

# ドライビングシミュレータによる地震時のブレーキ操作を取り入れた車両挙動解析

京都大学工学部 学生員 ○馬淵 亮太朗 京都大学大学院 正会員 清野 純史  
 阪神高速道路(株) 正会員 篠原 聖二 阪神高速道路(株) 正会員 中田 悠貴

## 1. 研究の目的

一般的に、高速道路上の走行車両は、前方を走行する車両との相対関係を調整することで、その交通流全体の安定性を維持している。しかし、地震時という特殊な状況下では、急ブレーキやハンドル操作といった車両挙動が行われ、交通流に乱れが生じてしまう。これは、各車両が挙動を乱すことによって、前方車両との相対関係の維持が困難になるためだと考えられる。事故による被害そのものだけでなく、地震時の高速道路上にける衝突事故は、災害時の初期対応の遅れを引き起こしかねない。しかしながら、研究分野、実務分野においても、地震発生時の車両挙動に関する検討が十分に行われているとは言い難い状況である。

本研究では地震時車両走行モデルを基に解析を行い、高速道路上の 10 台の車両を想定し、事故との関連性が高いブレーキ操作に着目した検討を行う。まずブレーキ操作の際、高齢者の反応遅れ時間を考慮した場合の衝突確率がどの程度変化するかについて分析する。そして、近年実用化に向けて急速に進歩している自動運転技術が普及した場合を想定し、地震時の車間距離と衝突確率について検討することを目的とする。

## 2. 解析モデル

本研究では、車両前後方向を x 軸、左右方向を y 軸、鉛直方向を z 軸とし、車両は各座標軸における並進運動と回転運動の 6 自由度の運動を行うものとする。また、本研究では、運動方程式を解くことによって車両の運動を計算する。6 自由度の運動を考えるにあたって、図-1 に示す車両モデルを用いる。図-2 において、下のバネはタイヤの剛性を、上のバネはサスペンションのバネをそれぞれ表している。また、車輪ごとの各パラメータはすべて等しいものとする。タイヤの力学モデルとしてマジックフォーミュラモデルを用いた。村上ら<sup>1)</sup>は、三宮ら<sup>2)</sup>の研究を参考にした追従走行モデルとドライビングシミュレータ実験（以下 DS 実験）の結果を基に、地震動の影響を考慮した車両走行モデルを作成した。同モデルでは、追従走行のための力以外に地震時の減速力を追加することで、地震時車両走行を表した。図-3 は DS 実験の走行記録から得た車両の加速度時刻歴の一例を示しており、以下に同モデル式を表す。

$$m\ddot{x}_i(t) = (1 - \alpha)(F_1 + F_2) + \alpha F_3 \quad (1)$$

$$F_1 = a_1(|\dot{x}_i(t)| - a_2)(|\dot{x}_i(t)| - a_3)\dot{x}_i(t) \quad (2)$$

$$F_2 = \sum b_i(r_{ij}) \frac{x_j(t) - x_i(t)}{r_{ij}} + \sum c_i(r_{ij}) \frac{\dot{x}_j(t) - \dot{x}_i(t)}{M_c} \quad (3)$$

$$F_3 = \frac{a}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

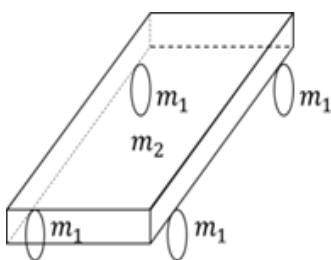


図-1 車両モデル

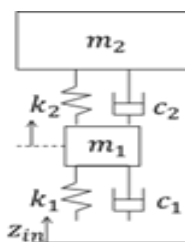


図-2 タイヤモデル

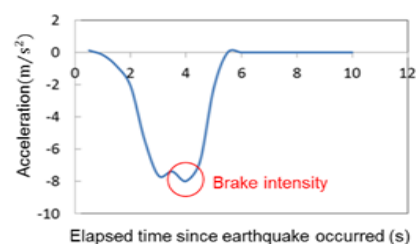


図-3 車両の加速度時刻歴

キーワード 地震時、車両挙動、走行安全性、ブレーキ操作

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区 京都大学桂 C1

ここで、添字の  $i$  は自車、 $j$  は前方車両を表す。また、式(1)中の  $F_1, F_2$  は追従走行するための力である。式(1)中の重み係数  $\alpha$  は、車両ごとに与えられたブレーキの強さから決定され、各運転者の地震からの影響の受けやすさを表す。図-4 にブレーキの強さから  $\alpha$  を決定する関数を示す。本研究では、 $F_3$  を正規分布でモデル化しており、平均  $\mu$ 、標準偏差  $\sigma$  の値も  $\alpha$  と同様に、ブレーキの強さから決定される。図-5 にブレーキの強さから  $\sigma$  を決定する関数を示す。

### 3. 解析条件

走行車線と追い越し車線に5台ずつの計10台の車両を配置し、車群挙動解析を行った。車種は普通車のみとした。車両の配置を図-6に示す。入力地震動は、計測震度6.6と計測震度5.1の入力地震動を用い、地震時の減速力  $F_3$  は、各車両において入力地震動が初めて50galを超えた瞬間に作用し始めると仮定した。各車両のブレーキの強さは、全車両が同じブレーキの強さを持つ場合と、様々なブレーキの強さの車両が混在する場合に注目する。様々なブレーキの強さの車両が混在する場合は、DS実験の結果から得た図-7に示す確率分布に従って、各車両にブレーキの強さを与えた。

まず、高齢者の有無による衝突確率の比較を行った。Makishita ら<sup>3)</sup>の研究より、高齢者は若年者よりブレーキ操作の反応時間が約0.52秒遅れることに基づき、地震時の減速力  $F_3$  の開始時刻を0.52秒遅らせることでその影響を考慮した。今回は反応が遅れることで衝突確率の変化に大きく寄与すると考えられる図-6中のNo.3,4,7,8に関して高齢者を想定し0.52秒遅らせて解析を行った。次に、自動運転技術が普及した場合を想定した解析では、地震発生時の車間距離および速度を揃えることで再現しており、50galを超えた場合は人間の判断により図-7に示した正規乱数で決定されるブレーキ操作を行うという条件で解析を行った。地震発生時まで車両速度は、走行車線では80km/h、追い越し車線では100km/hとし、地震時の車間距離については50, 60, 70, 80, 90, 100mの場合を想定し、解析を行った。

### 4. 解析結果

高齢者を考慮した場合の解析結果を図-8(震度5.1のケース)に示す。図-8に示したように、ブレーキ強さ  $-8\text{m/s}^2$  の場合、その影響は顕著に表れ、約30%増加した。これは、正規分布モデルにおいてブレーキ強さ  $-8\text{m/s}^2$  は約3秒で最大値を取るため、0.52秒の遅れの寄与が極めて大きく、強いブレーキ操作における反応遅れの影響は大きいと考えられる。自動運転技術が普及した場合を想定した解析結果を図-9(震度6.6のケース)に示す。その結果、車間距離が広がるにつれて衝突確率は減少したが、高速道路を走行する際に推奨されている「自車の速度と同じ値の車間距離」を取っていてもブレーキの操作によっては衝突しうることがわかった。

### 5. 参考文献

- 1) 村上凌一：地震発生時における高速道路上での車群の走行安全性に関する研究，京都大学修士論文，2016
- 2) 三宮信夫・島田 亮・中峯 浩：魚群行動における自律分散機構のモデリング．計測自動制御学会論文集, Vol.29, No.2, pp.211~219, 1993
- 3) Makishita H, Matsunaga K. : Accident Analysis & Prevention, Volume 40, Issue 2, March 2008, Pages 567-575

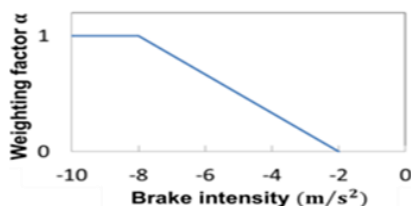


図-4 重み係数  $\alpha$  の決定方法

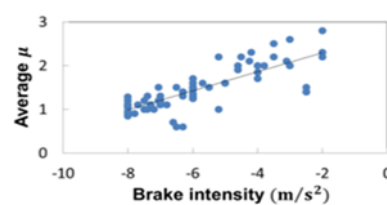


図-5  $F_3$  中の標準偏差  $\sigma$  の決定方法

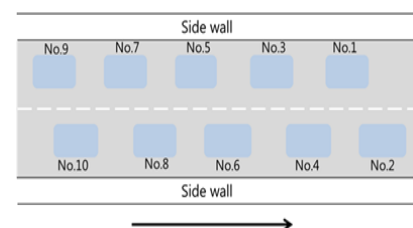


図-6 車両の配置

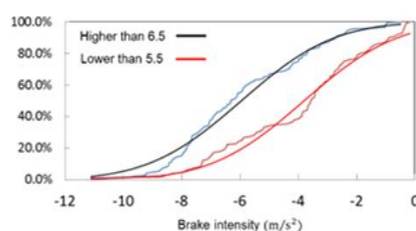


図-7 ブレーキの強さの確率分布

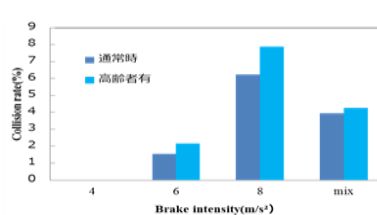


図-8 高齢者の有無による比較

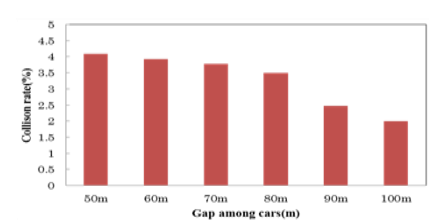


図-9 車間距離をそろえた場合の比較