

# 浸透系エポキシ樹脂による コンクリート補修技術

山内 匡

日本国土開発(株) 土木本部 環境・リニューアル部



-5℃までの低温作業環境で使える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を開発した。この浸透系エポキシ樹脂は、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って、ひび割れ部に含浸して床版補修効果を発揮するとともに、床版表面に樹脂膜による浸透系防水材の層を形成し、塗膜系防水層と併せた複合防水層を構築することができる。

キーワード：エポキシ樹脂，寒冷地，床版防水，浸透系防水材，複合防水

## 1. はじめに

コンクリートのひび割れ補修材料として広く使用されているエポキシ樹脂は、低温時では硬化不良や接着不良の原因となるため、その作業環境は 5.0℃以上が推奨されている。冬期にひび割れ補修工事を行う場合には、施工時期の変更や、また対象構造物の保温（加熱）養生などによって対応する場合がある。当社で所有しているエポキシ樹脂は、-5℃までの低温作業環境で使えるため、冬季の施工においても、既述したような対策を施すことなく、ひび割れ補修工事ができる特長を持つ。

このエポキシ樹脂の粘度は 550mPa・s であり、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のうち、低粘度形に属する。しかし、適用先としては 0.2mm 以上のひび割れ補修や、ライニングのプライマーとしての利用に限られており、0.2mm 未満の微細なひび割れなど、ひび割れの大小に応じた幅広い補修ができるエポキシ樹脂の開発が望まれていた。

本論文では、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、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を可能としたエポキシ樹脂について、その品質や性能、

また塗膜系床版防水層のプライマーに活用することによる浸透系防水材としての機能について述べる。

## 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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 23℃  | 8.3  | 6.0 以上   |
| 硬化収縮率<br>(%)                 | 23℃  | 1    | 3.0 以下   |
| 引張強さ<br>(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) 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℃) 及び低温 (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℃の氷点下で全て実施した (表-2)。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-3 に試験結果を示す。環境条件が標準 (23℃) 及び低温 (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℃) 及び低温 (5℃)) を十分に満足する結果であった。

表-2 環境条件

| 環境条件 | 作業前<br>養生<br>(24 時間) | 接着<br>作業 | 養生  | 曲げ<br>接着強さ<br>試験 |
|------|----------------------|----------|-----|------------------|
| 標準   | 23℃                  | 23℃      | 23℃ | 23℃              |
| 低温   | 5℃                   | 5℃       | 5℃  | 5℃               |
| 氷点下  | -5℃                  | -5℃      | -5℃ | -5℃              |

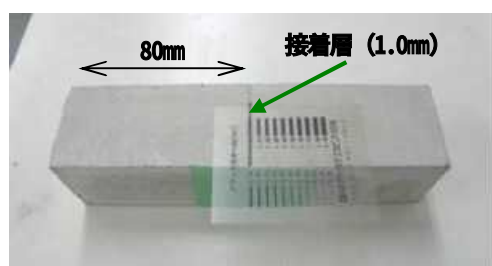


写真-1 試験体

表-3 寒冷地性能試験結果

| 環境条件 |     | 養生<br>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で実施

## (2) 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-4) 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-4 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) 日本塗料検査協会で実施

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 0.1mm 程度と、0.2～0.3mm のひび割れをそれぞれ発生させ、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。

0.1mm 程度、また 0.2～0.3mm のひび割れを発生させたコンクリート平板の塗布面及び塗布後の切断断面をそれぞれ図-1 及び図-2 に示す。

0.1mm 程度のひび割れは、塗布面に近い所までしか目視で確認できなかったものの、浸透系エポキシ樹脂は深さ 10mm 程度まで含浸している (図-1) ことが分かる。一方、0.2～0.3mm のひび割れについては、深さ 25mm 程度まで目視で確認できていたものの、浸透系エポキシ樹脂は断面を貫通する深さ 50mm まで含浸している (図-2) ことが確認された。

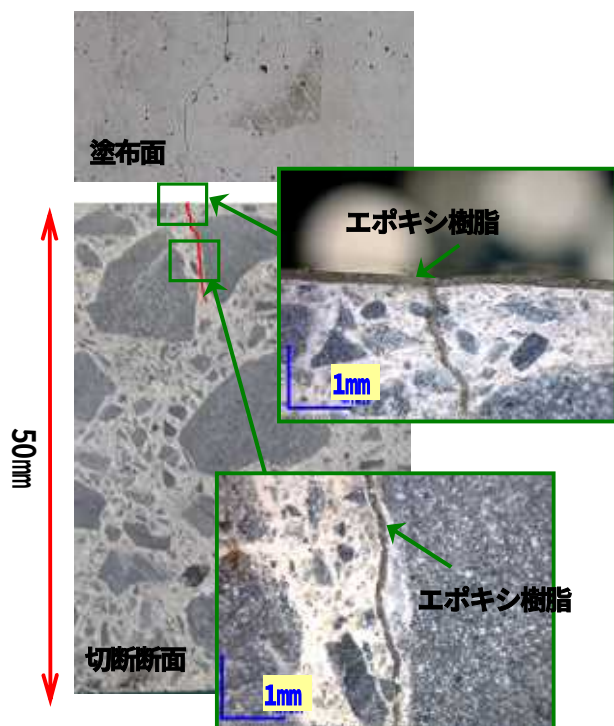


図-1 0.1mm 程度のひび割れへの  
エポキシ樹脂含浸状況

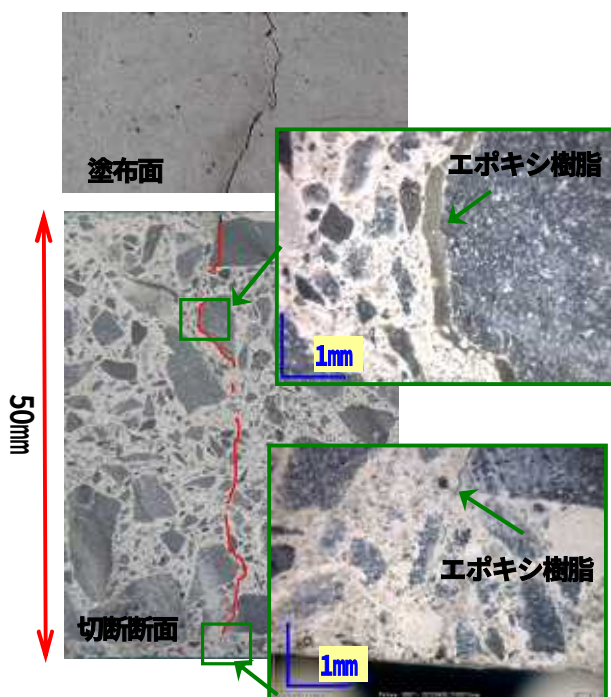


図-2 0.2~0.3mm のひび割れへの  
エポキシ樹脂含浸状況

#### 4. 浸透系防水材（複合防水層）への活用

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。

舗装打換時の床版防水層としては、図-3 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使用実績が多い<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をプライマーとして活用した複合防水層（二重防水層）が施工される場合も出てきている。

以下では、浸透系エポキシ樹脂を浸透系防水材として活用した複合防水層としての品質や施工方法、また施工事例のひとつを示す。

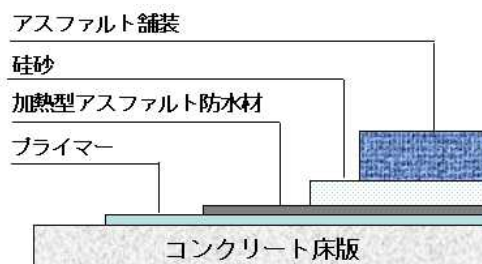


図-3 塗膜系床版防水層（アスファルト加熱型）  
の構成

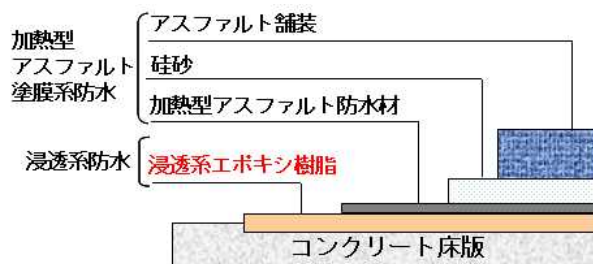


図-4 複合防水層の構成

##### (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-4)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<br>の目安 |         |
|----------------|----------------------------|------|-------------|---------|
| 防水性試験Ⅰ         | 減水量(ml)                    | 0.0  | 0.2 以下      |         |
| ひび割れ<br>追従性試験Ⅱ | ひび割れ幅<br>(mm)              | 1.3  | 0.3 以上      |         |
| せん断試験          | 強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 23℃  | 0.26        | 0.15 以上 |
|                |                            | -10℃ | 1.3         | 0.8 以上  |
|                | 変位量<br>(mm)                | 23℃  | 1.73        | 1.0 以上  |
|                |                            | -10℃ | 1.8         | 0.5 以上  |
| 引張接着試験         | 強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 23℃  | 1.01        | 0.6 以上  |
|                |                            | -10℃ | 2.54        | 1.2 以上  |
| 水浸引張接着<br>試験   | 水浸前の<br>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170m<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(1.5kg/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(図-5)である。

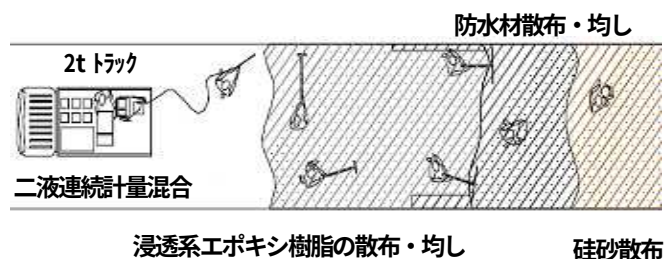


図-5 浸透系エポキシ樹脂による複合防水層の施工状況図

## (3) 施工事例

北海道北見市の清月橋において、浸透系エポキシ樹脂を浸透系防水材として活用した複合防水層の施工事例を紹介する。

施工は2011年11月22、23日に実施され、施工日から1週間の清月橋周辺の平均外気温(図-6)は0.8℃と、一般的に広く使用されているエポキシ樹脂の推奨作業環境5.0℃以上を大きく下回る環境で施工が行われた。

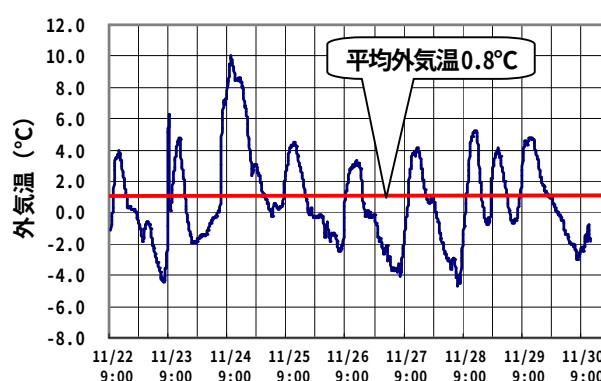


図-6 清月橋周辺の外気温

実施工における複合防水層の接着強度を確認することを目的に、施工日から1週後に図-7に示す方法で引張接着試験を実施した。また舗装切削に伴う凸凹の発生による、接着強度への影響を確認するため、切削面を写真-2(研掃有)のように研掃したケースの施工を行い、その箇所についても同様に引張接着試験(3本/ケース)を実施した。

図-8の引張接着試験結果に示すように、研掃の有無に関らず、また5℃以下の低温環境においても複合防水層の接着強度は全て温度補正後の規格値を満足する結果であった。施工状況を写真-3～5に示す。

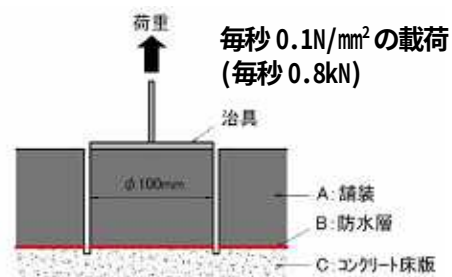


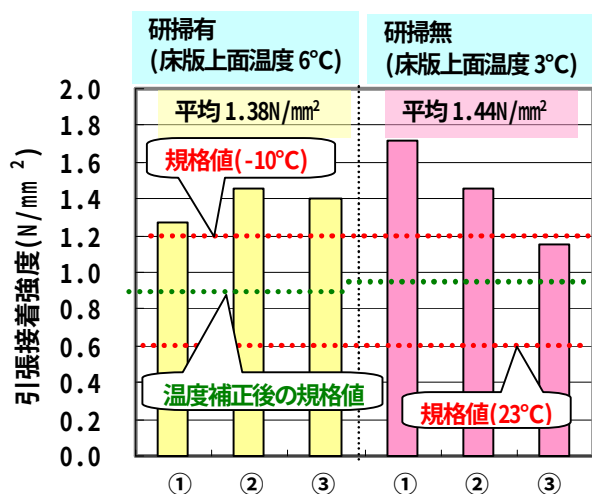
図-7 引張接着試験方法  
(道路橋床版防水便覧より)



写真-2 切削後の既設床版における研掃有無の状況



写真-4 エアレス式ノズルによる散布状況



\* 温度補正後の規格値(N/mm²)  

$$= -0.018181 \times X + 1.0182$$
ここに、X = 床版上面温度(℃)

図-8 引張接着試験結果と規格値との関係



写真-3 浸透系エポキシ樹脂の散布・均し状況

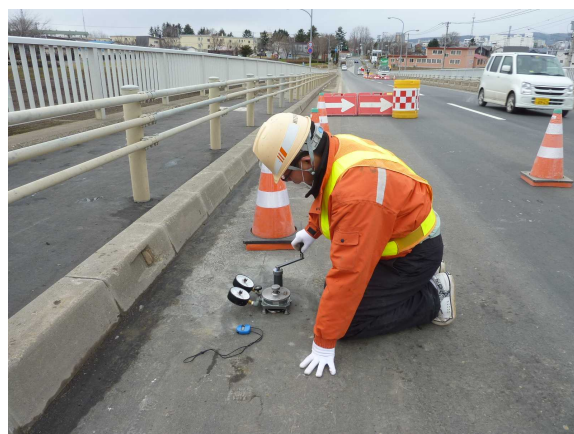


写真-5 引張接着試験状況

## 5. 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として活用した複合防水層の品質は、各種試験の規格値を満足し、実施工においても問題のないことが確認された。現在、この複合防水層の採用は北海道など寒冷地を中心に広がっており、本浸透系エポキシ樹脂の活用も増えている状況である。

なお、本浸透系エポキシ樹脂は【寒冷地用エポキシ樹脂コンクリート補修材「ADOXI380W」】としてNETIS登録（HK-110016-A）されている材料である。

## 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.