

DB
645
1990
④

寄	贈
木 林 泉 昭 治 氏	昭和 年 月 日

ロータリ耕うんによる土塊分布と
土壌移動の測定・分析法に関する研究

森 泉 昭 治

92005381

目 次

第 1 章 序 論	1
1.1 はじめに	1
1.2 ロータリ耕うんの特徴	2
1.3 ロータリ耕うんの動向	3
1.4 本研究の目的	5
第 2 章 既往の研究報告と従来試験法	7
2.1 土塊分布関係の研究報告	7
2.2 耕うんによる土壌の変位（移動）に関する報告	9
2.3 従来土塊分布測定法と表現法	10
2.4 従来土壌変位（移動）の測定法	15
第 3 章 耕うんによる層別土塊分布の測定・分析法 に関する研究	19
3.1 諸分布式による土塊分布の近似	19
3.1.1 はじめに	19
3.1.2 試験方法	20
3.1.3 諸分布式による近似	22
3.1.4 結果および考察	26
3.1.4.1 Rayleigh分布による土塊分布の近似	26
3.1.4.2 諸分布式による土塊分布の近似	30
3.1.4.3 土塊分布に対する最適近似式の検討	36
3.1.5 摘 要	37
3.2 採土に伴う土塊切断による平均土塊径への影響	39
— シミュレーションによる検討 —	

3.2.1	はじめに	39
3.2.2	シミュレーションの前提および土塊径の定義	40
3.2.3	シミュレーションの方法	42
3.2.4	結果および考察	58
3.2.4.1	採土サンプリャによる土塊切断の影響	58
3.2.4.2	セパレータによる土塊切断の影響	60
3.2.4.3	採土サンプリャとセパレータの両方 による土塊切断の影響	62
3.2.5	摘 要	66
3.3	圃場試験結果に基づく土塊分布測定法の検討	68
3.3.1	はじめに	68
3.3.2	試験方法	68
3.3.3	結果および考察	70
3.3.3.1	層別土塊分布	70
3.3.3.2	採土サンプリャ径および採土法の検討	73
3.3.3.3	節の目開き体系と使用個数	79
3.3.4	摘 要	85
第4章	ロータリ耕うんによる土壌の移動に関する研究	87
4.1	耕土の移動割合算出のための電気伝導度法 による基礎実験	87
4.1.1	はじめに	87
4.1.2	試験方法	88
4.1.3	結果および考察	90
4.1.3.1	測定EC値と計算EC値	90
4.1.3.2	耕土の移動割合算出式	92

4.1.4 摘 要	98
4.2 耕土の移動割合推定への電気伝導度法の適用	100
4.2.1 はじめに	100
4.2.2 試験方法	100
4.2.3 結果および考察	104
4.2.3.1 各圃場における土壌のEC値分布	104
4.2.3.2 ダウンカットロータリ耕うん試験	106
4.2.3.3 アップカットロータリ耕うん試験	110
4.2.4 電気伝導度法による試験実施上の留意点	116
4.2.5 摘 要	117
4.3 電気伝導度法による土壌の反転性の応用測定	119
— 耕うんピッチと土壌の反転性との関連 —	
4.3.1 はじめに	119
4.3.2 試験方法	119
4.3.3 結果および考察	122
4.3.4 摘 要	128
第5章 結 論	130
5.1 ロータリ耕うんによる土塊分布の測定・分析法	130
5.1.1 諸分布式による土塊分布の近似	130
5.1.2 採土に伴う土塊切断による平均土塊径への影響	131
5.1.3 圃場試験結果に基づく土塊分布測定法の検討	132
5.2 ロータリ耕うんによる土壌移動の測定・分析法	133
5.2.1 電気伝導度法による耕土の移動割合算出法	133
5.2.2 耕土の移動割合推定への電気伝導度法の適用	135

5.2.3	電気伝導度法による土壌の反転性の応用測定	136
5.3	土塊分布と土壌移動の新しい測定・分析法の提案	136
5.3.1	土塊分布の測定・分析法	137
5.3.2	電気伝導度法による土壌移動の測定・分析法	138
	参考文献	141
	謝 辞	149
付 録		
	用語の説明	150
	図表一覧	152
	資料 I (第 3 章 2 節のプログラム)	157
	資料 II (第 3 章の土塊分布測定データの一部)	183

第 1 章 序 論

1. 1 はじめに

耕うんは作物栽培にとって重要な基本作業である。農業機械ハンドブック⁶²⁾によると「耕うんとは作物栽培をするために土壌を耕起し、反転、攪拌、砕土すること」と定義され、その主な目的として①種子の発芽や作物の生育に良好な土壌条件を作ること、②刈り株や雑草を耕土中に埋没することなどが挙げられる。土塊分布は砕土状態を表現する基本であり、また作物栽培にとって良好な土壌条件かどうかを判断する一指標にもなる。耕うんによる土壌の反転性（深さ方向の土壌移動）は、上記の耕うん目的の第2項を判定する根本的な指標である。これらの事より、土塊分布と土壌の反転性は、耕うん作業にとって最も重要な事項といえる。

我が国の耕うん法はプラウ耕とロータリ耕に大別されるが、現在ではロータリ耕が一般に多用されている。このことは、1988年のプラウ出荷台数⁸¹⁾ 13,500台に対し、ロータリの出荷台数が約88,700台とはるかに多いことから裏付けられる。ロータリの普及台数についての統計数値はみあたらないが、30PS以下の乗用型トラクタではロータリをセットにして販売するのが一般的であることを考えると、ロータリは少なく見積っても180万台（30PS以下の乗用型トラクタ普及台数⁸¹⁾：約180万台、1989年1月現在）ぐらい普及しているものと推測される。なお、この他にも歩行型トラクタ用のロータリも多数普及している。

このようにロータリ耕が主流になったのは、昭和40年頃からの乗用型トラクタによる水田作業の機械化に始まると言われている⁹⁶⁾。

水田でのトラクタによるプラウ耕は、①均平性(耕うんの開口部と終了部の均平性) ②碎土性 ③耕盤破壊 ④トラクタの走行性などの問題点があり、これらがプラウ耕普及の阻害要因となった。つまり、我が国の農業機械化が水田を中心に行われてきたことが、ロータリ耕を主流とさせた主要因といえよう。この他に畑地においては、①耕起と碎土の同時化により省力性が優れている ②碎土性が良く播種床づくりに適している点などが、ロータリ耕を普及・拡大させた要因と考えられる。

1. 2 ロータリ耕うんの特徴

ロータリ耕うんの特徴はプラウ耕うんとよく比較されるが、その長所および短所としては以下の点があげられている^{18,26,54,82)}。

【長所】

(1) 碎土性(図1-2-1(a))が良く、重粘地の耕うんや播種床づくりに適する。

(2) 耕起と碎土の同時化で能率が高く、作業適期の短い裏作や寒

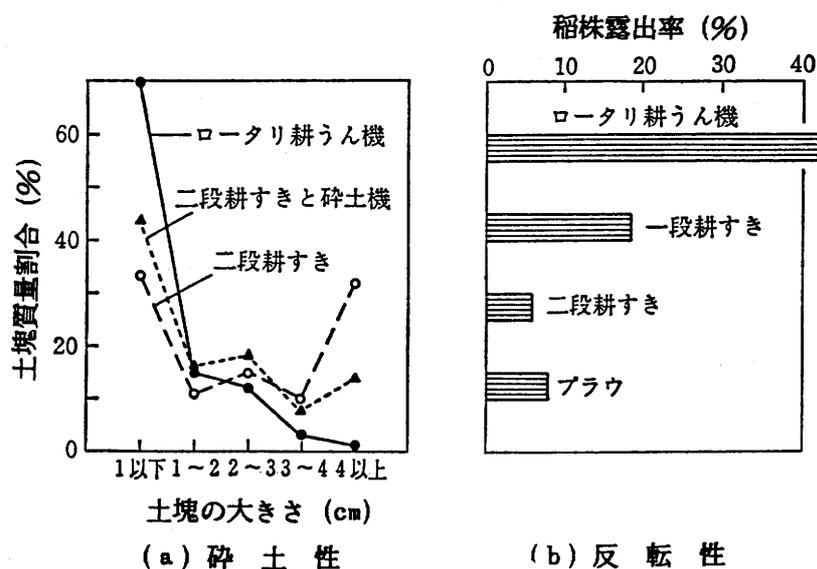


図 1-2-1 ロータリ耕とプラウ耕の碎土・反転性²⁶⁾

冷地での使用に適している。

(3) ロータリの駆動力がトラクタに対する前進力として作用するため、粘湿地でも車輪の滑りや沈下が少なく作業し易い。

(4) 耕うん後の土壌の均平性が保てるので、水田では代かきおよび田植え作業に支障をきたさない。また、代かき作業にも利用できる。

(5) 作業に当たっての調整法が、プラウに比べ簡単である。

【短所】

(1) 土壌の反転性がプラウ耕に比較して劣る（図1-2-1(b)参照）。

(2) 碎土しすぎて乾土効果が悪く単粒化し易い。したがって、作物の発芽、初期生育には良いが、土壌の通気性・透水性が低下し易く、生育後期には必ずしも好適条件といえない。

(3) 所要動力が大きく、浅耕になり易い。この浅耕の問題としては1980～1983年の東北地方を中心にした水稻冷害の一因に、ロータリによる浅耕化が指摘されたこともある¹⁵⁾。

(4) 水田では耕うんにより埋没したわらや雑草などが、代かき時に表層へ出てくる割合がプラウ耕より多い。

1.3 ロータリ耕うんの動向

ロータリが耕うん機械の中で優れた碎土性能を持つとはいえ、従来のダウンカットロータリ（正転ロータリ）では、水田において1回の耕うんで直ちに播種できるまでの碎土は不可能であった。しかし、1980年代初めに出現したレーキ付きアップカットロータリ⁴⁷⁾（逆転ロータリ）が、上記の課題を解決した。そして、転作田や水田裏作地帯において、その利用が拡大している。

図 1-3-1 にレーキ付きアップカッターの模式図を示した。このロータリは、ダウンカッターに対し①回転方向が逆で②カバーと回転爪との間に円弧状のレーキを装着している点

が大きな特徴である。耕うん爪により放てきされた土塊のうち、大きい土塊はレ

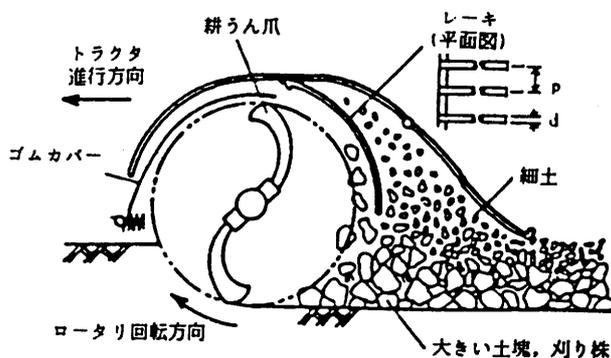


図 1-3-1 レーキ付きアップカッター (原図 唐橋 需²³⁾)

注) レーキ棒のピッチ(p): 35~38 mm
直径(d): 8~10 mm

ーキにあたり先に落下し、レーキを通過した小土塊がその上に落下する仕組みになっている。したがって、表層が細かく下層が粗い土塊となり、作物栽培にとって好ましい土壌の2層構造が作れるようになった。また、アップカッターは、刈株などの埋没性能も優れている^{23,53)}。アップカッター出現の直後に2軸ロータリが開発された。これは、正転ロータリの後方に小形の逆転ロータリを装備し、表層の土塊を碎土する機能をもたせているので、アップカッターと同様な土層構造を作りだせる。

根菜類の栽培用として、深さ40~50cmまで耕うん可能な深耕ロータリが1980年代に開発されたのも大きな特徴である。この深耕ロータリの出現は、トラクタの大型化と超微速装置の開発に依拠するところが大きい。また、最近では所要動力を軽減させるための部分深耕ロータリ(最大耕深1m)、爪本数の減少とロータリ軸回転数の低下で低動力とした中深耕ロータリ(水田での耕深17~18cm、畑での耕深25~28cm)などが出現した。

前記のごとく、従来のロータリの欠点を克服した種々のロータリ

が、用途別に開発・出現している。また、既存のロータリではロータリ爪の改良、ロータリのカバーを可動式にする改良なども行われている。これらの状況をみると、我が国において今後もロータリ耕うんが多用されることは確実と思われる。

1.4 本研究の目的

農業機械にとって耕うんは最も動力を要する作業であり、これまでも所要動力の軽減に関する研究³⁵⁾、耕うん作業機そのものの研究(例えば^{27,69,71)})は多数ある。しかし、作業結果についての評価を伴った報告はあまり多くない。耕うん作業結果として重要なのは①反転、②砕土、③均平、④耕深、⑤土層構造などである。均平・耕深などの測定は簡単であるが、反転・砕土・土層構造などの測定は難しい。これらについての試験法^{3,28,60,70,90,91)}はいくつか提案されているが、試験法として確立しているとは言いがたい⁵⁾。

前記のごとくアップカットロータリおよび2軸ロータリにより、表層が細かく下層が粗い土層構造を作れるようになったので、砕土状態と土層構造を合わせた層別土塊分布に関する試験法の確立は、ますます重要な課題となってきた。また、ロータリ耕うんは土壌の反転性が悪いというのが定説であるが、今後は反転性能を向上させたロータリの開発が望まれる。それには、現在のロータリの反転性能を正確に分析・把握せねばならないが、反転性について正確に測定し定量的に判断できる方法が未だ確立されていない。

本研究は前述の背景のもとに、ロータリ耕うんによる層別土塊分布について簡易で定量的な測定・分析法の確立、ロータリによる土壌の反転性を高精度で測定する方法の確立などを目的として始めたものである。具体的には以下の項目を目的として研究を行った。

(1) 土塊分布に対する諸分布式の適合性を検討し，土塊分布に最適な近似式をみつける。また，土塊分布の平均と標準偏差が簡単な代数式で表現されうるかの検討も加える。

(2) 採土に伴う土塊切断の影響がどの程度あるのか，球をモデルとするシミュレーションで推定する。つまり，円筒形採土サンプル，層別採土用のセパレータおよびその両者による土塊切断の影響を，土塊径の大きさと採土サンプル径，セパレータ間隔との対応で把握する。

(3) 層別採土の必要性の有無，採土サンプル径の縮小限界，採土法，篩の目開きおよび篩の使用個数などを検討し，最も望ましい土塊の採取一篩別体系を，測定の簡便性や誤差もふまえて決定する。

(4) ロータリ耕うんによる土壌移動の測定法として，KCl混入土を用い土壌の電気伝導度をトレーサとする新しい方法（以下では電気伝導度法と略称）を確立する。第1段階は，基礎実験を基にして耕土の移動割合算出式を導く。

(5) 電気伝導度法を用いた圃場レベルでのロータリ耕うん実験により，この方法の有効性を検討すると共に，その誤差を明らかにする。

(6) ロータリ耕うんによる土壌の反転性に影響する種々の要因解明に，電気伝導度法が利用可能か否か検証する。

ロータリ耕うんによる土塊分布と土壌移動の定量的な測定・分析法が確立されれば，①耕うん作業結果の適正な評価，②各種ロータリの作業性能の比較，③ロータリの構造面での改良・開発，④土塊分布との関連を追求する諸分野の試験（例えば作物の生育と土塊分布との関連）などに役立つものと思われる。

第2章 既往の研究報告と従来の試験法

2.1 土塊分布関係の研究報告

土塊分布に関連する文献は、①土塊分布の表現法 ②土塊分布の測定法 ③農作業機の作業結果としての土塊分布状況 ④農作業上における土塊分布の問題 ⑤作物の発芽・生育と土塊分布との関連 ⑥土塊分布と土壌物理性との関連などに大別される。

土塊分布の表現法には土塊径別質量(重量)パーセント, 砕土率⁵⁾, 平均質量直径^{4,5,65,95)}, 破碎係数⁵⁵⁾, 表面積法⁹⁰⁾, 諸分布式による近似法⁴³⁾などがある。これらの中で一般に多用されているのは, 土塊径別質量パーセント, 砕土率および農林省法⁶⁵⁾による平均土塊径であるが, その問題点は後述するので, ここでは省略する。増田・田中ら⁴³⁾は6箇所の試験地でロータリ耕うんした土塊を用い種々の表現法を検討している。この中で注目される点は, 土塊分布の表現法に粉体工学で用いるGaudin-Schuhmann式とRosin-Rammler式の適用を試みたことである。そして, これらの式はロータリ耕うんによる砕土土塊の分布に適用できると指摘している。

土塊分布の測定法には篩別法^{70,89)}, 秤量法⁶⁰⁾, 表面積法⁹⁰⁾などがある。RussellとTamhaneら⁷⁰⁾は, 篩別法による3チームの土塊分布測定値を比較し, 測定者により土塊測定値が異なる場合があると指摘している。また, この文献の中で篩別法の問題点として, 篩別中における土塊の破碎や3mm以下の土塊の付着などをあげている。土屋⁹⁰⁾は土塊分析法として表面積法を提示し, この方法を用いて種々のロータリ型耕うん機の砕土性能および耕うんピッチ, 耕うん軸回転数と砕土性との関係を調べた。

農作業機と土塊分布の関係では，ロータリの回転方向・回転数，爪の形状・数などの違いによる碎土性能の変化を調べている報告^{8, 10, 23, 25, 43, 46, 53, 67, 85, 86, 87)}が多い。土性，土壤水分の相違と土塊分布との関係は，上記のロータリ碎土性能試験の報告中の一部に記されている。金谷ら²²⁾は，重粘土壤の水田と転換畑で種々のロータリを用い碎土率の試験を実施した。その中で土壤含水比と耕うんピッチが変化した場合の碎土率を調べ，土壤含水比が碎土率に大きく影響することを明らかにした。また，久津那ら^{40, 80)}は，土壤の物理性（固相率，仮比重，土壤硬度，土壤含水比，コンシステンシー指数）と碎土率との関係を詳細に調べている。

ロータリによる土塊発生機構解明の研究^{45, 75, 94)}も若干あるが，その報告数は少ない。渋沢ら^{78, 79)}は，重粘土のアップカットロータリ耕うん実験で土塊の形成過程を追究している。この報告では，切削された土塊の亀裂や凹凸が小土塊形成の主要因と述べている。また，土塊の形状をフラクタル次元を用いて解析することを試みている。

土塊による農作業上の問題としては，バレイショ・カンショなどの機械収穫中における収穫物と土塊の分離の問題^{7, 72, 83, 97)}が取りあげられている。Campbell²⁾はバレイショ収穫時の土塊分離に関連する事項として，土塊の破碎強度を測定した。

作物の発芽・生育と土塊分布に関する文献^{1, 9, 19, 20, 39, 63, 64, 68, 88, 93, 98)}は多数みられる。しかし，作物の種類ごとに適正な土塊分布が異なると思われるので，この視点からすると，これらの研究数は未だ不足している。水稻の乾田直播栽培の地帯別耕種基準^{63, 64)}では，水稻の発芽苗立を安定させる条件として，上層内に直径2 cm以下の土塊が質量で60～70%以上あることが必要としている。こ

のような基準が主要作物について作成されれば，農作業上は便利になるであろう。

2. 2 耕うんによる土壌の変位(移動)に関する報告

耕うん作業を対象とした試験報告(例えば 11, 16, 33, 34, 37, 57, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 84) は種々あるが，その中でロータリ耕うんによる土壌の変位(移動)・反転性(上下方向の移動)のみに焦点を当てた研究は少ない。以下では，ロータリ耕うんによる土壌の変位・反転性に関する代表的な報告について述べる。

常松ら^{91, 92)}はロータリ型とクランク型の耕うん機を供試し，畑地と水田で土壌の変位について測定している。この土壌変位のトレーサとしては稲わら，チョーク片を用い，耕うん刃の種類や変速条件を変え実験した。そして，「土壌混和の精度」を定義し，その値で耕うん性能を評価している。

川島ら^{28, 31, 32)}は，ロータリ耕うんによる土壌の変位を分散率・混合率・埋没率・反転率などに区分・定義し，3機種(ロータリ型，クランク型およびスクリュ型)による試験結果を詳細に検討し，硫酸を混入した土壌の変位を基準として，種々のトレーサ(チョーク片・糶・糶がら・わら稈・ビニールパイプ・木片・鉄片)のロータリ耕うんによる変位を求めている。その結果，「耕うん土壌より仮比重の軽い供試片(トレーサ)ほど上層への分散変位の割合が大きく，形状的には大きい供試片ほど上層への分散変位の割合が大きい，いわゆる浮き上がり現象を示す」ことを明らかにした。さらに，この硫酸混入土壌の分散値を基準にし，前記トレーサの信頼性について論じている。

陳ら³⁾は小麦の発芽種子をトレーサとする方法を考案し，3種類のロータリ耕うん刃を用い，反転性能試験を実施している。また，ロータリによる土壌の投てきパターンの分類を行い，それと反転性能との関連を検討しているが，この点は注目される。”この方法は土壌の投てき状態を正確に把握できることが長所であり，一方，中・下層の土壌変位に応用できないことが欠点である”と述べている。

松尾ら^{44,45)}はロータリによる土壌の砕土・投てき過程を8ミリカメラで撮影し，その反転性能を検討している。なお，ロータリの反転性能に直接ふれていないが，渋沢ら⁷⁵⁾による土塊の後方投てき特性に関する研究は，ロータリ耕うんによる土壌の変位・反転性を追究してゆく上で，参考になるものと思われる。

2.3 従来の土塊分布測定法と表現法

以下には従来の土塊採取法・分析法，土塊分布の表現法と共に，その特徴や問題点も含めて記述する。

2.3.1 土塊の採取法

2.3.1.1 採土面積を50cm平方に規定した方法

この方法に属するものには，農林省法⁶⁵⁾と秤量法⁶⁰⁾がある。農林省法では耕深までの深さの全土塊を採取する。これに対し秤量法では，50cm平方の鉄板正方形枠を利用し，測定目的に応じて土塊の採取深さを変えてもよいとしている。これらの方法の場合，①採取土量が多いため土塊分析に多大の労力を要する ②層別に土塊採取をする概念が無い，などの問題点があげられる。

2.3.1.2 採土サンブラ(円筒)を用いる方法

従来、内径200～500mmの採土サンプルが適当とされ⁸⁹⁾、研究者によって適宜種々のものが使用されてきた。例えば、土屋⁹⁰⁾は直径200mm、高さ300mmの採土サンプルを使用した。農林省法は農業機械化研究所（現在の生研機構）に継承され、新たな採土法が加えられた。この方法を農機研法^{34,61)}と呼ぶ。農機研法では、内径300mmの鋼製サンプルにより深さ150mmまで全層採土する。また、農機研法では50cm平方の表土を深さ70mmまで採取する方法も併用する。採土サンプルの径を大きくし土塊採取量を多くすれば測定誤差は小さくなるが、その反面、土塊採取・分析時間は表2-3-1に示したように大きく増加する。例えば、採土サンプル径200mmに対し400mmでは、その採土・篩分け所要時間が3.4～3.7倍にもなっている。したがって、許容測定誤差の範囲内では、採土サンプル径の小さい方が当然よい。先の例では採土サンプル径200、300mmのものが使用され

表 2-3-1 土塊の採取・篩分け所要時間

場所	採土サンプルの内径 (mm)	採土法	採土所要時間(分)	土塊篩分け時間(分)	合計(分)	指数
畑	100	一括	1.2	4.2	5.4	33
		分離	1.4	7.3	8.7	54
	200	一括	1.8	12.9	14.7	91
		分離	3.1	13.1	16.2	100
	400	一括	5.4	44.6	50.0	309
		分離	5.4	54.0	59.4	367

- 注 1) 所要時間は2名が共同で採土・篩分けした値、一括とは深さ15cmまでをまとめて処理した値、分離とは5cmごとの3層に分けて処理した値。
 2) 指数とは採土サンプル内径200mmで分離採土の合計時間を100にした値。

ているが、これは測定の簡便性と測定誤差の両方を経験的に考えてのことと思われる。今後、測定誤差を定量的に検討し、適切な採土サンプル径を決定する必要がある。

2.3.2 土塊の分析法

2.3.2.1 篩別法

土塊の分析法としては、この篩別法がその簡便さにより最も一般的に採用されている。表2-3-2に各種篩別法の篩の目開き体系を示した。篩の目開き体系は、等差数列的なものと等比数列的なものに大別される。また篩の数が少ないものでは4個、多いものでは7～8個となっている。表中のRothamsted法⁷⁰⁾では直径40cmの篩を使用す

表 2-3-2 現行篩別法の体系 (篩の目開き)

農林省	国営検査	北海道大学	Rothamsted	Mangeldort ⁶⁰⁾
10 mm	5 mm	2 mm	3 mm	4 mm
20	10	5	6	10
30	20	10	16	20
40	30	20	38	40
50	40	40		
70	80	80		
(80)				
100				

- 注 1) 農林省法は、農業機械化研究所に継承され一部現用されている。
 2) 国営検査法は歩行形トラクタに用いられた⁸⁹⁾が、農業機械化研究所に継承されていないようである。
 3) 北海道大学方式に2 mmの篩の目開きが加わったのは、最近のことである。
 4) Rothamsted法の篩の目開きはインチ系であり、正確にはそれぞれ3.18, 6.35, 15.88, 38.1 mmの円孔板篩となっている⁵⁾。

るが、4段に重ねた(目開きの小さい順)一番上の篩に3~5kgの土壌を入れて静かにふるうとしている。そして、いずれの篩にも1.5kg以上の土壌が残ってはならないとの指針を設けている。1回に篩別する土塊試料の量は篩の大きさにより決まるが、Rothamsted法は他の大きさの篩を利用する場合も、その土塊試料の量を決定する時に参考となる。

この方法では、篩別操作中における土塊の崩壊、篩の目づまりなどが最も問題となる。これを防ぐための処置は、現実的にはなかなか困難と言われている⁵⁾。また、現状では篩別速度・回数などの測定条件の基準が全くなく、個々の測定者によって適宜決められている点も問題といえよう。

2.3.2.2 秤量法

秤量法⁶⁾では、まず鉄板枠(50cm平方)を土中に押しこみ、その中の土塊を必要な深さまで採取する。各土塊ごとに質量(実際上は重量)を測定し、100g以下、100~200g、200~400g、400g以上に区分して、各区分ごとの質量百分率を求める。なお、上記の質量区分は測定目的により適当に変えてよい。この方法での問題点は、各土塊の質量測定に相当な時間を要することである。

2.3.2.3 表面積法

この表面積法⁹⁾は次の手順で行う。①直径20cmの採土サンプルで土塊試料を採取する。②紙などを広げた上に試料を静かに取りだし、土塊の長径により0~1cm、1~3cm、3~5cm、5~7cm、7~10cm、10cm以上の群に分類する。③分類した各群の個数と質量を求める。④各群の乾燥質量を求め、各群の土塊1個の平均質量(乾燥値)を求める。⑤試料の真比重と密にこねた時の孔隙量を求め、平均質量

を求めた土塊の容積を計算する。⑥土塊は立方体と仮定して上記より求めた容積の辺長を求め、その表面積を計算する。なお、長径1 cm以下のものは全て1 cm³の立方体と仮定する。⑦求めた表面積の値に各群の個数を乗じ、それらを積算して総表面積を出し、更に試料500gに換算して比較する。なお、真比重や孔隙量を求めなくともよい簡便法⁹⁰⁾も考案されている。

この方法も前記の篩別法に比べると、測定時間と手間が多くかかると思われる。また、多くの操作や過程を経て土塊の総表面積を算出し、それで砕土性能を比較しようとしているが、表面積法のメリットが不明である。

2.3.3 土塊分布の表現法

ここでは、現在最も多用されている篩別法の分析結果の表現法について検討する¹³⁾。これまで行われてきた主な表現法をみると、①土塊径別質量パーセント（篩別によって各篩に残った土塊の質量パーセント）、②砕土率（10 mmあるいは20 mmの篩1個を用い、それを通過した土塊の質量パーセント）、③平均質量直径（土塊径別質量から計算される理論的な平均土塊径；農林省法の平均土塊径もこれに属す）などがある^{4,5,61,89)}。なお、平均質量直径とは、従来の平均重量直径のことである。

土塊径別質量パーセントは、正確に砕土状態を表現しているが、その指標としては欠点がある。篩の個数と同数程度のデータ群よりなり、砕土率あるいは平均質量直径のように単一の数値で砕土状態を表現できないからである。土塊径別質量パーセントは、砕土率あるいは平均質量直径その他を求める基礎データとして考えるのが妥当である。

砕土率が砕土状態を表現する適切な指標であるとすれば、篩は1個だけあればよく、優れた指標になりうるものとする。現在のところ篩の目開きとして10mmあるいは20mmが提案されているが、砕土率によって砕土状態を十分表現できるまで研究は進んでいない。今後の研究によって、作物の栽培にとって必要十分な情報を与えることが明らかにできれば、砕土率は砕土状態を示す有力な指標になる可能性はある。

平均質量直径は、砕土率と同様に単一の数値で表現できる点で優れた指標である。両者の優劣を考えてみると、平均質量直径の方が分かり易い。その理由は、砕土率の場合には篩の目開きをどう選ぶかが一義的に決まらないのに対し、平均質量直径の概念は明確であるからである。平均質量直径の欠点は、土塊分布のばらつきの違いを表現していない点にある。

前述の2.1項(P.7)でも触れたが、土塊分布の表現法に分布関数の適用を試みた例がある。先の主要な表現法の考察からして、もっとも優れた指標は土塊の分布関数そのものを簡単なパラメータによって示すことであることが分かる。もし土塊の分布関数を確定できれば、2～3個の篩を用いて砕土状態を表現できる可能性がある。そのような方法を確立すれば、これまでの研究成果を再整理することもできる。

2.4 従来の土壌変位(移動)の測定法

ロータリ耕うんによる土壌変位の測定では、土壌とトレーサが同一の動きをすることが最も大切である。そのために従来の研究では種々のトレーサを試みている。したがって、ここでは従来の試験法をトレーサで分類して記述する。

2.4.1 チョーク片・木片などをトレーサとする方法

この方法は次の通りである。①チョーク片や木片などのトレーサを深さ方向，進行方向，横方向ごとに色分けあるいはナンバーを付け，一定間隔に埋設する。②耕うん後にトレーサを順次掘りだし，その位置を測定してトレーサの変位を求める。③トレーサの変位より，土壌の変位量あるいは反転性を算出する。トレーサの埋設に当っては，各層の土壌硬度を一定にするため，2～3 cmごとに土壌を鎮圧している。また，トレーサの位置測定には，測定精度の向上と能率化を計るため，専用スケールを試作し用いている。

川嶋ら^{30,32)}は種々のトレーサを用いて実験し，「トレーサが軽いものほど，また形状の大きいものほど浮き上がりの現象を呈し，逆の場合は沈み込み現象を呈する」と指摘した。そして，種々のトレーサの中では，長さ1 cm前後のチョーク片の信頼性が最も高いと言っている。しかし，このチョーク片（比重0.628）は実験実施24時間前に埋設し，土壌水分を吸収してほぼ見掛けの密度が，土壌の湿潤密度に等しくなるよう配慮している。

この方法による試験の優劣は，耕うん土壌の湿潤密度とトレーサ密度の差が小さいか否かによって左右される。また，試験精度の向上には，トレーサの埋設間隔を小さくすればよいが，それに伴い耕うん後のトレーサ掘り出し時間と労力が急増するという問題点が残る。

2.4.2 刈り株・稲わら・麦稈などをトレーサとする方法

これらのトレーサを用いて刈り株露出率，埋没率を求める方法は，その簡便性からして一般によく利用されている。しかし，これは耕

うんによる土壌の反転性の一指標にすぎない。

刈り株露出率は、耕うん前の一定面積の刈り株数に対する耕うん後の露出株数の比率である。稲わら・麦稈などの埋没率は、①地表面に切断わらを散布、②耕うん後に露出しているわら、各層に埋没したわらを掘りだし計量して、次式⁶⁶⁾によって求める。

$$\text{埋没率} = \{ (\text{散布量} - \text{露出量}) / \text{散布量} \} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{各層埋没率} = (\text{各層別の埋没量} / \text{埋没量合計}) \times 100 \quad (\%)$$

川嶋ら³⁰⁾は、わらの長さ(2~20cm間で5水準)を変えて耕うん後の各層への移動割合を調べ、わらの長さによって各層への移動割合が異なることを明らかにした。しかし、従来の研究報告では、供試わらの長さを記入していない例が多数みられる。また、川嶋ら²⁸⁾の埋没率と上記の埋没率の定義が違うことなども考えると、現在、この方法は多用されているので、早急に基準づくりが必要かと思われる。

2.4.3 小麦の発芽種子をトレーサに用いる方法

この方法は陳ら³⁾によって考案されたもので、その内容は以下の通りである。①試験区の土壌表面に麦種子を均一(1粒/cm²)にまき、約1cmほど覆土する。②約1週間の後、子葉の長さが12~13cmに成長した時点で、子葉をはさみで切り取り、試験区を耕うんする。③耕うん後の土を深さ方向3区分、進行方向で7区分(50cm間隔)の計21区分に分け、各ブロックごとに同質量の耕土を採取する。④各ブロック内にある麦種子の粒数を検出し、定義した式で反転率を算出する。

この方法の長所は、発芽した麦の根が土塊にしっかりと付いてい

るので、トレーサと土塊が一緒に投てきされる点である。しかし、中・下層の土壤変位測定に利用できないし、また麦種子を発芽させるという面倒な手順を必要とする点などが短所である。

2.4.4 硫安の混入土壤を用いる方法

この方法は川嶋ら³⁰⁾が採用し、種々のトレーサの信頼性を求めるに当って基準とした方法である。主な要点は次の通りである。①試験区の土壤 2 kgに硫安 250gを充分混合し、試験区の地表面に埋設したチョーク片の露出部分が無くなる程度に薄く散布する。②耕うん後、散布範囲内の30~40cm区間の土壤を層ごとに採取し、充分に攪拌・混合する。③その中から50gの試料をビーカーにとり、蒸留水 150cm³を加え充分に攪拌・溶解させ、溶液をろ過する。④ネスラー試験により比色分析を行い、硫安土壤の耕うん後各層への分散変位の割合を算出する。

この方法は硫安を混入しているものの、土壤そのものをトレーサとしている点で画期的な方法である。ただし、試験区へいかにして均一に硫安混入土壤を薄く散布するかが課題と考えられる。

第3章 耕うんによる層別土塊分布の測定・分析法に関する研究

3.1 諸分布式による土塊分布の近似

3.1.1 はじめに

本研究は，ロータリ耕うんによる土壌構造の変化のうち碎土状態について，簡易で定量的な分析法の確立をめざして始めたものである。従来の土塊分布測定では，円筒形採土サンプルと篩別法の採用例が多い。したがって，この点と上記の目標を念頭において，本研究でも円筒形採土サンプルおよび篩別法を採用した。

採土サンプルの大きさ，層別採土法および篩別法などの検討を行う場合，土塊分布をどのように表現するかが第一の課題である。土塊分布の適切な表現法が確立されない限り，碎土状態に関する研究の進展はないものと考えても過言ではない。前章で従来の土塊分布表現法を検討したが，いずれも問題点を含んでおり，表現法として確定的なものはない。

土塊分布が関数で表現できれば，前章で若干触れたごとく種々の利点がある。本節の目的は土塊分布に最適な近似式をみつけることにある。したがって，ここでは土塊分布の近似式としての適合性が見込まれる以下の諸分布式を取り上げた^{14,49)}。つまり本節では，粉体工学の分野でよく用いられる粒度分布式^{24,48)}（対数正規分布式，Rosin-Rammler式，Gaudin-Schuhmann式）とWeibull分布式^{42,56)}（Rayleigh分布^{38,41)}を含む）による土塊分布の近似を，沖積地水田・洪積台地畑・洪積台地水田ごとに検討・考察する。また，土塊分布の指標が各分布式のパラメータで簡単に表現できるかなどの検討も行った。

3.1.2 試験方法

表3-1-1に各試験場所における土壌の土性・含水比，耕うんピッチ，採土サンプルおよび供試節の概要などを示した。また，供試ロータリの主要諸元は表3-1-2のとおりである。

表 3-1-1 試験条件の概要

項目	沖積地水田	洪積台地畑	洪積台地水田
土 壤 型	灰色低地土	淡色黒ボク土	淡色黒ボク土
土 性	S i C	C L ~ L i C	C L ~ L i C
土壌含水比(%)	36.8~47.8	54.2~65.1	71.8~89.1
塑性限界(%)	33.0	57.2	64.6
液性限界(%)	54.0	76.7	86.6
耕うんピッチ (mm)	13,26~30,46~50, 69~76 (4水準)	14,32 (2水準)	14,32 (2水準)
採土サンプル	φ200・300mm鋼製 φ210mm塩ビ製	φ100・200・400mm鋼製 50mm間隔にスリット	φ100・200・400mm鋼製 50mm間隔にスリット
供 試 節	新旧JIS標準節・特別注文節	新JIS標準節(φ200×60)	新JIS標準節(φ200×60)

注) 土壌含水比(自然含水比)：沖積地水田は5月と12月調査の値。乾湿状態は，沖積地水田の場合普通の状態，洪積台地畑の場合やや乾いた状態，洪積台地水田の場合やや湿った状態であった。塑性限界と液性限界は風乾土の値。

表 3-1-2 供試ロータリ

項目	沖 積 地 水 田		洪 積 台 地 畑 ・ 水 田
	レーキ付きアップ カットロータリ	ダウンカット ロータリ	ダウンカットロータリ
耕うん幅 (mm)	1196	1366	1500
耕うん爪回転径(mm)	490	490	460
耕うん爪の種類	慣行なた爪 異形なた爪	慣行なた爪 異形なた爪	慣行なた爪
爪の取付け方法	フランジ式	フランジ式	ホルダ式
爪 本 数	24	28	34
爪 駆 動 方 式	サイドドライブ	サイドドライブ	サイドドライブ

注) レーキはφ10 mmの丸鋼からなり，その間隔は25 mmである。

3.1.2.1 沖積地水田

沖積地水田（旧農業機械化研究所農場；埼玉県北埼玉郡川里村）では，供試ロータリの回転方向，耕うん爪および耕うんピッチなどを変え，16種類の試験区で1983年5月と12月に試験を実施した。

ロータリ耕うん後の土塊は表3-1-3に示した3種類の方法で採土・篩別し，土塊径別質量および水分を測定した。ここでは，内径200mmの鋼製サンプル（図3-1-1）で深さ150mmまで層別採土（50mm厚さ）し，新JIS標準篩で篩別する方法を茨城大標準法と呼ぶ。これまでよく使用されてきた目開き体系（10,20,40,80mm）は，新JISZ8001⁵⁹⁾の網篩では得られないので，本研究では標準数（JIS Z8601）の誘導数列R20/6の体系，すなわち1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0, 31.5, 63.0, 125.0の8個の篩を選んだ。また，内径210mmの硬化塩化ビニール製

表 3-1-3 採土法と篩別法

名称	茨城大標準法	インチ系法	農機研法
サンプル	φ200mm鋼製	φ210mm塩ビ製	φ300mm鋼製
採土法	50mm層別採土 (150mm 深さ)	50mm層別採土 (100mm 深さ)	150mm 全層採土 70mmの表層採土
篩の 目 開 き 体 系	1 mm	1.7 mm	10 mm
	2	2.4	20
	4	5.7	30
	8	9.5	40
	16	19.1	50
	31.5	25.4	70
	63	38.1	(80)
	125	50.8	100
篩の大き さと材質	新JIS標準篩 φ200×60真鍮製	旧JIS標準篩 φ200×60真鍮製	特別注文篩 φ430×60木枠製

注) 一部の実験ではφ83, φ125, φ300の塩ビ製サンプルを用い，標準篩別法により篩別した。

サンプルを用い深さ100 mmまで層別採土（厚さ50mm）し，インチ系目開きの旧JIS標準篩⁵⁸⁾を利用する方法を，ここではインチ系篩別法と呼ぶ。

沖積地水田では，種々の採土サンプルと篩体系のもとで総計240回と多数の測定を行った。なお，土塊の篩別操作は，篩別中に土塊が破碎しないよう注意ぶかく静かに行った。

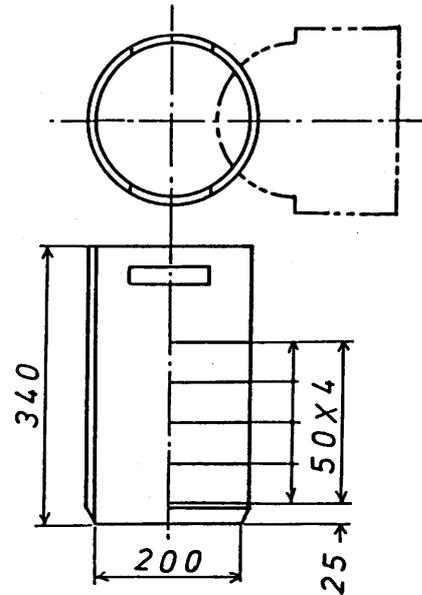


図 3-1-1 供試採土サンプル

3.1.2.2 洪積台地畑・水田

洪積台地畑と水田は茨城大学農学部附属農場の圃場（茨城県稲敷郡阿見町）で，その土性はCLとLiCが地点によって混在している。試験はダウンカットロータリを用い1984年に耕うんピッチ14mm，1985年に耕うんピッチ32mmで実施した。耕うん後の採土は，図3-1-1に示したφ200mmの鋼製サンプルおよび内径のみ異なるφ100・400mm鋼製サンプルの3種類を使用して行った。なお，採土深さは150mmで50mmごとの層別採土とした。供試篩は表3-1-3に示した新JIS標準篩を用いた。洪積台地水田の場合は，土塊径4mm未満の篩別けが篩の目詰りにより不可能であったので，目開き4mm以上の篩の使用とした。測定数は洪積台地畑で計239回，洪積台地水田で225回であった。

3.1.3 諸分布式による近似

本節では常用対数をlog，自然対数をlnの記号で表す。以下では

粒子径を x , 積算篩上質量(重量)パーセントを $R(x)$, 積算篩上質量比を $R_1(x)$, 積算篩下質量パーセントを $U(x)$ とする。また, 本実験では粒子径 x が土塊径に相当している。

3.1.3.1 対数正規分布式 (Hatch-Choateの分布式)

対数正規分布の場合, 積算篩下質量パーセント $U(x)$ は次式で表される。

$$U(x) = \frac{100}{\log \sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp \left\{ -\frac{(\log x - \log x_{50})^2}{2 \log^2 \sigma} \right\} d(\log x) \quad (1)$$

ただし, $\log \sigma$ は粒子径の対数値の標準偏差 (幾何標準偏差), x_{50} は積算篩下質量50%の粒子径である。粒度分布データが対数正規分布に適合するかのチェックには横軸に粒子径の対数値, 縦軸の正規確率目盛りに積算篩下あるいは篩上質量パーセントをプロットして, その直線性を調べればよい^{48, 56)}。そして, この直線性の良否は相関係数が指標となる。ここでは正規確率目盛上に積算篩上質量パーセントをプロットし, そのプロット点の横軸からの高さ^{と土塊径の対数値との間の相関係数を求め直線性を検討した。なお, 横軸からの高さは, 積算篩上質量99.9%の点を基準にして求めた。}

3.1.3.2 Rosin-Rammler 式

Rosin-Rammler式は次の(2)式で表される。

$$R(x) = 100 \cdot \exp(-bx^n) \quad (2)$$

(b, n : パラメータ)

(2)式において $b = 1/d^n$ とし変形すると, 次の(3)式を得る。

$$\log \{ \log(100/R(x)) \} = n \cdot \log x + \log(\log e) - n \cdot \log d \quad (3)$$

上式の左辺を Y , $\log x = X$, $c = \log(\log e) - n \cdot \log d$ とおけば

(3)式は次の1次式の形になる。

$$Y = nX + c \quad (4)$$

実験データから X , Y を計算し, この両者間に直線関係が得られれば(4)式が成立することになる。ここでは, 土塊径の対数值 $\log x$ と積算篩上質量パーセント $R(x)$ の変換値 $\log \{ \log(100/R(x)) \}$ との間の相関係数を求め, Rosin-Rammler式が土塊分布の近似式として適合するかどうかを検討した。

3.1.3.3 Gaudin-Schuhmann 式

Gaudin-Schuhmann式は次式のごとく表される。

$$U(x) = 100 \left(\frac{x}{k} \right)^m \quad (5)$$

(ただし, $x/k \leq 1$, k, m : パラメータ)

(5)式の両辺の対数をとって変形すると次式を得る。

$$\log U(x) = m \cdot \log x + \log(100/k^m) \quad (6)$$

したがって, $\log U(x)$ と $\log x$ をプロットして直線関係が得られれば, Gaudin-Schuhmann式により土塊分布を近似できることになる。なお $\log U(x) = Y$, $\log x = X$, および $\log(100/k^m) = c$ とおけば, (6)式は次の1次式で表される。

$$Y = mX + c \quad (7)$$

3.1.3.4 Weibull分布式

Weibull分布は信頼性工学でよく用いられている⁴²⁾が, その確率密度関数 $f(x)$ は次式によって示される。

$$f(x) = \frac{m}{a} (x - \gamma)^{m-1} \exp \{ -(x - \gamma)^m / a \}, \quad x \geq \gamma \quad (8)$$

ここで a は尺度のパラメータ, γ は位置のパラメータである。

また、 m は形のパラメータと呼ばれ、図3-1-2に示したように m の値によって分布曲線の形が変わる。

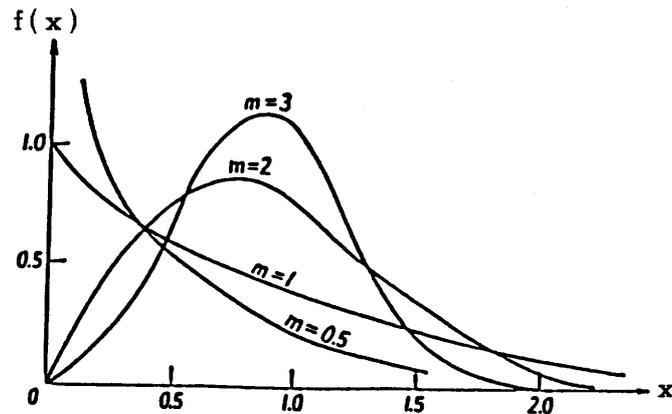


図 3-1-2 Weibull分布曲線 ($\alpha = 1, \gamma = 0$)

Weibull分布の確率密度関数を定積分すると信頼度関数が得られ次式で表される。

$$R_1(x) = \exp \{ -(x-\gamma)^m / \alpha \} \quad (9)$$

(9)式を変形すれば次に示す(10)式となる。

$$\sqrt[m]{-\ln R_1(x)} = \frac{x}{\sqrt[m]{\alpha}} - \frac{\gamma}{\sqrt[m]{\alpha}} \quad (10)$$

したがって、 $\sqrt[m]{-\ln R_1(x)}$ と土塊径 x との間の相関係数で、Weibull分布による土塊分布の近似が可能か検討できる。ここで $y = \sqrt[m]{-\ln R_1(x)}$ 、 $a = 1/\sqrt[m]{\alpha}$ 、 $b = -\gamma/\sqrt[m]{\alpha}$ とおけば、(10)式は次に示す1次式となる。

$$y = a x + b \quad (11)$$

Weibull分布において $m = 2$ の場合を一般にRayleigh分布と呼び、この分布はWeibull分布より数十年前に発見されている³⁸⁾。なお、Rayleigh分布は摩擦係数のばらつきの分布など¹²⁾にもよく適合するといわれている。

3.1.4 結果および考察

3.1.4.1 Rayleigh分布による土塊分布(沖積地水田)の近似

ここでは諸分布式の中からRayleigh分布式を例に取り上げ、その近似の手順・結果、近似計算値と測定値間の差などの検討を行う。

1) 近似の手順

沖積地水田の実験で得られた土塊分布に、Rayleigh分布が当てはまるかどうかを一例について検討する。

表3-1-4は、慣行なた爪・レーキ付きアップカッターによる実験結果について積算篩上質量比 $R_1(x)$ を求めたものである。表3-1-5に $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ の算出手順を示した。表3-1-5に示した x と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ との関係をプロットすると図3-1-3が得られる。この図から明らかなように土塊分布はRayleigh分布でよく近似されている。表3-1-5について最小二乗法をもちいて相関係数 r 、傾き a 、切片 b を求め、さらに後記の表3-1-14の式から平均質量径(標本平均値)

表 3-1-4 測定結果の一例
(アップカット・慣行なた爪・耕うんピッチ29mm・10~15cm層)

土塊径 (mm)	質量 (g)	質量比	X	積算篩上質量比
$0 \leq x < 1$	7.4	0.0035	0	1.0000
$1 \leq x < 2$	15.3	0.0073	1	0.9965
$2 \leq x < 4$	35.9	0.0171	2	0.9892
$4 \leq x < 8$	77.0	0.0366	4	0.9721
$8 \leq x < 16$	213.4	0.1016	8	0.9355
$16 \leq x < 31.5$	535.3	0.2547	16	0.8339
$32 \leq x < 63$	949.3	0.4517	31.5	0.5792
$63 \leq x < 125$	267.8	0.1274	63	0.1275
合計	2101.4	1.0000		

表 3-1-5 計算過程の例示
(アップカット・慣行なた爪・耕うんピッチ29mm・10~15cm層)

x	$R_1(x)$	$-\ln R_1(x)$	$\sqrt{-\ln R_1(x)}$
1	0.9965	0.0036	0.0601
2	0.9892	0.0110	0.1047
4	0.9721	0.0284	0.1685
8	0.9355	0.0668	0.2584
16	0.8339	0.1818	0.4236
31.5	0.5792	0.5463	0.7391
63	0.1275	2.0604	1.4354

\bar{x} と標準偏差 s を求めた結果を

以下に示す。

$$r = 0.999 ; a = 0.0217,$$

$$b = 0.0660$$

$$\bar{x} = 37.8(\text{mm}), s = 21.4(\text{mm})$$

2) 近似結果の検討

Rayleigh分布の信頼度関数による近似, すなわち(10)式の $m = 2$ として(11)式の傾き a と切片 b を求める方法をRayleigh変換法と呼ぶことにする。表3-1-6

に各種条件下におけるRayleigh変換法の相関関係を示す。

表3-1-7には相関係数の頻度分布を示した。データの90%が $r \geq 0.98$, 78%以上が $r \geq 0.99$ という非常に高い相関を示している。この結果から, 篩の目開き体系, 採土サンプル径, 採土法の相異, ロータリの回転方向, 耕うんピッチおよびロータリの刃などの条件の

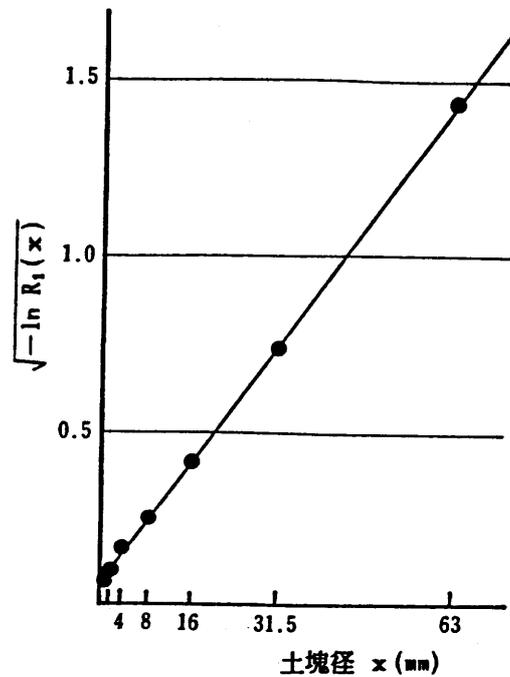


図 3-1-3 土塊径 x と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ との関係

表 3-1-6 Rayleigh変換後の相関関係

標本数	相 関 係 数 r		実 験 条 件			
	min.~max.	mean±s.d.	篩体系	サンブラ	回転方向	爪
18	0.958~1.000	0.990±0.010	1~63mm	φ 200	DC	N
21	0.986~0.999	0.995±0.005	〃	〃	UC	〃
12	0.983~0.998	0.994±0.004	〃	〃	DC	A
24	0.971~0.999	0.988±0.017	〃	〃	UC	〃
13	0.956~0.997	0.985±0.011	インチ系	φ 210	DC	N
13	0.977~0.993	0.986±0.007	〃	〃	UC	〃
8	0.967~0.998	0.987±0.011	〃	〃	DC	A
16	0.969~0.998	0.986±0.008	〃	〃	UC	〃
21	0.965~0.999	0.991±0.010	10~100mm	φ 300	DC	N
24	0.980~1.000	0.991±0.016	〃	〃	UC	〃
21	0.973~0.999	0.993±0.007	〃	〃	DC	A
24	0.945~1.000	0.990±0.012	〃	〃	UC	〃
17	0.977~1.000	0.995±0.005	1~63mm	φ 200	DC	N
17	0.997~1.000	0.998±0.001	〃	〃	UC	〃
17	0.990~1.000	0.996±0.003	〃	〃	DC	A
17	0.922~1.000	0.991±0.018	〃	〃	UC	〃
12	0.973~0.999	0.991±0.008	1~63mm	φ 83~300	DC	N
12	0.981~1.000	0.993±0.007	〃	〃	UC	〃
12	0.982~0.999	0.996±0.005	〃	〃	DC	A
12	0.976~1.000	0.989±0.008	〃	〃	UC	〃

注) DC :ダウンカット, UC :アップカット, N: 慣行なた爪, A:異形なた爪

違いに無関係に, 土塊径 x と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ との間に直線関係が成立しているといえる。したがって, 土塊分布をRayleigh分布 (図 3-1-2の $m = 2$ の分布曲線) で近似してよいことが明らかである。

表 3-1-7 相関係数の頻度分布

相関係数 r の階級	度数 f	割合 (%)
0.92 ≤	1	0.3
0.93 ≤	0	0
0.94 ≤	1	0.3
0.95 ≤	2	0.6
0.96 ≤	4	1.2
0.97 ≤	20	6.0
0.98 ≤	45	13.6
0.99 ≤	258	77.9
合 計	331	100.0

3) ばらつきの検討

Rayleigh分布によって近似した結果から得られる計算値と測定値との差を、誤差と考えるのには問題がある。測定値自体がばらつきをもっている上に計算結果をみると極めてよい近似 ($r = 1.00$) と悪い近似 ($r = 0.92$) がみられ、何をもちいて誤差と考えてよいか不明である。ここではRayleigh近似によって得られた分布を母集団と仮定し、測定値と計算値との差を相対的ばらつきとして検討する。すなわち、Rayleigh変換によって得られた各々の篩の目開き (i) の篩上質量比 W_i と実測値 W_i とから次式によって得られる ϵ を相対的ばらつきと名付ける。

$$W_i = R_1(x_i) - R_1(x_{i+1}) \quad (12)$$

$$\epsilon = \{(W_i - W_i) / W_i\} \times 100 (\%) \quad (13)$$

(1) もっとも悪い近似の例 ($r = 0.922$) 表3-1-8に示したように、かなり大きなばらつきを示した。4 mmの篩で約2倍、その他のところでも82%という大きなばらつきがある。この原因は測定値の

表3-1-8 近似式からのばらつき

(単位：%)

事例	(1) $r=0.922$			(2) $r=0.990$			(3) $r=0.999$		
	測定値	計算値	ばらつき	測定値	計算値	ばらつき	測定値	計算値	ばらつき
篩mm									
0	0.9	4.9	-81.6	0.4	0.2	100.0	1.5	1.6	6.3
2	1.9	3.4	-44.1	2.0	1.0	100.0	2.6	2.1	-23.8
4	25.9	8.8	194.3	6.2	9.0	31.3	6.5	6.7	3.0
8	30.7	31.5	-2.5	22.7	21.5	5.6	18.7	20.3	7.9
16	13.3	11.6	14.7	63.2	57.7	9.5	44.5	41.8	6.5
31.5	27.3	19.9	37.2	5.5	7.7	28.5	26.2	27.5	4.7

- 注 1) ばらつき (%) = (測定値 - 計算値) × 100 / 計算値
 2) 測定値および計算値は、いずれも篩上質量割合 (%) である。
 3) 篩の目開き「0」とは、土塊径では2 mm以下を意味する。

分布が4~31.5mm間でほぼ一定という特殊な形をしていることに求められる。

(2) 良い近似の一例 ($r = 0.999$) 相関係数がほぼ1に近いものの中から一例を表3-1-8に示した。この例のように最大で24%程度のばらつきを含んでいるが、全体的には10%以下のばらつきの範囲に収まっている。

(3) 平均的な近似の一例 ($r = 0.990$) 表3-1-8に示したように大きなもので100%内外のばらつきを示す。この例にもみられるが、左右の裾に当る部分は篩上質量比が小さいために、相対的ばらつきが大きく現れる。以上3例を示したが、データの80%は $r \geq 0.99$ であるから、ばらつきはほぼ例(2)と例(3)の間にあると考えてよい。これらの例からみて、Rayleigh分布によって得られた計算値は実用に供しうるものと考えられる。

3.1.4.2 諸分布式による土塊分布（全試験地）の近似

1) 土塊分布に対する諸分布式の適合性

表3-1-9~表3-1-11は、各試験地ごとの土塊測定データをもとに、諸分布式の変形した項から計算した相関係数の階級別頻度割合である。沖積地水田の場合、Rosin-Rammler分布式、Gaudin-Shuhmann分布式および $m = 2$ のWeibull分布式による相関係数は高い値を示し良好な近似結果になった。つまり、この3分布式において相関係数0.99以上の割合は77.9~89.2%と高く、また相関係数0.95以下が1%以内となっている。これらの分布式に対し、対数正規分布式による相関係数は総体的に低い値であった。

表3-1-10の洪積台地畑の計算結果をみると、Gaudin-Shuhmann式と $m = 2.0$ のWeibull分布式で相関係数0.99以上の割合が、沖積地水田

に比較し極端に少なくなっている。一方、Weibull分布では $m = 0.5$ および $m = 1.0$ の相関係数が、沖積地水田に比べ著しく高い値になった。そして、相関係数0.91未満の悪い近似結果が対数正規分布式、Rosin-Rammler式および $m = 2.0$ のWeibull分布式で13.5~19.7%も生

表 3-1-9 各分布式における相関係数の頻度割合 —沖積地水田—

(単位：%)

相関係数 r の階級	対数正規分布	Rosin-Rammler	Gaudin-Shuhmann	Weibull分布		
				$m=0.5$	$m=1.0$	$m=2.0$
$r < 0.91$	0	0	0	21.9	1.2	0
$0.91 \leq r < 0.92$	0.4	0	0	19.8	0	0
$0.92 \leq r < 0.93$	0.4	0	0	18.2	0.8	0.3
$0.93 \leq r < 0.94$	0.8	0.4	0.4	14.1	2.5	0
$0.94 \leq r < 0.95$	2.5	0.4	0.4	13.2	1.7	0.3
$0.95 \leq r < 0.96$	7.5	1.3	0.8	5.4	10.7	0.6
$0.96 \leq r < 0.97$	10.4	2.1	0.4	1.7	12.8	1.2
$0.97 \leq r < 0.98$	21.3	2.9	1.7	3.7	17.4	6.0
$0.98 \leq r < 0.99$	33.3	12.1	7.1	1.2	25.2	13.6
$0.99 \leq r$	23.3	80.8	89.2	0.8	27.7	77.9

表 3-1-10 各分布式における相関係数の頻度割合 —洪積台地畑—

(単位：%)

相関係数 r の階級	対数正規分布	Rosin-Rammler	Gaudin-Shuhmann	Weibull分布		
				$m=0.5$	$m=1.0$	$m=2.0$
$r < 0.91$	13.5	19.7	0	0	0	18.0
$0.91 \leq r < 0.92$	2.1	0	0	0	0	1.3
$0.92 \leq r < 0.93$	2.1	0	0	0	0.4	1.7
$0.93 \leq r < 0.94$	0.8	0	0	0	1.3	2.9
$0.94 \leq r < 0.95$	0.8	0	0.8	0	0.8	2.9
$0.95 \leq r < 0.96$	0.4	0	3.8	0.4	0.8	3.8
$0.96 \leq r < 0.97$	0	0	7.9	0.4	3.4	3.3
$0.97 \leq r < 0.98$	2.9	0	18.8	5.4	5.0	14.6
$0.98 \leq r < 0.99$	13.4	2.1	37.7	15.0	10.4	33.1
$0.99 \leq r$	64.0	78.2	31.0	78.8	77.9	18.4

表 3-1-11 各分布式における相関係数の頻度割合 — 洪積台地水田 —

(単位：%)

相関係数 r の階級	対数正規分布	Rosin-Rammler	Gaudin-Shuhmann	Weibull分布		
				$m=0.5$	$m=1.0$	$m=2.0$
$r < 0.91$	0	8.4	0	0.4	0.9	1.4
$0.91 \leq r < 0.92$	0	1.3	0	0.9	0	2.7
$0.92 \leq r < 0.93$	0.4	0.9	0	3.6	0	1.3
$0.93 \leq r < 0.94$	0.9	2.7	0	6.3	0	2.2
$0.94 \leq r < 0.95$	2.7	0.5	0.4	9.9	0	2.2
$0.95 \leq r < 0.96$	5.3	0.9	0	10.8	0.9	5.8
$0.96 \leq r < 0.97$	3.1	0.9	2.7	16.1	0.4	9.3
$0.97 \leq r < 0.98$	9.8	0.4	7.1	20.2	5.4	13.8
$0.98 \leq r < 0.99$	14.2	4.9	22.2	17.5	11.7	27.1
$0.99 \leq r$	63.6	79.1	67.6	14.3	80.7	34.2

じている。また Rosin-Rammler 式の場合、相関係数 0.99 以上の割合が 78.2% で、相関係数 0.98~0.91 の間が全く無く、それ以下が 19.7% も存在するという二極化した形が特徴的である。

洪積台地水田の場合、相関係数 0.99 以上の頻度割合は $m=1.0$ の Weibull 分布が 80.7% と最高で、次いで Rosin-Rammler 式の 79.1%、Gaudin-Shuhmann 式の 67.6% の順であった。相関係数 0.91 未満の頻度割合は最大でも 8.4% であり、悪い近似結果は前述の畑地より少ない。しかし、ここでも Rosin-Rammler 式の場合、相関係数 0.91 以下の悪い近似が諸分布式の中で最も多いという問題点が認められる。

表 3-1-12 に諸分布式による近似検討で得た相関係数の平均と変動係数を示した。相関係数の平均値が 0.99 以上の高い値となったケースは、沖積地水田の場合 3 分布式、洪積台地畑の場合 1 分布式の 2 箇所、洪積台地水田の場合 2 分布式である。そして、相関係数の平均値が 0.99 以上のところは、変動係数が他に比べ明瞭に小さくなった。Rosin-Rammler 式の場合、その変動係数は洪積台地畑で 0.081、

表 3-1-12 相関係数の平均と変動係数

項 目		沖積地水田	洪積台地畑	洪積台地水田	全 体	
平 均	対数正規分布	0.979	0.974	0.987	0.980	
	Rosin-Rammler	0.993	0.960	0.983	0.978	
	Gaudin-Schuhmann	0.994	0.983	0.991	0.989	
	Weibull 分 布	m=0.5	0.923	0.993	0.968	0.961
		m=1.0	0.976	0.992	0.993	0.987
		m=2.0	0.991	0.953	0.977	0.974
変動係数	対数正規分布	0.014	0.042	0.015	0.028	
	Rosin-Rammler	0.009	0.081	0.036	0.052	
	Gaudin-Schuhmann	0.008	0.011	0.008	0.010	
	Weibull 分 布	m=0.5	0.033	0.008	0.021	0.038
		m=1.0	0.018	0.013	0.012	0.017
		m=2.0	0.009	0.063	0.025	0.042

洪積台地水田で0.036と諸分布式の中で大きな値になったが、これは表3-1-10～11にみられるごとく、データより計算された相関係数の大部分が0.99以上と0.91以下の階級に集中したためである。

Weibull分布を除く諸分布式の中では、Gaudin-Shuhmann式による相関係数の平均値が、0.983～0.994と最大で良い近似結果を示した。また、Gaudin-Shuhmann式の変動係数は各試験地とも諸分布式の中で最も小さい。一方、Weibull分布の場合mの値は変動するが3試験地とも、相関係数0.99以上のケースが存在している。これはWeibull分布の対応性の広さと推察され注目に値する。

以上の結果より、土塊分布に対する諸分布式の近似結果の良否は、同一分布式でも試験地によって明確に異なることが分かる。これは主として土塊分布の形の相違によるものと推察される。そこで、本試験データから分類した代表的な土塊分布の形を図3-1-4に示した。洪積台地畑では同図のC類型が約97%であるのに対し、沖積地水田

と洪積台地水田はA・B類型がほぼ100%であり，畑地と両水田では明らかに土塊分布の形が異なっている。

前記したが，データの約80%が相関係数0.99以上である場合，近似式よりの計算値は十分実用に供しうる。したがって，このときの相関係数の平均値0.991を一つの指標にすると，①沖積地水田(土性

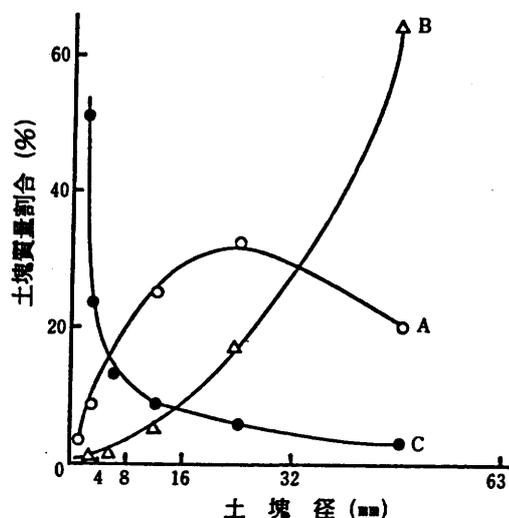


図 3-1-4 土塊分布の代表的な形

: SiC)の土塊分布にはGaudin-Shuhmann式，Rosin-Rammler式および $m = 2.0$ のWeibull分布式，②洪積台地畑(土性:CL~LiC)の土塊分布には $m = 0.5$ と $m = 1.0$ のWeibull分布式，③洪積台地水田(土性:CL~LiC)にはGaudin-Shuhmann式と $m = 1.0$ のWeibull分布式などが近似式としてよく適合すると考察される。

2) 土塊分布の諸指標

諸分布の代表値として一般に平均と標準偏差が用いられる。したがって，土塊分布の場合も諸指標の中では平均と標準偏差が最も重要である。表3-1-13に各分布の確率密度関数を用いて求めた平均と分散の式(対数正規分布とWeibull分布は引用^{21,42,56})を示した。この式をもとに前記の(4)・(7)・(11)式の勾配(a, m, n)と切片(b, c)の記号で，標本平均と標本標準偏差を表したものが表3-1-14である。対数正規分布の場合，1次式の形を前記してないが勾配を a ，切片を b とし，また y_{50} と y_{15} は確率目盛り上に積算篩上質量50%・15%の値をプロットした時のX軸からの高さである。なお，1次式の勾配と切片は相関係数を計算する際に容易に求めうる。

表 3-1-13 各分布式の平均と分散

項 目		平 均(μ)	分 散(σ^2)
対数正規分布		$e^{\log x_{50} + \log^2 \sigma / 2}$	$e^{2 \log x_{50} + \log^2 \sigma} \cdot (e^{\log^2 \sigma} - 1)$
Rosin-Rammler		$\frac{-1}{b} \frac{1}{n} \Gamma\left(\frac{1}{n} + 1\right)$	$\frac{-2}{b} \frac{1}{n} \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{n} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{n} + 1\right) \right\}$
Gaudin-Schuhmann		$mk / (m+1)$	$\frac{mk^2}{m+2} - \left(\frac{mk}{m+1}\right)^2$
Weibull 分 布	$m=0.5$	$2a^2 + \gamma$	$20a^4$
	$m=1.0$	$a + \gamma$	a^2
	$m=2.0$	$\sqrt{\pi} a / 2 + \gamma$	$a(1 - \pi/4)$

表 3-1-14 標本平均, 標準偏差および積算節上質量50%土塊径

項 目		標 本 平 均	標 本 標 準 偏 差	積算節上50%土塊径
対 数 正 規 分 布		e^t 但し $t = \frac{y_{50}-b}{a} + \frac{(y_{15}-y_{50})^2}{2a^2}$	$e^{t \sqrt{e^{(y_{15}-y_{50}/a)^2} - 1}}$	$10^{(y_{50}-b)/a}$
Rosin-Rammler	$n=1.0$	$1/10^{(c+0.362)}$	$1/10^{(c+0.362)}$	$10^{-(0.521+c)/n}$
	$n=1.5$	$0.903/10^{2(c+0.362)/3}$	$0.614/10^{2(c+0.362)/3}$	
	$n=2.0$	$0.886/\sqrt{10^{c+0.362}}$	$0.464/\sqrt{10^{c+0.362}}$	
Gaudin-Shuhmann		$\frac{m \cdot 10^{(2-c)/m}}{m+1}$	$10^{(2-c)/m} \sqrt{\frac{m}{m+2} - \left(\frac{m}{m+1}\right)^2}$	$10^{(1.699-c)/m}$
Weibull	$m=0.5$	$(2-b)/a$	$4.472/a$	$(0.480-b)/a$
	$m=1.0$	$(1-b)/a$	$1/a$	$(0.693-b)/a$
	$m=2.0$	$(0.886-b)/a$	$0.463/a$	$(0.833-b)/a$

標本平均および標本標準偏差の式は, 取扱い上からすると簡単であることが望ましい。対数正規分布, Rosin-Rammler分布およびGaudin-Shuhmann分布の標本平均と標準偏差式は, Weibull分布に比べ相当複雑になっている。なお, Rosin-Rammler分布ではnの値, Weibull分布ではmの値によって標本平均と標準偏差式が異なる煩雑さがある。また土塊分布の指標として, 任意の積算節上・節下質量パーセント時の土塊径を求めたい場合がある。ここでは代表例とし

て、積算篩上(下)質量50%土塊径を求める式を表3-1-14に示した。対数正規分布、Rosin-Rammler分布およびGaudin-Shuhmann分布の積算篩上50%土塊径を求める式は累乗の形であり、Weibull分布に比べその計算が複雑である。なお、他の積算篩上(下)質量パーセントの土塊径でも、前記と同様なことがいえる。

3.1.4.3 土塊分布に対する最適近似式の検討

土塊分布を関数で表現する場合、土性や土壌水分、その他土塊分布に影響する要因が異なっても同一の分布式で表され、さらに土塊分布の指標が簡単な代数式で表現できることが理想的である。

Weibull分布の場合、形のパラメータの値を3段階($m = 0.5, 1.0, 2.0$) 変えることによって、土壌構造が異なる3試験地とも相関係数0.99以上の良い近似結果を得ている。なお、各試験地区分でまとめた表3-1-9～表3-1-12の値は、土壌水分、ロータリの回転方向・爪の形状、耕うんピッチなどが2～4水準と異なった測定データを全て込みにしたものである。したがって、上記の結果は土壌構造以外の土塊分布に影響する要因も含んだ結果とみなせるので、形のパラメータ m の値を適切に選択すれば、Weibull分布により種々の条件下における土塊分布の近似が可能と推定される。

Weibull分布は、土塊分布の指標として重要な標本平均、標準偏差および積算篩上(下)50%土塊径などが、他の分布に比べ非常に簡単な代数式で表され、その取り扱いが便利である。以上のことを総合的に考えると、Weibull分布による土塊分布の近似が最良と判断される。

土塊分布をWeibull分布で近似させて取扱うことにより、①上記指標の他に、従来、碎土状態を表す一指標として多用されてきた20mm

碎土率(目開き20mmの篩を使用した場合の積算篩下質量パーセント, 水田で使用)や10mm碎土率(畑)なども計算で簡単に求めうる, ②篩の個数や目開き体系が異なっても諸指標は算出できるので, 従来の種々のデータ比較が容易となる, ③後述の3節で検討するが, 使用篩数の削減が可能となる, などの利点が見込まれる。

3.1.5 摘 要

ロータリ耕うんによる碎土状態を適正に把握する上で, 土塊分布をどのように表現するかが第一の課題である。本節では対数正規分布式, Rosin-Rammler式, Gaudin-Shuhmann式およびRayleigh分布の一般形であるWeibull分布式を用い, 土塊分布の近似式を3試験地のデータで検討した。土塊分布のデータが諸分布に適合するかのチェックは, 土塊径の変換値と積算篩上(下)質量パーセントの変換値との間の相関係数を指標として用いた。また, 土塊分布の諸指標が各分布式のパラメータで簡単に表現できるかなども検討した。

その主な結果は次のとおりである。

(1) 諸分布式による土塊分布の近似結果の良否は, 同一分布式でも試験地によって明確に異なった。これは主として土塊分布の形の相違によるものと推察される。

(2) 実用性を考慮して検討したところ, Gaudin-Shuhmann式による土塊分布の近似は沖積地水田(土性:SiC)と洪積台地水田(土性:CL~LiC)で良く適合し, またRosin-Rammler式による土塊分布の近似は, 沖積地水田で良く適合した。Weibull分布式の場合, 形のパラメータ m 値を変えることによって, 土性などが異なる全ての試験地で土塊分布の近似式として適合した。

(3) 標本平均と標本標準偏差式は、諸分布の中でWeibull分布が最も簡単な代数式で表現できる。また、任意の積算篩上(下)質量パーセント土塊径の式も、Weibull分布が簡単で取扱い易い。

(4) 諸結果より、土塊分布の関数表現法としては、Weibull分布式を近似式として用いることが最適と判断された。

(5) 土塊分布をWeibull分布で近似させて取扱うことにより、従来の種々のデータの比較が容易となったり、使用篩数の削減の可能性が見込まれる。また、Weibull分布による近似で土塊分布の各種の諸指標が求められるので、従来は不可能であった土塊分布の内容分析が容易に行える。

3.2 採土に伴う土塊切断による平均土塊径への影響

—シミュレーションによる検討—

3.2.1 はじめに

土塊分析における試料採取には、円筒形採土サンプルを使用することが一般に多い。採土サンプルの直径は、これまで200～500mmのものが適当とされ⁸⁹⁾、試験者によって適宜の直径の採土サンプルが選択されている。

近年、アップカットロータリが開発され、耕うん後の表層土塊が下層より細かくできるようになった。このロータリによる作業結果としての土塊分析は、当然、層別に実施する必要性がある。その場合、層別の試料採取にはセパレータを使用せねばならない。

採土サンプルの土中への挿入およびセパレータの使用により、一部の土塊は、それらによって必然的に切断される。したがって、採取した集団としての平均土塊径は真の値より小さくなる。これらの採土に伴う土塊切断の影響がどの程度あるのか定量的に検討した例は、今まで見あたらない。

採土サンプルとセパレータ切断による平均土塊径への影響を調べるためには、採土サンプルにより切断された土中にある土塊を採取したり、セパレータにより切断された採土サンプル内の土塊を検出せねばならないが、この作業は非常に困難である。また、土塊径と採土サンプル径の対応で土塊切断の影響が変わるので、多数の組み合わせ試験が必要となる。これらの事を考え、ここでは球を土塊のモデルとするシミュレーションで、採土に伴う土塊切断の平均土塊径への影響をパソコンで計算・検討した。球をモデルとしたのは、不

定形で複雑な形をした粉粒体を扱う時に球をモデルにするケースが多いこと、また数値処理が簡単なことなどによる。なお、シミュレーションは次項で記述する前提条件の基に行っているが、現実の場面との対応において一つの目安にはなると考えている。

3.2.2 シミュレーションの前提および土塊径の定義

3.2.2.1 前提条件

シミュレーションに当っては下記の4事項を仮定して、土塊切断の影響をパソコンにより計算した。

- (1) 土塊球(モデルとした球の略称)の大きさは全て同一とする。
- (2) 土塊球の配列は立体的にみると4種類あるが、ここでは平面として考えた図3-2-1の2種類とした。この2種類の配列を、以下では格子状分布、最密分布と呼ぶ。

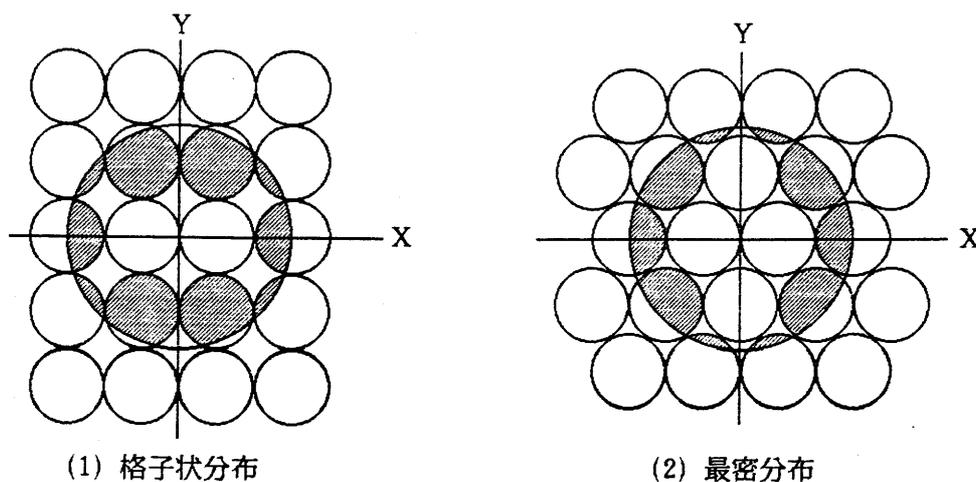


図 3-2-1 土塊球の各種配列

注 1) 採土サンプル径と土塊径の比 3: 1

2)  印は切断土塊を表す。

(3) 採土サンプルとセパレータによる土塊切断は完全に行われたものとする。

(4) 個々の土塊の密度は等しく、土塊の質量と体積は比例関係にある。

(5) 篩別径の場合、個々の土塊径がそのまま代表径となる。つまり、篩の目開きは無限とする。また、3軸径のうち最大径が篩の目開きに対し垂直方向となり、土塊は通過する。

3.2.2.2 土塊径の定義

土塊径のとり方は多数あるが⁴⁸⁾、個々の切断土塊に対しては、次の3種類の径を定義して用いた。

(1) 3軸径：図3-2-2に示した切断土塊のX，Y，Z方向の径(D, A1, A2)の平均値。

(2) 等体積球相当径：切断土塊と等体積を有する球の直径。

(3) 篩別径：3軸方向の径のうち最大径が図3-2-3の紙面に対し垂直方向をとり、中間径が正方形の対角線方向に位置した時の一辺の長さ。

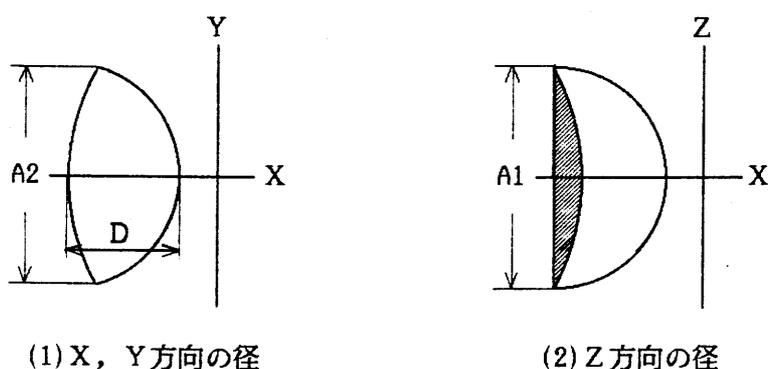


図 3-2-2 切断土塊のX, Y, Z方向の径

注) 斜線部は採土サンプル内面による
土塊切断の曲面

また，採土サンプル内における多数の土塊の平均径は質量基準の平均径とした。これは実際の土塊分布測定において，測定量を一般に重量(質量)とする場合が多いためである。この平均質量径 d_w (平均重量径と同じ，プログラムでは重量平均径の呼称) は次式で定義されている。

$$d_w = \sum (W_i \times d_i) / \sum W_i \quad (14)$$

ただし， W_i : 個々の土塊質量， d_i : 個々の土塊径

ここでは個々の土塊密度が等しいと仮定しているのので，土塊体積を VS_i とすれば，平均質量径は次式で表してもよい。

$$d_w = \sum (VS_i \times d_i) / \sum VS_i \quad (15)$$

シミュレーションでは，この式を用いて土塊の平均質量径を計算している。なお，資料のプログラム中では，個々の土塊径が $CD(K)$ の配列変数，平均質量径が $TLVD(L,K)$ の配列変数で示されている。

3.2.3 シミュレーションの方法

シミュレーションの対象とした土塊球径は，圃場測定で使用している篩の目開きに対応させ，直径 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128mm の 7 段階とした。採土サンプル径は 100, 200, 300, 400, 500mm の 5 種類とし，各々の採土サンプルに対し上記 7 種類の土塊球を組み合せ，土塊切断による平均土塊径への影響を算出した。表 3-2-1 にはフローチャート上の記号と，その意味を示した。なお，プログラムは資料として巻末に添付した。

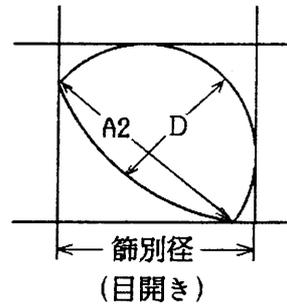


図 3-2-3 篩別径

表 3-2-1 フローチャートの記号とサブルーチン名一覧

記号	内 容	記号	内 容
SD	採土サンプル直径	SCI,WCI	図 3-2-6参照 (SCI+WCI=SQ3P)
SR	採土サンプル半径	LS	セパレータ切断時のZ方向の土塊径
PD	土塊球(円)直径	ST	両切断時のZ軸方向の土塊径
PR	土塊球(円)半径	XA	サンプル中心からA2径への垂線距離
	(以下の8記号はFOR-NEXT変数)	XB	土塊中心からA2径への垂線距離
SPL	セパレータ間隔変化用	YB,HAF	YB:A2/2, HAF:A1/2 (図3-2-2)
I	採土サンプル径の変化用	CD(1)	3軸径
J	土塊球径の変化用	CD(2)	等体積球相当径
X	採土サンプル位置の移動(X軸方向)	CD(3)	篩別径
Y	採土サンプル位置の移動(Y軸方向)	VL	完全土塊の体積
Z	セパレータ位置の移動用(Z軸方向)	VS	切断土塊の体積
X1,Y1	個々の土塊の切断有無検査用	TVD(K)	土塊体積×径の総和
OX	土塊切断有無の検査用範囲	TV(K)	土塊体積の総和
MIN	採土サンプル半径-土塊半径(SR-PR)	TLVD(L,K)	土塊の平均質量径(重量平均径)
MAX	採土サンプル半径+土塊半径(SR+PR)	AZ,CZ	篩別径において回転方式と接線 方式の選択用ワーク変数
STU	採土サンプルが移動する1ステップ距離	X0	サンプル中心から1段目の各土塊 中心までのX軸方向距離
ZST	セパレータが移動する1ステップ距離	X02	2段目配列状土塊の上記の距離
ZN	格子状: SPL/PD, 最密分布: SPL/√3PR	RYOSETUKEI	両切断土塊の体積と各種の径を決定
ZN1	ZN値の小数以下を切り捨てた値	SANPSETUKEI	サンプル切断土塊の体積と径を決定
ZN2	Z=0における切断無しの土塊段数	SEPASETUKEI	セパレータ切断土塊の体積と径を決定
ZNS	ZNとZN1の差(ZN-ZN1)	SEKISAN1~2	土塊体積×径と体積の積算
TP	PR×COS(π/4), 土塊径決定法の区分用	KEISAN1~5	UDとZ値で下記サブルーチン選択・指定
XI	土塊中心と採土サンプル中心間の距離	SETUDAN1~4	各種切断土塊のLSの計算および 体積×径×個数の計算
D,A2,A1	切断土塊のX・Y・Z軸方向の径(図3-2-2)	SESEN1~2	篩別径を円弧上の接線で求める方法
N,M	完全土塊数(1~2段)のカウント用変数		
SQ3P	√3×PR (図3-2-6参照)		
UD	ZNSとSQ3Pの積(諸サブルーチンの選択)		

3.2.3.1 採土サンプルによる土塊切断

1) 採土サンプル中心の移動範囲

図3-2-1に示した土塊球の配列において、採土サンプル中心と土塊中心の相対位置が変われば、切断土塊数やその径が変化し、サンプル内土塊の平均質量径は異なってくる。ここでは土塊球の射影である土塊円半径をX, Y軸方向にそれぞれ10等分し、そのメッシュ交点上を採土サンプル中心が動くものとした。したがって、総計121個のメッシュ交点上の平均質量径が求められる。

2) 切断土塊の体積計算

切断土塊の体積は図3-2-2に示したZ方向の径(A1)を細分し、区分求積法により算出した。そしてプログラム中では、それをX軸方向の切断土塊径(D)の3次式で近似させ、切断土塊の体積を求めている。この3次式の係数決定はGauss-Jordan法³⁶⁾で行った。一例として土塊径16mm、採土サンプル径200mmの場合におけるX軸方向径(D)と体積(VS)との関係を図3-2-4に示す。

3) フローチャート

採土サンプル切断プログラム(格子状分布)のフローチャート概略は図3-2-5の通りである。フローチャートにおける条件 $XI \leq MIN$ を満たす場合は採土サンプル内にある土塊、 $XI \geq MAX$ の条件を満たす場合は採土サンプル外の土塊であることを意味する。この2条件外の土塊が、採土サンプルにより切断される土塊であり、その体積と各種定義の土塊径は、SANPUSETUKEIのラベルを付したサブルーチンで計算・決定される。

サブルーチンSEKISANN1~2では前記(15)式の $\sum(VS_i \times d_i)$ と $\sum VS_i$ が計算され、FOR-NEXTループにしたがって順次積算している。本プログラムでは、採土サンプル位置が異なる場合の121個の平均

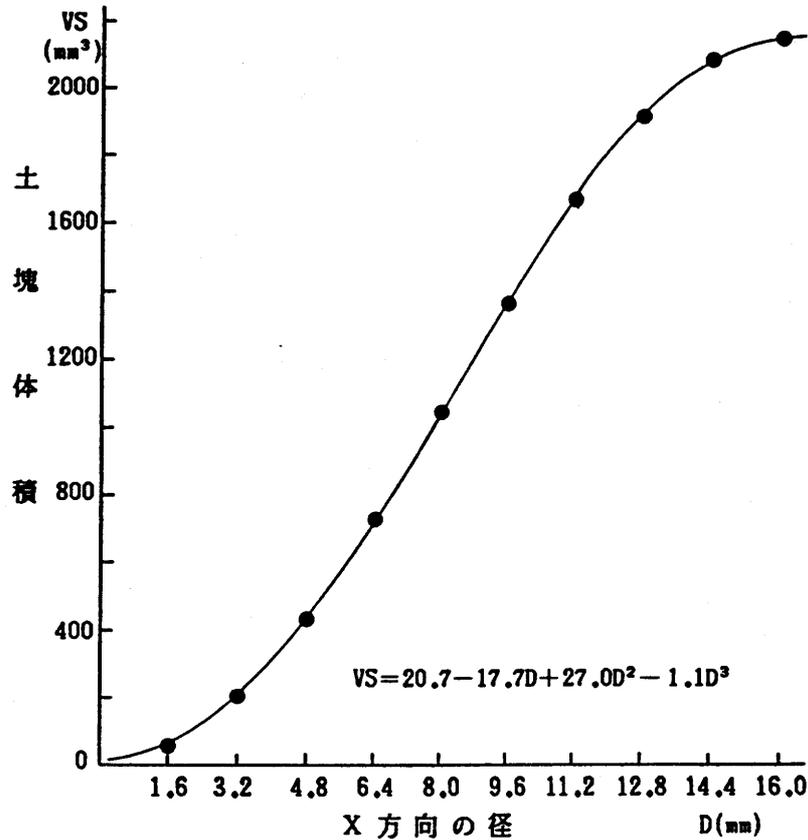


図 3-2-4 切断土塊のX方向径と体積の関係

— SD=200mm, PD=16mm —

質量径を算出した後，それらの土塊径の平均値（以下ではこの値を土塊径平均値と呼ぶ）および標準偏差などを計算する。

プリントでは先の土塊径平均値，標準偏差，元の土塊径と土塊径平均値との差，土塊切断の影響値などを出力している。土塊切断の影響値（％）とは次式で求めたものである。

$$EIKYO = (PD - AVERAGE) / PD \times 100 \quad (16)$$

但し，EIKYO：土塊切断の影響値（％），PD：元の土塊直径，

AVERAGE：土塊径平均値。

採土サンプル切断において格子状分布の場合，深さ方向（Z方向）の各段の土塊は，全て同一の切断土塊になる。しかし，最密分布では1段目と2段目の土塊で，その切断状態が異なる。最密分布にお

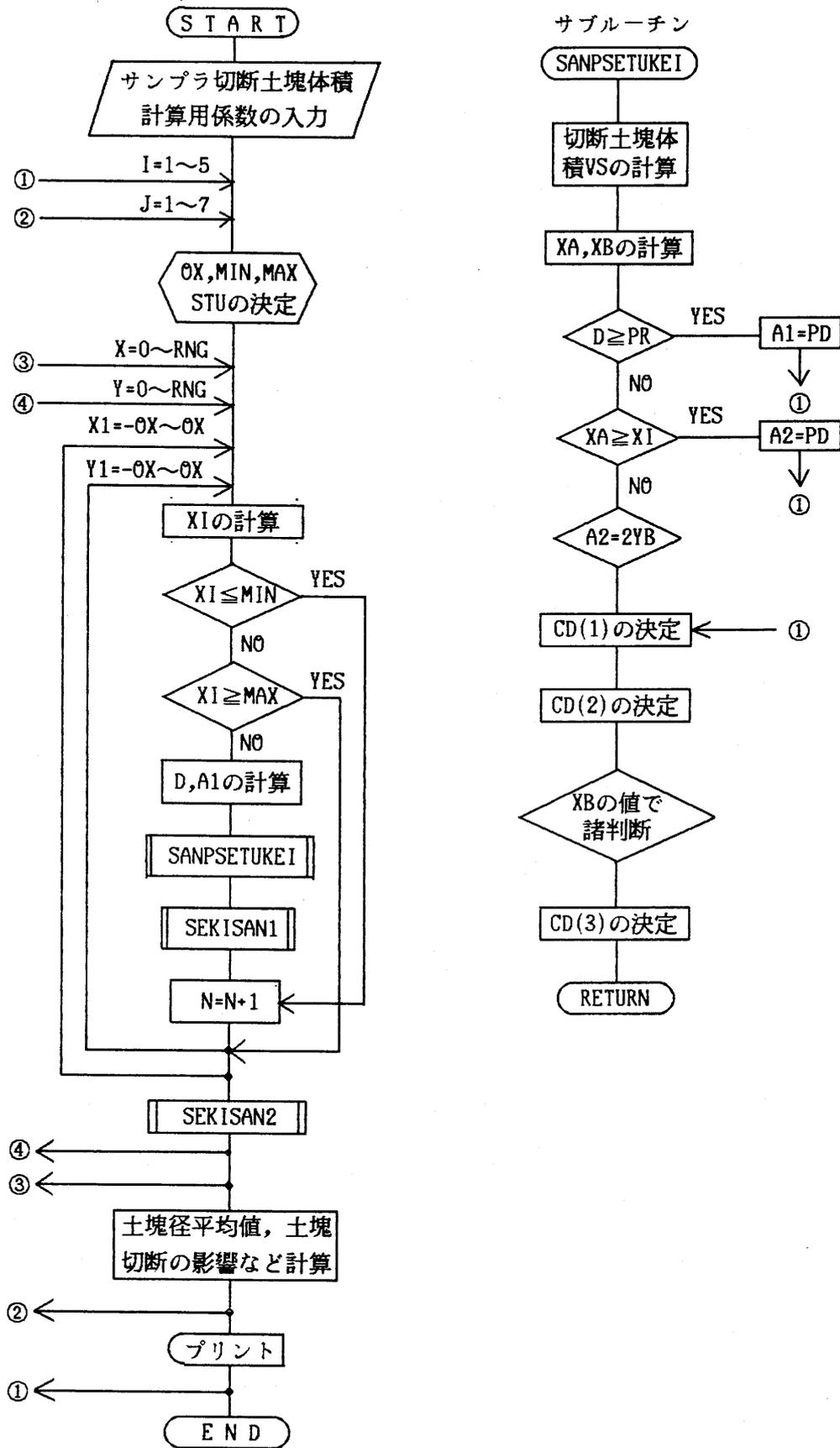


図 3-2-5 採土サンプラ切断プログラムのフローチャート概略
— 格子状分布 —

ける土塊切断プログラムのフローチャートは省略したが，プログラム中では，1段目と2段目の土塊を対象に計算し，それらから土塊径平均値を求めている。

3.2.3.2 セパレータによる土塊切断

セパレータだけによる土塊切断の場合，採土サンプルによるXY面上の制限はなく無限と考えてよい。したがって，図3-2-6に示したZ方向における1列の土塊を対象とすればよい。

1) セパレータ間隔と移動位置

本研究に使用した採土サンプル（図3-1-1）は，50mm間隔に5本のセパレータ挿入用スリットを設けてある。これとの対応により，プログラム中でのセパレータ間隔は50，100，150mmの3段階を設定し

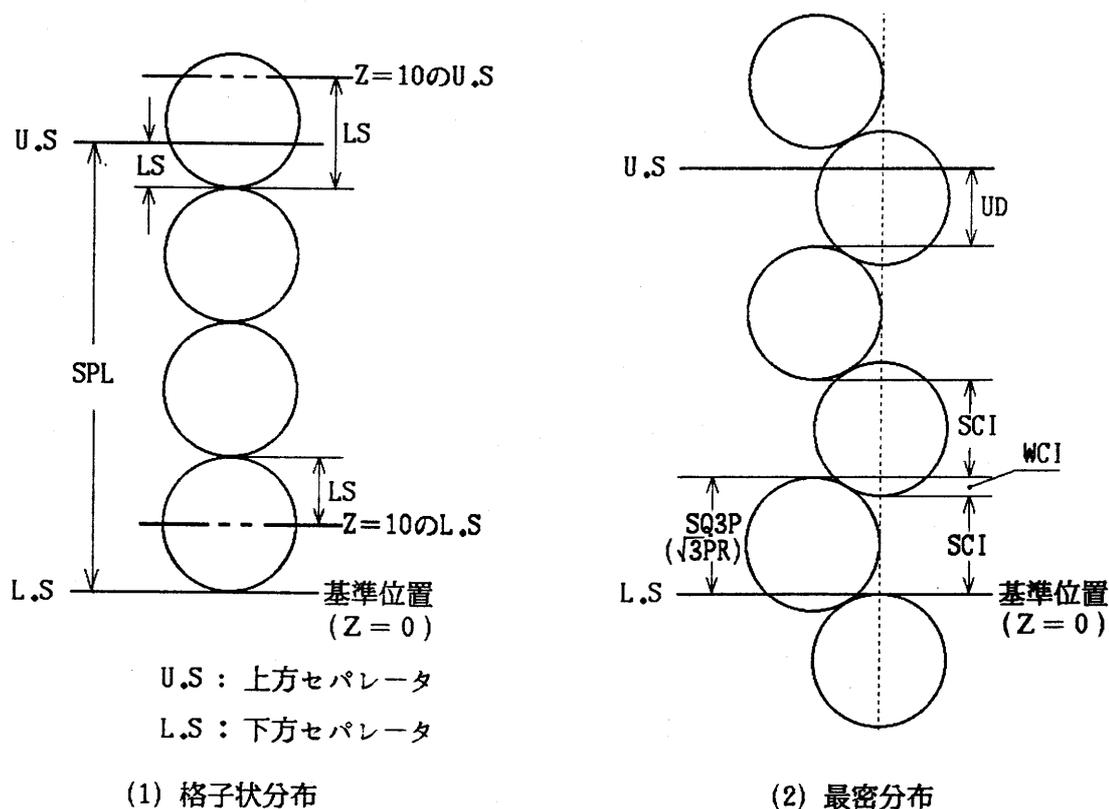


図 3-2-6 セパレータによる土塊切断の状態

た。セパレータと土塊の相対位置によって平均質量径の値は変わるので、種々のセパレータ位置での計算が必要である。ここでは下方セパレータの基準点 ($Z=0$) を図3-2-6のように決め、その上方の19ステップの位置までセパレータを移動させた。1ステップの値は、格子状分布の場合PDを20等分した値、最密分布の場合 $\sqrt{3} \times PR$ を20等分した値とした。したがって、セパレータによる土塊切断では、20個の平均質量径が計算され、それらから土塊径平均値が求められている。

2) 切断土塊の体積計算

セパレータ切断は平面による土塊切断なので、切断土塊の体積は球冠（球欠）として簡単な代数式により求め得る。体積計算はサブルーチンSEPAUSEUKEI内で行っている。

3) フローチャート

格子状分布におけるセパレータ切断プログラムのフローチャート概略は、図3-2-7に示した。セパレータ間隔と土塊径の大きさとの関連およびセパレータの位置によって、切断土塊のZ軸方向径（LS）の決定式が異なるので、資料のプログラム中には多数のIF文が使われている。またフローチャートでは、これらの多数の判断をまとめて「諸判断」と記した。

サブルーチンSEPASETUKEIでは、先に定義した個々の土塊径（3軸径，球等体積相当径，篩別径）を求めるが，3軸径において $LS \geq PR$ の場合， $A1 = A2 = PD$ （図3-2-2）として，3軸径は計算している。篩別径も $LS \geq PR$ のケースでは，LSの値によって3種類の方法を用い求めている。

図3-2-8は最密分布におけるセパレータ切断プログラムのフローチャートである。図中の変数UDは， $Z = 0$ における（下方セパレータ

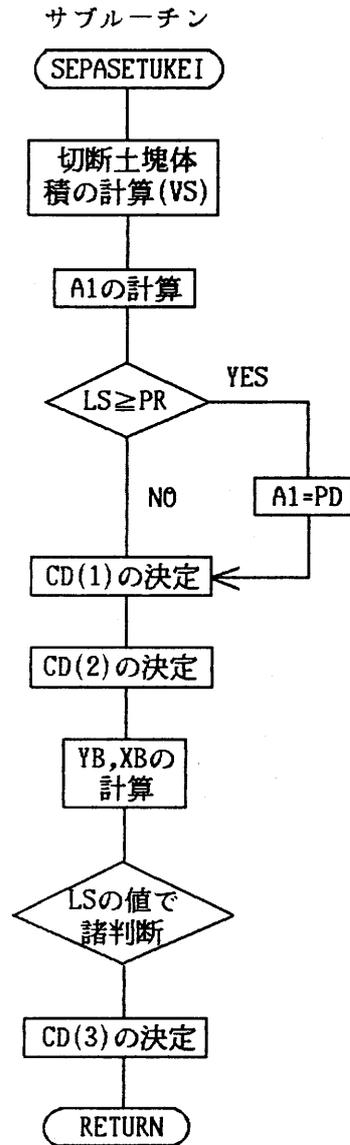
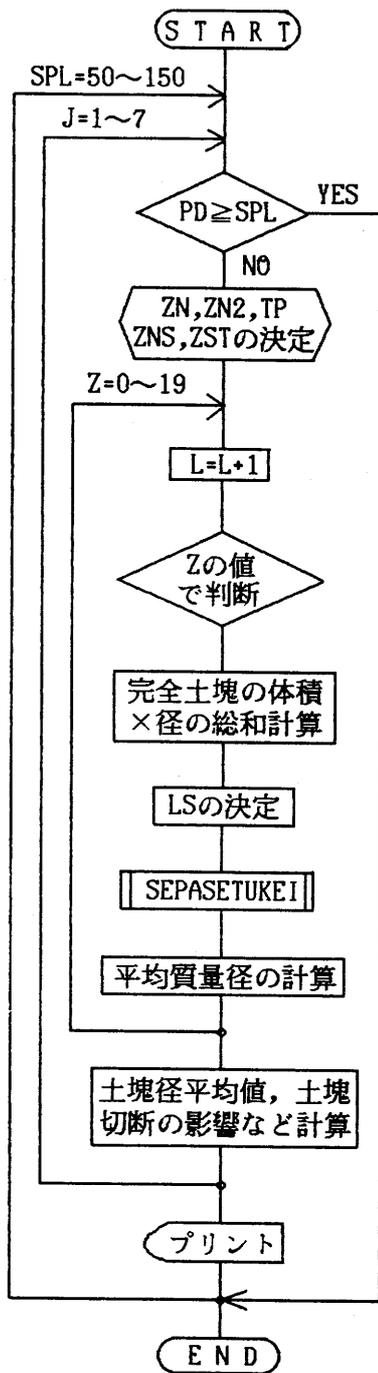


図 3-2-7 セパレータ切断プログラムのフローチャート概略
— 格子状分布 —

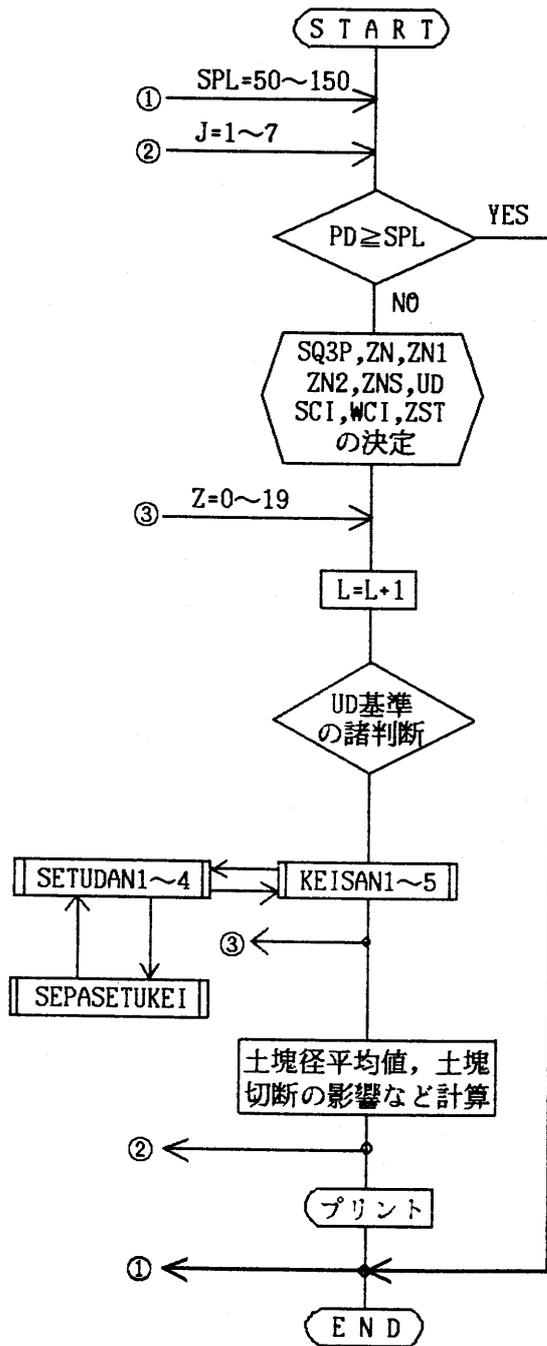


図 3-2-8 セパレータ切断プログラムのフローチャート概略
- 最密分布 -

は基準位置) 上方セパレータの位置を表現している。この値とセパレータの移動した値によって、切断土塊のZ軸方向の径(LS)を算出する式が異なってくる。プログラムでは $PD \leq SPL$ の場合、UDの値を5区分し、更にもうその中で細分したセパレータ位置によってKEISANのラベルを付した5種類のサブルーチンを定めている。このサブルーチンでは完全土塊の体積×径と体積の総和を計算し、次のサブルーチン(SETUDAN1~4)への行き先を指定する。SETUDAN1~4のサブルーチンでは、上・下方セパレータによる各種切断土塊のLSと体積×径を求める。なお、KEISAN1~5における上・下方セパレータと土塊の相対位置との関係を図3-2-9に示した。

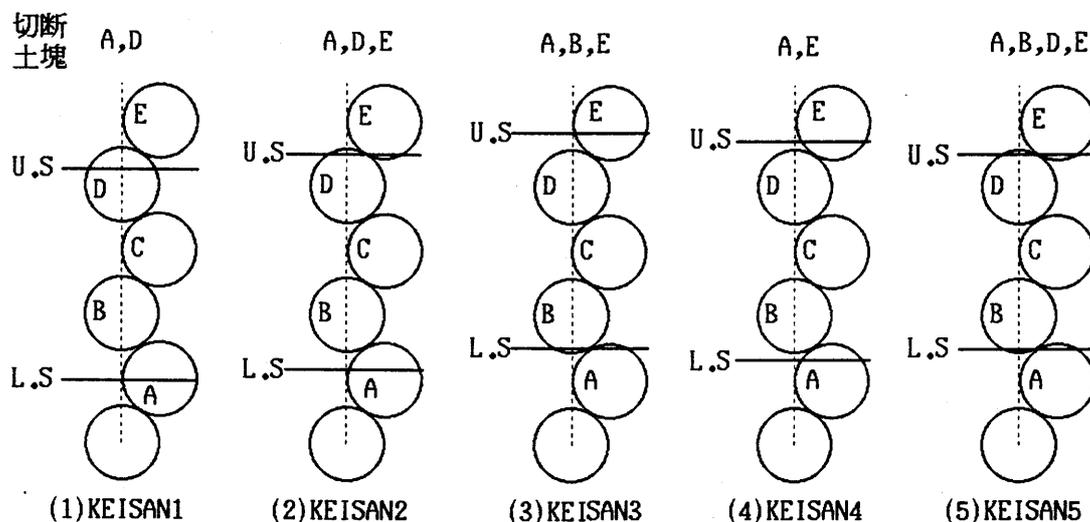


図 3-2-9 上・下方セパレータと土塊との相対位置関係

注 1) U.S: 上方セパレータ, L.S: 下方セパレータ

2) KEISAN1~5はサブルーチン名である。

3.2.3.3 採土サンプラとセパレータの両方による土塊切断

図3-2-10は、採土サンプラおよびセパレータの両方を使用した場合の土塊切断状態である。このケースにおける土塊の形態は ①切断なしの完全土塊, ②採土サンプラによる切断土塊, ③セパレータによる切断土塊, ④採土サンプラとセパレータの両方による切断土塊

(以下では両切断土塊と略称)に分類される。また、実際の土塊分布測定に対しては、このケースが最も近似しているとみてよい。なお、 $PD \geq SD$ 、 $PD \geq SPL$ の場合は実際の測定において現実的でないので、採土に伴う土塊切断の影響は計算しなかった。

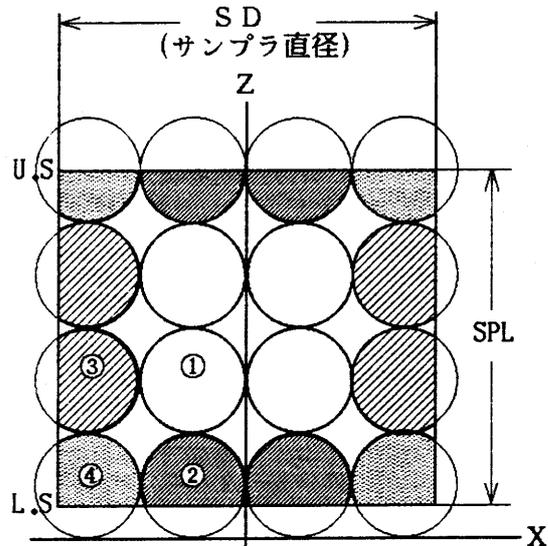


図3-2-10 両切断時における土塊の各種形状

注) ①: 完全土塊, ②: セパレータ切断
③: サンプラ切断, ④: 両切断

1) 採土サンプリング中心とセパレータ位置の移動範囲

採土サンプリング中心は、土塊円半径をXY方向に3等分したメッシュ交点上の移動とした。セパレータ移動の1ステップは、格子状分布の場合土塊径を8等分した値、最密分布の場合 $\sqrt{3}PR$ を8等分した値にし、図3-2-6に示したスタート点から上方に8ステップ移動させた。したがって、このプログラムでは採土サンプリング中心とセパレータ位置の組み合わせが、総計128個となっている。

2) 切断土塊体積の計算

採土サンプリングおよびセパレータ切断土塊の体積計算は、前記と同様な方法である。両切断土塊は、XY面の切断長Dを9等分し、その各々につきXZ面の切断長STの3次式で体積を近似させた。この3次式の係数は、当然、各採土サンプリングと土塊径ごとにX軸方向径Dを区分し決めているので、全体では315個のケースに分けられている。

3) フローチャート

格子状分布の両切断プログラムのフローチャートは、図3-2-11の通りである。プログラムでは、完全土塊→セパレータ切断土塊→採土サンプル切断土塊→両切断土塊の順に土塊体積と土塊径を求め、土塊集団としての平均質量径を計算している。そして、128個の平均質量径から、それらの土塊径平均値、標準偏差などを求め、次の対象土塊（変数J）に移る。

サブルーチンSANPSETUKEIとSEPASEUKEIは前述したので、ここでの説明は省略する。両切断土塊の体積と土塊径を求めるサブルーチンRYOSETUKEIのフローチャートを図3-2-12に示した。両切断の場合、採土サンプルとセパレータ位置によって、3軸径の所で定義したD、A1、A2が変わってくる。フローチャートの記号A0はDに対応するもので、またSTはA1に対応するものとし、3軸径を計算した。篩別径CD(3)はDの値で4区分し、更にもその中でSTによって細分して求めている。その方法は回転方式と接線方式（サブルーチンSESEN1～2）に大別される。回転方式はD、STが小さい時に用い、他の場合は接線方式を使用した。回転方式（図3-2-13）の場合、切断土塊の長径の一点Aを中心に回転し、 $AX=BY$ となる回転角を求め、次式で篩別径を決めている。

$$CD(3) = ST \times \cos \theta \quad (17)$$

$$\text{但し、} \theta = \tan^{-1}(1-GE/ST)$$

接線方式（図3-2-14）では、直交する円弧上の2接線を基本にし、接点位置を1°ずつ移動させ、まず切断土塊に外接する矩形の長・短辺を求める。それらの中で長・短辺の差が最小のケースを選び、両辺の中間値を篩別径の近似値とした。切断土塊に外接する正方形として求めるのがベストであるが、正方形で求められないケースも多数あるので、上記の方法で近似させた。なお、図3-2-14に示した切

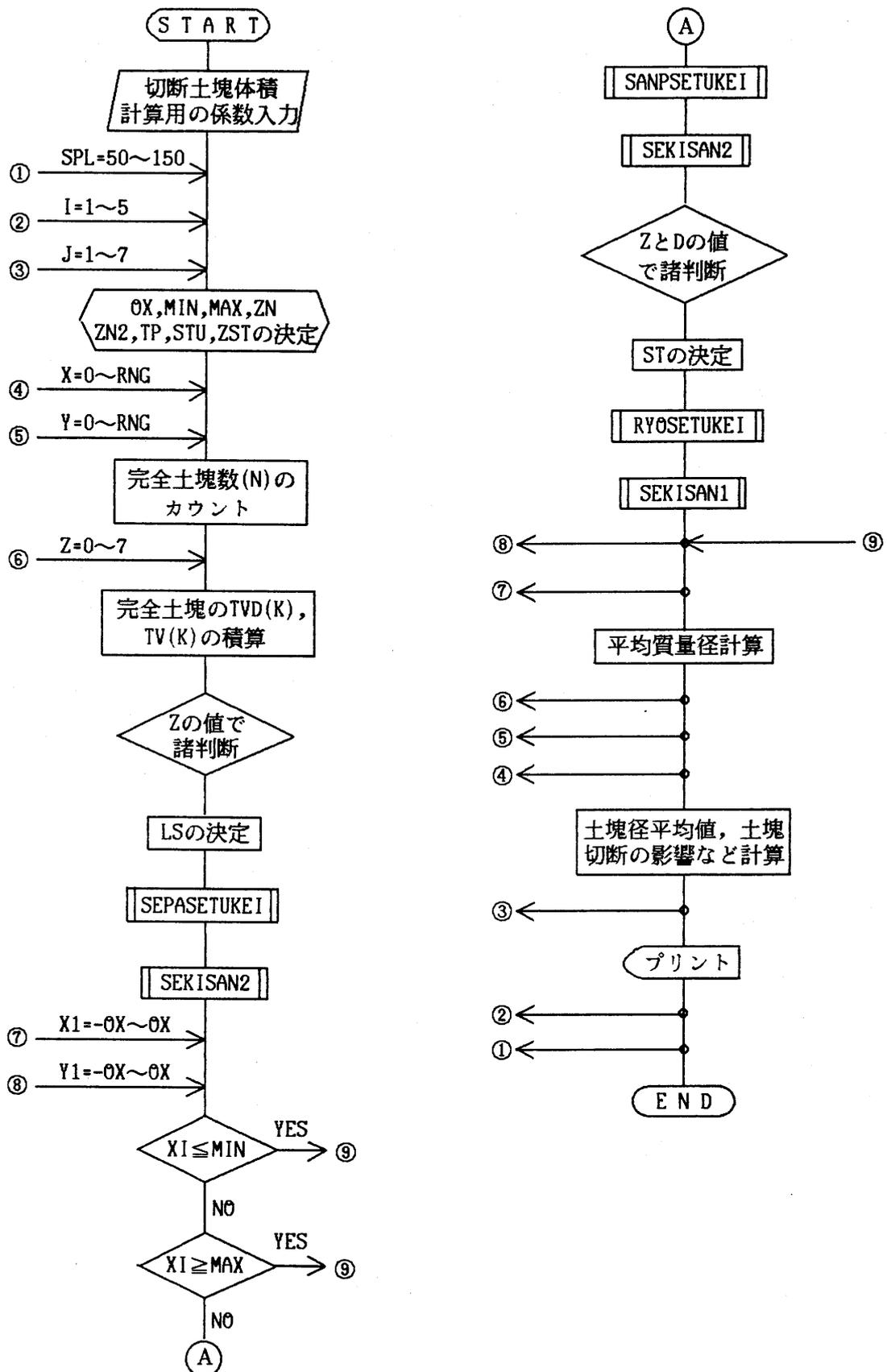


図 3-2-11 両切断プログラムのフローチャート概略

— 格子状分布 —

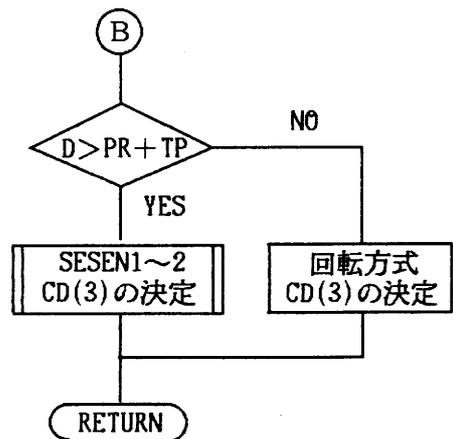
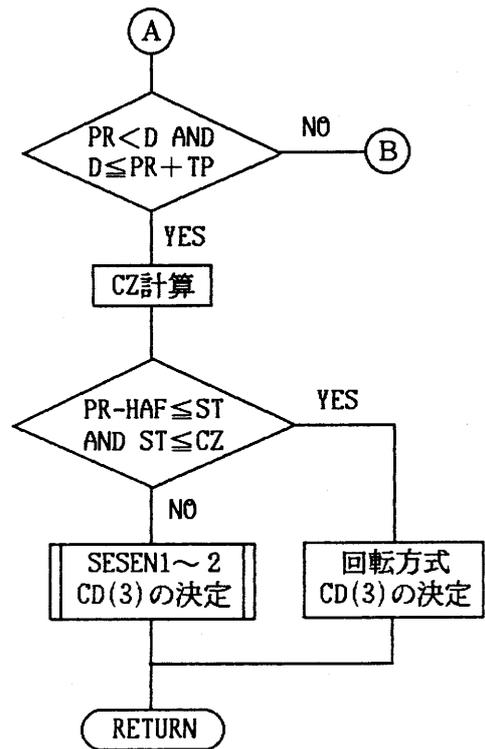
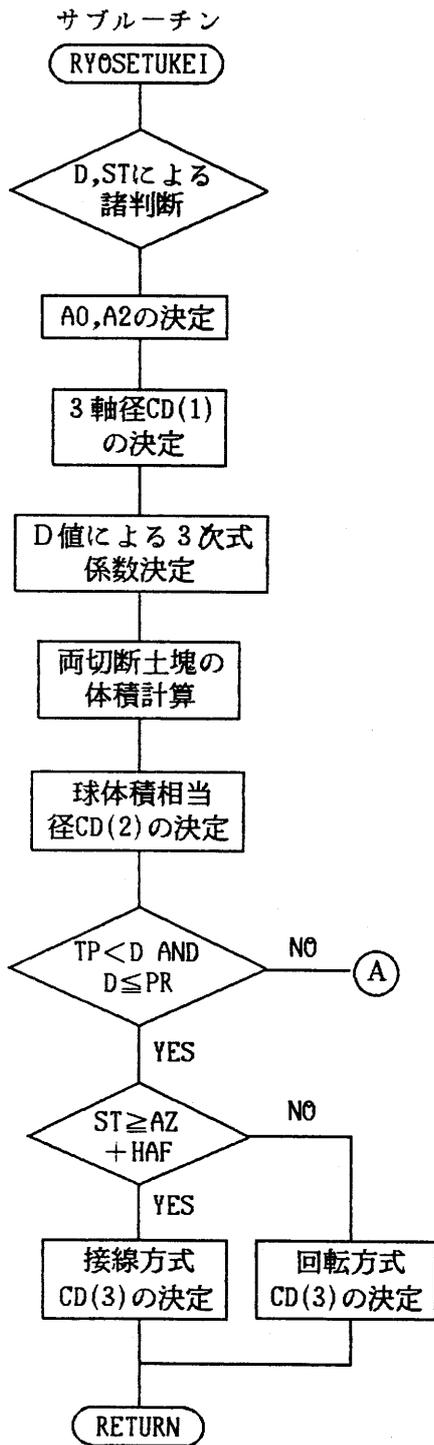


図 3-2-12 サブルーチンRYOSETUKEIのフローチャート概略

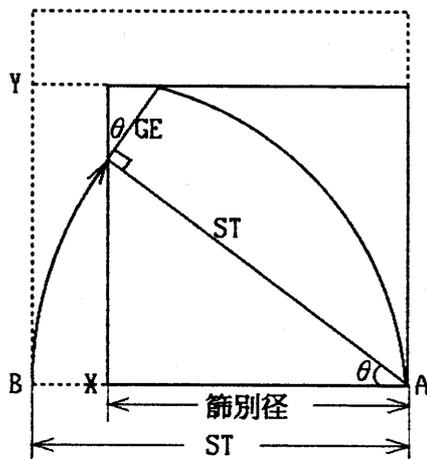


図 3-2-13 回転方式による篩別径

注) ST:採土サンプルの切断線
GE:セパレータの切断線

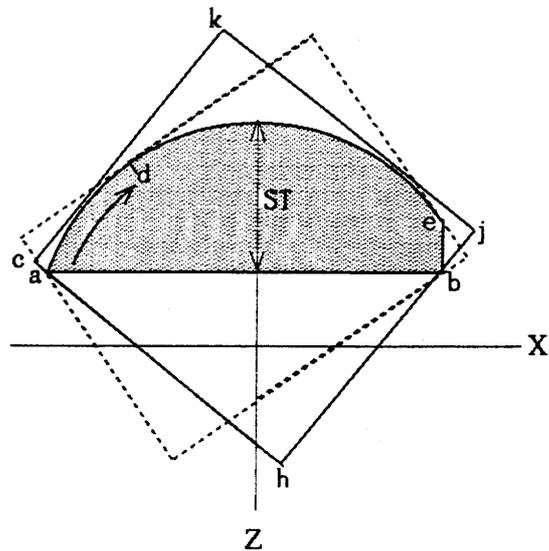


図 3-2-14 接線方式による篩別径

注) 辺ckの接点範囲は弧adの区間

断土塊のX・Z軸方向径の両方が先の中間値より小さい場合は、2方向径のうち大きい方を篩別径にした。

図3-2-15は、最密分布における両切断プログラムのフローチャート概略である。この場合は、1段目配列状土塊と2段目配列状土塊で完全土塊数、切断土塊数などが異なるので、フローチャートに示したように両者を分けて処理している。セパレータ切断土塊は、サブルーチンKEISAN1~5の中で1段目あるいは2段目配列状土塊かを判別し、諸計算をする。また、Zの値が決まると、採土サンプル内完全土塊総数とセパレータ切断土塊数が決まるので、完全土塊の体積×径および体積の総和を求める計算は、このサブルーチン内で行っている。

変数X1, Y1のFOR~NEXTループで1段目と2段目の全土塊について、採土サンプル内土塊、採土サンプル外土塊、採土サンプル切断土塊かを判別する。そして、採土サンプル切断土塊と両切断土塊の区分は、上・下方セパレータ位置 ($Z \times ZST$ と $UD + Z \times ZST$) によって

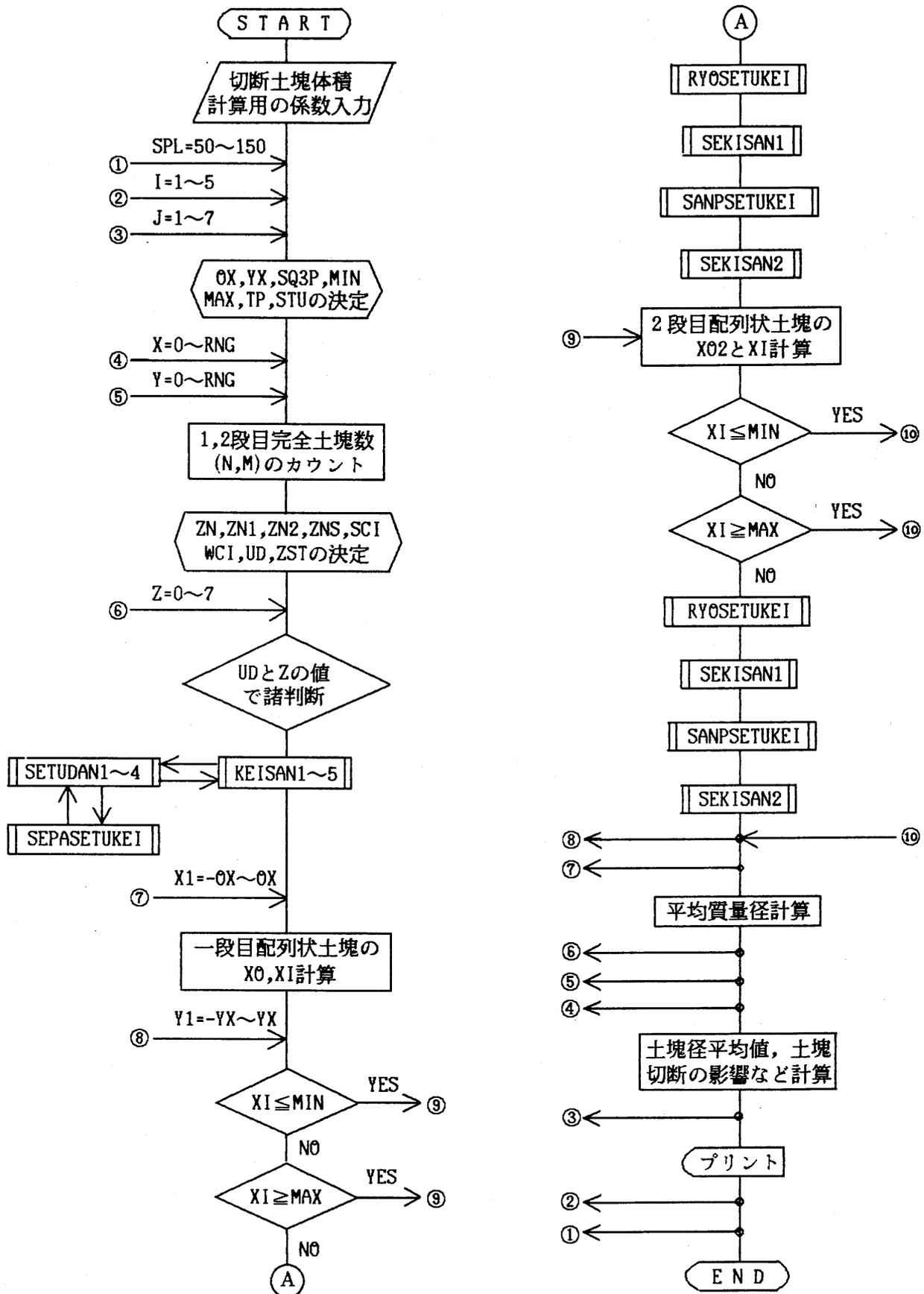


図 3-2-15 両切断プログラムのフローチャート概略

— 最密分布 —

判定し、行き先のサブルーチンを指定している。

3.2.4 結果および考察

表3-2-2に示した計算結果の例では、土塊切断後の土塊径平均値（計算平均径）、標準偏差および元の土塊径と計算平均径との差なども出力されているが、以下では本題である採土に伴う土塊切断の影響のみに焦点を当て検討する。なお、土塊切断の影響値とは前記の(16)式で定義したように、元の土塊径に対し採土による土塊切断で、その土塊径平均値が小さくなった割合を表している。

表 3-2-2 シミュレーションによる採土サンプル切断の計算結果例
— 最密分布, サンプル径200mm, 篩別径 —

土塊径 (mm)	計算平均径 (mm)	標準偏差 (mm)	土塊径と計 算径の差(mm)	切断の影響 (%)
2	1.997	0	0.003	0.14
4	3.988	0	0.012	0.30
8	7.954	0.003	0.046	0.58
16	15.800	0.012	0.200	1.25
32	31.135	0.140	0.865	2.70
64	60.167	0.189	3.833	5.99
128	108.733	1.867	19.267	15.05

3.2.4.1 採土サンプルによる土塊切断の影響

格子状分布における採土サンプル切断の影響を表3-2-3に示した。3種類の定義径(3軸径, 等体積球相当径, 篩別径)における土塊切断の影響を対比すると、等体積球相当径の影響が最も大きく、次いで3軸径, 篩別径の順になっている。ただし, 採土サンプル径100mm

で土塊径64mm，採土サンプル径200・300mmで土塊径128mmの場合は，篩別径の方が3軸径より大きな影響値である。採土サンプル切断において土塊径が2倍になった場合，その切断による影響値は3軸径で2倍弱（1.88～2倍），等体積球相当径と篩別径で2倍強（2.02～2.50倍）の値を示した。同一土塊径で採土サンプル径が2倍になった場合，上記と逆に土塊切断の影響は約半分の値になった。採土サンプル径が2倍になるとサンプル円周は2倍，その面積は4倍になるので，一般に切断土塊数は2倍の増であるのに対し，切断なしの完全土塊数は4倍の増になると考えてよい。したがって，これが前記の影響値に出た結果と解してよいだろう。

表 3-2-3 採土サンプル切断の影響 — 格子状分布 —

(単位: %)

サン プラ径 (mm)	定義径	土 塊 径 (mm)						
		2	4	8	16	32	64	128
100	3 軸 径	0.43	0.86	1.69	3.27	6.29	11.80	—
	等体積球径	0.44	0.89	1.80	3.67	7.75	17.28	—
	篩 別 径	0.30	0.61	1.26	2.66	6.06	15.12	—
200	3 軸 径	0.22	0.43	0.86	1.69	3.27	6.29	11.79
	等体積球径	0.22	0.44	0.89	1.80	3.67	7.75	17.28
	篩 別 径	0.15	0.30	0.61	1.26	2.66	6.06	15.11
300	3 軸 径	0.14	0.29	0.58	1.14	2.22	4.30	8.12
	等体積球径	0.15	0.29	0.59	1.19	2.41	4.97	10.63
	篩 別 径	0.10	0.20	0.40	0.82	1.71	3.68	8.61
400	3 軸 径	0.11	0.22	0.43	0.86	1.69	3.27	6.29
	等体積球径	0.11	0.22	0.44	0.89	1.80	3.67	7.75
	篩 別 径	0.07	0.15	0.30	0.61	1.26	2.66	6.05
500	3 軸 径	0.09	0.17	0.35	0.69	1.36	2.65	5.08
	等体積球径	0.09	0.18	0.35	0.71	1.43	2.91	6.05
	篩 別 径	0.06	0.12	0.24	0.49	0.99	2.08	4.57

表3-2-4に最密分布における採土サンプル切断の影響値を示した。この表をみると、最密分布の影響値は格子状分布より若干小さい値となっている。しかし、その差は最大でも3軸径で0.65%、等体積球相当径で0.88%、篩別径で0.72%であり、いずれも無視できる程度の値であった。

表 3-2-4 採土サンプル切断の影響 — 最密分布 —

(単位: %)

サン プラ径 (mm)	定義径	土 塊 径 (mm)						
		2	4	8	16	32	64	128
100	3 軸 径	0.43	0.82	1.68	3.29	6.28	11.77	—
	等体積球径	0.44	0.85	1.79	3.71	7.73	17.30	—
	篩 別 径	0.30	0.58	1.25	2.70	5.99	15.06	—
200	3 軸 径	0.21	0.43	0.82	1.68	3.29	6.28	11.76
	等体積球径	0.21	0.44	0.85	1.79	3.71	7.73	17.30
	篩 別 径	0.14	0.30	0.58	1.25	2.70	5.99	15.05
300	3 軸 径	0.14	0.29	0.58	1.02	2.22	3.65	8.08
	等体積球径	0.15	0.29	0.59	1.05	2.42	4.09	10.61
	篩 別 径	0.10	0.20	0.41	1.72	1.72	2.96	8.60
400	3 軸 径	0.11	0.21	0.43	0.82	1.68	3.29	6.28
	等体積球径	0.11	0.21	0.44	0.85	1.79	3.71	7.73
	篩 別 径	0.07	0.14	0.30	0.58	1.25	2.70	5.99
500	3 軸 径	0.09	0.17	0.35	0.69	1.35	2.43	4.81
	等体積球径	0.09	0.18	0.35	0.71	1.42	2.63	5.68
	篩 別 径	0.06	0.12	0.24	0.48	0.98	1.86	4.25

3.2.4.2 セパレータによる土塊切断の影響

セパレータによる土塊切断の影響値は表3-2-5に示した。各種定義径のセパレータ切断の影響値は、等体積球相当径が最大で次いで3軸径、篩別径の順になっている。この傾向は採土サンプル切断の場

合と同じである。

同一セパレータ間隔で土塊径が2倍になった時の影響値の変化をみると、ほんの一部を除き、他は全てその切断の影響値が約2倍になっている。また、セパレータ間隔が50mmから100mmへと2倍になった場合、土塊切断の影響値は約半分の値を示している。これはセパレータ間隔が2倍になれば完全土塊数が2倍になるのに対し、切断土塊数は変化しないことを反映した結果である。なお、最密分布の

表 3-2-5 セパレータ切断の影響

(単位: %)

セパレータ 間 隔 (mm)		定 義 径	土 塊 径 (mm)						
			2	4	8	16	32	64	128
格 子 状 分 布	50	3 軸 径	0.43	0.86	1.71	3.41	6.92	—	—
		等体積球径	0.45	0.89	1.77	3.54	7.36	—	—
		篩 別 径	0.30	0.59	1.17	2.33	4.94	—	—
	100	3 軸 径	0.21	0.43	0.86	1.71	3.41	6.92	—
		等体積球径	0.22	0.45	0.89	1.77	3.54	7.36	—
		篩 別 径	0.15	0.30	0.59	1.17	2.33	4.94	—
	150	3 軸 径	0.14	0.29	0.57	1.14	2.31	4.52	8.93
		等体積球径	0.15	0.30	0.60	1.19	2.41	4.73	9.27
		篩 別 径	0.10	0.20	0.39	0.78	1.59	3.14	6.13
最 密 分 布	50	3 軸 径	0.43	0.86	1.72	3.57	7.68	—	—
		等体積球径	0.45	0.91	1.82	3.78	7.92	—	—
		篩 別 径	0.30	0.60	1.21	2.52	5.16	—	—
	100	3 軸 径	0.21	0.43	0.86	1.72	3.57	7.68	—
		等体積球径	0.22	0.45	0.91	1.82	3.78	7.92	—
		篩 別 径	0.15	0.30	0.60	1.21	2.52	5.16	—
	150	3 軸 径	0.14	0.29	0.57	1.15	2.32	4.86	12.18
		等体積球径	0.15	0.30	0.60	1.21	2.47	5.12	13.85
		篩 別 径	0.10	0.20	0.40	0.80	1.65	3.39	9.78

セパレータ間隔150mmの場合，土塊径64mmの影響値に対し，土塊径128mmの影響値は2.51～2.88倍と急増しているが，これはセパレータがどの位置にあっても，必ずセパレータ切断が生じることに起因している。

格子状分布と最密分布におけるセパレータ切断の影響を比較すると，土塊径16mm以上では，最密分布における土塊切断の影響が格子状分布より大きく現れている。これは格子状分布の場合，上・下方セパレータによる切断土塊数が2個であるのに対し，最密分布では4個になるケースが存在するためである。

セパレータによる土塊切断と採土サンブラによる土塊切断は，異なるものなので直接的な関連はない。しかし，表3-2-3と表3-2-5によると，意外にも両者の切断の影響値は，セパレータ間隔50mmと採土サンブラ径100mm，セパレータ間隔100mmと採土サンブラ径200mm，セパレータ間隔150mmと採土サンブラ径300mmの場合が同レベルの値であった。

3.2.4.3 採土サンブラとセパレータの両方による土塊切断の影響

採土サンブラとセパレータの両方による土塊切断の影響は，表3-2-6～7に示した。両切断の影響値は，採土サンブラ切断とセパレータ切断の影響を加算した値にほぼ近いものとなっているが，篩別径における土塊径16mm以上では，加算値より両切断の計算値の方が大きくなっている。例えば，格子状分布でセパレータ間隔50mm，採土サンブラ径100mmの場合，土塊径16mmの加算値が4.99%，土塊径32mmの加算値が11.0%であるのに対し，両切断の影響値は土塊径16mmで6.66%，土塊径32mmで18.39%と大きな値を示した。

同一採土サンブラ径で土塊径が大きくなった場合，その影響値の

表 3-2-6 両切断の影響 — 格子状分布 —

(単位: %)

採土サン プ ラ 径	定義 径	土 塊 径 (mm)						
		2	4	8	16	32	64	
セ パ レ ー タ 間 隔 50 mm	100 mm	3 軸 径	0.86	1.71	3.39	6.69	13.78	—
		等体積球径	0.89	1.77	3.54	7.05	14.43	—
		篩 別 径	0.63	1.39	2.98	6.66	18.39	—
	200	3 軸 径	0.64	1.29	2.56	5.08	10.50	—
		等体積球径	0.67	1.33	2.65	5.30	10.81	—
		篩 別 径	0.46	0.98	1.99	4.22	12.04	—
	300	3 軸 径	0.57	1.14	2.28	4.54	9.42	—
		等体積球径	0.59	1.19	2.36	4.70	9.66	—
		篩 別 径	0.40	0.85	1.68	3.40	9.59	—
	400	3 軸 径	0.53	1.07	2.13	4.25	8.74	—
		等体積球径	0.56	1.11	2.22	4.41	9.08	—
		篩 別 径	0.37	0.78	1.52	2.99	8.43	—
	500	3 軸 径	0.51	1.03	2.05	4.08	8.43	—
		等体積球径	0.54	1.07	2.13	4.23	8.73	—
		篩 別 径	0.35	0.74	1.43	2.76	7.67	—
セ パ レ ー タ 間 隔 100 mm	100	3 軸 径	0.64	1.28	2.55	4.98	9.80	22.29
		等体積球径	0.66	1.32	2.67	5.30	10.75	25.96
		篩 別 径	0.47	0.98	2.24	4.99	11.83	31.23
	200	3 軸 径	0.43	0.86	1.71	3.39	6.69	13.79
		等体積球径	0.44	0.89	1.77	3.54	7.05	14.43
		篩 別 径	0.31	0.63	1.39	2.98	6.66	18.39
	300	3 軸 径	0.36	0.71	1.44	2.84	5.71	11.68
		等体積球径	0.37	0.74	1.48	2.95	5.91	12.09
		篩 別 径	0.25	0.51	1.12	2.32	5.00	14.23
	400	3 軸 径	0.32	0.64	1.29	2.56	5.08	10.50
		等体積球径	0.33	0.67	1.33	2.65	5.30	10.81
		篩 別 径	0.22	0.46	0.98	1.99	4.22	12.04
	500	3 軸 径	0.30	0.60	1.20	2.39	4.79	9.95
		等体積球径	0.31	0.62	1.25	2.47	4.95	10.20
		篩 別 径	0.21	0.42	0.90	1.81	3.72	10.55

表 3-2-7 両切断の影響 - 最密分布 -

(単位: %)

採土サン プラ径	定義径	土 塊 径 (mm)							
		2	4	8	16	32	64	128	
セ パ レ ー タ 間 50 mm	100 mm	3 軸 径	0.86	1.69	3.43	6.85	13.59	—	—
		等体積球径	0.89	1.75	3.59	7.39	15.06	—	—
		篩 別 径	0.61	1.23	2.66	5.89	13.19	—	—
	200	3 軸 径	0.64	1.30	2.56	5.26	10.77	—	—
		等体積球径	0.66	1.34	2.65	5.52	11.33	—	—
		篩 別 径	0.44	0.93	1.88	4.17	9.30	—	—
	300	3 軸 径	0.57	1.15	2.31	4.60	9.79	—	—
		等体積球径	0.59	1.20	2.40	4.80	10.14	—	—
		篩 別 径	0.40	0.82	1.68	3.49	7.98	—	—
	400	3 軸 径	0.54	1.07	2.16	4.39	9.27	—	—
		等体積球径	0.56	1.11	2.25	4.59	9.54	—	—
		篩 別 径	0.37	0.75	1.56	3.29	7.28	—	—
	500	3 軸 径	0.52	1.04	2.08	4.25	8.96	—	—
		等体積球径	0.54	1.08	2.16	4.45	9.20	—	—
		篩 別 径	0.36	0.73	1.48	3.16	6.87	—	—
セ パ レ ー タ 間 隔 150 mm	100	3 軸 径	0.57	1.11	2.26	4.44	8.62	16.31	—
		等体積球径	0.59	1.14	2.39	4.89	10.10	21.49	—
		篩 別 径	0.40	0.79	1.72	3.73	8.34	18.79	—
	200	3 軸 径	0.35	0.72	1.40	2.85	5.62	11.07	20.85
		等体積球径	0.36	0.74	1.45	2.99	6.12	12.56	25.77
		篩 別 径	0.24	0.51	1.01	2.19	4.80	10.72	22.45
	300	3 軸 径	0.29	0.57	1.15	2.19	4.57	8.50	17.57
		等体積球径	0.30	0.59	1.19	2.26	4.86	9.06	20.26
		篩 別 径	0.20	0.40	0.83	1.61	3.70	7.44	17.78
	400	3 軸 径	0.25	0.49	1.01	1.98	4.03	8.12	16.20
		等体積球径	0.26	0.51	1.04	2.05	4.23	8.68	17.95
		篩 別 径	0.17	0.34	0.72	1.45	3.16	7.01	15.80
	500	3 軸 径	0.23	0.46	0.92	1.84	3.70	7.28	14.91
		等体積球径	0.24	0.47	0.95	1.91	3.86	7.63	16.11
		篩 別 径	0.16	0.32	0.65	1.34	2.84	6.00	13.99

変化はほぼ比例的関係になっている。しかし、篩別径で土塊径16mm～32mm以上の所では、土塊径が2倍になると影響値が2.8倍と急増しているケースがある。これは篩別径が切断土塊の3方向径のうち中間径と短径を用いて決定されているので、2方向切断を受けた両切断土塊の影響が相対的に増加したためと考えられる。

同一土塊径において採土サンプル径が2倍になった場合、両切断の影響値は約3割程度の減少であり、採土サンプルおよびセパレータのみによる切断の場合とは異なっている。これは採土サンプル径が2倍になると完全土塊数は4倍に増加するが、その反面、採土サンプル切断土塊数と両切断土塊数は2倍、セパレータ切断土塊数は4倍に増加するので、完全土塊数の増加による平均土塊径の増加分を打ち消しているためである。

セパレータのみによる土塊切断では、その間隔が2倍、3倍になると、土塊切断の影響値は逆に2分の1、3分の1と小さくなったが、両切断ではセパレータ間隔が大きくなっても、上記のように土塊切断の影響値が小さくなっていない。例えば、土塊径2mmの格子状分布でセパレータ間隔が50mmから100mmになった場合(篩別径)をみると、その減少率は採土サンプル径100mmで23%、300mmで37%、500mmで42%の値である。これはセパレータ間隔が2倍になり完全土塊数は2倍になるが、その反面サンプル切断土塊数が2倍に増加するためである。

両切断において格子状分布と最密分布間の影響値には、土塊径16mmまで余り差がみられない。土塊径32mm以上の篩別径では、最密分布の影響値が格子状分布より明確に小さくなっている。

シミュレーションでの篩別径は、切断土塊の3方向径のうち、最大径が篩の目開きに対し垂直に通り、しかも中間径が目開きの対角

線方向になるものとして計算した。しかし、現実の測定では、全てのケースが前提のごとくなるわけではない。したがって、現実の測定における土塊切断の影響値は、表中に示した影響より小さく出るものと推察される。

実際の場合では大・中・小の土塊が混在しているので、ここでの同一土塊径とした前提とは異なる。それ故、ここでの数値を応用する場合、表中での土塊径は測定した土塊分布の平均土塊径で対応させ、採土による土塊切断の影響値は一つの目安と考えた方がよい。

以上のシミュレーション結果よりみると、深さ50mmごとの層別採土で5%位の誤差を許すとすれば、採土サンブラ径100mmの場合は平均土塊径8mm、採土サンブラ径200mmの場合は平均土塊径16mmまで採土可能といえる。また、セパレータ間隔を150mmに拡大すれば、平均土塊径16mmまで直径100mmの採土サンブラを用いてよい。次節で直径100~400mmの採土サンブラを用いて測定した、その平均土塊径間の統計的検討をするが、本節での諸結果は、実際の測定土塊径間に有意差が認められない裏付けとなる。

3.2.5 摘 要

採土に伴う土塊切断の影響は、採土サンブラ径の大きさを決めるうえで重要な要因になる。ここでは、球を土塊のモデルとするシミュレーションで土塊切断の影響を検討した。

主な結果は以下の通りである。

(1) 同一土塊径で採土サンブラ径が2倍になった場合、その土塊切断の影響値は約半分に減少する。これは、採土サンブラ径が2倍になると一般に切断土塊数は2倍の増であるのに対し、切断なしの

完全土塊数は4倍の増になると考えられるので、それが影響値に出た結果と思われる。また、セパレータ間隔が大きくなると、それに反比例的に影響値は小さくなる。

(2) 両切断の影響は、土塊径32mmの一部を除き、他は全て等体積球相当径が最も大きく次いで3軸径、篩別径の順であった。同一土塊径において採土サンプル径が2倍になった場合、両切断の影響値は約3割程度の減少であり、採土サンプルおよびセパレータのみによる切断の場合とは異なっている。これは採土サンプル径が2倍になると完全土塊数は4倍に増加するが、その反面、採土サンプル切断土塊数と両切断土塊数は2倍、セパレータ切断土塊数は4倍に増加し、完全土塊数の増加による平均土塊径の増加分を打ち消しているためである。なお、格子状分布と最密分布の影響値間では、土塊径32mm以上の篩別径で大きな差がみられた。

(3) 以上のシミュレーション結果よりみると、深さ50mmごとの層別採土で5%位の誤差を許すとすれば、採土サンプル径100mmの場合は平均土塊径8mm、採土サンプル径200mmの場合は平均土塊径16mmまで採土可能といえる。実際の場面に応用する場合、ここでの土塊径は測定した土塊分布の平均土塊径で対応させ、採土による土塊切断の影響値は一つの目安と考えた方がよい。

3.3 圃場試験結果に基づく土塊分布測定法の検討

3.3.1 はじめに

従来の土塊分布測定法^{5,8,9)}の問題点として、①大量採土のため多大な労力を要する、②層別に土塊分析をする概念が明確でないことなどがあげられる。これらの問題点を解決するには、採土量を少なくすると共に層別に土塊分布を測定すればよい。しかし、採土サンプル直径の縮小による採土量の減少、層別採土のためのセパレータ使用により、当然、土塊切断に伴う誤差が大きくなるという問題点が考えられる。したがって、採土サンプルの直径の違いやセパレータ使用による土塊切断の影響を、定量的に分析する必要があるが、それらを検討した文献は未だみられない。

我が国に普及している乗用トラクタの約9割は30PS以下であり、このクラスのトラクタによるロータリ耕の耕深は一般に約15cmである。したがって、本試験では耕深を5cm間隔に区切って3層区分で土塊分布を検討することにした。本節では直径が異なる3種類の採土サンプルを用い層別採取した土塊試料の測定値をもとに、層別採土の必要性の有無、採土法および採土サンプル径の検討などを行う。また、篩の目開きと使用個数の検討も加え、総合的にみた最も望ましい採土-篩別体系を追究した。

3.3.2 試験方法

本節で用いる土塊分布測定のパータは、1983年の沖積地水田試験(埼玉県北埼玉郡川里村、灰色低地土)、1985年と1988年の洪積台地畑・水田試験(茨城県稲敷郡阿見町、淡色黒ボク土)で得たものであ

る。1983年の試験条件は本章の1節に記してあるので、ここでは省略する。

表3-3-1に1985・1988年試験の諸条件を示した。供試圃場は茨城大学農学部附属農場の水田と畑で、その土性はCL, LiCが場所によって混在している。試験時の土壌含水比は、水田・畑地とも1988年試験の方が1985年試験時より約4%ほど高かった。したがって、1988年試験の場合、その試験場所の土壌条件はかなり湿った状態であった。試験圃場のqc値は同表に示した通りである。

供試ロータリは1985年試験と1988年試験で機種が異なるが、両方ともダウンカット方式のなた爪である。両機種 of 爪本数、耕うん爪の装着方式および耕うん爪回転半径などは、表3-3-1に示したように異なる。1985年試験における耕うんピッチは32mmの1水準であるが、1988年試験では29~95mm間で5水準の耕うんピッチを採用した。この耕うんピッチの変化は、供試トラクタのエンジン回転数を一定とし、ギヤー位置を変えることによって行った。

表 3-3-1 試 験 条 件

項 目	1985年試験	1988年試験
土 性	CL~LiC	CL~LiC
土壌含水比(%)	畑: 65.1±1.4 水田: 89.1±7.2	畑: 69.1±0.9 水田: 93.7±4.1
qc値(kg/cm ²)	畑: 9.5±1.1 水田: 5.8±1.3	畑: 11.1±2.1 水田: 5.1±1.7
供試ロータリ	ダウンカット・なた爪, 爪本数34本 ホルダ式, 耕うん幅1500mm 耕うん爪回転半径460mm	ダウンカットなた爪, 爪本数32本 フランジ式, 耕うん幅1500mm 耕うん爪回転半径490mm
耕うんピッチ(mm)	32	29~95 (5水準)
採土サンプル	鋼製, 内径100・200・400mm, スリット: 50mm間隔に設置	
供 試 篩	φ200×60真鍮製, 目開き1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, 125mm	

注) 土壌含水比とqc値(深さ0~15cm間)の表示は、平均±標準偏差。

採土サンプルと供試篩は表3-3-1に示したものをを使用した。詳細については、本章1節を参照して頂きたい。畑地では土塊径1mm以下、水田では土塊径2mm以下の篩別けが、篩の目詰りのため不可能になるケースも生じたので、その時は目開き1mmあるいは2mmの篩は使用していない。また、現実的には目開き125mmの篩は、殆ど不必要であった。同一条件での土塊分布測定数は、採土サンプル内径100mmのもので5反復、内径200mmの採土サンプルで5～20反復、内径400mmの採土サンプルで3～5反復とした。

3.3.3 結果および考察

3.3.3.1 層別土塊分布

以下では採土深さ0～5cmの所を上層、5～10cmを中層、10～15cmを下層と呼ぶ。また、以下の平均土塊径とは前述の平均質量径（平均重量径）のことである。

図3-3-1は、沖積地水田におけるロータリ耕うん後の層別平均土塊径である。ダウンカットの場合、耕うんピッチ13mmでは各層の平均土塊径に差がみられないが、耕うんピッチ26mm以上では、上層が中・下層に対し明らかに大きな土塊径となっている。これに対しアップカットロータリの場合、上層の土塊径が中・下層より全ての耕うんピッチで小さく、ダウンカットロータリに比べ逆の結果になった。これらの結果は他の文献⁵³⁾とも一致している。なお、アップカットロータリはレーキを装着し、ロータリ耕うん刃により投てきされた土塊のうち、大きな土塊はこのレーキにあたり先に落下し、レーキの間隙を通り抜けた小土塊が、その後落下する機能をもたせているので、上記の結果は当然ともいえる。また、洪積台地水田・畑のダウンカットロータリ試験の層別平均土塊径を図3-3-2に示した。

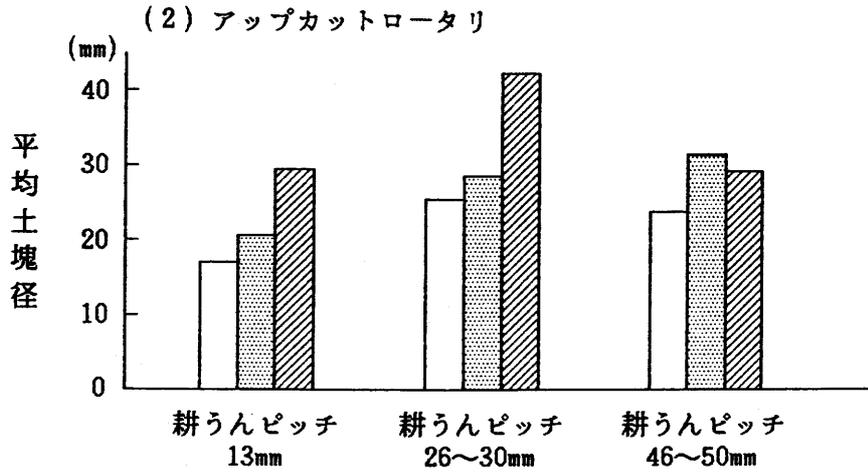
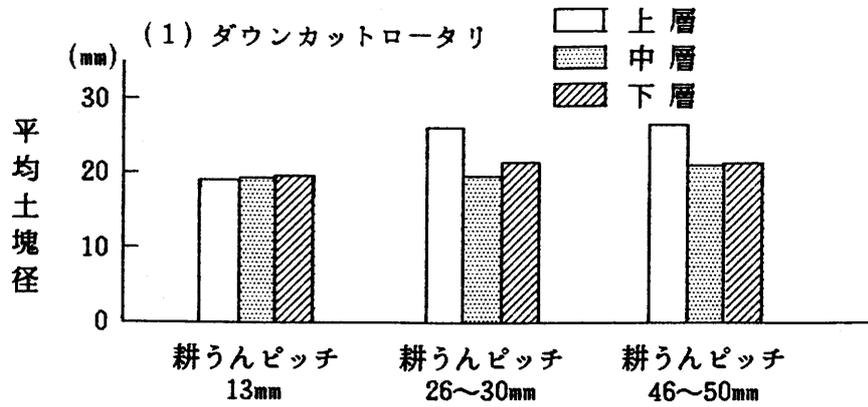


図 3-3-1 ロータリ耕うん後の層別平均土塊径
— 沖積地水田 —

注) 採土サンプル径200mm, なた爪, 1983年調査。

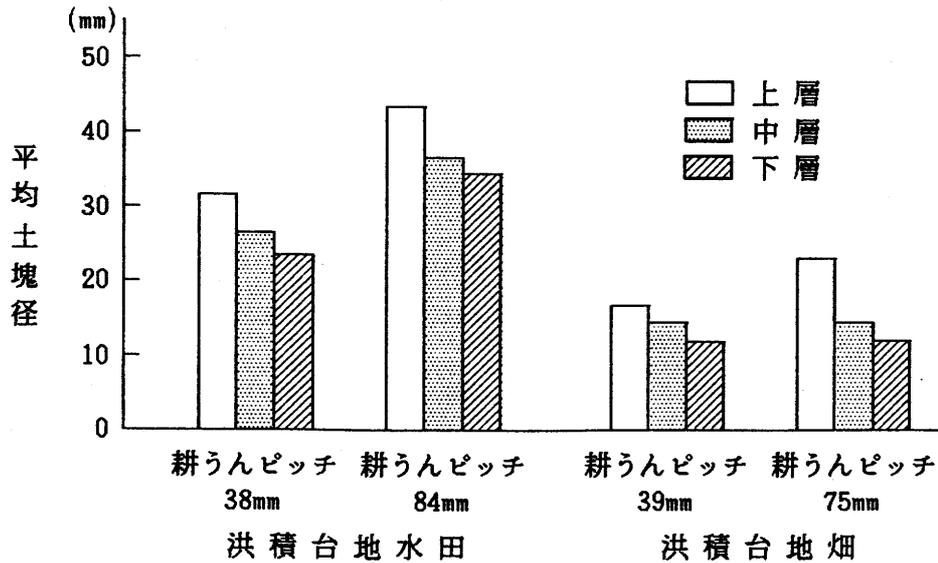


図 3-3-2 ロータリ耕うん後の層別平均土塊径
— 洪積台地水田・畑 —

注) 採土サンプル径200mm, ダウンカットなた爪, 1989年調査。

その平均土塊径では，水田・畑の両方とも上層>中層>下層の順が明確に認められる。

表3-3-2は洪積台地水田・畑（1985年試験）の平均土塊径を用いた層別間のt検定結果である。この表からダウンカット方式の場合，畑では1箇所を除き，他は全て5%あるいは1%水準で層別の土塊径間に有意差があることが分かる。一方，水田では上層と中・下層との間で有意差を示している所が多いが，中層と下層間では有意差が認められなかった。この水田の結果は，図3-3-1と図3-3-2のダウンカットロータリ試験の結果ともほぼ一致している。

表 3-3-2 層別に対する平均土塊径の t 検定結果

—ダウンカットロータリ—

項目 サンプル径		上層：中層		上層：下層		中層：下層	
		d.f.	t	d.f.	t	d.f.	t
畑	100 mm	8	3.18 *	8	3.67 **	8	0.91
	200	38	5.31 **	38	7.29 **	38	5.09 **
	400	6	9.57 **	6	11.94 **	6	5.42 **
水田	100	8	2.61 *	8	3.40 **	8	-0.39
	200	38	2.23 *	38	3.53 **	38	1.80
	400	8	0.93	8	1.60	8	0.81

注) 上層；深さ0~5cm, 中層；深さ5~10cm, 下層；深さ10~15cm

1985年試験, d.f.: 自由度, *印: 5%有意水準, **印: 1%有意水準

表3-3-3にアップカットロータリ耕うんによる層別間の平均土塊径のt検定結果を示した。9検定のうち5検定で5%以上の水準で有意差が認められている。しかも，各耕うんピッチとも上層と下層間あるいは上層と中層間のいずれかで有意差が示されている。

以上の諸結果より，ダウンカットロータリ耕うんでは，上層の土

表 3-3-3 層別に対する平均土塊径の t 検定結果

—アップカットロータリー

項目 耕うん ピッチ (mm)	上層：中層		上層：下層		中層：下層	
	d.f.	t	d.f.	t	d.f.	t
13	6	-1.33	4	-2.86 *	4	-0.25
26~30	10	-2.71 *	7	-3.80 **	7	-2.85 *
46~50	6	-2.84 *	4	-0.85	4	0.58

注) d.f. : 自由度, 1983試験.

塊が中・下層より大きく, またアップカットロータリー耕うんでは, 上層の土塊が中・下層より小さいと判定される。したがって, 上・中・下層を込みにした平均土塊径の表現法は, その内容の特徴を消去してしまうので不適切と思われる。また, 作物種子の発芽率と土塊径との関係では, 上層の土塊が対象にされているし, 栽培期間中を通してみれば中・下層に大きな土塊が存在した方が, 土壌中の水分や空気の保持量が多くなるので望ましい。これらの諸観点からみると, ロータリーの耕うん性能を土塊径で比較する場合, 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。

3.3.3.2 採土サンプル径および採土法の検討

1) 1985年試験

図3-3-3に採土サンプル径別の各層における平均土塊径を示した。水田の場合, 各層とも採土サンプル径が100mm→200mm→400mmと大きくなるにしたがい, その平均土塊径は大きくなっている。例えば上層において, 採土サンプル径100mm, 200mm, 400mmに対し, その平均土塊径は30.1mm, 33.6mm, 36.5mmであった。一方, 畑の場合は, 採土サンプル径と平均土塊径との間に一定の傾向が認められない。

図3-3-4は、セパレータを使用せず深さ0~15cmまでを一括採土した土塊の平均土塊径と、セパレータを使用し5cm毎に分離採土した3層の土塊径の平均値を対比したものである。水田の場合、採土サンプル径100mmと200mmでは、一括採土の平均土塊径が分離採土より明らかに大きく、また採土サンプル径400mmでも、一括採土の平均土塊径が若干大きくなっている。しかし、畑地の場合、一括採土と分離

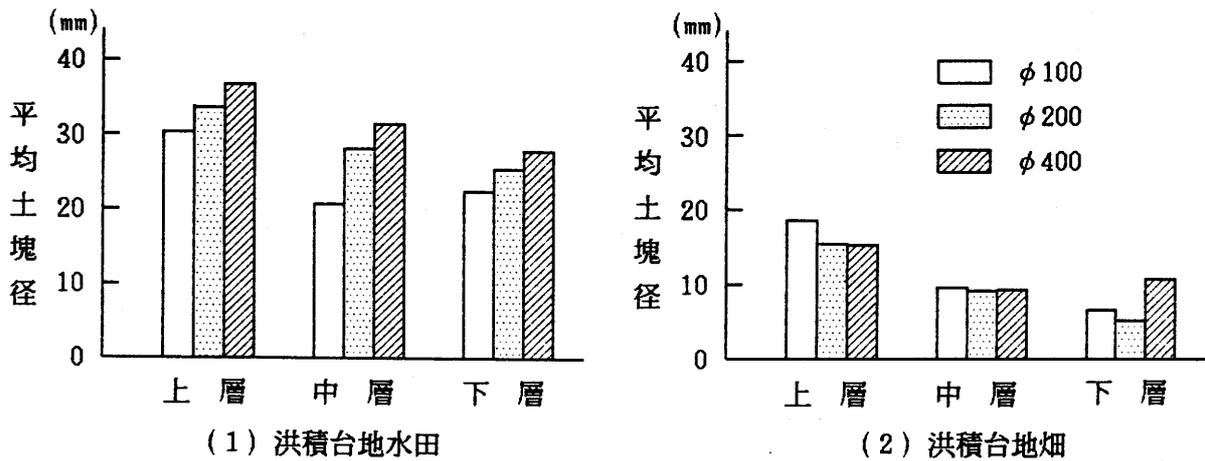


図 3-3-3 採土サンプル径別の平均土塊径

— 1985年試験, 耕うんピッチ32mm —

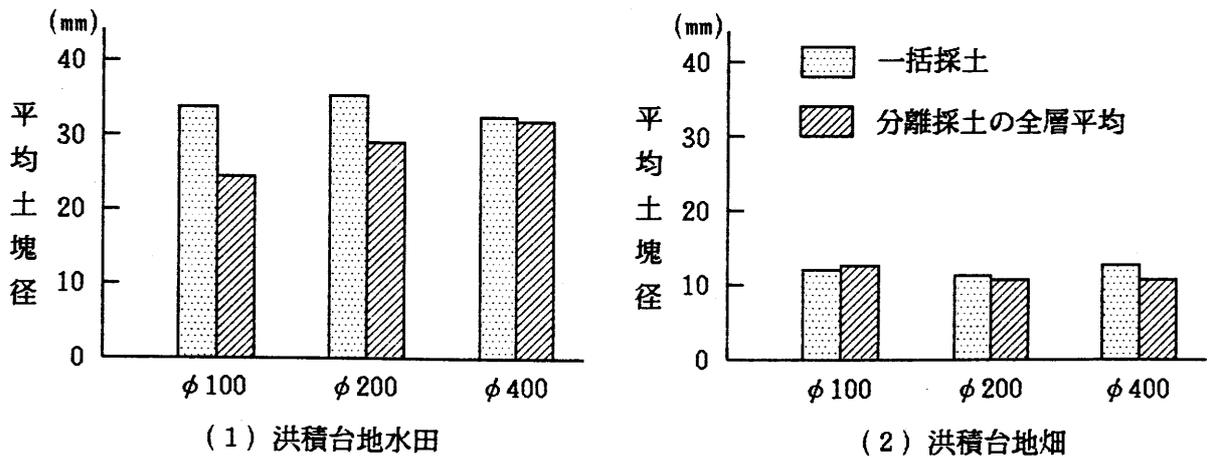


図 3-3-4 採土法別の平均土塊径

— 1985年試験, 耕うんピッチ32mm —

採土の平均土塊径に殆ど差異は生じなかった。なお、この図における水田・畑の両方とも耕うんピッチは同一であるが、両者間の土塊径には約2倍以上の差が存在する。これは土壌構造などの違いに起因しているものと考察される。表3-3-4に採土サンプル径と採土法要因に対する土塊径の分散分析結果を示した。採土サンプル径と層別の2元配置分散分析において、採土サンプル要因は水田のF値が4.88で、5%水準の有意差が認められた。この採土サンプル径間の有意差をt検定で分析した結果、φ100対φ200mmおよびφ100対φ400mmの採土サンプル間の平均土塊径に、その主原因があることが分かった。一方、畑の場合は採土サンプル径間で土塊径の有意差が認められなかった。この表の(2)の分散分析では、水田の採土法要因が5%水準で有意差を示したが、他の所では有意差を示していない。

表 3-3-4 採土サンプル径と採土法要因に対する土塊径の分散分析

(1) 採土サンプル径と深さ

項目 要因	水 田			畑		
	自由度	分散	F	自由度	分散	F
サンプル径	2	229.4	4.88 *	2	15.5	1.60
層別(深さ)	2	559.6	11.91**	2	618.8	63.79**
交互作用	4	12.7	0.27	4	3.8	0.39
誤 差	81	47.0		78	9.7	

(2) 採土サンプル径と採土法

項目 要因	水 田			畑		
	自由度	分散	F	自由度	分散	F
サンプル径	2	33.8	0.94	2	3.3	0.58
採 土 法	1	204.4	5.68 *	1	4.2	0.72
交互作用	2	52.4	1.45	2	2.7	0.47
誤 差	24	36.0		23	5.8	

注) 1985年試験, *印: 5%有意水準, **印: 1%有意水準

なお、同表における(2)の採土サンプル径要因は有意差を示さず、前記(1)の結果と異なった。この原因は(2)の検定の場合、一括採土のデータを用いているので、採土量が多くなったことにより、土塊切断の影響が相対的に小さくなったためと推察される。

2) 1988年試験

1988年試験は耕うんピッチを5段階に変えているが、この中で1985年試験の耕うんピッチに最も近い試験区の採土サンプル径別、採土法別の平均土塊径を図3-3-5と図3-3-6に示した。採土サンプル

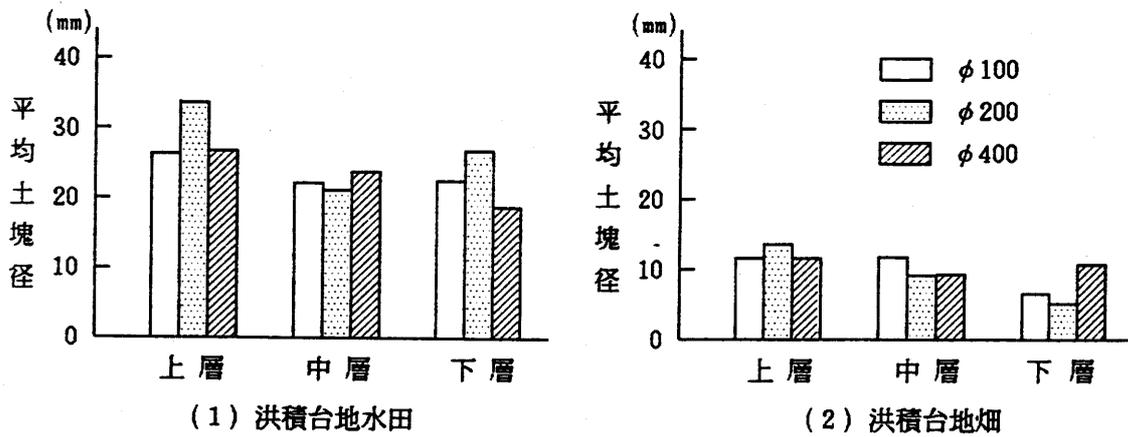


図 3-3-5 採土サンプル径別の平均土塊径

—1988年試験，耕うんピッチ29mm—

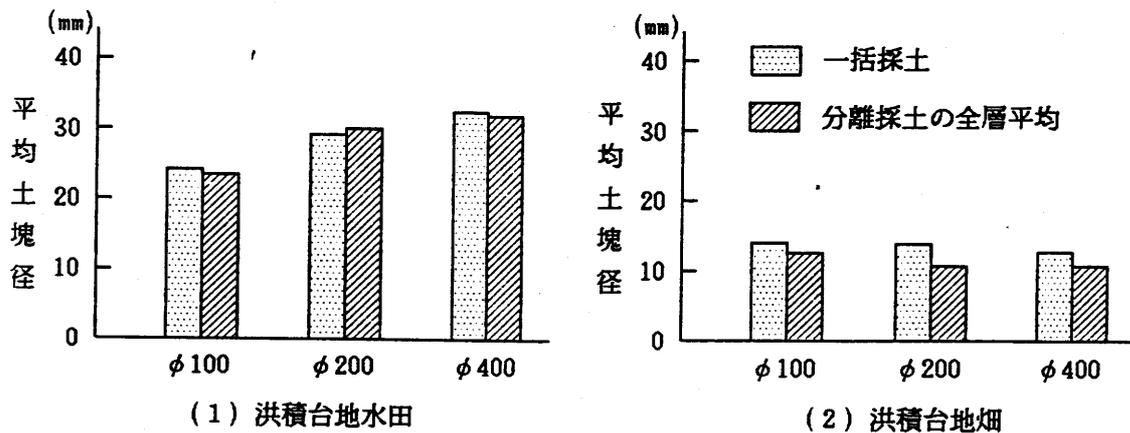


図 3-3-6 採土法別の平均土塊径

—1988年試験，耕うんピッチ29mm—

径別の平均土塊径をみると、水田と畑の両方とも採土サンプラ径による平均土塊径の差異に、一定の傾向は認められない。また、採土法別の平均土塊径では、畑の場合、各採土サンプラ径とも一括採土の値が、分離採土より大きい値を示した。これらの諸結果は1985年試験の結果（図3-3-3、図3-3-4）と大幅に異なっている。

表3-3-5 および表3-3-6 に耕うんピッチを変えた各試験区の採土サンプラ径、層別（深さ別）および採土法要因の分散分析結果を示した。これらの結果によると、採土サンプラ径要因で有意差が生じたのは1試験区（畑、耕うんピッチ75～84mm）だけであった。採土法要因でも10試験区のうち2試験で有意差が認められたにすぎない。このように有意差が認められないことは、採土サンプラおよびセパレータによる土塊切断の影響が、①土塊径のばらつきの範囲内 ②または測定誤差の範囲内にあることを示唆していると考えられる。本試験結果によると耕うんピッチが最大（94～95mm）の区でも、その平均土塊径は約45mm程度であった。前節でのシュミレーションによる土塊の採土サンプラ切断とセパレータ切断の影響値から類推すると、採土サンプラ径100mmと400mm間の土塊切断影響値の差は9%以内、またセパレータ間隔50mmと150mmでの土塊切断の影響値の差は約5%以内である。したがって、この程度の影響値の差は、上記のような圃場試験で検出できなくても仕方ないものと考えられる。

3) 土塊採取法の留意事項と採土サンプラ径の大きさ

前記では採土サンプラ径別、採土法別の平均土塊径について定量的に検討したか、採土サンプラ径の決定に対し、3年間の土塊分布測定において重要と思われた事項は次の点である。

① 土塊分布測定は圃場で行われるため天候などの影響を受け易いので、可能な限り短時間で測定できる方法がよい。

表 3-3-5 採土サンプル径と層別要因の分散分析

- 1988年試験 -

耕うんピッチ (mm)	要 因	水 田		畑	
		d.f.	F	d.f.	F
29	サンプル径	2	0.994	2	0.848
	層 別	2	2.236	2	2.992
38~39	サンプル径	2	0.443	2	1.312
	層 別	2	0.446	2	8.132**
49~51	サンプル径	2	0.947	2	2.816
	層 別	2	3.523*	2	14.531**
75~84	サンプル径	2	0.289	2	3.881*
	層 別	2	6.940**	2	19.373**
94~95	サンプル径	2	0.441	2	1.628
	層 別	2	8.932**	2	6.662**

注) 誤差の自由度 (d.f.)=18, 測定反復数 3回, * : 5%水準 ** : 1%水準

表 3-3-6 採土法と採土サンプル径要因の分散分析

- 1988年試験 -

耕うんピッチ (mm)	要 因	水 田		畑	
		d.f.	F	d.f.	F
29	サンプル径	2	0.806	2	3.487
	採 土 法	1	1.380	1	11.313**
38~39	サンプル径	2	0.986	2	1.488
	採 土 法	1	1.099	1	0.164
49~51	サンプル径	2	0.048	2	1.539
	採 土 法	1	6.501*	1	0.983
75~84	サンプル径	2	0.358	2	2.140
	採 土 法	1	1.179	1	2.397
94~95	サンプル径	2	1.132	2	0.715
	採 土 法	1	2.128	1	1.102

注) 誤差の自由度 (d.f.)=12, 測定反復数 3回, * : 5%水準 ** : 1%水準

② 同一圃場内でも場所による土塊分布のばらつきが大きいので、測定回数を多くすることが望ましい。

③ 内径100mmの採土サンプラの場合、採土サンプラ内壁と土塊との摩擦により、サンプラ挿入と共に土塊が下方に押し込まれる恐れがある。また、耕うん土塊が大きい場合の測定において、測定者の心理として大きい土塊を採土サンプラの中心とする位置決めを行う傾向がある。

④ 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の採土サンプラが最大径の限界といえる。

以上の点と前記の諸分析結果および前節のシミュレーション結果を総合的に勘案すると、採土サンプラ径は200mm～300mmのもので、層別採土する方法が一般的に最も適切と考察される。ただし、畑地のように平均土塊径が15mm以下となる場合は、内径100mmの採土サンプラ使用でも差しつかえないと推察される。

3.3.3.3 節の目開き体系と使用個数

1) 節の目開き体系

沖積地水田の土塊分布の場合は、Rayleigh分布(Weibull分布の $m=2$)で近似できることを、本章の1節で記述した。このRayleigh分布式の変換法で近似計算した平均土塊径と積算節上質量50%土塊径を用い、インチ系とメートル系目開きの節の間に、有意差が認められるか否かのt検定を試みた。その結果は表3-3-7の通りである。

検定結果によると、40箇所の検定中36箇所は5%水準で有意差が認められていない。したがって、使用する節の目開き体系の違いによって、平均土塊径および積算節上50%土塊径などが、影響を受け

ることは殆どないと推察される。つまり、土塊分布測定に際し、どのような篩の目開き体系を採用してもよいことを意味している。

表 3-3-7 メートル系・インチ系篩による各種土塊径の t 検定結果

— 1983年試験, 沖積地水田 —

耕うん方式	耕うん ピッチ (mm)	採土層	平均土塊径		篩上50%土塊径	
			d.f.	t	d.f.	t
D・N	13	上層	2	0.689	2	0.669
		中層	2	0.101	2	0.097
D・A	13	上層	2	-0.235	2	-0.275
		中層	2	0.065	2	0.046
	26~30	上層	2	2.340	2	2.335
		中層	2	0.186	2	0.193
U・N	13	上層	2	-1.106	2	-1.052
		中層	2	-1.015	2	-1.021
	26~30	上層	4	1.680	4	1.647
		中層	4	-0.405	4	-0.396
	46~50	上層	2	4.725 *	2	4.697 *
		中層	2	-0.031	2	0.071
U・A	13	上層	2	-0.388	2	-0.365
		中層	2	-0.893	2	-0.925
	26~30	上層	2	7.449 *	2	6.867 *
		中層	2	0.684	2	0.717
	46~50	上層	2	1.030	2	1.160
		中層	2	0.376	2	0.390
	69~76	上層	2	0.551	2	0.545
		中層	2	2.020	2	2.000

注) D・N : ダウンカット慣行なた爪, D・A : ダウンカット異形なた爪

U・N : アップカット慣行なた爪, D・A : アップカット異形なた爪

*印 : 5% 水準で有意差あり。

2) 篩の使用個数

篩の使用個数は、測定の所要労力面からみると少ない方がよい。しかし、篩の使用個数を少なくしたことによって、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、篩の使用個数を削減した場合、Weibull分布の変換法で近似計算した平均土塊径、標準偏差の値がどの程度変化するのか検討する。

表3-3-8は、篩の数を削減した場合の各土塊質量の一例である。

表 3-3-8 篩の個数を削減した場合の土塊質量

(単位: g)

土 塊 径 (mm)

	0	2	4	8	16	31.5	63	125
基 準 (篩7個)	28	55	151	536	929	908	302	
篩の目開き63 mm 欠	28	55	151	536	929	1210		
〃 31.5 mm 欠	28	55	151	536	1837		302	
〃 8 mm 欠	28	55	687		929	908	302	
〃 2, 8 mm 欠	83		687		929	908	302	
〃 2, 8, 31.5欠	83		687		1837		302	
〃 2, 8, 63 欠	83		687		929	1210		

注) 篩7個(目開き2~125mm)使用の土塊質量は1983年の沖積地水田調査のデータ(アップカット・なた爪, 耕うんピッチ46~50mm)

この表における基準欄の各土塊質量は、実際の測定値(沖積地水田)であるが、他の所は種々の目開きの篩が欠けた場合を想定した理論値である。例えば、目開き63mmの篩が欠けた場合、土塊径31.5mm以上の質量は、 $908 + 302 = 1210\text{g}$ になるという想定である。これらの各土塊質量を用い、Rayleigh分布の変換式(1次式)に適用させた

場合の相関係数，平均土塊径および標準偏差などを表3-3-9に示した。

図3-3-7は基準欄の土塊質量を用い，土塊径(x)と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$

($R_1(x)$:積算篩上質量比)との関係をプロットしたものである。表3-3-9の基準欄の相関係数は，図3-3-7の①～⑥点より計算された値であり，また目開き63mmの篩が欠けた場合は，①点を除いて計算した相関係数である。なお，この図のy軸の値は積算篩上質量比をもとにしているため，例えば目開き63mmの篩が欠けても，土塊径31.5mm以下の各y軸の値(②～⑥点)は，当然変わらない。

表3-3-9によると，目開き63mmの篩が欠けた場合，その相関係数は0.996と基準より若干高い値となるが，平均土塊径と標準偏差は基準に対し大きく変化した。一方，目開き2，8，31.5mmおよびこれらの組み合わせの篩が削減された場合は，平均土塊径や標準偏差の変化が小さい値であった。これらの結果と目開き63mmの篩が欠けた場合に

表 3-3-9 篩の個数削減による相関係数，平均土塊径などの変化

— 沖積地水田の例 —

項 目	相関係数	平均土塊径 (mm)	標準偏差 (mm)	a (勾配)	b (切片)
基準 (篩7個)	0.991	33.8	19.5	0.0237	0.0861
篩の目開き 63mm欠	0.996	28.8	15.8	0.0293	0.0412
〃 31.5mm欠	0.994	34.9	20.0	0.0231	0.0778
〃 8mm欠	0.990	33.7	19.5	0.0238	0.0828
〃 2,8mm欠	0.989	33.7	19.7	0.0235	0.0951
〃 2,8,31.5mm欠	0.993	34.9	20.0	0.0231	0.0787
〃 2,8,63mm欠	0.996	28.9	15.7	0.0294	0.0369

- 注 1) Rayleigh分布 ($m=2$) に適用した計算値。
 2) 表 3-3-8の土塊質量に適應させた計算値。
 3) a, b: 図 3-3-7を参照。

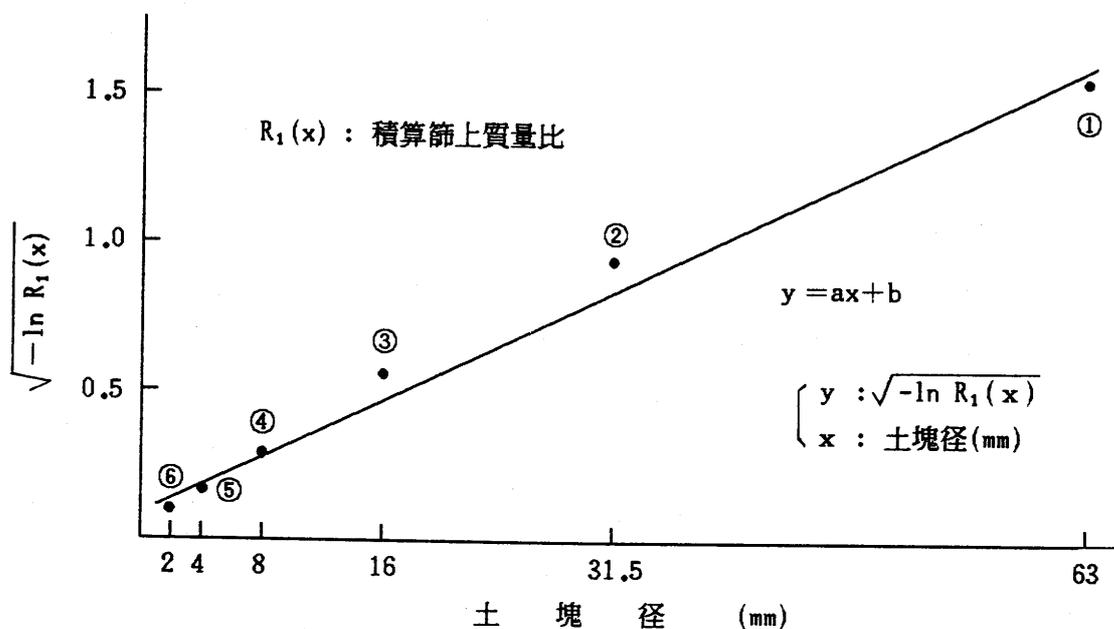


図 3-3-7 土塊径 x と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ との関係の例

注) 表 3-3-8 の基準欄のデータに対応

元の土塊分布の基本形が変わることを考えると，目開き 63mm の篩を含む削減には問題がある。しかし，目開き 2, 8, 31.5mm の篩の場合は上記の問題点がないので，本試験結果でみる限り，これらの 3 個の篩を削減してもよいと考察される。

洪積台地畑の土塊分布測定データを用いて，篩数の削減に対する相関係数，平均土塊径などの変化を計算した例を表 3-3-10 に示した。例 1 ~ 5 における基準と篩 2 個削減の場合の平均土塊径を対比すると，その差は最大でも 0.5mm 以下である。また，標準偏差も基準と篩 2 個削減との間で，大きな差は生じていない。したがって，この場合は篩 2 個を削減しても実用上は差しつかえないものと推察される。

上記では篩の個数削減に対し，測定データをもとに検討したが，本試験の過程で篩の目開きと使用個数の選定に際し，考慮すべきと思われた事項は以下の点である。

表 3-3-10 節の個数削減による相関係数, 平均土塊径の変化
 - 洪積台地畑の例 -

項 目		m	相関係数	平均土塊径 (mm)	標準偏差 (mm)
例 1	基準 (節 6 個)	0.5	0.991	8.6	14.3
	節 2 個削減	0.5	0.992	8.1	14.2
例 2	基準 (節 6 個)	1.0	0.992	11.5	14.0
	節 2 個削減	1.0	0.993	11.7	13.0
例 3	基準 (節 6 個)	1.0	0.994	8.4	10.5
	節 2 個削減	1.0	0.995	8.7	10.4
例 4	基準 (節 6 個)	0.5	0.997	4.8	12.7
	節 2 個削減	0.5	0.998	5.0	12.9
例 5	基準 (節 6 個)	1.0	0.997	6.8	7.2
	節 2 個削減	1.0	1.000	6.7	7.1

- 注 1) mはWeibull分布式の形のパラメータ
 2) 節 6 個とは目開き2, 4, 8, 16, 31.5, 63mmの節
 3) 節 2 個削減とは目開き4, 16mmの節が欠けた場合

① 従来, 水田では20mm砕土率, 畑では10mm砕土率が一つの指標として多用されているので, 20mmあるいは10mmにできるだけ近い目開きの節を体系の中に含ませること。

② 節の目開き体系は, 入手のし易い新JIS標準節体系にすることが望ましい。また, 小土塊から大土塊までを処理することを考えると, 等差数列よりは等比数列の節の目開きを用いた方が合理的である。

③ 畑地では土塊径2mm以下の質量割合が50~60%になるケースもあり, また水田において土壌水分が高い時, 目開き2mmの節は使用不可能になる。

以上の本研究における諸結果を総合すると, 畑地の場合, 節の目

開きは 2, 8, 31.5mm の体系を基準にし, 必要に応じ他の目開きの篩を追加するのが妥当と考察される。水田の場合は, 篩の目開き 4, 16, 63mm の体系を基準にするのが良いと判断される。ただし, これは対象とする土塊分布に対し, Weibull 分布の形のパラメータ m が決まっている場合である。調査圃場の土塊分布が $m = 0.5, 1.0, 2.0$ のいずれの Weibull 分布で近似できるか決定する場合は, 測定誤差を考えると篩の使用個数は 7 個とする方が望ましい。

3.3.4 摘 要

本節では直径が異なる 3 種類の採土サンブラ (内径 100, 200, 400 mm) を用い, 5 cm 間隔で層別に採取した土塊試料の測定値をもとに層別採土の必要性の有無, 採土法, 採土サンブラ径, 篩の目開き, 篩の使用個数などを定量的に検討した。

主な結果は次の通りである。

(1) 層別土塊分布の諸検討結果より, ダウンカットロータリ耕うんでは, 上層 (深さ 0~5cm) の土塊が中 (5~10cm)・下 (10~15cm) 層の土塊より大きく, またアップカットロータリ耕うんでは, 上層の土塊が中・下層より小さいと判定された。この結果からすると, 上・中・下層の土塊を一括した測定法は, その内容の特徴を消去してしまうので不適切である。したがって, ロータリ耕うんの性能を土塊径で比較する場合, 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) 採土法別と採土サンブラ径別の平均土塊径の傾向は, 1985年試験結果と 1988年試験結果との間で大幅に異なった。また, 採土法要因と採土サンブラ径要因の分散分析結果で, 有意差が認められた

のは10試験区のうちで1～2試験区のみと少なかった。これらの結果は、採土サンプラおよびセパレータによる土塊切断の影響が、①土塊径のばらつきの範囲内、②または測定誤差の範囲内にあることを示唆していると考えられる。

(3) 土塊分布の諸分析結果と前節のシミュレーション結果を総合的に考察すると、採土サンプラ径は200～300mmのもので層別採土する方法が最も適切との結論になる。ただし、畑地のように平均土塊径が15mm以下となる場合は、内径100mmの採土サンプラ使用でも差しつかえない。

(4) インチ系とメートル系目開きの篩の間に有意差があるかt検定を試みた結果、40箇所の検定中36箇所は5%水準で有意差が認められなかった。したがって、使用する篩の目開きの違いによって平均土塊径が、影響を受けることは殆どないと推定される。

(5) 篩の使用個数を適切に削減すれば、Weibull分布の変換法で計算した平均土塊径、標準偏差は殆ど変動しないとの検討結果を得た。本研究における諸結果を総合すると、畑地の場合、篩の目開きは2, 8, 31.5mmの体系を基準にし、必要に応じて他の目開きの篩を追加するのが妥当といえる。また、水田の場合は目開き4, 16, 63mmの体系を基準にするのが最も良いと判定された。

第4章 ロータリ耕うんによる土壌の移動に関する研究

4.1 耕土の移動割合算出のための電気伝導度法

による基礎実験

4.1.1 はじめに

ロータリ耕は耕起と砕土の同時化により、プラウ・ハロー体系に比べその作業能率が高く、また水田では圃場の均平度を保ちうるなどの利点がある。このため我が国では、ロータリ耕が多用されている。しかし、プラウ・ハロー体系に対し、ロータリ耕は土壌の反転性（上下方向の土壌移動）が悪いという問題点を有している⁶²⁾。

耕うん作業結果として土壌の反転性は重要であるにもかかわらず、ロータリ耕の土壌反転性に焦点を当てた研究は十分でなく、その測定法も未確立で統一されていない^{3,30,32,91)}。従来の代表的な測定法として、稲わら・チョーク片・木片・小麦の発芽種子などをトレーサとする方法がある。しかし、それらは第2章で記述したごとく種々の問題点をかかえている。また近年、レーキ付きアップカットロータリが普及しているが、従来の稲わら、チョーク片および木片などのトレーサは、その形状が大きいものほどレーキに当たり易いので、正確な土壌反転性調査には不向きと考えられる。

本研究はこれらの種々の問題点を解決し、しかも現場で簡便に測定できる方法の確立および正確な土壌移動割合の把握を目標として始めたものである。本研究ではKCl溶液と電気伝導度がほぼ直線的関係(図4-1-1)にあることが実験で確認されたので、耕うんにより移動する土壌のトレーサとしてKClを利用する方法を採用した⁵⁰⁾。した

がって、この方法の基
 本は土壤に混合するKCl
 量に比例して、その土
 壤の電気伝導度(土壤に
 蒸留水を加え振とうろ
 過した溶液の電気伝導
 度)が高くなるという
 前提の上に成り立って
 いる。本節の実験では、
 この前提を確認した後
 に、電気伝導度が異な
 る2種類の土壤を混ぜ
 た場合における、その
 混合土の電気伝導度を計算する仮説式の検証を試みた。また、この
 結果を基に耕うん前の上・中・下層の土壤が、耕うん後の各層に移
 動した割合を算出する方法について検討した。

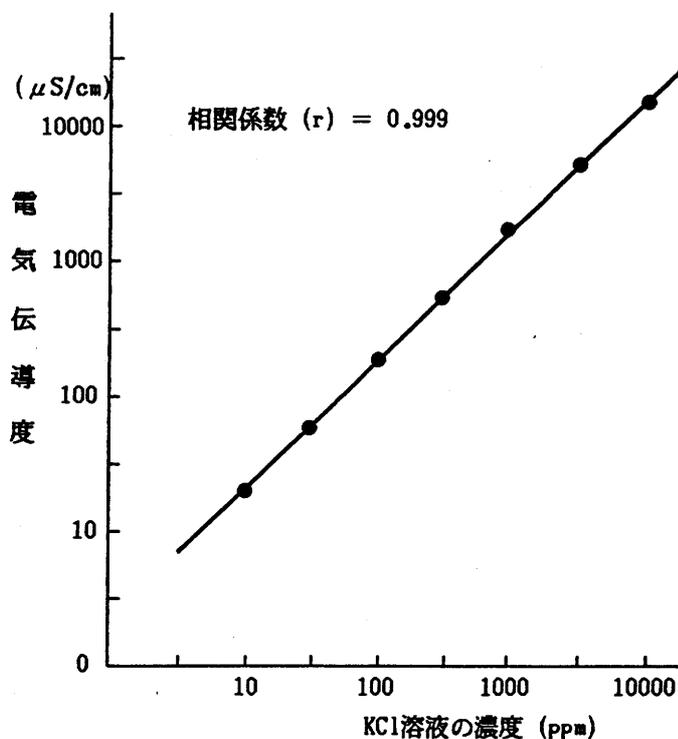


図 4-1-1 KCl溶液の濃度と電気伝導度との関係

4.1.2 試験方法

4.1.2.1 電気伝導度の測定法

電気伝導度の測定は土壤肥料学会の方法⁶⁾を参考にして次の方法
 とした。測定に用いた電気伝導度計と振とう機は表4-1-1に示したも
 のである。

(1) 生土を乳鉢で十分に碎土・攪拌し、その中から測定試料30g
 を採取する。

(2) 試料に蒸留水150mlを加え、30分間振とうする。

(3) ろ紙を用いて振とうした懸濁液をろ過し、その溶液の電気伝導度を測り、乾土30gの値に換算する。なお、以下ではこの値を土壌の電気伝導度(EC値)と呼ぶ。

生土で測定した電気伝導度から、相当する乾土の電気伝導度を求めるには次式を用いた。

表 4-1-1 測定器械および測定数

項目	内容
電気伝導度計	東亜電波工業株式会社 CM-20S型 測定範囲：10 μ S/cm～10mS/cm セルタイプ：ガラス製浸漬型 (極は白金黒)，温度補正付き
振とう機	大陽科学工業株式会社製 レシプロ振とう機 SRI型 振動数：2.5 回/s (振幅 50mm)
含水比測定	110℃-24 h., 熱風乾燥
測定数	① 含水比：3 反復測定 ② 電気伝導度：6 反復測定

$$EC = e_c(100 + W_d) / 100 \quad (18)$$

但し、EC：乾土換算した電気伝導度(μ S/cm)

W_d ：含水比(%)

e_c ：生土で測定した電気伝導度(μ S/cm)

電気伝導度の測定に影響を及ぼす要因には、①溶液の温度②容器とプローブ(検出部)の汚染などがある。これらの影響を避けるため溶液の温度を1回ごとに測定し、25℃基準に温度補正を行った。また、容器とプローブは各測定ごとに蒸留水で十分に洗浄した後、測定液によっても洗浄した。

4.1.2.2 試料の作製

本試験では圃場から採取した自然土を原土壌、KClを混合した土壌をKCl混入土と呼ぶ。

原土壌は茨城大学附属農場の洪積台地ローム畑の土壌(淡色黒ボク土)を用いた。その土性はCLあるいはLiCに属している。供試した原土壌の含水比は65.0~66.2%であった。

実験I(表4-1-2)では、まず原土壌3kgにKClを30g加えて十分に混合し、EC値6445 $\mu\text{S}/\text{cm}$ のKCl混入土を作った。そして、500gの原土壌に対し、このKCl混入土を5段階(100~500g)に変化させて混合し、試料A~Eを作製した。

実験IIでは、原土壌1kgに対しKCl量を2, 4, 6, 8, 10gずつ加え混合し、EC値が異なる5種類のKCl混入土を作製した。これら5種類のKCl混入土300gに同質量の原土壌を混ぜ試料F~Jとした。

KCl混入土を作る際には、原土壌とKClが均一に混じるよう、KClを数回に分けて混合した。また、KCl混入土と原土壌から試料を作る時も、径10mm以上の土塊は砕きながら十分に両者を攪拌・混合した。

4.1.3 結果および考察

4.1.3.1 測定EC値と計算EC値

図4-1-2にKCl混合量とKCl混入土のEC値との関係を示した。その相関係数は0.999と非常に高い値であり、両者間にはほぼ直線関係が成

表4-1-2 試料の作製法

(1) 実験I (単位:g)

試料	原土壌の質量 (EC:116)	KCl混入土の 質量(EC:6445)
A	500	100
B	500	200
C	500	300
D	500	400
E	500	500

(2) 実験II (EC値単位: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

試料	原土壌のEC値 (質量:300g)	KCl混入土のEC値 (質量:300g)
F	110	1142
G	110	2112
H	110	3146
I	110	4205
J	110	5189

立する。したがって、冒頭で述べた本方法の基本条件が満たされている。

実験 I・II における各試料の測定 EC 値とその標準偏差，計算 EC 値などは表 4-1-3～表 4-1-4 のとうりである。測定 EC 値と標準偏差は 6 反復測定のデータから求めている。計算 EC 値は次の仮説式から算出したものである。

$$M_s = E_1(W_1 / T) + E_2(W_2 / T) \quad (19)$$

但し， M_s ：混合土の EC 値， $T = W_1 + W_2$

E_1, E_2 ：混合する 2 種類の土壌の EC 値

W_1, W_2 ：混合する土壌の各々の質量

測定 EC 値と計算 EC 値間との偏差割合は実験 I で $-0.1 \sim -3.4\%$ ，実験 II で $-2.4 \sim 2.3\%$ の範囲であった。実験 II の偏差割合は 0 を中心にばらついている。しかし，実験 I の場合その偏差割合は全て負となっているが，この原因については不明である。測定 EC 値と計算 EC 値間で若干の誤差はあるものの，これらの結果から上記 (19) 式は，EC 値が異なる 2 種類の土壌が混合した場合の計算式にしてもよ

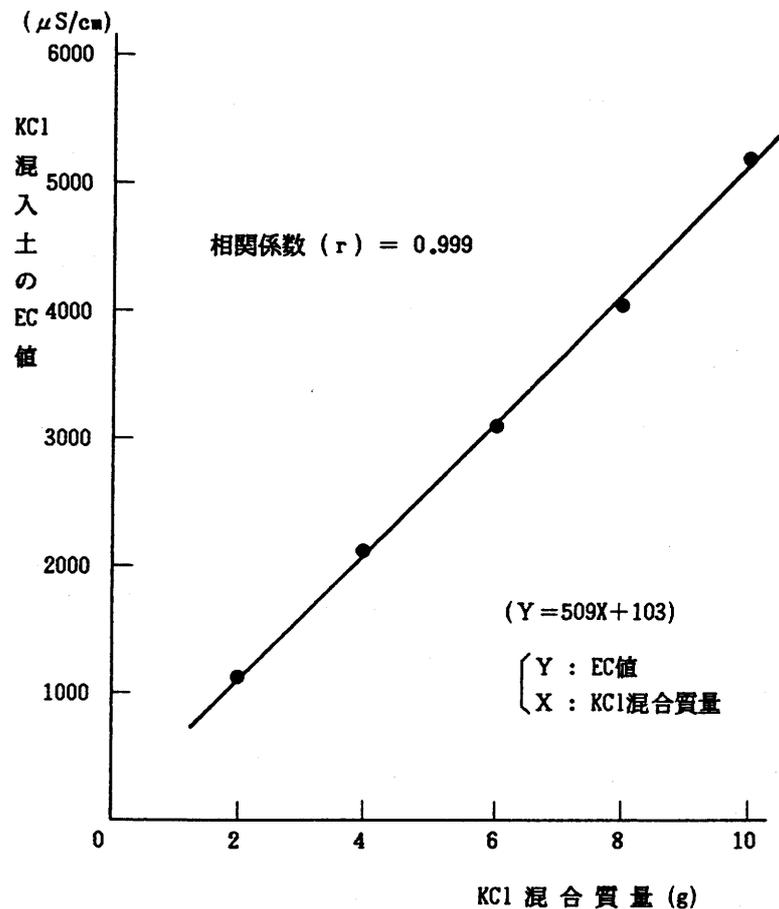


図 4-1-2 原土壌 1 kg に対し KCl 混合質量を変化させた場合の混入土の EC 値

表 4-1-3 実験 I における各EC値と偏差割合

(EC値単位: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

試料	混合試料 測定EC値	測定EC値の 標準偏差	計算EC値	偏差 割合(%)
A	1131	32.9	1171	-3.4
B	1922	11.2	1924	-0.1
C	2410	10.2	2489	-3.2
D	2870	22.6	2929	-2.0
E	3189	16.9	3281	-2.8

注) 偏差割合 = $\{(\text{測定EC値} - \text{計算EC値}) / (\text{計算EC値})\} \times 100$

表 4-1-4 実験 II における各EC値と偏差割合

(EC単位: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

試料	混合試料の 測定EC値	測定EC値の 標準偏差	計算EC値	偏差 割合(%)
F	613	3.3	626	-2.1
G	1108	6.2	1111	-0.3
H	1666	12.5	1628	2.3
I	2107	24.1	2158	-2.4
J	2688	10.9	2650	1.4

いと考察される。この式の成立は混合前の2種類の土壌と混合後の土壌のEC値測定により、その混合質量比が計算できることを意味している。

4.1.3.2 耕土の移動割合算出式

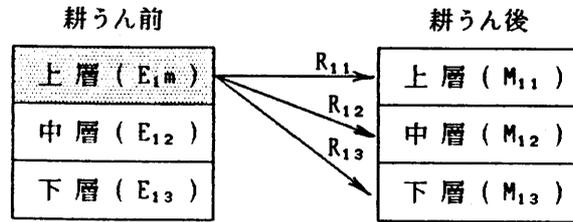
耕土の移動割合推定式に用いる各種記号を図4-1-3に示した。耕うん前各層のEC値は $E_{12} \sim E_{32}$ 、耕うん後各層のEC値は $M_{11} \sim M_{33}$ 、KCl混入土のEC値は $E_{1n} \sim E_{3n}$ 、耕うん前各層の移動・残存割合は $R_{11} \sim R_{33}$ の記号を用いている。なお、以下では特に不都合を生じない限り、「移動・残存割合」を簡略化して「移動割合」という。

1) 3元連立1次方程式による方法

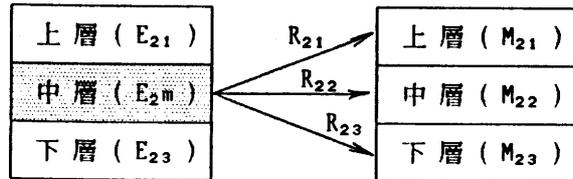
耕うん前の上・中・
下層にKCl混入土を入
れた試験を全て実施し
た場合、下記の3元連
立1次方程式を用いて、

各層の土壌移動割合が
算出できる。ただし、
この方法は3試験区の
条件がほぼ同一である
ことを前提としている。

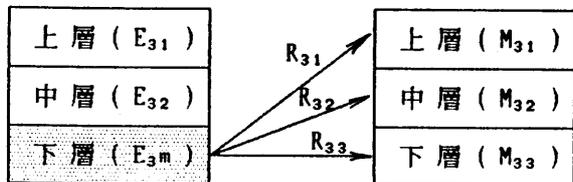
前記(19)式を応用し
て考えると、耕うん後
上層のEC値 M_{11} , M_{21} ,
 M_{31} は次の式で表現で
きる。



(1) 上層KCl混入土処理区



(2) 中層KCl混入土処理区



(3) 下層KCl混入土処理区

図 4-1-3 耕土の移動割合推定式の各種記号

注 1) E, Mの記号は土壌のEC値

2) Rの記号は各層の移動割合

$$M_{11} = E_{1m} \cdot R_{11} + E_{12} \cdot R_{21} + E_{13} \cdot R_{31} \quad (20)$$

$$M_{21} = E_{21} \cdot R_{11} + E_{2m} \cdot R_{21} + E_{23} \cdot R_{31} \quad (21)$$

$$M_{31} = E_{31} \cdot R_{11} + E_{32} \cdot R_{21} + E_{3m} \cdot R_{31} \quad (22)$$

したがって、これらの3元連立1次方程式に耕うん前後の測定EC
値を代入すれば R_{11} , R_{21} および R_{31} が求められる。

(20)~(22)式を行列E, ベクトルM, Rで表現すると以下のよう
になる。

$$M = \begin{pmatrix} M_{11} \\ M_{21} \\ M_{31} \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} E_{1m} & E_{12} & E_{13} \\ E_{21} & E_{2m} & E_{23} \\ E_{31} & E_{32} & E_{3m} \end{pmatrix}, \quad R = \begin{pmatrix} R_{11} \\ R_{21} \\ R_{31} \end{pmatrix}$$

$$\text{関係式 } M = E \cdot R \quad (23)$$

$$R_{12} \sim R_{32} \text{を求める場合は } M = \begin{pmatrix} M_{12} \\ M_{22} \\ M_{32} \end{pmatrix}, \quad R = \begin{pmatrix} R_{12} \\ R_{22} \\ R_{32} \end{pmatrix} \quad \text{として}$$

(23)式を解けばよい。また、 $R_{13} \sim R_{33}$ は上記と同様に M 、 R の要素を入れかえて計算すれば求められる。

この方法の場合、耕うん前の上・中・下層の原土壌間EC値に差があれば、KCl混入土を用いなくとも耕土の移動割合が理論的には算出できる。しかし、試験区内での場所の相違に伴うEC値の変動、また3層のEC値の差が大きくとも $50 \mu S/cm$ 程度であることを考えると、試験精度を上げるためにKCl混入土を入れることが必要となる。

2) 不等式による方法

この方法は耕うん前の上・中・下層にKCl混入土を入れた3試験区を、それぞれ独立した試験としてとらえ、耕土の移動割合算出式を導いたものである。つまり、3元連立1次方程式による方法は3試験区を一对の基本的単位としているのに対し、ここでの方法は1試験区を基本的単位としている。この方法の利用は、例えば土壌の反転性に対するおおよその指標として、耕うん前上層の移動割合だけを調べたい場合などに有効である。

耕うん前の各層が耕うん後の各層に移動した割合について、前記(19)式の応用で導いた式が表4-1-5に示してある。土壌の移動割合を求める(24)～(32)式には多数の適用条件が付されているが、これは耕うん前の E_{12} と E_{13} 、 E_{21} と E_{23} 、 E_{31} と E_{32} の大小の条件を除けば、他は全て移動割合を調べたい層にKCl混入土を入れることによって、ほぼ自動的に満たされる。また E_{12} と E_{13} 、 E_{21} と E_{23} 、 E_{31} と E_{32} の大小が表4-1-5の条件と逆の場合は、(24)～(32)式の

不等号の向きを逆にすればよい。

ここでEC値が異なる2種類の土壌を混合した場合の(19)式から、ロータリ耕による土壌の移動割合推定式を不等式の形で導いた過程について、(24)式を例にとって説明する。耕うん後上層(M₁₁)が耕うん前各層からどのような移動によって生成されるのか、全ケースについて考えてみる。耕うん前の上・中・下層の一つが耕うん後上

表 4-1-5 耕うん前各層の移動割合推定式

上層	$(M_{11}-E_{13})/a < R_{11} < (M_{11}-E_{12})/b$ (24)
	$(M_{12}-E_{13})/a < R_{12} < (M_{12}-E_{12})/b$ (25)
	$(M_{13}-E_{13})/a < R_{13} < (M_{13}-E_{12})/b$ (26) 但し $a=E_{1m}-E_{13}, b=E_{1m}-E_{12}$
層	〈条件〉 $a > 0, b > 0, E_{1m} > M_{11} \sim M_{13}$ $M_{11} \sim M_{13} > E_{13}, E_{13} > E_{12}$
中層	$(M_{21}-E_{23})/a < R_{21} < (M_{21}-E_{21})/b$ (27)
	$(M_{22}-E_{23})/a < R_{22} < (M_{22}-E_{21})/b$ (28)
	$(M_{23}-E_{23})/a < R_{23} < (M_{23}-E_{21})/b$ (29) 但し $a=E_{2m}-E_{23}, b=E_{2m}-E_{21}$
層	〈条件〉 $a > 0, b > 0, E_{2m} > M_{21} \sim M_{23}$ $M_{21} \sim M_{23} > E_{23}, E_{23} > E_{21}$
下層	$(M_{31}-E_{32})/a < R_{31} < (M_{31}-E_{31})/b$ (30)
	$(M_{32}-E_{32})/a < R_{32} < (M_{32}-E_{31})/b$ (31)
	$(M_{33}-E_{32})/a < R_{33} < (M_{33}-E_{31})/b$ (32) 但し $a=E_{3m}-E_{32}, b=E_{3m}-E_{31}$
層	〈条件〉 $a > 0, b > 0, E_{3m} > M_{31} \sim M_{33}$ $M_{31} \sim M_{33} > E_{32}, E_{32} > E_{31}$

注) 記号は図4-1-3を参照のこと

層へ100%移動するケースと、耕うん前の中・下層の両方が移動・混合して耕うん後上層を生成するケースは、表中の条件に示したように現実的には有りえない。したがって、次の三つのケースが可能性として残される。

(イ) 耕うん前の上・中・下層が移動、混合して耕うん後の上層となる($E_{1m} + E_{12} + E_{13} \rightarrow M_{11}$)。

(ロ) 耕うん前の上層と中層が移動、混合して耕うん後の上層となる($E_{1m} + E_{12} \rightarrow M_{11}$)。

(ハ) 耕うん前の上層と下層が移動・混合して耕うん後の上層となる
($E_{1m} + E_{13} \rightarrow M_{11}$)。

上記(ロ)のケースに(19)式を適用すると、耕うん後上層のEC値
 M_{11} 次式で表される。

$$M_{11} = E_{1m} \cdot R_{11} + E_{12}(1 - R_{11}) \quad (33)$$

ここで $(1 - R_{11})$ は、耕うん前の中層が耕うん後の上層に移動した割合を意味している。上式より、耕うん前の上層が耕うん後の上層に残存した割合 R_{11} は次式となる。

$$R_{11} = (M_{11} - E_{12}) / (E_{1m} - E_{12}) \quad (34)$$

上記(ハ)のケースについても(19)式を適用・整理すると R_{11} は次式になる。

$$R_{11} = (M_{11} - E_{13}) / (E_{1m} - E_{13}) \quad (35)$$

実際のロータリ耕うんでは(イ)の現象が一般的であり、(ロ)と(ハ)の現象は両極端の理論的な例である。つまり、一般的な現象(イ)は、(ロ)と(ハ)の現象の間に存在すると考えられる。したがって、耕うん前の上層が耕うん後の上層に残存した割合 R_{11} は、(24)式のごとく不等式で表現できる。

表4-1-5の(24)～(32)式によると、耕うん前後の3層のEC値を測定すれば、ロータリ耕うんによる土壌の移動割合が、ある範囲をもって推定できる。この範囲が余り大きいと、これらの推定式の価値は半減する。しかし、耕うん前の上・中・下層のどれか一つの層にKCl混入土を入れることによって、その範囲を1%以下にすることが十分可能である。実際の試験結果(次節)でも推定範囲1%以下となっている例が多数ある。表4-1-6に移動割合の推定範囲(R_{11})を次式で計算した結果を示した。なお、これは耕うん前の上層にKCl混入土を入れた場合の例である。

表 4-1-6 KCl混入土のEC値と移動割合の推定範囲

(1) $E_{12}=100\mu S/cm$, $M_{11}=250\mu S/cm$ (単位:%)

E_{13} \ E_{1m}	$105\mu S/cm$	$120\mu S/cm$	$135\mu S/cm$
$1000\mu S/cm$	0.5	1.9	3.4
2000	0.2	1.0	1.7
3000	0.2	0.7	1.2

(2) $E_{12}=100\mu S/cm$, $M_{11}=400\mu S/cm$ (単位:%)

E_{13} \ E_{1m}	$105\mu S/cm$	$120\mu S/cm$	$135\mu S/cm$
$1000\mu S/cm$	0.4	1.5	2.7
2000	0.2	0.9	1.6
3000	0.2	0.6	1.1

注) 耕うん前上層にKCl混入土を入れた時の計算例

$$R_u = \{ (M_{11} - E_{12})/b - (M_{11} - E_{13})/a \} \times 100 \quad (36)$$

この表よりKCl混入土(E_{1m})のEC値が大きくなれば、推定範囲は小さくなることが分かる。また、耕うん前の中層(E_{12})と下層(E_{13})のEC値比が小さいほど、その推定範囲を小さくできる。

以上では耕うん前を上・中・下層に分けて、その各層が耕うん後の各層に移動した割合の推定法を考察してきた。この考え方に基づけば3層以上の層に細分した場合にも、土壌の移動割合推定式を導くことは可能である。しかし、実際の現場におけるロータリ反転性能試験では、3層区分で十分と思われる。ここではロータリ耕うんによる土壌の移動割合推定式を、上下方向(深さ方向)について述べた。現実的にはロータリ耕うんにより、土壌が前後方向、左右方向にも移動している。この前後・左右方向への土壌移動割合の推定式も、前記(19)式を基本にして、前述の考え方を応用すれば導くことができる。

4.1.4 摘 要

耕うん作業結果として土壌の反転性は重要であるが、ロータリ耕の土壌反転性に焦点を当てた研究は十分でない。また、測定法も未確立で統一されていないのが現状である。本研究は従来の測定法の問題点を解決し、しかも簡便に測定できる方法の確立を目的として始めたものである。この研究では、KCl溶液の濃度と電気伝導度(EC値)が直線的関係を示すことに着目し、耕うんにより移動する土壌のトレーサとして、KClを利用する方法を採用した。

実験では電気伝導度が異なる2種類の土壌を混合し、その混合土の電気伝導度を測定した後、混合土の電気伝導度を求める仮説式の妥当性を検討した。測定EC値と計算EC値間との偏差は、 $-3.4 \sim 2.3$ %の範囲を示した。この結果より、実用的にはその仮説式を用いてもよいと考察される。

この仮説式を応用して、耕うん前の上・中・下層の土壌が耕うん後の各層にどのような割合で移動したのか、その推定式を3元連立1次方程式と不等式の形で導いた。両推定式とも耕うん前後における各層のEC値を測定すれば、耕土の移動割合が簡単に計算できる。

連立1次方程式による耕土の移動割合推定は、耕うん前の上・中・下層にKCl混入土を入れた3試験を全て実施した場合に可能となる。また、3試験区の条件がほぼ同一であることが前提である。この方法の場合、耕うん前における3層のEC値間に差があれば、理論的には耕土の移動割合が算出できる。しかし、試験区内での場所によるEC値変動などを考えると、試験精度を上げるためにはKCl混入土処理をする必要がある。

不等式による耕土の移動割合推定式は、前記の連立1次方程式に

よる方法が3試験区を一对の基本的単位としているのに対し，1試験区を独立した基本的単位に考えたものである。この方法による移動割合推定式の適用には種々の条件を付してあるが，大部分の条件は，耕うん前の1層にKCl混入土(EC値が高い土壌)を入れると自動的に満たされる。この推定式を導いた考えの基本は，①耕うん後の各層は耕うん前の3層の土壌が移動・混合して一般に生成される ②この一般的現象は，耕うん前にKCl混入土を入れた層と他の1層が混合する両極端の現象間に存在する，という二事項である。

土壌の移動割合は二つの不等式から求められるので，ある範囲をもって推定される。この範囲が余り大きくなると，移動割合推定式の効力は無くなる。しかし，耕うん前に入れるKCl混入土のEC値を大きくすれば，その範囲の幅を極めて小さくすることが十分可能である。したがって，この方法も実用に供しうるものと推察される。

4.2 耕土の移動割合推定への電気伝導度法の適用

4.2.1 はじめに

近年、アップカットロータリや2軸ロータリが、水田裏作地帯を中心にして普及・拡大している。これらの作業機の特徴は、表層が細かく下層が粗い土塊の土層⁵³⁾、つまり作物栽培にとって望ましい土壌の2層構造を作れることである。耕うん作業結果として重要な土層構造は、これらの機械の開発により大きく前進したが、土壌の反転性能を大きく向上させた機械の出現は未だない。今後は、土壌の反転性能を向上させたロータリの開発が望まれる。

ロータリ耕うんにおける土壌の反転性能を向上させるためには、まず現存のロータリによる耕うん時の土壌移動量を正確に把握することが必要である。しかし、ロータリ耕うんによる土壌の反転性試験の報告^{3,17,28,45,53,67)}は若干みられるが、総体的にみると不足していると思われる。特にアップカットロータリの場合、耕土の反転性を中心とした研究は、殆どないというのが現状である。

前節でロータリ耕うんによる土壌の移動割合推定のために、KCl混入土を用い土壌の電気伝導度（EC値）を利用する方法を記述した。本節では、この方法をダウンカットおよびアップカットロータリによる圃場耕うんに適用した⁵¹⁾。また、本方法では実験計画の樹立と実験結果の検討に当たり、圃場のEC値分布を知っておくことが必要と思われたので、種々の圃場の土壌EC値を調査した。したがって、本節ではこれらも含めて、ロータリ耕うんによる土壌移動割合の算出に対する電気伝導度法の適用結果を中心に検討を行った。

4.2.2 試験方法

4.2.2.1 圃場における土壌のEC値分布の測定

調査・試験は、茨城大学農学部附属農場の洪積台地ローム畑（茨城県稲敷郡阿見町，淡色黒ボク土）の4圃場で行った。ここでは測定地点が5 m以上の間隔で，方眼上地点において土壌採取したものを方眼採土，また直線上の地点で50～70cm間隔に土壌採取したものを集中採土と呼ぶ。

各圃場の測定地点数は方眼採土で12～15地点，集中採土で6～8地点である。採土深さは地表面を基準に深さ0～5 cmの上層，深さ5～10cmの中層，深さ10～15cmの下層と3区分にした。また，各層ごとの採土量は200～500gであった。EC値は同一試料で2～3反復測定とした。なお，本試験におけるEC値の測定法は前節と同じであるので，ここでは省略する。

4.2.2.2 試験区の設定およびKCl混入土の作製

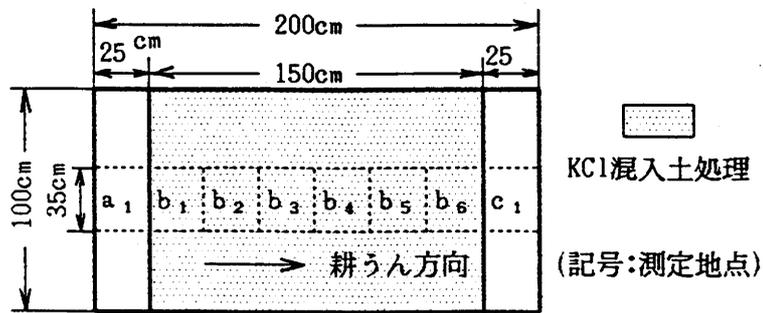
試験区はKCl混入土を上層に入れたX区，中層に入れたY区，下層に入れたZ区の3区を設けた。なお，各層の厚さは5 cmとした。1試験区の大きさは図4-2-1に示したが，その中で150×100cmの部分にKCl混入土を入れている。3試験区の配置はダウンカットロータリ試験の場合，耕うん方向に沿ってY区→X区→Z区の順，アップカットロータリ試験の場合Z区→X区→Y区の順とランダムにした。また，試験地の土性と試験時の土壌含水比は表4-2-1に示した。

本試験では多量のKCl混入土を必要とし，しかもKCl混入土のEC値の均一性が望まれるので，以下の手順でKCl混入土を作製した。

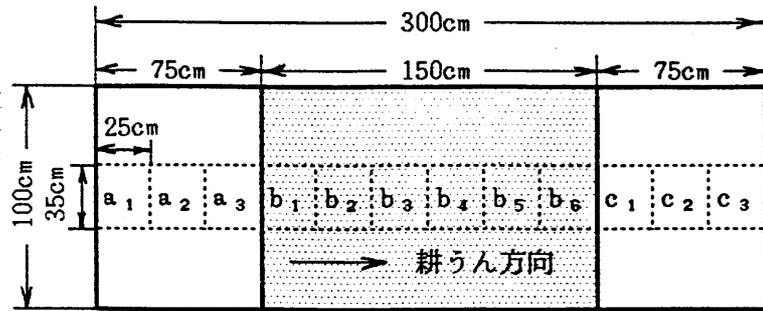
1) ダウンカットロータリ試験

① 試験圃場から採取した原土壌12.5kgに300gのKClを数回に分けて加え手で混合・攪拌し，第1段階のKCl混入土を作製した。

② このKCl混入土2.08kgに原土壌22.92kgを加え，ミキサーで両者



(1) ダウンカットロータリ試験区



(2) アップカットロータリ試験区

図 4-2-1 1 試験区の大きさと耕うん後の測定地点

表 4-2-1 試験法の概要

項目	内容
供試圃場	洪積台地ローム畑, 土性: CL~LiC 含水比: 52.0~63.2%(D.C), 63.8~89.1%(U.C) 土壤指標硬度(山中式): 19~22mm
供試ロータリ	なた爪, フランジタイプ, 耕うん爪回転半径49cm 作用幅: 150cm(D.C), 160cm(U.C)) 耕うん軸回転数: 160~162 rpm
耕深(cm)	実耕深: 14.8±0.5(D.C), 15.0±0.8(U.C) 見かけ耕深: 19.6±0.6(D.C), 21.6±0.8(U.C)
耕耘速度(cm/s)	10.8 (D.C), 17.4 (U.P)
耕耘ピッチ(mm)	20 (D.C), 32 (U.C)
採土箱	幅350mm, 奥行き200mm, 一段の高さ70mm (3層の同時採土可能)

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

2) 土壌含水比と土壌硬度は深さ0~15cmの値。

を約10分間混合・攪拌した。この操作を13反復行い、総量で325kgのKCl混入土を作製した。なお、最終段階でのKCl混入土には、原土壌1kgに対し2gのKClが混入されたことになる。

2) アップカッターロータリ試験

① 原土壌3kgにKCl300gを混合・攪拌し、第1段階のKCl混入土を作った。

② 上記のKCl混入土3kgに原土壌6kgを加え混合・攪拌し、第2段階のKCl混入土とした。

③ 第2段階のKCl混入土3.85kgに原土壌21.86kgを加え、ミキサーで約10分間混合した。この操作を14回実施し、総量で約360kgのKCl混入土を作製した。最終段階でのKCl混入土には、原土壌1kgに対し5gのKClが混入されている。

4.2.2.3 試験区の作製および耕うん方法

試験区の作製に当っては、まず試験区予定場所を深さ15cmまでロータリ耕うんし、その耕土を排除した。そして、各層ごとに厚さ5cmの木枠（内側寸法：150×100cm）を積み重ね、原土壌あるいはKCl混入土を各層につき2～3回ずつに分けて入れ、表4-2-1の土壌硬度に達するまで足で踏み固めた。

供試ロータリの作用幅は150cmと160cmであるが、試験区の幅に合わせるため、外側2列ずつの耕うん爪を取りはずし、実耕うん幅90cmと92cmにして使用した。耕うん速度、耕うんピッチおよび耕深は表4-2-1に示した通りである。

4.2.2.4 耕うん前後における測定用土壌の採取

耕うん前のEC値測定用試料として、各層とも1試験区当たり6～10地点から採土を行った。採取は各層の作製時で、1地点からは約

500gの土壌をビニール袋に採取した。耕うん後には上・中・下層の土壌が混じらないよう、3層が一括採取できる採土箱(表4-2-1参照)を利用した。1試験区あたりの採土数はダウンカットロータリ試験で8地点、アップカットロータリ試験で12地点とした。1地点では各層ごとに1.0~1.5kgの土壌を採取している。なお、本試験は3試験区へのKCl混入土埋設が約1日間、その翌日に耕うん、採土という日程であった。

採取したEC値測定用土壌は全体をよく混合・攪拌し、その中から約150gの土壌を乳鉢ですりつぶした。そして30gの土壌をEC値測定用の試料とした。なお、EC値の測定数は2~3反復とした。

4.2.3 結果および考察

4.2.3.1 各圃場における土壌のEC値分布

各圃場における方眼採土・集中採土のEC値および変動係数を表4-2-2~3に示した。EC値平均をみると、C圃場が最も大きく次いでB

表 4-2-2 各圃場における土壌のEC値平均と変動係数

— 方眼採土 —

(EC値単位: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

項 目		EC値平均	標準偏差	変動係数
A圃場	上層	135.7	8.75	0.064
	中層	145.2	13.07	0.090
	下層	154.9	16.97	0.110
B圃場	上層	187.4	27.28	0.146
	中層	215.5	27.52	0.128
	下層	229.4	31.26	0.136
C圃場	上層	295.4	16.43	0.056
	中層	326.9	33.11	0.101
	下層	339.0	47.04	0.139

表 4-2-3 各圃場における土壌のEC値平均と変動係数

— 集中採土 —

(EC値単位 : $\mu\text{S}/\text{cm}$)

項	目	EC値平均	標準偏差	変動係数
A圃場	上層	110.7	5.54	0.050
	中層	133.8	5.19	0.039
	下層	149.7	14.71	0.098
B圃場	上層	186.9	14.65	0.078
	中層	186.7	11.12	0.060
	下層	194.0	11.52	0.059
D圃場	上層	74.6	4.47	0.060
	中層	85.9	5.84	0.068
	下層	93.9	6.36	0.069

圃場，A圃場，D圃場の順になっている。C圃場がバレイショの栽培跡地，B圃場が麦栽培の跡地，A圃場とD圃場が2～8年間作付けなしの場所であることを考えると，各圃場のEC値の大きさは，施肥による電解質の残存量を反映していると推察される。KCl混入土作製の面からみると，原土壌のEC値は小さい方が望ましいので，試験地選定に当っては蔬菜類などの多肥栽培の跡地を避けた方がよい。

深さごとのEC値は，少数の例外はあるが全圃場とも上層，中層，下層の順にその値が大きくなっていった。これは雨水の浸透に伴い，施肥による電解質の一部が上層から下方に移動したためと推定される。上層と下層のEC値の差は，方眼採土の場合 $19.2\sim 43.6\mu\text{S}/\text{cm}$ ，集中採土の場合 $7.1\sim 39.0\mu\text{S}/\text{cm}$ であり，方眼採土の方が集中採土より大きい値を示した。

各測定地点間の標準偏差は方眼採土が $8.75\sim 47.04\mu\text{S}/\text{cm}$ ，集中採土が $4.47\sim 14.71\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。その変動係数も方眼採土の値は集中採土より大きい値を示しているが，これらは測定地点間隔の大き

さの違いに由来しているものと思われる。分散分析により，方眼採土における縦・横方向の測定地点間のEC値は，全圃場とも1%水準で有意差が認められた。また，集中採土の場合もB圃場において有意差が生じている。したがって，自然状態における圃場の土壌EC値は，面的に相当なばらつきがあると考察される。前節でも記述したが，理論的にはKCl混入土を用いず層別のEC値差のみを利用して，耕土の移動割合を求める方法が考えられる。しかし，前記した層別のEC値の差と各測定地点間のEC値のばらつきなどを対比してみると，KCl混入土を用いない移動割合の推定法は，現実的には無理であることが分かる。

4.2.3.2 ダウンカットロータリ耕うん試験

耕うん前における各試験区のEC値とその変動係数などを表4-2-4に示した。各試験区でKCl混入土を入れた層のEC値は，他の層に対し約10倍の値となってい

る。KCl混入土層の

EC値は1038.6～

1057.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であり

各区間の差が小さく，

また変動係数も0.006

～0.012と原土壌より

小さい。これは均質

なKCl混入土となるよ

う，作製法を工夫し

て注意深く作製した

ので，その意図が達

成されたことを示し

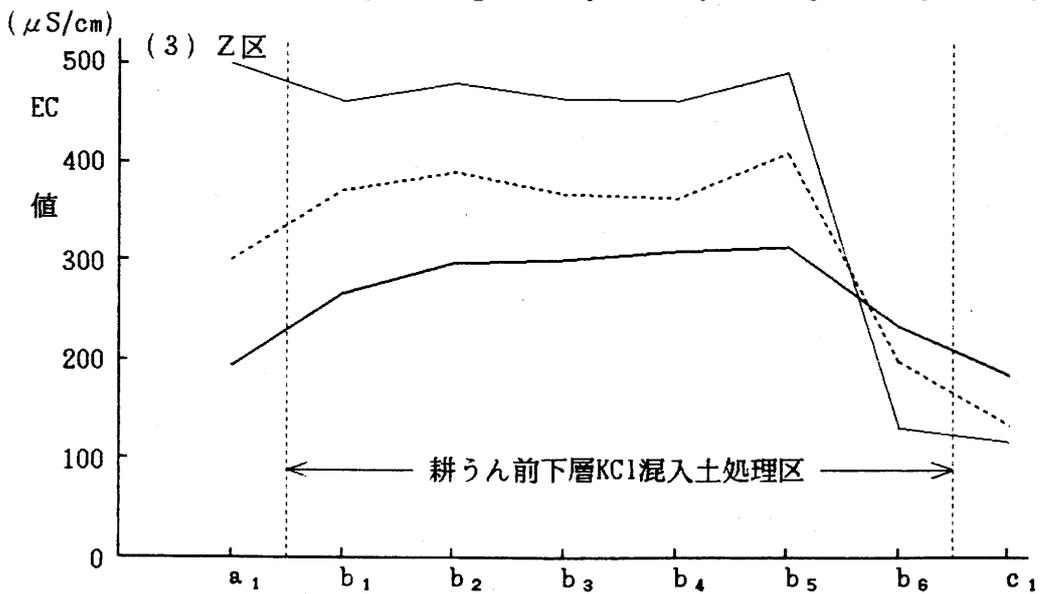
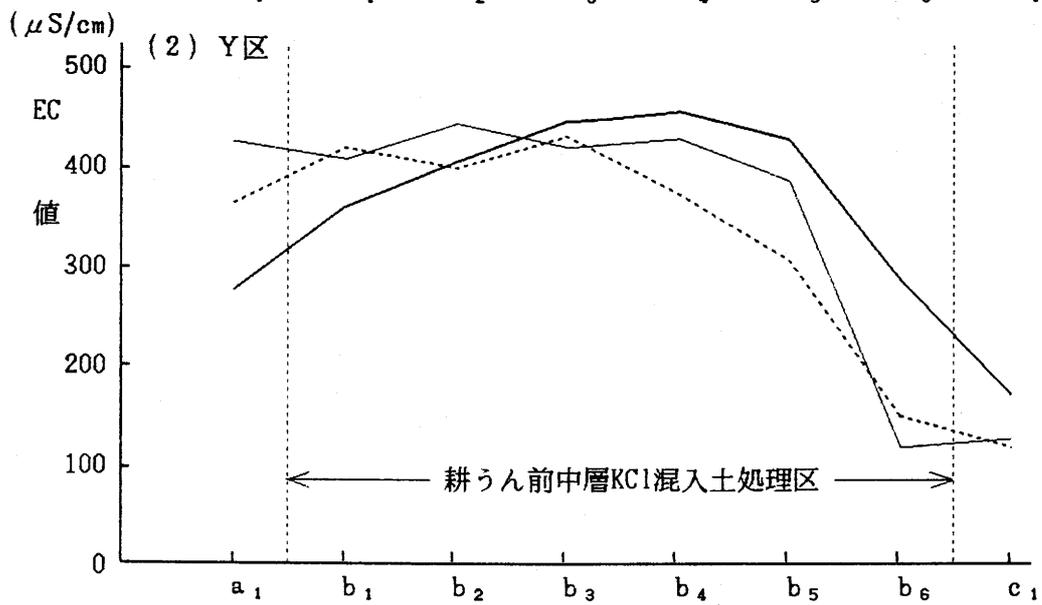
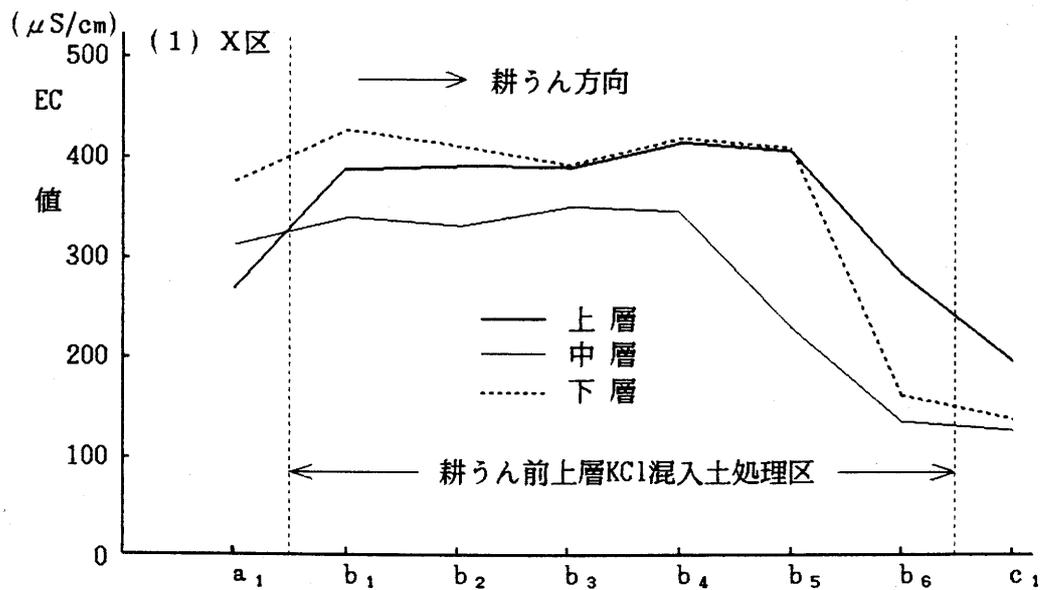
表 4-2-4 耕うん前各層のEC値と標準偏差

—ダウンカットロータリ試験—

(EC値単位: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

区	層別	平均EC値	標準偏差	変動係数
X	上層	1043.4	12.7	0.012
	中層	130.2	14.4	0.111
	下層	101.5	2.9	0.029
Y	上層	109.4	6.2	0.057
	中層	1038.6	6.5	0.006
	下層	105.8	1.6	0.015
Z	上層	103.7	2.0	0.019
	中層	104.0	3.5	0.034
	下層	1057.0	8.0	0.008

注) X区：上層をKCl混入土処理，Y区：中層にKCl混入土埋設，Z区：下層にKCl混入土埋設



測定地点

図 4-2-2 耕うん後の EC 値の層別分布
—ダウンカットロータリー—

ている。

耕うん後のEC値の層別分布は図4-2-2に示した。この図を測定地点に沿って総体的にみると、若干の例外はあるが、耕うん後各層のEC値は a_1 地点から b_1 地点にかけて高くなり、 $b_1 \sim b_5$ 地点間が定常状態、そして b_6 および c_1 地点において低くなるパターンである。 a_1 地点は耕うん前にKCl混入土処理をしていないが、耕うん後のEC値(193~495 μ S/cm)は、全区とも原土壌のEC値(101.5~130.2 μ S/cm)より相当高い値を示した。一方、X区中層・Y区下層の b_5 地点および全区の b_6 地点では、耕うん前に同様の処理をしている $b_1 \sim b_4$ 地点に比較し、そのEC値が低い。これらの事実はロータリ耕うんにより、土壌が後方に移動したことを意味している。また、 c_1 地点の耕うん後EC値はX区の上・下層、Y区の上層およびZ区の上・下層で原土壌より若干高い値となった。これはロータリ耕うんにより、前方にも少量の土壌が飛散したことを示唆している。

各区のEC値がほぼ定常状態である $b_1 \sim b_5$ 地点間をみると、X区の各層EC値は下層>上層>中層の順であり、またZ区では中層>下層>上層の順と明確に各層が分かれている。しかし、Y区の場合は各層のEC値の大小が測定地点によって異なった。したがって、Y区ではロータリ耕うん時の土壌飛散状態が不安定であったと推察されるが、その原因は不明である。

表4-2-5に耕うん前後の層別EC値合計の偏差割合を示した。測定地点の平均値でみると、Y区が0.3%と最小で、X区が-10.9%と大きな値である。理論的には、これらの地点の耕うん前後における3層のEC値合計が一致せねばならない。しかし、現実には各種の誤差により、表4-2-5の例のごとく一致しないことが多いと思われる。以下における耕土の移動割合計算では、耕うん前後のEC値合計が一致す

るよう、耕うん後EC値を比例配分方式で修正した値を使用している。

図4-2-3および図4-2-4はダウンカッターによる耕土の移動割合を、前節の3元連立1次方程式（以下では連立方程式と略称）と不等式を用いて計算した推定値である。この計算では耕うん前EC値として表4-2-4の平均EC値、耕うん後EC値として測定地点 $b_2 \sim b_4$ の平均値を用いた。また、各測定地点間で耕土の移動割合には変動が当然ある。測定地点 $b_2 \sim b_4$ において耕うん状態の安定したZ区で最大2.3%、不安定なY区で最大5%の変動がみられた。

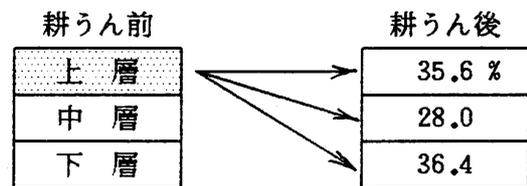
図4-2-3の連立方程式での推定によると、耕うん前上層の土壌は耕うん後上層に35.6%残存し、耕うん後中層へ28.0%、耕うん後下層へ36.4%の移動を示している。また、耕うん前中層の土

表 4-2-5 耕うん前後の層別EC値合計の偏差割合
—ダウンカッターロータリ試験—
(単位:%)

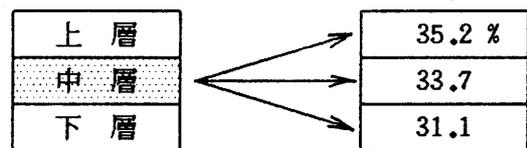
測定地点	X区	Y区	Z区
b_2	-12.2	-1.4	-3.2
b_3	-12.1	2.4	-6.2
b_4	-8.6	0	-5.9
平均	-10.9	0.3	-5.1

注) 偏差割合 = $\frac{Ea - Eb}{Eb} \times 100$

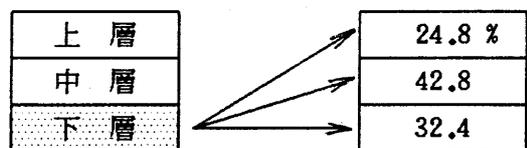
Ea: 耕うん後EC値の合計, Eb: 耕うん前EC値の合計



(1) X区 (上層の移動割合)



(2) Y区 (中層の移動割合)



(3) Z区 (下層の移動割合)

図 4-2-3 ダウンカッターロータリ耕うんによる耕土の移動割合
— 連立1次方程式による推定 —

壤は耕うん後上層へ，耕うん前下層の土壌は耕うん後中層へ最も多く移動している。

図4-2-4の不等式による推定値をみると，その中央値は図4-2-3の値にほぼ近似している。不等式による推定はある区間をもって表示されるが，その区間推定値の幅は最大でも±1.1%であり，実用的にはさしつかえない程度の値であった。また，この図において「±0.0」の表現は，移動割合の区間推定値が小数第1位まで同じであることを意味している。

前節でも記述したが連立方程式による方法は，3試験区を一对の基本的単位として土壌の移動割合を計算するのに対し，不等式による方法は1試験区を基本的単位としている。このことを基に考えると，両方法の推定値の差が0.5%以下と非常に小さいことは，3試験区の条件がほぼ同一であったことを裏付けている。また，一方では不等式による推定法も有効であることが実証されたと考えられる。

4.2.3.3 アップカットロータリ耕うん試験

試験区の耕うん前各層のEC値と標準偏差・変動係数を表4-2-6に示した。KCl混入土を入れた層のEC値は2687.3～2909.3 μ S/cmであり，他の層（原土壌層）に対し11.8～15.4倍の値となっている。標準偏

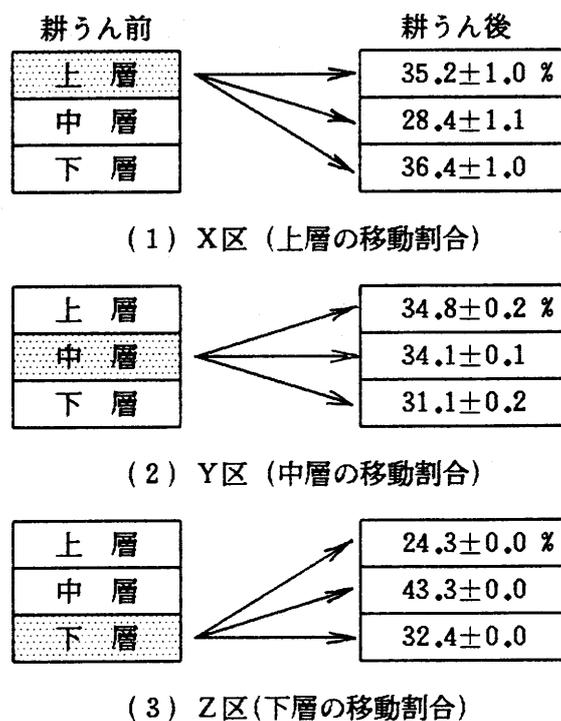


図4-2-4 ダウンカットロータリ耕うんによる耕土の移動割合
— 不等式による推定 —

差は原土壌層が4.2～14.9 $\mu S/cm$ であるのに対し，KCl混入土層は24.7～316.5 $\mu S/cm$ と高い値であった。特にY区中層の標準偏差は高い値で，その変動係数も0.114と他に比べ著しく大きい。ダウンカットロータリ試験の場合，KCl混入土層におけるEC値の変動係数は0.006～

表 4-2-6 耕うん前各層のEC値と標準偏差
—アップカットロータリ試験—
(EC値単位: $\mu S/cm$)

区	層別	平均EC値	標準偏差	変動係数
X	上層	2687.3	24.7	0.009
	中層	205.1	6.9	0.034
	下層	205.1	4.2	0.020
Y	上層	232.2	6.7	0.029
	中層	2769.6	316.5	0.114
	下層	234.1	10.9	0.047
Z	上層	188.8	14.6	0.077
	中層	188.0	14.9	0.079
	下層	2909.3	172.8	0.059

0.012であるから，本試験ではY区とZ区のKCl混入土層の変動係数が，それより大きな値となっている。つまり，本試験でのKCl混入土は，ダウンカット試験時のKCl混入土より不均質であったことを意味している。これは，本試験のKCl混入土作製時の土壌水分が，ダウンカットロータリ試験時より高かったことに起因していると推察される。実際，本試験におけるKCl混入土作製中，KClの吸湿により，土壌が塊状になる現象を一部で観察している。

各区における耕うん後EC値の層別分布を図4-2-5に示した。測定地点 a_2 ， a_3 および $c_1 \sim c_3$ は，耕うん前にKCl混入土を入れていない区間であるが，各区・各層の耕うん後EC値のうち，約7割の箇所が原土壌のEC値（188.0～234.1 $\mu S/cm$ ）より高い値となった。ダウンカットロータリ試験でもみられたが，これは耕うんにより，土壌が前後方に移動・飛散した結果を表している。また，測定地点 b_5 から b_6 にかけてEC値が急激に低下する箇所が多いが，これも耕うんに

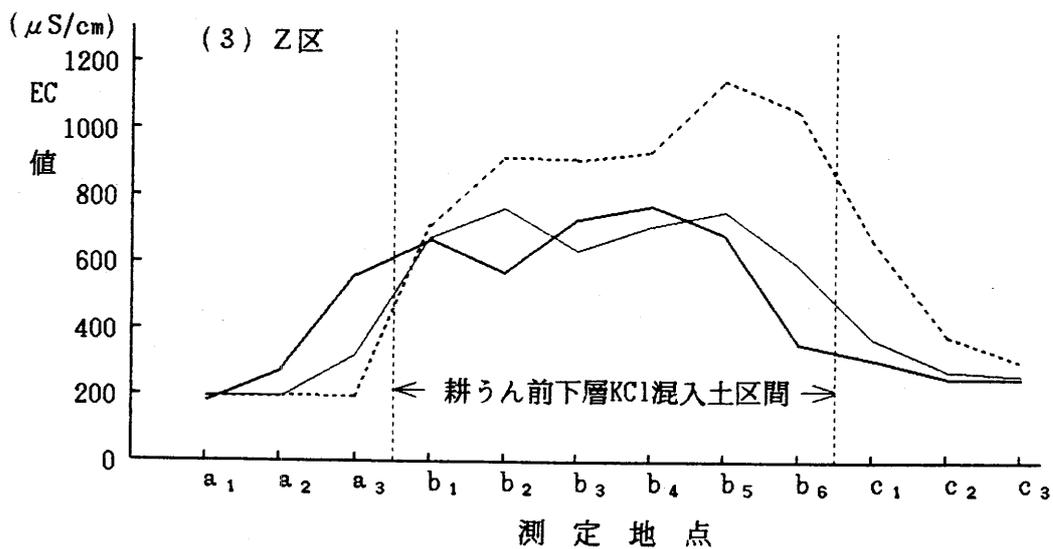
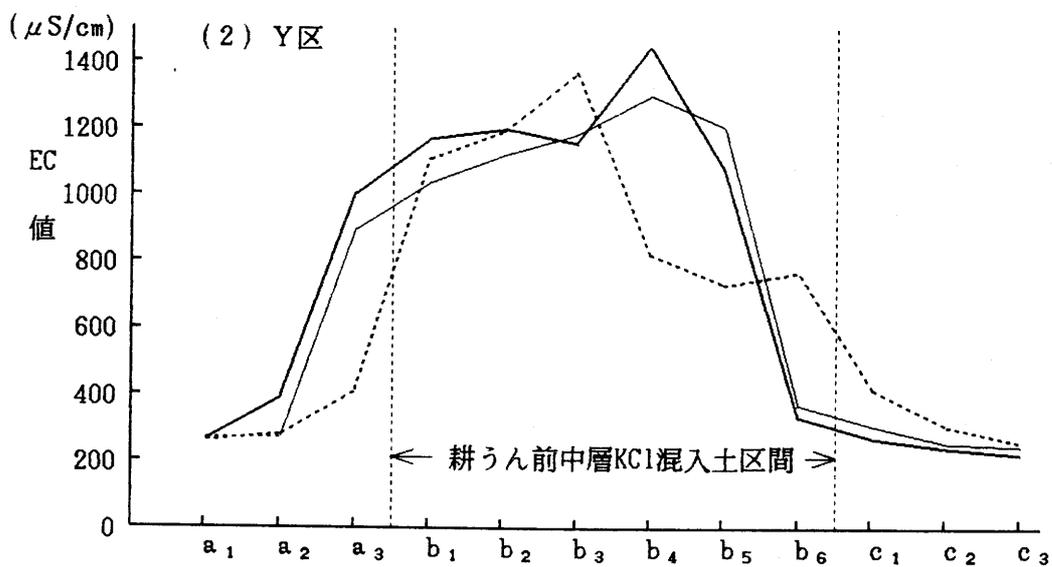
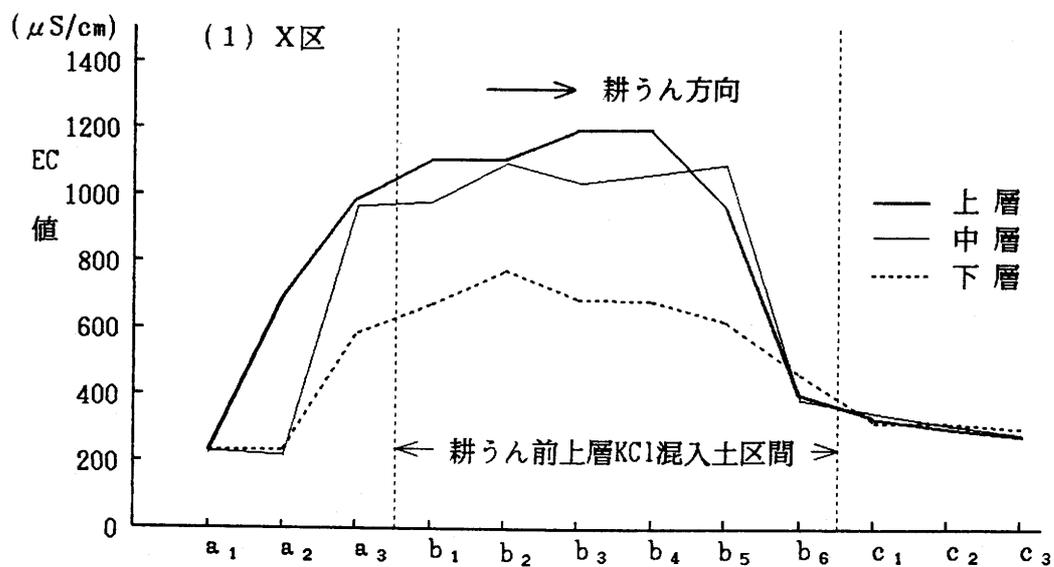


図 4-2-5 耕うん後の EC 値の層別分布
—アップカッターロータリー—

よる土壌の後方移動を意味している。つまり、 c_1 地点の原土壌が多量に b_6 地点に移動・混合し、EC値の急激な低下を生じさせたと思われる。

測定地点 $b_1 \sim b_5$ 間における各区の耕うん後EC値をみると、Y区の変動が非常に大きい。特に、Y区下層の測定地点 b_3 と b_4 間では、そのEC値差が $546 \mu S/cm$ もある。また、Y区ほどではないが、Z区下層でも $b_1 \sim b_5$ 地点間のEC値に、大きな変動が認められる。Y区とZ区における耕うん前KCl混入土層のEC値（表4-2-6）には、大きなばらつきが存在していたので、前記の測定地点間の大きな変動は、このばらつきに起因しているものと考察される。

図4-2-5におけるZ区の場合、耕うん後のEC値がX・Y区に比べ総体的に低い値である。これは、Z区の耕深が当初の設定より浅くなったため、KCl混入土の耕うん量が他区より少なくなったことによる。このような耕深変化の場合、耕うん後EC値を補正して表示する方法も考えられるが、本研究で目的とする耕土の移動割合計算では、耕うん前後のEC値が一致するよう補正計算しているので、ここでは生データのままで図示した。

表4-2-7および表4-2-8は、連立1次方程式と不等式による方法を用い計算した耕土の移動割合である。表4-2-7をみると、本来、安定すべきと思われる測定地点 $b_2 \sim b_4$ 間で、その移動割合はかなり変動している。変動の最大は耕うん前中層（Y区）から耕うん後下層への移動割合で、測定地点 b_3 が37.9%であるのに対し測定地点 b_4 が21.7%と、その差が16.2%も生じている。各区における測定地点間の移動割合の差は、Y区が5.8~16.2%と最も大きく、次いでZ区、X区の順である。これは、図4-2-5の各区における耕うん後EC値の変動を反映した結果となっている。

表 4-2-7 アップカットロータリによる耕土の各測定地点
の移動割合 -連立方程式による推定-

(単位:%)

測定地点		項目	耕 う ん 後		
			上 層	中 層	下 層
耕 う ん 前	上 層 ・ X 区	b ₂	38.6	37.3	24.1
		b ₃	42.5	36.4	21.1
		b ₄	41.5	36.6	21.9
		平均	40.9	36.8	22.3
	中 層 ・ Y 区	b ₂	34.6	31.3	34.1
		b ₃	30.2	31.9	37.9
		b ₄	41.2	37.1	21.7
		平均	35.3	33.4	31.3
	下 層 ・ Z 区	b ₂	23.9	33.8	42.3
		b ₃	31.5	27.1	41.4
		b ₄	30.8	28.3	40.9
		平均	28.8	29.7	41.5

不等式による方法で耕土の移動割合を算出する場合，その移動割合はある区間をもって推定されるが，本試験結果では区間推定値が全て少数点第1位まで同一であった。したがって，表4-2-8には区間推定の中央値のみを示した。前記の区間推定値の接近は，本試験の場合，原土壌層としている2層のEC値差が小さいこと，また原土壌に対しKCl混入土のEC値が非常に高かったことなどに基づく結果といえる。表4-2-8の不等式による移動割合推定値でも各測定地点間の変動はみられ，その値は連立方程式による移動割合の変動幅より若干大きくなっている。これは，連立方程式による耕土の移動割合算出がX～Y区のEC値のデータを用いているので，各測定地点における3試験区の平均的移動割合を算出するのに対し，不等式による方法

表 4-2-8 アップカットロータリによる耕土の各測定
地点の移動割合 —不等式による推定—

(単位:%)

項目		耕うん後			
		上層	中層	下層	
耕 う ん 前	上層・X区	b ₂	38.3	37.6	24.1
		b ₃	42.9	36.0	21.1
		b ₄	42.7	36.7	20.6
		平均	41.3	36.8	21.9
	中層・Y区	b ₂	34.3	31.5	34.2
		b ₃	30.6	31.5	37.9
		b ₄	42.4	37.3	20.3
		平均	35.7	33.4	30.9
	下層・Z区	b ₂	23.7	34.0	42.3
		b ₃	31.8	26.8	41.4
		b ₄	31.7	28.5	39.8
		平均	29.1	29.7	41.2

は 1 試験区のデータのみで耕土の移動割合を計算しているためである。

連立方程式と不等式の方法による耕土の移動割合推定値を対比すると、その推定値の差は 0.5 % 以下の所が多い。しかし、測定地点 b₄ の耕うん後上層と下層の所では、両方法による推定値の差が 0.9 ~ 1.4% と大きな値になった。この原因は、Y 区における上・下層の耕うん後 EC 値が、b₄ 地点で急激な変化をしたことにある。そして、連立方程式と不等式による計算の基本的単位が、3 試験区と 1 試験区に異なるため、この大きな差が生じたものと推察される。

表 4-2-9 に耕うん前後の層別 EC 値合計の偏差割合を示した。その偏差割合は、X 区が平均で -5.0% と最も小さく、Z 区が -12.1% と最大

になっている。なお、Z区の場合、他区に比較し所定耕深が浅くなってしまったが、それに伴う偏差分は除いた値を表4-2-9に示してある。本試験の偏差割合はダウンカッター

表 4-2-9 耕うん前後の層別EC値合計の偏差割合
—アップカッター試験— (単位:%)

測定地点	X区	Y区	Z区
b2	-4.0	8.4	-14.5
b3	-5.9	14.4	-13.6
b4	-5.2	9.9	-8.2
平均	-5.0	10.9	-12.1

試験より総体的に大きな値となったが、これはKCl混入土層のEC値変動による誤差が一因と思われる。したがって、本方法による耕土の移動割合実験では、均質なKCl混入土を作製することが、実験精度を上げるために非常に大切と判断される。

4.2.4 電気伝導度法による試験実施上の留意点

前節の基礎実験と本節における適用試験の実施過程で、摘出された本試験法の留意点は以下の通りである。

(1) 原土壌のEC値が小さく、その変動が小さい試験圃場を選定する。

(2) KCl混入土のEC値は、原土壌のEC値に対し10~15倍にすることを一つの目安とする。

(3) 均質なKCl混入土を作製することが本試験の精度を上げるポイントになる。そのためには、第1段階として少量の原土壌(5~10kg)に所定のKClを数回に分けて混合し、それに原土壌を順次追加して混合する操作を何回か繰り返す方法がよい。

(4) 原土壌の水分が高いと第1段階のKCl混入土作製過程で、土壌が塊状になることがある。この場合は原土壌の量を増加する必要

がある。本試験の経験では、土壌含水比76.5% (非常に湿った状態) で原土壌 3 kg に対し KCl を 300g 混合するのが限界であった。つまり、KCl が 300g 以上の場合、土壌が塊状になり混合が不可能になった。

(5) 試験区へ KCl 混入土を埋設した後に降雨があると、KCl の溶脱で試験が不可能となる。したがって、天候条件を考慮しながら圃場段階での試験は、2 日間以内とする計画を立てることが望ましい。

(6) 耕深は土壌硬度や土壌水分などの違いによって変化するので、試験区と同条件の場所で予備耕うんを実施した方がよい。特に下層に KCl 混入土を埋設した場合、耕深変動は耕うん後の EC 値に大きく影響するので注意を要する。

(7) 耕うん後の土壌採取に当っては上・中・下層の土壌が混じらないよう、また次の採土場所を乱さない工夫と注意が必要である。

(8) 耕うん後の採土試料は各層とも 1 測定地点で約 1 kg 採取し、その試料を十分に攪拌・混合する。その後 EC 値の測定試料と土壌含水比の測定試料を所定量ずつとる。1 測定地点の採取土量が少ないと、誤差が大きくなるケースがあるので注意を要する。

4.2.5 摘 要

耕うん作業結果として、土壌の反転性は重要であるが、その測定法は未確立で未だ統一されていない。また、ロータリ耕うんによる土壌の反転性の報告は、総体的にみて不足していると思われる。

前節において、KCl 混入土を用い耕うん前後の土壌の電気伝導度を測定すれば、ロータリ耕うんによる耕土の各層への移動割合が推定できる 2 方法 (3 元連立 1 次方程式と不等式による方法) を検討・確立した。本試験では、この方法をダウンカットおよびアップカットロータリによる圃場耕うんに適用してみた。その結果、2 方法によ

る移動割合推定値がほぼ近似し、本方法は有効であることが明らかになった。

試験は上・中・下層にKCl混入土を入れた3区を作製し実施した。また、圃場のEC値分布は4圃場について調査した。

主な結果は以下のとおりである。

(1) 各圃場における土壌のEC値は74.6~339.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ と圃場によって大きく異なった。これは、各圃場の施肥による電解質の残存量を反映した結果と推察される。

(2) 耕うん前後におけるEC値の比較により、両ロータリとも耕うんによる土壌の前後方への移動が認められた。

(3) アップカットロータリ試験における測定地点間の耕土の移動割合をみると、本来、安定すべき地点と思われる $b_2 \sim b_4$ 間でも、Y区とZ区は大きな変動が認められた。また、このY区とZ区の変動は、ダウンカット試験における測定地点間の変動に比べ、はるかに大きな値を示した。この原因は、耕うん前KCl混入土層のEC値のばらつきにあるものと考察される。

(4) 不等式による耕土の移動割合推定はある区間をもってなされるが、その区間推定値の幅は最大でも $\pm 1.1\%$ 以内であった。この程度の値は実用的にさしつかえないものと推察される。

(5) 3元連立1次方程式と不等式の方法で計算した耕土の移動割合推定値は、一部を除き、その差が0.5%以下であり、両者はほぼ近似したと認められる。したがって、これらの移動割合算出式の妥当性が実証されたものと考察される。

(6) 試験過程において平均で約7%程度の誤差は生じたが、諸結果を総合的にみると、KCl混入土を用いた電気伝導度法は、ロータリ耕うんによる耕土の移動割合推定に利用可能と判定される。

4.3 電気伝導度法による土壌の反転性の応用測定

— 耕うんピッチと土壌の反転性との関連 —

4.3.1 はじめに

ロータリ耕うんにおける土壌の反転性に影響する要因としては、
①耕うん爪の形状，配列などの構造面での要因 ②土性，土壌含水比などの土壌面での要因 ③耕うんピッチ，耕深などの作業面での要因などが予想される。しかし，前節でも記述したが，現存のロータリによる土壌反転性の報告^{3,28,30,53,67)}が総体的にみて不足している現状であり，前記要因と土壌の反転性との関係を調査した報告は未だみられない。

本章の第1節でKCl混入土を用いロータリ耕うん前後の土壌の電気伝導度を測定することにより，耕土の移動割合を求める方法について記述した。第2節では，ダウンカットおよびアップカットロータリ耕うんに電気伝導度法を適用し，この方法が有効であることを実証した。

本節では電気伝導度法を用い，ダウンカットロータリで耕うんピッチと土壌反転性との関連について実験し，それらの関係の有無を検証した⁵²⁾。ここでの土壌反転性の調査には，耕うん前上層が耕うん後各層へ移動した割合を簡易的な指標として用いた。その結果，耕うんピッチと土壌の反転性との関係が明らかにされたので，電気伝導度法による応用測定例として以下に報告する。

4.3.2 試験方法

4.3.2.1 試験区の設定および作製

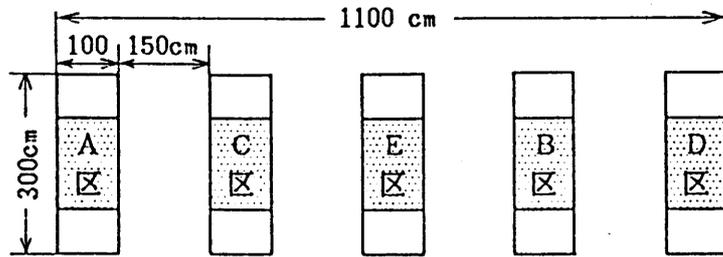
試験場所は茨城大学農学部附属農場の洪積台地ローム畑（淡色黒ボク土，茨城県稲敷郡阿見町）で，その土性はCL，LiCが混在している。試験時の土壌含水比（表4-3-1）は，深さ0～15cm間の平均で75.7%であった。

表 4-3-1 試験法の概要

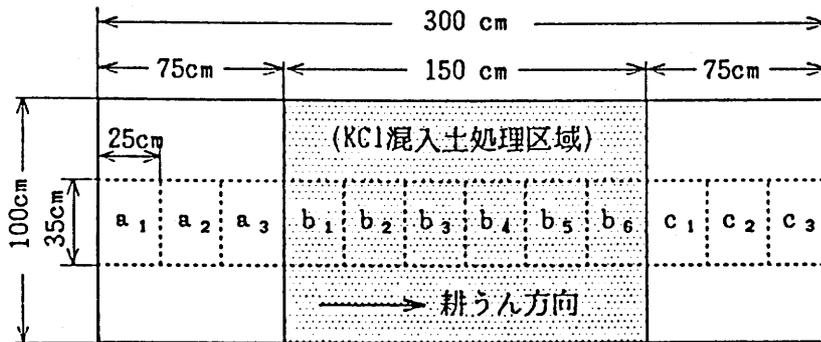
項目	内容
供試圃場	洪積台地ローム畑，土性：CL～LiC 土壌含水比：75.7±5.9% 土壌硬度（山中式）：19～20 mm
供試ロータリ	ダウンカット，なた爪，フランジタイプ 耕うん爪回転半径：49 cm 耕うん軸回転数：160 rpm 作用幅：150 cm（実耕うん幅：90 cm）
耕深（cm）	実耕深：15.0±0.4 見かけ耕深：20.7±0.7
採土箱	幅350 mm，奥行き200 mm，一段の高さ70 mm （3層の同時採土可能）

注）土壌含水比と耕深の表示は平均±標準偏差。

試験区は耕うんピッチを変えた5区を設定した。試験区の配置とその大きさは図4-3-1に示したとおりである。試験区の作製に当たっては，まず試験区予定場所の上層5cmの土壌を人力で排除した。そして試験区の中央部分に厚さ5cmの木枠（内側寸法150×100cm）を置き，KCl混入土を2～3回ずつに分けて入れ，中（5～10cm）・下（10～15cm）層と同じ土壌硬度（表4-3-1参照）に達するまで足で踏み固めた。このKCl混入土には，原土壌1kgに対し5gのKClが混入されている。また，KCl混入土処理区域外の試験区は原土壌を戻し，前記と同じ土壌硬度となるよう作製した。



(1) 各区の配置



(2) 1区の大きさと耕うん後測定地点

図 4-3-1 各区の配置・大きさと耕うん後測定地点

4.3.2.2 耕うん方法

供試ロータリの作用幅は150cmであるが，試験区の幅に合わせるため，外側2列ずつの耕うん爪を取りはずし，実耕うん幅90cmとして使用した。なお，供試ロータリの主要諸元は表4-3-1の通りである。

表4-3-2に各区の耕うんピッチを示したが，最小はA区の20.8mm，最大がE区の72.8mmとした。耕うんピッチの相違は，供試トラクタ

のエンジン回転数を一定にし，ギヤー位置を変えることによって生じさせた。したがって，供試トラクタのPTO軸回転数540rpmとロータリ軸回転数160rpmは常に一定である。また，耕うん速

表 4-3-2 各区の耕うんピッチと耕うん速度

試験区名	耕うんピッチ (mm)	耕うん速度 (cm/s)
A 区	20.8	11.1
B 区	31.3	16.7
C 区	41.6	22.2
D 区	52.1	27.8
E 区	72.8	38.9

度は表4-3-2の通りであった。

4.3.2.3 測定用土壌の採取およびEC値の測定

耕うん前のEC値測定試料として、各層ごとに1試験区当たり8地点（KCl混入土処理区域内4地点，その前後の区域内4地点）から採土した。耕うん後の採土は上・中・下層の土壌が混じらないよう，3層の土壌が一括採取できる採土箱を用い，図4-5-1に示した12地点で実施した。なお，採土に伴い次の採土場所を乱す恐れがあるため，1回の採土区域の境界に仕切り板をさし込み，他の部分を乱さないよう注意して採土した。

採取した土壌の中から土壌含水比測定用として約150gを円筒サンプルにとり，また約100gを乳鉢でよくすりつぶした。乳鉢から30gの土壌をポリビンに取り，それをEC値測定用試料とした。同一試料でのEC値測定は2反復とした。EC値の測定法は本章の1節と同様である。

4.3.3 結果および考察

各区の耕うん前EC値，標準偏差および変動係数などを表4-3-3に示した。全区とも上層がKCl混入土層で，そのEC値は2774.7～3065.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲であった。この値は原土壌である中・下層のEC値に対し10.3～15.2倍の高倍率になっているが，これは試験精度を上げるためであり，またKCl混入土作製時に意図した値に近似した。各区とも下層のEC値が中層より大きい，これは試験区作製時に中・下層の土壌を移動せず自然状態のままにしたためである。標準偏差はA区上層の91.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ が最大で，D区中層が最小値を示した。A～E区上層の変動係数は0.004～0.030であり，原土壌である中・下層の

変動係数0.043~0.146

より全て小さい値となっている。したがって、KCl混入土はほぼ均質に作製されたものと推察される。原土壌のEC値変動係数が、前節のダウンカットおよびアップカットロータリ適用試験より全般に高い値であるが、これは本試験区の数が前節の試験より多く、その配置上、EC値変動の小さい場所のみを選定できなかった結果による。

図4-3-2に代表例とし

てA・C・E区の耕うん後EC値の層別分布を示した。測定地点a₃は耕うん前上層にKCl混入土処理をしていないが、耕うん後のEC値（平均714.6 μ S/cm）は全区で各層とも原土壌のEC値（223.3 μ S/cm）より相当大きな値を示した。耕うん前にKCl混入土処理をしたb₆地点は、同様の処理をしたb₁~b₅地点に比べ、大部分の箇所でそのEC値が極端に低くなっている。これらの現象は前節の試験でも確認しているが、ロータリ耕うんにより耕土が後方に移動したことを意味している。また、c₁・c₃測定地点において、原土壌のEC値より若干大きな値の所がみられるが、これはロータリ耕うんにより、前方にも

表 4-3-3 耕うん前各層のEC値と標準偏差

(EC値単位: μ S/cm)

区	層別	平均EC値	標準偏差	変動係数
A	上層	3065.4	91.7	0.030
	中層	226.6	24.1	0.106
	下層	245.1	29.7	0.121
B	上層	2859.6	20.9	0.007
	中層	188.2	23.3	0.124
	下層	216.3	24.2	0.112
C	上層	2774.7	28.4	0.010
	中層	186.2	17.2	0.092
	下層	201.3	16.1	0.080
D	上層	2896.4	12.3	0.004
	中層	238.5	11.2	0.047
	下層	282.4	12.2	0.043
E	上層	2878.6	49.4	0.017
	中層	202.2	29.6	0.146
	下層	245.9	27.4	0.111

注) 各区とも上層をKCl混入土処理

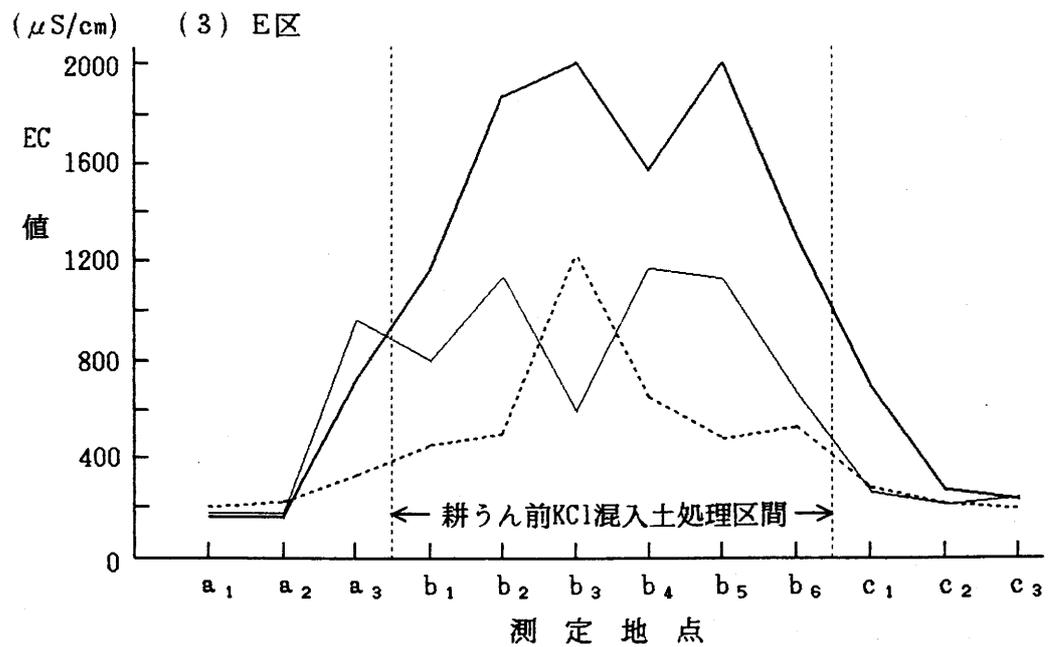
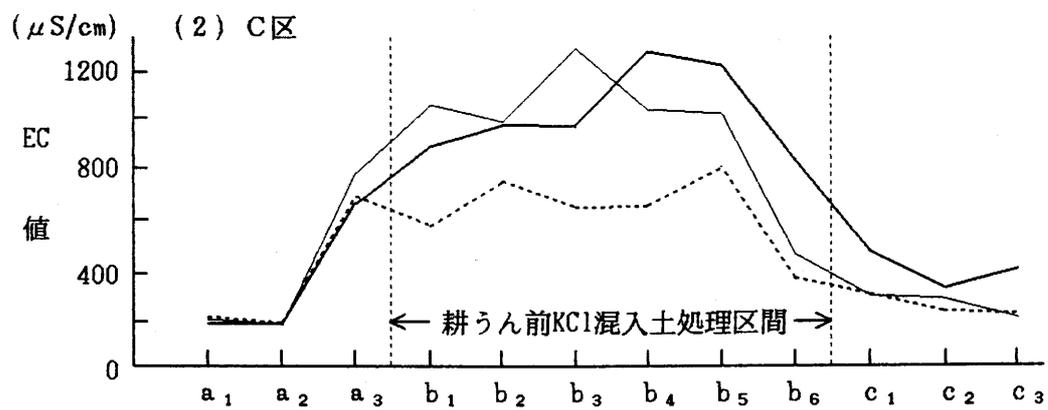
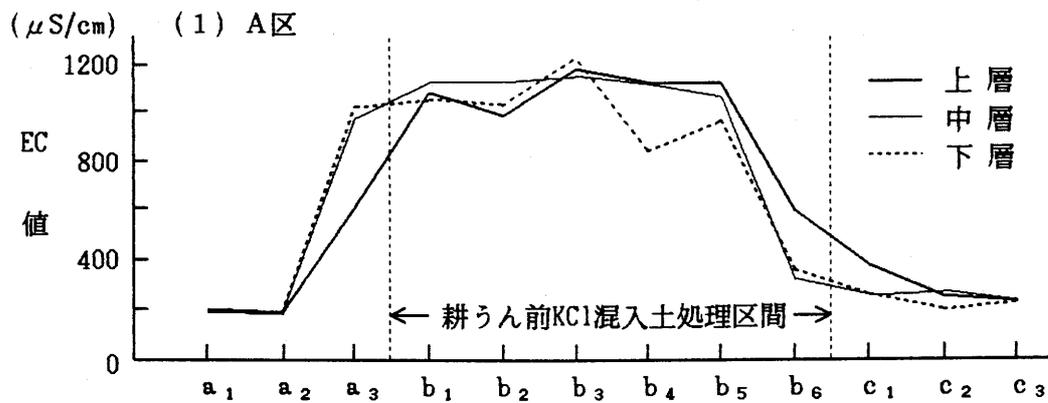


図 4-3-2 耕うん後 EC 値の層別分布

少量の土壌が飛散した結果によるものと思われる。

図4-3-2におけるKCl混入土処理区間のEC値をみると，A区の場合，上・中・下層のEC値は測定地点によって，その大ききの順位が変わっている。これに対し，C区では下層のEC値が上・中層の値より全て小さく，E区では上層のEC値が中・下層より大きい結果が明確に現れている。また，KCl混入土処理区間において各測定地点間のEC値変動は，A区，C区，E区の順で大きくなる傾向が認められる。

表4-3-4には，KCl混入土処理区間のうち，ほぼ同等な条件とみなしうる耕うん後測定地点 $b_1 \sim b_5$ のEC値平均，変動係数などを示した。 b_6 地点は耕土の後方移動により，耕うん前にKCl混入土処理のない c_1 地点の土壌が多量には

入り込むため，他の測定地点とは条件が大きく異なる。表4-3-4においてA・B区各層EC値間には余り差がみられないが，C～E区では上・中層と下層間とのEC値差が大きくなっている。また，E区は中・下層のEC値に対し，上層のEC値が1.8～2.6倍と特に大きな値となった。各区の変動係数を対比すると，A区<B・C区<D区<E区

表 4-3-4 測定地点 $b_1 \sim b_5$ 間のEC値平均と変動係数

(EC値単位: $\mu S/cm$)

区	層別	平均EC値	標準偏差	変動係数
A	上層	1085.4	67.2	0.062
	中層	1100.6	32.7	0.030
	下層	1009.4	145.4	0.144
B	上層	1097.4	188.7	0.172
	中層	1227.4	149.0	0.121
	下層	1001.8	125.0	0.125
C	上層	1057.8	167.4	0.158
	中層	1068.4	119.7	0.112
	下層	679.6	91.6	0.135
D	上層	1131.6	237.7	0.210
	中層	1105.8	250.0	0.226
	下層	722.6	193.0	0.267
E	上層	1717.0	364.4	0.212
	中層	963.4	255.5	0.265
	下層	666.0	321.4	0.483

の順が明確に認められるが、これは耕うんピッチの大きさの順と一致している。耕うん後の測定地点間のEC値変動には、耕うん前KCl混入土層のEC値のばらつきが大きく影響することは前節でも記したが、本試験において耕うん前の各区KCl混入土層（表4-3-3の上層）の標準偏差と変動係数間には、余り差がない。したがって、先の結果は耕うんピッチが大きくなると、ロータリ耕うん土壌の移動状態が不安定になることを意味しているものと推察される。

図4-3-3に耕うん前上層から耕うん後各層への移動割合を示した。移動割合は第1節で記述した不等式による方法で計算した。したがって、この移動割合はある範囲をもって算出されるので、図中ではその中央値を用いている。各区・各層の移動割合の範囲は最大でも±0.7%以下と小さく値であり、それを無視して中央値で検討してもさしつかえない程度のものであった。耕うん前上層から耕うん後上層への残存割合は、B区が33.0%と最小で、E区が55.5%と最大にな

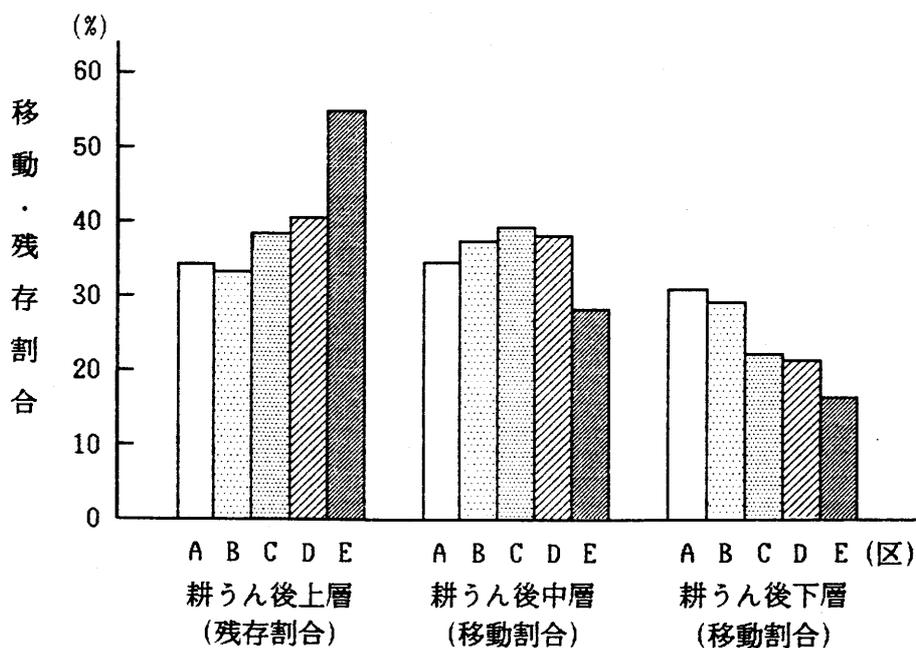


図 4-3-3 耕うん前上層から耕うん後各層への移動・残存割合
—測定地点 $b_1 \sim b_5$ 間の平均—

った。そして、A～E区を総体的にみると、耕うんピッチの大きい区ほど、耕うん後上層への残存割合が増加する傾向を示している。また、耕うん後下層への移動割合は、A区からE区に向けて、つまり耕うんピッチが大きくなるに従い、明らかに減少することが確認された。耕うん後中層への移動割合は、耕うんピッチとの間に一定の傾向が認められない。

表4-3-5は $b_1 \sim b_5$ 地点の移動割合を用いて計算した各区間のt検定結果である。耕うん前

上層から耕うん後上層への残存割合では、A-E区間、B-E区間およびC-E区間で1%水準、D-E区間で5%水準の有意差が認められた。一方、耕うん後下層への移動割合では、A区とC～E区間、B区とC～E区間の全てに有意差を生じている。この結果と図

表 4-3-5 移動・残存割合の各区間のt検定結果

対応区	上層	中層	下層
A-B	0.380	-1.429	0.751
A-C	-1.803	-1.668	4.122 **
A-D	-1.021	-0.968	2.914 *
A-E	-8.633 **	1.441	3.362 **
B-C	-1.524	-0.513	3.570 **
B-D	-1.113	-0.115	2.476 *
B-E	-6.104 **	1.971	3.032 *
C-D	-0.291	0.279	0.214
C-E	-5.605 **	2.163	1.374
D-E	-2.387 *	1.778	1.057

注) d.f=8, **印:1%水準, *印:5%水準

4-3-3の結果より、ロータリ耕において耕うんピッチが大きくなると、土壌の反転性が低下することは、ほぼ確実と考察される。しかし、耕うんピッチが大きくなると、どうして土壌の反転性が低下するのか、本試験のみではその原因を解明できない。この点については、今後の課題としたい。

4.3.4 摘 要

ロータリ耕うんにおいて土壌の反転性に影響する要因としては、ロータリ耕うん刃の形状、土性、耕うんピッチをはじめ、その他種々の要因が考えられる。しかし、これらの要因とロータリ耕の土壌の反転性との関連を調べた報告は未だ見あたらない。

本節では第1節で記述した電気伝導度法を用い、ダウンカットロータリで耕うんピッチと土壌の反転性との関係を調査した。試験区は耕うんピッチを変えた5区を設けた。A区の耕うんピッチ20.8mmが最小で、B区、C区、D区の順に大きくなり、最大がE区の耕うんピッチ72.8mmである。

主な結果は以下のとおりである。

(1) 耕うん前後における土壌のEC値の比較により、耕土の後方移動と前方へ少量の土壌が飛散していることが、前節と同様に確認された。

(2) 耕うん後の層別EC値分布(図4-3-2)において、KCl混入土処理区間のEC値変動は、A区、C区、E区の順に増加する傾向が認められた。また、KCl混入土処理区間における $b_1 \sim b_5$ 地点のEC値変動係数は、A区 < B・C区 < D区 < E区の順であり、耕うんピッチの大きさの順と同じであった。これらの結果より、耕うんピッチが大きくなると、耕うん土壌の移動状態は不安定になるものと推察される。

(3) 耕うん前上層から耕うん後上層への残存割合は、耕うんピッチが大きい区ほどその値が増加する傾向を示した。一方、耕うん後下層への移動割合は、A区(31.0%)からE区(16.2%)に向けて、つまり耕うんピッチの増加と共に減少することが確認された。

(4) 移動割合のt検定結果では、耕うん前上層から耕うん後上層

および下層への移動割合が、多くの区間において有意差を示した。したがって、前記の結果と合わせて考えると、耕うんピッチが大きくなるに従い、土壌の反転性が低下することは確実と判断される。

(5) ここでの試験は、KCl-電気伝導度法による応用測定の一例であるが、本方法を用いることにより、ロータリ耕うんの土壌反転性に影響する種々の要因が解明できると考えられる。

第 5 章 結 論

我が国ではロータリ耕うんを多用しているが、その作業結果の評価を伴った報告はあまり多くない。耕うん作業結果の中で砕土状態と土壌の反転性(上下方向の土壌移動)は重要な要素であるが、それらの測定は難しく、試験法として確立しているとは言いがたい⁵⁾。

近年、アップカットロータリが開発され、表層が細かく下層が粗い土層構造を作れるようになった。したがって、砕土状態と土層構造を合わせた層別土塊分布に関する試験法の確立は、ますます重要な課題となってきた。また、今後は土壌の反転性能を向上させたロータリの開発が望まれるが、それには土壌の反転性について正確に測定し定量的に判断できる方法の樹立が必要である。

本研究は前記の背景のもとに、ロータリ耕うんによる層別土塊分布と土壌の反転性について簡易で定量的な測定・分析法の確立をめざして始めたものである。具体的には ①土塊分布の適切な表現法の確立 ②採土サンプルおよび層別採土用のセパレータによる土塊切断の影響の把握 ③従来より簡易な測定法の追求(採土サンプル径と篩の使用個数の検討) ④KCl混入土を用い土壌の電気伝導度をトレーサとする土壌移動測定法の確立 ⑤前記の土壌移動測定法のロータリ耕うんへの適用性、などの諸項目を目的として試験を行った。これらの試験より得られた主な結論は次の通りである。

5.1 ロータリ耕うんによる土塊分布の測定・分析法

5.1.1 諸分布式による土塊分布の近似

土塊分布が関数で表現され、さらに土塊分布の指標が簡単な代数

式で表現できることが最も望ましい。本研究では対数正規分布式，Rosin-Rammler式，Gaudin-Shuhmann式およびRayleigh分布の一般形であるWeibull分布式を用い，土塊分布の近似式を3試験地のデータで検討した。その結果，諸分布式による土塊分布の近似は，同一分布式でも試験地によって，その良否が明確に異なった。これは主として土壌構造に基づく土塊分布の形の相違に起因している。

実用性を考慮して検討したところ，Gaudin-Shuhmann式は沖積地水田(土性:SiC)と洪積台地水田(土性:LC~LiC)の土塊分布の近似に良く適合することが明らかになった。また，Rosin-Rammler式による土塊分布の近似は，沖積地水田で良く適合した。

Weibull分布式の場合，形のパラメータの m 値を変えることによって，土性などが異なる全ての試験地で土塊分布の近似式として適合することが分かった。土塊分布の指標となる標本平均(平均土塊径)と標本標準偏差などが，Weibull分布の場合，諸分布式の中で最も簡単な代数式で表現できる。また，任意の積算節上(下)質量パーセント土塊径の式も，Weibull分布が簡単で取扱い易い。これらの諸結果より，土塊分布の関数表現法としては，Weibull分布式を近似式として用いることが最適との結論に達した。

5.1.2 採土に伴う土塊切断による平均土塊径への影響

採土に伴う土塊切断の影響は，試験法を決めるうえで重要な要因になるが，現実の測定で土塊切断の影響を求めることは非常に困難である。ここでは一つの目安を得るため，球を土塊のモデルとするシミュレーションで採土に伴う土塊切断の影響を検討した。

同一土塊径で採土サンプル径が2倍になった場合，その土塊切断の影響値は約半分に減少した。また，セパレータ間隔が大きくなる

と、それに反比例的に土塊切断の影響値は小さくなった。現実の層別土塊分布測定では、採土サンプルとセパレータの両方による土塊切断が存在する。この両切断の場合、採土サンプル径が2倍になっても、その影響値は約3割程度の減少であり、採土サンプルおよびセパレータのみによる土塊切断の場合とは異なっている。これは採土サンプル径が2倍になると完全土塊数は4倍に増加するが、その反面、採土サンプル切断土塊数と両切断土塊数は2倍、セパレータ切断土塊数は4倍に増加するので、完全土塊数の増加による平均土塊径の増加分を打ち消しているためである。

シミュレーション結果の数値を応用する場合、表3-2-6と表3-2-7 (PP.63-64)での土塊径は、現実に測定した土塊分布の平均土塊径で対応させればよい。シミュレーション結果よりみると、深さ50mmごとの層別採土(セパレータ間隔50mm)で5%位の誤差を許すとすれば、採土サンプル内径100mmの場合は平均土塊径8mm、採土サンプル内径200mmの場合は平均土塊径16mmまで採土可能との目安が得られる。また、セパレータ間隔を150mmに拡大すれば、内径100mmの採土サンプルで平均土塊径16mmまで採土可能といえる。

5.1.3 圃場試験結果に基づく土塊分布測定法の検討

深さ5cm間隔ごとに3層の土塊試料を採取(分離採土)し、層別土塊分布を求めた。この層別土塊分布の諸分析結果より、ダウンカットロータリ耕うんでは、上層(深さ0~5cm)の土塊が中(5~10cm)・下(10~15cm)層の土塊より大きく、またアップカットロータリ耕うんでは、上層の土塊が中・下層より小さいと判定された。この結果からすると、上・中・下層の土塊を一括した測定法(一括採土)は、その内容の特徴を消去してしまうので不適切である。したがって、

ロータリ耕うんの性能を土塊径で比較する場合，層別に土塊分布を測定することが必須であるといえる。

採土法別（分離採土と一括採土）と採土サンプラ径別（内径100，200，400mm）の平均土塊径の傾向は，1985年試験結果と1988年試験結果との間で大幅に異なった。また，採土法要因と採土サンプラ径要因の分散分析結果で，有意差が認められたのは10試験区のうちで1～2試験区のみと少なかった。これらの諸結果より，採土サンプラおよびセパレータによる土塊切断の影響が，①土塊径のばらつきの範囲内，②または測定誤差の範囲内にあることが明らかになった。土塊分布の諸分析結果とシミュレーション結果を総合的にみると，採土サンプラ内径は200～300mmのもので層別採土する方法が最も適切と判定される。ただし，畑地のように平均土塊径が15mm以下となる場合は，内径100mmの採土サンプラ使用でもさしつかえない。

インチ系とメートル系目開きの篩の間に有意差があるかt検定を試みた結果，40箇所の検定中36箇所は5%水準で有意差が認められなかった。したがって，使用する篩の目開きの違いによって平均土塊径が，影響を受けることは殆どないと結論づけられる。

篩の使用個数を適切に削減すれば，Weibull分布の変換法で計算した平均土塊径，標準偏差は殆ど変動しないとの検討結果を得た。本研究における諸結果を総合すると，畑地の場合，篩の目開きは2，8，31.5mmの体系を基準にし，必要に応じて他の目開きの篩を追加するのが妥当といえる。また，水田の場合は目開き4，16，63mmの体系を基準にするのが最も良いと判定された。

5.2 ロータリ耕うんによる土壌移動の測定・分析法

5.2.1 電気伝導度法による耕土の移動割合算出法

本研究では、KCl溶液の濃度と電気伝導度(EC値)が直線的関係を示すことに着目し、耕うんにより移動する土壌のトレーサとして、KClを利用する方法を採用した。

実験結果では、原土壌へのKCl混合質量とKCl混入土のEC値との相関係数が0.999と非常に高い値を示し、両者間にほぼ直線関係が成立することが確認された。次にEC値が異なる2種類の土壌を混合し、その混合土のEC値を測定した後、混合土のEC値を求める仮説式(P. 91, (19)式)の妥当性を検討した。測定EC値と計算EC値間との偏差割合は、 $-3.4\sim 2.3\%$ の範囲であり、実用的にはその仮説式を用いてもよいとの結論を得た。

この仮説式を応用して、耕うん前の上・中・下層の土壌が耕うん後の各層にどのような割合で移動したのか、その推定式を3元連立1次方程式(P. 93, (20)~(23)式)と不等式(P. 95, (24)~(32)式)の形で導いた。両推定式を用いれば、耕うん前後における各層のEC値を測定することにより、耕土の移動割合が簡単に計算できる。

不等式による耕土の移動割合推定式は、前記の連立1次方程式による方法が3試験区を一对の基本的単位としているのに対し、1試験区を独立した基本的単位に考えたものである。この推定式を導いた考えの基本は、①耕うん後の各層は耕うん前の3層の土壌が移動、混合して一般に生成される、②この一般的現象は、耕うん前にKCl混入土を入れた層と他の1層が混合する両極端の現象間に存在する、という2事項である。土壌の移動割合は二つの不等式から求められるので、ある範囲をもって推定される。この範囲が余り大きくなると、移動割合推定式の効力は無くなる。しかし、耕うん前に入れるKCl混入土のEC値を大きくすれば、その範囲の幅を極めて小さくすることが十分可能である。

5.2.2 耕土の移動割合推定への電気伝導度法の適用

本試験法は圃場での実用的測定法としての確立を想定しているの
で、種々の圃場のEC値を調査した。その結果、各圃場における土壌
のEC値は74.6~339.0 μ S/cmであり、圃場によってそのEC値が大き
く異なることが判明した。これは、各圃場の施肥による電解質の残
存量を反映した結果である。耕うんによる耕土の移動割合を推定す
る場合、試験圃場のEC値は小さい方が望ましいので、試験地の選定
に当っては多肥栽培の跡地を避けた方がよい。

試験は上・中・下層にKCl混入土入れた3区を作製し、ダウンカッ
トおよびアップカッターロータリを用い実施した。耕うん前のEC値と
耕うん後各測定地点におけるEC値の比較により、両ロータリとも耕
うんにより土壌が後方へ移動していることが認められた。また、前
方にも少量の土壌が飛散している結果が認められた。

耕うん前KCl混入土層のEC値のばらつきが大きい区は、本来、安定
すべきと思われる測定地点間で移動割合に大きな変動が生じた。した
がって、本方法では均質なKCl混入土を作製することが、試験精度を
上げるために最も大切であると判断された。

不等式による耕土の移動割合推定はある区間をもってなされるが、
その区間推定値の幅は最大でも $\pm 1.1\%$ 以内であった。この程度の値
は実的にさしつかえないものと推察される。

3元連立1次方程式と不等式の方法で計算した耕土の移動割合推
定値は、その差が0.5%以下であり、両者はほぼ近似したと認められ
る。したがって、これらの移動割合算出式の妥当性が実証された。
諸結果を総合的にみると、試験過程において平均で約7%程度の誤
差は生じたが、KCl混入土を用いた電気伝導度法は、ロータリ耕うん
による耕土の移動割合推定に利用可能と判定された。

5.2.3 電気伝導度法による土壌の反転性の応用測定

ここでは、耕うんピッチを変えた5試験区（耕うんピッチ20.8～72.8mm）を設け、ダウンカットロータリで耕うんピッチと土壌の反転性との関係を調査した。

耕うん後の層別EC値分布において、KCl混入土処理区間のEC値変動は、耕うんピッチの大ききの順に増加する傾向が認められた。また、KCl混入土処理区間における各測定地点のEC値変動係数は、耕うんピッチの大きい区ほど大きな値を示した。これらの結果より、耕うんピッチが大きくなると、耕うん土壌の移動状態は不安定になるものと推察される。

耕うん前上層から耕うん後上層への残存割合は、耕うんピッチが大きい区ほどその値が増加する傾向を示した。一方、耕うん後下層への移動割合は、耕うんピッチ最小のA区（31.0%）から最大のE区（16.2%）に向けて、つまり耕うんピッチの増加と共に減少することが明らかになった。移動割合のt検定結果では、耕うん前上層から耕うん後上層および下層への移動割合が、多くの区間において有意差を示した。これらの諸結果より、耕うんピッチが大きくなるに従い、土壌の反転性が低下することは确实といえる。

ここでの試験は、KCl-電気伝導度法による応用測定の一例であるが、本方法を用いることにより、ロータリ耕うんの土壌反転性に影響する種々の要因が解明できると考えられる。

5.3 土塊分布と土壌移動の新しい測定・分析法の提案

本研究で確立したロータリ耕うんによる土塊分布と土壌移動の測定・分析法の概略をまとめ、新しい方法として以下に提案する。

5.3.1 土塊分布の測定・分析法

本研究の諸結果よりまとめた土塊分布の測定・分析法の概略を図5-3-1に示した。土塊の採取は5cm間隔で3層とすることを基本にしているが，その目的によっては深さ0～5cm，5～15cmの2区分してもよい。土塊採取は畑と水田で採土サンプラ内径を分けているが，採土サンプラ内径100mmでは平均土塊径15mm，採土サンプラ内径200mmでは平均土塊径25mmまでを使用限度とし，それ以上の土塊径では内径300mmの採土サンプラの使用とすることを一つの目安とする。

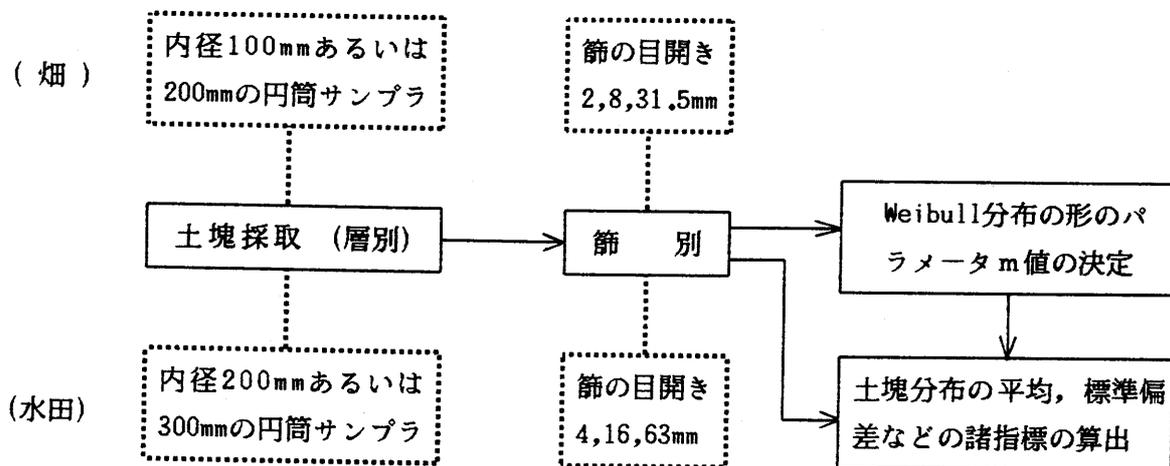


図 5-3-1 土塊分布の測定・分析法の概略

供試篩の個数は，Weibull分布の変換で土塊分布を近似させることを前提にして3個と定めた。ただし，Weibull分布の形のパラメータm値を決めるための土塊分布測定では，篩の個数を2個ほど追加した方がよいケースも存在すると思われる。

Weibull分布のm値は土塊径 x と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ ($R_1(x)$:土塊の積算篩上質量比)との間の相関係数を指標にして決める。また，土塊分布の諸指標の求め方は第3章1節(PP.25-27, P.35)に記述してあ

るので参照して頂きたい。

ここで提案した本方法の特徴を整理すると、次の点があげられる。

(1) 従来の農林省法⁶⁵⁾および秤量法⁶⁰⁾に比べ、土塊の採取量が少ないので省力的である。また、従来の方法(表2-3-2参照)では篩の使用個数が7~8個であるのに対し、本方法では3個であるので、この点でも省力的である。

(2) 従来は土塊分布の指標として、平均質量直径や土塊径別質量パーセントぐらいしか求め得なかったが、本方法では土塊分布をWeibull分布式で近似させることにより、平均質量直径、標準偏差、任意の積算篩上(下)質量パーセント土塊径などの諸指標が容易に求めうる。したがって、土塊分布の内容の詳細な分析が可能である。

(3) Weibull分布による近似式で土塊分布の諸指標を求めるので篩の目開きが異なった測定データでも容易に比較できる。

(4) 従来の方法と異なり、本方法は層別に土塊分布を求めることを基本にしているので、本方法を用いることによりロータリの耕うん性能の比較などが高精度で行える。

5.3.2 電気伝導度法による土壌移動の測定・分析法

本方法の概略を図5-3-2に示した。KCl混合量は原土壌のEC値に対しKCl混入土のEC値が10~15倍になることを目標にして、前記の図4-1-2(P.91)を参照して決めればよい。この他の図中における重要な項目、例えばKCl混入土の作製、耕うん後各層の土壌採取およびEC値測定用試料の取り方などに関する要点は、4章の2節(PP.116-117)に記述した。また、EC値の測定法は4章1節(PP.88-89)に記してある。

耕土の移動割合計算で3元連立1次方程式による方法は、上・中

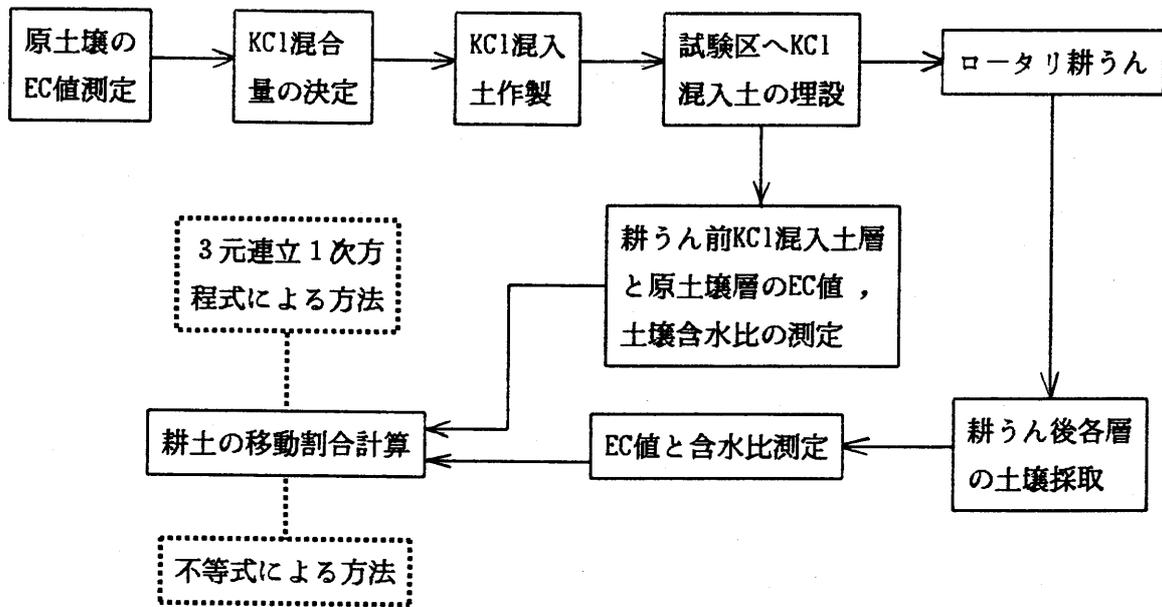


図 5-3-2 電気伝導度法による土壌移動の測定・分析法の概略

・下層の各々に KCl 混入土処理をした 3 試験区を作製することが前提条件である。これに対し、不等式による方法は KCl 混入土を埋設した 1 試験区のみでも対応できる簡便性を有しているが、耕土の移動割合はある範囲をもって算出されるという欠点がある。したがって、不等式による方法の場合、KCl 混入土の EC 値を高くして、この範囲の幅を小さく（1% 以内）するよう留意すべきである。

本方法は従来の方法^{3,29,30,31}と比較し種々の利点をもっているが、その主な事項は以下の通りである。

(1) チョーク片や木片をトレーサとする方法は、これらのトレーサが土壌と同一の動きをしないという問題点³⁰がある。本方法の場合、KCl を混入しているものの土壌そのもので追跡するので、上記のチョーク片などをトレーサとする方法に比べ、その試験精度が高い。

(2) チョーク片や木片をトレーサにする場合、それらの埋設および耕うん後の検出が大変な作業である。また、小麦の種子をトレー

サとする方法³⁾は、種子を発芽させる面倒な手順が必要である。本方法はKCl混入土作製の作業があるが、総体的にみると上記の方法より簡便である。

(3) 硫安の混入土壌を用いたネスラー試験による比色分析法³⁰⁾は、比色分析で土壌移動の定量化をするので熟練を要する。本方法では熟練を要する操作や分析がなく、誰でも容易にできる。また、本方法では土壌移動の定量化も比色分析法に比べより正確にできる。

参 考 文 献

- 1) Bhushan, L. S., Varade, S. B., Gupta, C. P. : Influence of clod size on soil temperature, moisture tension and seedling emergence of field crops, JOURNAL OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 11(4), pp.20-24(1974)
- 2) Campbell, D. J. : A laboratory penetrometer for the measurement of the strength of soil clods, J. Agric. Engng Res., 22, pp.85-91 (1977)
- 3) 陳 鈞, 南部 悟, 寺尾 日出男 : ロータリ耕うん刃の反転性能向上に関する研究(第1報), 農機誌, 47(4), pp.459-467(1986)
- 4) 土壤物理研究会編 : 土壤物理用語事典, pp.25-50, 養賢堂(1974)
- 5) 土壤物理性測定法委員会編 : 土壤物理性測定法, pp.53-106, 養賢堂(1972)
- 6) 土壤標準分析・測定法委員会編 : 土壤標準分析・測定法, pp.74-76, 博友社(1986)
- 7) Feller, R., Nahir, D., Coble, C. G. : Separation of soil clods from onions using impact, Trans. ASAE, 27(2), pp.353-357(1984)
- 8) 古池寿夫, 岡田芳一, 永田雅輝 : 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1報), 農機誌, 35(2), pp.163-169(1973)
- 9) 古池寿夫, 岡田芳一, 永田雅輝 : 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2報), 農機誌, 35(2), pp.170-179(1973)
- 10) 古池寿夫, 岡田芳一, 永田雅輝 : 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), pp.235-242(1974)
- 11) 古池寿夫, 岡田芳一, 永田雅輝 : 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4報), 農機誌, 36(3), pp.378-385(1974)
- 12) 林 尚孝 : 低圧領域における摩擦係数のばらつき, 茨城大学農学部学術

- 報告, 21, pp.117-139(1979)
- 13) 林 尚孝, 森泉昭治 : 砕土状態の表現法について, 総合農学, 31(1), pp.2-4 (1983)
 - 14) 林 尚孝, 森泉昭治, 弓矢智生, 他 2 名 : 耕うんによる層別土塊分布の評価法に関する研究(第 1 報), 農機誌, 47(3), pp.343-348(1985)
 - 15) 平沢信夫 : 耕深と機械作業, 機械化農業 3 月号, pp.17-20, 新農林社 (1990)
 - 16) 細川 明 : 小型ハロープラウの土壌反転とその利用性について, 農業機械学会北海道支部会報, 6, pp.34-37(1959)
 - 17) 井尻 勉, 後藤美明, 柴田洋一, 他 1 名 : アップカット・ロータリの礫埋没性能について, 第 43 回農業機械学会年次大会講演要旨, p.104(1984)
 - 18) 石原 昂, 竹内竜, 森 邦男, 他 5 名 : 新農業機械学, pp.113-118, 朝倉書店 (1988)
 - 19) 泉 清一, 姫田正美 : 耕耘が水稻栽培に及ぼす諸問題, p.36, 日本機械化協会 (1964)
 - 20) Jain, N. K., Agrawal, J. P. : Effect of clod size in the seedbed on development and yield of sugar cane, Soil Sci. Amer. Proc., 34(5), pp.795-797(1970)
 - 21) ジョージ・アルフケン(権平健一郎, 神原武志, 小山直人 訳) : 関数論, pp.275-280, 講談社 (1985)
 - 22) 金谷 豊, 倉田 勇 : 重粘土壌の耕うん方法に関する研究(第 2 報), 農機誌, 51(1), pp.45-53(1989)
 - 23) 唐橋 需 : 機械耕うんによる土壌物理性の改良, 土壌の物理性, 51, pp.40-44(1985)
 - 24) 川北公夫, 小口真純, 種谷真一 : 粉体工学 (基礎編), pp.37-52, 槇書店 (1987)
 - 25) 川村五郎, 中 精一, 加茂幹男, 他 2 名 : ロータリによる転換畑の耕起整地法に関する研究 (第 2 報), 農業機械学会東北支部報, 21,

pp.29-30(1974)

- 26) 川村 登, 木谷 収, 梅田重夫, 他 4 名 : 農作業機械学, pp.58-76, 文永堂出版(1987)
- 27) 川村 登, 渋沢 栄 : 深耕ロータリ耕うんに関する基礎的研究(第 1 報), 農機誌, 42(2), pp.211-219(1980)
- 28) 川嶋通義, 小森 盛 : 動力耕耘機における土壌の変位について(第 1 報), 農機誌, 24(2), pp.56-60(1962)
- 29) 川嶋通義, 小森 盛 : 動力耕耘機における土壌の変位について(第 2 報), 農機誌, 24(3), pp.118-121(1962)
- 30) 川嶋通義, 小森 盛 : 動力耕耘機における土壌の変位について(第 3 報), 農機誌, 24(4), pp.194-198(1962)
- 31) 川嶋通義, 小森 盛 : 動力耕耘機における土壌の変位について(第 4 報), 農機誌, 24(4), pp.199-202(1962)
- 32) 川嶋通義, 小森 盛 : 動力耕耘機における土壌の変位について(第 5 報), 農機誌, 25(1), pp.31-34(1963)
- 33) 木村勝一 : 特殊爪の耕うん性能とわらのすき込み性能について, 農業機械学会東北支部報, 20, p.57(1973)
- 34) 金須正幸, 国府田佳弘, 八木 茂, 他 1 名 : 乗用トラクタの走行・けん引および耕耘性能に関する研究, 農業機械化研究所報告, pp.86-90(1966)
- 35) 金須正幸, 八木 茂 : 耕耘整地用機械の研究に関する文献目録, pp.3-7, 農業機械化研究所(1976)
- 36) 小島紀男, 町田東一 : パソコンBASIC数値計算 I, pp.21-29, 東海大出版会(1986)
- 37) 小松幸雄 : トラクタ深耕による土壌の反転移動状態の調査について, 農業機械学会東北支部報, 8, pp.12-17(1961)
- 38) 近藤次郎 : 数学モデル, pp.140-147, 丸善(1983)
- 39) 久津那浩三, 新村善男, 飯田周治, 他 1 名 : 耕耘方法と碎土効率に関する研究, 富山県農業試験場報告, 2, p.63(1967)

- 40) 久津那浩三, 新村善男, 上森 晃 : 耕耘碎土に関する研究(第1報), 土肥誌, 45(1), pp.37-41(1974)
- 41) L. マゼル (佐藤平八 訳) : 確率・統計・ランダム過程, pp.86-90, 森北出版(1980)
- 42) 真壁 肇 : ワイブル確率紙の使い方, pp.13-29, 日本規格協会(1978)
- 43) 増田正三, 田中孝, 岡本紀男, 他1名 : ロータリ耕耘における土性と所要動力に関する, 農業機械学会関西支部報, 25, p.61(1968)
- 44) 松尾昌樹 : ロータリ・アップカット耕うん方式に関する研究(第1報), 農機誌, 24(3), pp.129-133(1962)
- 45) 松尾昌樹 : ロータリ・アップカット耕うん方式に関する研究(第2報), 農機誌, 24(4), pp.203-206(1962)
- 46) 南 晴敬, 寺田 優, 宮下高夫, 他1名 : 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, p.28(1987)
- 47) 三浦恭志郎, 森本國夫 : レーキ付きアップカット・ロータリについて, 農業機械学会第40回総会講演要旨, p.44(1981)
- 48) 三輪茂雄 : 粉粒体工学, pp.90-115, 朝倉書店(1972)
- 49) 森泉昭治, 林 尚孝 : 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), pp.17-24(1988)
- 50) 森泉昭治, 林 尚孝, 山森主税 : ロータリ耕うんにおける耕土の移動に関する研究(第1報), 農作業研究, 24(3), pp.252-258(1989)
- 51) 森泉昭治, 林 尚孝, 山森主税 : ロータリ耕うんにおける耕土の移動に関する研究(第2報), 農作業研究, 25(1), pp.13-23(1990)
- 52) 森泉昭治, 林 尚孝, 山森主税 : ロータリ耕うんにおける耕土の移動に関する研究(第3報), 農作業研究, 25(2), pp.142-147(1990)
- 53) 森本國夫, 三浦恭志郎, 八木 茂, 他1名 : 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), pp.375-378(1983)
- 54) 守島正太郎 : 新版農業機械学, pp.96-98, 朝倉書店(1975)
- 55) 森 周六, 古賀茂男 : 畦立耕における碎土程度の表示法について, 農業機

- 械学会第12回総会講演要旨, p.19(1953)
- 56) 守谷栄一 : 数理統計, pp.63-107, 日本理工出版会(1985)
- 57) 守屋高雄, 月館鉄夫, 川村五郎 : ハロープラウによる水田の碎土均平試験, 農業機械学会東北支部報, 9, pp.13-16(1962)
- 58) 日本規格協会 : JIS Z8601 標準数, 日本規格協会(1978)
- 59) 日本規格協会 : JIS Z8801 標準ふるい, 日本規格協会(1982)
- 60) 農業機械学会編 : 農業機械ハンドブック, p.189, コロナ社(1957)
- 61) 農業機械学会編 : 農業機械・施設試験方法便覧 I, pp.218-220, 農業機械学会(1977)
- 62) 農業機械学会編 : 新版農業機械ハンドブック, pp.408-434, コロナ社(1984)
- 63) 農林省農林水産技術会議事務局 : 水稻直播栽培地帯別耕種基準(1963)
- 64) 農林省農林水産技術会議事務局 : 中大型機械化水稻直播栽培地帯耕種指針(1964)
- 65) 農林省農政局肥料機械課 : 農機具情報, 447, p.14(1968)
- 66) 農作業試験法編集委員会編 : 農作業試験法, pp.34-42, 農業技術協会(1987)
- 67) 岡部正昭, 上原洋一, 増田俊博, 他5名 : 各種耕うん装置の性能特性(1), 農業機械学会九州支部誌, 33, pp.1-6(1984)
- 68) 大塚一雄, 鈴木計司, 塩原比佐雄 : 麦の出芽苗立確保のための播種前後の作業方法, 日本農作業研究会第20回講演要旨集, pp.3-4(1985)
- 69) ラムバンハイ, 坂井純 : ロータリ耕うん用なた刃の片刃と両刃の耕うん特性に関する研究(第1報), 農機誌, 45(1), pp.49-54(1983)
- 70) Russell, E. W., Tamhane, R. V. : The determination of the size distribution of soil clods and crumbs, J. Agr. Sci., 30, pp.210-234(1940)
- 71) 坂井純, 柴田安雄 : トラクタ用ロータリ耕なた刃の配列理論, 農機誌, 40(1), pp.29-40(1977)

- 72) Saqib, G. S., Wright, M. E., Way, T. R. : Clod size reduction by vibratory diggers, Pap. ASAE, 82, p.16(1982)
- 73) 渋沢 栄, 川村 登 : 深耕ロータリ耕うんに関する基礎的研究(第4報), 農機誌, 45(1), pp.43-48(1983)
- 74) 渋沢 栄, 川村 登 : 深耕用アップカット・ロータリ耕うんづめの研究(第1報), 農機誌, 46(3), pp.325-331(1984)
- 75) 渋沢 栄, 川村 登 : 深耕用アップカット・ロータリ耕うんづめの研究(第2報), 農機誌, 46(4), pp.459-464(1985)
- 76) 渋沢 栄, 川村 登 : 深耕用アップカット・ロータリ耕うんづめの研究(第3報), 農機誌, 47(1), pp.11-18(1985)
- 77) 渋沢 栄, 川村 登 : 深耕用アップカット・ロータリ耕うんづめの研究(第4報), 農機誌, 47(2), pp.159-167(1985)
- 78) 渋沢 栄, 片岡 崇, 近江谷和彦, 他1名 : ロータリ耕うんにおける土塊の形成過程(第1報), 農機誌, 52(1), pp.69-75(1990)
- 79) 渋沢 栄, 片岡 崇, 近江谷和彦, 他1名 : 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), pp.3-9(1990)
- 80) 新村善男, 上森晃, 久津那浩三 : 耕耘碎土に関する研究(第2報), 土肥誌, 45(1), pp.42-46(1974)
- 81) 新農林社編 : '90農業機械年鑑, pp.70-102, 新農林社(1989)
- 82) 庄司英信, 佐野文彦, 木谷 収 : 農業機械学概論, pp.130-138, 養賢堂(1984)
- 83) Singh, M. O., Stephenson, K. Q., Rotz, C. A. : Sorting potatoes, stones, and clods by resonance detection, Pap. ASAE (ASAE and CASE Summer Meet), 79, p.22(1979)
- 84) 園村光雄, 増田康雄 : 碎土兼用犁の性能試験, 農業機械学会関西支部報, 22, pp.29-31(1965)
- 85) 鈴木一夫, 小松 実, 川口請敬 : 耕うん刃の碎土性について一切削速度と碎土性について一, 農業機械学会関西支部報, 28, p.61(1970)

- 86) 鈴木一夫, 曾我部明 : 土壌状態による碎土性 - 含水比との関連 -, 農業機械学会関西支部報, 28, p.59(1970)
- 87) 田中 孝, 小松 実, 西田寿美生, 他 1 名 : 含水比の差による碎土能の測定について, 農業機械学会関西支部報, 36, pp.55-56(1974)
- 88) Terpstra, R. : Germination of weed seeds in relation to clod size and their position in the clod, RAPPORT LH GRONDBEWERKING WAGENINGEN, NR.5, p.15(1978)
- 89) 東京大学農業工学教室編 : 農業機械実験便覧, pp.223-225, 養賢堂(1966)
- 90) 土屋功位 : 動力耕耘機の碎土性能(碎土率)について, 農機誌, 15(2), pp.59-62(1954)
- 91) 常松 栄, 吉田富穂, 奥田教海 : 自動耕耘機に於ける土壌の変位について(第 1 報), 農機誌, 17(1), pp.11-16(1955)
- 92) 常松 栄, 吉田富穂, 奥田教海 : 自動耕耘機に於ける土壌の変位について(第 2 報), 農機誌, 17(1), pp.78-82(1955)
- 93) 上山 泰 : 種粃のジベレリン処理による乾田深播水稻の出芽促進効果に及ぼす覆土の土塊の大きさの影響, 神戸大学農学部研究報告, 12(2), pp. 167-171(1977)
- 94) 梅田重夫 : ロータリ式耕耘爪の耕耘作用の研究(第 1 報), 農機誌, 19(2), pp.62-66(1957)
- 95) Van Bavel, C.H.M : Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation, Soil Sci. Am. Proc., 14, pp.20-23(1949)
- 96) 八木 茂 : 農業機械化・昭和からの発展 3. 耕うん・整地用作業機, 機械化農業 9 月号, pp.63-68, 新農林社(1989)
- 97) Zaltzman, A., Feller, R., Mizrach, A., Schmilovitch, Z. : Separating potatoes from clods and stones in a fluidized bed medium, Trans. ASAE, 26(4), PP.987-990(1983)

98) Zhao, C. Z., Zhao, W. S. : Effect of soil compaction and clod distribution on the growth of rice, ACTA PEDOLOGICAL SINICA, 16(3), pp.265-276(1979)

謝 辞

本論文の作成に当たり，終始 懇切な御指導と貴重な御助言を賜った筑波大学教授 小中俊雄先生に厚くお礼申し上げます。また，本論文の作成に当って御校閲と御教示を賜った筑波大学教授 相原良安先生，同教授 吉崎 繁先生，同教授 多田 敦先生，同教授 永塚鎮男先生に深謝致します。

本研究を始める端緒を与えて下さり，絶えず熱心な御指導と有益な御助言を頂いた茨城大学教授 林 尚孝先生に心より厚く謝意を表します。1983年の試験は農業機械化研究所の附属農場，それ以降の試験は茨城大学農学部附属農場で行ったが，その際に御協力・御援助を頂いた唐橋 需 室長(現 農業研究センター畑作機械化研究室)，森本國夫 室長(現 生研機構原動機第2試験室)の両氏および本学附属農場教授 大崎和二先生，元業務係長 日下部三郎氏に感謝を申し上げます。また，試験の実施やデータの整理には，茨城大学農学部文部技官 木村昌司・高橋雅之・日下部住子・池田正則の諸氏および元事務補佐員 吉田弘子氏に御協力頂いた。ここに記して謝意を表します。

なお，本試験は1983～1988年の間に実施したが，その当時農業機械研究室の大学院生であった弓矢智生(昭和59年卒)，渥美達矢(昭和62年卒)，嶋田 浩(昭和62年卒)，山森主税(平成2年卒)の諸君をはじめ多くの大学院生，学部生の御協力を得て行われた。記して謝意を表する次第である。

用語の説明

1. 土壌変位 : 従来の文献によく出てくるが、土壌の移動とほぼ同じ意味に使われている。
2. 積算篩上質量50%土塊径 : 篩別により篩上に残った土塊質量を土塊径の大きい方から積算し、その値が全土塊質量の50%になるところの土塊径。実測定での篩の使用個数は4～8個であるので、この土塊径は一般的に計算でしか求め得ない。
3. 格子状分布 : 正方形の四隅に球の射影である円の中心がくる配列(40頁の図3-2-1参照)。
4. 最密分布 : 正三角形の頂点に球の射影である円の中心がくる配列(40頁の図3-2-1参照)。
5. 3軸径 : 土塊の3方向径の算術平均値(41頁の図3-2-2参照)。
6. 等体積球相当径(等体積球径) : 土塊と等体積を有する球の直径。
7. 篩別径 : 土塊の3方向径のうち最大径が正方形(篩の目開き)に対し垂直となり、中間径が正方形の対角線方向に位置した時の一辺の長さ(第3章2節のシミュレーションでの定義、42頁の図3-2-3参照)
8. 平均質量(直)径 : 平均土塊径の内容を付加した表現、つまり質量基準で考えた多数の土塊の平均径を意味している。その定義は42頁の(14)式に示した。従来の平均重量直径と同じ。
9. 土塊径平均値 : 何個かの平均質量径を、さらに算術平均した値。(45頁参照)
10. 土塊切断の影響値 : 採土に伴う土塊切断により、元の土塊径が小さくなった割合(%)。その定義は45頁の(16)式で示した。
11. 両切断土塊 : 採土サンプルとセパレータの両方により切断を受

けた土塊(52頁の図3-2-10参照)。

12. 完全土塊 : 採土により切断されない土塊。
13. 一括採土 : 深さ0~15cmまでの土塊を一括して採土する方法。
14. 分離採土 : セパレータを使用して深さ5cmごとに3層の土塊を分離して採土する方法。
15. 土壌の反転性 : 耕うん時における土壌の上下方向(深さ方向)の移動を表す用語。
16. 土壌の電気伝導度 : 土壌に蒸留水を加え, 振とう・ろ過した溶液の電気伝導度(88~89頁参照)。
17. EC値 : 電気伝導度測定値の略称。
18. 原土壌 : 圃場と同じ自然のままの土壌。下記のKCl混入土との対応で用いている。
19. KCl混入土 : 原土壌にKClを混合し, その電気伝導度を非常に高くした土壌。

図 表 一 覧

【 表 】

表 2-3-1	土塊の採取・篩分け所要時間	11頁
表 2-3-2	現行篩別法の体系（篩の目開き）	12頁
表 3-1-1	試験条件の概要	20頁
表 3-1-2	供試ロータリ	20頁
表 3-1-3	採土法と篩別法	21頁
表 3-1-4	測定結果の一例	26頁
表 3-1-5	計算過程の例示	27頁
表 3-1-6	Rayleigh変換後の相関関係	28頁
表 3-1-7	相関係数の頻度分布	28頁
表 3-1-8	近似式からのばらつき	29頁
表 3-1-9	各分布式における相関係数の頻度割合 — 沖積地水田 —	31頁
表 3-1-10	各分布式における相関係数の頻度割合 — 洪積台地畑 —	31頁
表 3-1-11	各分布式における相関係数の頻度割合 — 洪積台地水田 —	32頁
表 3-1-12	相関係数の平均と変動係数	33頁
表 3-1-13	各分布式の平均と分散	35頁
表 3-1-14	標本平均，標準偏差および積算篩上質量50%土塊径	35頁
表 3-2-1	フローチャートの記号とサブルーチン名一覧	43頁
表 3-2-2	シミュレーションによる採土サンプルラ切断の計算結果例	58頁
表 3-2-3	採土サンプルラ切断の影響 — 格子状分布 —	59頁
表 3-2-4	採土サンプルラ切断の影響 — 最密分布 —	60頁
表 3-2-5	セパレータ切断の影響	61頁
表 3-2-6	両切断の影響 — 格子状分布 —	63頁
表 3-2-7	両切断の影響 — 最密分布 —	64頁
表 3-3-1	試験条件	69頁

表 3-3-2	層別に対する平均土塊径の t 検定結果 — ダウカットロータリ —	72頁
表 3-3-3	層別に対する平均土塊径の t 検定結果 — アップカットロータリ —	73頁
表 3-3-4	採土サンプル径と採土法要因に対する土塊径の分散分析	75頁
表 3-3-5	採土サンプル径と層別要因の分散分析 — 1988年試験 —	78頁
表 3-3-6	採土法と採土サンプル径要因の分散分析 — 1988年試験 —	78頁
表 3-3-7	メートル系・インチ系篩による各種土塊径の t 検定結果	80頁
表 3-3-8	篩の個数を削減した場合の土塊質量	81頁
表 3-3-9	篩の個数削減による相関係数, 平均土塊径などの変化 — 沖積地水田の例 —	82頁
表 3-3-10	篩の個数削減による相関係数, 平均土塊径の変化 — 洪積台地畑の例 —	84頁
表 4-1-1	測定器械および測定数	89頁
表 4-1-2	試料の作製法	90頁
表 4-1-3	実験 I における各 EC 値と偏差割合	92頁
表 4-1-4	実験 II における各 EC 値と偏差割合	92頁
表 4-1-5	耕うん前各層の移動割合推定式	95頁
表 4-1-6	KCl 混入土の EC 値と移動割合の推定範囲	97頁
表 4-2-1	試験法の概要	102頁
表 4-2-2	各圃場における土壌の EC 値平均と変動係数 — 方眼採土 —	104頁
表 4-2-3	各圃場における土壌の EC 値平均と変動係数 — 集中採土 —	105頁
表 4-2-4	耕うん前各層の EC 値と標準偏差 — ダウンカットロータリ試験 —	106頁
表 4-2-5	耕うん前後の層別 EC 値合計の偏差割合 — ダウンカットロータリ試験 —	109頁

表 4-2-6	耕うん前各層のEC値と標準偏差 — アップカットロータリ試験 —	111頁
表 4-2-7	アップカットロータリによる耕土の各測定値点の 移動割合 — 連立方程式による推定 —	114頁
表 4-2-8	アップカットロータリによる耕土の各測定地点の 移動割合 — 不等式による推定 —	115頁
表 4-2-9	耕うん前後の層別EC値合計の偏差割合 — アップカットロータリ試験 —	116頁
表 4-3-1	試験法の概要	120頁
表 4-3-2	各区の耕うんピッチと耕うん速度	121頁
表 4-3-3	耕うん前各層のEC値と標準偏差	123頁
表 4-3-4	測定地点 $b_1 \sim b_5$ 間のEC値平均と変動係数	125頁
表 4-3-5	移動・残存割合の各区間の t 検定結果	127頁

【 図 】

図 1-2-1	ロータリ耕とプラウ耕の碎土・反転性	2頁
図 1-3-1	レーキ付きアップカットロータリ	4頁
図 3-1-1	供試採土サンプル	22頁
図 3-1-2	Weibull分布曲線	25頁
図 3-1-3	土塊径 x と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ との関係	27頁
図 3-1-4	土塊分布の代表的な形	34頁
図 3-2-1	土塊球の各種配列	40頁
図 3-2-2	切断土塊の X, Y, Z 方向の径	41頁
図 3-2-3	篩別径	42頁
図 3-2-4	切断土塊の X 方向径と体積の関係	45頁

図3-2-5	採土サンブラ切断プログラムのフローチャート概略 — 格子状分布 —	46頁
図3-2-6	セパレータによる土塊切断の状態	47頁
図3-2-7	セパレータ切断プログラムのフローチャート概略 — 格子状分布 —	49頁
図3-2-8	セパレータ切断プログラムのフローチャート概略 — 最密分布 —	50頁
図3-2-9	上・下方セパレータと土塊との相対位置関係	51頁
図3-2-10	両切断時における土塊の各種形状	52頁
図3-2-11	両切断プログラムのフローチャート概略 — 格子状分布 —	54頁
図3-2-12	サブルーチンRYOSETUKEIのフローチャート概略	55頁
図3-2-13	回転方式による篩別径	56頁
図3-2-14	接線方式による篩別径	56頁
図3-2-15	両切断プログラムのフローチャート概略 — 最密分布 —	57頁
図3-3-1	ロータリ耕うん後の層別平均土塊径 — 沖積地水田 —	71頁
図3-3-2	ロータリ耕うん後の層別平均土塊径 — 洪積台地水田・畑 —	71頁
図3-3-3	採土サンブラ径別の平均土塊径 — 1985年試験 —	74頁
図3-3-4	採土法別の平均土塊径 — 1985年試験 —	74頁
図3-3-5	採土サンブラ径別の平均土塊径 — 1988年試験 —	76頁
図3-3-6	採土法別の平均土塊径 — 1988年試験 —	76頁
図3-3-7	土塊径 x と $\sqrt{-\ln R_1(x)}$ との関係の例 (表3-3-8に対応)	83頁
図4-1-1	KCl溶液の濃度と電気伝導度との関係	88頁
図4-1-2	原土壌1kgに対しKCl混合重量を変化させた 場合の混入土のEC値	91頁
図4-1-3	耕土の移動割合推定式の各種記号	93頁
図4-2-1	1試験区の大きさと耕うん後の測定地点	102頁

図 4-2-2	耕うん後のEC値の層別分布 —ダウンカットロータリー—	107頁
図 4-2-3	ダウンカットロータリー耕うんによる耕土の移動割合 —連立1次方程式による推定—	109頁
図 4-2-4	ダウンカットロータリー耕うんによる耕土の移動割合 —不等式による推定—	110頁
図 4-2-5	耕うん後のEC値の層別分布 —アップカットロータリー—	112頁
図 4-3-1	各区の配置・大きさと耕うん後の測定地点	121頁
図 4-3-2	耕うん後EC値の層別分布	124頁
図 4-3-3	耕うん前上層から耕うん後各層への移動・残存割合	126頁
図 5-3-1	土塊分布の測定・分析法の概略	137頁
図 5-3-2	電気伝導度法による土壌移動の測定・分析法の概略	139頁

資 料 I (第3章2節のプログラム)

```

10 '*****
20 '** 採土サンブラによる土塊切断の影響 **
30 '** 格子状分布, 採土サンブラ径100-500mm **
40 '** SAVE 'SANPCUT1' **
50 '*****
60 '
70 PI=3.1415923#:RNG=10:DIM C(5,7,3),TLVD(121,3),TVD(3),TV(3)
80 '--- 係数の呼び出し
90 OPEN 'A:CLOD2.DAT' FOR INPUT AS #1
100 FOR I=1 TO 5:SD=I*100:FOR J=1 TO 7:PD=2^J:IF (PD/SD)>1 THEN 130
110 FOR P1=0 TO 3:INPUT #1,C(I,J,P1):NEXT P1
120 NEXT J
130 NEXT I
140 IF EOF(1) THEN 150
150 CLOSE
160 '
170 LPRINT TAB(10);'*** サンブラ切断による土塊径への影響 -格子状分布 - **
*' :LPRINT :LPRINT
180 '---- SD:サンブラ径, SR:サンブラ半径, PD:土塊径, PR:土塊半径 ----
190 ' N:サンブラ切断なしの土塊数, CD(K):各種の径, VS:切断土塊体積,
200 ' TVD(L,K):各種土塊重量平均径, TVD(K):各種土塊の体積*径の総和,TV(K)
:土塊の体積総和, XO:土塊中心までのX方向距離, YO:土塊中心までのY方向距
離
210 '
220 FOR I=1 TO 5:SD=I*100:SR=SD/2
230 LPRINT TAB(3);' *** サンブラ径=';SD;'mm';' ***':LPRINT
240 FOR J=1 TO 7:PD=2^J:PR=PD/2:VL=4/3*PI*PR^3:TP=PR*COS(PI/4)
250 IF PD>=SD THEN 680
260 LPRINT TAB(5);' ** 土塊径 =';PD;' **';' -----';TIMES$:LPRINT
270 LPRINT TAB(10);'各種平均径';TAB(28);'計算平均径(mm)';TAB(47);'標準偏
差';TAB(62);'土塊径-計算の差';' サンブラ切断の影響(%)':LPRINT:P
RINT
280 PRINT '** SD=';SD;', PD=';PD;'- - - -';DATES$;':':TIMES$:PRINT
290 OX=(SR#PD)*PD+3*PR:MIN=SR-PR:MAX=SR+PR:STU=PR/RNG:L=0:ERASE TLVD:DIM
TLVD(121,3)
300 '
310 FOR X=0 TO RNG
320 FOR Y=0 TO RNG:N=0:ERASE TVD,TV
330 L=L+1
340 PRINT 'L=';L;SPC(2);
350 '
360 FOR X1=-OX TO OX STEP PD:XO=X1-X*STU
370 FOR Y1=-OX TO OX STEP PD:YO=Y1-Y*STU
380 '----- 土塊のサンブラ切断の体積と土塊径 -----
390 XI=SQR(XO*XO+YO*YO):'----- 土塊中心-サンブラ-中心間距離
400 IF XI<=MIN THEN 450
410 IF XI>=MAX THEN 460
420 D=SR+PR-XI:A1=2*SQR(PR*PR-(D-PR)^2)
430 GOSUB *SANPSETUKEI
440 GOSUB *SEKISAN1:GOTO 460
450 N=N+1
460 NEXT Y1
470 NEXT X1
480 KOSU=N:VS=VL:CD(1)=PD:CD(2)=PD:CD(3)=PD
490 GOSUB *SEKISAN2
500 FOR K=1 TO 3:TLVD(L,K)=TVD(K)/TV(K):NEXT K
510 NEXT Y
520 NEXT X
530 '---- 土塊径平均値, 切断の影響計算 ----
540 CD$(1)='三軸径':CD$(2)='等体積':CD$(3)='し別径'
550 FOR K=1 TO 3
560 SIGMAX#=0:SIGMAX2#=0
570 FOR S=1 TO L
580 SIGMAX#=SIGMAX#+TLVD(S,K):SIGMAX2#=SIGMAX2#+(TLVD(S,K)^2)

```

```

590     NEXT S
600     AVERAGE=SIGMAX#/L:AVERAGE(J,K)=AVERAGE
610     STD=(SIGMAX2#-(SIGMAX#^2)/L)/(L-1)
620     IF STD<0 THEN STD=0
630     STD=SQR(STD): STD(J,K)=STD
640     SA=PD-AVERAGE:EIKYO=(PD-AVERAGE)/PD*100:EIKYO=INT(EIKYO*100+.5)/10
        O:SA(J,K)=SA:EIKYO(J,K)=EIKYO
650     LPRINT TAB(12);CD$(K);TAB(28);AVERAGE;TAB(43);STD;TAB(57);SA;TAB(7
        5);EIKYO:LPRINT
660     NEXT K:LPRINT
670     NEXT J
680     FOR K=1 TO 3
690         LPRINT TAB(5);'** ':CD$(K);' **':LPRINT
700         LPRINT TAB(11);'土塊径(mm)';TAB(24);'計算平均径(mm)';TAB(44);'標準
            偏差';TAB(59);'土塊径-計算の差';' サンプル切断の影響(%)':LPRINT
710         FOR J=1 TO 7:PD=2^J
720             IF PD>=SD THEN 750
730             LPRINT TAB(12);PD;TAB(23);AVERAGE(J,K);TAB(39);STD(J,K);TAB(53);SA
            (J,K);TAB(70);EIKYO(J,K)
740         NEXT J:LPRINT
750     NEXT K:LPRINT
760     LPRINT :LPRINT :LPRINT
770     NEXT I
780     END
790     '--- サンプル切断土塊の体積. 目開き ---
800     *SANPSETUKEI
810     VS=C(I,J,0)+C(I,J,1)*D+C(I,J,2)*D*D+C(I,J,3)*D*D*D
820     XA=(SR*SR-PR*PR+XI*XI)/2/XI:XB=XA-XI:XA=INT(XA*10000)/10000:SR=INT(SR
        *10000)/10000:YB=SQR(SR*SR-XA*XA)
830     IF D>=PR THEN A1=PD
840     IF XA>XI THEN A2=PD ELSE A2=2*YB
850     CD(1)=(D+A1+A2)/3
860     IF VS>0 THEN CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3) ELSE CD(2)=0
870     IF -PR<=XB AND XB<=-TP THEN CD(3)=YB*SQR(2)
880     IF -TP<XB AND XB<TP THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
890     IF TP<=XB AND XB<=PR THEN CD(3)=PD
900     RETURN
910
920     *SEKISAN1
930     FOR K=1 TO 3
940         TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K):TV(K)=TV(K)+VS
950     NEXT K
960     RETURN
970     *SEKISAN2
980     FOR K=1 TO 3
990         TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K)*KOSU:TV(K)=TV(K)+VS*KOSU
1000    NEXT K
1010    RETURN

```

```

10 *****
20 ** 採土サンブラによる土塊切断の影響 **
30 ** 最密状分布, 採土サンブラ径 100 - 500 mm **
40 ** SAVE 'SANPCUT2' **
50 *****
60
70 PI=3.1415923#:RNG=10:DIM C(5,7,3),TLVD(121,3),TVD(3),TV(3)
80 '--- 係数の呼び出し
90 OPEN 'A:CLOD2.DAT' FOR INPUT AS #1
100 FOR I=1 TO 5:SD=I*100:FOR J=1 TO 7:PD=2^J:IF (PD/SD)>1 THEN 130
110 FOR P1=0 TO 3:INPUT #1,C(I,J,P1):NEXT P1
120 NEXT J
130 NEXT I
140 IF EOF(1) THEN 150
150 CLOSE
160
170 LPRINT TAB(10);'*** サンブラ切断による土塊径への影響 -最密分布 - ***'
:LPRINT :LPRINT
180 '---- SD:サンブラ径, SR:サンブラ半径, PD:土塊径, PR:土塊半径----
190 ' N,M:セバレタ切断なしの土塊総数, CD(K):各種の径, VS:切断土塊体積,
200 ' TVD(L,K):各種土塊重量平均径, TVD(K):各種土塊の体積*径の総和,TV(K):
土塊体積総和
210 ' XO:土塊中心までのX方向距離, YO:土塊中心までのY方向距離
220
230 FOR I=1 TO 5:SD=I*100:SR=SD/2
240 LPRINT TAB(3);' *** サンプ 径=';SD;'mm';' ***':LPRINT
250 FOR J=1 TO 7:PD=2^J:PR=PD/2:VL=4/3*PI*PR^3:TP=PR*COS(PI/4)
260 IF PD>=SD THEN 850
270 LPRINT TAB(5);' ** 土塊径 =' ;PD;' **';'-----';TIME$:LPRINT
280 LPRINT TAB(10);'各種平均径';TAB(28);'計算平均径(mm)';TAB(47);'標準偏
差';TAB(62);'土塊径-計算の差';' サンブラ切断の影響(%)':LPRINT:P
RINT
290 PRINT '** SD=';SD;' , PD=';PD;'----';DATE$;' ':TIME$:PRINT
300 OX=FIX(SR/PD)*PD+3*PR:SQ3P=SQR(3)*PR:YX=FIX(SR/SQ3P)*SQ3P+SQ3P:MIN=S
R-PR:MAX=SR+PR:STU=PR/RNG:L=0:ERASE TLVD:DIM TLVD(121,3)
310
320 FOR X=0 TO RNG
330 FOR Y=0 TO RNG:N=0:M=0:ERASE TVD,TV
340 L=L+1:PRINT 'L=';L;SPC(2);
350 FOR X1=-OX TO OX STEP PR:XO=X1-X*STU
360 HAX=(X1/PR)/2:HAX1=FIX(HAX):HAY=FIX(SR/SQ3P)/2:HAY1=FIX(HAY)
370 FOR Y1=-YX TO YX STEP (2*SQ3P)
380 '----- 一段目配列状土塊のサンブラ切断の体積と土塊径-----
390 IF HAY<>HAY1 THEN 420
400 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1-Y*STU ELSE YO=Y1+SQ3P-Y*STU
410 GOTO 430
420 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1+SQ3P-Y*STU ELSE YO=Y1-Y*STU
430 XI=SQR(XO*XO+YO*YO) : '----- 土塊中心-サンブラ中心間距離
440 IF XI<=MIN THEN 490
450 IF XI>=MAX THEN 500
460 D=SR+PR-XI:A1=2*SQR(PR*PR-(D-PR)^2)
470 GOSUB *SANPSETUKEI
480 GOSUB *SEKISAN1:GOTO 500
490 N=N+1
500 '----- 二段目配列状土塊のサンブラ切断の体積と土塊径-----
510 XO2=X1+PR-X*STU:HAX=((X1+PR)/PR)/2:HAX1=FIX(HAX)
520 IF HAY<>HAY1 THEN 550
530 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1+SQ3P-Y*STU ELSE YO=Y1-Y*STU
540 GOTO 560
550 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1-Y*STU ELSE YO=Y1+SQ3P-Y*STU
560 XI=SQR(XO2*XO2+YO*YO)
570 IF XI<=MIN THEN 620
580 IF XI>=MAX THEN 630
590 D=SR+PR-XI:A1=2*SQR(PR*PR-(D-PR)^2)
600 GOSUB *SANPSETUKEI
610 GOSUB *SEKISAN1:GOTO 630
620 M=M+1
630 NEXT Y1
640 NEXT X1
650 KOSU=N+M:VS=VL:CD(1)=PD:CD(2)=PD:CD(3)=PD

```

```

660      GOSUB *SEKISAN2:'----完全土塊の体積*径*個数
670      FOR K=1 TO 3:TLVD(L,K)=TVD(K)/TV(K):NEXT K
680      NEXT Y
690      NEXT X
700      '---- 土塊径平均値, 切断の影響計算 ----
710      CD$(1)='三軸径':CD$(2)='等体積':CD$(3)='し別径'
720      FOR K=1 TO 3
730          SIGMAX#=0:SIGMAX2#=0
740          FOR S=1 TO L
750              SIGMAX#=SIGMAX#+TLVD(S,K):SIGMAX2#=SIGMAX2#+(TLVD(S,K)^2)
760          NEXT S
770          AVERAGE=SIGMAX#/L:AVERAGE(J,K)=AVERAGE
780          STD=(SIGMAX2#-(SIGMAX#^2)/L)/(L-1)
790          IF STD<0 THEN STD=0
800          STD=SQR(STD):STD(J,K)=STD
810          SA=PD-AVERAGE:EIKYO=(PD-AVERAGE)/PD*100:EIKYO=INT(EIKYO*100+.5)/10
820          LPRINT TAB(12);CD$(K);TAB(28);AVERAGE;TAB(43);STD;TAB(57);SA;TAB(7
830          5);EIKYO:LPRINT
840      NEXT K:LPRINT
850      NEXT J
860      FOR K=1 TO 3
870          LPRINT TAB(5);'*** ':CD$(K);' ***':LPRINT
880          LPRINT TAB(11);'土塊径(mm)':TAB(24);'計算平均径(mm)':TAB(44);'標準
890          偏差':TAB(59);'土塊径-計算の差':' サンプル切断の影響(%)':LPRINT
900          FOR J=1 TO 7:PD=2^J
910              IF PD>=SD THEN 920
920              LPRINT TAB(12);PD;TAB(23);AVERAGE(J,K);TAB(39);STD(J,K);TAB(53);SA
930              (J,K);TAB(70);EIKYO(J,K)
940          NEXT J:LPRINT
950      NEXT K:LPRINT
960      LPRINT :LPRINT :LPRINT
970      NEXT I
980      '---- サンプル切断土塊の体積. 目開き ----
990      *SANPSETUKEI
1000     VS=C(I,J,0)+C(I,J,1)*D+C(I,J,2)*D*D+C(I,J,3)*D*D*D
1010     XA=(SR*SR-PR*PR+XI*XI)/2/XI:XB=XA-XI:XA=INT(XA*10000)/10000:SR=INT(SR
1020     *10000)/10000:YB=SQR(SR*SR-XA*XA)
1030     IF D>=PR THEN A1=PD
1040     IF XA>XI THEN A2=PD ELSE A2=2*YB
1050     CD(1)=(D+A1+A2)/3
1060     IF VS>0 THEN CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3) ELSE CD(2)=0
1070     IF -PR<=XB AND XB<=-TP THEN CD(3)=YB*SQR(2)
1080     IF -TP<XB AND XB<TP THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
1090     IF TP<=XB AND XB<=PR THEN CD(3)=PD
1100     RETURN
1110     *SEKISAN1
1120     FOR K=1 TO 3
1130         TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K):TV(K)=TV(K)+VS
1140     NEXT K
1150     RETURN
1160     *SEKISAN2
1170     FOR K=1 TO 3
1180         TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K)*KOSU:TV(K)=TV(K)+VS*KOSU
1190     NEXT K
1200     RETURN

```

```

10 '*****
20 '** セパレータのみの切断 ,格子状分布,セパレータ間隔50-150mm **
30 '** SAVE 'SEPA CUT1' **
40 '*****
50 '
60 '---- SPL:セパレータ間隔, PD:土塊径, PR:土塊半径----
70 PI=3.1415923#:DIM TVD(20,3)
80 LPRINT TAB(10);'*** セパレータによる土塊切断の影響,格子状分布 ***':LPRINT
90 '
100 FOR SPL=50 TO 150 STEP 50
110 LPRINT TAB(3);'** セパレータ間隔:';SPL;'mm':LPRINT
120 NEXT Z
130 IF PD>=SPL THEN 920
140 LPRINT TAB(5);'** 土塊径=';PD;'**':LPRINT
150 LPRINT TAB(10);'各種平均径';TAB(28);'計算平均径(mm)';TAB(52);'標準偏
差';TAB(70);'土塊径-計算の差';'セパレータの影響(%)':LPRINT
160 PRINT '** SPL=';SPL;' PD=';PD;'----';TIMES$
170 ZN=SPL/PD:ZN2=SPL#PD:ZNS=ZN-ZN2:TP=PR#COS(PI/4):ZST=PD/20:L=0:ERASE
TVD:DIM TVD(20,3)

180 '
190 FOR Z=0 TO 19
200 L=L+1
210 IF Z>=1 THEN 360
220 '-----Z=0, TNO:切断なしの土塊数, CD(K):各種の径, VS:切断土塊体
積, TVD(L,K):各種土塊平均径, SPL:セパレータ間隔, ZST:セパレータの
1ステップ距離
230 '----- VM1:完全土塊体積*径*個数, VM2(K);VM3(K):切断土塊体積*径
*個数, V1;V2;V3:左記対応の体積
240 IF ZN<>ZN2 THEN 270
250 FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=PD:NEXT K
260 GOTO 660
270 TNO=ZN2:VM1=VL*PD*TNO:V1=VL*TNO
280 LS=PD*ZNS
290 GOSUB *SEPASETUKEI
300 V2=VS
310 FOR K=1 TO 3:VM2(K)=VS*CD(K):NEXT K
320 FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VM1+VM2(K))/(V1+V2):NEXT K
330 GOTO 660
340 '
350 '-----Z>1の場合 -----
360 IF ZN<>ZN2 THEN 430
370 TNO=ZN2-1:VM1=VL*PD*TNO:V1=VL*TNO:LS=PD-Z*ZST
380 GOSUB *SEPASETUKEI
390 FOR K=1 TO 3:VM2(K)=VS*CD(K)*2:NEXT K
400 V2=VS*2
410 FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VM1+VM2(K))/(V1+V2):NEXT K
420 GOTO 660
430 HAN=PD*ZNS+Z*ZST
440 IF HAN>=PD THEN 560
450 TNO=ZN2-1:VM1=VL*PD*TNO:V1=VL*TNO
460 LS=PD-Z*ZST:'---LOWER
470 GOSUB *SEPASETUKEI
480 V2=VS
490 FOR K=1 TO 3:VM2(K)=VS*CD(K):NEXT K
500 LS=PD*ZNS+Z*ZST:'---UPPER
510 GOSUB *SEPASETUKEI
520 V3=VS
530 FOR K=1 TO 3:VM3(K)=VS*CD(K):NEXT K
540 FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VM1+VM2(K)+VM3(K))/(V1+V2+V3):NEXT K
550 GOTO 660
560 TNO=ZN2:VM1=VL*PD*TNO:V1=VL*TNO
570 LS=PD-Z*ZST:'---LOWER
580 GOSUB *SEPASETUKEI
590 FOR K=1 TO 3:VM2(K)=VS*CD(K):NEXT K
600 V2=VS
610 LS=HAN-PD:'---UPPER
620 GOSUB *SEPASETUKEI
630 FOR K=1 TO 3:VM3(K)=VS*CD(K):NEXT K
640 V3=VS

```

```

650     FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VM1+VM2(K)+VM3(K))/(V1+V2+V3):NEXT K
660     NEXT Z
670
680     '----- √W 準偏差計算,CUTTING EFFECT -----
690     CD$(1)='三軸径':CD$(2)='等体積':CD$(3)='し別径'
700     FOR K=1 TO 3
710         SIGMAX#=0:SIGMAX2#=0
720         FOR S=1 TO L
730             SIGMAX#=SIGMAX#+TVD(S,K):SIGMAX2#=SIGMAX2#+(TVD(S,K)^2)
740         NEXT S
750         AVERAGE=SIGMAX#/L:AVERAGE(J,K)=AVERAGE
760         STD=(SIGMAX2#-(SIGMAX#^2)/L)/(L-1):STD=SQR(STD)
770         STD(J,K)=STD
780         SA=PD-AVERAGE:EIKYO=(PD-AVERAGE)/PD*100:EIKYO=INT(EIKYO*100+.5)/
100:SA(J,K)=SA:EIKYO(J,K)=EIKYO
790         LPRINT TAB(12);CD$(K);TAB(28);AVERAGE;TAB(43);STD;TAB(57);SA;TAB
            (75);EIKYO:LPRINT
800     NEXT K:LPRINT
810     NEXT J
820
830     FOR K=1 TO 3
840         LPRINT TAB(5);'** ':CD$(K);' **':LPRINT
850         LPRINT TAB(11);'土塊径(mm)';TAB(28);'計算平均径(mm)';TAB(52);'標
            準偏差';TAB(70);'土塊径-計算の差';'セパラータの影響(%)':LP
            RINT
860         FOR J=1 TO 7:PD=2^J
870             LPRINT TAB(12);PD;TAB(23);AVERAGE(J,K);TAB(39);STD(J,K);TAB(53);
                SA(J,K);TAB(70);EIKYO(J,K)
880         NEXT J:LPRINT
890     NEXT K:LPRINT
900         LPRINT :LPRINT :LPRINT
910
920     NEXT SPL
930     END
940     '-----
    ---
950     *SEPASETUKEI
960     VS=PI*(LS*LS*PR-(LS*LS*LS)/3)
970     IF LS>=PR THEN A1=PD ELSE A1=2*SQR(PR*PR-(PR-LS)^2)
980     CD(1)=(2*A1+LS)/3:CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3)
990     IF LS>PR THEN 1010
1000    YB=SQR(PR*PR-(PR-LS)^2):XB=-1*(PR-LS):GOTO 1020
1010    YB=SQR(PR*PR-(LS-PR)^2):XB=LS-PR
1020    IF LS<=(PR-TP) THEN CD(3)=YB*SQR(2)
1030    IF (PR-TP)<LS AND LS<(PR+TP) THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
1040    IF (PR+TP)<=LS THEN CD(3)=PD
1050    RETURN

```

```

10 '*****
20 '** セバレータによる土塊切断の影響 **
30 '** 最密分布, セバレータ間隔 50 - 150 mm **
40 '** SAVE `SEPCUT2` **
50 '*****
60 '
70 '---- PD:土塊径, PR:土塊半径 ----
80 PI=3.1415923#:DIM TVD(20,3)
90 LPRINT TAB(10);'*** セバレータによる土塊切断の影響 -最密分布 - ***:LPR
INT :LPRINT
100 '
110 FOR SPL=50 TO 150 STEP 50
120 LPRINT TAB(3);' *** セバレータ間隔=';SPL;'mm';' ***:LPRINT
130 FOR J=1 TO 7:PD=2^J:PR=PD/2:VL=4/3*PI*PR^3:TP=PR*COS(PI/4)
140 IF PD>=SPL THEN 1440
150 LPRINT TAB(5);' ** 土塊径 =' ;PD;' ** :LPRINT
160 LPRINT TAB(10);'各種平均径';TAB(28);'計算平均径(mm)';TAB(47);'標準偏
差';TAB(62);'土塊径-計算の差';' セバレータの影響(%)':LPRINT
170 PRINT '** SPL=';SPL;' , PD=';PD;'----';TIMES$
180 L=0:ERASE TVD:DIM TVD(20,3)
190 '
200 '----** 各種土塊平均径の計算 *----
210 '---- ZN2:切断なしの土塊段数, WCI:土塊ダブリ区間, SCI:土塊のダブリなし
区間, ZST:セバレータ切断の1ステップ距離, UD:上方起点の位置
220 '
230 SQ3P=SQR(3)*PR:ZN=SPL/SQ3P:ZN1=FIX(ZN):ZN2=FIX(SPL/SQ3P)-1:ZNS=ZN-ZN
1:SCI=2*(SQR(3)-1)*PR:WCI=PR*(2-SQR(3)):UD=ZNS*SQ3P:ZST=SQ3P/20
240 '---- CD(K):各種の径, VS:切断土塊体積, VLO:完全土塊の体積*直径*個数,
VL1(K);VL3(K):上方切断土塊の体積*各種径, VL51(K)---VL55(K):50mm以上土
塊の切断体積*各種径
250 '---- VL2(K);VL4(K):下方切断土塊の体積*各種径, V1---V5:左記対応の体
積,TVD(L,K):各種土塊平均径
260 '---- UD値で4区分計算: 1.UD=0 2.0<UD<WCI 3.UD=WCI 4.WCI<UD<=SCI 5
.SCI<UD ----
270 '
280 FOR Z=0 TO 19
290 L=L+1
300 IF UD=0 THEN 360
310 IF 0<UD AND UD<WCI THEN 440
320 IF UD=WCI THEN 620
330 IF WCI<UD AND UD<=SCI THEN 760
340 IF SCI<UD THEN 940
350 '
360 '*** UD=0 ***
370 IF Z*ZST>SCI THEN 400
380 GOSUB *KEISAN1
390 GOTO 1190
400 '----ダブル切断(上方:2,下方:2)----
410 GOSUB *KEISAN5
420 GOTO 1190
430 '
440 '*** 0<UD<WCI ***
450 IF UD+Z*ZST<=SCI THEN 490
460 IF SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI THEN 520
470 IF SCI<Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P THEN 550
480 IF UD+Z*ZST)=SQ3P THEN 580
490 '----UD+Z*ZST<=SCI---
500 GOSUB *KEISAN1
510 GOTO 1190
520 '----SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI---
530 GOSUB *KEISAN2
540 GOTO 1190
550 '----SCI<Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P---
560 GOSUB *KEISAN5
570 GOTO 1190
580 '----UD+Z*ZST)=SQ3P---
590 GOSUB *KEISAN3
600 GOTO 1190
610 '
620 '*** UD=WCI ***

```

```

630     IF UD+Z*ZST<=SCI THEN 660
640     IF SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI THEN 690
650     IF Z*ZST>SCI THEN 720
660     '----UD+Z*ZST<=SCI---
670     GOSUB *KEISAN1
680     GOTO 1190
690     '----SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI
700     GOSUB *KEISAN2
710     GOTO 1190
720     '----Z*ZST>SCI----
730     GOSUB *KEISAN3
740     GOTO 1190
750
760     '*** WCI<UD AND UD<=SCI ***
770     IF UD+Z*ZST<=SCI THEN 810
780     IF SCI<UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P THEN 840
790     IF UD+Z*ZST)=SQ3P AND Z*ZST<=SCI THEN 870
800     IF Z*ZST>SCI THEN 900
810     '----UD+Z*ZST<=SCI----
820     GOSUB *KEISAN1
830     GOTO 1190
840     '----SCI<UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P----
850     GOSUB *KEISAN2
860     GOTO 1190
870     '----UD+Z*ZST)=SQ3P AND Z*ZST<=SCI
880     GOSUB *KEISAN4
890     GOTO 1190
900     '----Z*ZST>SCI----
910     GOSUB *KEISAN3
920     GOTO 1190
930
940     '*** SCI<UD ***
950     IF UD+Z*ZST<SQ3P THEN 990
960     IF UD+Z*ZST)=SQ3P AND Z*ZST<=SCI THEN 1020
970     IF Z*ZST>SCI AND UD+Z*ZST<=SQ3P+SCI THEN 1050
980     IF UD+Z*ZST>SQ3P+SCI THEN 1080
990     '----UD+Z*ZST<SQ3P---
1000    GOSUB *KEISAN2
1010    GOTO 1190
1020    '----UD+Z*ZST)=SQ3P AND Z*ZST<=SCI----
1030    GOSUB *KEISAN4
1040    GOTO 1190
1050    '----Z*ZST>SCI----
1060    GOSUB *KEISAN3
1070    GOTO 1190
1080    '---- UD+Z*ZST>SQ3P+SCI
1090    VLO=VL*PD*ZN2:VO=VL*ZN2:'----完全土塊
1100    '----切断土塊(上方:2--新2, 下方:2)
1110    LS=2*SQ3P-(UD+Z*ZST)
1120    GOSUB *SEPASETUKEI
1130    FOR K=1 TO 3:VL5(K)=VS*CD(K):NEXT K
1140    V5=VS
1150    GOSUB *SETUDAN3
1160    GOSUB *SETUDAN2
1170    GOSUB *SETUDAN4
1180    FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VLO+VL3(K)+VL2(K)+VL4(K)+VL5(K))/(VO+V3+V2+
V4+V5):NEXT K
1190  NEXT Z
1200
1210    '---- 土塊径平均值, 切断の影響計算 ----
1220    CD$(1)='三軸径':CD$(2)='等体積':CD$(3)='し別径'
1230    FOR K=1 TO 3
1240    SIGMAX#=0:SIGMAX2#=0
1250    FOR S=1 TO L
1260    SIGMAX#=SIGMAX#+TVD(S,K):SIGMAX2#=(SIGMAX2#+(TVD(S,K)^2)
1270    NEXT S
1280    AVERAGE=SIGMAX#/L:AVERAGE(J,K)=AVERAGE
1290    STD=(SIGMAX2#-(SIGMAX#^2)/L)/(L-1)
1300    IF STD<0 THEN STD=0
1310    STD=SQR(STD): STD(J,K)=STD

```

```

1320      SA=PD-AVERAGE:EIKYO=(PD-AVERAGE)/PD*100:EIKYO=INT(EIKYO*100+.5)/1
        OO:SA(J,K)=SA:EIKYO(J,K)=EIKYO
1330      LPRINT TAB(12);CD$(K);TAB(28);AVERAGE;TAB(43);STD;TAB(57);SA;TAB(
        75);EIKYO:LPRINT
1340      NEXT K:LPRINT
1350      NEXT J
1360      FOR K=1 TO 3
1370      LPRINT TAB(5);' ** ':CD$(K);' ** ':LPRINT
1380      LPRINT TAB(11);' 土塊径 (mm) ':TAB(24);' 計算平均径 (mm) ':TAB(44);' 標
        準偏差 ':TAB(59);' 土塊径 - 計算の差 ': 'セパラータの影響 (%) ':LPRIN
        T
1390      FOR J=1 TO 7:PD=2^J
1400      LPRINT TAB(12);PD;TAB(23);AVERAGE(J,K);TAB(39);STD(J,K);TAB(53);S
        A(J,K);TAB(70);EIKYO(J,K)
1410      NEXT J:LPRINT
1420      NEXT K:LPRINT
1430      LPRINT :LPRINT :LPRINT
1440      NEXT SPL
1450      END
1460      '-----

1470      *SETUDAN1:' --- 上方土塊
1480      LS=WCI+UD+Z*ZST
1490      GOSUB *SEPASETUKEI
1500      FOR K=1 TO 3:VL1(K)=VS*CD(K):NEXT K
1510      V1=VS
1520      RETURN
1530      *SETUDAN2:' --- 下方土塊
1540      LS=PD-WCI-Z*ZST
1550      GOSUB *SEPASETUKEI
1560      FOR K=1 TO 3:VL2(K)=VS*CD(K):NEXT K
1570      V2=VS
1580      RETURN
1590      *SETUDAN3:' --- 上方土塊 (新)
1600      LS=UD+Z*ZST-SCI
1610      GOSUB *SEPASETUKEI
1620      FOR K=1 TO 3:VL3(K)=VS*CD(K):NEXT K
1630      V3=VS
1640      RETURN
1650      *SETUDAN4:' --- 下方土塊 (新)
1660      LS=Z*ZST-SCI
1670      GOSUB *SEPASETUKEI
1680      FOR K=1 TO 3:VL4(K)=VS*CD(K):NEXT K
1690      V4=VS
1700      RETURN
1710      '
1720      *KEISAN1
1730      VLO=VL*PD*ZN2:VO=VL*ZN2:' --- 完全土塊
1740      ' --- 切断土塊 (上方:1,下方:1)
1750      GOSUB *SETUDAN1
1760      GOSUB *SETUDAN2
1770      FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VLO+VL1(K)+VL2(K))/(VO+V1+V2):NEXT K
1780      RETURN
1790      *KEISAN2
1800      VLO=VL*PD*ZN2:VO=VL*ZN2:' --- 完全土塊
1810      ' --- 切断土塊 (上方:2,下方:1)
1820      GOSUB *SETUDAN1
1830      GOSUB *SETUDAN3
1840      GOSUB *SETUDAN2
1850      FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VLO+VL1(K)+VL3(K)+VL2(K))/(VO+V1+V3+V2):NEXT
        K
1860      RETURN
1870      *KEISAN3
1880      VLO=VL*PD*ZN2:VO=VL*ZN2:' --- 完全土塊
1890      ' --- 切断土塊 (上方:1---新,下方:2)
1900      GOSUB *SETUDAN3
1910      GOSUB *SETUDAN2
1920      GOSUB *SETUDAN4
1930      FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VLO+VL3(K)+VL2(K)+VL4(K))/(VO+V3+V2+V4):NEXT
        K

```

```

1940 RETURN
1950 *KEISAN4
1960 VLO=VL*PD*(ZN2+1):VO=VL*(ZN2+1):' ---完全土塊
1970 ' ---切断土塊 (上方:1--新,下方:1)
1980 GOSUB *SETUDAN3
1990 GOSUB *SETUDAN2
2000 FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VLO+VL3(K)+VL2(K))/(VO+V3+V2):NEXT K
2010 RETURN
2020 *KEISAN5
2030 VLO=VL*PD*(ZN2-1):VO=VL*(ZN2-1):' ---完全土塊
2040 ' ---- 切断土塊の計算 (上方:2, 下方:2) --
2050 GOSUB *SETUDAN1
2060 GOSUB *SETUDAN3
2070 GOSUB *SETUDAN2
2080 GOSUB *SETUDAN4
2090 FOR K=1 TO 3:TVD(L,K)=(VLO+VL1(K)+VL3(K)+VL2(K)+VL4(K))/(VO+V1+V3+V2
+V4):NEXT K
2100 RETURN
2110 '
2120 *SEPASETUKEI
2130 VS=PI*(LS*LS*PR-(LS*LS*LS)/3):A1=2*SQR(PR*PR-(PR-LS)^2)
2140 IF LS>=PR THEN A1=PD
2150 CD(1)=(2*A1+LS)/3:CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3)
2160 IF LS>PR THEN 2180
2170 YB=SQR(PR*PR-(PR-LS)^2):XB=-1*(PR-LS):GOTO 2190
2180 YB=SQR(PR*PR-(LS-PR)^2):XB=LS-PR
2190 IF LS<=(PR-TP) THEN CD(3)=YB*SQR(2)
2200 IF (PR-TP)<LS AND LS<(PR+TP) THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
2210 IF (PR+TP)<=LS THEN CD(3)=PD
2220 RETURN

```

```

10  '*****
   *
20  '**  採土サンブラとセバレータの両方による土塊切断の影響
   **
30  '**  格子状分布, 採土サンブラ径 100-500mm, セバレータ間隔
   50-150mm **
40  '**  SAVE 'BOTHCUT1'
   *
50  '*****
   *
60  '
70  PI=3.1415923#:RNG=3:DIM A(5,7,9,3),B(5,7,3),TLVD(130,3),TVD(3),TV(3)
80  '--- 係数の呼び出し
90  OPEN 'A:CLOD1.DAT' FOR INPUT AS #1
100 FOR I=1 TO 5:SD=I*100:FOR J=1 TO 7:PD=2^J:IF (PD/SD)>1 THEN 160
110   FOR K=1 TO 9:FOR P1=0 TO 3
120     INPUT #1,A(I,J,K,P1)
130     NEXT P1,K
140     FOR P1=0 TO 3:INPUT #1,B(I,J,P1):NEXT P1
150   NEXT J
160   NEXT I
170   IF EOF(1) THEN 180
180   CLOSE
190   '
200   LPRINT TAB(10);'*** 両切断による土塊径への影響 -格子状分布 - ***':LPR
   INT:LPRINT
210   '---- SD:サンブラ径, SR:サンブラ半径, PD:土塊径, PR:土塊半径 ----
220   FOR SPL=50 TO 150 STEP 50
230     FOR I=1 TO 5:SD=I*100:SR=SD/2
240       LPRINT TAB(3);' *** セバレータ間隔=';SPL;'mm';', サンプ径=';SD;'
   mm';' ***':LPRINT
250       FOR J=1 TO 7:PD=2^J:PR=PD/2:VL=4/3*PI*PR^3:TP=PR*COS(PI/4)
260         IF PD>=SD THEN 1560
270         IF PD>=SPL THEN 1560
280         LPRINT TAB(5);' ** 土塊径 =';PD;' **';'      (<' ;DATE$;'----';TIME$;'
   )':LPRINT
290         LPRINT TAB(10);'各種平均径';TAB(28);'計算平均径(mm)';TAB(47);'標準偏
   差';TAB(62);'土塊径-計算の差';'      セバレータの影響(%)':LPRINT:PRIN
   T
300         PRINT '** SPL=';SPL;' , SD=';SD;' , PD=';PD;'---';DATE$;' ':TIME$:PRI
   NT
310         OX=(SR¥PD)*PD+3*PR:MIN=SR-PR:MAX=SR+PR
320         '---ZN;Z方向の個数, TP;目開き用, STU;サンブラ中心のXY面上の移動単位
   , ZST;Z方向の移動単位
330         ZN=SPL/PD:ZN2=SPL¥PD:ZNS=ZN-ZN2:TP=PR*COS(PI/4):STU=PR/RNG:ZST=PD/8:
   L=0:ERASE TLVD:DIM TLVD(130,3)
340   '
350   '---- サンブラのX.Y.Z方向の移動 ----
360   FOR X=0 TO RNG
370     FOR Y=0 TO RNG:N=0
380       FOR X1=-OX TO OX STEP PD :XO=X1-X*STU
390       FOR Y1=-OY TO OY STEP PD :YO=Y1-Y*STU
400       XI=SQR(XO*XO+YO*YO)
410       IF XI<=MIN THEN N=N+1 : '--- サンブラ切断なしのカウント
420       NEXT Y1,X1
430   '
440   FOR Z=0 TO 7:N=0
450     ERASE TVD,TV:DIM TVD(3),TV(3)
460     L=L+1
470     PRINT 'L=';L;SPC(2);
480     '--- 完全土塊の体積*径と体積の積算
490     IF Z>=1 THEN 520
500     FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VL*PD*ZN2*N3:TV(K)=TV(K)+VL*ZN2*N3:NE
   XT K
510     GOTO 600
520     HAN=PD*ZNS+Z*ZST
530     IF HAN>= PD THEN 560
540     FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VL*PD*(ZN2-1)*N3:TV(K)=TV(K)+VL*(ZN2-
   1)*N3:NEXT K
550     GOTO 600

```

```

560      FOR K=1 TO 3:TV(D(K))=TV(D(K))+VL*PD*ZN2*N3:TV(K)=TV(K)+VL*ZN2*N3:NB
      XT K
570      GOTO 600
580
590      '--- セパレータ切断土塊の体積*径と体積の積算
600      IF Z>=1 THEN 650
610      IF ZN=ZN2 THEN 840
620      LS=PD*ZNS : '--- Z=0である故上方のみ
630      GOSUB *SEPASETUKEI
640      KOSU=N:GOSUB *SEKISAN2:GOTO 840
650      IF ZN<>ZN2 THEN 690
660      LS=PD-Z*ZST
670      GOSUB *SEPASETUKEI
680      KOSU=2*N:GOSUB *SEKISAN2:GOTO 840 : '--- 上下で同じものセパレータ
      切断
690      HAN=PD*ZNS+Z*ZST
700      IF HAN>=PD THEN 770
710      LS=PD-Z*ZST: '--- 下方
720      GOSUB *SEPASETUKEI
730      KOSU=N:GOSUB *SEKISAN2
740      LS=PD*ZNS+Z*ZST: '--- 上方
750      GOSUB *SEPASETUKEI
760      KOSU=N:GOSUB *SEKISAN2:GOTO 840
770      LS=PD-Z*ZST: '--- 下方
780      GOSUB *SEPASETUKEI
790      KOSU=N:GOSUB *SEKISAN2
800      LS=HAN-PD: '--- 上方, 当初のものより一つ上
810      GOSUB *SEPASETUKEI
820      KOSU=N:GOSUB *SEKISAN2:GOTO 840
830
840      FOR X1=-OX TO OX STEP PD :XO=X1-X*STU
850      FOR Y1=-OX TO OX STEP PD :YO=Y1-Y*STU
860      XI=SQR(XO*XO+YO*YO)
870      IF XI<=MIN THEN 1350
880      IF XI>=MAX THEN 1350
890
900      '--- サンプラ切断土塊の体積*径と体積の積算
910      HAN=PD*ZNS+Z*ZST:D=SR+PR-XI:A1=2*SQR(PR*PR-(D-PR)^2):HAF=A1/2
920      GOSUB *SANPSETUKEI
930      IF Z>=1 AND HAN<PD THEN 960
940      KOSU=ZN2:GOSUB *SEKISAN2
950      IF Z=0 AND ZN=ZN2 THEN 1350 ELSE 990
960      KOSU=ZN2-1:GOSUB *SEKISAN2:GOTO 990
970
980      '--- 両切断土塊の体積*径と体積の積算
990      LS=PD*ZNS+Z*ZST
1000     IF D<PR THEN 1140
1010
1020     '--- 切断長(D) > 土塊半径(P R)
1030     IF Z>=1 THEN 1060
1040     ST=LS:GOSUB *RYOSETUKEI: '--- 上方(Z=0ゆえ下方なし)
1050     GOSUB *SEKISAN1:GOTO 1350
1060     IF LS=PD THEN 1100
1070     IF LS>PD THEN LS=LS-PD: '--- 上方
1080     ST=LS:GOSUB *RYOSETUKEI
1090     GOSUB *SEKISAN1
1100     ST=PD-Z*ZST: '--- 下方
1110     GOSUB *RYOSETUKEI
1120     GOSUB *SEKISAN1:GOTO 1350
1130
1140     '--- 切断長(D) = < 土塊半径(P R)
1150     IF Z>=1 THEN 1210
1160     IF (PR-HAF)<LS AND LS<(PR+HAF) THEN 1190
1170     GOSUB *SANPSETUKEI: '--- 上方, セパレータ切断なし, Z=0ゆえ下方
      切断なし
1180     GOSUB *SEKISAN1:GOTO 1350
1190     ST=LS-(PR-HAF):GOSUB *RYOSETUKEI : '--- 上方, セパレータ切断あり,
      Z=0ゆえ下方切断なし
1200     GOSUB *SEKISAN1:GOTO 1350
1210     IF LS>PD THEN LS=LS-PD

```

```

1220     IF (PR-HAF)<LS AND LS<(PR+HAF) THEN 1250
1230     GOSUB *SANPSETUKEI: '-- 上方, セバレータ切断なし
1240     GOSUB *SEKISAN1:GOTO 1270
1250     ST=LS-(PR-HAF):GOSUB *RYOSETUKEI : '-- 上方, セバレータ切断あり
1260     GOSUB *SEKISAN1
1270     IF (PR-HAF)<Z*ZST AND Z*ZST<(PR+HAF) THEN 1280 ELSE 1320 : '-- B
        LSEは下方のセバレータ切断なしの場合
1280     LS=PD-Z*ZST : '-- 下方セバレータ切断あり
1290     ST=LS-(PR-HAF)
1300     GOSUB *RYOSETUKEI
1310     GOSUB *SEKISAN1:GOTO 1350
1320     GOSUB *SANPSETUKEI: '---下方セバレータ切断なし
1330     GOSUB *SEKISAN1
1340
1350     NEXT Y1
1360     NEXT X1
1370     FOR K=1 TO 3:TLVD(L,K)=TVD(K)/TV(K):NEXT K
1380     NEXT Z
1390     NEXT Y,X
1400
1410     '----- 土塊径平均値, 切断の影響計算 -----
1420     CD$(1)='三軸径':CD$(2)='等体積':CD$(3)='し別径'
1430     FOR K=1 TO 3
1440         SIGMAX#=0:SIGMAX2#=0
1450         FOR S=1 TO L
1460             SIGMAX#=SIGMAX#+TLVD(S,K):SIGMAX2#=SIGMAX2#+(TLVD(S,K)^2)
1470         NEXT S
1480         AVERAGE=SIGMAX#/L:AVERAGE(J,K)=AVERAGE
1490         STD=(SIGMAX2#-(SIGMAX#^2)/L)/(L-1)
1500         IF STD<0 THEN STD=0
1510         STD=SQR(STD): STD(J,K)=STD
1520         SA=PD-AVERAGE:EIKYO=(PD-AVERAGE)/PD*100:EIKYO=INT(EIKYO*100+.5)/1
            OO:SA(J,K)=SA:EIKYO(J,K)=EIKYO
1530         LPRINT TAB(12);CD$(K);TAB(28);AVERAGE;TAB(43);STD;TAB(57);SA;TAB(
            75);EIKYO:LPRINT
1540     NEXT K:LPRINT
1550     NEXT J
1560     FOR K=1 TO 3
1570         LPRINT TAB(5);'** ':CD$(K);'**':LPRINT
1580         LPRINT TAB(11);'土塊径(mm)';TAB(24);'計算平均径(mm)';TAB(44);'標
            準偏差';TAB(59);'土塊径-計算の差';'セバレータの影響(%)':LPRIN
T
1590     FOR J=1 TO 7:PD=2^J
1600     IF PD)=SD THEN 1640
1610     IF PD)=SPL THEN 1640
1620         LPRINT TAB(12);PD;TAB(23);AVERAGE(J,K);TAB(39);STD(J,K);TAB(53);S
            A(J,K);TAB(70);EIKYO(J,K)
1630     NEXT J:LPRINT
1640     NEXT K:LPRINT
1650     LPRINT :LPRINT :LPRINT
1660     NEXT I
1670     NEXT SPL
1680
1690     '--- セバレータ切断土塊の体積と各種の径 ---
1700     *SEPASETUKEI
1710     VS=PI*(LS*LS*PR-(LS*LS*LS)/3):A1=2*SQR(PR*PR-(PR-LS)^2)
1720     IF LS)=PR THEN AST=PD ELSE AST=A1
1730     CD(1)=(2*AST+LS)/3:CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3)
1740     IF LS)=PR THEN 1760
1750     YB=SQR(PR*PR-(PR-LS)^2):XB=-1*(PR-LS):GOTO 1770
1760     YB=SQR(PR*PR-(LS-PR)^2):XB=LS-PR
1770     IF LS<(PR-TP) THEN CD(3)=YB*SQR(2)
1780     IF (PR-TP)<LS AND LS<(PR+TP) THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
1790     IF (PR+TP)<=LS THEN CD(3)=PD
1800     FLG=0: '---行 NO 5960,6130 の間係より
1810     RETURN
1820
1830     '--- サンプラ切断土塊の体積と各種の径 ---
1840     *SANPSETUKEI
1850     VS=B(I,J,0)+B(I,J,1)*D+B(I,J,2)*D*D+B(I,J,3)*D*D*D

```

```

1860  XA=(SR*SR-PR*PR+XI*XI)/2/XI:XB=XA-XI:XA=INT(XA*10000)/10000:SR=INT(S
R*10000)/10000:YB=SQR(SR*SR-XA*XA)
1870  IF D>=PR THEN AST=PD ELSE AST=A1
1880  IF XA>XI THEN A2=PD ELSE A2=2*YB
1890  CD(1)=(D+AST+A2)/3
1900  IF VS>0 THEN CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3) ELSE CD(2)=0
1910  IF -PR<=XB AND XB<=-TP THEN CD(3)=YB*SQR(2)
1920  IF -TP<XB AND XB<TP THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
1930  IF TP<=XB AND XB<=PR THEN CD(3)=PD
1940  RETURN
1950  '
1960  '--- 両切断土塊の体積と各種の径 ---
1970  *RYOSETUKEI
1980  IF D<=PR THEN 2000
1990  LE=SQR(PR*PR-(PR-ST)^2):GOTO 2090
2000  LE=SQR(PR*PR-(HAF-ST)^2)
2010  LG=PR-D:GE=LE-LG:'--- D<=PRの場合
2020  LF=XI-(SR*SR-LE*LE+XI*XI)/2/XI
2030  IF (LE*LE-LF*LF)>0 THEN 2050
2040  PQ=0:GOTO 2060
2050  PQ=2*SQR(LE*LE-LF*LF)
2060  PQMHAN=PR*PR-(XI-(SR*SR-PR*PR+XI*XI)/2/XI)^2
2070  IF PQMHAN<0 THEN PQMHAN=0
2080  PQM=2*SQR(PQMHAN):'---ST=HAFの時のPQ(PQのMAX)
2090  IF D>=PR THEN 2110
2100  IF ST>=HAF THEN AO=D ELSE AO=GE:GOTO 2140
2110  IF ST<(PR-HAF) THEN AO=2*LE
2120  IF (PR-HAF)<=ST AND ST<PR THEN AO=LE+(D-PR)
2130  IF ST>=PR THEN AO=D
2140  IF D>=PR THEN 2160
2150  IF ST<HAF THEN A2=PQ ELSE A2=PQM:GOTO 2170
2160  IF ST<PR THEN A2=2*LE ELSE A2=PD
2170  CD(1)=(ST+AO+A2)/3
2180  KEI=PD/20
2190  IF D<3*KEI THEN K=1
2200  IF 3*KEI<=D AND D<5*KEI THEN K=2
2210  IF 5*KEI<=D AND D<7*KEI THEN K=3
2220  IF 7*KEI<=D AND D<9*KEI THEN K=4
2230  IF 9*KEI<=D AND D<11*KEI THEN K=5
2240  IF 11*KEI<=D AND D<13*KEI THEN K=6
2250  IF 13*KEI<=D AND D<15*KEI THEN K=7
2260  IF 15*KEI<=D AND D<17*KEI THEN K=8
2270  IF 17*KEI<=D THEN K=9
2280  VS=A(I,J,K,0)+A(I,J,K,1)*ST+A(I,J,K,2)*ST*ST+A(I,J,K,3)*ST*ST*ST
2290  IF VS>0 THEN CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3) ELSE CD(2)=0
2300  '
2310  '--- サンプラ.セバレータ両方の切断による土塊体積と目開き ---
2320  RUT=PI/180:DPR=D-PR
2330  IF TP<D AND D<=PR THEN 2410
2340  IF PR<D AND D<=(PR+TP) THEN 2670
2350  IF D>PR+TP THEN 2810
2360  '
2370  '--- D 区間 ( D < = T P )
2380  H=1-(GE/ST):A=ATN(H)
2390  CD(3)=ST*COS(A):GOTO 2900
2400  '
2410  '--- D 区間 ( T P < D < = P R ) ---
2420  IF LG=0 THEN 2460
2430  H=HAF/LG
2440  RDA=ATN(H)
2450  AZ=SQR(PR*PR/(1+(HAF/LG)^2)):GOTO 2470:'---接線方式か回転方式かの境
界点
2460  RDA=PI/2:AZ=0
2470  IF ST>(AZ+HAF) THEN 2530
2480  IF ST=GE THEN 2490 ELSE 2500
2490  CD(3)=ST:GOTO 2900
2500  IF ST>GE THEN 2520
2510  RDA2=ATN(1-ST/GE):CD(3)=GE*COS(RDA2):GOTO 2900
2520  RDA2=ATN(1-GE/ST):CD(3)=ST*COS(RDA2):GOTO 2900
2530  '---接線方式

```

```

2540 DIM DIG(180),DIF(180),MSA(180)
2550 RDA3=ATN((HAF-ST)/(D-PR-GE))
2560 RDA4=PI/2-RDA3:NN=0
2570 FOR II=RDA4 TO RDA STEP RUT
2580 NN=NN+1
2590 DIG=ABS((-1*HAF-TAN(II)*(D-PR))/SQR(TAN(II)^2+1))
2600 DIF=ABS(((ST-HAF)+(D-PR)/TAN(II))/SQR(1/TAN(II)^2+1))
2610 DIG(NN)=DIG:DIF(NN)=DIF:MSA(NN)=ABS(DIG-DIF)
2620 NEXT II
2630 '--- 最小値のリサーチ
2640 GOSUB *MINRESERCH
2650 CD(3)=PR+(DIG+DIF)/2:ERASE DIG,DIF,MSA:GOTO 2900
2660
2670 '--- D 区間 ( P R < D <= ( P R + T P ) ) ---
2680 IF ST<=(PR-HAF) THEN 2690 ELSE 2710
2690 LS=ST
2700 GOTO *SEPASETUKEI
2710 CZ=SQR(PR*PR/(1+(HAF/DPR)^2)):'--- C 点の Z 座標
2720 IF (PR-HAF)<ST AND ST<=CZ THEN 2750
2730 IF CZ<ST AND ST<=PR THEN *SESEN1
2740 IF ST>PR THEN *SESEN2
2750 '--- 回転方式
2760 LEO=SQR(PR*PR-(PR-ST)^2)
2770 GEO=LEO+DPR:LSO=ST-(PR-HAF)
2780 RDA2=ATN(GEO/(GEO-LSO))
2790 CD(3)=GEO*SIN(RDA2):GOTO 2900
2800
2810 '--- D 区間 ( D > P R + T P ) ---
2820 FLG=1:LS=ST
2830 IF (PR-HAF)=ST THEN *SEPASETUKEI ELSE 2840
2840 IF (PR-HAF)<ST AND ST<=PR THEN *SESEN1 ELSE 2850
2850 A=2:B=4*DPR/SQR(2):C=2*DPR*DPR-PR*PR:'--- A,B,Cは2次方程式の係数
2860 IF (B*B-4*A*C)<=0 THEN 2890
2870 Y3=(-1*B+SQR(B*B-4*A*C))/(2*A):Y3=ABS(Y3):'--- Y3は限界点の座標
2880 IF PR<ST AND ST<(PR+Y3) THEN *SESEN2 ELSE 2890
2890 FLG=0:IF D)=ST THEN CD(3)=D ELSE CD(3)=ST
2900 RETURN
2910
2920 *SESEN1
2930 DIM DIG(180),DIF(180),MSA(180):NN=0
2940 IF FLG=1 THEN 2970
2950 RDA=ATN(DPR/HAF)
2960 RDA4=ATN((PR-ST)/LE):GOTO 2980
2970 RDA4=ATN((PR-ST)/LE):RDA=PI/4:'--- D)PR+TP
2980 FOR II=RDA4 TO RDA STEP RUT
2990 NN=NN+1
3000 IF II=0 THEN 3030
3010 DIG=ABS(ST-PR+DPR/TAN(II))/SQR(1/(TAN(II)^2)+1)
3020 DIF=ABS(ST-PR+TAN(II)*LE)/SQR((TAN(II)^2+1):GOTO 3040
3030 DIF=0:DIG=ABS(DPR)
3040 DIG(NN)=DIG:DIF(NN)=DIF:MSA(NN)=ABS(DIG-DIF)
3050 NEXT II
3060 GOSUB *MINRESERCH
3070 CD(3)=PR+(DIG+DIF)/2:ERASE DIG,DIF,MSA:FLG=0
3080 RETURN
3090
3100 *SESEN2
3110 DIM DIG(270),DIF(270),MSA(270):NN=0
3120 IF FLG=1 THEN 3150
3130 RDA=ATN(DPR/HAF)
3140 RDA4=ATN((PR-ST)/LE):GOTO 3160
3150 RDA4=ATN((ST-PR)/DPR):RDA=PI/4:'--- D)PR+TP
3160 FOR II=RDA4 TO RDA STEP RUT
3170 NN=NN+1
3180 IF II=0 THEN 3220
3190 IF II>0 THEN 3240
3200 DIF=ABS(ST-PR-TAN(II)*DPR)/SQR(TAN(II)^2+1)
3210 DIG=ABS(DPR/TAN(II)-HAF)/SQR(1/(TAN(II)^2)+1):GOTO 3260
3220 DIF=ABS(PR-ST):DIG=ABS(DPR)
3230 GOTO 3260

```

```

3240     DIG=ABS(ST-PR+DPR/TAN(II))/SQR(1/(TAN(II)^2)+1)
3250     DIF=ABS(ST-PR+TAN(II)*LE)/SQR(TAN(II)^2+1)
3260     DIG(NN)=DIG:DIF(NN)=DIF:MSA(NN)=ABS(DIG-DIF)
3270     NEXT II
3280     GOSUB *MINRESERCH
3290     CDK=PR+(DIG+DIF)/2
3300     IF D<ST THEN 3330
3310     IF CDK=>D THEN CD(3)=D ELSE CD(3)=CDK
3320     GOTO 3340
3330     IF CDK=>ST THEN CD(3)=ST ELSE CD(3)=CDK
3340     ERASE DIG,DIF,MSA:FLG=0
3350     RETURN
3360 '
3370 *MINRESERCH
3380     FOR II=1 TO NN:N3=1
3390     FOR JJ=1 TO NN
3400     IF MSA(II)<=MSA(JJ) THEN 3420
3410     N3=N3+1
3420     NEXT JJ
3430     IF N3=1 THEN 3450
3440     NEXT II
3450     DIG=DIG(II):DIF=DIF(II)
3460     RETURN
3470 '
3480 *SEKISAN1
3490     FOR K=1 TO 3
3500     TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K):TV(K)=TV(K)+VS
3510     NEXT K
3520     RETURN
3530 '
3540 *SEKISAN2
3550     FOR K=1 TO 3
3560     TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K)*KOSU:TV(K)=TV(K)+VS*KOSU
3570     NEXT K
3580     RETURN

```

```

10 '*****
20 '** 採土サンブラとセバレータの両方による土塊切断の影響
   **
30 '** 最密分布, 採土サンブラ径100-500mm, セバレータ間隔5
   0-150mm **
40 '** SAVE 'BOTHCUT2' **
50 '*****
60 '
70 PI=3.1415923#:RNG=3:DIM A(5,7,9,3),B(5,7,3),TLVD(130,3),TVD(3),TV(3)
80 '--- 係数の呼び出し
90 OPEN 'A:CLOD1.DAT' FOR INPUT AS #1
100 FOR I=1 TO 5:SD=I*100:FOR J=1 TO 7:PD=2^J
110 IF (PD/SD)>1 THEN 170
120 FOR K=1 TO 9:FOR P1=0 TO 3
130 INPUT #1,A(I,J,K,P1)
140 NEXT P1,K
150 FOR P1=0 TO 3:INPUT #1,B(I,J,P1):NEXT P1
160 NEXT J
170 NEXT I
180 IF EOF(1) THEN 190
190 CLOSE
200 '
210 LPRINT TAB(10);'*** 両切断による土塊径への影響 -最密分布 - ***:LPRIN
   T:LPRINT
220 '---- SD:サンブラ径, SR:サンブラ半径, PD:土塊径, PR:土塊半径----
230 FOR SPL=150 TO 150 STEP 50
240 FOR I=5 TO 5:SD=I*100:SR=SD/2
250 LPRINT TAB(3);'*** セバレータ間隔=';SPL;'mm';', サンブラ径=';SD;'m
   m';'***:LPRINT
260 FOR J=7 TO 7:PD=2^J:PR=PD/2:VL=4/3*PI*PR^3:TP=PR*COS(PI/4)
270 IF PD>=SD THEN 3700
280 IF PD>=SPL THEN 3700
290 LPRINT TAB(5);'** 土塊径=';PD;'**';' <' ;DATE$;'----';TIME$;'
   >':LPRINT
300 LPRINT TAB(10);'各種平均径';TAB(28);'計算平均径(mm)';TAB(47);'標準偏
   差';TAB(62);'土塊径-計算の差';' 両切断の影響(%)':LPRINT:PRIN
   T
310 PRINT '** SPL=';SPL;' , SD=';SD;' , PD=';PD;'---';DATE$;' ':TIME$:PRI
   NT
320 OX=FIX(SR/PD)*PD+3*PR:SQ3P=SQR(3)*PR:YX=FIX(SR/SQ3P)*SQ3P+SQ3P:MIN=S
   R-PR:MAX=SR+PR:TP=PR*COS(PI/4):STU=PR/RNG:L=0:ERASE TLVD:DIM TLVD(1
   30,3)
330 '
340 FOR X=0 TO RNG
350 FOR Y=0 TO RNG:N=0:M=0
360 '----- 一段目サンブラ切断ナシの土塊球数-----
370 FOR X1=-OX TO OX STEP PR:XO=X1-X*STU: '土塊中心点までのX方向の
   距離
380 HAX=(X1/PR)/2:HAX1=FIX(HAX):HAY=FIX(SR/SQ3P)/2:HAY1=FIX(HAY)
390 FOR Y1=-YX TO YX STEP (2*SQ3P)
400 IF HAY<>HAY1 THEN 430
410 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1-Y*STU ELSE YO=Y1+SQ3P-Y*STU
420 GOTO 440
430 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1+SQ3P-Y*STU ELSE YO=Y1-Y*STU
440 XI=SQR(XO*XO+YO*YO): '-----土塊中心--サンブラ中心間距離----
450 IF XI<=MIN THEN N=N+1 ELSE 470
460 '----- 二段目サンブラ切断ナシの土塊数-----
470 XO2=X1+PR-X*STU:HAX=((X1+PR)/PR)/2:HAX1=FIX(HAX)
480 IF HAY<>HAY1 THEN 510
490 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1+SQ3P-Y*STU ELSE YO=Y1-Y*STU
500 GOTO 520
510 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1-Y*STU ELSE YO=Y1+SQ3P-Y*STU
520 XI=SQR(XO2*XO2+YO*YO)
530 IF XI<=MIN THEN M=M+1 ELSE 540
540 NEXT Y1,X1
550 '
560 '-----** 各種土塊平均径の計算 **-----
570 ' ZN2:切断なしの土塊段数, WCI:土塊ダブリ区間, SCI:土塊のダブリなし区間
   , ZST:セバレータ切断の1ステップ距離, UD:上方起点の位置, EONとEON1:ZN2が
   偶数か奇数かの判定用

```

```

580     ZN=SPL/SQ3P:ZN1=FIX(ZN):ZN2=FIX(SPL/SQ3P)-1:ZNS=ZN-ZN1:SCI=2*(SQR(3)
      -1)*PR:WCI=PR*(2-SQR(3)):UD=ZNS*SQ3P:ZST=SQ3P/8:EON=ZN2/2:EON1=FIX(Z
      N2/2)
590 '---- 完全土塊数 ----
600     IF EON (>)EON1 THEN 620
610     PBN=(ZN2/2)*N:PBM=(ZN2/2)*M:TNO=PBN+PBM:GOTO 650
620     PBN=EON1*N:PBM=(EON1+1)*M:TNO=PBN+PBM
630
640 '   TNO:セバレタ切断なしの土塊総数, CD(K):各種の径, VS:切断土塊体積, VLO
      :完全土塊の体積*直径*個数, VL1(K):VL3(K):上方切断土塊の体積*各種径*
      個数
650 '   VL2(K):VL4(K):下方切断土塊の体積*各種径*個数, V1---V5:左記対応
      の体積*個数, TVD(L,K):各種土塊平均径
660 '---- UD値で4区分計算: 1.UD=0   2.0<UD<WCI  3.UD=WCI  4.WCI<UD<=SCI  5
      .SCI<UD ----
670     FOR Z=0 TO 7
680       ERASE TVD,TV:DIM TVD(3),TV(3)
690       L=L+1
700       PRINT 'L=';L;SPC(2);
710 ' -- セバレータ切断土塊 ---
720       IF UD=0 THEN 770
730       IF 0<UD AND UD<WCI THEN 840
740       IF UD=WCI THEN 1010
750       IF WCI<UD AND UD<=SCI THEN 1140
760       IF SCI<UD THEN 1310
770       '*** UD=0 ***
780       IF Z*ZST>SCI THEN 810
790       GOSUB *KEISAN1
800       GOTO 1600
810 ' ---- ダブル切断(上方:2,下方:2) ----
820       GOSUB *KEISAN5
830       GOTO 1600
840       '*** 0<UD<WCI ***
850       IF UD+Z*ZST<=SCI THEN 890
860       IF SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI THEN 920
870       IF SCI<Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P THEN 950
880       IF UD+Z*ZST>=SQ3P THEN 980
890       ' ---- UD+Z*ZST<=SCI ----
900       GOSUB *KEISAN1
910       GOTO 1600
920       ' ---- SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI ----
930       GOSUB *KEISAN2
940       GOTO 1600
950       ' ---- SCI<Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P ----
960       GOSUB *KEISAN5
970       GOTO 1600
980       ' ---- UD+Z*ZST>=SQ3P ----
990       GOSUB *KEISAN3
1000      GOTO 1600
1010      '*** UD=WCI ***
1020      IF UD+Z*ZST<=SCI THEN 1050
1030      IF SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI THEN 1080
1040      IF Z*ZST>SCI THEN 1110
1050      ' ---- UD+Z*ZST<=SCI ----
1060      GOSUB *KEISAN1
1070      GOTO 1600
1080      ' ---- SCI<UD+Z*ZST AND Z*ZST<=SCI
1090      GOSUB *KEISAN2
1100      GOTO 1600
1110      ' ---- Z*ZST>SCI ----
1120      GOSUB *KEISAN3
1130      GOTO 1600
1140      '*** WCI<UD AND UD<=SCI ***
1150      IF UD+Z*ZST<=SCI THEN 1190
1160      IF SCI<UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P THEN 1220
1170      IF UD+Z*ZST>=SQ3P AND Z*ZST<=SCI THEN 1250
1180      IF Z*ZST>SCI THEN 1280
1190      ' ---- UD+Z*ZST<=SCI ----
1200      GOSUB *KEISAN1
1210      GOTO 1600

```

```

1220 '----SCI<UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<SQ3P----
1230 GOSUB *KEISAN2
1240 GOTO 1600
1250 '----UD+Z*ZST)=SQ3P AND Z*ZST<=SCI
1260 GOSUB *KEISAN4
1270 GOTO 1600
1280 '----Z*ZST>SCI----
1290 GOSUB *KEISAN3
1300 GOTO 1600
1310 '*** SCI<UD ***
1320 IF UD+Z*ZST<SQ3P THEN 1360
1330 IF UD+Z*ZST)=SQ3P AND Z*ZST<=SCI THEN 1390
1340 IF Z*ZST>SCI AND UD+Z*ZST<=SQ3P+SCI THEN 1420
1350 IF UD+Z*ZST>SQ3P+SCI THEN 1450
1360 '----UD+Z*ZST<SQ3P----
1370 GOSUB *KEISAN2
1380 GOTO 1600
1390 '----UD+Z*ZST)=SQ3P AND Z*ZST<=SCI----
1400 GOSUB *KEISAN4
1410 GOTO 1600
1420 '----Z*ZST>SCI----
1430 GOSUB *KEISAN3
1440 GOTO 1600
1450 '---- UD+Z*ZST>SQ3P+SCI
1460 IF EON=EON1 THEN TNO1=TNO+M ELSE TNO1=TNO+N
1470 TNO2=TNO1-M
1480 VLO=VL*PD*TNO2:VO=VL*TNO2:VLOD=PD*TNO2:'----完全土塊
1490 '----切断土塊(上方:2--新2,下方:2)
1500 LS=2*SQ3P-(UD+Z*ZST)
1510 GOSUB *SEPASETUKEI
1520 IF EON=EON1 THEN CBN=M ELSE CBN=N
1530 FOR K=1 TO 3:VL5(K)=VS*CD(K)*CBN:NEXT K
1540 V5=VS*CBN:VL5D=LS*CBN:CBN5=CBN
1550 GOSUB *SETUDAN3
1560 GOSUB *SETUDAN2
1570 GOSUB *SETUDAN4
1580 FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VLO+VL3(K)+VL2(K)+VL4(K)+VL5(K):TV(K)=T
V(K)+VO+V3+V2+V4+V5:NEXT K
1590
1600 FOR X1=-OX TO OX STEP PR:XO=X1-X*STU:'-----土塊中心までのX方向距
離
1610 HAX=(X1/PR)/2:HAX1=FIX(HAX):HAY=FIX(SR/SQ3P)/2:HAY1=FIX(HAY)
1620 FOR Y1=-YX TO YX STEP (2*SQ3P)
1630 '-----一段目配列状土塊のサンプル切断. 両切断土塊の体積と土塊径-----
1640 IF HAY<>HAY1 THEN 1670
1650 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1-Y*STU ELSE YO=Y1+SQ3P-Y*STU
1660 GOTO 1680
1670 IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1+SQ3P-Y*STU ELSE YO=Y1-Y*STU
1680 XI=SQR(XO*XO+YO*YO):'-----土塊中心-サンプル中心間距離
1690 IF XI<=MIN THEN 2570
1700 IF XI>=MAX THEN 2570
1710 D=SR+PR-XI:A1=2*SQR(PR*PR-(D-PR)^2):HAF=A1/2
1720
1730 IF D<PR THEN 2080
1740 '---- D)=PRの場合 ----
1750 ST=SQ3P-Z*ZST:'----下方(両切断)
1760 GOSUB *RYOSETUKEI
1770 GOSUB *SEKISAN1
1780 IF EON<>EON1 THEN 1890:'----上方
1790 IF UD+Z*ZST>SCI THEN 1830:'----Z=0における土塊段数は偶数
1800 GOSUB *SANPSETUKEI
1810 KOSU=EON:GOSUB *SEKISAN2
1820 GOTO 2570:'----二段目配列状土塊へ
1830 ST=UD+Z*ZST-SCI
1840 GOSUB *RYOSETUKEI
1850 GOSUB *SEKISAN1
1860 GOSUB *SANPSETUKEI
1870 KOSU=EON:GOSUB *SEKISAN2
1880 GOTO 2570
1890 IF UD+Z*ZST<=SQ3P THEN 1920:'----土塊段数は奇数

```

```

1900 IF SQ3P<UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<=SQ3P+SCI THEN 1980
1910 IF UD+Z*ZST>SQ3P+SCI THEN 2010
1920 ST=WCI+UD+Z*ZST
1930 GOSUB *RYOSETUKEI
1940 GOSUB *SEKISAN1
1950 GOSUB *SANPSETUKEI
1960 KOSU=EON1:GOSUB *SEKISAN2
1970 GOTO 2570
1980 GOSUB *SANPSETUKEI
1990 KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
2000 GOTO 2570
2010 ST=UD+Z*ZST-SQ3P-SCI
2020 GOSUB *RYOSETUKEI
2030 GOSUB *SEKISAN1
2040 GOSUB *SANPSETUKEI
2050 KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
2060 GOTO 2570
2070
2080 ---- D<PRの場合 ----
2090 IF WCI+Z*ZST<=PR-HAF THEN 2120: '---下方
2100 IF PR-HAF<WCI+Z*ZST AND WCI+Z*ZST<PR+HAF THEN 2150
2110 IF PR+HAF<=WCI+Z*ZST THEN 2180
2120 GOSUB *SANPSETUKEI
2130 FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K):TV(K)=TV(K)+VS:NEXT K
2140 GOTO 2180
2150 ST=PR+HAF-Z*ZST-WCI
2160 GOSUB *RYOSETUKEI
2170 GOSUB *SEKISAN1
2180 --- 上方土塊
2190 IF EON<>EON1 THEN 2350
2200 IF UD+Z*ZST<=SCI+(PR-HAF) THEN 2230 : '---土塊段数は偶数
2210 IF SCI+(PR-HAF)<UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<SCI+(PR+HAF) THEN 2260
2220 IF UD+Z*ZST>=SCI+(PR+HAF) THEN 2320
2230 GOSUB *SANPSETUKEI
2240 KOSU=EON:GOSUB *SEKISAN2
2250 GOTO 2570
2260 ST=UD+Z*ZST-SCI-(PR-HAF)
2270 GOSUB *RYOSETUKEI
2280 GOSUB *SEKISAN1
2290 GOSUB *SANPSETUKEI
2300 KOSU=EON:GOSUB *SEKISAN2
2310 GOTO 2570
2320 GOSUB *SANPSETUKEI
2330 KOSU=EON+1:GOSUB *SEKISAN2
2340 GOTO 2570
2350 IF WCI+UD+Z*ZST<=PR-HAF THEN 2390: '---土塊段数は奇数
2360 IF PR-HAF<WCI+UD+Z*ZST AND WCI+UD+Z*ZST<PR+HAF THEN 2420
2370 IF PR+HAF<=WCI+UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<=SQ3P+SCI+(PR-HAF) THEN 2480
2380 IF SQ3P+SCI+(PR-HAF)<=UD+Z*ZST THEN 2510
2390 GOSUB *SANPSETUKEI
2400 KOSU=EON1:GOSUB *SEKISAN2
2410 GOTO 2570
2420 ST=WCI+UD+Z*ZST-(PR-HAF)
2430 GOSUB *RYOSETUKEI
2440 GOSUB *SEKISAN1
2450 GOSUB *SANPSETUKEI
2460 KOSU=EON1:GOSUB *SEKISAN2
2470 GOTO 2570
2480 GOSUB *SANPSETUKEI
2490 KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
2500 GOTO 2570
2510 ST=UD+Z*ZST-(SQ3P+SCI+(PR-HAF))
2520 GOSUB *RYOSETUKEI
2530 GOSUB *SEKISAN1
2540 GOSUB *SANPSETUKEI
2550 KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
2560
2570 ---- 二段目配列状土塊のサンブラ切断. 両切断土塊の体積と土塊径 ----
2580 X02=X1+PR-X*STU:HAX=((X1+PR)/PR)/2:HAX1=FIX(HAX)
2590 IF HAY<>HAY1 THEN 2620

```

```

2600     IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1+SQ3P-Y*STU ELSE YO=Y1-Y*STU
2610     GOTO 2630
2620     IF HAX=HAX1 THEN YO=Y1-Y*STU ELSE YO=Y1+SQ3P-Y*STU
2630     XI=SQR(XO2*XO2+YO*YO)
2640     IF XI<=MIN THEN 3490
2650     IF XI>=MAX THEN 3490
2660     D=SR+PR-XI:A1=2*SQR(PR*PR-(D-PR)^2):HAF=A1/2
2670     IF D<PR THEN 3050
2680     '----D)=PRの場合 (二段目配列状土塊)
2690     IF Z*ZST<=SCI THEN 2750:'---下方
2700     ST=2*SQ3P-Z*ZST
2710     GOSUB *RYOSETUKEI
2720     GOSUB *SEKISAN1
2730     GOSUB *SANPSETUKEI
2740     FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)-VS*CD(K):TV(K)=TV(K)-VS:NEXT K
2750     IF EON<>EON1 THEN 2940 : '---上方
2760     IF UD+Z*ZST<SQ3P THEN 2790 : '---土塊段数は偶数
2770     IF SQ3P<=UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<=SQ3P+SCI THEN 2850
2780     IF SQ3P+SCI<UD+Z*ZST THEN 2880
2790     ST=UD+Z*ZST+WCI
2800     GOSUB *RYOSETUKEI
2810     GOSUB *SEKISAN1
2820     GOSUB *SANPSETUKEI
2830     KOSU=EON:GOSUB *SEKISAN2
2840     GOTO 3490
2850     GOSUB *SANPSETUKEI
2860     KOSU=EON+1:GOSUB *SEKISAN2
2870     GOTO 3490
2880     ST=UD+Z*ZST-SQ3P-SCI
2890     GOSUB *RYOSETUKEI
2900     GOSUB *SEKISAN1
2910     GOSUB *SANPSETUKEI
2920     KOSU=EON+1:GOSUB *SEKISAN2
2930     GOTO 3490
2940     IF UD+Z*ZST>SCI THEN 2980 : '---土塊段数は奇数
2950     GOSUB *SANPSETUKEI
2960     KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
2970     GOTO 3490
2980     ST=UD+Z*ZST-SCI
2990     GOSUB *RYOSETUKEI
3000     GOSUB *SEKISAN1
3010     GOSUB *SANPSETUKEI
3020     KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
3030     GOTO 3490
3040
3050     '---- D<PRの場合 ---
3060     IF Z*ZST<=SCI+(PR-HAF) THEN 3120 : '---下方
3070     ST=SCI+(PR+HAF)-Z*ZST
3080     GOSUB *RYOSETUKEI
3090     GOSUB *SEKISAN1
3100     GOSUB *SANPSETUKEI
3110     FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)-VS*CD(K):TV(K)=TV(K)-VS:NEXT K
3120     IF EON<>EON1 THEN 3350 : '---上方
3130     IF WCI+UD+Z*ZST<=(PR-HAF) THEN 3170 : '---土塊段数は偶数
3140     IF (PR-HAF)<WCI+UD+Z*ZST AND WCI+UD+Z*ZST<(PR+HAF) THEN 3200
3150     IF (PR+HAF)<=WCI+UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<=SQ3P+SCI+(PR-HAF) THEN 32
60
3160     IF SQ3P+SCI+(PR-HAF)<UD+Z*ZST THEN 3290
3170     GOSUB *SANPSETUKEI
3180     KOSU=EON:GOSUB *SEKISAN2
3190     GOTO 3490
3200     ST=WCI+UD+Z*ZST-(PR-HAF)
3210     GOSUB *RYOSETUKEI
3220     GOSUB *SEKISAN1
3230     GOSUB *SANPSETUKEI
3240     KOSU=EON:GOSUB *SEKISAN2
3250     GOTO 3490
3260     GOSUB *SANPSETUKEI
3270     KOSU=EON+1:GOSUB *SEKISAN2
3280     GOTO 3490

```

```

3290      ST=UD+Z*ZST-SQ3P-SCI-(PR-HAF)
3300      GOSUB *RYOSETUKEI
3310      GOSUB *SEKISAN1
3320      GOSUB *SANPSETUKEI
3330      KOSU=EON+1:GOSUB *SEKISAN2
3340      GOTO 3490
3350      IF UD+Z*ZST<=SCI+(PR-HAF) THEN 3380 : '---土塊段数は奇数
3360      IF SCI+(PR-HAF)<UD+Z*ZST AND UD+Z*ZST<SCI+(PR+HAF) THEN 3410
3370      IF SCI+(PR+HAF)<=UD+Z*ZST THEN 3470
3380      GOSUB *SANPSETUKEI
3390      KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
3400      GOTO 3490
3410      ST=UD+Z*ZST-SCI-(PR-HAF)
3420      GOSUB *RYOSETUKEI
3430      GOSUB *SEKISAN1
3440      GOSUB *SANPSETUKEI
3450      KOSU=EON1+1:GOSUB *SEKISAN2
3460      GOTO 3490
3470      GOSUB *SANPSETUKEI
3480      KOSU=EON1+2:GOSUB *SEKISAN2
3490      NEXT Y1
3500      NEXT X1
3510      FOR K=1 TO 3:TLVD(L,K)=TVD(K)/TV(K):NEXT K
3520      NEXT Z
3530      NEXT Y
3540      NEXT X
3550      '---- 土塊径平均値, 切断の影響計算 ----
3560      CD$(1)='三軸径':CD$(2)='等体積':CD$(3)='し別径'
3570      FOR K=1 TO 3
3580          SIGMAX#=0:SIGMAX2#=0
3590          FOR S=1 TO L
3600              SIGMAX#=SIGMAX#+TLVD(S,K):SIGMAX2#=SIGMAX2#+(TLVD(S,K)^2)
3610          NEXT S
3620          AVERAGE=SIGMAX#/L:AVERAGE(J,K)=AVERAGE
3630          STD=(SIGMAX2#-(SIGMAX#^2)/L)/(L-1)
3640          IF STD<0 THEN STD=0
3650          STD=SQR(STD):STD(J,K)=STD
3660          SA=PD-AVERAGE:EIKYO=(PD-AVERAGE)/PD*100:EIKYO=INT(EIKYO*100+.5)/100:SA(J,K)=SA:EIKYO(J,K)=EIKYO
3670          LPRINT TAB(12);CD$(K);TAB(28);AVERAGE;TAB(43);STD;TAB(57);SA;TAB(75);EIKYO:LPRINT
3680      NEXT K:LPRINT
3690      NEXT J
3700      FOR K=1 TO 3
3710          LPRINT TAB(5);'* * *';CD$(K);'* * *':LPRINT
3720          LPRINT TAB(11);'土塊径(mm)';TAB(24);'計算平均径(mm)';TAB(44);'標準偏差';TAB(59);'土塊径-計算の差';'セバレータの影響(%)':LPRINT
3730      FOR J=1 TO 7:PD=2^J
3740      IF PD>=SD THEN 3780
3750      IF PD>=SPL THEN 3780
3760          LPRINT TAB(12);PD;TAB(23);AVERAGE(J,K);TAB(39);STD(J,K);TAB(53);SA(J,K);TAB(70);EIKYO(J,K)
3770      NEXT J:LPRINT
3780      NEXT K:LPRINT
3790      LPRINT :LPRINT :LPRINT
3800      NEXT I
3810      NEXT SPL
3820      END
3830      '-----
3840      *SETUDAN1:'---上方土塊, CBN:切断土塊数
3850      LS=WCI+UD+Z*ZST
3860      GOSUB *SEPASETUKEI
3870      IF EON=EON1 THEN CBN=M ELSE CBN=N
3880      FOR K=1 TO 3:VL1(K)=VS*CD(K)*CBN:NEXT K
3890      V1=VS*CBN:CBN1=CBN
3900      RETURN
3910      *SETUDAN2:'---下方土塊
3920      LS=PD-WCI-Z*ZST

```

```

3930 GOSUB *SEPASETUKEI
3940 FOR K=1 TO 3:VL2(K)=VS*CD(K)*N:NEXT K
3950 V2=VS*N
3980 RETURN
3970 *SETUDAN3:'---上方土塊(新)
3980 LS=UD+Z*ZST-SCI
3990 GOSUB *SEPASETUKEI
4000 IF EON=EON1 THEN CBN=N ELSE CBN=M
4010 FOR K=1 TO 3:VL3(K)=VS*CD(K)*CBN:NEXT K
4020 V3=VS*CBN:CBN3=CBN
4030 RETURN
4040 *SETUDAN4:'---下方土塊(新)
4050 LS=Z*ZST-SCI
4060 GOSUB *SEPASETUKEI
4070 FOR K=1 TO 3:VL4(K)=VS*CD(K)*M:NEXT K
4080 V4=VS*M
4090 RETURN
4100 '
4110 *KEISAN1
4120 VLO=VL*PD*TNO:VO=VL*TNO:VLOD=PD*TNO:'---完全土塊
4130 '----切斷土塊(上方:1,下方:1)
4140 GOSUB *SETUDAN1
4150 GOSUB *SETUDAN2
4160 FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VLO+VL1(K)+VL2(K):TV(K)=TV(K)+VO+V1+V2:NEXT K
4170 RETURN
4180 *KEISAN2
4190 VLO=VL*PD*TNO:VO=VL*TNO:VLOD=PD*TNO:'---完全土塊
4200 '----切斷土塊(上方:2,下方:1)
4210 GOSUB *SETUDAN1
4220 GOSUB *SETUDAN3
4230 GOSUB *SETUDAN2
4240 FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VLO+VL1(K)+VL3(K)+VL2(K):TV(K)=TV(K)+VO+V1+V3+V2:NEXT K
4250 RETURN
4260 *KEISAN3
4270 IF EON=EON1 THEN TNO1=TNO+M ELSE TNO1=TNO+N
4280 TNO2=TNO1-M
4290 VLO=VL*PD*TNO2:VO=VL*TNO2:VLOD=PD*TNO2:'---完全土塊
4300 '----切斷土塊(上方:1--新,下方:2)
4310 GOSUB *SETUDAN3
4320 GOSUB *SETUDAN2
4330 GOSUB *SETUDAN4
4340 FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VLO+VL3(K)+VL2(K)+VL4(K):TV(K)=TV(K)+VO+V3+V2+V4:NEXT K
4350 RETURN
4360 *KEISAN4
4370 IF EON=EON1 THEN TNO1=TNO+M ELSE TNO1=TNO+N
4380 VLO=VL*PD*TNO1:VO=VL*TNO1:VLOD=PD*TNO1:'---完全土塊
4390 '----切斷土塊(上方:1--新,下方:1)
4400 GOSUB *SETUDAN3
4410 GOSUB *SETUDAN2
4420 FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VLO+VL3(K)+VL2(K):TV(K)=TV(K)+VO+V3+V2:NEXT K
4430 RETURN
4440 *KEISAN5
4450 TNO2=TNO-M
4460 VLO=VL*PD*TNO2:VO=VL*TNO2:VLOD=PD*TNO2:'---完全土塊
4470 '----切斷土塊の計算(上方:2,下方:2)--
4480 GOSUB *SETUDAN1
4490 GOSUB *SETUDAN3
4500 GOSUB *SETUDAN2
4510 GOSUB *SETUDAN4
4520 FOR K=1 TO 3:TVD(K)=TVD(K)+VLO+VL1(K)+VL3(K)+VL2(K)+VL4(K):TV(K)=TV(K)+VO+V1+V3+V2+V4:NEXT K
4530 RETURN
4540 '
4550 *SEPASETUKEI
4560 VS=PI*(LS*LS*PR-(LS*LS*LS)/3):A1=2*SQR(PR*PR-(PR-LS)^2)
4570 IF LS>=PR THEN AST=PD ELSE AST=A1

```

```

4580 CD(1)=(2*AST+LS)/3:CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3)
4590 IF LS>PR THEN 4610
4600 YB=SQR(PR*PR-(PR-LS)^2):XB=-1*(PR-LS):GOTO 4620
4610 YB=SQR(PR*PR-(LS-PR)^2):XB=LS-PR
4620 IF LS<=(PR-TP) THEN CD(3)=YB*SQR(2)
4630 IF (PR-TP)<LS AND LS<(PR+TP) THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
4640 IF (PR+TP)<=LS THEN CD(3)=PD
4650 FLG=0:'---行 NO 5960,6130 の間係より
4660 RETURN
4670 '
4680 '--- サンプラ切断土塊の体積. 目開き ---
4690 *SANPSETUKEI
4700 VS=B(I,J,0)+B(I,J,1)*D+B(I,J,2)*D*D+B(I,J,3)*D*D*D
4710 XA=(SR*SR-PR*PR+XI*XI)/2/XI:XB=XA-XI:XA=INT(XA*10000)/10000:SR=INT(S
R*10000)/10000:YB=SQR(SR*SR-XA*XA)
4720 IF D)=PR THEN AST=PD ELSE AST=A1
4730 IF XA>XI THEN A2=PD ELSE A2=2*YB
4740 CD(1)=(D+AST+A2)/3
4750 IF VS>0 THEN CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3) ELSE CD(2)=0
4760 IF -PR<=XB AND XB<=-TP THEN CD(3)=YB*SQR(2)
4770 IF -TP<XB AND XB<TP THEN CD(3)=(PD+(XB+YB)*SQR(2))/2
4780 IF TP<=XB AND XB<=PR THEN CD(3)=PD
4790 RETURN
4800 '
4810 *RYOSETUKEI
4820 IF D<=PR THEN 4840
4830 LE=SQR(PR*PR-(PR-ST)^2):GOTO 4930
4840 LE=SQR(PR*PR-(HAF-ST)^2)
4850 LG=PR-D:GE=LE-LG:'--- D<=PRの場合
4860 LF=XI-(SR*SR-LE*LE+XI*XI)/2/XI
4870 IF (LE*LE-LF*LF)>0 THEN 4890
4880 PQ=0:GOTO 4900
4890 PQ=2*SQR(LE*LE-LF*LF)
4900 PQMHAN=PR*PR-(XI-(SR*SR-PR*PR+XI*XI)/2/XI)^2
4910 IF PQMHAN<0 THEN PQMHAN=0
4920 PQM=2*SQR(PQMHAN):'---ST=HAFの時のPQ(PQのMAX)
4930 IF D)=PR THEN 4950
4940 IF ST)=HAF THEN AO=D ELSE AO=GE:GOTO 4980
4950 IF ST<(PR-HAF) THEN AO=2*LE
4960 IF (PR-HAF)<=ST AND ST<PR THEN AO=LE+(D-PR)
4970 IF ST)=PR THEN AO=D
4980 IF D)=PR THEN 5000
4990 IF ST<HAF THEN A2=PQ ELSE A2=PQM:GOTO 5010
5000 IF ST<PR THEN A2=2*LE ELSE A2=PD
5010 CD(1)=(ST+AO+A2)/3
5020 KEI=PD/20
5030 IF D<3*KEI THEN K=1
5040 IF 3*KEI<=D AND D<5*KEI THEN K=2
5050 IF 5*KEI<=D AND D<7*KEI THEN K=3
5060 IF 7*KEI<=D AND D<9*KEI THEN K=4
5070 IF 9*KEI<=D AND D<11*KEI THEN K=5
5080 IF 11*KEI<=D AND D<13*KEI THEN K=6
5090 IF 13*KEI<=D AND D<15*KEI THEN K=7
5100 IF 15*KEI<=D AND D<17*KEI THEN K=8
5110 IF 17*KEI<=D THEN K=9
5120 VS=A(I,J,K,0)+A(I,J,K,1)*ST+A(I,J,K,2)*ST*ST+A(I,J,K,3)*ST*ST*ST
5130 IF VS>0 THEN CD(2)=2*(3*VS/4/PI)^(1/3) ELSE CD(2)=0
5140 '
5150 '--- サンプラ. セバレータ両方の切断による土塊体積と目開き ---
5160 RUT=PI/180:DPR=D-PR
5170 IF TP<D AND D<=PR THEN 5250
5180 IF PR<D AND D<=(PR+TP) THEN 5220
5190 IF D)>PR+TP THEN 5660
5200 '
5210 '---D区間 (D <= TP)
5220 H=1-(GE/ST):A=ATN(H)
5230 CD(3)=ST*COS(A):GOTO 5750
5240 '
5250 '--- D区間 (TP < D <= PR) ---
5260 IF LG=0 THEN 5300

```

```

5270 H=HAF/LG
5280 RDA=ATN(H)
5290 AZ=SQR(PR*PR/(1+(HAF/LG)^2)):GOTO 5310: '---接線方式か回転方式かの境
    界点
5300 RDA=PI/2:AZ=0
5310 IF ST>(AZ+HAF) THEN 5380:'---接線方式へ
5320 IF ST=GE THEN 5330 ELSE 5340
5330 CD(3)=ST:GOTO 5750
5340 IF ST>GE THEN 5360
5350 RDA2=ATN(1-ST/GE):CD(3)=GE*COS(RDA2):GOTO 5750
5360 RDA2=ATN(1-GE/ST):CD(3)=ST*COS(RDA2):GOTO 5750
5370
5380 '---接線方式
5390 DIM DIG(180),DIF(180),MSA(180)
5400 RDA3=ATN((HAF-ST)/(D-PR-GE))
5410 RDA4=PI/2-RDA3:NN=0
5420 FOR II=RDA4 TO RDA STEP RUT
5430 NN=NN+1
5440 DIG=ABS((-1*HAF-TAN(II)*(D-PR))/SQR(TAN(II)^2+1))
5450 DIF=ABS(((ST-HAF)+(D-PR)/TAN(II))/SQR(1/TAN(II)^2+1))
5460 DIG(NN)=DIG:DIF(NN)=DIF:MSA(NN)=ABS(DIG-DIF)
5470 NEXT II
5480 '--- 最小値のリサーチ
5490 GOSUB *MINRESERCH
5500 CD(3)=PR+(DIG+DIF)/2:ERASE DIG,DIF,MSA:GOTO 5750
5510
5520 '--- D 区間 ( P R < D <= ( P R + T P ) ) ---
5530 IF ST<=(PR-HAF) THEN 5540 ELSE 5560
5540 LS=ST
5550 GOTO *SEPASETUKEI
5560 CZ=SQR(PR*PR/(1+(HAF/DPR)^2)):'---C 点の Z 座標
5570 IF (PR-HAF)<ST AND ST<=CZ THEN 5600
5580 IF CZ<ST AND ST<=PR THEN *SESEN1
5590 IF ST>PR THEN *SESEN2
5600 '---回転方式
5610 LEO=SQR(PR*PR-(PR-ST)^2)
5620 GEO=LEO+DPR:LSO=ST-(PR-HAF)
5630 RDA2=ATN(GEO/(GEO-LSO))
5640 CD(3)=GEO*SIN(RDA2):GOTO 5750
5650
5660 '--- D 区間 ( D > P R + T P ) ---
5670 FLG=1:LS=ST
5680 IF (PR-HAF)>=ST THEN *SEPASETUKEI ELSE 5690
5690 IF (PR-HAF)<ST AND ST<=PR THEN *SESEN1 ELSE 5700
5700 A=2:B=4*DPR/SQR(2):C=2*DPR*DPR-PR*PR:'--- A,B,C は 2 次方程式の係数
5710 IF (B*B-4*A*C)<=0 THEN 5740
5720 Y3=(-1*B+SQR(B*B-4*A*C))/(2*A):Y3=ABS(Y3):'--- Y 3 は 限界点の座標
5730 IF PR<ST AND ST<(PR+Y3) THEN *SESEN2 ELSE 5740
5740 FLG=0:IF D)=ST THEN CD(3)=D ELSE CD(3)=ST
5750 RETURN
5760
5770 *SESEN1
5780 DIM DIG(180),DIF(180),MSA(180):NN=0
5790 IF FLG=1 THEN 5820
5800 RDA=ATN(DPR/HAF)
5810 RDA4=ATN((PR-ST)/LE):GOTO 5830
5820 RDA4=ATN((PR-ST)/LE):RDA=PI/4:'--- D>PR+TP
5830 FOR II=RDA4 TO RDA STEP RUT
5840 NN=NN+1
5850 IF II=0 THEN 5880
5860 DIG=ABS(ST-PR+DPR/TAN(II))/SQR(1/(TAN(II)^2)+1)
5870 DIF=ABS(ST-PR+TAN(II)*LE)/SQR((TAN(II))^2+1):GOTO 5890
5880 DIF=0:DIG=ABS(DPR)
5890 DIG(NN)=DIG:DIF(NN)=DIF:MSA(NN)=ABS(DIG-DIF)
5900 NEXT II
5910 GOSUB *MINRESERCH
5920 CD(3)=PR+(DIG+DIF)/2:ERASE DIG,DIF,MSA:FLG=0
5930 RETURN
5940
5950 *SESEN2

```

```

5960 DIM DIG(270),DIF(270),MSA(270):NN=0
5970 IF FLG=1 THEN 6000
5980 RDA=ATN(DPR/HAF)
5990 RDA4=ATN((PR-ST)/LE):GOTO 6010
6000 RDA4=ATN((ST-PR)/DPR):RDA=PI/4: ' --- D>PR+TP
6010 FOR II=RDA4 TO RDA STEP RUT
6020 NN=NN+1
6030 IF II=0 THEN 6070
6040 IF II>0 THEN 6090
6050 DIF=ABS(ST-PR-TAN(II)*DPR)/SQR(TAN(II)^2+1)
6060 DIG=ABS(DPR/TAN(II)-HAF)/SQR(1/(TAN(II)^2)+1):GOTO 6110
6070 DIF=ABS(PR-ST):DIG=ABS(DPR)
6080 GOTO 6110
6090 DIG=ABS(ST-PR+DPR/TAN(II))/SQR(1/(TAN(II)^2)+1)
6100 DIF=ABS(ST-PR+TAN(II)*LE)/SQR(TAN(II)^2+1)
6110 DIG(NN)=DIG:DIF(NN)=DIF:MSA(NN)=ABS(DIG-DIF)
6120 NEXT II
6130 GOSUB *MINRESERCH
6140 CDK=PR+(DIG+DIF)/2
6150 IF D<ST THEN 6180
6160 IF CDK=>D THEN CD(3)=D ELSE CD(3)=CDK
6170 GOTO 6190
6180 IF CDK=>ST THEN CD(3)=ST ELSE CD(3)=CDK
6190 ERASE DIG,DIF,MSA:FLG=0
6200 RETURN
6210 '
6220 *MINRESERCH
6230 FOR II=1 TO NN:N3=1
6240 FOR JJ=1 TO NN
6250 IF MSA(II)<=MSA(JJ) THEN 6270
6260 N3=N3+1
6270 NEXT JJ
6280 IF N3=1 THEN 6300
6290 NEXT II
6300 DIG=DIG(II):DIF=DIF(II)
6310 RETURN
6320 *SEKISAN1
6330 FOR K=1 TO 3
6340 TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K):TV(K)=TV(K)+VS
6350 NEXT K
6360 RETURN
6370 *SEKISAN2
6380 FOR K=1 TO 3
6390 TVD(K)=TVD(K)+VS*CD(K)*KOSU:TV(K)=TV(K)+VS*KOSU
6400 NEXT K
6410 RETURN

```

資料Ⅱ（第3章の土塊分布測定データの一部；各節上の土塊質量）

付表 3-1 沖積地水田（農機研川里農場；埼玉県北埼玉郡川里村，1983.5）

試験条件 土壌型：灰色低地土，土性：SiC，土壌含水比：36.8～45.5%
 耕うんピッチ：13～76mm間の4水準
 供試ロータリ；4水準，採土サンプル内径：200mm

付表 3-1-1 ダウンカットロータリ・慣行なた爪

(単位：g)

耕うん ピッチ(mm)	深さ (cm)	測定 No	土塊 径 (mm)								合計
			<1	1<	2<	4<	8<	16<	32<	63<	
13	0～5	1	18	23	178	116	308	509	90	0	1242
13	0～5	2	19	20	48	97	296	544	315	0	1339
13	5～10	1	10	39	89	242	526	716	185	0	1807
13	5～10	2	15	34	81	161	400	548	153	0	1329
13	10～15	1	5	27	88	200	472	745	219	0	1756
13	10～15	2	13	45	119	210	480	732	393	0	1992
26～30	0～5	1	15	21	40	95	228	397	445	0	1241
26～30	5～10	1	28	54	109	160	352	577	292	0	1572
26～30	10～15	1	15	42	92	185	384	582	379	0	1679
26～30	0～15	1	89	100	246	498	770	1560	1091	0	4354
46～50	0～5	1	23	15	37	68	140	395	350	0	1028
46～50	5～10	1	41	67	114	199	362	517	420	0	1720
46～50	10～15	1	23	65	146	233	419	585	483	0	1954
46～50	0～15	1	87	127	221	474	829	1297	1253	234	4522
69～76	0～5	1	7	11	18	40	53	200	441	0	770
69～76	5～10	1	32	45	90	163	284	362	545	0	1521
69～76	10～15	1	15	31	73	154	275	404	647	0	1599
69～76	0～15	1	135	153	202	296	432	653	785	2421	5077

付表 3-1-2 レーキ付きアップカットロータリ・慣行なた爪

(単位：g)

耕うん ピッチ(mm)	深さ (cm)	測定 No	土塊 径 (mm)								合計
			<1	1<	2<	4<	8<	16<	32<	63<	
13	0～5	1	21	25	118	132	343	553	61	0	1253
13	0～5	2	14	12	31	118	374	626	126	0	1301
13	5～10	1	14	30	83	173	387	1026	38	0	1751
13	5～10	2	1	8	28	90	263	804	481	0	1675
13	10～15	1	6	22	49	123	325	835	277	0	1637
13	10～15	2	0	3	11	51	155	549	1072	0	1841
26～30	0～5	1	6	7	17	33	84	187	235	0	569
26～30	0～5	2	12	11	33	96	247	327	121	0	847
26～30	0～5	3	13	12	30	78	214	362	488	0	1197
26～30	5～10	1	7	17	44	112	245	530	434	0	1389
26～30	5～10	2	13	13	33	82	247	530	770	0	1688
26～30	5～10	3	2	15	44	110	227	613	783	0	1794
26～30	10～15	1	7	10	33	88	223	442	631	435	1869
26～30	10～15	2	7	15	36	77	213	535	949	268	2100
26～30	10～15	3	3	11	27	67	196	558	905	0	1767
46～50	0～5	1	31	38	60	103	228	376	390	0	1226
46～50	0～5	2	26	23	44	89	224	462	338	0	1206
46～50	5～10	1	24	42	63	115	212	599	644	0	1699
46～50	5～10	2	8	16	34	112	158	378	968	0	1674
46～50	10～15	1	13	30	62	114	217	452	1229	0	2117
46～50	10～15	2	4	12	33	77	159	567	838	0	1690

注) レーキはφ10mmの丸鋼からなり，その間隔は25mmである。

付表 3-1-3 ダウンカットロータリ・異形なた爪

(単位: g)

耕うん ピッチ (mm)	深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)								合計
			<1	1<	2<	4<	8<	16<	32<	63<	
13	0~5	1	31	50	114	198	380	545	113	0	1431
13	0~5	2	38	57	107	199	362	515	43	0	1321
13	5~10	1	30	65	132	234	398	472	78	0	1409
13	5~10	2	52	79	218	287	505	577	126	0	1844
13	10~15	1	20	93	167	302	525	564	126	0	1797
13	10~15	2	35	77	148	240	437	603	101	0	1641
26~30	0~5	1	28	40	83	175	300	504	94	0	1224
26~30	0~5	2	34	46	83	148	282	480	205	0	1278
26~30	5~10	1	32	82	139	257	471	494	188	0	1663
26~30	5~10	2	43	75	133	229	345	560	119	0	1504
26~30	10~15	1	27	180	142	260	463	545	218	0	1835
26~30	10~15	2	46	85	163	276	471	669	93	0	1803

付表 3-1-4 レーキ付きアップカットロータリ・異形なた爪

(単位: g)

耕うん ピッチ (mm)	深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)								合計
			<1	1<	2<	4<	8<	16<	32<	63<	
13	0~5	1	40	73	123	244	506	324	33	0	1343
13	0~5	2	21	38	93	192	417	566	97	0	1424
13	5~10	1	30	63	117	211	349	534	232	0	1536
13	5~10	2	13	37	97	180	368	672	138	0	1505
13	10~15	1	20	52	104	188	388	590	181	0	1523
13	10~15	2	10	33	77	161	340	671	470	0	1765
26~30	0~5	1	30	44	88	155	359	385	241	0	1302
26~30	0~5	2	33	38	80	153	311	386	294	0	1295
26~30	5~10	1	35	58	116	199	397	608	185	0	1598
26~30	5~10	2	24	43	80	164	286	428	637	0	1662
26~30	10~15	1	24	44	88	152	317	571	638	0	1834
26~30	10~15	2	10	30	83	144	282	641	731	0	1921
46~50	0~5	1	47	41	86	169	304	379	56	0	1082
46~50	0~5	2	59	56	105	207	389	418	251	0	1485
46~50	5~10	1	59	63	102	176	286	292	328	287	1593
46~50	5~10	2	36	57	90	169	271	633	216	0	1472
46~50	10~15	1	45	56	95	165	271	551	479	0	1662
46~50	10~15	2	35	62	113	184	314	500	531	0	1739
69~76	0~5	1	62	53	88	153	298	320	57	0	1031
69~76	0~5	2	35	33	61	125	221	330	227	0	1032
69~76	5~10	1	43	61	99	185	331	344	641	0	1704
69~76	5~10	2	51	60	95	169	272	377	314	279	1617
69~76	10~15	1	19	37	58	136	283	441	754	237	1965
69~76	10~15	2	26	100	99	154	205	329	620	283	1819

注) レーキはφ10mmの丸鋼からなり、その間隔は25mmである。

付表 3-2 洪積台地畑 (茨城大学農場, 茨城県稲敷郡阿見町, 1984)

試験条件 土壌型 : 淡色黒ボク土, 土性 : CL~LiC, 土壌含水比 : 40.1~64.3%
 耕うんピッチ : 14mm, 供試ロータリ : ダウンカット・なた爪
 採土サンプル内径 : 100, 200, 400mmの3水準。

付表 3-2-1 採土サンプル内径100mm

(単位 : g)

深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)						合計
		<2	2<	4<	8<	16<	32<	
0~5	1	234	47	38	30	24	0	373
0~5	2	233	55	41	26	10	0	365
0~5	3	231	54	35	14	24	0	358
0~5	4	214	48	43	43	29	0	377
0~5	5	164	39	35	39	10	0	287
0~5	6	226	50	48	32	28	0	384
5~10	1	234	60	49	36	28	0	407
5~10	2	234	68	51	27	23	0	403
5~10	3	262	66	44	20	0	0	392
5~10	4	260	61	46	29	0	0	396
5~10	5	177	48	54	39	30	0	348
5~10	6	207	64	62	38	15	0	386
10~15	1	229	73	79	30	0	0	441
10~15	2	249	74	64	25	19	0	431
10~15	3	264	75	49	18	0	0	406
10~15	4	214	69	69	53	24	0	429
10~15	5	203	69	62	39	40	0	413
10~15	6	213	74	78	44	13	0	422

付表 3-2-2 採土サンプル内径200mm

(単位 : g)

深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)						合計
		<2	2<	4<	8<	16<	32<	
0~5	1	849	166	148	76	97	32	1368
0~5	2	1033	235	186	104	61	22	1641
0~5	3	700	140	134	123	84	0	1181
0~5	4	796	183	143	122	79	29	1352
0~5	5	663	123	145	98	104	61	1194
0~5	6	752	151	135	114	48	23	1223
5~10	1	477	53	189	126	74	0	919
5~10	2	972	230	216	109	25	0	1552
5~10	3	744	189	163	155	64	0	1315
5~10	4	691	210	173	142	82	0	1298
5~10	5	757	211	154	119	29	0	1270
5~10	6	756	205	159	137	69	0	1326
10~15	1	914	216	182	94	56	0	1462
10~15	2	835	216	194	127	56	0	1428
10~15	3	778	242	209	186	50	0	1465
10~15	4	736	241	207	171	71	0	1426
10~15	5	831	260	177	137	39	0	1444
10~15	6	658	240	174	139	63	0	1274
0~15	1	2571	558	571	326	128	95	4249
0~15	2	2573	549	542	455	93	70	4282
0~15	3	2660	618	585	338	183	117	4501
0~15	4	2158	534	518	500	168	43	3921
0~15	5	2452	523	519	307	144	178	4123
0~15	6	2233	602	550	504	223	189	4301

付表 3-2-3 採土サンプル内径400mm

(単位 : g)

深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)						合計
		<2	2<	4<	8<	16<	32<	
0~5	1	2698	518	513	227	140	171	4267
0~5	2	3334	640	494	422	230	94	5214
0~5	3	3168	675	651	451	169	77	5191
0~5	4	3469	671	611	506	274	82	5613
0~5	5	2913	694	606	478	312	170	5173
0~5	6	3191	745	614	453	260	239	5502
5~10	1	3536	732	1135	401	87	96	5987
5~10	2	3632	789	736	442	98	68	5765
5~10	3	3744	698	764	578	184	0	5968
5~10	4	2653	734	574	506	203	87	4757
5~10	5	3524	997	822	672	249	194	6458
5~10	6	2857	792	717	514	239	27	5146
10~15	1	3736	911	822	431	102	0	6002
10~15	2	2532	799	735	448	132	0	4646
10~15	3	2925	801	822	448	106	0	5102
10~15	4	2517	847	772	587	192	0	4915
10~15	5	2480	761	653	407	159	0	4460
10~15	6	2985	973	898	608	141	51	5656

付表 3-3 洪積台地水田 (茨城大学農場, 茨城県稲敷郡阿見町, 1984)

試験条件 土壌型 : 淡色黒ボク土, 土性 : CL~LiC, 土壌含水比 : 79.4~95.2%

耕うんピッチ : 14mm, 供試ロータリ : ダウンカット・なた爪

採土サンプル内径 : 100, 200, 400mmの4水準

付表 3-3-1 採土サンプル内径100mm

(単位 : g)

深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)							合計
		<2	2<	4<	8<	16<	32<	63<	
0~5	1	4	3	6	9	8	0	183	213
0~5	2	7	2	8	16	11	234	0	278
0~5	3	24	17	21	23	49	172	0	306
0~5	4	20	18	33	49	37	140	0	297
0~5	5	19	22	31	38	105	113	0	328
0~5	6	13	14	22	32	27	202	0	310
5~10	1	15	13	19	38	49	225	0	359
5~10	2	13	9	14	18	0	0	404	458
5~10	3	63	44	72	94	102	0	0	375
5~10	4	27	27	38	56	69	219	0	436
5~10	5	28	30	45	66	90	161	0	420
5~10	6	42	32	54	87	102	74	0	391
10~15	1	21	23	38	49	53	233	0	417
10~15	2	24	24	35	52	75	299	0	509
10~15	3	58	51	74	74	84	148	0	489
10~15	4	28	28	44	64	47	242	0	453
10~15	5	39	53	73	70	59	139	0	433
10~15	6	32	32	44	72	29	202	0	411

付表 3-3-2 採土サンブラ内径200mm

(単位 : g)

深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)							合計
		<2	2<	4<	8<	16<	32<	63<	
0~5	1	21	16	28	58	86	95	705	1009
0~5	2	74	52	91	124	208	495	0	1044
0~5	3	29	17	39	59	65	282	0	491
0~5	4	68	42	69	84	201	170	304	938
0~5	5	103	91	134	187	329	434	0	1278
0~5	6	59	43	76	102	167	445	0	892
5~10	1	113	88	124	222	256	571	174	1578
5~10	2	172	143	196	266	347	374	0	1498
5~10	3	110	108	164	254	212	439	0	1287
5~10	4	140	103	165	229	217	306	0	1160
5~10	5	139	150	195	250	181	366	0	1281
5~10	6	133	112	168	240	266	494	0	1413
10~15	1	171	145	198	275	381	487	0	1657
10~15	2	188	154	220	318	261	263	0	1404
10~15	3	124	161	218	358	375	219	0	1455
10~15	4	194	185	247	318	369	231	0	1544
10~15	5	148	208	251	413	501	257	0	1778
10~15	6	165	185	265	360	434	130	0	1539
0~15	1	230	219	334	497	645	1475	691	4091
0~15	2	324	276	386	621	777	1148	804	4336
0~15	3	425	397	462	653	895	730	728	4290
0~15	4	288	276	369	745	690	1554	321	4243
0~15	5	438	423	558	806	910	1169	0	4304
0~15	6	309	332	422	722	1024	1245	597	4651

付表 3-3-3 採土サンブラ内径400mm

(単位 : g)

深さ (cm)	測定 No	土 塊 径 (mm)							合計
		<2	2<	4<	8<	16<	32<	63<	
0~5	1	315	241	380	584	783	579	298	3180
0~5	2	67	47	79	134	233	719	0	1279
0~5	3	167	100	152	223	407	526	310	1885
0~5	4	283	197	298	402	447	996	848	3471
0~5	5	164	123	175	226	330	1393	0	2411
0~5	6	209	147	218	412	632	1451	267	3336
5~10	1	563	638	741	1193	954	1356	0	5445
5~10	2	584	502	685	1143	1175	1740	1633	7462
5~10	3	510	382	603	830	867	959	0	4151
5~10	4	413	367	492	762	802	1526	323	4685
5~10	5	545	570	671	822	1153	1200	257	5218
5~10	6	357	353	517	599	1019	1535	324	4704
10~15	1	760	997	1183	1474	1236	949	0	6599
10~15	2	374	419	641	936	1073	1120	370	4933
10~15	3	724	652	949	1413	1314	1359	0	6411
10~15	4	639	703	834	1249	1136	2113	182	6856
10~15	5	656	695	885	1019	1081	713	0	5049
10~15	6	422	417	794	1161	1205	1382	604	5985