

補修・補強材料

講師：松村 英樹*

1. はじめに

「コンクリート構造物はメンテナンスフリーである」と言われた時代がありました。最近では「コンクリート構造物は長持ちしない」というイメージが定着しつつあり、一般の方々にはコンクリートは信頼されなくなってきています。とくに、山陽新幹線の福岡トンネルで発生したコンクリート塊の剥落事故や各地で発生している高架橋等からのコンクリート片の落下事故以来、非常に残念なことです。信頼はがた落ちです。すべてのコンクリート構造物に欠陥があるわけではなく、欠陥があるのはほんの一握りであると考えるのが妥当だと思いますが、言い訳にはなりません。コンクリートに携わる技術者は信頼回復のためにそれぞれの立場で努力しなければならないと思います。

このような状況の中でコンクリート構造物の維持管理は重要です。「点検し、早期に損傷を発見し、甚大な損傷に至る前に適切な補修・補強を行い、第三者への被害を防止するとともに寿命を延ばす」という考え方が予防保全であり、今後はこのような維持管理が必要であると考えられています。予防保全を前提に置く維持管理で最も重要なことは目的と損傷状況に応じた適切な補修・補強工法と材料を選定することであり、これを怠ると予防保全はできないと思います。

また、鋼構造物は単一の材料で構成されているため、発生する損傷要因は腐食と疲労にある程度限定されます。一方、コンクリート構造物はセメント、水、骨材、混和剤、鋼材(鉄筋、PC鋼材など)などの材料で構成されているため、発生する損傷形態は、ひび割れ、剥離、鉄筋露出、遊離石灰や錆汁の流出など多様であり、複数の損傷が見られる場合が多く、その程度もさまざまです。また、このような損傷を発生させる原因も塩害、中性化、アルカリ骨材反応、凍害、化学的腐食など多岐にわたっていますし、一つの原因で損傷が発生するのではなく、複合した原因の場合もあります。このようなコンクリート構造物を補修・補強するには、損傷の原因とコンクリート内部を含めた損傷の程度を明確にしておかないと、上述したような適切な工法・材料の選定ができません。したがって、調査・診断により損傷状況を正確に把握する必要があります。

以上のような背景を踏まえて、今回はコンクリート構造物の補修・補強材料の種類と用途および適用例を解説した

と思います。

なお、ここでは補修と補強の定義を土木学会の「コンクリート構造物の維持管理指針(案)」¹⁾に従って以下とします。

補修：劣化した部材、構造物の今後の劣化進行を抑制し、耐久性の回復・向上と第三者への影響度の低減を目的とした維持管理対策。なお、補修では、耐荷性の回復・向上は目的としていない。

補強：部材、構造物の耐荷力を当初設計された水準まで回復あるいはその水準以上に向上させることを目的とした維持管理対策。

2. 補修材料の種類と用途

2.1 概 要

コンクリート構造物の補修工法には以下に示すように、多くの工法があります。これらの工法の選定にあたっては損傷の原因に適合したものでなければなりません。ひび割れや剥離などの損傷形態のみから選定するのではなく、損傷原因と損傷機構も考慮して選定する必要があります。さらに、補修水準を考慮して工法と材料を検討する必要があります。表-1は損傷原因に基づいた補修工法の選定例²⁾です。代表的な補修工法は、①ひび割れ補修工法、②鉄筋防錆工法、③断面修復工法、④表面被覆工法、⑤電気防食工法、⑥脱塩工法、⑦再アルカリ化工法、があります。

以下に各工法に用いる材料について解説することとします。

2.2 ひび割れ補修材料

塩害や中性化などによる鉄筋腐食に伴うひび割れ、凍害やアルカリ骨材反応によるひび割れ補修に用いられるのがひび割れ補修材料です。種類としては表-2^{2), 3)}に示すものがあります。表-2の表面処理材はひび割れ幅0.2mm~0.3mm程度以下の微細なひび割れの補修に用いるもので表面を覆う被覆材です。注入材は0.2mm~0.3mm程度以上のひび割れの内部に注入する材料であり、エポキシ樹脂が一般に使用されています。充填材は5.0mm以上の比較的大きなひび割れの補修に使うもので、ひび割れに沿ってU字形あるいはV字形にカットし、この部分に充填する材料のことであり、ポリマーセメントモルタルやエポキシ樹脂モルタルなどを用います。

この中で土木コンクリート構造物のひび割れ補修材料の品質規格を表-3⁴⁾に示します。この表の中でA、Bはひび割

* Eiki MATSUMURA：新構造技術(株) 取締役 第二技術部長

れ進行度区分で、「A：ひび割れが進行している」、「B：ひび割れの進行が止まった」です。このようにひび割れの進行の有無で注入材の種類を変えています。

2.3 鉄筋防錆材料

発錆した鉄筋の腐食進行を抑制するために、鉄筋に塗布する材料です。一般的には鉄筋露出している箇所の補修で、断面修復する前に鉄筋の防錆に用います。防錆材料の

表-1 損傷原因に基づいた補修工法の選定例²⁾

劣化機構	補修方針	補修工の構成	補修水準を満たすために考慮すべき要因
塩害	・侵入したCl ⁻ の除去 ・劣化したコンクリートの除去 ・補修後のCl ⁻ 、水分、酸素の侵入抑制	断面修復工 表面保護工	Cl ⁻ 侵入部除去の程度 鉄筋の防錆処理 断面修復材の材質 表面保護工の材質と厚さ
	・脱塩 ・補修後のCl ⁻ 、水分、酸素の侵入抑制	脱塩工	
	・鉄筋の電位制御	電気防食	陽極材の品質 分極量
アルカリ骨材反応	・水分の供給抑制 ・内部水分の散逸促進 ・アルカリ供給抑制 ・劣化したコンクリートの除去、アルカリ除去	ひび割れ注入工 表面保護工	ひび割れ注入材の材質と施工法 表面保護工の材質と厚さ
凍害	・劣化したコンクリートの除去 ・コンクリートの凍結融解抵抗性の向上 ・補修後の水分侵入抑制	断面修復工 ひび割れ注入工 表面保護工	断面修復材の凍結融解抵抗性 ひび割れ注入材の材質と施工法 表面保護工の材質と厚さ
	・中性化したコンクリートの除去 ・アルカリ付与 ・補修後のCO ₂ 、水分の侵入抑制	断面修復工 表面保護工 アルカリ付与	中性化部除去の程度 鉄筋の防錆処理 表面保護工の材質と厚さ
化学腐食	・劣化したコンクリートの除去 ・有害化学物質の侵入抑制	断面修復工 表面保護工	表面保護工の材質と厚さ 劣化コンクリート除去の程度

表-2 ひび割れ補修材料^{2),3)}

	対象ひび割れ幅	主な材料
表面処理材料	0.2mm～0.3mm程度以下	ポリマーセメントペースト、セメントファイバー塗膜 弾性防水材など
注入材料	0.2mm～0.3mm程度以上5.0mmまで	エポキシ樹脂（低粘度）、ポリマーセメントスラリー（低粘度）など
充填材料	5.0mm以上	ポリマーセメントモルタル、エポキシ樹脂モルタル、弾性シーリング材（ウレタン樹脂系など）

表-3 ひび割れ補修材料の品質規格⁴⁾

(試験温度:20℃)

項目	材料の種類 単位	主な材料				
		土木補修用 エポキシ樹脂 注入材 1種	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材 2種	土木補修用 エポキシ樹脂 注入材 3種	土木補修用 充填材 ポリマー セメント系 B	土木補修用 充填材 シーラント系 A, B
ひび割れ進行度区分		B		A	B	A, B
ひび割れ幅 (mm)		0.2～5.0			5.0<	
粘度	cps	1000以下	4±1 *1	1000以下	10000以下	だれを認めず
可使用時間	分	30以上	30以上	30以上	30以上	240以上
硬化時間	時間	16以内	16以内	24以内	16以内	24以内
硬化収縮	%	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	—
伸び率	%	—	50以上	100以上	—	800以上
モルタル付着強さ (乾燥面)	kgf/cm ²	60以上	60以上	60以上	60以上	たわみ量10mm以上で破壊すること
付着力耐久性 保持率*2	%	60以上	60以上	60以上	60以上	60以上

*1 チキソトロピック係数 2rpm/20rpmの粘度で表す。
*2 規格に対する百分率

種類は表-4に示すとおりです³⁾。

2.4 断面修復材料

塩害、中性化による鉄筋腐食などにより断面の一部が失われた部材を修復するのに用いられる材料です。この材料はコンクリートと同程度の強度、熱膨張係数で、コンクリートとの付着性に優れ、硬化時の収縮が少ないことなどの性質をもっている必要があります。工法としては「モルタルパッチング工法」と「プレバッキングコンクリート工法」に大別できます。モルタルパッチング工法は型枠は用いず、修復材（モルタル）をへらやコテなどで断面を修復するもので、欠損断面が比較的小さい場合に使われます。プレバッキングコンクリート工法は欠損断面が大きい場合に使われる工法で、図-1⁵⁾に示すように型枠を設置し粗骨材の充填後、モルタルを注入するものです。

断面修復材料の種類を以下に示します³⁾。

- ① SBR系ポリマーセメントモルタルまたはコンクリート
- ② アクリル系ポリマーセメントモルタルまたはコンクリート
- ③ エポキシ樹脂系モルタル
- ④ 無収縮セメントモルタルまたはコンクリート

2.5 表面被覆材料

表面被覆材料は、塩分、水分、酸素などのコンクリート内部の鋼材腐食を増進させる要因がコンクリート中に透過浸透するのを遮断または抑制する目的でコンクリートの表面を被覆する材料です。表面被覆材料は、これらの性能をもつと同時に耐候性、コンクリートとの付着性、ひび割れ追従性、耐アルカリ性にも優れた性能が要求されます。

表-5に表面被覆材料の種類を示します³⁾。

2.6 電気防食材料

電気防食工法は、鉄筋の腐食が電気化学的反応によるものであるため、鉄筋に外部から電流を与えて、その電位を防食電位に保つことにより腐食を抑制しようとするものです。この工法は断面修復工法や表面被覆工法では補修が難しい、損傷が著しいコンクリート構造物に採用されることが多い工法です。工法には電流の供給方法により直流電源

を使用する外部電源方式と異種金属間の電位差によって発生した電流を利用する流電陽極方式の2方式があります。さらに、各方式には表-6に示すような工法があり、図-2に各工法の方法構成を示します⁶⁾。

2.7 脱塩工法, 再アルカリ化工法

脱塩工法⁷⁾は、コンクリート表面をメッシュ状のチタン合金などで覆い、これらの電極を陽極、鉄筋(陰極)と通電して、鉄筋コンクリート構造物の内部の塩化物イオンをコンクリート表層部に誘導して除去する工法です。再アルカリ化工法⁷⁾は脱塩工法と同様に電極を設置して、コンクリート表層部からアルカリ性溶液を浸透させることによって、鉄筋近傍のコンクリートにアルカリ性を付与するものです。

表-4 鉄筋防錆材料³⁾

	主な材料
錯転換型防錆材料	リン酸系, 有機酸系, キレート剤など
樹脂系防錆材料	エポキシ樹脂塗料, アクリル樹脂塗料
ポリマーセメント系防錆材料	SBR系, PAE系等のポリマーセメントペースト

なお、これらの工法はまだ研究段階であり、施工例は少ないようです。

2.8 一般的なコンクリートの劣化に対する補修例

最近各地でコンクリート塊の落下事故が発生していますが、これらは直接、耐荷性能に影響するものは少ないようですが、剥離し落下することにより第三者への被害の危険性があります。このような損傷に対しては、落下の可能性

表-5 表面被覆材料の種類³⁾

	主な材料
モルタル被覆工法	SBR系ポリマーセメント, アクリル系ポリマーセメント
塗膜被覆工法	エポキシ樹脂, ビニルエステル樹脂, シリコン樹脂, ポリウレタン樹脂, フッ素樹脂, アクリルゴム系樹脂, ポリブタジエンゴム樹脂, クロロプレンゴム系樹脂, ポリエステル樹脂, タールエポキシ樹脂など

表-6 電気防食工法の種類⁶⁾

	主な工法
外部電源方式	導電塗料方式, 網状陽極方式, ロッド陽極方式など
流電陽極方式	亜鉛シート方式, 亜鉛溶射方式など

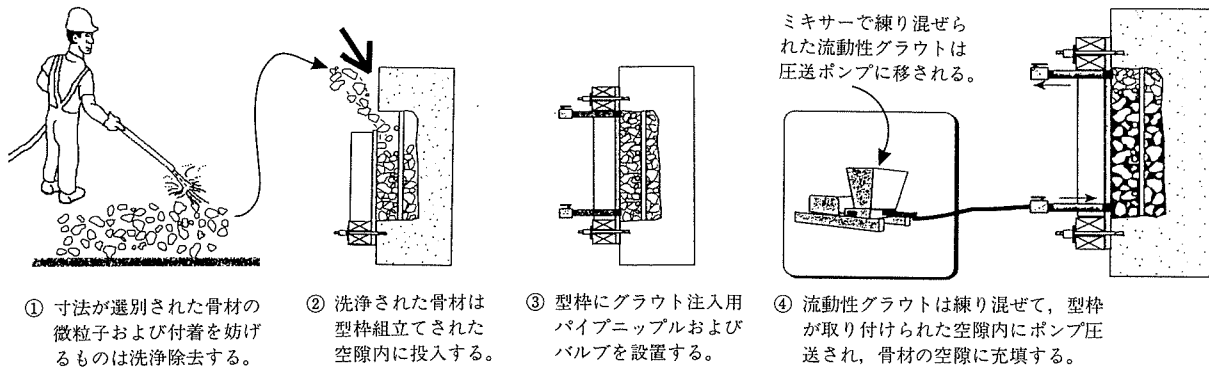


図-1 プレバックドコンクリート工法⁵⁾

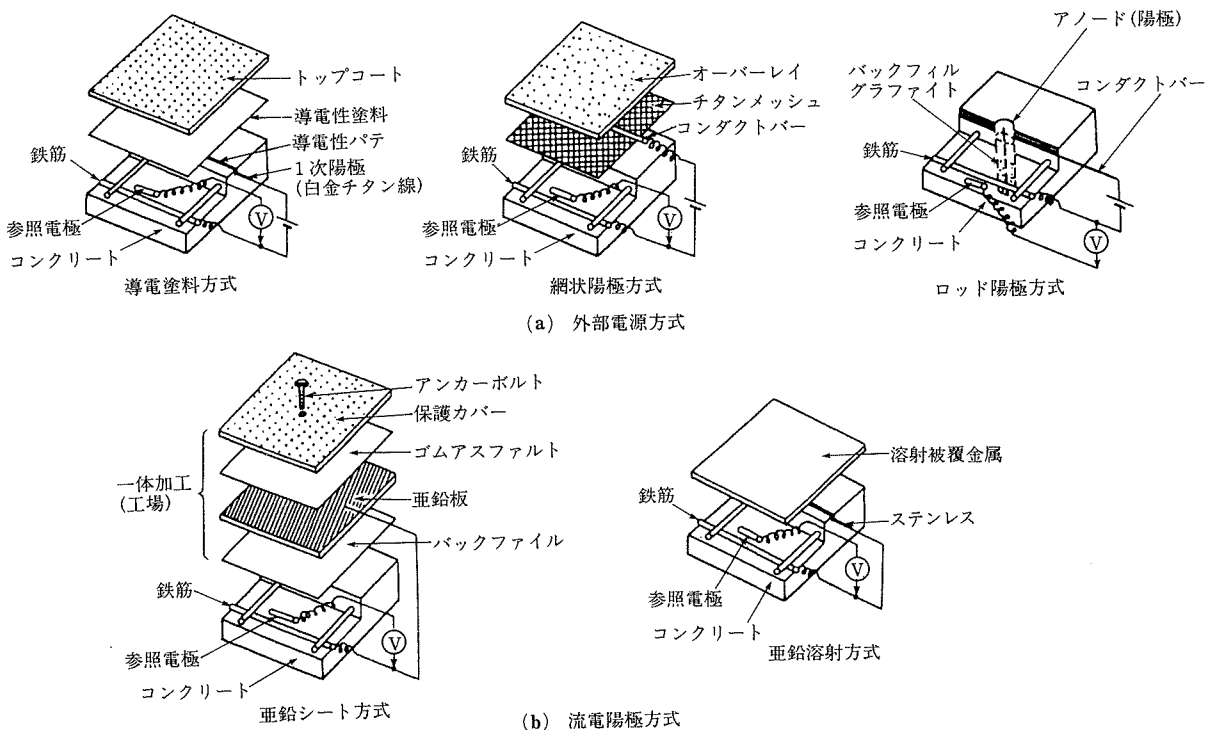


図-2 電気防食工法の方法構成⁶⁾

のあるものは、はつり落として補修する必要があります。補修は前節までに述べた各材料を用いて、図-3⁶⁾に示したような順序で行います。また損傷が大きく、はつりの範囲が大きい場合はガラスクロス等のクロスを貼付するのが一般的です。

3. 補強材料の種類と用途

3.1 概 要

コンクリート構造物に補強が必要となるのは、塩害等の損傷により耐荷性能が低下していると考えられる場合や設計荷重を上回る荷重が作用する可能性がある場合などが挙げられます。後者の具体的なものとしては、「道路橋の主桁や床版等のB活荷重補強」や「兵庫県南部地震を踏まえた大規模地震に対する橋脚耐震補強」などがあります。これらに対する代表的な補強工法としては、①プレストレス導入工法、②鋼板接着工法、③縦桁増設工法、④炭素繊維シート接着工法、⑤上面増厚工法、⑥下面増厚工法、⑦鋼板巻立て工法、⑧RC巻立て工法、⑨炭素繊維シート巻立て工法、があります。

以下に、これらの各工法に用いる材料について解説することとします。なお、各工法の①～⑥までが「道路橋の主桁や床版等のB活荷重補強」、⑦～⑨が「兵庫県南部地震を踏まえた大規模地震に対する橋脚耐震補強」に採用されています。

3.2 プレストレス導入工法

この工法はコンクリート部材にPC鋼材を配置してプレス

トレスを導入することによって、コンクリート部材の応力状態を改善し、曲げ耐力やせん断耐力を増加させる工法です。PC鋼材の配置方式には内ケーブル方式と外ケーブル方式がありますが、補強には外ケーブル方式が使われています。また、外ケーブルの防錆対策としてポリエチレンコーティングされたPC鋼材が使われています。また、最近ではPC鋼材の代わりに錆の発生の心配のない耐久性に優れたアラミド繊維や炭素繊維を用いた外ケーブル工法も研究されています(図-4、写真-1)。

3.3 鋼板接着工法

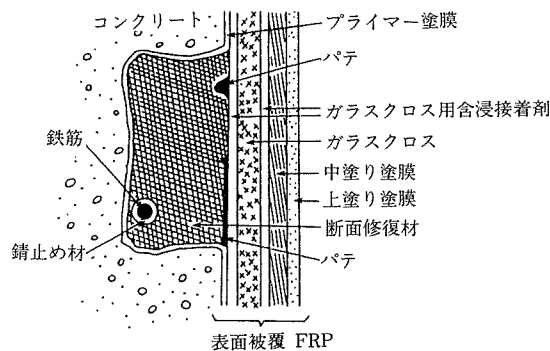
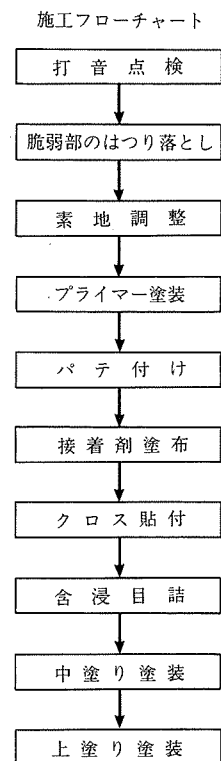
この工法は既設RC床版の補強に多く使われており、一般的には4.5mmの鋼板をエポキシ樹脂とホールインアンカーを用いて床版下面に接着する工法で、既設RC床版と鋼板との合成床版にするものです。これにより曲げ剛性の向上ばかりではなく、せん断剛性も向上します。施工は鋼板を約50cm間隔のホールインアンカーで床版下面から5mm程度の間隔を保持した状態で固定し、この隙間にエポキシ樹脂を圧入・充填して一体化します⁸⁾。

図-5に既設RC床版に用いた鋼板接着工法の概要図¹⁾を示します。

一方、この工法は既設RC床版だけではなく、コンクリート桁にも用いられますが、PC桁の場合にはホールインアンカーが内部のPC鋼材を傷つけないような配慮が必要です。

3.4 縦桁増設工法

この工法も既設RC床版の補強に多く使われています。こ



工 程	材 料	処 置
1 打音点検		
2 脆弱部のはつり落とし		
3 素地調整		
4 プライマー塗装	エポキシ樹脂プライマーなど	はけまたはローラーを用いて、プライマーを塗装する。
5 パテ付け	エポキシ樹脂パテなど	へらまたはコテを用いて、コンクリート表面の小穴や凹部にパテをすり込み、平らにする。
6 接着剤塗布	エポキシ樹脂系接着剤など	へらまたはコテでいねいに全面に塗布する。
7 クロス貼付	ガラスクロスなど	接着剤塗布後、直ちにガラスクロスを貼り付ける。貼り付けるときに気泡が入らないように注意する。
8 含浸目詰	エポキシ樹脂系接着剤など	へらまたはコテを用いて、接着剤が十分ガラスクロスに含浸するように塗布する。
9 中塗り塗装	柔軟型エポキシ樹脂塗料中塗りなど	エアレスプレー機あるいははけ、ローラーを用いて、中塗り塗料を塗装する。
10 上塗り塗装	柔軟型ポリウレタン樹脂塗料上塗りなど	エアレスプレー機あるいははけ、ローラーを用いて、上塗り塗料を塗装する。

図-3 剥落防止対策例⁶⁾

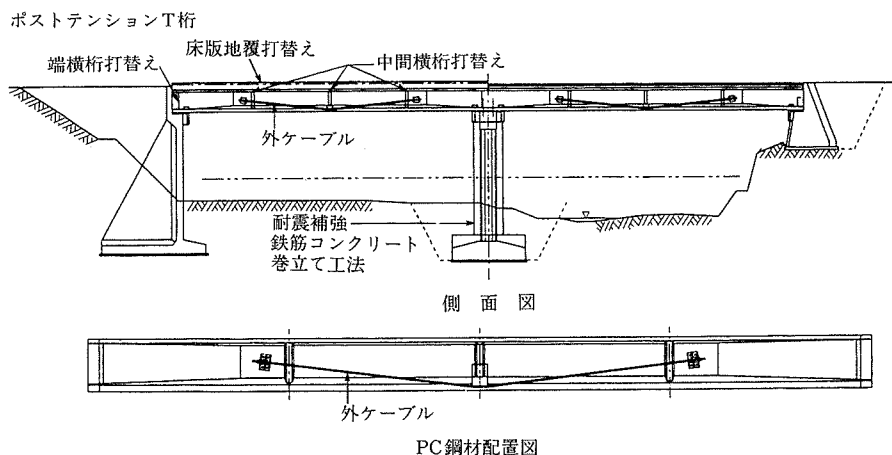


図-4 プレストレス導入工法

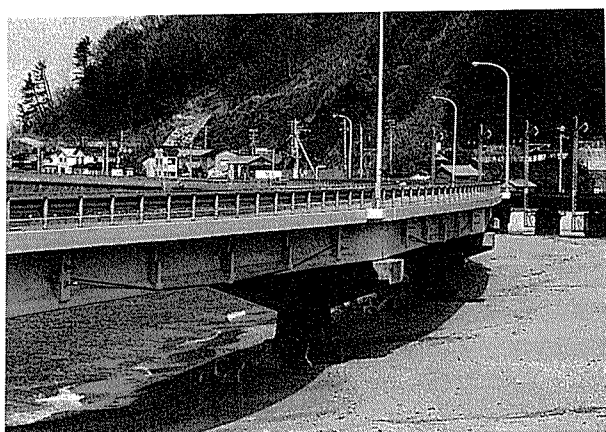


写真-1 外ケーブルによる補強例

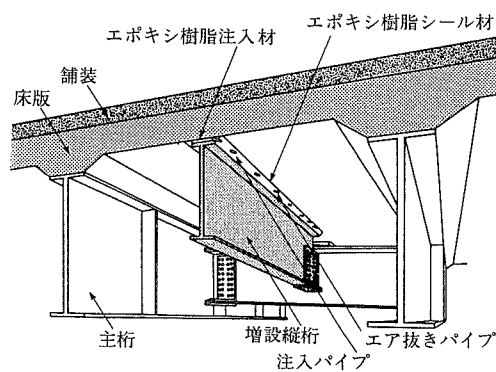


図-6 縦桁増設工法¹⁾

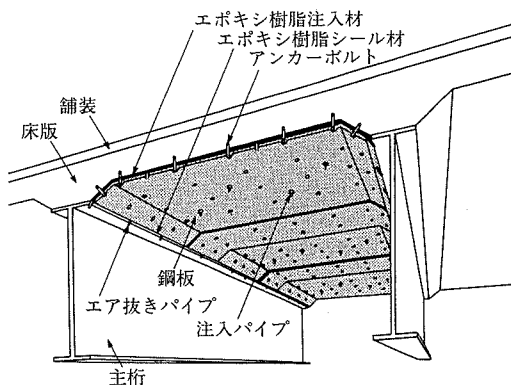


図-5 鋼板接着工法¹⁾

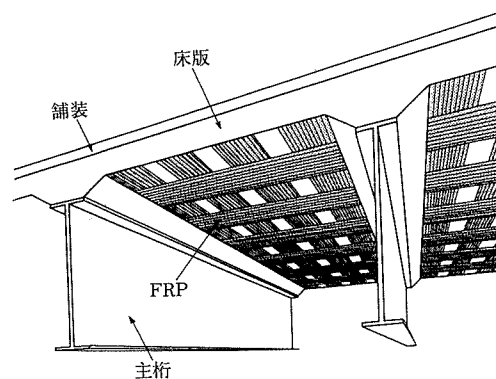


図-7 炭素繊維シート接着工法¹⁾

の補強の場合、床版を支持する既設の主桁間に新たに縦桁を増設して床版を支持させ、床版支間を短縮して活荷重による作用モーメントを低減させるものです。縦桁には通常鋼桁を用い、既設床版との接合面にはエポキシ樹脂が注入されます⁸⁾。

図-6に既設RC床版に用いた縦桁増設工法の概要図¹⁾を示します。

3.5 炭素繊維シート接着工法

この工法に用いる炭素繊維は強度では鋼材と同程度のものから2倍、弾性係数も同程度のものから3倍もある優れた機械的性質をもった材料です。最近、既設の床版やコンク

リート桁の補強に使われています。工法は炭素繊維を一方方向に並べてシート状にしたものをエポキシ樹脂によって接着するもので、鋼板接着工法と同様に曲げおよびせん断の補強に適用できます。この材料は接着剤込みで、0.6mm程度の薄いもので、単位面積あたりの重量が300g/m²程度と非常に軽いのが特徴です⁸⁾。

図-7に既設RC床版に用いた炭素繊維シート接着工法の概要図¹⁾を示します。

3.6 上面増厚工法

この工法は主に既設RC床版の補強に用いられています。工法は既設床版の上面に新しいコンクリートを打ち足して一体化させて床版厚を厚くし、曲げ剛性とせん断剛性を高めようとするものです。このコンクリートにはひび割れ抵

抗性を向上させるため鋼繊維補強コンクリートが使われることが多いようです。また、交通規制時間の関係から超速硬コンクリートが使われる場合もあります。施工では既設床版との接着性を高めるため、表面から数cmのコンクリートを剥ぎ取り、ショットブラスト等で表面を処理しその上に新しいコンクリートを打ち足します。また、このコンクリートのW/Cは小さくし、十分に締固めすることにより接着性を向上させます⁸⁾。

図-8に既設RC床版に用いた上面増厚工法の概要図¹⁾を示します。

3.7 下面増厚工法

この工法も主に既設床版の補強に用いられています。工法は既設RC床版下面に鉄筋等の補強材を配置し、ポリマーモルタル等の特殊モルタルを用いて増厚し、既設床版と一体化することにより曲げ剛性とせん断剛性を高めようとするものです。下面を増厚する工法としてはコテ塗りするものと吹付けで行うものがあります⁸⁾。

図-9に既設RC床版に用いた下面増厚工法の概要図⁸⁾を

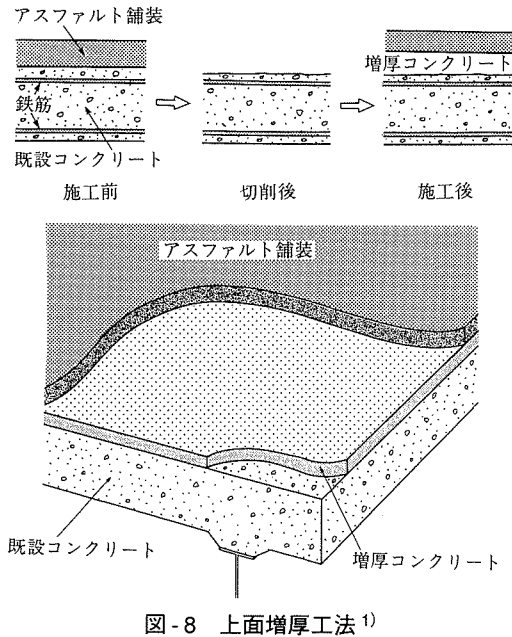


図-8 上面増厚工法¹⁾

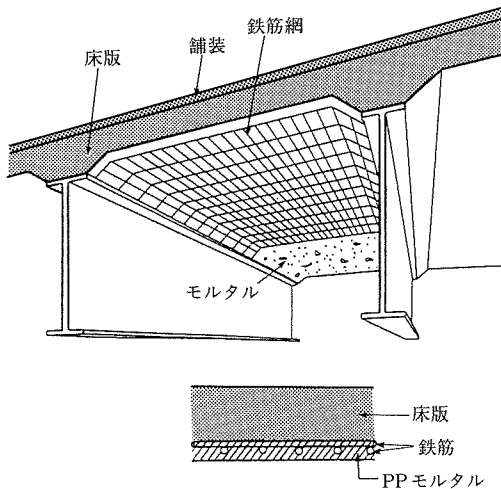


図-9 下面増厚工法⁸⁾

示します。

3.8 鋼板巻立て工法

この工法はRC橋脚の耐震補強を目的に橋脚躯体を鋼板で巻き立て、その間隙をエポキシ樹脂や無収縮モルタルで充填し密着させるものです。また、図-10⁹⁾に示すようにアンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させたものは、曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法と言われています。これらの補強により、軸方向鉄筋段落とし部の補強になるとともに、橋脚の曲げ耐力とじん性の向上を図ることができます。また、橋脚基部には、鋼板のはらみ出しを防止するために、H形鋼を配置していますが、円形橋脚には必要ありません。このような工法が採用できるのは橋脚の橋軸直角方向の幅 a と橋軸方向の幅 b の比 a/b が3以下の矩形の橋脚で、3以上の壁式橋脚では図-11⁹⁾に示すようにPC鋼棒で基部を拘束しています。

3.9 RC巻立て工法

この工法¹⁰⁾もRC橋脚の耐震補強を目的に、躯体を鉄筋コンクリートで巻き立て、曲げ耐力が不足している場合はフーチングにアンカー定着させるもので、軸方向鉄筋段落とし部の補強になるとともに、橋脚の曲げ耐力とじん性の向上を図ることができます。既設橋脚の表面はブラスト等の表面処理を行うことにより、新旧コンクリートの付着を確保しています。巻立て厚は25cmを標準にしていますが、鉄筋が密に配置されており締固めが不十分となる可能性があるため、流動化材の添加が一般的です。また、部材厚が薄いことから乾燥収縮に伴うひび割れの発生が懸念される

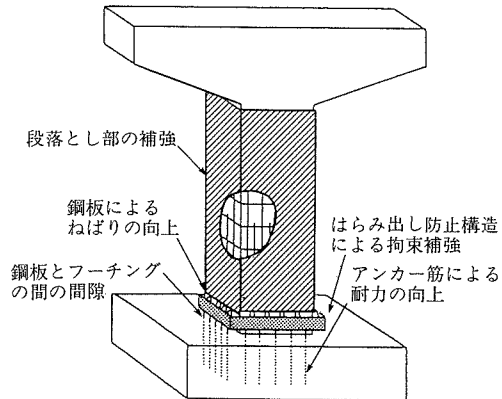


図-10 鋼板巻立て工法(矩形橋脚)⁹⁾

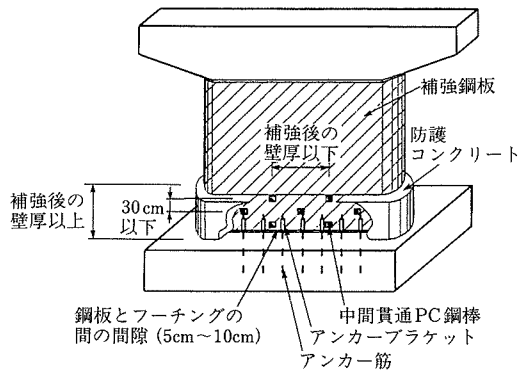
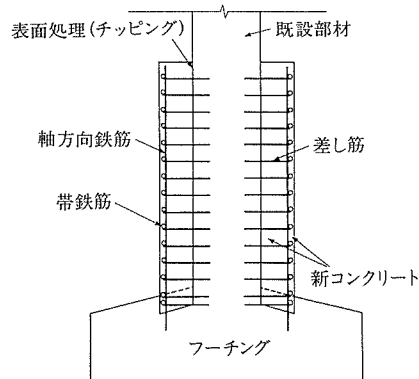
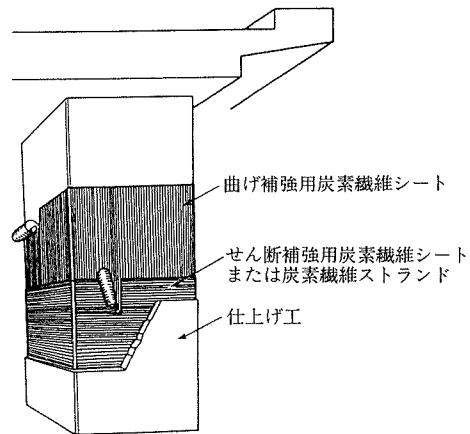


図-11 鋼板巻立て工法(壁式橋脚)⁹⁾

図-12 RC巻立て工法¹¹⁾図-13 炭素繊維シート巻立て工法¹¹⁾

ため、膨張材を添加させている場合もあります。図-12にこの工法の概要図を示します。

3.10 炭素繊維シート巻立て工法

この工法¹⁰⁾もRC橋脚の耐震補強を目的に3.5項で示した材料を橋脚躯体にエポキシ樹脂で接着させて巻き立てるものであり、一般的には段落とし部の補強、じん性の向上やせん断補強に多く使われています。図-13にこの工法の概要図を示します。

このほかに、アラミド繊維を用いた工法も使われはじめています。

4. おわりに

コンクリート構造物の補修・補強材料の概要について解説してきましたが、現在行われている補修・補強工事では施工時間、期間や施工空間、気象などの制約条件を受けるものがほとんどです。このような制約条件の中ではこれらの材料の特性を十分に発揮させ、補修・補強の効果を上げるのは難しい場合が多いのが現状です。しかしながら、いかなる条件でも対応できる材料や施工技術がすぐに開発されることはないと思います。したがって、材料の選定にあたっては現地で施工するときの状況を十分考慮して、「最低限の補修・補強水準を確保するにはどのような材料を組み

合わせる必要があるのか」を考える必要があると思います。

限られたページ数ですので十分な説明はできませんでしたが、今後の実務の参考となれば幸いです。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の維持管理指針(案)，コンクリートライブラリー81，1995.10
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧(第二版)，技報堂出版，1996.2
- 3) 日本塗装工業会：コンクリート土木構造物の補修マニュアル，技報堂出版，1994.5
- 4) 土木研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発(土木構造物に関する研究)，1988.5
- 5) エモンズ(原田 監訳)：イラストで見るコンクリート構造物の維持と補修，鹿島出版会，1995.9
- 6) 片脇：最新のコンクリート防食と補修技術，山海堂，1999.10
- 7) 北後，神野，宮川：鉄筋コンクリート構造物の維持管理における電気化学的な試み，橋梁と基礎，Vol.28，No.8，pp.96～99，1994.8
- 8) 松井，大田，西川：既存橋梁床版の維持管理(その2)，橋梁と基礎，Vol.33，No.2，pp.45～51，1999.2
- 9) 日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料，1997.8
- 10) 日本道路公団：設計要領第二集，1997.11
- 11) 日本コンクリート工学協会 近畿支部：土木コンクリート構造物の震災対策に関する研究委員会 中間報告書，1995.12

【1999年12月2日受付】