

都市の水循環における雑用水利用の役割

尾崎正明¹・小越眞佐司²

¹正会員 工修 国土交通省東北地方整備局青森工事事務所長 (〒030-0822 青森市中央3-20-38)

²正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道処理研究室主任研究官
(〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1)

都市の水循環に大きな役割を果たす雑用水利用の現状を把握するため、東京都23区内の雑用水利用施設の管理者を対象にアンケート調査を行った。その結果、1)行政指導規模未済の建築物においても、水利用コストの縮減や環境保全を目的とした自主的な導入が多いこと、また、個別循環を行っている建築物について、2)使用水量に占める雑用水系(補給水含む)の割合は35%程度であること、3)雑用水利用施設の処理能力を使用水量の60%程度以下とすることで処理施設の稼働率(=再生水/処理能力)が40%程度以上となること、4)稼働率を50%程度以上とすることで雑排水を処理して再生水とするコストが1m³当り600円程度以下となること、などが明らかとなった。

Key Words: wastewater reuse system, stormwater use system, treatment cost, management cost, system characterization

1. はじめに

水循環においては、流域管理の観点から水量・水質の管理を行うことが重要となる。このうち、本論文では水量管理に関して、都市における水資源の有効利用の観点から、雑用水利用について検討を行った。

水需給の逼迫した都市では、新規水資源開発や節水対策とともに、大口需要家に対して雨水や排水の雑用水としての利用が指導されてきた。東京や福岡を代表とするこれらの都市では、下水再生水を用いた広域循環とともに、建物や街区単位で有効利用を行う個別循環(雨水利用含む)による雑用水利用が数多く実施され、水資源として重要な役割を果たしている。そこで、整備改善地域等に雑用水利用施設導入を検討する場合の基礎資料として、雑用水利用の目的、用途、水源、利用量、処理方式及び問題点等の実態把握を行うこととした。

また、このような民間主体の事業として行う雑用水利用では、特に経済性が重視されるものと想定され、維持管理の経済性に雑用水利用施設の償却や施設の更新を含めた長期的な視点から、事業の費用効果を明らかにし、継続性を評価することが重要である。建設省土木研究所が行った下水処理水再利用施

設に関する実態調査結果によれば、施設の稼働率が再生水原価を左右する重要な因子であることが明らかにされている¹⁾。これらの点を考慮して、雑用水利用施設における維持管理ならびに建設にかかる費用及び稼働状況に関する実態についても把握することとした。

本論文では、以上のような実態把握を目的とするアンケート調査を、我が国の都市の中でも特に実施件数が多い東京都区部を対象に行い、調査結果の分析から、雑用水利用の現状と種々の雑用水利用形態の特徴を明らかにしたものである。また、現地調査やヒアリング調査によって得た知見を加えて、都市の水循環再生を目的として雑用水を新たな水資源として位置づける効率的なシステムについて提案するものである。

2. アンケート及びヒアリング調査

(1) 雑用水利用の分類

「雑用水利用のすすめ」(国土庁)では「雑用水利用」を、生活用水の中で、水洗トイレ用水、冷却・冷房用水、散水などの用途に下水・産業廃水等の再生水や雨水をはじめ、水道水と比較して低水質の水を使

表-1 雑用水利用方式の分類

雑用水利用方式	主な水源	アンケート 回答数	備考
個別循環 (雨水含む)	雑排水のみ	38	「再生水」
	雨水併用	23	「併用」
	雨水のみ	43	「雨水」
地区循環	雑排水、雨水	5	
広域循環	下水再生水	16	

注) 128件のうち、雑用水利用方式が不明のもの3件。
雑排水とはシャワー・風呂排水、厨房排水、給湯排水等。
上記以外の水源としては井戸水、湧水等。

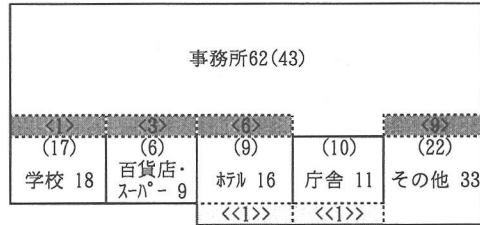


図-1 アンケート対象となった建築物の用途
()は事務所、()はそれ以外の重複部

用することの総称としている。また、雑用水利用の方式を、その対象の広がりから「個別循環」、「地区循環」、「広域循環」の3つのタイプに分類している。雨水を利用する「雨水利用」は、雨水を単独で利用する場合と、雑排水を再利用するタイプと併用される場合がある²⁾。本論文では表-1に示すように、雨水利用を個別循環の一部として分類を行った。

(2) アンケート調査

雑用水利用施設が特に普及している東京都を対象区域に設定し、東京都衛生局で把握している23区内の雑用水利用施設(建築物)に関する資料を入手した。725施設のうち上水道を主な水源とするものが346施設(47%)と最も多く、次いで個別循環が172施設(24%)、雨水が97施設(13%)、工業用水が48施設(7%)、広域循環が35施設(5%)と続いた。

上水道が多いのは、雑用水として用いる上水道の系統を別系統として区分することで、受水槽の清掃・水質検査などの維持管理が経済的に実施できるためとのことであった。今回の調査では、上水道を水源とする施設とともに、井戸水、工業用水を水源とする施設はアンケートの対象から外している。

(3) ヒアリング調査

稼働実績と維持管理コストについてデータ提供のあった施設を対象に、効率的システム検討の参考とするためヒアリング調査を行った。対象としたのは個別循環9箇所、地区循環1箇所の計10箇所である。

3. 雑用水利用の現状

(1) 調査結果

a) アンケート回収結果

アンケートは2000年3月に雑用水利用施設を設

置する建築物の管理者に対して325通を送付した。アンケートの内容は、建築物の属性、導入の動機、施設特性、管理体制、事故等の発生事例、意見・要望である。また、最近の稼働実績、維持管理コストに関するデータ提供を依頼した。有効回答数は表-1に示したように128通であり、届いたアンケート(310通)に対する回答率は41%であった。有効回答のうちデータ提供があったのは、稼働実績で120通(個別循環(雨水単独利用、併用を含む)99件、地区循環(雨水併用を含む)5件、広域循環16件)、維持管理コストで59通(個別循環(雨水単独利用、併用を含む)55件、地区循環(雨水併用を含む)2件、広域循環2件)であった。

b) 施設分類

調査対象となった建築物用途の構成を図-1に示すが、そのうち主なものは事務所ビル62件(うち単独用途43件、以下同様)、学校18件(17件)、ホテル16件(9件)、庁舎11件(10件)、百貨店・スーパー9件(6件)であった。建築物の用途と雑用水の水源の関係を図-2に示す。学校では雨水の割合が高く、調査対象のうち件数で50%が雨水を水源としている。具体的には、学校は18件で27の水源を利用しているが、雨水のみを水源とする学校が9件ある。また、業務の内容から百貨店・スーパーでは厨房排水が、ホテルではシャワー・風呂排水が多くなっている。一方、事務所ビル、庁舎では各種の水源を利用している。

東京都では雑用水量(計画可能水量)100 m³/日以上や延べ面積30,000 m²以上の建築物を対象に水洗トイレ用水、散水等に水道水以外を使用する雑用水利用を指導している。また、3,000 m²以上の開発事業や延床面積10,000 m²以上の建築物を対象に雨水利用・浸透促進要綱に基づく雨水利用を指導している。

アンケート調査を行った建築物の延床面積は、10,000 m²未満が15%、10,000 m²以上30,000 m²未満

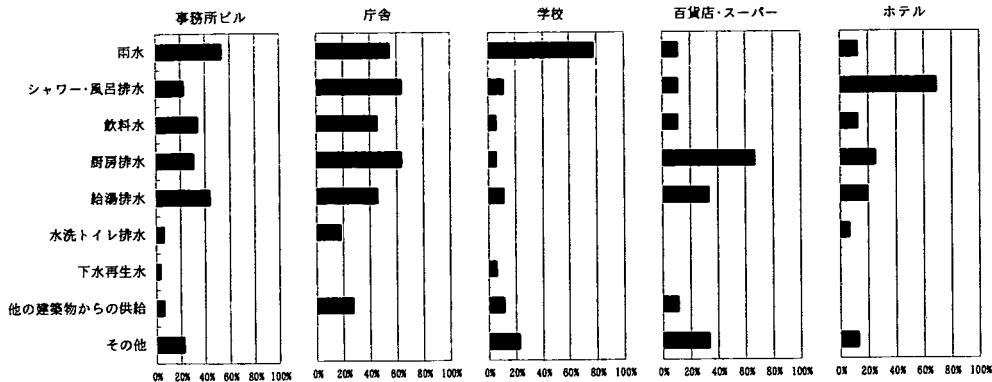


図-2 建築物の用途と雑用水利用施設の水源の関係

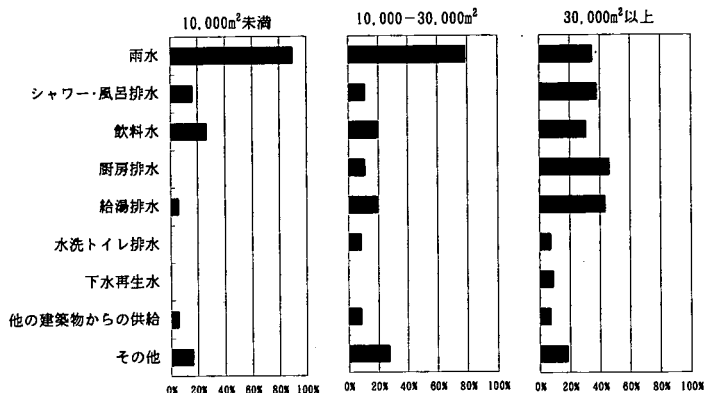


図-3 建築物の延べ面積と雑用水利用施設の水源の関係

が 29%、30,000m²以上が 56%であった。雑用水利用に係る指導指針の対象外となる延べ面積 30,000m²未満の建築物が 44%を占めることが注目される。延べ床面積と雑用水の水源の関係を図-3 に示すが、10,000m²以下は雨水のみの利用の割合が高く、19 件中 10 件が雨水のみを水源としていた。一方で、30,000m²以上は種々の水源を利用していた。また、建築物の延べ面積と雑用水の処理方式との関係を図-4 に示す。雨水利用の場合、全体としてろ過処理の割合が高い。また、再生水利用の場合、全体として生物処理、ろ過処理、膜処理の割合が高い。特に 30,000m²以上では、活性炭処理、凝集沈殿の割合が高まるなど、他の規模と比較して各種の処理方式を用いている。

c) 導入の動機

雑用水利用を行った動機として、行政指導等への対応と自主的な取組みを項目に取り上げたところ、重複分を含めて約 7 割(84 件)が自主的な取組みをその動機として掲げている。また、自主的な取組みの事由の多くが、水利用コスト縮減のため(69 件)としており、環境保全・創出や修景のため(22 件)というよりは現実的な観点から検討されたことが推定

される。

d) システム構成

施設構成は大きく処理施設と供給施設に区分されるが、個別循環において必要な処理施設の補完施設として集水施設がある。雑排水は再生処理を経たのち雑用水槽に、雨水は多くの場合において処理ののち雨水槽に貯留される。また、雑排水と雨水の併用では、雨水を直接雑用水槽に補給する場合と、雑排水の処理前の調整槽に補給する場合がある。

雨水処理の構成を図-5 に示すが、雨水のみの利用では 91%が処理施設を有し、そのうち 86%(37 件)でろ過処理を採用していた。ろ過処理のみは 74%(32 件)であり、その他では凝集沈殿、オゾン処理を併用していた。また、併用の場合の雨水処理では、78%が雨水処理施設を有し、そのうち 61%(14 件)でろ過処理を採用していた。ただし、併用の場合の雑排水処理では、全てが処理施設を有していた。また、個別循環(雨水併用を含む)では 95%(58 件)が処理施設を有していた。

延べ面積 30,000m²以上の雑排水処理で処理方式の分かる 44 施設について、その構成を表-2 に示す。処理方式の中で採用の割合が高い生物処理、ろ過処

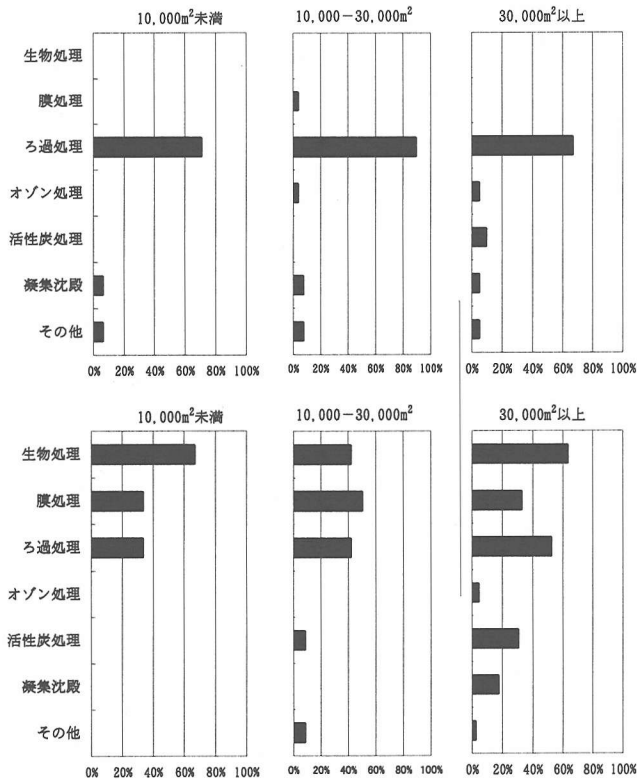


図-4 建築物の延べ面積と処理方式の関係(上段：雨水，下段：再生水)

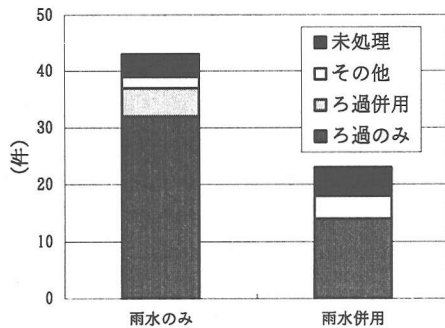


図-5 雨水処理施設の再生処理方式

表-2 再生水処理施設の処理方式の分類

		生物 処理	ろ 過 処理	膜 処理	施設数	左のうち 活性炭 処理
タイプⅠ	a	○	○	○	2	1
	b	○	○		16	7
タイプⅡ	a	○		○	5	3
	b	○			6	0
タイプⅢ	a		○	○	1	0
	b		○		5	1
タイプⅣ	a			○	7	1
	b				2	1
					44	14

注) 延べ面積30,000m²以上で再生水利用のもの

理，膜処理について，処理の順序に従って整理している。また，タイプは生物処理，ろ過処理を基本としてⅠからⅣまでの分類を行った。さらに，各タイプとも膜処理の有無により，a，bの区分を行い，それぞれの施設数を示している。

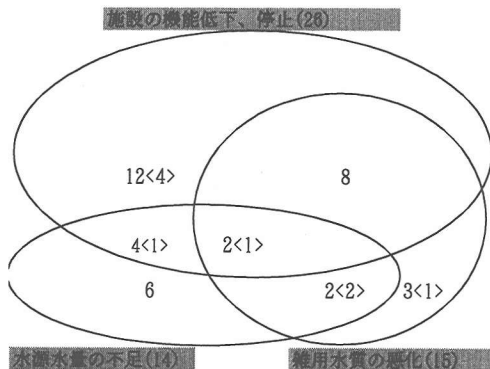
なお，雨水処理，雑排水処理とも未処理の場合は，シャワー・風呂排水，ボイラー排水を水源とする雑用水を水洗トイレ洗浄水に利用する場合に限られた。

e) 維持管理

管理体制では巡回(他の業務と兼務)が87件と多数を占めた。建築物の供給処理施設管理の一環とし

て実施され，異常が認められたときのみメーカー等に連絡を行う体制になっていた。また，水質検査，清掃の業務は，それぞれ94件，107件の建築物で実施されていた。水質検査では，配管材料の腐食への影響の目安として電気伝導度を11件で取込んでいることが注目された。

また，事故等の発生に関しては，雨水のみの利用での発生率が17%(7件)に対して，個別循環(雨水併用を含む)での発生率が61%(37件)と，明確な違いがみられた。個別循環での事故発生の内訳を図-6に示すが，施設の機能低下・停止が延べ26件と事故



事故発生延べ数(37) <内数>は施設からの臭気発生

図-6 個別循環(雨水含む)での事故発生の内訳

等の発生延べ数の約7割を占め、雑用水質の悪化原因の3分の2を占めていた。また、水源水量の不足も14件でみられた。なお、臭気の発生については個別循環の雑排水利用にのみ見られる特徴があった。水洗トイレ用水を水源とすることに直接の関連はなく、汚泥貯留槽の管理が不備であるほか、設備面では主として排気設備の不備によるものと推定された。

f) 意見・要望

利用者・管理者の意見とも、重複を含めて水利用のコスト削減の効果に関するものがそれぞれ42%(54件)、52%(67件)と比較的多く、コストへの関心が高いことが示された。利用者では、環境保全への取組みとしての評価も27%(35件)と高く、PR等により取組みを紹介することで雑用水利用へのより深い理解が得られるものと期待される。

管理者では、今後とも継続したいとの意見が37%(47件)と、コスト削減の効果に関する回答を下回っていた。コスト削減がなされているとした管理者においても、継続したいと回答したのは約6割に止まっており、継続に対して消極的な姿勢がみられた。管理者の意見として具体的に記述された中には、処理水からの害虫の発生やフラッシュバルブの故障、衛生機器の汚れなどの指摘があった。これらの問題解決のためには、技術開発や設備更新に伴う新たなコスト発生が予想される。そのことが継続的な運営について消極的になっている原因の一つであると考えられる。

(2) 水量に関する分析

a) 水量原単位

最近3年間の稼働実績に関するデータについて整理を行った。稼働実績のデータは単純平均をしているが、管理費のデータに関しては、年度により変動が激しいことから、年度毎のデータを個別のものとして整理を行った。

使用水量			
上水量		雑用水量	
上水系	補給水量	雑用水量	
		雨水量	再生水量
	補給水量	雨水量	再生水量
上水系	雑用水系		

図-7 使用水を構成する各水源の名称

して整理を行った。稼働実績の内訳で雑用水に関しては、雨水、再生水、工業用水、下水再生水、井戸水または地下水について記入を依頼した。図-7で使用水量を構成する各水源の内訳を示す。使用水量は上水と雑用水の合計量を表すが、ここでは、雑用水に上水のうちの補給水を加えたものを雑用水系としている。

最初に、使用水量を延べ床面積で除して求めた水量原単位について使用水量との関係をまとめた。対象とした建築物は表-1に示した分類で、稼働実績について記入のある「雨水」40件、「再生水」36件、「併用」23件の計99件である。図-8は横軸に使用水量を、縦軸に使用水量を延べ面積で除した水量原単位を示したものである。ここでは雨水あるいは雑排水といった水源との関係に着目した。「雨水」では使用水量100m³/日以下が多く、原単位も6 l/m²・日程度に留まっている。「再生水」では使用水量が1,000m³/日程度まで広く分布し、原単位は600m³/日付近まで15 l/m²・日程度に増加した。原単位の大きな場合は、ホテル、スーパーなど集客施設を有する建築物である。「併用」は使用水量800m³/日程度まで分布するが、使用水量が大きい場合でも原単位は「雨水」並の6 l/m²・日程度に留まっている。

b) 雑用水と補給水

次に、雑用水と補給水の関係について整理を行った。図-9は横軸に使用水量を、縦軸に雑用水量と補給水量をとって、使用水量との関係を示したものである。プロットしたデータは補給水と上水使用量に分かるもので、「雨水」18件、「再生水」26件、「併用」17件の計61件である。「雨水」では雑用水量は50m³/日程度以下であり、補給水量とともに全般にばらつきがみられた。「再生水」では雑用水量は使用水量とともに増加する傾向があるが、200m³/日程度以下であった。「併用」では、雑用水量が使用水量と

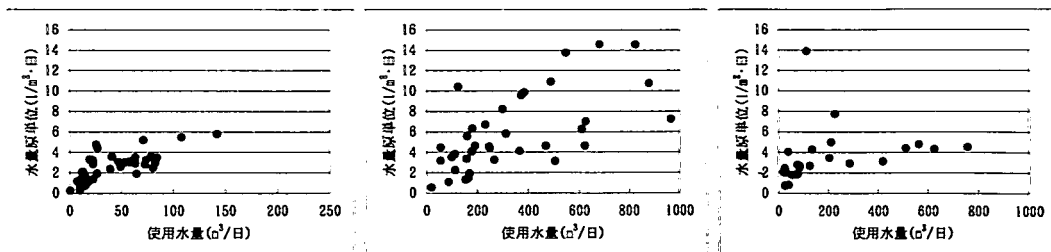


図-8 使用水量と水量原単位(左から「雨水」, 「再生水」, 「併用」)

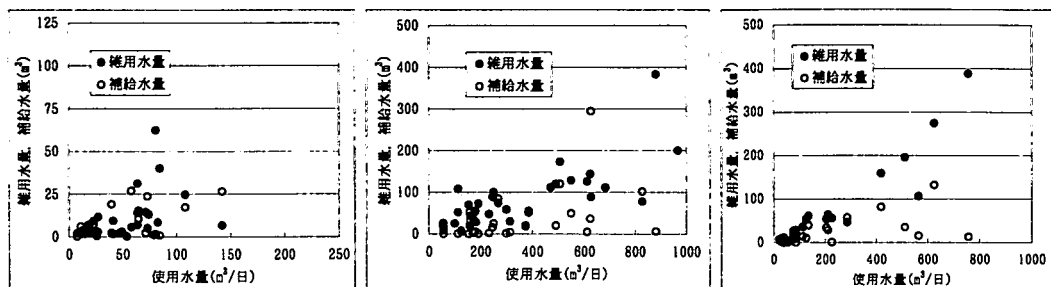


図-9 使用水量と雑用水量, 補給水量(左から「雨水」, 「再生水」, 「併用」)

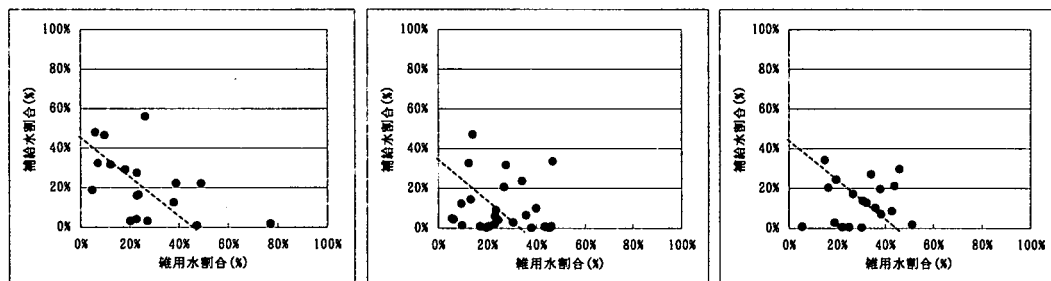


図-10 使用水量に占める雑用水量と補給水量の割合(左から「雨水」, 「再生水」, 「併用」)

ともに増加する傾向がみられた。また、「再生水」, 「併用」とも、使用水量が増加しても補給水量は増加していないので補給水量の比率は減少している。

図-10は横軸に雑用水割合、縦軸に補給水割合をとって、使用水量に占める雑用水量、補給水量の割合を示している。「雨水」, 「再生水」, 「併用」の使用水量の平均はそれぞれ、 52m^3 , 340m^3 , 225m^3 であり、雑用水量に補給水量を加えた雑用水系の平均はそれぞれ、44%, 35%, 45%であった。図中の点線は雑用水系の割合の平均を示している。雑用水系の割合にはばらつきが多いが、点線の上側に位置するものは補給水量が多いことを示しており、非効率なものとなっている。図-11には今回の調査対象について「雨水」, 「再生水」, 「併用」の平均的な再生水量、雨

水量、補給水量の構成を示している。雑用水量に占める補給水の割合は、「雨水」では4割と他の方式と比較して高くなること、「再生水」と「併用」は3割でほぼ一致することが分かった。「併用」では再生水、雨水の双方を水源とすることで、「雨水」と比較して使用水量が大きな場合において、雑用水割合をより高くすることができる可能性が示された。

c) 雑用水水源によるシステムの特徴

以上の稼働実績の分析から、「雨水」と「併用」では水量原単位が $6\text{ l/m}^2\cdot\text{日}$ 程度に留まっているのに対し、「再生水」は $15\text{ l/m}^2\cdot\text{日}$ 程度まで増加することが明らかとなった。また、「再生水」と「併用」では、使用水量が増加しても補給水量は増加しないので補給水量の比率が減少することが明らかとなった。

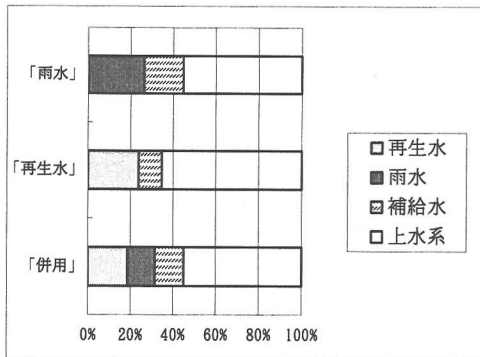


図-11 各雑用水利用方式における水源の構成

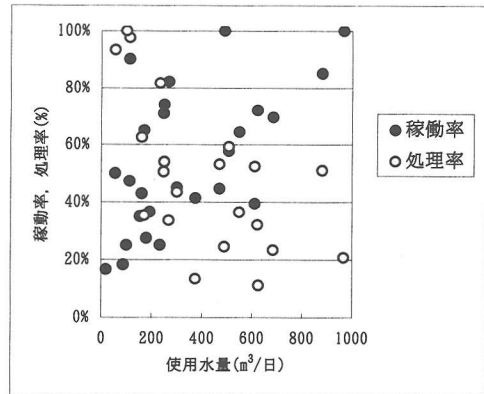


図-12 使用水量における処理率と稼働率の分布

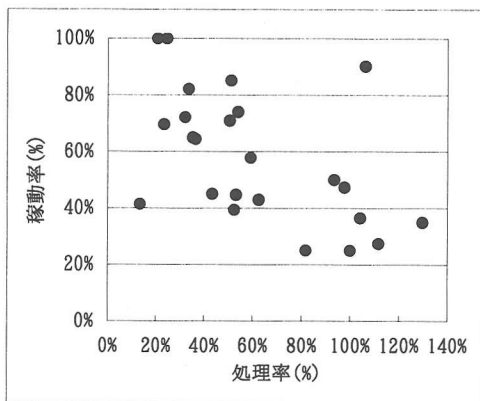


図-13 雑用水処理施設の処理率と稼働率

水量の規模とその構成に係る各システムの特徴は次のように述べる事ができる。

- ・「雨水」：使用水量 100m³/日以下の建築物での採用が多く、雑用水量は 50m³/日以下である。雑用水系の割合は平均 45%であり、補給水はそのうち 4割程度である。
- ・「再生水」：使用水量 1,000m³/日程度の建築物まで広く採用され、規模が大きなものでも雑用水量は 200m³/日程度である。雑用水系の割合は平均 35%であり、補給水はそのうち 3割程度である。
- ・「併用」：使用水量 800m³/日程度の建築物まで採用され、雑用水の割合は使用水量の 40%程度である。雑用水系の割合は平均 45%であり、補給水はそのうち 3割程度である。

d) 処理能力及び稼働率

最後に、雑排水処理施設の処理能力及び稼働率について整理を行った。処理能力に関しては使用水量で除した処理率について評価を行った。また、稼働

率は雑用水量を処理能力で除して算出した。次に、算出に用いた式を示す。

$$\text{処理率} = \text{処理能力}(\text{m}^3/\text{日}) / \text{使用水量}(\text{m}^3/\text{日})$$

$$\text{稼働率} = \text{雑用水}(\text{m}^3/\text{日}) / \text{処理能力}(\text{m}^3/\text{日})$$

ここで、補給水は処理後に追加されるので稼働率の算出では対象外としている。なお、「雨水」については処理能力の単位が(m³/日)ではなく(m³/時間)で示されており、日当りに換算すると使用水量を大きく上回ることが多い。そのため、今回は「再生水」のみについてまとめた。図-12 は建築物の使用水量における処理率と稼働率の分布を示している。使用水量が 300 m³/日以上では、稼働率が 40%以上に保たれていることが分かる。使用水量が増加するにつれて、処理率が低下し稼働率が高くなる傾向がみられる。使用水量は実績であるため計画時点での直接的な活用は難しいが、水源の確保が容易になることで雑排水処理施設が安定的に稼働するものと推定される。また、図-13 は処理率と稼働率の関連を示している。この図から、雑排水処理施設の処理率を 60%程度以下にすることで、稼働率が 40%程度以上に保たれていることが分かる。

(3) コストに関する分析

初めに、管理費に関するデータが示された建築物(雨水 17 件、再生水 24 件、併用 14 件、計 55 件)について、処理単価を算出した。管理費の内訳は、人件費、汚泥処分費、外部委託費(水質検査等)、消耗品費、電気料金、補修・修繕費(軽微なもの)として記入を依頼した。図-14 は横軸に雑用水量、縦軸に処理コストを示したものである。「雨水」、「再生水」、「併用」の雑用水量を考慮した加重平均はそれぞれ

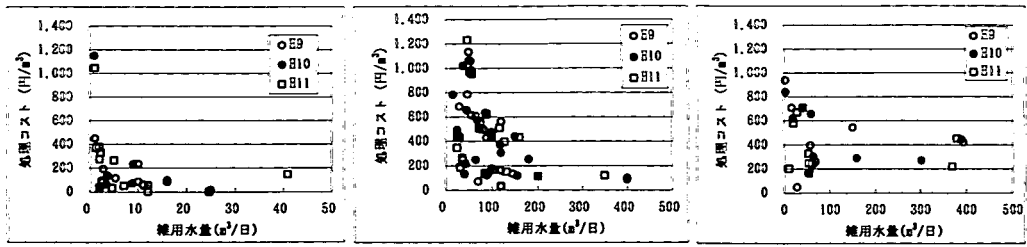


図-14 雑用水量と処理コスト (左から「雨水」, 「再生水」, 「併用」)

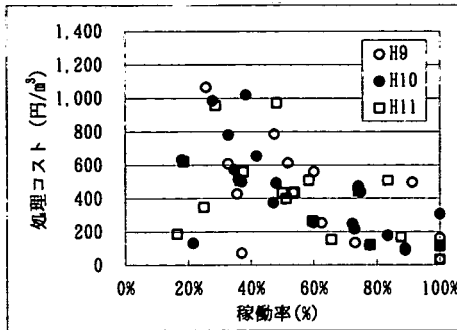


図-15 稼働率と処理コスト (「再生水」の場合)

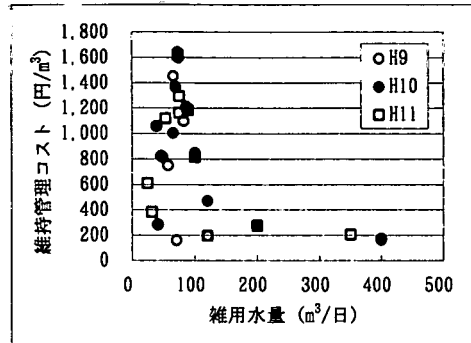


図-16 雑用水量と維持管理コスト (「再生水」の場合)

100 円/m³, 330 円/m³, 390 円/m³であった。加重平均であるため雑用水量が多い場合、単純平均と比較すると小さな値となっている。これらには補給水に係る費用を含んでいない点に留意する必要がある。処理コストは 200~1,000 円/m³程度まで幅広く分布していることが分かる。図-15 はこのうち、稼働率の分かる建築物(再生水 22 件)について、横軸に稼働率、縦軸に処理コストを示したものである。稼働率を 50%程度以上にすることで、処理コストが 1m³当り 600 円程度以下に保たれていることが分かる。

次に、施設の運営に際しては、処理施設、供給管の二重配管など初期投資の償還が必要であることから、ここでは便宜上処理コストに建設費の減価償却費を加味した維持管理コストでの評価を行った。都内の上下水道料金は通常約 750 円/m³であり、維持管理コストとこの額を比較しながら雑用水利用施設を運営する。今回のアンケートから、汚水処理施設の建設費用が分かる建築物(再生水 12 件)について、建設コストを加味した維持管理コストを算出した。ここでは、償却期間を 15 年、残存価格を 10%と仮定し、建設費の 6%を減価償却費として算出し、年間の建設コストとした。維持管理コストは、これに処理コストを加えたものである。図-16 は維持管理コストと雑用水量の関係を示しているが、雑用水量 100m³/日以上について急激に維持管理コストが低減

することが分かる。

4. 都市の水循環に関する考察

(1)雑用水利用システムの導入

a) ヒアリング調査

業務系ビルでレストラン街を有する場合には厨房排水を、ホテル施設を有するビルでは風呂排水を、それぞれ主要な水源として有効利用する事例がみられるため、今回はこれらの施設を中心にヒアリングを行った。表-3 はヒアリングを行った 10 施設に関する建築物の用途、処理システム、雑用水の水源と用途を示している。また、表-4 はヒアリング対象について、使用水量に占める雨水、再生水、補給水の割合、処理施設の処理率及び稼働率、処理コストを示している。処理コストには、補給水の上下水道料金を約 750 円/m³と想定して処理コストと加重平均を行った補正後コストも示している。

建築物 C では水源の確保による高い稼働率の維持のみでなく、ビル管理者による徹底した施設管理により費用が削減されており、単価が押さえられていた。また、建築物 I では 4 年前の施設供用開始から年々雑排水が増加し稼働率が高まっており、雨水を含めた雑用水処理の単価が低減している。特に、急

表-3 ヒアリング対象箇所の雑用水利用施設の処理フロー、水源

	建築物の用途	雑用水システム	雑用水処理フロー	雑用水の水源	雑用水の用途
A	事務所、ホテル、商業	個別	生物-ろ過-活性炭	風呂	水洗トイレ、散水
B	事務所、ホテル	個別	生物-ろ過-活性炭	風呂、給湯	水洗トイレ
C	ホテル	個別	生物-膜	風呂	水洗トイレ、洗浄
D	研修、ホテル、ジム	個別	生物-凝集-ろ過-活性炭	風呂、厨房、給湯、水洗トイレ	水洗トイレ、消防
E	スーパー	個別	生物-ろ過-膜	厨房、給湯	水洗トイレ
F	事務所、レストラン、ジム	個別	生物-ろ過-活性炭	厨房、給湯	水洗トイレ
G	事務所	個別	生物-ろ過-膜-活性炭	厨房、給湯	水洗トイレ
H	事務所	個別(雨水含む)	生物-膜	雨水、風呂、厨房、給湯	水洗トイレ
I	会議場、展示場	個別(雨水含む)	生物-凝集-膜	雨水、風呂、厨房、給湯	水洗トイレ、冷却
J	事務所、百貨店、住宅、商業	地区循環	生物-ろ過-オゾン-活性炭	厨房	水洗トイレ、植栽

表-4 ヒアリング対象の雑用水利用施設の稼働実績、処理コスト

	雑用水処理施設			雑用水系水源の構成割合				雑用水処理コスト	
	処理能力 (m ³ /日)	処理率	稼働率	雨水	再生水	補給水	計	単価 (円/m ³)	補正後 (円/m ³)
A	200	130%	35%	-	45%	0%	45%	580	580
B	480	-	-	-	-	-	-	630	-
C	120	24%	100%	-	24%	4%	28%	120	210
D	200	104%	37%	-	38%	0%	38%	510	510
E	200	36%	64%	-	23%	9%	32%	500	570
F	200	112%	27%	-	31%	3%	34%	1000	978
G	90	34%	82%	-	28%	32%	60%	430	601
H	80	35%	69%	1%	24%	0%	25%	460	460
I	672	107%	26%	15%	28%	21%	64%	300	493
J	1,000	62%	69%	-	43%	1%	44%	280	291

速ろ過による雨水の併用が全体の単価を効果的に削減していた。

b) ヒアリング結果

維持管理では、ビル管理者による日常点検と月2回程度のメーカーによる詳細点検・機器調整が併用されていた。雑用水の用途が水洗トイレで、雑用水の水源に係る発生量が水洗トイレ用水量とほぼ等しいなど需要と供給が一致している場合は、システムの必要性が十分に認識されていた。

膜処理施設の場合2、3年置きに膜交換が必要で、その額は規模にもよるが1千万円近くにもなる。膜交換を複数年で実施することにより、年当たりの交換費用を削減することについてメーカーと検討を行っている事例がみられた。また、水洗トイレのフラッシュバルブでの異常など衛生機器まで影響がみられる場合もあり、供給施設の交換など当初は想定していない費用が必要となったケースもみられた。

他の供給処理施設と同様に、雑用水利用施設についてポンプなどの周辺機器類も含めて、3年、5年、7年、10年間隔でどの設備を更新するかについて、綿密な計画が策定されている事例がみられた。普段から更新計画を策定することで減価償却費を適切に把握するなど、継続的な運営には徹底したコスト意識を持つことがポイントとなる。

c) システム導入に際しての留意事項

ヒアリング結果も考慮して、雑用水利用システム導入の際の留意事項を整理する。

- ・処理能力の設定に際しては、雑用水用途に応じた

必要水量を把握する。設定が低いと需要が上回った場合の補給水量が多くなり、当初のコスト縮減の目的が達成できない。また、設定が高いと処理施設の規模が過大となり稼働率が低下する。

- ・雑用水の水源は安定的に確保できる水量を設定する。設定が大きいと集客数が減少した場合などに、水源の確保が困難となり結果的に処理施設の稼働率が低下する。
- ・雑用水配管や水洗トイレ等の衛生機器の設計に際しては、腐食対策を考慮して耐性のある材料を使用する。
- ・老朽化対策では、処理施設のろ過膜やポンプなど個々の施設について耐用年数を考慮して計画的な更新を行う。
- ・処理コストのみでなく、建設費償還を加味した維持管理コストと上下水道料金を比較し、システム適用について検討する。

(2) 雑用水利用システムの分類

a) 一般的な特徴

表-1の分類に従い雑用水利用システムが都市の取排水系統に及ぼす影響を表-5に整理した。水量負荷に関しては、雑排水を処理して利用する個別循環や地区循環で、効果的に汚水排水量が削減されることが想定される。また、広域循環でも処理場からの処理水放流量は削減される。なお、雨水のみの個別循環で汚水排水量が一定としているが、下水排除方式が合流式の場合は雨水を含む総下水排水量は減

表-5 雑用水利用システムが排水系統に与える影響

雑用水利用方式		水量負荷			水質負荷	
		雨水排水量	汚水排水量	処理水放流	処理場	公共用水域
個別循環 (雨水含む)	雑排水のみ	一定	減少	減少	減少	減少
	雨水併用	一部, 減少	一部, 減少	一部, 減少	一部, 減少	一部, 減少
	雨水のみ	減少	一定	一定	一定	一部, 減少
地区循環		一定	減少	減少	減少	減少
広域循環		一定	一定	減少	一定	減少

注) 地区循環, 広域循環は雨水利用を行わない場合を想定した。

表-6 個別・地区循環での雑用水利用システムの分類

	水源			水処理システム (典型的な事例)	備考
	シャワー・風呂	厨房	雨水		
タイプⅠ	○	—	—	生物ろ過(活性炭)	ホテル
タイプⅠ	△	○	△	生物ろ過	庁舎
タイプⅡ	—	○	—	生物(膜)	百貨店・スーパー
タイプⅢ	—	—	○	ろ過	ドーム

注) ○が主体で△は補給, この他に上水補給有り

少する。

一方, 水質負荷に関しては, 雑用水処理に伴い発生する汚泥に係る負荷が削減されることが想定される。通常, 汚水排出量の調整を目的としてビルの地下には汚水ピットが築造されるが, 汚泥の一部が系外に搬出されることで水質負荷が削減される。同様に, 雑用水利用施設を設置すると, 雑用水の用途に適した水質まで雑排水を処理する際に発生する汚泥が系外に搬出されるため, その分水質負荷が削減される。また, 公共用水域に対しては雨水のみの個別循環でも, 合流式, 分流式に関係なく水質負荷が削減されるものと考えられる。

b) 兼用施設の特徴

雨天時の流出抑制を目的とした雨水貯留施設では, 貯留した雨水を時間的に遅らせて排水するだけでなく, その一部を利用する場合がある。また, 厨房排水では下水道排除のための除害施設が設置されることが多いが, その処理水に更に処理を加えて利用する場合がある。今回アンケートを行った対象施設では, 流出抑制施設を兼用するものは 18 件, 下水道排出のための除害施設を兼用するものは 22 件であった。

兼用施設の場合, 雑用水の水質を満足するため, 必要に応じて上乘せ分の処理施設が必要となるが, 単独での雑用水利用施設の設置より有利となる場合がある。最近, 除害施設で用いられる処理技術が向上し, 処理水を再生水として利用することが可能となるなど, 除害施設が雑用水利用施設を兼用するケースが増加することも想定される。

c) システム分類

表-6 は個別循環のシステムについて, 水源によ

る分類を試みたものである。主となる水源によりシャワー・風呂排水, 厨房排水, 雨水の 3 つに分類を行った。今回の調査対象からそれぞれ典型的な事例を抽出している。表-2 に示した施設にはホテル 12 件が含まれるが, 11 件がシャワー・風呂排水を水源とし, 5 件がタイプⅠb の処理方式を採用していた。また, 件数は少ないが庁舎は 3 件が全て厨房排水を水源とし, 2 件がタイプⅠb の処理方式を採用していた。さらに, 百貨店・スーパーについても 3 件が全て厨房排水を水源とし, 処理方式は 2 件がそれぞれタイプⅡa, タイプⅡb と生物処理を主体としていた。なお, 庁舎と百貨店・スーパーに関して残りの 1 件ずつはタイプⅣa の膜処理を主体とするものであった。建築物で確保が可能な水源に従って, その水質に適した水処理システムが選択されるべきである。

また, 雨水に関しては, ドームのように広大な集水面積を有する建築物での採用が進んでいるが, 雨水のみでは水源として不足する場合でも雑排水と併用することによって不足分を補うことができると考えられる。

(3) 都市の水循環での役割

a) 個別循環の地区内での役割

今回の調査では雑用水利用施設のなかでも, 広域循環や地区循環ではなく, 民間での取組みが重要となる個別循環を中心に取上げた。雨水が広範囲な規模で利用されているのに対して, 再生水は延べ面積 30,000m² 以上の規模で活用されていることが明らかとなった。

雑用水利用を継続的に行うためには, 補給水を減

らし稼働率を高めることにより、効率的なシステム運営を行うことが重要となる。再生水利用や雨水を併用する場合において、使用水量が増加するとともに補給水量の比率が減少することが分かった。特に、併用では再生水、雨水の双方を水源とすることで、「雨水」と比較して使用水量が大きな場合においても、雑用水割合をより高くすることができる可能性が示された。建築物の屋根を雨水集水が効果的に実施できるよう工夫を行い、雨水を安定的に確保できることが課題となる。

雑用水利用施設の現状について、東京都では平成12年3月末での個別循環、地区循環及び広域循環それぞれの循環利用率を計画値ベースで23%、22%、28%と報告している³⁾。循環利用率とは総循環利用水量を総使用水量で除した値である。今回の調査において補給水を含まない雑用水の使用水量に占める割合は、図-11に示すとおり平均値で「雨水」が26%、「再生水」が24%、及び「併用」の場合は32%でその内訳は雨水13%、再生水19%であった。この結果はばらつきのある調査結果の平均値ではあり、上の報告における個別循環の数値と直ちに比較することはできないが、実績においても期待された効果が発揮されていることを示す資料として注目される。

b) 循環利用での個別循環の位置づけ

雑用水が都市の水資源として一定量を担うことができれば、流域内の水循環に大きな役割を果たすことになる。東京都では雑用水利用を重要な施策として位置づけており、都市再開発事業の予定区域等において下水再生水の広域循環利用を促進し、これまで、個別循環と地区循環を含めて日量約6万 m^3 であった水の循環利用を拡大し、日量約20万 m^3 とすることを目標としている⁴⁾。将来の東京都の水道需要が日量690万 m^3 と想定されていることから、約3%を雑用水で担うことが期待されていることになる。

東京都など大都市では1日当たりに使用される水量の約7割が家庭用、約3割が都市活動用とされる。循環利用循環率が約2割であることから、都市活動用水を対象にして約3%の水資源を雑用水で担うためには、その半分の量を利用する地区において雑用水利用に取組むことが前提となる。家庭での節水として風呂水を貯めて洗濯の際に使用することが多いが、都市でも同様な工夫がもつとされるべきである。広域循環、地域循環は有効な手段であるが、水源を有する地域に近接するなど地理的な条件に左右される。一方、個別循環は建築物単位での採用が可能である。そのため、総循環利用水量の約54%

を占める個別循環の位置づけは、今後の雑用水利用を普及しようとするときに、ますます重要なものとなることが予想される。

現在、東京都では雑用水量(計画可能水量)100 m^3 /日以上や延べ面積30,000 m^2 以上の建築物を対象に雑用水利用を、また、3,000 m^2 以上の開発事業や延床面積10,000 m^2 以上の建築物を対象に雨水利用を指導している。これらの規模に該当する建築物の建築件数から、少なくとも規模の大きな雑用水利用施設の設置数を予測することが可能となる。そのためには、上水道、下水道のみではなく都市計画との連携が重要となる。また、建築確認などにおいて、建築物用途や使用水量によって採用可能な雑用水利用施設に関する情報を提供することも必要である。その際には、庁舎での厨房排水活用など利用可能な水源に応じたきめ細かな情報が望ましい。

さらに、水洗トイレ用水としてだけでなく、親水のための環境用水や緊急時の防災用水など、都市の再生やまちづくりにおける位置づけを明確にしていくことが、整備促進のための要因となる。また、適切な維持管理を実施することにより、水量と水質の両面で下水道施設への負荷削減が可能になると考えられる。そのため、これらの効果を正確に把握し、下水道施設の管理に反映することが重要であり、今後は雑用水利用施設の稼働実績に関する情報をより具体的に把握することが必要となる。

c) 個別循環導入に当たっての検討事項

東京都では雑用水利用と雨水利用・浸透促進を指導している。建築確認時に担当部局との事前協議が行われるが、民間事業者に対しては指導に法的根拠が無いため、普及拡大に限界があると指摘されている。今後、雑用水利用が普及していくためには、以下の事項について検討を行う必要があると考えられる。

- ・建築物の用途、水源の種類に応じた効率的なシステムを開発し、水資源の選択肢を増やす。
- ・設計計画に際して、導入の参考となる技術的資料を整備する。また、税制・融資などソフト面の支援策を充実する。
- ・システムの継続的な運営のため、計画的に更新を行う。さらに、親水空間の整備や緊急用水の確保に活用するなど機能を拡大する。

このうち、本論文では主に初めの課題である効率的システムの開発について、実施事例を参考に検討を行った。都市における水資源問題を検討するための基礎資料となれば幸いである。

5. おわりに

雑用水利用は都市だけでなく地球規模の水問題への取組みとしても注目される。食物の生産には大量の水が使用されるが、輸入国である日本においては水資源の有効利用に関して積極的に取組む必要があり、雑用水利用などで先進的な事例を示すことが重要である。この意味でも、従来の水資源計画と整合を図りながら、効率性や経済性を考慮し、雑用水利用に取組む意義があると考えられる。

本論文では、主に個別循環(雨水利用を含む)を実施している施設を対象にアンケート調査を実施し、次の知見を得た。

- ・雑用水利用施設を有する建築物のうち、指導指針の対象外となる延べ面積 30,000m² 未満の建築物が 44%を占めていた。また、約 7 割の施設において、コスト縮減、環境保全を目的に、雑用水利用が自主的に導入されていることが分かった。
- ・個別循環は使用水量 1,000m³/日程度の建築物まで広く採用されている。雑用水系の割合は平均 35%であり、補給水はそのうち 3 割程度である。雨水のみの利用は使用水量 100m³/日以下の建築物での採用が多い。雑用水系の割合は平均 45%であり、補給水はそのうち 4 割程度である。
- ・個別循環では使用水量の増加につれて、雑排水処理施設の処理能力が使用水量に占める割合が低下し、処理施設の稼働率(=再生水/処理能力)が高まる傾向がみられた。処理能力と稼働率の関係では、処理能力を使用水量の 60%程度以下にすることで、稼働率が 40%程度以上に保たれることが分かった。

- ・雑用水利用のための雑排水処理コストは 200～1,000 円/m³ まで幅広く分布するが、稼働率を 50%程度以上にすることで、1m³ 当り 600 円程度以下に減少した。また、建設費を加味した維持管理コストは 200～1,600 円/m³ まで幅広く分布するが、再生水量 100m³/日以上で急激に低減した。

謝辞：本調査は「望ましい水循環の形成に資する基盤整備に関する調査」(平成11年度、都市基盤整備公団)の一環として実施したアンケート調査結果をとりまとめたものである。アンケートは、共著者である国土交通省国土技術政策総合研究所(前・建設省土木研究所)と連名で行った。最後に、多忙な業務の中でアンケートに協力いただいた雑用水利用施設の管理者の方々に謝意を表す。

参考文献

- 1)鈴木穠, 小越眞佐司:下水処理システムの評価に関する調査, 土木研究所資料, 第3661号, 平成10年度下水道関係調査研究年次報告書集, 139-144, 1999.
- 2)国土庁長官官房水資源部:雑用水利用のすすめ, 1999.
- 3)東京都水道局:東京都水道局環境報告書, 2000.
- 4)東京都都市計画局総合計画部:東京都水循環マスタープラン-望ましい水循環の形成を目指して-, 1999.
- 5)杉本留三, 荒巻俊也, 松尾友矩:雑用水利用の現状分析と課題に関する考察-雑用水利用施設に対するアンケート調査を基にして-, 土木学会論文集, No.594/VI-7, 85-93, 1998.

(2000. 12.11受付)

THE ROLE OF WASTEWATER REUSE SYSTEMS FOR WATER CYCLE IN URBANIZED AREA

Masaaki OZAKI and Masashi OGOSHI

The wastewater reuse systems have an important role for water cycle in urbanized area. So the present status was investigated with a questionnaire survey to the operators of wastewater reuse systems, existing in 23 wards of Tokyo. The results obtained were summarized as follows: (1) 70% of individual reuse systems, wastewater was adopted originally from the view point of cost reduction and environment preservation; and in the case of individual reuse systems, (2) the wastewater reuse volume of wastewater reuse was about 35% of whole water consumption; (3) working ratio (= treated water / system capacity) was more than 40% when the capacity was less than 60% of whole water consumption; (4) the cost for treatment was less than 600 yen per m³ when the working ratio was more than 50%.