

## ASR により劣化した PC 構造物の調査と対策

本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 ○金田 泰明  
 本州四国連絡高速道路株式会社 非会員 矢野 賢晃

### 1. はじめに

3 径間連続複合箱桁斜張橋の PC 桁ケーブル定着部の側面において、亀甲状のひび割れや白色の析出物の発生を確認した。床版上面舗装の一部を撤去したところ、多数の橋軸方向のひび割れを確認したことから、アルカリシリカ反応(以下、ASR という)によるひび割れと推定された。長大斜張橋では、桁に生じる軸力が大きくなることが知られており、この卓越した橋軸方向の拘束力により、橋軸方向に方向性のあるひび割れが生じたと考えられた。劣化原因を推定するため、コアを採取し詳細調査を実施した結果、反応性骨材を使用した ASR による劣化である可能性を確認した。本論では、実施した詳細調査の結果および、当該箇所への補修方法について示す。

### 2. 損傷状況

供用 19 年後(H22 年)の点検において、PC 桁側面に亀甲状のひび割れと白色の析出物の発生を確認した(写真 1)。本橋は、H18 年に剥落防止対策として PC 桁側面に剥落防止シートと被覆塗装を施工している。また、H21



写真 1 PC 桁側面の変状



写真 2 ケーブル定着部の調査

年に建設当初になかったシート系および塗膜系による床版防水工を施工しているが、床版端部であるケーブル定着部では未施工であった。床版上面からの水の浸入が疑われたため、ケーブル定着部の舗装の一部を撤去したところ、橋軸方向に最大ひび割れ幅 0.85mm を含む多数のひび割れを確認した(写真 2)。

### 3. 建設時の使用骨材

本橋は、粗骨材に広島県蒲刈産の砕石を使用しており、岩石名は変成岩であった。また、建設時のアルカリシリカ反応性試験(化学法)では、判定基準値に近い値ではあったものの「無害」の判定であった。



写真 3 白色析出物



写真 4 粗骨材の割れ

### 4. 詳細調査

劣化原因を推定するため、現況調査によって確認された床版上面の軸方向のひび割れの近傍から、コアを採取し各種調査を行った。以下にその調査結果を示す。

#### (1) コア観察

コア表面の目視観察から、粗骨材の割れ、粗骨材外縁部に反応リムおよび白色の析出物を確認した。(写真 3, 4)

#### (2) 走査型電子顕微鏡(SEM)およびエネルギー分散型

##### X線分析(EDX)分析

粗骨材外縁部に生じた白色の析出物は、SEM による観察時に、乾燥収縮したアルカリシリカゲルの典型キーワード ASR, 反応性骨材, 遅延膨張性, プレストレストコンクリート, 斜張橋

	①	②	③
典型的形態			
主要成分範囲 (wt%)	SiO <sub>2</sub> : 60~90 Na <sub>2</sub> O: 5~30 K <sub>2</sub> O: 5~30 CaO: 5以下	SiO <sub>2</sub> : 35~75 Na <sub>2</sub> O: 3~15 K <sub>2</sub> O: 3~15 CaO: 10~55	SiO <sub>2</sub> : 45~75 Na <sub>2</sub> O: 10以下 K <sub>2</sub> O: 10~25 CaO: 10~30
組成タイプ	アルカリ-シリカ型	アルカリ-カルシウム-シリカ型	アルカリ-カルシウム-シリカ型 (K濃度大)
骨材の特徴	← 火山岩系骨材 ← 堆積岩系骨材 →		

図 1 アルカリシリカゲルの組成タイプ<sup>1)</sup>

的なひび割れであることを確認した。また、同箇所を EDX 定性分析した結果、アルカリシリカゲルの元素組成に類似した成分を確認した(図1)。したがって、骨材上に析出した白色物質はアルカリシリカゲル(アルカリ-カルシウム-シリカ型<sup>1)</sup>)と推定された。

### (3) 岩種判定

粗骨材の主な岩種は泥質ホルンフェルスであり、構成鉱物として微晶質石英、石英、斜長石、黒雲母を確認した。微晶質石英が含まれることから、遅延膨張性の ASR<sup>1)</sup>を生じる可能性があることがわかった。

### (4) 水溶性アルカリ量分析(総プロ法)

コンクリート中の水溶性アルカリ量は、H14 国交省 調達によるアルカリ総量抑制値(3.00kg/m<sup>3</sup>)に近い値の 2.99kg/m<sup>3</sup>であった。

### (5) 塩化物イオン濃度測定

塩化物イオンによる ASR への影響を確認するため、塩化物イオン濃度を測定した。コンクリート表面から約 5cm の箇所でも最も多い 0.48kg/m<sup>3</sup>の濃度を確認した。この結果は、該当コンクリートの腐食発生限界塩化物イオン濃度(1.68 kg/m<sup>3</sup>)以下であった。

### (6) 促進膨張試験(デンマーク法)

残存膨張量の結果を図2に示す。膨張率が 0.1%未満と、膨張性なしの領域ではあるものの長期的な骨材の膨張を確認した。通常デンマーク法による促進膨張試験では、試験材齢 13 週での膨張量で判定を行うが、遅延膨張性骨材を使用していたため、反応期間を長く取り 61 週まで測定を行った。

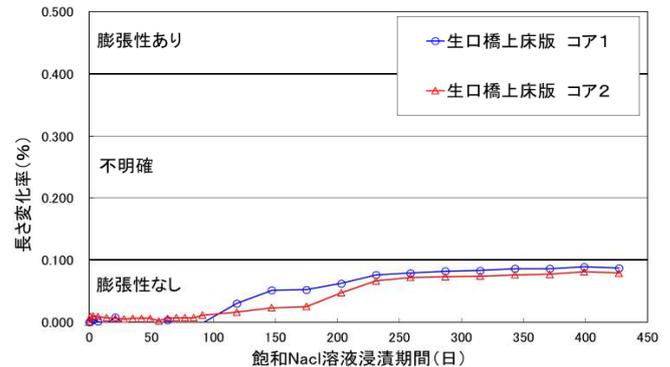


図2 促進膨張試験(デンマーク法)

## 4. 詳細調査の結果

以上の調査結果から、ASR による特有の劣化である骨材の割れと反応リムに加え、骨材上に析出した白色物質はアルカリシリカゲルと推定されること、粗骨材の構成鉱物として ASR の原因物質である微晶質石英が含まれることから、PC 桁側面の亀甲状のひび割れは ASR による劣化と推定された。また、促進膨張試験による残存膨張量は小さいものの、骨材に遅延膨張性がある微晶質石英を含んでいたことから、今後も ASR による長期的な劣化が否定できない結果となった。劣化が確認された箇所は、水とアルカリが供給される環境であり、ひび割れからアルカリシリカゲルの滲出は見られるが、鋼材腐食による錆汁は確認されなかったことから、劣化過程は進展期<sup>2)</sup>と推定される。

## 5. 補修

ASR による変状の進行を抑制する対策として、ひび割れ注入による補修と合わせ、外部からの水分の浸入を防止する目的で、PC 桁上面に塗膜系防水工、PC 桁側面に表面含浸工による補修を実施した(写真5)。

## 6. まとめ

詳細調査の結果、反応性骨材を使用した ASR による劣化と推定された。劣化の進行を抑制するため、水分の遮断を目的に塗膜系防水による補修塗装を実施した。本橋のように、建設時のアルカリシリカ反応性試験で「無害」と判定されていながら、現在の知見を踏まえれば ASR の可能性を否定できない結果となることがある。建設時の資料から、管内の橋梁のほとんどで反応性骨材の可能性のある骨材を使用していることから、今後は ASR を念頭に置いた点検・補修が重要である。



写真5 塗膜系防水工の施工状況

## 参考文献

- 1) 社団法人 日本コンクリート工学会/作用機構を考慮したアルカリ骨材反応の抑制対策と診断研究委員会 報告書(2008. 9)
- 2) 公益社団法人 土木学会/2018 年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】(丸善出版)