

# 高浸透型防水材料による RC 床版の耐疲労性向上効果

(株)NIPPO 技術研究所 ○ 前島 拓  
 首都高速道路(株) 蒲 和也  
 日本大学工学部 岩城 一郎

## 1. はじめに

道路橋鉄筋コンクリート床版(以下、RC 床版)は、交通荷重の繰返しによる疲労に加え、ひび割れへ浸入した雨水が損傷を促進させることで耐疲労性が大きく低下することが知られている<sup>1)</sup>。この対策として、首都高速道路では床版上に防水層を設けており、特にひび割れや遊離石灰といった損傷が見られる床版については、浸透型防水材料と加熱型アスファルト塗膜防水材料を組み合わせた複合防水工法(図-1)を採用している。このうち、浸透型防水材料については、床版表面およびひび割れに浸透して防水層を形成するため、浸透性能が高いほど防水効果が発揮される。そこで蒲ら<sup>2)</sup>は高い浸透性を有する防水材料(以下、高浸透型防水材料)を開発し、現行の複合防水工法に適用している。この高浸透型防水材料は、防水効果のみならず床版に発生したひび割れに充填・接着するという補修効果が期待されるもので、RC 床版を用いた曲げ載荷試験では、高浸透型防水材料の塗布前後で曲げ剛性が約 25%回復する結果が得られている<sup>2)</sup>。このことは本材料の高い浸透性に伴う副次的な効果であると考えられ、損傷が進行する RC 床版の耐疲労性の向上に寄与することが期待される。

そこで本稿では、高浸透型防水材料による RC 床版の補修効果を検討した既往の研究成果をもとに、本材料による RC 床版の耐疲労性向上効果について評価した結果を取りまとめて報告する。

## 2. 高浸透型防水材料の特性<sup>3)</sup>

表-1 に、高浸透型防水材料を用いた複合防水工法の基本性能を示す。なお、試験方法および規格値は首都高速道路(株)の舗装設計施工要領に準拠している。表より、本工法は床版防水に求められる規格値を全試験項目で満足しており、特に浸透性能については試験温度によらず規格値 10mm を大幅に上回っていることがわかる。

また、高浸透型防水材料は、JIS K 6833 に準拠した粘度試験を実施した結果、常温下(20℃)で 19MPa・s、低温下(5℃)で 35MPa・s と、低温下においても低い粘度を保持し得る材料であることが確認されている。

以上より、高浸透型防水材料は低温下においても高い浸透性を有しており、疲労損傷を受けた床版の上面から塗布することで、床版上面のひび割れおよび内部のひび割れまで浸透することが期待できる材料である。

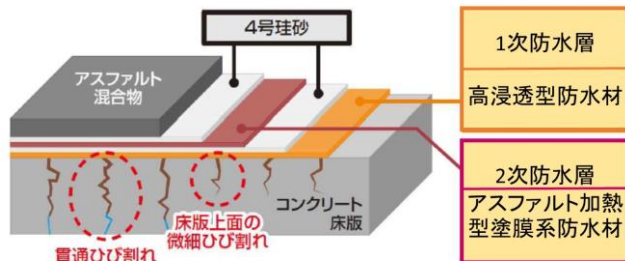


図-1 複合防水工法の構造

表-1 高浸透型防水材料を用いた複合防水工法の基本性能

| 試験項目    | 温度(℃) | 試験値   | 規格値                   |                          |
|---------|-------|-------|-----------------------|--------------------------|
| 防水性試験   | 23    | 0.0ml | 減水量0.2ml以下            |                          |
| 低温可撓性試験 | -10   | なし    | 防水材料の折損が生じないこと        |                          |
| せん断試験   | 強度    | -10   | 3.44N/mm <sup>2</sup> | 0.78N/mm <sup>2</sup> 以上 |
|         |       | 23    | 0.30N/mm <sup>2</sup> | 0.15N/mm <sup>2</sup> 以上 |
|         | 伸び    | -10   | 1.5%                  | 0.5%以上                   |
|         |       | 23    | 3.7%                  | 1.0%以上                   |
| 引張接着試験  | 強度    | -10   | 3.3N/mm <sup>2</sup>  | 1.2N/mm <sup>2</sup> 以上  |
|         |       | 23    | 0.7N/mm <sup>2</sup>  | 0.59N/mm <sup>2</sup> 以上 |
| 引張接着試験  | 強度比   | 23    | 94%                   | 水浸7日後が水浸前の50%以上          |
|         |       | 23    | 100mm                 | 10mm以上                   |
| 浸透性能試験  | 深さ    | 23    | 100mm                 | 10mm以上                   |
|         |       | 5     | 100mm                 | -                        |

### 3. 輪荷重走行試験による耐疲労性向上効果の検討

#### 3.1 実験概要<sup>4),5)</sup>

##### (1) 実験条件

当該研究では、まず実物大 RC 床版供試体を用いた輪荷重走行試験を実施し、疲労限界に達した床版上面から高浸透型防水材料を浸透させ、再度輪荷重走行試験を行うことで高浸透型防水材料の補修効果について検討した。また、試験時における床版上面の水張りの有無をパラメータとし、高浸透型防水材料の塗布前後いずれも乾燥状態で試験を行う気中床版と、塗布前後いずれも水張り状態で試験を行う水張り床版の2ケースについて耐疲労性を比較検討した。

##### (2) 供試体の概要

図-2 に、RC 床版供試体の形状を示す。供試体は、長さ 3,000mm、幅 2,000mm、床版厚さ 160mm の複鉄筋 RC 床版である。主鉄筋と配力鉄筋には各々 D16 と D13(いずれも SD295A)を使用しており、主鉄筋のかぶりは上下面ともに 30mm である。表-2 に、床版コンクリートの配合を示す。なお、輪荷重走行試験開始時における圧縮強度は、気中床版で 33.4MPa、水張り床版で 32.6MPa であった。

##### (3) 輪荷重走行試験の概要

写真-1 に、輪荷重走行試験装置を示す。輪荷重走行試験装置は、モータ及びクランクアームで供試体を載せた台車を前後に 1m 往復運動させる機構であり、実際の大型車両の交通荷重を再現し得る。輪荷重走行試験時における載荷荷重は、基本荷重を 98kN とし、規定の走行回数毎に載荷荷重を 29.4kN ずつ増加させる段階荷重方式を採用した。なお、各荷重における走行実績については、既往の研究式<sup>1)</sup>により 98kN 載荷時の走行回数(以下、等価繰返し走行回数)に換算している。

試験時は、規定走行回数終了時点の活荷重たわみを測定するとともに、床版のひび割れ発生状況を観察した。また、水張り床版については、床版中央 2,250mm×1,400mm の範囲に土手を作製し、常時 5mm 程度の水道水を湛水させた状態で試験を実施した。

#### 3.2 実験結果および考察

##### (1) 活荷重たわみおよびひび割れ発生状況<sup>4),5)</sup>

図-3 に、活荷重たわみ(弾性変形成分のたわみ)と等価繰返し走行回数の関係を示す。ここで、RC 床版の疲労限界状態については、活荷重たわみが急増する状態と定義した。図より、高浸透型防水材料の塗布前における活荷重たわみに着目すると、気中床版では走行回数の増加に伴い徐々に活荷重たわみが増加し、2300 万回で疲労限界に至った。一方、水張り床版では、5 万回までは気中床版と同様の傾向であったが、その後は活荷重たわみの増加が顕著となり、15 万回で疲労限界に至った。なお、水張り床版については、11 万回で床版下面から水の滲出が確認されており、この段階で床版上下面を貫通するひび割れが発生しているものと推察された。

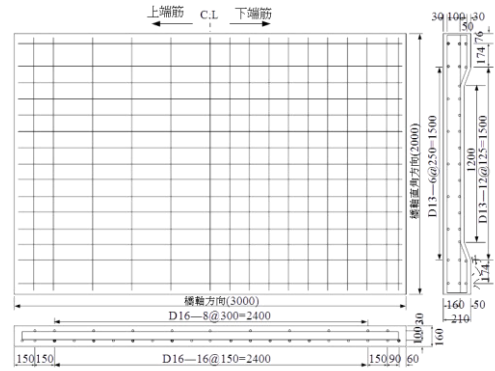


図-2 RC 床版供試体の形状

表-2 コンクリートの配合

| 粗骨材の最大寸法 (mm) | スランプ (cm) | W/C (%) | s/a (%) | 空気量 (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |       |      |
|---------------|-----------|---------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|-------|------|
|               |           |         |         |         | W                       | C   | S   | G 混和剤 |      |
| 20            | 12        | 64.3    | 46.6    | 4.5     | 178                     | 277 | 839 | 1005  | 2.27 |



写真-1 輪荷重走行試験装置

図-4に、塗布前の疲労限界時における床版上下面のひび割れ発生状況を示す。図より、上面では床版間でひび割れの発生形態に差異は見られなかった。しかし、床版に発生したひび割れの最大幅は同図に示すように異なり、気中床版より水張り床版の方が大きなひび割れが発生していた。これは、床版上面の水がひび割れに浸透し、ひび割れのすり磨きを促進させたことでひび割れの幅が大きくなったものと考えられる。また、床版下面におけるひび割れの最大幅についても同様の傾向であった。図-4に示す損傷状態で高浸透型防水材料を塗布した結果、必要な塗布量は気中床版で $0.5\text{kg/m}^2$ 、水張り床版で $0.7\text{kg/m}^2$ であった。水張り床版ではひび割れ幅が大きいことが気中床版よりも塗布量が多くなった要因と考えられる。また、前述した水張り床版で水の滲出が見られた箇所が高浸透型防水材料の滲出も確認された。

塗布前後における活荷重たわみを比較すると、気中床版ではいずれも $2.16\text{mm}$ であったのに対し、水張り床版では塗布前が $2.12\text{mm}$ 、塗布後で $1.72\text{mm}$ と約20%剛性が回復する結果であった。その後は、気中床版では100万回以降に活荷重たわみが徐々に増加し約1000万回で疲労限界に至った。一方、水張り床版では5万回までは活荷重たわみが一定であったが、その後活荷重たわみが増加し、27万回で疲労限界に至った。各床版における高浸透型防水材料による延命効果を塗布前後の疲労限界に至った走行回数の比で表すと、気中床版で43%(塗布後：1000万回/塗布前：2300万回)、水張り床版では180%(塗布後：27万回/塗布前：15万回)であった。

これらのことより、本実験では事後保全的な対策であるものの、高浸透型防水材料がRC床版の延命効果を有する材料であることがわかる。特に、床版上面への水の供給がある条件では延命効果が向上する結果であった。

## (2) 床版下面のひび割れ密度<sup>4)</sup>

図-5に、床版下面に発生したひび割れの密度(ひび割れの総延長/観察対象面積)と等価繰返し走行回数の関係を示す。図より、塗布前のひび割れ密度の推移は、水張り床版では10万回までは気中床版と同様の挙動であったが、ひび割れ密度が小さい状態で疲労限界に至っている。これは、床版上面から水が浸入したことで急激に耐疲労性が低下し、疲労限界に至ったためと考えられる。塗布後は、いず

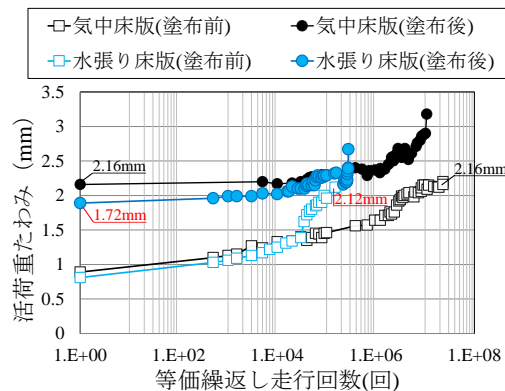
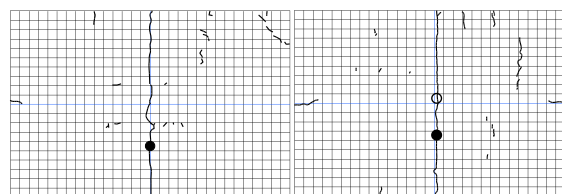


図-3 活荷重たわみと等価繰返し走行回数

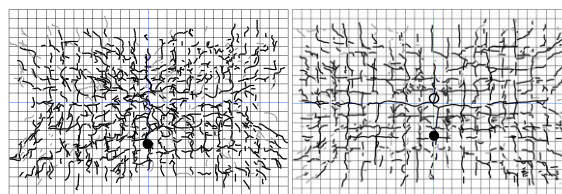


最大のひび割れ幅：0.15mm

(a) 気中床版(上面)

最大のひび割れ幅：3.0mm

(b) 水張り床版(上面)



最大のひび割れ幅：0.35mm

(c) 気中床版(下面)

最大のひび割れ幅：0.6mm

(d) 水張り床版(下面)

図-4 ひび割れ発生状況

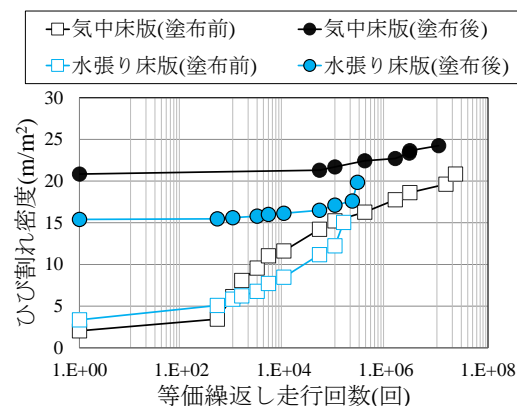


図-5 ひび割れ密度と等価繰返し走行回数

れの床版もひび割れ密度の急激な増加がないまま疲労限界に至っている。これは、気中床版では塗布前の疲労限界時点で多数のひび割れが発生しており、新たなひび割れが発生しにくい状態であったためと考えられる。一方で、水張り床版については、ひび割れ密度が小さい状態で疲労限界に至ったことを踏まえると、高浸透型防水材料を塗布することで新たなひび割れの発生を抑制したものと考えられる。

### (3)高浸透型防水材料の浸透状況<sup>5)</sup>

図-6 に、輪荷重走行試験後に橋軸方向の切断

面で観察されたひび割れ発生状況を示す。図より、いずれも輪荷重走行範囲内において水平ひび割れが確認され、水張り床版では床版厚さ方向のひび割れも多数観察された。写真-2 に、高浸透型防水材料の浸透深さの計測結果を示す。浸透深さは輪荷重走行試験終了後に図-4 中の●位置でφ100mmのコアを採取し、ブラックライトを当てて計測した。写真より、気中床版の浸透深さは上面から30mmであった。これは、塗布時点では、床版上面からのひび割れがかぶり程度までにしか達していなかったためと考えられる。一方、水張り床版ではコアの観察では95mmと深くまで浸透しており、また前述したように高浸透型防水材料の下面からの滲出が確認されていることから、塗布段階で床版上下面を貫通するひび割れが生じており、そこに高浸透型防水材料が充填されたと考えられる。

## 4. まとめ

本稿では、複合防水工法の一次防水層として適用されている高浸透型防水材料について、その材料特性と耐疲労性の向上効果に関する既往の研究成果を取りまとめた。その結果、高浸透型防水材料は、高い防水効果に加えて剛性の回復やひび割れの抑制といった補修効果を有し、道路橋RC床版の延命に大きな効果が期待できる材料であることが示された。また、当該研究<sup>4)5)</sup>では、疲労限界に達した床版に対する事後保全的な対策を施しているにも係わらず、RC床版の耐疲労性向上効果が発揮されている。これは、アスファルト舗装の修繕時に本工法を適用することで、床版の予防保全対策としての効果についても期待できるものと考えられる。今後は、低温下でも優れた浸透性を有する本材料の特性を活かし、積雪寒冷地域で多く見られる疲労損傷と材料劣化の複合劣化を受けたRC床版に対する補修効果および延命効果について検討を進める予定である。

なお、本工法は、首都高速道路(株)、ニチレキ(株)、ショーボンド建設(株)、NIPPO(株)の4者で共同研究開発された工法である。

### 【参考文献】

- 1) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.
- 2) 蒲和也ほか：コンクリート床版の高浸透型防水材料の開発，土木学会年次学術講演会，pp.7-8，2015.
- 3) 蒲和也ほか：コンクリート床版の高浸透型防水材料の開発，第31回日本道路会議，2015.
- 4) 大場智ほか：疲労損傷を受けたRC床版に対する高浸透型防水材料の補修・補強効果に関する検討，土木学会東北支部技術研究発表会概要集，V-17，2017.
- 5) 島野孝則ほか：疲労損傷したRC床版に対する高浸透型防水材料の補修効果に関する検討，日本大学工学部学術報告会講演要旨集，2016.

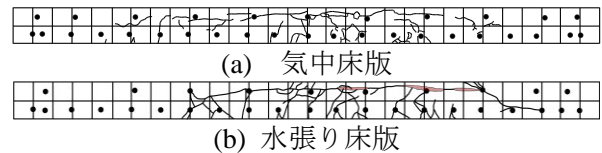


図-6 橋軸方向断面のひび割れ発生状況

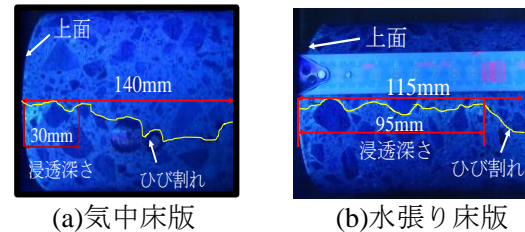


写真-2 採取コアによる浸透深さの計測結果