

## ⑩ セミトレーラーの横転抑制のための制動制御システム

自動車安全研究領域

※波多野 忠

### 1. はじめに

加害性の大きい大型貨物自動車の横転事故防止は、車両安全対策の中では重要なもののひとつである。今回注目している国際海上コンテナセミトレーラーでの横転事故<sup>(1)</sup>の原因をみると、道路工作物への衝突後のつまずき等とは違い操舵によるものが考えられる。これは、連結車ということと、コンテナの扉が封印されているためドライバが現場でコンテナ内部を確認することが不可能であることから、セミトレーラーの横転特性がつかみにくいことが要因と考えられる。このため、セミトレーラー用に横転抑制のための制動制御システムが市販<sup>(2)(3)</sup>されている。このシステムは、ABS 付き制動操作であり、横加速度によって作動開始条件が決定される。また、このシステムは、主に車体の前後方向速度を低下させて横転を抑制するものと考えられる。

今回新たに開発した制御システムは、低中速域限定として、トラクタ後軸及びセミトレーラー軸のタイヤをロックすることによりタイヤ横力を低減させ、横転を抑制するシステムである。本システムが作動するとタイヤロックが発生し、トレーラは曲線路外側に膨らむ可能性がある。しかし、低中速域の連結車の場合には、曲線路では、トレーラはトラクタに比べて常に内側を走行するため、曲線路外側にトレーラが走行できる空間が若干存在する。このため、本システムが作動してトレーラが曲線路外側に若干膨らんでも、低中速域限定とした場合、この空間を利用することにより、連結車は安全に停止できる可能性がある。

この制御システムについて、PC 上で走行シミュレーションを実施し、従来からあるシステムと比較検討した結果を報告する。

### 2. 横転抑制のための制動制御システム

今回新たに開発したシミュレーションモデルである横転抑制のための制動制御システム（以下、横転抑制システムという）の基本的な動作については、セミトレーラーの左右サスペンションのバネ変位の差を検知して、横転が始まる前にトラクタの後軸とセミト

レーラー軸のタイヤをロックさせ、その後ブレーキチャンバーの空気圧を低減させて低制動力を維持し車両が停止するまで制動を行うシステムである。横転抑制システムの作動は、セミトレーラーの左右サスペンションのバネ変位の差及びその時間微分値がそれぞれ一定値を超えた時点から始まるようにした。これについて、MATLAB Simulink 上で構築し、TruckSim を用いて走行シミュレーションを実施した。

### 3. 走行シミュレーション及び結果

走行シミュレーションは、初速度を一定として半径 30m の U ターン走行を模擬し、その後、徐々に初速度を上げて横転をするまで実施した。車両は、TruckSim に標準で搭載されているトラクタ 2 軸車、フラットベクトルトレーラ 2 軸車を使用し、トラクタとセミトレーラーのホイールベースを、40ft 国際海上コンテナを搭載する連結車両相当に変更したものをを用いた（トラクタ軸距；3.18m、トレーラ軸距；8.0+1.5m）。積載物は表 1 に示すとおりとし、積載物の重心位置は前方と中央と後方の三種類を設定した。晴天時と雨天時を模擬するために、走行路面の摩擦係数は 0.85、0.5 の 2 種類とした。走行速度の制御については、常に一定になるようにクローズドループ制御を用いた。

表 1 積載物の搭載条件

| 積載位置 | 前後方向<br>(キングピン軸<br>を原点; m) | 左右方向<br>(車両中心位置<br>を原点; m) | 上下方向<br>(地面を原点;<br>m) | 積載荷重<br>(t) |
|------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------|
| 前方   | 4                          | 0.15                       | 2.65                  | 18          |
| 中央   | 6                          | 0.15                       | 2.65                  | 18          |
| 後方   | 7.5                        | 0.15                       | 2.65                  | 18          |

また、横転抑制システムを評価するために、現状で市販されているシステムを模擬した ABS 付き制動を、作動開始点を同一にして作動させ、本システムと ABS 付き制動を比較検討した。ABS の制動制御は、TruckSim に標準で搭載されているシステムを使用した。なお、車両の操舵制御は、ドライバモデルを含めたクローズドループ制御を用いた。ドライバモデルの中のドライバ予見時間は 1.5 秒とした。

U ターン走行を模擬した結果を図 1 に示す。下図(路面摩擦係数 0.5)の中の四角枠内の注釈の「極低速の軌

跡」は、極低速(8km/h)で走行した時のトラクタ右前端部の軌跡である。また、「極低速の軌跡より2mを超えた」は、軌跡の膨らみ具合を、横転抑制システムではセミトレーラーの右後端、ABS付き制動ではセミトレーラーの右前端の軌跡を算出し、極低速の軌跡との差から膨らみ具合の最大値を算出した。道路構造令によると路肩の幅は1.8から2.5mなので、膨らみが2mを超えるものについては、その他の障害物に接触する可能性が大きくなると考えられる。このため、車両の走行軌跡の膨らみを最大2mまでとし、この時の初速度を図に示した。

横転抑制システムは、路面摩擦係数と積載方法の条件のすべてにおいて、システムが作動すると連結車両の横転特性が安全側に向上していることがわかる。図の横転時の初速度でみると、横転抑制システム有りの場合は、10 km/h 程度以上向上している。但し、路面摩擦係数が0.5の場合では、横転はしないが曲線路外側に膨らむ傾向が出る。

横転抑制システムと市販品を模擬したABS付き制動を比較すると、路面摩擦係数が0.85では横転抑制システムの方が若干安全な方向にある。しかし、路面摩擦係数が0.5では、セミトレーラーがABS付き制動より大きく膨らむ傾向のため、横転抑制システムは初速度が低い傾向になる。

図2は、横転抑制システム無し、ABS付き制動及び横転抑制システム有りの場合でのセミトレーラーの最大膨らみ量を、前述の極低速での軌跡との差から算出したものを示す。横転抑制システム無しの場合の最大膨らみ量は、曲線路最後から直線路に戻るときに発生し、セミトレーラーの右前端の軌跡の中での最大値である。図の最大膨らみ量が5m前後のものは、横転した場合である。中央積載、路面摩擦係数0.85の場合には、最大膨らみ量は横転抑制システム有り、ABS付き制動とも横転前までは1m以内に収まっている。

#### 4. まとめ

今回新たに開発したトラクタ後軸及びセミトレーラー軸のタイヤをロックさせタイヤ横力を低減することにより横転を抑制するシステムについて、タイヤロック1回のみの制動制御アルゴリズムを構築して、PC上で走行シミュレーションを実施した。その結果、路面の摩擦係数が低い場合を除いて、車両の横転特性が安全側に向上することがわかった。なお、路面の摩

擦係数が低い場合には、車両は横転しないが、曲線路外側に大きく膨らむために使用することが困難になる場合があることがわかった。また、横転時の初速度の改善は、市販のものと比べて2km/h程度であり、顕著な改善は見られなかった。

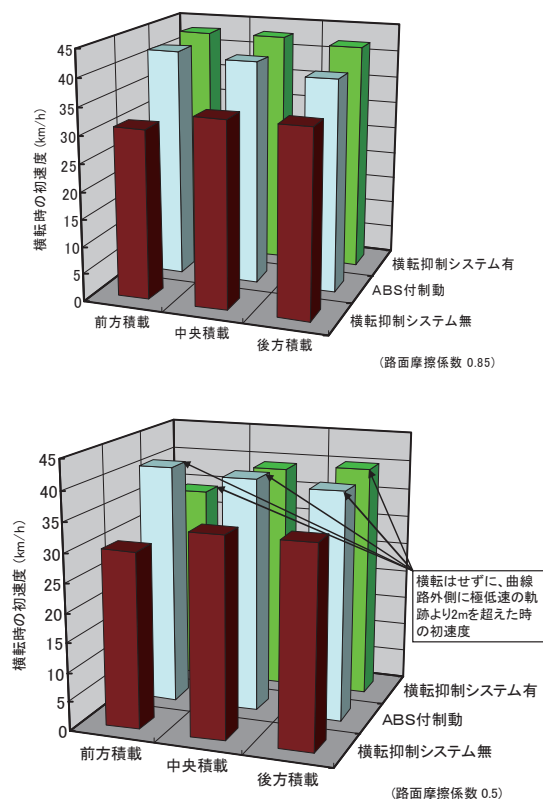


図1 Uターン走行模擬試験結果

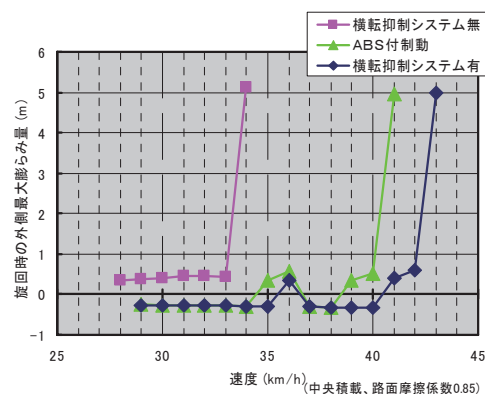


図2 セミトレーラーの旋回時最大膨らみ量

#### 参考文献

- (1) 自動車運送事業に係る交通事故要因分析報告書(平成21年度) 社会的影響の大きい重大事故の要因分析, 国土交通省, 平成22年
- (2) WABCO, <http://www.wabco-auto.com/stability-control>
- (3) Brown T. et al.: Heavy Truck ESC Effectiveness Study Using NADS, NHTSA, November 2009