

市街地における水環境保全のための 汚濁負荷削減方策に関する調査研究

1. はじめに

下水道事業における市街地からのノンポイント汚濁負荷対策，特に窒素・リンの削減効果についての検討が急務になっている。

本調査研究では，SPIRIT21 プロジェクトにおいて開発された合流式下水道改善技術や浸透ますを用いてノンポイント汚濁負荷対策を行った場合の調査を行った。

そして，既刊の「市街地ノンポイント対策に関する手引き(案)」(平成 14 年 3 月)の改訂にあたり，追加すべき項目として，降雨に伴って市街地から流出する窒素・リンについて，水環境への影響評価や施策の効率性等に関して検討を行った。

2. 調査研究内容

本調査研究で検討をおこなった項目は，次の 5 項目である。

- ①合流改善新技術をノンポイント対策手法として活用した場合の水環境改善効果の検証
- ②浸透施設での汚濁負荷削減効果について検討するための現地調査
- ③モデルケースにおける汚濁負荷削減効果の検討
- ④「市街地ノンポイント対策に関する手引き」改定案のとりまとめ

3. 調査研究結果

3.1 合流改善新技術をノンポイント対策として適用した際の水環境改善効果の検証

3.1.1 概要

合流式下水道の整備区域において，雨天時に排出される未処理下水に含まれる汚濁負荷やオイルボール等による水環境の悪化が顕在化した。そこで，国土交通省は下水道技術開発プロジェクト「SPIRIT21 (Sewage Project, Integrated and Revolutionary Technology for 21 century)」において，「合流式下水道の改善に関する技術」を技術課題として選定し，平成 14 年度～16 年度にかけて，きょう雑物除去，高速ろ過，凝集分離及び計測・制御，消毒の 4 分野の技術についての研究開発を行った。

これら技術の開発目的は，雨天時の自然吐き口・ポンプ場から排出される夾雑物除去や，ポンプ場からの未処理下水や合流式下水処理場への流入水に含まれる高い濃度の SS や BOD 類の負荷削減を主な目的としたものであり，全ての技術がノンポイント対策に適している訳ではない。しかし，開発技術の中には比較的 low 濃度の水質項目にも適用し得る技術も含まれている。

そこで，高速ろ過技術・凝集沈殿技術に着目し，適用性を調査した。なお，適用性の検討に当たっては各技術の評価書および開発メーカーの運転試験データを参照し，N，P についてのデータを有する技術を抜粋して検討を行うこととした。

3.1.2 収集した資料一覧

SPIRIT21の以下の高速ろ過技術・凝集沈殿技術について、技術評価書およびメーカー独自の実証実験データを収集した。

表－1 収集した合流改善技術資料

技術名	高速ろ過			
	雨天時高速下水処理システム (簡易処理の高度化)	雨天時高速下水処理システム (未処理下水の簡易処理)	高速ろ過装置 (繊維ろ材)	特殊スクリーン付きスワール及び沈降性繊維ろ材を用いた上下向流可変式高速ろ過法
開発メーカー	NGK	NGK	三井造船 月島機械他	
技術名	高速ろ過		凝集沈殿	
	雨天時未処理放流水等の超高速繊維ろ過技術	高速ろ過プロセス	高速凝集沈殿処理 (アクティブプロセス)	特殊スクリーン付きスワールによる高速凝集分離システム
開発メーカー	石垣他	日立プラント他	西原環境テクノロジー他	月島機械他

3.1.3 ノンポイント対策としての適用性の検討

表－1に示した各技術について、ノンポイント対策を想定して原水濃度が小さいサンプルを抽出し、除去率の調査を行った。

原水濃度については、既往のノンポイント調査結果からBOD100mg/L以下を基準とし、その他の水質項目はBODを基準に抽出したサンプルを集計した。各技術の集計結果を表－2に示す。

なお、除去率は基本的には流入・処理負荷量の比により算出されるが、負荷量のデータが入手できなかったため、ここでは除去率を原水濃度、処理水濃度の各データの回帰分析により算出した。

表－2 各技術の除去率

技術名	高速ろ過			
	雨天時高速下水処理システム (簡易処理の高度化)	雨天時高速下水処理システム (未処理下水の簡易処理)	高速ろ過装置 (繊維ろ材)	特殊スクリーン付きスワール及び沈降性繊維ろ材を用いた上下向流可変式高速ろ過法
BOD	32%	50%	46%	46%
SS	48%	71%	61%	65%
COD	-	-	-	-
TN	-	-	-	-
TP	-	-	-	-
技術名	高速ろ過		凝集沈殿	
	雨天時未処理放流水等の超高速繊維ろ過技術	高速ろ過プロセス	高速凝集沈殿処理 (アクティブプロセス)	特殊スクリーン付きスワールによる高速凝集分離システム
BOD	54%	63%	81%	81%
SS	73%	74%	91%	81%
COD	50%	-	73%	58%
TN	-	-	60%	25%
TP	-	-	92%	89%

表－2に示すように、高速ろ過技術については、合流改善技術として評価された除去率と同等か若干低い値であった。これは処理水の水質に下限があり、原水水質が小さくなくても処理水水質が変わらないことによると考えられる。

また凝集沈殿については特にBOD, SS, TPで高い除去率が得られるが、TNの除去率は小さいことが明らかとなった。

3.2 浸透施設での汚濁負荷削減効果の調査

浸透施設での汚濁負荷削減効果について検討するため、浸透ますを対象に現地調査を行った。調査はA市およびB市の2都市について実施し、その内容および結果を以下にそれぞれ示す。

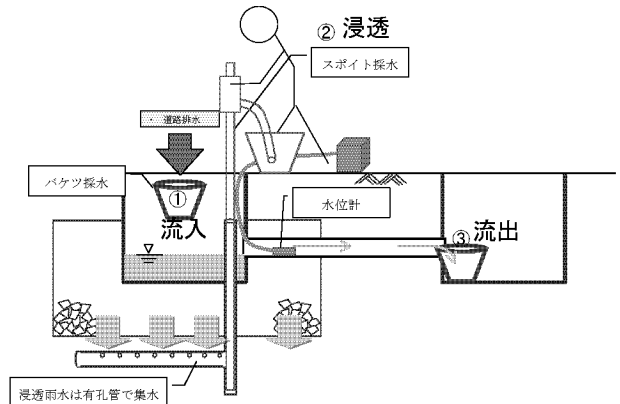
3.2.1 A市における実証実験

(1) 調査位置

A市内に設置している雨水浸透ますについて、浸透による汚濁負荷削減効果を雨天時実態調査により把握した。調査は商業地および住宅地の2種類の用途地域において行った。

(2) 調査概要

雨天時において、図－1のように①浸透ますに流入する路面排水、②浸透ますから地下に浸透する路面排水、③浸透能力を超えて下水管へ越流する路面排水の流量計測および採水、水質分析を行い、浸透ますの汚濁負荷削減効果を調査した。



図－1 調査イメージ図

(3) 調査条件

実施回数：1回(雨天時)(表－3)

実施日時：2006/11/27 1:40~12:00

表－3 降雨の概要

調査地点	先行無降雨期間	総降雨量 (mm)	時間最大降雨量 (mm/hr)
商業系	約5日	21.5	5.0
住宅系	約5日	8.0	2.0
管区气象台(仙台)	約5日	22.0	5.0

(4) 調査結果

(a) 商業系

各水質項目について、流入、浸透、流出の総負荷量および負荷削減率を算出すると以下のような結果が得られた。

算出に当たっては、流入汚濁負荷量に対し、浸透と流出の汚濁負荷量の合計が著しく大きな項目(T-P, SS, 蒸発残留物)は、まず内堆積物由来の負荷と考えられるため、浸透+流出から流入を差し引いた負荷量を堆積負荷量として示した。

なお、負荷削減率とは、対策施設に取り込んだ負荷量を全量処理したと仮定した場合の削減率を指し、浸透施設周囲に浸透した汚濁負荷については考慮していない。

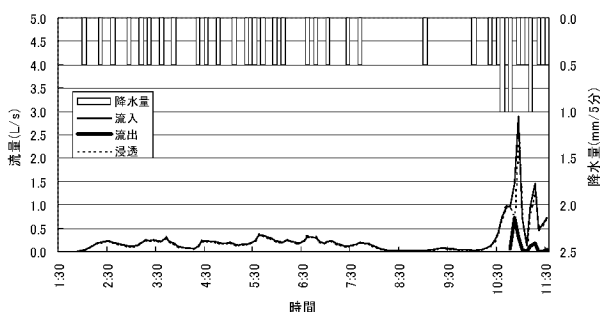


図-2 流量の時間変化(流入, 流出, 浸透)

表-4 各水質項目の負荷収支(商業系)

項目	COD	D-COD	T-N	D-T-N	T-P	D-T-P	SS	蒸発残留物
流入	110.4	43.7	6.5	5.1	388	146	114	367
堆積	34.9	9.4	1.6	-0.5	499	21	735	849
浸透	138.2	50.2	7.8	4.5	863	162	835	1190
流出	7.1	2.9	0.3	0.1	23	4	14	27
浸透+流出	145.3	53.2	8.1	4.6	886	167	849	1216
汚濁負荷削減率(%)	93.5	93.3	95.5	97.6	94.1	97.0	87.8	92.8

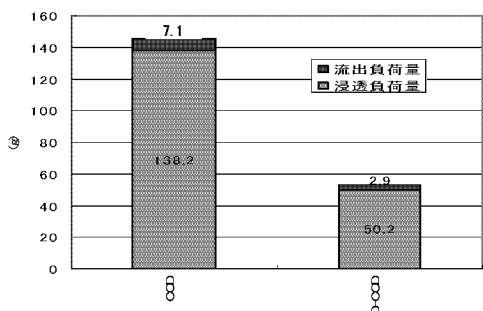


図-3 流出・浸透負荷量(COD, D-COD)

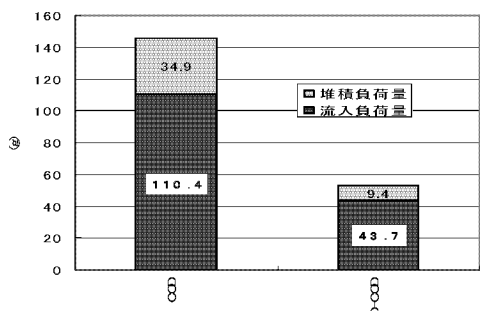


図-4 流入・堆積負荷量(COD, D-COD)

(b) 住宅系

各水質項目について、流入、浸透、流出の総負荷量を算出すると以下に示す結果が得られた。

ここで、流入汚濁負荷量に対し、浸透と流出の汚濁負荷量の合計が著しく大きな項目(COD, T-P, 蒸発残留物)は、まず内堆積物由来の負荷と考えられるため、浸透+流出から流入を差し引いた負荷量を堆積負荷量として示した。

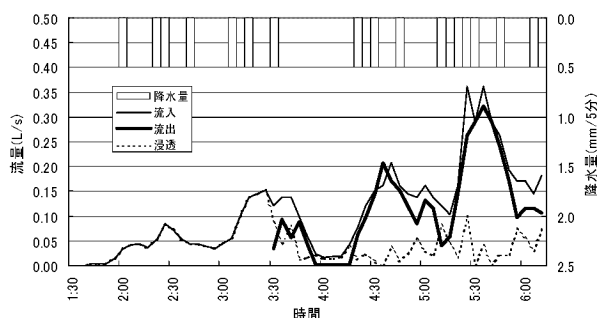


図-5 流量の時間変化(流入, 流出, 浸透)

表-5 各水質項目の負荷収支(住宅系)

項目	COD	D-COD	T-N	D-T-N	T-P	D-T-P	SS	蒸発残留物
流入	15.5	9.4	2.0	1.7	224.1	117.0	93	129
堆積	8.5	7.4	1.2	0.9	69.5	15.1	50.1	86.7
浸透	10.7	6.2	1.4	1.1	140.7	45.9	95	117
流出	13.3	10.5	1.8	1.5	152.8	89.2	48	108
浸透+流出	24.0	16.7	3.2	2.6	293.6	135.1	143	225
汚濁負荷削減率(%)	14.3	-12.5	8.7	12.1	31.8	23.7	48.3	15.7

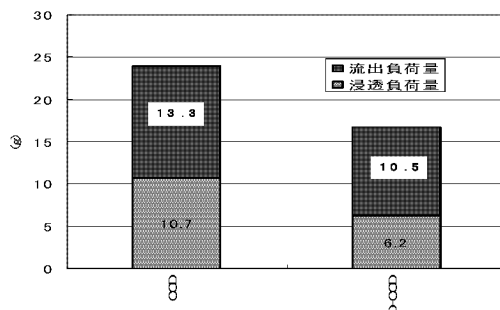


図-6 流出・浸透負荷量(COD, D-COD)

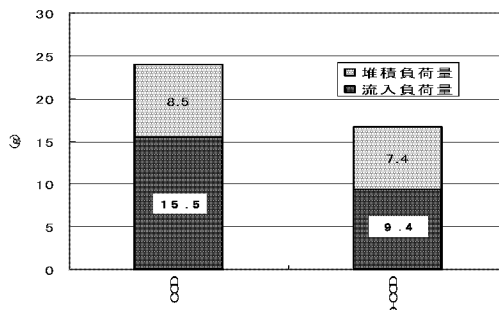


図-7 流入・堆積負荷量(COD, D-COD)

以上に示す調査結果より、商業地では浸透する汚濁負荷の割合が高く、流出汚濁負荷量はごくわずかであり95%程度以上の高い負荷削減率が得られ、住宅地では堆積物由来の負荷の割合が高いため負荷削

減率は低く、マイナスとなる項目もあることが明らかとなった。

これは調査を行ったA市該当区域の計画浸透能は0.7mm/hr であるのに対し、実験時の浸透ます浸透能が商業系で6mm/hr 程度であったのに対し、宅地系で0.1mm/hr 程度と低い値であったことが汚濁負荷削減率の差となって現れたものと考えられる。

3.2.2 B市における実証実験

浸透ます及び通常の雨水ますには、降雨と降雨の期間内の晴天時に路面堆積物などが移動することにより、汚濁負荷が堆積していると考えられる。

ノンポイント汚濁負荷の検討において、このます内の堆積物による負荷は無視できないと考えられるため、以下に示す調査により、ます内堆積物から発生する総汚濁負荷量(ポテンシャル)、ますへの流入水量と流出負荷量の関係、負荷収支等を調査し、雨水ますと浸透ますの比較を行った。

(1) 調査位置

B市内の住宅地を調査対象地区とした。

調査対象とする浸透ますについては、現地踏査を行い、周辺の道路状況や間隔等から調査に適したますを選定した。

(2) 調査概要(図-8)(図-9)

汚濁負荷ポテンシャル調査：晴天時において、浸透ますと近隣の通常の雨水ます内に残存している汚濁物質の調査を行った。

汚濁負荷流出調査：汚濁負荷ポテンシャル調査に引き続き、水道水および模擬道路排水を浸透ます内に直接流入させ、下水管へ流出する水量・水質を観測し、浸透能力および流出負荷量を把握した。

また、近隣の雨水ます(非浸透)で同様の観測を行い、管渠への流出負荷量を比較して、晴天時のドライ化や浸透による負荷削減効果を検討した。

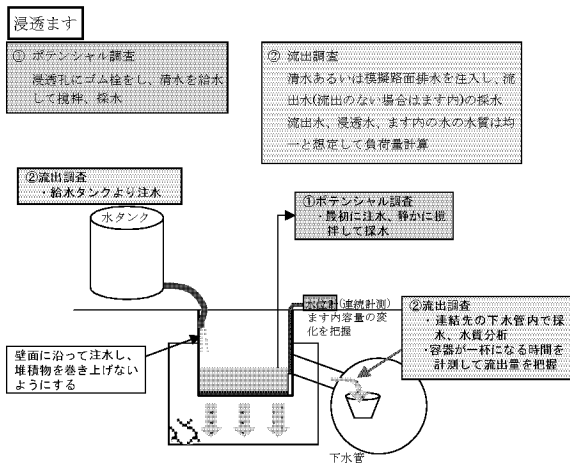


図-8 調査方法(浸透ます)

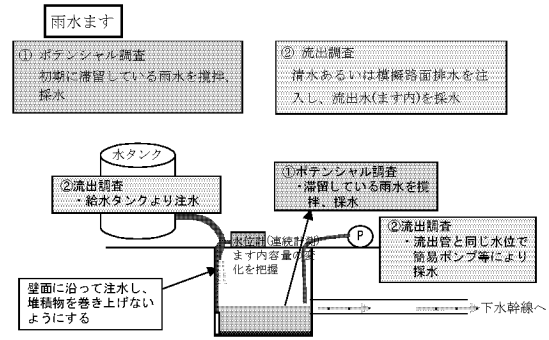


図-9 調査方法(雨水ます)

(3) 調査条件(表-6)

実施回数：各ますで1回ずつ(晴天時)

調査箇所数：浸透ます，雨水ます各2箇所

表-6 各調査日の先行無降雨日数

ますの種類	試験水	先行無降雨日数*
雨水	清水	1.5日
	濁水	4.5日
浸透	清水	1.5日
	濁水	4.5日

(4) 調査結果

今回の調査結果より求めた、雨水ます，浸透ますの汚濁負荷ポテンシャルおよび流出負荷量について整理し、以下に示す。

表-7 ポテンシャル調査結果(負荷量)

ますNo.	想定降雨強度	COD (g)	D-COD (g)	T-N (g)	D-T-N (g)	T-P (mg)	D-T-P (mg)	SS (g)	TS (g)
雨No.1	10mm/hr	0.65	0.10	0.02	0.00	3.28	0.24	2.21	0.52
雨No.2	30mm/hr	0.99	0.15	0.07	0.04	11.92	1.54	2.79	4.17
浸No.1	10mm/hr	0.28	0.03	0.04	0.01	3.35	0.40	1.08	2.28
浸No.2	30mm/hr	0.22	0.03	0.03	0.01	3.05	0.40	1.13	1.48

表-8 流出負荷調査結果(雨水ます)

想定降雨強度	COD (g)	D-COD (g)	T-N (g)	D-T-N (g)	T-P (mg)	D-T-P (mg)	SS (g)	TS (g)
10mm/hr	10.16	0.58	0.21	0.14	44.37	9.69	48.14	0.19
30mm/hr	4.87	0.80	0.00	0.00	32.25	15.60	26.85	0.00

表-8に示すように流出調査時の総負荷量は、表-7に示すポテンシャル負荷量として算出した値よりも大きい結果となった。

これは流出調査中にます内の堆積物から汚濁負荷が徐々に供給された可能性が考えられる。

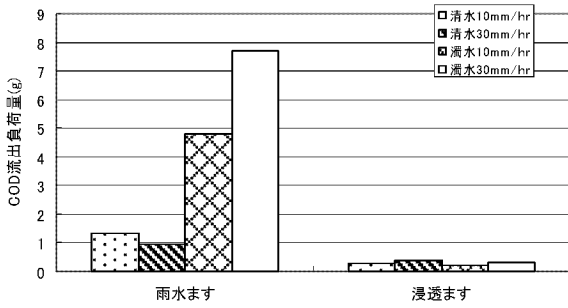


図-10 流出負荷量(COD)

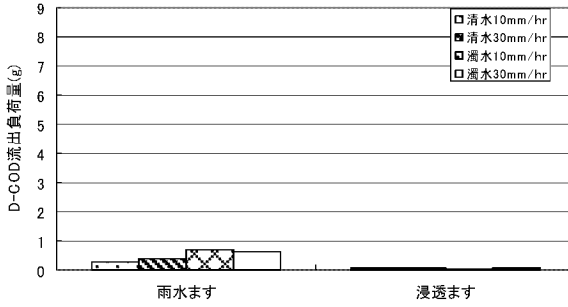


図-11 流出負荷量(D-COD)

さらに図-10および図-11に示すように、流出負荷量中に占める溶存態の割合が小さいことが明らかとなった。これは溶存態の負荷は降雨により流出しやすく、懸濁態の負荷は残留しやすいことから、雨水ます及び浸透ますの堆積物由来の負荷は懸濁態由来のものが主となったものと考えられる。

特に、今回の清水による調査では表-6に示すように無降雨期間が1.5日であり、前の降雨で溶存態の流出が起こり、残留分が少なくなっていた可能性が考えられる。

したがって、今後は今回調査では確認できなかった晴天時、降雨時のまず内堆積物量の増減傾向や、雨水ますの高湿度状況での水質項目の増減の有無等、確認が必要と考えられる。

3.3 モデルケースにおける汚濁負荷削減効果の検討

流域に浸透ますやトレンチを設置した場合のノンポイント負荷削減効果について検討するため、修正RRL法+土研モデルを改良したモデルを開発し、解析を行った。

3.3.1 モデルの概要

開発したモデルの計算の流れを図-12に示す。

このモデルは既存のモデルに対して、屋根および道路の土地利用について、浸透ますの設置数や浸透能力から浸透施設設置面積率を算出し、浸透能力を与えることで流出水量や負荷量の削減効果が検討できるよう改良している。

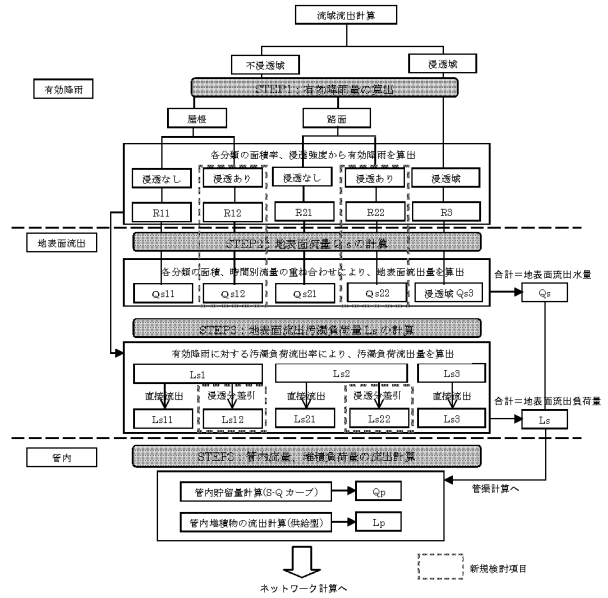


図-12 修正RRL法+土研モデルの改良

3.3.2 モデル地区における年間汚濁負荷解析

前項のモデルを用いて、C市をモデル地域とした浸透によるCOD、窒素、りんの間年汚濁負荷の削減効果を検討した。

(1) 対象地域(C市)の概要

モデル対象地域としたC市の概要を以下に示す。

表-9 修正RRL法モデル定数

排水面積		A	67.4ha
不浸透面積率		I_{np}	15.4%
凹地貯留域率	不浸透域	A_f	60%
	浸透域	A_p	80%
凹地貯留高	不浸透域	D_f	2mm
	浸透域	D_p	6mm
浸透域浸透能		F_c	10mm/hr
到達時間面積率	0~5分		46.1%
	5~10分		30.0%
	10~15分		15.2%
	15~20分		8.7%

(2) 対象降雨

年間汚濁負荷計算の対象降雨は、C市における2001年の降雨とした。

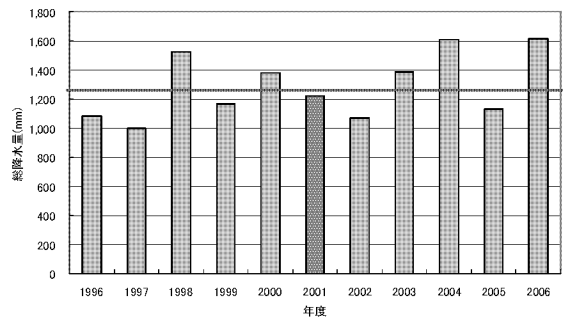


図-13 C市における年間総降水量

(3) 浸透施設の設置に関する設定

浸透施設による対策として、道路ますおよび宅内ますを浸透ますに置き換えた場合を想定した計算を行った。

計算に当たっては、流域全体の雨水ますを浸透ますに置換した場合を想定して設置密度を設定した。そして、浸透ますの能力は不浸透域全域が 10mm/hr 相当になるように以下のように設定した。

表-10 浸透パラメータ設定値

項目	ポテンシャル水質 (COD) ① (mg/L)	ポテンシャル水量 ② (L)	ます 1 基あたりのポテンシャル負荷量 ③=①×② (mg)	流域の浸透ます設置数 ④ (個)	流域からのポテンシャル汚濁負荷量の流出 ⑤=③×④ (g)
数値	24.31	10	243.1	1,038	252.3
根拠等	B 市ポテンシャル調査の平均水質	B 市ポテンシャル採水時の水量		設置密度 × 流域面積	流出のある降雨 1 回あたりの加算流出負荷量

また、汚濁負荷の浸透率（流出がある場合のみの設定、流出がない場合は 100%浸透すると想定）は、A 市および B 市の実験結果を基に、おおむね 10mm/hr の浸透能に対する浸透率として以下のとおり設定した。

表-11 汚濁負荷の浸透率の設定値

種類	浸透能力 F (m ² /hr)	集水面積 Y (ha)	ます設置間隔 A (m/個)	ます設置数 B (個)	総浸透量 B×F (m ³ /hr)	流域平均浸透能 (mm/hr)	備考
道路浸透ます	1.0	0.01	40	623	623	1.54	道路幅 5m の両側へ設置を想定
宅内浸透ます	1.0	0.01	40	415	415	1.54	〃

(4) その他

実際の浸透ます内の汚濁物質の挙動は、弱い降雨の間に堆積し、強い降雨で流出すると考えられるが、本モデルの設定では降雨強度による汚濁物の堆積と流出の挙動は見込んでいない。したがって、B 市の

浸透ますの汚濁負荷ポテンシャル調査の結果を基に雨水流出のある強い降雨ではポテンシャル汚濁負荷量が同時に流出すると想定して、流出汚濁負荷量の加算を行った。

(5) 年間汚濁負荷の削減効果

シミュレーションの結果、水量の削減率が 74%であるのに対し、汚濁負荷は 95%以上の高い負荷削減率になり、浸透ます設置は非常に効果のある対策といえる。

ただし、浸透能によりその削減効果は大きな影響を受けることから、計画にあたって浸透能の確認をしておくことは、非常に重要であると言える。

3.4 「市街地ノンポイント対策に関する手引き」改訂案のとりまとめ

ノンポイント対策の現状および課題並びに最新の知見の進展を踏まえて、今回の調査結果に基づいて、ノンポイント負荷削減目標の設定、対策手法の選定、対策施設の設計・維持管理に至る手順についてとりまとめられた「市街地のノンポイント対策に関する手引き（案）」のとりまとめをおこなった。

改訂にあたっては、ノンポイント対策のひとつとして浸透施設を加えるとともに、SPIRIT21 プロジェクトにより新たに開発された高速ろ過技術・凝集沈殿技術が対策手法として有効であり検討対象とすべきことを追記した。

4. まとめ

本研究によって、SPIRIT21 プロジェクトで開発された合流改善技術がノンポイント対策としても有効であることが確認された。

また浸透施設を活用したノンポイント汚濁負荷削減対策が有効であることが現地調査の結果より明確となった。

今後、本研究においてとりまとめられた「市街地ノンポイント対策に関する手引き」改訂案がノンポイント対策の計画的な実施に寄与することが期待される。

●この研究を行ったのは

研究審議役兼研究第一部長
研究第一部副部長
研究第一部主任研究員
研究第一部研究員

藤木 修
小野田吉恭
橋本 久尚
石川 洋一

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一部副部長
研究第一部研究員
研究第一部研究員

清水 俊昭
小野田吉恭
松井 威喜
石川 洋一