

PC 橋の改造技術に関する研究

— その 5 : 断面修復部の耐久性と維持管理に関する研究 —

北野 勇一*1・渡辺 博志*2・久田 真*3・北山 良*4

1. まえがき

近年、既設 PC 構造物の寿命を延長することを目的としたさまざまな補修補強工法・材料が開発されつつあるが、補修補強を実施する際、構造物の損傷状況や補修補強の目標に応じた選定手法や評価手法が整備されていないのが現状である。そこで、本研究その 3¹⁾、その 4²⁾では、既設 PC 構造物の鋼材腐食による劣化対策を主な対象とし、損傷状況や設定した補修補強の目標から、断面修復工法と外ケーブル工法を用いた場合の採用すべき材料・施工方法を選定できる手法および補強設計方法に関する検討を重ねた結果について報告してきた。このうち、外ケーブル工法に関してはすでに技術基準が確立されており³⁾、本研究では、断面修復工法に着目し、断面修復材の物性を明確にしたうえで、断面修復が適用される部位の耐久性について検討した。また、この検討結果を基に、補修された既設 PC 構造物の維持管理を行ううえで留意すべき事項について整理した。

なお、断面修復部の耐久性のうち、鋼材腐食に直接関わる事項については、本研究の対象外とした。

2. 断面修復工法に関する材料・施工技術の整理

断面修復工法は、図 - 1 に示すように、劣化損傷部をはつり取り、打継ぎ処理、鋼材の防錆処理、断面修復材の施工の手順で行われる。採用される材料・施工方法は、補修の対象部位やその規模によって異なるとともに、近年の補修技術の進歩により、選択できる材料や施工方法が多様化している。断面修復工法における最近の技術動向を含めた材料・施工技術について以下に概説する。

(1) はつり方法

従来より、ハンドブレイカーなどを用いた人力施工が今日でも一般的に行われている。しかしながら、人力施工では、既設コンクリートに微細なひび割れを生じさせることが懸念され、鉄筋や PC 鋼材を損傷させる危険性もある。このような問題を解決する方法として、近年、ウォータージェット (WJ) 工法が注目されており、PC 鋼材が密に配置されている場合においても、PC 部材の深部にまで侵入した塩分を取り除くことが可能になってきている。

(2) 打継ぎ処理

打継ぎ処理には、既設コンクリートに付着している塩分

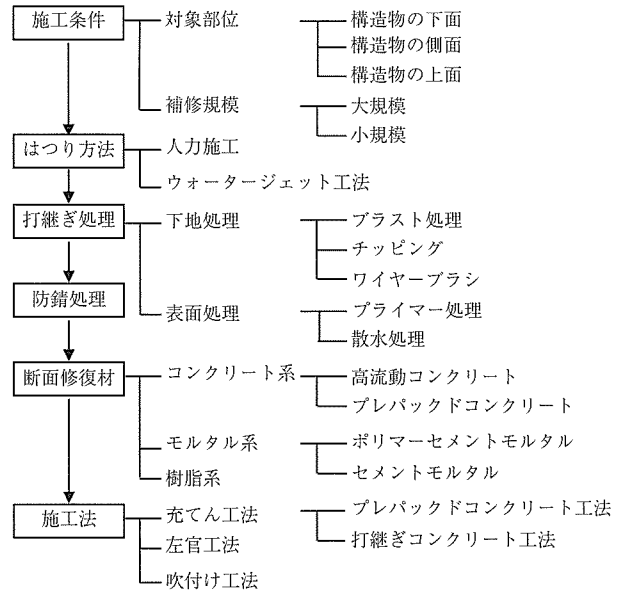


図 - 1 断面修復工法における材料・施工方法の選定

や脆弱層の除去を目的に行う下地処理と、既設部と断面修復部との一体性を確実にするために行う表面処理の工程がある。この内、下地処理は、従来のブラスト処理に変わり WJ 工法を用いることでこの工程が不要となり、なおかつ、打継ぎ面に適度な凹凸がつけられるため断面修復部との付着性も良好となる場合が多いようである。また、表面処理は、接着性に優れるエポキシ樹脂系のプライマーや断面修復材を施工した直後に既設部側に水分が奪われるのを防ぐための吸湿防止材を塗布する場合などがある。

(3) 断面修復材

プレストレスの再導入が要求される場合には、コンクリート系の断面修復材である方がよいが、かぶり程度までの補修であれば、モルタル系のものが用いられることが多い。このモルタル系の断面修復材には、モルタルの性質を改善する目的でポリマーと呼ばれる有機高分子材料を混和したもの、ひび割れ防止やはく落防止などの使用目的に応じて膨脹材や繊維などを混入したものなど、数多くの材料が開発・適用されてきている。

(4) 施工法

一般に、補修範囲が大規模な場合は充てん工法、小規模

*1 Yuichi KITANO : プレストレスト・コンクリート建設業協会

*2 Hiroshi WATANABE : 独立行政法人土木研究所

*3 Makoto HISADA : 東北大学大学院 准教授

*4 Ryo KITAYAMA : プレストレスト・コンクリート建設業協会

な場合は左官工法が用いられている。また、吹付け工法は、型枠を設置せずに広範囲の断面修復を行えるため、PC 部材の断面修復工法としての利用が期待される。

3. 断面修復材の物性

本研究ではモルタル系断面修復材として、市販品の中から、ポリマーの有無と種類が異なるものとしてポリマーセメントモルタル (PCM)、セメントモルタル (CM)、軽量骨材を用いたポリマーセメントモルタル (LPCM) を選定した。これらの材料は、いずれも左官工法に用いられる硬練りのものとした。また、コンクリート系断面修復材として、本研究その 4²⁾ で取り上げた高流動コンクリート (高流動)、ならびに PC 部材に使用される設計基準強度 40 N/mm² 程度の AE コンクリート (母材) を含め、これらの物性について調査した結果を以下に詳述する。

3.1 フレッシュ性状

各材料の配合およびフレッシュ性状を表 - 1 に示す。モルタル系断面修復材は配合が不明なため、洗い試験を実施し、0.06 mm 以下の粒子をセメント、それ以上の粒子を細骨材と仮定して推定⁴⁾ した結果、水セメント比はいずれも 40 % 以下と考えられる富配合なモルタルであった。フレッシュ性状は、モルタル系断面修復材では硬練りのため、フロー値が小さく、ブリーディングも認められなかった。また、母材コンクリート中のモルタルに含まれる空気量 (粗骨材には空気が含まれないと仮定すると 8.7 %) と対比すると、断面修復材 PCM と断面修復材 CM の空気量はその約 1/3 と少なく、断面修復材 LPCM はほぼ同程度の空気量であった。

表 - 1 配合およびフレッシュ性状

項目	単位	断面修復材				母材
		PCM	CM	LPCM	高流動	
W/C*	%	(36.5)	(36.4)	(33.7)	40.0	40.0
単位水量	kg/m ³	292	335	273	175	163
流動性**	mm	138	124	141	583	70
空気量	%	2.6	2.8	7.5	1.2	5.5
密度	g/cm ³	2.05	2.16	1.56	2.39	2.37

* () 内は洗いによる推定値。また、高流動の水粉体比は 30.3 % (石灰石微粉末と膨張材を加えている) である。

**流動性は練り直後に測定した。練り直温度は 18.6 ~ 23.0 °C であった。モルタル系断面修復材では JIS R 5201 によるフロー値、高流動は JIS A 1150 によるスランプフロー値、母材は JIS A 1101 によるスランプ値を示す。

3.2 強度特性

各材料の強度特性を測定した結果を表 - 2 に示す。このうち、断面修復材 CM と断面修復材高流動では PC 部材に用いられるコンクリートに近い圧縮強度が得られたのに対し、ポリマーが混入されているモルタル系断面修復材では実強度が 40 N/mm² 程度以下であった。また、モルタル系断面修復材の弾性係数は、母材コンクリートの 1/3 ~ 2/3 程度であったが、引張強度や曲げ強度に関しては同等かあるいは上回る傾向となった。

表 - 2 強度特性

項目	単位	断面修復材				母材
		PCM	CM	LPCM	高流動	
圧縮強度 (f_c)	N/mm ²	40.0	59.1	26.4	65.8	62.1
弾性係数 (E)	kN/mm ²	20.1	26.5	13.5	37.8	38.0
引張強度 (f_t)	N/mm ²	3.46	3.13	2.49	4.27	3.94
曲げ強度 (f_b)	N/mm ²	8.76	7.89	5.91	6.94	6.66
f_b/E	$\times 10^{-6}$	436	298	438	184	175

*供試体は打設翌日に脱枠し、28 日間の湿空養生 (温度 20 °C、湿度約 90 %) を行った。

**圧縮強度試験は JIS A 1108 による (供試体形状はモルタルが ϕ 50 \times 100 mm、コンクリートが ϕ 100 \times 200 mm)。

***引張強度試験は、JIS A 1113 による (形状は ϕ 100 \times 150 mm)。

****曲げ強度試験は、JIS A 1106 による (形状は 100 \times 100 \times 400 mm)。

3.3 クリープ・収縮特性

(1) クリープ特性

クリープ試験は、直径 100 \times 高さ 200 mm の供試体を材齢 1 日より乾燥させ、所定の材齢より載荷応力 8 N/mm² に相当する圧縮荷重を油圧式載荷装置により載荷した。載荷開始を材齢 7 日としたケースの単位応力あたりのクリープ (単位クリープと略称) を測定した結果を図 - 2 に示す。ここで、供試体は絶えず乾燥を受ける状態であり、その環境は温度 24 ~ 31 °C、湿度 40 ~ 60 % であった。これより、母材コンクリートに比べ、断面修復材高流動では単位クリープが若干減少したものの、モルタル系断面修復材では総じて単位クリープが増大した。とくに、断面修復材 PCM の単位クリープは、母材コンクリートの約 3 倍に達していた。

実測された載荷日数 231 日のクリープ係数の値を表 - 3 に示す。これより、ポリマーが混入された断面修復材 PCM のクリープ係数が母材コンクリートよりやや大きく、軽量骨材が用いられている断面修復材 LPCM では逆にクリープ係数が若干小さくなった。このことより、モルタル系断面

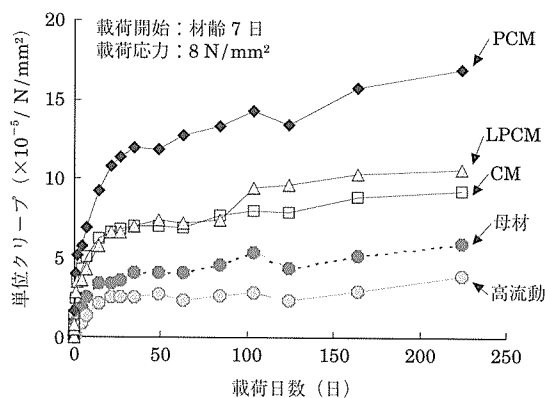


図 - 2 単位クリープ (乾燥あり)

表 - 3 クリープ係数 (載荷材齢 231 日, 乾燥あり)

載荷材齢	断面修復材				母材
	PCM	CM	LPCM	高流動	
3 日	2.76	2.18	1.77	1.73	2.06
7 日	2.51	2.18	1.20	1.32	1.96
28 日	2.09	1.05	0.97	1.20	1.56

修復材は、コンクリートと比べ、弾性係数が小さいことで単位クリープひずみが大きくなるものの、クリープ係数として比較すると、いずれも+34～-61%の範囲であり、著しく異なることがなかったといえる。

(2) 収縮特性

クリープ試験と同じ条件で材齢1日より乾燥を開始して材齢231日までの乾燥収縮量を測定した結果、母材コンクリートで 518×10^{-6} 、断面修復材高流動で 415×10^{-6} であった。

モルタル系断面修復材では、供試体 $100 \times 100 \times 400$ mmの全面を乾燥面とし、乾燥開始は材齢1日、温度約 20°C 、湿度約50%の環境で乾燥収縮（自己収縮を含む）および自己収縮ひずみを測定した結果を図-3、4に示す。ここで、自己収縮ひずみの測定にあたっては、供試体表面をすべてアルミ箔テープで入念に覆うことにより乾燥を防いだ。

これらの図より、いずれの断面修復材でも初期膨張が認められた。この初期膨張ひずみが最大となった時点を受縮開始点とすると、断面修復材PCMの自己収縮は小さいが、断面修復材CMと断面修復材LPCMでは、材齢20日までに約 300×10^{-6} の自己収縮ひずみが測定された（図-3）。また、材齢20日以降の乾燥収縮ひずみに着目すると、断面修復材PCMと断面修復材CMはほぼ平行しながら増大し（材齢20日から231日までに増加した収縮ひずみは約 700×10^{-6} ）、断面修復材LPCMでは収縮ひずみの増加が材齢初期の増進に比べ鈍化した（図-4）。

以上より、モルタル系断面修復材では、若材齢時の自己収縮が抑制される場合や長期的な乾燥収縮が低減される場

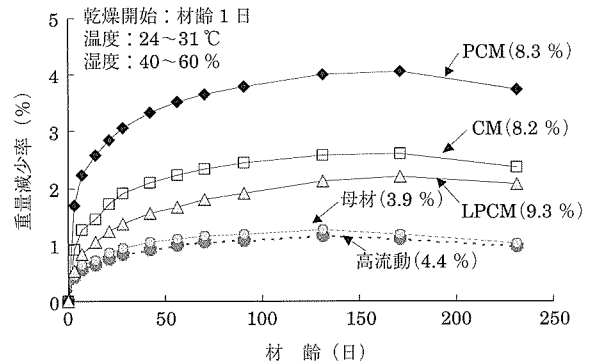
合があるなど、配合される材料によって収縮特性が大きく異なることを示す結果が得られた。

3.4 水分移動性

ここでは、経時的な重量変化および透湿度（一定時間に単位面積の物質を通過する水蒸気量、放湿と吸湿の場合がある）を測定し、補修後の耐久性に関与すると考えられる断面修復材の水分移動性について検討した。

(1) 断面修復材の重量減少率

クリープ試験と同じ条件下で材齢1日より乾燥を開始した場合の重量減少率を測定した結果を図-5に示す。図中には各材料の吸水率を併せて示した。これより、モルタル系の断面修復材は母材コンクリートと比べて重量減少率が大きく、そのなかでも、断面修復材PCMは、乾燥開始から3ヵ月程度で吸水可能な水量の半分弱が失われていた。



()内は、 $\phi 100 \times 20$ mmの供試体を 105°C で絶乾した状態からの吸水率。

図-5 重量減少率（ $100 \times 100 \times 100$ mm 全面乾燥）

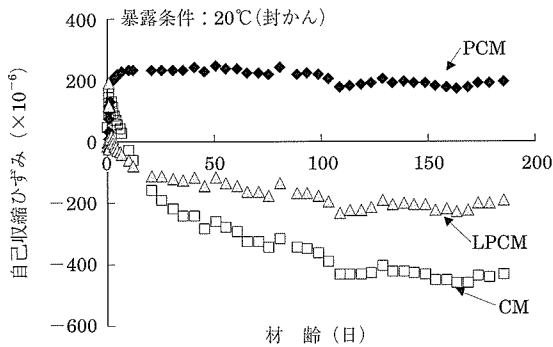


図-3 自己収縮ひずみ

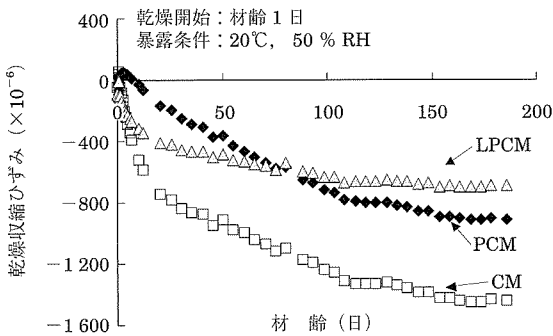


図-4 乾燥収縮ひずみ

(2) 断面修復材の放湿性

断面修復材の内部に存在する水の移動速度に関与すると考えられる透湿度（放湿）を測定した結果を図-6に示す。これより、断面修復材PCMは、測定した材料の中で透湿度がもっとも大きな値を示した。ただし、水セメント比50%のコンクリートについて同様に透湿度を測定した結果、 $62 \text{ g/m}^2/\text{day}$ であったことから、各材料の透湿度は大きくかい離するものではなかったといえる。このことより、透湿性と重量減少率には明確な因果関係が見られず、断面修復材LPCMのように圧縮強度の低いものでも乾燥が進みにくい場合や断面修復材PCMのようにポリマーが混入さ

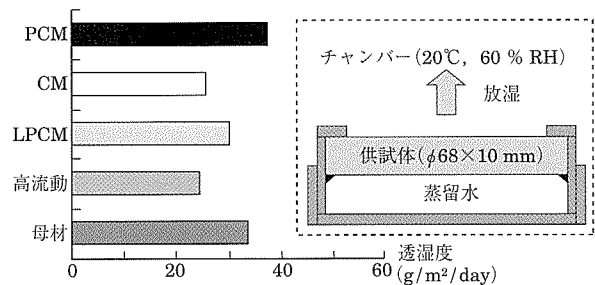


図-6 各材料の透湿度（JIS A 1171）

れていても乾燥しやすい場合があるようである。

(3) プライマー塗布による吸湿防止性

プライマー塗布の有無と種類を変えた供試体を作製し、吸湿度を測定した結果を図-7に示す。図には、透湿度の高かった断面修復材PCMを用いた場合も併記した。これより、今回選択したプライマーを母材コンクリートに塗布した場合には、いずれも無処理よりも吸湿度が大きくなった。一方、断面修復材PCMの場合では、吸湿性が改善される傾向が確認された。

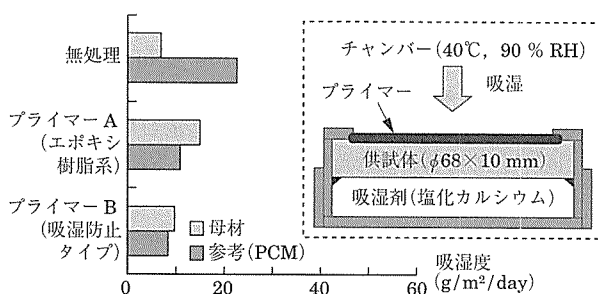


図-7 表面処理が吸湿性に及ぼす影響 (JIS A 1171)

3.5 温度に対する長さ変化特性

ここでは、3.3節の乾燥収縮試験を終えた供試体を用い、10℃から50℃までの10℃ごとの昇降温を行い、コンタクトゲージにより長さ変化を測定して線膨張率を確認した。その結果、いずれの材料も温度に対する長さ変化率は線形的な関係が認められ、母材コンクリートが $8.6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、断面修復材高流動では $9.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とおおむね同等であった。一方、モルタル系断面修復材では $11.5 \sim 12.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と若干大きな値を示した。

4. 断面修復部の耐久性に関する検討

2章で述べたように、断面修復工法を選定する際には、施工条件や使用目的に応じて材料ならびに施工方法を組み合わせる必要がある。すなわち、3章で確認した断面修復材の物性のみでなく、材料・施工方法の組合せによる断面修復工法としての耐久性についても調査しておく必要がある。

ここでは、断面修復部に求められる耐久性としてひび割れ抵抗性、構造一体性、はく離抵抗性を取り上げ、それぞれの要求性能を整理するとともに、各性能を照査するための評価手法を提示し、いくつかの供試体を用いて実験的に検証した結果について、以下に詳述する。

4.1 ひび割れ抵抗性^{5, 6)}

(1) 要求性能

断面修復部のひび割れ抵抗性は、一般には、断面修復材の収縮特性によって設定される。しかしながら、実際の補修では、断面修復部の乾燥面が1面であることや、既設部が断面修復部を拘束することによって生じる応力は構造物によって異なるなど、断面修復材の収縮特性のみでは適切に評価できない可能性がある。このことから、断面修復部には、既設部との収縮差、乾燥条件および拘束条件に応じ

て、有害なひび割れの発生に対する抵抗性を有する必要があると考える。

(2) 評価手法

十分に乾燥が進行した既設コンクリートの上面を打継ぎ処理し、所定の厚さで断面修復材を打ち重ねた補修コンクリート供試体を作製した(図-8)。所定の養生後、断面修復部の1面を除きアルミ箔などを用いて被覆し、所定の環境条件下に暴露する。暴露中には定期的に外観状況を観察し、ひび割れ発生の有無や発生日数より、ひび割れ抵抗性を評価した。

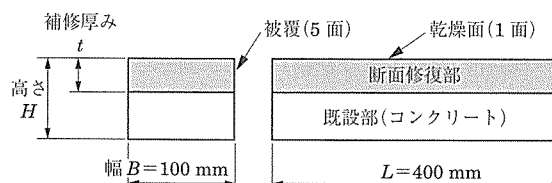


図-8 ひび割れ抵抗性試験に用いる供試体形状

(3) 評価結果

表-1に示したモルタル系断面修復材を用い、補修厚みや高さを変化させた供試体を作製し、材齢1日より暴露を開始して1.5年間のひび割れ抵抗性試験を行った結果を表-4に示す。ここで、施工条件や施工法がひび割れ発生に及ぼす影響が小さいと考えられることから⁴⁾、母材コンクリートの上面側を左官工法(ただし、断面修復材高流動では、流込み充てん)で施工し、下地処理は一般的なチッピングとした。表-4より、断面修復材PCMと断面修復材LPCMを用いた供試体にはひび割れが生じることがなかった。一方、断面修復材CMを用いた供試体のうち、拘束条件 $t/H = 0.33$ 以下の供試体にひび割れが生じた。これらの供試体では、拘束条件 t/H が小さい(拘束度が大きい)供試体ほど早期にひび割れが発生した。

表-4 ひび割れ抵抗性試験の結果

高さ H (mm)	補修厚み t (mm)	拘束条件 t/H	断面修復材の種類		
			PCM	CM	LPCM
100	10	0.10	無	有(4)	無
	25	0.25	無	有(10)	無
	50	0.50	無	無	無
150	50	0.33	無	有(30)	無

* ひび割れ発生の有無を表記した。()内は、ひび割れ発生日数。

このひび割れ発生時点において、断面修復材のみで作製した供試体の乾燥収縮ひずみ(図-4)を調べた結果を図-9に示す。これより、拘束条件とひび割れ発生時点の乾燥収縮ひずみには良好な相関関係が見られた。また、拘束条件 $t/H = 0.10$ の供試体では、乾燥収縮ひずみが 200×10^{-6} 程度であってもひび割れが生じる可能性があると思定される。これに対し、断面修復材PCMと断面修復材LPCMでは、それ以上の収縮ひずみとなっているものの、ポリマーが混入された断面修復材では伸び性能が高いこと(3.2節)やく

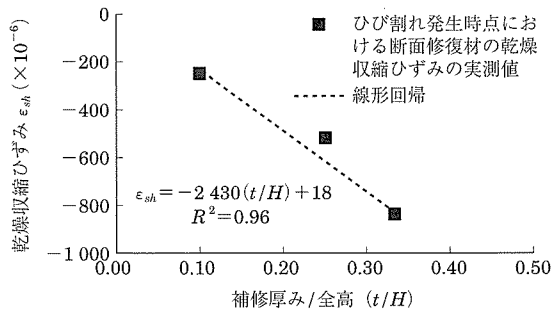


図 - 9 収縮特性とひび割れ発生関係 (断面修復材 CM)

りープひずみが大きいこと (3.3 節) により、補修厚みを薄くした場合においてもひび割れ発生が回避されたものと推察される。

以上より、断面修復部のひび割れ抵抗性は、既設部の拘束の影響を強く受け、補修厚みを薄くするほど断面修復材の収縮特性をより厳しい値に設定する必要があることが明らかになった。また、ポリマーが混入されている断面修復材ではひび割れ抵抗性が高く、断面修復材の種類に応じて要求される収縮特性を変化させて良いものと考えられる。

4.2 構造一体性⁷⁾

(1) 要求性能

断面修復部には、設計で想定した耐荷力を分担する性能 (以下、構造一体性) が求められる場合、これに見合った力学的性能を有することを確認する必要がある。この力学的性能は、一般には、既設部と断面修復部との付着強度によって設定される。しかしながら、断面修復部が所定の耐荷力を分担することと付着強度との因果関係は明確でなく、構造一体性を直接的に照査する方法が確立されていない。

(2) 評価手法

ひび割れ抵抗性試験 (4.1 節) が終了した供試体を用い、断面修復部を下側として曲げ強度試験 (JIS A 1106 に準じる、図 - 10) を実施し、曲げ強度の結果を基に構造一体性を評価する。評価方法としては、以下の 3 ケースについて補修コンクリート供試体の曲げ強度を推定した結果と比較する。

- Case 1 : 断面修復部は構造一体性を有さず、既設部のみで荷重に対して抵抗するケース。
- Case 2 : 断面修復部は構造一体性を有し、既設部および断面修復部ともに曲げ強度 (f_b) に達した時点で応力 0 にするケース。
- Case 3 : Case 2 において、既設部の引張軟化を考慮するケース。

また、曲げ強度試験により 2 分割となった供試体に対し、

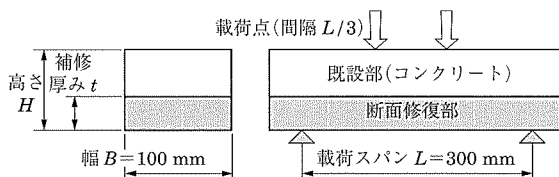


図 - 10 構造一体性試験の要領

建研式接着力試験器を用いて、断面修復部の付着強度試験を実施し、構造一体性との関連性を確認した。

(3) 評価結果

断面修復部の構造一体性試験を行った結果を図 - 11 に示す。ここで、見かけの曲げ強度とは、得られた最大荷重より破壊面に作用した曲げモーメントを算出し、断面係数 ($B \times H^3/6$) で除した値である。これより、実測された曲げ強度は、断面修復材 PCM を用いた場合、Case 3 の解析値におおむね一致する傾向であった。また、断面修復材 CM のうち、ひび割れが生じている補修厚み 10, 25 mm の供試体では、断面の高さが減少する分だけ曲げ強度が低下する傾向となった。一方、断面修復材 LPCM では、補修厚み 10 mm を除き、Case 3 の解析値より 2 N/mm² ほど上回る結果となった。これについては、計算上は無視した断面修復材の引張軟化の影響が表れた結果と考えられる。

一方、付着強度との関連に関していえば、断面修復材の種類や補修厚みにより大きく異なる結果となった。とくに、断面修復材 LPCM のように付着強度が 0.5 N/mm² 未満の場合でも構造一体性を有する場合もあり、断面修復部の付着強度では構造一体性を定量的に評価できないと考えられる場合があった (図 - 12)。

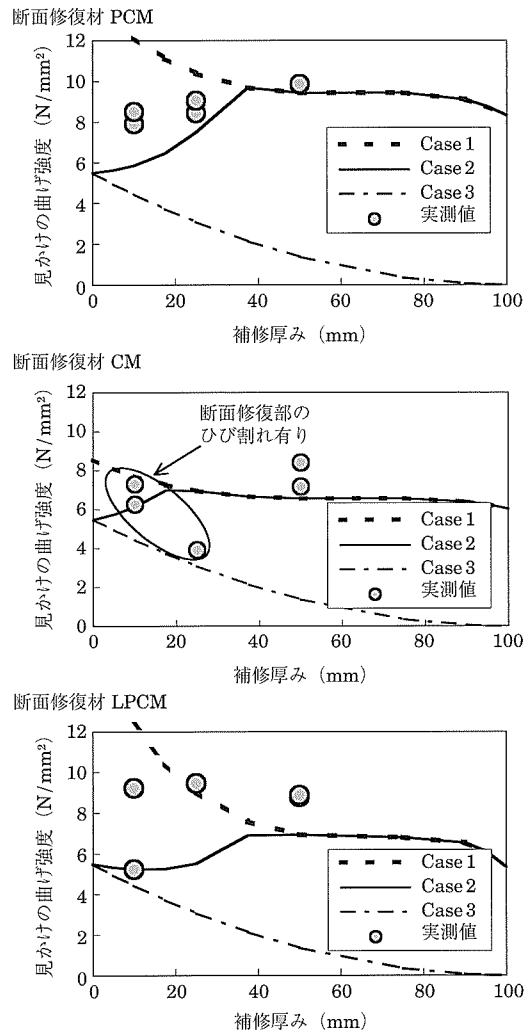


図 - 11 構造一体性試験の結果

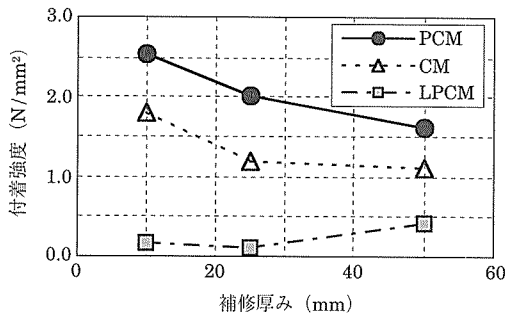


図-12 断面修復部の付着強度試験の結果

以上より、断面修復部が構造一体性を有する場合、伸び性能の高い断面修復材を用いることで見かけの曲げ強度が増大し、補修厚みにより曲げ強度が異なることが明らかになった。また、構造一体性の評価方法は、既設部の引張軟化を考慮し、少なくとも断面修復部は曲げ強度まで荷重に抵抗することを確認する必要があると考えられる。

4.3 はく離抵抗性⁸⁾

(1) 要求性能

断面修復部には、既設部とのはく離に対する抵抗性を有する必要がある。また、断面修復部のはく離抵抗性に及ぼす影響要因として、荷重や振動などによる外力によるもの、凍結融解や乾湿繰返しなどの環境作用によるもの、既設部との収縮差や温度差などの内部応力によるものがあり、施工条件や使用目的あるいは環境条件を考慮して、適切に定める必要がある。

(2) 評価手法

ここでは、劣化作用としてもっとも厳しいと考えられる凍結融解作用に着目し、採用される材料・施工方法が断面修復部のはく離抵抗性に及ぼす影響についての評価手法を示す。

供試体はひび割れ抵抗性に用いる補修コンクリート供試体と同一形状とし、打継ぎ側面からの水の侵入を遮断するため、側面4面に対して重塗装を行った(図-13)。この供試体を用いて、JIS A 1148 (A法:水中凍結融解試験方法)による促進試験を行い、供試体の外観状況や動弾性係数を確認した。

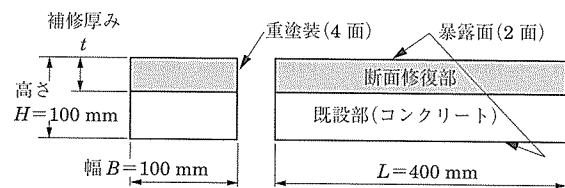


図-13 はく離抵抗性試験に用いる供試体形状

(3) 評価結果

はく離抵抗性試験を実施した結果を図-14に示す。ここで、スケーリングが確認されたのは断面修復材 LPCMのみであり、スケーリングの深さは最大1 mm程度であった。このことから、今回の実験範囲では、スケーリングが断面修復部の耐久性に大きな影響を及ぼすことがなく、ここでは、主に既設部と断面修復部の界面の耐久性について検討する。

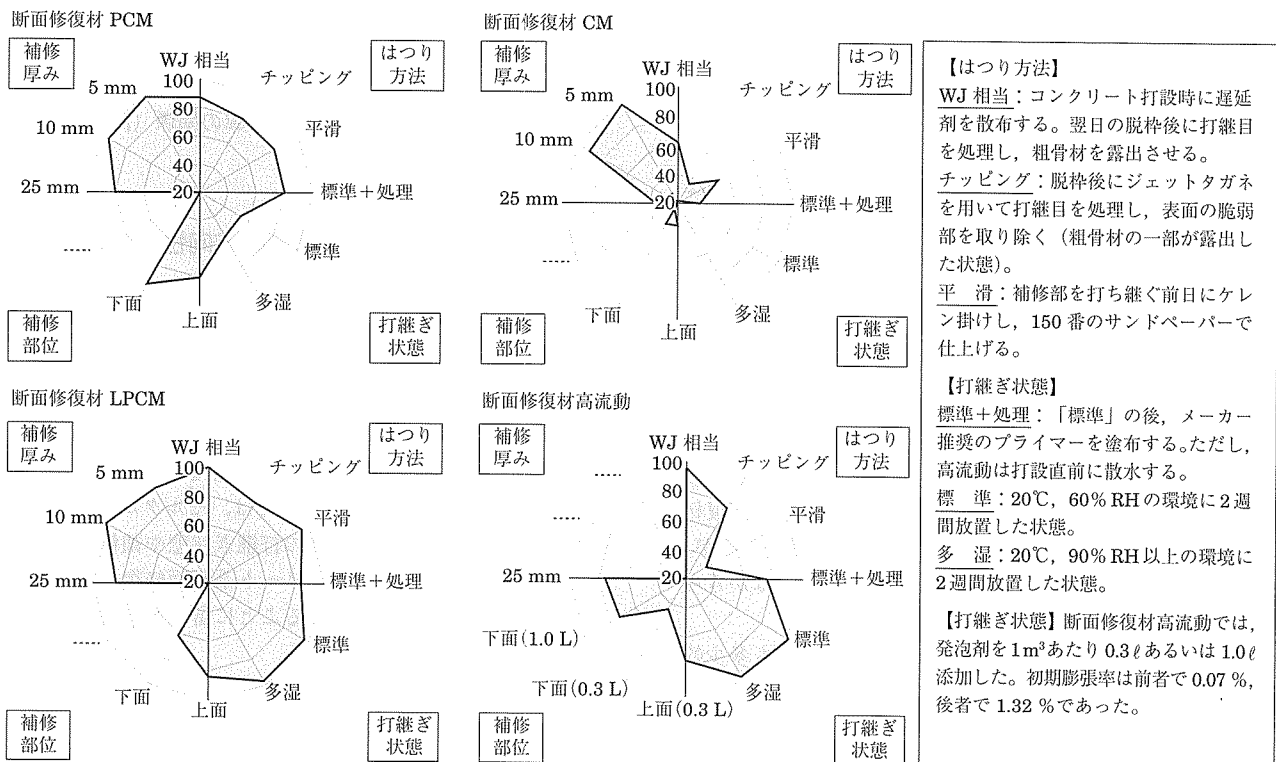


図-14 補修コンクリート供試体の耐久性指数 (JIS A 1148 水中凍結融解 300 サイクル実施による)

a) 施工条件の影響

断面修復材として高流動コンクリートを用いた場合、上面施工（上面（0.3 L））に比べ、下面施工（下面（0.3 L））の耐久性指数が大きく低下し、逆打ちの影響が表れた。対策としては、発泡剤の使用が有効であり、フレッシュ時に適度な膨張を与えることで、上面施工と同程度の耐久性が得られた（下面（1.0 L））。

次に、モルタル系断面修復材の場合、補修厚みを増すほど耐久性指数が低下する傾向になった。この原因として、断面修復材のみで作製した供試体の中心温度を調べた結果、モルタル系断面修復材では、凍結融解により相対動弾性係数が低下する際に、供試体中心部の融解が遅れる現象が確認された（図 - 15）。このように、モルタル系断面修復材を用いた補修コンクリート供試体では、融解過程において供試体内外部に凍結膨張の有無による軸力差が生じて劣化した可能性があると考えられ、既設部のコンクリートと異なる物性（温度特性あるいは水分移動性など）を有する断面修復材を用いる場合には留意する必要がある。

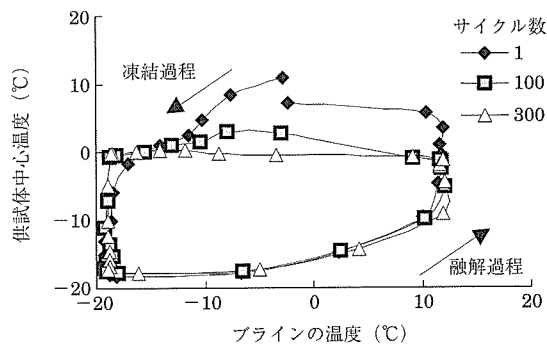


図 - 15 凍結融解試験中の温度履歴（断面修復材 CM）

b) はつり方法・下地処理の影響

コンクリート系断面修復材では、はつり面が平滑となるほど耐久性指数が低下し、粗骨材が十分に露出するまではつり作業を行うことで、耐久性指数が大きく改善した。一方、モルタル系断面修復材では、はつり方法の影響は小さく、打継ぎ面の凹凸状態よりも、目粗しが確実に行われることが重要であるものと考えられる。

c) 表面処理の影響

断面修復材 PCM と断面修復材 CM では、エポキシ樹脂系のプライマーを使用することで耐久性指数が改善した。断面修復材 LPCM では、吸湿防止材を塗布したが、耐久性指数は若干低下した。このように、モルタル系断面修復材では指定された方法により表面処理を行う必要があるが、プライマーの使用が必ずしも耐久性を改善するとはかぎらない場合があることに留意する必要がある。

一方、断面修復材高流動では、散水を行うよりも多少乾燥した状態で断面修復材を打ち継いだ方が耐久性指数が改善した。このようなことから、補修厚みが 25 mm 程度と薄い場合には、打継ぎ面を湿潤状態にせずに施工した方が良いことが確認された。

d) 評価・判定上の留意点

はく離抵抗性試験を実施した結果、得られた耐久性指数と、その後、曲げ強度試験を実施した結果の関係を図 - 16 に示す。ここで、補修コンクリート供試体の曲げ強度 f_{bcm} は、既設部の曲げ強度 f_{bc} （表 - 2）との比率から断面修復部が受け持つ耐荷力を曲げ強度寄与率 $F_{brepair}$ として、式（1）より算定した。また、図中の仮定値とは、たわみ振動より算出される相対動弾性係数が梁の曲げ剛性の平方根に比例する関係について、曲げ強度との間にも間接的に成り立つものとして求めたものである。

$$F_{brepair}(\%) = \left\{ 1 - \frac{1 - f_{bcm} / f_{bc}}{1 - (H - t)^2 / H^2} \right\} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

ここに、 H ：全高（mm）、 t ：補修厚み（mm）

これより、耐久性指数と曲げ強度寄与率の間には相関があり、断面修復部の曲げ強度が 60 % に低下するのに相当する耐久性指数は 90.1 % と試算される。このことから、今回用いた補修厚み 25 mm の補修コンクリート供試体について耐久性指数で評価する場合には、設計で想定する曲げ強度などの力学的性能の要求水準によっては、耐久性指数を 60 % よりも高く設定する必要があると考えられる。

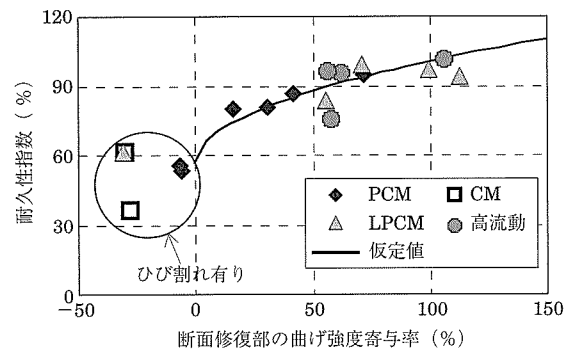


図 - 16 耐久性指数と曲げ強度寄与率の関係（ $t = 25 \text{ mm}$ ）

5. 断面修復部の維持管理の方向性

(1) 維持管理計画

4章において断面修復部の耐久性を検証した結果、乾燥収縮ひずみが小さく、伸び性能の高い断面修復材ほど、ひび割れ抵抗性や構造一体性に優れていることが確認された。また、補修厚みを薄くするほど、ひび割れが発生しやすく、構造一体性が懸念されることには注意を要する（4.1, 4.2 節）。一方、はく離抵抗性については、モルタル系断面修復材ではプライマーの塗布などの打継ぎ状態や補修厚みに左右される傾向であり、コンクリート系断面修復材では、はつり方法の影響を大きく受けることに留意する必要がある（4.3 節）。

いずれにしても、断面修復部の耐久性は、施工条件、はつり方法、打継ぎ処理方法、断面修復材の種類あるいは施工法の組合せにより大きく異なることがあるため、採用された材料・施工方法をふまえた維持管理計画の策定も必要

となろう。

(2) 点検および詳細調査

断面修復部のひび割れに関しては、目視調査などにより容易に点検することができる。一方、構造一体性に関しては、ひび割れが生じない場合でも一体性が低下することがある。はく離抵抗性に関しては、断面修復部が薄い場合には局部的な浮きなどの劣化形態が耐久性に大きく影響するが、厚い場合には打継ぎ界面全体がはく離するようひび割れが生じるケースもあった(図-17)。このように、補修厚みが大きい場合には断面修復部のはく落につながる可能性もあり、はく離を防止するための鋼材を配置しておくなどの対処が必要である。

一方、断面修復部の経年的な劣化状況を確認するためには、ひび割れ状況などを点検する必要があり、表面被覆との併用は必要最小限にとどめるべきであると考えられる。また、必要に応じ、サーモグラフィなどを利用したはく離調査を点検項目として組み込んだ維持管理手法の選択もあり得ると考えられる。

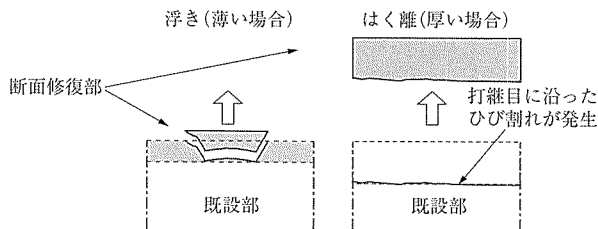


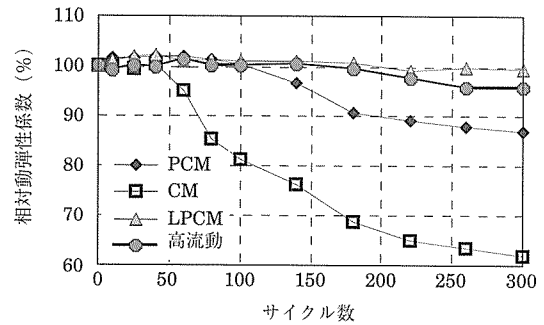
図-17 断面修復部のはく離劣化の形態

(3) 点検結果の評価・判定

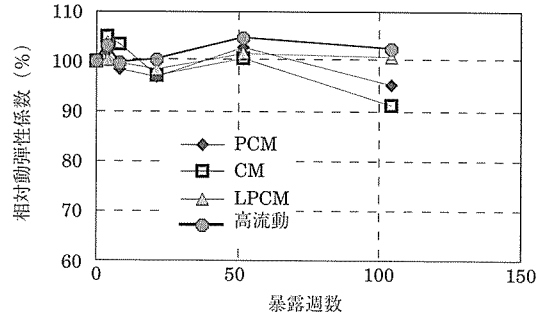
断面修復部の耐久性は、構造物の使用状態や環境条件によって大きく左右される。このうち、ひび割れ抵抗性や構造一体性に関しては、拘束条件や乾燥条件などを事前に把握することで、4.1節、4.2節で示した評価手法により、おおむね適切な材料・施工方法であったかを判断することができると思われる。

一方、はく離抵抗性に関しては、4.3節に示したようにさまざまな要因があり、構造物ごとにこの要因を特定したうえで、劣化外力を見積もる必要がある。図-18には、はく離抵抗性を検証した促進試験と同じ供試体を用いて屋外暴露試験を2.1年間行った結果を示す。暴露期間中の平均気温は13.7℃(最高37.7℃, 最低-7.5℃), 平均湿度74.9%, 降雨量1354mm/年であった。また、暴露期間中に最低気温が0℃以下となったのは194日であり、-5℃以下となったのは30日であった。これより、暴露104週時点における相対弾性係数は、いずれの供試体でも促進試験300サイクル時点を下回ることはなかったが、促進試験で耐久性が低下した断面修復材CMは屋外暴露試験でも同様に低下傾向を示しており、促進試験で得られた結果は、実環境におけるはく離抵抗性を示唆しているものと考えられる。

(a) 促進試験(JIS A 1148 水中凍結融解試験)



(b) 屋外暴露試験



* (a)は、4.3節の実験方法による。(b)は、(a)と同時に供試体を作製し、2006年1月から2008年2月まで、塩分が飛来しない内陸環境の屋外で暴露した。いずれも打継ぎ処理をWJ相当とした場合の結果を示した。

図-18 はく離抵抗性試験による相対動弾性係数の変化

6. 結 論

本研究では、断面修復工法に採用される材料・施工方法を選定できる手法を確立することを目的として、ひび割れ抵抗性、構造一体性、はく離抵抗性に関する評価手法を提案し、いくつかの材料・施工方法を組み合わせた補修コンクリート供試体の耐久性について実験的に検証した。その結果、かざられた範囲の検討ではあるが、次の結論を得た。

- (1) 本研究4章において提案した評価手法により、材料・施工方法の組合せによる断面修復工法としての耐久性を検討することが可能になった。
- (2) 断面修復部の耐久性は、本研究4章に示したように、施工条件、はつり方法、打継ぎ処理方法、断面修復材の種類あるいは施工法の組合せにより大きく異なることが確認された。
- (3) 本研究で提案した評価手法は、5章で示したように一部ではあるが、実環境における検証結果との整合性および再現性が確認された。今後は、実際の既設PC構造物の補修において検証される必要がある。

参考文献

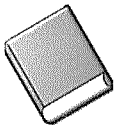
- 1) 中村定明, 濱田 謙, 谷口秀明, 中村雅之: PC橋の改造技術に関する研究-その3: PC部材のはつりの適切性に関する研究-, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, pp.54-60, 2008.1
- 2) 谷口秀明, 渡辺博志, 竹中秀樹, 三加 崇: PC橋の改造技術に関する研究-その4: 大規模な断面修復の材料および施工に関する検討-, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.2, pp.92-100, 2008.3

- 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会：外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル（案），2007.4
- 4) 片平 博，河野広隆：各種断面修復工法の施工性・付着性および耐久性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，2003
- 5) 北山 良，渡辺博志，久田 真，中村英祐：断面修復材の硬化収縮に関する研究，第14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，pp.97 - 100，2005.11
- 6) Nakamura, E. Kitayama, R. Watanabe, H. Hisada, M., Tsukahara, M.: Performance evaluation of repair materials based on shrinkage properties, Pro - ceedings of the Second fib Congress, Condensed papers (2) , 524 -

526, Jun 2006

- 7) 北野勇一，渡辺博志，久田 真，北山 良：断面修復を施したコンクリート部材の耐荷力特性に関する検討，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，pp.139 - 142，2006.10
- 8) 北野勇一，渡辺博志，久田 真，竹中秀樹，篠崎英二：断面修復工法の凍結融解作用に対する剥離抵抗性の検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.6，pp.191 - 196，2006.10

【2008年3月24日受付】

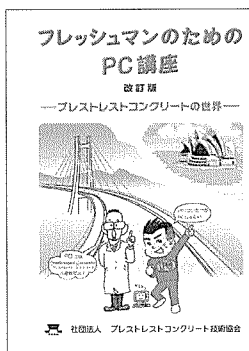


新刊図書案内

フレッシュマンのためのPC講座・改訂版 — プレストレストコンクリートの世界 —

大変ご好評をいただいております「フレッシュマンのためのPC講座」も平成9年に第一版が発刊されてから約10年が経過いたしました。

その間に、基準値・規格値をはじめとした技術基準が従来単位系からSI単位系に移行しました。また、プレストレストコンクリート構造物においても、複合構造等の新しい構造物が誕生しています。そこで、これらの項目を新しく見直して、改訂版を発刊することにいたしました。これからの技術者を育てるためには、大変有意義な図書であると確信しておりますので、是非有効利用されることをお勧めいたします。



主な改訂項目

- ・従来単位系からSI単位系に変更しました。
- ・PCを利用した構造物の紹介に、最近の新しい構造物を盛り込みました。

発刊日：2007年3月

頒布価格：会員 3,000円（非会員 3,600円）郵送代 400円／冊

体裁：A4判，140頁

申込先：(社)プレストレストコンクリート技術協会