

# 土壤改良剤による水田及び砂質畑の改良

富士岡 義一 (京都大学農学部)

## I ま え が き

土壤改良剤は主として土壤の物理性の改良を目的としたものと考えられる。耕地土壤の物理的な性質については、従来土壤の化学的な性質が優先されなごりにされてきたのであるが、近年物理性の重要性が一般に認識されるようになってきた。耕地土壤の物理的改良の目標は言うまでもなく、それぞれの作物の生育に最適の状態にならしめることである。この物理性の改良は骨組的な改良と部分的、あるいは微細な改良とに分けられる。すなわち、前者は土地改良(かんがい排水、床締め客土などによる改良)であつて、先ずこれが先行し、後者の土壤改良剤による部分的あるいは微細な改良が前者の改良に引き続いて行なわれるのが合理的である。しかし場所によつては骨組的な改良の必要がなく直接細部の土壤改良剤による改良が必要な場合もある。耕地土壤の物理性を考える場合にはその対象を一応水田と畑に分けて考えるべきである。

水田土壤において水稻の生育に最適な状態と言へば、多数の物理性が総合されたものとして透水性がその代表的指標と考えられるので、適正浸透量(5~10<sup>mm</sup>/day)にならしめることとなる。従つて透水過多田は床締め客土、土壤改良剤などにより透水抑制を行ない、一方透水過少の場合には暗渠排水により、また土壤改良剤による団粒化などによつて適正浸透にできるだけ接近させることが必要である。

畑地土壤においては、保水性並びに通気性がその代表的指標となり、適正な保水性通気性にならしめるために客土、土壤改良剤及び暗渠排水、土壤改良剤が有効になつてくる。これらを一覧表にすれば(表-1)の通りである。

(表-1) 耕地土壤の物理性改良と土壤改良剤

### I 水 田

透水性(水量、水温、肥料成分)

- (1) 透水過多 → 透水抑制 → 客土
  - (a) 砂質土 { 一般砂質土(沖積土) → ベントナイト  
砂丘砂 → ベントナイト+PVA
  - (b) 火山灰土 ベントナイト+PVA
- (2) 透水適正(適正浸透量)
- (3) 透水過少 → 透水促進 → { 暗渠排水  
土壤改良剤

### II 畑 地

保水性、通気性(水量、地温、肥料成分)

- (1) 保水性過少、通気性過多 → 保水力増強 → 客土  
砂丘砂 → ベントナイト+PVA
- (2) 保水性、通気性、適正
- (3) 過湿、通気不良 → 透水促進 → { 暗渠排水  
土壤改良剤

わが国は耕地面積が狭小なため、可なり不良な土地をも利用しなければならないのであるが、土壌の物理性の改良で最も効果のあがるのは、適正な物理性から最もかけ離れているそれらの不良地の土壌である。また一面、経済性の高い作物栽培の場合には高度の改良を行なつても充分その効果を發揮することができるものであるが、ここでは主として極端に物理性の悪い漏水田及び砂丘砂などの改良について述べる。

## II 沖積砂質透水過多田の改良

透水過多田に対しては、床締め客土を行なうのが一般であるが、現在要客土水田付近に適当な客土用土を求めることが困難な場合が多い。そこで戦後脚光をあびてきたのがベントナイト客土である。以下ベントナイト（群馬産3.25メッシュ、膨潤度4.6）による透水抑制について述べる。

### (1) ベントナイトの特性<sup>(1)(2)</sup>

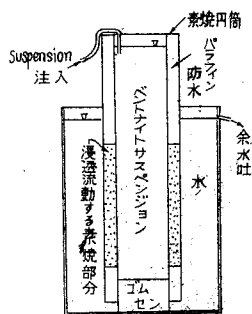
ベントナイトが著しい透水抑制効果を發揮するのは、その顕著な膨潤性によるものと考え、先ず第1にベントナイトの膨潤性について詳細な実験的研究を行なつた。ベントナイトの主成分は三層構造をもつモンモリロナイトであつてこの特性がベントナイトの特性として現われている。従つて二層構造のカオリナイトと対照しながら、イオンの解離と膨潤量、イオンの水和能と膨潤量、電解質溶液と膨潤量などの関係を明らかにすると同時に外部膨潤量（inter-micellar swelling）は内部膨潤量（intra-micellar swelling）より5～6倍大きいこと及び溶液濃度によつて影響を受けるのは外部膨潤量であつて、きわめて濃い溶液以外は内部膨潤には影響を与えないことなどを見出した。

それらの結果からすれば実際水田内の水中土壌中の溶液の種類及び濃度ではベントナイトの膨潤性はほとんど影響されないものと言える。

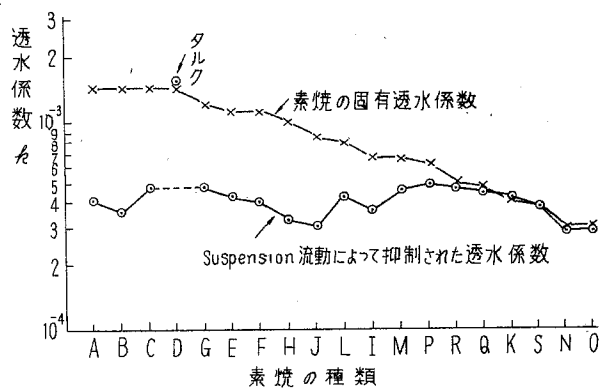
### (2) ベントナイトの透水抑制機構

ベントナイトの顕著な透水抑制は如何なる機構によつて起るかを分解的に究明すると以下のようになる。

(a) 完全に膨潤したベントナイトが浸透水中に分散し、これが土壌の有効間隙を閉塞、透水を抑制する。<sup>(3)</sup>



(図-1) 素焼円筒透水試験装置



(図-2) 素焼板の固有透水係数とsuspension浸透による抑制透水係数

これについては間隙構造の変化しない素焼円筒による横浸透によつて実験を行なつた。(図-1)参照、その結果は(図-2)の通りである。

またベントナイトは一般に非常に分散性に富み、分散度の大きいものほど構造粘性が大きく、それらの値の大きいsuspension (ベントナイト0.5% suspension 最大)ほど素焼円筒の透水を抑制することを明らかに示した。それらの結果を要約すると(表-2)のようになる。

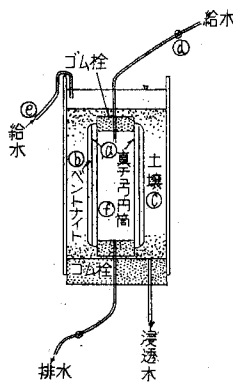
表-2

|                |                        |  |        |
|----------------|------------------------|--|--------|
| 透水係数           | ←—————                 | $k = 3.5 \times 10^{-3} \sim k = 2 \times 10^{-4}$ | —————→ |
| 減水深            | ←—————                 | $d = 3,024 \sim d = 173 \text{mm/day}$             | —————→ |
| 客入ベントナイト完全浸透流亡 | >間ゲキ内流動並びに一時的閉塞> 非浸透流動 |  |        |

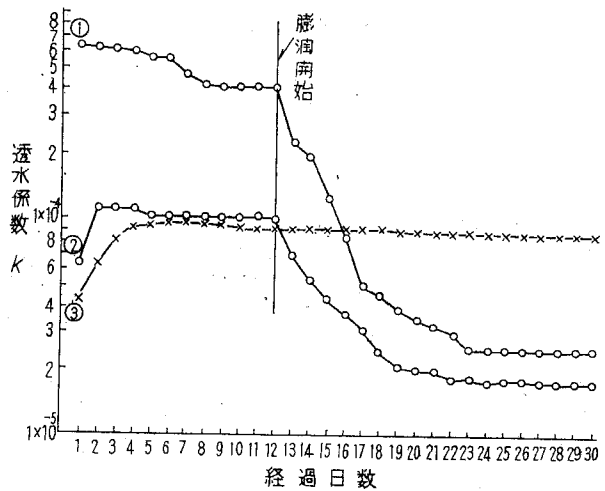
このようなsuspensionの浸透流動による透水抑制は不安定なものであるが、実際の土壤間隙内に封入されたsuspensionがその間隙の狭隘部を閉塞して透水を抑制する効果は大きくしかも安定しているものと考えられる。また以上の結果からすれば、土壤の透水係数が $k = 35 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$  ( $200 \sim 300 \text{ mm/day}$ )程度になれば浸透流亡しなくなることが確かめられた。

(b) ベントナイトを乾燥状態で土壤中に客入し、後浸透水による膨潤現象によりおこるベントナイトの容積増加と膨潤圧によつて有効間隙を閉塞圧縮することによる透水抑制<sup>(4)</sup>

先ず膨潤圧による透水抑制については(図-3)のような装置によつて純物理的に抑制される状態を定性的に検討するため模型実験を行なつた。その結果は(図-4)の通りである。



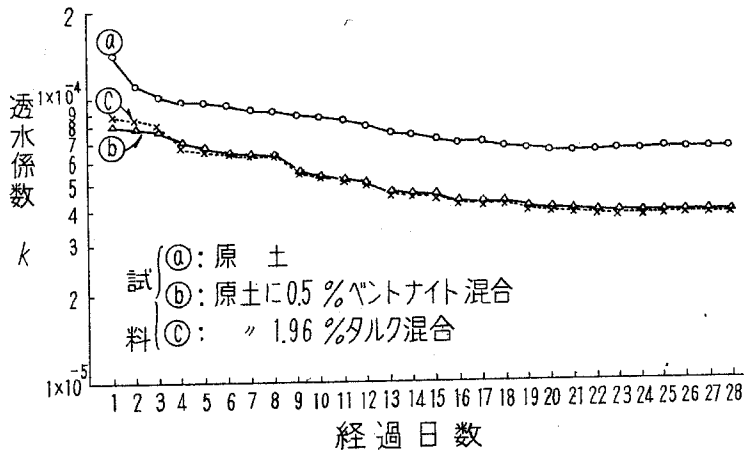
(図-3) 模型実験装置



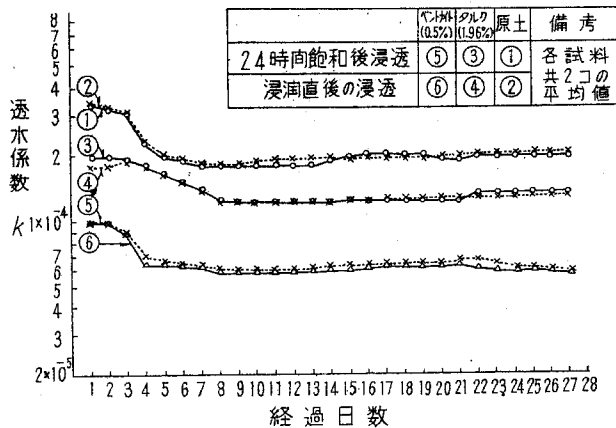
(図-4) 膨潤圧による透水抑制

(図-3)は、②が多孔真テウ円筒でこれにガーゼを巻き、その上をきわめて薄い弾力性に富んだゴムをかぶせ、その間に0.3cmの厚さにベントナイトを詰めて透水試験器中央に挿入したもの。

次に客入土の容積と透水抑制との関係を見るために、完全に膨潤完了後のベントナイトとタルクの容積が同一となるように原土に混合し、土壌を飽水させて後透水試験器(内径5cm,長さ25cmのガラス円筒の定水頭透水試験器で以下透水試験はこれによった。)に詰めて行なった結果は(図-5)の通りであつて、全膨潤容積量が等しければベントナイトとタルクの透水抑制効果は等しい結果を示し、客入粘土の性質如何にかかわらず全膨潤容積量だけに支配されることが明らかとなつた。(このような試験においては土壌の練りの効果が大きく作用しているのは勿論である。)



(図-5) 試料飽和後透水試験器にそれをてん充した場合の浸透



(図-6) 浸透抑制の経時的変化

更に全膨潤量を等しくなるようにベントナイト及びタルクを混入乾燥状態で透水試験器に詰めて行なった試験結果は(図-6)の通りである。

これは膨潤圧による効果の差が現われているものと考えられる。

以上の各試験の結果をまとめると、(表-3)のようになる。

(表-3)

| 供試体の種類 \ 実験項目                 | 乾燥状態からの浸透における安定透水係数 $k_1$<br>〔(2)項の実験〕 | 飽和後、てん充した浸透における安定透水係数 $k_2$<br>〔(3)項の実験〕 | (2)項の $k_1$ に対する(3)項の抑制率<br>(練り効果による) |
|-------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| (N) 原土のみ                      | $k_{2N} = 2 \times 10^{-4}$            | $k_{3N} = 6.7 \times 10^{-5}$            | 67%                                   |
| (T) タルク客土                     | $k_{2T} = 1.2 \times 10^{-4}$          | $k_{3T} = 3.9 \times 10^{-5}$            | 67%                                   |
| (B) ベントナイト客土                  | $k_{2B} = 5.6 \times 10^{-5}$          | $k_{3B} = 3.9 \times 10^{-5}$            | 30%                                   |
| 原土(N)の $k_1$ に対する(B), (T)の抑制率 | (T): 40%<br>(全膨潤容積量による)                | (T): 42%<br>(全膨潤容積量による)                  |                                       |
|                               | (B): 72%<br>(全膨潤容積量+膨潤圧による)            | (B): 42%<br>(全膨潤容積量による)                  |                                       |

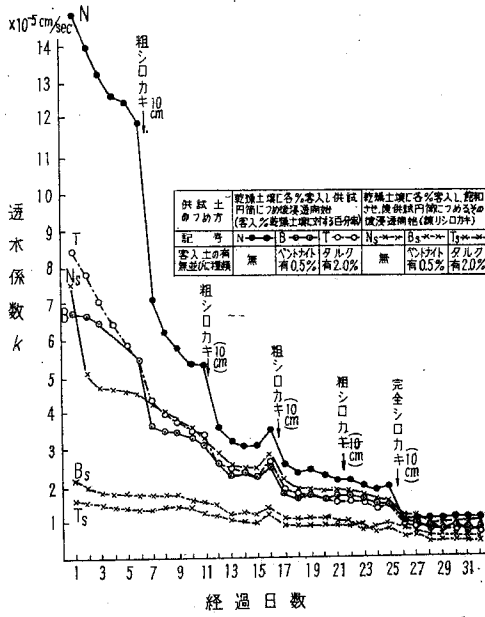
上表で明らかなように、結局これらの透水抑制の効果は原土に対して全膨潤容積量によるものは約40%、膨潤圧によるものは約30%、練りの効果は約67% (ベントナイト混入の場合は約30%) となっているが、要するに膨潤度の高いものほどよく透水抑制効果を発揮していることがわかる。従つて結論的には、ベントナイトによる透水抑制の機構は主としてその全膨潤容積量と膨潤圧によるものであつて、練りの効果がそれを更に大きくしていることを明らかにすることができた。

### (c) 代播における透水抑制<sup>(5)</sup>

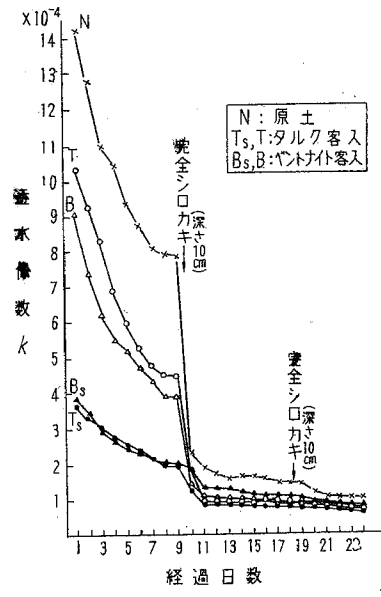
以上の試験からも明らかなように代播による透水抑制は土壌を練ることにより土壌粒子の配列を任意配列から平行配列に変えて密度を増し有効間隙を減少させるいわゆる練りの効果が現われるのである。代播における場合のベントナイトの透水抑制の状況を知るためにベントナイト及びタルクを客入した場合としない場合について、粗代播、完全代播、練り代播、などの方法により室内及び圃場で行なつた試験の結果は(図-7)、(図-8)、(図-9)、に示す通りである。

以上の結果によれば、代播方法別による透水抑制効果の大きさは、練り代播、完全代播、粗代播の順となるが、ベントナイトを客入すれば粗代播でも練り代播とほぼ同様な効果が現われること及びこの供試土(粘土含量23~28%)では練り代播を行なえばベントナイト客入の必要がないことが知られる。

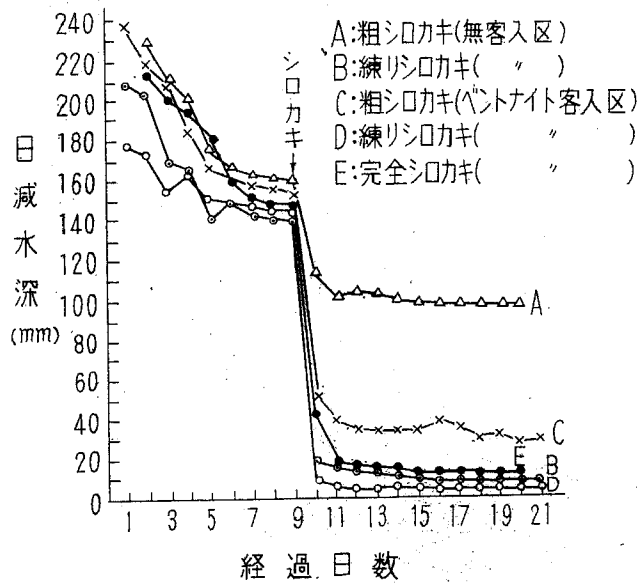
更にこれらの関係につき、粘土含量を異にした土壌について練り代播を行なつた状態で透水試験を行なつた結果は(図-10)の通りである。



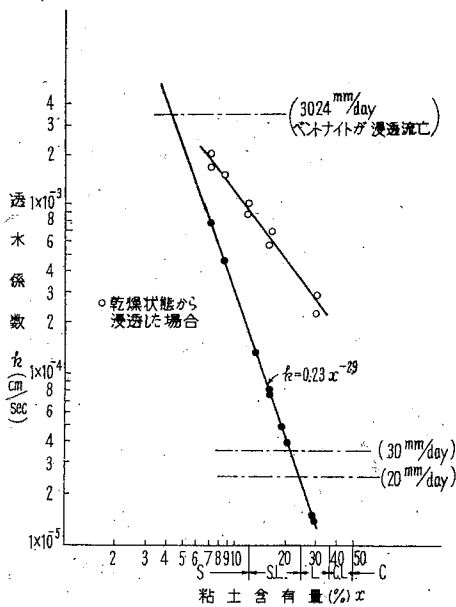
(図-7) シロカキ方法別による透水抑制現象



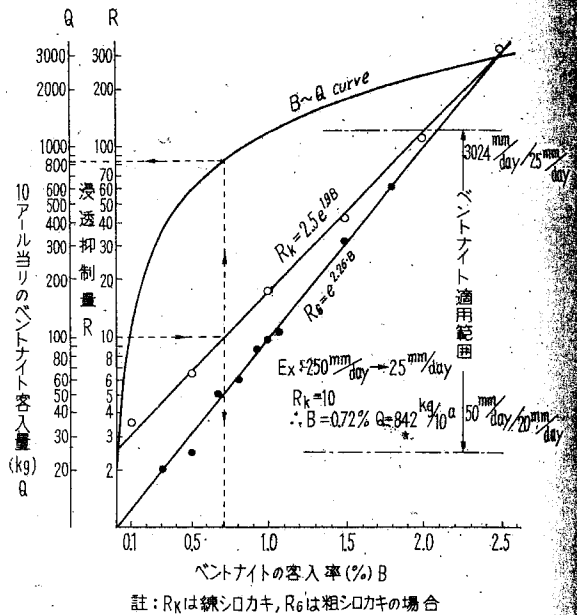
(図-8) シロカキによる透水抑制の状況



(図-9) シロカキ方法と減水深との関係



(図-10) 粘土含有量と練シロカキによる透水抑制との関係

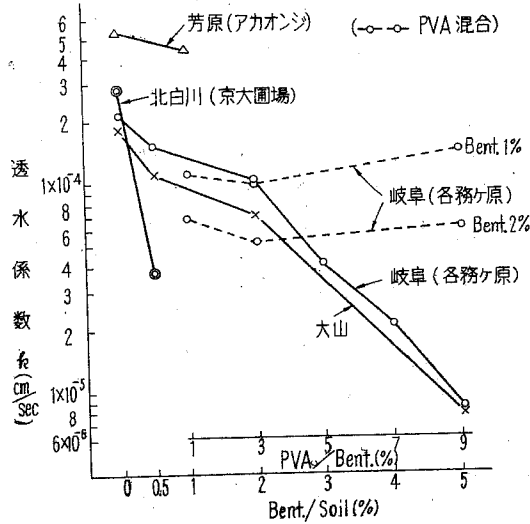


(図-11) ベントナイトの客入量と浸透抑制量との関係

この結果からすれば、粘土含量が20%以上あればベントナイト客入の必要はないことがわかる。従って結局ベントナイト客入の必要なのは、ベントナイトが浸透流亡しない ( $k = 3.3 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ ) 粘土含量約5%と20%との間の土壌であることが明らかとなり、それらの土壌について粘土含量(x)とその固有の安定透水係数 ( $k_0$ ) との関係は  $k_0 = 0.23 x^{-2.9}$  となる。従って過剰な ( $k_0$ ) を適正な透水係数 ( $k_c$ ) に抑制するために必要なベントナイトは、抑制率を(R)とすれば ( $R = k_0/k_c$ )  $R = 25 e^{1.9B}$  となりベントナイト量(B)が合理的に求められる。この関係を図式化したのが(図-11)であつて、Rを見出せばベントナイト客入量は簡便に決定できる。

### III 火山灰透水過多田の改良

一般の沖積砂質漏水田であれば(図-10)、(図-11)に示したように土壌重量の0.5~10.0%のベントナイトを客入するとその目的が達せられるのであるが、火山灰土の場合には(図-12)に示すように最初から2~3%以上の多量のベントナイトを客入しないと抑制効果を発揮しない。この原因については恐らく火山灰中に含まれている活性アルミナがベントナイトの外部膨潤をさまたげているのではなからうかと考えられる。(表-4)参照、更にベントナイトにPVA (Polyvinyl-alcohol) を混合したものを客入すると可なり抑制効果が促進される。これらの関係については目下詳細な実験的研究を続行中である。



(図-12) ベントナイト客入量と透水抑制

表-4  $Al_2O_3$  ( $mg/100g$ ) 含量

| 処理法<br>供試土 | $Al_2O_3$ ( $mg/100g$ ) 含量 |                   |                            |                     |              |
|------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|--------------|
|            | NKCl                       | $H_2O_2$<br>N-KCl | $Na_2S_2O_4$<br>Na-Citrate | acidic<br>K-Oxalate | 0.5N<br>NaOH |
| 芳原 火山灰土    | 6                          | 48                | 2165                       | 13280               | 625          |
| 岐阜 " "     | 194                        | 1945              | 1580                       | 1381                | 2278         |
| 大山 " "     | tr.                        | 681               | 2360                       | 325                 | 1832         |
| 北白川京大圃場    | 19                         | 187               | 452                        | 956                 | 720          |

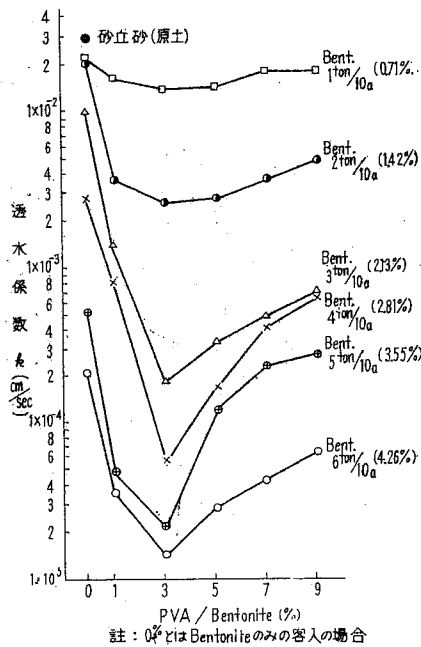
#### IV 砂丘砂の透水抑制

II項で明らかにしたように、透水係数がほぼ $3.5 \times 10^{-2} cm/sec$ より大きい透水性をもつ土壤においてはベントナイトは浸透流亡するのであるが、このような過度の透水性の土壤に対してはベントナイトに少量のPVAを混合することによって、高分子であるPVAがベントナイトとよく結合連鎖して透水抑制効果を促進することに着目し、鳥取砂丘砂(透水係数 $k = 2.8 \times 10^{-2} cm/sec$ )に対してベントナイト客入量並びにベントナイトに対するPVA混合比と透水係数との関係について行った試験の結果は(図-13)の通りである。

以上の結果によれば、同一ベントナイト量でもPVAの混合割合によって抑制の程度が異なり、PVA/Bent.比3%のものが最も透水抑制効果が大きく、それより混合割合が増加すると逆に減少する傾向を示している。

砂丘の水田化の立場からすれば、ベントナイト $4 ton/10a$ 、PVA 3%を客入すればよいこと





(図-13) ベントナイト・PVA混合比と透水性係数との関係

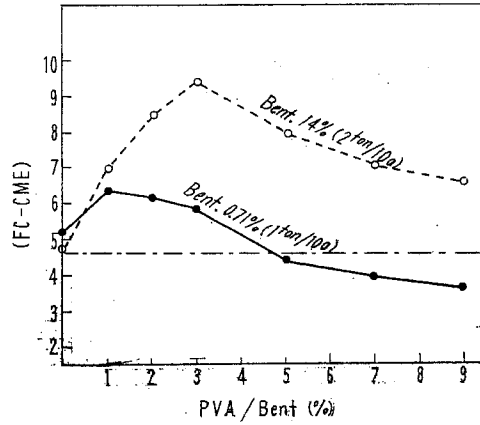
になるが、経済的な面から未だ問題は残っており、一方現在のわが国の食糧事情を考えれば砂丘は水田化するよりむしろ以下で述べる畑地として改良する方が得策のように考えられる。

## V 砂丘砂の畑地としての改良

鳥取の砂丘砂は粘土をほとんど含んでいなくて保水力がきわめて少ない土壌である。良好な畑地土壌とするためには保水性を増すことが必要である。この目的のためにベントナイトの客入試験を行なったのであるが、最終目的である有効土壌水分(圃場含水量—遠心水分当量)はほとんど増加しなく、ベントナイト2%以上客入するとかえって減少する傾向を示した。従ってベントナイトだけでは保水性を増加することはできなかつたのである。ところがベントナイトにPVAを色々の割合に客入すると有効土壌水分が顕著に増加することが明らかとなった。これらの結果は(図-14)の通りである。

ベントナイト1.4%でPVA/Bent3%のものが有効土壌水分最大で原土の約2倍となる。この有効水分量は砂壌土に匹敵するかあるいはそれ以上の値であつて顕著な改良効果と言わねばならない。

次に鳥取砂丘研究所の無底コンクリート枠(1.8×1.8m)において、ベントナイト1.4%にPVA/Bent1%,3%を混合したものを砂丘砂に客入して露地メロンを栽培した結果は(表-5)の通りである。(この現地試験は鳥取佐藤氏等によるものである。)



(図-14) ベントナイト・PVA客入と有効土壌水分との関係

(表-5) ベントナイト・PVA客入と露地メロンの収量(4株合計)

| 客入区別                          | 項目        | 収穫 8 月 日 |        |       | 計・平均   |
|-------------------------------|-----------|----------|--------|-------|--------|
|                               |           | 6~10     | 11~15  | 16~20 |        |
| PVA/Bent1%<br>耕土20cmに混合       | 個数        | 2        | 17     | 4     | 23     |
|                               | 重量(g)     | 2,250    | 14,870 | 2,730 | 19,850 |
|                               | 平均1個重量(g) | 1,125    | 874    | 707   | 863    |
| PVA/Bent3%<br>耕土20cmに混合       | 個数        | 3        | 9      | 10    | 22     |
|                               | 重量(g)     | 3,330    | 9,400  | 7,260 | 19,990 |
|                               | 平均1個重量(g) | 1,110    | 1,044  | 726   | 908    |
| PVA/Bent1%<br>20cm下に層状に<br>施用 | 個数        | —        | 7      | 7     | 14     |
|                               | 重量(g)     | —        | 8,530  | 6,770 | 15,300 |
|                               | 平均1個重量(g) | —        | 1,218  | 967   | 1,092  |
| 標準区<br>(無施用)                  | 個数        | 1        | 1      | 6     | 8      |
|                               | 重量(g)     | 1,050    | 1,030  | 6,130 | 8,210  |
|                               | 平均1個重量(g) | 1,050    | 1,030  | 1,021 | 1,021  |

以上の試験は20 cmの土層に混合したために PVA/Bent. 1%, 2% 区の差が現われなく、むしろ混入深さを10 cm内外にすれば3% 区の優位性が現われるのではないかと思われる。いずれにしてもこれらの室内並びに圃場試験によつてベントナイト及びPVAにより砂丘地の畑地改良に非常に明るい見透しを得ることができたと言える。

## VI む す び

以上は耕地土壌の物理性の極端に悪いものについての改良を土壌改良剤として、ベントナイト及びPVAを用いて行なつた実験的研究の概要について述べたのであるが、現在これら以外に数多くの土壌改良剤が市販されている。従つてそれぞれの土壌改良剤の特性を解明して適正な適用方法を明らかにする必要がある。またそれらの土壌改良剤は天然産のものか、合成高分子のものであつて後者はいずれも他の主目的のために製造され、それを土壌改良に応用したに過ぎないものがほとんどであるが、今後現存の土壌改良剤で目的が達成できない場合には土壌改良の目的に合致した土壌改良剤の製造をも考えるべきである。そのためには土壌の物理性と植生との関係について更に広範詳細な研究が必要であるように思われる。

(本稿の水田土壌の透水抑制に関するものは長堀金造君との共同研究であり、砂丘砂改良については西出勤君との共同研究である。)

## 参 考 文 献

- (1) 富士岡、長堀 : ベントナイトの透水抑制機構に関する研究 (I)  
農業土木研究、別冊1号、1960
- (2) " " (II)  
農業土木研究、別冊1号、1960
- (3) " " (III)  
農業土木研究、別冊2号、1961
- (4) " " (IV)  
農業土木研究、別冊3号、1962
- (5) " " (V)  
農業土木研究、別冊4号、1962
- (6) 喜田大三 : 土壌構造と結合物質の作用  
及び改良剤の利用に関する研究 1961,  
(学位論文, 京都大学農学部土壌学研究室)