

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

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、局部的に補強量が多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る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。
- 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 mm (推奨 30 mm)	40 mm (推奨 45 mm)
ケイ酸カルシウム板	20 mm (推奨 25 mm)	35 mm (推奨 40 mm)
軽量セメント珪砂	20 mm (推奨 20 mm)	30 mm (推奨 40 mm)
既調合モルタル	35 mm (推奨 35 mm)	40 mm (推奨 60 mm)

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) 6)}。

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1mm厚ないし10mm厚仕上げにウレタン樹脂塗装等が示されている^{6) 7)}。

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、NE X C O 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 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 mm以上	10 mm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/mm ²	同左
耐候性	JISA6909 耐候形2種	
*試験方法は、炭素繊維シートを貼り付けた JISA5371（プ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 0.3 kg/m^2 、珪砂は 1.0 kg/m^2 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（フュームシリカ）を添加（標準量3 wt%）して、厚付接着剤として（塗布量の目安 0.6 kg/m^2 ）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。屋外など紫外線的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 mm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に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。

4. 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。

【消参考資料】

- 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(株)「構造物施工管理要領」
- 5) (株)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)」

■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げ塗装	大日本塗料(株) 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げ塗装	大日本塗料(株) 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げ塗装	大日本塗料(株) 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げ塗装	大日本塗料(株) 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げ塗装	大日本塗料(株) 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げ塗装	大日本塗料(株) 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)	前田工織(株) 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)	前田工織(株) 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(ポリマーセメント系)	シート保護仕上(標準)	ABガードL(1mm仕様)	前田工織(株) 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(ポリマーセメント系)	シート保護仕上(特別保護)	ABガードT(10mm仕様)	前田工織(株) 構造物メンテナンス推進部
塗装	ウレタン仕上 シリコン仕上 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(ポリマーセメント系)	1mm厚工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業(株)

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	フラット仕上 ウレタン仕上 シリコン仕上 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(ポリマーセメント系)	10mm厚工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業(株)
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(ポリマーセメント系)	石調仕上工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業(株)
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(ポリマーセメント系)	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(株)
モルタル	ポリマーセメント系 1mm厚	直接	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) 建材事業部営業統括G
モルタル	ポリマーセメント系 9mm厚	直接	不燃性、耐衝撃・耐摩耗性	ライオンマック 10mm仕様	住友大阪セメント(株) 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(株) 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(ポリマーセメント系)	耐火荷被覆工法(20mm厚1時間耐火)	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業(株)
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(株) 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(ポリマーセメント系)	10mm厚工法	連続繊維補強表面仕上工法	菊水化学工業(株)