

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 学生会員 ○櫻井 俊太 学生会員 扇 孝洋
九州大学大学院 フェロー会員 日野 伸一 正会員 畠山 繁忠
新日鉄住金マテリアルズ(株) 正会員 小林 朗 正会員 小森 篤也

1. 研究背景

本工法は 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張り付け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、本報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 プレートの厚さをパラメータとした付着実験を行い、検討した。

2. 実験概要

2.1 材料特性

表-1 に使用した高強度タイプの 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/mm²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。本実験では高強度タイプ (1 mm, 2 mm) 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 150×150×1200 mm とし、試験に用いた CFRP プレートは幅 50×長さ 1200 mm とした。試験体内部の鉄筋は中央で切れており、試験体中央部にはひび割れを誘発するため幅 4 mm のプラベニア板を入れている。CFRP プレートを接着剤を用いて接着した後、プレート定着部において破壊が先行するように図-2 のように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。図-3 に試験体のプレート接着部詳細を示す。写真-2 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-2 実験状況

表-1 CFRP プレートの材料特性値

タイプ	高強度
引張弾性率 (N/mm ²)	167,000
引張強度 (N/mm ²)	2,400
単位体積重量 (kg/m ³)	1,600

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	7,230	34
引張弾性率	5,300	61
圧縮強度	96.0	6.8
引張強度	37.0	12.0
曲げ強度	63.0	-
引張せん断強度	16.6	5.6

表-3 試験体種類

種類	厚さ (mm)	ポリウレア	試験体数
1HTS	1	有	3
1HTN		無	3
2HTS	2	有	3
2HTN		無	3

HT:高強度タイプ

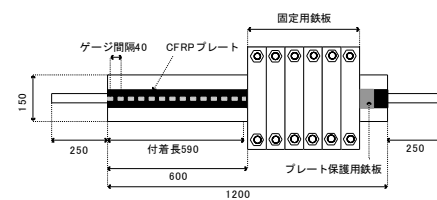


図-1 試験体概要 (単位:mm)

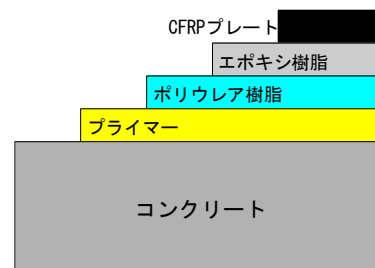


図-2 接着部詳細

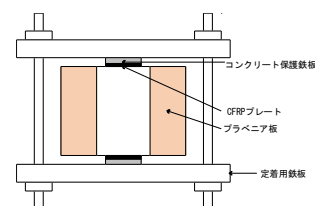


図-3 試験体中央部断面

表-4 結果一覧

試験体種類	No.	P_{max} (kN)		τ_{max} (MPa)		G_f (N/mm)		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	167.0	159.7	2.83	2.7	8.35	7.7	ポリウレアの凝集破壊+ コンクリートのかぶり破壊
	2	163.0		2.76		7.95		ポリウレアの凝集破壊+ コンクリートのかぶり破壊
	3	149.0		2.53		6.65		プレート接着剤間剥離
1HTN	1	59.0	64.5	1.00	1.1	1.04	1.3	プレート接着剤間剥離
	2	77.0		1.30		1.77		コンクリートの表層破壊
	3	57.4		0.97		0.99		プレート接着剤間剥離
2HTS	1	177.0	170.0	3.00	2.9	4.69	4.3	コンクリートの表層破壊
	2	165.9		2.81		4.12		ポリウレアの凝集破壊+ コンクリートのかぶり破壊
	3	167.0		2.83		4.18		ポリウレアの凝集破壊+ コンクリートのかぶり破壊
2HTN	1	87.0	91.0	1.47	1.5	1.13	1.2	コンクリートの表層破壊
	2	98.0		1.66		1.44		コンクリートの表層破壊
	3	88.0		1.49		1.16		コンクリートの表層破壊

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} , 最大せん断耐力 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。

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

ここで,

P_{max} : 最大荷重 t : プレートの厚さ(mm)

b : プレート幅(mm) ℓ : 付着長(mm)

E_f : プレートの弾性係数(N/mm²)

1HTS の場合, 最大荷重 P_{max} の平均が約 160kN, せん断耐力 τ_{max} の平均が 2.71N/mm², 表面破壊応力 G_f の平均が 7.65N/mm² となった。1HTN の場合と比較して各数値は 2.5~6 倍向上しており, ポリウレア樹脂の有効性が確認できた。また, 2HTS の場合, 最大荷重 P_{max} の平均が約 170kN, せん断耐力 τ_{max} の平均が 2.9N/mm², G_f の平均が 4.3N/mm² となっており, 2HTN と比較して各数値は 2~3.5 倍となっている。図-4 に高強度 1mm, 高強度 2mm の最大荷重時のひずみと計測位置の関係図を示す。ポリウレアの有無によって引張端の最大ひずみが約 2 倍以上となっていることが確認できた。

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力を算出した。図-5 に平均付着力-計測位置関係図を示す, 一例として各試験体一箇所ずつ平均付着力とひずみの測定位置関係を示す。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。

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

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),

$\varepsilon_{f,i}$: 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)

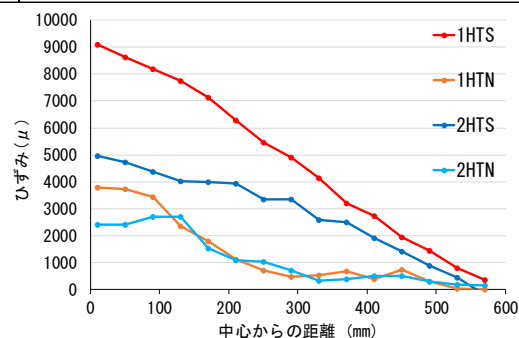


図-4 ひずみ-計測位置関係図

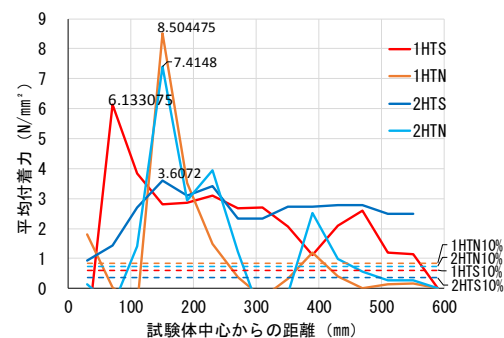


図-5 平均付着力-計測位置関係図

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 240mm, 2HTN では 320mm 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 とともに実付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, 付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

高強度タイプの CFRP プレートに関しては, ポリウレアを用いて柔軟層を設けることにより, 最大耐力および最大剥離ひずみが向上することが確認された。

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)