

台車枠探傷作業への渦流探傷法の 実用化



酒井 昌一* 大戸 伸一*

現在の台車枠の探傷は、塗装を剥離した上での磁粉探傷を行っている。塗装剥離作業は粉塵が多量に発生し3K作業となっている。そこで、塗膜上から探傷できる渦流探傷装置を用いて、探傷作業をより効果的に行う方法を開発する。本開発では、渦流探傷法を用いて実際の台車枠に適用できるか検証するため、探傷検査箇所毎の試験体を作製し、そこに人工きずを加工し、検出能力や作業性を測定すると共に、自然に発生したきずについても測定し、検出能力の確認及び渦流探傷法の実用化についての検討を行った。

●キーワード：渦流探傷、台車枠、探触子、対比試験片、人工きず

1 はじめに

1998年以降複数の鉄道事業者で台車枠の亀裂が発生し、行政機関から緊急点検の通達が出ている。現在の台車枠の探傷は、塗装を剥離した状態で磁粉探傷を行っているが、塗装の剥離作業は粉塵が多量に発生するなど3K作業となっている。そこで、特に新系列電車(209系,E231系等)の台車枠を対象に探傷検査箇所の塗装を剥離せず、台車枠の表面割れを探傷する方法として「渦流探傷法」を用いて、実際の台車枠への適用性の確認と判定条件の決定を行った。

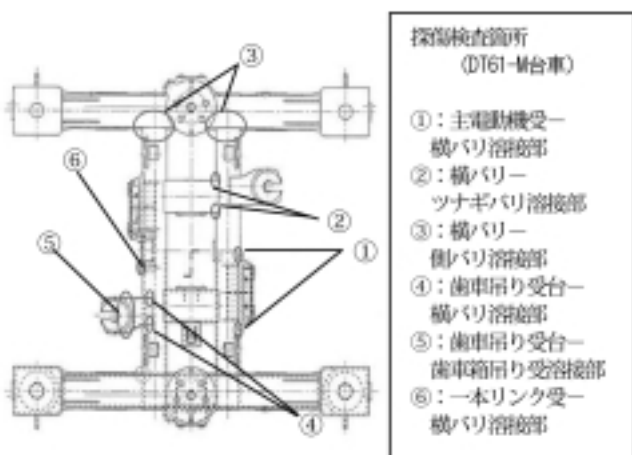


図1：台車枠(DT61)における磁粉探傷検査部位

力のために導体内には円形電流が誘導される。この誘導電流を渦電流という。

渦電流はコイルの交流磁束を打ち消すような磁束を発生する性質があり、導体内に渦電流が流れると、コイルにより発生した交流磁束は打ち消されて小さくなる。図3(b)に示すように、導体の表面に割れなどが不連続にあると、渦電流の流れが変わるから、渦電流によって発生する反作用磁束が変化して試験コイルにおける磁束が変わり、結果として試験コイルのインピーダンスが変わることとなる。したがって、コイルの起電力の変化から、金属(導体)表面における割れなどの不連続を検出できる。これが渦流探傷の基本原理である。

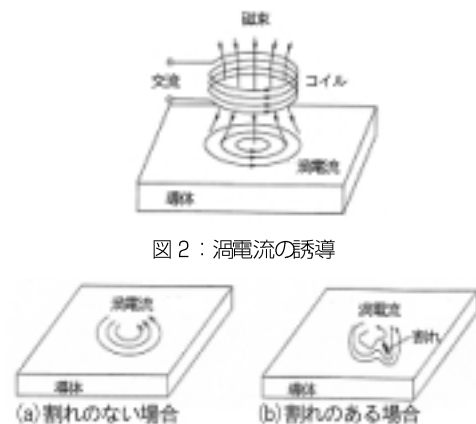


図2：渦電流の誘導
図3：割れによる渦電流の変化

2 渦流探傷のしくみ

図2に示すように、交流電流を流したコイルを導体に近づけて、その交流磁束が導体を貫くようにすると、電磁誘導による起電

3 台車枠への適用性の確認

3.1 人工きずの大きさ等についての検討

渦流探傷によるきずの検出能力を確認するために、実際に

使用している台車枠に相当する試験体(以後対比試験片と呼ぶ)を製作し、さらに、その対比試験片に人工的なきずを加工するため、そのきずの大きさについて検討した。

「台車枠側はり部のき裂進展シミュレーション」(国土交通省:「鉄道車両の台車枠の検査マニュアル」)では、塑性変形開始長さは600mmで、き裂の長さの初期値が10mm以内ならば走行距離240万Km時においても塑性変形開始長さの600mm未満となっている。(図4)

このシミュレーションは、台車枠側はり部のものであるが、今回の検査指定箇所においても本シミュレーションから得られるき裂長さの初期値が10mm以内の傷を検出することを目標とし、人工的な傷の長さは5mm、8mmおよび10mmの3種類とした。選定した3種類の人工傷の寸法を以下に示す。

- 人工傷寸法 長 \approx 5.0mm \times 幅 \approx 0.5mm \times 深 \approx 2.0mm
- 長 \approx 8.0mm \times 幅 \approx 0.5mm \times 深 \approx 2.0mm
- 長 \approx 10.0mm \times 幅 \approx 0.5mm \times 深 \approx 2.0mm

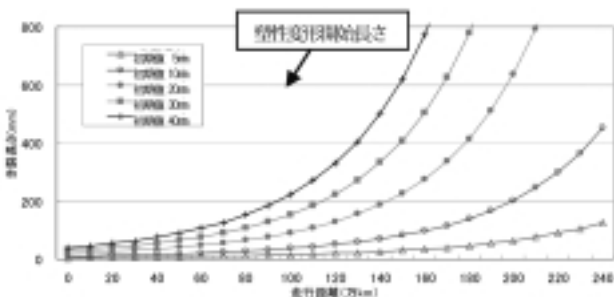


図4：側はり部の亀裂進展シミュレーション

3.2 対比試験片の作製

渦流探傷の検出能力を測定するために、実使用台車枠における探傷検査対象箇所を模擬した部分試験体を使った。検出すべききずは、基本的に溶接ヒート上にある長手方向のきずとし、選定した3種類のきずを放電加工で加工し、これを対比試験片とした。

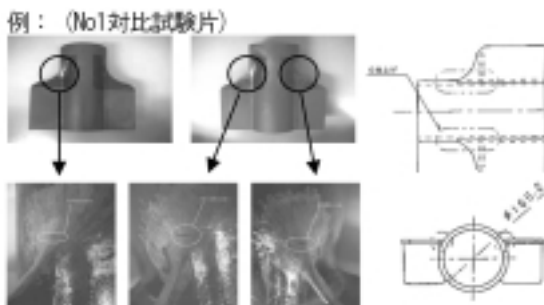


図5：対比試験片(主電動機受と横ばりとの溶接部)

3.3 感度校正用基準試験片の作製

感度校正用基準試験片は、感度の調整及び探傷器やプローブの性能確認に用いる。材質は、台車枠と同じ溶接構造用圧延鋼材(SM400)とし、両面に放電加工による人工きず(長さ8mm及び5mm)を加工した。さらに、基準試験片で探触子を走査する際に、人工きず上を再現性よく走査できるようガイドを取付け、塗装を想定した厚さ相当(200 μ m)のポリプロピレンシートを被せられる構造とした。

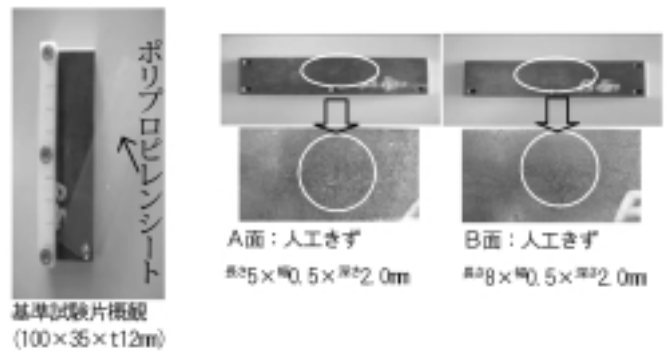


図6：基準試験片

3.4 対比試験片を用いたデータ採取

基準試験片を用いて感度調整を行った後、対比試験片全6体の各々3種類の人工きずを加工した溶接部についてデータ採取を行った。

図7に示すように、プローブを人工きずの真上のライン3往復走

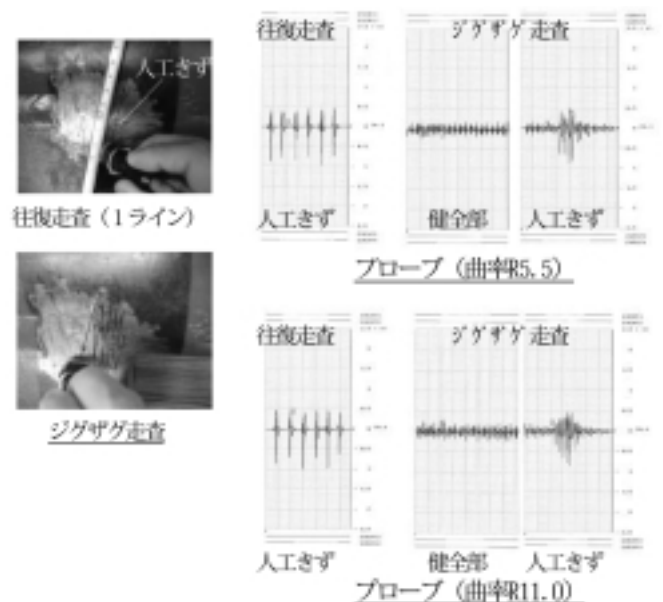


図7：対比試験片でのデータ測定状況

査と人工きずを横切るようなジグザグ走査を各々3回行い、各溶接部の健全部についてもジグザグ走査を行いデータ採取をした。なお、対比試験片は塗装を行わず、実使用台車枠のデータと比較ができるように塗装厚さを想定した厚さ200 μ mのポリプロピレンシートを改良プローブのキャップに取付けて測定を行った。また、検査用プローブの走査性を向上させるため、プローブ先端形状の曲率を変えたキャップを製作し、その違いによる検出能力を測定した。

ジグザグ走査探傷では、同じ寸法の人工きずでも対比試験片によって検出能力(SN比)が異なったが、人工きずを加工した溶接部形状の違いが影響しているためであり、全ての対比試験片において長さ8 \times 幅0.5 \times 深さ2.0mm以上の人工きずはSN比2倍以上で検出することができた。

また、図7の結果より、往復走査とジグザグ走査ではSN比的には大差がない結果となっており、往復走査と比ベジグザグ走査でも再現性についても問題ないと判断できるので、実際の探傷作業においてもジグザグ走査での作業が効率的であることが確認できた。また、プローブの先端形状の相違による検出能力は、変わらないことが確認できたことから、検査対象箇所の形状に合わせ、最適なキャップを使用し作業を効率的にできると言える。

3.6 実使用台車枠を用いたデータ採取

3.6.1 実使用台車枠の調査

渦流探傷は塗装を剥離せず探傷できるが、その際に塗装の厚さによって探傷感度が左右される可能性があるため、実使用台車枠での塗装の厚さを測定した。その結果、製造メーカー、探傷検査指定箇所毎にばらつきはあったものの、平均で約200 μ mとなり、渦流探傷での感度に影響のないことを確認した。



図8：台車枠での塗装厚さの測定

3.6.2 実使用台車枠でのデータ採取

対比試験片でのデータ採取と同様に、探傷器の感度を調整した後、実使用台車枠の探傷検査箇所についてデータ採取を実施した。

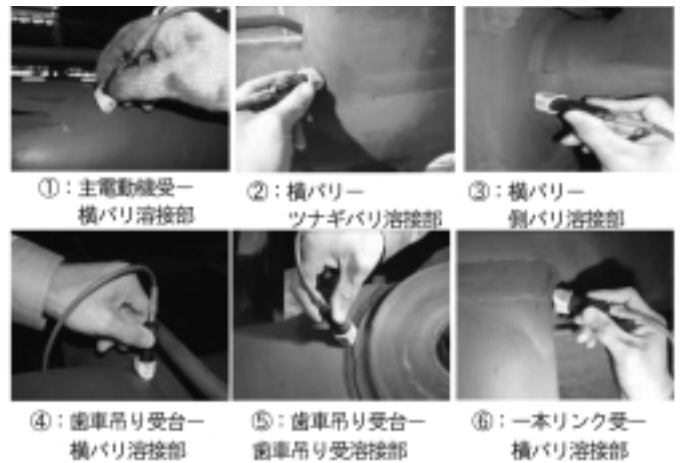


図9：台車枠での走査状況

実使用台車枠では、各探傷検査箇所は対比試験片での部分試験体の状態とは異なり、組立てられた状態での探傷となるので、付属部品等を含む他の部材の影響等で走査方法が限定される場合があるので、各探傷検査箇所でもプローブの走査性についても確認を行った。

その結果、溶接部のグラインダー仕上げを行っていない歯車吊り受台-歯車箱吊り受溶接部(図9.⑤)を除く探傷検査箇所において、長さ8 \times 幅0.5 \times 深さ2.0mm以上のきずが存在していればSN比は20倍以上で検出可能であることが確認できた。

3.7 検出能力の確認

3.7.1 塗装上から人工きずの検出能力の確認

実使用台車枠の探傷は塗装された状態で行うため、試作プローブ(曲率R5.5)を用いて基準試験片で感度調整を行った後、対比試験片(横バリ-側バリ溶接部)(図9.③)の長さ8 \times 幅0.5 \times 深さ2.0mm人工きず加工箇所について、塗装をしない状態と塗装した状態で人工きずの検出能力を測定した。なお、塗装は3回に分けて重ね塗りし、その都度、膜厚計で人工きず近傍の任意の5点で塗膜厚さを測定した。

その結果、対比試験片の人工きず信号の振幅は塗装厚さが厚くなるにつれ低下したが、塗装厚さが400 μ m程度あっても

きずは十分検出できた。また、塗装のない状態でのプローブの走査はグラインダー仕上げ面の影響を受けたが、塗装状態ではスムーズな走査が可能であった。

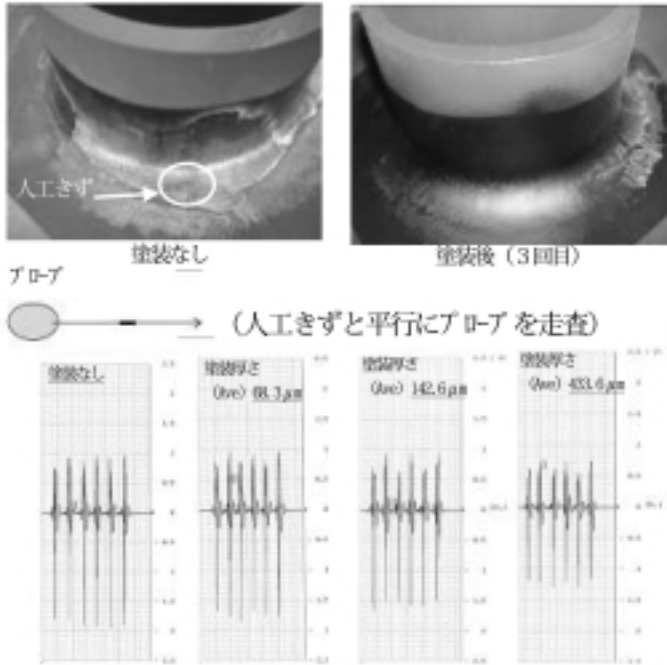


図10：対比試験片での塗装状態による人工きずの検出状況

3.7.2 自然に発生したきずの検出能力の確認

これまで渦流探傷試験で確認してきたきずの検出能力は、放電加工による人工きずを対象としてきたが、自然きずの検出能力を確認するため、対象としている台車枠とは異なるが、115

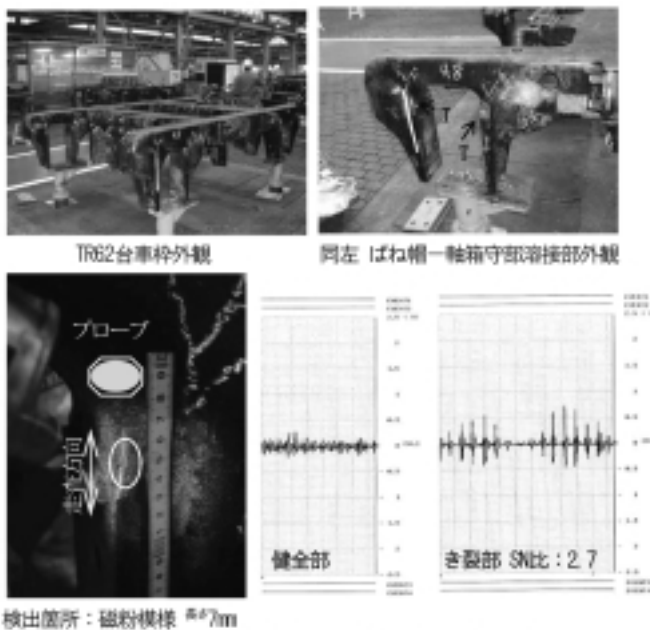


図11：自然きずの測定状況(TR62台車枠)

系等で使用されているTR62台車枠及びDT21B台車枠溶接部において磁粉探傷試験で確認されたきずについて渦流探傷を実施した。

TR62台車枠のき裂発生箇所、磁粉探傷試験の外観写真及び渦流探傷試験結果の一例を図11に示す。その結果、TR62台車枠溶接部の4箇所(きず長さ2,3,7mm)の自然きずはいずれもSN比2倍以上で検出できた。

DT21B台車枠のき裂発生箇所、磁粉探傷試験の外観写真及び渦流探傷試験結果の一例を図12に示す。

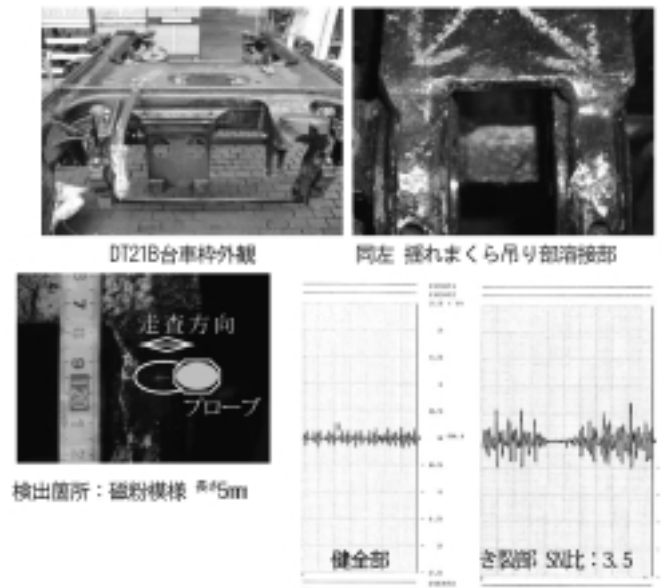


図12：自然きずの測定状況(DT21B台車枠)

DT21B台車枠溶接部の自然きず6箇所(きず長さ3,5,6,7,12,15mm)のうち、SN比が2倍以上で検出できたものは長さ5,6,12mmの3箇所であった。

きず信号の振幅は一般的にきずの断面積に比例するが、今回探傷した自然きずはDT21B台車枠の長さ15,12mmを除き基準試験片の人工きずよりも長さが短いので振幅も小さかった。また、DT21B台車枠の5,12mmについては基準試験片の人工きずよりも長いきずであるが、溶接形状の影響でプローブの走査性が悪いため検出能力が低下し振幅も小さくなったと思われる。

3.8 きずを検出する際の判定値の検討

一般的に、判定(OK、NG)を含む全自動探傷の場合には、

外来ノイズ等の影響による誤判定を防ぐためSN比は3倍以上とするが、今回の探傷では手動走査による探傷であり、判定も人間が行うためSN比が2倍であってもノイズときずの識別は十分可能であると考えられる。これより、検出対象きず寸法を $長\approx 8 \times 幅\approx 0.5 \times 深\approx 2.0\text{mm}$ 以上とし、きずを検出する際のしきい値の検討を行った。しきい値の設定は、ノイズレベルよりも高く、かつ見落としを防ぐために、間違いなく対象とするきず信号よりも低くなければならない。しかし、実使用台車枠でのノイズレベルは各探傷検査箇所毎の形状等の影響で一様でないために探傷検査箇所毎のしきい値を設定することは困難でありかつ実用的でない。従って、全ての探傷検査箇所での実使用台車枠のノイズの最大値と $長\approx 8 \times 幅\approx 0.5 \times 深\approx 2.0\text{mm}$ の人工きずの信号の最小値をとることとして、ノイズの最大値は図9の③及び⑥の箇所0.38V、人工きず信号の最小値は②の箇所の0.88VなのでSN比は2.3倍となる。よって、この条件が最も検出能力の低い場合となるので、図13に示すようなしきい値を設定すれば、今回データ採取を行った実使用台車枠と同程度の溶接部形状の台車枠ならば、全ての探傷検査箇所毎にノイズレベルに相当するものは検出せず、 $長\approx 8 \times 幅\approx 0.5 \times 深\approx 2.0\text{mm}$ 以上のきずは検出できることになる。

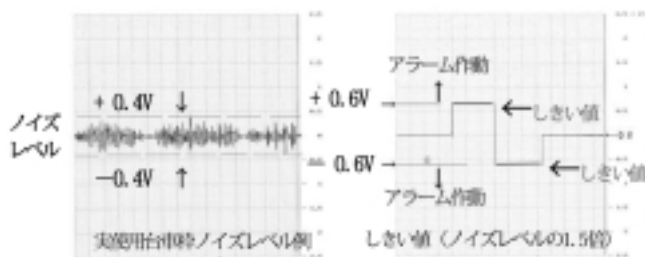


図13：しきい値の設定

4 おわりに

台車枠探傷作業への渦流探傷の適用について検証を行ってきた。現状使用している台車枠に対して、渦流探傷の感度に影響を及ぼす塗装の厚さや検査対象箇所毎の作業性及びノイズレベルを測定した。その結果、塗装の厚さは探傷に影響の与えない範囲であった。また、検査対象箇所毎の検出精度については、台車枠毎に溶接の仕上げ状態が異なり、その状態によってはノイズレベルが増大するが、適切なしき

い値を設定することで十分に判定できた。さらに、自然に発生したきずに対しても検出することができた。

渦流探傷法の適用にあたり、検査対象毎に探触子の走査性や作業方法を提案した。また、塗装厚さや渦流探傷時におけるノイズレベルなど台車枠の実態についても把握できた。今後、現場において本格導入に向けて渦流探傷の作業性、検出能力精度の向上などの作業を進めていく。