

完全リサイクル人工軽量土壌および人工地盤緑化システムの開発

The Development of Completely Recycled Light Weight Artificial Soil and Artificial Ground Landscaping System

小野 文夫*

Fumio ONO*

1. はじめに

21 世紀幕開けの今、CO₂ 等温室効果ガスによる地球温暖化だけでなく、オゾン層の破壊、空気・土壌の汚染、環境ホルモンによる生殖機能の変調など地球規模の環境問題が顕在化してきた。

現代の都市は、物や情報が大量生産、消費されており、同時に大量の廃棄物、排熱、汚染物質等を生み出している。また、緑を育むべき大地は、開発に伴いアスファルトやコンクリートで覆われてしまった。これにより都市は、局地的な「ヒートアイランド」という現象を引き起こしている。あわせて廃棄物の増大に伴い、処理施設の確保が困難となり廃棄物処理問題も社会問題となっている。このような状況を背景として廃棄物を再生資源として利用促進し、リサイクル・リユースに供する技術開発が求められている。

都市づくりの中で緑化が果たすべき役割は大きい。都市の緑化のなかでも特に建築・構造物の屋上等に見られる人工地盤上の緑化は、都市のヒートアイランド現象の軽減、大気浄化および省エネルギー等の都市環境改善機能をもつ。都市の緑による環境改善は、地球温暖化問題を契機に社会的ニーズとしてもクローズアップされている。

東京都は、「東京における自然の保護と回復に関する条例施行規則」および「東京都緑化指導指針」の緑化基準を改正し、平成 12 年 4 月 1 日から一定規模以上の建築物の屋上には屋上面積の 20% を緑化する指導を開始してきた。平成 13 年 4 月からは新改築ビルに対し義務化される。都市行政をつかさどる国や自治体では、このように地球規模の環境改善を目標として、都市の環境回復に向けた施策が醸成してきており、活発な動向がうかがえる。

ここでは前述の背景から人工地盤緑化に必要な不可欠な植栽基盤材としての「完全リサイクル人工軽量土壌」およびその資材を活用した「人工地盤緑化システム」についての研究開発について報告する。

2. 研究開発の概要

(1) 条件の整理と目的

人工地盤緑化のための植栽基盤材は、軽量かつ排水
*西武造園株式会社

性、保水性を持ち合わせ長期にわたり正常な成長を促す機能を有する必要がある。また、屋上等の人工地盤は、地上より高い位置に存在することが多く、施工時の作業性（特に風散）、安全性が求められる。人工軽量土壌は、既に各メーカーが様々な用途に対応した製品を開発している。しかし、市場流通している製品は、一般的に高額であり、社会経済的観点から低廉さへの要求がみられる。そこで研究開発の目標の一つは、「コストの縮減」を重要な要素とした。また、最大の特長は、建設副産物の「リサイクル」をテーマとしていることである。当研究開発にあたり、土壌の性能および緑化システムの構造については、(財)都市緑化技術開発機構編集の「環境共生時代の都市緑化技術 屋上・壁面緑化技術のてびき」¹⁾ の品質性能を基準とした。

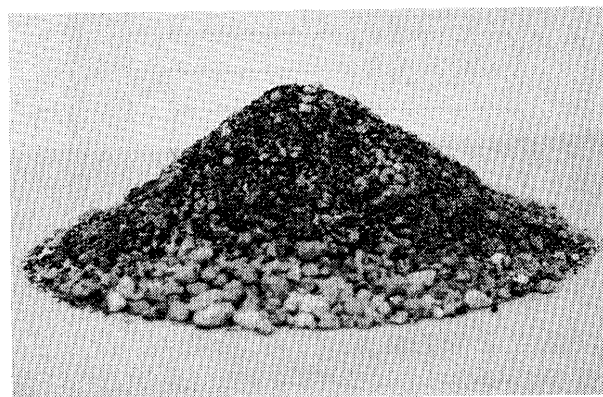


写真-1 完全リサイクル人工軽量土壌(エルデ)

(2) 完全リサイクル人工軽量土壌（エルデ）の開発 (i) 主要資材

人工軽量土壌の主要資材は、地球環境保全の観点から天然資源を使用せずに、社会生活から廃棄物として発生する資材を有効活用することとした。主要資材は、建設副産物で無機質系産業廃棄物（発泡コンクリート）を採用した。選択の基準は、資材が単一の素材であり品質が安定していること、安全性が確保できること、安定した供給が可能なものとした。

この無機質系産業廃棄物は、素材が軽量であり、一定の保水性を有している。しかし、この資材はアルカリ性を呈していることと廃棄物の性質上、形態は塊状、

*Seibu landscape co.,Ltd

粒状、粉状であり、きょう雑物も混在していたため、原材料をそのまま利用することは困難であった。そこで土壌としての性能を満足するため、物理性および化学性の両面の改善を行った。

物理性の改善としては、クラッシャー、スクリーニング機械により資材を分別して不用なきょう雑物を除外し、粒径を0.1mmから15mmの範囲とした。この粒径の選択は、植物の根が成長する際有効な根域を確保することを目的に行った。これは気相率を上げ、根域に酸素の供給を促進することを想定した。

この構成により有効水分保持量は、pF1.5～3.8の範囲で94リットルと理想の100～200リットルをやや下回っている（表－1）。

化学性の改善として、アルカリ性の改良を主に行った。改良の方法は、主要資材の一定の断面まで特殊資材によってコーティング加工することによって、中和した。さらに弱酸性の農業有機廃棄物（ココヤシの繊維）を細粉状化した資材および微量元素を混入することによってさらに中和効果を促した。この方法で植物の根茎への影響を緩和することとし、植物が成長する上で十分適応できる範囲とした（表－1）。一般に植物は、中性から微酸性で最も良く生育するが、土壌のpH値が4.5以上8.0以内の範囲であれば造園樹木の植栽基盤土壌として良とされている。²⁾

この土壌の特徴は、無機質系資材と有機質系資材の混合型ということである。粒径の調整上の留意点として、施工時に風によって微粒子が飛散しないよう細粒の配合量を極力少量に抑えることにした。

表－1 土壌性能

項 目	数 値	単 位
粒径	0.1～15	mm
搬入時重量	0.62	t/m ³
湿潤時重量	0.79	t/m ³
気相率	40.0	%
液相率	41.6	%
固相率	18.4	%
有効水分保持量	109.0	リットル/m ³
飽和透水係数	1.7×10^{-3}	m/sec
pH (H ₂ O)	7.1	

(3)人工地盤緑化システムの開発

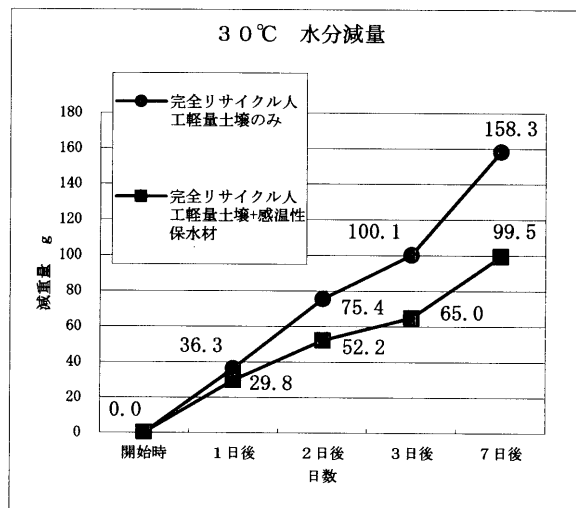
(i) 排水層の整備

完全リサイクル人工軽量土壌の開発に伴い、併行して、貯水層を備えた排水層と植栽基盤層を複合したシステムを構築した。緑化システムは、高木植栽から地被植栽（植栽基盤厚は45cm～10cm）まで対応可能な

ものとし、用途によって必要資材を組み合わせる方式とした。資材の選定にあたっては土壌の開発と同様、テーマは「リサイクル」とした。貯水層を備えた排水資材は、硬質塩化ビニル製（リサイクル品）とし、1m²あたり6リットルの貯水能力を有し、余剰水は、常時排水される構造とした。また、植栽基盤の層厚を大きく確保できる場合は、排水層と空気層を兼ねた発泡スチロール入り袋タイプのユニット（リサイクル品）を採用した。

(ii) 表土乾燥抑制機能の整備

この植栽基盤システムは、植栽基盤の表層部分10cmに感温性保水材（感温点25℃、30℃、35℃）を混合することで土壌の含水比の低下を抑え、保水性と乾燥抑制機能を持ち合わせたものとした（図－1）。これによって夏季の乾燥期に土壌表面の乾燥を緩和し、根系域の湿潤を保つことができる。



図－1 30℃における水分減量の推移(室内試験)

3. 試験植栽

(1) 目的

試験植栽に先立ち完全リサイクル人工軽量土壌の性能について室内予備試験を実施した（写真-2）。室内予備試験は、ワグネルポットにコマツナノ種子を播種し、28日間の生育調査を行った。試験土壌は、7種類を選別した。対象区は、既に市場流通品として実績のある人工軽量土壌とした（写真-2 NO.3）。

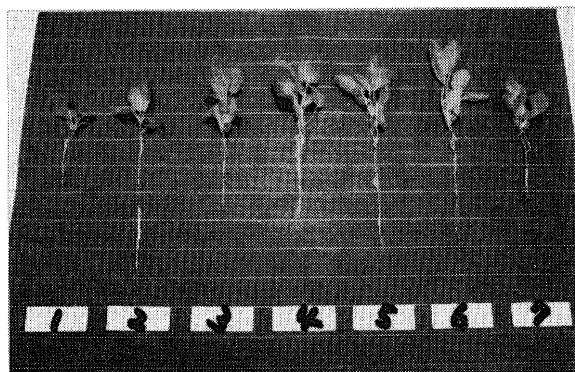
その結果として廃棄物の混合試験区では、混合比率による差異はあるものの対象区と比較してNO.4、NO.5の葉数、葉色、根系、生体重量等において同等程度の成長を確認することができた。これをもとに野外において造園用植物を用いた土壌性能および植物の適合性ならびに土壌を組み込んだ緑化システムの適合性を評価することとした。

(2) 試験方法

(i) 植物種の選定

試験土壌は、弱アルカリ性の特徴を持ち、有効水分

保持量もやや低い。そのため試験植物として造園修景用植物の中から土壌酸度の変化と土壌水分量に敏感に反応するクルメツツジ、ヒラドツツジを採用した。



凡例

1. 処理なし 無機質系産業廃棄物 (粒径 0.1~15mm)
2. 処理なし 無機質系産業廃棄物 (粒径 0.1~15mm)
3. 既流通人工軽量土壌
4. 混合処理 無機質系産業廃棄物 (粒径 0.1~15mm) 2: 農業有機廃棄物 1
5. 混合処理 無機質系産業廃棄物 (粒径 0.1~15mm) 4: 農業有機廃棄物 1
6. 混合処理 無機質系産業廃棄物 (粒径 0.1~15mm) 6: 農業有機廃棄物 1
7. 混合処理 無機質系産業廃棄物 (粒径 0.1~15mm) 8: 農業有機廃棄物 1

写真-2 室内予備試験結果

(ii) 野外試験区の仕様

野外試験区は、西武造園(株)の社有地内のアスファルト舗装上に設置した。試験区は、仕切り板で縦 60cm、幅 240cm、高さ 60cm に囲んで、8 区画に区分したものとした。正面は、透明の亚克力板として土壌の湿潤状況を目視できる構造とした(図-2、図-3)。

土壌は、完全リサイクル人工軽量土壌と市場流通している人工軽量土壌とし、それぞれ感温性保水材を混合した試験区を隣に配した。排水層は、保水機能を有する資材と有しない資材を並列した。土壌厚は、通常の維持管理で十分生育可能である 45cm とした。³⁾

植物は、クルメツツジ、ヒラドツツジとし、それぞれ樹高 15cm 内外のものを 4 株ずつ植栽した。植栽地表面は、植物と土壌の関連を明確に判定するためマルチングは除外した。

(iii) 植物および土壌の適合調査

試験区は、1999 年 9 月に設置し、1 年間のモニタリングを実施した(写真-3、写真-4)。調査項目は、植物の活着、成長度、生理的障害の出現等で、判定は目視とした。試験区は、設置当初に十分に灌水を施し、以後放置管理とした。

植物は、1999 年 10 月時の調査では全ての試験区で

活着し、枯死したものは見られなかった。

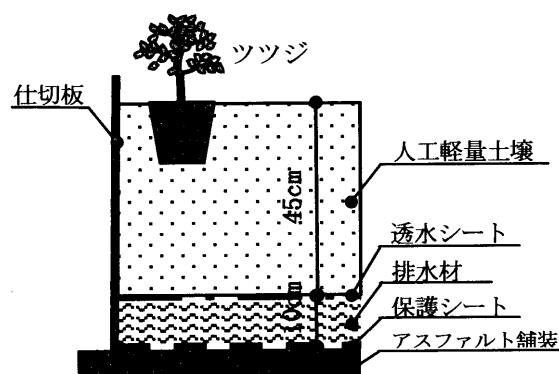
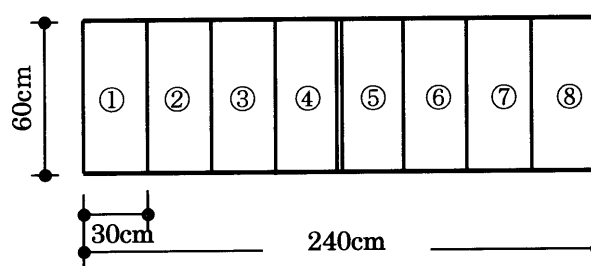


図-2 構造断面図



凡例

- ①無貯水機能排水材+人工軽量土壌 (既流通品)
- ②無貯水機能排水材+人工軽量土壌 (既流通品)
+感温性保水材
- ③無貯水機能排水材+人工軽量土壌 (リサイクル品)
- ④無貯水機能排水材+人工軽量土壌 (リサイクル品)
+感温性保水材
- ⑤有貯水機能排水材+人工軽量土壌 (既流通品)
- ⑥有貯水機能排水材+人工軽量土壌 (既流通品)
+感温性保水材
- ⑦有貯水機能排水材+人工軽量土壌 (リサイクル品)
- ⑧有貯水機能排水材+人工軽量土壌 (リサイクル品)
+感温性保水材

図-3 平面配置図

活着時の植物活性度の判定は、葉色の緑色の濃淡で判断したが⑦、⑧>③、④>①、②、⑤、⑥の順であった。2000 年の 4 月にはすべての試験区で開花が見られ、開花量は、⑧>④>③、⑦>②、⑥>①、⑤の順であった。花卉の異常は見られなかった。夏季に入り、高温状態の継続した 8 月中旬でも葉色がやや黄変したものが見られたが順調に生育した。活性度は、葉色の緑色の濃淡で判断したが⑧>④>③、⑦>②、⑥>①、⑤の順であった。湿潤度の調査は、最乾燥期の無降雨状況が 6 日間継続した 8 月 14 日に実施した。調査は、植栽基盤内部表面より深さ 10cm の位置の湿潤状況を判定した。ここでは⑧、⑥>②、④>③、⑦>⑤>①の結果であった。1 年後の 2000 年 9 月には全ての植

物が成長していた。成長量は、⑧>④>③、⑦>⑤、⑥>①、②であった。

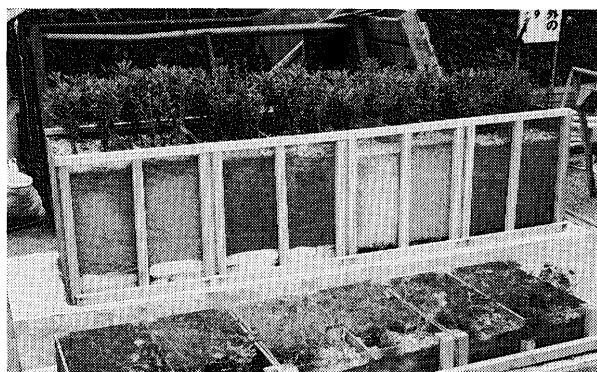


写真-3 試験区設置('99.9.16 撮影)

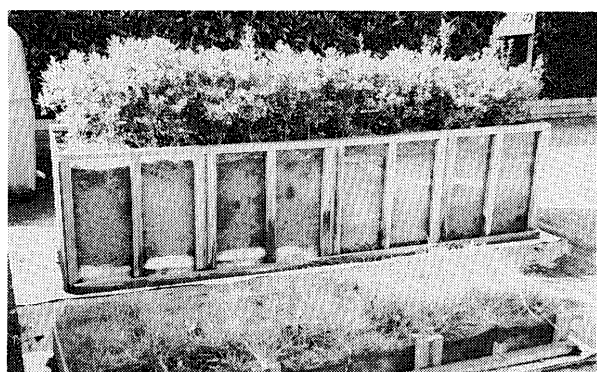


写真-4 設置後1年経過('00.9.15 撮影)

4. 結果および考察

完全リサイクル人工軽量土壌では、類似する既存の人工軽量土壌と比較してアルカリ性、乾燥に敏感なツツジ類が遜色なく生育・成長した。この実験から全てリサイクル資材からなる人工軽量土壌によって造園植物が生育可能であることが判明した。また、感温性保水材を使用した試験区は、無使用試験区と比較して表面から 10cm の部分の保水効果が認められた。

特筆すべき点として、土壌層厚を 45cm にした場合、無灌水の粗放管理下においても生育可能なことが上げられる。また、試験区の雑草発生状況は、周辺の植栽地と比較してかなり少なかった。これは試験土壌が礫質系で地表面が乾燥すること、アスファルト舗装上に設置していたこと、地上から 60cm の高さが地盤高となっていることなどが原因であると考えられる。ただし、試験地がグラウンドライン上であることや単年の試験結果であることから屋上等の人工地盤に用いるためのものとしては予備試験的な結果である。

5. まとめ

この度の開発は、地球環境時代の求めるリサイクルとコストの削減をメインテーマとした。リサイクルについては、建設産業無機質系廃棄物と農業有機系廃棄物を混合して再生できることが判明した。人工地盤緑化システムは、一定の土壌厚の構造では無灌水の粗放

管理で可能であることなど成果は大きい。二つ目の目標であるコストの削減については、従来品よりも 15 パーセント程度の低価格化が可能である。この完全人工軽量土壌（エルデ）および緑化システムは、市場流通機構に対し、十分適応できるものと考ええる。

しかし、植物を用いた試験・調査は、一部の種類に限定されており、特殊な環境である屋上等の人工地盤上における有用植物の環境適応性や生理的現象推移について実証データは些少である。今後の継続したモニタリングと植物種の選定を検討してさらに精度を高めた調査が必要である。

資材の選定にあたっては廃棄物資材の調査段階で広範な分野から発生する資材に遭遇したが、大半の物質にそれぞれの長短所があり、土壌としての機能を満足させるための材質、品質、調達、流通、安全性、コスト等多様な検討課題があった。

廃棄物をリサイクルに供する場合は、その物質の物性や特質を理解する必要がある。社会経済活動において発生する廃棄物は、多種・多様に存在するが、総体的に化学性に関する問題点を有するものが多い。特に pH 値が高く、量的にも処分に窮している物質が見受けられる。

今後の課題は、このような物質を活用したアルカリ性土壌が造園植物に与える影響、またはアルカリ性物質であっても有用な資材を混合するなど植栽基盤の改良を考慮した構造を工夫する研究があげられる。アルカリ土壌を含む植栽基盤によって植物が正常なその形態を保持しつつ成長量を抑制できる効果に関する研究は、今後の人工地盤植栽技術開発の重要な課題と言える。メンテナンス面においては、灌水頻度を低下させる技術、雑草類の発生を抑制する技術等メンテナンス費用を削減するための技術も重要な課題である。

日々大量に発生する pH 値の高い廃棄物がリサイクルによって再度社会に還元され、緑化資材として蘇る。さらに人工地盤に植栽された植物によって、地球温暖化の一因である CO₂ の吸収が促進され、排出量の削減につながることにあれば地球規模での環境問題に対しても意義のある技術開発だといえるであろう。

引用文献

- 1) (財)都市緑化技術開発機構 (1999) : 都市緑化技術 : 屋上・壁面緑化技術のてびき 63
- 2) 日本造園学会土壌分科会 (1984) : 緑化事業における植栽基盤マニュアル (分科会試案) : 造園雑誌 48(2)133-145
- 3) 亀山章・三沢彰・近藤三雄・興水肇 (1989) : 最先端の緑化技術 : 67 : (株)ソフトサイエンス