

# 浸透系エポキシ樹脂による コンクリート補修技術について

山内 匡<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日本国土開発（株） 技術センター （〒243-0303神奈川県愛甲郡愛川町中津4036-1）

エポキシ樹脂の低粘度化を図り、0.2mm以上のひび割れ補修はもちろん、0.2mm未満の微細なひび割れに対しても塗布するだけで含浸接着することが可能な浸透系エポキシ樹脂が開発されている。この浸透系エポキシ樹脂を、塗膜系床版防水層のプライマーとして、既設コンクリート床版の表面に塗布することにより、エポキシ樹脂はひび割れ部に含浸してコンクリート床版の補修効果を発揮する。また、浸透系エポキシ樹脂は、床版表面に樹脂膜による防水層を形成し、塗膜系防水層と併せた複合的な防水層を構築できることが小型輪荷重走行試験装置によって確認された。

キーワード 浸透系エポキシ樹脂、床版防水、複合防水、小型輪荷重走行試験装置

## 1. はじめに

粘度 550mPa・s のエポキシ樹脂に溶剤ではなく、反応性の希釈剤を加えて低粘度化を図り、コンクリートの0.2mm以上のひび割れ補修はもちろん、0.2mm未満の微細なひび割れに対しても塗布するだけで含浸接着が可能な浸透系エポキシ樹脂が開発されている。本エポキシ樹脂は、一般的なエポキシ樹脂が低温時では硬化不良や接着不良の原因となるため、その作業環境が5.0℃以上に推奨されているのに対して、-5℃までの低温作業環境でも使用できる特長を持つ。

本論文では、浸透系エポキシ樹脂の品質や性能について述べると共に、このエポキシ樹脂を、既設道路橋の舗装打換などの修繕工事に伴い施される塗膜系床版防水層のプライマーに代わり、浸透系防水材料として適用した床版防水の効果について述べる。

## 2. 浸透系エポキシ樹脂の品質

浸透系エポキシ樹脂の品質を表-1に示す。同表には、建築補修用注入エポキシ樹脂（JIS A 6024）の硬質形エポキシ樹脂（低粘度形）の規格値を併せて示す。

なお、本エポキシ樹脂はA剤（主剤）とB剤（硬化剤）を体積比2:1で混合・攪拌して使用する。

表-1 浸透系エポキシ樹脂の品質

試験項目	試験条件	試験値	規格値
粘度(mPa・s)	23℃	250	100~1000
接着強さ(N/mm <sup>2</sup> )	23℃	8.3	6.0以上
硬化収縮率(%)	23℃	1	3.0以下
引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	23℃	60.1	15.0以上

## 3. 浸透系エポキシ樹脂の性能

### (1) ひび割れ含浸性能

250mPa・sまで低粘度化を図ったエポキシ樹脂のひび割れ含浸性能の判定を、NEXCOの「JHS 426：ひび割れ含浸材料の試験方法」に従って行った。

0.2mm程度のひび割れを再現したコンクリートはり（断面：100×100mm、長さ：400mm）の下面に、上向き施工でエポキシ樹脂0.2kg/m<sup>2</sup>を塗布し、7日間の養生（温度20℃、湿度65%）後に曲げ試験を行った。

その結果、ひび割れ部への含浸深さは50mm程度まで達し、曲げ試験結果（表-2）は評価基準2.0N/mm<sup>2</sup>を十分に満足する結果であった。

表-2 ひび割れ含浸性能試験結果

供試体	試験値	評価基準
1	2.55	2.0 N/mm <sup>2</sup>
2	2.70	
3	2.38	
平均値	2.54	

\* (財) 日本塗料検査協会にて実施

また、ひび割れの発生しているコンクリート表面に浸透系エポキシ樹脂を塗布することによる、ひび割れ含浸性能を確認するため、以下の試験を実施した。

確認試験はコンクリート平板 (JIS A 5371 ; 300×300×60mm) に幅 0.2mm 程度のひび割れを発生させ、表面に浸透系エポキシ樹脂を塗布 (0.25kg/m<sup>2</sup>) し、硬化後に塗布面に対して垂直にコンクリート平板を切断し、その断面について顕微鏡による観察を行った。幅 0.2mm 程度のひび割れを発生させたコンクリート平板の塗布面および塗布後の切断断面を図-1 に示す。

目視で確認できたひび割れは深さ 25mm 程度までであったが、同図からは浸透系エポキシ樹脂は断面を貫通する深さ 60mm 程度まで含浸していることが確認できる。

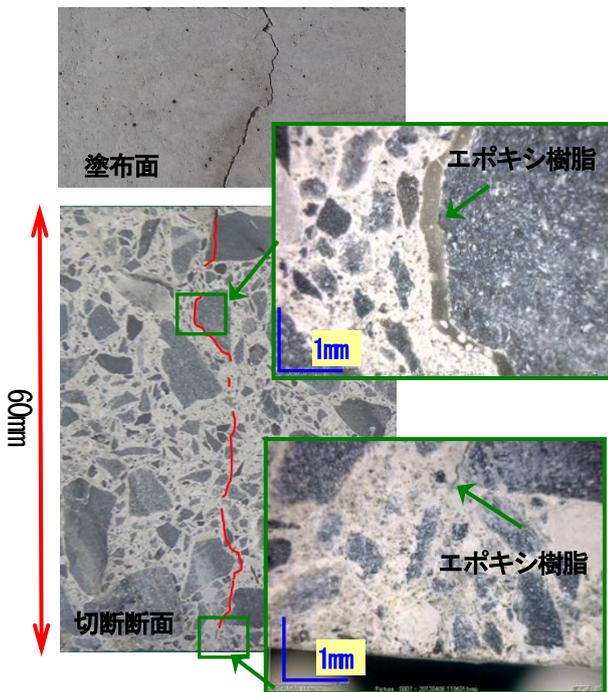


図-1 幅 0.2mm 程度のひび割れへの浸透系エポキシ樹脂の含浸状況

(2) 寒冷地性能

-5℃までの低温作業環境での浸透系エポキシ樹脂の接

着性能を確認するため、建築補修用注入エポキシ樹脂 (JIS A 6024) の「接着強さ試験」に準拠した寒冷地性能試験を行った。

本寒冷地性能試験の環境条件は、標準 (23℃) および低温 (5℃) が示されている JIS A 6024 「接着強さ試験」の環境条件に準拠し、-5℃の氷点下で全ての作業を実施した (表-3) 。試験は、写真-1 に示すように、2 個のモルタルバー (断面 : 40×40mm, 長さ 80mm) で接着層の厚さが 1.0mm になるように鋼線をスペーサとして挟み、粘着テープで三方をシールした試験体に、浸透系エポキシ樹脂を流し込み、養生後に曲げ接着強さ試験を実施した。表-4 に試験結果を示す。

環境条件が標準 (23℃) および低温 (5℃) の場合はもちろん、-5℃の氷点下の環境条件においても、曲げ接着強さは JIS A 6024 硬質形エポキシ樹脂の接着強さの規格値 (標準 (23℃) および低温 (5℃) ) を十分に満足する結果であった。

表-3 環境条件

環境条件	作業前養生 (24時間)	接着作業	養生	曲げ接着強さ試験
標準	23℃	23℃	23℃	23℃
低温	5℃	5℃	5℃	5℃
氷点下	-5℃	-5℃	-5℃	-5℃

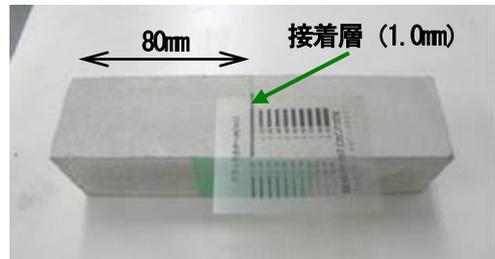


写真-1 試験体

表-4 寒冷地性能試験結果

環境条件	養生期間	曲げ接着強さ (MPa)		
		試験値	規格値	
標準	23℃	7日間	8.6	6以上
低温	5℃	14日間	7.3	3以上
氷点下	-5℃	7日間	8.8	なし
		14日間	9.7	なし

\* 国立大学北見工業大学にて実施

#### 4. 浸透系防水材料（複合防水層）への適用

様々な利点から透水性舗装が全国的に普及し、それに伴い床版防水層の設置が必要不可欠となってきている。既設道路橋での舗装打換などの修繕工事に伴い、床版防水層を設置する場合には、交通規制に伴う施工時間の制約、また既設床版にひび割れが発生している場合の対策などについて、十分に考慮した施工が求められている。

こうしたなか、舗装打換時の床版防水層としては、図-2 に示す構成からなるアスファルト加熱型の塗膜系床版防水層の採用実績が多い<sup>1)</sup>。しかし、近年では、特に積雪寒冷地において、床版の損傷原因である凍害による床版上面のスレーキングに対して、より防水効果が高く、またひび割れ含浸性能を有する浸透系防水材料をプライマーとして適用した複合防水層（図-3）が採用れる場合が増えてきている。

以下では、浸透系エポキシ樹脂を浸透系防水材料へ適用した複合防水層としての品質や施工方法、また床版防水への適用効果について検証した結果を示す。

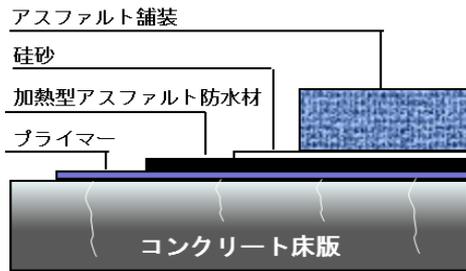


図-2 塗膜系床版防水層（アスファルト加熱型）の構成

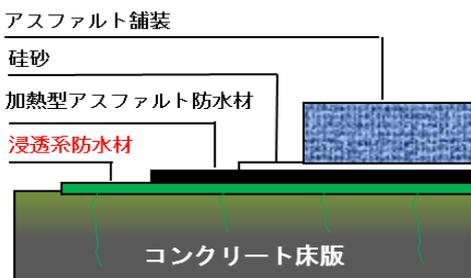


図-3 複合防水層の構成

##### (1) 複合防水層としての品質

「道路橋床版防水便覧（平成 19 年 3 月）」に準じて、（財）土木研究センターで実施した各種試験結果を表-5 に示す。複合防水層としての各種試験は、浸透系エポキシ樹脂と加熱型アスファルト塗膜系防水層との構成（図

-3）で実施した。

各種試験結果は、いずれも合否判定の目安を満足するものであった。

表-5 各種試験結果

試験項目		試験値	合否判定の目安	
防水性試験 I	減水量(ml)	0.0	0.2 以下	
ひび割れ追従性試験 II	ひび割れ幅 (mm)	1.3	0.3 以上	
せん断試験	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	23°C	0.26	0.15 以上
		-10°C	1.3	0.8 以上
	変位量 (mm)	23°C	1.73	1.0 以上
		-10°C	1.8	0.5 以上
引張接着試験	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	23°C	1.01	0.6 以上
		-10°C	2.54	1.2 以上
水浸引張接着試験	水浸前の強度保持率(%)	85.3	50 以上	

##### (2) 施工方法

浸透系エポキシ樹脂の散布は、舗装切削後に床版上の塵埃・油脂をはじめとする付着物をブローなどで取り除いた後、主剤と硬化剤の体積比が 2:1 になるように二液連続計量混合（ギアポンプ及びミキシングブロックを使用）しながら、エアレス式ノズルで散布（0.25kg/m<sup>2</sup>）し、ローラで均す方法である。急速施工が可能のため、これまでの実績では 300m<sup>2</sup>を約 1 時間で散布・均すことができる。その後、加熱溶解したアスファルト防水材を塗布（1.2kg/m<sup>2</sup>）し、直ちに珪砂（表面改質材）を散布（0.7kg/m<sup>2</sup>）する施工である。

##### (3) 床版防水への適用効果の検証

浸透系エポキシ樹脂の床版防水への適用効果の検証は、疲労作用下で防水効果を評価できる小型輪荷重走行試験装置（写真-2）<sup>2),3)</sup>を用いて行った。

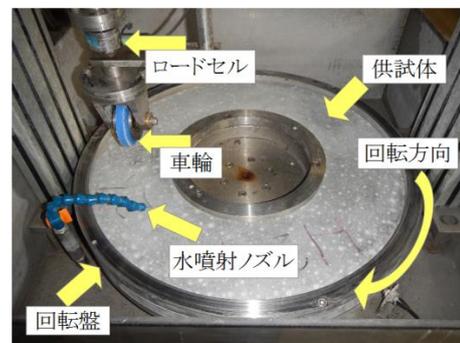


写真-2 小型輪荷重走行試験装置

本装置は、円盤状のモルタル供試体を回転させることにより、直径90mmの車輪によって最大荷重3kNまでの載荷と主軸回転数の制御が可能であり、水張り状態の試験も行うことができる。供試体は外径550mm、内径250mm、厚さ10mmの形状であり、水セメント比を60%として、練混ぜ時において鋼繊維（繊維長30mm）を混入したものである。既往の研究<sup>3)</sup>では、乾燥状態および水張り状態においても、輪荷重走行試験を実施した供試体は、回転数が増加するに伴い疲労破壊に至る走行回数が減少するといった傾向を示し、また同じ回転数で比較すると、水張り状態では乾燥状態の約1/10程度の走行回数で破壊に至る結果が示されている。なお、乾燥状態および水張り状態ともに、供試体の破壊状況は、車輪直下と円周直角方向にひび割れが発生し、最終的に輪走行直下が押抜かれて破壊に至っている。

検証実験は、静的載荷試験によって得られた輪荷重の25%相当の0.6kNに設定<sup>2)</sup>し、回転数は420rpmに固定した。動的載荷（0.6kN、走行回数約2,100回）によってひび割れを発生させた供試体と、ひび割れ無しの供試体について、浸透系エポキシ樹脂塗布（0.25kg/m<sup>2</sup>）の有無による、水張り状態での輪荷重走行試験を実施した。なお、浸透系エポキシ樹脂の塗布は、供試体表面をサンダーにてケレンし、汚れを取り除いた後に行っており、建研式引張試験による供試体と樹脂の付着強度は平均0.77N/mm<sup>2</sup>、全て母材破壊しており、付着性には問題ないことを確認している。

各ケースと、試験開始から各供試体の下面に漏水を確認した時点までの漏水時間との比較を図-4に示す。

ひび割れの有無に関わらず、浸透系エポキシ樹脂を塗布したことにより、漏水時間は樹脂を塗布しない場合に比べ約2倍となっている。つまり、既設床版にひび割れが発生している場合においても、浸透系エポキシ樹脂を塗布することにより、疲労作用下においてひび割れ無の床版と同等以上の防水効果が期待できると考えられる。

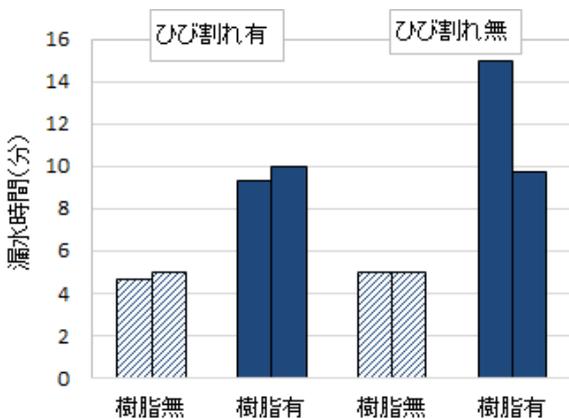


図-4 漏水時間の比較(水張り状態)

また、図-5には、乾燥状態において輪荷重走行試験を実施した供試体の破壊までの走行回数を示す。同図からは、ひび割れの有無に関わらず、樹脂を塗布したことによる耐疲労性の向上はみられない。つまり、浸透系エポキシ樹脂の塗布は、耐疲労性の向上に直接的に寄与するものではなく、水の存在下で水の侵入を防止することによって、間接的に耐疲労性の向上に寄与できるものと考えられる。

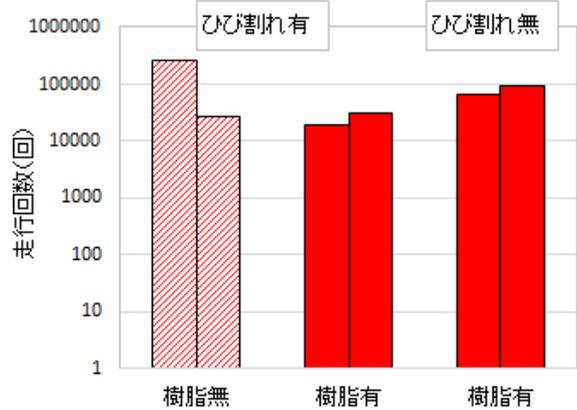


図-5 破壊走行回数の比較(乾燥状態)

## おわりに

低粘度化を図った浸透系エポキシ樹脂の各種試験を実施し、-5℃まで使用できる寒冷地性能、またひび割れ含浸性能について確認した。

この浸透系エポキシ樹脂を浸透系防水材料として適用した複合防水層の品質は、各種試験の規格値を満足し、小型輪荷重走行試験装置を用いた本実験の範囲では、浸透系エポキシ樹脂の床版防水への適用は、樹脂を塗布しない場合に比べて約2倍の防水効果があることが確認された。舗装打換時の床版防水層の設置、特に既設床版にひび割れが発生している場合においては、浸透系エポキシ樹脂の適用効果は大きいと考えられる。現在、この複合防水層の採用、特に浸透系防水材料への浸透系エポキシ樹脂の適用は、北海道などの寒冷地、また西日本においても増加している状況にある。

## 参考文献

- 1) 道路橋床版防水便覧。(社)日本道路協会、平成19年3月、p.61.
- 2) 前島拓也, 子田康弘, 岩城一郎: 小型輪荷重走行試験機を用いたモルタル版の疲労耐久性に及ぼす水と輪走行速度の影響評価, 土木学会第68回年次学術講演会, V-136
- 3) 三浦優人, 子田康弘, 岩城一郎: 高速条件下における水と輪走行速度がモルタル版の耐疲労性に及ぼす影響, 平成26年度土木学会東北支部技術研究発表会, V-7