閲覧用
ISSN 1346-7328
国総研資料 第15号
平成 14 年 1 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.15 January 2002

都市雨水の水質特性と利用効果に関する調査報告書

松原 誠・井上弥九郎・榊原 隆・山下洋正

Evaluation of Rainwater Utilization System in Urban Area

Makoto MATSUBARA, Yakuro INOUE, Takashi SAKAKIBARA and Hiromasa YAMASHITA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

国土技術政策総合研究所資料
第15号　　2002年1月

Technical Note of NILIM
No.15　　January 2002

都市雨水の水質特性と利用効果に関する調査報告書

松原　誠*
井上弥九郎**
榊原　隆***
山下洋正****

Evaluation of Rainwater Utilization System in Urban Area

Makoto MATSUBARA*
Yakuro INOUE**
Takashi SAKAKIBARA***
Hiromasa YAMASHITA****

概　要

本調査では、近年導入が進みつつある雨水利用を目的としたオンサイト雨水貯留施設を対象として、これまで十分に明らかにされていない以下の3点について検討を行った。
1）既存雨水利用施設における問題点等を把握するための実態調査
2）屋根雨水が雨水利用に適した水質であることを担保するための水質特性調査
3）雨水利用を実施することによる利水効果、浸水防除効果、合流改善効果について、都市全体の効果として捉え、これを定量的に把握するための検討

キーワード：雨水利用、雨水水質、屋根雨水、流出抑制、合流改善、オンサイト雨水貯留

Synopsis

This study is composed of following three portions.
1) Inquiry survey on rainwater utilization facilities
2) Survey on water quality characteristics of roof runoff
3) Quantitative evaluation of rainwater utilization
(from the viewpoint of water resources,runoff control and CSO control.)

Key Words : Rainwater Utilization, Rainwater Quality, Roof Runoff, Runoff Control, CSO Control, On-site Storage Facilities

---

*　下水道研究部下水道研究室主任研究官
**　日本下水道事業団東京支社技術指導課長（前　土木研究所下水道研究室室長）
***　日本下水道事業団工務部工務課長　（前　土木研究所下水道研究室主任研究員）
****　下水道研究部下水処理研究室研究官　（前　土木研究所下水道研究室研究員）

*　Senior Researcher, Wastewater System Division, Water Quality Control Department, NILIM
**　Chief, Technical Supervising Division, Tokyo Regional Office, Japan Sewage Works Agency
***　Director, Engineering Division, Engineering Department, Japan Sewage Works Agency
****　Researcher, Wastewater and Sludge Management Division, Water Quality Control Department, NILM

国土交通省 国土総研
14. 2. 19
図書館

目　　次

1.　はじめに

1．1　都市雨水利用と下水道事業 …… 1

1．2　調査の概要と位置づけ …… 2

2.　雨水利用実態調査

2．1　調査目的 …… 3

2．2　調査方法 …… 3

2．3　結果及び考察 …… 4

2．3．1　事業所等の概要 …… 4

2．3．2　雨水利用施設の概要 …… 5

2．3．3　雨水利用の効果等 …… 8

2．4　まとめ …… 13

3.　屋根雨水の水質特性

3．1　調査目的 …… 15

3．2　調査方法 …… 15

3．2．1　屋根雨水の収集 …… 15

3．2．2　調査項目 …… 16

3．3　結果及び考察 …… 18

3．3．1　調査結果の概要 …… 18

3．3．2　初期雨水分離の効果 …… 19

3．3．3　各種水質基準との比較 …… 22

3．3．4　降雨特性との関係 …… 24

3．3．5　汚濁負荷量原単位の算出 …… 25

3．4　まとめ …… 26

4.　雨水利用効果の定量的評価

4．1　調査目的 …… 27

4．2　調査方法 …… 27

4．2．1　評価の基本的考え方 …… 27

4．2．2　モデル都市の概要 …… 28

4．2．3　降雨データの概要 …… 32

4．3　利水効果の評価 …… 34
4．3．1　必要水量の算定 …… 34
4．3．2　雨水利用量の算定 …… 36
4．3．3　最適貯留高の決定 …… 46
4．3．4　水収支と利水効果の評価 …… 50
4．4　浸水防除効果の評価 …… 53
4．4．1　評価の考え方 …… 53
4．4．2　雨水利用時の浸水防除効果 …… 54
4．4．3　治水専用貯留槽との比較 …… 58
4．4．4　浸水防除効果を高める工夫 …… 64
4．5　合流改善効果の評価 …… 69
4．5．1　評価の考え方 …… 69
4．5．2　遮集雨水量2Qの場合 …… 70
4．5．3　遮集雨水量2mm/hの場合 …… 75
4．6　まとめ …… 79

付　録

(1)雨水利用実態調査・調査票
(2)屋根雨水調査結果詳細
(3)細密数値情報における土地利用区分の定義
(4)解析に用いた降雨データ(日雨量)

1．はじめに

1．1　都市雨水利用と下水道事業

都市域の雨水については、これまで「速やかに排除」されるべきもの、いわば厄介ものとして扱われてきた。山地流域の流出雨水が水資源として有効に活用されていることと比べ、その扱いには格段の隔たりがあるが、都市域における流出雨水は汚れている上、これを集水・貯留する適当な施設もないことから致し方のないことではあった。しかし近年では、省エネルギー、低コスト、環境に優しい、災害に強いまちづくり、等をキーワードとして、都市域の個別建築物において雨水を貯留し、これを雑用水源として活用する事例が増加しつつある。都市域に降る雨水は無料の、かつ水利権のかかっていない貴重な水資源として捉えることができる。

下水道事業においても、浸水対策を目的として設置されたオフサイト雨水貯留施設において、貯留雨水の有効利用が実施されている例がいくつかある。だが、下水道法の目的に水資源の確保が位置づけられているわけではなく、また個別建築物に設置された雨水利用施設は下水道施設ではないということもあり、雨水利用そのものを下水道事業の目的として直接的に捉えることについては現時点では難がある。

その一方で、雨水利用は雨水流出抑制の機能をあわせもっており、これによって都市域における浸水防除や合流式下水道の越流水対策としても効果があるものとされている [1)]。これらはまさに下水道事業における喫緊の課題である。よって、雨水利用の導入により浸水防除や合流式下水道越流水対策として一定の効果が期待できるのであれば、下水道事業の観点からもこれを積極的に支援すべきであるし、雨水利用を推進するための施策についても検討しておく必要があると考えられる。また、いわゆる排水設備に対する下水道管理者の関与のあり方についてもこれから議論が深められていくものと予想される。

雨水利用施設についてのこれまでの調査研究の多くは、水利用の観点からの個別建築物における事例研究にとどまっており、都市全体としての観点、もしくは雨水利用による流出抑制効果の観点からの調査研究は数少ない。また、オンサイト雨水貯留浸透施設に対する取り組みも、まだその緒についたばかりであり、下水道事業として設置したオンサイト施設（浸透ます、浸透トレンチなど）であっても、雨水対策計画において十分な位置づけがなされていないのが現状である [2)]。

1．2　調査の概要と位置づけ

このような背景のもと、下水道研究室では、都市雨水に関連する調査課題として、平成5年度より「下水道雨水対策施設の合理的設計法に関する調査」、平成10年度より「都市雨水の資源利用を考慮した下水道整備に関する調査」を実施してきた。本調査報告書は、これら調査課題の中から都市雨水利用に関連する調査結果を抽出して再構成したものであり、次の内容から構成されている。

①既存雨水利用施設における問題点等を抽出するための実態調査。
②屋根雨水が雨水利用に適した水質であることを担保するための水質特性調査。
③雨水利用による利水、浸水防除、合流改善の各効果の定量的把握。

本調査においては、将来的に雨水利用が都市に広く普及されるべきものとの前提に立ち、都市雨水の水質特性の把握と、下水道事業（もしくは都市全体）の観点から捉えた雨水利用の複合的効果の定量的把握を目的とした。検討の対象としては、路面排水は水質面で雨水利用に適さないものとし、屋根雨水をオンサイト施設で各戸貯留する場合に限定した。

なお本調査では、雨水利用施設の設置・維持管理コスト、水循環への寄与に対する評価、雨水浸透施設との比較、処理水再利用との得失、費用負担のあり方といった課題については言及できていない。これらについては、本調査で得られた成果を活用しつつ引き続き検討すべき課題であると考えている。

参考文献

1).　(社)雨水貯留浸透技術協会：雨水利用ハンドブック、山海堂、平成10年8月.

2).　松原　誠、千葉恭人、宮田　篤：「下水道雨水貯留浸透事業」の現状と今後の取り組み、第 33 回下水道研究発表会講演集、pp. 240-242, 1996.

2．雨水利用実態調査

2．1　調査目的

雨水利用を推進する上での課題を明らかにしていくためには、まず既に導入されている雨水利用施設の現状について正しく把握する必要がある。雨水利用の個々の具体事例については多くの報告がなされているが、雨水利用施設の実状を総括的に調査した事例は少ない。そこで、平成5～6年度にかけて雨水利用実態調査を実施した。

調査結果のとりまとめにあたっては、既存調査の1つである、空気調和・衛生工学会が昭和59年度に実施した調査[1)]（以下「既存調査」とする）との比較検討も行った。

2．2　調査方法

調査は2回に分けて実施した。第1次調査は平成5年度、第2次調査は平成6年度に実施した。

第1次調査は、雨水利用を実施している事業所等を把握することを目的に、都道府県、政令指定都市の下水道担当部局に依頼して実施した。ここで、対象とした事業所等とは、雑用水源として雨水を利用している公的施設、事務所ビル等（調査表中では厳密に定義されていない）であり、他の雑用水源の補助水源として雨水を用いているものも含んでいる。また、調査は下水道部局で把握している範囲で実施しているため、調査時点での全ての施設を網羅するものではない。

第2次調査は、第1次調査の結果、雨水利用を実施しているとの回答があった 203 事業所等を対象に実施した。調査項目は表 2-1 に示すとおりである。調査は各事業所等に対し直接依頼して実施した。

なお、調査票については、巻末付録(1)に示す。

表 2-1　第2次調査における調査項目

事業所等の概要	：建物の用途、延床面積
雨水利用施設の概要	：貯留容量、集水面積、使用水量、利用用途、水処理方法、維持管理、利用開始年
雨水利用の効果等	：導入の動機、雨水利用の効果、問題点と要望

2．3　結果及び考察

2．3．1　事業所等の概要

調査票送付数 203 に対し 168 事業所等より有効回答があった。これらの施設のうち 130 施設が東京都区部に所在し、地域的な偏りが大きかった。既存調査における有効回答 43 施設のうち、今回の調査に回答がなかったものは 16 施設のみであり、既存調査は今回の調査に概ね包含されているものとして差し支えない。なお、水資源白書 [2]によれば、平成5年度末における雨水利用施設の総数は 528 とされており、今回の調査は、これら施設のおよそ3割をカバーしていることとなる。

雨水利用施設が導入されている建物の用途について図 2-1 に示す。事務所ビル、自治体庁舎、学校等教育施設、文化施設の順で多かった。建物の名称より、各建物の公共・民間の別を判断すると、公共施設が 109 に対し、民間施設が 59 であり、全体の約 2/3 が公共施設であった。これは、調査が自治体を通じて行われていることもあるが、雨水利用が官主導により実施されていることを反映しているものと考えられる。

対象建物の延床面積について図 2-2 に示す。面積が 1,000 ～ 20,000m² の範囲の建物の割合が多いことがわかる。

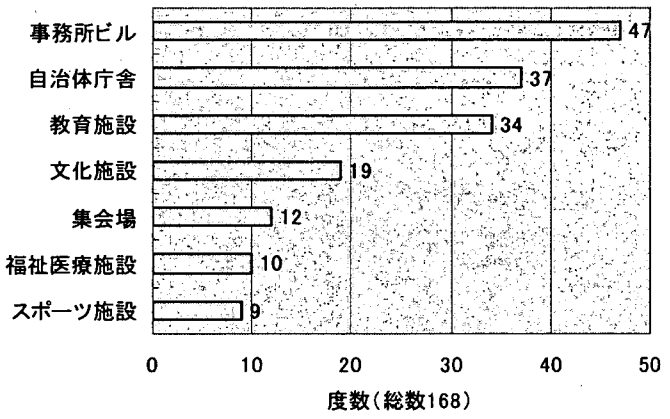


図 2-1　建物の用途

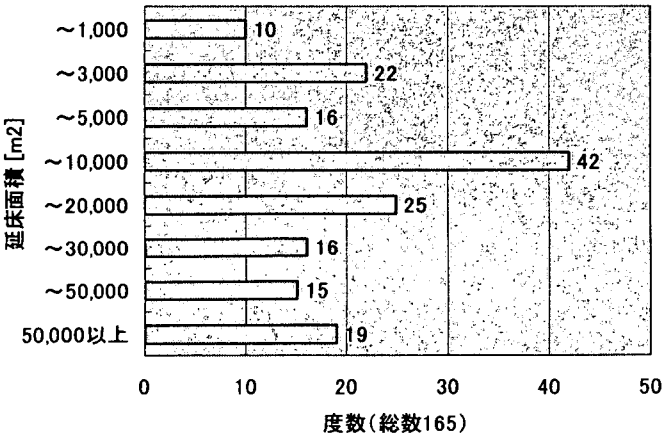


図 2-2　建物の延床面積

2．3．2　雨水利用施設の概要

雨水貯留槽の容量について図 2-3 に、雨水集水面積について図 2-4 に示す。図中には参考のため既存調査の結果も併せて表示している。

貯留槽容量については、500m³ 以下の施設が多かった。しかし既存調査と比較すると 500m³ 以上の貯留槽を持つ施設数が増加しており、雨水利用施設の大規模化がうかがえる。

集水面積については、5,000m² 以下の施設が多かった。しかし、貯留槽容量と同様に既存調査と比較して施設の大規模化の傾向が見られた。

雨水貯留槽の容量は、主として集水面積、利用水量により決定されると考えられるため、ここでは使用水量が延床面積で代表されるものとして、貯留槽容量、集水面積、延床面積の関係について考察した。これら3項目の関係について図 2-5 ～ 2-7 に示す。

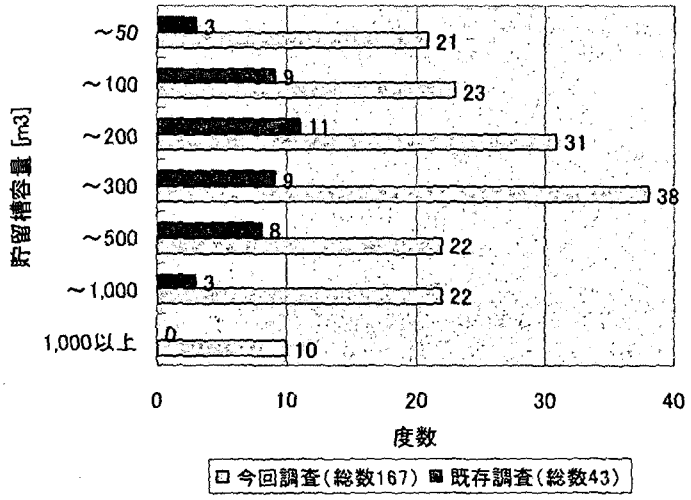


図 2-3　貯留槽容量

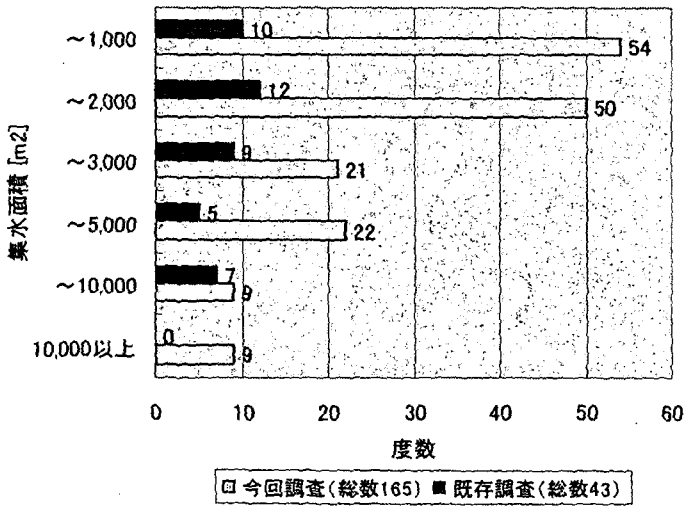


図 2-4　集水面積

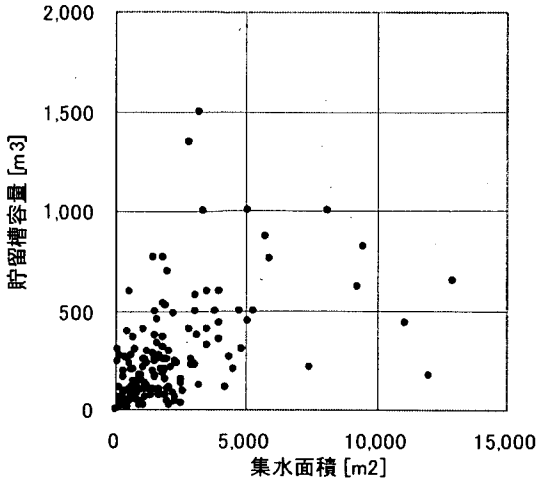


図 2-5 貯留槽容量と集水面積の関係

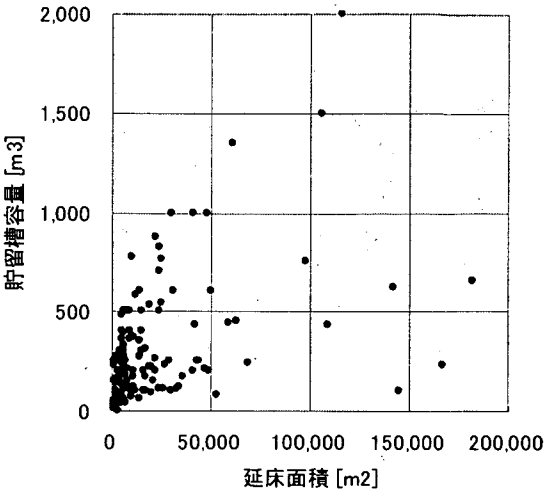


図 2-6 貯留槽容量と延床面積との関係

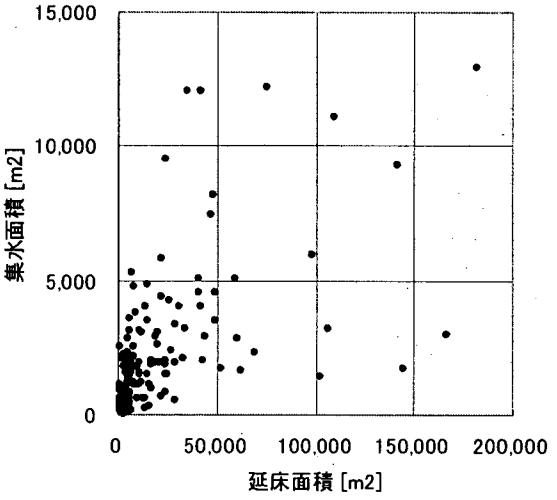


図 2-7 集水面積と延床面積との関係

グラフより、これらの3項目間の相関は高くないことがわかる。この理由として、各施設によって雑用水利用の割合が異なること、建物の規模(高さ)によって屋根面積(集水面積)と延床面積の関係が異なること等の理由が考えられる。しかし、あえてこれらの関係をオーダー的に整理すれば、

(貯留槽容量 [m^3]) = 1/10 (集水面積 [m^2])

(集水面積 [m^2]) = 1/10 (延床面積 [m^2])

と表現することができる。

ここで、貯留槽容量と集水面積の関係式における係数 1/10 は、貯留高で 100mm に相当するため、雨水貯留槽を有効に活用すれば治水面でもかなりの効果が期待できるものと考えられる。なお既存調査の結果が掲載されている雨水利用マニュアル [1]においても、集中豪雨時に雨水貯留槽が降雨水をシステム上安全に吸収するためには、係数 1/10 程度が望ましいとしている。

年間使用水量については、回答中に他の雑用水使用量を含んでいるため、ここではその値については検討の対象としない。ただし、使用水量を把握していない(無回答含む)事業所等が 168 施設中 52 施設あり、この内訳は公共施設が 47 施設、民間施設が 5 施設であった。このことは、官主導で導入されている雨水利用施設が、経費節減を目的としたものでなく、かつ施設管理や雨水利用施設の設置効果の評価が十分に行われていない可能性があることを示唆するものである。

雨水利用の用途について図 2-8 に示す。ここでの回答は重複回答(総数 235)である。ほとんどの施設で水洗用水として活用されていることが特徴である。次いで、散水(池・噴水含む)、消防、冷却用水となる。

雨水の処理方法については、沈殿、ろ過等の固形物分離と消毒の2つのプロセスに分けて整理した。固形物分離の方法について図 2-9 に示す。ここでは分類不能の 3 件を省いたため、回答総数は 165 件となっている。ろ過(砕石ろ過や急速ろ過など各種方法を含む)により処理をしている施設が最も多く 91 施設を数えた。一方で無処理(無回答含む)も 30 施設存在した。

消毒については、168 施設のうち 43 施設で採用されていた。採用率は 26%であり、既存調査における採用率 16%と比べ若干高い程度であった。消毒を必要とする場合は、使用量が多い施設または人に触れる可能性のある利用用途をもつ施設であることが想定されたが、消毒の有無と雨水利用用途、もしくは施設規模との関係は明らかではなかった。

維持管理については、供用開始からの年数の違いや、調査方法の問題から回答内容を十分に整理できなかった。ただし、回答中に維持管理の課題として配管等のつまりを挙げているものが 5 施設、供給水質の問題を挙げているものが 2 施設あった。

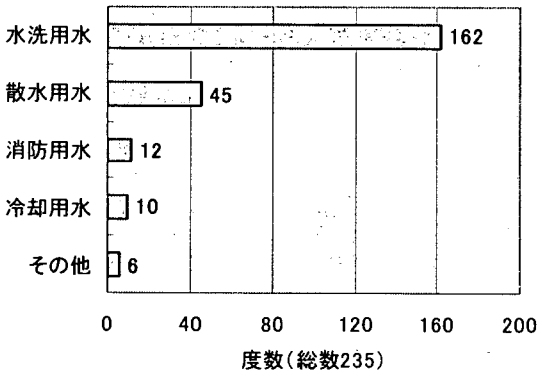


図 2-8　雨水利用の用途

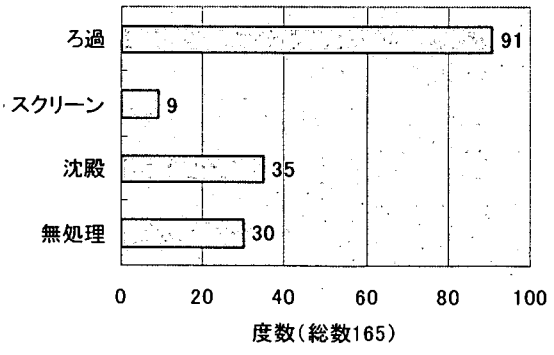


図 2-9　固形物分離の方法

2．3．3　雨水利用の効果等

雨水利用の導入の動機について図 2-10 に示す。回答は重複回答（総数 218 ）である。また既存調査の結果（同じく重複回答、総数 56 ）も併せて表示している。なお既存調査の結果については、今回の調査結果と比較するために、動機の各項目について分類し直している。

動機の各項目の分類方法であるが、「水資源有効利用」についてはコスト面より環境面を重視した回答を、「コスト削減」については、同じ節水でもコスト面を強く意識した回答を分類した。また「非常時の水源」は、地震、火災等を想定した水利用方法であり、「水資源有効利用」が平時の節水、水資源活用であることと区別した。「行政指導」は、各自治体の要項、条例等に基づくものであり、その目的には「雨水流出抑制」や「水資源有効利用」などが含まれる。よって、分類の項目立てとして必ずしも適切ではないが、ここではアンケート回答のまま分類してある。この分類に該当するものは、設置者が主体的に雨水利用を考えていない、消極的、受動的な色合いが強い事例であると位置づけることができる。

今回調査の結果では、導入の動機として水資源の有効利用をあげている施設が最も多かった。以下、コスト削減、雨水流出抑制の順となる（以下、これらを「主要3動機」とする）。既存調査の結果では、水資源有効利用と雨水流出抑制がほぼ同数であった。このことから、雨水利用施設の設置年次の違いにより導入の動機が変化している可能性が示唆されたため、今回調査の結果を、既存調査が対象としている昭和60年度までに設置された施設と、昭和61年度以降に設置された施設とに分けて整理し直した。結果を図 2-11 に示す。昭和60年度以前と昭和61年度以降の主要3動機の比率はほぼ同じであり、動機が設置年次とともに変化しているという結論は得られなかった。

2．3．2において、官主導で導入された雨水利用施設においては経費節減を目的としていないという考察を加えたところであるが、この点について検証する。主要3動機における官民の比率について整理すると図 2-12 の通りであり、コスト削減を導入動機とする施設について、民間の比率が高いことがわかる。また主要3動機において、年間使用水量の把握の有無について整理すると図 2-13 の通りであり、水資源有効利用、コスト削減と

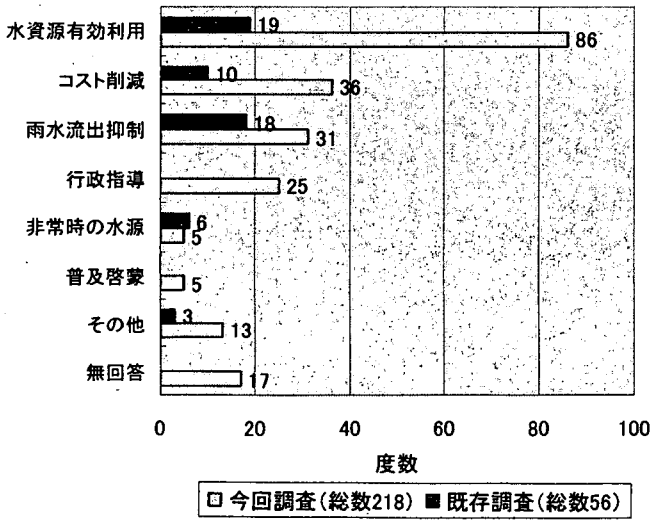


図 2-10　雨水利用導入の動機

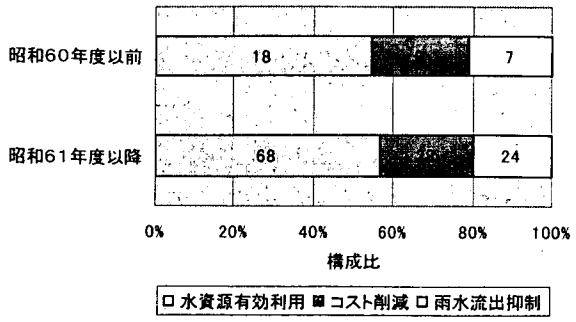


図 2-11 導入動機と設置年次

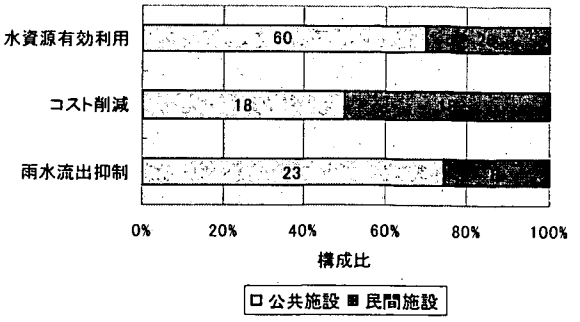


図 2-12 導入動機と官民構成

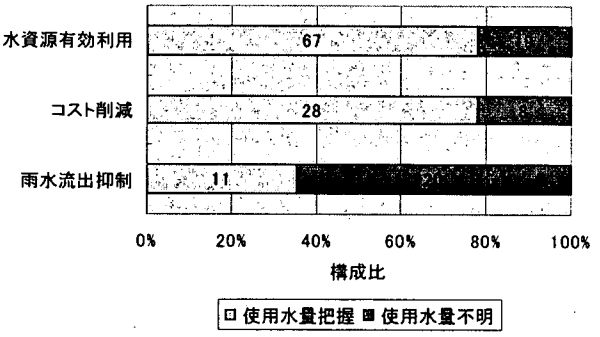


図 2-13 導入動機と年間使用水量の把握の有無

比べて、雨水流出抑制について、水量を把握していない事例が多かった。以上の結果より、公共施設であってもコスト削減を導入動機としている施設は存在するが、その構成比から判断して、民間施設の方がコスト削減に積極的であることが裏付けられた。また、コスト削減を導入動機とする施設でありながら使用水量を把握していない施設が2割程度存在すること、雨水流出抑制を導入動機とする施設では半数以上の施設で使用水量を把握していないことが明らかとなった。これは、特に治水面での効果評価が十分になされていないということを示唆するものであり、下水道事業の観点からは重視しておく必要がある。

なお、貯留槽容量と導入動機(主要3動機)との関係は明確ではなかった。

雨水利用の効果について図 2-14 に示す。回答は重複回答(総数 181)である。効果の各項目であるが、図中「○」としてあるのが「効果あり」を表し、また「×」としてあるのが「問題あり」を表している。効果評価を加えていないもの、無回答はひとまとめにして、「評価なし、無回答」としている。「水量面で」、「コスト面で」、「流出抑制に」という部分は、前述の「主要3動機」に対応するものである。「総合的に」という表現は、回答中に効果のあった内容について具体的に示されていないが、全体的に「効果あり」とされたものについてまとめたものである。

図 2-14 は複数回答であるため、これを施設数で整理すると、何らかの効果あり: 99 施設、問題あり: 17 施設、評価なし・無回答: 52 施設となる。この結果から、雨水利用施設を導入していても、その約6割の施設しか

導入したことの効果を実感していないということになる。しかも約1割の施設ではデメリットすら感じているのが現状である。

各分類ごとに内容を見ていく。まず主要3動機に対応する3つの効果であるが、導入の動機として主要3動機をあげた施設のうち、この動機に対応する効果があったとしている施設数の割合（目標達成率）について計算した。また、同様に、主要3動機に対応する効果があったとしている施設のうち、当初より導入の動機として当該動機をあげていた施設数の割合（動機充足率）についても計算した。これらの結果を図 2-15, 2-16 に示す。

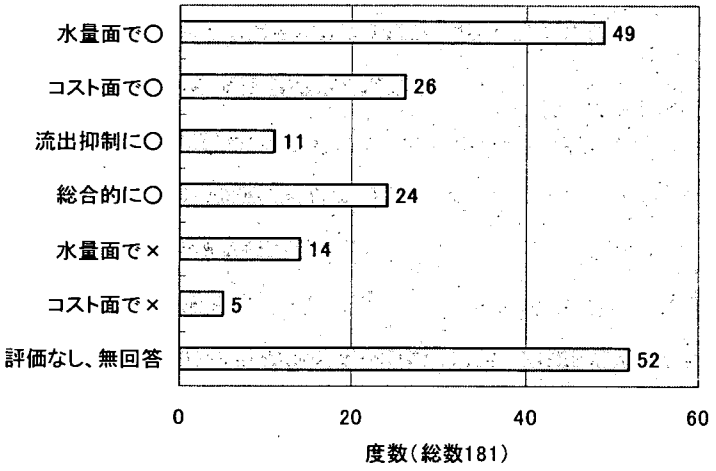


図 2-14　雨水利用の効果

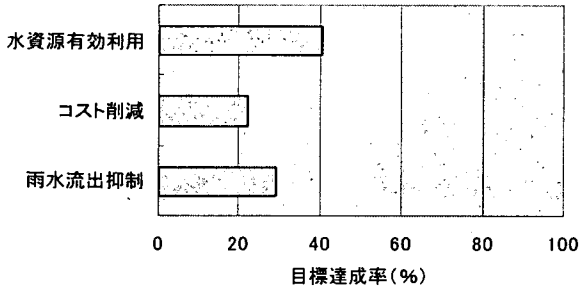


図 2-15　主要３動機の目標達成率

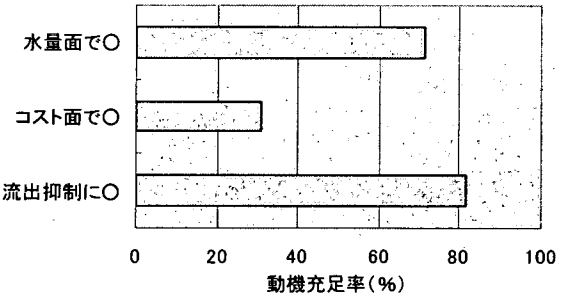


図 2-16　主要３動機の動機充足率

＊目標達成率：例えば、導入の動機が「コスト削減」である施設数に対する、導入の動機が「コスト削減」でかつ雨水利用の効果が「コスト面で○」としている施設数の割合。

＊動機充足率：例えば、雨水利用の効果が「コスト面で○」である施設数に対する、導入の動機が「コスト削減」でかつ雨水利用の効果が「コスト面で○」としている施設数の割合。

図 2-15 から、いずれの動機についても目標達成率は2～4割程度と低い値であった。これは、目標達成の評価そのものが十分に実施されていないことに起因すると考えられる。一方、図 2-16 から、主要3動機に対応する効果があったとしている施設については、動機充足率が高く、当初から考えられていた目標を概ね満足している傾向が伺える。ただし、「コスト面で○」と評価している施設については、動機充足率が他の2つの項目に比べて低く、当初想定していなかったが結果として効果が上がっているという事例が多いことが伺える。

主要3動機に対応する効果があったとする施設において、使用水量の把握の有無について整理すると図 2-17 のようになる。これによれば、「コスト面で○」としている施設は、その全てにおいて使用水量を把握しているのに対し、「流出抑制で○」としている施設については、大部分が使用水量を把握していないことがわかる。また「コスト面で○」としているものについて詳細に見ると、雨水利用システム全体として定量的に評価されたものとは限らず、上水使用量、下水使用量が低減したことのみをもって判断されているものも含んでいる。これらの結果から、効果ありとしている施設についても、定量的というより感覚的に評価している事例が多いものと考えられる。

次に、「水量面で×」とした 14 施設について見ると、問題がある理由として降水の不確実性、不定期性を挙げているものが多かった。施設管理者が自然現象である降水の変動をどの程度許容し得るかによって、判断が分かれているように思われる。また、これらの施設について貯留槽容量と延床面積との関係を確認したところ、全体の傾向(貯留槽容量＝ 1/100 延床面積)より貯留槽容量が若干小さいようであり、雨水利用施設の施設設計のあり方にも問題が残っている可能性が示唆された。

「評価なし・無回答」とした 52 施設について見ると、使用水量を把握していない 52 施設中 31 施設が、導入の動機が行政指導である 25 施設中 10 施設が、導入の動機が無回答である 17 施設中 14 施設が、雨水利用の効果を「評価無し・無回答」としており、これらの項目が密接に連関していることが明らかとなった。つまり、施設の導入に対し受動的、消極的である場合には、雨水利用の評価についても無関心であり、また施設管理も十分に行われないということがいえる。また、これら 52 施設のうち 39 が公共施設に設置されたものであり、調査対象総数の官民比率よりも公共施設の比率が高いものとなっている。これは、雨水利用施設を導入する行政部局が熱心であっても、施設を管理する行政部局がその重要性を理解していないということの現れとして受け止めることができる。

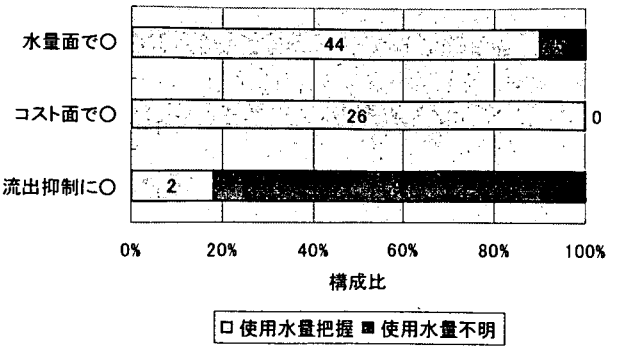


図 2-17　雨水利用効果と年間使用水量の把握の有無

雨水利用の問題点と要望について図 2-18 に示す。なお、図は「特になし、無回答」の 101 施設を除いている。特になし、無回答が半数以上を占めるが、これまで見てきたとおり、雨水利用の効果を十分に把握していない施設が多いことから、これらの施設の大半は問題がないというよりも、問題があるかどうかについて認識していないと捉えるべきであろう。

問題点と要望の各分類項目であるが、「コストが高い」、「優遇措置の必要性」、「特に下水道使用料の減免」の3つがコスト面についてまとめたものであり、これらのうち「コストが高い」については、建設費、維持管理費、施設更新費を含めての問題認識を示し、「優遇措置の必要性」については、コスト高等の課題をクリアーしてさらに雨水利用を推進するためには、建設費や施設更新費の助成、税制上の優遇措置が必要であるとしているもの、「特に下水道使用料の減免」については、これら優遇措置のうち、具体的に下水道使用料の減免措置を要望としてあげているものについてとりまとめている。

下水道使用料の減免については、前述の雨水利用マニュアル [1]、またその後刊行された雨水利用ハンドブック [3]の中でも取り上げられており、雨水利用設備が都市型洪水の抑制に機能することから、雨水利用量を下水道使用料の徴収対象から外すことが雨水利用普及のための1方策であるとされている。今回調査における回答は、これらの内容を受けてのものと考えられるが、これまでの考察のとおり、現状では雨水利用施設の雨水流出抑制の効果について評価が十分になされていない状況にあり、また仮に、ある程度の効果が見込めるとしても、下水道使用料負担の根本原則(いわゆる「汚水私費、雨水公費」)に例外をもたらすことにもなるため、このような議論は慎重に行う必要があるだろう。少なくとも現時点においては、下水道使用料の減免は時期尚早であり、雨水利用施設の雨水流出抑制の効果について定量的な評価を行うことが先決であると考える。

「施設のトラブル」については、配管の腐食等が挙げられ、また「施設設計上の問題」としては貯留槽容量が小さすぎて十分な使用水量が得られない等が挙げられている。「水量確保の不安定性」については図 2-14 における「水量面で×」と対応するものである。「水質上の問題」としては、藻の発生、残留塩素濃度の制御の難しさ等が挙げられていた。

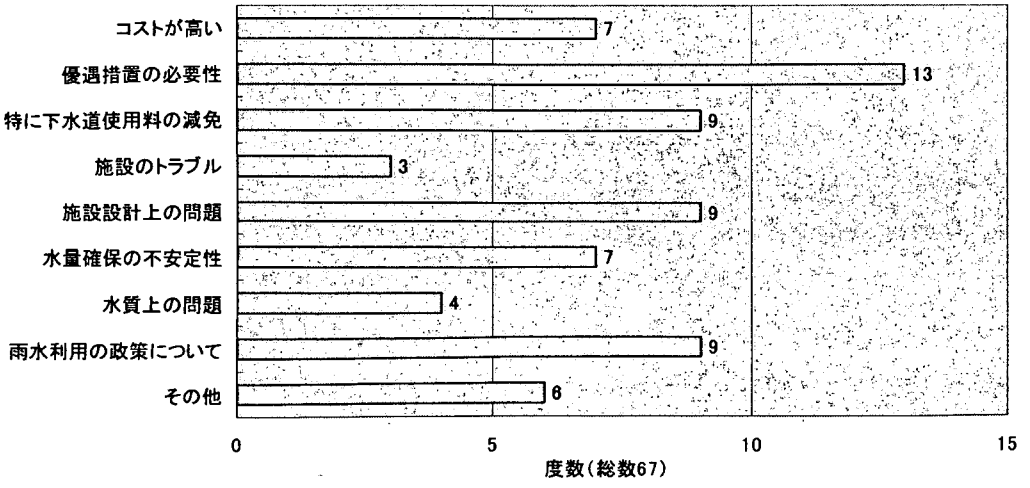


図 2-18　雨水利用の問題点と要望

「雨水利用上の政策について」では、個別施設の雨水利用よりも広域的に下水処理水(雨水)を活用した方が望ましいとの意見がみられた。また「その他」の中には、雨水利用施設の維持管理マニュアルや雨水利用水質基準の策定の要望などがみられた。

以上の結果より、雨水利用は近年導入が進みつつも、その効果の評価については必ずしも十分になされていないことが明らかとなった。今後とも雨水利用を推進していくために解決すべき課題として、次のように整理することができる。

まず、雨水利用施設の設置者が設置の効果を見いだせるような仕組み作りが求められる。たとえ行政指導といった枠組みで実施されたものであっても、使えば使うほどデメリットが生じるような施設であっては、設置しただけで当初の思惑通り有効に使ってもらえない可能性も十分にある。そこで、雨水利用施設の設置、利用を推進するための財政的支援措置、利用者が施設利用の効果を実感できるための簡易な効果評価手法の確立、適切な施設設計、維持管理のマニュアルの策定、雨水利用の重要性を理解してもらうための環境づくりなどが必要であると考えられる。

また、行政側として施設設置を推進するのであれば、設置による効果の予測と事後の評価を確実に実施する必要があるだろう。先に取り上げた雨水利用マニュアルが刊行されてから既に10年以上が経過し、そろそろモデル事業的な考え方から脱却すべきする時期にきているものと考えられる。下水道事業の立場からすれば、浸水対策や合流式下水道の雨天時越流水対策にどの程度寄与しているのかをまず明確にすることが、公共事業として設置を推進するための大前提であろう。雨水利用を前提とした雨水貯留施設は、治水と利水の目的を兼ねる多目的ダムと同様であり、相反する目的のバランスをうまくとる必要がある。雨水貯留施設の規模、構造、施設運用を決める際に、このような観点からのアプローチはこれまで十分に行われていない。この点については第4章で検討する。

2.4 まとめ

①雨水利用は官主導により実施されている例が多い。

②近年では、貯留槽容量 500m^3 以上の大規模な雨水貯留施設も導入されてきている。

③既存の雨水利用施設において、貯留槽容量、集水面積、延床面積の関係をオーダー的に整理すると、

(貯留槽容量 [m^3]) = 1/10 (集水面積 [m^2])、(集水面積 [m^2]) = 1/10 (延床面積 [m^2]) となる。

④雨水利用の用途は、大部分が水洗用水である。

⑤利用に際しての固形物分離方法はろ過によるものが多く、また消毒プロセスの採用率は約 1/4 であった。

⑥雨水利用導入の主要3動機は、水資源有効利用、コスト削減、雨水流出抑制であった。

⑦使用水量を把握していない、効果を評価していないなど、雨水利用をとりあえず実施している事例も多い。特に、流出抑制を導入動機とする公共施設に多く見受けられる。

⑧雨水利用施設の導入効果が見出せるような仕組みづくりが必要。

⑨行政として今後更に雨水利用を推進するためには、雨水利用施設導入による効果評価を確実に実施する必要がある。特に下水道事業の場合、浸水防除効果、合流改善効果についての評価が重要。

参考文献

1). (社)空気調和・衛生工学会:雨水利用マニュアル(給排水設備規準委員会水有効利用小委員会報告書)、昭和62年9月.

2). 国土庁長官官房水資源部編:平成8年版日本の水資源、大蔵省印刷局、平成8年8月.

3). (社)雨水貯留浸透技術協会:雨水利用ハンドブック、山海堂、平成10年8月.

3．屋根雨水の水質特性

3．1　調査目的

雨水利用にあたっては、量の確保とともに利用に適した水質の確保が重要であり、集水面からの汚濁負荷の流出特性について明らかにしておく必要がある。集水面には建物の屋根面が利用される場合が多いが、個別降雨ごとに屋根面から集水される雨水について調査した事例は比較的少なく、利用時の水質を把握する観点から貯留槽内の雨水水質を測定しているものが多い。しかし事務所ビル等の貯留雨水は既に沈殿処理等を経たものが多く、長期間の貯留により水質が変化することも指摘されている[1)]。

また、屋根面の汚濁負荷は、都市域の面源負荷を構成する1要素であり、雨水利用の観点のみならず、閉鎖性水域等の水質保全対策を検討していく上で、窒素、りん等の汚濁負荷量原単位のデータを数多く蓄積していく必要がある。

以上の諸点に鑑み、下水道研究室では屋根面を流下する雨水（屋根雨水）を対象とした調査を平成4年度より継続的に実施してきた。既に調査初期の成果は報告済みである[2)]ため、ここでは降雨初期の流出雨水を分離収集するようになった平成7年度以降の調査データに基づく検討結果についてとりまとめる。

なお、降雨特性や屋根面への汚濁負荷の堆積状況は地域によって異なるため、屋根雨水の水質も地域特性の影響を受けるものと考えられるが、本章の内容は、既存の調査結果との比較等を通じて、屋根雨水に関する基礎的資料として扱うことができるものと考える。

3．2　調査方法

3．2．1　屋根雨水の収集

屋根雨水の収集は、茨城県土浦市に所在する土木研究所湖北総合実験施設（茨城県霞ヶ浦浄化センター内）の事務所建屋（写真 3-1 参照）において行った。

対象とした屋根は亜鉛メッキ鋼板製の折板屋根である。屋根面の諸元は、傾斜 1/100（片勾配）、幅 10.9m 、奥行き 9.1m 、折板を考慮した総表面積 135m^2 、水平投影面積（集水面積） 99m^2 、地上高 GL +3.4m である（図 3-1 参照）。なお、事務所建屋の周辺には、対象屋根面への雨水の降下に特段の影響を与える施設は存在しない。

屋根面から流出する雨水は、3本の塩化ビニール製の立樋により排水施設へと導かれる。これらの立樋のうち中央の1本を改造し、降雨初期の流出雨水をポリタンク（初期雨水貯留槽：容量 20L ）に分取し、これが満水となった後の流出雨水をドラム缶（初期カット雨水貯留槽：容量 200L ）に集水した。雨水貯留槽の状況について写真 3-2 に示す。中央の立樋の集水面積は、樋の取付け位置から判断して屋根面全体の約 45%に相当すると仮定すれば、初期雨水貯留槽には降雨量 0.5mm に相当する雨水が分離貯留される。

貯留雨水の採水は、各貯留槽内で貯留雨水をよく撹拌した後に行った。初期雨水貯留槽は全ての対象降雨において満水となっていた。一方、初期カット雨水貯留槽は満水となっていない場合もあったが、槽内の貯

留水量は計測していない。なお、各貯留槽は採水後洗浄し、乾燥させてから次回の降雨に用いた。また屋根面は、建屋が平成4年に建設されて以来、調査期間中を含め、人為的な洗浄は1度も実施されていない。屋根面の状況について写真 3-3 に示す。

3. 2. 2　調査項目

調査は、平成 7 年度から 10 年度までの 38 降雨を対象として実施した。各調査対象降雨の概要については、巻末付録 (2) に示す。

屋根雨水の水質分析項目としては、濁度、色度、SS, 溶解性 COD_{Cr}, 溶解性 TOC, T-N, NO_3-N, NH_4-N, T-P, 重金属類(Zn, Fe, Cu, Pb)を選定した。これらのうち、濁度および色度については透過光測定法により、重金属類については原子吸光法(フレームまたは電気加熱)により、それぞれ測定を行った。また溶解性成分については、孔径 1 μ m のガラス繊維ろ紙でろ過した試料を分析した。

また、屋根面の材質が屋根雨水中の重金属濃度に及ぼす影響を検討するため、対象屋根の樋に堆積した土砂、建屋脇の表土、土木研究所構内の表土を採取し、これらを固形物濃度で 100mg/L となるよう濃度調整したものを試料として、屋根雨水と同様の方法で重金属類の分析を行った。

降雨量のデータには、土浦のアメダスデータを用いた。

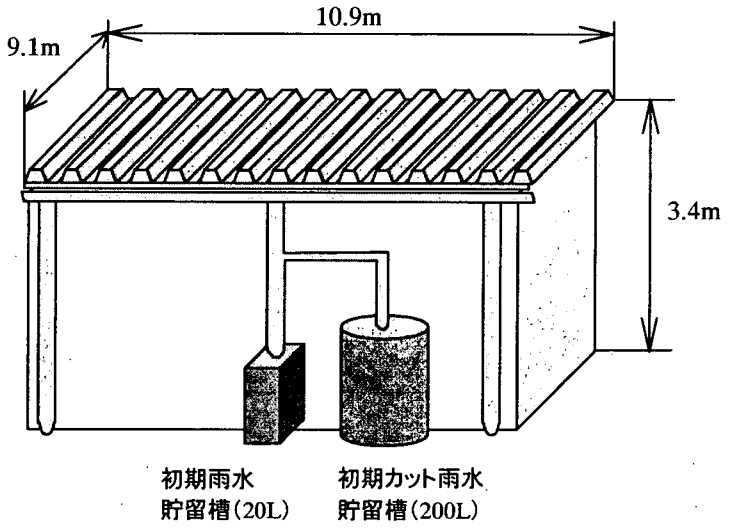


図 3-1　調査対象施設の概要

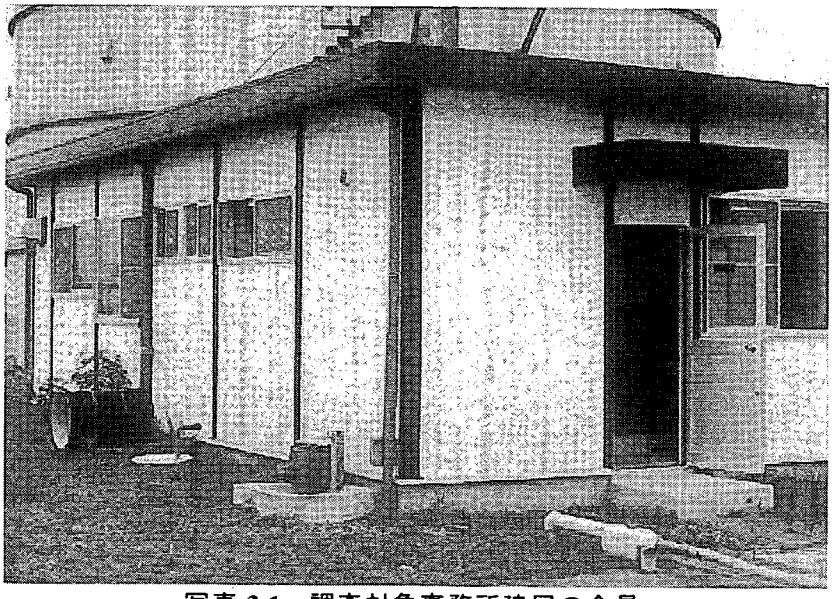


写真 3-1　調査対象事務所建屋の全景

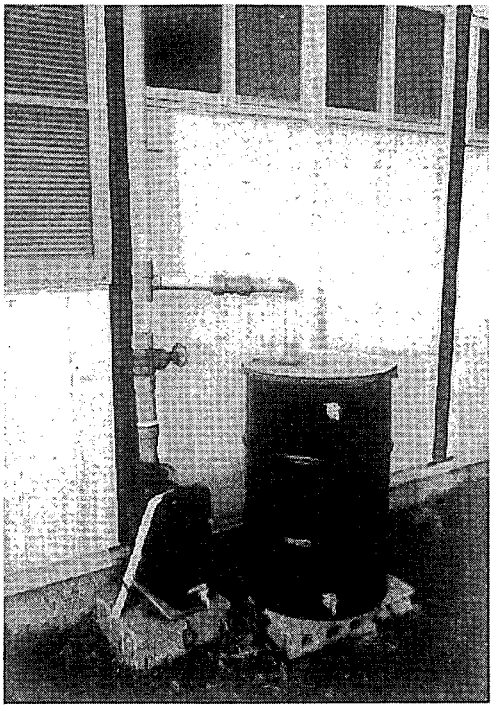


写真 3-2　初期雨水貯留槽（左）、初期カット雨水貯留槽（右）

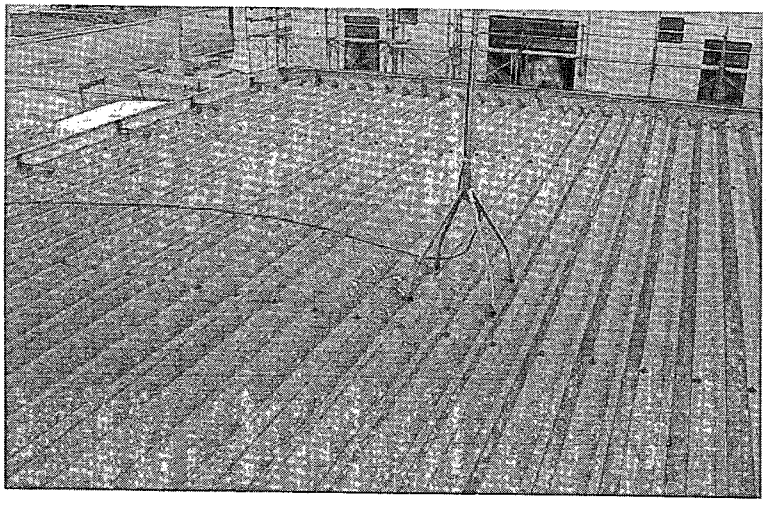


写真 3-3　屋根面の状況

3．3　結果及び考察

3．3．1　調査結果の概要

屋根雨水の水質分析結果の概要について表 3-1 に示す。ここで各項目のデータ数がばらついているのは、欠測のほかに、年度によって測定対象としなかった分析項目が存在するためである。なお、水質分析結果の詳細については、巻末付録 (2) に示す。

SS, T-N, T-P の平均値を既存の調査結果と比較したものが図 3-2 ～ 3-4 である。これらのうち湖北は著者らの実施した平成5年度までの調査データ [2]、北九州、神戸、山形、千葉のデータは和田 [3] がとりまとめたもの、三鷹のデータは嶋津ら [4] の調査によった。図より、今回の調査結果は T-P が若干高めであったが、全体として既存の調査結果と大きく異なるものではなかった。なお初期雨水の SS, T-P が相対的に高い値となっているが、これは既存の調査データが初期雨水を含めた平均値となっていることによる。

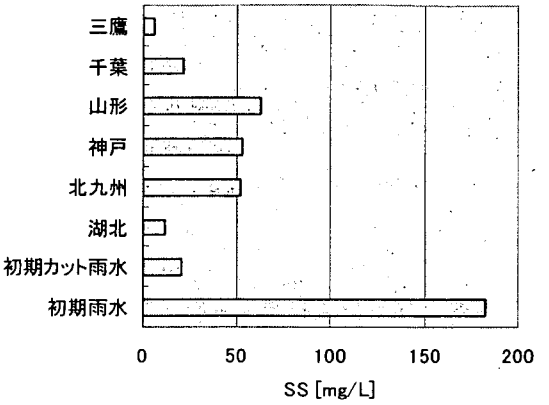


図3-2　既存調査結果との比較（SS）

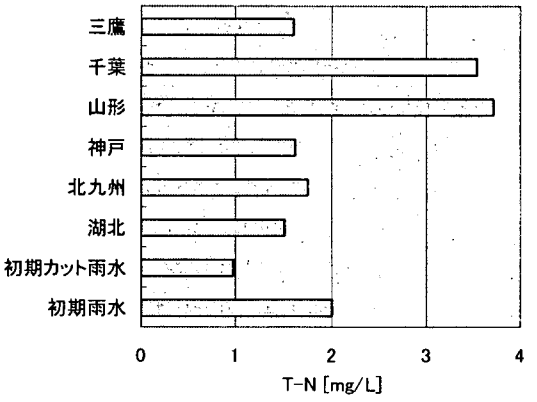


図3-3　既存調査結果との比較（T-N）

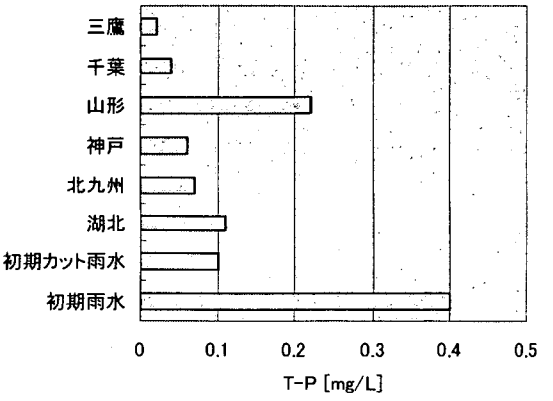


図3-4　既存調査結果との比較（T-P）

表 3-1　屋根雨水調査結果

項目	単位	初期雨水			初期カット雨水		
		平均値	最大値	n	平均値	最大値	n
濁度	(度)	4	18	38	1	4	38
色度	(度)	7	28	38	3	7	38
SS	(mg/L)	182	713	38	20.3	86.6	38
CODcr	(mg/L)	5.5	10.7	29	4.5	12.4	27
TOC	(mg/L)	2.6	8.0	29	2.2	6.5	27
T-N	(mg/L)	2.0	7.8	18	0.98	1.71	18
NO3-N	(mg/L)	0.52	1.85	37	0.42	1.91	37
NH4-N	(mg/L)	0.77	3.12	29	0.50	1.66	29
T-P	(mg/L)	0.40	1.34	18	0.10	0.40	18
Zn	(mg/L)	0.46	1.11	32	0.23	0.51	32
Fe	(mg/L)	6.27	29.9	32	0.90	3.93	32
Cu	(mg/L)	0.060	0.17	32	0.009	0.031	32
Pb	(mg/L)	0.036	0.18	32	0.011	0.062	32

＊n はデータ数
＊CODcrおよびTOCは溶解性

3．3．2　初期雨水分離の効果

初期雨水の測定値に対する初期カット雨水の測定値を残存率として定義し、この指標を用いて初期雨水分離の効果を評価した。残存率が小さいほど、初期雨水分離の効果が大きいものと考えられる。

残存率の計算結果を図 3-5 に示す。ここで図中の値は、各調査対象降雨ごとの測定値から残存率を計算し、これを平均したものである。これによれば、SS, Fe, Cu の残存率が特に小さく、初期雨水分離の効果が大きかった。濁度、色度、T-N, T-P, Zn, Pb の各項目については残存率が5割程度であった。また溶解性成分である溶解性 COD_{Cr}, 溶解性 TOC, NO_3-N, NH_4-N の各項目は残存率が概ね1程度であり、初期雨水分離による効果が小さかった。

残存率の大小は各項目の粒子性の程度によるものと考えられるため、各項目と SS との相関を調べた。例として、残存率の小さい Fe, Cu 、残存率が5割程度の T-P 、およびほぼ1に近い NO_3-N について、図 3-6 ～ 3-9 に示す。特に Fe と SS の相関が大きく、初期雨水、初期カット雨水とも同様の傾向を示していた。逆に NO_3-N については R^2 の値がほぼゼロに近く、SS との相関は低かった。

以上の考察より、初期雨水分離は粒子性成分の除去に効果があると結論づけられる。これは、屋根雨水中の粒子性成分は主に屋根面に堆積している SS 分に起因し、これらの大部分が降雨初期において流出し、その後は流出雨水中にほとんど供給されないためと考えられる。一方、既存の調査結果[4), 5)]では、溶解性成分も降雨初期に高い濃度で流出し、その後降雨の継続とともに低減すると報告されているが、今回の調査結果からはこのような現象を捉えることができなかった。この点についてさらに検討を深めるためには、溶解性成分を多く含む降雨水起源の負荷量を測定する必要があると考えられる。

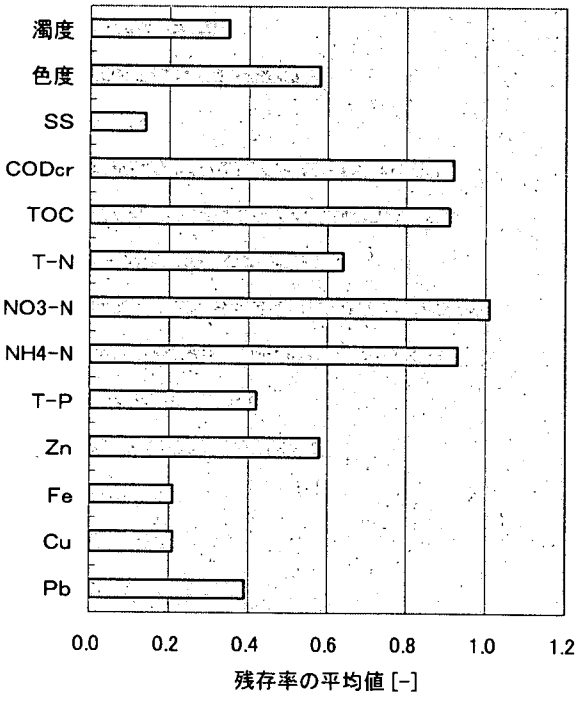


図 3-5　初期雨水分離の効果

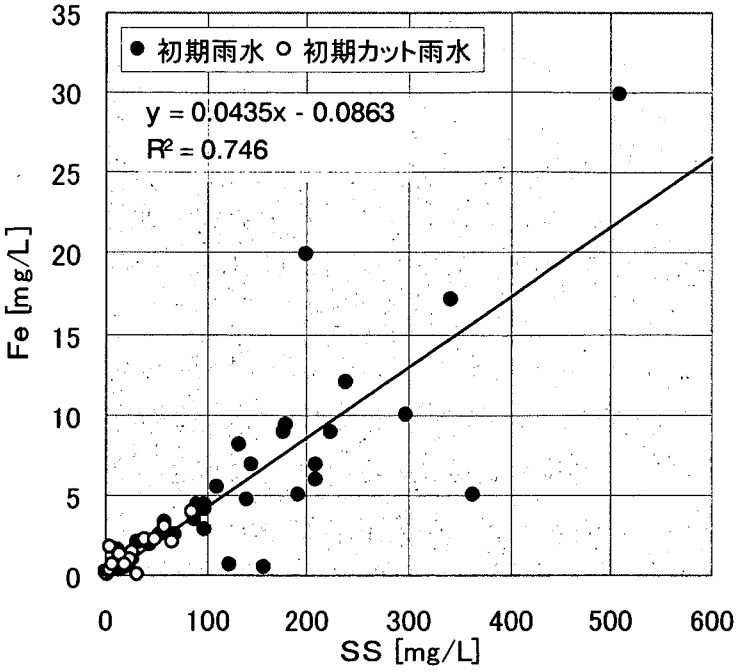


図3-6　SSとFeの相関

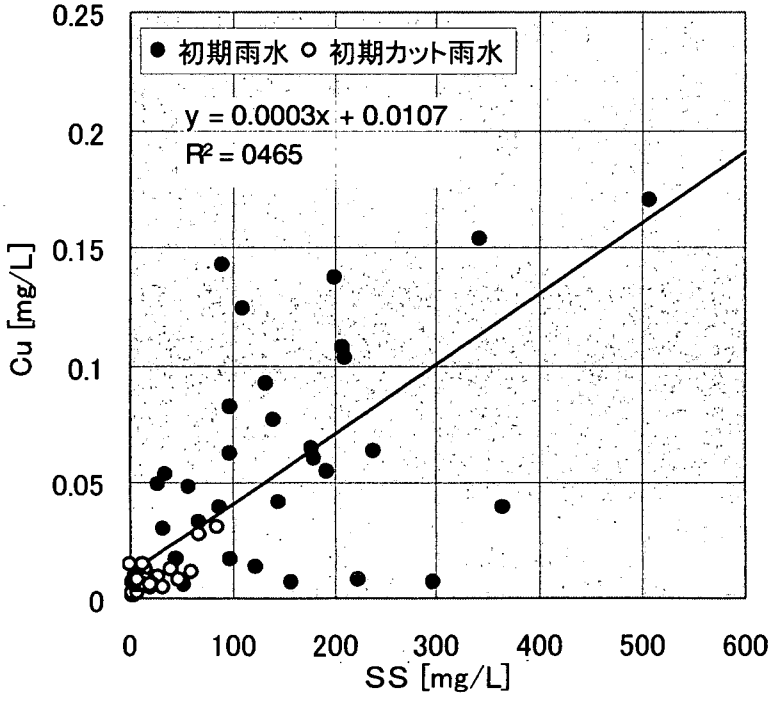


図3-7　SSとCuの相関

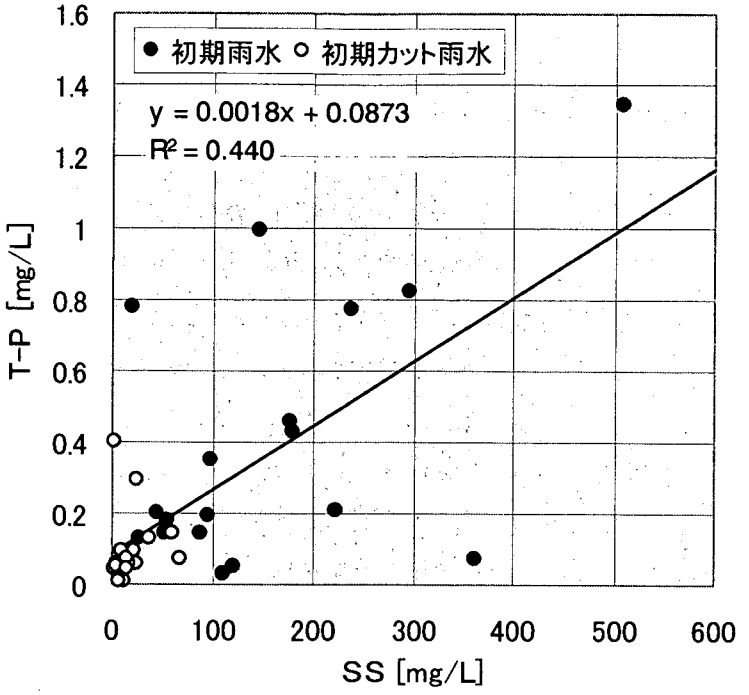


図3-8　SSとT-Pの相関

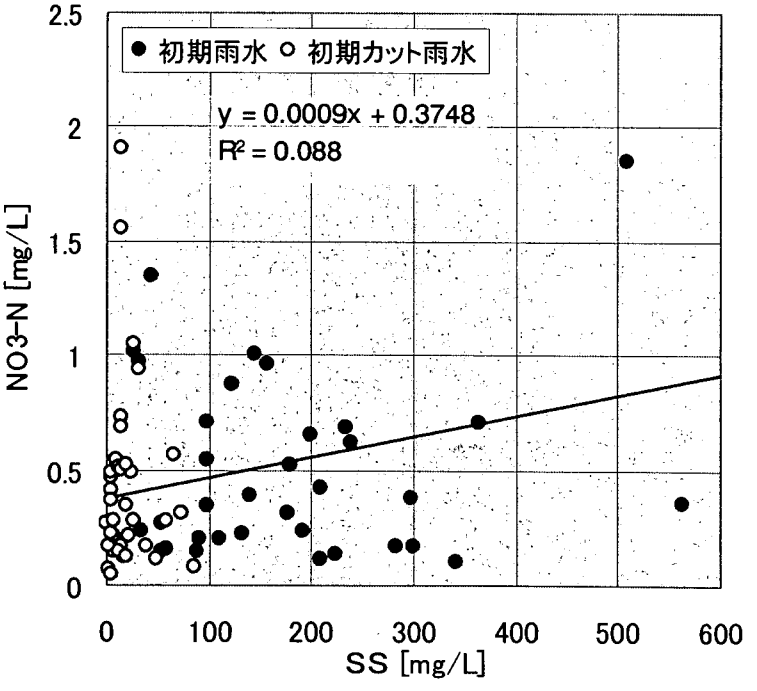


図3-9　SSとNO_3-Nの相関

3．3．3　各種水質基準との比較

調査結果(表 3-1)を、水道および雑用水利用に関する水質基準(表 3-2)と比較した。

調査結果の平均値を雑用水利用に関する各水質基準と比較すると、(今回調査結果と比較できる項目については)いずれも基準を満足していた。水道水質基準との比較では、初期雨水で濁度、色度、Fe が、初期カット雨水で Fe が基準を満足しなかった。また初期カット雨水において、調査結果の最大値を水道水質基準と比較した場合には、Fe に加え、濁度、色度、Pb も基準を満足しなかった。

有機性の汚濁については直接の比較はできないが、$KMnO_4$ 消費量の水道水質基準(10mg/L 以下)から換算される COD_{Mn} の値が 2.53mg/L であるのに対し、初期カット雨水の溶解性 COD_{Cr} の平均値が 4.5mg/L であり、この値が COD_{Mn} の値の2倍弱であることから、水道水質基準をかろうじてクリアーできる程度ではないかと考えられる。

雨水利用に適した初期雨水排除(分離)量については、小原ら[5] は水道水質基準($KMnO_4$ 消費量および濁度)を達成するため初期雨水排除量として 0.5mm が必要としている。同様に越川ら[6] は水道水質基準を達成するために初期雨水排除量として 2 ～ 3mm が必要であるとし、また北林[7] は屋根面の汚れは降雨開始後 1.5mm の降雨量で洗い流されるとしており、既存の調査結果には若干の相違が見受けられる。

本調査においては初期雨水分離量は常に一定 (0.5mm) であったため、ここでいう適切な初期雨水排除量について厳密な評価はできない。しかし、初期カット雨水の水質が、平均値で水道水質基準を概ね満足できるレベルにあり、最大値に対しては不適合の項目が多かったという調査結果から、常に水道水質基準に適合した良好な屋根雨水水質を得るためには、初期雨水排除量が 0.5mm では十分とはいえないものと考えられる。

表 3-2　各種水質基準

項目	単位	水道水(A)	親水用水(B)	修景用水(B)
濁度	(度)	2以下	5以下	10以下
色度	(度)	5以下	10以下	40以下
Zn	(mg/L)	1.0以下	-	-
Fe	(mg/L)	0.3以下	-	-
Cu	(mg/L)	1.0以下	-	-
Pb	(mg/L)	0.05以下	-	-
NO3-N	(mg/L)	10以下	-	-

(A):水質基準に関する厚生省令(1992)
(B):下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル(案)
建設省高度処理会議(1990)
＊いずれも今回調査結果と比較できる部分のみを抜粋

屋根雨水中の重金属濃度に及ぼす屋根面の材質の影響を調査するため、重金属類について追加調査を行った。調査方法は前述(3. 2. 2)のとおりである。なお、土研構内の表土を調査対象としたのは、屋根雨水を下水処理場内で採取していることから、測定された屋根雨水中の重金属濃度に対する下水汚泥焼却灰等の影響について確認するためである。

調査結果を表 3-3 に示す。樋堆積土砂中の重金属濃度(固形物 100mg あたり)は、建屋脇表土の値と比べて2～3倍程度高かった。特に Fe, Zn, Pb は屋根材(亜鉛メッキ鋼板)に多く含まれていることから、これらは屋根面から溶出したものと考えられる。また、建屋脇表土と土研構内の測定値を比較すると、いずれの項目も建屋脇表土の値が高かったが、これは屋根面からの溶出による影響と比較して無視できる程度であった。

表 3-3 の結果ならびに表 3-1 の平均値における各重金属濃度の構成比(Fe を1としたもの)を表 3-4 に示す。樋堆積土砂の構成比は他の表土と比較して Pb が高い程度であり、構成比から溶出の影響を明らかにすることはできなかった。次に樋堆積土砂と初期雨水中の構成比とを比較すると、Zn はほぼ同じであるが、初期雨水中の Cu の割合は高く、Pb の割合は低かった。初期雨水中の Cu の由来は明らかではない。また初期カット雨水中の構成比と比較すると、初期カット雨水中の Zn の割合が高かった。これは溶解性の Zn によるものと考えられる。

屋根雨水中の重金属については、新国技館(銅屋根)での貯留雨水中の Cu が、最大値で水道水質基準を超える 3.1mg/L であったと報告されている [8]。この Cu 濃度は今回調査結果と比べ1～2桁高い値であり、屋根面の材質の違いに起因するものと考えられる。

以上の考察から、金属製の屋根面は重金属の供給源として機能するものと結論づけられる。屋根雨水の利用を考える場合、また面原負荷としての重金属類を考える場合には、屋根面からの溶出の程度に対し留意する必要がある。

表 3-3　重金属類の含有量比較

調査対象	Zn	Fe	Cu	Pb
樋堆積土砂	0.21	4.01	0.014	0.044
建屋脇表土	0.15	2.67	0.008	0.016
土研構内表土	0.09	2.51	0.005	0.004

＊単位はいずれも、mg/100mg固形物

表 3-4　重金属類の構成比比較

調査対象	Zn	Fe	Cu	Pb
樋堆積土砂	0.052	1	0.003	0.011
建屋脇表土	0.056	1	0.003	0.006
土研構内表土	0.036	1	0.002	0.002
初期雨水	0.073	1	0.010	0.006
初期カット雨水	0.256	1	0.010	0.012

＊Feを1とした場合。初期雨水、初期カット雨水は平均値

3．3．4　降雨特性との関係

一般に、雨天時の汚濁負荷流出量は、先行晴天日数（汚濁負荷の残存量）、最大降雨強度（汚濁負荷の洗い出し作用の強さ）、一雨降雨量（汚濁負荷流出の総量）等により影響を受けるものとされている。本調査においては、降雨初期の雨水を定量分離貯留しているが、対象降雨における全ての流出負荷量を把握できていない。よって、これらのファクターのうち流出負荷の総量に影響すると考えられる最大降雨強度と一雨降雨量については検討を行わないこととし、屋根面の汚濁負荷残存量を代表する指標である先行晴天日数を検討対象に選んだ。

初期雨水水質（SS, COD_{Cr}, NO_3-N, Fe）と先行晴天日数との関係について、図 3-10 ～ 3-13 に示す。

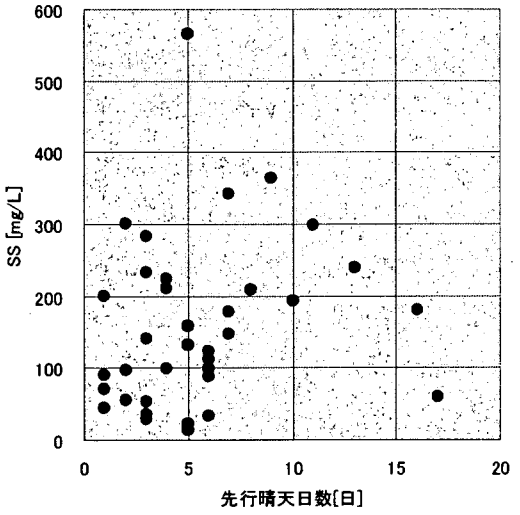


図3-10　先行晴天日数とSSとの関係

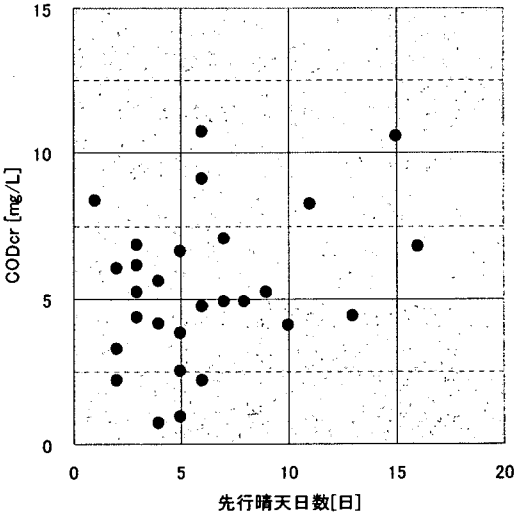


図3-11　先行晴天日数とCODcrとの関係

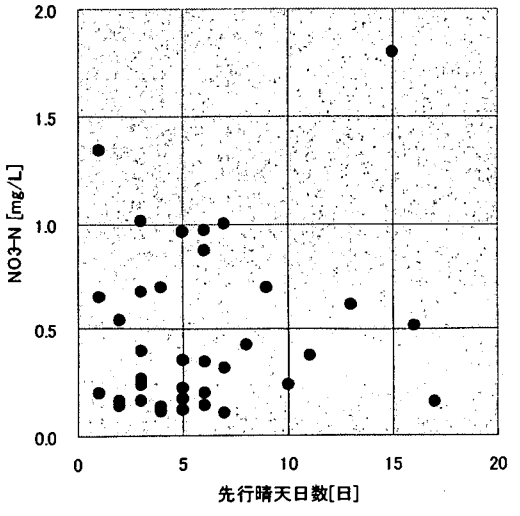


図3-12　先行晴天日数とNO3-Nとの関係

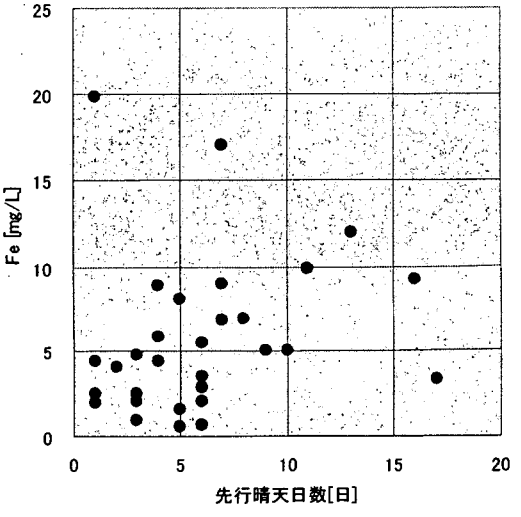


図3-13　先行晴天日数とFeとの関係

図から、先行晴天日数の増大とともに各水質項目とも初期雨水濃度が高くなる傾向が見受けられるが、ばらつきも大きく、直線で近似できるほどではなかった。このような検討の精度を上げるためには、降水量、貯水量等を厳密に管理した上で調査する必要がある。

3．3．5　汚濁負荷量原単位の算出

閉鎖性水域の水質保全対策を検討するためには、発生源別の汚濁負荷量原単位が必要である。いわゆる流総指針[11]においては市街地、山林、水田、降雨等の原単位データがとりまとめられているが、下水道事業として面源負荷対策を実施するためには、市街地を構成する屋根、道路等の工種別の原単位データが必要とされる。そこで、調査結果を汚濁負荷量原単位 (kg/ha/年) の形で整理することを試みた。

今回の調査では、初期雨水と初期カット雨水のそれぞれの水質データが得られていること、初期カット雨水の貯留水量を計測していないこと等を考慮して、表 3-5 に示す計算手法を定め汚濁負荷量原単位を算出した。なお各降雨を 1mm と 6mm で分類しているが、これは a) 初期雨水貯留槽が 0.5mm 、初期カット雨水貯留槽が 4.5mm の降雨量に相当すること、b) 降雨データの最小単位が 1mm であること、c) 集水に当たって降雨損失が見込まれること、の3点を考慮したものである。また各降雨区分に対応する流出係数は、一般的な屋根面の流出係数 0.9[12] を標準とし、1mm までの初期降雨については、損失が大きいことおよび初期雨水貯留槽の容量を考慮して 0.5 とし、逆に 6mm を超える部分については損失がないものと仮定してこれを 1 とした。

計算対象とした降雨は、屋根雨水の調査期間とあわせて、平成 7 年度から 10 年度の4年間の全降雨とした。また独立降雨は、降雨終了後の屋根面の汚濁負荷堆積量の回復を考慮し、前後 24 時間連続無降雨の場合と定義した。

SS, T-N, T-P の汚濁負荷量原単位計算結果を、流総指針中の市街地、降雨の原単位データと比較したものが表 3-6 である。SS, T-N, T-P とも今回の調査結果は、流総指針における市街地の最小値より少し大きい程度の値となった。今回の計算では、降雨量 6mm を超える部分の水質について、水質項目によらず一律初期カット雨水の 1/2 の濃度を与えて計算しているが、この部分に相当する降雨量は総降雨量の約 70 %を占めており、計算結果に大きく影響する。例えば、残存率が大きく、降雨水起源の負荷量も多いと考えられる T-N につ

表 3-5　汚濁負荷量原単位の算出方法

①:対象期間の各独立降雨の総降雨量を整理。
②:降り始めからの降雨量により、各独立降雨の降雨量を3分類。
　A:降り始めから1mmまでの部分
　B:1mmを超えて、6mmまでの部分
　C:6mmを超える部分
③:3分類の降雨の対象期間中の総和を求める。
④:各分類に対して、次の屋根雨水水質と流出係数をあてる。

分類	屋根雨水水質	流出係数
A	初期雨水水質	0.5
B	初期カット雨水水質	0.9
C	初期カット雨水水質の1／2	1

⑤:③と④をかけあわせて、各降雨分類ごとの汚濁負荷量を算出したのち、これらを足しあわせて汚濁負荷量原単位とする。

表 3-6　汚濁負荷量原単位の計算結果

項目	SS	T−N	T−P
今回調査結果	182	6.6	0.74
市街地:最大値	2,390	39.6	6.5
市街地:平均値	737	16.2	1.9
市街地:最小値	105	4.5	0.6
降雨:最大値	-	30.6	2.62
降雨:平均値	-	11.3	0.53
降雨:最小値	-	4.5	0.09

＊市街地、降雨のデータは流総指針による
＊単位はいずれも、kg/ha/年

いてみると、計算結果が流総指針における降雨の平均値よりも小さかった。これは、上述の濃度の仮定が必ずしも適切でないことを示唆しているものと考えられる。

よって、屋根雨水の汚濁負荷量原単位を精度よく算出するためには、降雨初期だけでなく、降雨後半の屋根雨水(もしくは降雨水)も対象とした調査が必要であると考えられる。

3．4　まとめ

①降雨初期の雨水を分離することは、SS, 重金属類、T-P 等の粒子性成分の除去に効果が大きい。

② 0.5mm 相当の初期雨水排除により、平均水質として水道水質基準を概ね満足する水質が得られたが、この排除量は常に良好な水質を得るためには十分とはいえない。

③金属製の屋根面は重金属の供給源として機能する。雨水利用に当たっては集水面の材質による影響を考慮する必要がある。

④先行晴天日数の増大とともに初期雨水水質の濃度が高くなる傾向が見受けられるが、ばらつきも大きく、直線で近似できるほどの相関は得られなかった。

⑤屋根雨水の汚濁負荷量原単位について一定の条件の下で算出した結果、SS で 182 kg/ha/年、T-N で 6.6 kg/ha/年、T-P で 0.74 kg/ha/年となった。

参考文献

1). 岩波洋:建築物における雨水利用に関する研究(その2．細菌衛生上の検討)、空気調和・衛生工学会講演会論文集, pp.69-72, 1984.

2). T. Sakakibara : Roof Runoff Storm Water Quality, Proc. 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover, pp.157-162, 1996.

3). 和田安彦:非特定汚染源負荷の流出量とその特性、環境技術, Vol. 14, No. 1, pp. 97-101 , 1985.

4). 嶋津暉之、和波一夫:雨水の地下浸透に関する研究(その2)－各種雨水排水の水質と流出特性－、東京都環境科学研究所年報 1997 、pp. 256-268.

5). 小原伸一、青木一義、山田賢次、紀谷文樹:市街地における雨水利用を目的とした初期雨水の性状とその排除量に関する検討、空気調和・衛生工学会講演会論文集, pp.53-56, 1987.

6). 越川康夫、村川三郎:収集雨水汚濁防止を目的とした初期雨水排除量の検討、日本建築学会計画系論文報告集第 350 号、pp. 8-17, 1985.

7). 北林正行:雨水利用システムを活用したビルの実際例、PPM, Vol.23, No. 8, pp. 64-71, 1992.

8). 岡本章、田中英夫、佐藤正章:新国技館の大空間空調と雨水利用(その4)雨水利用システムの実態、空気調和・衛生工学、Vol. 60, No. 8, pp. 67-73, 1986.

9). 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、太陽エネルギー, Vol.11, No.1, pp.46-52, 1985.

10). 鈴木堅史:都立施設における雨水利用と今後の課題、空気調和・衛生工学, Vol. 67, No.1, pp.33-39, 1993.

11). 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(平成 11 年版)、(社)日本下水道協会, 1999.

12). 下水道施設計画・設計指針と解説 前編 -1994 年版-、(社)日本下水道協会, 1994.

4．雨水利用効果の定量的評価

4．1　調査目的

雨水利用は、雨水流出抑制の機能をあわせもち、都市域における浸水防除や合流式下水道の越流水対策としても効果があるものとされている。しかし、雨水利用施設における雨水流出抑制機能の定量的評価はこれまで十分に行われてはいない。また、第2章の検討結果からも、雨水利用の効果が十分把握されないまま、雨水利用が実施されている例の多いことが明らかとなっている。

そこで第4章では、雨水利用施設の導入による利水効果、浸水防除効果、合流改善効果について、それぞれ定量的な評価を試みた。第3章の結果を踏まえ、検討対象とする雨水利用形態は、屋根雨水のみをオンサイト貯留（各戸貯留）して利用する場合に限定した。また、貯留方法は、都市部における雨水利用が前提であるため、「ためきり・ポンプ排水」[1]とした。

4．2　調査方法

4．2．1　評価の基本的考え方

雨水利用効果を定量的に評価するために必要となる要素は、雨水利用施設の貯留槽容量、必要水量、集水面積、有効降雨である。雨水利用効果を都市全体で評価するにあたり、個々の建物の情報を全て調査した上で、その結果を積み上げて評価する方法は、現実的ではなくまた一般性に乏しい。

そこで本調査においては、個々の建物の特性による必要水量、集水面積の違いは、概ね土地利用区分毎にカテゴライズできるものと考えられるため、単位面積あたりの必要水量、集水面積を、あらかじめ各土地利用区分に設定しておき、都市全体としての効果は、当該都市における各土地利用区分の面積構成比を用いて計算することとした。なお、集水面（不浸透域）の有効降雨は土地利用区分によらない与条件であり、貯留槽容量は検討の対象パラメータとして扱うことができる。

検討を容易ならしめるため、ここではモデル都市を選定し、当該モデル都市のデータを活用して、各土地利用区分毎の必要水量等を決定した。なお土地利用区分の情報については、建設省国土地理院作成の細密数値情報（メッシュサイズ 10m ）を用いた。細密数値情報における土地利用区分の定義については、巻末付録(3) の通りである。

検討にあたっては、都市全体に雨水利用施設が普及した状態を想定し、実際の建物の状況とは無関係に、細密数値情報による各メッシュ区画毎に雨水貯留施設が1つずつ設置された状態を対象として考えた。このとき雨水貯留施設の貯留槽容量は、土地利用区分毎にすべて同じ大きさを仮定する。

実際の土地利用の状況は、土地利用区分の異なるメッシュ区画が複雑に入り組んで分布しているが、各メッシュ区画に降った降雨をオンサイトで貯留・利用する場合は管路網を評価する必要がないため、メッシュ区画の分布状況によらず、貯留雨水量は各メッシュ区画毎の単純な足し算により算出することができる。そこで、実際の計算は、各土地利用区分の総面積に相当する大きな貯留槽を1つ設定して行うこととした。

浸水防除効果、合流改善効果についても、同様な考え方に基づき、以下のように評価を行った。

・個々の施設を評価するのではなく、土地利用区分毎に一括して評価する。
・表面流出に寄与する有効降雨が雨水貯留により減少することをもって評価する。
（管内の流出現象は考慮しない）

このような評価手法は、流域貯留施設の流出抑制効果のモデル化の考え方[1)]、すなわち、

・河川流域全体として流出抑制効果を評価するためには、「個々の池の評価としてよりは、むしろマクロな集合体として定量的に評価」することが必要。
・オンサイト貯留のモデルへの組み込みは、「有効雨量の変形」という形で取り扱うことができる。

という考え方と同様のものである。

なお、合流改善効果については、例えば越流汚濁負荷量のように水質面を考慮した評価も可能であるが、本調査では水量面での評価のみにとどめている。

4．2．2　モデル都市の概要

モデル都市として、人口約 16 万人、面積約 2,500ha の中規模都市Aを選定した。A市の土地利用区分構成については表 4-1 の通りである。ここで、屋根面がなく雨水を集水することができない田、畑、公園等の土地利用区分は検討対象から除外した。なお、道路用地については、雨水利用を目的とした雨水集水はできないが、合流改善効果の評価においては検討対象に加える。検討対象面積は道路面も含め約 1,300 ha である。

表4-1　モデル都市の土地利用状況

土地利用区分	面積 (ha)	検討対象
一般低層住宅	423	○
密集低層住宅	133	○
中・高層住宅	87	○
工業用地	89	○
商業・業務用地	205	○
道路用地	205	△
公園・緑地等	173	
その他公共公益施設用地	201	○
その他	198	
田	36	
畑、その他の用地	449	
山林・荒地等	31	
造成中地	13	
空地	182	
河川・湖沼等	36	
海	0	
合計	2,461	

なお、都市Aは雨水利用の実績が多い東京近郊に位置し、その都市規模や降水量から判断して代表性があるものと考えられる。ただし、降水量が大きく異なる地域、ならびに超高層建築のように集水面積あたりの人口(必要水量)が平均的なものから大きくかけ離れているような場合には、ここでの検討結果を直接反映させることは難しいものと考えられる。

(1)土地利用区分別集水面積の設定

本調査では屋根雨水のみを検討対象とするため、集水面積は屋根面積に等しいものと考える。さらにここでは、各メッシュ区画における屋根面積は不浸透域、それ以外は浸透域と仮定し、各土地利用区分毎に不浸透面積率を設定することにより集水面積を算定した。

ここで、不浸透面積(屋根面積)は建築面積に等しいものと考えて、建築基準法で定める建ぺい率を参考に不浸透面積率を設定した。道路用地は不浸透面積率 100%と設定した。また、文献値 [2] を参考に、不浸透域面積のうち凹地損失等の影響なく直接流出する面を 40%、その他の流出面を 60%と設定した。以上の結果をまとめると、表 4-2 の通りとなる。

また、各土地利用区分に属する道路面積は不明であるため、ここでは各土地利用区分の構成比により道路面積を割り振ることとした。計算結果は表 4-3 の通りである。

表4-2　土地利用区分別不浸透域面積

土地利用区分	面積 (ha)	不浸透 面積率(%)	不浸透 面積(ha)	直接流出 面積率(%)	直接流出 面積(ha)
一般低層住宅	423	40	169	40	68
密集低層住宅	133	50	67	40	27
中・高層住宅	87	60	52	40	21
工業用地	89	60	53	40	21
商業・業務用地	205	80	164	40	66
その他公共公益施設用地	201	50	101	40	40
道路用地	205	100	205	40	82
合計(平均)	1343	(60.4)	811	(40)	325

表4-3　土地利用区分別不浸透面積（道路面積割り振り後）

土地利用区分	面積 (ha)	構成比 (%)	道路面積 (ha)	面積計 (ha)	うち不浸透 面積(ha)	うち直接流出 面積(ha)
一般低層住宅	423	37.2	76	499	245	98
密集低層住宅	133	11.7	24	157	91	36
中・高層住宅	87	7.7	16	103	68	27
工業用地	89	7.9	16	105	69	28
商業・業務用地	205	18.0	37	242	201	80
その他公共公益施設用地	201	17.6	36	237	137	55
合計	1138	100.0	205	1343	811	324

(2) 土地利用区分別人口の設定

各土地利用区分毎に人口密度が異なり、これによって単位面積あたりの水使用量が異なってくることを明確にするため、各土地利用区分毎に人口密度を設定した。細密数値情報には人口データが含まれていないため、設定に当たっては各種統計資料(いずれも 1995 年版)を用いた。また、公共公益施設のように定住人口がゼロと考えられる土地利用区分においても水使用量を算定する必要があることから、昼間人口と夜間人口のそれぞれについて設定した。

夜間人口(定住人口)については、A市の用途地域別人口(表 4-4)を参考として設定した。都市計画上の用途地域と細密数値情報における土地利用区分は必ずしも対応していないため、表 4-5 のような考え方に基づき土地利用区分別の人口に換算した。昼間人口の算定には、表 4-6 に示すA市の各種人口データを参考とし、表 4-7 に示す考え方により設定した。以上の結果をまとめると、表 4-8 の通りとなる。

表4-4　A市用途地域別人口

用途地域	面積 (ha)	人口 (人)	人口密度 (人/ha)
第1種低層住居専用地域	1,161	76,149	65.6
第1種中高層住居専用地域	365	39,561	108.3
第1種住居地域	87	9,890	113.5
商業地域	115	10,884	94.9
準工業地域	124	13,752	111.4
工業地域	119	5,561	46.6
調整区域	467	3,061	6.6
合計(平均)	2,438	158,858	(65.2)

表4-5　用地地域別人口の土地利用区分別人口への換算

用途地域	各土地利用区分への換算方法
第1種低層住居専用地域	一般低層住宅と密集低層住宅の人口密度の比率が第1種低層住居専用地域と第1種住居地域の人口密度の比率と一致するように配分
第1種住居地域	
第1種中高層住居専用地域	中・高層住宅と等しいとして扱う
工業地域	工業用地と等しいとして扱う
商業地域	商業・業務用地と等しいとして扱う
準工業地域	一般低層住宅，密集低層住宅，中・高層住宅，工業用地，商業・業務用地に人口比率で比例配分
調整区域	

表4-6　A市の各種人口データ

昼間人口	18才以下人口	流入通学人口	流出通学人口	（単位：人）	
175,523	22,372	11,904	9,831		
昼間就業者数					
合計	第1次産業	第2次産業	第3次産業（公務）	第3次産業（その他）	分類不能
98,441	862	17,962	5,164	72,704	1,749

表4-7　昼間人口算定の考え方

1. 就業者人口の設定
昼間就業者数（総数）を、第2次産業、第3次産業（その他）、第3次産業（公務）の人口比率で分割し、これらをそれぞれ、工業用地、商業用地、その他公共公益施設用地の就業者人口としてわりふる。

2. 通学者人口の設定
（18才以下人口）－（流出通学者数）＋（流入通学者数）＝ 24,445（人）をA市における通学者人口と設定し、これをその他公共公益施設用地にわりふる。

3. 昼間定住人口の設定
昼間人口から就業者人口と通学者人口の和を差し引いた人口（52,637 人）を昼間定住人口として各土地利用区分別にわりふる。わりふりの際の比率として、既に算出した夜間人口の比率を用いる。

4. 昼間人口の設定
上記1，から3. を合計して、各土地利用区分別の昼間人口とする。

表4-8　土地利用区分別人口の算定結果

土地利用区分	面積（ha）	夜間人口（人）	人口密度（人/ha）	昼間人口（人）	人口密度（人/ha）
一般低層住宅	423	62,295	147	20,641	49
密集低層住宅	133	33,928	255	11,242	85
中・高層住宅	87	44,244	509	14,660	169
工業用地	89	6,219	70	20,512	230
商業・業務用地	205	12,172	59	78,718	384
その他公共公益施設用地	201	0	0	29,750	148
合計	1138	158,858		175,523	

4．2．3　降雨データの概要

本調査では時間単位での解析が必要となることから、時間雨量が比較的簡単に入手できるアメダスデータを用いることとした。ただし、A市にはアメダスの観測地点が存在しないため、最も近いアメダス観測地点であるB市におけるデータを採用した。（両市間の距離は約 10 km ）

B市の過去10年間（ 1989 ～ 1998 ）の年間降雨量は表 4-9 の通りである。これらのうち平均年として 1990 年、渇水年として 1996 年、多雨年として 1998 年のデータをそれぞれ採用し、以下の検討に用いた。各年における日降雨量について巻末付録 (4) の通りである。

降雨から流出の過程においては、一般に相応の降雨損失が見込まれる。ここでは修正 RRL 法の考え方にならって降雨損失を決定し、有効降雨（雨水利用施設へ流入しうる降雨、もしくは地表面流出に寄与する降雨）を算定する。降雨損失については文献値 [2] を参考に以下のように設定した。

・不浸透域の凹地損失　　：不浸透域全体で 2mm

また独立降雨については、前後 24 時間無降雨で 0.5mm/回以上の場合と定義した。各対象年における独立降雨の数等について表 4-10 に整理した。なお、一般に無降雨継続時間の値は、既存の指針 [3] を参考として4時間とされる場合が多いが、今回この考え方を採用しなかったのは、以下のような理由による。

・4時間という値は、一般的な排水区域において前後の降雨によるハイドログラフが互いに影響を及ぼさない間隔ということから決定されているが、今回は流出現象そのものを取り扱うわけではない。
・雨水貯留施設を治水目的に使用する場合、次の降雨までに貯留雨水を全量排水する必要があるが、このための時間として4時間は短すぎる。特に合流式整備地区の場合、短時間で貯留雨水を排水する場合には晴天時越流が生じる可能性も考えられる。これを考慮すると24時間程度間隔をとることが妥当である。

以上のような条件の下で、対象年の不浸透域の有効降雨を、1時間毎にあらかじめ算出しておく。有効降雨を算出するための計算フローは図 4-1 の通りである。

表4-9　B市における過去10年間の年間降雨量

観測年	1989	1990	1991	1992	1993	
年間降雨量(mm)	1854.0	1692.0	2287.0	1550.0	1445.0	
観測年	1994	1995	1996	1997	1998	平均値
年間降雨量(mm)	1451.0	1162.0	1120.0	1267.0	2393.5	1622

表4-10　対象年における降雨データの概要

解析対象年	1990	1996	1998
総降雨量(mm)	1692.0	1120.0	2393.5
降雨回数(回)	67	69	71
時間最大降雨量(mm/hr)	36.0	31.0	62.5

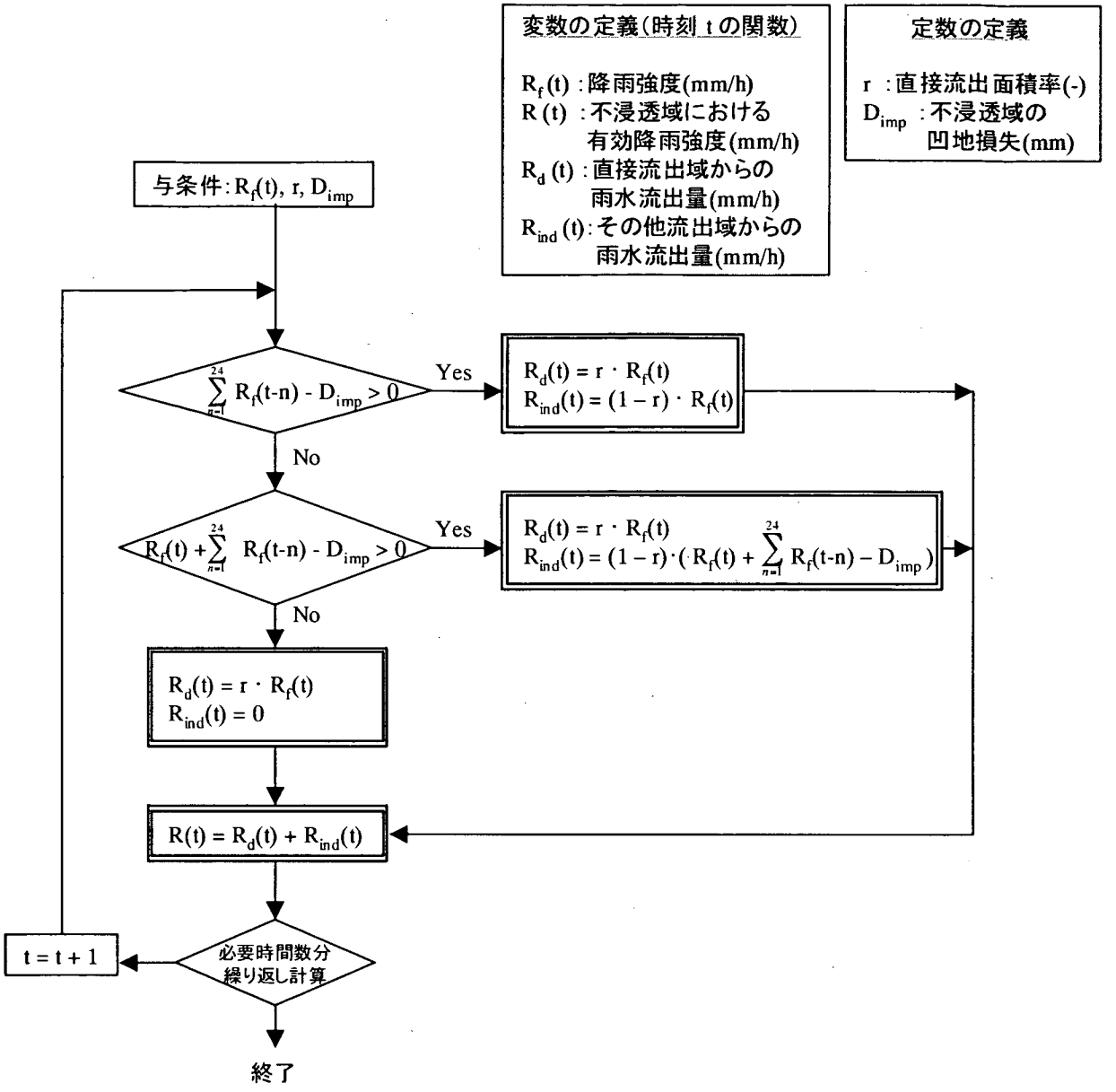


図4-1　不浸透域における有効降雨の計算フロー

4．3　利水効果の評価

4．3．1　必要水量の算定

雨水利用の用途として、使用実績も多く、使用水量も比較的大きい、水洗便所用水および冷却塔補給水を選定した。他に雨水利用の用途として、修景用水、散水用水、掃除・洗濯用水などが考えられるが、土地利用区分別の使用水量の把握が困難であること、使用水量が天候に左右されること、等を考慮してここでは検討対象から除外した。

水洗便所用水の使用水量原単位は、文献値[4)]を参考に男性：2.1 L/人・時間、女性：6.9 L/人・時間と設定した。ここで人口データに表 4-8 を用い、人口の男女構成比を1：1、昼間の活動時間を 10 時間、夜間の活動時間を 6 時間とおいて計算すると、土地利用区分別の水洗便所用水の年間総必要水量は表 4-11 の通りとなる。ここで貯留高は、雨水の集水面を考慮して各土地利用区分の不浸透面積を分母として計算したものである。なお、計算結果から A 市の1日あたり水洗便所用水の使用水量はおよそ 12,200m^3 となるが、これは A 市における日平均給水実績量 55,300m^3 の約 22%に相当する。

冷却塔補給水の使用水量については、原単位的なアプローチが煩雑であるため、水洗便所用水との使用水量比率から設定することとした。ここでは文献値[4)]を参考に、土地利用区分によらず水洗便所用水と冷却塔補給水の比率を約4：1となるように設定した。また冷却塔補給水を必要とする土地利用区分としては、工業用地、商業・業務用地、その他公共公益施設用地の3区分のみとした。計算結果を表 4-11 に示す。

表4-11　土地利用区分別必要水量（年総量）

土地利用区分	不浸透面積 (ha)	必要水量(総量)			必要水量(貯留高)		
		水洗用水 (m3)	冷却用水 (m3)	合計 (m3)	水洗用水 (mm)	冷却用水 (mm)	合計 (mm)
一般低層住宅	169	952,900	0	952,900	564	0	564
密集低層住宅	67	519,000	0	519,000	775	0	775
中・高層住宅	52	676,800	0	676,800	1,302	0	1,302
工業用地	53	398,200	92,600	490,800	751	175	926
商業・業務用地	164	1,412,900	328,500	1,741,400	862	200	1,062
その他公共公益施設用地	101	488,700	113,600	602,300	484	112	596
合計(平均)	606	4,448,500	534,700	4,983,200	(734)		(822)

一方で、利用できる雨水量の最大値は、貯留槽容量を考慮しない場合、不浸透域からの有効降雨の総量により表すことができる。4．2．3であらかじめ算出しておいた不浸透域の有効降雨を、年間の流出高として整理したものが表 4-12 である。降雨損失の考え方は土地利用区分に依存しないため、流出高ベースでの有効降雨量は土地利用区分によらず同一となる。

有効降雨量と必要水量を比較したものが図 4-2 である。有効降雨量は、渇水年において、中・高層住宅や商業・業務用地の必要水量を若干下回る程度で、大部分の場合、必要水量を上回っている。

これらの結果より、都市の屋根面より集水される雨水は、概ね都市全体の水洗便所用水と冷却塔補給水をまかなうに十分な量をもっているといえる。また逆に、前述のA市における日平均給水実績量との比較から考えれば、都市において消費される水の全量はまかなうことができないということも明らかである。

表4-12　不浸透域の有効降雨量

解析対象年	1990	1996	1998
不浸透域有効降雨(mm)	1616	1051	2309

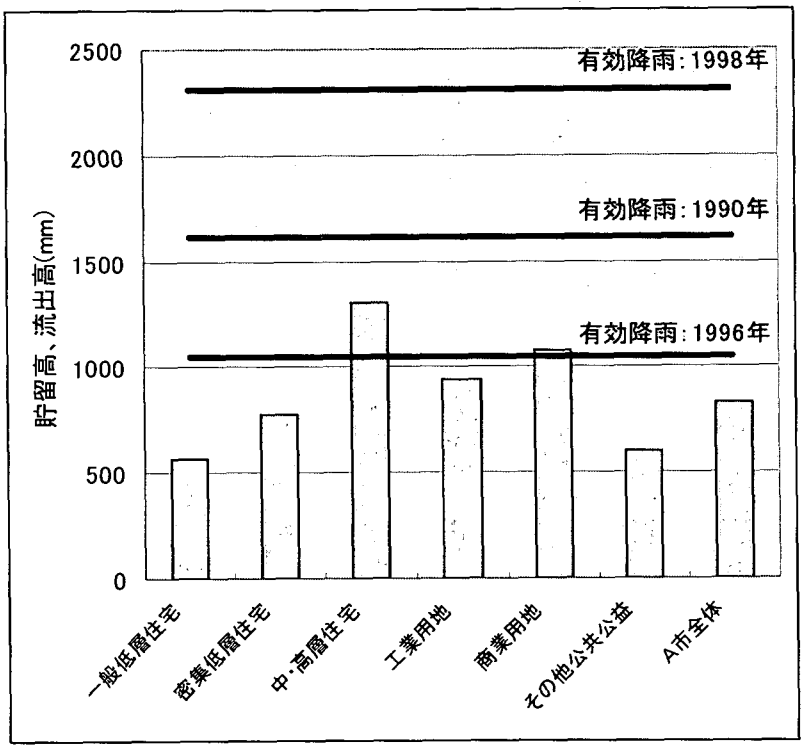


図4-2　必要水量と不浸透域有効降雨量の比較

4．3．2　雨水利用量の算定

4．3．1では、利用できる雨水量の最大値として有効降雨の総量を用いたが、実際には有効降雨を全量貯留するような貯留槽の建設は現実的でない。そこで、貯留槽容量をパラメーターとしたシミュレーションを行い雨水利用量を算定する。

(1)計算手法

文献[4]にある一般的な数値シミュレーション手法により解析を行った。計算フローは図 4-3 の通りである。

計算条件は以下の通りである。ボリュームに関する値は、すべて集水面積あたりの値で整理した。また、1996 年(渇水年)は閏年であるが、計算上は 365 日/年として扱った。

・計算単位　:1時間ピッチ
・入力　　:有効降雨、必要水量、貯留槽容量(パラメーター)
・出力　　:貯留水量、集水量、オーバーフロー量、雨水利用量、不足水量
・入力降雨　:4．2．3で算出した不浸透域(屋根面相当)の有効降雨(平均年、渇水年、多雨年の3通り)。
　計算開始時点における貯留槽容量の初期値を考慮して、平均年、対象年の順に2年分のシミュレーションを行い、2年目の値をもって対象年の計算結果とした。
　なお、計算は1月1日より開始する。
　(1年目の計算開始時点における貯留水量はゼロとする)
　なお、集水・貯留といった一連のプロセスにおける降雨損失は見込んでいない。
・必要水量　:4．3．1で算出した土地利用区分別の必要水量を単位時間あたりに換算したもの(表 4-13)。
　必要水量は季節的、時間的な変動は考慮せず常に一定値としている。
・貯留槽容量: 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300 (mm) の12通りについて検討。

表4-13　土地利用区分別必要水量

土地利用区分	必要水量(貯留高)	
	1日あたり (mm/日)	時間あたり (mm/hr)
一般低層住宅	1.55	0.0644
密集低層住宅	2.12	0.0883
中・高層住宅	3.57	0.149
工業用地	2.54	0.106
商業・業務用地	2.91	0.121
その他公共公益施設用地	1.63	0.0680

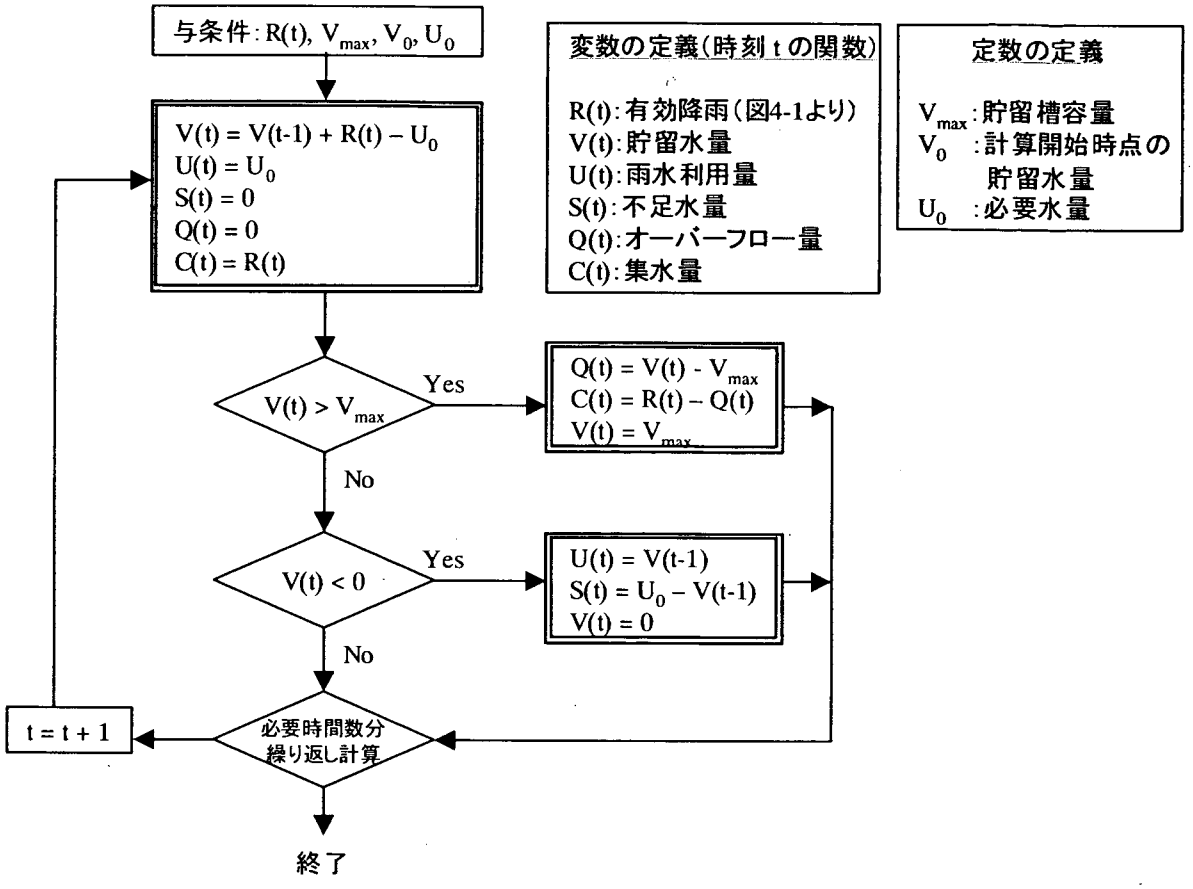


図4-3　雨水利用量の計算フロー

(2)計算結果

各計算対象年ごとの計算結果を表 4-14 ～ 4-16 に示す。また各検討ケースにおける計算開始時点における貯留水量と計算終了時点における貯留水量について表 4-17 にとりまとめた。

各土地利用区分毎の貯留槽容量と集水量との関係について図 4-4 に示す。同様に、貯留槽容量と雨水利用率、不足水量率との関係について図 4-5 ～ 4-7 に示す。なお、雨水利用率と不足水量率は、次式によって定義される雨水利用施設の利水機能の評価指標である[4]。

$$\text{雨水利用率 (\%)} = \frac{\text{雨水利用量(年総量)}}{\text{有効降雨(年総量)}} \times 100$$

$$\text{不足水量率 (\%)} = \frac{\text{不足水量(年総量)}}{\text{必要水量(年総量)}} \times 100$$

表4-14 雨水利用量の計算結果 （平均年：1990）

土地利用区分	項目	貯留槽容量（貯留高）											
		10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm
一般低層住宅	集水量(mm)	362	448	491	510	530	550	564	564	564	564	564	564
	雨水利用量(mm)	362	448	491	510	530	550	564	564	564	564	564	564
	オーバーフロー量(mm)	1,254	1,168	1,125	1,106	1,086	1,066	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053	1,053
	不足水量(mm)	201	116	73	54	34	14	0	0	0	0	0	0
密集低層住宅	集水量(mm)	415	535	606	655	706	726	746	771	780	780	780	780
	雨水利用量(mm)	415	535	606	655	706	726	746	771	780	780	780	780
	オーバーフロー量(mm)	1,202	1,081	1,010	961	911	891	871	846	836	836	836	836
	不足水量(mm)	366	245	174	126	75	55	35	10	0	0	0	0
中・高層住宅	集水量(mm)	492	642	734	801	887	948	1,008	1,051	1,076	1,126	1,176	1,226
	雨水利用量(mm)	492	642	734	801	887	948	1,008	1,051	1,076	1,126	1,176	1,226
	オーバーフロー量(mm)	1,124	975	883	815	729	669	609	565	540	490	440	390
	不足水量(mm)	805	655	563	496	410	349	289	246	221	171	121	71
工業用地	集水量(mm)	442	573	652	703	771	823	854	879	904	914	914	914
	雨水利用量(mm)	442	573	652	703	771	823	854	879	904	914	914	914
	オーバーフロー量(mm)	1,175	1,044	964	913	845	793	762	737	712	702	702	702
	不足水量(mm)	473	342	262	211	143	91	61	36	11	0	0	0
商業用地	集水量(mm)	464	602	692	746	817	877	926	971	996	1,046	1,062	1,062
	雨水利用量(mm)	464	602	692	746	817	877	926	971	996	1,046	1,062	1,062
	オーバーフロー量(mm)	1,152	1,014	924	871	799	739	691	646	621	571	554	554
	不足水量(mm)	598	460	370	316	245	185	137	92	67	17	0	0
その他公共公益	集水量(mm)	372	466	514	537	559	579	599	600	600	600	600	600
	雨水利用量(mm)	372	466	514	537	559	579	599	600	600	600	600	600
	オーバーフロー量(mm)	1,244	1,150	1,102	1,080	1,057	1,037	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017
	不足水量(mm)	227	134	85	63	40	20	0	0	0	0	0	0

＊：計算結果はいずれも年総量である。

表4-15 雨水利用量の計算結果 （渇水年:1996）

土地利用区分	項目	貯留槽容量(貯留高)											
		10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm
一般低層住宅	集水量(mm)	344	427	463	493	526	546	566	566	566	566	566	566
	雨水利用量(mm)	344	427	460	490	524	544	564	564	564	564	564	564
	オーバーフロー量(mm)	707	624	588	559	525	505	485	485	485	485	485	485
	不足水量(mm)	219	137	103	73	40	20	0	0	0	0	0	0
密集低層住宅	集水量(mm)	390	502	555	585	645	685	705	730	755	761	761	761
	雨水利用量(mm)	390	502	555	585	663	705	725	750	775	780	780	780
	オーバーフロー量(mm)	662	550	496	466	406	366	346	321	296	291	291	291
	不足水量(mm)	391	279	226	196	117	75	55	30	5	0	0	0
中・高層住宅	集水量(mm)	446	590	655	701	762	802	842	892	942	992	1,042	1,051
	雨水利用量(mm)	446	590	655	701	762	813	873	948	1,023	1,093	1,143	1,193
	オーバーフロー量(mm)	606	461	396	351	289	249	209	159	109	59	9	0
	不足水量(mm)	851	707	641	596	534	484	424	349	274	204	154	104
工業用地	集水量(mm)	409	535	592	622	682	740	778	803	828	874	874	874
	雨水利用量(mm)	409	535	592	622	693	771	819	844	869	914	914	914
	オーバーフロー量(mm)	642	516	459	429	369	311	273	248	223	178	178	178
	不足水量(mm)	506	379	322	292	221	143	96	71	46	0	0	0
商業用地	集水量(mm)	426	561	620	653	713	768	808	851	876	926	976	998
	雨水利用量(mm)	426	561	620	653	716	791	851	915	940	990	1,040	1,062
	オーバーフロー量(mm)	625	490	431	398	338	283	243	200	175	125	75	53
	不足水量(mm)	636	501	442	409	346	271	211	147	122	72	22	0
その他公共公益	集水量(mm)	355	442	480	510	551	571	591	599	599	599	599	599
	雨水利用量(mm)	355	442	480	511	551	571	591	600	600	600	600	600
	オーバーフロー量(mm)	697	610	571	541	500	480	460	452	452	452	452	452
	不足水量(mm)	245	158	119	89	48	28	8	0	0	0	0	0

＊:計算結果はいずれも年総量である。

表4-16 雨水利用量の計算結果 （多雨年：1998）

土地利用区分	項目	貯留槽容量(貯留高)											
		10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm
一般低層住宅	集水量(mm)	424	482	516	536	537	537	537	537	537	537	537	537
	雨水利用量(mm)	424	482	516	546	564	564	564	564	564	564	564	564
	オーバーフロー量(mm)	1,884	1,826	1,793	1,772	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771	1,771
	不足水量(mm)	139	81	47	18	0	0	0	0	0	0	0	0
密集低層住宅	集水量(mm)	524	606	667	700	726	726	726	726	726	726	726	726
	雨水利用量(mm)	524	606	667	700	744	764	780	780	780	780	780	780
	オーバーフロー量(mm)	1,785	1,702	1,642	1,608	1,583	1,583	1,583	1,583	1,583	1,583	1,583	1,583
	不足水量(mm)	257	174	114	80	36	16	0	0	0	0	0	0
中・高層住宅	集水量(mm)	687	857	936	996	1,096	1,151	1,173	1,173	1,173	1,173	1,173	1,173
	雨水利用量(mm)	687	857	936	996	1,096	1,161	1,203	1,228	1,253	1,297	1,297	1,297
	オーバーフロー量(mm)	1,622	1,452	1,373	1,312	1,213	1,158	1,135	1,135	1,135	1,135	1,135	1,135
	不足水量(mm)	610	440	361	300	200	136	93	68	43	0	0	0
工業用地	集水量(mm)	573	675	740	794	834	842	842	842	842	842	842	842
	雨水利用量(mm)	573	675	740	794	845	873	893	914	914	914	914	914
	オーバーフロー量(mm)	1,735	1,634	1,568	1,515	1,475	1,467	1,467	1,467	1,467	1,467	1,467	1,467
	不足水量(mm)	341	240	174	121	69	41	21	0	0	0	0	0
商業用地	集水量(mm)	621	750	820	874	942	970	970	970	970	970	970	970
	雨水利用量(mm)	621	750	820	874	946	993	1,013	1,038	1,062	1,062	1,062	1,062
	オーバーフロー量(mm)	1,688	1,559	1,488	1,434	1,366	1,339	1,339	1,339	1,339	1,339	1,339	1,339
	不足水量(mm)	441	313	242	188	117	69	49	24	0	0	0	0
その他公共公益	集水量(mm)	442	505	542	565	569	569	569	569	569	569	569	569
	雨水利用量(mm)	442	505	542	573	597	600	600	600	600	600	600	600
	オーバーフロー量(mm)	1,866	1,804	1,766	1,744	1,740	1,740	1,740	1,740	1,740	1,740	1,740	1,740
	不足水量(mm)	157	95	57	27	3	0	0	0	0	0	0	0

＊：計算結果はいずれも年総量である。

表4-17 貯留水量の初期値と終値

土地利用区分	貯留水量(mm)	貯留槽容量(貯留高)											
		10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm
一般低層住宅	計算開始時	0.0	0.0	0.4	10.4	30.4	50.4	70.4	95.4	120.4	170.4	220.4	270.4
	計算終了時(平均年)	0.0	0.0	0.4	10.4	30.4	50.4	70.4	95.4	120.4	170.4	220.4	270.4
	計算終了時(渇水年)	0.0	0.0	2.7	12.7	32.7	52.7	72.7	97.7	122.7	172.7	222.7	272.7
	計算終了時(多雨年)	0.0	0.0	0.0	0.9	4.2	24.2	44.2	69.2	94.2	144.2	194.2	244.2
密集低層住宅	計算開始時	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	38.5	58.5	83.5	108.5	158.5	208.5	258.5
	計算終了時(平均年)	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	38.5	58.5	83.5	108.5	158.5	208.5	258.5
	計算終了時(渇水年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	38.6	63.6	88.6	138.6	188.6	238.6
	計算終了時(多雨年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	28.6	53.6	103.6	153.6	203.6
中・高層住宅	計算開始時	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	30.3	55.3	80.3	130.3	180.3	230.3
	計算終了時(平均年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	30.3	55.3	80.3	130.3	180.3	230.3
	計算終了時(渇水年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.8	79.8	88.7
	計算終了時(多雨年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	56.9	106.9
工業用地	計算開始時	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	31.2	51.2	76.2	101.2	151.2	201.2	251.2
	計算終了時(平均年)	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	31.2	51.2	76.2	101.2	151.2	201.2	251.2
	計算終了時(渇水年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	35.4	60.4	110.4	160.4	210.4
	計算終了時(多雨年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	28.5	78.5	128.5	178.5
商業用地	計算開始時	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	23.1	43.1	68.1	93.1	143.1	193.1	243.1
	計算終了時(平均年)	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	23.1	43.1	68.1	93.1	143.1	193.1	243.1
	計算終了時(渇水年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	29.2	79.2	129.2	179.2
	計算終了時(多雨年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	50.8	100.8	150.8
その他公共公益	計算開始時	0.0	0.0	0.0	8.4	28.4	48.4	68.4	93.4	118.4	168.4	218.4	268.4
	計算終了時(平均年)	0.0	0.0	0.0	8.4	28.4	48.4	68.4	93.4	118.4	168.4	218.4	268.4
	計算終了時(渇水年)	0.0	0.0	0.0	7.9	27.9	47.9	67.9	92.9	117.9	167.9	217.9	267.9
	計算終了時(多雨年)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	37.5	62.5	87.5	137.5	187.5	237.5

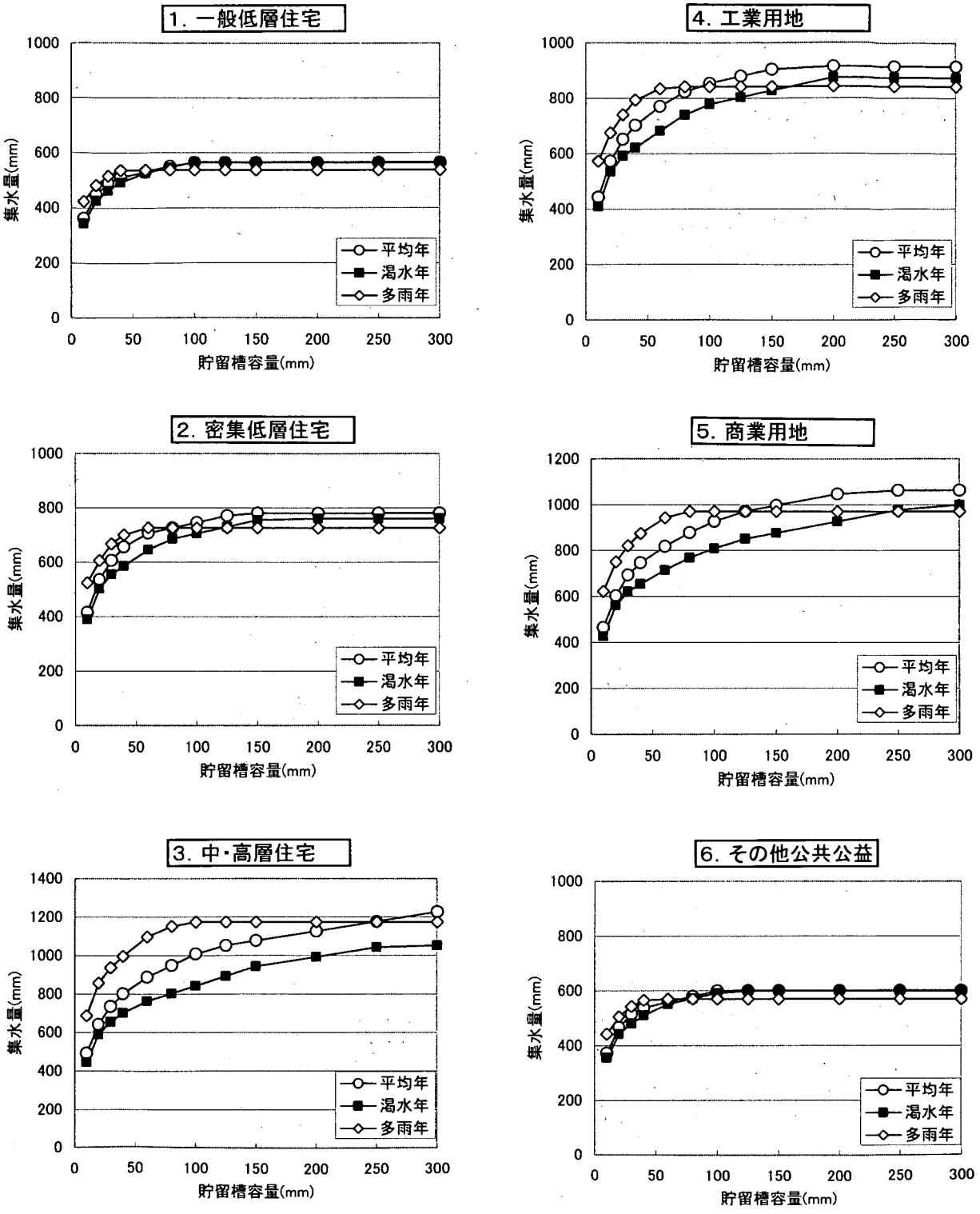
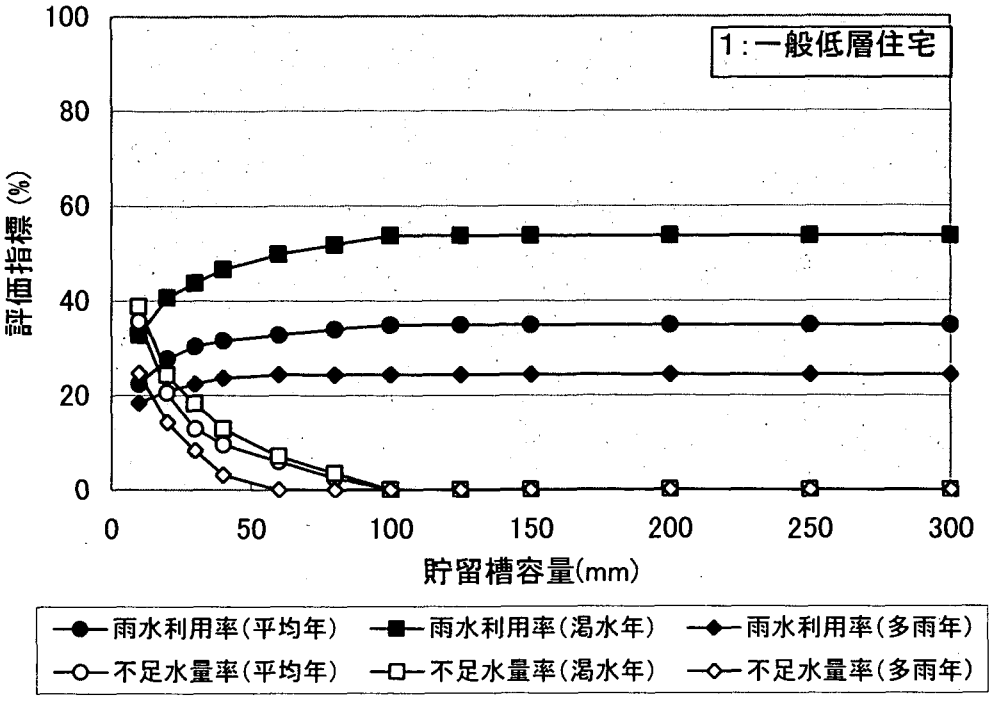


図4-4 貯留槽容量と集水量との関係



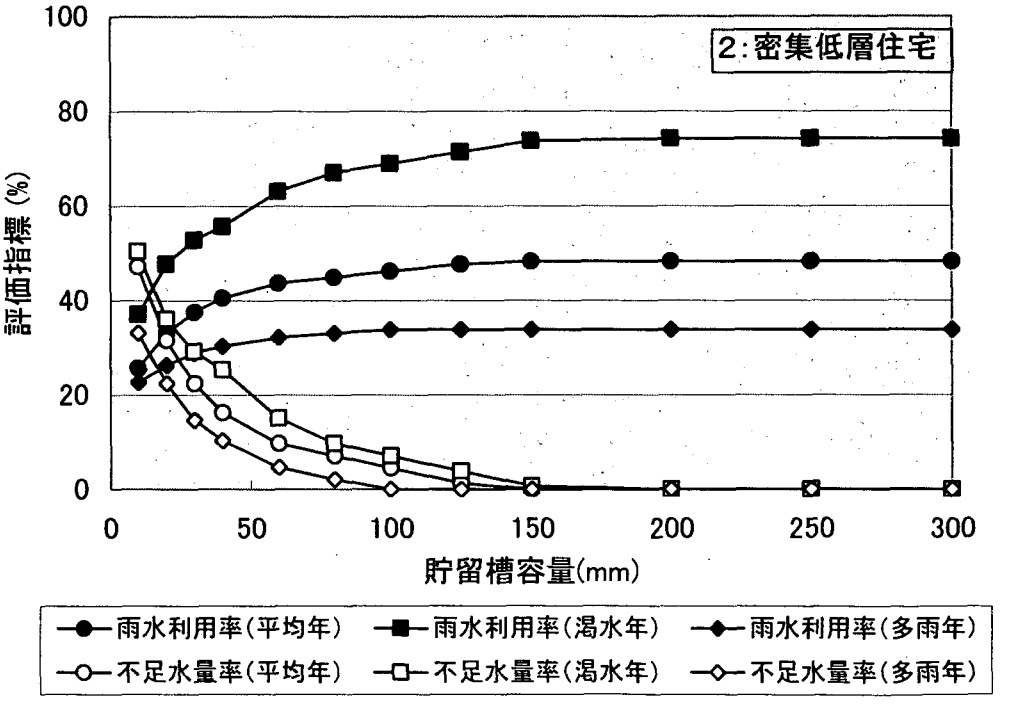
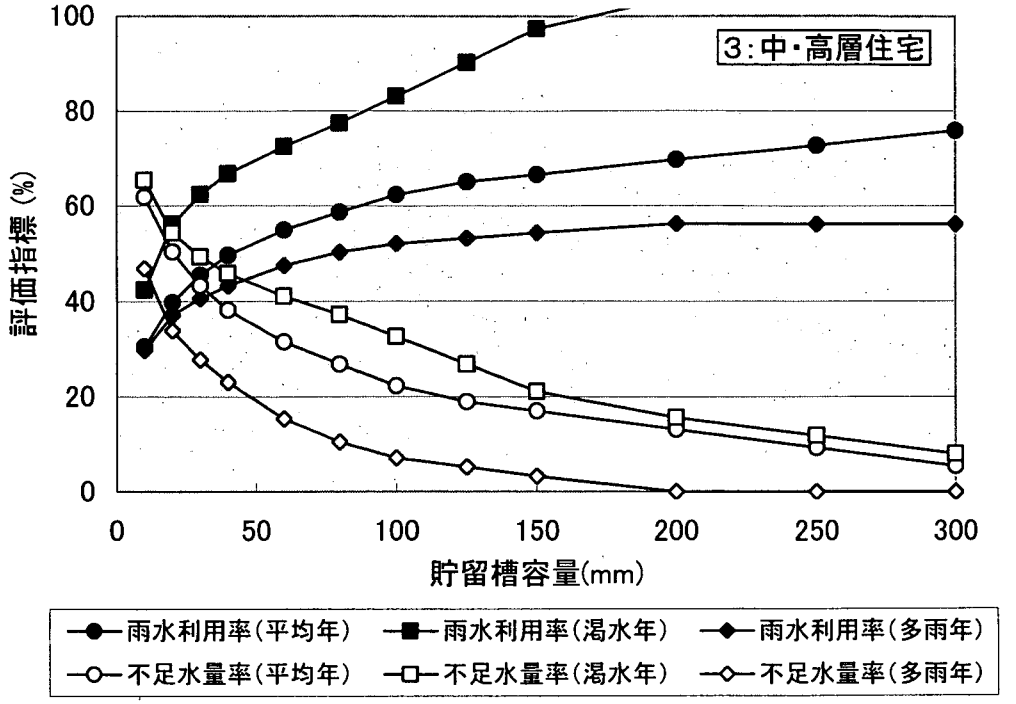


図4-5 貯留槽容量と雨水利用率、不足水量率の関係(1)



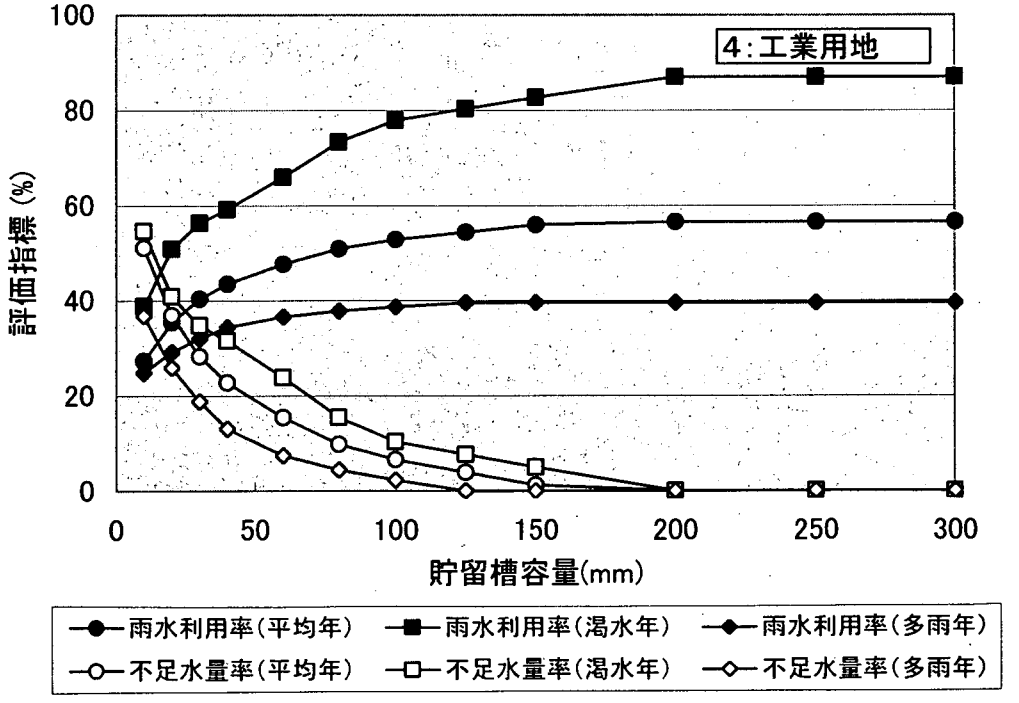
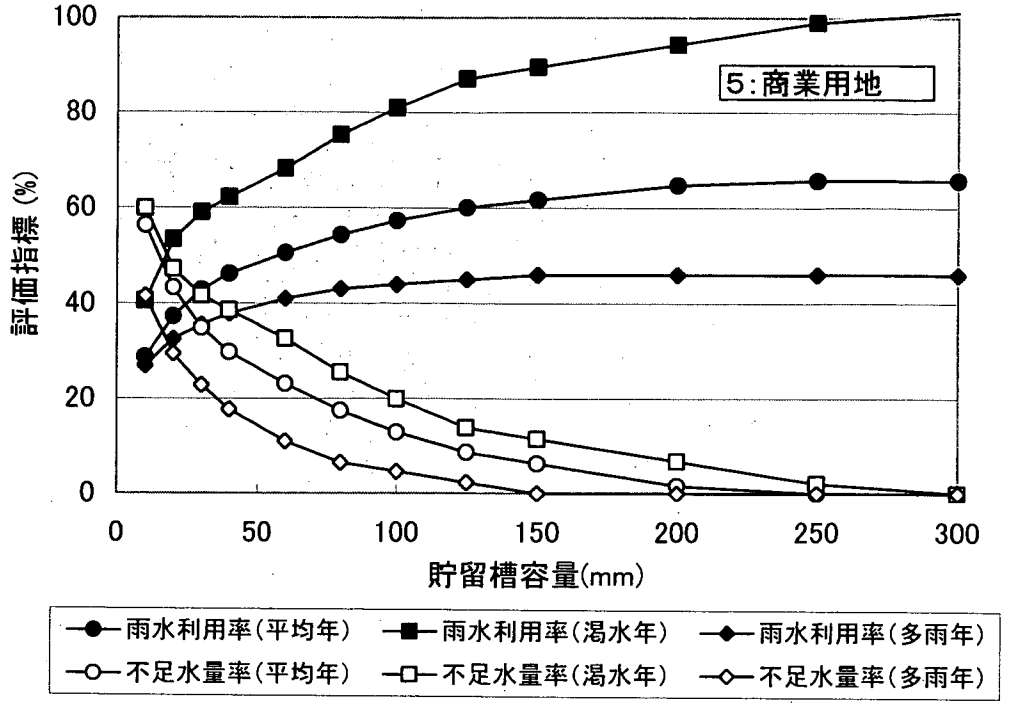


図4-6 貯留槽容量と雨水利用率、不足水量率の関係（2）



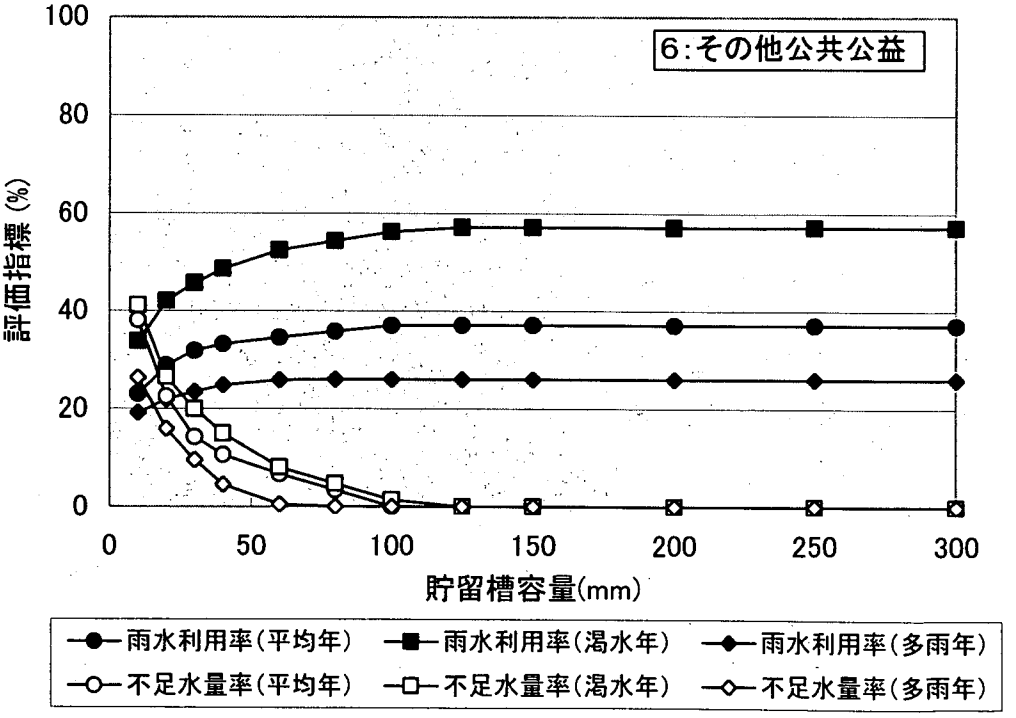


図4-7 貯留槽容量と雨水利用率、不足水量率の関係(3)

(3)考　察

有効降雨量が必要水量を上回っているため、雨水利用率はほとんどの場合において100%　に達することはない。また、貯留槽容量をこれ以上大きくしても集水量を増加させることができないという限界値が存在する。雨水利用率および不足水量率は貯留槽容量の増大に伴い一定値に近づくが、これらの曲線の変曲点は必ずしも明確ではない。

入力降雨の違いによる集水量の差異は比較的小さい。この傾向は必要水量が小さいほど顕著である。必要水量が最も大きい「中・高層住宅」の場合であっても、渇水年と多雨年の集水量の差の最大値は349mm（貯留槽容量80mmの場合）であり、有効降雨量の差1,258mmに比べればはるかに小さい。不足水量率についても同様である。

計算開始時と終了時の貯留水量を比較すると、平均年においては両者が一致しており、これは1年目の計算終了時点における貯留水量は、既に初期値の影響を受けていないことを示している。一方で、渇水年、多雨年においては、ほとんどの場合で計算終了時の貯留水量が開始時の貯留水量を下回っており、集水量以上に雨水利用がなされたことを示している。巻末付録 (4) によれば、1年目の計算に用いた平均年においては、11月下旬にこの時期としては比較的大きな降雨があり、このことが計算開始時の貯留水量を大きめに評価したものと考えられる。これらのことから、渇水年ならびに多雨年の計算結果は、必要な貯留槽容量を過小（危険側）に評価している可能性がある。

4．3．3　最適貯留高の決定

ここでは、利水の観点から最も望ましいと考えられる貯留高を「最適貯留高」と定義し、これを各土地利用区分毎に決定する。最適貯留高を決定するに当たっては、

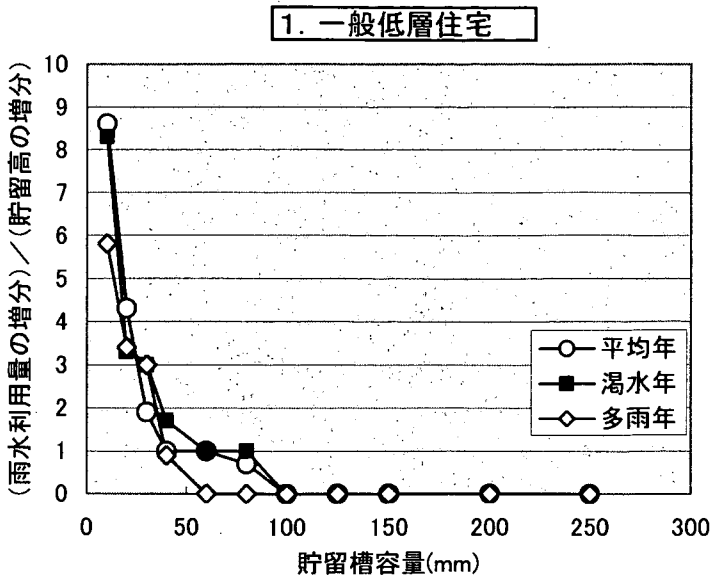
①一義的に最適貯留高を決定できる方法が望ましい。

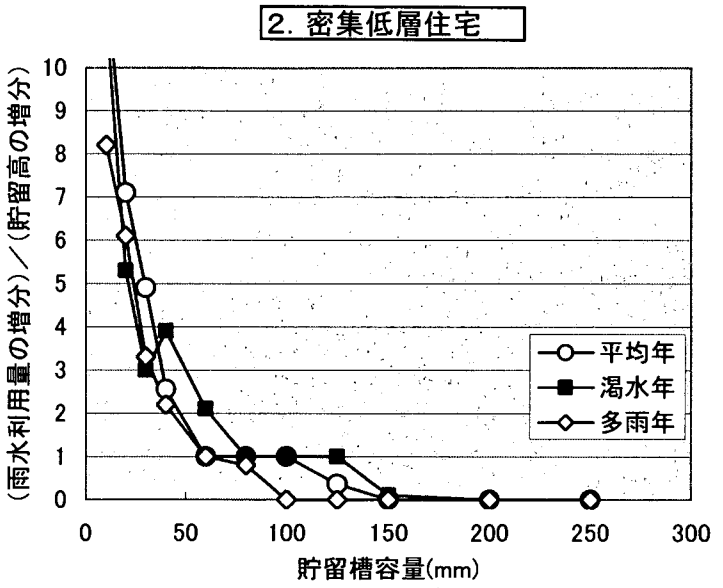
②必要水量の全量を雨水によりまかなう必要はなく、経済的観点も考慮する必要がある。

という2点を考慮する。しかし、①に対しては、雨水利用率、または不足水量率といった従来の指標はグラフの変曲点も明確でないことから、これらを用いて一律に線引きすることは困難であり、また②に対しては、今回の検討では施設規模を特定していないので、貯留施設のコストから経済的観点を考慮することは困難である。よって、ここでは荒巻ら[5]の方法を参考に、次のように最適貯留高を決定することとした。

> 雨水貯留槽の貯留高の増分とこれによる雨水利用量の増分を比較し、両者が等しくなる場合（いいかえれば、貯留槽を増やした分だけしか雨水利用量が増えないような場合）には、既に経済的観点からは非効率な状態にあるものと判断する。
>
> すなわち、（雨水利用量の増分）／（貯留高の増分）の値がはじめて1となるような貯留高をもって最適貯留高とする。

貯留槽容量と（雨水利用量の増分）／（貯留高の増分）の関係について図4-8，4-9に示す。これらの図から上記方法により各対象年毎に最適貯留高を算出し、これを表4-18にまとめた。





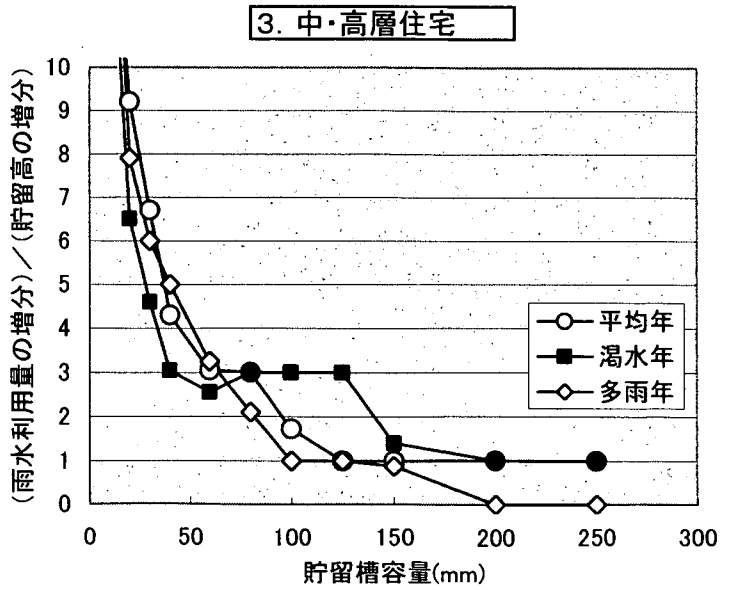
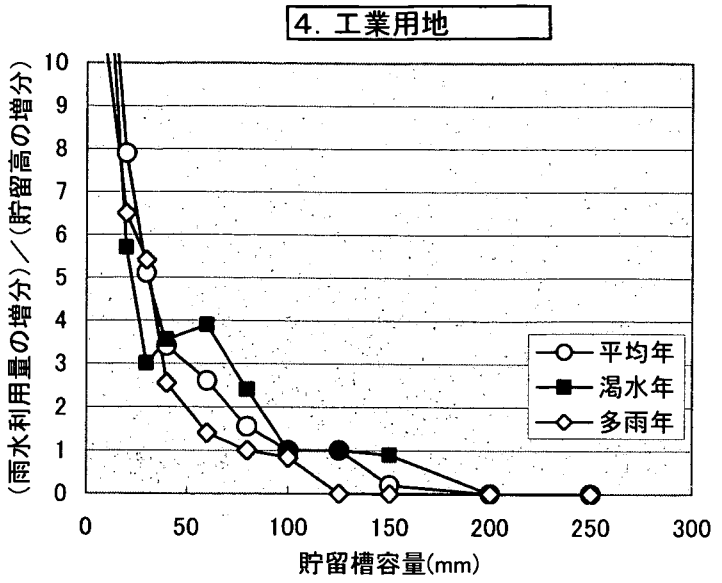
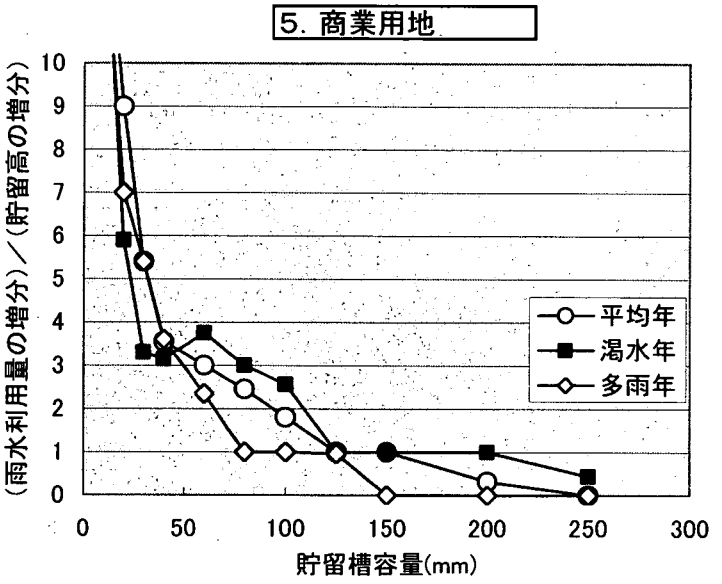


図4-8 貯留槽容量と雨水利用量の増加率との関係(1)





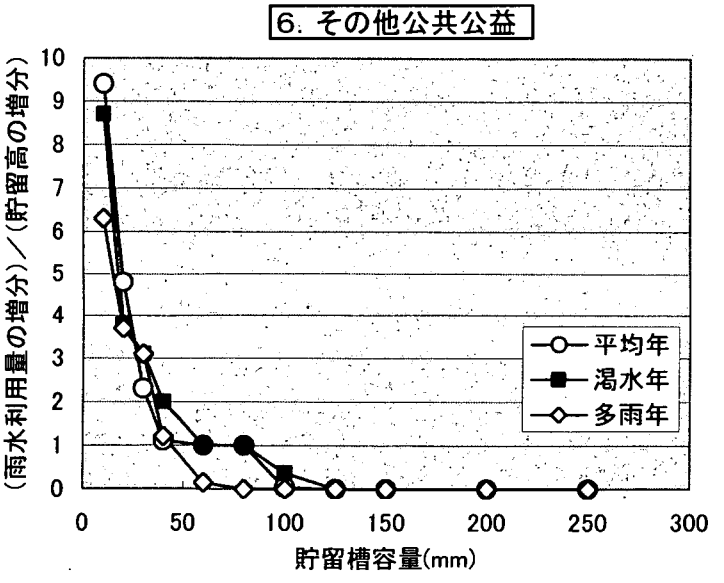


図4-9 貯留槽容量と雨水利用量の増加率との関係(2)

得られた結果は、一部を除き降雨規模による大きな差は見受けられなかった。加えて前述の通り、必要水量の全量を雨水でまかなう必要はなく、経済的な観点を考慮する必要があることから、条件の厳しい渇水年ではなく、出現頻度の高い平均年を用いた算出結果を最適貯留高として用いることとした。

得られた最適貯留高と必要水量(集水面積あたり)との関係を図 4-10 に示す。両者の関係を直線で近似すると、次式のような関係が得られた。

(最適貯留高 [mm]) = 0.12 × (必要水量(年総量) [mm]) − 20

以上の結果から、最適貯留高は降雨の多寡よりも必要水量の影響を大きく受け、必要水量によって算出できるということがわかった。ただし、必要水量が有効降雨量を大きく上回るような場合には、今回の検討に用いた最適貯留高の判断方法がそのまま適用できないと考えられるため、上記直線を外挿して適用することは危険である。

なお、得られた最適貯留高を集水面積見合いで加重平均すると約 80mm となる。これは都市Aにおいて、各土地利用区分毎に最適化を図った場合の都市全体としての平均貯留高ということができる。また、各最適貯留高は各土地利用区分における必要水量の 26 ～ 43 日分の貯留容量に相当する。

これに対し、既存の研究における最適貯留高は、

・荒巻ら[5]：60mm (東京都区部における検討)
・雨水利用マニュアル[6]：必要水量の 20 ～ 30 日分。100mm 程度。

と報告されており、今回の結果と比較的よい一致をみた。

表4-18　降雨規模別最適貯留高の算定結果

土地利用区分	最適貯留高 (mm)		
	平均年	渇水年	多雨年
一般低層住宅	40	60	40
密集低層住宅	60	80	60
中・高層住宅	125	200	100
工業用地	100	100	80
商業・業務用地	125	125	80
その他公共公益施設用地	60	60	50

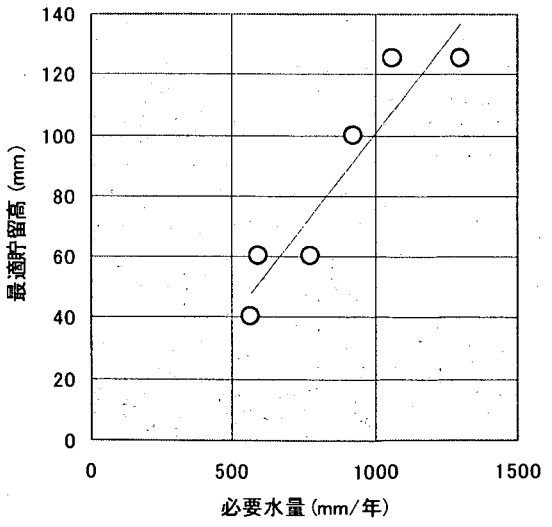


図4-10　必要水量と最適貯留高の関係

4．3．4　水収支と利水効果の評価

各土地利用区分毎の最適貯留高における雨水利用率、不足水量率、集水量、オーバーフロー量について、図 4-11 ～ 4-14 に示す。図から以下のような内容が読みとれる。

・雨水利用率は土地利用区分毎に変動幅が大きいが、不足水量率は概ね 10%前後であり、土地利用区分による差が小さい。
・オーバーフロー量は降雨年により大きく変動するが、集水量の変動幅は比較的小さい。
・必要水量の大きい土地利用区分ほどオーバーフロー量が小さい。

これらの結果から、雨水利用による利水効果について以下のようにまとめることができる。

・不足水量率は土地利用区分（必要水量）によらず概ね 10%程度であり、必要水量の大小によらず、必要水量に見合った雨水貯留槽を設定することにより、効率的に都市雨水の資源化を図ることができる。
・必要水量の大きい土地利用区分ほどオーバーフロー量を小さくできるため、雨水流出抑制の観点からは望ましい。ただし、必要水量が大きすぎる場合（有効降雨量を上回るような場合）には別途検討が必要である。
・A市全体としてみた場合、不足水量率は平均年において 10%であり、必要水量の9割を都市雨水利用によりまかなうことが可能である。これはA市における日平均給水実績量の約2割に相当する。

2割の上水使用量の節減をどう評価するかについては、様々な見方ができるものと思われるが、ここでは、雨水利用の用途として設定された必要水量の9割を確保できること、新たな水資源開発の困難性、災害時等に機能する都市内水源としての重要性等に鑑みて、雨水利用による利水効果は大きいものと評価する。ただし、都市雨水利用は水量・水質の両面から自ずと限界をもっており、都市において消費される水量の大半を都市域に降った雨により自給するということは不可能であることに留意しなければならない。

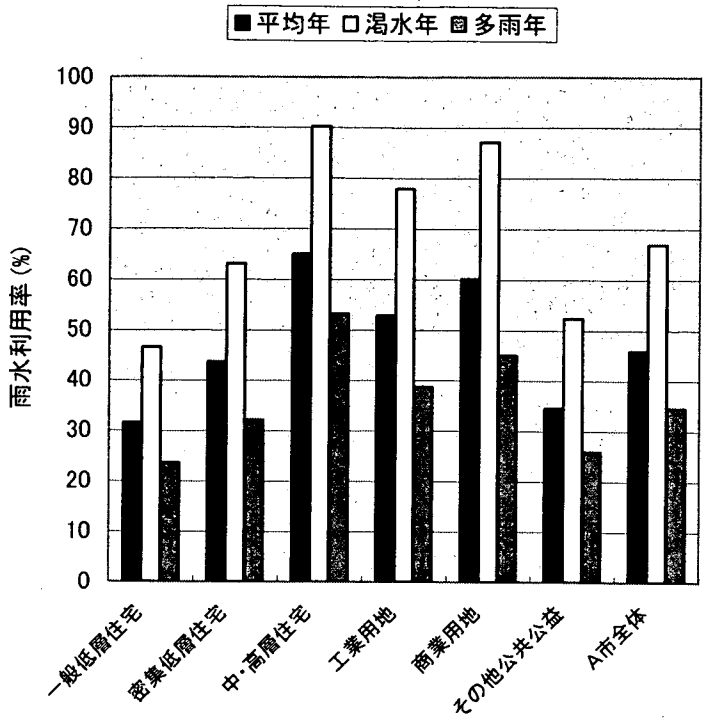


図4-11　最適貯留高における雨水利用率

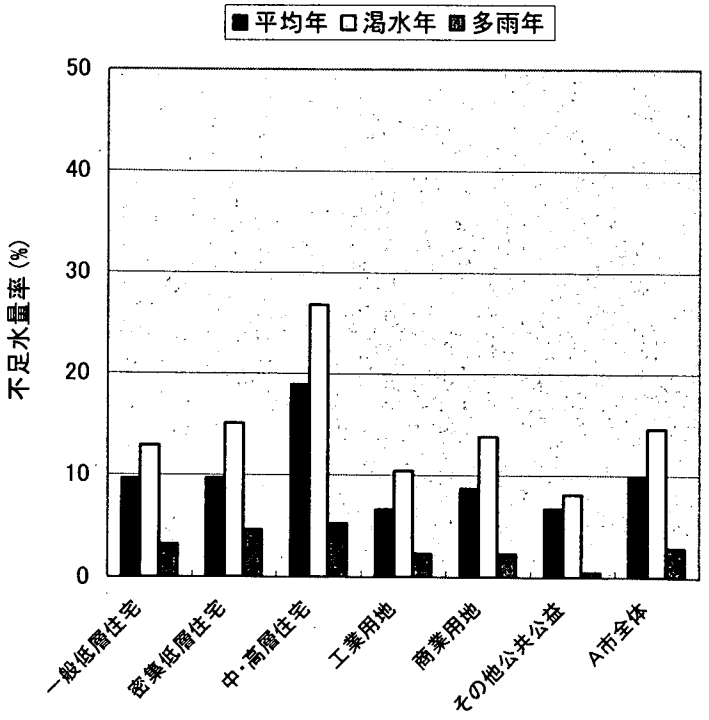


図4-12　最適貯留高における不足水量率

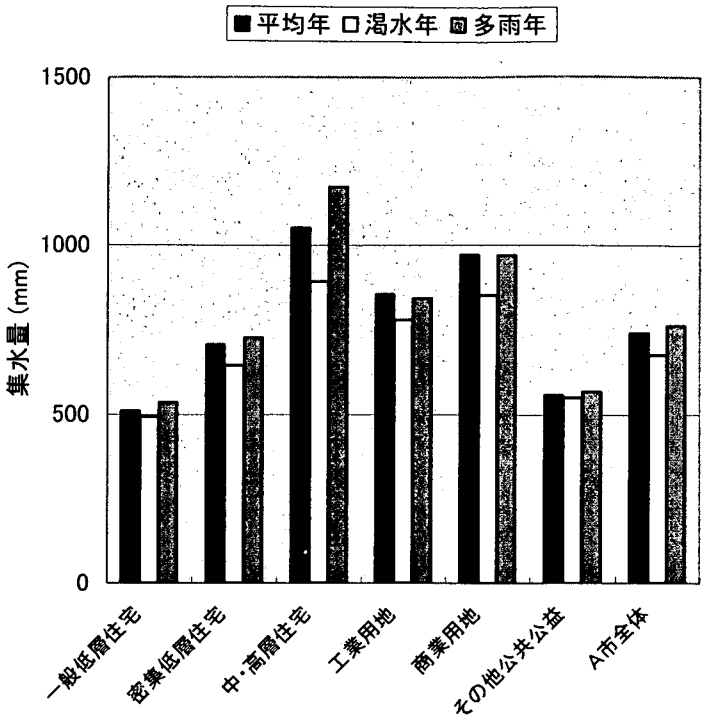


図4-13　最適貯留高における集水量

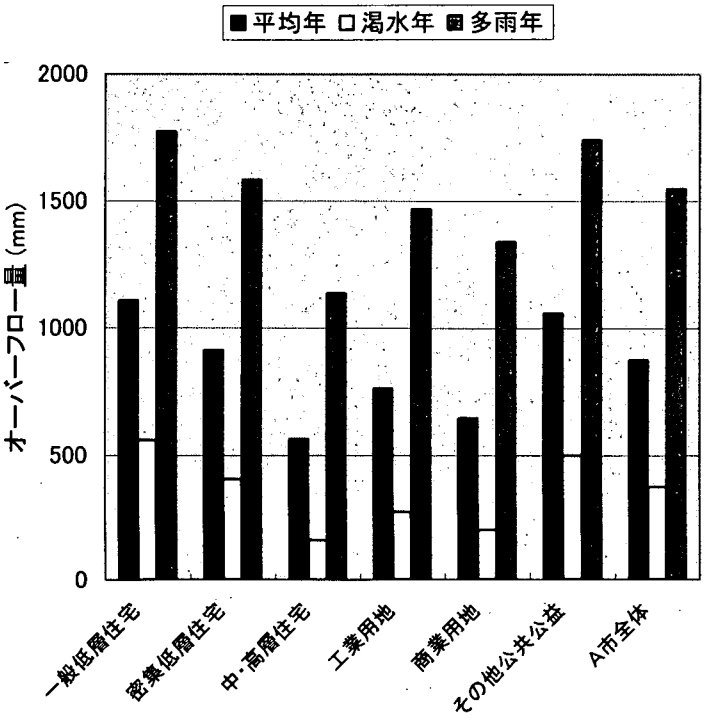


図4-14　最適貯留高におけるオーバーフロー量

4．4　浸水防除効果の評価

4．4．1　評価の考え方

雨水利用ハンドブック[4]においては、「雨水利用システムに貯留による流出抑制機能を持たせる場合には、利水槽とは区分して貯留槽を設け」て評価するという整理がなされている。すなわち、この評価方法は流域貯留施設等における水文設計の考え方と同様であり、降雨開始時に貯留槽が空になっていることが担保されるものでなければ、治水計画上評価し得ないという立場をとっている。

これに対し、一般によく用いられている「雨水利用は流出抑制機能がある」といった言い回しの中で、「雨水利用」とは雨を貯めて使う利水槽（狭義の雨水利用）の効果と解されるのが通常であり、また雨水利用を今後推進していくためにも、狭義の雨水利用における効果を（治水計画上厳密に評価することはできないながらも、何らかの手法により）定量的に把握することが重要と考えられる。この点について山口ら[7]も、雨水利用を推進する1方策として、治水効果を適切な方法で評価して応分の補助をすればよいと述べている。しかし、狭義の雨水利用における流出抑制効果について検討された事例は極めて少ない。

そこで、本調査では、「狭義の雨水利用」による流出抑制効果についての定量的評価を試みる。利水槽の雨水利用時の流出抑制効果であるから、検討は実績降雨に基づく通年のシミュレーションがベースとなる。よって、①降雨開始時における貯留槽の空き容量は毎回変動すること、②降雨強度曲線から求められる計画降雨は用いることができない、ということに留意する必要がある。これはすなわち、利水槽の流出抑制効果と通常の治水計画とは同じ土俵で議論ができないということと同義である。

また、雨水貯留の形態が「ためきり・ポンプ排水」であることにも注意が必要である。これまで（不用意に）流出抑制効果という用語を使用してきたが、ここで議論したいのは単なる流出抑制ではなく、浸水防除の効果である。つまり、貯留槽にわずかでも空き容量があれば、総量としての流出抑制効果は見込めるが、浸水防除はピーク流出をカットできてはじめて効果ありと評価するため、貯留槽に空き容量があっても、これが対象降雨のピークをカットできるだけの容量がない場合には、浸水防除の効果なしということになる。この点については、荒巻ら[5]も、雨水貯留利用システムによる雨水流出量の削減効果を評価するには本来そのピーク流量をどれだけ削減できたかで評価すべきであると述べている。

また、雨水利用ハンドブック[4]における流出抑制機能の評価手法の説明では、「放流なし（ためきり）」の場合に流出量を全量貯留するとしているが、必ずしも全量をためる必要はない。つまり下流側の許容放流量を越える部分のみをピークカットしてやればよいのであるから、ピークカット後の降雨（許容放流量以下の部分）については、貯留せずそのまま放流してもよいものと考えられる。

以上の諸点を考慮し、ここでは、有効降雨のピークを 20%以上カットできたことをもって浸水防除効果ありと判断することとした。ピークカットの割合を20%で線引きした根拠は次の通りである。

・雨水利用による浸水防除効果は下水道施設を補完するものであり、ピークを100%カットする必要はない。
・逆にピークカットできても、ピークカット量がある程度なければ、浸水防除効果として顕在化してこない。

・20%という数値は、時間降雨強度 50mm/h に対し 10mm/h 分をカットすることに相当し、また流出係数では 0.1 ～ 0.15 程度の増分に対応するものであり、効果の発現といった観点から適当な数値である。

これに対し越川ら[8]は、都市型洪水防止効果として、30mm/h 以上の降雨に対し、雨水利用により流出量が 30mm/h 未満となった場合に効果有りと評価しているが、これでは同じ 10mm/h のピークカットであっても、50mm/h を 40mm/h にカットした場合と、40mm/h を 30mm/h にカットした場合で、効果の評価が分かれることになる。上で定義したとおり、雨水利用による浸水防除効果はあくまで補完的なものと位置づけ、ある程度のピークカットが達せられれば効果ありとして評価する方が適当であろう。

また浸水防除効果の有無を把握するだけでは、定量的な評価としては十分ではないため、ここではさらに、利水槽の貯留槽容量を、治水専用貯留槽の能力に換算することを検討する。

4．4．2　雨水利用時の浸水防除効果

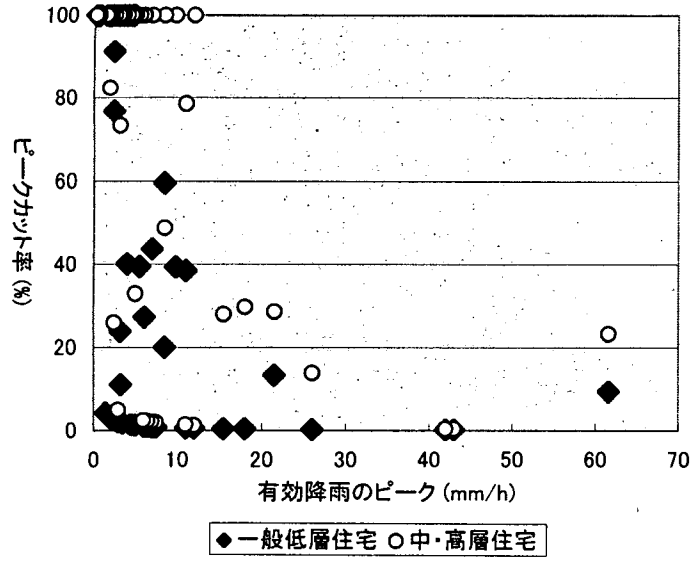
4．4．1の考え方に基づき、まず雨水利用時の浸水防除効果の有無について検討する。計算手法、計算条件は4．3．2で用いた利水検討の際の数値シミュレーションと原則同様である。計算条件として特に留意すべき点としては以下の通りである。

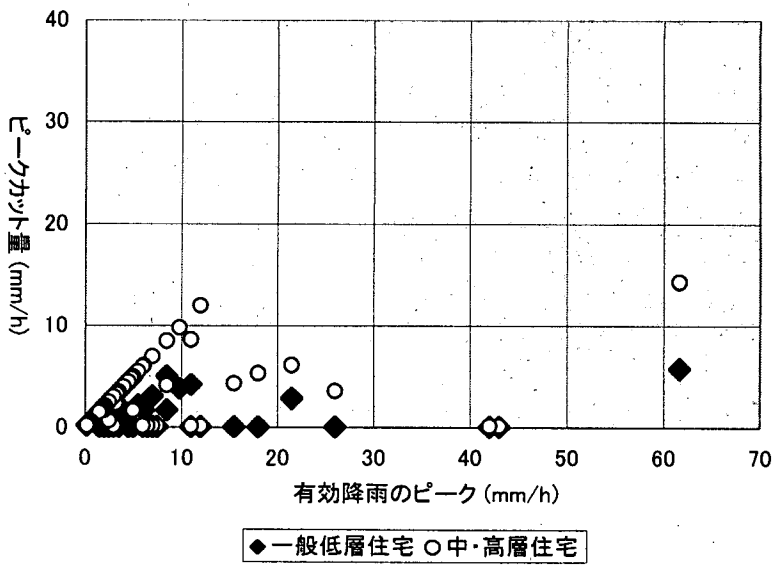
・計算対象　：土地利用区分として、必要水量が最も大きい「中・高層住宅」と、最も小さい「一般低層住宅」の2つとした。
・貯留槽容量：4．3．3で得られた最適貯留高のみ（1通り）とする。
（中・高層住宅＝ 125 mm 、一般低層住宅＝ 40 mm ）
・入力降雨　：条件の最も厳しい多雨年のデータ（過去10年間第1位）に基づき評価する。
ただし、比較参考のために平均年のデータを用いた計算も行った。
計算開始時点における貯留槽容量の初期値は4．3．2と同じ考え方で設定した。
（中・高層住宅＝ 55.3 mm 、一般低層住宅＝ 10.4 mm ）
・出力　　：ピークカット率（降雨毎）、ピークカット量（降雨毎）、
オーバーフロー量（1時間毎）、貯留槽空き容量（1時間毎）

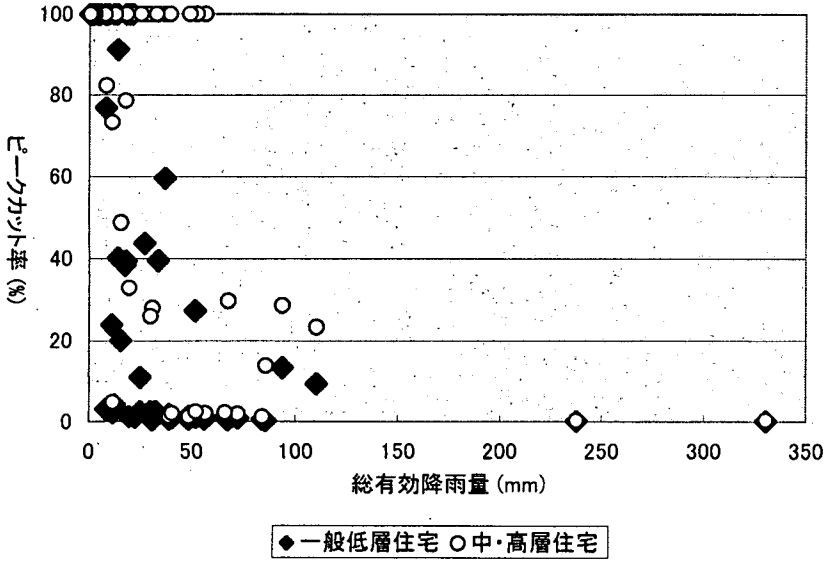
ピークカット率 ＝ （ピークカット量）／（有効降雨のピーク）
ピークカット量 ＝ （有効降雨のピーク）－（オーバーフロー量のピーク）
オーバーフロー量 ＝ （入力有効降雨）－（貯留水量）－（必要水量）

なお、既に4．2．1で述べたとおり、雨水貯留の効果は有効降雨の低減によって評価するものとし、流出の過程を考慮しないものとしている。よって、上で述べているピークとはハイエトグラフのピークである。また4．3．2と同様に、議論の対象を集水域としての屋根面のみに限定していることに留意する必要がある。

各独立降雨毎のピークカット率、ピークカット量と有効降雨のピーク、総有効降雨量との関係について図4-15, 4-16 に示す。







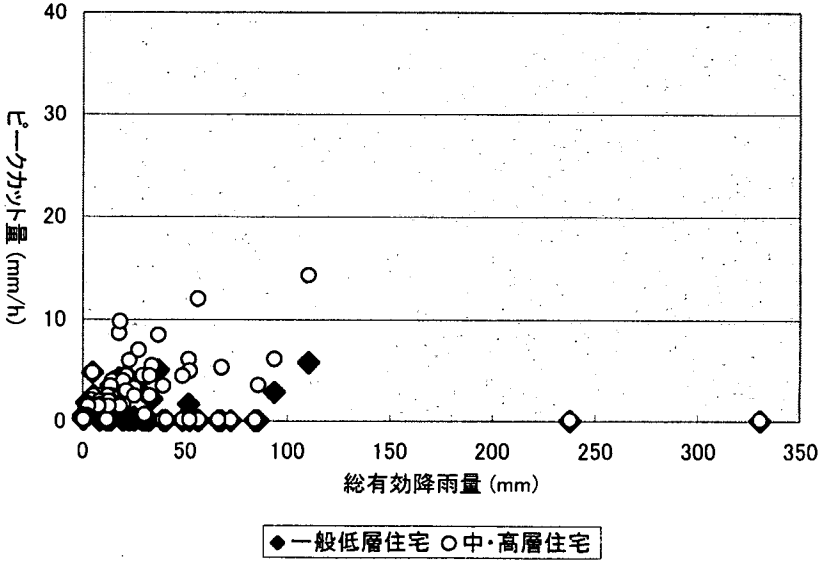


図4-15 雨水利用時の浸水防除効果(多雨年)

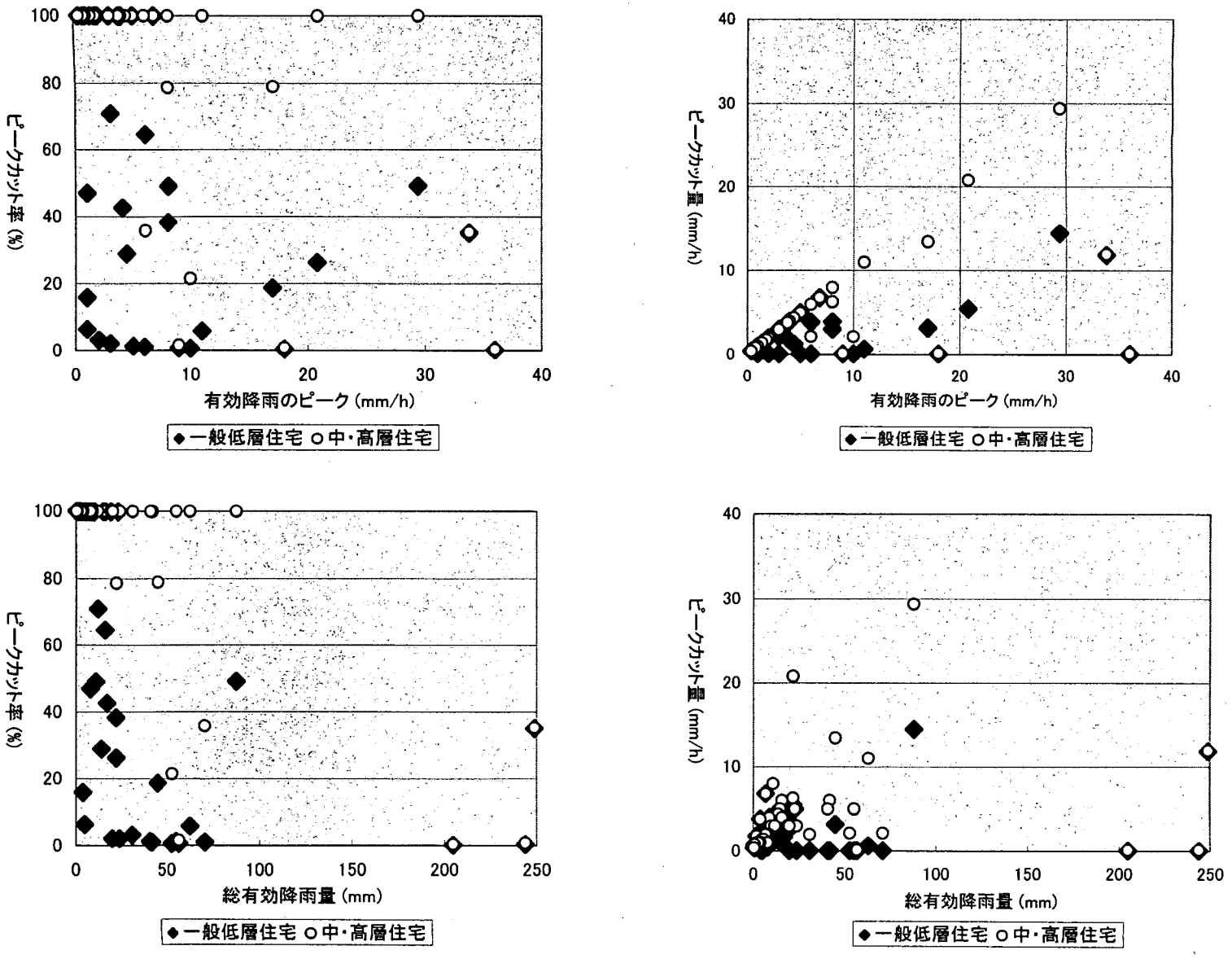


図4-16 雨水利用時の浸水防除効果(平均年)

図より、以下のような内容が読みとれる。

・多雨年、一般低層住宅の場合、有効降雨のピーク 5mm/h 以上、または総有効降雨量 10mm 以上の降雨の場合に、ピークカットの効果が激減する。
・多雨年、中・高層住宅の場合、有効降雨のピーク 10mm/h 以上、または総有効降雨量 50mm 以上の降雨の場合に、ピークカットの効果が激減する。
・土地利用区分によらず、多雨年の方が平均年に比べてピークカットの効果が小さい。
・対象年(入力降雨)によらず、一般低層住宅の方が中・高層住宅に比べてピークカットの効果が小さい。

浸水防除効果の有無について計算結果を整理すると表 4-19 のようになる。ここで浸水防除効果については、先に述べたように、有効降雨のピークの 20%以上カット(ピークカット率 20%)をもって浸水防除効果ありと判断する。また規模の大きな降雨(ここでは、有効降雨のピークが 20mm/h 以上または、総有効降雨量が 50mm 以上の降雨とした。)については、別途抽出の上集計を行った。ピークカット量の平均値は各降雨毎のピークカット量を単純平均したものであり、この値により浸水防除効果の大きさを比較することができる。

評価対象とする多雨年の結果について見ると、一般低層住宅において 55% (39/71)、中・高層住宅において 83% (59/71) の降雨に対して浸水防除効果ありとされた。しかし、これを規模の大きな降雨に限定した場合、浸水防除効果ありとされた降雨の割合は、一般低層住宅で 7% (1/14)、中・高層住宅で 43% (6/14)と大幅に減少する。浸水防除の観点からすれば、既存の下水道施設で十分に対応できないような規模の大きい降雨の場合にこそ、貯留施設のピークカット効果が必要とされる。よって、ここでの浸水防除効果は、全降雨を対象とした前者の値よりも、規模の大きな降雨を抽出した後者の値により評価することが妥当である。

これらのことから、雨水利用時の利水槽の浸水防除効果は大きいものではないと判断される。特に一般低層住宅のように、貯留槽容量が小さい(もしくは、雨水利用時の必要水量が小さい)場合には、浸水防除効果がほとんど発現しないものといえる。具体的には、住宅の屋根面積が $70m^2$ の場合、貯留高 40mm に相当する利水槽容量は約 $3m^3$ となるが、この程度での利水槽では浸水防除の効果が十分でないということになる。

表4-19　雨水利用時の浸水防除効果

対象降雨	土地利用区分	全独立降雨			有効降雨のピーク20mm/h以上または総有効降雨量50mm以上の独立降雨		
		降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)	降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)
多雨年	一般低層住宅	71	39	1.2	14	1	0.8
	中・高層住宅	71	59	2.8	14	6	3.8
平均年	一般低層住宅	67	52	1.8	10	3	3.3
	中・高層住宅	67	64	3.3	10	7	8.3

4．4．3　治水専用貯留槽との比較

(1)浸水防除効果の換算

利水槽における浸水防除効果の大小は、降雨開始時点における空き容量の大きさに依存する。そこで利水槽の浸水防除効果を、浸水防除効果が等価となるような治水専用の貯留施設(降雨開始時に常に空となっている)の貯留槽容量に換算して定量化することを検討する。

4．4．2の計算結果から、利水槽の空き容量の平均値について整理すると表 4-20 のようになる。空き容量の平均値は2通りの方法で算出しており、1つは各独立降雨において降雨開始直前の空き容量を抽出して平均したもの、もう1つは降雨の状況と無関係に、1時間毎の空き容量の値を単純に平均したものである。両者に大きな差は認められなかったが、ここで求めたい空き容量の平均値とは降雨開始時にどれだけの空き容量が期待できるかということであり、また1時間毎の単純平均の場合は、雨の降る確率が低い非出水期の状況(空き容量が大きい)に平均値が引っ張られて空き容量を過大評価するおそれがある。そこで、ここでは独立降雨の直前値の年間平均値を、貯留槽空き容量の平均値として扱うこととした。

次に、この空き容量の平均値を貯留槽容量として持つ治水専用の貯留槽を想定し、この治水専用施設の浸水防除効果と、利水槽の浸水防除効果とを比較した。具体的には、例えば多雨年の中・高層住宅の場合、125mm の貯留高を持つ利水槽と 37mm の貯留高を持つ治水専用貯留槽の浸水防除効果を、多雨年の雨により比較するということである。利水槽の浸水防除効果については既に4．2．2で算出済みであり、これを用いる。治水専用貯留槽の浸水防除効果については次のように算出する。

・基本的考え方:4．4．2における雨水利用時の浸水防除効果の計算方法・計算条件と原則同様である。
ただし、必要水量はゼロとし、降雨開始時の貯留槽容量は常にゼロに設定する。

・入力降雨　:多雨年の計算結果に基づく換算の場合、多雨年の降雨により、
平均年の計算結果に基づく換算の場合、平均年の降雨により浸水防除効果を計算する。
(ここでは、治水専用貯留槽の容量設定方法の妥当性が問題であるので、多雨年、平均年がともに議論の対象である。)

表4-20　雨水利用時の貯留槽空き容量の平均値

対象降雨	土地利用区分	貯留槽空き容量の平均値(mm) ①各独立降雨の直前値の平均			貯留槽空き容量の平均値(mm) ②単純平均(1時間単位)		
		年間平均値	出水期の平均値(5月～10月)	非出水期の平均値(11月～4月)	年間平均値	出水期の平均値(5月～10月)	非出水期の平均値(11月～4月)
多雨年	一般低層住宅	9.8	6.2	16.5	10.1	4.2	16.1
	中・高層住宅	37.0	21.4	65.7	40.2	17.9	62.8
平均年	一般低層住宅	15.3	14.3	16.5	14.7	12.0	17.4
	中・高層住宅	85.2	83.7	87.2	77.1	76.6	77.6

各独立降雨毎のピークカット量、オーバーフロー量ピークを、雨水利用の場合と治水専用の場合とで比較した結果を図 4-17, 4-18 に示す。図より、以下のような内容が読みとれる。

・対象降雨、土地利用区分によらず、雨水利用時と治水専用換算時のピークカット量、オーバーフロー量のピークは概ね一致していた。
・ただし全体的な傾向として、ピークカット量については、雨水利用時よりも治水専用換算時の方が若干大きめであり、またオーバーフロー量のピークは、雨水利用時よりも治水専用換算時の方が若干小さめであった。
・特に、多雨年における中・高層住宅のピークカット量については値のばらつきが大きく、治水専用換算時のピークカット量が雨水利用時のそれを最大で 20mm/h 程度上回る場合があった。

また、多雨年を対象とした計算結果について、ピークカット率と有効降雨のピーク、総有効降雨量との関係について、雨水利用の場合と治水専用の場合とで比較した結果を図 4-19 に示した。

計算結果からそれぞれの場合の浸水防除効果の有無についてとりまとめたものが表 4-21, 4-22 である。土地利用区分や対象降雨によらず、治水専用の場合の浸水防除効果が雨水利用の場合の浸水防除効果を若干上回っていた。この傾向は、特に規模の大きな降雨の場合に顕著であった。

表4-21　浸水防除効果の比較（多雨年）

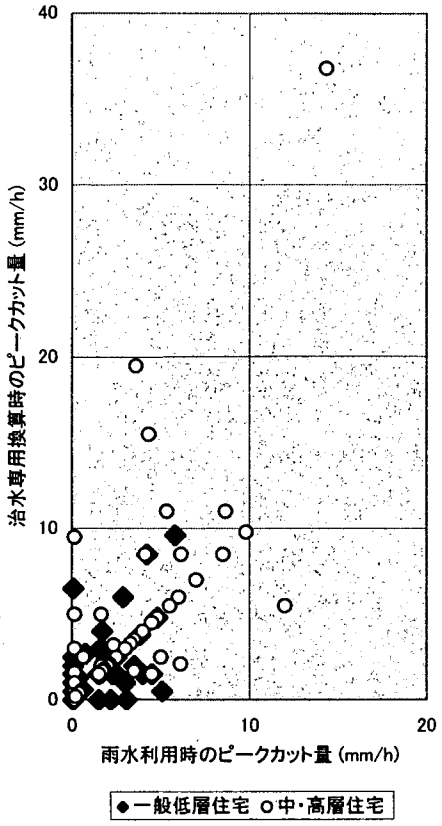
土地利用区分	利用形態	貯留槽容量	全独立降雨			有効降雨のピーク20mm/h以上または総有効降雨量50mm以上の独立降雨		
			降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)	降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)
一般低層住宅	雨水利用	40 mm	71	39	1.2	14	1	0.8
	治水専用	9.8 mm	71	45	1.3	14	3	1.7
中・高層住宅	雨水利用	125 mm	71	59	2.8	14	6	3.8
	治水専用	37.0 mm	71	64	3.8	14	8	6.4

＊：治水専用は、多雨年の計算結果から算出した平均空き容量をもつ治水専用施設の、多雨年の降雨に対する効果

表4-22　浸水防除効果の比較（平均年）

土地利用区分	利用形態	貯留槽容量	全独立降雨			有効降雨のピーク20mm/h以上または総有効降雨量50mm以上の独立降雨		
			降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)	降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)
一般低層住宅	雨水利用	40 mm	67	52	1.8	10	3	3.3
	治水専用	15.3 mm	67	57	2.2	10	5	4.9
中・高層住宅	雨水利用	125 mm	67	64	3.3	10	7	8.3
	治水専用	85.2 mm	67	65	3.7	10	8	10.1

＊：治水専用は、平均年の計算結果から算出した平均空き容量をもつ治水専用施設の、平均年の降雨に対する効果



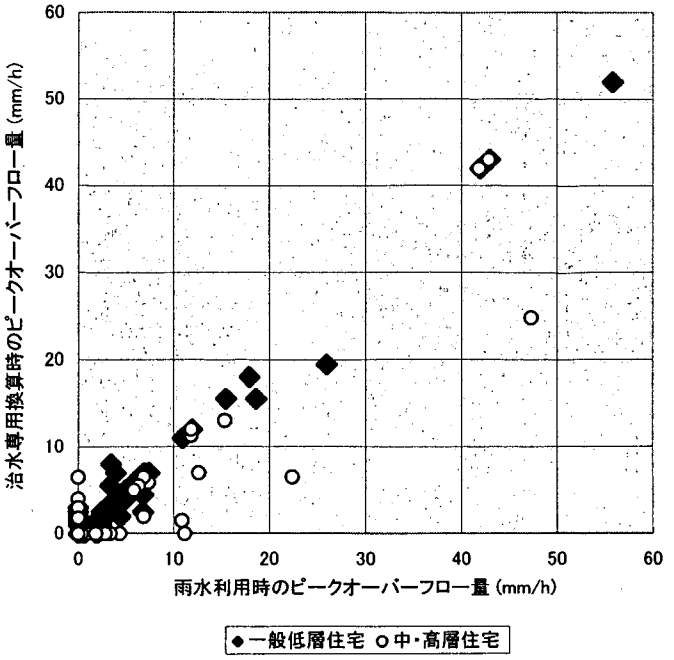
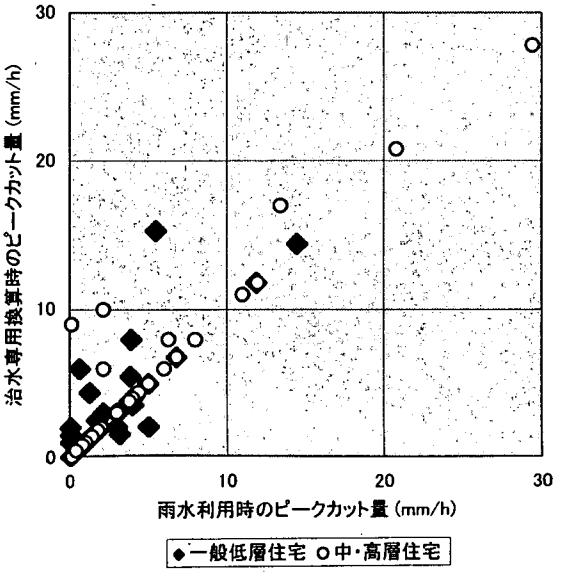


図4-17 治水専用貯留槽との比較(多雨年)



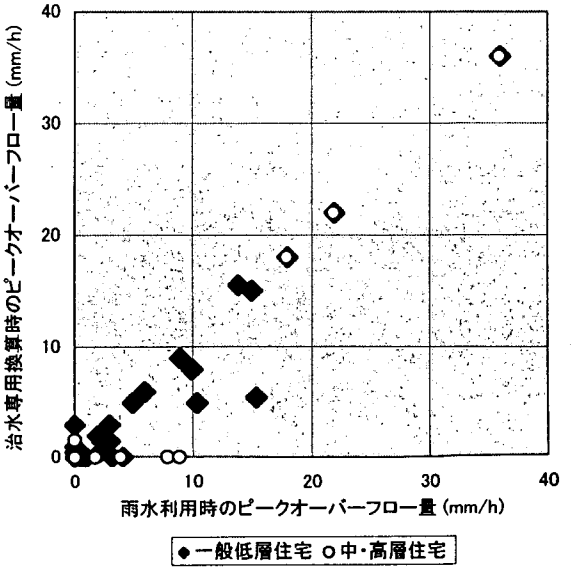


図4-18 治水専用貯留槽との比較(平均年)

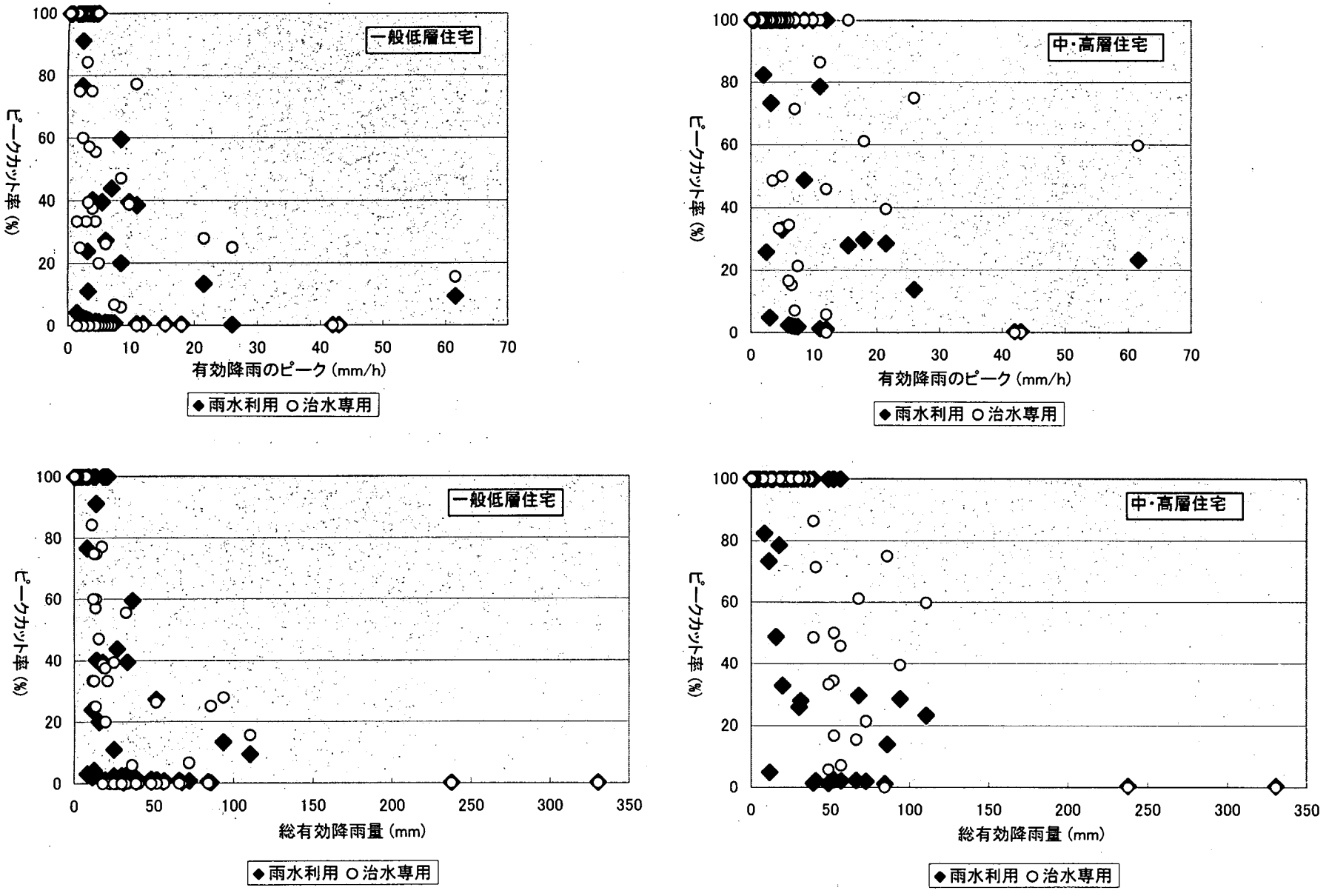


図4-19 治水専用貯留槽との比較(多雨年)

以上の結果をまとめると次のようになる。

・利水槽の浸水防除効果について、降雨開始直前の貯留槽空き容量から年間平均空き容量を算出し、これと同じ貯留槽容量をもつ治水専用の雨水貯留槽の浸水防除効果と比較した。
・浸水防除効果の比較には、各降雨毎のピークカット量、各降雨毎のオーバーフロー量のピーク、ピークカット量の平均値、ピークカット率 20%以上の降雨回数という指標を用いた。
・結果、両者の浸水防除効果は概ね等価なものであるとされたが、全体的に換算された治水専用施設の浸水防除効果の方が大きくなる傾向があった。これは、雨水利用施設の浸水防除効果を適性に評価するという観点からすれば危険側の換算（過大評価）であるといえる。

換算結果が危険側になる理由として、治水専用施設への換算に年平均の値を用いていることを挙げることができる。前掲の表 4-20 の通り、出水期の空き容量の平均値は非出水期の空き容量の平均値と比べて小さく、降雨回数の多い出水期の空き容量が相対的に小さいことが全体の結果に影響しているものと考えられる。

また参考に、多雨年の値から換算された治水専用施設に対し平均年の降雨を入力した計算結果を、平均年の利水槽の計算結果と比較すると図 4-20 のようになる。この場合には、ピークカット量が雨水利用時よりも治水専用換算時の方が若干小さめとなり、換算結果が安全側（過小評価）となっていることがわかる。

上述の浸水防除効果の換算方法が妥当なものであるとし、かつその評価を、4．4．2と同様に多雨年のデータに基づき行うこととすれば、利水槽の治水専用貯留槽への換算係数はおよそ 1/4 程度ということになる（37/125=0.30, 9.8/40=0.25）。

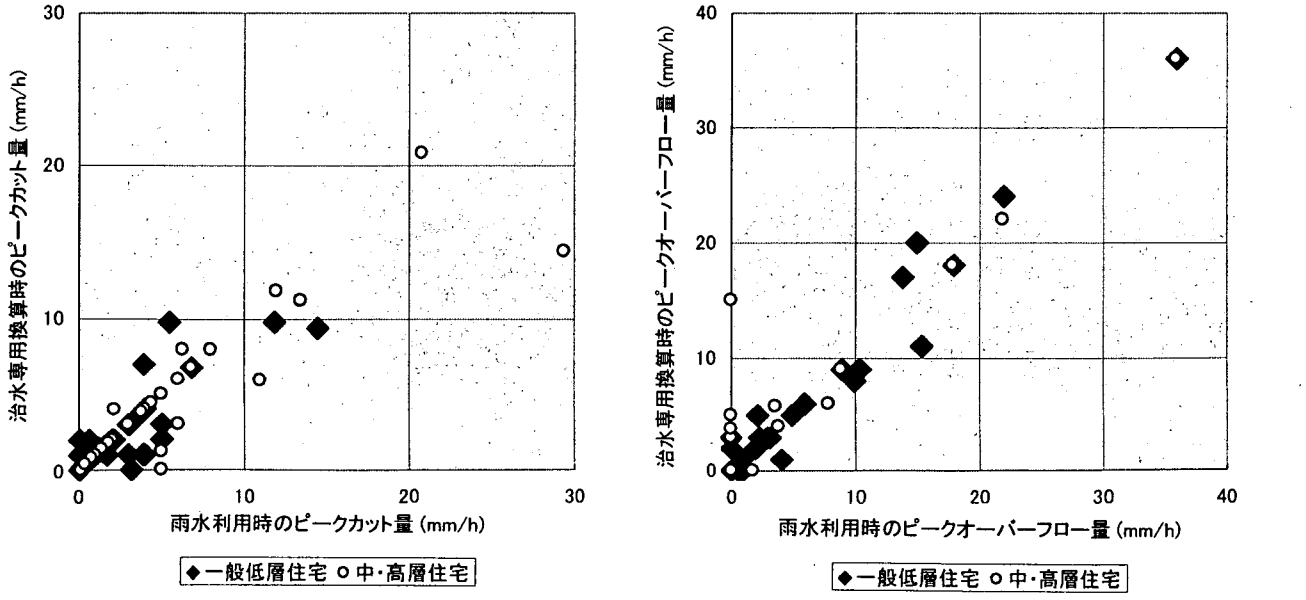


図4-20 治水専用貯留槽との比較（多雨年換算貯留高に平均年降雨を入力）

(2)計画降雨による評価

ためきり型の治水専用貯留施設として、どの程度の貯留高であれば雨水計画上効果があると判断できるのかについて検討する。通常の雨水貯留施設と同じレベルでの評価を行うため、まず計画降雨を設定し、これに対する必要対策量を算定する。

計画降雨はクリーブランド型の降雨強度式から作成される中央集中型(継続時間 24 時間)とする。ここでは次式で表されるA市における5年確率の降雨強度式を用いる。

$$I = 1200 / (t^{2/3} + 5.0)$$

ここで I :降雨強度(mm/h)、t :降雨継続時間(min)

上式から得られる中央集中型のハイエトグラフを図 4-21 に示す。

既に述べたとおり、ためきり型の場合であっても流出量を全量貯留する必要はないので、ここでは必要対策量として、計画降雨波形のピークを 20%カットできるだけの貯留容量と設定する。この場合、降雨開始からピーク前までの全ての降雨量とピーク降雨量の 20%を全て貯留する必要があり、このための必要貯留高は約 80mm となる。

各土地利用区分の中で最も最適貯留高の大きい中・高層住宅の利水槽(貯留高 125mm)であっても、浸水防除効果の換算貯留高はわずか 37mm しかなく、雨水計画上は5年確率降雨のピークに対して寄与しないということがわかる。雨水利用施設を雨水計画上も有効な施設たらしめるためには、浸水防除効果を高めるための工夫が必要であるといえる。

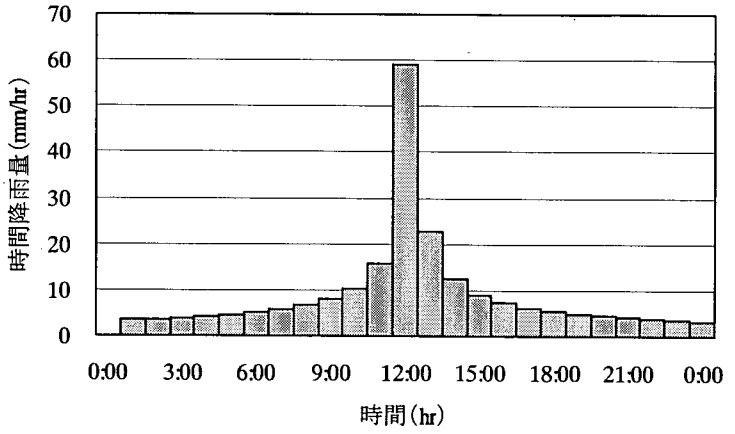


図4-21　中央集中型の計画降雨

4．4．4　浸水防除効果を高める工夫

これまでの検討で、雨水利用施設の浸水防除効果は必ずしも十分でないことが明らかとなった。そこで、

○雨水利用施設に治水専用の貯留容量を付与する

○貯留高を期別に変更する

という2つの方法により、雨水利用施設の浸水防除効果を高めることを検討する。検討対象は、土地利用区分として中・高層住宅のみとし、また降雨は多雨年のデータのみとした。また浸水防除効果の目標として、治水専用の貯留高を80mmと設定した。

(1)治水専用の貯留容量の付与

目標貯留高に不足する部分を治水専用の貯留槽で補おうとする考え方である。ここでは次の2ケースについて浸水防除効果を計算し、結果を比較する。

・検討ケース①:浸水防除効果の目標として、治水専用貯留槽80mmの場合。

計算方法は、雨水利用時の浸水防除効果の計算方法・計算条件と原則同様である。

ただし、必要水量はゼロとし、降雨開始時の貯留槽容量は常にゼロに設定する。

・検討ケース②:中・高層住宅の利水槽(125mm)に治水専用貯留槽40mm＊を増設した場合。

計算方法は、雨水利用時の浸水防除効果の計算方法・計算条件と原則同様である。

貯留高は治水専用貯留槽も含めて計算するが、降雨終了後に治水専用部分の貯留水量のみゼロに設定する。

(＊利水槽の浸水防除効果への換算貯留高が約40mmであるため、その不足分として40mm)

表4-23　浸水防除効果の比較（治水専用貯留容量を付与した場合）

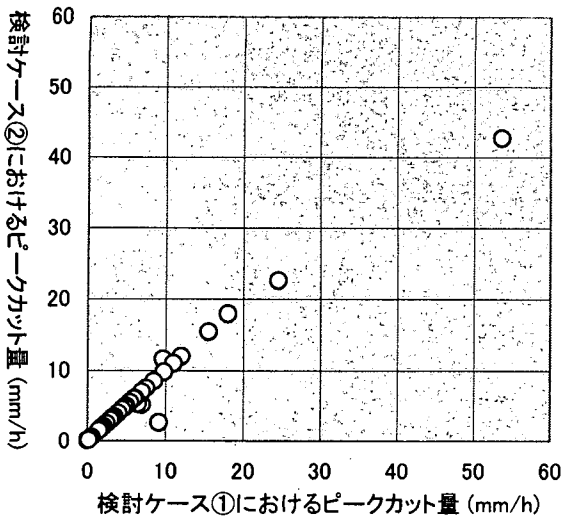
検討ケース	貯留槽容量(利水槽)	貯留槽容量(治水専用)	全独立降雨			有効降雨のピーク20mm/h以上または総有効降雨量50mm以上の独立降雨		
			降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)	降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)
検討ケース①	0 mm	80 mm	71	69	5.2	14	12	11.8
検討ケース②	125 mm	40 mm	71	69	4.9	14	12	10.4
比較参考(再掲)	125 mm	0 mm	71	59	2.8	14	6	3.8

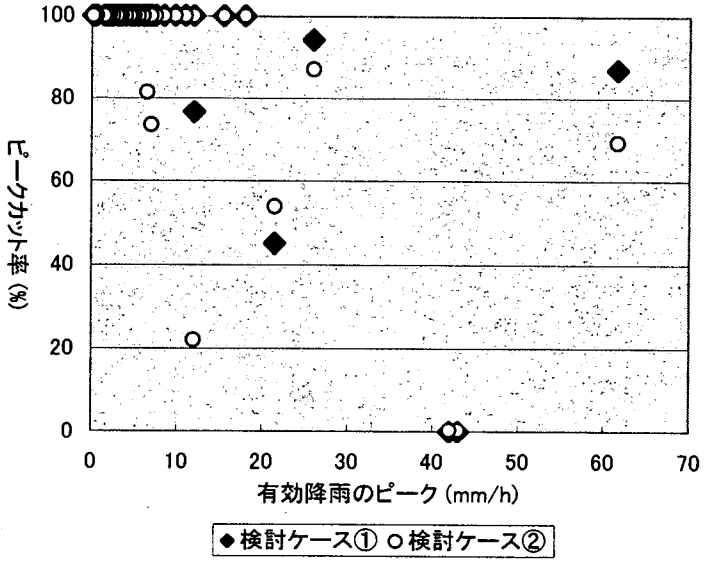
＊:いずれも中・高層住宅における多雨年のデータによる計算結果。比較参考は治水専用の貯留容量を付与しなかった場合。

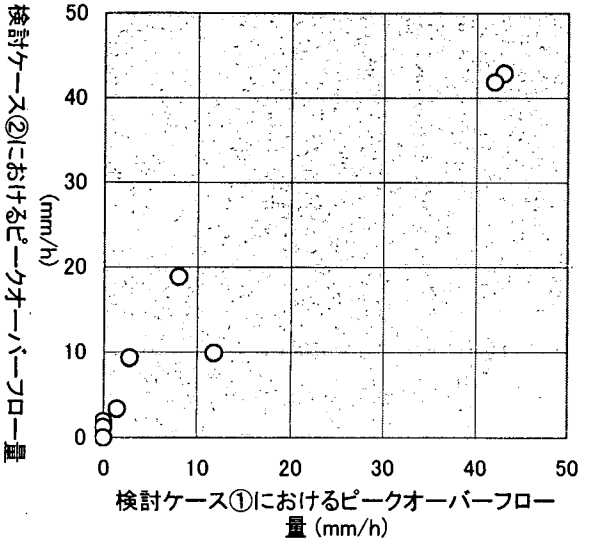
表4-24　貯留槽空き容量の平均値（治水専用貯留容量を付与した場合）

検討ケース	貯留槽容量(利水槽)	貯留槽容量(治水専用)	貯留槽空き容量の平均値(mm)		
			年間平均値	出水期の平均値(5月～10月)	非出水期の平均値(11月～4月)
検討ケース①	0 mm	80 mm	80.0	80.0	80.0
検討ケース②	125 mm	40 mm	77.0	61.4	105.7
比較参考(再掲)	125 mm	0 mm	37.0	21.4	65.7

＊:いずれも中・高層住宅における多雨年のデータによる計算結果。比較参考は治水専用の貯留容量を付与しなかった場合。







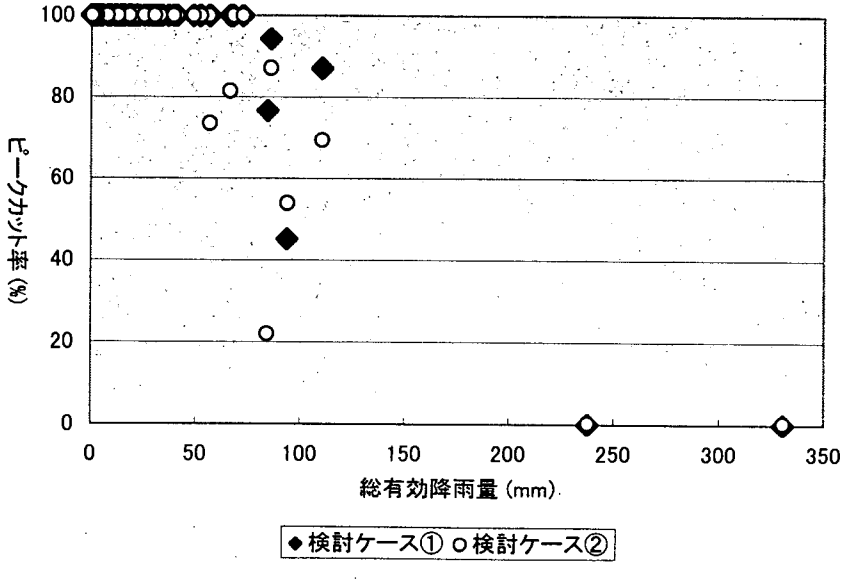


図4-22 治水専用の貯留容量を付与した場合との比較(多雨年)

計算結果を図 4-22 に示す。また各検討ケースの浸水防除効果の有無について表 4-23 に、貯留槽空き容量の平均値について表 4-24 に示す。

各検討ケースの計算結果を比較すると、ピークカット率 20%以上の降雨回数、ピークカット量の平均値、貯留槽空き容量の平均値のいずれも、検討ケース②が検討ケース①をわずかに下回る程度で、ほぼ同一の値が得られた。よって、両者の浸水防除効果はほぼ同程度であるということができる。

このことから、治水専用の目標貯留高に対する利水槽の換算貯留高の不足分について、治水専用の貯留容量として利水槽に付与することにより、雨水利用施設の浸水防除効果を高めることが可能であることがわかった。ここでとりあげた例で考えれば、本来治水専用貯留槽として 80mm の貯留高の施設が必要であるところを、利水槽の浸水防除効果を適切にカウントしたことにより、新たに設ける治水専用貯留槽の貯留高を 40mm に縮小できたものと評価することができる。

(2)貯留高の期別変更

表 4-20 や表 4-24 から、出水期と非出水期の空き容量の平均値が大きく異なることが明らかとなっている。このことを活用し、空き容量の大きい(貯留水量の少ない)非出水期には従来通りの運用を行うが、空き容量の小さい(貯留水量の多い)出水期には、利用できる水量が十分にあるとの判断から、利水槽として運用する貯留高を下げて、余った容量を治水専用貯留槽として活用することを検討する。

ここで検討対象としている中・高層住宅、多雨年における出水期と非出水期の空き容量の平均値の差は、表 4-20 より約 40mm であることから、雨水利用の状況に大きな影響を与えることなく切り下げることができる貯留高の最大値として 40mm を選定する。これは治水専用の目標貯留高に対する利水槽の不足分に相当する。検討の詳細は次の通りである。

・検討ケース①:浸水防除効果の目標として、治水専用貯留槽 80mm の場合。既に(1)で計算済み。

・検討ケース③:中・高層住宅の利水槽(125mm)において、出水期(5月～10月)においてのみ利水槽の貯留高を 85mm で運用し、治水専用貯留槽 40mm を確保した場合。

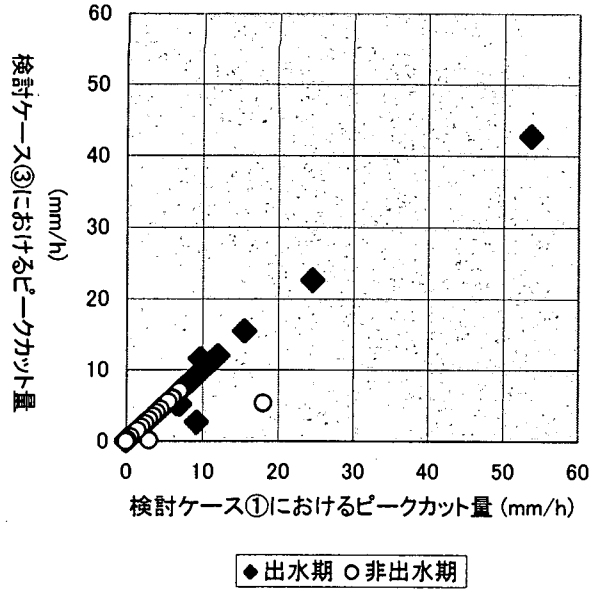
計算方法は、雨水利用時の浸水防除効果の計算方法・計算条件と原則同様である。

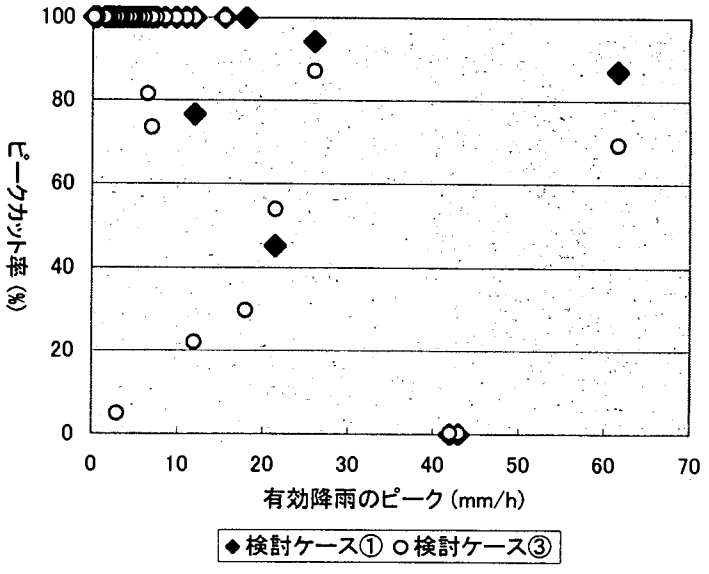
出水期においては、貯留高は治水専用貯留槽も含めて計算するが、降雨終了後に治水専用部分の貯留水量のみゼロに設定する。

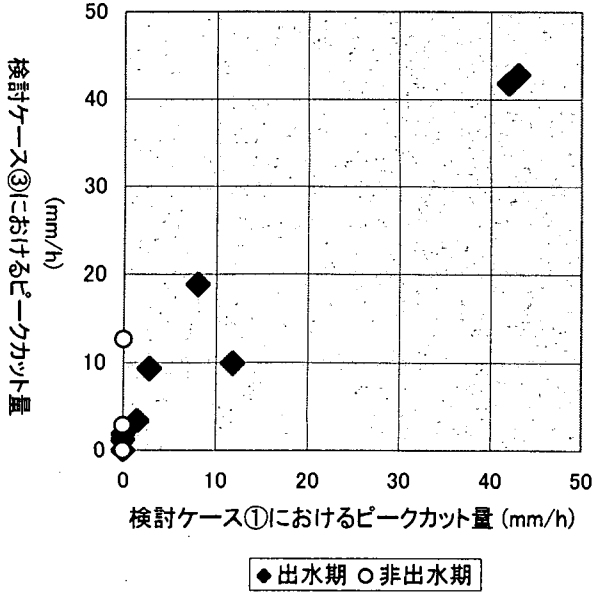
5/1 時点で空き容量が 40mm に満たない場合は、空き容量を 40mm 確保する。

計算結果を図 4-23 に示す。また各検討ケースの浸水防除効果の有無について表 4-25 に、貯留槽空き容量の平均値について表 4-26 に示す。

各検討ケースの計算結果を比較する。浸水防除効果が空き容量の平均値により代表されるとすると、検討ケース③の空き容量は約 60mm であり、目標に対し 20mm ほど不足している結果となった。しかし、ピークカット率 20%以上の降雨回数、ピークカット量の平均値について見ると、検討ケース③は検討ケース①(もしくはケース②)より若干小さい程度で、ほぼ同一の値が得られている。これは、降雨の多くが出水期に発生し、出水期に







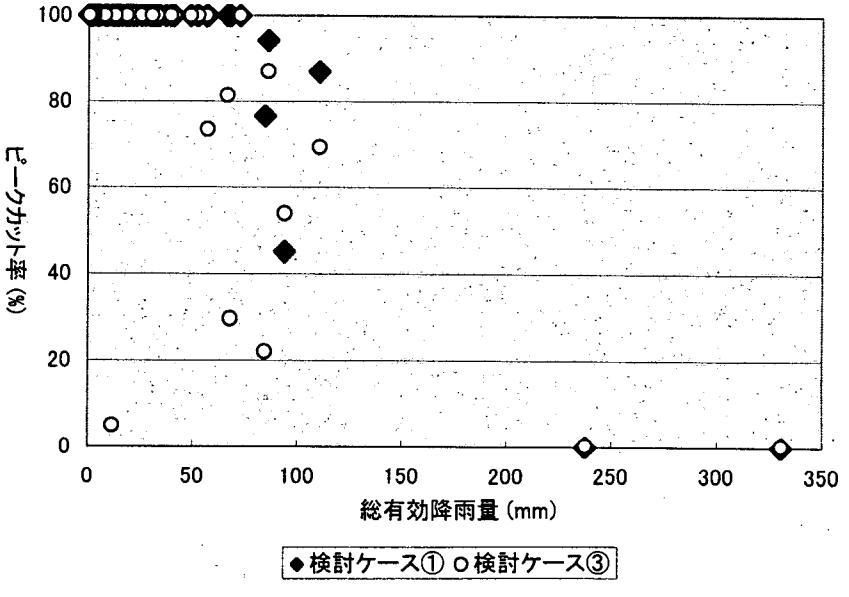


図4-23 貯留高を期別変更した場合との比較(多雨年)

のみ確保された治水専用の貯留容量が効果的に機能するためと考えられる。浸水防除効果の大きさは、検討ケースで①＞②＞③の順になっているが、それぞれ大差はないものと判断できる。

ここで、出水期に利水槽の容量を切り下げたことが、雨水利用の状況に影響を及ぼしていないかどうか確認する必要がある。検討ケース③のように利水槽の貯留高を期別運用した場合の雨水利用率、不足水量率について計算した。降雨条件は平均年、多雨年、渇水年の3通りとした。計算結果を表 4-27 に示す。これによれば、多雨年、平均年については雨水利用率、不足水量率ともわずかに変動する程度で、期別運用による影響はほとんどないと考えてよい。渇水年については若干影響が大きく、雨水利用率で 8 ポイント、不足水量率で 6 ポイント程度の変動であった。

以上の結果から、治水専用の目標貯留高に対する利水槽の不足分について、治水専用の貯留槽容量を出水期のみ利水槽の内部に確保することにより、雨水利用の状況に大きな影響を与えることなく、雨水利用施設の浸水防除効果を高めることが可能であることが分かった。この場合、治水専用の貯留容量を外付けする検討ケース②に比べ、浸水防除効果は若干劣るが、新たに貯留容量を確保する必要がないという利点がある。

表4-25　浸水防除効果の比較（貯留高を期別運用した場合）

検討ケース	貯留槽容量（利水槽）（出水期／非出水期）	貯留槽容量（治水専用）（出水期／非出水期）	全独立降雨			有効降雨のピーク20mm/h以上または総有効降雨量50mm以上の独立降雨		
			降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)	降雨回数(回)	うちピークカット率20%以上の降雨回数(回)	ピークカット量の平均値(mm/h)
検討ケース①	0／ 0 mm	80/ 80 mm	71	69	5.2	14	12	11.8
検討ケース③	85/125 mm	40/ 0 mm	71	68	4.7	14	12	9.5
比較参考(再掲)	125/125 mm	0/ 0 mm	71	59	2.8	14	6	3.8

＊:いずれも中・高層住宅における多雨年のデータによる計算結果。

表4-26　貯留槽空き容量の平均値（貯留高を期別運用した場合）

検討ケース	貯留槽容量（利水槽）（出水期／非出水期）	貯留槽容量（治水専用）（出水期／非出水期）	貯留槽空き容量の平均値(mm)		
			年間平均値	出水期の平均値（5月～10月）	非出水期の平均値（11月～4月）
検討ケース①	0／ 0 mm	80/ 80 mm	80.0	80.0	80.0
検討ケース③	85/125 mm	40/ 0 mm	59.4	56.0	65.7
比較参考(再掲)	125/125 mm	0/ 0 mm	37.0	21.4	65.7

＊:いずれも中・高層住宅における多雨年のデータによる計算結果。

表4-27　貯留高を期別運用した場合の雨水利用への影響

検討ケース	貯留槽容量（利水槽）（出水期）	貯留槽容量（利水槽）（非出水期）	雨水利用率(%)			不足水量率(%)		
			多雨年	平均年	渇水年	多雨年	平均年	渇水年
期別運用あり	85 mm	125 mm	51.6	63.2	82.5	8.1	21.2	33.1
期別運用なし	125 mm	125 mm	53.2	65.0	90.2	5.3	18.9	26.9

＊:いずれも中・高層住宅における計算結果。

4．5　合流改善効果の評価

4．5．1　評価の考え方

4．4と同様に、ここでは「狭義の雨水利用」による流出抑制効果が合流改善対策にどの程度寄与するかを検討する。本調査においては、これまで汚濁負荷量については全く議論していないので、合流改善効果を評価するための指標としては次の3つを用いる。

越流回数、越流水量、遮集雨水量　（これら3つの指標の年総量、ならびに低減率）

越流や遮集は排水区域単位での議論となるため、屋根面以外からの流出も考慮する必要がある。具体的には、屋根面以外の不浸透域として道路面を想定し、そこからの流出を考慮する。表 4-3 において、道路面積を各土地利用区分に割り振ったものについて既に検討済みであり、これを活用する。また不浸透域からの流出については無視するものとする。なお、この場合であっても、考え方としてはあくまで有効降雨ベースであり、流出の過程については考慮しない。

また、合流式下水道の議論であるため、雨水量の他に汚水量を考慮する必要があるが、ここでは検討を簡略化するため、汚水量は常に晴天時計画時間最大汚水量（1Q）が流れているものとする。このような仮定をおくことにより、流出雨水量をあらかじめ定めておいた遮集雨水量と比較することにより、これを上回った分が越流するものと判断できる。遮集雨水量については、暫定指針 [3]を参考に、遮集量3Q（遮集雨水量として2Q）および遮集雨水量 2mm/h の2例について検討した。越流水量、遮集雨水量を求めるための計算フローについて図 4-24 に示す。

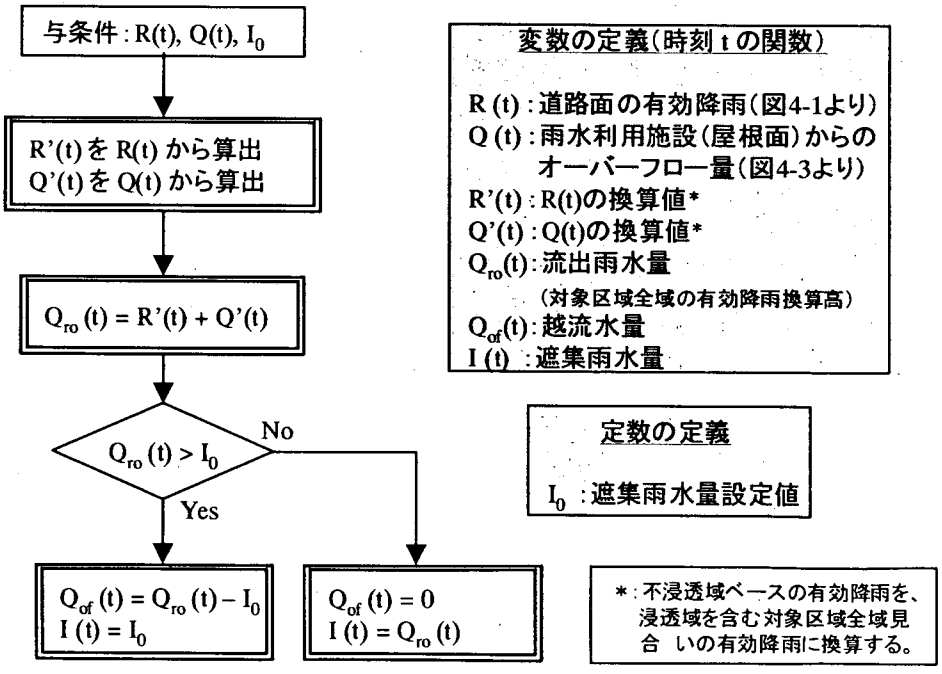


図4-24　越流水量・遮集雨水量の計算フロー

雨水利用に関する計算手法、計算条件は4．3．2で用いた利水検討の際の数値シミュレーションと原則同様である。計算条件として特に留意すべき点としては以下の通りである。

・計算対象　：土地利用区分として、必要水量が最も大きい「中・高層住宅」と、最も小さい「一般低層住宅」の2つとした。
・貯留槽容量：4．3．3で得られた最適貯留高のみ（1通り）とする。
（中・高層住宅＝ 125 mm 、一般低層住宅＝ 40 mm ）
・入力降雨　：出現頻度の高い平均年のデータを用いて評価することを基本とする。
ただし、比較参考のため、多雨年、渇水年についての計算もあわせて行った。
計算開始時点における貯留槽容量の初期値は4．3．2と同じ考え方で設定した。
（中・高層住宅＝ 55.3 mm 、一般低層住宅＝ 10.4 mm ）

あわせて、雨水利用施設のない場合の越流状況等についても計算し、雨水利用施設のある場合と比較を行い、低減率を算定する。

4．5．2　遮集雨水量2Qの場合

遮集雨水量の2Qを決定するために、検討対象の土地利用区分における晴天時計画時間最大汚水量Qを、以下のデータから算定する。

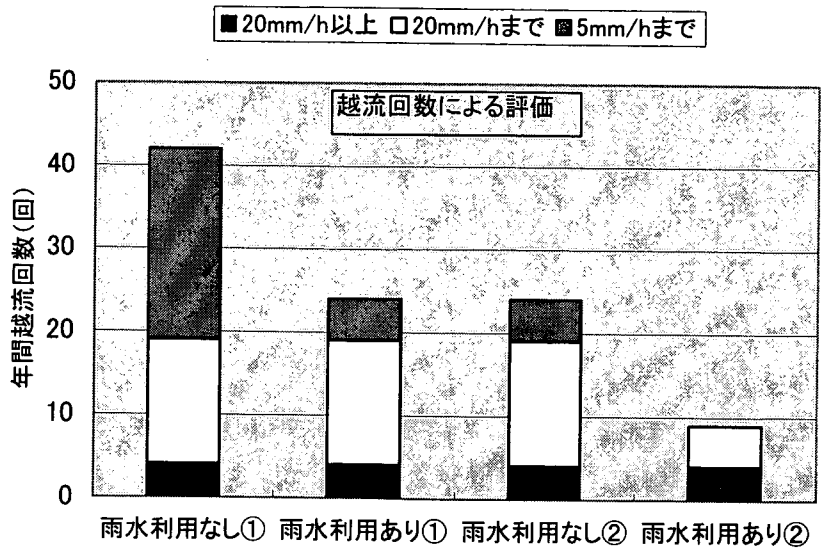
・都市Aの汚水量の原単位（時間最大相当）：650 L/人/日
・一般低層住宅、および中・高層住宅における夜間人口：表 4-8 より 62,295 人、および 44,244 人

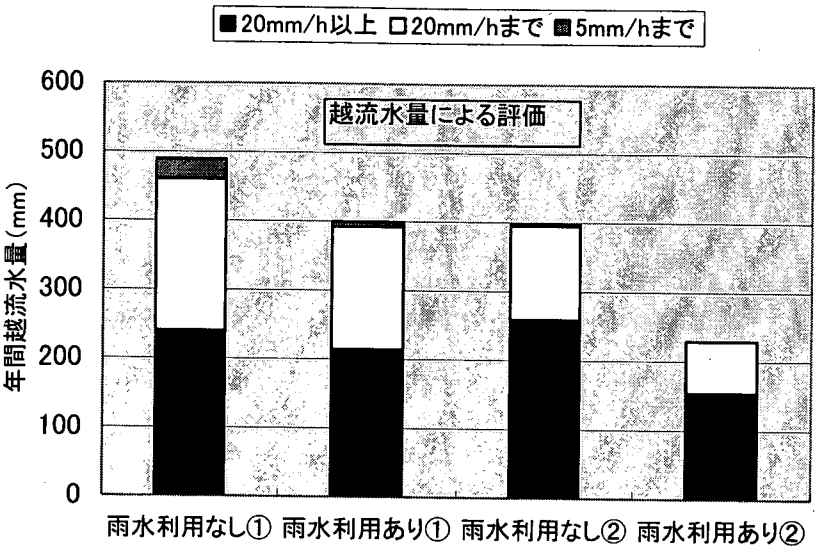
これらを用いてQ、および2Qを算定すると、

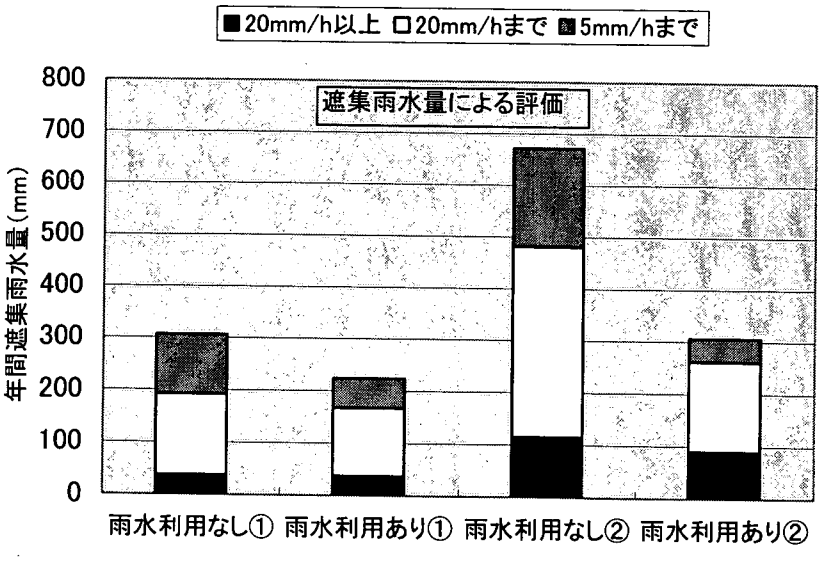
一般低層住宅：　Q = 1,687 (m^3/h)，　2Q = 3,374 (m^3/h) = 0.68 (mm/h)
中・高層住宅：　Q = 1,198 (m^3/h)，　2Q = 2,396 (m^3/h) = 2.33 (mm/h)

となる。ここで、単位の mm　については、浸透域を含む当該土地利用区分全域（一般低層住宅：499ha 、中・高層住宅：103ha ）を分母とした換算高である。

4．5．1で述べた計算方法に則り、遮集雨水量2Qの場合の越流回数、越流水量、遮集雨水量を計算すると、図 4-25 ～ 4-27 の通りとなる。ここで図中の単位 mm についてであるが、年間越流水量および年間遮集雨水量を表す場合には、浸透域を含む当該土地利用区分全域を分母とした換算高として用いている。一方、凡例における mm の表記は、不浸透域のみを分母とする有効降雨のピーク（4．4までの検討に用いていたものと同じ）を表している。また、各評価指標に関する低減率について、表 4-28 に示す。

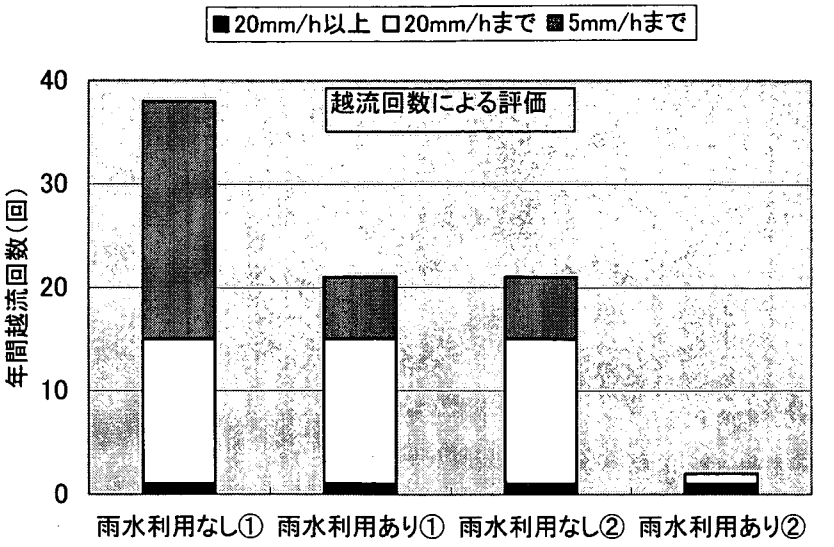


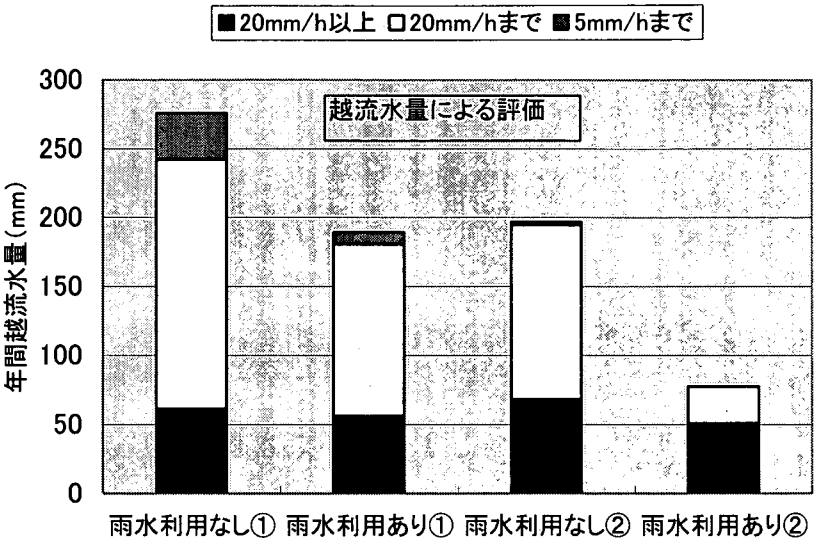


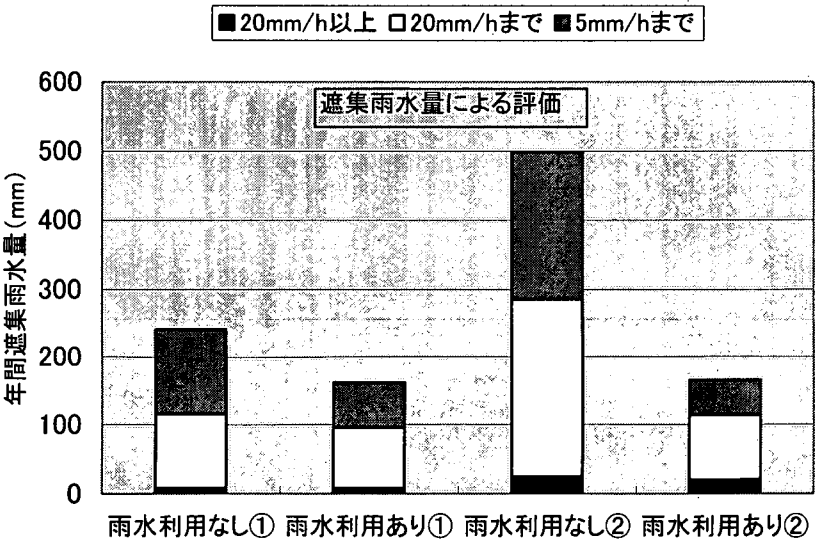


＊各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
＊凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

図 4-25 遮集雨水量2Qの場合の合流改善効果(平均年)

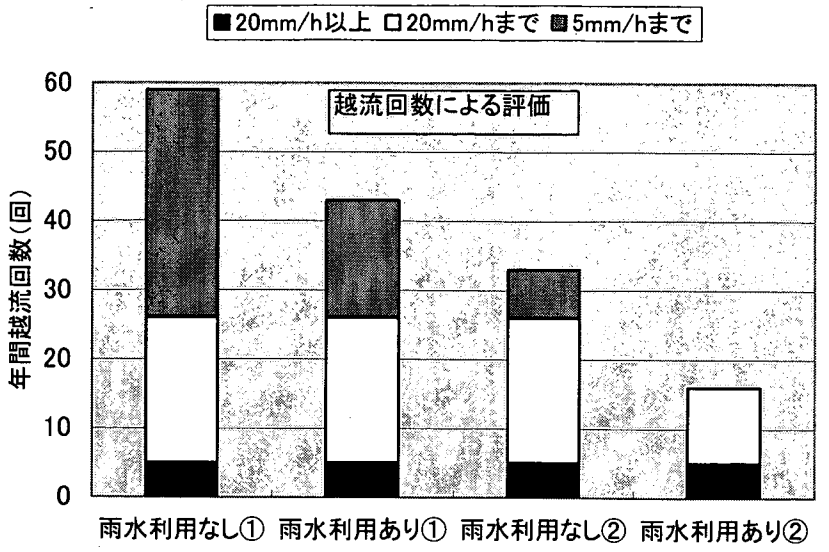


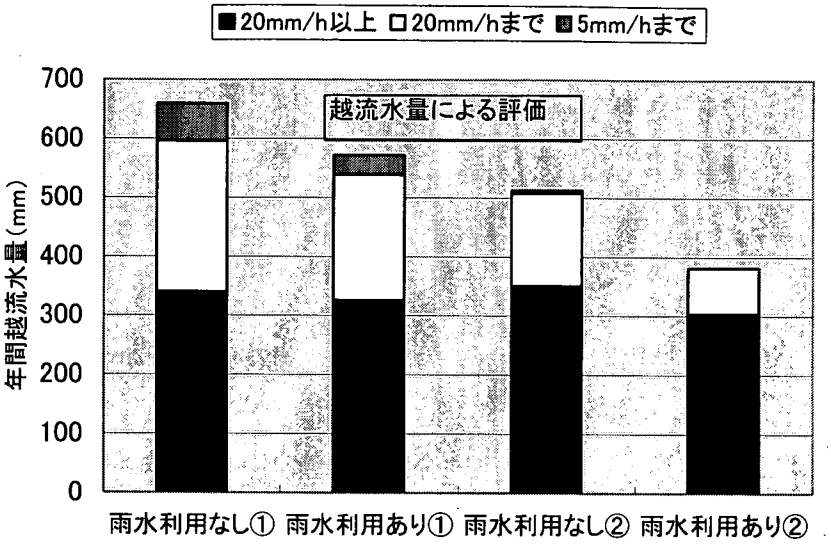


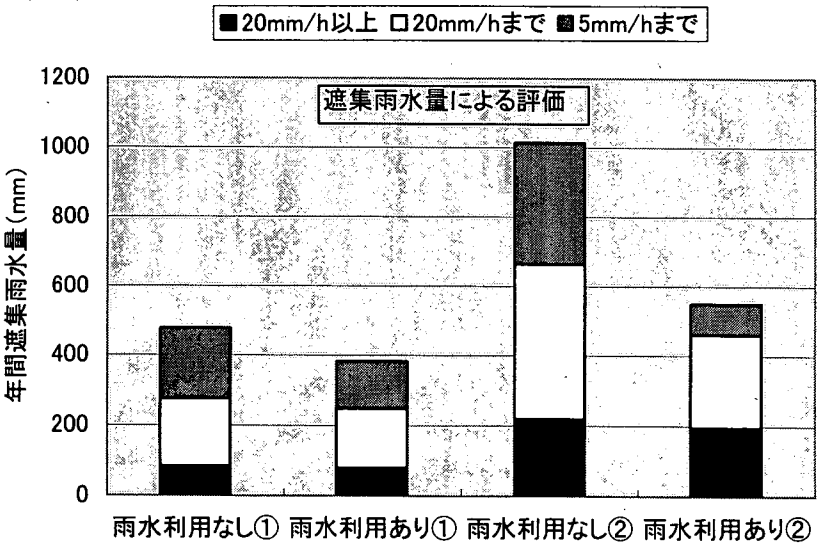


＊各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
＊凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

図 4-26 遮集雨水量2Qの場合の合流改善効果(渇水年)







＊各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
＊凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

図 4-27 遮集雨水量2Qの場合の合流改善効果(多雨年)

図、表より、以下のような内容が読みとれる。

・水量ベースでの削減量は、貯留槽容量の大小によっている。中・高層住宅 (125mm) の方が、一般低層住宅 (40mm) に比べ水量削減の効果が大きい。
・一般低層住宅の場合、水量ベースでの削減量は大きくないが、越流回数の低減効果は比較的大きく、平均年や渇水年の場合、越流回数をほぼ半減させることができる。
・いずれの場合においても、有効降雨のピークが 5mm/h 未満の小規模な降雨に対しての低減効果が大きい。逆に、大きな雨に対しては効果が小さい。
・貯留槽が空いている渇水年の合流改善効果は特に大きい。中・高層住宅の場合には、越流回数を9割低減して2回とすることができる。

ファーストフラッシュという合流式下水道の負荷流出特性を考慮すると、降雨規模の大小によらず降雨初期における越流状況が重要である。越流回数を大幅に削減できるということは、小規模な降雨のみに効果があったとはいえ、合流改善対策として負荷量ベースで水量ベースでの効果以上の低減効果が期待されるものと考えられる。

合流改善効果を平均年のデータにより評価すれば、一般低層住宅の場合、越流回数で約4割、水量で約2割の低減効果、中・高層住宅の場合、越流回数で約6割、水量で約5割の低減効果となる。

表4-28　遮集雨水量２Ｑの場合の低減率

土地利用区分	一般低層住宅			中・高層住宅		
評価指標	越流回数	越流水量	遮集雨水量	越流回数	越流水量	遮集雨水量
平均年	43% (18/42)	18%	27%	63% (15/24)	42%	54%
渇水年	45% (17/38)	31%	33%	90% (19/21)	61%	67%
多雨年	27% (16/59)	13%	20%	52% (17/33)	26%	46%

4．5．3　遮集雨水量2mm/hの場合

4．5．2と同様にして、遮集雨水量 2mm/h（浸透域を含む換算高）の場合について越流回数、越流水量、遮集雨水量を計算する。結果は図 4-28 ～ 4-30 の通りとなる。また、各評価指標に関する低減率について、表 4-29 に示す。図、表、ならびにこれらの結果と遮集雨水量2Qの場合との比較から、以下のような内容が読みとれる。

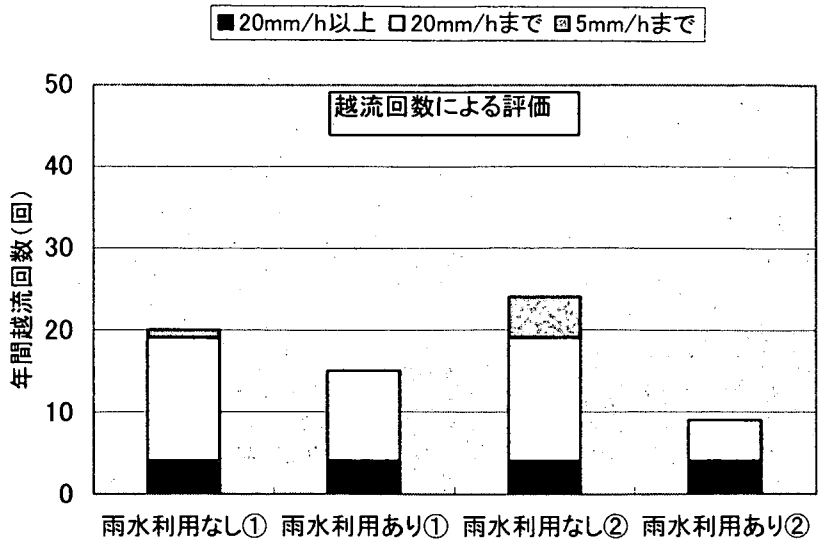
・一般低層住宅については、遮集雨水量が 0.68mm/h から 2mm/h に大幅に改善されたことにより、雨水利用なしの場合の越流回数、越流水量が大きく低減し、遮集雨水量が増加している。このように遮集雨水量が十分に大きい状況の中で、（貯留容量の小さい）雨水利用施設が導入された場合は、越流の抑止という観点からは効果がさほど大きくない。一般低層住宅（平均年）の越流回数の低減率を比較すると、遮集雨水量2Qの場合43%であるのに対し、遮集雨水量 2mm の場合は 25%となっている。
・遮集雨水量が十分に大きい場合は、越流水量の低減率に比べ遮集雨水量の低減率が大きくなることが特徴である。遮集雨水量の低減は、簡易処理放流水量の削減に直結し負荷量流出削減の効果が大きい。ただし、一般低層住宅の場合、低減量の絶対値はさほど大きなものではない。
・中・高層住宅の場合は、遮集雨水量の変動が 2.33m/h から 2mm/h というわずかなものであるため、計算結果に大きな変化は見られなかった。

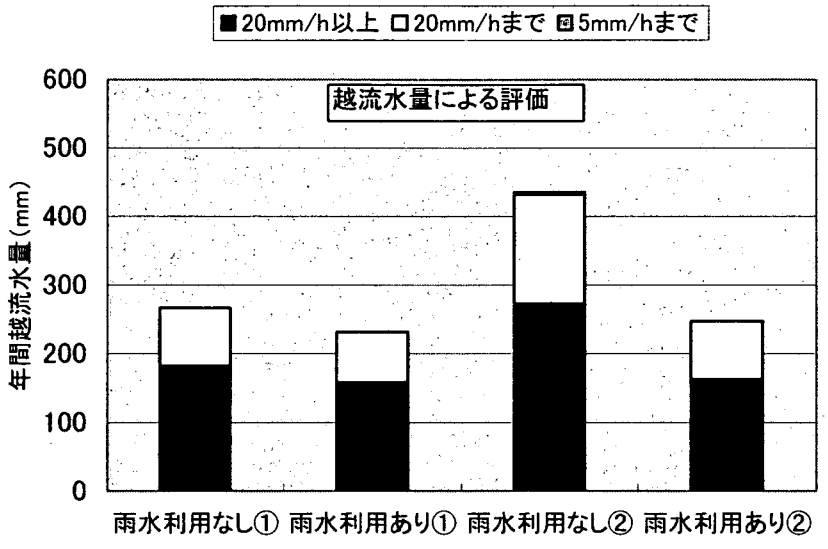
以上の結果より、遮集能力が比較的小さい地域においては、一般低層住宅のように貯留高の小さい雨水利用施設であっても越流抑止の効果が大きいことがわかった。

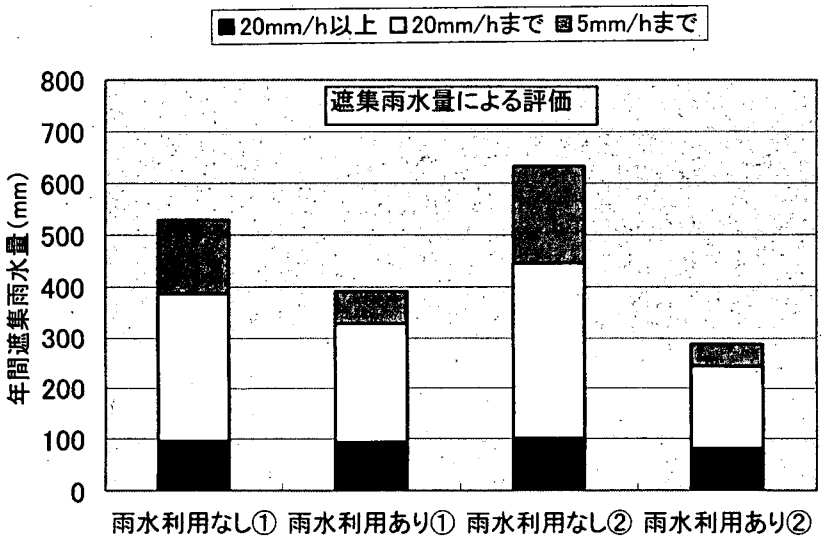
合流式下水道改善の最も基本的な考え方は、合流管に雨水をなるべくいれないということであり、雨水利用施設による雨水貯留は、まさにこの考え方に合致するものである。地域要件により遮集能力の増大が緊急に望めないような場合には、雨水利用の積極的導入が遮集能力増大の代替案として有効に機能するものと考えられる。　ただし、既に十分な遮集能力がある地域においては、遮集能力の小さい地域と比べ、雨水利用による合流改善効果が相対的に小さくなるものと考えられる。

表4-29　遮集雨水量２mm/hの場合の低減率

土地利用区分	一般低層住宅			中・高層住宅		
評価指標	越流回数	越流水量	遮集雨水量	越流回数	越流水量	遮集雨水量
平均年	25%（5/20）	13%	26%	63%（15/24）	43%	54%
渇水年	53%（8/15）	20%	36%	91%（21/23）	63%	66%
多雨年	13%（4/31）	9%	19%	54%（20/37）	27%	46%

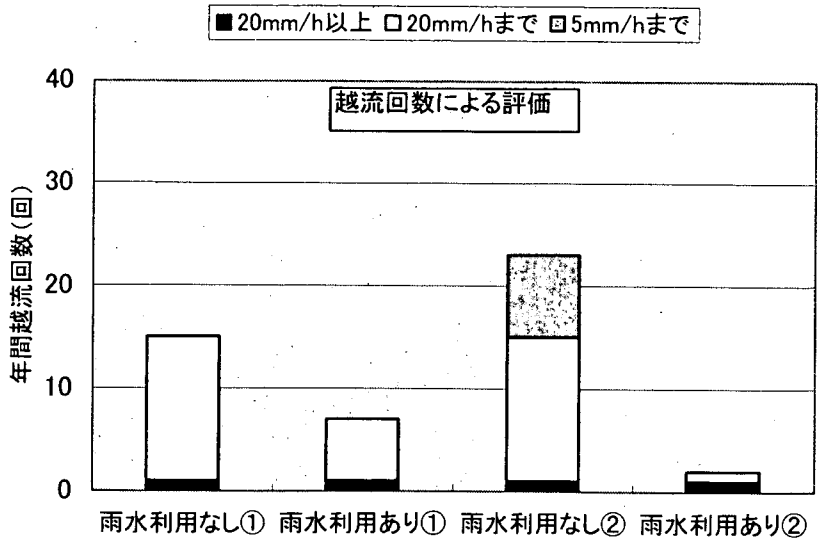


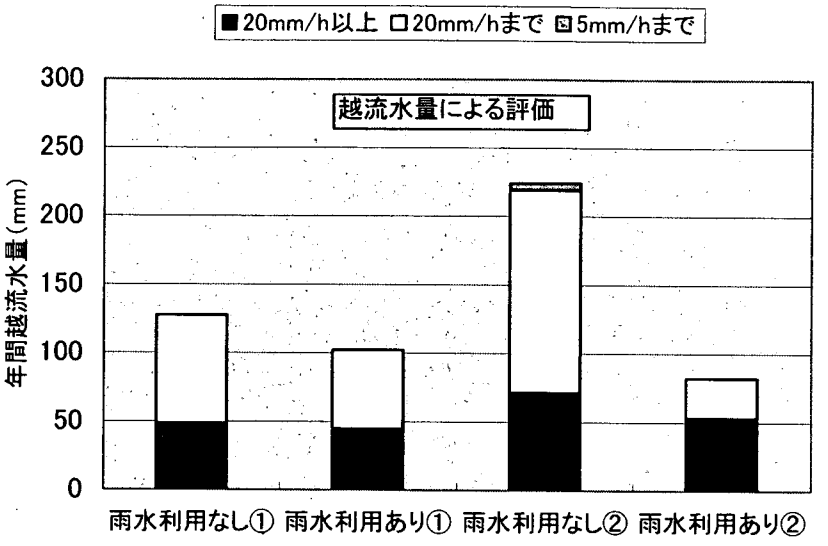


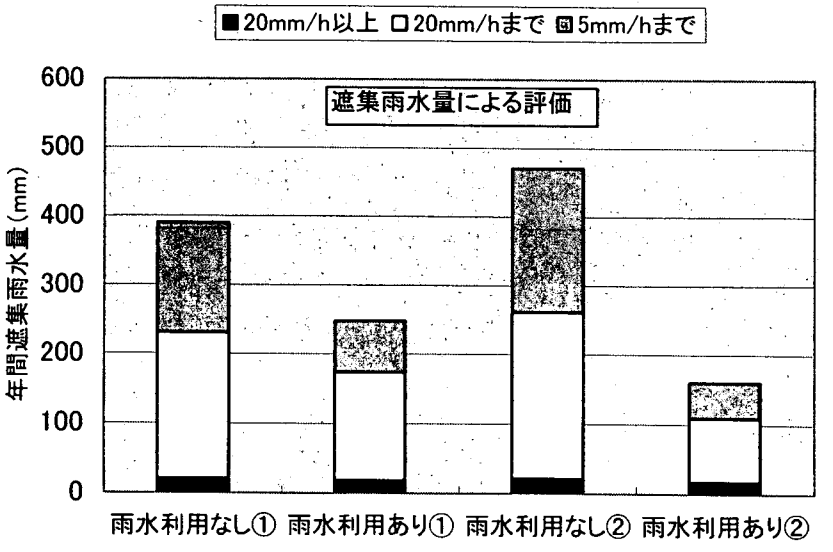


＊各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
＊凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

図 4-28 遮集雨水量2mm/hの場合の合流改善効果(平均年)

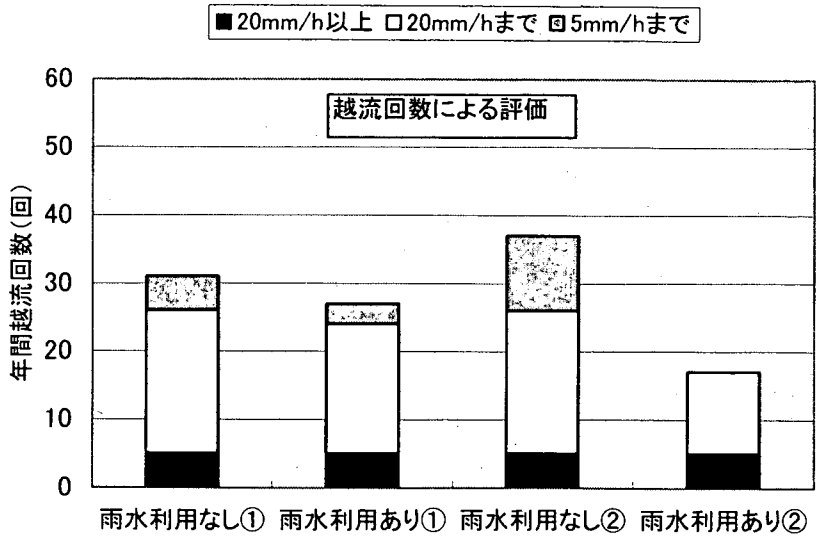


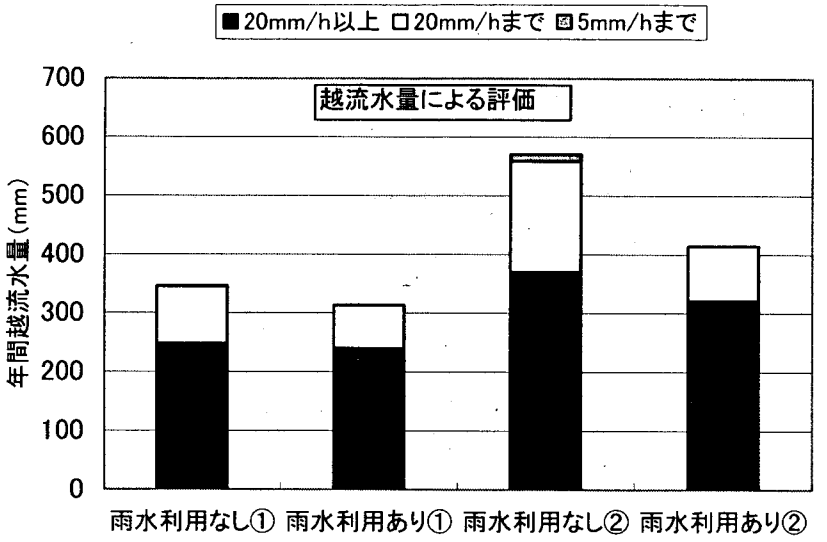


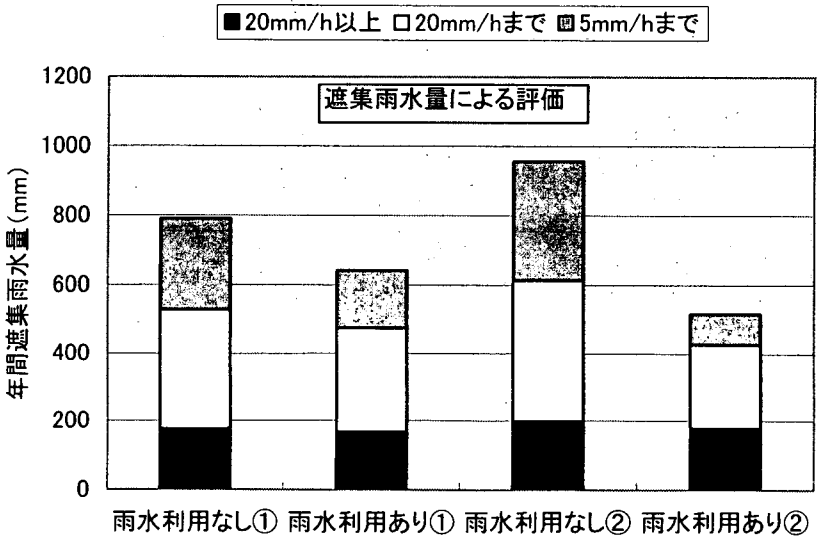


＊各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
＊凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

図 4-29 遮集雨水量2mm/hの場合の合流改善効果(渇水年)







＊各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
＊凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

図 4-30 遮集雨水量2mm/hの場合の合流改善効果(多雨年)

4.6 まとめ

モデル都市を設定し、個々の建物の特性による必要水量、集水面積の違いは、概ね土地利用区分毎にカテゴライズできるという考え方に基づき、各土地利用区分毎の雨水利用シミュレーションから、雨水利用による利水効果、浸水防除効果、合流改善効果について検討を行った。

＜利水効果＞

①雨水利用用途として、水洗用水と冷却用水を考えた場合の雨水利用効果について、土地利用区分毎に検討を行った。以下、各建物において必要とされる水洗用水と冷却用水の合計水量を「必要水量」とする。

②貯留槽容量をこれ以上大きくしても集水量を増加させることができないという限界値が存在する。雨水利用率および不足水量率は貯留槽容量の増大に伴い一定値に近づくが、これらの曲線の変曲点は必ずしも明確ではなかった。入力降雨の違いによる集水量の差異は比較的小さく、この傾向は必要水量が小さいほど顕著であった。

③(雨水利用量の増分)／(貯留高の増分)の値がはじめて1となるような貯留高をもって最適貯留高を算定した。最適貯留高は降雨の多寡よりも必要水量の影響を大きく受け、必要水量から最適貯留高を算定することができる。モデル都市における平均的な最適貯留高は約 80mm であった。

④不足水量率は土地利用区分によらず概ね 10%程度であり、必要水量の大小によらず、必要水量に見合った雨水貯留槽を設定することにより、効率的に都市雨水の資源化を図ることができる。

⑤モデル都市全体としてみた場合、必要水量の9割を都市雨水利用によりまかなうことが可能であり、これにより上水使用量を2割節減することができる。よって雨水利用による利水効果は大きいものと評価できるが、都市雨水利用は水量・水質の両面から自ずと限界をもっていることについて留意する必要がある。

＜浸水防除効果＞

①有効降雨のピークを 20%以上カットできたことをもって浸水防除効果ありと判断することとした。このとき、多雨年の規模の大きな降雨に対して効果有りと判断された降雨の割合は、一般低層住宅で 7%、中・高層住宅で 43%のみであり、特に一般低層住宅のように、貯留槽容量が小さい場合には、浸水防除効果がほとんど発現しないものといえる。

②利水槽の浸水防除効果について、降雨開始直前の貯留槽空き容量から年間平均空き容量を算出し、これと同じ貯留槽容量をもつ治水専用の雨水貯留槽の浸水防除効果と比較した。換算結果は若干危険側ではあったが、両者の浸水防除効果は概ね等しいものとすることができる。利水槽の治水専用貯留槽への換算係数はおよそ 1/4 程度であった。

③ためきり型の治水専用貯留施設としての必要貯留高は、モデル都市における5年確率降雨を対象とした場合、約 80mm であった。利水槽の最適貯留高の最も大きい中・高層住宅の雨水利用施設であっても、換算貯留高は 37mm であり、計画降雨に対して浸水防除効果を確保するためには、約 40mm の貯留高不足であった。

④治水専用の目標貯留高に対する利水槽の不足分について、治水専用の貯留槽容量を出水期のみ利水槽の内部に確保することにより、雨水利用の状況に大きな影響を与えることなく、雨水利用施設の浸水防除効果を高めることが可能であった。この方法、治水専用の貯留容量を外付けする方法に比べ、浸水防除効果は若干劣るが、新たに貯留容量を確保する必要がないという利点がある。

＜合流改善効果＞

①越流水量、遮集雨水量の低減効果は、貯留高の大きい雨水利用施設の方が大きいが、貯留高の小さい雨水利用施設であっても、越流回数の低減には効果がある。貯留高 40mm の一般低層住宅の場合、平均年の降雨に対して遮集雨水量2Qの場合で 43%、遮集雨水量 2mm/h の場合で 25%の越流回数低減率であった。

②有効降雨のピークが 5mm/h 以下の小規模な降雨に対しての効果が大きい。越流回数を大幅に削減できるということは、小規模な降雨のみに効果があったとはいえ、合流改善対策として負荷量ベースで水量ベースでの低減効果以上の効果が期待される

③遮集管の能力が小さいほど、雨水利用による越流回数の低減効果が大きい。地域要件により遮集能力の増大が緊急に望めないような地域に対し、雨水利用を積極的に導入することは合流改善対策の1つとして有効に機能すると考えられる。逆に、既に十分な遮集能力がある地域においては、雨水利用による合流改善効果が相対的に小さくなる。

以上を総括すれば、適切な方法により設計、管理される雨水利用施設が全市的に普及した場合には、下水道事業の観点からも望ましい効果が発現するものと期待される。特に浸水対策よりも合流改善対策に対しての期待が大である。ただし、期待通りの効果を発揮させるためには、イメージ先行で雨水利用をただ実施すればよいということではなく、「このような施設規模でこのように管理することによりこれだけの効果がでる」といった定量的評価を確実に実施することが前提となることはいうまでもない。

また、これも当然のことであるが、雨水利用施設の普及展開を図っていくためには、住民の理解と協力が不可欠である。住民の協力体制を醸成していくためには、財政的な支援措置に加え、下水道管理者の排水設備への関与のあり方についての議論や、パブリックインボルブメントなど住民との意思疎通や合意形成の手法についての検討が重要になるものと考えられる。

なお、本調査では、土地利用区分毎に大きな貯留槽を1つ設定し、土地利用区分毎に一括して評価するという考え方で検討を行っているが、より詳細な検討を行うためには、個々の貯留槽のサイズ(集水面積との関係)等を評価し、土地利用区分内での雨水利用施設の分布状況を確率的に評価するような検討も必要であると考えられる。

参考文献

1). (社)日本河川協会:増補流域貯留施設等技術指針(案)、平成5年5月.

2). 東京都下水道局計画部計画第一課:合流式下水道改善策に関する調査　総括報告書、昭和61年3月.

3). (社)日本下水道協会:合流式下水道越流水対策と暫定指針-1982年版-、昭和57年7月.

4). (社)雨水貯留浸透技術協会:雨水利用ハンドブック、山海堂、平成10年8月

5). 荒巻俊也、杉本留三、花木啓祐、松尾友矩: GISを用いた東京都区部における人工系水循環モデルによる雑用水供給システムの導入効果の検討、環境工学研究論文集, Vol. 36, pp. 341-352, 1999.

6). (社)空気調和・衛生工学会:雨水利用マニュアル(給排水設備規準委員会水有効利用小委員会報告書)、昭和62年9月

7). 山口高志、本間久枝:都市域における雨水利用、土木技術資料 27-11, pp. 45-50, 1985.

8). 越川康夫、村岡三郎、西田　勝:雨水利用システムにおける雨水利用効率と都市型洪水防止効果の検討　－福岡市の戸建て住宅を事例として－、日本建築学会計画系論文報告集第452号、pp. 37-45, 1993.

付　録

付録(1)　雨水利用実態調査・調査票

付録(2)　屋根雨水調査結果詳細

付録(3)　細密数値情報における土地利用区分の定義

付録(4)　解析に用いた降雨データ(日雨量)

（第１次アンケート調査表）

表４．貯留雨水の利用状況に関する実態調査表（平成６年）

記入者　　連絡先

貯留した雨水の利用状況について調査します。

１．以下に記入して下さい。

都道府県名				
都市名	雨水利用を行っている事業所名	用　途	貯留容量 (m3)	事業所の連絡先 (TEL) (担当部所) (住所)

********** 御協力ありがとうございました。 **********

（第２次アンケート調査表）

貯留雨水の利用状況に関する実態調査表（平成６年度）

記入者　　連絡先

貯留した雨水の利用状況について調査します。

建物	建物名称		
	所在地		
	建物の用途		
	延床面積		
雨水利用施設		現況	将来
	貯留槽容量		
	集水面積		
	使用開始年月		
	雨水処理方法		
	処理能力		
	雨水利用先		
	利用水量		
雨水利用を行った動機			
雨水利用の効果とその判断方法			
維持管理の現状と今後の見通し			
問題点（制度面、技術面）と要望			

湖北屋根雨水データ（初期雨水）

ID	1雨雨量	最大降雨強度	先行晴天日数	濁度	色度	SS	TOC	COD	TN	NO3-N	NH4-N	TP	Zn	Fe	Cu	Pb
	(mm)	(mm/h)	(日)	(度)	(度)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	9	2	3	1	2	53.3	1.43	6.81	0.82	0.26	0.56	0.14	0.27	2.47	0.006	0.010
2	15	4	11	7	8	297.0	6.00	8.24	2.90	0.37	0.94	0.82	0.50	9.89	0.007	0.027
3	31	13	5	1	2	20.9	0.96	6.59	0.54	0.12	0.25	0.78	0.15	0.51	0.005	0.002
4	15	2	4	2	8	224.0	0.65	5.57	1.35	0.13	0.48	0.21	0.67	8.88	0.008	0.022
5	8	5	2	3	3	97.2	0.24	6.03	1.91	0.54	0.77	0.19	0.21	4.00	0.016	0.010
6	3	2	3	2	4	28.0	2.32	6.11	2.11	1.01	0.93	0.13	0.44	0.94	0.049	0.013
7	3	2	7	3	8	146.0	2.85	7.04	2.44	1.00	0.72	0.99	0.22	6.81	0.042	0.036
8	6	2	16	3	8	180.0	1.70	6.79	2.08	0.52	0.70	0.43	0.66	9.26	0.060	0.085
9	14	8	13	5	12	238.0	2.43	4.37	1.83	0.62	0.76	0.77	0.77	11.93	0.064	0.062
10	5	2	7	2	7	177.0	0.71	4.85	0.62	0.31	0.25	0.46	0.43	8.94	0.065	0.061
11	17	2	56	9	28	508.0	4.83	8.81	7.78	1.85	3.12	1.34	1.11	29.94	0.170	0.182
12	13	5	4	1	6	98.5	1.62	4.14	1.50	0.70	0.54	0.35	0.39	4.32	0.082	0.035
13	9	3	1	5	18	44.4	3.35	8.36	2.59	1.34	1.20	0.20	0.38	1.88	0.016	0.031
14	26	5	6	1	3	87.6	1.89	10.73	1.02	0.14	0.12	0.14	0.26	3.46	0.039	0.029
15	29	6	2	1	4	54.6	1.89	2.15	1.13	0.14	0.62	0.18				
16	8	3	9	3	7	363.0	7.98	5.21	2.91	0.70	2.10	0.07	0.58	4.95	0.039	0.041
17	7	1	6	4	6	122.0	2.75	9.08	1.71	0.87	0.84	0.05	0.20	0.62	0.013	0.010
18	18	7	6	7	8	111.0	1.58	2.19	0.70	0.20	0.50	0.03	0.62	5.46	0.124	0.032
19	56	13	1	9	8	69.0							0.25	2.46	0.033	0.024
20	2	2	1	8	8	200.0				0.65			0.98	19.88	0.137	0.051
21	36	6	7	13	12	342.0				0.10			0.53	17.06	0.154	0.111
22	13	3	1	3	4	90.0				0.20			0.31	4.39	0.143	0.053
23	19	3	3	2	6	35.6				0.23			0.21	2.00	0.054	0.021
24	7	2	6	2	6	32.0				0.97			0.60	1.96	0.030	0.013
25	5	3	5	4	5	132.0				0.22			0.53	8.07	0.092	0.039
26	21	3	17	3	4	58.4				0.15			0.32	3.30	0.048	0.014
27	4	2	3	4	5	233.0				0.68						
28	18	5	5	3	4	564.0	3.83	3.80		0.35	0.70					
29	22	3	3	3	2	282.0	2.55	4.31		0.16	0.49					
30	1	1	15	18	20	713.0	5.47	10.55		1.80	2.31					
31	39	8	2	10	7	301.0	5.28	3.24		0.16	0.40					
32	13	8	4	3	5	210.0	1.73	0.70		0.11	0.13		0.50	5.84	0.103	0.045
33	34	10	10	3	4	193.0	1.54	4.06		0.23	0.16		0.25	4.94	0.055	0.012
34	4	3	5	2	3	157.0	3.38	2.49		0.96	1.35		0.57	0.50	0.007	0.001
35	17	2	5	1	2	13.4	2.16	0.94		0.17	0.09		0.25	1.53	0.014	0.003
36	11	3	6	2	3	98.8	0.66	4.72		0.34	0.24		0.43	2.79	0.063	0.010
37	7	2	8	7	8	209.0	2.39	4.90		0.42	0.60		0.76	6.91	0.108	0.019
38	33	9	3	8	9	140.0	2.15	5.19		0.39	0.36		0.40	4.69	0.077	0.053
データ数				38	38	38	29	29	18	37	29	18	32	32	32	32
最大				18	28	713	7.98	10.73	7.78	1.85	3.12	1.34	1.11	29.94	0.17	0.182
最小				1	2	13.4	0.24	0.7	0.54	0.1	0.09	0.03	0.15	0.5	0.005	0.001
累積				168	267	6923.7	76.32	157.97	35.94	19.11	22.23	7.28	14.75	200.58	1.923	1.157
平均				4.42	7.03	182.20	2.63	5.45	2.00	0.52	0.77	0.40	0.46	6.27	0.060	0.036

湖北屋根雨水データ(初期カット雨水)

ID	1雨雨量	最大降雨強度	先行晴天日数	濁度	色度	SS	TOC	COD	TN	NO3-N	NH4-N	TP	Zn	Fe	Cu	Pb
	(mm)	(mm/h)	(日)	(度)	(度)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	9	2	3	0	3	3.7	2.10	8.67	1.23	0.46	0.77	0.04	0.22	0.26	0.001	0.005
2	15	4	11	1	5	4.8	3.47	6.84	1.47	0.49	0.60	0.06	0.24	0.17	0.001	0.003
3	31	13	5	0	1	2.1	0.73	4.29	0.20	0.07	0.13	0.40	0.07	0.07	0.002	0.001
4	15	2	4	0	2	6.7			0.64	0.14	0.47	0.04	0.18	0.36	0.002	0.003
5	8	5	2	1	3	21.3			0.52	0.21	0.30	0.07	0.26	0.61	0.004	0.004
6	3	2	3	1	3	10.9	1.86	5.88	1.06	0.54	0.49	0.09	0.20	0.40	0.006	0.007
7	3	2	7	1	3	26.0	1.55	4.69	1.65	1.05	0.36	0.29	0.40	1.29	0.008	0.001
8	6	2	16	1	3	59.8	1.15	6.06	1.10	0.28	0.39	0.14	0.31	3.01	0.011	0.062
9	14	8	13	1	3	39.0	0.55	2.93	0.42	0.17	0.25	0.13	0.21	2.11	0.012	0.011
10	5	2	7	1	4	26.5	1.30	5.31	0.82	0.27	0.54	0.06	0.28	1.36	0.009	0.016
11	17	2	56	0	3	18.2	1.36	3.82	0.91	0.12	0.51	0.06	0.29	0.96	0.008	0.041
12	13	5	4	1	4	11.4	1.80	2.87	1.25	0.51	0.59	0.01	0.20	0.68	0.011	0.007
13	9	3	1	2	7	23.7	1.84	4.53	0.89	0.48	0.40	0.09	0.11	0.97	0.005	0.025
14	26	5	6	0	3	7.8	2.20	4.34	0.87	0.19	0.08	0.01	0.18	0.44	0.007	0.007
15	29	6	2	1	2	5.4	1.20	1.60	0.77	0.04	0.21	0.05				
16	8	3	9	2	4	67.6	6.54	3.75	1.71	0.56	0.76	0.07	0.38	2.00	0.027	0.012
17	7	1	6	2	4	14.0	3.15	7.70	1.57	0.73	0.84	0.07	0.14	0.33	0.005	0.008
18	18	7	6	1	3	14.6	1.35	1.81	0.59	0.16	0.40	0.04	0.51	0.44	0.012	0.046
19	56	13	1	0	1	5.6							0.13	0.31	0.010	0.009
20	2	2	1	1	2	48.2				0.11			0.24	2.14	0.008	0.006
21	36	6	7	0	1	12.2				0.14			0.14	0.56	0.014	0.009
22	13	3	1	0	2	1.2				0.26			0.16	0.12	0.014	0.009
23	19	3	3	0	2	2.0				0.17			0.13	0.07	0.007	0.007
24	7	2	6	1	2	4.0				0.41			0.29	0.19	0.005	0.004
25	5	3	5	1	4	14.0				0.68			0.39	0.77	0.008	0.006
26	21	3	17	2	3	8.4				0.21			0.21	0.56	0.006	0.005
27	4	2	3	1	3	15.8				1.55						
28	18	5	5	0	1	73.6	3.41	2.90		0.31	0.52					
29	22	3	3	3	4	18.7	5.03	12.44		0.34	0.63					
30	1	1	15	1	7	14.8	2.76	7.30		1.91	1.66					
31	39	8	2	1	2	19.8	4.45	2.96		0.12	0.15					
32	13	8	4	1	1	86.6	1.18	0.76		0.08	0.12		0.19	3.93	0.031	0.025
33	34	10	10	2	3	15.8	2.23	6.41		0.50	0.44		0.17	1.23	0.005	0.002
34	4	3	5	1	2	32.0	3.92	2.58		0.94	1.28		0.06	0.04	0.004	0.000
35	17	2	5	1	2	3.8	1.19	1.68		0.22	0.27		0.21	1.75	0.009	0.005
36	11	3	6	2	4	19.6	1.08	4.81		0.52	0.42		0.33	0.60	0.006	0.005
37	7	2	8	3	4	4.0	1.43	0.51		0.36	0.58		0.26	0.29	0.007	0.003
38	33	9	3	4	4	8.4	1.51	4.05		0.27	0.32		0.19	0.68	0.008	0.007
データ数				38	38	38	27	27	18	37	29	18	32	32	32	32
最大				4	7	86.6	6.54	12.44	1.71	1.91	1.66	0.4	0.51	3.93	0.031	0.062
最小				0	1	1.2	0.55	0.51	0.2	0.04	0.08	0.01	0.06	0.04	0.001	0
累積				41	114	772	60.34	121.49	17.67	15.57	14.48	1.72	7.28	28.7	0.273	0.361
平均				1.08	3.00	20.32	2.23	4.50	0.98	0.42	0.50	0.10	0.23	0.90	0.009	0.011

付録（3） 細密数値情報における土地利用区分の定義

分類区分			定義
大分類	中分類	小分類	
都市用地	造成地	造成中地	宅地造成，埋立等の目的で人工的に土地の改変が進行中の土地をいう。
		空地	人工的に土地の整理が行われ，現在はまだ利用されていない土地及び簡単な施設からなる屋外駐車場，ゴルフ練習場，テニスコート，資材置場等を含める。
	工業用地		製造工場，加工工場，修理工場等の用地をいい，工場に付属する倉庫，原料置場，生産物置場，厚生施設等を含める。
	住宅地	一般低層住宅	３階以下の住宅用建物からなり，１区画あたり１００平方メートル以上の敷地により構成されている住宅地をいい，農家の場合は，屋敷林を含め１区画とする。
		密集低層住宅	３階以下の住宅用建物からなり，１区画あたり１００平方メートル未満の敷地により構成されている住宅地をいう。
		中・高層住宅	４階建以上の中高層住宅の敷地からなる住宅地をいう。
	商業・業務用地		小売店舗，スーパー，デパート，卸売，飲食店，映画館，劇場，旅館，ホテル等の商店，娯楽，宿泊等のサービス業を含む用地及び銀行，証券，保険，商社等の企業の事務所，新聞社，流通施設，その他これに類する用地をいう。
公共公益施設用地	道路用地		有効幅員４ｍ以上の道路，駅前広場等で工事中，用地買収済の道路用地も含む。
	公園・緑地等		公園，動植物園，墓地，寺社の境内地，遊園地等の公共的性格を有する施設及び総合運動場，競技場，野球場等の運動競技を行うための施設用地をいう。
	その他公共公益施設用地		公共業務地区（国，地方自治体等の庁舎からなる地区），教育文化施設（学校，研究所，図書館，美術館等からなる地区），供給処理施設（浄水場，下水処理場，焼却場，変電所からなる施設地区），社会福祉施設（病院，療養所，老人ホーム，保育所等からなる施設地区），鉄道用地（鉄道，車両基地を含む），バス発着センター，車庫，港湾施設用地，空港等の用地をいう。
その他			防衛施設，米軍施設，基地跡地，演習場，皇室に関係する施設及び居住地等をいう。
農地・山林等	山林・荒地等		樹林地，竹林，篠地，笹地，野草地（耕作放棄地を含む），裸地，ゴルフ場等をいう。
	農地	田	水稲，蓮，くわい等を栽培している水田（短期的な休耕田を含む）をいい，季節により畑作物を栽培するものを含む。
		畑・その他の用地	普通畑，果樹園，桑園，茶園，その他の樹園，苗木畑，牧場，牧草地，採草放牧地，畜舎，温室等の畑及びその他の農地をいう。
河川・湖沼等			河川（河川敷、堤防を含む），湖沼，溜池，養魚場，海浜地等をいう。
海			海面をいう。

付録（4） 解析に用いた降雨データ（日雨量）

1）1990年（平均年）

Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
Feb.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21	0	0	2	8	8	9	3	0			
Mar.90	2	23	2	4	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	43
Apr.90	6	9	0	3	2	0	0	5	0	0	0	0	1	5	34	15	5	10	0	9	27	19	2	0	0	3	0	0	2	0	
May.90	0	0	0	5	1	0	5	11	0	0	0	0	0	15	3	0	0	0	1	0	1	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0
Jun.90	0	10	0	0	11	0	0	0	16	1	0	23	0	0	0	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7	1	1	0	0	
Jul.90	0	0	15	17	0	0	0	0	0	1	0	7	14	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
Aug.90	0	0	0	4	0	0	0	48	42	160	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep.90	0	5	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	5	4	3	4	1	0	54	35	0	0	0	0	7	60	5	0	0	206	
Oct.90	0	0	0	0	1	3	3	54	1	0	0	0	9	0	5	0	0	0	0	0	0	0	4	3	1	12	0	0	0	35	7
Nov.90	0	0	0	54	0	0	0	0	13	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	43	37	165	
Dec.90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

0mm以上30mm未満　30mm以上50mm未満　50mm以上

2）1996年（渇水年）

Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan.96	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	3.5	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb.96	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	1	4	6	0	0	0	0	0	0	13	5	0.5	0	0		
Mar.96	8	0	0	0	0	0	6	0.5	0	0	0	0	0	0	27	0	4.5	0	0	0	0	12	0	0.5	4	0	0	0	0	22	0.5
Apr.96	10	0.5	0	0	0	0	0	1	0.5	0	0	0	0	0	0	49	0	8.5	0.5	5.5	2	0.5	0	0	0	0	0	0	0		
May.96	2.5	12	0	0	37	0	0	2	33	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun.96	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	4.5	0	0	12	3.5	0	0	0	17	0	0	0	0	0	2	1	17	0	0	0	0	
Jul.96	0	0	9.5	0	11	0	9.5	34	61	24	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	140	3.5	2	0	0	0	0	0	0.5	0	0
Aug.96	0	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	2.5	8.5	6.5	0	1
Sep.96	0	5.5	0	0	0	0	0	0	28	20	0	0	2.5	47	0	0	0	0	0	0.5	3	137	1	0	3	0.5	0.5	0	0	25	
Oct.96	7.5	0	3.5	0.5	0	0	0	20	1	0	0	4	3	21	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.5	0	1
Nov.96	16	3	0	0	1	2	0	8	1.5	0	15	11	0	0	0	0	0	1.5	0	14	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
Dec.96	0	0	0	0	18	1	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	8	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0mm以上30mm未満　30mm以上50mm未満　50mm以上

3）1998年（多雨年）

Date	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan.98	0	0	0	0	0	0	0	22	1	0	6	14	0	0	50	0.5	6	34	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb.98	0	0	0	0	0	0	9	1.5	0	0	0	2	0	0	23	0	0	0	0	28	1	0	0	15	17	2.5	0	14			
Mar.98	39	0	0	0	14	0.5	0	0	0	0	3	28	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7.5	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0
Apr.98	17	18	0	0	0	9	15	14	20	0	0	0	3	56	10	0	13	0	0	0	0	0	0.5	9.5	1	5.5	0.5	0	0	0	
May.98	0	0	5.5	0	0	0	0	5.5	0	0	1.5	7.5	0.5	0.5	0	0	21	9.5	8.5	0	0	0	0	24	14	16	0.5	0	15	0	0
Jun.98	0	7	20	0	4.5	9.5	0	0	16	38	0	0.5	15	27	0	0	0	0	9.5	0	13	52	2.5	0.5	0	0	0.5	0	3	0	
Jul.98	0	0	0	0	0	0	0	0	23	4	18	14	0	0	2.5	12	13	0	0	0	0	38	13	44	23	7.5	0	0	0	103	9
Aug.98	1	0	1.5	18	0	1.5	16	0.5	0	0	0	0	11	8.5	3	0	0	1	1	0	6	0	0	0	0	0.5	55	180	16	76	5
Sep.98	0.5	0	0	0.5	3	5.5	26	0	0	0	0	0	0	0	61	179	1	8.5	0.5	0	79	17	1	39	0.5	57	25	5	4.5	4	
Oct.98	50	0	0	0	0	6.5	7	26	0	1.5	0	0	7.5	8	0	4.5	47	34	0	0	21	0	7.5	5	0	0	1	0	0	0	1.5
Nov.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	
Dec.98	0.5	2.5	11	1	21	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0mm以上30mm未満　30mm以上50mm未満　50mm以上

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No. 15 January 2002

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所
（住所）茨城県つくば市旭一番地

本資料の転載・複写の問い合わせは
（企画部研究評価・推進課）0298－64－2675