

# Soil tilth の判定法について

米 田 茂 男

(岡山大学農学部)

## はじめに

農耕地土壌としての物理的性質の良否の判定は、通常次の2つの観点から下されている。その第1は、作物生育の培地としてみた場合の、土壌の物理的環境を規定する土壌性質の問題であり、第2は耕耘の難易を規定する土壌性質の問題である。しかして作物の生育培地として好適した物理的環境とは、常識的には畑地の場合、通気性、保水力および透水性の良好な状態と解釈されているが、かかる因子は多分に土壌構造に関連した諸性質である。他方耕耘の難易を規定する因子としては、土壌の凝集力、可塑性および土壌と耕具との表面摩擦等があり、これらの因子は明らかに土壌の緊硬度 (Consistency) に関連した諸性質である。ここにいう土壌の緊硬度とは、各種の水分子状態において土壌中に働く凝集力および粘着力なる物理的力の現われとして示される諸性質と定義され、具体的には土壌の圧縮、切断、貫入に対する抵抗性および碎易性、粘着性、可塑性のような物理的性質として発現される。緊硬度は土壌の固有性質によつて異なるばかりでなく、同一土壌においても水分含量の変化に伴つて変動する動的性質である。

しかして実際問題としては、作物生育に好適した物理的環境は、多くの場合耕耘も又容易に行うる状態にあり、従つてこの両者を規定する土壌の物理的性質は相互に密接な関係にあることが察せられる。Baver<sup>2)</sup> も "Soil tilth とは土壌緊硬度の一定範囲内で現われる土壌のある構造上の性質を基礎とし規定されるであろう" と述べている。

周知のごとく Soil tilth の土壌物理的解明は地力研究の一環として多年の研究課題であり、従来各種の測定法が提案されているが、その多くは粒団化度、孔隙率、針入度および圧縮度の測定に基礎をおく方法であり、これによつても既往の作物生育および耕耘に関係ある土壌性質の評価、判定が主として構造および緊硬度の両見地から行われていることが判る。

筆者もこれまで干拓地土壌の物理的性質の相違および変化を主として Soil tilth の見地から究明するに当り、上記の線に沿つて土壌の構造および緊硬度の相違と変化の測定を中心として実験を進めてきた。その結果かなり

の程度にまで Soil tilth の実態を判別できることを知つたので、以下測定法の概要を紹介する。なお以下に掲げる測定法によつて、どの程度にまで物理性の差異を判別できるか、を示す実験例として、重粘なる干拓初期の未耕土を用いて調製した Ca-土壌と Na-土壌の各測定値の比較成績を参考として掲げる。

## 1 土壌の構造を規定する土壌因子の測定法

土壌構造の評価、判定には従来粒子の排列様式、粒団の形状及び接合型の肉眼的又は顕微鏡的観察にもとづく直接法並びに孔隙性、透水性及び粒団生成状態の測定にもとづく間接法が一般に採用されている。しかしてわが国のごとく水田耕作に重点をおく場合は当然液性形態においての土壌の行動が問題となるところから、筆者は土壌懸濁液の分散状態と水中沈定容積、分散度の測定に加えて粗粒団と微粒団の粒団化度とその安定度、透水度等を測定<sup>12,13)</sup> した。

### 1. 土壌懸濁液の安定度及び水中沈定容積の測定法

乾土 20g 相当量の未風乾土をビーカーにとり、水約 20cc を加えて捏和せる後真空デシケーター中にて減圧、処理し、次に内容物を 100cc 有径メスシリンダーに移し、振盪せる後48時間放置して分散状態および沈定容積を読み、供試土 1g 当りの cc 数を算出した。

### 2. 分散度の測定法

粒団分析を行わずして土壌の粒団生成状態の概況を表示できる簡単な土壌常数の1つとして Puri<sup>5)</sup> は分散因子および分散係数を、Middleton<sup>4)</sup> および Vageler<sup>7)</sup> は分散率を提案している。筆者は未風乾土を用い、予措として試料を一昼夜水中に浸漬せる後30分間振盪し、然る後ピペット法にて粒径 0.02mm 以下の粒子を定量し、分散因子および分散率を求めた。ここにいう分散因子とは、かかる測定法にて求めた実測値、分散率とはその値を完全分散法にて求めた究極粒子の百分率にて示した結果で、土壌が解膠、分散性を増すに伴つて、その値は

100% に近づく。

### 3. 粒団化度と粒団安定度の測定法

粗粒団の生成状態を検知する方法としては Russell および Tamhane<sup>6)</sup> の報ずる Rothamsted 法に準じて、未風乾土を供試して湿式篩別法による粒団分析を行い、径 4~2mm および径 2~0.25mm の粒団の量を測定せる後、粒団化度を算出した。次に微粒団の生成状態を検知する目的で、未風乾土を直接に A・S・K 法によつて淘汰分析を行い、径 0.05mm 以上及び 0.01mm 以上の粒団の粒団化度は算出した。

粒団化度の算出法を次のとおりである。まず粒団分析によつて求めた任意の規準粒徑以上の粒団の百分率から、該粒徑以上の究極粒子の百分率を控除して集合状態を求める。次に該規準粒徑以下の究極粒子に対する集合状態の百分率を求め、これをもつて粒団化度とする。なお究極粒子の値としては、常法により A・S・K 法にて求めた値を用いた。

本法によつて水中にて安定なる粒団、すなわち耐水性粒団の生成状態の概況が判定できるが、更にこれら粒団の相対的安定度を詳しく判別する必要がある場合には Bayer および Rhoades<sup>1)</sup> の方法に準じて、予措において水中での振盪時間を次第に増加し、その各々の場合においての粒団化度を測定<sup>12)</sup> し、その変化の状態を比較することによつて求めることができる。

### 4. 透水性の測定法

Gilboy<sup>3)</sup> の変水位透水性測定装置を用い、風乾細土を密の状態に容器につめた場合の透水係数  $k$  を次式より算出した。

$$k = \frac{aL}{A} \frac{1}{t_1 - t_2} \log_e \frac{H_1}{H_2}$$

$a$  : 直立管の断面積  $A$  : 試料の断面積

$L$  : 試料の長さ

$t_1$  時の水位を  $H_1$ ,  $t_2$  時の水位を  $H_2$

しかして本測定値は圃場における土壌の透水係数を示すものでなく、供試土壌間の相対的比較値を意味する。しかして測定容器に自然状態で、土壌の構造を壊さないように試料を採取して本測定を行えば圃場における透水係数が求められる。

### 5. Ca-土壌と Na-土壌の構造の比較値

筆者の調製した Ca-土壌と Na-土壌を供試して、上記の諸性質を測定した結果は第 1 表および第 2 表に示すとおりである。

第 1 表 pH, 懸濁度, 分散度及び透水性

試料	pH (H <sub>2</sub> O)	懸濁* 状態	水中沈底容 cc/g	分散率 %	透水係数 k cm/hour
Ca-土壌	6.28	—	1.65	50.78	0.0310110
Na-土壌	6.83	≡	(全分散)	90.89	0.0005156

\* — 完全凝固, ≡ 完全分散

第 2 表 粒団化度

試料	篩別法 >0.25mm %	A・S・K 法	
		>0.05mm %	>0.01mm %
Ca-土壌	12.28	35.37	50.68
Na-土壌	-0.90	18.61	32.18

懸濁状態: Ca-土壌はほぼ完全に凝固, 沈定し, 沈定容積は土壌 1g 当り 1.65cc を示すに対し, Na-土壌は完全なる解膠, 分散状態を呈し, 沈底容積は識別できない。

分散率: Na-土壌の分散率は 90.89% を示すに対し, Ca-土壌の分散率は 50.78% である。

粒団化度: 粒徑 0.25mm 以上の粗粒団については Na-土壌が全くこれを欠くに対して, Ca-土壌は 12.28% を示した。次に微粒団の粒団化度をみるに, Na-土壌は Ca-土壌に比べて劣るが, かなりの粒団化度を示した。これは重粘土の風乾試料は水中での再分散がきわめて困難なことにもとづくと考えられる。

透水性: Na-土壌の透水係数は Ca-土壌の約 60分の 1 で, 大差がみられた。

以上の結果から, 筆者の提案する土壌構造に関する諸性質の測定法は土壌間差異を明らかに示し, 構造の評価, 判定法として役立つことが判る。

## II 土壌の緊硬度の測定法

土壌は固相と液相の比率を異にするに従つて固体から懸濁液に至るまでの各種の形態を呈し, これを剛性, 可塑性および液性の 3 主要形態に大別できる。しかして一般に土壌管理と直接関係があるのは可塑性および剛性形態において示される諸性質である。よつて筆者<sup>11)</sup> は可塑性に関する性質として可塑性限界, 液性限界および可塑性指数を, 又剛性に関する性質として固結度と連結度を測定した。

最近では Soil tilth の判定基準として, 多くの研究者は種々の貫入試験器を考案し, 本器を耕土中に貫入す

るに要する力をもつて1つの指標としている、又 Baver<sup>2)</sup>は軟剛性形態は碎易性によつて、硬剛性形態は堅硬性によつて特徴づけられる、と述べているが、筆者<sup>13,14)</sup>は両剛性形態における緊硬度の相違と含水量に伴う凝集力の変化を判定する目的で針入度と圧砕度を測定した。

## 1. 針入度の測定法

Hilgard 法<sup>4)</sup>により内容 25cc、深さ 1cm の有孔真鍮性円筒に供試土壌をつめ、まず最大含水量を測定する。本測定が終了した後、試料を室内に放置して次第に水分を蒸発させながら、順次測定器によつて針入抵抗を測定する。本抵抗の測定装置としては山中<sup>9)</sup>の設計になる桿槓式装置を用い、附属の鋼鉄製刃の代りにアスファルトの針入度測定器に附属せる標準針をとりつける。試料を容器と共に台座にのせ、台座の下の微動装置を上下して標準針の先鋒を試料の表面に接近させ、精密に合わせる。次に荷重を加えて標準針が土壌を貫入して容器の底部に達するまでの全荷重の kg 数をもつて針入度とする。

本測定においては同一試料を用いて十数回の測定が可能であるので、含水量の変化に伴う針入抵抗の推移を簡単に比較、判定することができる。

## 2. 圧砕度の測定法

剛性形態における緊硬度の比較値を求め一方、含水量の減少に伴う凝集力の変化を解明する目的で、成型試片についての圧砕抵抗を測定した。

試料の成型器としては内径 1cm、長さ 7cm の硬質硝子管を用いた。まず風乾細土を磁製蒸発皿にとり、これに可塑水分を加えて籠にて十分練塑せる後 4 日間以上放置して吸水せしめる。次に成型用硝子管に試料を均一につめるには次の方法によつた。径約 3cm の秤量瓶に可塑試料を注意して緊密につめ、これに成型用硝子管を辛うじて挿入できる円孔を開けたゴム栓を施す。次に予め内側にグリースを塗布した成型用硝子管をゴム栓の円孔から秤量瓶の内部に向けて挿入する。この操作によつて可塑試料を成型器に均一につめることができる。次に成型器の一端より硝子棒を挿入して試料を硝子板上に取りだし放置して試料の粘着性が小となつたとき長さ 1cm の小片に切断する。本試料を徐々に乾燥させながら順次圧砕器にかけて圧砕抵抗を測定し、終れば水分を量定した。

成型試片の圧砕抵抗の測定装置としては、上記針入抵抗の場合と同様に桿槓式装置を用い、標準針の代りに径 3cm の鋼鉄製の円板をとりつけ、これによつて試片を

圧砕した。

## 3. 固結度及び連結度の測定法

剛性形態における緊硬度の比較は、通常乾燥試片の圧砕抵抗又は切断抵抗によつて示される。筆者は硬剛性形態において発現される剛性を判定する目的で、山中<sup>9)</sup>の方法に準拠し、これを少しく変更して成型試片の切断抵抗を測定し、固結度および連結度を求めた。

固結度とは予め試料に可塑水分を加え、十分に練塑して粒団を可及的に破壊し、単粒化して成型せる試片についての切断抵抗であり、従つて固結度は土壌管理を誤つて可塑形態において耕耘し、土壌を捏和、単粒化した場合に発現する剛性の極大値を示すものと解釈する。これに対して連結度とは、成型器に風乾細土をつめ、これを毛管力にて下部から吸水させて成型せる試料についての切断抵抗で、この場合は土壌中に存在する粒団、とくに構造単位をなるべく崩壊せしめない、いわば土壌が自然の乾燥時に示す剛性を意味している。次に筆者は固結度と連結度の比率を次式によつて求め、剛性率を算出した。切断抵抗の測定に同形の成型器を用いたのもそのためである。

$$\text{剛性率} = \text{連結度} / \text{固結度} \times 100$$

本測定を行うに当り、固結度の測定用の試片は前記圧砕度の測定の場合と同一の方法で、成型、調製し、これを 60°C にて乾燥した後、切断抵抗を測定した。

次に連結度測定用の試片を作るには、予め内側にグリースを塗布せる前記の硝子成型管の一端に濾紙および布を以て底を作り、他端から径 1mm の篩を通過した風乾細土を密につめ、然る後水中に立てて毛管力にて 5~7 日間吸水させた。以後の操作は固結度の場合と同様に行い、試片は 60°C にて、乾燥調製した。

切断抵抗は前記の桿槓式装置を用い、鋼鉄製の刃(角度 13°)によつて試片を切断するに要する荷重の数を以て示した。

## 4. 緊硬限界の測定法

### 1) 可塑性限界の測定法

軟剛性形態と硬可塑性形態の限界を現わす可塑性限界とは、一般に土壌を指にて捏和して単粒構造物質になしうる最低水分状態と解釈されている。現在広く採用されている Atterberg の測定法<sup>8,10)</sup>では、重粘土又は砂土については終点の判定がやや困難で、実験誤差も少ないので筆者は次の方法を考案した。

粘土粒子を包む水の皮膜が十分に厚い場合は粒子は膨潤し、土粒の定位および滑動が起る結果、土壌は可塑性

を現わす。然るに含水量がある限度まで減少して水分子が粒子表面で薄層を形成する形態になると、土壌は半固体の軟剛性形態に移行し、凝集力は減少して碎易性を示す一方、土色も暗色から次第に明色に変ずる。以上の原理にもとずき、筆者は前記圧砕度の測定の場合と同様の方法で、可塑性形態において成型した試片を調製し、この試片についての含水量の減少に伴う荷重の増加量と試片の圧砕時の状態の観察結果とから硬可塑性形態から軟剛性形態への転移点を判定し、この時の含水量を求めて可塑性限界とした。従つて本法によれば可塑性限界と圧砕度の変化を同時に測定することができる。なお転移点は次のごとく判定した。

含水量の減少に伴い圧砕に要する荷重の増加と同時に圧砕試片の可塑性、亀裂の生成状態又は圧砕状態は次のごとく変化する。すなわち可塑性形態においては荷重は僅かながらも次第に増加し、始めは試片は扁平となるだけで分裂しないが、転移点に近づくにつれて可塑性は小となり、ついに試片は圧砕後辛うじて分離しない状態から、試片を圧砕器からとりはずすと同時に数個に分裂する状態となる。この2つの段階では荷重はほとんど同一の値を示し、筆者はこの両段階に相当する試片の含水量の平均値を以て可塑性限界と定めた。

しかして更に含水量が減少して、この段階を通過した直後において、荷重は一時減少し、試片も明らかに崩壊、分裂し、又土色も暗色から明色に転じて、軟剛性形態に移行したことを現わす。以後は含水量の減少と共に荷重は急激に増大し、硬剛性形態の特徴を示すに至る。

## 2) 液性形態の測定法

液性限界の測定にはCasagrande液性限界測定装置<sup>3,10)</sup>を用いた。本装置は真鍮製皿と硬質ゴム製台にとりつけた伝導突子からなる。測定に当つては、まず試料を磁製皿にとり、水を加えて糊状に十練塑して4日間以上放置する。然る後可塑試料を真鍮製皿に移し、表面を平滑となしたる後、附属の作器にてV字型の溝を切り、試料を2分にする。次に毎秒2回の速度でクランクを回転する操作によつて1cmの高さより皿を落加させ、衝撃を加えて溝が合流するに至るまでに要する回転数と、その時の含水量を測定する。試料の含水量を変えてこの操作を繰返して行い、然る後回転数の対数に対する含水量の関係を作図して液性線を求める。本測定において回転数25回に対する液性線の縦座標が液性限界に相当する値である。

可塑指数: Atterberg は液性限界から可塑性限界を控除した値をもつて可塑指数と名付け、土壌の可塑性の強

弱を判定する指標としている。

## 5. Ca-土壌とNa-土壌の緊硬度の比較値

筆者の調製せる Ca-土壌および Na-土壌を供試して上記の各緊硬度を測定した結果は第3表~第5表に示すとおりである。

第3表 針入度と水分との関係

水分試料	45%	30%	15%	10%	7%
Ca-土壌	0.16kg	0.35kg	1.64kg	1.75kg	3.64kg
Na-土壌	0.18	0.54	2.64	4.00	6.60

針入度: 針入度の試料間差異は、水分30%以上の可塑性形態においてはきわめて僅少であるが、水分15%以下では次第に顕著となり、Na-土壌の針入抵抗は Ca-土壌に比べて約2倍を示した。

第4表 圧砕度と水分との関係

試料	可塑性緊硬度		折点における最小値		剛性緊硬度	
	水分 %	圧砕度 kg	水分 %	圧砕度 kg	水分 %	圧砕度 kg
Ca-土壌	28.3	6.0	17.8	5.0	5.0	24.6
Na-土壌	26.6	7.0	17.7	6.0	5.0	27.7

圧砕度: Na-土壌の圧砕抵抗は Ca-土壌に比べて若干は大であるが、その程度は針入度の場合に比べて小である。

第5表 緊硬限界及び剛性緊硬度

試料	緊硬限界			剛性緊硬度		
	可塑性液性限界 %	液性限界 %	可塑指数	固結度 A kg	連結度 B kg	剛性率 B/A×100 %
Ca-土壌	28.3	65.0	36.7	11.0	3.4	30.9
Na-土壌	26.6	68.5	41.9	20.7	7.9	38.2

固結度及び連結度: Na-土壌の両切断抵抗は Ca-土壌に比べて2~2.5倍の値を示し、その差は連結度の方が大である。このことは圧砕度の場合にも当てはまるが、凝集力の差は捏和試料の方が小さいことを示している。

緊硬限界: Ca-土壌の可塑性限界は Na-土壌に比べて大きく、之に反して液性限界は Na-土壌の方が大で、その結果可塑指数については Na-土壌が Ca-土壌に比べてかなり大となつている。

## III 要 結

Soil tilth の判定法として、まず第一に土壌の構造を

規定する因子として、土懸濁液の分散状態と水中沈底容積、分散度、粗粒団と微粒団の粒団化度とその安定度および透水度の測定法を検討した。次に土壌の緊硬度に関連ある諸性質として針入度、圧縮度、固結度および連結度、緊硬限界の各測定法を検討した。その結果、筆者がここに掲げた測定法は何れも Soil tilth の評価、判定法として有意義であることを知った。

筆者は本測定法を用いて、干拓地の重粘土の物理性の改良法としての土壌改良剤の使用、牧草の栽培および土壌の乾湿処理の回復の効果<sup>15,16)</sup>を、又干拓地土壌の生成過程に伴う土壌の物理性の変化<sup>17,18,19)</sup>を調べた結果、何れの場合にも Soil tilth の土壌間差異および変化の実態を明確に把握、解明できることを認めた。

## 文 献

- 1) Bayer, L. D. & Rhoades, H. F. : *Jour. Amer. Agron.*, **24**, 920-930 (1932)
- 2) Bayer, L. D. : *Soil Physics*, London (1948)
- 3) Krynine, D. P. : *Soil Mechanics*, New York

- & London (1947)
- 4) Middleton, H. E. : *U. S. Dept. Agr. Tech. Bul.*, **78** (1930)
  - 5) Puri, A. N., & Puri, B. R. : *Soil Sci.*, **47**, 77 (1939)
  - 6) Russell, E. W., & Tamhane, R. V. : *Jour. Agr. Sci.*, **30**, 210 (1940)
  - 7) Vageler, R., & Alten, E. : *Zeit. Pflanz. DunG.*, **22A**, 21 (1931)
  - 8) 石井訳 テルツアギー : 土質力学 (1940)
  - 9) 山中 : 土肥誌, **15**, 11~27 (1941)
  - 10) 農業改良局研究部 : 土壌分析法, 土壌肥料資料24号 (1956)
  - 11) 米田 : 土肥誌, **26**, 485~8 (1956)
  - 12) 米田・河内 : 土肥誌, **27**, 345~8 (1956)
  - 13) 米田・下瀬・河内 : 岡山農試臨報, **54**, 1~20 (1956)
  - 14) 米田 : 土肥誌, **27**, 123~7 (1956)
  - 15) 米田 : 土肥誌, **29**, 399~402 (1958)
  - 16) 米田・河内 : 土肥誌, **29**, 437~40 (1958)
  - 17) 米田 : 土肥誌, **28**, 416~20 (1958)
  - 18) 米田 : 土肥誌, **30** (予定)
  - 19) 米田・河内 : 土肥誌, **30** (予定)

1960 2A

# 土壌構造とその測定法

(京大農学部土壌学研究室)

喜 田 大 三

## 1. はじめに

私たちは昨年7月京大土壌物理研究会を結成し、毎月1回研究例会をひらき、本年7月に第10回の例会をもつに至つた。研究会員は芸農化学科土壌学研究室と農林工学科土地改良学研究室の有志の者からなり、例会で報文の紹介あるいは各自の研究発表を行なつている。

私たちは、土壌物理を研究するには、土壌構造を理解しなければならぬと以前から考えていたので、第1回例会には Lambe, T. W. (1953) の *“The structure of inorganic soil”* (Proc., A. S. C. E., Vol. 79) をテキストにして討論会をひらいた。だが、私たちは構造についてはつきりした概念をつかむことができなかつ

た。すなわち、構造をお互いにあいまいな意味に解していることを知つた。

その後、土壌構造の概念をはつきりさせるようにつとめ、第10回例会には *“かんがい期における水田の土壌構造の変動”* をテーマにして、構造の解説をこころみた。

ここでは、構造について教科書的に記述するのではなく、とかくあいまいに理解されている構造についてややだいたんな見解をのべ、皆様に検討していただきたいと思つている。また、その見解にもとづく構造の測定法のあらましをかかげる。

なお、編集委員会から *“土壌構造と粒団分析”* について投稿せよとのことであつたが、本稿の内容は *“土壌構造とその測定法”* にふさわしいので、表題を変更した。