

# ホイールトラッキング試験機の走行負荷による床版防水システムの評価

Evaluation of Waterproof Layer on Bridge Deck using the Wheel Tracking Machine

帆苺 浩三\*, 真鍋 英規\*\*, 山田 優\*\*\*

Kozo HOKARI, Hidenori MANABE, Masaru YAMADA

\*工博 福田道路(株) 技術部 (〒951-8503 新潟県新潟市川岸町 1-53-1)

\*\*工博 (株)富士ピー・エス 技術部 (〒530-0012 大阪府大阪市北区芝田 2-2-1)

\*\*\*工博 大阪市立大学教授 工学部環境都市工学科 (〒558-0022 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138)

We investigated the adaptation of the wheel tracking test as the way of simulating the traffic load which affected the asphalt pavement including the waterproof layer over the concrete bridge deck.

This report estimated the grade of pavement damage, which caused by the traffic load on a bridge consisting of the concrete deck, the waterproof layer and asphalt pavement, and the influence of the traffic load upon the adhesiveness of the waterproof layer. Pavement damage was evaluated by the deformation amount of asphalt pavement on the wheel tracking test. The adhesiveness of the waterproof layer was estimated by the tensile adhesion test and the shear adhesion test.

The deformation amount of asphalt pavement increased by the waterproof layer, and the adhesive strength of the waterproof layer was increased by the wheel load on the wheel tracking test. These results depended on a type of the waterproof layer.

*Key Words: Wheel Tracking Test, Concrete Bridge Decks, Waterproof Layer*

キーワード: ホイールトラッキング試験, コンクリート床版, 防水層

## 1. はじめに

道路橋の鉄筋コンクリート床版では、雨水が内部に浸透すると鉄筋の腐食やコンクリートの劣化が生じる。これらは、特に交通荷重の繰り返し作用によって促進される。また最近、排水性舗装が道路橋にも適用されるようになり、より一層防水層の必要性が高まっている。

本報告では、道路橋における床版防水層を含む舗装の損傷を室内で簡易に評価する方法として、ホイールトラッキング試験(以下、WT 試験)を用いた走行負荷を検討した。この試験方法は、これまでアスファルト混合物の流動わだち掘れへの抵抗性を評価する試験として広く用いられているものである。ここでは、WT 試験の載荷走行で生じる舗装の損傷と防水層の接着性への影響を、コンクリート床版、防水層、アスファルト舗装の三位一体として評価している。

## 2. 試験の概要

実験は、予備試験と本試験の 2 つのシリーズに分けて実施している。予備試験は、WT 試験を用いた走行負荷方法の防水層評価への適否と、本試験での走行負荷方法の絞込みを行うために実施したものである。実施内容としては、供試体の層構成と WT 試験機の走行条件を変化させ、防水層表面の変状とアスファルト舗装の変形量を測

定した。

本試験では予備試験で選定した負荷条件を用い 9 種類の防水層について試験し、WT 試験機を用いた走行負荷方法を検証している。実施内容としては、走行負荷によるアスファルト舗装の変形量を測定し、その後、防水層の接着強度を引張接着試験およびせん断接着試験によって評価している。

## 3. 供試体の仕様および使用材料

### 3.1 道路橋における舗装の層構成

図-1 に道路橋コンクリート床版上における舗装の層構成を示す。層構成はコンクリート床版、防水層およびアスファルト舗装からなり、防水層はさらに床版接着剤、防水材料および舗装接着剤に分けられる。

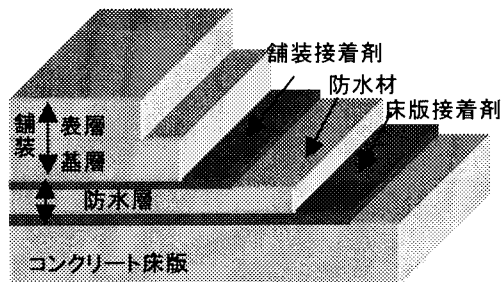


図-1 コンクリート床版上の層構成

表-1 防水層の仕様

記号	種別	床版接着剤	防水材	舗装接着剤	厚さ (mm)
①	ウレタン系	エポキシ系プライマー	速硬化ウレタン	ウレタン系プライマー+熱可塑性樹脂	2.5
④	アスファルトシート系	As <sup>*)</sup> 系プライマー+改質As	ポリエステル不織布+改質As		2.8
⑤	アスファルトシート系	ウレタン系プライマー+改質As	ガラス繊維+改質As		3.2
⑥	アスファルトシート系	As系プライマー+改質As	ポリエステル不織布+改質As		2.7
⑦ <sup>**)</sup>	アスファルト塗膜系	As系プライマー	改質As(付着防止材 珪砂)		1.1
⑧ <sup>**)</sup>	アスファルトシート系	As系プライマー+改質As	ポリエステル不織布+改質As		3.0
⑨	アクリル弾性モルタル系	アクリル系エマルジョン	アクリル系ポリマー セメントモルタル	As 乳剤	0.8
⑩	MMA樹脂系	二液型アクリル樹脂(含浸防水材)		特殊樹脂粉体	0.2
⑪	ウレタン系(薄層)	エポキシ系プライマー	速硬化ウレタン	ウレタン系プライマー+熱可塑性樹脂	1.0
無	防水層なし	As 乳剤のみ			0

<sup>\*)</sup> As はアスファルトの略 <sup>\*\*)</sup> ⑦,⑧は従来品

### 3.2 実験に用いた供試体の層構成

図-2 に実験に用いた供試体の層構成を示す。層構成には3タイプあり、a コンクリート床版に防水層を設置したもの(防水層のみ)、b 防水層上に基層一層を舗設したもの(一層供試体)、c 防水層上に基層と表層の二層を舗設したもの(二層供試体)である。防水層上のアスファルト混合物はローラーコンパクタにより舗設した。

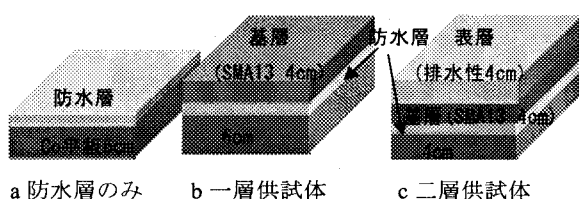


図-2 実験に用いた供試体の層構成

### 3.3 コンクリート平板

室内試験では、コンクリート床版の代替品としてコンクリート平板(JIS A5304準拠)を用い、30×30×6cmと30×30×4cmの2種類を、防水層上に舗設するアスファルト舗装の厚さに応じて使い分けた。

### 3.4 防水層

防水層は、床版接着剤、防水材、舗装接着剤からなり、アスファルト塗膜系防水層のように防水材と舗装接着剤が一体化したタイプ、ウレタン系防水層のように舗装接着剤を必要とするタイプなどがある。

試験に用いた防水層は、従来の防水材単体の評価基準<sup>1)</sup>に対応した従来品(以下、従来品)2種類を含む9種類である。また、防水層設置の影響を検討するため、防水層なしの状態でも試験を実施した。この場合、コンクリート平板上に乳剤(PK-4)を塗布しアスファルト舗装を舗設した。表-1に本検討に用いた防水層の仕様を示す。

### 3.5 アスファルト舗装

防水層上の基層には最大粒径13mmの砕石マスチックアスファルト(以下、SMA13)、表層には排水性混合物を使用した。

表-2に使用したアスファルト混合物の性状を示す。

表-2 アスファルト混合物の性状

項目	混合物種	基層 SMA13	表層 排水性混合物
	As種	ストレートアスファルト 60-80	高粘度改質アスファルト
添加材	植物繊維(0.3%)	なし	
As量(%)	6.5	5.0	
密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.378	1.980	
空隙率(%)	2.5	20.6	
安定度(kN)	7.0	5.3	
動的安定度(回/mm)	2050	6000以上	

## 4. 試験方法

### 4.1 供試体への走行負荷方法

#### (1) WT試験

WT試験は、アスファルト混合物の耐流動性を評価するために広く用いられている試験方法である。写真-1にWT試験機を示す。通常、アスファルト混合物(30×30×5cm)上に5cm幅のソリッドタイヤを687N載荷させた状態で走行(42回/min)させ、一定時間ごとに供試体の変形量を測定する。試験は60℃の温度条件下で60分間行い、耐流動性の評価を試験時間45分と60分の変形量の差で行う。耐流動性の性能値である動的安定度を式-1で算出している。

$$\text{動的安定度 (DS)} = 15 \div (d_{60} - d_{45}) \times 42 \quad (\text{式-1})$$

ここで、 $d_{60}$  : 60分後の変形量(mm)

$d_{45}$  : 45分後の変形量(mm)

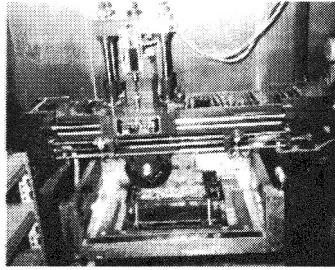


写真-1 WT試験機

(2) 走行負荷方法

供試体への走行負荷方法は、通常の WT 試験と同様に定位置による走行方法(トラッキング走行負荷)と、実道を想定し走行位置をシフトさせて負荷の幅を広くしたトラバース走行負荷を設定した。表-3 および図-3 に走行負荷条件を示す。

表-3 走行負荷条件

項目	今回設定した試験条件		通常の WT 試験
	トラッキング走行負荷	トラバース走行負荷	
走行位置と幅	定位置 5cm	移動 15cm	定位置 5cm
温度	20℃, 60℃		60℃
時間	1~6 時間		1 時間

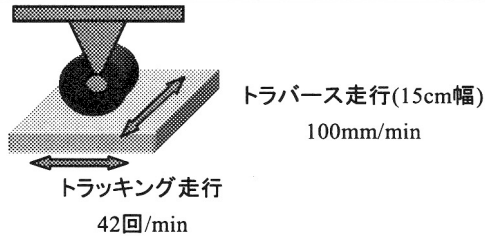


図-3 走行負荷条件

4.2 接着強度試験

防水層とコンクリート床版あるいは基層との接着強度を評価するために、引張接着試験、せん断接着試験を実施した。試験条件を表-4 に示す。

表-4 接着強度試験

試験	項目	内容
引張接着試験 JHERI410-11 準拠	試験機	10 トン油圧サーボ試験機
	試験温度	20℃
	載荷速度	10mm/min
	供試体	7×7×10cm
せん断接着試験 JHERI410-12 準拠	試験機	10 トン油圧サーボ試験機
	試験温度	20℃
	載荷速度	1mm/min
	供試体	7×7×10cm

5. 予備試験(WT 試験機による走行負荷方法の検討)

5.1 試験条件

防水層上を車輪が直接走行した場合と、防水層上に設置した基層上を車輪が走行した場合について検討した。走行負荷方法はトラッキング走行負荷およびトラバース

走行負荷であり、用いた防水層は、表-1 の①ウレタン系、⑦アスファルト塗膜系、⑧アスファルトシート系の 3 種類である。

(1) 防水層上を直接走行させた場合

工事用車両等が直接防水層上を走行することを想定し、防水層上に直接トラッキング走行負荷を与え、走行負荷による防水層の変状を目視観察した。試験条件を表-5 に示す。

表-5 試験条件(直接走行)

項目	内容
走行負荷条件	温度 20℃, 60℃ 走行方法 トラッキング走行負荷 1 時間
供試体の層構成	図-2-a 防水層のみ

(2) 三位一体として基層上を走行させた場合

供用中を想定し、コンクリート床版-防水層-基層の三位一体からなる供試体にトラッキング走行負荷およびトラバース走行負荷を与え、走行負荷による基層の変形量を測定した。試験条件を表-6 に示す。

表-6 試験条件(基層上走行)

項目	内容
走行負荷条件	トラッキング走行負荷 トラバース走行負荷
走行温度	20℃, 60℃
走行時間	1 時間, 2 時間
供試体の層構成	図-2-b 一層供試体

5.2 予備試験結果

(1) 防水層上を直接走行させた場合

防水層上を直接走行したことによる防水層の変状は、20℃走行負荷ではどの防水層にもみられなかった。60℃走行負荷では、①ウレタン系防水層には変状が見られなかったが、⑦塗膜系防水層では瀝青分が側方に流動しコンクリート表面が露出した。同様に、⑧シート系防水層は走行開始 50 分後にコンクリート平板からシートがはがれた。このことより、60℃トラッキング走行負荷は夏季の施工状況を再現していると考えられる。

(2) 三位一体とした基層上を走行させた場合

三位一体とした基層上を走行させた場合、20℃走行負荷では基層は変形しなかったが、60℃走行負荷では基層が変形した。表-7 に 60℃トラッキング走行負荷における変形量を示す。防水層の種別により差異はあるが、防水層の設置によって基層の変形量が増加している。

表-7 防水層の種別による変形量の違い

(60℃トラッキング負荷, 1 時間)

防水層種	変形量 (mm)	供試体の層構成
①ウレタン系	4.5	図-2-b 一層供試体
⑦塗膜系	11.0	
⑧シート系	10.8	
基層のみ	2.7	基層の厚さ 4cm

基層混合物の変形量は、トラッキング走行負荷の場合よりトラバース走行負荷の方が大きい。これはトラバース走行負荷では車輪が走行方向に対して直角方向にずれながら移動しているため、より大きなせん断力がアスファルト舗装に作用しているためと考えられる。

写真-2、写真-3 は共に①ウレタン系防水層の走行負荷後(60℃、2時間)の一層供試体である。

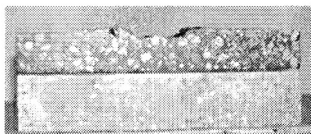


写真-2 トラッキング走行負荷後の断面(60℃ 2時間)  
(①ウレタン系防水層、一層供試体)



写真-3 トラバース走行負荷後の断面(60℃ 2時間)  
(①ウレタン系防水層、一層供試体)

### 5.3 予備試験結果まとめ

三位一体として走行負荷を与えると、基層の変形量は、防水層が設置された場合は、設置されていない場合より大きくなる。またトラッキング走行負荷とトラバース走行負荷を比較すると、トラバース走行負荷による場合の方が基層の変形量が大きく、防水層に与える影響が大きくなっていると考えられる。

20℃走行負荷では防水層表面の変状および基層の変形が生じていないので、本試験では、試験温度を 60℃としてトラバース走行負荷も実施することとした。

## 6. 本試験(各種防水層の評価)

### 6.1 試験条件

本試験では、9種類の防水層について走行負荷による舗装の変形量および接着強度への影響について評価試験を実施した。加えて実際の舗装断面と同様に表層を舗装した層構成(図-2-c)の供試体に対しても試験を実施することとした。

表-8 に本試験での試験条件を示す。

表-8 試験条件(本試験)

項目	内容
走行温度	60℃
走行時間	2時間(図-2-b 一層供試体) 6時間(図-2-c 二層供試体)
走行方法	トラッキング走行負荷 トラバース走行負荷
供試体構成	図-2-b 図-2-c
試験項目	引張接着試験、せん断接着試験

## 6.2 試験結果

### (1) 走行負荷方法と舗装の変形量

図-5 に2時間走行負荷後の全供試体の変形量の平均値を示す。走行負荷方法の比較では、どちらの層構成の供試体の場合でもトラバース走行負荷の変形量はトラッキング走行負荷の2倍程度の値となっており、トラバース走行負荷はトラッキング走行負荷の2倍程度の影響を与えているとみなせる。

また、供試体の層構成の比較では、どちらの走行負荷方法の場合でも二層供試体の変形量は一層供試体の値より小さくなっている。

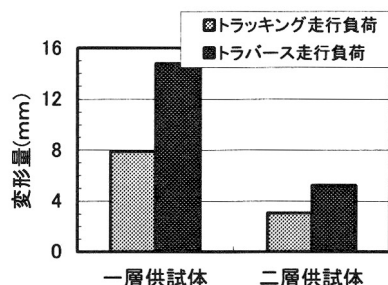


図-5 2時間走行負荷後の全供試体の変形量の平均値

写真-4 は二層供試体(①ウレタン系防水層)の6時間トラバース走行負荷後の断面であり、写真-3と比較すると変形量が小さいことがわかる。通常、アスファルト混合物層は厚くなる程変形量が大きくなる傾向となる。今回、二層供試体の変形量が小さくなった原因は表層に用いた排水性混合物の高い耐流動性によるものと考えられる。

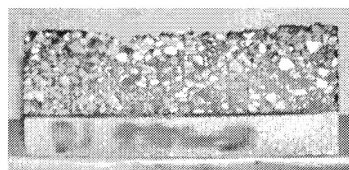


写真-4 トラバース走行負荷後の断面(60℃6時間)  
(①ウレタン系防水層、二層供試体)

図-6 にトラッキング2時間走行負荷後の基層の変形量を示す。グラフ上に示されている数値は防水層の厚さである。

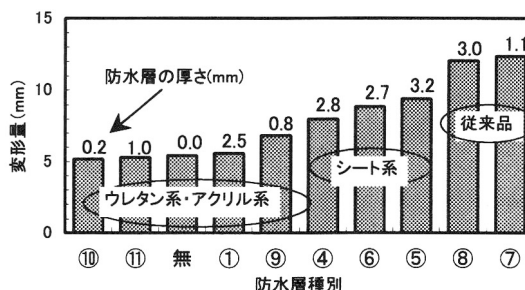


図-6 トラッキング2時間走行負荷による変形量  
(一層供試体)

防水層が厚い場合、あるいは、アスファルト系の防水材料を用いると基層の変形量が大きくなる傾向を示している。また、従来品を用いた場合の変形量はウレタン系防水層およびアクリル系防水層の変形量の2倍程度と大きい。

これらのことより、基層の変形量を増加させる要因として、防水層の厚さおよびアスファルト系材料の使用が考えられる。

## (2) 走行負荷方法と接着強度

走行負荷後の一層供試体で引張接着試験およびせん断接着試験を実施した。図-7 に引張接着試験結果、図-8 にせん断接着試験結果を示す。

走行負荷によって引張接着強度は大きくなり、無負荷の値に対してトラッキング走行負荷の場合で平均1.3倍、トラバース走行負荷の場合で平均1.7倍に増加している。一方せん断接着強度においては、無負荷の値に対してトラッキング走行負荷の場合で平均1.1倍、トラバース走行負荷の場合で平均1.0倍であり、負荷と無負荷の差がなく走行負荷による影響はみられない。

引張接着強度は走行負荷によって各層間の密着性が向上し増加していると考えられる。走行負荷によって防水材料そのもののせん断抵抗性は向上しないので、せん断強度は各層間の密着性よりも材料そのものの特性の影響を受けているのではないかと推定される。

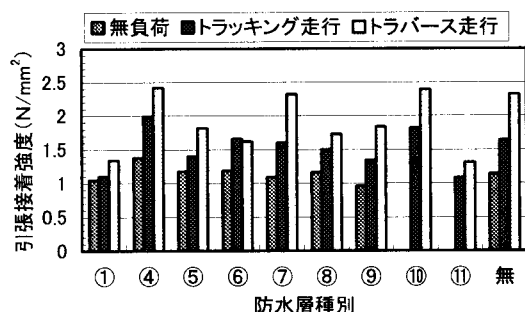


図-7 引張接着試験結果(引張接着強度)

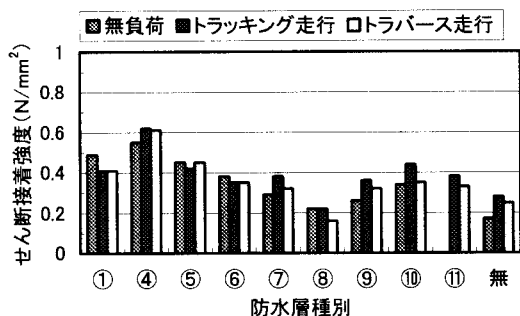


図-8 せん断試験結果(せん断接着強度)

## 7. 通常 WT 試験と防水層が存在する場合の変形特性について

図-9 に走行負荷時間と供試体変形量の関係を示す。走

行開始直後から5分ないし10分までは初期圧密により変形量が大きく増加し、その後、時間の経過とともに単位時間あたりの変形量が徐々に小さくなる。つまり各走行時間で動的安定度を求めると、走行2時間での動的安定度が走行1時間での動的安定度より大きくなることになる。

また、他のタイプの防水層においても、走行開始直後の供試体変形量が大きく、時間の経過とともに単位時間あたりの変形量が徐々に小さくなる傾向がみられた。

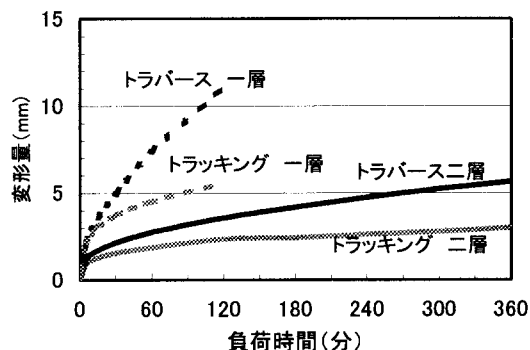


図-9 走行負荷時間と供試体変形量の関係  
(①ウレタン系防水層)

図-10 に、トラッキング走行負荷とトラバース走行負荷を、通常の WT 試験結果との比較として動的安定度と変形量の関係で示す。走行負荷のデータは三位一体供試体(一層供試体)の1時間走行負荷の値である。

通常の WT 試験データは「4.1 (1)WT 試験」に記述した条件で過去に実施した様々なアスファルト混合物の測定結果約300個をプロットしたものである。トラッキング走行負荷(防水層有)の供試体では、通常の WT 試験の場合より、同一動的安定度となる変形量が大きくなっており、通常の WT 試験における動的安定度と変形量の関係とは一致していない。

これは、先に述べた防水層の厚さおよびアスファルト系材料の使用による影響と考えられる。三位一体の耐流動性を動的安定度だけで評価すると過大評価となる可能性があるため、耐流動性の評価には変形量も考慮する必要がある。

トラッキング走行負荷(防水層無:コンクリート平板+乳剤+基層)における動的安定度と変形量の関係は、トラッキング負荷(防水層有)の場合より通常の WT 試験の場合に漸近した傾向を示している。これは、タックコートに使用した乳剤の影響が多少あるものの、防水層による影響が排除されたためであると考えられる。

トラッキング走行負荷(防水層有)のデータは、図-6と同様に3グループに分けることができる。グループ1は主としてウレタン系防水層およびアクリル系防水層であり、グループ2はシート系防水層、グループ3は従来品防水層に該当する。

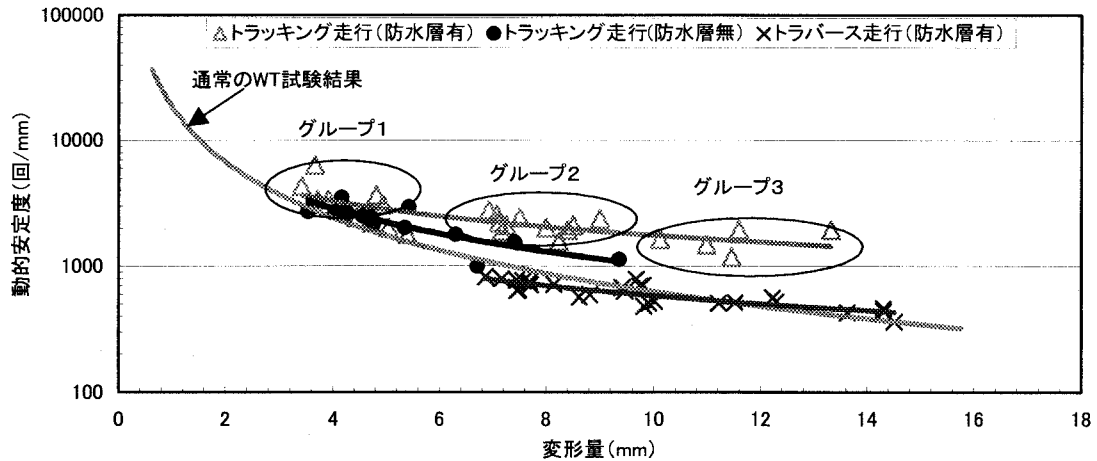


図-10 通常 WT 試験との比較

トラバース走行負荷(防水層有)の場合の分布には、防水層の種別等による違いが明確にみられないが、全体の傾向としては、通常の WT 試験の動的安定度と変形量の関係にほぼ一致している。三位一体の耐流動性を単に動的安定度で評価する場合、トラバース走行負荷が適していると考えられる。

防水層の種別の違いによる影響を評価できる可能性がある。

参考文献

1) 日本道路協会：道路橋鉄筋コンクリート床版 防水層設計・施工資料，1987

8. まとめ

ホイールトラッキング試験機を用いて道路橋の床版防水構造の供試体に走行負荷を与え、アスファルト舗装へ与える影響について検討した。以下に得られた知見を示す。

- (1)防水層上を直接トラッキング走行したことによる防水層の変状は、20℃走行負荷では変状がみられなかったが、60℃走行負荷では防水層の種別によっては変状がみられた。60℃トラッキング走行負荷は夏季の施工状況を再現する方法として有効である。
- (2)三位一体供試体(アスファルト舗装一層供試体)の走行負荷では、防水層を設置することにより基層の変形量が大きくなる。その程度は防水層の種別により差がある。
- (3)実際の床版上の構造を想定したアスファルト舗装二層供試体での試験結果では、走行負荷による変形量は、一層試験体の場合と同様に防水層の種別により差があるが、一層供試体の半分程度である。これは、表層に耐流動性の高い排水性混合物を用いたことによるものであると考えられる。
- (4)防水層の種別により程度は異なるが、走行負荷を与えることによって接着強度が増加する傾向にある。その増加の程度は、トラッキング走行負荷よりもトラバース走行負荷による場合の方が大きい。
- (5)ホイールトラッキング試験を用いた走行負荷では、トラッキング走行負荷やトラバース走行負荷などのタイプの異なる負荷方法を行うことが可能である。また実際の道路橋の床版防水に作用している交通負荷を模擬でき、