



湿田における機械化に関する基礎的研究 1 : トラクタ車輪の接地圧と沈下について

後藤, 定年
居垣, 千尋
小林, 潤
石田, 陽博

(Citation)

兵庫農科大学研究報告. 農学編, 5(2):77-83

(Issue Date)

1962

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCoDOI)

<https://doi.org/10.24546/81006626>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81006626>



湿田における機械化に関する基礎的研究

1. トラクタ車輪の接地圧と沈下について

後藤定年・居垣千尋・小林 潤・石田陽博

Fundamental Studies on Mechanization on the Swampy Rice-Field

1. On the contacting earth pressure and sinking of the tractor wheel

Sadatosh GOTO, Chihiro IGAKI, Jun KOBAYASHI and Yohaku ISHIDA

I. 緒 言

最近農業経営の近代化に伴って、乗用型4輪トラクタが各地に導入され始めているが、これらのトラクタは従来使われてきた歩行型2輪トラクタに比べ、その重量がいくれもかなり大きくなっているため、畑地と異なり、比較的湿潤で柔軟な湿田での使用に際しては、車輪の沈下が増加するわけである。そのため、それに応じて車輪の転動抵抗が増しスリップ率が増加すると同時に、所要動力も増えることになり、ひいては作業能率の低下をきたすことになる。このように沈下のはなはだしい時にはトラクタの地上間ゲキが全く無くなり、ホ場表面が下腹部に接触して、さらに抵抗を増加させるため、ついには歩行不能となる場合が往々にして起っているようである。従って今後これら乗用型トラクタを湿田で使用する場合には、そのホ場の土壌条件を事前に調査して、歩行の可能性を知るための指標となるべき資料を実験的に求めることが必要である。

そしてここに言う所の土壌条件の調査とは、それを求めるのに複雑な操作を要したり、時間のかかる方法を選別して、簡易にしかも短時間に地表面の支持力が判定できる貫入抵抗試験器を用いることとした。他方計算によって得た曲線とこれを照合することによって、貫入抵抗値と平均接地圧の関係を示す曲線を使用機種別に作成することにより、ホ場条件別のそれぞれの歩行上の特性を比較することが可能となるのである。

要するに以上述べた2つの目的をもって、柔軟な水田でのトラクタ利用の第1の問題点である沈下について検討を加えることにした。

II. 実験材料と方法

この実験は7月下旬より8月下旬までの1ヶ月間に実施したもので、その間ホ場を耕起砕土して後タン水し、

含水率の減少する段階ごとにトラクタを歩行させて、タイヤの沈下量と含水比ならびに密度の変化および沈下量ごとの貫入抵抗値を測定した。

なお以上のような表層の耕土についての調査以外に、ホ場条件の異なる場合の任意の地点を選んで、それらをI, II, IIIとし、この地点での車輪沈下に対する影響を調べるため、表面下50cmの深さまで土壌を採取して、それぞれの湿潤密度を測定した。

試験に使用したホ場は本学附属農場内の水田である。本ホ場は排水不良で耕土深く、地表から耕盤までの平均深さは約27.4cmである。

Table 1. はホ場内の一部にて採取した耕土の粒度分析結果を示す。

次に実験に用いたトラクタは自重ならびにタイヤサイズの異なる本学所有の3機であってこれらの主要諸元はTable 2. に掲げた。

なお又、貫入抵抗を測定した計器は円井製作所製の押込型のもので、貫入部は円盤状の頭部となつているものである。

Table 1. 土壌の粒度分析結果 (A. S. K法)

粒径 %	2	1	0.5	0.25	0.05	0.01	0.01以下
比率 %	0.2	1.1	22.1	21.8	2.1	24.1	28.2

III. 実験結果とその考察

(1)平均接地圧について

一般にトラクタ重量は4個の車輪に配分されていて、左右それぞれほとんど相等しいはずであるから、いずれか片方の一組をとり、その側の前輪と後輪との荷重配分の比率を見なければならぬ。往時は比較的重量の重い機関を搭載していた関係で、その割合は前輪4に対して後輪6とされていた。しかしながら最近のトラクタは回転数が増加し、馬力当り重量の少ない機関を装備してい

Table 2. 供試トラクタ諸元表

製 作 会 社		井 関 農 機	芝 浦 機 械	フォードソン
トラクタ型式		TC - 10	AT - 5	DEXTA
エ ン ヂ ン	気筒数—サイクル	1 — 2	1 — 4	4 — 4
	名 称	空冷ディーゼル	空 冷 灯 油	水冷ディーゼル
	排 気 量 cc	496	666	2360
	圧 縮 比	14.5	5.4	16.5
	定格出力 PS	9/2000	7/2000	32/2000
機 体	全 長 mm	2052	2300	3010
	全 高 mm	1070	1470	1370
	軸 距 mm	1250	1500	1870
	輪 距 mm	861 ~ 1386	780 ~ 1308	1220 ~ 1930
	地上間ゲキ mm	270	330	530
	旋回半径 m	1.8	2.1	2.6
車 輪	前 輪 inch	4.00 — 12	5.00 — 9	4.00—19
	後 輪 inch	8 — 16	6 — 32	10—28
速 度	前 進 km/h	1.4 ~ 15	1.7 ~ 14	2.0~25
	後 進 km/h	2.4 ~ 9.1	1.1 ~ 2.9	3.4~10
重 量 kg		600	600	1350

る機体重量の半分を支持しているものと考えてこの距離を $l/2$ cm とすれば、 R が与えられれば t の変化に応じて l が求められることになる。¹⁾ 従ってにタイヤ幅を乗じて接地面積を求め、与えられたトラクタ重量の $\frac{1}{2}$ をとることにより、各沈下ごとの接地圧の平均値が得られるのである。これを平均接地圧と称したのは、一般の接地圧と多少異なりタイヤ接地面の位置によって、その接触圧力がかなり異なるため、その接地面積総圧力の平均値をとって表わすこととしたからである。

このようにして供試3機種について沈下量ごとに平均接地圧を求めて図示したのが Fig. 2 である。

図においては平均接地圧 2.0 kg/cm² の点では沈下量 1 cm

余で3機ともその差がほとんど見られないが、平均接地圧の減少に伴ってそれぞれの沈下量に差が表われてくる。

先ず自重最大の DEXTA は急激に沈下することを示している。次に TC-10 ならびに AT-5 は自重がそれぞれ同一ではあるが、タイヤサイズが異なっているため、それらの曲線も明らかに区別されており、接地面積の幾分大きな TC-10 の方が平均接地圧が同一でも沈下量が少ないことがわかる。次に沈下量を一定とすれば、平均接地圧は 2.0kg/cm² 付近で3機ともほぼ相等しい値をとっているが、沈下量の増加に伴ってその平均接地圧に差が表われ始め、10cm 付近では DEXTA と TC-10 との差は 0.2kg/cm² を示している。さらに沈下量が増加すれば幾分その差が縮まる傾向が認められる。かように平均接地圧が一定の場合には、自重の少ない機種程沈下量が少なく、又自重同一でもタイヤ幅の大きなものの方が沈下量が少なくなっている。

しかしながらこの曲線は理論的に得られたものであるが、実用的にするためには地耐力等の土壌条件を考慮に入れて実験的に求める必要がある。

(2) 地耐力について

車輪の沈下に影響を及ぼす主な因子は、土壌の密度と含水比であるが、沈下量と含水比との関係を表わしたものが Fig. 3 である。この図においては含水比10%から

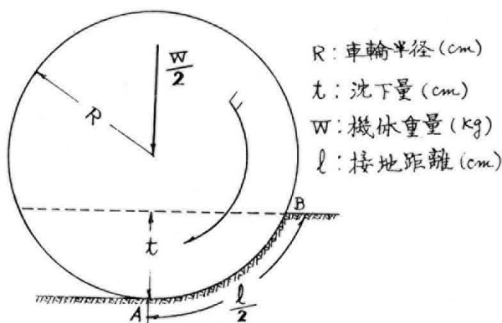


Fig. 1. 車輪沈下の模式図

ため、重心位置が後輪に接近したことと、後部に作業機を装着しているため、重心位置がさらに後輪側に寄る等の理由で、計算の場合は後車輪にかかる荷重をトラクタ全重量とし、1つの後車輪にその半分がかかるものと見なした、

Fig.1 に示したのは車輪が沈下しつつ転動する場合の接地距離を計算するための解説図である。図において車輪にかかる荷重 $W/2$ により、半径の R cm 車輪が t cm だけ沈下しながら転動する場合、表土に食い込まんとする点 B と、車輪直下のリムとの接点 A までは土壌に接触することになる。そしてこの間における土壌がトラクタの

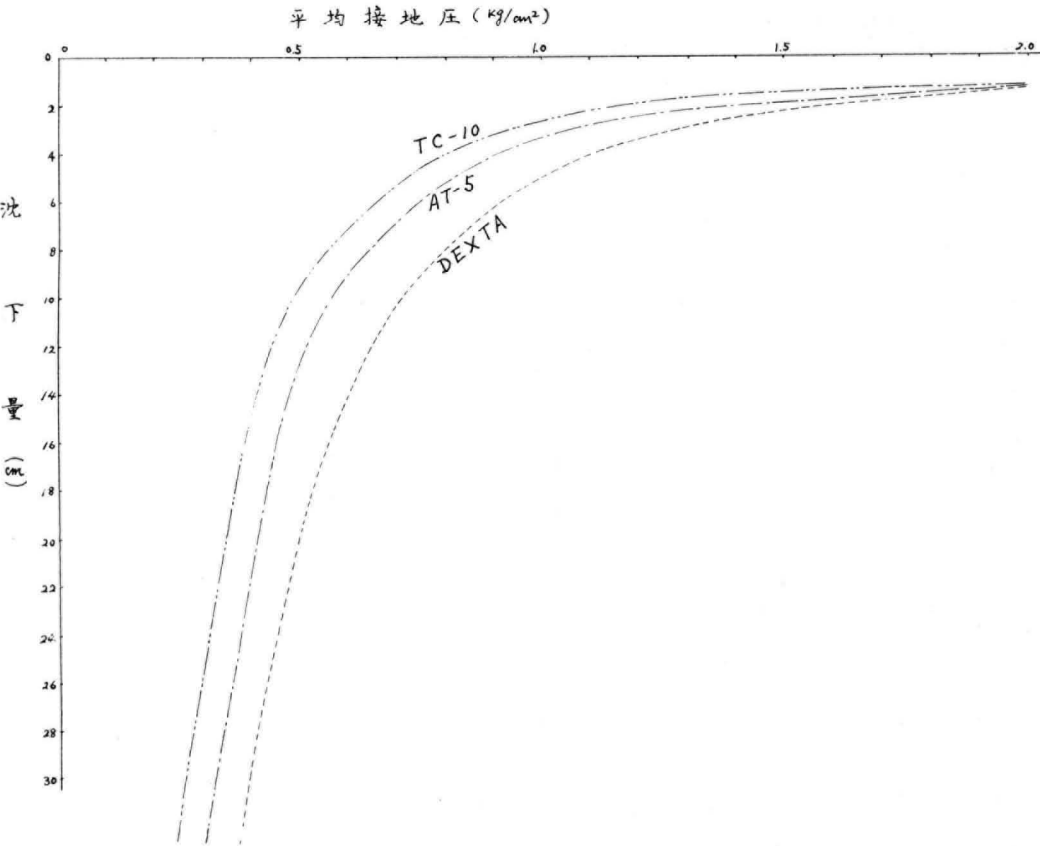


Fig. 2. 接地圧と沈下量の関係

3 者の差が顕著になり、25%付近からは含水比の増加に従って急激に沈下量の差が大きく開いていることがわかる。その順位は自重の大きな DEXTA が最大であり、TC-10 が最小となつている、この割合がほぼ自重に比例していようである。前述したように、土壤が負荷に耐える力、すなわち、地耐力は貫入抵抗試験器を用いて、その値を求めることができる。そしてこれらの値は車輪の平均接地圧と非常に似た性質のものであるため、実用的には測定操作が複雑で、しかも時間を要する含水比ならびに密度を求める方法によらず、主として貫入抵抗値と沈下量ならびに接地圧を求める方法が便利である。しかし含水比ならびに密度は、土壤の物理的な性質を構成する重要な因子であるので、貫入抵抗値とこれらの 2 者の関係を Fig. 4 に示すことにする。

この図では含水比45%付近で3機とも余りその差が認められない程互に低い貫入抵抗値を示しているが、含水比の減少に伴って、その差が現われ始め、DEXTA が常に最大の値を示しており、自重がほぼ同一の TC-10

と AT-5 との間の差は少なく、互に並行した曲線となつている。又参考までに未処理の地表における貫入抵抗値を示した曲線と 3 者のそれを比較すれば、含水比40%以上においては、ほとんど車輪による踏圧の影響は見られないが、これよりも含水比が減少するにつれて、貫入抵抗値に差が生じていることは、タイヤ接地圧によって表土が転圧されたためである。しかも AT-5、TC-10 よりも DEXTA の方がその割合が約 1.0~1.5 倍だけ多く示されていることが図より知ることができる。しかも未処理の土壤面での貫入抵抗値と含水比又は密度との関係は曲線状に表われているのに対し、トラクタ車輪で転圧されたものの値はいずれもほぼ直線的に示されている。

次にそれぞれの機種ごとに沈下量と貫入抵抗値を測定したものを Fig.5 に示した。ここでは Fig.3 のような含水比と沈下量の関係と異なり、かなり正確に変化の状況を表わすことができ、しかもトラクタ使用前に直ちに走行の可否が判定できるため、この曲線は実用上便利な

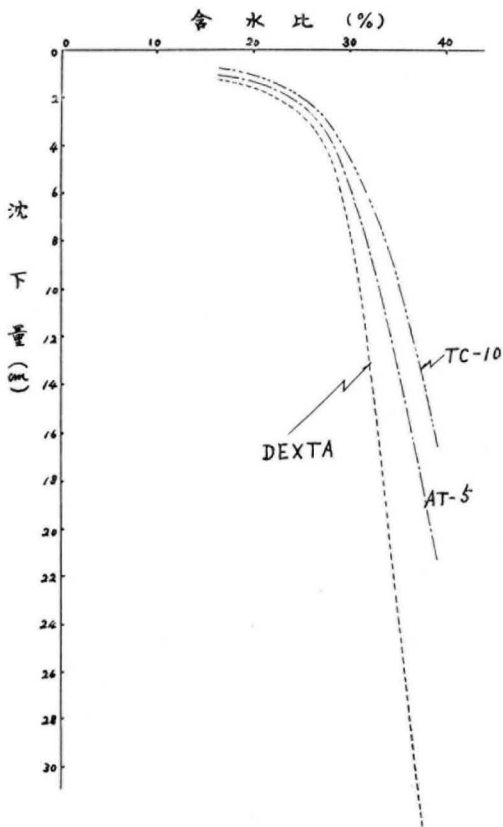


Fig. 3. 沈下量と含水量の関係

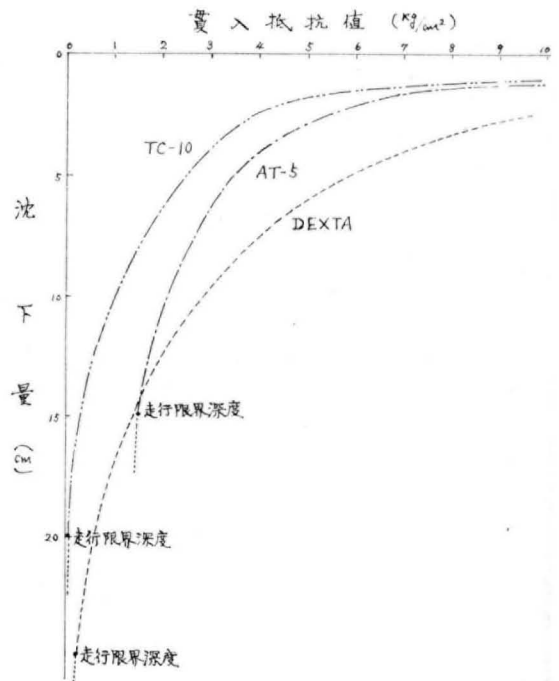


Fig. 5. 貫入抵抗値と沈下量

間に存在するAT-5の曲線が沈下量14.5cmでDEXTAとのそれ交差していることである。この交点は貫入抵抗では約 1.5kg/cm^2 に相当するのであるが、この点よりも貫入抵抗値が低下すると、ほとんど直線的に急激に沈下量が増してゆくことを示している。又図においては機種ごとに走行限界深度を示す点をそれぞれ印し、それ以上に沈下するときの予想線は点線にて図示している。それらの走行限界深度は、それぞれの機種に装備されているタイヤの外径寸法をもつて、これを沈下量の限界と仮定したものである。つまりタイヤ外径が完全に地表面下に没する程度の土壌条件下においては、耕起作業の場合は明らかに地表面が車体下腹部に接触して走行不能となるからである。したがって一応の沈下の目安をタイヤ外径においた。したがってFig.5においては限界値はTC-10では20cm, 貫入抵抗値 0.1kg/cm^2 であり、DEXTAでは25cm, 0.2kg/cm^2 , 又AT-5では1.5cm, 1.5kg/cm^2 となる。これらのうち地耐力の少ない条件での走行性の最も優れているのはTC-10であることがわかる。なお参考までに処理、未処理のものについての沈下量を土壌の湿潤密度別に表わしたものをFig. 6に掲げる。

(3) 機種別の特性について

Fig. 7 貫入抵抗値と平均接地圧の関係を示す曲線は

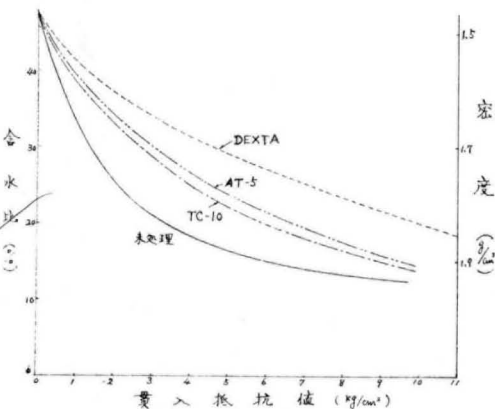


Fig. 4. 含水量・密度と貫入抵抗値の関係

ものと言えよう。しかしながらこの図においても一般に同一沈下量に対しDEXTAの貫入抵抗値が最大の値を示す曲線を描き、軽量のTC-10が最小値を示していることは、沈下量と他の因子との関係の曲線と同じ傾向となつている。ただこの場合注目値することは、その中

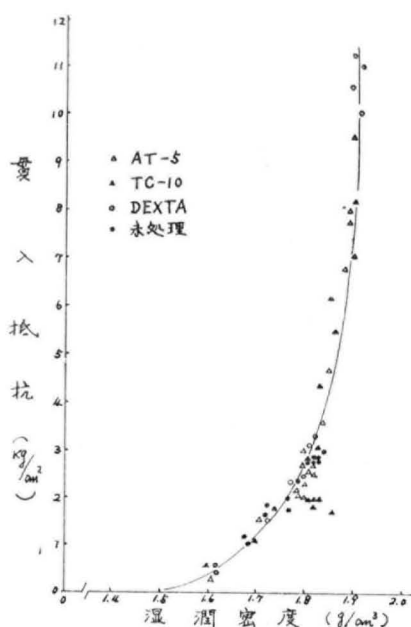


Fig. 6. 貫入抵抗と湿潤密度の関係

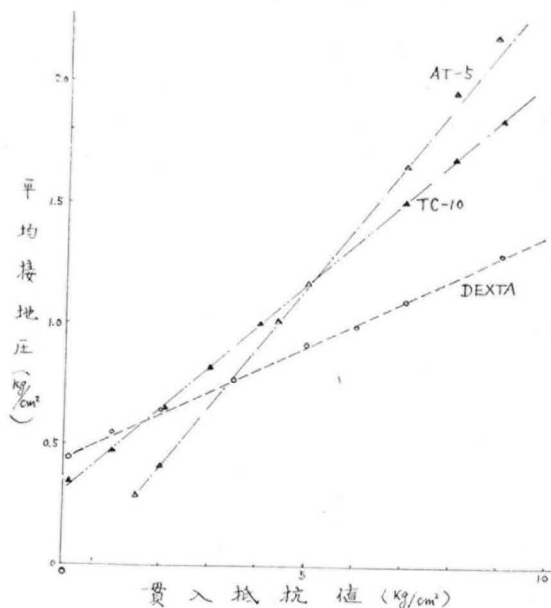


Fig. 7. 平均接地圧と貫入抵抗値の関係

地耐力を考慮に入れずに計算のみにて求めた沈下量と平均接地圧の関係を示した Fig. 2 と実測によつて求めた沈下量と貫入抵抗値との関係を示した Fig. 5 とを組み合わせて作成したものである。図において、機種別の名点を結んだ線は AT-5 の末端部を除けば、ほとんど直線とみなすことができるため、これらを直線の方程式で示せば次のようになる。

DEXTA	$y = 0.094x + 0.44$
TC-10	$y = 0.178x + 0.32$
AT-5	$y = 0.248x - 0.08$

すなわち、DEXTA の式の 常数項は 平均接地圧 0.4 kg/cm^2 より始まり、貫入抵抗値の増加に伴って、平均接地圧も比例的に増加してゆくのであるが、その増加率は 0.094 となつていて 3 機種中最も少ない値を示している。次に TC-10 のそれは平均接地圧が前者よりも多少低い位置、すなわち、 0.32 g/cm^2 より始まり、その傾斜も前者より幾分コウ配の急な 0.178 となつている。従つてこれらの直線は図よりも明らかなごとく、平均接地圧で 0.59 kg/cm^2 、貫入抵抗で 1.52 kg/cm^2 の付近で交わることになる。これは要するに、この点を境として、これより地耐力の少ない柔軟な湿潤土場に対しては、平均接地圧の少なく長わっている TC-10 の方が DEXTA よりも有利なことを示している。又この点より貫入抵抗値の増加する範囲での平均接地圧は DEXTA の方が少

なく表われているため、TC-10 よりは有利であると推定される。

又 AT-5 の曲線は平均接地圧が -0.08 kg/cm^2 より始まり、貫入抵抗の増加に伴つて、その傾斜の割合が 0.248 と前二者よりは著しい増加を示しており、これが前二者の曲線と 2 点で交差している。すなわち、DEXTA とは貫入抵抗値 3.5 kg/cm^2 、平均接地圧 0.75 kg/cm^2 TC-10 とは貫入抵抗値 5.0 kg/cm^2 、平均接地圧 1.18 を示す点で交わっている。しかしながら走行限界点が貫入抵抗値で 1.5 kg/cm^2 になっているため、DEXTA との交点 3.5 kg/cm^2 以下においては他の 2 機よりは平均接地圧は最も少ない値を示している。したがつてこの範囲においては AT-5 が優れているわけであるが、その範囲が狭いことと貫入抵抗値 1.5 kg/cm^2 以下では使用不可能なことが本機の柔軟地での駆使に対する重大な障害となつていると考えられる。次に貫入抵抗 5.0 kg/cm^2 までの範囲においては TC-10 よりは全般的に見て有利であると思われるが、 3.5 kg/cm^2 を境として、この点より値の増加に伴つて DEXTA よりも劣ることがわかる。又更に 5.0 kg/cm^2 を境として他の 1 機、すなわち、TC-10 より次第に平均接地圧が高くなるため、最も条件が悪くなることが図より明らかである。要するに貫入抵抗値の変化に対して、平均接地圧の変化の割合が比較的少なく、しかも出発点の位置が原点に接近している如き条

件をもつ機種が最も望ましいことになる。

(4) 地表面下に及ぼす車輪の影響について

これまでは表層の耕土について、ホ場の地耐力、すなわち密度、含水比、貫入抵抗と車輪の沈下量の関係を求めたのであるが、深層部に対する車輪沈下の影響についても実験的研究を実施した。次に述べるⅠ、Ⅱ、Ⅲは実験ホ場の各条件中における代表的な条件のみを選んで、表面下約50cm迄の土壌を採取して、それぞれの湿潤密度を調査した時の土壌条件の記号を示す。

Fig.8 は3機種を使用した場合と、未処理の場合における土壌の深さと湿潤密度との関係を示したが、Bでは表土においてはほとんど同値をとり、10cm 深さにおいては DEXTA のみがやや大きい値をとっているが、30

以上の深さに至り、未処理を除けばいずれも皆大差がなくなっている。Ⅰにおける沈下は含水率が高いため、破壊沈下となり、実質的に間ゲキ量に影響を及ぼすような圧密はなく、しかも20cmを過ぎるとほとんど影響が認められない。Ⅱでは表土および浅い部分においては圧密沈下の傾向を示し、30cmの深さにいたるまで機種別の差が現れており、機体重量と車輪幅の微妙な差が土壌密度に変化を及ぼしているようである。Ⅲはその少ない含水量から判断して、完全圧密沈下であって、3機種とも30cmの深さまでは密度が 1.9 g/cm^3 前後で大差がなく、未処理土壌のそれを大きく引き離し、浅部で大きく、深部でやや小さい型となっている。

なお以上の測定は調査件数が少ないため、ただ大体の傾向を知ることができるのみで、なお今後の実験と研究とを必要とするものである。

IV. 結 論

乗用型トラクタは本来が畑地を対象として設計されており、これを水田に利用する際に沈下による障害を生ずるので、それぞれの沈下量と特性について検討した結果次の結論を得た。

(1) 含水量の高い柔軟なホ場にトラクタを入れた場合、平均接地圧に応じて Fig.2 に示すような沈下を生ずる。

(2) 沈下による障害軽減のため、事前に表土の貫入抵抗値を測定し、Fig.4 のような機種別の地耐力-貫入抵抗値曲線を作成しておけば、これらトラクタ利用についての指標とすることができる。

(3) 沈下の因子となる含水比と密度は貫入抵抗値に対して Fig.5 のような関係を示す。

(4) 車輪沈下による耕土下層部への影響は Fig.8 に示すようである。

(5) 機種別の平均接地圧-貫入抵抗値の関係は Fig.7 のようになり、この図より貫入抵抗値 1.5 kg/cm^2 以下においては平均接地圧の低い TC-10 が適し、 $1.5 \sim 3.5 \text{ kg/cm}^2$ においては AT-5、さらに 3.5 kg/cm^2 以上のやや硬いホ場においては DEXTA が適することがわかる。(農業工学講座 昭37.8.31受理)

○ 参 考 文 献

- 1) 丸善 機械設計便覧 P.48~50

Summary

Recently the use of tractors has gradually inc-

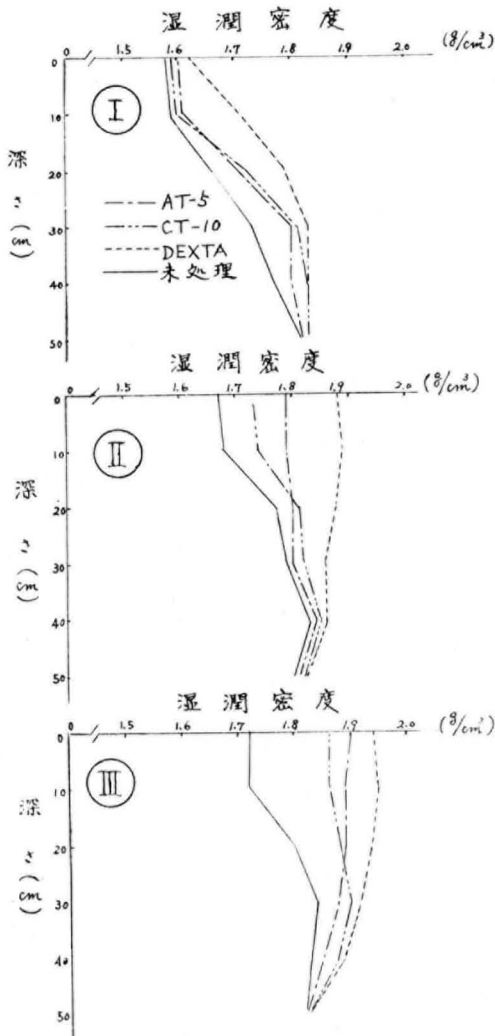


Fig. 8. 湿潤密度と深さの関係

reased on the swampy rice-field. In this case the wheels sink into the soil in proportion to the mean contacting earth pressure and in the worst case it becomes impossible to operate tractors there.

The authors experimentally made the graph showing the relation between the penetrating resistance and the wheel sinking of the three tractors such as TC-10, AT-5 and DEXTA, found the pr-

actical method to acquire the wheel sinking value through the penetration test before the tractors are introduced on the field and also studied characteristics of the three tractors with the graph showing the relation between the penetrating resistance and the wheel sinking.

(Laboratory of Agricultural Engineering, Received Aug. 31, 1962)