

②0 カント路を用いたコンテナセミトレーラの横転検知手法の可能性

自動車安全研究領域

※波多野 忠 児島 亨 廣瀬 敏也

1. はじめに

国内の国際海上コンテナの貨物量は、10年前と比べて増加している。これらコンテナの輸送手段は、輸出入コンテナとも95%以上がトレーラによる自動車輸送である⁽¹⁾。また、近年において輸送効率向上のために、国内の陸上輸送でもコンテナは、20ft/40ft コンテナに加え40ft 背高及び45ft コンテナが取り入れられ大型化する傾向にある。一方、このコンテナセミトレーラを含む大型貨物自動車の交通事故件数のうちの横転事故等の車両単独事故は、交通事故件数全体から見ると少ない⁽²⁾が、ひとたび事故が発生すると他者への被害の甚大さ、長時間の交通流の妨害等の大きな社会的影響を発生させる。また、大型貨物自動車の特徴として、乗用車と比較して積載物の車両に対する質量比が大きいため、横転特性は搭載される積載物の重心位置等により大きく変化する⁽³⁾。特に、今回注目している国際海上コンテナセミトレーラでは、コンテナの扉が封印されているため、運転者が現場でコンテナ内の積載物の積載状況や総質量、性状等について確認することが困難であり、トレーラの横転特性を判断できない状況にある。

以上の状況を踏まえて、連結車両用にいろいろな横転検知手法が開発されている。しかし、ほとんどが車両本体に計測器等を装着した方式^{(4)~(6)}である。今回のカント路を用いた横転検知手法は、車両外部から行える計測で横転特性を把握できるものである。これに使用する走行コースは、120mの直線路に左右別々の傾斜のカント路に横加速度 1m/s^2 相当となる片勾配5.83度を直列に配置し、この直線路に連結車を極低速で進行させ(所要時間2分程度)、直線路の最後に表示装置を設置し、運転者には、ここで横転特性を伝える方式である。図1に試験路の概要を示す。左右別々の傾斜のカント路上を進行中に、車外からトレーラのばね上

ロール角等を計測し、その検出データからニューラルネットワークを使った非線形回帰式で最低横転横加速度を推定する。但し、最低横転横加速度は、積載物の搭載条件ごとに事前に把握する必要がある。

以上のことを目的に、PC上において走行模擬試験を実施し、横転検知手法としての可能性を検討した。

2. シミュレーションの概要

シミュレーションソフトは、TruckSim Ver.7 (Mechanical Simulation)を使用した。走行模擬試験のための連結車両の諸元は、TruckSimのトラクタ2軸車、フラットベットトレーラ2軸車のデフォルトデータを使用し、トラクタとトレーラ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(トラクタ軸距; 3.18m、トレーラ軸距; 8.0+1.5m)。積載物の搭載条件は、重心位置方向と積載荷重を変化させそれぞれの条件を表1へ示す。

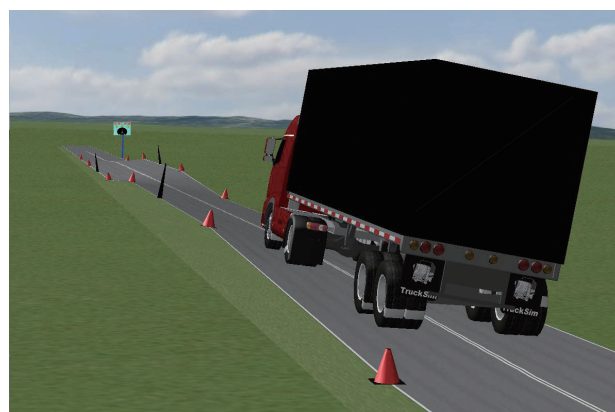


図1 カント路を用いた横転検知用直進走行模擬試験路

表1 積載物の搭載条件

前後方向 (キングピン 軸を原点;m)	左右方向 (中心位置を 原点;m)	上下方向 (地面を原 点;m)	積載荷重 (t)
3	0	1.5	6
6	0.2	2	12
8	0.4	2.5	18
9	0.6		

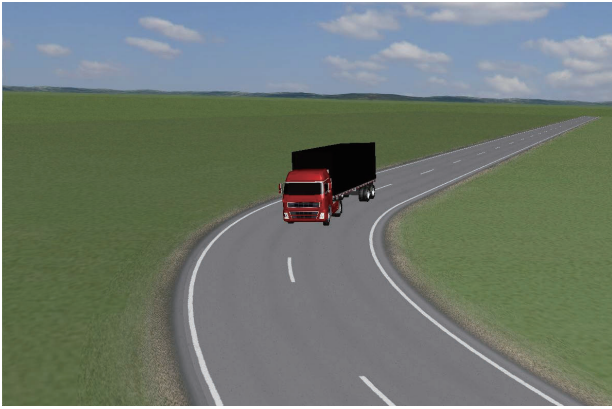


図2 Jターン走行模擬試験路

走行模擬試験については、Jターン走行模擬試験と直進走行模擬試験を行った。

はじめに今回使用する連結車両の最低横転横加速度を把握するために、半径50mのJターン走行模擬試験を行った。図2に試験路の概要を示す。一般道を模擬したために横断勾配はつけていない。また、一般道では曲線部に入る前に緩和曲線区間が存在するが、この走行路にはないため横転に関しては実際より厳しい条件になる。走行速度は常に一定になるように、アクセル操作はクローズドループ制御のデフォルトシステムを用いた。今回の最低横転横加速度の求め方は、曲線区間に入る前の直線部分での初速度を始めに設定し1回走行する。この速度で横転しない場合には初速度を徐々に上げて、横転するまで走行模擬試験を行う。この最初に横転した時の初速度と旋回半径から求めた横加速度を最低横転横加速度とし、これを横転推定横加速度とした。

図1に示した横転検知用に左右別々の傾斜のカント路(片勾配5.83度{横加速度 1m/s^2 相当})を直列に配置した直線路を用いた直進走行模擬試験を行った。この直線路の全長は120mで、片勾配+5.83度と-5.83度の定常域がそれぞれ30mと、これを滑らかに繋ぐための遷移域20mを3ヶ所設けている。片勾配+5.83度と-5.83度の定常域の長さは、連結車両の最遠軸距の2倍程度あり、トラクタとトレーラの接続角ができるだけ小さい範囲の中でトレーラのロール角を出力できるようにした。なお、今回はトレーラの前端部と後端部で、ばね上ロール角が同時に出力できたと仮定し、出力位置は片勾配が定常域の直線路後半部分の一定点とした。また、直進走行模擬試験のロール角データは0.5度単位とした。より正確性を確保するために、この直線路に進入する前に連結車の軸荷重を出力とした。この直進走行模擬試験での出力項目は、片勾配

+5.83度のカント路と-5.83度のカント路でのそれぞれのトレーラの前端と後端のばね上ロール角と路面水平時のトラクタ前・後軸の軸荷重、トレーラ軸荷重であり計7項目である。

両走行模擬試験とも走行軌跡を指定し、それを運転者が車両を忠実に走行させるようにした。なお、ドライバモデルはデフォルトシステムを使用し、Jターン走行模擬試験ではドライバ予見時間を1.5秒、直進走行模擬試験では5秒とした。

データ解析は、Jターン走行模擬試験結果からの重回帰分析と、直進走行模擬試験結果からの非線形重回帰分析を行った。

始めに積載物の重心位置の前後方向、左右方向、上下方向及び積載荷重の4つの搭載条件の因子について、どの因子が横転推定横加速度に対して影響が大きいかJターン走行模擬試験結果から検討した。この影響度合いは、重回帰分析の標準偏回帰係数で比較した。但し、積載物の重心位置の方向変数は、40ft背高コンテナの内寸を参考に正規化した変数で比較した。前後方向については12m、左右方向については1.2m、上下方向については2.7mで正規化し、積載荷重については24tで正規化した。原点はコンテナ内の最前方、左右中央、床面とした。

次に、カント路を用いた横転検知手法が成立するかどうか、直進走行模擬試験結果で得られたデータから横転推定横加速度を推定する場合の精度について検討した。説明変数は、直進走行模擬試験結果の変数のうちロール角については表2に示すような変数に変換し、合計7項目とした。目的変数は、Jターン走行模擬試験結果で得られた横転推定横加速度とした。144の搭載条件のうちJターン走行模擬試験及び直進走行模擬試験で不安定になる搭載条件や、直進走行模擬試験で横転してしまう搭載条件を除いた搭載条件でニューラルネットワークを使用した非線形重回帰分析を実施した。

表2 説明変数

1. トレーラ前端部のばね上ロール角の左右カント路での差
2. トレーラ前端部のばね上ロール角の左右カント路での和
3. トレーラ後端部のばね上ロール角の左右カント路での差
4. トレーラ後端部のばね上ロール角の左右カント路での和
5. トラクタの前軸荷重
6. トラクタの後軸荷重
7. トレーラの軸荷重

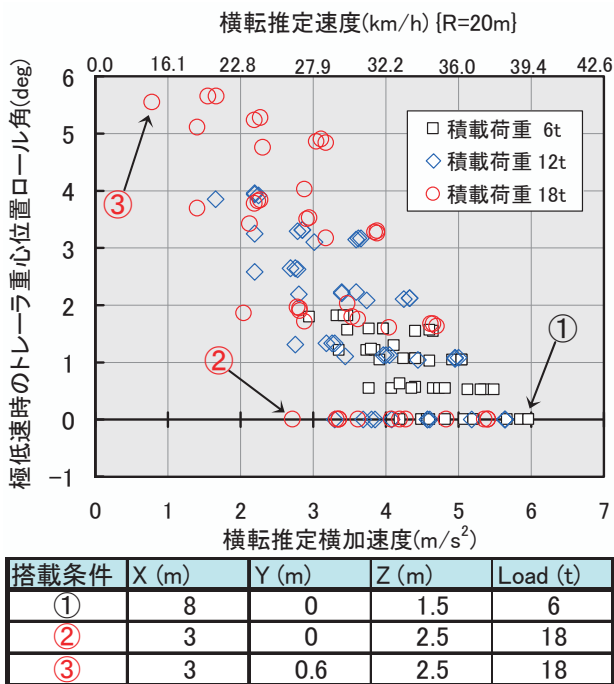


図3 Jターン走行模擬試験結果

3. シミュレーション結果

3. 1. Jターン走行模擬試験結果

積載物の搭載条件の中で車両のヨー運動が発散傾向にあるものを除いた141の搭載条件の連結車両について解析した。図3は、積載荷重別に全搭載条件での試験結果を示したものである。横軸は横転推定横加速度で、原点に近くなるほど横転しやすいことを示している。また、参考として、図の上部に曲率半径20mの横転推定速度を示す。縦軸はトレーラ重心位置での車両バネ上ロール角で、片勾配がない水平路面の極低速時での値である。全体をみると横軸上に点在しているものと左上がりに散在しているものがある。横軸上のものは搭載条件の左右方向がゼロの中心位置にあるもので、それ以外のものは左右方向に偏荷重状態となっている。

積載荷重別にみると、積載荷重が小さいものは全体の分布が横転推定横加速度の大きい部分にあり、分布も小さく、横転に対して有利であり、トレーラのロール角も小さい。積載荷重が大きくなるに従って横転推定横加速度が小さい方向に分布し、トレーラのロール角も大きくなる。図の①は、搭載条件の中で横転推定横加速度が最大であり、横転に対して最も有利な搭載条件になった。搭載条件は前後方向が後方より、左右方向がゼロ、上下方向及び積載荷重が最小である。②は搭載条件の左右方向ゼロの中で横転推定横加速度が最小になる条件で、搭載条件は前後方向が最前方、

上下方向及び積載荷重が最大である。①に比較して横転推定横加速度が半分以下になり、運転者が停止時にトレーラのロール角を見てゼロ付近にあっても搭載条件により横転特性がかなり異なることがわかる。③は、②の搭載条件に加えて左右方向へ大きく偏荷重にした条件であり、図の中で横転推定横加速度が最小になり、トレーラのロール角も大きい。

運転者は運行開始前後にトレーラのロール角を確認することができることから、トレーラに大きくロール角が発生していると気が付き対処するものと考えられる。このため、図3で注目する領域は、運転者が気付にくいトレーラのロール角が小さい範囲となり、具体的には、搭載条件が前後方向は前方より、上下方向は高く、左右方向は若干ずれていて、積載荷重は大きいものになる。

次に、どの搭載条件の因子が横転推定横加速度に対して影響が大きいのか検討するために、重回帰分析を行った標準偏回帰係数を表3に示す。回帰方程式の自由度修正済み決定係数 R^2 は0.9512であった。表3のとおり、影響が大きい順番は搭載条件の上下方向、左右方向、積載荷重、前後方向となった。これは、積載物の搭載条件の中で上下方向と左右方向の因子が横転推定横加速度に大きく寄与することを示している。なお、前後方向の符号が正になっているのは、設定条件の範囲内では積載物を後方に搭載するほど横転推定横加速度が大きくなり、横転しにくくなることを示している。

表3 搭載条件の影響度合い

搭載条件	前後方向	左右方向	上下方向	積載荷重
標準偏回帰係数	0.1991	-0.5937	-0.6056	-0.5092

3. 2. カント路を用いた直進走行模擬試験結果

Jターン走行模擬試験の中で車両のヨー運動が発散傾向にあるものを除いた141の搭載条件の連結車両について、カント路を用いた直進走行模擬試験を実施した。カント路の傾斜角の5.83度は、横加速度 $1m/s^2$ 相当にあたるため、Jターン走行模擬試験結果で横転推定横加速度がこれ以下の値を示す車両は直進走行模擬試験中に横転した。上記の横転した車両を除いた140の搭載条件の連結車両について、直進走行模擬試験結果の出力データから表2のような説明変数を算出した。この説明変数に対して目的変数はJターン走行模擬試験結果の横転推定横加速度である場合のニュ

ニューラルネットワークによる非線形回帰分析を行った。ニューラルネットワークは 20 個の正接シグモイド伝達関数をもつ隠れ層が 1 層と、1 個の線形伝達関数をもつ出力層からなるフィードフォワードネットワークである。試験結果のデータを、学習データ 126 個及びテストデータ 14 個に分け、学習データを用いてネットワークを構築し、このネットワークを用いてテストデータを検証した。その結果を図 4~7 に示す。テストデータでの目的変数であるターゲットデータとネットワークの出力値との相関係数は 0.97 であり、また、誤差に関しても最大で 0.32m/s^2 、標準偏差で 0.153m/s^2 であった。以上により、カント路を用いた直進走行模擬試験結果のデータから横転推定横加速度をほぼ推定できることが明らかになった。

4. まとめ

国際海上コンテナセミトレーラの運転者は、容易に積荷の積載状態(積荷の重心位置、積み付け)の判別ができないため、運転者は車両横転特性が把握しにくい。そのため、短時間で簡便に推定することができるカント路を用いたコンテナセミトレーラの横転検知手法を提案した。これについて、コンピュータ・シミュレーションにより検討した結果、ほぼ成立することがわかった。

今後は、コンテナセミトレーラのばね上ロール角を車外から計測する方法、説明変数の選択等の非線形回帰式の精度向上及び実車との相関性等のシミュレーションの再現性について検討する。

参考文献

- (1) 平成 20 年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査結果 国土交通省港湾局
- (2) 事業用自動車の交通事故統計 平成 21 年度版 (財)交通事故総合分析センター
- (3) 波多野忠ほか：貨物自動車のロール特性の解析 平成 15 年度交通安全環境研究所研究発表会 講演概要
- (4) 渡邊豊：重心検知装置および横転限界速度予測装置並びに貨物重量予測装置 国際特許・公開番号 W0 2008/062867
- (5) IWAMA, Toshihiko：ROLLOVER PREVENTION DEVICE OF VEHICLE 国際特許・公開番号 W0 2008/149607
- (6) 秋山興平 江副俊樹：トレーラの偏荷重情報提供装置の検討 自動車技術会 学術講演会前刷集 No. 64-12

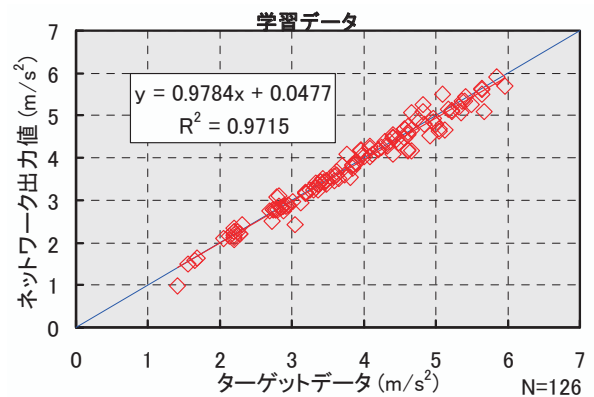


図 4 学習データによるネットワーク出力

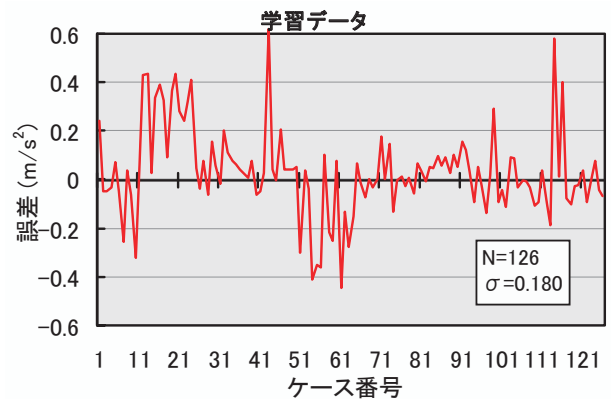


図 5 学習データによるネットワーク誤差

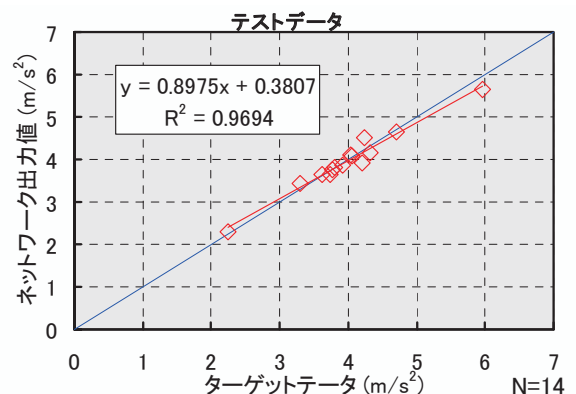


図 6 テストデータによるネットワーク出力

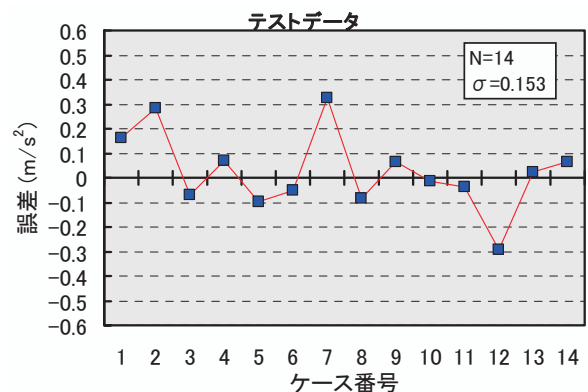


図 7 テストデータによるネットワーク誤差