

素焼パイプを用いた地下自動灌水法による 育苗及び挿し木について

赤井 龍男・田中 弘之

Cultivation of Seedlings and Cuttings Applied Subsurface
Automatic Irrigation Method by Porous Ceramic Pipe

Tatsuo AKAI and Hiroyuki TANAKA

要 旨

素焼多孔質管を用いた地下灌水法による作物の栽培は古くから実用化が試みられてきたが、木の育成についてはほとんど応用されていない。本研究は普通の陶土を1,100℃で焼結した外径3 cm, 浸出面長20cmの素焼パイプの給水性能と、造園用樹木の育成ならびに挿し木に対する効果をプランターを用い温室内で検討したものである。その結果、以下のような特性が明らかになった。

- 1) 給水量は正圧の方が著しく大きく、また負圧が大きくなるほど減少する。いずれも土壤表面からの蒸発量と比例する。
- 2) 腐植質や砂を混合した空隙の多い用土より、田土のような粒径の細かい土壤の方の給水量が多い。
- 3) 土壤湿度は素焼パイプから隔たるにしたがって同心円的に減少する。
- 4) 造園用苗木を27カ月間育成した結果、サツキとサザンカは負圧（設定水頭-13cm）の方が、カナメモチは正圧（+20cm）の方が良く成長した。この間の給水量は気温が高くなるほど多くなった。
- 5) サツキ、サザンカ、カナメモチの挿し木の発根状態は手灌水より-1 cmの負圧灌水がよかった。

以上から、自動的、連続的に給水の可能な素焼パイプによる地下自動灌水法は、苗木の育成、挿し木養苗にきわめて有効であるといえよう。

は じ め に

土壤を基盤とする一般農作物の栽培は勿論、都市の公園緑地、庭園等の緑化木、花木類の灌水には、多大の労力と経費が必要である。特に自然降雨が遮断される施設等室内におけるコンテナ栽培においての水管理は最も重要で手間のかかる仕事である。それ故、灌水作業を自動化するためのスプリンクラーや、連結したパイプの小穴からの点滴灌水（ドリップ）法等が開発され多用されている。一方、地表面からではなく、地下から自動的に灌水する方法も古くから用いられて

きているが、その多くは土壤中に各種の方法で地下水位を設定し、毛管上昇によって水分を供給しようとするものである。^{1,2,3,4)} これらの方法はいずれも水の消費量が多く、ときには過湿の障害を引き起こすことがあるようである。

これに対し、同じ地下灌水方式ではあるが本報告でとりあつかう素焼パイプによる地下自動灌水法は、もともと土壤がもつ吸水圧（水分張力）を利用して、飽和状態にした多孔質の素焼パイプから水を供給しようとする方法であり、管内の水圧を正圧から負圧の各種の条件に設定することによって、目的とする育成植物に対し最適の土壤水分を与え、維持しようとするものである。したがって不必要な水の消費を軽減できるほか、植物の生育に必要な最小限の給水量を自動的に制御できる等、有効、適切な灌水方法といえるであろう。

多孔質管を用いた地下灌水方式、特に負圧差灌水については、1934年に B.E. LIVINGSTON⁵⁾ によって紹介された後、海外^{6,7)}ばかりか、わが国でも多くの研究^{8,9,10,11,12)}が行なわれてきた。しかし、現在まで施設園芸の面でもほとんど実用化されていないようである。これは地表散水法では土壤水の均等分布が基本であるのに対し、従来の多孔質管埋設による地下灌水法では不均等になること等の問題があったようである。このような現状から加藤、手島^{13,14)}は、透水性能により優れた素焼多孔質管を開発し、その給水と土壤中の水分拡散について詳細な研究を行なうとともに、点滴灌水の特徴ともいえる根群域への灌水を主眼としてメロン、レタスの栽培実用試験を行ない、貴重な成果を納めている。

緑化木等樹木に対する上述の素焼多孔質管を用いた地下灌水法での育成は現在までほとんど試みられていない。しかし造林用苗木の吸水量を測定するため、素焼多孔質の給水槽（ソイルポトメーター）を用いた研究報告^{15,16,17)}がある。一方、徳岡はヒノキの挿穂の吸水と発根の特性について、同様のソイルポトメーターを用い詳細な検討を行なっている。¹⁸⁻²³⁾

このような現状から、本論文は林業用苗木や緑化木の挿木のほか、人工基盤上や各種プランターでの樹木の育成上必須の要件である水管理を、適切にしかも容易に行なうため、素焼パイプを用いた地下自動灌水法の有効性と、林業用苗木や緑化木の挿木の発根に及ぼす効果を検討したものである。本報告が今後の育苗、緑化木の育成管理にいくらかでも役立てば幸いである。なお、本報告は赤井が企画し、田中が実験を担当し、赤井がとりまとめたものである。

本論文を公けにするにあたり、素焼パイプの開発、製造に協力戴いた住友林業の河合至氏及び城山陶器商事喜多村喜之氏、特殊の負圧差灌漑用素焼多孔質管を提供して戴いた元大阪府立大学農学部手島三二博士、ならびに種々の実験に助力を戴いた京都大学農学部附属演習林上賀茂試験地の中井勇博士始め教職員に深く感謝の意を表したい。

1. 給水量に及ぼす素焼パイプの特性

素焼パイプを用いた負圧による地下灌水の理論と土壤中の水分張力の分布すなわち水の浸潤状態については、加藤、手島の詳細な報告^{13,14)}が公けにされている。土壤中におけるパイプからの水の拡散は、素焼管の透水能、パイプ管内の水圧差、用土のもつ水分張力等によって異なるのは当然である。まず本章では加藤、手島の開発した素焼多孔質管（以下 T 管とする）と、赤井、住友林業で試作した素焼パイプ（ここでは A 管とする）の透水性を土壤への給水性によって比較してみる。

素焼管の透水能は陶土の組成と焼結温度によって異なるはずであるので、滋賀県信楽町の城山陶器商事の協力をえて素焼鉢用の一般陶土を用い、各種の温度条件で素焼パイプを試作してみた。

その結果、690℃～1,000℃では透水性は優るものの踏圧強度が劣ること、1,200℃以上では踏圧強度は大きい、結晶体が熔融するので透水性が急速に低下することがわかった。そこで本研究では焼結温度を1,100℃とし、図-1に示したような外径3cm(肉厚0.3cm)、給水面の長さ20cmで、両端にビニールホース接続用きざみをもつパイプ(A管)を用いることにした。一方、比較に用いたT管は陶磁原料に媒溶剤(粘土)を適当量混合し、1,600℃で焼結したもので、その形状、寸法は図-1に示したようである。

両管の外径に差があるので土壤に接する管の表面積を等しくするため、A管は2本使用し、その中の1本の一部3.4cmをビニールで被覆した。そして図-1に示したプランターに京都大学上賀茂試験地の風乾状態の赤土を入れ、それぞれ図のような位置に埋設した。設定水圧は最初管の中心線と給水タンクの水面の差すなわち設定水頭を-15cmにし、一定期間後、-25cm、-35cmと負圧を大きくしながら給水を行なった。給水開始後、ほぼ連日給水量を測定するとともに、プランターの重量の計測から、土壤表面からの蒸発量も推定した。

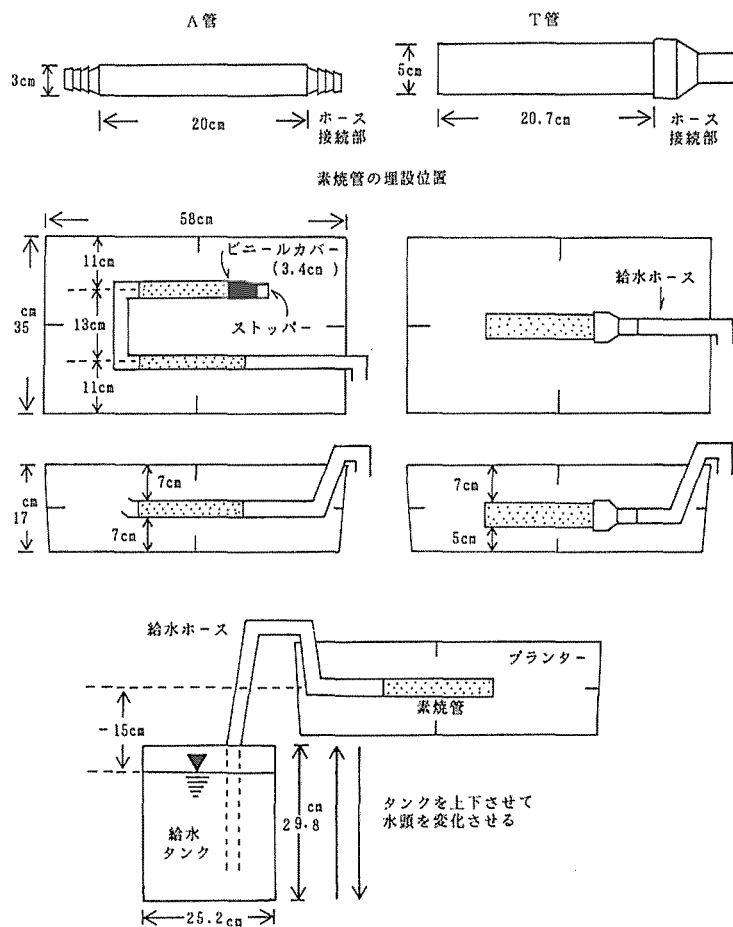


図-1 素焼きパイプの諸元と負圧給水の方法
(A管: 赤井・住友, T管: 加藤・手島)

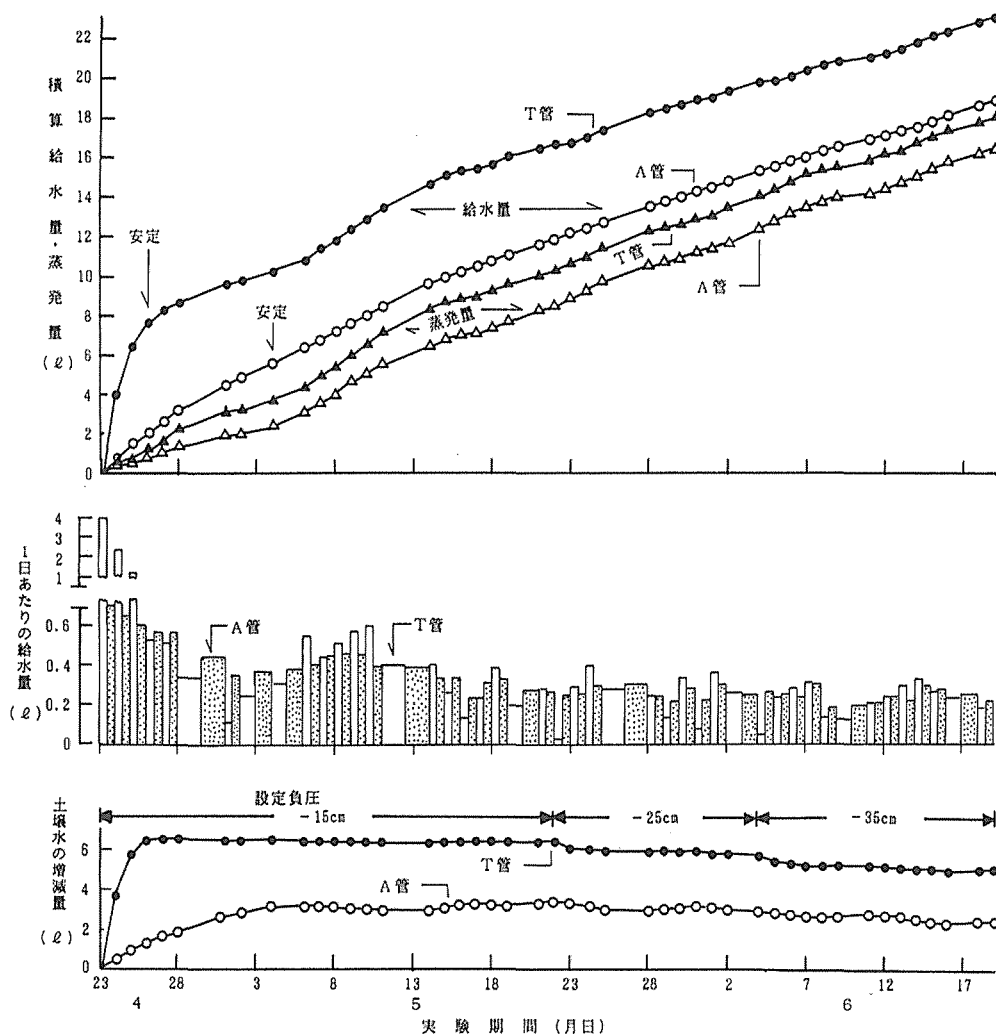


図-2 素焼きパイプの違いによるプランターあたりの積算給水量、積算蒸発量と、1日あたりの給水量および土壌水の増減量の経過

試験開始後8週間の給水量、蒸発量の積算値および土壌水の増減量は図-2のようであった。図から明らかなように、T管の初期の給水量は著しく大きく3～4日目で日給水量はほぼ一定になるが、A管は初期の給水速度が遅く、日給水量が安定するまで約1週間を要する。しかし日給水量の安定した後の平均日給水量は、設定水頭-15cmで両管とも約350ccとなり殆ど差がない。しかし、-25cmではT管243cc、A管262cc、-35cmではT管213cc、A管233ccで、むしろA管の給水量が多い傾向がみられる。

一方、給水開始初期の数日を除くと、平均日蒸発量は両管のプランターともほとんど差はない。したがって給水量から蒸発量を差し引いた土壌水量は、初期の給水量の多いT管の方が多く、土壌表面の含水量はA管より常に高い値を示していた。しかし給水量の安定後の土壌水量の変化率については、A管の方が小さい傾向がみられた。なお地中7cmの深さにおける試験終了時の平均含水率(風乾比)は、T管で19.7%、A管で14.5%であった。

以上のことから T 管は透水性が高く、水の拡散速度も早いので、加藤、手島らの報告¹⁴⁾のように、メロン等水分要求度の高い作物の栽培に適しているといえよう。これに対し A 管は初期の給水速度が遅く、残留土壤水量も少ないものの、設定負圧を高めてもむしろ T 管より給水量が多い特徴をもつので、設定水頭の差にそれほど厳密さを要求されることなく設置でき、実用的にも比較的乾燥に耐える樹木類の育成に適していると判断された。

2. 素焼パイプの設定水圧と用土の違いにもとづく給水量への影響

1) 設定水圧及び用土の種類と給水量の関係

土壤への給水量は管内の水圧と用土の吸水圧（水分張力）によって異なるので、A 管すなわち素焼パイプ（以下同じ）のもつ給水能を設定水頭と用土をかえて調べてみた。いずれの試験も図-1 と同様のプランター内に用土を充たし、素焼パイプ 1 本を表面から 7 cm の深さに埋設した。試験の日数、用土の種類、設定水頭およびそれぞれの条件下における給水量は表-1 に示したようである。

表-1 素焼きパイプの設定水頭と用土の違いによる給水量の変化

用 土	試験区	設定 水頭 (cm)	試験 日数	総給水量 (cc)	平 均 日給水量 (cc)	期間内の平均	
						温度 (℃)	湿度 (%)
混合土 1 (混合比 畑土 6 : 砂 2 : 腐葉土 1 : パーミキュライト 1, 含水率約 15%)	1-A	+20	11	4,306	391	29.6	72
	1-B	-20	11	452	41		
田土 (風乾状態)	2-A	+20	13	3,512	270	33.1	65
	2-B	-20	13	2,240	172		
試験区 2 の設定水圧を試験開始後 13 日目に変更	3-A	+50	15	3,905	260	31.2	69
	3-B	-5	15	2,043	136		
混合土 4 (混合比 風乾田土 4 : 腐葉土 3 : 住セレキ 3)	4-A	+20	14	3,666	262	29.1	67
	4-B	-5	14	1,055	75		

初期含水率 15% の畑土を主体に砂、腐葉土、人工礫（パーミキュライト）を混合した用土（試験区 1）では、設定水圧の差により著しい違いがみられる。すなわち 11 日間の給水試験の結果、設定水頭 +20cm (A) に比し、-20cm (B) の給水量は 1/10 ほどである。これに対し風乾土の田土を用いた場合（試験区 2）は 1/3 ほど少ないのみである。

試験区 2 の継続で設定水圧を変えた場合（試験区 3）、正圧水頭を 30cm 上げた +50cm の平均日給水量は 260cc で、表から明らかなように、試験区 2 の +20cm の給水量とほとんど変わらない。一方、負圧水頭を小さくした -5cm の 1 日あたりの給水量は 136cc で、-20cm より約 20% ほど少ない。これは試験区 2 の用土の試験開始時の土壤水分が風乾状態で、初期の給水量が多かったのに反し、試験区 3 ではすでに試験区 2 の継続で、ある程度土壤水を保持していたため平均給水量が少なくあらわれたものと考えられる。しかし -5cm の負圧で +50cm の正圧の 1/2 程度の日給

水量がえられることは、素焼パイプによる地下灌水法が有効である見通しをえた。

試験区 4 は田土、腐葉土、人工礫（住セレキ）を混合した用土の試験である。この場合、正圧条件での平均日給水量は試験区 2、3 とかわらないが、水頭を -5 cm の負圧にすると表から認められるように、日給水量は著しく低下し、正圧の $1/4$ ほどになる。これは試験区 1 の混合用土と同様の傾向であり、粒子の大きい砂、人工礫等を混合すると、素焼パイプとの接触面が少なくなるため、土壌の吸水圧が伝わりにくくなるためと考えられる。したがって負圧給水で土壌中の水分を多く保持する必要がある場合は、田土、赤土等粒径の小さい用土を使用するなど、栽培の目的に応じて用土を選択する必要がある。

2) 設定水圧と土壌含水率の関係

素焼多孔質管を用いた地下灌水法の短所の一つは、プランターのような限定された土壌であっても、水の拡散が不均質になり、管からの隔たりによって水分傾斜が生じることといわれている。これははじめにも述べたように、目的とする植物の根群域にのみ水を供給できるというむしろ長所とも考えられるので、設定水圧の差にもとづく水分張力と土壌含水率の分布状態を調べてみた。

一般のテンションメーターは太すぎる等問題があったので、本実験では理研電研株式会社製の自動灌水装置に付属した土中湿度検知器を使用して水分の拡散状態を調べた。本検知器は先端部の石膏内部に設置した電極に微弱電流を印加して、その導電状態から湿度値を検出しようとするもので、10等分の PF 仮目盛として表示するようになっている。しかしこの目盛は一般の水分張力を示す PF 値とは異なり、吸湿が飽和した時に PF10、完全乾燥時に 0 を表示するので、あらかじめ各種用土別に加水しながら本器の PF 値と実際の含水率（絶乾比）をもとめた。その結果は図-3 のようであった。

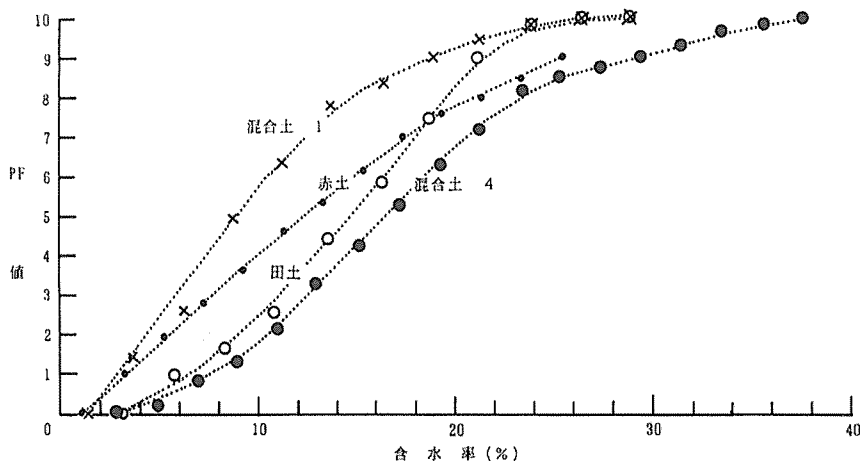


図-3 土壌湿度検知器による用土別の PF 値（本器の目盛）と土壌含水率（絶乾比）の関係

試験区 1 に用いた混合土 1 では、他の用土に比較し、8～20%の含水率の範囲の PF 値が大きくなり、試験区 4 の混合土 4 では含水率の大小にかかわらず小さく表われる。また、田土、赤土は両者の中間の値をとるようである。このように用土の違いにより測定に用いた水分張力検知器の PF 値と含水率に差があるので、以下の水分の拡散状態の測定には用土ごとにあらかじめ検知器の数値と含水率の関係を調べることにした。

検知器での測定は図-1のプランターの短辺を4分割、長辺を6分割し、各分割線の交点部を、地表面、中央部、(地表面下8cm深)、下部(同17cm深)の水平面ごとに少量の土壌を採取して測定した。前節表-1で検討した各試験区のすべてについて土壌湿度の分布を調べたが、ここでは図-4に試験区2の、図-5に試験区4の測定結果からの等湿度線を示した。

素焼パイプからの水の拡散状態を考えると、地表下8cm深の中央部のパイプ周辺が常に含水率が高いはずであるが、図-4の田土(試験区2)の場合、給水開始後3日目ですでに地表面、下

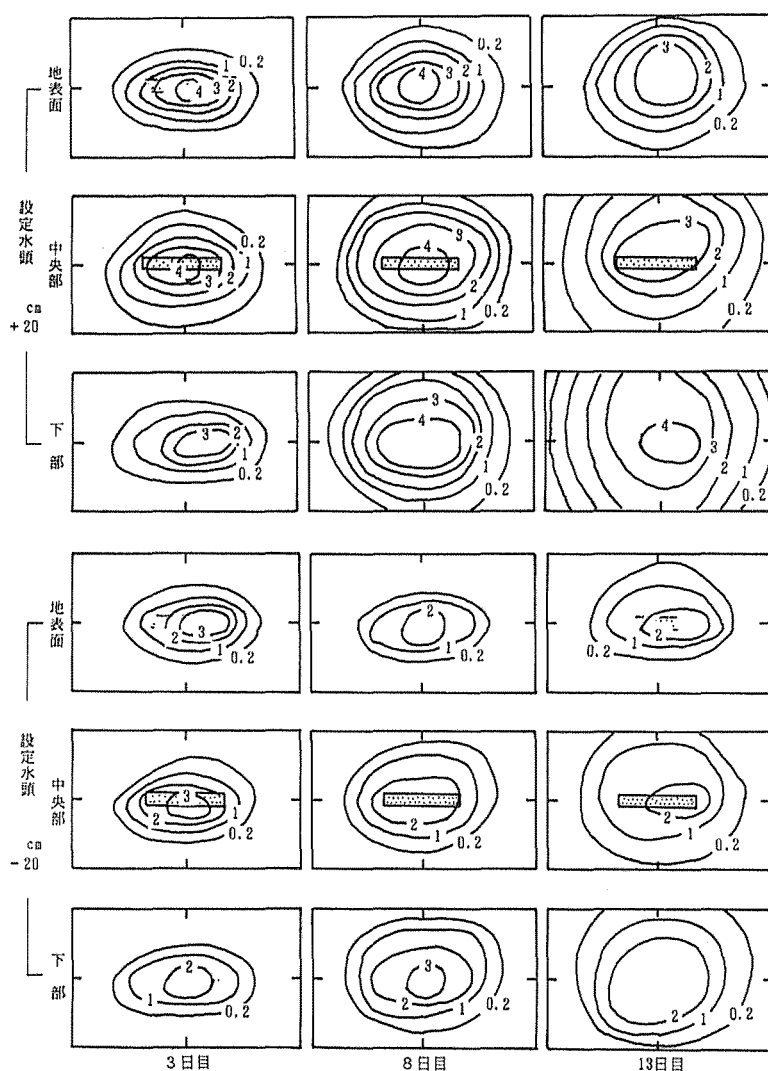


図-4 田土(試験区2)を用いたプランター内各土壌層における土壌湿度(PF値)の分布(7月26日試験開始)

土壌湿度検知器のPF値	0	0.2	1	2	3	4
絶乾土重に対する含水率	1.2	4.0	6.6	9.2	11.3	13.0

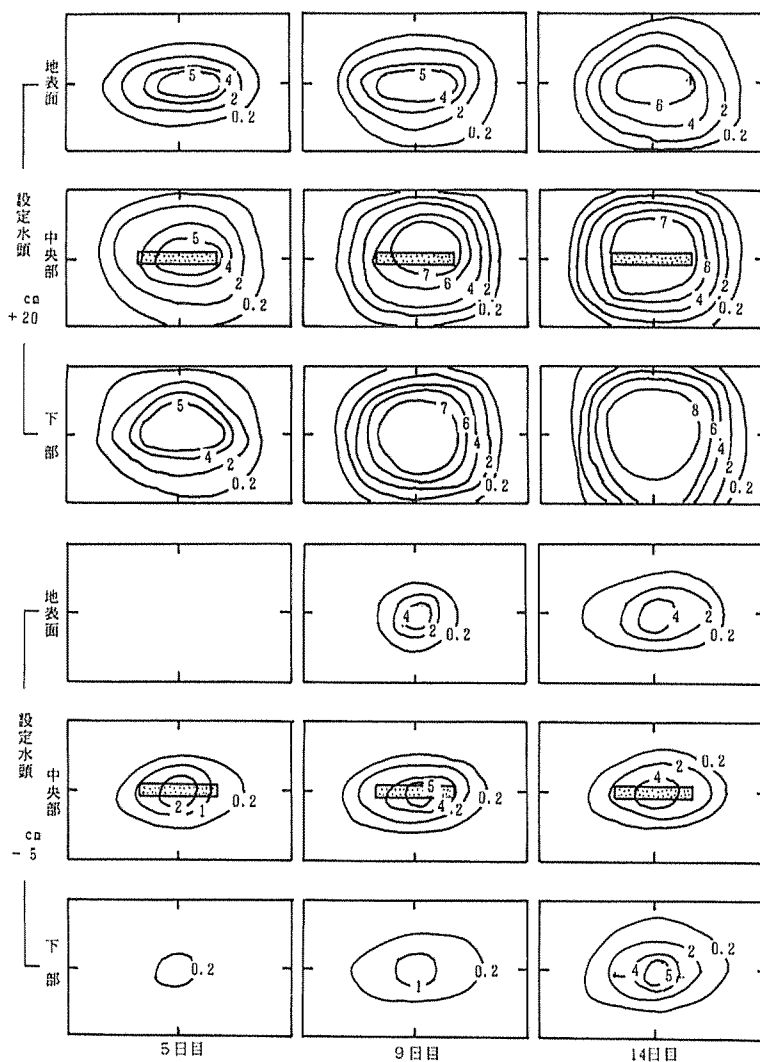


図-5 混合土（試験区4）を用いたプランター内各土壌層における土壌湿度（PF 値）の分布（8月24日試験開始）

土壌湿度検知器の PF 値	0	0.2	1	2	3	4	5	6	7	8
絶乾土重に対する含水率	2.8	4.0	7.8	10.6	12.8	14.8	16.8	18.6	20.8	23.2

部とも湿度分布に大きな違いはみられなかった。すなわち素焼パイプからの水の拡散は田土では水平方向と同時に垂直方向にも比較的早くすすむものと思われた。しかし給水量の多い設定水頭 +20cm の場合の中心部付近は、-20cm の場合より常に湿度（PF 値及び含水率）が高い。そして時間の経過とともにこの傾向はさらに顕著になり、図-4 から明らかなように、給水開始後8日目以降の等湿度のしめり面積は+20cm より-20cm の負圧の方が少ない。しかし湿度の傾斜（等湿度線の密度）は8日目より13日目の方が両水圧ともゆるくなる傾向がみられる。しかも+20cm 正圧の方は中央部から地表面にかけて少し湿度が低下するようであるが、-20cm の負圧の場合は8

日以降もそれほど大きな変化はみられない。すなわち負圧状態での給水は土壌の吸水圧と素焼パイプ内の負圧の差に応じて行なわれるので、設定された水頭で給水が始まり、一定の湿度つまり吸水圧と管内の水圧がつり合った後は、地表面からの水の消失分だけ水を補給するようになる。したがって負圧による灌水は湿度分布の変化のきわめて少ない安定した状態を保持するという特徴をもつといえよう。

図-5は表-1に示した試験区4で認められるように、負圧の給水量が少ない混合土の湿度分布を示したものであるが、前述の田土と異なり、同じ設定水頭+20cmの正圧での土壌湿度は時間の経過とともに高くなり、14日目で著しい過湿状態になった。一方、-5cmの負圧の場合は正圧条件より明らかに等湿度のしめり面積が少なく乾燥気味である。しかし給水開始後9日目頃までは素焼パイプ周辺部の湿度が相対的に高い傾向がみられるものの、2週間を経過すると各層ともほぼ同じ湿度分布になり、田土同様安定した状態になるようである。

以上のように素焼パイプによる地下灌水法は、正、負圧のいずれの場合も土壌湿度に傾斜が生じ、不均質分布となる。しかし負圧給水の場合は、給水速度が一定になった後の湿度分布は比較的安定しているので、育成目的の樹木の水分要求度に応じ、設定水圧と素焼パイプの埋設本数を調節すれば水管理に必要な条件を充たすことができると判断された。

3) 土壌表面の被覆と給水、蒸発の関係

土壌表面からの蒸発量は前述のようにかなり多いので、この蒸発量を抑制した場合の給水量への影響を調べてみた。図-1に示したプランターに田土4、腐葉土3、住セレキ3の混合土を充たし、素焼パイプ1本を中央部に埋め込み、正圧の水頭+7cmと負圧の水頭-8cmになるよう給水タンクを設置した後、灌水して土壌水分を飽和状態にした。各設定水圧ごとに1つは直径9mmの小孔を等間隔に24個あけたビニールシートで被覆し、他の無被覆のものとの蒸発、給水量の比較を行なった。

試験開始後15日間におけるプランターあたりの給水、蒸発量は図-6のようであった。図から認められるように、被覆した場合は設定水圧とは関係なく、蒸発量は著しく少ない。一方無被覆の場合の給水量は正圧では蒸発とほぼ同等であり、負圧ではむしろ少ないのに反し、被覆した場合はいずれも給水量が蒸発量より著しく多い。

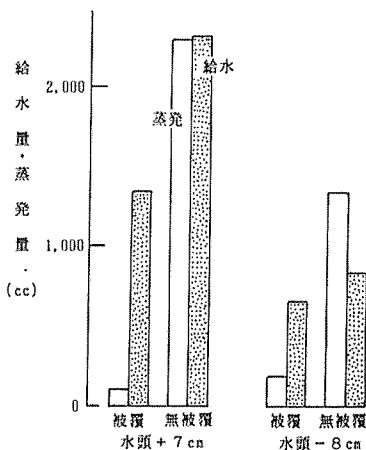


図-6 土壌表面の被覆による給水量、蒸発量への影響 (プランターあたり、15日間)

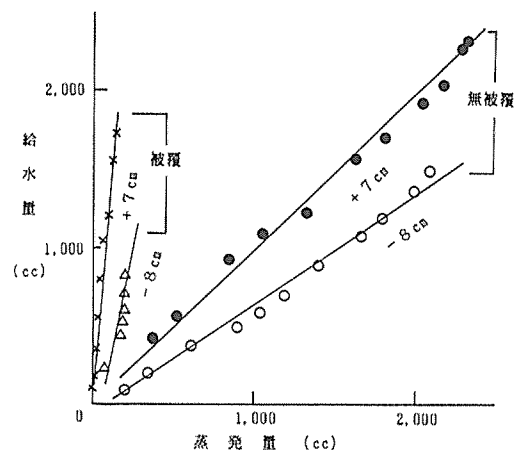


図-7 土壌表面の被覆によるプランターあたりの給水量と蒸発量の関係

試験開始後のこの蒸発量と給水量の相関をもとめると、図-7のように比較的きれいな直線関係がみられる。この回帰直線の勾配から理解されるように、蒸発量を抑制した方が給水量を相対的に多くすることができるので、水分要求度の高い樹木等を素焼パイプを用いた地下負圧灌水法で育てる場合には、土壌表面からの蒸発を抑制するよう何らかの被覆をするのが有効、適切であるといえよう。

3. 素焼パイプを用いた地下自動灌水法による造園用苗木の育成

1 および2章で検討した地下灌水法に対する素焼パイプの給水特性をふまえ、長期間にわたる造園用苗木の育成を試みた。図-1に示したプランターに田土4、腐葉土3、住セレキ3の混合用土を充たし、管の上面が地表面から9cmの深さになるよう素焼パイプ2本を併列に埋設(写真1参照)した。設定水圧は水頭で+20cmと-13cmの2セットとし、両プランターとも表-2に示した同じ苗高のカナメモチ(ベニカナメ)を中心に、左右にサツキとサザンカを植付け、適量の灌水を行なった。それを無加温のガラス室内におき27カ月育成したそれぞれの成長量は表-2のようであった。

試験開始(1983年8月24日)以降の観察の結果、用土及び苗木の成長、形態形成上特筆すべき事項は以下のものであった。

(1)用土の状態

+20cmプランター内の用土は試験開始後3週間目の9月中旬頃、ほぼ飽水状態となり、12月下旬頃までプランターの排水口より余剰水が滴下した。しかし翌月の1月中旬頃から表面の土壌がかわきだした。これに対し-13cmプランターでは、最初の灌水によりぬれていた地表面が9月中旬にはかわきが目立つようになった。両プランターとも、その後は土壌表面に大きな変化がみられなかった。

(2)サツキの開花

1984年については、+20cmプランターのサツキは6月5日に開花したが、-13cmプランターの開花は11日遅れの6月16日であった。1985年については、+20cmで5月21日、-13cmで5月24日となり前者より3日遅れたのみであった。しかし2年目の+20cmプランターのサツキには樹体全体に着花したのに対し、-13cmの方の着花数は前者の約1/3ほどであった。

(3)カナメモチの開芽

1985年のカナメモチの新芽の開いた時期は+20cmプランターが3月23日、-13cmが4月3日で、負圧灌水の方が約11日遅かった。

(4)サザンカの開芽

1985年のサザンカの開芽は、+20cmプランターで4月25日、-13cmで5月17日となり、負圧灌水の方が約3週間遅れた。

(5)サツキの落葉

+20cmプランターのサツキは1984年11月中、下旬に落葉したが、-13cmの場合は、それより2週間ほど落葉が遅れるようであった。

つぎに表-2からそれぞれの苗木の成長量を検討してみよう。表から認められるように+20cmプランターのサツキとサザンカは試験開始後約2年3カ月を経過しているにもかかわらず、植付け当時の苗高のままで全く伸長していない。これに対し-13cmプランターではサツキは30%ほど、サザンカは40%ほど伸長している。これを幹と根の乾重で比較すると苗高と同様-13cmプラン

表一 2 地下灌水開始後27ヵ月経過した造園用苗木の成長量

樹 種	サツキ		サザンカ		カナメモチ	
設定水頭 (cm)	+20	-13	+20	-13	+20	-13
試験開始時 苗 高 (cm)	30.0	30.0	35.0	35.0	35.0	35.0
試験終了時 苗 高 (cm)	30.0	38.0	35.0	51.3	234.0	149.0
根元直径 (mm)	14.3	12.5	12.1	11.2	17.3	14.8
幹 乾 重 (g)	4.70	6.25	7.38	7.45	84.7	45.2
枝 数	24	16	11	7	30	26
枝 乾 重 (g)	10.45	8.45	8.67	6.60	52.3	18.5
葉 数	—	—	163	108	769	418
葉 乾 重 (g)	6.70	4.50	11.25	10.40	97.0	39.9
根 乾 重 (g)	20.06	25.70	11.38	12.57	91.2	61.4
総 乾 重 (g)	41.91	44.90	38.68	37.02	325.2	165.0

ターで育てたものの方が大きく、特に根の成長量が増加していることがわかる。しかし根元直径では反対に+20cmプランターのサツキ、サザンカの方が1mm近く太くなっている。また葉量も+20cmの方が明らかに多い。このことは、土壤水分の多い正圧プランターでのサツキ、サザンカは、上方に伸びず横方向に拡がるよう成長するが、負圧プランターの低湿度の用土の場合は、吸水の必要から根群を拡張し、根量を増加させたものと思われる。しかしサツキ、サザンカの伸長に及ぼす土壤水分の関係はよくわからないが、貧湿度の方がよく伸長する傾向はみられた。

一方、カナメモチの場合は、伸長量、直径、葉数、各部分重のいずれも+20cmの正圧プランターで育てたものの方が著しく大きく、よく成長することがわかった。苗木の総重量(乾重)は-13cmプランターのカナメモチより2倍ほど大きかった。しかし-13cmの根量は+20cmのものの2/3ほどで、相対的に多いと判断された。また掘取り調査時、特に-13cmプランターのカナメモチの根が素焼パイプをだきかかえるようにネット状に絡まっていたことが認められた。

以上のように3樹種とも負圧プランターでも長期間にわたり生育し、特にカナメモチは苗高で植付け時の3倍近い成長を示したことは、負圧による地下灌水法がこのような造園用苗木の育成に十分通用できることを示唆したといえよう。

つぎに苗木育成期間中の給水量の変化をみてみよう。図-8は試験開始の1983年8月から1985年10月までの各月ごとの1日あたり平均給水量と総給水量を示したものである。図から認められるようにいずれの月の平均日給水量も、また積算給水量も正圧の+20cmプランターの方が多く、この間の総給水量は+20cmプランターで約150ℓ、-13cmで55.5ℓとなり、負圧の方が2/3ほど少ない。勿論前述のように、+20cmの正圧給水では試験開始後約3ヵ月間余剰水の滴下がいくらかあったので土壤水としてはこの量を差し引かねばならないが、いずれにしても負圧の方が著しく少ない。

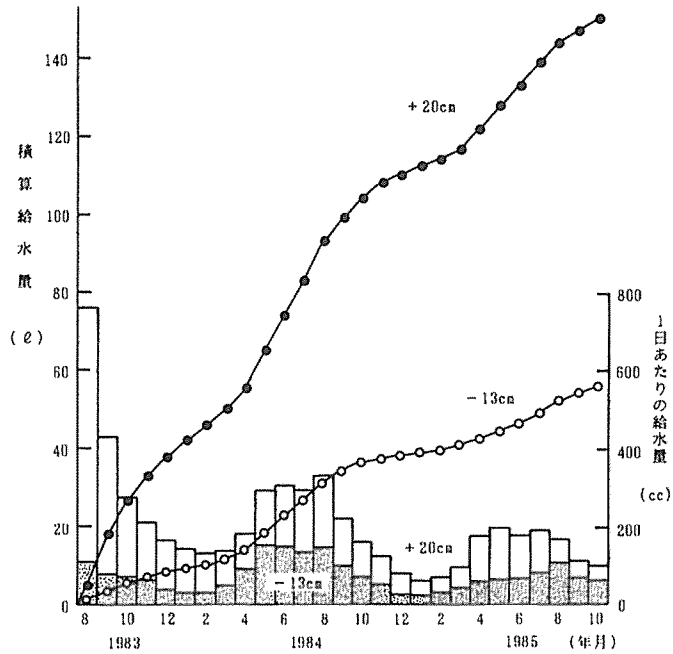


図-8 地下灌水開始後のプランターあたりの給水量の変化
(1983年8月24日から1985年10月31日まで)

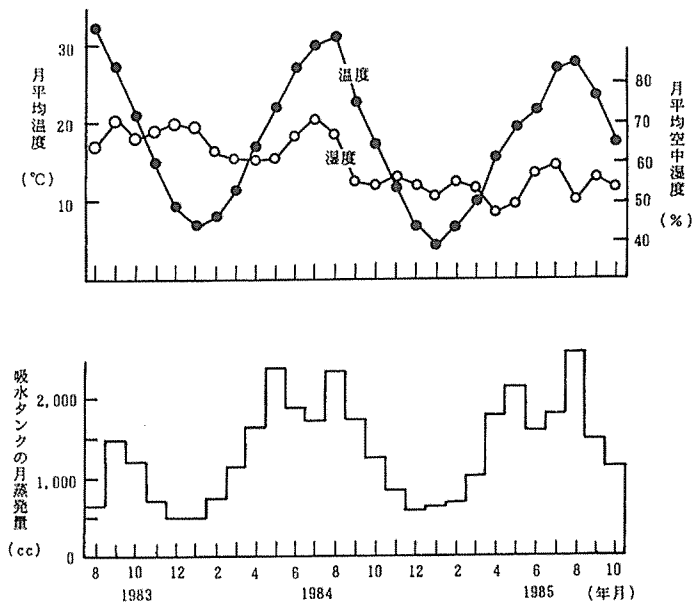


図-9 試験開始後の月平均温度、空中湿度および給水タンクの蒸発量の変化

一方、正圧、負圧の平均日給水量はいずれの年も12～3月に少なく、5～8月に多い。これを図－9に示した月平均温度および月平均空中湿度と関係づけて検討してみると、湿度より明らかに無加温のガラス室内の温度との相関が高い。給水タンクの月蒸発量は同じ図－9に示したように、平均温度の高い時期に多く、低い時期に少ない。両プランターの土壌表面からの蒸発量も給水タンクの蒸発と同様に変動するはずであるので、図－7で解析したように、蒸発量と給水量の高い相関関係から、室温が高くなれば土壌表面の蒸発量の増加にともない給水量が多くなることが理解できる。さらに苗木からの蒸散量も温度の高い時期に多いはずであるが、負圧状態での地下灌水でも、苗木の成長に必要な水は適度に供給しているようである。

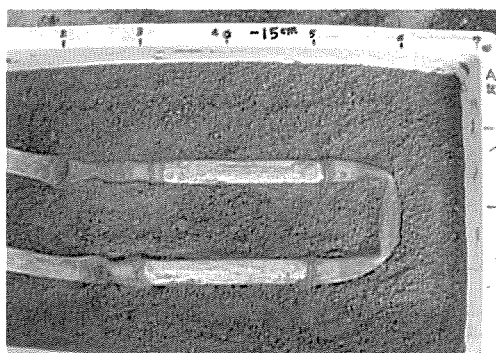
以上のように素焼パイプを用いた負圧地下灌水については、必要最小限と思われる給水量で2年以上の長期間にわたり造園用苗木の育成が可能で、実用上の見通しをえることができた。しかし試験終了後、素焼パイプを割り管の内部を調べてみたところ、水あかが2～3mm厚さに付着していたので、透水性がかなり悪くなっていたのではないかと思われた。したがってさらに長期間樹木等を育成する場合は適当な期間ごとにパイプの交換をする方がよからう。

4. 素焼パイプを用いた地下自動灌水法による挿し木の発根効果

樹木類の挿し木法に関する報告は比較的多い^{24,25)}が、発根と土壌含水量との関係についてはあまり解析されていない。徳岡²³⁾はヒノキの挿し穂の吸水量について、ソイルポトメーターを用いた地下灌水法により詳細な研究を行ない、吸水量と発根の間に正の高い相関のあることを報告している。すなわち挿し木の発根成績を高めるためには、穂木の吸水量を多くするような土壌水分条件にすることが必要であると述べている。勿論、発根にはある程度の空気量（酸素）も必要²⁶⁾であるので、過湿状態ではかえって障害があろう。このようなことから素焼パイプの水圧や本数を調節して土壌水分量を自由に設定できる地下灌水法は、挿し木に対しても有効であると考え、以下の試験を行なった。

1) サツキの挿し木試験

図－1に示したプランターに上賀茂試験地の赤土を充たし、写真－1のように地表から7cmの深さに素焼パイプを埋設した後、長さ7～8cmの穂木を各プランターとも350本（手灌水プラン



写真－1 挿し木試験に用いた素焼パイプの埋設状況



写真－2 15cm負圧地下灌水によるヒノキ、サザンカ、カナメモチ挿し木試験の60日目状態（ヒノキとカナメモチの一部が枯死している）

表－3 地下灌水法による給水量とサツキ挿し木苗の発根状況

設定水頭 (cm)	総給水量 (cc)	総蒸発散量 (cc)	発根状況 (%)			発根率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)	含水率 (絶乾比) (%)
			多	中	少				
+15	24,713	19,503	—	—	—	44.9	22.9	32.9	中央部 36.4
－15	6,284	9,874	—	—	—	0.0	52.0	48.0	中央部 8.9
+ 2	9,118	8,618	10.0	15.7	48.9	74.6	24.6	0.9	地表面 27.2 中央部 33.2 下 部 40.3
－ 1	6,463	9,543	22.0	39.4	22.9	84.3	15.4	0.3	地表面 22.9 中央部 22.7 下 部 27.2
手灌水	—	—	0.0	9.0	66.0	75.0	24.0	1.0	

試験期間：－15cm, +15cmは7月16日～9月6日, +2cm, －1cm, 手灌水は9月12日～10月31日

ターは250本)ずつ挿しつけた。設定水圧は表－3に示したように、水頭で－15cm, +15cm, +2cm, －1cmとし、比較のため手灌水の試験区を設けた。このうち－15cmと+15cm区は挿しつけ時の含水率が約17%で、1984年7月16日から52日間、他は挿しつけ後直ちに灌水し飽和状態で同年9月12日から49日間、無加温のガラス室内で育てた。なおこの間の手灌水については、9月の灌水は2日に1回、10月は3～4日に1回飽和状態になるまで行なった。試験期間中の総給水量、総蒸発散量および発根状態は表－3のようであった。表から認められるように、設定水頭+15cmの52日間の給水量は他の区に比較し著しく多く、蒸発散量（排水口から余剰水が滴下していたが、その量が少なかったので蒸発散量に含めた）を差し引いても過飽水状態であった。そしてその発根率は45%ほどであった。これに反し、－15cm区では給水量より蒸発散量の方が多く、試験終了時の含水率は素焼パイプ付近でも約8.9%と著しい乾燥状態であった。そのため枯死率は約半数に達し、発根は全くみられなかった。

これらに対し、水頭差の小さい区発根率は著しく高かった。特に－1cm区については、総計の給水量、蒸発散量が－15cm区とほぼ同等であるのに、枯死率は著しく低く発根率ももっとも良かった。そして挿しつけ本数の50%以上が、発根量中以上の状態を示した。

+2cm区は蒸発散量より給水量の方が若干多く、試験終了時の含水率も相対的に高くなり湿潤状態であったが、発根率は約75%で手灌水とほぼ等しかった。しかし発根量では手灌水より前者の方がまさっていた。

サツキの挿し木の発根は比較的容易であるが、季節的違いは多少あるものの手灌水による75%の発根率は標準よりむしろ高いといえよう。したがって設定水圧を－1cmの負圧にした地下灌水法でこれよりさらに高い発根率と良好な発根状態がえられたことは、サツキの挿し木養苗に素焼パイプによる地下自動灌水法が適用でき、しかも有望であることを証明したといえよう。

2) ヒノキ, サザンカ, カナメモチの挿し木試験

本試験の使用プランター、用土、素焼パイプの埋設方法等はすべて前節で述べたサツキの場合と同様である。設定水圧は水頭で -1 cm と -15 cm とし、ヒノキ、サザンカ、カナメモチの穂木を写真-2のようにそれぞれ1列に50本ずつ交互2列(1プランター当たり100本)に挿しつけた。比較対象としてサツキの試験と同様、各樹種を50本ずつ挿しつけた手灌水による区を設けた。いずれのプランターとも挿しつけ後手灌水によって飽和状態にした。手灌水については、挿しつけ後30日間は4日に1回、31日目以後は6~7日に1回飽和状態になるまで灌水を行なった。試験は1985年6月15日から60日間無加温のガラス室内で行なった。

試験開始後の給水、蒸発散量、土壤水の増減量および含水率の変動は図-10に示したようである。なお手灌水区については上記の測定を行っていない。図から認められるように、給水量と蒸発散量は試験開始後1カ月目位まで大きな差がみられなかったが、その後は設定負圧の大きい -15 cm の方が明らかに多くなった。一方土壤含水率でも、 -15 cm の方が -1 cm の区より特に後半高

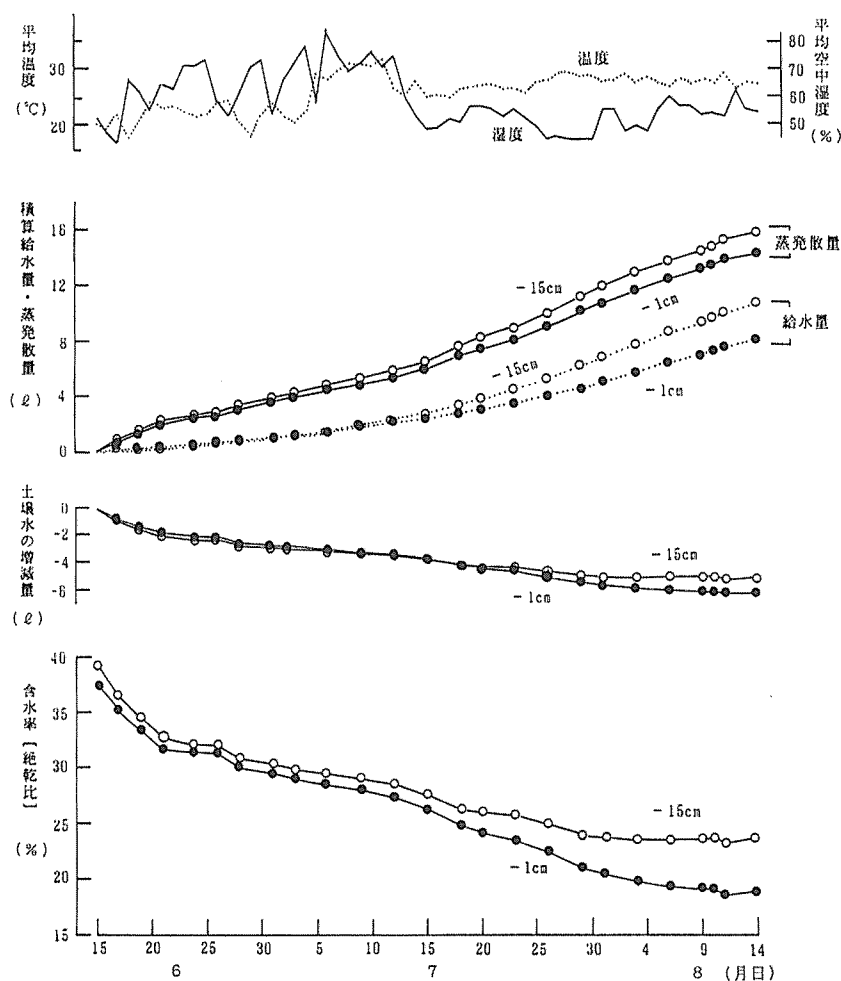


図-10 試験開始後の平均温度、湿度とプランターあたりの積算給水量、蒸発散量、土壤水の増減および含水率の変化

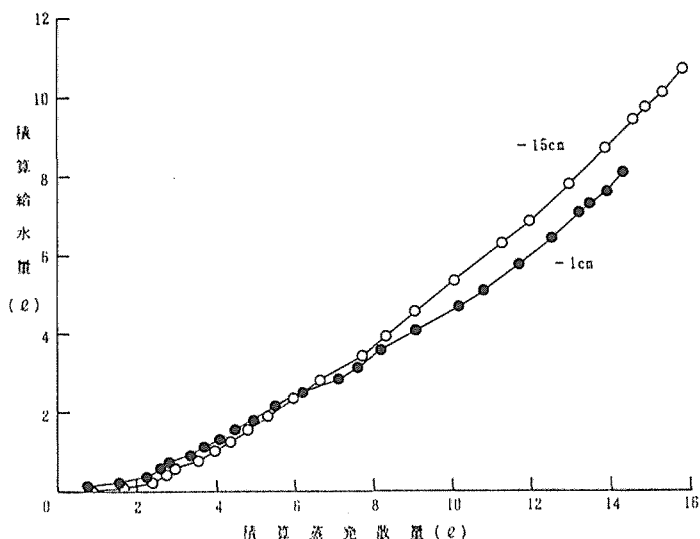


図-11 積算給水量と蒸発散量の関係

かった。しかし、給水量と蒸発散量の差である土壌中水の増減量にはあまり大きな違いはみられなかった。図-11は本試験の給水量と蒸発散量の関係をみたものであるが、後半から明らかに分離し、同じ給水量に対して-1 cmの方の蒸発散量が多くなることがわかる。このことから負圧差の大きい方の給水量が少なくなるこれまでの試験結果の傾向と異なるのは、挿し穂の蒸散量が影響した可能性があると思われる。

挿し木の発根率、無発根の生存率および枯死率等は表-4 のようであった。ヒノキの発根率は手灌水がもっとも良く、36%であったが、春挿しであれば普通はもっと高いはずである。しかし

表-4 地下灌水法によるヒノキ、サザンカ、カナメモチ挿し木苗の発根状況

設定水頭	樹 種	挿木 本数	発根状態 (本数)				発根率 (%)	生存率 (%)	枯死率 (%)	含水率 (絶乾比) (%)
			多	中	少	合計				
- 1cm	ヒノキ	100	0	0	7	7	7	78	15	地表面 15.7
	サザンカ	100	75	25	0	100	100	0	0	中央部 15.9
	カナメモチ	100	0	0	6	6	6	84	10	下 部 15.9
-15cm	ヒノキ	100	0	0	19	19	19	75	6	地表面 18.1
	サザンカ	100	76	24	0	100	100	0	0	中央部 19.5
	カナメモチ	100	0	0	4	4	4	80	16	下 部 19.9
手灌水	ヒノキ	50	0	0	18	18	36	64	0	飽和状態 約30%
	サザンカ	50	0	0	46	46	92	8	0	
	カナメモチ	50	0	0	0	0	0	32	68	

枯死したものはない。これに対し、素焼パイプによる負圧灌水の発根率はさらに低く、特に-1 cmの場合は悪い。用土に本試験と同じ赤土を用いた徳岡の試験結果¹⁹⁾でも、土壌含水率を低くしたソイルポトメーターの負圧状態での発根率は著しく低い。すなわちヒノキの発根には土壌水分がかなり多く必要である²³⁾ようで、土壌含水率が不均等なため特に乾燥するプランター周辺部に枯死個体が多くみられた。したがってヒノキの挿し木に地下灌水法を用いる場合は、素焼パイプの本数を多くするとか、正圧給水にするとかの工夫が必要であろう。

サザンカは表から明らかなように、負圧灌水の発根率は両区とも100%で、発根量も手灌水が少量であるのに対し著しく多い。そして-1 cmと-15 cmの発根状態にもほとんど差がない。したがってサザンカの挿し木に対しては素焼パイプによる負圧灌水は極めて有効である。

カナメモチについては表から認められるように、手灌水の場合には発根は全くみられず、むしろ枯死率が著しく大きい。これに対し地下灌水の場合には枯死率は著しく低く、多くの挿し穂は60日間よく生存し、数パーセントの発根がみられた。カナメモチの発根は、-1 cmの発根率と生存率が高いことから、土壌含水率の低い方がよいようであるが、いずれにしてもカナメモチの挿し木に対しては給水量の多い手灌水より負圧の地下灌水法の方がまさっていると思われる。

以上2つの試験から、素焼パイプを用いた地下自動灌水法は、設定負圧とパイプの埋設本数を適切にすることによって、多くの樹木の挿し木養苗に適用できる可能性があることがわかった。

お わ り に

本研究は一般素焼鉢に用いる陶土を1,100℃で焼き上げたパイプの透水能を、設定水圧と用土をかえて明らかにし、その特性から地下灌水による造園用苗木の長期間にわたる育成と、数種の挿し木の発根に対する効果を解析したものである。その結果、素焼パイプを用いた地下灌水法は、苗木の育成や挿し木養苗に関しかなり有効で、自動灌水ができることも合せると、実用性はかなり高いと判断される。しかし本研究はまだ基礎的な資料をえたにすぎないので、給水性能の異なる各種の素焼多孔質管の開発をする一方、設定水圧、用土等の関係をさらに明らかにし、樹木の育成目的に応じた地下自動灌水法の確立を計る必要があるだろう。

引 用 文 献

- 1) 大枝益賢他：地下灌漑に関する研究。農土研。21。301～306, 1946
- 2) 原周作：施設園芸と地中かん水法(1)。畑農。175。17～20, 1973
- 3) 中山敬一・龍野得三：地下かん水法による自動かん水。ハウス栽培と水。日本イリゲーションクラブ。58～66, 1974
- 4) STICE, N.W. and L.J. BOOHER: Plastic tube irrigators with electric control. Calif. Agr. 19. 4～5, 1965
- 5) LIVINGSTON, B.E: A method for controlling plant moisture. Plant World. 11. 39～40, 1908
- 6) RICHARDS, L.A. and H.L. BLOOD: Some improvements in auto-irrigator apparatus. J. Agr. Res. 49. 115～121, 1934
- 7) ——— and W.E. LOOMIS: Limitation of auto-irrigators for controlling soil moisture under growing plants. Plant Physiol. 17. 223～235, 1942
- 8) 出光勝兵衛：リビングストーン式自動灌水装置によるメロン栽培。園芸研。29。159～165, 1933
- 9) ———・三澤範平：種々の土壌水分に栽培せるメロンの成育。園芸学雑。6。137～144, 1934

- 10) 玉井虎太郎：平型給湿槽式自動灌水装置とその利用場面. 農園. 14. 2309～2316, 1939
- 11) ———：畑作用水法の合理化に関する研究. 愛媛大紀要. 2. 157～333, 1956
- 12) ———：植物用水管理の理論と技術(15). 農業及び園芸. 47. 538～542, 1972
- 13) 加藤善二・手島三二：負圧差灌漑の原理と基礎的検討—地下灌漑に関する実験的研究(Ⅰ). 農士論集. 101. 46～54, 1982
- 14) ———・—————：負圧差灌漑を用いた栽培試験—地下灌漑に関する実験的研究(Ⅱ). 農士論集. 102. 51～58, 1982
- 15) 金子章・辻田昭夫：造林作業の適期に関する研究(第Ⅱ報)アカマツ幼齢木の吸水量と上長生長および根の伸長生長の年変化について. 日林誌. 70. 247～250, 1960
- 16) 香山信男：主要造林樹種の幼苗時における蒸散作用(予報). 日林誌. 24. 1～19, 1942
- 17) 薄井五郎：地中給水管を使ったトドマツ苗木の吸水量実験結果. 日林北支誌. 19. 105～107, 1970
- 18) 徳岡正三：自動かん水装置を用いた2, 3の樹種におけるさし穂の吸水の検討. 日林誌. 55. 35～38, 1973
- 19) ———：自動かん水装置を用いた土壌水分の調節とヒノキさし穂の吸水および発根の検討. 日林誌. 56. 102～104, 1974
- 20) ———：ヒノキのさし穂にみられる吸水傾向(Ⅱ). 日林誌. 58. 334～337, 1976
- 21) ———：ヒノキのさし穂にみられる吸水傾向(Ⅲ). 日林誌. 59. 118～121, 1977
- 22) ———：ヒノキのさし穂にみられる吸水傾向(Ⅴ). 日林誌. 62. 138～146, 1980
- 23) ———：ヒノキのさし穂の吸水と発根. 京府大学術報告. 32. 84～93, 1980
- 24) 森下義郎・大山浪雄：造園木の手引き. さし木の理論と実際. 地球出版. 376, 1972
- 25) 阪口勝美・伊藤清三監修：造林ハンドブック. 養賢堂. 935, 1965
- 26) 渡辺政俊・中井勇・橋本英二：マツ類のさし木の発根に関する研究 第1報 発根に及ぼす2, 3の環境因子について. 京大演報. 35. 1～18, 1964

Résumé

Long-term studies have been conducted on the practical cultivation of several crops by a sub-surface irrigation system using a porous ceramic pipe, but cultivation of young trees by this method has not been reported. This paper discusses the property of the water supply from the porous ceramic pipe made of pottery clay baked at 1,100 °C, and 3 cm in diameter and 20 cm in length on seepage outside. Furthermore, the effects of subsurface irrigation for long-term cultivation of garden trees and rooting of cuttings in a plastic container in a greenhouse are reported.

- 1) The water supply by the positive pressure in a ceramic pipe is much larger than the negative pressure, and its quantity gradually decreases towards the higher negative pressure. In general, a positive correlation exists between the quantity of water supply from pipe and the quantity of evaporation from the soil surface.
- 2) The water supply for the fine clay such as a rice field soil is much larger than the porous loam mixed with humus and sand.
- 3) The soil moisture decreases conformably to concentric circles from the porous ceramic pipe.
- 4) Cultivation of garden seedlings for 27 months revealed more vigorous growth for

Rhododendron indicum SWEET and *Camellia sasanqua* THUNB. grown at a negative pressure (difference of water level between ceramic pipe and tank: -13cm) and for *Photinia glabra* MAXIM. grown at a positive pressure (+20cm) compared to those grown at positive and negative pressures, respectively. The water supply increased with the increase in temperature for three seasons.

- 5) The rooting rate of cuttings of *Rhododendron indicum*, *Camellia Sasanqua* and *Photinia glabra* in a negative pressure of -1cm level was markedly larger than that of the hand-irrigated cuttings.

As mentioned above, the subsurface irrigation method by the porous ceramic pipe having the characteristic of self-controlled and continuous irrigation may be useful for the cultivation of seedlings and cuttings.