水口橋補強工事における炭素繊維シートの施工について(コンクリ―ト面への炭素繊維貼付けにおける施工時の課題)

平井貴之

甲賀土木事務所　道路計画課

はじめに

　現在施工中である水口橋は,滋賀県甲賀市水口町水口を通る国道 307 号と一般県道水口甲南線の接続交差点部の一般県道側の野洲川に架かる上り下りの分離橋である.
　今回,この分離橋の下流側で,平成元年度に供用開始された橋長 235.5m幅員 4.0mの 6 径間 T-14ｔポストテンション T 桁橋を,外ケーブル工および炭素繊維シートにより補強を行い B 活荷重に対応させる工事のうち,炭素繊維シートの施工について、床版部の炭素繊維シート貼付け後にシートの部分剥がれが発生した内容について報告する.

１．使用炭素繊維シート材料他

　本工事で使用した炭素繊維シートの種類等は次のとおり.
　桁側面に高強度型シート目付量　200g/m²　1層
　床版部底面に高強度型シート目付量　300g/m²
　　1層～2層
　床版部上面に高強度型シート目付量　300g/m²
　　1層
　プライマー（適用温度5°C～15°C）
　樹脂モルタル
　不陸修正用パテ（適用温度5°C～20°C）
　含浸接着材（適用温度5°C～15°C）
　ポリウレタン樹脂塗料

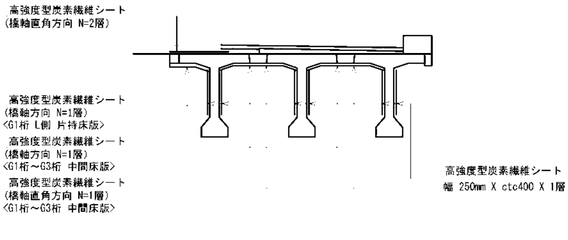

図1-1

２．炭素繊維シート工の施工手順

炭素繊維シートの施工手順について説明する.

(1)下地処理

写真2-1　下地処理状況

(a)コンクリート表面の脆弱層,突起,段差,汚れを除去する.
(b)平坦性を得ることが難しい場合はパテ材により不陸修正を行う.
　(a)(b)により炭素繊維シートが十分にその強度を発揮する条件としての直線性を確保させる.

(2)プライマー塗布

写真2-2ローラによるプライマーの塗布状況

写真2-3プライマー塗布の完了状況

(c)プライマー塗布に先立ち,コンクリート表面が乾燥状態であることを,コンクリート水分計により表面含水率が10%以下であるか確認する.
(d)プライマーは使用可能時間を越えての使用は行わない.
(e)施工面にプライマーを均一に塗布する.
(c)(d)(e)によりコンクリートと炭素繊維シートとの接着性が得られる.

　プライマーの塗布は,原則として,気温が5°C以下あるいは雨天等湿度85%以上の場合は塗布しない.

　ただし,保温など適切な処置を講じる場合は施工ができることとされている.

　保温処置として,ジェットヒータを設置し,周りをシートにより覆い保温する.

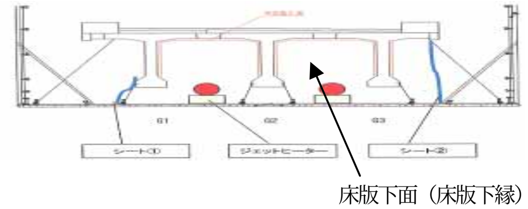

図2-1保温処置施工図

写真2-4ｼﾞｪｯﾄﾌｧﾝ設置状況

写真2-5足場設置状況

(3)不陸修正

写真2-6ﾊﾟﾃの充填状況

(f)塗布されたプライマーが指触乾燥まで進み,その表面に埃や水分の付着がないことを確認する.
(g)ゴムヘラ,コテ等によりパテを使用時間内に凹部や孔部に充填し平坦に仕上げる.
(h)コンクリート内部空気の膨張によって膨れた場合には膨れを削って再度パテを充填する.

　(g)(h)により再度,炭素繊維シートが十分にその強度を発揮する条件としての直線性を確保させ,剥がれを防止させる.

(4)炭素繊維シートの貼付

写真2-5炭素繊維貼付状況

(i)プライマーが指触乾燥しているか確認する.
(j)含浸接着剤を使用可能時間内に使用する.
(k)炭素繊維シート貼付面にローラ刷毛により含浸接着剤を均一に塗布する.（下塗り）
(l)含浸接着剤の塗布後速やかに炭素繊維シートを塗布面に押し付け繊維方向に気泡を除去しながら貼り付ける.
(m)炭素繊維貼付け後に,含浸接着剤が指触乾燥したことの確認が出来たのちに脱泡ローラーやヘラを使用し有害な浮きや腫れがないように均一に再度含浸接着剤（上塗り）を炭素繊維シートに含浸させる.
(n)2層以上を積層する場合は(k)(l)(m)を繰り返す.
ここでも, 原則として含浸接着剤は,気温が5°C以下ある

いは雨天等湿度85%以上の場合は塗布しない.ただし,保温など適切な処置を講じる場合は施工ができることとしている.（保温図はプライマーと同じ）
(o)施工中に含浸剤が白化(高湿時に二酸化炭素にエポキシ樹脂中の硬化剤と二酸化炭素が化合して樹脂表面が白く濁る現象)した場合は白化部分を除去する.

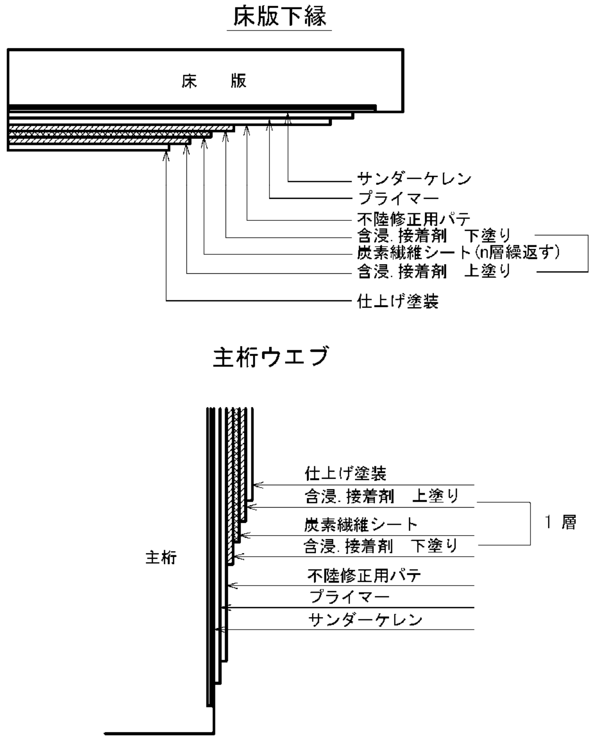

図2-2炭素繊維シート工断面図

３．既設コンクリートと水と空気について

桁及び床版部のコンクリートにおける水セメント比は55%と考えられる.

55%とするとセメントの水和に必要な結合水はセメント×25%,ゲル水はセメント×15%となり余剰水は15%となる.

凝結課程が終わった後においてセメント中の科学的に結合した水は0.5%にすぎない.(参考１)

乾燥収縮を考慮しない場合単純に結合した水以外の水が打ち込み後セメント内に存在していると考えられ,水の体積分の隙間が生じていることとなる.

コンクリートの乾燥により徐々に水がコンクリートより排除されることにより代わりに空気がこの隙間に満たされることとなる.

温度の変化によりコンクリートの限られた部分からの空気の出入りがある.

雨風等によりコンクリート表面より水分が供給され空洞部分の内部に蓄えられる場合もある.

４．今回施工時の炭素繊維シートの部分剥がれ

今回の工事において,床版下面（床版下縁）の高強度型目付量300g/m²炭素繊維シート貼付け表面に空洞形成による部分剥がれが多数確認された.

写真4-1炭素繊維シートの部分剥がれ状況

部分剥がれが多数集中して発生した施工時期は2012年1月17日から2月13日の期間であった.

期間最低気温(現場事務所設置温度計)　-7.2℃
期間最高気温(現場事務所設置温度計)　+9.5℃
平均最低気温 -1.1℃
平均最高気温 +6.0℃
期間の天気は,
雨8日,雪2日,曇り6日,晴れ8日
（日曜日を除く記録にて表記）

他の施工時期と比べ、気温が低いためジェットファンにより床版下面10℃を目標として保温し,8時間稼働させた.

また,換気が必要なため,シート端部を解放した.
結露ふき取り乾燥後に表面含水率4.3%から5.0%の測定値が得られている.

使用プライマーの乾燥時間は9時間
含浸接着剤(含浸接着樹脂)の乾燥時間11時間

なお,主桁ウェブの高強度型目付量200g/m²の炭素繊維シートについては,貼付表面に微細なピンホールが確認できたが,腫れによる空洞形成での部分剥がれは確認できなかった.

ここで含浸接着剤の単位面積当たりの塗布量と設計厚さを確認する.

主桁ウェブの高強度型目付量200g/m²の炭素繊維シート貼付表面は下塗り上塗り塗布量とも0.3ｋｇ/m²

床版下面（床版下縁）の高強度型目付量300g/m²炭素繊維シート貼付け表面は含浸接着剤の下塗り0.5ｋｇ/m²上塗り塗布量0.3ｋｇ/m²となっている.

表4-1炭素繊維シート工設計値

高強度炭素繊維シート	上塗塗布量	下塗塗布量	設計厚さ
目付量200g/m²	0.3kg/m²	0.3kg/m²	0.111mm
目付量300g/m²	0.3kg/m²	0.5kg/m²	0.167mm

５．高強度型目付量３００ｇ/㎡の炭素繊維シートの空洞形成による部分剥がれの原因について

1月17日から2月13日の間は雨や雪が断続的に降り,コンクリート表面に水分が供給されて,なおかつ,低温状態が連続していたため,コンクリート内部の表面近くに水が結露として,存在する状態が続いていたと推測される.

この状態で,含浸剤の硬化発熱とコンクリート周辺の気温の上昇により,コンクリート内の結露を水蒸気として噴出させたことが原因と考えられる.

高強度型目付量200ｇ/㎡について炭素繊維シートが張り付いているコンクリート中の上記の噴出が表面のピンホールから排出されたにもかかわらず炭素繊維シートには腫れが発生しなかった.

これは,比較的炭素繊維シートの厚さが薄く,また,含浸接着剤（含浸接着樹脂）の塗布量が少なかったことにより,噴出水蒸気等がすぐに炭素繊維シートの繊維と含浸接着剤の膜に小さな穴をあけ,排出が出来たのだと推測される。

一方,高強度型目付量300ｇ/㎡の炭素繊維シートでは,含浸接着剤の塗布量が多く,炭素繊維の厚さも比較的厚かったために,炭素繊維シートを突き破ることが出来ず,コンクリートと炭素繊維シートの間に水蒸気がたまる結果となったと考えられる

また,床版下面（床版下縁）という箇所的要因として炭素繊維シートが含浸接着剤（含浸樹脂）により,コンクリートに張り付いている状態にあり重力により下の力が働いて,コンクリートと含浸接着剤を含んだ炭素繊維シートの間にコンクリート内の水蒸気が吸い出されやすい状態となっていたことも挙げられる.

空洞形成による部分剥がれの発生位置（図5-1）をみると,みお筋に近く水蒸気にさらされ結露しやすく風の通りにくい橋脚付近のP5橋脚側に集中して発生していることがわかる.

2月13日以降に保温して施工している部分では,集中的に腫れによる剥がれはあまり発生しなかった

このことから,事象の補強対象部分のコンクリートにも何らかの原因があったと考えられる.

６．まとめ

(1)炭素繊維シートについて

もっと薄く,強度があり,目の粗いシートを開発することで,温度上昇からくる,水蒸気の噴出を受け流せると考えられる

このような製品が開発されると,作業員の負担と剥がれの減少につながると考える

(2)含浸接着剤（含浸樹脂）について

保温することなく,低温状態でも施工できる安価な材料が手に入るなら,炭素繊維シートによる補強等の施工工事がより一層頻繁に行われ, 今以上に業界自体も活気づくのではないかと考える

(3)施工時期について

特に今回の製品では気温が5°C以上で湿度85%以下で補強コンクリートの表面状態の良い物であれば,時期を選ぶ必要はないと考える.

(4)プライマーについて

プライマーについて,浸透力の優れたものと硬化速度がある程度早いものが,コンクリート表面のピンホールや亀裂に入り込み,優れたｱﾝｶｰ効果と水蒸気などの噴出口をふさぐ効果が期待でると考える.

また,プライマーの多重塗り込みをすることは,表面処理において特に効果があると考える.

(5)剥がれ断面の補修について

なお、今回剥がれが発生した部分は、径3ｃｍから4ｃｍ程度であり,含浸接着剤を注射器により空洞部分に注入する方法にて補修を行った.

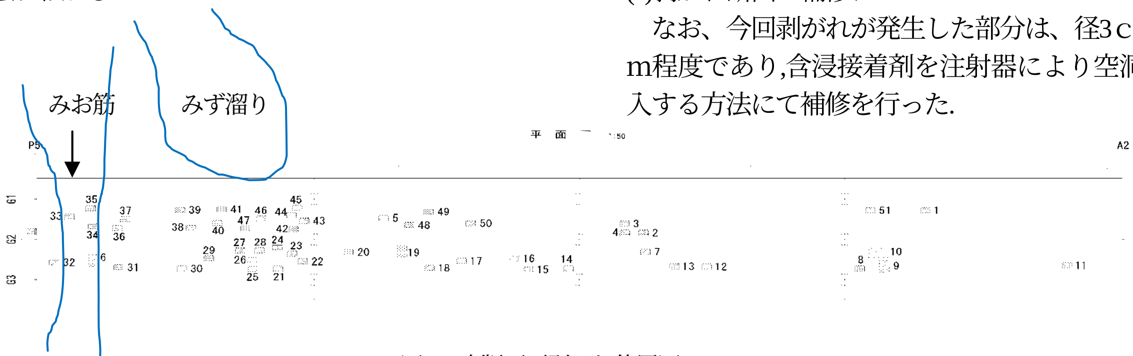

図 5-1 床版下面剥がれ位置図

参考文献

参考１：W・チェルニン著：建設技術者のためのセメント・コンクリート化学