

CFRP 成形板による道路橋 RC 床版張出し部の上面補強 Strengthening overhanging reinforced-concrete slabs in highway bridges by using CFRP laminates

*山下幸生 **佐野 正 ***樋野勝巳 ****高橋 晃

Kosei YAMASHITA, Masashi SANNO, Katsumi HINO, Akira TAKAHASHI

* ショーボンド建設(株)	補修工学研究所構造研究室	(〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-17)
**博士 (工学) ショーボンド建設(株)	補修工学研究所構造研究室	(〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-17)
*** ショーボンド建設(株)	東京支店	(〒136-0076 東京都江東区南砂 2-2-7)
**** ショーボンド建設(株)	補修工学研究所材料研究室	(〒305-0003 茨城県つくば市桜 1-17)

Cantilevered extensions of reinforced concrete road bridge decks may require reinforcing because of load increases due to vehicle location changes or increase in sound barrier height. Such reinforcing can be achieved by increasing concrete thickness or bonding steel plates or carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites onto the concrete, but these methods have many problems such as deck height alteration and construction difficulty. A method of attaching CFRP laminates with epoxy resin mortar, which minimizes increases in cross-sectional area and does not require deck height alteration, was developed. This paper reports on fixed-point cyclic loading tests conducted to verify adhesion durability and discusses the method's applicability to actual bridges.

Key Words: overhanging slab, strengthening, CFRP laminates, adhesion durability, reinforced-concrete slab,

1.はじめに

道路橋 RC 床版においては、車輛走行位置の変更や遮音壁の設置あるいは防護柵の改良などに伴う荷重の増加により RC 床版上面の引張力が増加し、床版張出し部を補強しなければならない場合がある。その補強対策として①床版上面に補強鉄筋を配置し、コンクリートを打設して増厚する方法(鉄筋補強増厚工法)¹⁾、②床版上面にエポキシ樹脂を用いて鋼板を接着する方法(鋼板接着工法)、③炭素繊維シートを床版上面に現場で含浸接着する方法(CFRP 接着工法)などが挙げられる。しかしながら、これらの補強工法は、施工性や完成形での課題が残されており、問題点を列挙すれば以下のとおりである。

- ①鉄筋補強増厚工法では、図-1 (b) に示すように補強鉄筋周囲のコンクリートの充填性や新旧コンクリートの付着性を確保するために、ある程度のコンクリートの厚さが要求され、鉄筋のかぶりも考慮することから床版厚が増加し、死荷重の増加を招く。また、床版厚の増加は路面高の変更を招き、それに伴って、伸縮装置の嵩上げなどが必要になる場合がある。
- ②鋼板接着工法では、図-1 (c) に示すように鋼板設置部において舗装厚が減少し、輪荷重の作用により舗装に悪影響を及ぼすことが懸念される。当工法を適用したアスファルト舗装の損傷事例が報告されている²⁾。
- ③CFRP 接着工法では、図-1 (d) に示すように舗装切削

後に生じるコンクリート表面の不陸をポリマーセメントモルタルにより修復し、炭素繊維シートを含浸接着する。そのため、施工に手間が掛かるほか、ポリマーセメントモルタルはコンクリート躯体との一体性に不安がある。

そこで、本研究では、以上のような問題点を解決するため、CFRP 成形板による床版張出し部の補強工法を開発した³⁾。CFRP 成形板とは、予め炭素繊維を一方向に引き揃え、それに繊維結合材(エポキシ樹脂)を含浸させ板状に成形した炭素繊維強化プラスチック板である。補強部の構造を図-1 (e) に示す。

この補強工法は、コンクリートを 10 mm 程度切削した床版上面部にエポキシ樹脂モルタルにより CFRP 成形板を圧着した後、その上をエポキシ樹脂モルタルの緩衝層で覆うものである。

この補強工法の特徴は、①CFRP 成形板が軽量であり、人力によって施工できること、②エポキシ樹脂モルタルを用いることにより、コンクリート表面の不陸修正と CFRP 成形板との接着が同時に行えること、③補強後の断面増加が非常に少なく、路面高の変更を要しないことである。

本論では、CFRP 成形板による補強 RC はりを用いて行った接着耐久性の確認試験について述べる。試験は定点繰返し載荷とした。また、本工法を実橋床版に適用した事例についても併せて報告する。

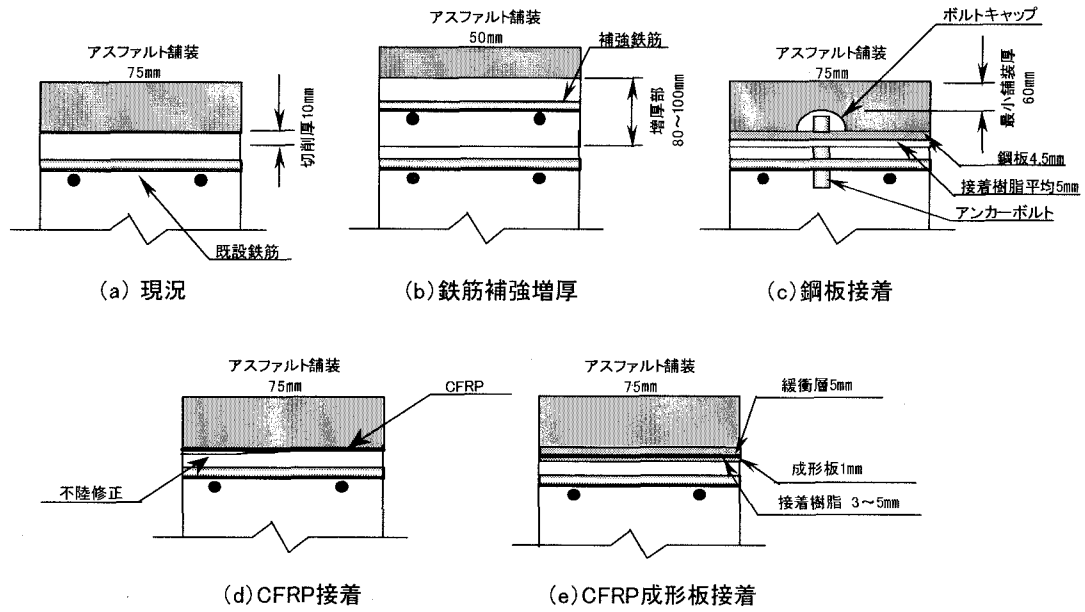


図-1 RC床版張出し部の上面補強

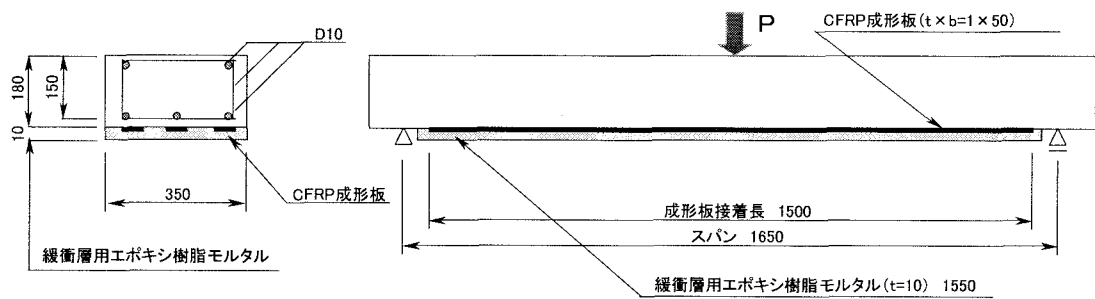


図-2 RCはり供試体の概要 (単位: mm)

表-1 CFRP成形板の物性

温度 (°C)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (×10 ⁵ N/mm ²)
20	2960	1.77
40	3050	1.88
60	3110	1.91

表-2 圧着用エポキシ樹脂モルタルの物性

温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張せん断強度 (N/mm ²)	弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)
20	65.8	16.1	3.99
40	31.3	15.3	1.68
60	34.6	12.2	0.85

2. 接着耐久性試験

本工法の施工箇所が床版上面となることから、日射やアスファルト舗設時の熱による影響を考慮して、20℃、40℃および60℃の温度環境下で定点繰返し載荷試験を行い、接着耐久性を確認した。

2-1. 供試体および試験方法

図-2に補強RCはり供試体の形状および寸法を示す。引張鉄筋、圧縮鉄筋およびスターラップ筋ともにD10 (SD295)を使用した。今回使用したCFRP成形板は厚さ1mm、幅50mmであり、図-2に示すようにスパン1650mmに対し1500mmの長さで短冊状 (隙間50mm) に3枚接

表-3 緩衝層用エポキシ樹脂モルタルの物性

温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)
20	24.2	1.04
40	9.5	0.36
60	6.2	0.27

着した。表-1、表-2および表-3に試験に使用したCFRP成形板、圧着用および緩衝層用のエポキシ樹脂モルタルの物性を温度別に示す。なお、実際の施工箇所は床版張

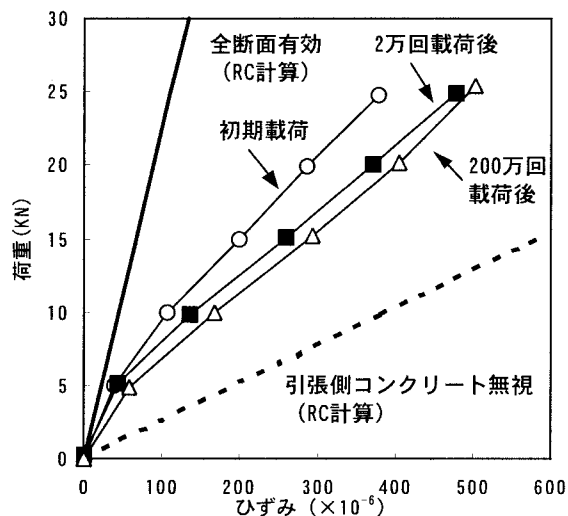


図-3 荷重－鉄筋ひずみとの関係（スパン中央）
（20℃繰返し載荷）

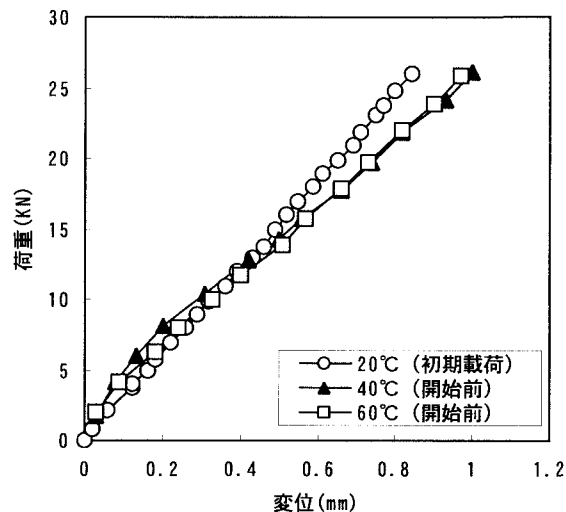


図-4 荷重－変位関係に及ぼす温度の影響
（繰返し載荷開始前）

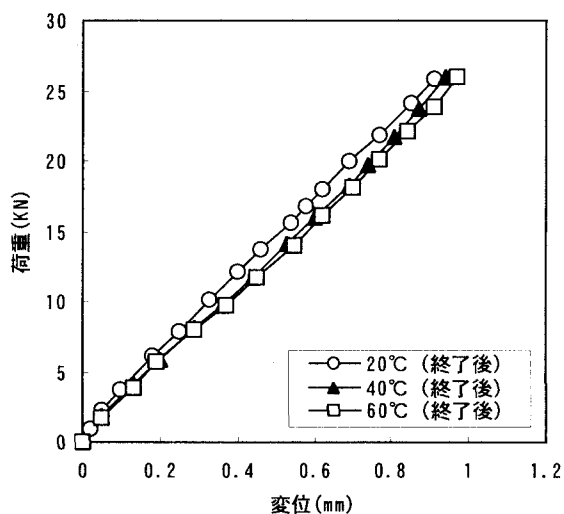


図-5 荷重－変位関係に及ぼす温度の影響
（繰返し載荷終了後）

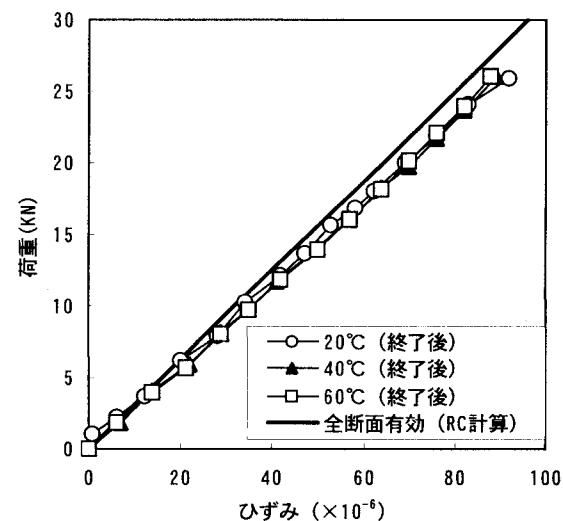


図-6 荷重－成形板ひずみとの関係（スパン 1/4 点）
（繰返し載荷終了後）

出し部上面で、負曲げモーメントによる引張力を受けることになるが、今回の試験では CFRP 成形板の接着耐久性を簡単に評価できる方法としてはり試験を採用した。試験方法はスパン 1650 mm の中央 1 点載荷とした。繰返し載荷試験の上限荷重は、引張鉄筋の応力度が 120N/mm^2 程度となる荷重とし、20℃の温度環境下で 200 万回繰返しした。さらに、日射やアスファルト舗設時の熱による影響を考慮して、40℃および 60℃の温度環境下で 10 万回繰返し載荷を行った。測定項目は荷重、スパン中央の変位、鉄筋および CFRP 成形板のひずみとした。

2-2 結果および考察

図-3 に 200 万回繰返し載荷試験での荷重とスパン中央の鉄筋ひずみとの関係を示す。載荷回数が増加するにつれて、曲げ剛性（荷重と鉄筋ひずみとの関係の傾き）が徐々に低下したが、載荷回数 2 万回以降の曲げ剛性は、

200 万回載荷後の曲げ剛性とほぼ同じになった。これは、補強 RC はりのひび割れが定常状態になったためと考えられる。なお、図中には鉄筋ひずみの計算値を併記した。計算値は CFRP 成形板とコンクリートとの弾性係数比を考慮した換算断面 2 次モーメントを用いて求めた。初期載荷時の傾きは全断面有効の計算値に近い。一方、載荷回数 2 万回以降の傾きは、引張側コンクリート無視の計算値に近づく傾向を示した。これは、繰返し載荷によるひび割れの進展によるものであろう。

図-4 および図-5 に繰返し載荷前および繰返し載荷後に測定した荷重とスパン中央変位との関係を示す。図-4 において 20℃の曲げ剛性が他の条件（40℃および 60℃）に比べて大きいのは、200 万回繰返し載荷を開始する時点では補強 RC はり供試体のひび割れが未発達であったことによるものと考えられる。また、図-4 と図-5 とを比

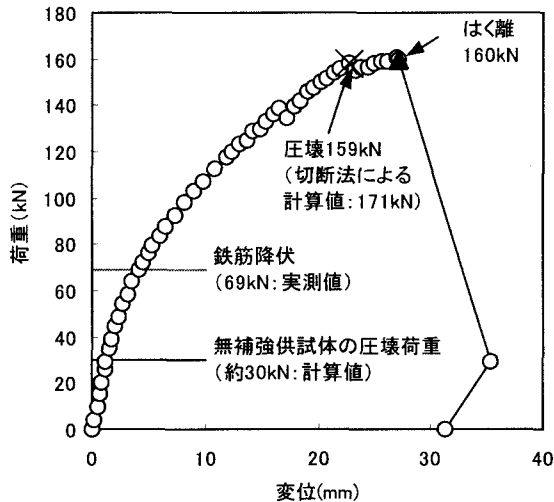


図-7 荷重-変位関係
(静的曲げ載荷試験)

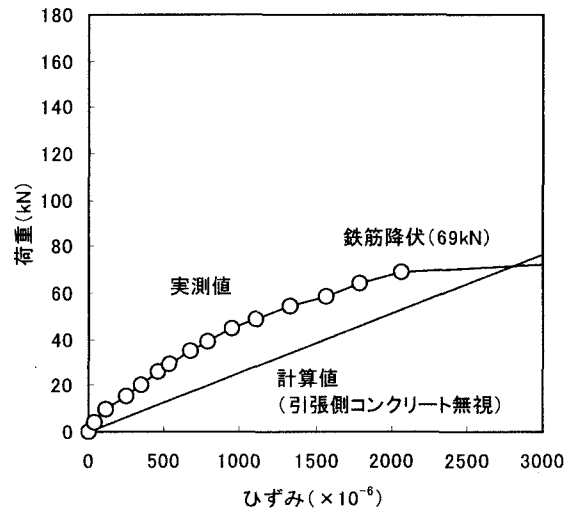


図-8 荷重-鉄筋ひずみとの関係
(静的曲げ載荷試験)

較すると各温度環境下に関わらず繰返し前後における荷重と変位との関係の傾きは変化しておらず、高温下での繰返し載荷が曲げ剛性に影響を及ぼさないことが確認できた。さらに、図-6にスパン1/4点における荷重と成形板ひずみとの関係を示した。また、図中には成形板ひずみの計算値も併記した。これより、いずれの温度環境下においても荷重と成形板ひずみとの関係はほぼ同様であり、圧着用エポキシ樹脂モルタルの弾性係数の低下による影響は無いと判断される。さらに、実測値と計算値の傾きはほぼ同様であり、これは、スパン1/4点でひび割れが発生していなかったことによるものと考えられる。

試験後の目視観察の結果、接着面にひび割れやはく離は観察されなかった。

以上のことから、CFRP成形板により補強したRCはり、十分な接着耐久性を有するものと判断できる。

3. 耐荷性状

3-1. 供試体および試験方法

一連の繰返し載荷試験を行った供試体を用いて静的曲げ載荷試験を実施した。試験方法はスパン1650mmの中央1点載荷とした。測定項目は繰返し試験と同様とし、荷重、スパン中央の変位、鉄筋および成形板のひずみとした。

3-2. 結果および考察

図-7に荷重と変位との関係を示す。

破壊過程については、荷重の増加につれてひび割れが増加し、荷重70kN付近で鉄筋が降伏した。最大荷重159kNの時点で載荷点付近のコンクリートが圧壊した。その後、荷重が一定の状態に変位が多少増加し、衝撃音を伴って成形板がはく離した。このはく離は、緩衝層用樹脂モルタルと成形板との界面および圧着用樹脂モルタルとコンクリートとの界面の双方において生じた。

ここで、無補強RCはりの圧壊荷重を計算により求めると、約30kNであり、CFRP成形板を接着することで圧壊荷重は5倍程度大きくなったことがわかる。つぎに、圧壊荷重を切断法⁴⁾により求めると、計算値は171kNとなり、比較的精度良く圧壊荷重を推定することができた。

図-8に荷重と鉄筋ひずみとの関係を示す。図中には鉄筋ひずみの計算値も併記した。これより、計算値と実測値の傾きはほぼ同様の傾向を示した。

以上より、繰返し試験後においてもCFRP成形板により補強したRCはり、十分な耐荷力を有していた。

また、CFRP成形板とコンクリートとの弾性係数比を考慮したRC計算により、設計が可能であると言える。

4. 実橋への適用

以上の載荷試験の結果を踏まえ、本工法を実橋床版に適用し、施工性を検討した。

4-1. 橋梁の概要および施工箇所

本橋は昭和46年竣工の橋長38.3m、全幅員7.8m、2径間単純合成鉄桁橋(3主桁)である。床版は昭和42年建設省道路局長通達に準じて設計されており、厚さは18cmである。図-9に橋梁の平面図を、図-10に横断面図を示す。補強範囲は現場調査の結果を踏まえ、図-9に示すように床版張出し部とした。

4-2. 補強設計および使用材料

補強設計は引張側コンクリートを無視し、CFRP成形板とコンクリートとの弾性係数比を考慮したRC計算で行った。その結果、本橋では図-11に示すように厚さ2mm、幅50mmのCFRP成形板を25mmの隙間を空けて接着することとした。なお、定着長については照査断面のCFRP成形板に発生する応力と、CFRP成形板とコンクリートとの設計平均付着強度($\tau=0.5\text{N/mm}^2$)を考慮して650mmとし、全接着長は橋軸直角方向に1300mmとした。

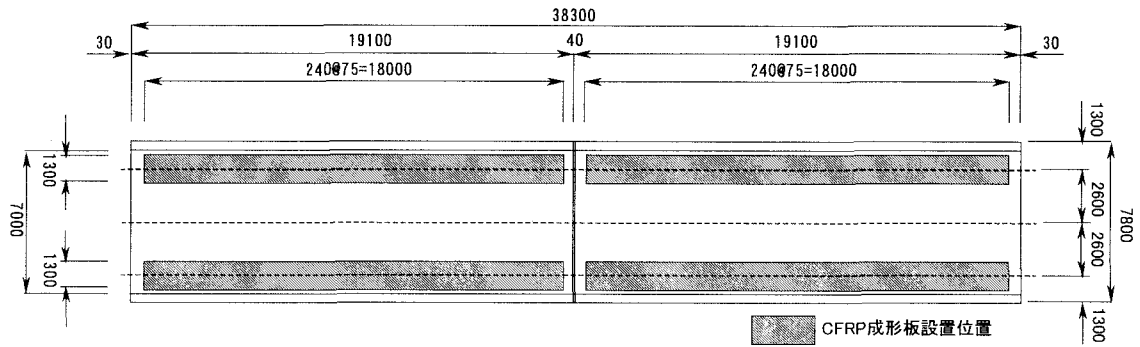


図-9 実橋の平面図 (施工箇所 単位: mm)

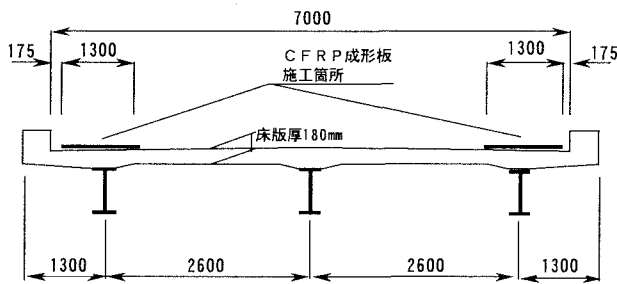


図-10 実橋の横断面図 (単位: mm)

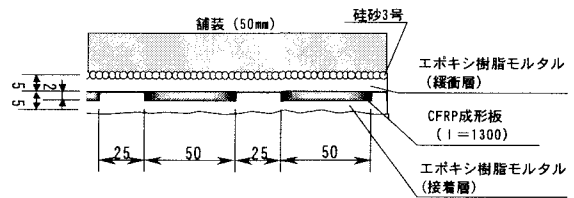


図-11 補強部の構成図 (断面図 単位: mm)

表-4 エポキシ樹脂モルタルの物性

温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張せん断強度 (N/mm ²)	弾性係数 (×10 ³ N/mm ²)
20	93.3	13.7	7.85
40	54.6	16.8	3.99
60	14.4	4.6	0.36

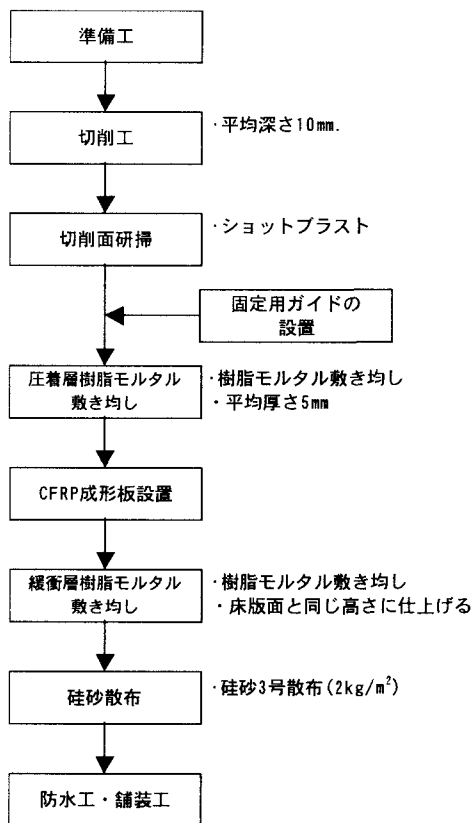


図-12 施工フローチャート

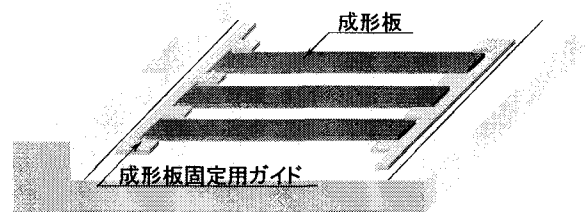


図-13 成形板の固定用ガイド (模式図)

なお、今回の施工で用いた圧着用および緩衝層用のエポキシ樹脂モルタルは、接着耐久性試験で使用したものと異なり、新たに開発したものをを用いた。この樹脂モルタルは、CFRP 成形板の圧着用と緩衝層用を兼ねており、流動性を高め、施工性を改善している。表-4 に示す物性値を見ると、接着耐久性試験で使用した圧着用エポキシ樹脂モルタルの性能とほぼ同等である。

4-3 補強部の断面構成および施工方法

補強部の断面構成を図-11 に示す。補強部は接着層と

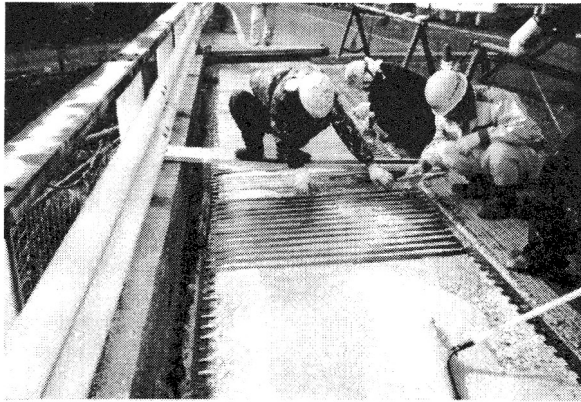


写真-1 CFRP 成形板の設置状況

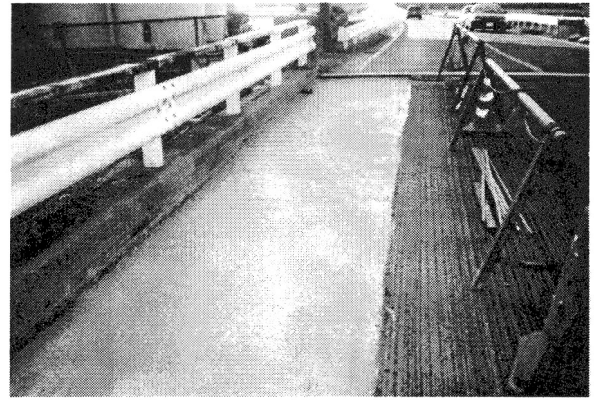


写真-2 完成（珪砂散布後）

緩衝層とからなる2層の樹脂モルタルの間にCFRP成形板をはさみ込む構造とした。なお、緩衝層の樹脂モルタルの上面には、防水層との密着性を向上させるため、珪砂3号を散布した。

施工のフローチャートを図-12に示す。まずアスファルト舗装を切削後、RC床版上面のコンクリートを10mm切削した。その後、コンクリートの脆弱部を取り除き、ショットブラストにより研掃した。つぎに、CFRP成形板の固定用ガイドを設置し、樹脂モルタルを敷き均した。CFRP成形板をこのガイドに沿って取り付け、圧着した(図-13および写真-1参照)。ここで、余分な樹脂モルタルを取り除いて養生する。養生時間は樹脂モルタルが半硬化する(流動性がなくなり、形状が保持できる状態)までとし、この時点で固定用ガイドを撤去する。つぎに、緩衝層の樹脂モルタルを敷き均し、その上に珪砂3号を散布して養生した。珪砂散布後の状況を写真-2に示す。緩衝層の樹脂モルタルが硬化した後、防水層を設置し、アスファルトを舗装した。

ここで、施工中には以下の点に注意する必要がある。

- ・エポキシ樹脂モルタルは、温度により硬化時間が変化するため、施工時期を考慮して工程を検討する必要がある。
- ・コンクリートの切削面の不陸により、エポキシ樹脂モルタルの使用量が、予定量を上回る可能性がある。
- ・CFRP成形板の圧着では、樹脂との界面に空隙が生じないように、留意しなければならない。

4-4.施工後の追跡調査

施工完了後約2年経過しているが、その間半年毎にアスファルト舗装面からの目視による点検と打撃法による浮き調査を実施してきた。

調査の結果、アスファルト舗装面にはひび割れやポットホールなどは無く、また、舗装の浮きなども発生しておらず、良好な状態が保たれている。

5.まとめ

本研究では、RC床版の張出し部の上面補強工法として、エポキシ樹脂モルタルによりCFRP成形板を接着す

る工法を開発し、補強RCはり供試体を用いた荷重試験により、接着耐久性および耐荷性状について検討した。さらに、実橋において本工法の適用性を確認した。本工法は、従来の上面補強工法に比べ、断面増加が極めて少なく、路面高の変更を伴わない補強工法であり、RC床版張出し部の上面補強に適していると言える。

本研究で明らかになったことをまとめると以下のとおりである。

- (1) 20℃、40℃および60℃の温度環境下における繰返し荷重試験の結果、十分な接着耐久性が確認できた。
- (2) 補強設計は、CFRP成形板とコンクリートとの弾性係数比を考慮したRC計算により行える。
- (3) 施工ではエポキシ樹脂モルタルを使用することにより、コンクリートの不陸修正と同時にCFRP成形板の接着が可能となり、施工性が大幅に改善できる。
- (4) 実橋床版では施工完了後約2年が経過しているが、アスファルト舗装にはひび割れやポットホールなどの損傷は無く、良好な状態が保たれている。

今後は、実橋の調査を継続的に実施し、実橋での接着耐久性や疲労耐久性を確認していく予定である。

参考文献

- 1) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル，1995
- 2) 加藤暢彦，栗原慎介，堀川都志雄，園田恵一郎：道路橋RC床版上面を鋼板またはCFRPで補強した場合のアスファルト舗装の変形と疲労性状，構造工学論文集，Vol.43A，PP1065-1076，1997
- 3) 佐野正，今里光夫，小松一明：CFRP成形板によるRC床版張出し部の上面補強，第23回日本道路会議一般論文集(B)，PP380-381，1999
- 4) 佐野正，小俣富士夫，三浦尚：鋼板接着により補強された鉄筋コンクリート梁の曲げ性状，構造工学論文集，Vol.39A，PP1361-pp1370，1993