

## PC 上部工のひび割れ損傷と対策

首都高メンテナンス神奈川 (株)	正会員	○根本 洋
首都高速道路 (株)		岡崎 健一
(財) 首都高速道路技術センター		吉沢 勝
(財) 首都高速道路技術センター		林 成浩

### 1. はじめに

平成 7 年度に完成した首都高速道路神奈川線のプレストレストコンクリート (以下、P C) 橋において、床版上面のコンクリートが粒状化し、アスファルト舗装にポットホールがほぼ同位置に連続的に発生する現象が生じた。高架下より目視調査した結果、主桁側面および下面にひび割れや析出物などが認められた。当該区間の交通量および供用年数を考慮すると交通荷重のみで発生したものとは考えにくく、これまでに首都高速道路で確認されていない要因によるものである可能性が高いことが推察された。

本報は、これらひび割れ損傷の原因についての詳細調査、構造物の損傷状態調査および調査結果を踏まえ現地で実施した対策の概要について報告するものである。

### 2. 損傷状況

当該区間は、4 径間連続 P C 中空床版橋区間、3 径間連続 P C 箱桁ラーメン橋区間、7 径間連続 P C 中空床版橋区間および 8 径間連続 P C 中空床版橋区間の 4 区間である (延長約 650m)。これらの区間で舗装にポットホールが連続的に発生した箇所の舗装を除去したところ、コンクリートの一部が粉碎されたような状態が認められた (写真-1)。また、床版橋の側面および下面におけるひび割れの方向はプレストレスと同方向であり (写真-2)、プレストレスが少ない桁端部では亀甲状であった (写真-3)。さらに、機械足場で接近点検を行なったところ、ひび割れには段差が感じられ、析出物や骨材のポップアウト (写真-4) が認められる箇所があった。



写真-1 床版上面の粒状化



写真-2 橋軸方向のひび割れ



写真-3 亀甲状のひび割れ

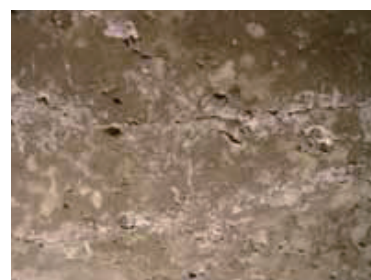


写真-4 骨材のポップアウト

### 3. コンクリートコアの詳細調査

#### (1) 詳細調査方針

上記の損傷の特徴は、一般的にアルカリ骨材反応を生じた構造物に確認される状況と一致するものである。また、主桁側面の橋軸方向のひび割れは、荷重作用によって発生したものとは考えにくく、このこともひび割れがコンクリート材料に起因することを示唆するものであった。このことから、P C 上部工の損傷原因としてアルカリ骨材反応を推察し、これに着目した詳細調査を行うこととした。

#### (2) 詳細調査項目

各区間の最も損傷が著しいスパンの主桁側面および下面より、損傷部および未損傷部を選定し、それぞれ

コアを1本および3本採取して表-1に示す調査を行った。ここで、アルカリシリカ反応性の試験として一般的な方法はJCI法であるが、石英などの判定に適さない場合があることなどを踏まえ<sup>1)</sup>、デンマーク法を採用した。

なお、調査結果を基に下記の3項目を考慮してアルカリ骨材反応の発生を判定することとした。

- ①骨材に反応性鉱物が含有されているか
- ②アルカリシリカゲルが発生しているか
- ③促進環境下において膨張性を示すか

(3) 詳細調査結果

下記1)～3)については、最も損傷の大きい7径間連続PC中空床版橋区間の結果を、4)アルカリシリカ反応性試験については4区間の結果を示す。

1) コアの外觀変状

水平方向および鉛直方向の二方向にひび割れが確認された。黄色から茶色を呈する細骨材があり、周囲に白色の析出物が認められた(写真-5)。なお、粗骨材には石灰岩の砕石が使用されている。

2) 岩石・鉱物学的分類

細骨材に、反応性鉱物として、微小石英、波動消光を呈する石英、黒雲母、火山ガラスが変質した鉱物およびシリカ鉱物が同定された。

3) コアの析出物の分析

コアに認められた析出物は、アルカリシリカゲルと同成分であった(写真-6および表-2)。

4) アルカリシリカ反応性試験

4区間全てにおいて「膨張性」を示した(図-1)。

(4) 詳細調査結果のまとめ

全ての区間において、アルカリシリカゲルが析出している細骨材があり、細骨材に石英系の反応性鉱物が含まれていた。また、促進条件下で膨張性を示す結果となった。

以上の結果から、PC上部工に認められた損傷の原因は、細骨材のアルカリシリカ反応と特定された。

4. 構造物の損傷状態調査

(1) 調査方針

PC上部工におけるアルカリ骨材反応の発生事例はほとんどなく、劣化が床版橋の上面から下面まで達していることが懸念されたため、構造物内部でどのように損傷が進展しているか中空床版橋区間の損傷状態を調査した。

(2) 調査項目

床版橋の下面のひび割れ及び白色析出物が著しい径間に対し、以下の調査を実施した。

- ①舗装を取り除いた床版上での打音調査
- ②床版表面よりウェブ位置での鉛直コア採取によるひび割れ発生状況調査

表-1 詳細調査項目

調査項目	対象	方法
コアの外觀	損傷部	目視により、コアのひび割れや析出物、骨材などを観察
岩石・鉱物学的分類	損傷部	偏光顕微鏡およびX線回折により、反応性鉱物を分析
析出物の分析	損傷部	SEM-EDSによる分析
アルカリシリカ反応性	未損傷部	デンマーク法によるコアの残存膨張量試験

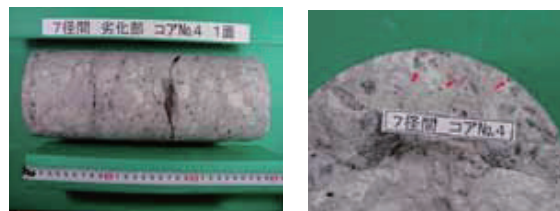


写真-5 コアの外觀変状

表-2 EDS分析結果

成分名	定量結果
二酸化珪素 (SiO <sub>2</sub> )	55.0%
酸化ナトリウム (Na <sub>2</sub> O)	10.8%
酸化カリウム (K <sub>2</sub> O)	6.7%
酸化カルシウム (CaO)	27.4%

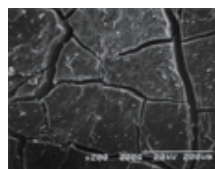


写真-6 SEM観察結果

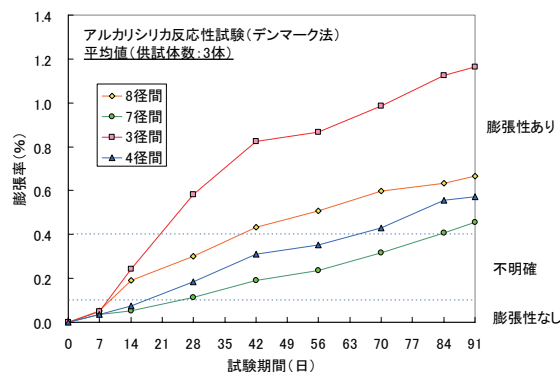


図-1 アルカリシリカ反応性試験

(3) 調査結果

1) 打音調査結果

打音調査の結果の一例を図-2に示す。ここで、図中のはつりNo.1とはウェブの位置を把握するために鉄筋をはつりだした箇所であり、打換え済み箇所とは、舗装損傷により緊急的に粒状化や浮きの発生した箇所を部分的に打換えた箇所である。床版上面の浮きは輪荷重の載荷の有無に係わらず全面に発生しており、その進行は輪荷重の載荷位置で著しいことが判明した。なお、はつり位置では、図-3のようなかぶりコンクリートの層状ひび割れ、アルカリシリカゲル及び反応性骨材が認められた。

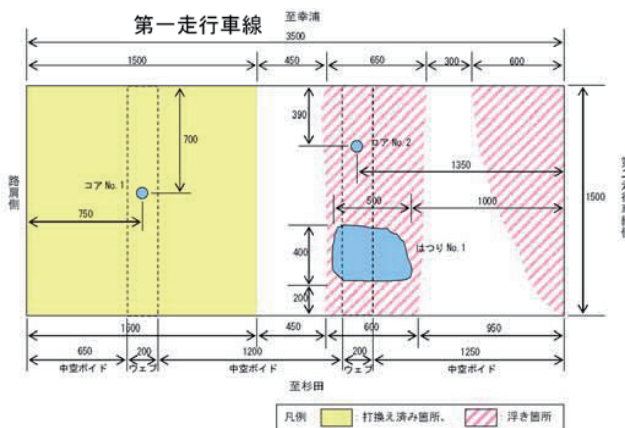


図-2 打音調査結果の一例



図-3 はつり箇所のひび割れ状況

2) ウェブ位置の調査結果

採取したコアおよび削孔箇所の孔壁面を確認したところ、表面付近に層状ひび割れが認められるだけでなく、表面より深い部分の水平方向にもひび割れが認められた(図-4)。このことからアルカリ骨材反応によるひび割れは上部工の表面付近のみでなく、内部にも発生していることが確認された。鉛直方向のひび割れについても明確に認められ、その最大幅は0.35mm~0.4mmであった。

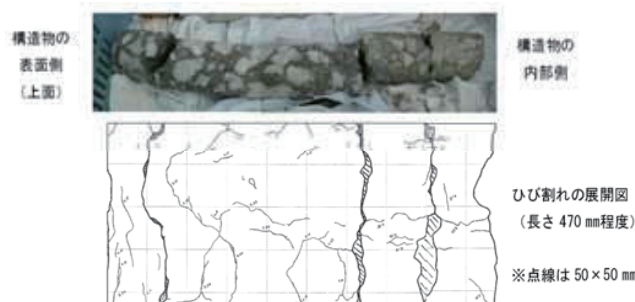


図-4 床版表面ウェブ位置で採取したコアの状況

(4) 調査結果のまとめ

ウェブのひび割れは水平方向に発生し易く、劣化が進行した段階では鉛直方向にも進展することが推察された。また、上面から下面への劣化の進行は、アルカリ骨材反応による鉛直方向、水平方向のひび割れを水が通り、中空ボイド管の周囲を伝うなどして生じるものと推察された。

5. PC上部工の安全性について

損傷が発生しているPC中空床版橋の現地載荷試験を行い、供用安全性を確認した。損傷の比較的少ない8径間連続中空床版橋、比較的多い7径間連続中空床版橋の各々1径間を選定し、静的載荷試験(床版橋のたわみ量の計測)および動的載荷試験(固有振動数の計測)を実施した。

静的載荷試験の結果、損傷程度が異なる場所での中空床版橋のたわみ量の違いは認められなかった。また、動的載荷試験の結果、卓越振動数に大きな差異は認められなかった。このことから、コンクリートひび割れによるPC上部工の剛性低下は認められず、現時点の構造物の耐荷力は十分に保たれていると考えられる。

6. 対策

アルカリ骨材反応が発生したPC上部工への対策概要を以下に示す。

(1) 床版補修工

床版上面の層状ひび割れが発生している床版劣化部分に対し、損傷が直接舗装に影響を与えることから、一般交通の安全性確保と床版上面からの雨水の浸透による上部工のアルカリ骨材反応進行の抑止を目的として、劣化した床版上面の撤去、SFRRCによる打換え、床版二重防水(浸透性吹付+加熱型塗膜)、舗装(表

層・基層）の改質Ⅱ型合材への打換えを行う。

(2) PC 上部工への対策工

コンクリート表面からの雨水浸入を遮断する止水対策を実施することを基本に計画した。

1) 壁高欄天端及び内面，地覆天端

既設のコンクリート塗装を剥がし，ひび割れ追従型塗装を実施する。

2) 壁高欄外面，張出床版下面及び主桁側面

第三者被害の恐れのある範囲については剥落防止対策を実施する。第三者被害の恐れがない範囲についてはひび割れ追従型塗装を施す予定である。

3) 主桁下面

端部に水切りを設置し，第三者被害の恐れがある範囲については剥落防止対策を施すが，第三者被害の恐れがない範囲については，ひび割れ損傷を監視し，コンクリート中の水分放出を阻害しないよう止水対策を施さない。

(3) 今後の監視計画

アルカリ骨材反応による構造物の劣化は経年に伴って進行するため，構造物の安全性を定期的に確認していく必要がある。そのため，構造物の劣化の進展を定期的に把握して構造物の安定性や第三者被害の可能性などについて判断するために，表-3 に示す項目について継続的に監視を行う予定である。なお，本監視計画は今後の状況の変化により変更することがある。また，高架下目視点検，高速上車上巡回点検により第三者被害の恐れのある箇所を日常的に監視すると共に，交通パトロールカーによる巡回の際にも当該箇所の重点的な監視を行っている。さらに，機械足場を使用する詳細な接近目視による定期点検においても継続的に監視を行っていく。

表-3 継続監視項目 (案)

継続監視項目	監視内容
7 径間連続 PC 中空床版橋の静的載荷試験による床版たわみ量の追跡	損傷の比較的多い7 径間連続中空床版橋において静的載荷試験を行い，床版たわみ量の変化を追跡する。
高詳細デジタルカメラの撮影データを用いたコンクリート表面状況の監視	高詳細デジタルカメラで現在の状況を撮影し，構造物のひび割れ進展等について現況との比較を行うことによる経過監視を行う。方法としては，上部工への対策を施さない箇所のうち，ひび割れが顕著に確認されている箇所に着目して，デジタル処理による重ね合わせ等によって劣化の進行状態について定期的に比較を行う。
赤外線法による劣化部の経過監視	上部工への対策を施した箇所については劣化の進行が目視では確認できなくなる。そのため，対策後に赤外線法を用いて内部のコンクリートの含水状態等を確認するため，サーモグラフィーを用いて継続監視を行う。
光ファイバセンサを用いた橋梁の常時モニタリング	上部工のひずみ変動および中立軸変動の監視を行う。

7. おわりに

本調査により，PC 上部工に細骨材によるアルカリ骨材反応が発生していることが確認された。当該区間は施工時にアルカリ骨材反応抑制対策が実施された年代に建設されているが，工事関係図書の保存期限の関係より，細骨材の産地や試験結果の情報が残っていないため，施工時品質管理の妥当性が検証できていない。コンクリートは多数の素材を組合せた複合材料であり，橋梁の維持管理に必要となる使用材料等の情報をいかに残すかは大きな課題といえる。

なお，PC 上部工のアルカリ骨材反応によるひび割れ等損傷については，これまでの発生報告が少ないことから，委員会（委員長：池田尚治横浜国立大学名誉教授）を設置し，原因の究明と対策手法について審議をいただきながら，現在，上記の対策を実施中である。最後に，多大なるご指導をいただいた委員長はじめ委員の方々に深く謝意を表する次第である。

参考文献 1) (社) 日本コンクリート工学協会：セメント系材料骨材研究委員会報告書，2005.9