

排水性舗装の透水係数評価に関する研究

大川秀雄*・佐藤隆宏**・帆苅浩三***

排水性舗装の排水機能評価に不可欠な透水係数の基本的性質について調べた。次に、施工管理や維持管理で用いられる現場透水試験が具備すべき条件を調べ、定量化が可能な新しい現場透水試験法を提案し、その精度について検討を加えた。一般に排水性舗装の透水には異方性があり、ダルシー則を外れた乱流であることや、新試験法には多少問題が残るもの実用上の精度を有していることなどが確認された。

Key Words : drain asphalt, porous asphalt, permeability coefficient, in-situ test

1 主 え が き

近年、排水性舗装の機能が注目され各方面で鋭意研究されており、試験施工の段階から、現時点では実用化の域にまで達している。しかし、その最大の特徴である排水機能について、系統立てた研究は行われていないようである。排水機能を評価する上で、最も基本的な量は透水係数であるが、排水性舗装の透水係数に関してさえも、未知の部分が多くある。このような状況下であるにもかかわらず、現場での必要性から、従来からの二、三の透水試験器を用いて、現場透水試験が行われている。しかし、いずれの試験器も、排水性舗装の透水係数を測定するには問題があり、正確に排水性舗装の排水機能を評価しているとは言い難い。

そこで本研究では、排水性舗装から切り出した試験片を用いて、定水位透水試験を行い、排水性舗装の透水に関する基本的な性質を解明した。次に、現場で行われている透水試験の問題点を指摘し、それを改良した新しい透水試験法を提案し、検討を加えた。

2. 排水性舗装の透水係数

(1) 排水性舗装の透水

一般に高空隙率で空隙寸法の大きな物質は、動水勾配 i を小さくしても透水が乱流となるため、透水係数 k は動水勾配に対して一定値とはならない。排水性舗装に関しても同様で、動水勾配を舗装の横断勾配の 2% に等しい $i=0.02$ としても、透水は乱流域にあると考えられる¹⁾。その場合、動水勾配と平均流速 u の間には、個々の舗装に対し固有の定数 (α, β) を用いて、

で表される²⁾。その結果、透水係数は

で表され、透水係数と動水勾配の関係は

$$k = \frac{2}{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta i}} \dots \dots \dots (3)$$

で与えられ、動水勾配によって一定値にはならない。また逆に、固有の定数 (α , β) が求まれば式 (3) によって、任意の動水勾配に対する透水係数を知ることができるのである。

(2) 要素による透水試験

排水性舗装の透水に関する基本的な性質を知るため、要素としての透水試験を行った。使用した供試体は、実際の施工に近い状態で作製した舗装体より切り出したもので、粗骨材には粒径 13.2 mm～4.75 mm の 6 号碎石を用いている。透水試験には、偏平率が中程度の名古屋産と偏平率が小さい山形産の 2 種類の骨材を使用し、かつ 6 号碎石の配合率を表-1 のように変えた供試体を用いた。なお表中の空隙率は、供試体の理論密度と寸法から求めた値である。

透水試験方法は、図-1に示した定水位透水試験法を行った。透水方向は、実際の排水方向に相当する水平方向と、雨水が舗装内に浸み込む方向に相当する鉛直方向の、両方向に対して行った。

透水係数は、接続用のホースによる損失水頭を、計算により補正した水頭差を用いて求めた。透水試験で直接得られた透水係数 k と平均流速 u を用い、式(2)で求めた各供試体の定数 (α, β) を表-2に示す。また、図-2に透水が水平方向の場合の水頭差と透水係数の関係を、測定値と表-2に示す (α, β) を用いて式(3)より求めた計算による曲線の両者で示す。

表-1に示さなかった供試体についても、測定値と計

* 正会員 工博 新潟大学助教授 工学部建設学科
 (〒950-21 新潟市五十嵐2の町 8050)

** 正会員 工修 鹿島建設(株) 土木設計本部
(前:新潟大学大学院工学研究科土木工学専攻)

*** 正会員 丁修 福田道路(株) 技術研究所

表-1 配合変化供試体の諸量

No.	骨材 産地	骨材配合率(%)			アスファ ルタ量	透水断面積・透水長 (cm×cm) × cm	空隙率 (%)
		6号 粗砂	石粉	合計			
1.名	80	16	4	4.8	9.74×5.16×9.75	19.8	
2.古	85	11	4	4.8	10.14×5.20×9.75	23.8	
3.屋	90	6	4	4.8	9.92×5.34×9.69	25.1	
4.山	80	16	4	4.8	9.66×5.17×10.40	20.3	
5.形	86	10	4	4.8	9.71×5.24×9.74	24.3	
6.	90	6	4	4.8	10.04×5.28×9.85	27.0	

※透水断面積は、透水方向が水平方向の値

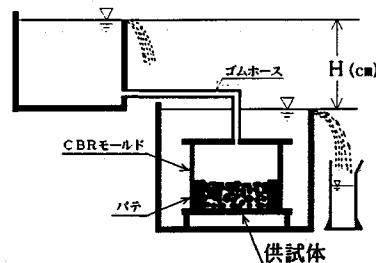
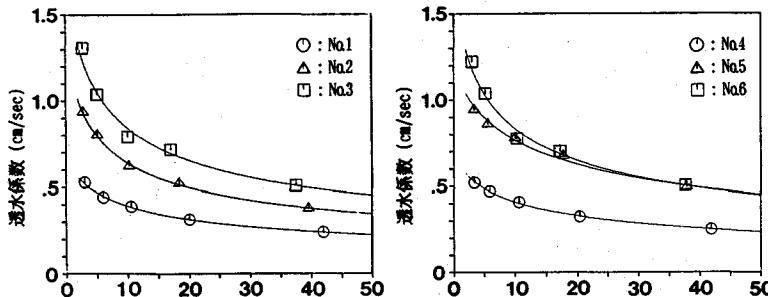


図-1 定水位透水試験方法

図-2 水頭差と透水係数（透水方向：水平）
(点：測定値, 実線：計算値)表-2 表-1の供試体の定数 (α , β)

No.	水平方向		鉛直方向	
	α	β	α	β
1	1.49	2.63	4.28	14.5
2	0.73	1.25	1.59	3.30
3	0.55	0.73	1.56	1.85
4	1.47	2.47	3.89	9.72
5	0.84	0.60	2.13	3.12
6	0.58	0.74	1.30	2.07

算値が良く一致しており、排水性舗装の動水勾配と平均流速の間に、式(1)の関係のあることが確認できる。

(3) 飽和度と透水係数

ポーラスな物質の透水係数が、不飽和な状態で小さくなることはよく知られている³⁾。排水性舗装でも同様で、透水実験中に時間とともに透水係数が小さくなる現象⁴⁾は、溶存していた空気が気泡化し空隙中の水の流れを阻害するからと考えられる。ちなみに、真空ポンプで脱気した水を使っての透水実験では、実験中に気泡が出てくることもなく、透水係数が変化するような現象は見られなかった²⁾。

飽和度と透水係数の関係について、本研究では検討を加えなかったが、飽和度によって透水係数が大きく影響を受けることは、透水試験を通じて実感できることである。同じ供試体でも、試験ごとに透水係数が異なることが試験当初によく見られた。これなどは、供試体の飽和度について注意を払わなかったからである。

供試体の飽和度を任意の値にコントロールすることは实际上不可能である。したがって、透水試験の再現性を確保するためには、供試体を飽和させて試験を行う必要がある。ところで、現場の排水性舗装は不飽和の状態で排水しているため、飽和供試体で得られた透水係数をそのまま適用してその排水量を計算することは意味がない⁵⁾。そのため、現場の不飽和状態での透水係数を、なんらかの方法で別途評価しておく必要がある。しかし、本研究ではこの点については触れないこととし、もっぱ

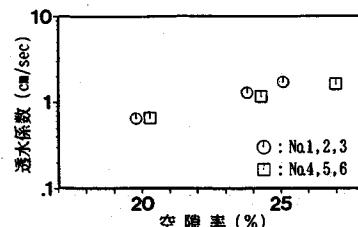


図-3 空隙率と透水係数

ら飽和状態での透水に問題を限定することとする。

(4) 空隙率と透水係数

表-2と式(3)から、動水勾配を実際の路面の横断勾配に相当する $i=0.02$ としたときの、水平方向の透水係数と空隙率の関係を図-3に示す。

図より、空隙率が大きくなるほど透水係数も大きくなる結果が得られ、その傾向を概略知ることができる。

(5) 透水の異方性

写真-1に示す供試体の断面より、施工時の転圧の影響で、偏平した粗骨材が、長径を水平方向にして並んでいるのが確認できる。そのため、同じ供試体でも鉛直方向と水平方向の透水では、透水係数が異なると予想される。そこで表-1の供試体について、図-1に示す試験で得られた(α , β)の値、すなわち表-2の値を用いて、動水勾配を0.02としたときの、各透水方向に対する透水係数の値を表-3に示す。

粗骨材配合率や空隙率に関係なく、すべての供試体で

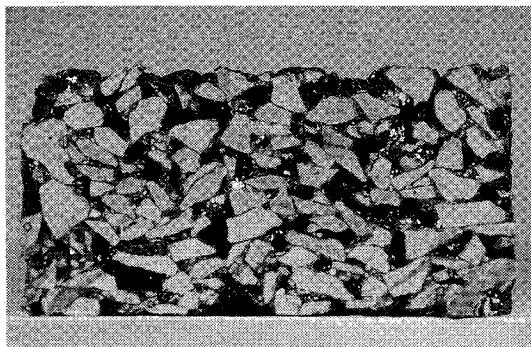


写真-1 排水性舗装の断面

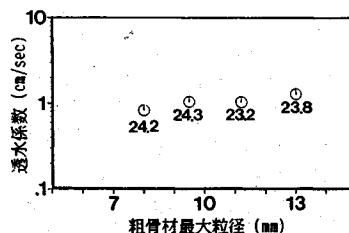


図-4 6号碎石の最大粒径と透水係数

表-3 透水方向と透水係数

No.	k (cm/sec)		水平 鉛直
	水平	鉛直	
1	0.66	0.23	2.87
2	1.31	0.62	2.11
3	1.74	0.63	2.76
4	0.66	0.25	2.64
5	1.18	0.46	2.57
6	1.66	0.75	2.21

※透水係数kは*i*=0.02の値

水平方向の透水係数が鉛直方向に比べ大きくなる結果が得られた。その値は、単純平均で2.53倍となった。

このような結果となった理由としては、粗骨材の長径が水平方向に並んだために、水平方向の空隙のパイプが、鉛直方向のそれに比べ屈曲が少くなり、水平方向の透水が流れ易くなっているからと考えられる。

(6) 粗骨材最大粒径と透水係数

排水性舗装の粗骨材には、現在のところ、粒径13.2 mm~4.75 mmの6号碎石が一般に使用されている。この6号碎石を表-4に示すように分級し配合した空隙率のほぼ等しい供試体について、碎石の最大粒径と透水係数の関係を調べた。透水試験方法は前項(5)と同じで、透水方向は水平方向を行った。表-5に各供試体の(α , β)を、図-4に6号碎石の最大粒径と動水勾配が0.02のときの透水係数の関係を示す。なお、図-4の中の数字は各供試体の空隙率である。

図-4において、それぞれの供試体の空隙率を考慮に入れると、空隙率の等しい供試体では、使用した粗骨材の最大粒径が大きくなるほど、透水係数の値も大きくなるといえる。その理由として、このような大きな空隙率の供試体では空隙のほとんどが連続空隙であり、粗骨材の最大粒径を大きくすることによって、同じ空隙率でも空隙のパイプが太くなるためと考えられる。

3. 現場透水試験

(1) 現在の方法

排水性舗装の排水能力を確認する方法として、いくつ

表-4 粒径変化供試体の諸量

No.	透水断面積・透水長 (cm×cm) × cm	空隙率 %	骨材配合率(%)		アフタ 吐量	骨材分級 (mm)
			6号 粗砂	石粉		
A	9.97×5.16×9.50	24.2				8.0~4.75
B	9.88×5.13×9.69	24.3	85	11	4.8	9.5~4.75
C	9.76×5.17×9.52	23.2				11.2~4.75
D	10.14×5.20×9.75	23.8				13.2~4.75

※透水断面積は、透水方向が水平方向の値

表-5 表-4の供試体の定数(α , β)

No.	α	β
A	1.17	1.14
B	0.92	1.04
C	0.93	1.20
D	0.73	1.25

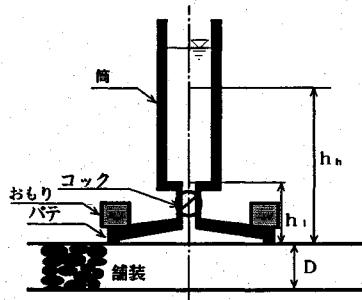


図-5 現場透水試験 (東京都法)

かの透水試験が行われている。現場では試験の簡便さが求められることは当然であり、試験に使用できる水量に限りがあることが多いであろう。そのような理由から、変水位透水試験が基本形になっている。

透水試験の代表的な方法として、図-5に示した東京都法(写真-2の左)が挙げられる。

東京都法は、歩道などの透水性舗装の機能を評価するために用いられている簡便性のある変水位透水試験である。しかし、この試験法を、透水係数のオーダーが大きい排水性舗装に、使用水量を多くするなどの工夫をせずにそのまま適用すると、次のような問題がある。

- ・使用水量が少ないため、舗装内部が飽和状態にならない。
- ・施工直後などで透水性が特に高い場合、透水試験の測定時間が数秒と短く、計測誤差が相対的に大きくなる。
- ・試験器のコックの部分がくびれしているため、透水性の高い舗装ほど、くびれによる流れの阻害の影響が大き

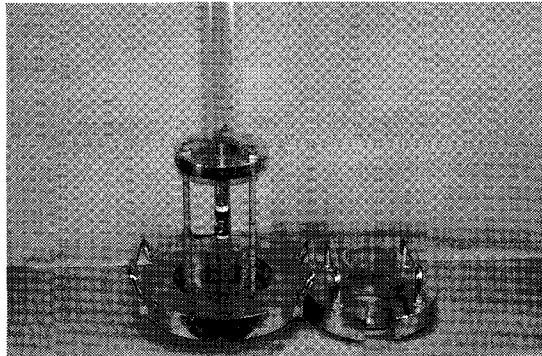


写真-2 現場透水試験器

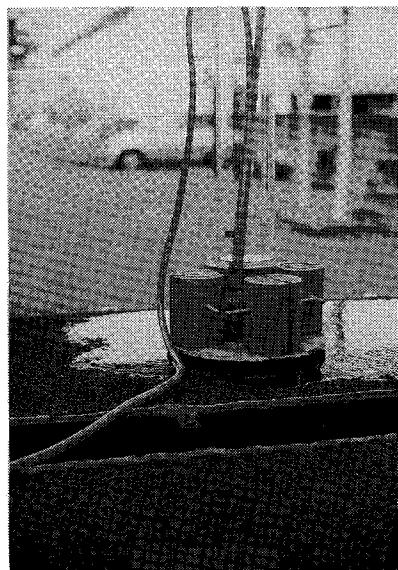


写真-3 改良型現場透水試験器

くなる。そのため、極端な場合には、舗装の透水性ではなくコックの流れ易さの度合いを計ることとなる。

- ・透水がすぐに舗装表面に流れ出るため、鉛直方向の透水の状況の何がしかを評価することにならぬ、水平方向の透水係数を計ったことにはならない。

これらの理由から、東京都法を現行のままで行って、排水性舗装の透水を評価したり、透水係数を算出することには問題がある。

また、東京都法以外の透水試験として、図-6に示す透水試験（写真-2の右）がある。

この試験法では、東京都法で問題とされるくびれの影響はないが、同じく透水係数を算出するには、次のような問題がある。

- ・試験器の長さが短いため、水を流し込むとすぐに計測開始線まで水位が下降するが、水面が揺れているため計測開始の瞬間の設定が難しい。
- ・透水係数を計るには、使用水量が300 ccと少なく、

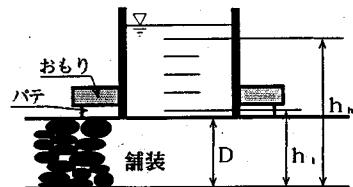


図-6 現場透水試験 (くびれのない)

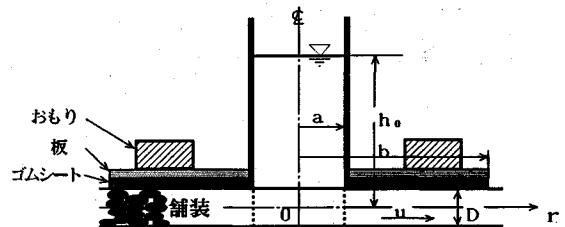


図-7 改良型現場透水試験

舗装内部まで飽和状態にならない。

- ・測定時間が数秒と短く、誤差が大きい。
- ・透水が舗装の中を流れずに、すぐに円筒の周りから舗装表面に流れ出るため、舗装への浸み込み易さは評価できても、透水性は評価できない。

以上の理由から、この試験法で透水係数を計るにも、多くの問題がある。

そのため実際のところ現場では、透水係数を直接的に得ることを目的とせず、一定量の水が透水で失われるのに要した時間を計測することで、透水性の良否を比較評価し、判断している程度である。このような状況からも、ある程度定量評価の可能な新しい透水試験法の確立が急がれている。

ここで、現行の透水試験で改良すべき問題点を列挙する。

- ・舗装内の飽和度を上げる工夫をする。
- ・透水量を多くし、測定時間を長くする。
- ・流れを妨げるくびれなどをなくす。
- ・透水が強制的に舗装内部を排水方向(水平方向)に通るようにする。
- ・透水係数が定量的に求められる試験方法とする。

(2) 新たな方法の提案

前項で挙げた現行の透水試験の問題点を考慮した上で、現在の試験器を改良した、写真-3と図-7に示す新たな現場透水試験法（以降、改良型透水試験と呼ぶ）を提案する。

図-7で試験法を説明する。厚さDの舗装の上に、内径15 cm ($a=7.5$ cm)、高さ50 cm程度のアクリル製の円筒を立て、その周りに直径40 cm ($b=20$ cm)、つばの部分の長さが12.5 cmで、舗装表面と密着性の高いドーナツ状のゴムシートを置く。さらに、ゴムシート

と舗装表面の間を水が流れないように、その上に重りを対角線上に置く。ここで、重りの重さをゴムシートに均等に配分するように、ゴムシートと同じ形状の厚さ1cm程度の板を挟む。

以上のように、円筒の周りにゴムシートを置くことにより、現在の試験法で問題とされる、透水が円筒の周囲からすぐに舗装表面に流れ出ることは無くなり、強制的に透水を舗装内部に流すこととなる。

試験は基本的に現場での簡便さを考え、変水位試験で行うことを前提とするが、本研究では、この試験法の精度を確認する意味で、定水位でも試験を行った。

(3) α, β の求め方

各舗装の固有の定数 (α, β) の求め方について述べる。

まず、定水位透水試験の場合を考える。図-7において、舗装厚の中心から水位 h をとり、舗装内の厚さについての平均流速を u とし、透水係数を式(2)で表すとする。

円筒の中心から r 座標をとれば、 $r=a$ での舗装内の流速を u_0 として、連続方程式は

$$u(r) = \frac{au_0}{r} \quad (4)$$

であり、運動方程式は

$$-\frac{dh}{dr} = i = \alpha u + \beta u^2 \quad (5)$$

である。よって式(4), 式(5)より

$$-h = \alpha au_0 \ln r - \beta a^2 u_0^2 \frac{1}{r} + C \quad (6)$$

が得られる。ここで、 $r=a$ で $h=h_0$, $r=b$ で $h=0$ の境界条件を与えると

$$-h_0 = Fu_0 - Gu_0^2 \quad (7)$$

$$\text{ただし, } F = \alpha a \ln \frac{a}{b}, \quad G = \beta a^2 \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

が得られる。

この式を u_0 について解くと、 u_0 は正であるので

$$u_0 = \frac{F + \sqrt{F^2 + 4Gh_0}}{2G} \quad (8)$$

となる。

透水試験より定数 (α, β) を求めるには、水位 h_0 と測定された流量より求めた流速 u_0 を代入し、(α, β) の連立方程式を解けばよい。ただし、(α, β) は陽な式で与えられないから、繰り返し演算で求めることとなる。

変水位透水試験の場合には、式(8)において、 h_0 を h と置き換え、微小時間の透水量を考える。舗装厚を D とし、円筒の断面積が πa^2 であるから

$$-\pi a^2 dh = 2\pi a D u_0 dt \quad (9)$$

となる。運動量の変化は微小であるから無視して、水位 h_h から h_t までの透水時間を t とすると、式(8), 式(9)から

表-6 現場試験用供試体の諸量

No.	骨材配合率(%)			アスファルト量 (kg)	舗装厚 (cm)	空隙率 (%)
	6号	粗砂	石粉			
1	77	19	4	5.0	4.13	17.2
2	81	15	4	4.8	4.08	20.9
3	81	15	4	4.8	4.05	20.4
4	85	11	4	4.6	4.00	24.2
5	85	11	4	4.6	3.93	22.4
6	81	15	4	4.8	5.63	17.0
7	81	15	4	4.8	7.53	14.3
8	81	15	4	4.8	6.08	20.0
9	81	15	4	4.8	5.90	16.7
10	81	15	4	4.8	7.48	22.6

*値は排水性舗装部分のみ

$$\int_{h_h}^{h_t} \frac{2Gdh}{F + \sqrt{F^2 + 4Gh}} = - \int_0^t \frac{2D}{a} dt \quad (10)$$

となり、よって

$$\left[\sqrt{F^2 + 4Gh} \right]$$

$$-F \ln \left| \sqrt{F^2 + 4Gh} + F \right| \Big|_{h_h}^{h_t} = \frac{2D}{a} t \quad (11)$$

が得られる。

式(11)で (α, β) を求めるには、透水試験で水位 h_h から h_t までの水面の流下時間 t を、水位を変えながら数回測定する。それぞれの値を式(11)に代入し、繰り返し演算で測定値と計算値の誤差が最小となる (α, β) を求める。

この透水試験を行うに際しての注意点は、試験中の舗装体を飽和状態にしておかねばならないことである。それには十分な空気抜きが必要である。また、舗装厚 D をあらかじめ知っておく必要がある。

4. 新方法による透水実験

(1) 実験方法

現場での簡便さを考え、基本的には変水位で透水試験を行うこととするが、ここでは試験法の相対的な精度の確認のため、定水位と変水位の両方を行う。さらに、本試験法の絶対的な精度を確認する意味で、改良型透水試験に使用した供試体をカットし、図-1に示した要素試験も行う。

改良型透水試験には、表-6に示したように空隙率と舗装厚を違えた10個の供試体を用いる。供試体は縦横50cm×50cmの正方形で、下層の密粒度舗装の上に排水性舗装を施工した、実際の舗装を模した二層構造になっている。なお、表中の値は上層の排水性舗装部分のみの値である。

図-7の試験法の概念図より、測定結果は試験器をはずれた外側の条件 ($r=b$ より外側) に大きく影響を受ける懸念があるが、ここで、縦横50cm×50cmの供試体で透水実験を行った理由は、次のようにある。屋外に

表-7 要素供試体の諸量

No.	透水断面積・透水長 (cm×cm) × cm	空隙率 (%)
1	10.30×4.61×10.19	18.7
2	10.02×4.45×10.08	22.3
3	10.20×4.33×10.37	20.8
4	10.02×4.23×10.30	25.1
5	10.09×4.14×10.62	23.4
6	10.18×5.97×10.31	18.6
7	10.03×8.56×10.43	19.6
8	10.59×6.25×9.93	21.5
9	9.99×6.42×10.62	22.7
10	10.41×7.54×9.87	21.6

*透水断面積は、透水方向が
水平方向の値

施工された排水性舗装で変水位透水試験を行い、その時の供試体の大きさを、そのままの状態、1m 角、75 cm 角、50 cm 角とカットし、小さくしながら行ったところ、水面の降下時間にほとんど影響がなかった。そこで、室内での作業の行い易さと、つばの大きさ $b=20$ cm を考え、上記の大きさとした。

定水位透水試験は次のように行う。

- ・試験器の円筒の中で、ホースの先端を供試体に押し付け、供試体に直接水圧をかけて、供試体内部の空気を追い出す。この作業を十分に行い、供試体を飽和状態にする。
- ・水位が所定の高さ付近に落ち着くように、ホースからの供給水量を調節する。
- ・落ち着いた時の水位を舗装表面から mm 単位で計る。
- ・ホースから流れ出る水の、単位時間流量を計る。
- ・測定では各供試体で統一性を持たせるため、また、計算精度を上げるために、水位が 3.5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm 付近の 4 点で行う。
- ・変水位透水試験は次のようにある。
- ・定水位と同じ作業を行い、供試体を飽和状態する。
- ・ホースで円筒に水を注ぎ、ある程度の水位になったところで、水の供給を止める。
- ・数点の任意の高さから、舗装表面付近まで、水面の下がる時間を測定する。

この測定でも各供試体で統一性を持たせるため、また、計算精度を上げるために、舗装表面からの水位が、各 25 cm, 20 cm, 15 cm, 10 cm から 5 cm まで、水面の下がる時間を連続測定する。

要素試験用の供試体は、改良型透水試験と整合性を持たせるため、改良型透水試験時に円筒を立てた部分の舗装を、 $\phi 15$ cm でコア抜きし、ダイヤモンドカッターで約 10 cm 角にカットした後、下層の密粒度部から剥したものを使用する。カット後の要素供試体の諸量を表-7 に示す。なお、供試体の No. は表-6 と同じである。

(2) 実験結果

定水位透水試験では、各供試体の 4 点の水位で測定し

表-8 改良型透水試験と要素試験の (α, β)

No.	定水位		変水位		要素試験	
	α	β	α	β	α	β
1	1.74	1.40	1.73	1.21	1.43	1.62
2	1.24	0.50	0.98	0.66	0.54	1.01
3	1.32	0.81	1.19	0.96	0.80	0.98
4	0.78	0.37	0.62	0.55	0.38	0.59
5	0.74	0.27	0.63	0.40	0.43	0.57
6	1.89	0.85	1.74	1.09	0.97	2.00
7	2.49	0.98	2.20	1.98	1.54	3.10
8	1.23	1.18	1.13	1.29	0.82	1.05
9	1.54	1.00	1.37	1.20	0.92	1.64
10	2.28	0.47	1.69	1.34	0.97	1.80

表-9 試験法による透水係数 (単位: cm/sec)

No.	i = 1			i = 0.02		
	要素	定水位	変水位	要素	定水位	変水位
1	0.46	0.43	0.44	0.69	0.57	0.57
2	0.76	0.64	0.70	1.73	0.80	1.01
3	0.68	0.56	0.58	1.21	0.75	0.83
4	1.02	0.90	0.90	2.42	1.27	1.58
5	1.00	0.99	0.99	2.21	1.34	1.57
6	0.50	0.44	0.45	0.99	0.53	0.57
7	0.37	0.35	0.35	0.63	0.40	0.45
8	0.68	0.54	0.55	1.19	0.80	0.87
9	0.55	0.49	0.51	1.05	0.64	0.72
10	0.52	0.41	0.44	1.00	0.44	0.59

た (h_0, u_0) を式 (8) に代入し、繰り返し演算で計算値と測定値の誤差が最小となる (α, β) を求める。

変水位透水試験では、 $h_i (= 25, 20, 15, 10$ cm) と $h_i (= 5$ cm)，その間の水面の流下時間 t を式 (11) に代入し、測定値と計算値の誤差が最小となる (α, β) を求める。

その後、式 (3) に (α, β) を代入することにより、任意の動水勾配 i に対する透水係数が求まる。各供試体の (α, β) を表-8 に示す。

(3) 考察

表-8 の (α, β) から、動水勾配を改良型透水試験の測定水位付近の $i = 1$ と、実際の舗装の横断勾配に相当する $i = 0.02$ のときの透水係数を比較したものを表-9 に示す。

また、改良型透水試験法の精度を確認するために、表-9 のそれぞれの動水勾配の対する、定水位と変水位の透水係数を比較したものを図-8 に示す。

表-9 の定水位と変水位の透水係数について、動水勾配を $i = 1$ とした時、その差が最大でも 0.06 cm/sec と小さいことから、先に示した計算式の妥当性がうかがえる。それに対し、動水勾配を実際の舗装路の透水係数に近い $i = 0.02$ とした時、その差が供試体によって大きく異なり、最大で 0.31 cm/sec となる。しかし 10 個中、6 個の供試体で、その差が 0.1 cm/sec 以内に保たれているので、若干問題があるものの、定水位と変水位で測定される透水係数は、ほぼ等しいと考えて差し支えないよ

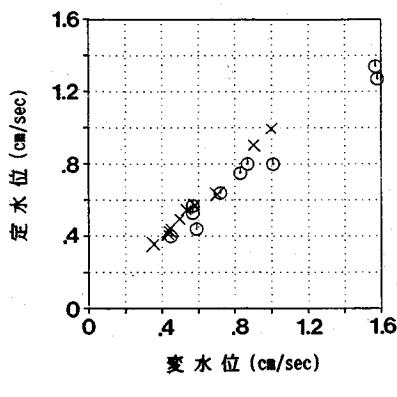


図-8 改良型透水試験の透水係数の比較

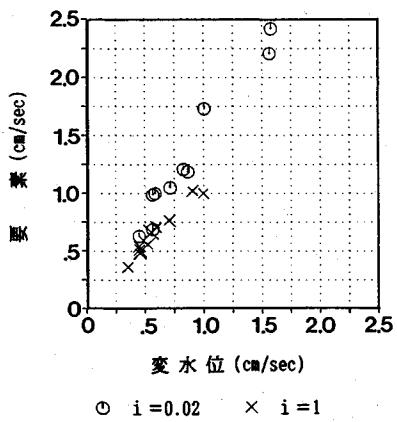


図-9 要素試験と改良型透水試験(変水位)の透水係数

うである。

また、図-8 から分かるように、動水勾配が 1 の時の両試験の直線関係が、動水勾配を 0.02 としてもバラつくこと無く、その関係が保たれていることから、動水勾配を 0.02 として透水係数を計算しても、特に問題は無いと思われる。

図-8について、定水位と変水位の透水係数の関係式で表すと、次式のようになる。

・ $i=1$ のとき (図-8 ×印)

$$(定水位の k) = (\text{変水位の } k) \times 0.98 \dots \dots \dots (12)$$

・ $i=0.02$ のとき (図-8 ○印)

$$(定水位の k) = (\text{変水位の } k) \times 0.85 \dots \dots \dots (13)$$

(単位: cm/sec)

以上述べたことから、この試験法で、定水位、変水位によらず、ほぼ正確に透水係数が測定されていることが確認できる。

次に、要素試験と現場での使用を目的とした改良型の変水位試験について考察する。図-9 にそれぞれの透水係数を比較したものを見よ。

図-9 から分かるように、改良型透水試験を行った

付近の動水勾配 ($i=1$) では、要素試験と差はあまり見られず、最大でも 0.12cm/sec である。しかし、動水勾配を 0.02 とすると、透水係数の差が供試体によって大きく異なり、最大で 0.84cm/sec となる。それそれを式で表すと次のようになる。

・ $i=1$ のとき (図-9 ×印)

$$(\text{要素試験の } k) = (\text{改良型変水位の } k) \times 1.10 \dots \dots \dots (14)$$

・ $i=0.02$ のとき (図-9 ○印)

$$(\text{要素試験の } k) = (\text{改良型変水位の } k) \times 1.49 \dots \dots \dots (15)$$

(単位: cm/sec)

式 (14) から、測定水位付近の動水勾配では、改良型透水試験で正確に透水係数が測定されていることが確認できる。しかし、 $i=0.02$ とした時には、改良型試験の透水係数が、常に小さく測定された。その理由としては、次の点が挙げられる。

・先に述べたように、表-8 に示した要素試験の (α, β) は、供試体が完全に飽和した状態で測定されたもので、理想状態での透水係数を与える供試体の個々の定数である。そのため、式 (3) に動水勾配の値を代入すれば、その動水勾配に対応する正確な透水係数が得られる。それに対し、改良型透水試験は、試験の性格上完全な飽和状態にはならず、要素試験に比べると空気抜きが不十分であることは明らかである。そのため、動水勾配の大きな時は透水の流速が大きいため飽和度の影響がほとんど現れないが、動水勾配を小さくした時には飽和度が大きく影響し、改良型透水試験では不飽和な分だけ透水係数が小さくなつたと思われる。

・同一供試体で両試験を行ったが、上層と下層を分離し、要素試験用の供試体を作製するときに、二層となっている境界面がうまく剥がれず、要素供試体が欠けたりしたため、両試験で各供試体の条件が多少異なつたと考えられる。

何れにせよ、様々な配合条件で供試体を作製し、実験室内で多くのデータを取ることによって、式 (15) のような関係が得られれば、現場での簡単な透水試験で、舗装のより正確な透水係数を知ることができる。

5. あとがき

排水性舗装の排水機能を表す際に最も基本的な量となる透水係数について調べ、空隙率、透水の異方性、粗骨材最大粒径との関係を明らかにした。また、現行の現場透水試験の問題点を述べ、精度の高い透水係数を定量的に求めることを目的とした新しい現場透水試験方法を提案し、それ用に作成した供試体を用いて現場透水試験を行った。さらに、その試験精度を確認するために透水試験後の供試体を要素にカットし、定水位透水試験を行い、それそれを比較検討した。

その結果、動水勾配を測定水位付近の $i=1$ とした時、

両試験による透水係数の差はほとんどなく、新しい透水試験の精度が確認できたが、実際必要とされる $i=0.02$ とした時は、正確な透水係数を得ることができず、個々の舗装に対して、補正係数が必要となることがわかった。

何れにせよ、実験室内で多くのデータを取ることによって、各舗装に対する補正係数が得られれば、現場での簡単な透水試験で、今までの現場透水試験に比べ、はるかに精度の高い透水試験を行うことができ、舗装の透水係数を知ることができることが示された。

謝 辞：本研究は、長岡技術科学大学技術開発センターの研究プロジェクト「ポーラスアスファルトに関する研究」の一環として行われたものである。代表の丸山暉彦長岡技術科学大学教授をはじめ、参加各位の援助と熱心な討論に支えられたことを記して深甚なる謝意を表する次第である。また、実験にあたっては、福田道路（株）の田口仁氏、新潟大学工学部の神立秀明氏、新潟

大学4年生の蝦名崇宏氏（現在、三菱建設（株））と坂本式隆氏（現在、五洋建設（株））の多大な協力を得た。記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 松尾新一郎・木暮敬二：碎石の透水性に関する実験、土と基礎、18-2 (144), pp. 5~10, 1970.
- 2) 大川秀雄・原 富男・杉本 敏・佐藤隆宏：排水性舗装（ポーラスアスファルト）の透水係数に関する考察、土木学会第18回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp. 242~243, 1991.
- 3) 例えば、中野政詩：土の物質移動学、東京大学出版会、2章, 1991.
- 4) 田口 仁・, 帆苅浩三・今井寿男：開粒度アスコンによる舗装体排水に関する研究（第2報），土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, V-17, pp. 60~61, 1990.
- 5) 大川秀雄・原 富男・帆苅浩三：排水性舗装の排水挙動、舗装, 27-7 (317), pp. 32~37, 1992.

(1993. 4. 1 受付)

STUDY ON THE ESTIMATION OF PERMEABILITY COEFFICIENT OF DRAIN ASPHALT

Hideo OHKAWA, Takahiro SATO and Kozo HOKARI

This paper describes the basic properties of permeability coefficients which are needed to evaluate the function of drain asphalt. It is also aimed at showing the conditions needed for in-situ test to check the functions to be applied for proper construction management or maintenance. Then, a new in-situ test method which can estimate the permeability coefficient quantitatively, and not qualitatively as have been done in most research, is presented. The accuracy of the new method is also investigated. Generally, the permeability of drain asphalt is anisotropic, and the flow is turbulent which is out of the range of Darcy's law. The new method shows good accuracy in practical applications.