

3章 設計および施工の技術変遷調査

3.1 調査概要

日本で PC 橋が初めて施工された 1951 年から現在に至るまでの約 60 年の間、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 橋の初期変状防止対策は、技術基準へ新たな知見を盛りこむことで改定をおこなったり、施工方法の改善や施工管理の強化を行なったりするなど、その時代に応じた対策がとられてきている。

この章では、橋梁点検で報告されるひび割れパターンからひび割れ発生の要因となっていると考えられる項目を抽出し、それらの項目について設計的な視点および施工的な視点から技術の変遷を調査し、ひび割れがどのような技術的背景のもとで生じたものか分析を行う。それらの結果から、現在の初期変状防止技術がどの程度の対策レベルとなっているか分類して、更なる初期変状防止対策の方向性を示す。

○調査の概要

【対象】

平成 16 年の橋梁定期点検要領（案）や橋梁点検の報告などをもとに 2 章で新たに分類した新分類 31 種類のひび割れパターンのうち、初期の段階で発生する初期変状

【調査項目】

- ・ 設計的な視点：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
- ・ 施工的な視点：支保工、型枠、コンクリート打設、養生、目地部、グラウト

【技術変遷の調査範囲】

関連する文献を調査

日本道路協会、土木学会、JCI、PC 工学会、PC 建協 など

3.2 調査項目の抽出

変遷調査を行なう項目は、構造物完成後の初期の段階に発生する初期変状をもとに抽出する。変状の原因を分析し、その中から、主に PC 橋の本体構造に関連のある項目に着目して設計技術および施工技術について整理する。

2 章では、「橋梁定期点検要領（案）H16 年 3 月」に示される 20 種類のひび割れパターンに加えて、橋梁点検で「その他」として記録されたひび割れを新たに 31 種類のひび割れパターンに分類し、整理した。

今回、変遷調査を行う項目は、新分類 31 種類のひび割れパターンの直接的要因と間接的要因の中から初期変状と関連があるキーワードを洗い出すことで抽出した。抽出結果を設計の変遷および施工の変遷に大別して整理した結果を表-3.2.1 に示す。なお、【設計-I】基準の改定は、ひび割れ要因の中から洗い出したものではないが、技術の変遷の全体を捉えるために必要と判断して追加した。

表-3.2.1 調査項目一覧表

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】

次頁より、調査項目を抽出するために取りまとめた結果を表-3.2.2に示す。なお、表中の直接的要因および間接的要因に使用されている記号（ex [D]、[B18]など）は、ひび割れ発生要因の分類であり、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013- 日本コンクリート工学会」に示された内容にもとづいている。記号の説明は表-3.2.3に示す。

表-3.2.2 調査項目抽出表 (その1)

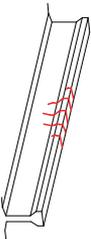
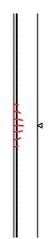
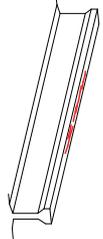
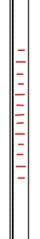
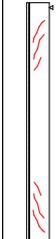
新分類	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例		本報告書における調査項目の抽出			
	主な発生部位	橋梁定検点検事項におけるひびわれパターン分類	直接的要因の例	間接的起因の例		
	PC主桁 支間中央	① 主桁直方向の桁 下面および側面の 鉛直ひびわれ		【D2】橋面荷重等の見込み違い 【D4】過積載車両の通行 【B18】PC鋼材の腐食、破断	初期変状の観点に基づく要因の抽出 家調査項目	
【1】	RC・PRC主桁 支間中央	① 主桁直方向の桁 下面および側面の 鉛直ひびわれ		【D】引張応力は鉄筋のみで負担しており、コンクリートに引張抵抗力を期待していない。 【C】コンクリート硬化前に 支保工が沈下 した可能性がある。 【D】応力超過、プレストレストコンクリートの曲げ引張応力がひび割れ発生限界を超過。 【D】応力超過、プレストレストコンクリートの曲げ引張応力がひび割れ発生限界を超過。	支保工沈下 不適切なコンクリート打設 グラウト不良	【施工-I】 支保工 【施工-II】 コンクリート打設 【施工-VI】 グラウト
【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		【D】応力超過、プレストレストコンクリートの曲げ引張応力がひび割れ発生限界を超過。 【D】連続桁の桁上縁に発生する負の曲げモーメントによる引張応力は、鉄筋のみで負担している。 【D】支点連続部の真モーメントの過小評価	-	-
【3】	PC主桁 その他	⑩ シースに沿って生じる ひびわれ		【B】内筋主方向鉄筋の腐食膨張の可能性がある。 【B】PC鋼材が 引張歪 の可能性がある。 【A】ASRに起因する膨張圧がプレストレスト方向と直交する。橋軸直方向に作用し、ひび割れた可能性がある。 【B】PC鋼材が 引張歪 が疑われる。 【A】ASRに起因する膨張圧がプレストレスト方向と直交する。橋軸直方向に作用し、ひび割れた可能性がある。	グラウト不良	【施工-VI】 グラウト
【4】	PC箱桁 支間中央	③ 変断面桁の下フランジの PC鋼材に沿ったひびわれ		【D】桁高変化があり下床版の軸線が変化していることによる PC鋼材軸力力の影響 が疑われる。 【D】下床版幅が広く、大きな断面力が作用	膨圧力に対する検討不足 不適切なコンクリート打設	【設計-II】 膨圧の設計 【施工-III】 コンクリート打設
【5】	コンクリート主桁 その他	⑩ 桁の腹面に斜め方向 のひびわれ		【B】スターアップの腐食膨張が疑われる。	グラウト不良	【施工-VI】 グラウト
【6】	PC主桁 支間1/4	④ 支点付近の腹面に 斜めに発生しているひびわれ		【D】応力超過、プレストレストコンクリートの曲げ引張応力がひび割れ発生限界を超過。 【C】コンクリート硬化前に 支保工が沈下 した可能性がある。	支保工沈下 不適切なコンクリート打設	【施工-I】 支保工 【施工-II】 コンクリート打設

表-3.2.2 調査項目抽出表 (その3)

新分類	主な発生部位	橋梁定時点検事項におけるひび割れパターン分類	【新分類】31種類のひび割れパターンのひびわれ概要図	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例		本報告書における調査項目の抽出
				直接的要因の例	間接的要因の例	
【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直角方向のひび割れ		[D] 版端部への活荷重、衝撃荷重作用	[D5] 版端部の断面厚および補強筋不足	初期変状の観点に基づく要因の抽出 家測調査項目
	PC主桁 支間全体	[33] 規則的な間隔で橋出底板下面に発生している橋軸直角方向のひび割れ		[A] コンクリートの乾燥収縮 [C] 張出底板機方向鋼材の腐食膨張	[D5] 床版構内のセンサー設置に伴う断面厚の小さい部分に乾燥収縮による引張応力が作用 [D6] コンクリート割れ幅不足	乾燥収縮の影響 不適切な養生方法およびコンクリート打設 【設計-VI】 乾燥収縮 【施工-IV】 養生 【施工-III】 コンクリート打設
【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		[A] 柱頭部コンクリートに打ち継ぐことで、打設した柱頭部コンクリートが側頭部に引張拘束を受ける。 [A] コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用	[A10] 使用コンクリートのセメント量過大 [A2-A9] 養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大 [A2-A9] 新コンクリートの養生不足 (急激な温度低下や乾燥収縮量の増大)	コンクリート水和熱による温度応力の影響 不適切な養生方法および養生期間 【設計-IV】 水和熱の温度応力 【施工-IV】 養生
	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割れ		[A] 主桁の新旧コンクリート打継目において、新コンクリートが旧コンクリートにより引張拘束を受ける。 [A] コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用	[A10] 使用コンクリートのセメント量過大 [A2] 養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大 [A2-A9] 新コンクリートの養生不足 (急激な温度低下や乾燥収縮量の増大)	乾燥収縮の影響 コンクリート水和熱による温度応力の影響 【設計-VI】 乾燥収縮 【設計-IV】 水和熱の温度応力
【13】	PC主桁 打継ぎ部	[24] 打継ぎ面に発生するひび割れ		[B] 新旧コンクリートが一体化されていないことが疑われる。 [D] 打マシ工法の場合は、応力超過、プレストレス損失などが疑われる。	[E1] セメント接着剤の劣化 [D2] 橋面荷重等の見込み違い [D3] 地盤力の作用 [D4] 過積載車道の通行 [B18] グラウト不足によるPC鋼材の腐食、破断	乾燥収縮の影響 コンクリート水和熱による温度応力の影響 【設計-VI】 乾燥収縮 【設計-IV】 水和熱の温度応力
	コンクリート主桁 支点部	⑤ 支承上桁下面・側面に沿って発生しているひび割れ ⑥ 支承上から斜めに側面に発生しているひび割れ		[D] 桁端が回転拘束を受けている可能性がある。 [D] 支点部の水平移動が拘束されることで、支承上の局部応力が過大となったことが疑われる。 [D] 上部工と支承部が一体となつているTYPE-B支承などでは、橋軸直角方向及び橋軸直角方向の水平力を受ける。 [D] 支圧応力を超過した可能性がある。 [A] コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用。	[D4] 配筋計算以上の反力が作用 [D4] 地盤作用 [D5] 不適切な支承の設置位置 (線端距離の不足) [D5] 変位制限装置設置時の不備 [D5] 主ケーブル定着の箱抜きによる端部の補強不足 [D5] 移動量の見込み違い [D6] 下部工の移動、沈下 [D6] 支床付近のコンクリートの充填不足 [E] 支承の腐食・目詰まり [A2] 養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大 [A9] 乾燥収縮 [B8-C2] 版縁鉄筋損傷	不適切なコンクリート打設 コンクリート水和熱による温度応力の影響 不適切な養生方法および養生期間 【施工-III】 コンクリート打設 【設計-IV】 水和熱の温度応力 【施工-IV】 養生
【15】	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		[A] 支点横筋がコンクリートの温度応力の発生	[D5] 定着切欠きあるいは伸縮切欠きに伴う断面厚および補強筋不足 [B8] 監視距離が短量であった可能性がある。	コンクリート水和熱による温度応力の影響 定着部の支圧応力への配慮不足 不適切な養生方法および養生期間 【設計-IV】 水和熱の温度応力 【設計-V】 定着部の支圧応力 【施工-IV】 養生
	PC主桁 端支点部 連結支点部	⑨ 主桁の腹筋あるいは連結部横筋の跡に打ちコンクリートに発生する水平方向のひび割れ		[D] PC鋼材定着部前面の支圧応力による引張応力の発生 [A] ASRIに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。 [A] コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用	[D5] 定着位置が桁側面と近い可能性がある。 [A6] 桁端部への水の供給に伴うASRIの進行 [A10] 使用コンクリートのセメント量過大 [A2] 養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大 [A2-A9] 新コンクリートの養生不足 (急激な温度低下や乾燥収縮量の増大)	定着部の支圧応力への配慮不足 コンクリート水和熱による温度応力の影響 不適切な養生方法および養生期間 【設計-V】 定着部の支圧応力 【設計-IV】 水和熱の温度応力 【施工-IV】 養生
【16】	PC主桁 支点部	[27] 桁腹筋に発生している放射状のひび割れ		[D] PC鋼材定着部前面の支圧応力による引張応力の発生 [A] ASRIに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。	[D5] 定着位置が桁側面と近い可能性がある。 [A6] 桁端部への水の供給に伴うASRIの進行	定着部の支圧応力への配慮不足 【設計-V】 定着部の支圧応力

表-3.2.2 調査項目抽出表 (その4)

新分類	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例		本報告書における調査項目の抽出		
	主な発生部位 コクリート主桁 その他	橋梁定期点検専用に ひびわれパターン分類 ⑨ 亀甲状の異状 のひびわれ コンクリート表面の微細 ひびわれ	直接的要因の例 「コクリートのひび割れ調査・補修・補強計画-2013-」(日本コンクリート工学会)におけるひび割れ発生要因の例 間接的起因の例 【A】ASR、凍害などコクリート自体の劣化が疑われる。 【B】乾燥収縮、自己収縮が疑われる。 【C】中空床版ボイド下のコクリート剥離による引張応力が疑われる。 【D】活荷重、死荷重により支点部横桁下面に発生する引張応力に対して、鉄筋のみで負担している。 【E】支点部の横方向移動が拘束されることで、支点上の局部応力が過大となったことが疑われる。 【A】乾燥収縮、自己収縮に伴う隅部拘束作用。 【B】コクリートと鉄筋間に生ずる内部拘束作用。	初期実状の観点に基づく要因の抽出 不適切なコクリート打設 型枠の早期除去	調査調査項目 【施工-III】 コクリート打設 【施工-II】 型枠
【17】	PC箱桁橋 端支点横桁	端支点横桁下面の 橋軸方向ひび割れ	【D】 活荷重、死荷重により支点部横桁下面に発生する引張応力に対して、鉄筋のみで負担している。 【E】 支点部の横方向移動が拘束されることで、支点上の局部応力が過大となったことが疑われる。 【A】 乾燥収縮、自己収縮に伴う隅部拘束作用。 【B】 コクリートと鉄筋間に生ずる内部拘束作用。	コンクリート水和熱による温度応力の影響 不適切な養生方法および養生期間	【設計-IV】 水和熱の温度応力 【施工-IV】 養生
【18】	PC主桁 中間支点部 (連続桁)	桁下面の直角方向 および橋軸の鉛直 方向ひび割れ	【D】 支承機能の低下による桁の回転、伸縮の拘束		-
【19】	中間支点部 (連続桁)	桁下面の直角方向 および橋軸の鉛直 方向ひび割れ	【D】 連結部の応力集中 【E】 支承機能の低下による桁の回転、伸縮の拘束	【E】 カーブの進行に伴う変形桁のそり上がり 【D4】 地震作用 【D6】 中間支点の移動 【D5】 変位制限装置設置時の不備 【E】 支承の腐食・目詰まり 【D5】 移動重の見込み違い	-
【20】	PC主桁 端支点部	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	【D】 拡幅部が生構造部の変形に追従できないことよ る引張応力の発生	【E】 カーブの進行に伴う変形桁のそり上がり 【D4】 地震作用 【D6】 中間支点の移動 【D5】 変位制限装置設置時の不備 【E】 支承の腐食・目詰まり 【D5】 移動重の見込み違い	-
【21】	PC主桁 支間全体	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	【A】 コクリートの乾燥収縮 【C】 連続床版横方向部材の腐食膨張	乾燥収縮の影響 不適切なコクリート打設	【設計-VI】 乾燥収縮 【施工-II】 コクリート打設
【22】	PC主桁 支間全体	連続床版下面に発 生している橋軸方 向ひび割れ	【D】 応力超過、プレストレス損失	【D4】 想定を超える活荷重の作用 【D5】 連続床版支間に対して、床版厚、プレストレス量が少なすぎた可能性がある。 【D5】 ハンチ形状の不備	-
【23】	PC主桁 支間全体	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	【B】 床版構構めシース位置での沈降クラック 【A】 床版コクリートの乾燥収縮 【C】 床版横方向部材の腐食膨張	【B6】 コクリート縮み不足 【A】 床版構構めシース位置に伴う断面厚の小さい部 分に乾燥収縮による引張応力が作用	乾燥収縮の影響 不適切なコクリート打設
【24】	コクリート主桁 開口部近傍	開口部の隅角部の ひび割れ	【A】 乾燥収縮、自己収縮に伴う隅部拘束作用。 【B】 コクリートと鉄筋間に生ずる内部拘束作用。	【A10】 使用コクリートのセメント量過大 【A2】 養生時のコクリート表面と内部の温度差が過大 【B8-C2】 乾燥収縮係数 【C1】 温度変化による変形	乾燥収縮の影響 コンクリート水和熱による温度応力の影響 不適切な養生方法および養生期間
【25】					

表-3.2.2 調査項目抽出表 (その5)

新分類	主な発生部位	橋梁定期点検専則におけるひびわれパターン分類	【新分類】31種類のひびわれパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例		本報告書における調査項目の抽出	
			直接的要因の例	間接的要因の例	初期実状の観点に基づく要因の抽出	家調査項目
[26]	PC主桁 外ケーシング側面	[39] 橋脚に発生している鉛直・水平方向のひび割れ	<p>【コンクリートのひび割れ調査・補修・補強計画-2013-】「日本コンクリート工学会」におけるひび割れ発生要因の例</p> <p>直接的要因の例</p> <p>[D] 外ケーシングの張力(分力)による局部応力の発生</p> <p>[A] 乾燥収縮、自己収縮に伴う局所的な作用</p>	<p>間接的要因の例</p> <p>[B6] コンクリート締固め不足によるコンクリート抵抗断面不足</p> <p>[D2] 外ケーシング張力超過</p> <p>[D3] 応力作用の繰返しや振動、衝撃に伴うひび割れの進展</p> <p>[D4] 地震力作用による部材の変形とそれに伴う付加張力</p> <p>[D5] 補強鉄筋、コンクリート部材厚の不足、偏角部配置の不備、曲げ上げ角度の不備</p> <p>[A9] 低品質な後継コンクリートの使用</p> <p>[D5] 定着体のかぶり不足</p>	乾燥収縮の影響 不適切なコンクリート打設	【設計-VI】 乾燥収縮 【施工-III】 コンクリート打設
[27]	PC主桁 定着体後理め部	[28] 橋脚に発生している鉛直方向と水平方向のひび割れ	<p>[C] 橋脚定着体後理部の収縮</p> <p>[C] 橋脚定着体の腐食・膨張</p>	<p>[A9] 低品質な後継コンクリートの使用</p> <p>[D5] 定着体のかぶり不足</p>	-	-
[28]	PC主桁 外ケーシング定着部	[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	<p>[D] 高部定着部への曲げ応力の発生。</p> <p>[D] 定着部材への曲げ応力の発生。</p>	<p>[B6] コンクリート締固め不足によるコンクリート変圧耐力不足</p> <p>[D2] 外ケーシング張力超過</p> <p>[D3] 応力作用の繰返しや振動、衝撃に伴うひび割れの進展</p> <p>[D4] 地震力作用による部材の変形とそれに伴う付加張力</p> <p>[D5] 補強鉄筋、コンクリート部材厚の不足、定着位置の不備</p>	定着部の支圧応力への配慮不足 不適切なコンクリート打設	【設計-V】 定着部の支圧応力 【施工-III】 コンクリート打設
[29]	PC主桁 定着突起前面	[16] PC鋼材定着部(定着突起)付近	<p>[D] 定着突起を境としたフレックス量の差により、定着突起前面に偏軸方向引張応力が発生する。(コンクリートの引張応力が引張強度を超過)</p>	<p>[D5] コンクリート部材厚の不足(定着突起形状が、定着工法の基準を満たしていない)</p> <p>[D5] PC鋼材配置の不備</p>	定着突起部の検討不足	【設計-III】 定着突起部の設計
[30]	PC主桁 セグメント 接合部	[37] コンクリートセグメント基部から斜めに発生しているひび割れ	<p>[D] 過大なせん断力の作用。</p> <p>[D] 軸方向フレックス不足や接着不良による摩擦抵抗力の不足</p> <p>[D] セグメントのせん断耐力不足。</p> <p>[D] セグメントへの局所的な衝撃力の作用。</p>	<p>[B6] コンクリート締固め不良によるせん断耐力不足</p> <p>[D2] 過大なフレックス分の作用</p> <p>[D3] 基礎の不平等沈下など、想定外のねじり作用</p> <p>[D4] セグメント接合部継手の局所的な作用</p> <p>[D4] セグメント接合時の局所的な衝突</p> <p>[D5] セグメント形状精度のばらつきに伴う作用力の偏り</p> <p>[E] セグメント接着剤の劣化、充填不良</p>	-	-
[31]	RC桁 支点部	⑦ ゲルバー部のひびわれ	<p>[D] 片持ちばりあるいはコーベルでの設計を行うため、ひびわれ発生モーメントを超過した場合は、引張鉄筋が負担する。</p> <p>[D] ゲルバー-支承部の水平移動が拘束されることで、支承上の局部応力が過大となったことが疑われる。</p>	<p>[D4] 設計計算以上の反力が作用</p> <p>[B6] 過剰配筋によるコンクリートの充填不足</p> <p>[E] 支承の腐食・ゴミ詰まり</p> <p>[D5] 移動量の風込み運い</p> <p>[D4] 地震作用</p>	-	-
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	<p>[D] 引張応力は鉄筋のみで負担しており、コンクリートに引張抵抗力を期待していない。</p> <p>(PRCの場合)</p> <p>[D] 応力超過、フレックス損失が疑われる。</p>	<p>[D4] 過剰重量の通行</p> <p>[D5] 極端な段差として伴う引張鉄筋量の不足</p> <p>(PRCの場合)</p> <p>[B18] クラウアウト不良によるPC鋼材の腐食</p>	-	-

表-3.2.3 ひび割れ要因の記号

分類1	分類2	分類3	記号	原因	
材料	使用材料	セメント	A1	セメントの異常凝結	
			A2	セメントの水和熱	
			A3	セメントの異常膨張	
		骨材	A4	骨材に含まれている泥分	
			A5	低品質な骨材	
			A6	反応性骨材	
	コンクリート			A7	コンクリート中の塩化物
				A8	コンクリートの沈下・ブリーディング
				A9	コンクリートの乾燥収縮
				A10	コンクリートの自己収縮
施工	コンクリート	練混ぜ	B1	混和材料の不均一な分散	
			B2	長時間の練混ぜ	
		運搬	B3	ポンプ圧送時の配合の不適当な変更	
			B4	不適当な打込み順序	
		打込み	B5	急速な打込み	
			B6	不適当な締固め	
		養生	B7	硬化前の振動や載荷	
			B8	初期養生中の急激な感想	
		B9	初期凍害		
		B10	不適当な打継ぎ処理		
	鋼材	鋼材配置	B11	鋼材の乱れ	
			B12	かぶりの不足	
	型枠	型枠	B13	型枠のはらみ	
			B14	型枠からの漏水	
			B15	型枠の早期除去	
	その他	支保工	B16	支保工の沈下	
			コールドジョイント	B17	不適当な打重ね
				B18	グラウト充てん不良
使用環境	熱、水分作用	温度・湿度	C1	環境温度・湿度の変化	
			C2	部材料面の温度・湿度の差	
			C3	凍結融解の繰返し	
			C4	火災	
			C5	表面加熱	
	化学作用		C6	酸・塩類の化学作用	
			C7	中性化による内部鋼材のさび	
			C8	塩化物の浸透による内部鋼材のさび	
構造・外力	荷重	長期的な荷重	D1	設計荷重以内の長期的な荷重	
			D2	設計荷重を超える長期的な荷重	
		短期的な荷重	D3	設計荷重以内の短期的な荷重	
			D4	設計荷重を超える短期的な荷重	
	構造条件		D5	断面・鋼材量不足	
	支持条件		D6	構造物の不同沈下	
			D7	凍上	
その他				その他	

※コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013- (公社)日本コンクリート工学会より

3.3 変遷調査

3.3.1 変遷調査の概要

前節で抽出した設計および施工に関する調査項目について、その変遷を調査し、主な内容を時系列に整理する。

変遷調査は、プレストレストコンクリート橋が初めて建設された 1950 年頃から現在にいたる期間を対象とする。調査する文献は、「道路橋示方書」を軸とし、過去にさかのぼって調査項目を取りまとめる。道路橋示方書の前身である「鉄筋コンクリート道路橋示方書」が発刊される 1964 年以前の調査は、土木学会の「プレストレストコンクリート設計施工指針」などを含めた調査をおこなう。

3.3.2 設計の変遷調査結果

設計の調査項目である【設計-I】基準の改定、【設計-II】腹圧の設計、【設計-III】定着突起の設計、【設計-IV】水和熱の温度応力、【設計-V】定着部の支圧応力、【設計-VI】乾燥収縮、の 6 項目について整理した結果を以下に記述する。

なお、変遷調査結果を時系列に取りまとめた一覧表は、本節末尾の表-3.3.1 に示す。

(1) 【設計-I】基準の改定

日本で初めてとなるプレストレストコンクリート橋（長生橋）は、昭和 26 年（1951 年）に施工された。当時は、昭和 14 年（1939 年）に制定された「鋼道路橋設計示方書案（日本道路技術協会）」が定められていたが、コンクリート橋単独の基準はまだ制定されていなかった。

昭和 30 年代には、PC 鋼材の各種定着工法が国内外で開発されるようになり、プレストレストコンクリートの指針として、昭和 30 年（1955 年）制定の「プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会）」が発刊された。昭和 39 年（1964 年）には、鉄筋コンクリート橋を対象とした「鉄筋コンクリート道路橋示方書（日本道路協会）」、さらに昭和 43 年（1968 年）にはプレストレストコンクリート橋を対象とした「プレストレストコンクリート道路橋示方書（日本道路協会）」が発刊された。昭和 53 年（1978 年）には鉄筋コンクリート橋およびプレストレストコンクリート橋の内容を統合した、「橋、高架の道路等の技術基準」として「道路橋示方書・III コンクリート橋編」が通達された。

近年の道路橋示方書の改定は、平成 2 年（1990 年）、平成 6 年（1994 年）、平成 8 年（1996 年）、平成 14 年（2002 年）および平成 24 年（2012 年）に行われている。

(2) 【設計-II】腹圧の設計

桁高変化がある箱桁橋の下床版に PC 鋼材を配置した場合、下床版には、配置した PC 鋼材の緊張にともなう腹圧力が発生する。昭和 53 年「道路橋示方書・III コンクリート橋編」に剛性の確保やひびわれ抑止の観点から、最小厚さを 140mm（従来 100mm；S39RC コン示）にすること、直径 13mm 以上の鉄筋を 250mm 以下の間隔で配置することが規定された。そして、平成 14 年の「道路橋示方書・III コンクリート橋編」において、この腹圧力が大きい場

合は、下床版下面の橋軸方向にひび割れが発生するおそれがあることから、腹圧力に対して安全性を確保するために解説が追加された。

「10章箱桁橋 10.5 構造細目」の解説には、下床版の安全性を確保するため、①床版厚の確保と鉄筋等による補強を行う、②偏向力が作用する個所に剛な横桁を設置する、③下床版に配置する PC 鋼材はウェブ近くに配置する、等の配慮が必要であるといった内容が示された。

基準に示される以前は、設計者の判断による橋梁毎の対応がとられていたと考えられるが、平成 14 年以降は、基準に沿った設計を行うことで腹圧力によるひび割れ対策が施されることになった。

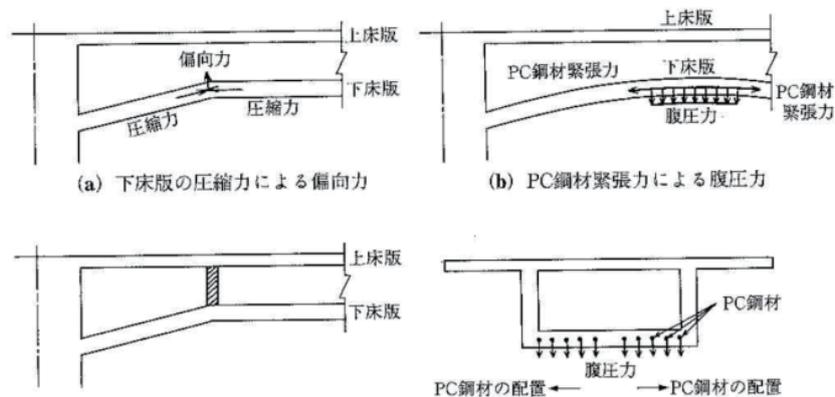


図-3.3.1 平成 14 年道路橋示方書における記載内容

(3) 【設計-Ⅲ】 定着突起の設計基準

定着突起に関する設計の内容が初めて基準に示されたのは、昭和 43 年（1968 年）の「プレストレストコンクリート道路橋示方書」である。「6.2.3 定着具付近の補強」の節には、『部材中間に定着具を設ける場合は、適当な補強をする』といった内容が条文に記載されている。また、プレストレス導入によって突起定着部に生じる引張力とそれに対する補強例が下図のように示された。

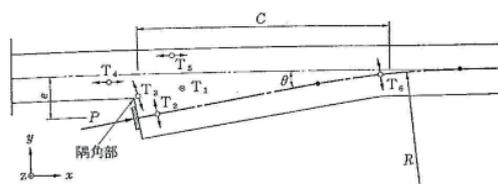


図-6.2.5

図中 T_1 : 定着部背面 z -方向（紙面に直角方向）に生ずる引張力
 T_2 : 定着部背面 y -方向に生ずる引張力
 T_3 : 隅角部に生ずる引張力
 T_4 : 定着部前面に生ずる引張力
 T_5 : プレストレスによる曲げモーメント ($M_0 = p \cdot e$) によって生ずる引張力
 T_6 : P C 鋼材屈曲部に生ずる引張力
 $T_6 = p \cdot \sin \theta \approx p \cdot \theta = p \cdot \frac{e}{C}$

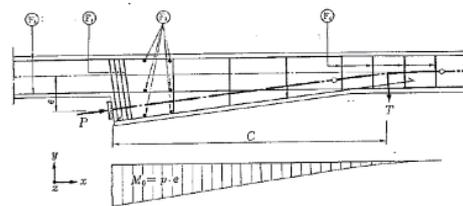


図-6.2.7 突起定着補強例

図-6.2.7 は、ウェブまたは床版コンクリートに、突起部を設けて定着した場合の一般的な補強例を示すものであるが、図中の補強鉄筋⑤~⑧は、次の補強のためである。

- ⑤: 図-6.2.5 に示した T_1 に対する補強鉄筋
 (床版の主鉄筋を併用してはならない)
- ⑥: 図-6.2.5 に示した T_2, T_3 に対する補強鉄筋
- ⑦: 図-6.2.5 に示した T_4, T_5 に対する補強鉄筋
 (床版の主鉄筋を併用してはならない)
- ⑧: 図-6.2.5 に示した T_6 に対する補強鉄筋

図-3.3.2 昭和 43 年道路橋示方書における記載内容

この内容は平成 24 年「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」でも同様に示されており、昭和 43 年の内容から大きな見直しが行われていない。しかし、技術の進歩とともに緊張力の大き

容量化が図られており、昭和 43 年当時の 50tonf~100tonf 程度の緊張力から近年の 100tonf~400tonf 程度の緊張力へと扱う荷重の大きさが変化している。このことから式の検証が必要となっている。

写真-3.3.1 は、大容量ケーブル 19S15.2 (緊張力 360tonf) の定着突起を既往の補強例に従い設計した結果、緊張後に定着部周辺にひび割れが発生した事例である。



写真-3.3.1 定着突起のひび割れ

突起部周辺に生ずる応力は複雑で簡単に求めることはできない。道路橋示方書に示される引張力は、補強の際に注意すべき引張応力を概念的に示したものである。また、1本の緊張材が独立して定着された場合の補強方法を示したものであり、複数本を定着する場合、鉄筋が連続しない場合、剛性が極端に変化する場合には、個別に検討する必要がある。

また、定着突起をRC部材として設計し、ひび割れの発生を想定した場合においても、構造全体に影響を与えることの無いように、他部材への緊張力の伝達がなされることや耐久性を確保しておく必要がある。

(4) 【設計-IV】水和熱の温度応力

水和熱の温度応力に関する設計の内容が初めて基準に示されたのは、平成 2 年 (1990 年) の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」である。「16.6.7 マスコンクリート」の節には、『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。』といった条文が記載されている。しかし、温度応力の算出結果から具体的な制御方法や算出結果の可否を判断できるような内容になっておらず、安全率が設定されていない。

平成 14 年 (2002 年) の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」から、「19.6 コンクリート工 (8) マスコンクリート」の解説で「ひび割れ制御指針」(日本コンクリート工学協会) および「コンクリート標準示方書 (施工編)」(土木学会) の準用を推奨している。平成 24 年 (2012 年) の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」では、準用文献が「ひび割れ制御指針 2008」(日本コンクリート工学協会) および「コンクリート標準示方書 (設計編) H20.3」(土木学会) に変更されている。

なお、このように技術基準の整備がなされているが、コンクリート配合などの材料条件や分割施工の位置の設定など、設計段階で決められない事項があり、これらの設計での考慮方法は課題である。

(5) 【設計-V】 定着部の支圧応力

定着部の支圧応力に関する設計の内容が初めて基準に示されたのは、昭和 30 年（1955 年）の「プレストレストコンクリート設計施工指針」である。通常の定着部に関する内容は、昭和 36 年（1961 年）の「プレストレストコンクリート設計施工指針」の記述から大きな見直しが行われていない。

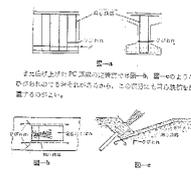
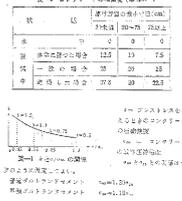
外ケーブル構造については、平成 8 年（1996 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」から「定着部に生じる局部応力に対して、鉄筋あるいは PC 鋼材によって補強しなければならない。」と記載されている。しかし、解析結果を基に対策の必要性の有無を判断できる内容になっていない。解析手法、判断基準および具体的な対策方法の明確化を進める必要がある。

(6) 【設計-VI】 乾燥収縮

乾燥収縮に関する設計の基準は古く、昭和 6 年（1921 年）の「鉄筋コンクリート標準示方書」に硬化収縮として記述が存在する。不静定力を計算する場合の乾燥収縮の影響について、昭和 53 年（1973 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」から現在と同様な内容が記載されている。平成 2 年（1990 年）「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」には、打継目に対して乾燥収縮によるひび割れが発生しないよう考慮することが記述されている。

平成 24 年（2012 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」では、解説部分に過大な乾燥収縮に対するひび割れについての記述が追加されている。これは、年々の骨材事情の変化から、コンクリートの収縮ひずみが従来値に比べて著しく大きな値を示すケースが多く見受けられるためである。その詳細については「2007 年度版コンクリート標準示方書改定資料（土木学会）P17 設計編 5.2 収縮ひずみの設計上の扱い」に記載されている。

表-3.3.1 設計の変遷

時期	設計の変遷					
	設計-I 基準の改定	設計-II 腹圧の設計	設計-III 定着突起の設計	設計-IV 水和熱の温度応力	設計-V 定着部の支圧応力	設計-VI 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。 
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発生を少なくしなければならない。 	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ン工のときは表-4の値、ポストテンション工のときは表-4の値に0.6kを乗じたものとする。 
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、ひび割れ発生のおそれがあるので、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	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	記載なし	P42 6.2.3【定着具付近の補強】平成24通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Ⅲコンクリート橋欄	P220~222 8章箱けた橋 8.3.1【上げたの構造細目】下フランジの最小厚さは直接活荷重が作用しないが、施工性、および箱けたとしての特性を考慮して最小厚さを140mm(従来100mm、S39RCコン示)にする。直径13mm以上の鉄筋を250mm以下の間隔で配置することが規定される。	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	● 道示Ⅲコンクリート橋欄	大きな変更なし	大きな変更なし	P304 16章施工 16.6.7【マスキング】マスキング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Ⅲコンクリート橋欄	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし P301 16.6.7【マスキング】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Ⅲコンクリート橋欄	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし P317 17.6.7【マスキング】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所応力に対して、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Ⅲコンクリート橋欄	P252~P254 10章箱けた橋 10.5【構造細目】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る。	大きな変更なし	大きな変更なし P345 19.6【コンクリート工】(8)マスキング 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Ⅲコンクリート橋欄	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)マスキング 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

3.3.3 施工の変遷調査結果

施工の調査項目である【施工-I】支保工、【施工-II】型枠、【施工-III】コンクリート打設、【施工-IV】養生、【施工-V】目地部、【施工-VI】グラウト、の6項目について整理した結果を以下に記述する。

なお、変遷調査結果を時系列に取りまとめた資料は、本節末尾の表-3.3.2に示す。

(1) 【施工-I】支保工

昭和35年(1960年)、曲線橋として初めて固定支保工で施工された米神橋は、支柱に丸太材を使用していた。当時、準用したと考えられる昭和24年(1949年)「鉄筋コンクリート標準示方書」には、支保工の沈下に対する注意が示されているが、荷重を適当な方法で地盤に一樣に分布させるといった表現にとどまっている。

その後、鋼製の支保工材が一般的に使用されるようになり、また、基準の改定で具体的な内容が加わり現在にいたっている。基準の主な改定内容を下記に示す。

- ・昭和36年(1961年)「プレストレストコンクリート設計施工指針(土木学会)」に支保工沈下に対応するためのジャッキの挿入などの措置について記載
- ・昭和53年(1978年)「プレストレストコンクリート標準示方書」に施工計画に基づく図面作成と支保工設計に用いる荷重の具体的な数値の記載
- ・昭和53年(1978年)「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」に支保工設計で取り扱う荷重と許容応力度の記載

昭和53年以降、道路橋示方書の内容は大きく変更されていないが、昭和54年にPC建協から発刊された『「施工計画書」作成の手引き・場所打ち編』などにより、基準を満足するための施工方法が具体的に示されている。この施工計画書の手引は、平成元年、平成7年、平成14年に改定されており、施工方法の他に、工程、施工体制、安全計画、主要資機材、環境対策および支保工の計算例などが示されている。

現在に至るまでに、施工基準の改定や基準を補間する手引きなどの充実、および資機材の発展などによって、初期変状防止対策がとられてきた。ただし、現状においても施工者の技量に大きく影響を受ける可能性がある。

(2) 【施工-II】型枠

昭和24年(1949年)「鉄筋コンクリート標準示方書」には、型枠材に用いるセキ板に関する注意事項として、『死ブシなどの欠点がなく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』ことが示されている。この当時は、現在の一般的な型枠材であるコンクリート型枠用合板は用いられておらず、JCIの「コンクリート診断技術¹⁴」によると、『コンクリート型枠用合板が使用され始めたのは1965年頃であり、1967年に型枠用合板として日本農林規格(JAS)が公布されてから広く使用させるようになった』とある。

型枠の取りはずしに関して、昭和36年(1961年)の基準には、緊張前において、型枠がコンクリートの収縮を妨げることがないように型枠を早期にはずして十分な養生を行うことが示されているが、その後の昭和53年(1978年)「プレストレストコンクリート標準示方書」

には、緊張時に型枠の一部を取り外す記載に変更されており、型枠とコンクリートの収縮に関する記載はなくなっている。また、同年の昭和 53 年に発刊された「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」には、せき板表面にはく離剤を塗布することが示された。

(3) 【施工-Ⅲ】コンクリート打設

昭和 24 年（1949 年）「鉄筋コンクリート標準示方書」には、締固め方法として、突固めに関する記載がされており、長生橋をはじめとする初期の PC 構造物におけるコンクリートの施工は、現場練りの硬練りコンクリートを人力で突き固める方法がとられていた。昭和 30 年代の基準には、コンクリートの締固めに内部振動機や外部振動機に関する記載がされており、突固めによる締固めから振動機による締固めに移行していったと考えられる。

コンクリートポンプが普及し始めたのが昭和 40 年頃であるが、基準に示されたのは、昭和 53 年（1978 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」であった。この時の基準には、コンクリートポンプの記載の他にも多くの項目が追加されており、主な内容として下記に示すようなものがある。

- ・ 暑中および寒中のコンクリート温度の規定
 - ・ コンクリートの打ち重ね時に下層へ振動機を 10cm 程度挿入
 - ・ 内部振動機の挿入間隔の目安
 - ・ 新旧コンクリートの打継における温度差によるひび割れの恐れ
- 平成 2 年以降に上記に示す内容が少しずつ見直され修正されている。

(4) 【施工-Ⅳ】養生

プレストレストコンクリート橋の初期の時代、最低養生期間は、普通セメント 7 日間、早強セメント 3 日間であり、養生方法は、湿潤養生となっている。

昭和 53 年の基準には、普通セメントを用いる場合の最低養生期間が 5 日間に変更されるとともに、湿潤養生が困難な場合に膜養生を行うことが示されたり、マスコンクリートの表面と内部の温度差が大きくなるように養生方法を検討することが示されたりしている。昭和 53 年に示された内容は、現在に至るまで大きく変更されていないが、平成 2 年に養生水に海水を用いることが禁止され、平成 14 年に気温が低い場合の床版コンクリートの養生について、コンクリート強度の発現が所定の値になるまで行うことが追加されている。

(5) 【施工-V】目地部

1) プレキャスト目地部

主桁を橋軸方向に接合したプレキャストセグメント工法は、プレストレストコンクリート橋の初期の時代から現在に至るまで使用されている。昭和 30 年（1955 年）の「プレストレストコンクリート設計施工指針」には、目地材に用いるモルタルまたはコンクリートの圧縮強度の規定が示されている。施工方法としては、昭和 24 年（1949 年）「鉄筋コンクリート標準示方書」に示される打継ぎの節を準用し、打継面を十分にぬらして施工したと考えられる。

昭和 53 年の基準には、目地材としてモルタルまたはコンクリートに加えて、接着剤の記載がされており、組立用金具の使用、エポキシ樹脂系接着剤の品質規格、貯蔵方法や貯蔵期間

および施工方法など、多くの内容が示された。モルタルまたはコンクリートを用いる場合と異なり、接着剤を用いる場合は、接合面を十分に乾燥させることが示されている。

昭和 63 年頃からプレキャストセグメント工法が増加傾向にあり、平成 4 年 10 月に日本道路協会より発行された「プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリート T げた道路橋設計施工指針」には、参考資料として、昭和 56 年～平成元年の実績調査結果が示されており、結合材料の割合は、コンクリートおよびモルタルが 3%、エポキシ樹脂が 97%となっている。

目地材が、モルタルまたはコンクリートからエポキシ樹脂系接着剤に変わるなど、材料の変化とともに施工方法の見直しが行われている。

2) 打継目地部

場所打の打継目地に対する記述として昭和 24 年の基準では、「硬化したコンクリート表面を粗にして、ゆるんだ骨材粒子、不完全なコンクリート、レイタンス、雑物等を除き、表面を十分にぬらさなければならない。」と記載されている。また昭和 53 年の基準では、構造物の強度および外観を害さないように打継目を設けること、重要な打継目は設計図に明示すること、新旧コンクリートの温度差による温度ひび割れのおそれについての記載がある。平成 14 年の基準では、「コンクリートの打ち重ね部において上層と下層の一体性を確保し、ひび割れやコールドジョイントが発生しないようにする。」ことが記載されている。

(6) 【施工-VI】 グラウト

グラウト使用材料の変遷について、グラウト混和材は、当初、アルミニウム粉末の混合物（1960 年代）が使用された。その後、専用混和材の登場（1979 年）、高粘性タイプの登場（1982 年）を経て、現在ではプレミックスの超低粘性タイプ（2000 年）も出荷されている。

グラウトのブリージングは、当初、3～5%程度を許容していたが、1999 年版の「PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル」よりノンブリージング型が標準となった。

水セメント比（プレミックスタイプでは水材料比）は、当初 45%以下と設定されていたが、1986 年の基準からはコン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ことになり、環境温度によって混和剤毎に単位水量を変更している。

使用するシースの材質は、当初より鋼製シースが使用されていたが、2000 年代からは、塩害対策や耐久性向上のため PE シースの使用が推奨されている。シース径は、当初、鋼材径にかかわらず同一の径のものを使用していたが、使用鋼材径別となり、さらには高粘性グラウト等への対応のため、シースの太径化が図られた。

グラウトの施工方法の変遷では、管理方法に目を向けると、グラウト工記録表、ケーブル毎の作業記録、グラウト流量計の導入、十分な知識を有する資格を持った技術者による施工指導など、順次整備が行われている。

グラウトポンプ、グラウトミキサーなどの使用機材類についても、より確実な施工を行うために高機能化が図られた。電動スクイーズポンプ（1984 年）やセメント 1 袋練りグラウトミキサー（1989 年）等の登場を経て、最近では PC ダクト内を減圧してグラウト注入を助ける真空ポンプ併用 PC グラウト施工法（2002 年）が行われ始めている。

その他、グラウト注入・排気口について、配置を明記、後処理の実行、導通及び気密性を確認などが順次義務付けられ、現在の「PC グラウトの設計施工指針(H24)」には、グラウトの注入期限や複数のグラウトホースを適切な間隔で配置することなどを考慮して計画することが記載されている。

また、2000年頃からPC鋼材の周囲を未硬化のエポキシ樹脂で覆い、緊張後に樹脂硬化することによってグラウト注入を行わないプレグラウト鋼材を使用するケースが増加している。

表-3.3.2 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條【型枠および支保工】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面に十分に分布させ、高さが大きいときはツブキおび筋連工を設けなければならない。	P82 61條【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パ仕上げを行う。	P77 45條【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條【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	P77 46條【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、ゆるんだ骨材粗子、不完全なコンクリート、レイタンス、雑物、等を完全に除去し、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ミキジを行う。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敷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敷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ツブキ、その他を挿入しておくこと、およびプレストレスリ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、一面所に大きな収縮ひび割れが集中することのないよう、型枠を早期にはずす。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)量中コンクリートの打ち込み時のコンクリート温度を30℃以上とする。また、コンクリートの最高温度は60℃以上にならない。(3)高温促進養生の際は、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	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	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工程、取り外し、転用などの施工計画に基づき、原則として四面を作成、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	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時間をかけてコンクリートを打ち出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10~20℃を原則。④暑中における施工の場合、コンクリートを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。	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剤と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。	P56~P58 7.3.2【プレキャスト部材の継目】①水密性の検討が追加。②モルタルおよびコンクリート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、セパレーティング剤を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。	
	● 道路橋示方書 III コンクリート橋	P113 11.4.2【取り外し】プレストレスリ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、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。	P288~P290 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 型枠」にせき板面にはく離剤を塗布することが記載。	P271~P272 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 14.5.3【打込み】①量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℃以上にならない。②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10℃以上とし、外気との温度差が大きくならないようとする。	P119~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は責任技術者の指示を受けて養生を施工する。③暑中養生について、保温養生や加熱養生が示される。	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 11.11.8【接着剤】貯蔵方法や貯蔵期間の制限などについて記載。
1990年 平成2年	● 道示 IIIコンクリート橋	P288~P290 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 型枠」にせき板面にはく離剤を塗布することが記載。	P288~P290 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 型枠」にせき板面にはく離剤を塗布することが記載。	P271~P272 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 14.5.3【打込み】①量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℃以上にならない。②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10℃以上とし、外気との温度差が大きくならないようとする。	P273~P274 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 14.5.4【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關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たり接合面を十分に乾燥させることが示された。	P274 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ひび割れが記載される。
1994年 平成6年	● 道路橋示方書 III コンクリート橋	大きな変更なし	大きな変更なし	P301~P302 16.3.3【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強い場合に10℃程度確保することとなった。	P303 16.3.4【締固め】薄い壁など内部振動機の使用が困難な場合には、型枠振動機を併用することが追加。	P303 16.3.6【養生】養生水に海水を用いてはならないことが追加。	P294 16.3.6【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。	
1996年 平成8年	● 道路橋示方書 III コンクリート橋	大きな変更なし	大きな変更なし	P304 16.3.7【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ないことが追加。				
2002年 平成14年	● 道路橋示方書 III コンクリート橋	大きな変更なし	大きな変更なし	P340~P345 19.6【コンクリート工】(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 19.6【コンクリート工】(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10N/mm ² 程度に達するまで適切な保温設備のもとに養生を行うことが追加。		上記項目に加えてP340~P345 19.6【コンクリート工】(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 III コンクリート橋	大きな変更なし	大きな変更なし					

表-3.3.2 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): σ28=150kg/cm ² (左記参考文献より)	-	グラウティングボルトとコンプレッサーによる注入(1953) 手動ダイヤフラム式グラウトポンプ(1956) 電動ポンプの登場(1962)	回転式グラウトミキサー(1956)	-
1966年 ~1977年 昭和41 ~昭和52	■ ディバ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) ○ PC施工の手引き(国鉄建設,1984)	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剤の登場(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ロート 膨張率試験義務付け 圧縮強度: σ28=200kg/cm ² (左記参考文献より)	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) ● PCグラウト施工マニュアル(PC建協,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)	-	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袋傾リグラウトミキサー(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) ● PCグラウト施工マニュアル(PC建協,1993) ○ PC施工の手引き(JR東日本,1995)	熱硬化型プレグラウト鋼材の登場(1992)	-	-	シース径φ39mm (PC鋼棒φ32) シース径φ35mm (PC鋼棒φ26) (大径化厚板専用シースの追加,DW協会,1994)	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)	ブリージング:0% 膨張率:-0.5~0% (左記参考文献より)	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)	-	-
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) ● PCグラウト施工マニュアル(PC建協,1996) 構造物施工管理要領(日本道路公団,1997) ● 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)	汎用型100~88% 低粘性型0~10% 高粘性型0~2% (1991~1995)	汎用型100~88% 低粘性型0~10% 高粘性型0~2% (1991~1995)	汎用型100~88% 低粘性型0~10% 高粘性型0~2% (1991~1995)	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大径化DW協会,1998)	流動性:J14ロート明記 膨張率試験義務付け 圧縮強度: σ28=20N/mm ² (左記参考文献より)	ブリージング型を標準 (左記参考文献より)	グラウト流量計の導入 (左記参考文献より)	電動スクイズ式ポンプ(3.7kw, 1996)	グラウト流量計の導入 (左記参考文献より)
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) ● 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) 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88~25% 低粘性型10~30% 高粘性型2~45% (1996~2000)	汎用型88~25% 低粘性型10~30% 高粘性型2~45% (1996~2000)	汎用型88~25% 低粘性型10~30% 高粘性型2~45% (1996~2000)	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)	流動性:Jロートに統一 (左記参考文献より)	ブリージング型を標準 圧縮強度:σ28 =20N/mm ² (膨張性) =30N/mm ² (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	-
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25~13% 低粘性型30~42% 高粘性型45~45% (2001~2005)	汎用型13~10% 低粘性型42~50% 高粘性型45~40% (2006~2008)	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)	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)	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	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	-	-
2011年~ 平成23~	○ コンクリート標準示方書(土木学会,2012) 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)	汎用型100~88% 低粘性型0~10% 高粘性型0~2% (1991~1995)	汎用型100~88% 低粘性型0~10% 高粘性型0~2% (1991~1995)	汎用型100~88% 低粘性型0~10% 高粘性型0~2% (1991~1995)	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)	圧縮強度保証材齢をσ28からσ7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)	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衛対策を示す。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。

3.4 変状事例の確認

初期変状の実態を把握するため、直轄橋梁の定期点検結果を確認する。

定期点検結果の確認範囲をある程度絞り込むため、定期点検データの中から供用後 10 年以内の点検を対象とし、「対策区分の判定が C 判定：速やかに補修を行う必要がある」と判定された PC 橋（橋梁規模が 15m 以上）に着目して、地域、橋梁規模および構造形式などの偏りが無いよう任意に選定した。その結果、初期変状の実態を確認する範囲は、19 橋の定期点検結果となった。

変遷調査を行なった項目のうち「基準の改定」を除く 11 項目（設計Ⅱ～Ⅵ、施工Ⅰ～Ⅵ）に該当する変状事例は、19 橋のうち 11 橋で報告されており、合計で 26 の事例が確認できた。変遷調査を行った項目ごとに着目すると、変状事例が確認できた項目は、全 11 項目のうち 8 項目であり、【設計・Ⅱ】腹圧の設計、【施工・Ⅰ】支保工、および、【施工・Ⅳ】養生、に該当する事例は確認できなかった。集計結果を表-3.4.1 に示す。なお、表に示す件数は、1 つの初期変状事例に対して、該当する項目が複数ある場合に複数分の計上をおこなっている（事例総数の 26 件と一致しない）。

変状事例の確認と主な事例の抽出をおこなった結果を表-3.4.2、抽出した主な事例の詳細を表-3.4.3 に示す。

表-3.4.1 初期変状事例数の集計結果

大項目	項目	整理番号	初期変状事例の 確認件数
設計の変遷	腹圧の設計	【設計-Ⅱ】	0
	定着突起の設計	【設計-Ⅲ】	1
	水和熱の温度応力	【設計-Ⅳ】	11
	定着部の支圧応力	【設計-Ⅴ】	4
	乾燥収縮	【設計-Ⅵ】	13
施工の変遷	支保工	【施工-Ⅰ】	0
	型枠	【施工-Ⅱ】	1
	コンクリート打設	【施工-Ⅲ】	5
	養生	【施工-Ⅳ】	0
	目地部	【施工-Ⅴ】	1
	グラウト	【施工-Ⅵ】	2

表-3.4.2 変状事例の確認と抽出

No	橋梁の諸元		竣工年度	損傷状況		設計の変遷調査項目							施工の変遷調査項目					
	橋梁名	上部工構造形式		主な内容	主な損傷原因	II 腹圧	III 突起	IV 温度	V 定着	VI 乾燥	I 支保	II 型枠	III 打設	IV 養生	V 目地	VI グラ		
事例1	A橋	単純箱桁橋	2001年3月	主桁・地覆：剥離・鉄筋露出、うき	水和熱・乾燥収縮の影響、PC鋼材定着部の補強不足													
事例2	B橋	単純箱桁橋	2003年10月	主桁：ひび割れ	水和熱・乾燥収縮の影響、PC鋼材定着部の補強不足													
事例3					締固め不足による充填不良、橋面からの水みちが形成													
事例4	C橋(上)	[単純+3径間連続+2径間連続]箱桁橋	2002年		水和熱・乾燥収縮の影響、定着付近の補強不足													
事例5					水和熱・乾燥収縮の影響、定着付近の補強不足													
事例6				主桁：剥離・鉄筋露出	外部拘束・乾燥収縮の影響、グラウト不良の影響													
事例7				ひび割れ、漏水、エフロレッセンス	外部拘束・乾燥収縮の影響、グラウト不良の影響													
事例8	C橋(下)	[単純+3径間連続+2径間連続]箱桁橋	1990年		水和熱の影響、伸縮切欠き、定着箱抜き部の補強筋不足													
事例9					下床版定着突起における主ケール部の定着芯力集中													
事例10					打継目の接合不良、打継目の段差形成と箱桁内の多湿環境													
事例11	F橋	3径間連続中空床版橋	2001年	主桁：ひび割れ、うき	締め固め不足(箱抜き、密配筋の影響)。													
事例12					クリープによる桁そり上がり、乾燥収縮に伴う桁収縮													
事例13	I橋	12径間連続中空床版橋	2002年2月	主桁：ひび割れ、うき	乾燥収縮の影響													
事例14					水和熱・乾燥収縮の影響													
事例15	J橋	17径間連続中空床版橋+3径間連続箱桁	2001年	主桁：漏水・エフロレッセンス、剥離・鉄筋露出、ひび割れ	水和熱・乾燥収縮の影響													
事例16					水和熱・乾燥収縮の影響													
事例17					締め固め不足による充填不良													
事例18					締め固め不足による充填不良													
事例19				主桁：剥離・鉄筋露出	水和熱・乾燥収縮に伴う外部拘束													
事例20	K橋	[13+12+12+13]径間連続PC中空床版橋	2004年		水和熱による温度ひび割れ													
事例21					水和熱による温度応力、RC構造の横桁に生じるひび割れ													
事例22					乾燥収縮および支保拘束によるひび割れ													
事例23	N橋	5径間連続プレート桁橋×2	2003年	橋脚梁部の天端に部分的な滞水	間詰め床版が主桁に拘束され乾燥収縮によりひび割れ													
事例24	O橋	6径間連続プレート桁+2径間連続コンボ橋	2003年	主桁のひび割れ	型枠目地からの漏水の影響													
事例25	P橋	[3+4]径間連続ボスT桁橋	2002年	主桁のひび割れ、剥離、うき	充填不良による表層コンクリートのひびわれ、かぶり不足も影響													
事例26	R橋	単純バイレ桁橋	2000年	主桁：うき	張出床版が主桁に拘束され乾燥収縮によりひび割れ													
事例数の集計																		
						0	1	11	4	13	0	1	5	0	1	2		

○：直接的原因が推定される要因
 ◻：初期変状事例の種別なし
 ■：変遷調査の分析に用いる初期変状事例

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その1

初期変状事例 : 事例2

該当する変遷調査項目 : 【設計-V】 定着部の支圧応力

橋 梁 の 諸 元				
橋 梁 名	B橋	上 部 工 構 造 形 式	単純PC箱桁橋	
竣 工 年 度	2003年10月	調 書 更 新 年 月 日	2009年11月11日	点 検 回 数 1 巡目
供 用 開 始 日		損 傷 状 況	端部定着部側面に斜め方向のひび割れ	
損 傷 図				
損 傷 写 真				
	写 真 番 号	27, 33	径間番号	1
	メ モ	<ul style="list-style-type: none"> 主桁, Mg0101, ひびわれ d大小 側面 W=0.3mm, L=0.9m (写真27: 左) 主桁, Mg0101, ひびわれ d大小 側面 W=0.2mm, L=0.7m (写真33: 右) 主桁端部の側面上部に斜め方向のひび割れが見受けられる。 		
損 傷 評 価				
部 材 名	主桁			
位 置 (部 位)	(3)支定点			
損傷の番号と種類 (点検要領 表4.2.2)	(6)ひび割れ			
損傷程度の区分 (点検要領 付録-1)	d			
ひ び 割 れ 方 向	端部定着部から張出床版に向かい斜め45度			
最大ひび割れ長さ/幅 (m/mm)	(長さ) 0.9m (幅) 0.3mm			
ひ び 割 れ 本 数 (本)	2			
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	-			
本報告書における初期変状事例の抽出				
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領 付録-1	新分類ひび割れパターン		
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(21)その他のひび割れ	【16】主桁の腹部に発生する水平方向ひび割れ		
ひ び 割 れ 概 要 図	-			
推定される損傷程度	<ul style="list-style-type: none"> 端部定着部側面にひび割れが発生している。 錆汁や遊離石灰の発生は見られないが、劣化因子の侵入経路となるため、定着具が腐食している可能性がある。 			

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その2

初期変状事例 : 事例3

該当する変遷調査項目 : 【施工-Ⅲ】 コンクリート打設

橋 梁 の 諸 元				
橋 梁 名	C橋 (上)	上 部 工 構 造 形 式	[単純+3径間連続+2径間連続]ポステン箱桁橋	
竣 工 年 度		調 書 更 新 年 月 日	2011年3月18日	点 検 回 数 2 巡 目
供 用 開 始 日	2003年2月28日	損 傷 状 況	主桁側面外側にエフロの析出を伴う変色箇所有り。	
損 傷 図				
損 傷 写 真				
<p>※写真で視認出来るもののみ赤で強調</p>		写 真 番 号	12	径間番号 3
<p>メ モ</p>		<ul style="list-style-type: none"> 主桁, Mg0101, 剥離・鉄筋露出 c 主桁, Mg0101, 漏水・遊離石灰 d 主桁側面の補修跡から遊離石灰の析出を伴った剥離が発生している。 		
損 傷 評 価				
部 材 名	主桁			
位 置 (部 位)	(2)支間1/4部			
損傷の番号と種類 (点検要領 表4.2.2)	(7)剥離・鉄筋露出			
損傷程度の区分 (点検要領 付録-1)	d			
ひび割れ方向	主桁ウェブ外側に発生			
最大ひび割れ長さ/幅 (m/mm)	-			
ひび割れ本数 (本)	-			
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	1巡目の点検調査には記載無し			
本報告書における初期変状事例の抽出				
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領 付録-1	新分類ひび割れパターン		
ひび割れパターン	(21) その他のひび割れ	【9】コンクリート表面の微細ひびわれ		
ひび割れ概要図	-			
推定される損傷程度	<ul style="list-style-type: none"> 主桁側面に変色箇所があり、エフロが析出している。 変色箇所は、打設時の締め固め不足 (ジャンカ) の可能性も考えられる。 2006年の1巡目の点検では、本損傷について記述されておらず、損傷が進行した可能性もある。 			

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その3

初期変状事例 : 事例6

該当する変遷調査項目 : 【施工-VI】 グラウト

橋 梁 の 諸 元					
橋 梁 名	C橋 (下)	上 部 工 構 造 形 式	[単純+3径間連続+2径間連続]ポステン箱桁橋		
竣 工 年 度	1990年	調 書 更 新 年 月 日	2011年3月18日	点 検 回 数	2 巡目
供 用 開 始 日	2003年2月28日	損 傷 状 況	主桁ウェブの斜め方向のひび割れ、エフロ析出		
損 傷 図					
損 傷 写 真					
		写 真 番 号	32, 33	径間番号	2
<p>※写真で視認出来るもののみ赤で強調</p>		メ	<p>モ</p> <ul style="list-style-type: none"> 主桁, Mg9101, ひびわれ c小大, 主桁, Mg9101, 漏水・遊離石灰 d 箱桁内部に遊離石灰の析出を伴ったひびわれが発生している。 		
損 傷 評 価					
部 材 名	主桁				
位 置 (部 位)	支間1/4				
損傷の番号と種類 (点検要領 表4.2.2)	(6) ひび割れ				
損傷程度の区分 (点検要領 付録-1)	c				
ひ び 割 れ 方 向	斜め方向				
最大ひび割れ長さ/幅 (m/mm)	(長さ) - (幅) -				
ひ び 割 れ 本 数 (本)	1				
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	箱桁内面未調査、箱桁外面損傷記録なし				
本報告書における初期変状事例の抽出					
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領 付録-1		新分類ひび割れパターン		
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(20) シースに沿って生じるひび割れ		【3】 シースに沿って生じるひびわれ		
ひ び 割 れ 概 要 図					
推定される損傷程度	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れから漏水と遊離石灰が発生している。 錆汁は発生していないものの、部材内部に水みちが形成されているため、内部鋼材が腐食していないとはいえない。 				

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その4

初期変状事例 : 事例9

該当する変遷調査項目 : 【設計-Ⅲ】 定着突起の設計

橋 梁 の 諸 元				
橋 梁 名	C橋 (下)	上 部 工 構 造 形 式	[単純+3径間連続+2径間連続]ポステン箱桁橋	
竣 工 年 度	1990年	調 書 更 新 年 月 日	2011年3月18日	点 検 回 数 2 巡 目
供 用 開 始 日	2003年2月28日	損 傷 状 況	主桁下床版に橋軸直角方向および放射方向のひび割れ	
損 傷 図				
損 傷 写 真				
<p>※写真で視認出来るもののみ赤で強調</p>	写 真 番 号	12	径 間 番 号	7
	メ モ	<ul style="list-style-type: none"> ・主桁, Mg0101, ひびわれ e大大 ・W=0.2mm ・主桁に橋軸方向のひびわれ (幅0.2mm以上)が発生している。 		
損 傷 評 価				
部 材 名	主桁			
位 置 (部 位)	支間1/4			
損傷の番号と種類 (点検要領 表4.2.2)	(6) ひび割れ			
損傷程度の区分 (点検要領 付録-1)	e			
ひ び 割 れ 方 向	橋軸直角方向および放射方向			
最大ひび割れ長さ／幅 (m / mm)	(長さ) — (幅)0.2			
ひ び 割 れ 本 数 (本)	8			
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	損傷記録なし (未発生 or 見落とし)			
本報告書における初期変状事例の抽出				
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領 付録-1	新分類ひび割れパターン		
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(16)PC鋼材定着部付近	【29】PC鋼材定着部 (定着突起) 付近		
ひ び 割 れ 概 要 図				
推定される損傷程度	<ul style="list-style-type: none"> ・下床版上面まで貫通していると推定される。 ・内部鋼材の腐食は発生していないか、重篤ではないと推定される。 			

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その5

初期変状事例 : 事例10

該当する変遷調査項目 : 【施工-V】 目地部

橋 梁 の 諸 元				
橋 梁 名	C橋 (下)	上 部 工 構 造 形 式	[単純+3径間連続+2径間連続]ポステン箱桁橋	
竣 工 年 度	1990年	調 書 更 新 年 月 日	2011年3月18日	点 検 回 数 2 巡 目
供 用 開 始 日	2003年2月28日	損 傷 状 況	箱桁内部の主桁側面に水平方向のひび割れ、エフロ発生	
損 傷 図				
損 傷 写 真				
	写 真 番 号	21	径間番号	9
	メ モ	・主桁, Mg9101, 漏水・遊離石灰 d ・箱桁内部に遊離石灰の析出が発生している。		
損 傷 評 価				
部 材 名	主桁			
位 置 (部 位)	その他			
損傷の番号と種類 (点検要領 表4.2.2)	(8)漏水・遊離石灰			
損傷程度の区分 (点検要領 付録-1)	d			
ひび割れ方向	-			
最大ひび割れ長さ/幅 (m/mm)	(長さ) - (幅) -			
ひび割れ本数 (本)	-			
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	箱桁内面未調査、箱桁外面損傷記録なし			
本報告書における初期変状事例の抽出				
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領 付録-1	新分類ひび割れパターン		
ひび割れパターン	(21)その他のひび割れ	【14】打継ぎ面に発生するひび割れ		
ひび割れ概要図	-			
推定される損傷程度	・単なる「汚れ」の場合は損傷として取り扱う必要はないものの、竣工後から発生したエフロである場合は、橋面からの水みち形成および打継目の肌別れ、内部鋼材の腐食が疑われる。			

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その6

初期変状事例 : 事例16

該当する変遷調査項目 : 【設計-IV】 水和熱の温度応力

橋 梁 の 諸 元				
橋 梁 名	J橋	上 部 工 構 造 形 式	ポステン3径間連続箱桁橋	
竣 工 年 度	2001年	調 書 更 新 年 月 日	2009年4月8日	点 検 回 数 1 巡目
供 用 開 始 日	2004年3月30日	損 傷 状 況	横桁開口部のひび割れ	
損 傷 図				
損 傷 写 真				
	写 真 番 号	97	径間番号	19
	メ モ	<ul style="list-style-type: none"> ・横桁, Cr9101, ひびわれ e 大大 ・W=0.3mm, L=300mm ・横桁開口部にひび割れが確認される。 		
損 傷 評 価				
部 材 名	横桁			
位 置 (部 位)	(3) 支点部 (隔壁 : 支間中央)			
損傷の番号と種類 (点検要領 表4.2.2)	(6) ひび割れ			
損傷程度の区分 (点検要領 付録-1)	e			
ひ び 割 れ 方 向	鉛直方向			
最大ひび割れ長さ/幅 (mm/mm)	0.3 0.3			
ひ び 割 れ 本 数 (本)	6			
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	-			
本報告書における初期変状事例の抽出				
※ 「(6) ひび割れ」 の場合のみ記載する	点検要領 付録-1	新分類ひび割れパターン		
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(21) その他のひび割れ	【25】 開口部の隅角部のひび割れ		
ひ び 割 れ 概 要 図	-			
推定される損傷程度	・漏水もなく内部の鋼材腐食はないものと推定される。			

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その7

初期変状事例 : 事例23

該当する変遷調査項目 : 【設計-VI】 乾燥収縮

橋梁の諸元				
橋梁名	N橋	上部工構造形式	5径間連結プレテンT桁橋×2セット	
竣工年度	2003年	調書更新年月日	2011年1月6日	
供用開始日	2003年	損傷状況	間詰め床版下面に橋軸直角方向のひび割れ	
損傷図				
<p style="text-align: center;">第1径間</p> <p style="text-align: center;">桁下面(1-1径間)</p>				
損傷写真				
	写真番号	5	径間番号	1-1
	メモ	<ul style="list-style-type: none"> 床版, Ds0701, 床版ひびわれ b W=0.05mm 前回調査からの進行はない 		
損傷評価				
部材名	床版			
位置(部位)	(1)支間中央部			
損傷の番号と種類(点検要領表4.2.2)	(6)ひび割れ			
損傷程度の区分(点検要領付録-1)	b			
ひび割れ方向	直角方向			
最大ひび割れ長さ/幅(m/mm)	0.180m(間詰め幅)/0.05mm			
ひび割れ本数(本)	最大8本/径間			
(2巡目以降の場合)1巡目状況	損傷あり(進行なし)			
本報告書における初期変状事例の抽出				
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領 付録-1	新分類ひび割れパターン		
ひび割れパターン	(21)その他のひび割れ	【22】床版下面に発生する橋軸直角方向ひび割れ		
ひび割れ概要図	-			
推定される損傷程度	ひび割れ幅は小さく、漏水もないことから貫通していないと推定される			

表-3.4.3 初期変状事例の抽出 その8

初期変状事例 : 事例24

該当する変遷調査項目 : 【施工-Ⅱ】 型枠

橋梁の諸元				
橋梁名	○橋	上部工構造形式	6径間連結プレート桁+2径間連結PCコン橋	
竣工年度	2003年	調査更新年月日	2010年11月18日	点検回数 1 巡目
供用開始日	2009年	損傷状況	ウェブ側に鉛直方向のひび割れ	
損傷図				
損傷写真				
	写真番号	12	径間番号	5
	メモ	・主桁, Mg0601, ひびわれ d大小 ・側面 0.2mm (拡大写真) ・主桁側面(型枠継ぎ目)にひび割れが発生している。なお、下面にはひびわれは見られない。		
損傷評価				
部材名	主桁			
位置(部位)	(2)支間1/4			
損傷の番号と種類(点検要領表4.2.2)	(6)ひび割れ			
損傷程度の区分(点検要領付録-1)	d			
ひび割れ方向	鉛直方向			
最大ひび割れ長さ/幅(m/mm)	(長さ)0.6 (幅)0.2			
ひび割れ本数(本)	1			
(2巡目以降の場合)1巡目状況	-			
本報告書における初期変状事例の抽出				
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領 付録-1	新分類ひび割れパターン		
ひび割れパターン	(21)その他のひび割れ	該当なし		
ひび割れ概要図	-			
推定される損傷程度	・下面にひび割れはなく、他に有害なひび割れが見られないことから、PC鋼材は破断していないと推定される。			

3.5 初期変状防止に向けた変遷調査結果の分析

3.5.1 概要

初期変状防止対策は、時代の変化に合わせて追加あるいは見直しが行なわれ現在にいたっており、その大筋を「3.3 変遷調査」で取りまとめた。また、橋梁点検結果で報告される変状事例について、「3.4 変状事例の確認」で把握するとともに主な変状事例の抽出を行った。これらの結果から、現在の初期変状防止技術がどの程度の対策レベルとなっているか分析を行う。変状事例の原因と変遷調査結果を照らしあわせることで、図-3.5.1 に示す6項目に分類し、更なる初期変状防止に向けた対策の方向性を示す。

分類	初期変状の実態	初期変状防止レベル	
分類 1	なし	初期変状防止対策がとれていると考えられるもの	高 ↑ ↓ 低
分類 2		新たな初期変状防止技術であり、その効果の確認段階にあるもの	
分類 3	あり	変状事例が確認されたが、基準の見落としや不適切な施工が原因と考えられるもの	
分類 4		初期変状防止技術はあるが、対策方法が標準化されていないもの	
分類 5		初期変状対策技術の改善や追加が必要であると考えられるもの	
分類 6		初期変状の原因が不明であるため、初期変状防止技術を示すことが困難なもの	

図-3.5.1 技術項目の分類

3.5.2 変状事例にもとづく初期変状防止技術の分析

設計および施工に関する11の項目ごとに、ひび割れパターンと表-3.4.2で抽出した代表的な変状事例を示し、変状事例の分析として【技術変遷による分析】と【変状事例からみる技術基準と対応例】を取りまとめることで初期変状防止レベルを図-3.5.1に示す6つに分類する。

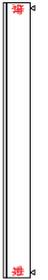
【技術変遷による分析】は、変状事例が確認された構造物の年代、構造形式の特徴および変状原因の詳細などを示し、技術変遷との関連性を述べる。また、【変状事例からみる技術基準と対応例】は、変状事例に関連のある技術基準の内容や変遷調査では示しきれていない内容を紹介するとともに、実務で行われている変状防止対策の例を示すことで、分類を行うための材料とする。

これらの取りまとめ内容を総合的に判断して分類した結果を表-3.5.1に示す。

表-3.5.1 分析結果一覧表 その1

初期変状事例		変状事例の分析		分類結果
抽出事例	ひび割れパターン	【確認件数】	【確認件数】	分類2
【設計-I】 腹圧の設計	事例9 	事例9 ※写真で確認出来るもののみ赤で強調	【技術変遷による分析】 変状事例の確認を行った橋梁の竣工年度は1990年～2004年であり、桁高変化のある箱桁橋で下床版にPC鋼材を配置している橋梁も含まれているが腹圧が原因と考えられる事例は確認できなかった。腹圧に関する内容が道路橋示方書に記載されたのは2002年(平成14年)以降であるが、示方書に示される以前から設計者の判断により、対応がなされていたと推察される。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 今後、変状事例の確認がされた場合は、その原因を分析して対策を講じるものと考えられる。	【コメント】 変状事例は確認できなかったが、道路橋示方書に示されてから10年程度であるため、今後の橋梁点検で事例の確認がされるか否かを監視していく必要があるものと判断して、『分類2』とした。
【設計-III】 定着突起の設計	事例16 	事例16 ※写真で確認出来るもののみ赤で強調	【技術変遷による分析】 定着突起に関する設計基準の内容は、昭和43年から現在に至るまで大きな見直しが行われていないため、事例も同様の設計が行われていたと考えられる。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 確認できた変状事例の場合、定着突起の設置位置をウェブから少し遠ざかる位置に設定し、定着突起の位置は、設計者の判断でウェブ付近に設定して安全性を高める対策がとられている。また、道路橋示方書では、立体的有限要素法等で補強方法を検討することが望ましいケースが紹介されているが、その判断は設計者の判断によってなされている。	【コメント】 道路橋示方書に簡易の設計手法や留意事項が示されている。しかし、変状事例が確認されたため初期変状防止のためには、新たな留意事項の追加やより美学的な内容の充実を図っていくことも必要と判断して、『分類4』とした。
【設計-IV】 水和熱の温度応力	事例20 	事例20 ※写真で確認出来るもののみ赤で強調	【技術変遷による分析】 変状事例の確認結果では、乾燥収縮に続いて2番目に多い項目であった。道路橋示方書の記載は、平成2年に留意事項が示され、平成14年および平成24年の改定では適用する資料の掲載により、具体的な初期変状防止対策がとられている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 温度応力による初期変状の防止対策は、道路橋示方書の施工の章に示されている。施工上の対応は、使用材料の選定、リフト高を抑えた打設計画および養生方法の工夫などがある。しかし、それだけでは対策が不十分な場合もある。ひび割れ幅を抑えるため、実際の施工を想定した温度応力解析を行い、その結果をもとにした補強筋の追加配置など、対策がなされているが物件毎の対応となっていない。	【コメント】 初期変状に対する技術は、施工方法のみの対策では不十分であったり、設計段階で対策を行なう場合に施工条件の設定が困難であったりするなど、多くの課題がある。さらに、ひび割れの養生自体を防止するためには更なる技術の向上が必要と判断して、『分類5』とした。
【設計-V】 定着部の支圧応力	事例22 	事例22 ※写真で確認出来るもののみ赤で強調	【技術変遷による分析】 変状事例が確認された4件は、すべて箱桁橋であった。ただし、3章に示しているようなプレテンT桁橋やボスステント桁橋にも同様な変状がみられる。基準類での記載は、昭和30年(1955年)から定着部の補強が示されている。平成8年の道路橋示方書に「外ケーブル構造」に関する内容が追加されたものの事例で見られる桁端部に示している内容は、現在においても大きな改定がされていない。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 基準には、定着部付近の引張部力発生位置の概要と補強筋の必要性が示されており、各定着工法の技術資料と合わせて対策がなされている。部材寸法が大きい箱桁橋の桁端部は、定着部の支圧応力に加えて温度応力の影響も合わせて受ける。そのため、複合的な要因も考慮して設計者の判断によって対策がなされている。	【コメント】 定着工法ごとに示される技術資料には、定着位置の部材縁端距離、定着間隔および補強筋の配置などが示されている。しかし、温度応力などの影響に関しては、設計者の判断でその対策が行われており、新たな留意事項の追加などを示していくことも必要と判断し、『分類4』とした。
【設計-VI】 乾燥収縮	事例23 	事例23 ※写真で確認出来るもののみ赤で強調	【技術変遷による分析】 変状事例のなかで最も多く確認された項目であった。事例23にみられるようなコンクリートを打継ぐことで生じるひび割れに対して、平成2年の道路橋示方書では、打継目付近の鉄筋は隣部よりも密に配置する記載がされており、現在においても同様の内容となっている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 示方書に鉄筋の配置を密にする記載はあるが、部材寸法、使用材料および現場の環境などによって乾燥収縮の程度が異なるため、鉄筋量を定量的に示すことが困難であると考えられる。鉄筋を追加配置する対策のほか、養生の工夫や混和材の使用なども考えられるが、これらの追加の対策は物件毎に個別に判断がなされている。	【コメント】 使用材料、養生方法および現場の環境などを考慮して、初期変状防止のための鉄筋量を定量的に示すことが望ましいが、乾燥収縮に加えて水和熱による体積変化も影響があるなど、設計手法の確立や部材寸法の影響の把握などの課題が考えられる。よって、ひび割れ発生自体を防止するためには更なる技術の向上が必要と判断し、『分類5』とした。

表-3.5.1 分析結果一覧表 その2

【施工-I】 支保工	初期変状事例		分析	分類結果
	抽出事例	ひび割れパターン		
【施工-I-I】 支保工	- 変状事例なし	- ひび割れパターン 変状事例なし	【確認件数】 0件 (事例の確認はなし) 【技術変遷による分析】 道路橋示方書では、昭和53年に示された留意事項が現在にまで大きな改定がなされていないが、支保工が主要因で生じた初期変状事例は確認されなかった。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 道路橋示方書に示される内容のほか、実務的な内容を示した技術資料などがあり、それらを合わせて初期変状の対策がなされている。	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。また、新たな対策技術でそれを確認する段階に該当するものがないため、 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止 できると判断し、『分類1』とした。 分類6
【施工-II】 型枠	事例24 	- 該当なし	【確認件数】 1件 【技術変遷による分析】 事例24は、新分類のひび割れパターンにある型枠が原因と考えられるもの(型枠の強度不足や早期の脱枠が主な原因)に該当していない。昭和36年の指針には、型枠がコンクリートの収縮を防ぐことで生じるひび割れについて記載がある。当時用いられていた型枠材は、現在の合板とは異なるが、事例24のような型枠目地を起点としたひび割れ対策に当てはまる可能性も考えられる。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 昭和36年の指針に示された内容は、工場ごとの対策となっており、前後の変遷を確認しても同様な内容は示されていない。実際には、工場ごとの対策となっている可能性がある。	【コメント】 新たに分類したひび割れパターンに該当するものが割れと異なっている点、および、その原因がはっきりと判明していない点から、初期変状防止対策を示すことが困難である。同様な事例の存在について確認を行い、 原因の分析を行なうことが必要 と考えられるため、『分類6』とした。
【施工-III】 コンクリート 打設	事例3 	新分類 【17】 	【確認件数】 5件 【技術変遷による分析】 5件の事例は、その原因が締固め不良によるものであり共通していた。コンクリートの締固めに關しては、内部振動機に加えて型枠振動機を併用するなどの記載が昭和53年の示方書から示され、現在に至っている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 道路橋示方書には、打設時の人員配置、内部振動機の挿入間隔と打ち重ね時の挿入深さなどが示されている。実際の施工では、確実な施工を徹底することで変状事例の発生を防止している。	【コメント】 コンクリート打設は、示方書や指針など技術基準に従って確実な施工を行えば、初期変状の防止が可能であると考えられる。しかし、再発防止には、 再発防止には施工者の技術レベルの向上に向けた教育・訓練が重要 であると判断し、『分類3』とした。 分類3
【施工-IV】 養生	- 変状事例なし	- 変状事例なし	【確認件数】 0件 (事例の確認はなし) 【技術変遷による分析】 昭和53年のコンクリート標準示方書に示された湿潤養生とその実施期間は、現在の施工基準でも示され、現場施工においてもその重要性が認識されている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 昭和53年以降も、養生水に海水を用いないこと、および低温時の床版に関する養生の内容などが追加されており、これらの内容は、不適切な養生水の使用防止やより確実な養生方法が示されることで初期変状防止対策の強化がなされている。さらに、確実な養生に向けた現場工事の工夫などもなされている。	【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。また、効果を確認する段階の新技術の項目がないと判断した。現状の対策技術を 確実に実施することで初期変状の防止が可能 と判断し、『分類1』とした。
【施工-V】 目地部	事例10 	新分類 【14】 	【確認件数】 1件 【技術変遷による分析】 事例10は、水平打継部のレイタンス処理の不具合により、モルタル分が溶解して析出した可能性が考えられる。レイタンスを取り除いてコンクリートを打継ぐ記載は、昭和24年から示されており、古くからその重要性が示されて現在に至っている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 打継処理は、遅延剤の使用と洗い出し仕上げによる方法が一般的であり、道路橋示方書にも解説が示されている。確実な施工を徹底することで変状事例の発生を防止している。	【コメント】 確実な施工を行えば初期変状の防止は可能であると考えられる。しかし、再発防止には、レイタンス処理の 重要性を周知することや教育の徹底が重要 であると判断し、『分類3』とした。 分類3
【施工-VI】 グラウト	事例16 	新分類 【3】 	【確認件数】 2件 【技術変遷による分析】 事例16は、グラウトホースを集中して配置するためにできた水みちからの浸水によるものと考えられる。この橋梁は、1990年に竣工しており技術基準はそれ以前のものにもついで施工が行われていた。最新の指針である平成24年PCグラウトの設計施工指針(PC工学会)には、グラウトホースを束ねて配置することを避ける事が示されている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 多数あるグラウトホースの配置は、ホース間のあきを粗骨材最大寸法の4/3以上確保すること、および束ね配置の危険性が示されており、それに従った施工により対策がなされている。	【コメント】 グラウトに関する技術は、古くからその時々々に生じた問題や改良された材料・機材などを反映して改定がなされている。左記に示すH24年の指針においても新たな知見を取り入れた不具合防止対策が示されており、 今後の橋梁点検で事例の確認がされるか否かを監視 していく必要があるものと判断し、『分類2』とした。 分類2

3.5.3 更なる初期変状防止に向けた対策の方向性

今回の調査範囲において変状事例が確認できなかったものは、腹圧の設計、支保工、養生であり、分類1または分類2となる。グラウトは、変状事例の確認があったが近年の指針において対策が実施されていることから分類2としている。分類1および分類2に該当するのは、積極的な対策を講じる必要のないものに位置づけられる。

分類3は、基準の見直しは伴わないが実務者へ周知や教育を行なうことで更なる初期変状防止につながると考えられるものである。分類4から分類6に関しては、現状の初期変状防止レベルに応じて、標準化に向けた基準への反映(分類4)、変状防止技術のレベル向上(分類5)、および原因究明のうえで確立すべき対策技術(分類6)、などと積極的な技術基準へのアプローチによって、初期変状防止に繋がる項目である。

初期変状防止技術の現状のレベルを把握するとともに、レベルに応じた更なる初期変状防止に向けた対策の方向性を図-3.5.2に示す。

分類	初期変状の実態	初期変状防止レベル	分類結果	更なる初期変状防止に向けた対策の方向性
分類1	なし	初期変状防止対策がとれていると考えられるもの	【施工-I】支保工 【施工-IV】養生	今後、定期点検による初期変状事例が報告される場合を想定して継続した監視を行う
分類2		新たな初期変状防止技術であり、その効果の確認段階にあるもの	【設計-II】腹圧の設計 【施工-VI】グラウト	初期変状の防止効果を確認し、必要に応じて改善などの検討を行う
分類3	あり	変状事例が確認されたが、基準の見落としや不適切な施工が原因と考えられるもの	【施工-III】コンクリート打設 【施工-V】目地部	実務者への周知の徹底や教育により、人為的ミスを減らすための対策を講じる
分類4		初期変状防止技術はあるが、対策方法が標準化されていないもの	【設計-III】定着突起の設計 【設計-V】定着部の支圧応力	個別の技術から標準化へ向けた対策を進める
分類5		初期変状対策技術の改善や追加が必要であると考えられるもの	【設計-IV】水和熱の温度応力 【設計-VI】乾燥収縮	現状の技術で不十分な点を洗い出し、対策を講じることで技術レベルの向上を図る
分類6		初期変状の原因が不明であるため、初期変状防止技術を示すことが困難なもの	【施工-II】型枠	原因の究明と対策技術の確立を進める

図-3.5.2 分類結果による対策の方向性

3.6 まとめ

初期変状に着目した設計および施工に関する技術の変遷調査を通じて、現状の初期変状防止レベルの分析を行った結果を以下に示す。

- ・ 31 種類のひび割れパターンの原因分析から、初期変状に関するキーワードを抽出した結果、設計技術では、①腹圧の設計、②定着突起の設計、③水和熱の温度応力、④定着部の支圧応力、⑤乾燥収縮の 5 項目、施工技術では、①支保工、②型枠、③コンクリート打設、④養生、⑤目地部、⑥グラウトの 6 項目が抽出された。
- ・ 初期変状に関する 11 の項目の技術の変遷調査を行った結果、全ての項目について、技術基準に言及のあることが確認できた。ただし、示される年代や現在に至るまでの見直し頻度などは項目ごとに差が見られた。
- ・ 国の定期点検結果で対策区分の判定において C 判定と報告された 19 橋の点検調書から、初期変状に該当する事象があるか確認を行った結果、初期変状に関する 11 項目のうち 8 項目に関する変状が報告されていた。
- ・ 点検調書で報告があった変状事例をもとに現状の初期変状防止レベルを分析した結果、実務者への周知により対策が行えるものもあるが、個別に対応していた技術の標準化や更なる技術レベルの向上が望まれるものもあり、現状の基準への反映や内容の見直しによって、更なる初期変状防止対策に繋がる可能性を確認した。

次章において、現行基準の詳細調査に加えて学会などの文献調査から、初期変状防止対策の事例を抽出し、更なる技術基準等での対策の可能性について探る。