

偏角をもつトラクタのけん引力

田 辺 一^{*}・中尾清治^{*}・岩尾俊男^{*}

Hajime TANABE・Seiji NAKAO and Toshio IWAO

On the Drawbar Pull of the Tractor
having the Deflection Angle

I 緒 言

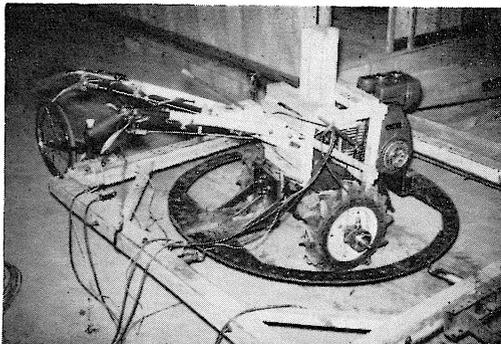
傾斜地を等高線に沿って走行するトラクタは、傾斜下方への横すべりを防ぐために上向偏角をもたねばならないので、平地にくらべてけん引・走行性能が低下する。この研究は偏角をもって走行するトラクタの進行方向に平行な単純けん引負荷を車軸中心にあたえた場合の、車輪の走行抵抗ならびにけん引力発生状況を、純粋転動車輪と駆動車輪に分けて、室内実験的に検討したものである。

II 研究の方法

傾斜地におけるトラクタのけん引力低下の原因は、すでに筆者の実験で明らかにしているように^{(1)~(3)}、車輪の偏角と機体の傾きによる左右駆動車輪の荷重差に根本原因があり、これがトラクタの前進方向への駆動力を減少し、走行抵抗を増大する。差動装置を有する駆動車輪

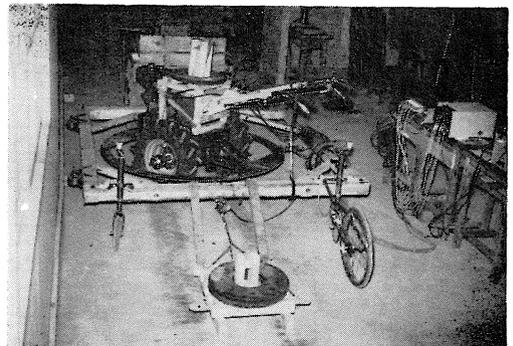
することができないので、ここでは平坦コンクリート路面上で、車輪の偏角のみをもった場合、および左右車輪に荷重差をあたえて差動装置を作用させた場合の走行抵抗およびけん引性能を調査した。

実験装置はけん引点の位置移動による影響をさけるために、トラクタが偏角をもった場合でも、負荷がつねに車輪の中心に作用するよう設計した。第1図・第2図は実験装置で、これを模式的に示したのが第3図である。第3図において装置重量68.0kgの円板④の中央部に、空冷灯油6 P.S./3600 r.p.mのエンジンを搭載した車輪を除く重量144.6kgの2輪トラクタを固定してある。円板は5°間隔にけん引桿を装着できるようにしてあるので、直角方向の2個のロードセル(DとSrあるいはPとSp(n))を介して保持枠⑥に固定できる。この場合2個のロードセルのけん引方向の交点がトラクタの車軸中心にくるようにしてある。



第1図 実験装置

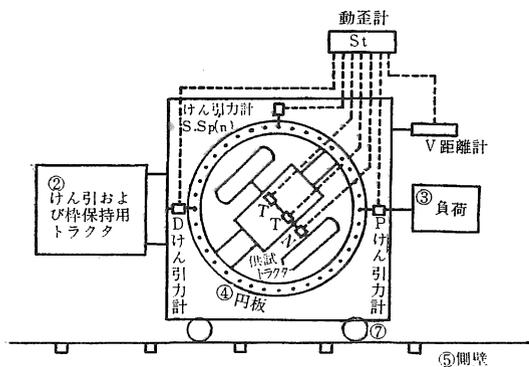
では、その作動原理にもとづくけん引力低下を誘発する。しかしながら傾斜地現地における実験では、これら作用の複合によるけん引・走行性能を調査せざるを得ない。したがって個々の作用因子による影響を明確に把握



第2図 実験装置

保持枠は側壁によって一方向のみしか前進できないので、トラクタの前進方向と車軸面の方向角、すなわち偏角 α が0~90°の間で5°間隔に任意の角度で保持される。このときの前進方向のけん引抵抗Dまたはけん引力Pと、横方向の力(ここでは供試トラクタを他のトラクタ②でけん引したときの横方向の力を回転押圧力Sr,

^{*} 農業機械工学研究室



第3図 実験装置

供試トラクタを駆動して負荷③をけん引したときのその力を押圧力 $Sp(n)$ とする) を測定する。保持棒の前後移動を滑かにするため、側壁との間にすべり車⑦を挿入したが、すべり車の前進方向に対するころがり抵抗は無視できるほど小さい。

供試機は、偏角のみをもつ車輪のテストの場合は左右車輪の車軸は直結されているが、差動装置を働かせる場合は左右車輪の車軸の中間に内部摩擦が比較的小さいと考えられる軽4輪自動車の差動装置を挿入した。車輪荷重はトラクタの上部および左右車輪の上部に積載台をおき、0~100kgの錘をのせるようにした。差動装置を

第1表 差動装置実験用車輪荷重 (単位kg)

積載荷重		内側車輪	外側車輪	実験装置自重	荷重差	荷重差率
内側	外側	重量 W_2	重量 W_1	W	$ W_1 - W_2 $	$\lambda = \frac{ W_1 - W_2 }{W_1 + W_2}$
0	0	112.0	112.0	224.0	0	0
0	20	105.3	137.5	242.8	32.2	13.2
20	0	137.5	105.3	242.8	32.2	13.2
0	40	100.4	161.8	262.2	61.4	23.4
40	0	161.8	100.4	262.2	61.4	23.4
0	60	94.6	185.9	280.5	91.3	32.6
60	0	185.9	94.6	280.5	91.3	32.6
0	80	89.7	209.7	299.4	120.0	40.0
80	0	209.7	89.7	299.4	120.0	40.0
20	60	120.5	178.9	299.4	58.4	19.1
60	20	178.9	120.5	299.4	58.4	19.1
40	40	149.7	149.7	299.4	0	0

働かせる場合の左右車輪の荷重および荷重差は第1表のとおりである。

Vおよびnは回転計で、車軸回転力、前進および横方向のけん引力とともに電磁記録装置Stに同時記録した。(註。車輪回転数、車軸回転力による考察⁽⁴⁾⁽⁵⁾はこの論

文では記載していない。)

供試車輪は 4.00—7・4.00—9・4.00—10・4.00—12・5.00—12・6.00—12・8.00—12¹⁾ (4.00—12 をダブルタイヤとして使用) の農用ゴム車輪であるが、実験結果から、この程度の大きさの車輪の種類では後述の種々の係数の変化は僅かであった。また測定値は実験条件ごとに比較しやすいように、それぞれ全装備重量で除して、けん引抵抗係数 D/W 、けん引係数 P/W 、回転押圧力係数 Sr/W 、押圧力係数 $Sp(n)/W$ として検討した。

厳密な測定によれば、走行速度・タイヤの空気圧等車輪の状態によってけん引・走行性能はことなり⁽⁶⁾⁽⁷⁾、この研究でも偏角が0~5°においてその差異が発見できた。しかしながら偏角が10°以上になるとけん引力・回転押圧力・押圧力ともに偏角による影響がころがり抵抗より強くあらわれたので、ここではこの考察を省略し、供試トラクタをけん引した場合のけん引速度を 0.15m/sec、駆動時の走行速度を 0.23m/sec (偏角0°、無負荷時) とし、タイヤの空気圧を 1.2 kg/cm² とした。

III 実験結果および考察

1) 供試トラクタをけん引した純粋転動車輪についてけん引されるトレーラの車輪および4輪トラクタの前車輪に相当し、車輪には駆動力および制動力が作用しない場合である。

i) 車輪が偏角のみをもつ場合

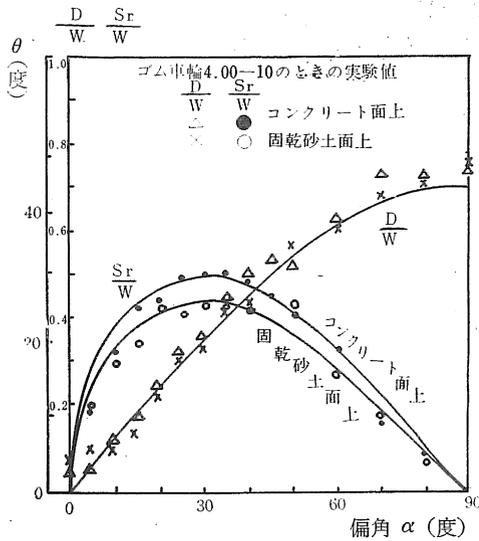
第4図は 4.00—10 ゴム車輪について、全装備重量 228.6kg のときの偏角とけん引抵抗係数 D/W 、および回転押圧力係数 Sr/W の関係をあらわしたものである。

けん引抵抗係数 D/W は、偏角が0°に近いところではころがり抵抗係数が大部分をしめるが、偏角が大きくなるにつれてすべり抵抗係数が次第に増加し、偏角が90°になると車輪は回転しなくなり、路面とゴム車輪のすべり抵抗係数(摩擦係数)のみとなる。したがって偏角が小さい間は車輪の状態によるころがり抵抗の差異による影響があらわれ、実験式には通常補正項を必要とするが、ここでは偏角を主体として検討しているため補正項を省略すると、実験式は単に偏角のみの函数としてあらわすことができる。

$$D = K_1 W \sin \alpha \quad (1)$$

ここに K_1 は車輪および路面の状態によって変わる値であるが、この研究では車輪の種類・車輪荷重の変化にかかわらずあまり変化せず、ほぼ $K_1 = 0.60 \sim 0.80$ であった。

横方向の回転押圧力係数は、同図に示すように予想外に大きく、また偏角が25~30°付近で最大値を示した。



第4図 偏角とけん引抵抗・回転押圧力係数

これは車輪が回転することによって誘発される力で、傾斜地ではトラクタの傾斜下方への横すべりを防止し、上向偏角の減少に役立つものである。実験式はけん引抵抗係数と同様の偏角の関数としてあらわし、次式を得た。

$$Sr = K_2 W \sin A \alpha^{\frac{1}{B}} \quad (2)$$

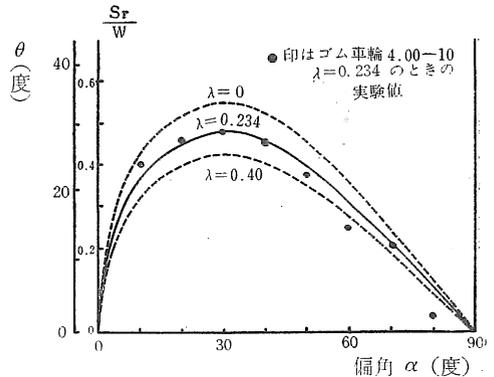
ただし α を度数であらわした場合、 $A = 2 \times 90^{1-\frac{1}{B}}$ 、 $B = 1.6$ であった。 K_2 は車輪の種類、車輪荷重の変化にかかわらず変化は少なく、ほぼ $K_2 = 0.45 \sim 0.55$ であった。

ii) 差動装置を有する場合

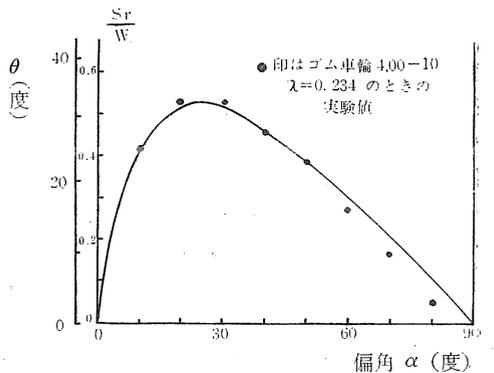
4輪トラクタはほとんど例外なく差動装置を装着し、左右車輪に荷重差または走行抵抗差が生じた場合は、差動装置が作動し、けん引力が減少する⁽²⁾⁽³⁾。これは差動装置が作動した場合のけん引力が、軽荷重側車輪のけん引力の大きさによって制限されるからである⁽²⁾⁽³⁾。また差動装置を有するトラクタであっても、傾斜地では横すべり防止のために偏角を必要とし、トラクタは差動装置の働きと偏角の両者によってけん引力が減少する。

このような車輪装置を他のトラクタでけん引した場合のけん引抵抗係数 D/W は i) の場合と変わらない。これは左右車輪のトルク差、したがって回転数差が少なく、また差動装置には内部摩擦が存在するので⁽³⁾⁽⁵⁾、差動装置が働くまでには至らないからであろう。

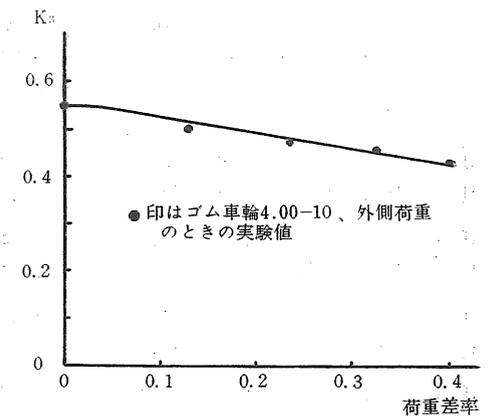
しかしながら回転押圧力係数 Sr/W は車輪荷重の状況によって変化する。第5図および第6図は、4.00-10 ゴム車輪で、荷重差率 $\lambda = 23.4\%$ の場合を代表に示してある。第5図は第3図において、トラクタの前進方向に



第5図 偏角と回転押圧力係数 (外側荷重のとき)



第6図 偏角と回転押圧力係数 (内側荷重のとき)



第7図 荷重差率と K_3 (外側荷重のとき) の関係

対して右側 (以下外側という) 車輪の荷重が増加した場合で、傾斜地ではトラクタの傾斜によって谷側車輪の荷重が増加する場合に相当する。第6図は左側 (以下内側という)、傾斜地では山側車輪の荷重が増加した場合に相当し、重心移動装置を用いて極端に山側に重心を移動した場合に現われる状態である。いずれにしても実験式は(2)式と同一式であらわすことができるが、荷重差によって係数 K_2 および B が変化する。この場合の係数をそ

れぞれ K_3 , C とすると, 外側車輪の荷重が大きくなり, しかも荷重差率が大きくなるにしたがって, その最大値を示す偏角の位置はあまり変わらないが, 係数 K_3 は第7図に示すように減少する。これに反し, 内側車輪の荷重が大きくなり, しかも荷重差率が大きくなると, K_3 の値の変化は少ないが, その最大値を示す偏角の値が小さくなり, C の値は荷重差のないときよりやや大きくなる。第6図の場合はほぼ $C=1.8$ である。

回転押圧力係数が上述のように変化することは, 車輪荷重が増加した場合は前項 i) に示したようにけん引抵抗が増大し, したがって機体を重荷重車輪側へ回転しようとする回転モーメントが発生するからであろうと考えられる。しかしながら今回の実験装置ではこの回転を許さず, したがって左右車輪の回転数差も少なく, 差動装置も作動しないので, この実験のみからこの理由を説明することは困難である。

以上のことから, 左右車輪に荷重差が存在する純粋転動車輪の場合は, 内側すなわち山側車輪に多くの荷重がかかるようにすれば, 偏角はわずかながら減少し, それだけけん引抵抗を少なくすることができるといえる。

iii) 傾斜地におけるトラクタの必要な偏角およびけん引抵抗

傾斜地で純粋転動車輪が走行する場合は, その重量の正弦に比例する傾斜面下向力 H が発生する。すなわち

$$H = W \sin \theta \tag{3}$$

ただし θ は圃場傾斜角度。この H がトラクタを横すべりさせる原動力となる。

2輪トラクタ用車輪を用いた実験値を, 大型4輪トラクタ用車輪の範囲にまで拡大解釈することは問題があるかも知れないが, (3)式で示される傾斜面下向力を, (2)式で示される回転押圧力がひき受けるとして, 両式を等値することによって任意の傾斜地における必要な偏角 α —トラクタの前輪の場合は前輪操舵角—を求めることができる。すなわち

$$(2)式より \quad Sr = K_{2or3} W \cos \theta \sin \alpha^{1/BorC} \tag{4}$$

(4)式と(3)式を等値して

$$\alpha = \left\{ \frac{1}{A} \sin^{-1} \frac{\tan \theta}{K_{2or3}} \right\}^{BorC} \tag{5}$$

(5)式を用いて圃場傾斜角と前輪操舵角の関係を求めると第2表のとおりで, 傾斜地現地における実測値⁽⁷⁾ (前輪の横すべり角) に近似の値を得た。

以上の値は第4図~第6図において, θ の位置に相当する Sr/W を求め, そのときの偏角 α の値を求めても同様である。

またこのときの車輪の等高線方向の走行抵抗の大きさ

第2表 前輪操舵角計算値

圃場傾斜度 θ (度)	5	10	15	20	備 考
操 舵 角 α (度)	0.9	2.8	6.2	12.2	$K_3=0.5$ 車輪 荷重差を考慮
〃	2	3.3	7.0	12.3	$K_3=0.45$ 車輪荷 重差を考慮せず

注. 鉛直車輪荷重 644kg のとき

は, 第4図で第2表に示す偏角に相当する D/W を図上で求めるか, または次式で計算することができる。

$$D = K_1 W \cos \theta \sin \alpha \tag{6}$$

走行抵抗の計算結果を第11図に示す。

2) 駆動車輪について

傾斜地でトラクタが作業を行なう場合に相当し, 1)と同様測定値を全装備重量で除した係数で検討する。

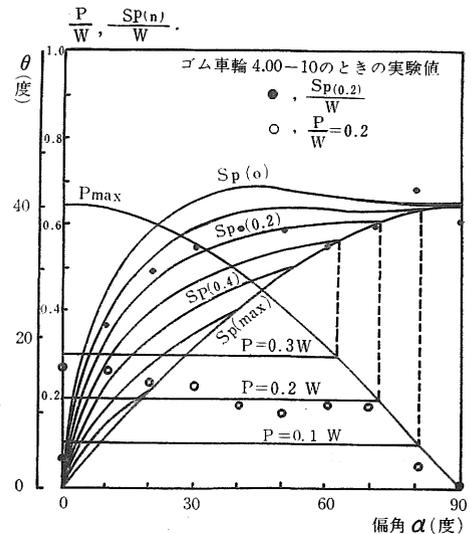
i) 車輪が偏角のみをもつ場合

第8図は 4.00—10 ゴム車輪について, 全装備重量 228.6kg のときの偏角とけん引係数 P/W , および押圧力係数 $Sp(n)/W$ の関係を示したものである。図中 P_{max} および $Sp(max)$ は車輪が粘着している場合を示し, ともに偏角 $\alpha=45^\circ$ を境にして対称的で, 偏角のみの函数としてあらわすことができ, つぎの実験式を得た。

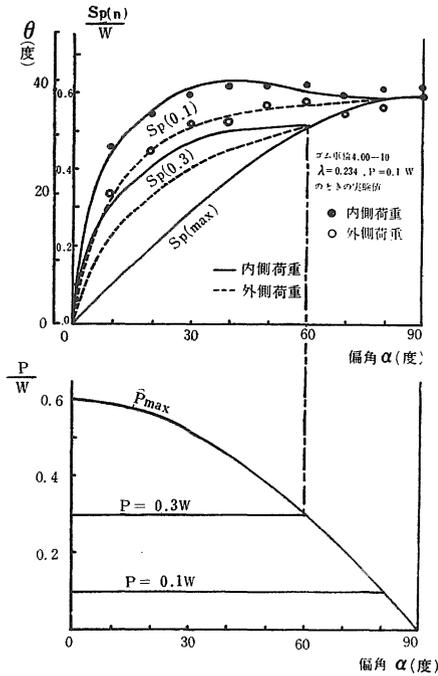
$$P_{max} = K_4 W \cos \alpha \tag{7}$$

$$Sp(max) = K_5 W \sin \alpha \tag{8}$$

ここで係数 K_4 , K_5 は路面の状態によって異なるが, 全実験値を通じて 0.60~0.80 の値で, 車輪の種類, 荷重によって多少の差はあったが, ほぼ変わらないとみて差支えないであろう。



第8図 偏角とけん引・押圧力係数



第9図 偏角とけん引・押圧力係数 (差動装置の働くとき)

けん引負荷が P_{max} から P_0 の値に次第に小さくなると、押圧力は最大けん引時のそれよりも次第に大きい値となり、 $Sp(max)$ から $Sp(0)$ の曲線に移って行く。そして P 直線が偏角の増大にともなって P_{max} 線と一致するとき、 $Sp(n)$ 曲線も $Sp(max)$ 線と一致し、車輪は粘着状態となり、トラクタは前進を停止する。

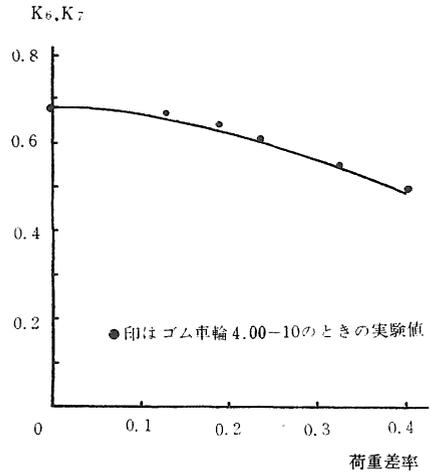
いま第8図において、けん引力が P であるときの押圧力は、(8)式であらわされる最大けん引力時の押圧力に、(2)式であらわされる回転押圧力が作用し、その作用比率がけん引力と偏角によって変わるであろうと考えて次式を作製したが、この式によって実験値にほぼ等しい値を得ることができた。すなわち

$$Sp(n) = Sp(max) + Sr \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right) \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right) \quad (9)$$

第8図および(9)式から、けん引力が小さい場合には $Sp(n)$ は大きく、したがってけん引負荷の小さい場合は車輪の偏角は小さくてよいことになる。図中 θ は圃場傾斜角を示し、前項 1)iii)における推論と同様、 θ と $Sp(n)$ からその場合に必要の偏角の大きさが求められる。

ii) 差動装置を有する場合

差動装置を有する車輪装置の粘着状態におけるけん引力 P_{max} および押圧力 $Sp(max)$ は、第9図に示すように何れも(7)・(8)式と同一の実験式であらわすことが



第10図 荷重差率と K_6, K_7 の関係

きたが、左右車輪に荷重差が存在する場合は、差動装置が作動して両駆動輪に回転数差が生じるので、係数 $K_4 \cdot K_5$ はそれぞれ第10図のように変化する。この場合の係数をそれぞれ $K_6 \cdot K_7$ とする。すなわち両駆動輪の荷重差が大になるほどけん引力・押圧力ともに減少する。

傾斜地では左右車輪に荷重差が生じることは必然的で、平地でもトラクタが溝引きけん引するときは同様の現象が生じる。この場合トラクタが傾斜すればするほどけん引力が減少するということができる。とくに押圧力が小さくなるときは、それだけ偏角を大きくとらねばならなくなるので、偏角増加による走行抵抗の増大もけん引力をより減少させる原因となる。

けん引力が P_{max} から P_0 に次第に小さくなると、押圧力は次第に大きくなり $Sp(max)$ から $Sp(0)$ 曲線に移って行く。ただし同じけん引負荷の場合でも荷重状態によって押圧力係数はことなる。一般に内側荷重の場合は外側荷重にくらべて大きい。また内側荷重の場合は荷重差によってそれほど変わらないが、外側荷重の場合は荷重差が大きくなるにしたがって低くなった。

したがって第9図において、けん引力が P であるときの押圧力は(8)式であらわされる最大けん引時の押圧力に、(2)式で示される回転押圧力が作用し、その作用比率がけん引負荷と荷重差率によって変わるであろうと考えて次式を作製し、実験値とほぼ等しい値を得た。

$$Sp(n) = Sp(max) + Sr \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right) \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right) (1 \pm \lambda)$$

(10)

あるいは

内側(山側)荷重が大きい場合

$$\frac{Sp(n)}{W} = K_7 \sin \alpha + K_8 \sin A \alpha^{1/B} \left\{ 1 - \frac{P/W}{K_6 \cos \alpha} \right\} \left(1 - \frac{\alpha}{90} \right) \quad (10')$$

外側（谷側）荷重が大きい場合

$$\frac{Sp(n)}{W} = K_7 \sin \alpha + K_2 \sin A \alpha^{1/C} \left\{ 1 - \frac{P/W}{K_6 \cos \alpha} \right\} \left(1 - \frac{\alpha}{90} \right) \quad (10'')$$

ここで係数 $K_2 \cdot K_8 \cdot B \cdot C$ のとり方を内側荷重と外側荷重で 1) ii) の場合と逆にしたのは、駆動時は重荷重側車輪の駆動力が軽荷重側車輪の駆動力にくらべて差動装置の内部摩擦分だけ大きく⁽⁵⁾⁽⁶⁾、これが機体を軽荷重車輪側へ回転させようとする。すなわち左右車輪の性格が 1) ii) の場合と丁度逆になると考えられるからである。

iii) 傾斜地におけるトラクタの必要な偏角およびけん引力

傾斜地における駆動車輪の必要な偏角の大きさは、1) ii) における推論と同様にして求めることができる。すなわち(3)式と(10)式を等値することによって

$$Sp(max) + Sr \left(1 - \frac{P}{Pmax} \right) \left(1 - \frac{\alpha}{90} \right) (1 \pm \lambda) = \tan \theta \quad (11)$$

第9図からけん引負荷に相当する $Sp(n)$ 曲線から求めても同様の結果が得られる。けん引負荷が0の場合、すなわち $Sp(0)$ 曲線の場合の偏角 α の大きさは、傾斜地現地における実側値⁽⁷⁾（後輪の横すべり角）に近似の値である。

つぎに4輪トラクタの最大けん引力を調査するために粘着時の値を計算してみよう。

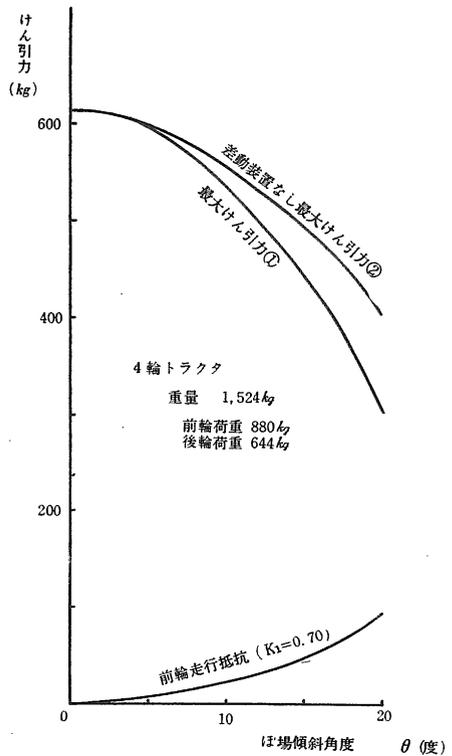
(11)式において $P = Pmax$ とすると、

$$K_7 \sin \alpha = \tan \theta$$

$$\therefore \alpha = \sin^{-1} \frac{\tan \theta}{K_7} \quad (12)$$

(12)式であらわされる偏角をもつトラクタのけん引力は(7)式で係数 K_4 のかわりに K_6 を用いて計算される。

4輪トラクタの場合は前輪を後押ししながら前進するので、(6)式で計算される前輪の走行抵抗の大きさを上記の計算結果から減じる必要がある。このようにして得られた4輪トラクタの最大けん引力は第11図曲線①に示されている。この値は筆者の傾斜地現地におけるけん引力の実測値と比較的よく一致したことから、平地におけるけん引力、すなわち土地条件その他によって異なるであろうトラクタの粘着係数、最大回転押圧力係数、ゴム車輪と路面の摩擦係数を求めておけば、傾斜地におけるけん



第11図 傾斜角度と最大けん引力の関係

引性能は、(5)(6)(7) および (11) 式から容易に推察することができると思われる。

第11図曲線②は左右車輪に荷重差がなく、偏角のみをもった4輪トラクタの最大けん引力で、偏角をもって走行する差動装置付4輪トラクタが、デフロックによりけん引力の増大をはかっても、前輪の操舵角を減少してその走行抵抗を減らさないかぎり、曲線①以上のけん引力を発揮することができないであろう。

IV 結 語

傾斜地ではトラクタが偏角をもつことは必然的なもので、それによる走行抵抗の増大、けん引力の低下は当然予想されることである。この研究結果によれば、車輪が偏角をもつときは走行抵抗は偏角の正弦に比例して増大する。しかしながら幸なことに予想外に大きな回転押圧力が発生し、したがって偏角がこれまで考えられていたほどに増加しないことである。これは走行抵抗の増大やけん引力の低下を少なくできるので好ましい現象であるといえる。

差動装置のある場合は 1) ii) および 2) ii) に示すように、山側車輪荷重が増加するときは偏角を減少する方向に作用するようで、傾斜地用トラクタの改良の一つの

指針となるであろう。

なお 1) iii) および 2) iii) において実験によって得られた実験式から、圃場傾斜毎の4輪トラクタの操舵角・機体偏角・けん引力の計算を実施した。もちろん小型トラクタ用車輪を用いた実験式を、乗用4輪トラクタ用車輪に適用することの是非は別としても、その結果は筆者の実施した傾斜地現地における実測値と比較的よく一致した。

したがって圃場面状態、車輪の状態等によって変化するのである車輪の粘着係数、ゴム車輪と圃場面との摩擦係数・回転圧力係数等を平地で調査することによって、ここにかがげた実験式を用いて、傾斜地におけるトラクタのけん引・走行性能をある程度推測することができると思われる。

ただ今回の実験は、路面が固乾状態にあり、しかも単純けん引負荷が車軸中心に作用する場合に限定したが、トラクタのヒッチ点は直装型を除いて通常車軸より後方にあるので、ヒッチ点の位置による影響等についてはこ

んごの課題である。

引用文献

1. 田辺 一・伴野達也・来田茂・高本宣彦：四国農業試験場報告 6：330～334, 1962
2. 田辺 一・来田 茂・増田治策・川崎 健・松山竜男：四国農業試験場報告 14：152～168, 1966
3. 田辺 一・来田 茂・増田治策・川崎 健：昭和38年度四国農業試験場農業機械試験成績：1～37, 1964
4. 田辺 一・岩尾俊男・中尾清治：農業機械学会誌 98, 1966
5. 田辺 一・岩尾俊男・中尾清治：農業機械学会関西支部第36回例会において講演：1966
6. 鍋木豪夫編：農業機械技術 養賢堂, 東京 P314
7. 田辺 一・来田 茂・増田治策・川崎 健：農業機械学会誌 97：85～89, 1966
8. 山本峰雄他3名：自動車ハンドブック 朝倉, 東京 P165, P190～196

Summary

To find out the running and the drafting character of the tractor wheel having the deflection angle in the travelling direction, we studied on the traction force and the side force on both the drive axis attached the differential gear or not. The test was carried out under the condition that the traction force worked at the center of axis.

In the case of pulling the tractor with another one, the traction force needed—traction resistance—is expressed in eq. (1), and the side force is eq. (2). The side force is obtained by the revolution of wheel. The coefficient of side force must be correct with fig. 5, 6 and 7, when the axis has the differential gear and yet the each wheels, right and left, weigh difference.

When the test tractor drives by himself pulling some of loads, the maximum traction force and the side force are expressed in eq. (7) and (10) respectively.

The traction force and the upper deflection angle by which the tractor can travel along the contour line on the slope field can be get through eq. (5) (6) (7) and (11). The calculated results are shown in fig. 11 and corresponded nearly to the another experimental data by author using 4 wheel tractor on the slope field.

Hence, we shall be able to forecast the drafting character of tractor on the slope field by knowing the coefficients of adhesion, maximum side force by pulling it and friction between tire and ground on the plane field.

Where

- α ; Deflection angle
- θ ; Inclined angle of slope field
- λ ; Ratio of weight difference in each side wheels, right and left
- D ; Traction resistance
- Sr ; Side force in pulled wheel
- P ; Traction force
- Sp(n) ; Side force in drive wheel
- K_1 — K_7 and A, B, C ; Coefficient
- W ; Weight on the wheel
- H ; Downward force of tractor along the surface of slope field