

部分的な打換えを行ったPC合成桁RC床版の耐荷性に関する基礎的実験

(株)富士ピー・エス 正会員 ○松下 拓樹
 西日本高速道路(株)中国支社 工博 横山 和昭
 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 鈴木 正範
 (株)富士ピー・エス 正会員 工博 徳光 卓

Abstract : Nowadays, an issue that the deterioration of RC slab used on PC composite girder bridge which has been long year passed is held in question. The case can be seen in all over Japan. As a repairing method, replacement of precast slab is usually adapted. However, the replacement is applied to only small scale slabs due to the difficulty of the replacement for the PC composite girder bridge. In addition, the replacement needs the control of road traffic. It restricts execution way and material to use under the situation. Therefore, we found a way out of the difficulty by changing the materials and work method. As a first step, we had tested a RC slab model by static load test. This article describes about a basic information based on the result of the test carried out.

Key words : repair method, Partial reconstructing, RC slab

1. はじめに

比較的長年月を経過した高速自動車道において、PC合成桁のRC床版の劣化が顕在化しつつある。現在、鋼橋のRC床版の補修工法としてプレキャスト床版を用いた床版取換えが進められているが、PC合成桁への適用は困難であり、依然として小規模な部分打換えに留まっている。さらに供用中の道路で交通規制を行うため、現場条件による施工や材料の制約が大きい。そこで、筆者らはPC合成桁のRC床版の打換えにおいて、施工にあたり通行車両の影響を受けにくく、交通規制を最小限に留める工法を考案した。本稿では、予備試験的な位置づけで実施したRC床版を模したRC梁供試体の静的載荷試験結果について述べる。

2. 補修工法の概要

本補修工法は、床版の全層にわたる塩水の浸透などにより劣化が進行したPC合成桁のRC床版部の部分的な打換えを想定する。これまでの事例により、主桁上部より床版部が先に劣化することがわかっている。

補修工法のフローとイメージ図を図-1に示す。補修は供用中の道路に対して行うため、車両の通行を可能な限り妨げないために、主に、床版下側から補修を行うことを基本とした。施工では、まず、補修対象箇所の上部に覆工板を敷設する。覆工板には車両の転落防止と、劣化部のはつり作業時の飛散防止および修復材料打設時の上枠の役割を期待する。覆工板の耐荷性は、予備試験により十分な耐荷性を有することを確認している¹⁾。

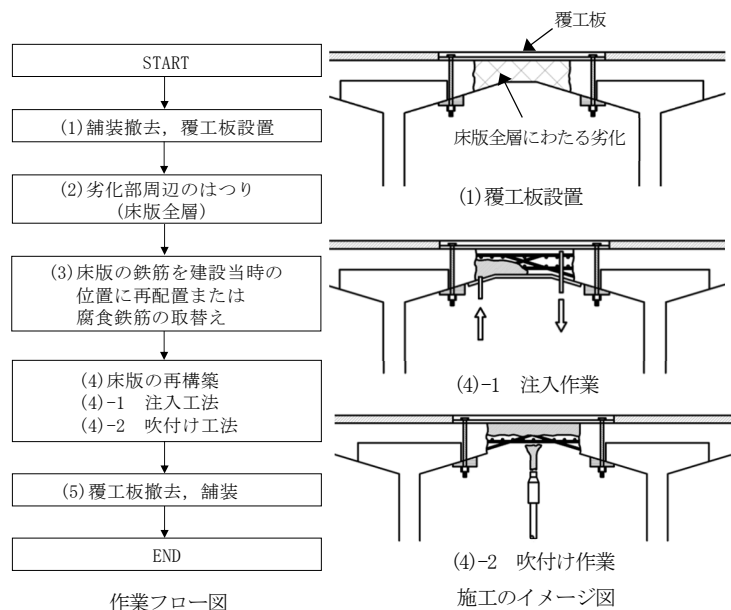


図-1 補修工法のフローとイメージ図

表-1 再構築における施工の要求性能

要求性能	性能項目	備考
力学的性能	付着性	既設コンクリートとの付着性が良好である。
耐久性能	塩化物イオン浸透抵抗性	既設床版と同等程度の塩化物イオン浸透抵抗性を有する。
	硬化収縮性	既設床版以下の硬化収縮率を有する。
施工性能	圧送性	小型ポンプで鉛直に10m程度圧送が可能である。
	可使時間	夏季でも90分程度の可使時間を有する。
	充填性	打設時に締固めが不要または型枠バイブレーターによる振動程度で良い。
	混和性	混和のために特殊な設備を必要としない。練混ぜに要する手間が少ない。
	材料分離抵抗性	車両の通行によって発生する振動程度では材料分離が生じない。
	圧付け性(吹付けのみ)	250mm程度の厚さを2日以下で吹付けが可能である。

表-2 床版の修復方法の特徴

	特徴	
	利点	欠点
注入工法	一度の施工で補修部全層の打設が可能である。 打設に特別な技術を必要としない。	型枠の設置作業が必要である。
吹付け工法	充填状況の確認が可能である。 下枠を必要としない。	吹付け作業を多層に分ける必要が生じ、施工に時間を要する。 施工部の品質がノズルマンの技術に影響される。

次に、劣化部のはつりを行う。はつり作業には、鉄筋を破断せず劣化部のコンクリートを除去するためにウォータージェットを用いる。使用するウォータージェットは、床版の劣化状況によって異なるが X-Y 移動式コンクリート除去処理装置(最高使用圧力 245MPa, 最大使用水量 90L/min)が一般的である。既設部との付着性を確保するため、打継部の下地処理を行ったのち、床版の再構築を行う。

再構築の方法としては、下面からのコンクリートの圧入、吹付けコンクリートの2種類を想定している。修復材料の強度が十分に発現したのち、覆工板を撤去し、橋面の舗装を行って施工が完了する。

再構築における施工の要求性能を表-1 に、床版の修復方法の特徴を表-2 に示す。要求性能は主に力学的特性、耐久性、施工性である。修復方法には、おのおの利点と欠点があり、施工の対象や施工条件に応じて適切な施工方法を選定する必要がある。

本補修工法は部分的な補修であり、1箇所あたりの施工面積は1m×2m程度、施工量は0.5m³程度を想定している。また、供用中の道路の補修を行うため、道路上面への修復材料の噴出しは確実に防止しなければならない。そのため、例えば、コンクリートを圧入する方法では、可能な限り低圧で圧送でき、充填完了後には速やかに圧入を停止することが求められる。このように本工法では、使用材料や施工方法の選定は施工条件によって変化する。

3. RC梁供試体の静的載荷試験

3.1 実験概要

本工法では、床版の健全部と補修部の打継目が耐荷性または耐久性上の弱点となりうる。そのため、実験にあたっては、RC梁の耐荷性に加えて、特に、打継目の目開きに着目した。

3.2 使用材料

(1)RC梁

試験に使用した材料を表-3に、コンクリートの配合を表-4に示す。コンクリートにはJIS R5210の早強ポルトランドセメントを使用した。目標強度は既設床版のコンクリート強度を模して、24N/mm²とし、W/HPCを52.5%とした。細骨材は海砂と砕砂を6:4の比率で混合した。

表-3 RC梁の使用材料

種類	記号	密度 (g/cm ³)	備考
水	W	1	地下水
セメント	HPC	3.14	早強ポルトランドセメント (比表面積: 4520cm ² /g, 強熱減量: 1.63%)
細骨材	S	2.64	海砂60:砕砂40 (吸水率: 1.02%, 粗粒率: 2.46)
	S1	2.63	海砂(粗粒率: 2.1)
	S2	2.67	砕砂(粗粒率: 3.1)
粗骨材	G	2.67	砕石2005 (吸水率: 1.03, 粗粒率: 6.53)
混和剤	SP1	1.05	ポリカルボン酸系AE減水剤(標準形)
	SP2	1.05	ポリカルボン酸系減水剤(高性能)
AE剤	AE	1.07	変性ロジン酸化合物系AE剤

表-4 RC梁のコンクリート配合

W/HPC (%)	単位量 (kg/m ³)					
	HPC	W	S	G	SP1	AE
52.5	326	171	823	985	3.260	3.260

(2) 修復材料

試験に使用した材料を表-5に、修復材料A, Bに使用したコンクリートの配合を表-6, 表-7に示す。材料は注入工法で2種類, 吹付け工法で2種類を選定した。また, 吹付け工法は乾式工法と湿式工法でおおの1種類を選定した。混和剤は異なる2種類を用いた。

注入工法は修復材料A, Bを用いた。修復材料Aの混和材には膨張性早期脱型混和材を用い, 30kg/m³を早強ポルトランドセメントの内割りで置換した。特徴としては, 混和のために特殊な設備を必要としない。修復材料Bの混和材には速硬性混和材を用い, 結合材量(早強ポルトランドセメントと混和材の質量の和)の30%が混和材となるように配合した。混和材は外割り

とし, ベースコンクリートに後添加した。特徴としては, セッターの添加量で可使時間の調節が可能であり, また, 混和のために特殊な設備を必要としない。修復材料Aのコンクリートは, 目標強度を一般的なPC合成桁のRC床版の圧縮強度である24N/mm²とし, W/Bを52.5%とした。修復材料Bのベースコンクリートは, 目標強度を材料メーカーの推奨配合より30N/mm²とし, W/HPCを47.5%とした。

吹付け工法には市販の断面修復材を使用した。修復材料Cは比較的少量の施工が可能であり, また, 吹付け時のリバウンドの低減を図った乾式吹付け材料である。特徴としては, 最大圧送距離が300mであることから圧送性に優れ, 1層あたり最大200mmの厚付けが可能であり, かつ, 振動下での吹付け性能評価試験においてひび割れ, 剥離が生じないことが確認されている。修復材料DはNEXCOの吹付け工法断面修復材の規格に適合した材料であり, ポリマーセメントモルタルに急結材を添加して使用した。特徴としては, 1層あたり80mm程度の厚付けが可能である。

3.3 供試体概要

供試体の形状図および配筋図を図-2に示す。供試体の形状はL=2400mm, B=350mm, H=240mmとし, 補修部はL=1250mmとした。供試体の配筋は「構造物標準設計図集III(PC橋編)昭和59年3月日本道路公団」のPC単純合成桁橋(直橋)を参考にして決定した。供試体のせん断破壊を防止するために, せん断補強筋の間隔を250mmから125mmに変更した。供試体は修復材料の種類ごとに2体作製し, 基準供試体として補修を行わない供試体も併せて作製した。

供試体の作製方法は, 供試体の補修部を除いた部位を先行して打設し, 一旦, 補修箇所が空いた状態の梁を作製したのち, 補修部の修復を行った。

補修部の修復方法は施工方法別に決定した。注入工法は供試体1体あたりの打設量が少ないため, 供試体上側からコンクリートを打ち込み, 内部振動機を用いて締固めを行った。吹付け工法は補修部の上面および側面に型枠を設置し, 供試体下側から修復材料を吹き付けることにより修復した。その結果, 吹付け工法では局部的に鉄筋背面の充填度が不足していると思われる部分もあったが, 全般的な充填度は良

表-5 修復材料一覧

材料	種類	想定する施工方法
修復材料A	コンクリート(膨張性早期脱型混和材添加)	注入
修復材料B	コンクリート(速硬性混和材添加)	注入
修復材料C	ポリマーセメントモルタル(プレミックス)	吹付け(乾式)
修復材料D	ポリマーセメントモルタル(プレミックス)+急結剤添加	吹付け(湿式)

表-6 修復材料Aの配合

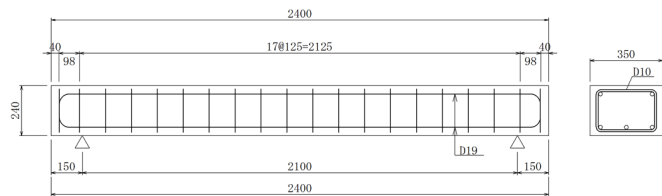
W/B (%)	単位数 (kg/m ³)							
	HPC	混和材	W	S1	S2	G	SP2	AE
52.5	301	30	174	501	339	1011	2.320	3.260

Bは結合材を表し, HPCと混和材の合計を示す。
混和材は膨張性早期脱型混和材を示す。

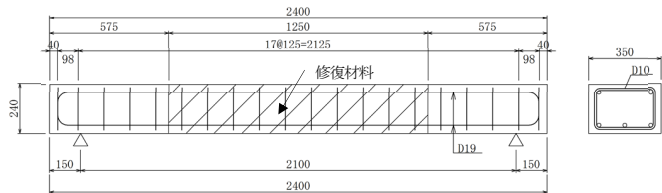
表-7 修復材料Bの配合

W/HPC (%)	単位数 (kg/m ³)							後添加混和材 (kg/m ³)
	HPC	W	S1	S2	G	SP1	AE	
47.5	366	174	487	328	953	3.843	3.660	157

混和材は早硬性混和材を示す。



(1) 基準供試体



(2) 修復材料 A, B, C, D

図-2 供試体の形状図および配筋図

好であった。なお、実施工において施工箇所の充填不足が生じた場合であっても、鉄筋背面にあたる修復部の上側は覆工板を撤去したのちに補修が可能である。

3.4 実験方法

荷重試験要領図を図-3に示す。荷重試験は支間を2100mm、荷重点間隔を500mmとし、2点荷重で静的荷重を行った。打継目の目開きを計測するために、供試体の上下面の打継目付近(図中のa, b, c, d)のひずみを測定した。それに合わせて、パイ型変位計を用いて打継目を跨いだ測点間(図中のPI1, PI2)の変位を測定した。また、初期ひび割れの発生荷重を計測するために支間中央の供試体下面のひずみを測定した。

荷重試験の手順としては、80kN荷重時の供試体のひび割れを確認したのちに除荷し、再度160kNまで荷重してひび割れを確認してから、破壊まで継続して荷重を行った。

4. 実験結果

4.1 注入工法に用いる材料のフレッシュ性状

修復材料A, Bのフレッシュ性状試験の結果を表-8に示す。修復材料の混和材添加後のフレッシュ性状は、修復材料Aではスランプ15cm、修復材料Bではスランプフロー49×45cmであった。圧入工法に用いる材料には自己充填が可能となる程度の流動性が必要であるが、本試験の範囲では、注入作業時に必要な流動性の再現までは行っていない。

4.2 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度試験結果と静弾性係数試験結果を表-9に示す。圧縮強度はいずれの修復材料においても、一般的なPC合成桁のRC床版の目標強度24N/mm²を上回っており、RC梁本体の強度も上回っていた。吹付け用修復材料のモルタルの静弾性係数は、修復材料DでRC梁の静弾性係数を下回ったものの、修復材料Cでは高くなった。圧入用修復材料の静弾性係数は、圧縮強度に比例して大きくなった。

4.3 荷重試験

(1) 最大荷重および破壊形態

RC梁供試体に荷重する荷重は、道路橋示方書のT荷重による床版の単位幅あたり設計曲げモーメントと等価になるよう、以下の換算式(1)、(2)により求めた。

$$M = (0.12 \times L + 0.07P) \times 0.8 \quad \dots \text{式(1)}$$

$$P' = (2 \times M) / 0.8 \quad \dots \text{式(2)}$$

ここで、 M : T荷重による設計曲げモーメント(kN・m)、 L : 支間(m)、 P : T荷重の片側荷重(100kN)、

P' : 設計曲げモーメントと等価な梁の荷重荷重(kN)

上記の計算により求められる設計モーメントと等価な荷重荷重は64.4kNとなる。また、破壊荷重の計算値は、供試体の破壊形態を曲げ破壊と仮定し、コンクリートおよび修復材料の圧縮強度試験結果を基に算出した。

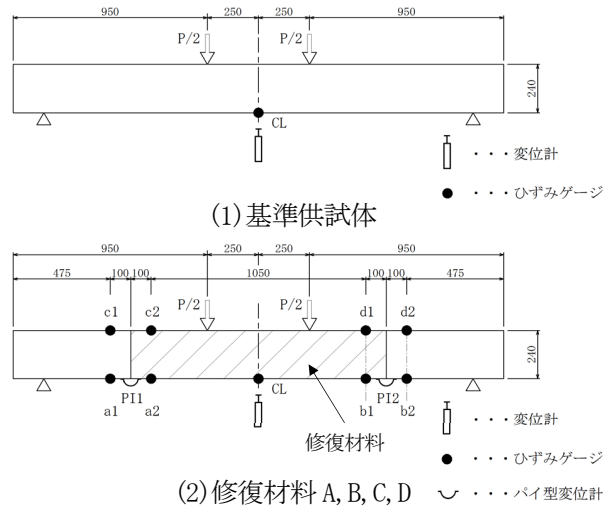


図-3 荷重試験要領図

表-8 修復材料のフレッシュ性状試験結果

	スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	備考
修復材料A	15.0	-	2.3	混和材添加後
修復材料B	18.0	-	-	ベースコンクリート
	-	49.0×45.0	2.7	混和材添加後

表-9 圧縮強度試験および静弾性係数試験結果

配合番号	荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)		静弾性係数 (N/mm ²)	
		平均	平均	平均	平均
RC梁	322	40.8	40.4	-	25100
	318	40.3		24896	
	316	40.0		25316	
修復材料A	435	55.6	55.0	-	28600
	427	54.4		28657	
	432	55.0		28516	
修復材料B	472	60.2	61.0	-	31800
	474	60.4		31763	
	490	62.4		31905	
修復材料C	116	58.8	58.1	27042	26400
	116	58.4		26557	
	112	57.0		25641	
修復材料D	109	55.4	51.9	21551	21500
	99	50.2		21402	
	99	50.1		21456	

表-10 載荷試験結果

供試体種類	No.	RC梁の破壊荷重の計算値 (kN)	設計曲げモーメントが作用する荷重 (kN)	最大荷重 (kN)		RC梁の破壊荷重の計算値に対する最大荷重の比率		破壊形態
					平均			
基準	1	140.5	64.4	181.9	180.5	1.29	2.82	上面の圧壊
	2			179.2		1.28	2.78	上面の圧壊
修復材料A	1	146.7		189.7	186.5	1.29	2.95	充填材料の圧壊
	2			183.4		1.25	2.85	充填材料の圧壊
修復材料B	1	149.0		208.5	212.2	1.40	3.24	充填材料の圧壊
	2			215.9		1.45	3.35	充填材料の圧壊
修復材料C	1	147.9		184.2	184.0	1.25	2.86	充填材料の圧壊
	2			183.8		1.24	2.85	充填材料の圧壊
修復材料D	1	145.5		179.3	177.7	1.23	2.78	充填材料の圧壊
	2			176.1		1.21	2.73	充填材料の圧壊

載荷試験結果を表-10に示す。最大荷重の実測値は、設計モーメントと等価な載荷荷重の2.7~3.4倍であった。また、最大荷重の実測値は、全ての供試体において破壊荷重の計算値より20~40%程度上回っており、補修供試体の最大荷重の実測値は基準供試体と同等、または基準供試体以上であった。供試体の破壊形態は、基準供試体を含む全ての供試体において上面の圧壊であった。

(2) 荷重-支間中央変位曲線

供試体ごとの代表的な荷重-支間中央変位曲線を図-4に示す。修復材料B-2の鉄筋の降伏荷重が多少大きくなっているものの、荷重と変位の関係は基準供試体と大差なく、局所的な打換えを行った梁においても一般的なRC梁の性状を示した。

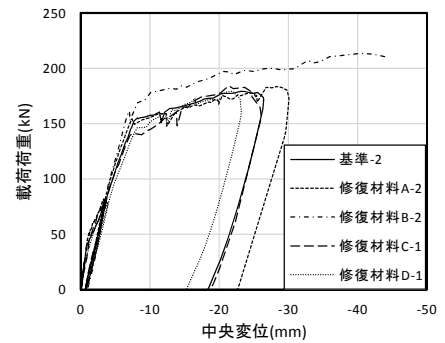


図-4 代表的な荷重-中央変位曲線

(3) ひび割れ分布図

代表的な供試体の80kN載荷時と160kN載荷時のひび割れ分布図を図-5に示す。注入工法で補修した供試体のひび割れ分布は、基準供試体と大きな違いは認められなかった。吹付け工法で補修した供試体では160kN載荷時に、梁の上縁から40mm程度下がった位置で橋軸方向のひび割れを生じた。これは、多層に分けて吹付けを行ったことや、局所的に鉄筋背面の充填度が不足したことが影響したためと考えられる。

(4) 初期ひび割れの発生荷重

載荷荷重80kN付近までの代表的な荷重-支間中央下面のひずみ曲線を図-6に、ひずみの変曲点より求めた初期ひび割れの発生荷重を表-11に示す。ひび割れ発生荷重の評価は、載荷荷重により発生する曲げモーメントが最も大きい点である支間中央の供試体下面のひずみに着目して行った。荷重とひずみの関係におけるひずみの急変点より求めた荷重をひび割れ発生荷重とした。

修復材料Aが最もひび割れ発生荷重が大きく、ひび割れに対する抵抗性が高い結果となった。これは修復材料Aに含まれる膨張材の効果により、乾燥などによるコンクリートの収縮の影響が緩和され最大荷重が大きくなったためと考える。

(5) 打継目の評価

パイ型変位計の測定値を標点距離 100mm で除して算出したひずみ

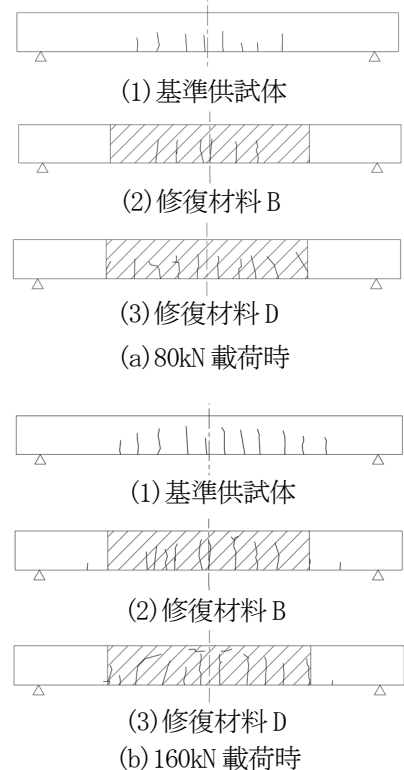


図-5 代表的な供試体のひび割れ分布図

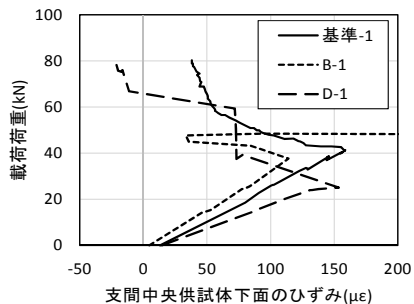
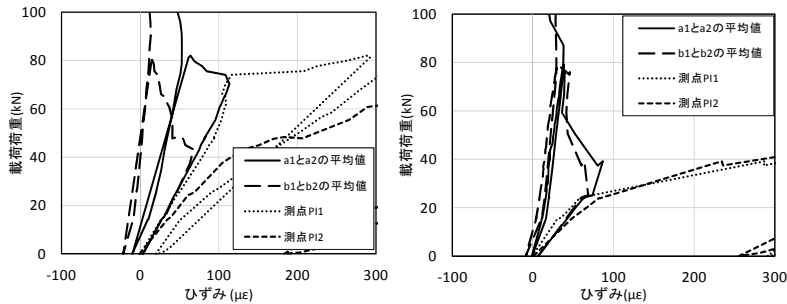


図-6 代表的な荷重-支間中央下面のひずみ曲線



(1)修復材料B No. 1 (2)修復材料D No. 1
図-7 荷重-ひずみ曲線の一例

表-11 ひび割れ発生荷重

種類	No.	ひび割れ発生荷重(kN)
基準	1	41.3
	2	39.3
修復材料A	1	52.8
	2	45.0
修復材料B	1	37.6
	2	45.9
修復材料C	1	43.2
	2	42.9
修復材料D	1	25.1
	2	39.2

表-12 目開き発生荷重

種類	No.	目開き発生荷重(kN)							ひずみゲージとパイ型変位計の平均	供試体別 修復材料別
		ひずみゲージ			パイ型変位計			供試体別		
		a側	b側	平均	a側	b側	平均			
修復材料A	1	67	47	57.0	68	39	53.5	55.3	50.4	
	2	51	40	45.5	不明瞭	不明瞭	-	45.5		
修復材料B	1	70	43	56.5	73	48	60.5	58.5	64.3	
	2	75	65	70.0	不明瞭	70	70.0	70.0		
修復材料C	1	43	43	43.0	55	70	62.5	52.8	54.6	
	2	58	64	61.0	45	59	52.0	56.5		
修復材料D	1	39	25	32.0	26	26	26.0	29.0	27.5	
	2	26	26	26.0	26	26	26.0	26.0		

と、載荷荷重と打継目付近のひずみの平均値の関係の一例を図-7に示す。荷重とひずみの関係におけるひずみの急変点より求めた目開き発生荷重を表-12に示す。値のばらつきは大きいものの平均的には目開き発生荷重は供試体種類で異なっており、平均値は修復材料Bが64.3kNと最も大きく、修復材料Dが27.5kNと最も小さくなった。コンクリートと修復材料との付着性は、ポリマーセメントを用いた修復材料Dが優れており、修復材料Aについても膨張材の効果により目開き発生荷重は大きくなるものと考えられるが、実験結果の傾向とは一致していない。この原因は不明であるが、供試体の打継ぎ面処理の良否、材料収縮、静弾性係数の影響などが考えられる。なお、いずれの供試体も、目開き発生荷重は設計モーメントと等価な荷重64.4kNより小さくなっているが、RC構造であるため、直ちに供試体の耐荷性に問題があるとは言えない。

5. まとめ

本実験では、PC合成桁のRC床版の部分的な打換えを模した供試体を作製し、打継目の耐荷性に着目した載荷試験を行った。打継目付近のひずみの挙動から、打継目の目開きが生じた荷重を推定、評価した。また、補修の有無または補修工法の違いによる供試体の耐荷性の比較を行った。本実験の結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 補修供試体の最大荷重の実測値は基準供試体と同等、または基準供試体以上である。
- (2) いずれの供試体においても載荷試験時の最大荷重は、RC梁の破壊荷重の計算値を30%程度上回っており設計モーメントと等価な荷重の2.7~3.4倍程度であった。
- (3) いずれの補修供試体も目開き発生荷重は、設計モーメントと等価な荷重より小さいが、RC構造であるため直ちに供試体の耐荷性に問題があるとは言えない。

今後は、補修工法の確立を目指し実施工を模した施工試験の実施および評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 徳光卓ほか：覆工板を活用したコンクリート床版の部分打換え工法に関する検討，土木学会第69回年次学術講演会，pp.161-162，2014