

鋼板を CFRP 板で補強したときの端部剥離の防止に関する研究

京橋メンテック(株) 正会員 ○鳥山 正吾
 // 正会員 並木 宏徳
 明星大学 正会員 鈴木 博之

1. 目的

CFRP を用いて鋼部材を補強した場合の問題点の一つに CFRP 端部からの剥離の発生がある。小笹らは、有限要素法による理論解析の結果、CFRP 端部の剥離が急速な全面剥離をもたらす危険があることを指摘し、端部拘束板により面外方向の支圧力を作用させることによって、剥離進展抵抗を向上させることができることを示している¹⁾。本研究では、腐食により減厚した鋼部材を CFRP 板で補強した場合を想定し、腐食部を CFRP 板で補強した試験片の端部をボルトなどで拘束することによる剥離進展特性の変化を実験的に検討する。

2. 実験方法

CFRP 板貼付試験片を図-1 に示す。板厚 9 mm の鋼部材が腐食により減厚したことを想定している

ため、試験片中央部分の長さ 100mm の表裏面を 1 mm ずつ削り、この部分を含む長さ 300mm の範囲に幅 50mm、厚さ 3 mm の CFRP 板をエポキシ樹脂接着剤で貼付した。接着後の試験片の接着層の厚さを 1 mm にするため、CFRP 板の厚さを考慮した治具を使って CFRP 板と鋼板をクランプで固定し、一日常温の室内で養生した。

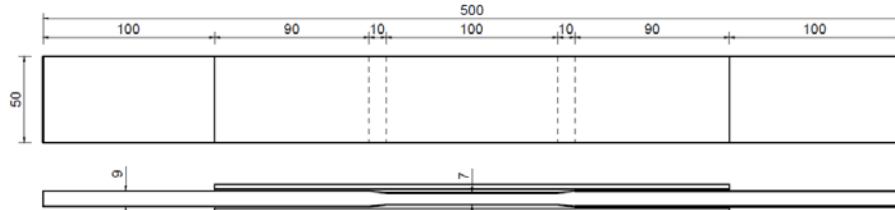


図-1 CFRP 板貼付試験片

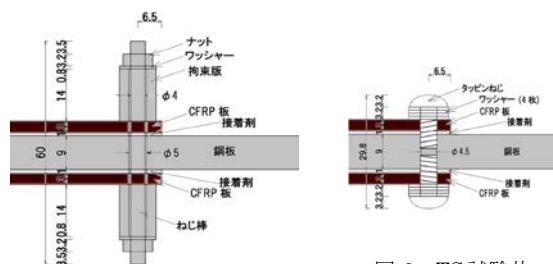


図-3 TS 試験片

図-2 RP 試験片

図-2, 3 に補強試験片の CFRP 板端部の構造を示す。図-2

は CFRP 板端部に拘束板を設置し、 $\phi 4$ mm の長ねじとナットで固定した RP (拘束板補強) 試験片である。ナットの締め付けトルクは $0.8 \text{ N}\cdot\text{m}$ とした。この方法では、支圧力のみで端部剥離を防止しており、小笹らの拘束板モデルに相当する。図-3 は CFRP 板端部を $\phi 5$ mm のタッピンねじで締め付け、剥離防止を試みた TS (タッピンねじ補強) 試験片である。ねじ孔として鋼板には $\phi 4.5$ mm、CFRP 板には $\phi 4.3$ mm の孔をあけた。タッピンねじの締め付けは、最大締め付けトルク $135 \text{ N}\cdot\text{m}$ のインパクトドライバーの目盛 16 段階のうちの目盛 6 で締め付けた。これら 2 体のほかに鋼板に CFRP 板を貼付しただけの NS (端部無補強) 試験片を用意した。

3. 実験結果

図-4 に 3 体の荷重-変位曲線を示す。図の縦軸は作用荷重 P (kN)、横軸はクロスヘッド間の変位 δ (mm) である。 $P \leq 80 \text{ kN}$ 以下と $P \geq 125 \text{ kN}$ 以上では荷重-変位曲線に有意な差は認められない。これは、 $P \leq 80 \text{ kN}$ 以下においては、CFRP 板と鋼部材が一体となっており、 $P \geq 125 \text{ kN}$ 以上では CFRP 板がはく離し、鋼部材だけになったためである。しかしながら、 $80 \text{ kN} < P < 125 \text{ kN}$ の範囲においては、3 体の荷重-変位曲線に有意であると思われる違いが認められる。図-5 に荷重-変位曲線のこの範囲の拡大図を示す。

NS においては、約 78 kN のとき「ピッ」という音(以後、剥離音と呼ぶ)を発し、約 80 kN のとき荷重は一時的に低下した。一時的な荷重の低下ののち、荷重は再び増加に転じ、 110 kN 付近で 2 回目、 115 kN 付近で 3 回

キーワード 鋼部材, CFRP 板, 補強, 端部剥離, タッピンねじ

連絡先 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1 明星大学 TEL 042-591-5111

目の剥離音があり、この時にも荷重の低下があった。2, 3 回目の剥離音は、CFRP 板の 1 回目の剥離が進展したために生じたものと思われる。さらに、120kN 付近で 4 回目の剥離音があり、荷重が約 102kN まで低下し、この荷重を維持したまま変位が約 5 mm まで増加した。この時 CFRP 板は剥落していなかったが、板厚 7mm の鋼板の公称応力は 291MPa に達しており、板厚 7mm の鋼板が降伏したために荷重が増加することなく変位が増加したものと理解される。変位 5mm から荷重は徐々に増加し、約 123 kN で荷重が増加しなくなり再び棚を示している。このとき板厚 9mm の鋼部材の公称応力は 273MPa であり、ここでは板厚 9mm の部分が降伏したために棚を示したものと判断される。

R P においては、85kN で最初の剥離音があったが、荷重や変位に変化は認められなかった。次に、95kN 付近で 2 回目の剥離音があり、荷重が 90 kN 程度まで低下した。その後、荷重は緩やかな増加に転じ、124kN 付近で 3 回目の剥離音が発生し、荷重は約 102 kN まで低下した。R P においては、95 kN の剥離音から推察して、CFRP 板の一部にすでに剥離が生じていたものと思われるが、拘束板を長ねじとナットで固定することによって、CFRP 板の剥離が進展して 7mm の鋼板が降伏するのを防止することができ、9mm の鋼板が 7mm の鋼板より先に降伏したものと理解できる。102kN まで低下した荷重は変位 7 mm 程度から再び増加し始め、変位 10mm あたりからひずみ硬化域に入っている。

T S においては、108kN あたりでわずかな荷重の低下を示したのち、緩やかな荷重の増加を伴いながら変位が約 2mm まで増加している。この間、特に剥離音はなかった。変位 2mm、荷重 112kN のとき、最初の剥離音とともに荷重は 96kN まで低下し、再び約 110kN まで増加した後、緩やかに荷重は低下し板厚 7mm の鋼板の降伏荷重約 102kN となっている。102kN からは急激な荷重の変動を示すことなく変位が増加し、変位 4mm あたりから荷重が再び増加し始め、変位 6mm 付近で板厚 9mm の降伏荷重に達している。

以上の結果から、CFRP 板の剥離防止効果を考えると、R P (拘束板補強) 試験片は N S (端部無補強) 試験片に比べ CFRP 板の剥離の始まりを約 15kN (19%) 遅らせることができ、T S (タッピンねじ補強) 試験片は N S (端部無補強) 試験片に比べ CFRP 板の剥離の始まりを約 32kN (40%) 遅らせることができることがわかる。

4. まとめ

近年クラックアレスターにより CFRP 板接着端部からき裂進展して板が脱落する危険を防止する構造の研究が行われているが、本稿では橋梁構造において端部を拘束することによってき裂進展を抑制しロバストな構造とすることが可能であることを実験的に検証しようとした。

その結果、静的負荷において拘束板補強試験片は端部無補強試験片より CFRP 板の剥離を遅らせることができ、タッピンねじ補強試験片は拘束板補強試験片より CFRP 板の剥離を遅らせることがわかった。今後は拘束板補強試験片に関しては、ナットの締め付けトルクや拘束板の幅の影響、タッピンねじ補強試験片に関しては、締め付けトルクやねじ孔の孔径、孔の位置などの影響について、現場の温度応力などを含めた実働応力を負荷した場合についても検討していきたいと考えている。

参考文献

1) 小笹弘晃ほか：鋼橋の CFRP Pre-Stress 補強における接着はく離破壊の有限要素法による検討，FRP シンポジウム，pp. 348-350，2004. 3/17-19.

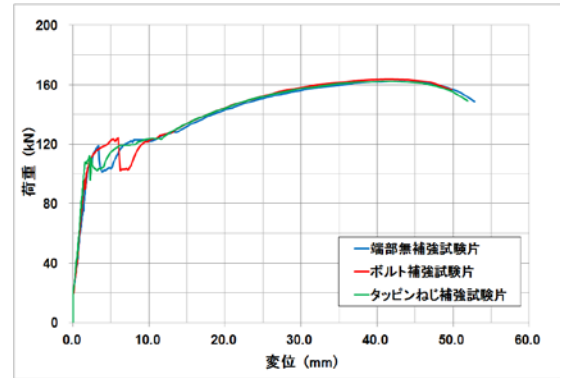


図-4 荷重-変位曲線

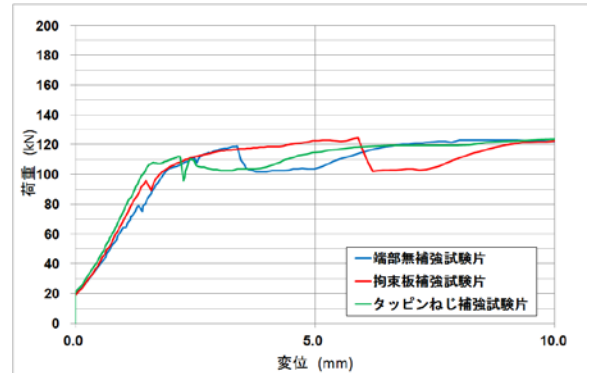


図-5 荷重-変位曲線(拡大図)