

# 傾斜砂丘畑における大型トラクタの 性能に関する研究 (第1報)

砂丘傾斜度と横すべりの関係

石原 昂・樋口 英夫・岩崎 正美  
(鳥取大学農学部農業機械学研究室)

Studies on the Performance of the Four Wheels Tractor in  
the Inclined Sand Dune Field (I)

Relation of gradient to the sideslip of tractor wheels

Akira ISHIHARA, Hideo HIGUCHI and Masami IWASAKI  
(Faculty of Agriculture, Tottori University)

## I 緒 言

鳥取県の砂丘畑における農業の機械化も、最近では小型歩行用トラクタを中心としたものから、大型乗用トラクタを中心とした農作業体系の確立へと考え方が進み、とくに直接的には葉たばこ栽培の省力化、機械化一貫作業体系の確立のために、大型トラクタを導入する気運が高まりつつある。しかるに、トラクタの砂丘地での走行性は、地面が砂地で軟弱であることと緩傾斜とはいえ傾斜地が殆んどであるため、十分に発揮されず、これが大型トラクタの導入に大きな障害となっていた。したがって、従来は主として小型トラクタが使用されてきたのである。

そこで、本研究では、砂丘傾斜畑における大型トラクタ導入の可能性を究明するため、たばこ栽培のために開拓された砂丘傾斜畑の裸地において、大型トラクタを等高線走行させ、傾斜度と車輪の横すべりの関係について実験を実施した。

## II 実験供試機と実験方法

実験に供試した大型トラクタはる機種であり、各機種の主要諸元を第1表に示す。まず、傾斜砂丘裸地において、その傾斜角度と等高線をレベルで測定して求めた。そして、大型トラクタの前後輪を等高線上に平行において、前輪舵取角を $0^\circ$ に固定し、供試した各トラクタについて、各々次のような実験条件を与えて実験を実施し

た。すなわち、A機については、傾斜度 $2^\circ 10'$ 、 $4^\circ 30'$ 、 $8^\circ 03'$ の各場合について無負荷走行を、BおよびC機については、ガードルの横すべり防止に対する効果をもみるため、第1図(a)に示すようなガードルを(b)のように駆動輪に各々8個づつ装着し、傾斜度 $8^\circ 03'$ において、無負荷走行およびプラウ耕を行った。そして、その時の走行速度の変化による傾斜山側後輪の軌跡、すなわち等高線方向とそれに直角な傾斜谷側方向との関係、および左右後輪沈下量、スリップ率などを測定した。

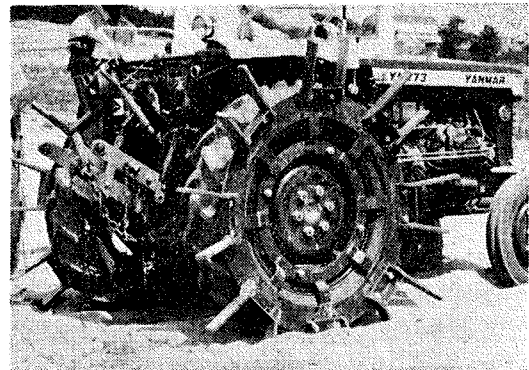
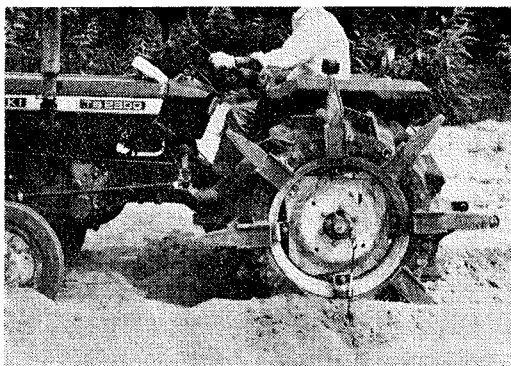
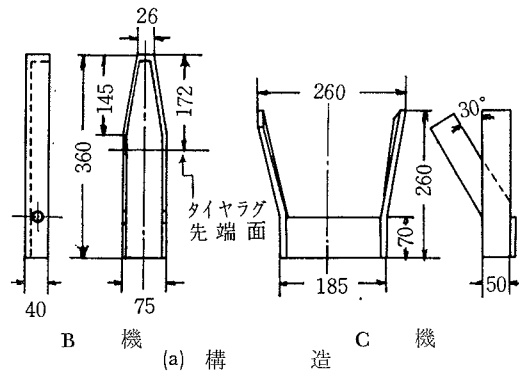
## III 傾斜地走行時におけるトラクタ車輪の運動軌跡についての基礎考察

車輪の横すべりとは、車輪中心面と車輪の進行方向とが一致しない運動であると一般にいわれている。いま、前輪舵取角 $\alpha$ をもってトラクタが曲線運動をしていると、第2図に示すように駆動輪は必ず多少の横すべり角 $\beta$ をもつものである。しかしながら、ごく低速での旋回においては遠心力は0であるから、これに対抗する求心力としてのコーナリングフォースは不要である。それ故に各車輪は横すべりする必要がない。

このことは、コンクリートのような堅い路面で、しかも平坦地での走行の際に適用できるものである。そして、横断勾配のある傾斜地を走行する場合には、トラクタ重量を $W$ 、勾配を $k$ とすれば、 $W \sin k$ なる谷側への接線分力が働いて、これに打ち勝って直線運動をするた

第1表 供試機の諸元

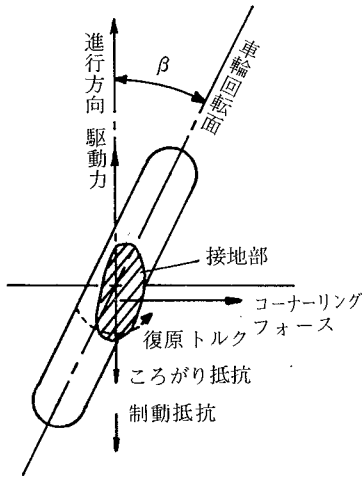
機種		A 機	B 機	C 機
エンジン	型式	空冷4サイクルディーゼル	空冷4サイクルディーゼル	水冷4サイクルディーゼル
	出力(P5)/回転数(rpm)	15/2000	22/2800	24/2700
重量	車輻重量(kg)	1130	990	1078
	前輪荷重(kg)	450	425	437
	後輪荷重(kg)	680	565	641
走行部	前輪タイヤサイズ	4.00-15	4.00-15	4.00-15
	後輪タイヤサイズ	8 3/8-24	9-24	8 3/8-23
輪距	前輪(mm)	1100	950	970
	後輪(mm)	1050	1200	1050
タイヤ圧	前輪(kg/cm <sup>2</sup> )	2.0	2.0	2.0
	後輪(kg/cm <sup>2</sup> )	1.2	1.2	1.2



B 機

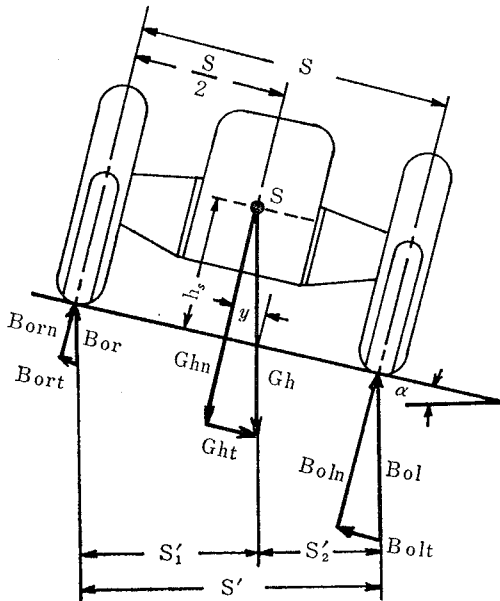
C 機

(b) 取付けた状態  
第1図 駆動輪用ガードル



第2図 タイヤの横すべり

めには、トラクタ前輪舵取角を傾斜に応じて山側に向ける必要がある。しかも、この舵取角の値は土壌の支持力に大きく影響される。舵取角を大きくとれば前輪の転動抵抗が増加し、牽引力の減少をきたす。砂地のような軟弱地での傾斜の大きい所では、地面が塑性変形をきたして左右両車輪の荷重差による車輪沈下のために、谷側車輪の有効径が小さくなり、機体は次第に谷側に降下した曲線運動を呈する。



第3図 機体傾斜と車輪荷重

いま、左右両車輪の荷重差を求めてみると第3図において、

$$S' = S \cos \alpha$$

$$S_1' = \left( \frac{S}{2} + y \right) \cos \alpha$$

$$S_2' = \left( \frac{S}{2} - y \right) \cos \alpha$$

したがって、

$$Gh S_2' - Bor S' = 0$$

$$Bor = Gh \frac{S_2'}{S'} = Gh \frac{\left( \frac{S}{2} - y \right) \cos \alpha}{S \cos \alpha}$$

$$= Gh \left( \frac{1}{2} - \frac{y}{S} \right)$$

同様に、

$$Bol = Gh \frac{S_1'}{S'} = Gh \frac{\left( \frac{S}{2} + y \right) \cos \alpha}{S \cos \alpha}$$

$$= Gh \left( \frac{1}{2} + \frac{y}{S} \right)$$

ただし、

$B_{ol}$ ,  $B_{or}$  : 駆動輪にかかる荷重

$S$  : 重心位置

$Gh$  : 後輪荷重

である。

左右両車輪の荷重差は、

$$B_{ol} - B_{or} = Gh \left( \frac{1}{2} + \frac{y}{S} \right) - Gh \left( \frac{1}{2} - \frac{y}{S} \right) = 2 Gh \cdot \frac{y}{S}$$

ここで、B機について  $\alpha = 8^\circ$  の場合の数値を代入してみると、 $Gh = 565 \text{kg}$ ,  $h_s = 0.58 \text{m}$  であるから、

$$y = h_s \tan \alpha = 0.58 \times 0.14 = 0.081 \text{m}$$

$$S = 0.95 \text{m}$$

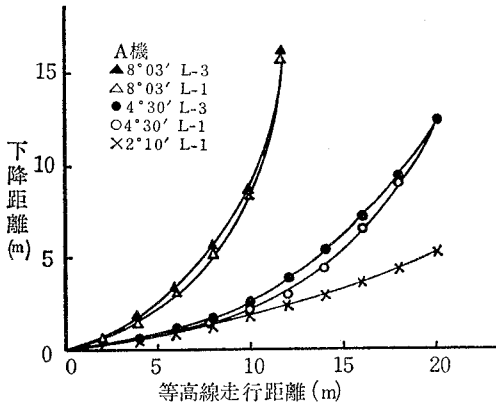
$$\therefore B_{ol} - B_{or} = 2 \times 565 \times \frac{0.081}{0.95} = 96.3 \text{kg}$$

この荷重は静置状態の値であって、駆動力が働いた時はさらに増加する。このために、軟弱地での谷側車輪沈下量が増加して、トラクタ機体の傾斜度は  $8^\circ$  よりもさらに増加し、車輪軌跡は加速度的な下降曲線を描く。

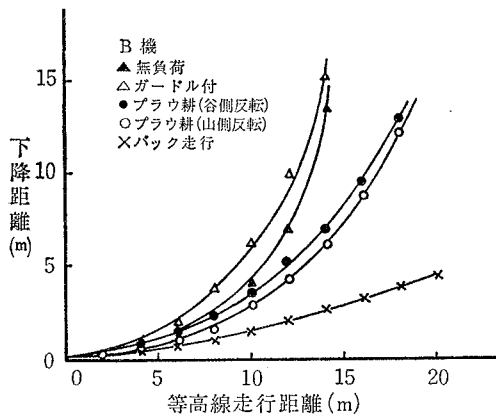
IV 実験結果および考察

(1) 傾斜度と車輪軌跡の関係

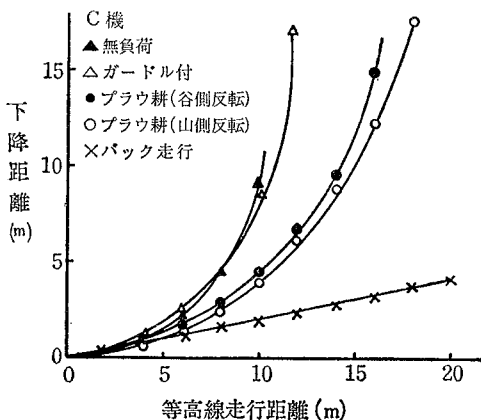
第4図, 第5図, 第6図は, A, B, C各機種における



第4図 走行条件と車輪軌跡



第5図 走行条件と車輪軌跡



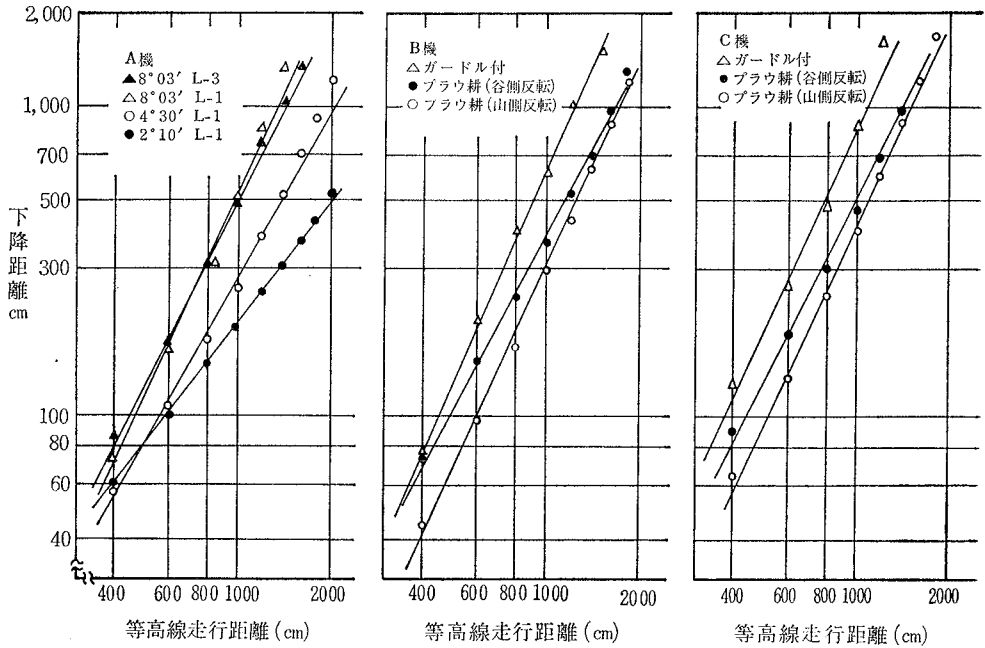
第6図 走行条件と車輪軌跡

る等高線走行距離と車輪軌跡の関係を示したグラフで、第4図は傾斜度が $2^{\circ}10'$ ,  $4^{\circ}30'$ ,  $8^{\circ}03'$ と増加するにしたがい機体は傾斜谷側方向に大きく横すべりを生じ、 $8^{\circ}03'$ の傾斜度では等高線沿い12mの地点にて、機体は等高線と直角の谷側方向に向く。なお、ここでは走行速度およびプラウ装着による駆動輪荷重の変化が、車輪の横すべりに与える影響は、グラフから判断できなかった。

第5図において、B機はハイラグタイヤを装備しているためか、他のAおよびC機よりもゆるやかな車輪軌跡を示しており、 $8^{\circ}03'$ においてAおよびC機は等高線沿い10~12m地点で、機体が $90^{\circ}$ 旋回しているが、B機ではその位置が14m地点となっている。これはハイラグタイヤが傾斜地の横すべりに対して、若干の防止効果をもつものと思われる。また、第1図のようなガードルを併用しても、ガードルの横すべりに対する防止効果はグラフには表われていない。しかしながら、プラウ耕を行った場合、車輪軌跡はしない場合に比して緩やかな曲線を描く。そして、同じプラウ耕において、山側反転の方が谷側反転よりも直進性が良くなる傾向を示している。さらに、バック走行は横すべり量が非常に少なく、前輪駆動の走行性のすぐれていることを示しているが、これらを車輪(駆動輪)の沈下量から比較してみた場合、同一傾斜地走行では、駆動輪の沈下量が増加するにしたがって直進性が向上する結果となっている。これは、駆動輪沈下の増加に従って、谷側方向にかかる機体の横方向分力の砂の支持力が、増加してくるためと思われる。

第6図においてC機は普通のゴムタイヤを装着しているが、B機に比べて方向安定性は劣っている。また、B機と同じくガードルによる横すべり防止の効果もみられない。すなわち、一般にガードルは、牽引性能の向上を目的とした形状となっており、傾斜地においてトラクタの車輪に作用する谷側横方向分力を支持する構造とはなっていない。C機においてもプラウ耕は、無負荷走行に比して方向安定性が向上し、横すべりは少なく、しかも山側反転の方が谷側反転よりも効果がある。プラウ耕をすれば、BおよびC機ともに25~30%近いスリップ率を示し、バック走行においては、最も方向安定性はあるがスリップ率は30%を越える。換言すれば、最も沈下量が多い。すなわち、無負荷走行時の沈下量は2~3cm、バック走行で6~7cmとなっている。

(2) 傾斜度と機体偏角, 横すべり角の関係



第7図 走行条件と車輪軌跡

前述したように、傾斜砂丘地を等高線に沿って前輪舵取角を0°に保持しながら走行させる時は、機種によりまた各種条件によって各々異った曲線を描いて機体は谷側に向い横すべりをした。この時の軌跡を両対数方眼紙にとると第7図のように直線をなす。したがって、

$$\log y = a \log x + b$$

とおきうる。ここで、 $\log y = Y$ ,  $\log x = X$ , とおくと、

$$Y = a X + b$$

いま、B機についてガードル付き、無負荷、走行速度L-3の場合の車輪軌跡を求めてみると、

$$Y = 2.4 X - 4.4$$

したがって、

$$\log y = 2.4 \log x + \log 10^{-4.4}$$

$$\therefore y = 4 \times 10^{-5} x^{2.4}$$

なる実験式が算出し得る。

以下、同様にして各場合につき実験式を求めてみるとつぎの如くである。

A機

傾斜度 2°10′, プラウ装着, L-1

$$y = 24 \times 10^{-4} x^{1.3}$$

傾斜度 4°30′, プラウ装着, L-1

$$y = 12 \times 10^{-4} x^{1.8}$$

傾斜度 8°03′, 無装備, L-1

$$y = 0.53 \times 10^{-4} x^{2.3}$$

B機

傾斜度 8°03′, ガードル, 無負荷, L-3

$$y = 0.25 \times 10^{-4} x^{2.4}$$

傾斜度 8°03′, ガードル, プラウ耕, 山側反転, L-3

$$y = 11 \times 10^{-4} x^{1.8}$$

傾斜度 8°30′, ガードル, プラウ耕, 谷側反転, L-3

$$y = 7.9 \times 10^{-4} x^{1.9}$$

C機

傾斜度 8°30′, ガードル, 無負荷, L-3

$$y = 11 \times 10^{-4} x^{1.9}$$

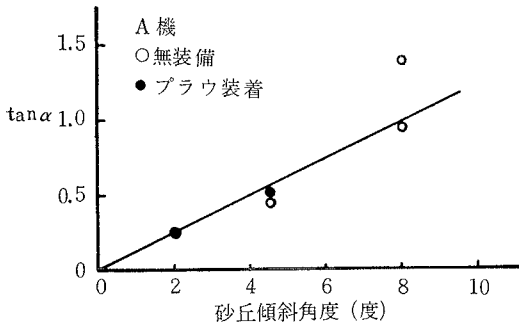
傾斜度 8°30′, ガードル, プラウ耕, 山側反転, L-3

$$y = 26 \times 10^{-4} x^{1.7}$$

傾斜度 8°03′, ガードル, プラウ耕, 谷側反転, L-3

$$y = 4.3 \times 10^{-4} x^{1.9}$$

かくして得られた実験式を微分して、 $x=10\text{cm}$ 地点での接線勾配、すなわち、横すべり角と機体偏角の和を  $\tan \alpha$  として、砂丘傾斜度との関係を示したのが第8図である。砂丘傾斜度が増加するにしたがって、 $\tan \alpha$  も

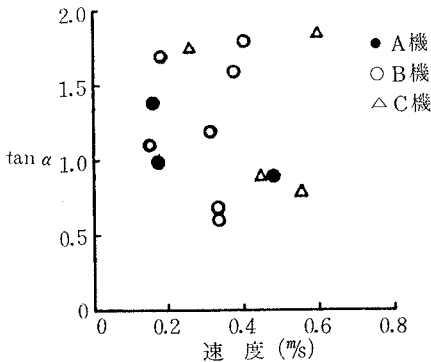


第8図 砂丘傾斜度と機体偏角+横すべり角

ほぼ直線的に増加しており、 $8^{\circ}03'$  では機体と  $x$  軸とのなす角はほぼ  $45^{\circ}$  となっている。

(3) 走行速度と機体偏角、横すべり角の関係

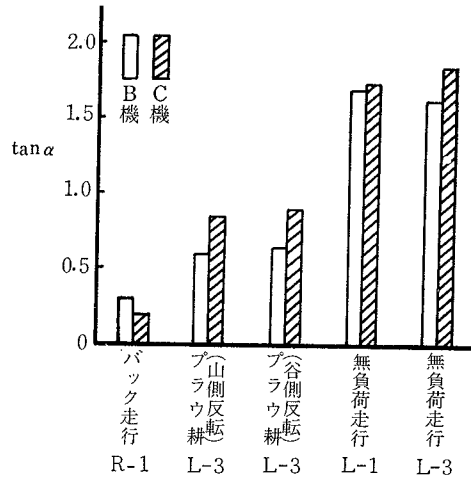
第9図にみられるごとく、走行速度を変化させた場合の横すべりの影響は、A、B、C機とも認められなかった。



第9図 走行速度と機体偏角+横すべり角

(4) 走行条件と機体偏角、横すべり角の関係

第10図はBおよびC機について、走行条件と  $x=10\text{m}$  の地点における  $\tan \alpha$  との関係について表したものである。無負荷バック走行、プラウ耕の山側反転、プラウ耕の谷側反転、無負荷走行の順に  $\tan \alpha$  は増加していることが分かる。また、B機の方がC機よりも  $\tan \alpha$



第10図 走行条件と機体偏角+横すべり角

は小さい値を示しているが、これはB機がハイラグタイヤを使用しているため、横すべりに対する防止効果が現われたものと判断された。

V 要 約

本実験の結果を要約すると次の通りである。

- (1) 傾斜砂丘地において、前輪舵取角を  $0^{\circ}$  に固定し等高線に平行にトラクタの機体を置いて無負荷走行をさせた場合は、傾斜度の増加にしたがって横すべりは大きくなり、 $y = Ax^n$  なる軌跡を描く。
- (2) ハイラグタイヤは、横すべり防止に対して効果はあるが、本実験において後車輪に供試したガードルの効果は認められなかった。
- (3) プラウ耕をした場合は、無負荷走行時よりも方向安定性は向上し、谷側反転よりも山側反転の方が横すべりは少なかった。
- (4) バック走行は、横すべりが非常に少なく、最も方向安定性はあったが、スリップ率は高く、駆動輪の沈下量が  $6 \sim 7\text{cm}$  となって深かった。
- (5) 走行速度の変化による横すべりの影響は、この実験では認められなかった。

参 考 文 献

1) 田辺・来田・増田・川崎：傾斜地における4輪トラクタの等高線方向牽引、走行性に関する研究(第1報)、農業機械学会誌、第28巻、第2号、1966

- |  |   |
|--|---|
| 2) 近藤政市：基礎自動車工学前期編，養賢堂，1967                    | wirtschaftliche Aggregate bei Arbeiten am   |
| 3) Schilling, E. : Landmaschinen, 1-Band, 1960 | Querhang, Landtechnische Forschung, Jr. 17, |
| 4) Habarta, F. : Das seitliche Abgleiten land- | Ht. 4, s. 97~105, 1967                      |

### Summary

The steering stability of four-wheel type farm tractors has been tested experimentally in an inclined sand dune field. Results obtained in such experiments are summarized as follows;

- (1) When tractors were adjusted to  $0^\circ$  in the steering angle of the front wheels running along the contour line, the sideslip of tractor wheels increased with an increase in gradient. Wheel tire tracks are indicated by the equation  $y = Ax^n$ .
- (2) Sideslip of wheels was prevented by effectively using the high lug tires. But the rear wheel girdle used in these tests did not act to prevent sideslipping of wheels.
- (3) In the case of plowing, sideslip of wheels decreased and the steering stability was kept constant.
- (4) When the tractor was running in reverse, sideslip of wheels was slight. However, slippage of rear wheels was great and sinkage was to 6~7 cm in depth.
- (5) Changing the running speed of the tractor had no appreciable effect on the sideslip of wheels in these tests.