

◆特集：下水道が守る水、環境、資源の循環◆

市街地における面源負荷対策としての雨水浸透施設の効果

田本典秀* 榊原 隆**

1. はじめに

かつて水質汚濁の問題は、生活排水や工場排水など、発生源を特定できる汚濁負荷（「点源負荷」と呼ばれる）にその主たる原因があったが、その後の下水道整備や水質規制などによる様々な施策が実施された結果、水質汚濁に対する点源負荷の影響は次第に小さくなってきている。にもかかわらず、公共用水域における水質環境基準の達成率は、特に湖沼において横ばいの状況が続いている（図-1）ため、今後は従来の点源負荷対策に加え、新たな対策が必要になるものと考えられる。

対策が進んだ点源負荷とは対照的に、水質改善上、農業、森林、道路などといった、面的な広がりを持つ発生源から流出する「面源（ノンポイント）負荷」の重要性が大きくなりつつある。図-2は、琵琶湖におけるCOD排出負荷量の推移である。生活系負荷、産業系負荷など点源負荷の占め

る割合が減少している一方、面源負荷はほとんど変化せず、結果として全体の排出負荷量に占める割合が大きくなっていることが分かる。この傾向は今後も続くものと考えられており、流域全体として面源負荷の削減策を検討する必要性が高まっている。特に、湖沼の水質問題に関しては、平成18年4月には改正「湖沼水質特別措置法」が施行され、市街地や農地などから流出する汚濁負荷への対策が必要な地区を「流出水対策地区」に指定し、同地区内で重点的に面源負荷対策を講じられるようになったところである。

これまで下水道研究室では、主要な面源負荷の一つである市街地からの雨天時流出に対して調査研究を進めてきたが、本稿では、市街地における面源負荷対策の現状と課題を紹介するとともに、面源負荷対策としての雨水浸透施設に着目し、その汚濁負荷削減効果について調査を行ったので、その概要と結果を報告する。

2. 市街地ノンポイント負荷対策の現状

2.1 対策の流れ

市街地における面源負荷対策は、雨水の排除を行う下水道事業が重要な役割を担っている。平成14年に刊行された「市街地のノンポイント対策に関する手引き（案）」¹⁾（以下、「手引き（案）」という）によれば、市街地における面源負荷対策は、流域別下水道整備総合計画や湖沼水質保全計画などの上位計画で示される許容汚濁負荷量の市街地分を目標に実施することとなっている。「手引き（案）」に示される対策の流れを図-1に示す。

市街地における面源負荷対策は、大きく次の3つに分類できる。

- (1) 雨水流出水の制御（雨水浸透、オンサイト貯留など）
- (2) 汚濁負荷ポテンシャルの制御（路面清掃、管きよ清掃など）
- (3) 雨水流出水の処理（初期の雨水流出水を貯留した後下水処理場で処理するなど）

このうち (1) については、雨水を貯留・浸透

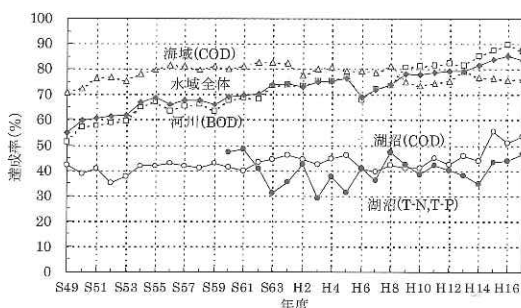
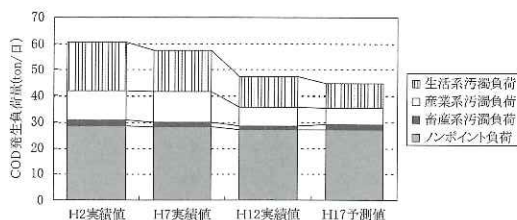


図-1 水質環境基準の達成状況

図-2 COD排出負荷量の推移（琵琶湖）¹⁾

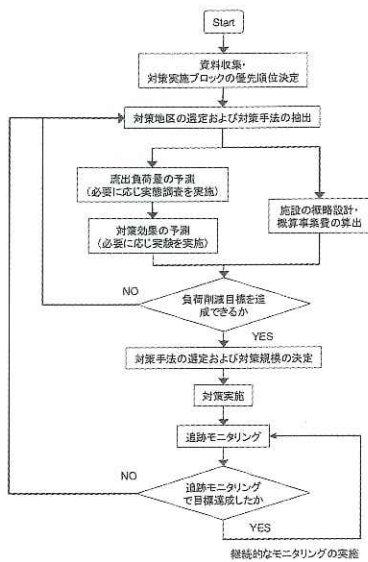


図-3 市街地の面源負荷対策の流れ

させることにより地表面を流れる雨水量を減じて、流出負荷量を制御するものである。貯留・浸透は、市街地における浸水対策としても有効であるため、多面的な効果が期待できる。(2)の道路清掃は、現在のところ主に都市の美観を維持するために実施されている傾向にあり、どの程度の効果が期待できるか不明確である。(3)に関しては、施設の規模や能力によっては、建設と維持管理のためのコストが大きな負担となる可能性がある。

2.2 市街地面源負荷対策の現状と課題

下水道研究室では、現状におけるノンポイント負荷対策の実態把握と課題抽出を行う目的で、全国の自治体を対象にアンケート調査を実施した。アンケートは平成19年1月に、都道府県及び政令

指定都市に依頼し回答していただく方法を使った。このとき、各都道府県管内の市町村に該当する事例がある場合には、アンケート票を該当の市町村に転送していただき、全国すべての事例を網羅するよう留意した。

アンケート内容は、市街地面源負荷の「対策事例」及び「関連計画」の有無とその内容を尋ねたものである。なお、これらはそれぞれ、「市街地から主に雨水を介して流出するノンポイント負荷を削減する対策（雨水浸透、貯留、植生浄化など）の事例」、「市街地ノンポイント対策に関連する計画（流域別下水道整備総合計画や湖沼水質保全計画など）」指すものとする。

アンケートを集計したところ、表-1のとおり関連計画・対策事例が整理された。関連計画数は11、対策事例数は4であり、現状では市街地ノンポイント負荷対策がほとんど進捗していないことが改めて浮き彫りとなった。関連計画については、市街地ノンポイント負荷に削減負荷量の割り当てが定められていたものは11計画のうち2計画であり、市街地ノンポイント負荷の削減に向けては、関連計画の大半が具体性を有していない状況にあった。

対策事例に関しては、貯留槽を設けて一旦雨水を貯めた後、下水処理場または下流側へ放流する型が多かった。これは先述の(3)のタイプの対策に相当するが、各事業体では、費用対効果の算出や増加する維持管理費に苦勞しているようである。このような状況と対策事例がほとんどない現状を併せて考えると、建設費が安く維持管理が比較的容易で、かつ、面源負荷削減以外にも効果を有する雨水浸透など(1)のタイプの対策が有効な施策として強く期待される。しかし、雨水浸透

表-1 市街地面源負荷対策の取り組み状況

都道府県名	市町村名	関連計画		対策事例	
		計画数	計画名	事例数	事例名
茨城県 千葉県	横浜市	1	霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画	1	市街地排水浄化対策事業 手賀沼流域下水道湖北貯留場
		2	利根川流域別下水道整備総合計画		
1		手賀沼に係る湖沼水質保全計画	1	諏訪湖流域下水道事業 雨水貯留槽	
2		東京湾流域別下水道整備総合計画			
1		諏訪湖水質保全計画	1	山寺川市街地排水浄化対策事業	
2		天竜川流域別下水道整備総合計画			
3		名古屋港海域等流域別下水道整備総合計画			
愛知県		1	知多湾等流域別下水道整備総合計画	1	水循環創造事業
		1	渥美湾等流域別下水道整備総合計画		
		1	琵琶湖水質保全対策行動計画		
滋賀県 鳥取県 広島県	坂町	1	中海に係る湖沼水質保全計画	1	
合 計		11		4	

に関し、雨水流出量の抑制効果に対しては従来から盛んに調査研究がなされ技術指針³⁾も公表されているものの、汚濁負荷量の削減効果に対しては調査事例が少なく、ほとんど何も分かっていない状況である。

そこで、下水道研究室では雨水浸透施設として広く用いられている雨水浸透ますについて、その汚濁負荷削減効果について実施設を対象に実験を実施した。

なお、関連計画・対策事例の詳細等を含め、アンケート結果は文献1)の改訂版である文献2)に詳しいので参照されたい。

3. 雨水浸透ます調査

3.1 調査方法

調査対象として選んだのは、A市住宅地の道路に設置されている雨水浸透ます及び雨水ます（浸透機能は有していない）それぞれ4基である。流出実験は、貯水タンクからます内へ直接注水することにより実施した。ますへの流入水は、水道水及び人工的に作成した濁水（付近の雨水ますから堆積物を採取し、水道水と混合したもの）の2種類を用いることとし、流入水及び流出水の流量、水質を測定した。なお、濁水実験においては、累

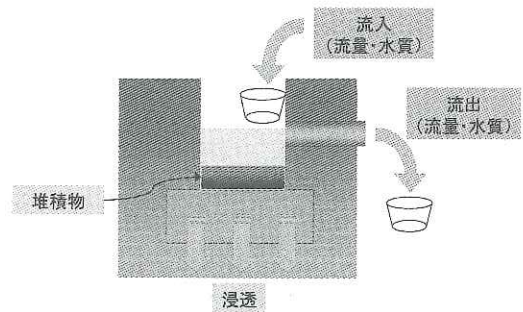
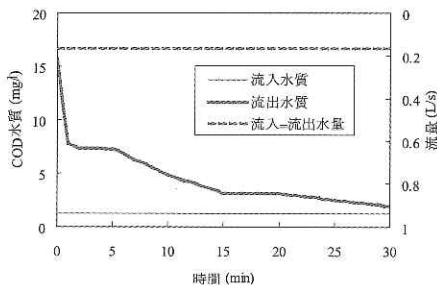


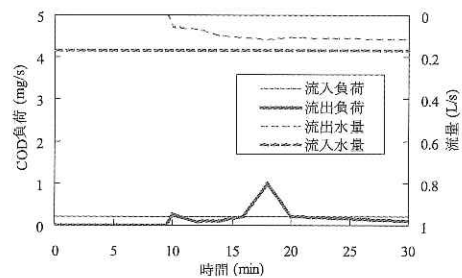
図-4 雨水浸透ます実験の概要

積流量がおよそ120L（ます1基が60m²を受け持つと仮定した際2mm/hに相当）を超えた時点で、水道水に切り替えることとした。これは、降雨初期のファーストフラッシュ現象を単純に表現したものである。また、流入水の流量として、想定降雨強度10mm/hr、30mm/hr（それぞれ約0.17、0.50L/secに相当）の2種類を設定した。実際にこのような強さの雨が降る頻度は高くないが、雨水浸透ますからのオーバーフローを得るためにこのような流量を設定したものである。調査条件の一覧を表-2に示す。

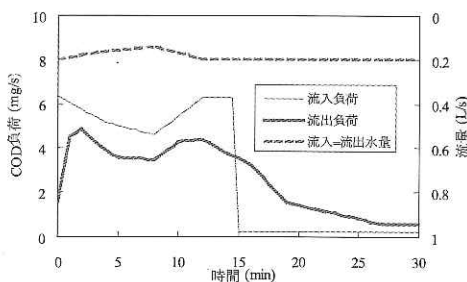
流入水は貯水タンクからポンプで送水し、ますの側壁からます内に注水した。流入水の水質測定



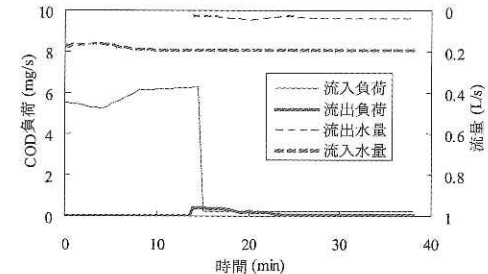
(a) 清水・雨水ます (case 1-1)



(b) 清水・雨水浸透ます (case 2-1)



(c) 濁水・雨水ます (case 1-3)



(d) 濁水・雨水浸透ます (case 2-3)

図-5 COD負荷量の経時変化（想定降雨強度：10mm/hr）

表-2 調査条件一覧

case	ますの種類	想定降雨強度	流入水の種類	浸透量 (L/hr)
1-1	雨水ます	10mm/hr	清水 (水道水)	—
1-2		30mm/hr	清水 (水道水)	—
1-3		10mm/hr	濁水	—
1-4		30mm/hr	濁水	—
2-1	浸透ます	10mm/hr	清水 (水道水)	243
2-2		30mm/hr	清水 (水道水)	1,355
2-3		10mm/hr	濁水	592
2-4		30mm/hr	濁水	985

備考1:「想定降雨強度」は、流入水量の目安であり厳密な流量ではない。ます1個の集水面積を $20 \times 3 = 60\text{m}^2$ と設定した。

備考2:「浸透量」は浸透ますから水が流出する間の浸透水量(流入水量と流出水量の差)から算出した。

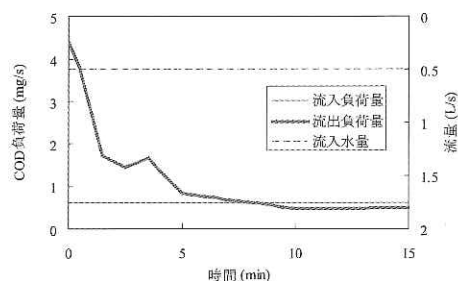
は、注水前に貯水タンク内の水を採水し、流出水の水質については下水道の雨水管に接続する箇所にて作業員が流出水を直接採水し、それぞれ分析に供した。実験中は濁度計によります内の濁度を30秒ごとに計測し、濁度が一定時間以上ほとんど変化なしと認められた時点で実験を終了した。なお、流出水を採水する際には、重量法による流量測定も併せて実施した。

水質分析項目はSS、TS、COD、TN、TPである。COD、TN、TPに関しては溶存態(本調査では $1\mu\text{m}$ 以下の成分と定義した)も併せて分析

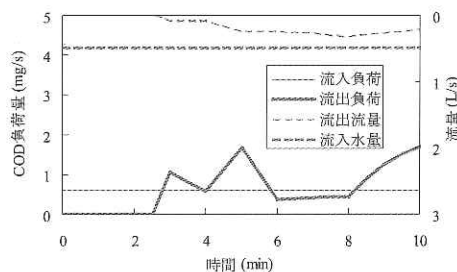
した。水質分析はいずれの項目も下水試験方法4)に準じた。

3.2 流出水の水質・負荷量の経時変化

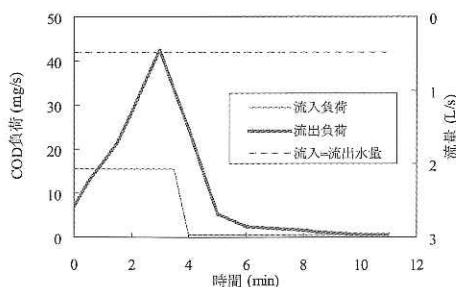
想定降雨強度10mm/hrの4ケースにおける流量及びCOD負荷量の経時変化を図-5に示す。case 1-1(清水、雨水ます)では、時間経過とともに流出負荷量が減少し、流入負荷量に漸近した。これは、注水初期にます内の堆積物が巻き上げられるものの、一定流量の下で巻き上がる堆積物量が次第に減少したためと考えられる。また、case 2-1(清水、雨水浸透ます)では、実験開始後およそ10分間流入水の全量が浸透したため汚濁負荷の流出はなかった。流出した後の流出負荷量は、流入負荷量と概ね同程度で推移した。一方、濁水を用いた実験case 1-3(雨水ます)では、実験初期に上澄み液の流出があったため流出負荷量が比較的小さな値を示したが、その後はほぼ流入負荷量に追従した形で推移した。流入水が清水に切り替わる(実験開始から約15分)までは、流入負荷量が流出負荷量を上回っており、雨水ますがCOD負荷を捕捉していたことが示唆される。case 2-3では、濁水が流入していた間ほとんどの水が浸透し、ますから流出が開始した後も流出負荷量は流入負荷量とほぼ同程度の値であった。



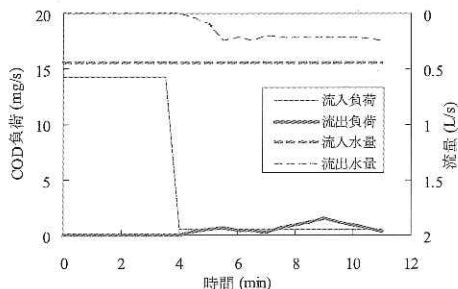
(a) 清水・雨水ます (case 1-2)



(b) 清水・雨水浸透ます (case 2-2)



(c) 濁水・雨水ます (case 1-4)



(d) 濁水・雨水浸透ます (case 2-4)

図-6 COD負荷量の経時変化(想定降雨量: 30mm/hr)

想定降雨強度30mm/hrのケースにおけるCOD負荷量の経時変化を図-6に示す。case 1-2（雨水ます）では、流量の増加に伴って、流出負荷量の減少がcase 1-1より速くなっている。一方、雨水浸透ますを用いたcase 2-2、2-4では、case 2-1、2-3と対照的に、オーバーフローがある期間中は流出負荷量が流入負荷量を上回る傾向にあり、ます内における汚濁物の活発な巻き上がりが示唆された。

3.3 汚濁物質の削減効果

雨水ます及び雨水浸透ますが有する汚濁物質の削減効果は、次式の汚濁負荷削減率（ますに流入した総負荷量のうち、浸透または蓄積などにより、ますに捕捉された負荷量の割合）で評価した。正の値の場合は流入負荷量がますに捕捉されたことを意味する。

$$(\text{汚濁負荷削減率}) = 1 - \frac{(\text{総流出負荷量})}{(\text{総流入負荷量})} \quad (1)$$

削減率の一覧を図-7に示す。雨水ますにおいて、流出負荷量が流入負荷量を上回ったため負の値となる傾向にあった一方、雨水浸透ますでは概ね正の値となり、汚濁物質が雨水浸透ますにより捕捉されている結果となった。特に、濁水を用いたcase 2-3、2-4においては、例えばCODで90%以上を示すなどすべての水質項目で高い値となった。清水実験（想定降雨30mm/hr）のcase 2-2では、CODとTPで負の値となったが、これは、流量が大きいために雨水浸透ますの堆積物の巻き上げが大きくなり、結果として流出負荷量が卓越した可能性がある。水質項目別では、TN、D-TN（溶存態TN）、TSが雨水浸透ますのみならず雨水ますでも捕捉される傾向にあった。

4. 実流域における効果試算例

4.1 計算方法

3. の調査結果を踏まえ、実際の市街地（下水道排水区）における雨水浸透ますの汚濁負荷削減効果についてシミュレーションを行った。シミュレーションは、下水道管路モデルが既に整備され、かつパラメータの検定を行うために十分な実測データの蓄積があるB市を対象に実施した。流量及び汚濁負荷量の計算はそれぞれ、修正RRLモデル、土研モデルを用いた。

雨水浸透施設のモデル化は、現在下水道の流出解析モデルとして利用されている国内外いずれのモデルにおいても、流域平均の浸透施設能力を降雨量から差し引き（有効降雨の計算）、その降雨量を用いて計算を行う場合が一般的である。しかしこの方法を用いた場合、浸透を見込むために差し引かれた降雨量は、実際降ったにも関わらず降らなかったものとして計算されることになる。これは汚濁負荷流出の観点から考えると、地表面の堆積物が降雨初期に洗い流される現象を正確に表現しておらず、掃流される汚濁負荷量を過小に計算していることを意味する。このため、今回の検討では、修正RRLモデルと土研モデルを改良し、浸透施設で浸透する雨水量と汚濁負荷量については、地表面流出の計算を行った後にその施設において削減されるものとして計算を行った。計算条件を表-3、4に示す。実際にモデル流域に雨水浸透ますは整備されていないが、表-3、4の条件で、4降雨（実データ）に対してパラメータの検定を行った結果、概ね実測値を再現できた。なお、年間流出計算にあたっては、B市のアメダス記録を基に、年間降雨量が過去10年間の年間平均降雨量

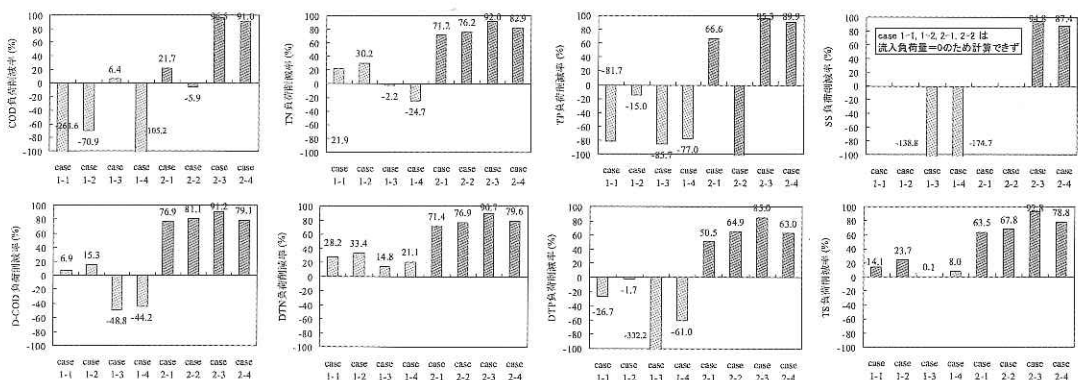


図-7 汚濁負荷削減率一覧

表-3 修正RRL法パラメータ

項目	値	備考
排水区面積 (ha)	67.4	
不透透面積 (ha)	10.38	うち 屋根 (ha) 4.15 道路 (ha) 6.23
凹地貯留域 (%)	不浸透域 60 浸透域 80	
凹地貯留高 (mm)	不浸透域 2 浸透域 6	
浸透域浸透能 (mm/hr)	10	

表-4 土研モデルパラメータ

項目	値	備考
	COD SS TN TP	
路面等残存負荷 屋根 (mm-l)	0.21 0.43 0.21 0.22	観測値により決定
流出係数 路面 (mm-l)	0.08 0.12 0.08 0.09	観測値により決定
初期路面等 屋根 (kg/ha)	0.2 1.8 0.1 0.01	観測値により決定
残存負荷量 路面 (kg/ha)	5 7 1 0.2	観測値により決定
限界降雨強度 (mm/hr)	0.1	観測値により決定
路面等供給負荷量 (g/s)	0.37 0.59 0.077 0.015	1日で回復と仮定

と最も近い年を選びその年の降雨記録を使用した。雨水浸透ますの汚濁負荷削減能力は、地盤の浸透能 (10mm/hr) までの降雨強度の場合、全て雨水浸透ますで捕捉できるとし、これ以上の降雨強度の場合は、3. の実験結果を踏まえ、CODで流出負荷量の9倍の負荷量が浸透すると仮定した。また、雨水浸透ます内の堆積物については、3. の調査において別途行った堆積物調査より、1基あたり 243.1mg (COD) と設定した。本モデルでは、雨水流出のある比較的強い降雨時のみ、堆積物が雨水と同時に流出すると想定した。

4.2 試算結果

シミュレーション結果を表-5に示す。水量の削減率が74%であったのに対し、CODの削減率は98%と高い結果となった。ただし、雨水浸透ます内の堆積物量は大きな変動が予想されることから、堆積物量を10倍にした場合を想定し計算したところ、CODの削減率は89%と見積もられた。

5. おわりに

実施設を対象にした調査を通じて、適切な浸透能力が担保されれば、雨水浸透ますは汚濁負荷の削減に高い効果を有していることが明らかとなった。また、雨水ますとの比較から、汚濁負荷の面でも雨水浸透ますの優位性が示された。ただし、浸透ます内の堆積物が、浸透ます周辺の土壤に浸透することによって除去されているとすれば、浸透ますが土壤や地下水の汚染源となる可能性もあ

表-5 CODの削減効果

項目	流量 (m ³)	COD (kg)	
		堆積物1倍	堆積物10倍
浸透なし	121,232	1,776	1,776
浸透あり	31,157	44	198
削減率	74%	98%	89%

る。浸透ますによる汚濁負荷削減メカニズムを把握することは容易ではないが、雨水浸透施設の適切な設置を促進するためには、まず内堆積物の挙動把握や予測を行うことが重要と考えられる。

また、高い汚濁負荷削減効果を維持するためには、適切な設置地点を選定すること、及び、清掃などの維持管理を定期的に継続することが重要と考えられる。後者の維持管理については、特に路面排水など比較的負荷量の大きな雨水を対象とする場合に、目詰まりによる雨水浸透施設の閉塞が懸念される。下水道研究室では、下水道事業者への調査や室内実験等を通じて、引き続きこの問題について調査研究を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、下水道新技術推進機構：市街地のノンポイント対策の手引き (案), 2002
- 2) 国土交通省都市・地域整備局下水道部、国総研下水道研究部：市街地ノンポイント対策の手引き (案), 2007 (印刷中)
- 3) 雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針 (案), 1997
- 4) 日本下水道協会：下水試験方法, 1997

田本典秀*



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室研究官
Norihide TAMOTO

榊原 隆**



国土交通省国土技術政策
総合研究所下水道研究部
下水道研究室長
Takashi SAKAKIBARA