

R C 部材貼付補強 C F ラミネートの剥離ひずみに基づく長期引張応力度許容値

正会員 ○小島克朗*1
 正会員 服部明生*1

C F R P 板 補修・補強 曲げ補強
 剥離ひずみ 長期引張応力度 設計許容値

1. まえがき

炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics : CFRP) 板 (以下、C F ラミネートと呼ぶ) を、接着剤で R C 部材に貼り付けて曲げ補強する場合、C F ラミネート引張応力度の許容値が問題となる。この研究の目的は、C F ラミネートの端部を定着しないで貼付補強した、R C 部材の曲げ試験結果によって C F ラミネートの剥離ひずみを検討し、長期荷重に対して曲げ補強する場合の引張応力度許容値の算定法提案である。

2. C F ラミネート貼付補強部材の曲げ試験¹⁾

2.1 曲げ試験の概要

R C 梁試験体の形状・寸法と配筋を図-1 に示す。試験体は幅 200 mm×高さ 300 mm×長さ 2,200 mm で、無補強試験体 (試験体記号 A-0) 1 体、C F ラミネートを貼り付ける補強試験体 4 体の合計 5 体である。補強試験体に貼り付ける C F ラミネート (呼び板幅 50 mm×呼び板厚 2 mm) は、高強度クラス (引張強度 2,624~3,070N/mm²、ヤング係数 166~173KN/mm²) が 3 種類 (試験体記号 A-1-1、A-1-2、および A-1-3) で貼付枚数は各々 2 枚、中弾性クラス (引張強度 2,020N/mm²、ヤング係数 295KN/mm²) が 1 種類 (試験体記号 A-2) で貼付枚数は 1 枚である。接着剤は無溶剤タイプの 2 成分形エポキシ樹脂を使用した。使用材料の試験結果は、コンクリート圧縮強度が 24.0N/mm²、鉄筋の降伏点は D13 が 410 N/mm²、D10 が 282 N/mm² である。

試験は、スパン 1,800 mm で中央 2 点集中荷重による 4 点曲げ試験とし、荷重はアクチュエーターのストローク速度を 0.03 mm/sec (荷重速度が 0.60kN/sec) とする変位制御で、一方向の漸増で最大荷重 (C F ラミネートの剥離) まで載荷し、荷重はロードセルで検出した。

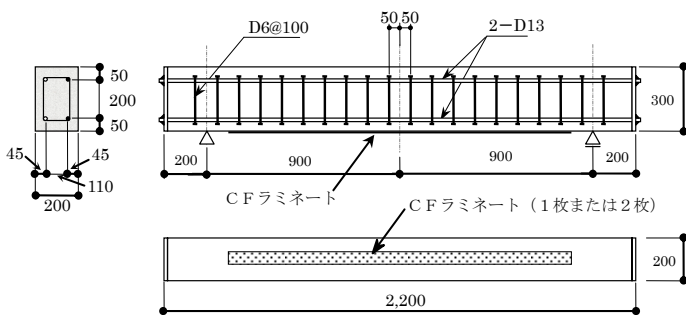


図-1 R C 梁試験体の形状・寸法と配筋

2.2 試験結果の概要

各試験体の荷重 P と試験体中央部の変位 δ との関係を図-2 に示す。各試験体の降伏荷重および補強した試験体の C F ラミネートが剥離した荷重をプロットしている。いずれの試験体も曲げひび割れの発生で剛性が低下しているが、低下の割合は無補強の試験体が非常に大きく、これと比較して C F ラミネートで補強した試験体は小さい。無補強の試験体は、曲げ降伏した後変位が急激に大きくなり、曲げ圧縮破壊して最大荷重に達した。一方、C F ラミネートで補強した試験体は、曲げ降伏した後も剛性の低下がごく僅かで荷重が高くなり、C F ラミネートが剥離して最大荷重に達し荷重が急激に低下した。その後は、無補強の試験体と近似した経過を示した。C F ラミネートの剥離は、部材表面のコンクリートを剥ぎ取るような状況であった。

C F ラミネートで補強した試験体は、無補強の試験体と比較すると、曲げひび割れ後の剛性が高く、降伏荷重も高くなり補強効果があることを示している。3 種類の C F ラミネートの荷重～変位曲線は近似しており、曲げひび割れ発生、降伏荷重および C F ラミネート剥離の順となる試験経過に顕著な差はないといえる。また、高強度クラスと中弾性クラスを比較すると、荷重～変位曲線の試験結果は近似しており、前述の試験経過に顕著な差はないといえる。いずれの試験体も曲げ主筋が降伏した後に、C F ラミネートが剥離することが確認できた。

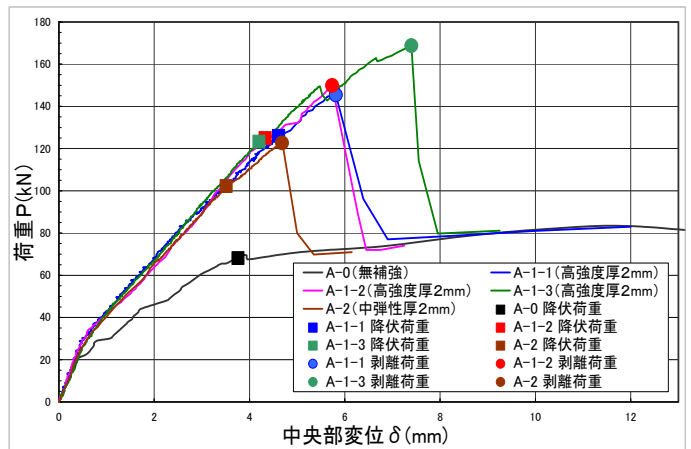


図-2 C F ラミネート補強 R C 梁の曲げ性能

3. 長期曲げモーメントに対する引張応力度許容値

3.1 CFラミネートの剥離ひずみ

CFラミネート貼付による長期荷重に対する補強は、CFラミネートの端部を定着金物や炭素繊維シート等を用いて定着しない場合、長期引張応力度の許容値はCFラミネートが剥離するときのCFラミネートのひずみに基づいて規定する必要がある。

RC部材に貼り付けて補強した Fiber Reinforced Plastics (FRP) が、曲げモーメントとせん断力を受けた場合に剥離するときの FRP のひずみとして、ACI 440.2R-08 Reported by ACI Committee 440^[2] (p.25) に次の (1) 式が提案されている。

$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{(f'_c / (n \cdot E_f \cdot t_f))} \leq 0.9 \epsilon_{fu} \quad \dots (1)$$

ここに、 ϵ_{fd} : FRP の剥離ひずみ、 f'_c : コンクリートの基準圧縮強度、 n : FRP の層数、 E_f : FRP のヤング係数、 t_f : FRP の厚さ、 ϵ_{fu} : FRP の破断引張ひずみ

CFラミネート貼付補強では常に $n=1$ となるため、次の (2) 式でCFラミネートの剥離ひずみを検討する。

$$\epsilon_{cfu} = 0.41 \sqrt{(F_c / (E_{cf} \cdot t_{cf}))} \quad \dots (2)$$

ここに、 ϵ_{cfu} : CFラミネートの剥離ひずみ、 F_c : コンクリートの圧縮強度、 E_{cf} : CFラミネートのヤング係数、 t_{cf} : CFラミネートの呼び板厚

CFラミネート貼付補強部材の曲げ試験結果について、CFラミネート剥離ひずみの (2) 式による計算値と試験値の関係を、図-3 (高強度クラス) および図-4 (中弾性クラス) に、それぞれ示す。試験値は、CFラミネートの端部を定着しないで貼り付けただけの状態で行った試験、およびCFラミネートの端部を定着して行った試験で、CFラミネートの剥離開始が明記されている試験の結果である。

図-3 および図-4 の計算値と試験値との関係から、CFラミネートの剥離ひずみは、(2) 式で算定できるといえる。図-3 および図-4 の点線は、(2) 式に基づいて、 $1.5 \times \sigma$ (σ : 標準偏差) を引いた不良率 5%を示したもので、次の (3) 式 (高強度クラス) および (4) 式 (中弾性クラス) となる。

$$\epsilon'_{cfu} = \epsilon_{cfu} - 1.5\sigma = 0.26 \sqrt{(F_c / (E_{cf} \cdot t_{cf}))} \quad \dots (3)$$

$$\epsilon'_{cfu} = \epsilon_{cfu} - 1.5\sigma = 0.31 \sqrt{(F_c / (E_{cf} \cdot t_{cf}))} \quad \dots (4)$$

ここに、 ϵ'_{cfu} : 不良率約 5%となるCFラミネートの剥離ひずみ、 F_c 、 E_{cf} 、 t_{cf} : 前記

3.2 CFラミネートの長期引張応力度許容値

長期荷重に対して補強するCFラミネートの引張応力度許容値は、(3) 式および(4)式による剥離ひずみに基

づいて、安全率 α を適切に設定 (図-3 および図-4 に示す実線) して算定することができるといえる。安全率 α を 1.5 としたCFラミネートの長期引張応力度許容値は、試験値の 2.27~3.10 倍 (平均 2.62 倍) である。

4. まとめ

RC部材の曲げ試験結果によって剥離ひずみを検討し、長期曲げモーメントに対して補強するCFラミネートの引張応力度許容値の算定方法について述べた。

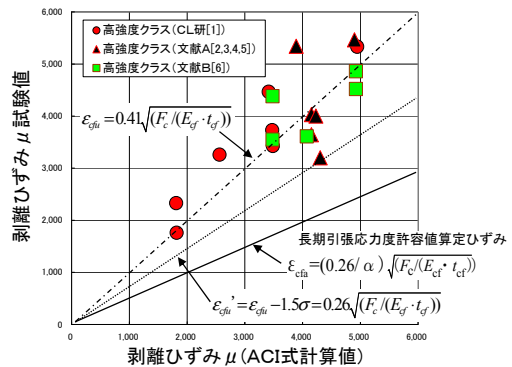


図-3 CFラミネートの剥離ひずみ (高強度クラス)

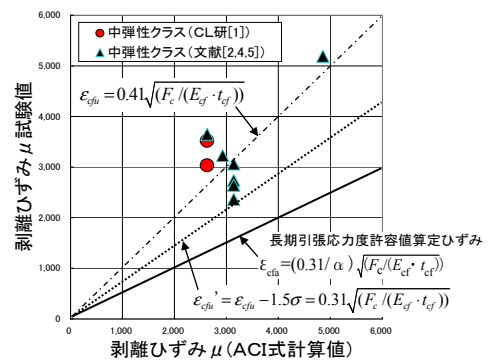


図-4 CFラミネートの剥離ひずみ (中弾性クラス)

【謝辞】

試験の実施および評価のご支援をいただいた防衛大学校藤掛一典教授、東レ(株)松井孝洋主部に謝意を表します。

【参考文献】

- 1)CFRP ラミネート工法研究会：CF ラミネート貼付補強 RC 梁・床スラブの曲げ試験，TSI 委託報告書
- 2)松井孝洋他：CFRP 板による RC 梁および RC スラブの曲げ補強効果について，土木学会第 67 回年次学術講演会
- 3)木村耕三他：CFRP ラミネートを貼り付けた低強度コンクリート梁部材の曲げ性状，日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北)
- 4)榎大林組技術研究所：CFRP 板による RC 補強梁の曲げ試験報告書
- 5)ショーボンド建設(株)：CF プレートにより補強された RC 梁の曲げ補強効果確認試験報告書
- 6)GBRC 性能証明第 07-24 号：e プレート工法—CFRP 板を用いた既存 RC、SRC 梁、RC スラブおよび S 梁の曲げ補強工法—