

産業廃棄物を利用した透水性舗装に関する実験的研究

Experimental study on the permeable pavement that utilized industrial waste

浅野真二[†]，建部英博^{††}
Shinji ASANO, Hidehiro TATEBE

Abstract : In recent years a heat island phenomenon is a problem. It is exerting bad influence, to the people who live in a city. The discard heat that this is discharged from an industrial activity and a home in a city is a cause. Also, even the change of the ground surface by urbanization is related greatly. Usual pavement is structure that drains early without inserting water in pavement, to maintain endurance nature of pavement. The pavement of such structure has been conceivable as one of the cause of a heat island phenomenon. However, a permeable pavement is conceivable as the solution of a heat island phenomenon, because it is structure that infiltrates water. Also even a processing problem of industrial waste is intensifying. As for front glass of the automobile that is one of the recycle is difficult because there is an intermediate membrane. It is a present condition to be processed reclamation on the occasion of discard. This study carried out the research of the permeable pavement that utilized industrial waste, to solve this two problems.

1. 序論

1.1 はじめに

近年、ヒートアイランド現象が問題となり¹⁾、熱帯夜が続く等都市で生活する人々に悪影響を与えている。これは、都市における産業活動や家庭から排出される廃熱が主な原因であるが、都市化による地表面の変化も大いに関係している。すなわち、従来の舗装は、路盤、路床の支持力低下を起こさないように路面排水を第一とし、舗装内に水を入れることなく、早く排水することとしてきた。このような構造の舗装はヒートアイランド現象の原因の一つとして指摘されてきた。しかし、透水性舗装は舗装内に雨水を浸透、保水させる構造であるため、ヒートアイランド現象の解決策の一つと考えられる。

また産業廃棄物の処理問題も深刻化している。その中の一つである自動車のフロントガラスはガラス飛散防止の中間膜フィルムがあるため通常の再利用が困難である。廃棄の際には埋立て処理されるのが現状であ

る。しかし、鋭利にとがっていないため、通常舗装と同様にこの破碎したガラスを骨材の代わりに利用したアスファルト舗装が可能であると考えられる。

本研究はこの二つの問題に着目し、産業廃棄物を利用した透水性舗装の研究を行ったものである。

1.2 透水性舗装

透水性舗装²⁾は、今までの舗装技術とは逆の発想により、雨水を空隙の多い表層、基層から路盤、路床に保水、浸透する構造となっており、雨水を蒸発散させることが可能である。(図1)

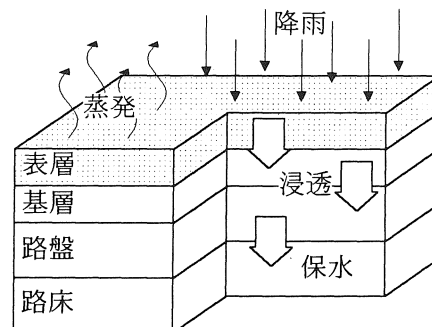


図1 透水性舗装概略図

[†]愛知工業大学大学院建設システム工学専攻(豊田市)

^{††}愛知工業大学土木工学科(豊田市)

現在では通常路盤, 路床の耐久性の問題から荷重の緩やかな歩行者系道路に多く適用されているが, 車道では試験施工程度にとどまっている。

そこで, 銑鉄を製造する際に副産物として生成される水砕スラグにアルカリ性刺激剤を添加させることで, その材料特性である潜在水硬性を発揮させ, 透水性に優れ, また降雨の浸透による強度低下を起しにくい改良路盤・改良路床を開発し³⁾, 実際に透水性舗装の路盤・路床に適用してきた。しかし, この改良路盤・改良路床を通過した雨水はアルカリ性刺激剤などの影響を受け, 強アルカリ性となり, 地中に浸透し, 環境に悪影響を与えることが懸念される。(図 2)

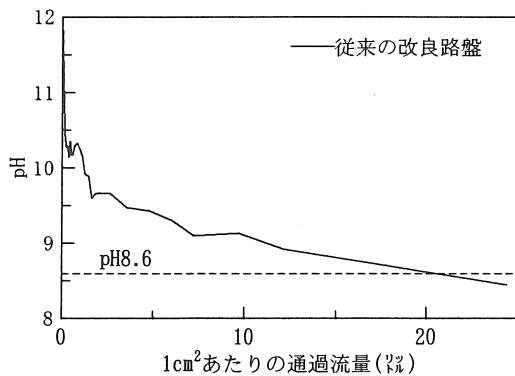


図 2 通水試験結果

1.3 廃車のフロントガラス

ガラスの中でも自動車ガラスは乗用車一台に 20~40kg 使用されており, 1999 年に廃棄された自動車ガラスは推定 13 万 t。特にフロントガラスは, ガラス飛散防止の中間膜フィルムが挟み込まれているために通常のリサイクルが難しい。廃車の際にはそのほとんどがシュレッダダストとして埋立て処理されているのが現状である。

1.4 研究目的

本研究では,

- ① 表層, 基層では, 骨材粒径 2.36~4.75mm の碎石の代わりに産業廃棄物である破碎した廃車のフロントガラスをアスファルト混合物の骨材として使用し, 通常骨材と力学的, 物理的性質を比較する。
- ② 水砕スラグを利用した改良路盤・改良路床には, 昨年までアルカリ性刺激剤として生石灰, 消石灰を利用してきたが, 地中に浸透する雨水のアルカリ化を抑制するため, 代わりに若干 pH の低い粉末化水砕スラグを用い供試体を作成し, 透水性舗装

の路盤材料として利用可能かを力学的, 物理的性質について検証する。

- ③ 実際に透水性舗装と通常舗装の模型を作成し, 夏期路面温度の抑制が可能か測定, 比較を行う。

以上の実験を行い, 産業廃棄物を利用した透水性舗装の研究を行ったものである。

2. 表層, 基層の力学的, 物理的評価

透水性舗装の表層・基層の材料には, アスファルト舗装要綱⁴⁾に定められた排水性舗装に用いられる開粒度アスファルト混合物の骨材配合を用い(表 1 参照), アスファルトには耐流動性に優れた改質アスファルト II 型を使用した。

表 1 骨材配合比

骨材粒径 (mm)	骨材配合比 (%)
13.2~9.5	58.5
9.5~4.75	21.0
4.75~2.36	5.0
2.36~0.6	5.0
0.6~0.3	3.0
0.3~0.15	2.0
0.15~0.074	1.0
0.074以下	4.5

今回使用した廃車のフロントガラスはアスファルトミキサーで破碎した際, 2.36~4.75mm の粒径が全体の 8 割を占めた。(写真 1)

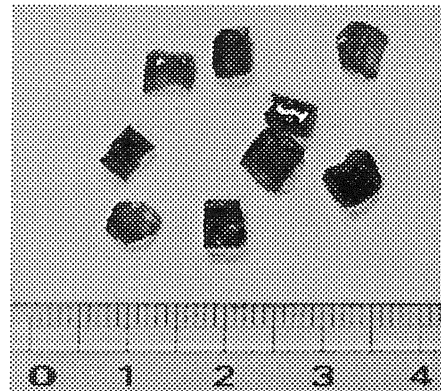


写真 1 破碎したフロントガラス

そこで, 骨材粒径 2.36~4.75mm の碎石骨材の代わりにフロントガラスを骨材として使用し各種試験を行い, 碎石の場合と力学的, 物理的に比較を行い, 実際に透水性舗装のアスファルト混合物として利用できるか検討した。

2.1 マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験は現在我が国で最も広く用いられる試験であり、試験室での配合設計や現場での品質管理を目的に行われている。本研究では過去の研究結果より改質アスファルト 3.5%を一定として実験を行い、通常碎石とガラス入りの混合物の比較を行った。

表2 開粒度アスファルト混合物の基準値

項目	突固め回数 (両面)		基準値
安定度 (kN)	B交通以下	50回	4.90以上
	C交通以上	75回	7.35以上
空隙率 (%)			15以上

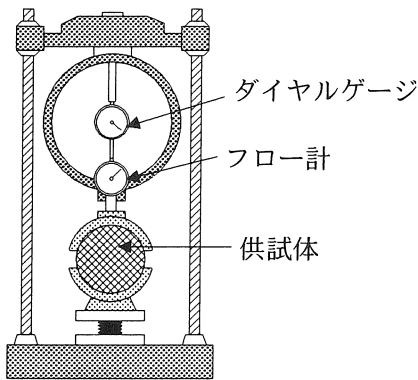


図3 マーシャル試験機概略図

表2 にアスファルト舗装要綱に定められる開粒度アスファルト混合物のマーシャル安定度試験の基準値を示す。図3にマーシャル試験機の概略図を示す。

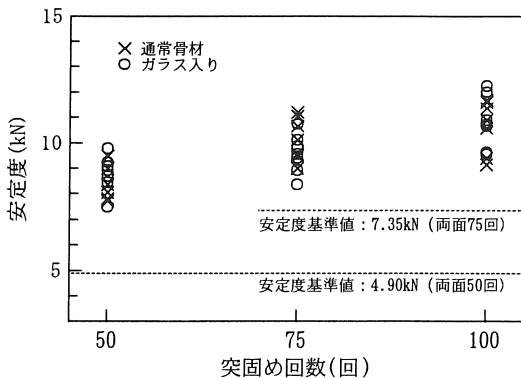


図4 安定度－突固め回数

安定度と突固め回数の関係を図4示す。安定度は突固め回数の増加とともに、増加することがわかる。ガラス入りの供試体は、通常骨材と同程度の値を示し、基準値を上回り、C 交通以上にも利用できると思われる。

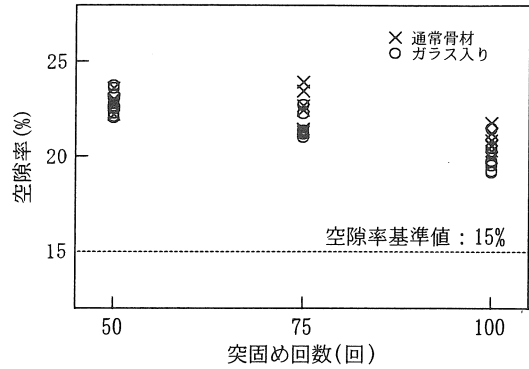


図5 空隙率－突固め回数

空隙率と突固め回数の関係を図5に示す。空隙率は突固め回数の増加にともない減少するが、ガラスを混入しても同程度の値を示し、基準値である15%を大きく上回ることがわかった。

2.2 恒圧試験

アスファルト混合物の特有の性質として、速い荷重に対しては高い抵抗性を示すが、遅い荷重には追従変形（クリープ）を起こしやすい性質がある。これは交差点付近などの輪立ちぼれの発生や、目つぶれなどの原因と考えられる。そこで通常骨材での供試体とガラス入りの供試体に恒圧荷重を長時間載荷し、変形量を測定した。試験温度は20°Cの下で300×200×20(mm)の板状供試体を使用し、荷重は5t 輪荷重換算より求められた0.54MPaの圧力を4時間載荷した。

また、アスファルト混合物が変形を起こす要因として、荷重の他にアスファルト混合物の温度による変形があげられる。アスファルト混合物は高温であるほど変形しやすい性質であるため、夏期の路面温度では、輪立ちぼれや目つぶれが発生しやすくなると考えられる。そこで供試体温度を夏期路面温度を想定した60°Cと一定に保ち、恒圧試験を行った。図6に恒圧試験機の概略図を示す。

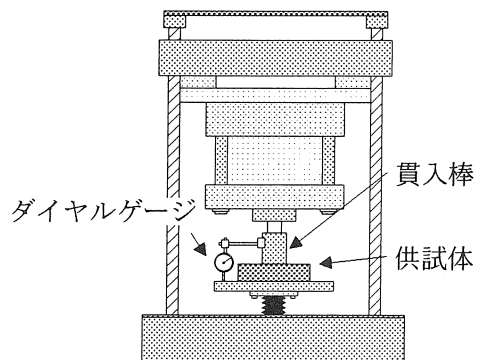


図6 恒圧試験機概略図

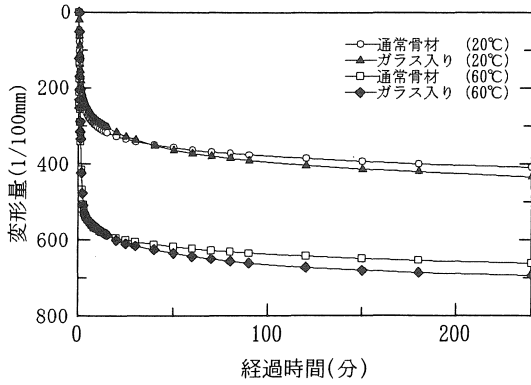


図 7 恒圧試験結果

図7は経過時間と変形量の関係を示したものである。試験温度 20°Cで比較すると、測定開始直後は両者ともに急激に変形するが、その差はあまり見られなかった。経過時間とともに緩やかに変形し、4 時間荷重後には 8%程度変形したが両者の差は 0.3mm 程度であった。

また試験温度 60°Cで比較すると、試験温度 20°Cと同様に測定開始直後は急激に変形するが、両者に差が見られなかった。その後緩やかに変形し、4 時間荷重後には 14%程度の変形が起きたがその差は 0.3mm 程度ガラス入りの供試体のほうが変形量が大きくなった程度である。

2.3 透水試験⁵⁾

透水性舗装のアスファルト混合物の目つぶれを問題にする場合、変形量の大小だけでなく、変形による透水能力の変化も検討しておく必要がある。恒圧荷重による輪立ちぼれや目つぶれは透水能力の低下を招くと考えられる。そこで恒圧試験の供試体を用い、荷重荷前と荷重後に図 8 に示す道路公団式現場透水試験器を用い透水能力の変化を測定した。

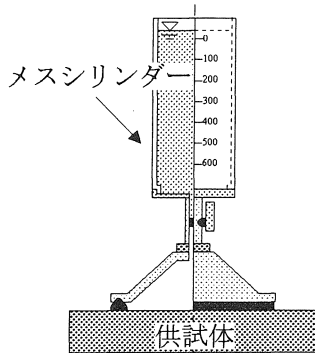


図 8 道路公団式現場透水試験器概略図

透水試験の結果を表 3 に示す。試験温度 20°Cでの供試体では通常骨材, ガラス入り供試体ともに 100ml 程度減少し、透水能力が 17%程度減少していることがわ

かる。変形量の大きかった試験温度 60°Cでの供試体でも両者にあまり差はなく 150ml 程度減少し、透水能力が 25%程度減少し、試験温度 20°Cに比べ大きく減少した。しかし、東京都で透水性舗装の施工直後のアスファルト混合物に対し、一つの目安としている基準値 400ml/15s⁶⁾を上回っていることから、透水能力が十分確保できることが判明した。

表 3 透水試験結果

温度 (°C)	供試体	透水量 (ml/15s)		低下率 (%)
		荷重前	荷重後	
20	通常骨材	616	515	16.3
	ガラス入り	613	509	17.0
60	通常骨材	617	464	24.8
	ガラス入り	611	455	25.6

2.4 曲げ試験⁷⁾

実際に透水性舗装が車道に施工された場合、通行荷重に対する圧縮の力だけでなく、舗装のたわみによる曲げの力も受けることになる。そこで通常の供試体とガラス入りの供試体に、図 9 に示す 2 点荷重で曲げ試験を行い、アスファルト混合物の曲げに対する抵抗性を検討し、通常骨材とガラス入りの混合物を比較した。実験には 300×100×50 (mm) の供試体を使用した。試験温度は 20°Cとし、荷重速度を 1.0, 3.0, 5.0, 15.0mm/min と変化させて行った。

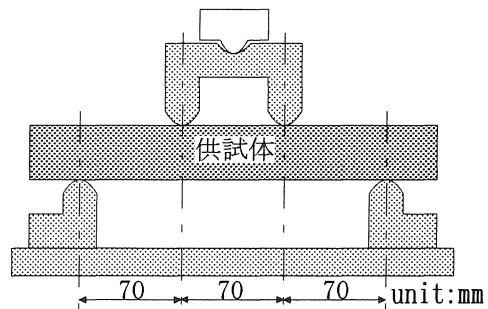


図 9 2 点荷重による曲げ試験

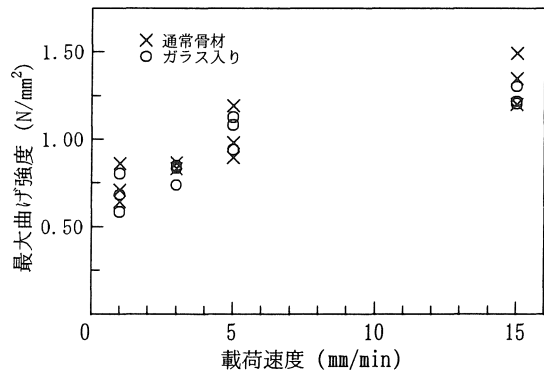


図 10 曲げ試験結果

曲げ試験の結果を図 10 に示す。載荷速度の増加とともに最大曲げ強度も増加していることがわかる。これは速い荷重に対し高い抵抗性を示すアスファルト混合物特有の性質のためであると考えられる。

通常骨材とガラス入りの供試体を比較すると、若干ガラス入りのほうが低くなるが、ほぼ同程度の値を示していることがわかる。

2.5 まとめ

マーシャル安定度試験では、通常骨材の代わりにガラスを混入しても同程度の値を示した。これはアスファルト舗装要綱に定められる基準値を上回る結果となり、C 交通以上でも使用できると考えられる。透水試験でも通常骨材とガラス入り供試体を比較すると同程度の値を示し、恒圧試験、曲げ試験では通常供試体に比べガラス入りの供試体のほうが若干劣るものの、ほぼ同程度の値を示す結果となった。

以上の実験より、アスファルト混合物の碎石の代わりにガラスを混入しても十分実用可能であると考えられる。

3. 路盤、路床の力学的、物理的評価

水砕スラグを用いた改良路盤、改良路床がアスファルト舗装要綱に定められる品質規格を満たすか確認するため、混合するアルカリ性刺激剤の配合、砕石置換率を変化させ CBR 試験を行った。表 4 にアスファルト舗装要綱に定められる品質規格を示す。圧縮試験機による CBR 試験の概略図を図 11 に示す。

表 4 品質規格

使用する位置	工法・材料	品質規格
上層路盤	水硬性粒度調整 鉄鋼スラグ	修正CBR80%以上
下層路盤	鉄鋼スラグ	修正CBR30%以上

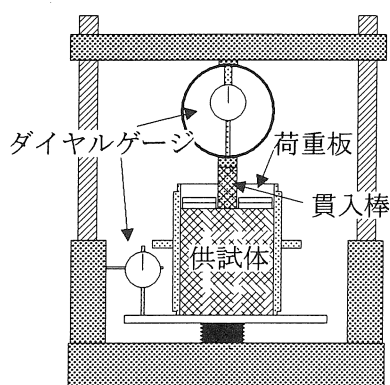


図 11 CBR 試験概略図

3.1 改良下層路盤の評価

アルカリ性刺激剤として消石灰を使用する配合は、昨年の研究から比較的早く反応し、強度を発揮した。しかし、消石灰を配合した供試体を通過した水は、強アルカリ性を示し、その pH は 12 以上と非常に高いため、環境に与える影響は大きいと考えられる。そこで消石灰よりも pH の低い粉末化水砕スラグを使用し、配合を変化させ、CBR 試験よりアルカリ性刺激剤としての効果を検証した。

今回使用した粉末化水砕スラグは、粒径 0.058mm 程度、pH は 11 程度である供試体は、含水比 11%、3 層 42 回突きで締固め、空中 7 日間養生する。

表 5 改良下層路盤の配合別 CBR

水砕スラグ (%)	消石灰 (%)	粉末化水砕スラグ (%)	CBR 平均 (%)
95.0	2.5	2.5	91.6
96.0	0.0	4.0	32.8
95.0	0.0	5.0	41.7
94.0	0.0	6.0	65.4

改良下層路盤の配合別 CBR 試験の結果を表 5 に示す。比較として昨年の最適配合である水砕スラグ 95.0%、消石灰 2.5%、粉末化水砕スラグ 2.5% の CBR 試験も同様に行った。粉末化水砕スラグのみの配合では、昨年の最適配合に比べ CBR が減少していることがわかるが、下層路盤の規格値である 30% を上回る結果となった。また、粉末化水砕スラグの増加とともに CBR も増加する結果となった。

3.2 石膏の利用⁸⁾

水砕スラグと粉末化水砕スラグのみの配合でも、空中 7 日間養生することでアスファルト舗装要綱に定められる下層路盤の規格値 30% を満たしたが、更に強度を得るため、石膏添加による水砕スラグの水和反応を促進させる性質を利用し、強度増加を試みた。石膏が水和反応をどの程度促進する作用があるか検証するため、表 5 の粉末化水砕スラグの配合に石膏を 0.5%、1.0%、2.0% 添加し、CBR 試験を行った。供試体は先ほどと同様の作成方法で行った。今回使用した石膏は β 半水石膏で、比重は 2.64 である。

石膏添加による CBR 試験の結果を表 6 に示す。すべての配合において石膏を添加することで CBR が上昇し、下層路盤の規格値を十分に満たす結果となった。石膏 0.5% 添加することで CBR が 10% 程度上昇し、石膏 1.0% 添加することで 20% 程度上昇する。しかし、石

膏 1.0%添加したものと 2.0%添加したものではほとんど差が見られず, 石膏を多く添加してもあまり効果が見られないことが判明した.

表 6 石膏添加による CBR の変化

水砕スラグ (%)	粉末化水砕スラグ (%)	石膏 (%)	CBR 平均 (%)
95.5	4.0	0.5	40.3
95.0		1.0	48.2
94.0		2.0	47.3
94.5	5.0	0.5	50.4
94.0		1.0	67.2
93.0		2.0	67.2
93.5	6.0	0.5	70.8
93.0		1.0	81.2
92.0		2.0	80.0

3・3 改良上層路盤の評価

石膏を添加することで改良下層路盤の CBR を上昇させることができたが, 80%程度までしか上げることができなかつた. これはアスファルト舗装要綱に定められる上層路盤の規格値の限界程度であるので, 水砕スラグを用いた改良路盤を上層路盤として利用することには問題が残る.

そこで, 水砕スラグを用いた改良路盤に碎石を混入させることで CBR の増加を期待し, 上層路盤の規格値を満たすことができるか検討した. 表 6 より最も CBR の高かつた水砕スラグ 93.0%, 粉末化水砕スラグ 6.0%, 石膏 1.0%の配合を用い, これに碎石を混入させ CBR 試験を行い碎石混入による CBR 変化を測定した.

3・3・1 碎石粒径の決定

碎石粒径を 2.36~13mm, 9.5~13mm, 9.5~20mm, 2.36~20mm と 4 種類を用い, 碎石置換率を過去の研究で得られた 40%と一定にして供試体を作成し, 最適粒径を求めた. 供試体の作成方法は先ほどと同様に, 含水比 11.0%, 3 層 42 回突きで締め, 空中 7 日間養生する.

表 7 碎石粒径別 CBR

碎石粒径 (mm)	CBR 平均 (%)
2.36~13	84.5
9.5~13	99.1
9.5~20	105.8
2.36~20	96.1

碎石粒径別 CBR 試験の結果を表 7 に示す. すべての碎石粒径で上層路盤の規格値 80%を満たすが, 碎石粒径 2.36~13mm ではあまり効果が見られなかつた. 最も強度を発揮した碎石粒径 9.5~20mm の碎石を利用し, 碎石置換率を変化させて CBR 試験を行った.

3・3・2 最適碎石置換率の決定

碎石粒径 9.5~20mm のものを利用し, 碎石置換率を 40%, 50%, 60%, 70%, 80%と変化させて CBR 試験を行った.

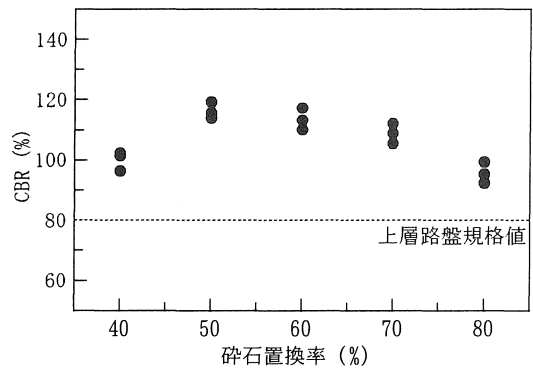


図 12 碎石置換率別 CBR

碎石置換率別 CBR 試験の結果を図 12 に示す. すべての配合において規格値を大きく上回り, 碎石置換率が 50%付近で CBR が最大になる結果が得られた.

3・4 改良路盤の配合決定

以降は表 8 に示す配合で実験を行った.

表 8 改良路盤配合

改良下層路盤			
水砕スラグ (%)	粉末化水砕スラグ (%)	石膏 (%)	含水比 (%)
93.0	6.0	1.0	11.0

改良上層路盤	
改良下層路盤 (%)	碎石 (9.5~20mm) (%)
50.0	50.0

3・5 空隙の評価

水砕スラグを用いた改良路盤は, アスファルト舗装要綱に定められる規格値を満たす結果が得られた. しかし, 透水性舗装の路盤材料として用いるため, 透水

や保水の妨げになるようでは利用できない。透水、保水には空隙が大きく関係するため、空隙を測定し、透水性舗装の路盤材料として利用可能か検討した。図13に空隙の概略図を示す。

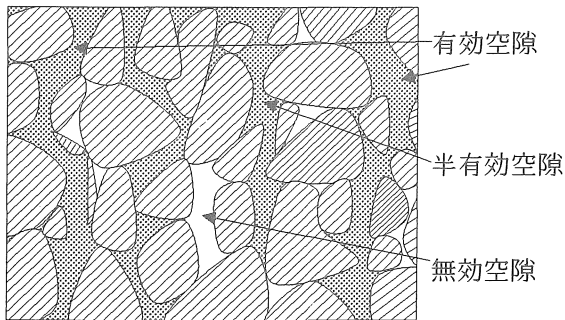


図13 空隙概略図

図13に示すように貯水、通水に寄与する空隙を有効空隙。通水には寄与しないが貯水に寄与する空隙を半有効空隙。貯水、通水のどちらにも寄与しない空隙を無効空隙という。この3つの空隙は混合物によってそれぞれの比率が異なり、全体の空隙率が等しくても透水能力に差が生じてくる。

これにより、正確な混合物の空隙を評価するため、有効空隙と半有効空隙を合わせた連続空隙を測定した。供試体は CBR 試験の突固め回数 17 回、42 回、92 回に相当する乾燥密度の範囲となるように締固めて作成し、実験を行った。

表9 C-20 配合比

骨材粒径 (mm)	骨材配合比 (%)
20.0~13.2	22.5
13.2~4.75	40.0
4.75~2.36	15.0
2.36以下	22.5

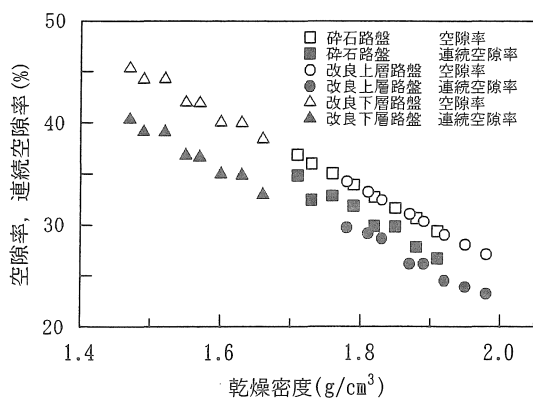


図14 改良路盤の空隙率, 連続空隙率

一般に路盤材料として使用される碎石路盤 (C-20) の配合比を表9に示す。改良路盤の空隙率, 連続空隙率の測定結果を図14に示す。改良下層路盤で最も乾燥密度の高かった1.66g/cm³においても, 空隙率は約38%, 透水, 保水に寄与する連続空隙率は約33%程度と空隙の8割以上と高い割合を示した。碎石路盤の連続空隙率と比較しても同程度以上の値を示す結果となった。また改良上層路盤と碎石路盤を比較すると空隙率は同程度の値を示し, 連続空隙率は改良上層路盤のほうが若干低くなることがわかった。しかし, 乾燥密度1.98g/cm³でも20%以上の連続空隙率を持つ事を示している。

3.6 透水能力の評価

透水性舗装に求められる透水能力は, 降雨強度50mm/hを十分に透水する必要がある。ここでは作成した改良路盤が透水性舗装の路盤材料としてどの程度の透水能力を持ち合わせているか検討した。

水砕スラグの粒径が砂と同程度であることから, 図15に示す定水位透水試験⁹⁾を行い, 密度と透水能力の関係を測定した。透水量の測定は図15に示す定水位透水試験器の円筒上端から水を供給し, 水頭差 h が1050mmの一定水位になってから, 15秒間に排水口から排水される水量を求める。単位時間(15秒)に排水した水量を実際の動水勾配 ($i=1$) に換算し単位断面積当たり1時間で排水できる排水可能雨量を下式より求める。

$$\text{時間排水可能雨量 (mm/h)} = \left(\frac{L}{h}\right) \times \left(\frac{Q}{A \times (t_2 - t_1)}\right)$$

h : 水頭差 (cm) Q : 流出量 (cm³)
 L : 供試体の長さ (cm) A : 供試体断面積 (cm²)
 $(t_2 - t_1)$: 測定時間 (秒)

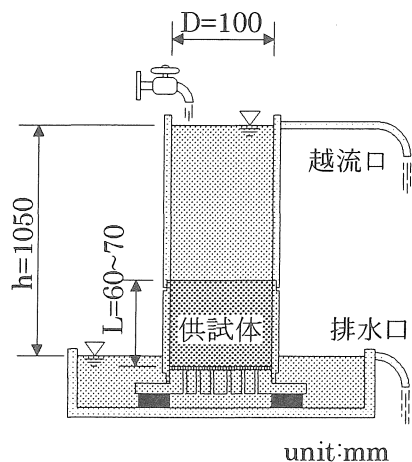


図15 定水位透水試験器概略図

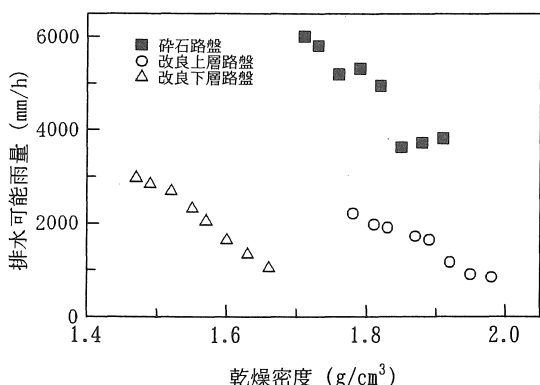


図 16 改良路盤の排水可能雨量

図 16 は砕石路盤と改良上層路盤, 改良下層路盤の排水可能雨量を示したものである。砕石路盤に比べ, 改良上層路盤, 改良下層路盤の排水可能雨量は減少するが, 乾燥密度 1.98g/cm³ (改良上層路盤), 1.66g/cm³ (改良下層路盤) においても 1000mm/h 程度もあり, 一般に設計する際に使用される基準値 50mm/h を十分に透水することから, 透水性舗装の路盤材料として使用できると考えられる。

3.7 保水能力の評価

都市開発では, 地表面は道路や構造物に覆われ, 不透水域の拡大により, 自然環境では地中に浸透, 保水していた雨水が直接流出する割合が高くなっている。

透水性舗装では, 路盤・路床層, 場合によっては路床以下までが保水範囲であるため大きな保水効果が期待できる。この保水効果により, 都市部の排水施設への負担が軽減され, 流出時間の延長につながる事が期待できる。

そこで砕石路盤と改良上層路盤, 改良下層路盤の供試体を作成し, 保水能力を測定した。供試体は, 3 層 42 回突きで締固め, 空中 7 日間養生した後に 1 日浸水し, その後室温 20°C の状態で放置した。

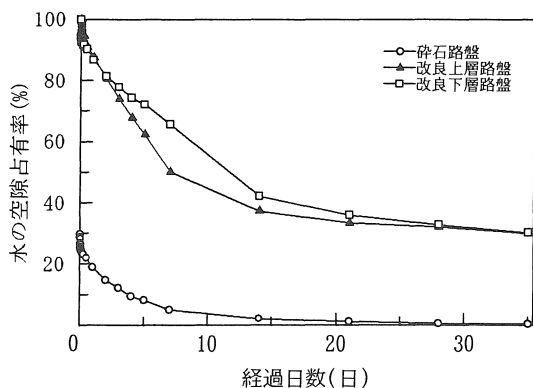


図 17 改良路盤の保水能力

図 17 に保水能力試験の結果を示す。砕石路盤は測定開始直後排水量が多く, 1 日経過後には 20%程度まで低下した。改良上層路盤, 改良下層路盤では空隙量が違うものの, 1 日経過しても 80%以上を保水し, 砕石路盤がほぼ全量排水した 15 日経過後でも 40%程度も保水しており, 大きな差が生じた。このことから, 水砕スラグを利用した改良路盤は高い保水能力を持つことが判明した。

3.8 まとめ

水砕スラグを利用した改良下層路盤は, アルカリ性刺激剤として粉末化水砕スラグのみを使用しても, 下層路盤の規格値 30%を満たすことがわかった。さらに, 石膏を添加することで CBR が 20%程度上昇し, 下層路盤として十分使用できる結果となった。また改良上層路盤でも砕石を混入することで CBR が 40%上昇し, 上層路盤の規格値である 80%を大きく上回り, 十分に使用可能であることがわかった。

改良上層路盤, 改良下層路盤はともに高い連続空隙率を持ち, 路盤材料として優れた透水性能力を持つ。また, 従来の路盤材料である砕石路盤と比べ非常に大きな保水能力を持つことから, ある程度の雨量に対しては保水能力があり, それ以上の雨量に対しては十分な透水性能力があり, 透水性舗装の路盤材料として十分な役目を果たすことが可能である。

4. 透水性舗装の利点検証

4.1 夏期温度測定¹⁰⁾

都市の温暖化を抑制する効果的な対策として, 都市面積の 10~15%を覆う道路の蓄熱や放熱を下げる事が有効な手段として考えられる。そこで, 雨水を浸透, 保水させる構造である透水性舗装を利用し, 保水された水の蒸発により夏期舗装温度の上昇を抑制することが可能か実験を行った。

舗装模型の概略図を図 18 に示す。透水性舗装は表層及び基層に開粒度アスファルト混合物をそれぞれ厚さ 50mm となるように作成。上層路盤には水砕スラグを利用した改良上層路盤の配合を用い, 厚さ 100mm となるように締固め, 下層路盤には改良下層路盤の配合を用い, 厚さ 100mm となるように締固めた。路床には山砂を用いた。

通常舗装は, 表層, 基層に密粒度アスファルト混合物をそれぞれ 50mm となるように作成し, 路盤材料として砕石路盤 (C-20) の配合を用い厚さ 200mm となるように締固めた, 路床には山砂を用いた。

温度の測定方法は熱電対温度測定（銅，コンスタンタン）で行った。熱電対は図 18 に示すように，表面と深さ 50mm ごとに入れ温度変化を測定した。

模型は両者ともに側面，底面をアクリル板で覆い，透水性舗装は有孔底板とし，降雨を排水可能な構造となっている。通常舗装は降雨を浸透させない構造であるため，降雨を路面排水させる構造となっている。二つの模型の下には碎石を敷き詰め，供試体を地面に埋め，測定を行った。

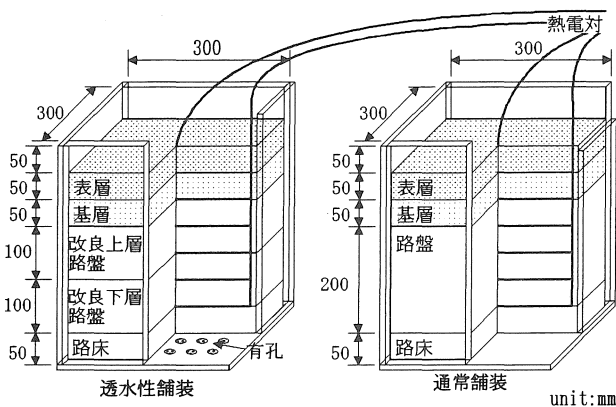


図 18 模型概略図

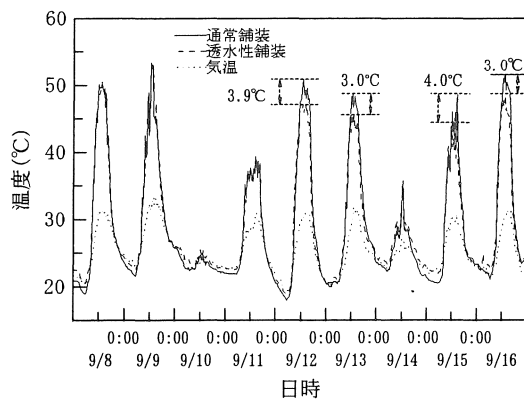


図 19 表面温度変化

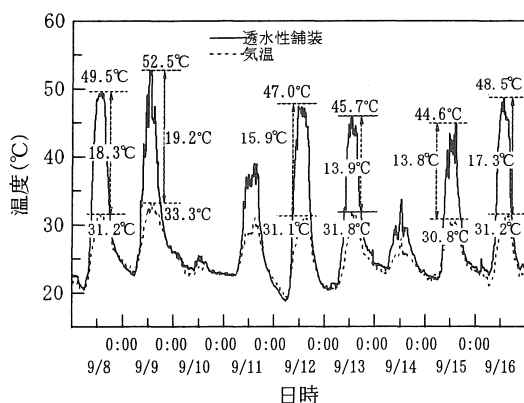


図 20 透水性舗装の表面温度変化

図 20 は透水性舗装と気温を比較したものである。両者を比較すると 9 月 8 日では 18.3°C，9 月 9 日では 19.2°C と高い値を示したのに対し，降雨後の 9 月 12 日では 15.9°C，9 月 13 日では 13.9°C と約 4°C 低下していることがわかる。これは 9 月 10 日，11 日に降った雨水が透水性舗装に保水され，その水の蒸発により透水性舗装の表面温度を低下したと考えられる。

4.2 透水性舗装の効果¹¹⁾

仮に名古屋市の舗装がすべて透水性舗装が施工されたとして，その効果について記す。名古屋市の総面積は 269.07km² であり，そのうち道路面積は 20% であり，53.81km² である。舗装の温度が下がる範囲を 1cm であると仮定して，舗装体積は，

$$53.81 \times 0.00001 = 0.0005381 (\text{km}^3) = 538100 (\text{m}^3)$$

この値にアスファルト混合物の密度を掛け，その重量を求めると，

$$538100 \times 2540 = 1.367 \times 10^9 (\text{kg})$$

次に，アスファルト混合物の比熱 c を下記の式で求める。

$$c = 759 + 3.39t$$

t : アスファルト温度。単位は (K)

アスファルト混合物の温度が 55°C (328K) であったとすると，

$$c = 759 + 3.39 \times 328 = 1870.92 (\text{J/kg} \cdot \text{K})$$

次にアスファルト混合物の熱容量 C を下記の式より求める。

$$C = mc \\ = 1.367 \times 10^9 \times 1870.92 = 2.558 \times 10^{12} (\text{J/K})$$

これらを踏まえて熱量 Q を求める式は，

$$Q = C \times (t' - t)$$

t' : 温度上昇後の温度

t : 温度上昇前の温度

であり，1°C (1K) 上げる熱量は，

$$Q = 2.558 \times 10^{12} \times (329 - 328) = 2.558 \times 10^{12} (\text{J})$$

ガソリン 1ℓ の発熱量が約 35145600J であるから，上

記で求めた熱量をガソリン量に換算すると，

$$\frac{2.558 \times 10^{12}}{35145600} = 72782.9(l)$$

これは，ガソリン約 73kl が発熱する量に相当する．

また，通常舗装と透水性舗装を比較した時，1 日の内で最も大きく見られる表面温度差は約 4°C なので，上記で求めたガソリン量の 4 倍程度の発熱量に相当すると考えられる．

5. 結論

本研究で得られた成果を以下の項目にまとめる．

- 1) ガラス入りのアスファルト混合物は通常骨材の混合物に比べ，安定度，恒圧荷重による変形量，透水能力，曲げ強度は同程度の値を示し，ガラスを骨材として混入しても十分利用可能である．
- 2) 水砕スラグを用いた改良上層路盤，改良下層路盤はアスファルト舗装要綱に定められる規格値を十分に満たし，また高い透水能力，保水能力を持ち合わせていることから，透水性舗装の路盤材料として優れている．
- 3) 通常舗装と透水性舗装の表面温度を比較すると，降雨前ではほとんど差がなかったのに対し，降雨後では 3°C 程度低下させることができ，保水された水の蒸発により温度低下の効果があったと考えられる．またこの効果は降雨後 1 日だけでなく数日以上にも及ぶことが判明した．これにより，舗装表面の温度上昇を抑制し，都市部のヒートアイランド現象の一部を抑制することが期待できる．

【参考文献】

- 1) 桐山孝晴：舗装と熱環境，舗装 pp3，2001.9
- 2) 水と舗装を考える会：よくわかる透水性舗装，山海堂，1997.7
- 3) 建部英博，大根義男，大谷大三：車道を対象とした透水性舗装の可能性，舗装，pp27-32，1996.6
- 4) 社団法人日本道路協会：アスファルト舗装要綱，丸善株式会社，1994.9
- 5) 社団法人日本道路協会：排水性舗装技術指針（案），丸善株式会社，1997.5
- 6) 社団法人日本道路建設業協会：透水性舗装ハンドブック，山海堂，1979.10
- 7) 社団法人日本道路建設業協会：舗装工事に関する試験方法ハンドブック，山海堂，1981.2
- 8) 社団法人セメント協会：わかりやすいセメント化学，1993.3
- 9) 社団法人地盤工学会：土の試験実習書，1991.3
- 10) 中西弘光，浅野耕司，川西礼緒奈，高砂武彦：環境に配慮した車道用透水性舗装の開発，舗装 pp10-17，2001.2
- 11) 都筑卓司：なっとくする熱力学，講談社，1993.11

(受理 平成14年3月19日)