２章　ＰＣ橋における初期変状の実態

2.1 整理概要

本章では、本共同研究において平成 25～26 年度に行った調査や点検結果の分析による検討から得られた知見について整理を行う。

平成 25～26 年度では、PC 橋の初期変状抑制に関わる技術基準変遷や既往の初期変状抑制対策の調査、定期点検データの分析等を実施し、初期変状抑制にあたっての検討の方向性についての整理を実施している。なお、これら前述した本共同研究の過年度検討内容の詳細は、報告書（その 1）[1)] にまとめられている。

以下に､本章に記述している本共同研究の過年度検討内容についての整理概要を示す。

1）2.2「**初期変状抑制に関する技術基準の変遷**」では、これまで行われてきた初期変状抑制対策について整理を実施している。ここでは、時代の変化とともに課題が認識される都度、変状抑制に向けて追加あるいは見直しがなされ、現在に至っている設計及び施工における初期変状抑制に関わる技術基準の変遷についての調査結果を示している。

2）2.3「**PC 橋における初期変状の実態分析**」では、各地方整備局において平成 20～24 年度に実施された橋梁定期点検データの分析結果を整理している。ここでは、橋梁定期点検のうち、供用後 2 年以内に実施される初回点検で記録された変状を 31 種類に分類するとともに、調査結果から考えられる変状の要因について考察を行っている。

3）2.4「**まとめ（初期変状要因の推定）**」では、上記 1）及び 2）の検討により得られた知見から、初期変状発生リスクを高める要因として疑われる項目について整理を行い、初期変状発生リスクを合理的に低減するための検討の方向性についてまとめている。

2.2 初期変状抑制に関する技術基準の変遷

わが国において、PC 橋が初めて施工された 1950 年頃から現在に至るまで、PC 橋は構造形式の多様化や使用材料の変化など、さまざまな技術の発展や進歩がなされてきた。それとともに、PC 橋の初期変状抑制を目的とした対策についても、課題が認識される都度、新たな知見を反映し技術基準を改定したり、施工方法の改善や施工管理の強化をするなどにより対策がとられてきている。

ここでは、今後の更なる初期変状抑制対策の方向性について検討する上で、現状の初期変状抑制対策について把握するため、技術基準（道路橋示方書）における現在に至るまでの PC 橋の初期変状抑制対策に関わる技術変遷を整理している。技術変遷の調査項目は、報告書（その１）[1)] において示されている、PC 橋の変状の直接的要因と間接的要因の中から、初期変状に関わりが深い要因と想定される**表-2.2.1** に示す項目である。**表-2.2.2** に技術基準（道路橋示方書）における代表的な初期変状抑制対策の変遷を示す。なお、**表-2.2.1** に示す項目毎の詳細な変遷については、**表-2.2.3** に「設計の変遷」、**表-2.2.4** に「施工の変遷」と区分して整理結果を示している。**表-2.2.3** や**表-2.2.4** では，技術基準ではないが設計時に参考とされる関係学協会や団体（土木学会、プレストレスト・コンクリート建設業協会、高速道路会社など）の設計マニュアルや要領の記載内容の変遷も含めた調査結果を示している。

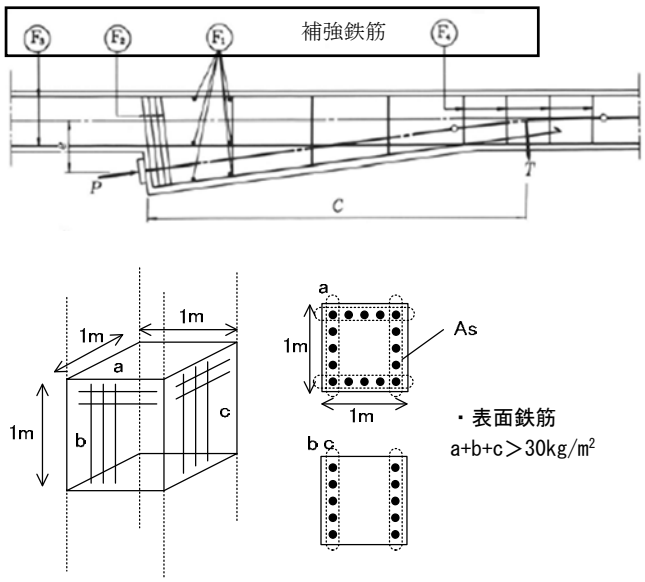
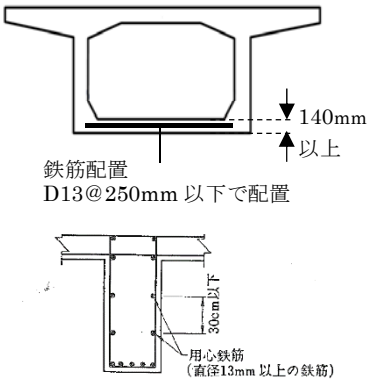
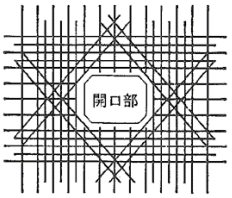
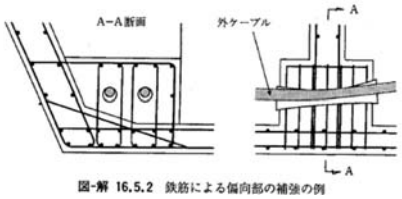
表-2.2.1　技術変遷の調査項目

大項目	項目	整理番号
設計の変遷	基準の改定	【設計-Ⅰ】
	腹圧の設計	【設計-Ⅱ】
	定着突起の設計	【設計-Ⅲ】
	水和熱の温度応力	【設計-Ⅳ】
	定着部の支圧応力	【設計-Ⅴ】
	乾燥収縮	【設計-Ⅵ】
施工の変遷	支保工	【施工-Ⅰ】
	型枠	【施工-Ⅱ】
	コンクリート打設	【施工-Ⅲ】
	養生	【施工-Ⅳ】
	目地部	【施工-Ⅴ】
	グラウト	【施工-Ⅵ】

直轄国道を対象とした橋梁の点検は、昭和 63 年に橋梁点検要領（案）が策定され、初めて全国的に統一化された手法で本格的に実施されることとなった。その後、平成 16 年に橋梁定期点検要領（案）、平成 26 年に橋梁定期点検要領が策定されている。なお、全国の道路橋を対象とした道路法施行規則第 4 条の 5 の 2 の規定に基づく道路橋定期点検要領が平成 26 年に策定されている。

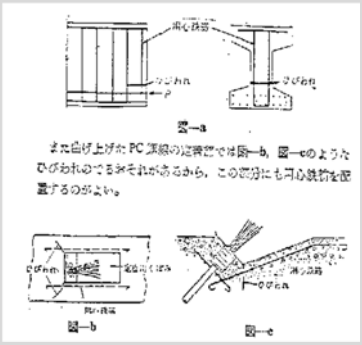
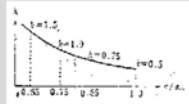
表-2.2.2 に示すように、技術基準では、昭和 63 年以前においても課題が認識されるたびに、発生した変状に対して検討を行い規定の充実が図られてきており、変状発生のリスクを低減するための不断の努力が現在に至るまで行われてきている。

表-2.2.2　技術基準における初期変状抑制対策の変遷

Ｓ４３ プレストレストコンクリート道路橋示方書・解説	設計	●部材中間に定着具を設ける場合に，定着具付近に発生する引張応力に対して補強することを規定。（条文 6.2.3） ●ポステン部材において乾燥収縮などによるひび割れを抑制するよう，部材の表面近くに 30kg/m^3 以上（在来は 25kg/m^3 以上）の鉄筋を配置することを規定。（条文 6.1.5） 
Ｓ５３ 道路橋示方書・同解説	設計	●ＰＣ箱桁の下床版には直接は輪荷重が載荷されず、計算上は非常に薄くできるものの、剛性の確保やひび割れ抑止の観点から、最小厚さを 140㎜（従来 100㎜）にすること、直径 13㎜ 以上の鉄筋を 250㎜ 以下の間隔で配置することを規定。（条文 8.3.1） ●乾燥収縮などによるひび割れを抑制するために，最小鋼材量を 0.15%（≒30kg/m^3）以上とした上で，場所打ちＰＣ桁ウェブでは直径 13㎜ 以上の鉄筋を 300㎜ 以下の間隔で配置すること、打継目付近に鉄筋を配置することを規定。（条文 4.2.13） ●開口部における局部応力に対して鉄筋を配置することを規定。（条文 4.2.13）  図-解 4.2.23　ウェブ両側面に配置する用心鉄筋  図-解 4.2.24　開口部の用心鉄筋
Ｈ２ 道路橋示方書・同解説	施工	●マスコンクリートの施工にあたって、セメントの水和熱に起因する温度応力によるひび割れに対する検討を行うことを規定。（条文 16.6.7） ●打継目にて温度応力および乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮することを規定。（条文 16.6.6）
Ｈ８ 道路橋示方書・同解説	設計	●外ケーブル定着部及び偏向部に生じる局部応力によるひび割れを抑制するためにＰＣ鋼材又は鉄筋により補強することを規定。 （条文 16.5.3）  図-解 16.5.2　鉄筋による偏向部の補強の例
Ｈ２４ 道路橋示方書・同解説	施工	●マスコンクリートの施工にあたって、セメントの水和熱に起因する温度応力によるひび割れが懸念される場合には、材料、打込み方法、養生方法等について検討を行い、構造上有害となるひび割れの発生を防止することを規定。（条文 20.6）

灰色着色部は、道路橋示方書（日本道路協会）以外の文献を示す。

表-2.2.3　設計の変遷

時期	設計の変遷					
	設計－Ⅰ	設計－Ⅱ	設計－Ⅲ	設計－Ⅳ	設計－Ⅴ	設計－Ⅵ
	基準の改定	腹圧の設計	定着突起の設計	水和熱の温度応力	定着部の支圧応力	乾燥収縮
1949年 昭和24	鉄筋コンクリート標準示方書 （土木学会）	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	P92　96条乾燥収縮 乾燥による収縮応力を考える必要がある場合、その収縮応力は温度降下によっておこる温度応力に相当するものとして計算する。その温度降下は不静定構造物の場合表-14の値を標準とする。 表-14　乾燥収縮に相当する温度降下 構造物の種類 ／ 温度降下 ラーメン ／ 15°C アーチ 鉄筋量 0.5% 以上 ／ 15°C アーチ 鉄筋量 0.5% 未満 ／ 20°C
1955年 昭和30	プレストレストコンクリート設計施工指針 （土木学会）	記載なし	記載なし	記載なし	P35　39条ＰＣ鋼線の定着具の補強 ＰＣ鋼線を定着した面近くには適当な用心鉄筋を配置して、この部にひびわれのでるおそれを少なくしなければならない。  図—a また曲げ上げたPC鋼線の定着部では図—b，図—cのようなひびわれのでるおそれがあるから，この部分にも用心鉄筋を配置するのがよい。 図—b　図—c	P33　35条コンクリートの乾燥収縮 （プレ減少） コンクリートの乾燥収縮によるプレストレスの減少を計算する場合、コンクリートの収縮度はプレテンショニングのときは表-4の値、ポストテンショニングのときは表-4の値に0.6ｋを乗じたものとする。 表—4　コンクリートの収縮度（単位10^{-6}） 状態 ／ 部材断面の最小寸法(cm) 20未満 ／ 20～75 ／ 75以上 水中 ／ 0 ／ 0 ／ 0 空気中 ／ 非常に湿った場合 ／ 12.5 ／ 10 ／ 7.5 空気中 ／ 一般の場合 ／ 25 ／ 20 ／ 15 空気中 ／ 乾燥した場合 ／ 37.5 ／ 30 ／ 22.5  図—1　kとσ/σ_{ss}の関係 σ＝プレストレスを与えるときのコンクリートの圧縮強度 σ_{ss}＝コンクリートの最終圧縮強度 σ_{ss}とσ_{ss}との関係はつぎのように仮定してよい。 普通ポルトランドセメント　$\sigma_{ss}=1.30\sigma_{ss}$ 早強ポルトランドセメント　$\sigma_{ss}=1.15\sigma_{ss}$

1961年 昭和36	プレストレストコンクリート設計施工指針 （土木学会）	記載なし	記載なし	記載なし	P61　49条ＰＣ鋼材定着部のコンクリートの補強 ＰＣ鋼材定着部の部材コンクリートにはＰＣ鋼材と直角な面内に引張応力が作用し、ひび割れ発生の恐れがあるので、スターラップ、格子状、またはらせん状鉄筋、等で補強しなければならない。	P61　44条（2）乾燥収縮 コンクリートの乾燥収縮によるプレストレスの減少を計算する場合、乾燥収縮度は一般に次の値としてよい。
1964年 昭和39	鉄筋コンクリート道路橋設計示方書解説 （日本道路協会）	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	P5　コンクリートの乾燥収縮の影響を構造物の設計に考慮しなければならない場合には、土木学会鉄筋コンクリート標準示方書109条（S24版96条に同じ）の規定にしたがうものとする。
1968年 昭和43	プレストレストコンクリート道路橋示方書解説 （日本道路協会）	記載なし	P42　6.2.3【定着具付近の補強】　平成24道示にある内容と同様に、定着突起にかかるT1～T6のちからに対して、Ｆ１～F4の補強筋が示される。	記載なし	大きな変更なし P38～P41　6.2.3【定着具付近の補強】同上	P5　2.3（2）不静定構造物の設計計算に用いる乾燥収縮度は15×10^{-5}とする。
1978年 昭和53	プレストレストコンクリート標準示方書 （土木学会）	記載なし	大きな変更なし P46～P49　7.1.6【定着具付近のコンクリートの補強】　同上	記載なし	大きな変更なし P46～P49　7.1.6【定着具付近のコンクリートの補強】同上	大きな変更なし P17～P19　4.2.3【乾燥収縮】同上
	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編 （日本道路協会）	記載なし	大きな変更なし	記載なし	大きな変更なし P170～P172 4.2.8【定着具付近の補強】（1） 同上	P105　2.2.3乾燥収縮（2）コンクリートの乾燥収縮による不静定力を計算する場合のコンクリートの乾燥収縮度は、15×10^{-5}とする。ただし、軸方向鋼材量が部材のコンクリート断面積の0.5%未満の場合は20×10^{-5}とする。なお、これらの値を用いる場合は、コンクリートの乾燥収縮に伴うクリープの影響を考慮してはならない。（3）（1）項および（2）項によりがたい場合は、部材周辺の湿度、部材断面の形状寸法等を考慮して別途にコンクリートの乾燥収縮を定めることとする。（解説参照）
1990年 平成2年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編 （日本道路協会）	記載なし	大きな変更なし	P304　16章施工　16.6.7　【マスコンクリート】　マスコンクリートの施工にあたっては、セメントの水和熱の起因する温度応力によるひび割れに対する検討を行わなければならない。	大きな変更なし P182～P184 4.4.8【定着具付近の補強】（1） 同上	上記事項に加えて、 P303～304　16章施工　16.3.6　【打継目】 温度応力および乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮する。

1994年 平成6年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編（日本道路協会）	記載なし	大きな変更なし	大きな変更なし P301　16.6.7【マスコンクリート】 同上	大きな変更なし P182～P184　4.4.8【定着具付近の補強】（1） 同上	大きな変更なし P38　2.1.6【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 P300　16.6.6【打継目】 同上
1996年 平成8年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編（日本道路協会）	記載なし	大きな変更なし	大きな変更なし P317　17.6.7【マスコンクリート】 同上	P185～P187　4.4.8【定着具付近の補強】（1） 同上 上記事項に加えて、 P327～328　18章その他の部材の設計　18.5.3　【外ケーブル構造・構造細目】（1）外ケーブルの定着部及び偏向部は、ケーブルの張力及びケーブルが偏向することにより生じる局部応力に対して、鉄筋あるいはＰＣ鋼材によって補強しなければならない。	大きな変更なし P38　2.1.6【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 P317　17.6.6【打継目】 同上
2002年 平成14年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編（日本道路協会）	P252～P254　10章箱げた橋　10.5【構造細目】　下フランジ厚140㎜が条文に示され、解説に桁高変化がある場合の偏向力や腹圧力に対して配慮事項が示された。	大きな変更なし	P345　19.6【コンクリート工】(8)マスコンクリート　セメントの水和熱の起因する温度応力によるひび割れが懸念される場合には、材料、打込み方法、養生方法等について検討を行い、構造上有害となるひび割れの発生を防止するものとする。 (8)解説　温度応力に関する具体的な制御方法については、「ひび割れ制御指針」（日本コンクリート工学協会）「コンクリート標準示方書施工編」（土木学会）を準用するとよい。	大きな変更なし P200～P202　6.6.8【定着具付近の補強】（3）同上 P327　18.5.3【外ケーブル構造・構造細目】(1)同上	大きな変更なし P31　2.2.5【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 P342　19.6【コンクリート工】（7）打継目 同上
2012年 平成24年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編（日本道路協会）	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし P339　20.6【コンクリート工】 (8)マスコンクリート 解説での準用文献の変更 「ひび割れ制御指針」（日本コンクリート工学協会）→「ひび割れ制御指針2008」 「コンクリート標準示方書施工編」（土木学会） →「コンクリート標準示方書設計編（H20.3）」	大きな変更なし P202～P204　6.6.8【定着具付近の補強】(3)同上 P312　18.2【外ケーブル構造・設計一般】(3)同上	大きな変更なし P37　2.2.5【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 解説に過大な乾燥収縮についての記述を追加 P339　20.6【コンクリート工】（7）打継目 同上

灰色着色部は、道路橋示方書（日本道路協会）以外の文献を示す。

表-2.2.4　施工の変遷（その 1）

時期	参考文献	施工の変遷					
		施工－Ⅰ	施工－Ⅱ	施工－Ⅲ	施工－Ⅳ	施工－Ⅴ	
		支保工	型枠	打設・締固め	養生	プレキャスト目地部	打継目地部
1949 年 昭和 24	鉄筋コンクリート標準示方書 （土木学会）	P82　62 条　【型ワクおよび支保工】　支柱は沈下しないよう、そのうける荷重を適当な方法で地盤に一様に分布させ、高さが大きいときにはツナギおよび筋違イを設けなければならない。	P82　61 条　【セキ板】　死ブシその他の欠点のないものを用い、コンクリート露出面に接する表面はカンナ仕上げを行う。	P77　45 条　【締固め】　振動機の記載に加えて、突固め（1 層の厚さ 15cm 以下）、事前のモルタル打設、の記載あり。配合、振動時間、振動機の差し込み間隔などは責任技術者の指示を受ける。	P78　47 条　【養生】　養生期間は、普通セメント 7 日、早強セメント 3 日を最低養生期間とし､湿潤養生を行う。養生方法は責任技術者の承認を得る。	記載なし	プレキャスト目地部の記載はなし。 P77　46 条　【打継ぎ】　硬化したコンクリートの表面を責任技術者の指示に従って粗にし、ゆるんだ骨材粒子、不完全なコンクリート、レイタンス、雑物、等を完全に除き、表面を十分にぬらさなければならないと記載がある。
1955 年 昭和 30	プレストレストコンクリート設計施工指針 （土木学会）	記載なし	記載なし	P15　18 条　【コンクリート打ち】［解説］振動数の高い振動機を用いて十分に締め固めなければならない。	P16　19 条　【コンクリートの養生】　［解説］夏期は必要に応じて材料のプレクーリングを行う。プレキャスト部材の高温養生と蒸気養生（最高温度 60℃以下）の記載あり。	P20　25 条　【継目】　プレキャストのブロックまたはコンクリートは部材を継ぎ合せて一体として働く構造物とするとき、目地に用いるモルタルまたはコンクリートは、ブロックまたは部材のコンクリートと同等以上の圧縮強度のものでなければならない。	P20　25 条　【継目】　プレキャストのブロックまたはコンクリートは部材を継ぎ合せて一体として働く構造物とするとき、目地に用いるモルタルまたはコンクリートは、ブロックまたは部材のコンクリートと同等以上の圧縮強度のものでなければならない。

1961年 昭和36	プレストレストコンクリート設計施工指針(土木学会)	P35　25条　【型枠および支保工】　［解説］支保工沈下に対応出来るようにジャッキ、その他を挿入しておくこと、およびプレストレッシングと同時に支保工を沈下させるなどの処置を行うことが示された。	P35　25条　【型枠および支保工】　［解説］コンクリートの乾燥収縮を妨げ、一箇所に大きな収縮ひび割れが集中することのないよう、型枠を早期にはずし、十分な養生をするなどの処置を行うことが望ましい。	P32　23条　【コンクリート打ち】　［解説］十分な締固めの際、材料分離や型枠やシースを損なわないように注意が示される。また、振動機として内部振動機と外部振動機が示される。	P32　24条　【養生】　(2)暑中コンクリートの打ち込み時のコンクリート温度を30℃以下とする。また、コンクリートの最高温度は60℃以上になってはならない。(3)高温促進養生の際、コンクリート温度の急激な上昇および冷却中の急激な降下を避ける。	P44　34条　【継目】　［解説］間詰めコンクリートなどは所要の圧縮強度があれば良いと補足された。	P44　34条　【継目】　［解説］間詰めコンクリートなどは所要の圧縮強度があれば良いと補足された。
1964年 昭和39	鉄筋コンクリート道路橋設計示方書解説 （日本道路協会）	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
1968年 昭和43	プレストレストコンクリート道路橋示方書解説 （日本道路協会）	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし

1978年 昭和53	プレストレストコンクリート標準示方書 （土木学会）	P112～P113 11.4【型枠および支保工】　①コンクリートの打ち込みのエ程、取り外し、転用などの施工計画に基づき、原則として図面を作成、②鉛直荷重、横方向荷重、コンクリートの側圧などを考慮するとし、具体的な数値が記載 P113　11.4.2【取り外し】　プレストレッシング後にはじめて自重およびその他の荷重を受ける部分は、少なくともそれらの荷重に耐えるだけのプレストレスを与えた後でなければ、型枠および支保工を外してはならない。	P112～P113　11.5【型枠および支保工】　①緊張時に型枠の一部を取り外すことが記載、②使用材料は、強度、剛性、耐久性、作業性、打ち込まれたコンクリートに対する影響および経済性を考慮して選定	P116　11.5.3　【打込みおよび締固め】　①時間をおいてコンクリートを打ち足す場合に下部コンクリートへの振動機挿入が示された。②振動機を用いて締固めと示され「突固め」の表現が無くなった。③寒中における施工の場合コンクリート温度は打込みのときに10～20℃を原則。④暑中における施工の場合、コンクリートを1時間以内になるべく早く打込み、コンクリート温度は35℃以下。	P116　11.5.3　【打込みおよび締固め】　①打込み時のコンクリート温度35℃以下と示され、30℃以上となるおそれがある場合に対策を行うことが示される。 P118～P119　11.5.6【養生】　①湿潤養生を行う期間は、打込み後少なくとも5日間、ただし早強セメントを用いる場合は3日間を標準とする。②湿潤養生が困難な場合に責任技術者の指示を受けて膜養生を施工する。③寒中養生について、保温養生や加熱養生が示される。	P56～P58　7.3.2　【プレキャスト部材の継目】　①水密性の検討が追記、②モルタルおよびコンクリートを用いた目地幅の標準値がそれぞれ示され、継目の面は不純物を除去するとともに構造物の重要な部位に設けられる継目の面は、チッピングを行うことも重要と記載、③接着剤を用いた目地について追記され組立用金具も記載、④目地付近のスターラップを密配置 P84～P87　9.9　【接合に用いる材料】　①「コンクリートおよびモルタル」に良質の減水剤と膨張混和材を混合するのが望ましいと記載、②「接着剤」によく使われる材料としてエポキシ樹脂系接着剤について紹介され品質規格の標準が示された。 P100～P101　10.7　【接合に用いる材料の試験】　材料の試験について記載。 P105　11章施工　11.1.8　【接着剤】　貯蔵方法や貯蔵期間の期限などについて記載。 P135～P137　11章施工　11.8.6【接合】　解説文に接着剤を用いた場合の詳細な施工方法が示される。（材料選定、練混ぜ、天候に応じた施工、塗布、養生）	P56　7.3.1　【打継目】　打継目の位置および方向は、構造物の強度および外観を害さないようにこれを定めなければならない。重要な打継目は、これを設計図に明示するのが良い。

	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編（日本道路協会）	P288～P290　14章施工　14.10【型枠および支保工】　①「14.10.1　一般」に施工中の最も不利な荷重の組合せに対して十分な強度と安全を有することが記載、②「14.10.2　設計」にて取り扱う荷重や材料の許容応力度について記載 P290　14.10.5【取りはずし】底枠は、けたが支承により支持される前に取り外してはならない。	P288～P290　14章施工　14.10　【型枠および支保工】①「14.10.1　一般」に施工中の最も不利な荷重の組合せに対して十分な強度と安全を有することが記載、②「14.10.2設計」にて取り扱う荷重や材料の許容応力度について記載、③「14.10.3　型わく」にせき板面にはく離剤を塗布することが記載。	P271～P272　14章施工　14.5.2【運搬】　コンクリートポンプを用いる運搬について記載される。 P272　14章施工　14.5.3【打込み】①暑中コンクリートを施工する場合、コンクリート温度は原則30℃以下とし、やむを得ない場合でも35℃以上になってはならない。、②寒中コンクリートを施工する場合、コンクリート温度は原則10℃以上とし、外気との温度差が大きくならないようにする。 P272　14章施工　14.5.4【締固め】①内部振動機を用いた締固めを原則とし、解説に型わく振動機の効果は局所的であるため数多く設置する。②振動機の下層への挿入を10cm程度と記載。③解説にコンクリートポンプを用いる場合に十分な人数を配置すると記載。④内部振動機の挿入間隔の目安として60cm程度以下が望ましい。	P273～P274　14章施工　14.5.5　【養生】解説にマスコンクリートの場合に表面と内部のコンクリート温度差が大きくならないように配合、施工方法、養生方法を検討すると記載。	P285　14章施工　14.8.4　【プレキャストブロックの接合】　①接合面のレイタンス、ごみ、油などを除去、②コンクリートやモルタルに関する記載がなくなり接着剤のみ記載、③接着剤は温度の影響を受けうことや接合面を十分に乾燥させることが示された。	P274　14章施工　14.5.6【打継目】　新旧コンクリートの打継目における温度差による温度ひび割れの恐れが記載。

1990年 平成2年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編 （日本道路協会）	大きな変更なし	大きな変更なし	P301～P302　16章施工　16.6.3　【打込み】　①基本的な注意事項として雨天、強風時の施工を原則として禁止、②寒中コンクリートを施工する場合のコンクリート打ち込み温度は、5℃～20℃の範囲となり、解説に気象条件が厳しい場合や部材圧が薄い場合に10℃程度確保することとなった。 P302　16章施工　16.6.4　【締固め】　薄い壁など内部振動機の使用が困難な場合には、型わく振動機を併用することが追記。 P304　16章施工　16.6.7　【マスコンクリート】　マスコンクリートの節が追加され、セメントの水和熱に起因する温度応力によるひび割れに対する検討を行わなければならいことが記載。	P303　16章施工　16.6.5　【養生】　養生水に海水を用いてはならないことが追記。	P294　16章施工　16.4　【材料】　接着剤に求められる性能が示され、品質規格の標準が示された。	P303～304　16章施工　16.6.6　【打継目】　温度応力および乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮する。
1994年 平成6年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編 （日本道路協会）	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし
1996年 平成8年	道路橋示方書・同解説　Ⅲコンクリート橋編 （日本道路協会）	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし

2002年 平成14年	道路橋示方書･同解説　Ⅲコンクリート橋編 （日本道路協会）	大きな変更なし	大きな変更なし	P340～P345　19章施工　19.6【コンクリートエ　(8) マスコンクリート】　解説に温度応力の具体的な制御手法として、JCIの「ひび割れ制御指針」や土木学会の「コンクリート標準示方書施工編」の紹介がされた。	P340～P345　19章施工　19.6　【コンクリートエ　(6) 養生】気温が低い時期に床版のコンクリート等を施工する場合は、コンクリートの圧縮強度が15N/mm^{2}程度に達するまでは適当な保温設備のもとに養生を行うことが追記。	大きな変更なし	上記項目に加えてP340～P345　19章施工　19.6　【コンクリートエ　(7) 打継目】　コンクリートを多層に分けて打ち込むときは、打ち重ね部において上層と下層のコンクリートの一体性を確保し、ひび割れやコールドジョイントを生じさせないようにする。
2012年 平成24年	道路橋示方書･同解説　Ⅲコンクリート橋編 （日本道路協会）	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし

灰色着色部は、道路橋示方書（日本道路協会）以外の文献を示す。

表-2.2.4　施工の変遷（その 2）

時期	参考文献	施工-Ⅵ　　グラウト								
		グラウト材の変遷					グラウト施工方法の変遷			
		グラウト材料	混和剤の出荷量	水セメント比	シース	その他	管理方法	グラウトポンプ	グラウトミキサー	その他
～1965年～昭和40	プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会,1961）	セメント分散剤とアルミニウム粉末の使用（1960）	－	35～45%を標準（左記参考文献より）	ＤＷ工法導入（1958）	ブリージング：0～5%以下 流動性：Ｊロート 膨張率：0～5%を標準 圧縮強度（型枠法）：σ_{28}＝150kg/cm^2（左記参考文献より）	－	グラウティングボトルとコンプレッサーによる注入（1953） 手動ダイアフラム式グラウトポンプ（1956） 電動ポンプの登場（1962）	回転翼式グラウトミキサー（1956）	－
1966年～1977年昭和41～昭和52	ディビダーク工法設計施工指針案（土木学会,1966）	減水剤とアルミニウム粉末を混合した混合剤の使用（1970）	－		シース径φ38mm（ＰＣ鋼棒φ32） シース径φ38mm（ＰＣ鋼棒φ26）（左記参考文献より）	ブリージング：3%以下 膨張率：10%以下（左記参考文献より）	排出口の濃度を目視確認 緊張管理票に注入の有無をチェック（左記参考文献より）			－

1978年～1985年昭和53～昭和60	コンクリート標準示方書（土木学会,1978）	専用混和剤の登場（1979） ノンブリーディングタイプおよび高粘性タイプ混和材の登場（1982）	－	45%以下 （左記参考文献より）		ブリージング試験義務付け 流動性：ＪロートJA，ＪＡロート 膨張率試験義務付け 圧縮強度：σ_{28}＝200kg/cm^2 （左記参考文献より）				－
	ＰＣ施工の手引き（国鉄構設,1984）		－			ブリージング：2%以下 膨張率：5～10% （左記参考文献より）	排出口から採取したグラウトブリーディング、膨張率を測定（左記参考文献より）	電動スクイーズ式ポンプ （0.75ｋW，1984）		－
1986年～1990年昭和61～平成2	コンクリート標準示方書（土木学会,1986）		－	コンシステンシーが得られる範囲で単位水量をできるだけ少なくする。 （左記参考文献より）		ブリージング：3%以下 流動性：ＪＡロート標準 （左記参考文献より）				－
	ＰＣグラウト施工マニュアル（ＰＣ建協,1986）		汎用型ほぼ100% （～1990）				グラウト工記録表（1本毎の注入管理記録なし） （左記参考文献より）		セメント1袋練りグラウトミキサー（1989）	－
1991年～1995年平成3～平成7	コンクリート標準示方書（土木学会,1991）	熱硬化型プレグラウト鋼材の登場（1992）				ブリージング：3%以下 膨張率：10%以下 塩化物イオン：0.3kg/m^{3}以下 （左記参考文献より）				－

	ＰＣグラウト施工マニュアル（ＰＣ建協,1993）				シース径φ39mm（ＰＣ鋼棒φ32） シース径φ35mm（ＰＣ鋼棒φ26） （太径化,厚板専用シースの追加,DW協会,1994）		グラウト工記録表、ケーブル毎の作業記録、チェック表（左記参考文献より）			－
	ＰＣ施工の手引き（ＪＲ東日本,1995）		汎用型 100～88% 低粘性型 0～10% 高粘性型０～2% （1991～1995）			ブリージング：0% 膨張率：-0.5～0% （左記参考文献より）				－
1996年～2000年平成8～平成12	コンクリート標準示方書（土木学会,1996）					流動性：Ｊ14 ロート明記 膨張率試験義務付け 圧縮強度：σ_{28}＝20Ｎ/mm^2 （左記参考文献より）				－
	ＰＣグラウト施工マニュアル（ＰＣ建協,1996）						グラウト流量計の導入（左記参考文献より）	電動スクイーズ式ポンプ（3.7ｋＷ, 1996）	グラウト流量計の導入（左記参考文献より）	－

	構造物施工管理要領（日本道路公団,1997）				シース径φ45mm（ＰＣ鋼棒φ32） シース径φ38mm（ＰＣ鋼棒φ26） （高粘性グラウトに対応して太径化,DW協会,1998）	ノンブリージング型を標準（左記参考文献より）				－
	ＰＣグラウト・プレグラウトＰＣ鋼材施工マニュアル（ＰＣ建協,1999）	プレグラウトＰＣ鋼材の項目の追加（左記参考文献より） 湿気硬化型プレグラウト鋼材の登場 超低粘性タイプ混和材の登場 プレミックス材の製品化（2000）	汎用型 88～25% 低粘性型 10～30% 高粘性型 2～45% （1996～2000）			ノンブリージング型を標準 流動性、膨張率：非膨脹型・膨張型に分類 （左記参考文献より）				－
2001年～2005年 平成13～平成17	コンクリート標準示方書（土木学会,2002）				塩害対策としてＰＥシースの使用を推奨（左記参考文献より）	ノンブリージング型を標準 圧縮強度：σ_{28} ＝20Ｎ/㎟（膨張性） ＝30Ｎ/㎟（非膨張性） （左記参考文献より）		電動ポンプと併用する真空ポンプの登場（2002）		注入・排気口の配置明記 導通および気密性確認 流量計による管理 注入・排出口の後処理
	ＰＣグラウト・プレグラウトＰＣ鋼材施工マニュアル（ＰＣ建協,2002）	プレグラウトＰＣ鋼材に湿気硬化型を追加				流動性：ＪＰロートに統一（左記参考文献より）				

	ＰＣグラウト設計施工指針（プレストレストコンクリート技術協会,2005） ＰＣグラウト・プレグラウトＰＣ鋼材施工マニュアル（ＰＣ建協,2006）		汎用型 25～13% 低粘性型 30～42% 高粘性型 45～45% （2001～2005）			塩化物イオン：セメント質量比の0.08%以下（左記参考文献より）	ＰＣグラウト施工及び検査： ＰＣ技士またはＰＣグラウト研修受講終了者			
2006年～2010年 平成18～平成22	コンクリート標準示方書（土木学会2007）		汎用型 13～10% 低粘性型 42～50% 高粘性型 45～40% （2006～2008）		塩害対策としてＰＥシースの使用を原則化（左記参考文献より）		グラウトの施工する場合には、十分な知識を有する専門技術者（ＰＣ技士でＰＣグラウト研修受講終了者）が施工管理を行わなければならない			
2011年～平成23～	コンクリート標準示方書（土木学会,2012）				シースの材質は耐久性を考慮して定めることを標準（左記参考文献より）		グラウトの施工にあたっては十分な知識を有する技術者（ＰＣ技士かつＰＣグラウト研修受講終了者）の指導のもとで行わなければならない			

	ＰＣグラウト設計施工指針（プレストレストコンクリート工学会, 2012） ＰＣグラウト・プレグラウトＰＣ鋼材施工マニュアル（ＰＣ建協, 2013）	プレグラウトＰＣ鋼材にプレグラウトＰＣ鋼棒を追加			耐久性の確保として、一般環境でのＰＥシースの使用を推奨（左記参考文献より）	圧縮強度保証材齢をσ_{28}からσ_{7}に変更した。 原則としてセメント及び練混ぜ水の計量を現場で行う。（左記参考文献より）	ＰＣグラウト施工及び検査： ＰＣ技士・コンクリート構造診断士、かつＰＣグラウト研修受講終了者	真空ポンプ併用ＰＣグラウト施工法の項目を追加（左記参考文献より）		ＰＣ鋼材をダクトへ挿入してからグラウトを注入するまでの期限を設定。注入期限を遵守できない場合の防錆対策を示す。 複数のグラウトホースを束ねて配置することを避け、粗骨材最大寸法の 4/3 以上を確保してコンクリートの充填が満足するように計画する。

2.3 PC 橋における初期変状の実態分析

2.2 で前述したとおり、PC 橋の変状については、課題が認識されるたびに技術基準の充実を図り、ひび割れ等の初期変状発生リスクを低減する努力が続けられてきている。ただし、分析に活用できる客観的で均質な橋梁点検データの蓄積体制及び記録方法が定められたのが平成 16 年に制定された橋梁定期点検要領(案)[2]であることを勘案すると、平成16年以前の課題の認識にあたっては､経験による部分も多かったものと考えられる。

平成 16 年に制定された橋梁定期点検要領（案）[2] では、国が管理する道路橋は、技術者が工学的判断により行う部材単位の対策区分の判定に加えて、部材をさらに細分化した要素単位で損傷の種類と程度を記号化し記録することを定めている。ここでは、コンクリートのひび割れは､程度のみではなくひび割れパターンも記号化されて記録される。また、全ての要素は部材番号と要素番号を持ち、部材番号と要素番号には橋梁内における要素の部材種別や位置情報が含まれるので、点検データを部材の最小評価単位である要素毎に、工種・構造形式・材料・損傷の種類・損傷のパターン・損傷の程度を紐付けして整理することを可能としている。**図-2.3.1** に橋梁定期点検要領（案）[2] における点検データの構成イメージを示す。橋梁定期点検要領（案）[2] の運用実施から 8 年が経過し､供用後 2 年以内に実施する初回点検結果のデータも蓄積されてきている。ここでは、平成 20～24 年の橋梁点検データに基づき実施した PC 橋の初期変状の実態分析の結果について示す。

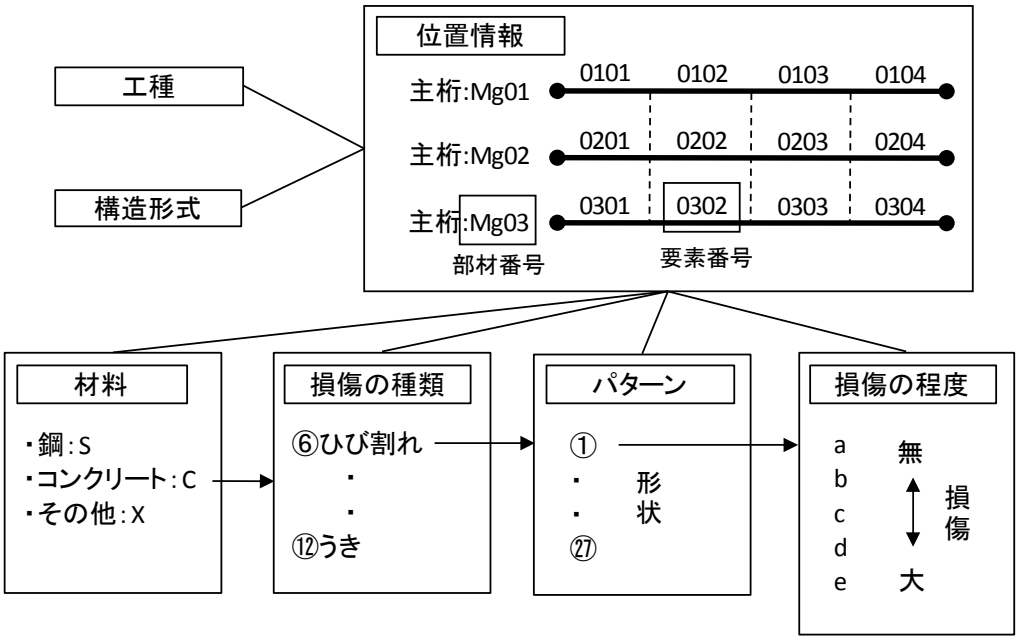


図-2.3.1　点検データの構成イメージ

2.3.1 全点検結果と初回点検結果の比較

平成 20～24 年に実施された初回点検を含む全定期点検データを元に PC 橋の変状状況（ひび割れパターン）を集計した結果を**表-2.3.1** に示す。また、当該期間に実施された供用後 2 年以内に実施された初回点検結果のみに着目した初期変状状況（ひび割れパターン）の集計結果を**表-2.3.2** に示す。集計は、橋毎に作成されている点検カルテから、橋梁定期点検要領（案）[2] に示されている上部構造のひび割れパターン「①～⑳」及び点検カルテ作成時に、それらのパターンに分類されなかったパターンのひび割れ「他」について、構造形式ごとに機械的に抽出し分類したものである。

表-2.3.1　PC 橋の定期点検結果のひび割れパターン分類（全点検）

構造形式	ひびわれパターン(橋)																						総径間数
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	他	不明	合計	
プレテンT桁	54	104	13	117	219	31	16	32	22	11	288	5	0	20	4	0	53	227	43	33	778	290	2,360	8,574
プレテン中実床版	43	244	5	10	4	5	1	0	4	1	1	2	0	1	0	0	8	1	6	1	84	76	497	3,304
プレテン中空床版	16	109	8	16	2	5	0	0	3	6	2	0	2	0	2	0	8	0	0	0	59	36	274	1,413
ポステンT桁	113	497	14	102	49	40	3	3	32	23	184	8	2	20	16	0	89	82	61	107	931	380	2,756	3,874
ポステン箱桁	33	181	20	55	14	5	0	5	12	11	25	4	24	0	1	0	38	11	3	18	261	98	819	795
ポステン中空床版	86	308	34	142	77	8	0	0	15	6	5	0	1	1	3	42	27	6	4	15	598	105	1,484	2,783
																							8,190	20,743

※プレテン中実床版は「プレテン床版」とした。

表-2.3.2　PC 橋の定期点検結果のひび割れパターン分類（初回点検）

構造形式	ひびわれパターン(径間)																						総径間数
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	他	不明	合計	
プレテンT桁	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	71
プレテン中実床版	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
プレテン中空床版	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	5	64
ポステンT桁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	29	62	136
ポステン箱桁	0	8	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	4	0	0	28	5	52	54
ポステン中空床版	3	5	0	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	22	30	71	201
																							192	548

※プレテン中実床版は「プレテン床版」とした。

全定期点検データの対象橋梁は 8,434 橋（20,743 径間）であり，その中で、ひび割れの発生していた橋梁は 2,756 橋（8,190 径間）であった。全定期点検データを対象にした**表-2.3.1** から全対象橋梁径間数に対して変状のあった橋梁径間数の割合は 39.4%（8,190/20,743）であることがわかる。一方、初回点検データのみを対象とした**表-2.3.2** からは、548 径間 （161 橋）中、ひび割れが発生していた橋梁は 192 径間 （58 橋）であり、全対象橋梁径間数に対して変状のあった橋梁径間数の割合は 35.0%（192/548）であったことがわかる。初回点検データを対象とした場合の割合（35.0%）と全定期点検データを対象とした場合の割合（39.4%）が同程度であることから、PC 橋の変状の多くが橋梁完成後の比較的間もない期間（供用後 2 年以内）あるいは施工中に生じた可能性

が高いと推察される。したがって、より高品質の PC 橋の構築に向けて、初期変状を抑制することは効果的であると考えられる。

2.3.2 初回点検データの分析

1）初期変状パターンの分類

橋梁定期点検のうち供用後 2 年以内に実施される初回点検で記録された初期変状を 31 種類に分類した結果を**図-2.3.2** に示す。ここで、変状分類の基にした 31 種類の変状パターンは、報告書（その１）[1] において、橋梁定期点検要領（案）[2] に示されている上部構造の 20 種類のひび割れパターンに加えて、橋梁定期点検で「その他」として記録されたひび割れを新たに分類し、31 種類の変状パターンとして整理し直したものである。なお、**表-2.3.9**（P37～P46）に、報告書（その１）[1] において整理されている PC 橋の 31 種類の初期変状パターンを示す。

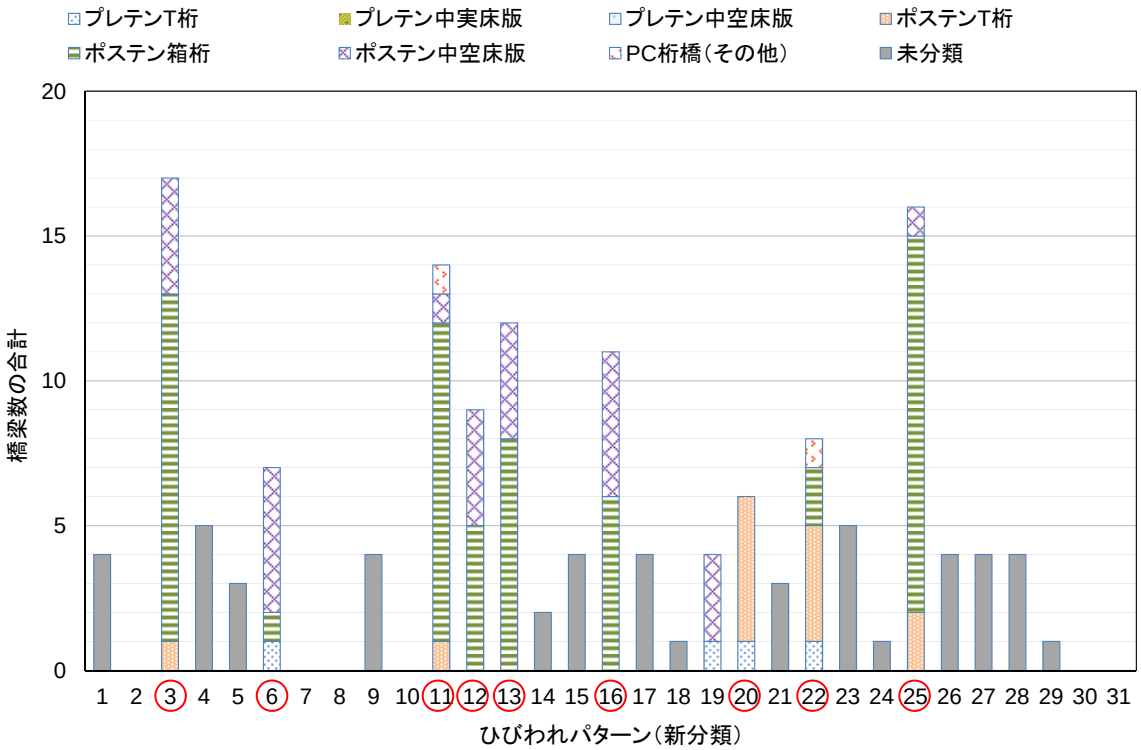


図-2.3.2　PC 橋の初期変状パターン内訳（初回点検）

図-2.3.2 から、31 種類の初期変状パターンのうち、【3】【6】【11】【12】【13】【16】【20】【22】【25】（**図-2.3.2** 中の赤丸）の 9 パターンのひび割れが発生している橋梁が多いことがわかる。これらのひび割れパターンと想定される主な要因について**表-2.3.3** に示す。

表-2.3.3　PC 橋の特徴的なひび割れパターンと発生要因

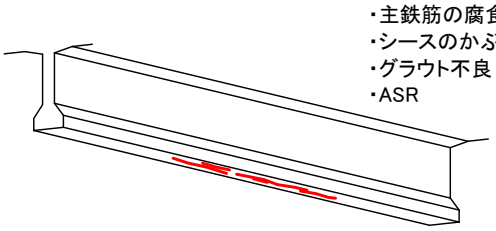
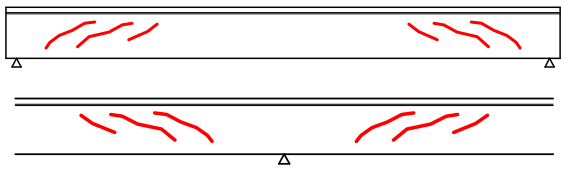
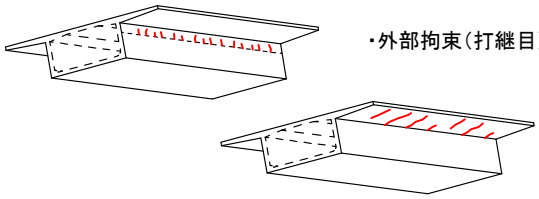
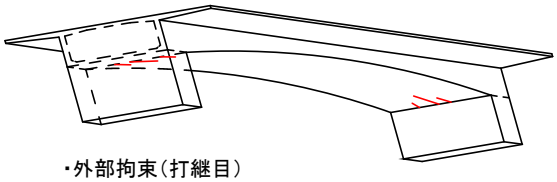
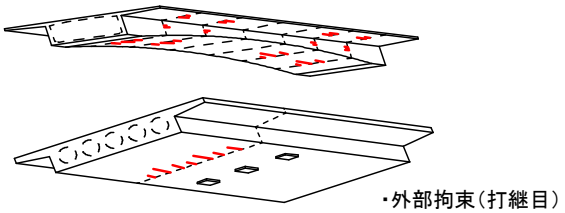
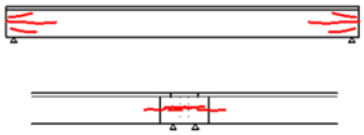
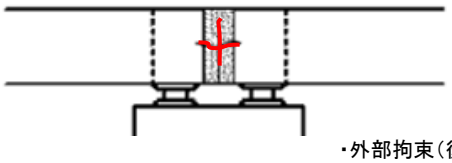
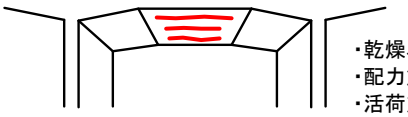
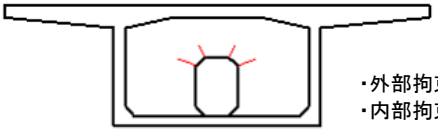
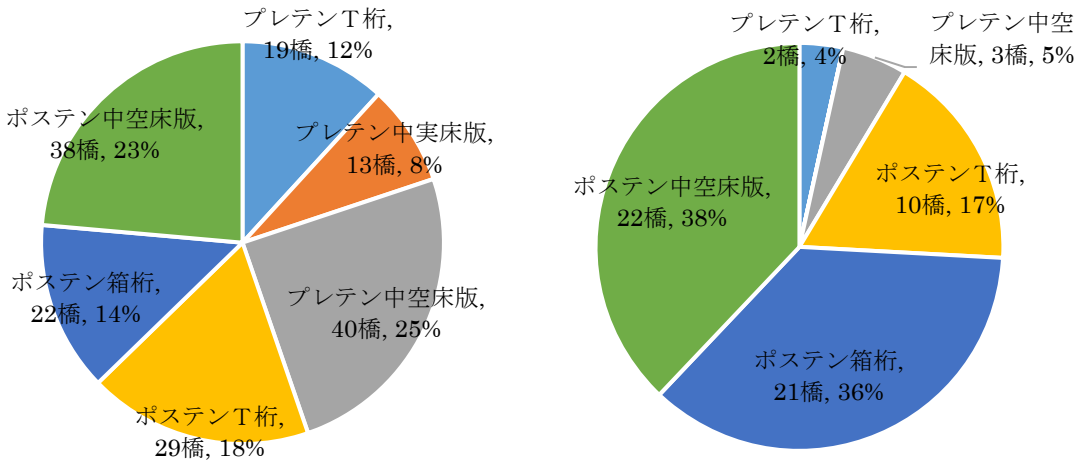
<table>
<tr>
<td>【3】主桁下面の橋軸方向ひび割れ
 
・主鉄筋の腐食
・シースのかぶり不足
・グラウト不良
・ASR</td>
<td>【6】支点付近のウェブ斜めひび割れ
 
・斜め引張応力超過　・プレストレス損失　・支保工沈下</td>
</tr>
<tr>
<td>【11】ウェブとフランジの打継目近傍の直角方向ひび割れ
 
・外部拘束（打継目）</td>
<td>【12】柱頭部主桁下面の橋軸方向ひび割れ
 
・外部拘束（打継目）
・内部拘束（水和熱）</td>
</tr>
<tr>
<td>【13】主桁鉛直打継目の橋軸方向ひび割れ
 
・外部拘束（打継目）</td>
<td>【16】端支点部ウェブの水平～放射状ひび割れ
 
・PC 定着部割裂
・ASR
・内部拘束（水和熱）</td>
</tr>
<tr>
<td>【20】桁下面の直角方向および腹部の鉛直方向ひび割れ
 
・外部拘束（後打ち部）</td>
<td>【22】連続床版下面に発生している橋軸方向ひび割れ
 
・乾燥収縮
・配力筋方向の補強
・活荷重の超過</td>
</tr>
<tr>
<td>【25】横桁部、開口部のひび割れ
 
・外部拘束（後打ち部）
・内部拘束（水和熱）</td>
<td></td>
</tr>
</table>

表-2.3.3 に示す PC 橋に多く発生している初期変状パターンのうち、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れは、【6】【11】【22】である。PC 橋は，プレストレスを導入することで、コンクリートに発生する応力を、ある許容応力度以下に抑えるとともに，断面内に発生する引張応力に対して、鉄筋のみで負担できるだけの鉄筋を引張領域に配置することにより、全断面を有効断面と仮定して設計計算がされている。全断面を有効としているのは、ひび割れが発生しないことを想定しているのではなく、前述のようにひび割れの深さを制御すれば、全断面有効と仮定して設計計算を行った場合と、ひび割れを考慮して設計計算を行った場合の設計計算結果が、ほぼ同等とみなせることから、設計計

算上の簡便さについて考慮された結果である[3]。このことから結果的に、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れは、プレストレスを導入する方向と平行な方向のひび割れより、設計において厳しく制御されることになる。**図-2.3.2** 及び**表-2.3.3** から、PC 橋に多い 9 パターンの初期変状パターンのうち、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れは 29 橋、プレストレスト導入方向と平行する方向のひび割れは 71 橋であり、設計でひび割れの発生が厳しく制御されることになるプレストレス導入方向と直交するひび割れは、平行するひび割れに比べ少ない結果となっていることがわかる。

2）橋梁形式による比較

本共同研究において対象とした調査期間中（平成 20～24 年度）において、初回点検が実施されていた橋梁は 161 橋であり、その内、ひび割れが発生していた橋梁は 58 橋であった。**図-2.3.3** に初回点検が実施されていた橋梁及びそのうち変状があった橋梁に対する橋梁形式ごとの橋梁数の内訳を示す。**図-2.3.3** より、PC 橋の初期変状は、プレテンション桁に比べて、ポストテンション桁において多く発生していることがわかる。初期変状の発生している橋梁（58 橋）のうち、初期変状が生じたプレテンション桁は 5 橋（9%）であるのに対して、ポストテンション桁では 53 橋（91%）であった。この結果から、PC 橋の初期変状は、そのほとんどがポストテンション桁において発生していることがわかる。



（a）初回点検実施橋梁（161 橋）の内訳　（b）初期変状のあった橋梁（58 橋）の内訳

図-2.3.3　調査対象橋梁の橋梁形式による内訳（橋梁数）

3）初期変状の発生位置及び変状程度の確認

2）において、PC 橋の初期変状は、ポストテンション桁に多い傾向であることがわかった。ここでは、ポストテンション桁を対象にその変状の発生箇所（桁端等の支点部と支点部以外のその他（支間中央部や支間 1/4 部等）の区分）及びその変状程度（ひび割れ幅）についての整理を実施する。整理対象とする初回点検データは、平成 20～24 年度に実施された初回点検データのうち、変状位置及び変状程度について記録があるポストテンション桁 52 橋（325 箇所の初期変状）である。

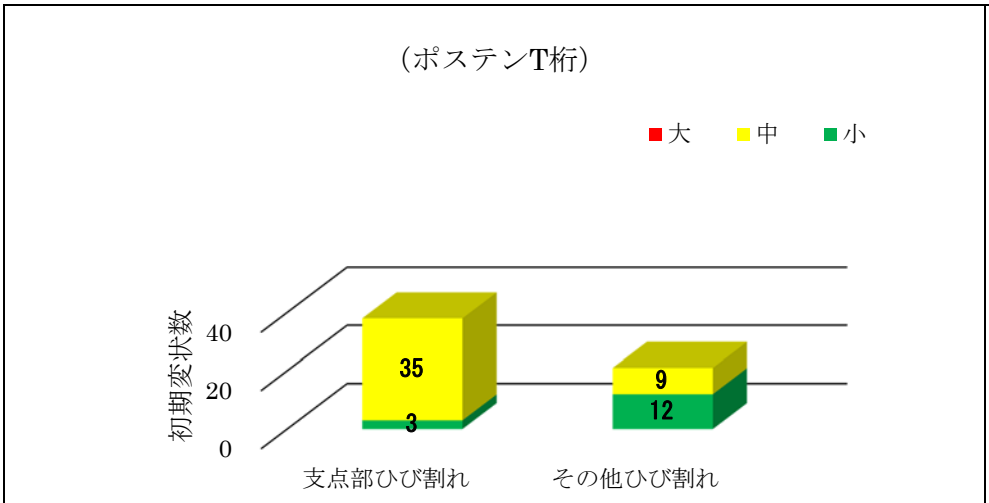
表-2.3.4（P32）に、ポストテンション桁（ポステン T 桁、ポステン中空床版、ポステン箱桁）の初期変状発生位置と変状程度の整理結果を示す。**表-2.3.4** から、ポステン T 桁及びポステン中空床版では、桁端部等の支点部付近での変状（支点部ひび割れ）が、支点部以外（その他ひび割れ）に比べて多く発生している。桁端部にひび割れが多い傾向であるのは、一般的に桁端部は、PC 鋼材が定着される箇所であり、プレストレスの導入にともなう局所応力が生じやすい部位であることや横桁が配置されるなどによりマスコンクリートとなり内部拘束（水和熱）の影響を受けやすい部位であることが要因として考えられる。

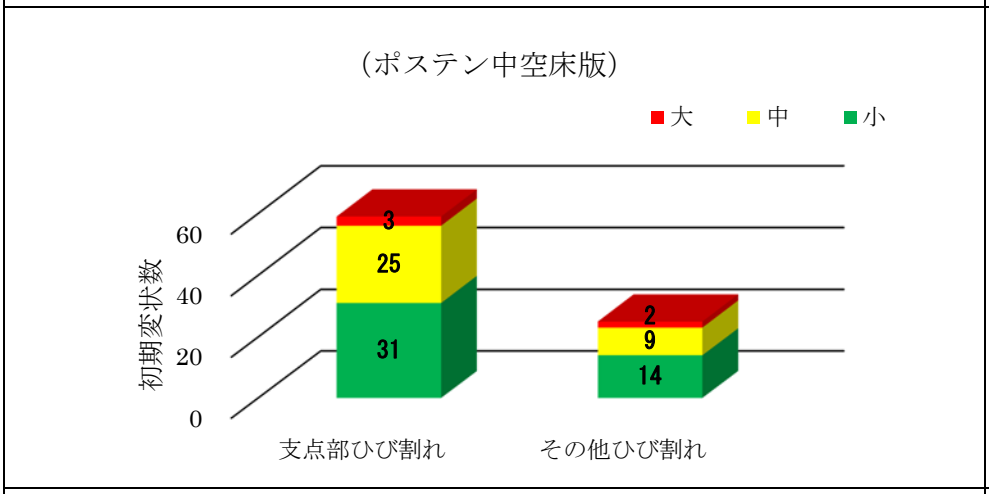
一方、ポステン箱桁では、支点部に比べ支点部を除く支間中央部や支間 1/4 付近などに初期変状（その他ひび割れ）が多く発生している。また、変状のあった調査対象 1 橋あたりの支点部に発生している初期変状数は、ポステン T 桁で 10 橋中 38 箇所（1 橋あたり 3.8 箇所）、ポステン中空床版で 22 橋中 59 箇所（1 橋あたり 2.7 箇所）、ポステン箱桁で 21 橋中 52 箇所（1 橋あたり 2.5 箇所）とほぼ同程度である。ただし、変状のあった調査対象 1 橋あたりの支点部以外に発生している初期変状数（支点部以外のその他ひび割れの発生箇所数）は、ポステン T 桁で 10 橋中 21 箇所（1 橋あたり 2.1 箇所）、ポステン中空床版で 22 橋中 25 箇所（1 橋あたり 1.1 箇所）、ポステン箱桁で 21 橋中 130 箇所（1 橋あたり 6.2 箇所）となっており、ポステン箱桁に多い。これは、PC ポステン箱桁では、隔壁など施工手順から新コンクリートが旧コンクリートからの拘束を受ける部材が、ポステン T 桁やポステン中空床版に比べて多いことが関係していると考えられる。また，ポステン箱桁は，ポステン T 桁やポステン中空床版と異なり，桁を分割施工する場合が多いことも要因と思われる。**表-2.3.5**（P33）に、ポストテンション桁の初期変状パターン（**表-2.3.9**（P37～P46）に示す PC 橋の 31 種類の初期変状パターン）と初期変状の程度（ひび割れ幅）の関係を整理した結果を示す。**表-2.3.6～表-2.3.8**（P34～P36）に、**表-2.3.5** の橋梁形式毎（ポステン T 桁、ポステン中空床版、ポステン箱桁）の内訳を示すが、ポステン箱桁では、隔壁・横桁に発生する【25】【26】及び下床版に発生する【4】の 3 パターンの初期変状が 50 箇所で発生しており、ポステン T 桁（3 パターン合計 0 箇所）、ポステン中空床版（3 パターン合計 2 箇所）に比べて多い結果となっており、この考察と整合している。

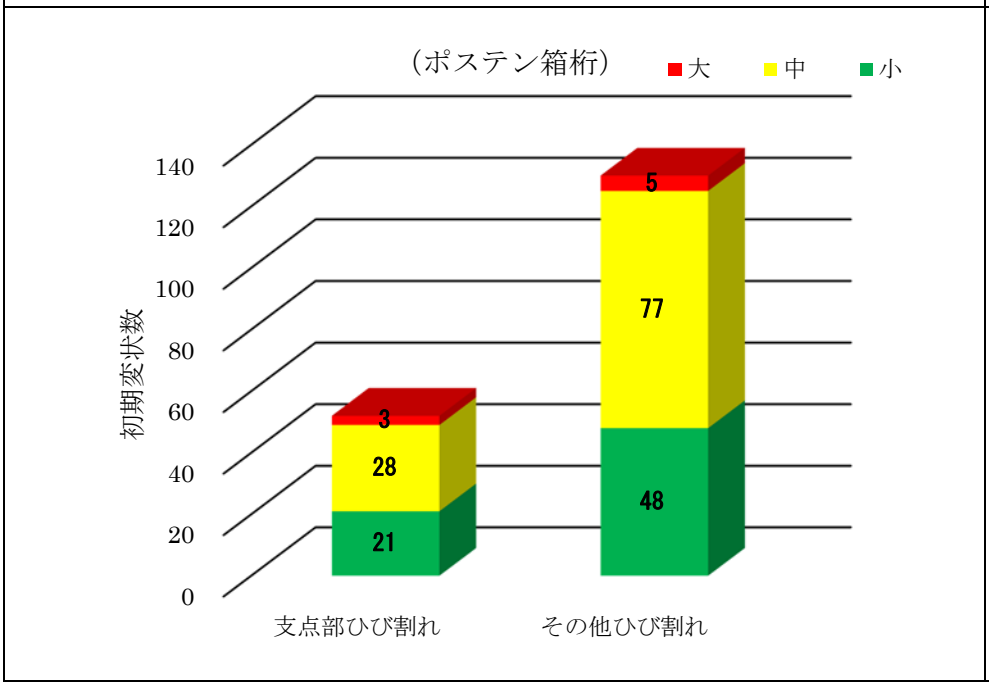
ひび割れの程度を表す指標としては、ひび割れ深さとひび割れ幅があり、ひび割れ深さとひび割れ幅は関係を有すると考えられる。本研究では、ひび割れの評価の観点からはひび割れ深さに着目しているものの、ひび割れ幅は、近接目視により容易に直接計測することが可能であり、点検調書においても記録されていること、中性化や塩化物の浸透との関

係についても、ひび割れ幅に着目したデータが多いことから、ここではひび割れ幅に着目しデータの整理を実施した。ひび割れ幅の区分は、ひび割れ幅 0.2mm 以上のひび割れを大、0.1mm 以上 0.2mm 未満のひび割れを中、0.1mm 未満のひび割れを小としている。**表-2.3.5** から、標準的なかぶり（35mm）の場合において一般に耐久性能に影響を与えると考えられているコンクリート表面でのひび割れ幅が 0.2mm 以上のひび割れ[4) 5) など]（大に区分されるひび割れ）は、ポステン T 桁、ポステン中空床版、ポステン箱桁の全体の初期変状（325 箇所）のうち 13 箇所で、その割合は 4.0%（13/325）であり、少ないことがわかる。さらに、このうち、PC 橋に多く発生している 9 パターンの初期変状パターン（**表-2.3.3** に示す 9 パターンであり、**表-2.3.5** の黄色及び赤色で着色した変状パターン）のうち、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れである【6】【11】【22】の 3 パターン（**表-2.3.5** の赤色で着色した変状パターン）では、0.2mm 以上のひび割れは 0 箇所となっている。

表-2.3.4　ポストテンション桁の初期変状発生位置及び初期変状程度







変状程度（ひび割れ程度）

■大･･･ひび割れ幅が0.2mm 以上

■中･･･ひび割れ幅が0.1mm 以上 0.2mm 未満

■小･･･ひび割れ幅が0.1mm 未満

変状程度（ひび割れ程度）

■大･･･ひび割れ幅が0.2mm 以上

■中･･･ひび割れ幅が0.1mm 以上 0.2mm 未満

■小･･･ひび割れ幅が0.1mm 未満

変状程度（ひび割れ程度）

■大･･･ひび割れ幅が0.2mm 以上

■中･･･ひび割れ幅が0.1mm 以上 0.2mm 未満

■小･･･ひび割れ幅が0.1mm 未満

表-2.3.5　ポストテンション桁の初期変状パターンと初期変状の程度

初期変状パターン	初期変状数（発生箇所数）	初期変状程度の内訳（発生箇所数）		
		■小（ひび割れ幅が0.1mm未満）	■中（ひび割れ幅が0.1mm以上0.2mm未満）	■大（ひび割れ幅が0.2mm以上）
【1】	3	2	1	0
【2】	0	0	0	0
【3】	29	13	14	2
【4】	8	4	3	1
【5】	3	0	3	0
【6】	10	6	4	0
【7】	0	0	0	0
【8】	0	0	0	0
【9】	8	4	4	0
【10】	0	0	0	0
【11】	29	23	6	0
【12】	41	18	23	0
【13】	26	12	13	1
【14】	2	1	1	0
【15】	5	2	3	0
【16】	15	3	9	3
【17】	4	0	4	0
【18】	1	0	0	1
【19】	11	9	2	0
【20】	36	3	33	0
【21】	3	0	3	0
【22】	19	13	6	0
【23】	8	5	1	2
【24】	1	1	0	0
【25】	38	5	33	0
【26】	8	1	7	0
【27】	4	0	3	1
【28】	9	4	4	1
【29】	4	0	3	1
【30】	0	0	0	0
【31】	0	0	0	0
合計	325	129	183	13

赤色網掛け：表-2.3.3 に示すひび割れパターンの内、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れ

黄色網掛け：表-2.3.3 に示すひび割れパターンの内、上記以外のひび割れ

表-2.3.6　31 種類の初期変状パターンと初期変状程度（ポステン T 桁）

初期変状パターン	初期変状程度（損傷度）			
	初期変状数（発生箇所数）	■小（ひび割れ幅が 0.1mm 未満）	■中（ひび割れ幅が 0.1mm 以上 0.2mm 未満）	■大（ひび割れ幅が 0.2mm 以上）
【1】	0	0	0	0
【2】	0	0	0	0
【3】	1	0	1	0
【4】	0	0	0	0
【5】	0	0	0	0
【6】	0	0	0	0
【7】	0	0	0	0
【8】	0	0	0	0
【9】	0	0	0	0
【10】	0	0	0	0
【11】	3	0	3	0
【12】	0	0	0	0
【13】	0	0	0	0
【14】	0	0	0	0
【15】	0	0	0	0
【16】	0	0	0	0
【17】	0	0	0	0
【18】	0	0	0	0
【19】	0	0	0	0
【20】	36	3	33	0
【21】	0	0	0	0
【22】	16	10	6	0
【23】	1	1	0	0
【24】	0	0	0	0
【25】	2	1	1	0
【26】	0	0	0	0
【27】	0	0	0	0
【28】	0	0	0	0
【29】	0	0	0	0
【30】	0	0	0	0
【31】	0	0	0	0

赤色網掛け：**表-2.3.3** に示すひび割れパターンの内、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れ

黄色網掛け：**表-2.3.3** に示すひび割れパターンの内、上記以外のひび割れ

表-2.3.7　31 種類の初期変状パターンと初期変状程度（ポステン中空床版）

初期変状パターン	初期変状程度（損傷度）			
	初期変状数（発生箇所数）	■小（ひび割れ幅が 0.1mm 未満）	■中（ひび割れ幅が 0.1mm 以上 0.2mm 未満）	■大（ひび割れ幅が 0.2mm 以上）
【1】	2	2	0	0
【2】	0	0	0	0
【3】	7	3	4	0
【4】	2	0	1	1
【5】	2	0	2	0
【6】	7	4	3	0
【7】	0	0	0	0
【8】	0	0	0	0
【9】	1	0	1	0
【10】	0	0	0	0
【11】	1	1	0	0
【12】	26	16	10	0
【13】	6	5	0	1
【14】	0	0	0	0
【15】	5	2	3	0
【16】	6	2	3	1
【17】	1	0	1	0
【18】	1	0	0	1
【19】	11	9	2	0
【20】	0	0	0	0
【21】	3	0	3	0
【22】	0	0	0	0
【23】	0	0	0	0
【24】	1	1	0	0
【25】	0	0	0	0
【26】	0	0	0	0
【27】	2	0	1	1
【28】	0	0	0	0
【29】	0	0	0	0
【30】	0	0	0	0
【31】	0	0	0	0

赤色網掛け：**表-2.3.3** に示すひび割れパターンの内、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れ

黄色網掛け：**表-2.3.3** に示すひび割れパターンの内、上記以外のひび割れ

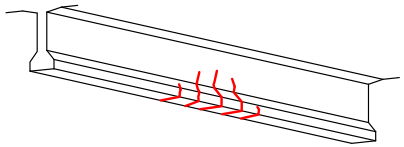
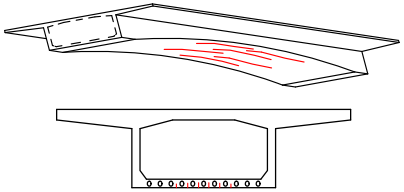
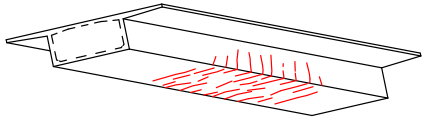
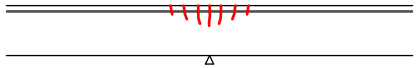
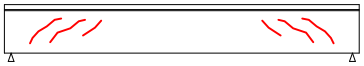
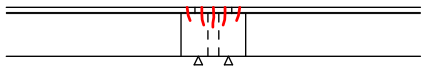
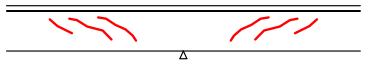
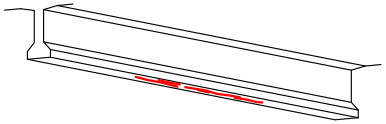
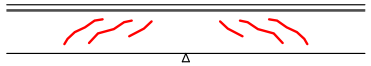
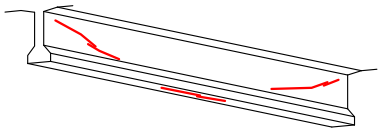
表-2.3.8　31 種類の初期変状パターンと初期変状程度（ポステン箱桁）

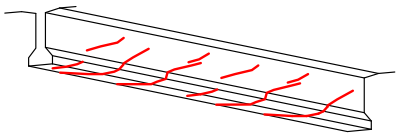
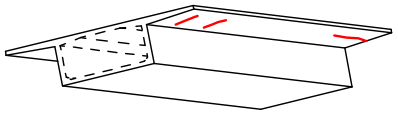
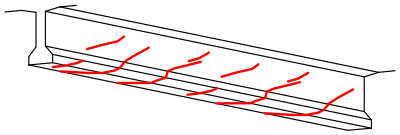
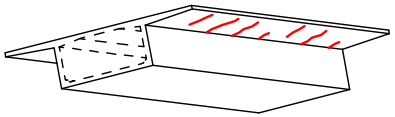
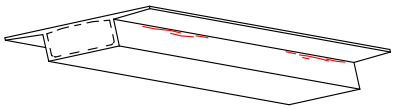
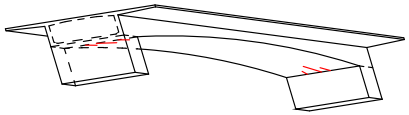
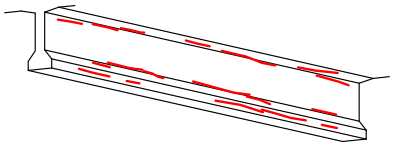
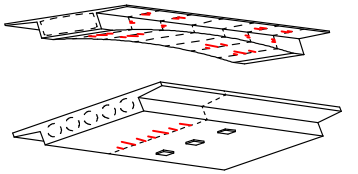
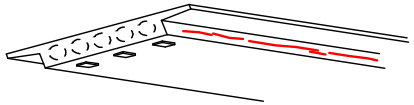
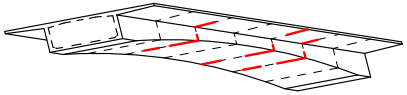
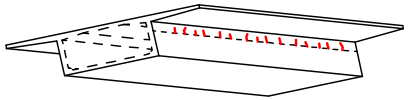
初期変状パターン	初期変状程度（損傷度）			
	初期変状数（発生箇所数）	■小（ひび割れ幅が 0.1mm 未満）	■中（ひび割れ幅が 0.1mm 以上 0.2mm 未満）	■大（ひび割れ幅が 0.2mm 以上）
【1】	1	0	1	0
【2】	0	0	0	0
【3】	21	10	9	2
【4】	6	4	2	0
【5】	1	0	1	0
【6】	3	2	1	0
【7】	0	0	0	0
【8】	0	0	0	0
【9】	7	4	3	0
【10】	0	0	0	0
【11】	25	22	3	0
【12】	15	2	13	0
【13】	20	7	13	0
【14】	2	1	1	0
【15】	0	0	0	0
【16】	9	1	6	2
【17】	3	0	3	0
【18】	0	0	0	0
【19】	0	0	0	0
【20】	0	0	0	0
【21】	0	0	0	0
【22】	3	3	0	0
【23】	7	4	1	2
【24】	0	0	0	0
【25】	36	4	32	0
【26】	8	1	7	0
【27】	2	0	2	0
【28】	9	4	4	1
【29】	4	0	3	1
【30】	0	0	0	0
【31】	0	0	0	0

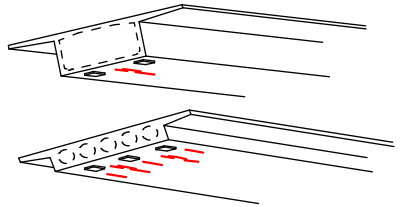
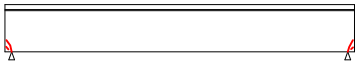
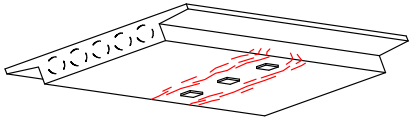
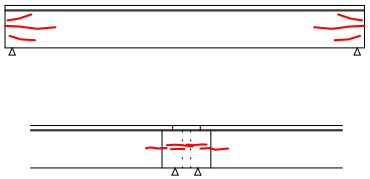
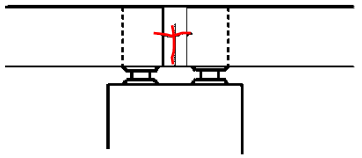
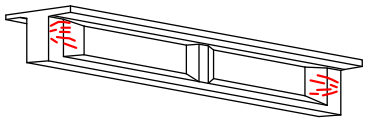
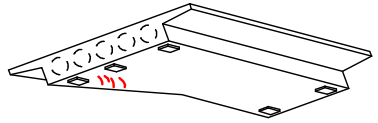
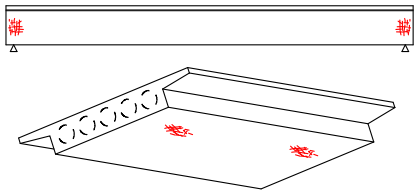
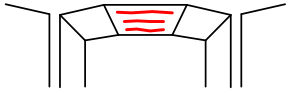
赤色網掛け：**表-2.3.3** に示すひび割れパターンの内、プレストレスの導入方向と直交する方向のひび割れ

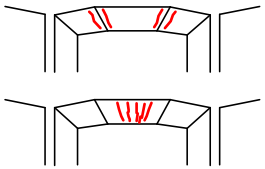
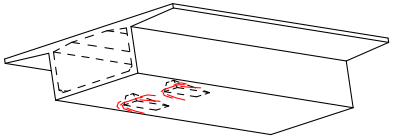
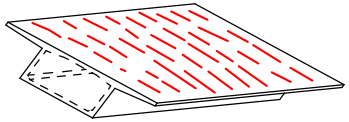
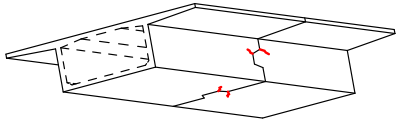
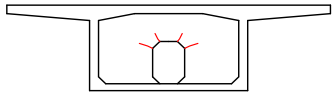
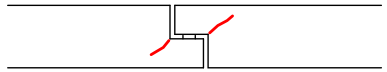
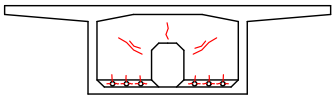
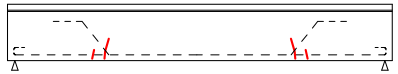
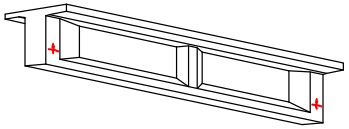
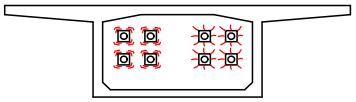
黄色網掛け：**表-2.3.3** に示すひび割れパターンの内、上記以外のひび割れ

表-2.3.9　31 種類の初期変状パターン

初期変状パターン（新分類）	主な発生部位	ひびわれパターン		ひびわれ概要図	初期変状パターン（新分類）	主な発生部位	ひびわれパターン		ひびわれ概要図
【1】	PC 主桁 支間中央	①	主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ		【4】	PC 箱桁 支間中央	⑬	変断面桁の下ﾌﾗﾝｼﾞのPC 鋼材に沿ったひびわれ	
	RC･PRC 主桁 支間中央	①	主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ		【5】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 その他	⑩	桁の腹部に規則的な間隔で鉛直方向のひびわれ	
【2】	PC 連続桁 中間支点部	⑧	連続桁中間支点部の上側の鉛直ひびわれ		【6】	PC 主桁 支間 1/4	④	支点付近の腹部に斜めに発生しているひびわれ	
	ﾌﾟﾚﾃﾝ連結桁 中間支点部	⑧	連結桁中間支点部の上側の鉛直ひびわれ			PC 主桁 支間 1/4	⑮	PC 連続中間支点付近の半曲部の PC 鋼材曲げ上げに直交するひびわれ	
【3】	PC 桁 支間中央 （施工目地部を除く）	②	主桁下面橋軸方向ひびわれ		【7】	PC 主桁 支間 1/4	⑭	PC 連続中間支点付近の半曲部の PC 鋼材に沿ったひびわれ	
	PC 主桁 その他	⑳	ｼｰｽに沿って生じるひびわれ						

【8】	PC 主桁 その他	⑫	桁全体に斜め 45° 方向のひびわれ		【11】	PC 主桁支間 1/4 支点部	[32]	上フランジ下面に発生している橋軸方向あるいは橋軸直角方向のひび割れ	
	RC･PRC 主桁 その他	⑫	桁全体に斜め 45° 方向のひびわれ			PC 主桁 支間全体	[33]	規則的な間隔で張出床版下面に発生している橋軸直角方向ひび割れ	
【9】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 その他	⑪	ｳｪﾌﾞと上ﾌﾗﾝｼﾞの接合点付近の水平方向のひびわれ		【12】	ラーメン橋 柱頭部	[22]	柱頭部桁下面の橋軸方向ひび割れ	
【10】	PC 主桁 その他	⑰	主桁側面に水平方向に発生しているひびわれ		【13】	PC 主桁 打ち継ぎ部	[23]	打ち継ぎ部付近の主桁下面縦方向ひびわれ	
	PC 主桁 その他	[29]	桁腹部に発生している水平方向のひび割れ		【14】	PC 主桁 打継ぎ部	[24]	打継ぎ面に発生するひび割れ	
【11】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 支間中央部	⑱	主桁上ﾌﾗﾝｼﾞ付近						
	PC 主桁 支間全体	[30]	水平打継ぎ部付近の主桁側面に発生している鉛直方向ひび割れ						

15】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 支点部	⑤	支承上桁下面･側面に鉛直に発生しているひびわ		【18】	PC 箱桁橋 端支点横桁	[21]	端支点横桁下面の橋軸方向ひび割れ	
		⑥	支承上から斜めに側面に発生しているひびわれ						
	PC 主桁 端支点部	[31]	主桁側面上方に発生している鉛直･斜め･水平方向のひび割れ		【19】	PC 主桁 中間支点部 （連続桁）	[25]	桁下面の直角方向および桁腹の鉛直方向ひび割れ	
【16】	PC 主桁 端支点部 連結支点部	⑲	主桁の腹部あるいは連結部横締め跡打ちコンクリートに発生する水平方向のひび割れ		【20】	中間支点部 （連結桁）	[25]	桁下面の直角方向および腹部の鉛直方向ひび割れ	
	PC 主桁 支点部	[27]	桁腹部に発生している放射状のひび割れ		【21】	PC 主桁 端支点部	[26]	拡幅を有する主桁の拡幅部下面に発生しているひび割れ	
【17】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁その他	⑨	亀甲状、くもの巣状のひびわれｺﾝｸﾘｰﾄ表面の微細ひびわれ		【22】	PC 主桁 支間全体	[34]	規則的な間隔で連続床版下面に発生している橋軸直角方向ひび割れ	

【23】	PC 主桁 支間全体	[35]	連続床版下面に発生している橋軸方向ひび割れ		【29】	PC 主桁 定着突起前面	⑯	PC 鋼材定着部（定着突起）付近	
【24】	PC 主桁 支間全体	[36]	規則的な間隔で床版上面に発生している橋軸直角方向ひび割れ		【30】	PC 主桁 ｾｸﾞﾒﾝﾄ 接合部	[37]	コンクリートせん断キー基部から斜めに発生しているひび割れ	
【25】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 開口部近傍	[38]	開口部の隅角部のひび割れ		【31】	RC 桁 支点部	⑦	ゲルバー部のひびわれ	
【26】	PC 主桁外ｹｰﾌﾞﾙ偏向部	[39]	偏向部あるいは偏向壁に発生している鉛直・斜め・水平方向のひび割れ		RC 限定	RC・PRC 主桁 支間 1/4	③	主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ	
【27】	PC 主桁 定着体後埋め部	[28]	桁腹部に発生している鉛直方向と水平方向のひび割れ						
【28】	PC 主桁 外ｹｰﾌﾞﾙ定着部	[40]	定着部付近に発生している鉛直・斜め・水平方向のひび割れ						

2.4 まとめ（初期変状要因の推定）

2.2～2.3 の検討（定期点検結果の整理や技術基準等の変遷調査等）により得られた知見を以下にまとめる。

- PC 橋が初めて施工された 1950 年頃から現在に至るまで、PC 橋の初期変状抑制を目的とした対策については、課題が認識される都度、新たな知見を反映し技術基準を改定したり、施工方法の改善や施工管理の強化をするなどにより対策がとられ、変状発生リスクを低減するための対策が段階的に導入されてきている。
- プレストレス導入方向と直行する方向のひび割れは、プレストレス導入方向に平行なひび割れと比べて少なく、これは設計で達成しようとしていた状況と整合している。
- 初回点検における対象橋梁数に占める初期変状発生橋梁数の割合と、全点検における対象橋梁数に占める変状発生橋梁数の割合はほぼ同程度であることから、PC 橋においては初期変状を抑制することは大きな効果がある。
- 0.2mm 以下のひび割れを含めると、初期変状は調査対象である 161 橋中 58 橋（36.0%）に生じており、初期変状（ひび割れ）は、決して小さくない割合で生じている。
- 初期変状は、プレテンション桁とポストテンション桁を比べると、変状が発生した橋梁 58 橋のうち、53 橋がポストテンション桁であり、その比率は 9 割以上で圧倒的に多い。一般的に工場で製作されるプレテンション桁に比べ現場で架設されることの多いポストテンション桁は、架設地の気象変動などの環境条件や養生期間等の施工条件の影響を大きく受けると考えられ、このことが要因となっている可能性がある。
- 初期変状は、桁端部に比較的多い。桁端部は、一般的に PC 鋼材が定着されプレストレス導入による局所応力の生じやすい部位であること、比較的マスコンクリートとなり内部拘束（水和熱）の影響を受けやすい部位であることが要因として考えられる。
- 初期変状パターンのうち、特に多い変状パターンは 9 パターン（**表-2.3.3 参照**）であり、その主な発生部位は、施工手順により新コンクリートが旧コンクリートの拘束を受けやすい部位（隔壁などの後打ち部や施工継目）やマスコンクリートとなり易い部位（柱頭部や支点部）及び PC 鋼材の定着具付近や PC 鋼材に沿った部位であった。

以上より、初期変状の発生部位や橋梁形式別の発生傾向、施工手順との関係から、初期変状の発生に影響を与えており、かつ設計や施工の方法に大きく依存する可能性があるものとして、以下の 4 項目が考えられる。

- 「外部拘束（打継目）」
- 「内部拘束（水和熱）」

・「PC 鋼材配置（局所応力、プレストレス分力）」
・「施工条件（環境条件、養生期間、架設方法等）」

したがって、初期変状発生のリスクを低減するためには、これらの項目が変状発生リスクに与える影響を評価し、その影響を低減する対策について検討する必要があると考えられる。

【２章の参考文献】

1) 国土技術政策総合研究所資料 共同研究報告書 第 910 号,土木研究所 共同研究報告書第 468 号，プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書（その１），2016
2) 橋梁定期点検要領（案），国土交通省，2004
3) 設計施工指針の改訂と PC 橋の現況（最近におけるプレストレストコンクリート），猪股俊司，公益社団法人 土木学会，1961
4) マスコンクリートのひび割れ制御指針，公益社団法人 日本コンクリート工学会，2016
5) 2012 年制定 コンクリート標準示方書[設計編]，公益社団法人 土木学会，2012
6) コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2013-，公益社団法人 日本コンクリート工学会，2013