

◆ 報 文 ◆

# 道路用浸透トレンチの雨水流出抑制性能

中島伸一郎\* 堤 祥一\*\* 大下武志\*\*\*

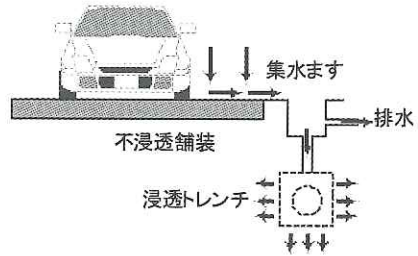
## 1. はじめに

近年頻発する都市水害の防止を目的として、2003年6月に「特定都市河川浸水被害対策法」が成立した。本法律の定める制度のうち、道路建設と深いかわりをもつのが「雨水浸透阻害行為の規制」すなわち、土地からの流出雨水量を増加させるおそれのある行為に対する雨水貯留浸透施設設置の義務づけである。この制度により、特定都市河川流域において一定規模以上の道路・街路を新設する場合には、雨水貯留浸透施設を設置することにより道路部分の降雨が都市河川の雨水処理に負担を与えないことを事前に証明することが必要となった。

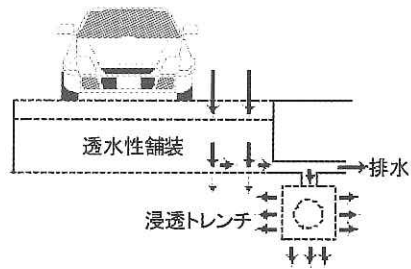
この対応としては、まず、道路敷地外に調整池などの雨水貯留浸透施設を設置し、路面排水を導水して貯留・浸透を図ることが考えられる。しかし、建設コストや設置スペースの確保を考えた場合に、大規模な施設を敷地外に設置することが困難な場合も当然想定される。

このため、道路敷地内での対応策として、透水性舗装や浸透トレンチなどを車道に導入し、雨水を一時的に貯留または浸透させる技術が必要となる(図-1)。しかし、従来、道路土工や舗装の分野では、降雨はできるだけ速やかに流末に排水することを第一としてきたことから、このような地下浸透・貯留技術については実施例がきわめて少ない。そのため、実用化にあたっては、透水性舗装および浸透・貯留施設の流出抑制性能の把握、浸透水が舗装・周辺構造物の耐久性や地盤・地下水環境に及ぼす影響の解明、維持管理技術の確立などの課題を解決する必要がある。

本研究では、特定都市河川浸水被害対策法に対応した道路路面雨水処理技術として、主に浸透トレンチに着目した検討を行ってきた。本報文では、浸透トレンチの基本的な流出抑制性能を明らかにすることを目的として行った実験および試算結果について報告する。



(a) 浸透トレンチによる単独処理



(b) 透水性舗装と浸透トレンチの組合せ

図-1 透水性舗装や浸透トレンチによる道路路面雨水処理の構造例模式図

## 2. 浸透トレンチの浸透能力および浸透の影響範囲に関する実験

### 2.1 実験の目的

浸透トレンチの浸透能力は、トレンチを設置する地盤の土質(透水係数)と地下水位に大きく影響されると言われている。そこで、これらの要因がトレンチの浸透能力に及ぼす影響の把握を目的として、浸透トレンチを有する模擬地盤を室内において作成し、注水実験を行なった。

浸透量の測定結果については、既存のトレンチ設計式による計算値と比較し、式の妥当性を検証した。また、注水中の地盤内の飽和度分布を測定し、浸透水の影響範囲について検討を行った。

### 2.2 浸透トレンチ注水実験の概要

図-2に示すように、地下水位の制御が可能なコンクリートピット(4m×8m×深さ4m)にお

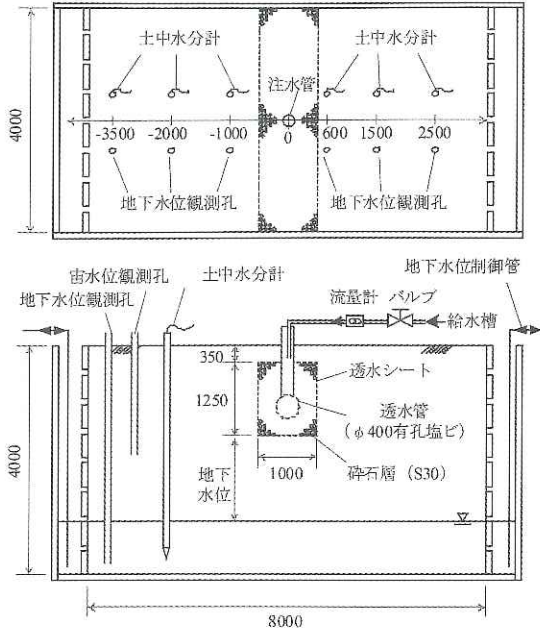


図-2 模擬地盤断面構成 (単位: mm)

表-1 実験条件

土槽条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ H4.0m × W8.0m × L4.0m</li> <li>・ 境界条件 側面排水、奥行き方向非排水</li> </ul>
トレンチ条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ H1.25m × W1.0m × L4.0m</li> <li>・ 透水管径φ400mm</li> <li>・ 砕石層単粒度4号 (S-30)</li> </ul>
地盤材料および飽和透水係数 (室内透水試験による)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 川砂 <math>k = 4.9 \times 10^{-3} \text{cm/sec}</math></li> <li>・ 山砂 <math>k = 2.2 \times 10^{-3} \text{cm/sec}</math></li> <li>・ マサ土 <math>k = 2.9 \times 10^{-2} \text{cm/sec}</math></li> </ul>
地下水位条件 (トレンチ底面から地下水位までの距離)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2.5m (深い地下水位)</li> <li>・ 0.4m (浅い地下水位)</li> </ul>
注水方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定水位注水 トレンチ内水位 1.25, 0.75, 0.25m</li> <li>・ 定流量注水 川砂: 120L/min 山砂: 80L/min マサ土: 100L/min</li> </ul>

いて模擬地盤を作成し、その中心線上に実物大の浸透トレンチ (深さ1.25m × 幅1.00m × 長さ4.00m) を設置した。

実験条件を表-1に示す。実験パラメータは、地盤の透水係数と地下水位である。地盤材料には、川砂、山砂、マサ土の3種類を用いた。地下水位については、一般的に、トレンチ底面から地下水位までの距離が0.5m以上あれば浸透が期待できるといわれる<sup>1)</sup>。そこで、0.5mよりも浅い地下水位 (0.4m) も設定することで、地下水位の影響が明

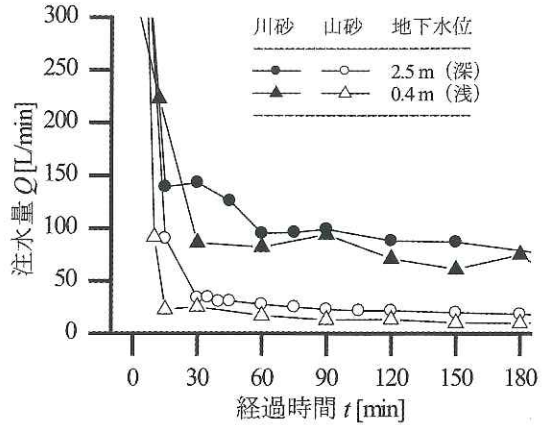


図-3 定水位注水実験による注水量の経時変化

表-2 定水位注水実験による終期浸透量の結果

地盤材料	地下水位	トレンチ内		終期浸透量 $q_f$ [ $\text{m}^3/\text{hr}/\text{m}$ ]
		水位 [m]		
川砂	2.5m (深)	1.25m	1.000	
		0.75m	0.613	
	0.4m (浅)	1.25m	0.763	
		0.75m	0.450	
山砂	2.5m (深)	1.25m	0.420	
		0.75m	0.296	
	0.4m (浅)	1.25m	0.291	
		0.75m	0.167	
マサ土	2.5m (深)	1.25m	1.065	
		0.75m	0.615	
	0.4m (浅)	1.25m	0.270	
		0.75m	0.885	
		0.465		
		0.150		

確に現れることを期待した。

注水方式については、定水位注水と定流量注水の2種類を実施した。定水位注水とは、トレンチ内水位を一定に保つように注水量を制御する方式である。この場合、注水量 = トレンチ浸透量となる。

計測項目は、注水量、トレンチ内水位、地下水位分布、宙水位分布、地盤内飽和度分布である。

### 2.3 実験結果および考察

#### 2.3.1 定水位注水実験結果

定水位注水実験による注水量  $Q$  (= 浸透量) の経時変化の例を図-3に示す。図に示されるように、注水初期には地盤が乾燥しているために浸透量は多いが、地盤の飽和度が高まるにつれ浸透量



は減少し、いずれは定常状態に収束する。この収束値を終期浸透量という。定水位注水実験による終期浸透量の結果を表-2にまとめる。表において、終期浸透量はトレンチ長さ1mあたりの浸透量  $q_f$  [m<sup>3</sup>/hr/m] として表示する。

2.3.2 比浸透量に関する実験結果と計算値との比較  
 雨水浸透施設技術指針 [案] <sup>1)</sup> によれば、浸透施設の終期浸透量は次式で表される。

$$q_f = k \cdot K \quad (1)$$

ここに、 $q_f$ : 終期浸透量 [m<sup>3</sup>/hr/m]、 $k$ : 透水係数 [m/hr]、 $K$ : 比浸透量 [m<sup>2</sup>]

比浸透量  $K$  とは、施設の形状と湛水深に依存する係数で浸透トレンチの場合は次式で表される<sup>1)</sup>。

$$K = 3.093H + 1.34W + 0.677 \quad (2)$$

ここに、 $H$ : 湛水深 [m]、 $W$ : トレンチ幅 [m]

上式による浸透量算定の妥当性を検証するため、試験条件であるトレンチ内水位とトレンチ幅を式(2)に代入して求めた比浸透量  $K$  と、実験結果の終期浸透量から逆算した比浸透量  $K'$  とを比較した。逆算には式(1)を変形した次式を用いた。

$$K' = q_f / k \quad (3)$$

なお、 $K'$  の算出では表-1の室内透水試験による飽和透水係数を用いた。また、式(2)は、地下水位が深い場合を想定した式であることから、地下水位が深い実験ケースについてのみ検討した。比浸透量の比較結果を図-4に示す。図より、川砂と山砂については、 $K$  と  $K'$  がほぼ一致した。すなわち、式(1)、(2)は実験結果の終期浸透量を精度良く表現していることを意味する。

一方、マサ土については、 $K'/K$  が1/6程度であり、実験による終期浸透量は計算値よりも大幅に少ない結果となった。この理由としては、マサ土では、実験地盤内の透水性が室内透水試験での透水係数よりも低かったためであると推測される。

マサ土は、動水勾配の増減により透水係数が変化することが知られており、透水係数が1/10以下にまで低下した事例が報告されている<sup>2)</sup>。これを考慮すると、本実験では、定水位注水実験の前に定流量注水実験を実施しており、その中でトレンチ満水⇄空(動水勾配の増減)を3回以上繰返したことから、その過程で実験地盤の透水係数が低下したものと推測される。

### 2.3.3 地下水位がトレンチ浸透量に及ぼす影響

図-5は地下水位が深い場合と浅い場合の終期浸透量を比較したものである。図より地下水位が

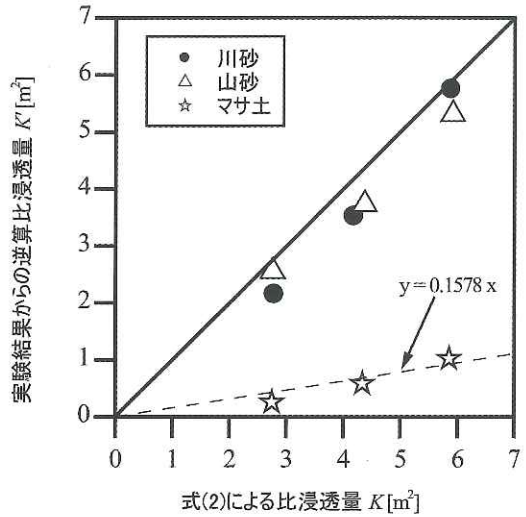


図-4 比浸透量に関する比較結果

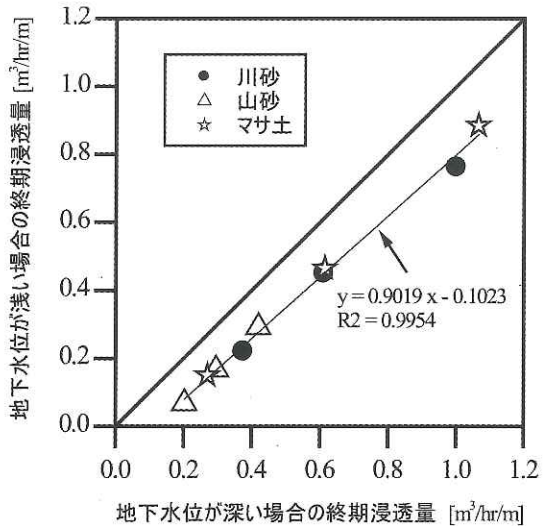


図-5 地下水位による終期浸透量の差

浅い場合は、深い場合と比べて終期浸透量が低下することが確認できる。

現在のところ、地下水位が浸透量に及ぼす影響を定量的に評価した設計式は提案されていないが、図-5より地下水位が浅い場合と深い場合の浸透量の関係は土質によらずほぼ一直線上に乗っていることから、地下水位の影響を定量的に評価できる可能性が高い。この点については今後の課題である。

### 2.3.4 浸透水の影響範囲

誘電率式土中水分計による地盤内飽和度の測定結果を図-6に示す。この土中水分計は、地盤中

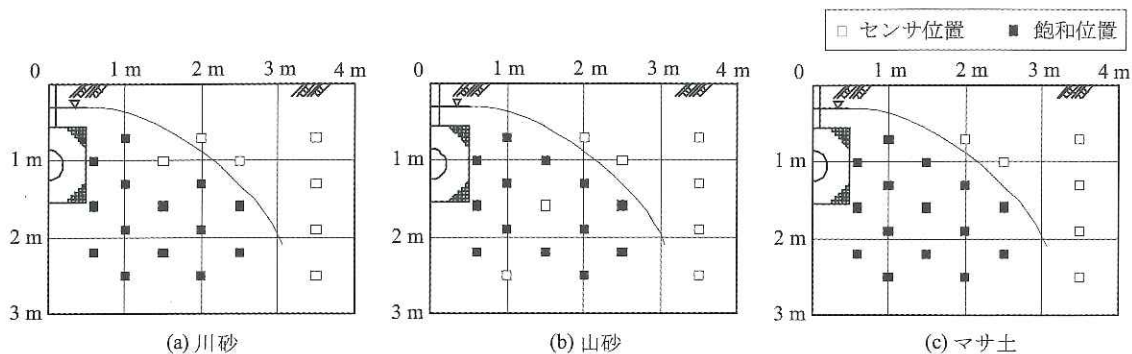
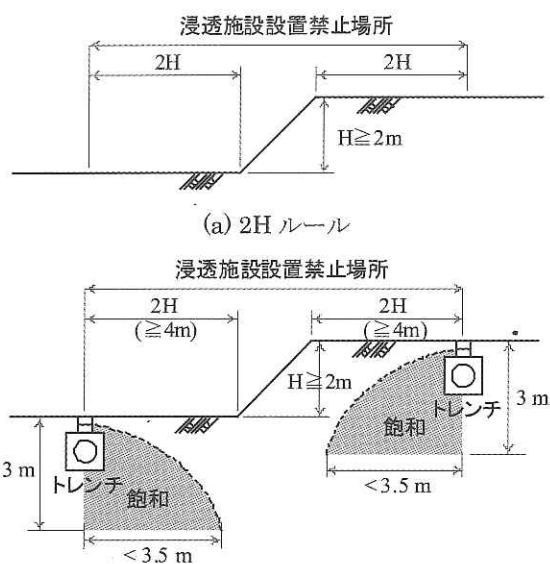


図-6 地盤内飽和度分布 (トレンチ満水状態で5時間維持)



(b) 実験結果による飽和領域の当てはめ

図-7 2Hルールと実験による飽和領域

では乾燥・湿潤状態に応じて0.4～0.9程度で変化する。準備実験において、地盤を完全に浸水させた際の計測値を測定したところ、いずれの土質においても0.85以上の計測値を示すことを確認した。そこで、実験中、計測値が0.85を超えたセンサ位置では、地盤が完全に浸水したものと判断した。

図-6は、トレンチ水位を1.25mのまま5時間維持した後の分布図であり、□印がセンサの位置を、■印はそのセンサ位置の計測値が0.85を超え、完全に浸水したことを示している。図より、長時間経過後の飽和領域は、土質によらずほぼ一定であることが確認できる。

一般に、のり面近傍に浸透施設を設置すると、

浸透水によってのり面の安定が損なわれるおそれがあることから、図-7 (a) に示すように、のり尻・のり肩からそれぞれ2H (H: のり面高さ、 $H \geq 2\text{m}$ 以上) の距離は浸透施設の設置禁止場所の目安とされている<sup>1)</sup> (2Hルール)。図-7 (a) に図-6の飽和領域を当てはめたのが図-7 (b) であるが、この図から、のり面から2H離して浸透施設を設置すれば、飽和領域がのり面内部には及ばないこととなり、2Hルールが妥当なものであることが確認できる。ただし、本実験は、あくまでも均質な盛土地盤で行われたものであり、実際の地盤には、互層や不連続面の存在によって透水性の高い層が存在することが想定されることから、浸透状況は本実験のように単純ではないことに注意が必要である。

#### 2.4 浸透トレンチ注水実験に関するまとめ

- (1) 雨水浸透施設技術指針 [案] によるトレンチの浸透量算定式は山砂および川砂の定水位注水実験の結果を精度よく表現しており設計式の妥当性が実証された。
- (2) 一方、マサ土については、設計式による計算値と実験結果が6倍程度も異なったが、これは、実験中の動水勾配の増減によるマサ土の透水係数の低下によるものであると推測される。
- (3) 浸透施設の設計の際には設計入力値として透水係数が必要となるが、マサ土のような土の場合、一般的な室内定水位透水試験による透水係数を用いて設計すると、供用後の浸透施設内の動水勾配の増減によって透水係数が低下し、設計上期待した浸透性能が得られない可能性がある。したがって、動水勾配を変えて透水試験を実施することにより、低下後の透水係数を求めて設計に用いる必要があると



いえる。

- (4) 地盤内飽和度分布についての測定結果より、雨水浸透による地盤の飽和領域（定常状態）は、土質によらずほぼ一定となることを確認した。

### 3. 浸透トレンチの雨水流出抑制性能に関する試算

#### 3.1 試算の目的

特定都市河川浸水被害対策法では、雨水浸透阻害行為の対策工に関する技術的基準として、「10年確率降雨が発生した場合においても、行為区域からの流出雨水量の最大値が行為前後で増加しないこと」と定めている。流出雨水量抑制のイメージを図-8に示す。

そこで、標準的な集水条件、降雨条件、トレンチ断面、地盤条件のもとで、浸透トレンチの流出計算を実施し、浸透トレンチが有する雨水流出抑制性能の把握を行うこととした。

#### 3.2 計算条件

集水幅10mの車道に、断面寸法1.0×1.0mの浸透トレンチを道路全長にわたって設置する場合を想定した。雨水処理は浸透トレンチ単独で行うものとし、透水性舗装等の他の貯留浸透施設との組合せは考慮しない。また、計算の簡単のため、車道部の流出係数は1.0として計算している。地盤の飽和透水係数は $k = 10^{-2} \sim 10^{-5} \text{cm/sec}$ の範囲を想定した。降雨波形については、横浜における10年確率の24時間中央集中型降雨（ピーク：116mm/hr）を用いた。

浸透能力の計算式としては、前述の浸透トレンチ注水実験によって妥当性が確認された雨水浸透施設技術指針〔案〕の浸透量算定式（式（1）、

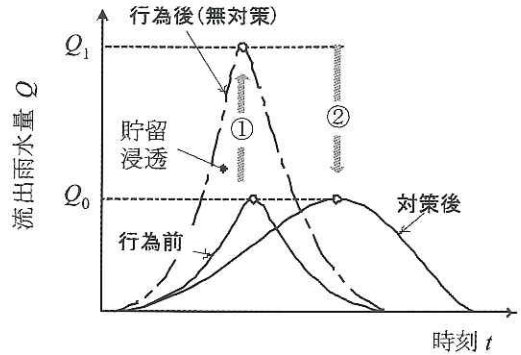


図-8 特定都市河川浸水被害対策法に対応した流出雨水量抑制のイメージ（①雨水浸透阻害行為により流出雨水量が増大、②雨水貯留浸透施設により行為前の流出雨水量の最大値まで抑制）

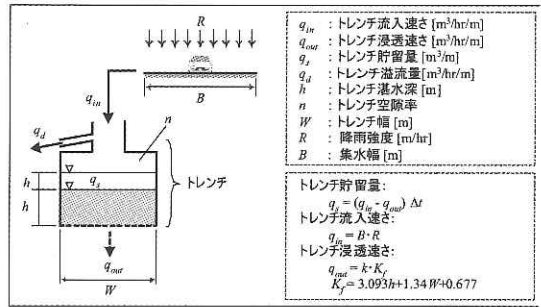


図-9 計算モデル

(2)を用いた。計算モデルを図-9に示す。

#### 3.3 計算結果

種々の透水係数の地盤に対して行った流出計算結果の例を図-10に示す。図中の各ラインは、浸透トレンチが貯留あるいは浸透処理できずに溢れる量（mm/hr換算）であり、下水あるいは河川に放流される流出雨水量である。

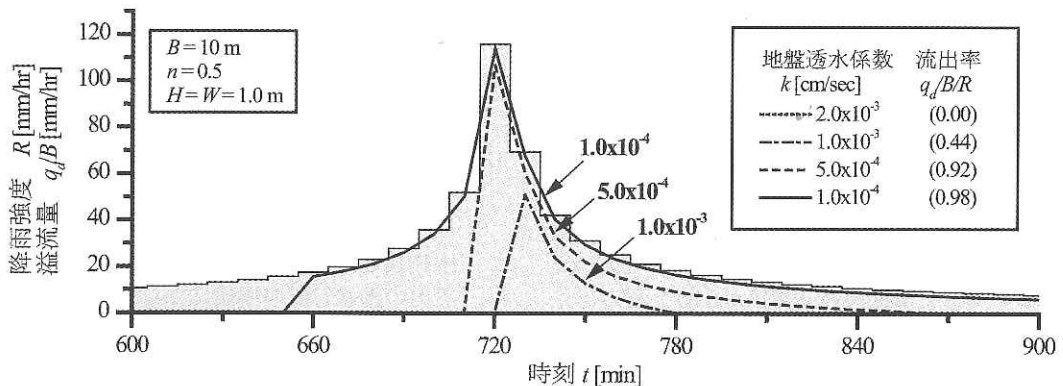


図-10 種々の地盤透水係数に対する浸透トレンチの流出計算  
( $k = 2.0 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ のケースは流出量ゼロ)

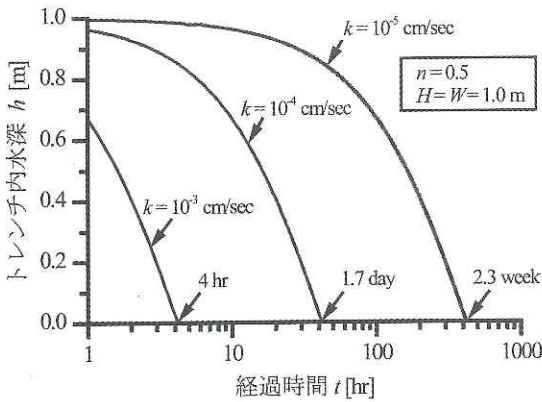


図-11 満水後のトレンチ内水深  $h$  の経時変化

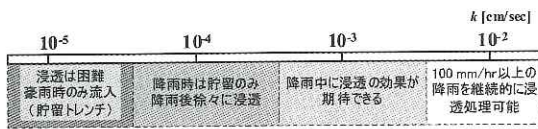


図-12 地盤の透水係数と浸透トレンチの雨水流出抑制性能の関係

図より地盤の透水係数が  $k = 2.0 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$  の場合には、浸透トレンチは、全ての降雨を貯留・浸透処理できるが、 $k = 1.0 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$  になると、ピーク時には半分程度が流出する。また、透水係数が  $10^{-4} \text{ cm/sec}$  以下になると、浸透能力が低いためにピークカットが困難であることがわかる。

図-11は、いったん満水になったトレンチ (1.0m × 1.0m) が空になるまでの、トレンチ内水位  $h$  変化に関する計算結果である。図より、地盤の透水係数が  $k = 10^{-5} \text{ cm/sec}$  の場合、トレンチが空になるのには2週間以上を要し、事前降雨があった場合には10年確率降雨に対して十分な性能を発揮できないことがわかる。したがって、このような場合には通常の降雨は浸透トレンチに流入させないような構造が必要である。

### 3.4 浸透トレンチの雨水流出抑制性能に関する試算結果のまとめ

試算結果に基づいて、地盤の透水係数と浸透トレンチの雨水流出抑制性能の関係をまとめたのが図-12である。

- (1) 透水係数が  $10^{-3} \text{ cm/sec}$  オーダーよりも高ければ、降雨中に浸透トレンチの浸透による効果が期待できる
- (2) しかし、透水係数が  $10^{-4} \text{ cm/sec}$  のオーダーになると、降雨中はトレンチの浸透機能はほとんど期待できず、貯留機能のみに頼ることになる。トレンチに貯留した雨水は、降雨後に地盤に徐々に浸透処理させることになる。
- (3) さらに、透水係数が  $10^{-5} \text{ cm/sec}$  のオーダーになると、トレンチの浸透機能は全く期待できない。そのため、豪雨時のみ流入させるような貯留トレンチとしての設計が必要となる。

### 4. おわりに

本論文では、浸透トレンチの基本的な雨水流出抑制性能について実験および計算を行った結果を報告した。今後は、浸透水が舗装や周辺構造物の耐久性に与える影響、維持管理技術等の課題についても検討を行っていくことが必要である。

#### 参考文献

- 1) (社) 雨水貯留浸透技術協会編：雨水浸透施設技術指針 [案] 調査・計画編, 1995.
- 2) 青山ら：乱さないマサ土の透水特性、第13回土質工学会研究発表会講演集, pp.157-160, 1978.

中島伸一郎\*



独立行政法人土木研究所技術推進本部施工技術チーム研究員、工博  
Dr. Shinichiro NAKASHIMA

堤 祥一\*\*



独立行政法人土木研究所技術推進本部施工技術チーム研究補助員  
Shoichi TSUTSUMI

大下武志\*\*\*



独立行政法人土木研究所技術推進本部施工技術チーム首席研究員  
Takeshi OSHITA