

トラクタ作業の操縦量について(第2報)

トラクタの定常円旋回における保舵力

遠藤俊三・西村 功*・笹尾 彰

(農業機械学 研究室)

Received July 1, 1973

On the Steering Labor of Tractor Operator (II)

Steering Force During Regular Circular Turn

Shunzo ENDO, Isao NISHIMURA* and Akira SASAO
(Laboratory of Agricultural Machinery)

To obtain the characteristics of steering force of the tractor during the turn, we conducted the experiments of the regular circular turn of the tractor—the normal turn without applying the brake, and the braking turn—on the asphalt pavement and field, and obtained the results as follows.

In the normal turn

1. The inside horizontal slip angles of a centroid and front wheels increased with the decrease of the turning diameter.
2. The steering force increased with the decrease of the turning diameter and with the increase of the velocity and the centripetal acceleration.
3. The steering labor generally increased with the increase of the turning diameter except the tractor that generated the large steering force during the rapid turn.

In the braking turn

4. The ratio of the braking turning diameter to the normal turning diameter increased with the decrease of the turning diameter.
5. The steering force in the braking turn was very small or worked in the opposite direction (inside direction) in contrast with that in the normal turn, and it was affected by the turning diameter and the turning velocity.
6. In spite of the decrease of the steering labor in the braking turn, the normal turn was better than the braking turn in order to decrease the operating labor (steering labor + braking labor), because the braking labor was far larger than the steering labor.

ま え が き

トラクタ作業において、旋回操作は実作業からみれば、これに付随した空転の作業行程で、それに要する時間は損失時間として、一般に評価され、圃場作業量を向上させるためには、その回数や旋回法の検討が必要とされる。しかし、旋回作業は単に時間的な損失を意味するだけでなく、オペレータの作業強度もかなり実作業時に比べて大きいと推定される。この理由とし

* 神戸大学農学部

て旋回するためには油圧揚げレバー、アクセル、ハンドル、ブレーキなどトラクタのコントロール装置を操作することがあげられよう。また、旋回法も圃場区画、形状、傾斜度、作物の種類あるいは耕法によって数種類あり、それぞれの旋回法で操作の難易度、仕事量に差異がある。この報告は、とくにトラクタ旋回においてオペレータが必要とする操舵の特性を明らかにする一実験として、アスファルト路および圃場を用いて、ブレーキを使用しない通常旋回とブレーキを使用した制動旋回をハンドル角を固定した定常円旋回法によって実験し、保舵力の特性を明らかにするようにつとめた。この実験に当り当研究室の須藤繁雄教官に協力を得たので、ここに深謝する。

実 験 方 法

1. 供試トラクタ

フィアット 415 乗用ホイール形トラクタ（トラクタ A）を用いた。このトラクタの使用時の諸元は、全長 2820 mm, 全巾 1500 mm, 全高 1920 mm, 軸距 1920 mm, 前輪の輪距 1310 mm, タイヤ 6.00—16・4 PLY, 空気圧 2.0 kg/cm², 後輪の輪距 1200 mm, タイヤ 11—28・4 PLY, 空気圧 0.8 kg/cm², 最大出力 45/2500 PS/r. p. m で、これにホクノー式 16"×2 連ボトムプラウを装着して用いた。なお、このトラクタの前輪アライメントは左車輪、右車輪の順にみてキャスト 3.0 deg, 2.5 deg, トーイン 15 mm（前 1165 mm, 後 1180 mm）である。トラクタの重量配分は、トラクタ+プラウのとき、前輪 461 kg, 後輪 1305 kg で、前輪重量配分割合は 26.1%（トラクタ単体 38.8%）となった。さらに、第 1 報で供試したトラクタ S—1100 乗用ホイール形トラクタ（トラクタ B）もあわせて使用した。このトラクタの前輪アライメントは左車輪、右車輪の順にみてキャンバ 3.2 deg, 2.6 deg, キングピン角 14.5 deg, 11.5 deg, キャスタ 7.0 deg, 8.0 deg, トーイン 20 mm（前 1045 mm, 後 1065 mm）であった。

2. 実験装置

供試トラクタに第 1 報で記したと同様に操舵力角計、実舵角計および残跡記録装置を装着し、さらにブレーキの踏力を測定できるように旋回側のブレーキペダルに踏力計（共和電業製荷重変換器）を取付けた。トラクタ A の重心位置は後輪軸前方 501 mm, トラクタ B については後輪軸前方 360 mm にあった。

3. 実験場所

岡山大学農学部のアスファルト路および圃場を用いた。圃場は砂壤土で、実験時の土壌含水比は表面下 5 cm で 12.9%, 土壌硬度は SR—II 形土壌抵抗測定器の小コーンで 2~13 kg/cm² である。

4. 実験区および測定法

アスファルト路および圃場を用いて、エンジン回転数をトラクタ A では 1600 r. p. m, 2200 r. p. m, トラクタ B では 2000 r. p. m で使用し、旋回速度、旋回半径はそれぞれ 3 段階にした。

ハンドルはそれぞれの実験角度で固定できるようにしているが、トラクタ A は左円旋回、トラクタ B は右円旋回とした。測定は作業速度が安定した状態から残跡用噴射ノズルによって水を噴射させ、1 旋回して、通常旋回時の保舵力を測定し、さらに急激にブレーキを最大限まで踏み、片側車輪を固着させた状態で 1 旋回して制動旋回時の保舵力を測定した。保舵力、操舵

角、踏力は動歪計を経て、また実舵角は直接電磁オシシログラムで記録した。作業終了後の残跡は巻尺を用いトラクタ前部および後部の残跡用ノズルからの水の流出位置の軌跡を12等分し、その半径を測定して残跡円を記録した。

旋回時のトラクタの姿勢は Fig. 1 に示すように、残跡円上のA, B点を決め、重心点の旋回半径、旋回速度、横すべり角をそれぞれ r, v, β 、各車輪のそれらを $r_1, r_2, r_3, r_4, v_1, v_2, v_3, v_4, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ とし前輪両実舵角を s_1, s_2 とすれば、図から旋回半径はそのまま、旋回速度は各車輪旋回軌跡とその時間から求められ、また横すべり角は $\beta_1 = s_1 + \beta - \phi_1, \beta_2 = s_2 + \beta - \phi_2, \beta_3 = \phi_3 + \beta, \beta_4 = \phi_4 + \beta$ から求めた。以下に示す旋回半径は、ことわりのない限り重心旋回半径を用いて表わした。

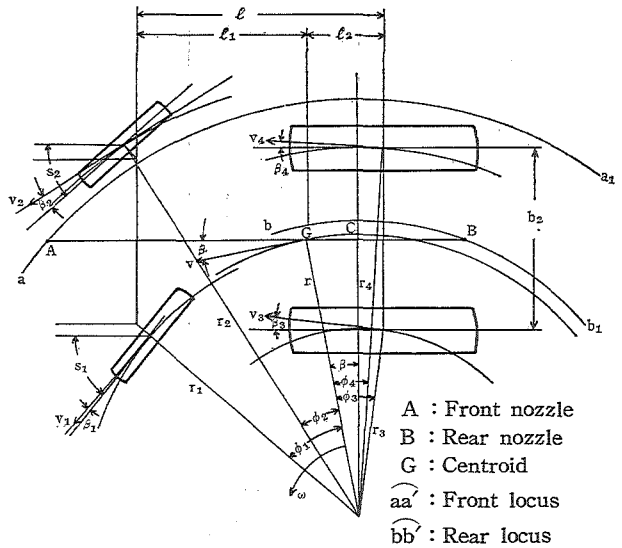


Fig. 1. Situation of tractor during turn

実験結果および考察

1. 旋回半径

トラクタのハンドルを一定の角度に固定し、定常円旋回を行なうとき、通常旋回と制動旋回では旋回半径が異なる。その1例を示すと Fig. 2 の通りで、これはアスファルト路面で、旋回速度が1.0~1.3m/sec の場合を示し、制動旋回の旋回半径 r は通常旋回の3分の2程度になる。

いま、トラクタの両前輪平均実舵角と旋回半径との関係を示すと Fig. 3, Fig. 4 の通りである。

トラクタイAを用い、アスファルト路では Fig. 3 a のようにハンドル角、すなわち実舵角の増大とともに旋回半径は小さくなるが、制動旋回ではさらに縮小する。いま、制動旋回半径を通常旋回半径で除した旋回半径比でみると、実舵角が大きい小旋回するときほど、その比は大きく、ブレーキ使用による制動の効果が少ないが、実舵角が小さい旋回になるほど旋回半径比は小さくなって、制動の効果が大きい。これは、Fig. 3 b のように圃場でも同様の傾向を示すが、旋回半径比はアスファルト路の場合より小さく、ブレーキの使用は急旋回をおこすことになって効果的となる。Fig. 4 に示すトラクタBの場合にも同様の傾向を示した。

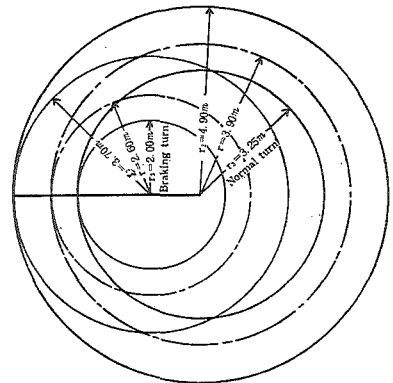


Fig. 2. Example of turning diameter

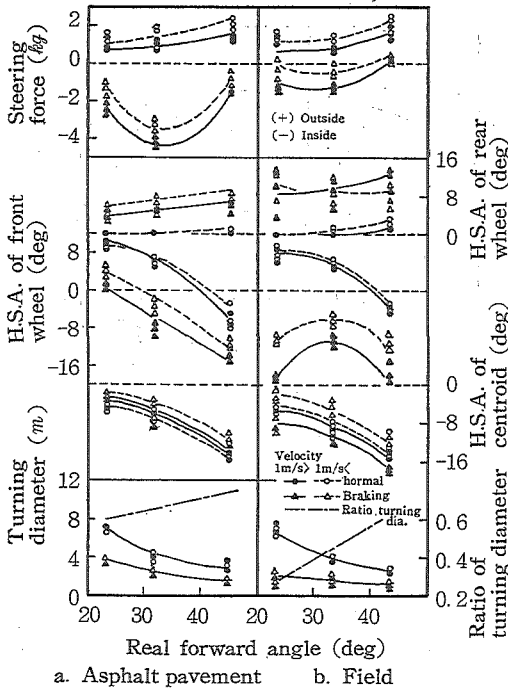


Fig. 3. Turning diameter, horizontal slip angle (H.S.A.) and steering force vs. real forward angle of front wheels (Tractor A)

2. 横すべり角

一般にトラクタの操向機構を簡易に検討するときは遠心力=0, 旋回速度=0, これに対応する求心力のコーナリング・フォースは考えないものとし, 各車輪は横すべりが無いという前提にたつ. このとき, 重心は内すべりをすることになるが, 旋回中心は後輪の延長線上にある.

しかし, トラクタの枕地などの旋回では, 旋回半径がごく小さく, 旋回速度も 0.5~1.0m/sec の低速で, 路面あるいは圃場の条件によってはタイヤが滑り易く, また, 操向機構の特性などから, 実際にトラクタが旋回するときは各タイヤは横すべりを起す.

いま, トラクタを定常円旋回をさせたときの実舵角と重心横すべり角, 両前輪平均横すべり角, 両後輪平均横すべり角との関係を Fig. 3, Fig. 4 から考察すれば次の通りである.

トラクタA, アスファルト路, 通常旋回においては Fig. 3a のように重心横すべり角が一般に内すべりとなり, 実舵角の増大とともに内すべり角も増大する. また, 前輪横すべり角は実舵角の増大とともに外すべりから内すべりに変わる. さらに, 後輪横すべり角は, ほとんど 0 に近く, 旋回中心は後輪軸線の延長上にある. 制動旋回では, 通常旋回に比較して, 重心横

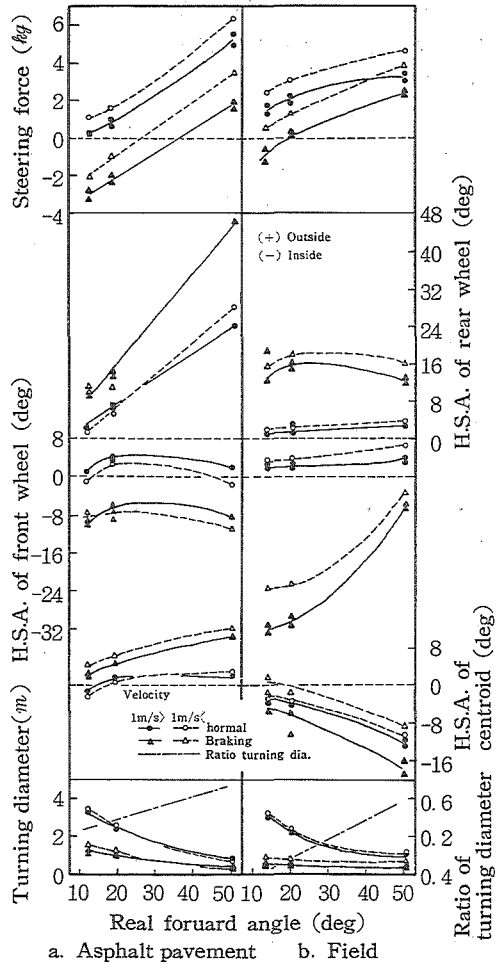


Fig. 4. Turning diameter, horizontal slip angle (H.S.A.) and steering force vs. real forward angle of front wheels (Tractor B)

すべり角には大差がないが、前輪横すべり角は内すべりに増大し、後輪横すべりに増大する。これは後輪外側車輪の駆動力によって強制的にトラクタ姿勢に対して内側にすべりを生じさせることを表わしている。

圃場においては Fig. 3 b のように、通常旋回は重心横すべり角、前輪横すべり角、後輪横すべり角がアスファルト路のときと同様の傾向を示すが、とくに後輪横すべり角は実舵角が増大し、旋回半径が小さくなるほど路面の影響によって外すべりが多くみられる。制動旋回でも重心横すべり角は通常旋回のときと同様の傾向を示すが、その数値は路面の不整一からかなりの変動がみられた。また、前輪横すべりも実舵角の小なるときや大なるときに内すべりを増大し、その間に前輪横すべり角の小なるときがある。これは、旋回半径の大きい旋回時でもブレーキの制動力を加えると圃場では急旋回ができることをしめしている。また、後輪横すべり角は制動旋回に比較して大きい値を示す。

トラクタ B、アスファルト路、通常旋回は Fig. 4 a のように重心横すべり角が内すべりをおこすときは実舵角が小さく、旋回半径が 6 m 程度に大きいときで、実舵角の増大とともに外すべりに変る。しかし、一般に重心横すべり角の変動は小さい。また、前輪横すべり角は 0 に近く前輪の実舵角は旋回方向に向くようになっている。しかし、後輪横すべり角は実舵角の増大とともに直線的に大きくなり、旋回中心はトラクタの前方側に移動することがわかる。また、制動旋回では、通常旋回に比較して重心横すべり角は外すべり状態となり実舵角の増大とともに増し、反対に前輪横すべり角は内すべり状態となる。後輪横すべり角はさらに増大する。

圃場では Fig. 4 b のように通常旋回の重心横すべり角は実舵角の増大とともに内すべり角が増加し、前輪横すべり角は外すべり状態に、後輪横すべりはアスファルト路のときより小さくなる。制動旋回の重心横すべり角は通常旋回と同様の傾向を示すが、前輪横すべり角では実舵角が小さく旋回半径が大きくなるほど内すべりが増大する。このため後輪横すべり角は、アスファルト路の場合に比して小さく、また実舵角によって増減が少なくなる。

以上のことからトラクタの姿勢、横すべり角はトラクタの種類によって、路面の状態、ブレーキ使用の有無によって大きく変わってくるのがわかる。

3. 保 舵 力

ハンドルを固定し、トラクタを定常円旋回させたときの、保舵力の変動状況を例示すると Fig. 5 の通りで、図の左側の通常旋回は重心旋回半径 6.7 m、旋回速度 1.17 m/sec、右側の制動旋回では 3.1 m、1.19 m/sec である。

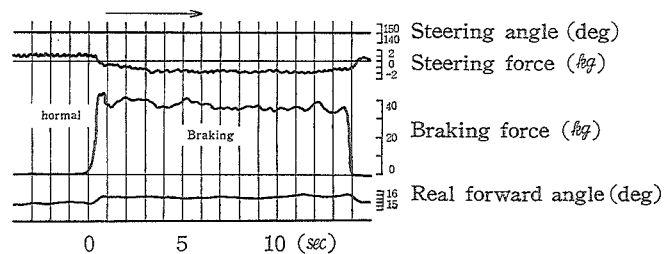


Fig. 5. Example of experimental record

通常旋回では保舵力は外向の

力としてかかるが、制動旋回ではブレーキ踏力を急激にかけて急旋回に入れば保舵力は軽減されるか、または図のように逆に内向の力として働くことになる。このとき、実舵角は操舵機構の弾性、あそびなどの影響を受ける。

1) 実舵角と保舵力

トラクタ A、アスファルト路、通常旋回では、Fig. 3 a のように実舵角の増大とともに保舵

力も漸増する。この傾向は圃場においても同様の傾向を示すが、制動旋回になると保舵力は逆方向となり、また、数値的には或実舵角で最大値となる。

トラクタBにおいては Fig. 4 のように実舵角の増大とともに直線的に増大し、急旋回をすると5～6 kgの力を必要とする。制動旋回では、保舵力は半減するが、旋回半径が大きくなるとともに内向きに変る。

以上のように保舵力もトラクタの種類、路面の状態でかなりの影響をうける。

2) 求心加速度と保舵力

トラクタ重心点の旋回速度 v と旋回半径 r とから計算により求めた求心加速度 v^2/r と保舵力との関係を図示すると Fig. 6 の通りで、求心加速度と保舵力との間には直線的関係のあることを知る。これは、自動車においても、低速時には、この両者の間には比例的関係があるとされ、トラクタの場合にも同様のことが確かめられた。一般に普通旋回では、求心加速度の増加とともに外向き保舵力として直線的に増大するので、オペレータがトラクタを操縦するときには内向きの力を加えることになる。制動

旋回では、求心加速度が小さいと内向きの保舵力が働く場合が多いが、求心加速度の増加とともに外向き方向に保舵力が移動するので、制動旋回時のオペレータは、求心加速度の増大ともなって保舵に要する力が軽減されることが多くなる。以上は求心加速度と保舵力との関係を示したが、旋回速度と保舵力との間には当然曲線的関係がみられる。

3) 旋回半径と保舵力

旋回半径と保舵力との関係は Fig. 7 の通りで、トラクタA、アスファルト路においては旋回半径が大きくなるほど保舵力は小さくなる傾向を示し、また旋回速度が大きくなるほど、その値は大きくなる。この傾向は圃場においてもみられ、またトラクタBにおいても同じであるが、とくにトラクタBでは急旋回になるほど保舵力は急増する。圃場ではアスファルト路よりも、その値は低くなる。

制動旋回では旋回半径は、それぞれ小さくなって急旋回になるが、図のように保舵力は小さくなるか、または反対向の力がかかる。

4) 横すべり角と保舵力

トラクタAについて、重心横すべり角と保舵力との関係は Fig. 8 に示す通りで、アスファルト路、圃場とも重心横すべり角の増大とともに保舵力は漸増する。制動旋回では、重心横す

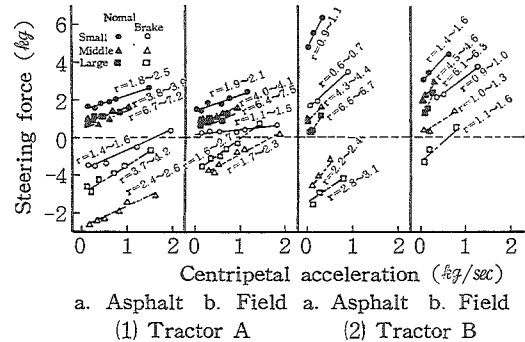


Fig. 6. Relationships between centripetal acceleration and steering force

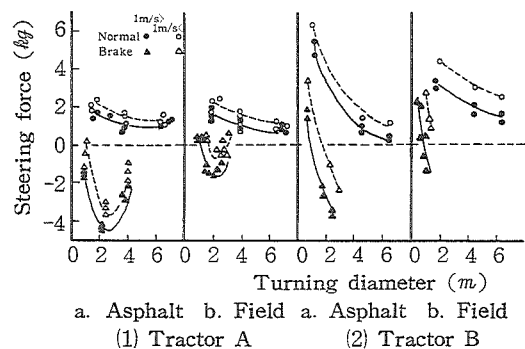


Fig. 7. Relationships between turning diameter and steering force

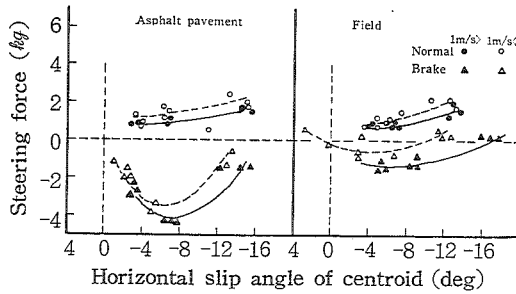


Fig. 8. Relationships between horizontal slip angles of centroid and steering force (Tractor A)

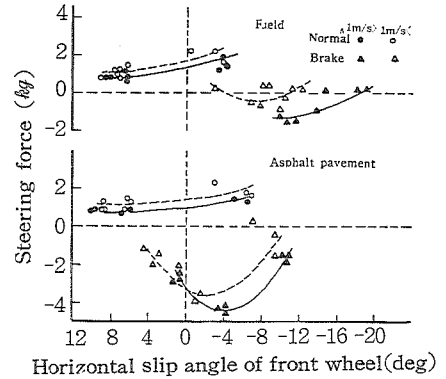


Fig. 9. Relationships between horizontal slip angles of front wheels and steering force (Tractor A)

べり角の或る角度で保舵力は逆方向で最大になる。次に前輪横すべり角と保舵力との関係を示すと Fig. 9 の通りで、重心横すべり角と保舵力との関係と同様の傾向を示す。

4. ブレーキ踏力

トラクタのアクセル操作はレバーによる手動方式とレバーとペダルによる足踏みみの兼用方式のものがある。一般にトラクタ作業ではアクセルレバーによる手動方式をもって操作されるので、旋回時のブレーキの踏込みは、自動車のようにアクセルペダルからブレーキペダルに踏替える操作ではなく、足をステップ上からすぐに左右何れかのブレーキを踏込むことになる。したがって、一般にオペレータは旋回と同時にブレーキを必要とする時期の発見からステップから足が離れるまでの反応時間、ステップからブレーキペダルに足乗りする踏替え時間、さらにブレーキペダルが踏込まれ、ブレーキペダルの動きおよび踏力がブレーキシューに伝えられ、ブレーキライニングとドラム間の間隙がつまり、ブレーキがきき出す点までの踏込時間などを費やす。その後、踏力は最大値になり、大体一定値を示す。Fig. 5 に示した例ではブレーキ踏力はブレーキペダルに足乗りし、踏力が最大値になるまでに約 0.5sec を要していることになる。その後、踏力がゆるまり一定値を持続する。この踏力のかけかたと旋回半径、旋回速度の間には明確な差はみられなかったが、旋回中の踏力はトラクタ A では最大 38kg、最小 18kg、平均 23.8kg、トラクタ B では最大 40kg、最小 26kg、平均 34kg をかけていた。しかし、いずれの場合も片車輪は完全に固定状態が確保され、トラクタ A、B の踏力の差はブレーキ装置の機構差によるものと考えられた。

5. 旋回に要するオペレータの仕事量

トラクタの定常円旋回における旋回時間は Fig. 10 に示すように通常旋回、制動旋回ともに旋回半径に比例して増加するが、各旋回時のオペレータが必要とする仕事量は、定常円旋回 1 回転中の平均保舵力に、その保舵力を維持している間の旋回時間を乗じた値で示すことができる。いま、ブレーキを使用しない通常旋回によって、トラクタ A、アスファルト路では旋回半径の増大とともに保舵力は漸増する。また、旋回速度が大きいほど仕事量は小さくなる。Fig. 7 で示したように旋回半径の小ある程、保舵力は大きい、仕事量として示すと旋回時間の影響によって逆の傾向となる。これは圃場においても同様のことがいえる。トラクタ B のとき

は、旋回半径の増大とともに仕事量が小さくなる傾向にある。この理由はトラクタBの急旋回では、保舵力が急増するため、この影響を強くうけて旋回半径が小さくなる程、仕事量が大きくなっている。また、圃場においては反対にトラクタAと同様の傾向を示す。

次に、制動旋回の場合には、保舵のための仕事量はほとんど内向き方向の仕事量で示され、トラクタAの場合には、アスファルト路、圃場ともに旋回半径と仕事量の間に曲線的関係がみられる。トラクタBでは大体直線の関係になる。さらに、制動旋回でのブレーキ踏力からオペレータが要する仕事量を踏力にブレーキ

使用時間を乗じた値で示すと図の制動の仕事量で、旋回半径が増す程その仕事量は直線的に増大する。この関係はトラクタA、Bともにみられる。

いま、旋回半径を2 mと想定し、旋回速度を0.4 m/sec程度の旋回では、トラクタAでは旋回時間30 sec、通常旋回で保舵の仕事量は内向き45 kg·secを必要とするが、制動旋回では保舵の仕事量は、アスファルト路で外向き120 kg·sec、踏力が約700 kg·secを要することになる。制動旋回では同じ旋回半径においても、仕事量は増大することがわかる。ただ、圃場での保舵の仕事量は内向き60 kg·secとなってアスファルト路の場合より小さくなる。

トラクタ旋回においてブレーキ使用の有無は土壌条件あるいは作業法によっては必要とするが、保舵ならびに制動による仕事量からみれば、できるだけブレーキを使用しない耕法にするのが、オペレータの作業量軽減から望ましいことになる。

摘 要

トラクタ旋回において、オペレータが必要とする保舵力の特性を明らかにするために、アスファルト路および圃場を用い、ブレーキを使用しない通常旋回とブレーキを使用した制動旋回を定常円旋回法によって実験し、次のような結果をえた。

トラクタの通常旋回の場合

1. 旋回半径が小さくなるほど、重心および前輪の横すべり角は内すべりの方向に増加し、保舵力も漸増する。
2. 旋回速度が大きくなると保舵力は増加し、また求心加速度の増加に比例して保舵力は増す。
3. オペレータが保舵のために必要とする仕事量(=平均保舵力×作業時間)は、旋回半径の増大とともに漸増するが、とくに急旋回時に保舵力が大きくなるトラクタでは旋回半径の増加とともに漸減することがある。

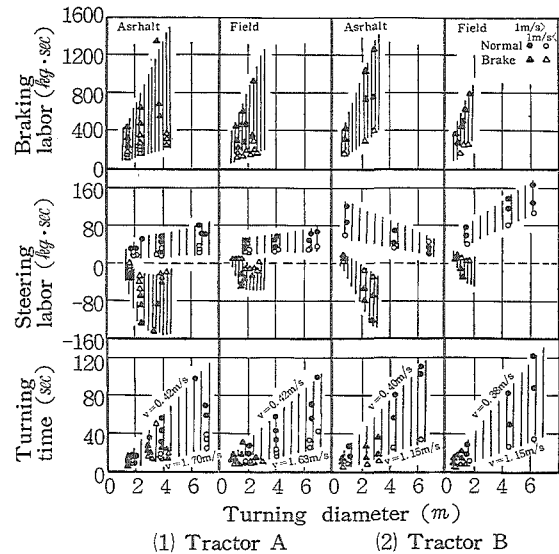


Fig. 10. Operating labor and turning time vs. turning diameter

トラクタの制動旋回の場合

4. 旋回半径比(=制動旋回半径/通常旋回半径)は、通常旋回半径が小さくなるほど大きい値となり、制動により急旋回しようとする効果は少なくなる。

5. 通常旋回における保舵力は、常に外向きに働くのに対して、制動旋回の保舵力は外向きに働く力が軽減されるか、逆に内向きの力として働く。この保舵力の大きさは旋回半径、旋回速度に影響される。

6. オペレータの仕事量を保舵力および踏力による仕事量の和として評価するものとするれば、保舵による仕事量は通常旋回より軽減されるか、または逆方向の仕事量となって増大するが、踏力による仕事量は保舵に要する仕事量よりはるかに大きいことから、常に制動旋回の方が通常旋回の場合より仕事量が大きくなるので、オペレータの仕事量の軽減には通常旋回によるのが望ましい。

文 献

- 1) 近藤政市：基礎自動車工学，前期編（訂正4版），212～232，養賢堂，東京（1968）
- 2) 遠藤俊三・西村 功・笹尾 彰・今井康弘：岡山大農学報（41），85～96（1973）