

第117回

レール探傷

はじめに

「探傷」とは、きずを探すことで、材料を壊すことなく、超音波などを用いて構造物の内部を検査することです。一方、レールは車輪を直接支持・案内して、列車を安全に運行させる非常に重要な鉄道材料の一つですが、列車走行にともなう負荷や車輪接触、敷設環境などに起因してレールにき裂が発生し、まれに折損に至ることがあります。そのため、鉄道事業者ではおもに超音波探傷システムを搭載したレール探傷車や人手による小型探傷器を用いたレール探傷を定期的に行っています。

ここでは、おもにレール探傷車やレール探傷器の開発から現在までの技術発展の経緯や今後の展望について、

レール折損形態や発生件数などの推移とあわせて解説します。

レール探傷の歴史

1911年10月、アメリカのリーハイ・バレー鉄道会社線で、列車の大規模な脱線転覆事故が発生しました。調査の結果、脱線の原因がレールに発生したき裂であることが明らかにされました。これ以来、レールに発生するき裂の早期発見方法が世界中で重要な関心事となり、研究が進められてきました。

初期のレール探傷は、1920年に研究が開始されたレールの欠陥を電磁気的に検出する方法で、非破壊検査の元祖といわれています。続いて、表面きずを検出するために、検査対象物を磁化して鉄粉を付着させる磁粉探傷が開

発され、日本では変圧器により大電流の直流が得られるようになった1936年以降に実用化されました。また、放射線透過探傷の技術は戦前からありましたが、広く応用されるようになったのは戦後で、東海道新幹線に敷設されたテルミット溶接部の検査に使用された実績があります。さらに、レールの超音波探傷の研究が1953年から開始されました。探傷器や探触子を始めとして、日本の多くの鉄道事業者で導入されている超音波を用いたレール探傷車やレール探傷器は、海外、とくにアメリカやドイツで開発された装置を参考にして、開発が行われてきました。図1にレール探傷技術、レール探傷車やレール探傷器の開発や導入の変遷を整理し、以下でその概要を説明します。

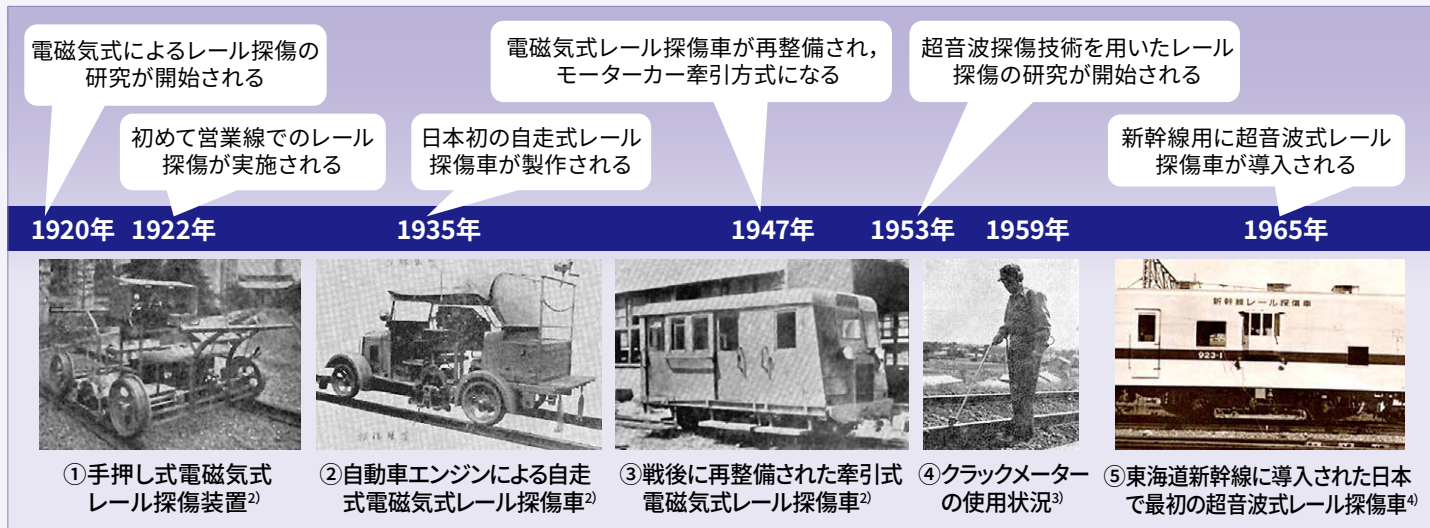


図1 レール探傷技術の変遷(その1)

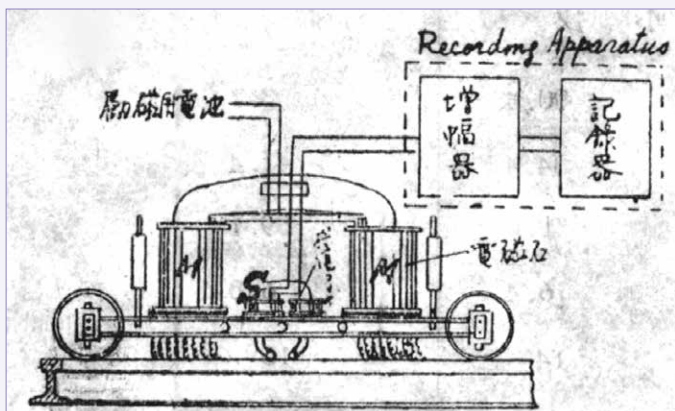


図2 磁気式レール探傷車の構造概要¹⁾



図3 1958年当時におけるレール折損の原因別割合⁵⁾

電磁気式レール探傷車

電磁気式レール探傷車¹⁾は、図2に示すように、電磁石を用いてレールを長手方向に磁化しながらレール上を一定の速度で走行して、レールにき裂が発生した箇所が生じる磁力線の乱れ(漏洩磁束)を記録することで、レールの欠陥を検知します。

1922年に初めて営業線でのレール探傷が本検査手法²⁾により実施され、横裂(鉛直方向に進展したき裂)を発見したと記録されています。

この装置は年々改良され、電池を電源とするモーター駆動車への搭載、磁化装置の改良と軽量化による手押し式探傷装置(図1①)の開発、自動車エンジンを有する自走車両に探傷装置を

搭載したレール探傷車(図1②)が製作され、最終的にはモーターカーによるけん引方式の探傷車(図1③)として日本全国で使用されました。

その一方で、電磁気式での探傷範囲は、磁化できるレール頭部にほぼ限定されるとともに、レール頭部形状の変化(摩耗や凹み)の影響を受ける箇所では適用できないなどの課題があり、次第に超音波を利用した探傷に置き換わることになります。

なお、現在ではレール頭部のきしみ割れなどの表面きずを検査する方法として渦電流探傷がおもに海外で導入されていますが、レール内部のき裂の検出に関しては、表面状態の影響を受けるなどといった以前からの課題がいまだに残されています。

超音波式レール探傷車

図3に1958年当時のレール折損の原因別割合を示します。年間約1万件に達したレール折損の5割以上が破端(継目部のボルト穴からき裂が発生する形態)⁵⁾ですが、磁気的方法では探傷範囲がレール頭部に限定されるため、これを探傷することができません。そこで、すでに車軸の検査方法として研究が開始されていた超音波探傷方法がレールの探傷にも利用されることになりました。

当初は、Bスコープ(検査した特定断面の画像を表示する)方式の超音波式レール探傷車をいち早く完成させていたドイツから輸入する計画でしたが、見積額が車両を除いて1億円と膨大で

※東京計器レールテクノ株式会社提供

ブラウン管表示の手押し式超音波探傷装置が開発される

1966年

レールテスターが開発される

1976年

在来線に超音波式レール探傷車が導入される

1985年

在来線に自走式超音波式レール探傷車が導入される

1987年

1991年

デジタル技術および最新技術を搭載したレール探傷車が続々と導入される

現在

SM-35※ レールテスター SM-80RR

⑥可搬式超音波探傷装置⁶⁾

⑦在来線に初めて導入された自走式超音波式レール探傷車⁷⁾

⑧横裂測定器と最新のレールテスター (PRD-300)⁸⁾

⑨最新の超音波式レール探傷車⁸⁾

図1 レール探傷技術の変遷(その2)

可搬式探傷装置

あったことから、1961年から約3年の歳月をかけて国内で新幹線用(図1⑤)が製造されました。また、在来線用も試作されましたが、実際に使用された記録は見当たりませんでした。

図4に当時のレール探傷車に搭載された探触子と検出対象とするレールきずの形態を示します。東海道新幹線開業前から問題があったレール溶接部における底面中央からの横裂の探傷に重点を置きながら、レールの頭頂面付近または底部を起点として発生する横裂の検出を基本コンセプトとして、斜角70°、斜角35°および垂直0°の3種類の探触子が適用されました⁹⁾。

開発段階での一番の課題は、超音波を安定してレール内に伝達させるための探触子とレールとの接触でした。図4のように摺動式の複合探触子として長さを長くすることで接触状態を安定させ、時速20kmまでの連続探傷が可能となりました。また、より高速での探傷を目指し、タイヤ型回転探触子(図4)の開発も並行して進められました。欧米ではすでにタイヤ型回転探触子が使用されていましたが、当時日本では詳細な情報が得られず、タイヤのゴム材料や内部の充填液からすべて、独自の考えで設計、開発が行われました。

その後、1972年山陽新幹線新大阪～岡山間の開業を期に、回転探触子の改良やパルスくりかえし周波数(超音

波を発信する速さ)の向上により、時速30kmでの探傷が可能となりました。

さらに、1982年の東北新幹線大宮～盛岡間の開業にあわせて、探傷速度および探傷精度のさらなる向上とレール頭頂面直下に発生するシェリングきず(車輪とレールとの接触部に生じる複雑な応力に起因して発生するき裂)を検知するための改良がおこなわれました。具体的には、超音波の送信から受信までに時間を要し、かつ頭頂面直下の領域が検査できない回転探触子に変わり、新しい摺動式探触子が採用され、現在に至っています。

このように、旧国鉄技術研究所と国内メーカーで開発が進められてきたレール探傷車は1987年以降、在来線にも導入され始め(図1⑦)、現在では20台近くのレール探傷車(海外メーカー製を含む)が国内で運用されています(図1⑨)。デジタル技術などの進歩により探傷器および記録装置の性能が格段に向上するとともに、継目や分岐器でのレールとの接触状態を良好に維持するための改良やレール溶接部に発生する平面欠陥を検出するためのタンデム探触子(垂直な欠陥を検出するために、超音波の送信用と受信用の2個の探触子を前後に配置した専用探触子(図5))が開発されているほか、レール断面形状測定や床下画像撮影など、探傷以外の計測装置も搭載されるようになりました。

レール探傷には、高速で検査が可能なレール探傷車による方式とできるだけ簡易、小型で軽量として検査速度は遅いがいつでも線路から外すことができる可搬式探傷装置による方式があります。開発当時からもレール探傷車できずのおおよその位置や種類のみを高速で検知し、可搬式の装置で精密検査を行うことが目標とされていました。

レールへの超音波探傷の研究が開始された当初は、現場での手探傷を可能にするための探傷器(蓄電池電源)や探触子(頭頂面直下のきずを検知するための二振動子型)などが開発されました。その後、可搬式探傷装置の先駆けとして、1959年にクラックメーター(図1④)³⁾が開発されました。本装置はスティック先端の探触子から連続的に周波数を変化させた超音波(3.05～3.35MHz)をレール頭頂面から垂直に入射して、レール底面やきずで反射する際に生じる固有振動数を受信する共振法が採用されました。一般に超音波の伝搬経路の長さによって固有振動数が変化し、その違いを電流計やスピーカーからの音で判定していました。元来継目部の破端の検出を目的として製作されたため、検出能力に限界があり、欠陥の種類や形態によっては検出できないことが課題となっていました。そこで、パルス反射法を用いたブラウン

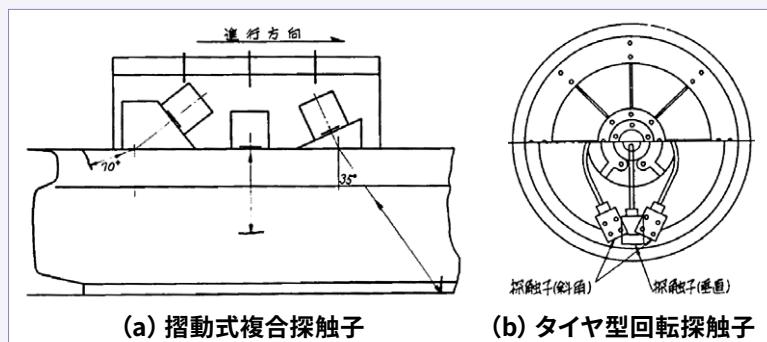


図4 開発当初のレール探傷車に搭載された探触子⁹⁾

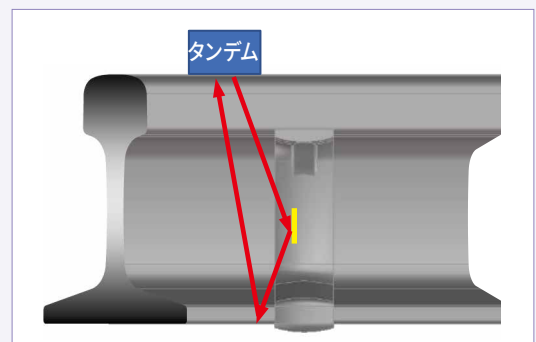


図5 タンデム探触子のイメージ

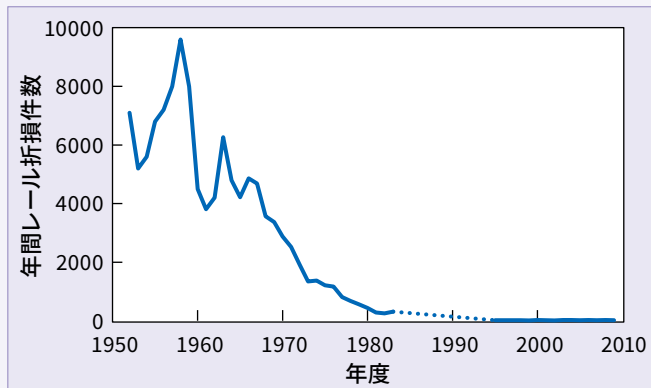


図6 年間レール折損件数の推移
(文献11などを基に作図)

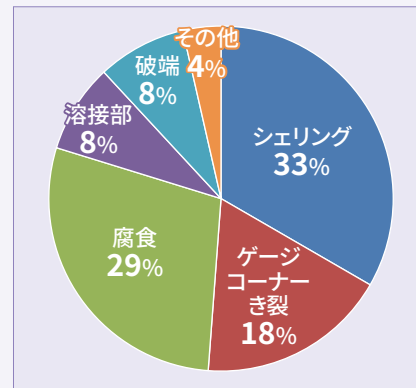


図7 最近のレール折損の原因別割合
(JRグループ：2015～2019年度)

管表示のオウルランジスター式のSM-35(図1⑥)¹⁰⁾が開発され、1966年から汎用されるようになりました。

本探傷装置は案内車輪によりレール上を手動で走行する架台に、探傷器と3つの探触子(70°, 37°, 垂直)を搭載して、これらの探触子を同時または個別に動作させてレールを検査するものです。通常は、レール上を手で押しながら探傷検査を行います。本体から探傷器と探触子を取り外し可能で、検査者自身が探触子を走査して検査(手探傷)することもできました。また、在来線のロングレール化(溶接によりレールを接合して継目をなくし長尺化すること)が進んだことから、1976年にレール中間部の探傷を効率的に行うためにレールテスター(図1⑥)が開発されました。これまでの装置は、きずを検出してもブラウン管上に表示される探傷画像が瞬時で見落とす危険性がありましたが、本装置では発光ダイオードと警報によって表示する機能を有しています。さらには検査結果を後で確認できるよう、記録紙にBスコープ方式で記録するSM-80RR(図1⑥)も開発されました⁶⁾。なお、現在においても、検知精度の向上、小型・軽量化および使いやすさなどの観点から進化が続いています(図1⑧)。

現在の状況と今後の展望

図6に示す旧国鉄およびJRグループにおける年間レール折損件数¹¹⁾は、1958年の約1万件をピークに大幅に減少して、1995年以降は20件前後で推移しています。その背景には、レールの製造品質、ロングレール化およびメンテナンス技術の向上などがあげられますが、レール探傷技術の発展も大きく寄与しています。

図7に示すように、最近のレール折損の8割は車輪とレールとの接触部に生じる複雑な応力に起因して発生するき裂(シェリングやゲージコーナーき裂)および踏切やトンネル内での腐食に起因していることがわかります。これらの折損を未然に防止するために、レール探傷車でシェリングきずを検知した後の手探傷による再検査として、レール折損につながる鉛直方向のき裂の有

無や深さを評価可能な頭部横裂測定器(図1⑧)¹²⁾やレール探傷車でレール底面の腐食による断面減少を検知可能な底部腐食探傷装置など、現在の欠陥形態に対応するための技術も進化しており、レール折損の発生がもっとも少ない国といっても過言ではありません。

その一方で、技術者の高齢化や労働人口減少の課題があり、鉄道メンテナンスの分野でも影響が危惧されています。定期的なレール探傷車による検査と、検査員による現場での精密探傷を組み合わせた現状の検査体制に対して、レール内部のどのような欠陥形態も検知可能なレール探傷車、あるいは高速かつ高頻度でレール探傷が実施可能な探傷装置の営業車両搭載などの開発が望まれます。また、現在、主流である超音波式のさらなる発展と、元祖の電磁気式の回帰にも期待しています。

(寺下善弘/軌道技術研究部
レールメンテナンス研究室)

文献

- 1) 塚越利市：軌條探傷車について、第1回保線講演会記録、日本国有鉄道、pp.157-160、1948
- 2) 鉄道技術研究所50年史刊行委員会：五十年史鉄道技術研究所、研友社、p.713、1957
- 3) 三菱電機株式会社：軌条探傷機CM-1型クラックメータ、JREA、Vol.2、No.12、p.55、1959
- 4) 伊藤：新幹線レール探傷車、新線路、Vol.19、No.2、p.1、1965
- 5) 宇塚範吉：年1万件を突破したレールの折損、新線路、Vol.13、No.12、pp.19-21、1959
- 6) 各種のレール探傷器、新線路、Vol.37、No.10、p.1、1983
- 7) 鶴飼毅彦：在来線用レール探傷車の導入、新線路、Vol.45、No.6、p.1、1991
- 8) 東京計器レールテクノ株式会社：鉄道保線機器総合カタログ、Cat.No.1345-7-J-1.5-B、2021
- 9) 中林林次郎、土棚敏夫、芹沢正直：新幹線用レール探傷車、東海道新幹線に関する研究(第6冊)、日本国有鉄道、pp.88-96、1965
- 10) 土棚敏夫：携帯用超音波レール探傷装置、鉄道技術研究所速報、1966
- 11) 例えば、鉄道施設技術発達史編纂委員会：鉄道施設技術発達史、日本鉄道施設協会、p.604、1994
- 12) 寺下善弘、設楽英樹：レール等に潜む損傷の検査法、RRR、Vol.65、No.5、pp.22-25、2008