

## 1. 研究の目的

2011 年 3 月 11 日には東北地方太平洋沖地震, 2016 年 4 月 14 日には平成 28 年熊本地震が発生した. 今後 30 年以内に 70~80%の確率で発生すると考えられている南海トラフ巨大地震や首都直下型地震では, 大都市を走る高速道路のような車両密度の高い場所および時間帯における大規模な事故の発生等にも十分に注意を払う必要がある. 実際に大規模事故が発生すると, 事故そのものの被害だけではなく災害時に高速道路が担う緊急輸送路等の役割を損ない, 初期対応の遅れを引き起こす恐れがあるため, 事前に対策を考えておくことが必要不可欠である. そのためには, 地震が走行車両に与える影響の検討が重要な課題となる.

本研究では地震時車両走行モデルを活用して, 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研究を行う. まず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を考慮した場合の車間距離と衝突確率について検討することを目的としている.

## 2. 解析モデル

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. 以下に同モデル式を表す.

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

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

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

$$r_{ij} = |x_j(t) - x_i(t)| \quad (4)$$

$$F_3 = \frac{a}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

ここで, インデックスの  $i$  は追従車両,  $j$  は先行車両を示す.

式(1)中の  $F_1$  は自車のみの前方推進力,  $F_2$  は先行車との相互間作用力で, 第 1 項は個体間誘引力, 第 2 項は成群力を表し,  $F_3$  は地震時の減速力である. 重み係数  $\alpha$  は, 運転者がどの程度緊急時の運転に傾いているかを表す. 同モデルでは DS 実験の結果を基に,  $F_3$  を正規分布で近似し, 各車両のブレーキの強さから重み係数  $\alpha$ , 平均  $\mu$ , 標準偏差  $\sigma$  の値を決定した. ブレーキの強さの定義を図-1,  $F_3$  を車両の質量で除して得た車両の減速力の時刻歴モデルを図-2, 震度別の累積分布を図-3 に示した.

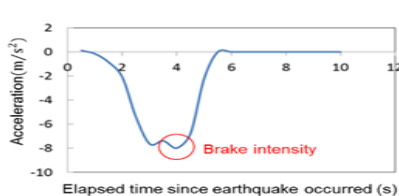


図-1 ブレーキの強さの定義

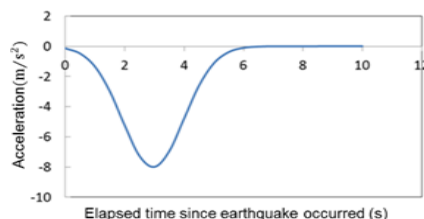


図-2 車両の減速力の時刻歴モデル

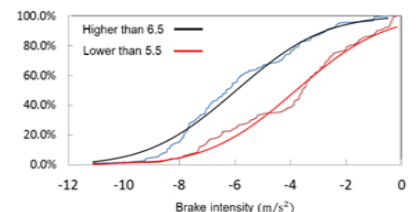


図-3 ブレーキ強さの累積分布

### 3. 解析条件

対象とする車両は走行車線に5台、追い越し車線に5台の計10台とした。入力地震動は、震度6.6と震度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。車両の地震時のブレーキの強さについては、図-3に示す確率分布に従って正規乱数で決定した場合(mix)と揃えた場合で解析を行った。

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秒遅れることが分かっており、 $F_3$ 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。車両の初速度、初期車間距離の初期条件を1つの解析につき100パターン作成し、各車両間の衝突回数を求め、衝突確率を算出した。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、地震時は人間の判断により図-3のランダムなブレーキ操作を行うという条件で分析した。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の場合を考慮して解析を行った。

### 4. 解析結果

高齢者を考慮した場合の解析結果を図-4, 5に示す。図-4, 5に示したように、すべての場合において、高齢者が含まれているケースの方が衝突確率は高い値を示した。これはブレーキを踏み始める時間が遅れたことにより車両はその分前に進んでしまい衝突回数が増加したことが原因と考えられる。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。自動運転技術が普及した場合を想定した解析結果を図-6, 7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、安全な距離を取っていてもブレーキの操作によっては衝突する可能性が十分あることがわかった。

#### 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

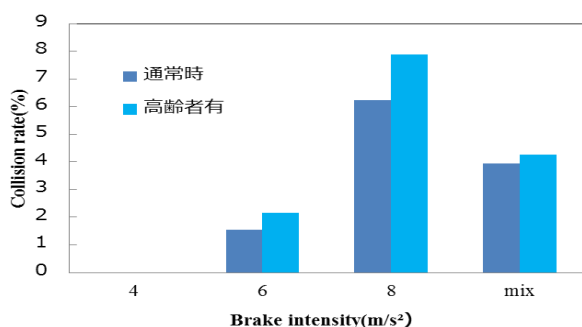


図-4 高齢者の有無による比較（震度 5.1）

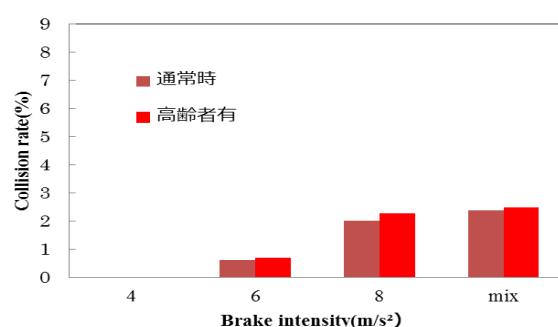


図-5 高齢者の有無による比較（震度 6.6）

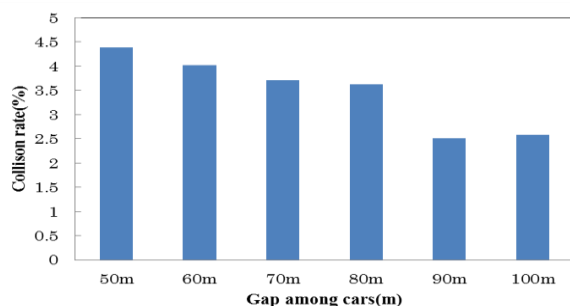


図-6 車間距離をそろえた場合の比較（震度 5.1）

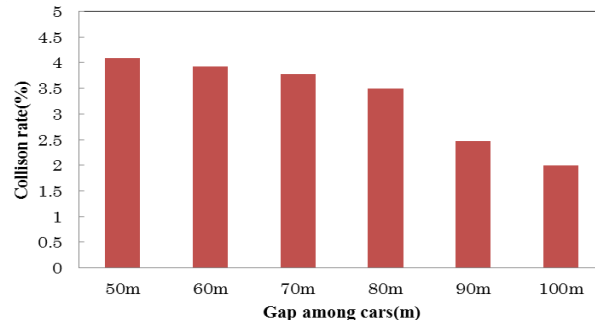


図-7 車間距離をそろえた場合の比較（震度 6.6）