

不飽和浸透特性を考慮した透水性舗装の 透水性能に関する研究

森石一志¹・大西有三²・西山哲³・矢野隆夫⁴・小関裕二⁵

¹正会員 修(工) 大林道路株式会社 技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640)

E-mail : kazushi-moriishi@obayashi-road.co.jp

²正会員 工博, Ph.D 京都大学大学院 教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

³正会員 博(工) 京都大学大学院 准教授 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁴正会員 博(工) 京都大学大学院 技術専門員 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁵正会員 博(工) 大林道路株式会社 技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640)

現在、透水性舗装の設計方法における透水設計は、適用箇所に応じて要求される透水能力を満足するように、使用する舗装材料と舗装厚を試算し、構造設計で求められる構造と比較して決定されるが、その際の透水性能は飽和透水係数で評価している。しかし透水性舗装において、雨水は舗装体内部が不飽和の状態で浸透していくことから、不飽和透水係数などの浸透特性を把握する必要がある。よって本論文では、透水性舗装を構成するアスファルト混合物層、路盤層および路床の不飽和浸透特性を実験的に求め、さらに、この不飽和浸透特性が透水性舗装の機能にどのような影響を与えるのかを検証した。

Key Words : permeable pavement, rainwater permeability characteristics, water retention characteristics, unsaturated permeability coefficient, unsaturated permeability test

1. はじめに

道路整備を進めていくうえで環境に配慮して行うことは年々重要性を増し、今後の舗装技術についてもこれらに十分配慮した技術開発が必要となっている。中でも透水性舗装は、水循環の保全、都市型洪水の抑制など道路舗装からの環境対策として期待されている。しかし、本舗装は、雨水の浸透による路床の軟弱化が懸念されることから、適用箇所は歩道や軽交通道路に限定されていた。現在は、車道部へ適用が検討されている¹⁾ものの、舗装体や路床の強度低下や、透水性能の維持など、多くの課題が残されている。

透水性舗装の透水性能については、室内で作製した供試体を用いて、飽和状態における定水位透水試験で求めた飽和透水係数で評価するのが一般的である²⁾。しかし、著者らが実物大の透水性舗装モデルにおいて様々な降雨条件で実験を行った結果から、降雨強度が強い場合や、近年多発している集中豪雨のような、雨が降り始めに集中している場合において、不飽和領域が舗装体内に存在した状態で表面流出が生じるという現象が確認されている³⁾。したがって、透水性舗装では舗装体内部が不飽和の状態を把握する必要があると考えられる。また、降雨強

度が大きい場合、間隙内の空気存在により雨水が浸透しにくくなると考えられる。

現在の透水性舗装の設計法は、上記の不飽和に関するメカニズムについては考慮されていない。したがって、不飽和浸透現象を考慮して透水性舗装を設計する場合、その効果算定に大きく影響を与える可能性がある。この飽和-不飽和浸透解析を行う場合には、各材料の水分保持特性および不飽和透水係数が必要となる。既往の研究においては、粗粒材を対象とした研究⁴⁾は行われているが、舗装材料を対象とした研究は実施されていない。

そこで本研究は、透水性舗装の不飽和浸透解析を用いた設計法の検討において、アスファルト混合物層、路盤層および路床の水分保持特性試験と飽和-不飽和透水試験により透水性能を実験的に求め、不飽和浸透特性が雨水浸透現象にどのような影響を及ぼすかについて検証を行った。

2. 使用材料

本研究で使用したポーラスアスファルト混合物の性状を表-1に、粒状路盤材および路床の性状を表-2, 3にそれぞれ示す。ポーラスアスファルト混合物は、透水性舗

表-1 ポーラスアスファルト混合物の諸性状

		ポーラス(13) ポーラス(13)-20	ポーラス(20)	ポーラス(8)	ポーラス(13)-17	ポーラス(13)-24
通過質量百分率 (%)	31.5	—	—	—	—	—
	26.5	—	100.0	—	—	—
	19.0	100.0	96.5	—	100.0	100.0
	13.2	95.8	74.2	—	96.1	96.2
	9.5	58.2	49.5	100.0	60.6	67.7
	4.75	15.6	23.1	31.2	20.5	15.0
	2.36	14.3	14.0	17.9	19.0	12.9
	1.18	—	—	—	—	—
	0.6	10.7	10.5	16.2	14.1	5.0
	0.3	7.4	7.8	14.0	8.8	5.0
	0.15	5.5	6.1	6.4	5.8	4.8
	0.075	4.3	4.9	4.1	4.5	3.9
アスファルト量 (%)		4.9	4.0	5.2	5.2	4.2
使用アスファルト		ポリマー改質アスファルトH型				
混合物の性状	密度 (g/cm ³)	1.992	1.996	1.995	2.057	1.908
	理論密度 (g/cm ³)	2.484	2.495	2.494	2.474	2.511
	空隙率 (%)	19.8	19.8	19.2	16.9	24.0
	安定度 (kN)	5.4	5.9	5.9	8.0	7.1
	フロー値 (1/100cm)	36.0	32.0	36.5	49.0	96.5
	残留安定度 (%)	96.3	91.5	—	86.0	—
	DS (回/mm)	7,292	7,875	5,489	9,000	7,000
	透水係数 (cm/sec)	4.14×10 ⁻¹	4.35×10 ⁻¹	2.69×10 ⁻¹	2.64×10 ⁻¹	6.29×10 ⁻¹

表-2 粒状路盤材の諸性状

		クラッシュラン (C-40)	再生クラッシュラン (RC-40)
通過質量百分率 (%)	53	—	—
	37.5	100.0	100.0
	31.5	—	—
	26.5	90.8	—
	19	68.9	65.1
	13.2	49	53.3
	4.75	31.1	28.2
	2.36	15.1	15.5
	0.425	—	—
	0.075	1.2	1.5
骨材の性状	表乾比重(g/cm ³)	2.646	2.402
	吸水率(%)	0.804	5.81
	PI	NP	NP
	最大乾燥密度(g/cm ³)	2.062	1.863
	最適含水比(%)	2.0	8.8
	修正CBR(%)	88.2	42.0
	透水係数 (cm/sec)	2.53×10 ⁻¹	3.16×10 ⁻²

表-3 路床の諸性状

		路床①	路床②
通過骨材百分率 (%)	53	—	100.0
	37.5	100.0	94.5
	26.5	94.6	86.8
	19	90.4	82.7
	9.5	69.8	73.8
	4.75	49.5	65.1
	2	30.0	52.7
	0.85	16.2	38.7
	0.425	8.9	24.1
	0.25	7.5	18.6
	0.106	6.1	15.7
	0.075	6.0	15.2
路床土の性状	室内CBR (%)	136.1	48.4
	液性限界	42.9	43.1
	塑性限界	25.3	25.2
	PI	17.6	17.9
	土の分類名	細粒分混じり砂質礫	細粒分質砂質礫
	分類記号名	GS-F	GFS
	土粒子の密度 (g/cm ³)	2.622	2.621
	最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.062	1.857
	現場密度 (g/cm ³)	1.885	1.705
	透水係数 (cm/sec)	4.34×10 ⁻³	2.04×10 ⁻²

装の表層、基層、中間層を想定し、骨材最大粒径が8mm, 13mm, 20mm で、目標空隙率を20%としたポーラスアスファルト混合物とした。以降、それぞれをポーラス(8), ポーラス(13), ポーラス(20)とする。また、空隙率の違いでの検討を行うことを目的に、最大骨材粒径が13mm で、目標空隙率を17%, 20%, 24%のポーラスアスファルト混合物とし、以降、それぞれポーラス(13)-17, ポーラス(13)-20, ポーラス(13)-24 とする。図-1a, b)にそれぞれの粒度を示す。

粒状路盤材は下層路盤を想定し、クラッシュラン（以下、C-40）および再生クラッシュラン（以下、RC-40）を使用し、粒度は粒度範囲の中央（以下、中央粒度）とした。その粒度を図-2 に示す。

路床は現場より採取した2種類の試料を使用した。そ

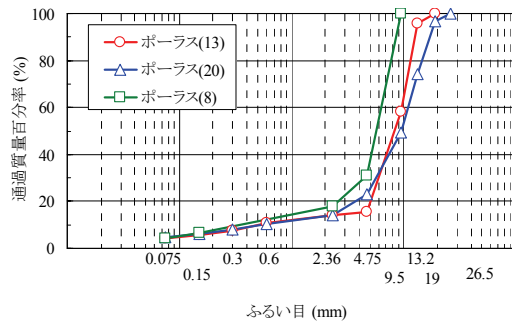
の粒度を図-3 に示す。

3. 不飽和浸透特性試験

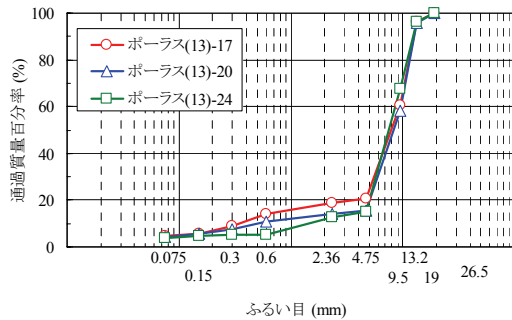
(1) 水分保持特性試験

a) 計測の原理、試験装置および供試体作製方法

地盤材料の保水性を測定する手法には、土中法、吸引法、加圧法および遠心法など多々の手法が提案されている⁵⁾。本研究ではこれらの方法の中で、測定範囲が広く、低い吸引圧まで測定可能である加圧法を用いた。加圧法は供試体に正の空気圧を負荷して平衡に達するまで排水



a) 最大骨材粒径による比較



b) 空隙率による比較

図-1 ポーラスアスファルト混合物の合成粒度

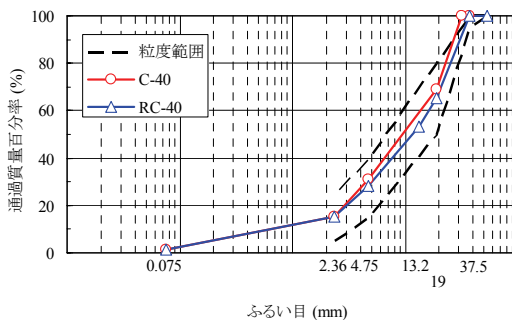


図-2 粒状路盤材の合成粒度

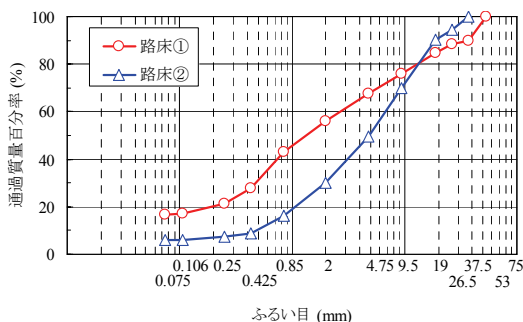


図-3 路床土の粒度

させ、その時の供試体における含水率と、負荷した空気圧の関係から水分保持特性を求める手法である。

本研究で作製した水分保持特性測定装置を図-4に示す。以下に本装置の原理を述べる。

まず始めに、空気圧を与えるため圧力チャンバー内に

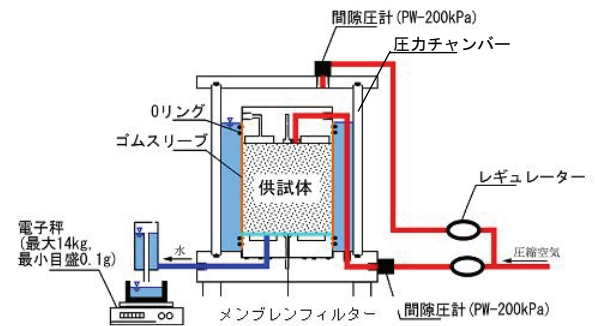


図-4 水分保持特性試験装置

供試体を設置し、ゴムスリーブを取り付ける。供試体を設置する際に、図中に示すメンブレンフィルターを介して大気圧下の水と接触させる。このフィルター材は「チャンバー内の空気を大気と不連続にする」という目的と、「供試体内の間隙水圧を大気圧下に置いた水の位置水頭と同様にする」という2つの目的を有している。フィルター材が上記の2つの機能を発揮できるよう、ガラスフィルターとメンブレンフィルターを組み合わせた構造とした。フィルター材を介して大気圧下の水の水面は供試体と同じ高さに置かれる。したがって、加圧法では供試体内の間隙水圧 u_w はゼロとなり、次の関係式が成り立つ。

$$\phi = u_w - u_a = -u_a \quad (1)$$

ここに、 ϕ ：供試体のサクション (mH₂O)

u_w ：供試体内の間隙空気圧 (mH₂O)

その後、チャンバー内に加圧空気を送り込み平衡に達するまで放置する。平衡に達した時点では、送り込んだ圧縮空気の空気圧 U_a (mH₂O)と、供試体内の間隙空気圧は等しいとみなせるため、

$$\phi = -u_a = -U_a \quad (2)$$

となる。したがって、送り込んだ空気の圧力を測定することで供試体内のサクションを測定できる。このとき同時に供試体の含水率を測定すれば、 ϕ と θ の関係である水分保持特性を求めることが可能である。

以上の原理に基づき、本装置の特徴を挙げると次のようになる。

- ① 供試体として最大粒径の大きなアスファルト混合物や粒状路盤材を想定しているため、 ϕ 150mmという大きな円柱供試体で実験可能である。
- ② 供試体に接続する取り付け装置を取り替えることで ϕ 150mm以外の大きさの供試体でも実験可能である。ポーラスアスファルト混合物の供試体の作製は、所定の寸法および空隙率を確保するため、ジャイレトリーコ

ンパクタを使用して $\phi 150\text{mm} \times h150\text{mm}$ の供試体を作製し、試験装置に設置した。作製条件は舗装調査・試験法便覧〔第3分冊〕B007、ジャイレトリー試験機によるアスファルト混合物の締固め試験方法⁶⁾に準拠した。粒状路盤材の作製は、舗装調査・試験法便覧〔第4分冊〕F007、突固め試験方法⁷⁾の結果から締固め度を95%とし、寸法は $\phi 150\text{mm} \times h125\text{mm}$ とした。路床の作製は、寸法が $\phi 150\text{mm} \times h125\text{mm}$ になるように、表-3に示す現場密度試験結果と同じ密度になるように静的に締め固めた。また、同じ供試体で飽和ー不飽和透水試験も行うため、コンクリート用の二つ割りモールドを使用した。

(2) 実験手順

以下の手順で実施した。

- ① 各供試体を規定の方法で作製する。粒状路盤材および路床はチャンバー内に飽和状態で設置するため、供試体をモールドで作製した状態のままで水浸養生させて飽和状態にする。モールド底板が有孔であることより、底面から水浸させて供試体上面に水が到達した時点で飽和状態になったこととする。その後、粒状路盤材は試験機に設置する際に崩壊してしまうため、飽和状態の供試体を -10°C で冷凍する。
- ② 供試体をチャンバー内に設置する。アスファルト混合物の場合はチャンバー内を水で満たした後、サクシヨンポンプを用いてチャンバー内を減圧し供試体を飽和させる。粒状路盤材の場合は、既に飽和して冷凍されているので、チャンバー内に設置した後、一日放置して解凍する。
- ③ 側圧をかけた後、供試体内の圧力を大気圧に保つ。
- ④ ③の状態が定常に落ち着いたことを確認した後に供試体内に空気を圧入し、排出される水の量を電子秤で測定する。
- ⑤ ④の排出される水の量がほぼ無くなったことを確認して、空気圧をさらに加圧させる。
- ⑥ 以上の④と⑤の作業をフィルター材が空気を封入させることが可能な範囲内で繰り返し行う。

(3) 実験結果

ポーラスアスファルト混合物の最大骨材粒径の違いによる水分保持特性試験の結果を図-5に示す。どの供試体においても測定範囲内におけるマトリックポテンシャルが最大の時の飽和度が20~30%程度残っている。これは、間隙内に重力に抵抗して、混合物が保持している最小の水分量（最小含水量）が存在すると考えられる。もしくは、加圧法で試験を行っているため、飽和状態から加圧する際に、半有効空隙（図-6）⁸⁾に水が残ったためと考えられる。図中のマトリックポテンシャルとは、土壌粒子が水分子を引きつける力の強弱を示している。マトリッ

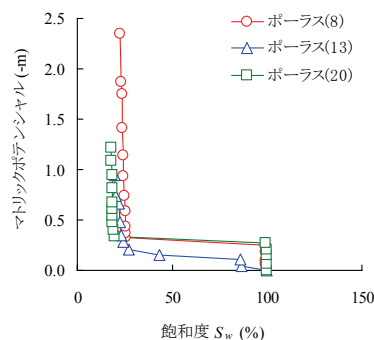


図-5 実験結果（ポーラスアスファルト混合物）

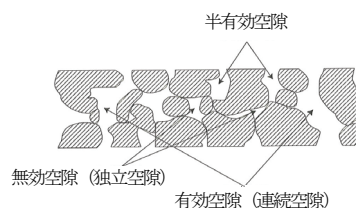


図-6 ポーラスアスファルト混合物の空隙構造

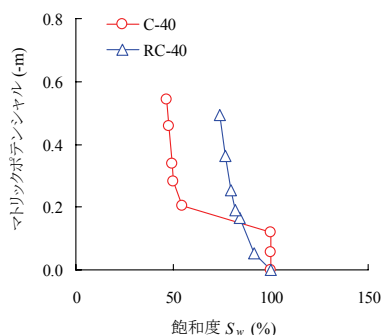


図-7 実験結果（粒状路盤材）

クポテンシャルが大きいほど、保水性が高いことを示す。

路盤材の結果を図-7に示す。マトリックポテンシャルが最大値の時の飽和度はC-40が50%、RC-40が70%を示している。このことより、粒状路盤材は水分を保持することが分かる。マトリックポテンシャルが -0.1m から -0.2m にかけて急激に飽和度が低下している。これは、骨材間の間隙が大きく、間隙サイズの分布が狭く（類似したサイズの間隙が多く）、平均的な間隙径が大きいため、マトリックポテンシャルの低下に伴い急激な脱水が生じ、空気が侵入することにより、マトリックポテンシャルが -0.12m 付近から飽和度が急激に低下していると考えられる。これは、アスファルト混合物の傾向と同様であり、土のように細粒分の含有量が多く、間隙サイズが小さい場合には、飽和度が急激に減少を起こさないという傾向とは異なるものである。また、マトリックポテンシャルが最大になった時の飽和度が約40%程度を保っている。これに対してRC-40は、宮崎らが示した⁹⁾土の水分保持特性に類似した傾向である。これは、骨材表面の粗度、濡れ性などが原因と考えられる。

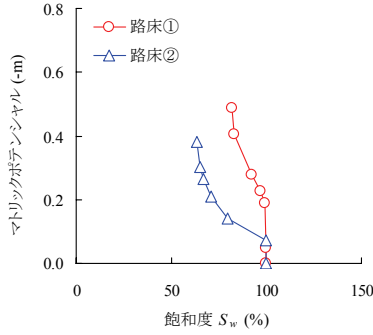


図-8 実験結果（路床土）

路床の結果を図-8に示す。路床①はマトリックポテンシャルが低下しても飽和度はほとんど低下しない。これは、この土は間隙サイズが小さいので、保水性が高められたと考えられる。それに比べ表-3の最大乾燥密度から、路床②は路床①より間隙サイズが大きいと考えられ、そのため保水性が低くなったと推察される。

ポーラスアスファルト混合物および粒状路盤材とも、ほとんど水分を保持しないという結果となったが、これは土壌と異なり、空隙率、空隙径が大きいので、空隙内に毛管圧が生じないため、このような結果になったと考えられる。

b) 飽和—不飽和透水試験

(1) 計測の原理⁴⁾

本研究で使用した試験装置は、鉛直一次元カラムの上部から一定流量の水を供給し、定常時の供試体質量から体積含水率 θ を、流出流量から不飽和透水係数を求めるというフラックス制御法を用いたものである。一定流量を供試体上部に与える鉛直一次元カラムの試験から不飽和透水係数を測定するために、次のような考え方を用いた。一定量の水を供試体上面に供給して定常状態になると、供試体全体が給水流量に応じて一様な θ になると考える。このような鉛直一次元浸透は基礎的な式(3)で表される。

$$q = k_{us}(\theta) \cdot A \cdot \left\{ \frac{\partial(\phi / \gamma_w)}{\partial z} + 1 \right\} \quad (3)$$

ここに、 q ：定常時の単位体積当たりの流出流量 (m^3/s)

$k_{us}(\theta)$ ：不飽和透水係数 (m/s)

θ ：定常時の体積含水率

A ：供試体断面積 (m^2)

ϕ ：土中水のポテンシャル (kPa)

γ_w ：土中水の単位体積重量 (kN/m^3)

定常状態では、供試体内の θ がほぼ一定となるため、 $\frac{\partial(\phi / \gamma_w)}{\partial z} \approx 0$ になると考えると、不飽和透水係数は

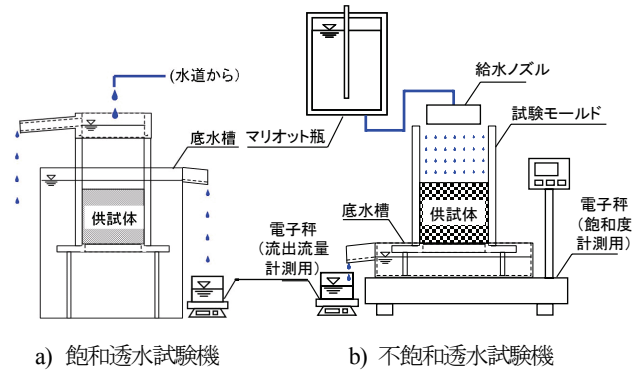


図-9 不飽和透水試験機

式(4)で求められる。また、 θ は供試体質量の変化と体積から式(5)で求められる。

$$k_{us}(\theta) \doteq q / A \quad (4)$$

$$\theta = (m_i - m_0) / V \cdot \rho_w \quad (5)$$

ここに、 m_i ：定常時の供試体質量 (kg)

m_0 ：供試体の乾燥質量 (kg)

V ：供試体体積 (m^3)

ρ_w ：水の密度 (kg/m^3)

(2) 試験装置および供試体作製方法

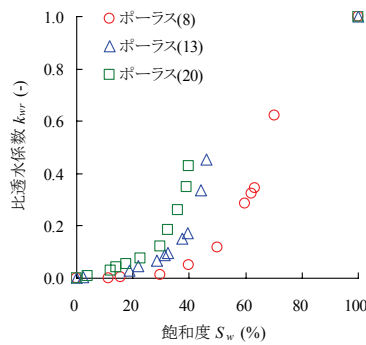
試験装置は工藤らの実験方法⁴⁾を参考に図-9に示すようなものを使用した。

また、供試体の作製方法は水分保持特性試験と同様である。

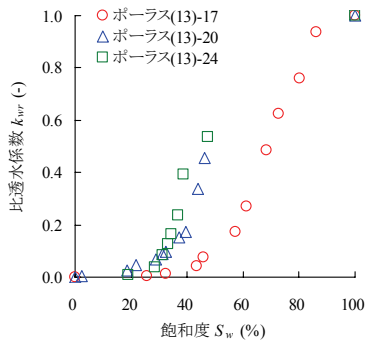
(3) 試験手順

以下の手順で実施した。

- ① 各供試体を規定の方法で作製し、完全に乾燥させる。アスファルト混合物は室内常温で1日、路盤材は110℃で1日乾燥させる。
- ② 電子秤に底水槽および供試体を設置した後、底水槽に水を張り、試験開始時の総質量を計測する。
- ③ 供試体上面にマリOTT瓶から一定流量の水を供給し、供試体質量および流出流量の経時変化を計測する。
- ④ 供試体質量および流出流量が一定になった時点で、式(4)、式(5)により k_{us} および θ を算出する。
- ⑤ マリOTT瓶の給水流量を増加させ、供試体上面に水面が形成されるまで③、④を繰り返す。
- ⑥ 計測を一度終了し、カラムの上部および底水槽を図-9a)に示すような飽和透水試験用に変更する。供試体およびカラムを設置し、底水槽から給水し、徐々に水位を上げ、供試体を飽和させる。この時、不飽和



a) 最大骨材粒径による比較



b) 空隙率による比較

図-10 実験結果（ポーラスアスファルト混合物）

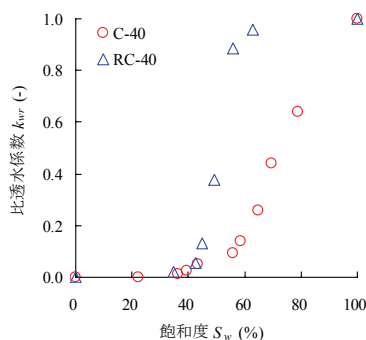


図-11 実験結果（粒状路盤材）

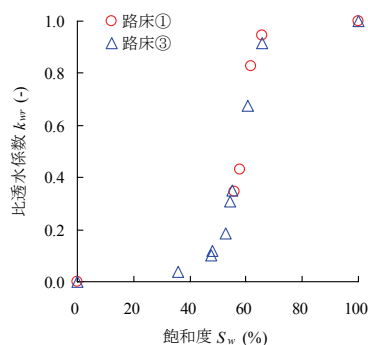


図-12 実験結果（路床）

透水試験と同様に動水勾配が 1 となるようカラムの高さを調整する。

- ⑦ 上部から水を供給し，飽和状態を保ちながら通水を行い，排水流量から飽和透水係数を算出する。

(5) 実験結果

ポーラスアスファルト混合物の飽和透水試験結果を表-1，不飽和透水試験結果を図-10 にそれぞれ示す。最大骨材粒径の違いで比較すると（図-10a），最大骨材粒径が大きくなるに従い，飽和度 30%付近から不飽和透水係数が急激に増加するため，比透水係数（不飽和透水係数／飽和透水係数）の値が大きくなる傾向が見られる。これは骨材粒径が大きいほど，骨材間の間隙が大きく，間隙サイズの分布が狭く，平均的な間隙径が大きいため，図-6 に示すような無効空隙（独立空隙）が形成されにくく，有効空隙（連続空隙）が多いと考えられる⁷⁾。実際に今回使用した供試体の無効空隙は，ポーラス(8)が 3.6%，ポーラス(13)が 2.3%，ポーラス(20)が 1.3%となっている。

また，空隙率が一定の場合（図-10a）は最大骨材粒径が大きい程，最大骨材粒径が一定の場合（図-10b）は空隙率が大きい程，水が骨材と接する面積（潤辺）が大きくなり，摩擦抵抗を大きく受け，流れにくくなり，比透水係数の曲率が大きくなる結果になったと推察される。

路盤の飽和透水試験の結果を表-2 に，不飽和透水試験の結果を図-11 にそれぞれ示す。

C-40 は飽和度が 30%付近から徐々に飽和透水係数に近づく傾向が見られ，RC-40 は飽和度が 30%付近から 80%付近に向けて急な勾配で飽和透水係数に近づくような傾向が見られた。これは水分保持特性と同様，骨材表面の粗度，濡れ性などが原因と推察される。

路床の飽和透水試験の結果を表-3 に，不飽和透水試験の結果を図-12 にそれぞれ示す。飽和透水係数は 1 桁異なっているが，比透水係数の傾向は類似する結果となった。

4. 数値解析による雨水流出抑制性能の再現

実物大のモデルを使った既往の研究においては，不飽和浸透特性が雨水浸透に影響を及ぼすことが明らかになっている¹⁰⁾。本章では，透水性舗装における雨水浸透現象が，不飽和浸透特性を考慮して解明できないかどうかを試みた西山ら¹⁰⁾の結果をもとに，前節までに実施した実験結果を適応し，不飽和浸透特性を加味する有限要素法で浸透現象の比較を行う。なお，解析の原理については参考文献 10)に譲ることとする。

(1) 解析条件

解析に使用した舗装構造をおよび，解析モデルを図-13 に示す。各層の材料は，実験値としては，表層からポーラス(8)，ポーラス(20)，C-40，路床①とした。また，フィルター層に関しては，路床の一部と考え，路床①の物性値を使用している。地表面付近では，全水頭勾配が高くなることが予想されるため，鉛直方向のメッシュサイズを深部に比べて小さくしている。総要素数は 360 であり，

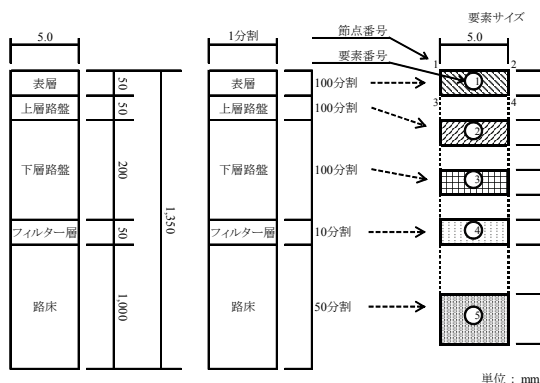


図-13 舗装構造 (左) と解析モデル (右)

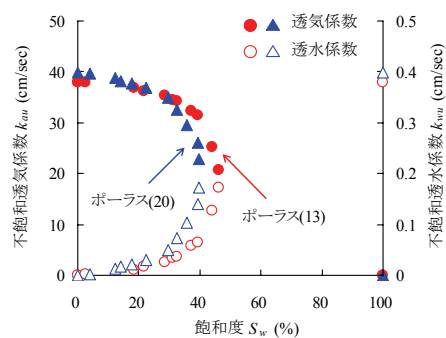


図-14 液相 (左) と気相 (右) の初期条件

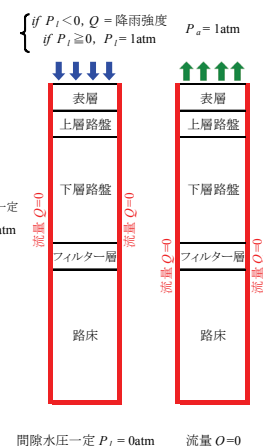


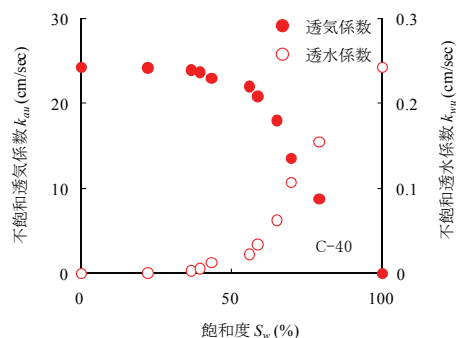
図-15 液相 (左) と気相 (右) の境界条件

総節点数は 722 である。

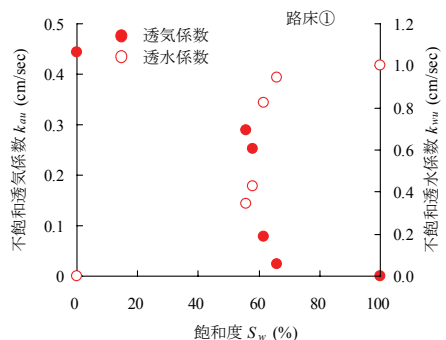
図-14 に初期条件を示す。本研究で対象とした路床は、透水係数が高いため降雨強度が高い場合でも、解析結果は表面流出が生じなかったことより、表面流出抑制効果の検討は、路床の深さ 1m の位置に不透水層があるものとして解析を行うこととした。液相に関しては、路床の飽和度は変化することとし、気相に関しては、舗装体内は大気圧と等しいとした。

次に液相と気相の境界条件を図-15 に示す。表面の節点が不飽和状態の場合には、降雨強度に相当する流量を与え、表面の節点が飽和状態の場合には、間隙水圧を 1atm (1atm=1.013×10⁵ N/m²) とした。また、解析は鉛直一次元で行うために、側方の境界に関しては液相および空気相について流量は 0 である。また透気係数については各不飽和透水試験の結果を見ると、飽和度が小さい領域では透水係数の増加量が少ないことから、透気係数も同様の挙動を示すと考え、不飽和透水試験の結果を縦軸に対して反転させることとした。またその結果が宇野らの実験結果¹¹⁾の傾向と類似していることから、今回の解析には図-16 に示すような値を使用した。

a) ポーラスアスファルト混合物の不飽和透気係数



b) 粒状路盤材の不飽和透気係数



c) 路床の不飽和透気係数

図-16 各試料の透気係数

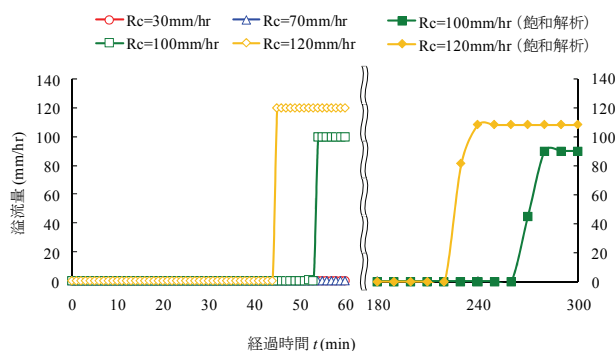


図-17 降雨強度と表面流出開始時間との関係

(2) 解析結果

降雨強度の違いによる不飽和浸透特性の影響を図-17 に示す。降雨強度が 30mm/hr, 70mm/hr の場合は 1 時間

経過後においても表面流出は確認されなかった。しかし、降雨強度 100mm/hr の場合は 54 分後、120mm/hr の場合は 45 分後に表面流出が生じた。これに対し、飽和浸透流解析（図中、飽和解析）の結果は降雨強度 100mm/hr および 120mm/hr の表面流出開始時間が、それぞれ 260 分後、220 分後であった。これらの結果から、不飽和浸透特性および空気の存在が雨水浸透に影響を与えることが分かった。

5. まとめ

本研究では、透水性舗装を構成する各層の不飽和浸透特性の試験を実施した。そしてその結果をもとに、雨水浸透特性を明らかにした。

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 水分保持特性試験について
 - (a) ポーラスアスファルト混合物は、どの供試体においても飽和度が 20～30%程度残っている。これは、間隙内に重力に抵抗して、混合物が保持している最小の水分量(最小容水量)が存在すると考えられる。もしくは、半有効空隙に水が残ったためと考えられる。
 - (b) 粒状路盤材は、C-40 はポーラスアスファルト混合物と同様の傾向を示し、RC-40 は土の傾向に類似している。これは濡れ性などが原因と考えられる。
 - (c) 路床は、間隙サイズの違いにより、保水性の違いが確認できた。
- (2) 飽和－不飽和透水試験について
 - (a) ポーラスアスファルト混合物は、骨材最大粒径が大きいほど、また、空隙率が大きいほど、不飽和透水係数が急激に増加するため、比透水係数が大きくなる。これは間隙サイズの影響である。
 - (b) 粒状路盤材は、RC-40 は飽和度が 30%付近から 80%付近に向けて急な勾配で飽和透水係数に近づくような傾向が見られた。これは水分保持特性と同様、骨材表面の粗度、濡れ性などが原因と推察される。
 - (c) 路床は、粒度が異なるものの、透水係数の傾向は類似する結果となった。

(3) 雨水流出抑制性能の再現について

本実験結果をもとに数値解析を行った結果、不飽和浸透特性を考慮することによって、降雨強度の違いによる雨水浸透特性の挙動の違いを明らかにすることができた。

今後は、より多くの物性値を把握すると同時に、実路での水収支の実験を行い、本研究で検討している手法の適用性を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 質疑応答：透水性舗装の実用化に向けた取組み，舗装，Vol.36. pp.19-20, 2004.
- 2) 清水忠昭，鎌田修，伊藤正秀：透水性舗装用粒状路盤材の透水性に関する研究検討，土木学会第 60 回年次学術講演会，pp.231-232, 2005.
- 3) 田中裕，大西有三，西山哲，矢野隆夫，青木一男：透水性舗装の都市型洪水抑制のための雨水浸透に関する研究，土木学会第 61 回年次学術講演会，pp.317-318, 2006.
- 4) 工藤アキヒコ，西垣誠，西方卯佐男，鳥居剛，浅田昌蔵：粗粒材の不飽和浸透特性の測定と粒度による影響，土木学会論文集，No.743，III-64，pp.77-87, 2003.9.
- 5) 社団法人 地盤工学会：土の保水性試験，土質試験の方法と解説，pp.118-135, 2000.
- 6) 社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第 3 分冊〕B007，[3]－82-90, 2007.
- 7) 社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第 4 分冊〕F007，[4]－119～130, 2007.
- 8) 社団法人 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第 3 分冊〕B011，[3]－117-119, 2007.
- 9) 宮崎毅，長谷川周一，粕淵辰昭：土壌物理学，朝倉書店，2007.
- 10) 西山哲，大西有三，矢野隆夫，北山迪也，和田実：透水性舗装の雨水浸透機能に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第 12 巻，pp.99-106, 2007.
- 11) 宇野尚雄，杉井俊夫，神谷浩二：比表面積測定に基づく土粒子物性と透気性・透水性の考察，土木学会論文集，No.469，III-23，pp.25-34, 2003.

A STUDY ON EVALUATED THE PERFORMANCE OF THE PERMEABLE PAVEMENT INCONSIDERATION OF THE UNSATURATED SEEPAGE CHARACTERISTICS

Kazushi MORIISHI, Yuzo OHNISHI, Satoshi NISHIYAMA,
Takao YANO and Hiroji KOSEKI

The permeability design in the design method of a permeable pavement makes the trial calculation of the road metal and pavement thickness to be used so that the permeability capability demanded according to an application part may be satisfied. It is determined as compared with the structure required in a structural design. Saturated hydraulic conductivity is estimating the permeable ability in that case. However, the rainfall initial permeates in the state where a inside of pavement is unsaturated. Then, this research measured the water retention characteristics of a permeable pavement.