# 平成 16 年 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL'04)

S2-3-2.

# 台車枠探傷方法の最適化

大戸 伸一 (JR東日本) 〇酒井 昌一 (JR東日本) 針山 隆史 (東日本トランスポーテック) 三島 潤一郎 (東日本トランスポーテック)

Optimization of the inspection method of the flaw in a bogie frame

Shinichi OOTO , Masakazu SAKAI (East Japan Railway Co.) Takashi HARIYAMA , Junichiro MISHIMA (East Japan Transport Technology Co.)

Inspection of the flaw in a bogie frame is conducted by Magnetic Particle Testing. For that purpose, it is necessary to exfoliate paint. The exfoliation of paint generates so much coarse particulate, it is a hard work. Then, it used the Eddy Current Testing which can inspect a flaw, without deleting paint, and developed about the method of inspecting a fault effectively. For that, we produced the reference block for the inspection part, and processed the artificial flaw into it. And we measured detection capability and workability by using the reference block. Furthermore, after we also measured the flaw generated naturally and checked detection capability, we considered utilization of the Eddy Current Testing method.

キーワード: 渦流探傷、台車枠、探触子、対比試験片、きず *Keyword:* Eddy Current Testing,bogie frame,probe,reference block,flaw

# 1 はじめに

平成 10 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、塗装を剥離した上での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確立を行った。



図 1. 台車枠(DT61)における磁粉探傷検査部位

#### 2 渦流探傷のしくみ

図 2-1 に示すように、交流を流したコイルを導体に近づけ、 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 起電力のために、導体内には円形電流が誘導され、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、コイルが発生した 交流磁束は打ち消されて小さくなる。図 2-2 の(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、結局試験コイルのイン ピーゲ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。これが渦流探傷試験の基本原理である。





# 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。

国土交通省より通達された「鉄道車両の台車枠の検査マ ニュアルについて」(関鉄運第161号平成13年9月12日 付)の別紙2「台車枠側はり部のき裂進展シミュレーショ ン」では、塑性変形開始長さは 600mm で、き裂の長さが 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 3-1)

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 10mm 以内の傷を検出する ことを目標とした。これより、加工する傷の長さは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 <sup>長さ</sup>5.0mm×<sup>幅</sup>0.5mm×<sup>深さ</sup>2.0mm <sup>長さ</sup>8.0mm×<sup>幅</sup>0.5mm×<sup>漆さ</sup>2.0mm <sup>長さ</sup>10.0mm×<sup>幅</sup>0.5mm×<sup>深さ</sup>2.0mm 800 塑性変形開始長 ·初期值 5mm ·初期值 10mm ·初期值 20mm 600 ·初期值 30mm (mm)や単数を 400 200 100 120 140 走行距離(万km) 220 240 180 200 図 3-1. 側はり部の亀裂進展シミュレーション

## 3.2 対比試験片の製作

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の使い、検 出すべききずは、基本的に溶接ヒビード上にあるビード長手方 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 3-2. 対比試験片(主電動機受と横パリとの溶接部)

### 3.3 感度校正用基準試験片

感度校正用基準試験片は、感度の調整やスレッシュレベ ルの設定及び探傷器やプローブの性能確認・点検のために 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。



基準試験片概観 (100×35×t12mm)

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 3-3. 基準試験片

データ採取方法は図 3-4 に示すように、プローブを人工き ずの真上1ラインでの3往復走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 験片は塗装をしていないので実使用台車枠のデータと比較 ができるように塗装厚さとして想定した厚さ200 µmのボ リプロビレジントを改良プローブのキャップに取付けた状態で 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。



図 3-4. 対比試験片でのデータ測定状況

# 平成 16 年 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL'04)

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(S/N)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<sup>長さ</sup>8×<sup>幅</sup>0.5×<sup>深さ</sup>2.0mm 以上の人 工きずは S/N2.0 倍以上で検出することができた。

また、各々の人工きずの最小値 S/N(Min)と平均値 S/N(Ave)には大差がない結果となっており、往復走査に比 ベジグザグ走査の方が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、プロープの先端 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

渦流探傷は塗装上から探傷できるが、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、製造ルー、 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 200μm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 3-5.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。



が限定される場合があるので、各探傷検査箇所でプローブ 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 ⑤歯車吊り受台ー歯車箱吊り受溶接部を除く探傷検査箇 所において、<sup>長さ</sup>8×<sup>幅</sup>0.5×<sup>凍さ</sup>2.0mm 以上のきずが存在し ていれば S/N は 2.0 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 プローブの R5.5 を用いて基準試験片で感度調整を行った 後、③対比試験片(歯車吊り受台ー側バリ溶接部)の<sup>長さ</sup>8 ×<sup>40</sup>0.5×<sup>森さ</sup>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、その都度乾燥させ た後、膜厚計で人工きず近傍の任意の5点での塗膜厚さ測 定も行った。

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400µm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。



対比式設計

登装なし	塗装厚さ (Ave) <u>68.3 µ</u>	塗装厚さ (Ave) <u>142.6 µ m</u>	絵抜厚さ (Ave) <u>433.6µm</u>
-	14	Real States and	1.5
mr:	INTE -		THE -
14444		-1-1-1-1-	- And Alaphin
		1 1 1 1 - m	A
1			
			THE REAL OF

図 3-7. 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 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検査で確認されたきずにつ いて渦流探傷を実施した。

# 平成 16 年 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL'04)



TR62 台車枠外観



同左 ばね帽ー軸箱守部溶接部外観



検出箇所:磁粉模様 <sup>長さ</sup>7mm

### 図 3-8. 自然きずの測定状況(TR62 台車枠)

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 3-8 に示す。その結果は、 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 S/N2.0 倍以上で検出できた。



検出箇所:磁粉模様 長さ5mm

#### き裂部 S/N=3.5

#### 図 3-9. 自然きずの測定状況(DT21B 台車枠)

健全部

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 3-9 に示す。

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、S/N2.0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 低い結果であった。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が溶接面に倣いにくく検出能力が 低下したため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 S/N は3 倍以上であるが、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 S/N 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<sup>長さ</sup>8×<sup>幅</sup>0.5×<sup>森さ</sup>2.0mm 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こ とから、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<sup>長さ</sup>8×<sup>幅</sup>0.5×<sup>梁さ</sup>2.0mmの人工きずの信号の最小 値をとり、ノイズの最大値は③及び⑥の箇所の 0.38V、人 工きず信号の最小値は②の箇所の 0.88V なので S/N は 2.3 倍となり、この条件が最も検出能力の低い場合となるので、 図 3-13 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でノイズレベルに相当するも のは検出せず、<sup>長さ</sup>8×<sup>編</sup>0.5×<sup>森さ</sup>2.0mm 以上のきずは検出 できることになる。



#### 4 結論

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 感度に影響される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ってお り、その状態によってはノイズレベルが増大するが、きず を検知した際のしきい値を設定することで判定できること が分かった。さらに、自然に発生したきずに対する測定を 行った結果、これについて検出できることが分かった。

#### 5 おわりに

実使用台車枠への渦流探傷法の適用にあたり、台車枠の 状態(塗装厚さや渦流探傷時におけるノイズレベル)が把 握でき、検査対象毎に探触子の走査性や作業方法を明示す ることができた。また、実作業を想定した見地から渦流探 傷を適用する前段階までの評価ができた。今後、渦流の実 用化に向けた現場での検証(作業性、検出能力精度など) を行い、導入に向けての作業を進めていく。