

傾斜地におけるトラクタの形態に関する研究 (3)

偏角と横滑り角度の関係**

田辺 一*・中尾 清治*

Hajime TANABE and Seiji NAKAO

On the Dimensions of Tractor on the Slope Field (3)

Relation between Yaw Angle and Side Slip Angle

緒 言

傾斜地で、トラクタが等高線方向に直進するためには、車輪の横滑りに対抗するために、トラクタは機首を傾斜上側側に振向けて前進しなければならない。この機体の方向と等高線の間で狭まれた角度が機体偏角である。

第1報¹⁾、第2報²⁾では、等高線に向けたトラクタの横滑りを基礎として、トラクタが直進するために必要な機体偏角、上限使用傾斜角度を定義した。しかし、傾斜地では、けん引力や、機体重量の傾斜下方に向く力(接線力)の方向は、トラクタの機体中心線、あるいはそれと直角の方向と一致することはあり得ないので、機体が偏角を持った場合のけん引力・接線力の負荷の方向を実際に近い方法で与え、その場合の車輪の横滑り角度を調査し、これらの負荷と、機体の姿勢の関係を検討した。

なお、実験には、昭和58年度農業機械学専攻生柿本俊也・斎藤彦彦両君の助力を受けた。記して感謝する。

空気タイヤの横滑り角度の測定

実験装置は第2報と同じ模型トラクタおよび傾斜実験台を用い、トラクタに偏角を与え、けん引負荷 P ・接線力 S_p はそれぞれ等高線および傾斜方向に一致させ、また常にこれらの負荷が、機体の重心点に作用するよう、偏角の大きさに応じて調整用ロープの長さを調節した。

重心点はほぼ機体の中央にあるが、駆動用モータのスイッチオン時の衝撃のため、偏角及び負荷の作用点の若干の誤差は避けられない。

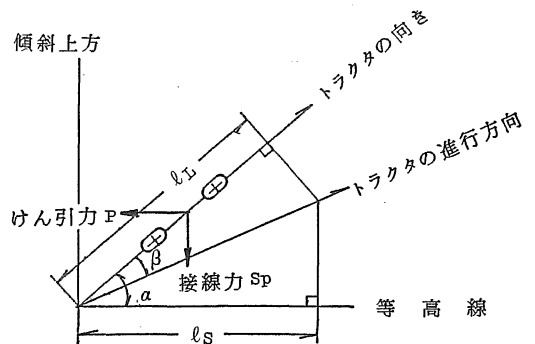
トラクタは水平面上を走行する。そして、第2報と同様、単車輪と仮定するため、四輪とも同時に、駆動輪または転動輪とした。

この実験のような単純負荷の場合は、トラクタは常に一定の方向に直進するが、車輪面直角方向に加わるサイドフォースのため、その方向は、トラクタの機体中心線の方向とは一致しない。この両方向の差が車輪の横滑り角度で、第2報同様、ビデオカメラで走行軌跡をとり測定した。

走行面は、第2報同様ベニヤ板(シナの木)であるが、タイヤの空気圧、空気中の湿度、ベニヤ板の新旧によって若干粘着係数が異なる。今回の粘着係数は0.32であった。

サイドフォースと機体方向滑り率

トラクタは、けん引負荷の増加により、次第に車輪の機体方向の滑り率(以下単に滑り率という)が増加する。第1図は、等高線方向の進行距離 l_s と、機体中心線方向(縦方向)の進行距離 l_L の関係で、次の関係がある。



第1図 接線力 S_p が作用する場合のトラクタの移動状況

* 農業機械工学研究室

** 第70回農業機械学会関西支部例会発表

$$l_L = l_s \cdot \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \quad (1)$$

ここに、 α は機体偏角、 β は車輪の横滑り角度

ビデオでは直接 l_L は求められないので、 l_s, β, α を測定し、 l_L を計算する。滑り率 S は、無負荷時進行距離を l_0 として、

$$S = \frac{l_0 - l_L}{l_0} \times 100 (\%) \quad (2)$$

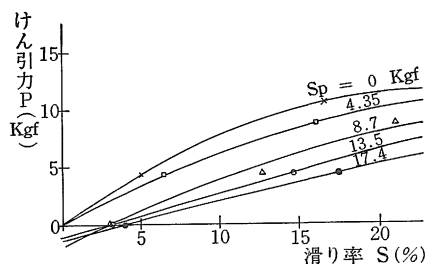
けん引力 P と S の関係を第2図に示す。サイドフォースの関係を知るために、機体の方向がけん引負荷の方向と一致した場合を示す。この場合は接線力がサイドフォースとなる。

同図から、トラクタの滑り率は、サイドフォースの増加とともに増加することがわかる。また、サイドフォースによる影響は、一定のけん引負荷の下では、ほぼ直線的に増加する。

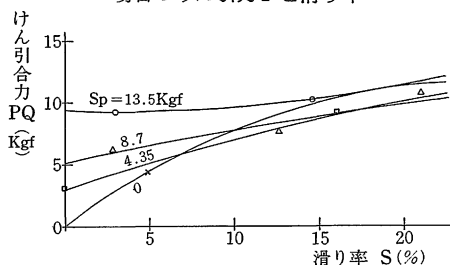
このように、サイドフォースとけん引負荷の両者によって車輪の滑り率が異なるのは、車輪は、けん引負荷のみならず、サイドフォースによっても影響を受け、車輪の接地状態が異なることを示す。いま、サイドフォースによる影響の度合を調べるために次式を仮定する。

$$PQ = \sqrt{P^2 + (K \cdot S_p)^2} \quad (3)$$

式(3)における K の値を0.71として、 PQ と S の関係を見ると第3図のとおりで、滑り率の小さい範囲を除き、



第2図 サイドフォース S_p が作用する場合のけん引力 P と滑り率



第3図 けん引合力 PQ と滑り率 S

ほぼサイドフォースのない場合に近づく。ここに K は、第2報で述べた摩擦だ円における短軸と長軸の軸長比に一致する。

滑り率の小さい範囲におけるこの不一致は、負荷の合力の方向が機体方向と一致しないことによるものと思われる。けん引負荷 P の増加とともに、この影響が少なくなる。しかし、ここではすべて一致したものと考え、次の二次式を得た。

$$S = 317.6 \cdot \left(\frac{PQ}{W}\right)^2 + 2.958 \cdot \left(\frac{PQ}{W}\right) + 0.06177 \quad (4)$$

ここに W は機体重量で、47.2kgf である。

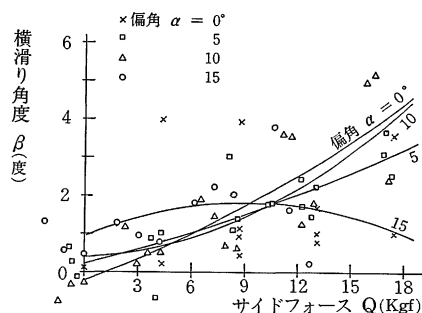
サイドフォースと車輪の横滑り角度

トラクタの走行状態は、前項に示すように、すべての外力の影響を受けるので、これらの外力を、車輪面の方向の力 P_L と、これと直角の方向の力 Q に分ける。

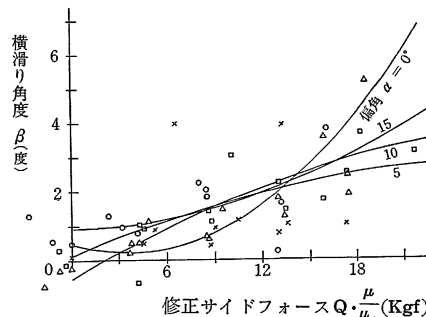
すなわち

$$\left. \begin{aligned} P_L &= P \cdot \cos \alpha + S_p \cdot \sin \alpha \\ Q &= -P \cdot \sin \alpha + S_p \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} (5)$$

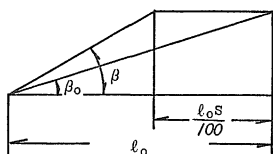
車輪はサイドフォースによって横滑りする。そしてその大きさはサイドフォースの大きさに比例する。サイドフォース Q と横滑り角度 β の関係は第4図のとおりで



第4図 サイドフォースと横滑り角度



第5図 修正サイドフォースと横滑り角度



第6図 見掛けの横滑り角度 β と基本横滑り角度 β_0 の関係

ある。

第1・2報では、横滑り抵抗力係数の概念を導入した。また、同じ大きさのサイドフォースの時でも、けん引負荷の大きさにより横滑り角度が異なるので、摩擦円の適用を考え、修正サイドフォース係数を導き、けん引負荷の如何にかかわらず、横滑り角度がほぼ一本の曲線に乗ることを示した。ここに、

$$\left. \begin{aligned} \text{修正サイドフォース係数} &= \frac{Q}{W} \cdot \frac{\mu}{\mu_s} \\ \mu_s &= \mu \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_{\max}}\right)^2} \end{aligned} \right\} (6)$$

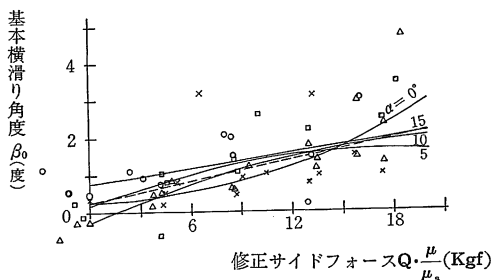
今回の実験でも、修正サイドフォースと横滑り角度の関係は第5図のとおりで、修正サイドフォースの小さい範囲では一本の直線で示すことができる。

$$\beta = 6.70 \cdot \frac{Q}{W} \cdot \frac{\mu}{\mu_s} + 0.220 \quad (7)$$

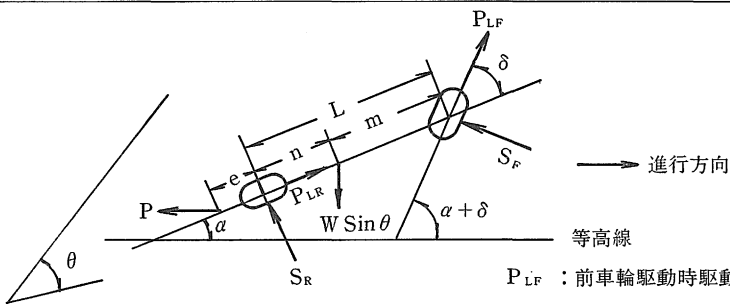
基本横滑り角度

トラクタはけん引負荷の増大によって滑り率が増加し、滑り率の増加は、車輪の横滑り角度の増大となる。通常、横滑り角度は、この状態における角度を指している。実用上はこの見掛け上の横滑り角度で充分で、第2報においてはこの値を用いた。

しかし、見掛け上の横滑り角度から、車輪面方向の滑り率の影響を取り除くことにより、横滑り角度は、けん引負荷と車輪の走行路面の相対関係のみの関数となる。



第7図 修正サイドフォースと基本横滑り角度



第8図 傾斜地でトラクタに作用する力

P_{LF} : 前車輪駆動時駆動力

P_{LR} : 後車輪駆動時駆動力

この横滑り角度を基本横滑り角度 β_0 と定義すると、次の関係がある。

第6図より

$$\beta_0 = \tan^{-1}\{(1 - S/100) \cdot \tan \beta\} \quad (8)$$

式(4)・式(8)を用いて β を修正し、 β_0 と修正サイドフォース係数の関係を示すと第7図のとおりである。この関係はほとんど直線(図中破線で示す)で(9)式のように示され、偏角の影響はますます小さくなる。

$$\beta_0 = 4.49 \cdot \frac{Q}{W} \cdot \frac{\mu}{\mu_s} + 0.236 \quad (9)$$

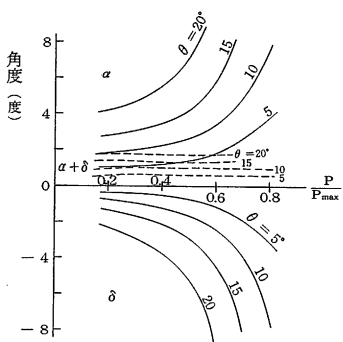
機体偏角と前車輪かじ取り角度

傾斜地で、等高線に沿ってトラクタを直進させる場合、機体に偏角を付けることは勿論であるが、機体偏角のみでは、あるけん引負荷の大きさの時以外は、トラクタは直進しない。したがって、等高線に沿って直進するためには、前輪にかじ取り角度(ハンドル角)を必要とする。

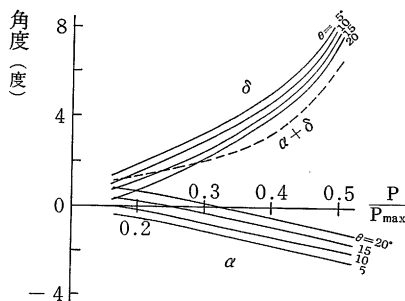
これらの角度は、車輪と土地の性状およびけん引負荷の相互関係によって定まるので、いま、土地は固乾路面で、車輪(タイヤ)の土地に対する粘着係数は一様(ここでは0.6とする)であり、また、トラクタの負荷も一様で変化しないと仮定した場合は、前述の諸式(式(9), (8), (7), (4), (3))を用いて必要な機体偏角、前車輪かじ取り角度を計算することができる。

傾斜地では、トラクタは常に接線力 $W \cdot \sin \theta$ の力が作用するので、前後車輪のサイドフォースは第8図の模式図より計算される。すなわち、式(10), (11)で示される。

第2報 表一3の仮想トラクタにより、第高線に沿って直進するトラクタに必要な機体偏角、前車輪かじ取り角度を計算すると第9図a, bのようになる。aは後輪駆動時、bは前輪駆動時を示す。



第9図 a 等高線走行のために必要な機体偏角 α と前輪かじり取り角度 δ (後輪駆動)



第9図 b (前輪駆動)

後輪駆動の場合

$$\left. \begin{aligned} S_R &= \{W \cdot \sin \theta \cdot m \cdot \cos \alpha - P \cdot (L+e) \cdot \sin \alpha\} / L \\ S_F &= \{W \cdot \sin \theta \cdot n \cdot \cos \alpha + P \cdot e \cdot \sin \alpha\} / L \cdot \cos \delta \\ P_{LR} &= W \cdot \sin \theta \cdot \left(\sin \alpha + \frac{n}{L} \cdot \cos \alpha \cdot \tan \delta \right) + P \cdot \left(\cos \alpha + \frac{e}{L} \cdot \sin \alpha \cdot \tan \delta \right) \end{aligned} \right\} (10)$$

前輪駆動の場合

$$\left. \begin{aligned} S_R &= \{W \cdot \sin \theta \cdot m \cdot \cos \alpha - P \cdot \{m \cdot \sin \alpha + (n+e) \cdot \cos \alpha\}\} / L \\ S_F &= W \cdot \sin \theta \cdot \left\{ \cos(\alpha+\delta) - \frac{m}{L} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \delta \right\} + P \cdot \left\{ \frac{m}{L} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \delta + \frac{n+e}{L} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \delta - \sin(\alpha+\delta) \right\} \\ P_{LF} &= W \cdot \sin \theta \cdot \left\{ \sin(\alpha+\delta) - \frac{m}{L} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \delta \right\} + P \cdot \left\{ \cos(\alpha+\delta) + \frac{\sin \delta}{L} \cdot \{m \cdot \sin \alpha + (n+e) \cdot \cos \alpha\} \right\} \end{aligned} \right\} (11)$$

ただし、後輪駆動時は、機体偏角は S_R と P_{LR} により、前車輪かじり取り角度は S_F により計算するが、 P_{LR} S_F ともにかじり取り角度 δ を含んでいるので、試行錯誤式の計算となる。

a 図より、後輪駆動時は、傾斜上向きの機体偏角を必要とするのに対し、前車輪は、機体方向より傾斜下方向のマイナスかじり取り角度となる。そして、けん引負荷の増大につれて、また、傾斜角度の増大によりますます大きくなる。しかしいずれにしても、車輪は横滑りに対抗するため、傾斜上方に向いている。

b 図より、前輪駆動の場合は、機体は傾斜下方に向き、前車輪は傾斜上方に向く。さらにけん引負荷の増大によってその差が大きくなる。

また、傾斜角度の増大によって、前車輪かじり角度は小さく、機体偏角はマイナス方向で小さくなるので、前車輪の向きはほとんど変わらない。

摘 要

第2報同様、サイドフォースと車輪の横滑り角度の関係进行调查した。この報告は、特に機体方向の滑り率のない車輪の横滑り角度を導入し、これを基本横滑り角度と定義した。そして、基本横滑り角度と修正サイドフォース係数の関係はより直線化された。

ここに、車輪の滑り率は、けん引負荷とサイドフォースの合力によって生じる。そして、サイドフォースは、摩擦だ円の短軸と長軸の軸長比を乗じた値により影響する。

傾斜地においても、前車輪にかじり角度を付けた場合は、かじり角度の影響を考慮して、車輪面方向と、それに直角方向の力を計算することにより、トラクタの運動を解析することができる。

第9図 a, b は、後輪駆動および前輪駆動のトラクタが、等高線に沿って直進するために必要な機体偏角と前車輪のかじり角度の大きさを示す。

参 考 文 献

1. 田辺 一・中尾 清治：島大農研報 16：130-136, 1982.
2. 田辺 一・中尾清治：島大農研報 17：123-128, 1983.

Summary

Using the same device and method as the report 2, relation between the side force and the side slip angle of wheel with yaw angle was studied. In this report, especially, fundamental side slip angle of wheel was introduced, which was the side slip angle with no slippage. And relation of the fundamental side slip angle to the transformed side forth was more linearized than the side slip angle.

The slippage of wheel was caused by the resultant force of traction force and side force. But the side force was multiplied by the ratio of minor to major axes of the friction ellipse in length that denoted the frictional resistance of tire.

On the slope field, suppose the effect of the steering angle of front wheel, calculate lateral and longitudinal forces of wheels, and the running state of tractor can be analyzed. Fig. 9 shows the yaw angle (α) of tractor and the steering angle (δ) of front wheel, moving along the contour line of the slope field.