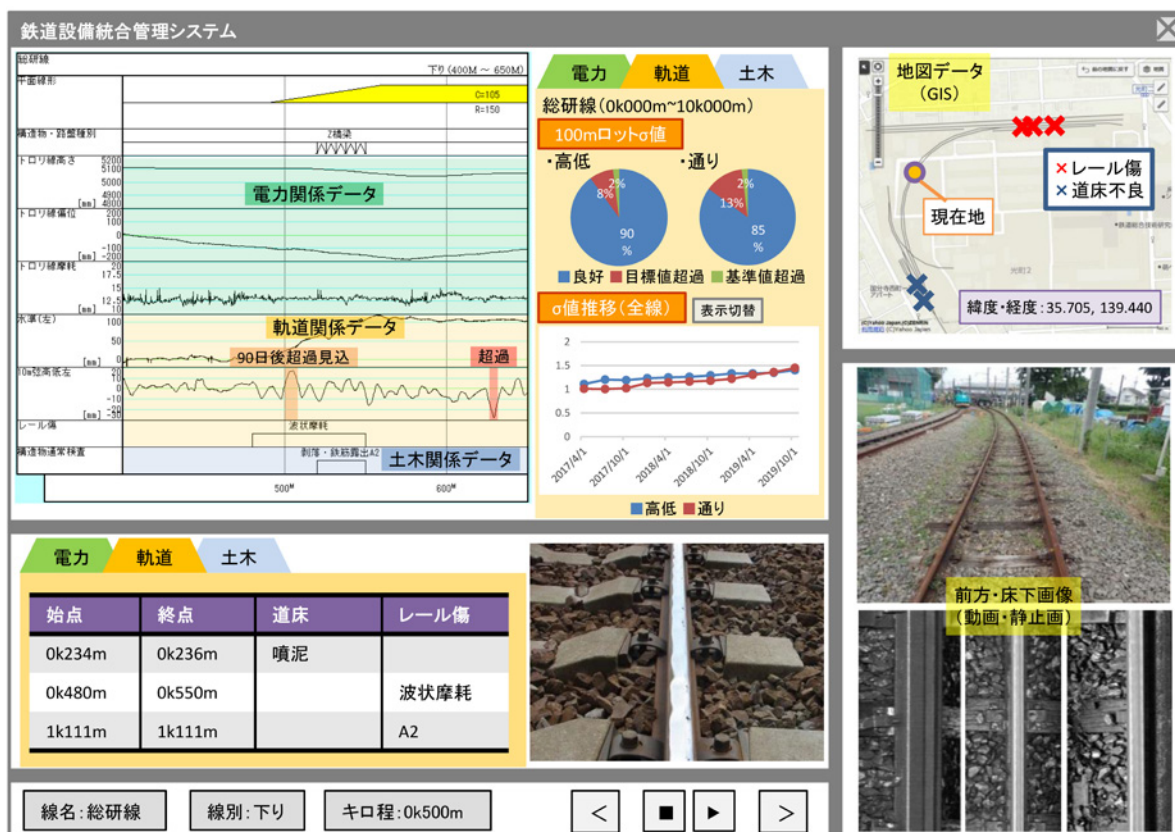


図3 一元管理システムの完成形のメイン画面イメージ

3.1 実装する主な機能

3.1.1 検査データのチャート・区間統計量表示

現行のLABOCSでは、線区・線別・キロ程を入力することで、指定箇所を中心とした、時系列形式の検査データのチャート表示が可能である。表示項目としては、軌道検測データや車両動揺データ、各種台帳データを選択して表示できる。また、時系列データの区間統計量を算出することも可能である。図3の例では、各管理項目のチャートとともに、線区全線の、軌道変位の100mロットσ値の頻度分布と、σ値の推移図を示している。σ値の推移図については全線表示およびロット表示の切り替えを可能にする。さらに、チャート上には、例えば同図の10m弦高低左で赤や橙塗りしている区間のように、基準値超過箇所や超過見込箇所がわかる情報が出力される。ここで、検査日時点での基準値超過箇所の出力については現在のLABOCSでも可能であるが、超過見込箇所の出力には、保守計画システムで用いられている履歴データを活用してトレンド分析結果が反映される。これにより、線区全体の平均状態を管理できるとともに、ロット毎の推移や管理値超過箇所も確認することで、保守が必要な箇所および保守投入時期の検討にも活用できる。

以上のような機能を、一元管理システムでは他分野のデータにおいても実現する。例えば図3では電力関係データとしてトロリ線摩耗等のチャートを表示しているが、上記の軌道分野における表示例と同様に、摩耗量等の推移を表示することで、トロリ線の保守箇所や保守時期を検討できる。

3.1.2 各種検査帳票・検査写真表示

従来は、検査帳票は検査種別毎に別々に管理されるのが一般的であったのに対し、一元管理システムでは、同一のリストで種々の検査結果をキロ程と併せて表示する。そして、リスト上の任意の行をクリックすると、チャート画面が当該キロ程付近に移動し、同時に検査画像が登録されていればその画像も表示する。このように、個別検査の結果の確認と同時に、チャートや画像等も同一画面で閲覧できるようにすることで、不良判定箇所の軌道状態の確認が容易にできる。これにより、例えば図3に示すような波状摩耗発生区間の現在の軌道変位および軌道変位推移を同時に閲覧することで、波状摩耗の程度を写真で把握できるだけでなく、波状摩耗が軌道変位進みに与える影響も確認できる。影響が大きいと確認できた場合、軌道変位進みを抑制するためのレール削正とマルチプル・タイ・タンパ(MTT)との組合せ保守¹¹⁾の検討にも活用できると考えられる。

3.1.3 地図データ表示

チャートや各種検査データと地図を連携させることで、指定したキロ程を中心とした地図を表示する他、保守が必要な箇所が可視化されるような地理情報システム(GIS)

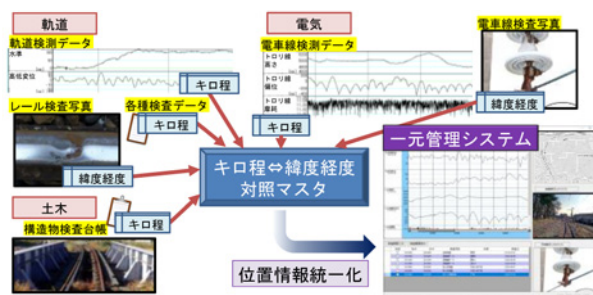


図4 一元管理システムにおける位置情報統一化

の機能を実装する。検査帳票に登録されている不良箇所情報について、検査種別毎に地図上に表示させることで、保守が必要な箇所を地図上で容易に把握できる。例えば図3の地図上にはレール傷が群発している区間があるため、3.1.2項のリストを参照することで傷発生区間を把握して、レール交換区間を検討するといった使い方ができる。

3.1.4 前方・床下画像表示

チャートのキロ程と紐づけた前頭撮影動画を読み込み、指定したキロ程の画像を表示する。これにより、指定したキロ程の軌道状態や沿線環境を確認できる。特に、近年では列車巡視支援システム¹²⁾等のように車両前頭カメラで撮影した動画の業務への活用が一般的になりつつある。こうしたシステムで出力される限界支障や限界に近い物体の情報や沿線環境の変化の情報を一元管理システムに取り込むことで、設備台帳を参照しながら標柱や建植物の傾き等の検知された異常をシステム上で確認でき、対処法を速やかに検討できる。また、チャートと連動させて映像を再生することで、例えば大きな動揺が発生した箇所について、軌道変位と合わせて周辺動画を同時に確認できるといった使い方も可能となる。

3.2 開発が必要な要素技術と開発状況

以上に示した一元管理システムに実装する機能を実現するためには、幾つかの要素技術を開発する必要がある。以下では、このような要素技術を開発の進捗状況とともに示す。

3.2.1 位置情報の統一化

前述のように、位置情報としてキロ程を持たないデータが存在する他、キロ程には「建設キロ程」と「管理キロ程」があり、更には分野や検査データによって同じキロ程が指す位置が異なる場合がある。そのため、これらのデータを一元管理するためには、位置情報を統一する必要がある。ここで、一元管理システムはLABOCSをベースとしたシステムであるため、軌道分野で扱われているキロ程に統一してデータを管理する。

一元管理システムにおいて、位置情報としては、図4のような「キロ程⇔緯度経度対照マスタ」をシステム内部に備えており、このマスタを参照することで位置情報

表3 キロ程⇔緯度経度対照表例

キロ程	緯度	経度
0k400m	35.70133	139.44
0k401m	35.70134	139.44
0k402m	35.70135	139.44
0k403m	35.70136	139.44

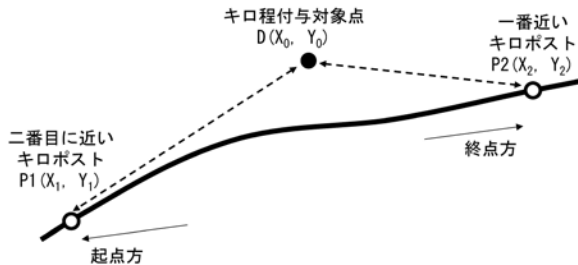


図5 緯度経度を持つ点Dへのキロ程付与イメージ

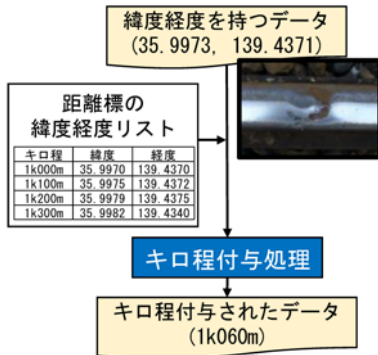


図6 キロ程付与の自動化のイメージ

表4 距離標の緯度経度リスト例

キロ程	緯度	経度
1k000m	35.9970	139.4370
1k100m	35.9975	139.4372
1k200m	35.9979	139.4375
1k300m	35.9982	139.4340

の統一化を実現している。プロトタイプでは、マスタとして、表3のように詳細なキロ程単位での対照表を予め準備しておくことでキロ程と緯度経度を対照させている。ただし、この方法では、新たに取得されたデータに対しても1件毎にキロ程⇔緯度経度の対照情報を手動で付与する必要がある、大きな労力を要するという問題があった。そこで、緯度経度情報を持つデータに対してキロ程を自動的に付与する方法を開発した⁵⁾。本方法は、図5のように、キロ程付与対象点から一番目と二番目に近いキロポストの緯度経度情報を用いて、3点の位置関係からキロ程を付与するものである。図6は、本方法の適用によるキロ程付与の自動化のイメージである。本方法により、表4のような距離標の緯度経度リストを一度作成するだけで、緯度経度を持つ新たな追加データに対してキロ程を自動的に付与できる。

3.2.2 動画データとチャートの位置同期

一般に動画データは位置情報を持っていないため、一元管理システムで扱えるようにするには動画データにキ

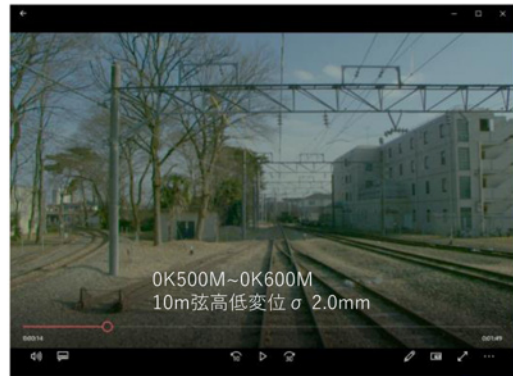


図7 動画への区間統計量表示イメージ

ロ程を付与する必要がある。動画データへのキロ程付与が可能になれば、動画上に、現在位置の軌道変位や車両動揺等の指標値を表示でき、映像を見ながら設備状態を確認できるようになる。

図7に、動画への軌道変位の区間統計量の表示イメージを示す。同図では軌道変位データを示したが、距離サンプリング化されたデータであればどのようなデータでも動画上に表示できる。

4. 一元管理システムの活用例

本章では、一元管理システムを活用した設備の維持管理の例を示す。

4.1 軌道状態情報を活用したレール保守計画例

鉄道事業者では、軌道の各種検査結果を基にMTTによる軌道整備、道床交換やレール交換等の軌道保守計画を策定する。この際、1つの検査項目だけでなく、複数の項目の検査結果を総合的に評価し、適切な保守方法及び保守時期を検討する必要がある。

図8に、これまでに開発済みの一元管理システムのプロトタイプにおいて、軌道検測データとレール傷の管理台帳を表示した例を示す。本図には、軌道検測車で測定された高低変位及び軸箱上下加速度とレール探傷車の検査結果及びレール傷の画像データが同時に表示されている。この区間では、既にレール傷が発生しており、その影響で軸箱上下加速度が大きくなっている。このような箇所に対しては、レール削正は保守効果を期待できないため、レール交換等の保守をするのがよいと判断できる。このように、別台帳で管理されていたデータを一元化することで、保守工種を適切に選択できるようになる。

4.2 複数分野データを活用した状態診断・保守計画例

4.2.1 軌道分野データを活用した共振橋梁抽出例

冒頭で述べた軌道の検査のために車上で測定したデータを用いた共振橋梁の抽出は、分野を横断する設備の診



図8 一元管理システムのプロトタイプを活用した軌道検測データとレール探傷車データの一元化例

断の効率化例である¹⁾。従来、地上から共振橋梁を抽出するためには、1橋梁ずつ車両通過時のたわみを計測するため多大な労力と費用を要していた。これに対し、本手法は先頭および最後尾車両で測定された軌道の高低変位もしくは車体上下加速度に対して共振橋梁に特有の振動成分を強調する波形処理を行った上で、先頭と最後尾車両の差分処理を行うことで、共振橋梁を抽出する手法である。よって、本手法により、地上計測を大幅に省力化できる。

この共振橋梁抽出手法については、現行のLABOCSに実装済みであり、一元管理システムにおいて構造物管理向けの機能として活用できる。

4. 2. 2 軌道分野と電力分野データを活用したMTT保守計画例

軌道側でMTTによる軌道変位保守を計画する場合、軌道の上下方向のこう上量や左右方向の移動量を定める際、電力側で管理しているトロリ線高さやトロリ線偏位の管理値を超えないように施工する必要がある。従来、この施工を計画する際には、電力・軌道間での事前打合せが必要であった。これに対し、一元管理システムでは検測車で測定した軌道変位とトロリ線の両方のデータを同一のチャート上で確認できる。そのため、上記の打合せを経ることなく、各箇所における軌道のこう上量等の上限を把握でき、軌道変位保守の施工計画に要する時間と手間を削減することができる。

5. まとめ

本稿では、鉄道設備の維持管理のための様々なデータを一元管理するメリットを整理した上で、一元管理システムに実装する幾つかの機能を示した。また、これら機能に必要な要素技術とその開発状況を報告した。さら

に、一元管理システムを活用した設備の維持管理例を示した。

今後は、各分野で扱われている検査装置のデータ仕様を調査する等、一元管理システムへの各種データ取り込み方法を検討するとともに、キロ程付与方法や動画活用技術のように個々に開発が進んでいる技術の一元管理システムへの適用を進める等、システムの機能を充実させていく。

文献

- 1) 松岡弘大, 田中博文, 川崎恭平, 常本瑞樹: 車上計測による共振橋りょう抽出手法, JREA, Vol.64, No.1, pp.40-43, 2021
- 2) 矢坂健太, 坪川洋友: 構造物の境界: 盛土内部の異状を軌道検測データから診断する, RRR, Vol.71, No.9, pp.16-19, 2014
- 3) 吉田尚史, 田中博文, 坪川洋友, 三和雅史: 鉄道施設統合管理システムの構築に向けた取り組み, J-RAIL2019, S2-6-3, 2019
- 4) 吉田尚史, 田中博文, 三和雅史: 鉄道施設の各種検査データ一元管理システムの試作と詳細な位置情報統一化法の検討, 第75回土木学会全国大会, VI-887, 2020
- 5) 吉田尚史, 田中博文, 西本正人, 三和雅史: 鉄道設備管理データへの統一的なキロ程付与方法の検討と一元管理システムへの展開, J-RAIL2020, S2-2-6, 2020
- 6) 吉田尚史, 田中博文, 西本正人: 軌道保守管理データベースシステム (LABOCS) Ver.4.2 のリリースと新機能, 新線路, Vol.74, No.10, pp.23-25, 2020
- 7) 三和雅史, 山本修平, 松本麻美, 大島崇史, 吉田尚史: 中長期軌道保守の効率化のための軌道状態予測・保守計画, 鉄道総研報告, Vol.33, No.2, pp.11-16, 2019
- 8) 吉村彰芳, 吉田康夫, 細川岳洋, 菊池勝浩: 軌道保守管理データベースシステム: マイクロLABOCS-II+の開発, 鉄道総研報告, Vol.6, No.11, pp.69-78, 1992
- 9) 田中博文, 清水惇: 波状摩耗管理のための可搬型レール凹凸連続測定装置の実用化, 鉄道総研報告, Vol.29, No.8, pp.35-40, 2015
- 10) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 谷川光, 吉川秀平, 木次谷一平: パラスト軌道における軌道支持剛性評価方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.31, No.12, pp.29-34, 2017
- 11) 松本麻美, 三和雅史, 吉田尚史, 矢坂健太, 桶谷栄一, 原田祐樹: レール削正と軌道変位保守の同時期実施を考慮した軌道保守計画法, 鉄道総研報告, Vol.30, No.10, pp.41-46, 2016
- 12) 猿木雄三: 列車巡視支援システムの導入, 第57回鉄道サイバネ・シンポジウム, 2020