

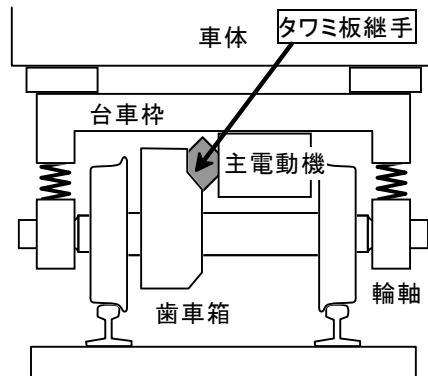
## CFRP 製タワミ板の非破壊検査法

車両構造技術研究部 車両強度

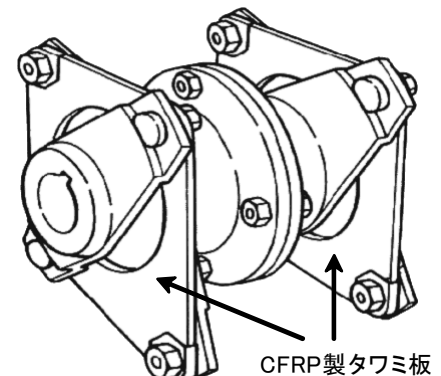
副主任研究員 牧野一成

### 1. はじめに

カルダン方式の電車では、走行中の主電動機と小歯車間に生じる相対変位を吸収する目的で、図1に示すタワミ板を用いた継手を使用される。タワミ板には従来、特殊鋼（SCM430等）が使用されていたが、近年、CFRP製タワミ板の普及が進んでいる。



(a) 取付部位



(b) 構造

図1 タワミ板継手の取付部位および構造

タワミ板の保守は、表1に示す外観および寸法測定による保守基準などに基づいて行われる。しかし、一般にCFRP積層板の損傷はき裂や層間はく離のように内部で発生する 경우가多く、これらの検査方法が確立していないため、タワミ板の

表1 タワミ板の保守基準の例

項目	継続使用不可項目
表面状況	内外周部に長さ10mmで深さ3mmの欠損 表面の深さ0.5mm以上のキズ
フレットング 摩耗の状況	最深部の巾が3mmで深さが0.5mmを越える 摩耗
形状（反り）の 状況	タワミ板を定盤などの上ののせたときに、 隙間が2mm以上あるもの
リーマ孔の 寸法・形状	リーマ孔の直径が $\phi 20.15\text{mm}$ を超えたもの リーマ孔周囲の欠損

検修では分解時に新品と交換することが多い。そのため、タワミ板のコストを削減する目的で、タワミ板を選別して再利用するニーズが高まっている。

本報告では、軟X線法および水浸超音波探傷法の2種類の非破壊検査法を採り上げ、タワミ板に人工欠陥を加工した試験片を採傷し、それらの有効性を検討した結果を示す。

### 2. タワミ板の概要

CFRP製タワミ板は耐腐食性に優れるほか、鋼と比較して低弾性率であるため十分なタワミ量を確保でき、比強度が鋼の約5倍であるため軽量とすることができ、回転による慣性力を軽減する効果がある。本報告で対象としたタワミ板は、厚さ0.2mmの平織プリプレグ（繊維1層に硬化前のエポキシ樹脂を含浸させたもの）を12層重ねて成形したもので、全体の厚さは2.5mmである。

鉄道車両において、タワミ板の損傷事例は多くはないが、取付ボルトの締結力低下が原因となって破損する場合がある。その他、異物による外的な損傷、締結部周辺フレットング損傷、疲労による層間はく離等が発生する可能性がある。

### 3. 軟 X 線法による試験

#### 3.1 概要

軟 X 線とは、波長が 0.1~10nm のエネルギーの低い X 線である。CFRP のような低密度の材料に通常の X 線を適用すると完全に透過してしまうが、軟 X 線を適用すれば非破壊検査が可能である。軟 X 線法の一つである、X 線 TV 法の模式図を図 2 に示す。軟 X 線を試験体に照射し、欠陥の有無による軟 X 線の吸収量の差を、蛍光板と CCD カメラで構成される検出器で可視化する。

#### 3.2 試験片

タワミ板の中間層にナイフを入れて完全にはく離させた後、所定形状のテフロンテープを内部に挟み、エポキシ接着剤で再接着した試験片と、はく離面にきずを加工した後に再接着した試験片の 2 種類を用いた。

#### 3.3 試験結果

2 種類の試験片に X 線 TV 法を適用した結果を図 3 に示す。中間層に存在する厚さ 0.13mm の異物（テフロンテープ）および内部きずのいずれも検出可能であった。軟 X 線法は、タワミ板内部に存在するき裂や異物のような、厚みのある欠陥の検出に有効である。

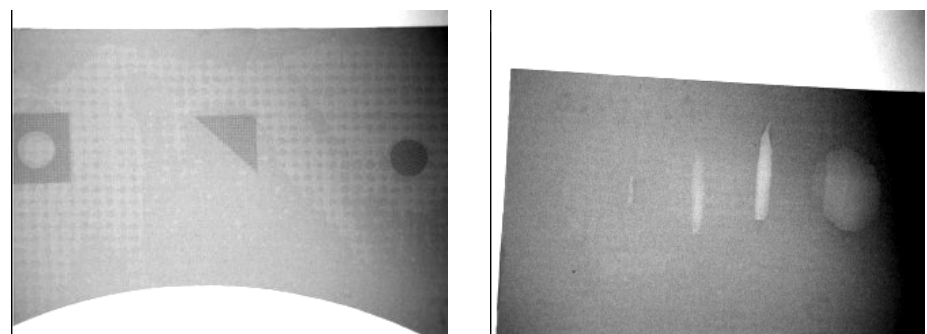


図 2 X 線 TV 法



図 3 X 線 TV 法による試験結果

#### 3.4 X 線 CT 法

X 線を用いた別の手法として、図 4 の模式図に示す X 線 CT 法について検討した。試験体の各方向から X 線を照射した結果を演算し、断面像を構築する方法である。この方法では図 5 に示すように、幅 2.0mm×深さ 1.1mm、はく離幅 0.01mm の極めて微細な層間はく離を検出可能である。しかし、1 試験体あたり 20~30 分の検査時間を要するため、X 線 TV 法あるいは後述の水浸超音波探傷法で確認された欠陥を検証する方法としては有効であると考えられる。

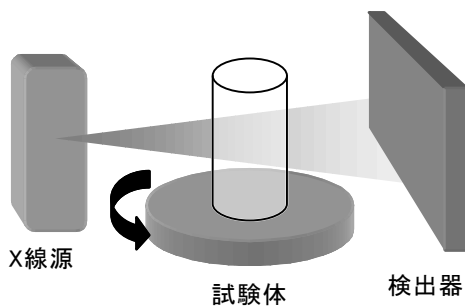
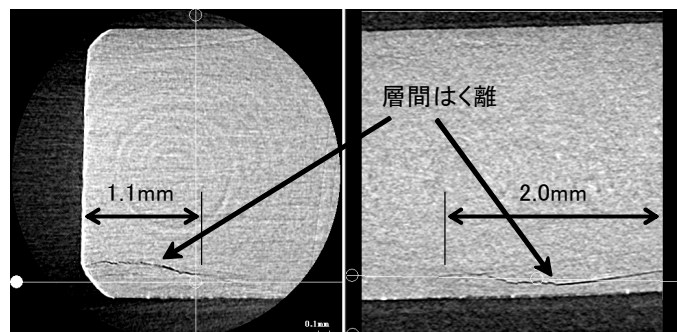


図 4 X 線 CT 法



(a)深さ方向断面 (b)幅方向断面

図 5 X 線 CT 法による試験結果

#### 4. 水浸超音波探傷法による試験

##### 4.1 概要

水浸超音波探傷法の概要を図 6 に示す。試験体を水槽中に水没させ、探傷面と探触子の間を水で満たし、高周波の集束超音波ビームを試験体の厚さ方向に水を介して伝搬させる。この時、試験体内部に欠陥が存在すれば、そこで反射するエコーが検出される。

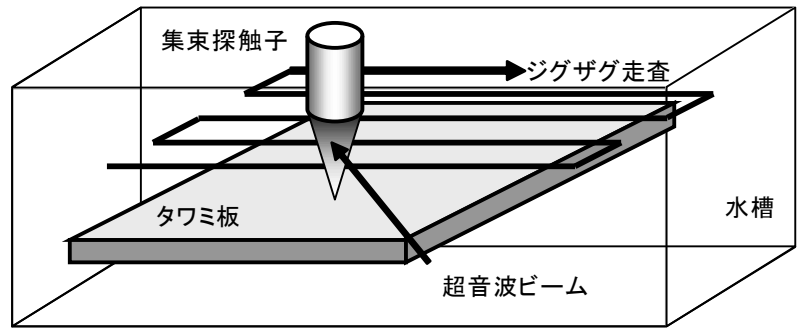


図 6 水浸超音波探傷法の概要

##### 4.2 試験片

水浸超音波探傷に用いた欠陥入り試験片を表 2 に示す。No.1 試験片には深さ 0.25～2.25mm、直径  $\phi$ 1～5.6mm の各種平底穴が加工されている。No.2 試験片は約 1/2 厚さの中間層をナイフで一部はく離させて作製した。No.3 試験片は中間層全面をはく離させた後、エポキシ接着剤ではく離面を再接着して作製した。

表 2 試験片一覧

No.	欠陥の種類
1	平底ドリル穴
2	層間はく離（再接着せず）
3	層間はく離を再接着
4	鋼球押付け

##### 4.3 探傷波形と欠陥抽出処理

タワミ板の探傷波形の概要を図 7 に示す。探触子から送信された超音波は水中を伝搬し、タワミ板の表面および底面で反射する。さらに、タワミ板内部に層間はく離等の欠陥（不連続面）が存在すれば、それに起因するエコーが発生する。これら 3 種類のエコーを、表面、内部、底面の各ゲート A～C で監視する。

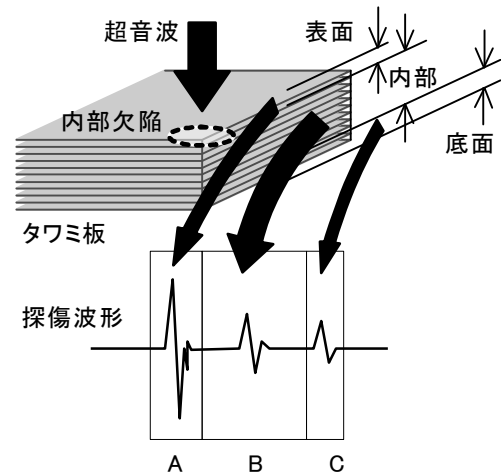


図 7 探傷波形の概要

ゲート B と C で検出されるエコーを比較すると、内部欠陥が存在すれば B の内部エコーが高くなり、逆に、C の底面エコーは欠陥で反射する分だけ低くなる。そこで、内部欠陥に対してエコー高さが反対に表示されるゲート B と C のエコー高さの差を取ることで、タワミ板の欠陥をより明瞭に抽出する手法を試みた。

##### 4.4 試験結果

No.1～4 試験片を水浸超音波で探傷し、欠陥抽出処理を施した結果を図 8 に示す。エコー高さの高い部位が、白色で表示される。抽出処理前のゲート B および C の探傷画像では、CFRP 積層板に特有な網目状の模様が現れるため欠陥の確認は難しいが、抽出処理後の画像では、タワミ板に発生した層間はく離のみが明瞭に検出される。No.3 試験片では、層間を再接着後も接着が完全でないことが、抽出処理後の画像から推定される。

##### 4.5 経年取替品の探傷

経年取替品のタワミ板に、水浸超音波探傷法および欠陥抽出処理を適用した結果例を図 9 に示す。このタワミ板は表 1 に示した保守基準を満足していたが、探傷の結果、層間はく離が明瞭に検出された。当該の欠陥像はタワミ板の外周部に存在したので、外周面より蛍光浸透探傷を適用

した結果、図 10 に示す層間はく離が実際に確認され、層間はく離に対する水浸超音波探傷の有効性が認められた。

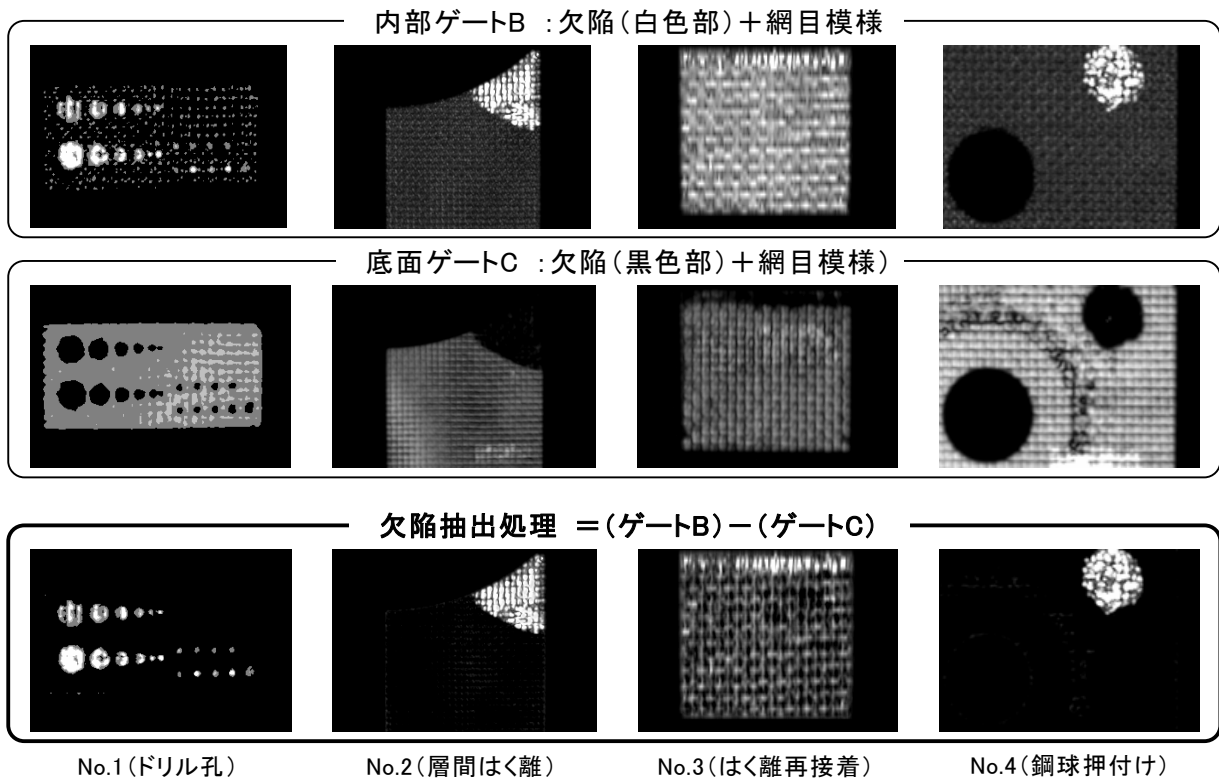


図 8 探傷波形の欠陥抽出処理結果

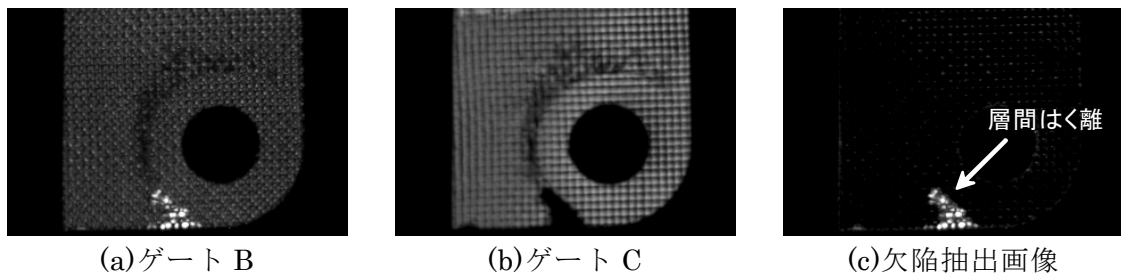


図 9 経年取替品の超音波探傷結果

## 5. まとめ

本報告をまとめると、以下のとおりである。

- (1) X線 TV 法は、タワミ板内部に存在するき裂や異物のような、厚みのある欠陥の検出に有効である。
- (2) X線 CT 法は検査時間を要するが、微細な欠陥の検出が可能なので、他の非破壊検査法で確認された欠陥を検証する方法として有効である。
- (3) 水浸超音波探傷法および欠陥抽出処理をタワミ板に適用することで、CFRP 積層板の代表的な損傷である層間はく離を明瞭に検出することが可能である。

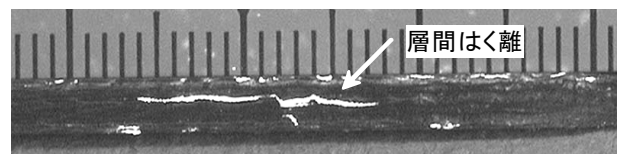


図 10 欠陥検出部の浸透探傷結果