

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

# 踏切事故時の衝突状況が鉄道の乗客被害に与える影響を評価する

万が一の事故に備え、乗客の被害を抑えるという観点で車両を設計しておくことは重要です。踏切で大型自動車と衝突した事故の被害状況をみると、列車衝突速度が大きい場合に死傷者数が多いとは限らないことから、自動車への衝突状況が少なからず影響を与えていると予想されます。そのため、「想定する衝突状況」と「乗客被害の程度」の関係を定量的に把握しておくことは、耐衝突性を考慮した鉄道車両を設計するうえで有効です。ここでは、踏切での大型自動車へのさまざまな衝突状況を想定した解析結果について紹介します。

## はじめに

事故に備えて、乗客被害を抑えるという観点であらかじめ車両を設計しておくことは重要です。耐衝突性を考慮した車体構造の設計を行う際には、衝突状況を想定する必要があります。

2007年度から2016年度までに国内で発生した鉄道運転事故では、鉄道人身障害事故を除くと、踏切障害事故の件数をもっとも多く、被衝突物の約半数が自動車であり、原因は直前横断や踏切上での停滞・落輪・エンストが約8割を占めていました<sup>1)</sup>。以上のことから、鉄道総研では、踏切上の大型自動車側面に列車が衝突する事故シナリオを中心として研究を進めています。

踏切における自動車との衝突時の被害状況をみると、列車衝突速度が大き

い場合に死傷者数が多いとは限らず<sup>2)</sup>、自動車への衝突状況が大きな影響を与えていると推定されます。この影響を定量的に評価して明らかにすることは、車体構造を設計する上で重要な知見となります。

ここでは、踏切事故時の衝突状況がロングシートに着座した乗客被害に与える影響を数値解析により評価した結果について紹介します。

## 数値解析による乗客被害の推定方法

まず、列車と大型自動車であるダンプカーの衝突を模擬する数値解析により列車客室に発生する衝撃を算出します。数値解析には、踏切事故の車両衝突解析モデルを用いました<sup>2)</sup>。本



中井 一馬  
Kazuma Nakai  
人間科学研究部  
人間工学研究室  
主任研究員



榎並 祥太  
Shota Enami  
人間科学研究部  
人間工学研究室  
副主任研究員



沖野 友洋  
Tomohiro Okino  
車両構造技術研究部  
車両強度研究室  
主任研究員(上級)

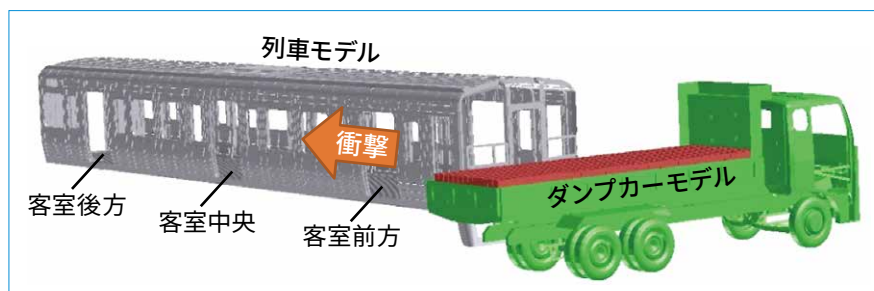


図1 列車モデルとダンプカーモデル

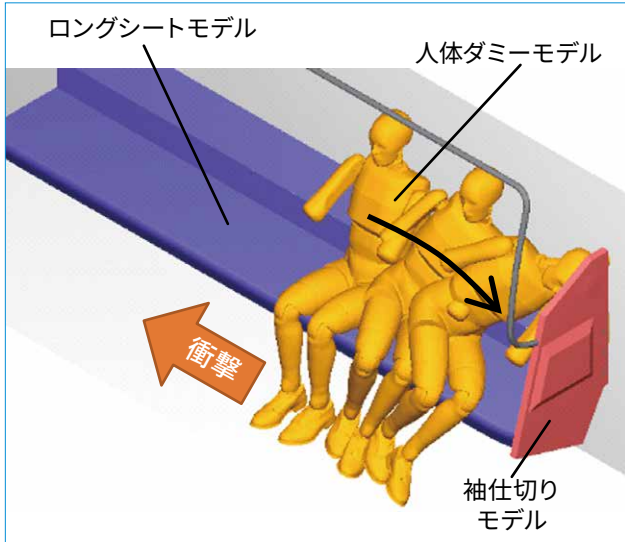


図2 ダミーモデルとロングシートモデル

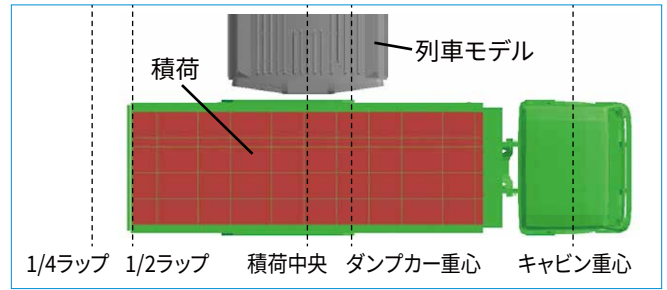


図3 水平方向衝突位置の条件

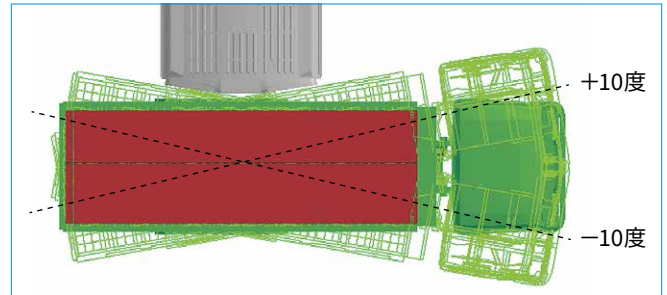


図4 衝突角度の条件

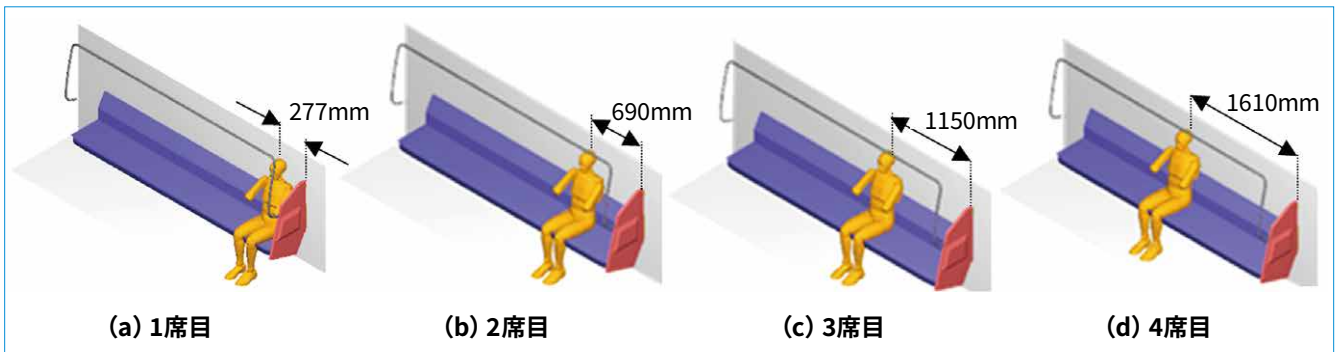


図5 初期着座位置の条件

解析モデルは、図1に示すように、列車モデル(総質量30.7t)とダンブカーモデル(車両質量11t、積荷質量0~13.75tの範囲で可変)で構成されています。

次に、出力された衝撃を入力とした数値解析により、ロングシートの乗客が車内設備に2次衝突した際の被害状況を推定します。列車が自動車などと衝突することは1次衝突、その衝撃で列車内の乗客が車内設備や他の乗客に衝突することは2次衝突とよばれます。数値解析には、筆者らが構築したロングシート乗客の傷害度を推定するための乗客傷害度解析モデルを用いました<sup>3)</sup>。本解析モデルは、図2に示すように乗客を模したダミーモデル、ロン

グシートとロングシート端部に配置される袖仕切りなどの車内設備モデルで構成されています。

#### 踏切事故の車両衝突解析条件

踏切における重大事故の統計分析から、列車衝突速度の平均値が54km/hと推定されました。ここでは、この速度を列車の衝突速度と想定し、「水平方向衝突位置」、「衝突角度」と「積荷質量」といった衝突状況を組み合わせた踏切事故解析を行いました。基準となる条件は、図3に示すように、衝突位置を、列車の中心線がダンブカーの積荷中央と一致し、列車とダンブカーの進行方向が直角となる位置としました。また、積荷質量は11t(ダンブカー総質量は22t)としました。

「水平方向衝突位置」の条件は、衝突位置が列車運転席から見た左右の水平方向に異なる条件群で、図3に示す5条件としました。「衝突角度」の条件は、図4に示すように列車とダンブカーの衝突時の角度が異なる条件群で、0度、±5度および±10度の5条件としました。「積荷質量」の条件は、ダンブカーの積荷の質量が0t~13.75tの範囲で6条件としました。

#### 乗客の解析条件

乗客の着座位置の影響も評価するため、図5に示すようにダミーモデル1体を、袖仕切りから、1席目、2席目、3席目、4席目にそれぞれ着座させた条件で解析を実施しました。

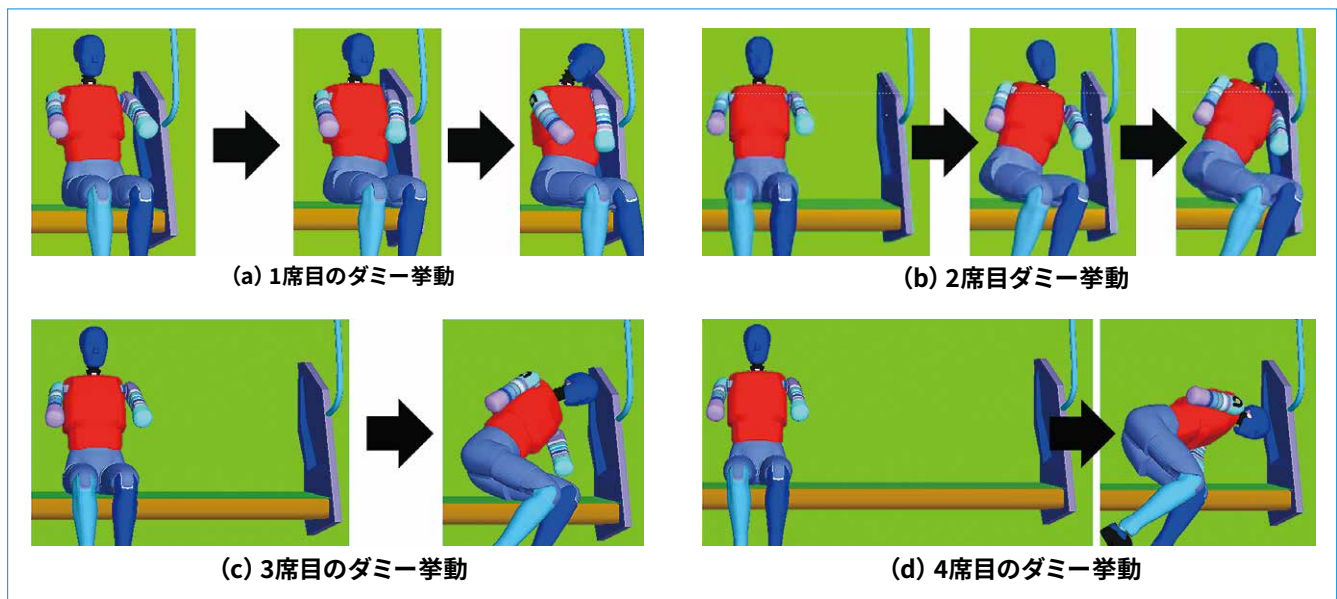


図6 ダミー挙動の比較 (基準条件 客室中央部)

### 衝突状況が乗客傷害度に与える影響の評価

解析結果のうち、頭部が袖仕切りに2次衝突した条件と、袖仕切りに2次衝突する前に座面に倒れ込んだ条件がありました。ここでは、頭部に傷害が発生する可能性が高い結果となった前者の条件について示します。

#### 基準条件の挙動評価

基準条件 (衝突位置：ダンプカー中心、衝突角度0度) における客室中央部のダミー挙動を図6に示します。

1席目に着座した場合 (図6 (a))：身体の左側面全体が袖仕切りに2次衝突した後に、頭部が首を中心に回転して袖仕切り上側面に2次衝突する挙動がみられました。

2席目に着座した場合 (図6 (b))：身体全体が倒れ込みながら左肩、頭部の順に袖仕切りに2次衝突する挙動がみられました。

3席目に着座した場合 (図6 (c))：より倒れ込みながら頭部から袖仕切りに2次衝突する挙動がみられました。

4席目に着座した場合 (図6 (d))：さらに倒れ込みながら、頭部から袖仕切りに2次衝突する挙動がみられました。

以上のように、2次衝突時の倒れ込みは、初期着座位置が袖仕切りから離れているほど大きくなり、この傾向は、ほかの入力条件でも確認されました。

#### 水平方向衝突位置による影響評価

車両の水平方向衝突位置による頭部への影響を評価するため、「頭部傷害度」と袖仕切りとの2次衝突時の「頭部衝突速度」を算出しました。「頭部傷害度」については、自動車業界で用いられる「頭部傷害値」(2次衝突時の頭部加速度から算出される傷害指標)を用いました。頭部傷害値は、数値が大きいほど傷害発生リスクが高まる指標であり1,000を超えると重篤な傷害が発生する可能性が高まります。そのため、自動車業界では1,000が限度値として規定されています。

頭部傷害値は、図7 (a) に示すように、「積荷中央」と「ダンプカー重心」の条件で高くなる傾向がみられました。とくに、3席目の頭部傷害値に着目すると、「積荷中央」と「ダンプカー重心」の条件で1,000を超えるのに対して、ほかの条件では50未満 (重篤な傷害が発生する可能性がきわめて低い) と、大きな違いが生じました。これは、

図7 (b) に示すように、頭部衝突速度が当該2条件で大きくなることが理由と考えられます。

また、図7 (b) に示す頭部衝突速度を着座位置で比較すると、大きい順に2席目、3席目、4席目、1席目となりました。これは、前述したように、袖仕切りから離れるほど、袖仕切り方向への倒れ込みが大きくなる影響と考えられます。図8に2席目と4席目のダミー頭部の挙動比較を示しましたが、4席目では倒れ込みが大きいので下方方向の頭部速度は高くなるものの、紙面右側方向の頭部速度は2席目より低くなります。この倒れ込み挙動が袖仕切りへの頭部衝突速度に影響を与え、結果として頭部傷害値に影響を与えているといえます。

一方で、頭部衝突速度は図7 (b) に示すように、2席目よりも3席目の方が明らかに低くなるのですが、「積荷中央」と「ダンプカー重心」の条件では頭部傷害値に大きな差がみられません。これは衝突する袖仕切りの位置が異なるための影響で、3席目の場合よりも2席目の場合の頭部衝突位置における袖仕切りの強度が低いことが

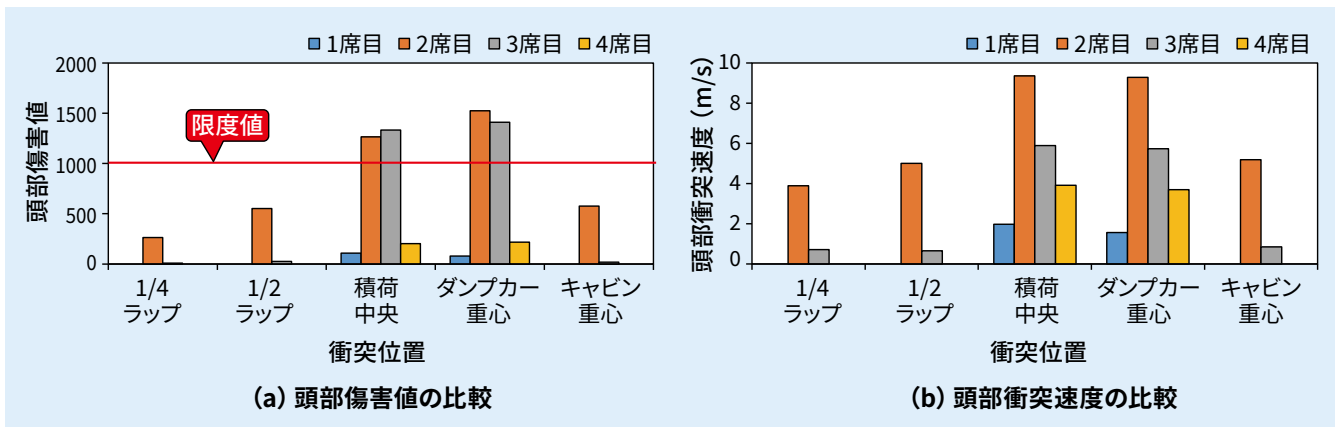


図7 水平方向衝突位置による評価

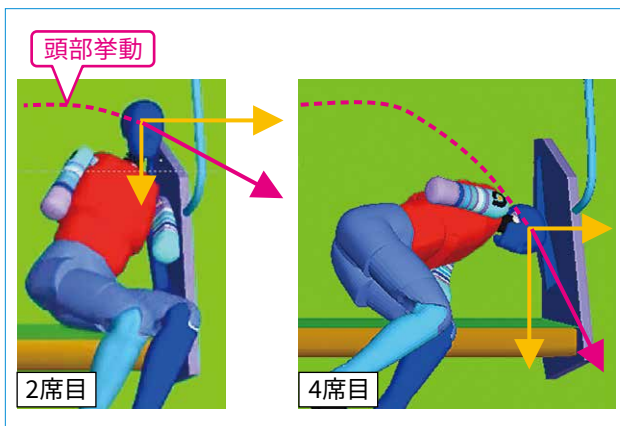


図8 ダミー頭部の挙動イメージ

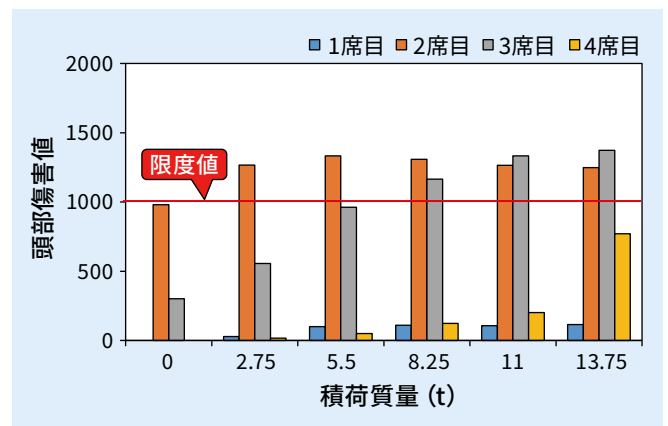


図9 積荷質量による頭部傷害値の比較

理由であると考えられます。つまり、頭部傷害値は、衝突位置の強度に依存し、衝突位置の強度が高いと頭部傷害値が大きくなります。

#### 車両の衝突角度による影響評価

衝突角度による頭部傷害値・頭部衝突速度の違いは、どの着座条件でもみられませんでした。±10度の範囲においては、衝突時に車体に発生する衝撃に大きな差がないためと考えられます。

#### 積荷質量による影響評価

図9に示すように、積荷質量が大きくなると頭部傷害値は高まる傾向がみられました。しかしながら、着座位置によってその傾向に差がみられました。一方で頭部衝突速度については、積荷質量に依存して高まる傾向が確認されたことから、前述した頭部衝突位置に

おける袖仕切りの強度の差が影響していることが考えられます。

#### おわりに

踏切事故時の衝突状況がロングシート乗客の被害に及ぼす影響を評価するため、数値解析を行いました。その結果、大型自動車への水平方向の衝突位置と積荷質量が乗客頭部の傷害度に与える影響は大きいこと、衝突角度の影響は小さいことがわかりました。車両設計時に想定する水平方向衝突位置については、とくに影響が大きいことから注意して設定する必要があります。

また、2次衝突速度と2次衝突位置の強度は傷害度に大きな影響を与えることがわかりました。これらのことから対策の方針として、2次衝突速度を下げるとともに、2次衝突が予想され

る箇所の強度を低くするなど配慮が必要です。

鉄道総研ではこれら知見に留意して、事故時の対策の検討に取り組んでいきます。[RRR]

#### 文献

- 1) 中井一馬, 榎並祥太: 列車衝突事故時のロングシート着座乗客に対する手すりの傷害軽減効果の実験的検証, 日本機械学会論文集, Vol.85, No.878, 2019
- 2) 沖野友洋, 永田恵輔, 中井一馬, 小林秀敏: 乗客傷害度と相関が高い減速度積分値を用いた衝突安全性評価法, 鉄道総研報告, Vol.34, No.12, pp.29-34, 2020
- 3) 中井一馬, 鈴木大輔, 榎並祥太, 沖野友洋, 高野純一: 列車事故時の乗客挙動解析によるロングシート乗客の被害推定と対策, 鉄道総研報告, Vol.33, No.1, pp.29-34, 2019