高架橋上の人工地盤緑化地における底面貯水層の効果

The Effect of a Rain Water Store under the Layer of Fill-up Soil on the Overhead Line

山田宏之* 赤松 潤** 養父志乃夫***
Hiroyuki YAMADA Jun AKAMATSU Shinobu YABU

摘要：奈良県大和高田市の高架橋上に造成した人工地盤緑化試験区において、雨水の底面貯水層の効果の検証を行った。植栽後約1年目の地被類と低木類の枯死率と被覆面積を土壌種類の違い、貯水層の有無、貯水層への通気の有無で比較した結果、人工土壌の使用は生育量を増大させる場合が多いものの、枯死率の増大など逆の効果もあり、一概に優れているとは言えないこと、底面貯水は枯死率を引き下げるには有効だが、生育量の増大には寄与しない場合もあること、底面貯水層への通気の効果はほとんど認められないことなどが把握された。貯水層の効果は、土壌種、植栽植物種の違いにより様々であり、ときには全く逆の結果をもたらすこともあることが分かった。

1. はじめに

人工地盤の緑化を行う場合、一般に植栽基盤厚が十分に厚ければ雨水のみで植物の生育が維持できるとされるが³⁾⁴⁾、基盤厚の増加に比例して荷重も増加する。建築物と比較すると、土木構造物の積載荷重の上限は高いのが普通であるが、それでも道路高架橋等においては積載荷重の余裕はさほど大きくない。人工軽量土壌を用いれば、ある程度の土壌厚を確保することは可能であるが、道路高架のような広大な面積を全て人工軽量土壌で基盤造成するというのは、コストの点から見て難しい⁹⁾。

このため、道路高架橋緑化の場合においても建築物と同様、荷重低減のための工夫が求められることになる。建築物の屋上のような場所では、上水道を使った灌水装置を併用した薄層、軽量の植栽基盤が実用に供されているが¹⁰⁾、一般に道路高架上では、こういった給水施設は皆無である。給水車を用いて灌水するとしても、操車スペースが極端に限定された高架橋上では困難なことが容易に予想される。

無灌水あるいは低頻度灌水を目標とした工夫の一つに、基盤底部に雨水の貯留層を設けるシステムがあげられる。プランター等の気密性の高い容器では、しばしば用いられる方法であり⁶⁾、実用新案も取得されている（実用新案登録第1844863号、第194407号等）。また、底面灌水法については、花卉栽培などでは普通に行われている方法であり、研究事例も数多く発表されている⁵⁾⁷⁾。しかしながら、高架橋上といった大規模な造園工事に際して底面貯水方式が用いられたという事例は少ないうえに、追跡調査結果等もほとんど発表されていない。

こうした現状から、人工地盤上で無灌水管理を実現させるための基盤造成技術上の基礎的なデータとして、今回、雨水の底面貯

水層を有する区と対照区を有する試験植栽地を対象とした調査の解析結果をまとめたので報告する。

2. 植栽試験区の概要

試験区は奈良県大和高田市の国道の高架橋上に設定した。1996年3月に造成・植栽したもので、緑化面積は約1650㎡である。試験区は大きく2つに分けられ、現地産マサ土に体積比で50%のパーライトを混合した改良土壌と、屋上緑化等で使用実績の多い人工軽量土壌A（真珠岩パーライト、鉱物繊維、珪藻土焼成粒、肥料の混合物）の2種の基盤材を用いた対比試験区となっている⁸⁾⁹⁾。本稿では、マサ土改良土壌を「自然土壌」、人工軽量土壌Aを「人工土壌」と記す。造成時の土壌分析結果のうち、肥料分の測定結果を表-1に示す。

今回測定対象とした試験区は全19区のうちの8区であり、土壌層の厚みは地被区で30cm（路盤傾斜により一部15cm程度）、低木区で30cm（人工土壌）と45cm（自然土壌）である。一部の区画には土壌層の下に雨水貯留層を、更にそのうちの一部の区には貯水層に至る通気管を設置している。調査は、これら貯水構造の異なる3種の試験区について実施した。各々の基盤の構造概念図は図-1のようである。排水層及び貯水層はパーライト（4~25mm）によって構成されており、土壌層とは不織布で遮断されている。排水口の位置により、このパーライト層が、排水層または貯水層として機能するようになる。貯水構造の区には、水の吸い上げを促進する目的で、化学繊維を直径10mm程度に束ねた吸上管を土壌層から貫入させている。このような排水構造と道路の排水勾配が全面に設けられているために、土壌層の排水性は極めて良好に保たれている。

図-1 基盤の構造概念図（左：無貯水区 中：貯水区 右：貯水・通気区）

*（助）都市緑化技術開発機構 **住宅・都市整備公団 ***和歌山大学システム工学部

植栽植物種は地被類から中高木まで多種に及ぶが、今回の調査では、植栽後1年以内という比較的短期間の経過を見ることになるため、生育量が大きく、その把握が比較的容易に行えと考える。地被類と低木類を対象として計測を行った。なお、植栽植物は全てポット苗もしくはコンテナ苗を用いて列植しており、植栽時のダメージは最小限になるように考慮されている。

3. 測定および解析方法

(1) 測定方法

地被類、低木類のうち、試験区別の伸長量が比較的容易に、定量的に把握できると考えられた6種（ヒペリカム、セイヨウイワナンテン、コウライシバ、ハイバクシン、アセビ、ヒラドツツジ）について、表-2に示すような項目を1997年3月7日に計測した。なお、コウライシバ以外の5種については枯死株数も計数した。測定は表-3に示す6種の基盤区で行った。なお、以下の図表では表-3右端欄に示す略称を用いた。

コウライシバについては、10cm×10cmのサンプルを掘取ったうえで測定を行った。コウライシバの地上茎長とは地表面の直立茎の最大高であり、根長とは匍匐茎層から伸びた不定根の最大長を測ったものである。地上茎重量は匍匐茎層と直立茎の合計の重量であり、根重量は不定根の重量である。

各測定値のうち、長さに関するものは現地でメジャーを用いて計測し、重さに関するものは、サンプルを洗浄の後、乾燥状態(105℃で24時間乾燥)にして精密秤で計量した。

サンプリングは各区において10から15個体程度を無作為に抽出して行った。なお、セイヨウイワナンテンの自然土壌区（無貯水）においては枯損が著しく、生存していた全4株についてのみデータを計測した。

(2) 解析方法

(i) 枯死率の解析

コウライシバを除く植物5種について、計測した枯死株数と植栽株数の差から生存株数を求め、枯死数/生存数の比をとり、 χ^2 検定により比率の差を検定し、5%水準以上で有意なものを枯死率に差があるものとみなした。はじめに6種の基盤別のデータ全てに対して検定を行い、群間の差が有意となった場合は、個々に検定を行い差の有無を調べた。

(ii) 伸長量の解析

各々の測定値に対してF検定もしくはKruskal-Wallis検定を行い、試験区ごとの測定値間に差が認められるか否かを調べ、5%水準以上で有意な差が認められた場合には、区ごとの伸長量の差があると判定し、多重比較を行い測定値平均間の比率を求めた。一連の解析手順を図-2に示す。

図-2 解析手順

表-1 土壌分析の結果

項目	自然土壌	人工土壌
全窒素 (N/W %)	0.08	0.37
有効態磷酸 (mg/100g)	12.8	330
交換性カリウム (mg/100g)	0.18	3.02

表-2 調査対象種と測定項目

調査対象種	測定項目
ヒペリカム (<i>Hypericum calycinum</i>)	樹高(cm)
セイヨウイワナンテン (<i>Leucothoe walteri</i>)	樹高(cm)
コウライシバ (<i>Zoysia tenuifolia</i>)	地上茎長(cm)、根長(cm)、地上茎重(g)、根重(g)
ハイバクシン (<i>Juniperus chinensis</i>)	最長茎長(cm)
アセビ (<i>Pieris japonica</i>)	樹高(cm)、枝張り(2方向:cm)
ヒラドツツジ (<i>Rhododendron 'Hirado'</i>)	樹高(cm)、枝張り(2方向:cm)

表-3 計測対象の試験区基盤構造

No.	土壌種類	貯水層	貯水層通気管	略称
1	自然土壌	無	無	自然
2	自然土壌	有	有	自然貯
3	自然土壌	有	有	自然貯通
4	人工土壌	無	無	人工
5	人工土壌	有	有	人工貯
6	人工土壌	有	有	人工貯通

4. 解析結果と考察

(1) 枯死率の差の検定

各区の枯死率は表-4のようになった。また、植物種ごとの枯死率の差の検定結果は表-5のようになった。差が認められた3種（ヒペリカム、セイヨウイワナンテン、アセビ）については種ごとに検定を行った。

ヒペリカムでは、人工土壌区が他の全ての区に対して有意に枯死率が高かった。自然土壌区と比べると約4.7倍、最も枯死率の低かった人工土壌の貯水・通気区と比べると16.0倍の枯死率ということになる。

セイヨウイワナンテンでは最も顕著な差異が見られ、自然土壌区での枯死が著しく、全体の96%が枯死していた。最も枯死率の低い自然土壌の貯水・通気区と比べると16.0倍の枯死率ということになる。

アセビについても自然土壌区での枯死が最も多く、貯水区では枯死株が無かった。

表-4 区別の植栽植物の枯死率比較

植物種	自然	自然貯	自然貯通	人工	人工貯	人工貯通
ヒペリカム	7.0(7/100)	5.0(5/100)	7.0(7/100)	32.0(32/100)	10.0(10/100)	2.0(2/100)
セイヨウイワナンテン	96.0(96/100)	10.0(10/100)	6.0(6/100)	46.0(46/100)	23.0(23/100)	30.0(30/100)
ハイバクシン	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)
アセビ	23.3(7/ 30)	0.0(0/ 30)	3.3(1/ 30)	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	10.0(3/ 30)
ヒラドツツジ	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	0.0(0/ 30)	3.3(1/ 30)	13.3(4/ 30)

枯死率(%)と(枯死数/植栽数)を表示

表-5 全区間での植栽植物枯死率の差の検定結果

植物種	検定結果
ヒペリカム	**
セイヨウイワナンテン	**
ハイバクシン	n s
アセビ	**
ヒラドツツジ	n s

** : 1%水準で有意
* : 5%水準で有意
n s : 有意差なし

表-6 セイヨウイワナンテンの枯死率比較結果

	1	2	3	4	5	6
1. 自然		**	**	**	**	**
2. 自然貯			n s	**	**	**
3. 自然貯通				**	**	**
4. 人工					**	*
5. 人工貯						n s
6. 人工貯通						

** : 1%水準で有意
* : 5%水準で有意
n s : 有意差なし

(2) 平均値の差の検定

検定結果を総括して表-7に示す。コウライシバ地上茎長、コウライシバ地上茎重量、ヒラドツツジ枝張りの3項目はBartlett's Testの結果、等分散とはみなせないという結論になったので、Kruskal-Wallis Testで検定を行った。検定の結果、アセビの樹高、枝張りを除く全ての計測値間で1%水準で有意な差が認められた。

(3) 多重比較の結果

(i) ヒペリカム

多重比較の結果を表-8に示す。また、自然土壌区を1とした場合の各区の平均樹高割合を比較したものを図-3に示す。自然土壌区の樹高は他の全ての区に対して有意に小さな値となった。全区のうち樹高が最大であったのは、自然土壌の貯水・通気区である。

ヒペリカムの生育に対しては、底面貯水、人工土壌の使用ともに有効であると言えよう。

(ii) セイヨウイワナンテン

多重比較および平均樹高割合の比較(図-3)の結果、自然土壌区よりも自然土壌の貯水区、人工土壌区、人工土壌の貯水・通気区で有意に樹高が大きかった。また、人工土壌区と比べて人工土壌の貯水区は有意に樹高が小さかった。

セイヨウイワナンテンについても自然土壌を使用した区では底面貯水の有効性が明らかである。しかし、人工土壌の場合、逆に底面貯水が樹高の増大を抑制する方向に働いているようである。

(iii) コウライシバ

茎長と茎重量の多重比較および平均値割合の比較(図-3)の結果、無貯水の人工土壌区の地上部の伸長量が有意に大きく、自然土壌区に比較して茎長で2.49倍、茎重量で1.77倍であった。

次に、根長と根重量についても同様に比較を行ったところ、根長については人工土壌区が全ての区に対して有意に大きな値となり、自然土壌、人工土壌いずれの場合も貯水区で無貯水区よりも有意に小さいという結果になった。根重で見ても概ね同様の傾向が認められた。

コウライシバでは、人工土壌の無貯水区で顕著な伸長量を示した。この場合、底面貯水は地上茎と根の伸長を抑制する効果を発揮していると見なせる。現地を観察すると、いずれの区においてもコウライシバの生育状況は良好であった。底面貯水を生育のコントロールに使用するという手法が使える可能性を示すものと言えよう。

(iv) ハイビャクシン

多重比較および平均茎長の比較(図-3)の結果、自然土壌区よりも自然土壌の貯水および貯水・通気区、人工土壌区で有意に茎長が大きかった。人工土壌の貯水区の平均値が最も小さく、これも自然土壌区と同様の3区に対して有意に小さな値となった。

ハイビャクシンについてもセイヨウイワナンテンの場合と同様、人工土壌区では底面貯水が茎長の増大を抑制する方向に働いているようである。

(v) ヒラドツツジ

多重比較および平均樹高の比較(図-4)の結果、平均値最小の自然土壌の貯水・通気区が全ての人工土壌使用区に対して有意に樹高が小さく、平均値最大の人工土壌の貯水区が全ての自然土壌使用区に対して有意に樹高が大きいう結果になった。最小値と最大値を比べると1.19倍の差である。

次に、枝張り(被覆面積)についても同様に解析したところ、人工土壌を使用した全ての区が、自然土壌を使用したいずれの区に対しても有意に枝張りが大きいという結果になった。最小値と最大値を比べると1.70倍の差である。底面貯水および通気の影響は全く現れていない。図-4でも分かるように、土壌種類の違いが最も顕著に現れた事例である。

なお、アセビに関しては、試験区ごとの測定値間に5%以上の水準で有意な差が認められなかったため、多重比較による検討は行っていない。

ヒラドツツジのような低灌木類は枝張りの伸長量で比較する方が適切と考えられ、その結果からは、地上部の伸長量に対して底面貯水の有無はほとんど関係ないが、土壌種類の差は顕著に影響

表-7 生育量の差の検定結果

計測値	検定結果
ヒペリカム 樹高	**
セイヨウイワナンテン 樹高	**
コウライシバ 地上茎長	**
コウライシバ 根長	**
コウライシバ 地上茎重量	**
コウライシバ 根重量	**
ハイビャクシン 茎長	**
アセビ 樹高	ns
アセビ 枝張り(2方向の横)	ns
ヒラドツツジ 樹高	**
ヒラドツツジ 枝張り(2方向の横)	**

** : 1%水準で有意
* : 5%水準で有意
ns : 有意差なし

表-8 ヒペリカム樹高についての多重比較結果

	1	2	3	4	5	6
1. 自然		**	**	**	**	**
2. 自然貯			ns	ns	ns	*
3. 自然貯通				ns	ns	*
4. 人工					ns	ns
5. 人工貯						ns
6. 人工貯通						

** : 1%水準で有意
* : 5%水準で有意
ns : 有意差なし

図-3 地被類4種の基盤別の伸長量の比較 (自然土壌区を1としたときの比率)

図-4 アセビ、ヒラドツツジの基盤別の伸長量の比較 (自然土壌区を1としたときの比率)

するものと判断できる。

(4) 総合考察

植栽試験区の概要で述べたように、対象とした試験区においては、植え痛み、停滞水による根腐れなどの影響は少ないものと見なせる。土壌厚は自然土壌と人工土壌で異なっているが、貯水構造の違いによる土壌厚の差は無く、貯水構造の差の考察には十分な解析結果が得られた。土壌種類、底面貯水、底面貯水層への通気の3条件のうち、植栽植物への影響の有無をまとめたものが表-9~10である。自然土壌は人工土壌と比較して肥料分が非常に少ないために、人工土壌の方で生育が旺盛となるのでは、という予想があったが、アセビについては明確な差が見られなかった。また、枯死率で見た場合も、セイヨウイワナンテン、アセビでは自然土壌よりも低かったが、ヒペリカムでは逆に人工土壌区の方

表－9 基盤条件が植栽植物の生存率向上に与える影響

植物種	人工土壌の使用	底面貯水	貯水層への通気
ヒベリカム	×	△(※注1)	△(※注1)
セイヨウイワナンテン	○	○	×
ハイビャクシン	×	×	×
アセビ	○	△(※注2)	×
ヒラドツツジ	×	×	×

○：有効 △：一部有効(土壌種による) ×：効果無し
※注1：人工土壌の場合効果あり
※注2：自然土壌の場合効果あり

表－10 基盤条件が植栽植物の生育量に与える影響

植物種	人工土壌の使用	底面貯水	貯水層への通気
ヒベリカム	○	○	×
セイヨウイワナンテン	○	△(※注1)	×
コウライシバ	○	×	×
ハイビャクシン	○	△(※注1)	×
アセビ	×	×	×
ヒラドツツジ	○	×	×

○：有効 △：一部有効(土壌種による) ×：効果無し
※注1：自然土壌では生育促進、人工土壌では生育抑制

が高めとなった。このように、全体的な伸長量は人工土壌の方が大きくなるが、全ての点で人工土壌の方が植物の伸長に関して優れていると断じることはできなかった。

底面貯水の効果は、特にセイヨウイワナンテンの生存率向上に劇的に現れ、ヒベリカム、アセビに対しても枯死率を引き下げる効果が認められた。今回の測定範囲では、底面貯水により枯死率が上昇した例は無く、枯死率の低減には有効な手法と見なしていであろう。伸長量について見ると、自然土壌区のヒベリカム、セイヨウイワナンテン、ハイビャクシンで樹高、茎長の増加効果が認められた。しかし、人工土壌を使用した区では、セイヨウイワナンテン、ハイビャクシンへの効果は樹高、茎長の抑制として現れ、自然土壌区の場合と全く逆の結果となった。この伸長抑制効果はコウライシバでも顕著に見られたが、何故このようになったかという理由は現段階では特定できない。今後の研究が必要である。

植物を育てるという視点からは、こういった抑制効果というのはマイナスの評価と見なされるが、積載荷重および維持管理作業の制限が大きい高架上の緑化というものを考えた場合、これらは生育コントロールのための一手法として有効であると考えられることでもある。

底面貯水層への通気管の設置効果については、人工土壌区のヒベリカムについて効果あり(有意水準5%)とされたが、その他

の種については、枯死率、伸長量ともに差が見られなかった。この結果からは、底面貯水層へ通気する必要性は小さいといえることができる。

植物種ごとに見た基盤構造の違いに対する反応は様々であり、アセビのように、基盤構造に全く伸長量が左右されないものもあれば、コウライシバのように敏感に反応するものもあった。それぞれの植物種に対して最適の基盤構造というものが存在するものと考えられる。

5. おわりに

今回の調査結果からは、雨水底面貯水の効果の一端が明確に示されたが、植物種や使用する土壌によって、その効果は様々であった。高架橋上といった過酷な環境下での生存率向上に大きく寄与する場合もあれば、ほとんど効果が発揮されない場合もあり、その評価は単純には定まらないというのが一つの結論である。植物種ごとの特性、土壌種類ごとの特性など、研究レベルで詰めていかなければいけない課題が山積しており、今後の一層の研究・調査の推進が望まれるところである。

本研究にあたっては、現地調査において林広一氏の協力を得た。重量の測定に関しては日本道路(株)技術本部の機器を借用した。また、現地調査に関しては建設省奈良国道工事事務所から許可をいただいた。関係諸氏、諸機関に謝意を表して本稿を終える。

引用および参考文献

1) 建設省奈良国道工事事務所・(財)都市緑化技術開発機構(1995): 大和高田B・P 高田高架橋橋面緑化基本計画報告書

2) 建設省奈良国道工事事務所・(財)都市緑化技術開発機構(1996): 大和高田B・P 高田高架橋橋面緑化植栽作業報告書

3) 輿水 肇(1974): 建築物表層の緑化: 建築技術 275, 141-156

4) 輿水 肇(1977): 人工地盤における緑地植物の植栽に関する研究: 緑地学研究 6, 1-140

5) 長村智司(1984): 底面灌水に関する研究(第1報): 奈良県農業試験場研究報告 15, 21-27

6) 塚田祥子他(1997): 薄型システム緑化装置試験植栽報告: 第28回日本緑化学会研究発表要旨集, 57-60

7) 筒井 澄(1979): 鉢花の底面給水法: 農業および園芸 54-4, 79-84

8) 山田宏之他(1996): 高架橋上を使った大規模な人工地盤植栽試験について: 日本造園学会関東支部大会研究・発表要旨 14, 43-44

9) 山田宏之(1997): (財)都市緑化技術開発機構における屋上緑化関連研究: 都市緑化技術臨時増刊号, 28-33

10) (財)都市緑化技術開発機構・特殊緑化共同研究会(1996): 新・緑空間デザイン技術マニュアル: 誠文堂新光社

Summary : On the experimental landscape planting field on the overhead line, located in Yamatotakada city in Nara prefecture, the actual conditions of plants were investigated. The results are summarized as follows:

- 1) An artificial light-weight soil generally encouraged the growth of the plants with the exception of some species.
- 2) The rain water storing system under the layer of fill-up soil reduced the death rate of the plants.
- 3) The ventilation pipe for a water storing system was not expected to make obvious effect.