

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

ゴム材料で車両の異常を検知する

ゴム材料は柔軟でいろいろな形に加工、成形できます。さらに特性として、バネの性質（弾性）とダンパーの性質（粘性）をあわせもった機能的な材料です。このような特性を利用して、一般的に振動を抑える防振材や空気や液体の漏れを防ぐ密封材などに使われています。鉄道車両でもその特性を活かして数多くのゴム材料が使用されています。ここでは、車両でのゴム材料の使用例を紹介するとともに、ゴム材料本来の機能を保ちながら、車両の異常を検知するセンサーとしての機能を付した材料について概説します。



間々田 祥吾
Shogo Mamada
材料技術研究部
防振材料研究室
主任研究員



太田 達哉
Tatsuya Ohta
材料技術研究部
防振材料研究室
研究員

はじめに

材料は一般的に大きく金属材料、無機材料（セラミックス）、有機材料（プラスチック）の三種類に分類できます。ここで紹介するゴム材料は、この三種類の中で有機材料に分類されます。有機材料は金属材料や無機材料よりも「軽い」、「加工が簡単」、「大量生産できる」といった特徴があります。

有機材料中でも、ゴム材料は伸び縮みできる変形量が大きく、金属と強固に接着（加硫接着）できるなどの特性があります。さらに、ゴム材料の大きな特性として、バネのような性質（弾性）とダンパーのような性質（粘性）を

あわせもった「粘弾性体」であることがあげられます。

バネは、変形量に応じて力が働き、変形すると元の形に戻ろうとする性質（振動を抑える性質）があり、ダンパーは、変形速度に応じて力が働き、一度変形すると元の形に戻りにくい性質（密着する性質）があります。

粘弾性体であるゴム材料は、粘性を活かして密着させながら弾性を活かして振動を抑えるような使い方ができます。ゴムタイヤも地面に密着しながら振動を抑えており、ゴム材料の特性を活かした利用例といえます。



図1 ドアの先端の戸先ゴム

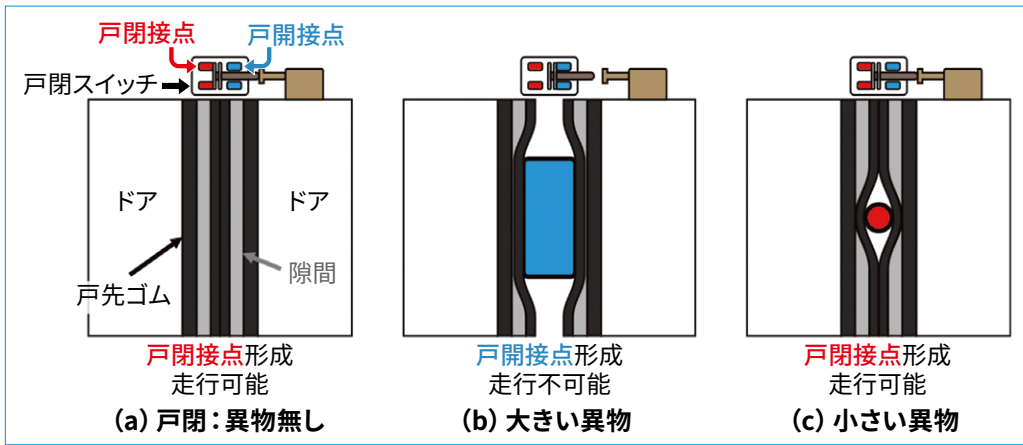


図2 異物の挟み込みの検知装置

車両でのゴム材料の使用例

車両においても、ゴム材料は粘弾性を活かして、搭載機器の振動や車両走行の振動を抑える防振材、搭載機器の空気や液体の漏れを防ぐパッキンやホースなどの密封材などとして数多く利用されています。また、ゴム材料は車両の軽量化にも役立っています。

ここでは、車両におけるゴム材料の使用例として、「戸先ゴム」および「軸ばね防振ゴム」をあげ、求められる機能、使用される箇所が発生する可能性がある問題点を概説するとともに、最近の研究によるこれらのゴムを使った問題点の検知手法を紹介します。

戸先ゴム

戸先ゴムに求められる機能

戸先ゴムは、図1に示すように車体のドアの先端に取り付けられています。戸先ゴムに求められる主な機能は以下のとおりです。

- ① 車両走行中の雨水や風などの浸入を防ぐ。
- ② 車内温度などの車内環境を一定に保つ。
- ③ 側引戸を閉じた際に指などが挟まれた場合の力を緩衝する。

戸先ゴムを使用する箇所が発生する可能性がある問題点

側引戸では、乗客の乗降時に荷物な

どの異物を挟み込むことがあり、異物を挟み込んだまま車両が走行すると危険なため、車両には挟み込みの検知装置が搭載されています(図2)。

異物がない場合、図2の戸閉スイッチの戸閉接点が形成されて車両は走行できます(図2(a))が、幅10~15mm以上の異物を挟み込んだ場合、戸閉接点が形成されず車両は走行できません(図2(b))。一方、幅10~15mm以下の異物を挟み込んだ場合、戸先ゴムが異物の形に合わせて変形し、戸閉接点が形成されるため車両は走行できてしまいます(図2(c))。また、かばんのひもなどを挟み込んだ場合も検知できず、かばん本体が車内に取り残された場合、ひもを持った乗客が引きずられる事故につながるおそれがあります。

そのため、なるべく小さい異物の挟み込みや引きずり発生を検知することが望まれています。

戸先ゴムを利用した異常検知手法

異物の形に合わせて戸先ゴムが変形してしまう理由は、戸先ゴム内に隙間があるためです(図3(a))。この隙間は、前述した車内の気密性や緩衝性を高めるために必要なものです。

一方、この隙間にセンサーを内蔵させることで戸先ゴムの本来の機能を保ったまま、挟み込みや引きずりを検知できると考えられます。



図3 センサー戸先ゴム

そこで、新たに設計、製作した戸先ゴムの隙間に感圧センサーを内蔵させたセンサー戸先ゴムを作製しました(図3(b))。感圧センサーは通常、電氣的に不通状態ですが、力が加わると導通する特徴があります。そのため、挟み込みや引きずりの際にセンサー戸先ゴムに力が加わると導通します。

ここで、センサー戸先ゴムによって挟み込みや引きずりを検知するには、感圧センサーの導通を判定する装置が必要です。そのため、センサー戸先ゴムと接続して導通を判定する装置(以下、制御装置)もあわせて作製しました。

制御装置は、規定電圧よりも大きい電圧が測定された場合、挟み込みや引きずりと判定します。センサー戸先ゴムを接続した場合、通常は不通状態では、電圧が測定されませんが、導通した場合は4V以上の電圧が測定されます。**異常検知手法の実際の車両における評価試験結果**

作製したセンサー戸先ゴムおよび制御装置を実際の車両に設置し、挟み込みや引きずりに対する検知感度試験を実施しました(図4)。

図5(a)は挟み込み検知感度試験結



図4 検知感度試験の状況

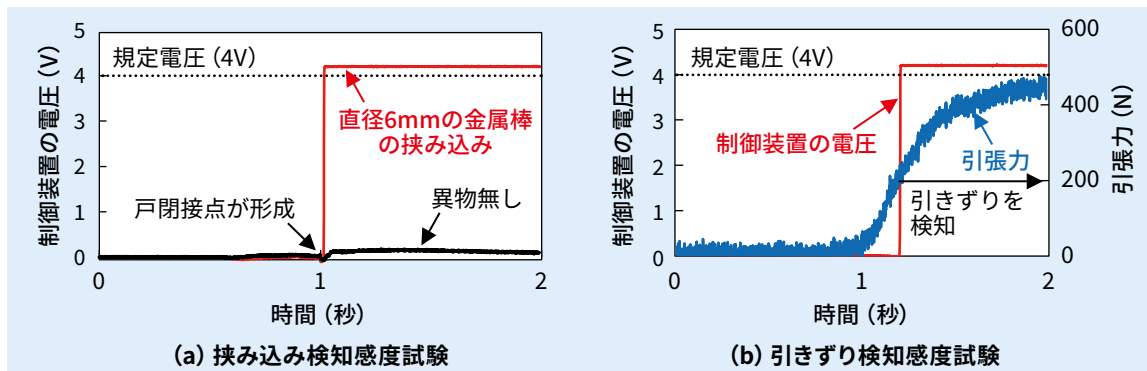


図5 検知感度試験の結果

果です。測定開始1秒後に図2に示した検知装置の戸閉接点が形成されます。異物がない場合は制御装置でほとんど電圧が測定されませんが、直径6mmの金属棒を挟み込んだ場合は、戸閉接点の形成直後に感圧センサーの導通によって4V以上の電圧が測定されています。

図5 (b) は引きずり検知感度試験の結果です。直径5mmのひもを挟み込ませた状態で側引戸と平行方向に引っ張った際のひもの引張力と制御装置で測定された電圧値を示しています。引張力が増加し、200N (20kgf) 以上となった際に感圧センサーが導通して4V以上の電圧が測定されています。

検知感度試験の結果、規定電圧を4Vとすることで、現行の検知装置では検知できない直径6mm以上の異物の挟み込みを検知でき、乗客が引きずられた際に多くの場合で発生すると想定される200N (20kgf) 以上の力で引っ

張られた際に引きずりを検知できることがわかりました。

軸ばね防振ゴム

軸ばね防振ゴムに求められる機能

軸ばね防振ゴムは、図6に示すように、台車の車軸軸受を封入する軸箱の上に設置されています。軸ばね防振ゴムに求められる主な機能は以下のとおりです。

- ① 車両走行中に車輪から発生する振動が台車に伝達するのを防止する。
- ② 車軸軸受に台車の振動が伝達するのを防止する。
- ③ 軸ばねと軸箱の金属どうしが接触するのを防ぎ、密着性を向上する。

軸ばね防振ゴムが使用される箇所が発生する可能性がある問題点

軸ばね防振ゴムが設置される車軸軸受は、車体の荷重を支えながら車軸の回転を保つ重要な部品です。

軸受は、非常に高い安全性が確保さ

れていますが、内部の金属表面に剥離などの損傷が発生した場合、大きな事故に進展する可能性があるため、こうした異常は早期に発見されることが望まれています。

軸ばね防振ゴムを利用した異常検知手法

軸ばね防振ゴムは、車軸軸受の直上に設置されるため、軸受に損傷が発生した場合、損傷による影響を大きく受けます。そこで、軸ばね防振ゴムを利用して車軸軸受の損傷を検知する手法を検討しました。

検討した手法は、図7に示すように圧電素子を内蔵した軸ばね防振ゴム（以下、センサー軸ばね防振ゴム）によって異常を検知するものです。センサー軸ばね防振ゴムによる損傷検知の原理を説明します。

センサー軸ばね防振ゴムに内蔵した圧電素子には、振動が加わると電気信号（電圧や電流）を発生させる性質があります。また、軸受が損傷した場合

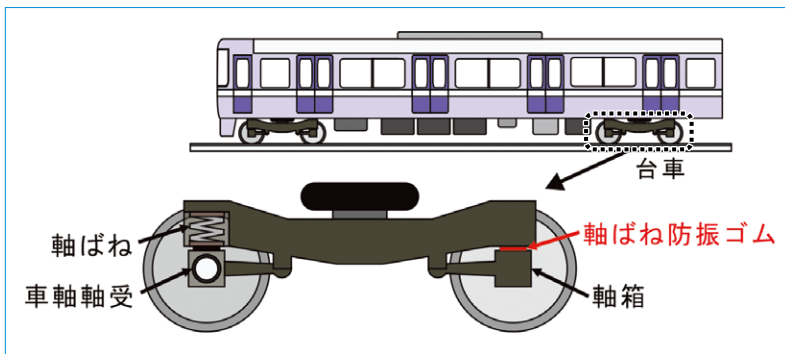


図6 軸箱上の軸ばね防振ゴム

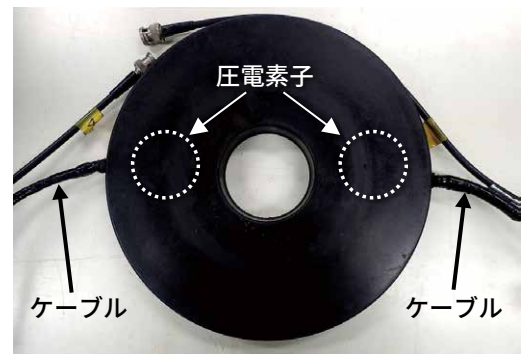


図7 センサー軸ばね防振ゴムの外観

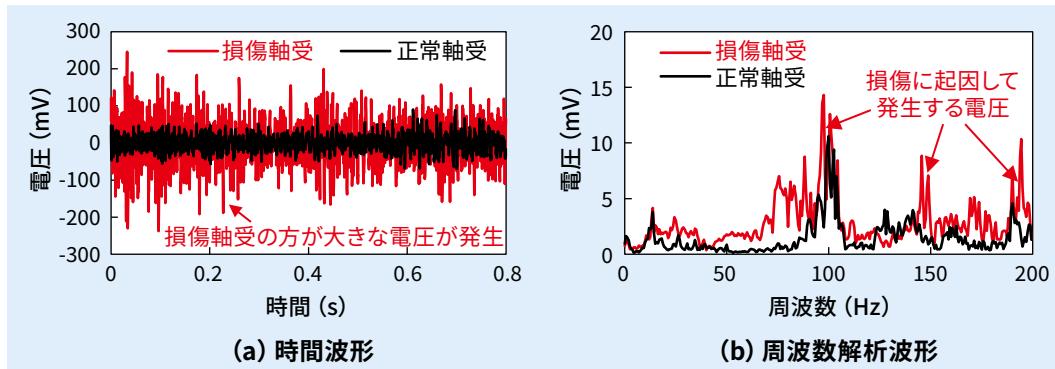


図8 走行試験(速度約30km/h)におけるセンサー軸ばね防振ゴムの電圧波形

は通常発生しない異常振動が発生します。そのため、圧電素子が発生する電気信号を測定し、解析することで損傷が検知できます。

この手法では、軸ばね防振ゴムの本来の機能を保ったまま軸受の損傷を検知できると考えられます。また、通常、軸受の損傷を早期に検知するには軸箱にセンサーを設置し、振動を測定する手法など²⁾が用いられますが、センサーの設置方法や走行中の飛来物との接触による脱落などが課題となります。一方、センサー軸ばね防振ゴムは、通常の軸ばね防振ゴムと交換して使用するため、設置の際の課題や脱落などの心配がありません。

異常検知手法の評価試験結果

これまでの研究では、正常な軸受(以下、正常軸受)および内部の金属表面を人工的に剥離させた軸受(以下、損傷軸受)の上にセンサー防振ゴムを設置し、鉄道総研内の試験線で走行試験

を実施しました。

その結果、センサー軸ばね防振ゴムを損傷軸受の上に設置した場合、正常軸受の上に設置した場合よりも大きな電圧が発生し、発生する周波数も正常軸受の場合とは異なることが確認されました(図8)。この試験結果より、センサー軸ばね防振ゴムによって車軸軸受の損傷を検知できることがわかりました。

最近の研究では、圧電素子から発生した電力を利用して無線を駆動させ、無線によって損傷を通知する電源やケーブルによる配線を省略したシステムを検討しています²⁾。

おわりに

車両では、特性である粘弾性を活かし、振動を防止する箇所や密着性を確保する箇所などで多くのゴム材料が使用されています。その一方で、そのような箇所で異常が発生した場合、ゴム

材料は通常では発生しない異常な振動を受けることや大きく変形することがあります。そのため、ゴム材料をセンサーとして使用できれば、本来のゴム材料としての機能を保ちながら異常を検知できる可能性があります。

ここでは、2箇所に設置されているゴム材料をセンサーとして利用した場合の異常検知への適用例を示しました。今後は、同様の手法が適用できる箇所をさらに拡大していきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 日本鉄道車両機械技術協会編：検知器センサーのはなし，日本鉄道車両機械技術協会，p.63，2010
- 2) 竹中宏行，間々田祥吾，岡村吉晃，太田達哉，伊藤浩史：自律型センサによる軸受の損傷検知システム，第26回鉄道技術連合シンポジウム 講演論文集，S4-2-1，2019