

# 旧銚子大橋RC床版を用いた各種補強による耐疲労性の評価

日本大学 正会員 高野真希子, 日本大学 阿部 忠, 日本大学 木田哲量

## 1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋の RC 床版は、道路橋設計示方書、コンクリート標準示方書などにおける設計基準の変遷や交通量の増大・過積載などにより疲労劣化が進行しているとともに、一般に橋梁の寿命といわれる建設後 50 年超を順次迎えている。そのために、これらの年代に建設された道路橋 RC 床版の長寿命化を図るための補修・補強法および維持管理手法の構築が急務となっている。そこで本研究は、47 年間供用された旧銚子大橋の RC 床版に補修・補強を行い、補強効果および耐疲労性を評価し、長寿命化修繕計画における劣化床版の補強対策の一助とする。

## 2. 旧銚子大橋の修繕歴と劣化診断

(1) 旧銚子大橋の補修・補強歴 旧銚子大橋は 1962 年に建設され、橋長 145m, 幅員 7m であり、形式は 5 径間連続トラス形式で連続・合成桁橋から構成されている。本実験供試体の RC 床版は、連続トラス橋(縦桁:3 @ 1,900mm)の千葉県側の中央付近から 6 体採取した。

この RC 床版は、供用開始から 23 年後の 1985 年に、耐荷力・耐疲労性能の向上のために、SFRC 上面増厚補強が施された全厚 220mm の SFRC 上面増厚 RC 床版である。その後、上面増厚部にひび割れ損傷や増厚界面ではく離が見られたために、2007 年に一部打換補修が行われた。

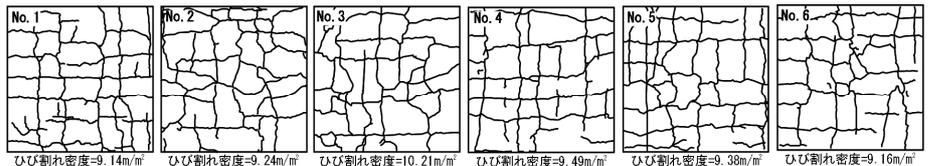


図-1 下面のひび割れ状況

(2) 劣化診断 旧銚子大橋 RC 床版の劣化診断は、床版下面のひび割れ状況、電子線マイクロアナライザ(EPMA)によるコンクリート中の塩化物イオン濃度の測定と鉄筋の腐食状況、RC および SFRC の圧縮強度の測定により行った。ここで、下面のひび割れ状況を図-1 に示す。全供試体に 0.1 ~ 0.2mm のひび割れが 2 方向に発生しており、ひび割れ密度は 9.1 ~ 10.2m/m<sup>2</sup> であり、劣化過程は国土交通省の健全度評価<sup>2)</sup>では加速期に相当する。次に、EPMA 診断による塩化物イオン濃度の一例を図-2 に示す。塩化物イオン濃度は鋼剤腐食発錆限界濃度 1.2kg/m<sup>3</sup> を超えており、鉄筋には全体的に発錆が見られる。なお、コンクリートの圧縮強度の平均は 38.2N/mm<sup>2</sup>, SFRC の圧縮強度の平均は 60.7N/mm<sup>2</sup> である。

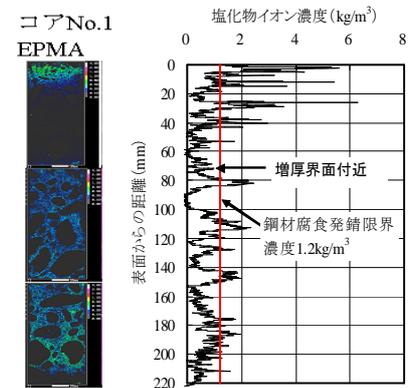


図-2 EPMA 診断

## 3. 供試体の寸法および補強方法

(1) 供試体の寸法 供試体寸法は、床版撤去の寸法を考慮して床版支間を 1,400mm とする。基本とする供試体の寸法および鉄筋の配置を図-3 に示す。コンクリート剤料には、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の細骨剤、最大 20mm の粗骨剤が使用されている。また、鉄筋は SR235 を主鉄筋に φ 16mm が 120mm 間隔で配置され、圧縮鉄筋は引張主鉄筋の 1/2 の鉄筋量が配置されている。配力筋は φ 13mm を引張側および圧縮側ともに 220mm ~ 240mm 間隔で配置されている。鉄筋の降伏強度は主鉄筋で 298N/mm<sup>2</sup>, 配力筋で 287N/mm<sup>2</sup>, 引張強度は主鉄筋で 418N/mm<sup>2</sup>, 配力筋で 402N/mm<sup>2</sup> である。

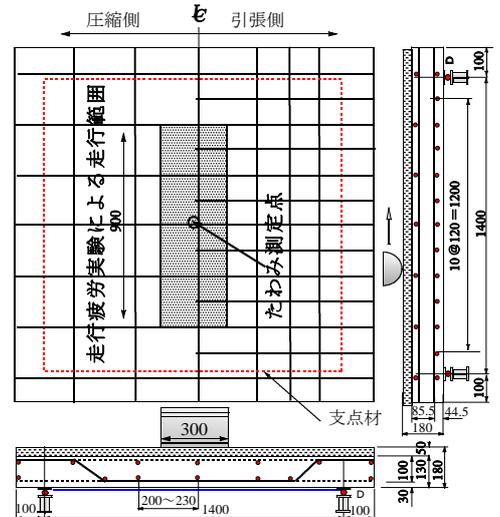


図-3 供試体寸法および鉄筋配置

(2) 補強方法 供試体 No.1, 2 は、既存 RC 床版部と増厚界面にはく離が確認されないことから、供試体 No.1 から残存耐力を算出する。また、No.2 は既存床版下面に炭素繊維ストランドシート(CFSS)補強を施す。本補強の CFSS は、目付量 600g/m<sup>2</sup>, 厚さ 0.333mm を用いた。CFSS の引張強度は 3,400N/mm<sup>2</sup>, 引張弾性率は 2.45×10<sup>5</sup>N/mm<sup>2</sup> であり、炭素繊維剛性は 41kN/m である。次に、供試体 No.3 ~ 6 は、既存 RC 床版と SFRC 増厚部界面が完全にはく離していたことから旧 SFRC 部を撤去し、No.3, 4 は新たに接着剤

キーワード: 旧銚子大橋, RC 床版, CFSS 下面補強, 接着剤を塗布した SFRC 上面増厚補強法, 走行疲労実験  
連絡先 〒 275-8575 習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 TEL 047-474-2459

を塗布した SFRC 上面増厚<sup>3)</sup>、No.5, 6 は接着剤を塗布した SFRC 上面増厚と下面 CFSS 補強を併用した補強を施す。新たに SFRC 上面増厚補強する SFRC の設計基準強度は、剤齢 3 時間で 24N/mm<sup>2</sup> を目標に、超速硬セメントと最大寸法 15mm の粗骨剤および長さ 30mm の鋼繊維を混入量 100kg/m<sup>3</sup> (1.27vol.%) で配合した。なお、実験時における圧縮強度は 66.2N/mm<sup>2</sup> である。また、SFRC と RC 床版との界面には付着性を高めるために用いたエポキシ樹脂接着剤の剤料特性値は、圧縮強さ 50N/mm<sup>2</sup>、曲げ強さ 35N/mm<sup>2</sup>、付着強さ 1.6N/mm<sup>2</sup> である。

表-1 等価走行回数

供試体	等価走行回数 (N <sub>ep</sub> )	平均等価走行回数 (N <sub>ep</sub> )	等価走行回数比
No.1	382,508	382,508	-
No.2	11,956,558	11,956,558	31.3
No.3	22,365,409	20,911,051	54.7
No.4	19,456,694		
No.5	61,512,389	57,004,746	149.0
No.6	52,497,103		

4. 実験方法および等価走行回数

(1) 実験方法 輪荷重走行疲労実験では、輪荷重を床版中央から ±450mm の範囲(900mm)に連続走行させる。初期荷重は 100kN とし、140kN までは荷重を 20kN ずつ増加させ、140kN 以降は各 2 万回走行ごとに荷重を 10kN ずつ増加させる段階状荷重とした。

(2) 等価走行回数の算定 本実験における走行疲労実験は、荷重を段階載荷したことから等価走行回数を算出して耐疲労性を評価する。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。なお、松井らが提案する S-N 曲線の傾きの逆数<sup>4)</sup> m には 12.7 を適用する。

$$N_{ep} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^m \times n_i \quad (1)$$

ここで、N<sub>ep</sub> : 等価走行回数(回)、P<sub>i</sub> : 載荷荷重(kN)、P : 基準荷重(=90kN)、n<sub>i</sub> : 実験走行回数(回)、m : S-N 曲線の傾きの逆数(=12.7)

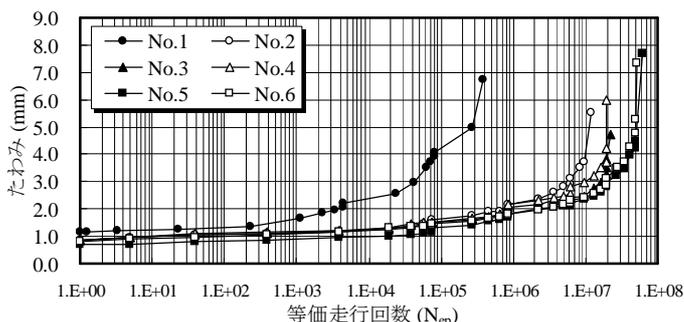


図-4 たわみと等価走行回数

5. 結果および考察

(1) 等価走行回数 式(1)より算出した本実験における等価走行回数を表-1 に示す。供試体 No.1 の等価走行回数を基準に補強後の耐疲労性を評価する。供試体 No.2 は、供試体 No.1 に比して 31.3 倍耐疲労性が向上しており、劣化床版であっても曲げ変形を拘束するために下面に CFSS 接着補強することで耐疲労性が向上した。次に、供試体 No.3, 4 および供試体 No.5, 6 の平均等価走行回数は、供試体 No.1 に比してそれぞれ 54.7 倍、149.0 倍となった。また、供試体 No.3, 4 の平均等価走行回数に比して供試体 No.5, 6 は約 3 倍の補強効果が得られた。したがって、SFRC 上面増厚補強法において増厚界面に接着剤を塗布して再上面増厚補強する工法と下面に CFSS を格子状に接着する工法は、破壊時付近まで界面がはく離することなく耐疲労性が向上することから、2 次、3 次補強法には有効的な工法であることが検証された。

(2) たわみと等価走行回数の関係 床版中央におけるたわみと等価走行回数の関係を図-4 に示す。供試体 No.1 は、初期たわみは 1.1mm であり、その後、荷重を 100kN に増加した後からたわみの増加が著しくなり、荷重を 120kN に増加後に破壊となり、そのたわみは 6.7mm である。供試体 No.2 は、初期たわみは 0.8mm であり、供試体 No.1 と比較すると荷重 100kN にもかかわらず 75%程度であり、この時点で CFSS 下面接着による補強効果が得られている。その後、荷重を 150kN に増加後からたわみの増加が著しくなり、破壊時のたわみは 5.5mm である。次に、供試体 No.3, 4 の初期たわみは 0.8mm、供試体 No.5, 6 では 0.7mm であり、その後の荷重と走行回数の増加によりたわみは緩やかに増加し、荷重を 160kN に増加後からたわみが急激に増加し、破壊時のたわみはそれぞれ 5.7mm、6.0mm、7.6mm、7.4mm である。

6. まとめ

旧銚子大橋の RC 床版は、47 年間供用されて塩害と疲労劣化を受けている。劣化診断によると、RC 床版下面には、0.1 ~ 0.2mm 程度のひび割れが 2 方向に発生し、ひび割れ密度は 9.1 ~ 10.2m/m<sup>2</sup>、塩化物イオン濃度は鋼剤腐食発錆限界濃度 1.2kg/m<sup>3</sup> を超えており、劣化過程は加速期に相当する。このような劣化床版であっても、①下面に CFSS 接着補強した場合、②増厚界面に接着剤を塗布して付着効果を高めて再 SFRC 上面増厚補強した場合、③増厚界面に接着剤を塗布した再 SFRC 上面増厚補強と下面 CFSS 接着補強を併用した補強法は、いずれも現行道示に規定する活荷重が作用した場合においても、界面のはく離とたわみの増加が抑制され、等価走行回数が増加していることから、耐疲労性が評価された。

謝辞 旧銚子大橋の床版を実験剤料として提供して下さいました、千葉県海匠土木事務所に付記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 土木学会 : コンクリート標準示方書 [規準編], 2007. 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所 : 道路橋の計画的管理に関する調査研究-橋梁マネジメントシステム(BMS)-, 2009. 3) (財) 高速道路調査会 : 上面増厚工法設計施工マニュアル, 1995. 4) 松井繁之 : 橋梁の寿命予測, 安全工学, vol.30, No.6, pp.432-440, 1991.