

道路路面雨水の地下浸透技術実用化に関する研究②

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 16～平 20

担当チーム：施工技術チーム

研究担当者：小橋 秀俊，堤 祥一，徐 永強

【要旨】

「特定都市河川浸水被害対策法」が平成 15 年 6 月に成立され、同法で指定された流域における一定規模の「雨水浸透阻害行為」に該当する開発行為については、開発前と比較した開発後のピーク流出雨水量の増量をゼロにする必要がある。よって、指定流域の道路・街路新設事業において透水性舗装や浸透・貯留施設の設置による雨水流出抑制対策が求められる。このため、道路に浸透・貯留施設を設置する際の、浸透施設の構造、浸透水の影響範囲、浸透能力、維持管理などについて研究を行い、浸透・貯留施設の構造を提案するとともに、道路に設置する際の浸透水影響範囲、浸透能力を明らかにし、維持管理のための浸透施設の目詰まり状況を確認した。

キーワード：道路路面雨水 浸透トレンチ 浸透性能 目詰まり

1. はじめに

近年頻発する都市水害の防止を目的として、平成 15 年 6 月に「特定都市河川浸水被害対策法」が成立した¹⁾。本法律の定める制度のうち、道路建設と深いかわりを持つのが「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よう雨水貯留浸透施設の設置を義務付けられている。

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の車道に導入し、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 1.1）。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、維持管理時術の確立などの課題を解決する

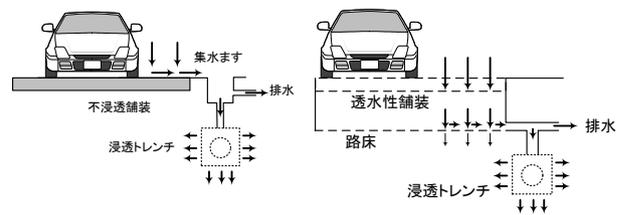


図 1.1 道路雨水処理のイメージ

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、浸透水の影響範囲と周辺構造物に対する影響^{2), 3), 4)}、浸透能力の経年変化^{5), 6), 7), 8)}、維持管理のための目詰まり^{9), 10)}について、室内実験並びに、現場に試験施工した浸透トレンチに対する注水実験、調査などによって検討を行う。

2. 浸透範囲及び周辺構造物に与える影響

車道付近での雨水浸透は、舗装の耐久性や土構造物の安定性に悪影響を及ぼす可能性があることから、浸透領域および浸透の力学的影響を定量的に評価する必要がある。

浸透施設からの雨水の浸透領域と、浸透時の路床支持力の変化を把握するために、室内模擬地盤での浸透トレンチ注水実験および浸水した模擬地盤での小型 FWD 試験を実施した。

2.1 浸透トレンチの注水実験

図 2.1 に示すように、側面に給排水設備を有する室内ピットに模擬地盤を作成し、その中心線上に実

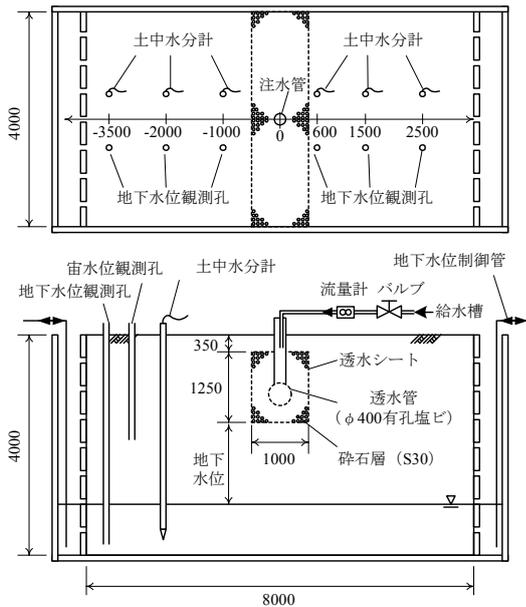


図 2.1 模擬地盤断面構成 (単位 : mm)

物大の浸透トレンチを設置した。地盤材料には、川砂、山砂、マサ土の3種類の土質を用いた。模擬地盤およびトレンチの諸元を表 2.1 に示す。

表 2.1 模擬地盤とトレンチの諸元

トレンチ	<ul style="list-style-type: none"> ・ H 1.25 m × W 1.0 m × L 4.0 m ・ 透水管 φ 400 mm 有孔塩ビ ・ 砕石層 単粒度 4 号 (S-30)
地盤材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 川 砂 $k = 4.9 \times 10^{-5}$ m/sec ・ 山 砂 $k = 2.2 \times 10^{-5}$ m/sec ・ マサ土 $k = 2.9 \times 10^{-4}$ m/sec

地盤内の飽和度分布を測定するため、土中水分計 (誘電率式) を 21 地点に埋設した。この土中水分計は、地盤内では乾燥・湿潤状態に応じて 0.4~0.9 程度で変化する。

注水は、トレンチ中央に設置した注水管から行った。まず一定流量で注水を開始し、トレンチ内水位が所定の値 (1.25 m) に達した後は水位が一定に保たれるように注水量を制御した。注水時間については、トレンチの浸透量 (=注水量) が一定に落ち着き、かつ、各土中水分計の値が落ち着いたのを確認して注水終了とした。

土中水分計による地盤内飽和度の測定結果を図 2.2 に示す。

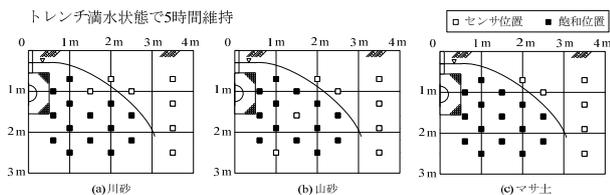


図 2.2 地盤内飽和度分布

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 2.3 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, $H \geq 2$ 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¹⁾ (通称 $2H$ ルール)。図 2.3 には、本実験での飽和領域 (図 2.2) も同時に示しているが、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、均質な盛土地盤で行われたものであり、実際の地盤では、材料の不均質性や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。

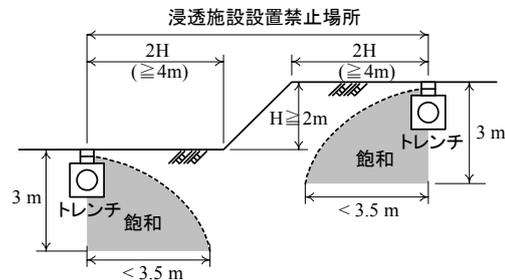


図 2.3 $2H$ ルールと本実験による飽和領域

2. 2 模擬地盤における小型 FWD 試験

図 2.4 に示す模擬地盤において、地盤の浸水状況を変えながら地表面で小型 FWD 試験を実施した。浸水状況の変化は、模擬地盤内の地下水位を GL-0.2 m ~ -3.0 m の範囲で変化させることで表現した。小型 FWD 試験は φ 300 mm の載荷板を使用し、重錘重量 3 種類 (5, 15, 25 kg)、落下高さ 2 種類 (200, 400 mm) で試験を実施した。地盤内には土中水分計を埋設し飽和度分布を計測した。

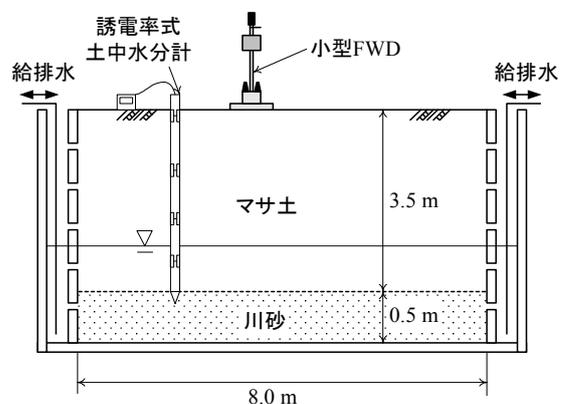


図 2.4 模擬地盤の断面構成

小型FWD試験結果から地盤剛性 K_{30} [MN/m³]を算定した。図2.5は、地下水位と K_{30} の関係を示す。図より、いずれの土質においても、地下水位が浅く地表付近がほぼ飽和状態にある場合には、地盤剛性が低下することが確認できる。表2.2は、模擬地盤施工直後の地盤剛性と、地下水位GL-0.2 m時の地盤剛性をまとめたものであるが、表より、浸水による地盤剛性の低下割合は、川砂・マサ土で約75%、山砂では50%程度であることがわかる。

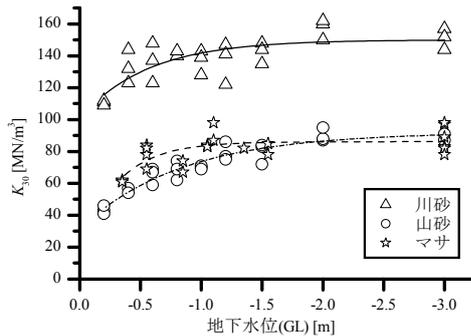


図 2.5 地下水位と K_{30} との関係

表 2.2 地盤剛性の比較

土質	K_{30} [MN/m ³]	
	施工直後	水位 GL-0.2 m
川砂	149.8	115.5
山砂	90.3	44.4
マサ土	86.1	63.8

3. 浸透トレンチの浸透能力に関する検討

3.1 終期浸透量

浸透トレンチの水位を一定にした状態で、長時間注水を行うことで、周辺の浸透域が定常状態に達し、注水量が収束する傾向にある。この収束値を終期浸透能と呼ぶ。雨水浸透施設技術指針[案]¹¹⁾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 は終期浸透量 (m³/hr/m)、 k は透水係数 (m/hr)、 K は比浸透量 (m²)で、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¹¹⁾。

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

ここに、 H はトレンチ湛水深 (m)、 W はトレンチ幅 (m)である。

3.2 模擬地盤における浸透トレンチの終期浸透能

3.2.1 地盤土質による検討

浸透範囲に関する実験(図2.1)と同種の模擬地盤において、トレンチの注水実験を行った。境界条件は、側面排水(地下水位固定)、奥行き非排水である。実験パラメータは、地盤の透水係数と地下水位である。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0.5 m以上あれば浸透が期待できるといわれる¹¹⁾。そこで、0.5 mよりも浅い地下水位(0.4 m)も設定することで、地下水位の影響が明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(トレンチ内水位 1.25, 0.75, 0.25 m)と定流量注水(川砂地盤 120 L/min, 山砂地盤 80 L/min, マサ土地盤 100 L/min)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。一方、定流量注水とは、一定の流量で注水しトレンチ内水位の変化を計測する方式である。この方式では、トレンチが満水になった時点で注水を停止し、その後の水位の低下も計測した。また、注水と放置を3回繰返すことにより、地盤の飽和領域の拡大に伴う浸透量への影響を検討することとした。

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。

設計式の妥当性を検証するため、実験で求めた終期浸透量から次式により比浸透量を逆算(以下、 K')するとともに、試験条件であるトレンチ内水位とトレンチ幅を式(2)に代入して比浸透量を求めて両者を比較した。

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

比浸透量の比較結果を図3.1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。一方、マサ土については、 K'/K が1/6程度であった。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。すなわち、マサ土の特徴として、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以下に低下した事例が報告されている。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、その過程で透水係数が低下したものと考える。

式(2)による比浸透量 K を用いてマサ土の実験結果に合うような透水係数を求めると、 $k = 3.9 \times 10^{-5}$

m/sec となった。また、実験終了後にマサ土地盤でポアホール型の変水位・定水位式現場浸透試験を実施したところ $k = 5.1 \times 10^{-5}$ m/sec 程度となった。これら2つの値は比較的良好に一致することからもマサ土における実験結果と設計計算値との差異は、動水勾配の増減による透水係数の低下によるものと判断される。

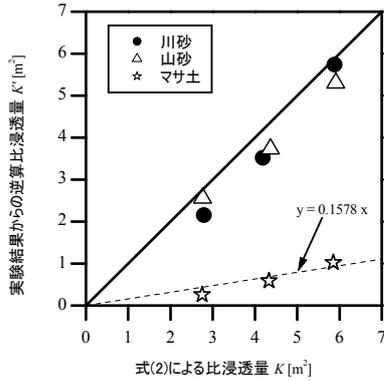


図 3.1 比浸透量の比較結果

3.2.2 地下水位の影響

図 3.2 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。図より地下水位が浅い場合は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

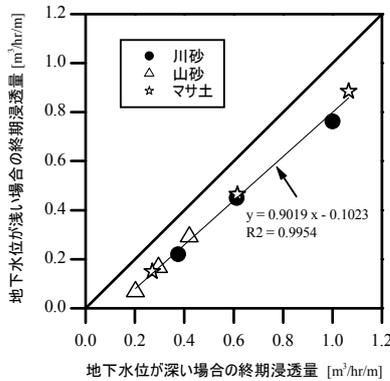


図 3.2 地下水の影響の検討結果

定量的に評価した設計式は提案されていない。しかし、図 3.2 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載っていることから、地下水位の影響を定量的に評価できる可能性が高い。

3.3 野外浸透トレンチにおける終期浸透能

3.3.1 舗装実験場に施工した浸透トレンチ

浸透トレンチの長期性能を把握するために、研究所内の舗装実験場に浸透トレンチを設置した。浸透

トレンチの概要を図 3.3 に示す。浸透トレンチは透水性舗装の試験走路のそばに設置され、透水性舗装の路盤排水がトレンチに流入する構造となっている。

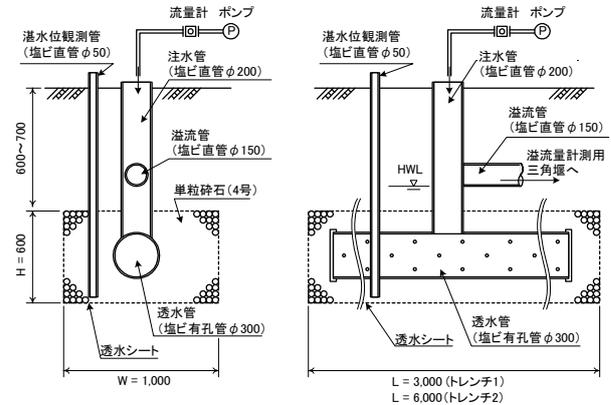


図 3.3 浸透トレンチの概要

浸透トレンチが設置された現地盤の土質は関東ロームで、現場浸透試験より飽和透水係数は $k = 1.02 \times 10^{-5}$ m/sec である。浸透トレンチの材料は 4 号単粒碎石で、空隙率は 0.47 である。

これらのトレンチの浸透性能の経年変化を把握するために、注水実験を行った。注水実験の概要を表 3.2 に示す。

表 3.2 注水実験概要

	時期	経過年数	地下水位
1 回目	2004 年 12 月	1 年	GL. -1.9m
2 回目	2006 年 10 月	3 年	GL. -0.95m
3 回目	2007 年 9 月	4 年	GL. -1.26m

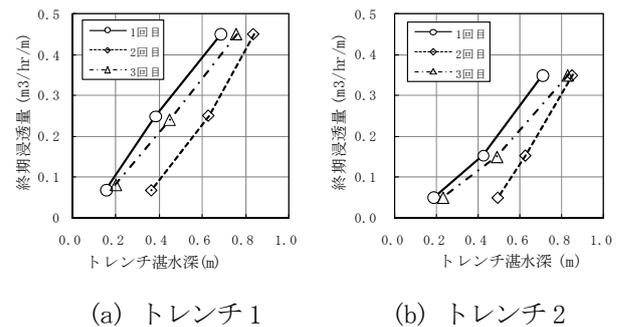


図 3.4 終期浸透量

注水実験によって求められた湛水深と終期浸透量の関係を図 3.4 に示す。図より、トレンチ 1, 2 ともに、地下水位の高い順にプロットが左から右に平行移動しており、終期浸透量が低下することが確認できる。また、終期浸透量の低下が注水時期に関係していないため、終期浸透量の経年低下が認められなかった。

3.3.2 国道に施工した浸透トレンチ

浸透トレンチの現場への適用性を検討するために、透水性舗装とともに、島根県雲南市三刀屋町国道54号線沿いに浸透トレンチを設置した。浸透トレンチの概要は図3.5に示す。透水性舗装を通して路盤で集水した雨水を浸透トレンチに流入する構造となっている。

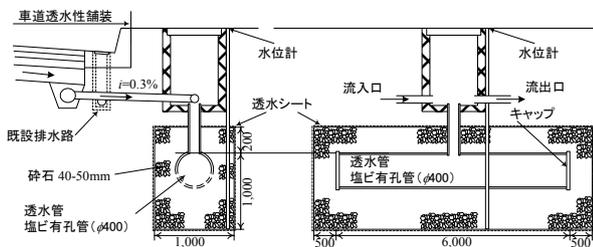


図 3.5 浸透トレンチの概要

浸透トレンチが設置された現地盤の土質はマサ土で、現場浸透試験より飽和透水係数は $k = 3.8 \times 10^{-6}$ m/sec である。浸透トレンチの材料は4号単粒砕石で、空隙率は0.47である。

透水性舗装の散水試験時に、トレンチへの流入があり、その湛水の降下過程から浸透トレンチの低水位時浸透量を計算した⁹⁾。また、高水位時の浸透量を把握するために、浸透トレンチの注水実験を行った。得られた終期浸透能を、式(2)から計算した理論値とともに図3.6に示す。

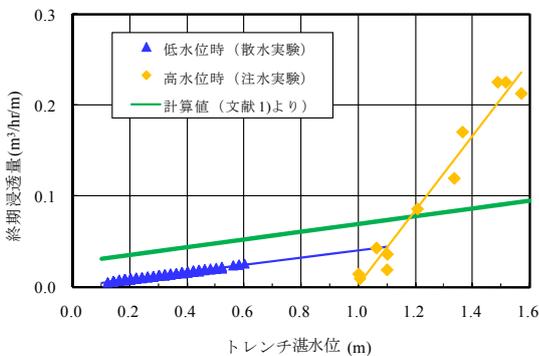


図 3.6 終期浸透量

図より、トレンチの湛水位が0~1.1mの領域では、終期浸透量の増加が緩やかで、計算値と同じ傾向を示している。湛水位が1.1m以上の領域では終期浸透量の増加が急激になり、計算値と異なる傾向を確認できる。

4. 目詰まりに関する調査

4.1 トレンチの開削調査

施工して5年間を経た舗装実験場の浸透トレンチ2に対して開削調査を行った。

調査する方法、トレンチの上載ローム地盤を透水シート上面まで掘り下げ、透水シートの一部を剥いだ後砕石層を底面まで掘り下げ、砕石層に含まれる細粒分の目視調査を行う。

その結果、図4.1に示しているようにトレンチの砕石層には、細粒分が含まれていることが確認できた。しかし、砕石層全体に様に細粒分が含まれていることから透水性舗装の路盤排水から流入するものではないと推測される。よって、路盤排水を流入するトレンチに対しては、5年間を経た時点での細粒分などの不純物流入による目詰まりが認められなかった。



図 4.1 トレンチの砕石層

4.2 流入水の不純物調査

図3.5に示している国道に設置された浸透トレンチに対して、車道透水性舗装の散水実験時に、トレンチに流入する路盤排水にフィルタをかけ、流入水に含まれる不純物の調査を行った。

調査を行ったあとのフィルタを図4.2に示す。図より、フィルタに不純物の付着がなく、路盤排水に不純物が含まれることが認められなかった。よって、路盤排水による浸透トレンチの目詰まりが起こっていないと推定できる。



図 4.2 流入水の濾過用フィルタ

5. 植栽型浸透トレンチの開発

5.1 植栽型浸透トレンチの開発の経緯

浸透トレンチを道路敷地内に設置する際、上記に検討を行ってきた技術的な課題とは別に、「特定都市河川法の指定地域となる都市部（もしくは開発予定地域）の歩道部の地下には、多数のライフラインが埋設され、増設・付替えに伴う頻繁な掘削が行なわれている。そのため、浸透トレンチを設置することは、設置スペースや道路の維持管理上、著しく困難である」という社会的な課題がある。そのため、浸透トレンチを道路敷地内に普及させるには①ライフラインとの空間的な住み分けが可能であること、②頻繁な掘削が伴わない場所であることが求められ、①、②の条件を満足する場所として、植栽体、中央分離帯に注目し、図 5.1 に示すような植栽と共存可能な浸透トレンチを開発した。

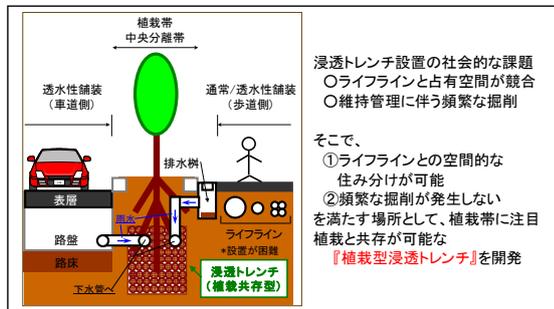


図 5.1 植栽型浸透トレンチの概要

植栽型浸透トレンチの開発にあたり、植物と共存するためには、「粒状細かい空隙を有し、長期間の保水が可能な材料」であることが求められる。そこで、軽石に注目し、砕石、自然地盤と比較するための試験施工を行い、樹木の育成観察を行っている。

6. まとめ

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、本研究は浸透トレンチに着目し、浸透水の影響範囲と周辺構造物に対する影響、浸透能力、目詰まりについて、室内並びに現場に施工した浸透トレンチに対する注水実験、調査などによって研究を行った。得られた成果は以下にまとめる。

- (1) のり面近辺に浸透施設を設置する時、のり面から $2H$ (H : のり面高さ, $H \geq 2m$) 離して設置すれば、飽和領域がのり面内部には及ばないことが分かった。
- (2) 地盤の浸水による地盤剛性の低下度合いは、川砂・マサ土で約 75%, 山砂では 50%程度であることが分かった。
- (3) 川砂、山砂地盤におけるトレンチの比浸透量が

提案式の計算値と一致した。地下水の影響について、地下水位が浅い場合と深い場合の浸透量の関係が土質によらずほぼ一直線に載っていることが分かった。

- (4) 舗装実験場に施工したトレンチの経年注水実験から地下水位の上昇による浸透量が減少しているが経年的減少が認められなかった。
- (5) 国道に施工したトレンチの注水実験からトレンチ湛水位と浸透量の関係は低水位時と高水位時に異なる傾向が示された。
- (6) トレンチの開削調査及び流入水に含まれる不純物調査によると、車道透水性舗装を通した地盤排水をトレンチに流入する場合、5 年間を経過した時点でトレンチの目詰まりが認められなかった。
- (7) 道路の植栽帯、中央分離帯に設置できる植栽型浸透トレンチを開発し、植生との共存性を検討するために、試験施工を行った。

参考文献

- 1) 解説・特定都市河川浸水被害対策法施行に関するガイドライン, (財)国土技術研究センター, 2005
- 2) 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, 47-12, pp. 60-65, 2005.
- 3) 中島伸一郎, 堤祥一, 大下武志: 雨水浸透施設が路床・路体に及ぼす影響に関する実験的検討, 地盤工学会第 41 回地盤工学研究発表会, pp. 639-640, 2006.
- 4) 大下武志, 中島伸一郎, 堤祥一: 路床の浸水が支持力に及ぼす影響に関する実験, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集第 III 部, pp. 298-299, 2005.
- 5) 中島伸一郎, 大下武志, 堤祥一: 浸透トレンチの浸透能力に関する実験, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集第 III 部, pp. 296-297, 2005.
- 6) 中島伸一郎, 堤祥一, 大下武志: 野外における浸透トレンチ注水実験, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 III 部, pp. 251-252, 2006.
- 7) 中島伸一郎, 堤祥一, 大下武志: 高地下水位下における浸透トレンチの浸透性能, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集第 III 部, 3-298, 2007.
- 8) 徐永強, 堤祥一: 浸透トレンチの高水位時における浸透性能実験, 地盤工学会第 43 回地盤工学研究発表会, pp. 1065-1066, 2008.
- 9) XU Yong-Qiang, OSHITA Takeshi and TSUTSUMI Shoichi: Experimental Study of Infiltration Trench for Highway Drainage, Proceedings of the 3rd Sino-Japan Geotechnical Symposium, pp.646-652, 2007.
- 10) 大下武志, 堤祥一, 徐永強: 浸透トレンチの目詰まりが終期浸透量に与える影響について, 第 27 回日本道路会議, 13P10, 2007.
- 11) 雨水浸透施設技術指針[案]調査・計画編, (社)雨水貯留浸透技術協会, pp. 37-43, 1995.

STORAGE AND INFILTRATION TECHNOLOGY OF PAVEMENT DRAINAGE

In recently, it has been required to make the storage and infiltration facility by law in case the land development is over a certain size. And we think countermeasures in load pavement are required for the cost reduction and the space of facilities.

We proposed the set pervious pavement and infiltration facility as the countermeasure in load pavement with pavement research team. We conducted some experiment to know the ability of storage and infiltration facility for rainstorm in 2004-2008.

Key words:infiltration of rain water, storage and infiltration facility, ability of infiltration, clogging of soil