

19. 実証実験による雨水浸透施設の地下水涵養・湧水保全効果の検討

Thi Ha^{1*}・屋井 裕幸²・武田 智恵¹・萩原 崇³

¹日本工営株式会社 中央研究所（〒300-1259茨城県つくば市稲荷2304）

²社団法人 雨水貯留浸透技術協会（〒102-0063 東京都千代田区麹町3-7-1）

³日本工営株式会社 流域・都市事業部（〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1）

* E-mail: a6162@n-koei.co.jp

近年都市部では地下水涵養および湧水の保全を目的に雨水浸透施設の普及が図られるようになってきている。一方では、これらの効果を把握するため数値モデルを中心とした検討が行われているものの、実証実験を行ってその効果を定量的に評価することが困難であるため、実際にどの程度の効果があるかは不明である。そのため、限られた財政状況下において求められている効率的な施設配置を考慮した施設整備の推進・促進が困難な状態にある。そこで、本研究では実物大の浸透施設を設置して、実証実験を行いこれらの効果を検討した。観測結果から、浸透施設より浸透した水が地下水へ涵養し、湧水が増加することが明らかになり、浸透施設の効果が確認された。

Key Words : Rainwater infiltration facility, artificial recharge experiment, spring water, groundwater recharge

1. はじめに

近年、都市化や宅地開発が進むにつれて道路の舗装面や宅地の屋根などの不透透域が拡大し、地盤内へ浸透する雨水の量が減少している。また、下水道の整備によって暗渠や三面張水路による雨水排除が行われ、直接流出する雨水が増大するだけでなく、都市の水辺空間が減少する結果となった。このため、雨天時には、短時間に大量の雨水が流出して内水氾濫を激化させ、平常時には、都市内の水路等の水量を減少させたと指摘されている。また、都市の水辺空間の減少は都市内の生態系への影響やヒートアイランド現象を助長するとともに、都市の安らぎや潤いの喪失も招いたと指摘されている。

このような状況の中で、多くの雨水を地盤内へ浸透させるため、都市域において雨水貯留浸透施設が用いられている。治水の面から本格的に雨水貯留浸透施設を設置することになったのは昭和 52 年の河川審議会の中間答申で「総合治水対策」の必要性が

謳われ、昭和 54 年から治水対策として始まったことがきっかけである。河川の堤防際まで密集した住宅などにより、都市部における水害対策として従来の河道拡幅や堤防嵩のみの改修に限界があり、広く流域全体で流出抑制をする総合治水対策が必要になったのである。本対策では流域対策の一部として雨水貯留施設の設置や透水性舗装・浸透マスなどの設置が含まれ、総合治水対策のうち約 1 割程度の流量分担となっている¹⁾。

一方、環境面からは水循環の保全・再生を目的として自治体のほうで雨水貯留浸透施設による雨水の地下への浸透促進を条例で制定している（例えば、東京都²⁾や秦野市³⁾など）。条例によって国分寺市⁴⁾、小金井市⁵⁾や秦野市⁶⁾などで地下水涵養や湧水保全のために雨水貯留浸透施設を積極的に設置していることが知られている。また、宅地開発の過程において水循環の保全を考慮し、雨水貯留浸透施設等を開発工事と合わせて設置している事例も見られる（例えば、昭島つつじが丘⁷⁾、八王子みな野シ

ティ⁸⁾など)。

このような雨水貯留浸透事業の動向の中、これまでに施設の効果の検証についてはローカルな範囲を対象とした実証実験の事例が見られ、その効果として多くの雨水を浸透させたことや地下水位の上昇傾向が確認されたなどの定性的な報告がなされている^{9)、10)、11)}。他方、広域を対象とした場合においては、これらの効果を実際に測定して定量的に評価することが困難であるため、数値モデルを用いたシミュレーションによる検討が中心となっている^{12)、13)、14)、15)}。しかしながら、浸透施設より浸透した水がどのように地下水へ涵養し、どの程度の効果があったという定量的評価を行った報告は少ない。さらには、浸透施設の設置による湧水保全効果に関して調査している事例も少なく、浸透施設の設置による湧水への効果も未だに不明な点が多い。

このように浸透施設による地下水涵養や湧水保全の定量的な評価方法が明確でないため効率的な施設配置を考慮した事業の推進が困難な状態にあり、普及を遅らせている原因の一つであると考えられる。

そこで本稿では、都市化された地域における湧水地点を対象とし、地下水涵養およびそれに伴う湧水保全効果の定量的評価に着目した実物大の浸透施設による実証実験（注水実験）を試みたので、その実施方法および結果を報告する。実証実験の流れは図-1に示す通りである。

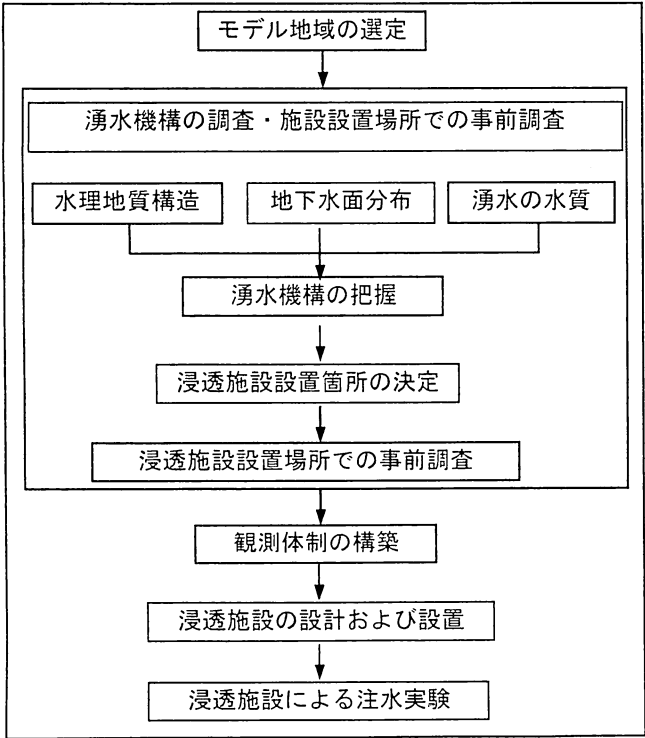


図-1 検討の流れ

2. モデル地域の選定

浸透施設による地下水や湧水への効果を実証実験によって検討する上では適切なモデル地域を選定することが重要である。例えば、涵養域の土地利用として浸透域（裸地・緑地など）が多いと浸透施設の

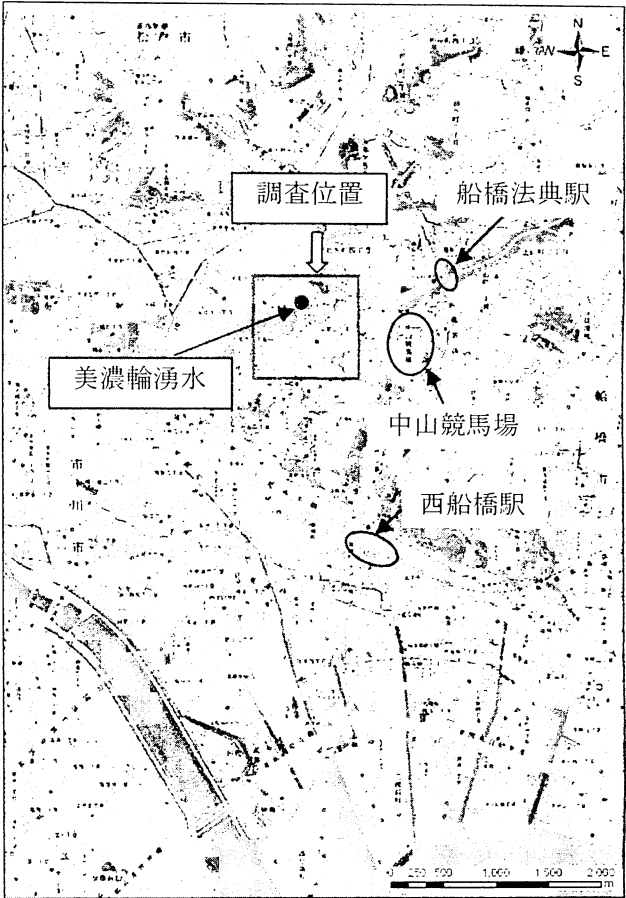


図-2 モデル地域の位置図

表-1 対象流域選定の観点

検討項目	選定の観点
涵養域の土地利用	涵養域の土地利用として浸透域が多いと、浸透施設の設置効果がわかりにくい。
浸透施設設置候補箇所	浸透施設の設置箇所として、学校等の公共施設が存在した方が浸透施設の設置及び実験が実施しやすい。
湧水の湧出状況	浸透施設設置前後の状況を比較対照するためには、設置前の現時点で湧水が恒常的に湧出していることが重要。
人工涵養用水源	浸透実験を行う際の用水として水源確保が必要。ただし再生処理水の利用を行なう際には地域住民への配慮から慎重な対応が必要。
その他	地下水位湧水量等の観測適地、浸透施設下部の急傾斜地の有無、湧水の著名度（地域住民へのアピール）等

設置効果が分かりにくい。また、調査対象とする湧水が恒常的に湧出していることや湧水の涵養域内に浸透施設を設置可能な場所（公共施設が望ましい）および注水用の水源確保が求められる。さらに、浸透水による地下水位上昇が、周辺地域の斜面防災上の問題とならないことが肝要である。

本検討作業では、モデル地域の選定に当たっては、まず都市化された地域の中に湧水地点が存在し、かつ浸透施設の設置を積極的に実施している流域を調べた。その結果、横浜市泉川流域、船橋市海老川流域、市川市真間川流域が候補として挙げられた。次に、その中から上述した基準（表-1 にまとめた）に従って最終的なモデル地域を検討し、これらの条件を満足した真間川流域の美濃輪湧水地点をモデル地域として選定した（図-2）。

美濃輪湧水地点は美濃輪土地区画整理事業で整備された住宅地の中に位置し、台地部から低地部の崖周辺へ湧出してきた湧水を湧水池へ集め、湧水池下流は水路として整備されている。

湧水地点の東方に位置する台地部が本湧水地点の主な涵養域と考えられ、概ね宅地化されている。湧水の集水面積は約 30,000m² である。また、湧水が恒常的に湧出しており、湧水地点周辺には浸透施設設置への協力を得やすい小学校・児童公園などの公共施設が位置している。

3. 湧水機構の把握および事前調査

(1) 湧水機構の調査

浸透施設の設置位置および施設規模を検討する上では当該地域の湧出機構を把握することが重要である。そのため、ここでは水理地質調査、地下水位分布の調査、湧水の水質調査を実施し湧水機構を推定した。その方法および結果を以下に示す。

a) 水理地質

台地部の 2 箇所と低地部の 1 箇所でボーリング調査を実施し、周辺の既存ボーリング調査結果（3 箇所）とあわせて水理地質構造を検討した。その結果、台地部では表層の約 7m まではローム層が分布し（学校内など一部の箇所においては 0.3～1.6m までが盛土）、それ以深は細砂が分布する。一方、低地部では表層の沖積土層とその下に細砂（成田層）で構成されている。台地部における地下水位は約 GL-11m に位置し、ローム層内に地下水は認められない。

また、ボーリング孔を用いた透水試験による帯水層（成田砂層）の飽和透水係数は $1.58 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ である。

b) 地下水位分布

当該地域の地下水の流動方向を調べるために、低地部および台地部の既存井戸を利用して、一斉測水を実施した。その結果による湧水地点周辺の地下水位の分布は図-3 に示す通りであり、地下水の流動方向（図中の矢印）としては、台地部の地下水の一部は若宮小学校（図中の点線）や美濃輪湧水池方向へ、一部は北西側の中山ゴルフセンター（図中の点線）方向へ流れていると考えられる。また、若宮小学校周辺の地下水面の勾配は約 1/100 であり、地下水としては比較的に大きな勾配であると考えられる。その理由としては、現地の地形は台地部を切り込むような形で崖部が存在し、そこから湧出しているためと思われる。一方、中山ゴルフセンター周辺の地下水面の勾配は約 1/240 である。

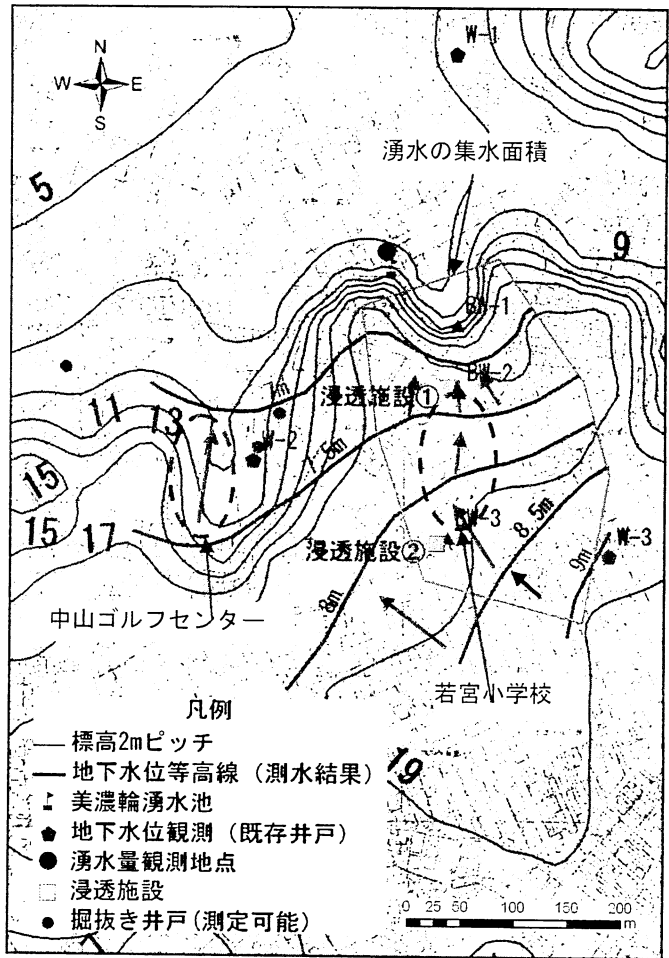


図-3 湧水地点周辺の地下水位分布

c) 湧水の水質

上記の調査結果から当該地域の湧水は、深部の成田砂層内の地下水によるものであると考えられる。ここで、双方の関係を水質の面から確認するために湧水池と台地部の既存井戸の電気伝導度を調査した。その結果、湧水池の電気伝導度(EC)は 42～43mS/m

であり、台地部の既存井戸の EC の値も多くの箇所
で 30～40 mS/m 程度の値となることから、水質の
面からも湧水と地下水の関係が確認できた。

d) 当該地域の湧水機構

上記 a)～c)の調査結果により、当該地点の湧水の
起源は、図-4 に示すように成田砂層内の地下水であ
ることが明らかになった。また、台地部で降った雨
が帯水層まで浸透し、湧水地点のほうへ出てくる湧
出機構になっていることが確認された。

これら調査結果より、湧水地点後方の台地部に浸
透施設を設置することで、美濃輪湧水の涵養に寄与
できることが明らかになり、湧水地点近傍の台地部
にある公共施設である若宮小学校（図-3 参照）が浸
透施設設置の適地であると考えた。

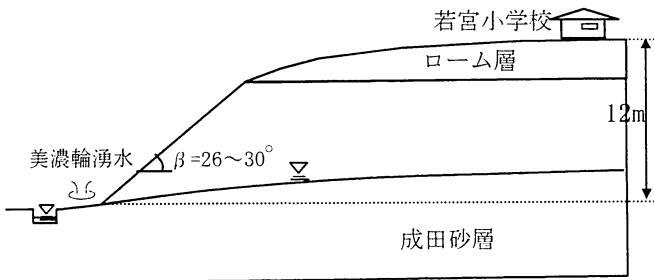


図-4 美濃輪湧水地点周辺の地質構造および湧出機構

(2) 浸透施設設置場所での事前調査

a) 現地浸透試験

浸透施設を設計する上では、浸透施設を設置する
場所の透水係数を把握することが必要であり、その
ため浸透施設の設置予定箇所（図-3 の浸透施設①）
においてボアホール法を用いた現地浸透試験を実施
した。試験は直径約 20cm のオーガー孔を利用して

表-2 現地浸透試験結果（ローム）

土質	水頭 区分 (m)	終期浸透量 (l/5min) 算定方法	比浸透量 (m ²)	飽和透水係数 (cm/sec)	平均値 (cm/sec)
ローム	高水頭 0.90	4.215 平均	3.1700	4.43E-04	4.35E-04
	低水頭 0.60	2.604 平均	2.0348	4.27E-04	

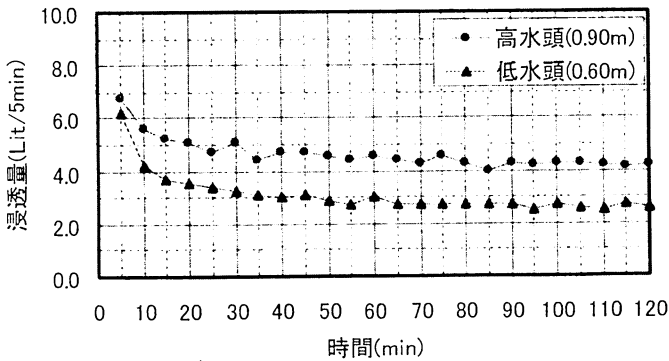


図-5 現地浸透試験結果（ローム）

行うものであり、試験方法には定水位方法と変水位
方法があるが、本試験では定水位法を用いた。試験
方法の詳細については文献 16 にて参照されたい。

試験結果、表層の盛土の透水係数は 3.77×10^{-3}
cm/s、ローム層の透水係数は 4.35×10^{-4} cm/s とな
った（表-2、図-5）。

b) 室内土質試験

浸透施設設置箇所の土質特性を調べるために浸透
施設②の箇所で攪乱・不攪乱試料をサンプリングし、
室内土質試験を行った。サンプリング状況および試
験結果をそれぞれ表-3、表-4 および図-6 に示す。

表-3 サンプリング状況

No.	採取方法	採取深度	使用試験
1	攪乱	2m、4m	土粒子密度、粒度、透水
2	不攪乱	0.5m	湿潤密度、自然含水比

表-4 土質試験結果一覧

No.	土質試験名	試験方法	結果
1	土粒子密度	JISA1202	2.67～2.81 g/cm ³
2	湿潤密度	寸法法	1.12g/cm ³
3	自然含水比	JISA1203	96.92～102.31%
4	粒度	JISA1203	最大粒径は 2mm、シルト分が最も多い
5	飽和透水	JISA1203	1.98×10^{-3} cm/s

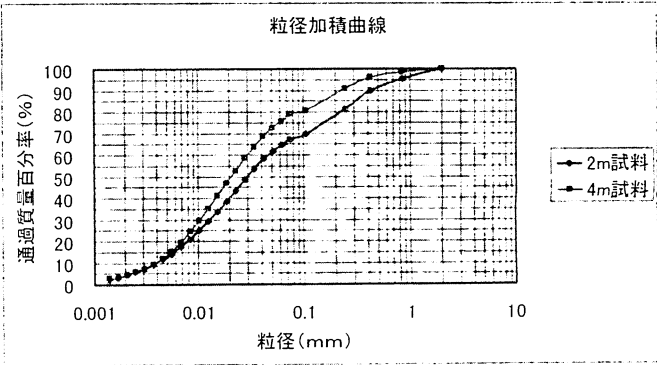


図-6 粒度試験結果による土粒子構成

4. 浸透施設の設計および設置

(1) 浸透施設の設計

a) 浸透施設①

浸透施設①の基本構造は、浸透量を確保するた
めに浸透トレンチと浸透マスを組み合わせて作成
したものである（図-7）。中心間隔 3.93m で内径
30cm の雨水マス 2 個を配置し、幅 50cm 高さ 60cm
延長 4.4m のプラスチック製雨水貯留槽（浸透トレ
ンチ）とこれに接続した内径 15cm 長さ 1m の塩
ビ有孔管（浸透マス）を通して雨水を地中に浸透

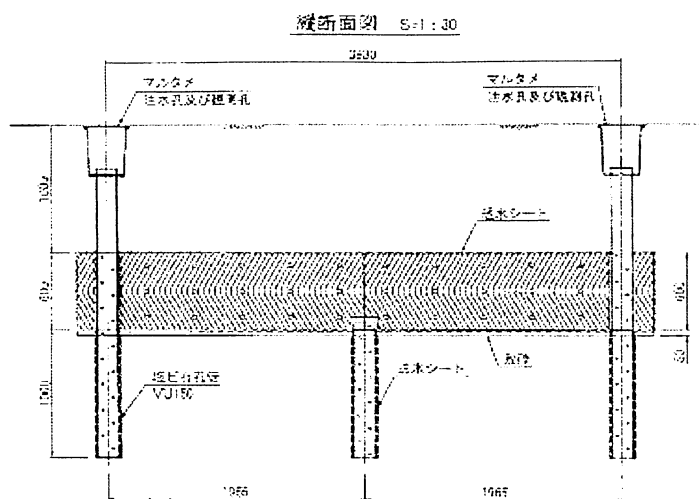


図-7 浸透施設①の基本構造図

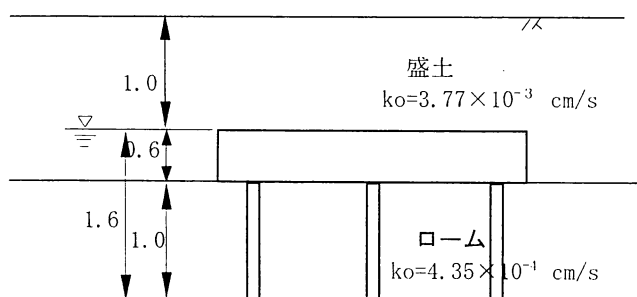


図-8 浸透貯留槽の設置敷高

させるものである。また、図-8に示すように、貯留層を盛土内に設置しているが、浸透マスは直接ローム層に注入するようにしている。

設計浸透量は雨水浸透施設技術指針¹⁶⁾に従って計算した。計算式は表-5に示す通りである。ここで、盛土およびロームの透水係数 k_o はそれぞれ 3.77×10^{-3} cm/s および 4.35×10^{-4} cm/s である。計算結果による本浸透施設の設計浸透量は $2.09\text{m}^3/\text{hr}$ ($50.14\text{m}^3/\text{day}$) である。

b) 浸透施設②

浸透施設②は小学校内のグラウンド近傍に設置されるため、トレンチ設置などの大がかりな工事が行えず、浸透マス形式を採用することにした。また、注水の水源となるグラウンド付近の上水道の蛇口の本数などの注水能力から設計浸透量の目標値を約 $20\text{m}^3/\text{day}$ とした。

図-9に浸透施設の基本構造を示す。図に示すように、浸透施設は3つの浸透孔を有孔塩ビ管で連結し

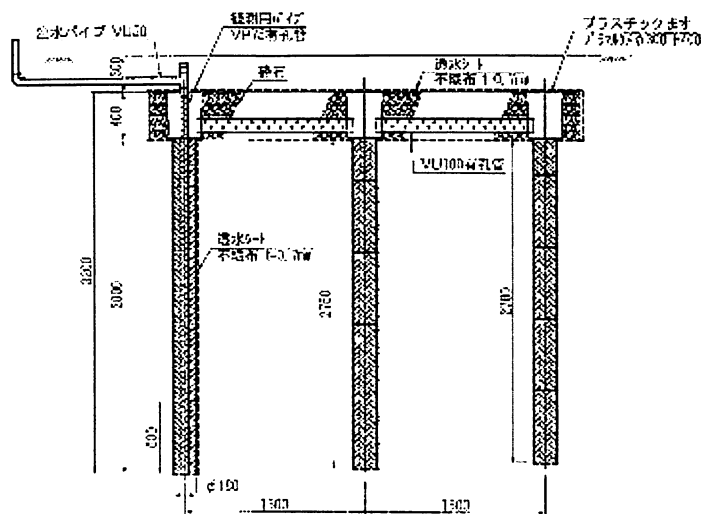


図-9 浸透施設②の基本構造図

たものであり、施設の規模は、幅 35cm 程度、長さ 3m 程度、深さ 3m 程度である。ここでは、浸透施設全体をローム層内に設置している。

設計浸透量は表-5に示した円筒マスの計算式を用いて計算すると $0.77(\text{m}^3/\text{hr})$ あるいは $18.44(\text{m}^3/\text{day})$ である。ここで、水頭 $H=3.0\text{m}$ 、直径 $D=0.2\text{m}$ 、個数 $=3$ 、 $k_o=4.35 \times 10^{-4}$ cm/s である。3つの浸透孔を連結している有孔塩ビパイプも存在するため、本施設の予測される浸透量は目標設計浸透量の 20 (m^3/day) を確保できるものとする。

(2) 設置方法

a) 浸透施設①

小型の機械を用いて貯留槽設置用のトレンチを所定の深度 160cm まで掘削し、その後径 20cm のハンドオーガーで浸透マスの設置孔を 260cm の深度まで掘削した。次に、それぞれの浸透施設を設置し、

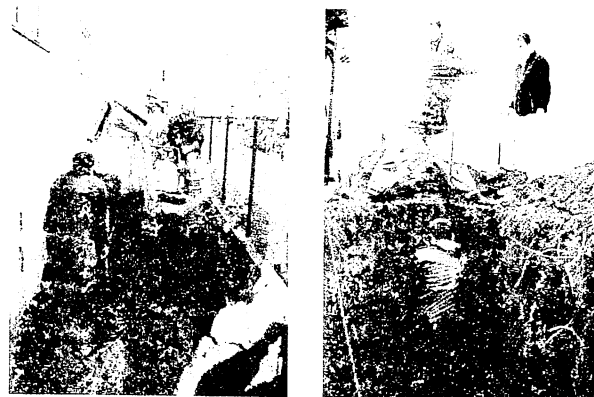


写真-1 浸透施設①の設置作業風景

表-5 設計浸透量の計算方法

施設種類	比浸透量 ($\text{m}^2/\text{m} \cdot \text{m}^2/\text{固}$)	a	b	c	設計浸透量 (m^3/hr)	施設寸法 (m)
貯留槽	$K_f = aH + b$	3.093	$1.34W + 0.677$	—	$Q = K_f \times k_o$	$W=0.5, H=0.6, L=4.4$
円筒マス	$K_f = aH^2 + bH + c$	$0.475D + 0.945$	$6.07D + 1.01$	$2.57D - 0.188$	$Q = K_f \times k_o$	$D=0.2, H=1.0, L=4.4$

貯留槽の左右両側および上に透水性の良い標準砂を敷いた後、掘削土を埋め戻した（写真-1）。

b) 浸透施設②

小型の機械を用いて深さ約 70cm のトレンチを掘削し、その後径 20cm のハンドオーガーを使って深さ 3m の浸透孔を掘削した。浸透孔は 150cm 間隔で計 3 つ掘削した。浸透孔の中に透水シートで巻いたプラスチックハニカムを挿入し、ハニカムの上端にマスを設置した。

その後、3 つの浸透孔を有孔塩ビ管で連結し、マスの上面の高さまで碎石を補充した。碎石を補充した後は、掘削土を埋め戻した（写真-2）。



写真-2 浸透施設②の設置作業風景

5. 観測体制の構築

(1) 観測体制

浸透施設の効果を検討するために注水実験前、実験中、実験後において各種モニタリングを実施した。観測項目および箇所数を表-6 に示し、観測地点位置を図-3 に示す。

表-6 観測体制

No.	観測項目	箇所数	地点名
1	地下水位	6	既存井戸 3、新規観測孔 3
2	湧水量	1	美濃輪湧水
3	土壌水分量	2	SW-1（設置深度 200cm）、SW-2（設置深度 400cm）

(2) 観測方法

a) 地下水位の観測

注入した水が帯水層に到達し、地下水を涵養する過程を検討するため、台地部および低地部の 6 箇所において地下水位の観測を行った（表-7）。観測は浸透施設近傍のみではなく、浸透施設の効果を裏付けるため、浸透施設にて注水時にその影響を受けないと考える場所を選定して台地部と低地部の自然変

表-7 地下水位観測地点

No.	地点名	位置	観測目的
1	W-1	低地部	低地部の地下水位変動の把握
2	W-2	斜面近傍	急傾斜近傍の水位変動の監視
3	W-3	台地部	台地部の地下水位変動の把握
4	BW-1	湧水地点近傍	湧水地点周辺の地下水位変動の把握
5	BW-2	若宮小プール側	浸透施設近傍の地下水位変動の把握
6	BW-3	若宮小グラウンド	浸透施設近傍の地下水位変動の把握

動を観測した。また、浸透施設を設置した小学校の近傍に急傾斜地が存在するが、地下水の流動方向から浸透施設より注入した水が急傾斜地のほうへ流出しないと考えられるものの、念のために急傾斜地の水位変動も合わせて監視することにした。

観測は、観測孔及び既存の井戸に圧力式自記水位計を設置して自動連続観測を行った。測定間隔は 10 分間隔とし、観測したデータはデータ記録装置に保存した。また、定期的に保守点検およびデータ回収を実施した。

b) 湧水量観測

浸透施設による湧水保全効果を検討するため、美濃輪湧水の水量を観測した。当該湧水地点の湧水期の流量は極端に減少することが予測されるため、少量の流量を観測が適する 60° 三角せきを採用した。三角せきを湧水池から越流している直下の水路のところに設置した。

測定間隔は 10 分間隔とし、観測したデータはデータ記録装置に保存した。また、定期的に保守点検およびデータ回収を実施した。

c) 土壌水分量の観測

地下水面より上部の地盤は常時不飽和の状態にあり、そのため浸透施設から浸透した水は不飽和帯へ供給されながら浸透し、最終的には地下水面へ到達する。この過程において不飽和帯へ供給された水の

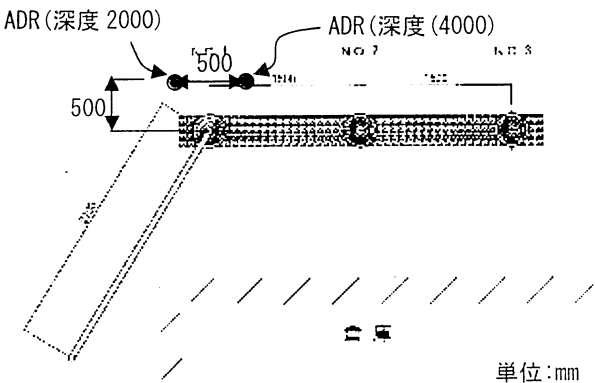


図-10 土壌水分計の設置場所

量を把握するため、ADR 式の土壌水分計を設置して水分量を観測した。設置場所は浸透施設②の直近であり、2 深度（200cm&400cm）において計器を設置した（図-10）。

測定間隔は 10 分間隔とし、観測したデータはデータ記録装置に保存した。また、定期的に保守点検およびデータ回収を実施した。

6. 浸透施設による注水実験

(1) 実験 1-浸透施設①での注水実験

a) 実験概要

浸透施設①で注水を行い、その時の周辺地下水位および湧水量の変動を調べた。浸透施設に注入する水は施設周辺にある若宮小学校の上水道の水を使用した。蛇口 2 本からホースで浸透施設近傍にまで運び、水道メータを通して注水した。注水は 24 時間連続注入をし、日中は 1 時間に 1 回注水量と浸透施設内の水位を計測し、注入した水が確実に貯留されているかを確認し、また、貯留層上面を越えて流出しないように注意した。

注水は延べ 5 日間の連続注入し、注水量は合計で約 142m³であった。この水量は湧水の集水面積で算定すると約 1mm/day の浸透量であり、比較的に小さい浸透量である。しかし、設置可能なスペースおよび水源確保の状況から、浸透量を増加させることは困難であった。

b) 実験結果

地下水位（BW-2）

図-11 に注水実験中の注水量、浸透施設近傍の地下水位変動、湧水量変動を示す。図に示すように注水試験開始以降、浸透施設近傍の地下水位の総上昇量は 8cm である。注水実験初日に 41mm の降雨があったが、図-12 に示すように当該地域における降雨時の地下水位応答性を見ると同程度の降雨があった時の台地部の水位上昇量は 1～2cm 程度であることから、上記注水期間中の水位上昇の内、降雨の影響も一部含まれている可能性は否定できないが、大部分の上昇は注水試験の効果であることが分かる。

湧水量

図-11 中の湧水量の変動を見ると雨や注水とは関係なく日単位で増減していることが分かる。そのため、ここでは注水による湧水効果を見るため、日最低流量点を結んだ点をベースフローと考え、その変化を見ることにした。図に示すように、湧水量は試験初日から低下傾向であるが、試験 4 日目ごろから

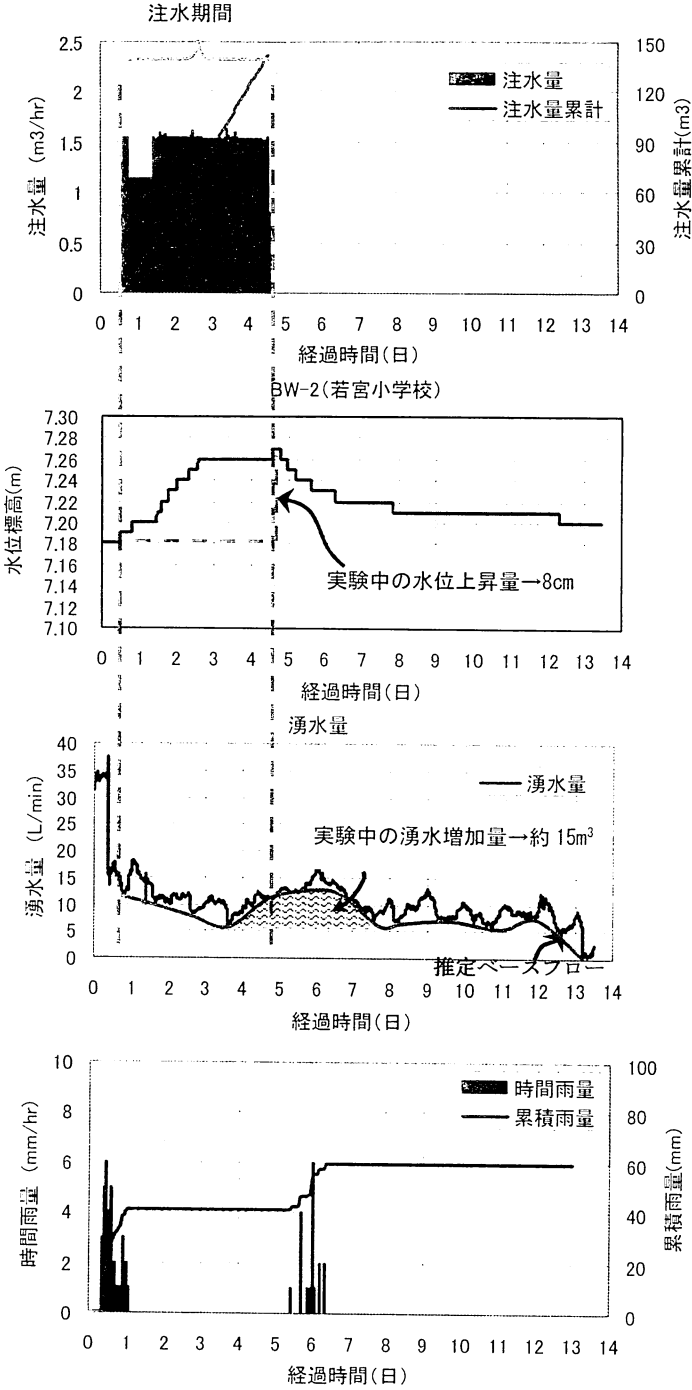


図-11 注水実験結果（実験 1）

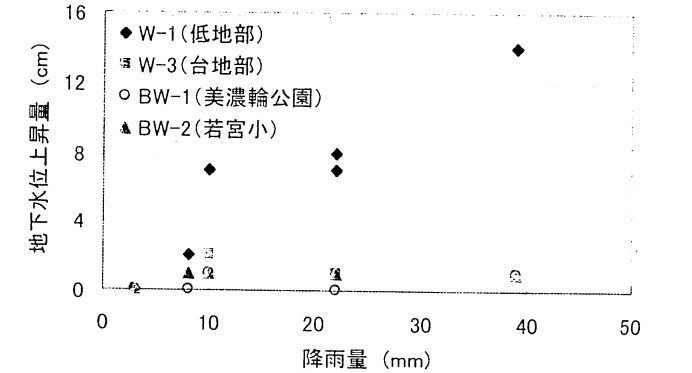


図-12 当該地域における降雨時の地下水位応答性

降雨が無いにも関わらず上昇に転じ、注水停止後 2 日目ごろから再び低下している。この期間中の湧水の増加量は約 15 m³であると推定され、注水量の約 10%に該当する。しかし、この中に経過時間 6 日目に降った雨の影響も大部分含まれていると考えられるが、その分離は困難であり、注水による増加量を定量的に示すことはできなかった。しかし、低下傾向であった湧水が無降雨期間中に上昇傾向に転じた部分もあり、注水による効果もあったと考える。

(2) 実験 2-浸透施設②での注水実験

a) 実験概要

浸透施設②は浸透施設①に比べ、湧水地点から約 2 倍程度離れている（約 350m）場所に位置し、湧水地点から距離が離れた場合に、その効果がどの程度変化するかを調べる事を目的として、注水実験を行った。

注入水は実験 1 同様に若宮小学校の上水道の水を使用し、グラウンド付近にある蛇口 2 本からホースで浸透施設近傍に設置した注水口まで運び、水道メータを通して注水した。注水は 24 時間連続注入をし、実験 1 同様に日中は 1 時間に 1 回注水量と浸透施設内の水位を計測して注入水がグラウンドにあふれ出ないように注意した。

注水日数は注入した水が地下水面へ到達したことを確認できてから 4～5 日間継続して注入することにし、最終的には延べ 8 日間の注入となり、注水量は合計で約 170m³であった。この水量は湧水の集水面積で算定すると約 0.7mm/day の浸透量であり、実験 1 よりも少ない浸透量となった。その理由は 4 (1) で説明したように、浸透施設②の設計浸透量は浸透施設①より少なくなっているためである。

b) 実験結果

地下水位 (BW-3)

図-13 に注水実験中の注水量、浸透施設直近 (BW-3) の地下水位変動および美濃輪湧水地点の湧水量変動を示す。注水実験開始以降の BW-3 地点における水位上昇量は 9cm である。しかし、注水実験開始前日および実験中にそれぞれ 30mm と 37mm の雨が降っており、その影響も 1～2cm 程度あると考えられる。ここでは、結果を示していないが台地部の W-3 の水位を見ると、この期間中の水位上昇は 1cm である。そのため、今回上昇した 9cm の多くは浸透施設の注水効果であると考えられる。

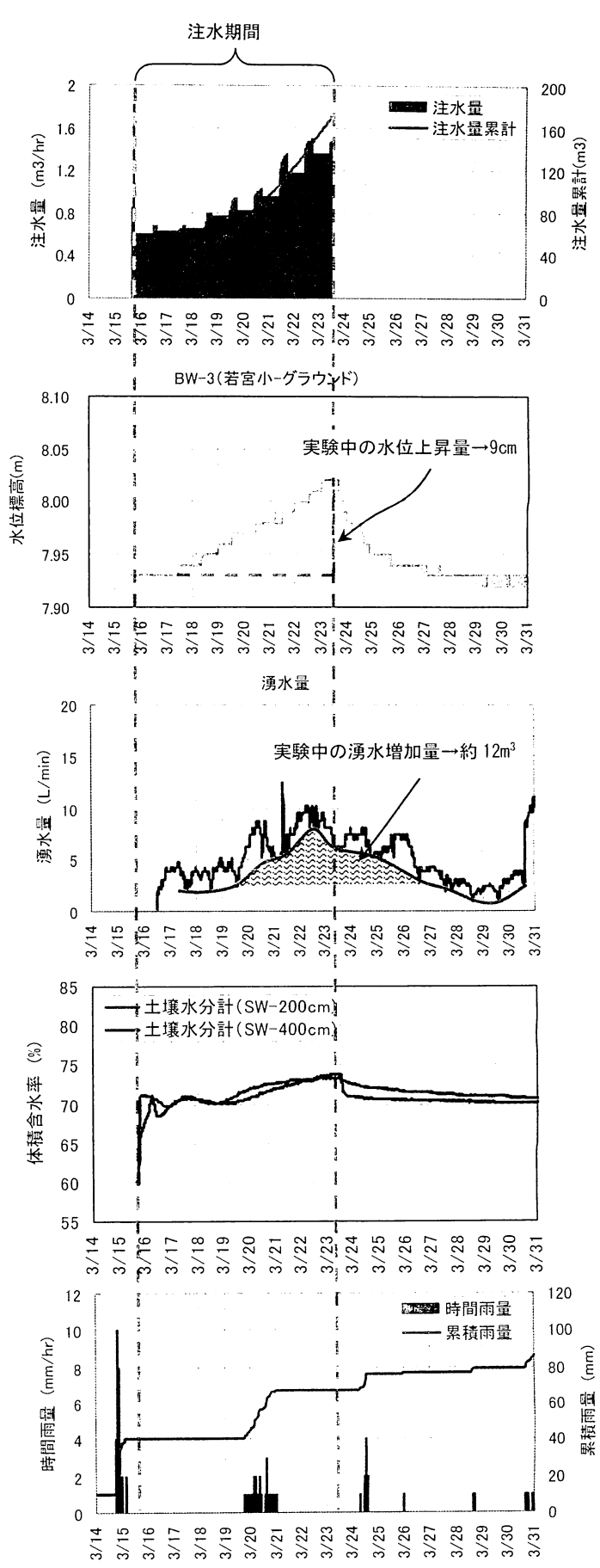


図-13 注水実験結果 (実験 2)

湧水量

図-13 中の湧水のベースフローの変動を見ると、湧水観測地点の三角せき内の水漏れの発生により実験開始 2～3 日前から越流しなくなっていたが、その後水漏れの修理を行ったため実験 2 日目の 16 日から湧水量が測れるようになった。注水開始から 5 日目の正午までは注水による明確な湧水量の増加は見られず、その後降雨があり、降雨の直後から湧水量が増加している。湧水量は 22 日にピークとなり、その後低下し始めた。この期間中の湧水増加量は約 12m^3 であり、注水量の約 7% に該当する。しかし、19 日～20 日にかけての降雨量は 37mm であり、注水による浸透量と比較して非常に多いため、上記湧水増加量の多くは降雨によるものと考えられる。

土壌水分量

図-13 中の土壌水分計の観測結果を見ると注水開始後から早い時間帯で土壌水分量の増加が見られ、注入した水が不飽和帯の水分量を増加させている様子が確認できる。その後 18 日まではそのまま推移し、大幅な上昇が見られないものの、19 日から再び上昇している。本実験では 19 日から注水量を増加させたため、それによる変動であると考えられる。19 日以降の水分量の上昇は実験開始直後と比べると上昇幅は小さいものの、そのまま上昇し続け、23 日にピークを迎えた。その後、実験終了に伴って注水を停止したため水分量も低下しはじめた。

土壌水分量の観測結果に基づき、土壌内に貯留された水量を算定し、帯水層まで浸透した水量すなわち地下水涵養量を以下推定してみた。

上述したように、浸透施設より注入した水の一部は不飽和帯内に一旦保持され、その後保持能力を超えた水がさらに深い箇所まで浸透し、最終的に帯水層へ到達する（図-14）。この不飽和帯に貯留される水量を算定する方法は確定されていないが、著者らは長期間の原位置における土壌水分量の観測結果に基づき、簡易的に算定する方法を提案している¹⁷⁾。算定に用いる式を下記示す。

$$W_{\text{soil}} = \int_0^z (\theta_f - \theta_0) dz \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 W_{soil} ：単位面積当りの不飽和帯に供給される水量、 θ_f ：ピーク時の体積含水率、 θ_0 ：初期の体積含水率、 z ：不飽和帯の層厚

この計算に当り、地表付近において水を浸透させた時の浸潤域の広がり把握が必要あるが、今回はそれを把握するための実験を行っていないため、既往の研究成果に基づいて決定することにした。既

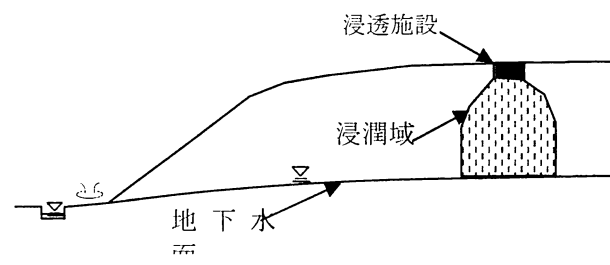


図-14 浸透施設の水による浸潤域と地下水面へ到達する過程

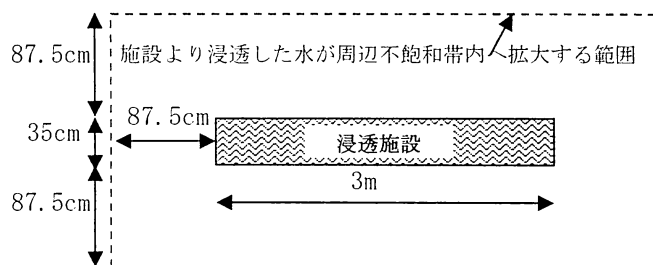


図-15 不飽和帯へ供給される水量の算定範囲

往の研究成果によると、浸透施設より浸透した水による浸潤域は施設幅の 2.5 倍まで広がる¹⁸⁾結果が得られており、本実験でも同じ程度の浸潤域の広がりがあると仮定した。すなわち、不飽和帯へ供給される水量の算定範囲は図-15 のようになる。

また、室内土質試験結果（土粒子の密度、粒度分布および自然含水比）および土壌水分量の観測結果から本実験地の地盤は比較的均一性を有している考え、 θ_f および θ_0 は現在観測を実施している 2 深度（2m および 4m）における観測結果の平均値を用いることにした。その結果、 θ_f および θ_0 はそれぞれ 0.74 と 0.60 であり、注水時の水分上昇量は 0.14 である。また、浸透施設から地下水面までの深さは約 7m であるため、 W_{soil} は下記ようになる。

$$W_{\text{soil}} = 0.14 \times 7 = 0.98\text{m} \quad \text{----- (2)}$$

したがって、図-15 に示す範囲（対象面積約 10m^2 ）の不飽和帯中に保持される水量は約 9.8m^3 となり、注水量（約 170m^3 ）の約 6% に該当する。注水期間中の蒸発散量は非常に少ない量であると仮定すると、残りの 94%（約 160m^3 ）は帯水層まで浸透したと考えられる。

7. あとがき

これまでに明らかになっていない浸透施設による地下水涵養および湧水保全の効果を実証実験により定量的に評価することを試みた。その際に、モデル地域の選定方法、湧水機構を把握した上での浸透施設設置箇所の選定方法、浸透施設の設計のための事前調査、浸透施設の設計および設置方法を示した。

本実験より明らかになったことを要約すると下記の通りである。

- ・ 浸透施設より浸透した水は一部不飽和帯に貯留されながら浸透し、地下水面へ到達した後地下水位が上昇する。
- ・ 地下水位上昇量は雨の影響を除くと、140～170m³の注水量に対して約7～8cmである。しかし、これは浸透施設直近の水位上昇であり、面的な広がりについては本実験結果から明らかに出来なかった。
- ・ 注水期間中の湧水増加量は12～15m³であり、注水量の7～10%に該当する。この中に、一部注水の効果と断定できる部分もあるものの、雨による影響が多く含まれており、湧水効果を定量的に評価できなかった。
- ・ 施設より浸透した水が不飽和帯に貯留される水量は約10m³であり注水量の約6%である。それ以外の注入水は帯水層まで浸透したと考えられる。しかし、この計算では、注水時の浸潤域の広がりについては既往研究成果に基づいているものであり、現地の土質および地盤条件によって多少前後することも考えられる。

最後に、本実証実験により一部の湧水保全効果の評価に課題を残したものの、雨水浸透施設の地下水涵養効果を定量的に評価できた。今後は周辺建物の屋根に降った雨水を浸透施設内に直接流れるようにし、自然降雨時の浸透施設の効果をさらに検討する。また、上記実証実験を再現可能な有限要素法による3次元飽和・不飽和浸透流解析モデルを構築して地質条件や浸透施設を設置する場所の地形条件、施設の配置方法（集中型・分散型）などが異なった時の浸透施設の効果の違いを検討していく予定である。

謝辞：雨水貯留浸透施設の設置の際にご協力頂いた市川市水と緑の部、市川市立若宮小学校の関係者各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 緒方 和之：都市型水害対策における雨水貯留浸透施設の役割と課題、最新雨水貯留・浸透施設要覧、財団法人経済調査会、pp.6-10、2004。
- 2) 東京都雨水浸透指針：
http://www.reiki.metro.tokyo.jp/reiki_honbun/g1011365001.html
- 3) 秦野市：秦野市地下水総合保全管理計画～天然の水がめを守り育む名水の里～、秦野市環境農政部環境保全課、2003。
- 4) 東京地下水研究会 編：水循環における地下水・湧

水の保全、信山社サイテック、2003。

- 5) 坂本 洋二：小金井市における湧水保全への取り組み、水循環 貯留と浸透、Vol.60、pp.30-35、2005。
- 6) 北村 和之：「雨水貯留浸透に係わる事業への取り組み」秦野市の地下水保全事業について、水循環 貯留と浸透、Vol.68、pp.41-45、2008。
- 7) 橋本 千代司、屋井 裕幸：昭島つつじが丘ハイツにおける事例（1）－観測値に基づく考察－、水循環 貯留と浸透、Vol.46、pp.10-26、2002。
- 8) 西村 慎司、鎌田 克郎：八王子みなみ野シティ水循環システムについて、雨水技術資料、Vol.30、pp.57-68、1998。
- 9) 井上 正之、和泉清：流域貯留浸透施設の地下水涵養効果、土木学会第46回年次学術講演会、II-60、pp.160-161、1991。
- 10) 高瀬 安利、松尾 哲：黒ぼく地盤での雨水浸透施設による雨水涵養の測定、土木学会第54回年次学術講演会、II-348、pp.698-699、1999。
- 11) 山濱 裕、楠田 隆、風岡 修、香村 一夫、楡井 久、澤地 義雄、泉水 菊夫：下総台地での雨水浸透柵による地下水涵養実験について、Proc. of the 12th Sym. on Geo-Environments and Geo-technics、pp.179-184、2002。
- 12) Yangwen JIA, Guangheng NI, 河原能久、末次忠司：都市河川流域の水循環解析と雨水浸透施設の効果の評価、土木学会水工学論文集、Vol.44、pp.151-156、2000。
- 13) 安藤義久、天口英雄、宮端伸治：浸透施設による湧水保全の効果、水循環 貯留と浸透、Vol.47、pp.12-17、2003。
- 14) Agus SUHARYANTO, Satoru SUGIO, Chikashi DEGUCHI, Masato KUNITAKE: Simulation of flood control by rainwater storage facilities in urbanized watershed, Journal of Hydraulic, Costal Environmental Engineering, JSCE, No572/II-40, pp.95-104, 1997。
- 15) 安藤義久、鍋山隆：各戸における雨水浸透柵による地下浸透効果に関する水文統計的考察、土木学会水工学論文集、Vol.34、pp.25-30、1990。
- 16) 社団法人 雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針（案）調査・計画編、pp.27～55、2006。
- 17) THI HA、土田 孝、加納 誠二：原位置観測による森林斜面における雨水浸透・流出メカニズムおよび森林土壌の保水機能の評価、河川技術論文集、Vol.14、pp.199-204、2008。
- 18) 中島伸一郎、堤祥一、大下武志：道路用浸透トレンチの雨水流出抑制性能、土木技術資料、Vol.47、No.12、pp.60-65、2005。