

## ストランドシートによる NSM 工法で補強した RC はりの曲げ疲労特性

株式会社竹中土木 正会員 ○佐藤 俊, 關 繭果  
 深圳大学特聘教授 上田 多門  
 北海道大学准教授 松本 浩嗣

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 構造物の補強には、軽量で施工性に優れ、高強度な炭素繊維等を用いた補強工法が普及している。その中でも NSM (Near Surface Mounted) 補強工法は、コンクリート構造物のかぶり部分にスリットを切削し、CFRP プレートなどの補強材を埋設する補強工法で、近年海外で普及し始めている。補強材を埋設することにより付着性が向上するという長所があるが、現行の一般的な NSM 工法においても、補強材のはく離により破壊しており、補強材強度を十分に活用できていない。そこで、筆者らはこれまでに種々の補強材料について検討を行い、**図-1**に示す付着性能の高い炭素繊維ストランドシート<sup>1)</sup> (以下、CFSS) を選定し、NSM 工法の開発を進めている<sup>2)</sup>。本論文では、CFSS による NSM 工法で補強した RC はりの曲げ疲労特性について、外部接着 (以下、EB) 工法による補強との比較と併せて報告する。

### 2. 実験概要

はり曲げ疲労試験の供試体形状を**図-2**に示す。コンクリートは、45-12-20H ( $\sigma_{31}=65.55\text{N/mm}^2$ ) を用いた。はり下面に CFSS を用いて、EB 工法、NSM 工法 (補強材配置 2 ケース) により、補強量  $EA=163.17\text{kN/m}$  で補強し、中央 2 点荷重で疲労試験を実施した (**図-3**)。繰り返し荷重の上限値は、はり中央の引張鉄筋ひずみが降伏ひずみ (実測値  $1816\mu$ ) の 80~100%, 下限値は同 10%となるよう設定した。

200 万回到達時点で繰返し荷重を停止し、静的荷重を行って残存荷重を確認した。荷重速度は 2Hz で設定したが、試験装置への負荷を考慮し、一部供試体は 0.3Hz に変更して実施した。

### 3. 実験結果

試験ケースおよび試験結果を表-1に示す。表中の鉄筋破断までの繰返し回数は、引張鉄筋に設置したひずみデータを 5 万回毎に確認して推定した値である。

はりの破壊回数は、EB 工法では 22 万回~127 万回程度であったのに対し、NSM 工法では全ケースで

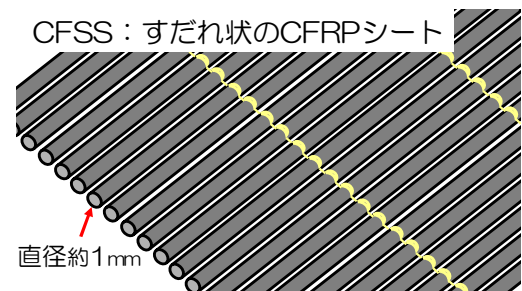


図-1 CFSS (炭素繊維ストランドシート)



図-3 試験実施状況

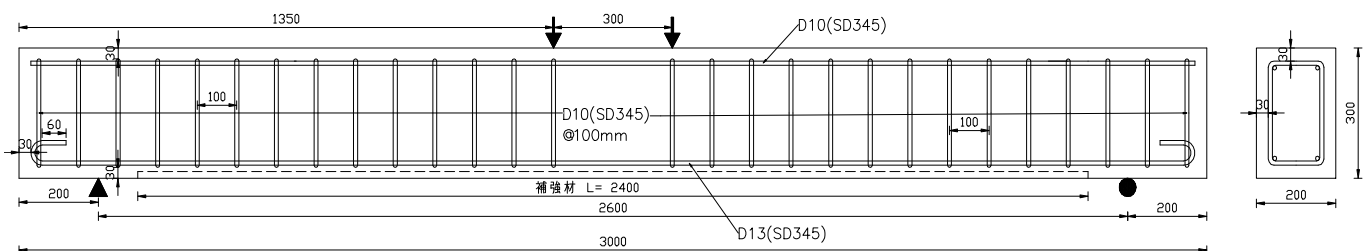


図-2 はり曲げ疲労試験供試体

キーワード 鉄筋コンクリート構造物補強, NSM 工法, はり曲げ疲労試験

連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 株式会社竹中土木 技術・生産本部 TEL: 03-6810-6215

表-1 試験ケースおよび試験結果

試験ケース	繰り返し荷重 (kN)		載荷速度 (Hz)	繰り返し回数		残存強度 (kN)	破壊モード	
	上限値	下限値		鉄筋破断	はり破壊			
	EB-80	55.4	11.1	2	650,000	670,000	-	はく離
	EB-90	56.3	8.3	0.3	1,250,000	1,268,409	-	はく離
	EB-100	62.3	9.6	0.3	150,000	220,953	-	はく離
	NSM-80	53.8	10.7	2	900,000	2,000,000	97.7	かぶり破壊
	NSM-90	62.6	10.7	2	250,000	2,000,000	110.0	かぶり破壊
	NSM-100	74.3	11.8	0.3	100,000	1,143,875	-	かぶり破壊
	NSMb-80	52.7	10.3	2	2,000,000	2,000,000	160.9	かぶり破壊
	NSMb-90	64.1	12.6	2	250,000	1,053,507	-	かぶり破壊
	NSMb-95	64.1	9.4	2→0.3	200,000	1,446,418	-	かぶり破壊

100 万回以上の疲労寿命を有し、うち 3 ケース (NSM-80, 90, NSMb-80) では 200 万回を達成した。また、鉄筋破断からはり破壊に至るまでの繰り返し回数は、EB 工法では、2~7 万回程度であったのに対し、NSM 工法では鉄筋破断後、80~175 万回となっており、鉄筋破断後の疲労寿命が大幅に向上することを確認した。

供試体の破壊状況を図-4 に示す。EB 工法では補強材がはく離して破壊に至るのに対し、NSM 工法では補強材や接着剤界面での剥離は見られず、いずれのケースでもかぶりコンクリートから破壊している。これらの破壊モードに関しては、著者らが過去に行った静的曲げ試験<sup>3)</sup>と同様であった。

図-5 に荷重上限値 90% の各ケースにおける鉄筋および CFSS のひずみ分布を示す (一部、ひずみゲージが破損した箇所は左右のデータで補完)。CFSS、鉄筋ともに EB 工法では中央へ向かって鋭い曲線なのに対して、NSM 工法ではひずみ分布がなだらかで端部まで荷重が分散されており、このことが鉄筋破断までの繰り返し回数を増加させた一因と考えられる。



図-4 供試体の破壊状況  
(上: EB-100 剥離 下: NSM-100 かぶり破壊)

#### 4. まとめ

本実験の結果、CFSS を用いた NSM 工法は EB 工法に比べて鉄筋破断およびはり破壊まで繰り返し回数が大きく、疲労耐久性の高い補強工法であることを確認した。

**謝辞** 本研究の遂行にあたり、日鉄ケミカル&マテリアル株式会社コンポジット事業部 立石氏、文屋氏に深謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 日鉄ケミカル&マテリアル(株)技術資料:  
[https://www.nscm.nipponsteel.com/carbon/pdf/carbon\\_st\\_2\\_0180918.pdf](https://www.nscm.nipponsteel.com/carbon/pdf/carbon_st_2_0180918.pdf)
- 2) 關繭果他: NSM 補強工法における付着性向上に関する検討, 土木学会第 73 回学術講演会, 2018
- 3) Shrestha, J.他: Experimental investigation of NSM Carbon Fibre Strand Sheet (CFSS) method for flexural strengthening of the RC beams, FRPRCS-14, 2019

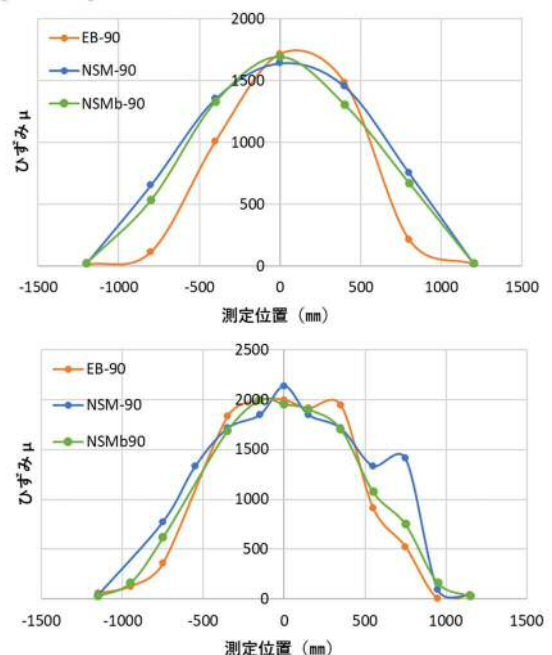


図-5 ひずみ分布図 100 サイクル目  
(上: 鉄筋 下: CFSS )