

既設RC床版の打換を含めた補修・補強の現状と課題

Recent considerations of repair, strengthening and replacement of existing RC slabs

佐藤辰巳¹, 本間雅史², 堤下隆司³, 伊原 茂⁴, 佐々木一則⁵,
志水公敏⁶, 八木滋弘⁷, 上阪康雄⁸, 小林 朗⁹, 師山 裕¹⁰

Tatsumi SATO, Masashi HONMA, Takashi TSUTSUMISITA, Shigeru IHARA, Kazunori SASAKI,
Kimitoshi SHIMIZU, Hiroaki NAKAYAMA, Yasuo KOSAKA, Akira KOBAYASHI, Yu MOROYAMA

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ¹ パシフィックコンサルタンツ(株) 事業統括本部 | (〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 新宿第一生命ビル) |
| ² (株)ドーコン 東京支店 技術部 | (〒105-0013 東京都港区浜松町2-6-2 藤和浜松町ビル) |
| ³ 修成建設専門学校 土木工学科 | (〒555-0032 大阪府大阪市西淀川区大和田 5-19-30) |
| ⁴ 首都高速道路株式会社 建設管理部技術管理室 | (〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 日土地ビル) |
| ⁵ 阪神高速道路株式会社 技術管理室 | (〒541-0056 大阪府大阪市中央区久太郎町 4-1-3 大阪センタービル) |
| ⁶ 名古屋高速道路公社 計画部 技術管理室 | (〒460-0002 名古屋市中区丸の内 2-1-36 NUP・フジサワ丸の内ビル) |
| ⁷ 福岡北九州高速道路公社 保全部 | (〒812-0055 福岡市東区東浜 2-7-53) |
| ⁸ コサカ設計・アソシエーツ | (〒146-0092 東京都大田区下丸子 4-21-15-907) |
| ⁹ 日鉄コンポジット(株) 技術部 | (〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町 3-8 小原ビル) |
| ¹⁰ 石川島播磨重工(株) 基盤技術研究所 | (〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1) |

Deterioration of RC slabs of highway bridges which were designed with the road bridge specifications of time before 1964, has become a serious issue in Japan. Many deteriorated RC slabs had been strengthened by such as steel plate bonding method, carbon fiber sheet bonding method and upper surface overlaying method. The deterioration mechanism of existing non-strengthened RC slabs has already been made clear through the experiments of wheel running tests. But many RC slabs have already been strengthened by these methods, so the establishment of maintenance technique of strengthened slabs has become a very important issue. Until now several inspection methods for strengthened RC slabs such as an ultra sonic method, an infrared thermography method, and/or a falling weight deflect meter method, etc, have been investigated. For strengthened RC slabs, the deterioration index which is calculated with slab deflections had been proposed by the research committee on road bridge slabs (JSCE). The relationship between the deterioration index with slab deflections and fatigue damages of the RC slabs which had been strengthened with carbon fiber sheets was investigated using wheel running test. As a result, it was suggested that the deterioration index with slab deflection is applicable even for strengthened RC slabs.

Key Words : RC decks, fatigue, effect of repair, maintenance, deterioration index

1. はじめに

昭和39年鋼道路橋設計示方書(以下道示)で設計されたRC床版は、鉄筋量および床版厚の不足、また、近年の車両の大型化および交通量の増大等に起因する床版コンクリートの抜け落ち等の損傷事例が報告された。これが契機となり、RC床版の損傷機構の解明や損傷対策に関する調査研究が盛んに行われた。構造物の補修・補強では、損傷原因の特定やメカニズムの解明が重要であり、原因の解明が不十分なまま補強を行った場合には、その対策が十分であったかどうかの確認は得られず、不測の事態を招く恐れもある。

RC床版の損傷原因が疲労現象であるということは比較的容易に推測されたが、実橋床版の破壊現象や疲労寿命の説明は困難であった。しかし、輪荷重走行試験の実施により、従来、説明が困難であった床版の損傷メカニズムは、ほぼ解明されたと考えられている。一方、昭和39年道示以降、示方書の変遷に目を向けると、床版の設計曲げモーメントの基本式は昭和48年道示で改訂され、現平成14年道示にも適用されている。現在、昭和48年道示以降に設計され

たRC床版についての疲労損傷事例はほとんど報告されていないが、供用後30年以上経過する床版が今後増加していくことから、今後は経年劣化も含めて疲労損傷が生じることも考えられる。したがって、今後の課題としては、昭和39年道示を適用して設計したRC床版の疲労劣化に対する従来の健全度判定を昭和48年以降の道示で設計された床版に適用することの妥当性について検討する必要がある。

また、補強済のRC床版については、疲労劣化が進んだ段階で補強対策が実施されることから、劣化状態により補強効果が大きく異なる可能性がある。補強後の点検においても、一部の機関を除いては具体的な方法が定められていないことに加え、補強後のRC床版は「補強することによって健全な状態に回復した」として、健全な床版と同等の疲労耐久性を有しているものとして取り扱っているのが現状である。しかし、補強済RC床版は一度損傷を受けており、健全な床版と比較して疲労耐久性が低下しやすい構造特性を有しているため、補強後のRC床版もきめ細かな点検を実施しなければならない。

2. RC床版の損傷と破壊メカニズム

RC床版の疲労劣化の進行過程は表-1に示すように、昭和39年道示で設計されたRC床版の疲労損傷に関する調査研究を踏まえて、疲労劣化の進行の概念がまとめられている。しかし、昭和48年以降の道路橋示方書で適用されたRC床版では、床版厚の増加、鉄筋許容応力度の制限、配力鉄筋量の増加等により、疲労耐久性が向上しているため、劣化の進行過程が昭和39年道示で設計されたRC床版と異なっている可能性がある。したがって、このような劣化進行の概念を、床版下面の損傷状態と対応させて、健全度判定を行うことの妥当性について検討する必要がある。このように、昭和48年以降の道示で設計された床版の健全度評価は、輪荷重走行機による室内実験、損傷事例調査等を踏まえて、従来の評価方法における妥当性について見直すことが必要となる場合も考えられる。なお、既往の知見により床版の疲労による劣化と性能低下の概念は図-1、床版の疲労の劣化進行過程は表-2のように整理することができる。

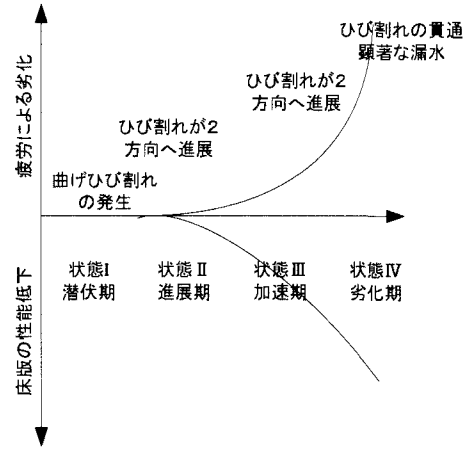


図-1 鉄筋コンクリート床版の疲労による劣化と床版の性能低下¹⁾

表-1 RC床版の損傷機構

Step-1 並列梁構造	Step-2 二方向曲げひび割れ	Step-3 ひび割れ網細化、貫通	Step-4 サイコロ状ひび割れ	Step-5 床版の陥没
床版コンクリート硬化にともなう乾燥収縮により橋軸直角方向に貫通したひび割れが大きな間隔で発生	輪荷重により縦横のひび割れが増加。二方向にひび割れた板は、せん断剛性、ねじり剛性が低下	輪荷重により床版上面ではねじりモーメントによって橋軸直角方向にひび割れが発生し、下面から発生したひび割れとつながり貫通し梁状化	貫通したひび割れ面のすり磨きや浸透水による石灰分の流出により、ひび割れが拡大し、せん断抵抗を失う段階	低下した押し抜きせん断強度を超える輪荷重により床版が抜け落ち(陥没)

表-2 道路橋の鉄筋コンクリート床版の疲労の劣化進行過程¹⁾

劣化過程	定義	劣化進行に影響する要因
潜伏期 (状態I)	乾燥収縮もしくは載荷による。主筋に沿った一方向ひび割れが数本程度確認できる段階。主筋の拘束条件によっては乾燥収縮や主筋温度変化による橋軸直角方向のひび割れが進行することもある。	適用した設計基準 床版厚・配力鉄筋量 床版支間長 施工
進展期 (状態II)	主筋に沿った曲げひび割れが進展するとともに、配力筋に沿う方向のひび割れも進展し始め、格子状のひび割れ網が形成される段階。外観上ひび割れの密度の進行は著しいが、鉄筋コンクリート床版の連続性は失われていない。	乾燥収縮 使用条件 交通量・車両重量 走行位置
加速期 (状態III)	ひび割れの網細化が進み、ひび割れ幅の開閉やひび割れ面のこすり合わせが始まる段階。ひび割れのスリット化や角落ちが生じるとコンクリート断面の抵抗は期待できないので、鉄筋コンクリート床版の耐力は急激に低下し始める。	上記に加えて環境条件 浸透水の影響 実施してきた対策 床版防水工の有無 補修・補強の有無
劣化期 (状態IV)	床版断面内にひび割れが貫通すると床版の連続性は失われ、貫通ひび割れで区切られたはり状部材として輪荷重に抵抗することになる段階。貫通ひび割れの間隔やコンクリート強度、配筋量などが部材としての終局耐力に影響するだけでなく、雨水の浸透や鉄筋腐食などにも配慮する必要がある。	上記すべて

3. 床版の点検方法

3.1 下面からの点検方法

(1) デジタルカメラによる点検

従来、補強済み床版の一次点検は、取付部材からの漏水や遊離石灰の流出、腐食やはがれ等を双眼鏡等を用いた目視で検出するのが通常である。しかし、目視による点検では、点検員の熟練度や技術力の差異により判定結果にばらつきが出ることも少なくない。そこで従来の目視点検に変わる一方法として、デジタルカメラの画像を用いてひび割れ位置を情報化する点検手法が開発された。点検においては、調査したいひび割れ幅、撮影画角の関係を撮影前に確認する必要がある。計測方法としては、床版表面のひび割れ、遊離石灰、補強鋼板の腐食等の損傷をデジタルカメラで撮影し、画像支援ソフトを使用してRC床版の損傷図を作成する。

(2) 赤外線計測

赤外線による点検は、床版下面から放出される熱赤外線を、検出素子を用いて二次的に走査し、検出された赤外線量を映像として表示する方法である。床版下面に浮きや空洞が存在する場合には、熱伝導率、比熱等、熱的性質が健全部と異なり、その違いは温度や日射等によって生じる構造物の温度変動の中で表面温度の差となって現われる。補強済み床版においては、床版下面と補強部材の間にはく離等の空隙があると、この空隙が大きな熱抵抗を持つため、外部から熱が与えられた場合、はく離部と補強材の間に温度差が生じ、これを熱赤外線検出することができる。赤外線による検出においては、外気温の変化や日光の輻射を利用するパッシブ熱源法と、外部熱源を利用して構造物を過熱して温度差を生じさせるアクティブ熱源法がある。

床版コンクリートの欠陥部は、赤外線法によって表面の温度差を感知し、その部分に浮きまたははく離があるものとして評価される。また、現状の技術では、欠陥や空隙の深さを推定することが難しい。検出精度は、検出対象欠陥の大きさにもよるが、構造物表面から50mm程度が限界であるといわれている。また、気象条件や加熱条件に左右されることも多い。

(3) 打音検査

打音検査は、定期点検時等に足場や橋梁点検車を利用して床版下面に近接可能な場合に、ハンマーなどにより床版下面をたたいて、その発音音から床版のはく離や空洞を検出する方法である。補修済みの鋼板接着床版においては、鋼板のたたき点検時の不良音によって、鋼板のはく離状況について確認できる。したがって、補強材とコンクリート間の空隙がほとんどなく接触している場合でも、はく離部で異音が発生し、はく離を検出することが可能である。

打音法の計測原理は弾性波法の1種であり、この計測原理は、ハンマーなどの打撃によりコンクリート中に弾性波を発生させ、この弾性波がコンクリート表面から空気中に放出されて生じた音波を測定する。また、健全部とはく離

部は、オシロスコープから打撃波形を比較分類することによって検出することができる。打撃波形は圧力素子や加速度計をヘッド部に内蔵したインパルスハンマー等を利用して、打撃音をマイクロフォンにて集音する。

(4) 超音波法

超音波法とは、使用周波数が20kHz以上の超音波域と呼ばれる周波数帯を主に使用し、発振子からシリコングリース等の接触剤を介してコンクリート中に発射された超音波を受振子で測定する方法である。比較的高い周波数を使用するため、コンクリート中の伝播距離は1.5~2.0m程度である。そのため、一般的には床版全体の評価ではなく部分的な損傷（ひび割れ深さ測定、内部欠陥測定）を対象に適用される手法である。

(5) 衝撃弾性波法

衝撃弾性波法とは、ハンマー等でコンクリート表面に打撃を加えてコンクリート表面に瞬時の変形を与えることで発生する波（衝撃弾性波）がコンクリート中を伝播した時の振動応答を調べることによって、コンクリート内部の情報を間接的に得る方法である。同種の方法で一般的なものが前述の超音波法である。超音波法は、20kHz以上の周波数を使ってコンクリート中に伝わる波の伝播特性によって内部の状況を調べる手法に対して、衝撃弾性波法は打撃方法にもよるが主に0~20kHzの周波数領域を持った比較的低周波数の波を使用する。コンクリートの場合、金属材料と異なり材質的に不均一なため超音波の減衰が大きくなるのに対して、衝撃弾性波法の場合は、減衰の小さい低周波数の波を使用し、大きなエネルギーをコンクリートに与えることができるため、より遠くまで伝播させることができる。このため、おもにコンクリート杭のような長いコンクリート部材の探査に利用されることが多い。

3.2 上面からの点検方法

(1) FWDによる計測

床版上面に現れる損傷としては、一般に舗装面に現れる貫通ひび割れや陥没の前兆となる舗装面の窪み（鳥巣状のパッチング跡）、床版上面コンクリート部の砂利化現象などがある。これらは陥没や劣化の指標となるが、舗装単体の劣化や損傷の可能性もあるため、床版下面の状態も合わせて確認しなければならない。従来、床版たわみは、荷重車を用いた載荷試験によって評価してきたが、FWD（フォーリングウエイトデフレクトメータ）は舗装の動的たわみ測定機のひとつであり、床版上面からたわみ量を測定して構造評価する新しい点検手法である。また、現行の載荷試験に比べ簡便で安価に大量のデータを取得することができるため、新しい調査法に発展する可能性を有している。

4. 床版の診断

床版の健全度判定は、道路管理に関わる公共機関の多くがひび割れによる健全度判定を採用している。健全度評価に関わるひび割れの幅は、表-3 に示すように0.1mm～0.2mm に設定されている場合が多い。

ひび割れ幅以外の指標としては、ひび割れの間隔、方向、密度 (=1mあたりのひび割れ長さ: m/m²) が採用されており、旧日本道路公団の判定標準ではひび割れからの遊離石灰の析出の有無が重要視されている。

特に、ひび割れ密度を用いた評価手法では、既往の調査・研究において、ひび割れ密度と床版の劣化度合いの間に有意な関係が見出されており、この成果に基づいた閾値を設定して床版の管理を行っている機関もある。

しかし、既往の調査・研究において対象となった床版は補修を受けていないRC床版で、下面からひび割れ状況の調査が可能であったものに限定されているため、下面に補強材が配置されるような場合は評価ができなくなるなどの問題点があることがわかっている。また、RC床版以外のコンクリート系床版 (PC床版、鋼・コンクリート合成床版) においてはひび割れの発生状況の確認が困難であり、ひび割れ発生状況が異なると考えられることから、これまでRC床版に適用してきた手法をそのまま当てはめることは適切でないと考えられる。

このため、床版のたわみを指標に用いる方法が着目された。床版はその構造的特徴からいくつもの種類に分類されるが、それぞれの床版形式によって、変形の大小や許容される変形量に大きな差がある。床版の健全度評価において、車両が床版上を通過する時の変形に着目する場合、一般にはその絶対量で評価することができない。このため、床版の変形量を評価する際には、その値を基準化するための指標が必要となる。そのために用いられる指標として劣化度が提案されている。

劣化度とは、供用されている床版の劣化状況を表す指標として松井³⁾より提案された指標である。この指標は次の式により定義される。

$$D = \frac{\delta - \delta_0}{\delta_c - \delta_0} \quad (1)$$

ただし、 D : 劣化度 ($0 \leq D \leq 1$)

δ : 床版中央におけるたわみ (実測値)

δ_0 : 全断面のコンクリートを有効とみなした時の床版中央におけるたわみ (計算値)

δ_c : 引張側コンクリートを無視した時の床版中央におけるたわみ (計算値)

劣化度 D はその定義からも明らかなように、健全である場合には0に近づき、劣化が進み、使用限界に近い状態に至ると1に近い値をとると考えられている指標である。

この劣化度が1を超過した場合には、床版の劣化が急激に進み、押しぬきせん断破壊が発生する危険性が極めて高くなることも知られている。劣化度を求める際に使用する床版たわみの測定値は主桁との間の相対たわみである。

表-3 各機関の損傷度判定に用いるひび割れ幅

機 関	損傷度判定に用いられるひび割れ幅
国土交通省	0.05mm以下～0.1mm～0.2mm以上
北海道開発局	0.1mm以下～0.3mm～0.4mm以上
東京都建設局	0.2mm以下～0.5mm以上
旧日本道路公団	—
首都高速道路株式会社	0.1mm
阪神高速道路株式会社	0.1mm～0.2mm程度

劣化度 D

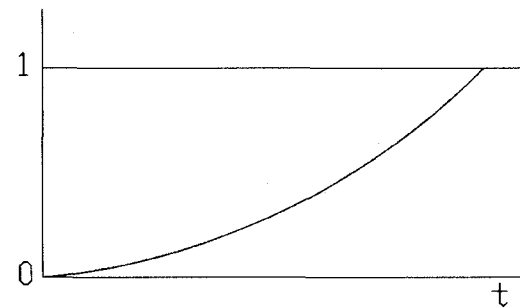


図-2 劣化度のイメージ

RC床版における劣化度は輪荷重走行試験機を用いた疲労試験によれば、図-2 に示すように変動する。変動は単調増加であり、この指標を的確に評価することができれば評価対象床版の健全性や残存耐久性などを推定することが可能である。

また、劣化度を求めるために必要な δ_0 や δ_c を計算する際には、できるだけ実際の値を把握して行うことが重要であり、特に床版に使用されているコンクリートに関する物性値に関しては現場から採取されたサンプルから求められる値を使用することが望ましい。

現在、コンクリート系床版の維持管理において、劣化の程度が著しいと認められた場合、何らかの補修・補強工法により対策がなされるのが一般的である。このときに用いられる工法は結果として床版を大幅に強化し、その結果としてたわみやひび割れの発生量をかなり小さくすることがわかっている。この場合、補強材を顧慮しないたわみの計算値を用いた一般的な方法で評価を行うと劣化度の値が

負となり、劣化度が定義されている範囲 ($0 \leq D \leq 1$) を外

れてしまうことが起こってしまう。さらには、補修・補強作業に際して取り付けられた補強材の影響により、床版の破壊機構や許容される最大変形量に変化が生じる可能性が高いことから、 $D=1$ となった時点を使用限界と定義することが困難になることが想定されている。

そこで、補強済み床版に対しては、追加補強材や増厚コンクリートを考慮した補強後の断面に対して式 (1) の δ_0 と δ_c を算定し、補強後の床版の劣化度を定義することが提案されている⁴⁾。

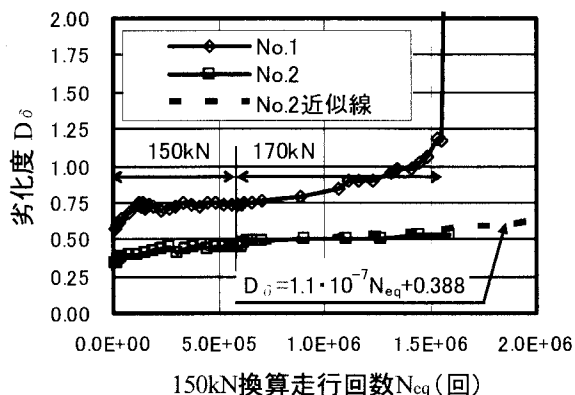


図-3 劣化度と走行回数関係⁶⁾

炭素繊維シート格子接着工法により補強されたRC床版の輪荷重走行試験を行い、その劣化度を上述の方法により評価した例が報告されている⁶⁾。図-3は、輪荷重の換算走行回数と劣化度の変化を示したものである。ここで補強済み床版の劣化度は、炭素繊維シートを引張補強材として考慮して計算した理論たわみを用いて算定している。炭素繊維シートの補強量が少ないNo. 1 供試体（補強材の引張剛性30 kN/mm）は、補強直後の劣化度が約0.5であり、その後載荷回数の増加に伴って劣化度が徐々に増加し、劣化度が1.0を超えると急激に増加し、床版コンクリートの押抜きせん断により破壊に至った。炭素繊維シートの補強量の多いNo. 2 供試体（補強材の引張剛性45 kN/mm）は、No. 1 に比べて劣化度の増加傾向は緩やかである。したがって、劣化度が1.0に達するまでにはかなりの回数を要することが予想できるため、破壊せずに終了した。このように炭素繊維シート接着工法により補強したRC床版は、炭素繊維シートを補強材として考慮することにより、式(1)を用いて床版の劣化度を評価することが可能である。また、劣化度1.0を使用限界寿命とみなすことが妥当であることも報告されている。

5. 従来の道路橋床版における補修・補強工法

道路橋床版の補強は当初、鋼板接着工法および縦桁補強が主に用いられていた。その設計手法は日本道路協会補修便覧、旧建設省近畿地方整備局（マニュアル）、各機関の設計基準（旧日本道路公団、阪神高速道路株式会社、首都高速道路株式会社）などに示されている。ここでは、既設床版の代表的な補修・補強工法の概要を述べるとともに、損傷状況と補修・補強工法の適用に関して整理する。

5.1 補強工法の概要

(1) 鋼板接着工法

鋼板接着工法は、床版下面に4.5mm程度の鋼板をホールインアンカーで固定し、エポキシ樹脂を注入して既存の床版と一体化させる工法であり、鋼とコンクリートの合成効果により、活荷重に対して床版の耐荷力が向上する。一般には、鋼板を50cm程度の間隔のホールインアンカーで床版下面から5mm程度の間隔を保持した状態で固定し、その

表-4 既設床版の補修・補強工法

補修	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れへの樹脂注入 ・断面修復 ・防水層の施工
補強	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼板接着（床版下面に鋼板を接着、床版上下面を鋼板でサンドイッチ） ・炭素繊維接着工法（床版下面に炭素繊維シートを貼る） ・縦桁増設（既設主桁間に縦桁を増設） ・上面増厚（床版上面に鋼繊維入りのコンクリートを打ち足す。樹脂コンクリートを薄く敷く、あるいは床版上面にスレート板をモザイク状に貼り付ける） ・下面増厚（床版下面に鉄筋網を配置し特殊モルタルで既設床版を合成させる） ・その他（外ケーブルでプレストレスを導入する）
打換	<ul style="list-style-type: none"> ・現規定に適合する床版厚でRC床版への打換 ・PCプレキャスト板、合成床版、鋼床版への打換

後、この隙間にエポキシ樹脂を充填する。鋼板は橋軸直角方向には継手がなく、ハンチ下端間を1枚とし、橋軸方向は輸送の関係から2~3mのものが使用され、現場継手で接続される。本工法では、既存床版との合成効果により曲げ剛性、せん断剛性ととも向上する。



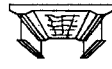
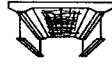


(2) 炭素繊維接着工法

炭素繊維接着工法は、炭素繊維を一方向に配列したシートを床版の引張応力作用面にエポキシ樹脂などの接着剤を含浸させながら接着し、床版コンクリートと一体化する工法である。鋼板接着に比べ軽量であるため、狭隘なスペースでの作業性に優れる。また、強度的にも鋼材の数倍程度のもから10倍程度、弾性係数も鋼材と同程度のもから3倍もあるという優れた機械的性質を持つ。床版補強では、主鉄筋方向と配力鉄筋方向の両方向に少なくとも1層ずつ以上貼るのが一般的である。しかし、鋼板接着工法も含め本工法は、一般に床版下面全面を補強部材で覆うため、補強後の健全度、劣化の進行状況の確認が困難である。このようなことから、最近では主鉄筋方向と配力鉄筋方向に、それぞれ25cm幅の炭素繊維シート工法を10~15cm間隔を設けて格子状に接着する方法も行われ、補強効果の確認も行われている。

(3) 縦桁増設工法

縦桁増設工法は、床版を支持する既設の主桁または縦桁間に縦桁を増設して床版を直接支持し、床版支間を短縮させることにより床版の曲げモーメントを減少させ、既設床版の曲げ耐力向上を図る工法である。本工法は、増設する縦桁の支持材として既設の横桁を利用するときには比較的容易に用いることができるが、横桁も新たに増設する必要がある場合にはかなり煩雑となる。本工法は、床版の損傷があまり進行していない場合に効果がある。ひび割れ密度が大きくなると、曲げひび割れの多くは引張側コンクリ

表-5 既設RC床版の損傷状況を考慮した補修・補強工法の適用範囲

損傷段階	損傷度の目安	工法名および補強種別	単独工法					併用工法			間接的補強工法	
			縦筋補強工法	鋼繊維シート接着工法	下面増厚工法	鋼板接着工法	上面増厚工法	アンダーデッキパネル工法	上面増厚+鋼繊維シート接着	上面増厚+鋼板接着工法		外ケーブル補強工法
①	OK	【強靱な床版構造】 	基本劣化に補強の必要はない	予防保全としての適用可能	基本的に補強の必要はない	基本的に補強の必要はない	基本的に補強の必要はない	基本的に補強の必要はない	基本的に補強の必要はない	基本的に補強の必要はない	基本的に補強の必要はない	予防保全としての適用可能
②	IV	【並列鋼補強】 床版コンクリート硬化にともなう乾燥収縮により横断方向方向に貫通したひび割れが大きな間隔で発生する段階 	適用可能	適用可能	適用可能							適用可能
③	III	【二方向曲げひび割れ】 輪荷重により縦横のひび割れが増加する段階 	適用可能	適用可能	適用可能	疲労耐久性向上効果が大きい	疲労耐久性向上効果が大きい	適用可能				適用可能
④	II初期 (すり磨きが生じていない)	【ひび割れの進展化、貫通】 輪荷重により床版上面ではねじりモーメントによって横断方向方向にひび割れが発生し、下面から発生したひび割れとつながり貫通し、並列の縦筋となる段階 	適用可能	適用可能	適用可能	疲労耐久性向上効果が大きい	疲労耐久性向上効果が大きい	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用できない
⑤	II	【サイコロ状】 貫通したひび割れ面のすり磨きや浸透水による石灰分の流出により、ひび割れが拡大し、せん断抵抗を失う段階 	適用できない	適用できない	適用できない	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能
⑥	I	【床版の陥没】 低下した押し抜きせん断強度を超える輪荷重により抜け落ちを生じる段階 	打ち替えを検討									

打ち替えまでの応急対策

ート無視の断面の中立軸まで達しているため、残る圧縮側だけではせん断剛性が低いと考えられる。このような状態で縦筋を増設してもせん断耐力の向上につながらず、主鉄筋断面の床版コンクリートのせん断疲労が進行すると考えられる。また、床版支間が短くなった影響で、輪荷重による発生せん断力が増加し損傷が加速する恐れがあるので注意を要する。

(4) 上面増厚工法

上面増厚工法は、舗装を取り除いたうえで既設床版コンクリート上面を 10mm ほど切削後、専用車を用いて鋼繊維補強コンクリートの打設を行い、新旧コンクリートを一体化させ増厚を行うものであり、主として押し抜きせん断に対して床版を補強する工法である。これに対して、鉄筋補強を伴う上面増厚は、負の曲げモーメントに対する曲げ耐力の向上も図ることができる。また、最近では ECC を代表とする複数微細ひび割れ繊維補強セメント複合材料などの新材料が用いられることもある。ECC とは、直径 10 ~ 数 10 μ m のポリエチレン繊維やピロン繊維などを体積で 1~2% 含有したもので、数% のひずみ能力を有するひずみ硬化特性とマルチブルクラッキング特性を示す。

本工法は下面増厚に比べて施工性に優れるが、反面、交通規制を伴うため急進施工が必要不可欠となり、一車線を一夜でコンクリート打設するためには、材料供給から打設締固め、養生まで綿密な施工計画が必要となる。

(5) 下面増厚工法

下面増厚工法は、床版下面に補強材（鉄筋、炭素繊維格子等）を配置し、接着性に優れたポリマーセメントモルタルで既設床版と合成させることにより、床版の剛性を向上させる工法である。本工法は、床版のたわみや鉄筋の応力度を低減し、曲げひび割れの開口挙動を拘束することで床版の耐久性向上を図るものである。主要材料は、補強材（鉄

筋、炭素繊維格子等）とポリマーセメントモルタルの2つに大別される。補強材は床版剛性を高める効果、ポリマーセメントモルタルは主として補強材を既設床版に合成する効果がある。上面増厚に比べて交通規制を伴わず施工可能であるが、狭隘なスペースでの人力作業となるため、施工性と工期面での問題点を解決することが課題である。

6. まとめ

以上、既設 RC 床版の現状について記述したが、今後は昭和 48 年道示以降の道路橋床版および補強済 RC 床版の維持管理手法を確立していくことが重要であり、本 WG にて床版の打換、補修・補強を含めた維持管理手法を調査研究する予定である。

参考文献

- 1) (社) 土木学会 コンクリート標準示方書 維持管理編 2001 年制定
- 2) 松井繁之：道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究、大阪大学学位論文、1984 年 11 月
- 3) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編・III コンクリート橋編、2002 年 3 月
- 4) 土木学会鋼橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の新技术と性能照査型設計 第 1 分科会報告「床版の耐久性、補修・補強」、2000 年 10 月
- 5) 土木学会道路橋床版の調査研究小委員会：道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上 第 4 分科会報告「RC 床版の維持管理」
- 6) 松井、西川、大田：講座：鋼橋の床版 橋梁と基礎、98-4 ~ 99-3
- 7) 小林、蔡、下西、松井：炭素繊維シート格子接着工法により補強した RC 床版の疲労耐久性、コンクリート工学年次論文集、Vol. 27, N02 pp1513-1518, 2005. 6