

# 車道透水性舗装の耐久性に関する研究

鎌田修<sup>1</sup>・清水忠昭<sup>2</sup>・伊藤正秀<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 専門研究員  
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6) E-mail:kamada55@pwri.go.jp

<sup>2</sup>正会員 工博 福田道路株式会社 技術研究所  
(〒959-0415 新潟県新潟市大潟村古新田2031) E-mail:shimizu2236@fukudaroad.co.jp

<sup>3</sup>正会員 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員  
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6) E-mail:m-ito@pwri.go.jp

平成16年5月に「特定都市河川浸水被害対策法」が施行された。同法で指定された地域では、車道においても新設の場合は、透水性舗装などの雨水流出抑制効果のある舗装を設置する必要がある。しかし、透水性舗装はこれまで車道への適用が少なく、舗装としての耐久性が確認されていない。そこで、本研究では室内試験、実大舗装試験、実道での試験舗装を通じて車道透水性舗装の耐久性に影響を与える要因と対応策を検討した。その結果、路床土の種類により浸水による耐久性に対する影響が異なり、粘性土の場合は舗装外への雨水排水や舗装厚の増し厚が必要であることが分かった。

**Key Words** : permeable pavement, durability, subgrade, clay soil

## 1. はじめに

平成16年に「特定都市河川浸水被害対策法」が施行され、平成17年度から特定都市河川の指定が始まった。特定都市河川に指定された地域では車道においても新設工事の場合では、透水性舗装を設置するなどの雨水流出抑制対策が必要となる。

しかし、透水性舗装の車道への適用は少なく、使用された実績においても、多くが大型車の比較的少ない軽交通道路や路床土の浸透性が比較的期待できる箇所であり<sup>例えば 1) 2)</sup>、あらゆる条件で適用する場合の検討は十分になされていない。

そこで、本研究では車道を対象とした透水性舗装の耐久性に与える影響要因と車道透水性舗装の設計を可能とする対応策を調べた。実施する実験、調査は以下のとおりである。

- ① 雨水浸透が舗装材料、路床土に与える影響を把握するために室内での繰り返し載荷試験を行った。
- ② 舗装断面、排水方法の違いによる耐久性への影響を調べるために土木研究所内の舗装走行実験場に設置した実大舗装への荷重車による促進載荷試験（以下、実大舗装促進載荷試験）を行った。
- ③ 実道での状況を確認するため、試験舗装箇所での追跡調査を行った。

## 2. 実験・調査方法

### (1) 繰り返し載荷試験

繰り返し載荷試験は以下の要因を調べるために行った。

- ① 浸水による路盤材、路床土の支持力低下
- ② 浸水による路盤材と路床土の混ざり込み
- ③ 路盤材の細粒分の抜け落ち

これらを検討するため、**図-1**に示すような装置で試験を行った。供試体の大きさは300×300(mm)とし、水槽内に路盤材料上面まで浸水させた状況、

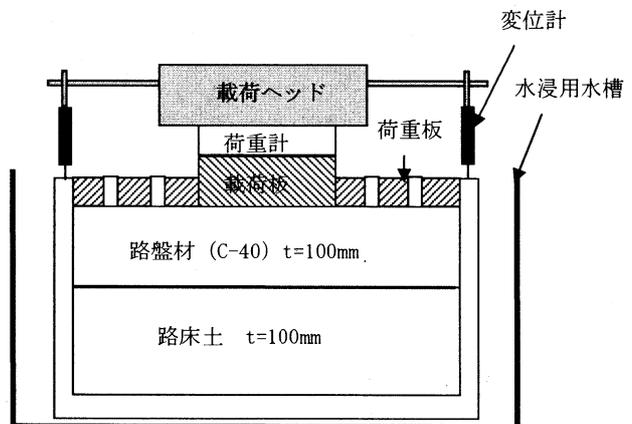


図-1 繰り返し載荷試験装置概要図

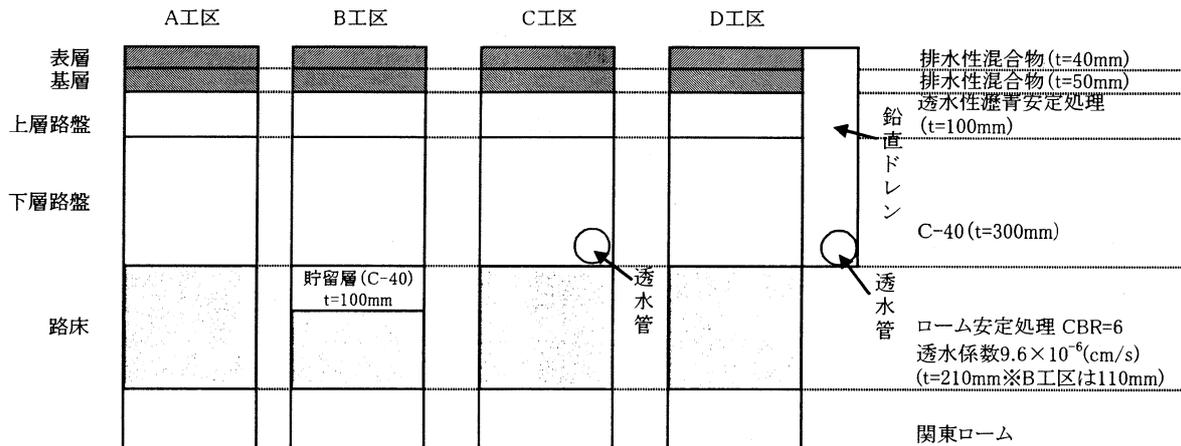


図-2 実大舗装断面図

表-1 供用後約1年以上が経った試験舗装箇所一覧表

場所	延長 (m)	車線数	旧交通量区分	路床土	雨水処理のタイプ	供用開始時期	舗装断面 $T_A$ (cm)	必要 $T_A$ (cm) ※	
								10年設計	20年設計
A	90	1車線	D	砂質土	路床浸透	H12年10月	33.5	30.2	32.8
B	100	2車線	D	粘性盛土 (遮水シート設置)	透水管排水	H15年12月	37.0, 39.5	34.0	37.0
C	100	2車線	D	砂質安定処理土 (地下水高)	透水管排水	H16年3月	37.0	34.0	37.0
D	100	2車線	D	軟岩	透水管排水	H16年3月	30.5	30.2	32.8
E	100	1車線	C	砂礫混じり粘性土	路床浸透: 管排水=1:1	H16年3月	33.0~43.2	28.4	31.2
F	100	2車線 (上り線のみ施工)	C	粘性土石灰安定処理	透水管排水	H16年3月	26.3~31.8	26.2	28.6
G	100	1車線 (側道)	L	砂質土	路床浸透: 管排水=1:1	H16年3月	15.6, 21.9	15.0	16.1

※信頼性を90%とした場合

または非水浸の状態で供試体を設置した。載荷荷重は、載荷荷重が  $45^\circ$  分布すると考えた場合、旧交通量区分で L~A 交通の路床上面に発生すると考えられる応力と同等の応力が供試体路床土上面に発生するような荷重を表-2 に示すように、CBR=2~4 の舗装厚に対応する荷重を荷重 A および B、CBR=6~8 の舗装厚に対応する荷重を荷重 C および D のように設定し、荷重制御で周波数を 2Hz として 15000 回の繰り返し荷重を与えた。試験中は載荷板設置部の変形量を測定し、試験後は路盤材料をふるい分けをして粒度分布の変化も調べた。

試験に使用した路盤材料は 95%締固め時の修正 CBR が 81.2% で最適含水比が 4.3% のクラッシュラン (C-40) を 97.5% で締固めて使用した。路床土は設計 CBR=4.5% の山砂、2.0% の乱した関東ローム、6.0% の関東ロームを石灰安定処理したものを使用した。

## (2) 実大舗装促進載荷試験

土木研究所内の舗装走行実験場に 1 工区延長 15m × 幅員 5m、横断勾配 7% で 4 工区透水性舗装を設置した。

各工区の断面を図-2 に示す。疲労破壊輪数が

A, C, D 工区で 110 万輪、B 工区で 98 万輪程度の旧交通量区分で B 交通程度に相当する舗装厚とした。それぞれの断面の排水構造、舗装厚を変えることによって、透水性舗装の耐久性への影響を調べた。

A 工区は雨水処理対策を特にとらない構造とし、B 工区は貯留層を 10cm 設置した。貯留層は雨水の貯留性能を高めるとともに、舗装厚さの割り増しの影響を確認するために設置した。

C, D 工区には路床上面に透水管 ( $\phi = 150\text{mm}$ ) を縦断方向に設置し、舗装内に浸透した雨水を舗装外に排水する構造としている。

D 工区には、C 工区よりも舗装外への雨水排出を促すことを目的として、縦断方向に幅 50cm でフルデプスの透水性瀝青安定処理を鉛直ドレンとして設置した。

使用した材料は、表基層に高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物を、上層路盤には改質 II 型アスファルトを使用した透水性瀝青安定処理混合物を使用した。いずれも目標空隙率を 20% とした。

下層路盤には繰り返し載荷試験で使用したものと同一 C-40 を使用した。B 工区に設置した貯留層にも C-40 を使用した。

また、舗装端には遮水シートを設置し、各工区境

にはフルデプスで密粒度アスファルト混合物を設置して透水性舗装内に浸透した雨水が路下、あるいは透水管以外に回り込まない構造とした。

このような条件で作製した試験舗装に荷重車の載荷を繰り返して透水性舗装の損傷状況を確認した。

### (3) 実道での試験舗装追跡調査

直轄国道において全国 11 箇所で車道透水性舗装が試験施工され、供用を開始している。そのうち 7 箇所については 16 年度末には供用開始から 1 年以上が経過している。

供用後 1 年以上を経過している箇所の一覧表を表-1 に示す。これらの試験舗装断面は基本的に通常の T<sub>A</sub> 法で設計されている。ただし、E については 20cm 路床土をクラッシュランと置き換えた。

表-1 における雨水処理のタイプのうち、「路床浸透」とは透水管等により舗装外への排水を行わずに路床浸透により雨水処理を行うタイプのものであり、「透水管排水」とは路床上面に縦断方向に設置した透水管で雨水を集水し、舗装外へ排水するタイプのものである。

これらの箇所の供用約 1 年後の路面性状調査から路面性状の変化を確認するとともに、早期破損の有無を確認した。また、路面性状調査時に 1 車線を 30~60mm/h に相当する水量で 1 時間程度散水する実験を行って、散水前後での FWD たわみ量の変化も調べた。

## 3. 実験・調査結果

### (1) 繰り返し載荷試験結果

#### a) 繰り返し載荷による変形量測定

繰り返し載荷試験は路床土の種類によって表-2 に示す載荷荷重で行った。変形量は予備載荷を 0.5kN で行い、終了後の値を 0 とし、そこから載荷荷重により変形した量とした。山砂を路床土に使用した場合の変形量と載荷回数関係を図-3、関東ロームを路床土に使用した場合を図-4、関東ロームを安定処理したものを用いた場合を図-5 にそれぞれ示す。

図-3 より路床土に山砂を使用した場合は、水浸の影響、載荷荷重を増加させた影響が変形量にほとんど影響しないことが分かる。

図-4 より路床土に関東ロームを使用した場合は、水浸の影響、載荷荷重を増加させた影響が大きく出ていることが分かる。載荷荷重を非水浸で増加させた場合と、載荷荷重を変えずに水浸にした場合との変形量がほぼ同程度となった。

図-5 に示す路床土に安定処理ロームを使用した場合も、載荷荷重を非水浸で増加させた場合と、載荷荷重を変えずに水浸にした場合との変形量がほぼ同程度となった。

以上の結果から、本研究で行った繰り返し載荷試験では、路床が山砂の場合は水浸による支持力低下によって変形量の増加は起こらなかった。しかし、

表-2 繰り返し載荷荷重一覧表

荷重番号	路盤上面 載荷荷重	路床土種類
	kN	
A	2.9	ローム (CBR=2)
B	4.9	山砂 (CBR=4)
C	3.9	ローム安定処理 (CBR=6)
D	7.8	

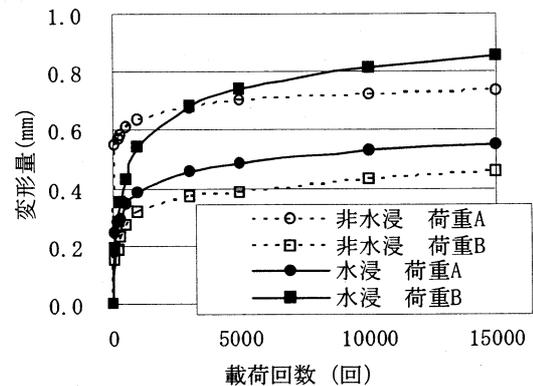


図-3 路床土に山砂を使用した場合の変形量-載荷回数関係

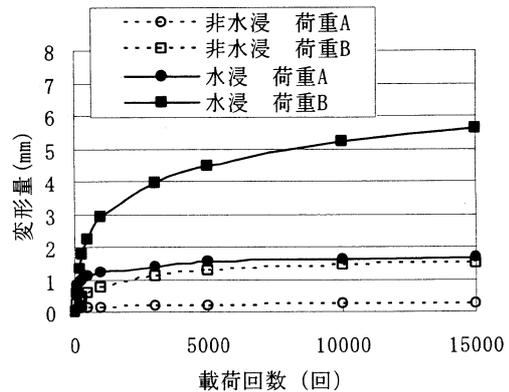


図-4 路床土に関東ロームを使用した場合の変形量-載荷回数関係

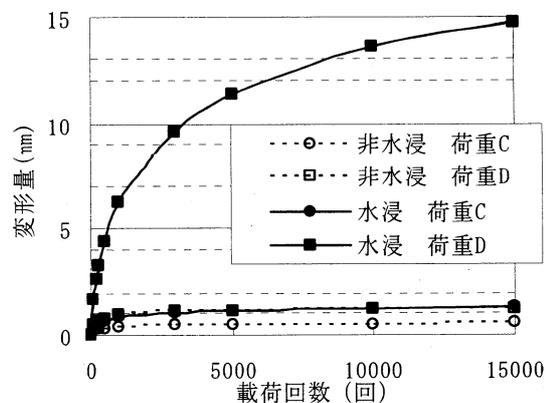


図-5 路床土に関東ローム安定処理を使用した場合の変形量-載荷回数関係

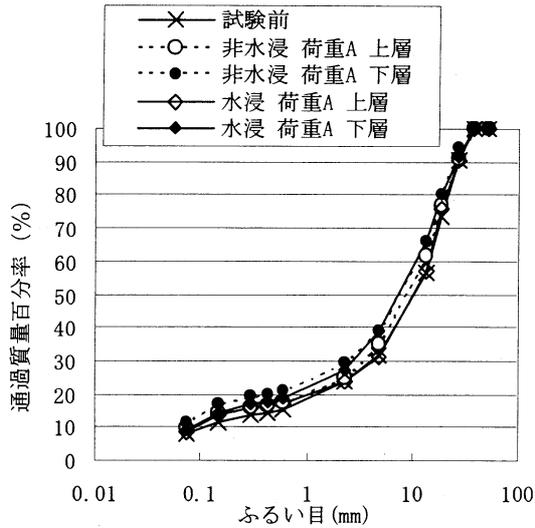


図-6 繰り返し載荷試験後の路盤材粒度分布 (荷重 A の場合)

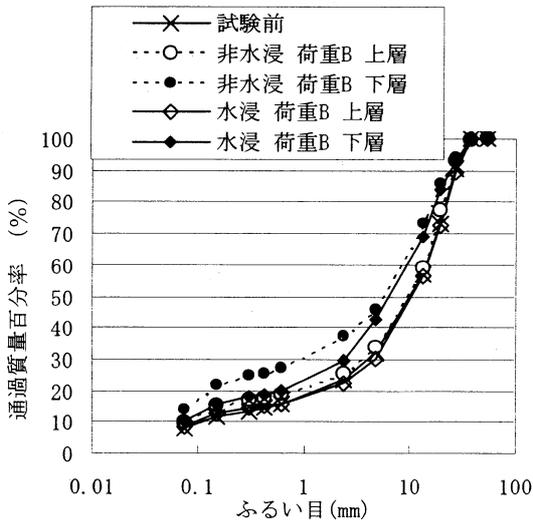


図-7 繰り返し載荷試験後の路盤材粒度分布 (荷重 B の場合)

関東ロームや安定処理したロームを使用した場合は水浸による支持力低下より変形量増加が起こった。水浸による変形量増加の程度は、非水浸状態条件で載荷荷重を2倍程度増加させた場合の変形増加量と等しいことが分かった。つまり、水浸によって、粘性土の路床上面に発生する応力による変形の影響をなくすには、発生する応力を非水浸時の1/2倍程度にする必要があることが分かった。

#### b) 試験後の路盤材の粒度分布の変化

水浸と非水浸状態で変形量に差が見られた路床土に関東ロームを使用した場合について、繰り返し載荷試験完了後、路盤材を上層5cm、下層5cmで分けてふるい分け試験を行って、路盤材の粒度分布の変化を調べた。

図-6に荷重Aで載荷を行った場合の粒度変化を

表-3 区間ごとの荷重車のタイプと運転時期

期間	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
荷重車タイプ (49kN換算輪数通過量/荷重車通過量)	3.8~4.9	13.4	4.1	4.1	4.1
荷重車運転時期	冬 (12月中~1月初)	春 5月	夏 (7月初~9月初)	秋 (10月初~10月中)	冬 (11月末~3月中)

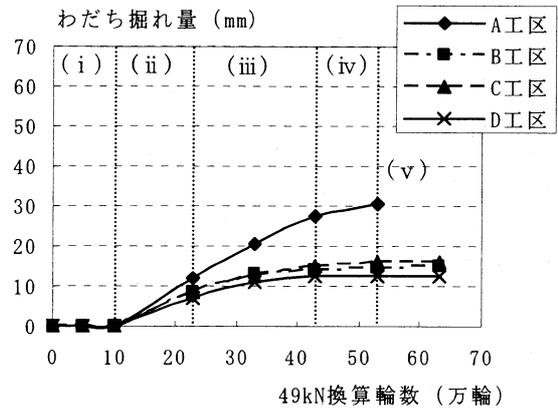


図-8 わだち掘れ量の推移 (IWP側)

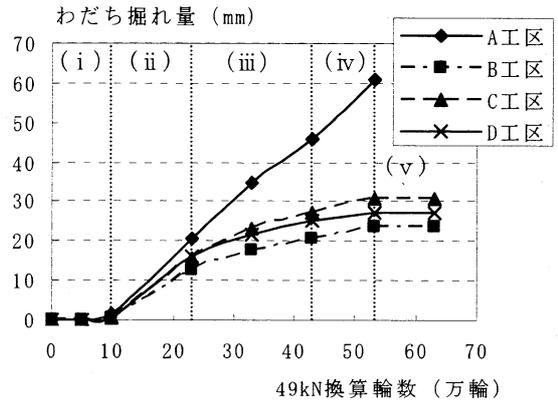


図-9 わだち掘れ量の推移 (OWP側)

示す。荷重Aで繰り返し載荷試験を行った後では、非水浸状態で下層の路盤材の細粒分が最も多くなった。水浸による粒度分布の変化は非水浸の場合よりも少なかった。図-7に荷重Bで載荷を行った場合の粒度変化を示す。載荷荷重が大きくなった場合、下層の細粒分は水浸、非水浸の両方で多くなっている。しかし、その程度は非水浸のほうが大きい。これらの結果に対する理由は、水浸時は載荷荷重による碎石の摩擦によるすり減りの減少、浮力発生による細粒分の重力落下が減少したことなどが考えられる。

以上より、水浸により繰り返し載荷試験の変形量が大きくなった場合でも、粒度分布に大きな変化は見られなかった。よって、C-40のような粒状路盤

材料を締固めた場合は、路盤材の細粒分抜け落ち、路床土との混ざり込みは見られず、支持力低下は起こっていないことが考えられ、繰り返し载荷試験における水浸状態での変形量増加は路床土の支持力低下が原因と考えられる。

(2) 実大舗装促進载荷試験

a) 荷重車による促進载荷試験と路面性状調査結果

土木研究所内の舗装走行実験場に設置した透水性舗装は設置後、表-3 に示すような期間にそれぞれ軸重の異なる荷重車による促進载荷を受けた。

図-8 に内側輪通過 (IWP) 側のわだち掘れ量の推移を示す。B 工区, C 工区, D 工区は春に軸重が大きい荷重車が通過した (ii) 期間においてわだち掘れが進行した。また、夏場である (iii), (iv) 期間においてもわだち掘れの進行が見られる。しかし、秋や冬の (iv), (v) 期間にはほとんどわだち掘れの進行がおきていない。それに対して A 工区は (iv) 期間にもわだち掘れの進行が見られる。

図-9 に外側輪通過 (OWP) 側のわだち掘れ量の推移を示す。OWP 側が IWP 側よりわだちの進行が大きいのは、舗装走行実験場が横断勾配 7% の円形走路であるためである。図-9 では、図-8 で記載したことがより鮮明になっている。

図-10 に FWD 試験  $D_0$  たわみ量の推移を示す。なお、 $D_0$  たわみ量は各工区中央部における値である。

A 工区の  $D_0$  たわみ量は、設置直後は他工区と大きく変わらないが、荷重車走行の回数が多くなるにつれて他工区との差が大きくなった。

また、FWD 試験による結果から、静的逆解析プログラム<sup>3)</sup>を使用して、路床土と下層路盤の弾性係数を推定した。図-11 に A, C, D 工区では 21cm, B 工区では 11cm 関東ロームを改良した部分の路床土の弾性係数の推移を示す。夏場にはすべての工区で弾性係数が低下した。しかし、A 工区以外は秋から冬にかけて弾性係数が回復した。弾性係数の低下の程度は A 工区が最も大きかった。

図-12 に改良路床面以下の原地盤路床土の弾性係数の推移を示す。全体的に夏場に弾性係数が低下したが、その程度は A 工区が最も大きかった。

図-13 に下層路盤 (C-40) の弾性係数の推移を示す。A 工区以外は初期値と比較して弾性係数の低下が少なかったが、A 工区は 53 万輪通過後で初期値のほぼ半分となった。

以上より、路床がローム安定処理土の状態では排水対策をしていない A 工区の損傷が最も進行した。FWD の逆解析結果から、A 工区の路床土は夏場の雨が多い時期に支持力低下をおこしていると考えられる。また、下層路盤材の弾性係数も低下しており、この原因については開削調査を行って確認することとした。

路床がローム安定処理土でも、透水管を設置して雨水を舗装外へ排水する C, D 工区と貯留層を 10cm 設置した B 工区の破損は A 工区よりも少なかった。FWD の逆解析結果からも、B, C, D 工区は路床の弾

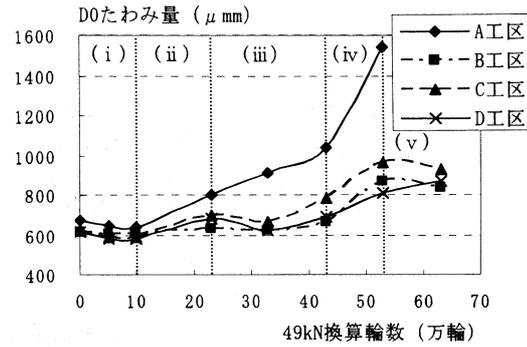


図-10 FWD  $D_0$  たわみ量の推移

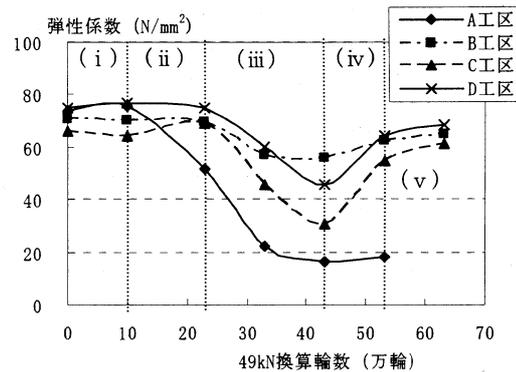


図-11 改良路床土の弾性係数推定値の推移

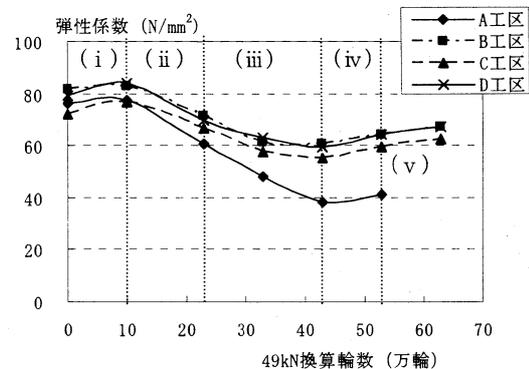


図-12 原地盤路床土の弾性係数推定値の推移

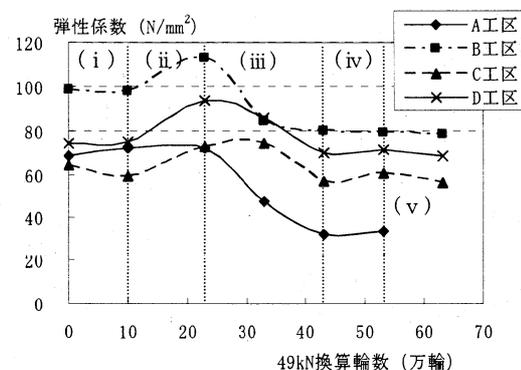


図-13 C-40 (下層路盤) の弾性係数推定値の推移



写真-1 A工区開削部写真

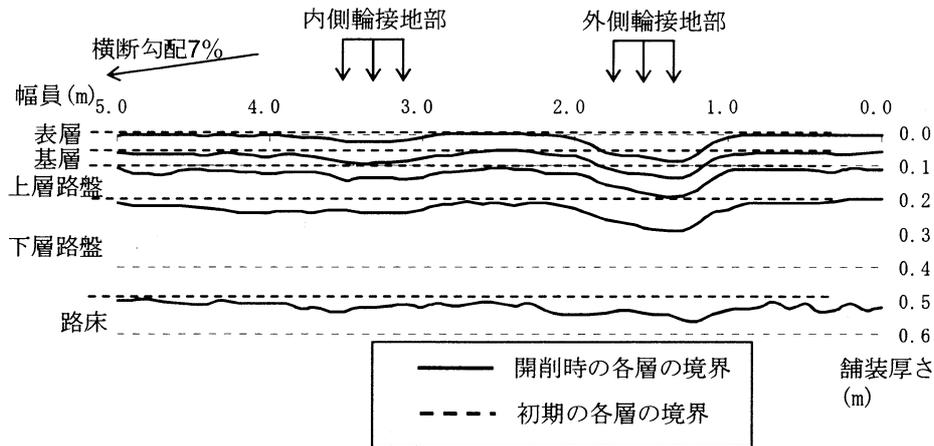


図-14 A工区変形状況測定結果 (目視による計測)

性係数は夏場に低下するものの、A工区と比較して低下の程度は少なく、冬になると回復する傾向が見られた。よって、これらの対策が舗装の耐久性に効果があることが分かった。

A工区については破損原因を調べるために開削調査を行った。その結果を次項に示す。

**b) A工区開削調査結果**

路面の流動による破損が進行したA工区の開削調査を行った。写真-1に断面を開削した状態を示す。また、目視により各層の変形を測定した。測定結果を図-14に示す。アスファルト混合物はわだちに沿って下方へ変形していた。また、C-40は路床に食い込むようになっていた。

図-15に開削した下層路盤の上部と下部から試料を採取し、ふるい分けを行った結果を示す。上部のほうが中粒程度の砕石量が若干少ない現象が見られたが、細粒分の量はほとんど変わらなかった。これは、上部の石が施工の際に、転圧で破碎されるためと考えられる。また、目視からも路床土と混ざり込んだ形跡は見られなかった。よって、下層路盤中に路床の泥分が上昇する現象は見られなかった。

以上より、A工区の破壊状況は室内で行った繰り返し載荷試験で路床土に関東ロームや安定処理した関東ロームを使用した場合の状況と同様に、路床の水浸による支持力低下が原因と考えられる。FWD試験の逆解析結果から下層路盤材の弾性係数も低下したが、それは下層路盤材自体の細粒分抜け落ち等による支持力低下ではなく、路床土の支持力低下が原

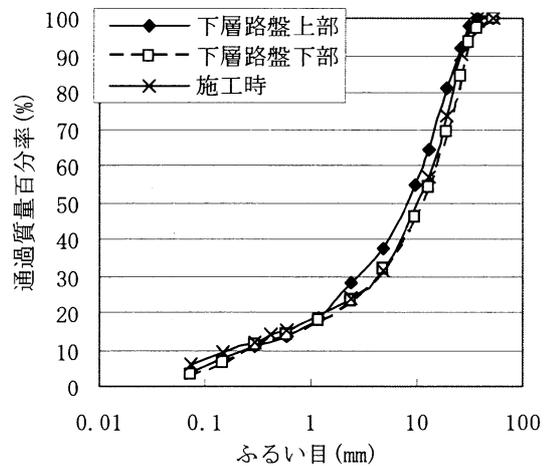


図-15 A工区下層路盤材ふるい分け結果 (OWP側)

因による破損と考えられる。

**(3) 実道での試験舗装追跡調査**

**a) 供用後追跡調査結果**

供用後約1年以上が経過した試験舗装のFWD試験D<sub>0</sub>たわみ量を表-4に示す。FWD試験D<sub>0</sub>たわみ量が通常の舗装の傾向と比較して、著しく大きな値をとった箇所はなかった。

図-16に試験舗装と密粒度アスファルト舗装、排水性舗装のわだち掘れ量の比較を行った。図-16

表-4 試験舗装のFWD  $D_0$ たわみ量

場所	平均FWD $D_0$ たわみ量(mm)	旧交通区分	供用年数(年)
A	0.151	D	4.0
B	0.218	D	1.3
C	0.178	D	0.8
D	0.329	D	1.0
E	0.099	C	0.8
F	0.138	C	0.9
G	0.583	L	0.8

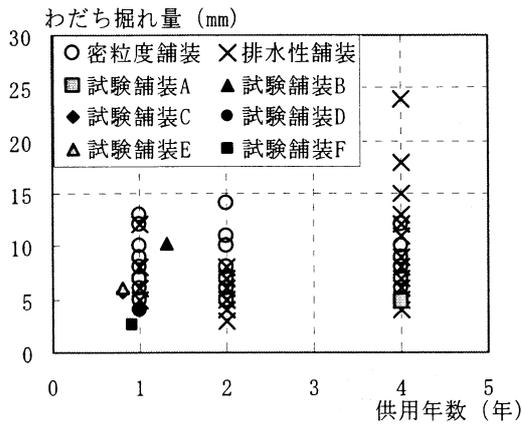


図-16 わだち掘れ量の比較

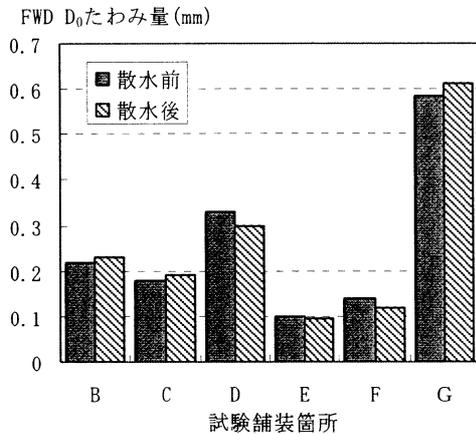


図-17 散水実験前後のFWD  $D_0$ たわみ量の変化

に示されている密粒度舗装と排水性舗装とは、平成15年度に直轄国道の全国調査をした結果のうち、CおよびD交通の新設区間で、供用年数が4年以内の寒冷地域を除いた一般地域に施工された箇所100m区間において3点測定されたわだち掘れ量の平均値である。

通常の舗装と比較しても透水性舗装のわだち掘れ量はほぼ同程度であるが、若干少ない傾向が見られた。特に路床土が粘性土の箇所が3箇所あり、それぞれに遮水シートの設置、舗装厚さの増し厚、透水管の設置による舗装外への排水による舗装の耐久性

への対応策を行っているが、現時点で早期での破損は見られていない。

b) 散水試験後のFWD たわみ量の変化

試験舗装の散水試験前後のFWD試験  $D_0$ たわみ量の変化を図-17に示す。散水実験前後で、FWD試験  $D_0$ たわみ量が大きく変化することはなかった。散水実験程度の散水量では路床上面に湛水する程の水量は散水できない。よって、路床面に湛水した場合の影響までは判断できないが、舗装材料に水が浸透しても舗装材料の支持力にはほとんど影響がないと判断できる。

4. まとめ

本研究では、室内試験、実大舗装試験、実道での試験舗装を通じて車道透水性舗装の耐久性に与える影響と対応策を検討した。得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- ① 室内繰り返し載荷試験のような常に湛水している条件では、路床土の種類によって水浸の影響が変わる。繰り返し荷重を載荷した場合の変形量は、路床土が砂質土の場合には水浸による影響はなかった。しかし、乱した関東ロームのような粘性土やそれを石灰安定処理した土の場合は、繰り返し荷重による変形量が大きくなった。その程度は、非水浸状態で載荷荷重を2倍程度にした場合と同等であった。よって路床土が粘性土の場合に水浸による影響をなくすには、路床上面に発生する応力が1/2になるような舗装厚さの増加が有効と考えられる。
- ② 荷重車による実大舗装促進載荷試験から、路床土が粘性土であっても、透水管等を設置し、舗装外へ排水する構造であれば、耐久性の低下を防ぐ効果があることが分かった。また、現在のところ、舗装厚さ49cmに対して10cm程度の貯留層(下層路盤材料)の増し厚で透水管を設置する程度の効果が見られている。これは、室内繰り返し載荷試験で得られた結果よりも少ない舗装の増し厚で効果が得られる結果である。これについては、今後荷重車走行の増加と舗装内の湛水状況等を調査して検討していく。
- ③ 通常使用されているような粒状路盤材料であるクラッシュランに関しては、水浸による細粒分抜け落ち等による粒度分布の大きな変化は見られなかった。また、実道での散水実験によっても舗装材の水浸による支持力低下は見られていない。
- ④ 実道の試験舗装は、基本的に通常の $T_A$ 法で設計されており、場所により透水管が設置されたり、舗装の増し厚等が行われているが、現在のところ供用後早期における舗装の破損は発生していない。

以上より、表基層に排水性混合物、上層路盤に透水性瀝青安定処理混合物、下層路盤にクラッシュランを用いた舗装構造では、車道透水性舗装の設計は

通常の $T_A$ 法で行えるが、路床土が粘性土の場合は透水管の設置による舗装外への排水や舗装厚さの増し厚が必要であることが分かった。増し厚の程度は室内実験の結果から、路床上面に発生する応力を1/2程度にする必要がある。

ただし、今後も路床の支持力低下についてはより詳細な調査と対応策の検討を行っていく必要がある。また、舗装材料に関しても今回は検討を行わなかったが、透水性舗装材料として可能性のあるものも多く、これらについては今後検討を行っていく必要がある。

謝辞：研究を行うにあたって、国土交通省道路局国

道・防災課から様々な御指導、助言を承りました。また、各地方整備局等におきましては、試験舗装の施工、各種調査を実施して頂きました。ここに、記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 峰岸順一, 小林一雄, 竹田敏憲: 車道透水性舗装の耐久性と透水機能, 平成16年東京都土木技術研究所年報, pp. 63-74, 2004.
- 2) 大関正美, 丸山喜代二, 中村利明: 車道透水性舗装の路面損傷について, 第9回北陸道路舗装会議技術報文集, pp. 229-234, 2003.
- 3) FWD 研究会 : <http://www.fwdjapan.org/>

## STUDY ON DURABILITY OF PERMEABLE PAVEMENT

Osamu KAMADA, Tadaaki SHIMIZU, Masahide ITO

Urban River Inundation Prevention Act is enforced in May, 2004. It is necessary to build pavement with runoff control capacity such as permeable pavement in the roadway in designed area by this law.

But, it is not confirmed that permeable pavement has enough durability as pavement. So, the factor and counter measure that influenced durability for permeable pavement were examined by indoor examinations, full-scale pavement test and examination pavement in roadway.

By these results, it is cleared that influence for durability of permeable pavement is difference by the kind of subgrade soil. And it is necessary to drain rainwater or add the thickness of pavement when subgrade soil is clay.