

# 干陸ほ場におけるトラクタの走行性について (2)

## 転動車輪の沈下と走り抵抗

中尾清治<sup>※</sup>・田辺一<sup>※</sup>

Seiji NAKAO and Hajime TANABE

### Trafficability of Tractor on the Reclaimed Land (2)

### Relation between Travelling Resistance and Sinkage of Model Rolling Wheel

#### I. 緒言

軟弱な地盤では、トラクタのけん引性能は極度に低下する。とくに干陸初期の段階ではトラクタの走行可能性が問題となる。このような地帯でのトラクタの走行の可否は、主として車輪の沈下によって決定づけられるので、第1報<sup>1)</sup>においては車輪の沈下がもっとも大きくなると考えられる膨軟土壌状態において駆動する車輪の沈下について検討した。

しかしながら、トラクタは前輪も土中に沈下して車輪の回転が困難となると同時に、その走り抵抗は大きい値となる。この抵抗は車輪の沈下が大きくなるとますます大きな値となり、トラクタのけん引性能低下の直接の原因となる。したがって、ここではこの問題をとりあげ第1報と同様に中海干拓地(島田地区)の土壌を中心に、他の2種の土壌すなわちロームと砂とを比較して、土壌条件を変えることによる転動車輪の沈下と走り抵抗の関係を検討した。

#### II. 実験方法

実験装置は、縦1500mm、横500mm、深さ150mmの土壌そうの中に供試土壌を入れ、その平たん面上で模型の車輪を一定の速度(71.4mm/sec)でけん引測定するもので、このけん引抵抗値をその時の車輪の走り抵抗とした。

供試土壌は第1報と同じく、中海干拓土壌(シルト質粘土)、ロームおよび砂の三種の土壌を用い、採土後粉末状態にしてから水分を与えた。したがって土壌の状態は土壌水分によって、砂ではその性状はあまり変化しないが、中海干拓土壌、ロームでは性状は極度に变化す

る。したがって中海干拓土壌およびロームでは土壌水分の少ないとき、土壌密度を均一にするためにコンクリートローラ(直径150mm、長さ300mm、重量10kg)で5回転圧した。土壌水分が多いときは、流動状態に近くなり比較的均一の土壌密度を保ちうるので転圧を行なわなかった。砂では、転圧しなくても比較的均一の土壌密度を保つことができるので、この場合は同一の土壌水分で土壌密度の大きいときと小さいときについて測定した。この場合土壌密度を大きくするために前述のコンクリートローラを用いた。このように土壌条件を変化させるために土壌水分および土壌密度を変えた。実験を行なったときの土壌条件は第1表のとおりである。

また、これらの土壌条件と車輪の沈下量、走り抵抗などの相互関係を検討するための媒介として貫入抵抗値を測定するため円すい型の貫入計を用いた。土壌への貫入部の先端は、底面積2cm<sup>2</sup>、先端角30°の円すい型で、貫入するときの抵抗値をストレンメーターを介してオシロに記録させるようにした。

車輪の沈下量の測定

には、土壌表面を基準とする平鉄上に速度計測輪を同時にけん引し、車輪の沈下と基準面との差を速度輪取付部の回転型抵抗器によって電圧に変化させオシロに記録させた。

模型のタイヤは直径100mm、幅36mmで踏面には幅2mm、5

第1表 土壌条件

No.	土壌水分	乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>
中海干拓土壌		
①	14.1	0.94
②	42.8	1.17
③	66.7	1.02
④	88.7	0.88
ローム		
⑤	11.1	0.97
⑥	38.9	1.27
⑦	46.2	1.21
砂		
⑧	0.6	1.23
⑨	0.6	1.41
⑩	9.4	1.28
⑪	9.4	1.46
⑫	27.3	1.29

※農業機械工学研究室

本の単純直線型パターンがある。また、車輪の配列の相違による走り抵抗値の変化も検討するために、単列2輪と複列4輪の二通りの車輪配列とした。

### III. 実験結果および考察

#### 1. 車輪荷重と沈下量

中海干拓土壌における車輪荷重と車輪の沈下の傾向は第1、2図に示されるような直線の変化となり、土壌条件①、②のような土壌水分の少ないときは車輪荷重に対して直線の勾配が小さい。この範囲内では土壌の圧縮が考慮されるので過大の車輪荷重になっても沈下は急に増加しない。また単列2輪は複列4輪のより同一車輪荷重のときほぼ2倍の沈下量を示し、車輪1個当りの分担車輪荷重に対する沈下量が等しいことになり、その値によって車輪の増減に対する沈下量が算定されることになる。しかし土壌条件③、④のように土壌水分が多くなっていくとこの変化に対する勾配は急に増加する。そして単列2輪と複列4輪の沈下量は同一車輪荷重ではほぼ同じ値に近づく。これは土壌状態が圧縮性から流動状態になるため鉛直支持力を失うことによるものと考えられる。

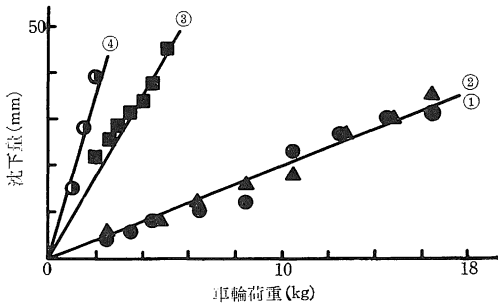
この傾向を他の二種の土壌（第3、4図）と比較してみると、砂については土壌水分が変化しても沈下量はあまり変化せず、むしろ土壌密度の大小によって影響される。とくに土壌密度が小さいときの傾向は中海干拓土壌

の土壌水分の少ない場合と同じように、単列2輪の沈下量は複列4輪の約2倍ぐらいになった。またロームについては土壌水分の少ないときは比較的中海干拓土壌と似た傾向を持った。土壌水分が多くなっても中海干拓土壌ほどに直線の勾配は大きくならない。流動状態になっても同様であり、したがって、中海干拓土壌は土壌水分が過多になると非常に沈下しやすいということになる。

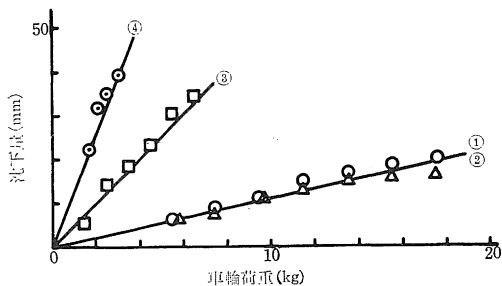
#### 2. 車輪荷重と走り抵抗

中海干拓土壌で土壌水分の少ないときは、できるだけ均一の土壌密度を得るために転圧を行なったので車輪は沈下しがたく、このときの車輪荷重と走り抵抗の関係は第5図および第6図の土壌条件①に示されるように勾配の小さい直線の変化で、車輪荷重が大きくなっても走り抵抗はあまり大きくならなかった。これは車輪の沈下が比較的少ないためであり、単列2輪および複列4輪いずれの状態も同じ傾向を示す。土壌水分が多くなっていくとこの変化する勾配は急になり、とくに土壌水分が過多になると車輪荷重の増加に対しては走り抵抗はより増大するような曲線になった。これはある土壌状態において、車輪の一定の支持限度荷重があると考えられ、それを越えたとき沈下が進んで回転が困難となるために走り抵抗が増大するものと考えられる。

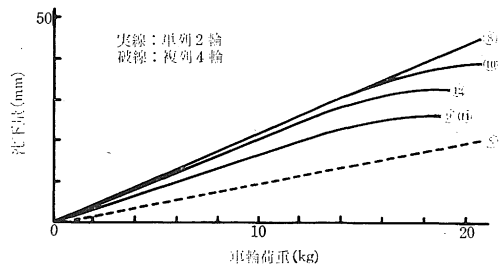
これらを他の土壌と比較してみると、砂の場合は（第7図）1）項と同じように土壌水分による変化より土壌密度によって走り抵抗は変化する。すなわち、土壌密度が小さいときは荷重の増大によって走り抵抗の変化率は



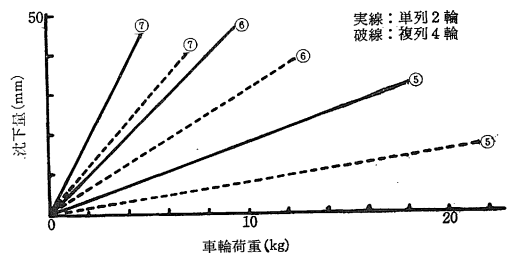
第1図 干拓土壌における単列2輪のときの車輪の沈下量



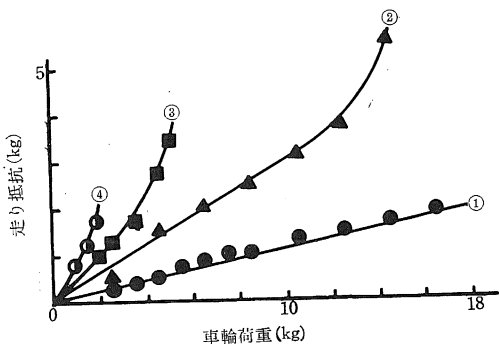
第2図 干拓土壌における複列4輪のときの車輪の沈下量



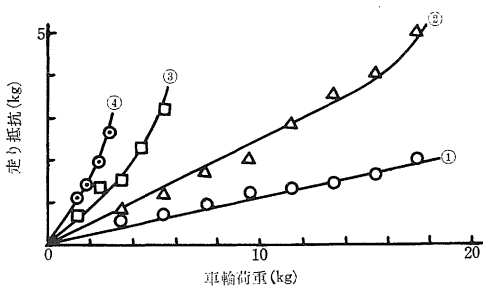
第3図 砂における車輪の沈下量



第4図 ロームにおける車輪の沈下量



第5図 干拓土壌における単列2輪のときの走り抵抗



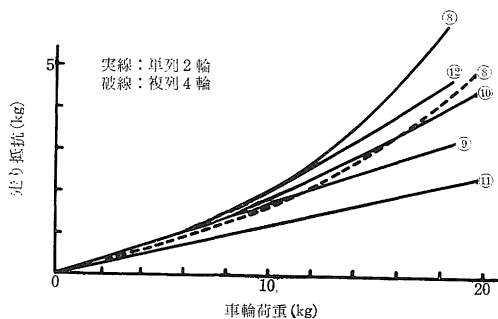
第6図 干拓土壌における複列4輪のときの走り抵抗

大きくその変化は曲線となった。また土壌密度が大きいときは直線の変化であり、これらは車輪の沈下によるころがりの難易を示すことになる。これらの傾向は絶対値は異なるが、土壌密度の小さいときは中海干拓土壌の土壌水分の多いときに、また土壌密度の大きいときは中海干拓土壌の土壌水分の少ないときの傾向とよく似ていた。このことから、土壌密度をもっと小さくするか、あるいはさらに狭い幅の車輪を砂に用いればこの絶対値比較実験も考えられるのではなからうか。

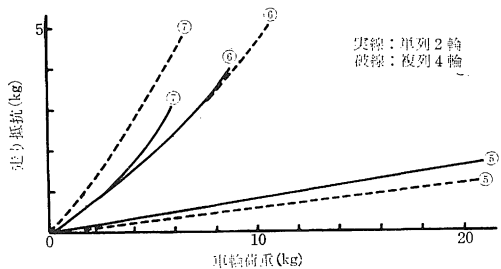
ロームについては(第8図)、土壌水分の変化によって比較的中海干拓土壌と同様の傾向を示した。すなわち土壌水分の変化によって、土壌が比較的似た状態で車輪に影響をおよぼすと考えられる。ただこの土壌の場合はある土壌水分で車輪への土の附着が多くなり、そのため単列2輪よりも複列4輪がより大きい走り抵抗を示す場合があった。このように土の附着が多いときは、模型実験ではその影響が大きいので測定値の比較は困難であった。

### 3. 走り抵抗と貫入抵抗の積算値の関係

1), 2) 項についてトラクタの走行可否の判定をするために、各種の貫入計によってその基準がいろいろ論じられている。<sup>2)-6)</sup>ここではその走行性を論ずるための



第7図 砂における走り抵抗



第8図 ロームにおける走り抵抗

基礎資料として、沈下した車輪の走り抵抗と円すい型貫入抵抗値との関係を検討した。<sup>7)</sup>

いままでに示してきたように、各種の土壌およびその土壌状態によって車輪の沈下量が異なり、その車輪の走り抵抗も異なる。この走り抵抗は車輪荷重と車輪の沈下によって左右されるので、まず車輪の沈下と走り抵抗との関連について考えると、沈下した車輪の走り抵抗は車輪の回転部分の摩擦のみならず、車輪が回転するために前方の土壌を圧縮あるいは排除することにより生じる抵抗がある。この抵抗は土壌の状態によって異なるものと考えられるので、この状態の硬さを表示するために貫入部が円すい型の貫入計を用いて、一定の速度で土壌中に貫入してその抵抗値を深さごとに連続して測定した。

ここで、沈下した車輪の走り抵抗はこの貫入抵抗値の積算に比例するものと考えられるので、地表から車輪が沈下した深さまでの貫入抵抗の積算値を計算した。すなわち、

$$R = \int_0^{z_0} F(z) dz$$

R: 地表から車輪沈下深さ  $z_0$  までの貫入抵抗の積算値

$z_0$ : 車輪の沈下量

$F(z)$ : 土壌の深さに対する貫入抵抗値

この式で計算される貫入抵抗の積算値は車輪の単位幅

当りの値になるので、走り抵抗も同一の考えで示さなければならぬ。しかしながら、ここでは模型実験であるので車輪の大きさに対して貫入計の土壌への貫入部が大きく車輪の単位幅当りの貫入抵抗の積算値とすることはできない。このため単位車輪当りの走り抵抗としてこの貫入抵抗値の積算値とを比較検討した。

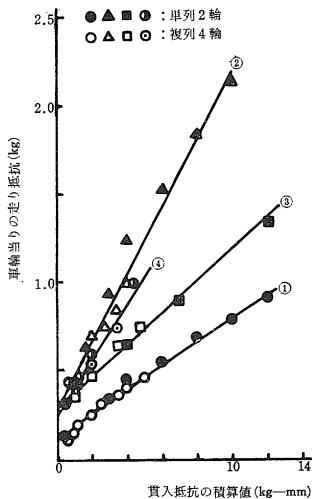
中海干拓土壌についてこの貫入抵抗の積算値と車輪当りの走り抵抗の関係を計算すると第9図のようになる。図に示されるように各土壌水分によって異なった勾配をしているが、ほぼ直線の変化の傾向を示している。これらの値が原点を通らないのは、車輪が沈下をしないときでも走り抵抗は存在するところをしている。またこれらのうち土壌条件②は急な勾配の直線の変化で示されているが、これは他と比較して車輪の沈下に対する走り抵抗が大きいことを示す。すなわちこの土壌状態では車輪に対する土壌の各種の抵抗が大きいことを示し、また車輪への土の付着がわずかにあったことも原因している。

単列2輪と複列4輪では同一水分のときは同一線上すなわち同一の傾向を示し、同一直線上では測定点は複列4輪は原点近くにもた単列2輪はそれに比較して遠くにある。これは車輪の数に応じた支採力を得ることができることを示しており、車輪の数を多くすることはそれに比例した支持力の増大を得ることができ、車輪の沈下量は少なくなることになる。

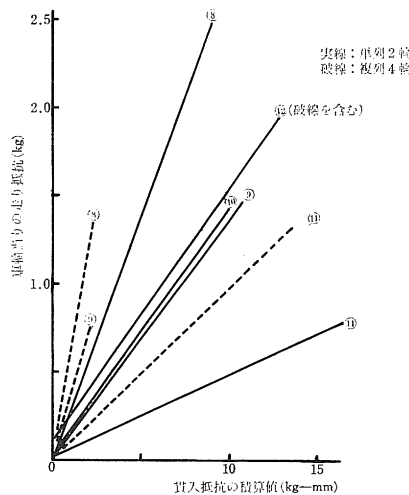
これを他の土壌と比較してみると、砂では（第10図）同じように直線の変化をするが、土壌状態によってその勾配は異なる。とくに同一土壌水分では土壌密度の小

さいときが大きいときに比べてこの直線の勾配は大きい。また同一土壌状態でも単列2輪と複列4輪とは異なり、後者が前者より直線の勾配は大きい。このことは車輪数を多くしたときそれに応じた走り抵抗よりもさらに多くの抵抗を必要とすることを示し、したがって車輪の沈下量および走り抵抗は中海干拓土壌とよく似ていたが絶対値が異なるために、その相互関係の形態はやや異なる性質をもつ。またロームについては（第11図）同様に土壌水分の変化によって異なる直線の変化であり、砂の場合と同じように単列2輪は複列4輪に比較して直線の勾配は小さく、このことは沈下を少なくするために車輪数を増してもそれに応じて走り抵抗は小さくならないことになる。したがって中海干拓土壌とは異なった様相を呈する。

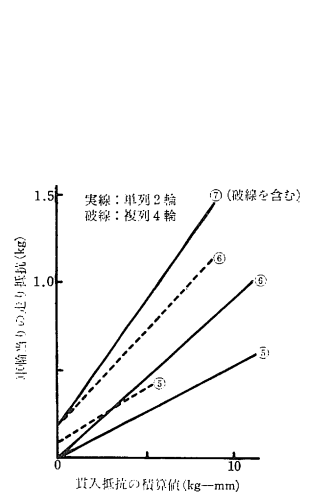
このように各土壌において車輪沈下深さまでの円すい型貫入抵抗の積算値と車輪当りの走り抵抗は各土壌状態によって勾配は異なるが直線の変化を示した。この勾配が大きくなることは、土壌水分の多少にかかわらず車輪の回転が困難になり走り抵抗が増大することである。中海干拓土壌では車輪を単列2輪にしても複列4輪にしても、同一土壌状態では同一直線上になる。このことから同一土壌状態では車輪数の増減に関係なく車輪当りの積算荷重に応じた沈下量とそれに比例した走り抵抗を得ることができる。したがって中海干拓土壌に限ってはある土壌状態のとき、基本的車輪形態についてこれらの測定をして、この単位車輪当りの走り抵抗と貫入抵抗の積算値を求めておき、車輪数または車輪荷重を変化さ



第9図 干拓土壌における貫入抵抗と走り抵抗の関係



第10図 砂における貫入抵抗と走り抵抗の関係



第11図 ロームにおける貫入抵抗と走り抵抗の関係

せたとき、車輪の沈下量を他の方法で推定するかあるいは静的沈下(重量沈下)<sup>1)</sup>を測定すれば、走り抵抗がこれから計算できることになる。

#### IV. 摘 要

干陸ほ場では、トラクタの走行可能性が問題となり、これを予知することが必要となる。それは主として土壤状態と車輪の沈下によって決定づけられる。

ここでは第1報につづいて、これを予知するために、車輪の沈下量、走り抵抗と土壤への円すい型貫入抵抗の積算値との関係を検討した。

実験は中海干拓土壤(島田地区)を選び、土壤そうに入れ模型のトラクタをけん引して土壤水分と土壤密度の変化に対する走り抵抗と車輪の沈下量を測定した。土壤は他と比較するために、ローム、砂についても同様に測定した。模型トラクタの車輪の配列は単列2輪と複列4輪とした。

これらの実験結果から、中海干拓土壤についてつぎのような傾向が得られた。

1. 車輪荷重と沈下量の関係は、土壤状態によって異なる直線の変化の傾向を示し、土壤水分が多くなると沈下量は増大する。土壤水分の少ないとき同一荷重で単列2輪は複列4輪の2倍の車輪の沈下量を示したが、土壤水分が多くなると沈下量は同一の傾向に近づいた。

2. 車輪荷重と走り抵抗の関係は、土壤状態によって異なり土壤水分の少ないときは直線の変化で、土壤水分が多いときは車輪荷重が大きくなると急に走り抵抗が増大する曲線の変化となった。車輪の配列では単列2輪、

複列4輪ともに同じ傾向を示した。

3. これらの傾向から、地表より車輪の沈下深さまでの貫入抵抗の積算値と車輪当りの走り抵抗値の関係を検討すると、各土壤状態によって直線の変化を示し、車輪当りの走り抵抗が大きいとすなわち急な勾配を示すときは車輪のころがりが困難なことがわかる。また車輪を単列2輪、複列4輪のどちらにしても同一土壤状態では同一直線になった。したがって基本的な車輪についてこれらの測定をし、他の車輪数および車輪荷重状態の沈下量を他の方法で推定することができれば、走り抵抗が計算できることになる。

#### 参 考 文 献

1. 田辺一・中尾清治：島根大学農学部研究報告 (3) : 98-102, 1969
2. 田中孝・西村功・東富夫：農業機械学会誌 27 (4) : 225-230, 1966
3. 田中孝・西村功・東富夫：農業機械学会誌 28 (1) : (1) : 14-25, 1966
4. 金須正幸・国府田住弘・八木茂・瀬山健次：農業機械化研究所, 1966
5. 藤川武信・加来研・藤本昌宣・吉田勲：土質工学研究報告 (2) : 1-72, 1968
6. 山口英太郎・永石義隆・岡昇・村岡嘉邦・山下恒雄：農業土木試験場技報 (2) : 1-46, 1967
7. 増田正三・田中孝・笈田昭：農業機械学会誌 29 (3) : 119-127, 1967

#### Summary

Working efficiency of tractor on the reclaimed soft land is mostly influenced by the sinkage of tractor wheel. Accordingly, the relation between travelling resistance and sinkage of rolling tractor wheel was investigated using the Model rolling wheel.

The test results are as follows ;

(1) The Travelling resistance has a linear relation to weight on the wheel in low soil moisture, while parabolic increasing in high soil moisture. It is the same tendency as above both on two wheel tractor and double wheel tractor.

(2) The sinkage of wheel has a linear relation to weight on the wheel although it changes depend on the soil condition. But in low soil moisture, the difference of these sinkage becomes very small.

(3) The relation of the integrated value of cone penetrating resistance from ground surface to the depth of sinkage to the travelling resistance per one wheel was a linear, although it changes depend on the soil condition. This relation was represented by the same line both on two wheel tractor and double wheel tractor.

As a conclusion, if we measure the cone penetrating resistance of farm and the travelling resistance and sinkage of elementary condition of tractor wheel, for instance two wheel tractor, the travelling resistance of many other condition of tractor wheel can be estimated.