

## 感圧センサを内蔵した戸先ゴムによる戸挟み検知

○宮本 修吏（鉄道総研）

[機] 間々田 祥吾（鉄道総研）

太田 達哉（鉄道総研）

## Pinch Detection for Rolling Stock Using Door Edge Rubber with Built-in Pressure Sensor

○Masashi Miyamoto(RTRI), Shogo Mamada, (RTRI), Tatsuya Ohota, (RTRI),

Foreign objects, such as the baggage of a passenger, can be pinched by the door edge of the rolling stock. However, it is difficult to detect the small substance with the current pinch detection system. In such cases, a drag accident may be happens successively. Therefore, the authors have developed a new pinch detection system using door edge rubber with built-in pressure sensor called as “DRPS”. Though, the DRPS which is fabricated in past study has a high pinching detection sensitivity, the pinch load of DRPS has high and low dragging detection sensitivity. Therefore, the improved DRPS is fabricated by using the simulation. In this paper, the results of the evaluation of the pinching detection sensitivity and other performances of the new DRPS are described.

**キーワード**：戸挟み検知装置，戸先ゴム，感圧センサ，挟み込み検知，引きずり検知

**Key Words**：Pinch detection system, Door edge rubber, Pressure sensor, Pinching detection, Dragging detection

## 1. はじめに

鉄道車両の側引戸では，乗客の乗降時に荷物等の異物を挟み込むことがある．通常，異物を挟み込んだ場合，車両に既設の戸挟み検知装置によって異物の挟み込みが検知され，車両は走行できない．一方，直径が 10~15mm 以下の異物を挟み込んだ場合，既設の戸挟み検知装置では検知が困難であり，異物を挟み込んだまま車両が走行する可能性がある．さらに，降車時に鞆の取っ手が挟み込まれた場合，取っ手の先の本体が車両に取り残され，引き抜くことが困難となる．このような状態のまま車両が走行を始めると，乗客が引きずられる引きずり事故の恐れがある<sup>1)2)</sup>．

鉄道総研では既設の戸挟み検知装置による検知が困難な小さい異物の挟み込みや引きずりの検知を目的として，感圧センサを内蔵させた戸先ゴム（以下，センサ戸先ゴム）を利用した新規戸挟み検知装置の開発を進めている．過去の検討において，センサ戸先ゴムは誤検知が少なく実用上の信頼性が高いことがわかった<sup>3)</sup>．一方，過去に作製したセンサ戸先ゴム（以下，従来戸先ゴム）は挟み込みの検知感度が高いが，現用の戸先ゴム（以下，現用戸先ゴム）よりも挟み込み時に発生する荷重（以下，挟み込み力）が大きく，引きずりを検知しにくい場合があることがわかった．

そこで，現用戸先ゴムと同等以下の挟み込み力および従来戸先ゴムよりも高い引きずり検知感度を目標値として設定し，新たな形状のセンサ戸先ゴム（以下，新規戸先ゴム）を作製した．ここでは，新規戸先ゴムの各種性能を評価した結果を示す．

## 2. センサ戸先ゴム

## 2. 1 センサ戸先ゴムに内蔵した感圧センサ

センサ戸先ゴムに内蔵した感圧センサは，細長い中空の円柱形状のゴム材中に 2 つの導電部位が隙間を設けて設置された構造である．これは通常，電氣的に不通状態であるが，力が加わると導電部位同士が接触して電氣的に導通する a 接点方式のセンサである．センサ戸先ゴムは，挟み込みや引きずりによって内部の感圧センサに力が加わり，導通することでそれらが検知できる．

## 2. 2 新規戸先ゴム

従来および新規戸先ゴムの断面形状を図 1 に示す．

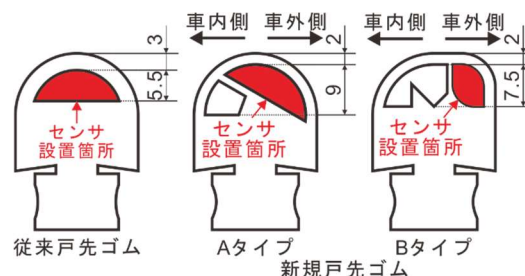


図 1 従来戸先ゴムおよび新規戸先ゴムの形状

図 1 に示すように，新規戸先ゴムは A タイプおよび B タイプの 2 種類である．新規戸先ゴムは，挟み込み力の低減および引きずり検知感度の向上を目的として，従来戸先ゴムよりも先端のゴムの厚さを 1mm 薄くし，形状を車内外で非対称とした．

2. 3 新規戸先ゴムのシミュレーション

新規戸先ゴムは、シミュレーションを利用して設計した。利用したシミュレーションにおける挟み込みおよび引きずりの結果を図2および図3に示す。図2は直径10mmの金属棒を挟み込ませた状態、図3は車外側に幅20mmのバンドを15°の角度で5mm引っ張った状態をシミュレートしたものである。シミュレーションの結果として、発生する荷重および感圧センサの変形量を求めた。感圧センサの変形量は、初期形状から最も変形した箇所のひずみである。

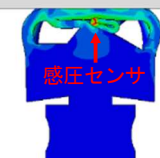
| 従来戸先ゴム                                                                            | 新規戸先ゴム                                                                            |                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | Aタイプ                                                                              | Bタイプ                                                                              |
| 金属棒                                                                               |                                                                                   |                                                                                   |
|  |  |  |
| 発生荷重:108N<br>変形量:0.34                                                             | 発生荷重:58N<br>変形量:0.41                                                              | 発生荷重:74N<br>変形量:0.16                                                              |

図2 挟み込みのシミュレーション結果

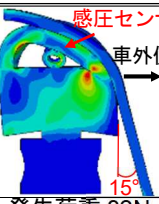
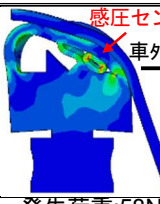
| 従来戸先ゴム                                                                             | 新規戸先ゴム                                                                             |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                    | Aタイプ                                                                               | Bタイプ                                                                               |
|  |  |  |
| 発生荷重:82N<br>変形量:0.15                                                               | 発生荷重:68N<br>変形量:0.29                                                               | 発生荷重:58N<br>変形量:0.26                                                               |

図3 引きずりのシミュレーション結果

図2より、新規戸先ゴムはAタイプ、Bタイプともに従来戸先ゴムよりも挟み込みの際の発生荷重が低い。この結果より、新規戸先ゴムは従来戸先ゴムよりも挟み込み力が低減すると推定される。一方、感圧センサの変形量は従来戸先ゴムが最も大きく、Bタイプが最も小さい。この結果より、Bタイプの挟み込みの検知感度は、従来戸先ゴムよりも低下すると想定される。

次に、図3より、新規戸先ゴムの引きずりの際の発生荷重は従来戸先ゴムの場合よりも低いが、感圧センサの変形量は従来戸先ゴムよりも大きい。この結果より、新規戸先ゴムの引きずりの検知感度が向上すると想定される。

3. センサ戸先ゴムの性能評価試験

3. 1 試験項目

戸先ゴムの性能評価試験として、以下の3項目の試験を実施した。

- ・挟み込み力試験：挟み込みの際に発生する挟み込み力を測定する試験
- ・挟み込み検知感度試験：異物の挟み込みに対するセンサ戸先ゴムによる検知感度を評価する試験

- ・引きずり検知感度試験：紐などによる引きずりに対するセンサ戸先ゴムによる検知感度を評価する試験

3. 2 試験方法

性能評価試験は鉄道総研が所有する側引戸開閉試験装置を用いて実施した。試験方法を以下に示す。

(1) 挟み込み力試験

挟み込み力試験では、厚さ約10mm、幅約30mmの荷重を測定するセンサを用い、センサが戸先ゴムに挟み込まれた際の挟み込み力を測定した。試験高さは300mm、500mm、1000mm、1200mmの4箇所とし1箇所につき3回実施した。試験状況を図4に示す。



図4 挟み込み力試験状況

(2) 挟み込み検知感度試験

挟み込み検知感度試験では、直径が5mm、6mm、8mmおよび10mmの4種類の金属棒を高さ300mm、500mm、1000mm、1200mmの4箇所に挟み込ませた際の検知感度を評価した。挟み込みの検知感度の評価は、センサ戸先ゴムの感圧センサにテストを接続し、感圧センサが導通状態となった場合を検知可能と判定した。試験回数は1回とした。挟み込み検知感度試験の状況を図5に示す。



図5 挟み込み検知感度試験の状況

(3) 引きずり検知感度試験

引きずり検知感度試験では、鞆の取っ手の先の荷物などが車内に取残されたことを想定し、先端に異物を取り付けた直径5mmの紐および厚さ2mm、幅20mm、30mm、40mmのバンドを高さ1000mmの位置に挟み込ませ、異物と反対側の端部を引っ張った際の検知感度を評価した。

試験では、図6に示すように引っ張る方向を東西2方向とし、引っ張る角度を側引戸と水平の方向に対して15°、45°、75°と3段階に変化させ、同じ条件で試験を3回実施

した。引きずり検知感度は、センサ戸先ゴムの感圧センサにテスターを接続し、感圧センサが導通状態となった際の引張荷重（以下、引きずり検知荷重）によって評価した。引張荷重は、紐やバンドにロードセルを取り付けて測定した。引きずり検知感度試験の状況を図 7 に示す。

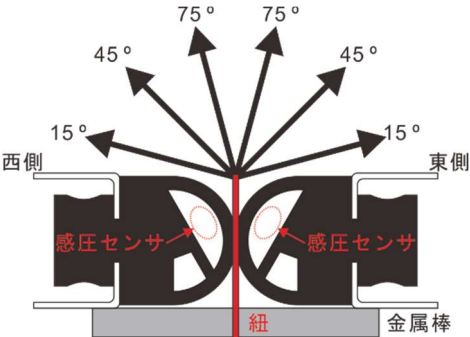


図 6 引きずり検知感度試験における引っ張り方向



図 7 引きずり検知荷重試験の状況

3. 3 試験結果

性能試験結果性能評価試験の試験結果を以下に示す。

(1) 挟み込み力試験

挟み込み力試験の結果を図 8 に示す。図 8 には 3 回の試験における挟み込み力の最大値（以下、最大挟み込み力）を平均した結果を示す。図には現用戸先ゴムの結果も示す。

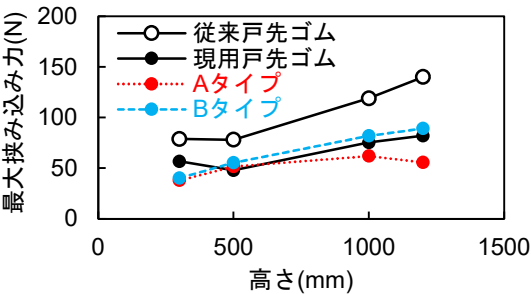


図 8 挟み込み力試験結果

図 8 より、全ての戸先ゴムにおいて挟み込み箇所が高いほど挟み込み力が高いことがわかった。これは、側引戸が上部から吊下がる構造となっているため、戸先ゴムの上部に力が伝わりやすいためと考えられる。新規戸先ゴムと従来戸先ゴムの挟み込み力を比較すると、新規戸先ゴムは A タイプ、B タイプともに従来戸先ゴムよりも挟み込み力が

低減し、現用戸先ゴムと同等以下であることがわかった。これは、新規戸先ゴムの先端のゴムの厚さを従来戸先ゴムよりも 1mm 薄くしたことに加え、隙間を広げたためと考えられる。また、高さ 1000mm 以上における最大挟み込み力は、従来戸先ゴム>B タイプ>A タイプの順で挟み込み力は低くなる傾向があることがわかった。この結果は図 2 に示した挟み込みのシミュレーション結果の傾向と一致しており、挟み込み力を想定する際に、利用したシミュレーションを活用できることがわかった。

以上、挟み込み力試験の結果より、新規戸先ゴムは作製時に目標値とした現用戸先ゴムと同等以下の挟み込み力を達成することができた。

(2) 挟み込み検知感度試験

挟み込み検知感度試験の結果を表 1 に示す。表中の○は検知可能な場合、×は検知不可能な場合である。

表 1 挟み込み検知感度試験結果

| センサ戸先ゴム         | 高さ<br>(mm) | 金属棒の直径(mm) |   |   |    |
|-----------------|------------|------------|---|---|----|
|                 |            | 5          | 6 | 8 | 10 |
| 従来戸先ゴム          | 300        | ×          | ○ | ○ | ○  |
|                 | 500        | ×          | ○ | ○ | ○  |
|                 | 1000       | ×          | ○ | ○ | ○  |
|                 | 1200       | ×          | ○ | ○ | ○  |
| 新規戸先ゴム<br>A タイプ | 300        | ×          | × | × | ○  |
|                 | 500        | ×          | × | ○ | ○  |
|                 | 1000       | ×          | × | × | ○  |
|                 | 1200       | ×          | × | × | ○  |
| 新規戸先ゴム<br>B タイプ | 300        | ×          | × | × | ×  |
|                 | 500        | ×          | × | × | ×  |
|                 | 1000       | ×          | × | × | ×  |
|                 | 1200       | ×          | × | × | ○  |

表 1 より、従来戸先ゴムは直径 6mm 以上の異物の挟み込みを全ての高さで検知できるのに対して、新規戸先ゴムの場合、A タイプは直径 8mm 以下の異物の挟み込みを検知できず、B タイプは一部の高さを除いて直径 10mm の異物の挟み込みにおいても検知不可能であった。この結果は、新規戸先ゴムの挟み込み検知感度が従来戸先ゴムよりも低いことを示している。また、新規戸先ゴムの B タイプの挟み込み検知感度が従来戸先ゴムよりも低い結果は、図 2 に示した挟み込みのシミュレーション結果における感圧センサの変形量の傾向と一致している。一方、挟み込みのシミュレーション結果の感圧センサの変形量では、従来戸先ゴムよりも新規戸先ゴムの A タイプの方が大きいですが、試験結果では従来戸先ゴムの検知感度が高い。これは、A タイプの隙間が傾斜形状のために感圧センサが動きやすく、シミュレーションでは考慮しなかった感圧センサの移動による違いが表れたものと考えられる。

以上、挟み込み検知感度試験の結果より、新規戸先ゴムの挟み込み検知感度は従来戸先ゴムよりも低いことがわかった。一方、新規戸先ゴムでは、B タイプよりも A タイプの検知感度が高いことがわかった。

### (3) 引きずり検知感度試験

引きずり検知感度試験における引きずり検知荷重の結果を図9に示す。引きずり検知荷重が小さいほど、低い力で引きずりを検知できるため、検知感度が高いことを示す。また、図の結果は、東西3回ずつの試験における引きずり検知荷重の平均値を示し、エラーバーは測定された引きずり検知荷重の最大値と最小値である。ただし、子供の体重などを想定し、引きずり検知荷重の平均値が500Nを超える場合は検知が困難と判断して図に示さなかった。

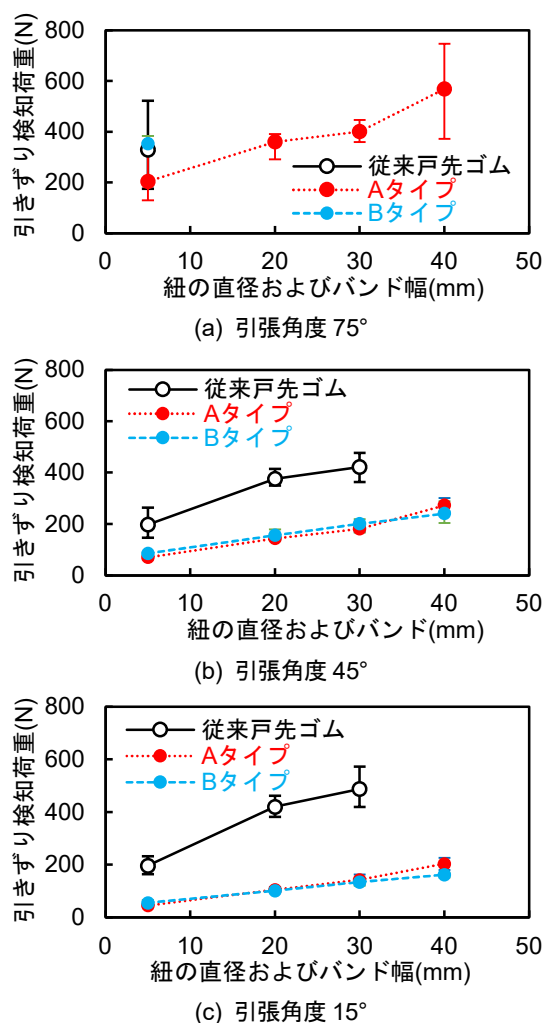


図9 引きずり検知感度試験結果

図9より、全てのセンサ戸先ゴムにおいて、引張方向では15°>45°>75°の順で検知感度が高く、紐の直径やバンド幅は狭い場合の検知感度が高い。これは、細い紐や幅の狭いバンドを車体に近い角度で引っ張った場合、センサ戸先ゴムが局所的に変形しやすく、内部の感圧センサに荷重が加わりやすいことを示している。一方、従来戸先ゴムと新規戸先ゴムでは、新規戸先ゴムの引きずり検知感度が従来戸先ゴムよりも高く、AタイプとBタイプの検知感度はほぼ同等であることがわかった。この結果は、図3に示した引きずりのシミュレーション結果で想定された引きずりの検知荷重が従来戸先ゴムよりも新規戸先ゴムの方が高い傾

向と一致しており、センサ戸先ゴムの引きずり検知感度を想定する際に引きずりのシミュレーション結果は有用であると考えられる。

以上、引きずり検知感度試験の結果より、新規戸先ゴムは作製時に目標値とした従来戸先ゴムよりも高い引きずり検知感度を達成することができた。また、幅40mmのバンドでも引きずり検知荷重は200N以下であり、子供の引きずりなど想定されるほとんどの状態で引きずりの検知が可能と考えられる。

### 4. まとめ

既設の戸挟み検知装置では検知が困難な小さい異物の挟み込みや引きずりを検知するため、戸先ゴム内に感圧センサを内蔵したセンサ戸先ゴムを利用し新たな戸挟み検知装置の開発を進めている。これまでに作製した従来戸先ゴムは、挟み込みの検知感度が高い一方で、挟み込みの際に発生する挟み込み力が高く、引きずりの検知感度が低い場合があることがわかった。

そこで、現用戸先ゴムと同等以下の挟み込み力および従来戸先ゴムよりも高い引きずり検知感度を目標値としてAタイプおよびBタイプの2種類の新規戸先ゴムを作製し、性能評価試験を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- 1) 新規戸先ゴムの挟み込み力は、Aタイプ、Bタイプともに従来戸先ゴムの挟み込み力よりも低減し、現用戸先ゴムの同等以下であった。
- 2) 新規戸先ゴムの挟み込みの検知感度は、従来戸先ゴムよりも低いことがわかった。一方、新規戸先ゴムのAタイプはBタイプや既設の挟み込み検知システムよりも検知感度が高いことがわかった。
- 3) 引きずりの検知感度は、新規戸先ゴムAタイプおよびBタイプともに従来戸先ゴムよりも向上することがわかった。

以上、新規戸先ゴムは作製の際に目標値として設定した性能を満たしていることがわかった。その一方で、新規戸先ゴムの挟み込みの検知感度は従来戸先ゴムよりも低下するため、実際に使用する場合は、使用される環境に併せてセンサ戸先ゴムを選択する必要がある。

### 参考文献

- 1) 中里祐一：戸挟み発生時の乗務員支援を目的とした戸閉試験装置の開発，R & M, No.20, pp.3-6, 2012
- 2) 中里祐一，後藤亮介：戸挟み発生時の乗務員支援を目的とした戸閉試験装置の開発，R & M, No.21, pp.21-24, 2013
- 3) 間々田祥吾他：感圧センサを内蔵した戸先ゴムを利用した車両の戸挟み検知システム，鉄道総研報告，Vol.34, No.10, pp.23-28, 2020