

PC橋の断面修復に関する実験的研究 (その2)

—断面修復後の追加プレストレスの経時変化—

三井住友建設 (株) 技術研究所 正会員 工修 ○三加 崇
 中日本高速道路 (株) 中央研究所 博(工) 本間 淳史
 中日本高速道路 (株) 中央研究所 正会員 工修 横山 和昭
 三井住友建設 (株) 技術研究所 正会員 工修 玉置 一清

1. はじめに

断面修復部に対する重要な要求性能として、有害なひび割れを生じさせないことが挙げられる。PC構造物に対して断面修復を行う場合、建設当初の性能まで回復させるためには、プレストレスが導入されていない断面修復部にも設計荷重時までひび割れが生じないという、かなり厳しい要求水準が求められることになる。その1つの方策として、その1の論文¹⁾で述べたように、断面修復材の配合から再検討を行い、膨張材を添加する等によりケミカルプレストレスを積極的に活用する方法もあるが、新配合の断面修復材における施工性の検証実験の実施やケミカルプレストレスの算定手法など課題は多い。そのため、断面修復部のひび割れ抵抗性を向上させるための最も確実な方策として、外ケーブルによりプレストレスを追加導入する工法が考えられる。しかし、プレストレスを導入する部材には早強コンクリートが用いられることが一般的であり、断面修復材のように弾性係数が小さいポリマーセメントモルタルにプレストレスを導入した例は少ない。本報告は、その1の論文¹⁾で実施したものと同一梁試験体において、断面修復後にプレストレスを追加導入した場合の経時変化および暴露後の曲げ載荷試験により、プレストレスの導入効率について検証を行ったものである。

2. 実験概要

図-1および図-2に、梁試験体の寸法および断面図を示す。断面修復後の追加プレストレス導入は、中央に配置したφ36mm鋼棒を再緊張することで、外ケーブルによる後補強を模擬している。表-1に試験体の緊張力を示している。case1およびcase3は、その1と同じ試験体である。実験手順を図-3に示す。断面修復材は、表-2に示す一般的な材料1と膨張材を増量した材料2について実施した。写真-1に再緊張時の状況を示す。

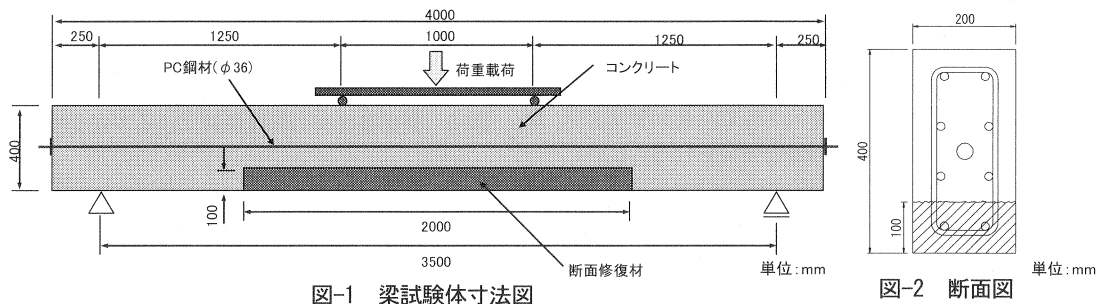


図-1 梁試験体寸法図

図-2 断面図

表-1 試験体種類

試験体種類	材料種類	導入緊張力		
		断面修復前	断面修復後	合計
case1	材料1	323kN	—	323kN
case2			+400kN	723kN
case3	—		323kN	
case4	材料2		+400kN	723kN

表-2 断面修復材の配合

材料種類		ポリマー混入量	膨張材
材料1	ポリマーセメントモルタル	C×7~9%	C×4~6%
材料2	ポリマーセメントモルタル+膨張材増量	C×7~9%	C×7~9%

※C:セメント質量

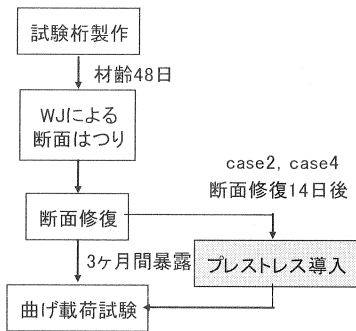


図-3 実験手順

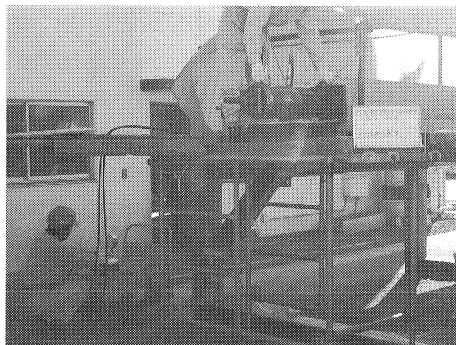


写真-1 プレストレス導入状況

図-4 に、断面修復材の材齢と材料1における圧縮強度の関係を示す。材料2の圧縮強度試験および材料1, 材料2の弾性係数試験は、材齢28日のみでしか実施していないため、ここでは、材料1の材齢28日における圧縮強度との比率と同様に、弾性係数が推移しているものと仮定して検討を行っている。

3. 実験結果

3.1 断面修復後のプレストレス導入効果

(1) FEMによる解析結果

図-1の梁試験体をFEMでモデル化して算出した追加プレストレス導入により下縁に発生する圧縮応力と断面修復材の弾性係数との関係を図-5に示す。100mmのはつりを行った場合、解析結果によると弾性係数がコンクリートの半分程度であったとしても、下縁に導入される圧縮応力は、コンクリートと同程度の弾性係数である場合の80%程度導入されることがわかる。

図-6に、断面修復(吹付け)を完了してから追加プレストレスを導入するまでの材齢と下縁応力の関係を示す。今回使用したポリマーセメントモルタルは比較的強度発現が早く、断面修復後7日程度の養生を行えば、追加プレストレスの導入は可能と考えられる。しかし、一般的に、断面修復材(ポリマーセメントモルタル)の強度発現速度は遅いことが考えられるので、追加プレストレスの導入時期には十分な検討が必要である。

(2) 実測値との比較

本実験では断面修復完了後14日間の養生を行った後に、PC鋼材の再緊張を行うことによって、断面修復部に追加プレストレスの導入を行っている。追加プレストレスの導入による試験体中央断面におけるひずみ増加分の断面分布を図-7に示す。

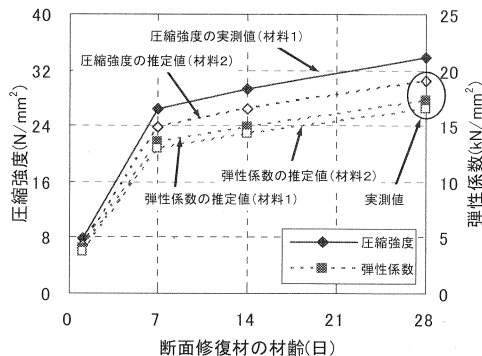


図-4 圧縮強度および弾性係数の経時変化

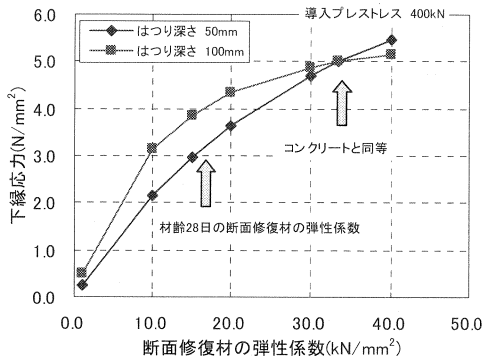


図-5 断面修復材の弾性係数による下縁発生応力

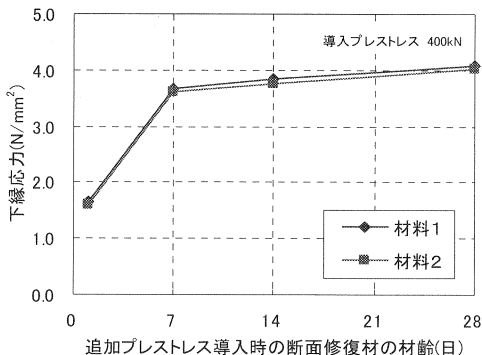


図-6 導入材齢と下縁発生応力の関係

図-7より、プレストレス導入時における断面修復材の弾性係数は 15kN/mm^2 程度であったものと推定され、ひずみの実測値と計算値はよく一致する。このときの応力分布の計算値を図-8に示すが、下縁に導入された応力は 3.8N/mm^2 であると推定できる。

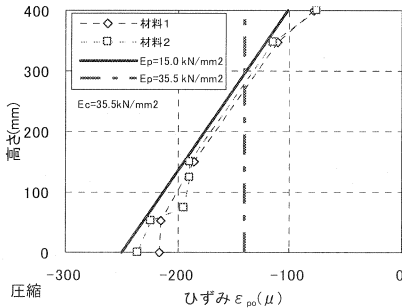


図-7 中央断面のひずみ分布

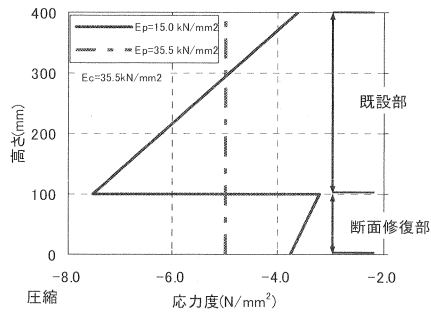


図-8 中央断面の応力分布

3.2 暴露試験結果

図-9、図-10に追加プレストレス導入以後における最下段(断面修復部内)鉄筋のひずみ履歴を示す。case1およびcase3は、断面修復材の乾燥収縮が拘束されたひずみであり、case2とcase1およびcase4とcase3の差が追加プレストレスによるクリープひずみとなる。ここで、クリープひずみが既設桁に拘束されることによって生じる引張応力すなわち追加プレストレスの損失による応力を式(1)により推定した。材齢90日における追加プレストレスの有効率(残留したプレストレス/導入プレストレス)は表-3となり、おおよそ半減するものと推測された。

$$\Delta\sigma_p = \frac{\varepsilon_{p0} \cdot \varphi_{pcm} - \varepsilon_{ppcm}}{2} \times \frac{E_{pcm}}{1 + \varphi_{pcm}/2} \quad (1)$$

ここで、 ε_{p0} : 追加プレストレス導入時の断面修復材ひずみ (図-5)

φ_{pcm} : 断面修復材のクリープ係数 (材齢90日で2.8)¹⁾

ε_{ppcm} : 拘束状態における追加プレストレスによるクリープひずみ

E_{pcm} : 断面修復材の弾性係数

①: 拘束された乾燥収縮ひずみ

②: 拘束状態における追加プレストレスによるクリープひずみ ε_{ppcm}

③: 無拘束状態における追加プレストレスによるクリープひずみ

④: 引張応力となるクリープ拘束ひずみ

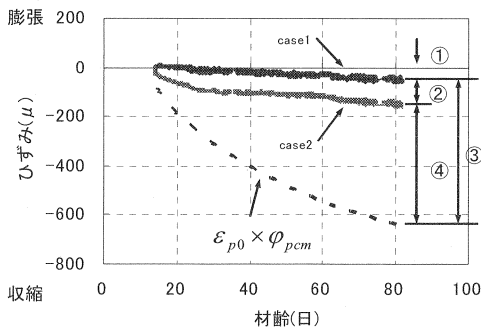


図-9 断面修復材中の鉄筋ひずみ(材料1)

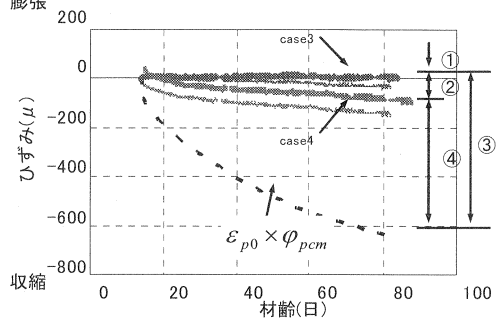


図-10 断面修復材中の鉄筋ひずみ(材料2)

表-3 追加プレストレス有効率

材料種類	追加プレストレス導入時の下縁応力 σ_p (N/mm ²)	クリープにより損失した下縁応力 $\Delta\sigma_p$ (N/mm ²)	残留したプレストレスによる下縁応力 $\sigma_p - \Delta\sigma_p$ (N/mm ²)	プレストレス減少率 $\gamma_{pc} = (\sigma_p - \Delta\sigma_p) / \sigma_p$
材料1	3.8	2.0	1.8	53%
材料2	3.8	2.0	1.8	53%

3.3 暴露後の曲げ載荷試験

3ヶ月の暴露後、梁試験体の曲げ載荷試験により、表-3の検証を行った。図-11、図-12に、載荷曲げモーメントと中央たわみの関係を示す。ひび割れ発生荷重は断面修復後に追加プレストレスの再導入したcase2およびcase4の方が35%程度高くなっていることがわかる。ひび割れ発生時の下縁応力から推定した残留プレストレスによる下縁応力を表-4に示す。3ヶ月の暴露により、導入時の追加プレストレスによる応力は60~70%に減少したものと推定され、追加プレストレスの有効率は式(1)で推定したもののよりは若干高い結果となったが、損失が早期において比較的大きいことが伺える。

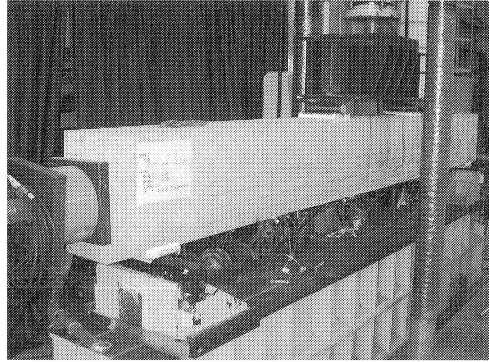


写真-2 曲げ載荷試験状況

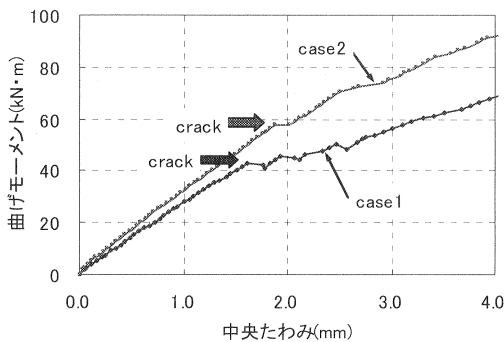


図-11 曲げ載荷試験結果(材料1)

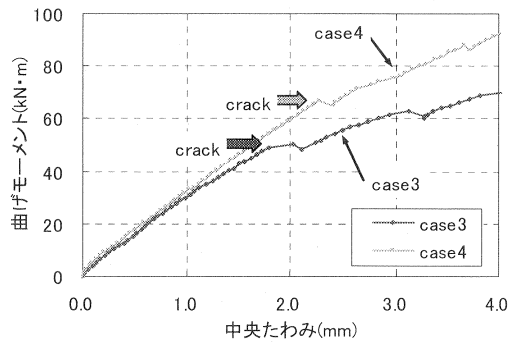


図-12 曲げ載荷試験結果(材料2)

表-4 曲げ載荷試験による追加プレストレス有効率

材料種類	追加プレストレス 導入時の下縁応力 σ_p (N/mm^2)	ひび割れ発生荷重時の 推定される下縁応力		残留したプレストレス による下縁応力 $\sigma_{pm2} - \sigma_{pm1}$ (N/mm^2)	プレストレス有効率 $\gamma_{pm} =$ $(\sigma_{pm2} - \sigma_{pm1}) / \sigma_p$	$\gamma_{pm} / \gamma_{pc}$
		case1 σ_{pm1} (N/mm^2)	case2 σ_{pm2} (N/mm^2)			
材料1	3.8	6.1	8.3	2.2	58%	1.23
材料2	3.8	6.9	9.4	2.5	66%	1.32

4. まとめ

- (1) 既設桁の50%程度の弾性係数を有するポリマーセメントモルタルに、材齢14日で追加プレストレスを導入すると、既設桁に導入したと想定した場合の80%程度の圧縮応力が導入されることが分かった。
- (2) クリープおよび乾燥収縮により、材齢90日において追加プレストレス導入時の圧縮応力が50~70%に減少することが分かった。

参考文献

- 1) 横山, 本間, 玉置, 三加: PC橋の断面修復に関する実験的研究(その1), 第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2006年