

連続繊維シート巻立て工法により耐震補強された橋脚における保護モルタル剥落事象の原因究明

西日本高速道路(株) 正会員 ○宮田 弘和、池添 慎二郎
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 後藤 源太

1. はじめに

橋脚の耐震補強で連続繊維シート巻立て工法を採用する場合には、紫外線劣化等を防止するため、表面には一般に厚さ数 mm の保護モルタルが施工される。近年、この保護モルタルにおける変状発生¹⁾の例²⁾が報告されており、高知道においても、施工完了後に約 1 年が経過した時点で、保護モルタルの一部が剥離する事象が発生した。各種調査に基づき、その発生原因としては、エポキシ樹脂のアミンブラッシュ(白化)現象によるものであることが推定された。本稿では、原因究明の調査と再発防止策の検討内容を報告する。

2. 剥落事象の概要

剥落事象が発生した直後(2020年9月30日)の状況を、図1に示す。高知道の橋梁の橋脚東面において、幅1m程度×高さ0.4m程度の範囲で保護モルタルが剥落し、アラミド繊維シート部分が露出した状態となっていることが確認された。当該箇所の補強工事は2020年3月にしゅん功しており、2年以内の事象発生となるため、当時の工事受注者による原因調査が実施された。

3. 現地状況調査

図2には現地で採取した剥落片の状態を示す。茶色の汚れが付着している面が表面側であり、剥落片の裏面側にはプライマー樹脂の付着が確認された。このことから、剥離が生じた面としては、アラミド繊維シートの上塗り樹脂と保護モルタルプライマーとの境界面であることが推測された。図3に当該橋脚で施工された補強工法の断面図を示す。上記で推測された剥離面は6層と7層の境界部である。

上記の事象が発生した箇所の他には、剥落には至っていないものの浮きや剥離が生じている可能性が懸念された。これらの変状範囲を特定するためには、高所作業車や足場設置による近接点検を行うことが望ましいが、現地状況等により困難であったため、遠隔から調査可能な赤外線サーモグラフィを適用することとした。なお、橋脚基部から高さ2m程度の範囲において、事前に近接目視と打音検査を実施し、キャリブレーションを行った上で異常部分を精度良く検知できることを確認した。また、KUMONOSを用いてひび割れの計測も実施した。KUMONOSは、クラックスケールを内蔵した光波測量器で、遠望からひび割れの形状と幅を計測できるものである。上記調査は、当該事象が発生したP5橋脚とその近傍にあるP4橋脚の2基のそれぞれで4面を対象とした。紙面の都合により、調査結果の一例として各

橋脚の東・南面での結果を図4に示す。P5東面では橋脚基部から約3m高さの範囲に浮き剥離が生じている結果が得られた。また、同範囲内で0.1~0.2mm幅のひび割れの発生も確認された。P5南面においても基部から約5m高さの範囲



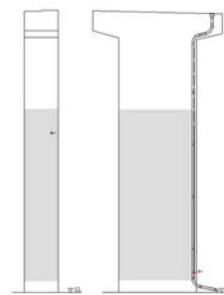
図1 剥落状況



図3 補強工法断面図



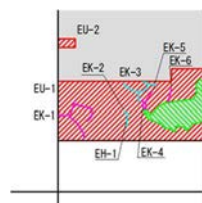
図2 採取した剥落片(左:裏面(接着面)、右:表面)



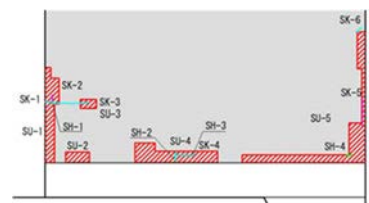
a) P4(左:東面,右:南面)



b) P5(左:東面,右:南面)



c) P5 基部東面拡大図



d) P5 基部南面拡大図

【凡例】 ■ : 浮き判定部、■ : 剥落部
 — (桃色線) : ひび割れ幅 0.1~0.2mm
 — (水色線) : ひび割れ幅 0.1mm 未満

図4 赤外線調査結果(灰色は調査範囲(=補強範囲))

キーワード 連続繊維シート巻立て工法、耐震補強、橋脚、保護モルタル、剥落

連絡先 〒783-0056 高知県南国市領石 924-34 NEXCO 西日本 高知高速道路事務所 TEL 088-862-1116

において部分的な浮き剥離とひび割れが検知された。一方で、P4では全ての面で顕著な異常は確認されなかった。

4. 机上書類調査

なお、当該工事の工事関係書類に関する机上調査を実施したが、使用材料や施工管理等は関係基準に従っており、内容の不備等が無いことが確認された。

各橋脚で保護モルタルを施工した日の環境条件を表1に示す。いずれも施工前日の天候が雨となっているが、雨に対する養生等は十分に対策されており、施工当日は気温5度以上及び湿度85%以下の基準を満足していた。なお、施工時期はP4が秋(9月末頃)、P5は冬(11月末頃)で異なっており、P5は比較的低温の環境(気温10度以下)で施工されていたことが分かった。

5. 原因の推定

上述の各種調査結果を踏まえて、今回発生した事象の原因として推定される項目の一覧を表2に示す。表中の考察により、当該事象の発生に大きく寄与する要因としては、項目⑤であることが明らかとなった。アミンブラッシュとは、エポキシ樹脂に含まれるアミンが硬化中に大気に曝されることで、二酸化炭素や水分等と反応して炭酸化する現象であり、特に、硬化が遅い低温多湿の環境下で発生しやすい。P5橋脚では、低温多湿の環境下での施工となったことにより、アミンブラッシュ現象が生じて、含侵樹脂の表面に弱層が形成され、プライマーとの付着を阻害したと推定される。なお、社内基準の構造物施工管理要領には、「施工中に樹脂が白化した場合には溶剤処理やサンドペーパーにより白化部分を除去しなければならない」とあり、白化現象の発生が明らかに確認できる場合への対処は規定されているが、当該工事で使用した樹脂の材料メーカー2社へのヒアリングを実施したところ、白化現象が見た目で判断しにくい状況であっても強度低下に影響する可能性があるとの見解が得られており、今回の事象はこれに類似した状況であったので

はないかと推察される。

6. 再発防止策等の検討

まずは、計画時において低温多湿の環境下での施工を回避することが望ましいが、現地条件の制約等により困難な場合が多いと思われる。既往の文献²⁾では、足場内で安易にジェットヒーター等を用いると結露が生じてしまうため、開閉可能な養生シートを設置して温度と湿度をコントロールする事など、冬季施工時における配慮の例が示されている。また、既契約工事の取組みでは、含侵樹脂の施工後の養生期間中において一定の時間間隔で温湿度を記録保存できる計測機器を設置している事例があり、計測結果によっては不良箇所を物理的に除去するため、表面目荒し等の作業工程を追加する等の対策を実施している。

7. まとめ

今後、橋梁の耐震補強工事が最盛期を迎えるが、類似工事の実績が少なく、当該事象を防止するノウハウを持たない会社による施工が増えることも想定される。社内外で広く情報共有を図りつつ、より効果的な対策の検討に取組むなど再発防止に努めたい。

【参考文献】

- 1) 野々村佳哲ら：連続繊維シート接着による橋脚耐震補強工の変状調査、寒地土木研究所月報、No736、2014.9
- 2) 長田光司、矢嶋尚彦、寺田光太郎、池田尚治：鉄筋コンクリート高橋脚の炭素繊維シートによる耐震補強、コンクリート工学年次論文集、第11巻3号、2009.9

表1 保護モルタル等の施工日の環境条件

作業箇所	施工日	天候	気温(度)	湿度(%)	作業面	作業内容
P4	2019/9/26	晴のち雨	22	61	全面	(繊維巻立工)含侵樹脂塗布
	2019/9/27	晴	22	60	全面	保護モルタル施工
	2019/9/30	晴のち雲	25	77	東・南	保護モルタル施工
	2019/10/1	晴のち雨	26	65	西・北	保護モルタル施工
P5	2019/11/18	晴のち雨	14	70	全面	(繊維巻立工)含侵樹脂塗布
	2019/11/19	雲のち晴	9	69	東・南	保護モルタル施工
	2019/11/20	雲のち晴	6	57	東・南	保護モルタル施工
	2019/11/21	晴	8	60	西・北	保護モルタル施工
	2019/11/22	雲のち雨	7	80	西・北	保護モルタル施工

表2 当該事象の原因として推定される項目と考察

番号	区分	推定される要因	考察(補足説明)	当該事象への影響(判定)
①	環境施工	保護モルタル施工直後の降雨の影響	・P4P5ともに施工直後の降雨が観測されているが、P4では異状が発生していない(P5固有の要因にはならない)	影響無し
②	環境	外部から浸入した雨水等の体積膨張	・保護モルタル表面に発生したひび割れからの浸水の可能性があるが、プライマー層の内側への浸水は考えにくい ・P5ではひび割れが発生していない範囲においても浮き剥離が生じている	影響無し
③	環境施工	含侵樹脂と保護モルタル間の内在水の影響	・P4P5ともに施工前日に降雨が観測されており、施工前に表面水が確認された場合にはその都度除去した上で施工しているが、完全には除去できていない可能性は残される。内在水が気温上昇により体積膨張することや、接着不良の原因となり得るが、同条件で施工されたP4では異状が発生していない(P5固有の要因にはならない)	影響無し
④	材料	含侵樹脂とモルタルとの線膨張係数の違い	・アラミド繊維と含侵樹脂(エポキシ)は、他の各構成材料の線膨張係数と値に差はあるものの、繊維シートと比較して剛性の高いコンクリート躯体に接着されており、その挙動はコンクリートの熱膨張に依存すると考えられるため、影響は軽微である。 (今回事象の固有の要因にはならない) ※参考(線膨張係数、単位:10 ⁻⁶ (-)/度) アラミド繊維シート+エポキシ樹脂:-5.1、含侵樹脂(エポキシ樹脂):60、 コンクリート:10、ポリマーセメント:15	影響無し
⑤	環境施工	アミンブラッシュ(白化)による含侵樹脂とモルタルの接着不良	・アミンブラッシュは、低温多湿の環境下で発生しやすい。P4施工時は多湿であったが低温とは言えない。 P5は低温多湿の状況での施工であり、これはP5固有の要因となっている。	影響有り