

トラクタ・トレーラ系の制動性能について

武田純一*・沼尾拓哉**・小出章二*・折笠貴寛*・庄野浩資*

Braking Performance of a Tractor-Trailer Combination

Jun-ichi TAKEDA*, Takuya NUMAO*, Shoji KOIDE*, Takahiro ORIKASA*, Hiroshi SHONO*

Abstract

The braking performance tests of a small size tractor-trailer combination were carried out on dried surface asphalt road. The stopping distance for a tractor with rated power of 25 kW itself and the tractor-trailer combinations by changing load on the trailer, initial braking speed of tractor and braking force of brake pedal. The results showed that the stopping distance can be estimated within 5 m for the tests of initial braking speed of 20km/h. While the stopping distance for tractor-trailer combinations estimated to be over 5 m for load conditions of 1.2 ton and 2.0 ton on the trailer with initial braking speed of 25km/h.

[Keywords] tractor-trailer combination, braking performance, stopping distance

1. はじめに

近年、作業機の大型化に伴い、トラクタの高馬力化が進んでいる。また、1997年に、農用車両の最高速度が35km/hに引き上げられたことにより、圃場間の移動も高速で行えるようになった。最高速度の引き上げによって圃場間移動の時間短縮につながり、作業時間が短くなっているが、速度の出し過ぎのために停止予定位置で停止することができないなど、何らかの操縦ミスを誘引する可能性も高くなっている。公道を走行している場合、事故が発生すれば人身事故につながる可能性があり、交通にも大きな支障を来すことも考えられる。交通安全のみならず、農業機械を運転するオペレータの安全のためにも、農用車両のブレーキ性能特性の把握は、非常に重要な事項であるといえる。また、トラクタは型式登録時にブレーキ等の制動装置の試験が、義務化されており^{1),2)}、トレーラ付の車両についても同様に規定されているが^{3),4)}、トラクタにトレーラを装着して走行した場合の報告は少ないのが現状である。特に、近年ハイスピード仕様のトラクタが、機関出力22kW {30PS} 級以下のトラクタにまで拡大・販売されているが、このような比較的小型のトラクタにトレーラを装着した場合の制動試験の報告は極めて少ない。

ここで、これまでに他の研究機関で行われてきた、トラクタ・トレーラ系の制動試験の報告について以下にまとめてみる。

まず、北海道農業機械工業会では、トレーラの連動ブレーキの有無で停止距離に違いがあるのかを、様々な速度や質量、路面で実験を行い、それぞれの条件での踏圧と停止距離、平均減加速度、押力の関係を調査し、連動ブレーキ装着の重要性に言及した^{5),6)}。

AhokasとKosonenは、制動中のトラクタ・トレーラ系の運動について研究を行った⁷⁾。この結果、以下の知見を得たと報告している。

1) 通常の制動性能試験では、停止距離(=空走距離+制動距離)、減加速度が正確に計算されるが、実際のブレーキ行動、特に凍結した路面では正確にそれらの予測することができない。そのため、2) 制動性能試験の結果は、停止距離や減加速度の代わりに、車軸と荷重から算出されるブレーキ率を使用すべきであると結論付けた。

Dwyerは、トラクタ・トレーラ系の制動性能の研究を行い⁸⁾、トレーラが不安定である場合、ブレーキ性能が良く、また、トレーラの限界重量を積載している時もブレーキ性能が優れていると述べさらに、トレーラに装備されるブレーキについて、トラクタのペダルを操作するとブレーキがかかるシステムの場合、トレーラ全重量の20~30%程度のブレーキ力が望ましいと結論付けた。

本研究では、乾いたアスファルト路面上において、小形のキャビン付き乗用トラクタとコンバイン搬送用トレーラを供試して、トラクタ単体およびトレーラ装着時の初速度や積載荷重を変化させて制動性能を分析したので報告する。

2. 実験装置および方法

(1) 供試実験装置

供試トラクタは、機関出力25kWのキャビン付き乗用トラクタで、供試トレーラは荷台の大きさが3.8m×1.86m、許容積載荷重が2.5tである。供試トラクタとトレーラの主要諸元を表1に示す。供試トラクタのブレーキペダルに踏力計(共和電業:LPR-A-1KNS10)を、トラクタの前後左右部とトレーラの車軸付近には、3軸の加速度計(共和電業:AS-2TG)を設置し、得られたデータをトラクタの運転席横に設置したメモリーレコーダ(共和電業:EDX2000A)に収録した。なお、トレーラ牽引時は、車体質量1.2tと2.0tのトラクタ

* : 岩手大学農学部 盛岡市上田 3-18-8

** : 同上。現在、青森県庁

を負荷荷重としてトレーラの荷台に設置した(図1と図2)。また、トラクタは2輪駆動モード、トレーラは、安全を考慮し慣性自動ブレーキを作用させて実験を行った。

表1 供試の主要諸元

トラクタ	全長	[mm]	3090	
	全幅	[mm]	1455	
	全高	[mm]	2170	
	軸距	[mm]	1730	
	輪距	前輪	[mm]	1150
		後輪	[mm]	1100
	機体質量	[kg]	1585	
	エンジン出力	kW/rpm	25.0/2600	
タイヤ	前輪	-	8-16 4PR	
	後輪	-	13.6-24 4PR	
トレーラ	全長	[mm]	5250	
	全幅	[mm]	1900	
	荷台長さ	[mm]	3800	
	荷台幅	[mm]	1860	
	荷台地上高	[mm]	570	
	車体質量	[kg]	530	
	タイヤ	-	22-10.00 12PR	



図1 1.2tのトラクタを積載した場合



図2 2.0tのトラクタを積載した場合

(2) 実験条件及び方法

制動試験の実験条件は、トラクタ単体時、トレーラ単体牽引時、トレーラ上に上記2種のトラクタを積載してけん引した場合の4条

件で実施した。試験は、岩手大学農学部附属寒冷フィールド教育研究センター滝沢農場の平坦なアスファルト路面上で行った。走行速度条件は、トラクタの変速段とエンジン回転数を組み合わせて、3条件(制動時の初速度が15km/h, 20km/h, 25km/h)で実施した。また、ブレーキペダルを踏み強さはオペレータが事前に訓練し、便宜的に、小、中、大と3段階に分けて制動試験を実施した。なお、トラクタの駆動モードは2輪駆動とした。

試験方法は、走行路面の脇にトラクタのオペレータに制動開始の合図を送る人員を配置し、合図を受けてからトラクタのオペレータがブレーキを作用させ停止するまでの距離(停止距離=空走距離+制動距離)を測定した。トラクタの走行速度は制動区間より前に5mまたは10mの区間を設定し、この区間を通過する時間をストップウォッチで計測して求めた。なお、同一実験条件では3回繰り返して実験を行った。

(3) データ解析

制動試験によって得られたデータは、タイヤのラグによる振動の影響を除くために、データ解析ソフトウェア(共和電業:DAS-100A)を用いて、10Hzのローパスフィルタを施した。次に、車両前後方向加速度の波形を参考にして減速を開始したと判断される点から静止するまでの間を特定し、この区間内の踏力の平均値を求めた。一例として図3に、2tのトラクタを積載した場合、制動初速度25km/h、踏力大の条件の例を示した。次に、横軸に踏力、縦軸に停止距離をとり、停止距離が踏力によってどのように変化していくのかを分析した。

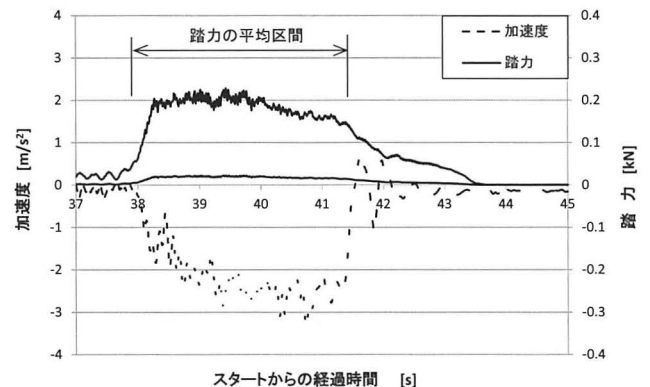


図3 踏力とトラクタの進行方向車体加速度の時間推移
(2.0t トラクタ積載, 制動初速度 25km/h, 踏力大)

3. 実験結果及び考察

今回の制動試験では、いずれの条件でもトラクタ、トレーラともタイヤはスリップしない状態で停止まで推移した。実験結果は、図4～図7に示すように、横軸に踏力、縦軸に停止距離をとって、トラクタ単体およびトレーラ単体を牽引、2種類のトラクタを積載したトレーラを牽引した条件毎にまとめて示した。また、踏力と停止距離の関係は、指数関数で表されるような傾向があったので、式(1)で示す回帰式で回帰係数 a と b を求めることとし、結果を表2に示した。

$$y = ae^{bx} \quad (1)$$

ここで、

y : 停止距離 [m]

x : 踏力 [kN]

a, b : 回帰係数 (定数)

である。

図4はトラクタ単体の実験結果であるが、各初速度条件毎に見ると当然ながら初速度が大きいほど、踏力が小さいほど停止距離は大きくなった。全体の傾向としては、踏力が大きくなるほど停止距離が指数関数的に減少して行くことが分かる。踏力の小、中、大の区分けについては、図から分かるように、ややデータのばらつきが大きいので、この区分けの中で平均値を取り比較することは出来ないと判断した。以上の傾向は、他の条件でも同じである。

新・道路運送車両の保安基準¹⁾によれば、供試トラクタの場合、制動初速度が20km/hの時、5m以下の停止距離が要求されており、法令上の基準を満たしていることが確認できた。制動初速度が25km/hの場合、実測値では停止距離が5mを超えることもあったが、他の実験の結果では、踏力が0.2kN以上ある例も見られるので、回帰式に $x=0.2$ を代入して停止距離を求めると3.3mであり、5m以内で十分停止可能と推察される。

図5～図7は、トレーラを装着した場合の結果を示したものである。図5のトレーラのみを牽引した場合は、制動初速度が20km/hの時、実測の停止距離は最長値で5.6mとなり5mを超えていたが、回帰式で踏力が0.2kNの場合を計算してみると、3.9mとなり5m以内での停止が可能と推察される。この傾向は、図6に示す1.2tのトラクタを積載した場合も同様で、制動初速度20km/hでは実測の停止距離の最小値は5.7mであったが、踏力0.2kNと仮定すると回帰式から停止距離は3.2mと推察され、5m以内での停止は可能と考えられる。図7に示すトレーラの積載量が2.0tの場合は、制動初速度20km/hにおける実測の最小停止距離は6.5mであり、5mを超えていた。回帰式から推定すると、踏力が0.2kNの時に停止距離は5.2mとなり、停止距離が若干5mより大きくなる結果となった。

一方、制動初速度が25km/hの場合、1.2tと2.0tのトラクタを積載した条件下における、踏力0.2kNでの制動距離は8～9mとなり、運転時にはブレーキ操作に細心の注意が必要であると考えられる。また、供試トレーラの最大積載荷重は2.5tであり、フルに積載している場合は、同様に停止距離が伸びることになる。更に、カ

ブ現象を起こしやすくなるので、特に注意が必要と考えられる。トレーラ牽引時の事故防止のためにも、高速走行時のトレーラの慣性ブレーキは必ず用いるようにしておきたい。

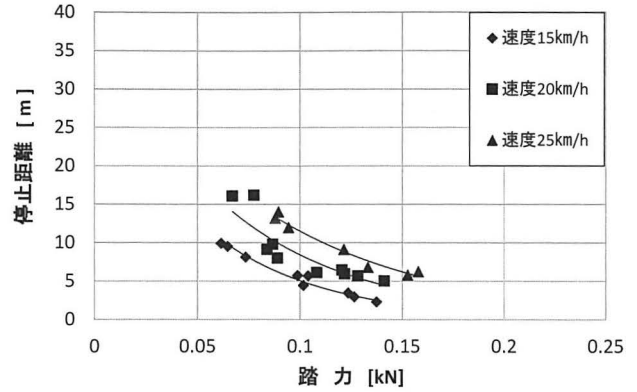


図4 踏力と停止距離の関係 (トラクタ単体の場合)

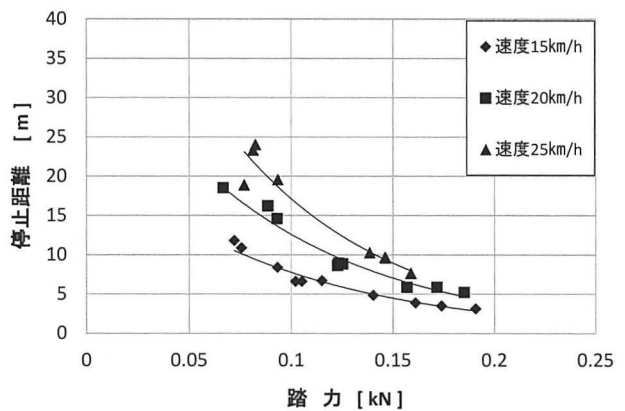


図5 踏力と停止距離の関係 (トラクタ単体+トレーラのみ牽引の場合)

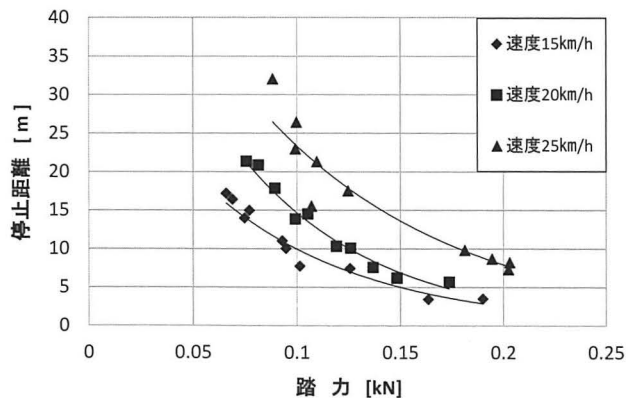


図6 踏力と停止距離の関係 (トラクタ単体+トレーラに1.2tのトラクタを積載した場合)

表2 回帰係数

機体条件	制動初速度 [km/h]	係数		R ² 値
		a	b	
トラクタ単体	15	32.51	-18.59	0.966
	20	39.68	-15.49	0.843
	25	39.32	-12.29	0.962
トレーラ単体	15	23.16	-10.94	0.970
	20	40.22	-11.60	0.961
	25	62.79	-12.98	0.958
1.2tトラクタ積載	15	39.37	-13.74	0.951
	20	66.58	-15.12	0.964
	25	68.67	-10.78	0.934
2.0tトラクタ積載	15	31.93	-9.59	0.959
	20	69.11	-12.88	0.958
	25	89.58	-11.70	0.966

ープでの制動は、ヒッチ点到側方力が加わり、容易にジャックナイ

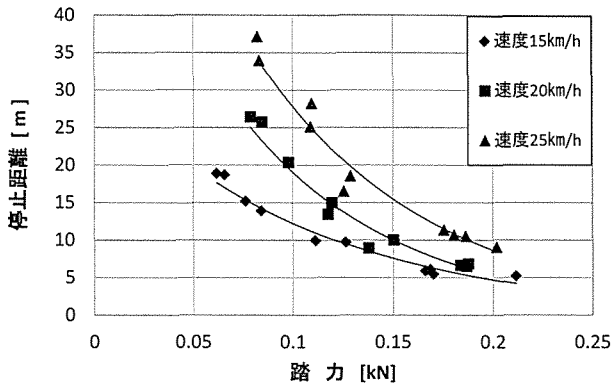


図7 踏力と停止距離の関係

(トラクタ単体+トレーラに2.0tのトラクタを積載した場合)

4. おわりに

機関出力25kWの高速走行可能な乗用トラクタ及びトレーラ系を供試して、3種の初速度条件とトラクタ単体、3種のトレーラ積載条件の下で制動試験を行い、次の結果を得た。

- 1) トラクタのブレーキペダルの踏力と制動距離の関係は、指数関数的傾向を示し、初速度が大きいくほど、踏力が小さいほど停止距離は大きくなった。
- 2) トラクタ単体での制動試験の結果、実験した初速度の範囲内では保安基準を満たしていることを確認した。
- 3) トレーラ単体を牽引した場合、トレーラに1.2tおよび2.0tのトラクタを積載した場合とも、制動初速度20km/hでは実測した停止距離が5mをやや超えたものもあったが、回帰式から得られた停止距離から、5m以内で停止できるものと推察された。
- 4) トレーラに1.2tのトラクタ及び2.0tのトラクタを積載した場合、制動初速度が25km/hでは停止距離が8~9mと推定され、運転時にはブレーキ操作に細心の注意が必要である。また、最大積載量の2.5tを積載した場合は、停止距離が更に伸びると予想され、同様に注意が必要である。
- 5) 安全な停止距離を保つために、十分な車間距離をとることやトレーラの慣性ブレーキを有効に活用していくことが必要である。

5. 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(C)), 21580305の助成により実施されたものである。ここに記して、関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 交文社, 2012. 自動車検査員必携 保安基準省令・告示, 審査事務規定継続審査関係資料体系, 交文社, 80-115, 585-588.
- 2) 交文社, 2011. 新・道路運送車両の保安基準—省令・告示全条文—I, 交文社, 66-89, 693-786.
- 3) 北海道農業機械工業会, 1998. 農業機械の連動ブレーキシステム及び関連機器の開発, 北海道農業機械工業会, 1-60.

- 4) 農業機械の安全装備に関する研究開発グループ, 1999. 農業機械の安全装備に関する研究開発—連動ブレーキの実用化技術の組立—, 1-41.
- 5) Ahokas, J., Kosonen, S., 2003. Dynamic Behaviour of a Tractor-trailer Combination during Braking, Biosystems Engineering, 85(1), 29-39.
- 6) Dwyer, M.J., 1970. The braking performance of tractor-trailer combinations, Journal of Agric. Engng. Research, 15(2), 148-162.