

第 I 部門 地震発生時の高速道路上での車両衝突に関する研究

京都大学工学部 学生員 ○福永 健二

京都大学工学研究科 正会員 清野 純史

阪神高速道路株式会社 技術部 技術推進室 篠原 聖二

阪神高速道路株式会社 技術部 技術推進室 井藤 貴文

1. 研究の目的

高速道路上では走行車両が前方車両との相対的關係を調整することで安定な交通流を形成している。地震時には通常の追従挙動に加え、揺れによる車両挙動の乱れ、運転者の判断による回避行動を把握することが重要となる。そこで本研究では村上ら¹⁾の作成した追従走行モデルをもとに、地震時においてブレーキ・ハンドル操作を行う車両挙動を明らかにし、個々の車両の行動が交通流にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とする。また、車両衝突が発生した際の挙動を推定し、事故によってどのような被害がもたらされるかを検証するものである。

2. 解析モデルの作成

本研究では、衝突モデルおよびハンドル操作モデルを新たに作成し、村上ら¹⁾による追従走行モデルと統合した。

2.1 衝突モデル

地震時、走行中の車両は周囲の車両や構造物と衝突する危険性がある。車体は、衝突初期には剛性を保つが、やがて変形を許すことによりエネルギーを吸収するという特徴をもつ。本研究では、衝突のモデル化に際し、高速での衝突現象の解析手法を提案した後藤ら²⁾の研究を参考に、非線形ばねを用いて車両の衝突を再現した。牧田³⁾による車両正面衝突実験を参考にばね特性を決定し、再現解析を行った。実験結果を図1、解析結果を図2に示す。結果より、変位変化が負になる点が実験結果では1100mm程度、解析結果が約1050mmとなり、ほぼ一致した。また、車両対壁面衝突に関しても同様に衝突モデルを作成し、高い精度で実験を再現することができた。

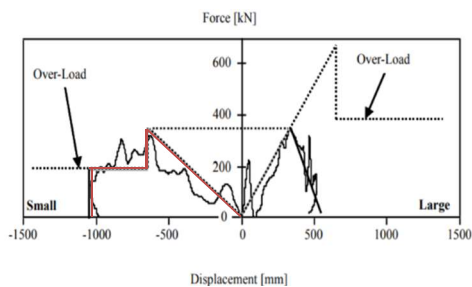
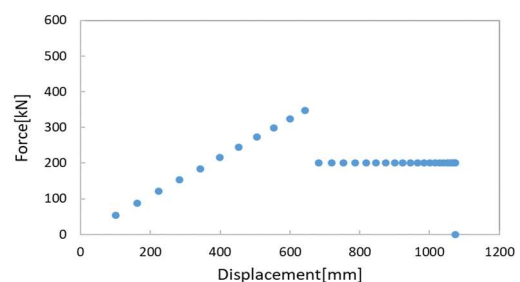
図1 正面衝突実験結果(変位荷重関係, 牧田³⁾より引用)

図2 正面衝突解析結果(変位荷重関係)

2.2 ハンドル操作モデル

既往のモデルは、地面からの影響を考慮するものでなかったため、天野ら⁴⁾の研究を参考に地震動の影響と人間の予測を組み込んだハンドル操作モデルを作成した。本モデルでは、将来の車両挙動を予測し、目標挙動との差を小さくするようハンドルを操作すると仮定する。ドライバが内部モデルとして有する操舵角と車両挙動の関係を次式で表す。

$$\delta(t) = K\theta'(t) + T\ddot{\theta}(t), \quad \theta'(t) = \theta_i(t + T_e) - \theta_n(t)$$

δ : 操舵角, θ_i : 目標ヨー角, θ_n : ヨー角, T_e : 予測時間, K, T : 定数とする。進路変更の際の目標軌道は三角関数で近似する。

3. 車両挙動解析

3.1 側壁への衝突解析

作成した車両衝突モデルを用いて、側壁へ衝突した際の車両挙動について解析を行った。図 3 に側壁に衝突した場合の軌跡を衝突角度別に xy 座標で示した。なお、本項での衝突角度とは、側壁と車両進行方向のなす角とする。衝突角度が 15 度以下の小さい場合にはエネルギー吸収が小さく速度を保ったまま跳ね返り、追越車線に進入する挙動を示した。また、図 4 に角度と力積の関係を示した。図より衝突角度が小さい場合、または速度が小さい場合には、エネルギー吸収が少なく、より弾力的な衝突となることが分かる。すなわち、これらの場合は追越車線に進入し、他車両と衝突するなど、二次的な被害を引き起こす可能性が高くなると考えられる。

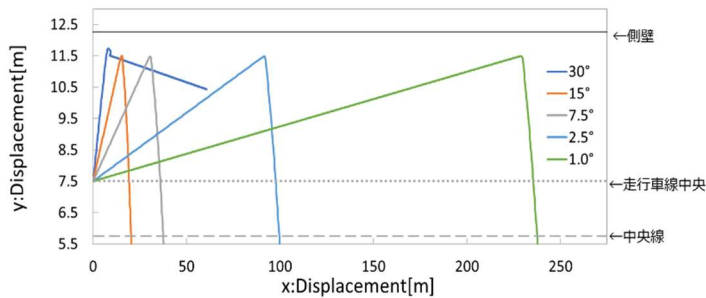


図 3 側壁衝突時の車両挙動(速度 20m/s)

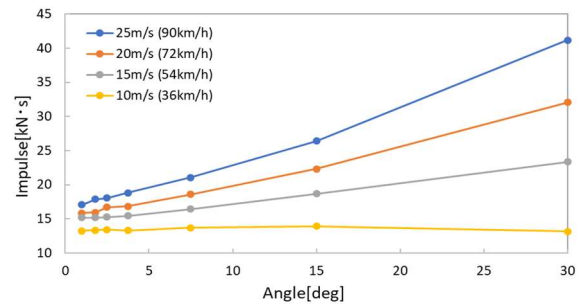


図 4 側壁衝突時の力積

3.2 地震動によりハンドル操作が受ける影響

本項では、作成したハンドル操作モデルを用いて地震時にハンドル操作時に車両が受ける影響を検討する。兵庫県南部地震の加速度データを橋梁モデルに入力し、その橋梁モデル上を走行する車両の応答を調べる。図 5 に直進を維持した場合、図 6 に幅 2.5m の進路変更をした場合の通常時からの進行直角方向変位を示す。その結果、進路変更時の方がより大きく横揺れを受け、最大で 0.3m ほどドライバの想定する進路から外れることが分かった。すなわち、各点において理想的なハンドル操作を行ったとしても、地震により予想し得ない横揺れが発生し、他車両や構造物との衝突事故が増加する危険性を示す結果となった。

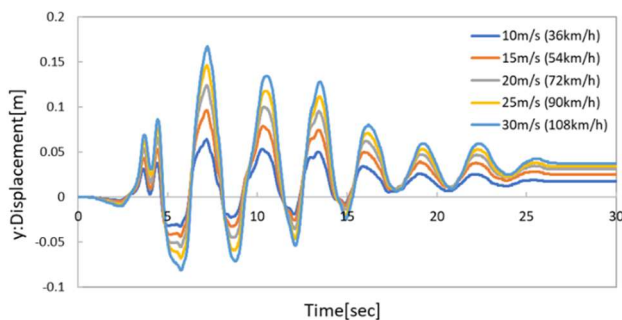


図 5 y 方向変位の時刻歴(直進保持)

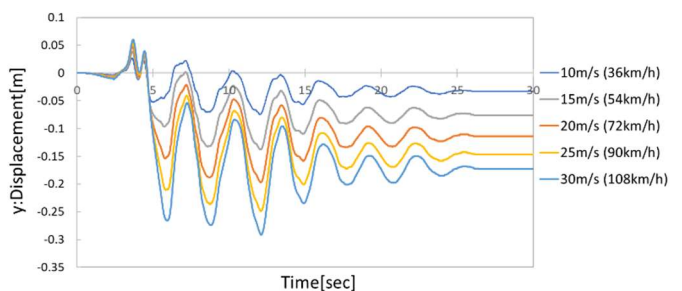


図 6 y 方向変位の時刻歴(進路変更時)

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, 2017
2. 古川愛子, 後藤雅登, 清野純史, 中瀬仁: 鋼製飛翔体の中速度衝突を受けるコンクリート版の衝撃応答解析に対する改良版個別要素法の適用性, 地域安全学会論文集, No.33(2018.11)
3. 牧田匡史: 車両対車両の前面衝突時における車両前部構造の相互作用に関する研究, 東京都市大学博士論文, 第 82 号, 2014
4. 天野也寸志, 羽田昌敏, 土居俊一: 通常走行から緊急時に至るドライバの運転動作モデル, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.33, No.1, pp.23-30, 1998