ロータリ耕うん後の土塊分布測定法

— 土塊の採土・篩別法の検討 —

森泉昭治・林 尚孝

Measurement Method of Clod Size Distribution after Rotary Tillage

— Effect of sampling method and number of using sieves on the various indices of clod size distribution —

Shoji MORIIZUMI and Naotaka HAYASHI

1 緒 言

わが国ではプラウ耕に比べロータリ耕が多用されている。耕うん作業結果の重要な項目として、①耕深、②均平性、③碎土性、④土壌の反転性、⑤土層構造などが挙げられるが、ロータリ耕は碎土性が優れていると一般に言われている¹⁾。

碎土状態は一般に土塊の大きさを指標として碎土率、土塊分布などで表現される。この碎土状態の調査法の内容は、土塊の採取法と土塊の大きさ測定法に2区分できる。従来の土塊採取法には、50cm平方枠を用いる方法²⁾と直径200~500mmの円筒サンブラを使用する方法³⁾⁴⁾などがある。これらの方法の問題点として、①50cm平方枠や直径500mm以上の円筒サンブラ使用の場合には多大な測定所要労力・時間を要すること、②一部の文献⁵⁾以外は層別に土塊を採取・測定する概念が明確でないこと、などが挙げられる。土塊の大きさ測定法⁶⁾には古くから篩別法、秤量法および表面積法などがあるが、測定の簡便性から今まで篩別法が最も多く採用されてきた。また、近年では土塊形状の画像計測（非破壊測定）なども試みられている^{7)~9)}。

ロータリ耕うんによる土壌の碎土性に関する研究（例えば^{10)~13)}）は数多くあるが、その内容をみると碎土状態の表現法、土塊の採取法および土塊の大きさ測定法は様々である。したがって、研究結果の比

較・検討には困難性を伴う。例えば、土塊の採取量や篩の目開き・個数が異なった場合、両者を単純に比較できるか否かの疑問点が残る。また、土塊の採土法に前述の問題点が存在すること、碎土状態の測定法が十分に確立されていないことなどを勘案すると、土塊分布の測定法に焦点を当てた研究も必要と考えられる。

筆者らはロータリ耕うん後の碎土状態の表現法を研究¹⁴⁾¹⁵⁾し、土塊分布がワイブル分布式で近似できることを明らかにした。土塊分布にワイブル分布式を適用すれば平均土塊径、標準偏差、任意の碎土率など土塊分布の諸指標が簡単な代数式で求められる¹⁵⁾。なお、篩の目開きや個数の異なった試験でも上記の土塊分布の諸指標を算出すれば、両者の碎土状態がおおよそ比較できる。

本試験は圃場での測定を前提にし、安価な測定器具による簡便・適切な土塊分布測定法の確立を目的として行った。また、ロータリ耕うんの碎土性に関する従来の研究内容を検討・考察するうえで、本試験は補助的な役割を担うものと思われる。具体的には円筒採土サンブラと篩を用いて、①層別土塊分布測定の必要性の有無、②採土に伴う土塊切断による平均土塊径への影響、③使用篩数の削減による土塊分布諸指標への影響などを追究した。その結果、若干の知見を得たので以下に報告する。

平成6年8月30日 受理

茨城大学農学部 〒300-03 茨城県稲敷郡阿見町中央3-21-1

Faculty of Agriculture, Ibaraki University, Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki, 300-03

2 試験方法

試験は生研機構附属農場の沖積地水田と本学附属農場の洪積台地水田・畑で行った。水田の場合、稲刈り跡に若干の残査物があったが、ロータリ耕うんの支障になる程度のもではなかった。また、畑地での試験場所は裸地（後述の耕うんピッチ32mmの場合）と大・小麦の栽培跡であった。裸地は雑草もなくそのままの状態で試験区としたが、大・小麦の栽培跡は普通型コンバイン収穫のため残査物が多かったので、それらを全て排除して試験区を設定した。各供試圃場の土壌型、土性は表1の通りである。試験時の土壌含水比は沖積地水田が最も低く、洪積台地水田が最も高かった。

沖積地水田ではロータリの回転方向、爪の種類、耕うんピッチなどを変えた種々の試験区で土塊分布を測定した。洪積台地水田・畑では、ダウンカットロータリで慣行なた爪に固定し、耕うんピッチのみを変え試験した。耕うんピッチの変化は、ロータリ回転速度を一定にし前進速度を変えることによって行った。同一条件下での測定反復数は、沖積水田の場合2～4反復とした。また、洪積台地水田・畑の大部分は3～6反復測定であるが、一部の測定（耕うんピッチ32mm、採土サンブラ径200mm）では本試験以外の目的もあり、その反復数を20回とした。

採土サンブラは表1に示した5種類であるが、主にφ100, 200, 400mmの鋼製サンブラ（厚さ3～5mm）

を用いた。ロータリ耕うん後の試験区の所定位置に採土サンブラを打込み、その周囲（スリット側）の土壌を排除した後、採土サンブラのスリット（50mm間隔）にセパレータを挿入し採土した。採土深さは耕深と同じ150mmとし、層別採土ではセパレータ（厚さ2～3mm）を4枚、一括採土の場合は耕底と耕うん後地表面に各1枚のセパレータを使用した。なお、以下では採土深さを上層（0～5cm）、中層（5～10cm）、下層（10～15cm）の3層区分で表現する。

供試篩は真鍮製の新JIS標準篩（φ200×深さ60mm）で、その目開きは標準数（JIS Z8601）誘導数列R20/6の体系をもつ表1の8個を選んだ。土塊の篩別は、篩の深さの1/3～1/2程度まで土塊試料を入れ、篩別中に土塊が破碎しないよう注意ぶかく行った。なお、手動による篩の振とう速度は約36～42cm/sであった。本試験では篩別終了後、各々の篩上に残った土塊の重量を測定したので、以下での平均土塊径とは重量基準の平均径（平均重量径あるいは重量平均径）を指している。

土壌水分が多い場合、洪積台地水田では目開き2mmの篩で、洪積台地畑では目開き1mmの篩に目詰りを生じるケースがあった。その時は、全測定とも前記の篩の使用を取り止めた。

3 試験結果および考察

1) 層別土塊分布

沖積地水田におけるロータリ耕うん後の層別平均

表1 試験条件と土塊の採土・篩別法

項 目	沖積地水田	洪積台地水田・畑
土 壌 型	灰色低地土	淡色黒ボク土
土 性	SiC	CL～LiC
土 壌 含 水 比 (%)	36.8～47.8	水田：71.8～103.7 畑：54.2～69.1
供試ロータリ	アップカット、ダウンカット 慣行・異形なた爪 耕幅 1196, 1366mm 耕うん爪回転径490mm	ダウンカット 慣行なた爪 耕幅 1500mm 耕うん爪回転径460, 490mm
耕うんピッチ	13～76mm 間で4水準	14～95mm 間で6水準
採土サンブラ	φ200, 300mm 鋼製 φ210mm 塩ビ製	φ100, 200, 400mm 鋼製 50mm 間隔にスリット付き
供 試 篩	JIS 標準篩(φ200), 目開き 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, 125mm	

土塊径、標準偏差、変動係数などを表2に示した。ここでの平均土塊径と標準偏差は、ワイブル分布の変換法¹⁵⁾で求めたものである。耕うんピッチごとの平均土塊径をみると、耕うんピッチ28mmと48mmの値は耕うんピッチ13mmの場合に比べ、両ロータリとも明らかに大きな値を示している。また、変動係数は耕うんピッチが大きくなるに伴い増加する傾向が認められた。

ダウンカットロータリの場合、耕うんピッチ13mmでは上・中・下層間の平均土塊径に殆ど差が認められない。しかし、耕うんピッチ28、48mmでは上層の平均土塊径が中・下層に比べ明確に大きい値となっている。一方、アップカットロータリでは、全ての

耕うんピッチで上層の平均土塊径が中・下層に対し小さく、ダウンカットの結果と逆になった。これらの結果は他の文献¹⁶⁾とも一致している。

両ロータリによる層別平均土塊径のt検定結果を表3に示した。ダウンカットロータリでは18検定中の11検定で、アップカットロータリでは9検定中の5検定で5%あるいは1%水準の有意差が認められた。特に、上層と下層間の平均土塊径では9検定のうち8検定で有意差が認められている。

上記と表2の結果を総合すると、ダウンカットロータリの耕うん結果では上層の土塊が中・下層より大きく、アップカットロータリでは逆に上層の土塊が中・下層より小さいことが確実といえる。したが

表2 平均土塊径と標準偏差・変動係数

耕うんピッチ (mm)	深 さ (cm)	ダウンカット・ロータリ			アップカット・ロータリ		
		平均土塊径 (mm)	標準偏差 (mm)	変動係数	平均土塊径 (mm)	標準偏差 (mm)	変動係数
13	上 層	19.2	11.6	0.60	16.9	9.5	0.56
	中 層	19.3	11.5	0.60	20.4	10.5	0.52
	下 層	19.7	11.5	0.58	29.5	15.6	0.53
28	上 層	26.2	16.0	0.61	25.5	15.1	0.59
	中 層	19.6	12.7	0.65	28.7	16.2	0.57
	下 層	21.3	12.9	0.61	42.0	21.8	0.52
48	上 層	26.3	16.3	0.62	23.9	15.4	0.64
	中 層	20.9	14.3	0.68	31.6	19.4	0.61
	下 層	21.1	13.8	0.65	27.1	16.0	0.59

注) 上記は慣行なた爪、直径200mmの採土サンブラを用いた試験で得た値。

表3 層別平均土塊径のt検定結果

場 所	耕うん ピッチ	上層：中層		上層：下層		中層：下層	
		d.f.	t	d.f.	t	d.f.	t
洪積台地 水 田 (D.C)	14mm	10	1.318	10	3.445**	10	1.671
	32	38	2.234*	38	3.528**	38	1.802
	51	8	1.162	8	2.652*	8	1.645
洪積台地 畑 (D.C)	14	10	1.572	10	2.282*	10	0.509
	32	38	5.310**	38	7.294**	38	5.094**
	49	8	2.542*	8	7.122**	8	3.218*
沖 積 地 水 田 (U.C)	13	6	-1.334	4	-2.859*	4	-0.253
	28	10	-2.711*	7	-3.803**	7	-2.847*
	48	6	-2.841*	4	-0.850	4	0.854

注1) D.C: ダウンカットロータリ, U.C: アップカットロータリ,
採土サンブラ径: ϕ 200mm

2) *印: 5%有意水準, **印: 1%有意水準

って、上・中・下層の区別なく全層を一括した平均土塊径の表現法は、ロータリ耕うんの内容を消去してしまうので不適切と判断される。アップカットロータリの場合、大きな土塊はレーキにあたり小さい土塊より先に落下する機構となっているので、上記の結果は当然ともいえよう。しかし、ダウンカットロータリの場合、上層に大きな土塊がどうして集まるのかについて触れた文献はなく、その原因が不明である。筆者らは、①耕うん爪により斜め上方へ放てきされた大土塊は小土塊より運動量が大きいので、より遠方（上層側）まで異動する、②小土塊は大土塊の間隙を通して沈下するなどの現象が生じており、それが上層に大きな土塊が集まる原因ではないかと現段階では考えている。

2) 採土サンプル径と採土法の相違が平均土塊径に及ぼす影響

採土サンプルの土中への挿入や層別採土のためのセパレータ使用により、一部の土塊は必然的に切断される。この土塊切断のため、採土サンプル径の大きさやセパレータ使用の有無によって、平均土塊径に差異が生じるものと考えられる。ここでは、土塊

分布の実測値を用い、採土サンプル径の相違とセパレータの使用が、平均土塊径にどの程度の影響を及ぼすか検討する。

図1に採土サンプル径別の平均土塊径とその標準偏差（反復測定における平均土塊径の変動）の例を示した。洪積台地水田で耕うんピッチ32mmの場合、上・中層とも採土サンプル径が小さくなると、それに伴って平均土塊径が小さい値となっている。しかし、耕うんピッチ14mmおよび84mmでは採土サンプル径と平均土塊径との間に一定の傾向は認められない。また、洪積台地畑での測定例の場合、全ての耕うんピッチにおいて、採土サンプルによる土塊切断の影響は平均土塊径に表れていない。

本試験の全データを用い採土サンプル径要因の平均土塊径によるt検定を試みた。その結果、採土サンプル径要因で有意差が認められたのは、126検定中で僅か6検定のみであった。したがって、採土サンプル径要因による平均土塊径の有意差は、総体的にみて殆どないものと推察される。なお、有意差が認められた6例の内容をみると、採土サンプル径100mm対400mmが3例、採土サンプル径100mm対200mmが2例

図1 採土サンプル径別の平均土塊径とその標準偏差

注) 実線（平均土塊径）のみで破線が示されていない所は、標準偏差が1mm以内である。

であり、その大部分が直径の最も小さい採土サンプルに関連していた。この結果より、直径100mmのサンプルによる土塊採取は、できるだけ避けた方がよいと思われる。

各耕うんピッチにおける採土法別の平均土塊径を図2に示した。図中の一括採土の値は深さ0～15cmの土塊を一括採取した平均土塊径、分離採土の値は5cm間隔で層別に採取した3層の平均土塊径である。洪積台地水田では一括採土の平均土塊径が分離採土より3.1～7.0mmほど大きく、両者の差が明らかに表れている。これに対し洪積台地畑では両者間に殆ど差が認められない。

表4に採土法要因の平均土塊径によるt検定結果を示した。表中のt値は約86%が正の値であるので、一括採土の平均土塊径の方が分離採土より大きくなる傾向が示されている。しかし、耕うんピッチ32mmの洪積台地水田で5%水準の有意差が認められるが、他は全て有意差を示していない。本試験による全検定でみると、洪積台地水田の20検定中の4例に有意差が認められたが、洪積台地畑の20検定では採土法要因間に全く有意差が認められなかった。

上記のように有意差が検出されないのは、採土サンプルおよびセパレータによる土塊切断の影響が、①土塊径の測定地点間によるバラツキの範囲内、②または測定誤差の範囲内であることを示唆していると考えられる。つまり、層別採土に伴う土塊切断の影響は余り大きくないものと推察される。

これらの推察の妥当性を補強するために、球を土塊のモデルとするシミュレーションにより採土サンプルおよびセパレータによる土塊切断の影響を試算

した。図3に示した土塊切断の影響値は次式で定義したものである。

$$E = \{(D_o - D_m) / D_o\} \times 100 \quad (1)$$

ただし、E：土塊切断の影響値(%)

D_o ：元の土塊球径

D_m ：切断土塊を含めた平均土塊球径

図3 シミュレーションによる土塊切断の影響値

表4 採土法要因の平均土塊径によるt検定結果

耕うん ピッチ	サンブラ 直径	洪積台地水田		洪積台地畑	
		d.f.	t	d.f.	t
14mm	φ200	10	1.239	10	1.764
32	φ100	8	1.928	8	-0.126
	φ200	8	2.533*	8	0.593
	φ400	8	0.064	7	1.858
75～84	φ100	6	1.036	8	0.052
	φ200	6	0.870	6	-0.251
	φ400	4	0.908	4	1.816

注) d.f.: 自由度, *印: 5%水準で有意差あり

図2 採土法別の平均土塊径

—採土サンブラ径200mm—

切断土塊を含めた平均土塊球径 (D_m) は、重量平均径の定義をもとに土塊球の密度が一定と仮定して次の(2)式で算出した。なお、採土サンブラによる切断土塊の体積は区分求積法で、セパレータによる切断土塊の体積は球冠(球欠)として求めた。

$$D_m = \Sigma (V \times d) / \Sigma V \quad (2)$$

ただし、 V ：個々の土塊体積

d ：個々の土塊径

シミュレーションでは元の土塊球径は全て同一としているので、図中の土塊球の径は圃場測定 of 平均土塊径に対応させ、土塊切断の影響値は一つの目安としてみた方がよい。本試験による平均土塊径の大部分は45mm以下であるので、採土サンブラ径100mmと400mm間の土塊切断の影響値の差はシミュレーション結果によると7.9%以内、セパレータ間隔50mmと150mm間の差は4.9%以内となる。したがって、この程度の差は前記の土塊径のバラツキと測定誤差に吸収され、圃場試験で検出できないのは当然である。

採土による土塊切断の影響値を小さくするには採土サンブラ径を大きくすればよい。しかし、実際の圃場測定ではセパレータの挿入および測定時の取扱いなどからみて、内径400mmの採土サンブラが最大径の限界といえる。また、圃場測定では天候などの影響を受けやすいこと、同一圃場内での場所による土塊分布のバラツキなどを考えると、測定時間を短くし測定回数を多くすることが望ましい。これらの観点と採土に伴う土塊切断の影響(採土サンブラ+セパレータ切断の影響)を総合的に考慮すると、平均土塊径25mmまでは内径200mmの採土サンブラを使用し、それ以上の土塊径では内径400mmの採土サンブラを用い層別採土するのが適切と結論される。この結論を、筆者らの土塊分布調査の全データや他文献^{3),5),10),~13)}を参照して概略的に換言すると、ロータリ耕うん後の土塊分布測定は普通畑の場合内径200mmの採土サンブラ、水田とその転換畑の場合、内径300~400mmの採土サンブラを用いるのが妥当と言える。

3) 篩別法における篩数削減の検討

本試験では土塊分布を求めるために目開きの異なる6~7個の篩を使用した。篩の使用個数は測定所要労力・時間の面からみると少ない方がよい。しかし、それによって土塊分布の諸指標に大きな誤差が生じてはならない。以下では篩の使用個数の削減により、平均土塊径や標準偏差がどの程度の変動をするのか検討する。

ここでは土塊分布がワイブル分布で近似できることを前提として、篩数削減の検討を行っている。この点について若干触れる。ワイブル分布の確率密度関数を定積分し、変形すると次の(3)式が得られる。

$$m\sqrt{-\ln R(x)} = \frac{x}{m\sqrt{a}} - \frac{\gamma}{m\sqrt{a}} \quad (3)$$

ただし、 m ：ワイブル分布の形のパラメータ

a ：尺度のパラメータ

γ ：位置のパラメータ

また土塊分布の場合、 $R(X)$ は積算篩上重量比、 X は土塊径に相当する。ここで上式の左辺を y 、 $a = 1/m\sqrt{a}$ 、 $b = -\gamma/m\sqrt{a}$ とおけば、(3)式は次式で表現できる。

$$y = aX + b \quad (4)$$

筆者らは形のパラメータ m 値を変え、土塊分布に対するワイブル分布の適合性を検討した。その結果¹⁵⁾に基づき、本報の計算では沖積地水田の場合 $m=2.0$ 、洪積地水田で $m=1.0$ 、洪積台地畑で $m=0.5$ の値を用いた。なお、平均土塊径と標準偏差は(4)式の a 、 b を用いた代数式で計算できる。

図4に土塊径と積算篩上重量比の変換値との関係(洪積台地水田の一例)を示した。また、この例に対応して、篩数の削減による平均土塊径、標準偏差などの変動を表5に示した。表中には各種の篩が削減された場合を示したが、例えば目開き8、31.5mmの篩の削減は図4の②、④点の測定値を欠くことに相当する。しかし、ここでは土塊の積算篩上重量比をもとにしている。②と④点の測定値が欠けても他の測定値は当然変わらない。この事は、ワイブル分布の変換法を使用する場合の利点といえよう。

図4 土塊径と積算篩上重量比の変換値との関連

— 洪積台地水田の例 —

表5の例によると、目開き63mmの篩を含む削減では、基準に対し平均土塊径で約7mm、標準偏差で約9mmほど大きな値となっている。これに対し他の篩を削減した場合、その変動は最大でも1.4mm以内である。平均土塊径と標準偏差の変動率でみると、目開き63mmの篩を含む削減では19～28%であるのに比べ、他の篩削減では数%以内と小さい値を示している。なお、参考までに(4)式のa, bに相当する値を示したが、当然、これらにも前記と同様な傾向が認められる。

表6と表7は篩数の削減による平均土塊径、標準偏差の変動を3試験地ごとに整理したものである。ここでの変動率平均とは、各試験地ごとに(35～157例)変動率の絶対値を平均したものである。表6の

洪積台地畑の場合、平均土塊径の変動率平均には、削減した篩の相違による差が余り大きく表れていない。しかし、標準偏差の変動率平均の場合、削減の対象中に目開き31.5mmの篩を含むか否かによって、その変動率平均に大きな差異が認められる。洪積台地水田と沖積地水田の平均土塊径では、目開き31.5mmの篩を含む削減の変動率平均が9.0～10.5%であるのに対し、他のケースの変動率平均は0.6～2.2%と非常に小さい。また、これと類似した傾向が標準偏差の変動率平均でも明確にみられる。したがって、最大土塊径31.5～63mmの場合、目開き31.5mmの篩を削減することには問題がある。

表7の最大土塊径63mm以上の場合、目開き63mmの篩を含む削減は他のケースに比較し、平均土塊径と

表5 篩数削減による平均土塊径・標準偏差などの変動
— 洪積台地水田の例 —

項目 篩目開き	平均土塊径 (mm)	同左変動率 (%)	標準偏差 (mm)	同左変動率 (%)	a (勾配)	b (切片)
基準(6個)	33.7	—	31.9	—	0.031	-0.056
63 mm 削減	40.3	19.6	40.8	27.9	0.025	0.013
8, 63 "	40.2	19.3	40.7	27.6	0.025	0.011
4, 63 "	40.4	19.9	41.0	28.5	0.024	0.015
8, 31.5 "	32.3	-4.2	31.2	-2.2	0.032	-0.038
4, 31.5 "	32.5	-3.6	31.1	-2.5	0.032	-0.047
4, 8, 31.5 "	32.5	-3.6	31.0	-2.8	0.032	-0.050
2, 8, 31.5 "	32.7	-3.0	30.9	-3.1	0.032	-0.059
4, 16 "	33.7	0	31.7	-0.6	0.032	-0.063

注1) 変動率=(篩数削減の計算値-基準値)×100/基準値

2) 基準の篩6個とは目開き2, 4, 8, 16, 31.5, 63mm

表6 各試験地における平均土塊径と標準偏差の変動率平均
— 最大土塊径: 31.5～63mm —

項目 篩の目開き	洪 積 台 地 畑		洪 積 台 地 水 田		沖 積 地 水 田	
	平均土塊径 変動率平均	標準偏差 変動率平均	平均土塊径 変動率平均	標準偏差 変動率平均	平均土塊径 変動率平均	標準偏差 変動率平均
31.5 mm 削減	8.5%	20.0%	10.5%	13.5%	9.3%	12.1%
8, 31.5 "	9.8	20.1	10.2	13.4	9.0	11.9
4, 31.5 "	7.4	19.9	10.5	13.6	9.1	12.2
2, 16 "	6.9	3.4	2.2	3.0	2.0	2.3
4, 8 "	8.7	3.5	0.6	1.3	1.1	1.8
4, 16 "	6.5	2.1	1.9	1.3	1.9	1.4

注1) 上記で例えば篩の目開き8, 31.5mm削減とは、目開き2, 4, 16mmの篩を使用した場合に相当する。

2) 変動率平均とは各変動率の絶対値を平均したものである。

表7 各試験地における平均土塊径と標準偏差の変動率平均
— 最大土塊径：63mm 以上 —

項 目		洪 積 台 地 水 田		沖 積 地 水 田	
		平均土塊径 変動率平均	標準偏差の 変動率平均	平均土塊径 変動率平均	標準偏差の 変動率平均
篩の目開き					
63 mm	削減	17.7%	25.5%	10.8%	15.3%
8, 63	"	17.7	25.2	10.5	15.7
4, 63	"	17.7	25.5	10.8	15.5
8, 31.5	"	3.6	2.2	3.3	2.1
4, 31.5	"	3.3	2.6	2.8	2.4
4, 8, 31.5	"	3.0	2.7	3.3	2.3
2, 8, 31.5	"	3.0	3.1	2.8	3.0
4, 16	"	0.6	0.8	0.8	0.8

標準偏差の変動率平均は著しく大きな値である。それ故、この場合は目開き63mmの篩を削減できない。目開き63mmの篩を除けば、篩を3個削減することも可能と思われる。例えば、目開き4, 8, 31.5mmの篩を削減しても、その変動率平均は3.3%以内と小さい。これらの諸結果より、最大土塊径31.5～63mmの場合は目開き2, 8, 31.5mmの篩, 最大土塊径63～125mmの場合は目開きが4, 16, 63mmの篩を用いた測定値で、土塊分布の諸指標を求めても実用上差し支えないと考察される。なお、本試験と異なる篩体系の場合、最大の土塊を網目上に残す篩の目開きを基準に、それ以下は目開きを一つおきに計3個の篩を用いれば、土塊分布測定は十分に可能と推察される。

上記の結果は、ワイブル分布の形のパラメータm値（土塊分布の基本形）が予め分かっている沖積地水田、洪積台地水田・畑での検討結果である。しかし、実際にはワイブル分布のm値が既知でない場所での試験も多い。この場合、測定誤差を考慮すると何回かの反復測定（3～5反復）のうち1回は篩の使用個数を削減せず測定し、その外は3個の篩で測定する方法が望ましい。そして、この測定データを用いてワイブル分布のm値を決め¹⁵⁾、その後平均土塊径や標準偏差を求めればよい。

本試験では簡便な測定法として篩別法を取上げ、その篩数の削減の可否を検討したが、この篩別法には土塊の一部が篩別操作中に破碎するという問題点がある。筆者らの観察によると、篩別操作中の土塊の破碎程度は水田土壌より畑地土壌の方が大きいと予想される。今後、画像計測などの非破壊測定法と

篩別法を対比させた試験が、簡便な土塊分布測定法の確立のためにも必要と思われる。

4 要 約

ロータリの耕うん作業結果において、碎土性は重要な一項目である。碎土状態は、一般に土塊の大きさを指標として碎土率、土塊分布などで表現されるが、その試験法は統一的なものがない。本試験は安価な測定器具による簡便・適切な測定法の確立を目的として行ったものである。具体的には採土円筒サンプルと篩を用いて、①層別採土に伴う土塊切断による平均土塊径への影響、②篩別法における使用篩数などを中心に検討した。

主な結果は次の通りである。

(1)ロータリ耕うん後の層別土塊分布を検討した結果、ダウンカットロータリでは上層の土塊が中・下層の土塊より大きく、アップカットロータリでは逆に上層の土塊が中・下層に比べ小さいと判定された。したがって、ロータリ耕うんの作業結果を土塊分布で評価する場合、層別に土塊分布を測定することが必須であると考察される。

(2)層別採土法に伴う土塊切断の影響をt検定で検討したが、採土サンプル径の相違やセパレータ使用の有無が平均土塊径に影響を及ぼすと判定された結果は、全検定例の中で僅か5～10%しかなかった。これは、採土サンプルとセパレータによる土塊切断の影響が、①測定地点間による土塊径のバラツキの範囲内、②測定誤差の範囲内であることを示唆していると推察される。

(3) 圃場測定値に基づく検討と球を土塊のモデルとしたシミュレーションでの検討結果を総合すると、平均土塊径25mmまでは内径200mmの採土サンブラ、それ以上では内径400mmの採土サンブラを用い層別採土するのが適切と結論された。この結論を種々の文献も参照して換言すると、普通畑は内径200mmの採土サンブラ、水田や転換畑は内径300～400mmの採土サンブラの使用が妥当と言えよう。

(4) ワイブル分布の変換法で土塊分布の諸指標を求める場合、使用する篩数を適切に削減すれば、その影響は約3%以内に納まるとの検討結果を得た。したがって、本試験の篩体系では最大土塊径が31.5～63mmの場合、目開き2, 8, 31.5mmの篩、最大土塊径63mm以上の場合は目開き4, 16, 63mmの篩を用いた測定法でも実用上差し支えないと推察される。また、他の篩体系の場合、最大の土塊を網目上に残す篩の目開きを基準に、それ以下は目開きを一つおきを選び計3個程度の篩を使用すればよいと考察される。ただし、ワイブル分布のm値が既知でない場合、3～5反復測定のうち1回は篩数を削減せず測定しておくことが望ましい。

謝辞 本報告の沖積地試験においては唐橋 需部長(農業研究センター)、森本國夫課長(生研機構)にご援助とご教示を頂いた。記して謝意を表します。また、試験の実施やデータ整理に当たっては本学の高橋雅之文部技官および院生諸君にご協力を頂いた。記して謝意を表する次第である。

引用文献

- 1) 石原 昂他(1983)：新農業機械学, 113-115, 朝倉書店
- 2) 農業機械学会編(1957)：農業機械ハンドブック, 189, コロナ社
- 3) 土屋功位(1954)：動力耕耘機の碎土性能(碎土率)について, 農機誌, 15(2), 59-62
- 4) 東京大学農業工学教室編(1966)：農業機械実験便覧, 223-225, 養賢堂
- 5) 農作業試験法編集委員会編(1987)：農作業試験法, 42, 農業技術協会
- 6) 土壌物理性測定法委員会編(1972)：土壌物理性測定法, 96-102, 養賢堂
- 7) 澁澤 栄他(1989)：ロータリ耕うんの碎土作用(第4報), 農業機械学会北海道支部会報, 30, 1-4
- 8) 澁澤 栄他(1990)：ロータリ耕うんにおける

土塊の形成過程(第2報), 農機誌, 52(2), 3-9

- 9) 米川智司他(1989)：画像処理を用いた耕うん土の碎土程度評価法の研究, 第48回農業機械学会年次大会講演要旨, 85
- 10) 古池寿夫他(1974)：ロータリ耕うん機の碎土性能と株処理性能の向上に関する研究(第3報), 農機誌, 36(2), 235-242
- 11) 久津那浩三他(1974)：耕耘碎土に関する研究(第1報), 土肥誌, 45(1), 37-41
- 12) 南 晴敬他(1987)：アップカットロータリ耕うん法の作業評価(1), 第46回農業機械学会年次大会講演要旨, 28
- 13) 金谷 豊他(1989)：重粘土壌の耕うん方法に関する研究(第2報), 農機誌, 51(1), 45-53
- 14) 林 尚孝・森泉昭治(1983)：碎土状態の表現法について, 総合農学, 30(3), 2-4
- 15) 森泉昭治・林 尚孝(1988)：耕うんによる層別土塊分布の評価法に関する研究(第2報), 農機誌, 50(5), 17-24
- 16) 森本國夫他(1983)：レーキ付きアップカット・ロータリの作業性能, 農機誌, 45(3), 375-378

Summary

Soil pulverization is the chief aim of rotary tillage. Clod size distribution is the most commonly used index of soil pulverization. However, a method for measuring clod size distribution has not been established yet. Therefore, the present study seeks to establish a simple way of recording clod size distribution.

This paper deals mainly with the following : (a) the influence on mean weight diameter of the clod when cutting with sampler and separator, (b) the probability of reducing the number of grades in sieving, namely the number of use of sieves.

The results were as follows.

(1) In the case of down-cut rotary tillage, clod size on the upper layer was larger than that on the middle and lower layers. On the other hand, clod size distribution by up-cut rotary tillage yielded the opposite result. Therefore, when we evaluate the clod size distribution it is necessary to sample each layer.

(2) Among the three sampler sizes, statistical analysis for mean weight diameter rarely showed a significant difference between the two sampling methods. These results suggest that the separator's and the sampler's effect is no greater than that of original variance or experimental error.

(3) After Synthesizing the experimental results and conducting a simulation test which used synthetic in place of dirt clods, clearly 200 mm samplers should be used with cases smaller than 25 mm in mean weight diameter of clods, and 400 mm samplers with cases over 25 mm. In

other words with practical measurement of clod size distribution, we should utilize 200 mm samplers in upland field and 400 mm samplers in paddy field.

(4) When the number of grades in sieving is properly reduced, we can, by applying a variation of Weibull's distribution, predict the clod size with an error level of 3 %. These results show that we can estimate various clod size indices using on three sieves, provided that the mesh catches the largest clod.