

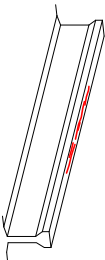
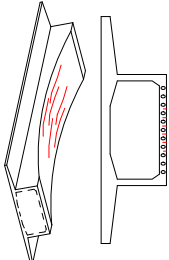
#### 4章 まとめ（初期変状抑制のための対策）



本共同研究では、定期点検結果を分析し、PC 橋では初期変状の抑制が高品質な PC 橋を構築する上で効果的であることを確認した。そのうえで、初期変状の主たる要因及び初期変状を抑制するための対策について検討を実施してきた。

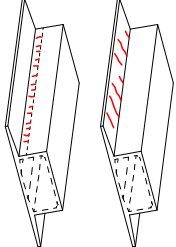
表-4.1 に、本共同研究で実施した検討の結果から、変状発生事例の多い初期変状（ひび割れ）の発生を抑制するために有用と考えられる留意点および対策案の例を示す。ただし、前述したようにひび割れは多種多様であり、かつ複数の要因が複合的に作用した結果生じるものである。このことは、本共同研究で実施した検討から確認されており、悪条件が重なった場合には、初期変状（ひび割れ）が生じる可能性は捨てきれない。したがって、ここで示された対策の実施は、初期変状を発生させないことを保証するものではないが、表-4.1 の対策等を実施することにより初期変状（ひび割れ）発生リスクを低減することが可能である。

なお、表-4.1 には「3.2 主桁下面の橋軸方向ひび割れ」の表-3.2.3 で赤く着色した4橋に対する分析から得られた留意点も併せて示した。詳細な分析内容は、本報告書の巻末に参考資料1としてまとめている。

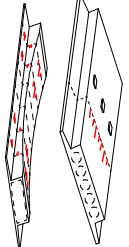
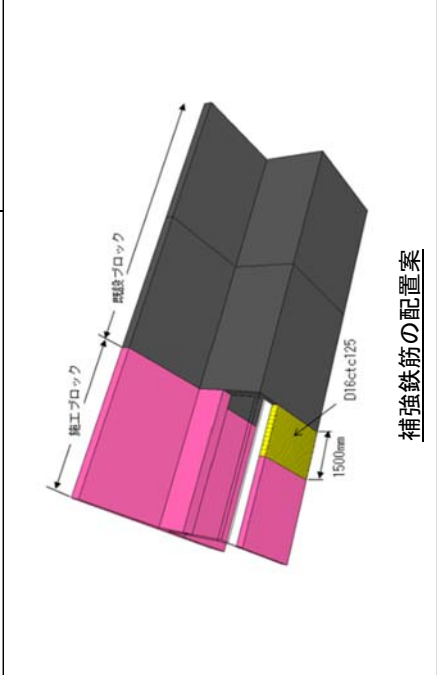
表-4.1 初期変状リスクを低減するために有用と考えられる留意点及び対策案の例

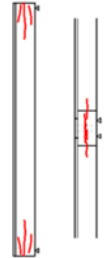
留意点および対策案	
ひび割れの種類と主要因	設計の段階から考慮すべき事項
<p>ひび割れの種類と主要因</p> <p>[本書 3.2]</p> <p>【3】主桁下面の橋軸方向ひび割れ</p>  <p>【4】変断面桁の下フランジの PC 鋼材に沿ったひび割れ</p> 	<p>設計の段階から考慮すべき事項</p> <p>■ 部材配置段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>変断面箱桁橋の下床版に PC 鋼材を配置する場合には、桁高変化をできるだけ緩やかにし、部材厚を厚くする。</li> <li>腹圧力が作用すると想定される範囲には、できるだけ打継目や定着突起を設けない。</li> <li>下床版に PC 鋼材を配置する場合には、できるだけウェーブ近傍に配置し、床版支間中央部には配置しない。</li> <li>下床版に配置する PC 鋼材は、できるだけ本数を少なくする。</li> <li>曲線橋のウェーブに PC 鋼材を配置する場合も、水平方向の腹圧力に対し、上記と同様の観点の配慮が必要となる。</li> </ul> <p>■ 構造解析段階</p> <p>①補強鉄筋による対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>腹圧力を加味して算出した下床版に配置した鉄筋に生じる応力度を <math>140\text{N}/\text{mm}^2</math> 程度に制限する。</li> <li>上述のとおり鉄筋応力度を <math>140\text{N}/\text{mm}^2</math> 程度に抑えるとともに鉄筋の配置間隔を小さくする (<math>125\text{mm}</math> 程度)。</li> </ul>
	<p>施工の段階で調整が必要になる事項</p> <p>—</p>
	<p>施工の段階で新たに考慮する事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>腹圧力が 1 断面に集中して作用することがないように、施工誤差により局所的な折れが生じないように配慮する。</li> </ul> <p>※なお、ひび割れ発生位置などから点検は【3】に分類されていたが、詳細分析より【11】【13】【16】に類すると考えられるひび割れが多数含まれていた。これらについての対策案は、【11】【13】【16】に記載している対策が有用と考えられる。</p>

留意点および対策案			
ひび割れの種類 と主要因	設計の段階から考慮すべき事項	施工の段階で調整が必要になる事項	施工の段階で新たに考慮する事項
<p>[本書 3.7]</p> <p>【6】支点付近のウェブ 斜めひび割れ</p>  <p>【主要因】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工（緊張時の支保工・型枠解体不備によるプレストレッシングによる部材の弾性変形の拘束）</li> </ul>	<p>■ 部材配置段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ プレストレスの導入時に仮設物（支保工・型枠）が部材の弾性変形を拘束することがないような部材形状とする。</li> <li>・ 拘束が懸念される場合には、懸念される事象について設計図書に示し、施工に引き継ぐ。</li> <li>・ 張出床版下面のハンチ部分は、荷重の分担や温度応力の影響などを考慮にいれて部材配置を検討する必要がある。</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 打継目を設ける場合は、パターン【11】【13】の留意点も参考にとよい。</li> </ul> <p>■ 構造解析段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ねじりを考慮する。</li> </ul>	—	<p>施工の段階で新たに考慮する事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 緊張作業実施前には、プレストレスを導入する部材のプレストレッシングによる変形を仮設物（支保工・型枠）と部材が接触し、拘束するようないことがないことを事前に確認することが重要である。</li> </ul>

留意点および対策案			
ひび割れの種類 と主要因	設計の段階から考慮すべき事項	施工の段階で調整が必要になる事項	施工の段階で新たに考慮する事項
<p>[本書 3.4]</p> <p>【11】 ウェブとフランジの打継目近傍の直角方向ひび割れ</p>  <p>【主要因】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外部拘束（新ブロツク打設の硬化にともなう水和熱の低下（温度変化）及び乾燥収縮による体積変形を旧ブロツクが拘束することにより発生する引張応力）</li> </ul>	<p>設計の段階から考慮すべき事項</p> <p>■ 部材配置段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>打継目位置によって発生する引張応力は、増減するため、打継目を設ける場合には、予め設置位置についての検討が必要となる。</li> <li>張出し床版長を短くして、活荷重、鉄筋拘束力等の外部拘束以外の要因の影響を低減することも考えられる。</li> </ul> <p>■ 構造解析段階</p> <p>① 引張応力を打消す対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>橋軸方向のプレストレスの導入を検討する。</li> </ul> <p>② 補強鉄筋を配置する対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>補強鉄筋の配置により、発生応力を分散させ、ひび割れの発生を抑制する。</li> </ul> <p>本共同研究の検討結果より、当該ひび割れ抑制のためにボステン箱桁には以下に示す程度の補強鉄筋は配置するのがよいと考えられる。（構造条件や環境条件等の厳しい組合せを考慮した場合の一例）</p> <p>中間床版の橋軸直角方向        ...D19ctc125 程度    張出床版と上床版の橋軸方向        ...D22ctc125 程度</p>	<p>施工の段階で調整が必要になる事項</p> <p>① コンクリートの最高到達温度を低減する対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>発熱量を抑えるためにセメント種別について検討する。</li> <li>単位セメント量の低減に配慮した配合について検討する。</li> <li>パイプクーリングの実施など養生方法について検討する。</li> <li>実施工におけるコンクリートの配合や養生方法が決定した段階で、解析条件からの変更があれば、低減効果について再検討し補強対策の見直しを行う。</li> </ul> <p>② コンクリートの収縮を抑制する対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>混和材の使用を検討する。</li> </ul> <p>※ 膨張材は、材齢初期のコンクリートに膨張をもたらすが、その後の乾燥収縮ひびきを低減するものではない。このため、膨張材の使用を検討する場合は、その特性を適切に評価する必要がある（例えば参考文献1））。 <li>養生期間の延長、保湿性の高い養生マトの使用による初期の乾燥収縮の抑制など、養生方法について検討する。</li> <li>実施工におけるコンクリートの配合や養生方法が決定した段階で、解析条件からの変更があれば、低減効果について再検討し補強対策の見直しを行う。</li> </p>	<p>施工の段階で新たに考慮する事項</p> <p>① コンクリートの最高到達温度を低減する対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの練り上がり温度の抑制を行う。（骨材に直射日光を当てない、散水により粗骨材の温度を低くするなどプレクーリングした骨材を用いる。低温の練混ぜ水を用いる。液体窒素を用いてコンクリートを冷却する）</li> <li>コンクリートの打設時期や時間帯に配慮する。（打設時の環境温度がなるべく低くなるような施工計画とする。）</li> </ul>

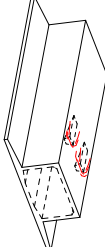
<p>今回の解析結果の配筋例</p> <p>打継目</p> <p>3.0m 程度</p> <p>D22@125 程度 版厚 450mm の場合 鉄筋量は 1.4%</p> <p>既設ブロック</p> <p>D19@125 程度 版厚 300mm の場合 鉄筋量は 1.5%</p> <p>1.5m 程度</p> <p>施工ブロック</p> <p>補強鉄筋の配置案</p>	<p>③引張応力度を打消す対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートの試験練りの結果や該当箇所の場所打ちコンクリートと同条件で養生した供試体の圧縮強度試験結果を確認し、プレストレスの導入時期や導入量について見直しを行う。</li> </ul> <p>④補強鉄筋を配置する対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施工におけるコンクリートの配合や養生方法が決定した段階で、解析条件からの変更があれば、低減効果について再検討し補強対策の見直しを行う。</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・寸法条件、材料条件、環境条件、施工条件など条件が異なれば発生する応力も異なるため、本共同研究と条件が異なる場合は、再検討が必要である。</li> </ul>		

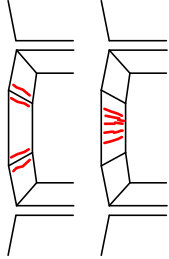
留意点および対策案			
ひび割れの種類 と主要因	設計の段階から考慮すべき事項	施工の段階で調整が必要になる事項	施工の段階で新たに考慮する事項
<p>[本書 3.5]</p> <p>【13】主桁鉛直打継目の橋軸方向ひび割れ</p>  <p>【主要因】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外部拘束（新ブロック打設の硬化にともなう水和熱の低下（温度変化）及び乾燥収縮による体積変形を旧ブロックが拘束することにより発生する引張応力）</li> </ul>	<p>設計の段階から考慮すべき事項</p> <p>■ 部材配置段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>打継目位置によって発生する引張応力は、増減するため、打継目を設ける場合には、予め設置位置についての検討が必要となる。</li> <li>腹圧力発生箇所や定着突起の近傍にはできるだけだけ打継目を設けないようにする。</li> </ul> <p>■ 構造解析段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>補強鉄筋の配置により、発生応力を分散させ、ひび割れの発生を抑制する。</li> </ul> <p>本共同研究の検討結果より、当該ひび割れ抑止のためにボスステン箱桁には以下に示す程度の補強鉄筋は配置するのがよいと考えられる。（構造条件や環境条件等の厳しい組合せを考慮した場合の一例）</p> <p>下床版橋軸方向</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>…D13～D16ctc125 を打継目から 750～1500mm の区間に配置する。</li> </ul> <p>・ 寸法条件、材料条件、環境条件、施工条件など条件が異なれば発生する応力も異なるため、本共同研究と条件が異なる場合は、再検討が必要である。</p>	<p>施工の段階で調整が必要になる事項</p> <p>①※コンクリートの最高到達温度を低減する対策案</p> <p>②※コンクリートの収縮を抑制する対策案</p> <p>※上記の①～②の対策はひび割れの種類【11】と同様（ひび割れ発生主要因が同じため）</p> <p>③補強鉄筋を配置する対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの配合や養生方法が決定した段階で、解析条件からの変更があれば、低減効果について再検討し補強対策の見直しが必要。</li> </ul>	<p>施工の段階で新たに考慮する事項</p> <p>①※コンクリートの最高到達温度を低減する対策案</p> <p>※上記の①の対策はひび割れの種類【11】と同様（ひび割れ発生主要因が同じため）</p>
			 <p>補強鉄筋の配置案</p>

留意点および対策案		
ひび割れの種類と主要因	設計の段階から考慮すべき事項	施工の段階で調整が必要になる事項
<p>ひび割れの種類と主要因</p> <p>[本書 3.6]</p> <p>【16】端支点部ウェブの水平～放射状ひび割れ</p>  <p>【主要因】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PC 鋼材配置 (PC 鋼材が桁端部に定着されることにもなる)</li> <li>PC 鋼材定着具周辺に生じる局所的な引張応力)</li> <li>内部拘束 (支点横桁部がマスコンとなり、水和熱による同一部材内での内外部の大きな温度差が生じることにより発生する引張応力 (温度応力))</li> </ul>	<p>設計の段階から考慮すべき事項</p> <p>■ 部材配置段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各 PC 鋼材の定着具の中心間隔をできるかぎり大きくとる。</li> <li>桁端部の定着部の縁端距離を大きく確保する。たとえば、定着具側面のウェブを増厚する構造について検討するなどが考えられる。</li> <li>定着具が 1 ヶ所に集中しない部材断面を確保する。条件により困難な場合は内外ケーブルを併用した構造について検討することが考えられる。</li> <li>端支点部は PC 鋼材定着具の箱抜き、伸縮装置の切欠き、張出し床版、横桁などが組合わされ複雑な形状となる場合が多いため、応力の流れがスムーズとなるような形状について検討することも必要となる。</li> </ul> <p>■ 構造解析段階</p> <p>① 補強鉄筋の配置に関する留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>適切な補強鉄筋が配置可能となるように PC 鋼材の定着具の中心間隔を確保する。(3D-CAD など (CIM) を活用し設計段階から、各種部材や鉄筋等の干渉を確認することも有用。)</li> <li>② ※コンクリートの最高到達温度を低減する対策案</li> </ul> <p>※上記の②の対策はひび割れの種類【11】と同様 (ひび割れ発生主要因が同じため)</p>	<p>施工の段階で新たに考慮する事項</p> <p>① 補強鉄筋の配置に関する留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>配筋が密でコンクリートの充填性に懸念がある場合には、充填が確認できる型枠構造について検討する。</li> </ul> <p>② ※コンクリートの最高到達温度を低減する対策案</p> <p>※上記の②の対策はひび割れの種類【11】と同様 (ひび割れ発生主要因が同じため)</p>

留意点および対策案			
ひび割れの種類 と主要因	設計の段階から考慮すべき事項	施工の段階で調整が必要になる事項	施工の段階で新たに考慮する事項
<p>[本書 3.3] 実橋における施工時学 動計測と再現解析</p> <p>【主要因】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>施工</u>（急速施工等による強度発現が十分でないコンクリートへの荷重の載荷や温度応力）</li> </ul>	<p>①施工時許容応力度による対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリートの発現強度を考慮して施工時のコンクリートの許容応力度を設定する。</li> </ul> <p>本共同研究の検討結果より、施工時のコンクリートの許容応力度は、設計時に発生すると想定している応力度と各強度（発現強度）の比率が、曲げ引張強度で 1.7※程度、曲げ圧縮強度で 3.0※程度、軸圧縮強度で 3.5※程度、斜め引張強度で 2.5※程度（温度変化の影響を考慮した場合は、曲げ引張強度で 1.5 程度、曲げ圧縮強度で 2.5 程度、軸圧縮強度で 3.0 程度、斜引張強度で 2.2 程度。部分係数設計法ではこれと同程度の比率を確保。）以上となるように設定するのがよいと考えられる。</p> <p>※H24 道路橋示方書までの設計基準で規定されてきたコンクリートの許容応力度が、打設日より 28 日後のコンクリートの発現強度を基準として定めていたことを参考に、発現強度に対して同程度の安全率を確保するように設定している。</p>	<p>①施工時許容応力度による対策案</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンクリートの試験練りの結果や該当箇所の場合打ちコンクリートと同条件で養生した供試体の圧縮強度試験結果を確認し、必要があれば施工イベントの時期を見直す必要がある。</li> <li>・ 設計段階から施工順序や施工荷重などの施工条件が変更となった場合は、施工時の応力状態について再検討する必要がある。</li> </ul>	—



留意点および対策案			
ひび割れの種類 と主要因	設計の段階から考慮すべき事項	施工の段階で調整が必要になる事項	施工の段階で新たに考慮する事項
<p>ひび割れの種類と主要因</p> <p>[参考資料 1 橋梁 No. 6] 【29】PC 鋼材定着部 (定着突起) 付近のひ び割れ</p>  <p>【主要因】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>PC 鋼材配置</u> (プレス トレスカによる定着 突起背面引張り及び 周辺に配置されてい る下床版ケーブルの 腹圧力)</li> <li>・ <u>外部拘束</u> (新プロッ ク打設の硬化にとも なう水和熱の低下 (温度変化) 及び乾 燥収縮による体積変 形を旧ブロックが拘 束することにより発 生する引張応力)</li> </ul>	<p>設計の段階から考慮すべき事項</p> <p>■ 部材配置段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定着突起は、腹圧力の発生箇所や打継目近傍などの引張応力の発生が懸念される箇所をできるだけ避けて配置する。</li> <li>・ 部材配置段階から、補強鉄筋を配置した状態でも、コンクリートの充填性が確保され、さらに充填されていることが確認できる部材配置について検討する。</li> </ul> <p>■ 構造解析段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設計で想定した応力状態に応じた補強鉄筋の配置を行う必要がある (断面の引張域にその引張応力度を負担させたい補強鉄筋を配置する)。</li> </ul>	<p>施工の段階で調整が必要になる事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 鋼材のあきが確保できない場合には、補強鉄筋の配置や部材寸法について再検討を行う。</li> </ul>	<p>施工の段階で新たに考慮する事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 配筋が密でコンクリートの充填性に懸念がある場合には、充填が確認できる型枠構造について検討する。</li> </ul>

留意点および対策案			
ひび割れの種類 と主要因	設計の段階から考慮すべき事項	施工の段階で調整が必要になる事項	施工の段階で新たに考慮する事項
<p>[参考資料1 橋梁 No. 19] 【23】連続床版下面に 発生している橋軸方向 ひび割れ</p>  <p>【主要因】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PC 鋼材配置（上床版 架設ケーブルによる プレストレスカの水 平方向分力（腹圧 力））</li> <li>・ 外部拘束</li> </ul>	<p>設計の段階から考慮すべき事項</p> <p>■ 部材配置段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上床版架設ケーブルの水平方向の偏曲点 位置はできるだけ分散させる。</li> <li>・ 上床版のハンチ長さ、架設ケーブルの 配置幅を包括するような長さで設ける。</li> </ul> <p>■ 構造解析段階</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 床版の付け根、床版支間中央だけでなく、 床版厚変化点の応力状態も確認し、必要 があればプレストレスの導入や補強鉄筋 の配置などを検討する。</li> </ul> <p>※旧ブロックの拘束の影響を低減する対策 は上記【11】【13】と同様。</p>	<p>施工の段階で調整が必要になる事項</p> <p>※旧ブロックの拘束の影響を低減する対策 は上記【11】【13】と同様。</p>	<p>施工の段階で新たに考慮する事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上床版架設ケーブルに先立って、床版横 締めケーブルを緊張し、予め橋軸直角方 向にプレストレスを導入する。</li> </ul> <p>※旧ブロックの拘束の影響を低減する対策 は上記【11】【13】と同様。</p>

【4章の参考文献】

- 1) 膨張材によるコンクリートの収縮低減, 松本健一, 片平博, 渡辺博志, 土木技術資料  
Vol. 53 No. 9, pp. 36-39, 一般財団法人土木研究センター, 2011