

1. 研究の背景・目的

今後発生することが予想されている南海トラフ巨大地震では、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。大規模事故の発生は、事故による被害そのものだけでなく、災害時における高速道路の輸送ルート等の役割を考えても、事前の対策を講じることが不可欠である。

そこで、本研究では、交通流の安定性が、各車両が前方車両との相対関係を調節することで保たれていることから、車両の追従挙動に着目する。まず、新しい追従挙動モデルの検討を行う。次に、水平方向の地震動が追従挙動に与える影響を検討する。

2. 車両の運動

2.1. 車両の基本運動と解析モデル

本研究では、車両前後方向を x 軸、左右方向を y 軸、上下方向を z 軸として、それぞれの座標軸に関する並進運動と回転運動の6自由度の運動を考える。6自由度の車両挙動を解析するにあたっては、文献¹⁾で示されている図-1に示すモデルを使用した。図-1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。また、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¹⁾を用いた。

2.2. 車両の運動方程式

本研究では、水平方向と鉛直方向に関して運動方程式を解くことによって各車両の運動を求めた。6つの運動のうち z 軸方向の並進運動以外を記述するために用いた座標系と車両モデルを図-2に示す。ここで、水平方向に関する車両の運動方程式を式(1),(2)に示す。また、図-1の車両モデルをもとに、鉛直方向に関する運動方程式を式(3),(4)に示すように記述した。

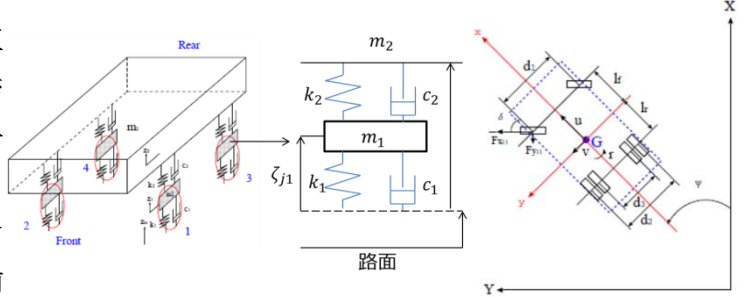


図-1 車両モデル

図-2 座標系

$$m(\ddot{u} - vr + \ddot{x} \cos \psi + \ddot{y} \sin \psi) = \sum_i \sum_j (F_{xij} \cos \delta_{tij} - F_{yij} \sin \delta_{tij}) - \mu mg = \sum_i \sum_j F'_{xij} - \mu mg \quad (1)$$

$$m(\ddot{v} + ur - \ddot{x} \sin \psi + \ddot{y} \cos \psi) = \sum_i \sum_j (F_{xij} \sin \delta_{tij} + F_{yij} \cos \delta_{tij}) = \sum_i \sum_j F'_{yij} \quad (2)$$

ここで、 u, v はそれぞれ x, y 軸速度、 r はヨー角速度、 F_{xij} はタイヤに作用する駆動・制動力、 F_{yij} はタイヤの横力である。 δ_{tij} は前輪操舵角である。また、 $\ddot{x}, \ddot{y}$ は地震による地動加速度である。

$$m_1(\ddot{\zeta}_{i1} + \ddot{z}_{in}) + c_{i1}\dot{\zeta}_{i1} + c_{i2}(\dot{\zeta}_{i1} - \dot{\zeta}_{i2}) + k_{i1}\zeta_{i1} + k_{i2}(\zeta_{i1} - \zeta_{i2}) = 0 \quad (3)$$

$$m_2(\ddot{\zeta}_{g2} + \ddot{z}_{in}) + \sum_{j=1}^4 c_{j2}(\dot{\zeta}_{j2} - \dot{\zeta}_{j1}) + \sum_{j=1}^4 k_{j2}(\zeta_{j2} - \zeta_{j1}) = 0 \quad (4)$$

ここで、 ζ_{ij} はバネ下、バネ上の地面に対する相対変位を表し、 $\ddot{z}_{in}$ は地動加速度である。

3. 追従挙動モデル

ここで追従挙動モデルとは、後続車両が先行車両との車間距離や相対速度などの変化を刺激(入力)とし、これに対応して反応(加速度)を出力するものとする。本研究では、新しい追従挙動モデルとして、魚群行動の自律分散機構モデル²⁾の車両走行への適用を考える。このモデルの定式化を以下に示す。

$$m_i \cdot \ddot{x}_i(t) = F_{i1} + F_{i2} \quad (5)$$

$$F_{i1} = a_1(|\dot{x}_i(t)| - a_2)(|\dot{x}_i(t)| - a_3)\dot{x}_i(t) \quad (6)$$

$$F_{i2} = \sum b_i(r_{ij}) \frac{x_j - x_i}{r_{ij}} + \sum c_i(r_{ij}) \frac{\dot{x}_j(t) - \dot{x}_i(t)}{M_c} \quad (7)$$

$$r_{ij} = |x_j(t) - x_i(t)| \quad (8)$$

ここで、式(5)の F_{i1} は各個体が単独で遊泳するための力、 F_{i2} は個体間の相互作用を表している。また、式(6)の右辺第一項は、個体間誘引力で個体同士の距離を調節する作用、第二項は成群力といい各個体の速度と向きを調節する作用を表す。また、 $b_i(r_{ij})$, $c_i(r_{ij})$ は個体間の距離に依存する関数である。本研究で、自律分散機構モデルを車両走行に適用するにあたって、 F_{i1} を車両が自由走行するための力、個体間誘引力を車間距離を調節する作用、成群力を車両間の相対速度を調節する作用と考えることとした。

また、自律分散機構モデルの適用にあたって、式(9)で示される既往の Helly モデルとの比較を行った。 $\ddot{x}_{n+1}(t+T) = a_1[\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] + a_2[x_n(t) - x_{n+1}(t)] - a_3$ (9) ここで、 T は反応遅れ時間、 a_1, a_2 は定数、 a_3 は目標車間距離である。その結果を図-3に示す。図-3は、相対速度と車間距離の時間推移を表している。図中の赤線が1,2号車間、青線が2,3号車間の関係を表す。自律分散機構モデルの方が時間の経過に対して変動が小さくなっているため、時間とともに、より交通流が安定に向かっていると判断し、本研究での解析に用いるモデルとした。

4. 車両挙動の解析

4.1. 解析条件

本研究で用いる入力波は、半波長の中で 500gal を超えている時間(以下超過時間と呼ぶ)が、それぞれ 0.5,1.0,2.0 秒となるように周期を約 3,5,8 秒とし、加速度の最大値が 600gal、継続時間が 25 秒の正弦波とした。また、走行車両台数は 3 台とし、全車両が走行車線上にあるとし、先頭から 1,2,3 号車とした。考察に用いたサンプルの初期条件としては、車速は先頭から 22.0,19.2,24.8m/s で、車間距離は 1,2 号車間は 43.4m、2,3 号車間は 43.2m とした。

4.2. 解析結果

4.1 で記述した条件のもと、車両左右方向、前後方向に関して数値解析で車両の挙動を求めた。左右方向に関して、結果を図-4に示す。周期約 3 秒から車線内での横滑りが確認され、5 秒を超えると車線を外れる挙動を見せた。また、路肩または隣の車線に飛び出すかの違いは、500gal の加速度を最初に、正の値または負の値で超えるかの違いである。また、全車一様に横滑りするため、追従挙動に影響は見ら

れなかった。

車両の前後方向に関しては、結果を図-5に示す。図中の赤線が 1,2 号車間、青線が 2,3 号車間の関係を表す。周期約 5 秒から追従挙動に関して、車間距離の調節に支障をきたし始めた。また、図中の黒線は空走距離であり、反応遅れ時間と車速の積で表され、理論的に追突回避に必要とされる距離である。

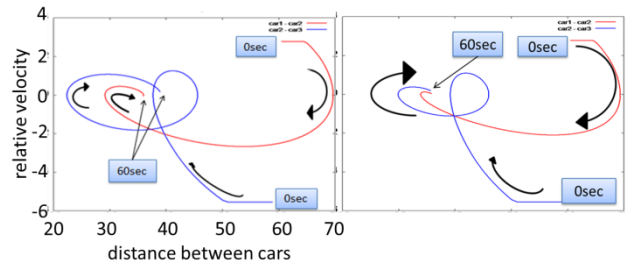


図-3 車間距離と相対速度の時間推移(左が Helly モデル、右が自律分散機構モデル)

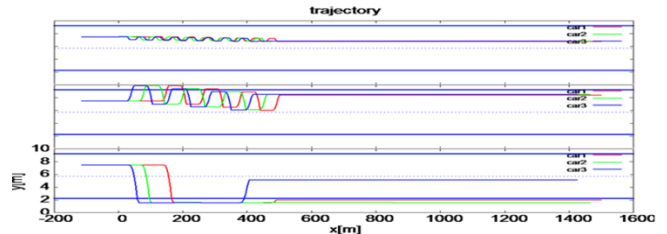


図-4 車両の重心の軌跡

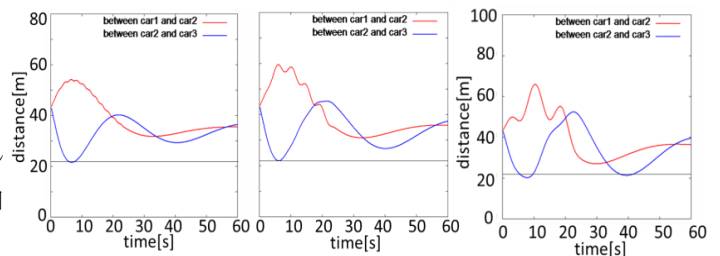


図-5 車間距離の推移(左から入力波の周期約 3 秒、5 秒、8 秒)

5. 結論

本研究では、新しい追従挙動モデルの提案、水平方向に揺れが作用した場合の車両挙動の検討を行った。モデルの適用であるが、自律分散機構モデルは追従挙動モデルとしての要件を満たす。また、車両挙動であるが、長周期の成分が卓越するほど影響は大きく、左右方向、前後方向ともある周期を超えたときから、それぞれ側面衝突、追突の危険性が増すことが分かった。

参考文献 1)安部正人：自動車の運動と制御,山海堂,1991
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,vol.29,No.2,pp211~219,1993