

## 透水性舗装に関する基礎的研究

### Fundamental Study On Permeability Pavement

川口基広\*

建部英博\*\*

Motohiro KAWAGUTI

Hidehiro TATEBE

**Abstract** This study aimed at the thing which develops a water permeability pavement which improved a drainage pavement. Then it examined possibility of the permeability pavement which can secure water permeability and strength, which it uses water granulated iron-blast-furnace slag in subgrade roadbed and it makes an asphalt mixture mix a stainless steel fiber, to solve a problem of permeability pavement

#### 1. 序論

##### 1.1 序説

近年、道路舗装技術の新技術として排水性舗装がある。この排水性舗装の特徴は

交通安全面対策<sup>1)</sup>として

①潤滑路面上で高速走行における滑り抵抗の改善

②ハイドロプレーニング現象の防止

③降雨時の水跳ね、水しぶきの減少

④降雨時の視界の確保

⑤夜間降雨時にライト反射光の減少・視認性向上騒音の低減として

①エアポンピング音の抑制

②自動車のエンジン音の吸収

に効果が期待できるとされているが、現段階ではまだ試験舗装段階であり十分な実用化までには達していない。更に雨水が、道路舗装や各種構造物による地表面の遮水により浸透しなくなり、その結果発生する

①地下水の減少及びそれに伴う地盤沈下

②樹木の発育の鈍化

③集中豪雨による雨水の急激な流出・河川の氾濫等の社会的に大きな問題も残されている。そこで現在、降雨水の流出抑制・地下水涵養等が目的の浸透性構造物として使用されている透水性舗装（現在では駐車場・歩道のみ）が、多大な面積を誇る車道に用いることが出来るように構造的に強度を満足し、しかも透水性が優れていたならばこれらの問題の解決策となり、自然に近い環境を都市部にもたらしうことができると考えられる。

##### 1.2 透水性舗装の仕組み・使用例

排水性舗装と透水性舗装は、共に路面上に滞留した降雨水を機能的に排水することを目的とした舗装であるが、その構造には大きな違いがある。

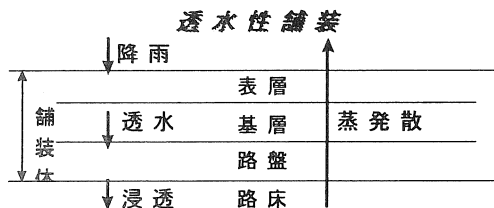


図1-1 透水性舗装の仕組み

\*愛知工業大学 建設システム工学科 (豊田市)

\*\*愛知工業大学 土木工学科 (豊田市)

排水性舗装は、表層の部分に設けた配水管などから表層体に貯留した降雨水を路肩等の排水施設に排水する舗装であるが、透水性舗装(図1-1)は、表層一路床へと直接水を浸透させ、雨水を路床を通じて地下へ還元させる舗装である。しかし過去には、車道への透水性舗装の研究はほとんどなされていない。数少ない例として、愛媛県で使用された一件が存在したが舗装面積250m<sup>2</sup>程度の僅かなものである。これは路床・路盤の耐久性に問題があるためと考えられる。

### 1.3 排水性舗装の現況

我が国において排水性舗装は、昭和62年に東京都で施工されて以来、平成7年度末までに約400万m<sup>2</sup>の施工実績がある<sup>2)</sup>。しかし排水性舗装もまた研究の要素が多く舗装技術指針もまだ(案)の状態であり、基本的な条件等が明確ではない。過去の研究によると、排水性舗装に関する欠点・問題点も浮上しており施工規模もそれほど大きくない。

### 1.4 研究の目的

過去の排水性舗装・透水性舗装に関する研究<sup>3)</sup>より、舗装の欠点として

- ①舗装体内へ透水させるために発生するアスファルトのはく離及びそれに伴う骨材の飛散。
- ②空隙を大きくするために、比較的単一粒度の骨材を用いる必要があり、その結果骨材同士を付着させるアスファルトを媒体とした付着面が小さく交通荷重に対する抵抗力が不足する。
- ③空隙中にゴミ・泥・飛散した骨材が詰まる目詰まりの発生。
- ④長期にわたって、特に交差点付近やカーブ地点でクリープ現象が発生し、空隙が変形・減少する目潰れの発生
- ⑤特に透水性舗装は路盤から路床へと降雨水を浸透させるために路床の支持強度が低下する。

等が挙げられる。ここで骨材の飛散・バインダーのはく離等の問題は、改質アスファルトの使用によりある程度防止できるようになってきており、また目詰まりに関してはバキューム機による吸引・高圧水による洗浄等の機能回復方法があり全回復とはならないものの、ある程度までの回復が出来る。しかし

残る問題点に関しては透水性舗装を車道に使用するためには解決しなければならないのに対し、未だ有効な解決手段が明確になっていない。

本研究では、舗装体のアスファルト混合物中で起こるクリープ現象による骨材の移動に伴う空隙が変形・減少する目潰れ現象に対しては骨材間の付着力を強化させるため改質アスファルトを用い更にステンレス繊維を混合させてその材料特性を検討し<sup>4)</sup>、支持強度が低下することが予想される路床・路盤については水砕スラグ<sup>5)</sup>を利用し透水性が良く、交通荷重に対し十分な支持強度を持つケミカル路盤・路床を製作し車道に使用することが可能な透水性舗装の完全を目指すことにした。

## 2. 路床・路盤材の試験

### 2.1 改良路床材における試験

#### 2.1.1 突固め試験<sup>6)</sup>

水砕スラグに添加剤を加えると時間の経過とともに化学反応を起こし強度増加が進む。この場合、粒子間の接触点が多いほど強度増加が期待できると思われる、締固め試験を行い最適含水比と最大乾燥密度を求めた。添加剤には生石灰(以下QLと記す)とローラーミル(同様にRM)を用い配合比を変えて試験を行った。尚、図2-1の配合においてQL:RMの組み合わせは(1)1:3(2)3:1(3)2.5:2.5である。

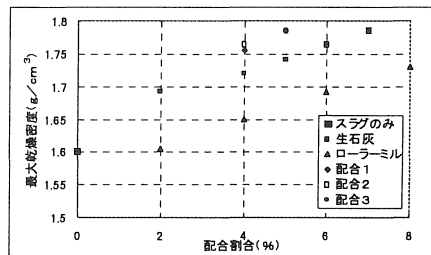


図2-1 添加剤の配合比と最大乾燥密度

図2-1より最大乾燥密度はQL・RMの配合比が多くなるにつれて増加しており、QL7%では1.79g/cm<sup>3</sup>にも達している。又添加剤による効果はRMよりもQLの方が大きく、更に添加剤としてQLとRMを同時に使用した材料では締固め効果が大きく図中の配合3ではQL7%程度に相当する最大乾

乾燥密度を得ることが出来た。尚含水比は、13～15%程度であった。

2.1.2 一軸圧縮試験

水硬性という化学反応を起こす為には、水の量が関係してくると考えられる。そこで強度が最も高くなる含水比を求めるために含水比を4%～14%まで変化させ、また水硬性による強度の増加を調べるため、4日～14日空気養生した供試体の一軸圧縮試験を行い、一軸圧縮強度を求めた。

図2-2より、一軸圧縮強度は養生日数で、14日間空中養生で一番強度が高くなり、養生日数14日間における含水比別圧縮強度は、含水比10%供試体が一番強く(4.6kgf/cm<sup>2</sup>程度)、他の含水比の供試体と比べると含水比6・8・12%供試体の圧縮強度は含水比10%供試体の圧縮強度の7～8割程度である。以上の試験結果より、路床材の含水比を10%と決定した。

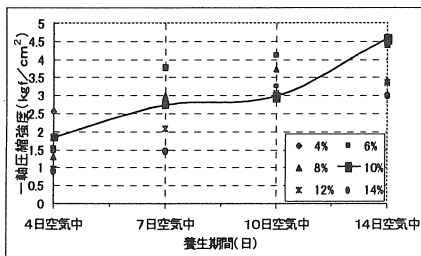


図2-2 養生期間・含水比別一軸圧縮試験

2.1.3 CBR試験

舗装厚さの設計を考える時には、路床の設計CBRは重要であるため、締固め試験で得られた最大乾燥密度の97%締固め度(3層67回)で、配合3・含水比10%で供試体を作製し、CBR試験を行った。通常のCBR試験は締固め後4日間水中養生を行い貫入試験を行うとされているが、本研究では水硬性の効果を見るために空中養生1日・4日・7日・10日でも貫入試験を行った。尚、養生によって発生すると思われる供試体の膨張は最高で0.03%程度でありほとんど見られなかった。

試験の結果(図2-3)より空中養生・水中養生ともに1日養生以上で、アスファルト舗装要綱の規定値であるCBR20を超えており、約10日でCBR80を超えている。いる。また10日以降のC

BR値の増加は鈍化している。強度増加を促進させるスラグの水硬性は、ほぼ10日間で8～9割程度の強度が得られると考えられる。

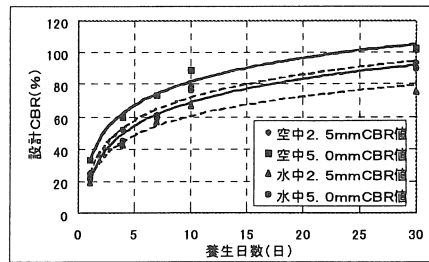


図2-3 各養生におけるCBR値

次に、締固め程度を変化させCBR試験を行った。通常3層67回の締固め回数を各92回・42回・17回と変化させ一定養生期間後のCBR値(貫入量2.5mm)を求めた。図2-4より、規定値である設計CBR20を突固め回数17回以外の突固め回数では4日以内で、突固め回数17回でも5日養生で超える。

また、締固め回数の増加に伴って、強度増加は大きく92回突固めでは、30日後にはCBR120にも達している。

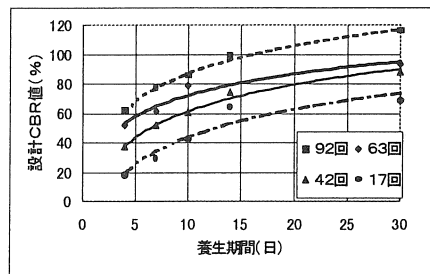


図2-4 締固め回数別2.5mm CBR値

2.2 改良路盤材の試験

2.2.1 路盤材の一軸圧縮試験

路盤材は、路床材に比べて強度が要求されるために、2.1で決定した路床材に碎石を入れ路盤材として使うことにした。そこで路床材で決定した配合3・含水比10%の配合に6号碎石を20～60%(各10%刻み)混合させ、最適な碎石比を求めるために一軸圧縮試験を行った。試験の結果(図2-5)、14日養生で碎石比40%が一番強度が高く(4.8kgf/cm<sup>2</sup>)

なり、これ以後路盤材の最適碎石比を40%とした。

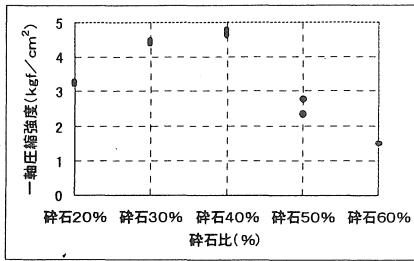


図2-5 碎石比別一軸圧縮試験

2.2.2 路盤材のCBR試験

路盤材に使う材料（一軸圧縮試験で決定した碎石比40%、締固め回数3層92回の供試体）で、路床材と同じ様に空中・水中養生1日・4日・7日・10日・30日でCBR試験を行った。アスファルト舗装要綱によると路盤材は修正CBR 80以上とされているが試験結果（図2-6）を見ると各養生8日でCBR 80以上となる。また路盤材も10日以降のCBR値の増加が鈍化している。

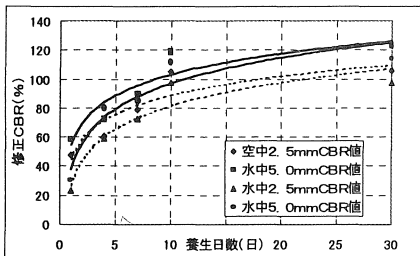


図2-6 各養生におけるCBR値

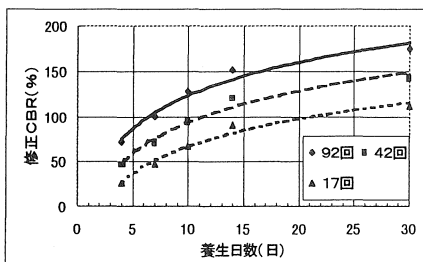


図2-7 締固め回数別2.5mm CBR値

次に締固め回数の相違による変化を調べるために通常3層92回の締固め回数を各42回・17回と変化させ一定養生期間後のCBR値（貫入量

2.5mm）を求めた。試験の結果（図2-7）42回の締固めで10日、17回の締固めで14日で規定の修正CBR 80を超える。また92回締固めでは、14日でCBR 150にも達し、締固め程度により強度増加の程度が異なる事を示している。

2.3 繰返し荷重による路床・路盤の耐久性について<sup>7)</sup>

アスファルト舗装要綱<sup>8)</sup>では舗装厚の決定に際しては、アスファルトコンクリート等値厚 $T_A$ 法を採用しており、次式

$$T_A = \frac{3.84 \times N^{0.16}}{CBR^{0.3}}$$

によって求められている。

ここでNの値は、その舗装使用期間における通過全輪荷重を5tonの輪荷重に換算した $(P_j/5)^4$ で示されている。ここで $P_j$ は任意の輪荷重である。また、道路は5ton換算輪荷重載荷回数によりL・A・B・C・D交通に分類され、Nの値はそれぞれ3万・15万・100万・750万・3500万回と想定されている。

又、路面に加わった輪荷重Pは表層、基層、路盤と深くなるにつれて分散し、鉛直応力 $\sigma_z$ は深さによって低減されBoussinesqの式により求められ、鉛直応力の状況は、図2-8の様になる。ここでZは鉛直深さでaは輪荷重の接地半径である。5tonの輪荷重を考えた場合、接地半径aは17cmとなり、路面での接地圧pは5.51kgf/cm<sup>2</sup>となる。

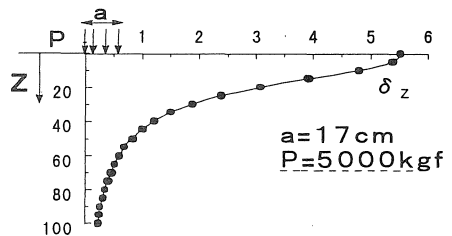


図2-8 深さにおける鉛直応力

そして各深さを対象としてそれぞれの応力で繰返し載荷試験を行えば、路床、路盤の耐久性を確認することが可能となる。しかしD交通の3500万回の繰返し試験を行えば10Hzの振動を加えた場合でも一本の供試体を試験するのに40日以上時間

が必要となる。このため本研究では  $(P_j/5)^4$  の性質を利用し、アスファルト舗装要綱により示されている各深さの鉛直応力より大きな繰返し鉛直応力を加えて試験時間の短縮を計ることにした。

例えば深さ 30cm を相定した場合の 5ton 輪荷重による鉛直応力は 1.87kgf/cm<sup>2</sup> (0.34p) であるが、この応力に対し、4.67kgf/cm<sup>2</sup> の応力に変えると 1 回の載荷で 5ton の輪荷重 3 9 回分に相当する事となり、時間の短縮が出来る

表 2-1 静的載荷試験の結果

| 側圧<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 路床材                         |                             | 路盤材                         |                             |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                           | 破壊強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 破壊強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 破壊強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 破壊強度<br>kgf/cm <sup>2</sup> |
| 0.5                       | 4.91                        | 5.13                        |                             |                             |
| 1.0                       | 6.81                        | 7.14                        |                             |                             |
| 1.5                       | 8.53                        | 8.80                        |                             |                             |
| 2.0                       |                             |                             | 10.20                       |                             |

振動三軸圧縮試験はまず静的三軸試験での破壊強度  $\sigma_1$  を求め (表 2-1) その約 7 割の動的載荷荷重  $\sigma_d = 0.70 \sigma_1$  を 1 0 Hz (応力制御) で約 3 時間 (載荷回数 1 1 万回) を加え破壊が見られない時は更に  $\sigma_d = 0.75 \sigma_1$ 、 $\sigma_d = 0.80 \sigma_1$  と動的載荷荷重を徐々に大きくし、各々 3 0 分間 (1 万 8 0 0 0 回) 動的載荷荷重を加え、変位が急激に大きくなる時を破壊と定義し各々の載荷荷重との関係から 5ton 輪荷重換算の載荷回数を求めた。(図 2-9)

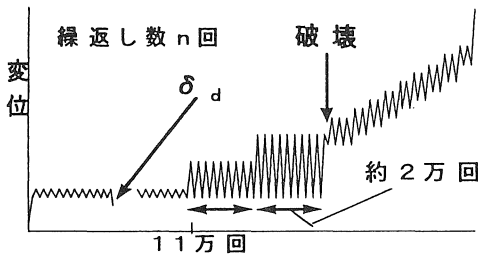


図 2-9 繰返し荷重のかけ方

尚、三軸圧縮試験結果を利用する際に、どの程度の側圧 ( $\sigma_3$ ) に対応しているかを知る必要がある。そのため路床・路盤材の貫入強さと静的三軸圧縮試験結果と対比させてみた。その結果と静的三軸圧縮試験 (側圧 0~2kgf/cm<sup>2</sup> の実験) に対比させると路床で側圧 1.5kgf/cm<sup>2</sup>、路盤では約 3.0kgf/cm<sup>2</sup> {試験

機の関係で 2kgf/cm<sup>2</sup> 迄の実験しか出来なかったのでモールドより推定} に対応する事になった。以上の結果から、安全性を考えて振動三軸試験での側圧が路床  $\sigma_3 = 1.5 \text{kgf/cm}^2$ 、路盤  $\sigma_3 = 2 \text{kgf/cm}^2$  の時の実験を行った。5ton 輪荷重の回数に換算し鉛直応力 (路面からの深さ) との関係は、路床については 35cm 深さで 2 0 0 0 万~4 0 0 0 万回、40cm 深さでは 5 0 0 0 万~1 億回、路盤については 15cm 深さで 2 5 0 万~4 5 0 万回、20cm 深さでは 5 0 0 万~8 0 0 万回程度の繰返し 5ton 輪荷重に耐えうる事となり、路床材で D 交通に、路盤材は C 交通に使用できるものと想定された。

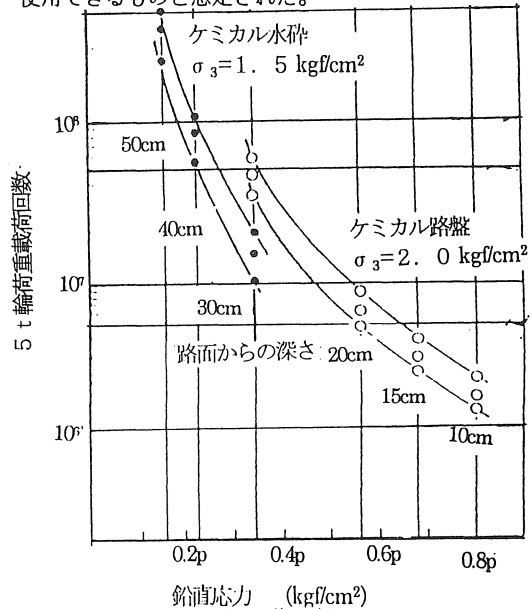


図 2-10 振動三軸試験による耐荷回数

2.4 路盤・路床の透水試験

以上の結果からスラグを用いた路床・路盤材は、強度的には十分に透水性舗装の改良路床・路盤として用いることが可能と判明した。しかし、表層・基層に用いたアスファルト混合物よりはるかに透水能力が劣っていれば使用出来ないからであり、通常の締固めで作製した路床・路盤材で現場透水試験器を用いて 400ml 流下時間を測定し、見かけの透水係数を求めることにした。これは透水試験を行って透水係数を算出することにしたが、過去の研究<sup>9)</sup>等から排水性舗装において透水試験では透水能力を比較するための透水係数は測定できないとされており、高空

隙率で空隙寸法の大きい物体は動水勾配を大きくしても透水が乱流になりダルシーの法則を用いることが出来ず、透水係数は出せないからである。

尚、透水係数と流下時間の関係は、過去の研究によると「空隙率が15～25%程度が透水係数の $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm/s}$ に相当しており、現場透水試験と透水係数の関係として、現場透水試験における400ccあたりの流下時間2.5s程度が透水係数 $10^{-2} \text{cm/s}$ に相当する。」とされているため、流下時間より想定した見かけの透水係数で、路床材 $3.7 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 程度、路盤材 $1.5 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 程度の透水係数が得られ、これは「道路排水工指針」による排水が良好とされる状態 $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{cm/s}$ と同じ程度である。

3. 表層・基層材の試験

3.1 マーシャル安定度試験 (M試験)

マーシャル安定度試験は一般的に、安定度、フロー値、空隙率、飽和度を求め、As混合物に対する粗骨材、細骨材の割合とAsの配合量を決定するために行われるものである。尚、本研究では、最適As量、最適St量、最適締固め回数を求めるためにM試験を行った。尚、M試験の基準値であるが透水性舗装を車道に用いた場合の基準値は無いために、ここでは排水性舗装に用いられる基準値(表3-1)を用いた。

表3-1 M試験の基準値(排水性舗装)

|               |                  |
|---------------|------------------|
| 安定度(kgf)      | 500              |
| フロー値(1/100cm) | 20~40            |
| 空隙率(%)        | 15~25            |
| 透水係数(cm/s)    | $\times 10^{-2}$ |
| 動的安定度(回/mm)   | 2500             |

試験の結果(締固め片面7.5回)、As量3.2~3.8%間の供試体について、安定度は基準値としている500kgfを超える値を記録した。同様にフロー値は、As量3.0~3.5%間の供試体で基準値を満たす値を記録し、空隙率についても同様にAs量3.0~3.5%間の供試体で好結果が得られた。以上の結果より、As量3.2~3.5%間で基準値を満たし、特にAs量3.5%では最大で安定度608(kgf)程度、フロー値37(1/100cm)程度、空隙率27.5(%)という高

い値を得られた。(図3-1)

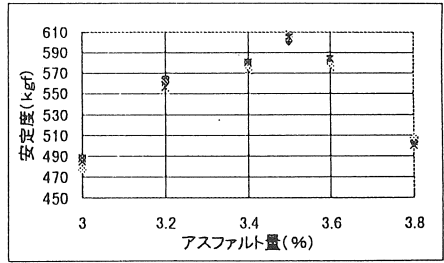


図3-1 各アスファルト量における安定度

ここで特に好結果が得られたAs量3.5%前後の供試体に、St繊維を1.0~5.0%の割合で混合し、M試験を行った。その結果、As量3.5%・St繊維量2%で安定度650(kgf)程度、フロー値は30(1/100cm)程度、空隙率は31(%)程度という値が得られ、基準値以上を満たしていた。しかしこの試験では、St繊維をある一定の量(2%)を超えて混合させると安定度が減少した。これは、St量に対して締固め回数が少ないためと考えられた。(図3-2)

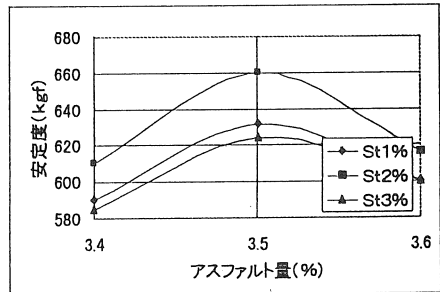


図3-2 ステンレス繊維量における安定度

そこで、これまでの試験で締固めすぎで空隙が減少する可能性を考えて用いていた締固め回数(片面7.5回)を両面5.0回、両面7.5回と増加させてM試験をAs量3.4・3.5・3.6%で行った。その結果、安定度は片面7.5回<両面5.0回<両面7.5回と大きくなり、心配された空隙率の低下もほとんど見られなかった。ここでAs量3.5%の供試体において、St繊維量2%(図3-3)で安定度700(kgf)程度、フロー値は27(1/100cm)程度、空隙率は28(%)程度となり基準値の条件に適しているものの中では一番好結果と思われる供試体となった。

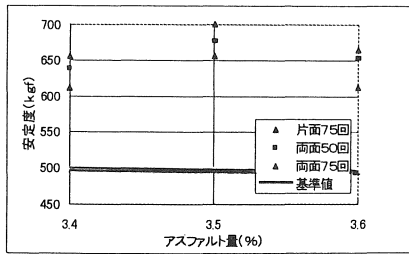


図3-3 締固め回数別による安定度

以上のM試験の結果より、本研究ではAs量3.5%、St繊維量2.0%を最適と決定し、以後の試験を行った。

### 3.2 一軸圧縮試験

M試験では得られない低速の圧縮荷重による供試体降伏点以降の歪みと強度の関係を得るために一軸圧縮試験を行った。M試験の結果よりそれぞれの最適と決定したAs量3.5%、St量2.0%で供試体を作製し、試験温度30°C及び60°CにおいてSt繊維の有無の供試体で比較・検討した。

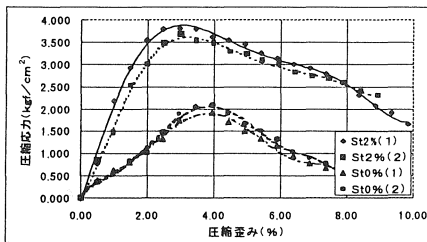


図3-4 一軸圧縮試験 (60°C)

図3-4 (試験温度60°Cで行った試験結果)によると、St繊維0%の供試体は圧縮応力2 kgf/cm<sup>2</sup>程度、圧縮歪み4%程度で降伏点に達したのに対し、St繊維を2%混合させた供試体は、圧縮応力3.7kgf/cm<sup>2</sup>程度、圧縮歪み3%程度の降伏点となり、St繊維を混合することにより、圧縮応力は90%程度増加するものの歪みは逆に25%程度減少していることが分かった。

尚、応力歪み曲線に着目するとSt繊維のない場合降伏点をすぎると少しの歪み増加に対し応力は急激に減少しているがSt繊維を混合した場合は降伏点をすぎ歪みが増大しても圧縮応力の値は急激には低下せず、相当の歪みまで圧縮応力を持続している

ことがわかる。すなわち、St繊維を混合することにより圧縮力に対する抵抗性も増加し、変形に対しかなりの抵抗を示すことが判明した。

### 3.3 曲げ試験

M試験・一軸圧縮試験は圧縮型の試験であるため、曲げ荷重に対する抵抗が測定できない。そこで本研究では、曲げ歪みとAs混合物のひび割れに対する抵抗性を評価するために曲げ試験を行った。先のM安定度試験で決定した配合で、2種類の供試体 (繊維の有無 供試体寸法5\*10\*30 cm)を用いし、ローラーコンパクタによる締固め荷重は、それぞれ500kgf・800kgf・1100kgfの3通りで行い、10 s毎に曲げ強度と変形量を測定した。

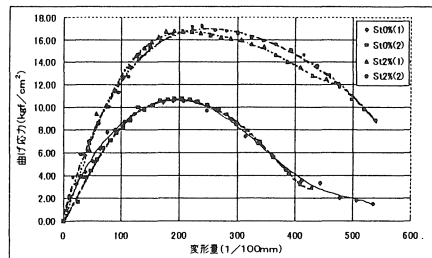


図3-5 曲げ試験 (30°C)

図3-5 (800kgf締固め)より、St繊維0%の供試体では曲げ応力10.5kgf/cm<sup>2</sup>、変形量2.0mm前後が降伏点であるがSt繊維2%の場合強度増加を続け17.2kgf/cm<sup>2</sup>、変形量2.5mm程度で破壊されている。

尚、St繊維2%の供試体の方が、破壊点以降の曲線が緩やかになっており、これはSt繊維の混合によりひび割れに対する抵抗性も増加したものと思われる。

### 3.4 ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験は、実際の道路での高温下での重車両走行によるわだち掘れをシュミレートさせ、M安定度試験により、ある程度評価できるAs混合物の流動抵抗性を、車輪を走行させることによってより直接的に評価しようとするものである。供試体は、今までの試験と同じ配合で製作 (5\*30\*30 cm) しSt繊維の有無で比較することにした。一般的なW試験中の接地圧は、5.51kgf/cm<sup>2</sup>であ

るが、我々は接地圧  $6.42\text{kgf/cm}^2$  で試験を行った。これを実際の交通量に換算すると、10年間で約1000万台に相当することとなる。この交通量はC交通の750万台に比較的値が近いため、本研究はC交通を仮定して試験を行ったことになる。

図3-6(締固め荷重800kgfの供試体)によると、St繊維を混合させていない供試体はDs値(動的安定度)3200回/mm(沈下量2.88mm)だったのに対し、混合させた供試体はDs値5500回/mm(沈下量2.20mm)が得られ、St繊維を混合させることにより、沈下量が2%以上少なくなり繰返し荷重に対しても変形しにくいことが分かった。このことよりSt繊維を混合させることにより沈下量が減少し、流動抵抗性が増加していることが分かる。

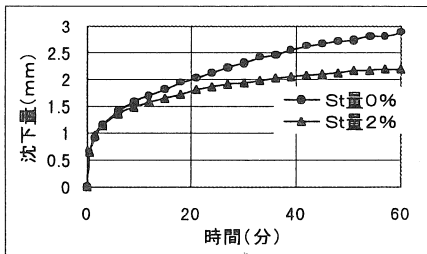


図3-6 ホイルトラッキング試験

### 3.5 持続載荷試験

M試験・一軸圧縮試験・曲げ試験という比較的短時間(数秒~数分)の試験においてSt繊維を混合させた場合、強度が増加することは無論のこと変形量も少なくなっていると言える。しかし道路上において、短期間だけ荷重がかかる場合だけではなく、W試験が実際の道路状況に近いといえども僅か1時間の試験からその後を予測するものであり、しかも最大の目的であるクリープ現象による目潰れ防止に関する測定はできない。

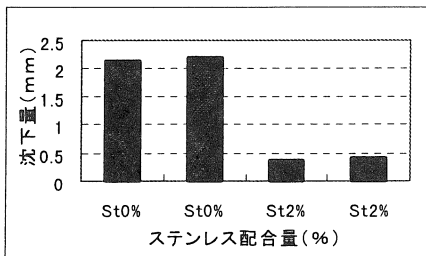


図3-7 持続載荷後の沈下量

そこで5tの輪荷重に相当する荷重を10日間持続させて持続載荷試験を行うことにした。尚、ここで用いた供試体(5\*30\*30cm)はホイールトラッキング試験と同様、締固め荷重800kgfのものである。図3-7より載荷後10日で沈下量を測定した結果は、St繊維0%の供試体は平均沈下量2.15mmに対し、St繊維2%の供試体は沈下量0.38mmと約1/6程度であった。この結果より、St繊維を入れることによって骨材の移動を抑制し、クリープ現象による目つぶれも抑制できるのではないかと考えられる。

### 3.6 透水試験

#### 3.6.1 W試験後の透水試験

透水性舗装においては強度もさることながら透水能力が重要である。そこで透水試験をW試験前後で行った。図3-8によると、試験前後の流下時間はSt繊維無しの供試体はそれぞれ22、30秒程度、2%混合した供試体は26、31秒程度となり、それぞれ試験前の状態より低下していることが分かった。しかしSt繊維を混合した場合、混合させていない場合よりも流下時間の増加は少ないことが判明した。

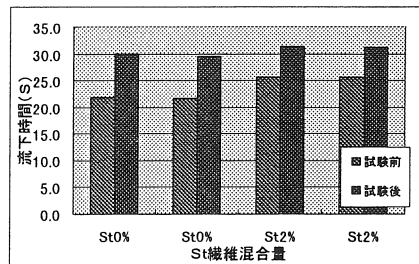


図3-8 W試験前後の透水試験試験の結果

#### 3.6.2 持続載荷試験後の透水試験

3.6.1と同じように持続載荷試験前後にも透水試験を行った。試験結果は図3-9の通りであり、St繊維を混合させていない供試体はそれぞれ22、35秒程度であるのに対し、混合させた供試体はそれぞれ26、30秒程度になった。W試験の時と同じようにSt繊維の混合の有無で比較すると、St繊維を混合した供試体の場合の流下時間の増加よりも、混合させていない供試体の時間増加は多い。尚、



試験結果による見かけの透水係数の算出結果は、鋼繊維 2% 混合供試体で  $5 \sim 6 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$  程度となった。

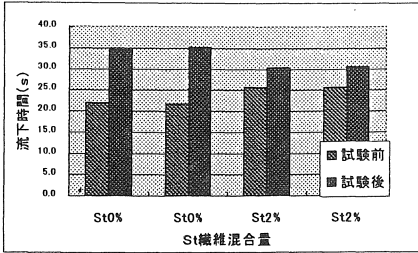


図 3-9 持続载荷試験前後の透水試験

透水試験の結果、St 繊維を入れていないアスファルト混合物においては W 試験後より、持続载荷試験の試験後の方が低下割合が大きい。つまり流下時間の低下は、持続载荷荷重によって起こりやすい事が言え、St 繊維を入れることにより流下時間の低下をある程度防止することが出来る。

4. 舗装厚の設計及びその貯留性能

4.1 舗装厚の設計

道路の舗装厚さは路床材の CBR 値により決定する。そこで路床 (ケミカル水砕)、路盤 (ケミカル路盤材) の CBR 値を基に  $T_A$  (アスファルトコンクリート等値厚) 法による舗装断面の厚さを検討した。尚、 $T_A$  法による舗装設計したときの必要な  $T_A$  の厚さは、表 4-1 の通りである。

表 4-1 舗装厚さ

|          | L交通 | A交通 | E交通  | C交通  | D交通   |
|----------|-----|-----|------|------|-------|
| 交通台数     | 3万  | 15万 | 100万 | 750万 | 3500万 |
| 設計CBR(%) |     |     |      |      |       |
| 3        | 15  | 19  | 26   | 35   | 45    |
| 20       | 11  | 13  | 17   | 20   | 26    |

従来の方式と同じ状態でケミカル水砕を下層路盤に、ケミカル路盤材を上層路盤として用い (図 4-1)、路床の CBR を 3 とした場合、等値換算係数  $a_n$  をそれぞれ 0.25、0.55 とすると舗装厚は表 4-2 に示す様になり、全体の舗装厚さは B・D 交通でそれぞれ 55cm・85cm となる。

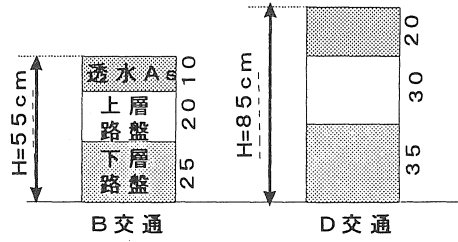


図 4-1 従来形式の舗装断面

表 4-2 通常状態の舗装厚 (CBR=3)

|       | B交通  | C交通  | D交通  |
|-------|------|------|------|
| 表層+基層 | 10   | 15   | 20   |
| 上層路盤  | 20   | 25   | 30   |
| 下層路盤  | 25   | 30   | 35   |
| 全体厚   | 55   | 70   | 85   |
| $T_A$ | 27.3 | 36.3 | 45.3 |

次にケミカル水砕を改良路床材として、B・D 交通の改良路床厚を 20cm、30cm として (図 4-2)、CBR 値を 120 程度と考えると、設計 CBR<sub>m</sub> は次式で表され、

$$CBR_m = \left( \frac{h_1 CBR^{\frac{1}{3}} + h_2 CBR^{\frac{1}{3}}}{100} \right)^3$$

B・D 交通の CBR<sub>m</sub> はそれぞれ 4.9・6.1 程度となりそれぞれに対応する  $T_A$  は 22cm・36cm となる。(表 4-3)

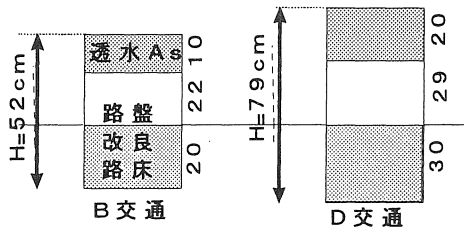


図 4-2 ケミカル路床の舗装断面

表 4-3 改良路床にした場合の舗装厚

|       | B交通  | C交通  | D交通 |
|-------|------|------|-----|
| 表層+基層 | 10   | 15   | 20  |
| 路盤    | 22   | 26   | 29  |
| 改良路床  | 20   | 25   | 30  |
| 全体厚   | 52   | 66   | 79  |
| $T_A$ | 22.1 | 29.3 | 36  |
| 設計CBR | 4.9  | 5.4  | 6.1 |

ここで従来形式の舗装(図4-1)と改良路床を用いた舗装(図4-2)では改良路床の厚さを含めても3~6cm程度、含めなければ20~30cmの舗装厚さの低減をはかる事が可能となる。またケミカル水砕、ケミカル路盤が通常の水硬性スラグと異なりCBR値が120、130とかなり大きく等値換算係数 $a_n$ を多少大きくできると考えられるため、さらに舗装厚を薄くすることも可能であると思われる。

#### 4.2 研究舗装の貯留効果

表層・基層・路盤・路床全部の透水係数は見かけの透水係数で、すべて $10^{-2}$ cm/s台であり、時間透水能力に換算して360mm/hを超える。しかし通常路床面下の透水係数はこれよりはるかに小さい。この時は、浸透した水が路床から徐々に滞留し、舗装体の空隙中に貯留されていく。アスファルト混合物・路盤・路床の空隙率はそれぞれ30%・22%・32%程度であるので有効空隙率を80%程度とした場合、それぞれの材料の24%・18%・25%程度の空隙が利用でき、図4-2のB交通用の道路の場合で100mm程度の雨水を貯留することが出来る。この貯留された水は、路床の透水係数の大きさによって異なるが時間と共に路床以下に浸透していく。このため流出を抑制できると考えられる。

### 5. 結論

第2章~第4章の結果から次のことが考えられる。

#### 5.1 路床・路盤材に使用するスラグ混合物

- ①スラグと混合させる添加剤は生石灰とローラーミルの両方の混合が良い。
- ②路床材においての最適含水比は10%程度であり、また路盤材の最適骨材比は40%となった。
- ③CBR試験によると路床材・路盤材ともに養生日数10日以降のCBR値増加はあまり無く10日程度で化学反応はほぼ終えている。
- ④繰返し荷重による試験の結果、路床材はD交通、路盤材でC交通に相当する5t輪荷重に耐えうる。
- ⑤路床・路盤材の透水能力は「道路排水工指針」による排水が良好とされる状態「透水係数 $10^{-3}$ ~ $10^{-2}$ cm/s程度」であり十分なものと考えられる。

#### 5.2 表層・基層に使用するAs混合物

- ①マーシャル安定度試験・一軸圧縮試験双方ともSt繊維を混合させることにより、強度は増加し変形量は減少していることから、St繊維は圧縮力に対してかなりの抵抗力を示している。図3-3において応力-歪み曲線を比較してみると、降伏点以降の曲線において顕著な差が表れている。このことよりSt繊維を混合させることによって許容範囲以上の大きな強度がかかってもしばらくの間であれば耐えうる事が出来ると考えられる。
- ②曲げ試験において、試験結果より強度が増加している反面、変形量が少ないとは言え増加していることが分かる。このことよりSt繊維が引き抜け・引っかかりながら荷重に抵抗していると考えられる。もう少し頭部分の大きなSt繊維を使えば更に強度増加が見込めると思われる。
- ③ホイールトラッキング試験の様な繰返し荷重にもSt繊維は効果を発揮し、試験による沈下量は混合していない供試体に比べて20%程度も少なくなっている。
- ④本研究で最大の目的であるクリープ現象による目潰れを防止することはSt繊維を混合させても出来なかったが、混合していない供試体の沈下量に比べて1/6程度とかなり抑制することができた。
- ⑤透水試験においてSt繊維を混合させることにより透水能力は20%程度も減少する。しかし荷重(持続荷荷重・繰返し荷重)がかかった後の透水能力の低下率はSt繊維を混合させた方が少ない。特に持続荷試験後の低下率に顕著な差が表れている。
- ⑥試験における締固め程度と現場での締固め荷重を比較すると、マーシャル安定度試験の両面75回締固め・ローラーコンパクト使用時の800kgf締固めが、自重12tのタイヤローラー(輪幅1250mm)の締固め程度と同じになる。

#### 5.3 舗装全体

- ①本研究で使用した材料によって舗装圧を計算してみると従来形式の舗装よりも路床のCBR値が大きいために全体の厚さを薄くすることが出来て必要経費の削減が出来る。
- ②透水性舗装として重要な透水能力は十分であり貯

留能力も高く、地下水の涵養等にも十分に役立つ。

## 6.まとめ

透水性舗装を車道に用いる事が出来るかどうか検討した本研究では表層・基層部分にアスファルト混合物(基層部分にはステンレス繊維を混合させた。)を用い、路盤・路床材にはスラグ材を用いた。アスファルト混合物で発生するクリープ現象はS<sub>t</sub>繊維の混合によりある程度抑制することが可能になった。また、雨水を浸透させることにより耐久性に問題が生じるとされてきた路盤・路床材はスラグ材を用いることにより強度的に十分に耐えうることができると思われる。この研究による透水性舗装は、設計交通量区分のD交通には層の厚さによって路盤材にやや不安が残るものの、C交通までなら強度的に十分使用が可能という事になった。また、透水能力・保水能力も良好で100mm程度の雨ばり貯留可能であり排水施設も不要で十分に地下水の涵養になると思われる。今後の課題としては、アスファルト混合物において、使用するステンレス繊維の形状による効果・更に長期的な持続荷重による影響・寒冷地への適用性等があり、スラグ材においてはアルカリ添加物による周囲への影響・凍結の問題等に検討が必要である。

## (参考文献)

1. 佐藤道路：ポーラスアスファルトに関する諸外国の現状,1990.3
2. アスファルト舗装技術委員会：排水性舗装に関する実態調査について、アスファルト177号
3. 竹本恒行：高速道路における排水性舗装の現況と課題、pp.1-9  
土木学会論文集 No.484
4. 川口基広、建部英博：鋼繊維入り透水舗装の強度について、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第5部
5. 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの特性と有用性
6. 松野三郎、南雲貞夫、三浦祐二、山之口浩：アスファルト舗装に関する試験、建設図書、東京1971
7. 建部英博、大根義男、大谷大三：車道を対象にした透水性舗装の可能性、pp.27-32、舗装(1996.9)
8. 日本道路協会：アスファルト舗装要綱、丸善、東京、1961
9. 大川秀雄、原富男、帆苅浩三：排水性舗装の排水挙動、pp.26-31、舗装(1992.7)
10. 川口基広、建部英博：ステンレス繊維入り透水性舗装の強度特性、平成7年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集

(受理 平成9年3月21日)