

# 車両に潜むきずの検査法

牧野 一成

車両構造技術研究部(車両強度 副主任研究員)



まきの かずなり

## はじめに

鉄道車両は図1に示すように、車体と台車に大きく分けることができます。私たちが鉄道を利用する時に意識するのは、ほとんどの場合、車体であるかと思います。一方で台車は、直接目に触れる機会は少ないですが、車体および乗車されているお客様や運搬している貨物の荷重を支持しながら、モーターやエンジンで発生させた駆動力を伝達する重要な部材で、走行中には大きな振動や応力が発生します。さらに台車は、輪軸(車輪と車軸)や台車枠から構成

されていますが、万が一、これらの部品が走行中に破損すると即座に脱線につながる恐れがあるため、破損することは決して許されません。

本稿では、鉄道車両の中でも特に台車周りの部品に関して、その表面あるいは内部に潜んでいる欠陥を検査する方法について紹介します。

## 欠陥を探る手法

車両に潜む欠陥を検査するためには、まず、人間の目や耳で確認することが重要です。長さが数十mmを超えるような、表面が開口した大きなきずであれば、日々の走行前の検査(仕業検査)で見つかる場合があります。また、車輪やボルトを検査ハンマーで叩いた時の音で、欠陥の有無やボルトの緩みがないかを調べる「打音検査」も、車両に不具合がないことを確認するひとつの方法です。

しかし、台車周りの場合、そのままの状態では人間の目や耳で確認できないような微細な欠陥が、走行中に徐々に

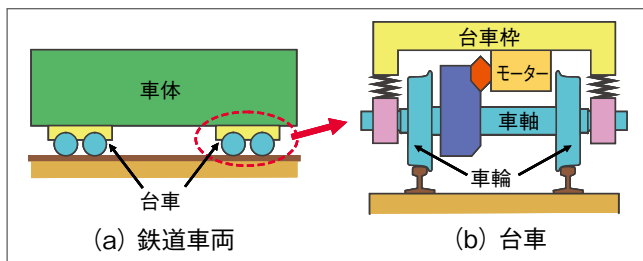


図1 鉄道車両と台車の構成

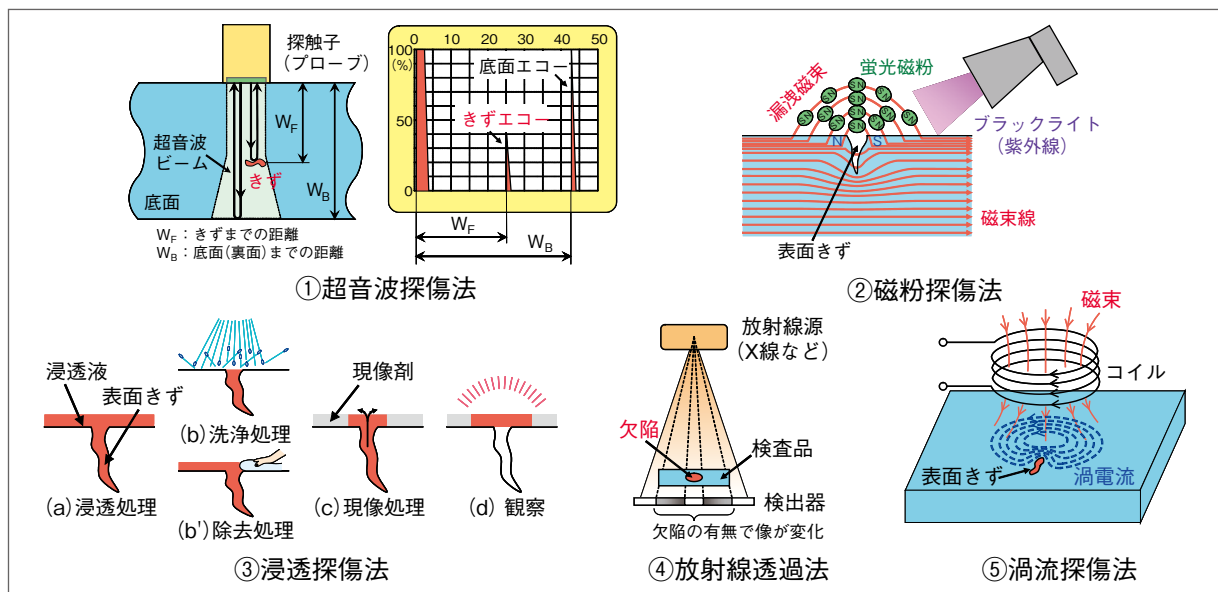


図2 主な非破壊検査法

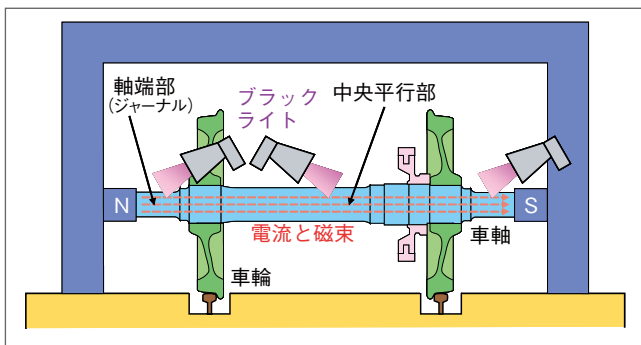


図3 車軸の磁粉探傷の方法

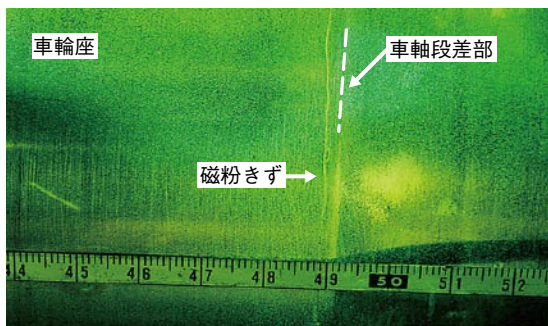


図4 車軸車輪座の磁粉きず

拡大して破損につながる場合があります。したがって、何らかの手法を用いて、微細な欠陥を人間が検出できるようにしなければなりません。そのための方法が、一般的に「非破壊検査」と呼ばれている手法です。

非破壊検査のうち私たちに最もなじみ深いものとして、X線を用いたレントゲン検査や、超音波エコーを用いた妊娠中の胎児の検査などが挙げられます。鉄道車両に適用されている非破壊検査も、考え方はこれらと同様ですが、検査する対象が「きず」等の欠陥であるため、非破壊検査で欠陥を探すことを「探傷」と呼んでいます。主な探傷法として、図2および以下に示す5つの方法があります。

- ①超音波探傷法      ②磁粉探傷法      ③浸透探傷法
- ④放射線透過法      ⑤渦流探傷法

①の超音波探傷法は、検査する部品の内部に、人間の耳には聞こえない超音波（音の一種）を入射した時に、その反射波の波形から欠陥の位置や大きさを確認する方法で、内部あるいは裏側の欠陥を検出できます。②の磁粉探傷法は、検査する部品を電磁石等で磁化しながら磁粉（細かい鉄粉）を吹きつけると、表面にきずがあればその箇所に磁粉が集まるので、それを観察する方法です。③の浸透探傷法は、表面きずの内部に特殊な液体をいったん浸透させた後、現像処理によってきずに浸透した液体を吸い上げて観察する方法です。④の放射線透過法は、欠陥の有無による放射線（X線など）の透過量の違いを画像化する方法で、主に内部の欠陥を検出できます。⑤の渦流探傷法は、部品の表面にコイルを近づけた時に発生する「渦電流」の流れ

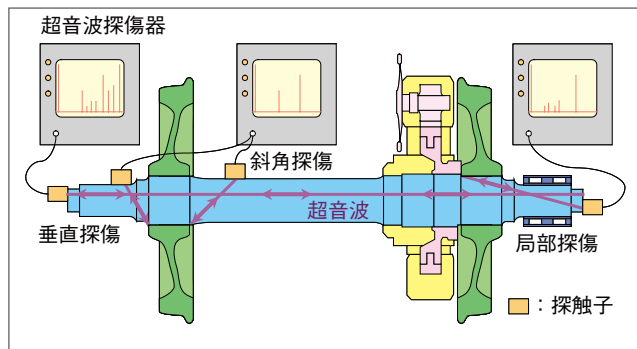


図5 車軸の超音波探傷の方法

方が、きずの有無によって変化することを利用して、表面近くのきずを検出する方法です。

### 車軸の検査法

車軸は、車両の荷重によって常に曲げを受けながら回転することで、軸の内部よりも表面に大きな力が作用します。そのため、車軸のきずは通常、軸の表面に発生した後、軸方向に垂直に進展します。

すべての車両が数年に一度、車両検修工場で受ける全般検査あるいは重要部検査といった大規模な検査では、台車から輪軸を外して、軸箱などの軸端部の部品を外した後、まず、図3に示す大きな門型の磁化器で車軸全体を磁化し、②の磁粉探傷で軸端部（ジャーナル）と車輪間（中央平行部）を中心に、表面きずの有無を検査します。車軸の磁粉探傷では、より細かいきずをも見逃さないようにするため、表面に蛍光塗料をコーティングした磁粉（蛍光磁粉）を用い、周囲を暗幕で囲んだ暗い場所で、ブラックライトを照らして検査する場合があります。

次に、輪軸から車輪を外して、車軸単体の状態にします。車輪がはめ合わされていた箇所（車輪座）にきずが発生する場合がありますので、再度、②の磁粉探傷で車輪座を検査します。この時には、携帯型の磁化器を用います。実際の車軸で検出された微細な表面きずの例を図4に示します。磁粉きずが検出された場合、サンドペーパー等を用いて車軸表面を手入れした後にもう一度磁粉探傷を行い、きずが除去されたことを確認してから継続使用します。きずの検出部位や軸種にもよりますが、一般的には表面から深さ0.15mmまで手入れしてもきずが除去しきれない場合には、車軸の表面を削り直すか、または廃棄します。

一方、車輪を外さない場合や、歯車など通常は外さない部品のはめ合い面にきずがないことを確認するために、①の超音波探傷が行われます。超音波探傷は図5に示すように、垂直探傷法、局部探傷法、斜角探傷法の3通りの方法を組み合わせて、車軸全体に超音波をくまなく行き渡らせ、きずが発生しうる重要検査部位での見落としがないように

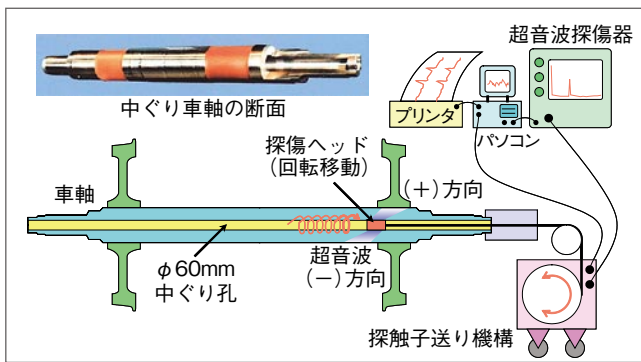


図6 中ぐり車軸とその探傷方法

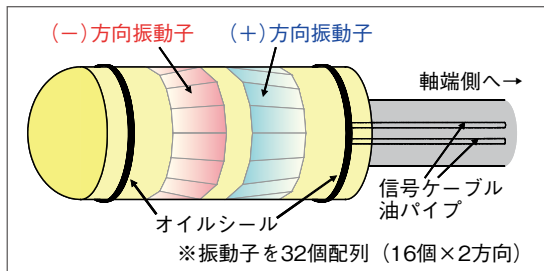


図7 マルチプローブ式探傷ヘッド

しています。

新幹線電車では、1992年にデビューした300系以降の車両の車軸には、車軸中心に直径60mmの孔を空けた、図6に示す「中ぐり車軸」が採用されています。中ぐり車軸は当初、輪軸の軽量化を目的としていましたが、中ぐり孔の内面から超音波で探傷すれば、車軸の肉厚分のみの近い距離から車軸全長を検査することができ、より小さいききずの検出が可能になりました。超音波を斜め前後方向に発振する2個の探触子が組み込まれた探傷ヘッドを、中ぐり孔の片側から反対側の端面まで挿入した後、超音波を発振した状態でヘッドを回転させながら手前に引き抜くことで、車軸全長の全表面を探傷します。これらの動作およびきずの有無の判定は自動化されており、検査作業の効率化が図られています。

最近では、図7に示すように、超音波の発振板(振動子)を探傷ヘッドの円周方向に並べ、電子回路を切り替えて超音波を全周に発振する「マルチプローブ」を採用した装置が開発されています<sup>1)</sup>。探傷ヘッドの回転動作を省略することで、装置の摺動部を減らしたとともに、検査時間が短縮されました。また、在来線でも、JR東日本E331系電車の駆動軸には、検査精度の向上などを目的として直径40mmの中ぐり孔が空けられており<sup>2)</sup>、この車軸に適合する超音波探傷装置の開発が進められています。

### 台車枠の検査法

台車枠の一例を図8に示します。最近の台車枠は、厚さ

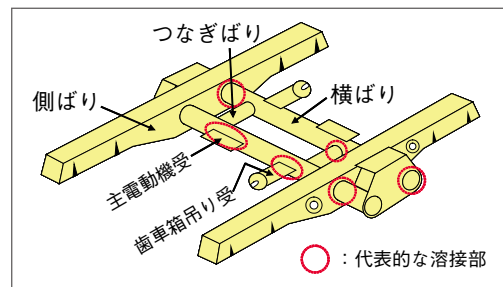


図8 台車枠の構造

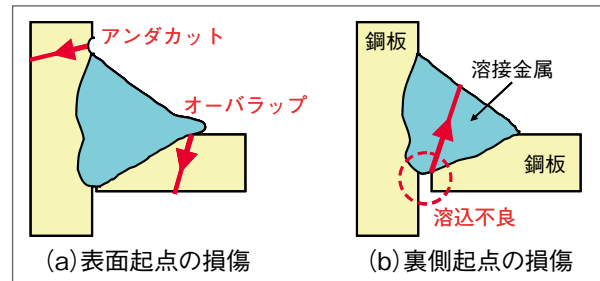


図9 台車枠溶接部の損傷形態

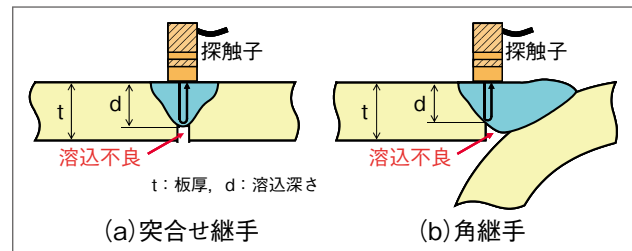


図10 溶接部溶込不良の超音波探傷法

10mm前後の鋼板を溶接で組み立てた構造のものが大半を占めています。したがって、製造段階で図9に示すようなアンダカット、オーバーラップ等の表面欠陥、あるいは溶込不良等の内部欠陥が、溶接部に存在しないことを確認しておくことが重要です。

最近では台車枠の製造段階で、溶込不良の有無を確認する目的で、①の超音波探傷が行われています。図10に示すように、溶接部の表面に探触子を接触させながら走査すると、溶込不良が無い場合には鋼板の底面エコーのみが反射しますが、溶込不良が存在すると、底面より浅い位置で超音波が反射するので、その波形から溶込不良の有無が判断できます。

製造段階で十分に検査した台車枠でも、使用中にきずが発生する可能性はゼロではありません。また、古い形

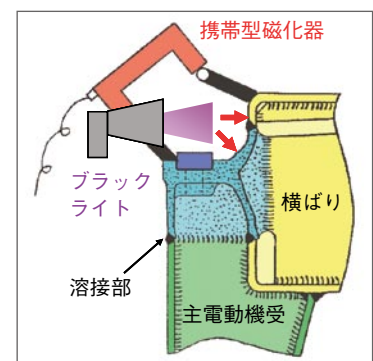


図11 台車枠の磁粉探傷

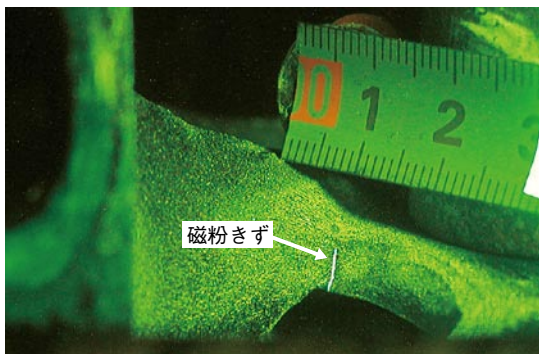


図12 台車枠の磁粉きず

式の台車枠では、個体によっては溶接状態が良くない場合があります。そのため、きずが検出された箇所についての過去の経験を参考にしながら検査箇所を決定し、図11に示すような携帯型の磁化器とブラックライトを用いて、②の（蛍光）磁粉探傷法で溶接部周辺を重点的に検査しています。検出された磁粉きずの例を図12に示します。きずが検出された場合は、グラインダ等で削ってきずを除去し、完全に除去できたことを磁粉探傷で再度確認した後、溶接盛りで補修して継続使用します。

なお、台車枠を磁粉探傷する場合、台車枠表面の塗装を剥がしてからでないと十分な検査ができません。この塗装剥がし作業は、台車枠の探傷のうえで非常に手間が掛かるともに、粉じん等が発生するため作業環境的にも良好でない作業です。そのため、最近では塗装を剥がさずに検査できる手法への要望が高まっており、⑤の渦流探傷法を用いた方法<sup>3)</sup>、あるいはACFM（交流電磁場測定）法などの電磁気的な原理を用いた検査法<sup>4)</sup>の研究が進められています。また、一部の鉄道会社では、台車枠の渦流探傷が実用化されています<sup>5)</sup>。

### その他の部品の検査

②の磁粉探傷は、鋼のように磁石がくっつく材料（強磁性体）にしか適用できません。先に説明した車軸や台車枠は鋼製なので磁粉探傷が適用できましたが、例えば、エンジン周りの部品や新幹線の歯車箱のようなアルミニウム製の部品には、磁粉探傷の代わりに③の浸透探傷が適用されています。

また、鉄道総研で最近取り組んでいる研究として、(1) モーターと歯車間の継手に用いられる、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）製たわみ板の超音波探傷法、(2) 車軸軸受などの軸受部品の超音波探傷法、(3) ステンレス車体へ適用が進んでいる「レーザ溶接」の溶込状態を確認する超音波探傷法、などがあります。これらの概要を図13に示します。

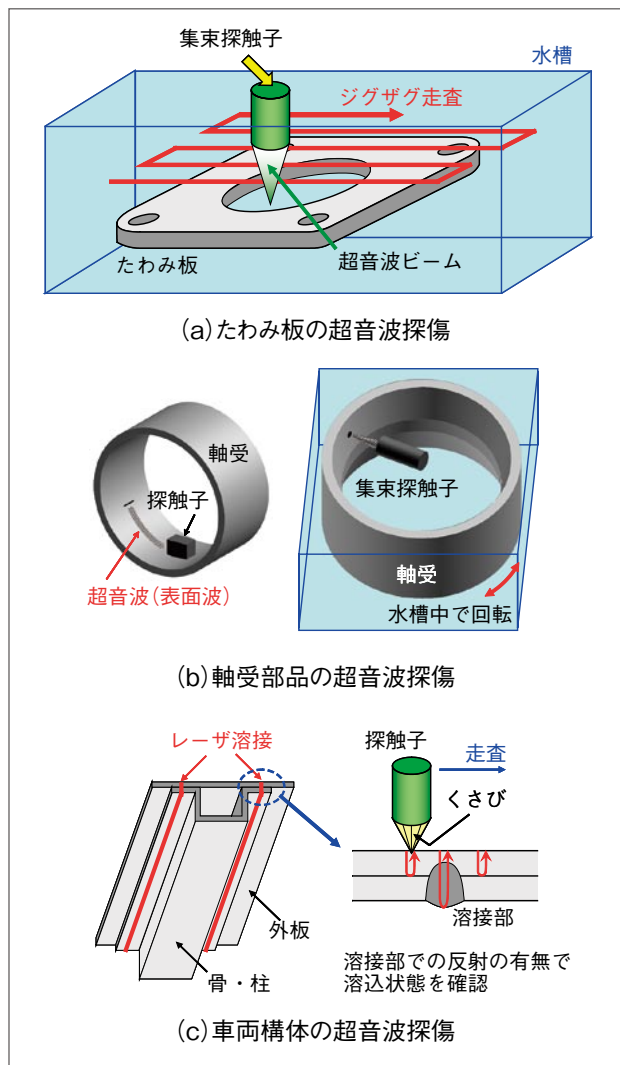


図13 鉄道総研での非破壊検査の取組み

### おわりに

車両に潜む欠陥の検査法として、主として台車周りの部品の探傷技術について、最近の取組みと併せて紹介しました。このような技術は通常、人の目に触れることはなく、いつもの安心を陰で支える存在ですが、普段、鉄道を利用する際、あるいは車両検修工場の一般公開の時などに、本稿が、そういう視点で車両を見るきっかけになって欲しいと願っています。[RRR]

### 文献

- 1) 石原道章：鉄道車軸の超音波探傷技術について、非破壊検査、56-3、pp.114-117、2007
- 2) 田原雅幸：E331系一般形直流電車、鉄道ジャーナル、No.477、p.62、2006
- 3) 酒井昌一、大戸伸一：台車枠探傷作業への渦流探傷法の実用化、JR EAST Technical Review、No.10、pp.35-39、2005
- 4) 小林誠、大津山澄明：新しい台車枠探傷技術（ACFM）の開発、R&M、15-6、pp.16-19、2007
- 5) 松本博：東武鉄道・南栗橋新工場の機械設備、R&M、13-4、p.11、2005