

## 転落乗客救出時の車両挙動に関する検討

日大生産工(院) ○本多 紫苑 日大生産工 綱島 均  
交通研 森 裕貴

### 1 はじめに

昨今、駅のホームからの転落事故、列車との接触事故が多発しており、転落事故の防止に効果の高い対策の必要性が高まっている。その対策として、ホームドアの整備等、転落防止対策が進められてきた<sup>(1)</sup>。

しかし、ホームドアが設置されていない駅では、プラットホームと車両の間に乗客が転落する事故が発生する可能性がある。その際、一般の乗客が車両を押し、救出する例があるが、車体が揺れ戻されて、かえって転落した乗客が危険な状況になる可能性があることが指摘されている。そのため、救出時の車両挙動を把握した上で最適な救出方法を判断する必要がある。

本稿では転落した乗客を安全に救出するための方法を検討するため、前記の状況における車両挙動を実車実験とシミュレーションにより検討を行った。

### 2 実車を用いた横荷重実験

#### 2.1 実験概要

乗客がホームに転落し救出することを想定した実車実験を鉄道事業者の協力を得て行った。その際、荷重の加え方・大きさによってどのような車両挙動を表すのか、車体とホーム間の変位を測定した。乗客救出時の荷重の加え方として、車両を押し続け荷重を加える方法（以下一定荷重と記す。）、車両を押し離し繰り返して荷重を加える方法（以下周期荷重と記す。）が考えられる。また、荷重の大きさは車両を押し人数に変化を加えた。

一定荷重実験の場合、少人数では押した際の変位が発生しないため6人、8人、10人でそれぞれ荷重を加えた。周期荷重は少人数で押した場合でも、車両の変位が発生するため、4人、10人でそれぞれ荷重を加えた。

車両を押し位置については、車両中央、車両端側の2箇所を設置した。車体とホーム間の変位を測定するため、車両のドア付近に変位センサを設置した。実験の概要を図1および図2に示す。



Fig.1 Experiment using real vehicles

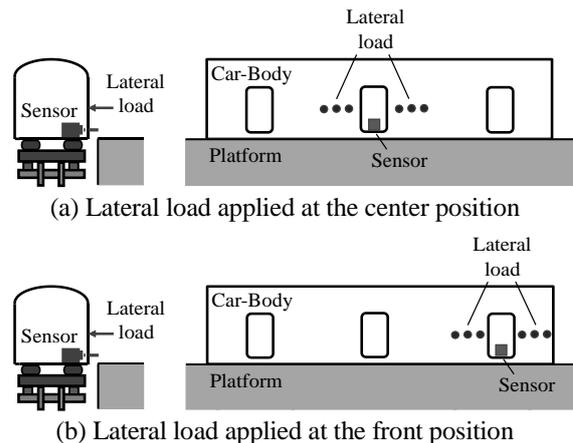


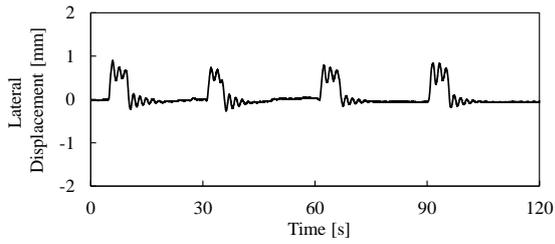
Fig.2 Position of lateral load applied on the car-body

#### 2.2 実験結果

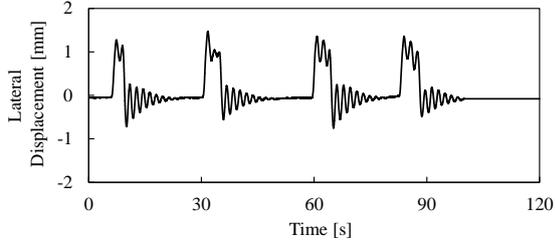
実験から得られた車体・ホーム間の変位について、一定荷重の測定結果を図3に、周期荷重の測定結果を図4に示す。周期荷重では4人で荷重を加えた場合、一定荷重の10人程度に対応し左右変位を発生させることができるが、同時に揺れ戻しも増大し、救出時に揺れ戻しによって挟まれた乗客の車体とホーム間の隙間が狭まり、危険な状況が乗じる可能性があることがわかった。

Vehicle behavior at the rescue of fell down passengers

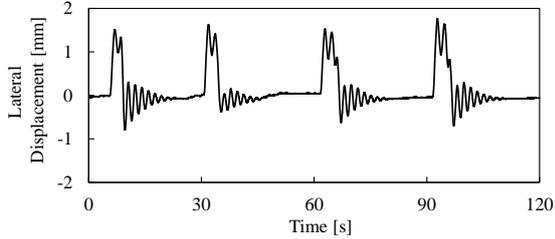
Shion HONDA, Hitoshi TSUNASHIMA and Hiroataka MORI



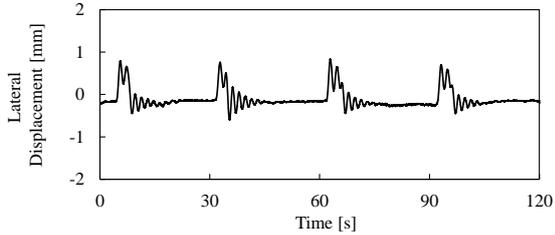
(a) Constant load at the front position (6 people)



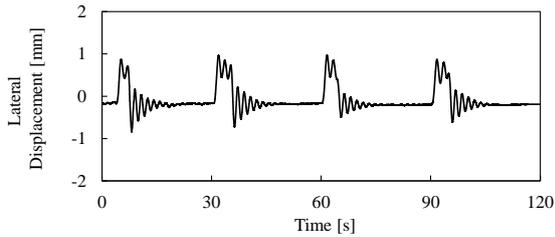
(b) Constant load at the front position (8 people)



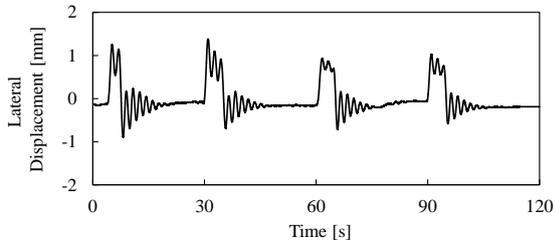
(c) Constant load at the front position (10 people)



(d) Constant load at the center position (6 people)

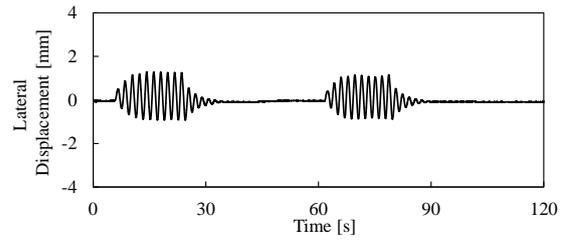


(e) Constant load at the center position (8 people)

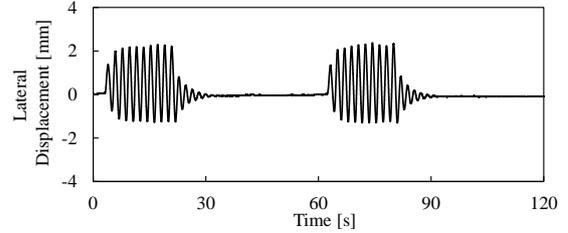


(f) Constant load at the center position (10 people)

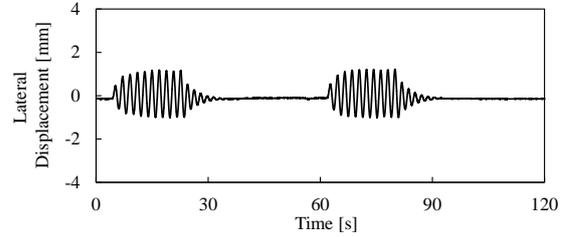
Fig.3 Car-body displacement due to the constant load



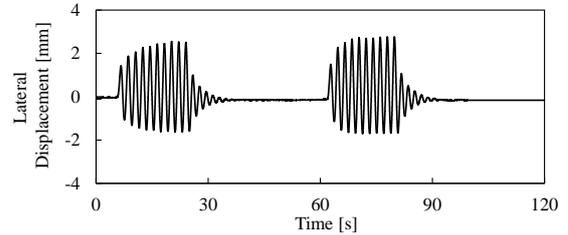
(a) Cyclic load at the front position (4 people)



(b) Cyclic load at the front position (10 people)



(c) Cyclic load at the center position (4 people)



(d) Cyclic load at the center position (10 people)

Fig.4 Car-body displacement due to the cyclic load

### 3 シミュレーション

#### 3.1 車両モデル

本節では、さらに詳細な検討を行うため、荷重増加シミュレーションを行った。本解析で用いるモデルを図5に示す。

使用するモデルは半車両断面モデルを用い、車体・台車枠の2つの質量要素に関してそれぞれ左右・ロール方向の2自由度(合計4自由度)を考慮する。台車はボルスタレス台車を使用するが、空気ばねは線形ばねで近似する。図5で使用する主な記号は以下の通りである<sup>(2)(3)</sup>。

$m_b, m_t$ : 車体、台車の質量 20000[kg], 3000[kg]  
 $I_b, I_t$ : 車体、台車の慣性モーメント 45000[kgm<sup>2</sup>], 1080[kgm<sup>2</sup>]  
 $y_b, y_t$ : 車体重心、台車重心の左右変位  
 $\phi_b, \phi_t$ : 車体、台車のロール角変位  
 $k_{1y}, k_{1z}$ : 軸ばねの左右、上下ばね定数 6000[kN/m], 2180[kN/m]  
 $c_{1z}$ : 軸ばねの上下減衰係数 78.4[kNs/m]  
 $k_{2y}, k_{2z}$ : 枕ばねの左右、上下ばね定数 178[kN/m], 855[kN/m]  
 $c_{2y}, c_{2z}$ : 枕ばねの左右、上下減衰係数 2[kNs/m], 48[kNs/m]  
 $c_{0y}$ : 左右動ダンパ減衰係数 13[kNs/m]  
 $2b_1$ : 左右の軸ばね中心間距離 1.950[m]  
 $2b_2$ : 左右の枕ばね中心間距離 1.900[m]  
 $h_{bc}$ : 荷重点高さ 2.400[m]  
 $h_{\phi}$ : 車体重心高さ 1.817[m]  
 $h_{gt}$ : 台車重心高さ 1.030[m]  
 $h_d$ : 左右動ダンパ高さ 1.186[m]  
 $h_{kc}$ : 枕ばね中心高さ 1.294[m]  
 $h_{lc}$ : 輪軸中心高さ 0.430[m]  
 ただし、 $h_1 = h_{gt} - h_{gw}$ ,  $h_2 = h_{kc} - h_{gt}$ ,  $h_3 = h_{gb} - h_{kc}$ ,  $h_4 = h_{dc} - h_{gt}$ ,  $h_5 = h_{gb} - h_{dc}$ ,  $h_6 = h_{bc} - h_{gb}$  とする。

### 3.2 運動方程式

図5のモデルに対する各質量要素の運動方程式は下記の通りである。

・車体

$$\begin{aligned}
 m_b \ddot{y}_b &= F_y - 2c_{2y}(\dot{y}_b + h_3\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_2\dot{\phi}_t) \\
 &\quad - c_{0y}(\dot{y}_b + h_5\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_4\dot{\phi}_t) \\
 &\quad - 2k_{2y}(y_b + h_3\phi_b - y_t + h_2\phi_t)
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 I_b \ddot{\phi}_b &= F_y h_6 - 2c_{2z} b_2^2 (\dot{\phi}_b - \dot{\phi}_t) \\
 &\quad - 2c_{2y} h_3 (\dot{y}_b + h_3\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_2\dot{\phi}_t) \\
 &\quad - c_{0y} h_5 (\dot{y}_b + h_5\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_4\dot{\phi}_t) \\
 &\quad - 2k_{2z} b_2^2 (\phi_b - \phi_t) \\
 &\quad - 2k_{2y} h_3 (y_b + h_3\phi_b - y_t + h_2\phi_t)
 \end{aligned} \quad (2)$$

・台車枠

$$\begin{aligned}
 m_t \ddot{y}_t &= 2c_{2y}(\dot{y}_b + h_3\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_2\dot{\phi}_t) \\
 &\quad + c_{0y}(\dot{y}_b + h_5\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_4\dot{\phi}_t) \\
 &\quad + 2k_{2y}(y_b + h_3\phi_b - y_t + h_2\phi_t) \\
 &\quad - 4k_{1y}(y_t + h_1\phi_t)
 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 I_t \ddot{\phi}_t &= -2c_{2y} h_2 (\dot{y}_b + h_3\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_2\dot{\phi}_t) \\
 &\quad - c_{0y} h_4 (\dot{y}_b + h_5\dot{\phi}_b - \dot{y}_t + h_4\dot{\phi}_t) \\
 &\quad + 2c_{2z} b_2^2 (\dot{\phi}_b - \dot{\phi}_t) \\
 &\quad - 4c_{1z} b_1^2 (\dot{\phi}_t) \\
 &\quad - 2k_{2y} h_3 (y_b + h_3\phi_b - y_t + h_2\phi_t) \\
 &\quad + 2k_{2z} b_2^2 (\phi_b - \phi_t) \\
 &\quad - 4k_{1z} b_1^2 (\phi_t) \\
 &\quad - 4k_{1y} h_1 (y_t + h_1\phi_t)
 \end{aligned} \quad (4)$$

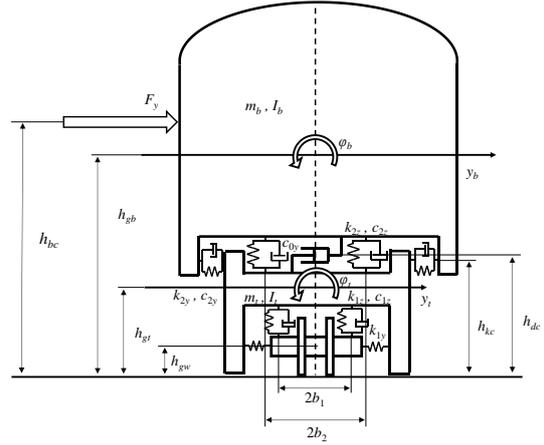
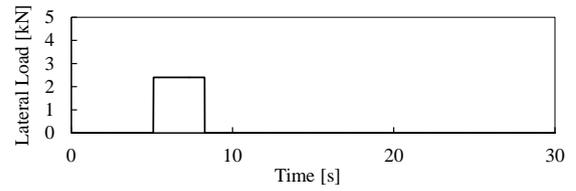
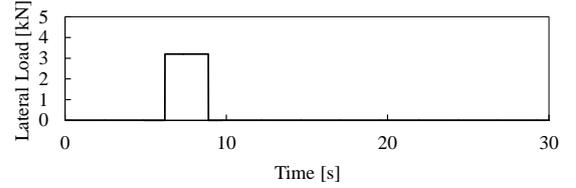


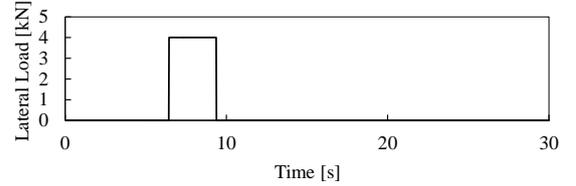
Fig.5 Vehicle model



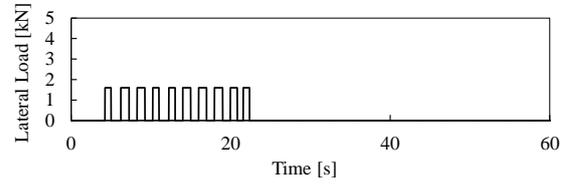
(a) Constant load (2.4kN)



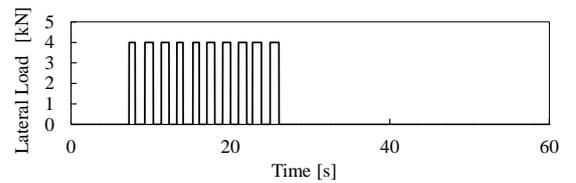
(b) Constant load (3.2kN)



(c) Constant load (4.0kN)



(d) Cyclic load (1.6kN)



(e) Cyclic load (4.0kN)

Fig.6 Lateral load model

### 3.3 荷重モデル

実車実験では、人が車両を押す荷重の大きさを計測することができなかった。そのため、車両モデルの入力として必要な実車実験での荷重を再現した荷重モデルを作成する。大人1人が発生できる荷重の大きさを計測した結果、おおよそ約400Nであったため、図6に示す荷重モデルを作成した。

### 3.4 シミュレーション結果

実車実験から計測した変位とシミュレーションから計算した変位を図7に示す。左右変位に関して、シミュレーションと実車実験がほぼ一致していることがわかり、モデルの妥当性が検証できた。そこで、このモデルを用いて、一定荷重を作用させる場合について検証した。荷重モデルとして8kN (20人相当)、12kN (30人相当)、16kN (40人相当) を入力し、計算した結果を図8に示す。救出時にどれだけ広げる必要があるかは、様々な状況があり一概に言うことは困難であるが、例えば約2cmを一つの目安とした場合、16kN (40人相当) の荷重が必要となる。

シミュレーションでは荷重を作用させ続けることが可能であるが、現実には人が荷重を作用させ続けることは困難である。そこで、ホームと車体間に挿入するスペーサーなどを用いることで緊急時の隙間を確保する方法が考えられる。

## 4 まとめ

本稿ではプラットホームと車体の隙間に転落した乗客を安全に救出するための方法を検討するため、実車実験とシミュレーションにより、検討を行った。

その結果、実車実験における周期荷重では4人で荷重を加えた場合、一定荷重の10人程度に対応した左右変位を発生させることができるが、同時に揺れ戻しも増大し、救出時に揺れ戻しによって挟まれた乗客にかえって危険な状況が乗じる可能性があることを指摘した。

シミュレーションでは実車実験において検討した結果についてさらに詳細な検証を行い、救出時に必要となる荷重について検討した。その結果、約2cmの空間を確保するためには、16kN (40人相当) の荷重が必要となることを明らかにした。

#### 「参考文献」

- 国土交通省, 「ホームドア関係情報」 ([http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo\\_tk6\\_000008.html](http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000008.html)) (2015/10/1アクセス)
- 日比野有, 金元啓幸, 下村隆行, 谷藤克也: 1車両シミュレーションモデルによる鉄道車両の横風に対する安全評価, 機械学会論文集 (C編), 76巻771号, pp.320-330, 2011
- 日本機械学会編, 鉄道車両のダイナミクス〜最新台車テクノロジー〜, 電気車研究会, pp.1-33, (1994)96-98

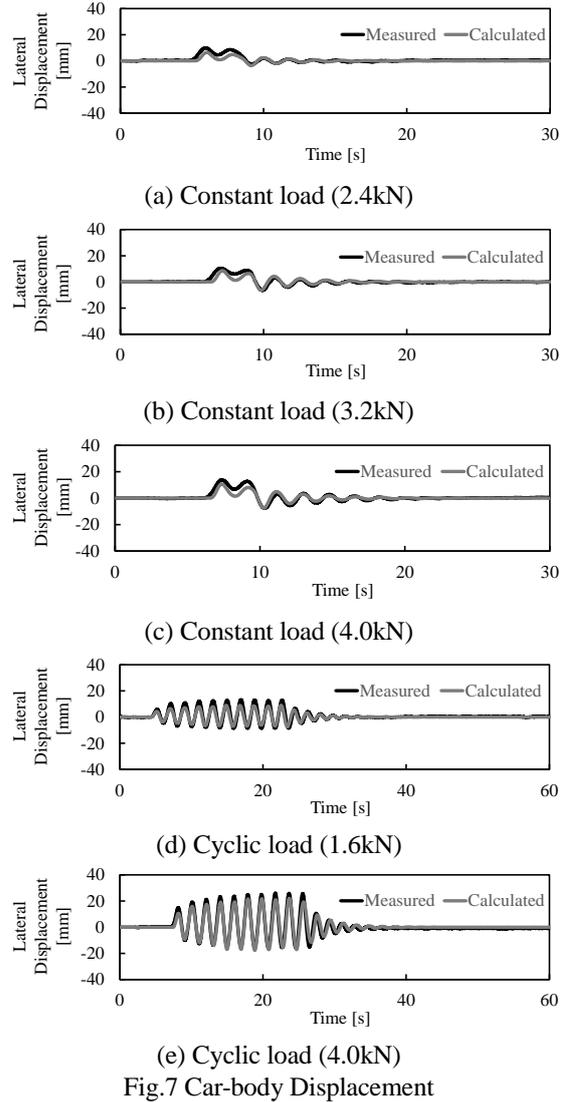


Fig.7 Car-body Displacement

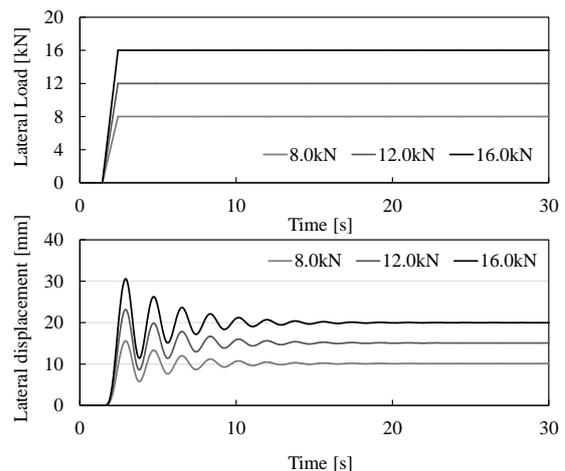


Fig.8 Car-body lateral displacement