

表面含浸剤が塗布された高強度コンクリートに対する CFRP 付着特性に関する実験的検討

東レ (株) 正会員・○松井孝洋, 角倉浩平, 村井彰晃
東京電力パワーグリッド (株) 正会員・和田好史, 五島広之, 嘉賀大樹

1. はじめに

凍結対策実施区域や臨海区域に設置された RC (鉄筋コンクリート) 構造物において、塩害進行による鉄筋腐食によって RC 構造物の力学的性能が低下することが確認されている。RC 構造物の長期利用を図るためにも塩害の進行を抑制しながら性能回復を図ることが喫緊の課題である。近年、開発された塩害対策工法として、表面含浸剤をコンクリート表面に塗布・浸透させ、鉄筋腐食の進行を抑制する表面含浸工法¹⁾がある。しかしながら、鉄筋が減肉した RC 構造物に対して表面含浸工法は力学性能の復旧まではできないため、何らかの補強工法との併用が必要となる。ところで、RC 構造物などを対象に、軽量、高強度化、易施工性を有する炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 接着工法が広く普及し、様々な構造物の補強に採用されている。CFRP 接着工法と表面含浸工法を併用する場合、CFRP と表面含浸剤が塗布されたコンクリートとの付着が懸念されるが、既往の検討事例はほとんどない。本検討では、表面含浸剤が塗布された高強度コンクリートに対して CFRP の付着特性を実験的に検討し、付着性能を評価した。

2. 試験の概要

表面含浸剤が塗布された高強度コンクリートの付着性能を評価するため、2面せん断試験²⁾を実施した。試験体は、中央にノッチを設けたコンクリート角柱(100mm 角)の評価側2面に表面含浸剤を塗布、1週間養生後ベルトサンダーで表面目粗し後に、プライマー、パテを塗布、CFシート(50mm幅×640mm長)をエポキシ樹脂で含浸接着したものを用いた(図1)。なお、評価側反対には定着用CFシートで補強した。

高強度コンクリートは呼び強度 50N/mm² (28日強度: 62.6N/mm²) とし、CFシートは高強度型 (UT70-40G, 400g/m², 弾性率 256kN/mm², 引張強度 4,323N/mm²) と中弾性型 (UM46-40G, 400g/m², 弾性率 441kN/mm², 引張強度 3,102N/mm²) の2種類を用いた。表面含浸剤は、亜硝酸リチウム系含浸剤を用いた。表1に試験水準を示す。

試験体両端から伸びるネジ部分に試験体固定治具を取り付け、万能力学試験機 (インストロン・最大載荷 500kN) の把持部に固定した。試験は、0.2mm/min の載荷速度で上側治具を引っ張り、試験体が破壊するまで載荷を継続した。試験時には、試験体の挙動を把握するために、ロードセルによる引張荷重の他、ノッチ開口変位計測用として試験体両側面に変位計を、CFRP 表面に一軸ひずみゲージ (片面 15点, 両面 30点) を設置し、測定した。

3. 試験結果

表2に2面せん断試験結果一覧を、荷重毎の

ひずみ分布の代表例を図2~図5に、破壊状況を写真1に示す。試験中、ノッチのひび割れによって荷重が一瞬下がっ

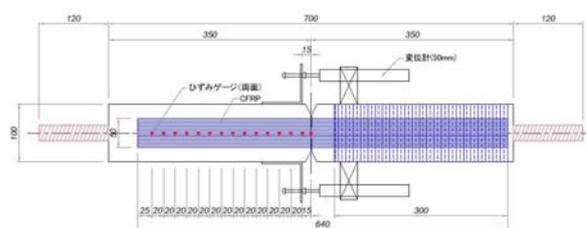


図1 2面せん断試験体

表1 試験水準

試験体名	表面含浸剤の有無	CFシート		試験体数
		UT70-40G	UM46-40G	
TC-UT-N		●		3
TC-UM-N			●	3
TC-UT-A	●	●		3
TC-UM-A	●		●	3

表2 試験結果一覧

試験体名	CFシート	亜硝酸Liの有無	最大荷重 (kN)	界面剥離破壊E(N/mm)	最大付着応力(N/mm ²)	有効付着長(mm)		破壊状態
						計算値	実験値	
TC-UT-N1	UT70-40G	なし	51.60	2.34	12.26	43	60	①
TC-UT-N2	UT70-40G	なし	51.96	2.38	9.20	57	60	①
TC-UT-N3	UT70-40G	なし	45.84	1.85	7.80	59	60	①
平均			49.80	2.19	9.75	53	60	
TC-UT-A1	UT70-40G	あり	32.44	0.93	6.48	51	60	②
TC-UT-A2	UT70-40G	あり	32.02	0.90	6.40	51	40	②
TC-UT-A3	UT70-40G	あり	33.76	1.00	7.92	43	40	②
平均			32.74	0.94	6.93	48	47	
TC-UM-N1	UM46-40G	なし	53.18	1.49	6.45	83	60	③
TC-UM-N2	UM46-40G	なし	67.00	2.37	8.58	79	60	①
TC-UM-N3	UM46-40G	なし	54.48	1.56	8.11	68	80	③
平均			58.22	1.81	7.72	77	67	
CFRP破断を除く			67.00	2.37	8.58	79	60	
TC-UM-A1	UM46-40G	あり	47.00	1.16	8.11	58	60	②
TC-UM-A2	UM46-40G	あり	46.70	1.15	7.82	60	40	②
TC-UM-A3	UM46-40G	あり	46.30	1.13	6.76	69	80	②
平均			46.67	1.15	7.57	62	60	

破壊状態: ①コンクリート表面部破壊, ②コンクリート表面とプライマーの界面破壊
③CFRP破断

KeyWords: 表面含浸剤, 高強度コンクリート, 炭素繊維強化プラスチック, 付着特性

連絡先 〒103-8666 東京都中央区日本橋室町2-1-1 東レ株式会社 ACM 技術部 E-mail: takahiro.mastui.f3@mail.toray

たが、それ以降も CFRP が剥離することなく荷重は増加した。最大荷重に達するまでの間、コンクリートに発生したひび割れ進展に伴って荷重の増減が繰り返された。

表面含浸剤なしの場合、高強度 CF シート試験体は CFRP 剥離が全体に進展し、最終的にコンクリートの表面部破壊となった。

一方、表面含浸剤ありの場合、全てコンクリート表面とプライマーの接着界面での剥離となった。CFRP 剥離の全体的な進展は小さく、ノッチから 150mm の範囲内で荷重を負担していることが確認された。

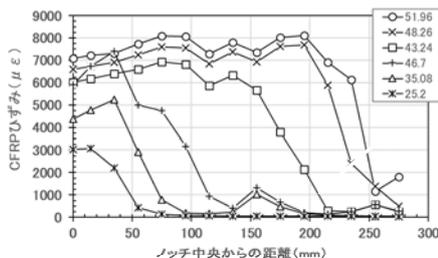


図2 高強度 CF シート(表面含浸剤なし)

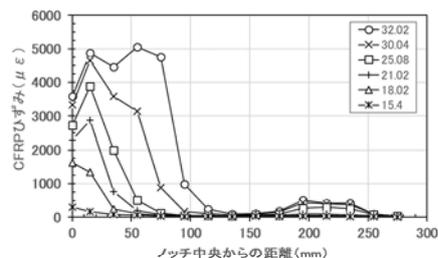


図3 高強度 CF シート(表面含浸剤あり)

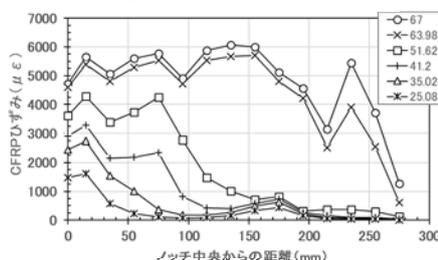


図4 中弾性 CF シート(表面含浸剤なし)

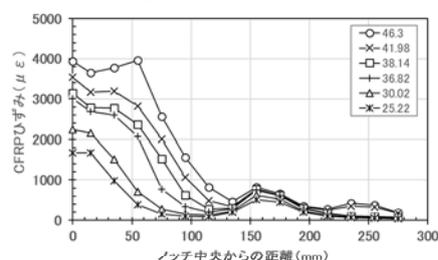


図5 中弾性 CF シート(表面含浸剤あり)

4. 補強効果の評価

最大荷重、界面剥離破壊エネルギーの比較を図6~図7に示す。なお、TC-UM-N について、本検討が着目する付着特性を評価するために、CFRP 破断を除いた試験体で比較した。

- 1) 最大荷重:** 表面含浸剤ありは、高強度型で▲34%、中弾性型で▲30%低下した。CFRP の引張剛性 (弾性率×設計厚×接着幅) が高くなると、最大荷重も向上することが分かった。
- 2) 界面剥離破壊エネルギー:** 表面含浸剤ありは、最大荷重同様に高強度型で▲57%、中弾性型では▲52%低下した。CFRP の引張剛性が高くなると、界面剥離破壊エネルギーは微増した。界面剥離破壊エネルギーは、本検討のコンクリートの場合で2.2~2.4、表面含浸剤塗布で0.9~1.2の範囲であった。表面含浸剤が塗布されたコンクリートに対する CFRP 補強を設計する場合、CFRP 剥離応力を算定するために用いる界面剥離破壊エネルギー0.5が提案されている²⁾が、本検討での実験値は1.8~2.4倍となるため、本検討のコンクリートに対して提案値が利用できることを確認した。
- 3) 表面含浸剤の影響:** 最大荷重、界面剥離破壊エネルギーそして破壊状態を比較した結果、表面含浸剤によって付着特性の低下が起きていると考える。しかしながら、表面含浸剤がどのようにしてコンクリートと CFRP の付着特性に影響を与えたのかのメカニズムを検証できていないため、このメカニズム究明が今後の課題である。

5. まとめ

- 1) 表面含浸剤の有無に関わらず、引張剛性が高い材料で最大荷重が増加する傾向が確認された。なお、表面含浸剤がある場合の破壊状態は界面剥離となるものの、界面剥離破壊エネルギーは0.5以上となることを確認した。
- 2) 最大荷重、界面剥離破壊エネルギーおよび破壊状態を比較した結果、表面含浸剤による付着特性の低下が確認された。ただし、低下のメカニズムまで解明できておらず、今後の課題である。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所, “土木研究所資料 コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル (案)”, pp.II-1~II-64, 平成28年8月
- 2) 土木学会コンクリート委員会, “コンクリートライブラリー101 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針”, 土木学会, 2012年05月



写真1 破壊状態

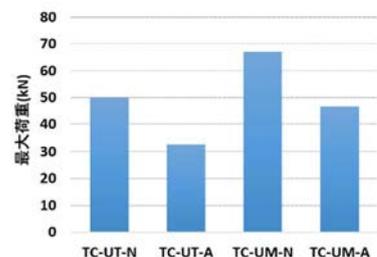


図6 最大荷重の比較

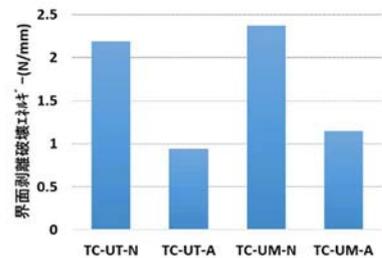


図7 界面剥離破壊エネルギーの比較