

地震発生時における高速道路上での車両挙動及び衝突に関する研究

京都大学大学院工学研究科 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。地震発生時には通常の追従挙動に加え、地震動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必要がある。そこで本研究では村上ら¹⁾の作成した追従走行モデルと、地震時におけるハンドル操作モデル・衝突モデルを統合し、個々の車両挙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

2.1 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²⁾の研究を参考に、地震動の影響を考慮し、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關係を次式で表す。ここに、 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。

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

進路変更の際の目標軌道 y_i は三角関数で近似し、進行直角方向の進路変更距離を A [m]、初速度 v_0 [m/s]、進行方向変位 x [m]、ハンドル操作時間 T_h [sec]を用いて、次式によって表現する。

$$y_i(t) = \frac{A}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{\pi x(t)}{v_0 T_h} \right) \right)$$

2.2 衝突モデル

高速での衝突現象の解析手法を提案した古川ら³⁾の研究を参考に、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特徴をもつ車両衝突を非線形ばねによって再現した。牧田⁴⁾による車両正面衝突実験をもとにばね特性を決定し、再現解析を行った。解析結果を図1に、実験結果を図2に示す。荷重変化が負となる点は実験1100mm程度に対し、解析結果が1050mmとなりほぼ一致し、荷重時刻歴においても荷重が200kNより減少し始める点も実験結果が70ms程度、解析結果が68msとなり、高い再現性をもって解析できることがわかった。

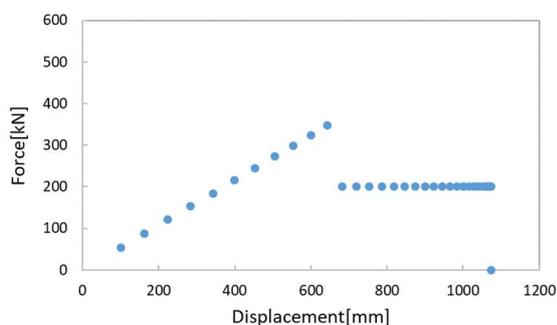
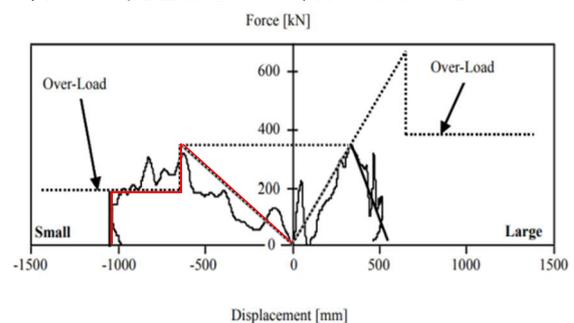


図1 対車両正面衝突解析結果(変位荷重関係)

図2 対車両正面衝突実験結果
(変位荷重関係, 牧田⁴⁾より引用)

キーワード 地震, 車両挙動, 追従モデル, 車両衝突モデル, ハンドル操作モデル

連絡先 〒615-8246 京都府京都市西京区京都大学桂 Cクラスター 地震ライフライン工学講座

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に車両速度と衝突角度を変えた場合の力積、図4にその際の最大荷重を示した。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。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、より弾性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。

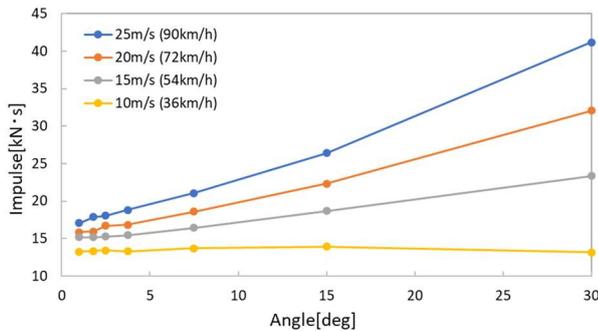


図3 側壁衝突時の力積

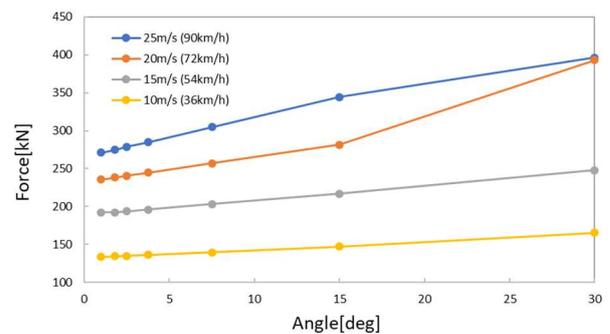


図4 側壁衝突時の最大荷重

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を行う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に幅3.5mの進路変更時の車両軌道をxy座標として示し、図6にその際の通常時からの進行直角方向変位を示す。その結果、最大で0.3mほどドライバー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。また、直進を維持する場合との比較により、進路変更時の方がより大きく横揺れを受けることが分かった。

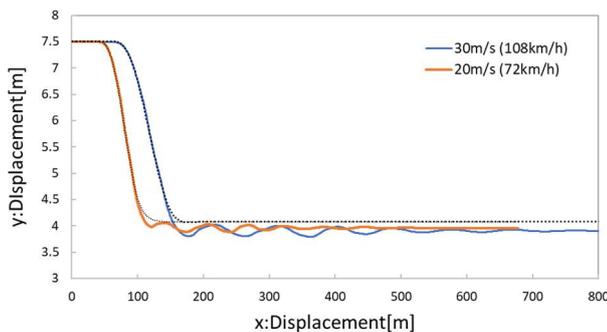


図5 進路変更時の車両軌道(進行右方向3.5m)

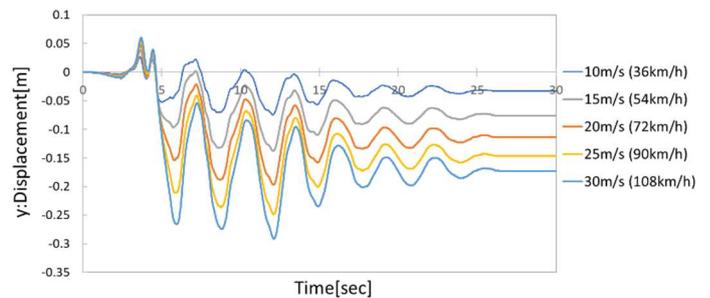


図6 通常時との変位差(進路変更時)

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. 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ーの運転動作モデル，豊田中央研究所 R&D レビュー，Vol. 33, No. 1, pp. 23-30，1998
3. 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)
4. 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