

台車枠の表面きずを効率的に検査する

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

鉄道車両を構成する重要な部材のひとつとして、図1に示す「台車」があります。台車は、台車枠、輪軸(車輪と車軸)、駆動装置、ブレーキ装置等から構成されますが、これらのうち台車枠は、車体と輪軸の間に挟まれている部品であるため、車体からの荷重および輪軸からの振動によって、常に大きな曲げやねじりの変形を受けます。それとともに、台車枠にはモーターや歯車箱(減速機)、ブレーキ等の部品が組み付けられており、これらの部品による荷重も支持しなければならないため、強度的に非常に厳しい環境にさらされています。この台車枠が、走行中に万が一破損するようなことがあれば、即座に脱線につながる恐れがあるため、鉄道車両の定期検査では、台車枠の検査に重点が置かれています。

本稿では、台車枠の表面きずの検査方法に関して、まず現状の検査方法とその課題について述べた後、きずを効率的に検査できる新しい検査方法のひとつとして、現在開発中のACFM法の原理、信号処理によるきず検出性能の向上策、および実際の台車枠での検証結果について説明します。

台車枠検査の現状

台車枠の構造例を図2に示します。最近の台車枠は、厚さ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おり、台車枠の製造段階では溶接部を中心とした検査が実施されます。

しかし、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がゼロではありません。そのため、台車枠の定期検査では、磁粉探傷法による表面きずの検査が主に行われます。図3に示すように、蛍光磁粉液(蛍光塗料をコーティングした磁粉を含んだ液体)を台車枠の表面にスプレー等で掛けながら、携帯型磁化器とブラックライトを用いて溶接部周辺を重点的に検査します。検出された表面きずの例を図4に示します。きずに集まった蛍光磁粉がブラックライトに照らされている様子が分かります。

台車枠を磁粉探傷する場合、台車枠表面の塗装を剥がす「前処理」をしてからでないとなかなか十分な検査ができません。表面に塗装が残っていると、塗装の厚さ分だけ磁力が弱まるとともに、塗装の凹凸で磁粉液の流動性が悪くなり、きず検出性能が極端に落ちてしまうからです。しかし、この塗装剥がし作業は、台車枠の探傷のうへで非常に手間がかかるのと同時に粉じん等が発生するため、作業環境的にも良

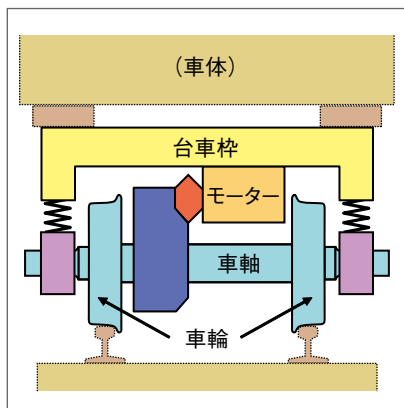


図1 台車の構成

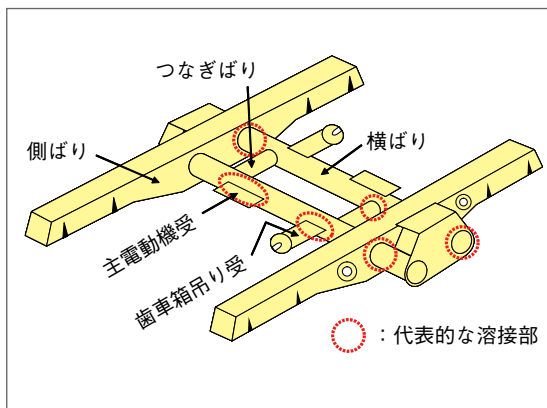


図2 台車枠の構造

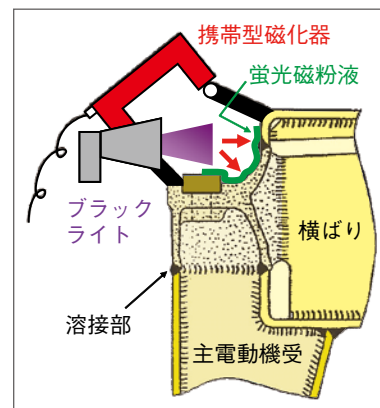


図3 台車枠の磁粉探傷

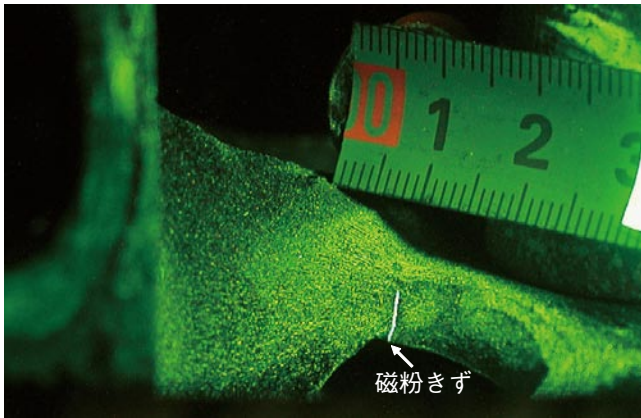


図4 台車枠の磁粉きずの例

くありません。そのため、最近では塗装を剥がさずに効率的に検査できる手法への要望が高まっています。

新しい検査法(ACFM法)の原理

塗装の上からきずを検査する方法として、渦流探傷法が以前から知られています。渦流探傷法の原理を図5に示します。コイルが組み込まれたプローブを表面に近づけた時、電磁誘導作用によって、コイルの磁束に対抗する向きの磁束を生じさせるような電流(渦電流)が流れます。渦電流の乱れ方は、表面にきずがある場合とない場合とで異なるため、この違いをコイルで検知することで、きずを検出することができます。しかし、渦流探傷法を台車枠の塗装上からの検査に適用した場合、プローブを動かす速度がきず検出性能に影響するだけでなく、溶接部の複雑な形状や表面の凹凸のために渦電流が安定しにくく、形状によるノイズときず信号との区別が難しいという課題があります。

そこで、台車枠の新しい検査法として、ACFM法の適用が研究されました。「ACFM」とは“Alternating Current

Field Measurement”の略称で、元々、イギリスで開発された方法であり、日本語では「交流電磁場測定法」と呼ばれます。ACFM法の原理を図6に示します。この方法は渦流探傷法と同様に、コイルの電磁誘導作用を応用した方法ですが、誘導電流を流すための励磁専用コイルと、 B_x コイル、 B_z コイルの2個の小型の検出専用コイルがプローブに組み込まれている点が特徴です。

まず、励磁コイルの作用によって、検査する表面に平行な誘導電流が流れます。表面にきずがない場合には一様に流れますが、きずがある場合には、きずの両端では電流が両側に回り込み、きずの途中では電流が深さ方向に潜り込むように流れます。

この状態で、きずの方向と平行にプローブを動かした時、 B_x コイルがきずの近くを通過すると、きずの深さによる誘導電流の潜り込み量の変化に応じて、 B_x コイルで検出される信号(B_x 信号)が変化し、時間とともに(プローブの位置に応じて)下方向にくぼんだ信号が検出されます。一方、 B_z コイルがきずの近くを通過すると、誘導電流の回り込み方向の変化に応じて、きずの両端で逆方向に飛び出した信号が検出されます。

これらの B_x 信号、 B_z 信号の特徴的な波形をまとめて解析することで、表面きずを検出することができます。

きず信号の処理方法

以上で述べたように、ACFM法を適用することにより「原理的には」表面きずを検出することが可能です。しかしACFM法は、石油タンクやパイプライン等の形状が比

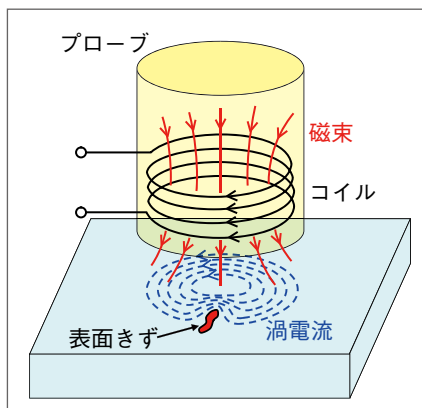


図5 渦流探傷法

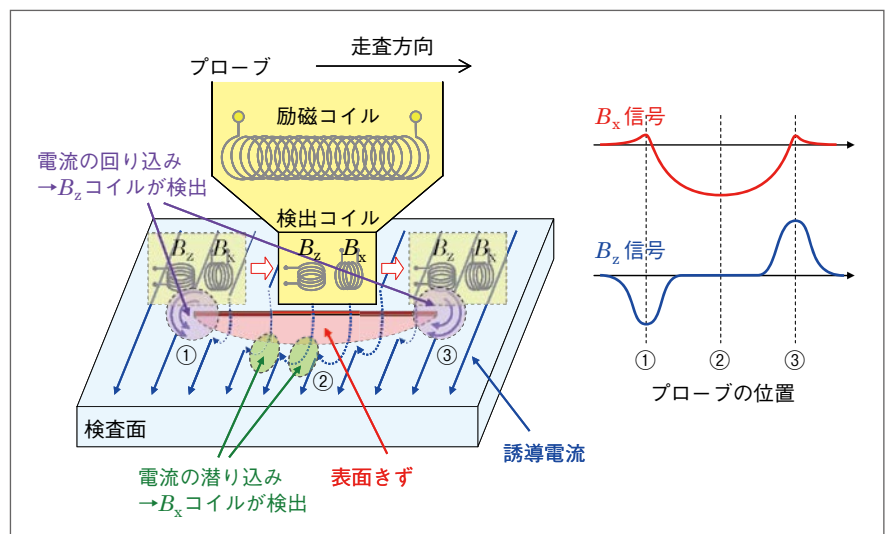


図6 ACFM法の原理と波形の特徴

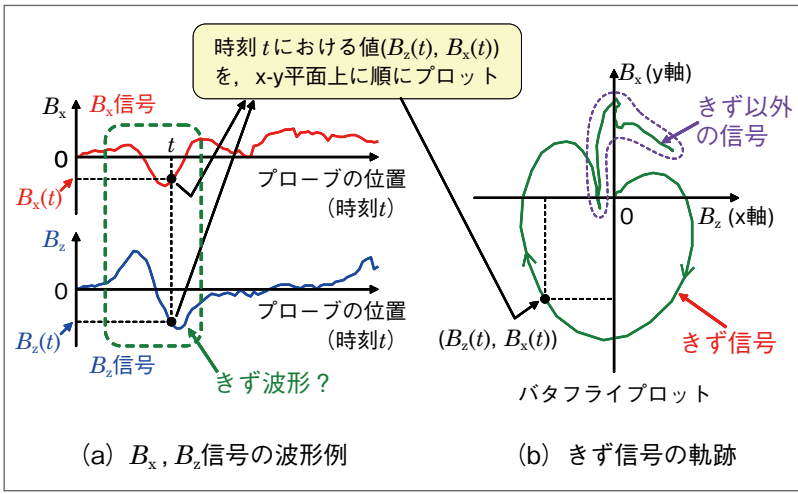


図7 波形処理前の台車枠のきず信号

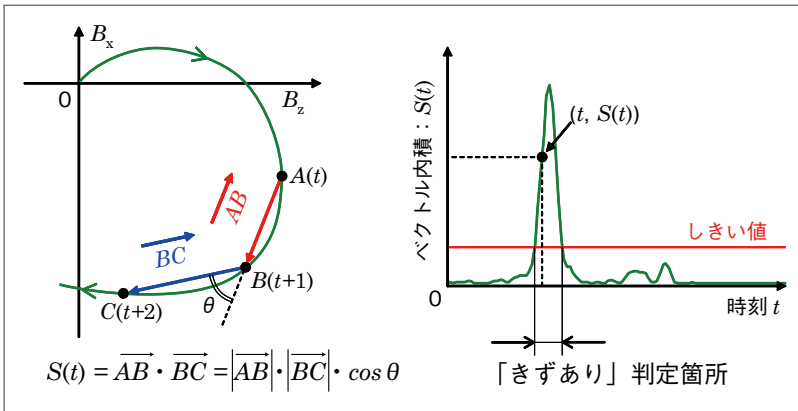


図8 きず信号の判定方法(ベクトル内積)

較的単純な構造物への適用は進んでいますが、鉄道の台車枠のような複雑な形状物に適用した場合、きずの検出は必ずしも容易ではなく、信号処理等の工夫が必要となります。

台車枠に適用した場合の波形例を図7(a)に示します。きず波形の特徴が何となく現れていますが、この波形だけできずの有無を判断するのは困難です。そこで図7(b)に示すように、 B_z 信号を横軸(x軸)、 B_x 信号を縦軸(y軸)にとり、別々に描かれた2つの波形を合成します。これは、高校の数学で習う「軌跡」の考え方と同様で、例えば、プローブを走査する時間 t の経過に対して、 B_z 信号と B_x 信号が

$$B_z = \cos t, B_x = \sin t$$

の式で表されている場合、x-y平面上では

$$B_z^2 + B_x^2 = 1$$

の式で表される円の軌跡を描くこととなります。

きずがある箇所とない箇所でも多くのデータを記録し、これらの軌跡の特徴を解析した結果、きずがある箇所では円形に近い軌跡(これを「バタフライプロット」と呼びます)を描き、きずがない場合、あるいは形状的なノイズによる信号の場合はランダムな軌跡を描くことが分かりました。

そこで、軌跡の挙動を計算して、波形をリアルタイムに

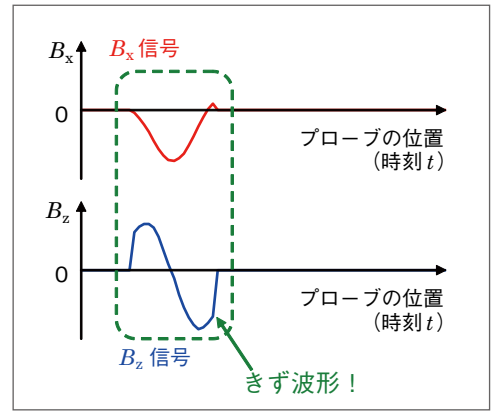


図9 波形処理後の台車枠のきず信号

解析するために、「ベクトルの内積」を用います。これも高校の数学で出てくる内容ですが、図8に示すように、ある時刻 t (秒)の時にx-y平面上のA点の信号を、1秒後にB点、2秒後にC点の信号を受信した場合(実際には、1秒よりも短い間隔で受信します)、時刻 t における次式の値 $S(t)$ を計算します。

$$S(t) = \vec{AB} \cdot \vec{BC} = |\vec{AB}| \cdot |\vec{BC}| \cdot \cos \theta$$

ここで、 θ は2つのベクトルがなす角を表します。軌跡が円形に近づく、軌跡がランダムな場合と比較して $S(t)$ が大きくなります。そこで、プローブの走査中

に $S(t)$ を随時計算し、 $S(t)$ があるしきい値を超えた時に、その位置にきずがあると判定します。実際には、データの平均化等の他の信号処理も並行して行います。

こうして、きずがあると判定された箇所の B_x 信号、 B_z 信号のみを抽出して描き直した波形が図9です。きず信号を処理することによって、各信号波形の特徴的な部分だけが描かれ、台車枠のような複雑な形状物を検査した場合でも、検査員の誰もがきずを検出できる状態にすることができます。実際には、検査員は検査に集中しているため、信号処理の結果きずがあると判定された場合には、アラーム等で検査員に知らせる仕組みとしています。

ACFM台車枠検査装置と検査データの管理

以上で述べたACFM法の考え方を取り入れて製作した台車枠検査装置の構成を、図10(a)に示します。ACFM装置本体、探傷用プローブ、タッチパネル式のパソコン等から構成されます。使用する環境に応じて、図10(b)のように検査員が持ち運べるようにした方式、あるいは装置一式をワゴンに収納した方式があります。

現在、台車枠を磁粉探傷法で検査した場合には、台車

枠の図面が描かれた検査記録表（紙の書類）に、例えば「部位：台車枠側ばり－横ばり溶接部、きず長さ：10mm」のように記録し、図面にその位置を書き込み、必要に応じてスケッチまたは写真を添付するのが一般的です。ACFM法の開発にあたっては、データが電気信号として取り込まれることから、検査記録をパソコンで管理することが念頭に置かれました。

ACFM台車枠検査装置のパソコンに表示される、検査記録の画面例を図11に示します。検査すべき部位は、台車枠の図面上にボタンで表示されます。各部位の検査開始時に、その部位のボタンにタッチします。プローブを走査すると自動的に信号が取り込まれ、OKかNGかの判定がなされ、タッチパネルのボタンの色が変わります。全ての検査部位にタッチしてデータを取り込めば、1台の台車枠の検査が終了します。ボタンの色を確認すれば、検査部位の取りこぼしはありません。

現場での検証試験

実験室で基礎試験を実施した後、実際の台車枠を用いてのデータ収集、現場の検査員との協力による操作性の検証・改良、信号処理ソフトおよびプローブの改良がこれまで行われてきました。

検査現場での検証試験の状況を図12に示します。この検証では、台車枠の塗装を剥がす前にACFM検査装置で探傷した後、塗装を剥がして従来の磁粉探傷法でも検査し、両者の検出性能の比較を行いました。このような現場での地道な検証の結果、装置の開発当初の「長さ10mm以上の表面きずを、見逃さずに検出する」という目標が達成され、実用化への見通しが得られました。現在、検修工場へのACFM台車枠検査装置の本格的な導入に向けて、さらなる検討が進められています。

おわりに

本稿では、台車枠の表面きずを効率的に検査する方法のひとつとして、ACFM法について紹介しました。磁粉探傷法を中心とする従来の方法は、検査員の技術力や経験に依存するところが多くあります。検査技術を含めて技術継承の重要性が叫ばれる中、検査員各自のスキルアップは不可欠ですが、同時に、本方法を適用した場合のように、合否判定の自動化によって検査品質を一定以上に維持する試みも、今後重要になってくるものと考えられます。

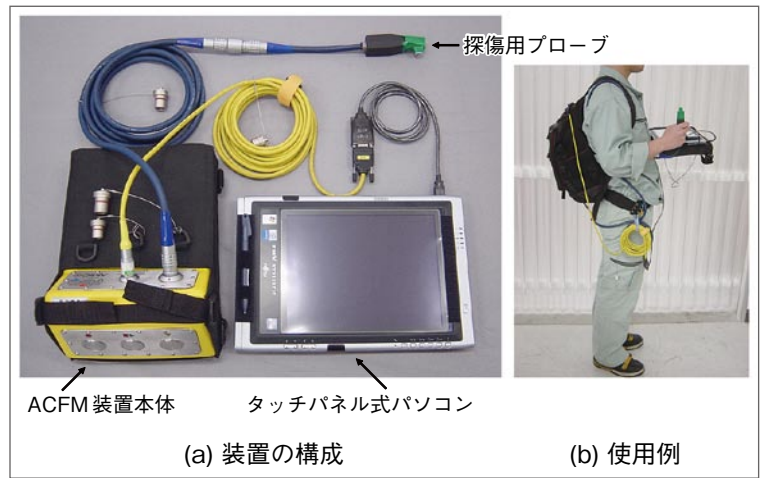


図10 ACFM台車枠検査装置

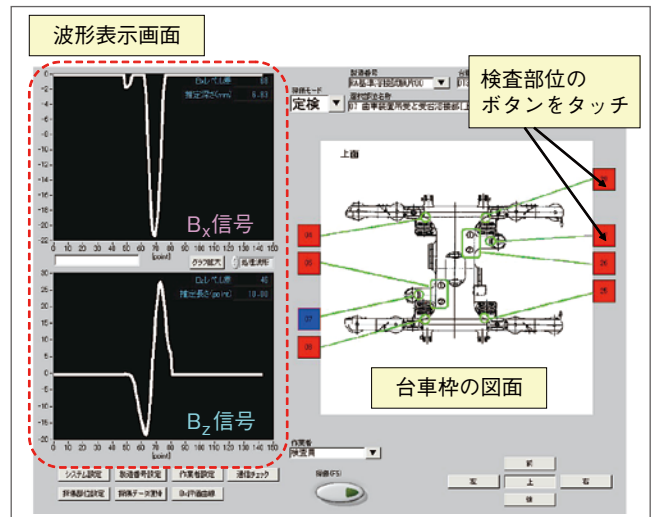


図11 検査記録の画面例



図12 ACFM台車枠検査装置の現場での検証試験

なお、本件名に関わる内容の一部は、西日本旅客鉄道株式会社殿からのコンサルティング依頼のもとに実施しました。本稿の執筆にあたり、ご協力頂きましたことに御礼申し上げます。RRR