

ストランドシートを用いた NSM 工法に関する橋脚曲げ補強の試設計

株式会社竹中土木 正会員 ○吉田 邦勝，関 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

日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 正会員 立石 晶洋，文屋 遼太郎

1. はじめに

NSM (Near Surface Mounted) 工法は，コンクリート構造物のかぶり部に溝を切削し，FRP などの補強材を埋設する補強工法(図-1)で，コンクリート表面に補強材を貼付する外部接着工法に比べて，付着性が高く剥離しにくいという特長がある。Shrestha, J らは，さらに付着性能の高い補強材を選定し，炭素繊維ストランドシート¹⁾(以下，CFSS，図-2)を用いた NSM 工法で各種試験を行って，高い補強効果を有することを確認している²⁾。

本論文では，CFSS を用いた NSM 工法の高い付着性により定着長を短縮できる点に着目し，橋脚段落とし部の曲げ補強を例に，NSM 工法と外部接着工法で試設計を行い，比較した結果を報告する。

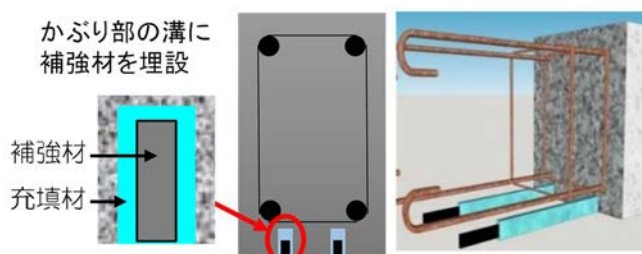


図-1 NSM 工法概要

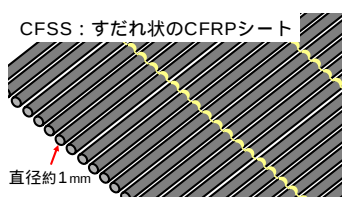


図-2 炭素繊維ストランドシート

2. 試設計概要

図-3 のような自動車道橋脚段落とし部の耐震曲げ補強を例に，NEXCO の設計要領³⁾に従って試設計を行った。橋脚の諸元は，下記の通りである。

- ・段落とし位置 h_1 : 3.62m (基部からの高さ)
- ・段落とし照査位置 h_2 : 2.62m (同上)

- ・基部から上部構造の慣性力作用位置までの高さ

$$h_{By} : 9.20\text{m}$$

- ・段落とし照査位置から慣性力作用位置までの高さ

$$h_t : 6.58\text{m}$$

- ・基部の初降伏曲げモーメント

$$M_{By0} : 45777.9\text{kN} \cdot \text{m}$$

- ・段落とし照査位置の初降伏曲げモーメント

$$M_{ty0} : 31747.2\text{kN} \cdot \text{m}$$

段落とし部での破壊が生じない(躯体下部先行型破壊) 条件，

$$\frac{M_{ty0}/h_t}{M_{By0}/h_{By}} \geq 1.2$$

より，段落とし部の不足モーメント ΔM ，必要な炭素繊維シート面積 A_{cf} および必要枚数 n_{cf} は，

$$\Delta M : 7542.2\text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$A_{cf} = \Delta M / (\sigma_{cf} \times 7/8 \times d) = 866\text{mm}^2$$

$$n_{cf} = A_{cf} / t_{cf} \times b_{cf} = 2.60\text{ 枚}$$

ここで，

σ_{cf} : 炭素繊維シート設計引張強度 (2040N/mm²)

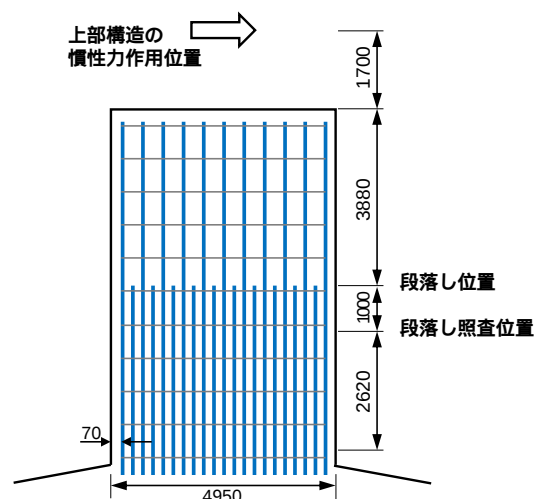


図-3 橋脚概略

キーワード NSM 工法， CFSS，橋脚段落とし部，曲げ補強

連絡先 〒136-8570 東京都江東区新砂 1-3-3 株式会社竹中土木 技術・生産本部 TEL : 03-6810-6214

d : 部材高 (4880mm = 4980-70)

t_{cf} : 設計シート厚さ (0.333mm)

b_{cf} : シート接着幅 (1m)

また、段落とし部の降伏モーメントと作用モーメントとの交点から照査段落とし位置までの距離 L_a は、次の通り計算される。

$$L_a = \Delta M \times h_2 / (1.2 \times M_{By0} - M_{ly0}) = 1263\text{mm}$$

3. 定着長の比較

一般的な繊維巻き立て工法(以下、外部接着工)における補強設計では、設計付着強度

$$\tau_{cf(EB)} = 0.44\text{N/mm}^2$$

の値が用いられる。一方、CFSS を用いた NSM 工法は高い付着性を有することが実験で確認されていて、この試設計では、CFSS を用いた NSM 工法の片引き付着試験における平均付着強度 3.23N/mm^2 をもとに、安全率 3 として定めた設計付着強度 $\tau_{cf(NSM)} = 1.07\text{N/mm}^2$ により定着長を求める。

これにより、必要定着長 $L_{cf(NSM)}$ は、

$$L_{cf(NSM)} = \sigma_{cf} \times t_{cf} \times n_{cf} / \tau_{cf(NSM)} = 1.65\text{m}$$

段落とし照査位置からの補強範囲は、

$$\text{上側} : L_a + L_{cf(NSM)} = 2.913\text{m}$$

$$\text{下側} : L_{cf(NSM)} = 1.263\text{m}$$

$$\text{全補強範囲} = 4.176\text{m}$$

となる。

一方、CFSS をコンクリート表面に貼付する外部接着工法について必要定着長 $L_{cf(EB)}$ を求めると、

$$L_{cf(EB)} = \sigma_{cf} \times t_{cf} \times n_{cf} / \tau_{cf(EB)} = 4.01\text{m}$$

これより、段落とし照査位置からの補強範囲は、

$$\text{上側} : L_a + L_{cf(EB)} = 5.273\text{m}$$

$$\text{下側} : L_{cf(EB)} = 4.01\text{m}$$

$$\text{全補強範囲} = 9.283\text{m} \quad (> \text{橋脚全長 } 7.5\text{m})$$

となるが、段落とし照査位置から橋脚上端および基部までの各長さ 4.88m、2.62m をどちらも超過するため、アンカーなどによる端部定着が必要となる結果となった。

4. NSM工法の構造細目

NSM 工法で施工する場合は、かぶり部分に切削する溝の大きさや溝に埋設する補強材量を定める必要がある。

ACI では、プレート状の補強材を使用する NSM 工

法の溝寸法について、溝深さを補強材幅の 1.5 倍以上、溝幅を補強材厚さの 3 倍以上、溝の離隔は溝深さの 2 倍と定めている⁴⁾(図-4)。これらの条件を考慮すると、1本の溝寸法を幅 33mm、深さ 45mm とし、各溝に幅 30mm の CFSS を 11 枚配置する配置例(図-5)が考えられる。なお、NSM 工法の場合は、炭素繊維シートの必要枚数 n_{cf} を整数に切り上げる必要がないため、2.60 枚として補強材配置を検討している。

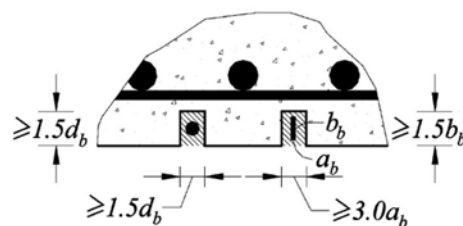


図-4 溝寸法規格⁴⁾

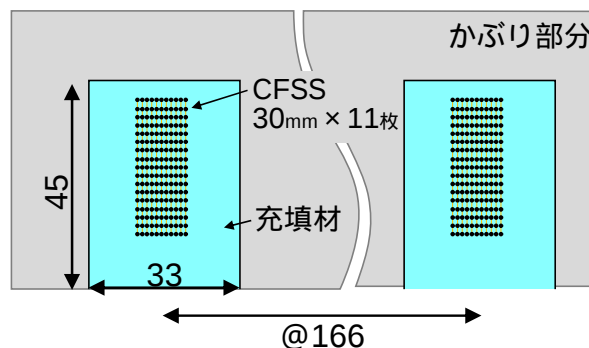


図-5 補強材および溝の配置例

5. まとめ

橋脚段落とし部の曲げ補強について、CFSS を用いた NSM 工法の設計付着強度の実験値に基づき試設計を行ったところ、外部接着工法に比べて補強範囲を大幅に縮減でき、また端部定着不要で施工できる結果となった。本工法により端部定着が不要となれば、補強の省力化が可能と考えられる。

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_20180918.pdf
- 2) Shrestha, J.他 : Experimental investigation of NSM Carbon Fiber Strand Sheet (CFSS) method for flexural strengthening of the RC beams, FRPRCS-14, 2019
- 3) 東日本高速道路(株)ほか : 設計要領 第二集橋梁保全編, 2006
- 4) ACI : Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, 2008