

連続繊維補強用材料（その4. メタクリル樹脂と施工上の留意点）

■はじめに

メタクリル樹脂はラジカル重合と呼ばれる反応により硬化し、この種の樹脂を用いた連続繊維補強工法は、エポキシ樹脂を用いた工法と比較すると、表1に示すように低温環境かつ短時間の工事に適しています。この特性を活かし、冬季や寒冷地、交通量が多く工事のための交通規制の時間制限が厳しい施工環境などに使用されています。ここではメタクリル樹脂について、材料の特徴、連続繊維シートの施工におけるポイントについて述べます。

■特徴

連続繊維補強工法で用いるメタクリル樹脂は、メタクリル酸メチル（MMA）を含む数種のモノマーと呼ばれる繰り返し単位が化学結合して連なり、高分子化した樹脂材料です。メタクリル樹脂は、機械物性バランス、透明性、耐候性に優れ、単体では毒性が低い等の特徴があります。これらの利点により、接着剤、歯科用充填剤、レンズ等の光学材料、土木建築分野においては、透明アクリル板、床材、舗装材等に広く利用されています。

■硬化反応と停止反応

メタクリル樹脂の硬化反応では、まず硬化剤（有機過酸化化合物開始剤）がラジカル*を生じ、これが主剤（MMAモノマー等）分子内にある二重結合に反応して、成長端にラジカルを持つ“連鎖てい伝体”が発生します。この連鎖てい伝体の成長端は非常に不安定であるため、より安定した状態を求めて、図1に示すように他のモノマーと同様の反応を繰り返し（ラジカル重合）、急激に硬化反応＝高分子化が進行します。

エポキシ樹脂の場合、主剤分子と硬化剤分子の特定部位（エポキシ基とアミノ基）どうしが逐次反応し、時間とともにゆっくりと分子量が増大するのに対して、メタクリル樹脂は、反応初期からラジカル重合により速やかに高分子量体を生成します。

この反応は、主に硬化の進行によって混合した材料中のモノマーが枯渇するか、連鎖てい伝体のラジカルどうしが反応することによって終了しますが、これ以外に連鎖てい伝体の持つラジカルが、モノマー以外の物質（空気中の酸素、施工面の有機残留物等）に反応移動して失活することにより、硬化反応を停止する場合もあります。連続繊維の施工において、特に反応初期に後者の反応が優勢となると、後述のごとく樹脂硬化不良による施工不良の一要因となると考えられます。

* 不対電子を持つ原子や分子あるいはイオン。
反応性が高く、生成するとすぐに他の原子や分子との間で酸化還元反応を起こして安定な分子やイオンとなる。

■連続繊維施工におけるポイント

連続繊維施工に使用するメタクリル樹脂は、表2に示すように、2つのタイプがあり、各々特性と取り扱いが異なるので注意が必要です。以下、一液主剤型のメタクリル樹脂による連続繊維シートの施工について説明します。

1. 施工温度と配合

硬化反応のスピードは施工環境の温度に依存するため、冬場の低温時の施工においては、硬化剤量を多くするとともに、硬化剤のラジカル発生を促す促進剤も温度に見合った量を添加します。従って、必ず表3に示すようなメーカーの推奨配合表を参照し、施工環境に応じた配合で施工を行う必要があります。

それによって、広い温度域でエポキシ樹脂と同等の可使用時間と硬化物性を確保することができます。また、雰囲気温度や躯体面が40℃を超える場合、硬化不良を起こすことがあり、極端な高温環境での施工には適さないので注意が必要です。

実際の作業において、主剤に対する硬化剤量および促進剤量は数%であり、多くの場合グラム単位で正確に計量する必要があります。写真のようなキッチン秤が数千円程度で入手可能ですので、施工に際して必ず注意します。



2. 施工面の清浄化

エポキシ樹脂に比較してメタクリル樹脂は、やや被着体材質を選ぶ傾向があり、前述のモノマー以外の物質への反応移動はその一因と考えられます。施工面の残留物との相性が悪い場合、硬化反応が阻害され、硬化不良、接着不良により施工後の浮き、ポットホールなどを起こすことがあります。

施工面の水分、アスファルト等の油分による汚れを始め、塗料や床版上に残り残した防水樹脂材など樹脂系材料が残留した部分ではこれらを除去し、必ず清浄なコンクリート面に施工するようにします。

一部のポリマー系断面修復材上では、十分な接着力が得られなかった事例が確認されており、施工面に素性の不明な断面修復材を使用した形跡がある場合は、施工に先立って対象面でパッチテストを行い、メタクリル樹脂の硬化、接着に問題がないことを予め確認します。なお、通常のコンクリート面では問題なく施工可能です。

■現場の施工不良事例

施工環境温度に応じた硬化剤量や促進剤量の計量・添加・混合に起因する事例を以下に紹介します。

①夏場施工時の事例

主剤 1 kg に対し硬化剤 10 g をカップで計量添加したが、カップ内面に硬化剤の一部が付着した。この結果硬化剤量が不足し硬化の甘い箇所が発生した為、再施工となった。（注意：混合不足によっても同様の事態が起こり得る）

②冬場施工時の事例

促進剤を添加して氷点下での施工を行ったが、促進剤の添加量が規定量より多かった為、可使用時間が短くなりシート脱泡作業時に樹脂のゲル化（硬化）が始まった。結果としてシートに浮きが多く存在した為ハツリ後再施工した。

■おわりに

使用する材料の特性を理解し、適切に使用することが、施工品質を確保するうえで肝要です。また、接着を阻害する異物や脆弱層を施工面から可能な限り除去することは塗装や接着の基本であり、この点に関して連続繊維シートの施工もこれらと何ら変わるところはありません。相性が確認された材料の組み合わせで施工を行うことも同じ理由によるものであり、適したプライマー、パテ、含浸接着剤を組み合わせた材料システムが、メーカー各社より提案されています。本資料が、施工に携わる方々にとって材料への理解を深める一助となれば幸いです。 なお、

一般社団法人 繊維補修補強協会では、メタクリル樹脂を使用する際は、各メーカー等で独自に実施する技術講習会の受講を受けることとしていますので、ご留意ください。（注：平成 26 年 11 月の特定化学物質障害予防規則の改正により、一部製品に規制対象となるものがあり、これを屋内等の閉空間で施工する場合は特別の取り扱いが義務づけられていますので、メーカーにご確認下さい。）[参考資料] 改訂 高分子合成の化学（天津隆行著、化学同人出版） 本編は、新日鉄住金マテリアルズ(株)コンポジットカンパニー古木哲様に多大なご協力をいただきました。紙面をお借りして謝意を表します。

表1 連続繊維補強工法に用いる樹脂材料の特徴

		メタクリル樹脂（一液主剤型）	エポキシ樹脂
施工性	含浸性	・低温でも含浸性良好	・低温では、含浸に時間がかかる
	固化性	・-10℃程度まで施工は可能 ・1日に複数層の施工が可能	・5℃以下では施工できない ・1日1層が基本
	可使用時間	・硬化剤添加量に寄って、各温度で約30分に調整	・温度により変化
	臭気	・特有の臭気がある	・弱い臭気がある
物性	CFRP 特性	・良好（エポキシ樹脂と同等）	・良好

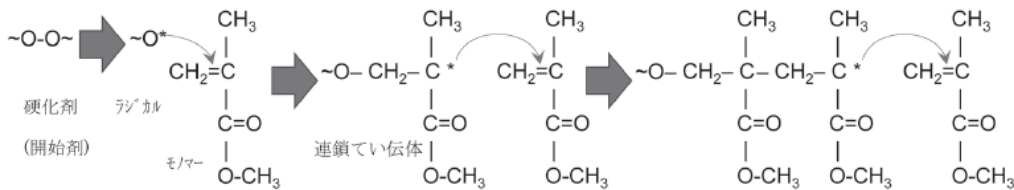


図1 メタクリル樹脂の反応模式図

表2 連続繊維補強工法に用いるメタクリル樹脂の分類と特徴

	特徴
1液主剤型	主剤と硬化剤の配合比により一定の硬化物性と可使用時間を得られる。
2液主剤型	主剤 A と主剤 B を定量で混合するため取り扱いが容易。

表3 メタクリル樹脂主剤量に対する硬化剤・促進剤の標準添加量（重量比）の例 **

温度 (°C)	30°C	0°C	-10°C
硬化剤	1.0%	5.0%	8.0%
促進剤	—	0.5%	2.0%

表4 代表的な物性値の比較例 **

材料	試験項目	メタクリル樹脂	エポキシ樹脂
プライマー	接着強さ (N/mm ²)	2.5 (母材破壊)	2.0 ~ 3.0 (母材破壊)
		2.6 (母材破壊)	2.0 ~ 3.0 (母材破壊)
含浸接着剤	引張強さ (N/mm ²)	48	40 ~ 50
	曲げ強さ (N/mm ²)	79	65 ~ 90
	引張剪断強さ (N/mm ²)	16.8	13.0 ~ 18.0
CFRP	引張強さ (N/mm ²)	4360	4200 ~ 4400
	引張弾性強さ (N/mm ²)	2.45x10 ⁵	2.3 ~ 2.6x10 ⁵
	サンシャイン促進暴露試験 引張強度	2000 時間まで 強度低下なし	2000 時間まで 強度低下なし
	サンシャイン促進暴露試験 接着強さ	2000 時間まで 強度低下なし (母材破壊)	2000 時間まで 強度低下なし (母材破壊)

**新日鉄住金マテリアルズ株式会社 トウシート MMA 工法指針より抜粋