

ロータリ式耕耘刀による水田土壌の 耕耘性に関する実験的研究

土 屋 功 位

(山形大学農学部農業機械学研究室)

昭和33年9月20日受領

Masanori TSUCHIYA : Experimental Studies on the Tilth of the Rice
Paddy Field's Soil by Rotary Typed Tine.

目 次

ま え が き	192
第1章 ロータリ式に対する耕耘動力の理論的考察	192
第1節 ロータリ式ナタ刃の切削機構とその研究概歴	192
第2節 水平刃の切削長 S_h の理論値	194
第3節 垂直刃の刃縁長 S_v の理論値	198
第4節 考 察	201
第2章 水田土壌の物理的性質	201
第1節 水田土壌の機械的組成	202
第2節 凝集力(引張抵抗値)試験	203
第3節 灼熱損失量と有機物(腐植)量	208
第4節 塑性指数	209
第5節 剪断試験	210
第6節 水分量と土壌容積との関係	212
第7節 水分当量($pF=2.7$)の測定	214
第8節 水素イオン濃度 pH の測定	215
第9節 粘土粒子の電子顕微鏡写真	216
第10節 水膜理論に対する一考察	220
第11節 考 察	223
第3章 水田土壌の切削抵抗	224
第1節 実験方法	224
第2節 切削速度と切削抵抗との関係	227
第3節 水分量と土壌の切削抵抗との関係	230
第4節 切削係数 P, Q と粘土量 w の関係	238
第5節 切削巾と耕耘ピッチの影響	240
第6節 実地試験との比較	248
第7節 切削による土壌の破碎状態	250
第8節 考 察	252
第4章 摘 要	253
引用文献	257

ま え が き

動力耕耘機は日本で特異な発達を遂げたものであり、クランク式・ロータリー式・スクリュー式に大別される。そして水田耕耘用としての性能が重要視されたため、初めの頃は主としてクランク式が賞用された。クランク式の特色としては、耕耘動力が小さいこと、土塊がかなり大きいこと、堆肥等のまきつきがないこと、無限軌道帯によつて大部分の水田に使用し得られたこと等があげられる。これに対して初期のロータリー式は、普通爪による堆肥等のまきつきが甚しく、土塊は細碎され、耕耘動力も大であり、車輪性能も十分でなかつた。

しかし水田用車輪の改良やナタ刃の研究が進められた結果、現在ではロータリー式の普及割合が圧倒的に多くなつてゐる。このように動力耕耘機は水田耕耘が主なる用途であつたが、これは水稻作を中心とする日本の農業事情によるものであつた。しかも水田土壌を対象とした耕耘性に関する研究は外国にもほとんど例がなく、ロータリー式のナタ刃に関する研究も著者等の数例をみるに過ぎない。又水田土壌はその水分含有量によつて、その物理的性質を非常に変化させるが、従来の耕耘性に関する国内の研究例は、いずれもある特定の土壌のある条件下における試験結果をまとめたもので、連続的変化を加味した土壌の耕耘性を研究した例はなかつた。なおロータリー式ナタ刃による土壌の切削機構は、その刃巾が小さいこと、従つて摩擦抵抗や圧縮抵抗も少ないこと、回転作用による間断切削を犁耕よりもはるかに高速で行うこと等によつて、犁やプラウの切削機構とは著しく異なつてゐるものと考えられる。

本研究はこれらに鑑み、土質や水分を異にした土壌の物理的性質を基礎にして、ロータリー式耕耘機の耕耘特性を明らかにし、土壌条件に対応する合理的使用法と、動力耕耘機設計のための基礎資料を得る目的で行なつたものである。本論文をまとめるためこの資料は、過去5年間の研究結果を整理したもので、その間本論文に関連した題目には、文部省科学研究助成費・試験研究費(分担)・科学研究費の補助を受けた。明記して感謝の意を表する次第である。なお九州大学農学部長森周六博士・京都大学教授田村豊博士・東京大学教授庄司英信博士からは絶えず御指導を賜り、北海道大学教授常松栄博士からは関係報文について御助言を頂いたことに対して深く感謝の意を表するものである。なお理論式等の御指導を頂いた文理学部教授佐藤貞弥博士、実験その他に直接協力を頂いた山形県立農機具研究所技師小松幸雄氏・同江口博氏、土壌実験等の御指導を頂いた農学部長宍戸英雄博士本間助教授に対しても厚く御礼を申上げる。最後に終始一緒になつて資料の整理その他すべての面に協力して頂いた研究補助員富樫顯子嬢、此の間に卒業された武田喜久夫・鈴木邦夫・村松貞三・長岡純一・矢萩登喜雄・秋山藤明・竹内祥・三浦竹治・穂波信雄の諸君に心からの御礼を申上げる。

第1章 ロータリー式に対する耕耘動力の理論的考察

第1節 ロータリー式ナタ刃の切削機構とその研究概歴

ロータリー式耕耘刀の先端軌跡は第1図の如きトロコイド曲線である。これは初期の普通爪の研究で守島¹⁾がふれ、その後森田・田谷²⁾、藺村・松尾³⁾、森・坂井⁴⁾等によつても述べられている。そして普通爪の形状やその打込作用等について、それぞれ解明を試みている。しかし普通爪で水田を耕耘するのは、堆肥等のまきつきや土塊を細碎過ぎる等の難

点もあり、所要動力の面からも不利は免がれなかつた。これは土屋・小松⁵⁾⁶⁾⁷⁾の形式別負荷特性に関する研究でも明らかである。

近年ナタ刃が使用されるようになり、土屋⁸⁾は耕耘ピッチの概念を明らかにした研究を行ない、ロータリー軸の回転数を下げることによつて耕耘ピッチを大きくし、土塊を大きく耕耘するのが水田耕耘には有利なことを示した。ナタ刃は垂直刃部と水平刃部に分けられ、第2図の如き切削作用を行なうから、切削機構を解明するには両者別々に行なわなければならない。なおナタ刃の形状等に関する考察が、最近吉田⁹⁾等³⁾⁴⁾によつて進められている。

1) 水平刃による土壌切削

水平刃は、前述の如くトロコイド曲線に沿つて土壌を切削するが、これをプラウの刃縁部と考えれば、これに関連した研究には古くはNichols¹⁰⁾のがあり、近年国内では川村¹¹⁾・守島¹²⁾・梅田¹³⁾等³⁾のがある。

水平刃の刃先が土中に喰い込むと、その刃先にはいわゆる built-up-chip が形成され、その部の土壌を圧縮剪断するものと考えられている。

そして梅田¹³⁾も述べている如くその際の抵抗は、引張応力に起因するものかも知れない。又切削された壠は刃の内面によつて圧縮され、変形又は剪断破壊をする。従つて全切削抵抗はこれらが合計されたものとなるわけである。尚壠は水分が多い時は変形をなしその抵抗は切削過程中一定とみなしても差支えないが、水分が塑性下限以下になつた場合は、剪断破壊による割目が発生して変動を繰り返す。しかし耕耘動力を問題にする時は、その変動値の最大値が連続するものと仮定すれば安全なわけで、つまり水平刃による全体の切削抵抗は、その切削過程中大体一定とみなすのがよいであろう。

水平刃による切削抵抗を f_h とする。

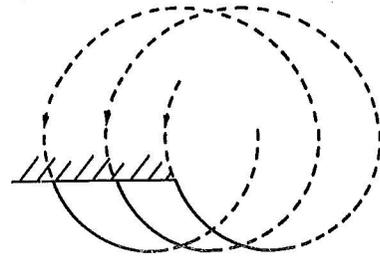
2) 垂直刃による土壌切削

垂直刃は楔作用によつて土壌中に喰い込み、回転するにつれて手前に送りながら土壌を切削するもので、これは森田・田谷²⁾によつて示されている。そして垂直刃の刃先による剪断作用も、水平刃の場合と同様に考えられる。又逃げ角の必要なことも小松¹⁴⁾によつて示されている。しかし垂直刃の逃げ角は水平刃に比べて僅少であるから、刃面による壠への圧縮作用は少なく、むしろ刃先角による圧縮作用がこの際は重視されることになる。

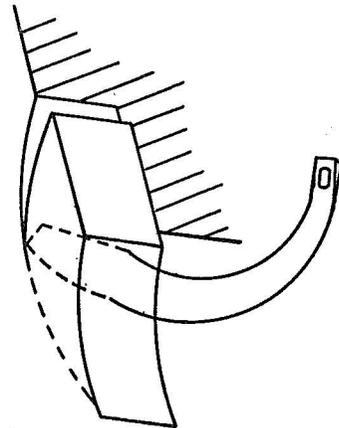
なお土壌中に喰い込む刃縁の長さは、後述する如く切削過程中次第に変化するから、従つてその切削抵抗もその切削過程中次第に変化するわけである。

垂直刃による切削抵抗を f_v とする。

3) 耕耘動力に影響を与える要素



第1図 耕耘刀先端軌跡



第2図 ナタ刃の切削機構略図

耕耘動力に影響する要素としては、水平刃・垂直刃の切削抵抗 f_h, f_v , 切削速度, および間断切削をなすものであるから、その切削距離又は切削回転角等があげられる。切削速度に関しては土屋⁸⁾, 村山・畠¹⁵⁾¹⁶⁾の研究例がある。

- S_h —— 水平刃が土壌を切削する長さ
- S_v —— 垂直刃が土壌を切削してる時の刃縁長さ
- φ —— 耕耘刀が土壌を切削するための回転角

とすれば、 S_h, S_v, φ は耕耘刀の回転半径 R , 耕深 h , 耕耘ピッチ P によつて異なるものである。これらについては次節で検討する。

所で耕耘刀1本当りの切削仕事量 W は;

$$W = S_h(f_h + f_v), \quad f_v = k(S_v) \dots \dots \dots (1)$$

ロータリー軸にかかるトルク T は

$$T = f_h \cdot R + f_v \cdot R_\theta \dots \dots \dots (2)$$

R_θ は耕耘刀の回転角 θ によつて異なる値である。

従つて耕耘刀1本当りの所要動力 H_1 は

$$H_1 = \omega T = 2\pi n T \dots \dots \dots (3)$$

ω は角速度, n は毎秒回転数である。

耕耘刀数を N 本とすれば、土壌を同時に切削中の耕耘刀数 M は

$$M = \frac{N\varphi}{2\pi} \dots \dots \dots (4)$$

従つてロータリー軸に要する耕耘動力 H は

$$H = nN\varphi (f_h \cdot R + f_v \cdot R_\theta) \dots \dots \dots (5)$$

f_h および f_v は先にも述べた如く、土質なり水分等によつて非常に相違があるから、動力耕耘機の耕耘特性を研究するには、土壌の各種条件に対応する系統的な物理的性質を究明することが必須の要件となるわけである。これらに関しては第2章の水田土壌の物理的性質で述べることにする。

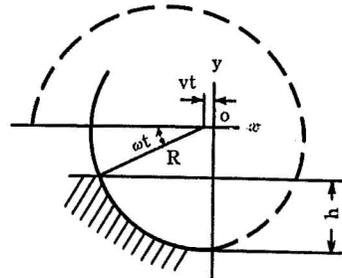
第2節 水平刃の切削長 S_h の理論値

前節に述べた如く、ナタ刃の水平刃が土壌を切削する長さ S_h は、耕耘刀の回転半径 R , 耕深 h , 耕耘ピッチ P によつて異なる。

先ず S_h の理論値を求めてみる。

第3図より耕耘刀の先端軌跡は次式で表わされる。但し

v = 機体の進行速度, h = 耕深, t = 時間である。



第3図 水平刃の切削

$$x = vt + R \cos \omega t \dots \dots \dots (1)$$

$$y = R \sin \omega t \dots \dots \dots (2)$$

(1)より $\frac{dx}{dt} = v - R\omega \sin \omega t \dots \dots \dots (3)$

(2)より $\frac{dy}{dt} = R\omega \cos \omega t \dots \dots \dots (4)$

従つて $dS_h^2 = dx^2 + dy^2 = \{v^2 + (R\omega)^2 - 2vR\omega \sin \omega t\} dt^2$

$$S_h = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{v^2 + (R\omega)^2 - 2vR\omega \sin \omega t} dt \dots\dots\dots(5)$$

今 $\omega t = \tau$ とおくと

$$t = t_1 \text{ のとき先端が地表に達する. } \quad \omega t_1 = \theta$$

$$t = t_2 \text{ のとき先端が耕盤に達する. } \quad \omega t_2 = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{但し } \sin \theta = \frac{R-h}{R} \dots\dots\dots(6)$$

$$\begin{aligned} \text{従つて } S_h &= \frac{1}{\omega} \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{v^2 + (R\omega)^2 - 2vR\omega \sin \tau} d\tau \\ &= \frac{1}{\omega} \sqrt{v^2 + (R\omega)^2} \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - K \sin \tau} d\tau \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

$$\text{但し } K = \frac{2vR\omega}{v^2 + (R\omega)^2} = \frac{2 \frac{v}{R\omega}}{1 + \left(\frac{v}{R\omega}\right)^2} = \frac{2\beta}{1 + \beta} \dots\dots\dots(8)$$

$$\beta = \frac{v}{R\omega} = \frac{P}{2\pi R} \dots\dots\dots(9)$$

$$(7)\text{式で } 1 - K = \frac{(1 - \beta)^2}{1 + \beta^2} \geq 0$$

であるから $\beta \neq 1$ のときは $1 > K$ となる。

実際の例では、 $R > 20\text{cm}$ 、 P は 10cm 前後であるから、 $R = 20$ 、 $P = 10$ を(8)(9)式に代入すれば

$$K = \frac{2 \times 0.796}{1 + (0.796)^2} = 0.158$$

このように(8)式の K は1よりかなり小さいから、(7)式は K のべき級数の第3項までとつて計算すれば十分である。

$$\begin{aligned} S_h &= \frac{1}{\omega} \sqrt{v^2 + (R\omega)^2} \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \left(1 - \frac{K}{2} \sin \tau - \frac{K^2}{8} \sin^2 \tau - \frac{K^3}{16} \sin^3 \tau \dots \right) d\tau \\ &= \frac{1}{\omega} \sqrt{v^2 + (R\omega)^2} \left\{ \frac{\pi}{2} - \theta - \frac{K}{2} \cos \theta - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{K^2}{8} + \frac{K^2}{8} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right) \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{3} \cdot \frac{K^3}{16} \cos \theta (\sin^2 \theta + 2) \right\} \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

(10)式を計算に便ならしめるように変形すれば

$$\begin{aligned} S_h &= R \sqrt{1 + \beta^2} \left\{ \frac{\pi}{2} - \theta - \frac{K}{2} \cos \theta - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{K^2}{8} + \frac{K^2}{8} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right) \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{3} \cdot \frac{K^3}{16} \cos \theta (\sin^2 \theta + 2) \right\} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

数値計算：

1) 耕耘ピッチ P の影響

(6), (9), (8), (11)式により、 P を変えた場合の S_h の長さを求めれば、それぞれ第1表-1・2・3の如くなる。

第1表-1 $S_h - P$ ($R=24\text{cm}$, $h=12\text{cm}$)

P (cm)	4	6	8	10	12	14	16	18
β	0.027	0.040	0.053	0.066	0.080	0.093	0.106	0.119
k	0.053	0.079	0.102	0.132	0.158	0.184	0.210	0.235
θ	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°	30°
S_h (cm)	24.43	24.31	24.08	23.79	23.51	23.26	22.98	22.72

第1表-2 $S_h - P$ ($R=24\text{cm}$, $h=16\text{cm}$)

P (cm)	4	6	8	10	12	14	16	18
β	0.027	0.040	0.053	0.066	0.080	0.093	0.106	0.119
k	0.053	0.079	0.102	0.132	0.158	0.184	0.210	0.235
θ	19°30'	19°30'	19°30'	19°30'	19°30'	19°30'	19°30'	19°30'
S_h (cm)	28.82	28.64	28.39	28.06	27.77	27.49	27.22	26.93

第1表-3 $S_h - P$ ($R=24\text{cm}$, $h=8\text{cm}$)

P (cm)	4	6	8	10	12	14	16	18
β	0.027	0.040	0.053	0.066	0.080	0.093	0.106	0.119
k	0.053	0.079	0.102	0.132	0.158	0.184	0.210	0.235
θ	41°50'	41°50'	41°50'	41°50'	41°50'	41°50'	41°50'	41°50'
S_h (cm)	19.71	19.45	19.26	19.00	18.76	18.53	18.31	18.08

これらを図示したのが第4図である。

第4図によれば、 S_h に対する耕耘ピッチの影響はさほど大きくないことが知られる。それ故耕耘ピッチは水平刃に対するよりも、後述する如く垂直刃の耕耘動力に主として大きな影響を与えるわけである。

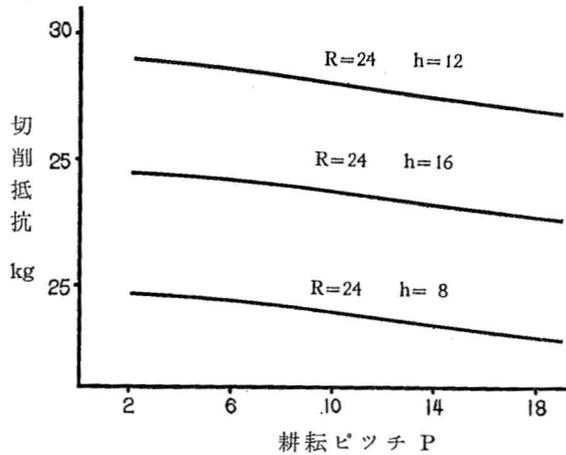
2) 耕深 h の影響

各式より耕深 h を変えた場合の S_h を求めれば、それぞれ第2表-1・2・3の如くなる。

又これらの表をまとめて図示したのが第5図である。

第5図によれば、耕深 h による S_h の変化はかなり大きいから、耕深はロータリー式の耕耘動力に大きい影響を与えることが理論的にも知られるわけである。

又耕深 h は前節(4)式にも影響するから、それによつても耕耘動力に大きい影響があることが知られる。



第4図 耕耘ピッチによる水平刃の切削長の変化

第2表-1 $S_h - h$ ($P=10\text{cm}$, $R=20\text{cm}$)

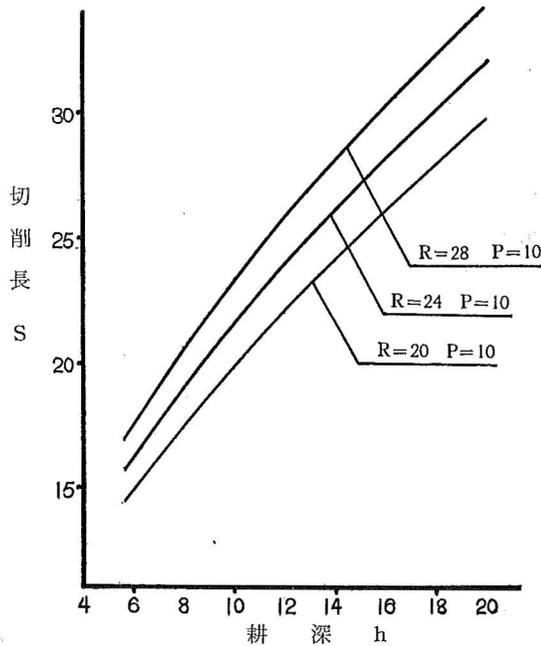
h (cm)	6	8	10	12	14	16	18	20
β	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080
k	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158
θ	44°30'	36°50'	30°00'	23°40'	17°30'	11°30'	5°40'	0°
S_h (cm)	14.76	17.30	19.59	21.74	23.83	25.88	28.04	29.88

第2表-2 $S_h - h$ ($P=10\text{cm}$, $R=24\text{cm}$)

h (cm)	6	8	10	12	14	16	18	20
β	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
k	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132	0.132
θ	49°30'	41°50'	35°40'	30°00'	24°40'	19°30'	14°30'	9°30'
S_h (cm)	16.14	18.92	21.49	23.79	25.87	28.06	30.13	32.20

第2表-3 $S_h - h$ ($P=10\text{cm}$, $R=28\text{cm}$)

h (cm)	6	8	10	12	14	16	18	20
β	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057
k	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113
θ	51°50'	45°30'	40°00'	34°50'	30°00'	25°30'	21°00'	16°40'
S_h (cm)	17.26	20.63	23.23	25.95	27.96	30.16	32.25	34.34



第5図 耕深による水平刃の切削長の変化

3) 耕耘刀の回転半径Rの影響

各式より半径Rを変えた場合の S_h を求めれば、それぞれ第3表-1・2・3の如くなる。これらを図示したのが第6図である。

第6図によれば、耕耘刀の回転半径Rの影響は第5図の耕深hのそれより小さいが、耕耘ピッチPの影響よりもかなり大きい。ことに将来ロータリー軸の中間伝導方式が盛んになり、回

第3表-2 $S_h - R$ ($h=12\text{cm}$, $P=10\text{cm}$)

R (cm)	16	20	24	28	32
β	0.100	0.080	0.066	0.057	0.050
k	0.197	0.158	0.132	0.113	0.099
θ	14°30'	23°40'	30°00'	34°50'	38°40'
S_h (cm)	19.58	21.74	23.79	25.95	27.39

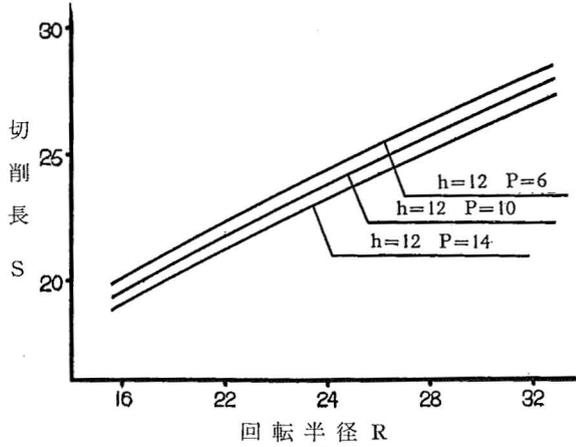
第3表-1 $S_h - R$ ($h=12\text{cm}$, $P=6\text{cm}$)

R (cm)	16	20	24	28	32
β	0.060	0.048	0.040	0.034	0.030
k	0.119	0.095	0.080	0.068	0.060
θ	14°30'	28°40'	30°00'	34°50'	38°40'
S_h (cm)	20.18	22.19	24.31	26.19	28.12

第3表-3 $S_h - R$ ($h=12\text{cm}$, $P=14\text{cm}$)

R (cm)	16	20	24	28	32
β	0.139	0.119	0.093	0.080	0.070
k	0.273	0.220	0.184	0.158	0.139
θ	14°30'	24°40'	30°00'	34°50'	38°40'
S_h (cm)	19.02	21.17	23.25	25.19	26.92

転半径の小さい耕耘刀が使用されることになれば、Rは重要視されるべき要素となるわけである。これについては切削角φの所で述べることにする。



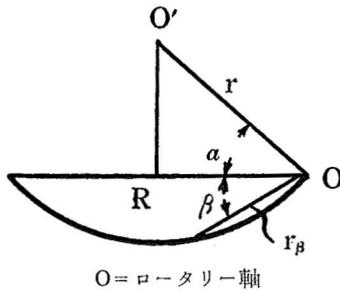
第6図 回転半径による水平刃の切削長の変化

第3節 垂直刃の切削刃縁長さ Sv の理論値

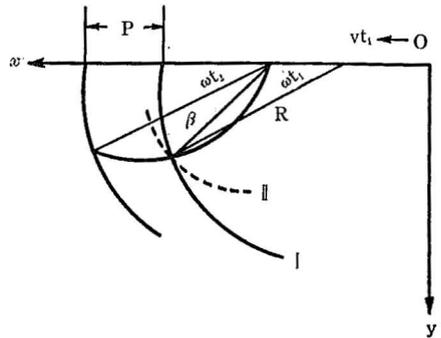
垂直刃の刃縁曲線を第7図の如き円弧とすれば、

$$R = 2r \cos \alpha \dots\dots\dots(1)$$

$$r_\beta = 2r \cos (\alpha + \beta) \dots\dots\dots(2)$$



第7図 垂直刃の刃縁曲線を円弧とした場合



第8図 垂直刃の切削刃縁長さ

又第8図において I 一曲線は前節より

$$x_1 = vt_1 + 2r \cos \alpha \cdot \cos \omega t_1 \dots\dots\dots(3)$$

$$y_1 = 2r \cos \alpha \cdot \sin \omega t_1 \dots\dots\dots(4)$$

刃縁曲線の任意の点の軌跡 II 一曲線は

$$x_2 = P + vt_2 + 2r \cos (\alpha + \beta) \cos (\omega t_2 + \beta) \dots\dots\dots(5)$$

$$y_2 = 2r \cos (\alpha + \beta) \sin (\omega t_2 + \beta) \dots\dots\dots(6)$$

I, II 一曲線の交点を求めれば、 $x_1 = x_2$, $y_1 = y_2$ であるから、(3)(4)(5)(6)式より

$$\cos (\omega t_2 + \alpha + 2\beta) = \cos (\omega t_1 + \alpha) + \cos (\omega t_1 - \alpha) - \cos (\omega t_2 - \alpha) - \frac{P + v(t_1 - t_2)}{r} \dots\dots\dots(7)$$

$$\sin (\omega t_2 + \alpha + 2\beta) = \sin (\omega t_1 + \alpha) + \sin (\omega t_1 - \alpha) - \sin (\omega t_2 - \alpha) \dots\dots\dots(8)$$

(7)(8)式をそれぞれ二乗して加えて β を消去すると

$$\frac{1 + \cos 2\alpha - \cos \{\omega(t_1 - t_2) + 2\alpha\} - \cos \omega(t_1 - t_2)}{\cos(\omega t_1 - \alpha) + \cos(\omega t_1 - \alpha) - \cos(\omega t_2 - \alpha)} = \frac{P + v(t_1 - t_2)}{r} \dots\dots\dots(9)$$

(9)式で t_1 を与えれば t_2 がきまるから、この t_1, t_2 を(7)(8)式に代入すれば β が求まる。従つて土壌中の切削刃縁長さ S_v は次式より求められる。

$$S_v = 2r\beta \dots\dots\dots(10)$$

但し(9)式は非常に複雑であるから、実際には図式的に求めて、検討するのが良い。

次に刃縁曲線の円弧が地面に入る点を求めてみる。地面はロータリー軸より $(R-h)$ 下にあるものとする。

$$y_2 = R - h \text{ を(6)式に代入して}$$

$$R - h = 2r \cos(\alpha + \beta) \sin(\omega t_2 + \beta)$$

変形して

$$\sin(\omega t_2 + \alpha + 2\beta) = \frac{R - h}{r} - \sin(\omega t_2 - \alpha) \dots\dots\dots(11)$$

(11)式で ωt_2 を与えれば $(\omega t_2 + \alpha + 2\beta)$ が鋭角のときと鈍角のときと、一般に2つの β が求まる。

従つて刃縁の中間が地面に喰い込んでいるときのその部の刃縁長さは、(11)式より求められるわけである。

特別の場合として、円弧が地面に接するときは

$$\omega t_2 + \alpha + 2\beta = \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(12)$$

$$\frac{R - h}{r} - \sin(\omega t_2 - \alpha) = 1 \dots\dots\dots(13)$$

となることが必要である。

数値計算：

1) 垂直刃の刃縁が地面に接する角度

耕耘刀の回転半径を $R=24\text{cm}$ 、刃縁曲線を円弧とした時のその半径を $r=20\text{cm}$ とすれば、(1)式より

$$\cos \alpha = \frac{R}{2r} = 0.6 \quad \alpha = 5^\circ 35'$$

(13)式より
$$\sin(\omega t_2 - \alpha) = \frac{R - h}{r} - 1$$

この式で、耕深 h を変えたときの ωt_2 を計算したのが第4表である。

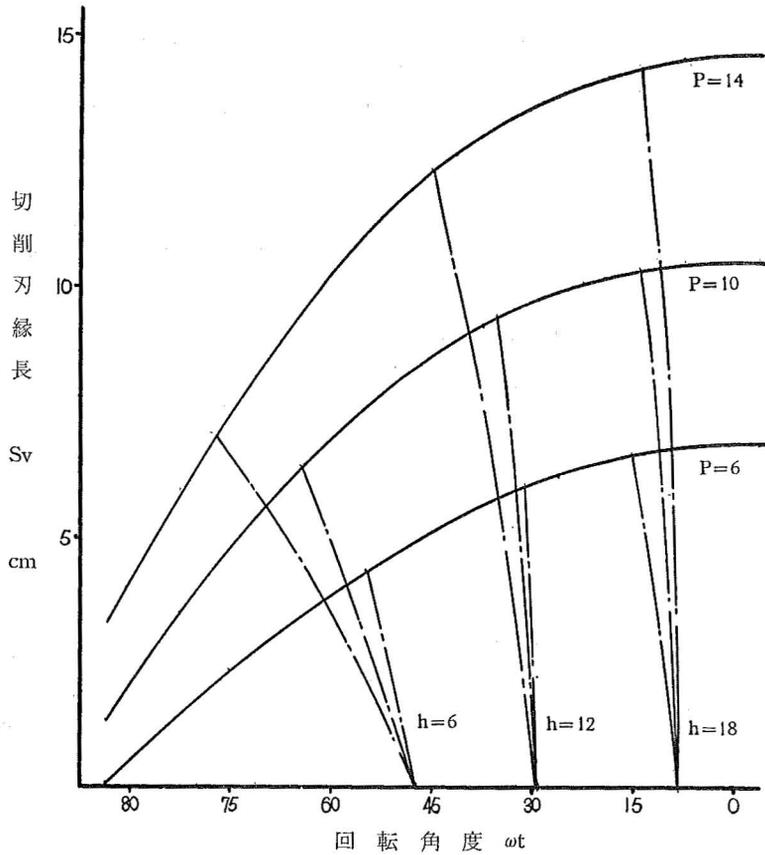
第4表 垂直刃が地面に接する回転角度

h (cm)	18	16	14	12	10	8	6
ωt_2	8°37'	16°07'	23°05'	29°27'	35°37'	41°43'	47°20'

2) 垂直刃の土中の刃縁長さ S_v の変化

垂直刃は第4表の回転角度以上になると、土中に喰い込む。その刃縁長さは、耕深 h 、耕耘ピッチ P 、によつて異なるもので、その変化を回転角度によつて図示したのが第9図である。

第9図において 0° と云うのはロータリー軸の中心より耕耘刀の垂直刃の先端を結んだ回



第9図 回転角度による垂直刃の切削刃縁長さの変化 (R=24cm)

転半径が水平の位置にある場合で、回転は 0° より 90° の方向に進む。垂直刃の土中の刃縁長さ S_v は、刃縁が地面に接した角度から点線を通り、実線に沿ってそれぞれ図の様に变化するわけである。従つて S_v の値は耕耘ピッチ P によつて大差があるばかりでなく、同じ P に対しても回転角度 ωt_2 によつて非常に变化することが知られる。

3) 耕深 h による切削回転角 ϕ の変化

耕耘刀の先端が耕盤に達したとき、即ち 90° 回転したときは、切削抵抗が 0 になるともよい。次に垂直刃の刃縁が地面に接した点から 90° の点までの切削回転角度 ϕ は、第4表より第5表の如くに求められる。

第5表 耕深 h による切削回転角度 ϕ

h (cm)	18	16	14	12	10	8	6
ϕ	$81^\circ 23'$	$73^\circ 53'$	$66^\circ 55'$	$60^\circ 33'$	$54^\circ 23'$	$48^\circ 17'$	$42^\circ 40'$

切削回転角度 ϕ は耕深 h によつて、第5表の例の如くに变化するから、第1節(4)、(5)式はそれぞれ h によつて非常に影響されることが知られる。これは土屋⁵⁾⁶⁾⁷⁾等が耕深と耕耘所

要動力との関係を、実験的に求めた結果と一致するわけである。

第4節 考察

ナタ刃の耕耘動力を検討するには、ナタ刃の水平刃と垂直刃の切削抵抗を別々に考えるべきであるが、水平刃の切削抵抗 f_h は切削中大体一定とみなすことが出来るのに対して、垂直刃の切削抵抗 f_v はその土中の刃縁長さ S_v が回転角度によつて変化するのに対応して、切削が進むにつれて変化する違いがある。

耕耘刀1本によるロータリー軸にかかるトルク T は、第1節の(2)式に示した如く次の通りである。

$$T = f_h \cdot R + f_v \cdot R_0$$

この式では f_h , R は一定であるが、 f_v は第9図に示めされる刃縁長さの変化によつて異なり、 R_0 は耕耘刀の回転角度によつて異なる。それ故切削中の T の変化は主として f_v および R_0 の変化によつて起る。又同時に切削中の耕耘刀数 M は、切削回転角度 ϕ によつて異なり、 ϕ は耕深 h によつて変ることも前述した通りである。これらの関係を実例に基づいて更に検討すれば次の通りである。

1) 前節の理論値によれば、土壌の切削距離 S_h は耕耘刀の回転半径 R 、耕深 h 、耕耘ピッチ P によつて異なるが、 P の影響は比較的小さい。これに反して S_v は P の影響を大きく受ける。しかし水田耕耘の例をとれば、実際には R は一定のものであり、 h は 10~14cm 位の範囲であるのに対して、 P は 4~14cm 位まで任意に選べるようになっていゝ。従つて使用なり設計に際しては h よりも P の影響をもつと重視すべきである。

2) 現用耕耘機のナタ刃の回転半径 R は、大部分が 24~28cm 位である。しかし最近センタードライブ型が製作されるようになり、 R の値は小さくなる傾向にある。これはセンタードライブによつて、ロータリー軸を出来るだけ下にし、耕耘刀の回転半径を小さくし、ロータリー装置を軽量にするためである。しかしこの場合は R を小さくして ϕ を大きくすることになるから、耕耘動力の面ではいずれが有利であるかを、第1節(2)(4)(5)式および後章の切削抵抗に対する切削速度等から検討されねばならない。

3) 耕耘動力に関する要素として、 R , h , P 等の影響について調べたが、これらはいずれも対象となるべき土壌条件が一定のものとして述べられたわけである。しかし実際には次章で述べる如く、土壌条件は粘土含有量、水分等によつて非常に相違するから、土壌の物理的性質に対応する切削抵抗を解明することは、極めて重要なことである。

第2章 水田土壌の物理的性質

前章においてはロータリー式の耕耘動力に対する理論的考察を行なつたが、その対象となるべき土壌の切削抵抗 f_h , f_v については、抽象的な説明に止めておいた。これは、土壌の物理的性質を理論的に解明することが極めて困難なためである。

さて犁やプラウの牽引抵抗は、その大部分が切削抵抗によつて占められているものであり、そして牽引抵抗は次の如き土壌の物理的性質に支配されるものである。これらのことは森¹⁷⁾¹⁸⁾、藪村¹⁹⁾、Nichols²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾等によつて述べられている。

①圧縮抵抗 ②剪断抵抗 ③凝集力 ④粘着力 ⑤摩擦抵抗

しかしロータリー式の耕耘刀に対しては、その刃巾が犁等に比べて非常に小さいから、④および⑤は考慮しなくともよいかと思われる。

所で耕耘動力は土壤の条件によつて非常に異なることが、従来主として経験的に知られてきた。そしてこれまでの国内実験例もせいぜい2, 3種の土壤について、2, 3の異なつた条件で行なわれ、その結果より他を類推するに過ぎなかつた。これも耕耘の立場から土壤の物理的性質を系統的に解明し、両者の関係を明らかにすることが、極めて困難な理由からであつたと考えられる。

本章では耕耘に関連するものと思われる土壤の物理的性質について、可能な限り数多くの試料を集め、数多くの実験を行ない、それらの結果を整理することにより、土壤の系統的な物理的性質を実験的に明らかにした。なお従来土の切削に関する研究は、主に畑地の土壤を対象としたものであり、一方耕耘機は水田に使用されることが多いのに鑑み、本章では水田土壤の試料についてのみ実験を行なつた。

又水田土壤を耕耘するのは一般には、塑性上限(液性限界)以下の水分条件の時が多い。そしてこの様な水分範囲で耕耘するのが、土をこねる等の悪作用がなく作物の生育にとつても望ましいことが、Baver²⁴⁾の著書等に述べられている。実際にはかなりの湿田をも耕耘することが少なくないが、この場合は走行部が問題になるのであつて、双巾の小さい耕耘刀の切削抵抗等には問題がない。それ故本章の実験は、すべて塑性範囲以下の水分について行なつたものである。

第1節 水田土壤の機械的組成

1) 試料採取

水田土壤の物理的性質を明らかにする基礎として機械的組成を調べるため、鶴岡地区5万分の1図幅内の水田土壤を、1平方kmにつき1点ずつ、合計260点採取した。これは小倉・土屋²⁵⁾等の表層地質調査の一部を利用したものである。

耕耘される部分は耕土と呼ばれる表層土であるから、本章で取り扱つた試料は、地表より18cmの深さまでを20cmの角柱に切りとつたものである。又稻株を含まないように、稻株と稻株の間間位置から採取したものである。なお試料は風乾した後礫を取り除いた細土である。

2) 淘汰分析

土壤の機械的組成を調べるため、A. S. K法による淘汰分析を行なつた。機械的組成の中では粘土量の多少が最も重要であるが、その粘土粒子は次のようにいろいろな大きさに規定されている。

日本農学会法	0.01mm以下
米国土性局法	0.005mm以下
国際土壤学会法	0.002mm以下

本節では日本農学会法によつて粘土量を決めたが、それは出来るだけ多くの試料を処理する方が、本題の目的に沿うものと考えたからである。そして後述する如く土壤の物理的性質を検討するには、本題の場合これで十分であると考えられる。

3) 実験結果

260点の水田土壤試料について機械的組成を調べたが、その内52点の試料を選んで物理的性質を解明する実験に供試することにした。52点の試料は粘土量の多いものから順に、適宜粘土量の差がつくように選定したわけである。これを第6表に示す。以下分析には礫を含まない。なお表の数値は土屋²⁶⁾の圃場試験の信頼度を参照して、1点につき3~4回分

析を行い、あまり差のあるときは更に追試を行ない、それらの平均値を求めたものである。

第6表 水田土壌の機械的組成 (%)

No.	粘土	微砂	細砂	粗砂	No.	粘土	微砂	細砂	粗砂
1	78.5	21.5	—	—	27	42.8	29.3	15.7	12.2
2	67.3	22.9	5.6	4.2	28	42.1	29.4	12.7	15.8
3	64.5	24.0	6.2	5.3	29	41.5	30.2	16.1	12.2
4	59.7	25.1	9.4	5.8	30	40.3	31.7	17.4	10.6
5	58.7	26.6	10.3	4.4	31	39.0	29.2	13.2	18.6
6	58.2	25.8	6.6	9.4	32	38.4	24.1	13.8	23.7
7	58.0	28.1	6.5	7.4	33	37.3	33.9	21.3	7.5
8	57.6	21.5	10.5	10.4	34	37.0	34.4	19.3	9.3
9	57.3	25.1	8.2	9.4	35	36.2	30.2	20.1	13.5
10	55.4	26.1	11.1	7.4	36	35.4	29.5	18.3	16.8
11	54.8	25.3	10.2	9.7	37	35.0	25.1	24.1	15.8
12	54.6	26.0	9.6	9.8	38	34.5	32.7	18.3	14.5
13	54.0	28.6	8.0	9.4	39	34.1	29.7	13.2	23.0
14	53.8	24.6	10.2	11.4	40	33.1	32.1	23.1	11.7
15	52.7	27.6	8.8	10.9	41	32.5	20.0	20.9	26.6
16	52.5	29.1	10.1	8.3	42	32.0	28.2	24.0	15.8
17	51.5	30.1	8.6	9.8	43	31.6	34.1	21.2	13.1
18	50.6	29.7	9.7	10.0	44	31.0	27.2	19.9	21.9
19	49.2	29.0	8.2	13.3	45	31.0	36.2	18.3	14.5
20	48.5	30.0	9.1	12.4	46	30.5	27.2	19.3	23.0
21	48.2	32.2	11.9	7.7	47	30.2	30.4	25.5	13.9
22	47.5	30.0	15.2	7.3	48	29.7	31.4	17.8	21.1
23	46.8	28.1	9.9	15.2	49	28.7	31.6	20.8	18.9
24	44.8	32.6	12.7	9.9	50	28.3	26.4	25.7	19.6
25	43.2	30.0	10.2	16.6	51	27.0	20.0	10.8	42.2
26	43.0	29.1	12.7	15.2	52	25.0	25.9	30.5	18.6

第2節 凝集力(引張抵抗値)試験

耕耘刀の刃先が土中に喰い込むと刃先の前には Built-up-chip が生じ、土壌は剪断破壊される。この時の剪断力は土壌の凝集力の函数で、これは Nichols²⁷⁾ Atterberg²⁸⁾等によって述べられている。従つて凝集力は耕耘の際の主要なる因子となつてゐる。

所で Bayer²⁴⁾の著書によれば、Haines および Nichols 等は土の粒子の水膜から生ずる表面張力によつて、理想的な土の凝集力を理論的に考へている。しかし実際の土壌の粘土粒子は、後節の電子顕微鏡写真からも明らかなように、その形状が非常に不規則であつて、理想的な土とはその性質を大いに異にしている。

このように凝集力についての研究例は少なくないが、実際の土壌の水分を任意に変えた場合、その凝集力はどうなるか、又粘土含有量の相違によつてどのような差があるか等については、未だ十分に研究されていない。

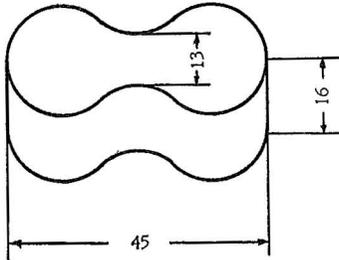
本節は凝集力を示すものとして、水田土壌の引張抵抗値を、引張試験によつて求めたものである。

1) 実験方法

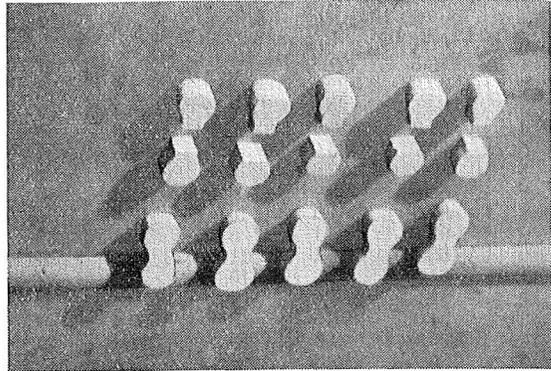
試料は第6表の水田土壌52点を用いた。実験方法は土屋²⁹⁾³⁰⁾の引張、圧碎抵抗を求めた方法を改良したものである。先づ風乾した細土を多量の水で十分にねり、硝子板上の木製枠内に約18mmの厚さに流し込み、平に均した後、水分量が塑性範囲内(液性限界位)になるまで放置する。その後、第10図の如き試験片を、1試料につき約30ヶ型抜きする。次いで試験片を自然乾燥させ、適宜の水分量を見当づけて引張試験を行なう。

引張試験はばねを装置した保持器に試験片の1端を挟持させ、他端の頭を指でつまんで

引張り、切断破壊時の引張抵抗値を読みとるようにしたものである。そして切断抵抗 (kg) を切断部の断面積 (cm²) で除した値を、引張抵抗値 (kg/cm²) とした。



第10図A 引張試験の試験片



第10図B 同左写真

2) 実験結果

試料の一部、No. 2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44, 50の実験結果を図示したのが、それぞれ第11図、第12図、第13図、第14図、第15図、第16図、第17図、第18図、第19図である。

$x = \text{引張抵抗値 } \text{kg/cm}^2$

$y = \text{含水比 } \%$

とすれば、各図の実験式は大体次のようになる。

$x \cdot y = A + By \dots \dots (1)$

最小自乗法により、A、Bの値を求めると次のようになる。

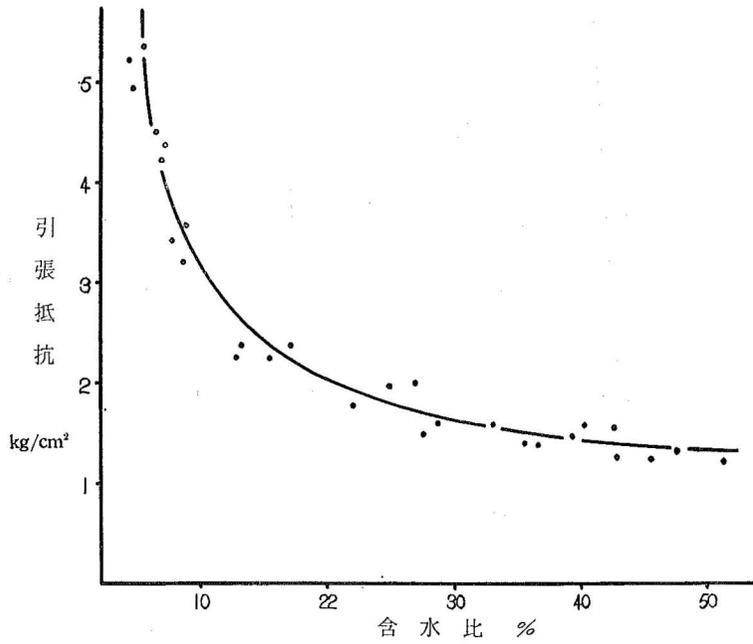
- No. 2 $xy = 22.0 + 0.89y$
- No. 8 $xy = 13.6 + 0.70y$
- No. 14 $xy = 10.4 + 0.60y$
- No. 20 $xy = 7.4 + 0.50y$
- No. 26 $xy = 4.3 + 0.37y$
- No. 32 $xy = 3.4 + 0.28y$
- No. 38 $xy = 1.9 + 0.18y$
- No. 44 $xy = 1.6 + 0.15y$
- No. 50 $xy = 1.4 + 0.09y$

第7表 引張係数 A, B の値

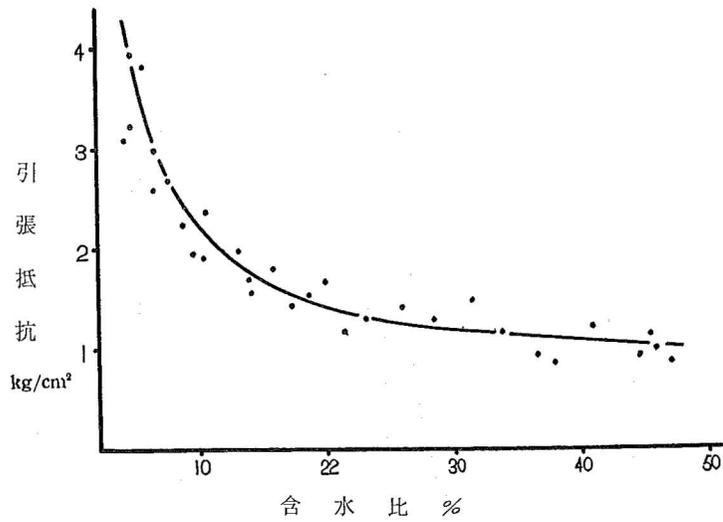
No.	粘土量 (%)	A	B	No.	粘土量 (%)	A	B
1	78.5	36.0	1.08	27	42.8	4.1	0.36
2	67.5	22.0	0.89	28	42.1	3.8	0.35
3	64.3	15.9	0.77	29	41.5	4.4	0.32
4	59.7	12.6	0.68	30	40.3	3.6	0.30
5	58.7	11.2	0.60	31	39.0	2.8	0.27
6	58.2	12.3	0.70	32	38.4	3.4	0.28
7	58.0	11.6	0.58	33	37.3	2.5	0.26
8	57.6	13.6	0.70	34	37.0	3.0	0.19
9	57.3	12.3	0.65	35	36.2	2.4	0.23
10	55.4	9.5	0.57	36	35.4	2.1	0.20
11	54.8	11.5	0.63	37	35.0	2.8	0.18
12	54.6	11.5	0.67	38	34.5	1.9	0.18
13	54.0	9.1	0.56	39	34.1	2.0	0.16
14	53.8	10.4	0.60	40	33.1	1.6	0.18
15	52.7	9.5	0.54	41	32.5	1.5	0.14
16	52.5	9.0	0.55	42	32.0	2.5	0.15
17	51.5	8.5	0.55	43	31.6	1.5	0.13
18	50.6	7.6	0.48	44	31.0	1.6	0.15
19	49.5	8.3	0.51	45	31.0	1.3	0.10
20	48.5	7.4	0.50	46	30.5	1.7	0.14
21	48.2	6.4	0.46	47	30.2	1.5	0.12
22	47.2	7.8	0.46	48	29.7	1.4	0.10
23	46.8	6.8	0.47	49	28.7	1.2	0.09
24	44.8	4.6	0.36	50	28.3	1.4	0.09
25	43.2	4.8	0.33	51	27.0	1.0	0.07
26	43.0	4.3	0.37	52	25.0	0.9	0.04

(1)式の A, B を前と同様に、52点の試料について求めたのが第7表である。

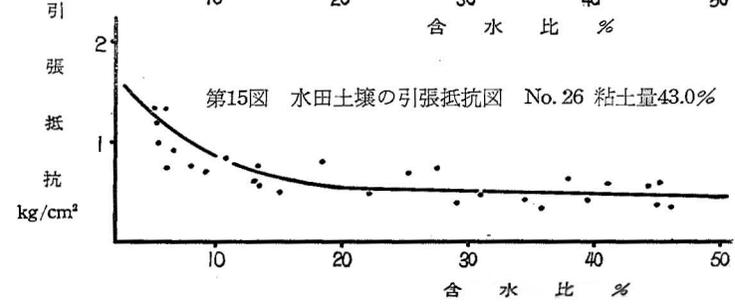
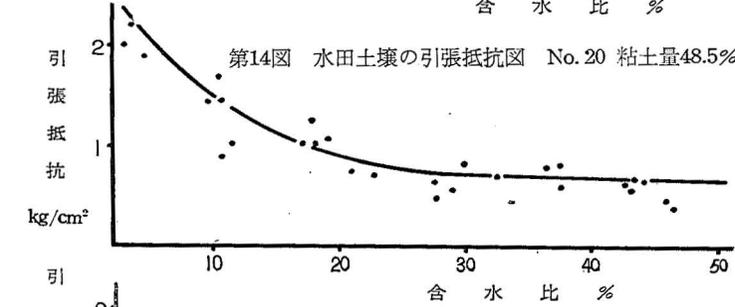
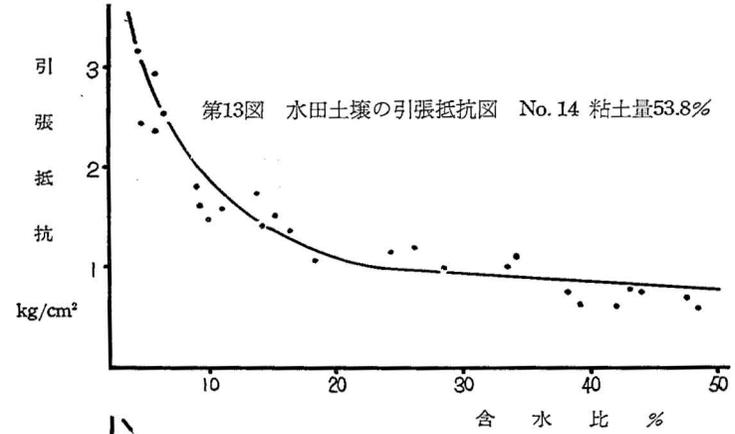
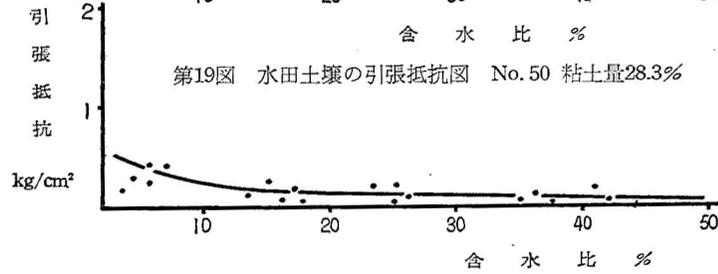
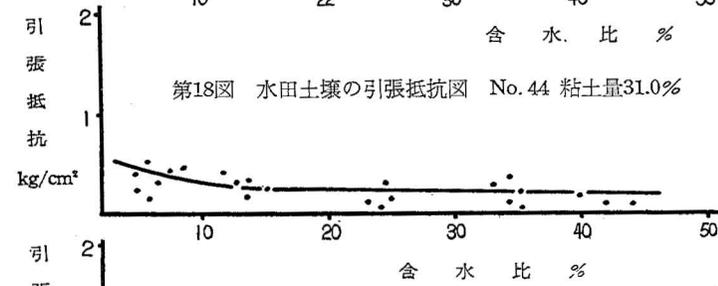
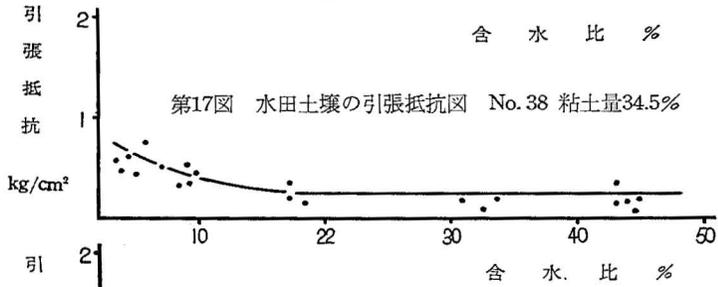
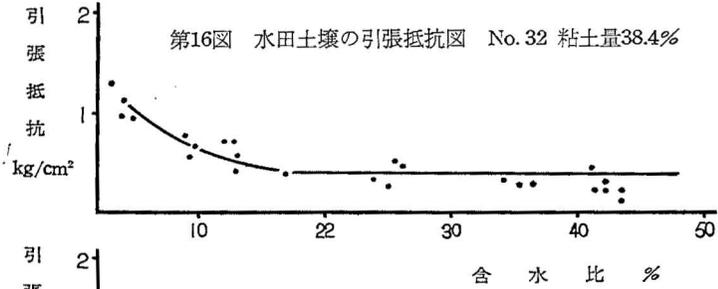
又Aと粘土量の関係に対数図表に表したのが第20図でBと粘土量の関係を図示したのが第21図である。



第11図 水田土壌の引張抵抗図 No. 2 粘土量67.3%



第12図 水田土壌の引張抵抗図 No. 8 粘土量57.4%



3) 粘土量と水分と引張抵抗値との関係

第20図から、引張係数Aと粘土量wの関係は、指数曲線になることが分る。これを式で表わせば、

$$A = aw^b \dots\dots\dots(2)$$

(2)式の係数a, bを求めるため、第7表の数値を式に代入し、最小自乗法を行なえば次のようになる。

$$A = 4.46 \times 10^{-6} w^{3.69} \dots(3)$$

又Bとwの関係は、第21図の実験結果より次のように表わされる。

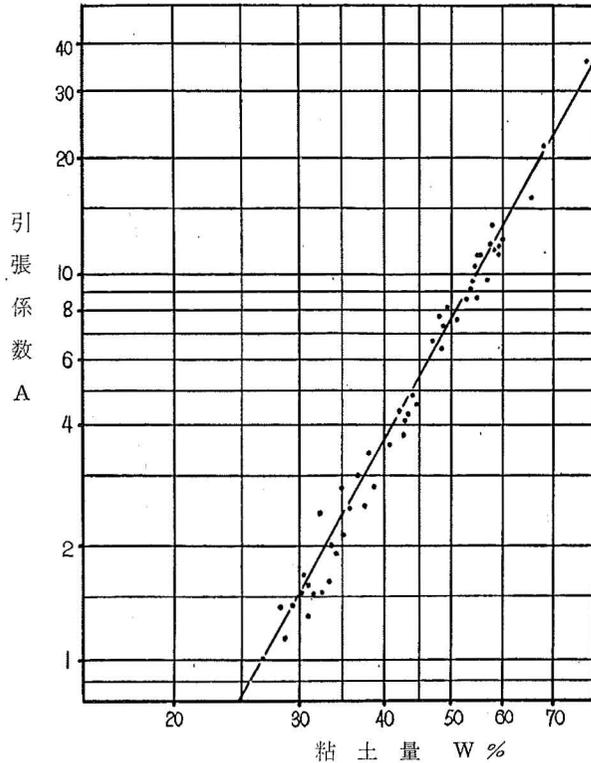
$$B = 0.02w - 0.5 \dots\dots\dots(4)$$

従つて(1)(2)(3)(4)式を組み合わせれば、次の式が求められる。

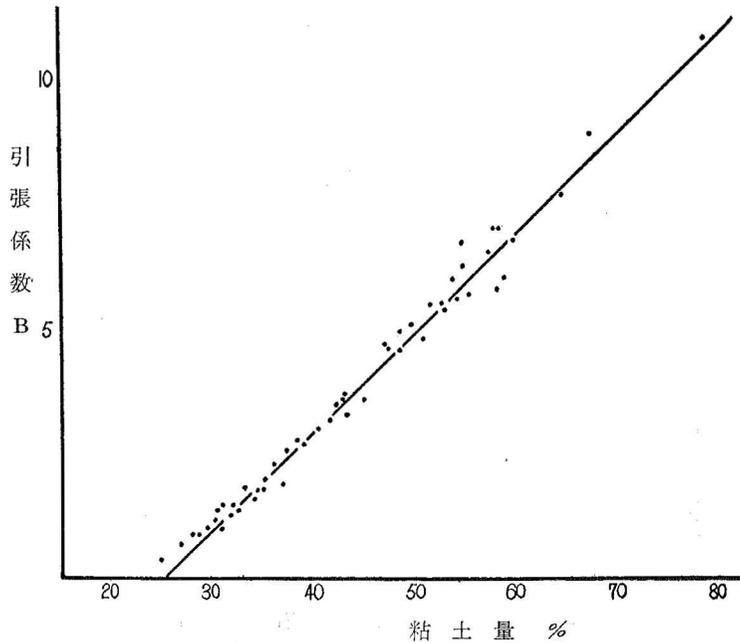
$$xy = 4.46 \times 10^{-6} w^{3.69} + (0.02w - 0.5)y \dots\dots(5)$$

(5)式は粘土量と水分と引張抵抗値の関係を表わす式である

から、任意の土壌の粘土量さえ分れば、その土壌の引張抵抗値は、水分の如何にかかわらず、本式より求められるわけである。但し水分量は実験範囲内の液性限界以下である。所で第7表に示した如く、Bの値はAの値に比べて非常に小さい。それ故引張抵抗値は、水分が少な



第20図 粘土量と引張係数との関係



第21図 Bと粘土量との関係

い程BよりもAによつて支配されることが知られる。なおA, Bについては、後節の考察において、t検定を行ないその範囲を検討することにする。

第3節 灼熱損失量と有機物 (腐植) 量

土壌の物理的性質に影響する最も大きい因子は、粘土量と水分含有量である。しかし粘土含有量が大体同じ土壌でも、その土壌有機物の多少によつて、物理的性質にはかなりの差のあることも知られている。

それ故、本節の実験は前節の引張抵抗値や後節の物理的性質を調べた各種の実験結果の中に、関係曲線から外れた試料が存在するのを説明するのに役立つ目的で行なつたものである。実験は第6表の水田土壌試料について、灼熱損失量と土壌有機物量とを別々に求めるようにした。

1) 実験方法

a. 灼熱損失量

土壌実験法³¹⁾に基づき、風乾試料3gを磁製ルツボに入れ、650°~950°Cの範囲内で灼熱し、その減量から水分量を差引いて灼熱損失量を求めた。

b) 土壌有機物 (腐植) の定量

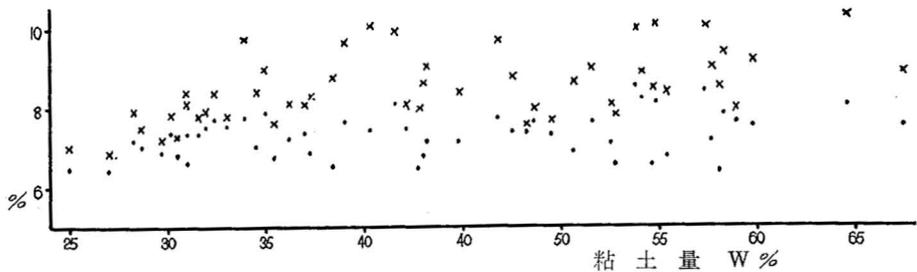
土壌有機物の炭素含有量は大体58%であるから、腐植の炭素量を測定し、これに係数1.724を乗じて腐植量とした。方法は Tiurin の迅速酸化滴定法によつたものである。

2) 実験結果

実験結果を整理してまとめたのが第8表である。又第8表を図示したのが第22図である。庄内地方は堆肥をかなり多く施用するので知られているが、各水田土壌の有機物量は個々の農家の施用量に影響されるため、粘土量とは関係ないことが第22図より分るわけである。

第8表 水田土壌の有機物 (%)

No.	粘土量 (%)	灼損 (%)	有機物 (%)	No.	粘土量 (%)	灼損 (%)	有機物 (%)
1	78.5	—	—	27	42.8	8.0	6.5
2	67.3	8.9	6.6	28	42.1	8.0	7.5
3	64.5	10.4	8.1	29	41.5	9.9	8.1
4	59.7	9.2	7.5	30	40.3	10.1	7.4
5	58.7	8.0	7.6	31	39.0	9.6	7.6
6	58.2	9.4	7.8	32	38.4	8.8	6.5
7	58.0	8.5	6.4	33	37.3	8.3	6.8
8	57.6	9.0	7.1	34	37.0	8.1	7.4
9	57.3	10.1	8.4	35	36.2	8.1	7.2
10	55.4	8.3	6.7	36	35.4	7.6	6.7
11	54.8	10.1	8.1	37	35.0	9.0	7.9
12	54.6	8.5	6.6	38	34.5	8.4	7.0
13	54.0	8.9	8.2	39	34.1	9.8	7.8
14	53.8	10.0	8.5	40	33.1	7.8	7.5
15	52.7	7.8	6.5	41	32.5	8.4	7.7
16	52.5	8.1	7.1	42	32.0	8.0	7.5
17	51.5	9.0	7.7	43	31.6	7.8	7.3
18	50.6	8.7	6.9	44	31.0	8.1	6.6
19	49.5	7.7	7.3	45	31.0	8.4	7.3
20	48.5	8.0	7.7	46	30.5	7.3	6.8
21	48.2	7.6	7.4	47	30.2	7.8	7.4
22	47.5	9.3	7.4	48	29.7	7.2	6.9
23	46.8	9.7	7.7	49	28.7	7.5	7.0
24	44.8	8.4	7.1	50	28.3	7.9	7.2
25	43.2	9.0	7.1	51	27.0	6.8	6.4
26	43.0	8.6	6.7	52	25.0	7.0	6.5



第22図 粘土量による灼熱損失量と有機物量
 • 有機物量 × 灼熱損失量

第4節 塑性指数

Baver²⁴⁾によれば土壌を耕耘するには塑性下限よりも若干少ない水分の時が、作物には最適とされている。土壌が乾燥している時は、圧縮抵抗が剪断力より大きくなつて大塊の破砕が起る。又塑性範囲内では、剪断作用が起る前に緻密にこねられてしまう。

又塑性指数は粘土量に比例するもので、これは Atterberg³²⁾ や Terzaghi³³⁾ 等によつて研究されたものである。

このように塑性指数は、土壌の耕耘性に大きい関係がある。しかし水田土壌については未だ十分な研究がなされていないので、本節の実験では第6表の52点の試料について調査し、粘土量との関係を明らかにした。

1) 実験方法

塑性下限は硝子板上で、手で紐状になし、径 3mm になし得た時の水分量を測定したものである。これは、個人差を考え、5人が別々に操作し、一試料につき5つの結果を出してその平均値を用いることにした。

塑性上限(液性限界)は Casagrande³⁴⁾の装置を用い、それぞれ15, 20, 30, 35回前後の打撃を加えたときの水分量を測定し、これを半対数図表に図示し、それより25回の打撃数を与えたときに相当する水分量を求めて、この水分量で表わすことにした。Casagrandeの標準型液性限界試験装置は、真鍮製の皿の一端が蝶番で止めてあり、ハンドルを手廻しすると、カム作用によつて皿は反復的に持ち上げられ硬質ゴム台上に落下するようになってゐる。皿の落下高さは正確に1cmに調整され、皿内の試料に切つた溝が閉じるまでの落下回数を数えるものである。

2) 実験結果

52点の水田土壌試料についての実験結果を整理したのが、第9表である。又第9表の結果を図示したのが、第23図である。

Russell³⁵⁾の報告によれば、人工土の試験では、5μの粒子の量と塑性指数との間には、次の直線関係が認められる。P. N. は塑性指数, w は粒子の量である。

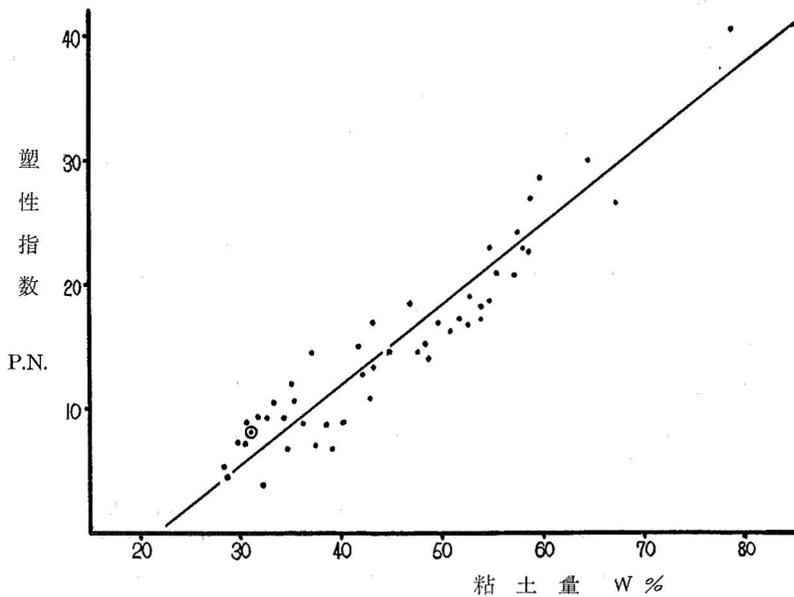
$$P. N. = 0.6w - 12 \dots (1)$$

これに対して、本実験の粘土粒子は 10μ以下となるわけで、この水田土壌についての関係式を最小自乗法によつて求めると、次の如くなる。

$$P. N. = 0.65w - 14.2 \dots (2)$$

第9表 水田土壌の塑性指数

No.	塑性上限 (%)	塑性下限 (%)	塑性指数	No.	塑性上限 (%)	塑性下限 (%)	塑性指数
1	85.2	44.9	40.3	27	53.9	42.9	11.0
2	70.6	44.3	26.3	28	55.0	42.4	12.6
3	74.9	44.9	30.0	29	58.9	43.9	15.0
4	72.3	43.9	28.4	30	53.3	44.3	11.0
5	66.3	39.2	27.1	31	50.1	43.3	6.8
6	66.0	43.4	22.6	32	55.0	46.6	8.4
7	65.2	42.4	22.8	33	50.3	43.3	7.0
8	72.4	48.3	24.1	34	60.0	45.3	14.7
9	63.1	41.4	20.7	35	50.6	41.6	9.0
10	62.3	41.4	20.9	36	51.7	40.8	10.9
11	63.7	40.8	22.9	37	57.5	45.4	12.1
12	62.6	43.9	18.7	38	50.0	43.9	6.9
13	60.6	41.8	18.2	39	54.3	44.9	9.4
14	60.8	43.3	17.5	40	47.7	37.1	10.6
15	60.3	40.8	19.2	41	57.5	48.1	9.4
16	57.5	40.8	16.7	42	42.9	38.9	4.0
17	66.6	49.2	17.4	43	47.0	37.4	9.6
18	59.2	42.9	16.3	44	45.5	37.4	8.1
19	58.3	41.3	17.0	45	51.8	43.7	8.1
20	54.9	40.8	14.1	46	46.8	37.8	9.0
21	57.5	42.0	15.5	47	44.5	37.0	7.5
22	57.9	43.3	14.6	48	43.5	36.1	7.4
23	66.6	47.9	18.7	49	48.1	43.5	4.6
24	59.2	44.9	14.3	50	48.6	43.1	5.5
25	67.5	50.4	17.1	51	—	—	—
26	55.2	41.9	13.3	52	—	—	—



第23図 P.N.と粘土量との関係

Russell の使用した混合土には、土壌有機物が含まれていたかどうかは不明である。しかし(1)および(2)式は大体同様な実験式であるから、結果的には本実験に用いた水田土壌とRussell の人工土とは、塑性指数に関しては大体同様な成績を示したことになる。ただし有機物の含有量その他によると思われる変動もあるから、これらについては後で検討することにする。

なお第9表によれば、塑性下限は粘土量その他に関係なく大体一定であるのに対して、塑性上限は粘土量に比例して増減し、更に有機物等の影響も少なくないことが知られる。

第5節 剪断試験

土壌の剪断抵抗は Nichols 等によつて土の内部摩擦力と土粒子相互の粘着力に起因するものであると考えられている。そして土壌の切削抵抗は、土壌の圧縮抵抗や剪断抵抗に起因するものであると考えられることも前に述べてある。それ故耕耘作業の研究には土壌の剪断値が重要視され、国内では村山・畠¹⁶⁾、川村¹¹⁾等の考察に採り入れられている。

Coulomb によれば、一般の土壌に対しては次の関係式が成立する。

$$S = C + n \tan \theta \dots\dots\dots(1)$$

但し S = 剪断力 kg/cm^2 C = 粘着力 kg/cm^2

n = 垂直圧力 kg/cm^2 θ = 内部摩擦角

又剪断値は Nichols²⁴⁾によれば、コロイド含量に比例して増加し、水分量によつて変ることも述べられている。これらに鑑み本節の実験では、水田土壌2種について水分量が変化した時の剪断抵抗を調べ、切削抵抗試験の参考に供することにした。

1) 実験方法

本実験に使用した剪断試験機は、森試験機製作所の2面剪断試験機で、その供試体は10cm角である。供試体を作るには、先ず細土を液性限界よりかなり多い水分量でねり、

鉄板上に並べた 14cm 角の底なしの容器内に流し込み、自然乾燥をさせ適宜の水分量になつたとき 10cm 角に削り取るようにした。このような操作を行なつたのは、代掻された水田土壌が自然に締つて、乾燥した状態になつたのに近づけるためである。

試験の要領は、ある水分量毎に 150kg, 300kg, 450kg の荷重をかけ、それぞれの剪断抵抗値を測定する様にしたものである。本法によれば乾燥収縮による供試体の割れを防ぐことも出来た。

2) 実験結果

剪断試験に供試した 2 種の水田土壌の機械的組成は第 10 表に示す如きものである。

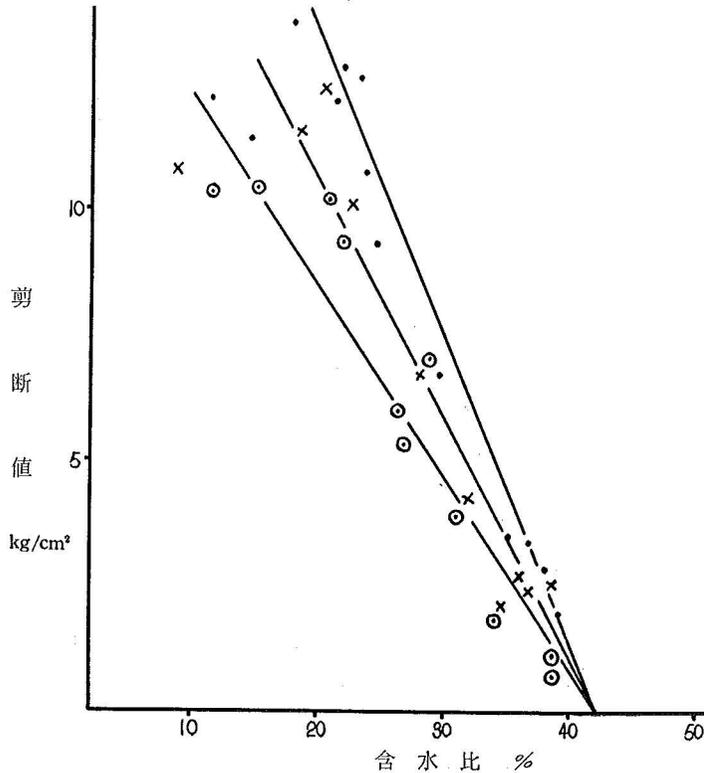
第 10 表 剪断試験の供試土壌 (%)

	粘土	微砂	細砂	精砂
A	38.7	19.8	22.6	18.9
B	49.2	32.9	12.3	5.6

供試土壌 A, B について測定した剪断抵抗値 kg/cm² は、それぞれ第 11 表、第 12 表に示す如くである。

第 11 表 A 土壌の剪断抵抗値 (kg/cm²)

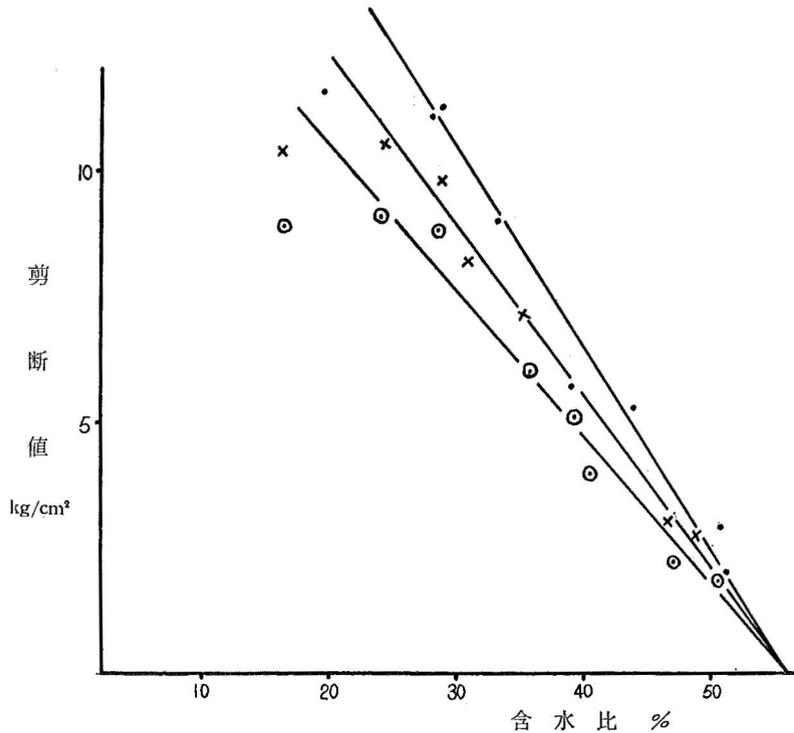
荷重	含水比 (%) 剪断値	38.5	38.8	34.0	31.0	28.6	26.8	26.3	22.0	20.8	15.2	—	11.7
		0.7	1.1	1.8	3.9	7.0	5.3	5.9	9.4	10.1	10.4	—	10.3
300 kg	含水比 (%)	38.4	36.5	36.0	34.5	32.0	28.0	—	22.6	20.5	18.4	—	9.7
	剪断値	2.5	2.4	2.7	2.1	4.3	6.7	—	10.0	12.4	11.5	—	10.7
450 kg	含水比 (%)	39.0	38.0	36.6	35.0	29.4	24.6	23.4	22.0	21.4	18.0	14.6	11.4
	剪断値	2.0	2.9	3.4	3.5	6.7	9.3	12.6	12.8	12.1	13.7	11.4	12.2



第 24 図 剪断値と含水比の関係 (A 土壌)
垂直圧力 ・ 4.5 × 3.0 ● 1.5 kg/cm²

第12表 B土壌の剪断抵抗値 (kg/cm²)

荷	150kg	含水比(%) 剪断値	50.6 1.8	47.0 2.2	40.8 4.0	39.2 5.1	36.0 6.0	28.6 8.9	24.0 9.1	16.6 8.9
	300kg	含水比(%) 剪断値	49.0 2.8	46.6 3.0	— —	35.4 7.2	31.0 8.2	29.0 9.8	24.3 10.6	16.4 10.4
重	450kg	含水比(%) 剪断値	51.0 2.0	50.8 2.9	44.0 5.3	39.0 5.7	33.4 9.0	29.0 11.3	28.2 11.1	19.8 11.6



第25図 剪断値と含水比との関係 (B土壌)
垂直圧力 ・ 4.5 × 3.0 ● 1.5 kg/cm²

第11表, 第12表を図示したのが, 第24図および第25図である。

Nichols²²⁾によれば, 塑性を持った土壌での試験では, 剪断抵抗は塑性上限で0であり, 水分の減少と共に塑性下限で最大となり, 次いで更に乾燥すれば逆に小さくなっている。そして15 lbの圧力を加えた時の最大剪断値は, 塑性指数に比例して次の如くになると云う。

$$F_{ms} = 0.066 P. N. + 16.8$$

然し本実験の結果からは, このような明確な変化は見られなかつた。ただし水分量の変化による相違は大きく, 塑性下限よりかなり乾燥した点まで, 剪断値は上昇する。又粘土量および塑性指数との関係も明らかでなく, これは実験方法の相違によるものかも知れない。

第6節 水分量と土壌容積との関係

凝集力等の説明に土の粒子面の水膜理論が試みられているが, 単位断面積内の水膜数は

土壌容積の変化，つまり収縮と密接な関係がある．本節は後節の水膜理論に対する一考察の参考にする目的で2種の水田土壌試料について，含水比と土壌容積の関係を調べたものである．

1) 実験方法

実験はHainesの方法に準じて行なつた．先ず細土を塑性上限近くの水分量でこね，36ccの定容器に入れ，壘に一杯詰めた時の重量を測定し，最初の水分量と容積を求める．次いで適宜乾燥させた後，空隙に水銀を入れ，水銀の量から容積の減少を求め，同時にその時の水分量を求める．実験は出来るだけ測定値を多くするため，1試料につき3回ずつ行なつた．

2) 実験結果

本実験に供試した2種の水田土壌の機械的組成は，第13表に示す如くである．

第13表 収縮試験の供試土壌 (%)

	粘土	微砂	細砂	粗砂
A	57.6	21.5	10.5	10.4
B	43.0	29.1	12.7	15.2

供試土壌A, Bの実験結果をまとめたのが，

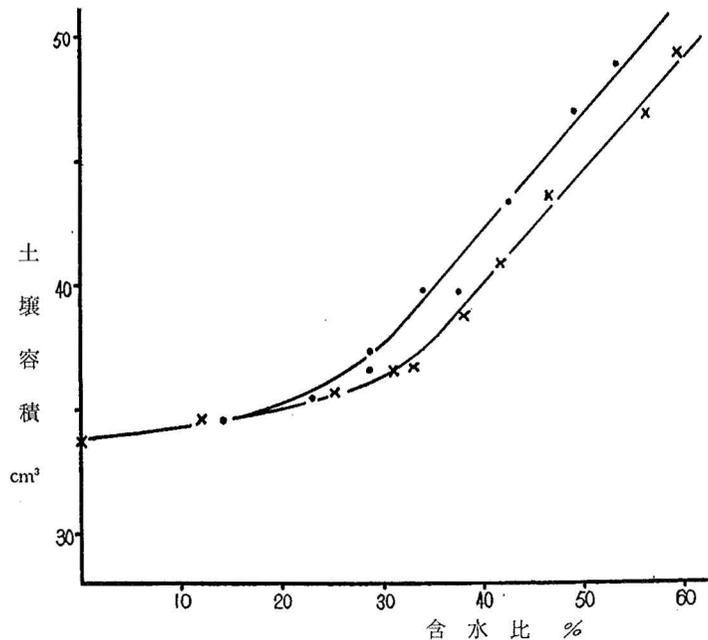
第14表 含水比 (%) による土壌容積 (cm³) 変化

土壌	含水比	土壌容積 (cm ³)													
		53.2	49.0	42.5	37.5	—	34.2	—	31.2	28.7	28.5	23.0	22.0	14.3	0
A	土壌容積	48.9	47.0	43.4	40.8	—	39.8	—	38.0	37.3	36.6	35.5	35.0	34.6	34.0
	含水比	59.5	56.0	51.0	46.5	41.8	38.0	33.0	31.0	28.5	25.0	20.5	12.0	6.0	0
B	土壌容積	49.5	47.0	44.5	43.7	41.0	38.8	36.5	36.6	35.5	35.7	35.7	34.6	34.6	33.7
	含水比	59.5	56.0	51.0	46.5	41.8	38.0	33.0	31.0	28.5	25.0	20.5	12.0	6.0	0

第14表である．

又第14表を図示したのが第26図である．

第14表の成績は，いずれも乾土50gに換算した時の値である．これは両者の比較を便ならしめるためである．本節の実験によれば，両者とも塑性下限より若干少ない水分量まで，大体直線的に容積を減少し，それ以後は僅かずつ容積を



第26図 含水比と土壌容積の関係 × : A土壌 ・ : B土壌

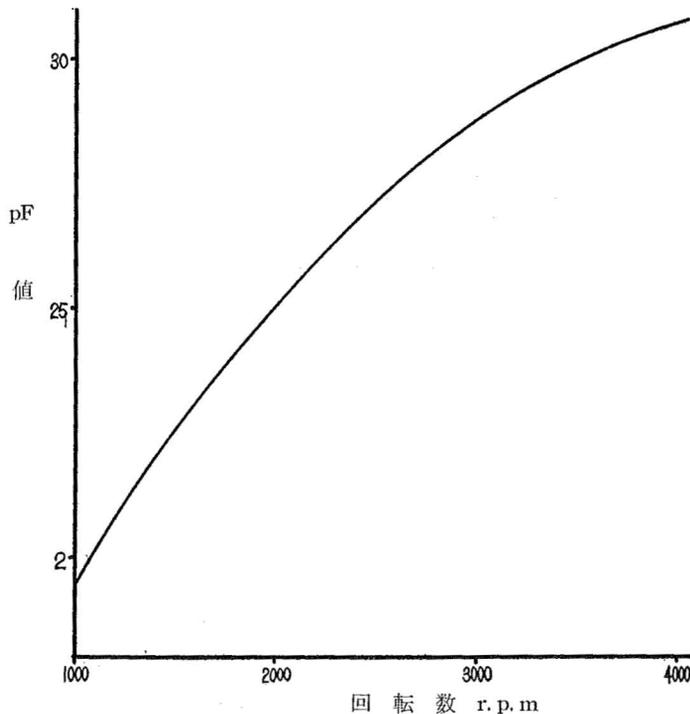
減少して一定の値に達するのが知られる．なお水田土壌の場合は，乾土50gに対して，収縮限界附近までの容積変化割合は，水分量10%につき，約4.6cm³であると云つてもよいであらう．

第7節 水分当量 (pF=2.7) の測定

土壤水は粒子面に近い程強い力で保持されているが、その保持力はいろんな因子によって異なるものと考えられる。本実験は pF=2.7 における水分量を測定し、これによつて粘土量が大体同じ土壤でも、その物理的性質と水分量の関係が同じにならない試料を検討するのに、役立つかどうかを調べる目的で行なつたものである。

1) 実験方法

本実験に使用した遠心力沈澱(分離)機は、佐久間製作所のマルサン式で、最高回転数は4000回である。本機の回転数と pF 値の関係曲線は、第27図である。



第27図 遠心力沈澱分離機の回転数と pF 値の関係

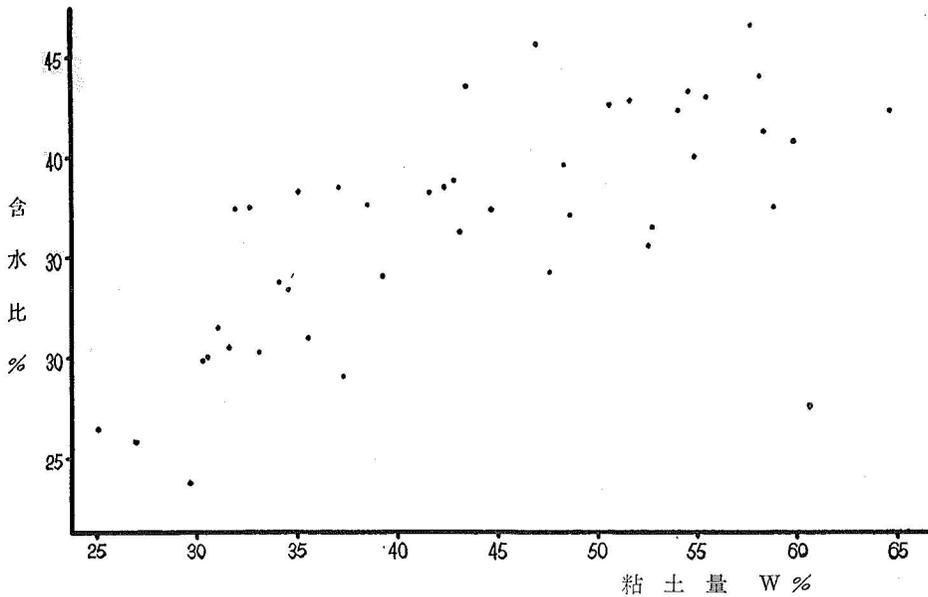
20g 位の試料を土壤容器にとり、これを水の入つたシヤレーの中に入れ、最大容量に達するまで1昼夜放置し下から水を吸い込ませる。次いで遠心分離機にかけ、pF=2.7 になる如く回転数を2460回に保ち、1時間作用させた後、その水分量を測定する。

2) 実験結果

第6表の水田土壤試料について、pF=2.7 における水分量を測定した結果は、第15表である。又第15表の結果を、粘土量と含水比の関係について図示したのが第28図である。

第28図によれば、粘土量の増加に伴い、pF=2.7 における水分量は、一般に増大する傾向が知られる。しかし粘土量に対する水分当量のばらつきは、かなり大きく、その関係を実験式にまとめるのは無理である。

これらについては、後節の考察において更に検討することにする。



第28図 水分当量 (pF=2.7) における粘土量と含水比の関係

第15表 pF=2.7 に於ける含水比

No.	粘土量 (%)	含水比 (%)	No.	粘土量 (%)	含水比 (%)
2	67.3	41.4	27	42.8	38.8
3	64.5	42.2	28	42.1	38.4
4	59.7	40.8	29	41.5	38.2
5	58.7	37.6	30	40.3	29.6
6	58.2	41.2	31	39.0	36.0
7	58.0	44.0	32	38.4	37.6
9	57.6	46.6	33	37.3	29.1
10	55.4	43.0	34	37.0	38.4
11	54.8	40.0	36	35.4	34.8
12	54.6	43.3	37	35.0	38.2
13	54.0	42.3	38	34.5	33.3
15	52.7	36.6	39	34.1	33.7
16	52.5	35.5	40	33.1	30.3
17	51.5	42.8	41	32.5	37.3
18	50.6	42.5	42	32.0	29.0
20	48.5	37.0	43	31.6	30.5
21	48.2	39.6	45	31.0	31.5
22	47.5	39.0	46	30.5	30.0
23	46.8	45.6	47	30.2	29.8
24	44.8	37.4	48	29.7	23.8
25	43.2	43.5	51	27.0	25.8
26	43.0	36.2	52	25.0	26.4

第8節 水素イオン濃度pHの測定

土壌のコロイド粒子は、その外側にCa, Mg, Na, K等の陽イオンを吸着しているが、湿潤地方では水素イオンに置換され易い。それ故土壌の水素イオン濃度の如何によつては、コロイド粒子の物理的性質も変わるかと考えられる。従つて本節の実験は、特に pH 値の異なる土壌が、他の物理的性質を調べた際の特異な土壌に、関連があるかどうかを検討するために行なつたものである。

1) 実験方法

実験は電氣的測定法によつたもので、使用した測定機は、堀場製作所の HRL, pH Meter, M型である。

風乾土10gを100ccのビーカーにとり、蒸溜水 25ccを入れて攪拌し、30分後に、pHメーターで測定した。

2) 実験結果

第6表の水田土壌試料について、pH 値を測定した結果をまとめたのが第16表である。

又第16表を、粘土量と pH 値の関係について図示したのが第29図である。

pH 値は粘土量に対してなんらの関係もなく、個々の水田によつて異なる。そしてその値は大體一様な範囲内にあることが、図より知られる。これは pF 値とは大いに異なる所

で、要するに水田土壌の特色とみてよいであらう。

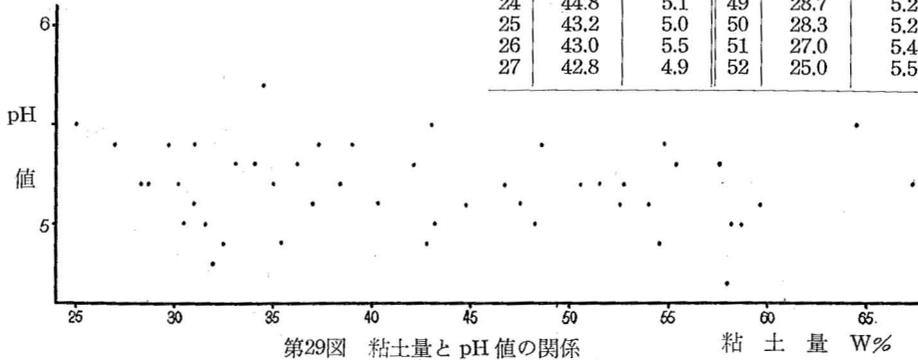
従つて他の実験の際、他よりもかなり異なる実験結果を示す試料を説明するには、pH値は役に立たないように思われる。

第9節 粘土粒子の電子顕微鏡写真

須藤³⁷⁾・川村・真引等の粘土鉱物に関する研究によれば、日本全体の粘土鉱物の変化は乏しく、ハロイサイト、カオリン、アロフエン、モンモリロナイト、石英等が含まれ、非晶質物質が多いのではないかと考えられている。本節は粘土粒子の電子顕微

第16表 供試土壌の pH 値

No.	粘土量 (%)	pH値	No.	粘土量 (%)	pH値
2	67.3	5.2	28	42.1	5.3
3	64.5	5.5	30	40.3	5.1
4	59.7	5.2	31	39.0	5.4
5	58.7	5.2	32	38.4	5.2
6	58.2	5.2	33	37.3	5.4
7	58.0	4.7	34	37.0	5.1
8	57.6	5.3	35	36.2	5.3
10	55.4	5.3	36	35.4	4.9
11	54.8	5.4	37	35.0	5.2
12	54.6	4.9	38	34.5	5.7
13	54.0	5.1	39	34.1	5.3
15	52.7	5.2	40	33.1	5.3
16	52.5	5.1	41	32.5	4.9
17	51.5	5.2	42	32.0	4.8
18	50.6	5.2	43	31.6	5.0
19	49.5	5.7	44	31.0	5.4
20	48.0	5.4	45	31.0	5.1
21	48.2	5.0	46	30.5	5.0
22	47.5	5.1	47	30.2	5.2
23	46.8	5.2	48	29.7	5.4
24	44.8	5.1	49	28.7	5.2
25	43.2	5.0	50	28.3	5.2
26	43.0	5.5	51	27.0	5.4
27	42.8	4.9	52	25.0	5.5



鏡写真を撮り、その形状を知ることによつて、凝集力その他の物理的性質を説明する資料に当てようとしたものである。

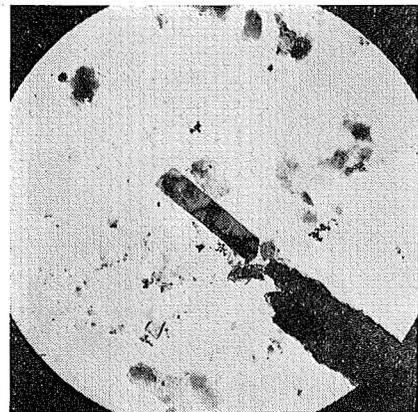
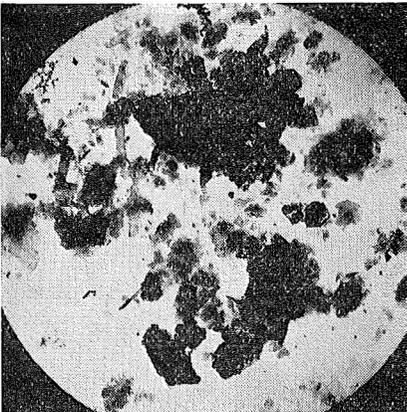
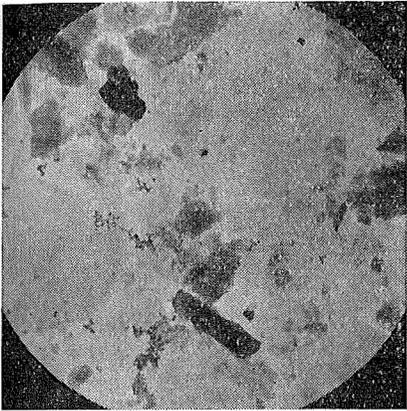
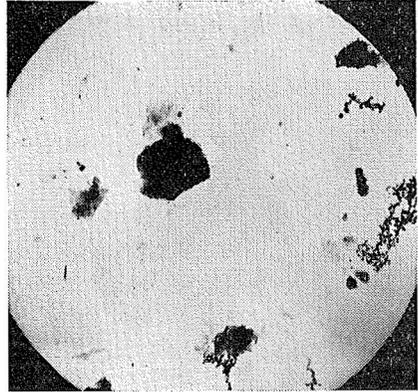
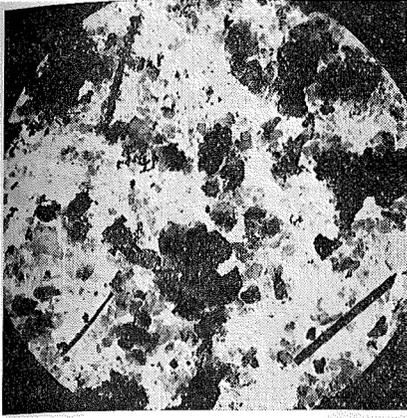
1) 実験方法

使用した電子顕微鏡は、日本電子光学研究所の JEM 4 型である。試料 1g を、多量の蒸溜水中に入れて良く攪拌し、約30分放置した後、上部液約 1cc をピペットに採り、これを約 1 μ の蒸溜水中に入れ、十分に濃度を薄めてから、その 1 滴をトレーガーに載せ、赤外線乾燥機で完全に乾燥させたものを、電子顕微鏡に装置し、直接倍率9000倍で撮影した。

2) 実験結果

第6表の水田土壌試料を供試したが、各試料とも視野範囲を変えれば、種々なる変化が見られたので、その内比較的形狀の揃つた視野を撮影したのが、第30図、第31-1・2・3・4図等である。

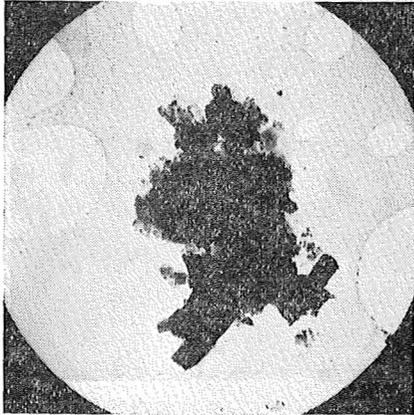
所で 1 つの試料を電子顕微鏡に装置すると、トレーガーを微動させることによつていろんな視野の写真が得られる。第30図は第6表の試料 No. 4 (粘土量59.7%) と No. 7 (同58.0%) の異なる視野の写真を集めたものであるが、これによると同一試料でも針状のものや板状のもの、又は円板状・角板状等大小厚薄種々なる粒子からなりたつてのものが知られる。第31図は粘土含有量の多い試料順に、第6表の水田土壌の比較的鮮明な電子顕微鏡写



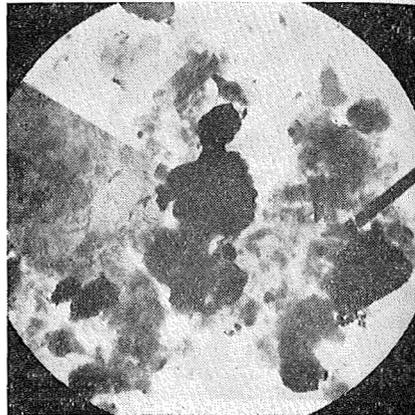
No. 4

No. 7

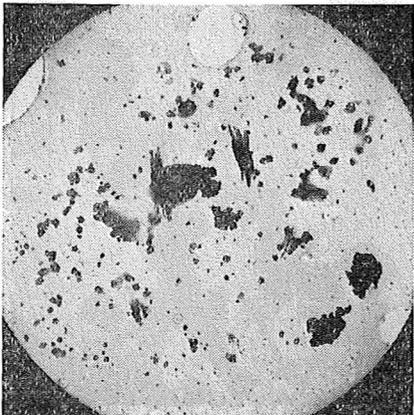
第30図 粘土粒子の電子顕微鏡写真 ×9,000



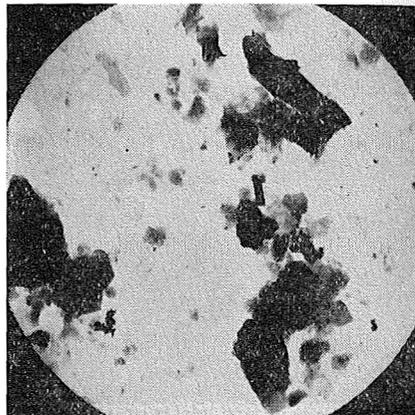
No. 1



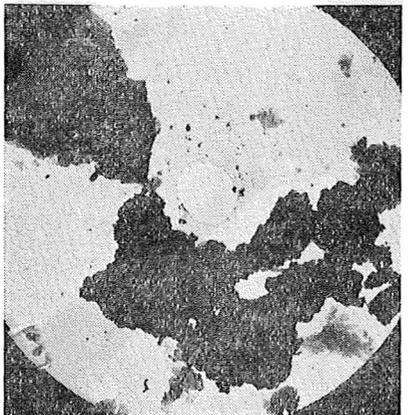
No. 3



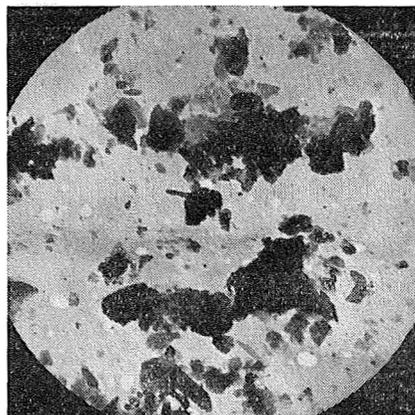
No. 1



No. 3

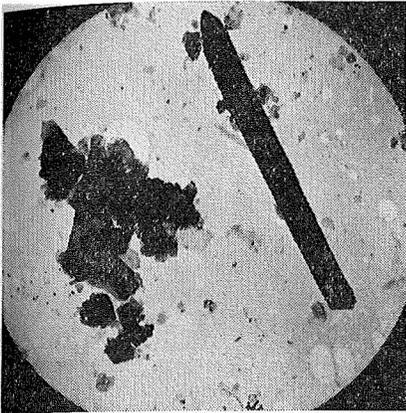


No. 3

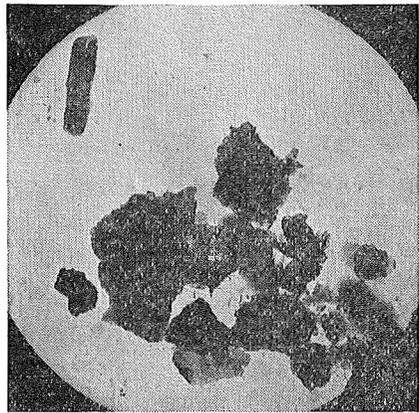


No. 5

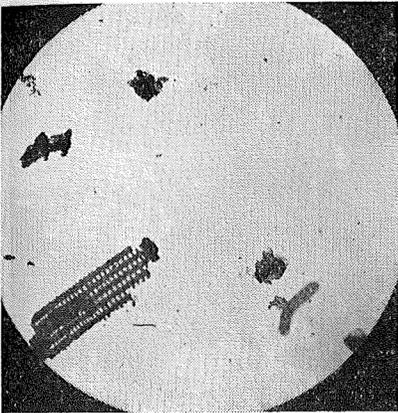
第31図-1 粘土粒子の電子顕微鏡写真 ×9,000



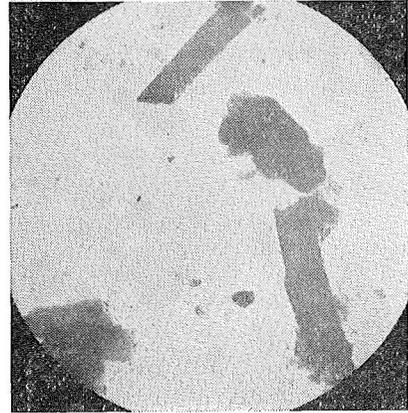
No. 5



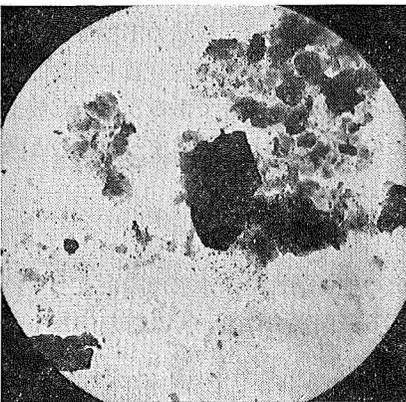
No. 8



No. 8



No. 12

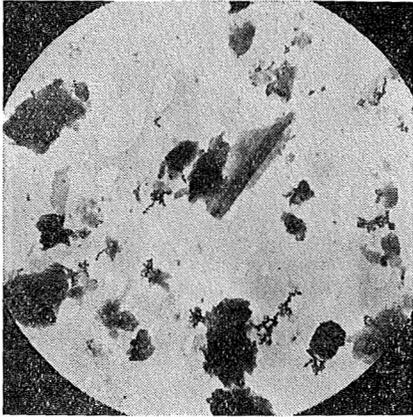


No. 11

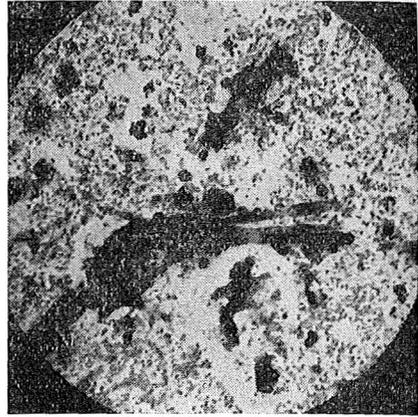


No. 12

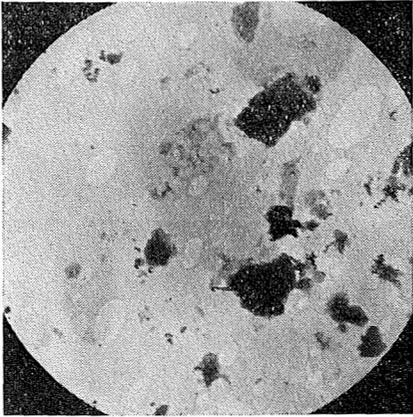
第31図-2 粘土粒子の電子顕微鏡写真 ×9,000



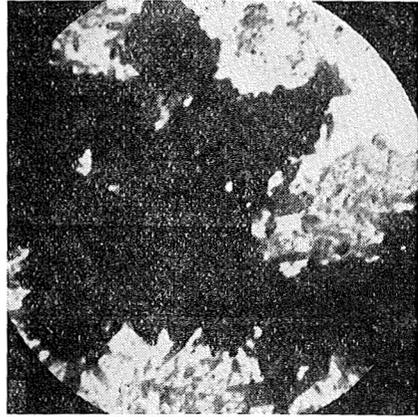
No. 13



No. 20



No. 13



No. 20

第31図-3 粘土粒子の電子顕微鏡写真 ×9,000

真を集めたものである。これらの写真によつて粘土粒子の大部分は、板状の不整形をなしていることが知られる。従つて粘土粒子の形状を基にして、土壤の物理的性質を理論的に考察するのは極めて困難なことであり、實際的でないといつてもよいであろう。それ故土壤の物理的性質を解明するには実験的研究によつてその傾向を知るようにすべきものと考えられる。

第10節 水膜理論に対する一考察

Haines, Bayer, Nichols等は、粘土粒子の凝集力その他の活性を、水膜理論によつて説明しようと試みた。Haines³⁶⁾は粒子間の水膜から生ずる表面張力によつて、理想的な土の凝集力を考え次の式を導いた。

$$F = \frac{2\pi aT}{1 + \tan^2 \frac{\theta}{2}} \dots \dots \dots (1)$$

又板状粒子に対しては Duff²⁴⁾により、次の式が与えられている。

$$F = \frac{K4\pi aT \cos \theta}{d} \dots\dots\dots(2)$$

但し T=表面張力, a=粒子の半径, θ =液と粒子の接触角, K=定数, d=粒子間の距離又は粒子を引離す水分量.

又Baver は, 土の収縮限界以上の水分では水膜により, それ以下の水分では直接粒子の吸引力が作用することを指摘している. そして過剰な水分がないときは, 凝集力と水分量の積は一定であることを, 人工土の実験で示している. しかし水田土壌での実験結果ではこれと多少異なることが, 本章の第2節に示されている.

実際の粘土粒子は, 前節の電子顕微鏡写真よりも知られる如く, 非常に不規則なる形状をなしているから, その水膜の作用も, 粒子の吸引作用も, 球状粒子のそれとは大いに異なることが推察される.

本節では便宜上仮に球状粒子とした時の, 粘土量と水分量の変化に対する水膜数について検討してみる.

1) 粘土粒子の含有量に対する水膜数

粘土粒子の直径を d_c , 砂粒子の直径を d_s とし, この2種が混合しているものとする. 混合土の総量を G, 粘土粒子含有量を w_c , 土の比重を ρ とすれば, 総量 G 中の粘土粒子 n_c , 砂粒子 n_s は次の如くなる.

$$n_c = \frac{Gw_c}{m_c}, \quad n_s = \frac{G(1-w_c)}{m_s} \dots\dots\dots(3)$$

但し m_c, m_s は粘土粒子および砂粒子 1 ケの重量で, 次式に示されるものである.

$$m_c = \rho \frac{\pi}{6} d_c^3, \quad m_s = \rho \frac{\pi}{6} d_s^3 \dots\dots\dots(4)$$

今混合している2種の粒子を, 高さを等しく別々に集めて粗積にしたとする. 高さは砂粒子を立方体に粗積みしたときの値とする. この時の断面内の粘土粒子の数を n_o^2 とし, 2種の粒子の直径の比を k とすれば,

$$n_s \cdot m_s + k \sqrt[3]{n_s} n_o^2 m_c = G \dots\dots\dots(5)$$

又この際の断面積を A cm^2 とすれば

$$(\sqrt[3]{n_s} \cdot d_s)^2 + (n_o \cdot d_c)^2 = A \dots\dots\dots(6)$$

(5)式より

$$n_o^2 = \frac{G - n_s \cdot m_s}{k \sqrt[3]{n_s} \cdot m_c} = \frac{G w_c}{k \sqrt[3]{n_s} \cdot m_c} \dots\dots\dots(7)$$

従つて単位断面積内の粘土粒子 x_c^2 は

$$x_c^2 = \frac{n_o^2}{A} = \frac{w_c d_s}{k(1-w_c) d_c^3 + w_c d_s d_c^2} \dots\dots\dots(8)$$

同様に単位断面積内の砂粒子 x_s^2 は

$$x_s^2 = \frac{\sqrt[3]{n_s}^2}{A} = \frac{k d_c (1-w_c)}{k(1-w_c) d_c d_s^2 + w_c d_s^3} \dots\dots\dots(9)$$

今 $d_s=0.04cm, d_c=0.0004cm$, 従つて $k=100$ とすれば

$$x_c^2 = \frac{w_c}{d_c^2}, \quad x_s^2 = \frac{1-w_c}{d_s^2} \dots\dots\dots(10)$$

2) 水膜の厚み t と含水比の関係

粘土粒子と砂粒子の表面に、同じ厚み t の水膜があるとすれば、 Gg の土壌に対しては次の式が成立する。 w は粘土粒子の含有量である。又 W は水分量である。

$$n_c \frac{\pi}{6} \{ (d_c + 2t)^3 - d_c^3 \} + n_s \frac{\pi}{6} \{ (d_s + 2t)^3 - d_s^3 \} = W \quad \dots\dots\dots(11)$$

又 t なる厚みの水膜による含水比を y とすれば

$$y = \frac{W}{G} \quad \dots\dots\dots(12)$$

3) 水膜の厚み t による単位断面積内の粒子数

水膜がない時の単位断面積内の粒子数を、 x_c^2 、 x_s^2 とすれば、水膜の厚みが t なる時の面積 A_t は

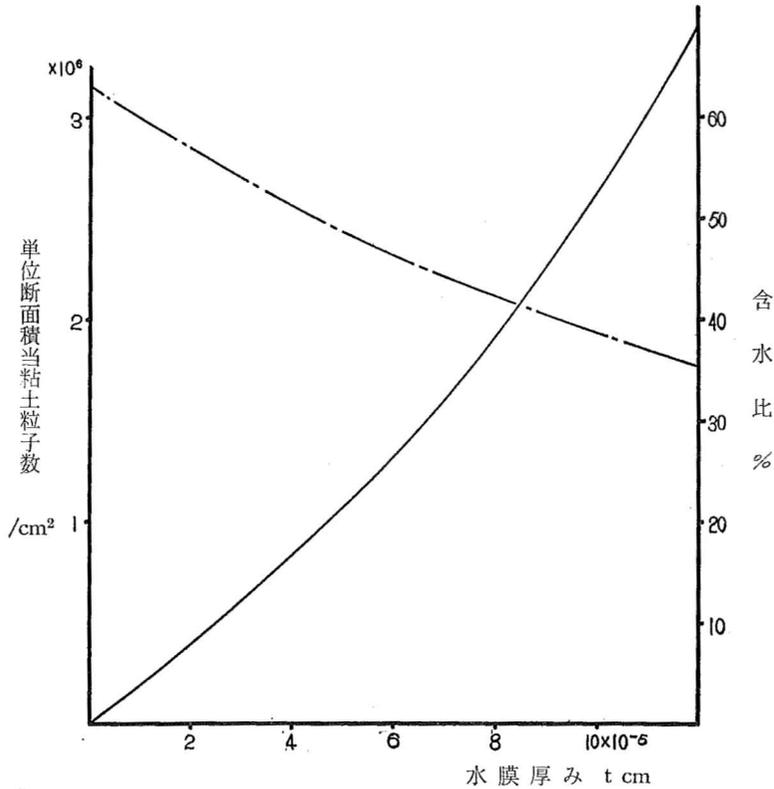
$$A_t = x_c^2 (d_c + 2t)^2 + x_s^2 (d_s + 2t)^2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

従つて水膜のある時の単位断面積内の粒子数 x_{ct}^2 、 x_{st}^2 は、それぞれ次の如くなる。

$$x_{ct}^2 = \frac{x_c^2}{A_t}, \quad x_{st}^2 = \frac{x_s^2}{A_t} \quad \dots\dots\dots(14)$$

4) 粒子数・水膜厚み・含水比の関係

2種の粒子の混合土で、粘土粒子の含有量を $w_c\%$ とした時の粒子数は、(3)式より求められる。そして凝集力に関する単位断面積内の粒子数は、(7)、(8)式より求めることが出来る。



第32図 水膜厚み t による含水比に単位断面積当粘土粒子数
 — 含水比 - - - 単位断面積当粘土粒子数

今 $d_c=0.0004\text{cm}$, $d_s=0.04\text{cm}$ とした時の水膜厚み t と粘土粒子数・含水比の関係を図示すると第32図の如くなる。砂粒子の数は全体の水膜数を問題にするには非常に少数であるから、省いてある。

なお第32図は $w_c=0.5$ (50%) の時の関係を示したものである。これによると、含水比の変化割合に対して粘土粒子の変化割合は非常に小さい。しかし前述の如く、含水比に対する凝集力の変化は、本章第2節の実験結果より知られるように非常に大きい。従つて凝集力の考察には、水膜数のみでなく、本節(1)又は(2)式の如く、水膜の厚みによる表面張力又は粒子自身の直接吸引力を考慮せねばならないことが分る。

第11節 考 察

本章の各節は52種の水田土壌について、土壌の各種物理的性質を調べたものである。これらの水田土壌は、A.S.K.法による淘汰分析を行ない、粘土量の順に適宜の差をつけて選んだものである。第6表を見れば粘土量の順序と微砂量の順序は必ずしも一致しない。要するに粘土量と微砂量の和が多い程、その土壌が粘土質であることは間違いない。しかし粘土量は多いが、微砂量がかなり少ない特殊な土壌も存在する。例えば、No.2, 8, 14, 32, 37の如く、細砂又は粗砂が特に多いものもある。これらの土壌の引張係数は、第7表で明らかなる如く、その前後の試料とは異なりかなり高くなつてゐる。それだけ凝集力が高いわけである。

次に第8表の有機物の量を見るに、No.3, 9, 14, 29, 37等は有機物の量が多い方であるが、その引張係数は、その前後の試料に比べて高過ぎるか低過ぎるかで一定しない。

又第9表の塑性指数をみるに、No.8, 29, 34, 37等はその前後の試料より塑性指数は高い。そして引張係数も大体高くなつてゐる。

これらの原因を考えてみるに、微砂量が少なく細砂・粗砂量が多く、引張係数が大きいのは、第10節の水膜理論の一考察より、粘土粒子が一層微細で、その水膜数がかなり多いためではないかと思われる。

有機物の量が多い土壌は、一般には凝集力も小さく、塑性指数は大きくなるべきであるが、No.29は引張係数が大きくなつてゐる。これも粘土粒子が微細で水膜数が多いか、又は他の化学的或いは物理的原因によるものかも知れない。ただし有機物含有の差は、それ程大きくないから有機物の影響は水田土壌に対しては重視しなくてもよいようである。

なお塑性指数の比較の高いNo.8, 34, 37等が、水分当量も比較的高いのは興味ある事実である。

次に各節の実験式について、それぞれの表の数値よりそれぞれの係数の t 分布表による検定を行なつた結果は、危険率5%で次の如くである。

1) 引張係数 A

$$A = a \cdot w^b = 4.46 \times 10^{-6} w^{3.69}$$

$$4.01 \leq a \leq 4.91$$

$$3.36 \leq b \leq 4.02$$

2) 引張係数 B

$$B = a \cdot w - b = 0.02w - 0.5$$

$$0.018 \leq a \leq 0.022$$

3) 塑性指数 P. N.

$$P. N. = a \cdot w - b = 0.65w - 14.2$$

$$0.57 \leq a \leq 0.73$$

以上の結果より、本章の各節で求めた実験式は、いずれも A. S. K. 法による粘土量を用いても差支えないことが知られる。実際の圃場における試験結果は、各種の要因によつてかなり変動するから、この点からも本章の各実験式は十分に利用してよいものである。

第3章 水田土壌の切削抵抗

第1章においては、耕耘動力の理論的考察を行ない、ロータリー式の場合について、耕耘刀の回転半径R、耕深h、耕耘ピッチP等の影響を検討した。しかし土壌の切削抵抗値は理論的に求めることが非常に困難なことを述べ、その裏付けとして第2章においては、水田土壌の各種の物理的性質を実験的に調べた。

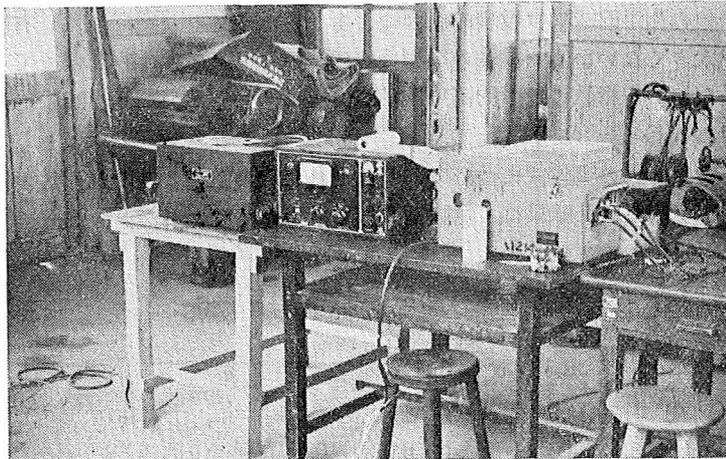
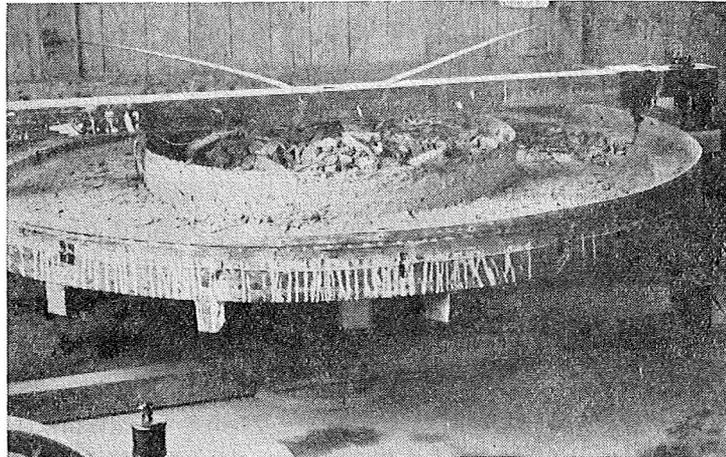
本章は直接に土壌の切削抵抗を実験し、各前章の結果と対応させ、水田土壌の粘土量と水分量に対する耕耘力の変化を究明しようとするものである。

なお本章の実験は室内の実験装置によつて行なつたものであり、実際の水田に於ける実地試験の結果は、後で組合わせて検討することにする。

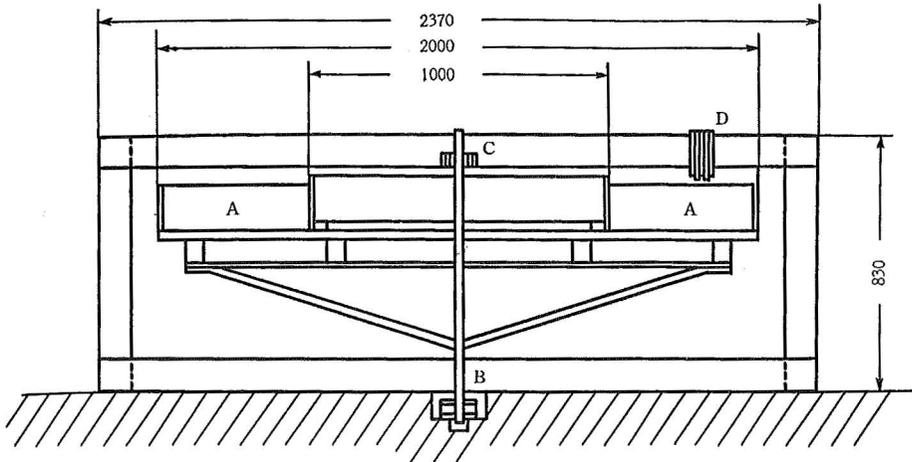
第1節 実験方法

1) 実験装置

本章で用いた室内実験装置は、第33図、第34図に示す如くである。第33図の写真は、装置全部を示したもので、第34図は、回転土槽の略図である。



第33図 実験装置の写真

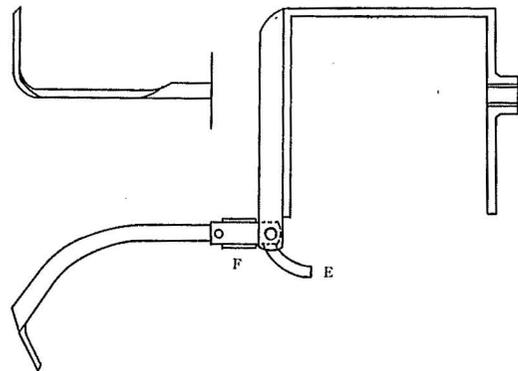


第34図 実験装置の回転土槽

回転土槽の枠組は木製で、実験室の一隅に固定することによつて、回転中の振れを防止するようにした。回転土槽は、周囲を鉄板にし、底は厚板を水洩れしないように張り、その下に補強のための角材を渡した。Aは供試土壌を入れる所で、Bは回転土槽の重量を支えるための推力軸受である。Cは回転軸の上部を支える球軸受で、B、Cにより回転軸は垂直に保持されている。

Dはナタ刃の模型刃を取付ける刃物台で、上部の枠の左右に移動することが出来るようになっていて、切削の位置や切削巾を変えられるようになっていた。

刃物台は、第35図に示すような構造で、切削する際は、模型刃を下げると stopper E によつて土壌の切削抵抗を受止めるようになっていた。切削刃はロータリ式耕耘機のナタ刃の模型刃で全長 122mm、刃巾は 12mm、刃の厚みは峯の部で 2.0mm、材質はドリル用の Ni-Cr-鋼である。水平刃は 35mm の切削巾が得られるように作られてあるから、この切削



第35図 模型ナタ刃と刃物付台

刃は実際の耕耘刀に近い切削量が可能なわけである。なお切削角や逃げ角等は、森田・田谷³⁸⁾、川村¹¹⁾、吉田⁹⁾等の研究を参照して、本章の実験はすべて同一の模型刃で行なつた。

次に土壌の切削抵抗値は、ストレインメーターによつて測定したが、これは第33図に示されてある。最近抵抗線歪計が農業機械の試験研究にも利用されるようになり、我国では庄司(他)³⁹⁾、安田(他)⁴⁰⁾、長広¹⁴⁾等の研究例がみられる。しかし土壌の切削抵抗を測定した例は、未だ発表されていない。従来はばね計を利用したため、抵抗に比例する歪量が

大きく、切削角その他は実験中絶えず変化するのがさげられなかつた。これに対して抵抗線歪計の歪量は、機械的に全く無視出来る程のものであるばかりでなく、変動負荷にもよく追隨出来るから、従来の測定値とは比較にならない正確なものである。抵抗線歪計の使用には Yarnell⁴²⁾, Dobie⁴³⁾, Paul⁴⁴⁾ 等の著書や新興通信⁴⁵⁾の説明書等を参考にした。

ゲージは第35図の切削刃の保持部に、前面、後面に2ゲージ法で、Fの位置に直接貼り付け、増幅機を通してペン書オシログラフに自記させるようにした。これらの計測器は次の如きものである。

ペン書オシロ用抵抗線歪計増幅器 新興通信工業株式会社製 DS6-P型
ペン書オシログラフ 渡辺測器製作所製 3素子用, 50C. P. S.

又回転土槽の周囲には、16等分した位置にタイムマーカーを置き、記録紙の測定値に対応する実際の測定位置を正確に知るようにした。

なおオシログラフの読みと、抵抗値の関係は、実際に模型刃に既知の抵抗を加え、その時の読みを図示して求めたもので、第36図に示す如きものである。

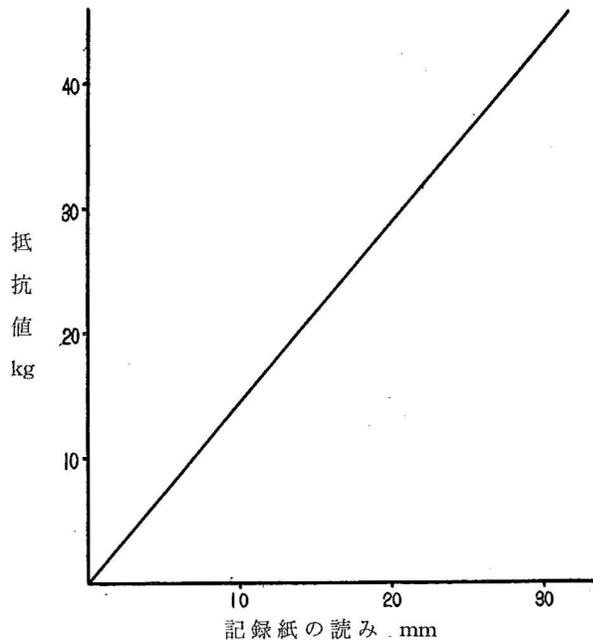
2) 実験方法

本章で行なつた各実験の共通事項を述べれば、次の如くである。従つてそれぞれの実験に必要な事項は、各節毎に述べられてある。

供試水田土壌は、一旦風乾した後、2mmの土壌篩を通したもので、第34図の回転土槽のA部に、約10cmの深さに入れ、水を充分に加え、土槽内で手で水田代搔と同じ状態に丁寧に均らし、1日間放置して上部の余分な水を取除き、自然乾燥させる、冬期間等の乾燥不良なる時は、土槽の底部に張り渡した電熱線に通電し、急激なる加熱はさけて乾燥を促進させた。

本章の実験は、粘土量の異なる各水田土壌について、水分量の変化に対する切削抵抗値を調べたのが主である。それ故水分量の変化は、乾燥の進み具合を観察して、適宜の水分量に達した毎に、切削試験を行なうようにした。そして16等分に配置したタイムマーカーの位置毎に、その水分量と抵抗値を測定したわけである。

回転土槽は土槽周囲をプーリーとして、1/2HPモーターで直接ベルト掛けして回転させるか、又は手で回転させ、その回転数を秒時計で測定して、切削位置の回転半径から適宜



第36図 抵抗線歪計の較正線図

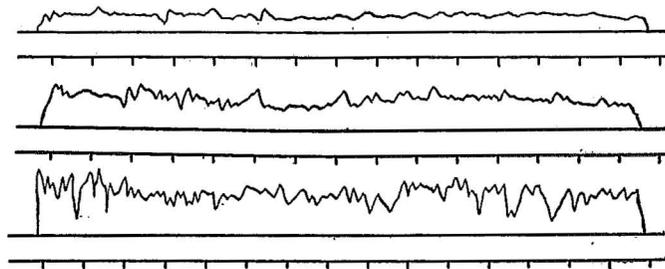
の切削速度を得るようにした。

又本装置の切削は、1回転中に帯状に1切削作用を終えるので、所望の回転に達するまでは、第35図の如くに切削刃を水平に上げておき、所望の回転に達した時、切削刃を急速に切削位置に下げようとした。このため土槽内の1ヶ所は土壌を取り除き、その空所に切削刃を下げるようにして、切削刃に無理が掛からないようにした。記録紙の進みは毎秒60mmにしたので、かなり早い送りになる。従つてオシログラフのスイッチは、切削刃を下げる合図の一寸前に入れるようにした。

このようにして、いろんな切削条件で切削し終つたら、再び水を一杯入れて丁寧な代掻を行ない、更に実験を繰返した。

なお乾燥が進むにつれ、土壌は収縮のため割れ目を生ずるので、これには同じ土壌をその都度十分につめ込み、切削作用が安定するようにした。

第37図はオシログラフの実際の記録例を示したもので、変動負荷線図の下方に、タイムマーカの打点がみられる。従つてこのタイムマーカの打点により、切削位置の水分量とその抵抗値が正確に求められるわけである。なおタイムマーカの電源には、6 voltの蓄電池を使用した。



第37図 オシログラフの記録例

第2節 切削速度と切削抵抗との関係

従来の整地用機具は、畜力による索引力を主としていたので、その索引速度は、馬で1.1 m/s前後、牛で0.8 m/s前後の範囲に限られていた。その後農用トラクターの使用が盛んになり、その索引速度の影響も調べられるようになった。これは庄司⁴⁶⁾等の著書に述べられている。しかし耕耘のための土壌切削に関しては、その切削速度の影響はあまり研究されていない。土木工事の削土に関連したものとしては、村山・昌¹⁶⁾等の研究例があり、ロータリー式耕耘機の耕耘刀に関するものでは、土屋⁸⁾等の研究例があるに過ぎない。

本節の実験は、水田土壌の切削抵抗が切削速度によつてどのような変化をするかを調べたもので、これによりロータリー式耕耘軸にかかるトルクや、その耕耘動力の変化を知ろうとするものである。

1) 実験方法

土壌を入れる回転土槽の内径は1m、外径は2mであるから、土槽の毎秒回転数と切削速度の関係は次のようになる。垂直軸よりの半径はR、nは毎秒回転数。

$$V=2\pi Rn \dots\dots\dots(1)$$

それ故切削位置の半径Rに応じて、所望の切削速度になる如く、それを適宜調節するようにした。なお水分量の影響を出来るだけ除くため、土壌水分が所望の値になればその水分量が変らない内に、各切削速度による切削試験を行い、乾燥が異なる場所は測定から省くようにした。又粘土量の異なる場合の相違を知るため2種の水田土壌を供試した。

2) 切削巾と切削深について

切削巾は、実際のナタ刃1本が土壌を切削する巾に相当するもので、前述の如く回転土槽の上部枠の刃物台を移動することによつて、任意に変えられる。

切削深とは、ロータリー式ナタ刃の耕耘ピッチに相当するもので、供試土壌の量を変えるか又は切削刃の高さを、刃物台の上下によつて変えるかして調節する。本装置では土槽1回転間に一定の切削深で、1切削作用を、約7~12mの距離を切削するが、これは丁度実際のナタ刃が土中に喰い込んだ最初の状態で、直線的に切削すると仮定した場合に相当するものである。

3) 実験結果

本実験に供試した2種の水田土壌の機械的組成は第17表に示す如きものである。

第17表 供試土壌 (%)

	粘土	微砂	細砂	粗砂
A	18.2	20.9	34.1	26.8
B	37.7	20.6	22.4	19.3

供試土壌Aについて、各水分毎に切削速度と切削抵抗との関係を調べた。切削巾は30mmで、切削深さは30mmと20mmの両者について実験した。

なお切削抵抗は、切削刃にかかる全抵抗値をそのまま用い、kgで示してある。これらの結果をまとめて表示したのが、第18表である。又第18表を図示したのが、第38図である。

供試土壌Bについての実験結果は、前と同様に第19表に示される。又第19表を図示したのが、第39図である。

第18表 切削速度 (m/s) と切削抵抗 (kg) (A土壌)

含水比 (%)	23.6	28.2	30.7	26.7	31.7					
切削巾 (mm)	30	30	30	30	30					
切削深 (mm)	30	30	30	20	20					
	速度	抵抗								
1	0.69	6.80	0.63	4.87	0.64	3.38	0.64	2.28	0.62	0.65
2	0.78	6.90	0.74	4.92	0.74	3.42	0.73	2.30	0.74	0.67
3	0.92	6.85	0.78	4.90	0.79	3.40	0.79	2.22	0.86	0.67
4	1.06	6.90	0.90	4.95	0.92	3.33	0.92	2.35	1.02	0.72
5	1.26	7.00	1.07	5.01	0.97	3.35	0.97	2.28	1.07	0.72
6	1.54	7.10	1.29	5.00	1.12	3.42	1.11	2.40	1.27	0.75
7	1.94	7.05	1.56	5.08	1.17	3.40	1.16	2.30	1.33	0.75
8	2.17	7.04	1.94	5.08	1.39	3.55	1.36	2.32	1.60	0.75
9	2.46	7.05	2.19	5.09	1.44	3.52	1.46	2.32	1.69	0.83
10	2.79	7.02	2.46	5.13	1.70	3.68	1.75	2.40	2.09	0.86
11	2.98	7.10	2.80	5.12	2.15	3.75	2.16	2.58	2.69	1.00
12	—	—	2.96	5.20	2.38	3.75	2.33	2.53	3.02	1.03
13	—	—	—	—	2.70	3.88	2.81	2.70	—	—
14	—	—	—	—	2.92	3.88	—	—	—	—

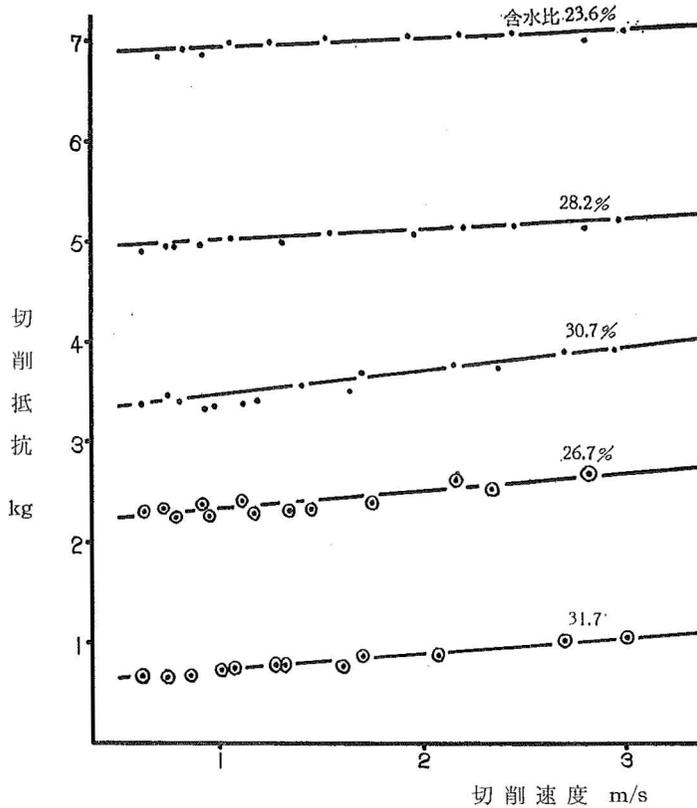
第38図、第39図の両図は、いずれも切削速度と切削抵抗の関係が直線で示されている。そして切削速度の増加に伴ない、その切削抵抗は僅かずつ増大している。

今切削速度2m/sの時の切削抵抗を f_2 とすれば、0.5~3.8m/sの範囲内では、任意の速度 u の時の切削抵抗 f_u は次のようになる。

$$f_u = f_2 + (u - 2) \cdot K \dots\dots\dots(2)$$

但し K は実験結果より次の如きものである。

$$K = \frac{\text{抵抗値}}{\text{速度}} = 0.08 \sim 0.32 \text{ kg} \cdot \text{s} / \text{m} \dots\dots\dots(3)$$



第38図 切削速度と切削抵抗との関係 供試土壌A

● 切削深30mm ○ 切削深20mm

切削断面積で除した比抵抗については

$$K' = 0.008 \sim 0.036 \text{ kg} \cdot \text{s} / \text{m} \dots (3)'$$

中間の値をとつて代表させれば、

$$K = 0.2 \dots (4)$$

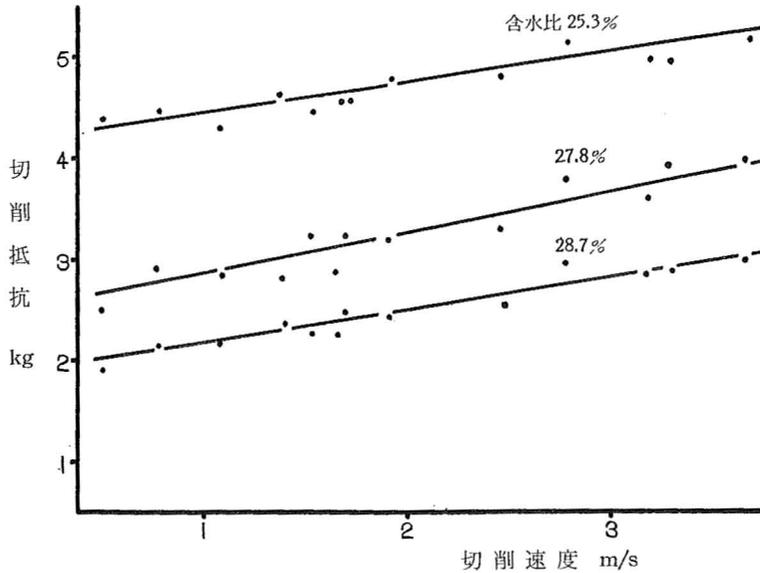
$$K' = 0.02 \dots (4)'$$

本式によれば、切削速度が1m/s増す毎に約0.2kgの切削抵抗が増加する割合であるから、切削速度の影響は切削抵抗そのものには僅かである。これは切削刃の刃巾が小さく刃面が少ないため、粘着による摩擦抵抗等の影響が少いためかと考えられる。

第19表 切削速度(m/s)と切削抵抗(kg) (B土壌)

含水比 (%) 切削巾 (mm) 切削深 (mm)	25.3		27.8		28.7	
	速度	抵抗	速度	抵抗	速度	抵抗
20 20	0.51	4.37	0.51	2.48	0.50	1.90
	0.78	4.45	0.78	2.91	0.78	2.14
	1.08	4.30	1.08	2.85	1.08	2.17
	1.37	4.61	1.37	2.81	1.37	2.36
	1.54	4.45	1.54	3.25	1.54	2.30
	1.65	4.55	1.65	2.90	1.65	2.43
	1.70	4.58	1.70	3.25	1.70	2.47
	1.92	4.80	1.92	3.20	1.92	2.44
	2.45	4.82	2.45	3.30	2.45	2.56
	2.78	5.12	2.78	3.82	2.78	2.98
	3.18	4.98	3.18	3.60	3.18	2.87
	3.28	4.95	3.28	3.95	3.28	2.90
	3.68	5.18	3.68	4.00	3.68	3.06

なお実際の耕耘刀の場合は、ある切削速度での切削抵抗が分れば、他の切削速度の抵抗はこの実験値を基準にして推察してもよいわけである。



第39図 切削抵抗との関係 供試土壤B

所で耕耘動力は、切削抵抗が等しい時でも、その切削速度に比例して増加するから、僅かでも切削抵抗が増加することは、場合によつては重要視されねばならない。

第3節 水分量と土壤の切削抵抗との関係

第2節の実験では、切削速度と切削抵抗との関係が明らかにされ、その際切削速度の影響よりも、水分量の影響が非常に大きいことを知った。

一方実際の水田土壤は、その機械的組成が異なるばかりでなく、同一の土壤であつても、含水比(乾土基準)の変化によつてその性質を非常に異にする。これは既に第2章で明らかにされた通りである。又動力耕耘機の使用に際しては、天候条件による水田の乾湿が甚しく、耕耘動力の変化が非常に大きいことも知られている。しかしどの様な変化をするかは未だ十分に究明されていないので、これらの関係を明らかにすることは、動力耕耘機の使用上からも、機械設計の面からも非常に重要なことである。

本章の各実験は、粘土量の異なるそれぞれの土壤について、含水比と切削抵抗との関係を調べたもので、更に最後にこれらの関係を総合的にとりまとめたものである。

1) 実験-1

切削速度は前節の結果を参照して2 m/sの一定速度にした。これは本章の各実験とも共通である。又切削巾と切削深は、それぞれ30mmに一定したことも、各実験に共通なことである。

実験-1の供試土壤は第20表に示す如きものである。

本実験の抵抗値をまとめたのが、第21表である。又第21表の結果を図示したのが第40図である。切削抵抗値は、切削刃にかかる全抵抗である。

第20表 実験-1の供試土壤(%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
18.2	20.9	35.0	25.9

第40図を見れば、含水比と切削抵抗との関係は、第2章、第2節の凝集力(引張抵抗値)の場合と同様に、次の実験式で示されることが知られる。

$$fy = P - Qy \dots\dots(1)$$

ただし

$$y = \text{含水比}\%$$

$$f = \text{切削抵抗 kg}$$

今第21表の数値を(1)式に代入し、最小自乗法によつて切削係数P, Qを求めれば、

$$fy = 314 - 5.56y \dots\dots(2)$$

切削面積 9cm² で除した比抵抗については、

$$f_1y = 34.9 - 0.62y \dots\dots(2')$$

又切刃刃線長さ 9cm で除した線抵抗については、

$$f_2y = 34.9 - 0.62y \dots\dots(2'')$$

なお t 分布表による(2)式の切削係数の検定を行えば、危険率 5% では次の如くである。

$$288 \leq P \leq 340$$

註 切削巾3cm, 切削深3cmの時の切刃刃線長さは約9cmで、(2)'と(2)''は同じになつた。しかし抵抗値の単位は、それぞれ次の如きものである。

$$f \dots\dots \text{kg}, \quad f_1 \dots\dots \text{kg/cm}^2, \quad f_2 \dots\dots \text{kg/cm}$$

2) 実験-2

本実験の供試土壌は、第22表に示す如きもので、実験の方法その他は前と同様である。本実験の実験結果を整理したのが、第23表である。

又第23表の結果を図示したのが、第41図である。

第23表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

$$fy = 423 - 7.37y \dots\dots(3)$$

切削断面積 9cm² で除した比抵抗については、

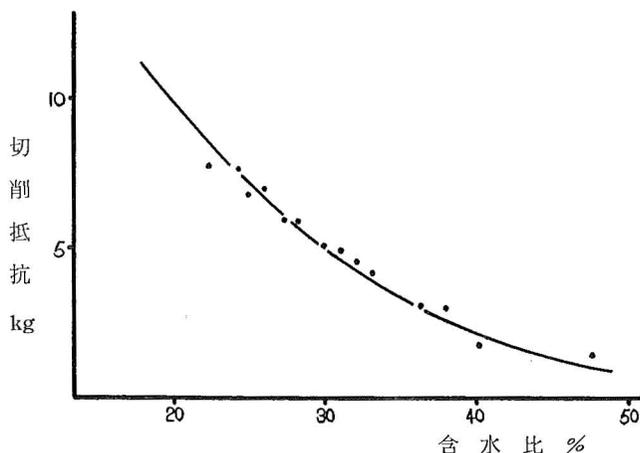
$$f_1y = 47 - 0.82y \dots\dots(3')$$

又切刃刃線長さ 9cm で除した線抵抗については、

$$f_2y = 47 - 0.82y \dots\dots(3'')$$

第21表 実験-1の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7
含水比 (%)	47.5	40.2	38.0	36.4	33.1	31.8	30.9
抵抗 (kg)	1.4	1.75	2.97	3.08	4.18	4.25	4.88
No.	8	9	10	11	12	13	14
含水比 (%)	29.8	28.0	27.0	25.7	24.8	24.0	23.2
抵抗 (kg)	5.07	5.78	5.92	6.98	6.78	7.58	7.78



第40図 含水比と切削抵抗の関係 実験1 (粘土量18.2%)

第22表 実験-2の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
22.7	25.6	27.7	24.0

第23表 実験-2の結果

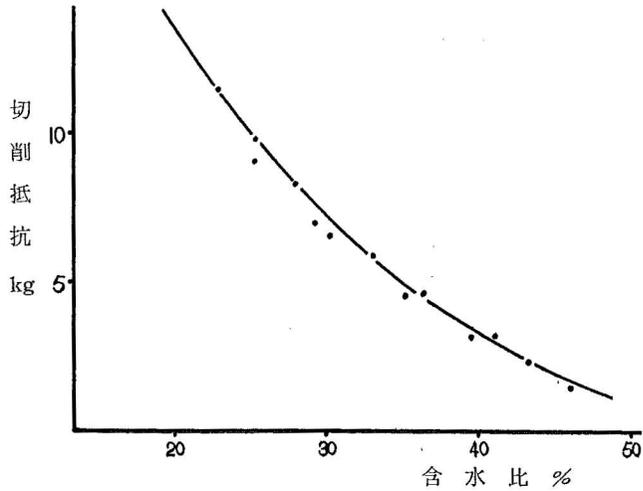
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
含水比(%)	45.9	43.4	41.1	39.5	36.2	35.2	33.0	30.2	29.3	28.0	25.4	25.4	22.8
抵抗(kg)	1.5	2.3	3.2	3.2	4.6	4.6	5.9	6.5	7.0	8.3	9.1	9.7	11.5

3) 実験-3

本実験の供試土壌は第24表に示す如きもので、実験の方法その他は前と同様である。

第24表
実験-3の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
30.4	22.5	26.8	20.3



第41図 含水比と切削抵抗の関係 実験-2 (粘土量22.7%)

第25表 実験-3の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
含水比(%)	46.5	43.2	43.0	39.3	38.7	36.7	34.5	33.2	31.7	31.7	28.0	27.4	25.3	24.1
抵抗(kg)	2.3	2.75	3.4	4.0	4.6	5.5	6.6	8.4	7.9	7.3	9.9	10.4	11.5	13.0

本実験の実験結果を整理したのが第25表である。又第25表の結果を図示したのが第42図である。

第25表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

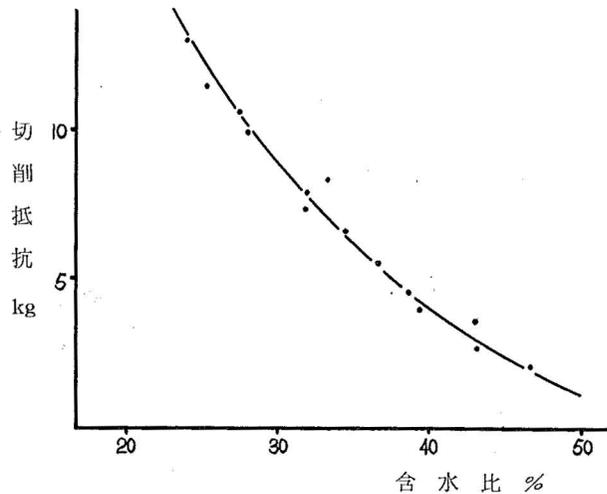
$$f_y = 531 - 9.29y \dots\dots(4)$$

切削断面積 9cm^2 で除した比抵抗については、

$$f_1 y = 58.8 - 1.03y \dots\dots(4')$$

又切削刃縁長さ 9cm で除した線抵抗については、

$$f_2 y = 58.8 - 1.03y \dots\dots(4'')$$



第42図 含水比と切削抵抗の関係 実験-3 粘土量 (30.4%)

4) 実験-4

本実験の供試土壌は、第26表に示す如きもので、実験の方法その他は前と同様である。

第26表 実験-4の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
36.4	21.0	24.3	18.3

第27表 実験-4の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
含水比 (%)	52.0	47.5	43.6	40.0	38.0	35.0	35.5	33.5	33.1	30.7	30.3	27.1	27.1	26.2
抵抗 (kg)	1.6	2.1	2.8	4.5	6.04	6.67	7.0	7.57	8.46	9.63	10.53	11.25	11.8	12.58

本実験の実験結果を整理したのが第27表である。又第27表の結果を図示したのが、第43図である。

第27表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

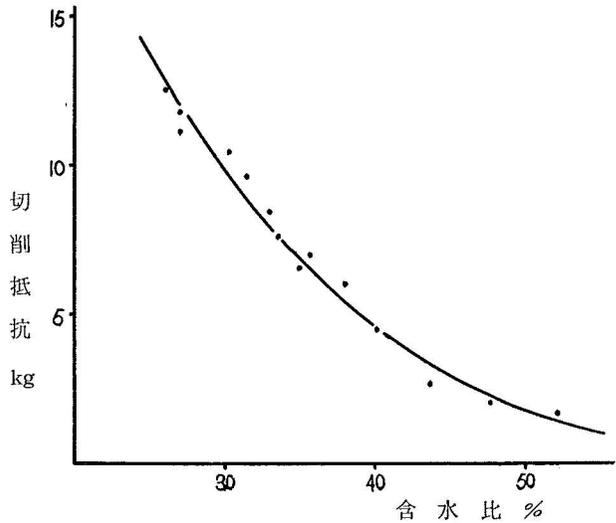
$$f_y = 612 - 10.68y \dots (5)$$

切削断面積 9cm^2 で除した比抵抗については、

$$f_1y = 67.8 - 1.19y \dots (5')$$

又削切刃線長さ 9cm で除した線抵抗については、

$$f_2y = 67.8 - 1.19y \dots (5'')$$



第43図 含水比と切削抵抗の関係 実験-4 粘土量 (36.4%)

5) 実験-5

本実験の供試土壌は、第28表に示す如きもので、実験の方法その他は前と同様である。本実験の実験結果を整理したのが、第29表である。又第29表の結果を図示したのが第44図である。

第28表 実験-5の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
37.7	20.9	22.2	19.2

第29表 実験-5の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
含水比 (%)	53.0	51.1	46.6	45.5	40.7	38.9	36.1	34.7	32.5	31.6	29.0	27.4
抵抗 (kg)	0.9	1.6	2.26	2.54	4.67	5.31	6.88	7.5	9.3	10.0	11.9	12.58

第29表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

$$f_y = 645 - 11.05y \dots\dots(6)$$

本実験のみ切断面積は、 7.5cm^2 であるから、比抵抗については次のようになる。

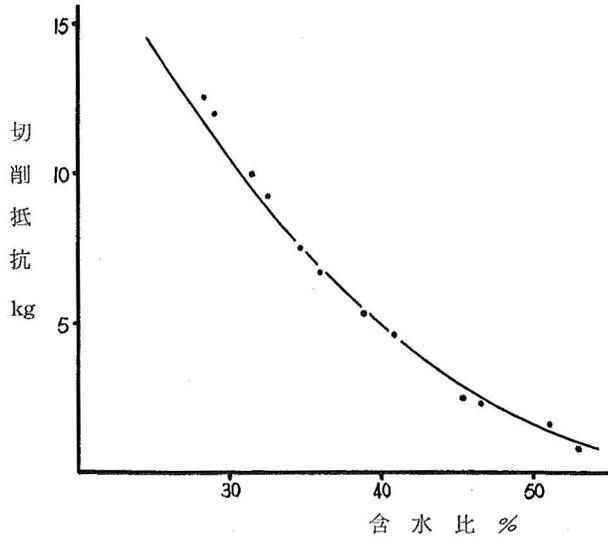
$$f_{1y} = 86.0 - 1.47y \dots\dots(6)'$$

又切削刃縁長さも 7.5cm であるから、線抵抗では、

$$f_{2y} = 86.0 - 1.47y \dots\dots(6)''$$

6) 実験-6

本実験の供試土壌は、第30表に示す如きもので、実験の方法の他は前と同様である。



第44図 含水比と切削抵抗の関係 実験-5 (粘土量37.7%)

第31表 実験-6の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
含水比 (%)	47.5	46.5	46.0	43.9	43.1	40.0	39.1	37.2	37.2	35.2	34.5	32.8	32.3	31.1
抵抗 (kg)	4.4	5.2	4.95	6.3	6.3	7.9	8.7	9.0	10.5	11.0	10.95	12.1	13.3	14.0

第30表 実験-6の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
42.6	21.0	20.9	15.5

本実験の実験結果を整理したのが、第31表である。

又第31表の結果を図示したのが第45図である。

第31表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

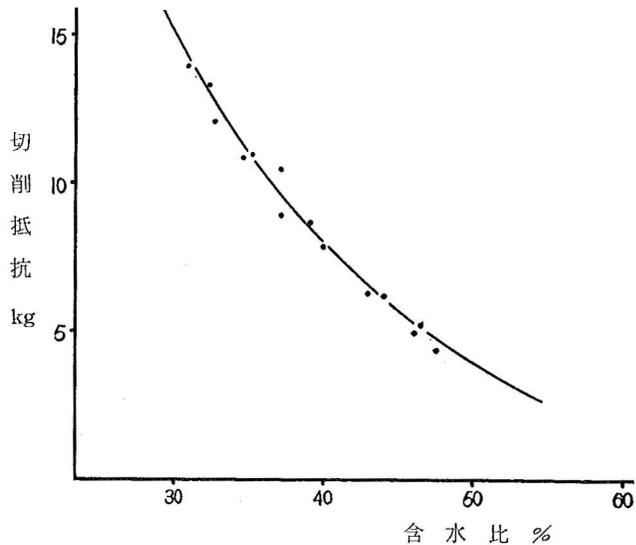
$$f_y = 837 - 13.03y \dots\dots(7)$$

切削断面積 9cm^2 で除した比抵抗については、

$$f_{1y} = 92.7 - 1.45y \dots\dots(7)'$$

又切削刃縁長さ 9cm で除した線抵抗については、

$$f_{2y} = 92.7 - 1.45y \dots\dots(7)''$$



第45図 含水比と切削抵抗の関係 実験-6 (粘土量42.6%)

7) 実験-7

本実験の供試土壌は、第32表に示す如きもので、実験の方法その他は前と同様である。

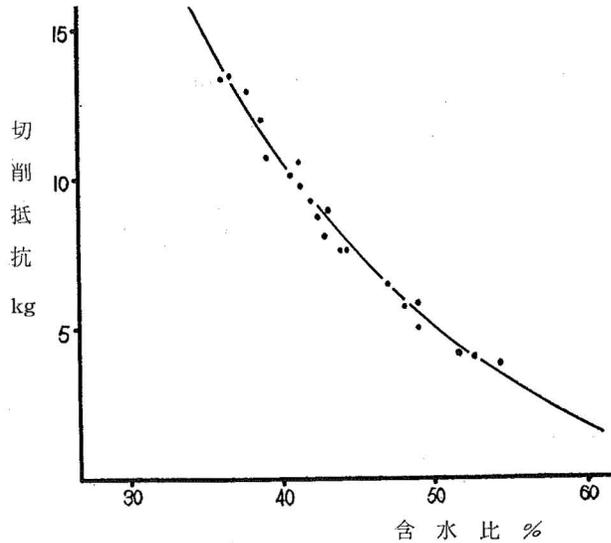
第32表

実験-7の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
46.7	21.9	18.7	12.7

本実験の実験結果を整理したのが第33表である。又第33表の結果を図示したのが第46図である。

第33表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれ



第46 図含水比と切削抵抗の関係 実験-7 (粘土量46.7%)

第33表 実験-7の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
含水比 (%)	54.2	52.7	51.5	49.0	49.0	48.1	47.0	44.3	44.0	43.0	42.8
抵抗 (kg)	3.8	4.1	4.2	5.1	5.8	5.7	6.5	7.8	7.8	9.0	8.0

No.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
含水比 (%)	42.5	41.8	41.4	41.0	40.6	39.0	38.6	37.7	36.6	36.2
抵抗 (kg)	8.7	9.3	9.8	10.6	10.2	11.5	12.1	13.0	13.5	13.4

ば、 f , f_1 , f_2 について、それぞれ次のようになる。

$$f_y = 1039 - 15.41y \dots\dots(8)$$

$$f_1y = 115 - 1.72y \dots\dots(8)'$$

$$f_2y = 115 - 1.72y \dots\dots(8)''$$

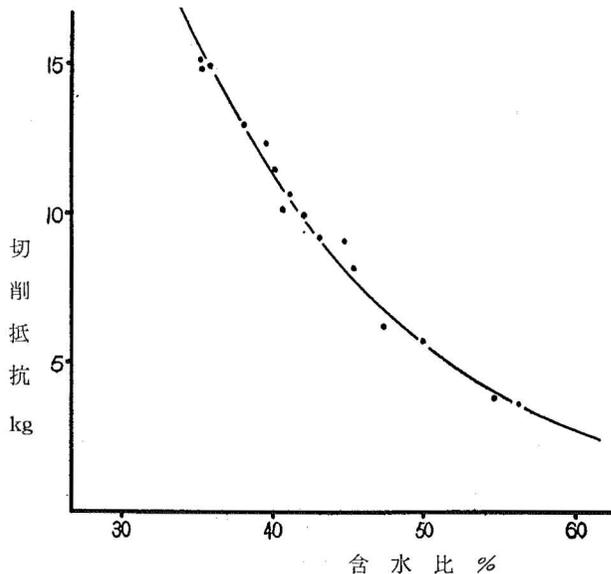
8) 実験-8

本実験の供試土壌は、第34表に示す如きもので、実験の方法その他は前と同様である。

第34表

実験-8の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
48.7	21.1	17.8	12.4



第47図 含水比と切削抵抗の関係 実験-8 (粘土量48.7%)

第35表 実験-8の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
含水比 (%)	56.3	54.7	50.0	47.2	45.2	44.8	43.0	42.0
比抵抗 (kg)	3.7	3.82	5.84	6.13	8.06	9.05	9.16	9.98

No.	9	10	11	12	13	14	15	16
含水比 (%)	41.0	40.5	40.2	39.5	37.9	35.8	35.3	35.2
比抵抗 (kg)	10.65	10.07	11.55	12.38	13.0	14.95	15.37	14.78

本実験の実験結果を整理したのが第35表である。又第35表の結果を図示したのが第47図である。

第35表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

$$f_y = 1104 - 16.26y \dots\dots(9)$$

切削断面積 9cm^2 で除した比抵抗については、

$$f_1y = 123 - 1.80y \dots\dots(9')$$

又切削刃縁長さ 9cm で除した線抵抗については、

$$f_2y = 123 - 1.80y \dots\dots(9'')$$

9) 実験-9

本実験の供試土壌は、第 48図 含水比と切削抵抗の関係 実験-9 (粘土量53.3%) 36表に示すもので、実験の方法その他は前と同様である。本実験の実験結果を整理したのが第37表である。又第37表の結果を図示したのが第48図である。

第37表の数値より前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

$$f_y = 1302 - 17.38y \dots\dots(10)$$

切削断面積 9cm^2 で除した比抵抗については

$$f_1y = 145 - 1.93y \dots\dots(10')$$

又切削刃縁長さ 9cm で除した線抵抗については、

$$f_2y = 145 - 1.93y \dots\dots(10'')$$

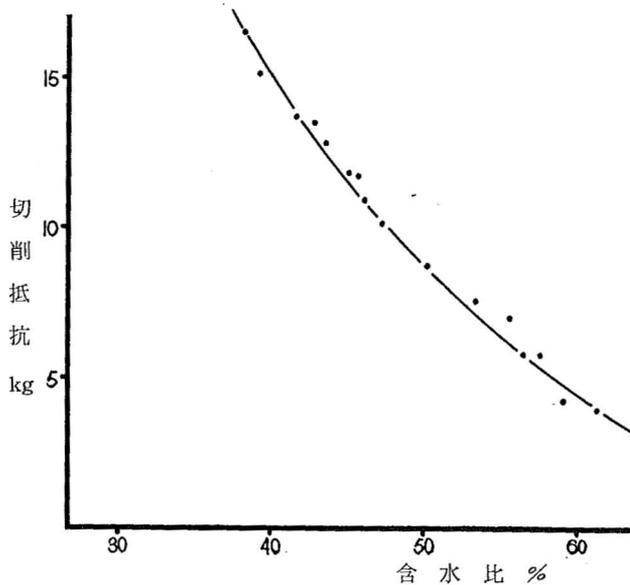
第36表 実験-9の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
53.3	20.4	16.9	9.4

第37表 実験-9の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8
含水比 (%)	61.2	59.0	57.5	56.3	55.5	53.2	50.2	47.0
比抵抗 (kg)	3.98	4.20	5.71	5.74	6.90	6.71	8.72	10.1

No.	9	10	11	12	13	14	15	16
含水比 (%)	46.0	45.0	45.5	43.5	42.8	41.6	39.0	38.2
比抵抗 (kg)	10.93	11.80	11.70	12.85	13.60	13.80	15.20	16.50



10. 実験-10

本実験の供試土壌は、第38表に示す如きもので、実験の方法その他は前と同様である。

第38表
実験-10の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
63.5	18.0	12.5	6.0

本実験の実験結果を整理したのが第39表である。又第39表の結果を図示したのが、第49図である。

第39表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。

$$fy = 1585 - 19.35y \dots\dots\dots (1)$$

切削断面積 9cm^2 で除した比抵抗については、

$$fy = 176 - 2.15y \dots\dots\dots (1)'$$

又切削刃縁長さ 9cm で除した線抵抗については

$$fy = 176 - 2.15y \dots\dots\dots (1)''$$

第39表 実験-10の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
含水比 (%)	66.5	64.0	62.7	61.0	59.4	55.7	55.5	52.5	50.2	49.2	47.7	46.7	45.0	43.0
抵抗 (kg)	4.3	5.0	6.5	6.5	7.8	8.8	9.2	11.3	12.1	12.0	13.3	14.7	15.6	17.0

第40表 実験-11の供試土壌 (%)

粘土	微砂	細砂	粗砂
77.3	15.4	3.8	3.5

11. 実験-11

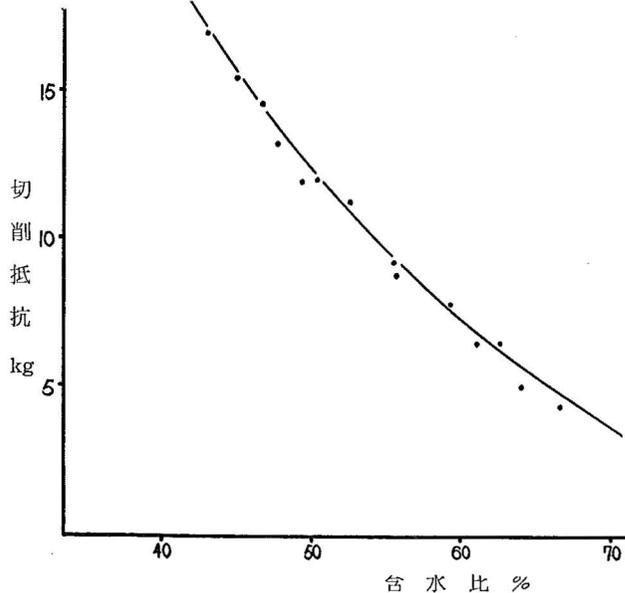
本実験の供試土壌は、第40表に示す如きもので実験の方法その他は前と同様である。本実験の実験結果を整理したのが第41表である。

又第41表の結果を図示したのが第50図である。

第41表 実験-11の結果

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
含水比 (%)	80.2	79.8	73.6	70.5	68.3	63.0	62.4	62.0	61.0	57.8	56.3	55.1
抵抗 (kg)	4.0	5.0	7.8	7.8	9.2	10.8	13.0	11.7	12.9	13.7	15.6	16.2

第41表の数値より、前と同様の方法で実験式を求めれば、直接抵抗 f に対しては次の如くなる。



第49図 含水比と切削抵抗の関係 実験-10 (粘土量63.5%)

$f_y = 2052 - 21.15y \dots (12)$
 切削断面積 9cm^2 で除した
 比抵抗については、

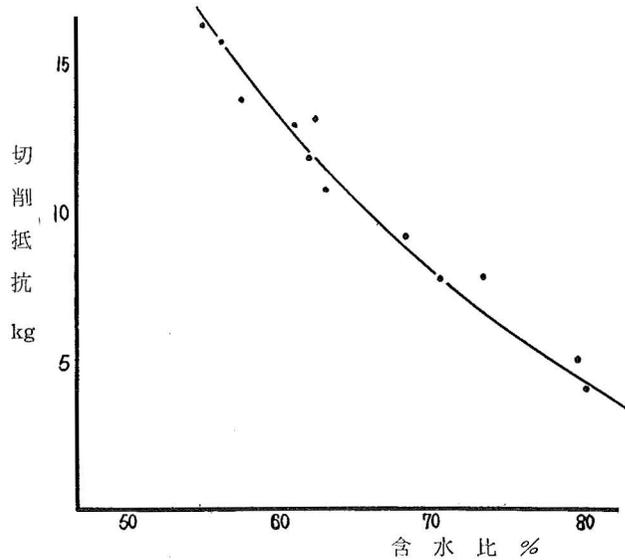
$f_{1y} = 228 - 2.35y \dots (12)'$

又切削刃縁長さ 9cm で除した
 線抵抗については、

$f_{2y} = 228 - 2.35y \dots (12)''$

**第4節 切削係数 P, Q
 と粘土量 w の関係**

前節の各実験より、粘土量の異なる各種の水田土壌に対する、切削係数 P, Q が求めたので、これらをまとめたのが、第42表である。



第50図 含水比と切削抵抗の関係 実験-11 (粘土量77.3%)

第42表 切削係数 P, Q の値

No.	粘土量 (%)	P	Q	No.	粘土量 (%)	P	Q
1	18.2	34.9	0.62	7	46.7	115	1.72
2	22.7	47.0	0.82	8	48.7	123	1.80
3	30.4	58.8	1.03	9	53.3	145	1.93
4	36.4	67.8	1.19	10	63.5	176	2.15
5	37.7	86.0	1.47	11	77.3	228	2.35
6	42.6	92.7	1.45	—	—	—	—

第42表の数値は、切削断面積で全抵抗を除した時の比抵抗に対するもので、切削刃縁長さで除した線抵抗に対しても同じである。

第42表の P と粘土量との関係を、第2章の引張係数の場合と同様に、対数図表に図示したのが、第51図である。又 Q と粘土量の関係を図示したのが、第52図である。第51図を見れば、P と w との関係は直線的であるから、この実験式は指数曲線となることが分る。

これを式で表わせば、次のようになる。

$P = c w^d \dots (1)$

(1)式の係数 c, d を求めるため、第42表の数値を(1)式に代入し、最小自乗法を行なえば次のようになる。

$P = 0.623 w^{1.35} \dots (2)$

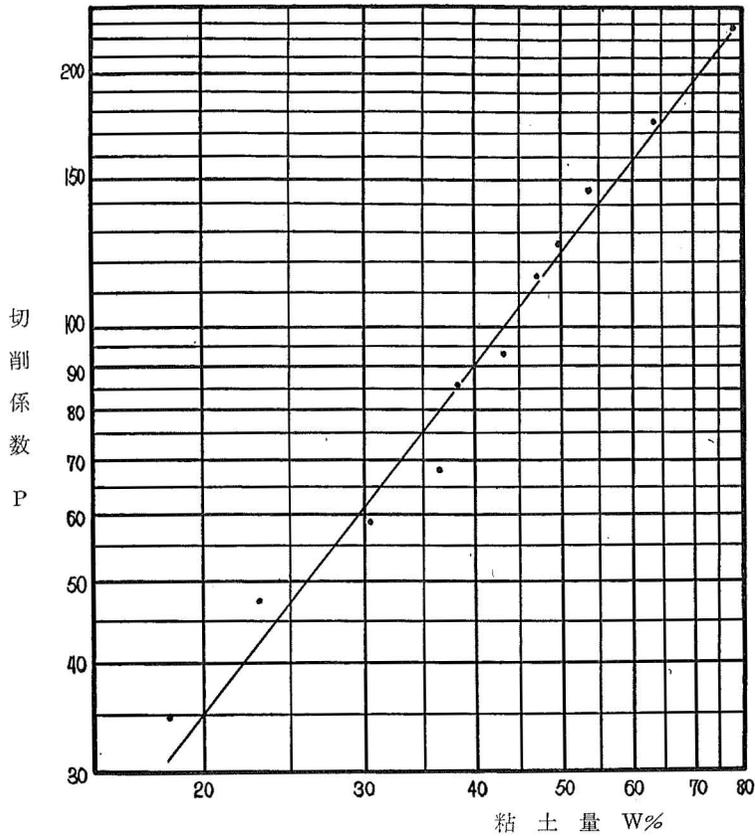
今 t 分布表によつて c, d の検定を行えば、危険率 5% では次のようになる。

$0.56 \leq c \leq 0.68 \dots (3)$

$1.11 \leq d \leq 1.49 \dots (3)'$

又 Q と粘土量 w の関係は、第52図より直線的であるのが知られるから、次の一次式で表わされる。

$Q = a w + \beta \dots (4)$



第51図 切削係数Pと粘土量の関係

第42表の数値を代入し、最小自乗法によつて係数 α 、 β を求めれば、(4)式は次のようになる。

$$Q = 0.031w + 0.169 \dots\dots\dots(5)$$

Pの場合と同様に、Qの係数 α について t 分布表による検定を行なえば、危険率 5% で次のようになる。

$$0.025 \leq \alpha \leq 0.037 \dots\dots\dots(6)$$

従つて本章第 3 節の(1)式と本節の(2)、(5)式を組合わせれば、切削抵抗 f、水分量 y、粘土量 w の関係式が次のように求められる。但し f は切削断面積で除した比抵抗である。

$$fy = 0.623w^{1.35} - (0.031w + 0.169)y \dots\dots\dots(7)$$

(7)式の f は、切削速度 2m/s の時の比抵抗であるから、本章第 1 節の f_2 に相当するものである。

従つて任意の切削速度 u に対する比抵抗 f_{us} と、水分量 y、粘土量 w の関係は第 2 節(2)、(3)式と組合わせて次式で表わされる。

$$f_{us}y = 0.623w^{1.35} - (0.02u - 0.031w - 0.209)y \dots\dots\dots(8)$$

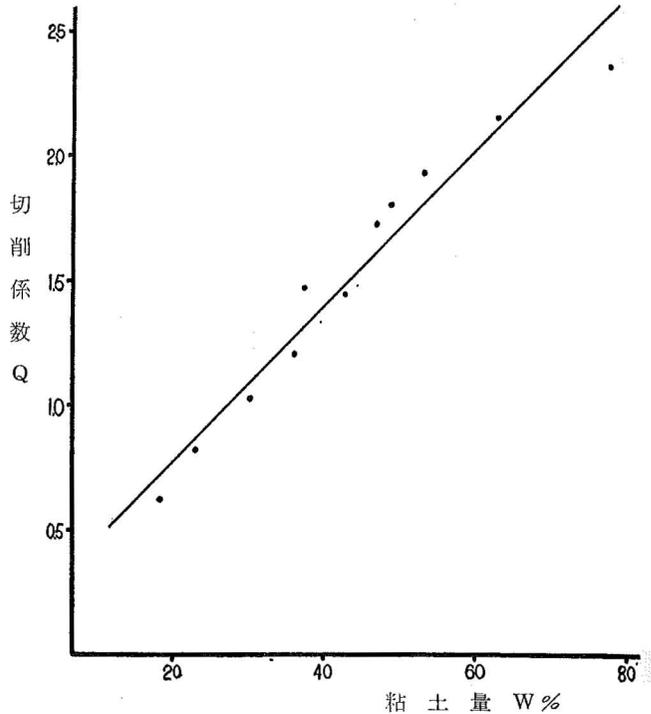
(8)式によればある水田土壌の粘土量さえ分れば、本章の実験範囲内では任意の水分量と任意の切削速度に対する、その土壌の切削抵抗が求められるわけである。但し実験に供試し

た切削刃は、実際のナタ刃の模型であるから、実際の耕耘刀に対しては、2, 3点の実験値を出しておき、それを基準にして(8)式の変化割合を適用すればよいであろう。

なお水田土壌には地域差が考えられるが、全国に耕耘機を市販しているメーカーの研究者達によれば、耕耘性に関しては粘土量が主なる因子であることが経験的に知られている。

第5節 切削巾と耕耘ピツチの影響

動力耕耘機はいずれの型式も、耕耘ピツチPによって碎土その他の作業内容を変えるようになってい



第52図 切削係数Qと粘土量との関係

る。例えば水分量の多い時は、耕耘ピツチを大きくして、碎土を粗くし、又細い碎土を望む時はピツチを小さくして耕耘すればよいわけである。耕耘ピツチを変えるには、ロータリ軸の回転数n又は機体の進行進度vを変えればよいことは、次式により知られる。

$$P = \frac{v}{n} \dots\dots\dots (1)$$

又耕耘刀1本当りの切削巾は機体の耕耘巾に対する所要本数に関係するので、切削巾をいくらにすればよいかは設計者の悩みとなっている。

耕耘ピツチを変えたり、耕耘刀数を変えての試験研究は、土屋⁶⁾⁷⁾⁸⁾、中村⁴⁾等の例があるが、しかしこれらは、ある土壌のある条件での試験成績で、更に詳細な究明が望まれてきた。

本実験は室内実験の長所を生かし、既製の耕耘機では不可能な条件をも加味し、水分量による切削巾、耕耘ピツチの影響を調べたもので、これによつて使用上並びに設計上の正しい資料を得ようとするものである。

1. 実験方法

第3節で行なつた各実験の供試切削刃は、刃の厚みが2mmで、土壌があまり乾燥すると切削刃を破損するおそれがあつた。それ故本実験に供試した切削刃は、刃の峯の所で3.5mmの厚さにした。その他の寸法は、前の刃と大体同じである。

なお1回切削した所は、刃物台と木枠の間にはさめた2mm厚みの板をとり除き、更に底土を切削し、次の切削の際はみだした先端の刃縁が底土に接するのを防止するように

した。これは土壌が乾燥した際は、かなりの抵抗を示すことを知つたためである。

なお本節の実験は、切削刃の強度が前の刃よりも大になつたので、水分量のかなり少ない所まで切削するようにした。又実験回数を多くし、出来るだけ測定値を多く求め、実験精度を高めるようにした。

第43表 供試土壌の機械的組成 (%)

粘 土	微 砂	細 砂	粗 砂
38.7	19.8	22.6	18.9

本節の実験に供試した土壌は、第43表に示す如きもので、その粘土含有量は中位なものである。

2. 切削巾の影響

切削巾を変えるには前述した如く、木枠上を刃物台を移動して行すが、そのために木枠には1cmの間隔の目盛りをしておいた。実験は、切削巾 5, 10, 15, 20, 25, 30mm について行なつたが、これは切削巾の制限によるものである。各切削巾について水分量の変化に伴なり、切削抵抗の変化について調べたが、ここには切削巾10, 20, 30mm の実験結果のみを述べることにする。

ただし切削深 (これは第2節で説明した如く、実際の耕耘機では、耕耘ピッチPに相当するものである) は、いずれも26mmの一定値にした。切削抵抗は全抵抗 kg で示されている。

第44表、第45表、第46表はこれらの成績を整理したものである。又これらの結果を図示したのが、それぞれ第53図、第54図、第55図である。

各図をみればいずれも、含水比22%附近に変曲点がみられる。これは第3節の各実験では明らかにされなかつたが、本実験では22%以下の水分量まで実験が可能になつたため、確めることが出来たわけである。

しかし後述する如く、実際に応用する際は、この変曲点を無視して1つの実験式で表わしても差支えないものと考えられる。

第44表 切削巾10mmの切削抵抗 (kg)

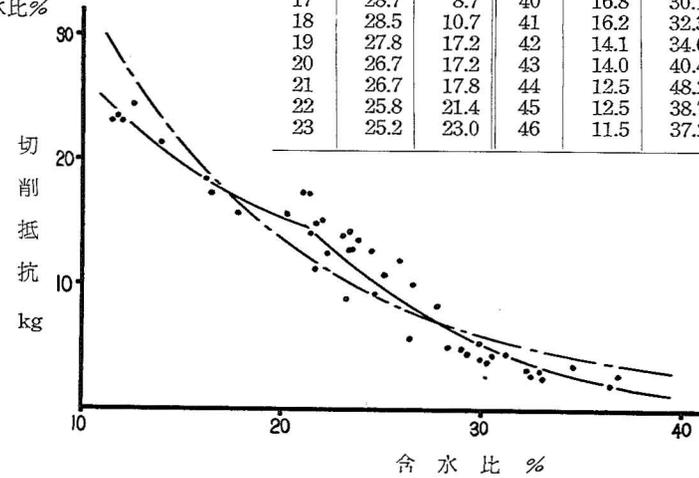
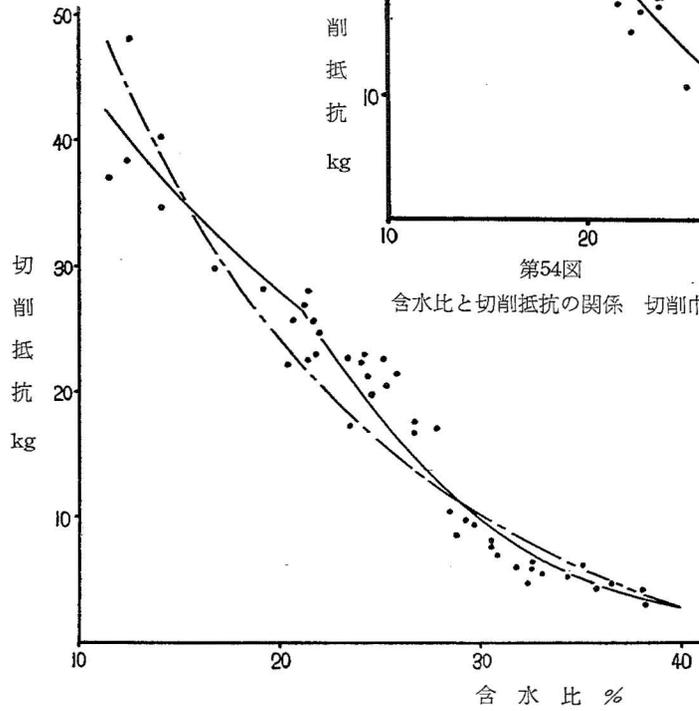
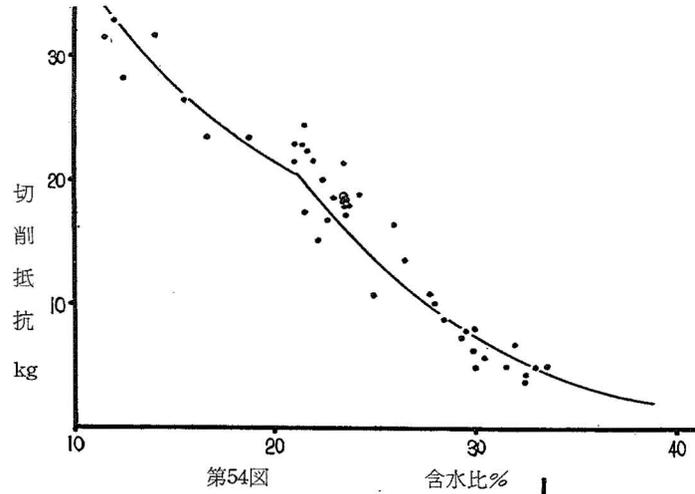
No.	含水比 (%)	抵 抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵 抗 (kg)
1	36.7	2.8	23	23.8	13.5
2	36.4	2.1	24	23.6	12.8
3	34.6	3.6	25	23.4	12.8
4	33.1	2.7	26	23.4	14.3
5	32.9	3.1	27	23.2	8.8
6	32.5	2.8	28	23.0	14.1
7	32.3	3.3	29	22.4	12.7
8	31.2	4.6	30	22.0	15.0
9	30.5	4.3	31	21.8	11.3
10	30.3	3.8	32	21.7	15.0
11	29.9	4.0	33	21.4	14.2
12	29.8	5.4	34	21.4	17.2
13	29.2	4.5	35	21.1	17.2
14	29.0	5.0	36	20.2	15.6
15	28.3	5.0	37	17.8	15.7
16	27.7	8.4	38	16.5	17.2
17	26.5	10.0	39	16.2	18.5
18	26.4	5.7	40	14.0	21.4
19	25.9	11.8	41	12.6	24.3
20	25.2	10.7	42	12.0	23.0
21	24.7	9.2	43	11.8	23.4
22	24.5	12.7	44	11.5	23.0

第45表 切削巾20mmの切削抵抗 (kg)

No.	含水比 (%)	抵 抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵 抗 (kg)
1	33.6	5.0	24	23.5	17.1
2	33.2	5.0	25	23.6	18.6
3	32.5	3.8	26	23.4	18.6
4	32.5	4.4	27	23.4	21.3
5	31.9	6.7	28	23.0	18.6
6	31.5	5.0	29	22.7	16.6
7	30.4	5.7	30	22.2	15.2
8	30.0	5.0	31	22.4	20.0
9	29.9	6.4	32	22.0	21.5
10	29.9	8.0	33	21.1	22.3
11	29.5	7.8	34	21.5	17.4
12	29.3	7.3	35	21.5	24.4
13	28.4	8.8	36	21.4	22.8
14	28.0	10.0	37	21.1	21.4
15	27.7	10.8	38	21.1	22.9
16	26.5	13.5	39	18.7	23.4
17	26.0	16.4	40	16.7	23.5
18	24.9	10.8	41	15.5	26.5
19	23.6	18.4	42	14.0	31.6
20	23.5	17.8	43	12.5	28.2
21	24.2	18.8	44	11.9	32.8
22	23.8	18.0	45	11.5	31.5
23	23.6	18.6	—	—	—

第46表 切削巾30mmの切削抵抗(kg)

No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)
1	38.2	3.5	24	25.2	20.7
2	38.0	4.3	25	24.6	20.0
3	36.4	5.0	26	24.5	21.5
4	35.8	4.6	27	24.2	23.0
5	35.1	6.4	28	24.0	22.5
6	34.1	5.8	29	23.4	17.4
7	33.1	5.7	30	23.4	23.0
8	32.6	6.4	31	22.0	25.0
9	32.6	6.7	32	21.8	22.9
10	32.5	5.0	33	21.7	25.7
11	31.8	6.3	34	21.5	22.6
12	30.7	7.1	35	21.5	28.2
13	30.5	7.9	36	21.3	27.0
14	30.5	8.2	37	20.7	25.8
15	29.8	9.6	38	20.6	22.4
16	29.2	10.0	39	19.2	28.5
17	28.7	8.7	40	16.8	30.1
18	28.5	10.7	41	16.2	32.3
19	27.8	17.2	42	14.1	34.6
20	26.7	17.2	43	14.0	40.4
21	26.7	17.8	44	12.5	48.2
22	25.8	21.4	45	12.5	38.7
23	25.2	23.0	46	11.5	37.2



3. 耕耘ピツチの影響

本実験装置では、耕耘ピツチに相当するものは切削深であるから、切削深を変えた場合の切削抵抗を調べることにした。切削深を変えることは、10~20mmの小範囲の場合は、木枠と刃物台の間にそれぞれの厚みの板をはさんで調節し、更に切削深を変えるには、回転土槽の土量を変えて所望の切削深が得られるようにした。

なお前の実験でも同じであるが、土壌が乾燥するに従い表面が彎曲したりするので、実験開始前切削深を一定にするため、表面の凸凹をなくするように薄く削土した。

本実験の実験結果を整理したのが第47表、第48表、第49表、第50表、第51表である。

第47表以下の実験結果を図示したのが、第56図、第57図、第58図、第59図、第60図である。これらの各図においても、切削巾の場合と同様に、含水比22%附近に変曲点が現われている。これらについては、後で考察することにする。本実験の切削巾は、いずれも20mmの一定値にした。

第47表 切削深 10mmの切削抵抗 (kg)

No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)
1	42.6	0.6	20	27.3	5.0
2	41.4	0.8	21	26.7	7.4
3	40.7	1.5	22	26.0	10.0
4	40.2	1.5	23	24.0	10.8
5	38.6	1.8	24	23.9	11.4
6	36.8	1.8	25	23.3	10.0
7	36.6	2.0	26	22.7	12.8
8	35.5	2.5	27	21.5	14.0
9	35.2	2.8	28	21.2	13.3
10	34.0	1.8	29	21.2	14.3
11	33.1	2.7	30	20.7	14.9
12	33.1	2.9	31	20.1	15.4
13	32.6	3.8	32	19.8	16.2
14	31.3	3.8	33	18.5	15.6
15	30.7	3.8	34	18.1	16.5
16	30.0	4.0	35	16.2	20.2
17	28.8	5.5	36	16.0	19.8
18	28.3	5.6	37	14.0	22.8
19	28.0	6.2	—	—	—

第49表 切削深 30mmの切削抵抗 (kg)

No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)
1	39.4	3.2	17	24.2	19.2
2	34.6	4.4	18	23.8	20.0
3	34.4	4.7	19	23.7	20.4
4	33.6	6.4	20	22.8	18.5
5	31.8	7.4	21	21.5	22.0
6	31.7	7.5	22	21.2	25.8
7	31.3	7.8	23	20.3	20.9
8	30.2	10.2	24	19.9	22.4
9	29.0	11.8	25	19.5	26.6
10	27.6	13.7	26	19.3	23.5
11	27.5	13.6	27	19.1	24.9
12	27.0	14.3	28	18.7	26.8
13	26.2	14.3	29	18.0	27.2
14	25.9	17.2	30	16.4	31.3
15	25.3	17.6	31	16.0	32.4
16	24.6	16.0	—	—	—

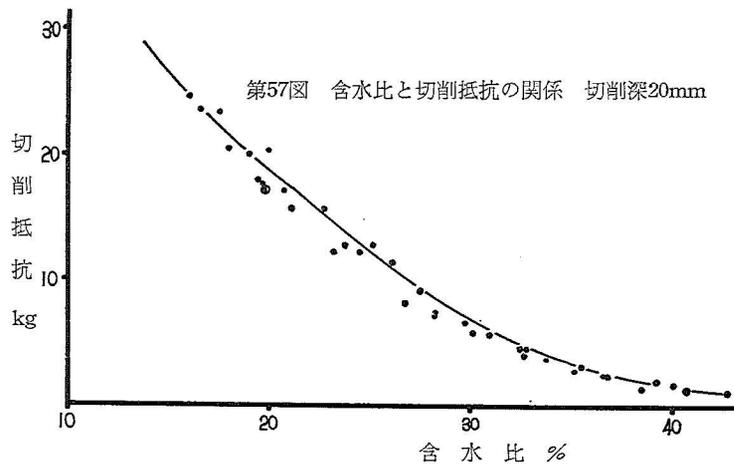
註 本実験の切削巾は、いずれも20mmの一定値にした

第48表 切削深 20mmの切削抵抗 (kg)

No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)
1	42.8	1.1	20	26.8	8.2
2	40.7	1.4	21	26.2	11.4
3	40.2	1.8	22	25.2	12.8
4	39.3	2.0	23	24.6	12.3
5	38.6	1.5	24	23.7	12.8
6	36.8	2.4	25	23.2	12.2
7	36.6	2.5	26	22.7	15.6
8	35.5	3.2	27	21.2	15.7
9	35.2	2.8	28	20.8	17.2
10	33.7	3.8	29	20.0	20.2
11	32.8	4.0	30	19.8	17.2
12	32.8	4.5	31	19.8	17.2
13	32.6	4.8	32	19.7	17.4
14	30.9	5.7	33	19.4	18.0
15	30.2	5.9	34	19.0	20.0
16	29.8	6.7	35	18.0	20.4
17	28.3	7.5	36	17.5	23.4
18	28.2	7.1	37	16.6	23.5
19	27.5	9.1	38	16.1	24.2

第50表 切削深 45mmの切削抵抗 (kg)

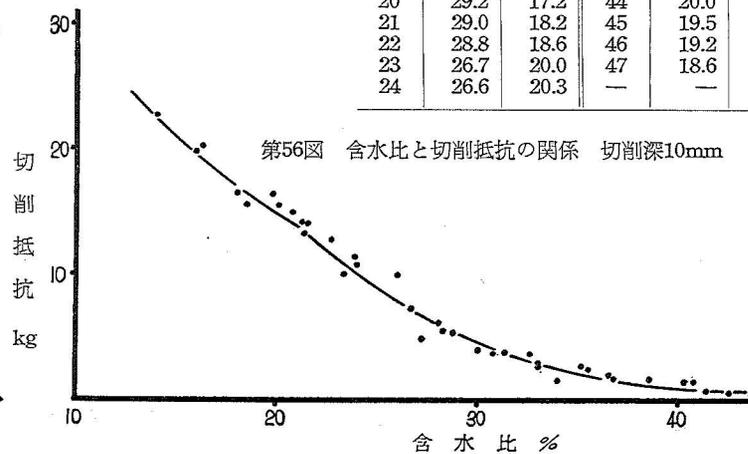
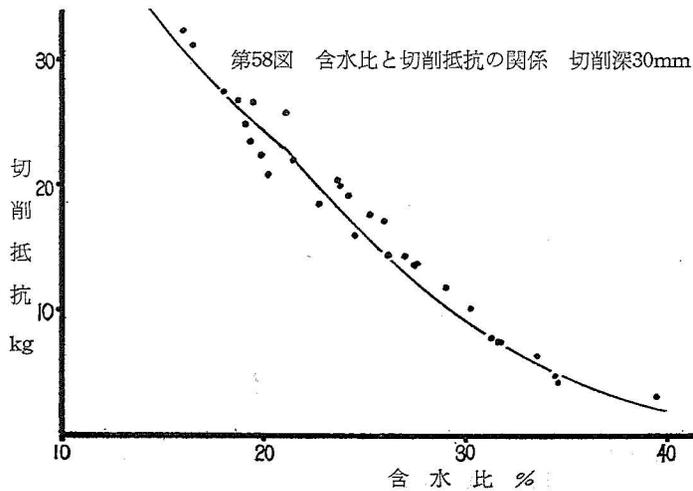
No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)
1	33.2	6.8	21	24.8	22.2
2	32.9	6.4	22	24.7	23.2
3	32.7	6.8	23	24.3	22.0
4	32.6	7.4	24	24.0	23.4
5	32.6	7.6	25	24.0	23.8
6	32.4	8.2	26	23.3	25.0
7	32.4	8.7	27	23.1	22.0
8	31.1	10.1	28	23.1	22.0
9	31.0	9.4	29	22.7	25.8
10	30.2	10.0	30	21.8	28.4
11	30.0	10.3	31	21.2	27.4
12	29.5	12.0	32	21.2	24.0
13	28.1	14.3	33	21.0	29.0
14	28.0	14.3	34	20.7	31.6
15	27.0	17.2	35	20.5	27.4
16	26.7	16.8	36	20.1	29.6
17	25.7	19.8	37	19.5	32.2
18	25.4	18.6	38	19.1	31.0
19	25.2	19.2	39	18.8	34.5
20	25.2	19.8	—	—	—

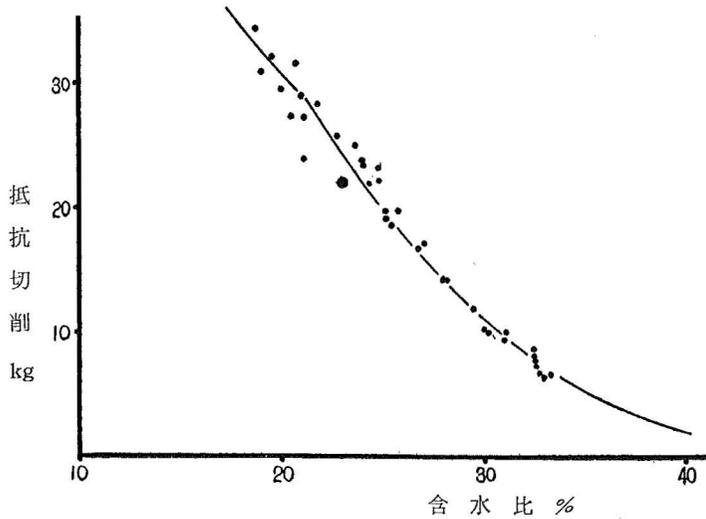


第51表 切削深60mmの切削抵抗(kg)

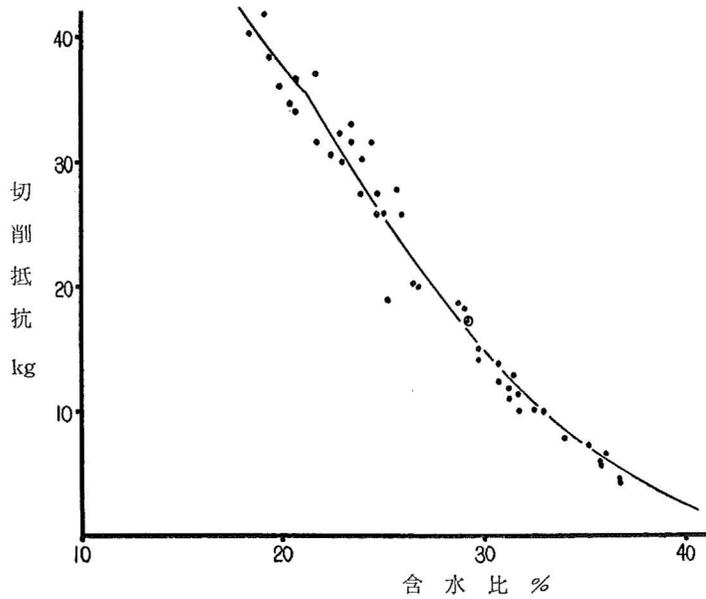
No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)	No.	含水比 (%)	抵抗 (kg)
1	36.7	4.3	25	26.0	25.7
2	36.7	4.5	26	25.7	27.8
3	36.0	6.7	27	25.2	19.0
4	35.8	5.6	28	25.0	25.8
5	35.8	5.8	29	24.8	25.8
6	35.2	7.3	30	24.8	27.4
7	34.0	7.8	31	24.6	31.5
8	33.0	10.1	32	24.1	30.2
9	32.6	10.2	33	24.0	27.4
10	31.8	10.1	34	23.5	31.5
11	31.7	11.4	35	23.5	33.0
12	31.5	12.8	36	23.1	30.0
13	31.3	11.0	37	22.9	32.2
14	31.3	11.8	38	22.5	30.6
15	30.8	12.4	39	21.7	31.5
16	30.7	13.8	40	21.7	37.0
17	29.8	14.2	41	20.7	34.0
18	29.8	15.0	42	20.7	36.6
19	29.3	17.2	43	20.5	34.6
20	29.2	17.2	44	20.0	36.0
21	29.0	18.2	45	19.5	38.4
22	28.8	18.6	46	19.2	41.8
23	26.7	20.0	47	18.6	40.3
24	26.6	20.3	—	—	—

244





第59図 含水比と切削抵抗の関係 切削深45mm



第60図 含水比と切削抵抗の関係 切削深60mm

4. 実験結果の整理, 検討

本節の各実験では含水比と切削抵抗との関係曲線に変曲点があるのが分つた。その含水比は大体22%附近である。今第44表と第53図を例にとつて検討してみる。全測定値より、この実験結果を表わす実験式を、最小自乗法によつて求めれば次のようになる。

$$fy = 411 - 7.2y \dots\dots\dots(2)$$

そしてこの切削係数 $P=441$ について、 t 分布表による検定を行なえば、危険率5%では次

のようになる。

$$361 \leq P \leq 461 \dots\dots\dots(3)$$

これを第53図に破線で示せば、この(2)式の曲線は含水比のかなり高い場合と非常に少ない場合は、測定値よりも抵抗が大きくなることが分る。しかし全体としては変曲点を問題にする程の差違は生じないから、実用範囲内の含水比に対しては、1つの実験式で差支えないものと考えられる。

次に第3節の実験結果と比較するため、粘土量のほぼ等しい実験-5に準じて、第46表の含水比27%以上の測定値のみの実験式を求めれば次のようになる。

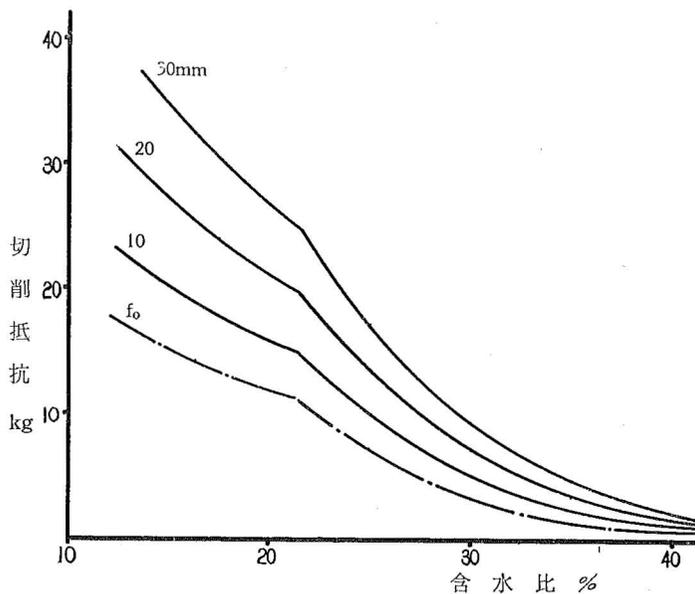
$$f_y = 738 - 14y \dots\dots\dots(4)$$

実験式(4)の曲線を、第55図に破線で示せば、図より分る如く、この曲線は実用範囲内では実験結果を表わすものとみて差支えない。そして切削係数738は切削刃の厚みが若干変つているにもかかわらず、第4節の(2)式から求めた値とほぼ等しくなっている。

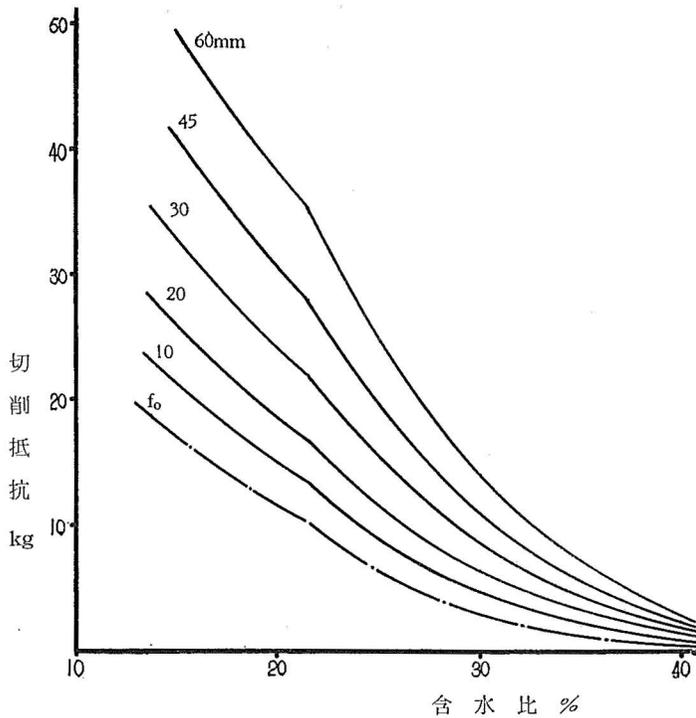
従つて裏日本の比較的水分量の多い水田土壌に対しては、第4節の(2)式がそのまま適用されるし、一方乾燥地帯の水田土壌に対しては、含水比20~23%附近は幾分高めに考え、非常に乾燥した時は幾分低目に考えてこの実験式を応用すればよいわけである。

なお引張抵抗との場合と幾らか異なるのは、ある含水比以下になると、土壌には楔作用による割れ目が生じ、切削が連続的に行なわれず大塊に破壊されるからであろう。切削による土壌の破碎については、更に後節で述べることにする。

次に第61図は切削巾の影響に関する実験結果を一緒に図示したものであり、第62図は切削深(耕耘ピッチ)の影響に関する実験結果を同様に図示したものである。第61図の切削巾の影響について述べれば、切削巾が増す程その切削抵抗も増すことが知られる。そしてその増加割合は、含水比が小さくなる程大きくなっている。又大体において切削巾に比例して、ある一定割合で増加するのが知られる。



第61図 切削巾による切削抵抗の差



第62図 耕耘ピッチによる切削抵抗の差

今切削巾10mm毎に増加する抵抗を f_{10} とすれば、 f_{10} は含水比が小さくなる程大きくなる値である。ある含水比の時、切削巾 r に比例する切削抵抗を f_r とすれば、

$$f_r = f_0 + r \cdot f_{10} \dots \dots \dots (5)$$

f_0 = ある含水比における基準抵抗値で、図の点線で示される。 r = 切削巾をcmで表わした値である。

第61図において、含水比25%、35%の時のこれらの関係を表にすれば第52表の如くである。

第52表 切削巾 (mm) による切削抵抗 (kg)

	f_0	$r=1$	$r=2$	$r=3$	$r=4$
25 (%)	7.2	10.0	13.3	17.2	21.3
35 (%)	1.3	2.2	3.5	4.7	5.9

次に耕耘ピッチの影響についても、第62図から切削巾と同様であることが知られる。ただし切削巾に関する実験結果の方が、乾燥した土壌に対しては開きが幾分大きくなっている。これは水平刃の切削半径が切削巾に関係なく一定であるのに対して、垂直刃は耕耘ピッチが増す程その切削中心の半径が小さくなるためかと考えられる。

第6節 実地試験との比較

これまで行なってきた室内実験の結果と比較するため、実際の動力耕耘機で実際の水田の耕耘試験を行なった。動力耕耘機の所要動力については、先にも述べた如く土屋等の例があるが、ここでは土屋⁴⁸⁾の試作回転動力計を改良し、直接この動力計を耕耘機に装備して行なった。

1. 供試動力耕耘機

現地試験に使用した動力耕耘機は、久保田式ロータリー型KL型で、耕耘巾は94cmである。次に本実験に必要な諸元を表にしたのが第53表である。又耕耘ピッチとフライホイールと耕耘刀の回転数との間には、次の第53表-2の関係がある。

2. 実験方法

回転動力計は、第63図に示す如く、発動機のフライホイール軸に直接装置した。

この耕耘機を自動車に載せ、庄内平野の各地の水田において、所望の条件の所で自動車からおろし、20mの距離を直線に耕耘させ、その時の耕深とその土壌の含水比を調べ、その土壌の機械的組成を求め、その土壌に対する動力計の記録紙からトルクを求めるようにした。

回転動力計のプーリーの有効径は7.9cmである。

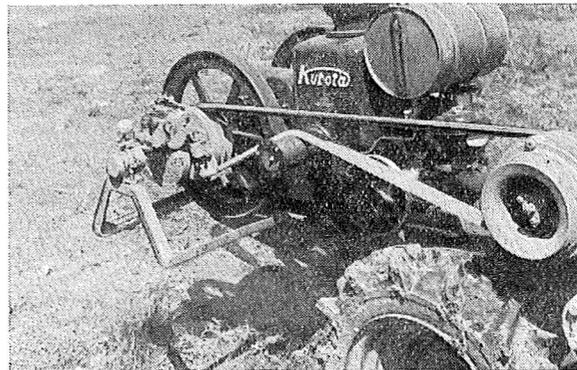
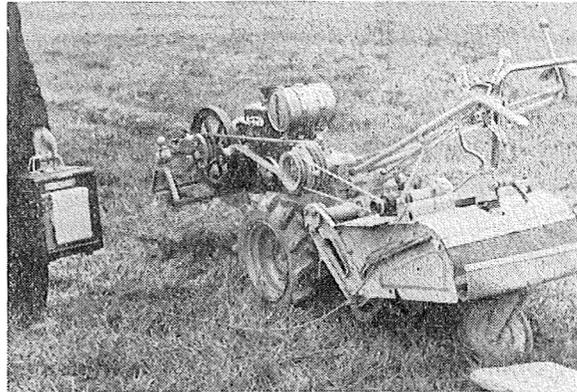
記録紙の読みは、全体の平均値と、最高値5ヶ(耕耘刀が20回転する間の記録紙の極大値)の平均値を別々に求め、動力計の校正曲線から、そのトルクを求めた。又回転数は、発動機の毎分回転数を、第63図に見られる如く、小型発電機を機体に装着して記録回転計に自記させるようにした。発電機と回転計は、横河電機製作所製で次に示すものである。

第53表 供試耕耘機の必要諸元

耕耘刀数	同回転半徑	同1本の切削巾	耕耘ピッチ cm
12	23cm	4.5cm	5.7, 9.4, 12.3, 20.6

第53表-2

変速装置 車輪	装置 耕耘刀	回 転 比		
		フライホイール	耕耘刀	耕耘ピッチ
L-L	H	158回	28回	5.7cm
L-L	L	158	17	9.4
L-H	H	74	7 $\frac{1}{4}$	12.3
L-H	L	74	13	20.6



第63図 回転動力計の装着

横河製 携帯用記録回転計 KR-1C 3000 r. p. m.

横河製 AC回転発電機 AS-型

第54表 供試水田土壌 (%)

年度	No.	採取地	粘土	微砂	細砂	粗砂	含水比 (%)
1956	1	宮曾根	72.3	14.4	7.6	5.7	65.5
	2	落袋	71.4	16.1	6.1	6.4	74.2
	3	西袋	65.9	23.0	5.1	6.0	64.0
	4	廻館	61.4	20.5	9.9	8.2	59.3
	5	押切	59.8	24.2	8.7	7.3	81.4
	6	余八	54.1	19.1	21.7	5.1	66.5
	7	栄里	42.0	23.9	17.3	16.8	60.5
	8	渡前	39.8	21.6	21.9	16.7	58.5
1957	9	砂越	69.0	21.9	4.2	4.9	76.5
	10	鶴岡	64.1	16.9	9.0	10.0	74.8
	11	安田	62.5	24.0	10.8	2.7	69.5
	12	四興	60.5	27.2	6.6	5.7	64.0
	13	本楯	54.2	20.5	10.3	15.0	53.0
	14	山楯	48.6	24.9	16.9	9.6	66.5
	15	北境	26.1	12.3	25.6	36.0	45.0

第55表-1 実地試験の結果

年度	No.	粘土量 (%)	含水比 (%)	耕耘方法	耕深 (cm)	T ₂ (kg, m)	F (kg)
1956	1	72.3	65.5	L-L-L	11.2	1.23	2.68
	1	72.3	65.5	L-L-H	12.3	1.85	4.03
	2	71.4	74.2	L-L-L	11.3	1.34	2.91
	2	71.4	74.2	L-L-L	11.3	1.80	3.92
	2	71.4	74.2	L-L-H	11.2	1.80	3.92
	2	71.4	74.2	L-L-H	11.2	2.10	4.57
	3	65.9	64.0	L-L-L	11.3	1.77	3.85
	3	65.9	64.0	L-L-L	12.5	1.61	3.50
	3	65.9	64.0	L-L-H	12.0	2.14	4.65
	4	61.4	59.3	L-L-L	12.3	1.66	3.61
	4	61.4	59.3	L-L-H	12.4	2.11	4.59
	5	59.8	81.4	L-L-L	11.7	1.37	2.98
	5	59.8	81.4	L-L-H	13.5	2.42	5.25
	6	54.1	66.5	L-L-L	11.3	1.33	2.89
	6	54.1	66.5	L-L-H	13.6	1.99	4.33
	7	42.0	60.5	L-L-L	10.3	1.04	2.26
8	39.8	58.5	L-L-L	12.3	1.01	2.20	

第55表-2 実地試験の結果

No.	粘土量 (%)	含水比 (%)	耕耘方法	耕深 (cm)	T ₂ (kg, m)	F (kg)
9	69.0	76.5	L-L-L	12.8	2.46	5.35
10	64.1	74.8	L-L-L	16.7	2.01	4.38
11	62.5	69.5	L-L-L	15.7	2.20	4.79
12	60.5	66.0	L-L-L	15.6	2.44	5.30
13	54.2	63.0	L-L-L	14.2	1.95	4.25
14	48.6	66.5	L-L-L	15.2	2.45	5.32
15	26.1	45.0	L-L-L	12.7	1.78	3.87

第56表 室内切削実験の切削抵抗 (kg)

粘土量 (%)	77.3	63.5	53.3	48.7	42.6	37.7	30.4
含水比 (%)	84.2	66.0	63.0	66.5	60.5	58.5	45.0
抵抗 (kg)	3.0	4.9	3.5	2.0	2.1	0.6	2.3

3. 実験結果

本実験に供試した各地の水田土壌は、第54表に示す如きものである。含水比がいずれも高いのは、両年度とも耕耘時期の降雨が多く、これらより乾燥した水田が見出されなかつたからである。

供試ナタ刃の厚みは約9mmで、刃巾は垂直刃の先端で約45mmである。現地試験の結果を整理し表にしたのが、第55表である。

ただし表中の T₂ は、土壌を切削中の耕耘刀によるトルクで、全所要動力から進行に要する動力約0.7 HP を差引いたものから逆算して求めた。この種耕耘機の進行に要する動力は、土屋⁶⁾⁷⁾等の研究から知られる。

なお同時に土壌を切削中の耕耘刀数は、第1章第1節(4)式および第5表から、本実験の場合3本である。

又 F は、ナタ刃1本に対する土壌の切削抵抗で、T₂ をナタ刃の回転半径23cm、耕耘切削中の刀数3本で除した値である。

$$T_2 \cdots \cdots \text{kg} \cdot \text{m}$$

$$F \cdots \cdots \text{kg}$$

次に第4節の実験結果の内、第55表の切削条件L-L-Lの実地試験の成績と近いものを取り出し、表にまとめたのが第56表である。

野外実地試験は、いずれも含水

比の高い条件の時行なわれたので耕耘刀1本当りの抵抗は、室内実験の薄刃の抵抗より若干高い位の成績になつた。或いは現地試験の含水比が試料の採取、保管がよくないため実際よりはかなり低い値になつたのかとも考え

られる。それ故、含水比の高い水田土壌に対しては、実際の耕耘刀の切削抵抗は模型刃に比べて約1.5~2倍位と考えてよいかと思われる。

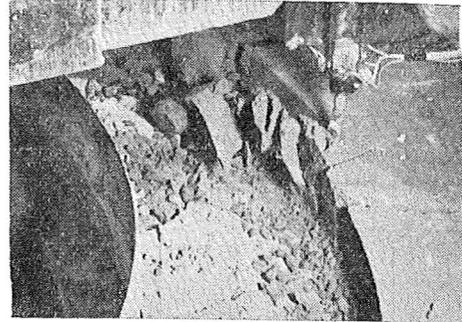
これらより更に含水比の少ない例として、土屋・小松・今間⁴⁹⁾の試験例をあげれば、粘土量67.7%，含水比約61%，耕深12cmの時の耕耘動力は約6HPであつた。この耕耘動力より逆算して、ナタ刃1本当の切削抵抗を求めると、約7.5kgになる。この結果と比較しても、本論文の室内切削実験の切削抵抗値は、実験の場合とあまり差がないことが知られる。

第7節 切削による土壌の破碎状態

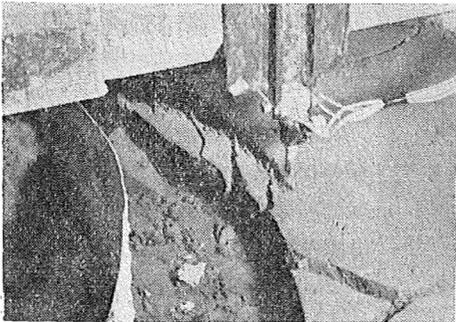
ロータリー式ナタ刃による水田の耕耘では、含水比の比較的高い場合の碎土率は、耕耘ビッチに大きく左右されるもので、これは土屋⁸⁾⁵⁰⁾の研究によつて明らかにされている。



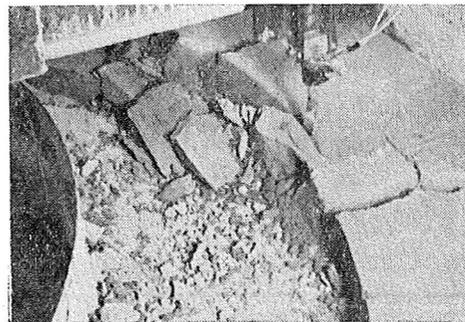
No. 1 32.0%



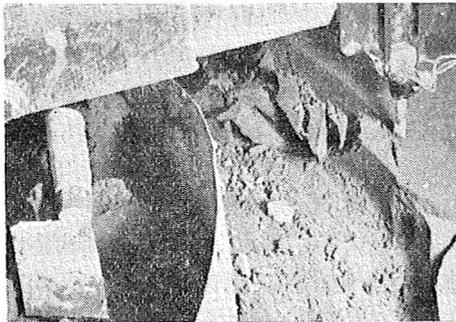
No. 4 21.8%



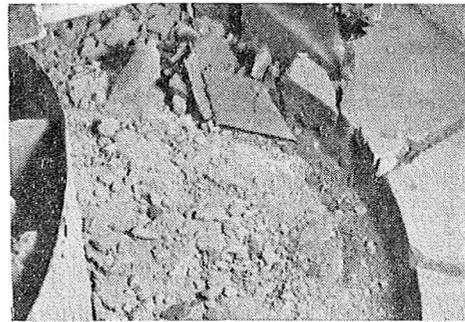
No. 2 29.7%



No. 5 16.8%



No. 3 27.1%



No. 6 15.5%

第64図 切削による土壌の破碎

しかし切削による土壌の破碎は、その含水比によつて非常に異なるので、本実験では含水比によつてどのような破碎が生ずるかを、写真によつて知ることにした。なお供試土壌は、第5節第43表に示されるものである。

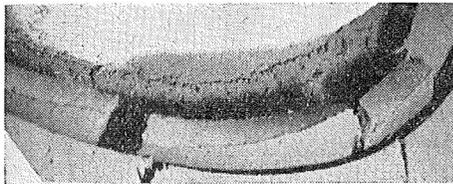
第64図は、切削深45mm、切削巾30mmで、極めて静かに切削している時の、壟の状態を示したものである。未だ切削していない所の割れ目は、土壌の収縮を示すために、そのままにして置いたが、切削抵抗試験の時は割れ目には、土壌をつめ込んで行なつた。番号順に含水比を示せば第57表の如くである。

第57表 含水比

No.	1	2	3	4	5	6
含水比 (%)	32.0	29.7	27.1	21.8	16.8	15.5

含水比32.5%以上では切削された壟は、切削刃による圧縮作用を受けても塑性変形をするだけである。図のNo. 1は、垂直刃に接する部分のみが特に圧縮作用を受けて、始めて亀裂が生じた所である。No. 2になると、ある程度の距離ごとに剪断破壊が生じ、No. 3, No. 4に進むにつれ、この剪断破壊は細かく発生するのが分る。しかし、No. 5, No. 6にまで含水比が少なくなるとむしろ楔作用による破壊の様相を示し、図の如く大塊に碎ける。それ故この写真によつても、耕耘作業には適当な水分量の時があるのが知られるわけである。

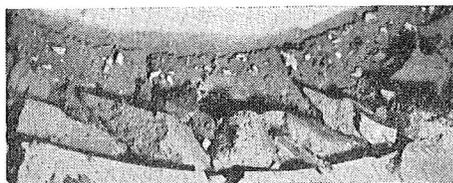
次に第65図は、2 m/s の速度で切削した後の碎土状態を含水比の順に並べた写真である。これも第64図と大体同じ傾向を示している。本実験の供試土壌では、含水比27%附近が、耕耘時期として最適のようである。



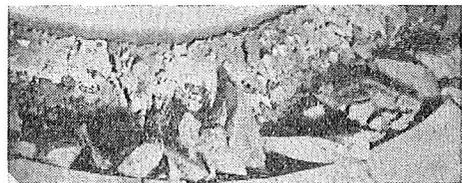
含水比 32.0%



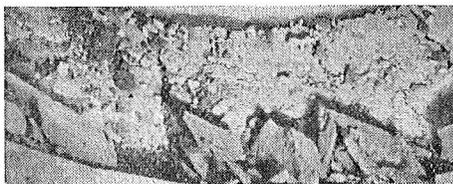
含水比 29.7%



含水比 27.1%



含水比 23.5%



含水比 17.6%

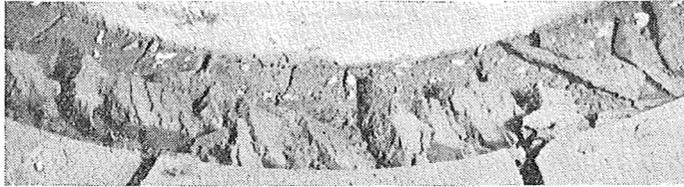


含水比 14.6%

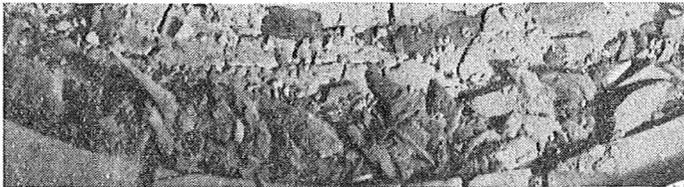
第65図-1 高速切削後の破土状態



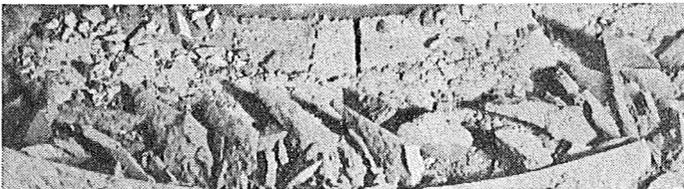
含水比 23.4%



含水比 21.1%



含水比 19.6%



含水比 18.5%

第65図-2 高速切削後の破土状態

第8節 考察

本章の各節は、いずれも室内実験装置による水田土壌の切削抵抗を求めたものであるが、供試した水田土壌は粘土量の異なる12種類である。本章の各実験は、第2章の引張抵抗試験とは異なり、非常に多量の土壌が必要であるから、止むを得ず切削係数を求めるのに間に合うだけの種類にしたわけである。従来の研究例では、多くて数種類の土壌を供試したに過ぎないから、この点では今迄とは比較にならない結果が得られたと考えられる。

実験の準備としては、水田の自然状態に近づけるように十分な水量で、土塊が殆んどなくなるまで丁寧に代掻を行ない、含水比に応じて土壌の締りが均質になるようにした。1つの試料について実験を完了するには、早くて2週間を要し、大部分は4~5週間を要した。

本実験装置は、回転土槽内の土壌が固定された切削刃によつて切削されるもので、通常の耕耘機とは逆になっている。しかしその相互関係は全く同じである。ただし耕耘ピッチに相当する切削深で、1回転約4~6mの距離を切削するから、これは丁度ロータリー耕耘機のナタ刃が、土壌に喰い込んだ時の状態で切削を続けるのに相当するわけである。実際の耕耘刀の場合は、切削が進むにつれて、土壌の切削抵抗も変つて来る。しかし表土と下

層土の土壌条件が一定なら、最初に土壌に喰い込んだ位置が、最大抵抗を示すと考えてよいから、本章の各実験は、この最初の切削条件における切削抵抗によつて、供試土壌の耕耘性を調べることにしたわけである。

この方法によれば、抵抗線歪計は極めて容易に利用されることになり、従来のばね等による測定方法とは、比較にならない正確さを期することが出来た。

次に切削抵抗値は引張抵抗値と同様、含水比の大小によつて非常に異なるものである。しかし切削速度の影響は、粘土量の多い土壌でもそれ程でない。これは切削刃の刃巾が小さいため、粘着力に伴なう摩擦抵抗等が問題にならないからである。又粘土量の多い土壌程、同じ含水比でもその切削抵抗値は大きくなつてゐる。これは粘土量が多い程粘土粒子の数も多くなるから、個々の粒子の水膜が薄くとも全体の水分量は高くなると言う水膜理論の一考察から、説明もされ推察もされることである。

第5節の実験では、含水比22%附近に変曲点が見出された。この種土壌の塑性下限は第2章からも知られる如く、40%前後であるから、この変曲点の説明は本章第7節の写真に示した如く、含水比と剪断破壊の実験結果によるべきものであろう。

次に切削係数Pと引張係数Aとの関係について述べる。

第2章第2節と第3章第4節から

$$A = a w^b \dots \dots \dots (1)$$

$$P = c w^d \dots \dots \dots (2)$$

(1), (2)式より

$$\log P = \frac{d(\log A - \log a) + b \log c}{b} \dots \dots \dots (3)$$

本論文の各数値を代入すれば、次の如くなる。

$$P = 2.275 \times 10^{-3} A^{0.336} \dots \dots \dots (4)$$

(4)式を利用すれば、未知の土壌に対する切削抵抗値は次のようにして求めることが出来る。先ずその土壌の粘土量をA. S. K. 法で調べ、第2章第2節の(3)式からAを求め、更に本節の(4)式よりPを求め、第4節の(7), (8)式からそれぞれの土壌条件に対応する抵抗値を求めればよいわけである。

この値はt分布表による検定で示した如く、約10%内の誤差範囲であるから、実際に利用しても差支えない。なぜなら実際の水田耕耘では、同じ圃場内でも条件が非常に異なる場合が多く、得られた試験成績にはこれ以上の差違がみられるからである。

第 4 章 摘 要

水田耕耘に対する動力耕耘機の利用は、年々盛んになつて来た。特にナタ刃系耕耘刀の研究が進められた結果として、ロータリー式耕耘機の普及は目覚ましいものがある。動力耕耘機の研究としては、作物に対する問題と耕耘に対する問題があり、前者に関しては土屋⁵¹⁾⁵²⁾等の多くの研究がみられ、後者に対しても数多くの研究がみられる。しかし水田土壌の土壌条件は、地域的に又は時期的に非常に相違するため、水田土壌の耕耘性に関する研究は殆んど行なわれなかつた。

本論文はロータリー式耕耘機のナタ刃を対象とし、いろんな土壌条件に対する切削抵抗を主として実験的に求めたものであるが、その前提としてロータリー式耕耘機の耕耘動力

を理論的に考察し、次いで水田土壌の各種の物理的性質を、可能な限り数多くの試料について調査した。水田土壌をとり上げたのは、動力耕耘機の利用の大部分が水田耕耘であり、外国の研究例もみられないからである。なお動力耕耘機の耕耘作業には、作業の精度、質の問題もあるが、ここでは最も基本的な耕耘動力に直接関係のある切削抵抗に限った。又実験の対象とした含水比の範囲は、塑性上限以下とし、湿田の如き条件は除外することにした。

本論文により、従来漠然としていた土壌条件と耕耘動力の関係が解明されたから、今後は耕耘機的设计並びに使用技術上の基礎的資料として役立つものと考えられる。次に各章の摘要を述べれば、次の如くである。

1. ロータリー式耕耘動力の理論的考察

第1節では、ロータリー式ナタ刃の切削機構とその研究概歴を述べ、水平刃および垂直刃による土壌の切削抵抗について説明し、前者は大体一定のものとみなしてもよく、後者は切削が進むにつれ変化するものであることを示した。次いで耕耘動力に影響を与える要素として、水平刃の土壌切削距離、垂直刃の土壌に喰い込んでいる刃縁長、耕耘刀が土壌を切削するに要する回転角をあげ、これらによる耕耘動力の式を示した。ただし土壌の切削抵抗は、理論的に解明するのが極めて困難なため、第3章の実験によつて解明することにした。

第2節では水平刃の切削距離を理論的に求める式を示し、これは耕耘刀の回転半径 R 、耕深 h 、耕耘ピッチ P によつて異なり、特に耕深によつて大きく変化することを、実際例の数値計算で明らかにした。耕深 h の影響が大なることは実際の耕耘結果とも一致する。

第3節では、土壌中に喰い込んでいる垂直刃の切削刃縁長 S_v の理論値を求める式を示した。この刃縁長さは水平刃の S_h と同じく R 、 h 、 P によつて変化する。しかしこの場合は P の変化による影響が大きく、又耕耘刀が回転するにつれても大きく変化する。これらの関係を数値計算によつて図示した。又1本の耕耘刀が土壌を切削するに要する回転角度 ϕ は、耕深によつて異なるもので、この関係をも実際例による数値計算によつて明らかにした。従つて耕深が大になれば、耕耘動力もそれに応じて大になることが、理論的に明らかにされた。

第4節では、実際の耕耘機について考察を行なつた。実際の使用では耕深は10~14cm位の範囲にあり、 R は一定であるから、問題になるのは耕耘ピッチ P をいくらにするかである。従つて耕耘ピッチの影響はもつと重要視されねばならないわけである。

次に今後の傾向としてセンタードライブの機構が採用され、 R は小さくなることも予想される。この場合は R が小さくなる程 ϕ が大きくなるから、その利害得失を、各理論式と共に後章の切削抵抗に対する切削速度等の影響をも考慮に入れ、使用目的によつていずれが有利になるかを検討すべきであろう。これらの理論的考察は、土壌条件がすべて一定なものとして行なわれた。

2. 水田土壌の物理的性質

第1節では、鶴岡地区5万分の1図幅内の水田土壌を260点採取し、日本農学会法で、A. S. K.法による淘汰分析を行ない、その内本論文に供試するための52点を、粘土量の多い順に適宜の差をつけて択んである。粘土量の最も多いのは78.5%、最も少ないのは25%である。

第2節では、水田土壌の凝集力を表わすものとしてその引張抵抗値を求めた。本実験により各試料の含水比と引張抵抗との関係を示す実験式を求め、その引張係数は粘土量によつて異なることを明らかにした。そして粘土量と引張係数の関係式が指数曲線になることを示した。次にこれらの関係式を組合わせて、粘土量さえ分れば、任意の含水比の時の引張抵抗値を求め得る式を示した。

第3節では、水田土壌の有機物量を、灼熱損失量と腐植の定量とで求め、その結果は粘土量とは関連性がなく、個々の農家の所有水田によつて差違があることを示した。灼熱損失量は6.8~10.4%、腐植量は6.4~8.5%の範囲内であつた。

第4節では、耕耘作業に非常な関連があるものとして、水田土壌の塑性指数を求めた。この結果は Russell が人工土で求めたものと大体同様で、粘土量とは一次式の関係がある。又塑性下限は粘土量等に関係なく一定であるが、塑性上限は粘土量に比例し、有機物等の影響を受けることも知られた。

第5節では、水田土壌2種について、含水比と垂直圧力を変えて剪断試験を行なつた。これによると水分量の変化による剪断抵抗の差は大きく、塑性下限よりもかなり低い水分量の点まで、直線的に増加する。これは塑性下限で極大になると云う Nichols の結果とは、やや異なつている点である。

第6節では、水分量と土壌容積との関係を2種の土壌について調べた。これによると塑性下限より若干少ない水分の所まで、土壌容積は大体直線的に減少し、それ以後は僅かずつ容積を減じて一定の値に達する。

第7節では、水分当量 $pF=2.7$ を測定し、粘土量が同じでもその水分量がかなり異なる試料があれば、他の実験の参考にするため行なつたものである。 $pF=2.7$ における水分量は、粘土量の多い土壌程多くなる傾向はみられるが、実験結果のばらつきが多く、その実験式を求めるのは無理であつた。

第8節では、水素イオン濃度 pH の値を調べたが、その値は4.7~5.7の範囲で大体一樣なものである。従つて粘土量等には無関係で、水田土壌の特色を示している。

第9節では、水田土壌の粘土粒子の電子顕微鏡写真を示した。これによると同じ土壌でも、その粘土粒子の形状は非常に不規則で、単なる球形粒子と仮定した水膜理論が、実際とはかなり異なるものであることを推察される。

第10節では、水膜理論に対して一考察を試みた。ここでは粘土量と含水比の変化によつて、単位断面積内の粒子の数がいかに変化するかを、粒子を球状として理論的に求め、水膜の厚み t と含水比の関係、および粒子数、水膜の厚み、含水比の関係を明らかにした。これによると含水比の変化割合に対して、粘土粒子の変化割合はかなり小さい。しかし含水比による凝集力の変化は非常に大きいから、凝集力等の考察に当つては水膜数のみでなく、水膜の厚みによる表面張力の差又は粒子自身の直接吸引力を考えねばならないことが分る。

第11節では、第2章の各実験結果の相互関係を検討した。これによると粘土量は同じでも微砂量が多いものと少ないものがあり、特殊な土壌ではかなり異なるものもある。そしてこのような2, 3の土壌は、引張係数その他も明らかに他と異なつている。又塑性指数の値が、同じ位の粘土量の他の土壌とかなり異なつている土壌は、水分当量も異なつている場合が多い。このような特殊な土壌が52点の試料の内、5~6点あつた。次に引張係

数・塑性指数の t 検定を行なつたが、これによると前者は約8%, 後者は約15%位の範囲内にあるのが知られた。実際の圃場試験では、これ以上変動が多いから、粘土量を決定するのに A. S. K. 法を用いるのは十分に実用的であると云つて良い。

3. 水田土壌の切削抵抗

第1節では、室内実験装置と実験方法について詳しく述べた。回転土槽内の土壌は、水田の自然状態に近づけるため、水量を多くして土塊のなくなるまで代掻を行ない、自然乾燥をさせるようにした。切削刃は刃物合に固定させ、抵抗線歪計の利用を容易にし、更にタイムマーカーを利用して、測定値の正確を期するようにした。記録はペン書オシログラフによつたものである。

第2節では、切削速度と切削抵抗との関係を調べたが、これによると切削速度による切削抵抗の変化は非常に少ない。0.5~3.7m/s の本実験の場合、その係数は約0.2であつた。含水比の異なる場合も粘土量の異なる場合も同じであるが、含水比等が異なる時の抵抗は、切削速度の変化とは比較にならない相違を示した。従つて以後の各実験は 2 m/s の切削速度で行なうことにした。

第3節は、水分量と切削抵抗との関係を調べたものであるが、供試した水田土壌は粘土量の異なる12種類である。本実験により、各試料の含水比と切削抵抗との関係を示す実験式を求めたが、その切削係数は引張係数と同様に粘土量によつて異なることを明らかにした。そして各実験とも、その切削係数の t 検定は、約10%以内の範囲にあつた。

第4節では、切削係数 P , Q , と粘土量との関係を最小自乗法によつて求めたが、 P の関係式は引張係数の場合と同様指数曲線となり、その t 検定は約17%の範囲であつた。これは供試土壌数が少ないためであるが、実際の耕耘の成績ではこれ以上の変動があるから、実用には差支えない。又切削係数 Q は引張係数 B と同様、粘土量とは直線関係にあることが明らかにされた。なお切削抵抗値は直接抵抗の他、切削断面積で除した比抵抗、切削刃縁長さで除した線抵抗についても実験式を求めた。

第5節では、耕耘刀1本当りの切削巾、耕耘ピッチの影響を調べた。供試した水田土壌は1種である。切削巾は5~35mmの範囲に変え、耕耘ピッチに相当する切削深は5~60mmの範囲に変えて実験を行なつた。本実験には供試刃の厚みを大きくした切削刃を用い、含水比のかなり少ない所まで切削試験を行ない得るようにした。その結果この供試土壌では切削抵抗と含水比の関係には、含水比22%附近に変曲点があることが分つた。しかし実際の耕耘作業に対しては問題にする程でなく、前に求めた1つの実験式で代表させても差支えないことを明らかにした。切削巾の影響は、含水比が小さい程大きく現われ、一定の含水比では巾に比例して切削抵抗が増減するのが分つた。ただし切削巾を0に近づけた時もある切削抵抗値が存在し、この基礎抵抗に前述の切削巾に比例した抵抗が加わるわけである。これらの関係は耕耘ピッチの影響についても同様である。なお含水比の小さい場合は切削巾を小さくする方が有利である。逆に云えば含水比の高い土壌に対しては、切削巾の大きい耕耘刀が幾分有利となる。

第6節では、実地試験との比較を試みた。野外実地試験は、土屋の回転動力計をロータリー式耕耘機に直接取り付け、自動車で現地を移動し、1カ所での耕耘は直進耕耘20mを数回繰り返した。この現地試験はいずれも含水比の高い水田であつたが、その耕耘刀1本当りの切削抵抗は、室内実験の切削刃の約1.5倍であつた。

第7節では、切削による土壌の破砕状態を写真によつて示した。これによると水分量の多い時は切削刃による圧縮作用を受け、塑性変形をするに過ぎない。供試土壌では32%附近から、切削刃に接する附近に亀裂が生じ、30%附近から、剪断破壊が生ずる。含水比27%附近では、この剪断破壊が小刻みに発生する、然し20%前後からは、むしろ楔作用による破壊の相を示し、大塊に砕けるのが分つた。従つて碎土を良好にするには、塑性下限よりかなり低い水分の所に、最適の耕耘時期がある。

第8節では、本章の総合考察を試みた。そして切削係数Pと引張係数Aとの関係式を、それぞれの実験式を組合わせて求めた。これによると未知の水田土壌に対する切削抵抗値は、切削試験を行なうことなしに、引張抵抗試験を行なうことによつて、10%以内の誤差範囲内で推定することが出来ることを述べた。又 A. S. K. 法によつて粘土含有量さえ分れば、その引張抵抗値も切削抵抗値も液性限界以上の実験範囲内の任意の含水比について求め得ることを示した。

引用文献

- 1) 守島：自動耕耘機の爪車の型に関する理論的研究 農機誌 第6巻 第3号
- 2) 森田・田谷：ロータリ型動力耕耘機について(第1報) 東北農業 第5巻 第3, 4号
- 3) 齒村・松尾：ロータリ耕耘の諸特性に関する研究(第1, 2報) 農機誌 第19巻 第3号
- 4) 森・坂井：耕耘機耕耘刀の形状作用に関する研究(第1, 2報) 農機学会講演要旨 昭32
- 5) 土屋・小松：動力耕耘機の型式別負荷特性(第1報) 農機誌 第13巻 第3, 4号
- 6) 土屋・小松：動力耕耘機の型式別負荷特性(第2報) 農機誌 第14巻 第1, 2号
- 7) 土屋・小松：動力耕耘機の型式別負荷特性(第3報) 農機誌 第15巻 第1号
- 8) 土屋：動力耕耘機耕耘刀の切削速度に関する研究 山形大紀要(農) 第2巻 第1号
- 9) 吉田：ロータリ型動力耕耘機のナタ刃系耕耘刀に関する研究 農機学会講演要旨 昭32
- 10) Nichols: Methods of research in soil dynamics as applied to implement design. Agr. Eng., 13, 1932
- 11) 川村：ブラウ曲面に関する研究(第4報), 土壌の切削破砕に関する研究 農機誌 第15巻 第3, 4号
- 12) 守島：犁体に関する二次元的研究(第3報) 犁体抵抗について 農機誌 第18巻 第4号
- 13) 梅田：ロータリ式耕耘爪の耕耘作用の研究 農機誌 第19巻 第2号
- 14) 小松：ロータリ耕耘刀ナタ爪の刃型形状について 山形県立農機具研究所報 第6号
- 15) 畠：ぜい性材料の切削について 土木学誌 第38巻 第3号
- 16) 村山・畠：土の切削抵抗について 土木学誌 第40巻 第3号
- 17) 森：本邦在来犁に関する研究(Ⅲ) 農土研 第3巻 第1号
- 18) 森：犁の牽引力に影響する諸要因について 農土研 第3巻 第2号
- 19) 齒村：耕耘論への新展望, 耕耘に及ぼす土壌の力学的性質 農・園 第9巻 第7号
- 20) Nichols: The dynamic properties of soil (I) An explanation of the dynamic properties of soils by means of colloidal films. Agri. Eng. 12, 1931
- 21) Nichols: The dynamic properties of soil (II) Soil and metal friction. Agri. Eng. 12, 1931
- 22) Nichols: The dynamic properties of soil (III) Shear values of uncemented soils. Agri. Eng. 13, 1934
- 23) Nichols: The dynamic properties of soil (IV) Physical reaction of soils to surface. Agri. Eng. 15, 1934
- 24) Bayer: Soil Physics
- 25) 小倉・土屋・他：表層地質調査 鶴岡5万分の1(国土調査) 山形県 1955
- 26) 土屋：圃場試験の信頼度について 農機誌 第18巻 第1号
- 27) Nichols: Methods of research in soil dynamics. Alabama Agr. Exp. Sta. Bull. 1929
- 28) Atterberg: Die Konsistenz und die Bindigkeit der Böden. Intern. Mitt. Bodenk., 2, 1912
- 29) 土屋：土壌の引張圧砕抵抗について 農機誌 第12巻 第3, 4号
- 30) 庄司・土屋・他：自動耕耘機の利用拡張に関する調査研究 東大農業機械教室 1956
- 31) 船引・青峰：土壌実験法 1956
- 32) Atterberg: Die Plastizität der Tone. Intern. Mitt. Bodenk., 1, 1911

- 33) Terzaghi : Simplified soil tests for subgrades and their physical significance. Pub. Roads, 7, 1926
 34) Casagrande : Research on the Atterberg limits of soil. Pub. Roads, 13, 1932
 35) Russel : Variations in the B horizon. Am. Soil Survey Assoc. Bull. 9, 1928
 36) Haines : Studies in the physical properties of soils. (II) A note on the cohesion developed by capillary forces in an ideal soils. J. Agri. Sci., 15, 1925
 37) 須藤 : 粘土鉱物 岩波書店 1953
 38) 森田 : プラウイングに及ぼす 2, 3 の影響について 農機誌 第18巻 第3号
 39) 庄司・他 : 抵抗線歪計の試作とプラウ及びカルチベーターに関する 2, 3 の測定例 農機誌 第16巻 第3, 4号
 40) 安田・他 : 電気抵抗線歪計利用トルクメーターによる動力耕耘機の研究 農機学会講演 1956
 41) 長広 : 農用作業機とエンジンの作業時関連負荷特性に関する研究 農機誌北海道支部報 第4号
 42) Yarnell : ストレンゲージ (訳本) コロナ社 1953
 43) Dobie : 電気抵抗歪計 (訳本) 丸善 1953
 44) Paul : 機械量の電氣的測定 (訳本) コロナ社 1954
 45) 新興通信 : 抵抗線歪計に関する説明書
 46) 庄司 : 農業機械学概論 養賢堂
 47) 中村 : 動力耕耘機に関する研究 (II) 耕耘機の要部作動の追跡 農機誌 第16巻 第3, 4号
 48) 土屋 : 試作回転動力計について 農機誌 第17巻 第3号
 49) 土屋・小松・今間 : 動力耕耘機の型式別負荷特性 (第4報) 重粘地に於ける負荷試験 山形農機研報 第4号
 50) 土屋 : 動力耕耘機の碎土性能 (碎土率) について 農機誌 第15巻 第2号
 51) 土屋 : 動力耕耘機及犁による水田耕耘の諸問題 山形大紀要 第1巻 第1号
 52) 土屋・大田 : 整地法を異にした場合の水稲の生育について 山形大紀要 第1巻 第2号

Synopsis

The use of the power tillers to the tillage of the rice paddy fields has been increasing with years; above all the advanced studies of Nata-Ba (flat knife tines invented in Japan) have promoted the spread of the rotary typed power tillers. Much study has been given to the effect of the power tillers on tillage and growth of plants. But the soil of the rice fields is very different in districts and seasons, so very little study has been made in the tilth of the rice field soil. Therefore the author has chiefly pursued the experimental study of the cutting resistance to the various soil conditions by using Nata-Ba of rotary typed tillers.

In the tillage, the accuracy and workmanship of the machines have great matters, but cutting resistance of soils is the most important factor immediately connected with tilling power. First of all, the theoretical study was given to the tilling power of the rotary typed tillers, then the physical study to the properties of soil of every possible kind. The reasons for the study of the soil of the rice fields lie in the facts that the power tillers have been chiefly used in most rice fields in this country and that very few studies of this kind have ever been done in foreign countries.

The experiments were tried within the range of the moisture content below the upper plastic limit, practical tillage being generally done under these conditions. In the case of deep ill-drained paddy fields, running gear is rather more important than tilth. This study has made definite the relation of soil conditions to tilling power, which has been hitherto ambiguous, and also it has given the fundamental knowledge for the design and handling of the tillers. The outlines of the chapters are as follows;

Chapter 1. The theoretical study on the tilling power of the rotary typed tillers.

- 1) The behavior of the rotary typed tines and the outline of its study.
 Nata-Ba has two kinds of blades; horizontal and vertical ones. As for the cutting

resistance of horizontal and vertical blade to the soil under certain conditions, the former is almost constant, while the latter changes as cutting advances. The factors of the effects on the tilling power are as follows: The cutting distance of horizontal knife to the soil.....Sh. The cutting length of vertical knife into the soil.....Sv. The rotated angle of the tines..... ϕ . etc. Then the theoretical formula containing these factors was introduced. But cutting resistance to the soil is hard to explain theoretically, so it was made clear by the experiments in Chapter 3.

2) The theoretical formula about Sh.

According to this formula, cutting distance Sh depends upon the radius of rotation of the tines R, the tilling depth h, and the tilling pitch (the advanced distance of the machine while the rotary shaft makes one rotation) p; specially, it depends greatly upon the tilling depth h. Then the numerical calculation was tried on the practical examples. The practical tillage brought the same result about the importance of the effect of tilling depth h on the tilling power.

3) The theoretical formula about Sv.

The length of the blade changes according to R, h, p., as Sh of horizontal knife does. But in this case the variation of p has a more important effect, and Sv increases as the tines rotate. These relations were shown in the figure. The rotating angle of a tine for cutting soil varies according to the tilling depth. These relations were also made clear by the calculations based on practical examples. It was theoretically proved that tilling power increases according to the tilling depth.

4) The tillers in practical use.

Tilling depth is between about 10 and 14 cm and R is constant, so the variable value of p is an important matter and the effect of tilling pitch requires more careful consideration. There is a tendency to using the mechanism of center driving, and the decrease of R is expected. In this case, the more R decreases, the more ϕ increases. Therefore the further study of the advantages should be required, with due considerations for the above theoretical formulas and the effect of cutting velocity on the cutting resistance, which is to be mentioned later. These theoretical studies were done under the same soil conditions.

Chapter 2. The physical properties of the rice field soil.

1) Samples of soil were gathered from 160 rice fields every square kilometer in the map of Tsuruoka on a reduced scale 1 : 50000. Then the clay content of each soil defined by Agri. Soci. of Japan was examined according to elutriation method (A. S. K.). 52 samples were picked up by the clay content for the experiments. The maximum of clay content was 78.5% and the minimum 25%.

2) The tensile strength (cohesion) of rice field soil.

According to the experimental formula showing the relation of tensile strength to moisture percentage of each sample, the less moisture content becomes, the more tensile strength increases rapidly, and also the coefficient of tension of this experimental formula increases proportionately with clay content. Then the relation of the coefficient of tension to the clay content was shown by exponential curve given by the least square method. Therefore, by this equation the coefficient of tension of a certain soil can be easily introduced if the clay content is shown; moreover the tensile strength in range of moisture experimented can be given without trying any tension test.

3) The amount of the organic matters in the rice field soil.

The amount of the organic matters has nothing to do with the amount of clay, but it makes some differences in the individual rice paddy field. The ignition loss is

between 6.8 and 10.4%, and humus between 6.4 and 8.5%.

4) Plasticity number of the rice field soil.

The plasticity number of the rice field soil was almost the same with that of Russell found in the artificial soil, and it had the relation of a simple equation to the clay content. The index number at the lower plastic limit was almost constant and at the upper plastic limit in proportion to the amount of clay, and besides the organic matters had some influences on it.

5) The shearing resistance of two kinds of rice field soil.

The shearing resistance of two kinds of rice field soil was studied with varied moisture content and vertical pressure. From this experiment, it was found that the shearing resistance differed greatly with moisture, and it showed linear increase to the considerably little amount of moisture below the lower plastic limit. There was a little difference between this and Nichols's study, which tells the maximum increase at the lower plastic limit.

6) The relation of moisture and volume of soil in two kinds of rice field soil.

The volume of soil, after nearly linear decrease to a little below lower plastic limit, came to a certain value, lessening volume little by little.

7) The study of moisture equivalent in $pF=2.7$.

In this case, the moisture equivalent increased with the clay content. It was hard to give the experimental formula to this relation owing to the fact that there was much scattering in the experimental results. Moisture content was in the range between 24 and 26%.

8) The value of the hydrogen ion concentration pH.

The value of pH of the rice field soil was in the range between 4.7 and 5.7. It was almost constant with no relation to the amount of clay ; which is the characteristic of the rice field soil.

9) The electron micrographs of clay particles.

The electron micrographs showed irregular shaped particles of clay in the same soil. This showed that the water film theory which assumed particles of clay as round was very different from the practice.

10) A consideration of the water film theory.

Varying the amount of clay and the moisture content, the change of number of clay particles per unit section area cm^2 was theoretically studied on the assumption that the clay particles are round ; then the relation of the moisture content to the thickness of water film, those of the number of the particles and the moisture content to the thickness of water film were made clear. The changing ratio of the number of the clay particles to the thickness of water film was much less than that of the moisture content. The great change of cohesion by the moisture content requires very careful study of the difference in surface tension caused by the thickness of water film and of the direct absorption force of the clay particles as well as of the number of water film.

11) The study of the relation of the experiments.

According to the various experiments mentioned in Chapter 2, the amount of silt was different even in the same clay content, and some peculiar soil differed in the coefficient of tension and several other points from the common soil. Several kinds of soil with particular plasticity number differed in moisture equivalent. Among 52 samples there were five or six peculiar ones like these. On the examination of the coefficient of tension and the plasticity number according to t-table, the error of the former was within about 8% and the latter within about 15%. In the practical field

test it is expected to be more than the above percentage, so it is practical to decide the amount of clay according to A. S. K. method.

Chapter 3. The cutting resistance of the rice paddy field soil.

1) The method and the equipment of laboratory experiments.

The soil in the rotatory tank was carefully puddled with much water and dried naturally like in the rice paddy fields. The use of dynamical wire strain meter was made easy by fixing the cutting tine to the knife holder, and the equipment of the time-marker made the value of measuring exact. It was recorded by pen-writing oscillograph.

2) The relation of the cutting resistance to the cutting velocity.

The change of the cutting resistance to the cutting velocity was very little, and the increasing rate was about 0.2kg per 1 m/s within the range of 0.5~3.7 m/s. It was the same in the case of various moisture content and amount of clay ; while the cutting resistance at a certain velocity was varied remarkably with moisture content. Therefore, the experiments thereafter were tried at the cutting velocity of 2 m/s.

3) The relation of the cutting resistance to the moisture content.

Twelve kinds of soil differing in the amount of clay were experimented. From each sample the experimental formula was found to show the relation of the cutting resistance to the moisture content. The coefficient of cutting varied by the amount of clay, as the coefficient of tension did. The measure of dispersion of the coefficient of cutting in each experimental formula was within about 10% according to the t-table.

4) The relation of the coefficient of cutting, P & Q, to the amount of clay.

P and Q to the amount of clay was found by the least square method ; P was shown by an exponent curve and Q by a simple equation. The coeffi. in this equation was within 17% according to t-table. But the practical experiment in the rice field showed wider variation, so there is no difficulty in its practical use. By this equation, we can find the cutting resistance to any moisture content within the range experimented without trying cutting test, as it was the same with the case of tensile strength. Moreover the experimental formula was found not only about the whole resistance but about the specific resistance divided by the cutting area and the linear resistance divided by the cutting length of the tine.

5) The effect of the cutting breadth of a tine and the tilling pitch.

In the experiments, the cutting breadth of a tine was varied in the range between 5 and 35mm and the tilling pitch in the range between 5 and 60mm. The used tine was made thick so as to make the cutting test possible even at the considerably little moisture content. The result showed that the experimented soil had the point of inflexion at moisture percentage about 22% ; but this is no great matter for practical tillage, and the above experimental formula is quite enough. The effect of cutting breadth heightened as moisture lessened, but at the constant moisture, the cutting resistance increased in proportion to the breadth. But even when the breadth approached to zero, there was some resistance, which is to be added to the above resistances in proportion to the cutting breadth. These relations are the same in the effect of the tilling pitch. To the soil with much moisture, the tines with large cutting breadth is rather better.

6) Comparison of the experiments in the laboratory with that in the rice field.

In the rice field, the experiment was tried with a rotary typed power tiller equipped directly with Tsuchiya's rotary dynamometer. The test in a place was

several repetitions of a straight twenty meter drive. Owing to the rain, the moisture in the experimented soil was very high, and the cutting resistance of a tine was about one and half times that of the laboratory.

7) The condition of the broken soil by cutting.

Classifying by moisture content, the conditions of the broken soil were shown by the pictures. The soil with much moisture was only plastic deformation by compressive action of the tine. The experimented soil with moisture percentage nearly 32%, had the first crack in a part of the tine, and shearing break below 30%, then at about 20% it was crashed into large clod by wedge action. This is almost the same with the moisture content when the maximum shearing resistance occurs. Therefore it is better to till at considerably little moisture below the lower plastic limit.

8) The conclusion.

This study of soil in twelve kinds has produced more decisive and minute effects of the clay amount on the cutting resistance than those of other studies of several kinds of soil. So far, the cutting resistance of Nata-Ba lessens as the cutting proceeds, whereas the cutting resistance in this study was found, under such condition, to give the maximum value. To be exact, the mean value of the changing resistance in the process of cutting should be considered. The safety of the design will be ensured by using the maximum cutting resistance mentioned in this study to a certain tilling pitch. The relation of the coefficient of cutting and the coefficient of tension was found from each experimental formula, and according to this formula, the cutting resistance of a certain soil can be found within 10% error by trying the tension test of the soil.