

FRP シートとコンクリートの付着性能に及ぼす施工条件および接着材種類の影響

港湾空港技術研究所 正会員 ○ 戴 建国 加藤絵万 岩波光保 横田 弘

1. はじめに

FRP シートは力学性能や耐食性が優れるとともに、シートの外部接着により腐食因子を遮断する効果があるため、過酷環境下に位置する RC 構造物に有効な補修・補強材料であることが期待される。ただし、一般に栈橋上部工などの港湾 RC 構造物は、海水飛沫の影響を受け、かつ、閉鎖的な空間で湿度が非常に高い環境下に位置することから、陸上で使われる接着材料をそのまま用いた場合に、補修・補強効果が十分に得られない懸念がある。FRP シート接着工法に期待される補修・補強効果を十分に得るためには、FRP シートーコンクリート間接着界面の付着性能を確保することが最も重要である。そこで本研究では、CFRP スtrandシートを用いて、母材コンクリートの含水率、養生湿度および接着材の種類が FRP シートーコンクリート接着界面の付着性能に及ぼす影響を明らかにするために実験的な検討を行った。

2. 実験概要

図1に本実験で用いた CFRP スtrandシートを接着したコンクリート試験体を示す。コンクリート試験体の寸法は $100 \times 100 \times 600 \text{ mm}$ とした(試験体数は 21 本)。表1に示すように、実験パラメータは接着施工時のコンクリートの表面状態(乾燥: 平均表面含水率約 4.2%、湿潤: 平均表面含水率 9%以上)、プライマーの種類(普通用 Epoxy P1、湿潤面用 Epoxy P2)、養生湿度(普通: 相対湿度 48%、高湿度: 相対湿度 90%)、接着材の種類(普通: Epoxy パテ B1、高靱性: Epoxy B2)である。コンクリート試験体の底面を下地処理した後、完全に水中に浸せき(約 3 日間)させたものを湿潤状態とした。なお、プライマーを塗布する直前に、コンクリートの浮水を拭き取った。プライマーと接着材を塗布した後、CFRP スtrandシート(図2: 設計断面靱性 40.9 kN/mm)をコンクリート供試体の底面にパテ B1 で埋め込んだ。また、試験体の特定側を剥離させるために、試験体の片端部の軸直角方向に CFRP シートを一周巻きつけた(図1参照)。シート接着後、平均気温 10°C の大気中(平均湿度 48%)と 10°C 恒温の環境制御室(湿度 90%)においてそれぞれ 1 ヶ月間養生し、静的 4 点曲げ試験を実施した(図1)。測定項目は、荷重および試験体の中央変位である。なお、実験時のコンクリートの圧縮強度は 33.7 MPa であった。

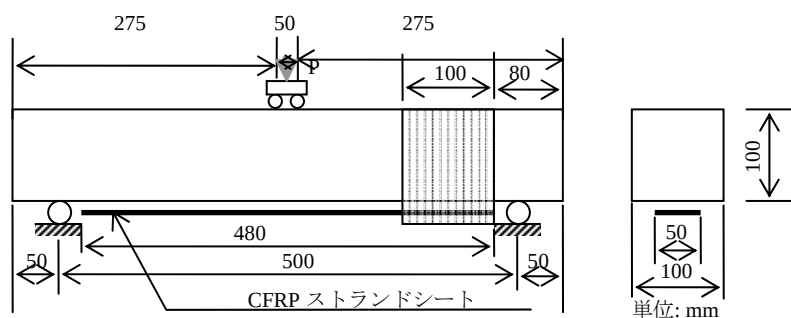


図1 試験体概要



図2 CFRP スtrandシート

表1 実験のパラメータと実験結果のまとめ

No	プライマー	接着材	コンクリートの表面状態	養生湿度	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	剥離モード
T-1	P1	B1	乾燥	48%	18.9	2.77	I
T-2	P1	B1	乾燥	90%	18.1	2.88	I
T-3	P1	B1	湿潤	48%	15.4	2.33	II
T-4	P2	B1	湿潤	48%	17.6	2.76	II
T-5	P2	B1	湿潤	90%	17.8	2.56	II
T-6	P2	B1	乾燥	48%	18.7	3.12	III
T-7	P2	B2	湿潤	48%	27.3	4.58	III

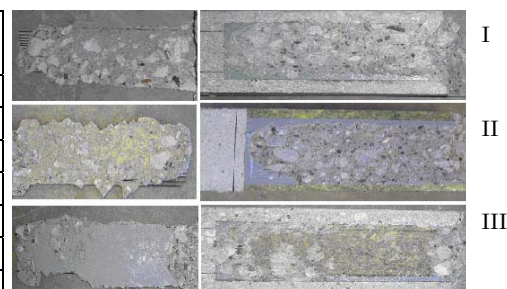
Note: P_{max}^* , δ_{max}^* は三つの試験体の平均値。

図3 剥離モードの写真

キーワード FRP シート接着工法、コンクリート表面含水率、湿潤面用プライマー、高靱性接着材

連絡先 独立行政法人港湾空港技術研究所 LCM 研究センター 〒239-0826 横須賀市長瀬 3 丁目 1 番 1 号 TEL 046-844-5089

3. 実験結果

各試験体の破壊モード、最大荷重 P_{max} および最大変位 δ_{max} を表 1 に示す。T-7 は高い荷重レベルでせん断破壊したが、T1~T6 は当初の想定どおり、接着界面の剥離により曲げ破壊した。図 3 に示すように、接着界面の剥離は、1) コンクリート内部(T-1 および T-2；図 3 の I)、2) コンクリート表層部（薄いモルタル層内あるいはコンクリートとプライマー界面）(T-3~T-5；図 3 の II)、3) プライマーと接着材の界面(T-6 および T-7；図 3 の III)のいずれかで生じた。コンクリート表面が湿潤であった場合、使用したプライマーの種類に関わらず、薄いモルタル層内での破壊が多かった。これは、プライマーのコンクリート中への含浸能力が弱くなったためと考えられる。含浸能力が高いと思われる湿潤面用プライマーP2 を利用した場合でも、同様の破壊性状で、モード II と III の二つの破壊モードが観察された。今回の実験結果により、このようなモード III の破壊形態は FRP とコンクリートの界面の短期的な付着強度に悪影響を与えなかったが、過酷環境下においてプライマーと接着材の界面が劣化する可能性に関して今後さらに研究する必要がある。

図 4 に FRP シート剥離時の最大荷重を示す。図 4.(a)に示すように、施工時にコンクリート表面が乾燥状態でプライマーの種類が P1 だった場合(T-1 及び T-2)、養生湿度(90%)が高かった場合に最大荷重がやや(4.2%)低下したが、施工時コンクリート表面が湿潤状態でプライマーの種類が P2 の場合(T-4 及び T-5)、養生湿度の影響が見られなかった。この結果から、コンクリートの表面状態とプライマーの種類にかかわらず、養生湿度が界面の付着強度に及ぼす影響はほぼないと言える。図 4.(b)にコンクリートの表面状態およびプライマーの影響を示す。プライマーP1 を使用した場合(T-1 および T-3)、コンクリート表面が湿潤状態だった場合に最大荷重が約 20%低下したが、湿潤面用プライマーP2 を使用した場合(T-4 および T-6)、コンクリート表面が湿潤状態でも最大荷重は約 6%しか低下しなかった。プライマーP2 の使用により湿潤面への付着強度の低下が抑制できると考えられる。また、付着強度に最も影響したのは接着材の種類であった[図 4.(c)]。コンクリートの表面が湿潤でプライマーP2 を利用した場合、高靱性の接着材 B2 の場合(T-7)には B1 と比較して破壊時の最大荷重は約 45%増加した。試験体が界面剥離前にせん断破壊したため、実際の付着強度の増加はこれ以上であったと考えられる。

図 5 には各実験パラメータが FRP シート剥離時の最大変位へ及ぼす影響を示す。養生湿度による試験体の最大変位への影響はほぼなかった[図 5. (a)]、コンクリート表面が湿潤状態になることにより FRP とコンクリートの界面の付着性能が低下する傾向が見られた[図 5. (b)]。なお、コンクリート表面の乾燥、湿潤状態に関わらず、浸透性が高いと思われる湿潤面用のプライマーP2 を使用した場合、界面の付着性能は向上する傾向が見られた[図 5. (b)]。強度への影響と同様に、高靱性の接着材 B2 の使用は界面の付着性能を著しく向上させた[図 5. (c)]。

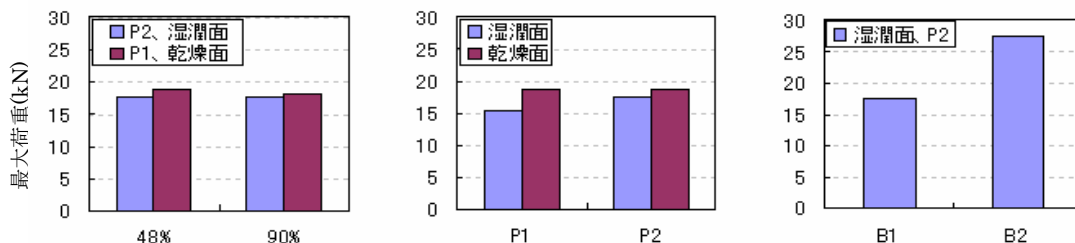


図 4 最大荷重(a)養生湿度の影響 (b)コンクリート表面状態とプライマーの影響 (c)接着材の影響

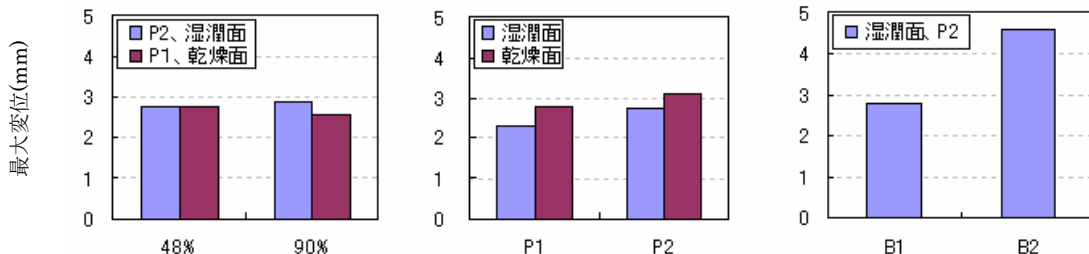


図 5 最大変形(a)養生湿度の影響 (b)コンクリート表面状態とプライマーの影響 (c)接着材の影響

4. 結論

(1) コンクリート表面の含水率とプライマー種類は FRP-コンクリート接着界面の剥離モードに大きく影響する。(2) 接着施工後の養生湿度は界面付着性能にほとんど影響しない。(3) 湿潤面用プライマーの使用により界面の付着強度の低下が抑制可能であり、付着性能をある程度改善することができる。(4) 高靱性接着材の使用は FRP-コンクリート界面の付着性能を著しく改善する。

参考文献

土木学会 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