

## 高せん断強度と耐久性を備えた高機能樹脂塗膜床版防水

### Liquid Resin Waterproofing System with High Shearing Strength and Durability

奥田和男\*<sup>1</sup>, 山口 茂\*<sup>2</sup>, 松井繁之\*<sup>3</sup>

Kazuo Okuda, Shigeru Yamaguchi, Shigeyuki Matsui

\*<sup>1</sup>三菱樹脂株式会社 事業開発部 (〒103-0021, 東京都中央区日本橋本石町 1-2-2)

\*<sup>1</sup>三菱樹脂株式会社 産業資材開発センター (227-0033, 横浜市青葉区鴨志田町 1000)

\*<sup>2</sup>大阪工業大学 八幡工学実験場実験センター (〒614-8289, 京都府八幡市美濃山一ノ谷 4 番地)

The many bridges constructed in the high growth period have been reported on the damage of the concrete decks at many districts in Japan. The importance of the waterproofing of the concrete deck had been advocated as a result of the research of Matsui et al., and the performances of the many waterproofing technologies have been verified in these years. The damage of the concrete decks has become remarkable as the antifreezing agents spread, because the waterproofing technology of Japan is too easy to protect the concrete decks, which are waterproofed in double in Germany. The polyurethane waterproofing which has been used for 30 years in Germany has not been popular in Japan because of the difficulty of the bonding technology between the waterproofing and the asphalt pavement. In this paper, the polyurethane waterproofing with the perforated elastomer sheet (PUPES) newly developed showed an excellent durable bonding performance by the wheel running machine in NEXCO Central Research Institute and the rotating fatigue testing machine and the random wheel tracking machine in Osaka University. This technology has been found to be effective to both waterproofing and long-life of the pavement.

Key words: Bridge deck, Waterproof, Polyurethane, Shear Strength

#### 1. はじめに

松井らの研究<sup>1)</sup>によりコンクリート床版防水の重要性が謳われてから 8 年を経過したが、日本の橋梁の床版防水は依然として殆ど低改質度のアスファルトを使用したシート防水や瀝青系塗膜を使用し、防水層破壊による漏水やせん断強度不足による舗装のひび割れなどを生じ舗装と床版に悪影響を及ぼしている。これらの防水膜の問題は紫桃ら<sup>2)</sup>により、瀝青系シートで 7 年、瀝青系塗膜では 3 年で危険レベルに達していることが指摘され、また松井ら<sup>3)</sup> が開催した高機能床版防水システム研究委員会でも防水膜により舗装への影響及び防水性能に大きく差があることが検証されている。

中央高速自動車道で補修された多数の橋梁において、補修に使用されたアスファルトシート防水がたった 4 年でポットホールを多発し、防水性能も損なわれた事例が報告<sup>4)</sup>されている。床版防水層は防水性能だけでなく舗装の耐久性にも深く関与している。

2007 年の欧州床版防水調査団は、床版防水は橋梁の建造において重要な意味合いを持ち、床版に水を漏らさない厳しい仕様規定と舗装に悪影響を及ぼさない数々の工夫がなされていることを報告している。

1987 年発行の日本道路協会の床版防水設計・施工資料<sup>5)</sup>では、防水膜の防水性能照査は舗装合材を転圧する前だけであり、また舗装との接着性能も舗装施工後の長期にわたる耐久性能の照査をなんら規定していない為、日本では簡易な防水工法が展開している。この結果、日本の一部の橋梁ではコンクリート床版の傷み

は激しく、漏水とそれに伴う劣化による床版からのコンクリートの剥落防止するための防護工を 1 年で数十万 m<sup>2</sup>も施工し多大な労力を費やしている。道路橋床版の補修費用は毎年増大してきており、また各地で防水システムの適切な施工・管理によって未然に防止することができるような部材の腐食損傷などが原因とみられる橋梁の落下事故が報告されるなど、道路橋の防水を根本的に見直さなければならない時期に来ている。

旧日本道路公団により床版防水システム設計・施工マニュアル (案)<sup>6)</sup>が 2001 年に発行され、耐久後の防水性能を考慮した高機能防水の検討が開始された。ヨーロッパで 30 年の実績のある防水性の優れたポリウレタンを使用した床版防水の本格的試験が 2003 年京滋バイパスで行われた。しかしヨーロッパのように基層にグースアスファルトを使用しないウレタン防水膜は、合材との接着が難しく、安易な接着方法を採用した工法は夏期になると舗装に多数のポットホールが発生する結果となった。舗装と防水膜の接着性能、特にせん断性能は舗装の耐久性を考えると重要な要素であり、防水システムは激しい交通荷重に耐え得るせん断能力を備えたものでなければならない。松井らが考案したせん断疲労試験機及びランダムホイールトラック試験機は防水層と舗装の耐久性を評価する為に工夫された装置であり、応力の違いによるせん断疲労度や温度による舗装流動性などが顕著に評価できる装置になっている。

ここではウレタン防水層と転圧系の舗装合材を接着

するために、奥田らが考案した穴あき熱可塑性シート工法（PUPES工法）<sup>7)8)9)10)11)</sup>についてこれらの装置を使用し従来の瀝青系の防水材と比較して評価を行った。

## 2. 道路橋床版防水の要求性能

欧州の床版防水の規格を調査して判明したことは、橋梁を長期に保護するために、過去の現場の教訓から学んだ技術を防水仕様にしっかりと折り込んでいることである。例えばドイツでは舗装の基層を床版を保護する意味で保護層と呼び、水密性の高いグースアスファルトを用いるのが通常であるが、SMA などのアスファルト合材を使用する時は防水層を2層にしなければならない仕様になっている。これはグースアスファルト以外の舗装は漏水するものとの前提で考えているため、過去の経験を基に床版防水技術を改良してきたことが伺える。スイスでも同様でグースアスファルト以外の舗装を使用するときは排水溝を舗装の中に設けることを義務付けている。

日本の床版防水の経緯をみると 1987 年に道路協会の設計施工資料の中で防水層のプリスタリング（施工時の防水膜のふくれ）の不具合を指摘しているが、20 年後の昨年の工事でも、未だにこの不具合が繰り返されている。このような防水膜は穴をあけ補修するが、防水性能や舗装への悪影響は免れない。中央高速道の報告など防水層が起因と考えられる舗装のひび割れやポットホールが日本の橋梁のあらゆるところで観察されている。床版防水について効能と問題点を再検討する必要がある。

2007 年に発行された道路協会の道路橋床版防水便覧<sup>12)</sup>で示唆され始めたように、日本のように南北に長く気候の差が激しい国土においては、床版防水をひとつの性能規定で限定するのは限界があるかもしれない。安易な共通規格を規定することにより、重交通量が激しい橋梁と乗用車しか通らない橋梁や、冬期凍結防止材を多用する橋梁の防水規格を全て同じ低レベルのものになっているからである。スイスのSN640540<sup>13)</sup>の規格に見られるように、多様な防水仕様を規定し、細かい防水設計を行う必要があるのかもしれない。

床版防水に要求される性能は設計される橋梁に応じて以下のように考えたい。

### a. 床版の防水性能

橋梁の床版を長期に防水する性能は使用される条件を考慮しなければならない。寒冷な地域においては防水膜の低温脆性を考慮する必要があり、温暖な地域においては高温での防水膜の溶融も考える必要がある。凍結防止材を散布する地域においては耐薬品性も考慮に入れ、これらの耐久付加試験後の防水性能を満足する防水材を選定する必要がある。また床版の防水の最も重要なのは役物や端部の防水である。床版の漏水の最もよく見られる箇所は、高欄下部、排水口周辺、ジョイント周辺や打ち継ぎされたコールドジョイント部である。このことから防水材は目地を防水する性能、

すなわちひび割れ追従性能を有する必要がある。またこれらの役物との接着耐久性能も同時に要求される。防水材のみで防水が不可能な場合には、ドイツの端部防水に見られるように設計を考慮する必要がある。<sup>14)</sup>

### b. 舗装との接着性能

アスファルト系の防水層は合材との接着性能は同系統なので問題がないと考えられていた。しかし舗装合材の強度は温度とアスファルト含有量により極端に変化する。舗装の不具合に大きく影響する高温でのせん断強度は防水材が舗装に悪影響を及ぼさない為にも重要な要求性能になる。また輪荷重負荷による耐久後の接着性能は実道路で床版防水層が舗装に悪影響を及ぼさないようにする為にも確認する必要がある。多雨地域を考慮すると湿潤状態での輪荷重負荷後の接着強度も検証しなければならない。松井らが考案したせん断疲労試験機は防水層界面の接着耐久性を検証するのに有効な一つ手段である。

寒冷地に使用する防水層は耐凍結融解性を持たなければならない。凍結融解により舗装と防水層が剥離すると重大な舗装の不具合につながる。

また舗装との接着性能は試験室の試験体だけの性能だけでなく、現場での接着性能を検証する必要がある。なぜならローラーコンパクタを使用しての転圧と、現場での鉄輪やタイヤローラーでの転圧では、転圧時のせん断応力がまったく異なることが考えられる。また防水システムは気候の変化や合材の温度低下などに対し柔軟に接着性能を発揮しなければならない。スイスでは現場で防水材のピーリング試験と舗設後の接着試験を 500 m<sup>2</sup>毎に行うことを義務付けて確認を行っている。

### c. 施工性

補修工法などを考慮すると施工が簡便で施工時間の短い工法が望まれる。また誰でもが簡単に施工でき施工ミスの少ない工法がよい。しかし現実には簡便な工法は逆に気象条件など制限要因が多い場合や、施工後のトラブルが多くなる事もある。施工性は各工法個別のものであるので、各防水工法は気象条件、養生条件などの施工制限条件を明確にし、施工管理方法など厳密にしなければならない。また環境に考慮し、騒音、悪臭、汚水など周辺地域への悪影響を与えない工法でなければならない。

橋梁の床版防水の要求性能は基本的には上記3つの要素が満足されていれば使用可能である。しかしながら各要求性能に対する規格は橋梁の条件に応じて変更する必要がある。厳密には床版の種類、舗装の種類、気候条件、交通量、新設補修などに応じて床版防水の工法を検討する必要がある。

また要求性能ではないが LCC や費用対効果の考え方は防水工選択には重要な要素である。橋梁の防水工は単純に施工価格が安価なだけにより評価されるべき

でない。橋梁は50年以上使用されるべきもので、防水工自身の耐久性や補修の回数、舗装のやり換え回数も考慮して評価されねばならない。安価な防水により舗装のやり換えや漏水による橋脚の補修、床版の剥落防止工事の費用も考慮した費用をその防水工の価格とみなしたい。防水工の耐久性能や橋梁の劣化程度は交通量や使用条件により異なるので防水工の選択の前に十分なアセスメントを行う必要がある。

奥田らが開発した穴あき熱可塑性シートを利用したウレタン床版防水工法（PUPES 工法）は30年以上の見直し耐久防水性を有し、SMA や密粒アスファルト合材とのせん断強度が高くドイツのグースアスファルトを使用した防水工法に比較しても興味深い工法となっている。

### 3. ウレタン床版防水（PUPES 工法）の特性

ウレタン防水とアスファルト合材を接着する為には、ドイツなどでグースアスファルトによる方法や、ウレタン系の接着材で硅砂を防水層の表面に固着した後アスファルト系接着材で接着する方法などが行われている。しかし日本ではこれらの方法は、容易にグースアスファルトを利用できないことや、アスファルト系接着材ではウレタン樹脂表面と十分な接着強度が得られず、舗装厚さの薄い日本では好ましくない。その為に考案された方法は熱可塑性樹脂を利用し、初期においては樹脂ペレットやそれを粉砕した粉体物が利用され、次にシートを直接ウレタン防水層表面に熔融接着する方法などが考案された。樹脂ペレットによる接着は、塗布品質が一定しないこと、所定の接着強度を得るためには、シートの場合の2倍程度の1～2kg/m<sup>2</sup>の塗布が必要となる。このため樹脂ペレットを熔融させるアスファルト合材の熱容量は熱可塑性シートの場合の2倍が必要となり、図2に見られるように冷えたアスファルト合材が供給されると、接着強度が不足する可能性がある。フィルム状の熱可塑性シートを使用する場合は、防水層表面に不陸があるとシートが完全に防水膜表面に密着しないため、もし舗設までの間に降雨があると、その隙間に雨水が入り込み使い物にならなくなる。これらの欠点を補うために考案されたのが穴あき熱可塑性シートによる接着工法 PUPES 工法である。この PUPES 工法の特徴は

1. 均一に接着シートを張るために接着性能の品質が一定する。
2. 0.6kg/m<sup>2</sup>の使用量は冷えた合材でも所定の接着強度が得られる。
3. 穴が開いているため貼付時に床版との隙間に空気が入らず密着できる。
4. 施工後降雨があってもシートの下に水が入らず、降雨後容易に乾燥させることができる。
5. 防水層とは耐水性の接着材を介し、完全に接着し、アスファルト合材とは相溶性よく接着する。

6. 接着層界面はアスファルト合材より強度が強く、瀝青系防水材のように脆弱にはならない。
7. 0.8mm の厚さのシートはアスファルト合材と密着が良い為、水路などを作らず凍結融解に強い。

などが考えられる。このように優れた特性を持つ PUPES 工法の耐久性能について次に検討を行う。

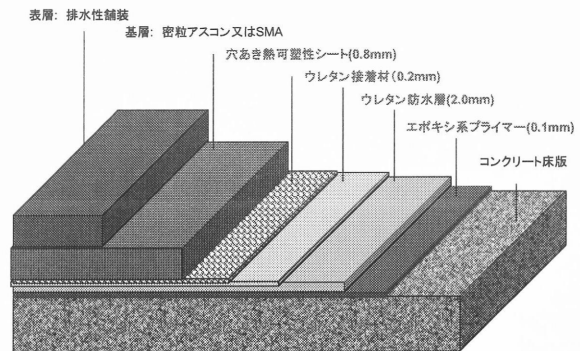


図1. ウレタン床版防水 PUPES 工法

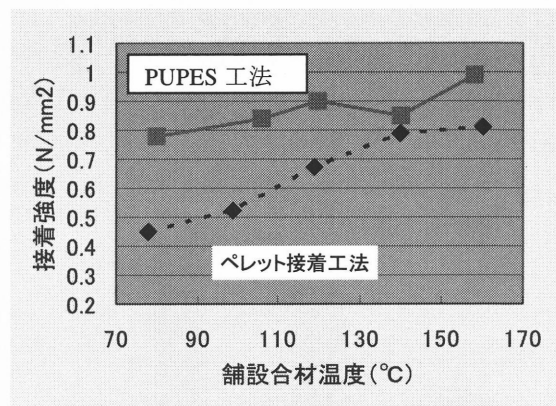


図2. 舗設合材温度の変化によるペレット工法と PUPES 工法の接着強度の比較

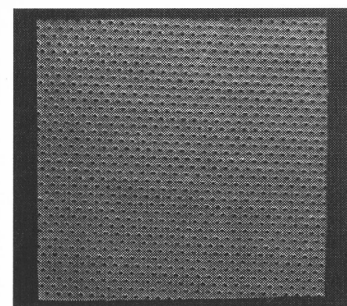


図3. 穴あき熱可塑性シート

### 4. 回転式輪荷重試験機によるPUPES工法の評価<sup>3)</sup>

松井らを中心に産官学が集まり、2002年から足掛け3年近くかけて検討された高性能防水システムの耐久性評価に関する研究の中にウレタン防水穴あき熱可塑

性シート工法（PUPES 工法）や瀝青系防水工法が大型の回転式輪荷重試験機（図4）を使用して評価されている。この報告書には瀝青系シートにも高性能と呼ばれる改良型のシートも同時に評価されているが、ここでは従来型の瀝青系防水シートと塗膜防水についてのみ比較評価を行った。

輪荷重 5 トン、散水を行いながら 5℃の冬条件で時速 60km/h で 135 万回走行し、その後外軌道を輪荷重 2.5 トン、散水を走行前後に行い 60℃の夏条件で時速 60km/h で 23 万回走行した。

この結果のわだち掘れ量の比較を図5に、せん断強度の比較を図6に示す。わだち掘れ量の比較に見るよう瀝青系防水材料を使用すると防水層界面からのアス

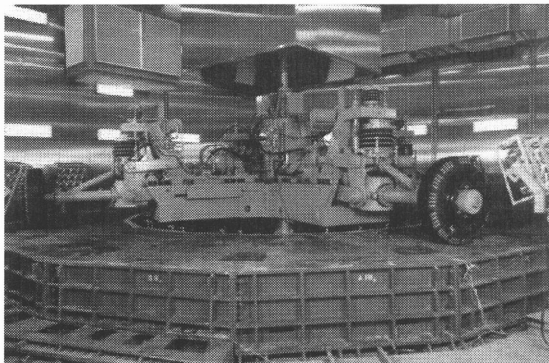


図4. 回転式輪荷重試験機

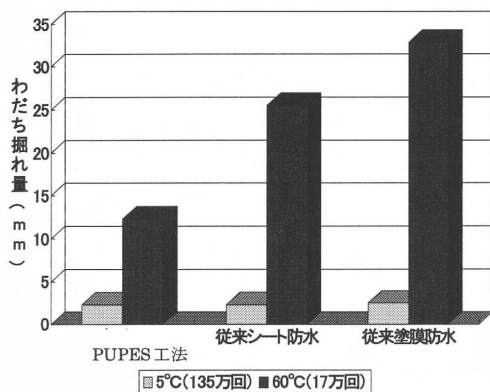


図5. 回転式輪荷重試験後のわだち掘れ

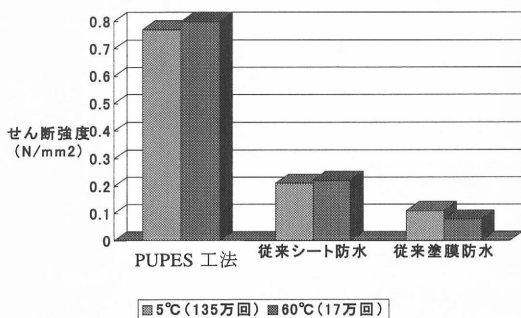


図6. 回転式輪荷重試験後のせん断強度

ファルト成分がアスファルト合材に溶出しアスファルト合材を軟弱にしてしまう。図7にアスファルト合材のアスファルト含有量とDs値（動的安定性 times/mm）を示す。このグラフから明らかなようにアスファルト合材はアスファルト含有量が最適使用量から±0.3%以内に制御しなければならないのに、防水層から1%前後の多量のアスファルト成分が溶出すると、Ds値が低くなりわだち掘れが容易に大きくなることが推定される。この点 PUPES 工法は熱可塑性樹脂で接着しているので、合材に浸透することも無く、しっかりと界面の接着を保つ事ができる。試験後のせん断強度も図6、図8に見るように PUPES 工法は 0.8N/mm<sup>2</sup>と驚異的なせん断強度を示している。また図8のせん断破壊断面の写真に見られるように PUPES 工法では防水層界面は強固に接着し合材で破壊をしている。一方瀝青系の防水層の場合共に界面の数ミリ上の部分が破壊しているのが見られる。これはアスファルトの溶出により合材の脆弱層がその部分にできている事を示している。またこれらの試験後の防水性試験の結果を図7に示す。ここでは瀝青系シート防水は防水性に問題なかったが、瀝青系塗膜防水は明らかに漏水しているのが見られた。

以上の結果を考察すると、従来型の瀝青系塗膜防水は防水性能に疑問があり、舗装合材への悪影響を及ぼす防水工法であり、従来型の瀝青系シート防水（流し張り）工法は舗装合材に悪さをし、且つ防水性能にも疑問が残る工法との疑問が生じる。ドイツでも以前からこの点は議論され、瀝青系の流し張り工法は禁止され現在は常温接着タイプのみを使用している。

ドイツの ZTV-BEL-B「床版防水工の補足指針」に規定する3種類の防水工法は、瀝青系シートを利用した2工法とウレタン防水の1工法となっている。瀝青系シート工法はフレグが起こらないように丁寧にエポキシ樹脂などで下地処理をし、その後常温接着の4.5mm以上の瀝青系シートを装填し、さらに3cm以上のグースア

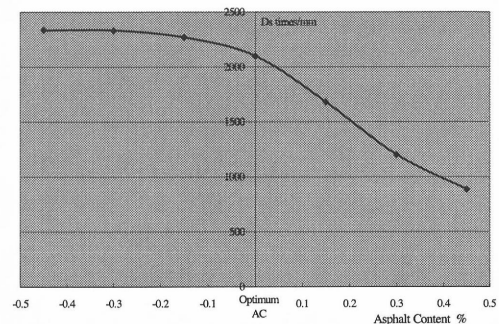


図7. アスファルト含有量とDs値



		走行試験後のせん断接着強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
		ウレタン防水	アスファルト塗膜防水	アスファルトシート防水
内軌道	冬条件(表面5°C)	0.77	0.21	0.11
外軌道	夏条件(表面60°C)	0.80	0.22	0.08
	非走行部	0.78	0.14	0.18
	せん断試験破断面			
考察		試験後も十分な接着強度を有し、せん断試験破断面は、アスファルト合材の材破壊		
		防水材中のアスファルト成分が、舗装合材に浸透し、舗装合材の締結を助長し、合材流動により、せん断強度の低下を招いている。劣化した合材界面で全て破壊。		
		* 日本道路公団試験研究所「防水システム設計・施工マニュアル」目標値 : 0.20N		
		* 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」目標値 : 0.15N		

図 8. 回転式輪荷重試験後の強度試験結果

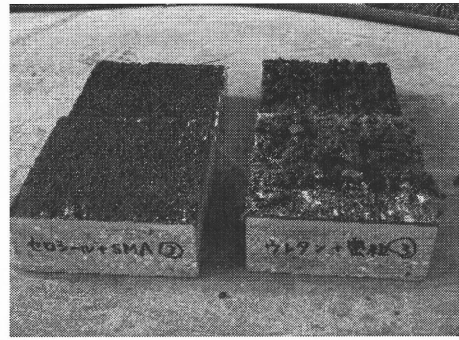


図 11. せん断疲労試験後の試験体破壊面  
左：アスファルト塗膜防水  
右：ウレタン防水 PUPES 工法

		走行試験後の防水性試験 (n=3)		
		ウレタン防水	アスファルト塗膜防水	アスファルトシート防水
内軌道	冬条件(表面5°C)			
外軌道	夏条件(表面60°C)			
	非走行部			
考察		ウレタン防水層は強度の輪荷重に十分に耐え得る。アスファルト系は舗装合材の転圧時に防水層が破壊されることが多い。輪荷重試験負荷後では、多くの試験で漏水している。このシート防水試験は設計の50%厚(4.5mm)の為合格?		

図 9. 回転式輪荷重試験後の防水性試験

アスファルトを施工するか、またはもう一層の瀝青系シートを貼付する 2 層構造にしなければならない。長い経験から床版を保護するために綿密な防水工を施工している。これに比較し日本の現在行われている瀝青系の防水シートは厚さが 2mm 程度で、アスファルト合材の舗設時に防水機能が破壊されたり、流し張りに使用されたアスファルトが溶出し合材の流動を助長しているのが現状である。

### 5. せん断疲労試験機による PUPES 工法の評価<sup>15)</sup>

アスファルト合材と防水層の界面の耐久性を照査するために松井らにより開発されたせん断疲労試験機は、横応力を与えた時に、破壊するまでの回数を検査するための装置である。(図 10)

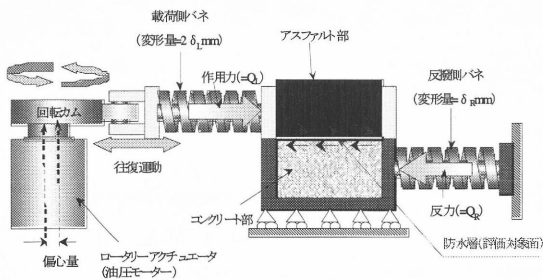


図 10. せん断疲労試験機

	せん断応力	破壊回数	使用限界寿命
ウレタン防水	0.34N/mm <sup>2</sup>	7,174	4,802
+SMA舗装	0.17N/mm <sup>2</sup>	83,549	66,096
アスファルト塗膜防水	0.34N/mm <sup>2</sup>	198	111
+SMA舗装	0.17N/mm <sup>2</sup>	2,271	1,934
	0.09N/mm <sup>2</sup>	26,864	25,116

表 1. せん断応力とせん断疲労試験結果

この装置は回転応力を回転カムにより振幅応力に変換しバネの力で試験体に作用する。また試験体は反発側もバネで保持し、回転モーメントがかからないように工夫されている。この装置を用いてウレタン防水 PUPES 工法と現在施工されている瀝青系塗膜防水を比較した。この結果を表 1 に示す。せん断応力の変化により破壊回数が異なるが、ウレタン防水 PUPES 工法は瀝青系塗膜防水の 30 倍～40 倍の耐久性を示している。試験後の破壊断面の写真を図 10 に示す。この写真に見られるように、アスファルト塗膜防水は防水層界面上で破壊し、界面の耐久性が問題となっている。一方ウレタン防水 PUPES 工法は合材の材破壊以上の接着耐久性があると考えられる。瀝青系防水工は接着面には過剰のアスファルトを使用しないように工夫しなければならない。

### 6. ランダムホイールトラッキングによる

#### PUPES 工法の評価<sup>16)</sup>

防水層などの影響によりアスファルト合材がわだち掘れや流動を起こすと、アスファルト合材の張替えやポットホールなどのトラブルの原因となる。松井らは従来のホイールトラッキング装置を改良し、合材表面の輪荷重負荷を実際の道路に近い正規分布にし、またアスファルト合材側面の拘束を無くして、この流動現象を解明できる装置を開発した。この装置を使用しウレタン防水 PUPES 工法とアスファルト塗膜防水の流動性を比較した。

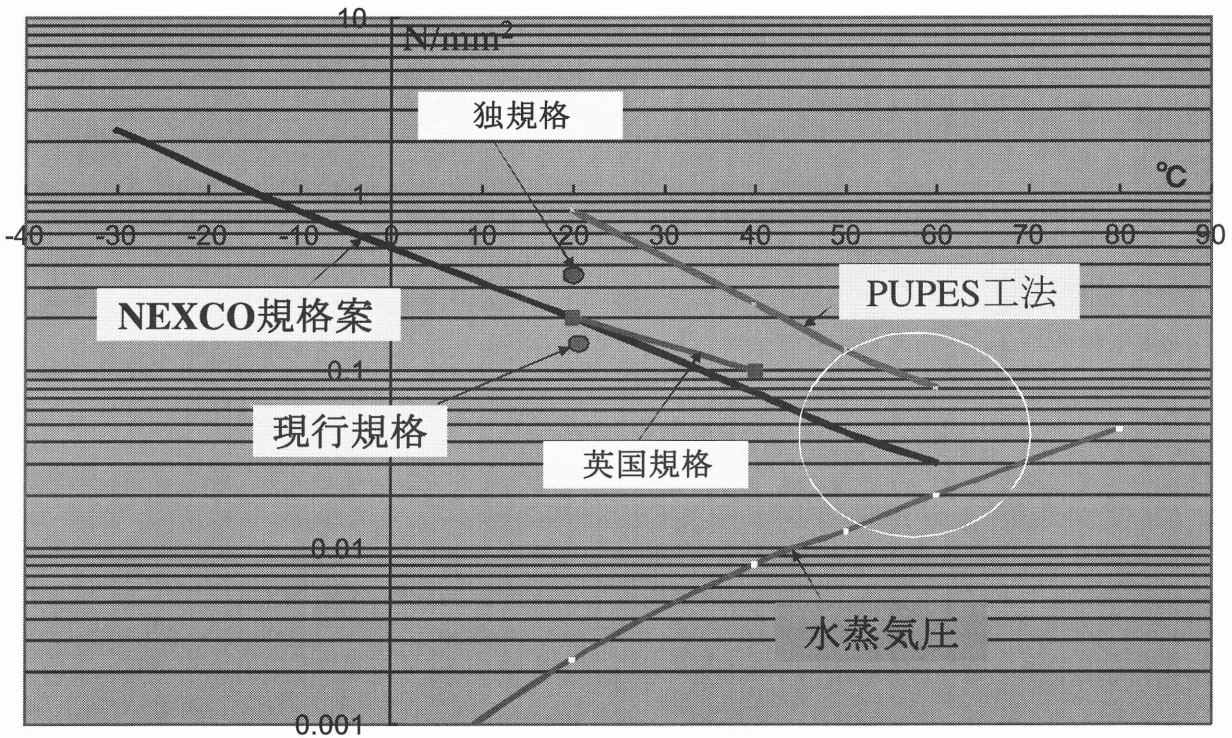


図 14. 各国のせん断強度規格と PUPES 工法

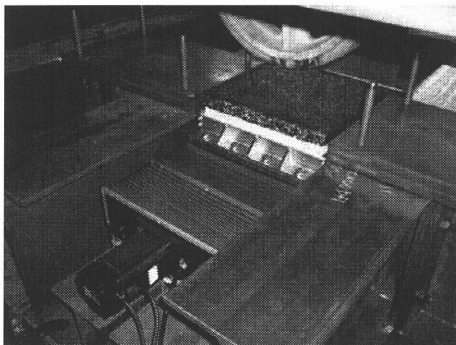


図 12. ランダムホイールトラッキング試験機

この結果を図 13 に示す。この表に示されたように、ウレタン防水 PUPES 工法は 50°C における側方のずれは殆ど起こらなかったが、アスファルト塗膜防水は側方ずれが最大 8 ミリ同時にわだち掘れもウレタン防水の 2 倍以上の値を示した。この結果は高温でのアスファルト塗膜防水の界面のせん断接着力が小さいので輪荷重力がせん断方向に分力し、アスファルトの流動を促す。流動が起こるとわだち掘れが大きくなり、わだち掘れが大きくなると、さらに側方への応力が大きくなる悪循環を繰り返している。このため防水層とアスファルト合材のせん断力が充分にある事がアスファルト舗装の寿命を延ばす為には重要な要素になる。またこの実験を常温で行うと合材の流動現象はほとんど見られなかった。このことから合材が軟化したときに、防水材界面のせん断強度の大小が、舗装合材のひび割れ

	50°C試験後外観	轍ぼれ	側方ずれ
ウレタン防水 + SMA舗装			
アスファルト塗膜防水 + SMA舗装			
考察	アスファルト防水は側方への流動が大きい。せん断接着力が悪い。	ウレタン防水: 3.5mm アスファルト防水: 8.0mm	ウレタン防水: 0mm アスファルト防水: 8.0mm

図 13. 50°Cランダムホイールトラッキング試験結果

などを起こす舗装合材の側方への流動に関連していると考えられる。このことから舗装の長寿命化には高温のせん断強度を高くする必要がある。

### 7. 防水層に要求される接着強度について

防水層に適切なせん断接着強度及び引張接着強度については過去から議論されているが明確な報告は無い。一般的に接着強度はコンクリート床版からの水蒸気圧に耐え、プリスタリングが起こらない強度が求められる。せん断強度は舗装の流動が起こらない強度が求められる。それらの要求される絶対値については、防水層が無い状態のアスファルト系バインダを使用したと

きの数値が参照されている。ここまでの検討でアスファルト合材と防水層のせん断強度がアスファルト合材の流動に密接な関係があることが考えられるが、実際の橋梁において要求される接着強度がどの程度必要なのか明確でない。ドイツの例を見ると、防水層とアスファルト合材の接着強度が 0.4N/mm<sup>2</sup> (NEXCO 0.6N/mm<sup>2</sup>) 防水層と床版の接着強度が新設で 1.5N/mm<sup>2</sup> (NEXCO 1.2N/mm<sup>2</sup>) 15 度傾斜のせん断接着強度が 0.35N/mm<sup>2</sup> (NEXCO 0 度傾斜 0.2N/mm<sup>2</sup>) となっている。日本の接着強度の規格値はアスファルト系バインダを使用したときの実績から設定したと言われている。防水層の接着強度はコンクリート床版部からの水蒸気圧に耐えねばならない。この蒸気圧に負けると舗装のフクレが生じる。防水層界面に働くせん断応力は舗装の流動に密接な関係があり、これはアスファルト合材の曲げ弾性、厚さ及び合材温度の関数となる。図 14 に各国のせん断強度規格及び NEXCO の指針のせん断強度と水蒸気圧をプロットした。この図から明らかなように水蒸気圧は 60℃付近で規格値が低いと防水層のせん断強度を追い越す可能性がある。蒸気圧がせん断力を超えると、界面で亀裂が走る可能性がある。ドイツのせん断応力のスペックは 0.35N/mm<sup>2</sup> で高めに設定している。PUPES 工法は高温でのせん断力も高くこの点でも安心して使用できる工法である。またドイツではコンクリート床版のプライマーに無溶剤型のエポキシを使用し、床版部からの水分の湧き出しを抑えるように工夫もしている。

ジャンボジェット機が走行する関西空港のアンダーパス橋のせん断応力は 0.4~0.5N/mm<sup>2</sup> 必要とされている。この橋のジャンボジェット機が走行するところは舗装厚が 40cm あり、それほど大きなせん断力がかからないことも考えられるが、ジャンボジェット機のタイヤからの接地圧は通常の 2 倍程度ある為、充分なせん断強度を有する防水工が必要とされた。ここの床版防水としてせん断強度が約 0.8N/mm<sup>2</sup> あり、舗装が流動しにくい防水工としてウレタン防水 PUPES 工法が採用されている。2004 年に施工された第二東名の矢作川アローズブリッジは 3 年後の調査でも床版部の漏水や舗装の損傷はまったく見られていなかった。2007 年には新名神信楽第三橋にウレタン床版防水 PUPES 工法が施工

表 2. 各種タイヤの接地圧力

タイヤ種類	乗用車 165SR13 4PR	トラック 11R22.5 14PPR	ジャンボジェット H49x19.0-22 32PR
タイヤ空気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	1.9	7.0	14.4
最大荷重 (kgf)	425	2,750	25,700
タイヤ接地面積 (cm <sup>2</sup> )	192	456	1,720
接地荷重圧 (N/mm <sup>2</sup> )	0.22	0.59	1.46

され、また北海道及び中国地方では端部防水にウレタン防水が標準仕様として使用されてきており、日本においてもようやく床版防水の見直しが始まっている。

## 8. 欧州に見る床版防水の接着性能

欧州の床版防水は国状と歴史の中にそれぞれ変遷を遂げている。床版防水の重要性が舗装厚の薄肉化とともに認識され、ドイツでは 1990 年代に 100 橋の各種防水材の防水性能の実態調査が行われ、また英国でも同様の調査が 1975 年から 200 橋について行われている。これらの調査により床版への防水層の重要性が認識されるとともに、舗装との接着性能が舗装の寿命に大きな影響があることが認識されてきた。舗装厚が 120cm 以上の場合には舗装との接着性能がさほど重要でないが舗装厚が 90cm 以下では舗装と防水層の接着力が最も重要であることが認識されている。英国ではこの為、舗装厚に反比例して引張強度やせん断強度を規定しており、120cm 以上では常温の引張強度 0.3N/mm<sup>2</sup>、せん断強度 0.3N/mm<sup>2</sup> だが 90cm 以下の舗装厚では引張強度 0.7N/mm<sup>2</sup>、せん断強度 0.4N/mm<sup>2</sup> を規定している。日本の規格は舗装標準厚さ 75-80cm で引張強度 0.6N/mm<sup>2</sup>、せん断強度 0.3N/mm<sup>2</sup> なので大きな差が無いように思えるが、最近の実橋の調査の実態では、数年を経過した橋梁でも接着強度はほとんど 0.1N/mm<sup>2</sup> 以下で、舗装の寿命に大きな問題を与えていることが報告されている。現在欧州では統一規格を検討しており更に厳しい接着性能の規格を設けようとしている。欧州の床版防水は、認定した材料を使用し、舗装込みの規格ごおりのシステムを、資格を持ったきちんとした施工管理者により施工されている。この為欧州ではコンクリート床版の剥落防止工は一切行われていない。また気候を考慮しても舗装表面の品質が比較的良好、大型車が走行するにもかかわらずほとんどわだち掘れが見られない。床版防水工が舗装及び床版の寿命に大きく影響することが経験的に認識されている。

## 9. おわりに

日本に於いてコンクリート道路橋床版の劣化が顕在化するにつれ、床版防水の重要性が認識され、床版防水技術の見直しが始まっている。ヨーロッパに見られるように厳しい防水基準を直ちに適用できないにしても、防水性能も充分でなく舗装に悪影響を与えると考えられる防水技術については見直しをしていかなければならない。ウレタン防水はウレタン樹脂の価格の問題、及び舗装接着材技術の難しさから、日本においては開発が遅れ、ようやく近年少し使われてきている。ここで紹介したウレタン防水 PUPES 工法は施工の安定性、舗装の寿命延長、防水性能の耐久性などライフサイクルコストを考慮すると従来型の瀝青系の防水に比較しても経済的な工法と考えられる。アスファルトシート防水も日本にも欧州に劣らない優れた高機能シー

トが既に開発されている。しかし現状のわが国では床版防水を重要視していない為安価なアスファルトシートかアスファルト塗膜防水しか使えない状況である。結局この為舗装を損傷し、防水性能も数年で消失するような床版防水を行っていることが本実験結果から類推される。舗装においては高融点の改質アスファルトを利用した排水性舗装などの出現により安全性や耐久性が改善され、また上部工の床版にも耐久性の向上した構造技術が取り入れられてきている。しかし防水技術のみが改善が遅れており床版と舗装に悪影響を及ぼしている。今後床版、防水、舗装、と三位一体を考慮した高機能防水技術の導入を急がねばならない。本論文は問題点の一点を捉えているだけかもしれないが、これがきっかけに防水技術の発展とともに、維持費のかからない長寿命の橋梁技術が発展して行く事を期待したい。

#### 参考文献

- 1) 松井繁之、大西弘志、大江博文：防水層を施した水環境下における疲労耐久性、第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集、pp.199～202, H12.10
- 2) 紫桃孝一；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 土木学会 第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集
- 3) 財団法人災害科学研究所道路橋床版高機能防水システム研究委員会：「道路橋床版高機能防水システムの耐久性評価に関する研究」報告書
- 4) 佐野昌嗣ら：中央自動車道での橋梁コンクリート床版補修事例,第 27 回日本道路会議 20036, H19
- 5) 日本道路協会：道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工試料, S62.1
- 6) 日本道路公団試験研究所：床版防水システム設計・施工マニュアル（案）H13
- 7) K.Okuda, 5thJSBM06, " Polyurethane Waterproofing for Concrete Bridge Deck." 2004  
K.Okuda, JGBS06, " New Polyurethane Waterproofing for Concrete Bridge Deck in Japan." 2005
- 8) K.Okuda, S.Matsui, JGBS07, " High Shearing Strength Waterproofing System for Airport Taxi Way Bridge." 2007
- 9) K.Okuda, 5thJSBM06, " Polyurethane Membrane Effective for Waterproofing of Concrete Bridge." 2007
- 10) K.Okuda, S.Yamaguchi, UTECK, " New Growing Market of Polyurethane Spray Elastomer in Waterproofing for Concrete Bridge Decks in Japan" 2007
- 11) 日本道路協会：道路橋床版防水便覧, H19.3
- 12) スイス道路・交通協会（VSS）上阪訳 SN640450: コンクリート床版上の防水システムおよび瀝青系舗装層に関する指, 2004
- 13) Andreas Haese, 6thJGBS "Building Sealing" 2007
- 14) 大塚匠、松井ら：空港滑走路等床版防水システムせん断付着疲労特性の評価検討, 2006
- 15) 青木康素：RWT 試験を用いたウレタン塗膜及びアスファルト塗膜防水層の疲労耐久性評価, 2006
- 16) 施工技術総合研究所：欧州土木構造物補修・補強調査報告書 1998-2006