

## 通勤電車の混雑環境を 模擬できる戸閉装置用 荷重試験装置の開発



松本 隆\*\*



安田 馨観\*\*\*



黒崎 由紀夫\*



横倉 晃\*

戸閉装置の信頼性に影響を及ぼす要因として、温度・湿度、振動、塵埃、ノイズなどが考えられるが、特に通勤電車の混雑している環境においては、ドア押圧や車体変形も影響を及ぼすと考えられる。しかし従来は、戸閉装置の動作試験において、ドア押圧や車体変形を再現することが難しく、それらの影響を評価することが困難であった。そこで、ドア押圧や車体変形を再現できる荷重試験装置を開発した。その装置を使って検証試験をしたところ、平均閉扉時間や閉扉動作時の平均電流は、ドア押圧の増加とともに増加する傾向にあることや、一方で車体変形による影響は小さいことがわかった。

●キーワード：戸閉装置、荷重試験、通勤電車、ドア押圧、車体変形

### 1. はじめに

鉄道車両の戸閉装置は、列車の安全性・安定性の確保のうえで重要な役割を担っており、高い信頼性が求められる。戸閉装置の信頼性に影響を及ぼすと考えられる要因は、主に①温度・湿度、②振動、③塵埃、④ノイズの4項目が考えられるが、通勤電車のように混雑している環境では、それらに加えて⑤ドア押圧（混雑時にドアが車両の外側へ押される力）、⑥車体変形（車内重量の増加により生じる出入口開口部の変形）も影響を及ぼすと考えられる。①～④の各項目は、従来から製作メーカーなどで試験の対象項目とされているが、⑤および⑥は、車内の混雑環境を再現することが難しく、それらの影響を評価することが困難であった。

そこで、ドア押圧や車体変形を再現できる荷重試験装置の開発に取り組んだ。

大きなドア押圧が作用すると、ドアモータへの負荷増大や、ドアをガイドしているスライド部分の摩擦発生などへの影響が考えられる。



図1 ドア押圧のイメージ

### 2. ドア押圧と車体変形

#### 2.1 ドア押圧

通勤ラッシュ時の車内が混雑している状況では、ドア付近のお客さまがドアにもたれかかったり、ドアに向かって押されたりするため、図1のように、ドアに対し車両の外側へ力（ドア押圧）が加わると考えられる。その力は、過去に乗車率との関係を検討したことがあり、その値を参考に、図2のような特性であると想定した。なお、ドアの開閉動作時には、周辺のお客さまが個々に体を引く行動をとることが考えられるため、ドア押圧は乗車率によって一概に決定できるものではないが、荷重試験をする際に参考値としている。ここでは、乗車率が約190%を超えるとドア押圧が発生し始め、350%では約3kNに達すると想定している。

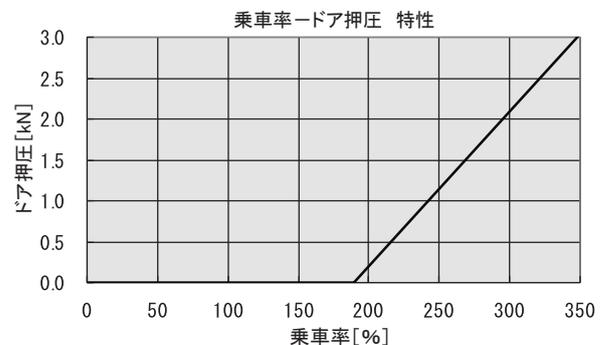


図2 乗車率による押圧の変化（想定）

#### 2.2 車体変形

車内混雑時は、車内の重量の増加により、車体がわずかに変形することが考えられる。そこで、乗車率の変化に伴う

車体変形量を明らかにするため、出入口が片側あたり4ヶ所ある通勤電車（E231系中間車）をモデルに、空車時と満車時の変形量を3次元有限要素法（FEM）解析で求めた。その結果、側構体は荷重増加とともに台車付近では外側に凸、車体中央寄りでは内側に凸、側はりは下側に凸の変形を起こすことがわかった。

また、ドアの上レール部と下レール部に着目して、空車時と満車時の相対的な変位量を求めたところ、それぞれ上下方向・枕木方向ともに変位があり、車体中央寄りのドアと車端寄りのドアでも変位量に違いがあることがわかった。一例として、図3に満車時（乗車率250%）のドア周辺の枕木方向の変位量を示す。

このような車体変形により、戸閉装置の動作抵抗の増加や、スライド部分の摩擦発生などへの影響が考えられる。

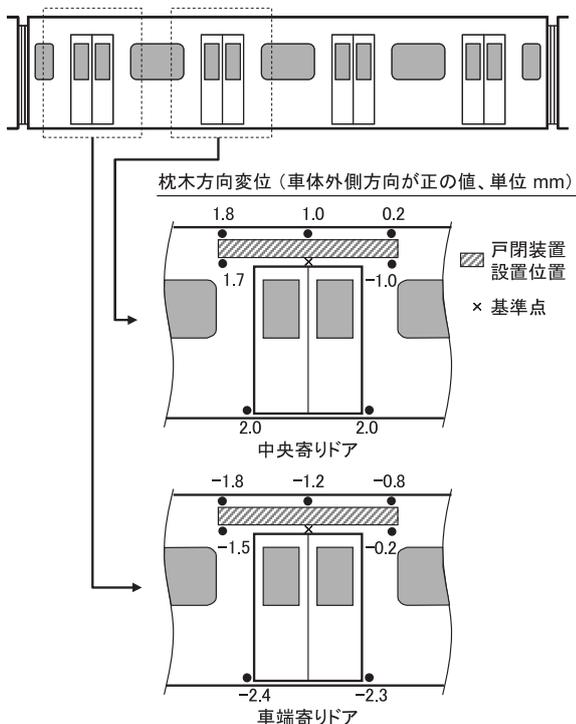


図3 満車時（乗車率250%）の変位量

### 3. 荷重試験装置

車内が混雑している状況におけるドア押圧と車体変形を再現することができる荷重試験装置を開発した。開発にあたっては、以下の条件を満たすものとした。

- ①混雑時を想定したドア押圧の再現
  - ドアに対して車両の外側方向へ、連続的に3kNまでの荷重を与えられる構造とした。
- ②混雑時を想定した車体変形の再現
  - 上レール部・下レール部の取付位置を変化させて、車体変形分の変位を与えられる構造とした。

### ③実際に近いドア開閉動作の再現

→ドアの再開閉機能（ドアが閉まる途中に、一時的に開く動作を与える機能）も含めて、実際に近いドアの開閉動作を自動的に繰り返すことができる構造とした。

これらの概略図を図4に示す。

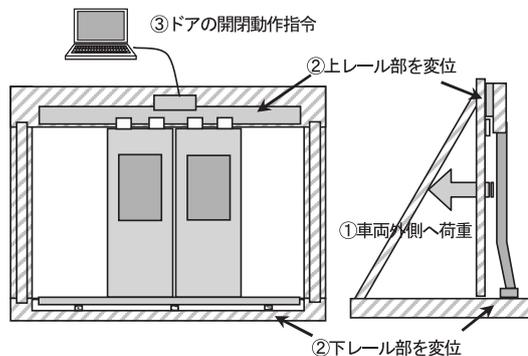


図4 荷重試験装置の概略図

①については、実際のように車内側からドアへ押す力を与えるのではなく、車外側からドアを引っ張ることでドア押圧を再現する機構とした。具体的には、図5のように、ばねの力を利用して、ドアの車外側の面に取付けたL字ガイドを、先端にローラの付いたロッドで引っ張る構造としている。また、ロッドの手前にあるナットを締め込むことによりばねが縮み、ドアを引っ張る力が増していく仕組みとなっている。これにより、ドア押圧に相当する力を再現することが可能となる。ばねの縮む量を調整することにより、連続的に最大約3kNまでの押圧を再現することが可能である。

なお、ドア押圧は、ドアが出入口の開口部にあるときのみ作用し、ドアが開いて戸袋に収まったときは作用しないことから、このばね機構は開口部の位置のみに配置している。つまり、ドアが閉まるときには開口部にあるドアの面積が増えるにつれて押圧が増していく仕組みになっている。

このばね機構は、ドア1枚に対して、窓部分の高さに上下2段で合計10本が装備されている。

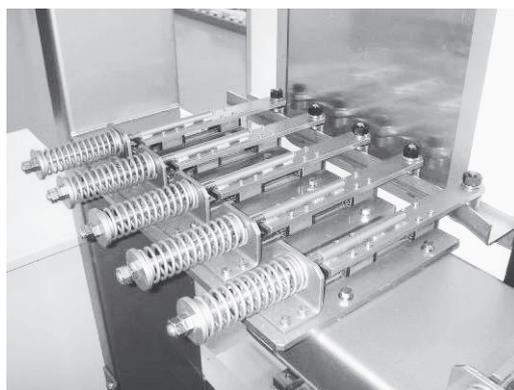


図5 ばね機構

②については、図6、図7に示すドアの上レールと下レールの各取付座に、変形量に応じて寸法の異なるライナーを挿入するか、あるいは取付座自体を寸法の異なるものに交換することにより、戸閉装置の取付位置を強制的に変化させる仕組みとした。ライナーや取付座は、乗車率250%と350%の、それぞれの車体中央寄りと車端寄りのドアに対するものの4種類と、変形が無い状態も含めて、合計5種類製作した。



図6 上レール部の取付座

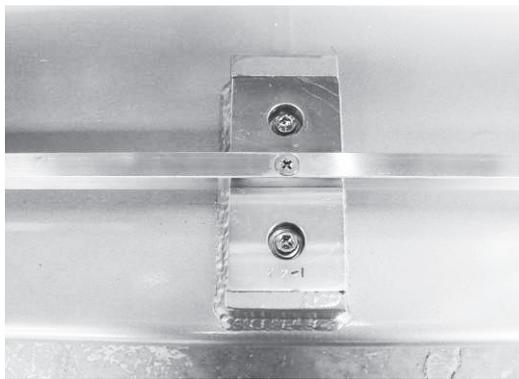


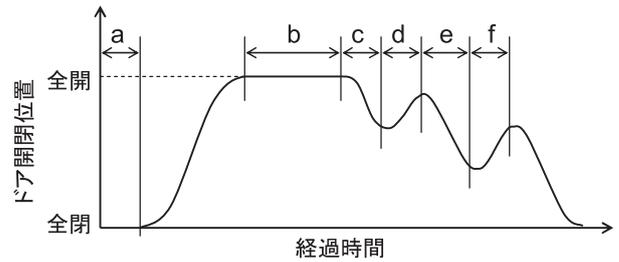
図7 下レール部の取付座

③については、実際の車両と同様の制御装置を搭載し、操作盤やパソコンから制御装置へ開閉指令を送信して、開閉動作ができる仕組みとした。また、閉扉時には再開閉動作を最大2回まで設定できるようにした。開閉動作のタイミングについては、図8に示すパラメータを任意に設定できるようにした。

なお、試験装置での測定項目は、ドアの開閉位置、戸閉装置の駆動用モータに流れる電流、駆動部の筐体温度の3項目であり、0.1秒間隔で記録できる。1回の開扉（または閉扉）動作ごとには、開扉（閉扉）時間、平均電流も自動的に記録できる。

その他、試験装置による記録項目以外にも、試験目的に応じて、V字隙間測定（左右のドアの戸先部の隙間の上端部と下端部の差）や、ドアと下レール取付座との隙間の測定、開閉抵抗力の測定などを行って評価に使っている。

荷重試験装置の全景を図9に示す。



- ・開指令待ち時間 (a)
  - ・閉指令待ち時間 (b)
  - ・1回目再開閉指令待ち時間 (c)
  - ・1回目再開閉動作時間 (d)
  - ・2回目再開閉指令待ち時間 (e)
  - ・2回目再開閉動作時間 (f)
- ※戸閉装置の種類により若干異なる。

図8 開閉動作のパラメータ



図9 荷重試験装置全景（写真は一部加工）

## 4. 検証試験

荷重試験装置に対し、実際に戸閉装置を搭載して開閉動作をさせて検証を行った。試験内容としては、ドア押圧のみ変化させる試験、車体変形のみ変化させる試験、ドア押圧・車体変形を組合せた試験をそれぞれ行い、さらに戸閉装置の耐久性を検証するための連続開閉試験を行った。

試験結果の一例として、ドア押圧を変化させた場合の平均閉扉時間と、閉扉動作の平均電流を、それぞれ図10と図11に示す。

この例からは、平均閉扉時間は、ドア押圧がある一定値を超えると、急激に増加する傾向にあることがわかった。閉扉動作の平均電流は、ドア押圧の増加とともに徐々に増加する傾向にあることがわかった。また、どちらも車体変形による影響は小さいこともわかった。

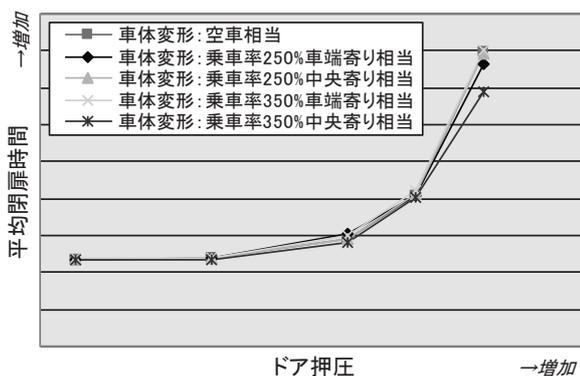


図10 ドア押圧と平均閉扉時間の関係

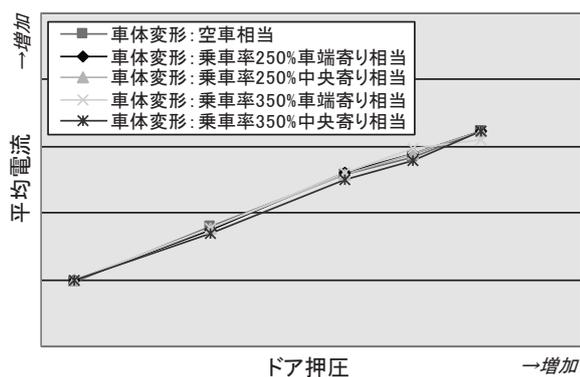


図11 ドア押圧と平均電流の関係

## 5. おわりに

従来は通勤電車の混雑環境による戸閉装置への影響を、試験および評価することが困難であったが、本研究において、混雑環境で発生すると考えられるドア押圧と車体変形を再現できる荷重試験装置を新たに開発し、試験および評価することが可能となった。

本試験装置を活用し、通勤電車の混雑環境で使用される戸閉装置の信頼性向上につなげたい。