

第2回 補修材料と補修工法

講師：小野 定

1. まえがき

鉄筋コンクリート（RC）構造物の劣化機構としては、中性化、塩害、アルカリ骨材反応、凍害、化学的浸食、疲労、火災および風化・老化があげられる。

当然のことながら、建設段階における不具合が潜在的に存在する場合には、これらの劣化の引き金あるいは劣化を促進する要因となるが、本文では劣化による補修を対象としたことから、ジャンカ（豆板）、コールドジョイントなど施工に起因する不具合は除外することとした。

一般にコンクリート構造物の劣化は、コンクリートの劣化と鋼材の劣化に分けられる。鋼材の劣化は、すなわち鋼材腐食であり、コンクリートの劣化は、強度劣化、ひび割れおよび表面劣化の3つに分けられる。このことから、補修は、以下のように分類することができる。

- 1) 劣化したコンクリート強度を回復する補修
- 2) 性能低下につながるひび割れの補修
- 3) 表面の劣化を回復する補修
- 4) 鋼材の腐食要因を除去する補修
- 5) 鋼材腐食の進行を止める補修
- 6) 剥落現象を物理的に阻止する補修
- 7) その他

本文では、PC 構造物を対象とした 1) ～ 5) に対する補修材料と補修工法について紹介する。ただし、4)、5) に該当する電気化学的補修工法、電気防食工法および、6) を目的とした鋼板接着等については次回以降の講座に譲ることとした。

2. 劣化と劣化機構との関係

PC 構造と RC 構造を劣化という観点から比較した場合、プレストレス導入に起因するひび割れ、グラウト未充填箇所へ浸透した水分の凍結など、施工不具合や不良による劣化が存在する点を除いて、基本点に同様と考えられるため、以下ではコンクリート構造全般を対象として説明を行う。

劣化現象と劣化機構との関係を表 - 1 に示す。これらの劣化現象の内、本文ではひび割れ、浮き・剥落、スケーリング、ポップアウト、鋼材腐食の補修方法について紹介する。補修対象と補修目的との関連はつぎのとおりである。

表 - 1 構造物で発生する劣化と劣化機構との関係

劣化機構 \ 劣化現象	1. 中性化	2. 塩害	3. アルカリ骨材反応	4. 凍害	5. 化学的浸食	6. 疲労	7. 火災	8. 風化・老化
1. ひび割れ	○	○	○	○	○	○	○	○
2. 浮き・剥落	○	○	○	○			○	
3. エフロレッセンス	○	○	○	○		○		
4. スケーリング				○				
5. ポップアウト			○	○				
6. 鋼材腐食、錆汁	○	○	○	○	○	○		○
7. 鋼材露出	○	○		○	○	○	○	
8. ゲルの滲出			○					
9. 汚れ(変色)			○	○	○			○
10. すりへり								○
11. 鋼材の破断	○	○	○	○	○	○	○	
12. 変位・変形	○	○	○	○	○	○	○	○
13. 振動	○	○	○	○	○	○	○	○

- (1) スケーリング、ポップアウト：劣化したコンクリート強度を回復する補修、表面の劣化を回復する補修
- (2) ひび割れ：性能低下につながるひび割れの補修
- (3) 鋼材腐食：鋼材の腐食要因を除去する補修

3. 補修工法

補修および補強は、(社)土木学会のコンクリート標準示方書・維持管理編では、つぎのように定義されている。「補修は、コンクリート片の落下による第三者影響度の可能性を除いたり、耐久性能を回復、もしくは向上するために実施する対策」である。また、「補強は、構造物や部材の耐荷性や剛性などの力学的な性能の回復、あるいは向上を目的とした対策」である。ここでは、前者の「補修」について述べることとする。

構造物で発生した劣化補修の必要性有無の評価・判定は、安全性能、使用性能、第三者影響度に関する性能、美観・景観および耐久性能の観点から行う。このような評価・判定は、通常、構造物ごとに行われている。

表 - 2 に劣化機構と補修工法との関係を示す。表 - 2 から、ひび割れ補修工法、断面修復工法および表面被覆工法は、コンクリート構造物で発生する劣化に対して幅広く適用で

表 - 2 劣化機構と補修工法との関係

劣化機構	中性化	塩害	アルカリ骨材反応	凍害	化学的侵食	疲労	火災	風化・老化
ひび割れ補修工法	表面処理工法	○	○	○	○	◎		
	注入工法	◎	◎	◎	◎	○	○	
	充填工法				○			
断面修復工法		◎	◎	◎	◎		◎	◎
表面被覆工法		◎	◎	◎	◎	○	◎	◎

注) ◎：有効，○：適用できる

表 - 3 劣化現象と補修工法との関係

劣化現象	1. ひび割れ補修工法			2. 断面修復工法	3. 表面被覆工法
	表面処理工法	注入工法	充填工法		
1. ひび割れ	○	○	○		○
2. 浮き・剥落				○	○
3. エフロレッセンス					
4. スケーリング				○	○
5. ポップアウト				○	○
6. 鋼材腐食, 錆汁				○	○
7. 鋼材露出				○	○
8. ゲルの滲出					
9. 汚れ(変色)				○	○
10. すりへり				○	○
11. 鋼材の破断					
12. 変位・変形					
13. 振動					

ることが分かる。また、ひび割れ補修工法の一つである充填工法は、劣化の補修工法としては適用範囲が狭い。

表 - 3 に劣化現象と補修工法との関係を示す。

3.1 性能低下につながるひび割れの補修

(1) 注入工法

注入工法は、ひび割れ全般に適用できる工法である。対象となるひび割れの状態に対する本工法の適用方法を表 - 4 に、その手順を図 - 1 に示す。まず、ひび割れ部を清掃し、注入用のパイプあるいはプラグを設置する。躯体の表面部から注入する場合には、表面に注入用治具を取り付け(図 - 2 参照)、それ以外の箇所をシールする。引き続いてパイプあるいはプラグから注入器具を用いてひび割れ部に補修

表 - 4 注入工法の適用方法

分類	適用範囲			
	ひび割れ幅の変動		ひび割れ深さ	
	大	小	深い	浅い
高圧注入工法 (機械注入工法)	△ (充てん工法と組み合わせること)	○	○ (ひび割れ深さの2/3程度まで削孔して注入)	○ (ひび割れの表面部はコーキング処理)
低圧注入工法	△ (充てん工法と組み合わせること)	○	×	○

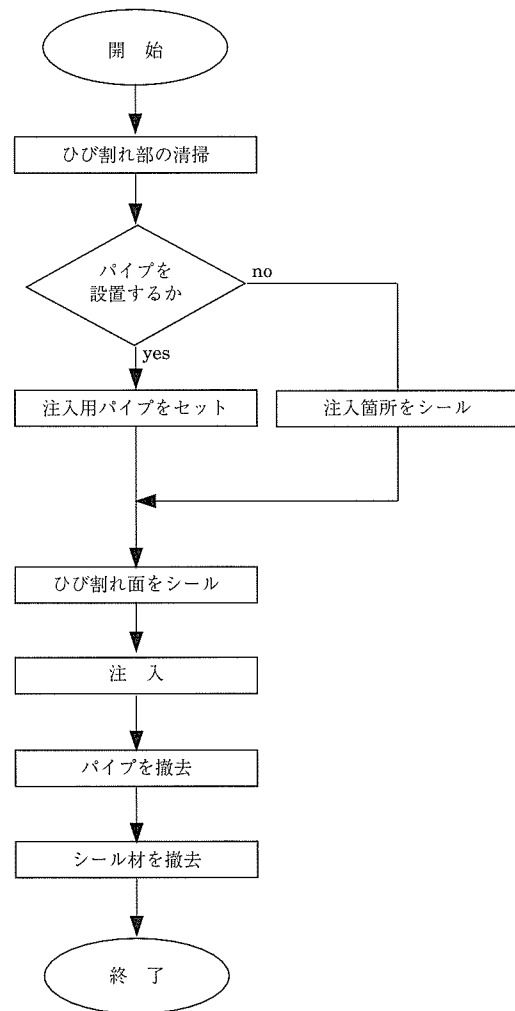


図 - 1 ひび割れ補修手順⁴⁾

材料を注入する。躯体の表面から注入する場合には、注入器具内部に補修材料を注入する（写真-1参照）。

(2) 充填工法

充填工法はひび割れ部に沿って、躯体表面をUあるいはV形にカットし、カット部に可とう性の材料を充填する工法である。

なお、本工法は劣化補修工法としては、注入工法との併用で用いられる場合が多い工法である。図-3に本工法による補修手順を示す。

(3) 表面処理工法

表面処理工法は躯体の表面部に補修材料を塗布、あるいは接着させることにより補修する工法である。本工法を適用する場合、躯体の動きに追従できる表面処理材を選定することが重要である。本工法によるひび割れ補修の手順を図-4に示す。

3.2 断面修復工法

(1) 劣化したコンクリート強度を回復・表面の劣化を回復する補修

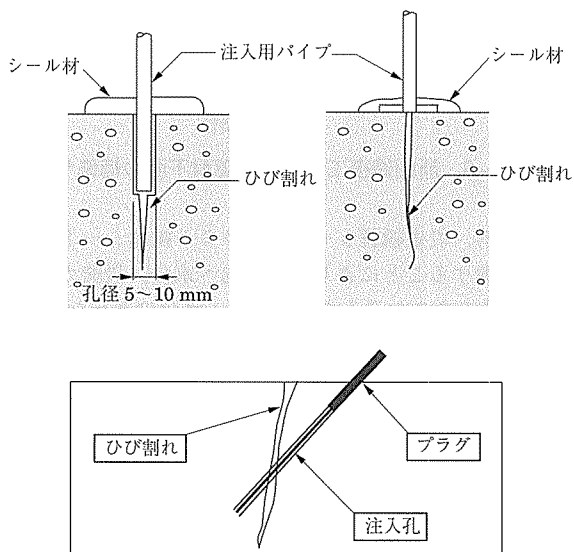


図-2 注入工法によるひび割れ補修⁴⁾

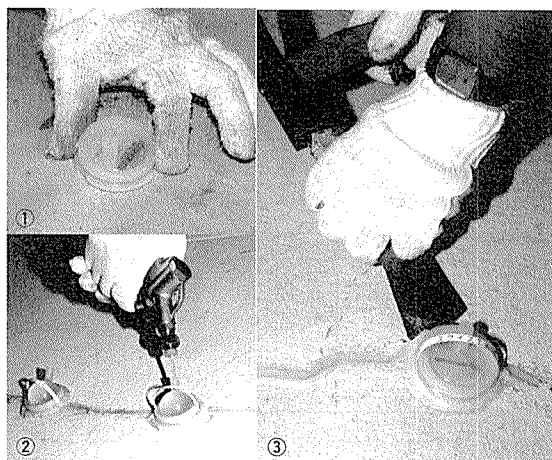


写真-1 低圧注入工法によるひび割れ補修例⁴⁾

劣化したコンクリート強度を回復・表面の劣化を回復する補修としては断面修復工法がある。この補修工法は、躯体表層部の補修工法として広く使用されている。具体的な方法としては、図-5に示すように注入工法、コテ塗り工法、ドライパッキング工法等がある。これら以外では、型枠を使用しない工法として吹付け工法がある。断面修復のポイントは既設コンクリートとの界面に空気などを残さないようにして付着を確保することである。付着を確保する

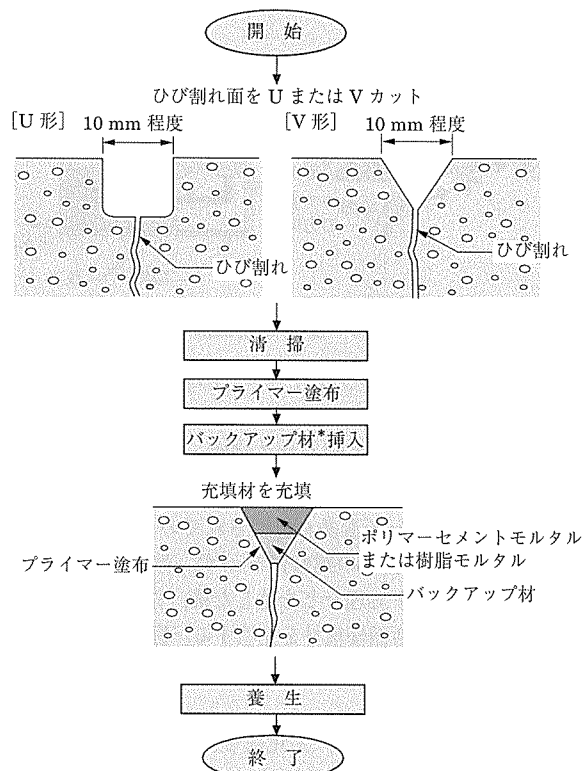


図-3 充填工法によるひび割れの補修⁴⁾

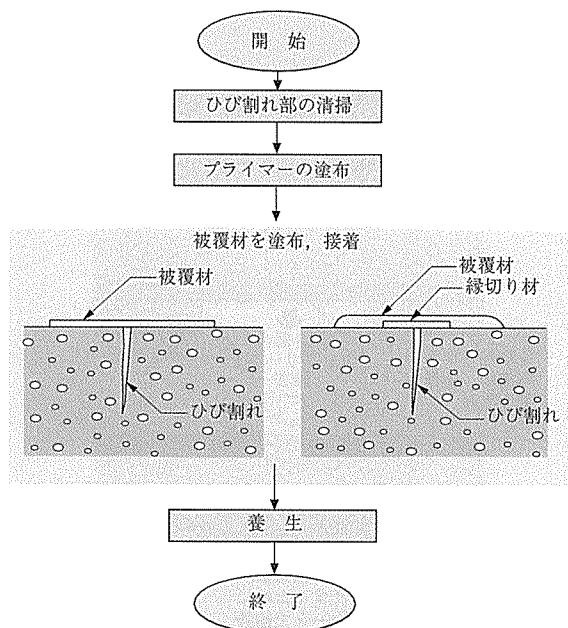


図-4 ひび割れ補修・充填工法

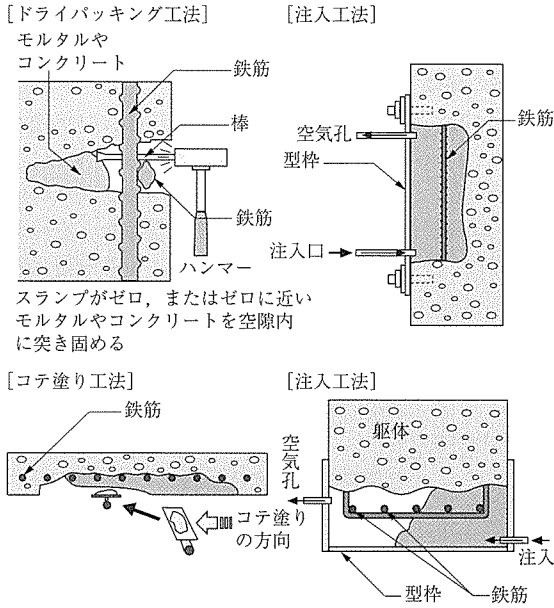


図 - 5 断面修復工法⁴⁾

目的で、通常は既設コンクリートとの界面に、プライマー（接着剤）を塗布している。

(2) 鋼材の腐食要因を除去する補修

先に示した断面修復工法は、鋼材の腐食に起因する浮き・剥落の補修としても多く使用されている。

図 - 6 に浮き・剥落の補修例を示す。浮きの箇所を除去し、界面にブラスト処理などを施した後、界面にプライマーを塗布してから、断面修復材を充填する。図 - 7 および図 - 8 に腐食した鋼材の断面欠損分を補った補修を行う場合の例を示す。

断面修復で大事な点は、劣化部を除去する際、躯体表面の除去部を鋭角に除去しないことである。

3.3 表面被覆工法

表面被覆工法は、躯体の表面を樹脂系やポリマーセメン

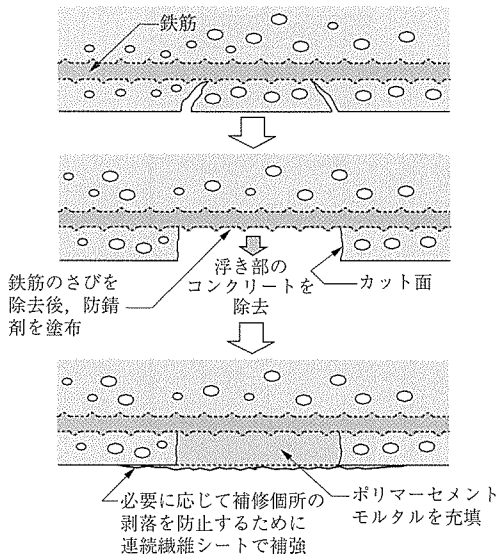


図 - 6 断面修復工法による浮き・剥落の補修⁴⁾

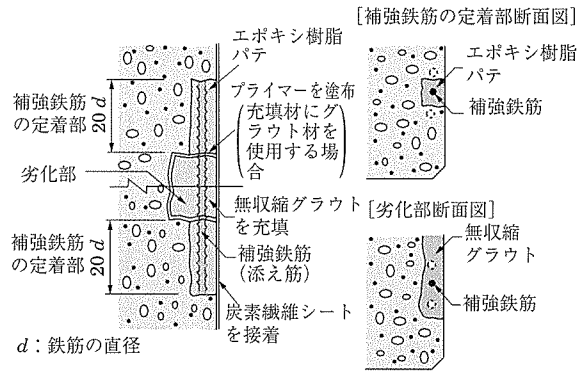


図 - 7 鉄筋腐食による浮き・剥落の補修⁴⁾

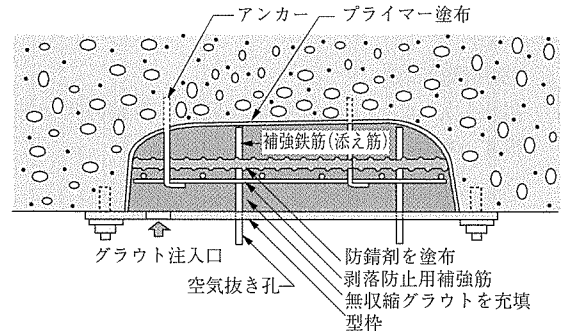


図 - 8 断面修復工法による部材下面の補修⁴⁾

ト系の材料、炭素繊維シートやアラミド繊維シートなどの材料で被覆することにより、躯体内へ水分、炭酸ガス、酸素および塩分などの浸入を遮断して、劣化の進行を抑制し、構造物の耐久性を向上させる工法である。

表面被覆材に要求される性能は、劣化要因、施工環境条件などにより異なるが、一般的には、遮断性、コンクリートとの付着性、ひび割れ追従性、耐アルカリ性、耐候性などにすぐれていることが必要である。

4. 補修材料

補修材料と補修工法とは表裏一体の関係にある。つまり、補修工法が決まるとその工法で適用する材料がほぼ決まるということになる。

補修工法と各工法に適用できる材料との関係を表 - 5 に示す。

4.1 ひび割れ補修で使用する材料

表 - 6 に補修材料と補修工法との関係を示す。材料はエポキシ樹脂など有機系の材料とセメントなどの無機系の材

表 - 5 補修工法と各工法に適用できる材料との関係

補修工法	適用材料	注入材・充填材	塗布材・含浸材	断面修復材	被覆材	接着剤	鋼材等の補強材
ひび割れ補修工法	○	○				○	○
断面修復工法				○		○	○
表面被覆工法	○	○	○	○	○	○	

料に分けられる。補修材料は、基本的には補修目的で決まる。ひび割れ部に水が存在する場合には、セメント系、湿潤型のエポキシ樹脂、アクリル樹脂が使用できる材料となる。

表 - 6 以外の補修材料として、ポゾラン反応を利用してひび割れ部の空隙、コンクリート中の細孔を緻密化する無機系の材料（たとえば、コロイダルシリカ溶液を噴射、あるいは注入）がある。

4.2 断面修復で使用する材料

表 - 7 に断面修復工法の補修材料と施工法との関係を示す。材料はセメント系、ポリマーセメント、エポキシ樹脂およびアクリル樹脂の4つである。各材料は、断面修復部の大きさおよび施工方法により使い分けられる。

4.3 表面被覆で使用する材料

表 - 8 に表面被覆工法の補修材料の比較を示す。表面被覆材料には多くのものがある。止水目的では、ほとんどの材料が適用できるが、ひび割れ補修の面からはシート系の材料が適している。

表 - 6 補修材料と補修方法との関係

補修材料の種別	材 料	適用できる補修工法			性 能							
		注入工法	充填工法	表面処理工法	乾燥面への接着性	湿潤面への接着性	可とう性	耐久性	耐水性	耐アルカリ性	収縮性	作業性
樹脂系	エポキシ樹脂	◎	◎	○	◎	○	○	◎	◎	◎	小	○
	水中硬化型エポキシ樹脂	◎	◎	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	小	○
	アクリル樹脂	◎	◎	△	◎	◎	○	◎	◎	◎	大	△
	ポリウレタン樹脂	◎	△	×	○	◎	◎	○	○	○	小	○
	ポリエステル樹脂	◎	△	×	○	△	△			×	小	○
セメント系	超微粒子セメント	◎	△	×	△	△	△	◎	◎	◎	大	○
	ポリマーセメント	◎	◎	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	大	○

◎：優，○：良，△：可，×：不可

表 - 7 断面修復工法・補修材料と施工法との関係⁴⁾

結合材	材 料	適用対象		施工方向	
		大断面	小断面	充填工法	型枠の有無
セメント	ポルトランドセメントモルタル		○	コテ塗り，ドライパッキング法	無
	ポルトランドセメントコンクリート	○		ポンプ圧入	有
				吹付け	無
	無収縮モルタル	○		コテ塗り，ドライパッキング法	無
				ポンプ圧入	有
無収縮コンクリート	○		吹付け	無	
			ポンプ圧入	有	
ポリマーセメント	ポリマーセメントモルタル	○	○(範囲が広い)	コテ塗り，ドライパッキング法	無
				吹付け	無
	ポリマーセメントコンクリート	○		ポンプ圧入	有
エポキシ樹脂	エポキシ樹脂			吹付け	無
				注入	無
	エポキシ樹脂モルタル			○	注入（プレパックドコンクリート）
コテ塗り					無
アクリル樹脂	メチルメタクリレートモルタル			注入（プレパックドコンクリート）	有
				コテ塗り	無

表-8 表面被覆工法に使用する材料の比較

補修目的補修材料	防水の向上	耐久性の向上	ひび割れ制御	耐荷性の向上
塗膜弾性防水材料	◎	○	×	×
浸透性防水剤	○	△	×	×
ポリマーセメントモルタル	○	△	×	×
炭素繊維シート	◎	◎	◎	◎
アラミド繊維シート	◎	○	◎	◎
ガラス繊維シート	◎	○	△	△

◎：優，○：良，△：可，×：不可

5. 補修材料および補修工法の選定にあたっての留意点

補修工法選定の基本は、劣化機構に適合した工法を選定することである。この際に考慮すべき要因を以下に示す。

- ① 劣化機構
- ② 劣化の進行過程
- ③ 要求性能
- ④ 残存供用期間
- ⑤ 補修効果
- ⑥ 施工性
- ⑦ 荷重条件
- ⑧ 経済性
- ⑨ 工事時の周辺環境に与える影響

選定に際しては比較的多くの要因が関連しているが、実務的には、各要因に優先順位をつけて選定されている。一般的には、上記①～⑥を基準に工法を選定し、⑦～⑨に関する評価を行うという手順になると考えられる。

ひび割れの補修および断面修復を計画する際に、いくつかの点を明らかにしておくことが必要である。実際には、すべての項目を明らかにすることは困難な場合が多いが、いかなる場合でも、少なくともひび割れの発生原因あるいは考えられる要因、ひび割れ部が乾燥状態あるいは湿潤状態にあるのか、さらに将来的にひび割れ部が変動するのかの条件は絞り込んでおくことが重要である。

断面修復工法は、構造物（部材）が劣化により設計断面が確保されていない場合、元の断面が喪失あるいは損傷した場合の修復や、劣化因子を除去した場合の断面の修復を目的としたものである。このように、断面修復工法は多岐

にわたって適用されることから、断面修復材に要求される性能は、修復部材、環境条件、施工法などによって異なる。通常は以下に示す点を考慮して選定するのがよい。

- ① 圧縮、曲げ、引張強度などが、補修対象とする部材のコンクリートと同等以上であること。
- ② 熱膨張率、ヤング係数、ポアソン比などが、補修対象とする部材のコンクリートと同等であること。とくに、熱膨張率はコンクリートに近いことが望ましいが、樹脂系の材料はコンクリートよりも大きいことから、断面修復の範囲などを調整する必要がある。
- ③ 乾燥収縮が小さいこと。
- ④ 補修対象とする部材のコンクリートとの接着性がよいこと。
- ⑤ 施工性がよいこと。

6. まとめ

PC 構造物を対象にして、補修材料と補修工法についてまとめた。先に記したように、PC 構造物の補修方法は、基本的には RC 構造物のそれと大きく異なることはないが、同じ鋼材腐食であっても PC 鋼材の腐食は構造物に与える影響という点において決定的に異なるということを認識しなければならない。PC 鋼材の劣化に対しては鋼材の交換あるいは外ケーブルによる補強が対策として考えられるが、そのような状態になる前にこれまでに説明したような方法で補修を行うことが重要である。

このようなことから、本文では、補修の基本となる、ひび割れ補修、断面修復補修および表面被覆補修の3つを取り上げて、各方法のポイントを中心に解説した。

最後に、補修は幅広い知識と経験が必要な分野であるので、本講座ですべてを紹介することは困難であるが、本講座が補修技術習得のきっかけとなれば幸いである。

(参考文献)

- 1) (社)土木学会：【2001年制定】コンクリート標準示方書〔維持管理編〕
- 2) 山崎淳外監修：道路橋補修・補強事例集，(株)山海堂
- 3) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'02【基礎編】，2002年
- 4) 日経BP社：コンクリート補修講座，2002年

【2003年6月23日受付】