

雨水利用中水道システム導入による 都市水循環適正化の研究

和田安彦¹・三浦浩之²・村岡治道³

¹正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

²正会員 関西大学助手 工学部土木工学科 (同 上)

³学生会員 関西大学 工学研究科土木工学専攻 (同 上)

屋根への降雨水を貯留して雑用水に利用する中水道システムを実験的に建設した。中水道システム導入による上水使用量節約効果は、雨水貯留槽の貯留水量が減少した際の上水補給の方法により異なった。7年間の連続降雨を用いた水収支解析より、貯留槽への上水補給は貯留水量が平均日雑用水使用量2日分以下となった際に行い、補給上水量を平均日雑用水使用量1日分とするのが効率的であった。都市域の9階建て以下の事務所ビルに中水道システムを導入すれば、上水使用量を約30%節約できる。

Key Words : rainwater recycling system, water for miscellaneous use, urban hydrologic cycle, simulation model, water mass balance, office building, urban area

1. はじめに

都市における水循環は様々な問題を抱えている。特に水資源の枯渇と雨水流出の尖鋭化は深刻な問題である。水源に恵まれない多くの都市では、人口・産業の集中により、夏季などの渴水が毎年のように生じるようになっており、新たな水源の確保も困難な状況にある。また、都市への人口・産業の集中化と高密度化は、市街地での不浸透面積の増大を招き、雨水流出量の増大とピーク流出の尖鋭化を生じさせている。

このような都市水循環問題の要因の一つに、都市の水循環構造の基本的な欠点があげられる。すなわち、都市では水資源を都市と離れた水源地からの降水に求める一方で、都市域への降水はほとんど利用せずに下水道等によって公共用水域へ排除している。この都市の水循環の基本構造が、上述した2つの問題を生じさせるもとになっている。

このような都市水循環の問題を解決し、しかも都市の防災機能向上等にも寄与するのが、都市における雨水利用である。雨水利用は主として屋根雨水を貯留し、トイレ洗浄用水や樹木散水用水等

を利用するものである。一定面積以上の公共施設に雨水利用の導入を定めている自治体もある¹⁾。また、民間の建物、事務所ビル、大学の施設等での導入も行われている^{2)~8)}。

しかし、都市水循環の適正化の視点から、雨水利用の効果を定量的に検討することは行われていない。本研究は、事務所ビルに実験的に導入された雨水利用の中水道システムの有効性の解析と、都市事務所ビルへの中水利用システムの効率的導入方法およびその効果について検討する。これらより、屋根への降水を有効な水資源として活用する節水型都市づくりのための中水道システムの必要条件を明らかにするものである。

2. 雨水利用中水道システム

(1) パイロット実験施設

実験施設はA事務所建物(2階建て、事務所勤務者数は72人、建物面積845m²)に試験的に導入された屋根雨水利用システムである。当施設では屋根雨水を集水し、付設する駐車場地下の中水(雨水)貯留槽で一旦貯留した後、水洗便所用水、散水用水と

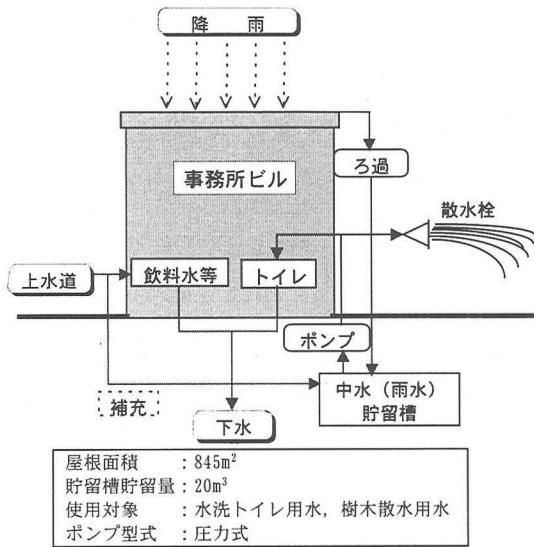


図-1 中水道システム

しての利用が行われている。導入されている中水道システムの概要を図-1に示す。

中水（雨水）貯留槽の水位がある設定値以下となつた場合には、上水を補給するシステムとなつてゐる。散水は建物及び駐車場の周囲にある樹木の涵養を目的に行われる。測定機器としては、雨量計、中水（雨水）貯留槽水位計、上水補給量計が設置しており、貯留水質についてはpH、電気伝導度、濁度を測定している。対象施設では1993年より予備実験や機器調整等を行い、1995年3月より各種データの計測を始めた。

(2) 中水使用状況

a) 中水使用量の推定

中水（雨水）貯留槽水量 V_r の経時変化は次式で表せる。

$$dV_r/dt = Q_{ri} + Q_w - Q_{su} - Q_{ov} \quad (1)$$

$$Q_{ri} = R \cdot Rcr \quad (2)$$

ここで、 Q_{su} : 中水使用量(m^3/hr)、 Q_{ri} : 雨水の貯留槽流入量(m^3/hr)、 Q_w : 上水補給量(m^3/hr)、 Q_{ov} : 中水（雨水）貯留槽からのオーバーフロー量(m^3/hr)、 V_r : 中水（雨水）貯留槽水量(m^3)、 R : 降雨量(m^3/hr)、 Rcr : 雨水流入口率である。なお、中水（雨水）貯留槽からのオーバーフローは、貯留槽への雨水流入により貯留水量が貯留容量を超えた場合にのみ生じる。

この式での未知変数は Q_{ri} と Q_{su} 、 Q_{ov} である。そこで、まず、 $Q_{ri}=0$ 、 $Q_{ov}=0$ である晴天時において、次式により中水使用量 Q_{su} を算出した。

$$Q_{su}(t) = V_r(t-\Delta t) + Q_w(t) - V_r(t) \quad (3)$$

ここで、 t は計算時間ステップであり、 $\Delta t=1hr$ とする。

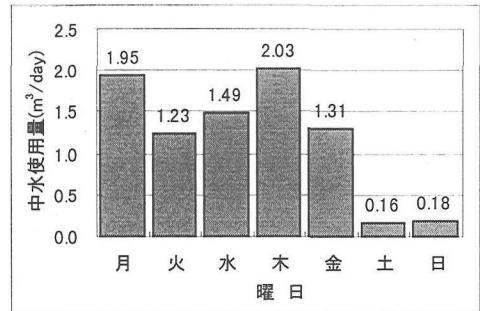


図-2 平均中水使用量の週間変動

表-1 検討ケースと上水補給条件

検討ケース	上水補給開始貯留水量(m^3)	上水補給量(m^3)
I A	8.0 (5日分)	1.6 (1日分)
I B		3.2 (2日分)
II A	6.4 (4日分)	1.6 (1日分)
II B		3.2 (2日分)
III A	4.8 (3日分)	1.6 (1日分)
III B		3.2 (2日分)
IV A	3.2 (2日分)	1.6 (1日分)
IV B		3.2 (2日分)
V A	1.6 (1日分)	1.6 (1日分)
V B		3.2 (2日分)

()内は貯留容量に対する割合

調査期間中(1995.3~1996.3)の平均中水使用量を図-2に示す。休日(土、日)の中水使用は樹木への散水によるものである。勤務日(月~金)の平均中水使用量は $1.6 m^3/day$ であり、1人当たりでは $22.2 m^3/person/day$ となる。通常の水洗便所用水使用量に比べて少ないが、これは当事務所の業務の性格上、事務所外出向いている勤務者が多いためである。

また、平均的な1週間の中水使用量は $8.35 m^3/week$ であることから、実験施設の中水（雨水）貯留槽の容量は中水使用量2.4週分となる。

b) 貯留槽への雨水流入率

事務所ビル屋根への降水の利用率を明らかにするため、以下の式で雨水の貯留槽流入量 Q_{ri} を求め、その年間総和を算出した。この総和と年間降雨量から、年間平均雨水流入率を求めた。

$$Q_{ri}(t) = V_r(t) - V_r(t-\Delta t) - Q_w(t) + Q_{su}(t) \quad (4)$$

$$Rcr = \sum Q_{ri} / \sum R \quad (5)$$

年間平均雨水流入率は0.86であった。

(3) 雨水利用効率向上のための上水補給条件の検討

a) 検討条件

平日の平均一日中水使用量をもとに、表-1に示す上水補給条件を設定し、それぞれの場合における中水利用シミュレーションを行って、効率的に雨水

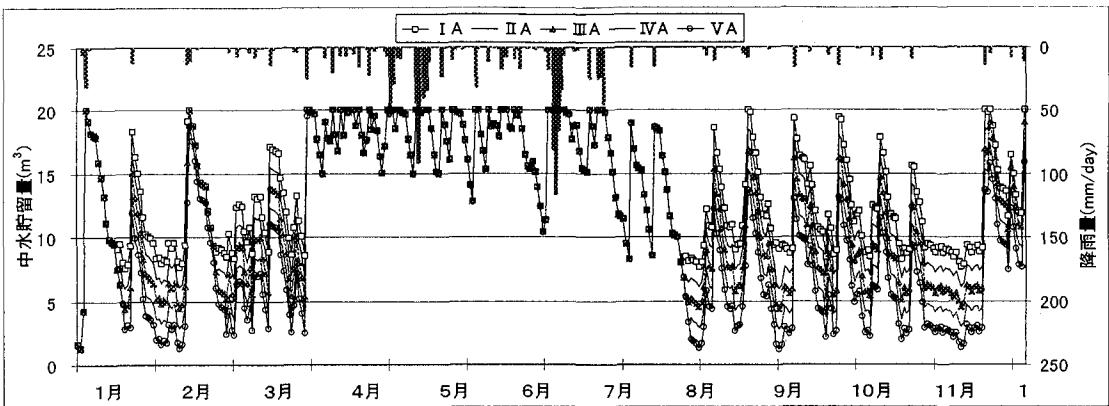


図-3(1) 降雨量と中水貯留量変化

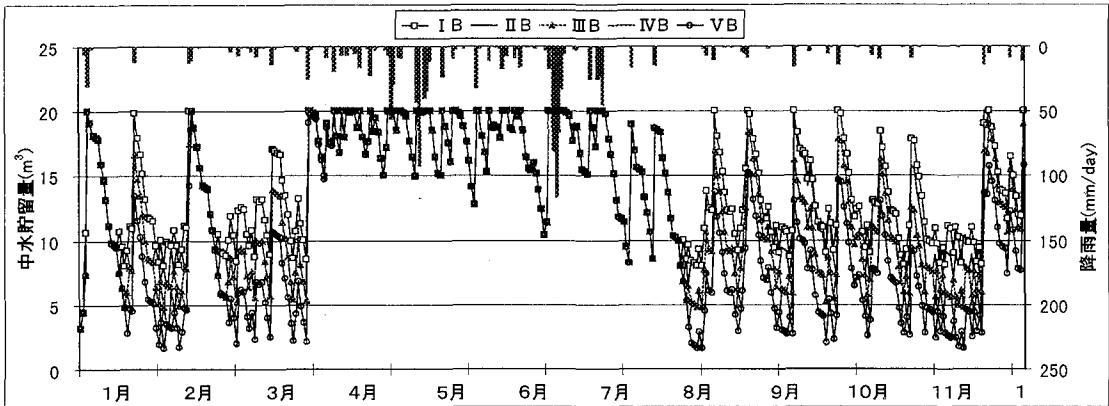


図-3(2) 降雨量と中水貯留量変化

表-2 検討対象年の年間降雨量

降雨年	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
降雨量	1,713	1,739	1,433	1,221	1,635	744	1,348

(単位: mm)

を中水に利用できるシステムを検討する。

b) 評価基準

降雨水をどれだけ利用できたかの評価には、次式で定義できる雨水代替率 A_s 、雨水利用率 U_s を用いる。

$$A_s = \frac{\sum Q_{su} - \sum Q_w}{\sum Q_{su}} \quad (6)$$

$$U_s = \frac{\sum Q_{su} - \sum Q_w}{\sum Q_{ri}} \quad (7)$$

c) 検討対象降雨

対象降雨には大阪管区気象台で観測された1989~1995年7年間の降雨データ(表-2)⁹⁾(平均年間降雨量 1331mm)を用いた。

(4) 雨水利用効率向上のための上水補給条件

a) 中水(雨水)貯留量

各ケースにおける中水(雨水)貯留量の変動状況について、平年並みの年間降雨量であった1995年降雨での結果を例に降雨量とともに図-3に示す。

降雨の多い季節には全貯留量の約80%以上の貯留量が確保できるため上水の補給は必要にならないが、降雨の少ない季節では次の降雨までの間に上水の補給が必要となっている。このため、貯留水量の変動は降雨の少ない季節の方が著しくなる。

以上の傾向は上水補給条件が異なっても見られる。

b) 上水補給状況

次に各上水補給ケース毎の上水補給状況を図-4に示す。対象降雨年は1995年である。上水の補給は降雨の少ない季節、1995年では1~2月と9~12月の期間で必要になっている。これはいずれの上水補給ケースでも同様である。1年間の累積上水補給量は、上水補給開始貯留量、上水補給量いずれも少ないと、少なくなる。1995年における総上水補給量は、ケースIB(上水補給開始貯留水量8.0m³; 5日分、上水補給量3.2m³; 中水使用量の2日分)では102.4m³、ケースVA(上水補給開始貯留水量1.6m³; 5日分、

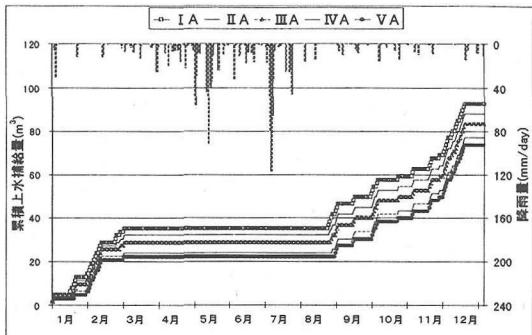


図-4(1) 降雨量と累積上水補給量

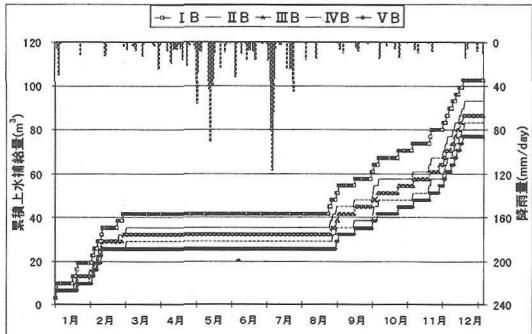


図-4(2) 降雨量と累積上水補給量

上水補給量 1.6 m^3 ; 同 1 日分) では 73.6m^3 であり、年間の上水補給量に 28.8 m^3 (=平均的な中水使用量の 18 日分) の差が生じている。

c) 雨水代替率

次に、各ケースの雨水代替率を年間降雨量とともに図-5に示す。また、解析した 7 年間における雨水代替率と雨水利用率を図-6に示す。

上水補給開始貯留量、上水補給量ともに少ない方が高い雨水代替率を得ることができる(図-6)。しかし、上水補給量による雨水代替率の変動幅は小さく(図-7)、雨水代替率を高めるには、使用上の支障が生じない範囲でできるだけ上水補給開始貯留量を少なくするのがよい。

d) 適切な上水補給条件

累積上水補給量を少なくし、雨水代替率を高めることのできる上水補給ケースは、VA または VB である。しかし、中水(雨水)貯留槽に流入する雨水には屋根に落下、堆積した粉塵等が含まれているため、貯留槽の底部にはこれらが沈殿・堆積していくものと考えられる。このため、貯留水量を少なくし過ぎると、貯留水のポンプアップ時に沈殿・堆積物が同時に吸い上げられ、中水給水管の目詰まり等の問題を生じさせる危険性がある。したがって、実用面も考慮すると、次の上水補給条件が適当である。

上水補給開始貯留量；2 日分の平均中水使用量

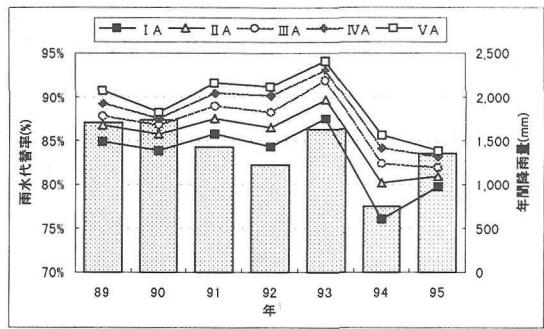


図-5(1) 各年の雨水代替率

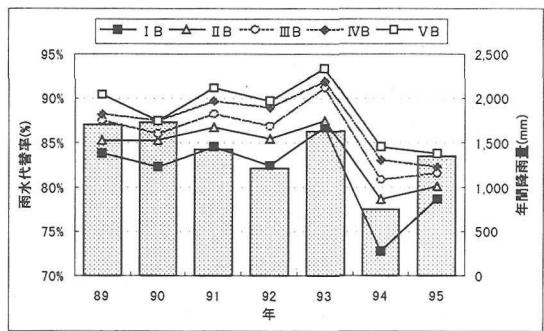


図-5(2) 各年の雨水代替率

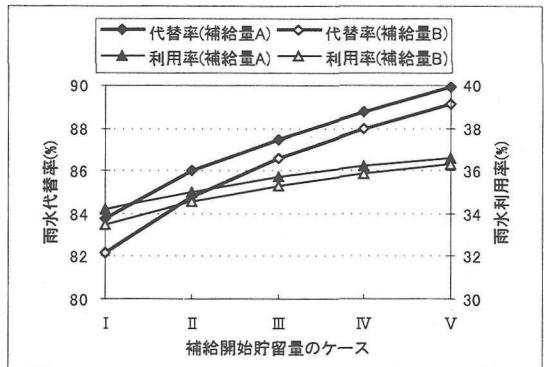


図-6 雨水代替率と雨水利用率

上水補給量

; 1 日分の平均中水使用量
また、基本的に降雨量の多い年ほど雨水代替率は高い値となるため、中水利用システム設計においては、少降雨年においてどれだけ雨水代替率を高められるかが重要となる。

3. 事務所ビルでの効率的中水利用システム

(1) 事務所ビルの条件

2. 述べた屋根雨水を用いる中水道システムを試験的に導入した事務所ビルでの検討結果をもとに、都市域にある多数の事務所ビルにおける効率的な中水利用システムについて検討する。

a) 屋根面積の設定

屋根面積に関する資料がないため、平均床面積を屋根面積とした。平均床面積の値としては、大阪市中央区において昭和53年度から平成5年度に着工された建物の階数別平均床面積¹⁰⁾を用いた（表-3）。ここで、引用資料では建物階数が3～5階、6～9階、10～15階、16階以上と区分されていることから、各区分の代表階数を設定した。3階建て以上の建物の階数別棟数データ^{11),12)}（平成5年度）から、各区分の平均階数を加重平均して算出した値をもとに設定した。

b) 勤務者数の設定

対象とする事務所ビルの勤務者数に関する調査データが入手できなかったため、1人当たりの平均床面積を一般的な値である20m²/人と考え、各事務所ビルの勤務者数を設定した（表-3）。

c) 雜用水利用条件の設定

事務所ビルの勤務者1人当たりの水使用量¹³⁾と、用途別水使用比率から、1人当たりの平均雑用水使用量を設定した（表-4）。

これより、各階数の事務所ビルの雑用水使用条件は表-5に示すものとなる。

なお、10階建て以上の事務所ビルでは、屋根面積に比較して、勤務者数が相対的に多くなり、屋根雨水を中水として利用することが現実的ではないため、以降の解析では10階未満の事務所ビルのみを対象とする。

(2) 中水利用システムの条件

a) 中水貯留槽の容量

雨水を高効率で利用するため、貯留容量をその事務所ビルの平日の日平均中水使用量の2.5～15日分の範囲内で変動させて、雨水を効率的に利用できるシステム条件を検討した。この貯留容量の設定は、少なくとも平均的な中水使用量で2日分は確保すること、あまり長期間貯留すると水質悪化が生じることを考慮して設定した。なお、容量以上に雨水が流入した場合には、接続する下水道に越流すると考えた。

b) 上水補給条件

貯留した雨水が不足する場合には、上水を補給する。上水補給条件は2.におけるパイロット実験施設を対象とした検討より、効率面と水質確保面で適切と判断した次のものを用いた。

上水補給開始貯留水量	2日分の雑用水使用量
上水補給量	1日分の雑用水使用量

表-3 階数別平均床面積

階 数	代表階数 (平均階数)	平均延べ 床面積(m ²)	平均床 面積(m ²)	勤務者数 (人)
1階建て	1	104	104	5
2階建て	2	286	143	14
3～5階建て	3(3.6)	435	145	29
6～9階建て	7(7.3)	1,845	264	92
10～15階建て	11(10.9)	4,408	401	221
16階以上	23(23.0)	47,202	2,052	2,360

表-4 1人当たり雑用水使用量

	大規模ビル	中小規模ビル
1人当たり水使用量	138.5 ℥/人/日	117.3 ℥/人/日
雑用水使用割合	41%	45%
1人当たり雑用水使用量	56.8 ℥/人/日	52.8 ℥/人/日
1人平均雑用水使用量	54.8 ℥/人/日	

表-5 事務所ビルの雑用水使用条件

階 数	代表階数	勤務者数(人)	1日雑用水使 用量(m ³ /日)
1階建て	1	5	0.274
2階建て	2	14	0.767
3～5階建て	3	29	1.589
6～9階建て	7	92	5.042
10～15階建て	11	221	12.11
16階以上	23	2,360	129.3

c) 雨水流入率の設定

本検討では、集水した雨水をできる限り有効活用することを意図しているため、雨水流入率Rcrを0.9とした。

(3) 検討条件と評価基準

a) 検討対象降雨

検討対象降雨としては、平年並みの年間降雨量であった1995年降雨データと、雨水利用面からは条件の厳しい少降雨であった1994年降雨データを用いた。

平均降雨年 (1995年)	1,348 mm/年
少降雨年 (1994年)	768 mm/年

b) 解析方法

解析は式(1)において時間単位を日に変更し、計算開始時の中水貯留量を0と設定して、時系列で行った。解析では各検討年の曜日と祝日を考慮し、平日のみ中水が使用されたとした。

c) 評価基準

雨水代替率を評価基準として、適正な施設規模を選択する。これは、上述した中水利用システムパイロット実験施設を対象とした解析において、雨水代替率が最も高い操作条件では、雨水利用率も最も高くなり、累積上水補給量も最少となることが明らかになったことによる。

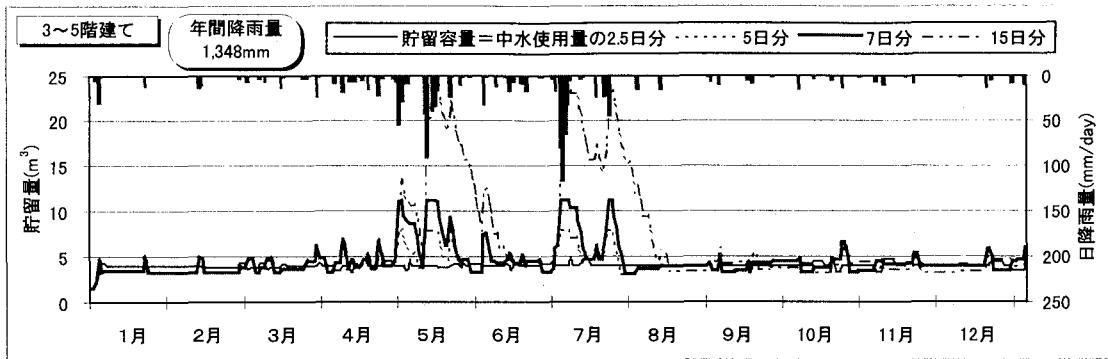


図-7(1) 事務所ビル(3~5階建て)中水貯留水量の変動<平均降雨年>

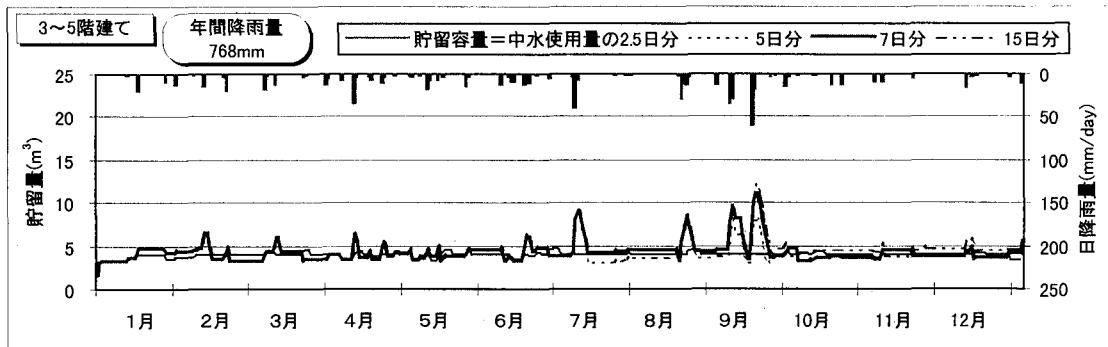


図-7(2) 事務所ビル(3~5階建て)中水貯留水量の変動<少降雨年>

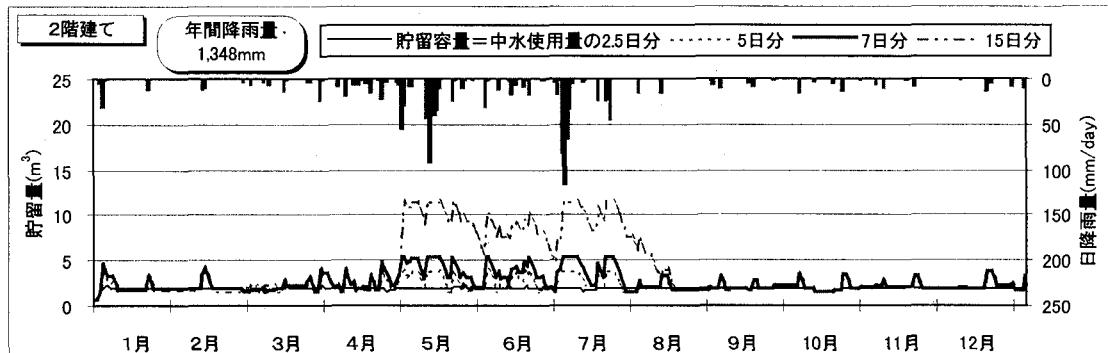


図-8(1) 事務所ビル(2階建て)中水貯留水量の変動<平均降雨年>

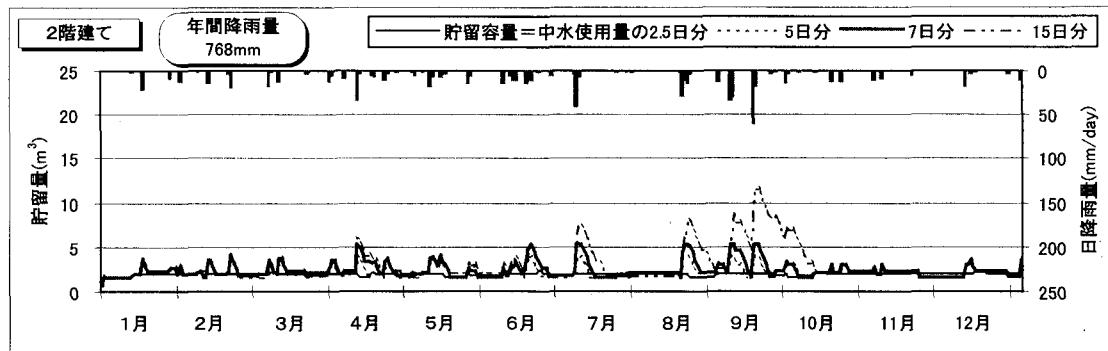


図-8(2) 事務所ビル(2階建て)中水貯留水量の変動<少降雨年>

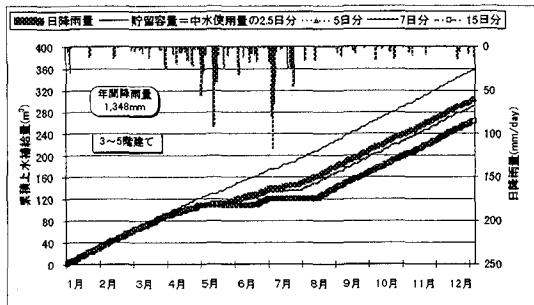


図-9(1) 事務所ビル(3~5階建て)上水補給量の変動

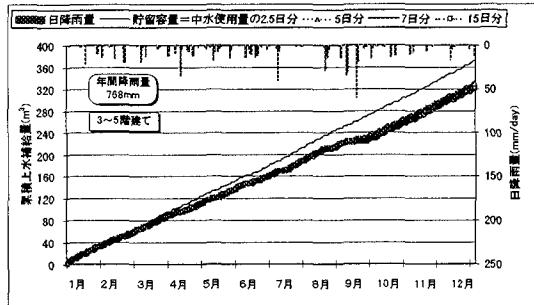


図-9(2) 事務所ビル(3~5階建て)上水補給量の変動

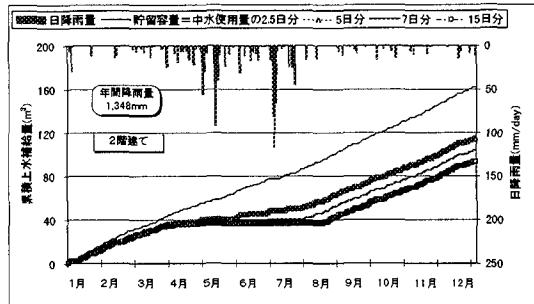


図-10(1) 事務所ビル(2階建て)上水補給量の変動

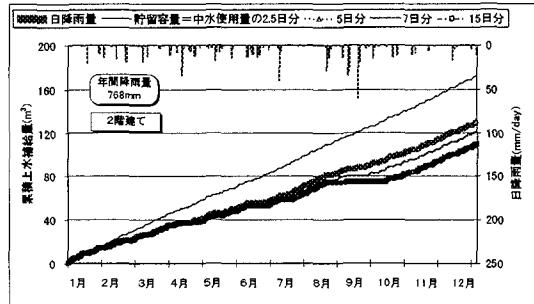


図-10(2) 事務所ビル(2階建て)上水補給量の変動

(4) 貯留容量と上水補給量

2. で検討したパイロット実験施設のある事務所ビルと同じ 2 階建ての事務所ビルと、最も建物数の多い 3~5 階建て（代表階数 4 階）を例に、事務所ビルでの中水貯留水量の変動を図-7、8 に、上水補給状況を図-9、10 に示す。

a) 平均降雨年

平均降雨年では、中水貯留容量が平日の平均中水使用量の 5 日分以上あれば、多雨期（5~7 月）には中水使用量の大部分を雨水でまかなうことが可能である。貯留容量を中水使用量の 2.5 日分とした場合には、多雨期であっても上水の補給が必要になる。貯留容量を中水使用量 15 日分とすると、2 階建て事務所ビルでは連続 3 か月以上、3~5 階建て事務所ビルでも連続 1 か月は上水の補給なしで中水を確保できる。

貯留容量と年間の上水補給量の関係を検討すると、貯留容量が中水使用量 2.5 日分の場合と 5 日分以上の場合の差が大きい。2.5 日分の場合と 5 日分の場合の年間上水補給量の差は、2 階建て事務所ビル、3~5 階建て事務所ビルいずれでも約 50 m³ である。

b) 少降雨年

一方、少降雨年では、2 階建て事務所ビル、3~5 階建て事務所ビルいずれであっても、頻繁に上水の補給が必要になる。2 階建て事務所ビルでは、貯留容量を中水使用量 15 日分と大きくとれば、秋季の台風シーズンでは上水の補給なしで中水をまかなえるが、3~5 階建て事務所ビルでは 15 日分の貯留容量を確保しても約 1 週間程度しか雨水のみで中水をまかなえない。

(5) 貯留容量と雨水代替率

平均降雨年における貯留容量と雨水代替率の関係を図-12 に示す。また、平均してどの程度雨水が貯留槽に貯留されているかを平均貯水率として求めた。これを図-13 に示す。

a) 雨水代替率

雨水代替率は貯留容量を大きくとれば高い値とできるが、貯留容量を中水使用量 7 日分以上としても雨水代替率の上昇割合は小さい。この傾向は、事務所ビルの大きさ（階数）に関係なくみられる。

建物階数が 1、2 階の場合、平均降雨年では、貯留容量を中水使用量 5 日分以上確保すれば、雑用水の約 50% 以上は雨水でまかなうことが可能である。

雨水代替率を 30% 以上とできるのは 3~5 階建て以下の事務所ビルである。これ以上の高層ビルでは、屋根への降水のみを貯留して利用するのでは効率が悪い。建物周囲の空地への降水も貯留し、これを緑化樹木等に散水する方式の方が適切である。

b) 平均貯水率

中水貯留槽容量に対する貯留水量の割合を貯水率とする。この年間平均値を平均貯水率と定義する。この平均貯水率は貯留容量を大きくすれば低下していく。貯留容量を中水使用量 5 日分とした場合と、

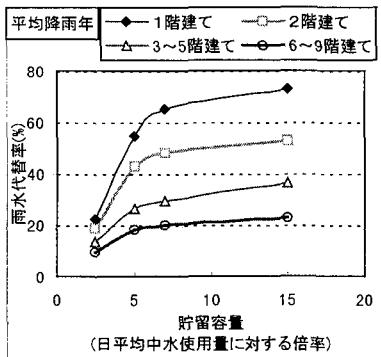


図-11 貯留容量と雨水代替率

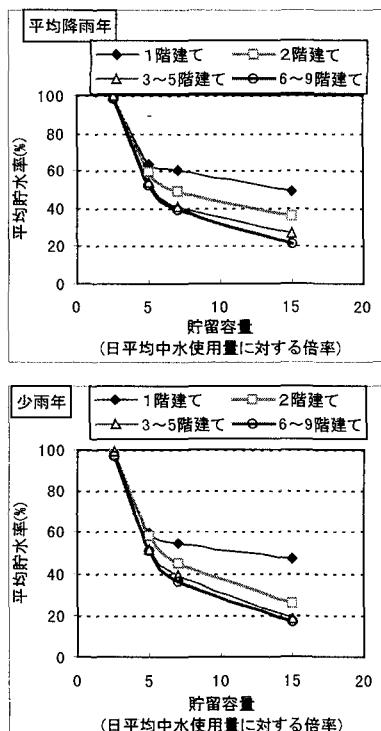


図-12 貯留容量と平均貯水率

表-6 年間雑用水使用量と雨水代替率
(貯留容量: 平均日中水使用量の 7 日分)

	年間雑用水 使用量	雨水代替率	
		平均降雨年 (1995)	少降雨年 (1994)
1階建て	71 m ³	65.4 %	59.2 %
2階建て	199 m ³	48.1 %	39.2 %
3~5階建て	413 m ³	29.6 %	21.9 %
6~9階建て	1311 m ³	20.0 %	12.3 %

7 日分とした場合の間に変曲点がみられる。この傾向は事務所ビルの大きさ(階数)には関係していない。

(6) 適切な貯留容量

平均降雨年、少降雨年における上水補給量、及び雨水代替率、平均貯水率より、雨水の利用効率を高く維持し、しかも過剰な施設とならない中水道システムの貯留容量としては、次の量が適切と考えられる。

$$\text{貯留容量} = \text{平日の平均日中水(雑用水)使用量の } 5 \sim 7 \text{ 日分}$$

貯留容量を平均日中水使用量の 7 日分とした場合の建物階数別の雑用水使用量と雨水代替率の解析結果を表-6に示す。

4. 都市域での雨水利用中水道システム導入効果

事務所ビルは都市域でも中心地に多い。そこで、3. で検討対象事務所ビルの条件設定に用いた大阪市中央区(約 890ha)において、10 階未満の事務所ビルに雨水利用中水道システムを導入することの上水使用量低減効果を検討する。

(1) 事務所ビル数の設定

対象区における昭和 45 年～平成 5 年の期間に着工された建物の用途別建築物数¹⁴⁾を表-7に示す。

本検討では以下の 4 分野に供されている建築物を事務所用建築物とする。

- ①商業
- ②公益事業
- ③サービス業
- ④公務・文教

中央区にある全建築物の 56.8% (商業 44.0%, 公益事業 1.4%, サービス業 7.7%, 公務, 文教 3.7%) が事務所用建築物である。

事務所ビルの比率は建物階数に関係なく一定であると仮定し、大阪市中央区にある建物(平成 5 年度現在)の事務所ビル数を階数別に算出した。これを表-8に示す。

表-7 用途別着工建物数(昭和45年～平成5年)

建築物用途	着工数	割合(%)
居住専用	1,315	12.1
居住産業併用	2,754	25.3
鉄工業用	625	5.7
商業用	4,785	44.0
公益事業用	149	1.4
サービス業用	837	7.7
公務・文教用	405	3.7
その他	7	0.1

表-8 階数別事務所ビル数

建物階数	1	2	3～5	6～9	計
総建物数	1,778	1,874	13,682	2,716	20,050
事務所ビル数	1,010	1,064	7,771	1,543	11,388

表-9 都市域での中水道システム導入効果

建物階数	1	2	3～5	6～9	計
年間雑用水使用量(m^3)	71	199	413	1,311	
事務所ビル数	1,010	1,064	7,771	1,543	11,388
総雑用水使用量(千 m^3)	71.7	211.7	3,209.4	2,022.9	5,515.7
雨水代替率(%)	65.4%	48.1%	29.6%	20.0%	
総雨水代替量(千 m^3)	46.9	101.9	950.0	404.6	1,503.4

(2) 雨水利用量

導入雨水利用中水道システムは次の諸元とする。

貯留容量	平均日中水使用量の7日分
上水補給開始貯留量	平均日中水使用量の2日分
1回の上水補給量	平均日中水使用量の1日分

表-6と表-8より、中央区の9階建て未満の事務所ビルすべてに雨水利用中水道システムを導入した場合の雨水代替量を求めた。降雨データとしては平均降雨年(1995年)データを用いた。得られた結果を表-9に示す。9階建て以下の事務所ビルで1年間に $1,503.4 \times 10^3 m^3$ の雨水を中水として利用できる。これは、雑用水として必要な水量 $5,515.7 \times 10^3 m^3$ の27%である。これは、中央区(8.88km²)への年間降水量 $11,970 \times 10^3 m^3$ の12.6%に相当し、中水道システム導入により、同量の雨水の流出を抑制できる。

5. 結論

本研究では、雨水を雑用水として活用する中水道システムのパイロット実験結果を解析し、7年間の降雨変動を用いた水収支解析から、雨水を効率的に利用するためのシステム運用条件を明らかにした。さらに、雨水を利用する中水道システムを都市域の事

務所ビルに適用する場合のシステム諸元、管理制御方法について検討を行った。

- (1) 集水面積が845m²で、平日の平均中水(雑用水)使用量の2.4週分の貯留容量を持つパイロット実験施設においては、効率的な雨水利用と実用上の支援から判断して、貯留水量が平均中水使用量2日分以下となった場合に、平均中水使用量1日分の上水を補給する方法が適正である。
- (2) 雨水代替率(中水使用量を雨水でまかなえる割合)は、降雨状況により大きく変わり、多降雨年(年間降雨量1,700mm程度)では85～90%の値が見込まれるが、少降雨年(年間降雨量750mm程度)では75～85%に低下する。したがって、中水道システムの設計に当たっては、少降雨年における雨水代替率の確保が重要である。
- (3) 雨水代替率に影響するのは集水面積を除くと、雨水貯留容量と貯留槽へ上水補給を開始する貯留量の設定である。
- (4) 事務所ビルにおいて雨水の利用効率を高く維持し、しかも施設規模が過剰とならない貯留容量は、平日の平均日中水使用量の5～7日分である。この場合、雨水代替率20～60%、貯留槽の平均貯水率40～60%が期待できる。
- (5) 大阪市中央区をモデル地域として、事務所ビルへの中水道システム導入を図った場合、9階建て以下の事務所ビルで1年間に使用する雑用水 $5,515.7 \times 10^3 m^3$ の27%を雨水利用により節約できる。

したがって、雨水利用の中水道システムを積極的に導入すれば、都市の水循環における問題の改善を期待できる。

謝辞：最後に、本研究の遂行に当たり、実験データの提供等種々の面からお世話になった方に心からの謝辞を申し上げます。また、調査・プログラムの作成・解析に当たっては研究室学生諸君の協力を得た。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境共生都市づくり—エコシティ・ガイドー、建設省
都市環境問題研究会、ぎょうせい、pp.146-160、1993.
- 2) 田中英夫、佐藤正章：新国技館における雨水利用設備、
雨水技術資料、Vol.3、pp.73-77、1992.
- 3) 丸嶋忠晴、吉田 勉：「かつしかシンフォニーヒルズ」
における雨水再利用施設、雨水技術資料、Vol.5、
pp.173-177、1992.
- 4) 長谷川俊雄：アーバンオアシスビル、雨水技術資料、
Vol.10、pp.61-70、1993.

- 5) 葉山成三：雨水再利用、環境エネルギーの活用システムによる効果、雨水技術資料、Vol.12, pp.31-43, 1994.
- 6) 櫛田武志：東京芸術劇場の雨水利用システム、雨水技術資料、Vol.12, pp.47-58, 1994.
- 7) 岩波 洋：大林組技術研究所本館における雨水利用システムについて、雨水技術資料、Vol.12, pp.71-74, 1994.
- 8) 高井啓明：東京ドーム・福岡ドームの雨水利用計画と利用状況、雨水技術資料、Vol.16, pp.91-108, 1995.
- 9) 大阪管区気象台観測データ.
- 10) 大阪市計画局整備部統計課：第 67 回大阪市統計書 昭和 53 年度版、同第 82 回大阪市統計書 平成 6 年版までの計 16 年分、「土木および建築」、建築物着工状況(新・増改築、回数、構造、用途、区分).
- 11) 大阪市計画局整備部統計課：第 81 回大阪市統計書 平成 5 年版、「土木および建築」、(表)44 5階以上建築物, pp.148～149, 1994 年 3 月 31 日発行.
- 12) 大阪府統計協会：平成 5 年度 大阪府統計年鑑、第一表「市町村別木造家屋棟数等」、第二表「市町村別木造家屋以外の棟数等」、pp.180～183, 1994 年 3 月.
- 13) 末石富太郎編：土木教程選書「衛生工学」、鹿島出版会、p.75, 1987.
- 14) 大阪市計画局整備部統計課：第 59 回大阪市統計書 昭和 46 年度版、同第 82 回大阪市統計書 平成 6 年版までの計 24 年分、「土木および建築」、建築物着工状況(用途、区分).

(1996. 10. 11 受付)

IMPROVEMENT IN URBAN HYDROLOGIC CYCLE WITH RAINWATER RECYCLING SYSTEM

Yasuhiko WADA, Hiroyuki MIURA and Harumichi MURAOKA

The experimental rainwater recycling system has been constructed and we have researched its performance. In this system, purified water is supplied into the rainwater tank when the volume of stored rainwater for miscellaneous use is insufficient. The consumption of the purified water used for miscellaneous use is varied with the way of purified water supply. The way that consumes very little purified water for miscellaneous use is; 1)supply of the purified water into the tank starts when the volume of stored rainwater is less than the volume of water for miscellaneous use in two days, 2)volume of the supplied water is equal to the volume of water for miscellaneous use in a day. If the rainwater recycling system is introduced every office building which number of the floors is less than 10, the volume of purified water for miscellaneous use decreases approximately 30%.