

## 報告 樹脂注入補修を行った上面増厚床版の追跡調査

後藤 昭彦<sup>\*1</sup>・長谷 俊彦<sup>\*2</sup>・緒方 辰男<sup>\*3</sup>・松本 政徳<sup>\*4</sup>

要旨：橋梁RC床版の劣化対策として、上面増厚工法による補修・補強対策を実施しているが、補強後において、増厚層のはく離及び損傷が発生する場合がある。この場合の再補修工法として、比較的短時間で施工可能な樹脂注入工法が試験的に採用されている。しかし、樹脂注入工法については、その効果及び耐久性について不明な点も多いのが現状である。本報告は、樹脂注入工法により補修して7年を経過した実橋の上面増厚床版において、静的載荷試験、頻度測定及び損傷進行調査等の追跡調査を実施し、その補修効果について補修工事実施時の計測結果と比較し、今後の適用性について検討を行ったものである。

キーワード：RC床版，上面増厚工法，床版再劣化，樹脂注入工法，追跡調査，載荷試験

### 1. はじめに

近年、高速道路の橋梁では、長期にわたる交通荷重及び凍結防止剤などの各種劣化因子の影響により、深刻な老朽化が進行している。その中でも、RC床版は輪荷重による疲労損傷や凍結防止剤による塩害損傷が顕著化しており、補修補強対策の実施事例が増加している。また、床版は損傷に伴う通行安全性への影響が大きいだけでなく、補修補強の際には交通規制等が必要な場合が多く、維持管理上の重要な課題となっている。

NEXCOにおけるRC床版の補修補強工法としては、床版上面増厚工法で補強した実績が多い。近年では上面増厚により補修補強を行ったRC床版において、補修から数年後に床版上面劣化に起因するポットホール等の路面損傷、床版下面の遊離石灰の滲出やコンクリートの浮きやはく離などの損傷が発生している。その原因は、既設床版と増厚コンクリート間で界面はく離が生じ、その後、輪荷重の繰り返しと水の影響により、既設床版のひび割れが急速に進展するものである。

このような損傷に対して、再損傷した上面増厚床版の耐荷力、耐久性の改善と安全性確保のため、増厚層撤去後に上面増厚工法による再施工や部分打替による大規模補修を行うほかに、近年では増厚層を撤去せずに樹脂注入ではなく離損傷部を補修する方法が採用されており、その効果が期待されている。しかしながら、樹脂注入工法は、実施事例も少なく補修後の耐久性については不明な点も多い。

本報告は、上面増厚実施後の損傷対策として樹脂注入補修した東名高速道路の実橋床版について、樹脂注入補修から7年経過後の現地計測調査を行い、樹脂注入補修の施工時の現地計測調査結果と比較し、その補修効果の

持続性を確認するとともに、今後の適用性について検討を行ったものである。

### 2. 調査概要

#### 2.1 調査橋梁の概要と補修経緯

東名高速道路の大井松田～秦野中井 I.C 間に位置する調査橋梁は、橋長 241.5m の鋼 4 径間連続トラス橋である。写真 - 1 に全景を示す。

上り線橋梁では、平成 2～3 年に床版の補強対策として上面増厚工法を採用しているが、その施工後、約 10 年程度で舗装面にポットホールが多数発生する事例が見られるようになった。



写真 - 1 調査対象橋梁

本調査対象橋梁では、平成 14 年に、上り線橋梁において試験的に増厚コンクリート界面への樹脂注入を実施した。実施した樹脂注入の施工範囲及び断面を図 - 1、図 - 2 に示す。樹脂注入工法を適用するにあたっては、実橋から切り出したはく離損傷を有する上面増厚床版に樹脂注入補修を行い、その供試体による輪荷重走行試験によって床版疲労寿命の延命効果を確認している。<sup>1)</sup>

\*1 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 主任研究員 (正会員)

\*2 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 主任研究員 (正会員)

\*3 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 室長

\*4 (社)日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第二部 課長

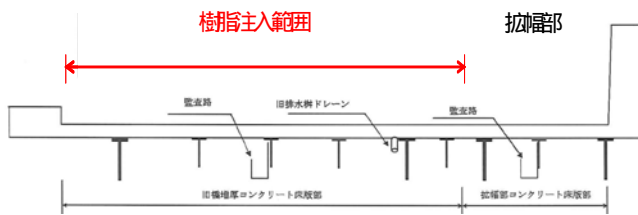


図 - 1 樹脂注入補修範囲



写真 - 3 樹脂注入後の充填状況

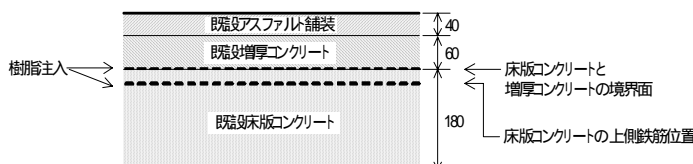


図 - 2 樹脂注入補修断面図

樹脂注入作業は、追越し車線及び第一走行車線については昼夜連続規制が可能であったため、アスファルト切削後に床版面から径 10mm で 100mm の深さに削孔した状態で行い、第二走行車線については夜間みの交通規制であったため、舗装面からの注入とし、舗装厚部分は径 18mm、増厚部分は径 10mm で 140mm の深さを削孔して行った。

また、いずれの場合も注入孔を削孔した後に、エア（圧縮空気注入）による孔内清掃を行い、部分的に増厚界面のコンクリートが砂利化している範囲はエアによる孔内清掃と合わせて水による洗浄も行った。樹脂注入する間隔は、写真 - 2 に示すように各車線において橋軸方向及び橋軸直角方向ともに注水量を管理しながら 1m 間隔で行った。施工後においてコア採取による樹脂充填確認を行った結果、概ね良好な充填状況が確認された。（写真 - 3）

なお、樹脂注入による補修後に、MMA 樹脂を用いた床版防水層も施工した。



写真 - 2 樹脂注入状況

## 2.2 現地計測調査の概要

調査対象橋梁では、樹脂注入工による補修効果を確認するため、平成 14 年の補修工事実施時点に、補修前後において荷重車による静的載荷試験、及び供用下における頻度測定（鉄筋ひずみ、ひび割れ開口変位）が行われ、樹脂注入による補修効果を確認している。

補修から 7 年経過後の追跡調査では、上り線の側径間中央断面を対象として、平成 14 年度と同様に、荷重車（散水車）を用いた静的載荷試験、及び供用下の通行車両荷重を利用した頻度測定（平日 24 時間）を行い、補修効果の継続性について確認することとした。静的載荷試験時の測定位置及び測定断面を図 - 3 に、床版たわみの測定位置を図 - 4 に示す。

また、床版上面の点検ハンマーによるたたき調査及び床版下面の目視による損傷調査を行い、補修後からの損傷の進行状況について確認を行った。

### 【静的載荷試験測定項目】

- 床版たわみ（相対値）
- 鉄筋ひずみ（主鉄筋、配力鉄筋）
- ひび割れ開口変位（橋軸方向、橋軸直角方向）

### 【床版損傷状況調査】

- 舗装面からのひび割れ調査
- 床版下面のひび割れ調査

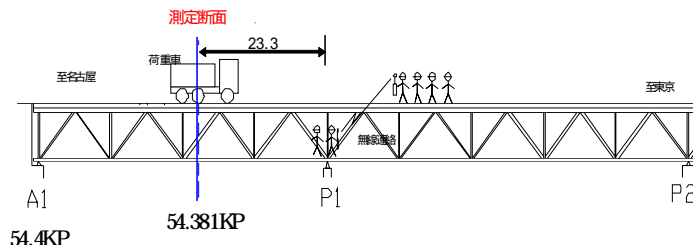


図 - 3 測定断面図

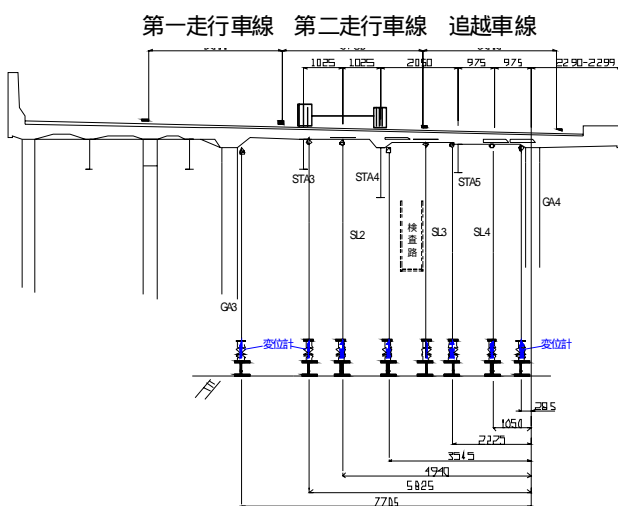


図 - 4 測定位置図

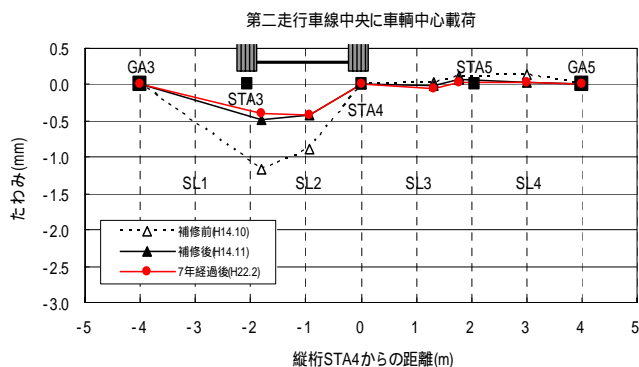


図 - 5 床版の相対たわみ分布

### 3. 調査内容と調査結果

#### 3.1 荷重車による静的載荷試験結果

静的載荷試験は、橋梁上において夜間交通規制を実施し、写真 - 4 のように荷重車の後輪タンデム軸の前軸を測定断面上に載荷して行った。以下に床版たわみ、鉄筋ひずみ及びひび割れ開口変位について測定結果を示す。



写真 - 4 載荷車両

#### 床版の相対たわみ

床版のたわみについては、橋梁上に車両が通過していない状態を初期値とし、荷重車載荷によって発生したたわみ量を測定した。なお、たわみ比較においてはトラス主構両端の上弦材及び中間に位置する縦桁を不動点と仮定し、その中間部各点の実測たわみ量を相対的に計算した「相対たわみ」で比較を行った。

相対たわみについては、最もたわみの大きく発生した第二走行車線中央に載荷したときの樹脂注入補修前・後と、今回の測定値（7年経過後）を図 - 5 に示す。

平成 14 年度の補修時において、床版たわみの減少が確認されていたが、今回の調査においても補修後の床版

たわみとほぼ同等の数値を示しており、7年経過した時点においても床版耐荷力の向上効果が持続していると考えられる。なお、その他の載荷位置における床版たわみについても、若干の変化は見られたものの、ほぼ同様の結果が得られた。

#### 鉄筋ひずみ

鉄筋のひずみについては床版主鉄筋及び配力鉄筋について計測を行い、橋梁上に車両が通過していない状態を初期値とし、荷重車載荷によって発生したひずみ量を測定し、鉄筋応力に換算し比較を行った。

最もひずみの大きく発生した第二走行車線中央に載荷したときの樹脂注入補修前・後と今回の測定値（7年経過後）の主鉄筋応力分布を図 - 6 に示す。

主鉄筋の応力分布は、局所的なひび割れ挙動の影響により、補修後より若干大きな測点も見られたが、載荷直下の測点では、補修前に比べてかなり小さく、補修効果が持続していることがわかる。

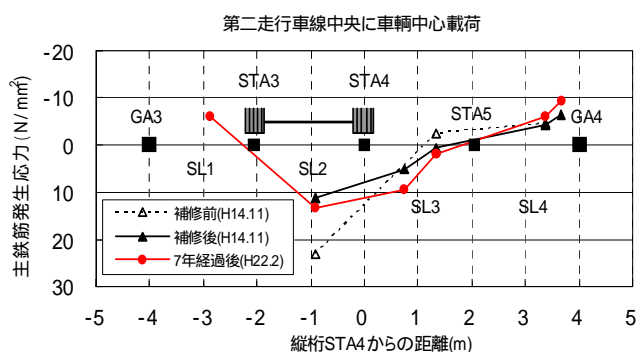


図 - 6 床版の主鉄筋応力分布

配力鉄筋の応力分布を図 - 7 に示す。配力鉄筋の応力では、補修前後で補修前よりも大きくなっている測点も見られたが、補修後と7年経過後の比較においては、ほぼ同等の値を示しており、床版の耐荷性能は持続していると考えられる。なお、その他の載荷位置における配力鉄筋ひずみについても、若干の変化は見られたものの、

ほぼ同等の結果が得られた。配力鉄筋のひずみについては、発生応力が小さいため、局部的なひび割れの影響または測定精度の影響も考えられる。

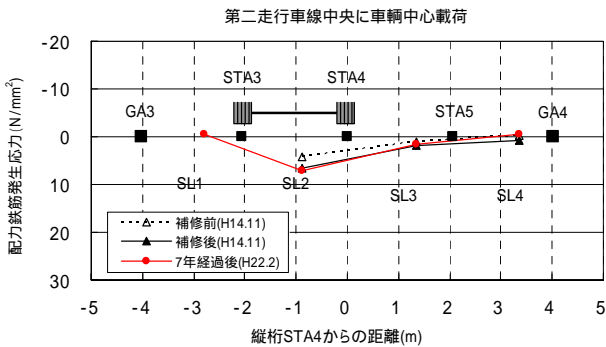


図 - 7 床版の配力鉄筋応力分布

### ひび割れ開口変位

床版下面のひび割れ開口変位についても、橋軸方向及び橋軸直角方向について計測を行い、橋梁上に車両が通過していない状態を初期値とし、荷重車載荷によって発生した変位量を測定し比較を行った。

ひび割れの開口変位を測定したところ、今回調査した中で、最も大きな開口変位は、橋軸方向のひび割れで 0.088 mm、橋軸直角方向のひび割れで 0.024mm であり、いずれも 0.1mm 以下と小さなものであった。

橋軸直角方向（主鉄筋方向）における第二走行車線中央に載荷したときの樹脂注入補修前・後と今回測定値（7年経過後）を図 - 8 に示す。

橋軸直角方向のひび割れ開口変位は、補修後で補修前よりも大きくなっている測点も見られたが、補修後と7年経過後の比較においては、ほぼ同等の値を示している。

全体的には、バラツキはあるものの、平成 14 年度とほぼ同様の測定結果であり、急速な床版ひび割れ進行の可能性は低いと考えられる。

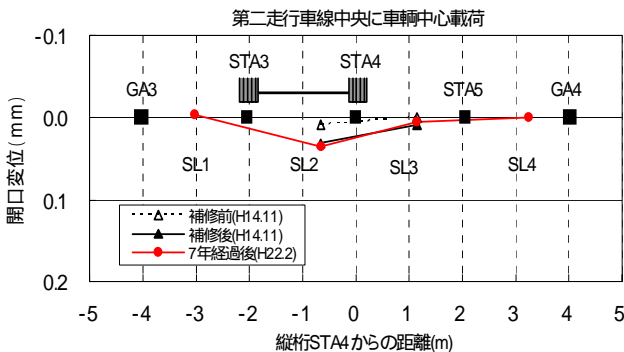


図 - 8 床版のひび割れ開口変位分布

## 3.2 供用下の頻度測定結果

補修・補強による効果を確認する方法として、荷重車

を用いた静的載荷試験では比較できるデータは1つである。これに対し、この頻度測定では、平成 14 年度に実施した頻度測定と同様に供用下での大量の交通量データをもとに比較評価することができる。

頻度測定を実施した当日の 24 時間交通量は、走行台数、大型車混入率ともに平成 14 年度とほぼ同レベルであったことから、実測データを比較する上で問題ない交通量であった。以下に床版たわみ、鉄筋ひずみ及びひび割れ開口変位について測定結果を示す。

### 鉄筋ひずみ

実測値が最大であった既設床版（SL2）の下側主鉄筋に発生するひずみを図 - 9 に示す。図中には、本調査で測定した結果を赤色で示し、平成 14 年度に測定した補修前を黒枠、補修直後を青色で示している。

7 年経過後の主鉄筋ひずみの発生範囲は、図からわかるように、補修直後とほぼ同程度の値を示しており、静的載荷試験結果と同様の傾向が確認された。

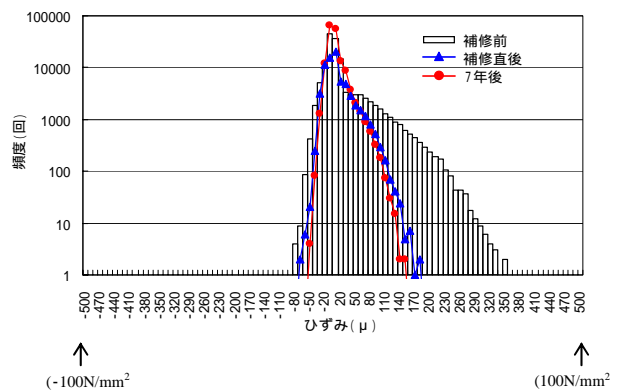


図 - 9 床版主鉄筋応力の発生頻度分布

### ひび割れ開口変位

橋軸直角方向ひび割れの頻度測定結果を図 - 10 に示す。ここで、頻度測定時のひび割れ開口変位は、供用下の車両走行（24 時間測定）によるひび割れの変動幅を表している。

橋軸直角方向ひび割れの頻度測定結果を見ると、床版（SL2）の測点では、補修直後と比べて約 2 倍の開口変位となっていたが、補修前の開口変位と比べると約 1/2 以下の小さなレベルを維持していた。

また、クラックスケールを用いて、頻度測定箇所でも測定した橋軸直角方向の残留ひび割れ幅は、0.10mm ~ 0.20mm の範囲であり、樹脂注入補修前後の測定結果（H14 年度）と比較して、ひび割れ幅の著しい進行傾向は得られなかった。

ひび割れ開口変位の進展レベル及び残留ひび割れ幅の状況から、概ね 7 年前の樹脂注入による補修効果が現在でも発揮していると考えられる。



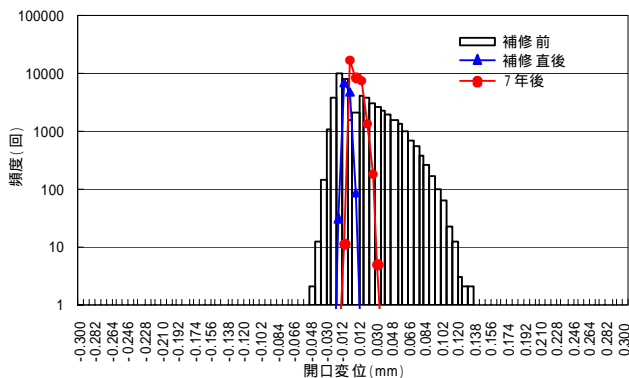


図 - 10 ひび割れ開口変位の発生頻度分布

### 3.3 舗装面からはく離調査

床版内部及び上面増厚コンクリート境界面の浮き・剥離を調査するため、点検ハンマーを用いてアスファルト舗装上面からたたき点検を実施した。ただし、時間的な制約もあったことから、点検ハンマーによるたたき点検の精度ならびにチョークによるマーキングには、ある程度の誤差も含まれていると考えられる。

写真 - 5 に点検ハンマーによるたたき点検状況及びマーキング状況を、図 - 11 に点検ハンマーによるはく離調査結果を示す。



写真 - 5 はく離調査状況

ハンマーを用いて舗装面(調査範囲; 6×6m)からたたき点検を実施した結果、1箇所ではく離が推定された。はく離が推定された箇所は、直径約 1m であり、調査面積の約 2% であり、樹脂注入後における床版はく離は少なく、現段階での補修効果が継続していると推察される。

さらに、図 - 11 に示す交通規制内で全線の追加調査を行った結果、追越し車線の中央分離帯寄りではく離推定箇所が橋軸方向に点在している状況が把握でき、そのはく離率は調査面積全体 (7×30 = 210m<sup>2</sup>) の約 10% であり、床版はく離が進行していると推察された。今回の調査範囲については、補修時の樹脂注入量が少なかった範囲であり、補修前からの浮き及び補修後に樹脂のはく離

が進行した可能性も考えられる。

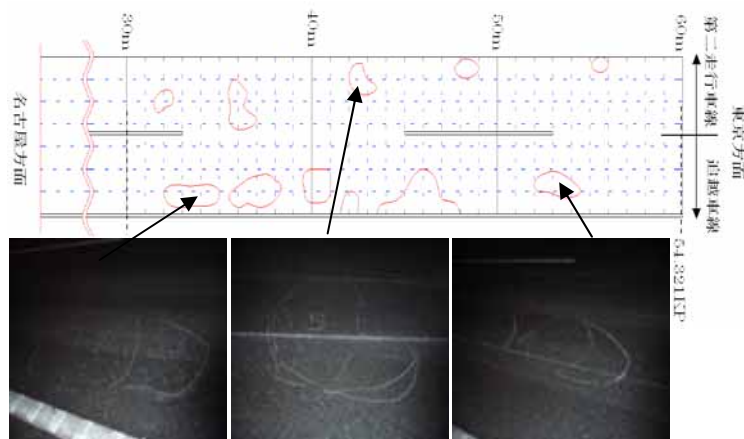


図 - 11 はく離調査結果

### 3.4 床版下面のひび割れ調査

測定断面を含む A1 ~ P1 間において床版下面からの目視調査を実施した。

また、写真 - 6 に示すように、床版下面では亀甲状のひび割れが生じていることが確認されたが、遊離石灰の滲出や漏水跡は確認されなかったことから、既設床版はそれ程劣化が進展していないものと推察され、既設床版防水工が現在でも機能しているものと推察される。



写真 - 6 床版下面状況

床版下面のひび割れ状況について図 - 12 に示す。静的載荷試験を行った第二走行車線と追越し車線を跨ぐパネルのひび割れ密度は 8.66m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>、追越し車線のパネルは 6.98m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>であった。平成 14 年度の調査精度が不明のため、本調査時との比較が難しいが、ひび割れ密度の増加が大きい箇所は、前述の静的載荷試験時の床版たわみがやや増加している箇所と合致している傾向が見られた。

全体調査の結果、部分補修痕において、ひび割れ及び漏水している箇所もあった。

以上のように、ひび割れ密度は平成 14 年度からある程度増加していることが確認された。しかしながら、本

調査の結果からは一般的に使用限界状態と言われる  $10 \text{ m/m}^2$  以下であり、遊離石灰の滲出や漏水跡も見られないことから、床版の損傷進行速度は小さいものと推察される。

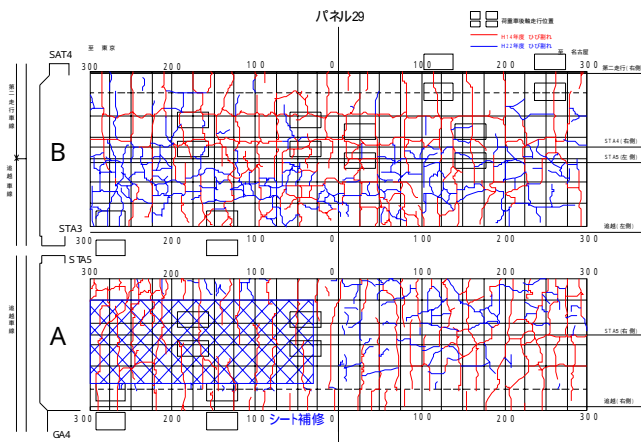


図 - 12 床版下面ひび割れ状況

#### 4. 調査結果とまとめ

実橋での静的載荷試験及び供用下での頻度測定により、床版の相対たわみ分布、鉄筋ひずみ、ひび割れ開口変位量を、樹脂注入による補修直後と7年経過後で比較した結果、以下のことが確認できた。

静的載荷試験の結果、床版の相対たわみ分布は、補修直後と7年経過後ともに、最大たわみが  $0.5 \text{ mm}$  程度で、その分布形状も同じ状態であったため、床版剛性としては、補修後の状態が維持されていると考えられる。

鉄筋ひずみの計測値より求めた床版の主鉄筋応力では、局所的なひび割れ発生の影響により若干の増加が認められているが、その増加量は  $2 \sim 3 \text{ N/mm}^2$  と小さく計測誤差の範囲と思われる。

ひび割れ開口変位量の計測値も、補修直後と7年経過後ともに最大変位量は橋軸方向で  $0.088 \text{ mm}$ 、橋軸直角方向で  $0.024 \text{ mm}$  と小さく、いずれも  $0.1 \text{ mm}$  以下の幅を維持していた。

供用下での頻度測定の結果、鉄筋ひずみの発生頻度分布については、補修直後と7年経過後で大きな変化がな

かった。また、ひび割れ開口変位量の発生頻度分布では、約2倍の変位量の進展が確認されたものの、その変位量は補修前の値に比べるとまだ小さく、床版ひび割れに対する補修効果を維持していると言える。

計測調査を実施した箇所において、舗装面からはく離点検を実施した結果では、はく離が推定された範囲は、樹脂注入を実施した対象面積の約2%程度であり、効果を維持できていると推定される。

床版下面のひび割れ調査では、樹脂注入補修後に7年経過した時点で、ひび割れ密度は、若干進展しているものの遊離石灰の滲出や漏水の変状が発生していないことから、劣化の進行程度は大きくない。

#### 5. おわりに

上面増厚床版の樹脂注入工法の採用に当たっては、「増厚床版補修検討会（座長：松井繁之 現大阪工業大学教授）」を設置し、比較的短時間で施工可能な補修工法として適用性の検討が行われたものである。

その成果として、施工後7年経過後の実橋追跡調査で、樹脂注入による補修効果が持続していることが確認された。この効果は、防水層施工が施工されている効果も考えられるが、今後、再劣化した上面増厚床版の一定期間の延命化を図る場合の補修工法としては、十分有効な手法と考えられる。このような成果を踏まえ、今後においても、長期耐久性を検証するため、載荷試験を含めた追跡調査を継続することは有用であると考えられる。

今後の課題としては、実際の現場の施工では、樹脂注入を行う際ははく離部分の清掃や洗浄の方法について、現地技術者の個別判断で実施している状況であるため、再劣化の状態に応じた施工方法の実施要領を整備する必要があると考えられる。

#### 6. 参考文献

- 1) 久保真一，藤井政幸，宮坂芳治，松本政徳，板坂友彦：損傷した道路橋床版の補修方法に関する一考察，土木学会第58回年次講演会，2003.9