

FRP によるコンクリート構造物の曲げ補強設計法の比較 (曲げ補強)

三菱樹脂(株) 正会員 ○久部 修弘
 鉄建建設(株) 正会員 阿保 知紀
 東日本高速道路(株) 正会員 塩畑 英俊

1. はじめに

コンクリート構造物の補強方法には、耐久性や施工性等の理由から FRP による補強がおこなわれることも多い。ところが、FRP によるコンクリート構造物の補強方法は、FRP に使われる繊維の種類や FRP の成形方法等多岐に渡っており、その設計方法も多種存在する。

そこで、補強設計の指針としてまとめられている主な指針を調査し、曲げ補強に関する設計法について比較をおこなったので、ここにまとめた。

2. 主な指針

本稿で調査をおこなった指針は以下のとおりである。

- ①「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
- ②「炭素繊維シートによる鉄道高架橋柱の耐震補強工法設計・施工指針」鉄道総合技術研究所
- ③「設計要領 第二集 橋梁保全編」NEXCO3 社
- ④「Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP System for Strengthening Concrete Structures」ACI
- ⑤「連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案」日本建築学会

3. 曲げ補強設計

各指針に示されている曲げ補強の設計法は主に以下のとおりである。

①土木学会

連続繊維シートを引張応力の作用面に接着する場合、式(1)に示すような連続繊維シートの剥離破壊の判定式が示されている。

$$\sigma_f \leq \sqrt{\frac{2G_f E_f}{n_f \cdot t_f}} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 σ_f : 最大曲げモーメントによる曲げひび割れ位置での連続繊維シートの応力

n_f : 連続繊維シートの積層数

E_f : 連続繊維シートの弾性係数

t_f : 連続繊維シートの 1 層当りの厚さ

G_f : 連続繊維シートとコンクリートの界面剥離破壊エネルギー

連続繊維シートの剥離破壊が生じない場合は、コンクリート標準示方書¹⁾に示されるような従来の鉄筋コンクリート部材の曲げ理論に基づき曲げ耐力が算定されている。これに対し連続繊維シート剥離破壊が生じる場合は、以下の i) と ii) の小さいほうを耐力としている。

- i) 最終破壊モードが連続繊維シートの剥離破壊ではない場合、従来の鉄筋コンクリート部材の曲げ理論に基づき算出された耐力に低減係数 0.9 を乗じた値。
- ii) 界面剥離の進展による連続繊維シートの剥離破壊である場合、界面剥離破壊エネルギーから求めた剥離破壊耐力。

キーワード FRP, 曲げ補強, 定着, 剥離

連絡先 〒103-0021 東京都中央区日本橋本石町 1-2-2 三菱樹脂ビル 三菱樹脂株式会社 TEL 03-3279-4048

②鉄道総合技術研究所

設計曲げ耐力の算出方法は、従来の鉄筋コンクリート部材の曲げ理論に基づき算出するようになっている。このとき、連続繊維シートの定着は、補強を必要としなくなった点を起点として、連続繊維シートの設計引張強度および設計付着強度から求まる定着長もしくは有効高さのうち大きい方の長さだけ延ばして定着するように記述されている。

③NEXCO3 社

RC 橋脚における軸方向鉄筋の段落し部の曲げ補強について記述されており、式(2)に示すような簡易式で連続繊維シートの必要補強量を算出している。また、連続繊維シートの定着長に関しては、連続繊維シートの設計引張強度と設計付着強度から求まる定着長を定着するように記述されている。

$$A_{CF} = \Delta M \times \frac{1000000}{\frac{7}{8} \sigma_f d} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 A_{CF} : 必要となる連続繊維シートの断面積
 ΔM : 段落し部の不足モーメント
 σ_f : 連続繊維シートの設計用引張強度
 d : 部材の有効高さ

④ACI

曲げ耐力は従来の鉄筋コンクリート部材の曲げ理論に基づき算出するようになっているが、コンクリートの圧縮破壊ひずみを 3000μ としている。さらに、連続繊維シートの剥離を防止するため、連続繊維シートのひずみは破断ひずみの設計値の 90%とするような制限を設けており、かつひび割れ発生範囲+150mm×連続シートの層数の定着長を確保するように記述されている。

また、連続繊維シートに発生する引張ひずみの程度により引張強さの低減係数が設定されている。

⑤日本建築学会

曲げ耐力（終局強度）は従来の鉄筋コンクリート部材の曲げ理論に基づき算出するようになっているが、連続繊維シートの定着強度が不足する場合には、その時点で連続繊維シートの剥離破壊が生じて曲げ終局強度に達したと判断している。ここで、連続繊維シートの有効付着長を式(3)により算出し、連続繊維シートの付着長が有効付着長を満足するか否かにより付着強度を補正し、連続繊維シートの定着強度を求めている。

$$l_e = 0.7 \sqrt{\frac{t_f E_{fd}}{\sigma_B^{0.2}}} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 l_e : シート状連続繊維補強材の有効付着長
 t_f : シート状連続繊維補強材のコンクリートとの付着部の有効設計厚さ
 E_{fd} : シート状連続繊維補強材のコンクリートとの付着部の規格ヤング係数
 σ_B : コンクリートの圧縮強度

4. まとめ

各指針とも、曲げ耐力（強度）の算定においては、文献 1）に示される従来の鉄筋コンクリート部材の曲げ理論に基づき算出するようになっている。また、②鉄道総合技術研究所、③NEXCO3 社、④ACI については、連続繊維シートの剥離破壊を防止するための定着長を規定しているのに対し、①土木学会、⑤日本建築学会では、連続繊維シートの定着長により剥離破壊時を想定した耐力（強度）の算出がなされている。

参考文献

- 1) 2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】：土木学会