

安全で長持ちするPC橋を目指して ～長期保証制度を活用した PC橋の長寿命化に向けた取り組み～

柴田秀史¹・森山裕貴¹

¹道路部 道路工事課（〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1）

PC橋は、橋梁点検結果によると一部の橋梁の桁端部でひび割れが発生している状況である。桁端部のひび割れ抑制は、PC橋の長寿命化に繋がるものと考えられるため、保証期間を定めた長期保証制度の調達方式を試行した。試行工事は、制度設計から施工完了まで有識者委員会にて助言を頂きながら、長期保証の履行を確認できた。本稿では、上記の取り組みと考察を報告するとともに、今後のあり方について言及する。

キーワード：橋梁の長寿命化、予防保全、長期保証

1. はじめに（PC橋の現状・課題）

中部地方整備局管内のPC橋の内訳は、PC橋1235橋の内、約3割の355橋がポストテンション方式の橋梁である（図1）。

PC橋のひび割れ状況（平成25年度）において、初回定期点検結果によるとPC橋における初期ひび割れは、プレテンション方式（以下、プレテン橋梁）とポストテンション方式（以下、ポステン橋梁）を比較すると、ポステン橋梁にひび割れが多く発生している（図2）。

PC橋の竣工検査時には、0.2mm以上のひび割れは確認されていない。しかし、竣工後約3年経過のポステン橋梁の内、約20%の橋梁上部工で0.2mm以上のひび割れが確認されている（図3）。このひび割れの約85%が桁端部で、内部拘束及び乾燥収縮に起因するひび割れであることが判明した。この状況からポステン橋梁に着目し、ひび割れ状況を分析した。

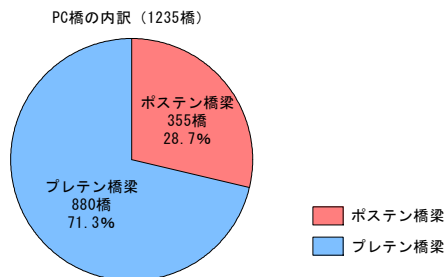


図1. 中部地整管内におけるPC橋の内訳

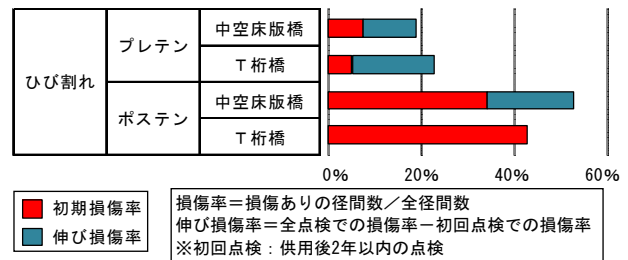


図2. PC橋における主桁の損傷率（平成25年度）

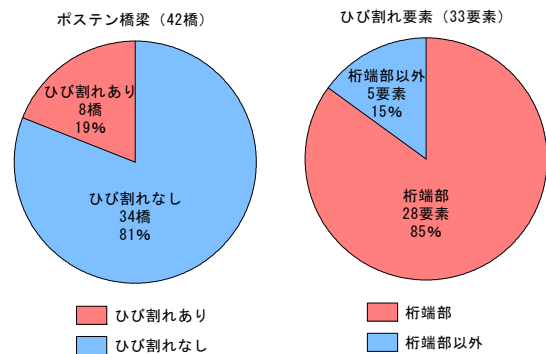


図3 部位におけるひび割れ要素

2. 長期保証に関する指標

(1) 対策検討

先に述べたとおり、竣工後3年程度で、約20%の橋梁にひび割れが生じ、そのうち約85%が、桁端部（RC部）にひび割れが生じていることが判明している。桁端部は伸縮部等からの漏水などを受ける過酷な環

境下にある（写真1）。ひび割れは、初回点検と全点検で発生割合はほぼ同じであることから（図4）、初期のひび割れを抑制すれば、後の橋梁点検でもひび割れ数は少なくなると想定した。このことから、初期のひび割れを抑制することでポステン桁全体の品質を向上し、PCの長期保証として課題解決に向けて、以下のとおり取り組んだ。



写真1. 桁端部のひび割れ状況

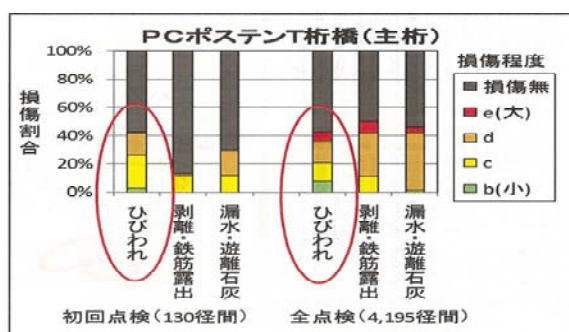


図4. ひび割れ発生割合

(2) 長期保証とは

PC橋における長期保証とは、一定期間後の耐久性を確認し、瑕疵ではないものの耐久性に懸念がある場合は、施工者に回復措置を求めるものである（図5）。

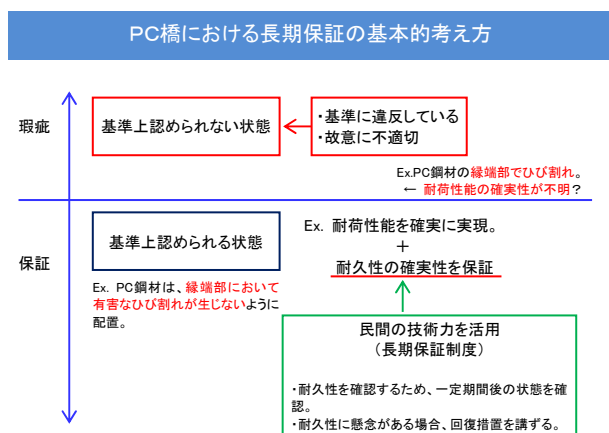


図5. 瑕疵と保証

これらを踏まえ中部地方整備局では、ポステンPC橋工事において、竣工後数年におけるコンクリートのひび割れ抑制を保証基準として設定する新

たな調達方式の試行を行い、その有効性と実現可能性を検証することとした。そこで、試行工事の具体的な実施方法を検証するにあたり「PC橋の長期保証に関する検討委員会（以下、検討委員会）」を設立し、技術面・契約制度面を学識経験者や専門家等から助言・指導を頂き、次のとおり保証指標を決定した。

(3) 長期保証の保証指標

a) 保証対象部位

橋梁点検結果からPC橋の桁端部には損傷が多く生じていることが判明している。桁端部は、PC定着部があり構造上重要であると共に、伸縮部からの漏水等、水の影響を受け易く、腐食環境であるため、ひび割れの防止が求められる。道路橋示方書によれば、プレストレス力の広がり角度 β については、 $\tan \beta = 2/3$ とすることが望ましいとされている。¹⁾そのため、 $\beta = 33^\circ 40'$ のPC影響範囲を外した部位を保証対象として設定することとした（図6）。

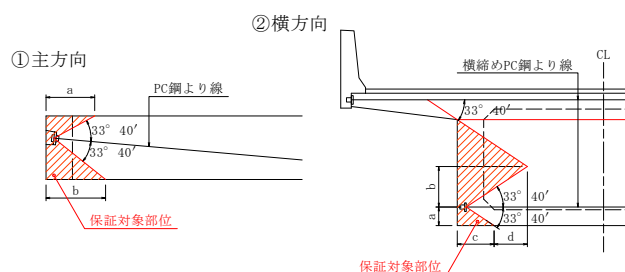


図6. プレストレス力の影響範囲

b) 保証期間

保証期間は、土木学会論文集「高強度域を考慮した乾燥収縮ひずみ及びクリープ予測式の提案」より、コンクリート打設から概ね3年程度で収縮応力が収束していること（図7）、及び、竣工から供用開始まで約1年（舗装工事等）を要し、初回点検までの2年間を含めた「竣工検査から3年後を品質確認時期」とした。

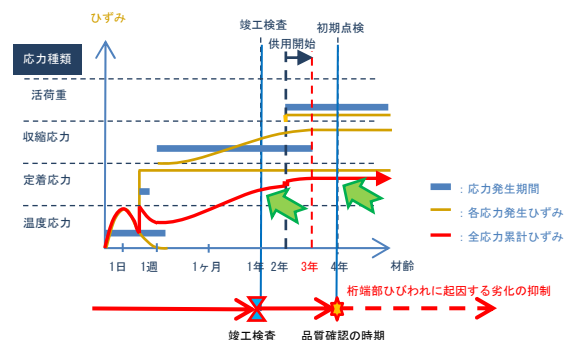


図7. 応力発生イメージ

c) 保証指標値

鋼材腐食の観点から、一般的に雨水浸入の影響が大きいとされるひび割れ幅が0.2mm以上とされていること、また、土木工事特記仕様書（中部地方整備

解説 表 10.6.1 水密性に対するひび割れ幅の限界値の目安 (mm)		
要求される水密性の程度	高い水密性を確保する場合	一般の水密性を確保する場合
卓越する	—(1)—	0.1
断面積	曲げモーメント(2)	0.2

(1) 断面力によるコンクリート応力は全断面において圧縮状態とし、最小圧縮応力度を 0.5 N/mm^2 以上とする。
 なお、詳細箇所になり検査が行われる場合には、別途定めることとする。
 (2) 空容積率を算出する場合には、引張弾力率が卓越する場所に準じることとする。

d) 保証期間中の調査方法

[illegible]

3. 試行工事の実施

(1) 施工方法の確認

a) 桁コンクリート打設予定時期

- ・平成25年度 23号岡崎BP藤井高架橋PC上部工事：平成26年6月～平成26年10月
- ・平成25年度 41号上切高架橋PC上部工事：平成26年7月～平成26年9月
- ・平成25年度 1号笹原山中BP1号橋PC上部工事：平成26年12月～平成27年2月

b) 保証対象部位施工方法

施工者が検討・実施した、保証対象部位の主な施工時の対策を以下に示す（図10）。

対策①：温度応力解析によるひび割れ補強

実際に使用するコンクリートの配合及び施工時期を考慮して、3次元FEM解析による温度応力解析を行い、補強鉄筋を配置することで初期ひび割れ発生の抑制を図る。

対策②：コンクリート温度計測および断熱養生シート等による養生

水と熱によるコンクリート内部の温度上昇が下降に転じたことを確認した後に保証対象部位に高い保温性がある断熱養生シートを型枠上から設置する。

対策③：コンクリート温度計測による型枠取り外し時期の決定

コンクリート打設後の脱型時期の決定は、コンクリート強度を確認すること及びコンクリート内部と外気温との温度差が 20° 以下になったことを確認した後に行う。これにより、脱型時の急冷による大きな温度差に起因するひび割れの発生を抑制する。

対策④：使用プラントの配合設計を見直し

主桁コンクリート配合の性能照査をコンクリート充填に最適なワーカビリティ及びポンパビリティの照査を行い、使用プラントの配合設計を見直し、単位セメント量、単位水量の低減、すなわち乾燥収縮及び温度ひび割れの低減を検討する。

対策⑤：浸透性コンクリート改質材等の塗布

保証部位の脱型後、コンクリート表面に塗布型高性能収縮低減剤や浸透性コンクリート改質材を塗布することで、初期の乾燥収縮を低減し微細なひび割れを抑制する。

対策⑥：PC鋼材定着部に対する補強

3次元FEM解析によりPC鋼材の定着による影響を把握し、切り欠き部などに適切な補強鉄筋を配置する。

対策⑦：特殊バイブレーターの使用

保証対象部位は、支承やPC鋼材定着部な

どの鉄筋により、過密な状態でのコンクリート打設となるため、高周波バイブレーター等の使用を検討する。

工事名 受注者名 対策概要		平成 25 年度 23号岡崎BP藤井高架橋 PC 上部工事 (株)安部日鋼工 業	平成 25 年度 41号上切高架橋 PC 上部工事 大日本土木(株)	平成 25 年度 1号笹原山中BP1 号橋 PC 上部工事 (株)安部日鋼工 業
橋種		PC7 径間連続中 空床版橋	PC7 径間連続中 空床版橋	PC2 径間連続ラ ーメン箱桁橋
温度ひ び割れ 対策	① 温度応力解析によるひび割れ補強	● 補強筋配置 (0.1t)	● 補強筋不要	● 補強筋配置 (0.4t)
	② コンクリート温度計測および断熱養生シート等による養生	● 保温養生	● 保温養生	● 保温養生
	③ コンクリート温度計測による型枠取り外し時期の決定	● 外気温 20℃以下	● 外気温 20℃以下	● 外気温 20℃以下
乾燥収 縮対策	④ 使用プラントの配合設計を見直し	—	● 単位セメント量 および単位水量 の低減	● セメントの変更 (早強から普通) ・膨張材追加
	⑤ 浸透性コンクリート改質材(含浸材)等の塗布	● 改質材塗布 (けい酸塩系)	● 高性能収縮低減 材塗布	● 改質材塗布 (けい酸塩系)
	⑥ 桁端部付近のひび割れ補強	●※ 補強筋配置 (0.3t)	● 補強筋配置 (1.2t)	● 補強筋配置 (0.4t)
その他 ひび割 れ対策	⑦ 特殊バイブレーターの使用	● 鋼材過密部に使用		

※藤井高架橋：【PC 鋼材定着部・桁端部に対する補強】先行施工の PD14 桁端にひび割れが発生したため、施工者が3次元 FEM 解析を実施し、PD7 桁端に補強鉄筋を増設

図 10 保証対象部位の対策について

(2) ひび割れ結果

試行工事の結果、藤井高架橋と上切高架橋ではひび割れが発生したが、笹原山中 1 号橋ではひび割れは発生しなかった(図 11)。

藤井高架橋では、竣工時から対象部位の桁端部4カ所にひび割れが発生した。竣工後1～3年では、進行速度は緩やかになり、ひび割れ幅の進展はなかった(図 12)。

上切高架橋においては、竣工から2年後に幅 0.05mm のひび割れが発生したが、3年後のひび割れ調査では、ひび割れ長さ及びひび割れ幅に進展はなかった(図 13)。

藤井高架橋の初期ひび割れについては、片持床板部(サークルハンチ部)の下面が「片持床板と主版との温度差及び乾燥収縮差等によって発生する引張応力を抑制するため用心鉄筋を配置する」と道路橋示方書に規定があり、ひび割れが発生しやすい部位であると考え(図 14)。また、桁端部の PC ケーブル定着位置について本橋は桁高が低く、PC ケーブルは支承アンカーとの干渉を避けるために一段定着せざるを得ない構造をしている。したがって、桁端部の PC ケーブル定着位置は、ひび割れが発生しやすいと考える(図 15)。

ひび割れ状況	ひび割れ
平成25年度 23号岡崎BP藤井高架橋PC上部工事	あり(竣工時から)
平成25年度 41号上切高架橋PC上部工事	あり(竣工後2年から)
平成25年度 1号笹原山中BP1号橋PC上部工事	なし

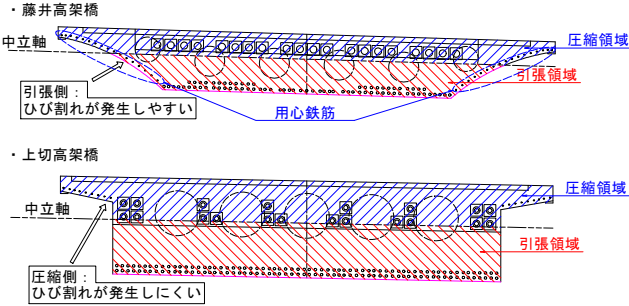
図 11 各工事のひび割れ状況

ひび割れ結果					
平成25年度 23号岡崎BP藤井高架橋PC上部工事					
場所		竣工時	1年後	2年後	3年後
PD14 L側	最大幅	0.1mm	変化なし	変化なし	変化なし
	最大長さ	1450mm	+200mm	+110mm	変化なし
PD14 R側	最大幅	0.15mm	変化なし	変化なし	変化なし
	最大長さ	1700mm	+60mm	+70mm	変化なし
PD7 L側	最大幅	0.05mm	変化なし	変化なし	変化なし
	最大長さ	1000mm	変化なし	+280mm	変化なし
PD7 R側	最大幅	0.05mm	変化なし	変化なし	変化なし
	最大長さ	1030mm	+150mm	+65mm	+25mm

図 12 ひび割れ結果(藤井高架橋)

ひび割れ結果					
平成25年度 41号上切高架橋PC上部工事					
場所		竣工時	1年後	2年後	3年後
P2 L側	最大幅	—	—	—	—
	最大長さ	—	—	—	—
P2 R側	最大幅	—	—	—	—
	最大長さ	—	—	—	—
P9 L側	最大幅	—	—	0.05mm	変化なし
	最大長さ	—	—	1870mm	変化なし
P9 R側	最大幅	—	—	—	—
	最大長さ	—	—	—	—

図 13 ひび割れ結果(上切高架橋)



※中立軸の位置はイメージを表すものである。
図 14 断面図

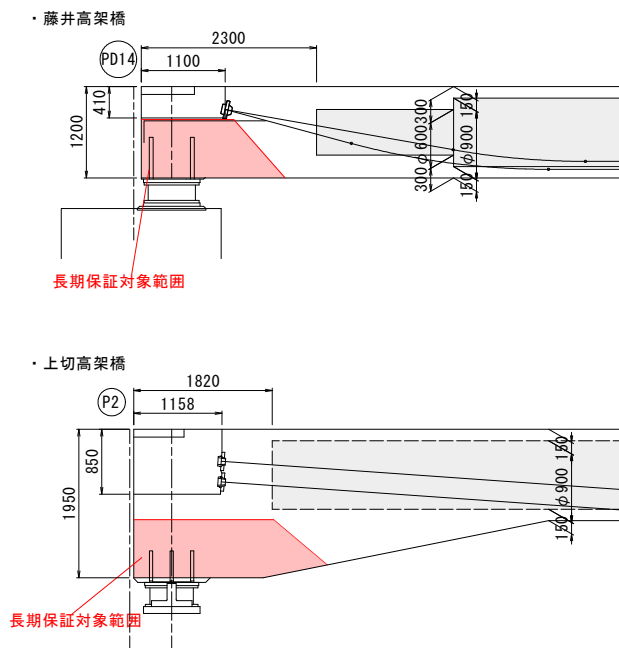


図 15 側面図

(3) まとめ

今回の試行工事では、3橋とも竣工後3年経過で最大ひび割れ幅は0.15mm以下であり、竣工後3年のひび割れ幅を保証指標値である0.2mm以下に制御できた。これにより、施工方法の工夫をし、丁寧に施工を行うことで、ひび割れを抑えられることがわかった。また、今回の試行工事における成果は以下のとおりである。

1. 長期保証対象部位の桁端部RC部において、保証指標値を施工の工夫及び設計照査にて制御できた。
2. 試行工事の実施において、長期保証の仕様書明示や費用負担方法など、調達方法は問題なく履行できた。
3. ひび割れが生じた例として、構造も発生要因の一つとして考えられることもあり、施工の工夫のみで改善を求めることが困難な場合もあることが判明した。

4. 今後の進め方

試行工事の結果より、構造要因に起因すると思われるひび割れもあり、構造によっては、施工の工夫のみでひび割れ発生を抑制することが困難な場合もあることがわかった。そのため、設計段階からひび割れを制御する方法の検討が必要である。

今後は、試行工事で設定したRC部竣工後3年、ひび割れ幅0.2mm以下という評価指標値の対策案が長期的な品質保証に有効に寄与するか引き続き検証を行っていく予定である。具体的には、試行実施工事

と未実施工事の定期点検結果を比較検討し、各対策方法の妥当性を比較検討するために、今後も試行工事を発注し、データの蓄積及び検証を行うべきであると考えている。

5. おわりに

我が国の経済活動の基盤を成すインフラであるが、少子高齢化社会が進む中で、そのインフラ維持管理にかかる予算が今後、十分に確保出来ないことが想定される。

そのような状況の中、コスト削減を図るためインフラの長寿命化が求められており、今回、長期保証の試行工事を実施した。引き続き長寿命化に向けた取り組みを行っていき、PC橋だけではなくインフラ全体の維持管理コスト削減に繋がることを期待している。

参考文献

- 1) 「道路橋示方書・同解説」 平成24年3月
- 2) コンクリート標準示方書〔設計編〕 2012年