

シミズ建物緑化システムによる人工地盤緑化の設計・施工について

橋 大介 薬師寺 圭 中村 健二 佐藤 孝士 西尾 伸也 高木 史人 岩橋 基行
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Development of the Shimizu Building Greening System (Design and Construction Concept of Greening upon Artificial ground)

by Daisuke Tachibana, Kei Yakushiji, Kenji Nakamura, Takashi Sato, Shinya Nishio, Fumito Takagi and Motoyuki Iwahashi

Abstract

Environmental problems, such as heat island phenomenon, air pollution and the loss of biological variety, come to happen, because forests and open spaces decreased prominently in the metropolitan area. It is effective to improve and alleviate these bad circumstances that artificial ground on roofs of buildings is greened by several plants. This paper reports on design and construction concept of greening upon the artificial ground by means of the Shimizu original building greening system.

概 要

首都圏や大都市部では、樹林や空地が顕著に少なくなったことから、ヒートアイランド現象、大気汚染、生物多様性の喪失などの環境問題が生ずることになった。こういった地域では、上述した問題を抑制・緩和するために、建物屋上などの人工地盤上に植物で緑化することが有効と考えられる。本報告書は、清水建設独自の建物緑化システムにより、人工地盤緑化を行う場合の設計・施工にかかわる技術を示すとともに、得意先（施主）が満足する緑化工事を容易に実施できるように実務者向けに解説したものである。

§ 1. はじめに

首都圏や大阪・名古屋などの大都市部では、樹林や空地が顕著に少なくなったことから、ヒートアイランド現象、大気汚染、生物多様性の喪失といった環境問題が生ずることになった。こういった地域では、上述した問題を抑制・緩和するために、建物屋上や河川護岸などの人工地盤上に植物で緑化することが有効と考えられる。東京都では、2000年4月から建物屋上の20%以上を樹木・草花などで緑化する条例を公布して、都内の緑化を推進する施策を開始した。また、大阪では、東京のように皇居・新宿御苑や大規模な自然公園などが少ないことから、緑被率は東京よりも小さく、今後大阪など大都市部での人工地盤緑化が盛んに実施されることも予測される。

本報告書は、当社独自の建物緑化システムにより、人工地盤緑化を行う場合の設計・施工にかかわる技術を示すとともに、得意先（施主）が満足する緑化工事を容易に実施できるように実務者向けに解説したものである。

§ 2. 緑化計画（清水建設の緑化コンセプト）

2.1 人工地盤緑化の種類（方法）

人工地盤緑化の方法は、緑化の目的、緑化費用、得意先の要望などによって変化する。清水建設では、人工地盤緑化の種類を独自の考え方に基づいて、写真1～3に示すように、① 平面的緑化、② 立体的緑化、③ ビオトープ緑化の3種類に分類・設定した。

平面的緑化は、芝、セダム類（主にメキシコマンネングサ）、ツル性植物（主にヘデラヘリックスやヘデラカナリエンシス）などの地被（グランドカバー）植物による緑化であり、高さ方向の広がりが少なく、いわゆる緑積率¹⁾が小さくなる緑化である（写真1参照）。

立体的緑化は、地被類など草本類に加えて、低木、中木、さらには樹高5～8m程度までの高木といった木本類をバランスよく配置した緑化である。この種の緑化は、植栽の多様性に富むことから、景観、機能面で優れた緑化と言える（写真2参照）。

ビオトープ緑化は、立体的緑化に加え、小川、池、

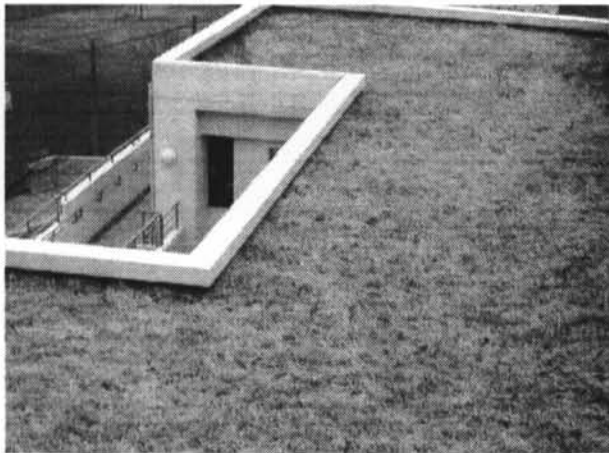


写真-1 平面的緑化



写真-2 立体的緑化



写真-3 ビオトープ緑化

エコトーンなどを配し、より多くの生き物を誘致・保全できる生態系に配慮した緑化である（写真-3参照）。

これらの緑化は、各々目指す目的が異なり、施主あるいは設計者が目的に合致した緑化方法を選択・採用することが可能である。

種類 項目	平面的緑化	立体的緑化	ビオトープ緑化
上載荷重 (設計荷重) kg/m ²	40 程度以下	200 程度 (中高木・地被をバランスよく配置) - 歩行部押さえコン仕様と同程度	既往-400~500 目標-250 以下 (設備荷重としてあらかじめ配慮)
機能	① 法規制クリア ② ヒートアイランド現象の抑制 (効果小)	① 法規制クリア ② ヒートアイランド現象の抑制 (効果中) ③ CO ₂ 削減 ④ 癒し (効果中) ⑤ 憩いの場の創出 (効果中) ⑥ 生物多様性の保全 (効果小)	① 法規制クリア ② ヒートアイランド現象の抑制 (効果大) ③ CO ₂ 削減 ④ 癒し (効果大) ⑤ 憩いの場の創出 (効果大) ⑥ 生物多様性の保全 (効果大)
特徴	メンテナンスフリー セダム類では施工部立入り禁止 法令対応	押えコンのある既設建物への適用可能	自然に近い環境創出 生物の多様性 究極の人工地盤緑化
適用箇所	勾配屋根部 高層建物屋上部	集合住宅 事務所ビル	公共施設 商業施設 集合住宅 事務所ビル
価格 (設計価格) 円/m ²	18000~26000 耐根仕様 (建物防水は別)	耐根・植栽基盤 20000以下 (目標) 耐根・基盤・植栽 30000以下 (目標)	耐根・基盤・植栽 40000以下 (目標)

注1) 立体的緑化の価格は、人工土壌厚20cm、100m²施工で換算している。
注2) 適用地域は、首都圏、名古屋、大阪とする。

表-1 人工地盤緑化の評価

2.2 緑化の種類を選定方法

人工地盤緑化の種類を選定は、表-1に示すように、緑化の目的、求める機能、建物への荷重負担、メンテナンスを含めた経済性などを勘案して、決定することになる。

平面的緑化は、上載荷重が小さいことから建物への負担が少なく、植生によってはほとんどメンテナンスを必要としないなどの長所を有している。しかしながら、機能面は貧弱であり、施工コストも機能面を考えると現状では安価とは言い難い。機能を求めず、手をかけたくない、条例などの指導を満足するだけであれば、このような緑化を行うことを否定することはできない。適用箇所としては、建物の勾配屋根部や人の出入りのない屋上などに限定されると考えられる。

立体的緑化は、機能面で優れており、上載荷重も200 kg/m²程度以下にすることができ、施工コストも平面的緑化と遜色のない程度まで安価にすることが可能と考えられる。また、灌水や植物の剪定などの管理が平面的緑化より多く必要であり、維持管理の経費が若干多くかかることになる。対象建物としては、事務所ビルや集合住宅などが挙げられる。

ビオトープ緑化は、機能面では最も優れており、究極の緑化方法と言える。しかしながら、上載荷重が大きくなること、施工コストが高くなること、維持管理

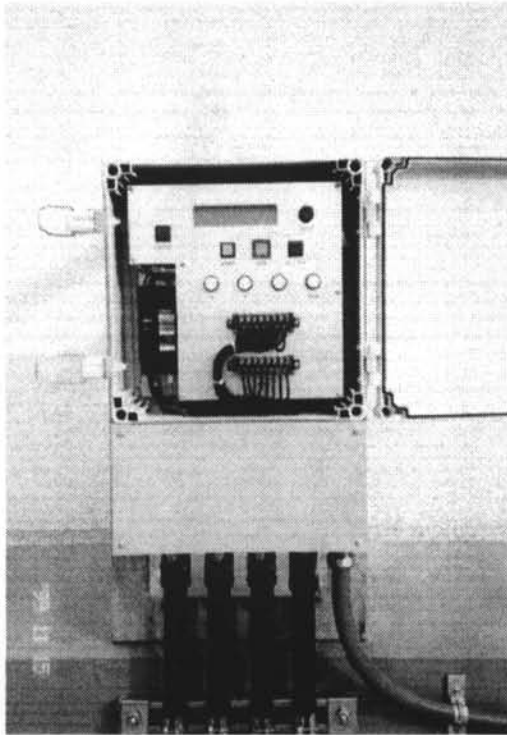


写真-4 制御盤

費が高くなることなどが短所と言える。対象建物としては、自然に近い環境を創出できることやそのヒーリング効果などを踏まえると、公共性の高い施設、商業施設などが挙げられる。また、外部からの侵入者を防止できる閉じた空間での自然公園として使用すれば、集合住宅への適用も十分考えられる。

§ 3. 植栽域の設計方法

3.1 植栽基盤の構成要素

シミズ建物緑化システムにおける植栽基盤は、以下に示す構成になっている。躯体防水層の上に、下から順に、耐根シート、排水層、透水シート、人工軽量土壌、マルチング材と積層される。耐根シートは、植物の根の防水層への侵入防止や根から分泌される物質による躯体コンクリートの腐食防止などの役割で使用される。排水層は、灌水時の貯水槽、土壌中の過剰水の速やかな排水、根への空気の供給などの役割を担っている。排水層には、基盤軽量化のために、超軽量人工粗骨材が使用される。透水シートは、土壌の排水層への流入を防止する役割がある。人工軽量土壌は、植栽の生育と基盤軽量化のためには欠くことのできない構成材料であり、絶乾密度で $0.2 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ 程度のものが使用される。マルチング材は、人工軽量土壌の飛散防止、人工軽量土壌中の水分蒸散の抑制などの目的で

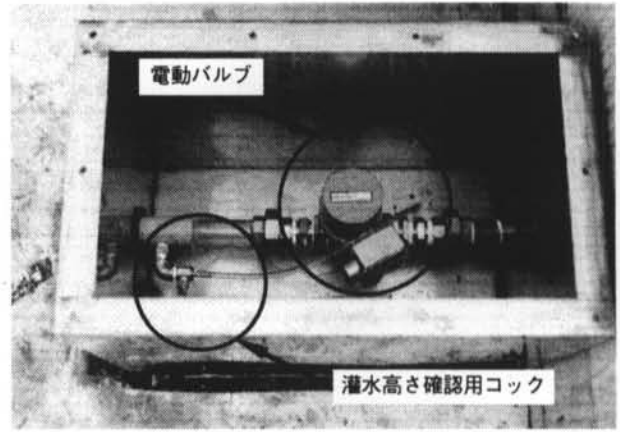


写真-5 灌水制御電動バルブ

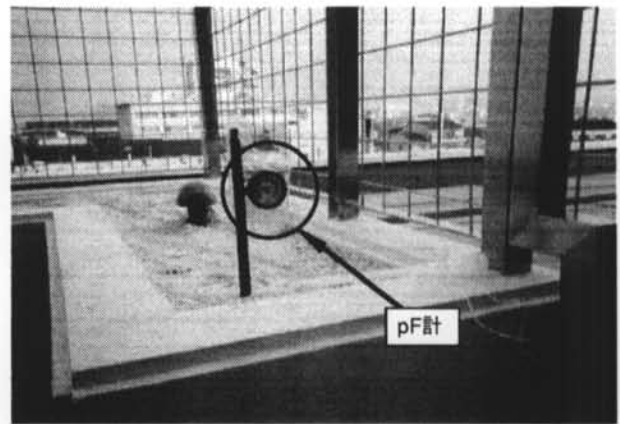


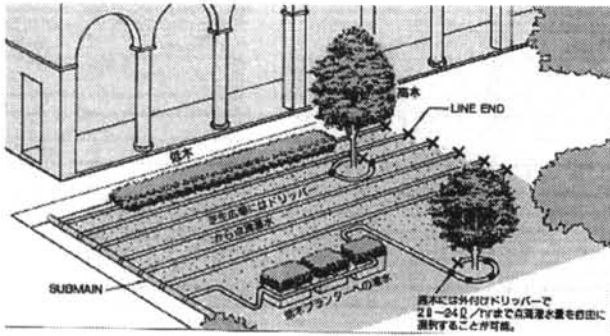
写真-6 pF計 (信号出力無)



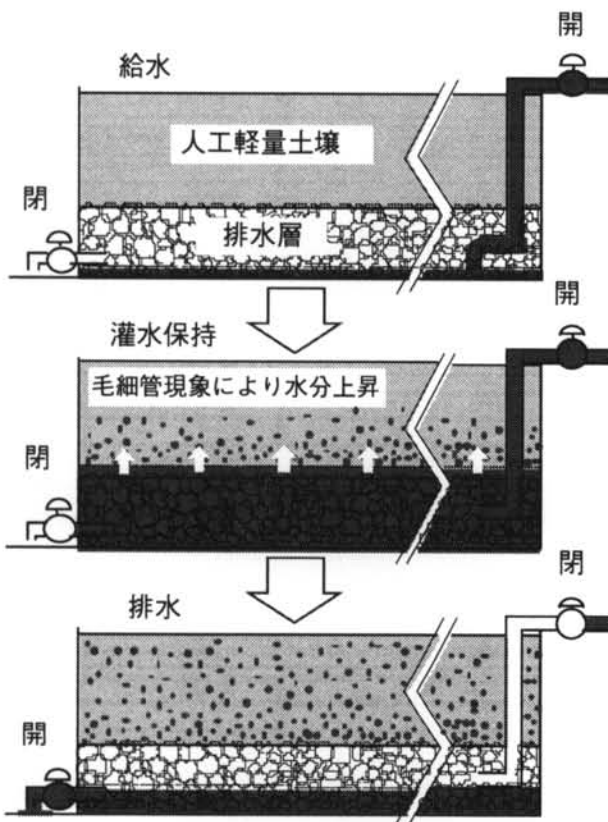
写真-7 通気管

施工される。

上述した基盤構成要素のほかに、灌水制御盤、灌水用電動弁および配管、排水桝、pF計、通気管、電気配線、水道配管などが必要になる。制御盤は、写真-4に示すように、マイコン制御方式のものである。排水ボックス内の電動バルブは、給水時は閉じて、その他の時は開けておく。排水方式が自然流下であること

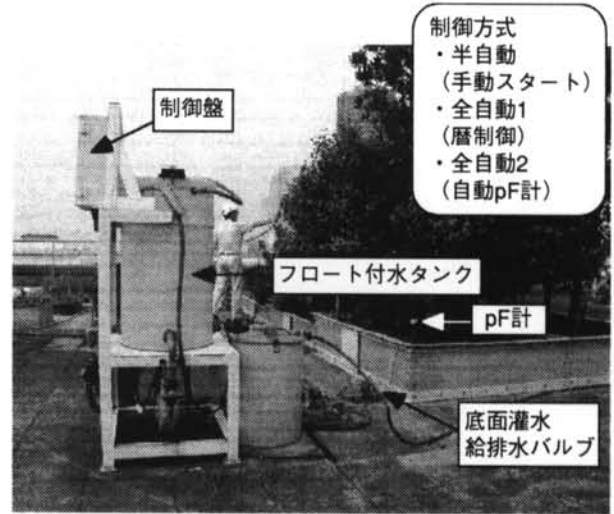


図一 1 点滴灌水方法²⁾



図一 2 シミズ底面灌水方法

から、排水層に水を残さないよう、電動バルブ位置は極力低い位置に設置する。灌水高さ確認用コックは、給水時に、同バルブを開くことにより、どの程度灌水したか確認できる（写真一5参照）。なお、電動バルブは、排水槽中に設置することも可能である。植物への水やりの判断・管理方法は、写真一6に示すように、プランター内に設置したpF計によって判断することができる。写真一7に示す通気管は、給水時に被圧された空気が排水層や客土を押し上げ、噴出させないようにするため、給水を容易にするため（空気が抜けないと水が廻りづらい）、土壌中への空気の供給のため（排水側バルブも同じ機能有り）、設置が必要になる。



写真一 8 シミズ底面灌水装置

3.2 灌水方法とその制御

一般に多く採用されている灌水方法は、図一1に示すような、チューブをマルチング材表面または土壌中に設置する点滴灌水方法である²⁾。この灌水方法の長所は、土壌厚が厚い場合やのり勾配が大きい場合でも給水できる点である。問題点は、①表面から灌水する場合、蒸散量が多くなる、②植栽に均一に灌水するのが難しい、③ほとんど毎日水やりを行うことになる、④チューブの目詰まりが問題になることがある、⑤植栽の植え込み時や移設時にチューブが邪魔になり、施工性が低下するなどである。

一方、当社が人工地盤緑化を実施する場合は、図一2および写真一8に示すように、基本として底面灌水方法を採用することになる。原理は、排水層および人工軽量土壌層最下部に水を所定の時間貯留し、毛細管現象を利用して給水されるものである。給水終了後に根腐れの防止や荷重低減のため、余剰水を排水する。底面灌水方法の長所は、①蒸散量を少なくできる、②植栽への水やりが均一になる、③水やりは、十数回/年程度と少ない、④植栽の植え込みや移設が容易であるなどである。また排水のカスケード利用により、使用水量の低減も可能になる。この場合、屋上スラブの水勾配に対して、直角方向に植栽域をブロック割りすることで排水のカスケード利用をより効果的に実施することができる。短所としては、土壌厚が顕著に厚い場合に給水に支障をきたす可能性があることなどである。このような場合は、部分的に点滴灌水方法やスプリンクラー散水方法の併用などによって対処することができる。底面灌水の制御方式としては、①灌水を手動スタートする半自動方式、②気象条件と植物の生育を考慮した暦全自動方式、③信号出力付き

pF計全自動方式がある。これらの制御方法には、各々一長一短があり、ビル管理が十分実施される場合では①の方法、降雨を最大かつ効果的に利用する場合では③の方法が最も適していると考えられる。

灌水時間に関しては、給水方式や給水器具のサイズによって異なってくる。目安としては、給水器具口径13mmで17ℓ/min、給水器具口径20mmで40ℓ/min、給水器具口径25mmで65ℓ/minであり、一般に良く使われる範囲は、17～40ℓ/minである（なお、清水建設技術研究所コンクリート製造室水道35.4ℓ/min、屋上水道16ℓ/min 午前9時過ぎ頃の実測値）。人工軽量土壌の浮上り防止なども考慮して、給水速度を安全側の17ℓ/min、保持時間を30分、排水量を給水量の50%、排水速度を17ℓ/min、灌水面積を100m²、灌水深さを7.5cm、排水層の超軽量骨材の実積率を60%（排水層厚5.5cm）、人工軽量土壌の空隙率を30%と仮定して、灌水終了までの時間を試算すると、約5時間/100m²になる。灌水時間は、灌水面積が大きくなるとそれに比例して増加するので、灌水設備の設計にあたっては、受水タンク容量、水道配管数、灌水域の系統を含めたブロック割り数、目標灌水所要時間などに十分な配慮が必要になると考えられる。

底面灌水の維持管理は、制御方式の種類によっても異なるが、pF計への水の補充も含めて、月一回程度の巡回チェックが必要と考えられる。

底面灌水のランニングコストに関しては、水道料金と電気料金が必要になる（ここでは、植栽の剪定、枯れ葉などの清掃作業は含めない）。水道料金は、以下のように算出できる。すなわち、灌水面積を100m²・1ブロック、人工土壌厚を25cm、排水層厚を5.5cm、灌水深さを7.5cm、排水層の超軽量骨材の実積率を60%、人工軽量土壌の空隙率を30%、年間灌水回数を12回と仮定して、年間水道使用量を求めると、 $(0.055 \times 100 \times 0.4 + 0.02 \times 100 \times 0.3) \times 12 = 33.6 \text{ m}^3 / 100\text{m}^2 \cdot \text{年}$ となる。水道料金は、5F建て清水建設技術研究所本館のような事務所ビルをモデルとして（平成11年度実績9805m³/年）、単位使用料当りの上下水道使用料金を778円/m³として算出すると、 $33.6 \times 778 = \text{約} 26200 \text{ 円} / 100\text{m}^2 \cdot \text{年}$ になる。この金額は、点滴灌水方式と比較すると1/2～1/3と格段に安くなる。さらに排水をカスケード利用することにより大幅な水道料金低減が可能になる。

電気料金（約25円/kwh）に関しては、マイコン、信号出力付きpF計、電動弁の微弱電流のみの稼働であり、水道料金に比較すると、ごくわずかである。

3.3 設計荷重

既設建物屋上に新たに物を載せる場合、建築基準法

植栽の種類	植栽基盤構成（厚さ mm）				植栽基盤質量 (kg/m ²)
	マルチング材	土壌	透水シート	排水層	
草本・地被類	30	100	-	50～60	140
低木（樹高1m）		200			210
中木（樹高2m）		250			245
高木（樹高3m）		400			350
高木（樹高5m）					

注1) マルチング材の密度0.25kg/ℓ、人工軽量土壌の密度0.70kg/ℓ、透水シートの質量0.08kg/m²、排水層骨材の密度1.0kg/ℓ、耐根シートの質量1.57kg/m²として、植栽基盤質量を算定した。

注2) サザンカ、カンツバキなどの樹高が2m程度以下の中木であれば、土壌厚を150mmにできる（植栽基盤質量175kg/m²）。

表一 2 植栽基盤の設計荷重

で定められた許容上載荷重がある。住宅・事務所ビルなどの屋上では、全面緑化の場合で60kg/m²以内、部分緑化の場合で180kg/m²以内（ただし、全屋上面積に対しては60kg/m²以内）ということになる。また、デパート・学校などのような人の出入りの多い建物屋上では、上述した値が各々130kg/m²以内、300kg/m²以内になっている。したがって、既設建物屋上を緑化する場合では、土壌厚（培土厚）を35～50mm程度とした地被類による上載荷重の小さい平面的緑化や草本・灌木などによる緑化が中心となる。しかしながら、建物屋上を押さえコンクリート（約180kg/m²）仕様になっているケースでは、これを撤去し、防水工事を再度実施することにより、中木程度の樹木を植えた立体的緑化も可能になる。

新築建物屋上を緑化する場合では、設計時に植栽荷重を設備荷重として見込んで設計すればよいので、経済的な面を除けば、荷重制限は特でない。屋上部がアスファルト防水・押さえコンクリート仕様であれば、植栽域に不要な押さえコンクリートの荷重分を植栽荷重に置き換えて設計することにより、より経済的な緑化が可能になる。

底面灌水方式による人工地盤緑化の設計荷重は、表一 2 に示すとおりである（標準的な設計荷重）。同表は、植栽基盤荷重のみを示したものであり、植栽荷重は含まれていない。植栽荷重に関しては、植え付け時の根鉢の質量や成長後の植物の大きさなどを踏まえて設計時にあらかじめ見込んでおく必要がある。樹高5mの高木では150～850kg/本程度（平均約460kg/本）の質量となり、樹高3mの高木では40～130kg/本程度（平均約65kg/本）、樹高2mの中木では12～41kg/本程度（平均約24kg/本）、樹高1mの低木では1～11kg/本程度（平均約6kg/本）になるよう

評価項目	種類		
	アスファルト防水	ウレタン・FRP 複合防水	塩化ビニールシート防水
防水性能	◎ ・良 ・積層構造のため信頼性優	○ ・良 ・耐摩耗性大 ・耐薬品性大	△ ・良 ・耐薬品性大 ・単層構造のため信頼性劣
緑化部基盤構造	○ ・耐根シートが必要 ・基盤構成：アスファルト防水／耐根シート／植栽基盤／植栽 ・施工実績が多い ・防水 12kg/m ² (耐根シート含む)	○ ・耐根シートは不要 ・基盤構成：複合防水／植栽基盤／植栽 ・施工実績が少ない ・防水 10kg/m ² 以下	○ ・耐根シートは不要 ・基盤構成：シート防水（リベットルーフ工法など）／植栽基盤／植栽 ・施工実績が少ない ・防水 10kg/m ² 以下
歩行部基盤構造	○ ・基盤構成：アスファルト防水／断熱材／押えコンクリート ・基盤荷重大 195kg/m ²	○ ・基盤構成：複合防水／断熱材／（歩行用ブロック） ・基盤荷重小 10kg/m ² 以下 ・外断熱工法：難 ・火気厳禁（ブロック無の場合）	○ ・基盤構成：シート防水（接着工法）／断熱材／押えコンクリート ・基盤荷重大 195kg/m ² (歩行用軽量ブロックでの置換え可)
施工速度	○ ・100m ² /日・人 (施工は3人のパーティー)	△ ・20m ² /日・人	△ ・20～30m ² /日・人
天候の影響	△ ・施工表面は乾燥していること（降雨の影響大）	△ ・水分 10%以下（降雨の影響大）	△ ・リベットでは表面が濡れていても可だが、接着では乾燥していること
環境負荷 (VOC,騒音,廃棄物)	△ ・近年では臭い、煙がでない対策が望まれる ・梱包材の減容化	○ ・ウレタン廃棄物は0へ ・FRPの臭いを1/10に	○ ・溶剤使用量が少ない ・LCCO ₂ が少ない
保証年数 (耐用年数)	△ ・10年 (30年)	△ ・10年 (-)	△ ・10年 (-)
設計価格	◎ ・緑化部 7110円/m ² ・歩行部 10000円/m ² (断熱仕様防水は、7700円/m ²)	△ ・緑化部 11000円/m ² ・歩行部 12000円/m ²	◎ ・緑化部 6900円/m ² ・歩行部 10000円/m ²
製造会社	— ・TR社	— ・DK社 ・D社	— ・A社
総合評価	◎ ・性能・信頼性・経済性ともに良	△ ・経済性に難有り	○ ・経済性は良だが信頼性に不安有り

表-3 代表的な建物防水工法とその評価

凡例 ◎:優 ○:良 △:可

ある³⁾。また草本・地被類に関しては、数kg～10kg/m²程度と考えられる。緑化の目的、植栽規模、植栽の種類、緑被率などによっても異なるが、植栽荷重は、10～30kg/m²程度になると予測される。なお、平面的緑化に関しては、土壌厚35～50mm、排水層厚0～20mm程度の低荷重・低価格のシステムの作り込みが可能であり、今後の検討課題として実験実施を計画中である。

3.4 建物防水

人工地盤緑化の耐根を含めた防水工事は、建築工事

との一体化を踏まえると、極めて重要な工事と言える。防水工法の代表的なものとしては、アスファルト防水、ウレタン・FRP複合防水、塩化ビニールシート防水などがある。人工地盤緑化においては緑化部と歩行部の双方の防水を考え、施工性、安全性、経済性などを表-3に示すように評価して、防水工法を選定する必要がある。現時点では、緑化部、歩行部ともにアスファルト防水が、信頼性やコストの面でよいと考えられる。なお、歩行部に関しては、死荷重が大きくなる押さえコンクリート仕様にならない方がメリットが大きくなる場合もある。ウレタン・FRP複合防水では、

コストがいくぶん高いこと、歩行部の火気に対する保護が必要なこと、外断熱技術がまだまだ不十分であること（D社製は可能）などが欠点として挙げられる。また、塩化ビニールシート防水では、信頼性に若干の不安がある。したがって、建築工事と緑化工事を一体化した防水・遮水・耐根を兼ねた人工地盤緑化工事では、アスファルト防水に耐根シートを加えた仕様が良いといえ、歩行部と異なり、断熱ボードや防水保護層を必要としない仕様になる。ただし、底面灌水における給排水管部の雨じまい（防水）に関しては、給排水管が極力低い位置に設置されることから、細心の注意が必要になる。

§ 4. 使用資材とコスト

人工地盤緑化を計画する場合、どのような資材があって、価格がどの程度であるかということは、実務者にとって極めて重要な事柄である。そこで、以下に使用する資材の種類、特徴などを示すとともに、現時点（平成13年）における各資材のコスト（設計単価）を記述した。

① 防水工および耐根シート

防水工は、アスファルト防水とし、耐根層は、合成ゴムおよび特殊合成樹脂フィルムからなるシートを使用する。使用する製品としては、TR社のアスファルト防水・耐根シート（Mルートガード）の仕様がある。製品の設計単価は、7110円/m²（材工込み価格）であり、うち耐根層は、2790円/m²（材工込み価格）である。したがって、①耐根シートの材工費は2790円/m²になる。

② 排水層

排水層は、軽くて、水はけのよいものを選択することになる。現状では、粒径15～5mm、絶乾密度0.8g/cm³、単位容積質量（嵩密度）570kg/m³、膨張性頁岩などを原料とする超軽量人工骨材を使用することになる。使用する製品としては、N工業社製の超軽量SM骨材などがある。製品の設計単価は、15250円/m³（バラ荷単価—関東一円価格）であり、植栽面積100m²に必要な排水層費用は、排水層厚5.5cmとして83875円/100m²になる。ただし、資材搬入は1m³フレコンバッグで行われるので、バッグ代4000円/m³を上乗せして、実際の見積では105875円/100m²（1059円/m²）にとしたほうが良いと言える。また、関東以外での施工では、この価格に運送費がさらにプラスされることに留意する必要がある。排水層厚は、現在一括5.5cm程度で行っているが、土壌厚が5～10cm程度と薄い場合では、薄くできると考えられる。施工費に関して

は、過去の実績から、12100円/m³とした。したがって、②排水層の材工費は1725円/m²になる。

③ 透水シート

透水シートは、土壌の排水層への流入を防止するものである。使用する製品としては、TR社製の透水シートFDフィルターなどがある。製品FDフィルターの設計単価は、372円/m²である。施工費は、700円/m²程度。したがって、③透水シートの材工費は1072円/m²になる（施工費の低減は可能）。

④ 人工軽量土壌

土壌には、排水層と同様に上載荷重低減の目的から、黒曜石を原料とするパーライト骨材を使用することになる。骨材の絶乾密度は、0.2～0.3g/cm³程度であり、使用する製品としては、M社製のNパーライト骨材（1号防散タイプ）などがある。製品の設計単価は、15000円/m³であるが、含水させ、転圧することで体積が2割程度減ずることから、18750円/m³で積算することになる。土壌厚を25cm、20cm、15cm、10cmとした場合、植栽面積100m²に必要な人工軽量土壌費用は、各々468750、375000、281250、187500円/100m²になる。施工費は、2200円/m³程度である。したがって、④人工軽量土壌の材工費は土壌厚25cmで5238円/m²、土壌厚20cmで4190円/m²、土壌厚15cmで3143円/m²、土壌厚10cmで2095円/m²になる。

⑤ マルチング材

人工軽量土壌の飛散防止や土壌からの水分逸散防止の目的で土壌上面には、マルチング材を施工する。マルチング材は、樹皮を繊維状に破碎した物を使用し、使用する製品としては、T社製のマルチング材Lなどがある。製品の設計単価は、1900円/50ℓと高く、3～4cm厚で敷設すると50ℓ/m²程度必要になり、1900円/m²となる。ここでは、フレコンバッグ購入や敷設厚低減（1～2cm）などにより、設計単価を最大950円/m²とした。この単価は、さらに低減が可能と考えられる。100m²の施工で土工2人工くらいが必要になる（施工費600円/m²くらい）。したがって、⑤マルチング材の材工費は1550円/m²になる。

⑥ 灌水制御装置

灌水制御装置は、広さに関係なく（ただし、制御ケーブル最大延長は100m程度まで）、一台で良い。清水建設（株）設計、Z社製作の灌水制御システムを使用する。設計価格は、20万円/台（支持架台は別途）である。したがって、⑥制御システム設置費用は2000円/m²になる。

⑦ 設備工事一式

植栽面積を100m²として、2ブロックに分割して灌水制御すると仮定して、設備を考える。給排水用電動バルブは、カスケード灌水とするため、7個（140000

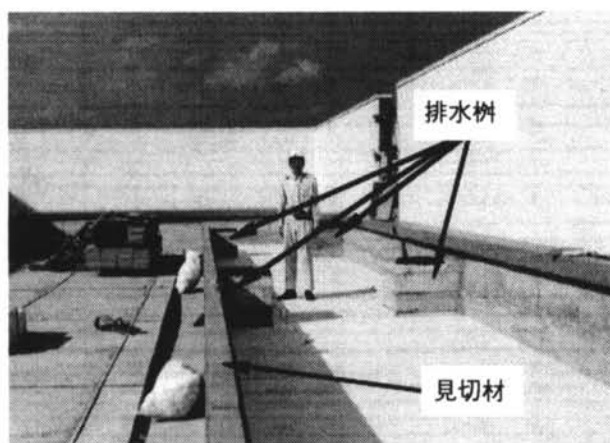


写真-9 見切材・排水柵の施工



写真-10 耐根シートの施工

円) 使用する。バルブボックスは、実績では、SUS製の高価なものを使用していたが、コスト低減のため、排水柵内に設置するか、安価なボックスを考慮することにする(70000円)。自動灌水とするための自動pF計を2台セットする(140000円)。雨水および灌水排水のための排水柵を2個設置する(30000円)。これら以外に、配管・電線や附属備品(90000円)、配管工事費(150000円)、電気工事費(80000円)がある。したがって、⑦ 設備工事費は7000円/m²になる。

⑧ 植栽

一般的な植栽(立体的緑化)を行うと、5000~12000円/m²程度の金額になる。ここでは、植栽の設計単価を10000円/m²と設定した。したがって、⑧ 植栽の材工費は10000円/m²になる。

上記の値をもとに、人工土壌厚を20cmとして、現状で屋上に緑化ゾーンを100m²建設する場合の設計単価を試算すると、耐根層と植栽基盤を作る場合で20330円/m²、耐根層・植栽基盤・植栽を作る場合で30330円/m²になる。緑化面積が広い場合では、さらにコストの低減が可能になるが、100m²程度と植栽面



写真-11 排水層の施工

積が狭い場合、設備関係費用がかさみ、植栽基盤製作費用の4~5割を占めるようである。表-1に示した立体的緑化の目標設計価格である耐根・植栽基盤20000円/m²以下、耐根層・植栽基盤・植栽30000円/m²以下は、植栽面積が広い場合、概ねクリアできると考えられるが、更なるコスト縮減には、設備費用の削減、低価格のマルチング材の使用などが必要と考えられる。なお、底面灌水方式やカスケード型自動灌水制御方式を採用すると、点滴灌水方式と比較して、水道使用料金を数万円/100m²・年程度以上節約できると予測される。20年間同施設を供用した場合、100万円程度以上の水道料金の節約が可能になり、維持管理費の低減を加味すると、100m²の同植栽域を前述した30330円/m²から20000円/m²程度以下で施工したことと同じになると考えられる。

§ 5. 人工地盤緑化の施工手順

人工地盤緑化の施工手順は以下のとおりである。

① 見切材・排水柵・防水層の施工

排水柵は、底面灌水システムで給水した後、排水バルブボックスからの排水を取込んだり、プランター内雨水排水を取込むためのものである。また、プランター外の雨水の集水や大雨が降った場合のプランター内のオーバーフロー水の集水の役割を持っている(写真-9参照)。

② 給排水バルブ・排水バルブボックス・水道および電気配管施工

排水バルブボックスは、排水柵の隣に設置する。ボックスはSUS304製などを使用する。排水バルブボックスは、排水柵の天端と面一になるよう製作する。また、排水バルブボックスを使用しないで、排水柵内やプランター外に直接排水バルブを設置すること

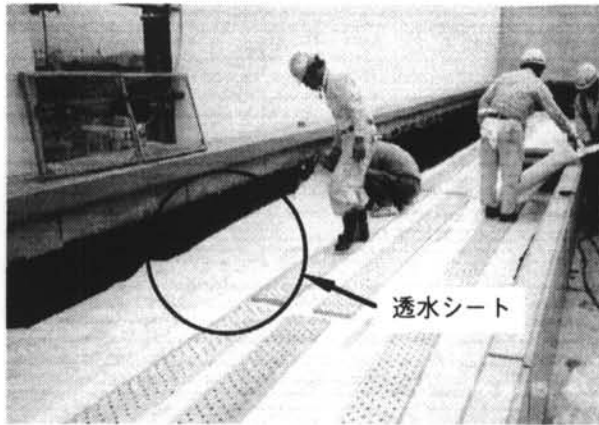


写真-12 透水シートの敷設

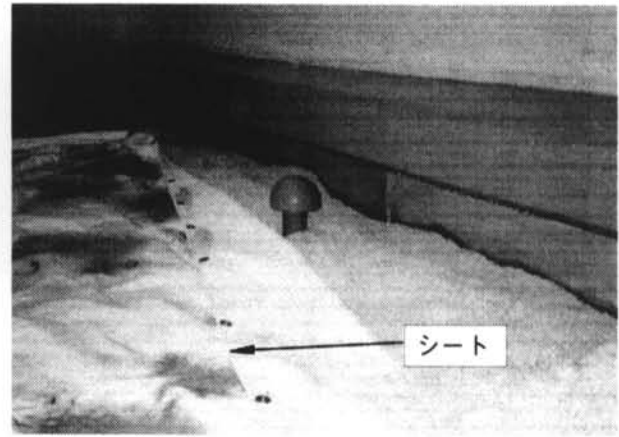


写真-14 シート養生



写真-13 客土の施工

も可能である(経済的)。排水桝中に設置する場合は、排水集水口の大きさと排水桝排水口の大きさなどによって、雨水を吐ききれない場合があるので、バルブをwater proof仕様にするなどの対策が必要と考えられる。

③ 耐根シートの施工

写真-10に示すように、耐根シートを敷設する。

④ 排水層の施工

排水層用材料である超軽量人工骨材を敷き均す(写真-11参照)。排水層の厚さは、50～60mmとし、高さだしには、ばか棒、天端確認用の端筋やモルタルスパーサーなどの設置が有効である。

⑤ 透水シートの敷設

土壌の流失による排水系への影響をなくすために、透水シート(不織布)を排水層全面に敷設する(写真-12参照)。

⑥ 人工軽量土壌の施工

真珠岩などを原料とする超軽量人工土壌を投入し、写真-13に示すように、客土部を施工する。土壌厚は、植栽の種類に合わせて所定の厚さに施工する。施工中は、飛散防止のため、散水を実施する。

⑦ 制御盤・pF計・通気管の配線・設置

関連機器の接続、設置を行う。植栽前に試運転を行い、制御系の動作確認を実施する。また、灌水制御にかかわる設定値を試験により最終決定する。

⑧ 客土表面の養生(植栽前)

客土は乾燥すると、風などにより飛散するので、写真-14に示すように、植栽、マルチング材施工までの間、シート養生とする。

⑨ 植栽

適切な時期に植栽を行う。人工地盤緑化は、荷重増加を抑えるため、植物の生育をある程度抑制した管理を行うのが基本である。したがって、施肥はほとんど行わないが(通常では年一回2月頃実施)、植え付け時の元肥は必要と考えられる。

また、樹高の高い樹木に対しては、安全のため、風による倒木対策が必要になる。この場合、鳥居・布掛・ワイヤ支柱などの施工方法がある。なお、支柱などの対策を講じない条件下で、樹高約3mのモチノキを6階屋上(高さ約21m)に土壌厚25cmで植栽し、瞬間最大風速約30m/s程度を経験しているが、倒木などの事故は今のところ発生していない。

⑩ マルチング材の敷設(植栽維持管理開始)

人工軽量土壌の飛散防止や土壌中からの水分蒸散抑制の目的で、マルチング材を敷設する。マルチング材は、繊維が長く互いに絡み合っ風風に飛ばされにくいものを選定する(糊が含有されたものもある)。

§ 6. 今後の課題(まとめ)

本報告書は、現時点で得られている人工地盤緑化の設計・施工にかかわる技術を取りまとめ、実務者向けに平易に解説したものである。今後は、以下に示す項目を実験検討し、技術のバージョンアップを行うとと

もに、新たな商品創出のための資料にするものである。

今後の実験検討項目

(1) 実験によるデジタルデータの取得（例えば、各種土壌の含水比と pH 値との関係、人工軽量土壌の吸水過程と脱水過程におけるヒステリシスの把握、土壌中の含水比分布、最適灌水サイクルタイムなど）

- (2) 最適底面灌水技術の確立
- (3) ミニマムコスト屋上緑化システムの開発（ツル性植物またはセダム類による平面的緑化）
- (4) 屋上ビオトープ緑化にかかわる新技術の開発
- (5) ヒーリング緑化に適用する新技術の開発
- (6) 都市型農業緑化システムの開発
- (7) 緑化評価 GIS 技術の開発

<参考文献>

- 1) 田畑貞寿 編著：緑資産と環境デザイン論，技報堂出版，pp.76～77，1999年
- 2) 東邦レオ（株） 編集：緑の仕事，pp.56～57，1999年
- 3) (財) 都市緑化技術開発機構：新・緑空間デザイン植物マニュアル，誠文堂新光社，pp.153～163，1996年