

# 御挨拶を兼ねて

山 中 金 次 郎

一昨年春、土肥肥料学会会期中に内輪の集り程度に発足した本会はその後予想外の発展を続け、昨春会誌第一号の発刊を機として会の組織を整理するために評議員10名が推薦され、又その互選に依つて会長が指名される事になりました。

この様にして昨春の会長指名に依つて私が第一回の会長をお引受けする事になりましたが、これは光栄であると同時にその任に堪え得るやについて甚だ不安を感じる次第でもあります。

土肥物理はとかく難解とされ且つ敬遠されて来ただけに会を発展させてゆく事には困難な事情が伴うと考えざるを得ません。この点につき会員の皆様の御指導と御力添えを御願ひし、この分野の発展に対して努力をしたいと念じております。

土肥物理がその本来の重要性を広く認識させ、且つこれを有効に各部門にとり入れて貰うためには本会の方針として次の様な事が前提的にとらえる事と考えます。

即ち、研究の成果を可及的にわかり易い、肩の凝らない様式に表現し、薔式の様なものに簡素化して表示する事が一つでありましょう。次に農業分野に対しては生産性と有機的な連関に絶えず注意し、純粋の基礎研究は農耕、肥培、土木、築業、道路等の各分野に貢献できる様に視野を広くとる事が考えられます。

要言すれば非常に程度の高い内容を非常に分り易い様式に表現するための努力が必要と考えます。

幸に第2号は第1号より更に充実した内容と立派な外観を持つて発刊出来ました事は慶びに堪えない次第であり、更に今後の大きな発展が期待されます。

以上甚だ不束乍ら、所感の一端を述べて御挨拶と致したく存じます。

## 論 説

### 耕耘機具と土壤の物理性・力学性

鎧 木 豪 夫

(関東東山農試)

耕耘という作業は農業の発祥と同時に始められたと思われるが、その理論はまだ確立されていない。元来、耕耘作業は、ある種の機具によつて土壤に何らかの変化を与え、その土壤の理化学性が作用の生育に影響する過程を指すものと思われるから、その研究分野も、耕耘機具と土壤の物理性に関する面と、土壤の物理性と作物に関する面とに分けられる。ここでは前者をとり上げて、その発展の概要を述べてみようと思う。

#### 1. 土 壤 抵 抗 の 測 定

耕耘機具による土壤抵抗はがつて動力の測定はもつ

とも早くから手掛けられた事項である。これは直接役畜やトラクタの牽引能力を左右する因子であるから、もつとも現実的な問題でもあつた。この目的に使用された動力計 (Dynamometer) は、当初、簡単な自記録装置を備えたバネ秤であつたが、その後各種の油圧式動力計が考案されて、現在なお使用されている。動力計による土壤抵抗の測定は多くの人々によつて行われているが、もつとも有名で歴史的な事例は Rothamsted における Keen & Haines<sup>1)</sup> の実験であろう。彼等はブルドン管による油圧動力計を用いてプラウによる土壤抵抗を測定したが、かなり均一に処理した圃場においても、場所により土壤抵抗にかなり大きな差異を認めた。このような

方法で耕耘機具の良否を論ずる際には、土壌抵抗は試験圃場全体にわたって均一であるという仮定に基かざるを得ない。それが不均一であるということになると、結果は根底から覆がえるわけで、ここに最初の困難があつた。

そこで供試土壌をなるべく均一な状態に保ち得ると思われる、土壌を容器に詰めて模型機具を用いる実験が行われるようになった。この種の実験は各国で行われているが、もつとも顕著なものは後述の Nichos の実験である。この模型実験により土壌抵抗しがつてこれを基にしたプラウ等の設計理論にかなりの進歩が見られたが、なお次のような疑点が残る。極端ないい方をすれば、われわれの目的にかなうような均一さに土を詰め得る容積は、厳密には10cm立方位ではないかということである。さらに一步譲つて、かなり均一に土を容器に詰め得たとしても、模型を用いる以上、その力学的相似性を予め検証して置かねばならない、という問題がある。この問題はそう簡単には解決されそうもない。

そこで次の段階として考えられたのが、いわゆる人工圃場 (Soil Bins ; Bodenrinne) である。これは相当な広さを有するコンクリート枠にそれぞれ各種の土壌を詰め、コンクリート壁上にレールを敷設して、その上を土壌処理車 (Soil-fitting Unit)、動力車 (Power Car)、測定車 (Instrument Car) などを走らせ、測定車には実物の機具をとり付ける。土壌処理をなるべく均一に行い、しかも実物を使用する方法であるから、いわば室内模型試験と圃場試験との中間段階ともいうべき方法である。この装置は、米国、ドイツ、ソ連などに設けられているが、有名なのは米国アラバマ州オーバン市にある農務省耕耘機械研究所の施設である。わが国でも1957年関東東山農業試験場に人工圃場が設けられた。

一方、計測法の発展に伴い、耕耘機具の全抵抗のみならず、6分力の測定が可能になつた。この目的に現在使用されているのは電気抵抗線式歪計である。この方法は、慣性が非常に小さいので変動の激しいトルクまたは尖頭値の測定に適するのはもちろんであるが、比較的短時間に狭い面積で各種条件下の測定が可能であるから、この種の実験に好適である。本文においては得られた結果の詳細は省略するが、プラウ<sup>4,5)</sup> についていえば、あらゆる土において、比抵抗の水平分力は耕深と共に抛物線的に増加するが、垂直分力および側方分力は耕深に対してほとんど一定と見なし得る場合が多い。しかもこれらの結果はまだ定性的な域を脱せず、定量的段階にまで達していないのが現状である。

さらに土壌抵抗については、耕耘前後の土壌の変化ま

たは役畜やトラクタによる締固めの影響などを調査する目的で、各種の土壌硬度計 (Soil Hardness Tester or Penetrometer) が試作された。その物理的意味はなお明確を欠くものが多いが、実用的な比較値を得る目的で、現在かなり広く使用されている。

## 2. 土 壌 反 力 の 解 析

耕耘機具によつて土壌に加えられた力しがつてこれに対する土壌の抵抗(反力)の解析は、機具の設計上極めて重要なことと考えられた。いいかえれば、この問題は土壌の反力が如何なる物理的性質に基いて発現するものであるか、という命題である。ここでは主として Nichols<sup>2)</sup> の説を紹介する。

Nichols が考慮に入れた土壌の力学的性質は(1)圧縮抵抗 (2)剪断抵抗 (3)凝集力 (4)粘着力 (5)摩擦抵抗であつて、これらの性質は (1)土粒子の大きさ (2)コロイド含量 (3)含水量 (4)有機物 (5)仮比重 (6)コロイドの化学的性質によつて変化するものと考えた。

精神的な実験の結果、Nichols は、あらゆる土の反力はコロイド粒子上の水膜水分に基くものであることを認めた。非塑性土の反力を生ずる含水量域における位置と量は、コロイド含量から決定されるものとし、次式を示した。

$$F = K4\pi RT \cos \alpha / D$$

但し F : 力, R : 粒子の半径, T : 表面張力

$\alpha$  : 液体と粒子の接触角, D : 含水量, K : 常数  
また塑性土の反力を生ずる含水量域における位置と量は、塑性指数によつて示されるとした。

また土と金属との間の摩擦現象は4つの相に分類され、各相は、土の支持力、含水量および金属面の圧力によつて定まるほか、コロイド含量が決定的な影響を与える。そして非塑性土については、摩擦抵抗の値と各相を生ずる含水量を定めるための近似式を導き、塑性土については、含有コロイドの吸着作用が重要となり、塑性指数が摩擦抵抗の指標として用いられることを認めた。

次に塑性土の剪断抵抗は、加えられた圧力に比例し、且つその最大値は塑性指数に比例する。しかも剪断抵抗は含水量と共にほぼ直線的に増加し、その最大値は塑性限界付近において起り、その後は液性限界付近に向つて直線的に減少する。非塑性土の剪断抵抗は、土が多量のコロイドを含む場合には塑性土と似ている。しかもその剪断値は土粒子の粒形、粒径および粗度によつて決まる。また純砂は含水量が増加しても剪断抵抗はほとんど増加しないことを認めた。

以上の基礎実験を行つた後、Nichols は模型および實際のプラウを用いて、その作用を観察した結果、プラウ曲面を3部に分ち、(1)土を切断する楔部（主としてスキ先）(2)破砕部(3)反転部とした。しかもプラウの發土板上で大部分を占めるのは破砕部で、この部分における圧力を等しくするには、土塊が剪断面上で等加速運動をするような曲面となすべきことを理論的に示した。この地側板に平行な平面で切つた曲線は、 $z=ae^{bx}$  で与えられる。また土塊の反転は渦線すなわち等圧曲線に沿うて行われることも分つた。この場合における土粒子の経路の射影は一體的に、 $r=ae^{m\theta}$  で与えられる等角渦線の一部であつた。すなわち、Nichols がプラウ設計の基礎として与えた力学的概念は等圧面である。

### 3. 土質力学的研究

上述の Keen of Haines および Nichols & Kummer に続く研究者は、ほとんど土壤抵抗に関する実験的研究に終始しあまり多くの発展がなかつた。これらの研究は前二者の研究をも含めて、土壤の力学的性質とプラウの設計とを本質的に統一するまでに至つていない。またどちらかといへば、プラウ曲面を与えて、その面上での土塊の軌跡や力の関係を求めたものである。元來、プラウの設計に當つては、その逆に、使用する土質や目的に適した曲面形が決定したいのである。このような観点から、わが国においても川村<sup>6)</sup>は、プラウ曲面を土塊底面の画く線織面と考え、土塊の通路曲線によつて表わす方法を用い、通路曲線の曲率半径、振り率を曲線長あるいはその偏角の函数とする自然方程式で表わした。

同氏はまず撚転型プラウの形状を Constant Scouring の性質を与える曲面として考察し、その結果、曲面として土塊の通路曲線を対数螺旋線として与えればよいことを認めた。これは土の強度を考慮しない近似的方法である。次に撚転型プラウの対象とする土の力学的性質をほぼ塑性的として、土の強度を考慮した解を求めた。この際、曲面の微小部分に作用する土塊の重量・遠心力・土塊の強度による圧力・摩擦力が、土塊の塑性振り曲げを与えらるゝとして計算した。また曲げに対しては、土の圧縮抵抗は指數的關係の粘弾性体であり、振りは完全塑性体に近いものとした。全發土板抵抗は微小部分の力を通路に沿つて積分したもので、この抵抗を最小にするような曲面形を変分法によつて求めた。その結果は、曲面形は

發土板上部では土塊の通路曲線を対数螺旋線に近い形に、發土板の翼に近い部分は円弧に与えればよいことが分つた。この曲面は近似法の曲面よりも抵抗で12~15%減少すると共に、發土板上における直圧力はほぼ直線的に変化し、著しく Constant Scouring の条件がよく、摩耗や土の付着防止に好結果を与えるものである。

さらに同氏は、プラウ抵抗の大きな割合を占めるスキ先の切削破砕作用を研究した。まず基礎実験として二次元切削を行い、切削角、深さを變えて、牽引抵抗、滑り面、土の浮上りなどを観測した。この土の切削破砕の現象を統一的に説明する理論として、土の切削時の条件について土の塑性平衡式を解いた。この解は実験とよく一致し、普通土圧論では説明し得ない滑り面の形・滑り角・切削深さより深く滑り面がはいる現象などをよく説明してくれるようである。

さいきん諸外国とくに英国、ソ連などにおいても耕耘機具の土質力学的研究に着手する研究者が増加してきた。英国の Payne<sup>7)</sup>は、もつとも簡単な形の垂直板を用いて、この問題への接近を行つている。すなわち、彼は土の応力が最大値またはこれより少し低い値で一定値を保つている場合でも歪みが行われることに着目し、弾性論よりも塑性論の方が適しているとして、垂直板による土の切削破砕現象を考察している。

今後この方面の研究が進むにつれて、耕耘の理論が体系付けられるに至るであろう。

### 文 献

- 1) Keen, B. A.; Haines, W. B. : Studies in Soil Cultivation I~III, *J. Agr. Sci.* 15 (1925)
- 2) Nichols, M. L. : Methods of Research in Soil Dynamics as Applied to Implement Design, *Alabama Exp. Sta. Bull.* No. 229 (1929)
- 3) The Tillage Machinery Laboratory of USDA, ARS Series 42-9 (1957)
- 4) Randolph, J. W.; Reed, I. F. : Tests of Tillage Tools II. *Agr. Eng.* 19(1) (1938)
- 5) Getzlaff, G. : Messung der Kraftkomponenten an einem Pflugkörper, *Grundl. d. Landtech.*, 1 (1951)
- 6) 川村登 : プラウ曲面の研究 (1~4), *農機誌* 13 (1952); 14 (1953); 15 (1954)
- 7) Payne, P. C. J. : The Relationship between the Mechanical Properties of Soil and the Performance of Simple Cultivation Implements, *J. Agr. Eng. Res.* 1 (1) (1956)