

高密度に鋼材が配置されたコンクリート部材で発生した初期欠陥の補修

中日本高速道路(株) 正会員 ○ 野島 昭二
 (一社)日本建設機械施工協会施工技術総合研究所 正会員 博 (工) 渡邊 晋也

キーワード：初期欠陥，豆板，高密度鋼材配置，断面修復，ウォータージェット工法

1. はじめに

コンクリートの打込みにあたっては、初期欠陥が生じないように構築する構造物の特性に応じて事前にコンクリートの施工性を検討する必要がある。近年、構造物の大型化、高い耐震性能の確保などにより、コンクリート中の鋼材の配置密度が高くなる傾向がある。とくに、内ケーブル配置を有するプレストレストコンクリート構造物では、かぎられた断面形状の中でPC鋼材、および鉄筋を配置する必要があることから、より鋼材密度が高くなっている。このため、豆板、内部空洞などのコンクリートの打込みに伴う初期欠陥が発生しないような配慮が必要である。

新名神高速道路の新四日市ジャンクションと菰野インターチェンジ（仮称）の間に位置する朝明川橋は、架橋条件より図1に示すような鋼・PC混合3径間連続アーチ補剛箱桁形式を採用しており、PC桁部は、図2に示すような3室箱桁となっている。図1に示すように中央径間の支間に比べて側径間の支間が極端に短く、A1側はP3側に対してさらに短い。現在は暫定4車線で建設中であるが、完成6車線の対応としてPC桁部では、図2に示すように、張出し床版を延長して拡幅する計画となっている。このため、鋼桁とPC桁の接合部の補強、不等径間に伴うアンバランスな断面力、完成形での長支間な張出し床版の補強リブなどへの対応のため、PC桁部では非常に高密度で鉄筋、PC鋼材が配置されており、多い部材では450kg/m³以上の鋼材が配置されている。本文は、PC桁のコンクリート部材で発生した初期欠陥（豆板）の調査、補修方法について検討し、標準的な対策方法の提案を行うものである。

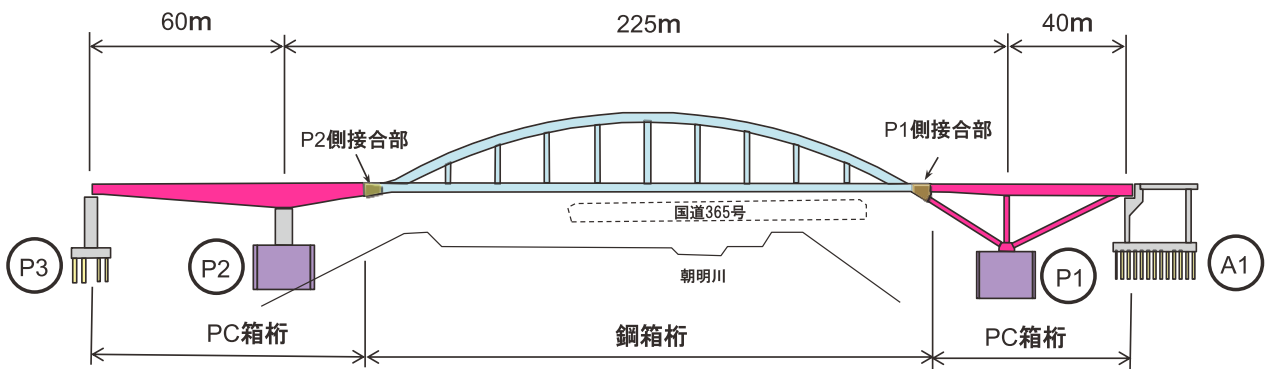
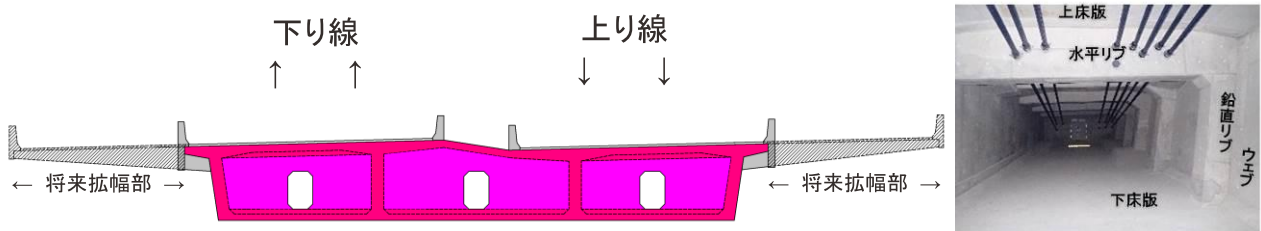


図1 朝明川橋の橋梁一般図



箱桁内部のリブの配置

図2 PC桁部の断面図

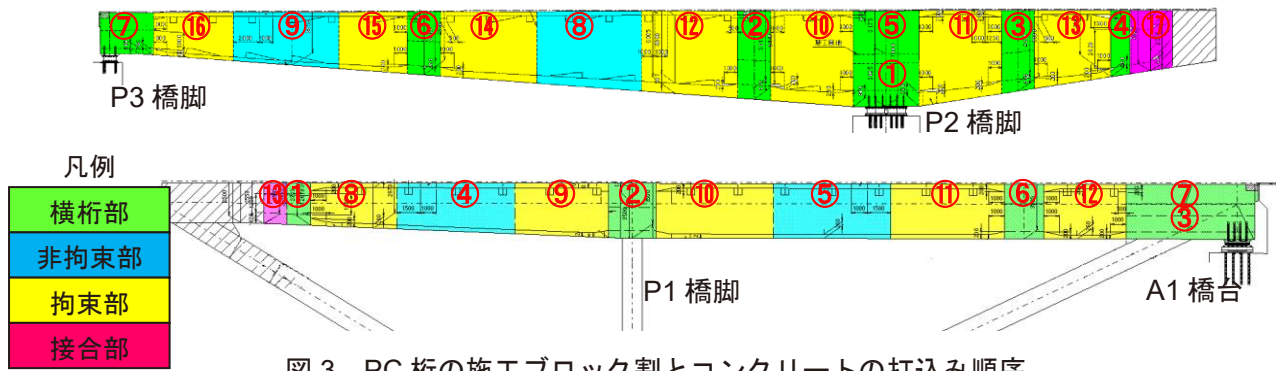


図3 PC桁の施工ブロック割とコンクリートの打込み順序

表1 コンクリートの配合

使用箇所	呼び名	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				水	セメント	膨張材	粗骨材	細骨材	混和剤
横桁部	40-12-20M	41.4	43.7	161	392	—	756	1 021	2.352
非拘束部	40-12-20N	42.5	44.7	160	376	—	776	1 010	2.256
拘束部	40-12-20N	42.0	44.0	159	359	20	763	1 023	2.653

2. コンクリートの配合と打込み

PC桁部は固定式支保工架設工法である。接合部以外のPC桁に使用するコンクリートの呼び強度は40N/mm²であり、コンクリート標準示方書¹⁾に基づいて打込み地点での最少スランプを10cmに設定した。細骨材は川砂、粗骨材は石灰岩碎石 (G_{max}20mm)、混和剤として高性能AE減水剤を使用した。

事前に温度解析を実施して、横桁ブロック、箱桁部の非拘束ブロック、および拘束ブロックでコンクリートを使い分けて、初期の温度ひび割れを抑制することとした。すなわち、コンクリートの打込みは、図3に示すように橋軸方向にA1側で12ブロック、P3側で15ブロックに分割した。一般に、場所打ちの箱桁のコンクリート打込みは、ウェブの下端付近で打継ぎ目を設けて2回に分割するが、ここでは工期の関係上、柱頭部を除いた横桁部、箱桁部の各ブロックは1回(日)で打ち込んだ。コンクリートの配合を表1に示す。

3. 初期欠陥(豆板)の発生状況

3.1 豆板の発生原因

コンクリートの打ち込み後、所要の養生が完了して箱桁の内型枠、およびウェブ外面の型枠を脱型したところ、主に①下床版定着突起の上部、②ウェブの打重ね部(とくに外ウェブ)、③ウェブ内の鉛直リブの表面、で初期欠陥である豆板が発生した。豆板の発生状況を図4に示す。豆板の発生原因は発生箇所別に次のように推定した。

- ① 浮き型枠部の締固め、およびウェブ内からの締固めが不足した。
- ② 外ウェブは傾斜があるうえスターラップが2段配置であり、パイプレータが届きにくく、上床版鉄筋が邪魔をしてマルチパイプレータの挿入も困難なため、とくに打重ね部で締固めが不足した。



図4 豆板の発生状況(外ウェブ)

- ③ 鉛直リブの上部には水平リブと上床版定着突起が配置されているうえに、定着部補強筋とスパイラル鉄筋が仕込まれているため、鉛直リブにコンクリートを直接打ち込むことが困難となるとともに、バイブレータの挿入困難により締め目が不足した。

3.2 豆板の発生範囲の把握

豆板の発生範囲は、たたきによって表面の変状範囲を特定した。豆板の深さ方向の変状範囲を特定するために、電磁波レーダ法、および超音波トモグラフィ法を用いた非破壊検査を試みたが、ともに深さ方向の豆板の範囲を特定することができなかった。そこで、水循環式の小口径深穴穿孔機（以下、LBD）を用いた微破壊検査を試みた。LBDは穿孔中にコンクリート中の鋼材に接触すると瞬時に停止する性能が備わっているため、内部探査を行う微破壊検査のための穿孔方法として好適である。LBD用いて削孔したφ9mmの穴に図5のようにCCDカメラを挿入して孔壁の空隙状況を目視で確認した。図6に示すような孔壁の空隙を手掛かりに、豆板の大きな深さ方向の変状範囲を推定することとした。その結果、最大で300mm程度まで空隙が多い断面を確認するなどして、各豆板の発生個所で深さ方向の変状範囲を推定した。各豆板の発生範囲の状況として、最外縁の鉄筋より深い位置まであるもの、かぶりの範囲でとどまるものに大別し、表面の変状範囲を考慮して変状の大きさを考慮した補修方法を検討することが可能となった。

4. 補修方法

豆板部を部分的にテストハンマにて取り崩しながら観察して、補修が必要となる範囲を検討した。粗骨材同士は付近のモルタル、またはペーストによりある程度は強固に噛み合っているように見えるものの、空隙にはブリーディングによってもたらされたレイタンスが図7に示すように層となって空隙の一部を埋めるように堆積しており、これらは、耐荷性、耐久性を考慮すると確実に取り除かなければならないと判断できる。そこで、健全部に影響を与えず、豆板、レイタンス層などの脆弱部を確実に除去できるウォータージェット工法（以下、WJ工法）を用いて豆板の除去を行うこととした。WJ工法は人力把持方式のハンドガンを選択し、豆板の調査結果を参考に、確実に脆弱部が取り除かれたことを目視で確認しながら施工した。また、豆板除去範囲の表面の縁は、断面修復の際の弱



図5 CCDカメラによる孔壁調査状況

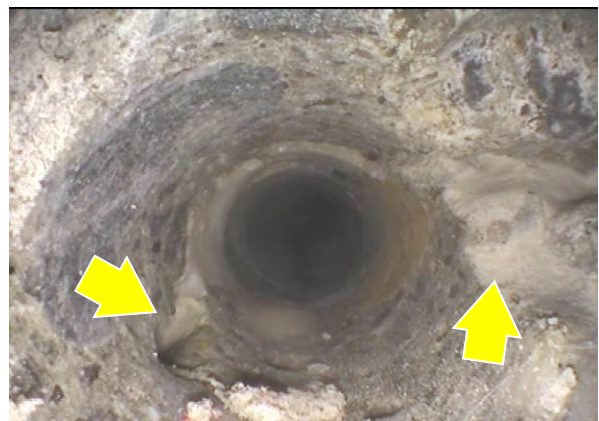


図6 孔壁の空隙状況

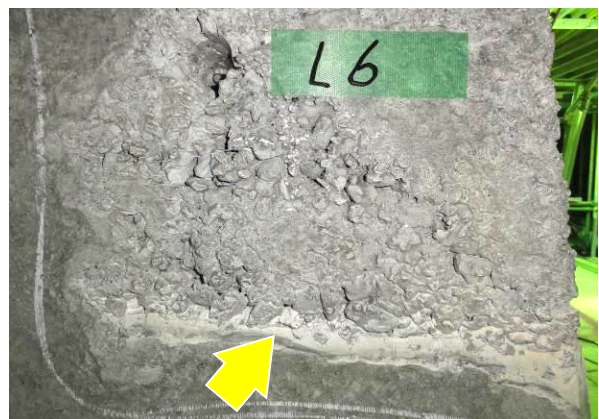


図7 レイタンスの状況

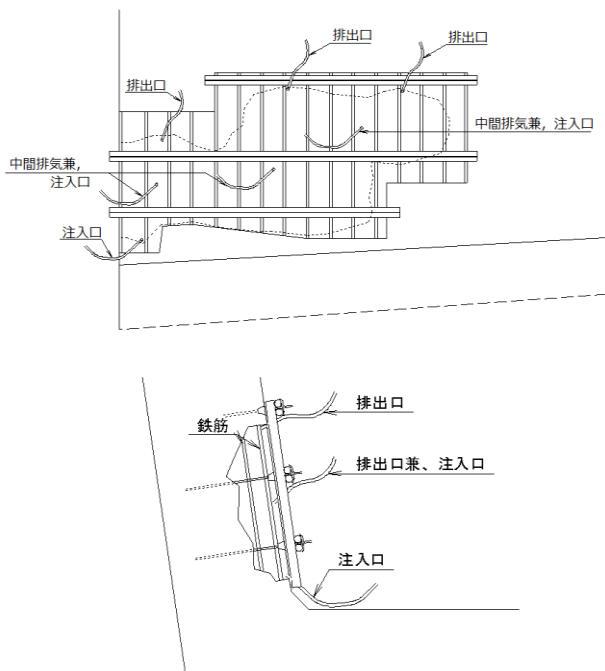


図8 型枠注入工法の施工要領図

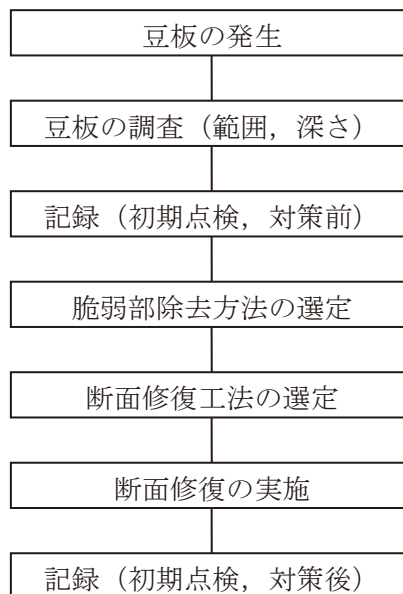


図9 初期欠陥(豆板)の対策フロー(案)

点となるフェザーエッジにならないよう処理した。

当該箇所の断面修復は桁断面の一部のため、断面修復材の性能としてa.母材コンクリートと同程度の弾性係数である、b.付着強度がすぐれている、c.硬化後の収縮が小さい、ことが求められる。そこで、鉄筋位置より深い断面を修復する箇所は、図8に示すようなプレミックス型セメント系無収縮グラウトコンクリートを用いた型枠注入工法を補修工法として選定した。これは、補修断面が大きいので、より収縮が小さく、高弾性が得られやすい粗骨材入りの断面修復材料とし、さらに施工時の充填性を考慮したためである。かぶり部分の補修となる箇所は、高強度ポリマーセメントモルタルを用いた左官工法を選定した。薄い修復断面での付着効果と施工性を考慮したものである。

5. まとめ

本事例に基づき豆板が発生した場合の対処方法の例を示すと図9のようになる。豆板は表面の変状範囲の把握とともに深さ方向の情報を得ることで、変状の発生状況に適した施工計画を事前に検討することが可能となる。本橋で使用したLBDを用いる微破壊検査方法も含めて、内部の変状状態を容易に把握できる技術が必要となる。初期欠陥が発生した場合、その発生状況と対策を記録に残し、維持管理の段階へと確実に引き継ぐことが重要である。いずれ必要となる補修、補強の時点で、無用な憶測と調査が不要となり、効率的に補修、補強設計が進めることが可能となる。

当然のこととして、初期欠陥が生じないような設計、材料、配合、施工について事前に十分な検討をすべきではあるが、都市内交通など施工条件の厳しい設計、良質天然材料の枯渇、地域的な配合の選択肢の制約や、高齢化、後継者不足による技術者不足など、課題が山積する時代のなかで、必ずしも避けられない場面がある。初期欠陥に対する情報共有を進め、初期欠陥が生じない技術的な検討を推し進めるとともに、初期欠陥が生じた場合は失敗隠しをするのではなく、正しい補修を行ったうえで、今後の再発防止に生かせるような体制づくりが必要である。

参考文献

1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書 [施工編]