

## 着座乗客の衝突事故時の挙動と被害の推定

人間科学研究部 人間工学  
研究室長 小美濃幸司

### 1. はじめに

鉄道の安全への取り組みはさまざまな面から行なわれているが、大きく「事故防止」と「事故時の被害軽減・被害拡大防止」に分けることができる。鉄道総研では前者と並行し、後者についても研究を進めている。特に列車衝突事故時の被害軽減の研究では、1次衝突対策と2次衝突対策という2つの視点がある。車両の衝突を1次衝突と呼び、その衝撃により乗客が車内設備あるいは他の乗客などと衝突することを2次衝突と呼んでいる。1次衝突対策については車両構造の面から、2次衝突対策については人間工学の面から検討が進められている。ここではロングシートに着座した乗客の2次衝突に焦点を当て、これまでの研究結果を報告する。

2次衝突対策には傷害者の2次衝突の状況を個々に解明することが不可欠である。このためには事故調査の情報だけでは不十分であり、乗客の2次衝突の状況を推定する作業も必要となる。2次衝突にかかわる乗客の動きおよび乗客の受ける接触力などの情報を推定するための解析を、人体挙動解析と呼んでいる。今回、人体挙動解析としてFEM人体モデルを用いた数値シミュレーションおよび人体ダミーを用いた衝突実験を実施し、ロングシートに着座した乗客の典型的な傷害パターンに対して、ロングシート端のそで仕切りの安全性評価を試みた。

### 2. 傷害特徴調査

列車衝突事故に見られる傷害パターンは乗車姿勢ならびに車内設備、特に座席に依存することが、過去の調査研究から明らかになっている<sup>1)</sup>。今回筆者らが実施した調査の中からロングシートを配した通勤列車事故の調査データについて、衝突直前の乗車姿勢を立位と座位に別けて整理した。この事故は駅に停車していた先行列車に、後続列車が追突したもので、衝突速度は約30km/hであった。乗客が受けた傷害の身体部位（傷害部位）を図1に、その傷害を引き起した物あるいは箇所（加害物）を図2に示す。傷害部位をみると、立位姿勢での傷害数は頭部が13名（20%）と最も多く、座位姿勢では胸部が14名（48%）と顕著に多い。加害物をみると、立位姿勢では床、手すり、人で45名（80%）、座位姿勢では手すりだけで16名（64%）となっている。ここで座っている乗客に対して加

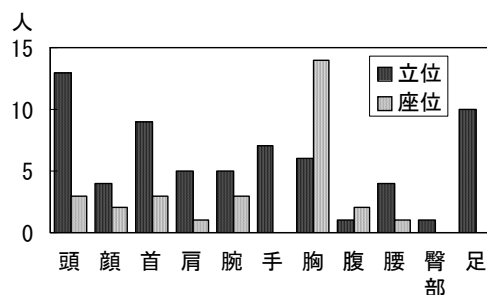


図1 傷害部位の分布

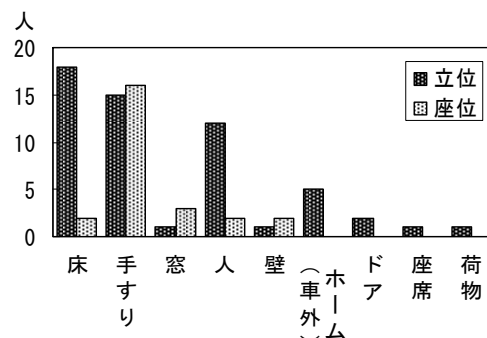


図2 加害物の分布

害物となっている手すりは、そで仕切りの役目も兼ねている部分であり、以降この部分を限定してそで仕切りと呼ぶ。座位で傷害を受けた乗客についてみると、座っていた位置が不明なものを除くと、24 例中 15 例が衝突面寄りのそで仕切り脇に座っているか、あるいはそで仕切りから離れて座っていたが、その間が空席であった乗客である。この中には 1 ヶ月程度またはそれ以上の治療日数を要した肋骨骨折などの比較的重い傷害の乗客が見られた。これらのことより、そで仕切り脇に座っていて、そのそで仕切りで胸部を傷害するパターンがあることが推察される。

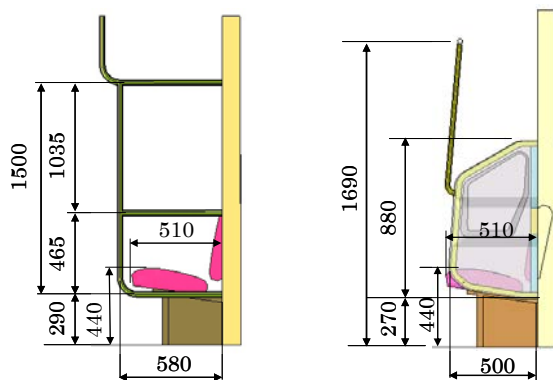
### 3. 数値シミュレーション

上記傷害パターンの人体挙動解析として、ロングシートそで仕切り脇に乗客が座っている状況を想定した数値シミュレーションを試みた。そで仕切りのタイプ、加速度波形、着座人数をそれぞれ 2 水準ずつ設け、それらの影響を比較した。上記傷害パターンのロングシートは、両端にパイプタイプのそで仕切りがあり、このそで仕切りと 2 次衝突していることから、このタイプのそで仕切りをロングシートの脇に設定した (図 3 (a))。また、近年増加している板タイプのそで仕切りとした条件も設定した (図 3 (b))。人体モデルとそで仕切りとの接触部の変形が傷害に影響することが想定されるため、どちらのそで仕切りも有限要素でモデリングした。一方、今回の想定では乗客との接触部の部材の変形が傷害にほとんど影響しないと考えられる座面および背もたれは剛体で近似した。

衝突時に生じる乗客と車両との間の相対加速度は、同事故の列車の運動シミュレーションの報告を参考として、同等の運動量変化となるように、2 種類設定した。この 2 種類の加速度は車両構造の違いによりその波形が変わった場合を想定したもので、車両床面の速度変化量はどちらの加速度条件も同じ値 ( $\Delta V=5 \text{ m/s}$ ) をとるものとし、かつ第 2 水準の加速度の最大値が第 1 水準の 50% となるように設定した。以降、第 1 水準を加速度 a、第 2 水準を加速度 b と呼ぶ。

本解析には、現在最も人体要素を忠実に反映していると考えられるトヨタ自動車が開発した人体有限要素モデル THUMS-AM50 を用いた。THUMS-AM50 は主に自動車衝突試験の数値シミュレーションに使用され、30~40 歳代のアメリカ人の成人男性の平均的な体格 (身長 175cm, 体重 77kg) である。

板タイプのそで仕切り、加速度 a、着座 1 名の条件での実施例を図 4 に示す。また、今回検討している胸部傷害パターンでは主に肋骨骨折が想定されることから、最大胸部変位でもって傷害の発生し易さを評価することとした。第 2 肋骨~第 11 肋骨の人体左右方向の最大変位を求め、その中の最大値を最



(a)パイプタイプそで仕切り (b)板タイプそで仕切り

図 3 ロングシートモデル側面図

(単位: mm)

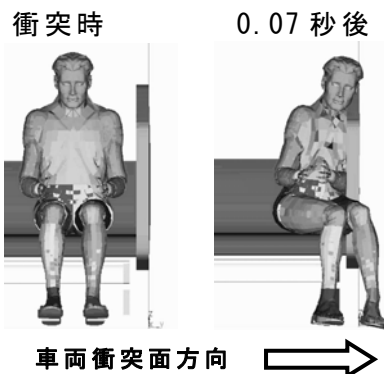


図 4 ロングシート乗客のシミュレーション例

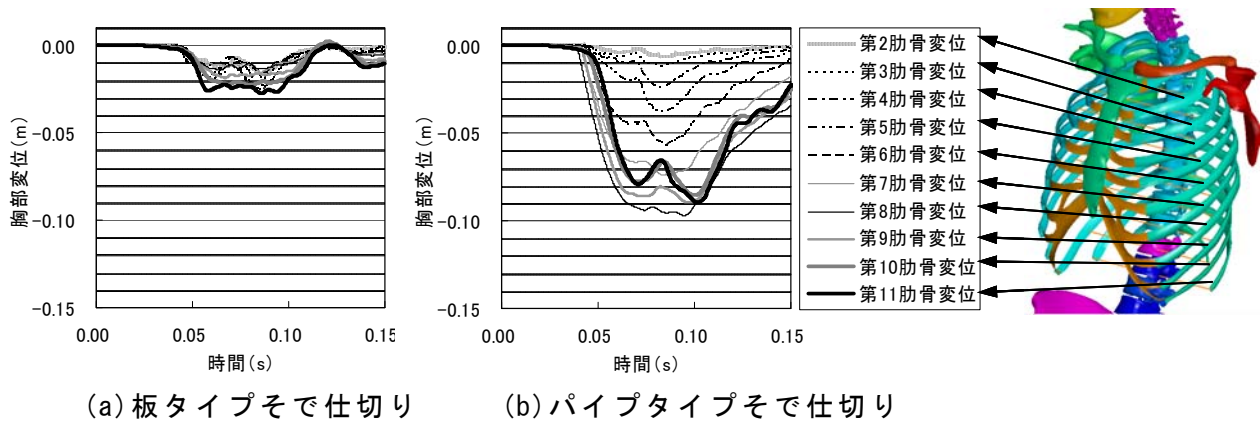


図5 胸部変位時系列データ

大胸部変位とした(図5)。各条件に対するそで仕切り脇の乗客の最大胸部変位を図6に示す。加速度波形および着座人数条件によらず板タイプの方がパイプタイプよりも胸部変位が明らかに小さい。また、着座人数が1名の場合に比べ、2名の場合に胸部変位がやや大きくなっている。一方、加速度aと加速度bについては差は見られなかった。以上の結果から見ると、今回の条件の中では、そで仕切りタイプの違いが最も大きく胸部傷害に影響を及ぼしていることが推察される。

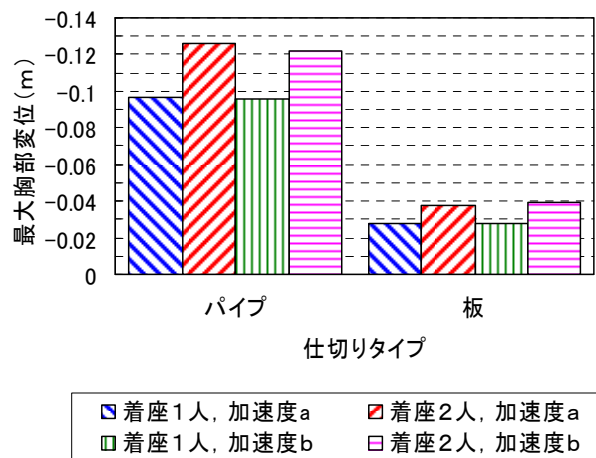


図6 そで仕切りタイプ, 着座人数, 加速度と最大胸部変位

#### 4. 衝撃実験による検証

上記数値シミュレーションに対し、衝突実験用ダミーを用いた検証実験を実施した。検証を行った条件は板タイプそで仕切りとパイプタイプそで仕切りの2種類であり、いずれの条件も着座は1名、床面に与える加速度は数値シミュレーションで使用した加速度aを設定加速度とした。

今回は、人体左右方向の胸部変位を計測可能な側面衝突実験用ダミーEuro Sid-1を乗客と仮想した。このダミーのサイズは成人男性の平均的な体格を模擬しており、ダミー胸部には肋骨に見立てたRibが3本あり、胸を上部、中部、下部と分けた部分の肋骨をそれぞれ1本ずつで代表している。このRibに組み込まれた変位計により、胸部変位を計測する仕組みとなっている。また、実験は財団法人日本自動車研究所の所有するスレッド試験機(HYGE)を用いて行なった。この試験機は高圧ガスを利用して、スレッドを打ち出し、スレッドに高加速度を発生させる装置である。なお、そで仕切りをスレッドにしっかりと固定した。

パイプタイプそで仕切り条件の試験実施例を図7に、板タイプそで仕切り条件の試験実施例を図8に示す。最大胸部変位は数値シミュレーションよりも全体的に変位量が小さかった。しかしながら、板タイプの場合の最大胸部変位はパイプタイプの半分程度であり、

板タイプの方が変位量が明らかに小さくなるという傾向は数値シミュレーションと一致した。また、そのパイプタイプの最大胸部変位は胸下部でみられていることも数値シミュレーションと一致していた。以上のことは、パイプタイプより板タイプで胸部傷害が起きにくくなるという数値シミュレーションの結果を支持するものであった。

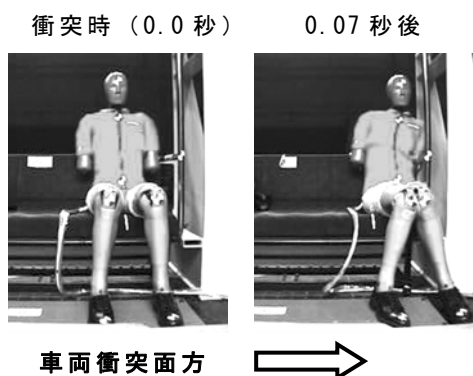


図7 パイプタイプそで仕切り条件の衝撃実験例

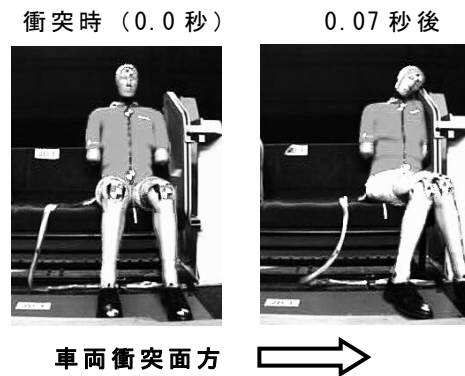


図8 板タイプそで仕切り条件の衝撃実験例

## 5. まとめ

衝突事故時の乗客の傷害特徴は、過去の衝突事故調査から、車内設備、特に座席に依存することが分かっている。そこで、ロングシートを配した車両の事故データを整理し、ロングシートの端に座っている乗客がそで仕切りで胸部を傷害するパターンが存在することを明らかにした。このパターンについて FEM 人体モデルを用いた数値シミュレーションを実施した。さらに、そで仕切りのタイプの数値シミュレーションに対して、スレッド試験機を用いた衝撃試験により検証した。これらのことから、板タイプのそで仕切りのほうが、パイプタイプのそで仕切りよりも胸部変位が小さく、胸部傷害が起きる確率が低いことが明らかとなった。

## 6. おわりに

今回はロングシートの乗客の傷害パターンに焦点をあてた解析を実施した。安全研究はこうした解析を1つ1つ積み重ねていくことが重要と考えられる。一方、過去の調査研究から車内設備、特に座席のタイプに依存して、傷害パターンが変わってくるのが明らかになっている。今後はこうしたことを踏まえ、クロスシートなど、他の車内設備を想定した車内環境での乗客挙動解析を実施していく予定である。

なお、本文に記載した研究の一部は、国土交通省の補助金を受けて実施した。

## 文 献

1)小美濃幸司，白戸宏明，田中綾乃：列車衝突時の乗客の被害に関する考察，鉄道総研報告，Vol.12，No.11，pp.11-14，1998