第 2 章　連続繊維補強工法の施工

2.1　下地の正しい作り方　―　施工した連続繊維シートに「浮き」や「はがれ」を発生させないために

会報１０号（2004 年 7 月）掲載　技術専門委員会

連続繊維シート施工後、その表面に「浮き」や「はがれ」など、外観上および品質上の不具合が発生することがあります。この「浮き」や「はがれ」のほとんどは、連続繊維シートを貼り付けるコンクリート表面の処理をしっかり行えば防げます。そこで今回は、「浮き」や「はがれ」を生じさせないための、コンクリート表面下地の正しい作り方の概要について紹介します。

図１に連続繊維シート貼り付けに至るまでのコンクリート表面下地の作り方の施工フローを示します。図１の（　）書きの数字が付いた項目は、「浮き」や「はがれ」を生じさせないコンクリート表面下地作製で特に重要な工程です。以下、その詳細を写真を含めて列記します。

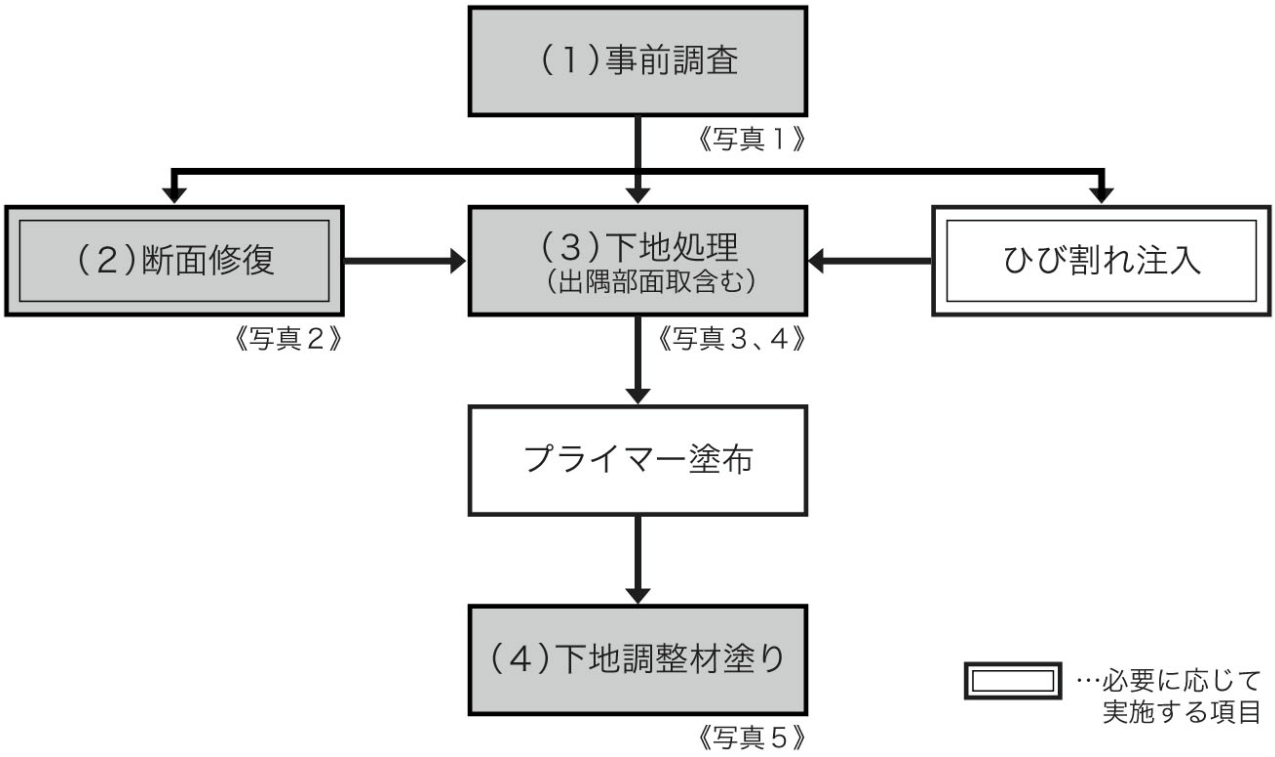


図１．施工フロー（文末注）

（１）事前調査

事前調査はコンクリート表面に関連する正確な情報を得て、適切な施工ができるように行います。調査方法には、目視およびテストハンマーなどを使用した打音検査（写真１参照）があります。調査内容は、浮き、ジャンカ、はく落、ひび割れ、漏水、コールドジョイント、段差、突起、はく離剤等

の異物および支障物の有無などです。調査で発見された不具合は、補修漏れが出ないよう、チョークなどでマーキングしておきます。なお、調査結果は記録として残し、施工後に問題が生じた場合の参考資料とします。



写真１． テストハンマーによる打音検査

（２）断面修復

連続繊維シートの補強効果を完全なものとし、かつ、長期間にわたってその効果を持続させるために行います。修復内容は、コンクリートの浮き、ジャンカ、はく落および異物などの脆弱部や不良部分の除去と除去箇所の断面修復材による復旧です。コンクリート脆弱部を除去したときに錆びた鉄筋が露出した場合には、鉄筋の錆を除去する（写真２参照）とともに、防錆処理を行います。



写真２． 鉄筋錆びの除去

（３）下地処理

連続繊維シートとコンクリート表面との接着をより確実なものとするとともに、貼り付ける連続繊維シートにエアー溜まりやしわを生じさせないために行います。処理内容はコンクリート表面の脆弱部、レイタンス、塵埃、油脂類およびコンクリート表面の型枠目違いなどによる段差など、連続繊維シート補強工事を行う上で支障となるものの除去です。除去方法には、ダイヤモンドカップなどを取り付けた吸塵式サンダーを用いる研磨法（写真３参照）や砂やアルミナなどをコンクリート表面へ吹き付けるブラスト法（写真４参照）などがあります。なお、図２にコンクリートに求められる表面精度を、図３にコンクリート表面の平滑処理の例を示します。



写真３． 研磨法による下地処理



写真４． ブラスト法による下地処理（油脂類の除去）

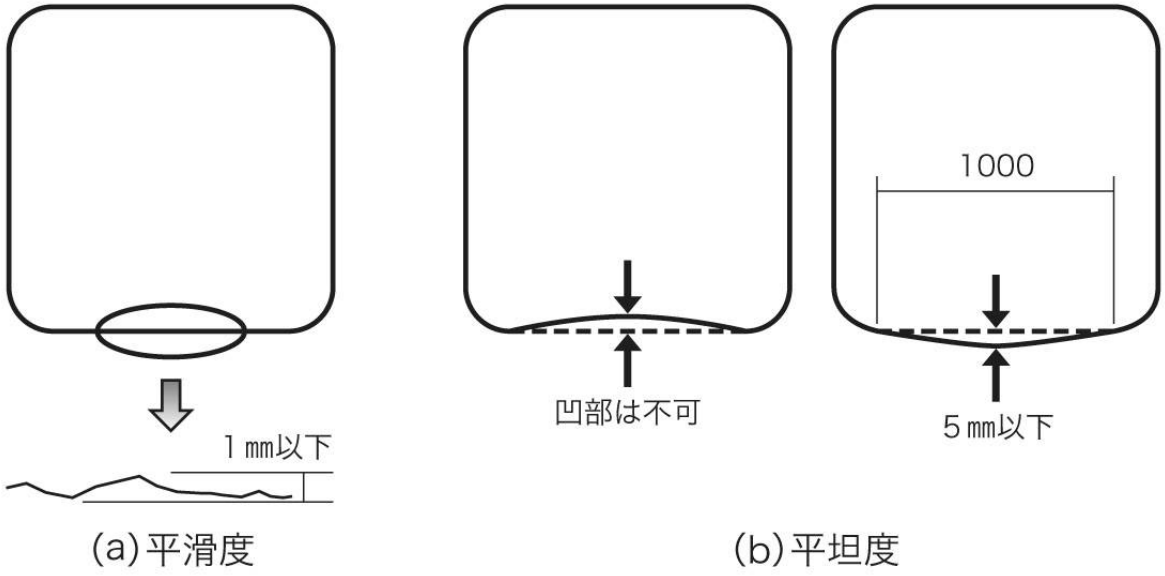


図２．要求されるコンクリートの表面精度

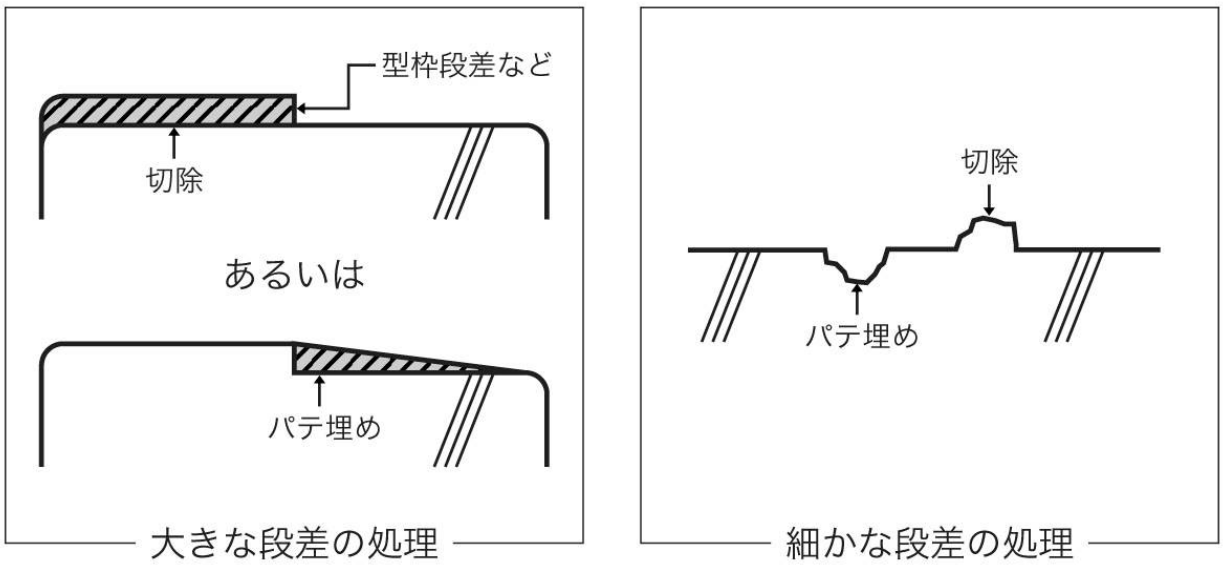


図３．コンクリート表面の平滑処理方法の例

（４）下地調整材塗り

貼り付ける連続繊維シートに浮きやはがれを生じさせないために行います。本工程は連続繊維シートの仕上がりに最も影響する工程であり、その要点はおおむね以下の通りとなります。

ａ）初めに突起や段差部分を調整後、全体的な平滑性・平坦性をもたせること

ｂ）ピンホールはすべてつぶすこと（最初に速硬性の材料でつぶすとよい）

ｃ）硬化後、下地調整材のこてむらをコンクリートカンナなどで除去すること（写真５参照）。



写真５．コンクリートカンナによる下地調整材のこてむら除去

以上，今回は連続繊維シートに「浮き」や「はがれ」を生じさせないコンクリート表面下地の作り方について紹介しました。今後の施工品質向上に皆様が役立てて頂ければ幸いです。

注）本文図１で示している施工フローは、一般的に用いられている樹脂系下地調整材を用いる場合の工程を示しています。セメント系下地調整材を用いる場合は、プライマーの施工順序が異なるので注意してください。

2.2　断面修復工法の紹介

会報 26 号（2012 年 8 月）掲載　技術専門委員会
会報 27 号（2013 年 1 月）掲載　技術専門委員会

１．はじめに

事前調査によって補修が必要と判断された場合、劣化状況や損傷程度、またそれらの原因をよく考慮して目的にあった補修工法、補修材料を選定しなければなりません。

今回は、連続繊維シート補強後の外観、品質を確保するために重要となる断面修復工法および断面修復材について紹介したいと思います。

２．断面修復工法の分類

断面修復工法は施工の規模や作業性を考慮し、左官工法、吹付け工法、充てん工法に分類され、主に耐久性の回復を目的としたコンクリートの表面部分の補修に適用されます。各工法の特徴を理解し、補修箇所の条件に応じた施工法を選定することで効率的に作業を行うことが可能です。以下に代表的な断面修復工法について、その概要を紹介します。

2.1　左官工法

左官工法は最も頻繁に使用されます。比較的小規模な断面修復個所に適用され、補修時に型枠等の設置が必要なく簡便です。また、作業方向（上、横、下）も選びません。連続繊維補強を行う際の断面修復工として最も利用される工法です。



写真 1.　左官工法（補修部位：床スラブ下面、作業方向：上向き）

2.2　吹付け工法

吹付け工法は圧縮空気や遠心力を用いる方法で、補修範囲が広く修復部の断面が厚い場合に使用されます。型枠の設置を必要とせず、また、吹付け用機器を使用するため非常に高い施工能力を有します。吹付け工法には乾式工法と湿式工法があります。乾式工法はミキサ

で練り混ぜたセメント、砂等をノズル部で水と混合し吹付ける工法で、湿式工法はミキサで混練されたモルタルをポンプで圧送し、ノズル部に圧縮空気を送って吹付ける工法です。乾式、湿式工法ともメリットとデメリットがありますが、どちらも吹付けた状態を仕上げとすることが多く、連続繊維補強を行う際の断面修復工法にはあまり適さないでしょう。



写真 2. 吹付け工法（補修部位：スラブ下面、作業方向：上向き）

2.3　充てん工法

充てん工法は吹付け工法と同様、比較的断面が厚い場合の欠損部修復に使用します。型枠を設置し、流動性が高く収縮量の小さいモルタルを充てんする施工方法です。また、欠損部が広い場合の断面修復にも適しています。連続繊維補強を行う際にもしばしば適用されます。



写真 3. 充てん工法（補修部位：梁、作業方向：横向き）

３．断面修復材の分類

断面修復材を分類すると表 1 のようになり、添加されるポリマーの種類や量によって性能が異なります。結合材として主にセメントを使用するセメント系断面修復材（セメントモルタル、ポリマーセメントモルタル）と結合材にポリマーを使用する樹脂系断面修復材（ポリマーモルタル）があります。セメントの一部もしくは全部をポリマーに代替することで、一般的なセメントコンクリートの結合材であるセメント水和物の欠点を改善し、所要の強度、硬化速度、化学抵抗性等を得ることができます。

表１　断面修復材の種別

分類	種別	成分
セメント系断面修復材	セメントモルタル（セメントコンクリート）	普通セメント、特殊セメントあるいは混和材を使用したコンクリート、モルタル
	ポリマーセメントモルタル（ポリマーセメントコンクリート）	SBR 系、PAE 系、EVA 系、防錆剤添加型等
樹脂系断面修復材	ポリマーモルタル（ポリマーコンクリート）	エポキシ樹脂モルタル メチルメタクリレートモルタル等

3.1　セメント系断面修復材

セメント系断面修復材には、特殊セメントや混和材を使用したセメントモルタル、または、セメントモルタルにポリマー混和剤を混和して結合材とするポリマーセメントモルタルがありますが、一般的にはポリマーセメントモルタルを指すことが多いようです。ポリマーセメントモルタルは、ポリマーディスパージョンや再乳化型粉末樹脂などのポリマー混和剤をセメント質量に対して概ね 5～30%の範囲で混和されたものをいい、一般的なセメントコンクリートに比べ、付着強度、曲げ強度、耐薬品性等の性能を向上させることができます。

ポリマーセメントモルタルは、ポリマーセメント比が高くなるほど弾性係数は小さく、圧縮強度に対する曲げ強度比や引張強度比、熱膨張係数、また、価格についても高くなる傾向にあります。また、耐火性を求められる部位においては、防火上の問題からポリマーセメント比 4%以下、塗付け層厚さ 20㎜ 以下、補修範囲などの各種制限があります。

以上のように、セメント系断面修復材といってもポリマーセメントモルタルの場合はポリマーセメント比に応じて性能が大きく異なり、発注者によっては要求性能項目や品質確認のための試験方法等を指定する場合も多く、その際はそれらの要求に適した材料を選定することになります。そのような要求がない場合は、（財）日本建築防災協会発行の「連続繊維補強材を用いた既存 RC 造および SRC 造建築物の耐震改修設計・施工指針」等の指針を参考に材料を選定しなければなりません。セメント系断面修復材の品質基準を表 2 に示しますので、品質規格値や目標性能等が明示されていない場合の参考にしてください。

表 2　セメント系断面修復材の品質基準

試験項目		単位	基準値	試験方法
単位容積質量		kg/l	表示項目	JIS A 1171
だれ	下がり量	mm	5 以下	建設大臣官房官庁営繕部監修「建築改修工事監理指針」に規定される試験方法
	表面状態	－	ひび割れ発生がないこと	
耐ひび割れ性		－	ひび割れがないこと	JIS A 6916
曲げ強さ		N/mm^2	5.0 以上	JIS R 5201
圧縮強さ		N/mm^2	25.0 以上	JIS R 5201
付着強さ	標準	N/mm^2	1.0 以上	JIS A 6916
	耐久性		1.0 以上	
長さ変化		%	0.15 以下	JIS A 6916

3.2　樹脂系断面修復材（ポリマーモルタル）

連続繊維補強を行う場合の断面修復材として使用されるエポキシ樹脂系モルタルやメタクリル酸メチル（MMA）樹脂系モルタルは、結合材の全部がポリマーに代替されており、その樹脂や硬化材の特徴が断面修復材としての性能に大きく関与します。これらポリマーモルタルは、その名称にモルタルという語が含まれますが、通常のセメントモルタルのようなセメントの水和反応に伴う硬化システムとは異なり、その結合は分子間の重合反応によって生じます。ポリマーモルタルに使用される液状レジンは主に不飽和ポリエステル樹脂が使用され、結合材として耐薬品性や耐水性を要求される場合はイソフタル酸系を、耐アルカリ性や耐熱性を要求される場合はビスフェノール系の不飽和ポリエステルが一般的に使用されます。

エポキシ樹脂や MMA 樹脂も液状レジンとして用いられ、練り混ぜ時に硬化剤を加えて使用します。エポキシ樹脂系断面修復材は、硬化材によって特徴が大きく変わり、硬化剤の種類を変えることで、コンクリート用断面修復材、水中用接着剤、耐熱塗料等、様々な用途に使用できます。それに対し、MMA 樹脂系断面修復材は、硬化材の特徴が硬化物にそれほど反映しません。また、MMA 樹脂系はエポキシ樹脂系より速硬性、低温硬化性、耐候性に優れているという特徴があります。

ポリマーセメントモルタル同様、発注者によっては要求性能項目や品質確認のための試験方法等が指定されない場合もありますので、一般的な品質基準としてエポキシ樹脂系断面修復材およびメタクリル樹脂系断面修復材の品質基準を、それぞれ表 3 および表 4 に示します。参考にしてください。

表 3　エポキシ樹脂系断面修復材の品質基準

試験項目		単位	基準値		試験方法
			一般用	低温用	
単位容積質量		kg/l	表示項目		JIS A 1171
可使時間		分	表示項目		温度上昇法
だれ		―	形状に異常がなく だれが生じないこと		建設大臣官房官庁営繕部監修「建築改修工事監理指針」に規定される試験方法
曲げ強さ		N/mm^2	10.0 以上		JIS R 5201
圧縮強さ		N/mm^2	35.0 以上		JIS R 5201
付着強さ	標準	N/mm^2	1.0 以上	―	JIS A 6916
	低温		―	1.0 以上	
	耐久性		1.0 以上		
硬化収縮率		%	3 以下		JIS A 6024

表 4　メタクリル樹脂系断面修復材の品質基準

試験項目		単位	基準値	試験方法
単位容積質量		kg/l	表示項目	JIS A 1171
硬化時間		分	表示項目	温度上昇法
だれ	下がり量	mm	5 以下	建設大臣官房官庁営繕部監修「建築改修工事監理指針」に規定される試験方法
	表面状態	―	だれが生じないこと	
曲げ強さ		N/mm^2	10.0 以上	JIS R 5201
圧縮強さ		N/mm^2	35.0 以上	JIS R 5201
付着強さ	標準	N/mm^2	1.0 以上	JIS A 6916
	耐久性		1.0 以上	
硬化収縮率		%	5 以下	JIS A 6024

3.3　セメント系断面修復材と樹脂系断面修復材の比較

セメント系および樹脂系断面修復材として一般的である、ポリマーセメントモルタル系断面修復材とエポキシ樹脂系断面修復材の特性比較を表 5 に示します。

対象とするコンクリートの劣化原因、環境条件から、断面修復材に要求される性能を考慮し材料の選定を行います。

表 5　ポリマーセメントモルタル系断面修復材とエポキシ樹脂系断面修復材の特性比較

項目	ポリマーセメントモルタル系 断面修復材	エポキシ樹脂系断面修復材 （ポリマーモルタル）
各種強度	一般的に、コンクリートと同程度であるが、ポリマーの種類や混入量によって異なるものもあるので、使用目的に応じ、適切な材料を選定する必要がある。	一般的に、圧縮強度、引張／圧縮強度、曲げ／圧縮強度ともコンクリートより大きい。
弾性係数		一般的に、コンクリートよりやや小さく変形しやすい。
熱膨張係数		コンクリートより大きい。
耐火、耐熱性		温度が高くなると軟化や変形が起こる。
耐候性		紫外線の影響を受ける場合がある。一般的に表面被覆材を併用する必要がある。
接着性 （付着性）	良好であるが、混和されるポリマーの種類によって若干異なる。	通常良好な接着性を示すが、低温時等施工条件によっては、性能が低下する。
施工性	湿潤面の施工が可能。取り扱いは容易で左官・充てん・吹付け施工が可能。 大断面の施工にも適している。	従来、湿潤面への施工は接着性の面から困難であったが、湿潤面施工用のエポキシ樹脂が開発され、湿潤面への施工も可能。施工方法は左官施工に限定される。また、取り扱いに関しては、エポキシ系のため､施工時の換気等に注意を要する。
強度発現性	普通、早強、速硬とセメントのタイプにより数時間～数日と幅広い強度発現速度範囲がある。	一般的に早く、硬化剤の種類により硬化速度を調整できる。ただし、温度依存性が大きく低温時に硬化しにくいものもある。

４．その他注意点

断面修復材の使用にあたり、主な注意点を以下に示します。

・ セメント系断面修復材は硬化に時間を要するものが多いので、必要な養生期間を確保できるような工程計画とする必要があります。
・ 断面が著しく深い場合は、樹脂系断面修復材の使用は避け、コンクリートと同等以上の圧縮強度、圧縮弾性係数を持ち、厚付け可能な無収縮モルタルや無収縮グラウト材等のセメント系材料により補修を行います。
・ 樹脂系断面修復材を用いる場合には、断面修復用のプライマーを塗布する必要があります。
・ 樹脂系断面修復材料は、連続繊維シート含浸接着用樹脂との接着不具合が生じないよう、原則として含浸接着用樹脂と同一の樹脂系材料を使用して下さい。

５．おわりに

断面修復工法および断面修復材について概観しました。連続繊維補強に用いられるセメント系、エポキシ樹脂系、MMA 樹脂系の断面修復材は、すでに多くの利用実績を有し、多数の商品の中から選定することができます。要求性能を満足させるうえで、適切な補修工法と材料の選定は特に重要となることから、本稿では断面修復に関する基礎的な事項を紹介しました。本稿が少しでもお役にたてば幸甚です。

注）本文では、メタクリル酸メチル樹脂を MMA 樹脂と記載している箇所もありますが、2022 年時点では、「メタクリル樹脂」に統一して呼称していますので注意してください。

【参考資料】

平成 11 年 3 月発行　（社）建築研究振興協会　炭素繊維シートによる建築構造物の耐震補強・補修工法の検討（その 3）
平成 11 年 6 月 23 日　（社）建築研究振興協会　連続繊維シート補強工事の材料と工法
平成 23 年 9 月発行　（社）セメント協会　すぐに役立つセメント系補修・補強材料の基礎知識

2.3　「プライマー塗布の留意点」について

会報１２号（2005 年 8 月）掲載　技術専門委員会

今回は、プライマーを塗布するときの留意点について紹介します。

プライマーは、連続繊維シートを施工するコンクリート表面に塗布することによって、一部がコンクリートに浸透し、コンクリート表面部を強化するとともに、連続繊維補強材（FRP）とコンクリートの接着性を向上させる材料です。ただ単に塗ればよい、というものではなく、細かい点に注意が必要となります。以下に留意項目と内容を記します。

（１）作業手順の順守

プライマー塗布に先立って行われるべき、「断面修復、下地処理、ひび割れ注入、下地の清掃」は終わらせておきます。

（２）施工条件の確認

施工可能な気温・湿度であることを確認します。気温はエポキシ樹脂系で５℃以上、ＭＭＡ樹脂系で-10℃以上です。湿度は一般的なプライマーで 85%以下が施工可能となります。屋外施工の場合は、施工中および養生中の天候にも注意が必要で、エポキシ樹脂系では約 12 時間（20℃の場合）、ＭＭＡ樹脂系では約１～３時間、降雨や結露などの水分に当たらないように養生します。

（３）下地の乾燥状態の確認

セメント系の断面修復材や不陸調整材は、必要な養生期間を過ぎ乾燥していることを確認します。そして、下地全体の乾燥状態を確認します。表面水分が８％を超えると連続繊維補強材のふくれやプライマーの白化の原因となります。慣用的にはガムテープなどが下地表面に貼り付けばよいとされていますが、内部の水分を見落とすこともあります。役所の工事などでは水分計を用いなければいけない場合がありますので、市販されている水分計の例を写真１に紹介します。これは株式会社ケット科学研究所（http://www.iijnet.or.jp/kett/）から出されている「HI-520」という製品です。「HI-520」は高周波を用いて測定し、下地表面から深さ 4㎝ までの水分率の平均値を表示します。したがって、内部の水分を見落とすことはありませんが、表面が濡れていても小さな水分率を表示する場合があります。このときは表面を乾燥させたり、測定箇所を多くするなどの対応が必要です。



写真１． 水分計の例

（４）材料の計量と調合

プライマーは主剤と硬化剤の 2 液混合型となっているので、小分けにして調合する場合は、秤を用いて正確に計量します。調合する量は可使時間以内に使い切る分とし、施工速度に合わせて材料を調合します。

（５）プライマーの塗布方法

ローラー刷毛などを用いてプライマーを均一に塗布します。このときに下地は不均一なので、場所によりプライマーの吸い込み状態が異なります。プライマーが下地に吸い込まれて充分に塗膜が形成されていない部分は増し塗りして、全体が濡れた状態に見えるようにします。ポイントとしては、一方向に塗るのではなく、二方向に塗るときれいに仕上がります。コーナー部は刷毛を用いて仕上げます。プライマーの使用量はメーカーの標準使用量を守り、厚すぎはダレやプライマーの凝集破壊を生じる場合がありますので避けてください。また、これから陽が当たる部分を塗る場合は、ピンホールがあるとプライマーがはじけますので、塗る時間をずらすか、パテでピンホールをつぶしておくとよいでしょう。

（６）仕上がり状態の確認

作業が終了したら写真２に示すような、塗り残し、塗りムラ、ダレが生じていないことを確認します。また、水分による白化現象が生じていないことも確認します。屋内の暗い場所で作業する場合は、投光器などを用いて確認してください。次工程に移る場合は、エポキシ樹脂系では指で触れて指紋が付かない（指触硬化）状態、ＭＭＡ樹脂系では爪を立てても跡が付かない（完全硬化）状態になっていることを確認します。ＭＭＡ樹脂系では、完全硬化するまで指で触らないでください。硬化反応が阻害されて、硬化不良を起こす場合があります。仕上がり状態が悪い場合は、プライマーが完全硬化（エポキシ樹脂系では約７日）する前に再塗布を行います。また、次工程を始めるまでに 7 日以上経過した場合は表面をサンドペーパー掛けして、プライマーを塗り直します。シンナ

ーなどで拭いて塗り重ねてはいけません。

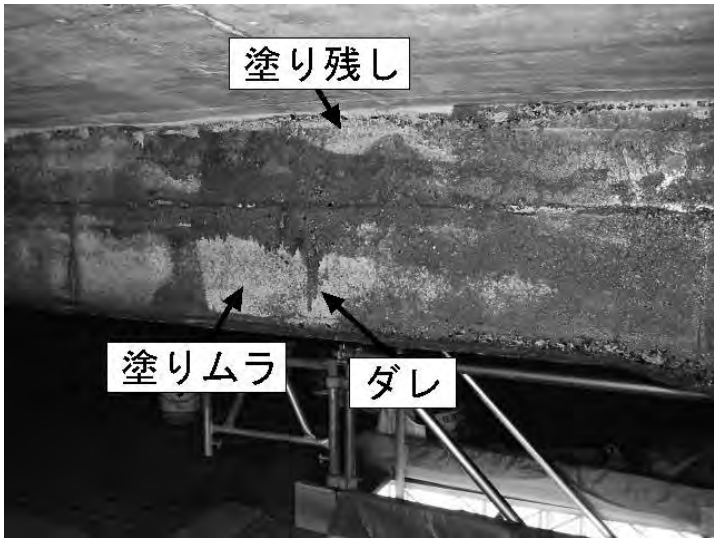


写真 2. 施工不良の例

プライマーはコンクリートなどの下地と下地調整材や連続繊維補強材の含浸接着樹脂をつなぐ重要な役割を果たしています。施工全体のつながりなどについては本協会の研修会用テキストに示してありますが、実際に施工を担当している技術専門委員のノウハウをお伝えするために、今回取り上げました。お役に立てていただければ幸甚です。

2.4　連続繊維補強工法におけるプライマーと施工上の留意点

会報 28 号（2013 年 7 月）掲載　技術専門委員会

今回は、前回の断面修復工法に続いて施工されるプライマーについて、その役割、施工上の留意点等を紹介します。

１．プライマーとは

プライマーの語源は最初（primary）に塗ることからきています。連続繊維補強工法において使用する材料のなかで最初に使用する材料です。プライマーは下地（この場合コンクリート）へ浸透することで表面を強化させ、次に施工される材料（下地調整材／連続繊維補強材）を強固に接着させることを目的として使用します。

連続繊維補強工法におけるプライマーの種類は原材料の成分として、エポキシ樹脂系とメタクリル樹脂系の２種類があります。それぞれ使用方法、特徴など異なりますがプライマーとしての要求性能は同じです。

２．プライマーの要求性能

プライマーに要求される主な性能は以下の通りです。

①含浸性能：コンクリートに浸透し、表面強度を向上させること。

②接着性能：コンクリートとの接着性に優れること。

③塗継ぎ性能：次に施工される材料との接着性に優れること。

④耐水・耐薬品性能：耐水性・耐アルカリ性に優れること。

①含浸性能

一般的にプライマーは低粘度（100～1000mPa・s 以下）となっており、コンクリートに浸透するように調整されています。また、より浸透しやすいタイプとして溶剤を含んだ製品も製造されています。このようにプライマーは粘度を低くしているため、塗布量は 0.1～0.3kg／㎡と他の材料に比べ少なく設定されています。

施工に際しては対象となるコンクリートの表面状態によってプライマーの使用量が異なります。コンクリート内部への浸透が多い場合プライマーを追加する必要があります。コンクリート内部への浸透が少ないコンクリートの場合、規定量を塗布するとダレや樹脂溜まりが発生しますので、逆に塗布量を下限値に設定する必要があります。

②接着性能

連続繊維補強工法で用いられるプライマーはエポキシ樹脂系とメタクリル樹脂系の２種類がありますが、これらの材料は接着剤の原料としても用いられており、様々な材質に対して接着性を有し、特にコンクリートに対しては優れた接着性を示します。また、どちらのプライマーも湿潤したコンクリートに対して接着可能なタイプも製造されていますが、その性能には限界がありますので基本的に下地コンクリートは乾燥している状態が望ましく、（一財）日本建築防災協会より発行されている「連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針：2010 年改定版」で

はプライマー塗布時の下地コンクリートの表面含水率は 8%以下と規定されています。

③塗継ぎ性能

プライマーの要求性能として下地コンクリートへの接着もさることながら次に塗布される材料（通常は下地調整材）との接着性能が重要です。連続繊維補強工法で使用する材料は各メーカー毎にプライマーから含浸接着剤まで一連の材料として各材料同士の接着性能を確認しています。しかしながら、使用環境や養生条件によっては塗継ぎ性能が低下する恐れがあります。以下にその代表的な例を示します。

・養生時の結露による表面の硬化不良（エポキシ樹脂の場合、白化・アミンブラッシングが発生する恐れがある）
・次工程時の表面結露
・塗継ぎ可能時間の超過
・ほこり、油分などの接着阻害物の付着

このような現象が確認された場合は、サンドペーパーで表面を目荒らしする、溶剤清掃などの対策がありますが、状況により処理方法が異なりますのでメーカーに問い合わせた上で処置方法を決定してください。

また、エポキシ樹脂にメタクリル樹脂、メタクリル樹脂にエポキシ樹脂など異種材料の塗継ぎは接着不良・硬化不良（特にエポキシ樹脂の後にメタクリル樹脂を塗布すると反応阻害でメタクリル樹脂が硬化しない場合があります）の原因となりますので行わないでください。

④耐水・耐薬品性能

プライマーは直接コンクリートと接触するため、耐水性能および耐アルカリ性能が要求されています。エポキシ樹脂、メタクリル樹脂はともに三次元架橋する樹脂であり、分子構造的にも耐水性・耐アルカリ性に優れています。

以上の要求性能に対して十分な性能を有しているか否かを判断する基準としていくつか製品規格が規定されています。表１および表２に代表的な製品規格を示します。

３．エポキシ樹脂プライマーとメタクリル樹脂プライマーの特徴

連続繊維補強工法において樹脂系下地調整材に先だって用いるプライマーには、エポキシ樹脂系とメタクリル樹脂系があり、施工条件並びに特徴に応じて正しく使い分ける必要があります。

エポキシ樹脂とメタクリル樹脂の一番の違いは反応機構で、エポキシ樹脂は主剤のエポキシ樹脂と硬化剤のアミンが反応して硬化する縮合重合反応であるのに対し、メタクリル樹脂はメタクリルモノマーまたはアクリルオリゴマーを触媒に用いてラジカル重合させる反応であり、一旦反応が始まると連鎖的に反応するため、エポキシ樹脂に比べ反応速度が速い点です。そのため、一般的なエポキシ樹脂は 20℃環境下で初期硬化するまで半日～1 日程必要なのに対し、メタクリル樹脂は 1～3 時間で初期硬化します。また、一般的なエポキシ樹脂は 5℃より低い温度では硬化速度が著しく低下するのに対し、メタクリル樹脂は－10℃ま

で硬化します。ただし、メタクリル樹脂は高温では反応が極端に速くなり異常硬化する場合があります。また、最近では 5℃以下でも硬化するエポキシ樹脂も開発されていますが、一般的には用いられていません。

他にも、エポキシ樹脂は分子量が大きいため、感温性が高く温度が低下するとともに粘度が高くなってゆきますが、メタクリル樹脂はモノマーやオリゴマーといった低分子を使用していますので、低温下でも粘度が低い特徴があります。しかし、特有の臭気を有しているため、換気などに注意が必要となります。

また、エポキシ樹脂系は主剤と硬化剤が一定の割合で製品化されているのに対し、メタクリル樹脂系はエポキシ系と同様な２液タイプ（２液主剤型メタクリル樹脂）と主剤に対して現場の気温に合わせて硬化剤と促進剤を添加するタイプ（１液主剤型メタクリル樹脂）の２種類があり、後者は配合割合が様々なので現場での調合には十分な注意が必要です。

表１　エポキシ樹脂系プライマーの品質基準　※1

試験項目		単位	試験条件	基準値	試験方法
外観		―	―	異常のないこと	JIS K6833-1:2008
可使時間		分	23℃	メーカーの規格値による	JIS K5600-2-6:1999
塗り継ぎ可能時間		分	23℃	メーカーの規格値による	JIS A6916:2000
接着強さ	標準	N/mm²	23℃７日	下地破壊または１．５以上	JIS A5548:2003 に準拠
	乾湿・水中浸漬繰り返し		標準養生後、23℃水中４ｈ、60℃65%空気中 20ｈを１サイクルとして４サイクル	下地破壊または１．２以上	
	アルカリ水中浸漬		23℃飽和水酸化カルシウム溶液中 48ｈ	下地破壊または１．２以上	

表２　メタクリル樹脂系プライマーの品質基準　※１

試験項目		単位	試験条件	基準値	試験方法
外観		―	―	異常のないこと	JIS K6833-1:2008
比重		―	23℃	メーカーの規格値による	JIS K6833-1:2008
粘度		Pa･s	23℃	メーカーの規格値による	JIS A6916:2000
硬化時間		分	23℃	メーカーの規格値による	JIS A6916:2000
接着強さ	標準	N/mm^2	23℃７日	下地破壊または１．５以上	JIS A5548:2003に準拠
	乾湿・水中浸漬繰り返し		標準養生後、23℃水中４ｈ、60℃65%空気中 20ｈを１サイクルとして４サイクル	下地破壊または１．２以上	
	アルカリ水中浸漬		23℃飽和水酸化カルシウム溶液中 48ｈ	下地破壊または１．２以上	

４．まとめ

連続繊維補強工法におけるプライマーの役割、要求性能、材料の種類による違いに関して概要を記載いたしましたが、連続繊維補強工法の施工は基本的にプライマーから連続繊維の貼付けまで一連となっています。したがって、材料、製品毎に特徴にあわせて、現場状況に適した材料・工法の選定、適切な施工管理を行うことが重要です。今回の資料が現場の皆様のお役に立てれば幸いです。

※１参考文献

「連続繊維補強財を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針：２０１０年改定版」（財）日本建築防災協会

2.5　下地調整の役割と施工上の留意点

会報 29 号（2014 年 1 月）掲載　　技術専門委員会

１．はじめに

下地調整は、連続繊維補強材をより正しく施工し所要の強度を発揮させる為に下地の平滑度を高めることを目的とします。

下地表面が平滑ではなく突起や段差、ピンホール等があると連続繊維補強材を貼り付けた際にシワ・ヨレ・浮きを招き、補強材への応力集中の原因となります。

今回は、連続繊維補強の品質を確保するために重要となる下地調整について紹介します。

２．下地表面の精度

下地表面の精度は、（一財）日本建築防災協会発行「連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針：2010 年改訂版」では、下記のように規定されています。

・表面の段差：1㎜ 以内
・表面の平滑度：原則として任意の 1,000㎜ 間で 5㎜ 以内とし、凹部があってはならない。

３．施工手順

下地調整の施工手順は、図 1 のように下地調整材に樹脂系を用いる場合とセメント系を用いる場合の 2 通りあり、施工手順が異なります。

どちらの手順で行うかは、下地表面の状態により決まり、段差等が大きく、下地調整材の塗り厚が厚くなると考えられる場合はセメント系による下地調整を行うことになります。

また、下地調整を行う範囲は、部分的に行う場合と全面的に行う場合があり、上述したように下地表面の段差が大きい場合など、下地表面の状況が劣悪で、部分的な調整では平滑さが得られない場合は、全面をセメント系下地調整材にて仕上げることになります

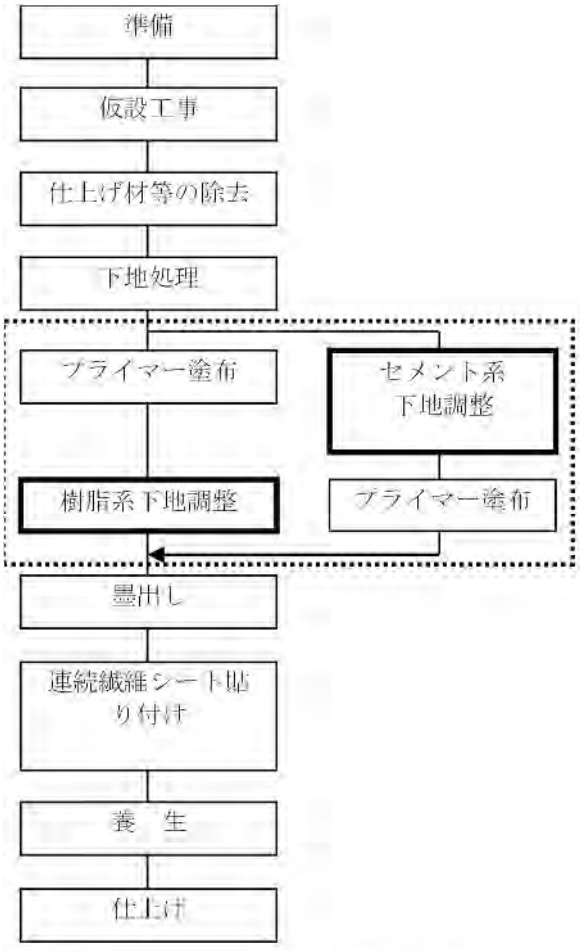
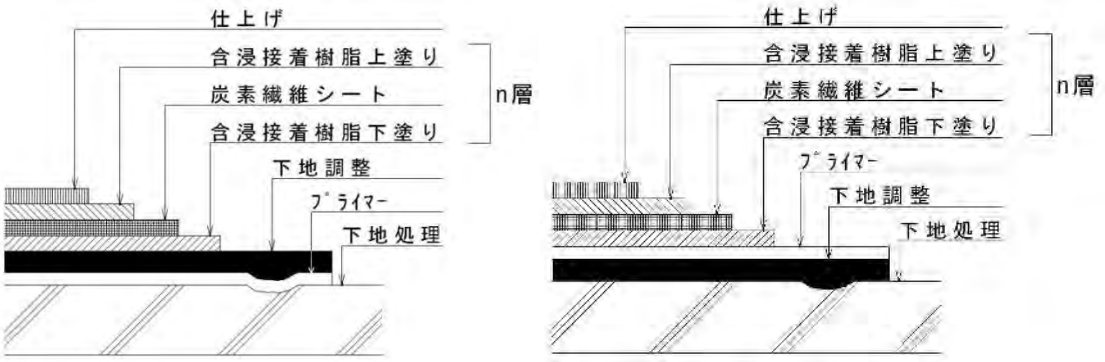


図 1　標準施工フロー



（1）樹脂系下地調整材を用いた場合　　（2）セメント系下地調整材を用いた場合

図 2　施工断面

４．施工上の注意点

（1）樹脂系下地調整材を用いた場合の注意点

樹脂系下地調整材は、垂れを防止するために高粘度で配合されています。その為、直接躯体面に樹脂系下地調整材を塗布した場合、十分な接着性が得られません。したがって、樹脂系下地調整材の施工は、必ず前号（会報 28 号、本号 2 章 4)）で紹介されたプライマーを塗布した後に施工しなければいけません。

また、樹脂系下地調整材で下地調整を広範囲に行う場合、ゴムベラ、ゴムごての塗りむらやこて跡などが残ることが多く、そのまま連続繊維補強材を貼り付けると浮きの原因となります。こて跡などが残った場合は下地調整材硬化後に、サンドペーパーなどで削り落とすなどの処理が必要となります。



写真 1　下地調整完了
（樹脂系下地調整材にて部分的に調整した施工例）

（2）セメント系下地調整材を用いた場合の注意点

図 1 の施工フローからも分かるように、セメント系下地調整材を用いた場合、プライマーの塗布は、下地調整の後になります。しかし、セメント系下地調整材を用いる場合、仕様書

等にもあまり記載されていませんが、写真 2 のように下地調整を行う前にも、メーカーが推奨するプライマーや吸水防止材をローラー、噴霧器等を用いて塗布する必要があります。

連続繊維補強を行う部材は、通常、乾燥している状態がほとんどで、直接躯体面に下地調整材を塗布すると、ドライアウトを引き起こし、接着力の低下の原因となる為、下地調整前にこの作業を行います。

セメント系下地調整材に用いるプライマーや吸水防止材は前号（会報 28 号、本号 2 章 4）で紹介された樹脂系プライマーとは異なりますので、必ずメーカー推奨の材料を使用するようにして下さい。

吸水防止材の一例としては、アクリル系ポリマーディスパージョンなどが挙げられ、塗布することで、下地コンクリートに浸透し、吸水防止作用や接着増強作用を発揮します。

下地調整完了後も直射日光や風に曝されると、同じくドライアウトの原因となりますので、適切な養生を行って下さい。



写真 2　吸水防止材塗布状況
（セメント系下地調整材による下地調整前に行う作業）

また、樹脂系の断面修復材にて断面修復した箇所に、セメント系下地調整材にて下地調整を行う場合、十分な接着力が得られない場合があるので、セメント系下地調整材を用いて下地調整を行う部分に、断面修復を伴う場合は、断面修復材も下地調整材と同系のセメント系断面修復材を用いることを推奨します。やむを得ず、樹脂系の断面修復材の上に、セメント系下地調整材で下地調整を行う場合は、接着力を確認した上で施工するようにして下さい。



写真 3　下地調整完了
（セメント系下地調整材にて全面的に調整した施工例）

５．下地調整材の品質基準

一般的な下地調整材の品質基準として、セメント系下地調整材、エポキシ樹脂系下地調整材及びメタクリル樹脂系下地調整材の品質基準を表１、２及び３に示します。

なお、連続繊維補強材を用いた耐震改修工法で技術評価を取得している工法がいくつかありますが、各工法ごとに品質基準を定めていますので、技術評価工法にて施工する場合は、各工法の品質基準を確認の上、適合する材料を選定するようにして下さい。

表１　セメント系下地調整材の品質基準

試験項目		単　位	基　準　値	試験方法
単位容積質量		kg/ℓ	メーカー規格値による	JIS A 1171：2000
軟度変化		%	±20 以下	JIS A 6916：2000
耐ひび割れ性		－	ひび割れがないこと	JIS A 6916：2000
接着強さ	標準	N/mm^2	1.0 以上	JIS A 6916：2000
	耐久性	N/mm^2	1.0 以上	

表２　エポキシ樹脂系下地調整材の品質基準

試験項目		単位	基　準　値		試験方法
			一般用	低温用	
比重（硬化物）		－	メーカー規格値による		JIS A 7112：1999
可使時間		分	メーカー規格値による		温度上昇法
接着強さ	標　準	N/mm^2	1.0 以上	－	JIS A 6916：2000
	低　温	N/mm^2	－	1.0 以上	
	耐久性	N/mm^2	1.0 以上		
硬化収縮率		%	3 以下		JIS A 6024：2008

表３　メタクリル樹脂系下地調整材の品質基準

試験項目		単　位	基　準　値	試験方法
外　　観		－	異常がないこと	JIS K 6833-1：2008
比　　重		－	メーカー規格値による	JIS K 7112：1999
硬化時間		分	メーカー規格値による	温度上昇法
接着強さ	標　準	N/mm^2	1.0 以上	JIS A 6916：2000
	耐久性	N/mm^2	1.0 以上	

６．まとめ

連続繊維補強工法における下地調整の役割、施工上の注意点について概要を記載しまし

たが、下地調整は、連続繊維補強の品質が決まる重要な作業のひとつです。したがって、現場状況に適した材料や手順を選定し、適切な現場管理を行うことが重要です。今回の資料が少しでも皆様のお役に立てれば幸いです。

【参考文献】

「連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針：2010 年改訂版」（一財）日本建築防災協会

2.6　シート貼付け工事の留意点について

会報１４号（2006 年 7 月）掲載　技術専門委員会

今回は「シート貼付け工事の留意点」についてお話します。一般的な施工手順・要領は本協会テキスト等に示されていますので、ここではより実践的な留意点について述べたいと思います。施工のノウハウとしてご活用いただければ幸いです。

(1) 施工時の気温・湿度

含浸接着樹脂の施工条件は、エポキシで気温５℃以上、湿度は 85%以下で雨かかりのないこと等が条件となっています。しかし、実際の現場では気温が５℃を下回る場合もあり、工事進捗のために採暖して施工することがあります。採暖の方法としては、

①ジェットヒーター等で階全体を暖める

②シート等で対象範囲を覆い、ジェットヒーターなどで部分的に暖める。

③樹脂の主剤を室温程度に暖める。(ただし、硬化剤は暖めないこと。また、ガスバーナー等の火気で直接樹脂及び缶を暖めないこと。)

プライマー表面に結露等があると含浸接着樹脂との接着力が低下するため湿度にも注意を要します。結露を防止するためには、送風機等を使用し空気を循環させる方法もあります。なお、ジェットヒーター等を使用する場合は酸欠の恐れがありますので、換気に十分注意する必要があります。

(2) 含浸接着樹脂の塗布量･可使時間

連続繊維シートは含浸接着樹脂が十分含浸されてはじめて FRP としての強度を発揮するので、含浸･脱泡作業が最も重要です。その前提に立って樹脂量での管理が成り立っているわけです。一般的な含浸接着樹脂の塗布量はテキスト等に示されていますが、下塗り樹脂量はシートを貼付け固定するための必要量以外に、シートに含浸される分があるため、上塗量より多くなっています。塗布量が多い場合や樹脂粘度が低い場合には樹脂ダレが生じ易くなります。炭素繊維シートで２層貼りする場合には、１層目の上塗り材を指触硬化確認した後に２層目の下塗り、連続繊維シート貼付け、上塗りと１層目と同様の手順を繰り返します。また、重ね継ぎ手部では１層多くなるので浮き・膨れに注意し、増し塗りをする必要があります。樹脂の使用量の管理は同一樹脂ごとに行い、下塗り上塗りの合計値で管理することが一般的です。

含浸接着樹脂は温度により硬化速度が異なります。硬化速度をコントロールするため夏用・冬用等季節分けした仕様があり、可使時間は樹脂ごとに表示されています。可使時間の表示は標準温度 20℃のときの値ですので､実施工時の気温や工程および塗布作業の所要時間等を考慮

し、一度に大量に練り過ぎないようにすることが肝要です。可使時間を過ぎた樹脂は使用してはいけません。また、発熱･発煙の恐れがあるため取り扱いには十分注意してください。

(3) しわ・浮き・樹脂溜まり等の管理

連続繊維シートの貼り付け後には、浮き、ふくれ、はがれ、たるみ、しわ、ゆがみ、樹脂溜まりなどの不具合がないかのチェックをする必要があります。テキストには「不具合に対する定量的な判定基準は現状では明確でなく、施工管理者および設計監理者の判断による。」と書かれていますが、その判断はまちまちで難しいかと思われます。不具合の定義の一例（日本道路公団）を表−１に示しますので、施工管理する際に参考にして下さい。

これら不具合の発生にはその原因があります。その発生原因を理解することは不具合を防止する上で大切なことです。本会報の vol.8（2003 年 8 月、本書 3 章１）にも「連続繊維シートのふくれ防止対策」として、ふくれの発生原因（外的要因）・発生しやすい条件・防止対策が紹介されています。また、表-2 に各種不具合の原因（施工的要因）と防止法について簡単にまとめましたので、施工や施工管理の際の参考にして下さい。

表−１　不具合の定義

浮き・膨れの大きさ	対象	合否	対応
直径 10 ㎜以上	10 個未満／㎡	合格	なし
直径 30 ㎜未満	10 個以上／㎡	不合格	補修
直径 30 ㎜以上	全て	不合格	補修

表－２　不具合の原因と防止法

不具合	原因	防止法
浮き はがれ	・下地処理不良：巣穴、段差等 ・パテによる不陸調整不足 ・樹脂の塗布量不足 ・樹脂の含浸不足 ・塗り継ぎ接着性不良	・下地処理、不陸調整の徹底を計る ・塗布量を充分に確保する　・可使時間内に樹脂を使用する ・塗布量を増加し、充分なローラー押さえとする ・加温（アイロン、熱ローラー等）により低粘度化等する ・塗り継ぎ間隔を長く開けない。長く開けた場合はサンディング処理等
膨れ	・下地処理不良 ・不陸の調整不足 ・シートの脱泡、押さえ不足 ・樹脂の含浸不足 ・シートの巻きしわ、折りしわ等	・下地処理、不陸調整の徹底を計る ・脱泡ローラーやゴムベラをていねいに掛ける ・塗布量を増加し、充分なローラー押さえとする ・加温（アイロン、熱ローラー等）により低粘度化等する。 ・シートの取り扱いに注意する
ゆがみ バラケ	・シートの小巻、折り曲げ、輸送時等によるゆがみ、バラケ ・シート貼付け時の不良	
たるみ しわ	・シート貼付け時の延ばし、押さえ不足	
樹脂溜まり	・樹脂の過剰な塗布量　・ゴムベラや脱泡ローラー掛け不足	
タック	・高湿度、結露等による吸湿	・除湿、換気、温風等により湿度を低下させる
白化	・指触硬化までに水分に長時間曝された	・指触硬化するまで雨水等の水分が長時間掛からないように養生する
含浸不良	・樹脂の塗布量不足　・シートの脱泡、押さえ不足	
塗布むら	・樹脂の塗布むら　・樹脂の均し不足	

出典：㈱建築振興協会「炭素繊維シートによる建築構造物の耐震補強・補修工法の検討（その3）」

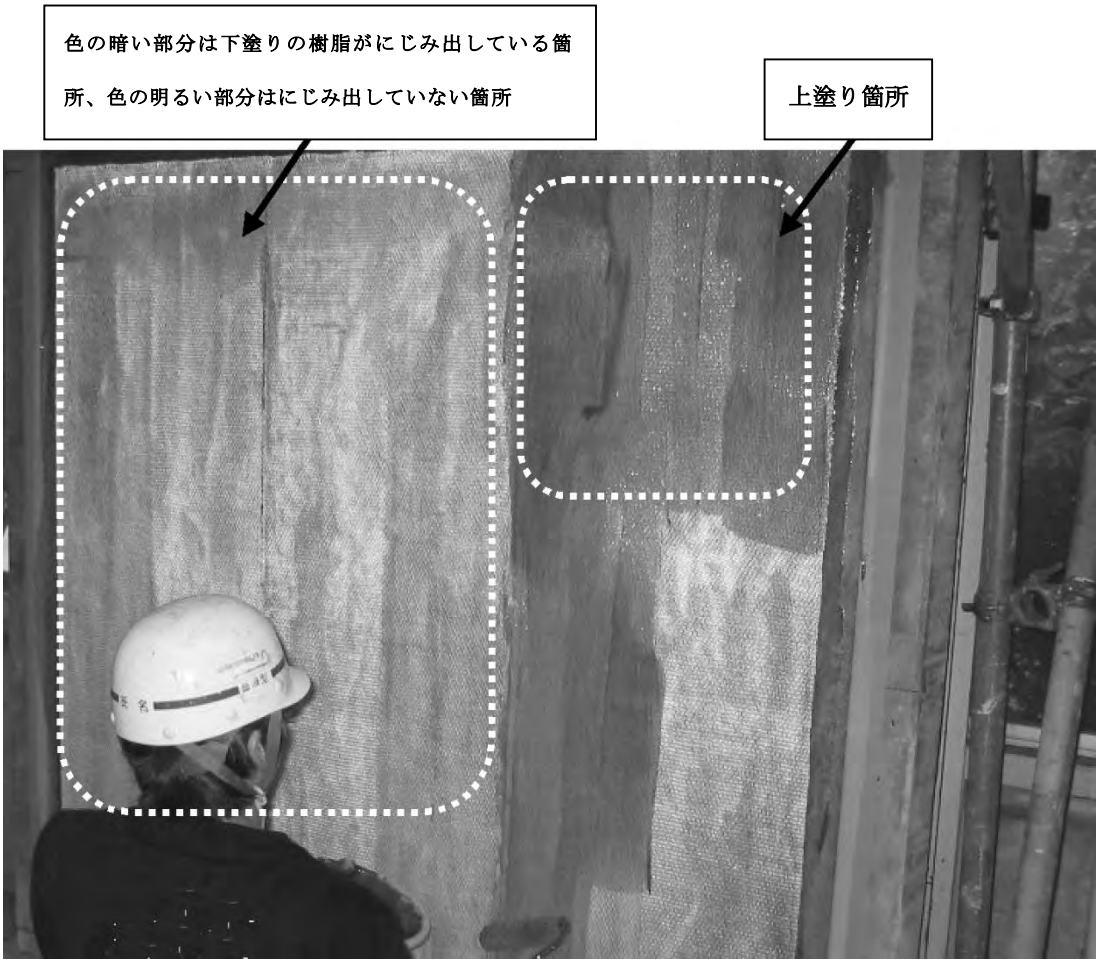
（4）含浸のチェック

連続繊維シートに含浸接着樹脂が充分に含浸していないと、複合材としての強度を発揮することができないので、含浸のチェックは重要な管理項目となります。テキストには「塗布量は作業日報で施工面積と使用量により管理する。」と書かれていますが、その他の含浸をチェックする方法を二点紹介します。

a）目視による確認

貼り付けて押さえた（しごいた）連続繊維シートには含浸接着樹脂が徐々に含浸します。含浸の速度は樹脂の粘性が低いほど速い傾向にあります。

樹脂が含浸した後の連続繊維シートは光沢（色）が変化するので、これによって含浸の確認が可能です（写真–1 参照）。　クロスタイプでは一般に横糸を白色としているので、これが着色されるかどうかで含浸の確認ができます。また、脱泡ローラーでシート面を押さえた際に繊維の下から樹脂がにじみ出てくるかどうかで判断することもできます。



写真－１　アラミド繊維への樹脂の含侵

b）打音による確認

打音による確認は、写真-2 に示すパルハンマーを用いて行います。樹脂硬化後の連続繊維シート上に先端の丸い部分をころがして、その音により含浸不足等の不具合部を確認します。含浸不足等の不具合部（浮き等）はパルハンマーをころがすとカラカラと軽い音がします。



写真－２　パルハンマー

2.7　シート貼付け工事の留意点について（その２）

会報１５号（2007 年１月）掲載　技術専門委員会

今回は、シート貼付け工事のうち「重ね継手長さの管理」「浮き・膨れへの対処」「積層枚数の管理」「開口部補強」についての留意点を示します。

１）重ね継手長さの管理

シートの重ね継手長さは、シートが引張力を確実に伝達するために必要な長さとして規定されており、この規定を守ることは大変重要です。しかしながら、重ね継手長さは施工後にチェックすることが極めて困難です。したがって、施工中に検査する方法を採らざるを得ませんが、方法としては以下の２点を確認することが必要です。

①継手位置が割付実施図に示された位置であること。

②継手長さが設計仕様に示された長さ以上であること。

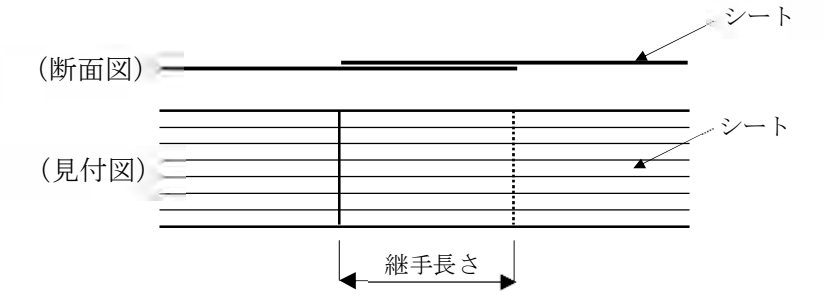


図１　重ね継手の例

２）積層枚数の管理

積層枚数についても、継手長さの場合と同様に施工後にチェックすることが困難な管理項目のひとつです。したがって、施工中に検査することが原則となりますが、その方法としては、以下のような方法が挙げられます。

①１層ごとに重ね継手を設ける場合には、重ね位置が層ごとに移動するので、割付実施図と照合して層数をカウントする。

②１層貼るごとに撮影した写真記録で層数を確認する。

以上のような管理方法の他に、貼付け後の確認方法として、ドリルで小さな穴をあけ断面の積層数を確認する方法や各シートにあらかじめターゲットを埋め込んでおき貼付け後にセンサーで層数をカウントする方法なども考案されています。

３）シート浮きはがれ・膨れの処置方法

適正な管理・施工によりシートの浮きなどの不具合が生じないことが原則ですが、万一このような不具合が生じた場合、その適切な対処法を知っておくことも実務上必要となってきます。下表に、不具合の検査項目・検査方法・原因・処置方法をまとめて示しましたが、ここに示した処置方法は一例ですので、不具合の状況に応じて設計者と協議の上適切な処置方法を選択す

る必要があります。

表１　シート貼付け状況の検査および処置方法

検査項目	検査方法	不具合の原因	処　置　方　法
①浮きはがれ	・　打音検査	・　下地不具合:空隙、段差不陸調整不足 ・　樹脂塗布量不足 ・　樹脂含浸不足	・　低粘度エポキシ樹脂注入 ・　不具合部分のカッティング＋パテ処理＋シートパッチング（定着長は２００mm以上）
②膨れ	・　目視 ・　打音検査	・　下地処理不足 ・　不陸調整不足 ・　シートの脱泡、押さえ不足 ・　樹脂含浸不足 ・　巻きしわ、折しわ等のシートの管理不良	・　樹脂硬化前の処理方法 膨れ部分に樹脂を塗布し、ゴムヘラ、脱泡ローラー等で押さえ溜ったエアーを押し出す様に抜く ・　樹脂硬化後の処理方法 低粘度エポキシ樹脂注入 不具合部分のカッティング＋パテ処理＋シートパッチング（定着長は２００mm以上）

４）開口補強方法

開口やコンセントボックス等の埋設物によってシートが連続的に貼り付けられない場合があります。連続的に貼り付けられない場合には、その箇所に要求されるシート量をその周囲の部分に増し貼りして補うことが原則になりますが、必要シート量や貼り付けのディテールは設計者が判断し仕様書に示しておかなければなりません。逆に言うと、現場でシートが連続的に貼れない箇所が発生した場合には、その補強対策について必ず設計者と協議する必要があります。増し貼りの方法は、開口部を囲むようにシートを貼り付けることが一般的です。シートの貼り付け方向は、下図に示すように斜め 45 度と 135 度の組み合わせ、または縦横の組み合わせのように、２方向を対として貼り付けます。増し貼りのシート量は、開口部の存在によって欠損したシート量以上とし、必要な定着長さ（標準的には L=200㎜）を取るものとします。なお、アンカーボルトのように寸法の小さい埋設物の場合には、その部分の補強材の欠損が大きな影響を与えることはないので、増し貼りをしないことが通常です。

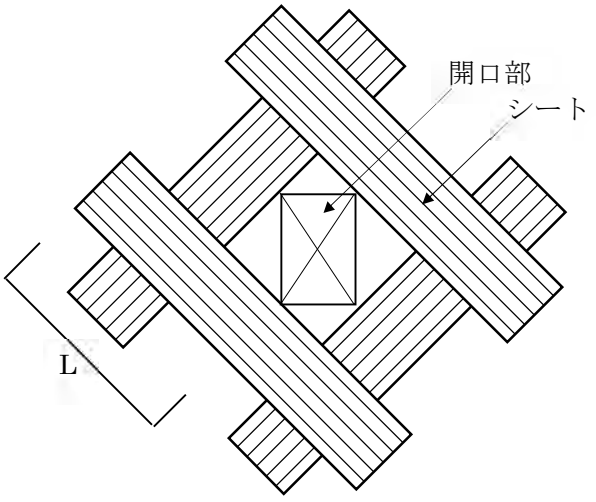


図２　開口部周りの斜め貼りの例

2.8　連続繊維シート補強の仕上げについて

会報７号（2003 年 1 月）掲載　技術専門委員会

１．はじめに

連続繊維シート補強工法は、基本の耐久性に優れた工法であるが、表層の外観や耐久性または、外力からの保護や防火性能の向上のために、仕上げ塗料材料、左官系仕上げ、成形板系仕上げなどが施されています。しかし、連続繊維シート補強面と仕上げとの一体的接着が確保されていないと、ひび割れ・剥がれ等の不具合の発生が懸念され、使用材料および施工の方法については注意が必要です。現状は連続繊維シート補強に適していない材料および工法が採用されているケースもあることから、ここに連続繊維シート補強に対応している仕上げ材の工法をお知らせします。

２．仕上げ材一覧

連続繊維シート補強工法に適応できる製品を、FiRSt 協会 C、D 会員へアンケートを行いました。アンケートの回答から仕上げ材料毎に分類し表に示します。実際の価格および仕様に関してはメーカーにお問い合わせください。

区分	塗装仕上	連続繊維シート補修補強面に対する下地処理	用途	工法名	問い合わせ先
塗装	アクリルエマルション塗料	●エマルションパテ ●サンドペーパー	屋内	連続繊維補修補強用仕上塗装	大日本塗料株式会社 一般塗料本部防食塗料部 里氏 栃木県大田原市下石上1382-12 TEL.0287-29-1917 FAX.0287-29-1922
	一液反応硬化形アクリル樹脂塗料	●弾性フィラー			
	非水エマルション塗料	●シーラー	屋外		
	アクリルウレタン塗料(平滑)	●エポシーラ			
	アクリルウレタン塗料(凹凸)				
	弱溶剤アクリルウレタン塗料	●弾性フィラー			
	溶剤型アクリルウレタン塗装	●溶剤型エポキシ樹脂	仕上塗装材 美観・耐候性	ダイナミックレジン仕上工法 S-1	大日本色材工業株式会社 第一営業部　西氏 東京都千代田区神田神保町3-7-1 TEL.03-3263-3531 FAX.03-3263-3529
	溶剤型一液常乾型フッ素塗料	●溶剤型エポキシ樹脂	仕上塗装材 美観・耐候性	ダイナミックレジン仕上工法 S-2	
	溶剤型アクリルウレタン塗装	●エポキシポリマーセメントモルタル	表面保護材(1mm厚) JHA仕上げ材適合品	ダイナミックレジン仕上工法 S-4	
	溶剤型アクリルウレタン塗装	●エポキシポリマーセメントモルタル	表面保護材(10mm厚) JHB仕上げ材適合品	ダイナミックレジン仕上工法 S-7	
	アクリル樹脂単層弾性材	●直接(保護モルタル施工の場合エポキシ樹脂)	表面保護 (外傷からの保護の場合CA保護モルタル)	クリートボンド工法CF工法 クリートボンド工法AF工法 AU仕上材	株式会社エービーシー商会 環境景観営業部 プロジェクト営業課 菊池氏 東京都千代田区永田町2-12-14 TEL.03-3507-7250
	水系ウレタン塗料	●直接	シート保護トップコート材	FFトップ(FFシステム)	前田工繊株式会社 アンカーメンテナンス事業部　佐藤氏 東京都中央区東日本橋3-4-10 ヨコヤマビル4F TEL.03-3663-7897 FAX.03-3663-9930
	水系ウレタン塗料	●ポリマーセメントモルタル (水系アクリル樹脂)	シート保護材	FFガード(FFシステム)	
	ウレタン仕上	●硅砂散布又は接着増強プライマー ●接着増強材(ポリマーセメント系)	1mm厚工法	新素材(CFRP、アラミド繊維) 耐震補強表面仕上工法	菊水化学工業株式会社 事業開発部 東京都豊島区南池袋2-32-13 タクトビル4F TEL.03-3981-4700 FAX.03-3981-9559
	シリコーン仕上				
	フッ素仕上		10mm厚工法		
	フラット仕上				
	ウレタン仕上				
	シリコーン仕上				
	フッ素仕上				
	天然石調仕上		石調仕上工法		
	御影石調仕上				
	砂岩調仕上				
	土木用防水形複層塗材		ポリマーセメント系 ライニング工法		
	防水形複層塗材				
	可とう形複層塗材				
	エポキシ系塗装材	●直接	仕上塗装材 美観・耐候性	ジョリシール 炭素繊維補強工法	アイカ工業株式会社 化成品カンパニー　石原氏 東京都練馬区豊玉北6-5-1 TEL.03-5912-2774 FAX.03-5912-2777
	アクリルウレタン系				

区分	塗装仕上	連続繊維シート補修補強面に対する下地処理	用途	工法名	問い合わせ先
モルタル	軽量性セメントモルタル仕上	●硅砂散布又は接着増強プライマー ●接着増強材(ポリマーセメント系)	耐火被覆工法 (20mm厚:1時間耐火)	新素材(CFRP,アラミド繊維) 耐震補強表面仕上工法	菊水化学工業株式会社 事業開発部 東京都豊島区南池袋2-32-13 タクトビル4F TEL.03-3981-4700 FAX.03-3981-9559
	保護モルタル	●エマガードCプライマー エマコシート エマコS96C	表面保護	ジョリシール 炭素繊維補強工法	アイカ工業株式会社 化成品カンパニー　石原氏 東京都練馬区豊玉北6-5-1 TEL.03-5912-2774 FAX.03-5912-2777
	ポリマーセメント系50mm厚まで(価格は下塗り材)	●直接	下塗り材(2mm厚)	ハイパーエポA	日本スタッコ株式会社 技術部　岩室氏 TEL.0748-77-3155 FAX.0748-77-3155
	このまま又はポリマーセメント系50mm厚まで(価格は上塗り材)	●直接		ELコート#1000G	
	ポリマーセメント系1mm厚	●ポリマーセメント系本材料直接(1mm厚)	着火防止、耐衝撃・耐摩耗性	ライオンマック1～2mm仕様	住友大阪セメント株式会社 建材事業部 事業推進グループ 東京都千代田区神田美土里町1 TEL.03-3296-9555 FAX.03-3296-9560
	ポリマーセメント系9mm厚		不燃性、耐衝撃・耐摩耗性	ライオンマック10mm仕様	
	珪藻土外壁塗り材8mm厚	●カチオン系ポリマーセメントモルタル処理	仕上塗り材仕上	NSリビルド工法Psシリーズ	日本化成株式会社 リニューアル部 吉武氏 東京都新宿区西新宿6-5-1 TEL.03-5325-5533 FAX.03-5325-5536
タイル	磁器タイル仕上げ	●硅砂散布又は接着増強プライマー ●接着増強材(ポリマーセメント系)	10mm厚工法	新素材(CFRP,アラミド繊維) 耐震補強表面仕上工法	菊水化学工業株式会社 事業開発部 東京都豊島区南池袋2-32-13 タクトビル4F
	ポリマーセメントモルタルによるタイル貼り(タイル代別)	●カチオン系ポリマーセメントモルタル処理	タイル張り仕上	NSリビルド工法Psシリーズ	日本化成株式会社 リニューアル部 吉武氏 東京都新宿区西新宿6-5-1 TEL.03-5325-5533 FAX.03-5325-5536
その他	化粧材貼付	●エマガードCプライマー	表面保護・防火・美観	ジョリシール 炭素繊維補強工法	アイカ工業株式会社 化成品カンパニー　石原氏 東京都練馬区豊玉北6-5-1 TEL.03-5912-2774 FAX.03-5912-2777

３．施工上（下地処理）の留意

連続繊維シート補強に対する仕上げ材の施工は、連続繊維シート補強面への処理が各社異なっているものの以下の３種類に大別されます。

＊連続繊維シート補強の施工が終了している状態を下地として記しています。すなわち含浸接着樹脂上塗り及び脱泡を行い養生が終了している状態。

１）接着剤による処理

主に塗装仕上げに用いられます。

・不陸処理を行う場合は樹脂が硬化する前に(タックのある状態で)追っかけでモルタル等を施工。

２）硅砂の散布による処理

主にモルタル仕上げの場合に用いられます。

・　含浸樹脂の再塗布後硅砂の散布を行うので、硅砂大きさ（３～４号)、散布のタイミング、硬化後に余分の硅砂を除去する等注意が必要。

・塗装、タイル及び耐火被履材の下地となる場合は、モルタルの仕様が異なるので確認の上施工。

３）ポリーマー混入セメントモルタルによる処理

主に塗装の下地調整及びモルタル仕上げの場合に用いられる。

・使用する樹脂の種類及び混入の量により性能が影響されるので、仕様を確認の上施工。

４．まとめ

各社とも下地処理から仕上げまでのラインナップをそろえているので、最終の仕上げが何であるかを目安に商品を選定して下さい。下地処理から仕上げまでを同じメーカーの製品で施工することが望ましいと考えます。

もしも、最終の仕上げ材と下地処理のメーカーが異なる場合はそれぞれのメーカーに問い合わせ確認を行ってから施工をして下さい。

＊ 今回紹介した製品を使用する場合、各メーカーに仕様をご確認下さい。

2.9　連続繊維補強工法の仕上げの目的と主な工法・施工上の留意点

技術専門委員会（会報 38 号　2018 年 7 月）

1. はじめに

連続繊維補強工法は炭素繊維シートやアラミド繊維シートにエポキシ樹脂やメタクリル樹脂などを含浸・硬化させた連続繊維補強材を、構造物表面に接着形成して構造物を補修・補強する工法である。連続繊維補強材は高強度で耐久性に優れた材料であり、これを構造物の表面に密着形成することによって、被補強構造物を様々な外乱から防護して耐久性を向上させる機能も備えている。一方、構造物の外面に形成されていることから、連続繊維補強材には外観上の配慮の他、使用環境に応じた種々の性能が求められ、目的に応じた仕上げ材料・工法が選定される。本稿では、連続繊維補強工法で用いられる仕上げに求められる機能、主な材料と施工上の留意点について解説する。

なお、2003 年 1 月発行の会報第 7 号にて主な仕上げ材料製品を紹介しているが、それら製品に対する改廃を調査し現在市場に出されている製品を確認したので併せて掲載する。

2. 連続繊維補強工法における仕上げの目的

連続繊維補強工法の仕上げは、連続繊維補強材の色彩等に対する外観上の配慮や周囲環境との調和といった事項の他に、連続繊維補強材そのものの耐久性、火害等の耐熱性、土木構造物では流木、船舶や車両の衝撃、波浪やとび砂等の浸食といった繰り返し外力に対する劣化対策や安全性の確保が求められる場合がある。実際の仕上げ選定では、これら外乱の作用頻度を考慮した対応も必要である。本稿では以下主要な要因について解説する。

1）防耐火性能の確保

連続繊維補強工法は主体はコンクリート造耐火構造の補強であり、可燃性含浸接着樹脂の施工により耐火構造の性能低下をきたさない様、以下の留意が必要である。

・可燃物量の増加防止：一般的な補強量では問題にはならないが、局部的に補強量が大きい場合や可燃物量が限定された耐火設計が行われている建築物では注意が必要である。

・可燃性樹脂が室内に露出していても量的に少ないので、一般的には火災の危険性は低いが、建築物の用途、規模等により、内装制限を受けなくとも室内に面する部分を不燃、準不燃等の防火材料で覆うことが望ましい。

・耐火構造物の耐震補強においては、一般的には補強部材は長期荷重を負担しないので補強部材表面に防火被覆を設ける必要はないが、火災後の再使用を意図する場合は鉄骨造の耐火構造等を参考に防火被覆を設ける。但し火害後には防火被覆を取り外して連続繊維補強材の劣化の有無を確認する。

・ただし、鉄骨耐火構造の 30 分～3 時間の耐火性能が連続繊維補強材の被覆として同様の性能を示すわけではないことに注意を要する。これは鉄骨耐火構造の鋼材温度の制限値は平均 350℃であるが、連続繊維補強材ではこれより低い約 260℃以下などの加熱履歴で劣化の恐れがあることによる。

・連続繊維補強材の制限温度を 260℃とした場合の一般的仕上げ材の必要厚さを検討した資料[9)]では最小厚さを次表のとおりとしている。

耐火性能	1 時間相当	2 時間相当
せっこうボード	25 ㎜（推奨 30 ㎜）	40 ㎜（推奨 45 ㎜）
ケイ酸カルシウム板	20 ㎜（推奨 25 ㎜）	35 ㎜（推奨 40 ㎜）
軽量ｾﾒﾝﾄﾓﾙﾀﾙ	20 ㎜（推奨 20 ㎜）	30 ㎜（推奨 40 ㎜）
既調合モルタル	35 ㎜（推奨 35 ㎜）	40 ㎜（推奨 60 ㎜）

2）劣化防止

連続繊維補強材の耐久性を阻害する要因として、酸やアルカリその他化学薬品、紫外線、水、熱等が想定されるが、これらに対する促進暴露試験等種々の検証では、耐候性や耐薬品性に対し、引張強度の低下などの力学的特性への影響が認められていないことが報告されている[2)他]。

ただし、アラミド繊維による連続繊維補強材は、紫外線照射により多少の引張強度低下が認められており、屋外に暴露される環境では、塗装やモルタル被覆などの紫外線遮光対策が必要とされている。仕様例としてはウレタン樹脂塗料 2 層や表面保護層としてポリマーセメント 1 ㎜厚ないし 10 ㎜厚仕上げにウレタン樹脂塗装等が示されている[6)他]。

3）衝突等による損傷防止

連続繊維により補修補強された構造物が衝撃作用を受ける可能性がある土木構造物では、連続繊維補強材の損傷を防止する必要がある。河川内の橋脚などでは流木や転石、波浪や砂への対処が、道路・鉄道などでは自動車や列車の衝突など、港湾では船舶等の衝突といった事項が想定されるが、衝撃の程度や頻度、復旧の緊急性や難易度などを評価して防止策を考慮する必要がある。

連続繊維補強材の保護層として、アラミド繊維の切断されにくくすり減りに強いといった特長を利用して、2 方向のアラミド繊維シートを含浸接着樹脂で表層に貼付け、保護層として用いることも示されている[4) 5)]。ここでは、最表層の塗装仕上げの塗り替えの際のケレンによる補強層の損傷を避ける目的も持っている。

一般的仕様としては、ＮＥＸＣＯ構造物施工管理要領[4)]に仕上げとして示される次表の仕上げ材Ｂ等が参考となる。

種類	仕上げ材Ａ	仕上げ材Ｂ
材質	JISA6909 建築用仕上塗材のうち薄付け仕上塗材、複層仕上塗材相当品（ただし、可とう形、柔軟形を除く）	同、厚付け仕上塗材相当品（ただし、可とう形、柔軟形を除く）
仕上がり厚さ	1 ㎜以上	10 ㎜以上
炭素繊維シートとの付着強度＊	標準養生後及び温冷繰り返し後、1N/㎟	同左
耐候性	JISA6909 耐候形 2 種	同左
試験方法は、炭素繊維ｼｰﾄを貼り付けた JISA5371（ﾌﾟﾚｷｬｽﾄ無筋ｺﾝｸﾘｰﾄ製品）付属書 2 に規定する平板Ｎ呼び 300 に仕上げ材を施工した試験体を製作し、簡易引張試験機にて３箇所試験を行い、試験値は最低値とする。		

3.主な仕上げ工法と施工上の留意点

1）左官系仕上げでの接着力増強処理

左官系仕上げ材など厚みのある仕上げを行う場合には、連続繊維補強材表面に接着力増強処理を行うことが必要である。

モルタルを塗る際の接着増強剤や仕上げ下地としてセメントペースト塗を行う場合の接着補強材としてエポキシ樹脂系混和剤を用いることで接着改善効果が得られる。しかしながら、安定的な接着強度を確保するためには、連続繊維シート補強面に接着増強処理を施すことが望ましく、珪砂散布ないし三次元ネット等の機械的接着力向上効果を期待することが標準となっている。特に軽量セメントモルタル耐火被覆材を用いる場合にはこの接着補強処理は必須である。

珪砂散布では、3 号ないし 4 号の珪砂を用いて、連続繊維シート補強の上塗り樹脂が初期硬化後に同じ含浸接着樹脂を再度塗り付けて珪砂を吹き付ける。含浸接着樹脂の塗布量は 0.3kg/㎡、珪砂は 1.0 kg/㎡を目安とする。含浸接着樹脂の塗布量が少ないと、散布した珪砂が付着せずに落下したり、あるいはしっかりと定着されないので、所定量を均一に塗布する必要がある。散布むらを防止し効率的に付着させるにはリシンガン等を用いるとよい。

また含浸接着樹脂が硬化を始める前に速やかに珪砂を散布する。メタクリル樹脂は硬化が始まるまでの時間が短いので、塗布後ただちに散布するなど注意が必要である。

三次元ネットを用いる場合は、連続繊維シート補強面との接着を特に注意して施工する。含浸接着樹脂に増粘剤を混合（約 4～7 wt%）したり、アエロジル（フュームドシリカ）を添加（標準量 3wt%）して、厚付接着剤として（塗布量の目安 0.6 kg/㎡）三次元ネットを貼り付けることが薦められている。

2）塗装（塗料及び建築用仕上塗材）

連続繊維補強材の塗装仕上げでは、使用されている含浸接着樹脂に対して十分な付着力を有する材料を選定し塗装仕様を設定することが必要である。屋外など紫外線の作用を受ける部分では、連続繊維補強材の保護の点から高耐候性塗料として、ウレタン樹脂系、アクリルシリコン樹脂系、フッ素樹脂系等が推奨される。

また、炭素繊維シートは黒色で日光の照射により表面温度が上昇しやすいので、白色系の塗料により表面温度の上昇を抑え、含浸接着樹脂の耐熱性を保持することが望ましい。アラミド繊維シートは紫外線により性能が低下するので、塗装仕上げとする場合は遮光性のある材料を選定する。

連続繊維シート補強面のシートの網目や樹脂表面の不陸を消すために、下地調整塗材を施工した後に塗装を行うこともある。この場合は、含浸接着樹脂と同系の下地調整塗材を用いると同時に、塗料との相性につき製造所へ確認するなど注意が必要である。

仕上塗材は耐水性、耐候性、耐衝撃性に優れた材料であるが、連続繊維補強面との接着性の確認がなされていない場合が多い。そのような際に、セメント系下地調整塗材を下塗りに用いることで様々な仕上げ材料を用いることができるが、両者の相性につき注意が必

要である。セメント系下地調整厚塗材を施工する場合、連続繊維補強面との接着性確保のため、珪砂散布などの接着力増強処理を行うことが望ましい。

3）モルタル仕上げ

モルタル仕上げを行う際には、下地の補強層ないし接着力増強処理（珪砂、三次元ネットなど）を構成する含浸接着樹脂が少なくとも初期硬化状態に至っていることが必要である。エポキシ樹脂系含浸接着樹脂では、初期硬化に至る時間はおおむね 12～24 時間（20℃）となっている。この時間は施工温度によっても変化するが、初期硬化より早い段階で施工すると、モルタルの水分やアルカリで含浸接着樹脂が硬化不良を起こすこともあるので、工程間隔時間への留意が必要である。

モルタルの塗り付け厚さが大きい場合（30 ㎜以上）や接着をより確実にしたり、施工後のひび割れを防止するために金網やラス貼りを塗層の中間に施工する。下地に含浸接着樹脂で留め具（トンボ）をあらかじめ固定した後、下地調整材を塗り、ラスを止め具に装着してモルタルを塗る。

セメント系塗り仕上げではひび割れが生じやすいので、施工後に急激な乾燥・温度上昇などが生じないよう適切な養生が必要である。

4）成形板等の仕上げ

化粧ボードや仕上げ材または壁紙等仕上げの下地材として成形板が用いられる。この場合、連続繊維補強材に負荷や衝撃による損傷を与えないように注意が必要である。そのため、成形板は軽量で寸法安定性が良く、そりやたわみの生じにくい材料を用いることが望ましい。

せっこう系接着剤によるせっこうボードの直貼り工法を用いる際には、連続繊維補強材の表面に接着増強処理（珪砂散布、モルタル塗り等）を施したうえで、公共建築工事監理指針 19 章 7 節などを参照して実施する。

木下地による場合は、補強面と接着性が良好で可撓性のある接着剤を用いて木レンガを貼付け、くさび等を介して胴縁を釘で取り付け、これにボード類を取り付けるなどの工法がある。重量のある仕上げ材を取り付ける場合は、補強層と縁を切った軽量鉄骨製スタッドを立て、必要に応じ胴縁、振れ止めを備えた下地を用いることが望ましい。

石材などの重量物を仕上げ材に用いる場合には、補強層のあるコンクリート躯体にアンカーピンを取り付け、これを利用して取り付ける工法（アンカーピン工法）もある。連続繊維シートによる補強層を傷めずに、アンカーピンを補強前に取り付ける方法と、補強層施工後にアンカーピンを施工し取付け部周囲を補強する工法があるが、後者の場合は、設計者と協議のうえ、開口部補強に準じて連続繊維補強層の補強・修復を行わなければならない。アンカーピンによる仕上げ材取り付けの具体的な施工は、公共建築工事監理指針 10 章石工事を参照されたい。なお、アンカーピンに鉄筋等を取り付ける際に溶接等を用いる場合には、溶接火花が連続繊維補強面に損傷を及ぼさないよう適切な養生を行う様留意する。

4. 主な仕上げ工法とその材料

会報第 7 号（2003 年 1 月発行）では、連続繊維補強工法に適用できる製品を、当時の団体正会員（製造業関係）にアンケート調査した結果が掲載されている。発行から 15 年を経過しているので、この内容を今般改めて確認し、現在市場に出されている材料として修正した。具体的な仕様、価格に関してはそれぞれの問合せ先に確認すること。

■連続繊維補強工法の仕上げ材料・工法（2003 年資料に基づき 2017 年再調査

区分	仕上げ区分	連続繊維補強面への下地処理	用途	工法名	問合せ先
塗装	アクリルエマルジョン塗料	エマルジョンパテ サンドペーパー	屋内	連続繊維補強用仕上塗装	大日本塗料㈱ 構造物塗料事業部
塗装	一液反応硬化型アクリル樹脂塗料	弾性フィラー	屋内	連続繊維補強用仕上塗装	大日本塗料㈱ 構造物塗料事業部
塗装	非水エマルジョン塗料	シーラー	屋外	連続繊維補強用仕上塗装	大日本塗料㈱ 構造物塗料事業部
塗装	アクリルウレタン塗料（平滑）	エポシーラー	屋外	連続繊維補強用仕上塗装	大日本塗料㈱ 構造物塗料事業部
塗装	アクリルウレタン塗料（凹凸）		屋外	連続繊維補強用仕上塗装	大日本塗料㈱ 構造物塗料事業部
塗装	弱溶剤アクリルウレタン塗料	弾性フィラー	屋外	連続繊維補強用仕上塗装	大日本塗料㈱ 構造物塗料事業部
塗装	水性ウレタン塗料	直接	シート保護トップコート材	ＦＦトップ（ＦＦシステム）	前田工繊㈱ 構造物メンテナンス推進部
塗装	水性ウレタン仕上	ポリマーセメントモルタル（水系アクリル樹脂）	シート保護材	ＦＦガード（ＦＦシステム）	前田工繊㈱ 構造物メンテナンス推進部
塗装	水性ウレタン仕上	接着増強プライマー、接着増強剤（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系）	シート保護仕上（標準）	ＡＢガードＬ（1 ㎜仕様）	前田工繊㈱ 構造物メンテナンス推進部
塗装	水性ウレタン仕上	接着増強プライマー、接着増強剤（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系）	シート保護仕上（特別保護）	ＡＢガードＴ（10 ㎜仕様）	前田工繊㈱ 構造物メンテナンス推進部
塗装	ウレタン仕上 シリコーン仕上 フッ素仕上	珪砂散布又は接着補強プライマー 接着補強材（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系）	1 ㎜厚工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業㈱

塗装	フラット仕上 ウレタン仕上 シリコーン仕上 フッ素仕上	珪砂散布又は接着補強プライマー 接着補強材（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系）	10 ㎜厚工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業㈱
塗装	天然石調仕上 御影石調仕上 砂岩調仕上	珪砂散布又は接着補強プライマー 接着補強材（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系）	石調仕上工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業㈱
塗装	土木用防水型複層塗材 防水型複層塗材 可とう形複層塗材	珪砂散布又は接着補強プライマー 接着補強材（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系）	ポリマーセメント系ラニング工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業㈱
モルタル	ポリマーセメント系 1 ㎜厚	直接	着火防止、耐衝撃・耐摩耗性	ライオンマック 1～2 ㎜仕様	住友大阪セメント㈱ 建材事業部営業統括Ｇ
モルタル	ポリマーセメント系 9 ㎜厚	直接	不燃性、耐衝撃・耐摩耗性	ライオンマック 10 ㎜仕様	住友大阪セメント㈱ 建材事業部営業統括Ｇ
モルタル	仕上塗材	珪砂散布又はモルタル接着用プライマー ＮＳカチオンワン＃1処理	仕上塗材用下地処理工法	ＮＳリビルド工法 7-3	日本化成㈱ テクニカルサービス
モルタル	軽量性セメントモルタル仕上	珪砂散布又は接着補強プライマー 接着補強材（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系）	耐火荷被覆工法（20 ㎜厚 1 時間耐火）	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業㈱
タイル	セラミックタイル	珪砂散布又はモルタル接着用プライマー ＮＳカチオンワン＃1処理	セラミックタイル用下地処理工法	ＮＳリビルド工法 7-3	日本化成㈱ テクニカルサービス
タイル	磁器タイル仕上	珪砂散布又は接着補強プライマー 接着補強材（ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄト系）	10 ㎜厚工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業㈱

5. 終わりに

仕上げはそれぞれの工法ごとに様々な形で解説されているが、本稿では連続繊維補強工法とのかかわり上、特に注意すべき点等を各種の指針類を参考にして取り上げた。また、市販

商品の改廃を常にフォローするのは難しいが、今回の改訂を参考にして適切な仕上げ工法の選定に活用してほしい。

【参考資料】

1）一般財団法人日本建築防災協会「2010 年改訂版・連続繊維補強材を用いたコンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針」
2）一般社団法人日本建築学会「連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案」
3）公益社団法人土木学会「連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針」
4）東日本高速道路㈱「構造物施工管理要領」
5）㈱高速道路総合技術研究所「炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法設計・施工マニュアル」
6）公益財団法人鉄道総合技術研究所「既存鉄道コンクリート高架橋柱等の耐震補強設計・施工指針／Ａ＆Ｐ耐震補強工法編」
7）炭素繊維補修・補強工法技術研究会「炭素繊維シート接着工法設計・施工の手引き」
8）一般財団法人土木研究センター「炭素繊維シートによる鋼製橋脚の補強工法ガイドライン（案）」
9）一般社団法人建築研究振興協会「炭素繊維シートによる建築構造物の耐震補強・補修工法の検討（その 3)」

2.10　樹脂類の硬化状態と施工上の判断

会報 37 号（2018 年 1 月）掲載　　技術専門委員会

１．はじめに

連続繊維補修補強工法に用いる樹脂類には、含浸接着樹脂をはじめ断面修復材、プライマー、下地調整剤等が用いられている。これら樹脂の硬化状態については、施工の適正性評価のほか、次工程の着手が可能か否かを判断するうえでたいへん重要な指標となっている。一般社団法人 繊維補修補強協会の発行する研修会用テキストでは、対象とする樹脂は主としてエポキシ樹脂系とメタクリル樹脂系としているが、硬化状態について以下の表記を用いているので、改めて硬化状態について確認する。

２．硬化状態の表記とその背景

現在のテキスト（第 17 版）では硬化状態の表記として以下の３段階を使用している。

①指触硬化：手で触れて指紋が付かない程度

②初期硬化：軽く爪をたてても爪痕が残らない程度

③完全硬化：爪をたてても跡が付かない程度

連続繊維補強工法で用いる樹脂類の硬化状態については、ＪＩＳ等での規格化された表記は示されていないことから、JIS K 5500-2000 「塗料用語」において用いられている表記に準じた表現となっている。ただし塗料では、硬化ではなく「乾燥」の状態としての表記となっている。(JIS K 6800-1985 「接着剤用語」、では、「硬化」の解説はあるが、硬化過程の状態を表す用語は示されていない。JIS K6900-1994 「プラスチック用語」、JIS K 7010-1995 「強化プラスチック用語」も同様である。)

ちなみに、JIS K 5500-2000 「塗料用語」では、乾燥時間（drying time）とは、“塗料が乾燥（液体から固体に変化する過程の総称）するのに必要な時間”と定義されている。

乾燥性の評価試験では、塗料に規定される条件下で、規定の時間経過した後に、塗膜の乾燥状態を評価することになる。乾燥の状態には、指触乾燥、半硬化乾燥、硬化乾燥、表面乾燥などの区分があり、以下の解説が示されている。

3207 指触乾燥：　塗った面の中央に触れてみて、試料で指先が汚れない状態（set-to-touch）になったときをいう。[JIS K 5600-1-1 参照]

3212 半硬化乾燥：　塗った面の中央を指先でかるくこすってみて塗面にすり跡が付かない状態（dry to touch）になったときをいう。[JIS K 5600-1-1 参照]

3213 表面乾燥（上乾き）：　上乾きは、塗った塗料の層が、表面だけが乾燥状態 になり、下層は軟らかく粘着性があって未乾燥状態 にあることをいう。水平に置いた試験片の塗面に、規定量 のバロチニ（細かいガラス球）を指定の高さから落とし、10 秒後に試験片を傾けて、軽くはけではいて塗膜の表面にきずを付けずに、バロチニを除去できる乾燥状態をいう。[JIS K 5600-3-2 参照]

3206 硬化乾燥：　塗膜の表面は乾燥しているが、塗膜の大部分は、 まだ軟らかいといった状態ではなく、塗膜の厚さ全体を通じて乾燥している状態（through dry）をいう。

a）試験片の中央を親指と人指し指とで強く挟んでみて、塗面に指紋によるへこみが付かず、塗膜の動きが感じられず、 また、塗面を指先で急速に繰り返してこすってみて、すり跡が付かない状態（dry-hard）になることをいう。[JIS K　5600-1-1 参照]
b）規定の試験機を用いて、水平に置いた塗料又は関連製品の一回塗り又は多層塗り塗装系の塗面に規定のガーゼを置き、その上に規定された荷重を規定時間かけてから、90 度のねじれを与えたとき、塗膜の表面にガーゼの跡が残らず、塗膜に損傷が認められない場合、その乾燥状態を硬化乾燥状態（through dry state）にあるという。[JIS K 5600-3-3 参照]

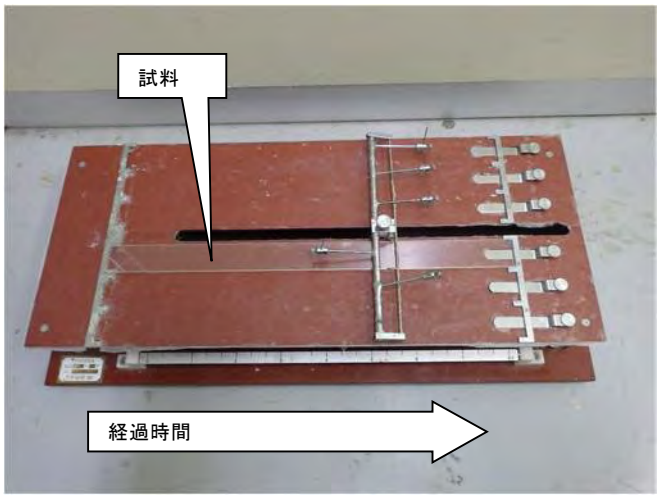


写真 1.　塗料の硬化試験方法の例
（ＲＣＩ式ドライングレコーダー：ガラス板に塗布した試料上を任意の時間をかけて鋼針でひっかき、その軌道を観測して乾燥時間を測定する）

いずれも「どの程度固まっているか」を表しているが、非常に微妙な差となっている。エポキシ樹脂の場合は①から③までの時間がそこそこ長い（初期硬化まで、20℃で 12 時間～24 時間程度）ので、ある程度の時間差による状態の差は確認できるが、メタクリル樹脂の場合、基本的には初期硬化まで 30 分～3 時間程度と硬化速度が速く、状態の差を確認できる時間は非常に短くなる。

また、メタクリル樹脂は使用方法によって硬化時間を調整しているので、数分で強度が発現する製品の場合、それぞれの状態に至る時間は
「指触硬化」≒「初期硬化」≒「完全硬化」≒「実用強度」
となる場合がある。

連続繊維補強工法に用いる場合のように、面に塗布する場合は、施工上の必要性から硬化を遅くして可使時間を確保する必要があるので、
「指触硬化」≒「初期硬化」≦「完全硬化」≦「実用強度」
となる場合も考えられる。

３．施工における硬化状態の意味

連続繊維補強工法の実際の施工においては、
・次工程の材料を塗布しても混ざらない
・完全硬化することが確認できている（容器にある程度材料が残っていれば確認できる）

・次工程が複数層施工の場合、脱泡作業ができる
といった硬化状態であれば次工程に進めると考えてよい。

判断基準で考えると「完全硬化」が解りやすいが、「流動しなければよい＝固まっていればよい」と考えると「指触硬化」状態でも十分ではないかと判断される。また、「指触硬化」の判定基準も、「指で触って材料が付かない（転着しない）」と定義した方が解りやすいかも知れない。

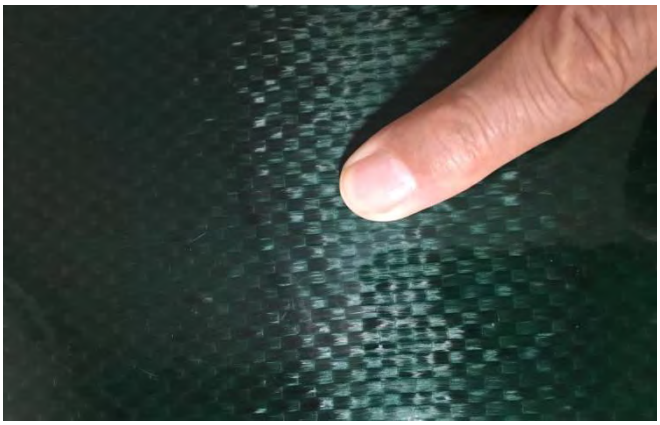


写真 2.　指触硬化の判断（指で触った状態）

さらに、連続繊維補強工法では、施工上の利便性のほか、含浸接着樹脂硬化後の連続繊維補強材としての強度を確保する必要があるため、完全硬化の状態に達した場合に実用強度に達した状態であると判断することになる。この完全硬化に達するまでの期間に対しては、JIS A 1191-2004（コンクリート補強用連続繊維シートの引張試験方法）では、引張試験に至る養生期間について、次の様に記載されている。
「養生期間は 20 ℃で 1 週間（7 日間）程度が一般的であるが、施工条件として 5~35 ℃が考えられるので、そのときの温度条件に合った養生期間をとる。特別な施工条件及び使用環境で用いる場合には、その施工条件及び使用環境を考慮して、養生期間及び養生温度を変更してもよい。ただし、その場合には、試験結果に養生方法を明確に記述しなければならない。」
従って、特段の確認がなされていない限りは、通常は 1 週養生で所定の強度を発揮していると判断される。

４．終わりに

本稿では、連続繊維補修・補強工法の施工工程の判断指針となる樹脂類の硬化状態について記載しました。硬化状態と施工の判断をよく理解して、間違いのない施工を進めてください。本稿の記載にあたっては、教育研修専門委員会・伊藤秀治委員（コニシ株式会社）のご協力をいただきました。

第2章のtopページに戻る