

アルカリシリカ反応を生じたPC ラーメン 箱桁橋の補修対策



(株) サザンテック 構造部
児 玉 明 裕

1. はじめに

本橋は、架設後 24 年経過した山間部のバイパス道路に架かる PC 2 径間連続ラーメン箱桁橋 + ポステン PC 単純 T 桁橋であり、2010 年に実施された定期点検において PC 箱桁部に多数のひび割れが報告されていた。そこで、PC 箱桁部のひび割れ発生原因および対策の可否について調査を行い、長期的な健全性を確保するための補修対策を検討した。

2. 調査結果

2.1 外観変状

PC 箱桁の外観変状調査の結果、図 - 1 に示すとおりウェブ外面、張出し床版、床版下面（箱桁内面）に多数のひび割れが発生しており、大部分のひび割れが橋軸方向に発生していることが確認された（写真 - 1, 2）。また、橋面舗装にもひび割れが多数発生しており、伸縮継手部付近には舗装補修を繰り返した痕跡が見られた（写真 - 3）。

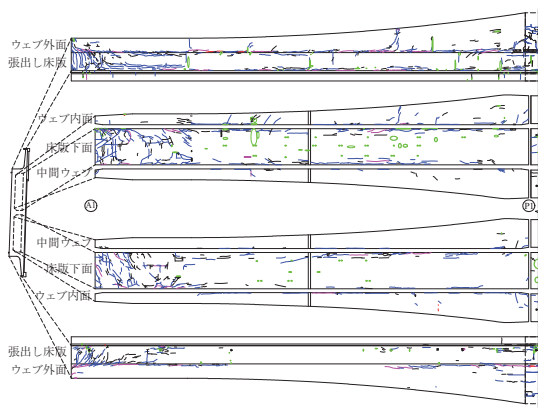


図 - 1 PC 箱桁部（A1-P1 間）のひび割れ状況



写真 - 1 床版下面（左：ひび割れ，右：遊離石灰）



写真 - 2 ウェブ外面

写真 - 3 橋面舗装補修跡

2.2 圧縮強度試験

本橋竣工図より、PC 箱桁部のコンクリート設計基準強度は $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ であるが、コア供試体を用いた試験の結果、 $29.5 \sim 47.1 \text{ N/mm}^2$ の強度が確認された。また、圧縮強度試験と同時に実施した静弾性係数試験の結果、試験標準値 $19.1 \sim 34.2 \text{ kN/mm}^2$ に対して $23.6 \sim 25.7 \text{ kN/mm}^2$ の試験値が得られた。なお、圧縮強度試験値が標準値より低くなった原因は、供試体内部の微細ひび割れによるものと推測される。

2.3 中性化試験

中性化の進行は、箱桁外面ウェブで最大 8.2 mm であったが、中性化予測式による劣化予測の結果、中性化が鉄筋に到達するまで 100 年以上を要することが確認された。

2.4 塩化物含有量試験

塩化物イオン量は、箱桁外面ウェブの鉄筋付近で最大 0.13 kg/m^3 であり、鉄筋の腐食限界とされる 1.2 kg/m^3 より小さいことが確認された。

2.5 アルカリシリカ反応試験

アルカリシリカ反応試験は、SEM-EDS（走査型電子顕微鏡 + エネルギー分散型 X 線分光器）による成分分析と、アルカリ溶液浸漬法による残存膨張量試験を行った。

(1) SEM-EDS 分析

ひび割れが多い上部工床版のコンクリート殻を用いて骨材周辺の析出物の成分分析を行った結果、析出物はケイ素を主成分としたゼリー状を呈しており、典型的なアルカリシリカゲルであることが確認された。

(2) 残存膨張量試験

コア径 55 mm の供試体を用いた残存膨張量試験では、21 日間の膨張率が 0.1% 以下で無害とする判定基準に対して、21 日目の膨張率が 0.616% 、28 日目の膨張率が 0.731% となり、床版部は非常に高い残存膨張性を有していることが確認された（図 - 2）。

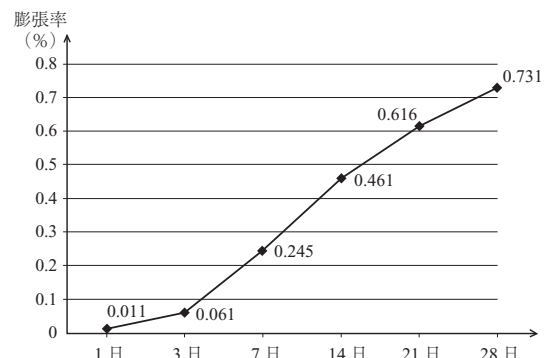


図 - 2 残存膨張量グラフ

3. 診断結果

3.1 ひび割れの発生原因について

本橋は、床版防水層が未設置であることから、橋面舗装からの水分供給によって床版のアルカリシリカ反応が進行し、ひび割れが発生したものと考えられる。また、雨水による水がかりが多いウェブ外面や張出し床版についても同様にひび割れが進行したものと考えられる。

3.2 舗装補修跡について

写真 - 3 の舗装補修跡について、補修跡は縦横断勾配が一番低い部分（A1 橋台付近）に位置しており、同箇所における舗装はつり調査の結果、床版上面での滞水が確認されたことから、舗装材の付着低下と輪荷重の繰返し载荷により剥離が生じたものと考えられる。なお、床版コンクリートの土砂化は認められなかった。

4. 補修検討（アルカリシリカ反応対策）

4.1 ひび割れ補修

本橋のひび割れはアルカリシリカ反応を主要因とした進行性のひび割れであり、ひび割れ注入材は追従性の高い材料が必要である。また、要求事項として補修後の長期的な健全性を確保する必要があったため、アルカリシリカ反応を抑制できる亜硝酸リチウムを用いた補修工法を検討した。検討の結果、ひび割れ補修材として『亜硝酸リチウム + エポキシ樹脂（3 種）低圧注入工法』を採用した。また、表面保護工として『シラン系表面含浸工法（含浸深さ 4 mm 以上、透湿比 80% 以上）』を採用した。

4.2 床版防水対策

橋面からの水分供給を遮断するための床版防水工法を検討した。前述のとおり、上部工は残存膨張性の高いアルカリシリカ反応を示していることから、床版上面にも多数のひび割れがあることが想定されたため、舗装切削後のひび割れ調査や補修の手間によって、交通規制日数が増大することが懸念された。また、一般的な床版防水工として用いられるシート防水材は、舗装切削後の不陸処理不良やひび割れの残存により、付着強度が低下することで長期的な防水機能が確保できないおそれがあった。よって、本橋では、舗装切削後のひび割れ補修を兼ねた複合防水工法を採

用した。

本橋で採用した複合防水工法は、2 層の塗膜系防水層を形成する構造である（図 - 3）。1 次防水層の速硬化性エポキシアクリレート樹脂は、床版上面からの貫通ひび割れや微細ひび割れに深く浸透して充填・接着するため、舗装切削後のひび割れ補修の手間を大幅に低減でき、床版剛性の回復が期待できる。さらに、2 次防水層としてアスファルト加熱型塗膜防水材を敷設するため、2 重の防水層による高い床版防水効果が期待できる。

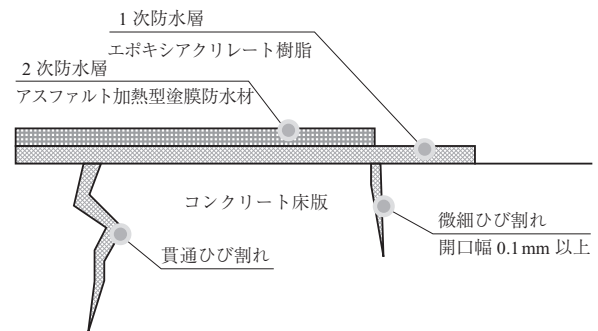


図 - 3 複合防水工法断面図

また、その他の床版防水対策として、縦横断勾配の最下点付近の水たまり箇所では水抜きを設置するとともに、伸縮装置を2次止水材付きの銅製櫛形ジョイントに取り替えることで、上部工コンクリートに水分を供給しないよう対策を行った。

5. おわりに

本報告は高い残存膨張性を有する PC 橋への補修対策を述べたものであるが、現状、本橋のような PC 構造物において、アルカリシリカ反応を止めることはきわめて困難であり、補修後すぐに再劣化することも十分考えられる。

今後、効率的な維持管理を行うためには、ひずみ計測等のモニタリングを実施し、ひび割れの進行と耐荷力低下の関係を確認したうえで、対策時期を判断することが重要である。

【2017 年 4 月 28 日受付】



新刊案内

コンクリート構造診断技術 コンクリート構造診断技術講習テキスト

2017 年 4 月

定 価 7,500 円／送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会