

## 床版防水の性能規定型基準と模擬床版による初期性能評価

Performance regulation type standard and field trial test of waterproofing systems for concrete bridge decks

紫桃 孝一\*, 鹿野 善則\*, 大橋 岳\*, 室井 智文\*\*, 陸門 英男\*\*

Koichiro SHITO, Yoshinori KANO, Gaku OHASHI, Tomofumi MUROI, Hideo MUTSUKADO

\* 日本道路公団 試験研究所 道路研究部 橋梁研究室 (〒194-0085 東京都町田市忠生1-4-1)

\*\* 日本道路公団 関西支社 大阪技術事務所 (〒565-0805 吹田市清水15-1)

At present, all highway bridges constructed in Japan include the application of waterproofing, to improve the durability of concrete slabs subject to fatigue due to water penetration. In spite of the present quality standards, there are examples that waterproofing loose their performance shortly after installation, leakage at the bottom surface of the concrete slab, increased salinity of concrete or damage to pavement due to blistering. In application of renewed quality standards, it was decided to investigate the required performance of waterproofing systems at concrete bridge slabs, and propose inspection methods to verify this performance. In consequence, the 8 kinds of waterproofing membranes were certificated at the laboratory tests. In order to confirm the performance of these waterproofing systems in site, the field trial was carried out in 2002.

**Keywords : waterproofing, systems, require performance, slab, performance test, durability**

### 1. はじめに

道路橋のコンクリート床版(以下「床版」)は、交通荷重等の繰返し作用による疲労、積雪寒冷地における凍結防止剤による塩害などによって、耐荷性能や耐久性能が低下する。特に繰返し荷重作用下での水の影響により、疲労耐久性が著しく低下することが知られている。<sup>1)</sup>床版に劣化が生じた場合、通行車両に直接影響を及ぼす可能性があり、また補修工事に伴う交通規制による社会的影響も大きい。このため、床版の耐久性能をより向上させることが大きな課題となっている。

現在、日本道路公団(以下「JH」)では、全ての橋種に床版防水を施工することとしているが、現行の材料品質基準に基づいた床版防水であっても、施工後早期に防水性が低下し、床版下面からの漏水やコンクリートの塩化物量の増加、あるいは防水材料の膨れやはがれに伴う、舗装体の損傷が発生している事例がある。

上記問題の解決とISO等の国際基準の動向を踏まえ、コンクリート床版の耐久性向上を目的とした床版防水の要求性能と設計耐用期間を明確にし、その照査方法を定めた性能規定型による基準案を作成した。

さらに実物大規模の模擬床版を用い、防水層の性能評価試験を実施した。

本稿は、これら床版防水の新基準(案)の考え方と模擬床版による性能評価試験の結果について報告するものである。

### 2. 床版防水の現状

JHでは、平成5年度にシート系・塗膜系の防水材料を対象に床版防水の選定方法、施工方法を整理し<sup>2)</sup>、鋼橋RC床版や床版補修工事を行なう橋梁への床版防水の適用を開始した。現在では、全ての橋種のコンクリート床版へ床版防水の適用を拡大している。

床版防水に用いられる材料は、シート状に成型された防水材料を床版に貼り付けるシート系防水と、加熱または溶剤により溶融した液状材料を床版に塗布する塗膜系防水が、一般に用いられてきた。

これらの床版防水が施工された実橋床版を抽出し、その効果を経年追跡調査したところ、現行の品質基準を満足する防水材料であっても、塗膜系防水材料では施工初期時点、シート系防水材料は約5年程度で、防水効果が喪失している場合が認められた。

このように短期間で防水効果を喪失する原因は、塗膜系材料においては、防水材料の塗布時点で溶剤あるいは加熱に伴う揮発物質による貫通気泡の発生(写真1)、シート系材料においては、舗装施工時の高温下での転圧荷重や交通荷重によるシートの破れの発生が考えられる。

また、モニタリングにより、防水効果の持続がある程度認められた材料でも、床版防水の膨れによる舗装の膨れ損傷(写真2)や、剥がれによるひび割れ損傷が多数確認されている。

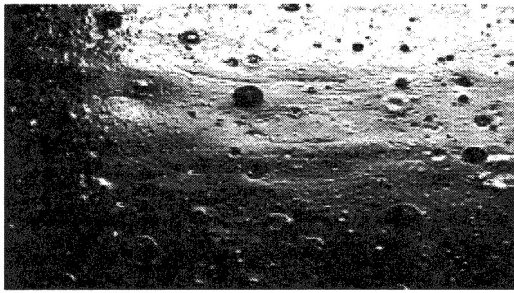


写真1 貫通気泡の発生

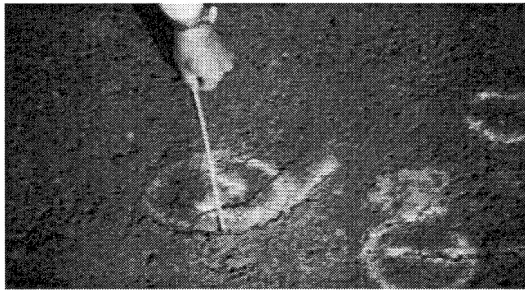


写真2 舗装の膨れ損傷

### 3. 床版防水システムの目的および考え方

床版防水の設置目的は、防水層によりコンクリート床版を劣化させる要因の侵入を防止し、コンクリート床版の耐久性能を向上させることにある。床版防水の一般的な断面構成を図1に示す。

一方、水の浸入を確実に防ぐ床版防水は、防水層上に水を滞留させ、橋面舗装を劣化させる原因にもなる。このため、床版防水は、防水対策となる「防水層」だけでなく、雨水等を速やかに排水するための「排水設備」を含めた床版防水システムとして機能させることが重要である(図2)。

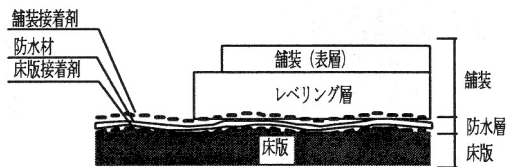


図1 床版防水層の断面構成

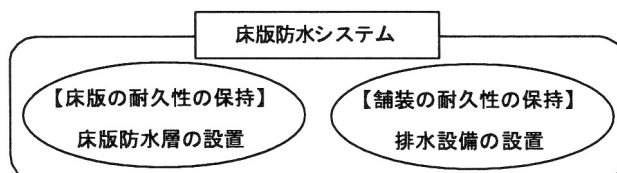


図2 床版防水層の考え方

### 4. 防水層の要求性能

床版防水の性能規定型による基準案を作成するにあたり、現状の床版防水の課題等を踏まえ、床版防水システムの防水層における要求性能を図3に示すように整理した。

床版の劣化を抑止するための性能として「防水性能」および「遮塩性能」、床版と舗装の接着に悪影響を及ぼさないための性能として「引張接着性能」および「せん断接着性能」を規定する。防水層は、これらの要求性能を施工時から設計耐用期間中、保持しなければならない。

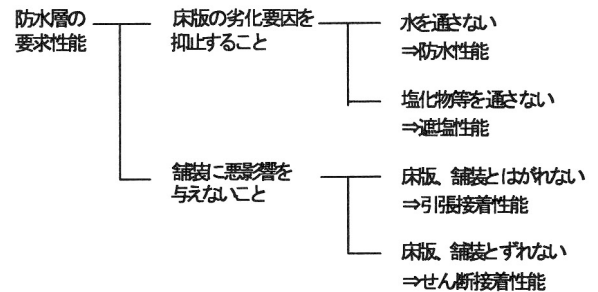


図3 床版防水層の要求性能

### 5. 防水層の設計耐用期間

舗装の維持管理計画によると、一般的に表層補修は、10年~15年、レベリング層を含めた全層打換えは、概ね25年~30年である(図4)。

したがって、舗装と床版の間に設置される床版防水システムの防水層の設計耐用期間は、レベリング層を含めた全層打換え間隔である30年と設定した。

ただし、仮設工事や施工条件(規制時間・施工規模等)による制約がある場合、あるいはライフサイクルコストの観点から設計耐用期間を短縮することが優位な場合においては、この限りではない。

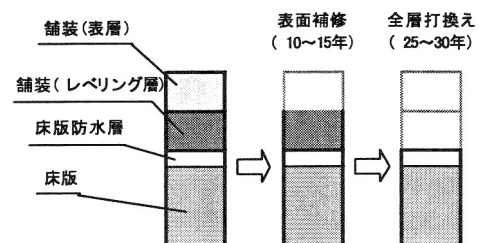


図4 舗装の維持管理計画

### 6. 防水層の性能照査

防水層は、防水層設置時や舗装時などの施工中(以下「初期段階」)と供用後(以下「設計耐用期間中」)に以下に示す様々な要因により、性能が低下し喪失していく。

初期段階の損傷要因

- ・床版表面の形状
- ・雨水および清掃水
- ・コンクリート中の水分の蒸発
- ・工事用車両の通行
- ・アスファルト転圧時の舗設熱や骨材の押し込み荷重

設計耐用期間中の損傷要因

- ・温度変化および凍結防止剤等の化学物質
- ・交通荷重

床版防水システムの防水層の性能照査は、コンクリート床版～防水層～舗装の全体構造を再現した試験体を用いて、防水層が初期段階および設計耐用期間中に受ける上記の様々な損傷要因を荷重として再現し、各荷重が作用した後に4.の要求性能を保持しているかどうかを照査するものとした。防水層の性能照査における荷重方法および試験方法を表1に、防水層の性能照査の流れを図5に示す。

表1 性能照査試験における荷重方法および試験方法

	荷重方法および試験方法
初期段階の荷重	床版表面の形状を再現した荷重 (7.1)
	施工中の雨水等を再現した荷重
	コンクリート中の水分の蒸発を再現した荷重
	工事用車両の通行を再現した荷重
	舗設時を再現した荷重
設計耐用期間 30年の荷重	温度変化およびコンクリート中の化学物質による影響を再現した荷重
	交通荷重を再現した荷重 (7.2)
性能照査試験	防水性試験 (8.1)
	せん断接着性試験 (8.2)
	引張接着性試験
	遮塩性試験

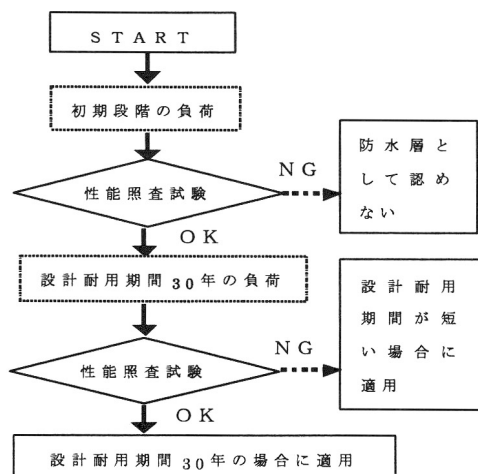


図5 防水層の性能照査の流れ

ただし、設計耐用期間中の荷重を再現するに当たり、大型車の計画交通量が多い路線と少ない路線、また北海道・東北等の寒冷な地域とそれ以外の地域とにおいて、同じ荷重を与えて性能を照査することは合理的でないため、再現する荷重を適切に使い分けるものとする。

## 7. 性能照査における荷重方法の具体例

床版防水システムの防水層の性能照査において、前章でも述べたように実際に損傷に至る要因を荷重として再現する必要がある。基準案における性能照査時の代表的な荷重方法について以下に述べる。

### 7.1 床版表面の形状を再現した荷重

目的：防水層を設置する床版表面の形状は、新設床版と切削終了した既設床版とでは異なるため、各々の床版表面の形状を再現する。

方法：床版表面の形状荷重として既設床版に使用する防水層の性能照査には、下地材（コンクリート供試体）として、実橋床版面を切削した表面形状をレプリカにより再現したコンクリート版(写真3)を用いる。新設床版に使用する防水層の性能照査には、JIS規定のコンクリート平板を下地材として用いる。

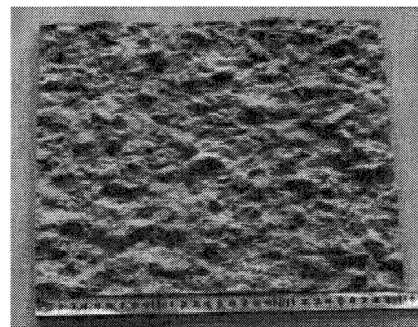


写真3 床版の表面形状再現したコンクリート版

### 7.2 交通荷重を再現した荷重

設計耐用期間中（30年）に防水層が受ける交通荷重による影響を荷重として再現するには、移動輪荷重載荷試験機により、設計耐用期間中の交通荷重に相当する載荷を行うのが理想的である。しかし、移動輪荷重載荷試験機による荷重方法は、かなりの試験費用および試験期間がかかるため、代替の荷重方法として、ひび割れ荷重を行うものとする。

目的：設計耐用期間中（30年）の交通荷重によるひび割れ開閉の影響を再現する。

方法：初期段階の荷重を与えた試験体を真中で切断し、成型する（図6）。初期ひび割れを与えた後、試験装置に設置し、東名高速道路の大型車交通量により算定した480万回の繰返しひび割れ振幅（0.3mm）を図6に示す方向に与える。なお、大型車の少ない路線においては、回数を低減できるものとする。

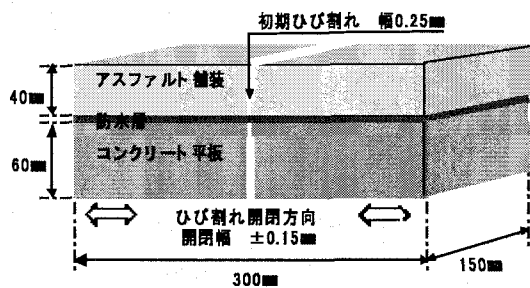


図6 交通荷重を再現した負荷

## 8. 性能照査における試験方法

前章で記述した負荷方法により、負荷を受けた試験体の性能照査を行う際の代表的な試験方法について記述する。

### 8.1 防水性試験

目的：防水性能の照査

方法：負荷を与えた試験体からコア（φ100 mm）を採取し、図7のように試験器具に設置する。圧力をかけた後、試験体内に水の浸透がないかを確認する。

### 8.2 せん断接着性試験

せん断接着試験、引張接着試験とも、使用する地域に応じた温度条件（寒冷な地域-30℃～60℃、寒冷な地域以外-10℃～60℃）を設定し、試験するものとする。

目的：せん断接着性能の照査

方法：負荷を与えた試験体からコア（100×100×100 mm）を採取し、地域に応じた温度条件に静置した後、圧縮試験機に設置し（図8）、接着界面破壊か材料破壊に至るまで行う。試験により得られた値を基準値と比較する。

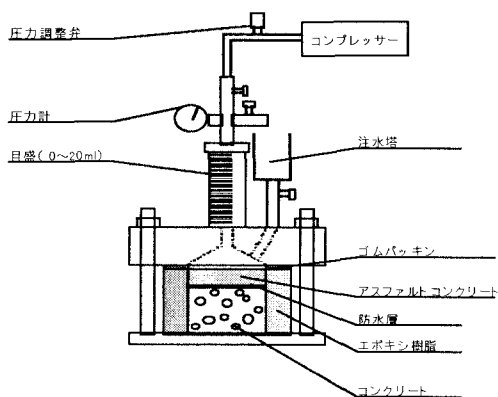


図7 防水性試験

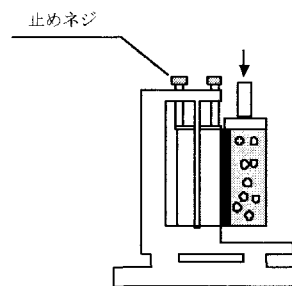


図8 せん断接着試験

## 9. 模擬床版による試験施工

### 9.1 目的

本稿により提案した床版防水層の性能照査試験案は、現地での施工面積と比較すると、極めて施工面積の小さいコンクリート平板上に施工した床版防水層により性能を評価している（図9）。

よって、性能照査試験により性能を確認した床版防水層が、実大規模の床版においても同様の性能を十分に保持しているかを確認するために模擬床版を用いた試験施工を行なうこととした。なお、本試験施工は、初期段階の性能を確認するものである。

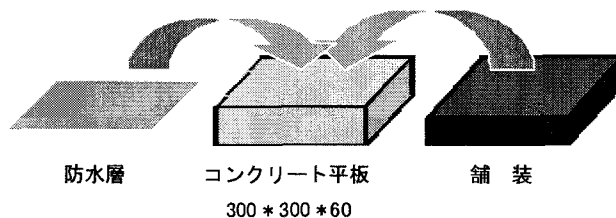


図9 床版防水層の性能評価

### 9.2 試験施工の概要

#### 9.2.1 模擬床版

実物大規模の床版を再現するために、屋外ヤードにおいて5×50mのRC床版を2連作成した。模擬床版の概略図を図10に全景写真を写真4に示す。

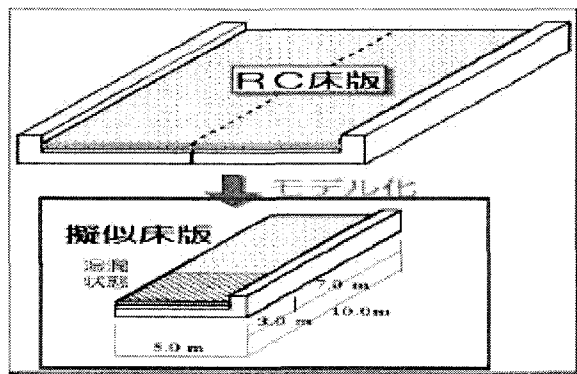


図10 模擬床版概略図

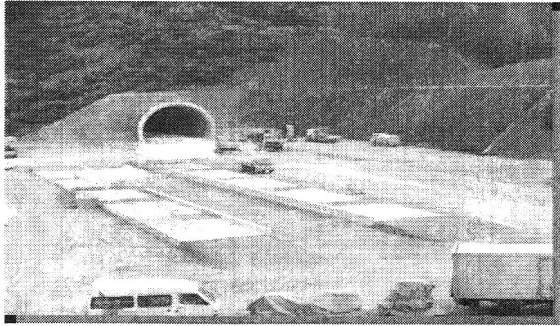


写真4 模擬床版の全景

### 9.2.2 材料の選定

試験施工における材料の選定は、表1に示す初期段階の負荷後の性能照査試験に合格していることを条件とした。選定した材料の概要を表2に示す。

表2 選定材料一覧

製品名	種類	施工方法
A	シート系 (ガラス繊維 As)	流し貼り
B	シート系 (ポリエステル不織布 As)	流し貼り
C	塗膜系 (ポリウレタン樹脂)	コテ塗り
D	塗膜系 (ポリウレタン樹脂)	コテ塗り
E	塗膜系 (ポリウレタン樹脂)	吹付け
F	塗膜系 (ポリウレタン樹脂)	吹付け
G	塗膜系 (ポリウレタン樹脂)	吹付け
H	塗膜系 (メタクリル樹脂)	吹付け

### 9.2.3 試験施工の流れ

試験施工においては、「実施工における床版防水層の性能」、「床版の含水状態の違いによる床版防水層の性能」、「床版防水層補修後の床版防水層の性能」、「舗装表層切削後の床版防水層の性能」を確認するものとする。そのため、試験施工は、図11に示す流れに基づき実施した。

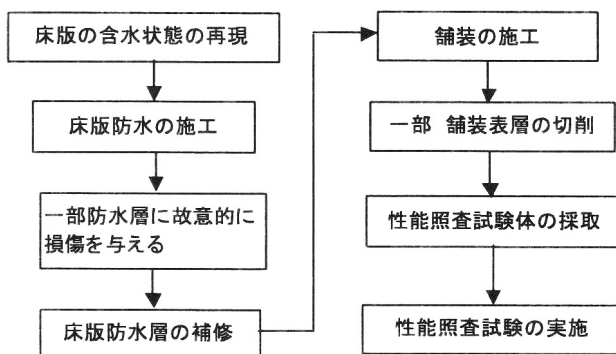


図11 試験施工の流れ

床版の含水状態の再現とは、床版の含水状態の違いによる床版防水層の性能を確認するために、写真5のように模擬床版の一部において施工3日前より水はりを実施し床版面において湿潤部と乾燥部を設けた。

また、防水層補修後の床版防水層の性能を確認するために、防水層施工後、ペビーサンダーを用いて故意に損傷を与えた後、各防水メーカーが指定する補修方法により補修を実施した。

舗装施工後は、舗装表層切削後の床版防水層の性能を確認するために、一部表層の切削を行なった(写真6)。

これらの作業および施工を行なった後、床版防水層の性能照査試験を実施するため図12の位置においてコアを採取し、防水性試験、引張接着性試験およびせん断接着試験の性能照査試験を実施した。

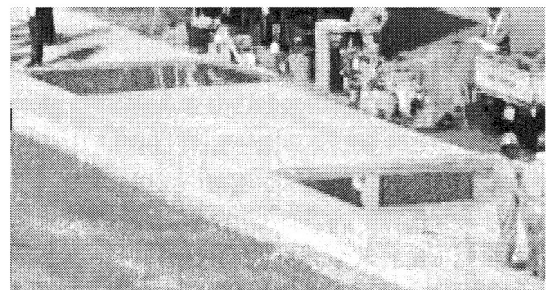


写真5 床版の含水状態の再現

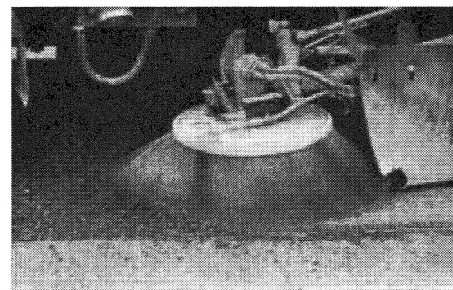


写真6 舗装表層の切削

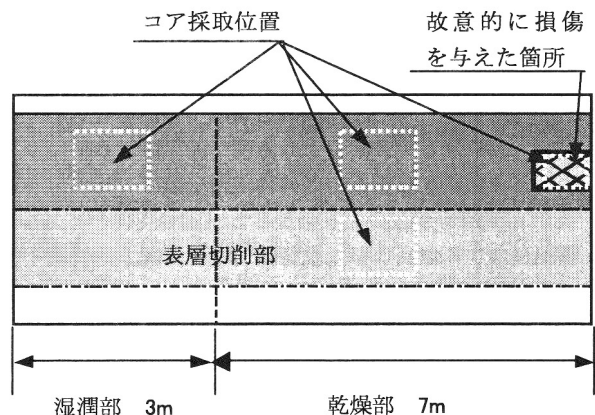


図12 コア採取位置

### 9.3 試験結果

#### 9.3.1 施工時

試験施工において、シート系防水の一部の製品については、写真7に示すシートのしわおよび膨れが確認された。シートのしわについては、たぶんに施工者の技量によるものと思われる。また、膨れについては、膨れた部分を後日開削して確認した所、写真8に示すようにコンパウンドのむらが原因と考えられる。

塗膜系防水について、写真9に示す貫通気泡の発生や写真10に示す舗設機械による舗装用接着剤の巻き上げが確認されたものがあつた。提案している性能照査試験案において、舗設機械による影響を再現した負荷方法は、初期段階の負荷時にゴム板による圧縮で評価している(図13)。よって、本試験施工の結果を反映するとホイールトラッキング試験機を用いるなどして車輪の巻き上げによる負荷を与えることがより実現現象を再現した負荷になると考えられる。



写真10 舗設車両による舗装用接着剤の巻き上げ

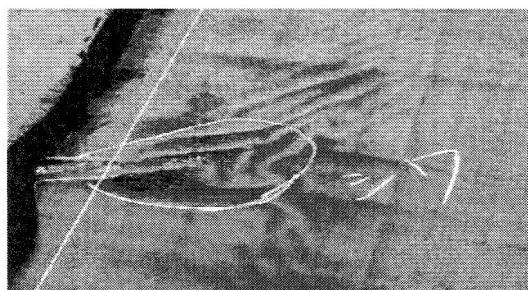


写真7 シートのしわ



写真8 膨れ部分の開削状況

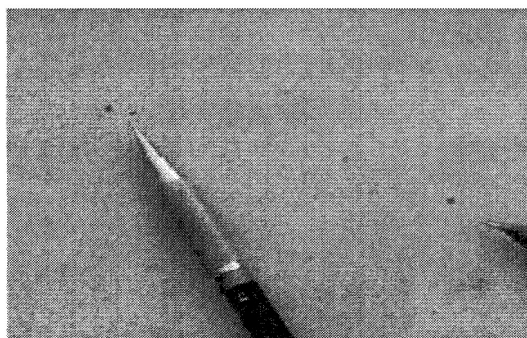


写真9 貫通気泡の発生

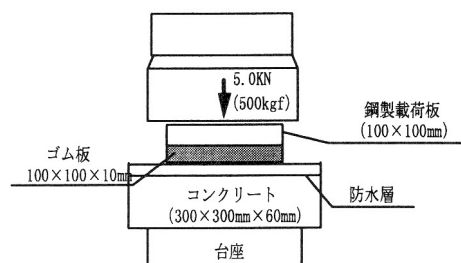


図13 舗設機械による影響を再現した負荷

#### 9.3.2 性能照査試験の結果

防水性試験の結果を表3に示す。B製品についてはアスファルト転圧時の骨材の押し込みにより防水シートが損傷したため漏水したものと考えられる。D、H製品については施工時にかなりの貫通気泡が確認されており、その貫通気泡が原因と考えられる。

引張接着性試験およびせん断接着試験の結果を図14および図15に示す。おおむねどの製品も基準値をクリアしていたがD製品は、全体的に基準値を下回った。本製品は、初期段階の負荷後の性能照査試験を実施した機関が他の製品とは異なっていたため、9.2.3の選定段階の条件を満足していたものか疑わしいと考えられる。また、粒状の舗装用接着剤を用いた塗膜系防水工法においては、一部接着材の溶融が見られず(写真11)、接着力が取れないものもあつた。

表3 防水性試験結果

n=3

製品名	採取箇所			
	乾燥部	湿潤部	切削部	補修部
A	○	○	○	○
B	2体×	2体×	1体×	○
C	全て×	1体×	○	○
D	全て×	○	○	2体×
E	○	○	○	○
F	○	○	○	○
G	○	○	○	○
H	1体×	1体×	全て×	1体×

準になるよう検討を実施していく予定である。

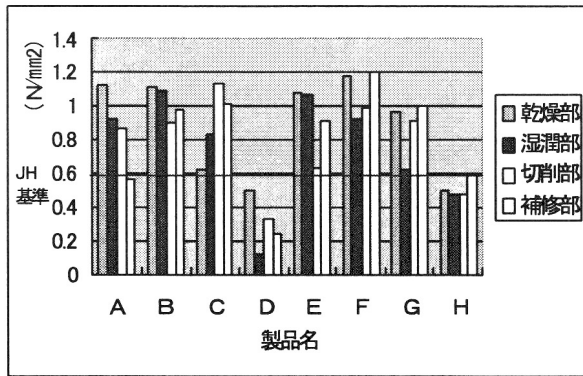


図 14 引張接着性試験結果 (20°C)

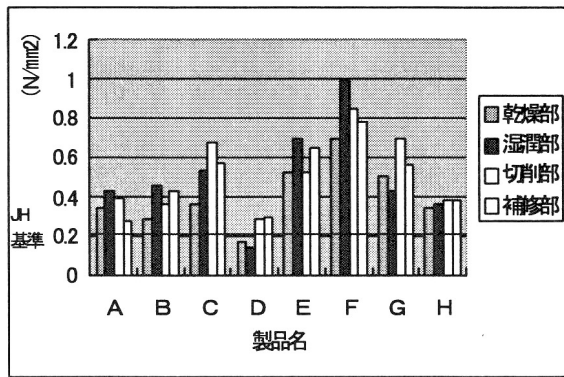


図 15 せん断接着性試験結果 (20°C)

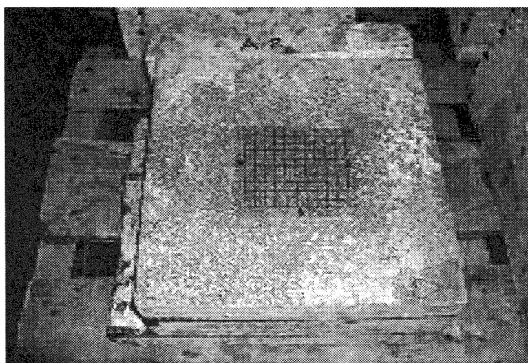


写真 11 舗装用接着材の未熔融

## 10. おわりに

性能規定型による床版防水の性能規定型による基準案および模擬床版による初期性能評価について述べてきた。現行の材料単体の評価である品質基準とは異なり、本基準案は、床版防水の要求性能および設計耐用期間を明確にし、防水層に作用する実現象を再現した性能照査方法となっている。現在、模擬床版の試験施工等からもわかるように、これらの性能を満たす製品も開発されてきている。また、提案した基準案も、9.3でも述べたように初期段階での負荷方法の改善や設計耐用期間の照査方法の妥当性などについては、検証を重ね、さらに合理的な基

## 参考文献

- 1) 松井繁之：「移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について」、コンクリート工学年次論文報告書 1987
- 2) 日本道路公団試験研究所：「試験研究所技術資料 第124号 材料施工資料(第4号) コンクリート床版防水工」平成6年
- 3) 高速道路技術センター：「排水性舗装の適用性に関する調査検討報告書」, 平成11年
- 4) ZTV-BEL-B TEIL1 1999, FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FUR STRASSEN - UND VERKEHRSWESEN
- 5) TP-BEL-B TEIL1 1999, FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FUR STRASSEN - UND VERKEHRSWESEN
- 6) TL-BEL-B TEIL1 1999, FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FUR STRASSEN - UND VERKEHRSWESEN
- 7) BD47/99 PART4, WATERPROOFING AND SURFACING OF CONCRETE BRIDGE DECKS, HIGHWAYS AGENCY
- 8) BA47/99 PART4, WATERPROOFING AND SURFACING OF CONCRETE BRIDGE DECKS, HIGHWAYS AGENCY