

## 各種の防水層とアスファルト舗装とが三位一体で挙動する

### RC床版の輪荷重走行下での轍掘れ量と漏水の計測について

Measurements for rutting of road surface and leakage of water in RC slabs composed with asphalt pavement and various waterproof layers under wheel running test

定歳道夫\* , 石川 洋\*\* , 堀川都志雄\*\*\*,  
Michio SADATOSHI, Hiroshi ISHIKAWA, Toshio HORIKAWA,

\* (株)デグッパコンストラクションシステムズ B S 事業部 (〒106-0032 東京都港区六本木3-16-26)

\*\*工博 大林道路(株) 技術研究所 (〒336-0027 埼玉県さいたま市南区沼影2-12-36)

\*\*\*工博 大阪工業大学 工学部 都市デザイン工学科 (〒535-0002 大阪市旭区大宮5-16-1)

In previous report one of authors has calculated both magnitudes of normal stress and shearing bond-stress acted on interface between asphalt pavement and slab in the neighborhood of wheel tyre by thick plate theory. From comparisons with some values specified in draft about waterproof work recommended by Japan Express Highway, it is clearly shown that standardized values are estimated lower than numerical results. In this paper, 4 specimens of RC slab composed fully with asphalt pavement and various waterproof layer are directly set up and tested under large wheel running machine simultaneously.

Grows of rutting yielded under different waterproof material are compared with each other, relations between rutting of pavement surface and running cycle are shown. Further relations between sensitivity in gauge of leakage embedded under waterproof layer and repetition of wheel load is mentioned.

Keywords: asphalt pavement, rutting, waterproof, leakage, wheel running test

#### 1. はしがき

近年、公共事業に係わる建設および維持管理費用の縮減とグローバル化に伴う国際競争力の向上を目指して、設計概念をこれまでの許容応力度を中心に据えた仕様照査型規定から性能照査型規定への転換が試みられ、土木の橋梁を初めとする各分野でマニュアルや指針等が立案されている。これらの要求性能や供用性能等に基づいて構築される構造物は、与えられた設計の諸条件を満たし、かつ安全な構造物であると判断されている。また設計された構造物が要求性能を満足するかどうかを検査・照合する部門も同様に重要視されることは明らかである。例えば道路橋床版においては床版の保有する疲労性能を検証する方法として、これまでの定点疲労や多点疲労型の繰返し載荷試験に代わり、輪荷重装置による走行疲労試験での照査が必要であるとの評価が一般化されつつある<sup>1)</sup>。一方RC床版のひび割れ損傷の原因を究明する段階で、床版上面から侵入した雨水が床版の保持するせん断耐力を著しく低下させていることが判り、新規や既設を問わず床版に防水工を施すことが床版の延命策の一つになると提言されている。日本道路公団では高規格床版の建設に当た

り、性能評価規定による防水材に対する種々の照査項目とその規格基準値の策定に多大の労力と心血を注ぎ、マニュアル(案)を提示した<sup>2)</sup>。

高橋ら<sup>3)</sup>はアスファルト舗装、防水層およびRC床版がそれぞれ完全合成される場合の挙動を対象に、輪荷重の急制動下での時間履歴を考慮した有限要素法解析の結果に基づき、防水材の付着特性に関する分析と性能評価を検討している。しかし床版下面の条件が剛支持されて床版の曲げ変形が考慮されていない点、およびアスファルト舗装上面で鉛直方向の輪荷重と水平方向の制動荷重を同時に作用させていること等の限定された問題のため、実際の橋梁床版へ直接適用することには無理があると考えられる。

本研究ではアスファルト舗装とRC床版の間にシート系や塗膜系の防水層が施されたモデル床版を製作し、空気入りタイヤを装着した自走式輪荷重装置下での走行試験を行った。RC床版の上面に細い溝を設けて、その中に新たに開発された漏水センサーを埋設し、溝をジェットセメントで修復後に防水層を施工する。走行試験で得られた結果の中から、①施工法が異なる各種の防水層による轍掘れ量の比較、②それぞれの供試

体での轍掘れ量の進行度と走行回数との関係、③防水層の下側に配置する漏水センサーの感度変化と走行回数との関係について述べる。

## 2. 走行試験用供試体の製作

走行試験に用いる供試体はアスファルト舗装2層、防水層、およびRC床版(橋軸直角方向長さ2m×橋軸方向長さ3m)の各層からなる多層構造を形成している。RC床版の上面に幅6mm×深さ5mm程度の溝を設け、その中に4ゲージタイプの漏水センサー(アンテナ長500mm)を埋め込む。ジェットセメントで補修した後に、塗膜系あるいはシート系の防水層(厚さ2~3mm)を施し、その上面にSMAのレベリング層(厚さ35mm)と排水性舗装(厚さ40mm)を施工した(図-2.1)。SMAおよび排水性混合物の合成粒度、バインダー量を表-2.1に、空隙率およびホイールトラッキング試験の動的安定度(DS)を表-2.2に示す。

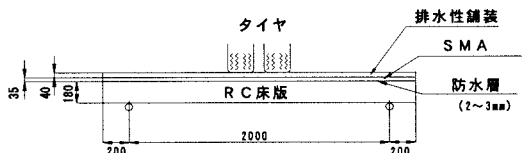


図-2.1 供試体の形状・寸法

表-2.1 合成粒度およびバインダー量

項目	SMA(13)	排水性混合物
通過	100	100
19	97.7	96.9
13.2	40.6	20.3
4.75	27.9	14.6
2.36	18.4	9.6
0.6	14.8	7.3
0.3	11.6	5.4
0.15	9.1	4.3
(%)	0.075	
バインダーの種類	ストレートアスファルト	高粘度改質アスファルト
バインダー量 (%)	5.9	5.0

表-2.2 供試体の空隙率および動的安定度

項目	SMA(13)	排水性混合物
空隙率 (%)	2.5	20.1
動的安定度 DS (回/mm)	1580	7290

試験空間の関係上、防水層として次の2種、即ち塗膜系防水層の供試体(Aパネルという)が1体、シート系の供試体(Bパネル、Cパネル)が2体、あとの供試体(Dパネル)のうち1.7mのゾーンには塗膜系防水を施工し、残りの1.3mには防水工を施していない。供試体床版を一方向版と同じ状態とするために、橋軸方向と平行な長辺を単純支持、橋軸方向の両端辺の下面を桁で支えた

弾性支持とした。さらにこれら4つの供試体を直列に配置して、走行条件を同一になるように試みた。

輪荷重装置による載荷は、産業車両の後輪1輪と同じダブルタイヤによる負荷方式で、床版の支間中央とダブルタイヤの中心を一致させて同一の位置を走行するように設定する。

実橋と同様の施工、すなわちSMAをレベリング層に用い、その上面に排水性舗装を施工して、所定の密度の舗装となるように、施工温度に注意を払いながら大型ローラで十分な転圧を行った。また実橋での防水工事においては防水層同士が重なる場合、特にシート系防水工ではシートの大きさに制約があるため、この重なった部位で舗装や床版との付着性能の低下が見込まれ、すべり現象が起こり易くなるのが危惧されている。そこで、現場と同じ施工状況を再現するために、本走行試験での防水層を図-2.2の塗膜系では2度吹付け(最大厚4mm)を、図-2.3のシート系では2枚重ね(最大厚5mm)や3枚重ね(最大厚7mm)となる個所を供試体に設ける。その位置は各床版の中央部で、かつタイヤの走行レーンの直下に配置する。なお防水層の厚みは試験終了後の供試体を切断した断面をもとに実測した値である。

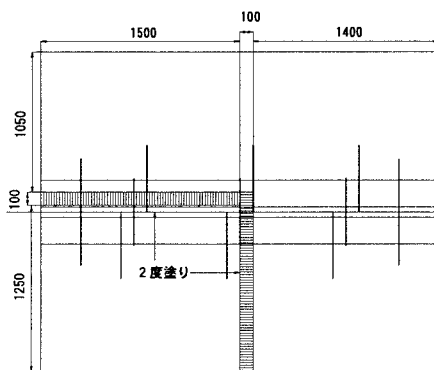


図-2.2 塗膜系防水層の吹付け

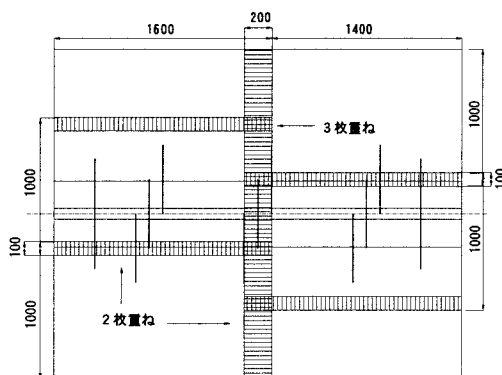


図-2.3 シート系防水層の貼付け

### 3. 計測項目と載荷プログラム

轍掘れ量は所定の走行回数に至ったときに計測する。各供試体の橋軸直角方向(幅員方向)に沿った轍掘れ量を図-3.1に示されるプロフィールメータ、すなわち鉛直方向の凹凸量は変位計で、水平方向の距離はワイヤ式ひずみ計で約2000点分の位置で測定した。変位計の先端には直径20mmのキャスターを取り付けて滑らかに移動した。

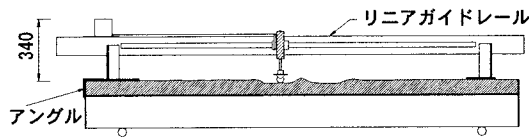


図-3.1 プロフィールメータの概略図

各床版にセットされる漏水センサー(アンテナ長500mm)を図-3.2に示すように、橋軸方向の端部2ヶ所では1本だけ配置し、床版内部の橋軸方向長さLの中央点2L/4と中央点から±800mm離れた点の3カ所については、3本一組として互いの間隔が100mmで、それぞれを橋軸直角方向に250mmづつずらせて、250mmの長さがラップするように配置する。

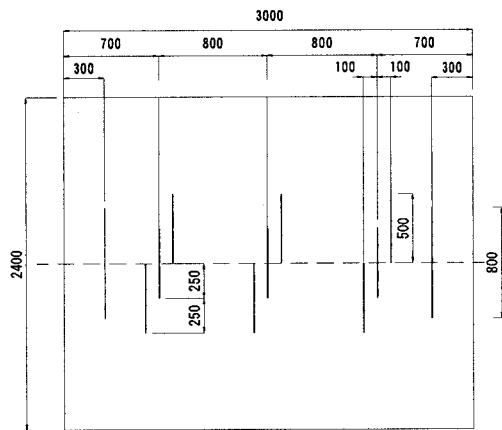


図-3.2 漏水センサーの位置

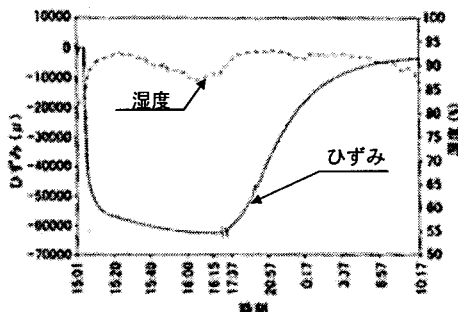


図-3.3 漏水センサーの感度

なお予備試験での漏水センサーの感度は、図-3.3に示すように少量の水に晒されると、20000 $\mu$ 以上の値が出力していた。図によれば、漏水センサーの近傍に水を垂らした時刻を原点にとり、時間の経過につれてセンサーの感度や湿度が変化の様子が伺える。センサーが一度水に浸るとひずみ値は急激に増大しほぼ1時間頃経ってピークを迎え、その値は65000 $\mu$ にも達していた。その後水分の蒸発が始まって、徐々に乾燥に向かうと同時にセンサー感度も元の値0まで戻る。しかし湿度は87~93%程度ではほぼ一定の値を保っている。

一方、供試体に作用する輪荷重の大きさは現実の49kNにするのが望ましいが<sup>4)</sup>、装置能力の関係から58.8kN以下の荷重値を保持したままで走行することは荷重変動が大きくなり、試験結果の精度に問題が起こる。本試験での荷重値を床版の衝撃係数<sup>5)</sup>を考慮した68.6kN、すなわち規定値の1.4倍の状態を試験終了時まで保持した。1000回走行までは、予備走行(図-4.2~4.4においてN=1と表す)として現実の輪荷重に近い58.8kNを載荷して荷重変動を確認した後100000回走行で終了した。走行速度は時速4km/hr程度、試験温度は特に空調を行わず25~30℃と考えられる。

### 4. 走行試験の結果

アスファルト舗装に直接作用する輪荷重と接地面の大きさを把握することは、この種の試験では重要である。走行時におけるロードセルの出力をもとに荷重値を検出した結果、設定値68.6kNでの荷重変動率は図-4.1のように±15%程度であった。すなわち最大で78.9kN、最小で58.3kNの間を荷重値が推移して供試体に作用していることになる。また接地面の大きさについては、ダブルタイヤの内の1つが200mm×200mmで、タイヤ間の幅は100mmである。

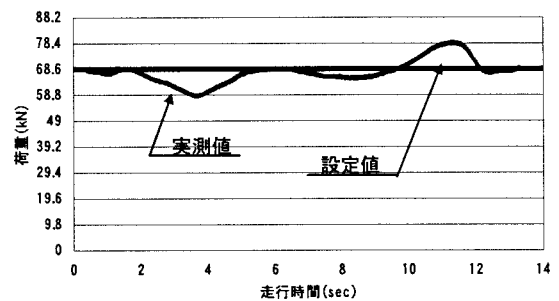


図-4.1 輪荷重値の変動

A, B, およびCパネルについて、長辺方向中央の位置での橋軸直角方向に平行な線上に沿った轍掘れ量の走行回数 N=1回, 1万回, 5万回時における変動を図-4.2~4.4に示す。いずれの図からもタイヤの軌跡が明確に読み取れる。

Aパネルにおいて、走行初期での正の最大変位量(凹

形)は2.01mmで、負の最小変位量(凸形)は-1.21mmであったのが、5万回時での凹量は2.86mm、凸量は-3.13mm、最終の10万回時での凹量は3.33mm、凸量は-3.34mmにまで増加した。Bパネルでの初期時の凹量は1.58mmで、凸量は-0.07mmから始まり、5万回時の凹量は2.79mm、凸量は-1.07mmにまで進行していた。試験終了時での凸量は3.11mmで、凹量は-1.76mmであった。同様に、Cパネルの初期時の凹量と凸量は、それぞれ5.23mmと-0.03mmであるが、5万回時での凹量と凸量は4.70mmと-1.44mmにまで増幅し、10万回時では凸量5.28mmと凹量-2.41mmを示していた。因みに、Dパネルの防水層がないゾーンの中央では初期時の凹量は2.99mmと凸量が-2.33mm、5万回での凹量は3.51mmで、凸量は-3.63mmにもなり、終了時点での凹量は4.91mmと-0.66mmであった。以上の結果より、Cパネルの轍掘れ量が一番大きく、続いてAパネルで、Bパネルの轍掘れ量が少ない順序であり、シート系および塗膜系の材料に依存していないことが判る。

図-4.5~4.7は、A, B, およびCパネルの中央点での定点観測による走行回数1回目を基準とする凹量と凸量の増分量の変動と走行回数に伴う経時変化を表している。さらにDパネルの防水工がないゾーンの中央点での凹量と凸量については図-4.8にまとめる。

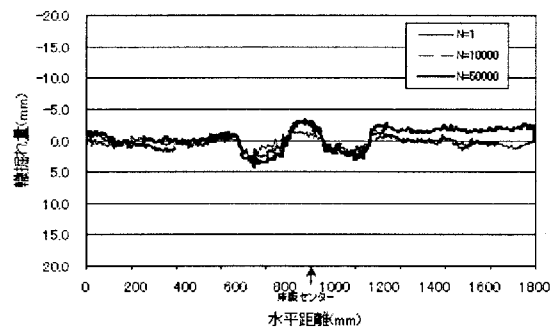


図-4.4 Cパネルの轍掘れ形状

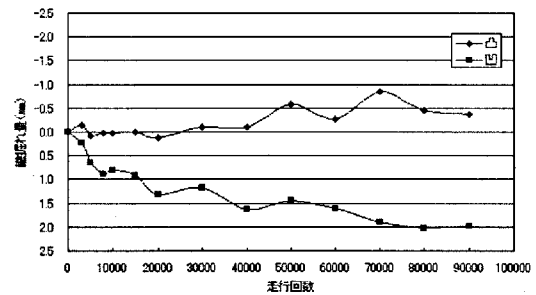


図-4.5 轍掘れ量の変化(Aパネル)

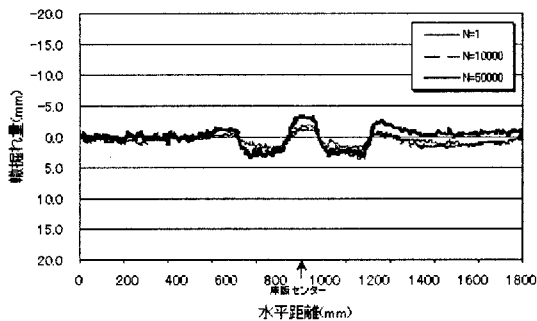


図-4.2 Aパネルの轍掘れ形状

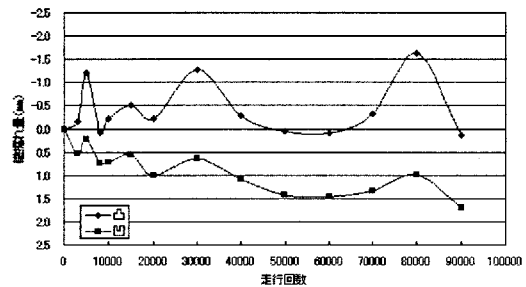


図-4.6 轍掘れ量の変化(Bパネル)

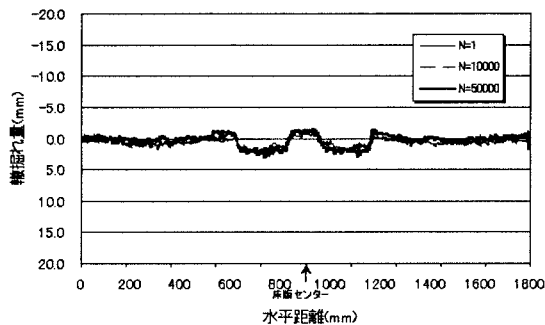


図-4.3 Bパネルの轍掘れ形状

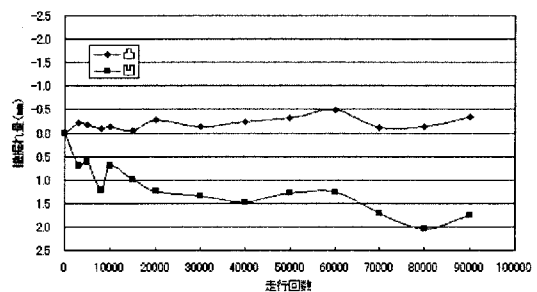


図-4.7 轍掘れ量の変化(Cパネル)

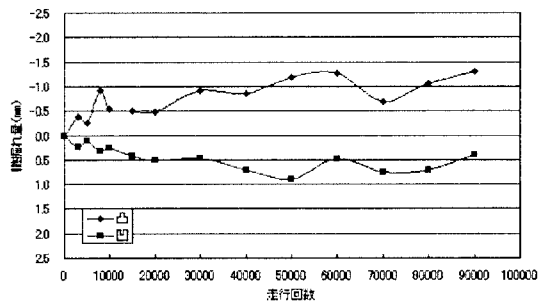


図-4.8 轍掘れ量の変化(Dパネル)

図によれば、防水工を施したA, B, およびCの各パネルとも、試験終了直前の9万回における轍掘れの凹量の増分はほぼ1.98mm程度に達していたが、走行回数1万回時点でその半分の1.0mmまで至っていることが判る。また塗膜系のAパネルとシート系のCパネルでは走行回数が増加しても負側の変形のみが生じ、最終の凸量の増分は-0.38mm程度に留まっている。シート系Bパネルでの凹量は1.69mmに至るまでの間で上下しており、凸量についてはさらに大きく変動しているため、信頼性に乏しい。

一方、防水工のないDパネルでの凹量の増分は終了時近くで0.41mm位となり、凸量の増分は-1.31mmまで増幅している。防水層のない供試体の轍掘れでは凹量の増分および凸量の増分とも他の供試体よりも大きな値となっていることから、防水層のある場合に比べ、アスファルト舗装に働く力が大きいことを伺わせている。

この原因は次のように推測される。Dパネルでは輪荷重がアスファルト舗装を介して、床版に荷重を分散している。舗装自身を中心に考えれば、上面からは輪荷重が、下面からは舗装に比べて曲げ剛性の高い床版からの反力が直接作用していることになる。一方防水層ありの場合には、防水層の柔らかい剛性が舗装と床版との間に介在している。舗装の立場から見れば、上面の輪荷重はDパネルと同様であるが、下面では床版の反力が防水層によって幾分か緩和された状態で作用していることが想定され、舗装の分担する力が軽減されていると考えられる。この考察は文献3)とも符合している。

次に、輪荷重の走行によって防水層に何らかの損傷が発生しているかどうかを調べるために、各供試体の舗装上面に少量の散水を行った。Aパネル、BパネルおよびCパネルの中央部の3カ所に配置した漏水センサーの感度と走行回数との関係をそれぞれ図-4.9～4.11に示す。

なおDパネルの防水層がないゾーンに配置した漏水センサーが断線していたため、防水層ありの場合との比較はできていない。

以下では各センサーの名称をナンバー表示で示す。

Aパネルの図-4.9によれば、No. 61とNo. 62は10万回終了時で約5000 $\mu$ の値で、No. 63は1000 $\mu$ 程度であった。この程度の値であれば、漏水が確認できるとは言い難いと判断される。図-4.10に示すBパネルでは、No. 74のセンサーだけが有意の大きさであるが、最大値は-6000 $\mu$ に留まっている。負の値はゲージの極性のためと考えられる。他の値No. 72は-2000 $\mu$ 程度で、No. 73は断線のため値は得られていない。さらに、図-4.11のCパネルでは、試験完了直後でのNo. 90の最大値は30000 $\mu$ にも達しており、漏水が発生している。

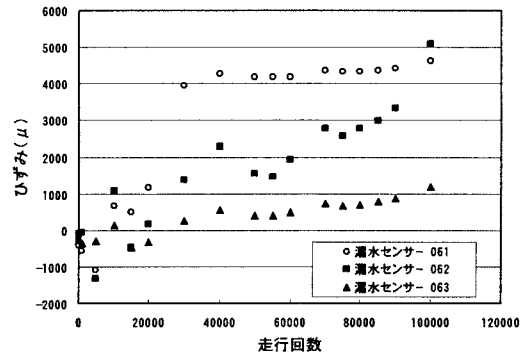


図-4.9 漏水センサーの変化(Aパネル)

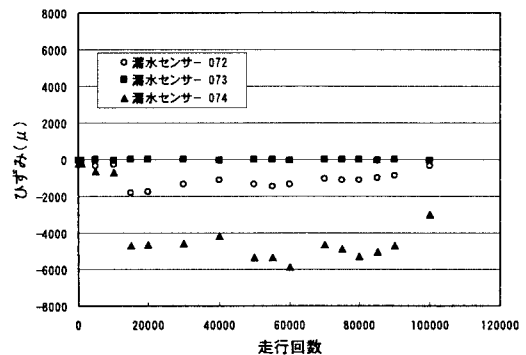


図-4.10 漏水センサーの変化(Bパネル)

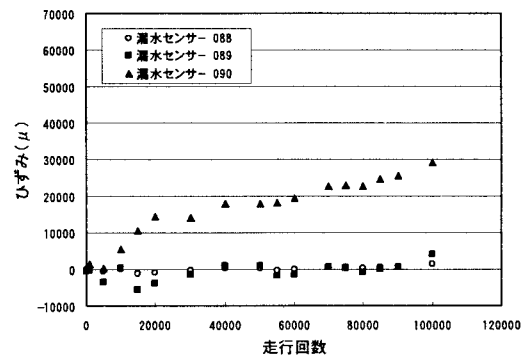


図-4.11 漏水センサーの変化(Cパネル)

予備試験の結果によれば、漏水が認められるときのゲージの値は20000 $\mu$ 程度であるので、走行回数が4万回位から漏水が始まったと推定できる。他のNo. 88と89の値は500 $\mu$ 以下であった。漏水が確認されたNo. 90とNo. 89はわずか100mmしか離れておらず、No. 90に浸した水はNo. 89までに到達していなかったことが判る。10万回程度の走行試験に限れば、防水層からの漏水は局所的な範囲に留まり、徐々に拡張する傾向にはないと推察される。

## 5. まとめ

以上のことをまとめると次のように示される。

- 1) 予備走行(荷重:58.8kN)の1000回位までは、輪荷重の圧縮作用による舗装の軌跡がタイヤの走行位置に生じていたが、その後走行回数の増加に伴い轍掘れと推定される形状に成長して行った。
- 2) 荷重の大きさが68.6kNとなる本試験では輪荷重の走行回数の増加につれて、轍掘れ量が徐々に大きくなる傾向となり、2万回程度で顕著になった。  
轍掘れ量の絶対値(=凹量と凸量の和)を各パネルで比較すれば、大きい方から並べるとC>A>Bの順になる。このことから塗膜系とシート系の優劣の判定は難しいと言える。
- 3) 防水工がない場合とある場合との轍掘れ量の増分の差は明確であり、防水工が施された床版の轍掘れ量の増分は、凹み量および凸量とも小さくなる傾向にある。その原因はアスファルト舗装の分担力が軽減されるためと考えられる。
- 4) 実際の橋梁床版では幅員方向のある範囲で走行軌跡が入り交じるために、轍掘れ現象はタイヤ幅よりも拡がって発生している。  
しかし本試験では輪荷重が同じ位置を走行する方式であるため、得られた轍掘れの形状は集中化しており、実橋での現象と比較すると、本試験の方が舗装にとっては過酷な条件下にあると言える。
- 5) 防水層からの漏水は約2万回程度の走行で発生するが、この漏水が次第に拡がることはなく、部分的な範囲で停留すると想定される。したがって実橋での漏水現象が直ちに橋面の全域にまで拡散することはないと推測される。

## 参考文献

- 1) 土木学会 鋼橋床版の調査研究小委員会 道路橋床版の新技術と性能照査型設計法, 平成12年10月.
- 2) 日本道路公団:防水システム・施工マニュアル(案), 平成13年6月.
- 3) 高橋 順, 清水祥夫, 宮本文穂:床版防水層の付着特性に関する応力解析と性能評価に関する検討, 土木学会論文集, No. 753/V-62, pp. 51-64, 2004年2月.
- 4) 日本道路協会:アスファルト舗装要綱, 平成11年1月.
- 5) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 平成8年12月.