

かん水速度と砂層の容水量に関する実験

小倉祐幸*・久米英夫*

1. はしがき

畑にかん水された水には、地表から約30cmまでの根圏に保持され作物に吸収される有効水と、さらに浸入して地下水に合流する重力水がある。水の経済的利用とは、根圏に保持される有効水の比率を最大にすることである。

畑地かんがいの方法は、スプリンクラーによる空中からのかんがいと、地表に配管をして行なう畦上かんがいで、あるいは畦間かんがいの2つに大きく分けられる。前者は、水滴の立体的分布や風によるロスなどが大きな問題となり、後者では、末端までの分布の均一性や耕耘作業との関係、あるいはかん水の地下への不均一浸透などの問題がある。とくに、比較的粒子が粗く粒径のそろった砂層で畦間かんがいを行なうような場合には、横方向への水の浸潤は非常に悪く、作物の根に十分に給水が行なわれ難いといわれている。

このような不均等浸透の問題については、従来ほとんど研究がなされていないように思われる。したがって、われわれはこの現象を明らかにし、砂地におけるかん水方法の指針をうるために室内実験を行なった。すなわち、砂柱の上部からかん水をした場合に、かん水前の含水量や、かん水速度、かん水量などによって、かん水後の水分分布がどのように影響されるかを実験的に明らかにし、二、三の知見をえたので報告する。

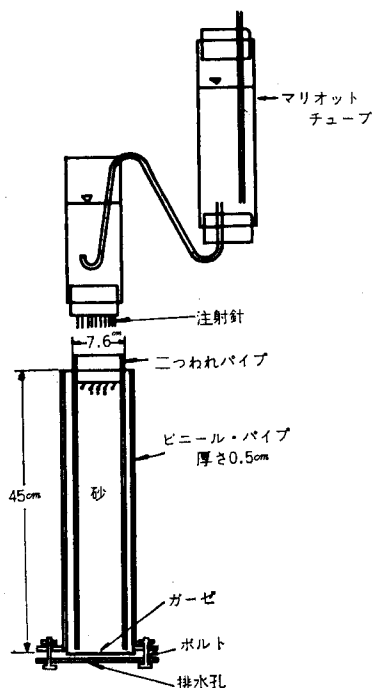
2. 実験材料と方法

この実験に用いた砂は利根川産の洗い砂で、これを篩別し、粒径0.84~0.42mmのものを砂Aとし、粒径0.42~0.25mmのものを砂Bとした。これらの砂を後に示す二つわれパイプに、底から少しずつ軽く転圧しながら各部均一になるように詰め、常に一定密度になるようにした。この場合の充填密度および真比重などを第1表に示す。

実験装置を第1図に示す。外側は塩ビ透明パイプで下部に排水孔をもったフランジをボルトで取りつけ、底にガーゼを2枚敷いた。これにもう1本の二つわれ塩ビ透明パイプが入るようになっており、給水後は内側のパイプを引出し、つぎめのビニールテープをはがして2つに

第1表 供試砂の性質

試料	粒径	充填密度	真比重	最大容水量
砂 A	0.84~0.42 mm	1.45 g/cm ³	2.67	32.5 %
砂 B	0.42~0.25	1.47	2.75	34.0



第1図 実験装置

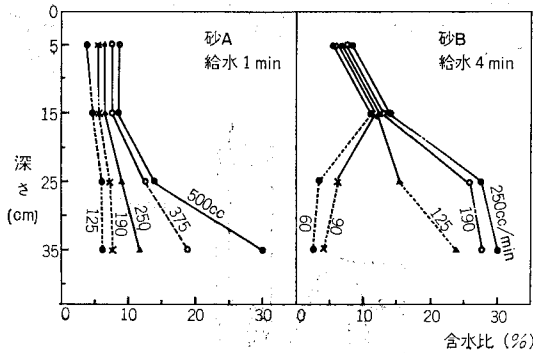
割り、砂柱上部から4~6cm、14~16cm、24~26cmなどの厚さ2cmの砂を取り出し、よく混合して約10gを採取し、105°C乾燥によって含水量(乾土%)を求めた。

給水装置は図のようで、マリオットチューブにより注射針のついた円筒中の水位を上下させて任意のかん水速度を得た。特に大きなかん水速度が必要なときはピウレットを用い、表面にできるだけ均等になるように滴下した。かん水速度は、水が砂の表面に湛水しない限りでの最大なもの(以後これを最大浸入速度とよぶ)を上限として、数段階について行ない、そのほか、かん水継続時間、砂柱の長さを変え、あるいはかん水終了後、サンプリングまでの時間を変えるなどの実験を行なった。

3. 実験結果と考察

1) かん水速度を変えた場合

最大浸入速度は砂Aで、 $250\text{cm}^3/\text{min}$ 、砂Bで $125\text{cm}^3/\text{min}$ である。そこで、最大浸入速度の2倍 \sim 1/2の速度で給水した場合の給水後1時間における水分分布を第2図に示す。砂Aでは、常に給水速度の大きいほど含水量が



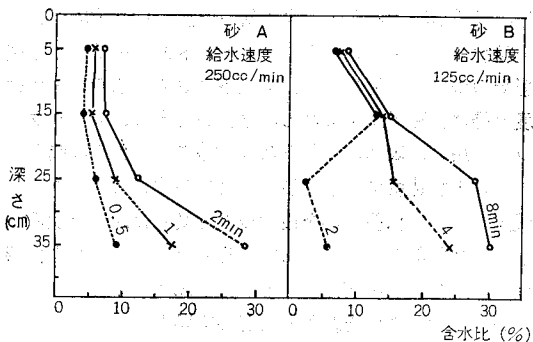
第2図 給水量を変えた場合の影響

注：点線部分は、断面に乾いた部分を有することを示す。以下おなじ。

大きくなっている。これは、給水速度のおそいものほど、砂柱の中に乾いたまま残る部分が多くなるためである。砂Bでは15cmまでは、ほぼ一様な含水量となっているが、それ以下の部分では流量の多いものほど含水量が多く、 $125\text{cm}^3/\text{min}$ 以下の場合には15cmまでの部分よりかえって少ない含水量になっている。図で、一般に下部ほど含水量が多くなっているのは、底のガーゼが通水をさまたげるので、これがいわば砂層によくあるハード・パンのような作用をし、この上に滞水層を作るからである。このことは、後の長い砂柱の実験結果で、より明らかになる。

2) かん水時間を変えた場合

最大浸入速度でかん水した場合のかん水時間の影響を第3図に示す。測定はかん水開始後1時間に行なった。

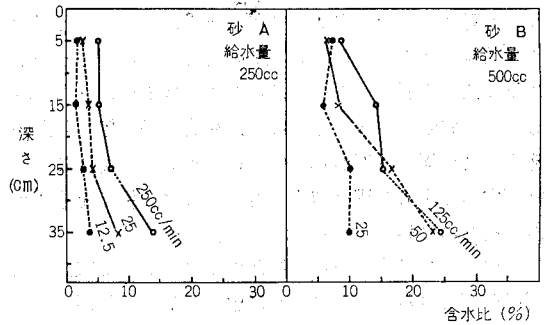


第3図 給水時間を変えた場合の影響

砂Aでは給水時間が長くなるにつれ、各深さで含水量が増大している。砂Bでは15cmまでは、ほぼ一様な含水量で、それ以下の部分は、給水時間を増せば、含水量も増大することがわかる。これと第2図とを比較すると、いずれも、かん水全量が等しければ、ほぼ等しい含水分布になることが明らかである。すなわち、給水速度が早く給水時間の短いものと、給水速度は遅く給水時間の長いものとは、ほぼ似た分布を示す。したがって、かん水後の水分分布は主として、かん水の全量によって定まるといえよう。

3) かん水速度を1/10 \sim 1/20にした場合

非常にかん水速度がおそい場合について実験を行なった。すなわち、最大浸入速度の1/10 \sim 1/20について、かん水開始後1時間の値を第4図に示す。この結果、流速



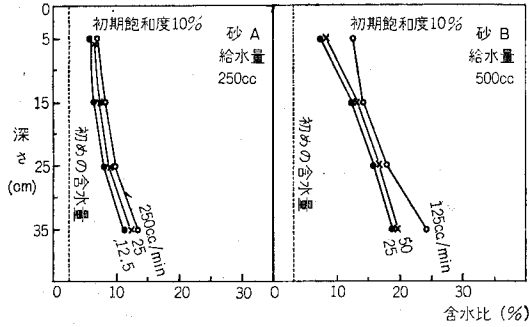
第4図 給水速度の変化による影響

の非常におそい場合には含水量が少なくなった。これは、砂柱に水にぬれずに残る部分が多くなることによる。これは、乾いた砂に水が浸潤する場合に流量が少ないと、水の表面張力によってできるだけ流路を小さくしようとする作用が働き、かつ、このように粒径のそろった比較的粗い砂では孔隙は比較的大きいので、限られた流路で十分に給水量を流下させることができ、かつ、このような砂では毛管上昇も低いことから明らかのように、横方向への浸潤はすぐに停止してしまうので、流路の外側に広く乾いた部分を残すのであろう。いいかえれば、このような毛管空ゲキの比較的大きい場合には、重力による降下が横方向への浸潤にくらべて非常に速いことが特長といえよう。

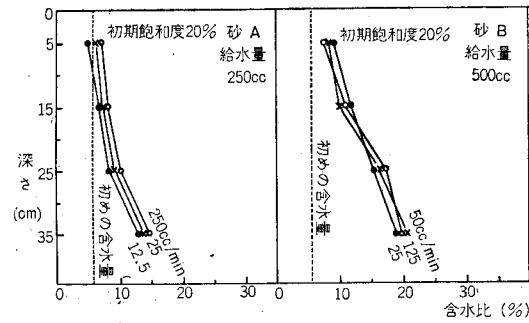
つぎに、乾いた砂でなくて湿った砂に給水する場合には、はじめから砂粒子が水膜で覆われており、しかも、この水膜がお互いに連結しておることから、いわば毛管作用の働き方が異なり、したがって流下の状態や、流下後の含水量分布の異なることが推定される。したがって、つぎに、初期含水量の多少により、注水後の水分分布がどのように影響されるかについて実験を行なった。

4) 初期含水量を10~20%飽和度とした場合

充填後に空ゲキの10%および20%になるような水量をあらかじめ砂に加えて、よく混合のうえセットした。その後の給水方法などは前と同様である。実験結果を10%の場合第5図に、20%の場合を第6図に示す。



第5図 初期水分(10%)の影響



第6図 初期水分(20%)の影響

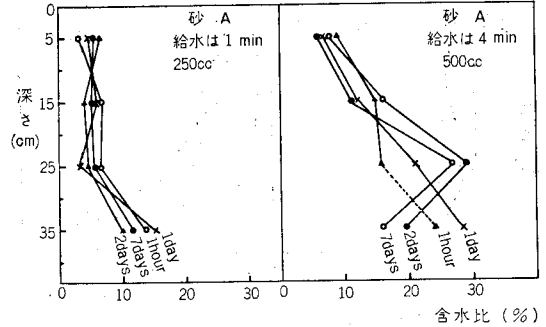
実験結果は第5図、砂Bの125 cm³/minの場合にやや異なるが、一般に、かん水速度の大小によって注水後の砂柱水分分布は変わらず、ほとんど一定した曲線を示すといえるであろう。

また、はじめの含水量が10%であっても20%であってもほとんど変わらない。

したがって、このようにはじめから粒子表面に水膜がある場合には、孔隙がそれだけ狭くなっていることから、流路の平均流速はおそくなり、流路は前の場合よりやや大きくなることも原因の一部と考えられるが、それよりもおそらく凝集力による水膜を通しての横方向への水の流れ、または毛管の調節作用が主因となって、断面全体が比較的一様な最大の含水量となり、底面(いわば滞水層)からの高さに応じて、一定の含水量分布を示し、全体の容水量も最大となるのであろう。水分傾斜が小さくなっていることも、毛管調節作用のあらわれと考えられる。

5) 含水量分布の時間的変動

かん水後、表面をビニール被覆し、表面蒸発をおさえ、1時間~1週間の水分分布の変動を調べた。結果を第7図に示す。

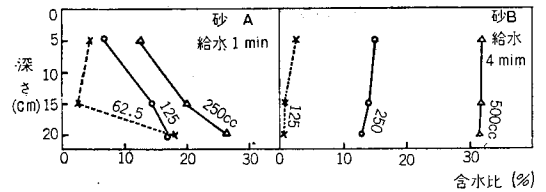


第7図 給水後の経過時間の影響

砂Aでは1時間を経過してしまえば、その後の水分移動はほとんどないのに対して、砂Bでは時間的変動がみられる。これは、一つには乾いた部分がしだいになくなること、上部の水分の降下および下部からの排水と乾燥による含水量の低下である。したがって、粒子のこまかい場合には、こうした時間的変動も関係することも考慮に入れなければならない。

6) 砂柱の長さをかえた場合

底面の影響を明らかにするため、砂柱を1/2~4倍に変えて実験を行なった。まず、1/2の結果を第8図に示す。

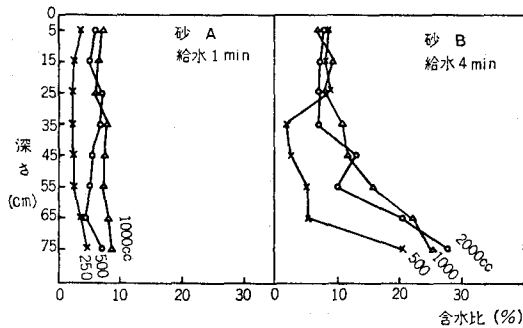


第8図 砂柱が1/2の場合(22cm)

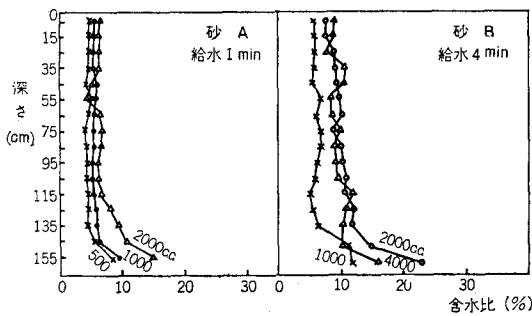
これを第2図とを比較してみると、まず砂Aでは、第2図で5~15cmではほぼ一定した含水量であるのに対して、水分傾斜を示し、底面の排水不良の影響を明らかに示している。砂Bでは流量の多い場合、水分傾斜はかえって小さくなり、含水量が全体に著しく増大しており、流量の少ない場合には表面のみがぬれて、下部まで水が降下しない結果を示している。

つぎに砂柱を2倍にした結果を第9図に、4倍の結果を第10図に示す。このように十分に砂柱が長いと、砂A、砂Bともに上層では含水量が一定してくる傾向が明

らからである。第2図、第8図などを通覧して底面の影響範囲として、砂Aではほぼ30cm、砂Bでは50cm程度であるといえよう。



第9図 砂柱が2倍の場合 (86cm)



第10図 砂柱が4倍の場合 (17.2cm)

4. ま と め

畦上かんがいのように比較的多量の水を短時間に特定の部分にのみ給水する場合、かならずしも根圏が一様にぬれないことがある。このような問題について、篩別した砂を用いて種々のかん水実験を行ない、つぎのようなことを明らかにした。

1) 乾いた砂に給水するとき、量がある限界より少ないと、限られた部分のみ水が流下して乾いたままの部分を多く残すようになる。このような場合には、注水後の含水量は少なく、實際上、水経済的に損失が多いばかりでなく、養分の溶脱を引起し、あるいは反対に乾いた部分で高濃度障害を起すおそれも考えられる。

2) これに対して、湿った砂に給水すると、流量の多少にかかわらず、かん水後はほぼ一定の含水量分布を示し、いわば含水量は最大となるので水分損失は少なくなる。したがって、粒子のそろった比較的粗い砂地でかん水を行なうような場合には、砂が充分に乾ききってしまう前にかん水をするのが、水分経済的にも有利であると考えられる。

3) 滞水層が地表に近いような場合には、その影響によって水分傾斜が大きくなり、滞水層に近づくほど含水量が多く、全体的にも含水量が多くなる。すなわち、同じ給水量でも、地下水位の高低によって残留水量がかなり異なることが考えられる。

4) 粒子が細かい場合、給水後かなり長期間にわたって含水量の変動が起るので、たとえば、かんがい水の作物による利用率というものも給水後の時間によって変化することが考えられる。