

# 屋上緑化区画における排水水質と 水管理手法に関する検討

## INVESTIGATION OF DRAINAGE WATER QUALITY AND WATER MANAGEMENT SYSTEM FOR ROOFTOP PLANTING

高野保英<sup>1</sup>・江藤剛治<sup>2</sup>・竹原幸生<sup>3</sup>

Yasuhide TAKANO, Takeharu ETOH and Kohsei TAKEHARA

<sup>1</sup>正会員 博(工) 近畿大学助手 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江三丁目4-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 近畿大学教授 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江三丁目4-1)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 近畿大学助教授 理工学部社会環境工学科 (〒577-8502 東大阪市小若江三丁目4-1)

Quality of drainage water from rooftop planting is monitored at Kinki University. Drainage water from greening basement such as artificial soil is analyzed to detect the source of substances in it. These investigations led to following conclusions:

- (1) Drainage water from rooftop planting is rich in  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  and  $\text{PO}_4\text{-P}$ , which are eutrophic substances to public water bodies such as lakes and ponds.
- (2) These substances come from not only fertilizer or herbicide but also artificial soil and drainage filter.

Extension of the rooftop planting area increases amount of water demand for planting and discharge of eutrophic substances in drainage water. Water recycle system that collects and reuses rain water and drainage water from rooftop planting is proposed to solve this problem.

**Key Words :** rooftop planting, water quality of drainage, water recycle system at rooftop planting

### 1. はじめに

ヒートアイランド現象は大都市で深刻な環境問題となっており, その緩和対策として都市における緑化が注目されている. 特に, 国土が比較的狭隘なわが国にあっては, 都市域において大規模な地上の緑地の造成が困難なことから, 建物屋上を利用したいわゆる屋上緑化の実施が進展している. 土木研究所の試算によれば, 屋上緑化の推進により東京都 23 区内の緑被率を現在の 24.3 % から 40.7 % に増加させた場合, 8 月下旬の最高気温が最大で 0.6 °C 低下することが示されている<sup>1)</sup>. このような現状を背景として, 東京都をはじめとして種々の行政・公的団体により, 条例の整備など建物屋上の緑化を推進する施策の取り組みがなされている.

植物の生育には日光, 土および水が必要である. 屋上緑化の実施にあたっては, これらの要素に対する配慮が必要である. わが国の日照は, 量的および時間的にも屋上での植物の生育には十分である. また, 屋上緑化に使用する土壌も数多く開発されている. これらの多くは, 建物の構造上の負荷を軽減するために, 天然起源の土壌

よりも重量が軽いという特徴を有する.

しかしながら, 水に対する考慮は十分ではない. すなわち, 屋上緑化面積の増大により, 水資源・水環境に関する次のような問題が生じる.

- (1) 屋上緑化の面積が増大することにより, 植生維持のための水の使用量もまた増大する.
- (2) 植生の維持のために除草剤・肥料等を使用することになるが, これらの化学物質は排水を通じて環境に放出されることになり, 屋上緑化の面積を拡大した場合には, 公共水域の水質に与える負荷を無視することはできない.

従って屋上緑化を進めるにあたっては, 緑化のために必要な水(緑化用水)の量や, 排水の水質を知ることが必要となる. これらの問題に関する基礎的な知見を得るために筆者らは, 近畿大学構内に屋上緑化区画および微気象・水文観測システムを構築し, 屋上に設置した緑化区画からの蒸発散量の測定, さらにそこからの排水の水質調査を試みている.

観測の結果, 夏季における芝の屋上緑化区画からの日蒸発散量は, 4.4 mm (2002 年 8 月 20 日~23 日) および 6.2 mm (同年 8 月 2 日~7 日) であった<sup>2)</sup>. さ



写真-1 屋上緑化区画（左）および蒸発散量測定用カラム（右）

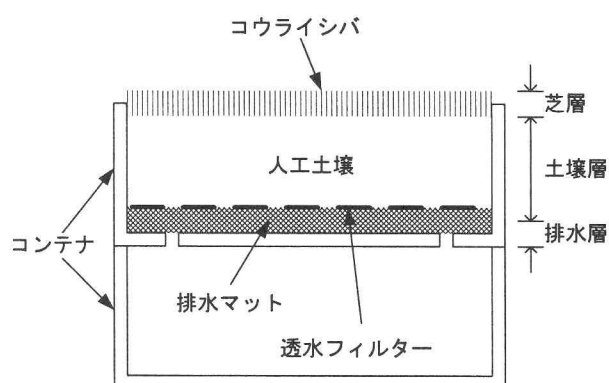


図-1 コンテナ断面図

らに排水の調査の結果、肥料や除草剤を散布した緑化区画の排水のみならず、何も散布しない緑化区画からの排水にも、水質環境基準値を超える濃度の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンが含まれていることが確認された<sup>2)</sup>。ただし、何も散布していない緑化区画からの排水中の窒素およびリンの起源は、実験に使用した人工土壌であると推察されたものの、特定には至っていなかった。

本論文では、屋上緑化区画からの排水水質の連続観測について、既報<sup>2)</sup>の結果に新たなデータを加えて紹介する（第2章）とともに、緑化区画からの排水に含まれる硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンの供給源を探るために行った、人工土壌を対象とした浸透水水質測定実験についても述べる（第3章）。さらに第4章では、面積拡大に伴って生じる緑化用水量の増加、および排水に含まれる物質の環境への放出の抑制を考慮した屋上緑化施設のあり方についても考察する。

## 2. 屋上緑化区画からの排水水質連続観測<sup>2)</sup>

### (1) 観測区画の概要

屋上緑化区画は、近畿大学34号館（大阪府八尾市、北緯 34 度 38 分 45 秒、東経 135 度 35 分 51 秒、建物高さ約 8 m）屋上に設置されている。近畿大学34号館は、大阪府の東部にある東大阪市と八尾市の境界付近

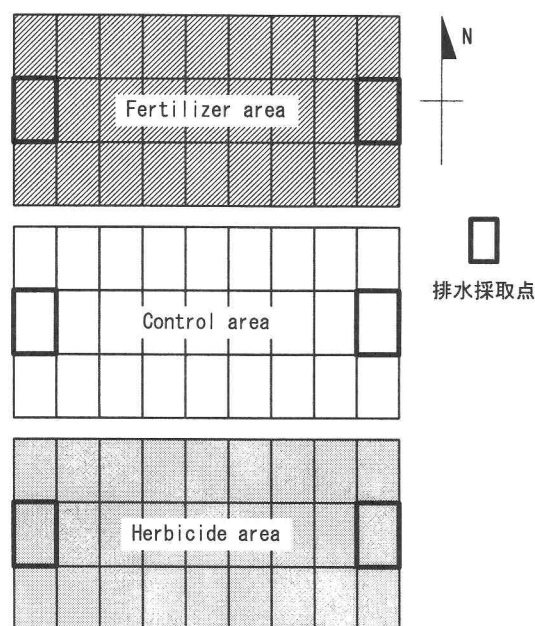


図-2 排水水質連続観測区画の概要

に位置しており、両市とも大阪の都市域を形成する、住宅・工場が密集した地帯である。

緑化区画は写真-1 に示すように、プラスチック製コンテナ（外形 567 × 399 × 166 mm）を上下二段に計 162 個並べたものである。上段の各コンテナの内部は図-1 のように、透水フィルターとマットで構成された排水層、および人工軽量土壌（発泡スチロール混合土、以下、人工土壌と称す）層が設けられ、表面はコウライシバ（学名 *Zoysia tenuifolia* Wild.）で覆われている。下段のコンテナは空であり、緑化区画からの排水の採取に使用する。正味の緑被面積は 14.9 m<sup>2</sup> となる。

灌水は、降水が確認された日を除いて、毎日 1 個の緑化コンテナにつき 1 l（水位換算で 5.45 mm、12 月～7 月）あるいは 2 l（水位換算で 10.89 mm、8 月～11 月）を与える。緑化コンテナの一部には、蒸発散量測定用のカラムが埋設され（写真-1 参照）、緑化区画およびその周辺では、降水量、気温、湿度、風速および日射量の観測も継続的に行われている。

### (2) 水質観測の概要

2002 年 8 月 31 日、上述の緑化区画内の北側に配置された 27 個の緑化コンテナに化成肥料（（有）岩倉製「芝生の肥料」、粒状、保証成分 N: 8.3 %, PO<sub>4</sub>: 8 %, K: 8 %）を 60.6 g/m<sup>2</sup>、また南側の 27 個の緑化コンテナに除草剤（新富士化学(株)製「シバキープ」、DCBN 剤、2,6-ジクロロチオベンザミド 4.0 %）を 10 g/m<sup>2</sup>、それぞれ散布する。中央の27個の緑化コンテナは、比較対照のための基準区画として、何も散布しない（図-2参照）。肥料および除草剤の散布量は、それぞれの製品に記載されている使用方法に従って決定した。

散布後原則として、降水が確認された日を除いて、所

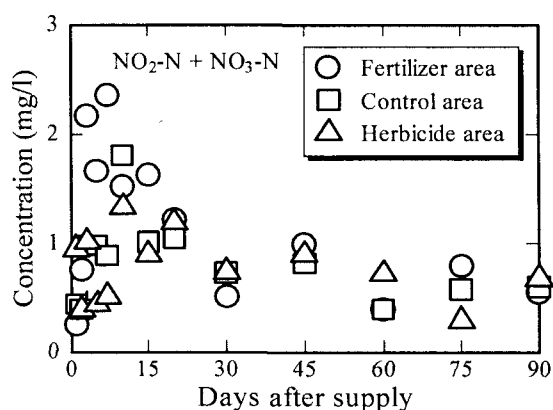


図-3 排水中の硝酸・亜硝酸態窒素濃度経時変化

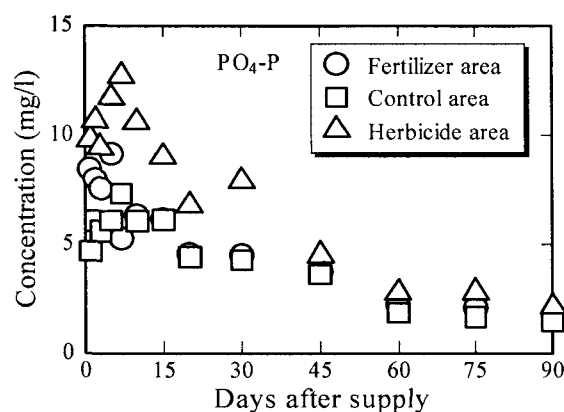


図-4 排水中のリン酸態リン濃度経時変化

定の灌水 (10.89 mm) を毎日与え、総ての区画について2ヶ所の排水コンテナから排水を採取する。排水採取は散布翌日から開始し、散布 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 75, 90 日後にそれぞれ採水する。吸光光度法により、排水内の硝酸・亜硝酸態窒素 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) およびリン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の濃度を測定する。分析には、BRAN+LUEBBE 社製オートアナライザー AACSHIを使用し、その検出限界は、 $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  で  $0.1 \mu\text{M/l}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  で  $0.01 \mu\text{M/l}$  である。

### (3) 観測結果

図-3 および図-4 に、各区画からの排水中の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度経時変化をそれぞれ示す。灌水には水道水を使用しており、また観測期間中に降水を採水・分析したところ、硝酸・亜硝酸態窒素濃度は  $0.75 \text{ mg/l}$ 、リン酸態リン濃度は  $0.22 \text{ mg/l}$  であった。なお、前節で述べた採水日およびその前日はすべて無降雨日であり、降水直後の排水の採取は行われていない。

まず硝酸・亜硝酸態窒素濃度に注目する。肥料区画 (○) では散布 1 週間後までに、基準区画 (□) および除草剤区画 (△) では、散布 10 日後までに濃度が増加するが、増加量は肥料区画で最も大きい。その後、すべての区画で濃度は指数関数的に減少し、散布 20 日後以降、ほぼ同じ値となる。また、基準区画の排水からも  $0.5 \sim 2 \text{ mg/l}$  程度の硝酸・亜硝酸態窒素が検出されており、人工土壌から窒素が排出されていることが示唆される。

次にリン酸態リンの経時変化を観ると、総ての区画について、散布直後から高い濃度が検出されていることが判る。特に除草剤区画では、散布 1 週間後までに濃度が急上昇し、その後指数関数的に減少する。散布 45 日後以降、総ての区画でリン酸態リン濃度はほぼ同じ値を示しながら漸減する。また硝酸・亜硝酸態窒素と同様に、基準区画の排水からも高濃度のリン酸態リンが検出されており、人工土壌にはリンも多量に含まれていることが予想される。

## 3. 浸透水水質測定実験

上記の排水水質連続観測の結果、屋上緑化区画で使用した人工土壌に窒素およびリンが含まれている可能性が示唆された。そこで、屋上緑化区画からの排水中のリンおよび窒素の供給源を確認するため、人工土壌を浸透した水および排水マット・透水フィルターを浸した水の水質を調べた。

### (1) 実験の概要

底部に穴を設けたプラスチック製コンテナ (310 × 275 × 70 mm) に、屋上緑化区画で使われているものと同一人工土壌 (未使用のもの) を詰め、3,500 g の水を撒いて24時間放置し、重力排水させる。この時点で、土壌水分量は圃場容水量になったとみなす。このコンテナを別の空コンテナの上に設置し、水 600 g を土壌に散水する。与える水の量は、面積当たりに換算した場合、排水水質連続観測時に屋上緑化区画に与えた水量と同じになるように決定した。

散水 24 時間後、下段コンテナに溜まった排水を採取する。コンテナは 3 個用意し、それぞれ 3 回ずつ散水・排水採取を行う。排水の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度は、連続観測と同様に吸光光度法により測定した。比較のために、未使用の豊浦標準砂についても同じ要領で実験を行い、浸透後の水質を調べた。

また、人工土壌のみならず緑化コンテナ内底部に設置されている排水マットおよび透水フィルターも、窒素およびリンの供給源である可能性がある。そこで以下の要領で、マットおよびシートを浸した水の水質を調べた。

プラスチック製コンテナ (350 × 170 × 90 mm) にそれぞれ水 1,000 g を入れ、350 × 170 mm にカットしたシートおよび透水フィルターを浸す。24 時間放置した後、シートおよびフィルターを取り出し、コンテナに残った水の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度を測定する。マットおよびシートはそれぞれ 3 枚ずつ用意して実験を行った。

表-1 人工土壌・標準砂を通過した水と透水フィルター・排水シートを浸した水の水質

|              | 硝酸・亜硝酸態窒素濃度 (mg/l) |      |      | リン酸態リン濃度 (mg/l) |       |       |
|--------------|--------------------|------|------|-----------------|-------|-------|
|              | 1回目                | 2回目  | 3回目  | 1回目             | 2回目   | 3回目   |
| 実験に使用した水道水   | 0.87               |      |      | 0.0041          |       |       |
| 人工土壌を浸透した排水  | 5.56               | 3.12 | 6.59 | 66.76           | 49.35 | 60.02 |
| 標準砂を浸透した排水   | 3.51               | 1.79 | 0.92 | 0.002           | 0.033 | 0.039 |
| 排水マットを浸した水   | 0.83               |      |      | 0.010           |       |       |
| 透水フィルターを浸した水 | 1.19               |      |      | 9.14            |       |       |

## (2) 実験結果および考察

表-1に、人工土壌と標準砂を浸透した排水の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度を示す。同表には、実験に使用した水道水、および排水マット・透水フィルターを24時間浸した水の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度も示す。なお同表に示されている数値は、3個のコンテナの平均値である。

人工土壌を浸透した排水の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度はいずれも高く、窒素の場合は与えた水道水の約3.5～7.5倍、リンの場合は約12,000～16,000倍である。標準砂を浸透した排水にも、水道水よりも若干高い濃度の窒素およびリンが検出されているが、人工土壌のそれと比べると小さい。特に硝酸・亜硝酸態窒素濃度は、散水の繰り返しによる低下が明確であり、さらにもう一度散水を繰り返した場合には、水道水とほとんど同じになることが予想される。

排水マットを浸した水には、窒素およびリンはほとんど含まれておらず、リン濃度は水道水のその約2.5倍になっているが、次に示す透水フィルターの場合よりもはるかに小さい。一方、透水フィルターを浸した水については、窒素およびリンとも濃度は水道水よりも高く、特にリンは約2,000倍になっている。確認のために、透水フィルターをプラスチック製コンテナ(310×275×70mm、土壌の浸透水水質測定実験で使用したものと同一)の底部に敷き、水1,000gを散水し、その排水を調べたところ、やはりリン酸態リンが検出され、その濃度は7.72mg/l(3枚の平均)であった。

以上の結果より、緑化区画からの排水中に含まれる硝酸・亜硝酸態窒素のほとんどは今回使用した人工土壌がその起源であり、リン酸態リンは人工土壌および透水フィルターから排出されたものであることが確認された。

## 4. 水資源・水環境を考慮した屋上緑化

### (1) 屋上緑化が水資源・水環境に与える影響

前章までで述べた排水水質連続観測および浸透水の水質測定実験の結果より、屋上緑化区画からの排水には人工土壌および透水フィルターを起源とする硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンが多量に含まれることが示された。屋上緑化での使用を目的とした人工土壌、フィル

ターは様々な製品が市販されており、今回使用したもの以外についても調査・測定が必要である。しかし、人工・天然に関わらず窒素やリンをほとんど含まない土壌を使用した場合でも、除草剤・肥料等を散布すると、一定の期間に亘って上記の物質が排水を通じて多量に排出されることは、図-3および図-4に示した通りである。

また、1.で述べたように、今後屋上緑化の面積が増加することにより、緑化用水量もまた増大する。特に夏季において多量の水が必要となるが、わが国の水資源利用の状況を踏まえると、植生維持のために使用できる水道水の量には制限がある。

屋上緑化面積の拡張を進めるにあたっては、気温上昇抑制効果、景観改善効果、緑化のコストなど、緑化に関する他の利点・問題点を視野に入れつつ、緑化用水量の増大と排水の環境への放出の抑制手法を検討しなければならない。

### (2) 緑化用水量増加および排水中の物質の環境への放出抑制手法

現在の科学技術水準を基に考え得る、緑化用水量の増加および緑化区画からの排水中の物質の環境への放出抑制手法・手段、有効性(効果が期待される場合は○、期待されない場合は×で示す)および問題点を、表-2にまとめた。

緑化用水の使用量を抑えるためには、植生の維持に必要な水量以上の散水を植生に与えないこと、すなわち適正な量の散水を実行することが、最も重要かつ有効な手段である。しかしながら、現状では既存の屋上緑化施設における水使用量はほとんど不明であり、散水量を決定するための具体的な指針も無い。その観点に立ち、筆者らは屋上緑化面からの蒸発散量、すなわち屋上緑化植生の維持に必要な最低限の水量の測定を試みている<sup>2)</sup>。

ただし、立地、季節、植生の種類などの条件によってその量は異なり、厳密かつ一般的な値を決定することは困難である。今後の課題としては、

- (1) 蒸発散量の实地観測を推進・拡大してデータの蓄積を図ること
- (2) 屋上緑化の植生維持のための散水方法について、植物学・土壌学・水文学等の知見を総合した上でのマニュアルや指針の作成

が必要になると思われるが、その実現には時間を要する

表-2 緑化化用水量増加および排水中の物質の環境への放出抑制手法

| 手法・手段                                | 抑制の効果    |              | 問題点                                     |
|--------------------------------------|----------|--------------|-----------------------------------------|
|                                      | 緑化用水量の増加 | 排水中物質の環境への放出 |                                         |
| 適度な量の散水                              | ○        | ×            | 季節・場所・植物により散水量が異なるメンテナンスの複雑化            |
| 蒸発散量抑制手法の実施                          | ○        | ×            | 気温上昇抑制効果の低下の可能性有                        |
| 耐乾性植物の利用                             | ○        | ×            | 気温上昇抑制効果の低下の可能性有                        |
| 雨水の貯留・再利用<br>(非緑化面に到達した雨水のみを貯留)      | ○        | ×            | 排水中物質の環境への放出抑制は不可能<br>処理施設の建設・稼動に伴うコスト増 |
| 雨水の貯留・再利用<br>(非緑化面に到達した雨水＋緑化区画からの排水) | ○        | ○            | 処理施設の建設・稼動に伴うコスト増                       |
| 適度な量の施肥・薬剤散布                         | ×        | ○            | 人工土壌等に起因する物質は除去不可能                      |
| 化学物質を多量に含まない土壌・基盤剤の使用                | ×        | ○            | 人工土壌等の化学的特性データが不足<br>人工物質を混入しない軽量化は困難   |
| 緑化区画からの排水の処理                         | ×        | ○            | 緑化用水量の抑制は不可能<br>処理施設の建設・稼動に伴うコスト増       |

であろう。

マルチング等の蒸発散抑制手法の適用、あるいはセダム類などの耐乾性を有する植物の利用などにより、水の消費量を抑える手段も考えられる。これらは、通常より与える水の量が少なくてもよいという点で共通するが、その結果、蒸発潜熱量の低下により気温上昇抑制効果そのものが小さくなる可能性もある。また、マルチング等の利用は美観を損ねることで、耐乾性植物の利用は植物種の幅を狭めることで、緑化による景観改善効果を低下させる可能性もある。

一方、排水中の物質の環境への放出抑制手法としては、適切な量の施肥・薬剤の散布が挙げられるが、これだけでは人工土壌等の緑化基盤材からの物質の放出は抑制できない。また、化学物質を多量に含まない土壌の利用も考えられるが、人工土壌などの化学特性についての知見は不十分であり、人工物を混入させることなく、土壌の軽量化を図ることも困難であろう。ただしこれらの二つの手法・手段は、屋上緑化実施の際の基本的な注意事項である。緑化区画からの排水を処理し、水質を改善させた後、下水等に流すことも考えられるが、これはそのための施設の建設・稼動のコストが問題となる。次節で示す雨水・排水利用システムの一環としての利用を検討すべきである。

また、以上の物質の環境への放出抑制手法には、緑化用水量の抑制には結びつかない、という共通した問題点がある。

### (3) 屋上緑化における雨水・排水利用クローズド・システム

屋上緑化のための水道水使用量を抑制し、さらに排水中の物質の環境への放出を抑えることを同時に実現する有効な手段としては、雨水および排水を貯留し、その水を植生への散水として再利用することが挙げられる。

図-5 にその概念図を示す。雨水利用については既に多くの研究がなされており、実施事例も多い。屋上緑化を有する施設では例えば、国営ひたち海浜公園事務所屋上の緑化施設「屋上エコガーデン」で、既にこの試みがなされている<sup>3)</sup>。ただしこの手法を実施する場合、緑化がなされていない屋上面に降った雨水のみを貯留・再利用するだけでは不十分である。屋上緑化面に到達し、土壌を浸透した排水も貯留・再利用しなければならない。そうすることにより、排水中に含まれる物質の環境への放出の抑制も可能となる。すなわち、屋上緑化用水のクローズド・システムである。

雨水・排水貯留の実施には大きく分けて、貯留・再利用のための配管設備、処理施設、貯留施設の設置が最低限必要となる。貯留施設の規模によって、貯留した雨水・排水のみでは散水量に満たない可能性もあるが、その場合は不足量のみ水道水を加えれば良い。大雨時には雨水・排水とも系外へ放出することになるが、屋上緑化区画の排水の集水系統を別系統にしておけば、非緑化面に到達した雨水のみ排出することも可能である。

また、貯留された雨水・排水は、再利用の用途に応じた水質に処理する必要があるが、散水にのみ使用する場合には、植生の維持に必要とされる程度の水質で良いと思われる。例えば、平成 2 年に建設省（現・国土交通省）高度処理会議が定めた「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル（案）」では、親水利用水の目標水質の項目として、以下の 5 項目を挙げている（カッコ内は基準値）<sup>4)</sup>。

- (1) 臭気（不快でないこと）
- (2) 濁度（5 度以下）
- (3) BOD（3 mg/l 以下）
- (4) pH（5.8 - 8.6）
- (5) 大腸菌群数（0.5 個/ml 以下）

これらに加えて、目詰まりなどの原因になる浮遊物質の

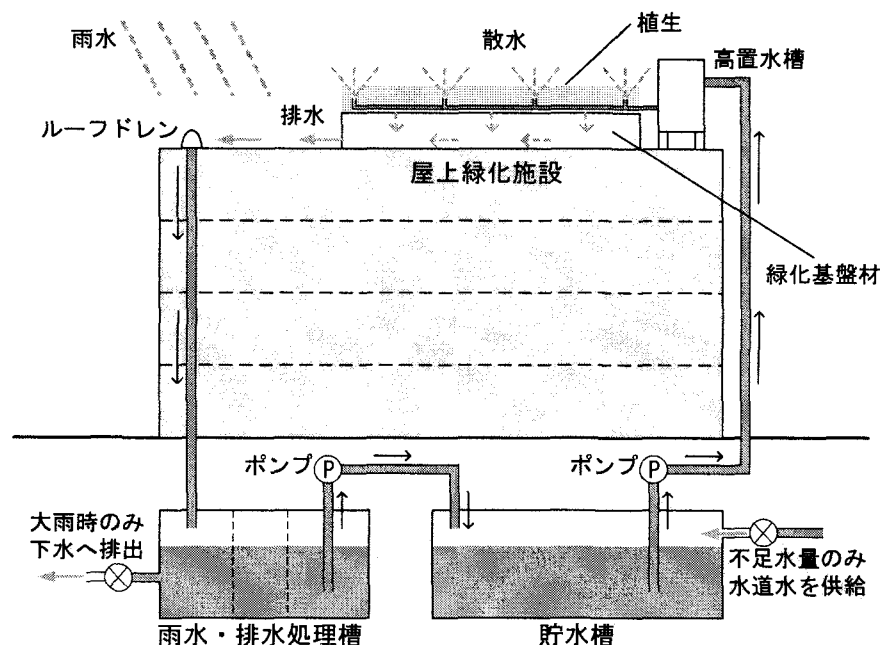


図-5 屋上緑化における雨水・排水の利用システムの概念図

除去等に留意すれば、散水への再利用も可能であると考えられる。

今後、屋上緑化施設における必要な水量の算定とともに、雨水・排水貯留・再利用のために必要な設備・処理能力等の検討を行う必要がある。

## 5. まとめ

緑化による気候緩和を有効に進めるためには、蒸発散量の実測に基づいて緑化用水量を求めるとともに、肥料・除草剤などの化学物質が、排水を通じて水質に与える影響も考慮しなければならない。

その基礎的研究として、近畿大学構内の屋上緑化区画を対象とした排水水質の調査を試み、屋上緑化区画からの排水中に含まれる硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンの濃度を調べた。さらに、排水中の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンの供給源を知るために、人工土壌を浸透した水、および排水マット・透水フィルターを浸した水の水質を調べた。

また、屋上緑化区画からの排水の環境への放出、あるいは緑化用水量の増加といった水資源・水環境への負荷の軽減が可能な屋上緑化施設のあり方を考察した。得られた知見を以下に記す。

- (1) 今回使用した人工土壌を浸透した排水の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度は、与えた水道水その約 3.5 ～ 7.5 倍および約 12,000 ～ 16,000 倍であった。
- (2) 今回使用した透水フィルターを 24 時間浸した水の硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度は、

与えた水のその約 1.4 倍および約 2,000 倍であった。

- (3) 緑化区画からの排水には、除草剤および肥料に起因するもののみならず、使用した人工土壌および透水フィルターに起因する硝酸・亜硝酸態窒素およびリン酸態リンが含まれることが確認された。
- (4) 排水の環境への放出および緑化用水量増加の抑制が可能な屋上緑化施設として、屋上面に降った雨水のみならず、緑化区画からの排水をも貯留し、用水として利用する、雨水・排水利用クローズド・システムを提案した。

屋上緑化における雨水・排水利用クローズド・システムについては、植生維持に必要な緑化用水量、種々の人工土壌を通過した水の水質、雨水と排水の貯留・再利用に必要な設備・処理能力など、この手法の実施に必要な知見を得ることが、今後の課題となる。

## 参考文献

- 1) 木内豪，吉谷純一：屋上緑化と水面再生によるヒートアイランド現象抑制効果に関する数値シミュレーション，土木技術資料，Vol. 43，No. 9，pp. 58-63，2001。
- 2) 高野保英，江藤剛治，竹原幸生，福原輝幸：微気象・水文観測に基づく蒸発散量の算定および排水水質分析，土木学会論文集（掲載決定済み）。
- 3) 脇坂隆一，半田真理子，今井一隆，豊田幸夫，柳元章，藤田茂：国営ひたち海浜公園・「屋上エコガーデン」，造園技術報告集2003，No. 2，pp. 106-109，2003。
- 4) (社) 雨水貯留浸透技術協会編：雨水利用ハンドブック，山海堂，1998。

(2003. 9. 30受付)