

老朽化した鉄道インフラのこれから

EAST JAPAN RAILWAY COMPANY SINGAPORE BRANCH
Director
山地 毅彦



はじめに

本稿では線路をメンテナンスする保線という仕事を紹介させていただくとともに、アジア各国で鉄道網の整備や既存の鉄道網の老朽化が進む中で、保線の観点から日本の技術や経験を活かすことができな
いか、その可能性について説明させていただきます。

線路は少しずつ壊れています

そもそも線路は常に非常に大きな列車荷重を支えています。車両は20t から重いもので貨物車両ですと100tを超えるものもあり1つの車輪とレールの接点に2t以上の荷重がかかっています。例えば山手線ですと、レールは2～3tの力で一日に約1万3千回以上叩かれます。これだけ叩かれますとレールに傷が入り、ねじれや歪みが線路に生じ、レールを支える材料も変形していきます。これを放置すると

レールは折れ、材料は破損し、線路の歪みが目に見えるレベルとなり、列車を通すことができなくなります。

ただでさえ激しい負荷に耐えなければならない中、線路には分岐器と呼ばれる装置など複雑で壊れやすい構造が多数介在しています。また、首都圏などの列車の運行本数が多い区間では不良が一度発生すると翌日翌々日には状態が著しく悪化することもあります。こうした設備が壊れやすい状況の中で延々と長く続く線路を一定レベル以上の状態に維持し設備故障を起こさないように管理しなければなりません。山手線34.5kmのほぼ全てに問題が無くても、ある一点で致命的な不具合があれば列車運行は止まり、最悪の場合は列車を脱線させ、お客さまの命を奪う可能性があります。



図1 線路設備モニタリング装置と検測画像

線路のメンテナンス「保線」の仕事とは

厳しい環境に曝される線路が致命的に変状しないよう良いタイミングで直していくことが線路のメンテナンス「保線」において大事となってきますが、いいタイミングを判断することも、どうやって直すかということも難しい課題であります。いいタイミングを判断するためには、材料がどのように壊れるかに合わせて検査の方法と周期をさだめ、検査結果の判断基準を明確にしなければなりません。特に今の時代はベテラン社員が減り技術者個人の力量に頼る設備管理を続けることは不可能であります。途方もない延長を手分けして検査するためのしくみが重要となります。レールはどのような種類の傷がどこまで大きくなると折れるのか、線路がどこまで歪むと脱線するのかといった知見をまとめ、様々なセンサーや検測技術を活用し設備の状態を把握します。図1は最新の線路検測技術で、営業列車に画像センサー及び加速度センサーなど各種センサーを搭載し高頻度で線路の状態を測定しており、本センサーの導入により技術者による定期的な現場の巡回の周期を大幅に延伸、労務量を大幅に削減しました。

一方で、線路を直すことも多くの課題があります。材料を交換すれば線路は直りますが、レールを現場まで運び切断し取替えて溶接するとなると大変です。レールの重量は1Mで50～60kgもあり運ぶのも交換するのもたいへんで交換費用もなかなか高いです。そもそもほとんどの線路の材料が特殊なもので今日注文して明日届くようなものはありませ

ん。そこで補修をすることで材料を長持ちさせます。検査に基づき補修を計画することもあれば定期的に補修する場合があります。

レールを例にしますと、レールの表面は車輪が擦れることで徐々に硬化（疲労層と呼んでいます）し次第に傷が生じ、傷が進展するとレールが折れます。そこでこの疲労層ができるタイミングでレールを削るとレールの傷の発生を抑制することができ、より長くレールを使用することができます。図2はレール削正車と呼ばれる特殊なメンテナンス車両で、一晩に1km以上のレールの表面を削ることができます。こちらの車両にて定期的にレールを削り、レールを長持ちさせています。他にも線路の歪みや材料のずれを適切に直すことで材料の損耗を遅らせるなど良いタイミングで適切な処置を施すことで材料を長持ちさせるよう努めています。これらの修繕を、重機械を用いて、新しい構造の材料に交換するなどして効率的にメンテナンスを実施するよう努めています。

既存の鉄道路線における設備の老朽化

これらの仕事は、大昔は全て人間系で実施していましたが、機械化やセンサー技術に導入より、過去の経験を活かして良いタイミングで検査や修繕を実施するよう各鉄道事業者が取組んでおり、限られた人員と予算で効率的にかつ長期的に線路全線を一定レベル以上の状態に保つよう努めています。ただ、最近では国鉄が管理するような既存の鉄道路線で社



図2 レール削正用のメンテナンス用重機械

会的に影響の大きい設備故障が起きています。アジアではないですが、ニュージーランドでは2023年に設備故障が続いたことを受けて一時的に列車運行を止めて大規模な修繕が実施されたことが大きく報じられています¹。こうした事象は、線路が悪化するスピードが線路状態を一定レベルに保つための保守量を超えたか、適切な検査・修繕と処置を行うサイクル・しくみが確立されていない事が遠因として推測され、設備の老朽化や損傷が進み最終的に設備故障へと発展したと思われます。

私が視察したアジア各国の既存の鉄道路線については、ニュージーランドのように大きな報道はされないものの、概ね類似の問題を抱えていることが推測される設備の状況でした。日本国内においても、地方路線については同様に厳しい状況に置かれ、一部では存続の可否を自治体と協議している状況です。残念なことに一度悪化が進んでしまった線路は、大規模な材料交換などの修繕工事が必要となりメンテナンスにかかる費用を大幅に超える費用をかけないと、基の状態に戻すことができません。列車運行速度を下げてサービスレベルを下げることで運行を続けることもあります。

都市部に広がるMRT メンテナンスの課題

一方でアジア各国の都市部では経済発展に合わせてMRT（Mass Rapid Transportation：大量高速交通機関）などの新たな公共交通の整備が進んでいます。こうした新たな鉄道網を運行管理する鉄道事業者に関して、一部では、メンテナンスの基本となる検査に関する基準の策定に課題があると感じています。

私が経験した限られた知見となりますが、アジア各国のMRTの整備では国や自治体などの関係機関がインフラを建設・保有しO&M（Operation & Maintenance：列車運行と維持管理）を鉄道事業者に委託する上下分離の方式が主です。新線開業時にどのように検査の基準が定められるかといった過程では、まずインフラを建設した建設会社が各材料を提供した材料メーカーの仕様や保証の条件などを基にメンテナンスマニュアルをまとめ提出され、このマニュアルを基に鉄道事業者が検査手法・周期・基

準を定めるというケースがあります。この場合、安全に材料が機能する条件が基となり基準が定められるため厳しい検査基準になる傾向が強く、弊社の基準と比較し、高頻度で検査を実施し、修繕や材料の交換時期も比較的早期となっている傾向が見られます。この時、新たに設備を維持管理する鉄道事業者には保線の経験があれば、自社の基準に照し合せてメンテナンスマニュアルに対して技術的な提案を行い、より効率的な管理を可能とする検査基準を定めることが期待できます。

例えば日本では、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」により車両や線路設備などの鉄道設備についての性能基準が国により定められ、保線・土木の分野においては日本鉄道施設協会にて解説書が発行されています（図3）。これは今日までの日本における鉄道事業で発生した事故事象を再発させないために定められた技術上の基準であり、この基準を満たした上で各鉄道事業者が管理基準を定めて日々のメンテナンスをしており、この中に安全と生産性を考慮したノウハウが詰まっています。しかし、一部の国では急激にMRT事業が拡大する中で保線という限定された領域において十分な知識と経験を持つ技術者を確保できていないと思われる鉄道事業者が見受けられます。

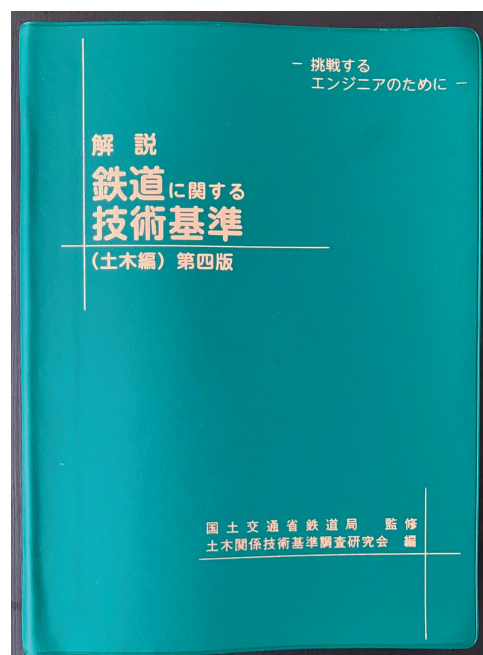


図3 解説「鉄道に関する技術基準」

鉄道の老朽化への対応

上述の通り、アジア各国では既存の鉄道路線の設備は厳しい状況に置かれており、どこかのタイミングで大規模な改修やメンテナンス手法の見直しを図るか、サービスレベルを下げる判断が必要となる可能性が高いと考えています。タイ国鉄は2010年代から一本の線路で列車を往来させる単線の線路を、列車進行方向毎に線路を敷設する複線に変更する工事を推進し、既存の悪化した線路の軌道材料を合せて交換する工事が進められています。他国では列車運行速度の向上を名目に線路設備の一新を検討する鉄道事業者も見られました。インドネシアではスマトラ島における石炭輸送が過去に類を見ないほど盛況であり、従来はジャカルタ周辺の旅客輸送の収益が最も高かったところ、近年ではスマトラ島の貨物輸送の収益が上回ったそうです。現地の方が「この石炭は私たちにとってゴールドだ」とおっしゃっていたのを強く記憶しています。

このように、アジア各国においても既存の鉄道網の中には依然として社会的必要性が高い路線は存在することが伺え、将来的な鉄道システムの老朽取替え、更にはメンテナンス体制の見直しを実施することが予想されます。また、新たに拡充されるMRTの鉄道網においてもメンテナンス手法の効率化が鉄道事業者の運営に貢献できる余地があると感じています。

海外の保線事業に参画する上での問題

では今後、既存路線の更新やメンテナンス手法・体制の見直しを想定した場合、各国の鉄道の規格と設計にどのように対応していくかが課題となります。冒頭で説明した通り、線路には非常に大きな荷重が繰返しかかるため、安全性が確認された予め定められた規格の材料を敷設しています。特に、レールと車輪の関係性はデリケートであり接触点が変わると期待する材料の性能が得られず想定していない材料の損傷が起きる可能性があることから同一の規格の車輪とレールを採用します。そしてレールを固定するマクラギや締結装置といった線路の装置もレールに合わせて設計・試験されていることから、車

両から線路まで全てが同じ規格で認可された材料を使わなければなりません。残念ながら日本のJIS規格を採用する海外の鉄道事業者は限定的であり、多くの鉄道事業者が欧米を中心として採用されている国際規格を採用しています。たとえ革新的でメンテナンス性に優れた新材料・構造があったとしても規格の違いにより海外の鉄道事業者が採用するには大きな課題となります。海外の規格に合わせて材料を設計し直すことが求められます。

また、海外の鉄道事業者と規格だけではなく新しい材料や構造を採用するためには、例えばマクラギ1本や締結装置1つにしても、設計を変更するための国の認可が基本的に必要となります。日本でもかつては鉄道の技術規制の観点から、構造・材料の変更には国への届出が必要でありましたが、2002年以降は規制が緩和され大幅な手続きの簡素化がなされ、認定事業者制度で定める基準を満たす鉄道事業者であれば、規模や影響が大きい設計を除き、鉄道事業者で設計の変更を決定できるようになりました。しかし、アジア各国では未だに設計の認可については国や自治体が担っており、既存の構造・材料の変更の認可を得るには大きなハードルがあると言えます。

これらの点から言えることは、日本の材料を導入するためには新線開発の時点での仕様の決定から関わるか、日本の材料の国際規格への適用が求められることとなります。中国の材料メーカーは国際規格に適用した軌道材料を幅広く製造できるようになっており、最近では新線開発において安価な中国製の分岐器やマクラギ、締結装置などが多く使用されていると聞きます。私自身の意見としては日本で近年に改良されてきた軌道材料の中には既存の線路構造の課題を改善した海外の鉄道事業者に紹介したい材料が多数あり、その設計思想の良さを活かして国際規格に対応した軌道材料がまずは一つ開発され、国内の材料メーカーの皆さまの国際規格への対応のハードルが下がってくれないかという思いがあります。そしてLCC（Life Cycle Cost）での優位性を示していき少しずつ長持ちする材料が線路に投入されないかと期待しておりますが、弊社を取り巻く環境で考えてみるとまだまだハードルが高い状況です。

日本の技術や経験がどのように貢献できるか

今後、アジア各国において設備の老朽化や急激に広がったMRTにおけるメンテナンスの課題が少しずつ顕著化することが予想されます。そうした時に我々が貢献できることは、如何に適格かつ効率的なメンテナンスを提案することができるかだと考えています。保線という特定の分野のために経験豊かな経営者や管理者が不足し、技術・制度・組織の見直しが最適に実施されていない状況においては、適切なセンサー技術の導入、必要なメンテナンス機械を配備した機械化による作業の効率化、検査等基準の見直しとこれらを組合せたメンテナンス体制の構築（一部検査・作業の外注化）、検査から工事発注・成果物の管理までを円滑に支援するシステムの導入といった、これまで日本の鉄道事業者が取組んできたメンテナンスの最適化の取組みの経験を活かして支援できる余地が十分にあります。

各国の既存の鉄道事業者の中には線路設備の検査体系が何十年も見直されていない組織もあります。人間系に頼る検査では定量的な全体の把握は困難であり適切な検測技術を導入し線路状態を把握することが適切なメンテナンスを行う上で重要な基礎となります。安全性の向上や労力軽減の観点からもセンサー技術及び観測データの解析技術の導入についてはこれから必要性が一層上がることが予想されます。また機械化による作業効率の向上もメンテナンスの保守量を確保する上で重要な課題であり既存のメンテナンス用重機械の有効活用の支援および新型のメンテナンス用重機械導入の支援などが、我々が協力できる分野だと考えています。何よりも、良いタイミングで検査・修繕の業務サイクルを回せるように検査体系とメンテナンス体制の見直し及び業務の外注化やシステム化などを現地の鉄道事業者の状況に応じて一緒に考えることができれば、長期間持続可能な線路のメンテナンスサイクルの構築に大きく貢献できると期待しています。

おわりに

今回は保線という特殊な分野における設備の老朽化に対する今後の見通しと、我々が協力できる領域について私の認識を共有させていただきました。今後も日頃の鉄道事業者どうしの技術交流を通して協力できる分野を探っていき（図4）、アジア各国の鉄道事業者の状況に合わせた提案を行い双方に利のある協力関係を築いていきたいです。



図4 インドネシアにおける現地鉄道会社との合同軌道調査の様子

<訳注>

1 <https://www.railway-technology.com/news/kiwirail-changes-review-metro-disruption/?cf-view>

執筆者氏名

山地 毅彦（やまぢ たけひこ）

経歴

1981年、茨城県生まれ。2006年東京大学大学院工学系研究科修了。同年4月に東日本旅客鉄道に入社し、保線業務に従事、2023年12月より現職。

takehiko-yamaji@jreast.sg