

複合剥離モードにおける CFRP プレートの付着性状に関する実験的検討

筑波大学大学院 学生会員 ○管 祥瑋
筑波大学大学院 学生会員 張 偉
筑波大学 正会員 金久保 利之

1. はじめに

著者らは、コンクリート表面に接着した CFRP (Carbon Fiber-Reinforced Plastic) プレートに、剥離 (モード I) とせん断 (モード II) の複合剥離が作用する場合の CFRP プレートとコンクリートの付着性状に着目し、試験体コンクリート表面に段差を設けた二面せん断付着試験を行って、破壊性状および付着強度を検討している¹⁾。本報では、CFRP プレート貼付の初期角度を前報より小さくした試験体を作製して加力実験を行い、CFRP プレートの剥離角度で表現される付着強度算定法を再検討した。

2. 実験概要

試験体形状を図-1 に示す。基本となる試験体は二面せん断型付着試験体で 150×150×800mm のコンクリートブロックに CFRP プレート (幅 50mm, 厚 1mm, 弾性係数 156GPa) を貼付したものである。せん断-剥離複合付着特性を検討する目的で、試験体中央部に段差 (初期角度) を設け、段差レベル ($\tan\theta=0.035, 0.070$) を主要な変動因子とした。なお、試験体中央部 250mm 区間では CFRP プレートとコンクリートの付着は絶縁している。試験体の一覧を表-1 に示す。

加力は 2000 kN 万能試験機を使用し、単調引張加力を行った。加力装置設置前にノッチ部にひび割れを導入し、引張荷重を CFRP プレートのみが負担するようにした。計測項目は、引張荷重、全体変形、ノッチ部のひび割れ変位、CFRP プレートに貼付した歪ゲージによる歪である。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊経過

各試験体とも、引張荷重の小さい段階からプレートの剥離が付着絶縁区間から進行し、ノッチ部のひび割れ幅が拡大した。最大荷重に達すると同時にプレート全面が剥離した。破壊後の状況の例を図-2 に示す。破壊形式は全ての試験体においてプレートがコンクリートから剥離する付着破壊であった。しかし、

試験体 S13-4-2 のように、試験体中央部 (段差側) の付着絶縁区間からコンクリート表層内部での破壊が進行し、試験体端部に進むにしたがって樹脂界面での破壊に移行していく様子も見られた。実験結果の一覧を表-2 に示す。コンクリート強度が大きくなるほど、付着強度が大きくなる傾向が見られる。また、プレートの貼

キーワード CFRP プレート, せん断付着, 付着強度, 剥離付着, 剥離角度

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 システム情報工学研究科

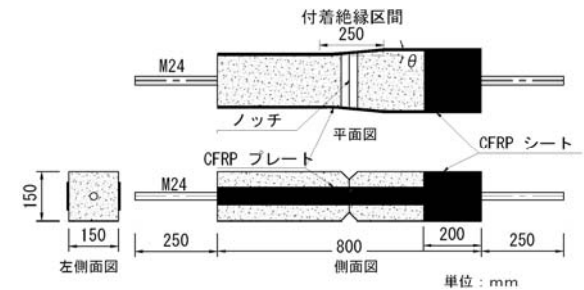


図-1 試験体形状

表-1 試験体一覧

試験体	コンクリート			段差レベル	
	圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	段差 (mm)	貼付角度 (°)
S13-2-1	18.4	1.97	18.7	8.8	2
S13-2-2				17.5	4
S13-4-1					
S13-4-2				17.5	4
S21-2-1	31.0	2.87	25.4	8.8	2
S21-2-2				17.5	4
S21-4-1					
S21-4-2				17.5	4

表-2 実験結果の一覧

試験体	最大引張荷重 (kN)	付着強度*1 (N/mm)	計算値*2 (N/mm)	実験値 / 計算値
S13-2-1	21.11	211.1	391	0.54
S13-2-2	20.72	207.2		0.53
S13-4-1	15.64	156.4		0.40
S13-4-2	16.03	160.3		0.41
S21-2-1	25.32	253.2	415	0.61
S21-2-2	26.15	261.5		0.63
S21-4-1	22.41	224.1		0.54
S21-4-2	18.26	182.6		0.44

*1:単位幅の荷重の最大値 *2:段差がない場合の付着強度の計算値(単位幅)²⁾

付初期角度が大きくなるほど付着強度が小さくなる傾向も見られる。

各試験体の付着強度を段差がない場合の付着強度と比較するために、せん断付着強度式²⁾を用いた計算値と比較し、表-2に示す。

3.2 荷重－ひび割れ幅関係および歪分布

各試験体の引張荷重と中央部（ノッチ部）ひび割れ幅関係およびプレート歪分布を図-3に示す。図中の●, ■, ▲などのプロット点は、引張荷重－ひび割れ幅関係における同プロット測定点での歪分布を示している。引張荷重－ひび割れ幅関係における第1ピーク点を超すと、せん断付着特性に近づくと思われる。第1ピーク点までは貼付初期角度の大きい方が剥離がより先行し、付着強度は小さくなる傾向が見られた。

3.3 せん断－剥離複合付着強度

前報と同様の方法により剥離角度を算出した。前報の実験結果と合わせて、剥離角度と付着荷重の関係を図-4に示す。剥離が進行することによってプレートが引張力を受ける角度が小さくなり、プレートの付着性状が剥離付着型からせん断付着型に移行していくと考えられる。図-4より、剥離角度と付着荷重には反比例の関係が見られ、最小二乗法により下記の関係式を得た。

$$P/P_{cal}=0.003\tan\theta^{1.46} \quad (1)$$

付着強度は、図-5に示すように、剥離角度で表される付着荷重値と剥離角度から求まるプレート付着長により算出されるせん断付着強度の交点から求めることができると考えられる。計算値と実験結果を比較して表-3に示す。計算値は概ね実験結果と適合している。

4. まとめ

- 1) 前報より小さい初期角度を設けた試験体を用いることによって、CFRP プレートとコンクリートのせん断－剥離付着性状を確認できた。
- 2) CFRP プレートの剥離角度で表現される付着強度算定法を再検討し、計算値は概ね実験結果を表現できた。

参考文献

- 1) 張偉, 金久保利之: Experimental Study on Bond Behavior between CFRP Plate and Concrete under Combination of Fracture Mode, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 部門V-197, 2012.9
- 2) 松永健太郎ほか: CFRP 板とコンクリートの付着性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), C-2 構造IV, pp.113~116, 2007.8

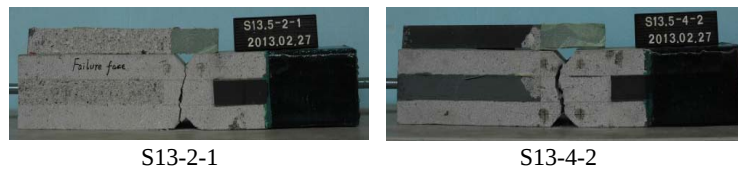


図-2 破壊状況

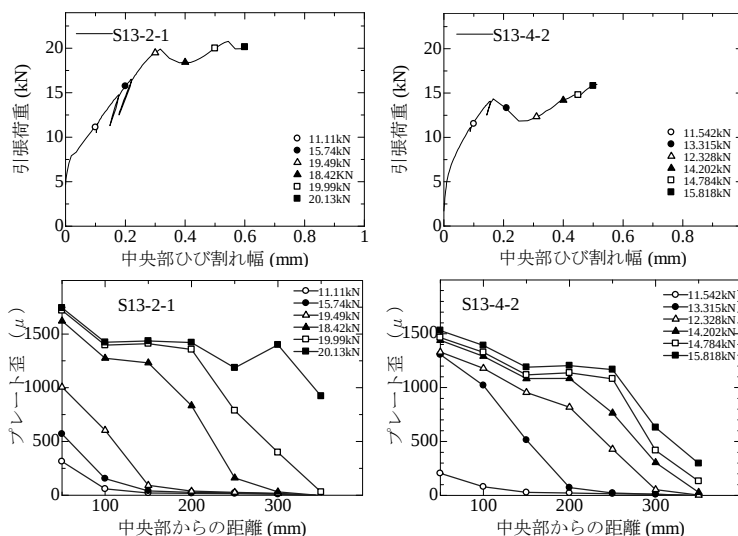


図-3 引張荷重－ひび割れ幅関係およびプレート歪分布

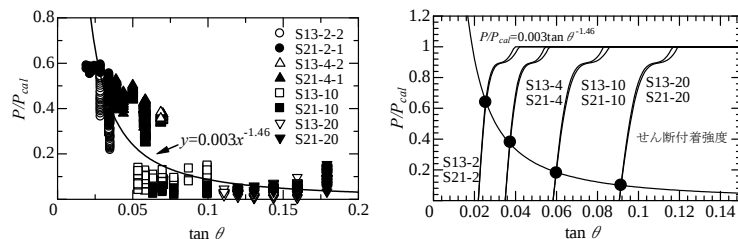


図-4 剥離角度と付着荷重関係

図-5 付着強度の導出方法

表-3 付着強度の実験値と計算値の比較

試験体	せん断付着強度計算値 (N/mm)	せん断付着強度との比		実験値 ／ 計算値
		実験値	計算値	
S13-2-1	391	0.54	0.62	0.87
S13-2-2		0.53	0.62	0.86
S13-4-1		0.40	0.36	1.13
S13-4-2		0.41	0.36	1.15
S13-10	383	0.13	0.18	0.71
S13-20		0.14	0.10	1.43
S21-2-1	415	0.61	0.62	0.99
S21-2-2		0.63	0.62	1.02
S21-4-1		0.54	0.36	1.52
S21-4-2		0.44	0.36	1.24
S21-10	413	0.19	0.18	1.04
S21-20		0.16	0.10	1.64