

付録 4

対策工法の選定

目 次

| | |
|---|---------|
| 《付録4》対策工法の選定..... | 付 4- 1 |
| 1. 予防保全（塩害，中性化，凍害，ASR）－ひび割れ注入工法，表面保護工法..... | 付 4- 1 |
| 1.1 維持管理の方針..... | 付 4- 1 |
| 1.2 橋梁の概要..... | 付 4- 1 |
| 1.3 劣化・損傷の状況..... | 付 4- 2 |
| 1.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理..... | 付 4- 3 |
| 1.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定..... | 付 4- 4 |
| 1.6 対策工法の比較・決定..... | 付 4- 5 |
| 1.7 表面保護工法の設計..... | 付 4- 6 |
| 2. 塩害－電気化学的防食工法..... | 付 4- 7 |
| 2.1 維持管理の方針..... | 付 4- 7 |
| 2.2 橋梁の概要..... | 付 4- 7 |
| 2.3 劣化・損傷の状況..... | 付 4- 7 |
| 2.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理..... | 付 4- 8 |
| 2.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定..... | 付 4- 10 |
| 2.6 対策工法の比較・決定..... | 付 4- 11 |
| 2.7 電気防食工法の設計..... | 付 4- 13 |
| 2.7.1 設計方針および電気防食方式の選定..... | 付 4- 13 |
| 2.7.2 電気防食工法の設計..... | 付 4- 13 |
| 3. 輪荷重による疲労－縦桁増設工法..... | 付 4- 14 |
| 3.1 維持管理の方針..... | 付 4- 14 |
| 3.2 橋梁の概要..... | 付 4- 14 |
| 3.3 劣化・損傷の状況..... | 付 4- 15 |
| 3.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理..... | 付 4- 15 |
| 3.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定..... | 付 4- 17 |
| 3.6 対策工法の比較・決定..... | 付 4- 18 |
| 3.7 縦桁増設工法の設計・施工..... | 付 4- 20 |
| 3.7.1 設計・施工上の留意点..... | 付 4- 20 |
| 3.7.2 補強設計実施例..... | 付 4- 20 |
| 4. 輪荷重による疲労－炭素繊維シート接着工法..... | 付 4- 21 |
| 4.1 維持管理の方針..... | 付 4- 21 |
| 4.2 橋梁の概要..... | 付 4- 21 |
| 4.3 劣化・損傷の状況..... | 付 4- 22 |
| 4.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理..... | 付 4- 22 |
| 4.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定..... | 付 4- 24 |
| 4.6 対策工法の比較・決定..... | 付 4- 25 |

| | |
|------------------------------------|---------|
| 4.7 炭素繊維シート接着工法の設計 | 付 4- 27 |
| 4.7.1 設計方針 | 付 4- 27 |
| 4.7.2 炭素繊維シート接着工法の補強仕様の決定 | 付 4- 27 |
| 5. 輪荷重による疲労－下面増厚工法 | 付 4- 29 |
| 5.1 維持管理の方針 | 付 4- 29 |
| 5.2 橋梁の概要 | 付 4- 29 |
| 5.3 劣化・損傷の状況 | 付 4- 30 |
| 5.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理 | 付 4- 30 |
| 5.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定 | 付 4- 32 |
| 5.6 対策工法の比較・決定 | 付 4- 33 |
| 5.7 下面増厚工法の設計 | 付 4- 35 |
| 5.7.1 設計方針 | 付 4- 35 |
| 5.7.2 対策工法の設計 | 付 4- 35 |
| 6. 輪荷重による疲労－鋼板接着工法 | 付 4- 36 |
| 6.1 維持管理の方針 | 付 4- 36 |
| 6.2 橋梁の概要 | 付 4- 36 |
| 6.3 劣化・損傷の状況 | 付 4- 37 |
| 6.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理 | 付 4- 37 |
| 6.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定 | 付 4- 39 |
| 6.6 対策工法の比較・決定 | 付 4- 40 |
| 6.7 鋼板接着工法の設計 | 付 4- 41 |
| 6.7.1 設計方針 | 付 4- 41 |
| 6.7.2 対策工法の設計 | 付 4- 41 |
| 7. 輪荷重による疲労－上面増厚工法 | 付 4- 42 |
| 7.1 維持管理の方針 | 付 4- 42 |
| 7.2 橋梁の概要 | 付 4- 42 |
| 7.3 劣化・損傷の状況 | 付 4- 43 |
| 7.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理 | 付 4- 43 |
| 7.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定 | 付 4- 45 |
| 7.6 対策工法の比較・決定 | 付 4- 46 |
| 7.7 上面増厚工法の設計 | 付 4- 48 |
| 7.7.1 設計方針 | 付 4- 48 |
| 7.7.2 増厚コンクリート厚の決定 | 付 4- 48 |
| 8. 塩害－部分打替工法 | 付 4- 49 |
| 8.1 維持管理の方針 | 付 4- 49 |
| 8.2 橋梁の概要 | 付 4- 49 |
| 8.3 劣化・損傷の状況 | 付 4- 50 |
| 8.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理 | 付 4- 51 |
| 8.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定 | 付 4- 52 |
| 8.6 対策工法の比較・決定 | 付 4- 53 |

| | |
|--|---------|
| 8.7 部分打替工法の設計 | 付 4- 54 |
| 9. 輪荷重による疲労・塩害－下面増厚工法＋電気化学的防食工法..... | 付 4- 55 |
| 9.1 維持管理の方針..... | 付 4- 55 |
| 9.2 橋梁の概要..... | 付 4- 55 |
| 9.3 劣化・損傷の状況..... | 付 4- 56 |
| 9.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理..... | 付 4- 57 |
| 9.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定..... | 付 4- 59 |
| 9.6 対策工法の比較・決定..... | 付 4- 60 |
| 9.7 下面増厚工法＋電気化学的防食工法の設計 | 付 4- 62 |
| 9.7.1 設計方針..... | 付 4- 62 |
| 9.7.2 対策工法の設計..... | 付 4- 62 |
| 10. 輪荷重による疲労・凍害－上面増厚工法..... | 付 4- 63 |
| 10.1 維持管理の方針..... | 付 4- 63 |
| 10.2 橋梁の概要..... | 付 4- 63 |
| 10.3 劣化・損傷の状況..... | 付 4- 64 |
| 10.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理..... | 付 4- 65 |
| 10.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定..... | 付 4- 66 |
| 10.6 対策工法の比較・決定..... | 付 4- 67 |
| 10.7 上面増厚工法の設計..... | 付 4- 69 |
| 10.7.1 設計方針..... | 付 4- 69 |
| 10.7.2 増厚コンクリート厚の決定..... | 付 4- 69 |
| 11. 疲労と ASR の複合劣化－断面修復工法..... | 付 4- 70 |
| 11.1 維持管理の方針..... | 付 4- 70 |
| 11.2 橋梁の概要..... | 付 4- 70 |
| 11.3 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理..... | 付 4- 72 |
| 11.4 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定..... | 付 4- 73 |
| 11.5 対策工法の比較・決定..... | 付 4- 74 |

付録4 対策工法の選定

1. 予防保全(塩害, 中性化, 凍害, アルカリシリカ反応) - ひび割れ注入工法, 表面保護工法

1.1 維持管理の方針

本橋は1973年に完成した海岸から約10km内陸部に位置する道路で、4径間単純鋼合成鈹桁橋である。地方都市を結ぶ主要幹線道路となっており、大型車両が多く通行する交通環境である。定期的に行われている橋梁点検の結果、コンクリート床版下面にひび割れ発生が確認されたため、その要因の特定と補修および補強の必要性を判断するための詳細調査を行った。

調査の結果、一部に鋼材の腐食にともなうコンクリートの浮き・はく離も確認され、中性化も一部は鋼材付近まで達していることが判明した。しかし、コア採取によるコンクリート強度試験、塩化物イオン含有量試験、カナダ法による膨張量試験の結果は問題ないことが確認されたため、発生したひび割れおよび浮き・はく離に対する補修と、予防措置の検討を行った。

1.2 橋梁の概要

本橋の諸元を表-付4.1.1、RC床版の諸元を表-付4.1.2、断面図を図-付4.1.1に示す。

表-付4.1.1 橋梁の諸元

| | |
|-----------|----------------|
| 規格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 4径間単純合成鈹桁 |
| 橋長 | 129.0m |
| 有効幅員 | 9.2m |
| 主桁間隔 | 2.6m |
| アスファルト舗装厚 | 50mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 200mm |
| 大型交通量 | 500~1000台/日 |
| 設計活荷重 | TL-20 |
| 適用示方書 | 昭和39年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 1973年(昭和48年) |

表-付4.1.2 RC床版の諸元

| | | |
|--------------|-----------------------------------|--|
| コンクリート設計基準強度 | $\sigma_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$ | |
| ハンチ高 | 50mm | |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側 : D16 (ctc250mm) 下側 : D13 (ctc125mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側 : D16 (ctc300mm) 下側 : D13 (ctc300mm) |
| 鉄筋材質 | SD30A | |

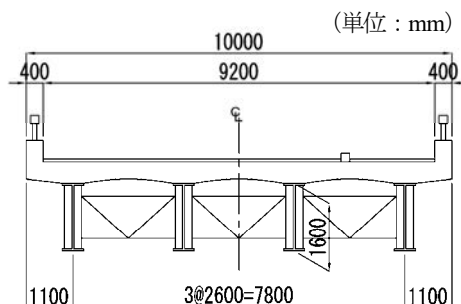


図-付4.1.1 断面図

1.3 劣化・損傷の状況

コンクリート床版下面にひび割れが発生している。ひび割れ幅は 0.2～0.6mm であり、主鉄筋方向に延伸しており、配力鉄筋方向にはほとんど認められない。また、ひび割れ付近には漏水および白色析出物は発生していなかったが、一部に錆び汁が認められた。コンクリートの一部にははく落があり、全面打音検査の結果、かぶりコンクリートの浮きも数か所で認められた。外観目視調査では、以上の劣化・損傷以外には特に顕著な状況は認められていない。

本橋では、鉄筋腐食状況、かぶり厚、中性化深さ測定のため、ひび割れ発生部分の主鉄筋および配力鉄筋をはつり出し、調査を行っている。その結果、鉄筋は一部に浅い孔食がある軽微な腐食状況であった。また、はつり出した箇所での鉄筋かぶりは 25mm であり、同一箇所での中性化深さは 30mm であった。

すでにかぶりコンクリートがはく落している箇所の観察では、鉄筋は断面欠損が見られる腐食状況であり、鉄筋のかぶりは 23mm とさらに小さい数値であった。

その他、コア採取によるコンクリート強度試験、塩化物イオン含有量試験、カナダ法による膨張量試験も同時に実施しているが、結果は問題ないことが判明した。

試験結果を表-付 4.1.3～表-付 4.1.5 に示す。

表-付 4.1.3 中性化深さおよび鉄筋かぶり測定結果

| 試験箇所 | 中性化深さ (mm) | 鉄筋かぶり (mm) | 備考 |
|-------|------------|------------|---------|
| A1～P1 | 31 | 27 | ひび割れ発生部 |
| P1～P2 | 30 | 25 | ひび割れ発生部 |
| | — | 23 | はく落部 |
| P2～P3 | 28 | 25 | ひび割れ発生部 |
| P3～A2 | 35 | 31 | ひび割れ発生部 |

表-付 4.1.4 コンクリート圧縮強度および塩化物イオン含有量試験結果

| 試験箇所 | 圧縮強度試験 (N/mm ²) | 塩化物イオン含有量 (kg/m ³) | | | |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|
| | | 0～20mm | 20～40mm | 40～60mm | 60～80mm |
| A1～P1 | 30.8 | 1.10 | 0.86 | 0.82 | 0.60 |
| P2～P3 | 28.1 | 1.02 | 0.98 | 0.81 | 0.79 |

表-付 4.1.5 膨張量試験結果

| 試験箇所 | 膨張量 (%) | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 2日目 | 5日目 | 8日目 | 12日目 | 14日目 |
| P2～P3 | 0.001 | 0.002 | 0.006 | 0.012 | 0.016 |

1.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を表-付 4.1.6 に示す。本橋に発生したひび割れ、はく離および浮きは、点検調査の結果から ASR、塩害に起因するものではなく、鉄筋のかぶり不足に加え、中性化の進行により鉄筋の一部が腐食した結果だと推察された。なお、本橋のおかれた環境から、凍害の影響はないと判断した。

表-付 4.1.6 劣化・損傷の調査結果

| | 項目番号 | 調査項目 | 調査結果 (床版部) | | |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------|
| 資料調査等 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | 建設後 38 年, S39 道示 | | |
| | 2 | 路線の重要度 | 主要幹線道路 | | |
| | 3 | 一方あたりの大型車の交通量 (台/日) | 500~1000 台/日 | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 200mm | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 220mm | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | 異形鉄筋 | |
| | | | かぶり | 上面 | 30mm (設計) |
| | | | | 下面 | 25mm (実測) |
| | | | 配筋筋量 | 現行道示より少ない | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 無 (海岸より約 10 km) | | | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | 無 | | | |
| 8 | 寒冷地域 | 無 | | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | 未施工 | | | |
| ひび割れ調査 (目視) | 10 | ひび割れ形状 (一方向, 格子状, 網細化など) | 一方向 | | |
| | 11 | ひび割れ・剥離の位置 (床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版中央 | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | 0.2~0.6mm 程度, 約 50cm | | |
| | 13 | ひび割れ密度 (m ²) | 未測定 | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | 約 2% (部分的に発生) | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | 有 | | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | 無 | | |
| | 17 | 錆汁の有無 | 有 | | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | 有 | | |
| | 19 | 漏水 | 無 | | |
| | 20 | アルカリ骨材ゲル滲出 | 無 | | |
| 21 | コンクリートの変色 | 無 | | | |
| ひび割れ (ゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | 未調査 | | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | 未調査 | | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 確認できず | |
| | | | その他の調査 | 未調査 | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスクーリング | 無 | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 無 | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による EPMA 等 | 未調査 | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 | 0.98kg/m ³ (下面) | |
| | 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認 (方法等) | はつり調査 | |
| | | | 腐食度区分* | C: 軽微な断面欠損 (下面) | |
| | 28 | 中性化 | 試験方法 | はつり調査 | |
| | | | 中性化深さ | 35 mm (下面) | |
| 29 | アルカリシリカ反応 | 残存弾性量 | 無害 | | |
| | | 骨材反応性 | 未調査 | | |
| 30 | 旧工事の舗装切削における床版厚の減少 | 未調査 | | | |
| コンクリート 物性調査 | 31 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 28.1N/mm ² (調査による) | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験 (荷重車, FWD) | 未調査 | |
| | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 未調査 | |

*腐食度区分, A: 点錆程度, B: 全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D: 著しい腐食

1.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の断定および適用可能な対策工法を表-付 4.1.7 に示す。判定の基準は、本マニュアル第 5 章の表-5.3.2 を用いた。

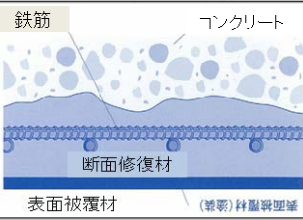
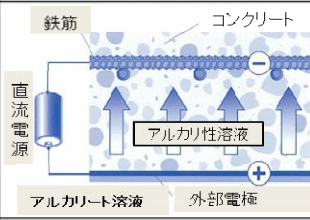
表-付 4.1.7 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| 劣化因子 | | 損傷段階の判定項目 | | 損傷段階の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|--|----------------------|-----------------|-------------|----------------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|--|--|--|------------|----------|-----------------|----------|----------------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|-----|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定 要 因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設後 38 年, S39 道示 | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 500~1000 台/日 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れは一方方向 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | 0.2~0.6mm程度, 約50cm間隔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 遊離石灰は無 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響を受けない | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤の散布は無 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 | 飛来塩分の影響を受けない | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤の散布は無 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26 | 0.98 kg/cm ³ (鉄筋位置) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 | 寒冷地ではない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 寒冷地ではない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 25 | 目視によるスクレーリング無 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | 28 | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 5 | 鉄筋かぶり 25mm (実測) | (加速期前期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | ひび割れ形状 一方方向 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | 幅 0.2~0.6mm, 約50cm間隔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | 錆汁あり | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | 鉄筋腐食ひび割れあり | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | 鉄筋腐食度 C, 軽微な断面欠損あり | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | 中性化深さ 35mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリシリカ反応 | 29 | 残存膨張量 無害 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と 損傷段階の判定 | | <p>上記より、中性化深さが 35mm、鉄筋かぶり 25mm となっており、中性化は鉄筋位置まで進行している。また、鉄筋腐食ひび割れがあり、ひび割れからの錆汁も確認されている。一方、塩化物イオン量は鉄筋位置で腐食限界値以下であり、凍結防止剤の散布もなされていないことから、劣化・損傷の主要因は中性化によるものと考えられる。</p> <p>また、錆汁および腐食ひび割れが発生し、部分的にはく離や浮きが認められることから、加速期前期と判定した。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | | <p>上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面保護 (断面修復+表面被覆) ⇒○ ・電気化学的防食 (再アルカリ化工法) ⇒○ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷 要因</th> <th rowspan="2">損傷段階</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>ひび割れ 注入</th> <th>表面保 護</th> <th>電気化 学的防 食</th> <th>縦筋増 設</th> <th>炭素 繊維 接着</th> <th>下面増 厚</th> <th>鋼板接 着</th> <th>上面増 厚</th> <th>水平ひ び割れ 注入</th> <th>部分打 換</th> <th>床版取 替</th> <th>荷重制 限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>中性化</td> <td>加速期 前期</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>×</td> <td>×</td> <td>×</td> </tr> </tbody> </table> <p>凡例： ●：予防安全として適用、○：適用可能、△：他工法との併用にて適用、 ▲：適用に条件を伴う、—：適用対象外、×：適用不可もしくは効果が望めない、</p> <p>【総合判定】 上記の結果を考慮して、下記の 2 工法についての比較検討を実施し、適用工法を決定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部分打換工法=表面保護工法 (断面修復) ・電気化学的工法 (再アルカリ化工法) | | | 劣化・損傷 要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | ひび割れ 注入 | 表面保 護 | 電気化 学的防 食 | 縦筋増 設 | 炭素 繊維 接着 | 下面増 厚 | 鋼板接 着 | 上面増 厚 | 水平ひ び割れ 注入 | 部分打 換 | 床版取 替 | 荷重制 限 | 中性化 | 加速期 前期 | × | ○ | ○ | × | - | - | - | - | - | × | × | × |
| 劣化・損傷 要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ひび割れ 注入 | 表面保 護 | 電気化 学的防 食 | 縦筋増 設 | 炭素 繊維 接着 | 下面増 厚 | 鋼板接 着 | 上面増 厚 | 水平ひ び割れ 注入 | 部分打 換 | 床版取 替 | 荷重制 限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 中性化 | 加速期 前期 | × | ○ | ○ | × | - | - | - | - | - | × | × | × | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

1.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付4.1.8に示す。検討の結果、現在すでに中性化している部分の回復は見込めないものの、劣化因子の侵入を抑制、防止する効果が高く、工事費の面でも有利な表面保護工法の適用が最も適していると判定できる。

表-付4.1.8 適用可能な対策工法の比較表

| | | 条件 < 損傷段階 > | | < 必要な補強 > | | | |
|-----------------|---------------------|--|--|---|---------------------------------|---|---|
| | | 中性化 (加速期前期) | | 中性化に対する予防保全 | | | |
| 項目 | | | | | | | |
| 工法 | | 表面保護工法 (断面修復+表面被覆) | | 電気化学的工法 (再アルカリ化工法) | | | |
| 概要図 | |  | |  | | | |
| 工法の概要および特徴 | | コンクリート表面に有機系または無機系被覆材により被覆を施し、劣化因子の侵入を抑制、防止してコンクリートの耐久性の向上、劣化因子の進行を抑制する効果をもたらす。 | | コンクリート表面に仮設陽極をアルカリ性溶液で覆い陽極とし、鋼材を陰極として、1~2A/m程度の電流を1ヵ月程度通電することで電気化学的にアルカリ性を付与し、中性化による鋼材の腐食反応を抑制する。 | | | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | せん断耐力の向上 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 床版厚修復効果 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 床版厚 (UP厚) | | 変更なし | | 変更なし | | | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | | 可 | ○ | 無 | ○ |
| | | 夜間の一車線規制日数 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 夜間の全止め日数 | | — | — | — | — |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 昼夜間の全止め規制日数 | | — | — | — | — |
| | 桁下道路等の交通規制 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 桁下足場の必要性 | | 必要 | ○ | 必要 | ○ | | |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 高欄・地覆高の修正 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 死荷重の増加量 | | ほとんど増加しない | | ほとんど増加しない | | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 主構造の改修 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | | 不要 (現状維持) | | 不要 (現状維持) | | |
| 伸縮装置の取替え | | 不要 | | 不要 | | | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | 表面被覆の再補修 | | 表面被覆の再補修 | | | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | | 保護塗装を行った新設と同等程度の耐久年数が期待できる。橋面防水無しの場合、滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある。 | ○ | 橋面防水無しの場合、滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある。 | ◎ | |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | | 電気防食 | | 電気防食 | | |
| 施工性 | 施工実績; 床版 (道路橋以外を含む) | | 多い | ○ | 少ない | ○ | |
| | 工期 | | 1.0 | ○ | 1.0+1ヶ月 | △ | |
| 維持管理 | | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 | | |
| | | | | ○ | | ○ | |
| 経済性 | 工事費 | | 1.0 | ◎ | 5.0 | × | |
| | ライフサイクルコスト (LCC) | | 高 (再塗装) | △ | 低 | ○ | |
| 評価 | | | ◎ 防食効果が確実であり、工事費が安価である。 | | △ 防食効果が確実であるが、工事費が高価である。 | | |

評価の凡例: ◎: 最も優れている、○: 適用可能、△: 好ましくないが適用可能、×: 適用不可

1.7 表面保護工法の設計

本橋はひび割れおよびコンクリートのはく離・浮きが発生している。表-付4.1.7に示した通り、中性化対策工法としてのひび割れ補修工法は効果が期待できないが、通常、コンクリートに発生したひび割れに対しては、ひびわれ幅に応じた補修を行っている。特にひびわれ幅が0.2~0.6mmを対象とした場合にはひび割れ注入工法が適用されており、コンクリート構造体としての一体化という観点からは効果を期待できる。本橋においてもこの考えからひび割れ注入工法によるひび割れ補修は行うことにした。

また、コンクリートのはく離・浮きに対してはその周辺の脆弱化した部分まで含めはつり除去し、断面修復を行うこととした。本橋では、はく落および浮きの面積が部分的かつ小さいことから、上向き施工ではあったが左官工法を採用した。

表面被覆工法のうち有機系被覆工法の大きな特徴のひとつとして、柔軟形エポキシ樹脂やゴム系材料など柔軟性の大きい材料の選択が可能ながある。本橋では、すでにひび割れの発生が確認されていること、ひび割れ注入工法で対処できない0.2mm以下のひび割れが今後進行することも考えられたため、ひび割れ追従性も考慮し、有機系被覆工法を採用することにした。

なお、本橋では中性化の劣化過程が加速期前期であったことから予防保全処置としての表面保護工法を採用したが、さらに劣化過程が進行した場合や今後の大型車両の通行量が増加する場合等、炭素繊維接着工法、下面増厚工法、鋼板接着工法などの補強工法も検討する必要がある。

2. 塩害－電気化学的防食工法

2.1 維持管理の方針

本橋は1971年3月に完成した県道の海上橋で、比較的温暖な海岸に位置する島間に架設された3連の単純鋼桁橋である。交通量は少なく、大型車の通行量も少ないため、疲労に起因すると判断される劣化・損傷は確認されない。一方、海面までの桁下空間が約4.0mと小さく、また、本橋梁の橋軸方向は西北西の方向で、気象・海象の状況としては、日最大風速7m以上の日が30日/年程度、10m以上が4～5日/年とかなり穏やかであるが、風速7m以上の風向きは、北および北北西であるため、飛来塩分の影響を大きく受け、塩害による鋼桁の腐食やコンクリート床版の塩害による劣化・損傷が確認された。

本橋梁は、生活用道路および観光用道路として使用されており、また、島間を結ぶ非常に重要な道路であるため、塩害対策工事を実施して、長期的な利用を進める方向での検討が実施された。

2.2 橋梁の概要

本橋の諸元を表-付4.2.1に、断面図を図-付4.2.1に示す。

表-付4.2.1 橋梁諸元

| | |
|-----------|----------------|
| 橋 格 | 2等橋 |
| 橋梁形式 | 単純鋼桁3連橋 |
| 橋長 | 99.000m |
| 有効幅員 | 5.500m |
| 主桁間隔 | 3.600m |
| アスファルト舗装厚 | 50mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 150mm (中央部) |
| 大型車交通量 | 非常に少ない |
| 設計活荷重 | TL-14 |
| 適用示方書 | 昭和39年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 1971年(昭和46年) |

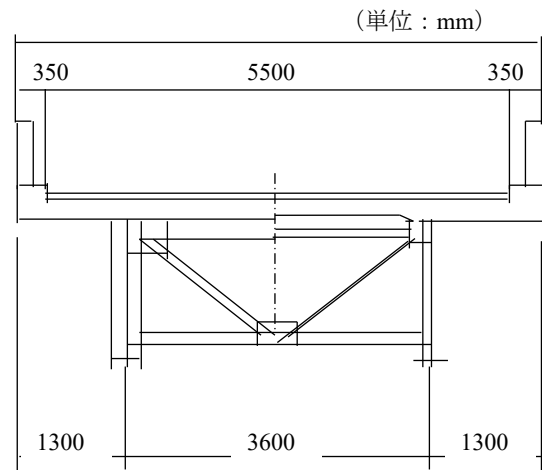


図-付4.2.1 断面図

2.3 劣化・損傷の状況

床版の疲労に起因すると考えられる劣化・損傷は認められないが、鋼桁の腐食に伴う劣化・損傷が顕著であり、塩害の可能性が大きいため、床版の中性化および塩化物イオン含有量の調査が実施された。調査結果を表-付4.2.2および表-付4.2.3に示す。この結果に基づくと、中性化の進行が大きく、また、塩化物イオン含有量も発錆限界塩化物イオン濃度を大きく上回っている。加えて、塩化物イオン濃度では、中性化による塩化物イオンのフロント化（中性化の先端部での塩化物イオン濃度が大きくなる現象）も認めることができる。このことに基づくと、本床版は、飛来塩化物イオンによる塩害の可能性が大きく、また、中性化も塩害を促進する要因として関与していると推察される。なお、床版下面の外観調査では、塩害に起因する判断されるひび割れおよび錆び汁が一部に認められ、たたき点検では、かぶりコンクリートの浮きも認められた。

表-付 4.2.2 中性化深さの測定結果

| 部材 | 位置 | 中性化深さ (mm) | | | | | 鉄筋かぶり (mm) |
|----|------|------------|----|----|----|------|---------------|
| | | ① | ② | ③ | ④ | 平均 | |
| 床版 | 1 径間 | 55 | 45 | 46 | 37 | 45.7 | 30 |
| | | 28 | 31 | 36 | 30 | 31.2 | 48 |
| | 2 径間 | 30 | 29 | 34 | 35 | 32.0 | 48 |
| | | 26 | 36 | 36 | 36 | 33.5 | 32 |
| | 3 径間 | 22 | 15 | 12 | 10 | 14.8 | 53 |
| | | 12 | 20 | 15 | 9 | 14.0 | 40 |
| | 平均 | — | — | — | — | 28.5 | 41.8 |

表-付 4.2.3 含有塩化物イオン量の測定結果

| 部材 | 位置 | 0~20mm | 20~40mm | 40~60mm | 60~80mm |
|----|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | (kg/m ³) | (kg/m ³) | (kg/m ³) | (kg/m ³) |
| 床版 | 1 径間 | 5.584 | 4.354 | 4.895 | 3.902 |
| | 2 径間 | 3.542 | 4.275 | 3.386 | 2.724 |
| | 3 径間 | 4.198 | 4.248 | 2.688 | 1.485 |
| | 平均 | 4.444 | 4.292 | 3.656 | 2.704 |

2.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を表-付 4.2.4 に示す。本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく、また、その原因は、飛来塩分による塩害と推察され、凍害、ASR などによる劣化の可能性はない。

表-付 4.2.4 劣化・損傷の調査結果

| | 項目 番号 | 調査項目 | | 調査結果 (床版部) | | |
|----------------|---|----------------------------|------------------|--------------------------------|--------------|--|
| 資料調査等 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | | 建設後 34 年 (補修), S39 道示 | | |
| | 2 | 路線の重要度 | | 島間生活道路として非常に重要 | | |
| | 3 | 一方向あたりの大型車の交通量 (台/日) | | 非常に少ない | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 150mm | | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 200mm | | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | 異形鉄筋 | | |
| | | | かぶり (実測) | 上面 | 未測定 | |
| | | | | 下面 | 41.8mm (実測値) | |
| | 配筋筋量 | | H8 道示の基準より少ない | | | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離 による判断 | | 非常に大きい (海上) | | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | | 無 | | | |
| 8 | 寒冷地域 | | 無 | | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | | 未施工 | | | |
| ひび割れ調査 (目視) | 10 | ひび割れ形状 (一方向, 格子状, 網細化など) | | 一方向 (一部錆汁を含む) | | |
| | 11 | ひび割れの位置 (床版中央, ハンチ, 張出部など) | | 床版張出部が多い | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | | 0.3mm 程度, 20cm (概算) | | |
| | 13 | ひび割れ密度 (m/m ²) | | 未測定 | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | | 数% (推定) | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | | 無 | | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | | 無 | | |
| | 17 | 錆汁の有無 | | 有 | | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | | 有 | | |
| | 19 | 漏水 | | 無 | | |
| | 20 | アルカリ骨材ゲル滲出 | | 無 | | |
| ひび割れ (ゲージ等) | 21 | コンクリートの変色 | | 有 (錆汁による変色) | | |
| | 22 | すり磨きの有無 | | 未調査 | | |
| 23 | ひび割れの開閉の有無 | | 未調査 | | | |
| | 劣化・損傷状 況の調査 (非破壊検 査・コア採取 による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 確認できず | |
| 衝撃弾性波法調査 | | | 上面: 未調査, 下面: 未調査 | | | |
| コア採取 | | | 上面: 未調査, 下面: 未調査 | | | |
| 25 | | 凍害深さ | 目視によるスケーリング | 無 | | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 上面: 未調査, 下面: 未調査 | | |
| 26 | | 塩化物イオン | コア採取による EPMA 等 | 未調査 | | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 | 2.688~4.895 kg/cm ³ | | |
| 27 | | 鉄筋腐食量 | 目視確認 (方法等) | はつり調査 | | |
| | | | 腐食度区分* | C: 軽微な断面欠損 | | |
| 28 | | 中性化 | 試験方法 | はつり調査 (フェノール法) | | |
| | 中性化深さ | | 28.5mm (平均) | | | |
| 29 | アルカリシリカ 反応 | 残存膨張量 | 未調査 | | | |
| | | 骨材反応性 | 未調査 | | | |
| 30 | 旧工事の舗装切削における床版厚の減少 | | 未調査 | | | |
| コンクリート 物性調査 | 31 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 未調査 | | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験 (荷重車, FWD) | 未調査 | | |
| | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 未調査 | | |

*腐食度区分, A: 点錆程度, B: 全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D: 著しい腐食

2.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を表-付 4.2.5 に示す。判定の基準は、本マニュアル第 5 章の表-5.3.2 を用いた。

表-付 4.2.5 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| 劣化因子 | | 損傷段階の判定項目 | | 損傷段階の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|--|----------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--|--|------------------|----------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|----|-----------|---|---|---|---|---|----|----|---|---|---|---|---|---|
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定 要 因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設後 34 年 (補修), S39 道示 | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 大型車; 非常に少ない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れは一方向 (塩害) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響を受ける | (進展期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤を散布しない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 | 飛来塩分の影響を大きく受ける | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤を散布しない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 14 | はく離がある | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 17 | 錆汁がある | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 18 | 鉄筋腐食ひび割れがある | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26 | 2.688~4.895kg/cm ³ (鉄筋位置) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 27 | C: 軽微な断面欠損 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 | 積雪寒冷地以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 積雪寒冷地以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | 28 | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下面 | | 28 | 28.5mm (平均) | (進展期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリシリカ反応 | | 20 | ゲル滲出なし | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と 損傷段階の判定 | | 上記より、本床版は飛来塩分による塩化物が下段鉄筋背面まで浸透しており、塩害 (加速期) と判定。また、中性化も塩害を促進させる要因として関与している。また、塩害以外の損傷原因は認められない。なお、超長期的な耐久性を考慮する場合には、床版の補強を併用することも可能である。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | | <p>上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面保護 (断面修復+表面被覆) ⇒○ ・電気化学的防食 (電気防食) ⇒○ ・電気化学的防食 (脱塩) ⇒○ ・炭素繊維接着 (電気防食との併用、長期的な疲労を考慮した場合) ⇒*2 ・下面増厚 (電気防食との併用、長期的な疲労を考慮した場合) ⇒*2 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷 要因</th> <th rowspan="2">損傷段階</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>橋 面 防 水</th> <th>ひ び 割 れ 注 入</th> <th>表 面 保 護</th> <th>電 気 化 学 的 防 食</th> <th>電 気 化 学 的 防 食</th> <th>炭 素 繊 維 接 着</th> <th>下 面 増 厚</th> <th>鋼 板 接 着</th> <th>上 面 増 厚</th> <th>水 平 ひ び 割 れ 注 入</th> <th>部 分 打 換</th> <th>床 版 取 替</th> <th>荷 重 制 限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>塩害</td> <td>加速期 前期</td> <td>□</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>*2</td> <td>*2</td> <td>×</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> </tr> </tbody> </table> <p>凡例： □：適用を原則とする，○：適用可能，△：他工法との併用にて適用， ×：適用不可もしくは効果が望めない，—：予防保全として適用可能。 *1：予防保全として適用可能であるが、損傷が軽微であるため、一般的に適用しない。 *2：他工法との併用で予防保全として適用可能。</p> <p>【総合判定】 上記の結果、塩害以外の損傷要因に起因する劣化が認められないこと並びに長期的な疲労による損傷は現状では必要ないため、下記の 3 工法についての比較検討を実施し、適用工法を決定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面保護工法 (断面修復+表面被覆) ・電気化学的工法 (電気防食工法) ・電気化学的工法 (脱塩工法) | | | 劣化・損傷 要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | 橋 面 防 水 | ひ び 割 れ 注 入 | 表 面 保 護 | 電 気 化 学 的 防 食 | 電 気 化 学 的 防 食 | 炭 素 繊 維 接 着 | 下 面 増 厚 | 鋼 板 接 着 | 上 面 増 厚 | 水 平 ひ び 割 れ 注 入 | 部 分 打 換 | 床 版 取 替 | 荷 重 制 限 | 塩害 | 加速期 前期 | □ | × | ○ | ○ | × | *2 | *2 | × | △ | △ | △ | △ | △ |
| 劣化・損傷 要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 橋 面 防 水 | ひ び 割 れ 注 入 | 表 面 保 護 | 電 気 化 学 的 防 食 | 電 気 化 学 的 防 食 | 炭 素 繊 維 接 着 | 下 面 増 厚 | 鋼 板 接 着 | 上 面 増 厚 | 水 平 ひ び 割 れ 注 入 | 部 分 打 換 | 床 版 取 替 | 荷 重 制 限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 塩害 | 加速期 前期 | □ | × | ○ | ○ | × | *2 | *2 | × | △ | △ | △ | △ | △ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

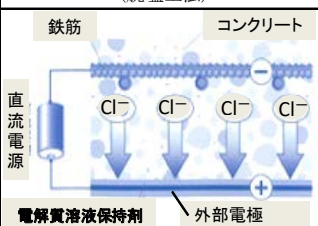
2.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付4.2.6に示す。検討の結果、防食効果やLCC、その他の面で電気防食工法の適用が最も適していると判定できる。

表-付4.2.6 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 | < 損傷段階 > | | < 必要な補強 > | |
|-----------------|-------------------|--------------|--|-------------------|---|---|
| | | | 塩害(加速期前期) | | ・疲労損傷に対する予防保全的 (現状, 特に必要なし) | |
| 工法 | | | 表面保護工法 (断面修復+表面被覆) | | 電気化学的工法 (電気防食工法) | |
| 概要図 | | |  | |  | |
| 工法の概要および特徴 | | | 発錆限界以上の塩化物を含むコンクリートをはつり取り、塩化物を含まないコンクリート等で断面修復を行った後、コンクリートの表面を耐塩化物浸透性に優れた材料で被覆する。(本事例の場合、100mm程度のはつりが必要) | | コンクリート表面に陽極を取付け、直流電源装置のプラス極に陽極を、鉄筋をマイナス極に繋ぎ、防食電流を供給することで、鋼材の腐食反応を停止させ防食する。 | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | せん断耐力の向上 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 床版厚修復効果 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 床版厚(UP厚) | | | 150mm(変更なし) | | 150mm(変更なし) | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(鉄筋背面以上のはつり) | × | 可 | ○ |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 工期中 | ○ | 無 | ○ |
| | | 夜間の全止め日数 | — | — | — | — |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | 工期中 | ○ | 無 | ○ |
| | | 昼夜間の全止め規制日数 | — | — | — | — |
| 桁下道路等の交通規制 | | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 桁下足場の必要性 | | | 必要 | ○ | 必要 | ○ |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 死荷重の増加量 | ほとんど増加しない | | ほとんど増加しない(方式で異なる) | | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 主構造の改修 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 不要(現状維持) | | 不要(現状維持) | | |
| 伸縮装置の取替え | | | 不要 | | 不要 | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | | 表面被覆の再補修 | | 定期的な防食効果の確認試験 | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | | 保護塗装を行った新設と同等程度の耐久年数が期待できる。橋面防水無しの場合、滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある。 | ○ | チタン系陽極材は耐久年数40年以上が保障されている。陽極が足りない場合は、周りのモルタルが損傷する場合がある。 | ○ |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | | 電気防食 | | 電気防食の再施工 | |
| 施工性 | 施工実績;床版(道路橋以外を含む) | | 多い | ○ | 多い | ○ |
| | 工期(電気防食を1.0として) | | 1.0~2.0(はつり量による) | △ | 1.0 | ○ |
| 維持管理 | | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・表面被覆の再施工が必要 | | ・電気防食の維持管理 ・電気代・専門家の維持管理が必要 | |
| | | | | ○ | | ○ |
| 経済性 | 工事費(電気防食を1.0として) | | 1.0~2.0(はつり量による) | △ | 1.0 | ○ |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | | 高(再塗装) | × | 最も低い | ◎ |
| 評価 | | | △ (防食効果は確実であるが、交通規制、再塗装が必要) | | ◎ (防食効果が確実で工事費、LCCが最も良い) | |

評価の凡例: ◎: 最も優れている、○: 適用可能、△: 好ましくないが適用可能、×: 適用不可

| | | | | | |
|---|---|---|--|--|------------------------------|
| <橋梁の重要度> 島間生活道路として非常に重要 | | <施工上の制約> ・迂回路の確保 : 不可 ・交通規制 : 昼夜間の連続した一車線規制が可能 ・桁下空間 : 制約なし ・周辺環境の制約等: 制約なし | | | 備考 |
| 電気化学的工法 (脱塩工法) | | | | | |
|  | | | | | |
| コンクリート表面に仮設の陽極を設置し、直流電源装置のプラス極に陽極を、鉄筋をマイナス極に繋ぎ、1~2A/m ² 程度の電流を2か月程度通電し、塩化物イオンを陽極側に移動させ、コンクリート中の塩化物を除去する。 | | | | | |
| 無 | ○ | | | | <必要な補強効果> >と比較し、性能を○、×で評価 |
| 無 | ○ | | | | |
| 無 | ○ | | | | |
| 無 | ○ | | | | |
| 無 | ○ | | | | |
| 150mm(変更なし) | | | | | |
| 可 | ○ | | | | <施工上の制約> と比較し、性能を○、×、△で評価 |
| 無 | ○ | | | | |
| — | — | | | | |
| 無 | ○ | | | | |
| — | — | | | | |
| 無 | ○ | | | | 適用性を○、×、△で評価 |
| 必要 | ○ | | | | |
| 無 | ○ | | | | |
| 無 | ○ | | | | |
| ほとんど増加しない | | | | | |
| 無 | ○ | | | | 適用性を○、×、△で評価 |
| 無 | ○ | | | | |
| 不要(現状維持) | | | | | |
| 不要 | | | | | |
| 表面被覆の再補修 | | | | | |
| 脱塩不足の場合、再腐食の可能性がある。橋面防水無しの場合、滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある。 | △ | | | | 適用性を○、×、△で評価 |
| 電気防食 | | | | | |
| 少ない | △ | | | | |
| 1.0+2か月 | △ | | | | |
| ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・表面被覆の再施工が必要 | | | | | |
| | ○ | | | | 適用性を○、×、△で評価 |
| 1.0 | ○ | | | | |
| 高(再塗装) | × | | | | |
| △ (多量の塩化物含有時の防食効果の確実性や再塗装が必要) | | | | | |

2.7 電気防食工法の設計

2.7.1 設計方針および電気防食方式の選定

本橋梁は比較的交通量が少なく、ある程度の交通規制は可能であるが、島間の生活道路、観光道路として唯一の交通手段であるため、交通規制を伴わない橋梁下面からの防食対策工事を実施することとする。

2.6 より、電気防食工法が防食効果や LCC 等、大多数の評価において有効と判定されたが、電気防食工法には、表-付 5.2.13 (付録 5 の 5.2.4) に示すように多数の工法があり、これらの中から本橋梁床版の塩害対策に最も適した方式を選定することが非常に重要である。表-付 5.2.13 の電気防食方式の中から、現状適用可能（現在使われている方式）な方式を選択すると概ね次のような選定となる。

i) 流電陽極方式

鋼材よりも卑なイオン化傾向を有する亜鉛やアルミニウムが犠牲材となって防食を行うため、直流電源装置が必要ないが、防食材が消耗するため、耐用年数が最大でも 20 年程度で、チタン系陽極材より短く、LCC において劣る。また、防食材の自重が大きく、死荷重が増加する。

ii) 外部電源面状方式（チタンメッシュ、パネル陽極、導電性モルタル方式）

死荷重の増加があり、導電性モルタルは、他の 2 方式より耐用年数が短い。

iii) 外部電源面状方式（導電性塗料、チタン溶射、チタン亜鉛溶射方式）

死荷重の増加はないが、陽極材の耐用年数が短く、橋梁の位置関係においては、飛来砂等において陽極材が削り取られる場合がある。

iv) 外部電源線状方式（チタンリボンメッシュ、チタングリッド方式）

双方ともチタンを基材とする陽極材であるため、陽極材の耐用年数は長いですが、チタンリボンメッシュ方式の方がアルカリ環境下に加え、酸性環境下での耐久性もより長く、施工実績も圧倒的に多い。

v) 外部電源点状方式（チタンロッド方式）

点状に設置する陽極材であるため、防食効果の均一性に劣り、陽極材周りのバックフィル材が陽極よりも先に消耗し、耐久性が問題になる場合がある。

上記を総合的に判断すると、外部電源、線状陽極方式のチタンリボンメッシュ方式が最も本橋梁床版の防食対策に適していると判定でき、本電気防食方式を選択することとする。また、本方式の電気防食においても、陽極材や陽極設置の溝切りの方式によって 4 種類のシステムがあり、いずれも同様な防食能力を有しているため、この選定は、構造物の管理者に委ねることとなる。なお、周辺住民への配慮として、陽極設置のための溝切りやはつりにおいて、できるだけ粉じんを発生させないための対策も重要である。この対策としては、吸塵型のコンクリートカッターがすでに実用化、適用されている。

2.7.2 電気防食工法の設計

本橋梁床版の防食対策に対する設計においては、通常の電気防食工事の範疇であるため、特別に照査する事項は存在しない。このため、土木学会 コンクリートライブラリー107「電気化学的防食工法設計施工指針（案）」等に基づく設計を行うことを基本とすればよい。

3. 輪荷重による疲労—縦桁増設工法

3.1 維持管理の方針

本橋は昭和 52 年に供用を開始し 35 年近くが経過しており、地域の生活道路として交通量も多い。本橋を有する路線は、数年後の高速道路の開通に伴い、IC から市街地へのアクセス道路として交通量の増加が予想されている。

本橋 RC 床版は昭和 48 年の道路橋示方書にて設計されており、現行の道路橋示方書と比較し床版厚が不足し設計輪荷重が小さい状況である。床版下面に格子状のひび割れが生じているが、損傷段階は輪荷重による疲労の進展期と判断され、ただちに補修・補強が必要な状況ではない。しかしながら、旧基準で設計されており床版厚が薄く、今後の交通量の増加に伴い劣化の進展速度が速まることが想定されることから、予防保全として現行基準の B 活荷重に対応できるよう床版を補強し、適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する方針である。

3.2 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を表-付 4.3.1、表-付 4.3.2 に示す。断面図と平面図を図-付 4.3.1、図-付 4.3.2 に示す。

表-付 4.3.1 橋梁諸元

| | |
|-----------|------------------|
| 橋 格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 単純非合成鉄桁 |
| 支間長 | 25.000m |
| 有効幅員 | 車道：8.500m |
| 主桁間隔 | 2@3,700m |
| アスファルト舗装厚 | 75mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 230mm |
| 大型車交通量 | 500～1000 台/日 |
| 設計活荷重 | TL-20 |
| 適用示方書 | 昭和 48 年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和 52 年 |

表-付 4.3.2 RC 床版の諸元

| | | |
|--------------|------|--|
| コンクリート設計基準強度 | | $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ |
| ハンチ高 | | 80mm |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側：D19 (ctc300mm) 下側：D19 (ctc150mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側：D19 (ctc300mm) 下側：D19 (ctc150mm) |
| 桁端部 | 主鉄筋 | 上下：D19 (ctc100mm) |
| | 配力鉄筋 | 上下：D19 (ctc150mm) |
| 鉄筋材質 | | SD295A |

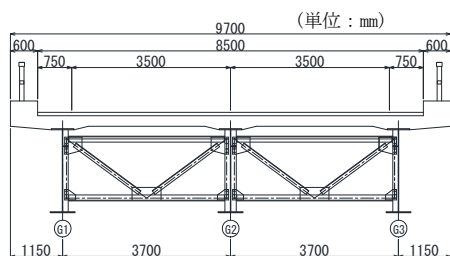


図-付 4.3.1 断面図

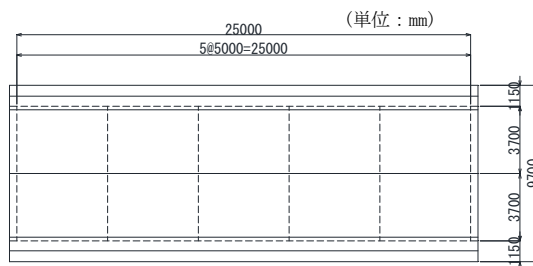


図-付 4.3.2 平面図

3.3 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れ密度について、主桁と対傾構に囲まれた範囲ごとに図-付 4.3.3 に示す。車道部床版のひび割れ密度は 3~5mm² であり全長に渡ってひび割れが生じている。ひび割れ幅およびひび割れ間隔はおおむね 0.2mm, 30cm 程度である。

| | S1 | C1 | C2 | C3 | C4 | S2 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----|
| G1 | 5m/m ² | 4m/m ² | 4m/m ² | 5m/m ² | 5m/m ² | |
| G2 | 5m/m ² | 5m/m ² | 3m/m ² | 5m/m ² | 5m/m ² | |
| G3 | | | | | | |

図-付 4.3.3 床版下面のひび割れ密度

3.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を表-付 4.3.3 に示す。本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく、また、塩害、凍害、中性化、ASR などによる劣化の可能性が低いことから、床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした。

表-付 4.3.3 劣化・損傷の調査結果

| 項目番号 | 調査項目 | | A1～A2 | | |
|-------------------------------|--------------------------|---|---|-------------------|-----------|
| 資料調査 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | | 建設から35年, S48道示 | |
| | 2 | 路線の重要度 | | 一般市道 | |
| | 3 | 一方方向あたりの大型車の交通量(台/日) | | 500以上1000未満 | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 230mm | -20mm |
| | | | 現行道示での床版厚 | 250mm | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | | 異形鉄筋 |
| | | | かぶり | 上面 | 31mm(設計値) |
| | | | | 下面 | 31mm(設計値) |
| | 配力筋量 | | 同等(補強の必要なし) | | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | | 無 | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | | 無 | | |
| 8 | 寒冷地域 | | 一般地域 | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | | 未施工 | | |
| ひび割れ調査 (目視調査) | 10 | ひび割れ形状(一方方向, 格子状, 網細化など) | | 直行2方向 | |
| | 11 | 主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など) | | 床版中央, ハンチ | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | | 0.2mm, 30cm | |
| | 13 | ひび割れ密度(m/m ²) | | 5m/m ² | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | | 無 | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | | 無 | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | | 無 | |
| | 17 | 錆汁の有無 | | 無 | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | | 無 | |
| | 19 | 漏水 | | 無 | |
| | 20 | アルカリ骨材ゲル滲出 | | 無 | |
| | 21 | コンクリートの変色 | | 無 | |
| ひび割れ調査 (パイゲージ, コンタクトゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | | 未調査 | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | | 未調査 | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 上面:未調査, 下面:未調査 | |
| | | | 衝撃弾性波法調査 | 〃 | |
| | | | コア採取 | 〃 | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスケーリングの調査 | 上面:未調査, 下面:無 | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 上面:未調査, 下面:未調査 | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による浸透深さ調査(EPMA) | 未調査 | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 (腐食限界濃度1.2kg/cm ³) | 上面:未調査, 下面:未調査 | |
| 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認(部分開削, コア抜き等) | 〃 | | |
| | | 電気化学的測定による腐食度区分 (A:点錆程度, B:全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D:著しい腐食) | 〃 | | |
| 28 | 旧工事の舗装切削における床版厚の減少(部分開削) | | 未調査 | | |
| コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による) | 29 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 〃 | |
| | | | 非破壊検査 | 〃 | |
| | 30 | 残存膨張量 | | 〃 | |
| | 31 | 骨材のアルカリ骨材反応性 | | 〃 | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験(荷重車, FWD) | 〃 | |
| | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 〃 | |

3.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を表-付 4.3.4 に示す。判定の基準は、本マニュアル第5章の表-5.3.2 を用いた。

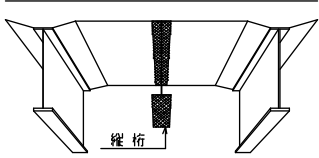
表-付 4.3.4 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| | | A1~A2 | | | | | | 損傷段階の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|---|----------------------------|-------------|------|--------|------|---------|------|----------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 損傷段階の判定項目 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設から35年,S48道示 | | | | | (進展期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れが直行2方向に発生 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | ひび割れ幅0.2mm, 間隔30cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 13 | ひび割れ密度 5m/m ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 遊離石灰が見られない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | | | | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 7 | 凍結防止剤を散布しない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | | | | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 寒冷地域以外 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | 8 | 寒冷地域以外 | | | | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下面 | | 8 | 寒冷地域以外 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリ骨材反応 | 上面 | 20 | アルカリシリカゲル滲出が見られない | | | | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 下面 | 21 | アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と損傷段階の判定 | | 上記より、ひび割れは直交2方向に発生し、遊離石灰が見られないことから輪荷重による疲労(進展期)と判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ注入工法(他工法と併用) ・縦桁増設工法 ・炭素繊維接着工法 ・下面増厚工法 ・鋼板接着工法 ・上面増厚工法 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">損傷段階</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦桁増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪荷重による疲労</td> <td>進展期</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>※1</td> <td>※1</td> <td>※1</td> </tr> </tbody> </table> <p>交通規制を最小限とするため、主に床版下面での施工となる以下の3つの工法について比較し対策工法を決定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・縦桁増設工法 ・炭素繊維接着工法 ・鋼板接着工法 | | | | | | 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 輪荷重による疲労 | 進展期 | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ※1 | ※1 | ※1 |
| 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 輪荷重による疲労 | 進展期 | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ※1 | ※1 | ※1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

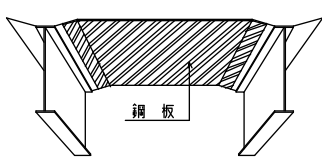
3.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付 4.3.5 に示す。本橋は比較的交通量が多く、交通規制を極力少なくする必要があるので、床版下面の施工となる工法より選定を行う。また、床版支間が比較的広く、作用曲げモーメントが大きいことから、床版支間を縮小して作用曲げモーメントを低減し、曲げ耐力の向上を図ることが可能な縦桁増設工法にて補強を行うこととする。

表-付 4.3.5 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 <損傷段階> 活荷重(進展期) | <必要な補強効果> | | |
|-----------------|-----------------|--|---|--|----|
| 工法 | | 縦桁増設工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | 炭素繊維接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | | |
| 概要図 | |  |  | | |
| 工法の特徴 | | 床版の支間を短くすることで、作用曲げモーメントを減少させ、床版の曲げ耐力を向上させる。 | 床版下面に炭素繊維を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が20%向上するとの報告もある | | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | 向上 | ○ | 向上 | |
| | せん断耐力の向上 | 無 | △ | 向上 | |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | ○ | 無 |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | ○ | 補強 |
| | 床版厚修復効果 | 無 | ○ | 無 | |
| 床版厚(UP厚) | | 230mm(変更なし) | 230mm(変更なし) | | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(防水工が必要) | 不可(防水工が必要) | |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 防水工1日×2回 | 防水工1日×2回 | |
| | | 夜間の全止め日数 | 防水工1日 | 防水工1日 | |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | — | — | |
| | | 昼夜間の全止め(規制)日数 | — | — | |
| 桁下道路等の交通規制 | | 有(縦桁搬入時) | ○ | 無 | |
| 桁下足場の必要性 | | 必要 | ○ | 必要 | |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | |
| | 死荷重の増加量 | 0.65kN/m ² | ほとんど増加しない | | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | ○ | 無 | |
| | 主構造の改修 | 必要 | △ | 無 | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 必要 | △ | 必要 | |
| 伸縮装置の取替え | | 不要 | ○ | 不要 | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | 車輪の走行位置直下に縦桁を配置することが望ましい。死荷重の増加に対して桁の照査が必要。 | ○ | 滞水防止、ひび割れ観察。 | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | 劣化がかなり進行し、劣化過程で加速期後期以降となるなどの段階で本工法を適用した場合、疲労損傷を効果的に抑制できず、最終的に押し抜きせん断破壊に至る場合がある。→本件は劣化過程の進展期にあたるため効果が期待できる。 | ○ | 全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある。→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている。 | |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | 床版取替え | ○ | 上面増厚 | |
| 施工性 | 工期 | 60日(1.50) | △ | 40日(1.00) | |
| 維持管理 | | 通常のRC床版と同様の維持管理 | ○ | 通常のRC床版と同様の維持管理 | |
| | | 縦桁の塗装の塗り替えが必要 | ○ | 仕上げ塗装の塗り替えが必要 | |
| 経済性 | 工事費 | 中 | △ | 小 | |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | 中 | ○ | 中 | |
| 評価 | | ◎ | ◎ | ○ | |

評価の凡例: ◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

| | | | | |
|---|---|--|--|----------------------------------|
| <橋梁の重要度> 生活道路として重要 | | <施工上の制約> ・迂回路の確保 : 可能 ・交通規制 : 昼夜間の連続した一車線規制が可能 ・桁下空間 : 制約なし ・周辺環境の制約等 : 制約なし | | 備考 |
| 鋼板接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | | | | |
|  | | | | |
| 床版下面に鋼板を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。 | | | | |
| 向上 | ○ | | | <必要な補強効果> と比較し、性能を○、 ×で評価 |
| 無 | △ | | | |
| 無 | ○ | | | |
| 補強 | ○ | | | |
| 無 | ○ | | | |
| 230mm(変更なし) | | | | |
| 不可(防水工が必要) | — | | | <施工上の制約>と 比較し、性能を○、 ×、△で評価 |
| 防水工1日×2回 | ○ | | | |
| 防水工1日 | ○ | | | |
| — | — | | | |
| — | — | | | |
| 無 | ○ | | | |
| 必要 | ○ | | | 適用性を○、×、△で 評価 |
| 無 | ○ | | | |
| 無 | ○ | | | |
| 0.36kN/m ² | | | | |
| 無 | ○ | | | |
| 無 | ○ | | | |
| 必要 | | | | |
| 不要 | | | | |
| 滞水防止、ひび割れ観察 | | | | |
| 滞水により補強効果が低下する。補強後の維持管理が不適切だと、押し抜きせん断破壊に至る場合がある。 | △ | | | 適用性を○、×、△で 評価 |
| 床版取替え | | | | |
| 60日(1.50) | △ | | | |
| ・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない | △ | | | |
| 中 | △ | | | |
| 中 | ○ | | | |
| ○ | | | | |

3.7 縦桁増設工法の設計・施工

3.7.1 設計・施工上の留意点

縦桁増設工法の設計・施工を実施するにあたり配慮する点を以上に示す。

- i) 縦桁を増設するにあたり、既設対傾構を充腹横桁に取り替えて支点とする。
- ii) 縦桁を設置する位置は、車輪の通過頻度の高い位置を事前に調査し、できるだけこの直下に配置するものとする。
- iii) 新設される鋼製の縦桁、横桁関係の部材連結は、基本的に高力ボルト摩擦接合とする。

3.7.2 補強設計実施例

本橋において縦桁増設補強設計を実施した例を下図に示す。

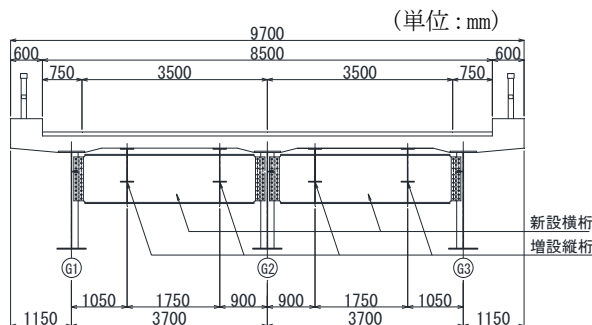


図-付 4.3.4 断面図

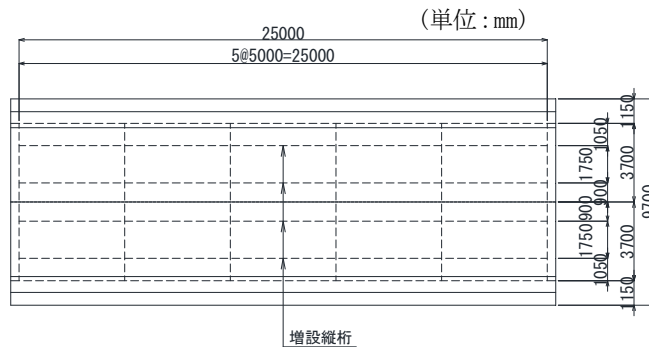


図-付 4.3.5 平面図

4. 輪荷重による疲労－炭素繊維シート接着工法

4.1 維持管理の方針

本橋は昭和 26 年に主要地方道の河川橋として建設された。現在でも、近隣に迂回道路がないことから地域の主要道路として大型車を含む交通量の多い橋梁である。本橋の床版は、床版下面に二方向のひび割れが生じていることから、損傷段階は、輪荷重による疲労の進展期（一部、加速期前期）と判断され、ただちに補修・補強が必要な状況ではない。しかしながら、旧基準で設計されており、設計荷重が現在の基準より低く、鉄筋量が少なく今後劣化の進展速度が速いと想定される。近隣に迂回道路がないことから、本橋は長期的に供用する必要があることから予防保全として床版を補強し、適切な維持管理を行なっていくこととした。なお、現在の利用状況から、橋面の交通規制を極力伴わない工法を選定することとした。

4.2 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を表-付 4.4.1、表-付 4.4.2 に、断面図を図-付 4.4.1 に示す。

表-付 4.4.1 橋梁諸元

| | |
|-----------|------------------|
| 橋 格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 単純鉸桁橋（2連） |
| 橋長 | 24.000m（12m×2） |
| 有効幅員 | 7,400m |
| 主桁間隔 | 4@1.800m |
| アスファルト舗装厚 | 50mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 200mm |
| 大型車交通量 | 500～1000 台/日 |
| 設計活荷重 | 13tf |
| 適用示方書 | 昭和 14 年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和 26 年 |

表-付 4.4.2 RC 床版の諸元

| | | |
|--------------|-------------------------------|--|
| コンクリート設計基準強度 | $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ | |
| ハンチ高 | 50mm | |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側： $\phi 13$ (ctc250mm) 下側： $\phi 13$ (ctc125mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側： $\phi 12$ (ctc300mm) 下側： $\phi 12$ (ctc300mm) |
| 鉄筋材質 | SR24 | |

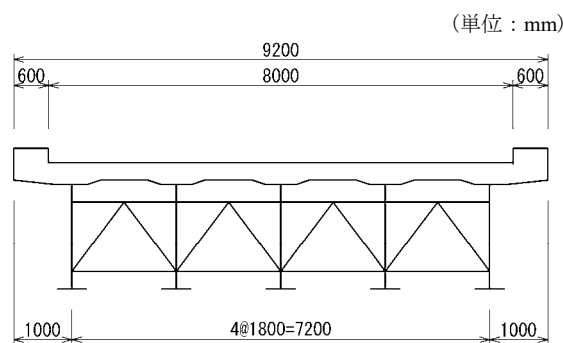


図-付 4.4.1 断面図

4.3 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは、縦断勾配の低い桁端部において、格子状のひび割れから白色析出物の滲出が見られる。ただし、鉄筋の錆び汁は見られない。その他の箇所においては、格子状のひび割れは生じているものの、白色析出物、鉄筋の錆び汁は見られない。床版下面のひび割れ状況を図-付 4.4.2 に示す。

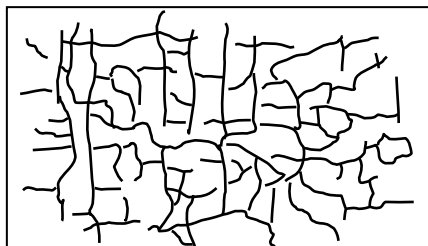


図-付 4.4.2 床版下面のひび割れ図

4.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を表-付 4.4.3 に示す。本橋は床版下面に格子状のひび割れが認められるものの錆び汁やかぶりコンクリートのはく落などの変状が認められず、また、塩害、凍害、中性化、ASR などによる劣化の可能性が低いことから、床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした。

表-付 4.4.3 劣化・損傷の調査結果

| | 番号 | 調査項目 | 一般部 | 備 考 | | |
|-------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------|--|---|---------------------|
| 資料調査 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | 60年, S14綱道示 | 損傷原因の判断(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応) | | |
| | 2 | 路線の重要度 | 主要地方道 | | | |
| | 3 | 一方向あたりの大型車の交通量(台/日) | 500以上1000以下 | 損傷原因の判断(活荷重) | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 200mm | 損傷原因の判断(活荷重) | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 182mm | 現行道路橋示方書の配力筋量との比較 | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | SR24 | 劣化過程の判定(活荷重) | |
| | | | かぶり | 上面 | 30mm(設計値) | 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定に使用 |
| | | | | 下面 | 30mm(非破壊検査) | |
| | | | 配力筋量 | 現行道示より少ない | 現行道路橋示方書の配力筋量との比較 | |
| | 6 | 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | 無し | 損傷原因の判断(塩害) | |
| | 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | | 無し | 損傷原因の判断(塩害) | |
| | 8 | 寒冷地域 | | 無し | 損傷原因の判断(凍害) | |
| 9 | 防水層の施工時期 | | 10年前 | | | |
| ひび割れ調査 (目視調査) | 10 | ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など) | 2方向 | 劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 中性化, アルカリシリカ反応) | | |
| | 11 | 主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版中央 | | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | 0.2mm, 50cm | 劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 中性化, アルカリシリカ反応) | | |
| | 13 | ひび割れ密度(m/m ²) | 未検討 | 劣化過程の判定 | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | 無し | 劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応) | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | 無し | 劣化過程の判定(活荷重) | | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | 一部あり | 貫通ひび割れの判断(活荷重) | | |
| | 17 | 錆汁の有無 | 無し | 鉄筋腐食の判断(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応) | | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | 無し | 劣化過程の判定(塩害, 中性化, アルカリシリカ反応) | | |
| | 19 | 漏水 | 無し | 貫通ひび割れの判断(活荷重, アルカリシリカ反応) | | |
| | 20 | アルカリシリカゲル滲出 | 無し | 損傷・劣化要因の判断(アルカリシリカ反応) | | |
| 21 | コンクリートの変色 | 無し | 損傷・劣化要因の判断(アルカリシリカ反応) | | | |
| ひび割れ調査 (バイゲージ, コンタクトゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | 無し | 劣化過程の判定(活荷重) | | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | 未調査 | 劣化過程の判定(活荷重) | | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 上面:未 ^(※1) , 下面:未 | 水平ひび割れの判断 ※1:舗装を部分的に開削して調査 | |
| | | | 衝撃弾性波法調査 | 上面:未 ^(※1) , 下面:未 | | |
| | | | コア採取 | 上面:未調査, 下面:未調査 | | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスケーリングの調査 | 上面:未 ^(※1) , 下面:未 | 劣化過程の判断(凍害) | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 上面:未調査, 下面:未調査 | | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による浸透深さ調査 | 未調査 | 劣化過程の判定(塩害) | |
| 鉄筋位置の濃度 | | | 未調査 | 腐食限界濃度1.2kg/cm ³ を基準 | | |
| 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認(部分開削, コア抜き等) | 未調査 | 劣化過程の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応) A:点錆程度, B:全体に表面的腐食, C:軽微な断面欠損, D:著しい腐食 | | |
| | | 電気化学的測定による腐食度区分 | 上面:未調査, 下面:未調査 | | 劣化過程の判断(中性化) | |
| 28 | 中性化深さ | コア採取, ドリル削孔 | 上面:未調査, 下面:未調査 | | | |
| コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による) | 29 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 未調査 | 残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応) | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | | |
| | 30 | 残存膨張量 | | 未調査 | 損傷原因の判断(アルカリシリカ反応) | |
| 31 | 骨材のアルカリシリカ反応性 | | 未調査 | 損傷原因の判断(アルカリシリカ反応) | | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験(荷重車, FWD) | 未調査 | 劣化過程の判定(活荷重), 残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, 中性化, アルカリシリカ反応) | |
| | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 未調査 | | |

4.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を表-付 4.4.4 に示す。判定の基準は、本マニュアル第 5 章の表-5.3.2 を用いた。

表-付 4.4.4 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| | | 一般部 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|---|----------------------------|----------------|---------|------|----------|------|------|------|----------|------|------|------|--|----|---------|------|------|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|-----|---|---|--|--|---|---|---|---|---|--|--|--|----|---------|-------|---|---|--|--|---|---|---|---|---|--|--|--|----|
| | | 劣化過程の判定項目 | | 劣化過程の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 (床版下面) | 1 | 建設から60年,S14道示 | 進展期 (加速期前期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れが格子状 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | ひび割れ幅0.2mm, 間隔30~50cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 遊離石灰が一部見られる | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤を散布しない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 | 寒冷地域以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 寒冷地域以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下面 | | | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリ骨材反応 | | 20 | アルカリシリカゲル滲出が見られない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 21 | アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と劣化過程の判定 | | 上記より、ひび割れは格子状で、塩害・凍害・中性化などの変状がみとめられないことから輪荷重による疲労(進展期、一部加速期前期)と判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ注入工法(他工法と併用) ・縦桁増設工法 ・炭素繊維接着工法 ・下面増厚工法 ・鋼板接着工法 ・上面増厚工法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">劣化過程</th> <th>橋面防水</th> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦桁増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪荷重による疲労</td> <td>進展期</td> <td>□</td> <td>△</td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※1</td> </tr> <tr> <td>床版下面の損傷</td> <td>加速期前期</td> <td>□</td> <td>△</td> <td></td> <td></td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>※1</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 橋面防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 輪荷重による疲労 | 進展期 | □ | △ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ※1 | 床版下面の損傷 | 加速期前期 | □ | △ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ※1 |
| | | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 橋面防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 輪荷重による疲労 | 進展期 | □ | △ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ※1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 床版下面の損傷 | 加速期前期 | □ | △ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ※1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

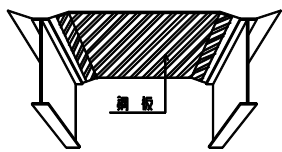

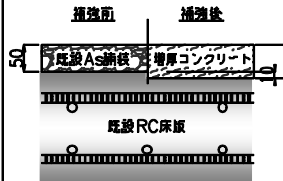
4.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付4.4.5に示す。本橋は、夜間1車線のみ交通規制が可能であること、周辺住民環境への配慮から工事騒音を低減する必要があることから、これらの制約条件に対応可能で初期コスト、LCCも安価な炭素繊維シート接着工法を選定した。

表-付4.4.5 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 | <劣化過程> | <必要な補強効果> | | |
|-----------------|-----------------|---------------|--|---|--|---|
| | | | 輪荷重 (進展期一部加速期前期) | <ul style="list-style-type: none"> ・曲げ耐力向上:必要 ・せん断耐力向上:不要 ・鉄筋補強・防錆:不要 ・床版厚修復:不要 | | |
| 工法 | | | 縦桁増設工法 (防水工を併用) | 炭素繊維接着工法 (防水工を併用) | | |
| 概要図 | | |  |  | | |
| 工法の特徴 | | | 床版の支間を短くすることで、床版の曲げ耐力を向上させる。 | 床版下面に炭素繊維を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が20%向上するとの報告もある | | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | | 向上 | ○ | ○ | |
| | せん断耐力の向上 | | 無 | × | △ | |
| | 輪荷重に対する疲労耐久性の向上 | | 小 | △ | ○ | |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | ○ |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | ○ |
| 床版厚修復効果 | | 無 | ○ | ○ | ○ | |
| 床版厚(UP厚) | | | 200mm(変更なし) | 200mm(変更なし) | | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(防水工が必要) | — | 不可(防水工が必要) | — |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 防水工1日×2回 | ○ | 防水工1日×2回 | ○ |
| | | 夜間の全止め日数 | 防水工1日 | ○ | 防水工1日 | ○ |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | 不要 | ○ | 不要 | ○ |
| | | 昼夜間の全止め(規制日数) | 不要 | ○ | 不要 | ○ |
| | 桁下道路等の交通規制 | 有(縦桁搬入時) | ○ | 無 | ○ | |
| 周辺環境 | 騒音の程度 | | 昼間作業で騒音小 | ○ | 昼間作業で騒音小 | ○ |
| 桁下足場の必要性 | | | 必要 | ○ | 必要 | ○ |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 死荷重の増加量 | | 0.36kN/m ² | | ほとんど増加しない | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 主構造の改修 | | 必要 | △ | 無 | ○ |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | | 防水工設置済み | | 防水工設置済み | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | | 車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある。死荷重の増加に対して桁の照査が必要 | | 滞水防止、ひび割れ観察 | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | | 縦桁上以外を車輪が走行する場合には、疲労損傷が進行し、最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される。 | △ | 全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある。→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている。 | ○ |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | | 床版取替え | | 上面増厚 | |
| 施工性 | 施工実績 | | 近年は減少 | △ | 多い | ○ |
| | 工期 | | 90日(1.50) | △ | 60日(1.00) | ○ |
| 維持管理 | | | <ul style="list-style-type: none"> ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・橋下の通行は無く美観は要求されず 定期的な仕上げ塗装の塗り替えは不要 ・滞水がないか点検が必要 | ○ |
| 経済性 | 工事費 | | 高 | × | 最も安価 | ◎ |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | | 高 | × | 最も低い | ◎ |
| 評価 | | | △ (延命効果が少ない) | | ◎ (工事費、LCCが最も良い、交通止不要) | |

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可
 ※1:超速硬コンクリートを用いた場合を示す
 ※2:早強コンクリートを用いた場合を示す

| <橋梁の重要度> | | <施工上の制約> | | | | 備考 |
|---|---|---|---|--|---|---------------------------|
| 地方道路として重要 | | ・迂回路の確保 : 困難 ・交通規制 : 夜間のみ1車線規制可能 ・桁下空間 : 制約なし ・周辺環境の制約等: 夜間の騒音への配慮が必要 | | | | |
| 鋼板接着工法 (防水工を併用) | | 上面増厚工法<アスファルト舗装> (防水工を併用) | | 上面増厚工法<コンクリート舗装> | | |
|  | |  | |  | | |
| 床版下面に鋼板を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。 | | 既設床版を増厚することで、床版の曲げ・せん断耐力を向上させる。超速硬コンクリートを使用。 | | アスファルト舗装をコンクリート舗装に打ち替え、床版の曲げ・せん断耐力を向上させる。早強コンクリートを使用。 | | |
| 向上 | ○ | 向上 | ○ | 向上 | ○ | <必要な補強効果>と比較し、性能を○、△、×で評価 |
| 無 | △ | 向上 | ○ | 向上 | ○ | |
| 向上 | ○ | 向上 | ○ | 向上 | ○ | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 補強 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 無 | ○ | 有 | ○ | 有 | ○ | |
| 200mm(変更なし) | | 230mm(+30mm増厚) | | 250mm(+50mm増厚) | | |
| 不可(防水工が必要) | — | 不可 | — | 不可 | — | <施工上の制約>と比較し、性能を○、×、△で評価 |
| 防水工1日×2回 | ○ | 1日×4回 | △ | 不可 | × | |
| 防水工1日 | ○ | 1日×4回 | △ | 不可 | × | |
| 不要 | ○ | 連続24時間×2回 ^{**1} | △ | 連続7日間×2回 ^{**2} | × | |
| 不要 | ○ | 連続24時間 ^{**1} | × | 連続7日間 ^{**2} | × | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 昼間作業で騒音小 | ○ | 夜間作業時騒音大 | × | 夜間作業時騒音大 | × | |
| 必要 | ○ | 必要(ひび割れ注入工) | ○ | 必要(ひび割れ注入工) | ○ | |
| 無 | ○ | 有(すり付け長の確保可能) | ○ | 無 | ○ | |
| 無 | ○ | 有 | ○ | 無 | ○ | |
| 0.36kN/m ² | | 0.23kN/m ² | | 無 | | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 防水工設置済み | | 必要 | | 防水工を設けない | | |
| 不要 | | 必要 | | 不要 | | |
| 滞水防止、ひび割れ観察 | | 死荷重の増加に対して桁の照査が必要。打継ぎ界面のはく離防止 | | 打継ぎ界面のはく離防止 | | |
| 滞水により補強効果が低下する。補強後の維持管理が不適切だと、押し抜きせん断破壊に至る場合がある | △ | 打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある。→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている。 | ○ | 打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある。→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている。 | ○ | 適用性を○、×、△で評価 |
| 床版取替え | | 旧増厚を切削後に再度上面増厚 | | 旧増厚を切削後に再度上面増厚 | | |
| 近年は減少 | △ | 多い | ○ | 少ない | ○ | |
| 90日(1.50) | △ | 60日(1.00) | ○ | 60日(1.00) | ○ | |
| ・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないかの点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない | | 通常のRC床版と同様の維持管理 | | 通常のRC床版と同様の維持管理 | | |
| | △ | | ○ | | ○ | |
| 高 | × | 安 | ○ | 安価 | ○ | |
| 高 | × | 中 | △ | 安価 | ○ | |
| ○ (工事費、LCCが高い、交通止不要) | | × (高さのすり付けが・交通止めが必要と) | | × (交通止めが必要となる) | | |

4.7 炭素繊維シート接着工法の設計

4.7.1 設計方針

本橋は主要地方道で交通量が多く夜間のみ 1 車線交通規制が可能であることから、橋面の防水工とアスファルト舗装を施し、床版下面側からの補強対策を施すものとした。床版の損傷は進展期であり疲労耐久性の向上を図ることを目的とする。そのため床版の補強工法は炭素繊維シート接着工法を選定した。

4.7.2 炭素繊維シート接着工法の補強仕様の決定

床版コンクリートの劣化のモニタリングおよび炭素繊維シートの接着性を長期的に確保するため床版コンクリート内の滞水防止を目的として、主鉄筋方向および配力鉄筋方向の炭素繊維シートを一定の間隔をあけて接着する、格子接着工法を採用する。既往の輪荷重実験より無補強の RC 床版に比べて 10 倍程度の疲労耐久性が得られる炭素繊維シートの引張剛性として 60kN/mm 以上を確保することとする。

表-付 4.4.6 に示すように幅 250mm の高弾性型炭素繊維シートを 100mm の間隔で接着した場合の補強材の引張剛性は以下のように 65kN/mm となる。

$$S_{cf} = n_{cf} \times E_{cf} \times t_{cf} \times w_{cf} / (w_{cf} + g_{cf}) = 65 \text{ kN/mm}$$

ここに、

- S_{cf} : 補強材の引張剛性
- n_{cf} : 炭素繊維シートの積層数
- E_{cf} : 炭素繊維シートのヤング係数
- t_{cf} : 炭素繊維シートの厚さ
- w_{cf} : 炭素繊維シートの幅
- g_{cf} : 炭素繊維シートの間隔

表-付 4.4.6 炭素繊維シートの貼り付け仕様

| 炭素繊維シートの種類 | 高弾性型炭素繊維シート |
|-----------------------------|-----------------------|
| 繊維目付量 | 300g/m ² |
| 炭素繊維シート設計の厚さ (t_{cf}) | 0.143mm |
| 炭素繊維シートのヤング係数 (E_{cf}) | 640kN/mm ² |
| 引張強度 | 1900N/mm ² |
| 炭素繊維シートの幅 (w_{cf}) | 250mm |
| 炭素繊維シートの貼り付け間隔 (g_{cf}) | 100mm |
| 炭素繊維シートの積層数 (n_{cf}) | 1 層 (主筋方向・配力鉄筋方向) |
| 補強材の引張剛性 (S_{cf}) | 65kN/mm |

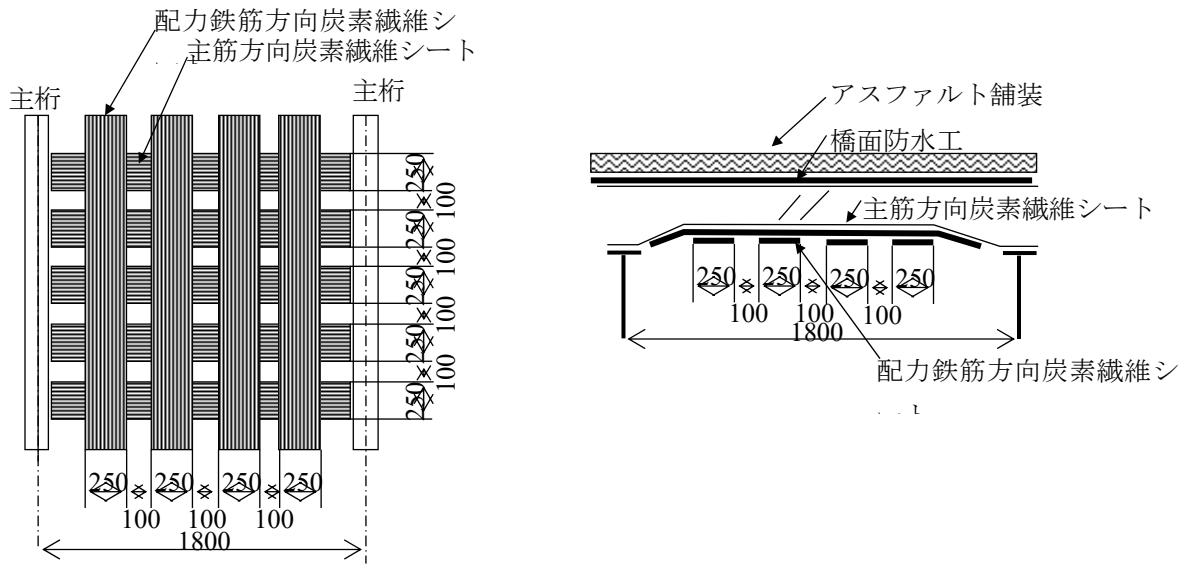


図-付 4. 4. 3 炭素繊維シート接着仕様

5. 輪荷重による疲労一下面増厚工法

5.1 維持管理の方針

本橋は昭和45年に県道橋として建設され、現在は主要な県道として活用されており、特に朝夕の通勤時間等に重交通として利用されている。さらに、隣県との基幹路線でもあり、建設当初よりも大型車交通量が増加した状況にある。本橋の床版は、床版下面に格子状のひび割れが生じていることから、損傷段階は、輪荷重による疲労の進展期（一部、加速期）と判断され、ただちに補修・補強が必要な状況ではない。しかしながら、旧基準で設計されており床版厚が薄く劣化の進展速度が速いと想定されること、設計当初よりも大型車交通量が増加していること、基幹道路として重要であることなどの理由から、予防保全として現行基準のB活荷重に対応できるよう床版を補強し、適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する方針である。

5.2 橋梁の概要

本橋の諸元とRC床版の諸元を表-付4.5.1、表-付4.5.2、断面図を図-付4.5.1に示す。

表-付4.5.1 橋梁諸元

| | |
|-----------|----------------|
| 橋 格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 4 径間連続非合成鈹桁 |
| 支間長 | 24.000m |
| 有効幅員 | 13.500m |
| 主桁間隔 | 3@2.950m |
| アスファルト舗装厚 | 5mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 200mm |
| 大型車交通量 | 500~1000 台/日 |
| 設計活荷重 | TL-20 |
| 適用示方書 | 昭和39年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和45年 |

表-付4.5.2 RC床版の諸元

| | | |
|--------------|------|--|
| コンクリート設計基準強度 | | $\sigma_{ck}=28\text{N/mm}^2$ |
| ハンチ高 | | 50mm |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側：D19 (ctc250mm) 下側：D19 (ctc125mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側：D16 (ctc207mm) 下側：D16 (ctc108mm) |
| 張出し部 | 主鉄筋 | 上側：D19 (ctc125mm) 下側：D19 (ctc250mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側：D16 (ctc150mm) 下側：D16 (ctc150mm) |
| 桁端部 | 主鉄筋 | 上下：D19 (ctc125mm) |
| | 配力鉄筋 | 上下：D16 (ctc125mm) |
| 鉄筋材質 | | SD295A |

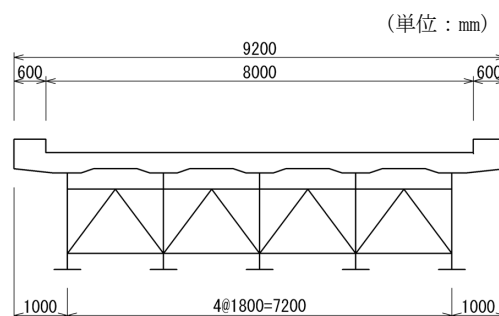


図-付4.5.1 断面図

5.3 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは、0.2～0.3mm 程度のひび割れが格子状に発生しており縦断勾配の低い桁端部において、白色析出物の滲出が見られる。ただし、鉄筋の錆び汁は見られない。その他の箇所においては、格子状のひび割れは生じているものの、白色析出物、鉄筋の錆び汁は見られない。床版下面のひび割れ状況を図-付 4.5.2 に示す。



図-付 4.5.2 床版下面のひび割れ状況

5.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を表-付 4.5.3 に示す。本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく、また、塩害、凍害、中性化、ASR などによる劣化の可能性が低いことから、床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした。

表-付 4.5.3 劣化・損傷の調査結果

| 項目 番号 | 調査項目 | | A1~P1 | | |
|---|--------------------------|-----------------------------|---|---------------------|-----------|
| 資料調査 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | 建設から41年, S39道示 | | |
| | 2 | 路線の重要度 | 幹線道路 | | |
| | 3 | 一方向あたりの大型車の交通量(台/日) | 1000以上2000未満 | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 200mm | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 230mm | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | 異形鉄筋 | |
| | | | かぶり | 上面 | 40mm(設計値) |
| | | | | 下面 | 40mm(設計値) |
| | | | 配筋筋量 | H8道示の基準より少ない | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | 無 | | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | | 無 | | |
| 8 | 寒冷地域 | | 無 | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | | 床版補強時に同時施工 | | |
| ひび割れ調査 (目視調査) | 10 | ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など) | 格子状 | | |
| | 11 | 主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版中央, ハンチ | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | 0.3mm, 20cm | | |
| | 13 | ひび割れ密度(m/m ²) | 7m/m ² | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | 無 | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | 無 | | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | 一部有 | | |
| | 17 | 錆汁の有無 | 無 | | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | 無 | | |
| | 19 | 漏水 | 無 | | |
| | 20 | アルカリ骨材ゲル滲出 | 無 | | |
| | 21 | コンクリートの変色 | 無 | | |
| ひび割れ調査 (パイゲージ, コンタクト ゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | 無 | | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | 有り | | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | - | |
| | | | 衝撃弾性波法調査 | - | |
| | | | コア採取 | 上面:無, 下面:無 | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスケーリングの調査 | - | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 上面:無, 下面:無 | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による浸透深さ調査(EPMA) | 未実施 | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 (腐食限界濃度1.2kg/cm ³) | 上面:無, 下面:無 | |
| | 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認(部分開削, コア抜き等) | 上面:無, 下面:無 | |
| 電気化学的測定による腐食度区分 (A:点錆程度, B:全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D:著しい腐食) | | | 上面:無, 下面:無 | | |
| 28 | 旧工事の舗装切削における床版厚の減少(部分開削) | | 無 | | |
| コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による) | 29 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 28N/mm ² | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | |
| | 30 | 残存膨張量 | | 〃 | |
| 31 | 骨材のアルカリ骨材反応性 | | 〃 | | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験(荷重車, FWD) | 〃 | |
| | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 〃 | |

5.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を表-付 4.5.4 に示す。判定の基準は、本マニュアル第 5 章の表-5.3.2 を用いた。

表-付 4.5.4 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| | | A1~A2 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|---|---|------------|------|---------|------|--------|------|------|---------|----------|------|------|
| | | 損傷段階の判定項目 | | | | | | | | | 損傷段階の判定 | | | |
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設から41年,S39道示 | | | | | | | | (進展期) | | | |
| | | 10 | ひび割れが網細化 | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | ひび割れ幅0.3mm, 間隔20cm | | | | | | | | | | | |
| | | 13 | ひび割れ密度 7m/m ² | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 遊離石灰が若干見られる | | | | | | | | | | | |
| | | 29 | 圧縮強度28N/mm ² →スケーリング部以外の強度低下は見られない | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | | | | | | | | (-) | | |
| | | 下面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | | | | | | | | (-) | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 | 寒冷地域以外 | | | | | | | | (一) | | |
| | | 7 | 凍結防止材を散布しない | | | | | | | | | | | |
| | 下面 | 8 | 寒冷地域以外 | | | | | | | | (一) | | | |
| | 7 | 凍結防止材を散布しない | | | | | | | | | | | | |
| 中性化 | 上面 | | | | | | | | | | (一) | | | |
| | 下面 | | | | | | | | | | (一) | | | |
| アルカリ骨材反応 | | 20 | アルカリシリカゲル滲出が見られない | | | | | | | | (一) | | | |
| | | 21 | アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と損傷段階の判定 | | 上記より、ひび割れは格子状に発生し、一部に遊離石灰が見られる。また、床版上面の損傷はないことから、輪荷重による疲労(進展期)劣化と判定される | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | |
| | | 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 |
| | | 輪荷重による疲労 | 進展期 | △ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ※1 | ※1 | ※1 |
| | | 【総合判断】 輪荷重による疲労が進展期であることから、床版補強をすれば部分打換、床版取替、荷重制限を行う必要はないと考えられる。したがって、本橋の床版には、以下に示す4工法が適用可能と考えられる。 | | | | | | | | | | | | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> ・縦桁増設工法 ・炭素繊維接着工法 ・鋼板接着工法 ・上面増厚工法 ・下面増厚工法 | | | | | | | | | | | | |

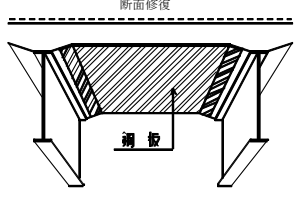
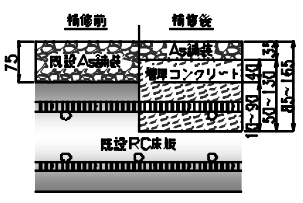
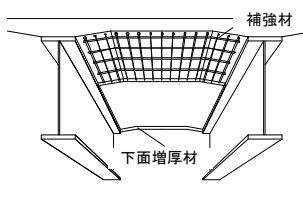
5.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付4.5.5に示す。本橋は、短期間の一車線交通規制が昼間のみ可能である。また、床版の曲げ補強、せん断補強、床版厚さを確保することからポリマーセメントモルタルを用い、最も安価で補強効果が高い下面増厚工法にて補強する。

表-付 4.5.5 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 | <損傷段階> 活荷重(進展期) | | <必要な補強効果> | | |
|-----------------|-----------------|-----------------------|--|---------------|---|----|---|
| 工法 | | | 縦桁増設工法 (防水工と併用) | | 炭素繊維接着工法 (防水工と併用) | | |
| 概要図 | | |  | |  | | |
| 工法の特徴 | | | 床版の支間を短くすることで、床版の曲げ耐力を向上させる。断面補修工法との併用が必要。 | | 床版下面に炭素繊維を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が20%向上するとの報告もある。断面補修工法との併用が必要。 | | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | | 向上 | ○ | 向上 | ○ | |
| | せん断耐力の向上 | | 無 | ? | 向上 | ○ | |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | 補強 | ○ |
| | 床版厚修復効果 | | 断面修復工を実施 | ○ | 断面修復工を実施 | ○ | |
| 床版厚(U/P厚) | | | 200mm(変更なし) | | 200mm(変更なし) | | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(防水工が必要) | | 不可(防水工が必要) | | |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 防水工1日×2回 | ○ | 防水工1日×2回 | ○ | |
| | | 夜間の全止め日数 | 防水工1日 | ○ | 防水工1日 | ○ | |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | — | ○ | — | ○ | |
| | | 昼夜間の全止め(規制日数) | — | — | — | — | |
| | 桁下道路等の交通規制 | 有(縦桁搬入時) | ○ | 無 | ○ | | |
| 桁下足場の必要性 | | | 必要 | ○ | 必要 | ○ | |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 死荷重の増加量 | 0.36kN/m ² | ほとんど増加しない | | | | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | ○ | 無 | ○ | | |
| | 主構造の改修 | 必要 | △ | 無 | ○ | | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 必要 | | 必要 | | | |
| 伸縮装置の取替え | | | 不要 | | 不要 | | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | | 車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある。死荷重の増加に対して桁の照査が必要 | | 滞水防止、ひび割れ観察 | | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | | 縦桁上以外を車輪が走行する場合には、疲労損傷が進行し、最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される。 | △ | 全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある。→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている。 | ○ | |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | | 床版取替え | | 上面増厚 | | |
| 施工性 | 施工実績 | | 近年は減少 | △ | 多い | ○ | |
| | 工期 | | 90日(1.50) | △ | 60日(1.00) | ○ | |
| 維持管理 | | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要 | ○ | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要 | ○ | |
| 経済性 | 工事費 | | 高 | ? | 安 | ○ | |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | | 高 | ? | 安 | ○ | |
| 評価 | | | ? | (せん断耐力が向上しない) | △ (床版の耐荷力向上は可能であるが、床版厚さは不足) | | |

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、?:適用不可

| <橋梁の重要度> 幹線道路 | | <施工上の制約> ・迂回路の確保 : 不可 ・交通規制 : 昼のみの一車線規制が短期間可能 ・桁下空間 : 制約なし ・周辺環境の制約等: 周辺住民に対する騒音対策 | | 備考 | |
|---|---|--|---|--|---|
| 鋼板接着工法 (防水工と併用) | | 上面増厚工法 (防水工と併用) | | 下面増厚工法 (防水工と併用) | |
|  | |  | |  | |
| 床版下面に鋼板を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。断面補修工法との併用が必要。 | | 既設床版のスケーリングの補修と同時に増厚することで、床版の曲げ・せん断耐力を向上させる。超速硬コンクリートを使用。 | | 床版下面に下面増厚を施すことで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が増厚分向上する | |
| 向上 | ○ | 向上 | ○ | 向上 | ○ |
| 無 | ? | 向上 | ○ | 向上 | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 補強 | ○ | 無 | ○ | 補強 | ○ |
| 断面修復工を実施 | ○ | 有 | ○ | 断面修復工を実施 | ○ |
| 200mm(変更なし) | | 240mm(+40mm増厚) | | 230mm(+30mm増厚) | |
| 不可(防水工で必要) | — | 不可 | — | 不可(防水工で必要) | — |
| 防水工1日×2回 | ○ | 1日×8回 | ○ | 防水工1日×2回 | — |
| 防水工1日 | ○ | 1日×8回 | ○ | 防水工1日 | — |
| — | ○ | 連続24時間×2回 ^{*1} | ○ | — | ○ |
| — | — | — | — | — | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 必要 | ○ | 不要 | ○ | 必要 | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 0.36kN/m ² | | 無 | | 0.60kN/m ² | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 必要 | | 必要 | | 必要 | |
| 不要 | | 不要 | | 不要 | |
| 滞水防止、ひび割れ観察 | | 打継ぎ界面のはく離防止 | | 滞水防止、ひび割れ観察 | |
| 滞水により補強効果が低下する。補強後の維持管理が不適切だと、押し抜きせん断破壊に至る場合がある | △ | 打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある。→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている。 | ○ | 橋面防水を併用することにより補強効果が継続される。経年による劣化は床版下面にひび割れとして現れるため下面の経過観察により確認する。 | ○ |
| 床版取替え | | 旧増厚を切削後に再度上面増厚 | | 上面増厚 | |
| 近年は減少 | △ | 多い | ○ | 多い | ○ |
| 90日(1.50) | △ | 60日(1.00) | ○ | 90日(1.50) | △ |
| ・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない | △ | 通常のRC床版と同様の維持管理 | ○ | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・滞水がないか点検が必要 | ○ |
| 高 | ? | 安 | ○ | 安 | ◎ |
| 高 | ? | 安 | ○ | 中 | ◎ |
| △ (床版の耐力向上は可能であるが、床版厚さは不足) | | × (床版の補強効果は期待できるが、交通を長期に規制しなければならない) | | ◎ (工事費が安く床版の補強効果が期待でき、交通規制が短期) | |

5.7 下面増厚工法の設計

5.7.1 設計方針

本橋は県道の主要路線で交通量が多く一時的な交通規制のみ可能であることから、橋面の防水工とアスファルト舗装を施し、床版下面側からの補強対策を施すものとした。床版の損傷は進展期で床版の厚さを確保し曲げ及びびせん断補強を行い、疲労耐久性の向上を図ることを目的とする。そのため床版の補強工法は下面増厚工法を選定した。

5.7.2 対策工法の設計

下面増厚工法は現行の道路橋示方書で要求される曲げモーメントに対し既設鉄筋応力が許容応力以下となる補強鉄筋を床版下面に配置しポリマーセメントモルタルで増厚補強するものである。この下面増厚補強断面で輪荷重走行試験により疲労耐久性の工場が確認されている。そのため現行の道路橋示方書で必要とされている床版厚さを確保できなくとも、所定の疲労耐久性が得られるものである。本橋では必要とする曲げ補強から定まる鉄筋量 D10@100 と厚さ t=30mm となり、必要床版厚さ 230mm も確保できる。

i) 中間床版の照査

現行の道路橋示方書で要求される曲げモーメントに対し既設鉄筋応力が許容応力以下となる補強鉄筋を床版下面に配置する。

ii) 片持ち床版の照査

現行の道路橋示方書で要求される曲げモーメントに対し既設鉄筋応力が許容応力以下となる補強鉄筋を床版下面に配置する。

iii) 下面増厚量

$$\begin{aligned} \text{下面増厚量} &= \text{主鉄筋方向補強鉄筋公称径} + \text{配力鉄筋方向補強鉄筋公称径} + \\ &\quad \text{最小かぶり} \text{ 10mm} \text{ かつ鉄筋径} \\ &= 10\text{mm} + 10\text{mm} + 10\text{mm} = 30\text{mm} \end{aligned}$$

iv) 死荷重増に関する主構造への影響

死荷重の増加が少ないため主構造への影響はない。

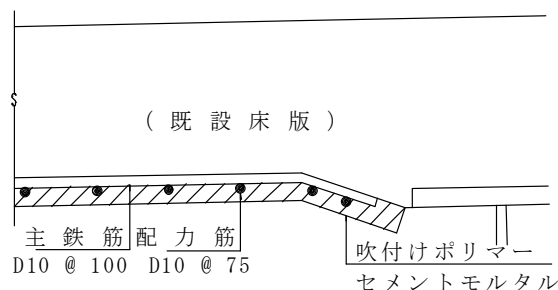


図-付 4.5.3 補強断面図

6. 輪荷重による疲労－鋼板接着工法

6.1 維持管理の方針

本橋は昭和 41 年に建設された都市部の高架橋で、主要幹線道路であることから交通量が多く特に湾岸部からの大型輸送車両が頻繁に通行する交通環境であった。海岸線からは 10km 程度離れており、冬の積雪もほとんど無い環境に置かれている。周辺には ASR による被災構造物も見られないことから、材料的な問題を有する危険性は少ない状況であった。床版の劣化状況は下面に二方向ひび割れが発生しており、その間隔も 50cm を下回り一部には角落ちも生じ始めていることから、進展期を過ぎて加速期に入った状況であると判定された。さらに、本橋の設計は昭和 39 年の道路橋示方書に準拠しており、主鉄筋量に対して配力鉄筋量が極端に少ない設計となっている。本橋の維持管理にあたっては、今後も大型車通行量が見込まれることを考慮すると何らかの対策が要求される状況である。しかしながら都市部で架け替えが容易ではなく、交通量も多いことから橋面の通行規制を行わない床版補強工法を選定する必要に迫られていた。

6.2 橋梁の概要

本橋の諸元を表-付 4.6.1、RC 床版の諸元を表-付 4.6.2、断面図を図-付 4.6.1 に示す。

表-付 4.6.1 橋梁の諸元

| | |
|-----------|------------------|
| 橋格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 単純合成鉄桁×3 連 |
| 橋長 | 95.3m |
| 有効幅員 | 12.5m |
| 主桁間隔 | 2.4m |
| アスファルト舗装厚 | 50mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 190mm |
| 大型交通量 | 8000 台/日 |
| 設計活荷重 | TL-20 |
| 適用示方書 | 昭和 39 年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和 41 年 |

表-付 4.6.2 RC 床版の諸元

| | | |
|--------------|-----------------------------------|--|
| コンクリート設計基準強度 | $\sigma_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$ | |
| ハンチ高 | 70mm | |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側 : D16 (ctc250mm) 下側 : D16 (ctc125mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側 : D13 (ctc300mm) 下側 : D13 (ctc300mm) |
| 鉄筋材質 | SD30A | |

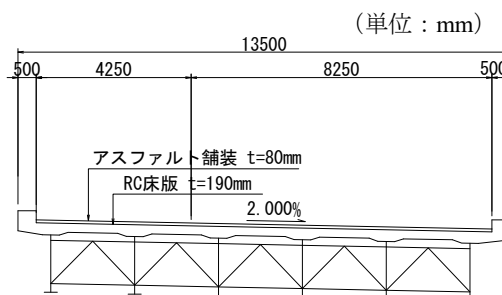


図-付 4.6.1 断面図

6.3 劣化・損傷の状況

床版下面側のひび割れは、二方向ひび割れとなって進展しており、その間隔も 50cm を下回っている。さらに輪荷重が通過する範囲では角落ちも生じ始めていた。白色析出物と漏水は局所的に発生しており、その位置は橋面勾配の下側で輪荷重の通行軌跡の直下であった。

図-付 4.6.2 は主桁と対傾構に囲まれた床版のパネルのひび割れ調査結果である。ひび割れ密度は 10mm^2 を超過しており、剛性の低下が懸念される状況であった。

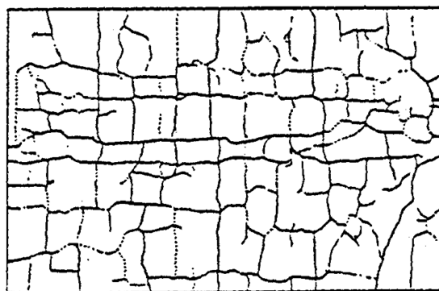


図-付 4.6.2 床版下面のひび割れ状況

6.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

本橋床版の調査結果を表-付 4.6.3 に示す。材料の劣化に関する要因が考えられないので調査はひび割れ性状の確認を中心として行っている。

表-付 4.6.3 劣化・損傷の調査結果

| | 番号 | 調査項目 | パネル名 | 備考 | | |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------|
| 資料調査 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | 46年, S39鋼道示 | 損傷原因の判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 2 | 路線の重要度 | 主要地方道 | | | |
| | 3 | 一方あたり大型車の交通量(台/日) | | 損傷原因の判断(活荷重) | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 190mm | 損傷原因の判断(活荷重) | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 230mm | 現行道橋示方書の配力筋量との比較 | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | SD30A | 損傷段階の判定(活荷重) | |
| | | | かぶり | 上面 | 30mm(設計値) | 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定に使用 |
| | | | | 下面 | 30mm(設計値) | |
| | | 配力筋量 | 現行道示よりも少ない | 現行道橋示方書の配力筋量との比較 | | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | 無し | 損傷原因の判断(塩害) | | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | | 無し | 損傷原因の判断(塩害) | | |
| 8 | 寒冷地域 | | 無し | 損傷原因の判断(凍害) | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | | 無し | | | |
| ひび割れ調査 (目視調査) | 10 | ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など) | 2方向 | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 11 | 主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版中央 | | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | 0.2mm, 50cm未満 | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 13 | ひび割れ密度(m/m ²) | 最大10.0m/m ² | 損傷段階の判定 | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | 無し | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | 有り(局所的) | 損傷段階の判定(活荷重) | | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | 有り(局所的) | 貫通ひび割れの判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 17 | 錆汁の有無 | 無し | 鉄筋腐食の判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | 無し | 錆汁の有無 | | |
| | 19 | 漏水 | 有り(局所的) | 貫通ひび割れの判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 20 | アルカリスリカゲル滲出 | 無し | 損傷・劣化要因の判断(アルカリ骨材反応) | | |
| 21 | コンクリートの変色 | 無し | 損傷・劣化要因の判断(アルカリ骨材反応) | | | |
| ひび割れ調査 (パイゲージ, コンタクトゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | 未調査 | 損傷段階の判定(活荷重) | | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | 未調査 | 損傷段階の判定(活荷重) | | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 未調査 | 水平ひび割れの判断 ※1: 舗装を部分的に開削して調査 | |
| | | | 衝撃弾性波法調査 | 未調査 | | |
| | | | コア採取 | 未調査 | | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスケーリングの調査 | 未調査 | 損傷段階の判断(凍害) | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 未調査 | | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による浸透深さ調査 | 未調査 | 損傷段階の判定(塩害) | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 | 未調査 | | 腐食限界濃度1.2kg/cm ³ を基準 |
| 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認(部分開削, コア抜き等) | 未調査 | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | | 電気化学的測定による腐食度区分 | 未調査 | | A: 点錆程度, B: 全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D: 著しい腐食 | |
| 28 | 旧工事の舗装切削における床版厚の減少(部分開削) | | 未調査 | | | |
| コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による) | 29 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 未調査 | 残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | | |
| | 30 | 残存膨張量 | | 未調査 | 損傷原因の判断(アルカリ骨材反応) | |
| 31 | 骨材のアルカリ骨材反応性 | | 未調査 | 損傷原因の判断(アルカリ骨材反応) | | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験(荷重車, FWD) | 未調査 | 損傷段階の判定(活荷重), | |
| | | | たわみ劣化度 D (計算値) | 未調査 | 残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | |

6.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

調査結果による損傷要因とその段階の検討表を表-付 4.6.4 に示す。本橋床版の損傷要因はひび割れによる劣化が主で材料的な問題が無いことから輪荷重による疲労と判定され、その損傷段階は加速期と考えられる。対応する工法はひび割れ注入工法+炭素繊維接着工法と鋼板接着工法および上面増厚工法となる。よって、次にその3工法について比較検討を実施する。

表-付 4.6.4 損傷要因と損傷段階検討表

| | | A1桁端部以外 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|---|----------------------------|-------------|------|---------|------|----------|------|----------|------|------|------|--|--|--|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 損傷段階の判定項目 | | 損傷段階の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設から46年,S39道示 | (加速期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れが格子状 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | ひび割れ幅0.2mm, 間隔50cm未満 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 遊離石灰が見られる(局所的) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 19 | 漏水が見られる(局所的) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 7 | 凍結防止剤を散布しない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 寒冷地域以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | 8 | 寒冷地域以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下面 | | 8 | 寒冷地域以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリ骨材反応 | 上面 | | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 下面 | | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と損傷段階の判定 | | 20 | アルカリシリカゲル滲出が見られない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 21 | アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と損傷段階の判定 | | 上記より、ひび割れは格子状で、遊離石灰・漏水が局所的であることから輪荷重による疲労(加速期)と判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ注入工法(他工法と併用) ・炭素繊維接着工法(他工法と併用) ・鋼板接着工法 ・上面増厚工法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">損傷段階</th> <th colspan="9">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦桁増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪荷重による疲労</td> <td>加速期</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>×</td> <td>△</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> </tr> </tbody> </table> | | | | 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 輪荷重による疲労 | 加速期 | △ | △ | × | △ | × | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ |
| 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 輪荷重による疲労 | 加速期 | △ | △ | × | △ | × | ○ | ○ | △ | △ | △ | △ | △ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

6.6 対策工法の比較・決定

本橋床版に適用可能な補強工法の比較を表-付 4.6.5 に示す。輪荷重による疲労が加速期まで進行していることと、交通規制が困難な施工条件により、鋼板接着工法を最適な工法として選定する。なお、床版下面側の補強となるため床版防水工との併用が必須となり、鋼板で完全に下面が覆われることから防水性能の高い工法の選定が望まれる。

鋼板接着工法を選定する際の留意点として、接着系工法の宿命であるがコンクリートの健全性にその効果の良否が左右されることになるので、施工前には一体性が確保出来るかどうかの確認が必要になる。具体的には付着試験などで表面の状態を確認することが現実であるが、その他にも周辺に ASR 被害構造物が無い、凍害による被害が他の部位に発生していないかなどの間接的な確認も必要である。

表-付 4.6.5 床版補強工法比較

| 項目 | 条件 <損傷段階> 活荷重(加速期) | | <橋梁の重要度> 主要地方道として重要 | | 備考 | |
|-----------------|--|--|--|--|--|--|
| | <必要な補強効果> ・曲げ耐力向上:必要 ・せん断耐力向上:必要(回復で良い) ・鉄筋補強・防錆:不要 ・床版厚修復:不要 | | <施工上の制約> ・迂回路の確保:困難 ・交通規制:夜間の一車線規制が可能 ・桁下空間:制約あり(交差道路, 駐車場) ・周辺環境の制約等:騒音規制 | | | |
| 工法 | 炭素繊維接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | | 鋼板接着工法 (防水工を併用) | | 上面増厚工法<アスファルト舗装> (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | |
| 概要図 |  | |  | |  | |
| 工法の特徴 | 床版下面に炭素繊維を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が20%向上するとの報告もある。別途、ひび割れ注入が必要である。 | | 床版下面に鋼板を接着することで剛性が大幅に増加し、床版の曲げ耐力が向上する。鋼板設置後の樹脂注入でひび割れにも充填され、せん断耐力が回復する。 | | 既設床版を増厚することで、床版の曲げ・せん断耐力を向上させる。超速硬コンクリートを使用。 | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | 向上 ○ | 向上 ○ | 向上 ○ | <必要な補強効果>と比較し、性能を○、×で評価 | |
| せん断耐力の向上 | 回復 △ | 回復 △ | 向上 ○ | 向上 ○ | | |
| 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 ○ | 無 ○ | 無 ○ | | |
| 下面鉄筋補修・補強、防錆 | 補強 ○ | 補強 ○ | 無 ○ | 無 ○ | | |
| 床版厚修復効果 | 無 ○ | 無 ○ | 無 ○ | 有 ○ | | |
| 床版厚(LP厚) | 200mm(変更なし) | | 200mm(変更なし) | | 250mm(+50mm増厚) | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(防水工が必要) | 不可(防水工が必要) | 不可 | <施工上の制約>と比較し、性能を○、×、△で評価 |
| 桁下足場の必要性 | 夜間の一車線規制日数 | 防水工1日×2回 | ○ | 防水工1日×2回 | ○ | |
| | 夜間の全止め日数 | 防水工1日 | ○ | 防水工1日 | ○ | |
| | 昼夜間の一車線規制日数 | — | — | — | 不可 | |
| | 昼夜間の全止め(規制日数) | — | — | — | 不可 | |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 ○ | 無 ○ | 有(すり付け長の確保可能) ○ | |
| | 高欄・地覆高の修正 | 無 | 無 ○ | 無 ○ | 有 ○ | |
| | 死荷重の増加量 | ほとんど増加しない | 0.36kN/m ² | 0.23kN/m ² | 有 ○ | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 ○ | 無 ○ | 無 ○ | 無 ○ | |
| 主構造の改修 | 無 | 無 ○ | 無 | 無 ○ | | |
| 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 必要 | 必要 | 必要 | 必要 | | |
| 伸縮装置の取替え | 不要 | 不要 | 不要 | 必要 | | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | 滞水防止、ひび割れ観察 加速期での適用ではひび割れへの 確実な注入が必要 | | 滞水防止、ひび割れ観察 | | 死荷重の増加に対して桁の照査が必要。打継ぎ界面のはく離防止 | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | 全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある。→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている。 | ○ | 橋面防水が確実に実施されれば、耐久性は炭素繊維接着工法と同等であり遜色ない。 | ○ | 打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある。→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている。 |
| 施工性 | 耐久年数経過後の補修工法 | 上面増厚 | ○ | 上面増厚 | ○ | 旧増厚を切削後に再度上面増厚 |
| 維持管理 | 施工実績 | 多い | ○ | 全実績は最多(近年は減少) | ○ | 多い |
| | 工期 | 90日(1.00) | △ | 90日(1.00) | △ | 60日(0.67) |
| 経済性 | 工事費 | 高(高強度2×2層) | × | 中 | ○ | 安 |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | 高 | × | 中 | △ | 中 |
| 評価 | | △ (ひび割れ注入の施工が別途必要) | ○ (曲げ剛性が大幅に増加する) | × (通行規制に制限がある) | | |

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可
※1:超速硬コンクリートを用いた場合を示す
※2:早強コンクリートを用いた場合を示す

6.7 鋼板接着工法の設計

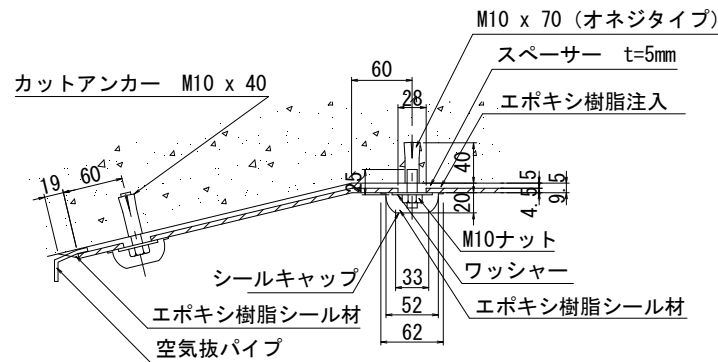
6.7.1 設計方針

本橋は主要地方道であり、夜間のみ交通規制が可能であることから橋面防水とアスファルト舗装を夜間で実施し、床版補強は下面側からの施工が可能な鋼板接着工法を選定した。本工法であれば曲げ剛性が大幅に増加し、疲労耐久性の向上が期待できる。

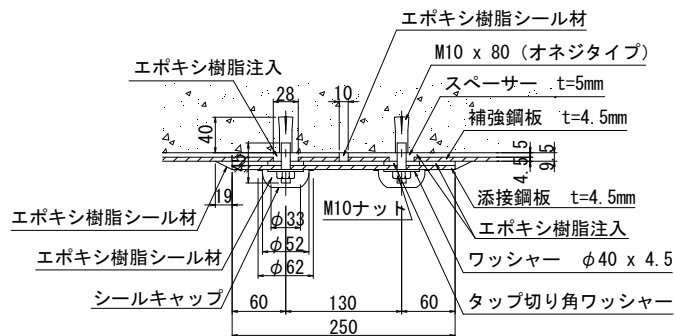
6.7.2 対策工法の設計

鋼板接着工法ではエポキシ樹脂の接着力による補強鋼板の一体化により、曲げ剛性が大幅に増加するので一般的な許容応力度法の設計では、コンクリート内部の既設補強材の発生応力度が許容値を超過することはない。よって、本橋でも床版下面の全体を補強するため設計計算は省略する。因みに、設計計算が必要となる際には補強鋼板を引張鋼材として抵抗断面に換算して算入することになり、接着層となる樹脂厚さを無視して補強鋼板が床版下面に配置されているものとして計算する。その際の補強鋼板の許容応力度は、エポキシ樹脂接着剤による一体化であることを考慮して $\sigma_{pa}=80\text{N/mm}^2$ となる。

鋼板接着工法の施工は全面足場による橋下からの施工となるので、人力施工が基本となる。よって、補強鋼板は足場上での運搬が可能ないように分割し、その質量は 150~200kg 程度を目安にした。塗装にあたっては、施工時に塗膜が損傷するので、下塗りで搬入して現場塗装を採用している。鋼板の取り付け詳細は図-付 4.6.3 のとおりで、厚さ 4.5mm の鋼板を用いていることから死荷重の増加は小さく、主構造に及ぼす影響は殆ど無い。



(a) 一般部



(b) 添接部

図-付 4.6.3 鋼板取付詳細図

7. 輪荷重による疲労—上面増厚工法

7.1 維持管理の方針

本橋は昭和 41 年に農道橋として建設されたが、現在は周辺に商業施設や住宅、観光地が建設され生活活用道路としても活用されており、特に観光シーズンの夏期には、観光バスが連なって走行するなど、建設当初よりも大型車交通量が増加した状況にある。本橋の床版は、床版下面に格子状のひび割れが生じていることから、劣化過程は、輪荷重による疲労の進展期（一部、加速期後期）と判断され、ただちに補修・補強が必要な状況ではない。しかしながら、旧基準で設計されており床版が薄く劣化の進展速度が速いと想定されること、設計当初よりも大型車交通量が増加していること、観光地のインフラとして重要であることなどの理由から、予防保全として現行基準の B 活荷重に対応できるよう床版を補強し、適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する。

7.2 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を、表-付 4.7.1 と表-付 4.7.2 に、断面図を図-付 4.7.1 に示す。

表-付 4.7.1 橋梁諸元

| | |
|-----------|------------------|
| 橋 格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 単純合成鉄桁 |
| 支間長 | 25.000m |
| 有効幅員 | 7.000m |
| 主桁間隔 | 3@2.000m |
| アスファルト舗装厚 | 50mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 170mm |
| 大型車交通量 | 500~1000 台/日 |
| 設計活荷重 | TL-20 |
| 適用示方書 | 昭和 39 年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和 41 年 |

表-付 4.7.2 RC 床版の諸元

| | | |
|--------------|------|--------------------------------------|
| コンクリート設計基準強度 | | $\sigma_{ck}=28\text{N/mm}^2$ |
| ハンチ高 | | 50mm |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側：D16(ctc280mm) 下側：D16(ctc140mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側：D13(ctc250mm) 下側：D13(ctc125mm) |
| 張出し部 | 主鉄筋 | 上側：D16(ctc140mm) 下側：D16(ctc280mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側：D13(ctc180mm) 下側：D13(ctc180mm) |
| 桁端部 | 主鉄筋 | 上下：D16(ctc100mm) |
| | 配力鉄筋 | 上下：D13(ctc125mm) |
| 鉄筋材質 | | SD295A |

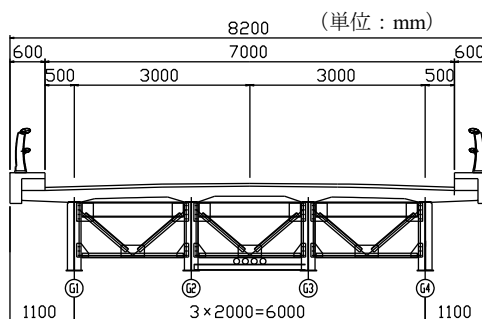


図-付 4.7.1 断面図

7.3 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは、縦断勾配の低い桁端部において、格子状のひび割れから白色析出物が見られる。ただし、鉄筋の錆び汁は見られない。その他の箇所においては、格子状のひび割れは生じているものの、白色析出物、鉄筋の錆び汁は見られない。床版下面のひび割れ図を図-付 4.7.2 に示す。

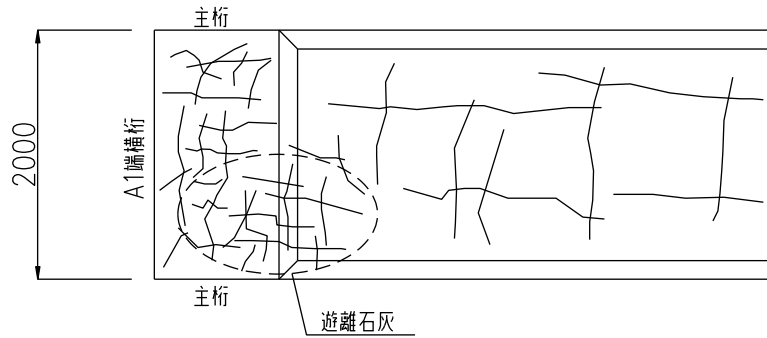


図-付 4.7.2 床版下面のひび割れ図

7.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

定期点検などによる劣化・損傷調査結果を表-付 4.7.3 に示す。本橋は床版下面のひび割れ本数は比較的少なく、また、塩害、凍害、中性化、ASR などによる劣化の可能性が低いことから、床版のコア採取などの追加調査を行わないこととした。

表-付 4.7.3 劣化・損傷の調査結果

| 項目番号 | 調査項目 | A1桁端部 | A1桁端部以外 | |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 資料調査 | 1 供用年数, 適用示方書 | 建設から45年, S39道示 | | |
| | 2 路線の重要度 | 観光路線として重要 | | |
| | 3 一方向あたりの大型車の交通量(台/日) | 500以上1000未満 | | |
| | 4 床版厚 | 設計厚 | 220mm | 170mm |
| | | 現行道示での床版厚 | — | 200mm |
| | 5 鉄筋 | 鉄筋の種類 | 異形鉄筋 | |
| | | かぶり | 上面 | 32mm(設計値) |
| | | | 下面 | 32mm(設計値) |
| | 配筋筋量 | H8道示の基準より少ない | | |
| 6 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | 無 | | |
| 7 凍結防止剤の散布の有無 | | 無 | | |
| 8 寒冷地域 | | 無 | | |
| 9 防水層の施工時期 | | 未施工 | | |
| ひび割れ調査 (目視調査) | 10 ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など) | 格子状 | 格子状 | |
| | 11 主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版中央 | 床版中央, ハンチ | |
| | 12 ひび割れ幅, 間隔 | 0.3mm, 20cm | 0.2mm, 100cm | |
| | 13 ひび割れ密度(m/m ²) | 未検討 | 未検討 | |
| | 14 はく離, はく落の面積率 | 無 | 無 | |
| | 15 ひび割れの角落ちの有無 | 無 | 無 | |
| | 16 遊離石灰の有無 | 有 | 無 | |
| | 17 錆汁の有無 | 無 | 無 | |
| | 18 鉄筋腐食ひび割れ | 無 | 無 | |
| | 19 漏水 | 無 | 無 | |
| | 20 アルカリシリカゲル滲出 | 無 | 無 | |
| 21 コンクリートの変色 | 無 | 無 | | |
| ひび割れ調査 (パイゲージ, コンタクトゲージ等) | 22 すり磨きの有無 | 未調査 | 未調査 | |
| | 23 ひび割れの開閉の有無 | 未調査 | 未調査 | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 上面:未調査, 下面:未調査 | 上面:未調査, 下面:未調査 |
| | | 衝撃弾性波法調査 | 〃 | 〃 |
| | | コア採取 | 〃 | 〃 |
| | 25 凍害深さ | 目視によるスケーリングの調査 | 上面:未調査, 下面:無 | 上面:未調査, 下面:無 |
| | | コア採取, ドリル削孔 | 上面:未調査, 下面:未調査 | 上面:未調査, 下面:未調査 |
| | 26 塩化物イオン | コア採取による浸透深さ調査 | 未調査 | 未調査 |
| | | 鉄筋位置の濃度 | 上面:未調査, 下面:未調査 | 上面:未調査, 下面:未調査 |
| | 27 鉄筋腐食量 | 目視確認(部分開削, コア抜き等) | 〃 | 〃 |
| 電気化学的測定による腐食度区分 | | 〃 | 〃 | |
| 28 中性化深さ | コア採取, ドリル削孔 | 〃 | 〃 | |
| コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による) | 29 コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 未調査 | 未調査 |
| | | 非破壊検査 | 29N/mm ² | 33N/mm ² |
| | 30 残存膨張量 | | 未調査 | 未調査 |
| 31 骨材のアルカリシリカ反応性 | | 〃 | 〃 | |
| 載荷試験 | 32 変位 | 載荷試験(荷重車, FWD) | 〃 | 〃 |
| | | たわみ劣化度 D (計算値) | 〃 | 〃 |

7.5 劣化・損傷要因と劣化過程の判定および適用可能な対策工法の選定

劣化過程の判定および適用可能な対策工法を表-付 4.7.4 に示す。判定の基準は、本マニュアル第5章の表-5.3.2 を用いた。

表-付 4.7.4 劣化過程の判定および適用可能な対策工法

| | A1桁端部 | | | | A1桁端部以外 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|--|-----------------------------|------------|--|------|-----------------------------|------------|---------|------|----------|------|------|------|--|--|--|--|--|--|------|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 劣化過程の判定項目 | | | 劣化過程の判定 | 劣化過程の判定項目 | | | 劣化過程の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 項目番号 | 調査結果 | | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設から45年,S39道示 | | (加速期後期) | 1 | 建設から45年,S39道示 | | (進展期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れが格子状 | | | 10 | ひび割れが格子状 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | ひび割れ幅0.3mm, 間隔20cm | | | 12 | ひび割れ幅0.2mm, 間隔50cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 遊離石灰が見られる | | | 16 | 遊離石灰が見られない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | | (ー) | 6 | 飛来塩分の影響がない | | (ー) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 | 飛来塩分の影響がない | | | 6 | 飛来塩分の影響がない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 | 寒冷地域以外 | | (ー) | 8 | 寒冷地域以外 | | (ー) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 寒冷地域以外 | | | 8 | 寒冷地域以外 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | | | | (ー) | | | | (ー) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリ骨材反応 | | 20 | アルカリシリカゲル滲出が見られない | | (ー) | 20 | アルカリシリカゲル滲出が見られない | | (ー) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 21 | アルカリシリカ反応特有のコンクリートの変色が見られない | | | 21 | アルカリシリカ反応特有のコンクリートの変色が見られない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と劣化過程の判定 | 上記より、ひび割れは網細化にまで至っていないが、遊離石灰が一部に見られることから輪荷重による疲労(加速期後期)と判定 | | | | 上記より、ひび割れは格子状で、遊離石灰が見られないことから輪荷重による疲労(進展期)と判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | <ul style="list-style-type: none"> ひび割れ注入工法(他工法と併用) 縦桁増設工法 炭素繊維接着工法(ひび割れ注入工との併用) 鋼板接着工法 上面増厚工法 | | | | <ul style="list-style-type: none"> ひび割れ注入工法(他工法と併用) 縦桁増設工法 炭素繊維接着工法 下面増厚工法 鋼板接着工法 上面増厚工法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">劣化過程</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>床版防水</th> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦桁増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪荷重による疲労</td> <td>加速期後期</td> <td>□</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>×</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | 床版防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 輪荷重による疲労 | 加速期後期 | □ | △ | △ | × | △ | △ | ○ | ○ | △ | △ | — | — | — |
| 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 床版防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 輪荷重による疲労 | 加速期後期 | □ | △ | △ | × | △ | △ | ○ | ○ | △ | △ | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">劣化過程</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>床版防水</th> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦桁増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪荷重による疲労</td> <td>進展期</td> <td>□</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>※1</td> <td>※1</td> <td>※1</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | 床版防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 輪荷重による疲労 | 進展期 | □ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ※1 | ※1 | ※1 |
| 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 床版防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 輪荷重による疲労 | 進展期 | □ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ※1 | ※1 | ※1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <p>【総合判断】</p> <p>以下の4つの工法について比較し対策工法を決定する。なお、遊離石灰が見られるA1桁端部のみ、ひび割れ注入工を併用することとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> 縦桁増設工法 炭素繊維接着工法 鋼板接着工法 上面増厚工法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

7.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付 4.7.5 に示す。本橋は 10 日間程度の連続した交通規制が可能であるため早強コンクリートを用い、最も安価で補強効果が高いコンクリート舗装を兼ねた上面増厚工法にて補強する。

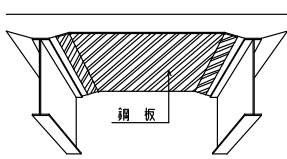
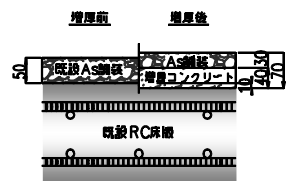
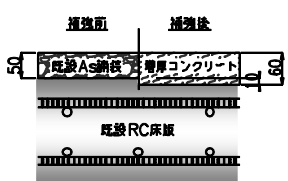
表-付 4.7.5 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 | <劣化過程> 活荷重(加速期後期) | | <必要な補強効果> ・曲げ耐力向上 : 必要 ・せん断耐力向上: 必要 ・鉄筋補強・防錆: 不要 ・床版厚修復 : 不要 | |
|-----------------|-----------------|-----------------------|--|----|---|--|
| 工法 | | | 縦桁増設工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | | 炭素繊維接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | |
| 概要図 | | |  | |  | |
| 工法の特徴 | | | 床版の支間を短くすることで、床版の曲げ耐力を向上させる。 | | 床版下面に炭素繊維を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が20%向上するとの報告もある | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | | 向上 | ○ | 向上 | ○ |
| | せん断耐力の向上 | | 無 | × | 向上 | ○ |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | ○ | 補強 | ○ |
| 床版厚修復効果 | | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 床版厚(UP厚) | | | 170mm(変更なし) | | 170mm(変更なし) | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(防水工で必要) | — | 不可(防水工で必要) | — |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 防水工1日×2回 | ○ | 防水工1日×2回 | ○ |
| | | 夜間の全止め日数 | 防水工1日 | ○ | 防水工1日 | ○ |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | — | — | — | — |
| | | 昼夜間の全止め(規制日数) | — | — | — | — |
| | 桁下道路等の交通規制 | 有(縦桁搬入時) | ○ | 無 | ○ | |
| 桁下足場の必要性 | | | 必要 | ○ | 必要 | ○ |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 死荷重の増加量 | 0.36kN/m ² | ほとんど増加しない | | | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 主構造の改修 | 必要 | △ | 無 | ○ | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 必要 | | 必要 | | |
| 伸縮装置の取替え | | | 不要 | | 不要 | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | | 車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある。死荷重の増加に対して桁の照査が必要 | | 滞水防止、ひび割れ観察 | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | | 縦桁上以外を車輪が走行する場合には、疲労損傷が進行し、最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される。 | | △ | 全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある。→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている。 |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | | 床版取替え | | | 上面増厚 |
| 施工性 | 施工実績 | | 近年は減少 | △ | 多い | ○ |
| | 工期 | | 90日(1.50) | △ | 60日(1.00) | ○ |
| 維持管理 | | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要 | | ○ | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・滞水がないか点検が必要 |
| 経済性 | 工事費 | | 高 | × | 安 | ○ |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | | 高 | × | 中 | △ |
| 評価 | | | × | | ○ | (安価である) |
| | | | (せん断耐力が向上しない) | | | |

評価の凡例: ◎: 最も優れている、○: 適用可能、△: 好ましくないが適用可能、×: 適用不可

※1: 超速硬コンクリートを用いた場合を示す

※2: 早強コンクリートを用いた場合を示す

| ＜橋梁の重要度＞ 観光路線として重要 | | ＜施工上の制約＞ ・迂回路の確保 :可能 ・交通規制 :昼夜間の連続した一車線規制が可能 ・桁下空間 :制約なし ・周辺環境の制約等:制約なし | | 備考 | |
|---|---|---|---|--|---|
| 鋼板接着工法 (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | | 上面増厚工法＜アスファルト舗装＞ (防水工とひび割れ注入(A1)を併用) | | 上面増厚工法＜コンクリート舗装＞ (ひび割れ注入(A1)を併用) | |
|  | |  | |  | |
| 床版下面に鋼板を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。 | | 既設床版を増厚することで、床版の曲げ・せん断耐力を向上させる。超速硬コンクリートを使用。 | | アスファルト舗装をコンクリート舗装に打ち替え、床版の曲げ・せん断耐力を向上させる。早強コンクリートを使用。 | |
| 向上 | ○ | 向上 | ○ | 向上 | ○ |
| 無 | × | 向上 | ○ | 向上 | ○ |
| 補強 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 無 | ○ | 有 | ○ | 有 | ○ |
| 170mm(変更なし) | | 200mm(+30mm増厚) | | 220mm(+50mm増厚) | |
| 不可(防水工が必要) | — | 不可 | — | 不可 | — |
| 防水工1日×2回 | ○ | 1日×4回 | ○ | 不可 | — |
| 防水工1日 | ○ | 1日×4回 | ○ | 不可 | — |
| — | — | 連続24時間×2回 ^{※1} | ○ | 連続7日間×2回 ^{※2} | ○ |
| — | — | 連続24時間 ^{※1} | ○ | 連続7日間 ^{※2} | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 必要 | ○ | 必要(ひび割れ注入工) | ○ | 必要(ひび割れ注入工) | ○ |
| 無 | ○ | 有(すり付け長の確保可能) | ○ | 無 | ○ |
| 無 | ○ | 有 | ○ | 無 | ○ |
| 0.36kN/m ² | | 0.23kN/m ² | | 無 | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | ○ |
| 必要 | | 必要 | | 防水工を設けない | |
| 不要 | | 必要 | | 不要 | |
| 滞水防止、ひび割れ観察 | | 死荷重の増加に対して桁の照査が必要。打継ぎ界面のはく離防止 | | 打継ぎ界面のはく離防止 | |
| 滞水により補強効果が低下する。補強後の維持管理が不適切だと、押し抜きせん断破壊に至る場合がある | | 打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある。→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている。 | | 打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある。→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている。 | |
| 床版取替え | | 旧増厚を切削後に再度上面増厚 | | 旧増厚を切削後に再度上面増厚 | |
| 近年は減少 | △ | 多い | ○ | 少ない | ○ |
| 90日(1.50) | △ | 60日(1.00) | ○ | 60日(1.00) | ○ |
| ・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない | | 通常のRC床版と同様の維持管理 | | 通常のRC床版と同様の維持管理 | |
| | | △ | | ○ | |
| 高 | × | 安 | ○ | 最も安価 | ◎ |
| 高 | × | 中 | △ | 最も低い | ◎ |
| × (せん断耐力が向上しない) | | △ (高さのすり付けが必要となる) | | ◎ (工事費、LCCが最も良い) | |

＜必要な補強効果＞
と比較し、性能を○、
×で評価

＜施工上の制約＞と
比較し、性能を○、
×、△で評価

適用性を○、×、△で
評価

適用性を○、×、△で
評価

7.7 上面増厚工法の設計

7.7.1 設計方針

本橋は比較的交通量も少なく、10日間程度の連続した交通規制が可能であることから、既設アスファルト舗装厚 50mm のすべてを、早強セメントを用いたコンクリート舗装に打ち替えることとする。また、初期ひび割れを防止するために、鋼繊維を混入した SFRC を用いる。

増厚コンクリートが薄くコンクリート舗装を兼ねる構造であるため、既設床版との一体化を確実にし打継ぎ面のはく離を抑制することを目的に、打継ぎ面の全面に土木用高耐久型エポキシ系接着剤を塗布する。

上面増厚工法の施工は、交通量の少ない期間において一車線規制（片側交通）にて行い、渋滞の発生を出来るだけ低減するものとする。

周辺住民への配慮として、低騒音コンクリートフィニッシュを用い騒音を低減させる。

7.7.2 増厚コンクリート厚の決定

現行道示 8.2.5 床版の最小全厚より、必要な床版厚を求め、既設床版厚を差し引いて増厚コンクリート厚を求める。

i) 現行道示の最小全厚（連続版）

$$\text{最小全厚 } d = k_1 \times k_2 \times d_0 = 1.15 \times 1.0 \times 170 = 196 \rightarrow 200\text{mm}$$

$$d_0 = 30L + 110 = 30 \times 2.0 + 110 = 170\text{mm}$$

ここに、L：床版の支間長 2.0m

k_1 ：大型車交通量係数 1.15（500 以上 1000 未満台数/日）

k_2 ：付加曲げモーメント係数 1.0

ii) 増厚コンクリート厚（切削厚さを除く）

$$\text{増厚コンクリートの最小厚さ } h = d - t = 200 - 170 = 30\text{mm}$$

ここに、t：既設床版の厚さ 170mm

以上より、増厚コンクリートの最小厚さは 30mm であるが、コンクリート舗装を兼ねる構造とするため、摩耗層を 20mm と考え増厚コンクリート厚は既設アスファルト舗装に合わせ 50mm（粗骨材の最大寸法 20mm）とする。

iii) 死荷重増に関する主構造への影響

死荷重が増加しないため主構造への影響はない。

8. 塩害一部分打替工法

本工法選定の事例は、付録2の「2.1 複合劣化の検討事例1」のうち、工法選定に関する事項を取りまとめたものである。点検等の詳細については、付録2を参照されたい。

8.1 維持管理の方針

対象橋梁は1978年10月に供用が開始された山間部に位置する高速道路橋で、上り、下り線が分離した鋼連続鈹桁橋の下り線（Bライン）である。交通量は約5,500台/日、大型車の混入率は約30%であり、疲労に起因すると判断される劣化・損傷は確認されない。一方、当該橋梁は山間部に位置するため冬季の交通安全性確保のために、多量（約40t/km・年）の凍結防止剤が散布されており、塩害による劣化・損傷が懸念されている。なお、山間部に位置するため、飛来塩化物の影響は無く、また、海砂等による内在塩化物の影響もない。ASRの可能性は皆無で、凍害の影響は軽微な環境である。

当該橋梁は日常点検および定期点検による調査において、床版上面の走行車線の舗装補修箇所周辺から若干の土砂の噴出が確認され、また、床版下面では漏水および白色析出物が部分的に確認された。

この結果を踏まえて、当該床版の詳細調査を実施するとともに、詳細調査の結果に基づく対策工事を実施することとなった。

8.2 橋梁の概要

本橋の諸元を表-付4.8.1に、断面図を図-付4.8.1に示す。

表-付4.8.1 橋梁諸元

| | |
|-----------|---------------------|
| 橋 格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 鋼単純非合成鈹桁橋 |
| 橋長 | 54.600m |
| 有効幅員 | 9,500m (2車線) |
| 主桁間隔 | 2,800m |
| アスファルト舗装厚 | 60mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 210mm |
| 大型車交通量 | 約1,650台/日 (全体の約30%) |
| 設計活荷重 | TL-20, TT43 |
| 適用示方書 | 昭和46年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 1978年 (昭和53年) |

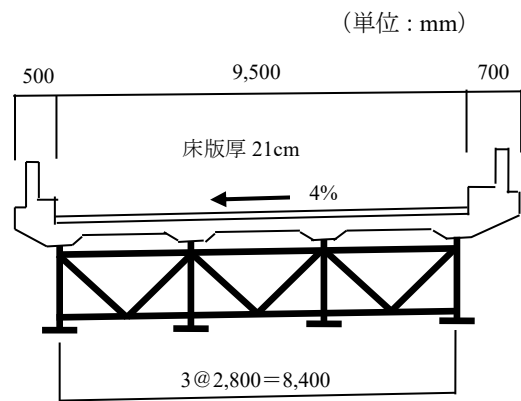


図-付4.8.1 断面図

8.3 劣化・損傷の状況

当該橋梁は日常点検において、床版上面の走行車線の舗装補修箇所周辺から若干の土砂の噴出が確認され、また、定期点検において、床版下面に漏水および白色析出物が部分的に確認されているが、大型車の通行量は、計画通行量より少なく、疲労に基づくと判断される外観上の変状は認められていない。また、この時点までの点検においては、下記の詳細点検において確認された鉄筋腐食によるかぶりコンクリートのはく離は確認されていない。これらの状況に基づきたたき点検等を伴う外観の詳細点検が下記において実施された。

- i) 車線規制による走行車線の舗装面からの詳細外観調査
- ii) 車線規制による走行車線の舗装撤去後の床版上面の詳細外観調査
- iii) 床版全体の下面からの詳細外観調査

これらの詳細外観調査の結果の概要は以下であった。

i) の調査においては、舗装面の浮きやひび割れが多数確認され、また、蜘蛛の巣状にひび割れている箇所も確認された。

ii) の調査においては、部分的な滞水と浮きやはく離が確認されるとともに、部分的に上面のコンクリートが骨材化（土砂化、砂利化、粘土化）している箇所もあった。

iii) の調査においては、走行車線側を主体として多数のパネル（主桁×横桁間）において、漏水および浮きやはく離が確認され、部分的に腐食した鉄筋が露出している箇所も確認された。

また、これらの損傷の特徴としては、損傷が走行車線側に集中していること、並びに同じ走行車線内においても損傷の程度が大きく異なることが確認された。

上記の詳細外観調査およびその評価・判定において当該床版は、緊急の補修等の対策が必要であることが明らかとなったが、当該橋梁は、山間部に位置し、冬季に散布される凍結防止剤は $40\text{t}/\text{km}\cdot\text{年}$ と非常に多量であるため、塩害が損傷の原因として考えられ、橋面の排水勾配等が走行車線の損傷を助長していると推察される。これらを考慮し、走行車線の損傷部と健全部におけるコア採取による塩化物イオンの含有量試験が実施された。試験の結果、含有塩化物イオン量は、損傷部では床版上下全面において約 $8\text{kg}/\text{m}^3$ 以上の多量の塩化物を含有しており、一方、比較的健全な箇所の塩化物量は、発錆限界塩化物イオン量を下回っており、顕著な差があることが確認された。

8.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を表-付 4.8.2 に示す。本橋は床版下面の疲労に起因するひび割れはなく、塩害に起因する損傷が確認された。その原因は、凍結防止剤の散布による塩害と推察され、凍害、ASR などによる劣化の可能性はない。

表-付 4.8.2 劣化・損傷の調査結果

| | 項目番号 | 調査項目 | 調査結果 (床版部) | | |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|------|
| 資料調査等 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | 建設後 33 年, S46 道示 | | |
| | 2 | 路線の重要度 | 高速道路であり, 非常に重要 | | |
| | 3 | 一方向あたりの大型車の交通量 (台/日) | 約 1,650 台/日 (全体の約 30%) | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 210mm | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 200mm | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | 異形鉄筋 | |
| | | | かぶり (設計) | 上面 | 30mm |
| | | | | 下面 | 30mm |
| | | | 配筋筋量 | 現行道示に準拠 | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 無 (山間部) | | | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | 有 (約 40 t/km・年) | | | |
| 8 | 寒冷地域 | 比較的穏やかな寒冷地 | | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | 未施工 | | | |
| ひび割れ調査 (目視) | 10 | ひび割れ形状 (一方向, 格子状, 網細化など) | 一方向 | | |
| | 11 | ひび割れ・剥離の位置 (床版中央, ハンチ, 張出部など) | 走行車線 | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | 平均 0.3mm 程度, 50cm | | |
| | 13 | ひび割れ密度 (m/m ²) | 未測定 | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | 約 70% (対スパン; 大きい箇所) | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | 無 | | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | 有 | | |
| | 17 | 錆汁の有無 | 有 | | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | 有 | | |
| | 19 | 漏水 | 有 | | |
| | 20 | アルカリ骨材ゲル滲出 | 無 | | |
| 21 | コンクリートの変色 | 有 | | | |
| ひび割れ (ゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | 未調査 | | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | 未調査 | | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 確認できず | | |
| | | | その他の調査 | 未調査 | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスケーリング | 無 | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 未調査 | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による EPMA 等 | 未調査 | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 | 約 8 kg/m ³ (損傷部) | |
| | 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認 (方法等) | はつり調査 | |
| | | | 腐食度区分* | D: 著しい腐食 (損傷部) | |
| 28 | 中性化 | 試験方法 | 未調査 | | |
| | | 中性化深さ | 未調査 | | |
| 29 | アルカリシリカ反応 | 残存膨張量 | 未調査 | | |
| | | 骨材反応性 | 未調査 | | |
| 30 | 旧工事の舗装切取における床版厚の減少 | 未調査 | | | |
| コンクリート 物性調査 | 31 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 未調査 | | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験 (荷重車, FWD) | 未調査 | |
| | | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 未調査 |

*腐食度区分, A: 点錆程度, B: 全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D: 著しい腐食

8.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を表-付 4.8.3 に示す。判定の基準は、本マニュアル第 5 章の表-5.3.2 を用いた。


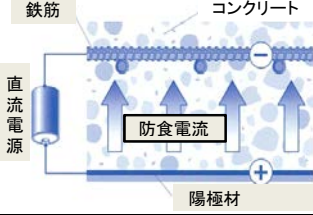
表-付 4.8.3 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| 劣化因子 | | 損傷段階の判定項目 | | 損傷段階の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|---|--|------------------------------|---------|------|----------|------|------|------|----------|------|------|------|--|--|------|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----|-------|---|---|---|---|---|----|----|---|----|---|---|---|---|
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設後 33 年, S46 道示 | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 1650 台/日 (設計範囲内) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れは一方方向 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響を受けない | (加速期後期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤を大量に散布する | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 26 | 約 8 kg/m ³ (鉄筋位置) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 27 | D: 著しい腐食 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 | 飛来塩分の影響を受けない | (加速期後期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤を大量に散布する | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 14 | はく離がある | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 | 比較的穏やかな寒冷地 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 25 | 目視によるスケーリング; 無 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 比較的穏やかな寒冷地 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 25 | 目視によるスケーリング; 無 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 中性化 | 上面 | 28 | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 下面 | 28 | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | アルカリシリカ反応 | | 20 | ゲル滲出なし | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 劣化・損傷要因と損傷段階の判定 | | 上記より、本床版の損傷部は凍結防止剤による塩化物を床版の版厚上下全体に含有しているが、健全部の塩化物は発錆限界以下である。また、損傷部は走行車線に集中しており、走行車線内においても比較的健全な箇所も存在しており、損傷部は塩害 (加速期～劣化期) と判定される。また、塩害以外の損傷原因は認められない。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 適用可能な対策工法の選定 | | <p>上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる。(施工方向の制限なし、損傷部対策)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面保護 (断面修復+表面被覆); 含有塩化物は、床版の版厚上下で多量であるため、床版版厚方向全てのはつりが必要⇒部分打換工法⇒○ ・電気化学的防食 (電気防食); はく離部の断面修復と併用することで、適用可能⇒○ ・炭素繊維接着 (他の塩害対策との併用); 疲労に対する補強を必要としない⇒× ・下面増厚 (他の塩害対策との併用); 疲労に対する補強を必要としない⇒× ・上面増厚 (他の塩害対策との併用); 疲労に対する補強を必要としない⇒× ・部分打換; ⇒○ ・床版取替; 損傷は部分的であり、床版全体の取替えは過剰⇒× <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">損傷段階</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>橋面防水</th> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦筋増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>塩害</td> <td>加速期後期</td> <td>□</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>×</td> <td>*2</td> <td>*2</td> <td>×</td> <td>*2</td> <td>△</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> </tbody> </table> <p>凡例： □：適用を原則とする，○：適用可能，△：他工法との併用にて適用， ×：適用不可もしくは効果が望めない，—：予防保全として適用可能， *1：予防保全として適用可能であるが、損傷が軽微であるため、一般的に適用しない， *2：他工法との併用で予防保全として適用可能。</p> <p>【総合判定】 上記の結果を考慮して、下記の 2 工法についての比較検討を実施し、適用工法を決定する。 ・部分打換工法＝表面保護工法 (断面修復) ・電気化学的工法 (電気防食工法)</p> | | | 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | 橋面防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦筋増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 塩害 | 加速期後期 | □ | × | ○ | △ | × | *2 | *2 | × | *2 | △ | — | — | — |
| 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 橋面防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦筋増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 塩害 | 加速期後期 | □ | × | ○ | △ | × | *2 | *2 | × | *2 | △ | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

8.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付4.8.4に示す。検討の結果、工事の緊急性、施工規模、工事費やLCC、その他の面で部分打替工法の適用が最も適していると判定できる、

表-付4.8.4 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 | < 損傷段階 > 塩害(加速期後期) < 必要な補強 > 特に必要なし < 橋梁の重要度 > 高速道路として非常に重要 | < 施工上の制約 > ・迂回路の確保 :可 ・交通規制:昼夜間の一車線規制可能 ・桁下空間:規制なし ・周辺環境の規制等;制約なし | | |
|-----------------|-------------------|--|--|---|--|---|
| 工法 | | 部分断面修復 | | 電気化学的工法 (電気防食工法) | | |
| 概要図等 | |  | |  | | |
| 工法の概要および特徴 | | 劣化損傷した床版全体をスパン単位ではつり取り、新しいコンクリートを打設し、橋面防水を実施する。施工後の補修箇所は通常の維持管理を行う。 | | コンクリート表面に陽極を取付け、直流電源装置のプラス極に陽極を、鉄筋をマイナス極に繋ぎ、防食電流を供給することで、鋼材の腐食反応を停止させ防食する。 | | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | せん断耐力の向上 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | 鉄筋のプラスト処理 | ○ | 無 | ○ |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | 鉄筋のプラスト処理 | ○ | 無 | ○ |
| 床版厚修復効果 | | 有 | ○ | 無 | ○ | |
| 床版厚(UP厚) | | 210mm(変更なし) | | 210mm(変更なし) | | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(はつり) | ○ | 可(下面からの施工の場合) | ○ |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 工期中 | ○ | 無 | ○ |
| | | 夜間の全止め日数 | — | — | — | — |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | 工期中 | ○ | 無 | ○ |
| | | 昼夜間の全止め規制日数 | — | — | — | — |
| 桁下道路等の交通規制 | | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 桁下足場の必要性 | | 必要(下面型枠設置) | | ○ | 必要 | ○ |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 死荷重の増加量 | ほとんど増加しない | | ほとんど増加しない(方式で異なる) | | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 主構造の改修 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 有 | | 不要(現状維持) | | |
| 伸縮装置の取替え | | 不要 | | 不要 | | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | 表面被覆の再補修 | | 定期的な防食効果の確認試験 | | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | 補修部には、橋面防水を行うため、新設と同等以上の耐用年数が期待できる。 | | ○ | チタン系陽極材は耐用年数40年以上が保障されている。陽極かぶりが無い場合は、周りのモルタルが損傷する場合がある。 | ○ |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | 床版取替 | | 電気防食の再施工 | | |
| 施工性 | 施工実績;床版(道路橋以外を含む) | 多い | ○ | 多い | ○ | |
| | 工期 | 約3日 | ○ | 約1カ月 | △ | |
| 維持管理 | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 | | ・電気防食の維持管理 ・電気代・専門家の維持管理が必要 | | |
| 経済性 | 工事費(部分打替を1.0として) | 1.0 | △ | 5.0(規模が小さく不向き) | ○ | |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | 低 | × | 高 | ◎ | |
| 評価 | | ◎ (工事費, LCCが低く、維持管理が簡便) | | △ (施工規模が小さいため、効率的な適用ができない) | | |

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

8.7 部分打替工法の設計

当該橋梁は、高速道路で重要度が高いこと、部分的な損傷が深刻で緊急性を有すること等を考慮した「8.6 対策工法の比較・決定」の検討の結果、部分打替工法が工期や工事費、LCC 等において有効と判定された。

部分打替工法は、通常の床版の設計や施工と同様に実施すればよいが、検討すべき留意点としては以下のような項目が挙げられる。

i) はつり方法

周辺コンクリートへの影響を考慮して、ウォータージェット工法によるはつりを適用するか

ii) 腐食鉄筋のケレン

ケレンの手法としてどのような方法を適用するか

iii) 鉄筋の防錆処理

適用するか否か

iv) マクロセル腐食対策

どのような対策を実施するか

v) コンクリートの種類

工期を考慮して超速硬コンクリートを適用するか、防食性を考慮してポリマーコンクリートを適用するか、ひび割れを考慮して膨張材を適用するか

これら以外にも状況に応じて発生する考慮すべき事項が存在すると考えられるが、それらについては、適宜検討するのがよい。

9.1 輪荷重による疲労・塩害－下面増厚工法＋電気化学的防食工法

9.1 維持管理の方針

本橋は1951年に比較的穏やかな海岸線に位置する主要地方道の河川橋として建設された。現在でも、近隣に迂回道路がないことから地域の主要道路として大型車を含む通過車両の多い橋梁である。本橋の床版は、床版下面に二方向のひび割れが生じており、また、ひび割れの一部からは塩害に起因すると考えられる錆び汁の発生が確認された。

二方向に生じたひび割れは、輪荷重に起因する疲労が原因で、損傷段階としては進展期（一部、加速期）と判断され、また、発生したひび割れからの錆び汁は、塩害によるもので、損傷段階としては加速期と判断される。なお、塩害の進展には疲労によって発生したひび割れが塩害の進展を促進していると考えられる。

本橋梁の疲労による劣化は、ただちに補修・補強が必要な状況ではないが、疲労に起因するひび割れが塩害の進行を助長していること、および旧基準で設計されており、設計荷重が現在の基準より低く、鉄筋量が少ないことや床版防水工が設置されていないことなどから、今後の疲労による劣化の進展速度は速いと想定される。一方、塩害による劣化の進行は、ひび割れ発生後、すなわち、加速期以降では、コンクリート中の鋼材腐食の進行に必要となる水や酸素が直接供給されるため、その進行が比較的早いため、できるだけ早期の対策が必要と判断される。当該橋梁は、これまでの供用年数を考慮すると橋梁自体の架替が最も有効とも考えられるが、近隣に迂回道路がないことから、本橋梁をできるだけ長期的に供用する必要があることから、床版の疲労に対する予防保全的な床版の補強を実施するとともに、塩害に対する対策工事を行い、適切な維持管理を行なっていくこととした。なお、現在の利用状況から、本時点での対策は、橋面の交通規制を極力伴わない工法を選定することとしたが、長期的には上面増厚等の対策も併用し、100年の供用を目指す計画である。

9.2 橋梁の諸元

本橋の諸元とRC床版の諸元を表-付4.9.1、表-付4.9.2に、平面図と断面図を図-付4.9.1、図-付4.9.2に示す。

表-付4.9.1 橋梁の諸元

| | |
|-----------|----------------|
| 規格 | 二等橋 |
| 橋梁形式 | 2径間単純鈹桁 |
| 橋長 | 24.0m (12m×2) |
| 有効幅員 | 7.400m |
| 主桁間隔 | 4@1.800m |
| アスファルト舗装厚 | 50mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 200mm |
| 大型交通量 | 500～1000 台/日 |
| 設計活荷重 | 13tf |
| 適用示方書 | 昭和14年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和26年 |

表-付4.9.2 RC床版の諸元

| | | |
|--------------|------|--|
| コンクリート設計基準強度 | | $\sigma_{ck} = 18 \text{ N/mm}^2$ |
| ハンチ高 | | 50mm |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側： $\phi 16$ (ctc250mm) 下側： $\phi 13$ (ctc125mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側： $\phi 12$ (ctc300mm) 下側： $\phi 12$ (ctc300mm) |
| 鉄筋材質 | | SR24 |

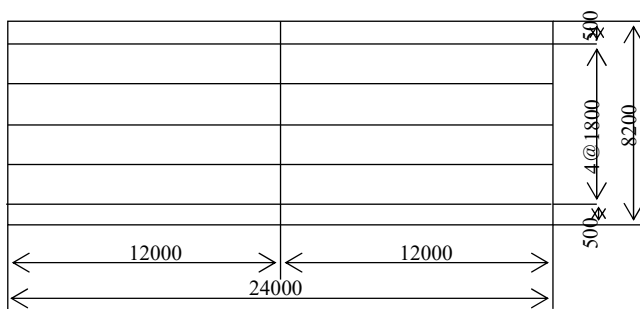


図-付 4.9.1 平面図

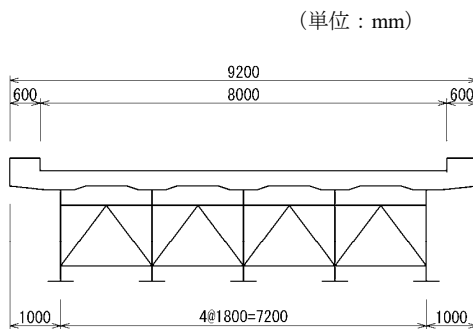


図-付 4.9.2 断面図

9.3 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れは、縦断勾配の低い桁端部において、格子状のひび割れから白色析出物が見られ、また、一部のひび割れには鉄筋からの錆び汁が認められる。その他の箇所においては、格子状のひび割れは生じているものの、白色析出物、鉄筋の錆び汁は見られない。床版下面のひび割れの状況を図-付 4.9.3 に示す。

また、本床版では塩害に起因する錆び汁の発生が認められたため、含有塩化物イオン量の調査が実施された。試験結果を表-付 4.9.3 に示す。この結果に基づくと、いずれにおいてもコンクリート中への塩化物の浸透が確認され、海側の桁間床版で最も大きく、山側ほど小さくなる傾向にあることが確認できる。深さ方向への塩化物イオンの分布は、鉄筋位置において発錆限界以上であり、海側の桁間では 10cm 以上の深さにおいても発錆限界を超える塩化物イオンを含有する調査結果であった。また、同時に実施した鉄筋のはつり調査での腐食の程度は、鉄筋全体に腐食が認められるものの、断面欠損は認められなかった。なお、はつり部で実施した中性化深さ試験の結果は、平均値で 10mm であった。

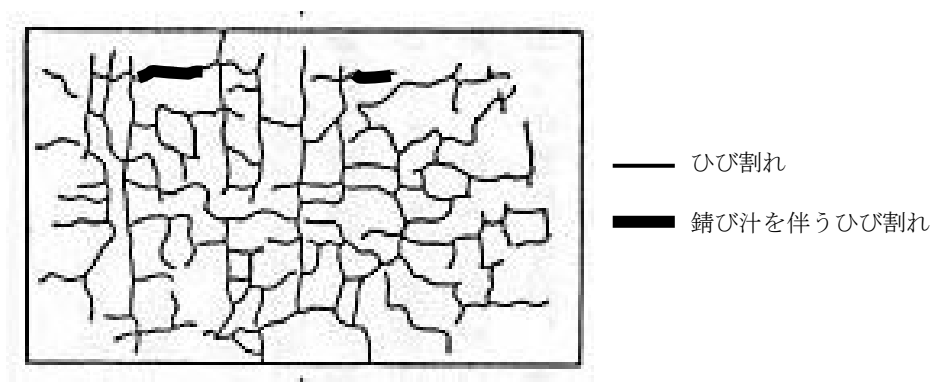


図-付 4.9.3 ひび割れの発生状

表-付 4.9.3 含有塩化物イオン量の測定結果

| 部材 | 位置 | 0~20mm kg/m ³ | 20~40mm kg/m ³ | 40~60mm kg/m ³ | 60~80mm kg/m ³ | 80~100mm kg/m ³ |
|----|-----|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 床版 | 1桁間 | 2.584 | 2.213 | 1.895 | 1.502 | 1.235 |
| | 2桁間 | 2.535 | 2.142 | 1.667 | 1.284 | 1.023 |
| | 3桁間 | 2.198 | 1.841 | 1.488 | 1.085 | 0.842 |
| | 4桁間 | 2.042 | 1.612 | 1.345 | 0.824 | 0.566 |

9.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

点検による劣化・損傷調査結果を表-付 4.9.4 に示す。本橋は床版下面のひび割れは二方向に発生しているものの本数は比較的少なく、また、その原因は、輪荷重による疲労と飛来塩分による塩害の複合劣化と推察され、凍害、ASR などによる劣化の可能性はない。

表-付 4.9.4 劣化・損傷の調査結果

| | 項目番号 | 調査項目 | 調査結果 (床版部) | | |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------|
| 資料調査等 | 1 | 供用年数, 適用示方書 | 建設後 60 年, S14 道示 | | |
| | 2 | 路線の重要度 | 主要地方道として重要 | | |
| | 3 | 一方あたり大型車の交通量 (台/日) | 500~1000 台/日 | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 200mm | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 182mm | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | SR24 | |
| | | | かぶり (実測) | 上面 | 30mm (設計値) |
| | | | | 下面 | 31.8mm (実測値) |
| | | | 配筋筋量 | 現行道示より少ない | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | 大きい (海岸から 20m 程度) | | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | 無 | | | |
| 8 | 寒冷地域 | 無 | | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | 未施工 | | | |
| ひび割れ調査 (目視) | 10 | ひび割れ形状 (一方, 格子状, 網細化など) | 二方向 (一部鑄汁を含む) | | |
| | 11 | ひび割れの位置 (床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版中央部に多い | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | 0.2mm 程度, 50cm (概算) | | |
| | 13 | ひび割れ密度 (m/m ²) | 未測定 | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | 無 | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | 無 | | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | 一部に有 | | |
| | 17 | 錆汁の有無 | 有 | | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | 有 (判定不明確) | | |
| | 19 | 漏水 | 有 | | |
| | 20 | アルカリ骨材ゲル滲出 | 無 | | |
| 21 | コンクリートの変色 | 有 (錆汁による変色) | | | |
| ひび割れ (ゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | 未調査 | | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | 未調査 | | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 確認できず | |
| | | | 衝撃弾性波法調査 | 上面: 未調査, 下面: 未調査 | |
| | | | コア採取 | 上面: 未調査, 下面: 未調査 | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスケーリング | 無 | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 上面: 未調査, 下面: 未調査 | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による EPMA 等 | 未調査 | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 | 2.213~1.612 kg/cm ³ | |
| | 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認 (方法等) | はつり調査 | |
| | | | 腐食度区分* | B: 全体に表面的腐食 | |
| | 28 | 中性化 | 試験方法 | はつり調査 (フェノール法) | |
| | | | 中性化深さ | 10mm (平均) | |
| 中性化残り | | | 21.8mm (塩害環境) | | |
| 29 | アルカリシリカ反応 | 残存膨張量 | 未調査 | | |
| | | 骨材反応性 | 未調査 | | |
| 30 | 旧工事の舗装切削における床版厚の減少 | 無 | | | |
| コンクリート物性調査 | 31 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 未調査 | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験 (荷重車, FWD) | 未調査 | |
| | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 未調査 | |

*腐食度区分, A: 点錆程度, B: 全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D: 著しい腐食

9.5 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

損傷段階の判定および適用可能な対策工法を表-付 4.9.5 に示す。判定の基準は、本マニュアル第 5 章の表-5.3.2 を用いた。

表-付 4.9.5 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| 劣化因子 | | 損傷段階の判定項目 | | 損傷段階の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|---|--------------------|----------------------------|---------|-------|----------|------|------|------|----------|------|------|------|--|--|------|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|-------|---|---|---|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 | 建設後 60 年、S14 道示 | (進展期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 | 大型車；500～1000 台/日 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | ひび割れは格子状 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 | 0.2mm 程度、50cm (概算) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 16 | 一部に有 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 | 飛来塩分の影響を受ける 凍結防止剤を散布しない | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 飛来塩分の影響を受ける 凍結防止剤を散布しない | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 | 飛来塩分の影響を受ける 凍結防止剤を散布しない | | (加速期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 7 | 凍結防止剤を散布しない 錆汁がある | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 18 | 鉄筋腐食ひび割れがある | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 26 | 2.213～1.612kg/cm ³ (鉄筋位置) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 27 | B：全体に表面的腐食 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 | 積雪寒冷地以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 | 積雪寒冷地以外 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | 28 | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 28 | 10mm (平均) | (進展期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリシリカ反応 | | 20 | ゲル滲出なし | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 劣化・損傷要因と損傷段階の判定 | | <p>上記より、本床版は下面に二方向の格子状ひび割れが認められ、また、飛来塩分による塩化物が下段鉄筋背面まで浸透しているため、疲労（進展期）と塩害（加速期）の複合劣化と判定した。なお、塩害の判定の加速期は、塩害の判定基準のひび割れの発生を基準としているが、本ひび割れが疲労または塩害に起因するかの判定は不明確である。但し、このひび割れに基づき、塩害の進行が大きく促進されると判断されるため、加速期と判定した。また、中性化残りが塩害環境で規準を満足しておらず、中性化の影響も認められるが、その他の損傷原因は認められない。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 可能な対策工法の選定 | | <p>上記に基づき適用可能な対策工法を選定すると以下となる。（下面からの施工を想定）</p> <p>輪荷重による疲労対策工法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・縦筋増設（現況筋間隔は 1.8m であり、適用しても十分な効果が望めない）⇒× ・炭素繊維接着（他工法との併用で、塩害対策と併用できる）⇒*2 ・下面増厚（他工法との併用で、塩害対策と併用できる）⇒*2 ・鋼板接着（鋼板の腐食対策が必要で塩害環境には不向きである）⇒× ・上面増厚（他工法との併用で、塩害対策と併用できるが、下面からの施工ができない）⇒× <p>飛来塩化物による塩害対策工法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面保護（断面修復＋表面被覆）⇒○ ・電気化学的防食（電気防食）⇒○ ・電気化学的防食（脱塩）⇒○ <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">損傷段階</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>塩害防食</th> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦筋増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>炭板取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>疲労</td> <td>進展期</td> <td>□</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>*1</td> <td>*1</td> <td>*1</td> </tr> <tr> <td>塩害</td> <td>加速期前期</td> <td>□</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>*2</td> <td>*2</td> <td>×</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>凡例： □：適用を原則とする、○：適用可能、△：他工法との併用にて適用 ×：適用不可もしくは効果が望めない、-：予防保全として適用可能 *1；予防保全として適用可能であるが、損傷が軽微であるため、一般的に適用しない、 *2；他工法との併用で予防保全として適用可能</p> <p>【総合判定】 上記の結果、輪荷重による疲労の対策工法として、下記の 2 工法についての比較検討を行う。 ・炭素繊維接着工法 ・下面増厚工法 また、塩害の対策工法として、下記の 3 工法についての比較検討を行う。 ・表面保護工法（断面修復＋表面被覆） ・電気化学的工法（電気防食工法） ・電気化学的工法（脱塩工法） また、それぞれの対策方法として選定された工法を併用する場合の留意点等に対する検討を行う。</p> | | | 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | 塩害防食 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦筋増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 炭板取替 | 荷重制限 | 疲労 | 進展期 | □ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | *1 | *1 | *1 | 塩害 | 加速期前期 | □ | × | ○ | ○ | *2 | *2 | × | △ | △ | △ | - | - | - |
| 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 塩害防食 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦筋増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 炭板取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 疲労 | 進展期 | □ | △ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | *1 | *1 | *1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 塩害 | 加速期前期 | □ | × | ○ | ○ | *2 | *2 | × | △ | △ | △ | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

9.6 対策工法の比較・決定

適用可能な対策工法の比較を表-付4.9.6に示す。検討の結果、必要とする補強効果や防食効果やLCC、その他の面で下面増厚工法と電気防食工法との併用が最も適していると判定できる。

表-付4.9.6 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 | | < 必要な補強 > | | |
|------------------|-------------------|---|---|--|----------------------|---|
| | | < 損傷段階 > | | | | |
| | | 疲労(進展期) | | ・疲労損傷(進展期)に対する保全的 | | |
| | | 塩害(加速期前期) | | ・曲げ耐力向上 | | |
| | | | | ・せん断耐力向上 | | |
| 輪荷重による疲労に対する対策工法 | | | | | | |
| 工法 | | 炭素繊維接着工法 (塩害対策工法との併用) | | 下面増厚工法 (塩害対策工法との併用) | | |
| 概要図 | |  | |  | | |
| 工法の概要および特徴 | | 床版下面に炭素繊維を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が20%向上するとの報告もある。すでに塩化物を含む構造物の塩害に対する防食効果は、全くないため、他の防食工法と併用しなければならない。 | | 床版下面に鉄筋等の補強を行い、モルタル等を吹付けや左官で施工、床版の曲げ耐力およびせん断耐力を向上させる。すでに塩化物を含む構造物の塩害に対する防食効果は、全くないため、他の防食工法と併用しなければならない。 | | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | 向上 | ○ | 向上 | ○ | |
| | せん断耐力の向上 | 向上 | ○ | 向上 | ○ | |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | — | 無 | — |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 | — | 無 | — |
| 床版厚修復効果 | 無 | — | 有 | — | | |
| 床版厚(UP厚) | | 200mm(変更なし) | | 230mm(+30mm増厚) | | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 可 | ○ | 可 | ○ |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 夜間の全止め日数 | — | — | — | — |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 昼夜間の全止め規制日数 | — | — | — | — |
| | 桁下道路等の交通規制 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 桁下足場の必要性 | | 必要 | | 必要 | | |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | 死荷重の増加量 | ほとんど増加しない | | | 0.6kN/m ² | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 主構造の改修 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 不要(現状維持) | | | 不要(現状維持) | |
| 伸縮装置の取替え | | 不要 | | 不要 | | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | 他の防食工法との併用 | | 他の防食工法との併用 | | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | 橋面防水無しでの全面貼りでは滞水によって炭素繊維が剥がれる場合がある。→近年は格子貼りによる滞水対策が図られている。 | ○ | 橋面防水を併用することにより、補強効果が継続される。経年による劣化は床版下面にひび割れとして現れるため、下面の経過観察。 | ○ | |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | 上面増厚工法 | | 上面増厚工法 | | |
| 施工性 | 施工実績;床版(道路橋以外を含む) | 多い | ○ | 多い | ○ | |
| | 工期(電気防食を1.0として) | 1.0+炭素繊維施工 | ○ | 1.0+下面増厚施工 | ○ | |
| 維持管理 | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・漏水がないか点検が必要 | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・漏水がないか点検が必要 | | |
| 経済性 | 工事費(電気防食を1.0として) | 1.0+炭素繊維工事費 | △ | 1.0+下面増厚工事費 | △ | |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | 低 | ○ | 低 | ○ | |
| 評価 | | △ (適切な補強効果が得られるが、シート幅が限定され防食併用には不向き) | | ○ (適切な補強効果が得られる) | | |

評価の凡例: ◎:最も優れている, ○:適用可能, △:好ましくないが適用可能, ×:適用不可

| | | | | | |
|---|---|--|---|--|---|
| <橋梁の重要度> 主要地方道路として重要 | | <施工上の制約> ・迂回路の確保 : 不可 ・交通規制 : 規制は可能であるが、周辺への影響が大きい ・桁下空間 : 制約なし ・周辺環境の制約等: 制約なし | | 備考 | |
| 塩害に対する対策 | | | | | |
| 表面保護工法(断面修復+表面被覆) (疲労対策工法との併用) | | 電気化学的工法(電気防食工法) (疲労対策工法との併用) | | 電気化学的工法(脱塩工法) (疲労対策工法との併用) | |
|  | |  | |  | |
| 発錆限界以上の塩化物を含むコンクリートをはつり取り、塩化物を含まないコンクリート等で断面修復を行った後、コンクリートの表面を耐塩化物浸透性に優れた材料で被覆する。補強効果はほとんどないため、他の補強工法との併用が必要。 | | コンクリート表面に陽極を取付け、直流電源装置のプラス極に陽極を、鉄筋をマイナス極に繋ぎ、防食電流を供給することで、鋼材の腐食反応を停止させ防食する。補強効果はほとんどないため、他の補強工法との併用が必要。 | | コンクリート表面に仮設の陽極を設置し、直流電源装置のプラス極に陽極を、鉄筋をマイナス極に繋ぎ、1~2A/m2程度の電流を2カ月程度通電し、塩化物イオンを陽極側に移動させ、コンクリート中の塩化物を除去する。補強との併用が必要。 | |
| 無 | — | 無 | — | 無 | |
| 無 | — | 無 | — | 無 | |
| 無 | — | 無 | — | 無 | |
| 無 | — | 無 | — | 無 | |
| 無 | — | 無 | — | 無 | |
| 200mm(変更なし) | | 200mm(変更なし) | | 200mm(変更なし) | |
| 不可(鉄筋背面以上のはつり) | × | 可 | ○ | 可 | |
| 工期中 | × | 無 | ○ | 無 | |
| — | — | — | — | — | |
| 工期中 | × | 無 | ○ | 無 | |
| — | — | — | — | — | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | |
| 必要 | ○ | 必要 | ○ | 必要 | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | |
| ほとんど増加しない | | ほとんど増加しない(方式で異なる) | | ほとんど増加しない | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 無 | |
| 不要(現状維持) | | 不要(現状維持) | | 不要(現状維持) | |
| 不要 | | 不要 | | 不要 | |
| 表面被覆の再補修 | | 定期的な防食効果の確認試験 | | 表面被覆の再補修 | |
| 保護塗装を行った新設と同等程度の耐用年数が期待できる。橋面防水無しの場合、滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある。 | ○ | チタン系陽極材は耐用年数40年以上が保障されている。陽極かぶりがない場合は、周りのモルタルが損傷する場合がある。 | ○ | 脱塩不足の場合、再腐食の可能性はある。橋面防水無しの場合、滞水によって表面被覆が剥がれる場合がある。 | |
| 電気防食 | | 電気防食の再施工 | | 電気防食 | |
| 多い | ○ | 多い | ○ | 少ない | |
| 1.00~2.00(はつり量による) | △ | 1 | ○ | 1.00+2か月 | |
| ・通常のRC床版と同様の維持管理 | | ・電気防食の維持管理 | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 | |
| ・表面被覆の再施工が必要 | | ・電気代・専門家の維持管理が必要 | | ・表面被覆の再施工が必要 | |
| | ○ | | ○ | | ○ |
| 1.00~2.00(はつり量による) | × | 1 | ○ | 1 | ○ |
| 高(再塗装) | × | 最も低い | ◎ | 高(再塗装) | × |
| △ (防食効果は確実であるが、交通規制、再塗装が必要) | | ◎ (防食効果が確実で工事費、LCCが最も良い) | | △ (多量の塩化物含有時の防食効果の確実性や再塗装が必要) | |

<必要な補強効果>と比較し、性能を○、×で評価

<施工上の制約>と比較し、性能を○、×、△で評価

適用性を○、×、△で評価

適用性を○、×、△で評価

9.7 下面増厚工法+電気化学的防食工法の設計

9.7.1 設計方針

本橋は主要地方道で交通量が多いため、床版下面側からの輪荷重による疲労対策と床版下面の飛来塩化物による塩害対策工事を行うこととした。輪荷重による床版の疲労損傷は進展期であり、疲労耐久性の向上を図ることを目的とする床版の補強工法に下面増厚工法を選定した。補強後の補強材の防食を考慮して補強材としてはFRPグリッド（炭素繊維）を採用した。

一方、飛来塩化物による塩害対策に適用する電気防食の方式は、下面増厚工法との併用が可能な線状陽極方式の電気防食を適用することとし、陽極の耐用年数が最も長いチタンリボンメッシュ方式を適用することとする。

なお、本橋梁には、橋面防水が適用されていないため、できるだけ早い時期のアスファルト舗装補修に併せ、橋面防水工事を実施する予定とした。

9.7.2 対策工法の設計

下面増厚工法による補強の目標として、輪荷重走行試験により平成8年道示床版と同様の補強効果が得られることが確認されているFRPグリッドを使用した。また、電気防食工法における線状陽極材の設置間隔は、当該床版の塩化物イオン含有量および損傷状況等を考慮して、一般的な線状陽極の設置間隔である25cmを適用することとした。なお、電気防食設計の詳細については、土木学会「コンクリートライブラリー107「電気化学的防食工法 設計施工指針（案）」等に基づくことよ。

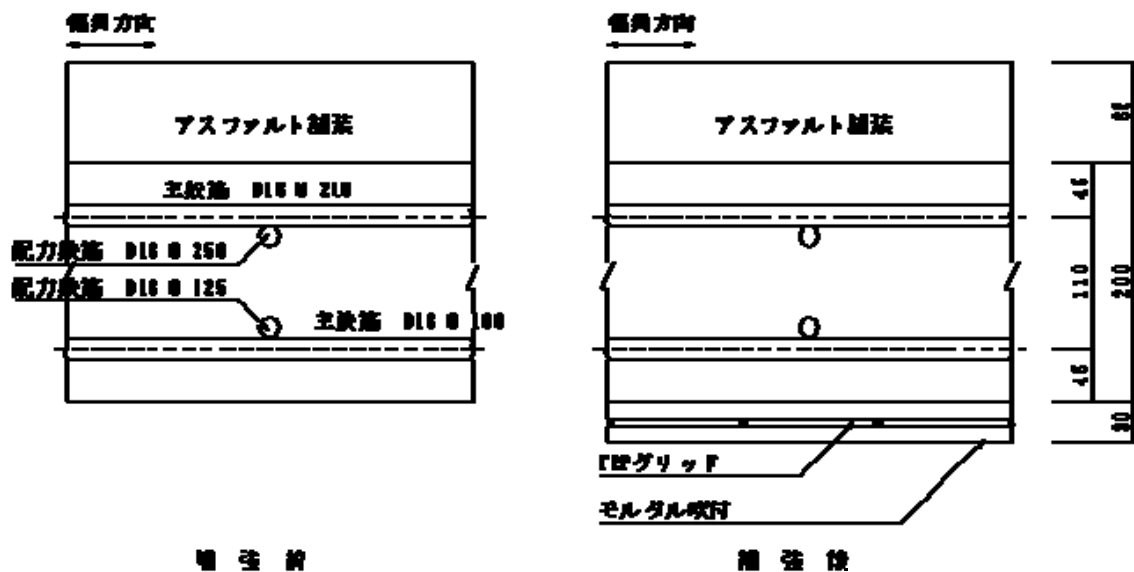


図-付 4.9.4 下面増厚補強断面図

表-付 4.9.7 CFRPグリッドの性状

| | 断面積 mm ² | 断面寸法 mm | | 引張強度 N/mm ² | 弾性係数 N/mm ² |
|----------|------------------------|---------|-----|---------------------------|---------------------------|
| | | 高さ | 幅 | | |
| CFRPグリッド | 26.4 | 5.0 | 5.3 | 1400 | 100000 |

10. 輪荷重による疲労・凍害－上面増厚工法

10.1 維持管理の方針

本橋の RC 床版は昭和 39 年の道路橋示方書にて設計されており、現行の道路橋示方書と比較し床版厚の不足、鉄筋量の不足、設計輪荷重が小さい状況である。床版上面のコンクリートには、凍害によるスケーリングが見られ、鉄筋の一部が腐食している。また、床版下面のひび割れ密度は 7mm^2 であり一部に白色析出物も見られる。

本橋の床版は、凍害によるスケーリングにより床版厚が薄くなっており、劣化が進行すると輪荷重による押し抜きせん断破壊が生じる可能性が高い。そのため、床版厚の修復および補強を行い、適切な維持管理を行いながら長期的に本橋を使用する。

10.2 橋梁の概要

本橋の諸元と RC 床版の諸元を表-付 4. 10. 1 と表-付 4. 10. 2、断面図を図-付 4. 10. 1 に示す。

表-付 4. 10. 1 橋梁諸元

| | |
|-----------|----------------------|
| 橋 格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 単純非合成鉄桁 |
| 支間長 | 40.000m |
| 有効幅員 | 車道：8.000m, 歩道：3.000m |
| 主桁間隔 | 5@2.600m |
| アスファルト舗装厚 | 75mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 180mm |
| 大型車交通量 | 1000～2000 台/日 |
| 設計活荷重 | TL-20 |
| 適用示方書 | 昭和 39 年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和 41 年 |

表-付 4. 10. 2 RC 床版の諸元

| | | |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| コンクリート設計基準強度 | $\sigma_{sk}=28\text{N/mm}^2$ | |
| ハンチ高 | 80mm | |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側：D16(etc300mm) 下側：D16(etc150mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側：D13(etc300mm) 下側：D13(etc150mm) |
| 桁端部 | 主鉄筋 | 上下：D16(etc100mm) |
| | 配力鉄筋 | 上下：D13(etc150mm) |
| 鉄筋材質 | SD295A | |

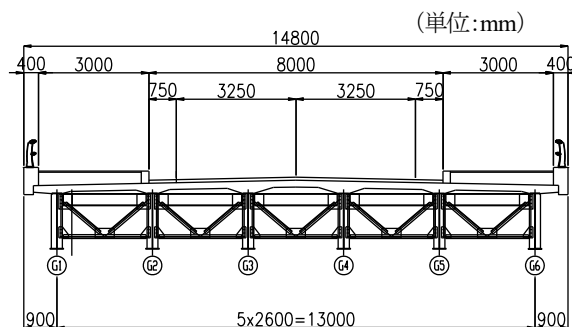


図-付 4. 10. 1 断面図

10.3 劣化・損傷の状況

床版下面のひび割れ密度について、主桁と対傾構に囲まれた範囲ごとに図-付 4.10.2 に示す。また、床版上面の損傷状況を図-付 4.10.3～図-付 4.10.6 に示す。車道部床版のひび割れ密度は 4～7mm² であり全長に渡ってひび割れが生じている。橋面上のアスファルト舗装には、ひび割れや流動が生じており、開削すると床版に砂利化が生じている。砂利化は、上側鉄筋の下側にまで達する箇所もあり、鉄筋に腐食が見られる。

| | S1 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| G1 | | | | | | | | |
| G2 | 7m/m ² | 7m/m ² | 4m/m ² | 6m/m ² | 4m/m ² | 7m/m ² | 5m/m ² | 6m/m ² |
| G3 | 7m/m ² | 6m/m ² | 6m/m ² | 4m/m ² | 5m/m ² | 6m/m ² | 4m/m ² | 6m/m ² |
| G4 | 7m/m ² | 5m/m ² | 4m/m ² | 7m/m ² | 4m/m ² | 6m/m ² | 5m/m ² | 7m/m ² |
| G5 | | | | | | | | |
| G6 | | | | | | | | |

図-付 4.10.2 床版下面のひび割れ密度



図-付 4.10.3 アスファルト舗装の状況



図-付 4.10.4 床版上面の状況（舗装開削）



図-付 4.10.5 床版コンクリートの砂利化



図-付 4.10.6 コンクリート劣化部の撤去状況

10.4 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

これまでの定期点検などによる調査では、目視調査および、ひび割れ密度の算出が行われている。本橋の床版は、塩害、凍害による劣化の可能性が高いことから、対策工法の選定を行うにあたり、追加調査としてコンクリートのコア採取によるコンクリート圧縮強度、凍害深さ、塩化物イオン濃度の調査を行うこととする。劣化・損傷の調査結果を表-付4.10.3に示す。

表-付4.10.3 劣化・損傷の調査結果

| 項目番号 | 調査項目 | A1～A2 | | |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|-----------|
| 資料調査 | 1 供用年数, 適用示方書 | 建設から45年, S39道示 | | |
| | 2 路線の重要度 | 幹線道路 | | |
| | 3 一方向あたりの大型車の交通量(台/日) | 1000以上2000未満 | | |
| | 4 床版厚 | 設計厚 | 190mm | |
| | | 現行道示での床版厚 | 230mm | |
| | 5 鉄筋 | 鉄筋の種類 | 異形鉄筋 | |
| | | かぶり | 上面 | 32mm(設計値) |
| | | | 下面 | 32mm(設計値) |
| | | 配筋筋量 | H8道示の基準より少ない | |
| | 6 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | 無 | |
| 7 凍結防止剤の散布の有無 | | 有 | | |
| 8 寒冷地域 | | 寒冷地 | | |
| 9 防水層の施工時期 | | 未施工 | | |
| ひび割れ調査 (目視調査) | 10 ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など) | 網細化 | | |
| | 11 主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版中央, ハンチ | | |
| | 12 ひび割れ幅, 間隔 | 0.3mm, 20cm | | |
| | 13 ひび割れ密度(m/m ²) | 7m/m ² | | |
| | 14 はく離, はく落の面積率 | 無 | | |
| | 15 ひび割れの角落ちの有無 | 無 | | |
| | 16 遊離石灰の有無 | 有 | | |
| | 17 錆汁の有無 | 無 | | |
| | 18 鉄筋腐食ひび割れ | 無 | | |
| | 19 漏水 | 無 | | |
| | 20 アルカリシリカゲル滲出 | 無 | | |
| | 21 コンクリートの変色 | 無 | | |
| ひび割れ調査 (パイゲージ, コンタクトゲージ等) | 22 オリ磨きの有無 | 未調査 | | |
| | 23 ひび割れの開閉の有無 | 未調査 | | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | - | |
| | | 衝撃弾性波法調査 | - | |
| | | コア採取 | 上面:無, 下面:無 | |
| | 25 凍害深さ | 目視によるスケーリングの調査 | - | |
| | | コア採取, ドリル削孔 | 上面:50mm, 下面:無 | |
| | 26 塩化物イオン | コア採取による浸透深さ調査 | 未実施 | |
| | | 鉄筋位置の濃度 | 上面:0.8, 下面:0.4 | |
| | 27 鉄筋腐食量 | 目視確認(部分開削, コア抜き等) | 上面:一部腐食, 下面:未調査 | |
| 電気化学的測定による腐食度区分 | | 上面:B, 下面:未調査 | | |
| 28 中性化深さ | コア採取, ドリル削孔 | 上面:未調査, 下面:未調査 | | |
| コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による) | 29 コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験 | 38N/mm ² | |
| | | 非破壊検査 | 未調査 | |
| | 30 残存膨張量 | | 〃 | |
| | 31 骨材のアルカリシリカ反応性 | | 〃 | |
| 載荷試験 | 32 変位 | 載荷試験(荷重車, FWD) | 〃 | |
| | | たわみ劣化度 D (計算値) | 〃 | |

10.5 劣化・損傷要因と劣化過程の判定および適用可能な対策工法の選定

劣化過程の判定および適用可能な対策工法を表-付 4. 10. 4 に示す。判定の基準は、本マニュアル第 5 章の表-5. 3. 2 を用いた。

表-付 4. 10. 4 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| | | A1～A2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------------|--|--|---------|---------|----------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|--|------|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 劣化過程の判定項目 | | 劣化過程の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 建設から45年,S39道示 10 ひび割れが網細化 12 ひび割れ幅0.3mm, 間隔20cm 13 ひび割れ密度 7m/m ² 16 遊離石灰が見られる 29 圧縮強度32N/mm ² →スケーリング部以外の強度低下は見られない | (加速期後期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 飛来塩分の影響がない 7 凍結防止剤を散布する 26 鉄筋位置の塩化物イオン濃度0.8kg/cm ³ | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 飛来塩分の影響がない 26 鉄筋位置の塩化物イオン濃度0.4kg/cm ³ | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 寒冷地域 25 凍害深さ50mm 27 スケーリング部 | (劣化期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 寒冷地域 26 凍害無し | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | アルカリ骨材反応 | 20 アルカリシリカゲル滲出が見られない 21 アルカリ骨材反応特有のコンクリートの変色が見られない | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 劣化・損傷要因と劣化過程の判定 | | 上記より、ひび割れは網細化し、一部に遊離石灰が見られる。また、床版上面にスケーリングが生じ鉄筋が腐食していることから、 輪荷重による疲労(加速期後期) と 凍害(劣化期) の複合劣化と判定される | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 適用可能な対策工法の選定 | | <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">劣化過程</th> <th colspan="10">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>床版防水</th> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦桁増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪荷重による疲労</td> <td>加速期後期</td> <td>□</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>×</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>凍害</td> <td>劣化期</td> <td>□</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> <p>凡例 □:原則適用 ○:適用可能, △:他工法との併用で適用可能, ×:適用不可, —:予防保全として適用可能</p> | 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | 床版防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 輪荷重による疲労 | 加速期後期 | □ | △ | △ | △ | × | △ | △ | ○ | ○ | △ | — | — | — | 凍害 | 劣化期 | □ | ○ | ○ | △ | △ | △ | ○ | ○ | × | △ | ○ | ○ | ○ |
| 劣化・損傷要因 | 劣化過程 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 床版防水 | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 輪荷重による疲労 | 加速期後期 | □ | △ | △ | △ | × | △ | △ | ○ | ○ | △ | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 凍害 | 劣化期 | □ | ○ | ○ | △ | △ | △ | ○ | ○ | × | △ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <p>【総合判断】 輪荷重による疲労が加速期後期であることから、凍害によるスケーリング部を断面修復すれば、部分打換、床版取替、荷重制限を行う必要はないと考えられる。したがって、本橋の床版には、以下に示す4工法が適用可能と考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表面保護工法(床版上面の断面修復)＋ひび割れ注入工法＋縦桁増設工法 ・表面保護工法(床版上面の断面修復)＋ひび割れ注入工法＋炭素繊維接着工法 ・表面保護工法(床版上面の断面修復)＋ひび割れ注入工法＋鋼板接着工法 ・上面増厚工法 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

10.6 対策工法の比較・決定

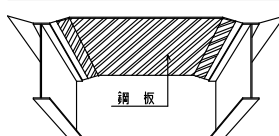
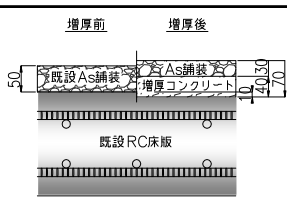
適用可能な対策工法の比較を表-付4.10.5に示す。本橋は、床版上面のスケーリングの補修と床版の補強が同時に実施できる接着剤塗布型 SFRC 上面増厚工法にて補強する。

表-付4.10.5 適用可能な対策工法の比較表

| 項目 | | 条件 | <劣化過程> 活荷重(加速期後期) 凍害(劣化期) | <必要な補強効果> ・曲げ耐力向上 :必要 ・せん断耐力向上:必要 ・鉄筋補強・防錆:必要 ・床版厚修復 :必要 | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------------|--|---|--|----|---|
| 工法 | | | 縦桁増設工法 (防水工・ひび割れ注入・断面修復と併用) | 炭素繊維接着工法 (防水工・ひび割れ注入・断面修復と併用) | | | |
| 概要図 | | |  |  | | | |
| 工法の特徴 | | | 床版の支間を短くすることで、床版の曲げ耐力を向上させる。断面補修工法との併用が必要。 | 床版下面に炭素繊維を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。また、せん断耐力が20%向上するとの報告もある。断面補修工法との併用が必要。 | | | |
| 補強効果 | 曲げ耐力の向上 | | 向上 | ○ | 向上 | ○ | |
| | せん断耐力の向上 | | 無 | × | 向上 | ○ | |
| | 鉄筋 | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | 無 | ○ |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | | 無 | ○ | 補強 | ○ |
| | 床版厚修復効果 | | 断面修復工を実施 | ○ | 断面修復工を実施 | ○ | |
| 床版厚(UP厚) | | | 190mm(変更なし) | | 190mm(変更なし) | | |
| 対応可能な交通規制 | 橋面上 | 交通規制なし | 不可(断面修復が必要) | — | 不可(断面修復が必要) | — | |
| | | 夜間の一車線規制日数 | 1日×8回 | ○ | 1日×8回 | ○ | |
| | | 夜間の全止め日数 | 1日×8回 | ○ | 1日×8回 | ○ | |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | 連続24時間×2回 ^{※1} | ○ | 連続24時間×2回 ^{※1} | ○ | |
| | | 昼夜間の全止め(規制日数) | — | — | — | — | |
| 桁下道路等の交通規制 | | | 有(縦桁搬入時) | ○ | 無 | ○ | |
| 桁下足場の必要性 | | | 必要 | ○ | 必要 | ○ | |
| 既設橋梁への影響 | 路面線形への影響 | 路面の段差 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | ○ | 無 | ○ | |
| | 死荷重の増加量 | 0.36kN/m ² | | ほとんど増加しない | | | |
| | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | ○ | 無 | ○ | | |
| | 主構造の改修 | 必要 | △ | 無 | ○ | | |
| | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 必要 | | 必要 | | | |
| 伸縮装置の取替え | | | 不要 | | 不要 | | |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | | 車輪の走行位置直下に縦桁を配置する必要がある。死荷重の増加に対して桁の照査が必要 | | 止水防止、ひび割れ観察 | | |
| 耐久性 | 耐久年数や不具合事例など | | 縦桁上以外を車輪が走行する場合には、疲労損傷が進行し、最終的に押し抜きせん断破壊に至ることが想定される。 | △ | 全面貼りでは止水によって炭素繊維が剥がれる場合がある。→近年は格子貼りによる止水対策が図られている。 | ○ | |
| | 耐久年数経過後の補修工法 | | 床版取替え | | 上面増厚 | | |
| 施工性 | 施工実績 | | 近年は減少 | △ | 多い | ○ | |
| | 工期 | | 90日(1.50) | △ | 90日(1.50) | △ | |
| 維持管理 | | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・縦桁の塗装の塗り替えが必要 | ○ | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・仕上げ塗装の塗り替えが必要 ・止水がないか点検が必要 | ○ | |
| 経済性 | 工事費 | | 高 | × | 高 | × | |
| | ライフサイクルコスト(LCC) | | 高 | × | 高 | × | |
| 評価 | | | × | | △ (床版の上下面からの補修・補強が必要となり高価である) | | |

評価の凡例:◎:最も優れている、○:適用可能、△:好ましくないが適用可能、×:適用不可

※1:超硬コンクリートを用いた場合を示す

| <橋梁の重要度> 幹線道路 | | <施工上の制約> ・迂回路の確保 : 不可 ・交通規制 : 昼夜間の連続した一車線規制が可能 ・桁下空間 : 制約なし ・周辺環境の制約等: 周辺住民に対する騒音対策 | | 備考 |
|---|---|---|---|----------------------------------|
| 鋼板接着工法 (防水工・ひび割れ注入・断面修復と併用) | | 上面増厚工法 (防水工と併用) | | |
|  | |  | | |
| 床版下面に鋼板を接着することで、床版の曲げ耐力を向上させる。断面補修工法との併用が必要。 | | 既設床版のスケーリングの補修と同時に増厚することで、床版の曲げ・せん断耐力を向上させる。超速硬コンクリートを使用。 | | |
| 向上 | ○ | 向上 | ○ | <必要な補強効果> と比較し、性能を○、 ×で評価 |
| 無 | × | 向上 | ○ | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 補強 | ○ | 無 | ○ | |
| 断面修復工を実施 | ○ | 有 | ○ | |
| 190mm(変更なし) | | 230mm(+40mm増厚) | | |
| 不可(断面修復が必要) | — | 不可 | — | <施工上の制約> と比較し、性能を○、 ×、△で評価 |
| 1日×8回 | ○ | 1日×8回 | ○ | |
| 1日×8回 | ○ | 1日×8回 | ○ | |
| 連続24時間×2回 ^{※1} | ○ | 連続24時間×2回 ^{※1} | ○ | |
| — | — | — | — | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | 適用性を○、×、△で 評価 |
| 必要 | ○ | 不要 | ○ | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 0.36kN/m ² | | 無 | | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 無 | ○ | 無 | ○ | |
| 必要 | | 必要 | | |
| 不要 | | 不要 | | |
| 滞水防止、ひび割れ観察 | | 打継ぎ界面のほく離防止 | | |
| 滞水により補強効果が低下する。補強後の維持管理が不適切だと、押し抜きせん断破壊に至る場合がある | △ | 打継ぎ界面にはく離が生じる場合がある。→近年は接着剤を使用することで耐久性の向上が図られている。 | ○ | 適用性を○、×、△で 評価 |
| 床版取替え | | 旧増厚を切削後に再度上面増厚 | | |
| 近年は減少 | △ | 多い | ○ | |
| 90日(1.50) | △ | 60日(1.00) | ○ | |
| ・鋼板下面塗装の塗り替えが必要 ・鋼板上面に滞水がないか点検が必要 ・床版下面のひび割れが確認できない | | 通常のRC床版と同様の維持管理 | | |
| | △ | | ○ | |
| 高 | × | 安 | ○ | |
| 高 | × | 安 | ○ | |
| × (せん断耐力が向上しない) | | ◎ (断面補修と同時に増厚が出来るため 安価である) | | |

10.7 上面増厚工法の設計

10.7.1 設計方針

上面増厚は、死荷重の増加および伸縮装置などの嵩上げを行わなくて良いように既設アスファルト舗装厚 75mm の内、増厚コンクリート厚を 40mm、新規アスファルト舗装厚を 35mm とし路面高の変更がない構造とする。増厚コンクリートは、交通規制の期間を短くするために超速硬セメントを用いることとする。また、初期ひび割れを防止するために、鋼繊維を混入した SFRC を用いる。

増厚コンクリート厚が薄いため既設床版との一体化を確実にし、打継ぎ界面のはく離を抑制することを目的に、打継ぎ面の全面に土木用高耐久型エポキシ系接着剤を塗布する。

腐食した鉄筋は防錆処理を行うこととし、防錆処理はマクロセル腐食に対応した材料を用いる。

アスファルト舗装を用いることから、増厚コンクリート上面には床版防水工を行い床版への水の浸透を防ぐものとする。

上面増厚工法の施工は、交通量の少ない期間において一車線規制（片側交通）にて行い、渋滞の発生を出来るだけ低減するものとする。

周辺住民への配慮として、低騒音コンクリートフィニッシュを用い騒音を低減させる。

今回、上面増厚および防水工を設置することから、床版下面のひび割れへの樹脂注入は行わず、定期点検において、ひび割れの進展を確認・記録し、経過観察を行うものとする。

10.7.2 増厚コンクリート厚の決定

現行道示 8.2.5 床版の最小全厚より、必要な床版厚を求め、既設床版厚を差し引いて増厚コンクリート厚を求める。

i) 現行道示の最小全厚（連続版）

$$\text{最小全厚 } d = k_1 \times k_2 \times d_0 = 1.2 \times 1.0 \times 188 = 226 \rightarrow 230\text{mm}$$

$$d_0 = 30L + 110 = 30 \times 2.6 + 110 = 188\text{mm}$$

ここに、L: 床版の支間長 2.6m

k_1 : 大型車交通量係数 1.2 (1000 以上 2000 未満台数/日)

k_2 : 付加曲げモーメント係数 1.0

ii) 増厚コンクリート厚（切削厚さを除く）

$$\text{増厚コンクリートの最小厚さ } h = d - t = 230 - 190 = 40\text{mm}$$

ここに、t: 既設床版の厚さ 190mm

以上より、切削厚さを含まない増厚コンクリートの厚さは 40mm（粗骨材の最大寸法 15mm）とする。

iii) 死荷重増に関する主構造への影響

死荷重が増加しないため主構造への影響はない。

11. 疲労とアルカリシリカ反応の複合劣化－断面修復工法

11.1 維持管理の方針

本橋は昭和46年に建設された山間部に位置する橋梁で、海岸線からは10km以上離れており、飛来塩分の影響は無いものの冬期の積雪量が多く凍結防止剤も散布されている。周辺にはASRによる被災構造物も多く確認されており、床版から採取したコンクリートの分析結果でもASRが確認された。床版の劣化状況は下面に二方向ひび割れが発生しており、その間隔は50cm以下で白色の析出物も下面全体に広がっていた。路面のアスファルト舗装にはひび割れやポットホールが発生し、ひび割れからは泥分が噴出しており、部分補修を繰り返して第三者被害を防いでいる状況であった。さらに、本橋の設計は昭和39年の道路橋示方書に準拠しており、主鉄筋量に対して配力鉄筋量が極端に少ない設計となっていた。

本橋の維持管理では、今後も大型車の通行が見込まれることに加え、舗装補修の繰り返しを考慮すると、何らかの対策が要求されることとなる。現状では架け替えが困難であることから、延命策として効果的な対策が求められている状況であった。

11.2 橋梁の概要

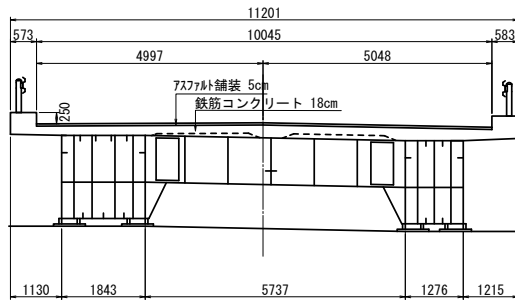
本橋の諸元を表-付4.11.1に、床版の構造を表-付4.11.2に示す。橋梁の一般構造は図-付4.11.1に示す通りである。

表-付4.11.1 橋梁諸元

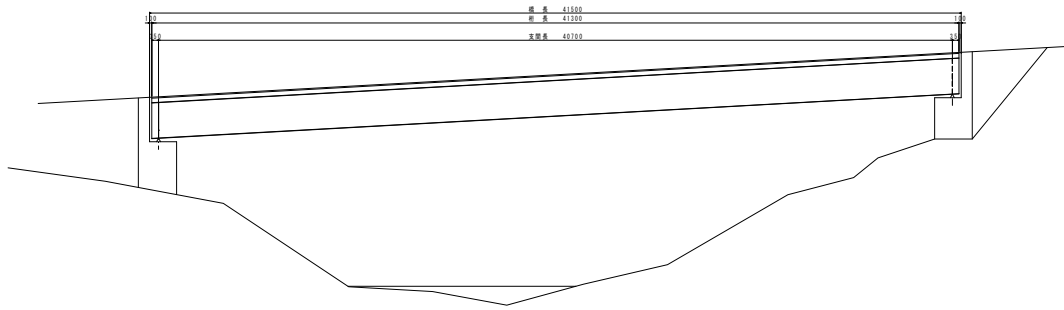
| | |
|-----------|-------------------|
| 橋 格 | 一等橋 |
| 橋梁形式 | 単純合成箱桁×1連 |
| 支間長 | 41.500m |
| 有効幅員 | 8.332m (曲線橋中間横桁部) |
| 主桁間隔 | 2.500m (箱桁－縦桁間) |
| アスファルト舗装厚 | 50mm |
| 床版の種類 | 鉄筋コンクリート床版 |
| 床版厚 | 180mm |
| 大型車交通量 | 500 台/日 |
| 設計活荷重 | TL-20 |
| 適用示方書 | 昭和39年鋼道路橋設計示方書 |
| 竣工年度 | 昭和46年 |

表-付4.11.2 RC床版の諸元

| | | |
|--------------|------|--------------------------------------|
| コンクリート設計基準強度 | | $\sigma_{sk}=24\text{N/mm}^2$ |
| ハンチ高 | | 70mm |
| 支間部 | 主鉄筋 | 上側：D16(ctc250mm) 下側：D16(ctc125mm) |
| | 配力鉄筋 | 上側：D13(ctc300mm) 下側：D13(ctc300mm) |
| 鉄筋材質 | | SD30A |



断面図



側面図

図-付.11.1 橋梁一般図

11.3 定期点検などによる劣化・損傷調査の整理

本橋床版の調査結果を表-付 4. 11. 3 に示す。材料の劣化が想定されたため、ASR に関する調査・試験を中心に実施している。

表-付 4. 11. 3 劣化・損傷の調査結果

| | 番号 | 調査項目 | パネル名 | 備考 | | |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|--|----------------------------------|---------------------|
| 資料調査 | 1 | 供用年数、適用示方書 | 44年, S39鋼道示 | 損傷原因の判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 2 | 路線の重要度 | 主要地方道 | | | |
| | 3 | 一方あたり大型車の交通量(台/日) | | 損傷原因の判断(活荷重) | | |
| | 4 | 床版厚 | 設計厚 | 180mm | 損傷原因の判断(活荷重) | |
| | | | 現行道示での床版厚 | 210mm | 現行道路橋示方書の配力筋量との比較 | |
| | 5 | 鉄筋 | 鉄筋の種類 | SD30A | 損傷段階の判定(活荷重) | |
| | | | かぶり | 上面 | 30mm(設計値) | 鉄筋位置の塩化物イオン濃度の推定に使用 |
| | | | | 下面 | 30mm(設計値) | |
| | | 配力筋量 | 現行道示よりも少ない | 現行道路橋示方書の配力筋量との比較 | | |
| 6 | 飛来塩分の影響 | 地域, 海岸線からの距離による判断 | 無し | 損傷原因の判断(塩害) | | |
| 7 | 凍結防止剤の散布の有無 | | 有り | 損傷原因の判断(塩害) | | |
| 8 | 寒冷地域 | | 有り | 損傷原因の判断(凍害) | | |
| 9 | 防水層の施工時期 | | 無し | | | |
| ひび割れ調査 (目視調査) | 10 | ひび割れ形状(一方向, 格子状, 網細化など) | 2方向 | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 11 | 主なひび割れの位置(床版中央, ハンチ, 張出部など) | 床版全域 | | | |
| | 12 | ひび割れ幅, 間隔 | 0.2mm, 50cm未満 | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 13 | ひび割れ密度(m/m ²) | 最大10.0m/m ² | 損傷段階の判定 | | |
| | 14 | はく離, はく落の面積率 | 無し | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | 15 | ひび割れの角落ちの有無 | | 有り | 損傷段階の判定(活荷重) | |
| | 16 | 遊離石灰の有無 | | 有り | 貫通ひび割れの判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | |
| | 17 | 錆汁の有無 | | 無し | 鉄筋腐食の判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | |
| | 18 | 鉄筋腐食ひび割れ | | 無し | 錆汁の有無 | |
| | 19 | 漏水 | | 有り(局所的) | 貫通ひび割れの判断(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | |
| | 20 | アルカリシリカゲル滲出 | | 有り | 損傷・劣化要因の判断(アルカリ骨材反応) | |
| 21 | コンクリートの変色 | | 濡れ色に変色 | 損傷・劣化要因の判断(アルカリ骨材反応) | | |
| ひび割れ調査 (バイゲージ, コンタクトゲージ等) | 22 | すり磨きの有無 | | 未調査 | 損傷段階の判定(活荷重) | |
| | 23 | ひび割れの開閉の有無 | | 未調査 | 損傷段階の判定(活荷重) | |
| 劣化・損傷状況の調査 (非破壊検査・コア採取による) | 24 | 水平ひび割れ調査 | 打音検査 | 未調査 | 水平ひび割れの判断 ※1: 舗装を部分的に開削して調査 | |
| | | | 衝撃弾性波法調査 | 未調査 | | |
| | | | コア採取 | 未調査 | | |
| | 25 | 凍害深さ | 目視によるスケーリングの調査 | 未調査 | 損傷段階の判断(凍害) | |
| | | | コア採取, ドリル削孔 | 未調査 | | |
| | 26 | 塩化物イオン | コア採取による浸透深さ調査 | 有り | 損傷段階の判定(塩害) | |
| | | | 鉄筋位置の濃度 | 2.0kg/m ³ 超 | 腐食限界濃度1.2kg/cm ³ を基準 | |
| 27 | 鉄筋腐食量 | 目視確認(部分開削, コア抜き等) | 腐食グレード II | 損傷段階の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | | |
| | | 電気化学的測定による腐食度区分 | 未調査 | A: 点錆程度, B: 全体に表面的腐食, C: 軽微な断面欠損, D: 著しい腐食 | | |
| 28 | 旧工事の舗装切削における床版厚の減少(部分開削) | | 未調査 | | | |
| コンクリート物性調査 (非破壊検査・コア採取による) | 29 | コンクリート強度 | コア採取による圧縮試験(健全位置) | 48.3・37.0N/mm ² | 残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | |
| | | | 非破壊検査 | 未調査 | | |
| | 30 | 残存膨張量(カナダ法) | | 潜在的に有害 | 損傷原因の判断(アルカリ骨材反応) | |
| 31 | 骨材のアルカリ骨材反応性 | | 未調査 | 損傷原因の判断(アルカリ骨材反応) | | |
| 載荷試験 | 32 | 変位 | 載荷試験(荷重車, FWD) | 未調査 | 損傷段階の判定(活荷重), | |
| | | | たわみ劣化度 D(計算値) | 未調査 | 残存耐力の判定(活荷重, 塩害, 凍害, アルカリ骨材反応) | |

11.4 劣化・損傷要因と損傷段階の判定および適用可能な対策工法の選定

調査結果による損傷要因とその段階の検討表を表-付 4.11.4 に示す。本橋床版の損傷要因は ASR が主体となっており、疲労によって劣化が促進されたものと想定される。さらに凍結防止剤が散布されていることから、それらを総合的に検討する必要がある。対策工法には部分打替工法、床版取替工法、および荷重制限が選定されることから、次にその3工法について比較検討を実施する。ただし、部分打替は、ASR による劣化が顕著な上被りコンクリートの除去とその部分の断面修復として検討する。

表-付 4.11.4 損傷段階の判定および適用可能な対策工法

| | | A1桁端部以外 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|---|--|---------|------|---------|------|----------|------|----------|------|------|------|--|--------|------|---------|------|--------|------|------|------|----------|------|------|------|----------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 損傷段階の判定項目 | | 損傷段階の判定 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 項目番号 | 調査結果 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 判定要因 | 輪荷重による疲労 | 1 建設から44年,S39道示 10 ひび割れが格子状 12 ひび割れ幅0.2mm, 間隔50cm未満 16 遊離石灰が見られる 19 漏水が見られる | | (加速期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 塩害 | 上面 | 6 飛来塩分の影響がない 7 凍結防止剤が散布されている 26 発錆限界を超える塩化物イオン量 | (進展期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 6 飛来塩分の影響がない 7 凍結防止剤が散布されている 26 発錆限界は超えない | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 凍害 | 上面 | 8 寒冷地に位置する 25 目視によるスケーリングなし | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 8 寒冷地に位置する 25 目視によるスケーリングなし | (潜伏期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 中性化 | 上面 | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 下面 | 未調査 | (-) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | アルカリ骨材反応 | 20 アルカリシリカゲルあり 30 潜在的に有害な膨張量 SEMによるゲル確認 | | (劣化期) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 劣化・損傷要因と損傷段階の判定 | | 上記より、ひび割れが進展し、漏水やゲルが確認されたため、輪荷重の疲労では加速期前期、アルカリシリカ反応では劣化期と判定する。塩害による劣化も懸念されるため工法選定では考慮する必要がある。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 適用可能な対策工法の選定 | | <ul style="list-style-type: none"> ・部分打換 ・床版取替 ・荷重制限 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">劣化・損傷要因</th> <th rowspan="2">損傷段階</th> <th colspan="7">対策工法の適用性</th> </tr> <tr> <th>ひび割れ注入</th> <th>表面保護</th> <th>電気化学的防食</th> <th>縦桁増設</th> <th>炭素繊維接着</th> <th>下面増厚</th> <th>鋼板接着</th> <th>上面増厚</th> <th>水平ひび割れ注入</th> <th>部分打換</th> <th>床版取替</th> <th>荷重制限</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>輪荷重による疲労</td> <td>加速期前期</td> <td>△</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>アルカリシリカ反応</td> <td>劣化期</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>×</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table> <p>凡例 ○:適用可能, △:他工法との併用で適用可能, ×:適用不可, -:予防保全として適用可能</p> | | | 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | 輪荷重による疲労 | 加速期前期 | △ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | アルカリシリカ反応 | 劣化期 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 劣化・損傷要因 | 損傷段階 | 対策工法の適用性 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ひび割れ注入 | 表面保護 | 電気化学的防食 | 縦桁増設 | 炭素繊維接着 | 下面増厚 | 鋼板接着 | 上面増厚 | 水平ひび割れ注入 | 部分打換 | 床版取替 | 荷重制限 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 輪荷重による疲労 | 加速期前期 | △ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| アルカリシリカ反応 | 劣化期 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

11.5 対策工法の比較・決定

本橋床版に適用可能な補強工法の比較を表-付4.11.5に示す。上面の被りコンクリートの劣化が進行しており、舗装補修の繰り返しを考慮すれば、その部分の打替補修か取替からの選択となるが、床版取替は高額であり対応に時間を要することから、部分打替を選定する。将来的には取り替えることとなるので、点検で詳細に観察して劣化進行を把握し、適切な時期での床版取替工の実施が望まれる。

表-付 4.11.5 適用可能な対策工法の比較表

| 条件 | | <損傷段階> | | <橋梁の重要度> | | 備考 | |
|-----------------|--|---|--|---|-----------------|--|---|
| 項目 | | 輸荷重による疲労（加速期前期） アルカリシリカ反応（劣化期） <必要な補強効果> ・曲げ耐力向上：必要（回復） ・せん断耐力向上：必要（回復） ・鉄筋補強・防錆：必要 ・床版厚修復：必要 | | 主要地方道として重要 <施工上の制約> ・迂回路の確保：困難 ・交通規制：昼間の一車線規制が可能 ・桁下空間：制約なし（河川） ・周辺環境の制約等：特になし | | | |
| 工法 | | 部分打換 | | 床版取替 | | 荷重制限 | |
| 概要図 | | <p>打替部分の範囲は、断面修復（はり・メ・セメントモルタル）</p> | | | | | |
| 工法の特徴 | | 劣化部分を打ち替えることで床版の曲げ耐力とせん断耐力を回復させる。床版内部にもひび割れが進展しているため将来的には床版取替が必要となる。 | | 劣化床版を撤去し、現行示方書に準じた床版に取り替える工法。迂回路がないため、プレキャスト床版を採用する。 | | 通行荷重を制限して、第三者の安全を確保する。アルカリシリカ反応は荷重作用に関係なく進展するため、劣化防止には寄与しない。 | |
| 補強効果 | | 曲げ耐力の向上 | 回復 △ | 向上 | ○ | 無 | — |
| | | せん断耐力の向上 | 回復 △ | 向上 | ○ | 無 | — |
| | | 鉄筋 | 有 ○ | 無 | ○ | 無 | — |
| | | 上面鉄筋補修・補強、防錆 | 有 ○ | 無 | ○ | 無 | — |
| | | 下面鉄筋補修・補強、防錆 | 無 × | 補強 | ○ | 無 | — |
| | | 床版厚修復効果 | 有 ○ | 有 | ○ | 無 | — |
| 床版厚（UP厚） | | 180mm（変更なし） | | 210mm（変更なし） | | — | |
| 対応可能な交通規制 | | 橋面上 | 交通規制なし | 不可 | — | 荷重制限 | — |
| | | 夜間の一車線規制日数 | — | — | — | — | — |
| | | 夜間の全止め日数 | — | — | — | — | — |
| | | 昼夜間の一車線規制日数 | 修復工6日+防水工1日×2回 | — | 取替工30日+防水工1日×2回 | — | — |
| | | 昼夜間の全止め（規制日数） | 修復工6日+防水工1日 | — | 取替工30日+防水工1日 | — | — |
| 桁下道路等の交通規制 | | 無 | ○ | 無 | ○ | — | — |
| 桁下足場の必要性 | | 不要 | ○ | 必要 | △ | 不要 | — |
| 路面線形への影響 | | 路面の段差 | 有 × | 有 | × | 無 | — |
| | | 高欄・地覆高の修正 | 無 | 有 | × | 無 | — |
| 既設橋梁への影響 | | 死荷重の増加量 | 無 | 0.74kN/m ² | — | 無 | — |
| | | 死荷重増加による桁補強の有無 | 無 | 有 | × | 無 | — |
| | | 主構造の改修 | 無 | 有 | × | 無 | — |
| | | 舗装の修繕・橋面防水工の設置 | 必要 | 必要 | — | 不要 | — |
| | | 伸縮装置の取替え | 不要 | 必要 | — | 不要 | — |
| 工法適応にあたっての課題や条件 | | 既設床版コンクリートと断面修復材の打継面の強度確認 | | 長期間の片側交互規制 プレキャスト床版使用の際の連結方法 | | 通行車両への周知 抜本的対策の検討 | |
| 耐久性 | | 耐久年数や不具合事例など | 残存膨張が認められており、今後アルカリシリカ反応が進展する可能性がある。よって、早期に抜本策が必要。 | 新設床版と同等の耐久性が確保される。 | ○ | — | — |
| | | 耐久年数経過後の補修工法 | 床版取替 | — | — | — | — |
| 施工性 | | 施工実績 | 少ない × | 実績は多い（近年は減少） | ○ | — | — |
| | | 工期 | 90日（1.00） | 180日（2.00） | △ | — | — |
| 維持管理 | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・滞水がないか点検が必要 ・ASR劣化の進展が無いか確認が必要 | | ・通常のRC床版と同様の維持管理 ・滞水がないか点検が必要 | | — | |
| 経済性 | | 工事費 | 中 ○ | 高 ○ | ○ | 安 ○ | — |
| | | ライフサイクルコスト（LCC） | 高（近い将来取替が必要） × | 安 | △ | — | — |
| 評価 | | △ （取替までの延命策として有効） | | △ （新規床版と性能が同じであるが高額） | | × （劣化進行が抑制できない） | |