

## 乾燥土壌の耕うん・碎土に関する基礎的研究

樋口英夫\*

昭和59年7月31日受付

### Fundamental Studies on Tillage and Clod Breaking of Dried Soil

Hideo HIGUCHI\*

In the arid districts, high powered farm machines are used and the troubles and the accidents frequently occur. Then, farmers used to cultivate the field after pre-irrigation to soften the hard soil. But they are not allowed to use much water because the water is very little and a valuable resources.

The rotary tilling tests and the compressive tests of clod were made to gain the datum concerning the water amount decision of pre-irrigation and to gain the datum to design the cultivating machines, suited for the dried field soil. The main results obtained were as follows.

- 1) It was sufficient to provide the water quantity which the dry basis moisture content of the field soil would become to be 15 %, for pre-irrigation in the arid districts.
- 2) When the soil dressing of sand on the farm field was made, the physical property of soil was fairly improved and the tilling work became easier.
- 3) It was most valuable to use the tilling implement, applied impact force, to loose the dried soil.

#### 緒 言

土壌はある限度以上に乾燥すれば、耕うん・碎土を行うのに非常に大きなエネルギーを必要とし、その作業は非常に困難になる<sup>1,2,4)</sup>。特に、土壌中の粘土成分が多いほどその度合は大きくなる。中東などの乾燥地では、雨季(秋~春)の植栽期に備えて、土壌が乾燥している夏に土壌を耕やす作業が行われている。従ってこれらの地域においては、耕うん・碎土に大きなエネルギーを要するために、他の地域に比べて大きなトラクターなどが使用さ

れている。そして、その故障・破損のひん度も多い。また、その作業精度は非常に悪い。そこで、これらの乾燥地の一部の地域では、pre-irrigationといわれる少量のかん水を行い、土壌をいくぶん軟化させた後に耕うん・碎土を行っている。しかし、夏期の乾燥地においては、この水資源は貴重な存在であり、多くの水を使用することは許されない。

本研究は pre-irrigation の水量決定の資料を、また、乾燥土壌用に適した耕うん・碎土機具を開発・設計するための資料を得るために、粘土分の多い土壌の水分と耕う

\* 鳥取大学農学部農業工学科農用作業機械学研究室  
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

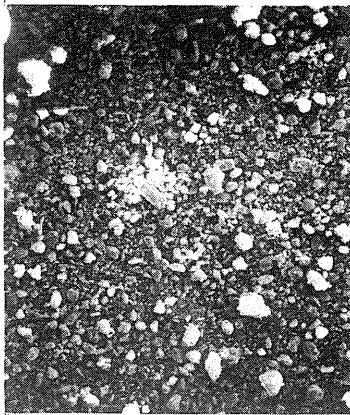
ん・碎土に要する動力との関係を明らかにするために実験を行った。なお、その方法は種々の土壌及び種々の水分状態における一定の大きさの土塊の圧縮破碎と、耕うんづめによる土塊破碎の所要動力の測定によって行った。

### 供 試 土 壌

供試土壌は乾燥地の所々に多く見られる粘土質土壌に類似した土壌を得るために、鳥取市布勢のマサ土を自然乾燥させ、 $600\mu$ のフルイに通し、ベントナイトを重量比において20%加え、さらに、塩を加えた場合と砂を加えた場合の土壌を供試した。塩は $\text{NaCl}$ 、 $\text{MgCl}_2$ 及び $\text{CaCl}_2$ の3種類を用い、その1%及び2%を加えた場合の6種

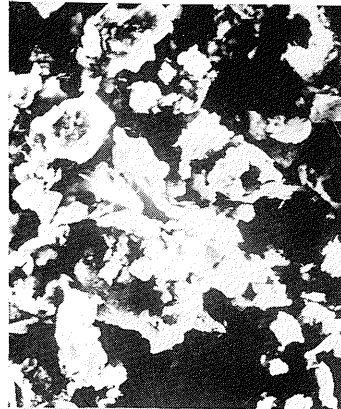
類、鳥取砂丘の砂丘砂を重量比において10、20、30、40及び50%混入させた5種類、また、塩、砂を全く加えないもの1種類、合計12種類の土壌を供試して圧縮による土塊の破碎試験（圧縮試験）と耕うんづめによる土塊の破碎試験（ロータリ試験）を行った。なお、乾燥地の土壌は種々の塩を含んでいる場合が多いため、また、砂は乾燥地の粘土質土壌を改良する一方法として、乾燥地に多く点在する粒子の小さい砂を客土・混入させることを想定し、種々の割合で塩及び砂を混入させた。

圧縮試験においては、内径53mm、高さ130mmのアルミ製円筒容器に液性限界以上（流動状態）の土壌（乾燥土：約350g、水：約150g）を入れ、乾燥炉で種々の水分状態に乾燥させて円筒状の土塊を作った。ロータリ試験にお

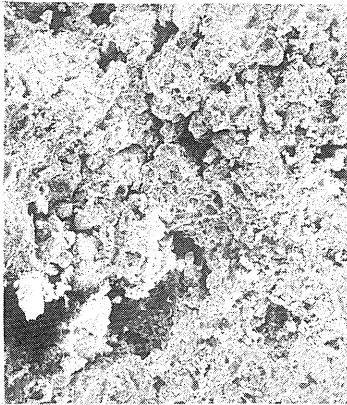


100倍

(a) 供試土壌

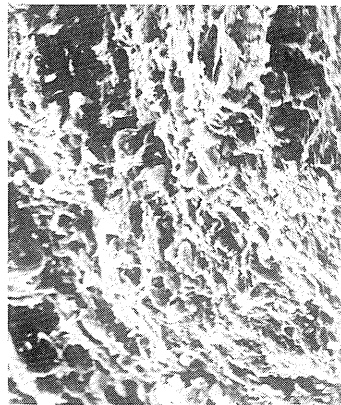


1000倍



100倍

(b) イランの土壌



1000倍

第1図 供試土壌とイランの土壌

いては、長方形の供試土塊作成容器(材質：SPC1,板厚：1.6mm, 大きさ：縦×横×高さ=155mm×120mm×50mm)に流動状態の土壌(乾燥土：約1300g, 水：約500g)を入れ、種々の水分状態の長方形の土塊を作った。

第1図は塩及び砂を加えない供試土塊と、イラン南西部の粘土質土壌を走査型電子顕微鏡によって100倍及び1000倍に拡大したものである。二つの土壌は類似しているが、イランの土壌は土粒子の大きさの変化が少ないことを示した。

第2図は鳥取の砂丘砂とイラン南西部の砂漠地帯に点在する砂を100倍に拡大したものである。これらは形状的には非常に類似していることを示した。

第1表はイラン南西部の土壌(I.S), マサ土にベントナイトだけを加えた場合(Original), NaClを2%(NaCl2%), MgCl<sub>2</sub>を2%(MgCl<sub>2</sub>2%), CaCl<sub>2</sub>を2%(CaCl<sub>2</sub>2%), 砂を10(Sand10%), 20(Sand20%), 30(Sand30%), 40(Sand40%)及び50%(Sand50%)混入した場

合のアッターベルグ限界を示したものである。塩の添加に対してアッターベルグ限界の値はあまり変化しなかったが、砂を加えた場合は著しく変化した。

第1表 供試土のアッターベルグ限界

供試土の種類	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数
I.S	39.0	28.0	11.0
Original	30.5	21.7	8.8
NaCl 2%	26.3	19.3	7.0
MgCl <sub>2</sub> 2%	27.4	20.7	6.7
CaCl <sub>2</sub> 2%	28.1	21.9	6.2
Sand 10%	29.3	20.9	8.4
Sand 20%	23.5	17.6	5.9
Sand 30%	22.6	16.9	5.7
Sand 40%	21.1	17.1	4.1
Sand 50%	20.7	16.5	4.2

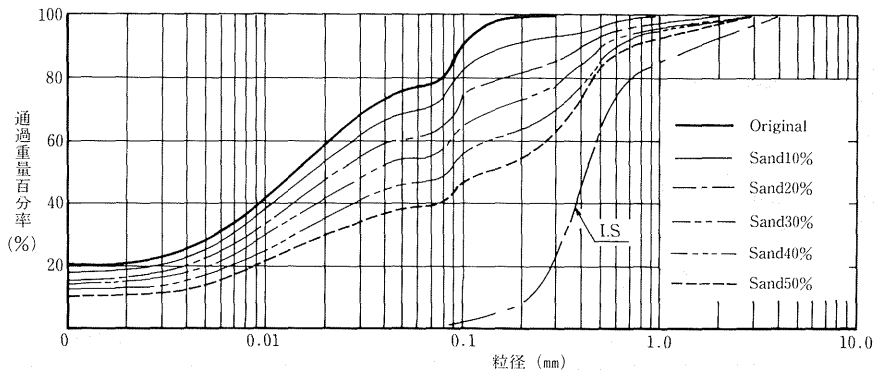


(a) 鳥取の砂丘砂



(b) イランの砂

第2図 鳥取の砂丘砂とイランの砂



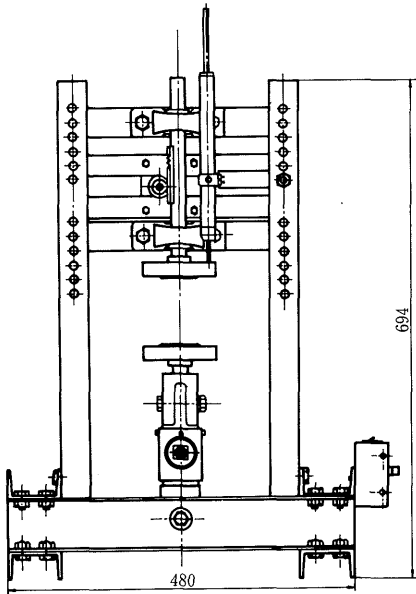
第3図 供試土の粒度曲線

第3図は供試土の一部及びイランの土壌の粒径分布を示したものである。イランの土壌に比較して、供試土は粒径の異なる土粒子が多いことを示した。

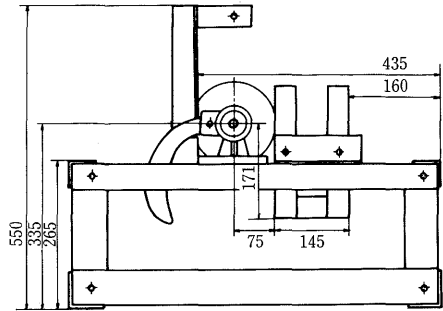
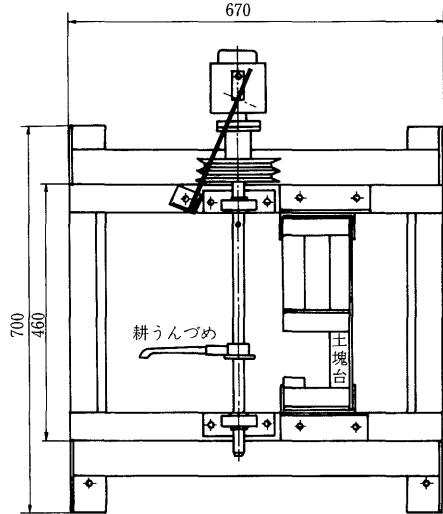
実験装置及び方法

(A) 圧縮試験

第4図は圧縮試験に供試した一軸圧縮試験装置の概要を示したものである。円柱状の種々の供試土塊を一軸圧縮試験装置によって圧縮破碎させ、土塊の土性と水分の



第4図 一軸圧縮試験装置



第5図 ロータリ試験装置

相異なるによる圧縮破碎の難易性を調査した。なお、供試した一軸圧縮試験装置はモーター、ラックにより自動的に圧縮板を上下に変位させる機構のものであり、その変位はDisplace meterにより測定し、XYレコーダーに記録した。

(B) ロータリ試験

第5図はロータリ試験を行った時の実験装置の概要を示したものである。長方形の種々の供試土塊を実験装置の土塊台の上に載せ、モーター及び減速装置により一定速度でロータリ軸を1回転させ、土塊を破碎させた時の最大耕うんトルクをストレンメーターにより測定し、オシログラフに記録させた。また同時に、土塊破碎時の土塊の含水比と土壌硬度の測定も行った。ロータリ軸の回転速度は40, 80, 120及び160rpmの4段階に変化させた。耕うんづめは試作した普通づめとなたづめの2種類を用

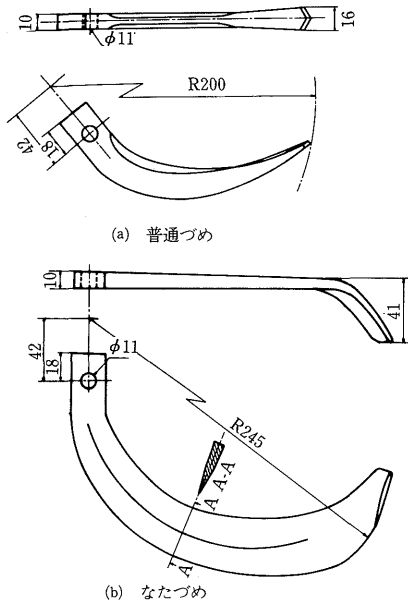
いた。第6図は供試した普通づめとなたづめの概要を示したものである。

実験結果及び考察

(A) 圧縮試験

第7図は塩及び砂を添加しないオリジナルの土塊の場合と、2%のNaCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>を添加した土塊の場合の含水比と圧縮ひずみとの関係を示したものである。圧縮ひずみは含水比の増加に伴ってほぼ2次曲線的に増加した。特に、含水比が15~20%になるとひずみは急激に増加した。しかし、土壌水分が少ない場合は圧縮ひずみの変化は少なかった。

第8図はオリジナルの場合と、2%のNaCl, MgCl<sub>2</sub>及びCaCl<sub>2</sub>を添加した場合の含水比と圧縮強さとの関係を示したものである。圧縮強さは含水比の増加に伴って急



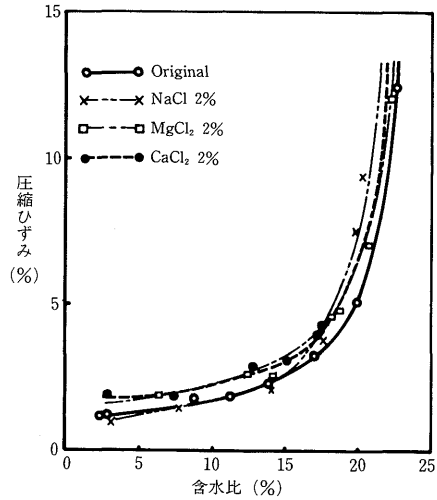
第6図 耕うんづめ

激に減少した。特に、含水比が10~15%までは急激に減少し、それ以上になると減少の度がいくぶん低下した。

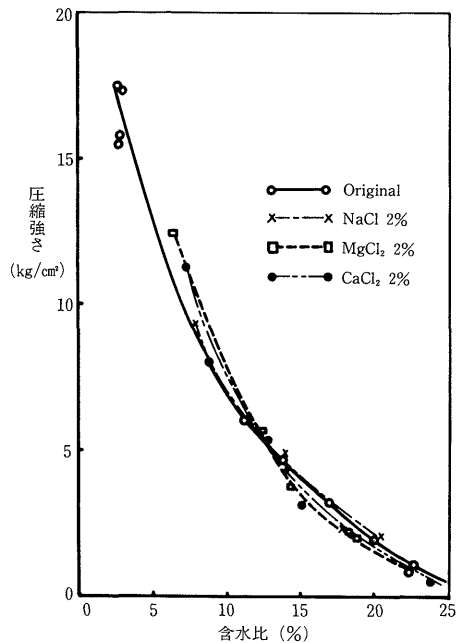
従って乾燥地における pre-irrigation の水量は、耕うん時に耕土の含水比が約10%程度になるような水量をかんがいすれば良いことを示した。また、NaCl, MgCl<sub>2</sub>及びCaCl<sub>2</sub>のいずれを添加した場合も、2%の添加では圧縮ひずみ及び圧縮強さに影響を与えなかった。本実験の塩の添加範囲内では塩の種類による圧縮ひずみ及び圧縮強さの差は現われなかった。塩が土壌の物理的性質を変化させる場合は、土壌に多量の塩が含有している場合と推定される。<sup>1)</sup>

第9図は砂丘砂を添加した土塊の含水比と圧縮強さとの関係を示したものである。圧縮強さは含水比の増加に伴って双曲線的に減少した。特に、含水比が約15%までは急激に減少した。また、砂の含有率が多くなると圧縮強さは小さくなった。砂の混入率が30%の場合は砂が混入していない場合に比べて約30%、50%の場合は約50%も圧縮強さが減少した。すなわち、粘土質土壌に砂を客土・混入させることにより、土壌の物理的性質は改良され、トラクターなどによる耕うん・砕土作業が容易になることを示した。

第10図は砂を混入した場合の土塊の含水比と土壌硬度との関係を示したものである。土壌硬度は含水比の増加に伴って双曲線的に低下した。また、砂の含有率が増加



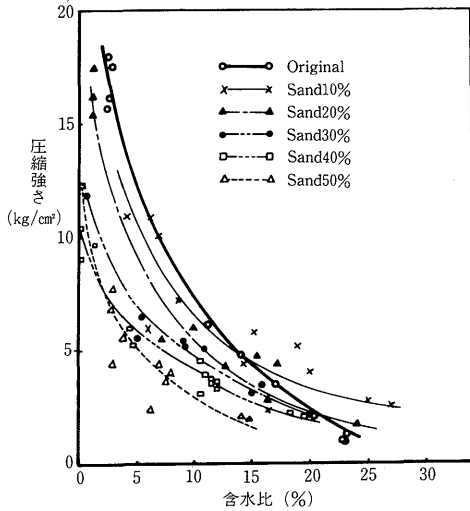
第7図 塩を含んだ土塊の含水比と圧縮ひずみとの関係



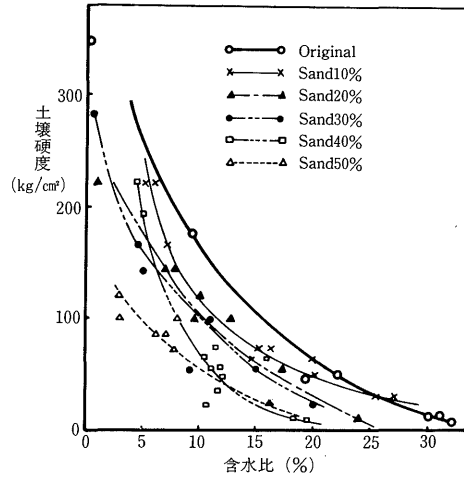
第8図 塩を含んだ土塊の含水比と圧縮強さとの関係

するに従って、土壌硬度は減少する傾向を示した。特に、低含水域では砂が添加していない場合に比較して、砂が30%含有している場合は土壌硬度が30~50%、50%含有している場合は50~80%も減少した。

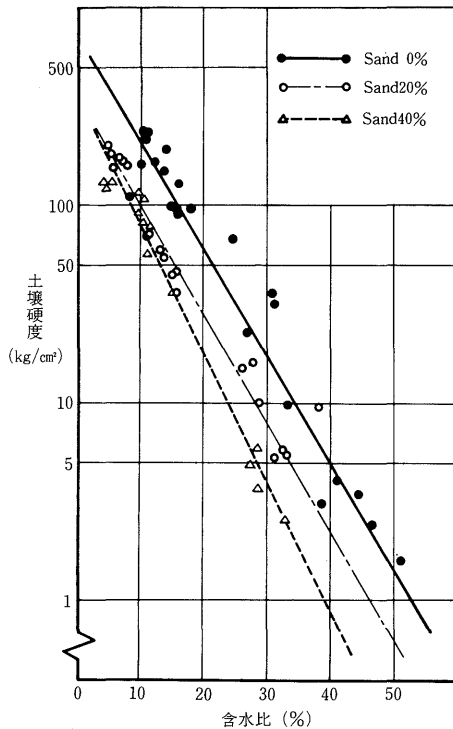
(B) ロータリ試験



第9図 砂を添加した土塊の含水比と圧縮強さとの関係



第10図 圧縮試験に用いた土塊の含水比と土壌硬度との関係



第11図 ロータリ試験に用いた土塊の含水比と土壌硬度との関係

第11図はロータリ試験に供試した土塊の硬度と含水比との関係を示す例として、砂の含有率が0、20及び40%の場合を示したものである。これらの関係を表わす式は

次のとおりであった。

含有率が0%の場合、 $Y=0.12X+6.53, r=-0.98$  (1)

20%の場合、 $Y=0.13X+5.85, r=-0.99$  (2)

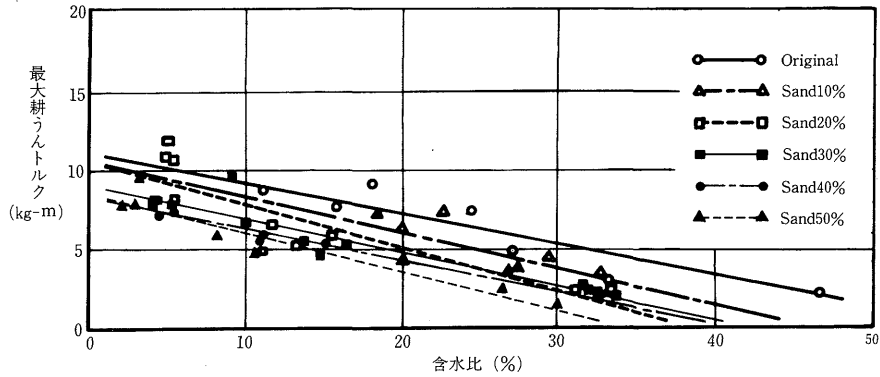
40%の場合、 $Y=0.15X+5.86, r=-0.99$  (3)

ここで、Yは回帰式(X:含水比), rは相関係数を示したものである。供試土塊の硬度と含水比は指数関数的な関係を示し、これらの間にはかなり高い負の相関が認められた。

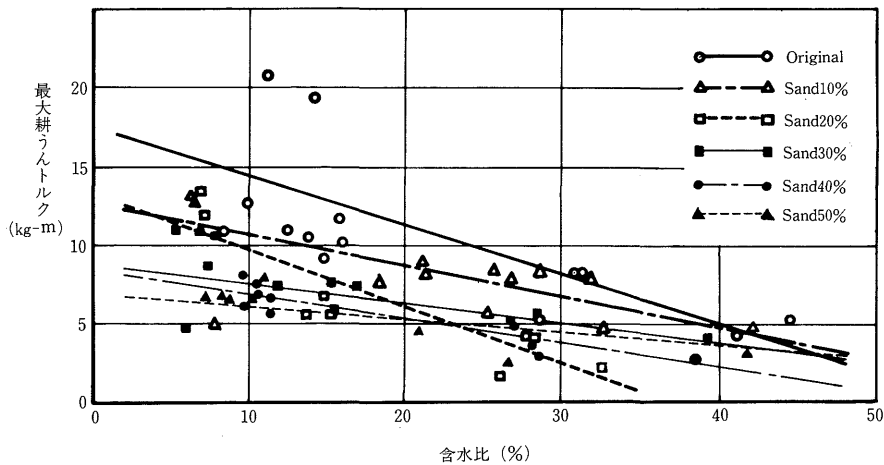
第12図は砂が0、10、20、30、40及び50%混入している土塊を普通づめで、回転速度を一定(80rpm)にして、破碎した場合の含水比と最大耕うんトルクとの関係を示したものである。第13図は第12図の場合と全く同様に、土塊をなたづめで、回転速度を一定(80rpm)にして、破碎した場合の含水比と最大耕うんトルクとの関係を示したものである。普通づめの場合もなたづめの場合も最大耕うんトルクは、含水比の増加に伴って一次関数的に減少した。特に、含水比が少ない場合は、なたづめの方が土塊を破碎するに要する力が多く必要であった。

一般に乾燥した土壌を耕うん・碎土する場合、なたづめは普通づめに比べて大きな力を必要とするといわれている。本実験においても土塊の含水比が約15%以下の時、なたづめの場合は普通づめの場合に比べて、土塊の破碎に要する最大耕うんトルクが約50%も多く必要であった。

耕土や土塊を耕うん・碎土する手法は、原理的に衝撃力による「打碎き」、圧縮力による「圧碎」、重量物による「押碎き」、刃物による「割切り」、先端の鋭利なもの



第12図 含水比と普通づめによる最大耕うんトルクとの関係



第13図 含水比となたづめによる最大耕うんトルクとの関係

によって刺す「刺割り」などの方法があげられているが<sup>3)</sup>、特に固結した乾燥土壌をを小エネルギーで耕うん・碎土するには、打碎き作用を主とする機具を用いるのが有効であることを本実験の結果も示した。また、第12図及び第13図は砂の含有率が少なくなればなるほど、土塊を破碎する時の最大耕うんトルクは大きくなることを示した。例えば低含水域において、砂が30%混入している土塊をなたづめで破碎した場合には、砂が入らない場合に比べて最大耕うんトルクは約50%も低下した。

第14図はなたづめで、砂の含有率及び含水比(W(%))が種々の場合におけるつめの回転速度と最大耕うんトルクとの関係を示したものである。本報告においては普通づめの場合の資料の掲載は省略したが、本実験の条件範囲内においては、普通づめの場合も、なたづめの場合も、回転速度による最大耕うんトルクの差異は認められな

った。

土塊を碎土する場合、最大耕うんトルクに影響を及ぼすと思われる主な因子を砂の含有率、含水比及びつめの回転速度とし、これらが最大耕うんトルクに影響を与える度合を普通づめとなたづめの場合について、重回帰分析によって考察を加えた。なお、普通づめの場合は54組のデータ、なたづめの場合は63組のデータを用い、(4)式を回帰モデルとし、次の様な結果を得た。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + e \quad (4)$$

ここで

Y : 最大耕うんトルク

$\beta_0$  : 回帰定数

$\beta_1 \sim \beta_3$  : 偏回帰定数

e : 誤差

$X_1$  : 砂の含有率

$X_2$  : 含水比  
 $X_3$  : つめの回転速度  
 $R$  : 重相関係数  
 $\beta_1' \sim \beta_3'$  : 標準偏回帰係数

普通づめの場合

$$\begin{bmatrix} \beta_1' \\ \beta_2' \\ \beta_3' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.41 \\ -0.55 \\ 0.02 \end{bmatrix} \quad R=0.91 \quad (5)$$

なたづめの場合

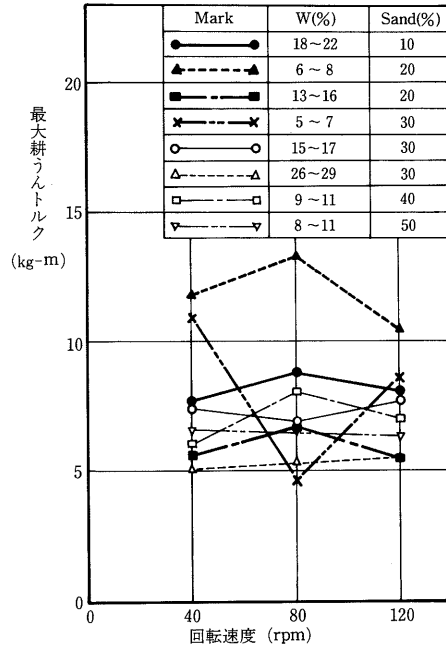
$$\begin{bmatrix} \beta_1' \\ \beta_2' \\ \beta_3' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.35 \\ -0.61 \\ -0.01 \end{bmatrix} \quad R=0.81 \quad (6)$$

この結果、本実験の条件範囲内においては、普通づめ及びなたづめの場合も、最大耕うんトルク、砂の含有量、含水比及びつめの回転速度の因子の間には高い相関があることを示した。また、含水比、砂の含有率、つめの回転速度の順に、これらが最大耕うんトルクに影響を与えていることを示した。

総 括

乾燥地を農業開発する立場より、粘土質の乾燥土壌に適した耕うん・砕土器具を開発・設計するための資料を得るために、また、水資源の乏しい乾燥地での pre-irrigation の水量決定の資料を得るために、粘土分の多い土塊の圧縮破砕による圧縮試験と、耕うんづめによる土塊破砕のロータリ試験を行った結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 粘土質の土壌に砂を混入すると、土壌の物理的性質は相当に改善され、トラクターなどによる耕うん・砕土作業が容易になる。
- 2) 土塊の圧縮強さは、含水比の増加に伴って双曲線の関数的に減少した。また、圧縮ひずみは含水比の増加に伴って2次関数的に増加した。特に、含水比が10%以上になると土塊の圧縮ひずみは急激に増加した。従って、乾燥地における pre-irrigation の水量は、耕土の含水比が約10%になるようなかんがい水量を与えれば十分であることを示した。
- 3) 2%程度の NaCl, MgCl<sub>2</sub>, あるいは、CaCl<sub>2</sub>の塩の添加では土壌の物理的性質はほとんど変化しなかった。
- 4) 固結した乾燥土壌を小エネルギーで耕うん・砕土するには、衝撃力のような打砕き作用を主とする耕うん機具を用いた方が有効であることを示した。
- 5) 土塊を耕うんづめによって破砕するロータリ試験を行い、そのデータを重回帰分析により解析した結果、



第14図 回転速度となたづめによる最大耕うんトルクとの関係

土塊を砕土するに要する力は、土壌の含水比、砂の含有率、つめの回転速度の順に影響されていることを示した。

最後に本研究の遂行にあたり、協力をいただいた本大学の筑紫二郎先生及び本研究室の専攻生であった方々に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 長 智男・他4名：中近東乾燥地域の農業開発にもなうカンガイ方式と水管理に関する調査研究 (1). 鳥取大学農学部附属砂丘利用研究施設水文かんがい部門, 鳥取 (1977) pp. 10-15
- 2) 樋口英夫：中東乾燥地域における農業開発の諸問題. 農業機械学会誌, 40 (3) 92-95 (1978)
- 3) 農業機械学会：農業機械ハンドブック・コロナ社, 東京 (1969) pp. 480-481
- 4) 矢野友久・他6名：中近東乾燥地域の農業開発にもなうカンガイ方式と水管理に関する調査研究 (2). 鳥取大学農学部附属砂丘利用研究施設水文かんがい部門, 鳥取 (1979) pp. 11-14