

CFRP プレート接着補強工法におけるポリウレア樹脂挿入による付着性能の改善

九州大学大学院
九州大学大学院
新日鉄住金マテリアルズ(株)

学生会員
フェロー会員
正会員

○扇 孝洋
日野 伸一
小林 朗

学生会員
正会員
正会員

櫻井 俊太
畠山 繁忠
小森 篤也

1. 研究背景

CFRP プレート接着工法は CFRP プレートをコンクリート構造物の補強部に接着剤を用いて接着して補強を行うものである。CFRP プレートをを用いるため、CFRP シート接着工法のように現場での含浸作業や積層作業の必要がなく施工がより容易に行えるという利点がある。しかし、この補強方法では CFRP プレートが引張限界に達する前にプレートが接着界面より剥離してしまうことが分かっている。本工法においてコンクリートと CFRP プレートの付着特性が与える影響は大きい。そのためプレート接着に柔軟層としてポリウレア樹脂を用いることで、補強面の応力集中を防ぎ、結果としてプレートの付着性能を改善することを目指している。そこで、本工法ではポリウレア樹脂が CFRP プレートの付着特性に与える影響についてポリウレア樹脂の有無および CFRP プレートの種類をパラメータとして付着試験を行い、検討した。

2. 実験概要

2.1 材料特性

表-1 に使用した CFRP プレートの材料特性を示す。また、表-2 にプレート接着に用いた接着剤およびポリウレア樹脂の材料特性を示す。接着に用いたエポキシ樹脂は主剤と硬化剤を 2:1 で、ポリウレア樹脂は主材の硬化剤を 3:1 の比で混合して用いた。また、本研究で用いたコンクリートの圧縮強度は 49.8N/mm^2 である。

2.2 試験体概要

本研究で作製した試験体の種類を表-3 に示す。本実験ではプレートの厚さが 1mm について高強度タイプおよび高弾性タイプの計 2 種類の CFRP プレート、およびポリウレアの有無を要因として、付着特性の検討を行った。試験体の概要および貼付したひずみゲージの位置を、図-1 に示す。コンクリート試験体の寸法は $150 \times 150 \times 1200\text{mm}$ とし、試験に用いた CFRP プレートは幅 $50 \times$ 長さ 1200mm とし、コンクリートの両面に貼付した。図-1(a) の左側は計測部、右側は固定部であり、固定部は CFRP プレート-コンクリートを、鋼板を介してボルト圧着した。試験体中心部では図-1(b) に示すように試験体内部の鉄筋は中央で分断されており、試験体中央部にはひび割れを誘発するため、ノッチおよび幅 4mm のプラベニヤ板を埋設した。図-1(c), (d) に試験体の断面を示す。鉄板を用いて底部を支圧力により固定した。これは、試験体がひずみゲージを設置した上部より破壊するようにするためである。写真-1 のように門型フレームに試験体を設置し、油圧ジャッキによって引張载荷試験を行った。なお、载荷速度は 5kN/min とした。



写真-1 実験状況

表-1 CFRP プレートの材料特性値

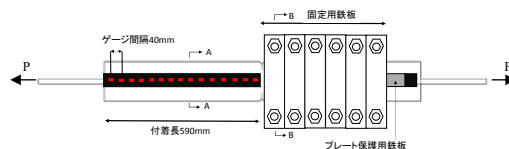
種類	高強度	高弾性
引張弾性率(N/mm ²)	167,000	410,000
引張強度(N/mm ²)	2,400	1,625
単位体積重量(kg/m ³)	16,000	1,700

表-2 使用材料特性値 (N/mm²)

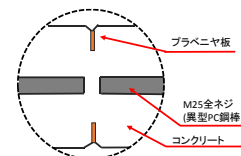
	エポキシ樹脂	ポリウレア樹脂
圧縮弾性率	7,233	34
引張弾性率	5,300	20
圧縮強度	96	6.8
引張強度	37	12
曲げ強度	63	-
引張せん断強度	16.6	5.6

表-3 試験体種類

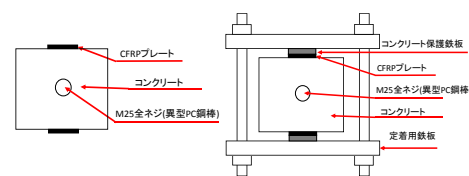
試験体種類	ポリウレア	試験体数
1HTS (高強度)	有	3
1HTN (高強度)	無	3
1HMS (高弾性)	有	3
1HMN (高弾性)	無	3



(a) 試験体全体図



(b) 試験体中心部詳細



(c) A-A 断面図

(d) B-B 断面図

図-1 接着部詳細

キーワード CFRP プレート, ポリウレア樹脂, 有効付着長

連絡先〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 ウェスト 2 号館 1104 号室 TEL:092-802-3392

表-4 結果一覧

試験体種類	No.	Pmax (kN)		τ_{max} (N/mm ²)		Gr (N/mm ²)		破壊モード
		実測値	平均値	実測値	平均値	実測値	平均値	
1HTS*	1	167	160	2.83	2.71	8.35	7.65	ポリウレアの凝集破壊+コンクリートのかぶり部の破壊
	2	163		2.76		7.95		ポリウレアの凝集破壊+コンクリートのかぶり部の破壊
	3	149		2.53		6.65		プレート-接着剤間剥離
1HTN	1	59	64	1.00	1.09	1.04	1.27	プレート-接着剤間剥離
	2	77		1.31		1.78		コンクリートの表層破壊
	3	57		0.97		0.99		プレート-接着剤間剥離
1HMS	1	115	131	1.95	2.21	1.61	2.10	プレートの破断
	2	135		2.29		2.22		プレートの破断
	3	142		2.41		2.46		プレートの破断
1HMN	1	98	96	1.65	1.62	1.16	1.12	プレート-接着剤間剥離
	2	88		1.48		0.93		プレート-接着剤間剥離
	3	102		1.73		1.27		プレート-接着剤間剥離

*各記号の 頭数字：プレート厚さ，HT：高強度タイプ，HM：高弾性タイプ，N：ポリウレア無，S：ポリウレア有を表す

3. 結果および考察

3.1 最大荷重およびひずみ結果

表-4 に各試験体の最大荷重 P_{max} ，最大せん断応力度 τ_{max} および界面剥離破壊エネルギー G_f を示す。 τ_{max} および G_f は土木学会²⁾の示す式(1)，式(2)を用いて算出した。

$$G_f = \frac{(P_{max})^2}{8b^2E_ft} \cdots(1), \quad \tau_{max} = \frac{P_{max}}{2bl} \cdots(2)$$

ここで，

P_{max} ：最大荷重(kN) t ：プレートの厚さ(mm)
 b ：プレート幅(mm) l ：接着長(mm)
 E_f ：プレートの弾性係数(N/mm²)

高強度タイプに関しては接着にポリウレア樹脂を用いることで各数値は 2.5～6 倍向上し，ポリウレア樹脂の有効性が確認できた。また，高弾性タイプでも同様に各数値は 1.3～1.9 倍となっており CFRP プレートの種類に関わらずポリウレア樹脂の有効性が確認できた。図-4 に各種類 1 体ずつの最大荷重時のひずみと計測位置の関係図を示す。ポリウレア樹脂の有無によって引張側の最大ひずみが約 2～3 倍となっており，CFRP プレートの高性能を有効に活用できていることが確認できた。また，1HMS については CFRP プレートの破断が破壊要因であり，破壊時の CFRP プレートに剥離は一切確認されなかった。

3.2 有効付着長

式(3)を用いて，試験体に貼り付けた CFRP プレートの各位置における平均付着応力を算出した。図-5 に平均付着応力-計測位置関係図を，一例として各試験体一体ずつ示した。このとき，平均付着力が最大付着力の 10%を上回る区間を有効付着長と定義した。

$$\tau_{b,i} = \frac{(\epsilon_{f,i} - \epsilon_{f,i-1}) \cdot t_f \cdot E_f}{\Delta x} \quad (3)$$

ここで

$\tau_{b,i}$ ：試験体の自由端より i 番目と $i-1$ 番目の位置における平均付着力 (MPa)，
 $\epsilon_{f,i}$ ：試験体の自由端より i 番目の CFRP プレートのひずみ，
 t_f ：CFRP プレートの厚さ(mm)
 E_f ：CFRP プレートの引張弾性係数(N/mm²)，
 Δx ：ひずみゲージの間隔(mm)

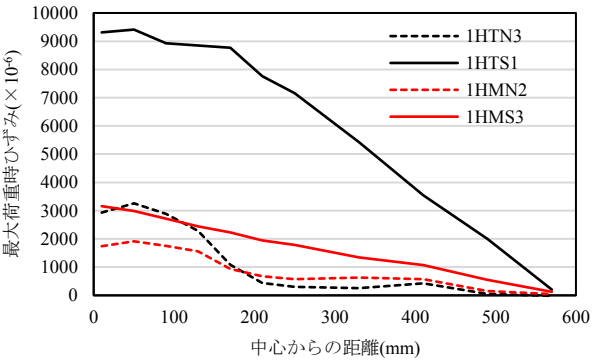


図-4 ひずみ-計測位置関係図

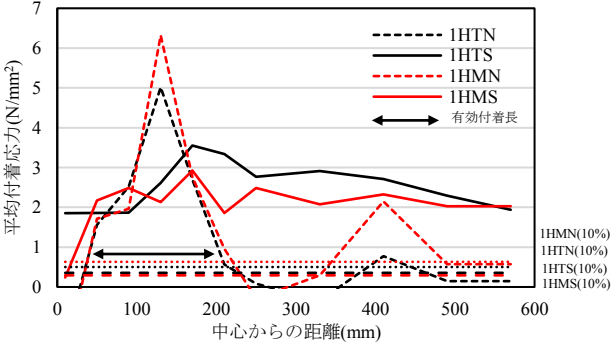


図-5 平均付着力-計測位置関係図

ポリウレア無の試験体では最大付着力の 10%となる点が 2 点確認できたため有効付着長を 1HTN では 180mm，1HMN では 183mm と評価できた。しかし，ポリウレア有試験体ではプレートの厚さが 1mm, 2mm とともに接着長が有効付着長を下回ったため有効付着長を正確に評価できなかった。したがって，接着長を延長すればさらに補強効果が向上すると考えられる。

4. まとめ

CFRP プレートが 1mm の場合，接着にポリウレア樹脂を用いることで高強度および高弾性のプレートはともに付着性能の向上が確認できた。

参考文献

- 1) R. Bahsuan, S. Hino, T. Ohgi, A. Komori: Bond stress-slip Behavior between CFRP Plate and Concrete with Polyurea Soft Layer System Proc. of 11th GJBS(2016)
- 2) 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，(JSCE-E 543-2000)