

保水剤を混入した土壌の浸透特性

The Infiltration Characteristics of Soil Mixed with Water Absorbant High Polymer

篠田 裕*・日野 幹雄**・神田 学***

By Yutaka SHINODA, Mikio HINO and Manabu KANDA

Water holding substances mixed in soils affect the infiltration characteristics of soils, thus rainfall-runoff process changes. Therefore, the headwaters conservation and the flood-prevention may be controlled.

The laboratory experiments with the artificial rainfall, have been made by a lysimeter with diameter $\phi 200$.

The effect of mixture ratio of soil and water absorbent high polymer was examined. The soil parameters of each mixture case are identified by the analysis of hydrograph data.

Keywords: soil-moisture transfer, water absorbent high polymer, water holding substances, rainfall-runoff process, lysimeter

1. はじめに

1965年頃から、ポリビニルアルコール、ポリエチレングリコールなどを橋かけした高分子が開発され、吸水性樹脂としていくつかの用途に利用されてきたが、その吸水力はせいぜい自重の20~30倍程度であった。

1974年7月に、米国農務省北部研究所が、約1000倍の吸水力を有する高吸水性ポリマーを発表した。日本においても、生理用品用途に利用されたのを端緒として、農業・園芸、食品・流通、土木・建築、メディカル、電気・電子材料、塗料・接着などにも応用されてきている。¹⁾現在の主たる用途は、紙おむつであるが、砂漠緑化への応用²⁾は、農業・園芸・土木にわたる事例として、興味ある応用例のひとつである。

著者らは、土壌中の水分移動に深い関心を抱いているものであるが、この高吸水性ポリマー（保水剤）を適切に土壌中に混入して土壌特性を変化させれば、その結果として植生の育成、さらに進んでは水源涵養・流出過程の制御ができるのではないかと考えている。

本論文はその基礎的な研究として、保水剤の最適混合率やその配置法、またその場合に見かけの土壌特性がどう変化し、どう規定すべきか、乾燥過程が長期にわたり土壌が乾燥してきた場合に、保水剤が土壌・植物に水分を供給しうるのか、などを検討することを目的としている。

* 正会員 工修 千葉工業大学助手 工学部土木工学科
(〒275 千葉県習志野市津田沼2-17-1)

** 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科
(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

*** 学生員 工修 東京工業大学大学院博士課程 工学部土木工学科
(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

2. 保水剤

2・1 保水剤の吸水機能

高分子材料の比較的新しい素材である「高吸水性ポリマー(あるいは高吸水性樹脂)」は、組成および合成法、不溶化の方法、親水化の方法、製品形態から分類できる。最も一般的な分類である「組成および合成法(原料面)」から分類すると、デンプン系、合成ポリマー系(ポリアクリル酸塩系など)、セルロース系などに分類でき、現在日本の10社を越えるメーカーから、20種を越える製品が販売されている。¹⁾

本研究では、その中から土壌改良を用途としている4製品を入手し、吸水試験(要求性能によりいくつかの測定法があるが、ろ過法を用いた)——ポリマーを蒸留水に投入後、図-1に示す時間ごとに金網ですくって重量を計測した——を実施して、その吸水倍率、飽和膨潤状態での形態の比較を行い、保水剤として一製品を選び出した(表-1)。選定の根拠となったのは、吸水倍率が500倍と平均的な値であること、膨潤状態での形状が球形(直径1~3mm程度、2mm前後が多い)

で安定しており、土壌として用いた赤玉土(15℃での真比重2.66)とのなじみが良いことなどである。

2・2 保水剤の給水機能

保水剤が吸水した水分が、そのまま保持されて放出されることがないとすれば、この場合には意味がなく、土壌の乾燥過程において、保水剤が水分を放出して、土壌あるいは植物に給水することが必要である。保水剤の保水機能については、膨潤状態の保水剤を自然状態で放置すると、1~2週間程度で水分を失い、乾燥した寒天状のような状態となる。再度これに水を加えると、もとの膨潤状態に戻るという性質を示す。すなわち、保水剤はかなりの期間にわたり、周囲の環境に応じて吸水・放水を繰り返す。

この加水・乾燥を繰り返すと、製品によっては水中で懸濁状態のようになってかなり劣化したと判断されるものもあったが、今回の実験で使用したものについては、あまり劣化は認められなかった。乾燥炉に入れて急激に水分を蒸発させた場合でも、同様の結果となった。

保水剤の吸水過程は、図-1に示したとおり1時間程度で飽和膨潤状態に達するが、どのような状況で土壌に水分が移動するか問題となる。そこで図-2³⁾中に示すような装置で、保水剤から土壌への水分移動

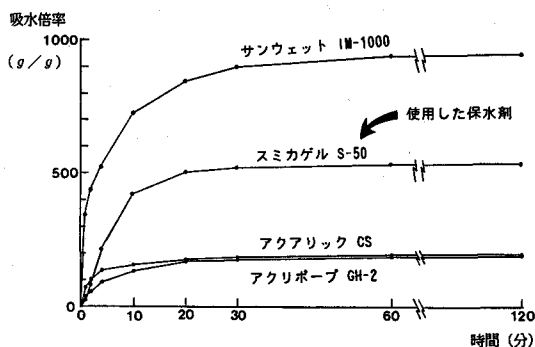


図-1 高吸水性ポリマーの蒸留水に対する吸水過程

表-1 高吸水性ポリマーの種類

分類(製品名)	吸水前	膨潤後
デンプン/ポリアクリル酸塩系 (サンウェット IM-1000)	白色微細粉末状	デンプンのり状
PVA/ポリアクリル酸塩系 (スミカゲル S-50)	白色微細粒状粉体	透明キャビア状
橋かけポリアクリル酸塩系 (アクアリック CS)	淡黄色不定形塊状	やわらかいかゆ状
橋かけポリアクリル酸塩系 (アクリボープ GH-2)	白色不定形塊状	かんてん碎状

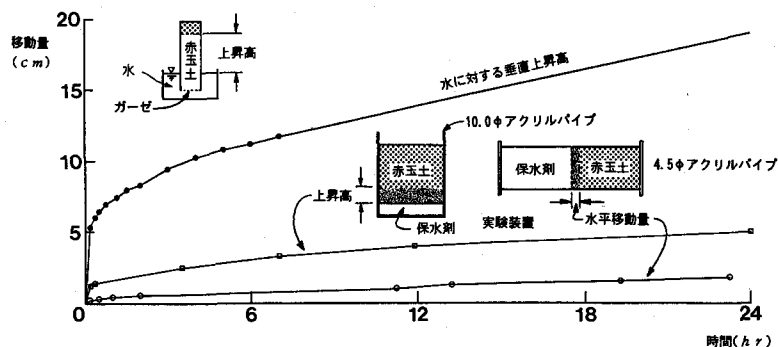


図-2 保水剤からの水分移動

を観察した。使用した飽和膨潤保水剤は、そのままでは粒子間に間隙水を多量に含んでいるので、自然乾燥状態の赤玉土の上に12時間程放置して、保水剤の粒子間の間隙水を除去したものをを用いた。また赤玉土は、自然乾燥状態(含水比34.4%)のものを使用した。

図-2には、同じ赤玉土の垂直移動量も示したが、これと比較すると、保水剤は水を離しにくいものの、自身の体積を減少させながら(粒子径が小さくなる)水分を放出することが分かった。

3. 実験装置および実験方法

図-3に実験装置の概略を示す。ライシメーターは、保水剤混合土と無混合土との層状配置のときに、その境界が目視できるように透明アクリル樹脂製とし、内径20cm、深さ33cmのものを使用した。

この中に赤玉土(2.38mmフルイで粒径を揃えた)のみのものと、保水剤を0.1%、0.2%、0.3%で一様に混合したもの、0.3%の保水剤混合土を、図-4に示すような層状に充填したものに、降雨を与えた。流出流量は、電子天秤で流出水の累積重量を測定して、降雨量に換算した。

保水剤の混合率は、自然乾燥状態の赤玉土と吸水前の保水剤との重量比を百分率で表したものである。

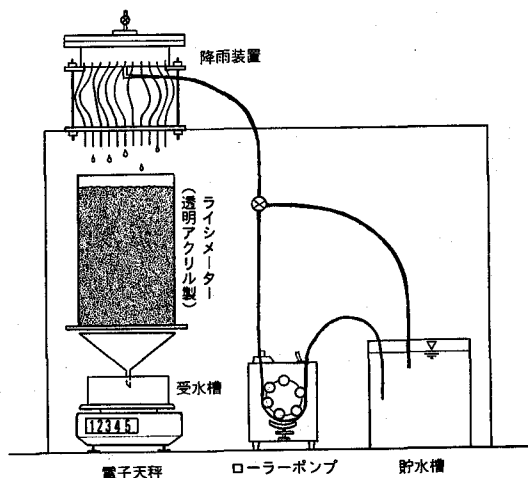


図-3 実験装置概略図

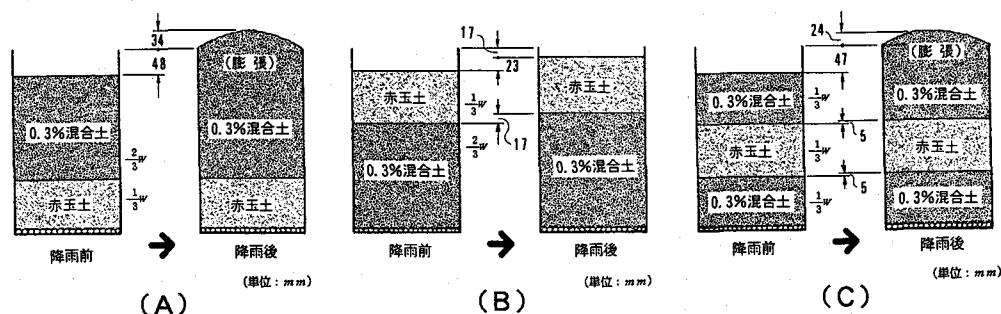


図-4 層状の土壌配置図

赤玉土と保水剤を混合する場合、土が多量に水を含んだ湿潤状態であると、保水剤は土に触れた瞬間にまご(糞粉)状になり、均一に攪拌・混合することができない。そこで赤玉土を数日間自然乾燥して、含水比を35%程度まで落としてから保水剤を混合し、その後降雨を流出量が定常状態になるまで与えて湿潤状態にした(飽和後重力排水状態)。蒸発により土壌表面から水分が失われないようにして、半日~1日程度放置してから、時間降雨60mm(設定値)の雨を25分間与えて、流出ハイドログラフを作成した。

また、土壌の物理特性を知るために、流出終了後ただちに内径5cmの土壌サンプラーで資料を採取し、105℃で24時間以上炉乾燥し、体積含水率、間隙率などを測定した。

飽和透水係数(K_s)は、内径7.4cmのアクリル製パイプに、内径20cmのライシメーターと同様な状態(膨張量)になるように土壌資料を充填し、水中で十分に飽和させてから、変水位法によって求めた。

4. 実験結果と考察

4・1 保水剤混合率の効果

(a) 初期状態：

降雨開始直前の初期状態は、土壤が湿潤状態から自然排水を完了した余剰水分が流出した状態である。

(b) 混合率とハイドログラフの変化：

図-5は、保水剤の混入量を変化させて、流出ハイドログラフの傾向をみたものである。無混合の場合とほとんど変化がない⁽⁴⁾ 0.1%の混合率のハイドログラフを除いて、保水剤無混合（赤玉土のみ）、0.2%、0.3%一様混合の場合の3ケースについて比較すると、0.2%、0.3%と保水剤の量が増加すると、流出開始位置、ピーク発生位置にはさほど変化がないものの、ピーク流量が低減化し、流出が長期化する傾向がある。流出率は、図-5中に示したようにさほど差がないから、保水剤を混入したことによって、流出カーブが低減化・長期化したものとみることができる。

予備降雨によって土壤を飽和重力排水状態にしてから実験降雨を与えるので、その流出量に差がないのは当然とも言える。しかし降雨前後のライシメーター重量測定によれば、例えば0.3%一様混合土が吸水した水分量は5050 g程度で、無混合の赤玉土が予備降雨によって吸水した量が3100 gであることを勘案すると、ライシメーター中にある保水剤24 gは、2000 g程度しか水分を吸水していない。これは吸水倍率で言うところと83倍となり、さきの吸水実験で得られた結果とオーダーが異なる。これは、保水剤の吸水試験のろ過法の場合、その吸水量は保水剤粒子間の間隙水を含んだ値であることと、混合土壌からの物理的な影響（例えば圧縮力）を受けやすいことを示していると考えられる。

(c) 保水剤の過剰混合と最適混合率：

なお、保水剤の混合率が0.3%を越えるものについても実験を行なったが、0.4%、0.5%いずれの場合も膨張量が過大となり、あたかも保水剤のなかに土粒子が混入しているかのような状況となり、また降雨が土壤表面に湛水し、土壤中の湿潤前線も停滞して、ライシメーター底部へ到達しなかった。このことから、保水剤の混合率はこの保水剤の場合、0.3%程度までであると考えられる。この結果は、ここで用いた赤玉土と一種類の保水剤の組み合わせについて言えることであるが、冬野菜の成育に関する研究⁷⁾や道路緑化等における研究⁸⁾で、土壌・保水剤の種類が異なっても、0.1%~0.3%程度の混合範囲を提示していることと一致している。

4・2 土壌物理特性値の変化について

以上、実験によって得られたハイドログラフから、保水剤が流出に及ぼす影響が分かったが、ここでは保水剤を混合したことにより、土壌の物理特性がどう変化したかについて述べる。

表-2に、降雨後サンプラーにより資料を採取して測定した物理特性値の一部を示

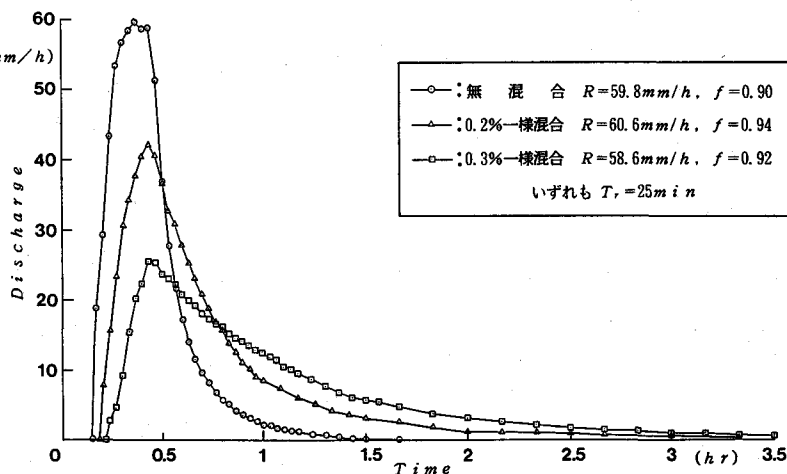


図-5 流出量の時間変化

表-2 混合・無混合土の土壌物理特性値

区 分	無 混 合 土	0.1%混合土	0.2%混合土	0.3%混合土
土壌層厚(cm)	26.8	28.7	31.0	33.1
三 相	固 相	0.266	0.233	0.213
	液 相	0.604	0.599	0.617
	気 相	0.130	0.168	0.170
体積含水率(%)	60.4	59.9	61.7	63.5
間 隙 率(%)	73.4	76.8	78.6	80.0
飽 和 度(%)	82.2	76.3	78.6	79.4
飽和透水係数	0.461	—	—	0.282

【 K_s : cm/min】

(飽和透水係数を除く数値は、各サンプルの平均値)

す。実際の測定値は、各サンプルごとにブロック状に得られているが、表中には平均値で示した。そこで図-6には、無混合土と0.3%一様混合土の三相分布図と体積含水率を、測定値を生かす形で例示した。

(a) 膨張量について：

保水剤一様混合の場合、保水剤による膨張は、土壌表面に近くなるほど土壌の自重による圧縮力が小さくなるので、保水剤の膨張量が大となる。4ケースとも同量の赤玉土を使用したものの、膨張による土壌層厚(膨張率)が異なるので、固相比が保水剤の量と逆に相対的に小さくなっている。すなわち、図-6に示すように、固相の分布が土壌表面に近づくにしたがい、小さくなっていることが分かる。

今回の実験は膨張を抑止しなかったため、体積が増加するとともに、間隙率も増加した。

(b) 飽和透水係数について：

無混合土と0.3%一様混合土の飽和透水係数(いずれも初期水頭差を変えて測定した平均値)を比較すると、保水剤を混合した土壌の方の飽和透水係数が、およそ60%近くの値に減少している。この原因を考えてみる。

これは保水剤に吸水された水分が土粒子間隙に存在していて、強熱乾燥試験では土壌水分の一部として出てくるものの、実際には水みちを形成する自由水とならずに、保水剤に束縛されていて土粒子的な挙動を示す粒子状になっていると考えられることである。この概念を図-7に示す。すなわち保水剤を混合しないときに存在した自由水の水みちが、保水剤を混合することによって、その保水剤が水分を中に取り込んだ形で存在するので、水みちをかえてて阻害するのではないかということである。これは、土壌の膨張率を差し引いて考えても、含水率・間隙率が增大しているにもかかわらず、飽和透水係数が逆に小さくなっていることからの推論である。水分を吸水した保水剤が、コロコロした感じで微細な土粒子を外殻にまとった形で存在しているのは、実際に混合土から保水剤粒子のみを選別する作業をしようとしたときに、外見だけからはその判別がつかず、ピンセットでつまんでみて、その感触で判別できるような状況もあったからである。

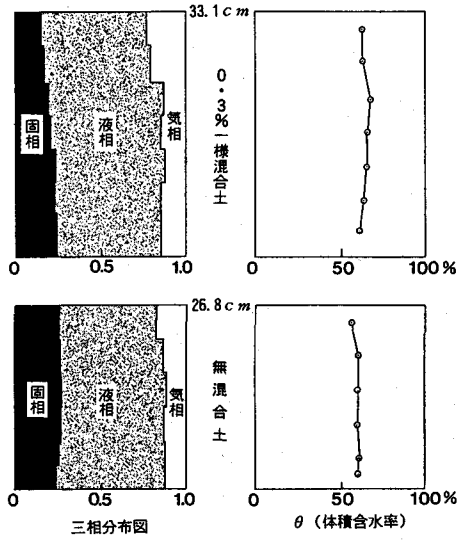


図-6 混合・無混合土の土壌物理特性図

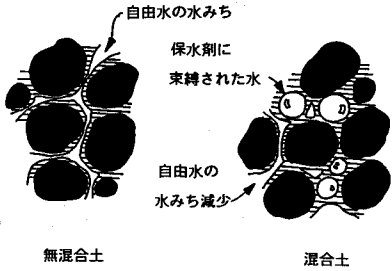


図-7 保水剤効果の概念図

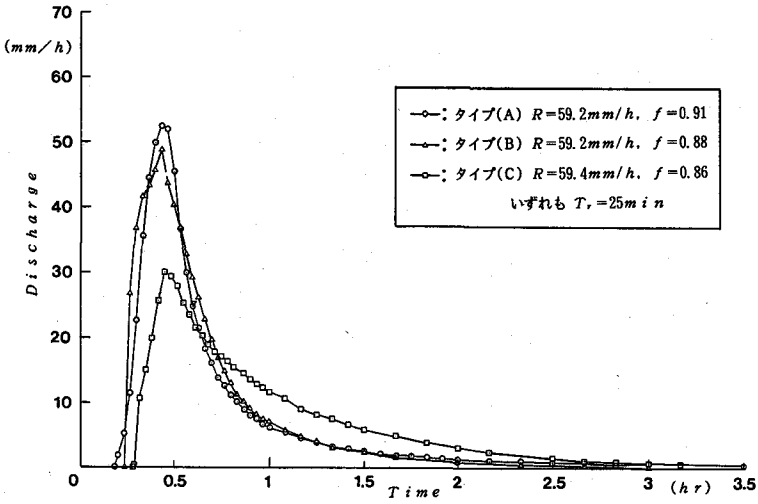


図-8 0.3%層状配置の流出量の時間変化

4・3 層状配置による効果

図-8には、図-4で示した層状配置のモデルのハイドログラフを示した。この層状配置は、0.3%混合土をさまざまに配置することによって、その効果を見ようとしたもので、保水剤の絶対量は、0.2%一様混合の場合の保水剤の量と同じである。したがって、図-5の0.2%一様混合土のハイドログラフに近い形になっても不思議ではない。が、0.3%混合土が上部に乗った形のタイプ(A)のハイドログラフは、保水剤無混合の場合のハイドログラフに相似であり、0.3%混合土が下部に入ったタイプ(B)は、0.2%一様混合土の流出曲線に近似し、赤玉土の層を上層下層からはさんだタイプ(C)が、0.3%一様混合土のハイドログラフと相似であるように見える。このことは、タイプ(A)(B)(C)の順で、保水剤の効果が出ていることを示唆している。

4・2で述べたように、赤玉土のみ(保水剤無混合)の土壌部分は、0.3%混合土の部分より透水係数が大であるから、流出曲線の形状を左右するのは、主として0.3%混合土の位置、保水剤を含む土壌の膨潤の程度とそのときの飽和透水係数によるものと考えられる。そのような観点から(A)(B)(C)を見直すと、(A)は0.3%混合土の膨張量が3タイプの中で最も大と見られるタイプとなり、その結果透水係数は増大し降雨のフロントも速やかに通過していくこととなる。次に(B)は、赤玉土をスムーズに通過したフロントが、比較的膨張量の少ない0.3%混合土に出会うことで流出開始が少々遅れるものの、以後はスムーズに流出する。それに対し(C)の場合は、上部の0.3%混合土は良く膨張し、その包蔵水量も多くなっている。そのために下層混合土は重くなった上層混合土と赤玉土とに押さえられる形になって、透水係数が小さくなって流出が長引くとともに、吸水量も十分でなかったことから、吸水過程も多少続行するので流出率も小さくなっていると説明される。

5. 結 論

- (1) 保水剤の吸水機能、土壌への給水機能について室内実験を行い、保水剤を降雨～流出過程間に存在させれば、水分吸収・放水のバッファとして使用できる可能性を示した。
- (2) 保水剤が少量であるとその効果が現れにくく、多すぎると膨潤により保水剤がのり状にくっついてゼリー状になり、土壌中の水分移動そのものが阻害されることになるので、保水剤の適切な混合率の選択が重要である。本実験の場合、その値は0.3%近傍にあると思われる。
- (3) 保水剤を土壌中に混合すると、土壌物理特性値が変化する。すなわち体積含水率・間隙率は増加し、飽和透水係数は減少し、ハイドログラフの形状の変化(ピーク減少、低減部の増加)となって現れた。
- (4) 飽和透水係数の変化について、水を含んだ保水剤は、それが土壌全体の膨張につながらない場合、自由水のみを阻害することとなり、透水係数が減少する。
- (5) 保水剤を混合した土壌を層状に配置する場合(これが実際のもののだが)、その配置の状態によって、その効果の現れ方が変化する所以、土壌特性の変化を考慮して最適配置を決める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 増田房義:「高吸水性ポリマー」高分子新素材 One Point-4, 高分子学会編, 1987.
- 2) 遠山柱雄:「砂漠緑化への挑戦」読売科学選書22, pp. 210～222, 読売新聞社, 1989.
- 3) 篠田裕・日野幹雄・神田学:保水剤を混入した土壌の浸透特性, 水文・水資源学会1990年研究発表会要旨集, p. 181, 1990.
- 4) 篠田裕・日野幹雄・神田学:保水剤を混入した土壌の浸透特性, 土木学会第45回年次学術講演会, 第Ⅱ部門, pp. 252～253, 1990.
- 5) 遠山柱雄・竹内芳親・中出吉彦・杉本勝男:保水剤利用による乾燥地緑化に関する研究(第4報), 7種の保水剤混合による冬野菜の育成とかんがい効率, 砂丘研究, 第31巻, 第1号, 1984.
- 6) 建設省土木研究所道路部緑化研究室:道路緑化等における保水剤の活用技術に関する研究, 土木研究所資料, 第2686号, 1988.