

9424 塩類土壌地域における農地生産環境の改良手法に関する基礎研究

助成研究者：穴瀬 真 (東京農業大学 総合研究所)

共同研究者：安富 六郎 (東京農工大学 農学部)

藍 房和 (東京農業大学 農学部)

成岡 市 (東京農業大学 農学部)

杉 修一 (東京農工大学 連合大学院)

本研究は、塩類土壌を研究対象として、農地生産環境の改良手法に関する基礎研究を目指して、毛管上昇汽水および雨水による希釈水の移動に関する基礎水理実験、土壌表面被覆と毛管上昇との関係等について検討し、この基礎研究によってえられた結果を現地塩類土壌改良の研究に資するために研究を行った。

1. 実験手法 カラム円筒実験を計画し、水移動の特徴を把握するために、地下水の高さ、毛管切断層の厚さ、切断層の資材、切断層の設置位置などを種々設定し、毛管水・降下浸透水の移動を観察し、その結果から切断層の設置位置と構造に関する基礎項目を検討した。

また、切断層以浅の作土層における水の蒸発とNaCl集積の特徴についてもカラム円筒実験を計画、切断層を越えて地下汽水が作土層に侵入した場合を想定して、地表面における土壌水の蒸発を抑制し、塩類集積を防止するために地表面マルチの効果について、3種類のマルチで実験を行った。

2. 供試材料 毛管水切断層実験における供試土は、砂とロームを用い、切断層の材料には粒径1.5mmのガラスビーズを用い、切断層と調整層を変えてそれぞれ6種類を設置した。またこれとは別に、切断層の資材として粗殻、粒径30mmの採石、それに対応する対照区を設置、切断層厚を10cmに固定し、その埋設位置を数段階に替え、さらに作土に植物がある場合とない場合を設定し、15種類のカラムを2反復して検証を行った。

次に、塩類集積のメカニズムの実験における供試土は、上記と同じロームと砂を用い、マルチの材料にビニールマルチ、干草マルチ、草生マルチ、および対照区として裸地を設定し、供試土とマルチの組み合わせにより8種類のカラムを設定した。

3. 結果と考察 切断層のはたす役割は、下層の間隙径よりも極端に大きい間隙径を持つ構造を作土層と下層との間に設置することにより、毛管張力の非連続状態を作り出す。切断層が持つ毛管張力が調整層のそれよりも大であれば、毛管上昇は遮断され、地下水位より高位に切断層があるほど、その効果が期待できる。作土層内に植物根が存在する場合、同条件の裸地よりも表層に集積する塩分濃度は低かった。降雨あるいは灌漑水が調整層上端に達した時、降下浸透水の浸透速度が調整層におけるそれよりも大きければ切断層に湛水が生じる。土層中に集積した塩類を溶脱させるには、灌漑や降雨などによる降下浸透を作土層全体に行き渡らせることが必要である。切断層の厚さは、降下浸透の際には切断層内が飽和して下層の可溶性塩類を作土層内に上昇させないように十分な貯留容量と排水機能を持つような間隙構造を考える必要がある。

蒸発量を最も抑える効果があるのはビニールマルチであり、その結果、塩分濃度も低く抑えられた。一方、蒸発量が多いのはロームカラムの草生マルチで、蒸発量が最大であった。これは、植物の蒸散に起因する土壌水分の減少によって濃縮された塩分が蓄積するため、裸地に次いで塩分量が多い。総蒸発量は草生マルチが最大で、塩分量は裸地よりも低いということから、植物が塩を吸収していると考えられた。他のマルチ処理並びに裸地の場合、塩類集積は地表面に集中するが草生マルチではその傾向は見られず、塩分が土壌内部に分散していた。この結果は、今後の農地改善に役立つものと考え現地研究に資する。

9424 塩類土壌地域における農地生産環境の改良手法に関する基礎研究

助成研究者：穴瀬 真（東京農業大学 総合研究所）

共同研究者：安富 六郎（東京農工大学 農学部）

藍 房和（東京農業大学 農学部）

成岡 市（東京農業大学 農学部）

杉 修一（東京農工大学 連合大学院）

1. 研究目的

高温で降水量が少ない乾燥地帯や雨期・乾期に別れている熱帯雨林地方あるいは海水の影響を受けた地域には塩類を多量に含む土壌が広く分布している。地球上に分布するこれら塩類土壌地帯の総面積は9億haを越え、この面積は農業利用可能な陸地全面積の約9%に相当するといわれている。現在のところ、塩類土壌の農業的利用は限定されており、たとえ水田等に利用されている地域でも作物の生産性は極めて低い。将来の人口増加に対応して、今後ますます重要となる食料問題を解決するためには、この種の土壌地域を利用する必要性は増大してきている。

塩類上昇は主として高温・乾燥地帯に出現する。これは主として、浅い位置に塩類を含んだ地下水があり、高温・乾燥条件下で地表面での蒸発が活発なため毛管汽水の上昇に伴い表層まであがり、この地下水に溶存する塩類が土壌の表層に取り残され品出し、徐々に集積するものである。このような塩類土壌地帯は不毛化する。この不毛地、荒地では森林の伐採などによるrunoffの増大によって、出水に伴い土壌侵食を極めて受けやすい。塩類土壌→不毛化→土壌侵食というパターンを繰り返して荒廃している。

本研究は、以上の問題に立脚して、主としてタイ国東北地方コラート台地すなわち塩類土壌域を研究対象として選び、農地生産環境の改良手法に関する基礎研究を行ったものである。

タイ国東北部は、自然的・社会的・経済的諸問題のどれをとっても首都バンコクとは全く異なる恵まれない環境を有している。それが塩類土壌や水分保持力の少ない肥沃度の極めて低い土壌環境であることが大きな原因となっていることは周知のことで、この地方での農業生産性を向上させることがもっとも期待されている。この地域は、乾季・雨期が明瞭に分れていて、塩類土壌が発生しやすい条件にあるとともに、年々の洪水侵食による粘土分が少ないシルトを主体とした有機物に乏しい土壌が分布している。そのため、植物生育、作物生産が難しくなっており、裸地化が進み土壌流亡や土壌侵食を促進している。この環境改善を目指して、本研究では毛管上昇汽水および雨水による希釈水の移動運動に関

する基礎水理実験、土壌表面被覆による土壌表面被覆と毛管水上昇との関係について検討した。また、これらの基礎研究によって得られた結果から現地研究に資することを考えている。

2. 研究方法

水移動の特徴を把握するために、土柱カラム実験を計画し、地下水の高さ、毛管切断層の厚さ、切断層資材の相違、切断層の設置位置などを種々設定し、毛管水・降下浸透水の移動を観察した。さらに、その結果から切断層の設置位置と構造に関する基礎項目を検討した。

また、切断層以浅の作土層における水の蒸発とNaCl集積の特徴についてもカラム実験を計画し、地下汽水が高くなり切断層を越えて作土層に侵入した場合を想定して、地表面における土壌水の蒸発を抑制し塩類集積を防止することを目的に地表面マルチの効果を実験した。

土柱カラム内部の断面積はいずれも38.5cm²とし、所定の乾燥密度Table-1で充填した。地下水(イオン交換水または0.3%NaCl溶液)はマリオット装置で供給し、地下水位を一定に保つようにした。

毛管水切断層実験における供試土は砂土とローム土を用い、切断層の材料には粒径1.5mmのガラスビーズを用いた。Fig-1にカラムと円筒の構造を模式的に示したが、作土と下層には1本の土柱につき同一の供試土を用いた。砂土カラム、ローム土カラムは切断層と下層を替えてそれぞれ6種を準備し、カラム下層の高さは、あらかじめ測定しておいたpF水分曲線から有効毛管上昇高を推定し、ローム土層80cm、砂層50cmとした。

降下浸透実験におけるカラム上端からの灌水方法は、試料上端面に点滴灌水するようにし、灌水強度は10~20mm/hとした。灌水量 Q_{ir} は、カラム内の三層割合のうち気相部分を飽和させることを前提に、各深度ごとの含水比分布測定結果に基づき、次式から算出した。

$$Q_{ir}=A \times W_a / d$$

ここで、 $W_a=100-w \times \rho_d - W_s$ 、 W_a : 気相率(%), W_s : 固相率(%), d : 層厚さ(cm)、 A : 断面積(cm²)、 w : 重量含水比(%), ρ_d : 乾燥密度(g/cm³)。

なお、点滴水が試料全面に行き渡るように濾紙を1枚敷き、その濾紙と試料面の間に間隙が生じないように上から針金で押さえておいた。

またこれとは別に、切断層の資材として粉殻、粒径30mmの碎石、それに対応する対照区を設置、切断層厚を10cmに固定し、その埋設位置を数段階に替え、さらに作土に植物(*Crotalaria* sp.)がある場合とない場合を設定し、15種類のカラムを2反復して検証を行ったFig-2。

3. 結果と考察

3.1. 供試土の物理性

供試土の基本的物理性をTable-1(再出)に、砂土、ローム土のpF水分曲線をFig-3に示す。またガラスビーズのpF水分曲線をFig-4にそれぞれ示す。

試料の土性は国際土壌学会の分類にしたがって、本論で呼ぶ砂土はSand、ローム土はLoam、と判定した。

砂土のpF水分曲線は、pF1.0～1.5の間に変曲点が存在し、体積含水率が急激に減少している。すなわち、このpF区間に相当する間隙割合が多く、有効毛管張力がこの間にあると推定でき、毛管上昇高さは60cmH₂O(=10^{1.8})まで有効と判断した。ローム土は、pF1.8～2.8の間に変曲点を有し、このpF区間に相当する間隙割合が多くなっており、毛管上昇高さは、100cmH₂O(=10^{2.0})まで有効と判断した。

砂土とローム土の両者を比較すると、砂はロームに比べ全体的に同一pF値における体積含水率が少なく、とくに高pF値においてその傾向が著しい。これは、ロームは砂に比べて相対的に毛管張力(水分保持力)が高いことを示している。切断層に用いたガラスビーズのpF水分曲線は、pF1.0～1.5の間に変曲点を持ち毛管上昇高は10cmH₂O程度であり、本実験での切断層材料として有効と判断して使用することにした。

3. 2. 水の移動と切断層

3.2.1. 毛管上昇

ローム土層にNaClが添加されると、粘土が分散して微細間隙が増加するため、その分散割合が高くなることによってpF水分曲線の変曲点は高pF側に移動していくと推察される。

地下水位から試料上端面までの設定の高さは、ローム土、砂土ともまだ十分に毛管上昇し得る高さであり、浸潤前線(初期含水比：10.0%)は、ローム土は24時間、砂土は20日間で切断層まで到達した。しかし、切断層によってそれ以上の毛管上昇は妨げられており、下層と切断層との境界面において、常に切断層の(毛管張力調整層)のそれよりも小さい値をとっている。また地下水位が低いほど切断層と下層との毛管張力の差は大きくなっていることが考えられる。

地下水供給速度は、ローム土、砂土とも浸潤前線上昇域が切断層に達してから約10日後で定常となり、それ以後の供給速度は安定していた。地下水供給速度を地下水を替えてそれぞれみてみると、ロームカラム、砂カラムともに実験開始十数日後に定常となり、地下水位が上昇するにつれて平衡時間は短くなる。しかし、砂層はローム層と比べて同一水位における平衡時間が長い。これは、毛管張力の大小関係が砂土<ローム土であり、平衡状態に近づくための水の移動速度がロームで大きくなっていることに起因する。

切断層のはたす役割は、下層の間隙径よりも極端に大きい間隙径を持つ構造を作土層と下層との関い設置することにより、人為的に毛管張力の非連続状態を作り出すものである。

切断層が持つ毛管張力が下層のそれよりも小であれば、その境界面には下向きのポテンシャル勾配が働き、毛管上昇は遮断される。その度合いは、境界面におけるポテンシャル差が大きいほど強くなり、地下水位の上昇に伴ってその差が小さくなれば弱くなっていく。切断層が持つポテンシャルを下層のポテンシャルより小さくとるほど下層内の地下水位に影響されずに毛管上昇を遮断することが期待できる。

なお、水分の保持特性(毛管張力)を決定するのは、間隙径の分布であり、本質的には土粒子の充填状態、形状、配向状態などの影響が現れてくる。

3.2.2. 降下浸透

作土層内の降下浸透速度は、地下水面の深さが20cmの場合、ローム、砂とも時間の経過に伴い徐々に遅くなり、最終的にはロームカラムは約 1.17×10^{-4} cm/s、砂カラムは約 1.00×10^{-3} cm/s程度になっている。地下水深が40cmの場合では、最初からロームカラムは 1.17×10^{-4} cm/s、砂カラムは 1.17×10^{-3} cm/sと低い値でほぼ一定した浸透速度となっている。これは、地下水位が深い場合、地下水面以上の調整層の水分含量が低く毛管張力は高くなっており、その結果、下層内の下向きの浸潤速度が大きくなっていることに起因している。また下層の浸潤前線が地下水に達して層全体の水分含量が著しく増加し、それがピークに達した時点で一気に部分流となって切断層を降下するという現象が見られた。切断層の飽和透水係数は、毛管張力の減少(絶対値が大きくなる)につれて作土層や下層よりも急激に減少する。したがって、切断層の飽和透水係数が大きいにもかかわらず、作土層、下層の飽和透水係数は切断層より大きくなる。このことから、水分量の多い作土層から水分量の少ない切断層への水の侵入が、作土層がほとんど飽和するまで起こらないという理由を説明することができる。また、降雨あるいは灌漑水が作土層と切断層を通過して下層上端に達した時、降下浸透水の浸透速度が下層よりも大きければ切断層に湛水が生じることになる。

土層中に集積した塩類を溶脱させるには、灌漑や降雨などによる降下浸透を作土層全体に行き渡らせるようにさせることが必要である。そのため、作土層での部分流は塩類を溶脱させるという点に関してはあまり好ましくない。しかしながら、切断層によって作土層を一時飽和状態にさせれば、作土層中に集積した塩類の大部分を溶脱することが期待できる。

3.3. 切断層の構造と資材

切断層の資材の違いによる毛管水切断の効果については、粉殻処理区において切断層と調整層のポテンシャル差が小さく、粉殻が水を引き上げてしまう結果になってしまい、対照区よりも塩分濃度が高く切断層の効果がよくなかった(Fig-5 No crop)。碎石処理区では、切断層と調整層のポテンシャル差は大きかったが切断層内に排水機能を持たせなかったた

めに、ここでも対照区と比べてもさほど塩分濃度に差異はなく効果は思わしくなかった。

作土層内に植物根が存在する場合(Fig-5 crop)は、切断層の資材の違い、切断層の有無の差異は顕著に認められなかったが、植物がない同条件の裸地よりは土壌表面付近の塩類濃度は低く抑えられていることが確認できた。

上述の結果などを含め考察すると毛管上昇水を遮断するためには、切断層と調整層のポテンシャル差が大きいほうが切断層の効果を発揮しうが、その反面、下層への降下浸透を速やかに行わせるためにはその差があまり大きくない方がよいということになる。切断層はこの両者のバランスを考慮した構造を持たせることが必要である。

したがって、塩類集積防止対策にあたって切断層に必要なとされる機能は、毛管上昇を止める機能だけではなく、作土層中の塩類も速やかに洗い流す排水機能を持たなくてはならない。この両機能を満足させる切断層の設置位置は、①栽培作物に応じた作土層厚(15-30cm)を確保する、②最高地下水位に下層の有効毛管上昇高(有効毛管張力)を加えた高さよりも高い位置に設定する、③降下浸透を速やかに行わせるために調整層の排水性を高める、等を条件とするのが望ましい(図-8)。

切断層の厚さは、その機能上重要な要素となる。毛管上昇から考えれば、切断層はその下部で水を引き上げない構造を持つようにすればよい。しかし、降下浸透の際には切断層内が飽和して下層の可溶性塩類を作土層内に上昇させないように十分な貯留容量と排水機能を持つような間隙構造を考えなくてはならない。

4. 今後の課題

以上、農地土壌の塩類集積防除対策に関する基礎事項の検討を進めた。これらの結果は今後の農地環境の改善に役立つものと考えられるが、本研究をさらに進展させるために、

- ①切断層の排水性を促進する構造
- ②土性および土壌構造が異なる場合の、降雨・灌漑あるいは土壌面蒸発による塩類土壌層中の土壌水の行動
- ③蒸発による土壌面構造の変化および塩類結晶析出
- ④耐塩性植物の整理と根圏土壌との相互関係
- ⑤塩類侵入防止・保水のための根群域保護構造の設計と配置
- ⑥実際の農地に切断層を設置するための農業土木技術設計

などについて検討を進め現地研究に資する。

5. 参考文献

- 1) Szabolcs, I. 1989. "Salt-Affected Soils" 1-274, CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla.
- 2) 国際協力事業団. 1990. 「東北タイ塩害地域農村総合開発計画事前調査報告書」 1-68.

- 3) 国際協力事業団. 1981. 「タイ東北の現状と近い将来に関する試料」 1-82.
- 4) 木原康孝・丸山利輔・千家正照・西出 勤. 1990. 土壌水の動態と毛管補給の理論的考察—下層からの毛管補給に関する研究(I),農土論集 155: 53-59.
- 5) 木原康孝・丸山利輔・千家正照・西出 勤. 1990. 土壌水の動態と毛管補給の理論的考察—下層からの毛管補給に関する研究(II),農土論集 155: 61-67.

Table-1 Physical properties of soil materials

call term	soil texture	specific gravity of soil particles	bulk density g/cm ³	porosity %	saturated hydraulic conductivity cm/s
Sand	S	2.754	1.25	6.4	1.17×10^{-3}
Loam	L	2.645	1.25	4.6	9.22×10^{-5}

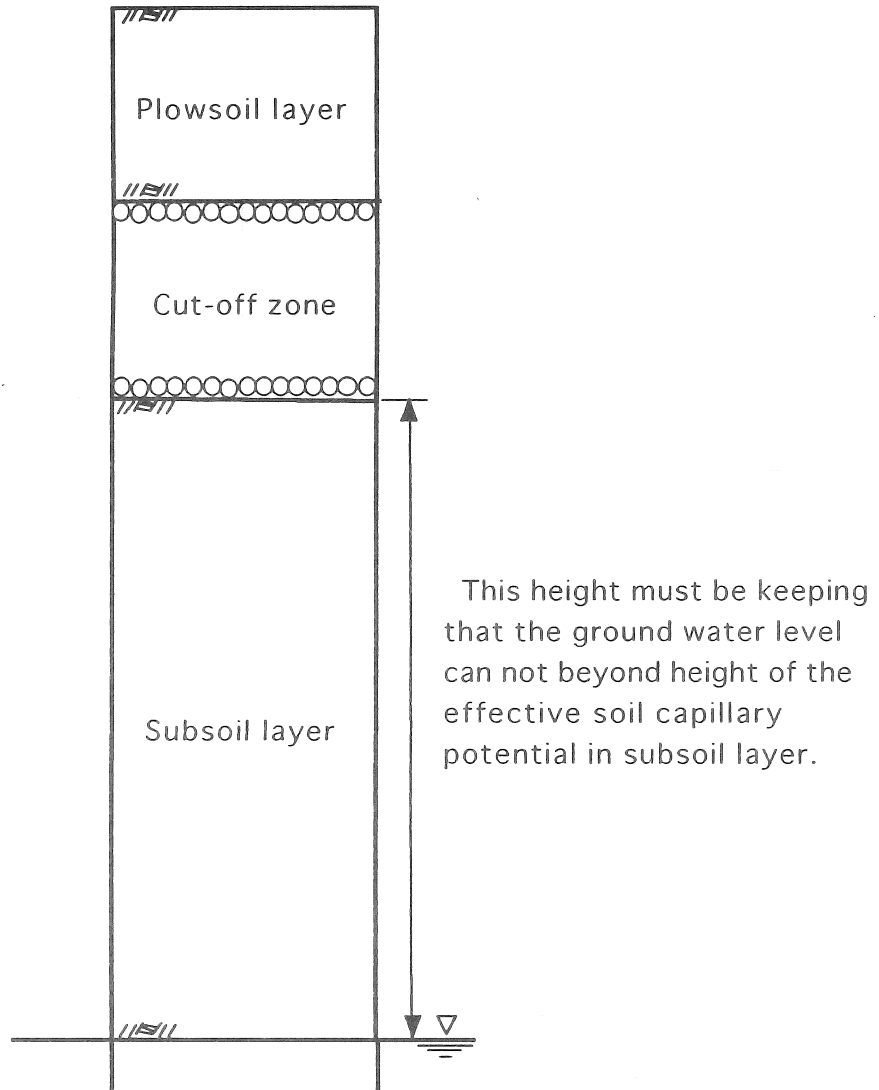


Fig-1 Structure of Soil Profile

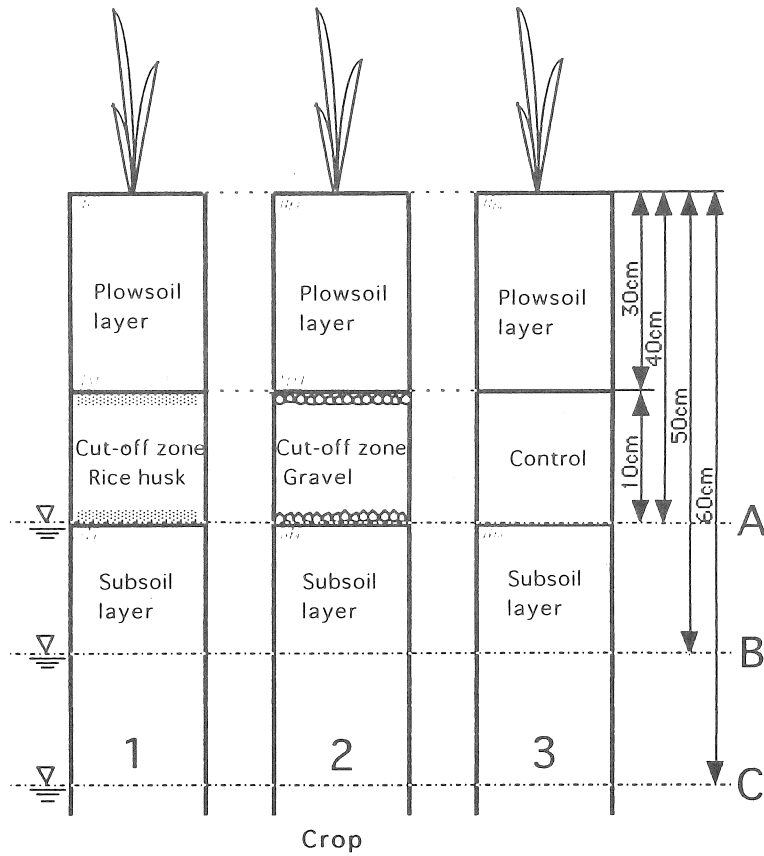
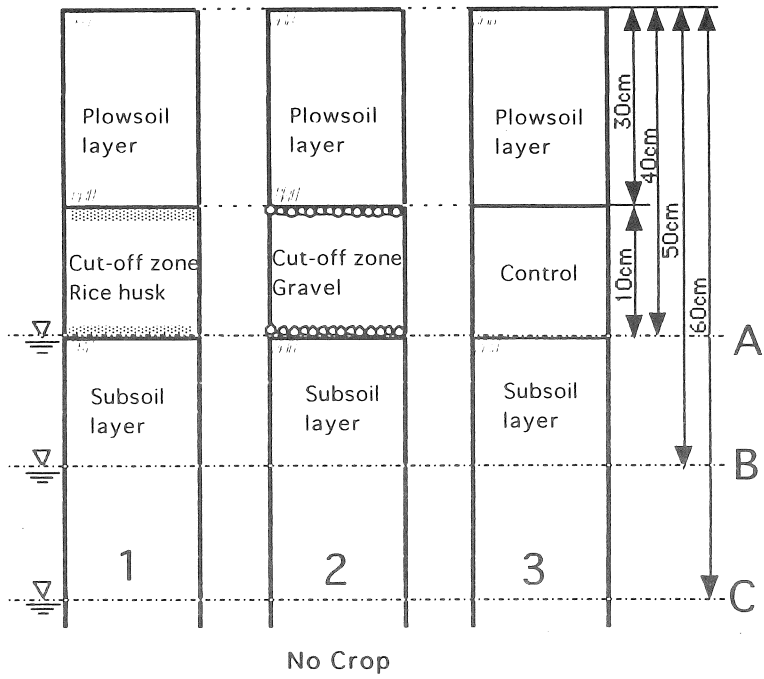


Fig-2 Applied test of complex column

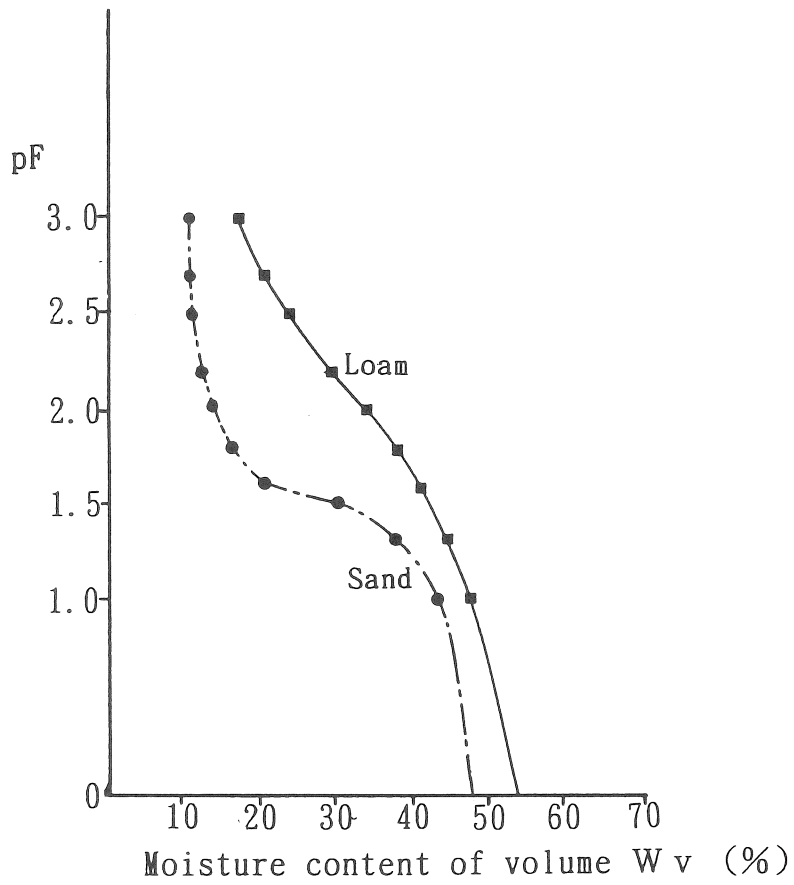


Fig-3 pF-moisture characteristics curve of Soil samples

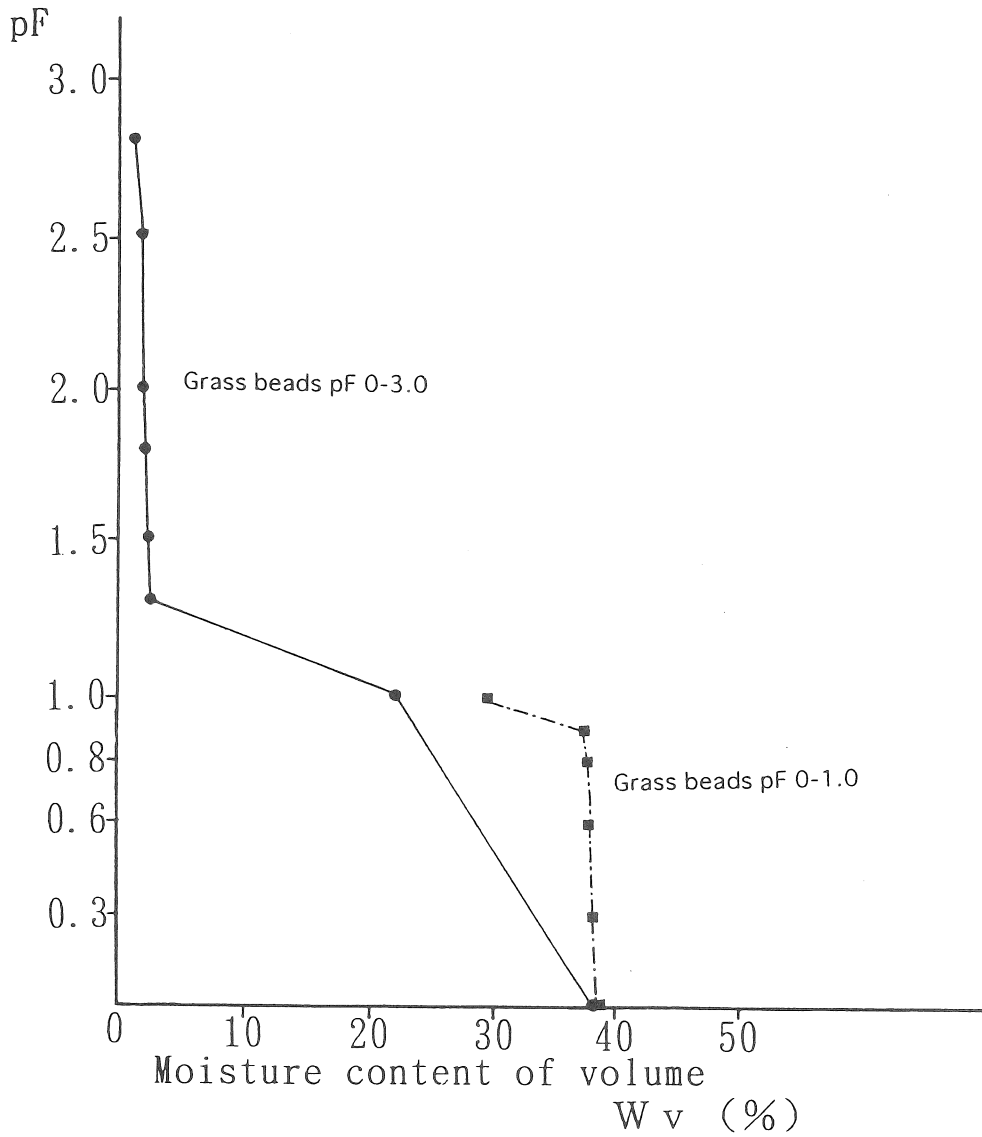


Fig-4 pF-moisture characteristics curve of samples

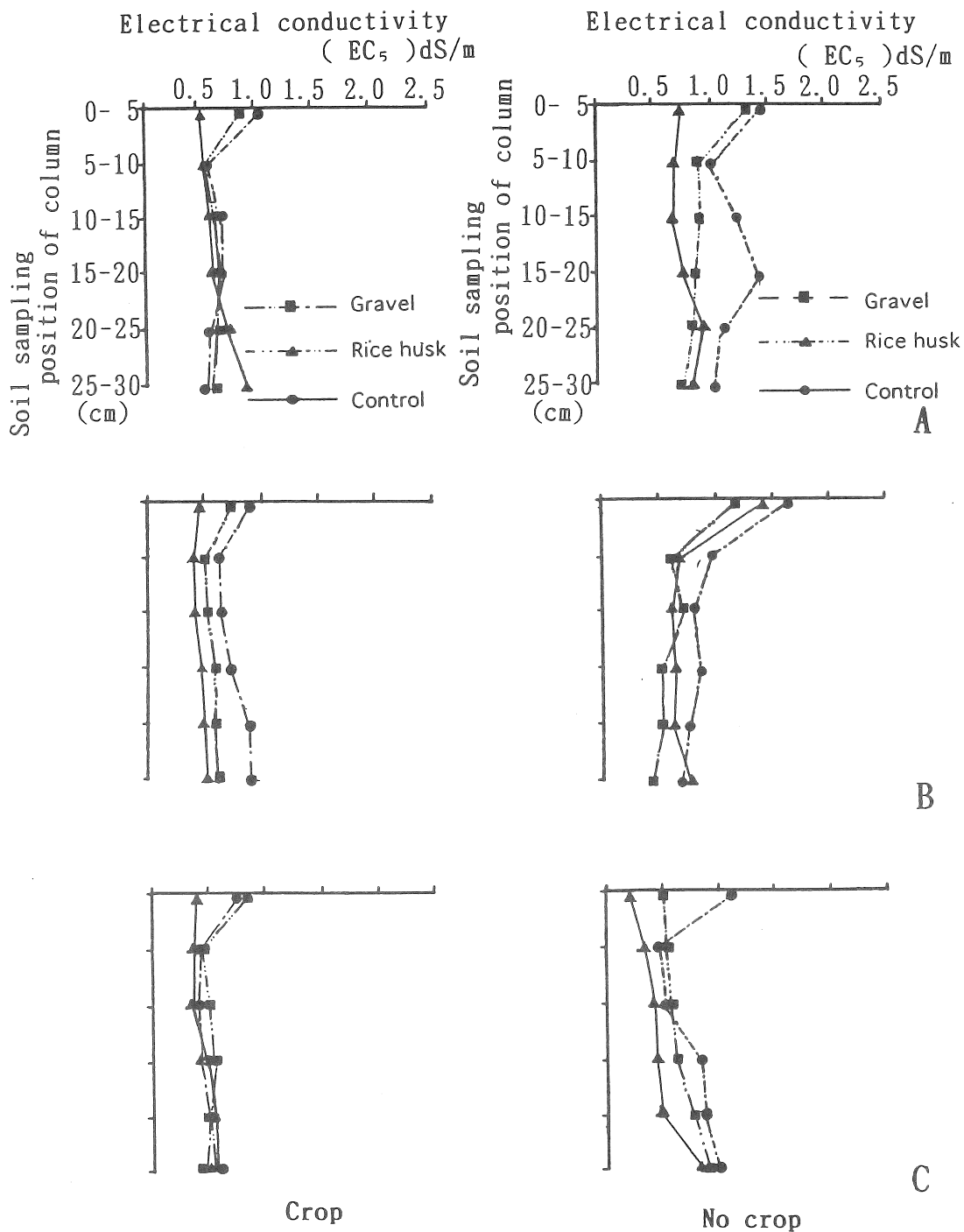


Fig-5 Vertical distribution of electrical conductivity

A Fundamental Study on Improvement Method for Agricultural production Environment of Saline Soil Areas.

Makoto Anase*, Rokuro Yasutomi**, Fusakazu Ai*

Hajime Narioka* and Shuichi Sugi**

*Tokyo University of Agriculture

**Tokyo University of Agriculture and Technology

Summary

The purpose of this study was to test an environment improving technique for regaining the agricultural productivity of saline soil areas.

To determine the best position of the cut-off zone between the plowsoil layer and subsoil layer of the soil profile structure the study employed the soil column experiment.

The characteristics of water movement (capillary water and percolation) were obtained at different underground water levels, cut-off zone thickness and material (rice husk, gravel; ϕ 30mm, and grass beads; ϕ 1.5mm,) of the cut-off zone. The effect of plant mulching (*Clotararia* sp.) on preventing of water evaporation and salt accumulation was also investigated.

It was found that when the pore size of the subsoil layer is smaller than the the pore size of the cut-off zone material up ward movement of the underground water is discontinued. In addition the greater the cut-off zone capillary tension the less the under layer capillary tension. Higher position of the cut-off zone and a greater high of the under layer and as a resulted in a less water infiltration in the plow layer. Salt accumulation on the soil surface is reduced with plant mulching.

Further development of study will be focused on achieving a smooth disposal of water (irrigation and rain fall water) from the plowsoil layer to the subsoil layer.