

4 輪駆動および2 輪駆動トラクタのけん引特性

守田 和夫・山口 安弘・櫻井 文海*・辻本 寿之*・米山 正博*・岩崎 浩一

(農業システム工学講座)

平成8年8月10日受理

Drawbar Pull Characteristics of the Four-Wheel-Drive and the Two-Wheel-Drive Tractors

Kazuo MORITA, Yasuhiro YAMAGUCHI, Hai SAKURAI*,
Toshiyuki TSUJIMOTO*, Masahiro YONEYAMA* and Koichi IWASAKI
(Laboratory of Agricultural Systems Engineering)

緒 言

日本のトラクタの導入は、外国製の大型2輪駆動のトラクタを輸入することによって進み、それらをモデルとして稲作作業体系に適合するように改良され、また生産技術の向上に伴って小型トラクタが普及した¹⁾。

トラクタの評価基準としては、①低速度で大きいけん引力を発揮しつつ機関の動力が十分に利用されること、②移動用原動機として多種多様の作業機を制御しながら作業が可能であること、③道路上あるいは道路外、ほ場などで経済的な作業が可能であること、④軟弱地、荒地、傾斜地あるいは作付け地など種々の地面で、目的を達成するのに十分な作業ならび走行性能を有すること²⁾、があげられる。

このうちトラクタのけん引性能は、トラクタが畜力のかわりに使用されるようになった重要な性能であり、PTO等を使用した駆動作業機が多く使用されるようになった現在でもプラウ耕やその他の整地作業、また運搬などの多くの作業がけん引によって行われている。トラクタのけん引は、車輪のスリップや機関出力によって制約され、速度が小さい時には主として走行部の性能により、速度が大きい時には機関出力によって左右される²⁾。

しかし、水田のような軟弱地での作業ではスリッ

プ現象が問題となり、その解決策として4輪駆動トラクタが開発され普及した。しかし2輪駆動トラクタよりも4輪駆動トラクタの方が生産コストがかさみ、トラクタの適正利用という観点で、4輪駆動、2輪駆動のけん引性能を把握する必要性が生じている。そこで本研究では、乗用型トラクタのけん引性能を把握するために、アスファルト路面およびほ場において、4輪駆動、2輪駆動モードの比較実験を行った。

実験装置および方法

1. 重心の測定

重心位置はトラクタのスリップやバランスに影響を与えるため、実験に先立って、供試トラクタの重心の測定を行った。最初にトラクタの全重量 W および Fig. 1における軸距: a 、前車軸中心から持ち上げ点 P までの水平距離: b 、前車軸から持ち上げ点 P までの鉛直距離: c 、後輪半径: r_1 、前輪半径: r_2 、前後車軸中心を結んだ直線の水平方向に対する角度: θ_1 、前車軸中心と持ち上げ点 P を結んだ直線の水平方向に対する角度: θ_2 、水平時の持ち上げ点の分担力: F を測定した。また前車軸を高さ: h まで持ち上げ、この時の持ち上げ点 P' の分担力: F_1 を測定した。

ここで O_1 点まわりのモーメントの釣り合いから

$$x = \frac{F(a+b)}{W} \dots\dots\dots(1)$$

次に傾斜時における O_1 点まわりのモーメントの釣り合いから

*国際協力事業団筑波国際農業研修センター、茨城県つくば市高野台3-7

*Japan International Cooperation Agency (JICA), Tsukuba International Agricultural Training Center (TIATC), 3-7 Koyadai Tsukuba, Ibaraki

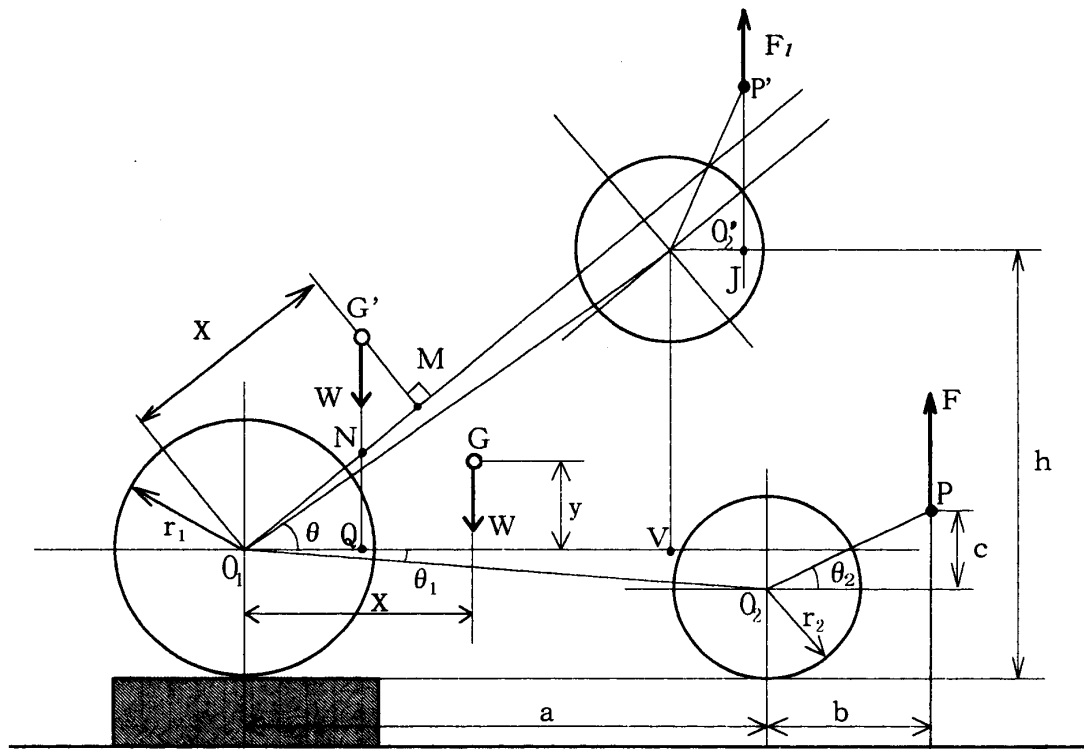


Fig. 1. Dimensions of tractor at horizontal and inclined position.

$$F(\overline{O_1V} + \overline{O_2J}) = W\overline{O_1Q} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで $\triangle O_1O_2V$ より

$$\begin{aligned} \overline{O_1V} &= \sqrt{(\overline{O_1O_2})^2 - (\overline{O_2V})^2} \\ &= \sqrt{a^2 + (r_1 - r_2)^2 - (h - r_1)^2} \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

また $\triangle O_2PJ$ より

$$\begin{aligned} \overline{O_2J} &= \overline{O_2P} \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta) \\ &= \sqrt{b^2 + c^2} \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta) \quad \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

(3), (4)を(2)へ代入すると

$$\begin{aligned} \overline{O_1Q} &= \\ &= \frac{F_1 \sqrt{a^2 + (r_1 - r_2)^2 - (h - r_1)^2} + \sqrt{b^2 + c^2} \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta)}{W} \quad \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

ここで $\triangle O_1QN$ から

$$\overline{O_1N} = \frac{\overline{O_1Q}}{\cos(\theta_1 + \theta)} \quad \dots\dots\dots(6)$$

また

$$\overline{NM} = x - \overline{O_1N} \quad \dots\dots\dots(7)$$

y は $\triangle NSM$ より

$$\overline{GM} = y = \frac{\overline{NM}}{\tan(\theta_1 + \theta)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

(5), (6), (7)を(8)へ代入して

$$\begin{aligned} y &= \\ &= \frac{x - F_1 \sqrt{a^2 + (r_1 - r_2)^2 - (h - r_1)^2} + \sqrt{b^2 + c^2} \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta)}{W \cos(\theta_1 + \theta) \tan(\theta_1 + \theta)} \quad \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

となる。これにより車輪の分担荷重から後車軸中心から重心までの水平距離： x ，後輪軸中心から重心への鉛直距離： y が求められる³⁾。測定値，および計算結果を Table 1に示す。

Table 1. Dimensions of gravity center of tractor

Parameter	Without operator		With operator	
a (mm)	1550	1550	1550	1550
b (mm)	550	550	550	550
c (mm)	145	145	145	145
r_1 (mm)	550	550	550	550
r_2 (mm)	310	310	310	310
θ_1 (rad)	0.125	0.125	0.125	0.125
θ_2 (rad)	0.258	0.258	0.258	0.258
W (kgf)	1190	1190	1265	1265
F (kgf)	361	361	368	368
h (mm)	800	975	880	980
F_1 (kgf)	347	343	343	340
θ (rad)	0.19	0.306	0.242	0.31
x (mm)	636	636	610	610
y (mm)	61	52.8	92	87

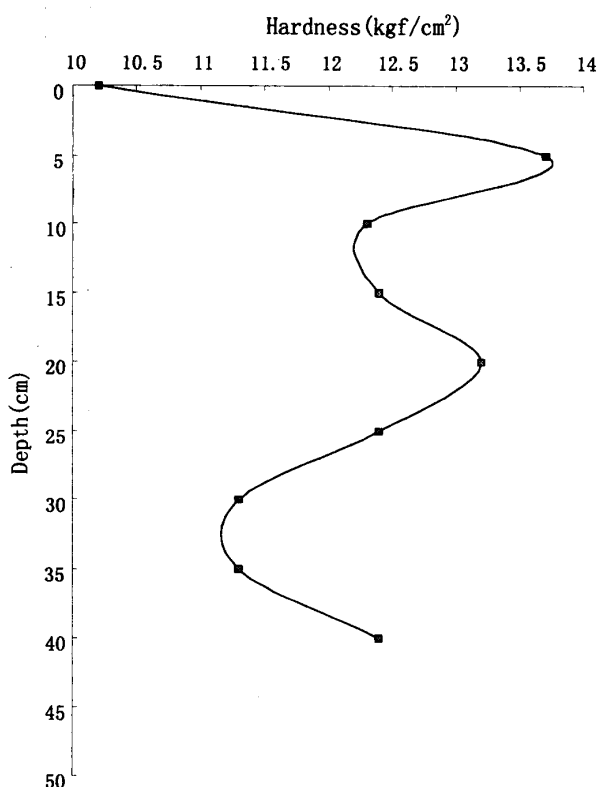


Fig. 2. The hardness of tested field.

2. 実験ほ場の土壌硬度および含水比

土壌硬度は、SR-2型土壌抵抗測定器により円錐貫入抵抗を測定した。荷重測定用パネは50kgf用、貫入試験器先端部は頂角30度、長さ30mm、直径15.96mm、底面積200mm²のものを使用した。試験は実験ほ場の8点において行い、Fig. 2のような結果を得た。

土壌含水比は同じく実験ほ場の8点においてサンプルを収集したところ平均44%であった。

3. 実験装置

実験に使用するトラクタ (K 社 GL23) の仕様を Table 2に示す。トラクタには左右後車軸トルク、けん引力、燃料消費量を測定するために、ストレインゲージ、スリップリング、フュエルメータを取り付けた。けん引力、左右後車軸トルクはストレイン

Table 2. Specification of tractor

Tractor model		23PS
Drive mode		2WD 4WD
Ballast	Total static load	1120kgf
	Front static load	360.53kgf
	Rear static load	759.47kgf
Tyre size	Front	6-14-4PR
	Rear	9.5-24-4PR
Wheel base		1550mm

メータで増幅させ、これらのデータはデータレコーダによって記録した後解析した。

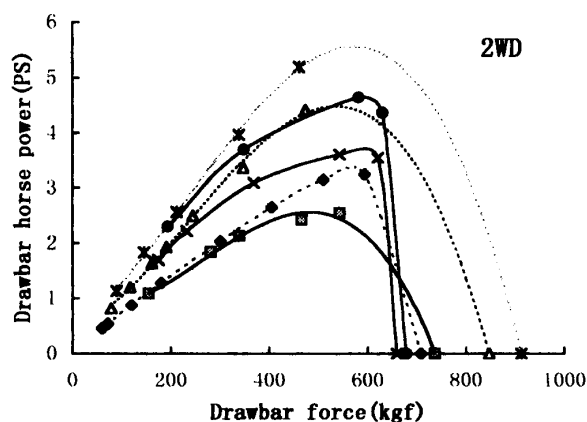
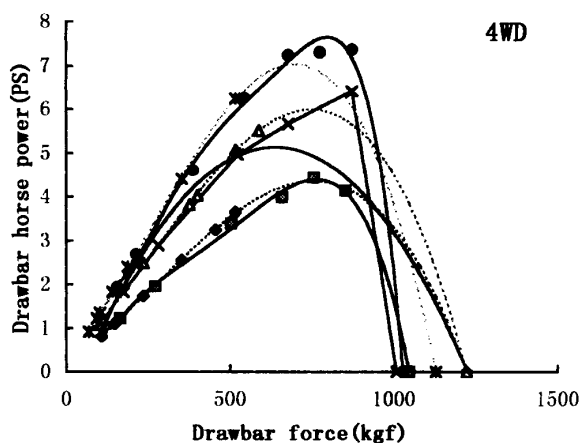
4. 実験方法

実験は路面状態による比較のために、アスファルト路面と実験ほ場で行い助走区間 5 m、測定区間 20 mで行った。供試トラクタはエンジン回転速度を 2500rpmで一定とし、4 輪駆動、2 輪駆動モードの Low-1, 2, 3速の3段階でそれぞれ変化させた。制動トラクタはブレーキを固定してけん引負荷をかけて供試トラクタのスリップ率が100%になるまで徐々に負荷を上昇させた。

結果および考察

1. けん引力およびけん引出力

Fig. 3にけん引力とけん引出力の関係を示す。け



--◆-- 1st Gear (Asphalt) —■— 1st Gear (Field)
 ...▲... 2nd Gear (Asphalt) —×— 2nd Gear (Field)
 ...*... 3rd Gear (Asphalt) —●— 3rd Gear (Field)

Fig. 3. The relations between drawbar force and drawbar horse power in both traction modes.

けん引力は、アスファルト路面において2速で最大値を示し、4輪駆動は1222kgf、2輪駆動では846kgfと、4輪駆動は2輪駆動の1.4倍であった。また実験ほ場では1速でけん引力は最大値をとり、4輪駆動は1046kgf、2輪駆動では736kgfと4輪駆動は2輪駆動の1.4倍であった。4輪駆動と2輪駆動を比較すると、アスファルト路面、ほ場ともに最大けん引出力の増加割合は同じであったが、同じ駆動方式においては4輪駆動、2輪駆動ともにアスファルト路面におけるけん引力がほ場でのけん引力の約1.15倍を示した。

最大けん引出力はアスファルト路面、実験ほ場において3速で発生し、アスファルト路面において4輪駆動は7.5PS、2輪駆動は5.4PSであり、4輪駆動は2輪駆動の1.4倍であった。実験ほ場において

は、4輪駆動では7.3PS、2輪駆動では4.5PSであり、4輪駆動は2輪駆動の1.6倍であった。また実験ほ場でのけん引出力は、アスファルト路面のそれよりも最大点から急激に降下していた。

2. スリップ率、後車軸トルク

Fig. 4(a)~(d)はけん引力に対するスリップ率、後車軸トルクの関係をもとめたものである。

スリップ率はアスファルト路面、実験ほ場ともに4輪駆動の場合が2輪駆動の場合よりもはるかに少なく、等しいスリップ率におけるけん引力はアスファルト路面では4輪駆動は2輪駆動の約2倍、実験ほ場においては約2~3倍に達していた。

後車軸トルクは等しいけん引力においてアスファルト路面、実験ほ場共に2輪駆動は4輪駆動の約50%の値を示していた。また4輪駆動では2輪駆動に

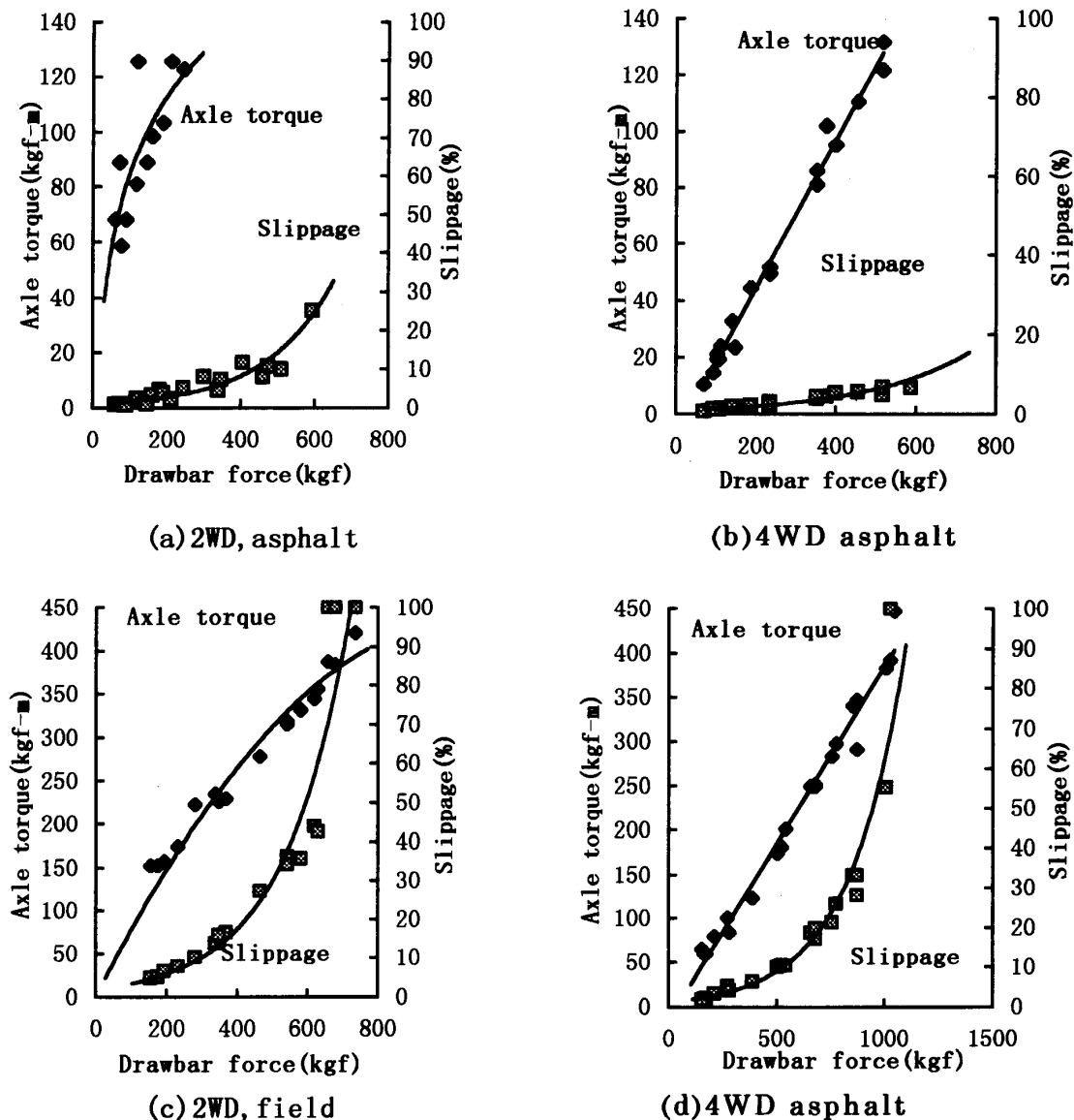


Fig. 4. The relations between drawbar force and slippage, rear axle torque.

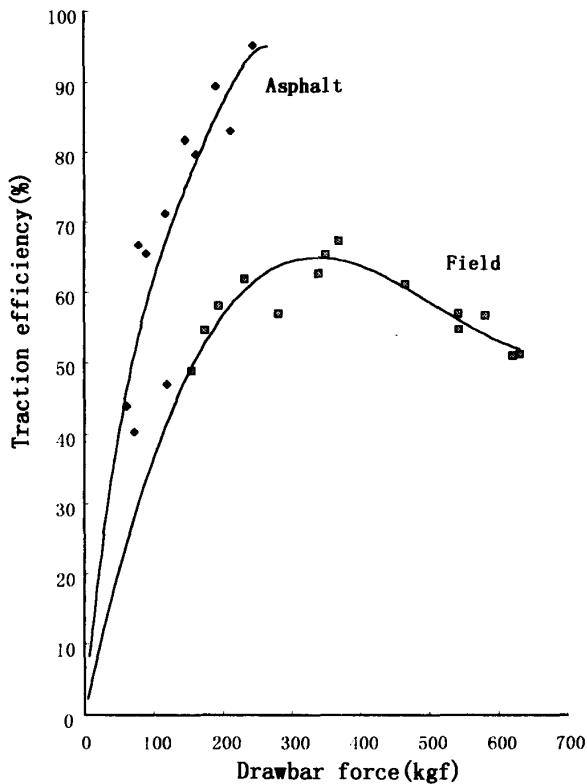


Fig. 5. The relation between drawbar force and traction efficiency with two wheel drive on asphalt and the field.

比較して直線的に増加する傾向を示していた。

3. けん引効率

Fig. 5は2輪駆動でのアスファルト路面、実験ほ場においてのけん引力とけん引効率の関係を示したものである。アスファルト路面で最大けん引効率は95%と高い数値を示した。実験ほ場においてはけん引効率は最大で67%を示し、それ以降緩やかに下降する傾向を示した。

4. 燃料消費量

Fig. 6にけん引力と燃料消費量の関係を示す。

燃料消費量はアスファルト路面、実験ほ場においての差は小さくほぼ同じ数値を示した。等しいけん引力について比較してみると燃料消費量は主変速の増加と共に増加した。また2輪駆動において3速の増加率が高かった。

要 約

小型トラクタのけん引性能を把握するため、アスファルト路面、実験ほ場において4輪駆動、2輪駆動での比較実験を実施した。実験条件はエンジン出力を一定での主変速3段階で行い、以下の所見を得

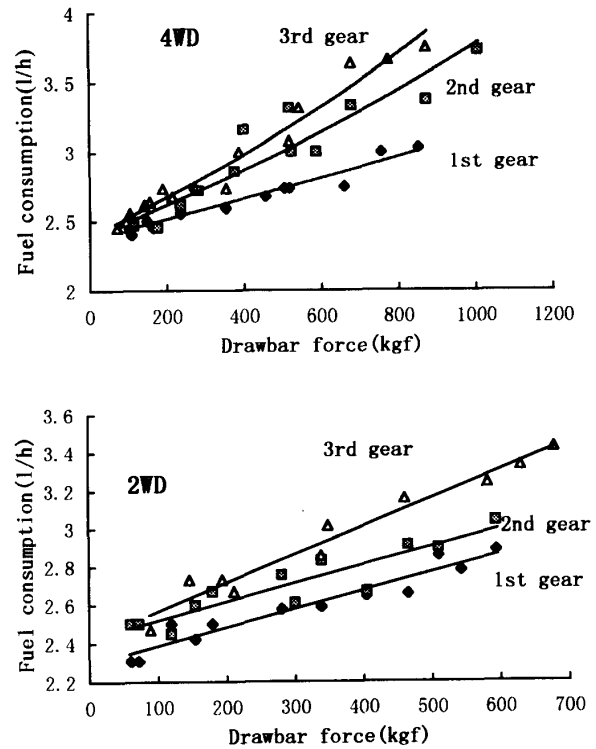


Fig. 6. The relation between fuel consumption and drawbar force.

た。

1. けん引力は、アスファルト路面において2速で、実験ほ場では1速で最大値をとり、4輪駆動は2輪駆動に対してそれぞれ1.4倍、同じ駆動方式においては4輪駆動、2輪駆動ともにアスファルト路面は実験ほ場の約1.15倍のけん引力であった。

2. 最大けん引出力はアスファルト路面、実験ほ場共に3速で発生し、アスファルト路面において、4輪駆動は2輪駆動の1.4倍、実験ほ場においては、1.6倍であった。また実験ほ場でのけん引出力は、アスファルト路面におけるよりも最大点から急激に降下した。

3. スリップ率はアスファルト路面、実験ほ場ともに4輪駆動の場合が2輪駆動の場合よりもはるかに少なく、等しいスリップ率におけるけん引力はアスファルト路面では4輪駆動は2輪駆動の約2倍、実験ほ場においては約2~3倍に達した。

4. 後車軸トルクは等しいけん引力においてアスファルト路面、実験ほ場共に2輪駆動は4輪駆動の約50%の値を示した。

5. 最大けん引効率は、アスファルト路面で95%と高い数値を示した。実験ほ場においては、67%で最大けん引効率を示した。

6. 燃料消費量はアスファルト路面, 実験ほ場においての差は小さくほぼ同じ数値を示した. 等しいけん引力について比較してみると燃料消費量は主変速の増加と共に増加した.

文 献

1) 岸田義典: 農業機械年鑑 (平成4年), 新農林社, 72 (1992)

2) 金須正幸, 国府田佳弘, 八木 茂, 瀬山健次: 乗用トラクタの走行, けん引および耕うん性能に関する研究. 農業機械化研究所, 69-74 (1966)

3) Sakurai, H.: Performance test method for drawbar pull. *JICA, TIATC Textbook*, 5-13 (1990)

4) Smith, J.B.: Tractors and their power units. Third edition, Agricultural engineering textbook series, *ASAE*, 244-250 (1988)

Summary

The drawbar-pull characteristics of the small sized tractors with the 4 wheel-drive- and 2 wheel-drive-modes, were comparatively investigated both on the asphalt pavement and on the test field.

1. On the asphalt pavement, the maximum drawbar force was obtained at the second gear, which on the test field it was obtained at the first gear. The drawbar force of the 4WD-mode was 1.4 times as large as that of the 2WD-mode, and, in both of these modes, the drawbar-force on the asphalt pavement was 1.15 times as large as that on the test field.

2. Both on the asphalt pavement and on the test field, the maximum drawbar horse power was obtained at the third gear. The drawbar horse power of the 4WD-mode was 1.4 times as large as that of the 2WD-mode on the asphalt pavement, and that of the former was 1.6 times as large as that of the latter on the test field. Moreover, the drawbar horse power on the test field began to decrease out of the maximum point for more drastically than that on the asphalt pavement.

3. Both on the asphalt pavement and on the test field, the slippage in case of the 4WD-mode was far smaller than that in case of the 2WD-mode. Provided that the slippage was the same, on the asphalt pavement, the drawbar force of the 4WD-mode was about 2 times as large as that of the 2WD-mode, and on the test field that of the former was about 2~3 times as large as that of the latter.

4. Under the same drawbar force, both on the asphalt pavement and the test field, the rear axle torque of the 2WD-mode showed nearly 50% of that of the 4WD-mode in the value.

5. The maximum tractive efficiency showed the high percentage of 95 on the asphalt pavement, showing somewhat moderate percentage of 67 on the test field.

6. Fuel-consumption showed almost the same value both on the asphalt pavement and on the test field with regard to the both drive-modes. When the comparison was made in the cases in which the drawbar force was equal, the fuel-consumption was noted to be increased with the increasing of the main gear ratio.