

CFSS-NSM 補強工法における付着性能の評価

日鉄ケミカル&マテリアル（株） 正会員 ○文屋 遼太郎

（株）竹中土木 正会員 関 繭果, 吉田 邦勝

北海道大学 正会員 松本 浩嗣

深圳大学 フェロー会員 上田 多門

1. はじめに

RC 構造物の補強には、軽量で施工性に優れた炭素繊維等の連続繊維を用いた補強工法が普及している。その補強工法の 1 つである NSM (Near Surface Mounted) 工法では、コンクリート表面に溝を切削し、補強材として炭素繊維ストランドシート（以下、CFSS）を溝に埋めこむことにより、付着性能が向上することで、RC 構造物から CFSS の剥離が発生しづらくなり、高い補強効果が得られる。また、既往の載荷端部に非接着区間を設けずに実施した片引き付着試験では、CFSS の定着長が 100mm 以下であると載荷端部に応力が集中し、面外方向へのコンクリート破壊となることが報告されている¹⁾。そこで本研究では、非定着区間を設けた片引き試験における CFSS-NSM 補強工法の付着性能を評価した。

2. 試験方法および試験材料

片引き付着強度試験のパラメータを表-1 に示す。試験パラメータは付着長を 50~250mm とし、全ての供試体で載荷端側 100mm の非定着区間を設けた。供試体および試験概要を図-1 に示す。溝深さが 15mm、溝幅が 10mm となるよう電動工具でコンクリートブロックに溝を切削し、エポキシ樹脂を充填させた後、CFSS を溝内に設置した。CFSS は目付量が 600g/m^2 、引張弾性率が $2.45 \times 10^6 \text{N/mm}^2$ 、保証引張強度が $3,400 \text{N/mm}^2$ のものを使用した。コンクリートは $G_{\max}=20\text{mm}$ の碎石、普通セメントを用いた設計圧縮強度 34N/mm^2 の配合によって作製した。コンクリート寸法は幅 150mm、長さ 150mm とし、高さは付着長に非定着区間 100mm となる 100~350mm とした。試験は、供試体のコンクリート部を鋼製治具とボルトで固定し、上端の CFSS を万能試験機で把持し、鉛直上向きに 1mm/min の変位制御で供試体が破壊するまで、引張荷重を作用させた。また、CFSS には載荷端から 25mm ピッチでひずみゲージを設置した。

表-1 試験パラメータ

Case	付着長	補強材量	溝深さ	溝幅
	mm	mm ²	mm	mm
Case1	50	6.66	15	10
Case2	100	6.66		
Case3	100	13.3		
Case4	250	6.66		

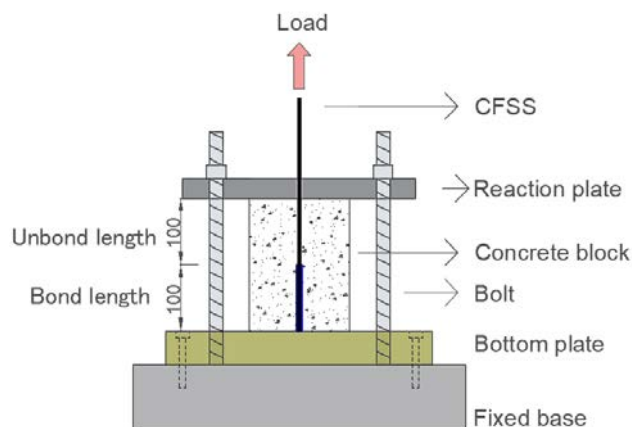


図-1 試験概要 (Case2, 3)

3. 試験結果

試験結果を表-2 に示す。

(1) 最大荷重および破壊形態

各供試体の最大荷重から算出した CFSS の応力は、補強材料量を 6.66mm^2 とした全ての供試体で CFSS の保証強度である $3,400 \text{N/mm}^2$ 以上となった。非定着区間を設けたことにより、CFSS に生じる応力集中が低減されたと考えられ、既往の研究で CFSS の保証強度以下で破壊を呈した 100mm 以下の定着長においても、CFSS の保証材料強度以上となる耐力が確認された。供試体の破壊形態は、Case1, 2, 4 で CFSS の破断となり、補強材量を 2 倍とした Case3 では、コンクリートと CFSS 界面にて、コンクリートの凝集破壊が発生し、CFSS が鉛直上向きに引き抜けた。

キーワード：NSM 工法、CFSS（炭素繊維ストランドシート）、片引き付着試験

連絡先： 〒103-0027 東京都中央区日本橋 1-13-1 日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 コンポジット事業部

表-2 試験結果

Case	最大荷重	CFSS 応力	平均付着応力	最大付着応力	界面破壊エネルギー	破壊状況
	kN	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm	
1	23.3	3,498	11.7	- ※	2.08	CFSS の破断
2	31.1	4,670	7.78	11.3	3.70	CFSS の破断
3	38.2	2,868	9.55	9.82	5.59	界面破壊
4	32.7	4,910	3.27	12.5	4.10	CFSS の破断

※最大荷重までひずみの計測ができなかったため算出していない。

(2) 有効付着長の算出

図-2 に Case4 における CFSS の各荷重ステップのひずみを示す。荷重が 30.0kN 以降で載荷端から 0mm～25mm までは、ひずみ分布が同等となる剥離領域となり、これに続き載荷端 25mm～100mm まではひずみが減少する有効付着域が確認され、その有効付着長は 75mm であった。大野ら²⁾によると、目付量 600g/m² の CFSS と各種接着剤を使用して実施した両引き型の付着試験における有効付着長は 127～188mm であり、比較すると、本試験の範囲では 50mm 以上短い有効付着長となった。

(3) 付着強度および界面破壊エネルギー

各供試体の平均付着強度を式(1)により算出した。また、測定した 25mm 間隔のひずみ差から最大付着応力を算出した。いずれの付着強度も溝切削の全面、すなわち溝深さの 2 倍と溝幅の和が付着面積となる本試験条件を考慮して算出した。平均付着強度は付着長の長い Case4 で 3.27N/mm² であり、有効付着長を超える供試体の付着長 250mm を用いて安全側に算定した場合でも、一般に使用される連続繊維シート of の平均付着強度 0.44N/mm² を大きく上回った。

各供試体の最大荷重から界面破壊エネルギーを式(2)によって算出した。その結果、界面破壊エネルギーは 2.08～5.59N/mm となった。吉澤ら³⁾はエポキシ樹脂で各種 FRP シートをコンクリート表面に溝を設けず、面的に接着した両引き型、および非定着区間を設けた片引き型の付着試験を行い界面破壊エネルギーの算出をしているが、その範囲は 0.7～1.82N/mm であった。CFSS-NSM 工法により接着させ、コンクリートと CFSS の接着界面で破壊となった Case3 の界面破壊エネルギーは 5.59N/mm であり、比較すると、本工法の界面破壊エネルギーは 3 倍以上となった。

$$\tau = \frac{P_{max}}{(2d + b) \cdot l} \quad (1)$$

$$G_f = \frac{P_{max}^2}{2(2d + b)^2 \cdot E_{CF} \cdot t_{CF}} \quad (2)$$

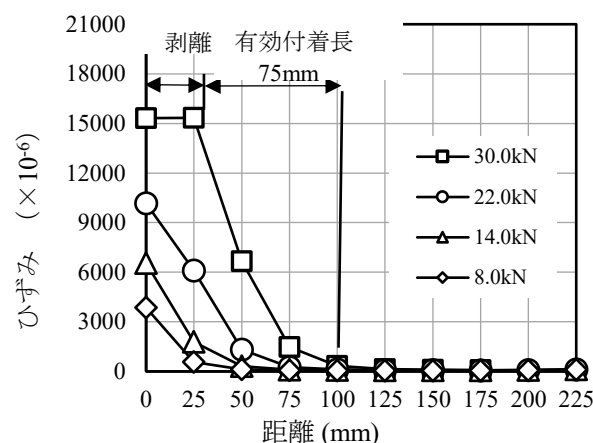


図-2 Case4 CFSSのひずみ分布

P_{max} : 最大荷重 (N), d : 溝の深さ (15mm),

b : 溝の幅 (10mm), l : 付着長 (mm)

E_{cf} : CFSS の引張弾性率 (2.45×10^6 N/mm²),

t_{cf} : CFSS の設計厚み (0.333mm)

4. まとめ

- ・非定着区間を設けることで、CFSS およびコンクリートへの応力集中が緩和され、定着長を 50mm, 100mm とした条件においても、CFSS の破断となった。
- ・従来のコンクリートへ面的に接着させた場合と比較し、付着強度および界面破壊エネルギーが大きく上回る結果となった。また、有効定着長は短くなる結果となったことから、従来工法より定着長を短く設計することが可能と考えられる。

参考文献

- 1) Shrestha, J.ほか：BOND BEHAVIOUR OF THE NEW NSM CFSS REINFORCEMENT AND CONCRETE, APFIS2019-203, 2019.11
- 2) 大野智恵 ほか：各種接着剤を用いた積層した CFRP スtrandシートとコンクリートの付着特性, 土木学会西部支部研究発表会, pp.635-636, 2011.1
- 3) 吉澤弘之 ほか：連続繊維シートとコンクリートの付着挙動に関する検討, 土木学会論文集, No.662/V-49, pp.105-119, 2000.11