駆動空気タイヤの横すべり角※

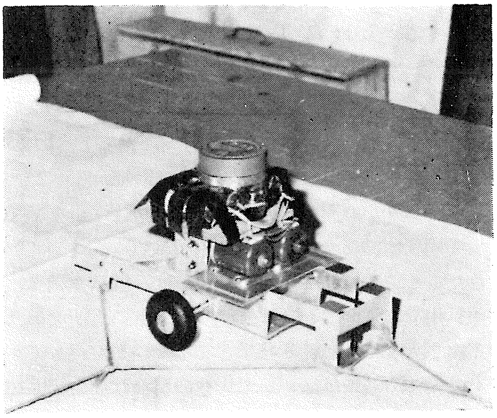
田辺　一※※・中尾清治※※

Hajime TANABE and Seiji NAKAO

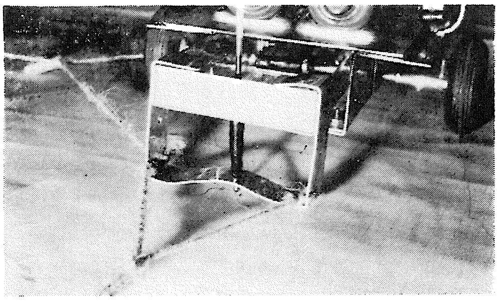
Side slip angle of the driving pneumatic tire

I 緒　　言

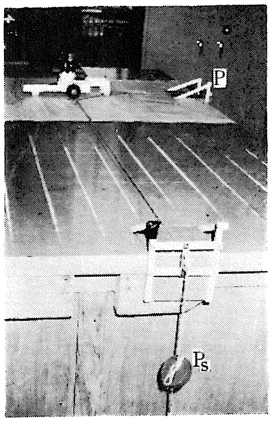
傾斜地を走行するトラクタは，傾斜下方へ向う接線力のために横すべりするから，トラクタは車輪面の方向と異なった方向へ進行する．この車輪面の方向とトラクタの進行方向との間にはさまれる角度がタイヤの横すべり角で，タイヤ・土地の状態・その他トラクタの運動の状態によってその大きさが異なる．



第1図 供 試 模 型



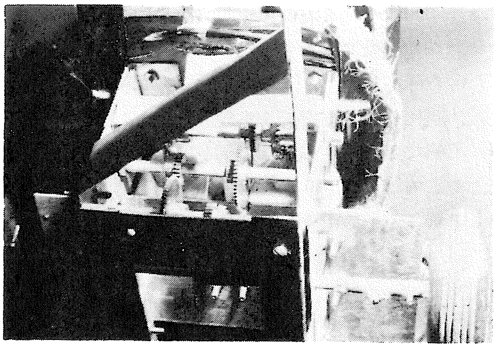
第2図　走行軌跡記録装置

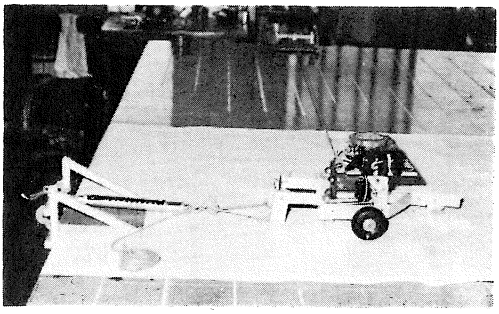


第3図　負荷法および装置配置

第4図　減速装置（底面より見る）

↓





第5図 粘 着 力 の 測 定

※　昭和43年4月農業機械学会（京都）講演
※※　農業機械工学研究室

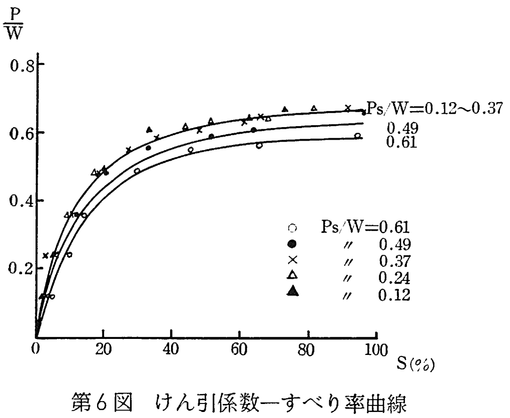
横すべり角はトラクタが不整地を走行する場合のように，外部からトラクタの直進をさまたげようとするかくらん力が働いた場合の安定性，あるいはトラクタが旋回する場合や，直進を維持しようとする場合の操縦性に関係するので，トラクタの運動性能を論じる場合の大切な要素である．

筆者はこれまで傾斜地等高線方向に進行するトラクタのけん引・走行性を，傾斜原地において[1]，あるいは室内実験的[2][3]に研究してきた．その多くはトラクタが等高線からそれないように故意に偏角をあたえ，その偏角の大きさと，その場合のけん引力の大きさ，および走行性等の関係を論じたものである．この場合の偏角もタイヤの横すべり角で，見方を変えれば運動の自由度を極度に制限し，一方向の運動しか許さなかった場合の横すべり角である．この研究方針はそれなりに理由があり，利用価値も高い．

他方，筆者は四輪トラクタを出発点において等高線方向に向けて正置し，前輪の舵取角を固定して自由に走行させた場合の運動軌跡から，四輪トラクタの横すべり角や運動性を論じたことがある[4]．その手法を利用し，二輪トラクタを平面上で自由走行させた場合の走行軌跡から，タイヤの横すべり角を検討して，自由平面運動と制限平面運動との関係を明らかにし，また空気タイヤの横すべりに関する基本的性格を明らかにしておくことも，トラクタの運動理論確立のために大切なことである．

この意味において，定格6$P.S.$ の二輪トラクタを供試し，昭和41年度卒業論文実験の課題[5]としてとりあげたが，不備な点が多く満足な結果を得ることができなかった．そこで筆者はトラクタの模型を製作して，模型実験的に空気タイヤの横すべり状態を再調査した．

II　実験の方法



第6図　けん引係数—すべり率曲線

供試タイヤは直径61㎜ϕ，幅20㎜の頑具用空気タイヤで，踏面には横すべり防止用に幅2㎜，5本の単純直線形パターンがある．ただしタイヤの接地はほとんど中央1条のゴム突起のみである．

原動機は適正電圧6.0V，適正電圧におけるトルク600～650g-cm，回転数5500～7500$r.p.m.$の頑具用モータ2コを，乾電池2コ，3Vで駆動し，3段減速（第4図参照）して，タイヤが無負荷で約 $V_0=0.16m/sec$ の速度で進行するようにした．

タイヤの接地重量は1310g，1610g，および1910gに調節した．

第1図は実験用模型で，グラク紙上を走行させ，後部のボールペン（第2図参照）で走行軌跡をグラフ上に記録させた．ボールベンの接地重量は10gで模型の運動に大きな障害はない．第3図は模型実験状況で，分銅を利用して後方にけん引力を発生させる負荷調整錘 P を配し，また同様の方法で横引力 Ps をあたえて横すべりを発生させた．Ps はトラクタの走行中にあたえられる外力（かくらん力）で，傾斜地では傾斜下方に向う接線力に相当する．なお P, Ps ともにトラクタの荷重転移（*Weight transfer*）を最少限におさえるために，けん引点を地面にできるだけ接近させ[6]，またつねに P が車軸に直角に，Ps が車軸に平行の方向に働くように，トラクタの移動と同時に荷重 P, Ps を横移動させた．さらにトラクタが旋回しないように P, Ps は紐をY字型にして模型に結びつけた．（第1図参照）

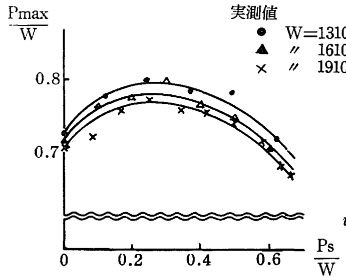
ただここで注意しておきたいことは，供試空気タイヤは頑具用で，踏面の一部にすべりの大きい箇所があり，測定値を大きく狂わせる結果となった．したがってグラフ上の軌跡の読映には，その影響の現われない範囲を選ぶように注意した．

III　実験の結果および考察

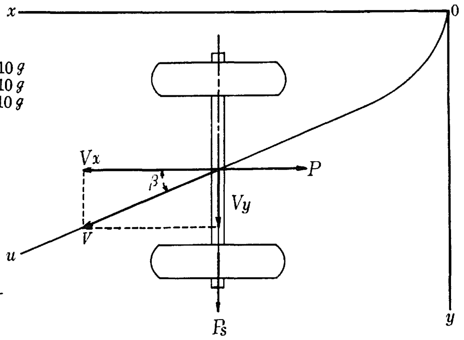
1）横引力とけん引力

傾斜地を等高線に沿って走行するトラクタ，側面から風を受けながら走行する自動車はつねに側面から一定のけん引力または押圧力を受け，その力の方向に進路を変更（横すべり）するが，他方空気タイヤのひずみ，車体の傾斜等によって走行抵抗が増大する[7][8]と考えられる．つぎの2）項で述べる *Cornering force* も一種の側方走行抵抗とも解釈できるが，ここでは車輪面方向のみを考える．

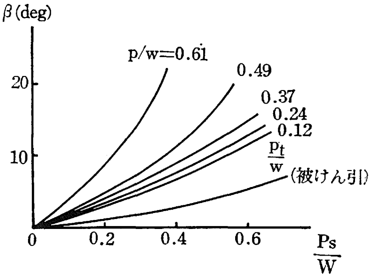
第6図は機体中心線の方向（車輪面方向），すなわち $Ps=0$ のときのトラクタの進行方向を基準にしたタイヤのすべり率（車輪面方向）を用いて，供試タイヤの



第7図　粘着（最大けん引）係数



第8図　トラクタの走行軌跡



第9図　横引力と横すべり角

けん引力 (P) —すべり率 (s) 曲線を描いたものである．同図から同一すべり率に対しては $Ps/W<0.4$ の範囲ではそれほどけん引力は低下しない．むしろ Ps が若干存在する方が，けん引力が増加する傾向すら認められる．これは Ps の存在によってタイヤの土地への粘着が改善される結果とみることができる．しかしその詳細な理由は今回の実験だけでは説明できない．

第5図に示す測定法によって得た第7図のタイヤの粘着力（最大けん引力）をみても，$Ps/W=0.3$ 附近で最大となっている．(第7図はⅡ末尾でのべたタイヤの異常すべりを省略しているので，最大けん引係数は第6図よりも大きくなっている)．横すべりするタイヤの走行抵抗は，β を横すべり角，m，n を係数とするとき，$1+m\beta^n$ に比例して増加するといわれるが，[7][8] 上述のことから $Ps/W<0.4$ の場合はそのような傾向は認められない．むしろ逆の現象が生じるといえる．

2）**走行軌跡**

傾斜地ではほ場傾斜角を θ とすると，Ps は斜面に沿って下方へ向う力で $W\sin\theta$ に相当する．

タイヤの横すべり防止力，すなわち等高線方向に対してその直角方向の力を C とすると

$$W\sin\theta > C$$

のときトラクターは傾斜下方へずりおちる．タイヤと地面との静止摩擦係数を μs とすると，タイヤが回転しない場合は

$$C=\mu s\, W\cos\theta$$

タイヤが回転する場合は，タイヤの回転と横すべりによって，タイヤの進行方向に対して直角な方向に特殊な力が発生する．この力はこれまでの筆者の研究において，側方回転押圧力[3]（純粋転動車輪）および側方押圧力[3]（駆動車輪）と名づけてきたもので，自動車では *Cornering force*[7]〜[10] の語で呼ばれている．

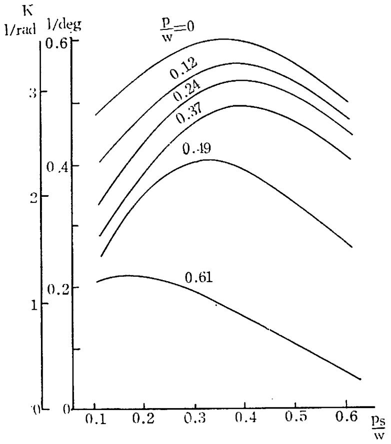
トラクタを出発点0において，その機体中心線をグラフの基線（x 方向）に平行に正置したのち，x 方向に一定速度 Vx で走行を開始したとする．トラクタは横引力 Ps によって側方に引かれ，基線に直角方向（y 方向）に加速度を得て，次第にその速度 Vy を増すかたわら，その Vy の増加に相応する *Cornering force* を発生する．そして $C=Ps$ となる横すべり速度 Vy のとき，トラクタは y 方向の力の釣合いを保ち，一定の方向 u に向って直進する（第8図参照）．u と x の間の角がタイヤの横すべり角 β である．

タイヤが一定の方向 u に向って直進するようになったときのタイヤの横すべり角 β を実験値から求めると第9図のようになる．図中 Pt/W は純粋転動車輪の場合で，P/W は駆動車輪の場合である．タイヤは単に転動している場合より，駆動している場合の方が横すべり角が大きく，また当然のことながら P および Ps の増大につれて β は大きくなる．

いま，C の β に対する比例常数を K としよう．横すべり角を *radian* であらわし，しかも小さい値であるとすると

$$C/W=K\beta \fallingdotseq K\tan\beta=K\frac{Vy}{Vx} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

ここに K は自動車の研究の *Cornering coefficient*[7] に近似するもので（$kg/kg-deg$）の *dimension* をも



第10図　K と P_s/W の関係

つが，ここでは角度の単位を図表は度数であらわし，計算には *radian* を用いている．

Kの値とけん引力 Pおよび横引力 P_s との関係は第10図のとおりである．同図から Kは $P_s=$ 一定とすればけん引力 Pの増加とともに小となる．すなわちPの増加とともにβが増加することを意味する．他方 $P=$ 一定とすればKは $P_s/W=0.3$〜0.4 で最大値となる．これは $P_s/W=0.3$〜0.4 附近でもっとも横すべりしにくいことを表わしており，前項1）と合わせ考えるならば，この附近のP_sでタイヤの土地への粘着がもっともよいといえるであろう．

空気タイヤが横すべりするときの運動方程式は (1) 式を用いて，(2)，(3)式のように表わされる．

$$V_x=V_0(1-S) \cdots\cdots (2)$$

$$\frac{1}{g}V_y\frac{dV_y}{dy}=\frac{P_s-C}{W}=\frac{P_s}{W}-K\frac{V_y}{V_x}\cdots\cdots (3)$$

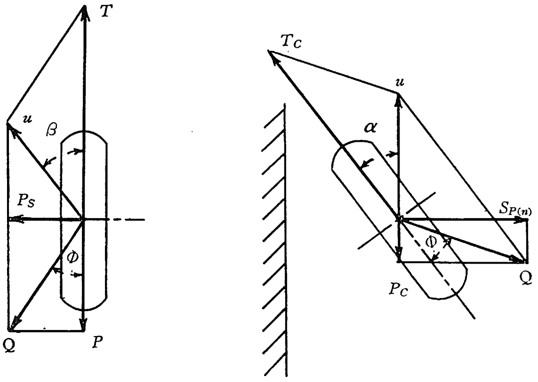
上述のように Kの値は Pおよび P_s によって一定でない．しかし横すべり角の小さい間は *Cornering force* はβに対して直線的に増加するとする自動車の研究手法[(7)〜(9)]を引用し，Kを一定として (3) 式を積分し，$y=0$のとき $V_y=0$ とすると

$$\frac{V_x}{K}\log\left(\frac{P_s}{W}-K\frac{V_y}{V_x}\right)=-gy\cdots\cdots (4)$$

$$\text{or } V_y=\frac{V_x}{K}\left\{\frac{P_s}{W}-e^{-\frac{Kg}{V_x}y}\right\}\cdots\cdots (4')$$

(4′)式から V_y の変化はyの増加とともに指数関数的に小さくなり，ついに(5)式に示す一定値 V_{yc}になる．

$$V_{yc}=\frac{V_x}{K}\frac{P_s}{W}\cdots\cdots (5)$$



（a）自由走行　　　　（b）等高線走行

第11図　タイヤの作用力

したがって $\frac{y}{x}=\frac{V_{yc}}{V_x}=\tan\beta=\frac{P_s}{KW}\cdots\cdots (6)$

Kの値は大きいので，(4′)式で$\frac{P_s}{W}$に比較して指数項はすみやかに小さくなり，V_yは早く一定値になる．実験値から $V_0=0.16m/sec$，$\frac{P}{W}=0.24$，$S=0.04$ とすれば，$\frac{P_s}{W}=0.12$の場合，$K=1.95/rad$，$y=0.054m$，$\frac{P_s}{W}=0.36$ の場合，$K=3.04/rad$，$y=0.029m$（いずれも$\frac{V_y-V_{yc}}{V_{yc}}<0.01$ の値）でそれぞれ一定速度 $V_{yc}=0.010$ および $V_{yc}=0.019m/sec$ となり，一定速度で傾斜斜め下方方向に直進降下する．トラクタの進行方向は等高線に対してそれぞれ $\beta=3.52°$ および $6.74°$の方向である．

以上のことから6〜10図および(4)〜(6)式を用いて，トラクタの走行軌跡，進行速度，進行方向，横すべり等が容易に計算できる．

3）横すべり角と機体の偏角

この研究は緒言で述べたように，機体の前後中心線を等高線方向（x方向）に正置し，トラクタが平面上で側方に転向することなく，自由に駆動走行した場合の走行軌跡から，空気タイヤの横すべり角を論じたもので，運動の自由度は2である．

横すべり角についての従来の我々の研究は[(2)(3)(11)]，トラクタに偏角をもたせ，またタイヤが車輪面の方向に進行するのを，進行方向に直角の方向からけん引して運動を妨害し，等高線方向に向って進行させようとしたもので，運動の自由度は1である．

この両者の区別を一語で区別するために，以下前者を自由走行，後者を等高線走行と呼ぶことにする．

等高線走行の場合の必要偏角は[(3)]，(7) 式から傾斜地の接線力に等しい大きさの S_r または $S_{p(n)}$ を示す偏角 α

を求めて得られる．ここに S_r は純粋転動車輪の場合の回転押圧力，$S_{p(n)}$ は駆動車輪の場合の押圧力である．

$$\left.\begin{aligned} S_r &= K_2 W \sin A\alpha^{\frac{1}{-}} \\ S_{p(max)} &= K_4 W \sin \alpha \\ S_{p(n)} &= S_{p(max)} + S_r \left(1-\frac{P}{P_{max}}\right)\left(1-\frac{\alpha}{90}\right) \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

α も等高線に沿って走行する場合のタイヤの横すべり角をあらわすが，この α と自由走行の場合の β とは，そのままでは値は等しくないので両者の関係を求めておく必要がある．

自由走行と等高線走行の異なる点は，実験の方法からみて明らかなように，けん引力と横引力の働く方向が異なる．いずれもけん引力と横引力は直交しているが，トラクターの機体中心線に対しては第11図のような関係にある．

両者の関係を求めるためには，タイヤの走行状態の等しい状態での，それぞれの偏角の大きさを求め，その関係式を導き出す必要があろう．

両者のタイヤの同一の状態を求めるために，車輪面方向のすべり率 S が同一の場合を考える．ただし等高線走行のすべり率 S_c は，u 方向（トラクタの進行方向）の進行速度を V, $\alpha=0$, $P_c=0$ のときの進行速度を V_0 としていたので，ここでは次式によらねばならない．(13)

$$S_c = \frac{V_0 - V\cos\alpha}{V_0} \quad \cdots\cdots (8)$$

タイヤの駆動力を T とすると，自由走行，等高線走行おのおのにつぎの関係がある．

$$\left.\begin{aligned} \tan\beta &= \frac{T-P}{P_s} \\ \tan\alpha &= \frac{T_c - P_c\cos\alpha - S_{p(n)}\sin\alpha}{S_{p(n)}\cos\alpha - P_c\sin\alpha} \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

自由走行と等高線走行の状態が等しいためには，u 方向に対する P_s と T，および $S_{p(n)}$ と P_c・T_c の合力が等しくなければならない．すなわち

$$(T-P)^2 + P_s^2 = (T_c - P_c\cos\alpha - S_{p(n)}\sin\alpha)^2 + (S_{p(n)}\cos\alpha - P_c\sin\alpha)^2 \quad \cdots\cdots (10)$$

(9)，(10)式より

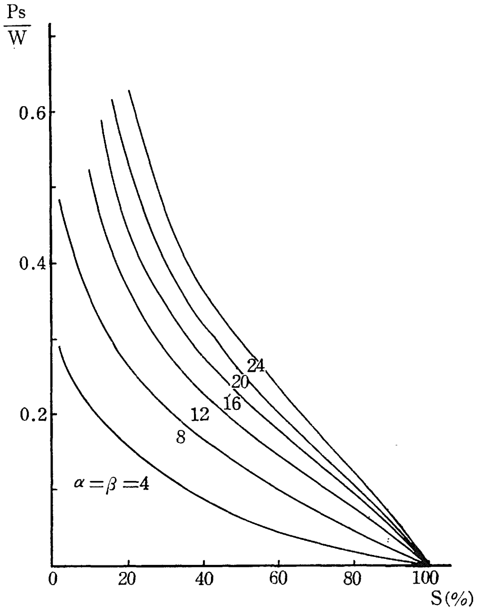
$$P_s^2(\tan^2\beta + 1) = (S_{p(n)}\cos\alpha - P_c\sin\alpha)^2 (\tan^2\alpha + 1) \quad \cdots\cdots (11)$$

ここで，$\alpha=\beta$ であるためには，(11)式で $\alpha=\beta$ として

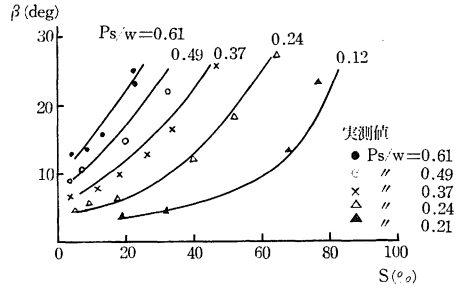
$$P_s = S_{p(n)}\cos\alpha - P_c\sin\alpha \quad \cdots\cdots (12)$$

同様に $P = S_{p(n)}\sin\alpha + P_c\cos\alpha$ ……(13)

したがって(12)式を用いて，等高線走行の $S_{p(n)}$ および P_c を自由走行の P_s に変換し，その P_s および同一



第12図 等高線走行から求めた自由走行の横すべり角

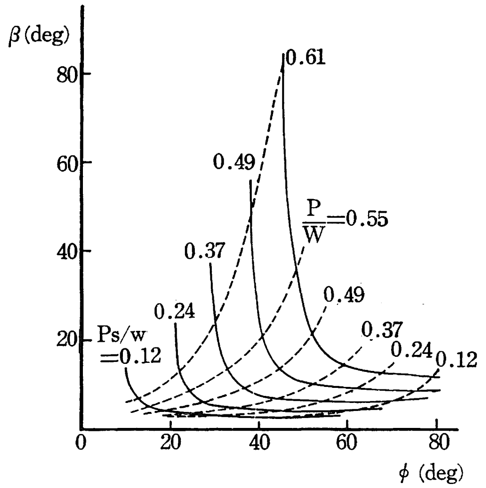


第13図 等高線走行から求めた自由走行の横すべり角および実測値

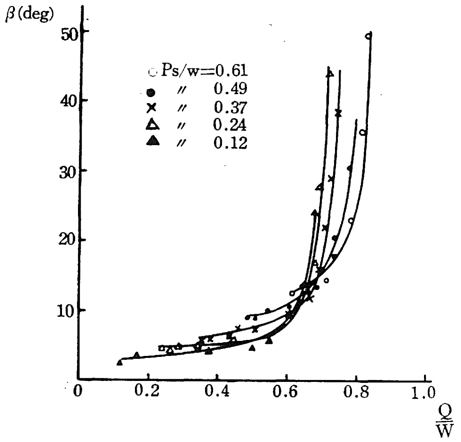
のタイヤすべり率の状態に相当する β を求めれば $\alpha=\beta$ となる．すなわち $S=S_c$，$T=T_c$ の場合にタイヤの走行状態が等しくなる．

上記のことを別の言い方をすれば，等高線走行時の $S_{p(n)}$, P_c から，角 α だけ回転した方向の力を求めることにより，自由走行時の状態が得られる．このことは第11図をみれば直ちに判断できる．

上述の結果を実証する意味から，供試タイヤの係数 K_2 および K_4 を調査し，$K_2=0.65$, $K_4=0.8$ を得た．この値を(7)(8)および(12)式に代入して，等高線走行時の P_c, $S_{p(n)}$, α から自由走行時の $P_s/W \sim S$ 曲線を求めると第12図のようになった．さらに第12図から β と S の関係を求めると第13図実線のようになった．第13図のプロット点は今回の実験で得た実測値で，計算値と実測値は比較的近似していることがわかる．



第14図　P および Ps の作用方向と横すべり角



第15図　側方けん引力の大きさと横すべり角

4）**その他**

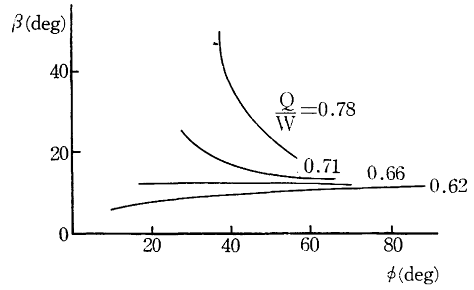
今回の実験は空気タイヤの走行軌跡から，タイヤの横すべり角を論じたものであるが，この結果はそのまま傾斜地の研究に，あるいは旋回時の操縦性能の研究に応用できるものである．その応用は別の課題とし，ここではトラクタの利用上大切な平地での側方けん引の問題について若干附記する．

トラクタが作業機の関係で，どうしても側方けん引角 ϕ（第11（a）図参照）で負荷をけん引しなければならない場合がある．

この研究における P，Ps を用いるとつぎの関係がある．

側方けん引角　$\phi = \tan^{-1}\frac{Ps}{P}$ ……………(14)

けん引合力　$Q = \sqrt{P^2 + Ps^2}$ ………(15)



第16図　側方けん引角の方向と横べり角

実験値から Q と β，ϕ と β の関係を 求めると第14〜16図のとおりである．

第14図は P と Ps の β におよぼす状態を横けん引角 ϕ を横座標としてあらわしたもので，P と Ps は $\phi = 45°$ を境にして β に対する影響が逆になる．また P の小さい間は横すべり角 β は P よりも Ps によって影響されるが，P が大きくなると Ps よりも P による影響が大きくなることを示している．

しがたってけん引合力 Q の増大によって，第15図に示すように β が増加することは当然であるが，その場合でも P と Ps の割合によってその増加の仕方が異なる．Ps が大きく P の小さいときは，Q の小さい間は Ps の小さいときより β は大いが，β が急激に増加する Q の位置は，Ps の小さい場合より Q の大きいところであらわれる．すなわちその位置は P によって影響されることがわかる．

さらに Q が同一であっても，ϕ の β に及ぼす影響を同一の Q について示した第16図をみても，Q の小さい間は ϕ の増加とともに β は増すが，Q が大きくなるとかえって減少している．これは ϕ の増加は Ps の増加を意味し，Q の小さい間は P も小さく，β は Ps によって影響されるのに対し，Q が大きくなると Ps の増加につれて P の減少による β への影響が大きくあらわれて β は小さくなる．換言すれば同じ横けん引角度でも，Ps と P の作用割合によって β がことなることを示している．

以上のことから，実用の範囲内（$Ps \leqq 0.3$）では，Ps が存在してもそれほどけん引力の低下もみないし，横すべり角もそれほど急激に増加するものではないが，P が大きくなるとその影響は急激に大きくあらわれるので，Ps の存在する場合は P の急激な増加には注意が必要であるということが出来る．

Ⅳ　結びにかえて（研究手法について）

傾斜地原地で，実物のトラクタを用いてけん引・走行性の一般論を研究し，[1][4] 本学へ赴任してからは，傾斜原地を持たないので，平地で二輪トラクタを用いて偏角とけん引・走行性，[2][3] あるいは荷重差，[11] 差動装置[13]の影響等の基礎実験をし，傾斜状態におけるトラクタの運動・動力理論の確立に努力してきた．今回行なった研究の意義は，研究の手段に模型を用いたことである．

横型を用いる場合問題となるのは，空気タイヤの走行路に対する摩擦係数の違いである．粘着係数を例にとれば，実物の二輪トラクタタイヤでは 0.65〜0.75 であった[2]のに対し，今回のグラフ紙上の模型タイヤでは0.7〜0.8を示した．幸いこれまでの我々の研究で，摩擦係数のみを測定すれば，他の性格ははあくし得る一般性格を確立していたので，Ⅲ 3）項のように K_2，K_5 の係数の数値を変化することによって，模型実験と実物実験の関連を得ることができた．このことから頑具用タイヤでも，良質のものを得るならば，タイヤの研究に対してかなりの成果をあげることの確信を得た．この意味でこの研究は有意義であった．

さらに大切なことは，タイヤの横すべり角は自動車ではかなりの研究が実施されているが，[7]〜[10] トラクタに関しては，その研究は筆者の研究を除いては他に1〜2篇[12]あるにすぎない．

自動車とトラクタの異なる点は，トラクタは速度は小さいが重量物をけん引することである．この違いによって必要とする性格も異なるし，また外力の影響のし方も異なる．しかしわずか見方を変えるだけで，そこには多くの類似性を発見する．したがって両者の関連性をはあくしながらトラクタの特異性を発見して行くのが，われわれの使命とするところであろう．空気タイヤの横すべり角の研究はその一つのあらわれである．ここにも意義があると思っている．

終りにこの実験遂行に，昭和41年度卒業生内部智允君，四学年森山国久君，細越俊雄君の協力を得た．ここに感謝の意を表する．

Ⅴ 摘　　要

傾斜地で，等高線方向に機体の中心線が向いて走行しているトラクタの運動理論を確立するために，トラクタの模型を用いて，水平グラフ紙上で，トラクタの機体中心線に直角の方向に一定の負荷（横引力）P_s が働いた場合のトラクタの走行軌跡をもとめ，そこから空気タイヤの横すべり角を検討した．

トラクタの重量を W，タイヤの横すべり角を β とすると，$P_s/W/\beta=K$ は後方けん引力 P の増加とともに減少する．しかしながら P を一定とした場合，K は $P_s/W=0.3$〜0.4 で最大となる．またこの場合車輪のすべり率も少なくなる可能性がある．これは $P_s/W=0.3$〜0.4の存在によって，タイヤの地面への粘着力が改良されるためで，別の見方をすれば，平地でトラクタが側方けん引する場合でもその影響が少ないと云うことができる．

β に対する P および P_s の影響は，P の小さい間は P_s によって，P が大きくなると P_s よりも P によって影響される．P，P_s ともに大きい場合はその影響は非常に大きい．したがって側方けん引では同じ側方けん引角でも，P と P_s の作用割合によって横すべり角がことなり，上記の結果をそのまま適用することができる．

等高線走行を基本にした筆者のこれまでの研究における横すべり角 α と，今回の研究における横すべり角 β の関係は，一般に $\alpha>\beta$ であるが，同一のすべり率状態における P_s と $S_{p(n)}$，P_c の関係を求めることによりその関連を得た．(12)式はその条件式で，このとき $\alpha=\beta$ となる．ここに $S_{p(n)}$，P_c，α はそれぞれ等高線走行時の側方押圧力，けん引力，偏角である．

引　用　文　献

1. 田辺一・来田茂・増田治策・川崎健：農業機械学会誌 28：204−207，1966
2. 田辺一・岩尾俊男・中尾清治：農業機械学会誌 28：136−140，1966
3. 田辺一・中尾清治・岩尾俊男：島根農科大学研究報告 15(A-4)：32−38，1967
4. 田辺一・来田茂・増田治策・川崎健：農業機械学会誌 28：85−89，1966
5. 田辺一・中尾清治・内部智允・細田俊郎：農業機械学会関西支部報 24：58−60，1967
6. E. L. BARGER, J. B. LILJEDAHL, W. M. CARLETON, and E. G. MCKIBBEN : Tractors and their Power Unit 1963, JOHN WILEY & SONS, U. S. A., p. 310, p. 319
7. 平尾収・近藤政市・亘理厚・山本峰雄：理論自動車工学4：1964 山海堂，東京 p. 152 p. 128−140
8. 近藤政市：基礎自動車工学，前期編：1965 養賢堂，東京 p. 206 p. 183−195
9. 山本峰雄・近藤政市・平尾収・亘理厚：自動車ハンドブック：1962 朝倉，東京 p. 196−200
10. 自動車技術会：自動車工学ハンドブック：1965 自動車技術会，東京 p. 6〜12−13
11. 田辺一・中尾清治：農業機械学会第26回総会講演要

旨 26−27，1967

12. 安田与七郎・土井淳多：農業機械学会誌 26：79−83，1964

13. 田辺一・中尾清治：農業機械学会誌 29：186−193，1968

Summary

For the purpose of establishing the running theory of tractor on the slope field, we studied on the side slip angle of the pneumatic tire using the running locus of model tractor given the right angled side force P_S against its center line.

The term $K = Ps/W/\beta$ decreases with the larger pull value of P, where W is the weight of the tractor and β is the side slip angle of tire. But at the range of $Ps/W=$ 0.3−0.4, under the constant value of P, K is maximum value, and on that case it may be possible that tractor has smaller slippage. This is due to the improvement of the adhesion of the tire to the land surface. On the another aspect, it shows that this character gives only few influence for the tractor under the small values of P and Ps.

On the effect to β by the values of P and Ps, β is influenced by the value of Ps under the small value of P, and by the value of P rather than the value of Ps under the large value of P. On the case of the large values of P and Ps on both, the effect becomes larger and the value of β increases rapidly.

Side slip angle α, deflection angle which we have called in our study up to this time letting the tractor run along the contour line on the slope field, is larger value comparing with the value of β. But by the converting the past result into the test condition stated above, using the equation (12) under the condition of same slippage, we get nearly the same side slip angle $\beta=\alpha$, where $S_{p(n)}$ and Pc are the side force and pulling force of the running tractor along the contour line.