

道路橋RC床版の連続繊維補修材料について

—連続繊維シート工法の低温時施工及び急速施工方法・エポキシ樹脂の特徴について—

新日鉄マテリアルズ(株) ○小森篤也 秀熊佑哉
日大生産工 阿部 忠

1. はじめに

道路橋RC床版は、床版上面、特に積雪寒冷地においては雨水の浸入による凍結融解作用、融雪剤散布による塩化物イオンの浸入、大型車両走行等による、輪荷重での疲労作用の組み合わせで、浸水擦り磨き等の床版の損傷が発生し、初期はアスファルト舗装のポットホールとして発見される。舗装撤去後の床版の確認では、スケーリング等の表面損傷・砂利化による床版の終局的破壊等の状況と、なっている場合もある。

しかし、床版上面からの施工は一般的に、車両通行規制の時間を長くとることが出来ず、夜間片側交互通行等で作業を実施し、昼間の時間帯は交通解放を必要とされる場合もある。求められる要求性能は、急速施工で確実なる補修補強を実施する事となり、本報では、施工環境に適した材料工法の仕様を提案する。また、床版下面からの連続繊維シートを用いた補修補強においては、積雪などの影響は受けにくい、冬季の気象環境下では、マイナス温度下での施工も必要とされ、その施工環境下でも施工できる連続繊維補修材料を提案する、通常のエポキシ樹脂を用いた、連続繊維シート施工の環境基準として適用されるのは、通常気温5℃以上の施工環境とされている。道路橋RC床版の補修・補強材として、炭素繊維（以下、CFとする）やアラミド繊維（以下、AFとする）などの繊維を樹脂で硬化させ補修補強を行う連続繊維シート工法を使用する場合、樹脂を用いて施工することから、気象条件に応じて、広い温度範囲で適応可能で、マイナス温度でも、施工可能な樹脂接着剤を使用したMMA樹脂工法を提案する。併せて、エポキシ樹脂の、配合ブレに関する試験結果についても報告する。

2. 連続繊維シート材料

現在、補修補強の分野で使用されている連続繊維シート材料は、炭素繊維シート（以下、CFSとする）

アラミド繊維シート（以下、AFSとする）が多く使用されており、新規に開発された、すだれ状に加工された連続繊維シート（以下、CFSS/AFSSとする）も使用実績が増えてきている。

連続繊維シートはその繊維の特徴より、高い引張強度と剛性を持っている。その多くは、強度と剛性を最大限発揮できるように一方向引き揃えて製造され、必要な引張材配向方向を選択し、施工可能な状況に加工されている。連続繊維シートも多種の仕様が存在しその種類と性能を表-1に示す。

表-1 各種連続繊維シートの種類と性能

繊維種類	繊維目付 g/m ²	設計厚さ mm	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (GPa)
高強度型 炭素繊維	200	0.111	3,400	245
	300	0.167	3,400	245
	400	0.222	3,400	245
	450	0.250	3,400	245
	600	0.333	3,400	245
中弾性型 炭素繊維	300	0.165	2,900	390
	300	0.163	2,400	440
	380	0.209	2,900	390
	340	0.185	2,400	440
	450	0.247	2,900	390
高弾性型 炭素繊維	400	0.217	2,400	440
	300	0.143	1,900	540
アラミド 繊維	300	0.143	1,900	640
	280	0.193	2,060	118
	415	0.286	2,060	118
	623	0.430	2,060	118
	830	0.572	2,060	118

一方、CFSS/AFSSシートは、従来型の連続繊維シートよりも1層あたりの目付量を多くすることが可能で、一度の積層施工で多くの繊維材料を施工することが可能になる。

工場ですだれ状に硬化させられているので、繊維方向には、大きく曲げることはできないが、床版ハンチ等への施工では、問題なく施工可能である。

CFSS/AFSSシートの種類と性能について、表-2に示す。

Repairing Method for RC Bridge Slab with Continuous Fiber Sheet

— Low Temperature and Rapid Construction Method,

Characteristic of Epoxy Resin —

Atsuya KOMORI, Yuya HIDEKUMA, and Tadashi ABE.

表-2 CFSS/AFSS型連続繊維シートの種類と性能

繊維種類	繊維目付 g/m ²	設計厚さ mm	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (GPa)
高強度型 炭素繊維	600	0.333	3,400	245
中弾性型 炭素繊維	600	0.330	2,900	390
高弾性型 炭素繊維	600	0.286	1,900	540
	900	0.429	1,900	640
アラミド 繊維	830	0.572	2,060	118

連続繊維シートの写真を写真1,2に示す。



写真-1 CFSシート

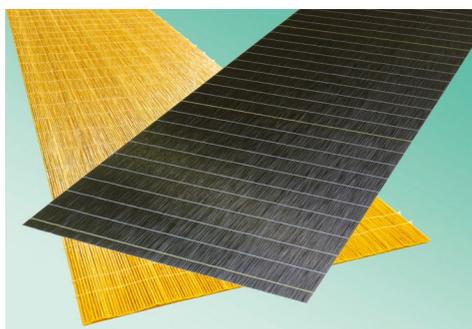


写真-2 CFSS/AFSSシート

連続繊維シート材料の種類が、多数あるのは最も効率的に繊維材料を設置し、なるべく積層数を少なくすることで、施工費用の削減を目的としている。アラミド繊維を用いた連続繊維シートについては、電気絶縁性能が高いので鉄道構造物などに好適とされている。

3. 連続繊維シートと組み合わせられる樹脂接着剤

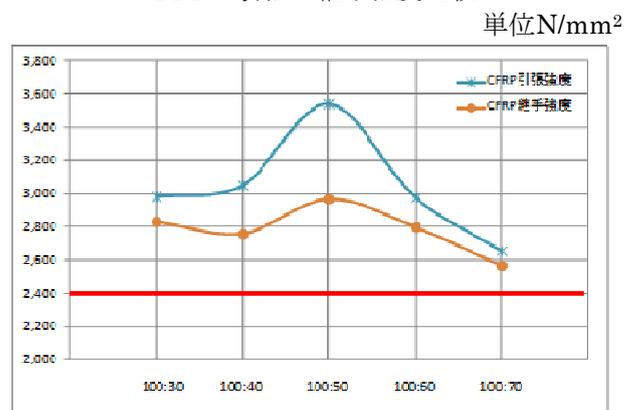
前記のような連続繊維シートは、樹脂接着剤を使用して施工され、一般的にはエポキシ樹脂を使用して施工される場合が多いが、環境温度が5℃以下になると硬化反応が著しく遅くなり、冬季の現場では、施工現場全体を加熱養生する等対策が行われて来た。

特に、交通規制時間の短縮が要求される、床版上面

の連続繊維シート施工の場合、施工の工程毎に、硬化養生が必要となり、結果、長期間の交通規制が必要であった。エポキシ樹脂は、連続繊維シート施工に、基本の樹脂接着剤であり、連続繊維シート補強工法用だけでなく構造物の一般補修に多く使用されている。エポキシ樹脂は2液性で、予め配合比率が規定されており、正しく混合攪拌なされないと所定の性能を得られない。

今回、配合比を故意に変化させた場合の、CFRPの引張強度と継ぎ手強度の性能について評価し、図-3に示す。評価した樹脂の主剤：硬化剤の標準配合比は、重量比で100:50であり、正常の配合比の100:50の結果が最大となる結果となった。又、試験に用いた中弾性型CFSの規格値は2,400N/mm²である。試験条件は、JSCE-E 541-2007¹⁾及びJSCE-E 542-2007²⁾を用いた。

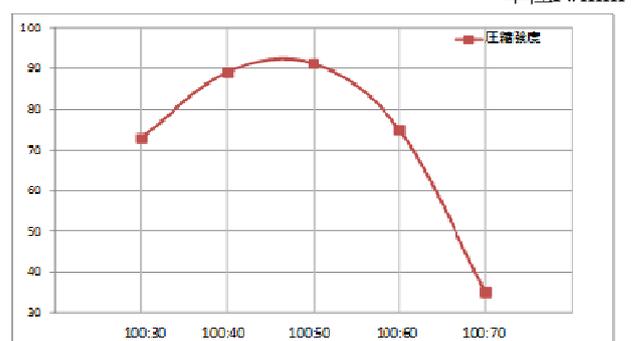
図-3 配合比を故意に変化させたエポキシ樹脂含浸CFRPの引張・継手強度比較



又、配合比を故意に変化させた、エポキシ樹脂の圧縮強度発現の比較について、図-4に示す。

同じく、基準の配合である、100:50を最大として強度物性が発現しており、正しい配合比で主剤：硬化剤の2液を混合する必要性が、前記のCFRP性能試験と同様に確認される。他の性能面でも、ガラス転移点温度の低下、層間接着性能の低下など、懸念される事項が多くあり、樹脂の配合比の遵守は性能を左右させる重要な事項となる。

図-4 配合比を故意に変化させたエポキシ樹脂の圧縮強度



4. 低温・急速施工対応が可能なMMA樹脂

そこで、床版上面での連続繊維シート補強において、従来のエポキシ樹脂から、MMA樹脂を用いた補強工法を用いることにより1工程を1.5時間程度で実施することが可能となり、交通規制時間を大きく短縮することが可能となった。

MMA樹脂は、アクリルモノマーであるメチルメタアクリレートを反応主成分とした樹脂であり、硬化させる際、環境温度の影響を受けにくい特徴を持っている。そのためマイナス15℃気温程度まで、確実に硬化させることが可能である。

また硬化反応が極めて速く、作業可能時間を40分程度考慮しても、混合後90分後には硬化し、多層積層になる場合でも、短時間施工が可能である。

エポキシ樹脂の場合、主剤にエポキシ樹脂を使用し、硬化剤にポリアミン類を使用した付加重合の樹脂であるが、MMA樹脂は、ラジカル重合の反応を用いて、硬化させる樹脂である。

MMA樹脂は、施工現場で、硬化剤を添加し反応させ、硬化剤は、過酸化物（ベンゾイルパーオキシド）がよく使用される。

樹脂主剤の反応成分が、その過酸化物のイニシエーションで開環し、ラジカル連鎖反応でポリマー化し硬化する、反応形態を示す。

結果、設定された可使時間ぎりぎりまで液状の状況を示し、可使時間経過後速やかにゲル化し固形化する特徴のある樹脂である。

このようなラジカル重合形式の樹脂は、反応の際、樹脂表面に空気との遮断が必要となり、パラフィンワックス等の添加等を行う場合もあるが、ノーワックス品の開発も完成しており、樹脂同士の、層間塗り継ぎ性能にも問題ないものが、開発され実用化されている。

硬化剤である過酸化物の配合量は気温応じ、1%～6%、使用する形が一般的であり、MMA樹脂はエポキシ樹脂のように配合の変更による物性の変化は、極めて発生しにくい。

しかし、その硬化剤添加量のブレは硬化速度に影響し、連続繊維シートへの含浸・接着時間等確認をしながら作業することが必要である。適切に施工されれば、低温施工と速硬化性能を兼ね備えた連続繊維シート用樹脂ということとなる。

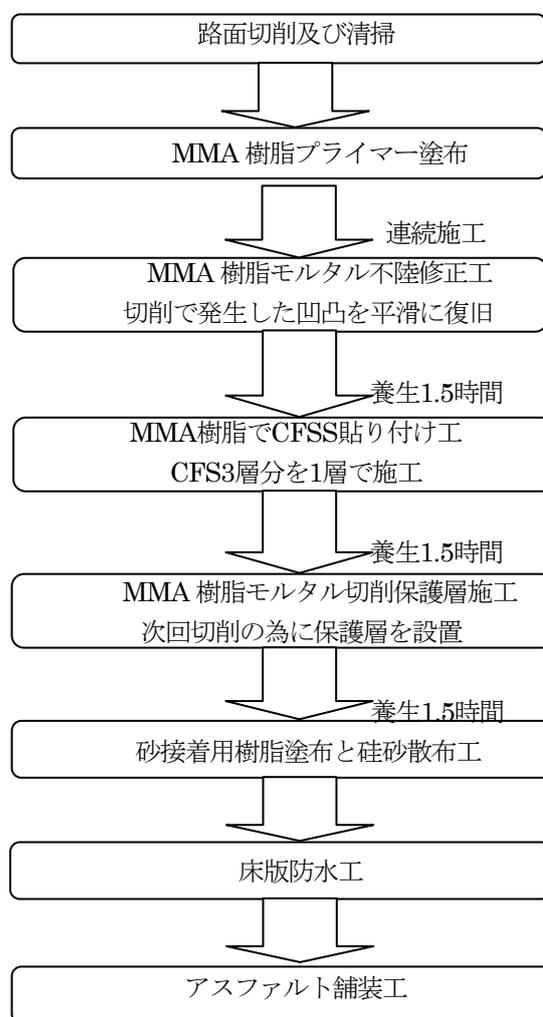
MMA樹脂は、床版上面・下面双方の連続繊維シート施工に適応可能である。しかし、硬化剤配合量がエポキシ樹脂と比較して少なく、計量手順など作業員の熟練を要する工法となっている。

5. MMA樹脂を使用した床版上面補強の急速施工事例

今回、MMA樹脂とCFSSシートを用い、床版の張出し部における補強工事を行ったので報告する。同補強量となる従来工法で、エポキシ樹脂とCFSの施工では最低6日必要であった工程を1日に短縮することが可能となった。在来工法では、路面切削後プライマーを塗布し、養生を行い2日目に切削面の不陸修正用樹脂モルタルを施工する。3,4,5日目にCFSを各々1層ずつ施工し、全工程で養生を実施、6日目に床版防水と舗装を行っていた。

補強面積の大小によらず、樹脂の硬化時間が交通解放のネックとなっており、塗布した樹脂は、翌日まで硬化しないので、仮解放などの措置も不可能であった。

MMA樹脂を使用した床版上面補強の施工フロー
急速施工版



上記工程にて施工を実施し、切削から上面連続繊維シート補強、アスファルト舗装の復旧までを昼間の一車線規制のみで、実施することが出来た。

急速施工が可能となった、要因として下記の内容が



写真-3 路面切削後 清掃 写真-4 MMA樹脂プライマー塗布 写真-5 MMA樹脂モルタル施工



写真-6 CFSSの施工 写真-7 保護モルタルの施工 写真-8 砂接着層の施工

MMA樹脂を使用した、床版上面CFSS急速施工の実施例

挙げられる。

CFSS型連続繊維シートを使用することにより、従来型CFSの3層積層分の補強量を、1層で施工することが可能になり、施工工程自体を、短縮させることが可能となった。

MMA樹脂の使用により、1工程約90分の養生時間で工程を進めることが可能となった。

5. まとめ

本報では、炭素繊維とアラミド繊維を用いた、連続繊維シートの種類について、適材適所に使用されるべく、まとめを行った。

CFSS/AFSSシートは、従来のCFS/AFSよりも一層で、多くの補強繊維を施工することが可能であり、補強工事全体の、工程数の短縮に有効である。

又、繊維量が多いということは、必要な補強繊維配置量を、CFSと比較し格子状にも施工しやすく、施工後の床版点検にも有効となりやすい。

CFSS/AFSSシートは、予めすだれ状にFRP化されているため、橋脚周巻き施工等、極端な曲げを加えての、施工はできない。

一般的に使用されているエポキシ樹脂の、適切な配合比率の遵守について、その強度の発現性から実験結果をとりまとめた。エポキシ樹脂は、正しく計量し、配合されないと所定の強度・性能を発現させることが出来ない。

MMA樹脂について、反応のしくみ及び特徴をとりまとめた。MMA樹脂は各工程を90分程度の養生時間で施工することが可能な速硬化樹脂材料である。

また、ラジカル重合型樹脂であり、硬化剤を適切に使用し施工することにより、マイナス15℃の環境でも、確実に硬化させることが可能である。

床版上面補修工法に対し、MMA樹脂とCFSSシートを使用した事例を紹介し、交通規制の短縮に、大幅に効果があることを確認した。

従来技術に対し、1/6のという大幅な工期短縮を実現した。

又、高温となるアスファルト舗装の打設に関しても、舗装の浮き・ひび割れなどは発生せず、問題ないことを確認した。

「参考文献」

- 1) (社)土木学会：コンクリート標準示方書基準編，土木学会基準及び関連基準．連続繊維シートの引張試験方法．
- 2) (社)土木学会：コンクリート標準示方書基準編，土木学会及び関連基準．連続繊維シートの継手試験方法．