

# 論文 床版防水工がアスファルト舗装に及ぼす影響

野村 謙二\*1・魚本 健人\*2

**要旨:** 道路橋では、コンクリート床版を保護するために床版防水工が多く採用されている。床版防水工の上にアスファルト混合物が舗装されるが、床版防水工の敷設が舗装後のアスファルト混合物のかさ密度、空隙率、透水性を変化させることを確認した。

**キーワード:** 床版防水工, アスファルト混合物, 密度, 空隙率, 透水係数

## 1. はじめに

道路橋では、床版防水工は外部からの有害因子のコンクリート床版内への進入を防ぐ有効な手段として採用されている。床版防水工が最近特に注目されてきた主な要因としては、排水性舗装の採用、路面凍結防止剤の多用、ひびわれを許容する PRC 構造の採用など、コンクリート床版への水や有害因子の進入が容易になることが増加してきたためである。しかし、床版防水工の敷設はアスファルト混合物のわだち掘れ量を増加させることを既に報告した<sup>1)</sup>。わだち掘れ量の増加は重大な交通事故に結びつくことが懸念される。そこで、本文では床版防水工の敷設が、その上に舗装されるアスファルト混合物の物性にどのような影響を及ぼすかを検証するために実験的検討を行なった。

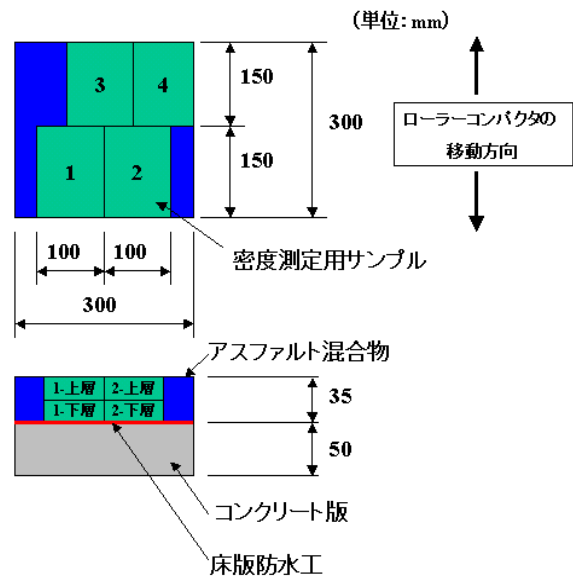


図-1 密度測定用サンプルの抽出位置

## 2. アスファルト混合物の密度測定

### 2.1 締固め直後のアスファルト混合物の密度

#### 2.1.1 概要

図-1 に示すように、300mm×300mm×50mmのコンクリート版の上に床版防水工を貼りつけ、その上から密粒度アスファルト混合物(以下「アスファルト混合物」という。)をローラーコンパクタで厚さ 35mmに締固めて供試体を作製した。供試体の種類は、①床版防水工に瀝青シート系防水工を用いた供試体、②床版防水工に吹付けポリウレタン塗膜系防水工を用いた



図-2 供試体の層構成

\*1 東京大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 工修 (正会員)

\*2 東京大学 生産技術研究所教授 工博 (正会員)

供試体，③床版防水工なしの供試体，の3種類とした。図-2に供試体の層構成を示す。

アスファルト混合物の締固め後，供試体を十分冷却し，アスファルト混合物の密度測定用サンプルを，平面で4箇所分割，厚さ方向は上下層に2分割し抽出した。水中重量の測定は測定前に密度測定用サンプルを水の中に1時間程度浸漬した後に行った。密度はかさ密度とし，式(1)により算出した。

$$\rho_A = W_A / (W_S - W_W) \quad (1)$$

ここに，

$\rho_A$ ：アスファルト混合物の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$W_A$ ：サンプルの空中重量 (g)

$W_S$ ：サンプルの表乾重量 (g)

$W_W$ ：サンプルの水中重量 (g)

アスファルト混合物の配合を表-1に示す。このアスファルト混合物の配合とそれぞれの比重から，アスファルト混合物の空隙が0と仮定した最大理論密度  $\rho_T = 2.438 \text{g/cm}^3$  が得られた。

表-1 アスファルト混合物の配合 (重量%)

改質Ⅱ型 アスファルト	6号碎石	7号碎石	粗目砂	細目砂	石粉
5.8% (1.030)	35.8% (2.705)	20.1% (2.641)	23.4% (2.627)	9.8% (2.613)	5.1% (2.700)

( )内は密度 (g/cm<sup>3</sup>) を示す

アスファルト混合物の空隙率は，最大理論密度を用いると式(2)で表される。

$$V_r = (1 - \rho_A / \rho_T) \times 100 \quad (2)$$

ここに，

$V_r$ ：アスファルト混合物の空隙率 (%)

$\rho_A$ ：アスファルト混合物の密度 (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_T$ ：アスファルト混合物の最大理論密度 (g/cm<sup>3</sup>)

### 2.1.2 結果

図-3に密度計測結果を，図-4に空隙率算出結果を示す。図-3を見ると，床版防水工を敷設したものは床版防水工を敷設していないものより

も密度が小さい値を示している。シート系防水工と塗膜系防水工を比べると，シート系防水工を敷設した方がアスファルト混合物の密度が小さい結果となった。また，アスファルト混合物の上層と下層の密度を比較すると，上層の密度が下層に比べて小さい結果となった。

測定した密度を用いて式(2)で算出した空隙率は図-4のようになり，密度が大きければ空隙率が小さいことが示されている。

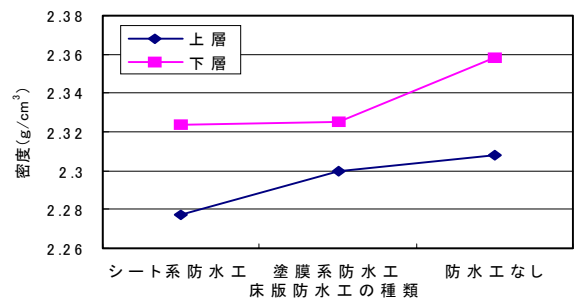


図-3 締固め直後のアスファルト混合物の密度

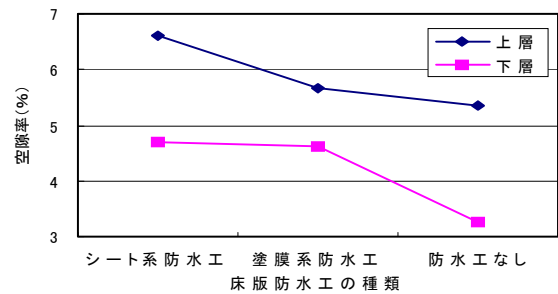


図-4 締固め後のアスファルト混合物の空隙率



図-5 WT試験機による輪荷重載荷状況

### 2.2 輪荷重載荷後のアスファルト混合物の密度

#### 2.2.1 概要

真夏の炎天下では，アスファルト舗装温度は60℃程度に上昇するため，作製した供試体に

60℃の環境で図-5 に示すホイールトラッキング (WT) 試験機により輪荷重を載荷した。輪荷重強度は  $0.6272\text{N/mm}^2$  とし、載荷速度は 30 往復/分、載荷サイクルは 10800 回とした。その後、図-6 に示すように、 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 35\text{mm}$  のアスファルト混合物から密度測定用サンプルを、平面で 6 箇所に分割し、深さ方向に 2 分割し、抽出した。輪荷重載荷位置はサンプル番号 2 および 5、輪荷重載荷以外の位置 (以下「その他の位置」という。) はサンプル番号 1, 3, 4, 6 として密度を区別した。アスファルト混合物の密度の測定方法および空隙率の算出方法は、2.1 と同様である。

### 2.2.2 結果

図-7 に輪荷重載荷位置とその他の位置に分けてアスファルト混合物の密度の測定結果を示した。この図を見ると、シート系防水工を敷設した場合には、輪荷重載荷前の図-3 と比較すると上層の密度が輪荷重載荷により大きくなり、下層の密度との差が小さくなっている。塗膜系防水工を敷設した場合には、輪荷重載荷前の図-3 と比較すると、「その他の位置」上層の密度は極端に小さくなっているが、それ以外の場所の密度は輪荷重載荷により大きくなっている。床版防水工なしとした場合には、輪荷重載荷位置上層・下層、「その他の位置」下層では密度変化はほとんどなかったが、「その他の位置」上層の密度が大きくなっている。これは、輪荷重による表面付近のアスファルト混合物の側方移動量が小さいため、型枠拘束による表面隆起を生じず側方に圧縮され密度が増加したと思われる。

測定した密度を用いて式 (2) で算出した空隙率は図-8 のとおりである。

## 3. アスファルト混合物の加圧透水試験

### 3.1 概要

図-9 に示すように、輪荷重載荷後の供試体から  $\phi 100\text{mm}$  のコアを抜き、アスファルト混合物部分を取り出して加圧透水試験のサンプルとした。サンプルを鉛直透水圧  $0.5\text{N/mm}^2$ 、側圧

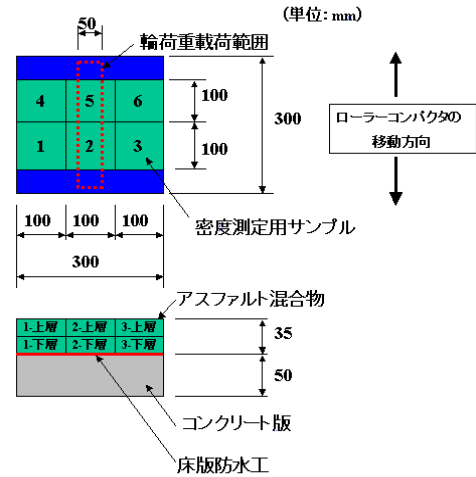


図-6 密度測定用サンプルの抽出位置

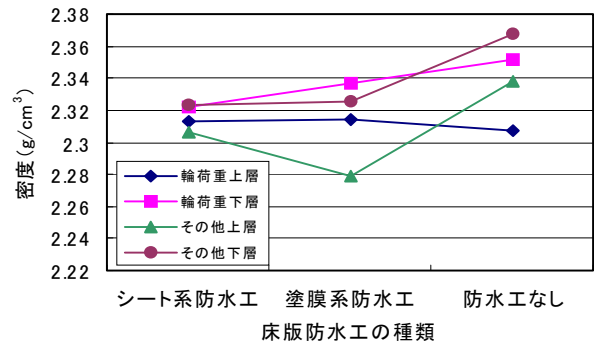


図-7 輪荷重載荷後のアスファルト混合物の密度

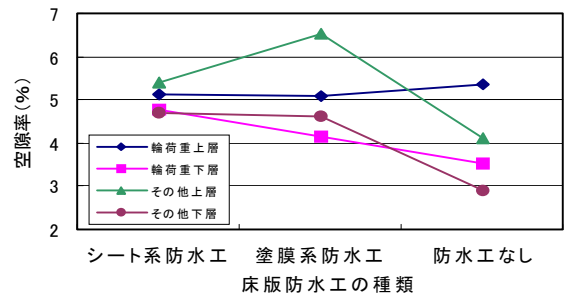


図-8 輪荷重載荷後のアスファルト混合物の空隙率

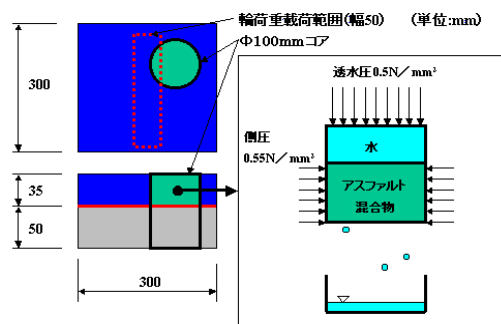


図-9 加圧透水試験概要図

0.55N/mm<sup>2</sup> で加圧し、24 時間後の流出量を計測した。供試体の種類は、シート系防水工を用いたもの、塗膜系防水工を用いたもの、床版防水工なしとしたものの3種類とした。

### 3.2 結果

試験結果を表-2 に示す。シート系防水工を用いたものおよび塗膜系防水工を用いたものから取り出したアスファルト混合物の透水係数は、加圧後 24 時間の流出流量が 0 であったため、計測不能であった。床版防水工なしとしたものから取り出したアスファルト混合物の透水係数は  $1.66 \times 10^{-6} \text{cm/s}$  であった。

表-2 加圧透水試験結果

使用防水工の種類	断面積 (cm <sup>2</sup> )	高さ (cm)	流出流量 (cm <sup>3</sup> /s)	透水係数 (cm/s)
シート系	9.825	2.36	0	計測不能
塗膜系	9.875	2.85	0	計測不能
防水なし	9.850	2.45	0.2587	$1.66 \times 10^{-6}$

## 4. 考察

### 4.1 アスファルト混合物の密度測定

床版防水工を敷設した場合は、床版防水工なしの場合よりも密度が小さくなる傾向が観察された。これは締固め易さに原因があると考え、図-10 のようなモデルを想定し、解析を行ない確認することとした。質量Mのアスファルト混合物にローラーコンパクタの力Fが载荷された時のアスファルト混合物に働く力を求め、その力が床版防水工が敷設されている場合と敷設されていない場合でどの程度違うのかを確認した。床版防水工のバネ定数 k<sub>1</sub> とコンクリート版のバネ定数 k<sub>2</sub> は合成バネ k として取り扱おうとすると、k は式 (3) のように表される。

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2} \quad (3)$$

アスファルト混合物の減衰定数を C とすると、運動方程式は式 (4) のようになる。

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + kx = F \text{ or } 0 \quad (4)$$

ここに、M (kg) は幅 50mm×長さ 300mm×厚さ 35mm のアスファルト混合物の質量であ

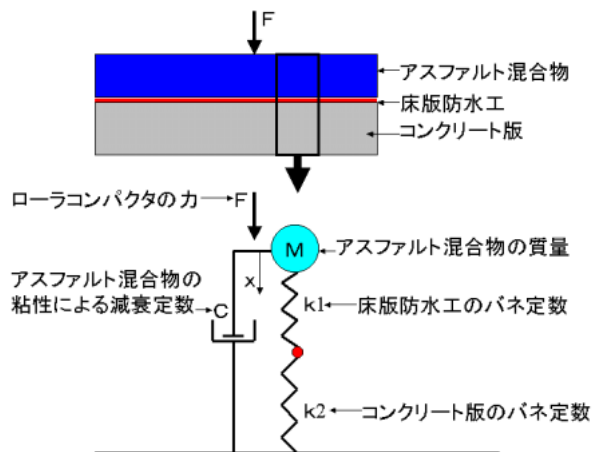


図-10 アスファルト混合物の締固め解析モデル

る。C (Ns/mm) はアスファルト混合物の減衰定数で、鋼球を高さ 1m から高温のアスファルト混合物に自由落下させた場合、反発係数がゼロ、衝突後のアスファルト混合物の変形が微量という事実をもとに算出した値 50000Ns/mm とした。k<sub>1</sub> (N/mm) は床版防水工のバネ定数でヴィッカーズ硬度計により測定した圧縮弾性係数<sup>2)</sup> から式 (5) により算出した。

$$k_1 = \frac{A \cdot E}{t} \quad (5)$$

ここに、A は荷重載荷面積 (幅 50mm×長さ 300mm), E は測定した床版防水工材料の圧縮弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>), t は床版防水工厚さ (mm) である。k<sub>2</sub> (N/mm) はコンクリート版のバネ定数であり、弾性係数を 30000N/mm<sup>2</sup> として同様に算出した。表-3 に解析に用いた定数を示す。

表-3 解析定数

供試体種類	M	C	k
シート系防水工	1.2075	50000	692308
塗膜系防水工	1.2075	50000	428571
床版防水工なし	1.2075	50000	9000000

ローラーコンパクタが 1 往復するのに約 3 秒かかる。幅 50mm 区間をローラーコンパクタが通過するのは約 0.25 秒となる。ここで、幅 50mm の区間のアスファルト混合物に 0.25 秒間ローラーコンパクタの力 F (8820N) が作用し、その後は力が開放される場合を考える。ローラコン

パクタがアスファルト混合物を1往復転圧する時のアスファルト混合物に作用する締固め力の解析結果を図-11に示した。この結果を見ると、床版防水工なしに比べ床版防水工が敷設されると0.25秒まではローラコンパクタからの力が完全には伝達されていないのが分かる。この違いがアスファルト混合物の密度に差を生じさせた主な原因と考えられる。

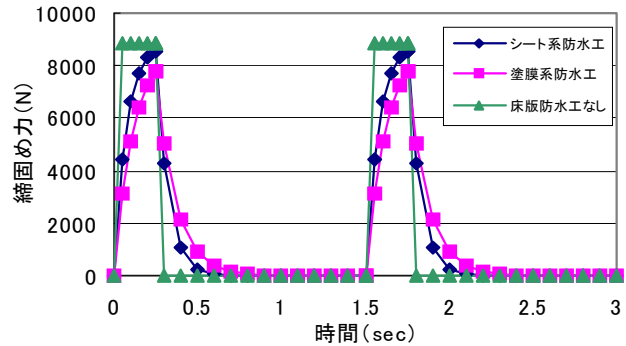


図-11 アスファルト混合物が受ける締固め力

#### 4.2 アスファルト混合物の加圧透水試験

アスファルト混合物の配合は同一のはずであるのに透水性状が異なる結果となった。すなわち、床版防水工を有する場合のアスファルト混合物は、床版防水工なしの場合よりも透水係数が小さくなっていることが分かった。

一方、図-3、図-7の密度測定結果から算出されたアスファルト混合物の空隙率は、床版防水工を施した場合は床版防水工を施さない場合よりも大きい結果が得られている。算出されたアスファルト混合物の空隙率が小さい方が、透水係数が大きいという結果となった。このことについて、次のことが考えられる。

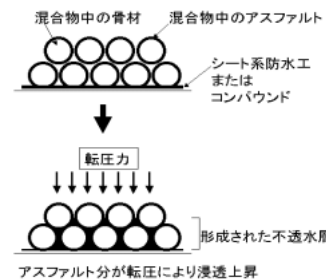


図-12 防水工のアスファルト分の浸透上昇概念図

##### 1) シート系防水工を用いた場合

シート系防水工は不織布にゴム入り改質アスファルトを1.08kg/m<sup>2</sup>程度含浸させたものである。シート系防水工はコンクリート床版上に瀝青コンパウンド材を1.2kg/m<sup>2</sup>程度塗布した後、敷設する。その上に敷き均したアスファルト混合物をローラーコンパクタで転圧するが、その際にシート系防水工から染み出したゴム入り改質アスファルト(比重1.03)や瀝青コンパウンド材が浸透上昇し、アスファルトリッチなアスファルト混合物になったと考えられる<sup>3)</sup>。図-12にその概念図を示す。アスファルト混合物層の下半分の厚さまでシート系防水工から染み出したゴム入り改質アスファルトのみが浸透上昇すると仮定すると、もともと表-1の配合であったアスファルト混合物が、表-4のようにアスファルト量が増加した配合となる。その結果、理論最大密度が2.438g/cm<sup>3</sup>から2.357g/cm<sup>3</sup>程度に減少し、実際のアスファルト混合物下層の空

表-4 アスファルト量が増加した配合 (重量%)

改質Ⅱ型 アスファルト	6号碎石	7号碎石	粗目砂	細目砂	石粉
<b>8.2%</b>	<b>34.9%</b>	<b>19.7%</b>	<b>22.8%</b>	<b>9.6%</b>	<b>5.0%</b>
5.8%	35.8%	20.1%	23.4%	9.8%	5.1%
(1.030)	(2.705)	(2.641)	(2.627)	(2.613)	(2.700)

1 段目：アスファルト量が増加した配合  
2 段目：当初配合  
( )内：密度 (g/cm<sup>3</sup>) を示す

隙率が小さくなって不透水となったものと考えることができる。

##### 2) 塗膜系防水工を用いた場合

塗膜系防水工を用いた場合では、アスファルト混合物と床版防水工を接着するために瀝青コンパウンド材を塗布する。この量は0.5kg/m<sup>2</sup>程度であるが、その上に敷き均したアスファルト混合物をローラーコンパクタで締固める際に、アスファルト混合物中にコンパウンド材(比重1.03)が浸透上昇し、アスファルトリッチなアスファルト混合物になったと考えられる。アスファルト混合物層の下半分までコンパウンド材が浸透上昇すると仮定すると、下半分の配合はもともと表-1の配合であったものが、表-5のようにアスファルト量が増加した配合になる。こ

の結果，理論最大密度が 2.438g/cm<sup>3</sup> から 2.399g/cm<sup>3</sup> に減少することになり，実際のアスファルト混合物下層の空隙率が小さくなり不透水となったと考えることができる。

表-5 アスファルト量が増加した配合（重量％）

改質Ⅱ型 アスファルト	6号砕石	7号砕石	粗目砂	細目砂	石粉
<b>6.9%</b>	<b>35.4%</b>	<b>19.9%</b>	<b>23.1%</b>	<b>9.7%</b>	<b>5.0%</b>
5.8%	35.8%	20.1%	23.4%	9.8%	5.1%
(1.030)	(2.705)	(2.641)	(2.627)	(2.613)	(2.700)

1 段目：アスファルト量が増加した配合  
2 段目：当初配合  
( )内：密度（g/cm<sup>3</sup>）を示す

### 3) 床版防水工なしとした場合

床版防水工なしとしたものは，計測された透水係数が舗装系防水材の透水係数の標準値 1.0 × 10<sup>-6</sup>～1.0 × 10<sup>-7</sup> cm/s の範囲<sup>4)</sup>にあることから，当初配合のまま舗設されたと思われる。

上述のように床版防水工を敷設するとアスファルト分の浸透上昇によりアスファルト混合物の下層の理論最大密度が減少するとして，アスファルト混合物の空隙率を算出した。締固め直後のアスファルト混合物の密度測定値から求まる空隙率を図-13 に，輪荷重載荷後の輪荷重載荷部の空隙率を図-14 に示した。これらを見ると床版防水工を敷設した場合，アスファルト混合物の下層の配合はアスファルトリッチとなり，空隙率 3%以下と小さくなってアスファルト混合物が不透水になったものと思われる。

## 5. 結 論

本研究により次の事項が明らかとなった。

- 1) 床版防水工を敷設した場合は敷設しない場合よりも，その上に舗設されるアスファルト混合物の密度は小さくなる。これは，床版防水工を敷設した場合，床版防水工がコンクリート版よりも柔らかいことから，敷設しない時よりもアスファルト混合物に加わる転圧力が十分伝達されないことが主な原因と考えられる。
- 2) 床版防水工を敷設した場合のアスファルト

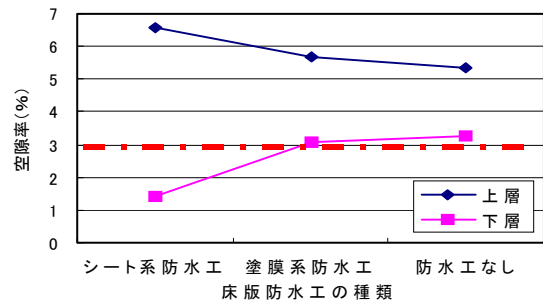


図-13 締固め後のアスファルト混合物の空隙率

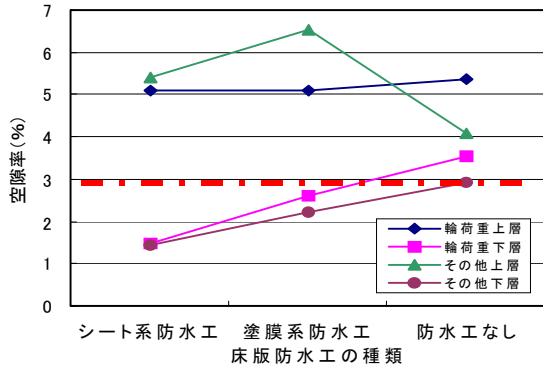


図-14 輪荷重載荷後のアスファルト混合物の空隙率

混合物の透水係数は，敷設しない場合のそれよりも小さい。これは，床版防水工を敷設した場合，転圧時に床版防水工中のアスファルト分や瀝青コンパウンド材が溶け出し，アスファルト混合物中に浸透上昇し，当初設定した配合よりも空隙率の小さいアスファルト混合物になったことによるものと推測される。

以上のことから，床版防水工を敷設する場合，土工部と橋梁部でアスファルト混合物の舗設方法を分けて検討する必要があると思われる。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり，ご協力いただいたニチレキ（株）の蒔田實氏および（株）ポゾリス物産のノルベルト・バウマン氏に深く感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) 野村・魚本「道路橋における鉄筋コンクリート床版の防水工に関する研究（その2）」生産研究，Vol.53，No.3，pp58～pp61，2001.3
- 2) 野村・魚本「道路橋における鉄筋コンクリート床版の防水工に関する研究（その3）」生産研究，Vol.53，No.5，pp65～pp68，2001.5
- 3) 野村・魚本「道路橋における鉄筋コンクリート床版の防水工に関する研究（その4）」生産研究，Vol.53，No.9・10，pp81～pp85，2001.9
- 4) 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料 p 31（社）日本道路協会，1987