

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リ化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する。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

<p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>
--

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

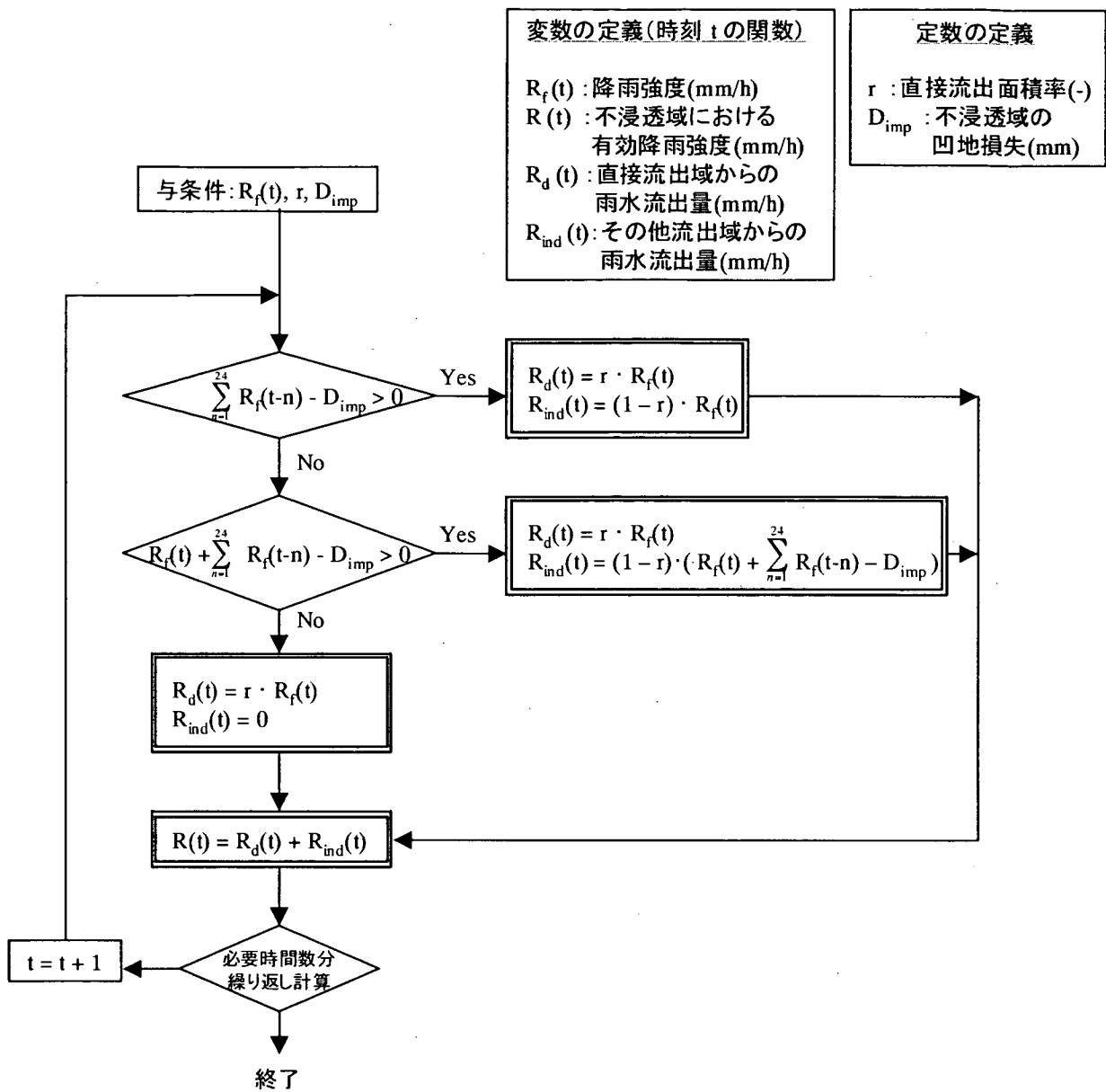


図4-1 不浸透域における有効降雨の計算フロー

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 12,200m³ となるが、これは A 市における日平均給水実績量 55,300m³ 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

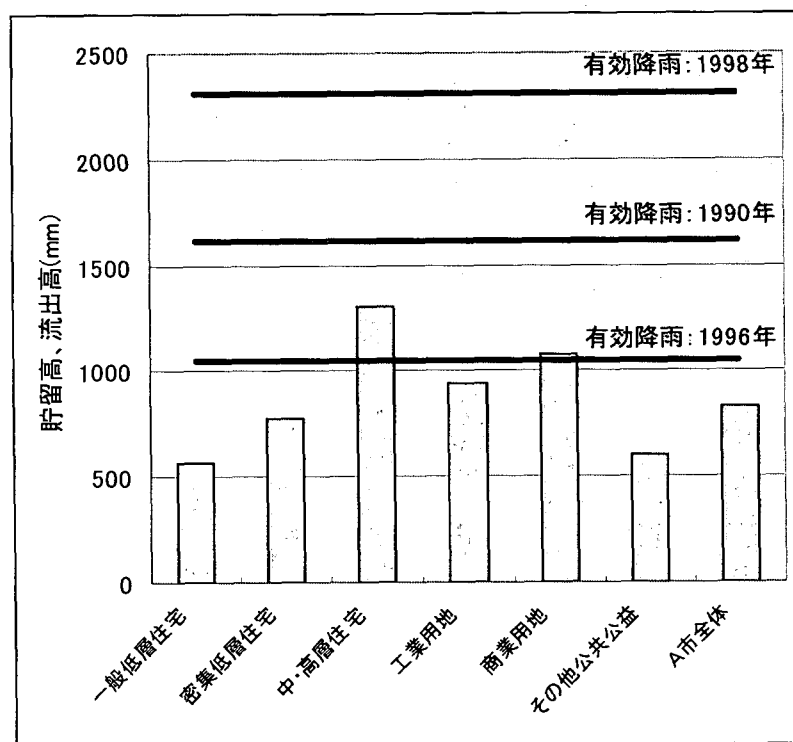


図4-2 必要水量と不浸透域有効降雨量の比較

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

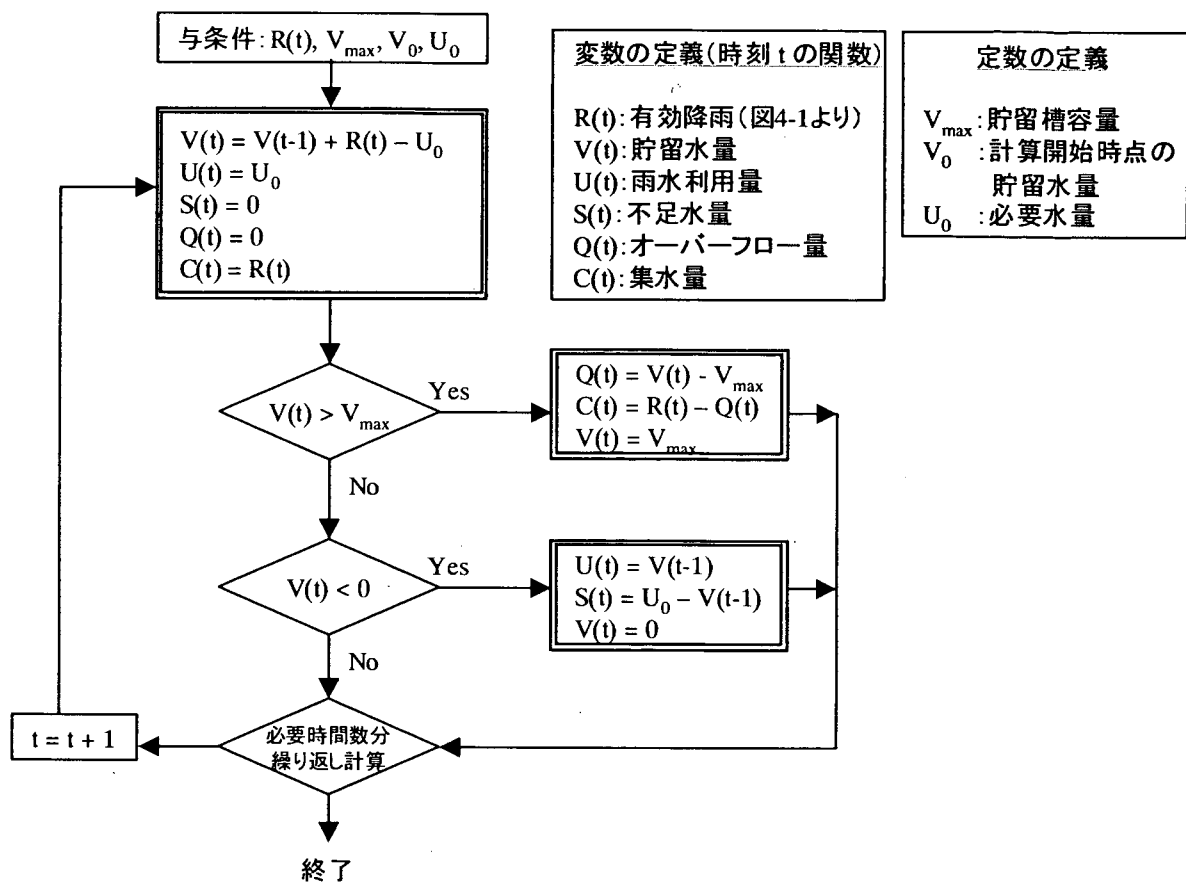


図4-3 雨水利用量の計算フロー

(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

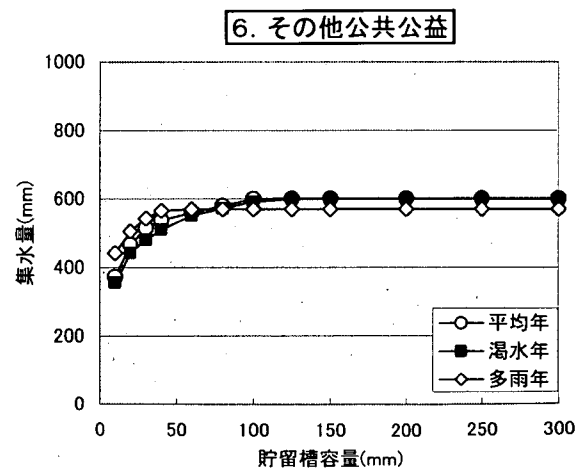
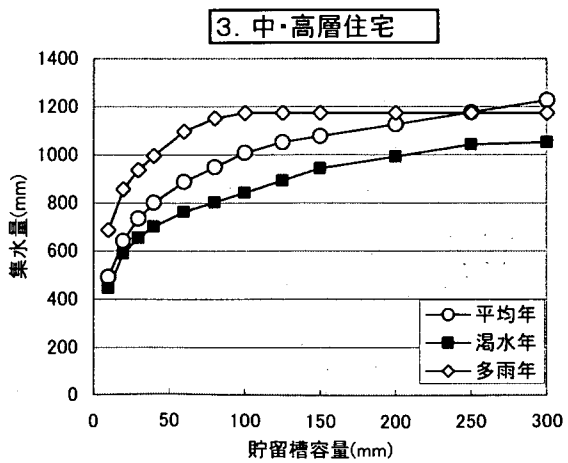
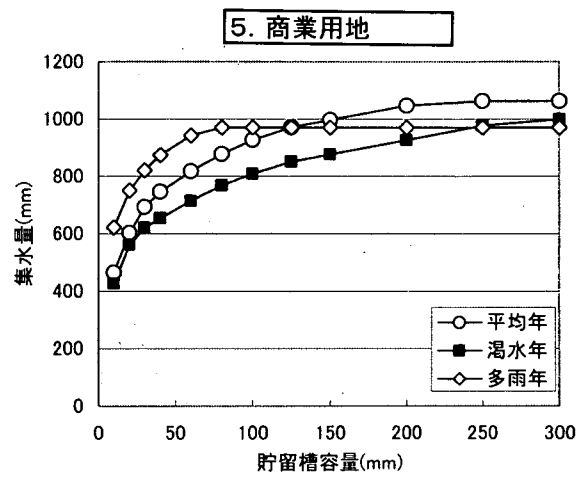
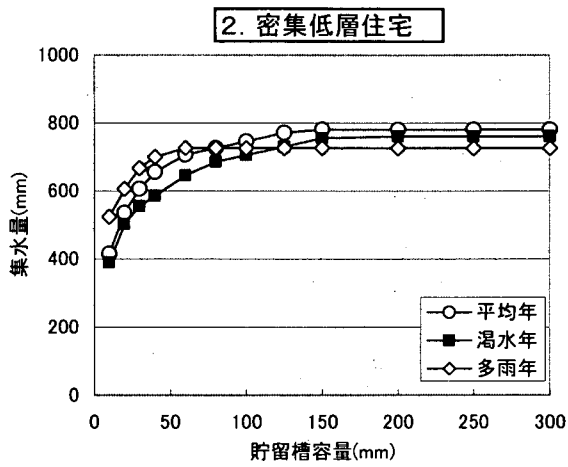
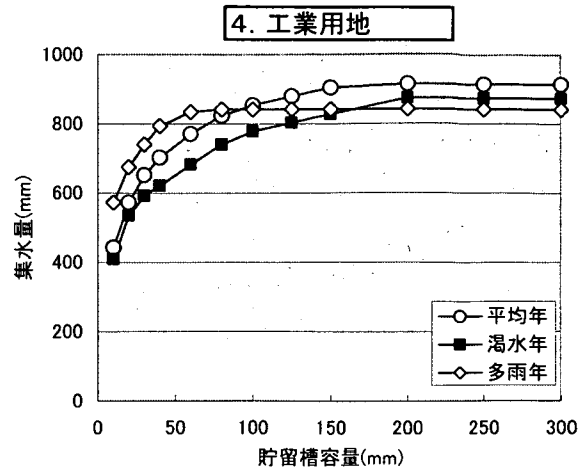
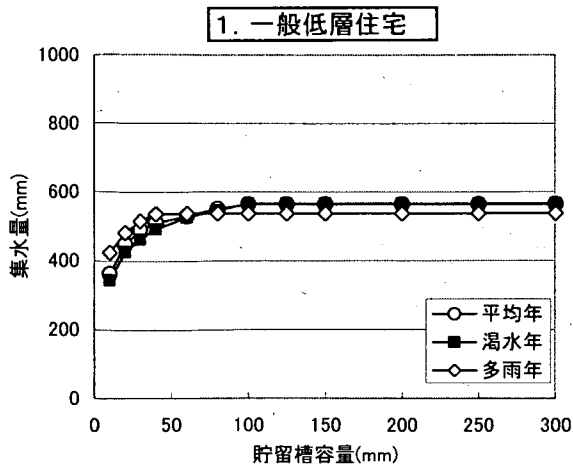


図4-4 貯留槽容量と集水量との関係

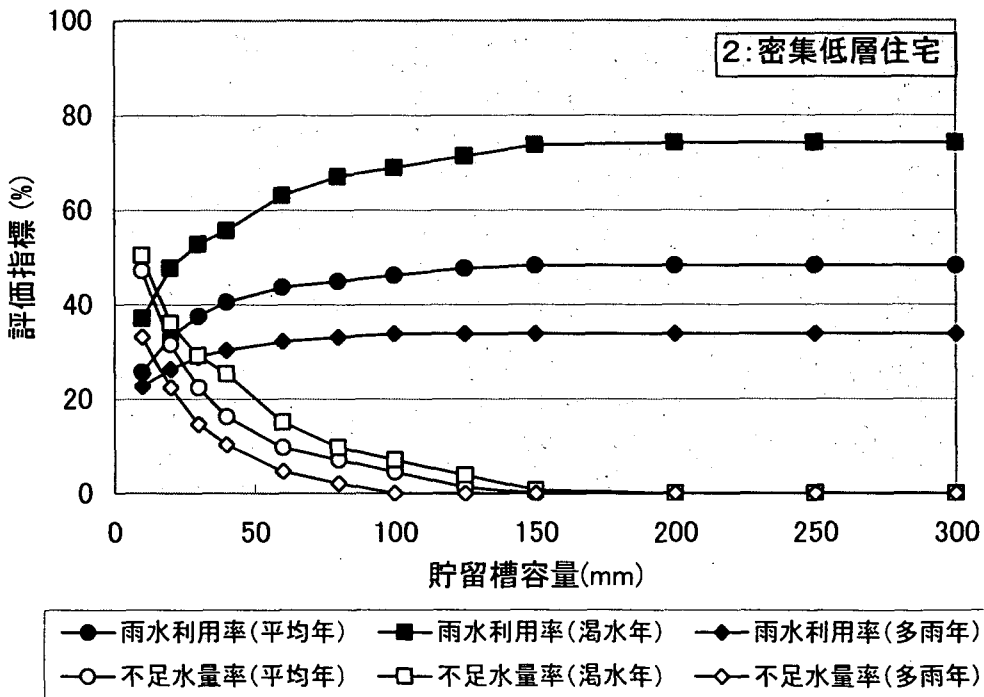
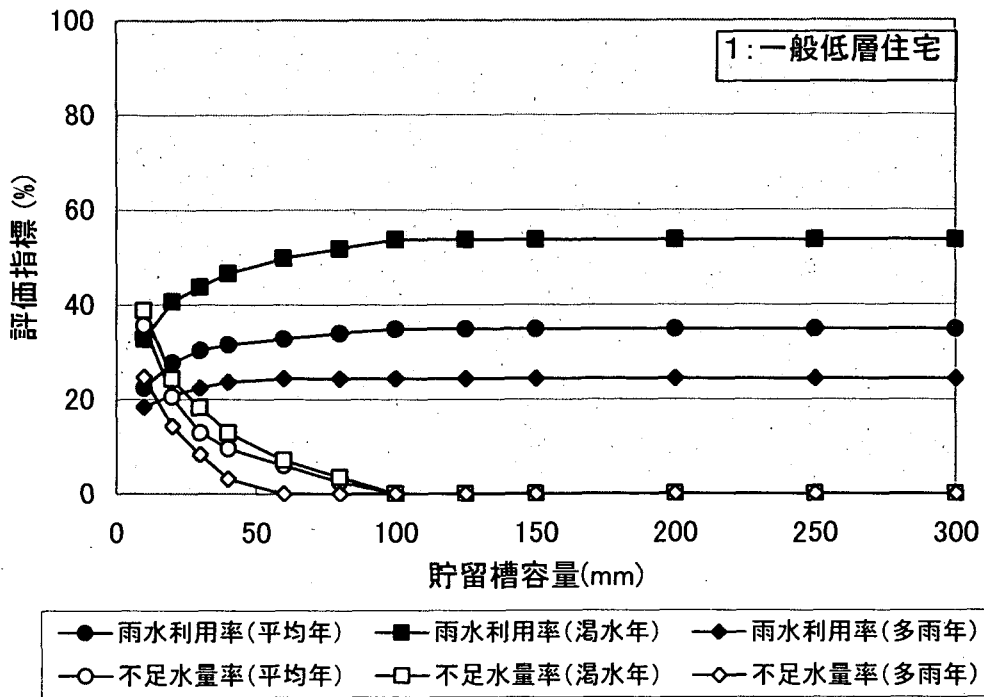


図4-5 貯留槽容量と雨水利用率、不足水量率の関係(1)

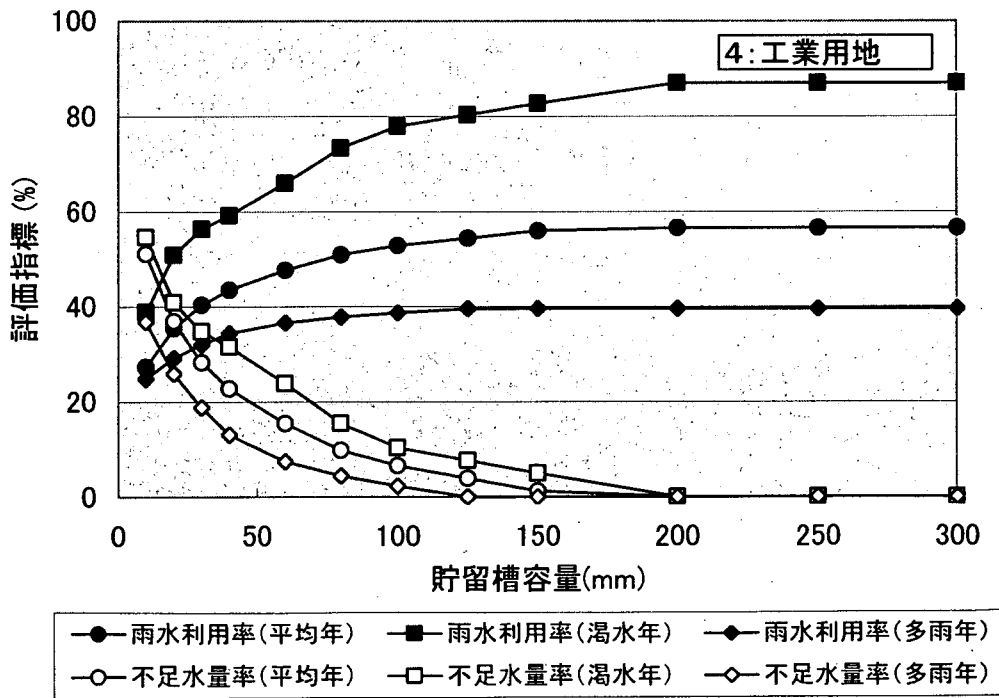
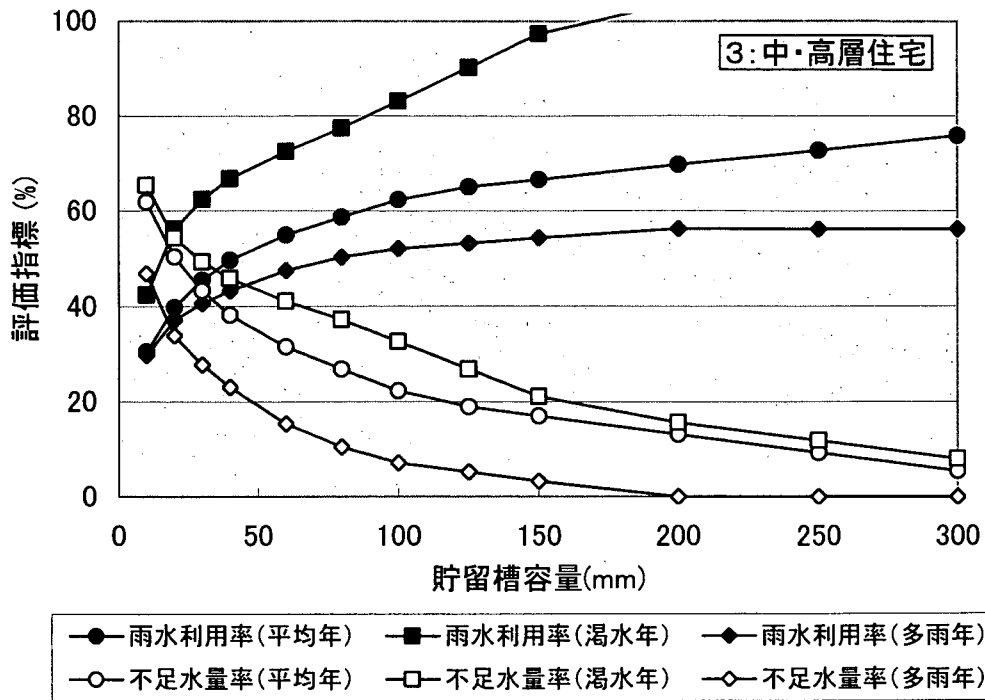


図4-6 貯留槽容量と雨水利用率、不足水量率の関係(2)

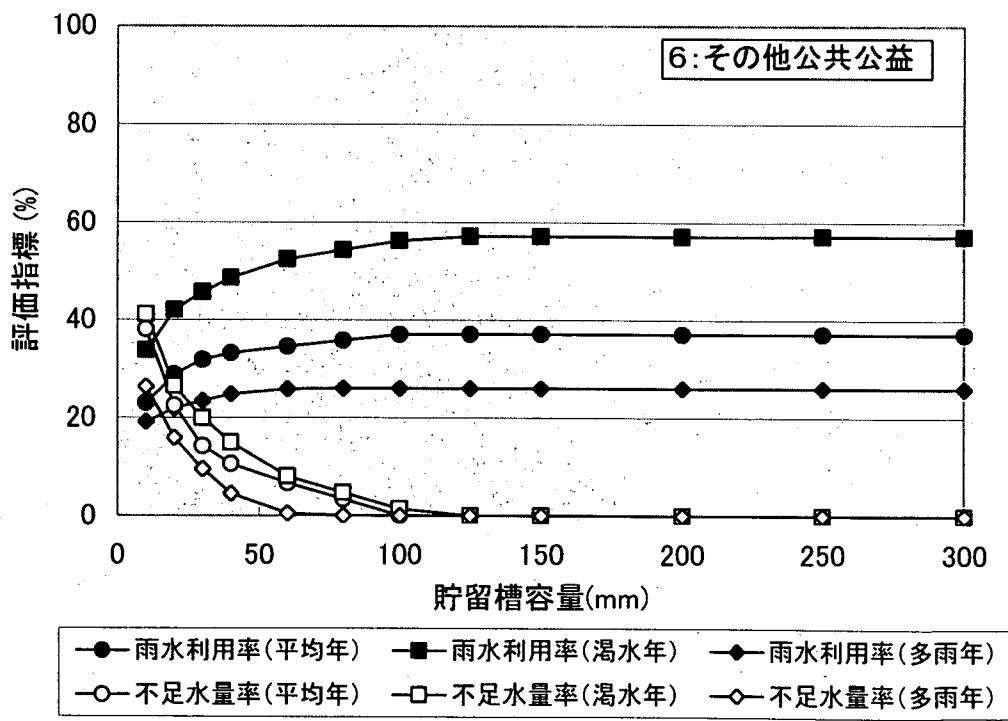
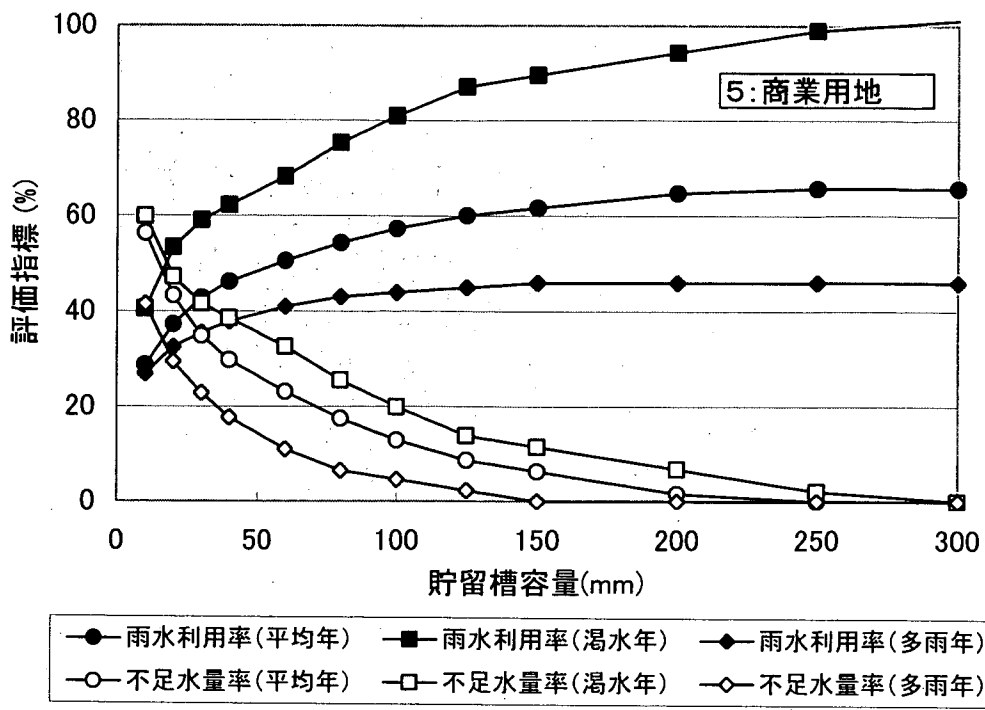


図4-7 貯留槽容量と雨水利用率、不足水量率の関係(3)

(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。

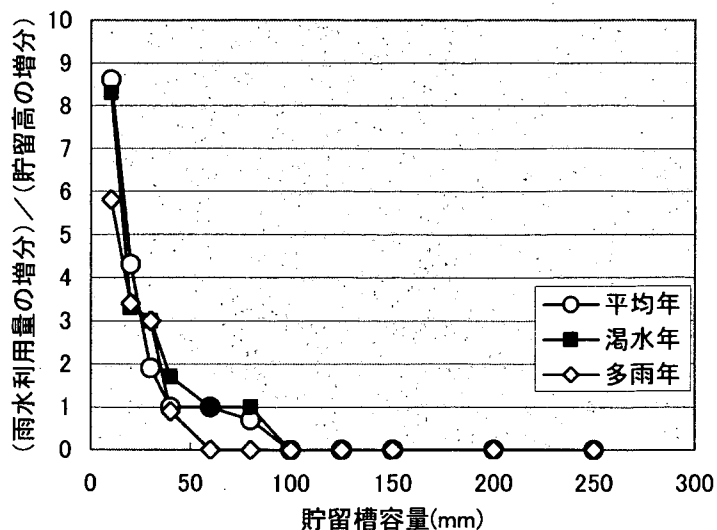
という2点を考慮する。しかし、①に対しては、雨水利用率、または不足水量率といった従来の指標はグラフの変曲点も明確でないことから、これらを用いて一律に線引きすることは困難であり、また②に対しては、今回の検討では施設規模を特定していないので、貯留施設のコストから経済的観点を考慮することは困難である。よって、ここでは荒巻ら⁵⁾の方法を参考に、次のように最適貯留高を決定することとした。

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。

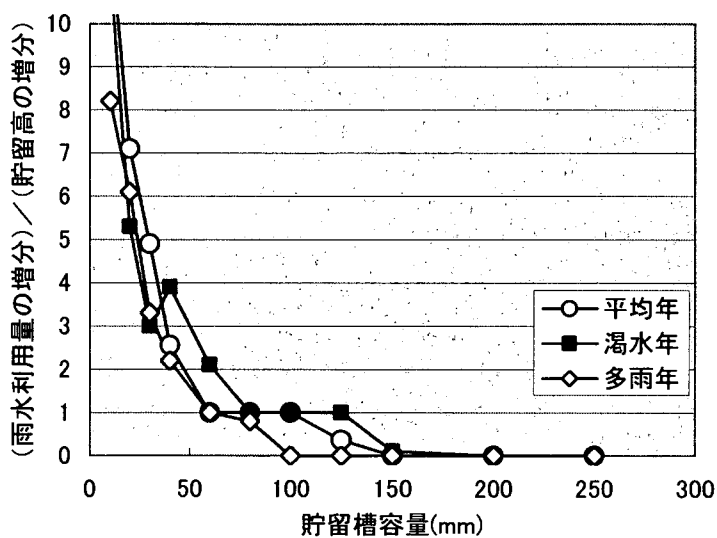
すなわち、(雨水利用量の増分) / (貯留高の増分) の値がはじめて1となるような貯留高をもって最適貯留高とする。

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。

1. 一般低層住宅



2. 密集低層住宅



3. 中・高層住宅

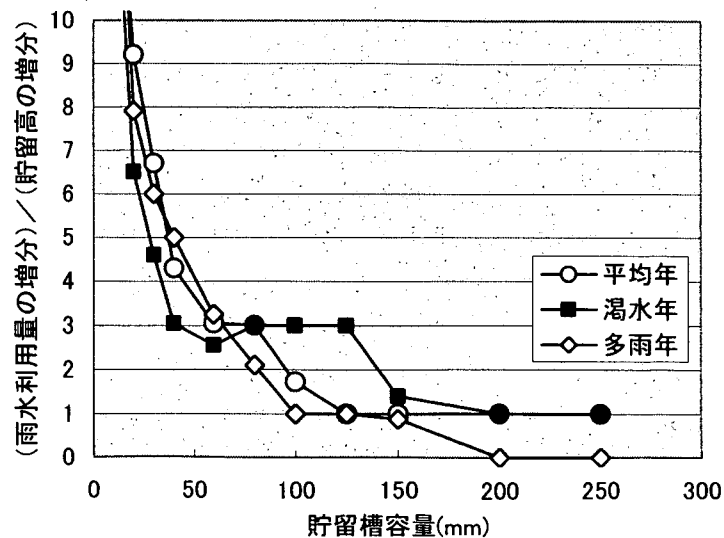
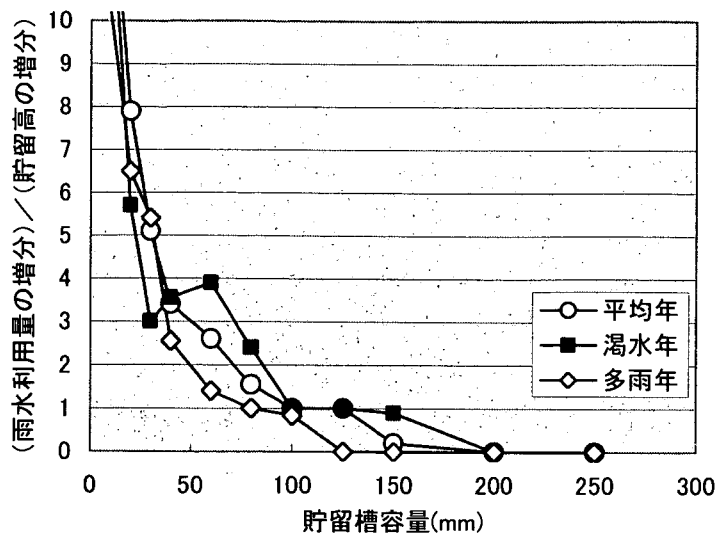
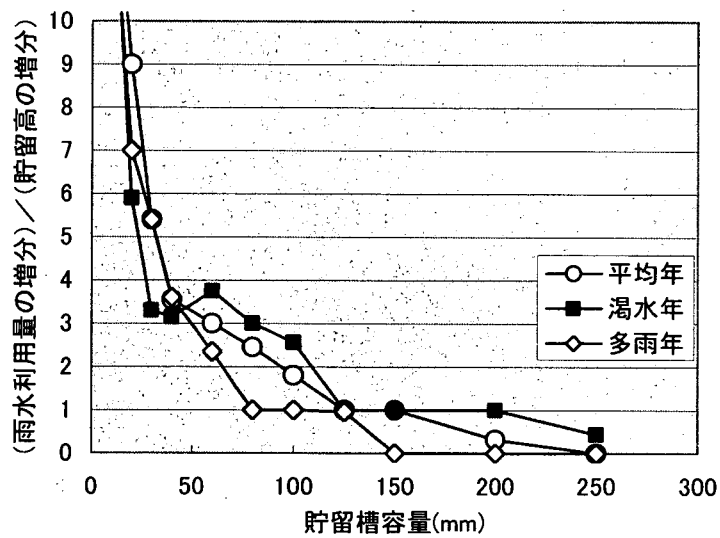


図4-8 貯留槽容量と雨水利用量の増加率との関係(1)

4. 工業用地



5. 商業用地



6. その他公共公益

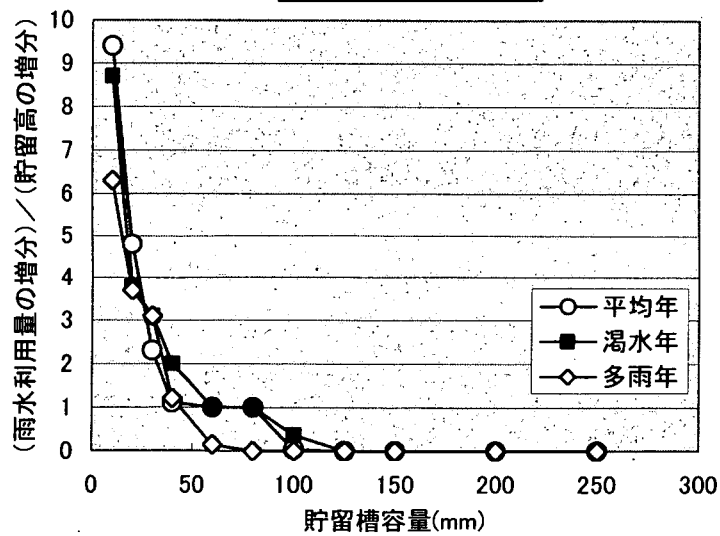


図4-9 貯留槽容量と雨水利用量の増加率との関係(2)

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。

$$(\text{最適貯留高 [mm]}) = 0.12 \times (\text{必要水量(年総量) [mm]}) - 20$$

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

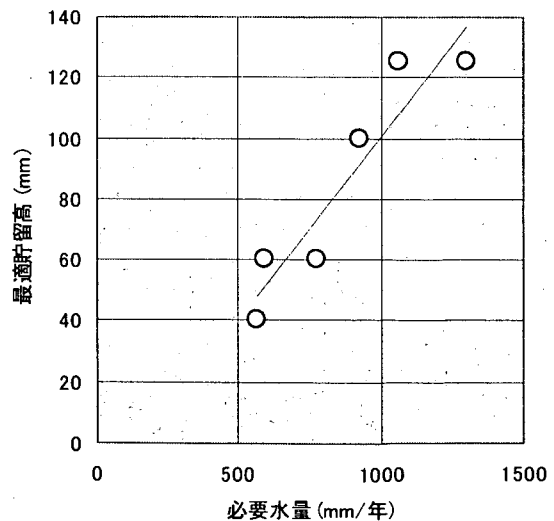


図4-10 必要水量と最適貯留高の関係

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、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。

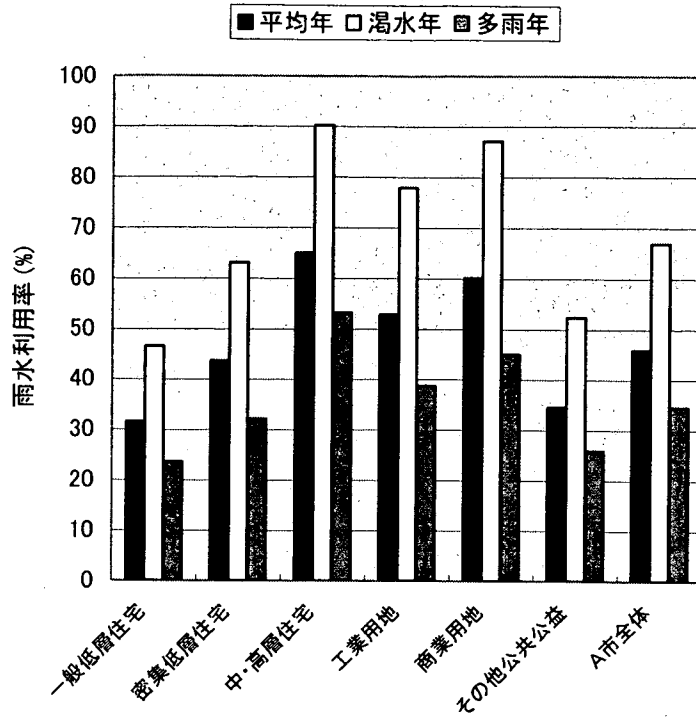


図4-11 最適貯留高における雨水利用率

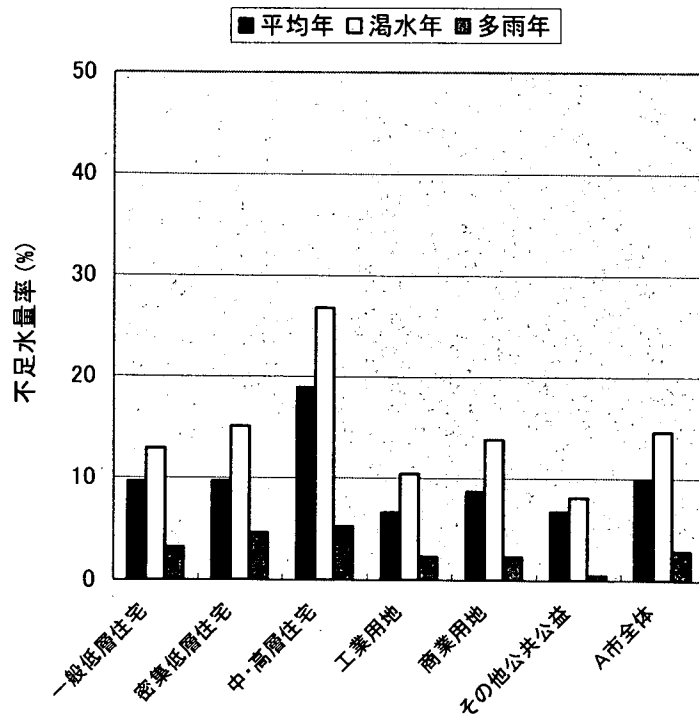


図4-12 最適貯留高における不足水量率

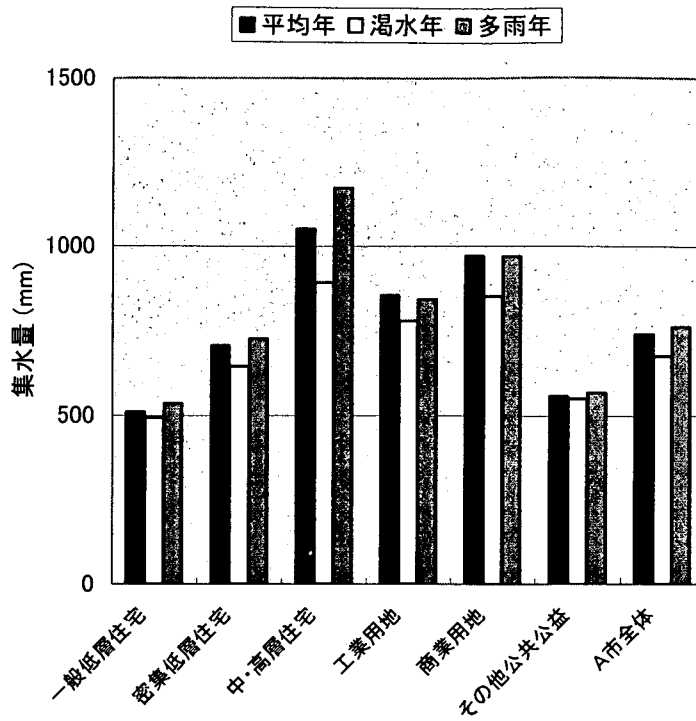


図4-13 最適貯留高における集水量

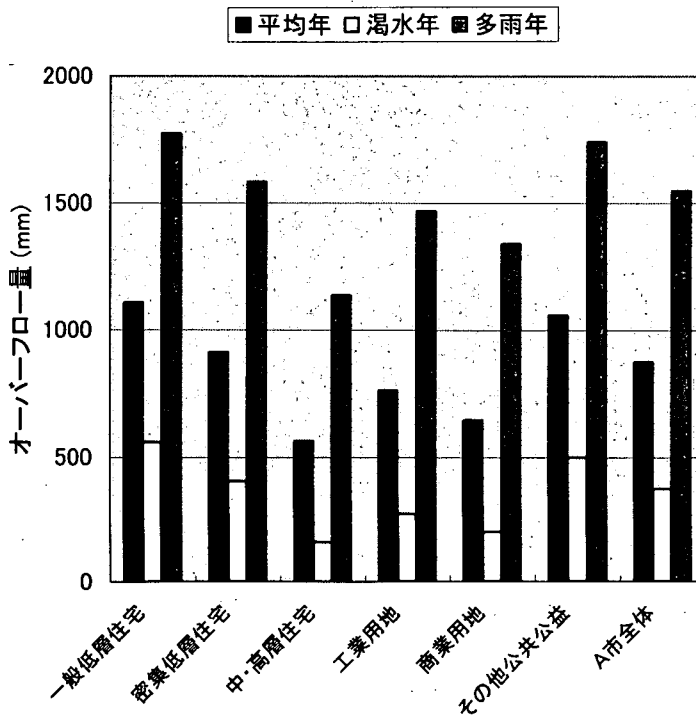


図4-14 最適貯留高におけるオーバーフロー量

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して評価しているが、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)

$$\text{ピークカット率} = (\text{ピークカット量}) / (\text{有効降雨のピーク})$$

$$\text{ピークカット量} = (\text{有効降雨のピーク}) - (\text{オーバーフロー量のピーク})$$

$$\text{オーバーフロー量} = (\text{入力有効降雨}) - (\text{貯留水量}) - (\text{必要水量})$$

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。

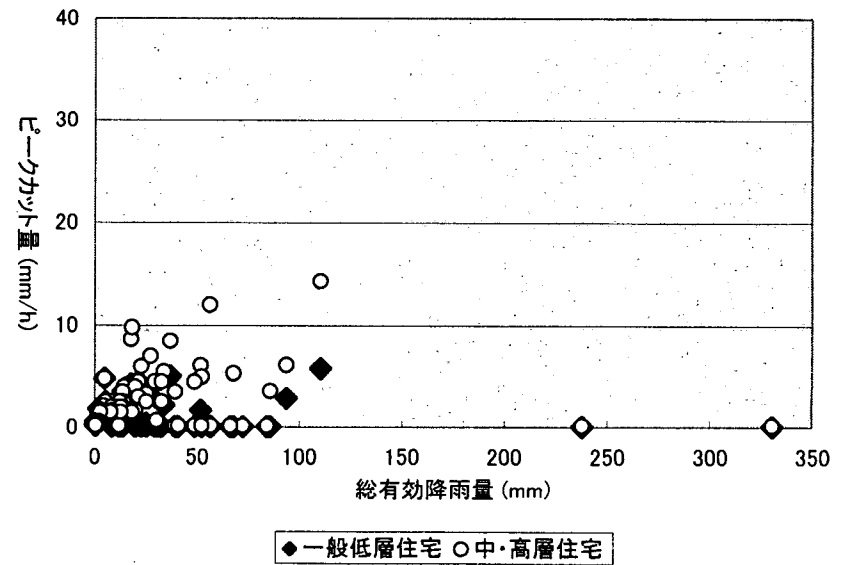
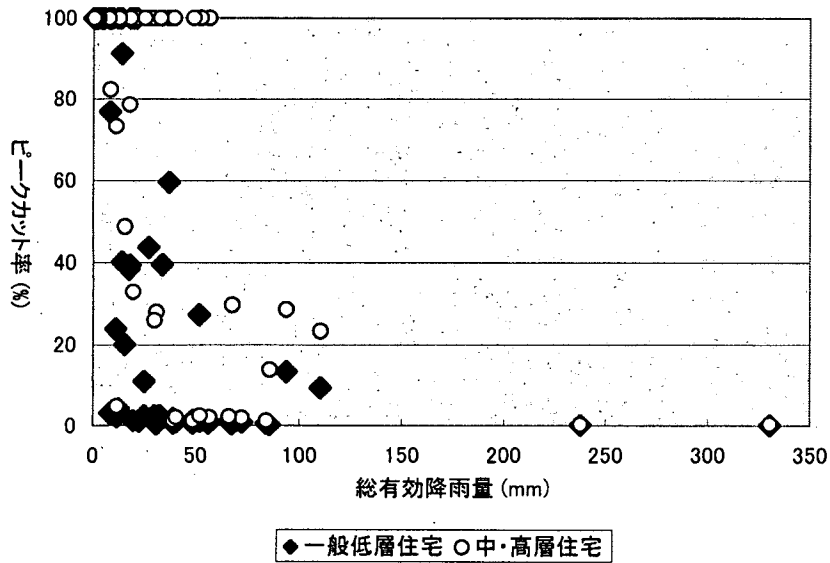
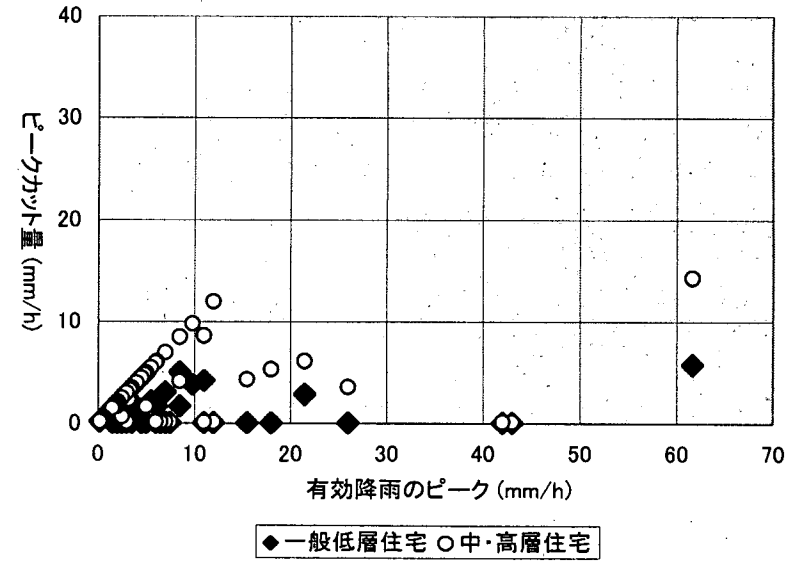
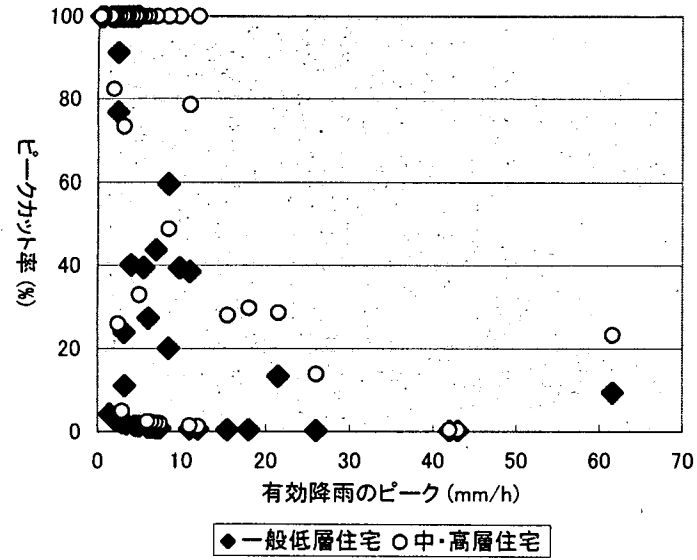


図4-15 雨水利用時の浸水防除効果(多雨年)

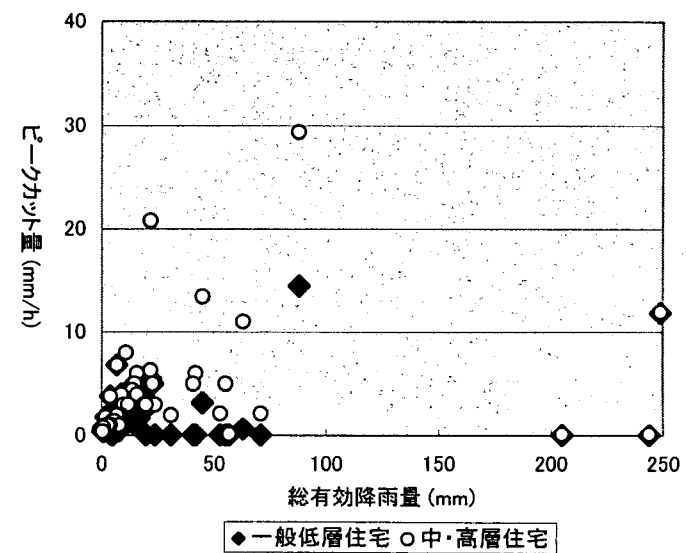
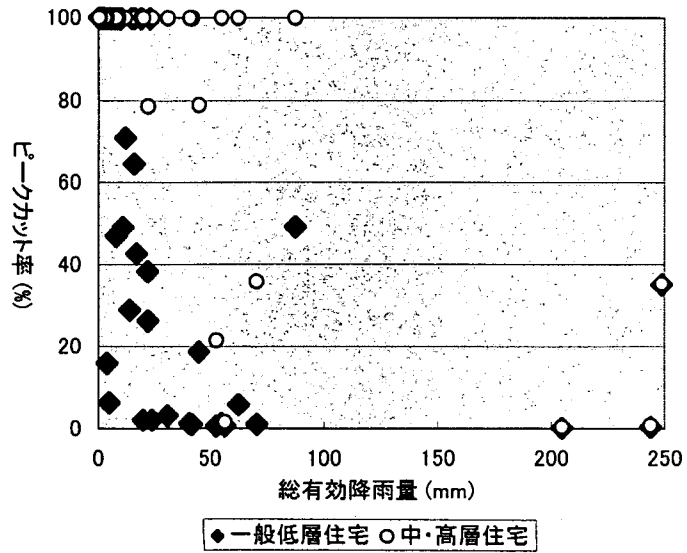
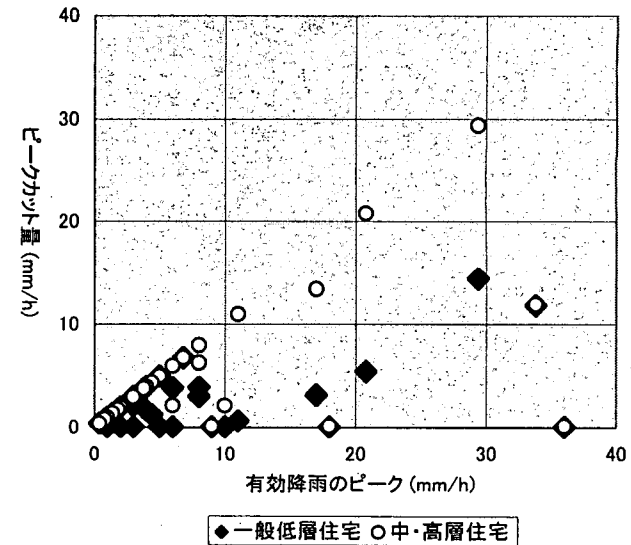
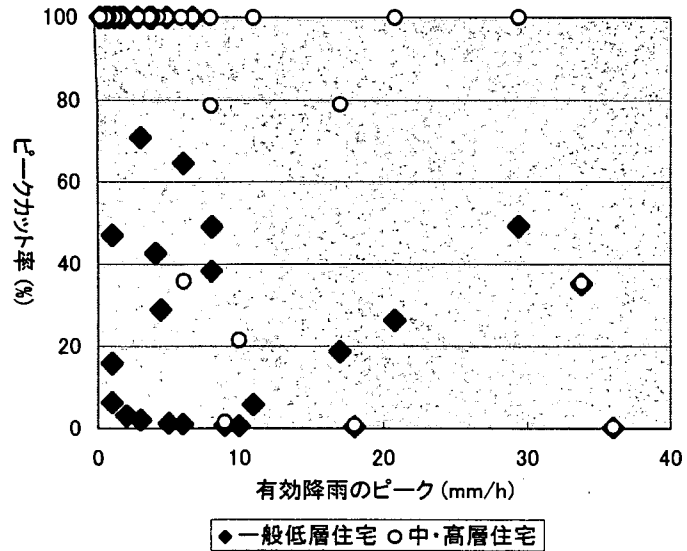


図4-16 雨水利用時の浸水防除効果(平均年)

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 70m² の場合、貯留高 40mm に相当する利水槽容量は約 3m³ 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

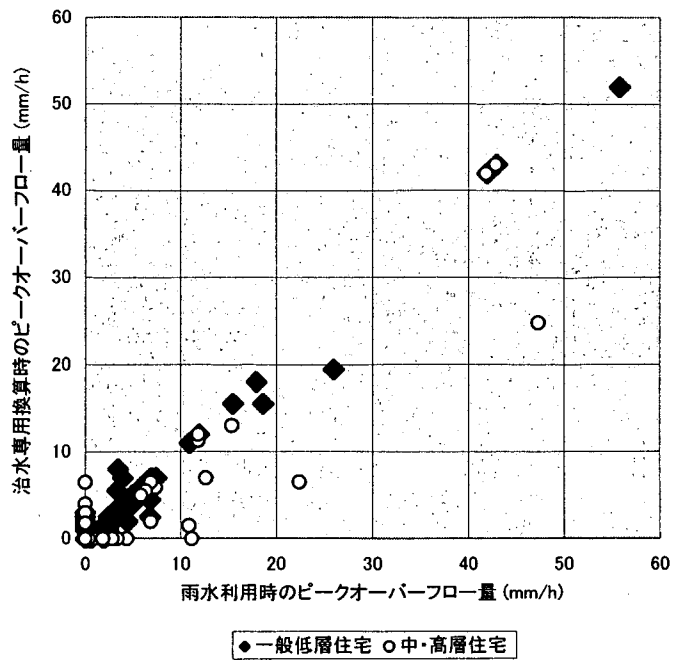
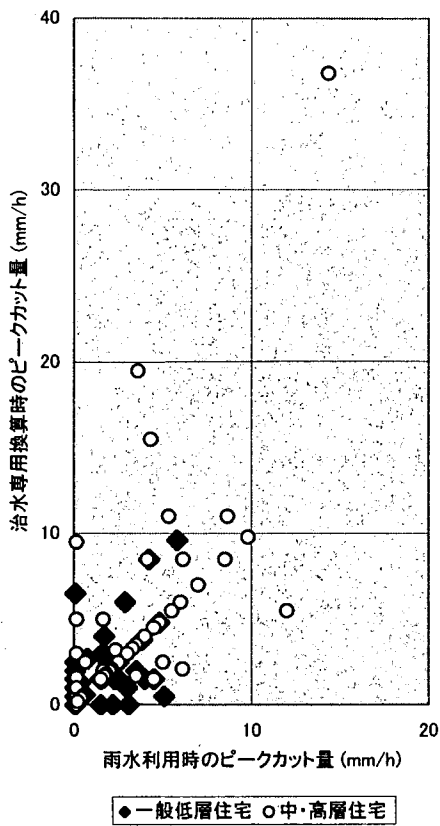


図4-17 治水専用貯留槽との比較(多雨天)

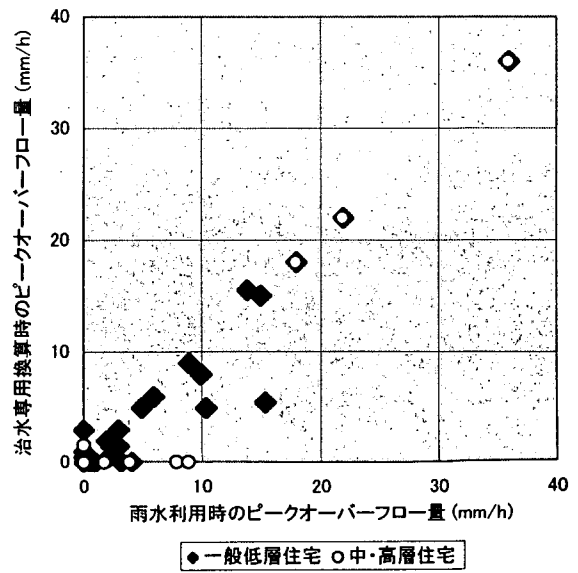
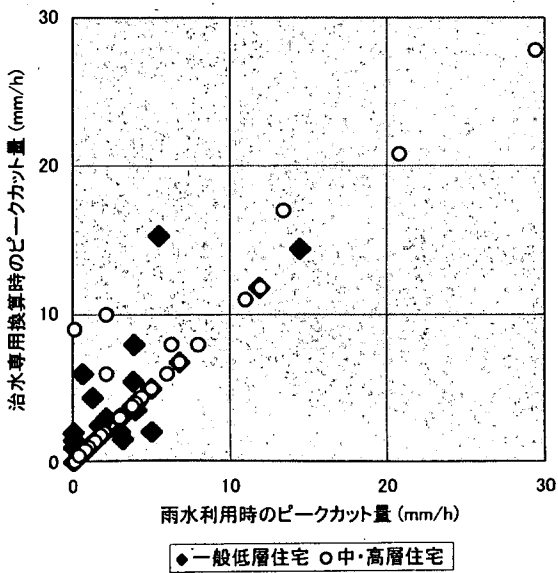


図4-18 治水専用貯留槽との比較(平均年)

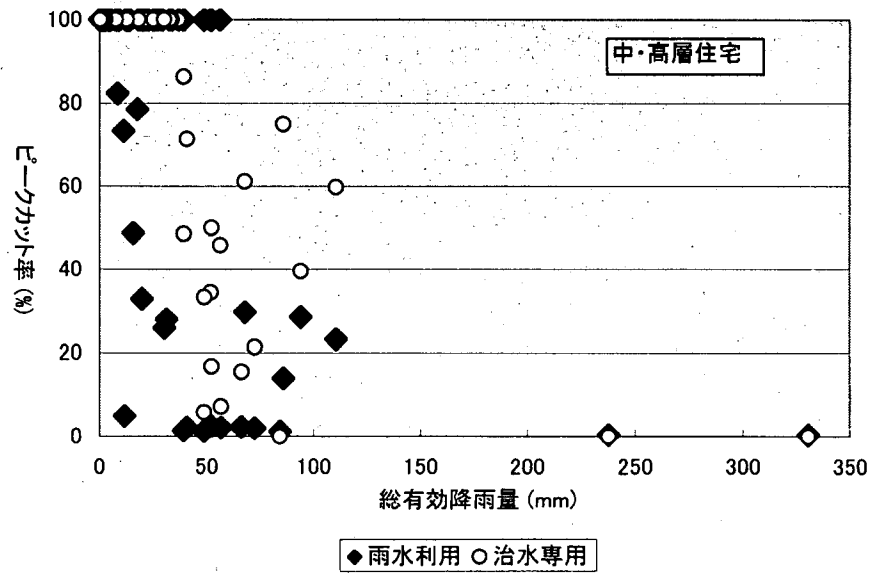
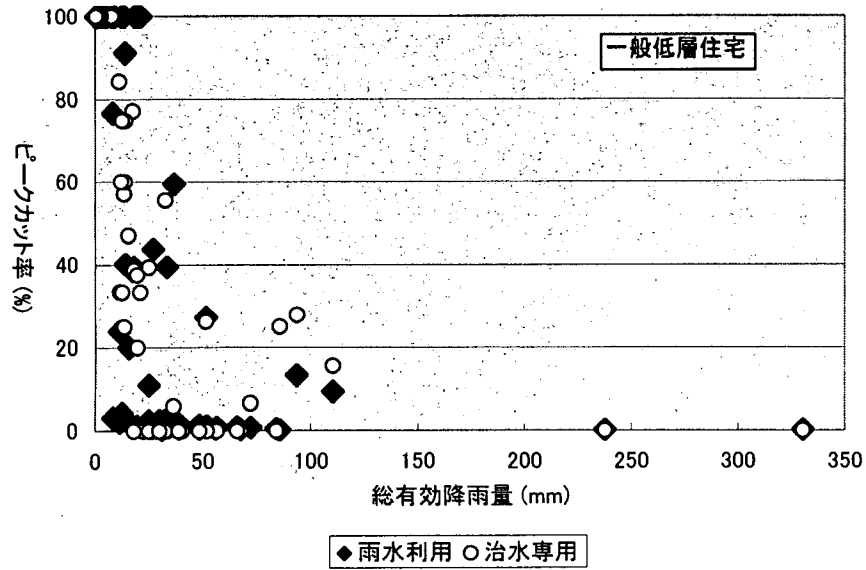
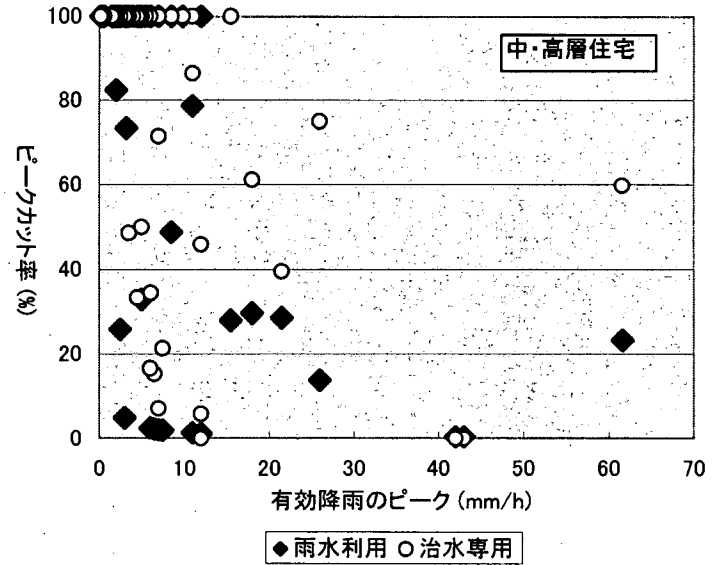
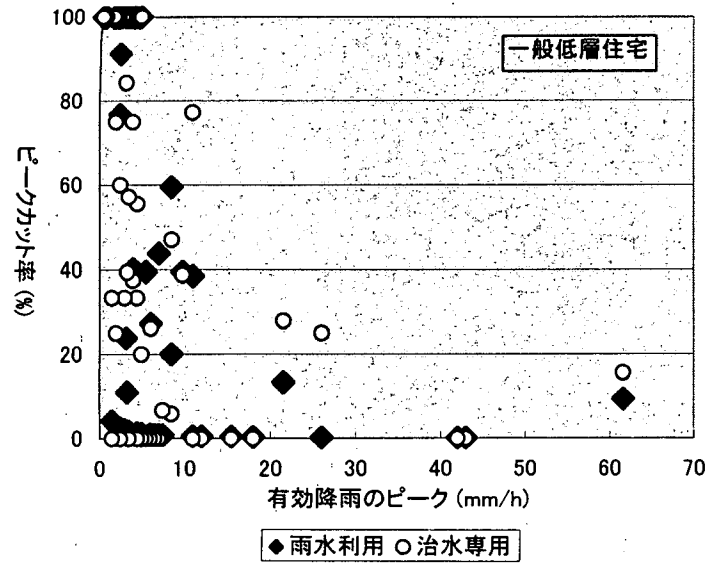


図4-19 治水専用貯留槽との比較(多雨年)

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($37/125=0.30$, $9.8/40=0.25$)。

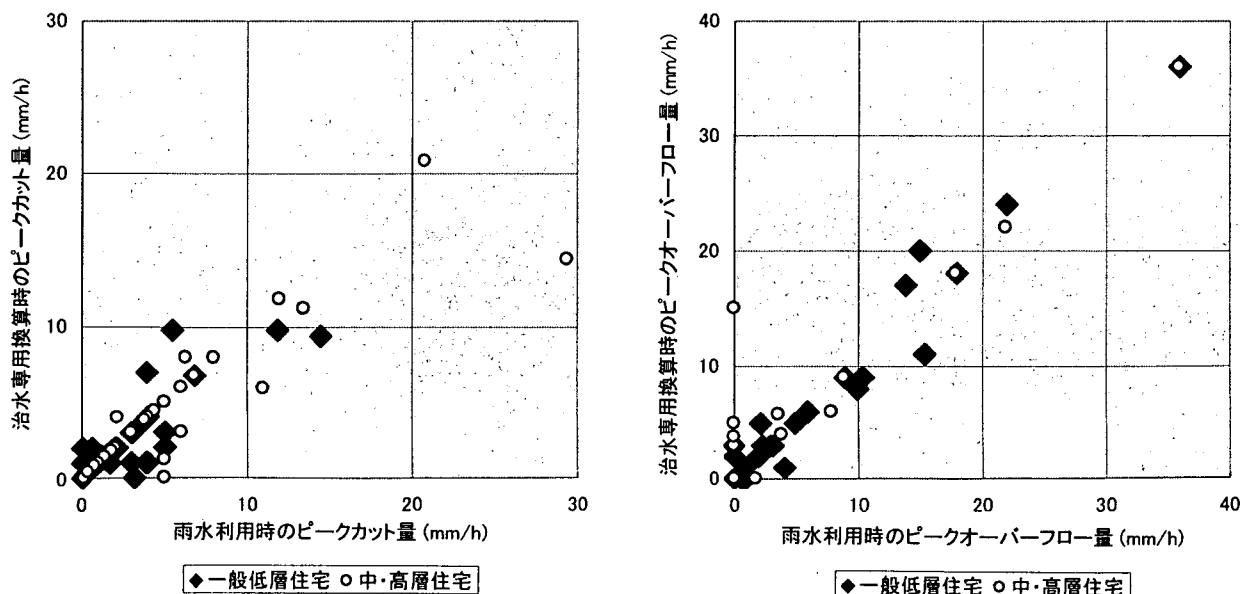


図4-20 治水専用貯留槽との比較(多雨年換算貯留高に平均年降雨を入力)

(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。

$$I = 1200 / (t^{2/3} + 5.0) \quad \text{ここで } I : \text{降雨強度(mm/h)、} t : \text{降雨継続時間(min)}$$

上式から得られる中央集中型のハイトグラフを図 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。

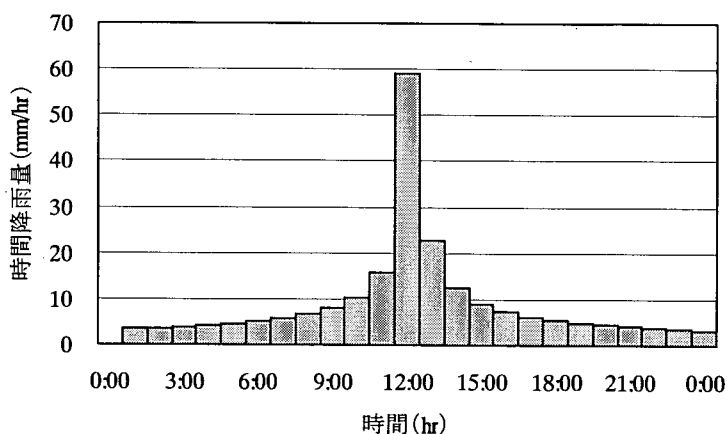


図4-21 中央集中型の計画降雨

4.4.4 浸水防除効果をもとめる工夫

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もと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。

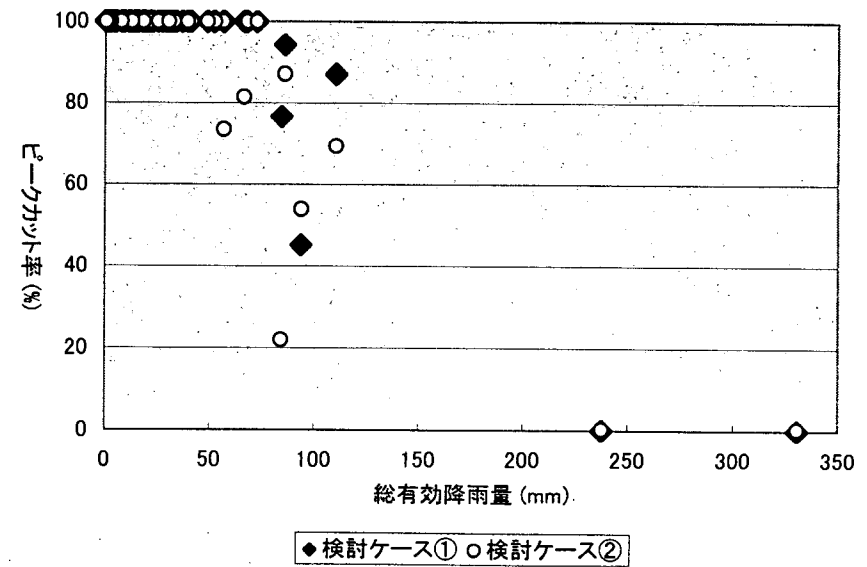
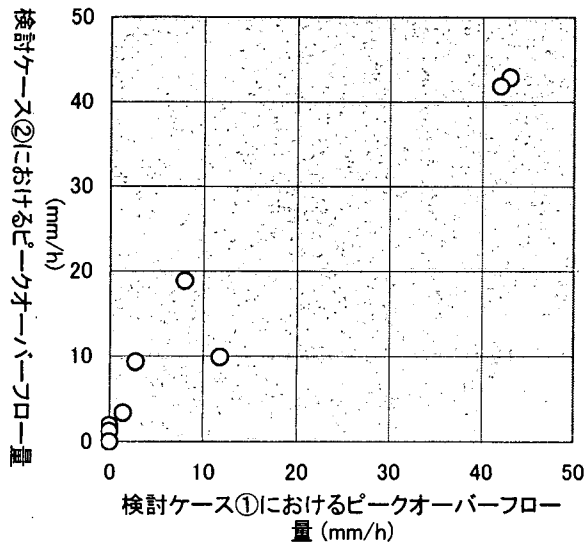
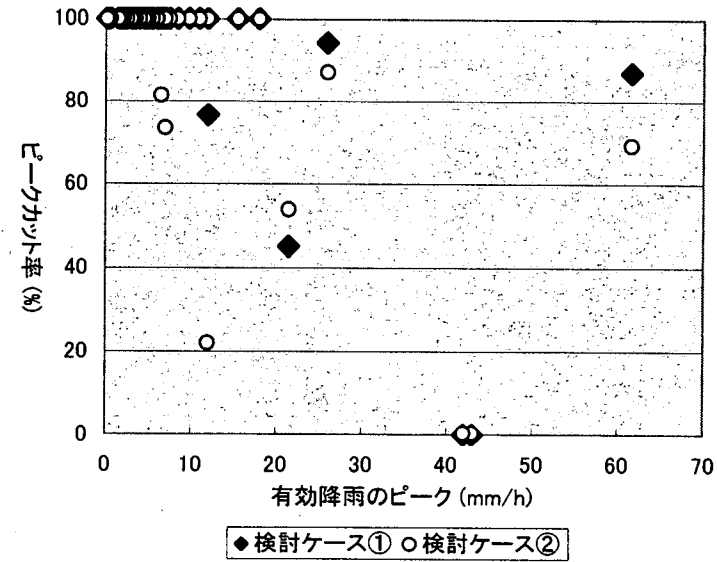
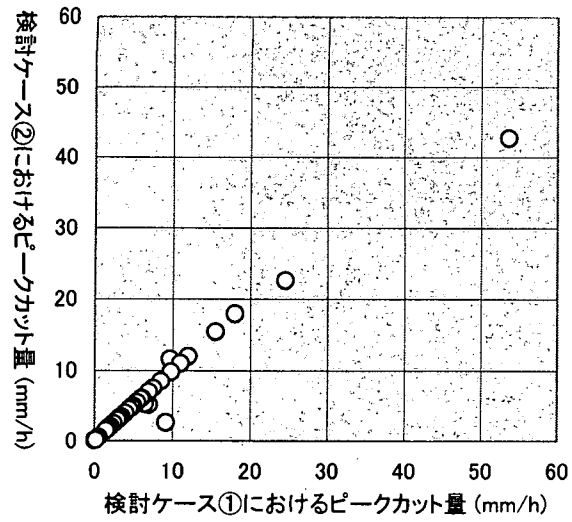


図4-22 治水専用の貯留容量を付与した場合との比較(多雨年)

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えることができる。

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。

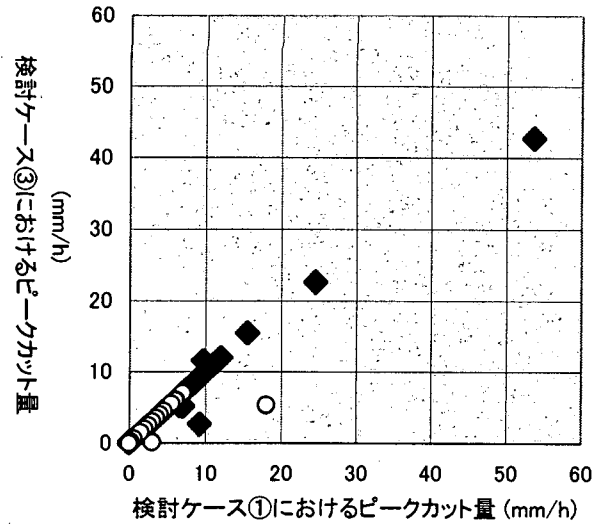
計算方法は、雨水利用時の浸水防除効果の計算方法・計算条件と原則同様である。

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。

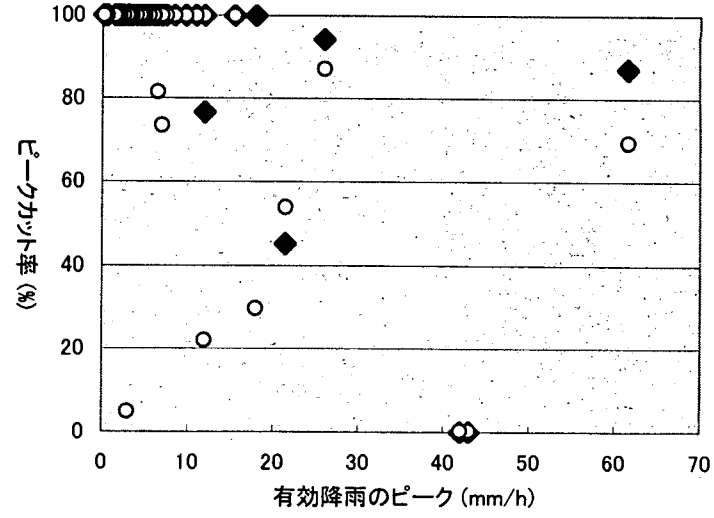
5/1 時点で空き容量が 40mm に満たない場合は、空き容量を 40mm 確保する。

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。

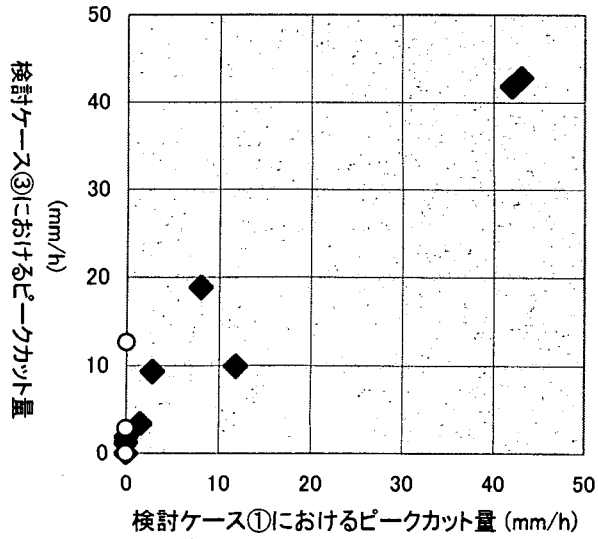
各検討ケースの計算結果を比較する。浸水防除効果が空き容量の平均値により代表されるとすると、検討ケース③の空き容量は約 60mm であり、目標に対し 20mm ほど不足している結果となった。しかし、ピークカット率 20%以上の降雨回数、ピークカット量の平均値について見ると、検討ケース③は検討ケース①(もしくはケース②)より若干小さい程度で、ほぼ同一の値が得られている。これは、降雨の多くが出水期に発生し、出水期に



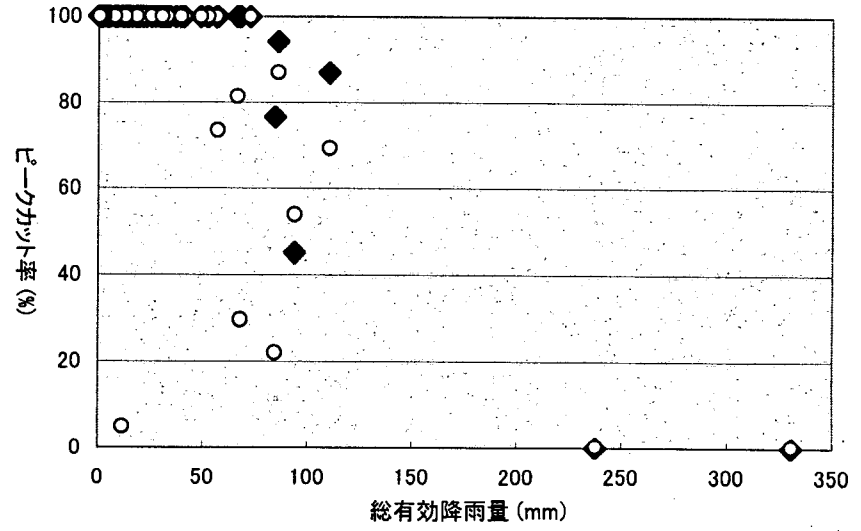
◆ 出水期 ○ 非出水期



◆ 検討ケース① ○ 検討ケース③



◆ 出水期 ○ 非出水期



◆ 検討ケース① ○ 検討ケース③

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		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)		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	非出水期の 平均値
				(5月~10月)	(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。

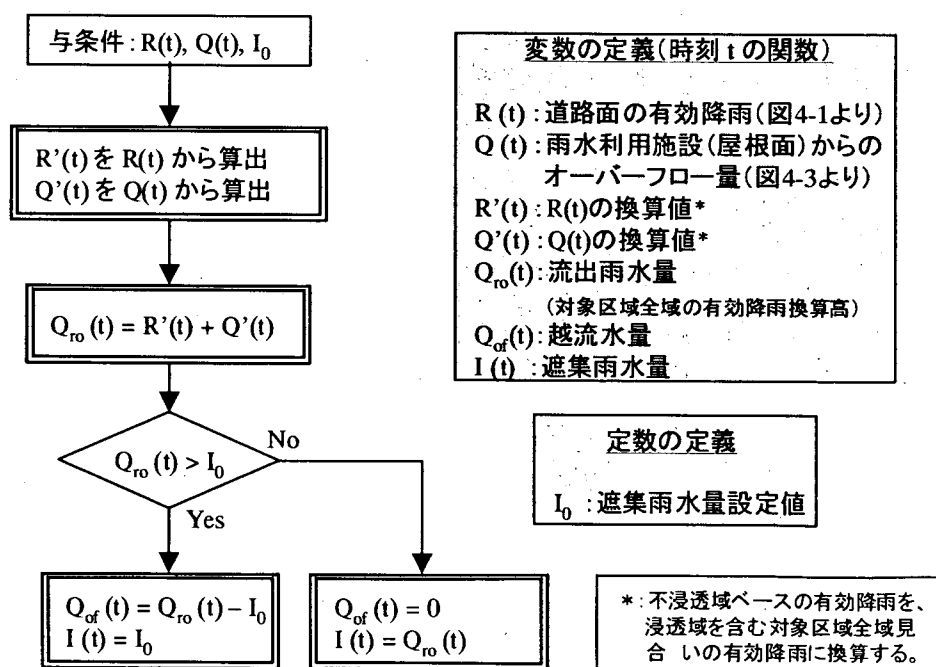


図4-24 越流量・遮集雨水量の計算フロー

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

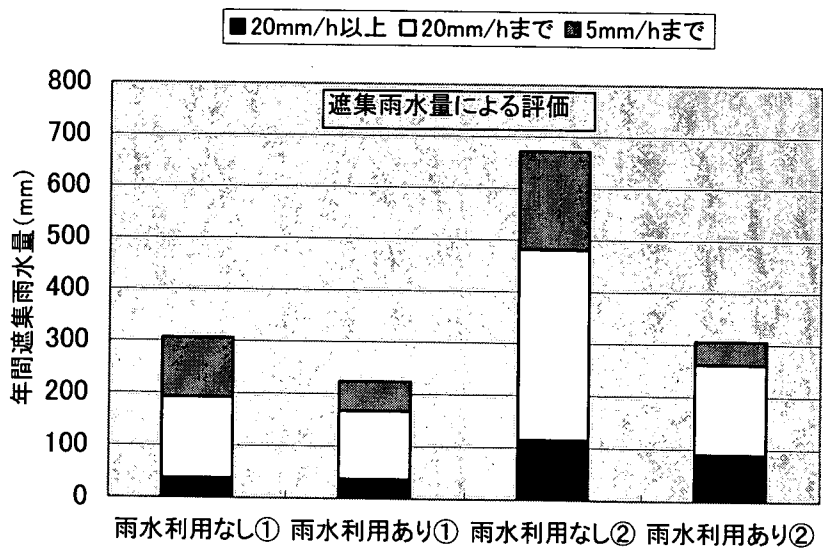
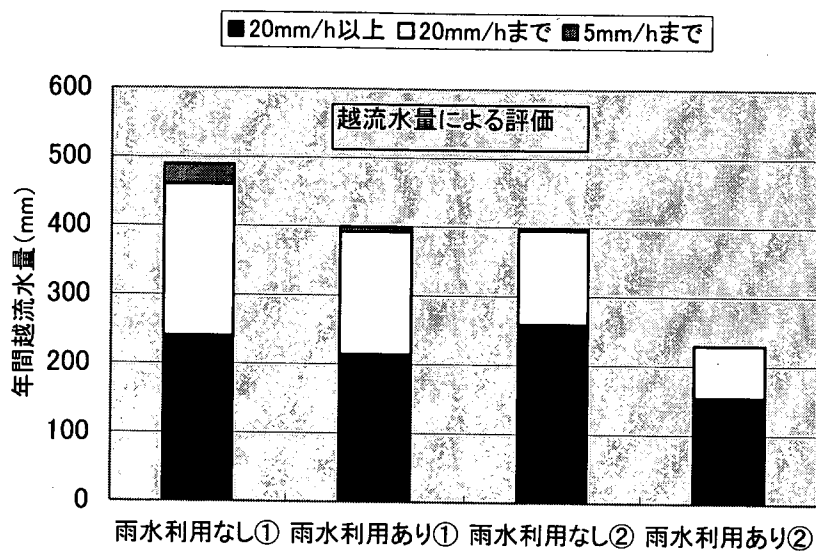
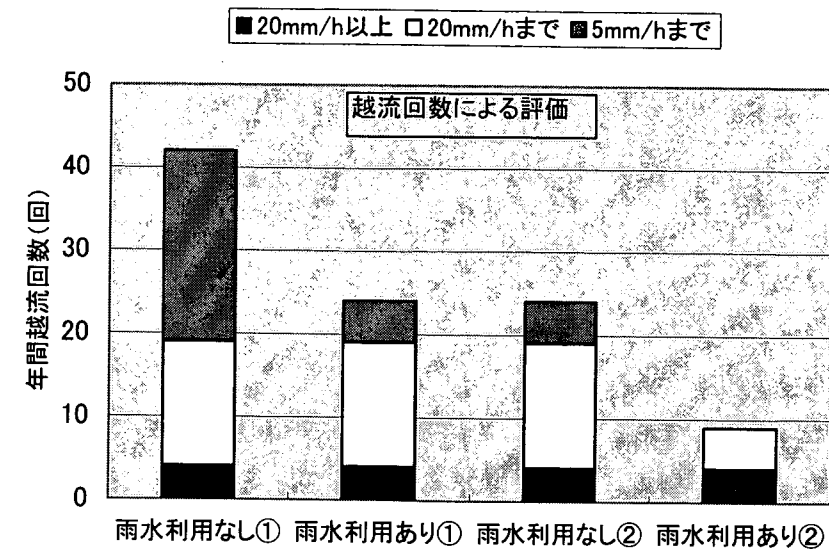
これらを用いてQ、および2Qを算定すると、

$$\text{一般低層住宅: } Q = 1,687 \text{ (m}^3\text{/h)}, 2Q = 3,374 \text{ (m}^3\text{/h)} = 0.68 \text{ (mm/h)}$$

$$\text{中・高層住宅: } Q = 1,198 \text{ (m}^3\text{/h)}, 2Q = 2,396 \text{ (m}^3\text{/h)} = 2.33 \text{ (mm/h)}$$

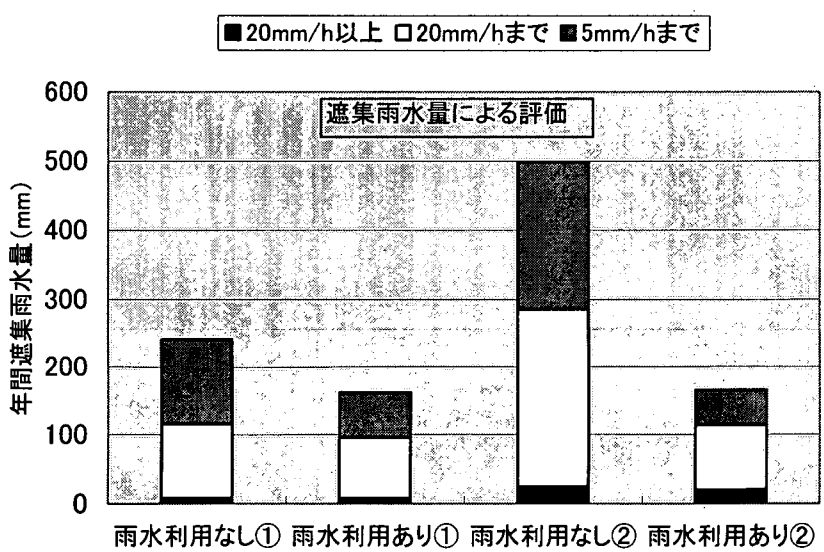
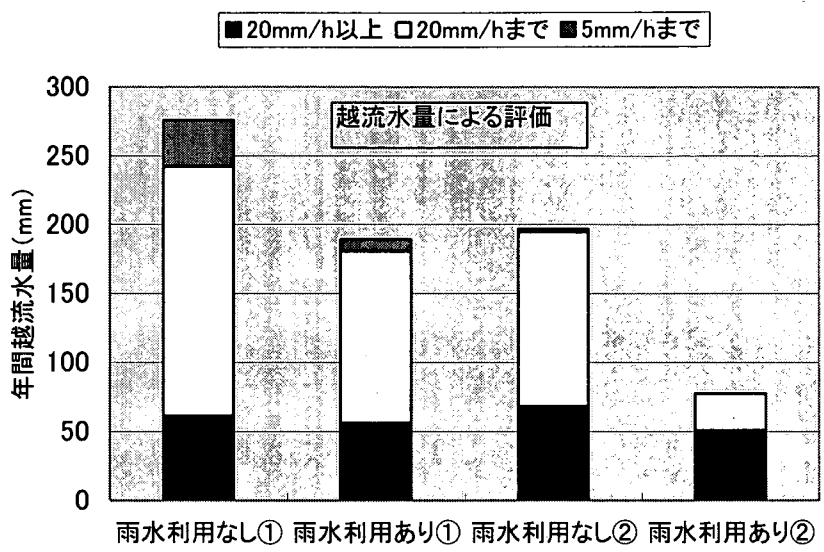
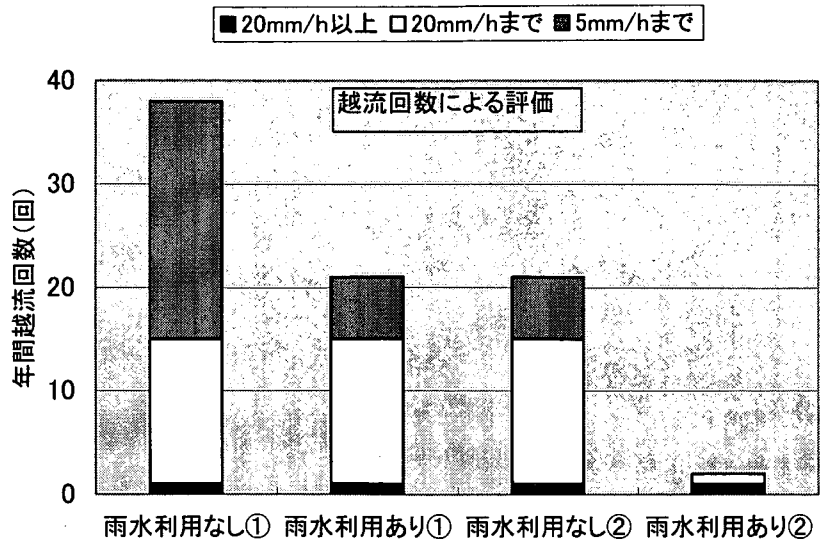
となる。ここで、単位の mm については、浸透域を含む当該土地利用区分全域(一般低層住宅: 499ha、中・高層住宅: 103ha)を分母とした換算高である。

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。



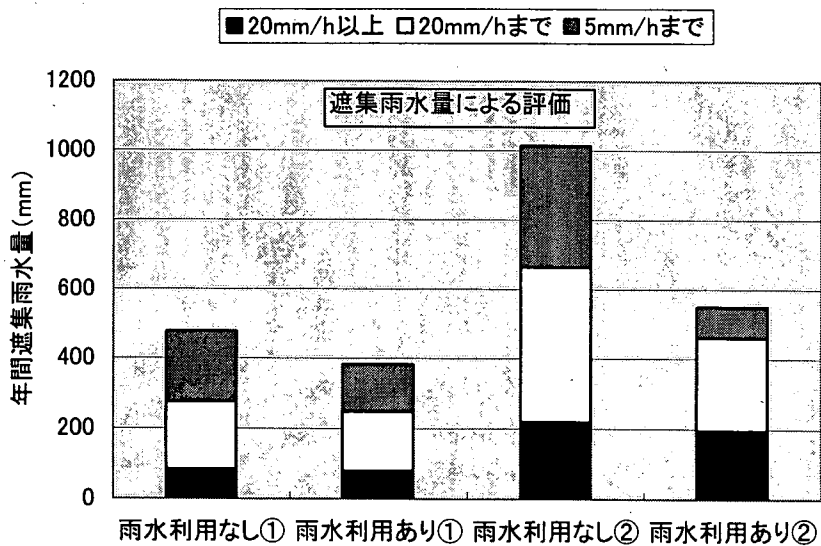
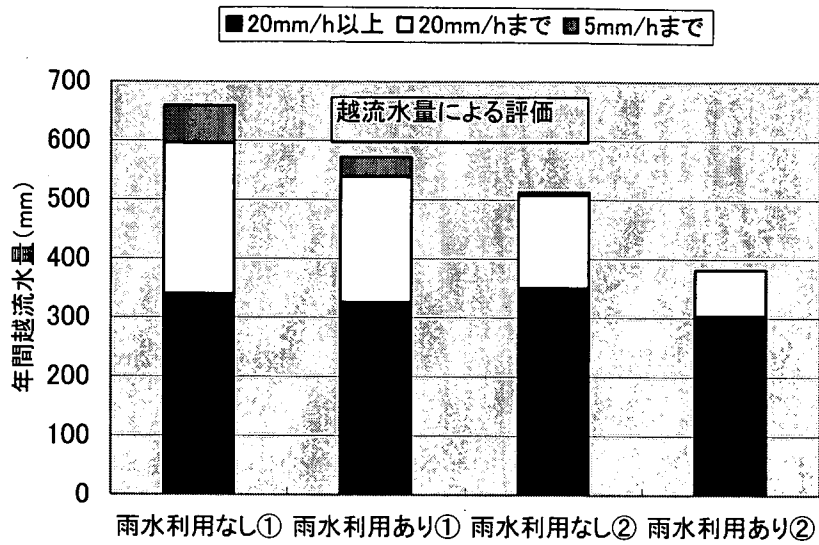
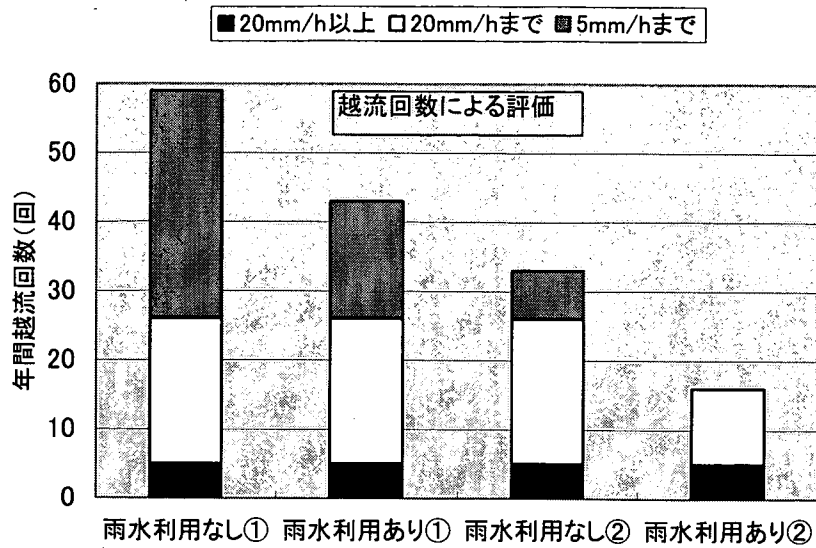
* 各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
 * 凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

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 遮集雨量2Qの場合の合流改善効果(多雨天)

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 2 Q の場合の低減率

土地利用区分	一般低層住宅			中・高層住宅		
	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。

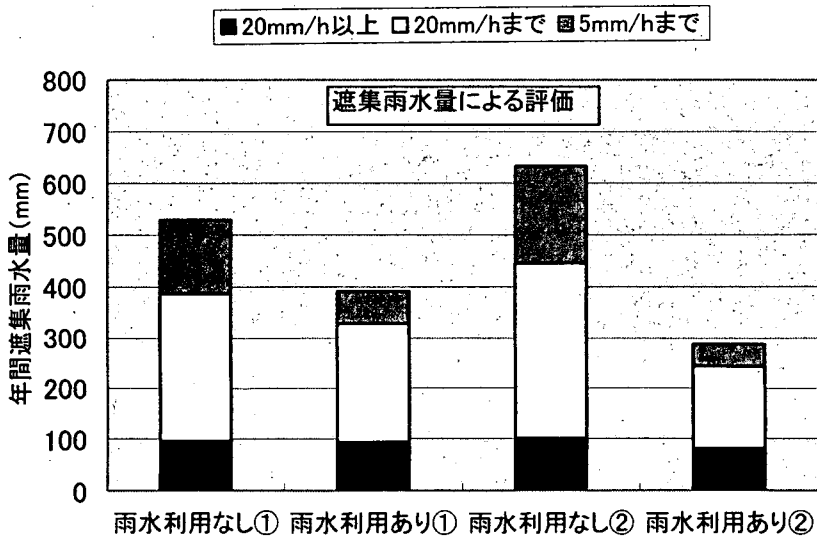
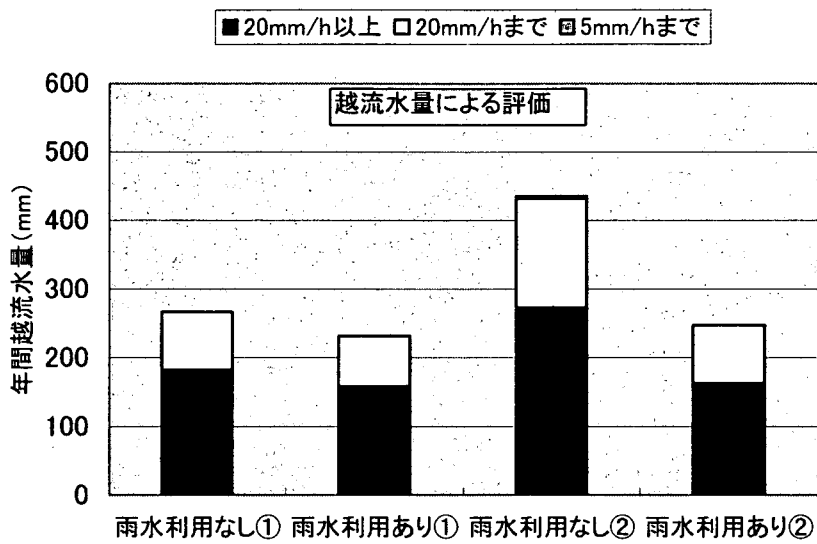
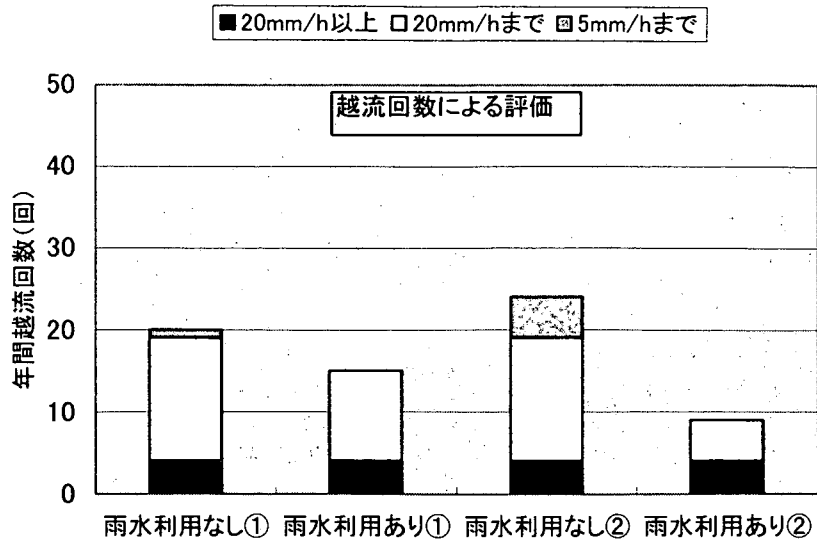
- ・一般低層住宅については、遮集雨水量が 0.68mm/h から 2mm/h に大幅に改善されたことにより、雨水利用なしの場合の越流回数、越流量が大きく低減し、遮集雨水量が増加している。このように遮集雨水量が十分に大きい状況の中で、(貯留容量の小さい)雨水利用施設が導入された場合は、越流の抑止という観点からは効果がさほど大きくない。一般低層住宅(平均年)の越流回数の低減率を比較すると、遮集雨水量2Qの場合 43%であるのに対し、遮集雨水量 2mm の場合は 25%となっている。
- ・遮集雨水量が十分に大きい場合は、越流量の低減率に比べ遮集雨水量の低減率が大きくなるのが特徴である。遮集雨水量の低減は、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。

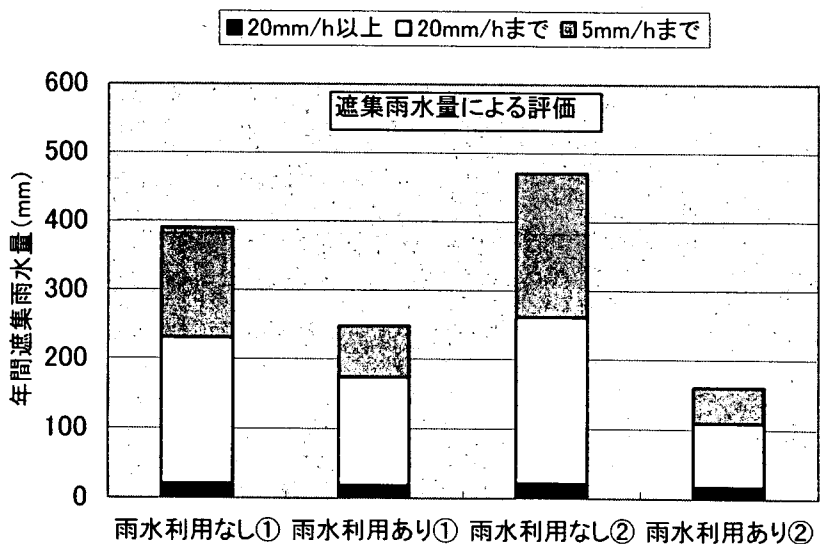
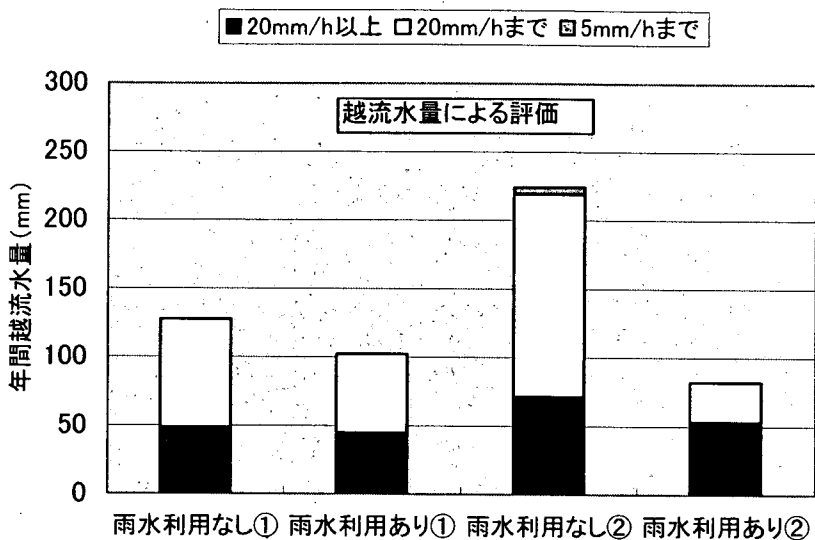
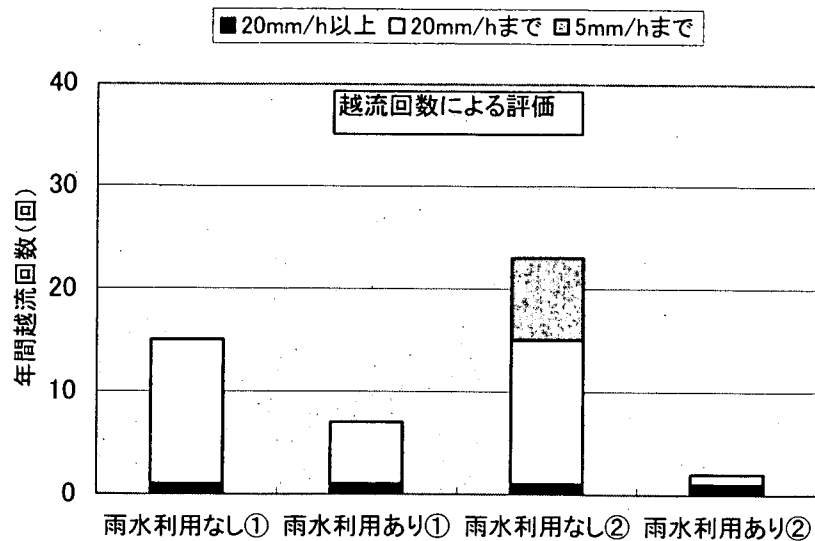
表4-29 遮集雨水量 2 mm/hの場合の低減率

土地利用区分	一般低層住宅			中・高層住宅		
	越流回数	越流量	遮集 雨水量	越流回数	越流量	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%



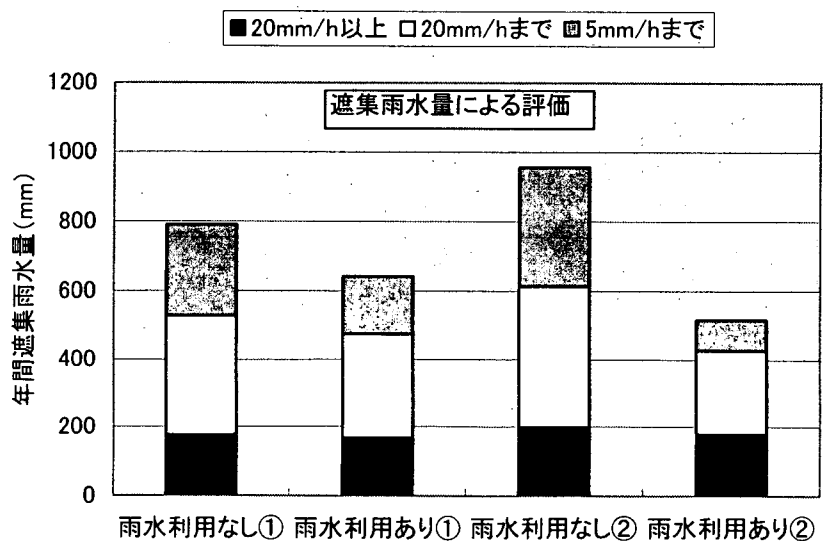
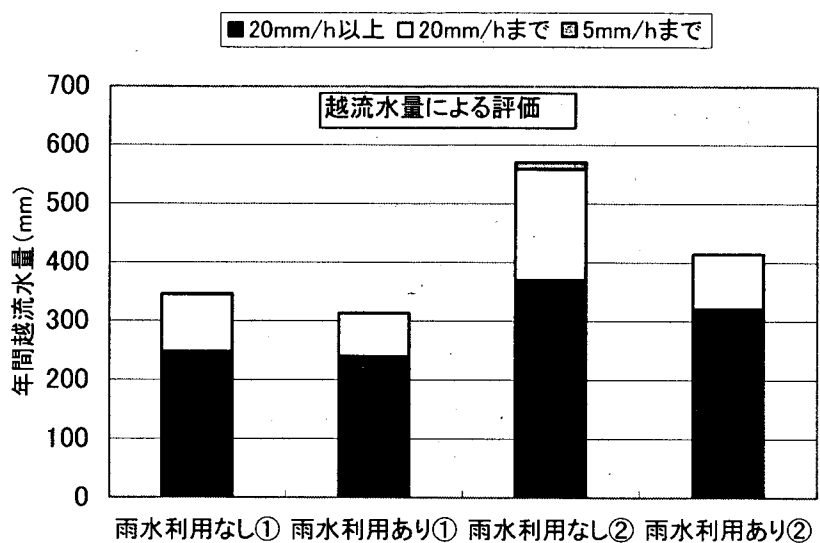
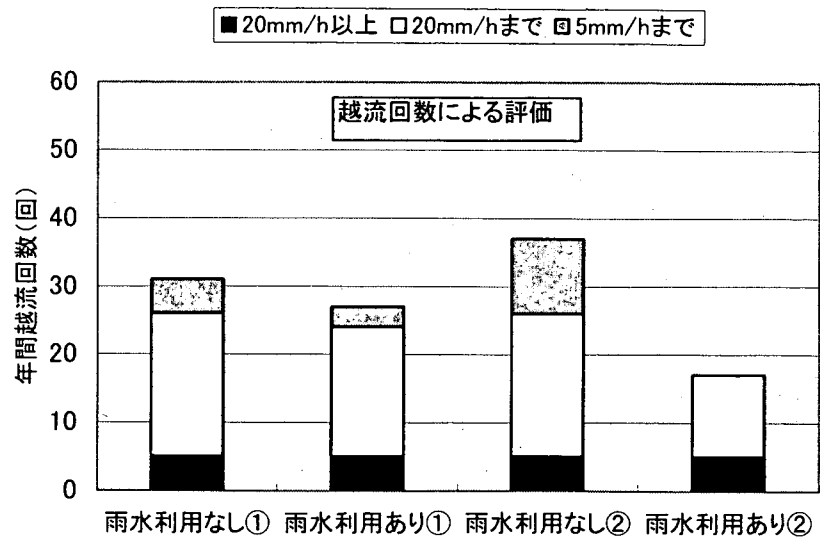
* 各図中において、①は一般低層住宅、②は中・高層住宅を表す
 * 凡例の降雨分類は、ピーク有効降雨強度による

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して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してすることができる。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。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 ー福岡市の戸建て住宅を事例としてー、日本建築学会計画系論文報告集第452号、pp. 37-45, 1993.