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 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

森泉昭治・林 尚孝・山森主税

Studies on the Soil Displacement by Rotary Tillage

I. The Fundamental Experiment by Means of Electrical Conductivity Method for the Estimation of Displacement Ratio of the Tilled Soil

Shoji MORIIZUMI, Naotaka HAYASHI and Chikara YAMAMORI

1 緒 言

我が国における耕うん法は、プラウ耕とロータリ耕の二方法に大別される。ロータリ耕は耕起と碎土の同時化により、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という利点がある。このため我が国においては、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、ロータリ耕は土壤の反転性が悪いという問題点を有している¹⁾。

耕うん作業結果として土壤の反転性は重要であるにもかかわらず、ロータリ耕の土壤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^{2) - 9)}。従来の代表的な測定法として、稲わら・チョーク片・木片などをトレーサとする方法がある。つまり、これらのトレーサを耕うん場所に定置し、耕うん後にその変位から土壤の反転性を推定する方法である。この方法に対し、川嶋らは⁸⁾トレーサが耕うん土塊と同一運動をしない問題点を指摘している。最近、小麦の発芽種子をトレーサとした方法の発表⁹⁾があり注目された。小麦の発芽種子の根が土塊に付着しているため、トレーサと土塊が同一の動きをする長所をもっているが、その反面、この方法は中

・下層の土壤移動に応用できない欠点がある。このほかにも小麦種子を発芽させるという面倒な手順が、この方法では必要となる。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・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、正確な土壤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壤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1)にあることに着目し、耕うんにより移動する土壤のトレーサとして、KClを利用する方法を採用した。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。本報の実験では、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

平成元年7月10日受理

日本農作業学会第24回講演会で一部発表

茨城大学農学部 茨城県稲敷郡阿見町阿見3998 〒300-03

Faculty of Agriculture, Ibaraki University, 3998 Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki, 300-03

図1 KCl 溶液の濃度と電気伝導度との関係

表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：10μS/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 hr, 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

について検討した。なお、第2報では実際のロータリ耕うんに適用した結果を報告する予定である。

2 試験方法

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¹⁰⁾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1に示したものである。

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

(2) 試料に蒸留水 150 ml を加え、30 分間振とうする。

表2 試料の作製法

(1) 実験Ⅰ (EC単位: μS/cm)		
試料	原土壌の重量 (EC:116)	KCl混入土の重量 (EC:6445)
A	500 gf	100 gf
B	500	200
C	500	300
D	500	400
E	500	500

(2) 実験Ⅱ		
試料	原土壌の EC 値 (重量: 300gf)	KCl混入土の EC 値 (重量: 300 gf)
F	110	1142
G	110	2112
H	110	3146
I	110	4205
J	110	5189

(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 30 gf 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。

$$EC = e_c (100 + W_d) / 100 \quad (1)$$

但し、EC：乾土換算した電気伝導度 (μS/cm)

W_d ：含水比 (％，乾土基準)

e_c ：生土で測定した電気伝導度 (μS/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滌した後、測定液によって友洗いを実施した。

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。また、以下では電気伝導度を EC 値と略称する。

原土壌は本学付属農場の洪積台地ローム畑の土壌を用いた。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2) では、まず原土壌 3kgf に KCl を 30 gf 加え十分に混合し、EC 値 6445 μS/

cmのKCl混入土を作った。そして、500 gfの原土壌に対し、このKCl混入土を5段階(100～500 gf)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1 kgfに対しKCl量を2, 4, 6, 8, 10 gf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300 gfに同重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、土塊を碎きながら十分に両者を攪拌・混合している。

3 試験結果および考察

1) 測定EC値と計算EC値

図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3～表4のとおりである。測定EC値と標準偏差は6反復測定の数

値から求めている。計算EC値は次の仮説式から算出したものである。

$$M_s = E_1(W_1/T) + E_2(W_2/T) \quad (2)$$

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重量

測定EC値と計算EC値間との偏差割合は実験Ⅰで-0.1～-3.4%, 実験Ⅱで-2.4～2.3%の範囲であった。実験Ⅱの偏差割合は0を中心にはばらついている。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(2)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良いと考察される。この式の成立は混合前の2種類の土壌と混合土のEC値測定により、その混合重量比が計算できることを意味している。

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 $E_{1m} \sim E_{3m}$, 耕うん前各層の移動割合は $R_{11} \sim R_{33}$ の記号を用いている。

(1) 3元連立1次方程式による方法

表3 実験Ⅰにおける各EC値と偏差割合

(EC値単位: $\mu S/cm$)				
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 = {(測定EC値-計算EC値)/(計算EC値)} × 100

表4 実験Ⅱにおける各EC値と偏差割合

(EC単位: $\mu S/cm$)				
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

図2 原土壌1 kgfに対しKCl混合重量を変化させた場合の混入土のEC値

耕うん前の上・中・下層に KC1 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、各層の土壤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にしている。

前記(2)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。

$$M_{11} = E_{1m} \cdot R_{11} + E_{12} \cdot R_{21} + E_{13} \cdot R_{31} \quad (3)$$

$$M_{21} = E_{21} \cdot R_{11} + E_{2m} \cdot R_{21} + E_{23} \cdot R_{31} \quad (4)$$

$$M_{31} = E_{31} \cdot R_{11} + E_{32} \cdot R_{21} + E_{3m} \cdot R_{31} \quad (5)$$

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。

(3)~(5)式を行列 E 、ベクトル M 、 R で表現すると以下ようになる。

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

耕うん前

耕うん後

(1) 上層 KC1 混入土処理区

(2) 中層 KC1 混入土処理区

(3) 下層 KC1 混入土処理区

図3 耕土の移動割合推定式に用いる各種記号

- 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

$$\text{関係式 } M = E \cdot R \quad (6)$$

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

として(6)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、耕うん前における上・中・下層の原土壌間 EC 値に差があれば、KC1 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 KC1 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 KC1 混入土を入れた3試験を、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試験を一对の基本単位としているのに対し、ここでの方法は1試験を基本単位としている。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。

耕うん前各層が耕うん後各層に移動した割合について、前記(2)式の応用で導いた式が表5に示してある。土壌の移動割合を求める(7)~(15)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 KC1 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5の条件と逆の場合は、(7)~(15)式の不等号の向きを逆にすれば良い。

ここで EC 値が異なる2種類の土壌を混合した場合の(2)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、(7)式を例にとって説明する。耕うん後上層 (M_{11}) 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層へ100

表5 耕うん前各層の移動割合推定式

上層	$(M_{11}-E_{13})/a < R_{11} < (M_{11}-E_{12})/b$ (7)
	$(M_{12}-E_{13})/a < R_{12} < (M_{12}-E_{12})/b$ (8)
	$(M_{13}-E_{13})/a < R_{13} < (M_{13}-E_{12})/b$ (9)
中層	但し $a=E_{1m}-E_{13}$, $b=E_{1m}-E_{12}$
	〈条件〉 $a>0$, $b>0$, $E_{1m}>M_{11}\sim M_{13}$ $M_{11}\sim M_{13}>E_{13}$, $E_{13}>E_{12}$
下層	$(M_{21}-E_{23})/a < R_{21} < (M_{21}-E_{21})/b$ (10)
	$(M_{22}-E_{23})/a < R_{22} < (M_{22}-E_{21})/b$ (11)
	$(M_{23}-E_{23})/a < R_{23} < (M_{23}-E_{21})/b$ (12)
層	但し $a=E_{2m}-E_{23}$, $b=E_{2m}-E_{21}$
	〈条件〉 $a>0$, $b>0$, $E_{2m}>M_{21}\sim M_{23}$ $M_{21}\sim M_{23}>E_{23}$, $E_{23}>E_{21}$
層	$(M_{31}-E_{32})/a < R_{31} < (M_{31}-E_{31})/b$ (13)
	$(M_{32}-E_{32})/a < R_{32} < (M_{32}-E_{31})/b$ (14)
	$(M_{33}-E_{32})/a < R_{33} < (M_{33}-E_{31})/b$ (15)
層	但し $a=E_{3m}-E_{32}$, $b=E_{3m}-E_{31}$
	〈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3を参照のこと

%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・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・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(2)式を適用すると、耕うん後上層のEC値 M_{11} は次式で表される。

$$M_{11}=E_{1m}\cdot R_{11}+E_{12}(1-R_{11}) \quad (16)$$

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

表6 KCl 混入土のEC値と移動割合の推定範囲

(1) $E_{12}=100\mu S/cm$, $M_{11}=250\mu S/cm$			
E_{13}	105 $\mu S/cm$	120 $\mu S/cm$	135 $\mu S/cm$
E_{1m}			
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) $E_{12}=100\mu S/cm$, $M_{11}=400\mu S/cm$			
E_{13}	105 $\mu S/cm$	120 $\mu S/cm$	135 $\mu S/cm$
E_{1m}			
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

た割合 R_{11} は次式となる。

$$R_{11}=(M_{11}-E_{12})/(E_{1m}-E_{12}) \quad (17)$$

上記(イ)のケースについても(2)式を適用・整理すると R_{11} は次式になる。

$$R_{11}=(M_{11}-E_{13})/(E_{1m}-E_{13}) \quad (18)$$

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、(7)式のごとく不等式で表現できる。

表5の(7)~(15)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1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(次報で報告予定)でも推定範囲1%以下となっている例が多数ある。表6に移動割合の推定範囲(R_w)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。

$$R_w=\{(M_{11}-E_{12})/b-(M_{11}-E_{13})/a\} \times 100 \quad (19)$$

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事が分かる。

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。

3) まとめ

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。この考え方にに基づけば3層以上の層に細分した場合にも、土壤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壤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、土壤が前後方向、左右方向にも移動している。この前後・左右方向への土壤移動割合の推定式も、前記②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。

本研究の遂行にあたり、茨城大学農学部 久保田正亜助教授に種々御教示を頂いた。実験および取りまとめには茨城大学農学部 高橋雅之文部技官および当時学生であった原田幸希君に御教示頂いた。記して謝意を表します。また、本論文の作成に当たり御教示・御校閲を頂いた筑波大学農林工学系 小中俊雄教授に御礼申し上げます。

4 摘 要

耕うん作業結果として土壤の反転性は重要であるが、ロータリ耕の土壤反転性に焦点を当てた研究は十分でない。また、測定法也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、KCI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壤のトレーサとして、KCI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種類の土壤を混合し、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良いと考察される。

この仮説式を応用して、耕うん前の上・中・下層の土壤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KCI混入土を入れた3試験をすべ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KCI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試験を一对の基本単位としているのに対し、1試験を独立した基本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KCI混入土（EC値が高い土壤）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層の土壤が移動、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KCI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。

土壤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。この範囲があまり大きくなると、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KCI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。

引用文献

- 1) 農業機械学会編(1984), 新版農業機械ハンドブック: 408~434, コロナ社
- 2) 常松栄他(1955), 自動耕うん機に於ける土壤の変位について(第1報), 農機誌 17(1): 11~16.
- 3) 常松栄他(1955), 同上(第2報), 農機誌 17(1): 78~82.
- 4) 川嶋通義他(1962), 動力耕耘機における土壤の変位について 第1報 土壤変位の

- 性能判定, 農機誌 24(2): 56~60.
- 5) 川嶋通義他(1962), 同上 第2報, 農機誌 24(3): 118~121.
 - 6) 川嶋通義他(1962), 同上 第3報 地表埋設供試片の変位について, 農機誌 24(4): 194~198.
 - 7) 川嶋通義他(1962), 同上 第4報 耕耘土壤の前後移動について, 農機誌 24(4): 199~202.
 - 8) 川嶋通義他(1963), 同上 第5報 供試片の信頼性について, 農機誌 25(1): 31~34.
 - 9) 陳鈞他(1986), ロータリ耕うん刃の反転性能向上に関する研究 第1報 市販刃の反転性能実験, 農機誌 47(4): 459~467.
 - 10) 土壤標準分析・測定法委員会編(1986), 土壤標準分析・測定法 74~76, 博友社

Summary

The soil-overturning properties is an important matter in the working results by rotary tillage, but the measuring method is not still established in Japan. The purpose of this study is to obtain establishment of the measuring method and the accurate ratio of soil displacement by rotary tillage. This paper deals with two methods calculating the ratio of soil displacement.

In this experiment, we adopted the method to use the soil mixed kalium chloride (KCl), as electrical conductivity and concentration of solution of KCl were in proportion to each other. After the electrical conductivity of the soil which mixed two level's soils differing in electrical conductivity

was measured, we discussed on a hypothetical equation to calculate the electrical conductivity of the mixed soils. The deviation between measured electrical conductivity and calculated one showed the range of $-3.4 \sim 2.3\%$. However it is assumed that this degree of errors are practically admitted.

From application of the hypothetical equation, the two methods (simultaneous equations of three unknowns and conditional inequality) to obtain the ratio of soil displacement were derived. Measuring the electrical conductivity of soils which were picked before and after rotary tillage, we can easily estimate by these methods the each ratio that a soil layer before tillage moved to the three layers after tillage.

The method by simultaneous equations of three unknowns must perform the experiment of three plots in which the mixture soil of KCl was put at each layer before rotary tillage. Moreover, this method needs to make the uniform conditions of the three experimental plots.

In case of the method by conditional inequality, the ratio of soil displacement is calculated with a certain range. Therefore if this range increases, the estimating inequality become useless. However, increasing the electrical conductivity of mixture soil of KCl, it is possible to decrease the range within 1%.