

列車衝突時におけるロングシート乗客の挙動^{*1}

—ボード型仕切りとパイプ型仕切りの比較—

Analysis of Response of Passengers on Bench Seat in a Train Collision

—Comparison of Board-Type and Pipe-Type Partitions—

福山 慶介^{*2}

Keisuke FUKUYAMA

山崎 邦夫^{*3}

Kunio YAMAZAKI

小美濃 幸司^{*4}

Koji OMINO

白戸 宏明^{*5}

Hiroaki SHIROTO

斉藤 綾乃^{*5}

Ayano SAITO

遠藤 広晴^{*5}

Hiroharu ENDOH

Abstract

The objective of this research is to obtain beneficial data on train collisions to reduce passenger injury by using computer simulation. In actual accidents, many passengers seated on bench seats suffer chest injuries by impact with the bench seat side partitions. We therefore developed a model to simulate seated passengers in a train, analyzed the chest deflection with the occupant simulation model (THUMS-AM50), and estimated the chest injury severity. In the computer simulation, we used two different side partitions to investigate the responses of the human model seated on the bench seat. We speculated that the maximum chest deflection of the lower rib cage when colliding with a pipe partition exceeded that when colliding with a board partition.

1. はじめに

近年、鉄道車両の安全性に注目が集まりつつあり、鉄道車両の安全対策が必要となっている。

一般に近距離列車の座席には、ロングシートが多く用いられており、その近距離列車の事故調査¹⁾によれば、列車衝突時にロングシートに着座して負傷した乗客の半数(48%)が胸部を負傷している。また、加害部位としては、座席の仕切りなどに使用されるパイプによるものが64%と最も多いことが判明している。

これまでに、著者らは仕切りがパイプタイプのロングシートに乗客を着座させたシミュレーションを実施し、衝撃加速度波形や着座人数が胸部傷害値に与える影響について報告している²⁾。

本研究ではさらに最近のロングシートにおける

仕切りの種類を考慮し、ボードタイプの仕切りを持つロングシートに乗客を着座させたシミュレーションモデルを作成し、仕切りと接触する際の乗客モデルの挙動および胸部の変形状況を解析して、胸部傷害の推定を行った。また、これまでに報告を行ったパイプタイプの仕切りを持つロングシートとの比較検討も行った。なお、乗客の胸部の変形状況を詳細に解析するため、計算モデルには人体FEモデルを使用した。

2. シートおよび仕切りのモデル化

FEMを用いた乗客の胸部傷害解析を実施するために、列車のシートおよびシートの端にあるボードで構成された仕切りを含む室内モデルを作成した。モデルの形状は車両の設計図を基に作成した。ただし、シートクッションは、現行タイプのシートクッションの形状を3次元座標計測装置を用いて計測した。作成した車両室内モデルの形状をFig. 1に示す。

*1 原稿受理 2008年8月6日

*2 (財)日本自動車研究所 安全研究部 博士(工学)

*3 (財)日本自動車研究所 安全研究部

*4 (財)鉄道総合技術研究所 人間科学研究部 工学博士

*5 (財)鉄道総合技術研究所 人間科学研究部

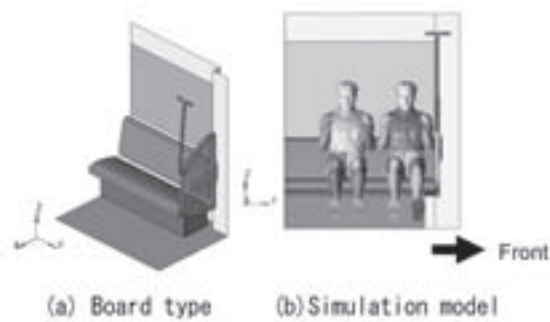


Fig. 1 Inside model of railroad carriage

3. シミュレーションによる乗客の胸部傷害解析

3.1 解析方法

列車衝突時の乗客の胸部傷害解析を、汎用の陽解法動的有限要素解析プログラムPAM-CRASHV2001³⁾を用いて実施した。

3.2 解析モデル

解析モデルは、車両室内モデルと乗客モデルから構成される。衝突時に生じる乗客と車両との間の相対加速度を再現するために、停止状態の車両室内モデルに加速度を与えた。加速度は、Fig. 2に示す2水準とした。両水準の加速度波形は、加速度の大きさと持続時間が異なっているが、衝突前後の速度差 ΔV ($=5\text{m/s}$)は同じである。

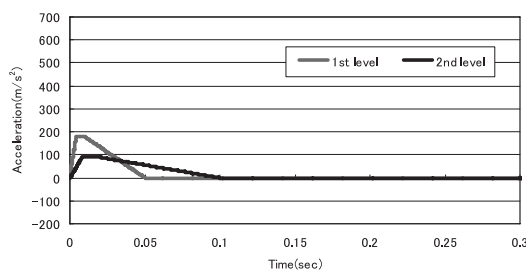


Fig. 2 Acceleration

3.3 乗客モデル

乗客モデルには、トヨタ自動車(株)および(株)豊田中央研究所が共同開発した人体有限要素モデルTHUMS-AM50 Occupant model ver2.101-020320 for PAM-CRASH⁴⁾を用いた。THUMSの総節点数は約60,000であり、総要素数は83,500の大規模モデルである。

本解析では、衝突時に乗客とシート端の仕切り

が接触した際の胸部の横方向の変位量を取得するために、乗客モデルの左右の第2肋骨から第11肋骨の両端をバー要素で結び、バー要素の伸縮量から肋骨の変位量を求めた。また代表点(頭部重心、第6胸椎、腰部)の加速度、速度、および座標の時系列データを出力させた。乗客の初期の着座位置および姿勢をFig. 3に示す。本報では、仕切り側の乗客を乗客Aと呼び、仕切りから遠い乗客を乗客Bと呼ぶ。

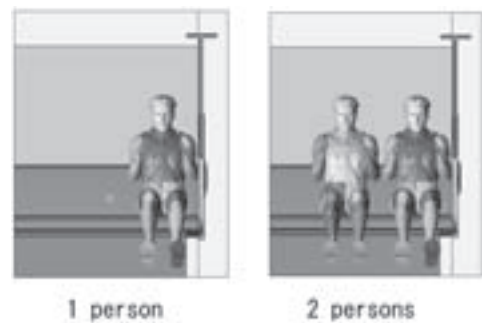


Fig. 3 Position of passengers

3.4 境界条件

剛体として定義した車両モデルには、車両進行方向(Y軸方向)のみの自由度を境界条件として与えた。また、仕切りと車両の結合部(壁およびシート)では仕切りの端部を車両モデルと共に剛体として定義することによって、車両モデルと結合した。乗客モデルと車両モデルとのすべての接触定義箇所に摩擦係数0.3を入力した。

3.5 解析条件

解析条件の一覧をTable 1に示す。衝撃加速度、および乗客人数の二つのパラメータをそれぞれ2水準用意し、これらすべてを組み合わせた4通りの解析を実施した。なお、解析対象時間は、乗客が1人の場合は衝突開始から0.15(sec)までとし、乗客が2人の場合は衝突開始から0.25(sec)までとした。

Table 1 Condition of analysis

No.	Partition type	Acceleration	Number of passenger
TEST001	Board	1st level	1
TEST002	↑	↑	2
TEST003	↑	2nd level	1
TEST004	↑	↑	2

3.6 胸部傷害指標

4通りの衝撃解析を実施し、乗客の胸部傷害を評価する指針となる胸部変位、VC (Viscous Criterion)⁵⁾、を時系列データとしてファイルに出力した。VCは、自動車の安全関係の分野では前面衝突試験や側面衝突試験で使用されており、前面衝突、側面衝突ともに1.0m/sが耐性基準とされている。また、胸部変位は、側面衝突において42mmが耐性基準とされている。なお、これらの時系列の出力データはCFC180のローパスフィルタ処理⁶⁾を行った。

4. 解析結果

4条件の解析結果を用いて、解析条件による胸部の傷害値の差について比較・検討を行った。比較した胸部傷害値は、仕切り側乗客の胸部変位の最大値ならびにVCmaxである。解析によって求めた胸部傷害値の一覧をTable 2に示す。この表を基に、以下に示す三つのパラメータがおよぼす胸部傷害値への影響について比較・検討を行った。

- ・ 衝撃加速度の差による胸部傷害値への影響
- ・ 着座人数の差による胸部傷害値への影響
- ・ 仕切りタイプの差による胸部傷害値への影響
(パイプタイプとの比較)

Table 2 Results of analysis

No.	Maximum chest deflection [m]	VCmax [m/s]
TEST001	-0.028	0.25
TEST002	-0.038	0.38
TEST003	-0.028	0.19
TEST004	-0.039	0.32

4.1 衝撃加速度波形の影響

衝突の際に車両に加わる衝撃加速度波形の差による胸部変位の最大値への影響をFig. 4 (a)に示す。4パターンのすべての条件において、第1水準での胸部変位を基準とすると第2水準の胸部変位は101%~104%の値であり、加速度の差による胸部変位の最大値への影響はほぼ見られなかった。衝撃加速度波形の差によるVCmaxへの影響をFig. 4 (b)に示す。すべての条件で、第2水準のVCmaxは第1水準のVCmaxの76%~84%の値を示し、第2水準のVCmaxのほうが低い結果となった。

ΔV が等価でも、衝撃加速度の値と持続時間が異なると乗客の胸部傷害値にわずかな差が生じ、第1水準の波形に比べて加速度が小さく持続時間が長い第2水準の波形を用いた場合のほうが、乗客の胸部傷害値がわずかに低く現れる傾向にあることが明らかになった。



Fig. 4 Influence on injury by acceleration

4.2 着座人数の影響

着座人数の差による胸部変位の最大値への影響をFig. 5 (a)に示す。4パターンすべての条件において、乗客1人の時の胸部変位を基準とすると乗客2人の時の胸部変位は138%~142%の値を示し、着座人数が1人の時に比べ2人のほうが仕切り側に着座する乗客の胸部変位の値が高い。着座人数が2人の場合には、胸部変位の最大値は、乗客Bが乗客Aに衝突した後に発生する。したがって、乗客Aが衝突時に仕切り側の乗客が慣性力によって移動して仕切りと衝突した後、同じく慣性力によって移動してきた乗客Bと接触し、乗客Aにさらなる外力が加わり、胸部の変位が上昇して胸部傷害値が高くなったと考えられる。

着座人数の差によるVCmaxへの影響をFig. 5 (b)に示す。乗客2人のVCmaxは乗客1人のVCmaxの150%~167%の値を示し、着座人数が1人よりも2人のほうがVCmaxの値が高い。

これらの結果より、着座人数が2人に増加すると仕切り側の乗客の胸部変位が高くなる傾向にあることが明らかとなった。VCmaxは、着座人数による影響がやや大きいと考えられる。

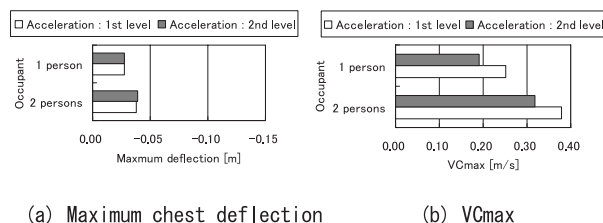


Fig. 5 Influence on injury by number of passenger

4.3 仕切りタイプの影響(パイプタイプとの比較)

仕切り形状の差による胸部変位の最大値への影響をFig. 6 (a) に示す. ここではパイプタイプによる結果も含めて比較を行う. 4パターンすべての条件で, ボードタイプの胸部変位の最大値はパイプタイプの28%~32%の値であることがFig. 6(a)から読み取れる. 仕切り形状の差によるVCmaxへの影響をFig. 6 (b) に示す. 4パターンのどの条件でもパイプタイプのVCmaxに比べボードタイプのVCmaxが低く, 板タイプのVCmaxはパイプタイプのVCmaxの19%~38%の値である.

パイプタイプよりもボードタイプのほうが乗客の胸部傷害値が少ないという結果が得られた. 仕切りの形状がパイプタイプの場合, 乗客とパイプは少ない面積で接触し, 数本の肋骨に局所的な変形が生じる. 一方, 仕切りの形状が板タイプの場合, 乗客とパイプは大きな面積で接触し, 肋骨に局所的な変形が生じないため, 胸部傷害値の指標として用いられている胸部変位とVCmaxが低く現れたものと考えられる. 仕切り形状がボードタイプの場合, 乗客の体全体の移動が仕切り板によって拘束される.

以上の結果からパイプタイプよりもボードタイプのほうが乗客の胸部に与える傷害程度は低くなると考えられる.

5. まとめ

本研究で得られた結果は以下である.

- ・車両に加わる衝撃加速度波形の差による胸部変位の最大値への影響は小さかった.
 - ・着座人数が2人に増加すると仕切り側の乗客の胸部変位が高くなる傾向にあることが明らかとなった.
 - ・また, ボードタイプのほうがパイプタイプよりも胸部変位やVCの値が低く, 乗客の胸部傷害を低減できる可能性が示唆された.
- なお, 本研究は国土交通省の補助金を得て実施された.

参考文献

- 1) 小美濃幸司ほか: 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, p.11-14 (1998)
- 2) 福山慶介ほか: 鉄道車両の衝突時における乗員挙動, 自動車研究, Vol.29, No.3, p.109-112 (2007)
- 3) PAM-CRASH Ver.2000 Solver Reference Manual and Solver Notes Manual, ESI
- 4) バーチャル人体モデル “THUMS”, <http://www.tytlabs.co.jp/japanese/tech/thums/index.html>, 豊田中央研究所
- 5) 水野幸治, 一杉正仁: 交通外傷バイオメカニクス, (社)自動車技術会, p.122-124 (2003)
- 6) 自動車-衝撃試験における計測, 日本工業規格 JIS D1050-1998

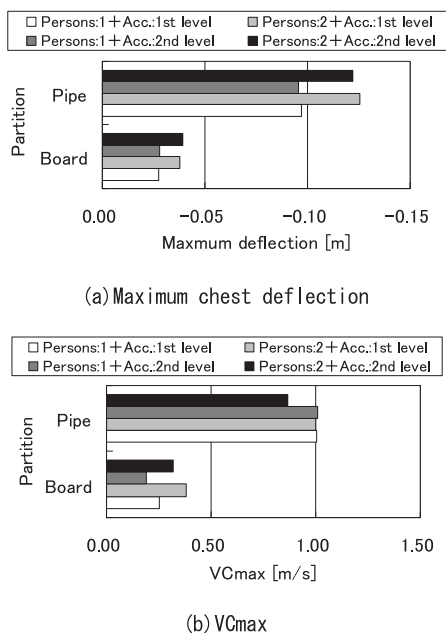


Fig. 6 Influence on injury by partition type