

# 農用トラクタ駆動輪の推力負荷に対する制動特性

池見 隆男・土居 栄城

(農学部農業機械学研究室)

## Studies on the Braking Characteristics of Driving Wheels of Tractors to Thrust Load

Takao IKEMI and Eiki DOI

*Laboratory of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture*

**Abstract:** The braking force of driving wheels of a tractor, which results from the thrust like the resistance of rotary tillage was investigated experimentally. The results are summarized as follows.

(1) In the model tests, the change from drawbar pull to towed force with slippage is continuous and the intercept of the force axis gives the rolling resistance of front wheels.

(2) The change of rolling radius is approximately linear with force within the small force range.

(3) While the characteristics of the drawbar pull and the one of the towed force of a tractor show the same tendency qualitatively, the towed force is somewhat smaller than the drawbar pull.

(4) The braking force reduces the increasing rate over 20% of the slippage.

(5) The coefficient of braking force, in dry paddy fields, is about 0.5 at 20% of the slippage and is about 0.4 at 10% of the slippage.

### 緒 言

農用トラクタは、従来から、その作業の性格上、たとえばプラウ耕におけるように、けん引性能が重視されてきた。一方、我国の中・小形トラクタは、ロータリ耕を主体として発達してきた。ロータリ耕では、一般に、耕うん刃に対する土の抵抗によって、トラクタに対し推力が作用する。トラクタにおいては、この耕うん推力に抗して駆動輪に制動力が発生し、安定した作業が行われる。制動力の発生は、ロータリ耕トラクタの駆動輪におけるラグ先端の摩耗状況からも判断される。

ロータリ耕うん中、耕うん推力と制動力等の平衡状態が破れ、前進方向への滑りが急増した場合、トラクタは加速され、速度が増す。これは耕うんピッチの増加を招き、それが耕うん抵抗を増加させることになり、さらに滑りを増大させる。その極端な場合は、機体の飛び出しが生じ、耕うん不能となる<sup>1)</sup>。

このように、制動力はロータリ耕うん作業の安定性を支配する重要な因子である。しかし、これについて触れたものは少ない。これは、推力負荷に対する制動力の発生は、けん引力発生メカニズムと同等であり、その差は、わずかにトレッドパターンの問題に帰する、と考えられることによると思われる。

しかし、後輪駆動の四輪トラクタを考える場合、けん引力と制動力は互に異なるものである。制動力は、推力負荷に対する結果として生ずる力であるが、けん引力は、けん引負荷そのものである。

本研究は、上記観点から、トラクタ駆動輪の制動特性に関し、模形および現物トラクタを使用し

て、実験的に検討を行った。

### 実験装置および方法

1. 実験装置 (1)模形実験 模形実験車は、市販の組立キットを使用した。その主要諸元は、直流モータ出力 0.3W, 定格電圧 1.5V, 質量 246.2g, 軸距 95mm, タイヤ (幅×直径mm) 前輪 9.4×38.5 後輪 16.8×39.6 である。実験装置を Fig. 1 に示す。ロードセルはひずみゲージ式容量 1kgf であり、無段変速モータは、速度範囲が 0~90rpm である。

(2)圃場実験 2台の乗用トラクタおよび歩行用トラクタ1台を供試し、乗用トラクタは、互に被試験車およびけん引車または負荷車として使用した。主要諸元を Table 1 に示す。力の測定には、ひずみゲージ式容量 1tf のロードセルおよび自動平衡式ストレンメータを使用した。

Table 1. Specifications of tractors

		tractor 1 (riding)	tractor 2 (riding)	tractor 3 (walking)
maximum power (ps/rpm)		17/2500	27/2500	7/2000
weight (kg)		780	1330	186
wheel base (mm)		1430	1730	-
tire size	front	4-12	5-15	4-12
	rear	8.3-22 (high lug)	11.2/10-28 (normal lug)	(normal lug)

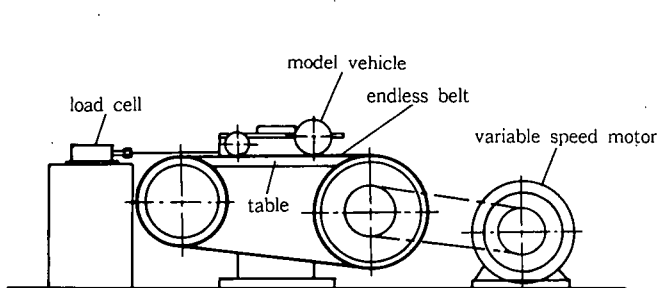


Fig. 1. Test apparatus of a model vehicle.

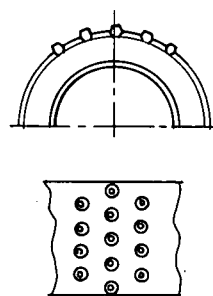
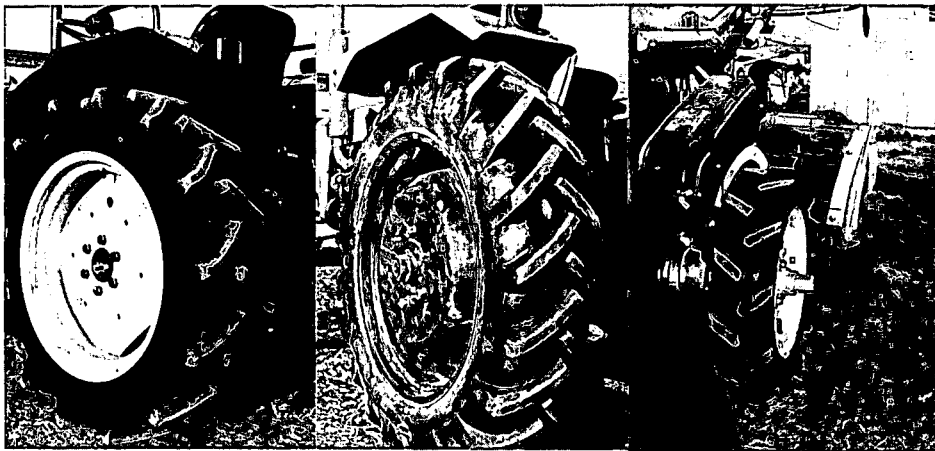


Fig. 2. Tread pattern of model vehicle tire.



(a) high-lug tire

(b) normal tire

(c) power tiller tire

Fig. 3. Tractor tires.

2. 実験方法 (1)模形実験 Fig. 1 に示すように、エンドレスベルト(キャンバス布)上に、模形車を置き、たこ糸でロードセル受感部と車体を連結した。推力負荷は、車体を前進方向へけん引することによって代用した。けん引負荷および推力負荷は、模形車輪とベルトとの相対滑りにより発生させた。すなわち、車輪の周速がベルト速度より小さければ、推力負荷となる。この相対滑りの調節は、無段変速モータで行った。基準相対速度は  $0.1\text{m/s}$  である。車輪荷重は、分銅を載荷して調節した。

(2)圃場実験 前項同様、推力負荷は、被試験車に対する前進方向へのけん引によって代用した。推力負荷およびけん引負荷は、被試験車、負荷車の速度差によって発生させた。これは、あらかじめ、2台の乗用トラクタの各速度段における、エンジン回転速度に対する走行速度を測定しておくことによって容易に調節することができた。

基準の走行速度は  $0.6\text{m/s}$  とした。

3. 圃場条件 高知大学農学部付属農場水田C-6, C-7圃場稲刈跡 (Table 2 の Field 1, 2) および農業機械実験室南側空地を使用した。

Table 2. Field conditions

		Field 1	Field 2	Field 3
soil		sandy clay-loam	sandy clay-loam	sandy clay-loam
apparent specific gravity		1.18	1.17	1.24
moisture content (d.b.%)		23.3	26.0	14.5
cone index (kgf/cm <sup>2</sup> )	0cm	1.77	0.7	YAMANAKA hardness tester
	2.5cm	3.42	1.53	
	5.0cm	4.03	2.62	
	10.0cm	9.27	9.12	
				4.71

## 結果および考察

1. 転り抵抗の処理 後輪駆動四輪トラクタをそのまま使用して、駆動輪の制動力を測定しようとする場合、前輪の転り抵抗が問題になる。歩行用トラクタの場合は、尾輪を浮かすことによって解決される。すなわち、前述のように、四輪接地のままけん引によって測定を行うので、被試験車のけん引抵抗すなわち被けん引力から転り抵抗の単独測定は困難なので、以下のように処理した。

駆動輪に滑りのない時の被けん引力が、ほぼ前輪の転り抵抗に等しいと考えられる。しかし、駆動輪の無滑り状態を現出確認するのは不可能である。そこで、自走無負荷時の駆動輪転動距離を基準とする滑り率に対する被けん引力曲線を求め、駆動輪無滑り時の推定滑り率における抵抗を、前輪の転り抵抗とした。駆動輪無滑り時の滑り率は、自走無負荷時転動距離に対するもので、コンクリート床上における駆動輪の有効半径から算出した。Fig. 4 は推定の一例である。

以上のようにして求めた前輪の転り抵抗係数平均値を、Table 3 に示す。

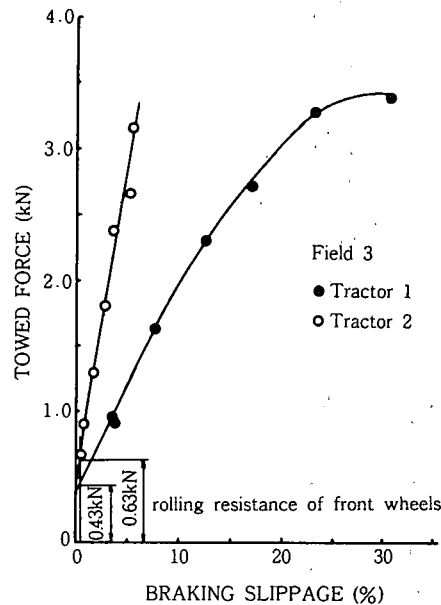


Fig. 4. Estimation of rolling resistance.

Table 3. Coefficient of rolling resistance of front wheels

	Field 1	Field 2	Field 3
Tractor 1	0.1	0.11	0.1
Tractor 2	0.1	0.11	0.1

2. 模形車両による特性 推力負荷またはけん引負荷の作用するトラクタにおける力の釣合いを、Fig. 5 に示す。図において、前後方向の力の釣合いから次式が成立つ。

$$R_2 = P_T - R_1 \dots\dots(1) \quad R'_2 = P_D + R_1 \dots\dots(2)$$

ただし、 $R_2$ : 駆動輪の制動力、 $P_T$ : 推力負荷、 $R'_2$ : 推進力、 $P_D$ : けん引負荷(力)、 $R_1$ 、 $R'_1$ : 前輪の転り抵抗。

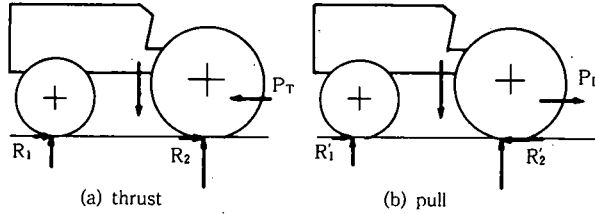


Fig. 5. Forces acting on a tractor received thrust or pull.

駆動輪に作用する制動力 $R_2$ と推進力 $R'_2$ は作用方向が互に反対向きであるが、同一発生機構の力として差支えない。しかし、(1)、(2)式からわかるように、トラクタにおいては、けん引力 $P_D$ は、制動力とは内容を異にする力となる。いうまでもなく、前者は、転り抵抗およびけん引負荷によって発生する駆動輪の推進力から転り抵抗を差引いたものであるが、後者は、推力負荷によって発生する力である。

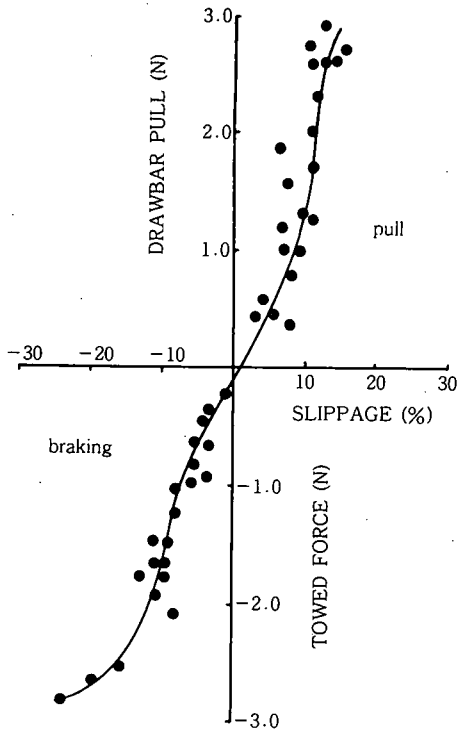


Fig. 6. Relation between slippage and force of a model vehicle.

模形車両によって、キャンバス布製エンドレスベルト上における制動、けん引特性を測定した結果を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。

Fig. 6 において、滑り率 (slippage) は、模形の前輪をわずか持ち上げ、前輪転り抵抗の作用しない状態で求めた駆動輪の転動距離を基準とした。図のたて軸は、エンドレスベルト上を相対走行する模形車両を支える糸の張力であり、推力負荷またはけん引負荷を与えた場合に相当する。滑り率零の時の力は、前輪の転り抵抗によるものである。制動からけん引への曲線の移行は、制動車輪から駆動車輪への移行を示すモデルと類似である<sup>2)3)</sup>。

転動半径の変化は、Fig. 7 に示す通りである。転動半径は、駆動輪の転動距離より算出される仮想半径であるが、滑りの小さい範囲では、力に対してほぼ直線的に変化することがわかる。

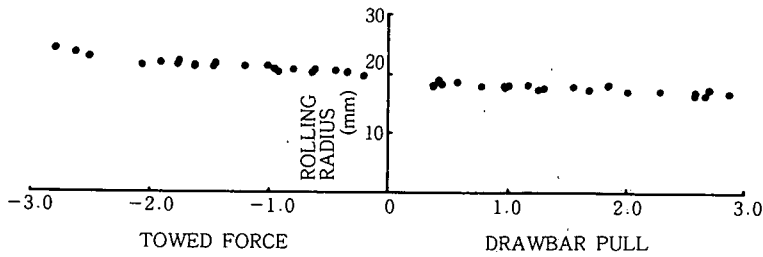


Fig. 7. Relation between force and rolling radius of a model vehicle.

3. 圃場における特性 けん引・推力負荷特性の一例を Fig. 8, Fig. 9 に示す。滑り率は、前述のように、無負荷自走時の転動距離を基準とするもので、以下も同様である。負値は制動状態を表わす。被けん引力は、前輪の転り抵抗を含むものであるが、けん引力よりやや小さい傾向を示している。定性的には同一傾向にある。

制動特性の一例を Fig. 10 に示す。制動力は、前述のように、被けん引力から前輪の転り抵抗推定値を差引いたものとして表してある。駆動輪タイヤ圧の影響は、測定精度上判然としないが、実用上ほとんどないとみて差支えなからう。

制動力は、滑り率20%を超えると、その増加割合が低減する。推力負荷に対して有効な制動力は、その大きさよりも滑りの大きさに限定される。また、制動力は、一般化する意味で、制動力係数として取扱った方がよい。

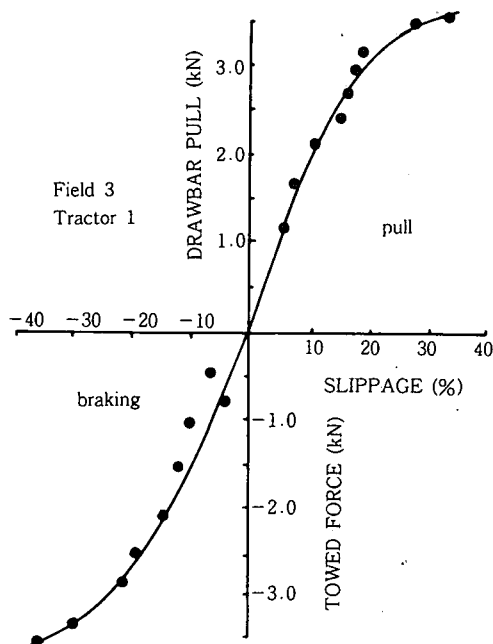


Fig. 8. Relation between slippage and force on a tractor.

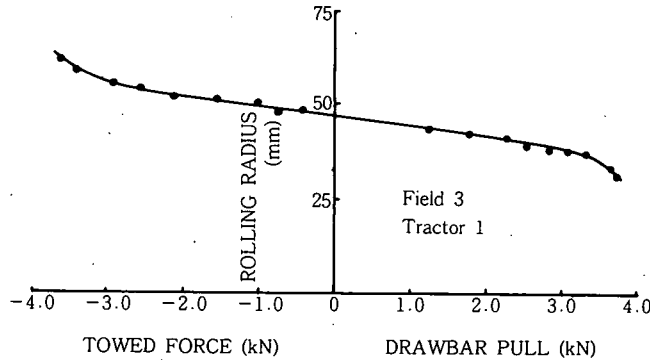


Fig. 9. Relation between force and rolling radius on a tractor.

制動力係数は、けん引係数と同じ形式に、駆動輪の制動力を駆動輪荷重で除したものとする。Fig. 11 に示す制動力係数の値は、駆動輪の制動力を、重量転移を考慮した駆動輪荷重で除した値である。また、図は、異なる圃場条件およびトラクタにおける結果を網らしてある。

制動力係数は、Fig. 11 に示すように、滑り率20%以下の範囲では、駆動輪の寸法、形状によらず、ほぼ同一曲線上に載る。圃場条件の影響は、滑りの大きい部分で現れ、制動力に差が出てくる。しかし、実用上、滑りの大きい範囲で大きな制動力が得られても、意味がなく、滑り率には限界がある。滑り率の限界は、ロータリ耕うん作業の安定性の限度によって与えられるものである。しかし、これは明らかではない。

滑り率の限界は、耕うんピッチの変化および機体の飛び出しを考慮すれば、20%ていどと推測される。すなわち、乗用トラクタ後輪のラグピッチは大体 200mm ていどであるから、ラグピッチ当りの滑りは、滑り率20%で約 40mm となる。また、耕うんピッチも滑り率と同じ割合で増加するので、10~20%の変動幅が限度であろう。以上から、制動滑り率の限界は、20%とするのが妥当であろう。

したがって機体の飛び出しのない安定耕うんの限界を与える限界制動力係数は、制動滑り率20%における制動力係数によって与えられる。

限界制動力係数は、Fig. 11 より、通常の水田土において、ほぼ0.5である。安全を考慮して、滑り率10%の値をとれば、0.4となる。これらの値は、柴田ら<sup>1)</sup>の提案値とほぼ一致する。ただし、この限界制動力係数値は、通常の耕うん可能な土に対するものであって、極めて堅固な土に対しては不明である。

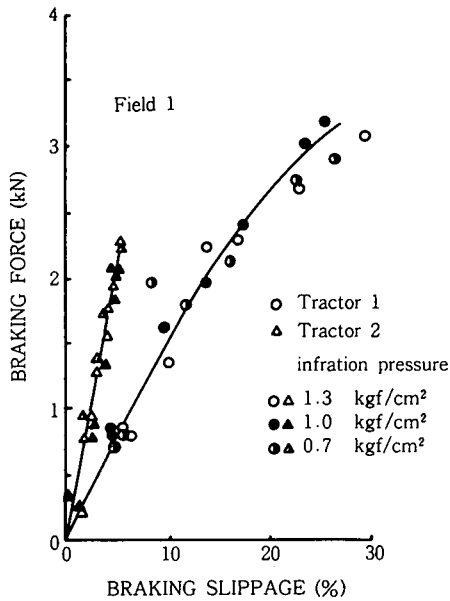


Fig. 10. The effect of inflation pressure of tires to braking force.

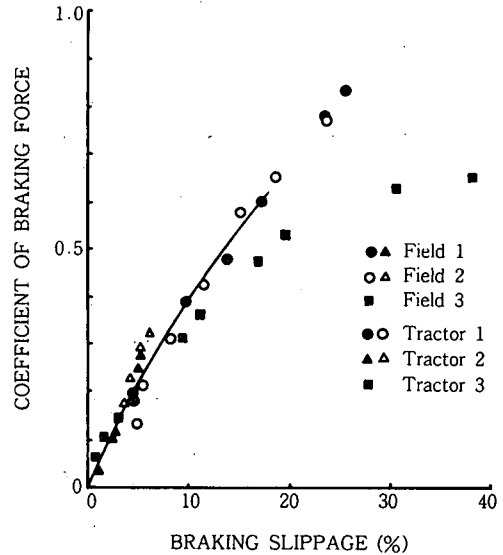


Fig. 11. Relation between slippage and coefficient of braking force.

## 結 語

ロータリ耕うん抵抗によるような推力負荷を受けるトラクタの駆動輪の制動力について、実験的に検討した。結果の概要は、次のようである。

(1) 模形実験によると、滑り率に対するけん引力から被けん引力への変化は、連続であり、力軸の切片は前輪の転り抵抗を与える。

(2) 転動半径の変化は、滑りの小さい範囲ではほぼ直線的である。

(3) 圃場におけるトラクタのけん引および被けん引特性は、定性的に同一傾向であるが、被けん引力がやや小さい傾向にある。

(4) 制動力は、滑り率20%を超えると増加割合は減じる。

(5) 制動力係数は、通常の土において制動滑り率20%で約0.5であり、同じく10%で約0.4である。

## 参 考 文 献

- 1) 柴田安雄・坂井純, ロータリ耕トラクタの動特性に関する設計論的研究(第3報), 農機誌, 41(2), 207-214 (1979)
- 2) Wismer, R. D.・Luth, H. J., Off-Road Traction Prediction for Wheeled Vehicles. *Trans. ASAE*, 17(1), 8-11 (1974)
- 3) Krick, G., System zur Messung der Kräfte und Momente an angetriebenen, Schrägläufigen Reifen, der Druck- und Schubspannungsverteilung in der Kontaktfläche und der Reifendeformation, Working Conference of the 3rd Section of C.I.G.R. at Wageningen, The Netherland, 219-244 (1970)

(昭和59年9月13日受理)

(昭和59年12月6日発行)