

建築物における雨水利用に関する研究 (その1)

—東京大林ビル本館における雨水水質実測調査—

田中辰明 岩波 洋

Study on Utilization of Rain Water in Building (Part 1)

—Actual Measurements on Main Building of Ohbayashi-Gumi in Tokyo—

Tatsuaki Tanaka Hiroshi Iwanami

Abstract

Recently in Japan, rain water has come to be used in various buildings for service purposes. This paper describes the chemical quality of rain water drained from the surface of the roof of the subject building. The results obtained are summarized as follows:

(1) Alkalinities in rain water were between pH 6 and pH 9. (2) Pollutant concentrations were 10-600 μ S/cm in electric conductivity, 1-40 mg/l in COD, 2-80 mg/l in SS, and 240-4,000 col/ml in bacteria content. Plots of measured concentrations of these items can be expressed by the formula, $y=a+b/x$. (3) High correlation coefficients are shown between electric conductivity and COD, and between these two and interstorm periods. (4) Rain water at the beginning of precipitation is relatively polluted so that it should be removed to preserve the quality of water in the storage tank. This treatment concerning rain water collection was found to be effective regarding SS, but ineffective with respect to COD.

概 要

近年、雨水利用は各種の建物で実施されるようになった。今回、東京大林ビル本館において屋上面より流出してくる雨水（以下、雨水流出水と略記）の水質調査を実施し、以下の様ないくつかの知見が得られたので報告する。

(1) 雨水流出水の pH は 6～9 の範囲にあった。(2) 雨水流出水は、導電率 10～600 μ S/cm, COD 1～40 mg/l, SS 2～80 mg/l, 一般細菌 240～4,000 個/ml 程度であり、その水質データは $y=a+b/x$ の曲線に近似が可能であった。(3) 雨水流出水の導電率と COD の間には高い相関があり、これらはそれぞれ前晴天期間との間にも相関を示した。(4) 雨水流出水のうち初期の汚濁した流出水の除外の効果を検討したところ、その効果は COD については低い、SS に関しては比較的高かった。

1. はじめに

省エネルギー・省資源時代の到来を認識し始めて、すでに多くの年月が過ぎ去った。水資源の面においても、「水は無限なもの→有限なものである」という思想の転換がようやく始まり、来る水不足時代への対応措置も徐々にではあるが行なわれ出した。これを受けて、建築設備関連の分野において近年注目され始めたのが雨水利用である。ここでいう雨水利用とは、建物内あるいは敷地内に降った雨水を集水・貯留し簡単な処理を施して水洗便器用水、空調冷却用水などの雑用水として利用するも

のである。この方式は、十分な水量を確保しにくいという欠点がある反面、通常の排水再利用に比べ、設備の維持管理が容易、イニシャルコスト・ランニングコストとも低廉である等メリットも多い。しかし、雨水利用を計画する上で最も重要な因子の一つである雨水の水質面の把握は、ほとんどなされていないのが実情である。

以上の諸事情に鑑み、今回雨水の水質面の把握に関する一連の研究を開始した。この一連の研究の最終目標は各種の集水面（建物屋上面、舗装道路面、緑地面等）から流出する雨水の水質性状及び貯留に伴う水質の経時変化等を把握し、最適な水処理法の選択とその設計法、

維持管理法等を確立することにある。

本報は、その第一段階として、東京大林ビル本館を対象に、降水の水質及び建物屋上面から流出してくる雨水（以下、雨水流出水と略記）の水質を降雨開始から継続して実測し、一連の水質データを取得するとともに、そのデータを基に雨水水質に関し、いくつかの考察を加えたものである。

2. 雨水流出水の水質を決定する因子

今回の調査について記す前に、雨水流出水の水質を決定する因子について記述する。

雨水流出水の水質に直接あるいは間接に影響する因子として、表一1の項目が考えられる。このうち比較的影響の大きいものは、降水の水質、降水のあたった面（以下、降水面と略記）及び雨水の流出する面（以下、雨水流出面と略記）の構成材料の組成、ドライフォールアウトの3因子であると思われる。

降水因子（降水の水質、降水量、降雨強度）
ドライフォールアウト——大気中のエアロゾルの地表面への自然落下
降水面の因子（降水面及び雨水流出面の構成材料の組成、風化程度等）
環境因子（建物の立地場所、建物の高さ等）
自然因子（風向、風速、気温、湿度、日射量等）

表一1 雨水流出水の水質を決定する因子

3. 調査方法

3.1. 調査建物概要

調査した建物の概要を以下に示す。

建物名称 東京大林ビル本館
 所在地 東京都千代田区神田司町2丁目3番地
 建物用途 事務所
 構造 SRC造（地下2階、地上9階、培屋4階）
 延床面積 11,187.01 m²（建築面積 1,196.36 m²）
 竣工年月 昭和36年9月

なお、雨水の流出表面である建物屋上の表面仕上げは防水層上部にシンダーコンクリート打ち、クリンカータイル張りである。

3.2. 調査期間

降水の採水は昭和55年1月から4月にかけて4回、雨水流出水の採水は昭和55年1月から昭和57年10月にかけて15回実施した。調査時の降水量及び降雨強度のデータを表一2に示す。

3.3. 採水方法

降水は、当ビル屋上に於て表面積 2.0 m² の採水器で集水し、降水量 0.50 mm ごとに 1 l の分析用検体とした。

屋上からの雨水流出水は降水量 0.17 mm ごとに採水

した。その方法は、当ビル屋上のルーフドレインの流入口を密栓し、ここに貯った雨水をポンプで集水用容器に移し入れ、20 l 集水時点で混合攪拌し、このうち 1 l を採水して検体とした。なお、このルーフドレインの集水面積は 118 m² である。

3.4. 水質測定項目

水質測定項目は、雨水を雑用水として利用することを念頭に、高濃度の含有が危惧される以下の11項目を選んだ。pH、導電率、COD、SS、溶存鉄、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、Cl⁻、SO₄²⁻、一般細菌、大腸菌群。

なお、分析は JIS-K0102 の方法によった。

番号	調査年月日	降水量 (mm)	降雨強度 (mm/時)	番号	調査年月日	降水量 (mm)	降雨強度 (mm/時)
1	S.55.1.28	24.5	0.5~4.5	9	S.56.10.29	3.5	0.5~1.5
2	3.14	4.0	0.5~1.5	10	11.2	43.0	0.5~7.5
3	4.1	3.0	0.5~1.5	11	11.27	17.0	0.5~2.5
4	4.9	2.5	0.5~1.0	12	S.57.3.31	12.0	1.0~4.0
5	6.20	33.5	0.5~3.5	13	5.14	21.0	0.5~6.0
6	7.18	5.5	0.5~1.0	14	7.19	15.0	0.5~5.5
7	S.56.8.25	18.0	0.5~6.0	15	10.19	41.5	0.5~5.5
8	10.8	68.5	0.5~17.5				

表一2 調査時の降水量及び降雨強度のデータ

4. 調査結果

4.1. 降水の水質測定結果

降水の水質測定結果を図一1～図一9に示す。

図で横軸 0.50 mm の縦軸の値は降水量 0.00~0.50 mm の水質値の意味であり、以下同様に横軸 1.00 mm の縦軸の値は降水量 0.50~1.00 mm の水質値の意味である。

降水の pH は 4~7 の範囲にあり、導電率は 20~60 μS/cm、COD は 5~10 mg/l 程度であった。

SS は通常は 10~30 mg/l 程度であるが、時として 50~60 mg/l の高い値を示した。降水の SS の主成分は大気中の粉じんや砂などであると思われるが、降水中に 50~60 mg/l もの SS が含まれているとは考えづらい。本調査の場合、SS の増加の原因として屋上表面中の砂などが調査時に風によって採水器に混入したものと考えられる。なお、この降水への混入物質の影響は、他の水質項目の値にはほとんど影響しなかったことが追跡調査の結果判明している。

溶存鉄は 0.01~0.14 mg/l、NH₄⁺-N は 1~4 mg/l、NO₃⁻-N は 0~2 mg/l、Cl⁻ は 0~7 mg/l、SO₄²⁻ は 5~15 mg/l 程度であった。

4.2. 雨水流出水の水質測定結果

雨水流出水の水質測定結果を図一1～図一11に示す。図一1～図一3については、横軸の取り方が降水量 3.40 mm 以降 5 分の 1 に縮小されている。

雨水流出水の pH は 6~9 の範囲にあった。これは屋

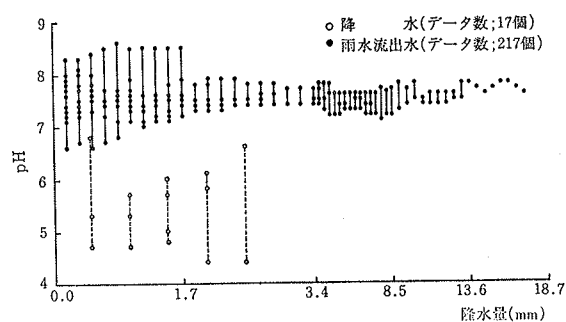
上表面のコンクリート等セメント使用材料からの遊離石灰の溶出のためであると考えられる。なお、降雨の継続に伴い pH は 7~8 付近に漸近する傾向が見られる。

導電率は 10~600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, COD は 1~40 mg/l , SS は 2~80 mg/l , 溶存鉄は 0.01~0.27 mg/l , NH_4^+-N は 1~10 mg/l , NO_3^--N は 0~9 mg/l , Cl^- は 3~60 mg/l , SO_4^{2-} は 4~140 mg/l , 一般細菌は 240~4,000 個/ ml , 大腸菌群は 0~7 個/ ml 程度であった。

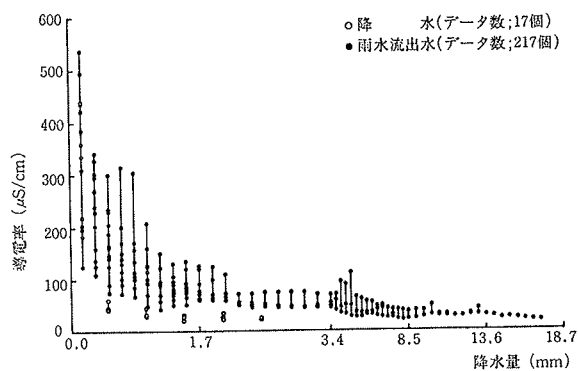
また、pH, 溶存鉄及び NH_4^+-N を除いた他の水質項目の値は、いずれも降雨初期に高く、降雨の継続に伴い漸減し降水の水質値に近似するといった同様の傾向を示している。この初期の汚濁傾向は、降り初めからの降水量で 2.00 mm 程度までである。

5. 考察

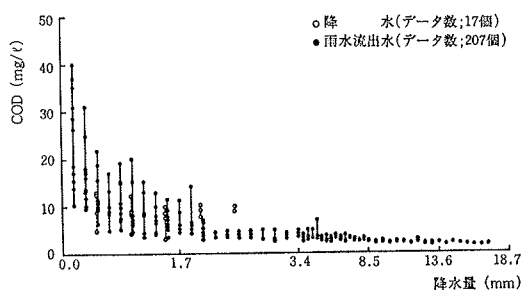
5.1. 雨水流出水の水質項目相互間の関係



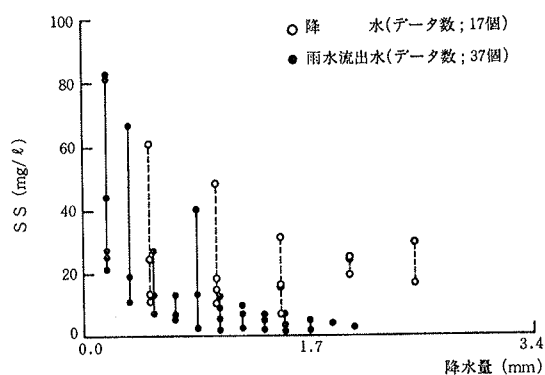
図一1 降水と雨水流出水の pH



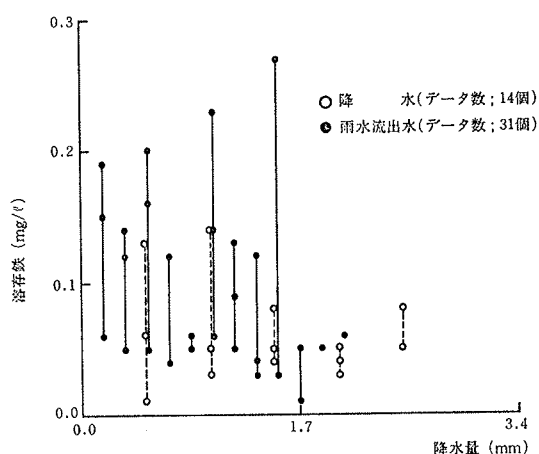
図一2 降水と雨水流出水の導電率



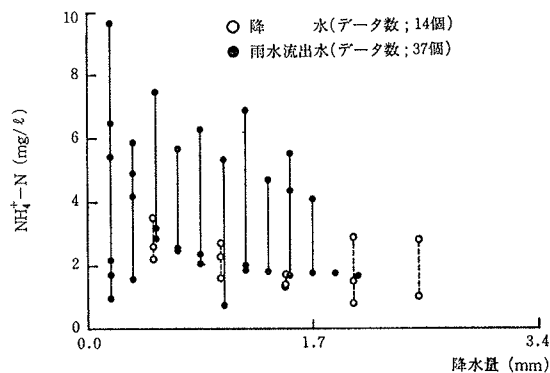
図一3 降水と雨水流出水の COD



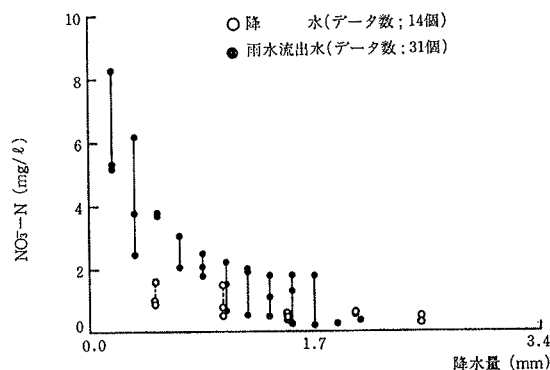
図一4 降水と雨水流出水の SS



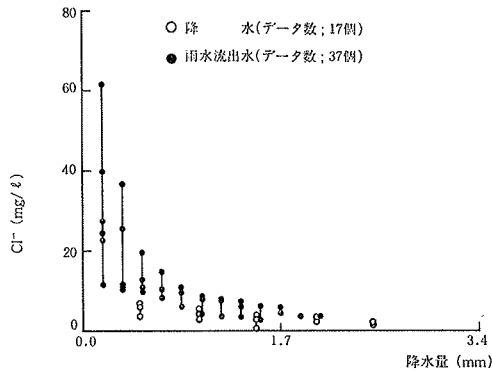
図一5 降水と雨水流出水の溶存鉄



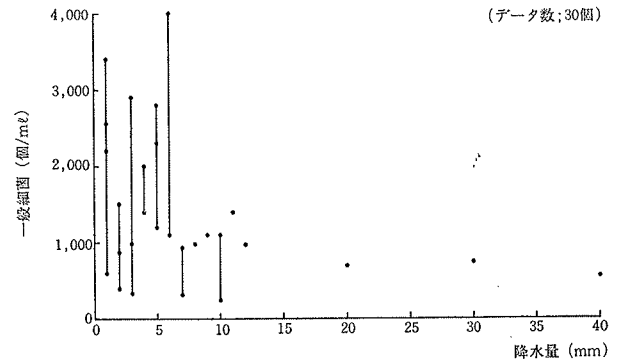
図一6 降水と雨水流出水の NH_4^+-N



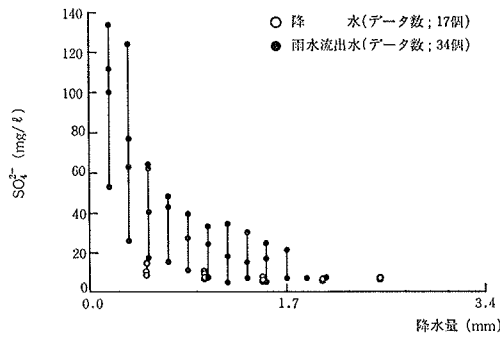
図一7 降水と雨水流出水の NO_3^--N



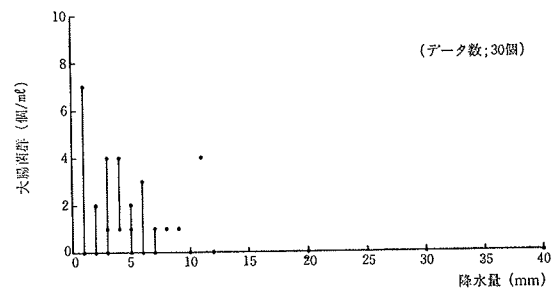
図一8 降水と雨水流出水の Cl^-



図一10 雨水流出水の一般細菌



図一9 降水と雨水流出水の SO_4^{2-}



図一11 雨水流出水の大腸菌群

前記データより、雨水流出水の水質項目相互間の関係を調べたところ、導電率、COD、 NO_3^- -N、 Cl^- 、 SO_4^{2-} の5項目は、それぞれ相互に非常に高い正の相関が認められた。このうち導電率とCODの関係を図一12に示す。このことより、測定が比較的容易な導電率は、雨水流出水の水質を推定する上で非常に良い指標になると考えられる。

5.2. 雨水流出水の水質データの曲線近似

前記した様に、導電率、COD、SS、 NO_3^- -N、 Cl^- 、 SO_4^{2-} などの水質項目は、いずれも降雨初期に高く、降雨の継続に伴い漸減し降水の水質値に近似するといった同様の傾向を示している。

そこで、これらの水質項目について、その測定値の曲線近似を試みたところ、相関係数で0.7~0.9というかなり高い近似が得られた。

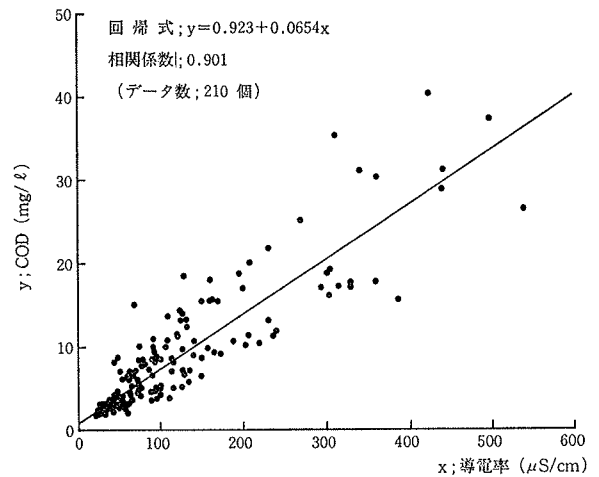
ここで使用した曲線は、 $y = a + b/x$ である。

x; 降水量 (mm), y; 各種水質項目の測定値

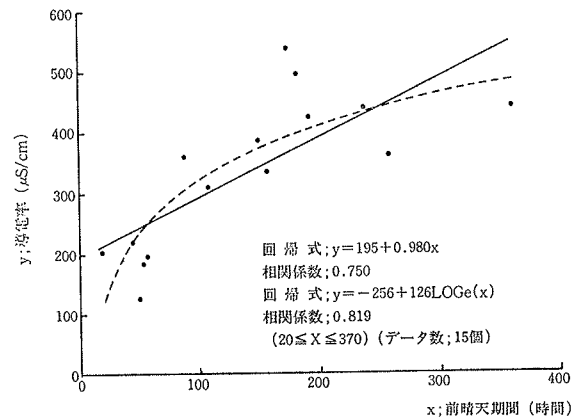
a, b; 定数

5.3. 降雨初期の雨水流出水の水質と前晴天期間の関係

降雨初期の雨水流出水の水質測定値のうち、pH、導電率、COD、SSについて前晴天期間との関係を検討した。使用した水質データは、降り始めからの降水量で0.00~0.17 mmのものである。また、ここで言う前晴天期間(先方晴天期間)とは、前回の降水の終了から今回の降水の開始までの期間のことである。



図一12 雨水流出水の導電率とCODの関係



図一13 初期の雨水流出水の導電率と前晴天期間の関係

水質項目	本調査時の雨水流出水の測定結果		雑用水の水質目標値（排水再利用の場合）				空調冷却用水の水質目標値D*	
	降雨開始から降水量2.00mmまで	降水量2.00mm以降	水洗便器用水			空調冷却用水	冷却水	補給水
			A*	B*	C*	B*		
pH	6~9	7~8	5.8~8.6	6.5~9.0	5.8~8.6	6.5~9.0	6.5~8.0	6.0~8.0
導電率 (μS/cm)	50~600	10~120					800以下	200以下
COD (mg/l)	3~40	1~8		40以下		20以下		
SS (mg/l)	2~80			30以下	5以下	10以下		
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	1~10			20以下		20以下	1.0以下	0.2以下
Cl ⁻ (mg/l)	3~60			400以下	200以下	300以下	200以下	50以下
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	4~140						200以下	50以下
一般細菌(個/ml)	350~3,400	240~4,000			100以下			
大腸菌群(個/ml)	0~7	0~4	300以下		不検出			

* (注) A：水高度利用計画調査報告書（近畿地建、昭47.3） B：水の循環利用適合性予備調査報告書（東京都首都整備局、昭48.3）
C：日本住宅公園芝山団地における中水道計画（日本住宅公園、昭51） D：日本冷凍空調工業会（昭55.3）

表一3 雨水流出水の水質と各種水質目標値の比較

図一13に導電率と前晴天期間の関係を示す。

検討の結果、導電率とCODは前晴天期間との間に高い相関が認められたが、pHとSSについては相関は低かった。

5.4. 雨水流出水の水質と各種水質目標値の比較

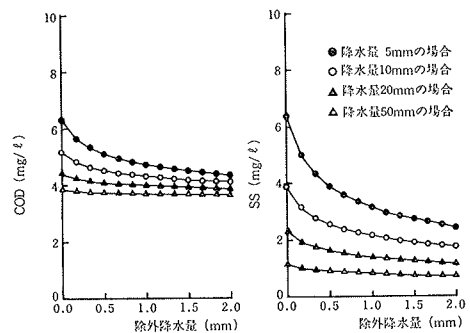
雨水流出水の水質測定値と、各種報告書等で提案された雑用水の水質目標値の比較を表一3に示す。このような直接の比較は熟考の余地があるが、あえて表から本調査時の雨水流出水を雑用水として利用する際に不適な水質項目を捜せば、細菌類とNH₄⁺-Nがあげられる。

上記の検討より、本調査時の雨水流出水は、塩素消毒処理等の簡易な処理を施せば、雑用水として十分に給水に供せられる良好な水質であると言える。

5.5. 降雨初期の汚濁した雨水流出水の除外効果

前記した様に、雨水流出水の水質データのうち、COD、SSなどは降雨初期の汚濁が顕著であり、降雨の継続に伴いその水質データは降水の水質データに近づいていく。このことは、雨水流出水を集水・貯留して利用する際、初期の汚濁した流出水を何らかの方法で除外すれば、雨水流出水トータルとしては水質がより清澄に保てることを意味する。

そこで、この降雨初期の汚濁した流出水の除外の効果を、CODとSSについて検討した。図一14は5.2.の雨水流出水の曲線近似の検討結果をもとに、除外の効果を試算したものである。試算上、COD、SSともにその値は、二種類の水の混合時、単純平均が成立するものとした。図中、横軸は降雨開始からの除外した降水量であり、縦軸はその時に一雨分として貯留した場合の雨水流出水トータルの水質を示している。図から、CODに関しては一雨の降水量が少ない場合には除外の効果は大きい、降水量が多い場合には除外の効果は小さいことがわかる。また、SSに関しては初期の汚濁した流出水の雨水流出水全体に与える影響が大きく、降水量が多い場合で



図一14 降雨初期の汚濁水除外時の雨水流出水の水質も除外の効果は比較的大きい。

6. 結 語

以上、本調査から次のことがわかった。

- (1) 降水の水質は、pHが4~7の範囲にあり、各種イオンの濃度は河川や湖沼等の陸水に比較して小さかった。
- (2) 雨水流出水のpHは6~9の範囲にあった。これは屋上表面のセメント使用材料からの遊離石灰の溶出のためであると考えられる。
- (3) 雨水流出水の導電率は10~600 μS/cm、CODは1~40 mg/l、SSは2~80 mg/l、一般細菌は240~4,000 個/ml程度で、降雨初期（降り始めからの降水量で2.0 mm程度まで）の汚濁が顕著であり、その水質データは $y = a + b/x$ の曲線に近似が可能であった。
- (4) 上記のデータより、本雨水流出水は塩素処理等の簡易な処理を施すことにより、雑用水としての供給には十分な水質であると判断した。
- (5) 雨水流出水の導電率とCODの間には高い相関があり、これらはそれぞれ前晴天期間との間にも相関を示した。
- (6) 雨水流出水中、初期の汚濁した流出水の除外の効果は、CODについては低いがSSに関しては比較的高かった。