

ノンポイント汚濁負荷調査

1. 調査の目的

下水道整備の進展に伴い、家庭や事業場等から流出する汚濁負荷量は減少しているが、市街地等の路面や屋根等の非特定汚染源（ノンポイントソース）からの汚濁堆積物の流出に起因する汚濁負荷量は都市化の進行に伴い増加傾向にある。

市街地からの非特定汚染源汚濁負荷は、主として降雨の初期段階におけるフラッシングにより水域に流出するものと考えられるが、汚濁負荷の性状、流出機構等十分に解明され、有効な削減対策が講じられている、とは現時点ではいいがたい。

本調査はこのような状況を踏まえ、市街地の非特定汚染源からの汚濁負荷を把握するために、平成5年度から雨天時流出水の水質や流量を計測している。

本年度は、引き続きこの調査を実施するとともに、平成5年度に得られたデータをもとに汚濁負荷削減手法に関する検討を行うものである。

2. 汚濁負荷削減法に対する考え方

分流式下水道によって雨水排除を行う場合、放流する雨水に対して下水道法、水質汚濁防止法による水質規制がなされていないため、雨水はそのまま公共用水域に排除されている。

下水道整備の目標のひとつである公共用水域の水質保全をまっとうするためには、分流式下水道による雨水排除でも、水量の特性に加え、汚濁負荷の特

性についても把握し、その削減対策を行う必要がある。

雨天時の汚濁負荷流出予測手法は、合流式下水道については修正RRL法、土研モデルが広く用いられており、今日ではもっとも代表的な手法である。現地観測資料を用いた計算モデルの同定により、修正RRL法はかなりの精度で流量を予測することができ、土研モデルについても多くの排水区域で再現性のよいことが確認されている。

ここでの調査区域は、分流式下水道であるが、同じ手法を用いて検討を行う。

図-1に検討フローを示す。

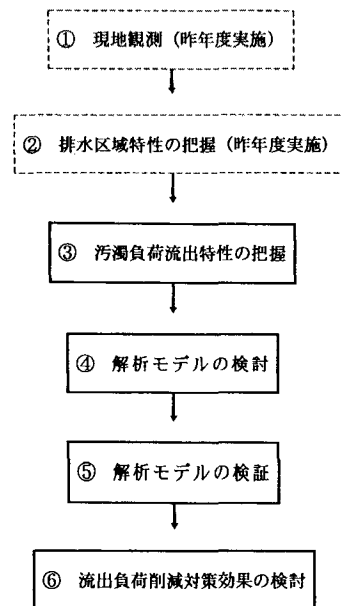


図-1 検討フロー

3. 現地観測

昨年度は、表-1に示す地点において汚濁負荷流出の観測がなされた。

表-1 観測地点

No.	観測地点	流出先
1	千葉県我孫子市湖北台団地	手賀沼
2	茨城県牛久市刈谷排水区	牛久沼
3	長野県茅野市中塩団地	諏訪湖
4	滋賀県志賀町ローズタウン	琵琶湖

対象箇所はおおむね次の条件により選定されている。

- ① 下水道普及率がほぼ100%であり、雑排水等の流入がない（雨水排水系統が明確である）。
- ② 排水面積がおおむね10ha以上である。
- ③ 計測や試料採取が容易である。
- ④ 排水区域内に特定事業所、農耕地、大規模店舗等を含まない。

4. 排水区域特性の把握

排水区域の特性を表-2に示す。

表-2 排水区域特性

対象箇所	我孫子市	牛久市	茅野市	志賀町		
排水面積	15.88	67.00	7.81	46.71		
用途	住居地域	14.16 (89.2)	67.00(100.0)	7.81(100.0)	46.71(100.0)	
	商業地域	0.93 (5.9)	—	—	—	
	その他	0.79 (5.0)	—	—	—	
土地利用形態	不透	屋根	2.71 (17.1)	11.11 (16.6)	1.54 (19.7)	8.10 (17.3)
		道路	3.16 (19.9)	14.70 (21.9)	1.76 (22.5)	10.25 (22.0)
		その他	0.34 (2.1)	0.16 (0.2)	—	0.30 (0.6)
		計	6.21 (39.1)	25.97 (38.7)	3.30 (42.3)	18.65 (39.9)
	浸透	裸地	1.62 (10.2)	10.43 (15.6)	1.59 (20.4)	4.69 (10.0)
		間地	6.05 (38.1)	22.29 (33.3)	2.92 (37.4)	15.28 (32.8)
		畑地	0.77 (4.8)	6.08 (9.1)	—	2.38 (5.1)
		その他	1.23 (7.7)	2.23 (3.3)	—	5.71 (12.2)
		計	9.67 (60.8)	41.03 (61.3)	4.51 (57.7)	28.06 (60.1)

(注) 1. ()内は比率(%)を示す。なお四捨五入により合計が合わない場合がある。
 2. 住居面積は専用地域を含む。また、商業地域は近隣商業地域を含む。
 3. 単位: ha

5. 汚濁負荷流出特性の把握

昨年度、観測された降雨は表-3に示すとおりである。

表-3 観測降雨

箇所	回数	降雨名	採水時間	降水量 (mm)	摘要
我孫子市	1	H5. 12. 17	0:24 ~ 4:04	1.5	
	2	H5. 12. 20	15:45 ~ 20:15	7.8	
	3	H5. 12. 26	23:34~(27日)2:44	1.4	
	4	H6. 3. 8	0:10 ~ 23:00	19.5	
	5	H6. 3. 24	16:07 ~ 21:38	2.0	
	6	H6. 6. 19	0:47 ~ 23:45	70.8	
牛久市	1	H6. 5. 30	1:23 ~ 6:45	15.6	
	2	H6. 6. 9	9:58 ~ 16:35	10.1	
	3	H6. 7. 8	18:13 ~ 23:05	4.5	
茅野市	1	H6. 6. 16	17:06 ~ 23:43	6.4	
	2	H6. 6. 24	3:13 ~ 9:50	3.3	
	3	H6. 7. 1	9:10 ~ 15:47	4.7	
志賀町	1	H6. 5. 17	19:47~(18日)2:24	13.4	
	2	H6. 5. 26	13:47 ~ 20:24	36.3	
	3	H6. 8. 21	17:52 ~ 22:59	9.5	
	4	H6. 9. 5	21:03~(6日)3:40	8.0	
	5	H6. 9. 8	9:42 ~ 19:19	18.0	

ここでは観測降雨のうち、我孫子市と茅野市の降雨を解析の対象とする。解析対象降雨の流出特性を表-4に示す。

降水量は観測降雨の一雨の雨量を現地の観測値で示している。また流出高は、降雨中（表-4中の降雨名の括弧書きの期間）の流量を累加することにより求めたものである。

水位からの流量換算は観測施設の設置状況に応じて、我孫子市では Manning式、茅野市ではフランシス公式により行った。

表-4 流出特性

箇所	No.	降雨名	流量 (ml/s)		降水量 (mm)	流出高 (mm)	流出率
			降雨前	降雨後			
我孫子市	1	H. 5. 12. 17 (16日22:50 ~ 17日 5:01)	16日 22時49分 0.0008	17日 5時41分 0.0005	2.80	0.41	0.15
	2	H. 5. 12. 20 (20日13:58 ~ 20日22:37)	20日 13時57分 0.0008	20日 23時54分 0.0016	11.00	2.39	0.22
	3	H. 5. 12. 26 (26日14:47 ~ 27日 4:56)	26日 14時47分 0.0012	27日 10時10分 0.0012	3.40	0.92	0.27
	4	H. 6. 3. 8 (8日 0:10 ~ 8日23:00)	8日 0時 9分 0.0003	8日 23時 5分 0.0001	19.50	4.54	0.23
	5	H. 6. 3. 24 (24日16:07 ~ 24日21:38)	24日 16時 5分 0.0008	24日 21時50分 0.0006	2.0	0.33	0.17
	6	H. 6. 6. 19 (19日 0:47 ~ 19日23:45)	19日 0時46分 0.0001	19日 23時51分 0.0016	70.80	11.76	0.17
茅野市	1	H. 6. 6. 16 (16日15:14 ~ 16日23:15)	16日 15時13分 0.001	16日 23時55分 0.0045	6.4	2.75	0.43
	2	H. 6. 6. 24 (24日 0:14 ~ 24日 9:19)	24日 0時57分 0.001	24日 9時59分 0.0045	3.3	2.06	0.62
	3	H. 6. 7. 1 (1日 8:29 ~ 1日14:14)	1日 8時28分 0.001	1日 15時19分 0.0013	4.7	1.39	0.29

6. 解析モデルの検証

6.1 雨水流出再現検討

(1) 雨水流出モデル

雨水流出量の計算は図-2に示すように修正RRL法の手順にしたがって行った。

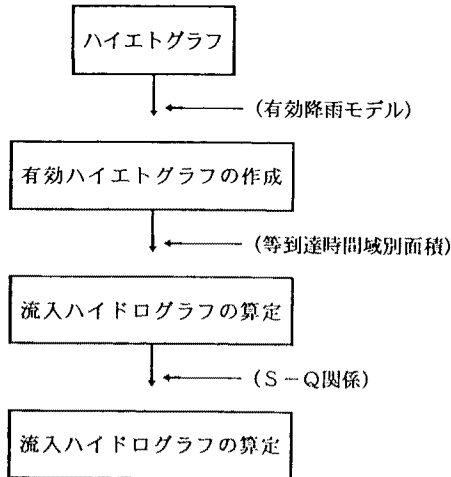


図-2 修正RRL法の計算手順

(2) 定数の検討

① 最終定数

検討の結果、修正RRL法の定数を表-5 (有効降雨モデル)、表-6 (等到達時間域別面積および面積率) および表-7 (雨水貯留量~雨水流出量関係: S-Q関係) に示すように整理した。

② 我孫子市

設定した雨水流出モデルの最終定数を用いて行った流出計算結果を図-3に示す。これより計算流量と実測流量のピークの現れる時刻はほぼ同じであるが、実測ピーク流量より計算ピーク流量の方が大きいことがわかる。

③ 茅野市

設定した雨水流出モデルの最終定数を用いて行った流出計算結果を図-4に示す。この結果より全体的に計算流量と実測流量が一致していることがわかる。

6.2 負荷流出再現検討

(1) 負荷量モデル

雨水流出モデルにより得られた雨水流出量から雨天時流出負荷量を推定するため、本検討では土研モデルを用いる。このモデルは、建設省土木研究所において開発された堆積負荷評価モ

表-5 有効降雨モデルの定数

項目		最終値
凹地貯留域率	不浸透域 A_i	60 %
	浸透域 A_p	80 %
凹地貯留高	不浸透域 D_i	2 mm
	浸透域 D_p	6 mm
浸透域浸透能 F_c		10mm/hr

(注) 我孫子市及び茅野市とも共通

表-6 等到達時間域別面積および面積率

地点	到達時間 (分)	面積 (ha)	面積率 (%)
我孫子市	0 ~ 5	7.81	45.0
	5 ~ 10	7.81	45.0
	計	15.88	100.0
	最大到達時間 $T\ell$	8.9分	
茅野市	0 ~ 5	7.81	100.0
	計	7.81	100.0
	最大到達時間 $T\ell$	4.6分	

表-7 S-Q関係

我孫子市				茅野市			
流量 Q		貯留量 S		流量 Q		貯留量 S	
mm/hr	m ³ /s	m ³	mm	mm/hr	m ³ /s	m ³	mm
0.5	0.022	18.94	0.126	0.5	0.009	8.92	0.114
1.0	0.044	30.56	0.203	1.0	0.018	13.60	0.174
2.0	0.088	49.48	0.328	2.0	0.035	20.83	0.267
3.0	0.132	66.03	0.437	3.0	0.053	26.76	0.343
4.0	0.176	80.65	0.534	4.0	0.070	32.01	0.410
5.0	0.221	94.56	0.624	5.0	0.088	36.86	0.472
10.0	0.441	154.86	1.017	10.0	0.176	157.22	0.733
20.0	0.882	255.60	1.672	20.0	0.351	290.07	1.153
30.0	1.323	349.51	2.284	30.0	0.527	118.23	1.514
50.0	2.206	491.98	3.265	50.0	0.879	168.47	2.157

デルであり、堆積負荷量と雨水流出量により流出負荷量を推定する方法である。

土研モデルは水質項目としてBOD, COD, SSの3項目を対象としている。

(2) 定数の検討

① 最終定数

検討の結果、土研モデルの最終定数を表-8のように整理した。

② 我孫子市

設定した土研モデルの最終定数を用いて行った負荷流出計算結果を図-5に示す。各水質項目の計算負荷量はおおむね実測値と一致している。

③ 茅野市

設定した土研モデルの最終定数を用いて行った負荷流出計算結果を図-6に示す。各水質項目の計算負荷量はおおむね実測値と一致している。

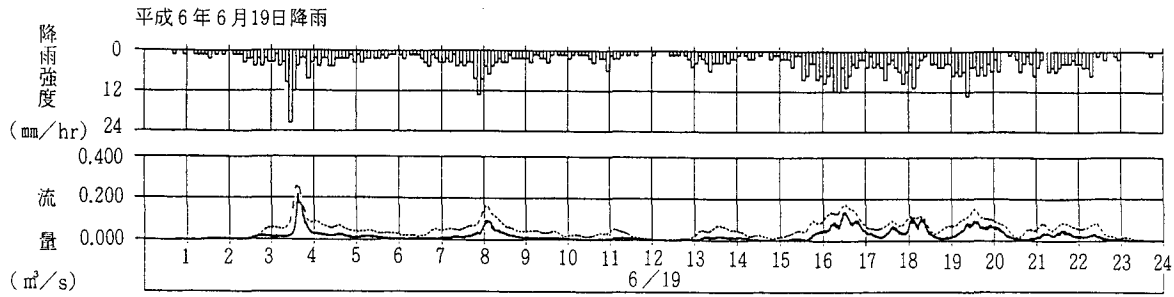


図-3 雨水流出計算結果(我孫子市)

表-8 路面等負荷流出係数および路面等残存負荷量

箇所	定数	BOD	COD	SS
我孫子市	路面等負荷流出係数 C_R (l/mm)	0.19	0.18	0.34
	路面等残存負荷量 P_{s0} (kg/ha)	2.08	2.92	7.06
	路面等補給負荷量 a (kg/ha/日)	1.04	2.19	3.53
	限界降雨強度 r_c (mm/hr)	0.1		
茅野市	路面等負荷流出係数 C_R (l/mm)	0.19	0.19	0.35
	路面等残存負荷量 P_{s0} (kg/ha)	1.97	4.15	5.07
	路面等補給負荷量 a (kg/ha/日)	0.99	2.08	2.55
	限界降雨強度 r_c (mm/hr)	0.1		

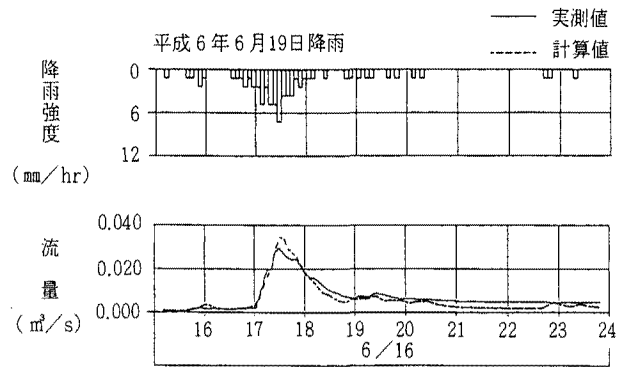


図-4 雨水流出計算結果(茅野市)

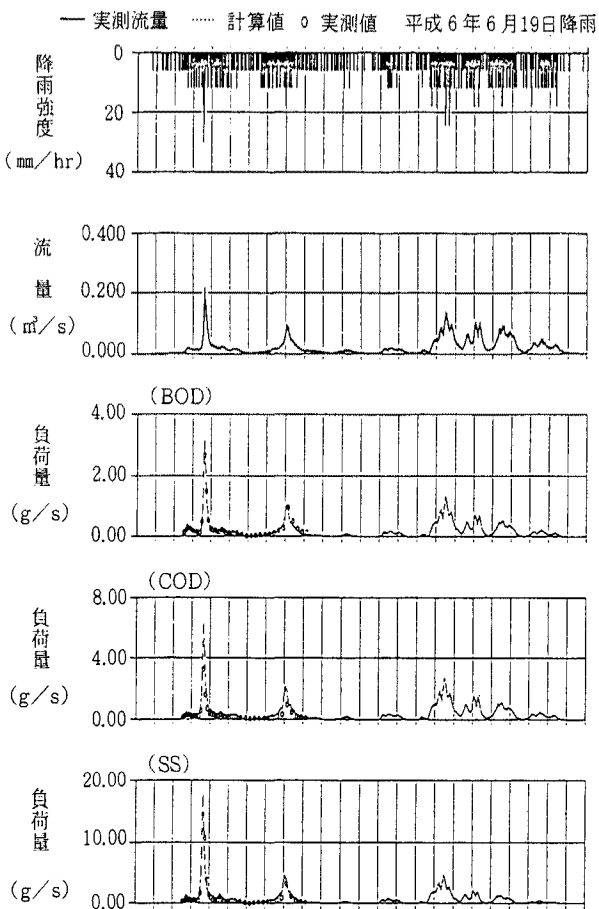


図-5 負荷流出再現計算結果(我孫子市)

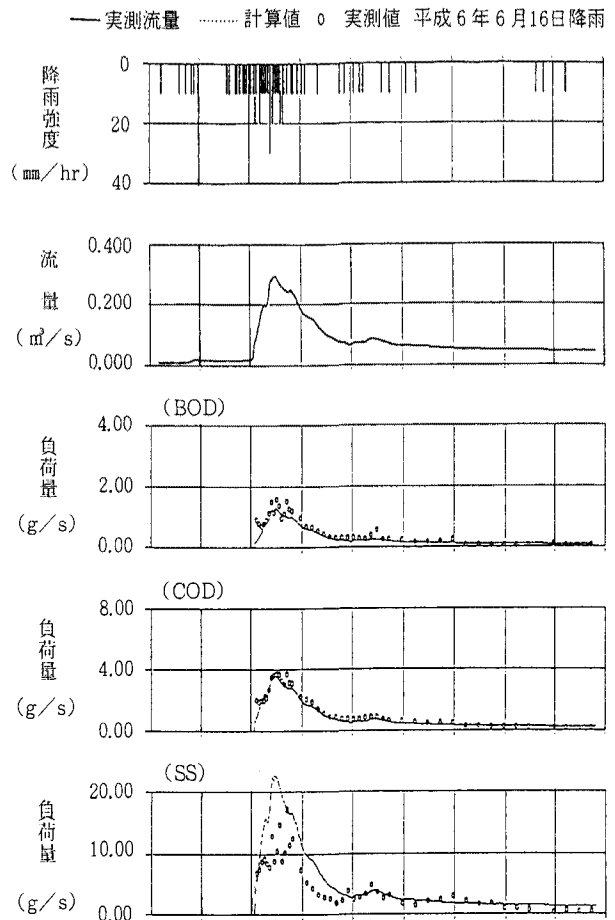


図-6 負荷流出再現計算結果(茅野市)

7. 雨水貯留池設置効果の検討

対象排水区域の流末に雨水貯留池を設置した場合の流出負荷削減効果について、修正RRL法、土研モデルを用いたシミュレーションを行い、貯留池の規模を変えて検討した。計算時間は減衰期間を考慮して、降雨終了後30分までとした。

(1) 我孫子市

シミュレーションの集計結果を表-9、図-7に示す。貯留池の効果は、規模が1mmの場合にBOD、CODで約20%、SSで約30%の削減となるが、5mmの場合には、BOD、CODで約70%、SSで約80%を上回る。

表-9 予測計算結果(我孫子市)

水質項目		BOD	COD	SS
雨天時流出負荷量(kg)		517.49	769.77	2207.54
貯留池規模 158.8m ³ (1mm)	貯留池流入負荷量(kg)	109.46	149.72	630.85
	負荷削減率(%)	21.2	19.4	28.6
貯留池規模 476.4m ³ (3mm)	貯留池流入負荷量(kg)	281.38	392.89	1473.24
	負荷削減率(%)	54.4	51.0	66.7
貯留池規模 794.0m ³ (5mm)	貯留池流入負荷量(kg)	374.92	531.20	1836.47
	負荷削減率(%)	72.4	69.0	83.2
貯留池規模 1111.6m ³ (7mm)	貯留池流入負荷量(kg)	422.09	603.70	1986.32
	負荷削減率(%)	81.6	78.4	90.0
貯留池規模 1588.0m ³ (10mm)	貯留池流入負荷量(kg)	463.34	670.17	2089.86
	負荷削減率(%)	89.5	87.1	94.7

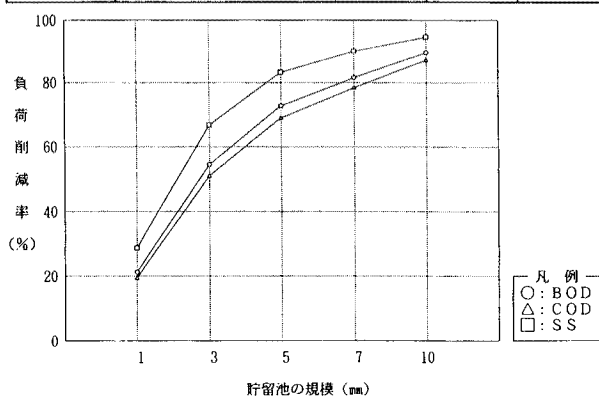


図-7 貯留池規模と負荷削減率の関係(我孫子市)

各水質項目とも貯留池の規模の増大とともに削減率は上昇するが、徐々に減衰する傾向がみられる。貯留池の規模を3mmから5mmへ大きくすれば20%近い削減率の上昇があるが、5mmから7mmに大きくしても10%以下の削減上昇である。効率の面からみれば、5mmの規模が概ね変曲点にあり、それ以上大きくしても効果の上昇は比較的小さいと考えられる。

したがって、分流式下水道における雨天時の流出負荷削減対策として、雨水貯留池を採用する場合には、排水区域換算で5mmの規模とすれば適切といえる。

なお、5mmの施設規模の評価について、降雨規模別の降雨回数でみれば、次のようなことがいえる。

- ① 施設規模の5mm以下の降雨は年間降雨回数の約30%である。
- ② 流出率を0.5と仮定すれば、5mmの流出高は10mmの降雨に相当する。10mm以下の降雨は年間降雨回数の約50%である。
- ③ したがって、年間の約30~50%の降雨については、雨水流出の全量を雨水貯留池に貯めることができ、それらの降雨では負荷流出を生じないことになる。

(2) 茅野市

シミュレーションの集計結果を表-10、図-8に示す。貯留池の効果は、規模が1mmの場合にBOD、CODで約25%、SSで約34%の削減となるが、5mmの場合には、BOD、CODで約75%、SSで約86%を上回る。

表-10 予測計算結果(茅野市)

水質項目		BOD	COD	SS
雨天時流出負荷量(kg)		279.93	589.48	938.07
貯留池規模 158.8m ³ (1mm)	貯留池流入負荷量(kg)	70.03	147.51	315.52
	負荷削減率(%)	25.0	25.0	33.6
貯留池規模 476.4m ³ (3mm)	貯留池流入負荷量(kg)	162.19	341.60	662.77
	負荷削減率(%)	57.9	57.9	70.7
貯留池規模 794.0m ³ (5mm)	貯留池流入負荷量(kg)	211.19	444.77	805.63
	負荷削減率(%)	75.4	75.5	85.9
貯留池規模 1111.6m ³ (7mm)	貯留池流入負荷量(kg)	238.97	503.28	868.96
	負荷削減率(%)	85.4	85.4	92.6
貯留池規模 1588.0m ³ (10mm)	貯留池流入負荷量(kg)	263.35	554.59	913.50
	負荷削減率(%)	94.1	94.1	97.4

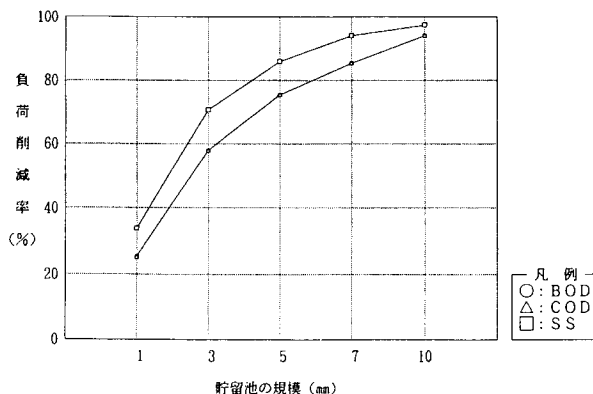


図-8 貯留池規模と負荷削減率の関係(茅野市)

我孫子市同様 5 mmの施設規模とすれば、次のようなことがいえる。

- ① 施設規模の 5 mm以下の降雨は年間降雨回数の約50%である。
- ② 流出率を0.5と仮定すれば、5 mmの流出高は10mmの降雨に相当する。10mm以下の降雨は年間降雨回数の約60%である。
- ③ したがって、年間の約50~60%の降雨については、雨水流出の全量を雨水貯留池に貯めることができ、それらの降雨では負荷流出を生じないことになる。

しては、いろいろな方法が提案されているが、確固たる方法があるとはいいがたい。

今回は雨水貯留池をひとつの対策として取り上げ、5 mmの施設規模程度であれば、かなりの削減効果があることがわかった。

雨水貯留池は比較的構造も簡単で、維持管理もしやすく、また地下化することによって環境対策も可能である。しかし、あまり規模を大きくするとかえって逆効果になる。

したがって、雨水貯留池を設置する場合は、その適性規模の検討、さらに貯めた雨水の処理・処分の検討が必要となろう。

8. 考察

ノンポイントソースからの流出汚濁負荷の対策と

● この調査に関する問い合わせは

研究第二部長

藤田 昌一

研究第二部主任研究員

山下 順市

研究第二部主任研究員

伊藤 紀夫

研究第二部研究員

大塚 宏平