

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3報)

前車輪の沈下と抵抗

石原 昂・樋口 英夫・岩崎 正美

(農学部農業工学科)

Studies on the Performance of the Four Wheel Tractor
in an Inclined Sand Dune Field (III)

The sinking and the resistance of front wheel.

Akira ISHIHARA, Hideo HIGUCHI and Masami IWASAKI

(Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture)

Summary

The sinking and running resistance in sand of the front wheels of a four-wheel farm tractor has been measured in a testing apparatus.

Some results obtained in the experiments are summarized as follows:

1. The running resistance of the wheel was not affected by variation of soil hardness and soil moisture content. In general, the running resistance of the tractor wheel in sand was higher than that in loam soil.
2. In the sand, the slippage of the tire increased and wheel sank deeply. When the deflecting angle of the front wheel was increased, the running resistance and the tire slippage increased considerably.
3. It was shown that the force of resistance on sand affects not only the rear wheels of the tractor, but also the front wheels.
4. Therefore, a special attachment such as a wheel girdle or strake for the front wheels must be developed for using tractors in sand fields.

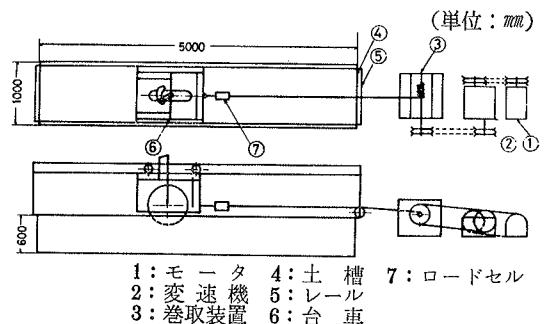
I 緒 言

第1報(1)および第2報(2)において、傾斜砂丘畑におけるトラクタの走行を阻害している要因は、車輪の形状、重量、機体の重量バランス、砂丘砂の形態、など多要素が存在することを指摘したが、前車輪の条件も重要な一要素であることが分った。

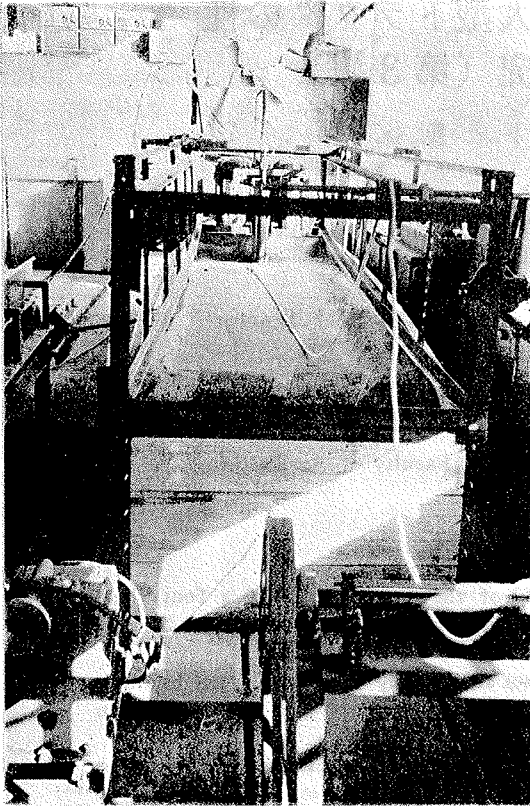
そこで、本報ではトラクタが砂丘砂上を走行する場合に、トラクタの走行性におよぼす前車輪の影響を解明するため走行試験を行なった。試験には砂丘砂の土槽を作り、その上を走行させた時の前車輪軸上の載荷荷重、車輪の偏角、走行速度、砂の水分および硬さ、など諸条件のおよぼす影響を前車輪について試験した。

II 実験装置および方法

実験装置を第1図および第2図に示す。木製土槽の中

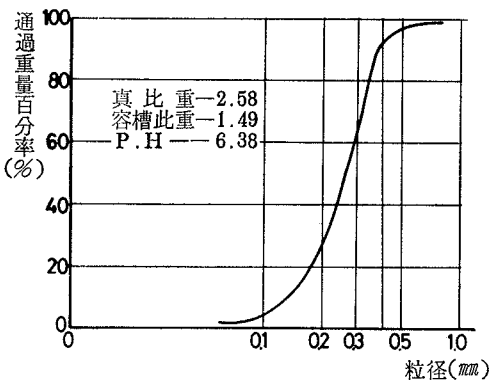


第1図 実験装置模式図



第2図 実験装置

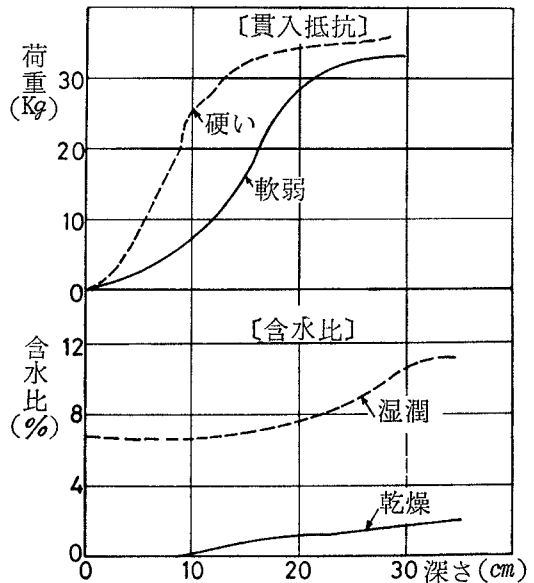
に供試砂を入れ、その上部に鉄製のフレームを設け、このフレーム上部をガイドとして前車輪を装着した台車を走行させた。台車を走行させるためには、台車の一端にロープを取付け、そのロープの他端をロープ巻取装置で巻取り牽引した。なお、巻取装置はモータ変速装置と連



第3図 供試砂の粒径加積曲線

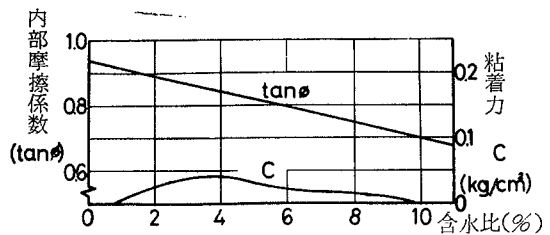
結させた。かくして、前車輪走行時の牽引力、スリップ率、車輪沈下量、砂の車輪通過後断面、などをストレインメーターで測定した。

供試砂は鳥取市浜坂の砂丘砂で、真比重2.58、容積比重1.49、pH6.38、含水比5.73%である。第3図にその粒径加積曲線を示す。供試砂の水分は、乾燥時と湿潤時の各場合について、硬度が締め固めて硬い状態と締め固めない軟弱な状態とについて実験を行なった。第4図は



第4図 供試砂の硬度と水分

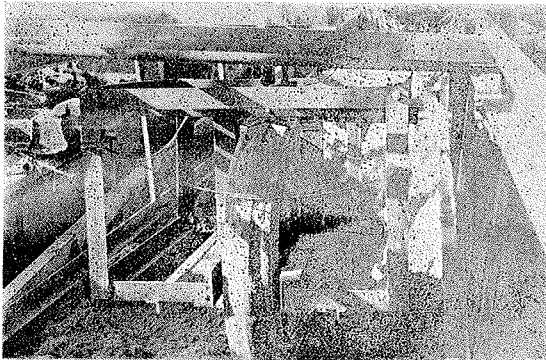
深さと貫入抵抗および含水比との関係を示したものである。また、第5図には含水比と内部摩擦係数および粘着力との関係を示す。



第5図 供試砂の内部摩擦係数と粘着力

供試車輪は、第1報および第2報で供試した供試トラクタA機の前車輪(4.00—15—4PR)(1)を一定の空気圧(2.0Kg/cm²)で使用した。

供試台車は、土槽上のレールの軌道上を自由に移動出来る装置とし、供試車輪を自由支持し、車輪の偏角、車軸上重量が調節し得るように試作した。第6図に供試台車と車輪との取付け状態を示す。



第6図 試験車台と車輪の取付け状態

荷重はトラクタ 装備時を想定して、前車輪負担荷重 200Kgを中心に、60, 150, 200, 250Kg, 走行速度はプラウ耕時の速度を主体に、1, 2, 4, 6Km/h, 車輪偏角は 0° , 15° , 30° , 45° の4段階に変化させて実験を行なった。

測定方法を述べると次の通りである。

走行抵抗は、台車と牽引ロープの間にロードセルを挿入し、これをストレインメーター、電磁オッシロに連絡し記録させた。

スリップ率は、台車の一部に電磁石を設備し、また、車輪車軸の同一円周上に等間隔 (12ヶ所) に突起物を取付け、車輪が2mの一定距離を走行する間に突起物が磁力線を切る回数をオッシロに記録させ、その数を判読することによって測定した。

車輪沈下量は、まず車輪走行前に土槽上端面から一定深さに砂の表層を均しておく。そして車輪を走行させ、その時の車輪の沈下深さをボリュームによって変位置換し、オッシロに記録させた。

車輪通過断面は、車輪通過後のわだちおよび砂の変形状態を測定するために、車輪通過後に透明プラスチックの薄板を砂中に挿入しその断面を実写した。

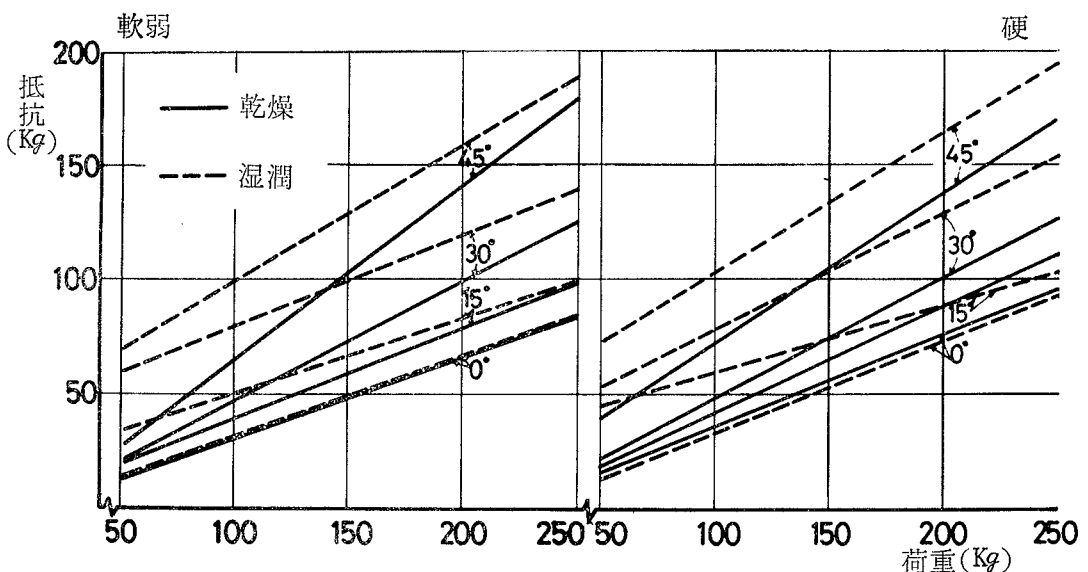
III 実験結果および考察

(1) 走行抵抗

トラクタの走行抵抗は、走行装置の通過によって生ずる土壤の圧縮による抵抗、土壤の排除による抵抗、土壤の機体への付着による抵抗の3つが主なものとされている。(3.4) 本実験においては、土壤の機体への付着はほとんどなく、土壤の圧縮による抵抗と土壤の排除による抵抗が主なものであった。

(a) 供試砂の状態による影響

第7図は走行速度が2Km/hで、供試砂の硬度が軟弱および硬い場合、水分が乾燥および湿潤の場合における各



第7図 荷重と走行抵抗との関係

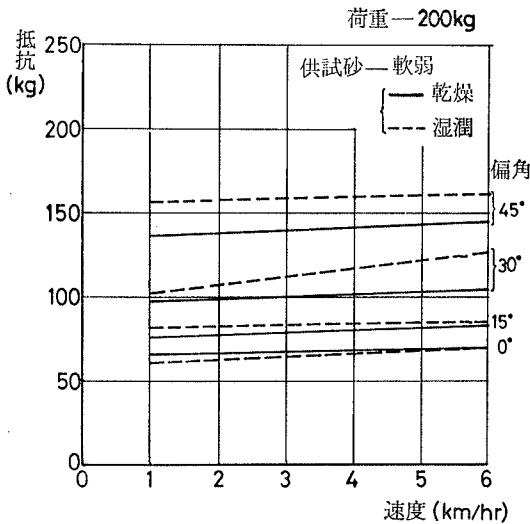
車輪偏角ごとの荷重と走行抵抗との関係を示したものである。本図に示されるごとく、供試砂の硬度の差による走行抵抗の相違は表われなかった。また、水分の差については、湿潤の時は走行抵抗は幾分大きく、車輪偏角が大きい場合には特にその差は大きい。

(b) 荷重による影響

第7図に示すように、走行抵抗は荷重に対して一次の比例関数関係を示し、荷重が増加するに伴い走行抵抗も増加した。

(c) 走行速度による影響

第8図は、供試砂が軟弱の場合において、水分が乾燥



第8図 走行速度と走行抵抗との関係

$$S = \int_{R-H}^R [R \{ \sin(\theta + 2\alpha) - \sin\theta \} + \sin\theta \cdot \sqrt{R^2 - X^2}] dX + \sin\theta \int_{R-H}^R \sqrt{R^2 - H^2} dX$$

$$\approx RH \{ \sin(\theta + 2\alpha) - \sin\theta \} + 243 \sin\theta \dots \dots \dots (1)$$

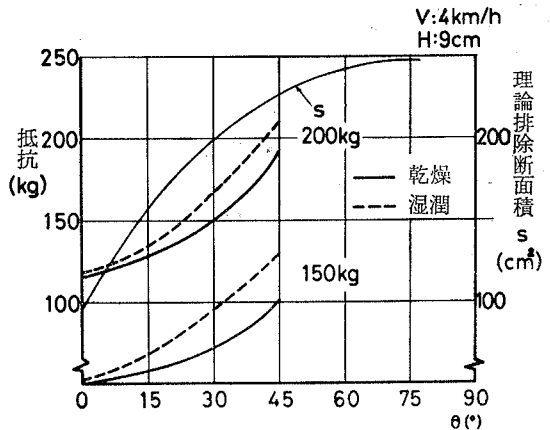
第10図は、(1)式に車輪沈下量を代入してSを求め、その値と車輪偏角との関係を示したものと、供試砂が軟弱状態で荷重が150Kgおよび200Kg、走行速度が4Km/hで走行した時の、車輪偏角と走行抵抗との関係を示したものである。本図から明らかのように、走行抵抗は、車輪偏角の増加に対して2次函数的に増加を示し、また、乾燥時よりも湿潤時の場合の方がやや大きな値を示している。

つぎに、走行抵抗は前述したように、本実験においては、排除抵抗による影響が大きいと考えられたので、(2)

および湿潤時、車輪偏角が0°、15°、30°、45°の各時、荷重が200Kg、の各場合における走行速度と走行抵抗との関係を示したものである。本図に示されるごとく、走行抵抗はほとんど走行速度に影響されていない。

(d) 車輪偏角による影響

走行抵抗は、第7図および第9図に示すように、車輪



第9図 走行抵抗の車輪偏角による影響

偏角の影響を受けている。また、同時に車輪偏角は土砂の排除断面に影響を与えることが分った。

そこで、いま、理論的に排除断面積を考察してみる。車輪径を2R、進行方向(Y軸)と車輪面とのなす角をθ、Y軸と直角方向で車輪中心を通る軸をX軸、車輪中心とその端面とのなす角を2α、車輪沈下量をH、とすると、理論排除断面積Sは(1)式で表わされる。

式に示すように、Bekkerなどの式(3.4)によって排除抵抗の理論値を求めてみた。

$$R_b = \frac{b \sin(\alpha + \phi)}{2 \sin\alpha \cdot \cos\phi} (2HCK_c + \gamma H^2 K_r) + \frac{\pi t^3 \gamma (\pi/2 - \phi)}{540}$$

$$+ \frac{C \pi t^2}{180} + Ct^2 \tan(\pi/4 + \phi/2) \dots \dots (2)$$

ただし、

$$K_c = (N c - \tan\phi) C \cos^2 \phi$$

$$K_r = \left(\frac{2Nr}{\tan\phi} + 1 \right) \cos^2 \phi$$

$$t = H \tan^2 (\pi/4 - \phi/2)$$

$$\alpha = \text{Cos}^{-1}(1 - 2H/D)$$

R_b : 排除抵抗

b : 車輪幅

H : 車輪沈下量

D : 車輪外径

r : 供試砂の比重

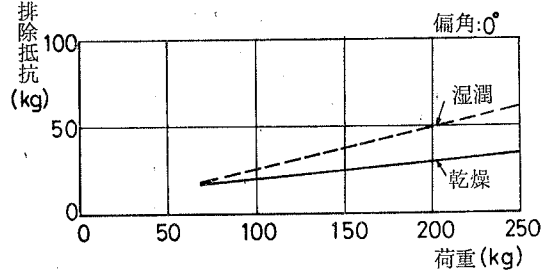
ϕ : 供試砂の内部摩擦角

C : 供試砂の粘着力

N_c, N_r : ϕ による係数

第10図は、供試砂が軟弱で、水分が湿潤および乾燥時、走行速度が2 Km/h、車輪偏角が0°の時の、荷重と排除抵抗の理論値との関係を示したものである。本図に示されるごとく排除抵抗の理論値と荷重とは、ほぼ正比例

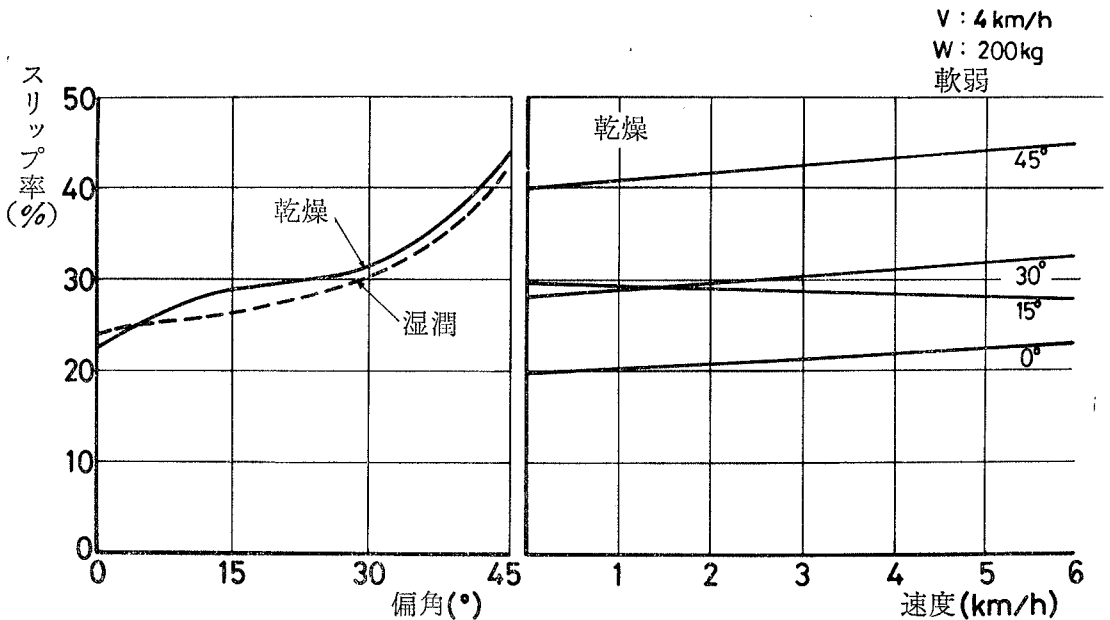
の関係にある。



第10図 荷重と排除抵抗との関係

(2) スリップ率

第11図は、供試砂が軟弱、荷重が200Kgの時の、車輪偏角および走行速度とスリップ率との関係を示したもの



第11図 車輪偏角および走行速度とスリップ率との関係

である。左図は特に走行速度が4Km/hの時の関係を示したものである。本図では、偏角が0°の時ですらスリップ率は20%以上を示している。また、車輪偏角とスリップ率とは増加関数の関係にあって、特に偏角が30°以上になるとスリップ率は急激に増加することを示した。また、スリップ率は走行速度によってあまり変化しなかった。

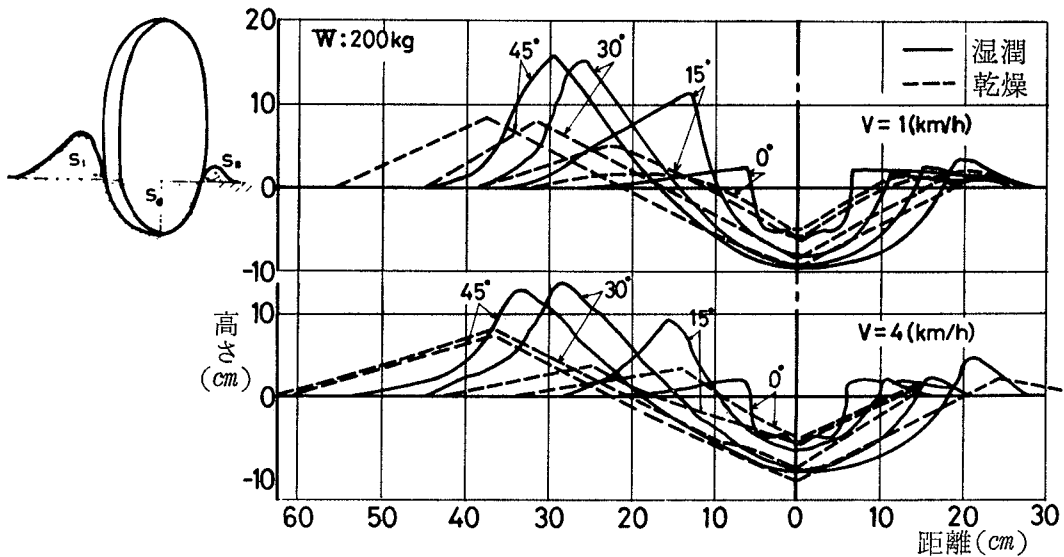
(3) 車輪沈下量

供試砂が軟弱で、水分が乾燥および湿潤の各場合、走

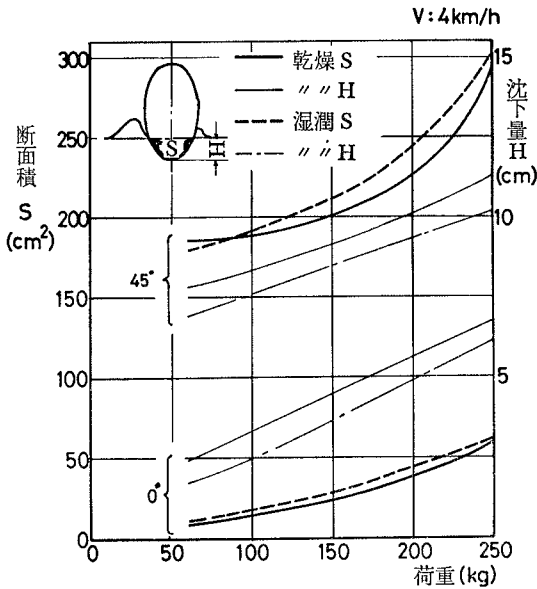
行速度4Km/hで走行し、車輪偏角が0°および45°の各場合について、荷重と実測排除断面積および車輪沈下量との関係を第12図に示す。本図に示されるように、車輪沈下量は荷重の変化に正比例の関係にある。また、排除断面の大きさは、荷重と増加関数の関係にあったが、特に荷重が200Kg以上になると、その度合は一層増加した。

(4) 車輪通過後断面

第13図は、供試砂が軟弱で、荷重が200Kg、走行速度が1および4Km/hで走行した後の、車輪の断面形状を示



第13図 車輪通過後断面



第12図 車輪沈下量と排除断面積

したものである。

供試砂の水分が多い場合には、乾燥時に比較して通過断面の面積は多いが、反面、土砂の飛散距離は少ないことが分る。

IV 要 約

本実験の結果を要約すると、次の通りである。

(1) 走行抵抗は、土壌硬度、水分の変化によって、あまり大きな影響を受けない。しかし、壊土などの場合と比較すれば、砂丘砂の場合は走行抵抗の値が大きく、特に排除抵抗が大きいことを示した。

(2) また、砂丘砂ではスリップ率、車輪沈下量も大きく表われた。特に車輪偏角の増加に伴い、走行抵抗、スリップ率、車輪沈下量は増加した。

(3) すなわち、砂丘砂においてトラクタが走行する場合には、トラクタの前輪にも大きな抵抗が加わっていることを示した。

(4) 今後、砂丘畑にトラクタを導入するにあたってはトラクタの前車輪部にもこれらを減ずるような、砂丘畑用の走行装置の開発が望ましい。

参 考 文 献

1. 石原昂・樋口英夫・岩崎正美：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），鳥取大学農学部砂丘研究所報告，第10号，1971
2. ————・—————・—————：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2報），同，第11号，1972
3. Bekker, M : Off-The-Road Locomotion 32, The University of Michigan Press, 1960
4. Terzaghi, K : Theoretical Soil Mechanics, 1944