

# TRS による機械式接合を併用した CFRP 接着補強鋼板の片持ち曲げ試験

京橋ブリッジ (株) 正会員 ○水谷 壮志, 山村 明彦, 並木 宏徳  
金沢工業大学 藤井 善通

## 1. はじめに

近年、腐食や疲労などで劣化した鋼部材に CFRP などの当て板を接着することで補強や補修を図る工法が適用され始めている。当て板接着補修では断面急変部となる当て板端部の接着剤に高い応力が生じることが知られている。これにより、作用荷重の大きさによっては脆性的なはく離が生じることが懸念されている。本研究では、鋼板に CFRP を接着し、接着端部を TRS で締め付けた状態で片持ち曲げ試験を実施することで、接着接合と機械式接合を併用することによる、脆性的なはく離の抑制効果について実験的に検討した。また、2つの AE センサーを用いて弾性波の発生位置を標定することで、はく離進展挙動の解析を試みた。

## 2. 実験概要

接着接合と TRS を併用した試験片 (A+T) を図-1 に示す。また、図には示していないが、比較のためにボルト孔のない鋼板と CFRP の接着接合である試験片 (A) も準備した。試験片はそれぞれ 2 体として、すべての試験片は同時に接着作業を行っている。表-1 に各試験体の厚さの詳細を示す。接着厚さは養生後に鋼板、接着剤、CFRP の総厚を計測し、事前に計測しておいた鋼板および CFRP の厚さを減じて算出した。

接着手順は、鋼板表面の錆をグラインダーで除去し、脱脂した後に接着剤を塗布して CFRP を貼り付けた。接着剤が硬化するまでおもりを載せ圧着状態とし、硬化後に 40°C に設定した乾燥炉で 5 時間養生した。なお、TRS を併用する試験片では鋼板に  $\Phi 5.5\text{mm}$ 、CFRP

に  $\Phi 6.5\text{mm}$  の孔をあらかじめ設けて接着作業を行い、曲げ試験前にトルク  $10\text{N}\cdot\text{m}$  で締め付けた。

図-1 に示すように、試験片の一端を固定し、他端に下向きの強制変位を与えて片持ち曲げ試験を実施した。試験時には、CFRP による補強効果の確認およびはく離挙動の分析にあたりひずみの測定と AE センサーによる位置標定を実施した。図-1 にひずみゲージおよび AE センサーの設置位置を示している。

AE センサーでは、試験中に発生する 40dB 以上の弾性波を取得し、各センサーの弾性波の取得時間の差からその発生位置を標定する。ここで、鋼板を伝わる弾性波の速さとして  $4,700\text{m/s}$  を仮定している。

## 3. 実験結果

表-1 に  $x = 70\text{mm}$  の位置に設置したひずみゲージの値の変化をもとに推定したはく離荷重を示している。本研究で行った実験では接着のみに比べ、TRS を併用することではく離荷重がわずかに向上した。

図-2 に A+T-1 および A-1 の実験結果を示す。各グラフの縦軸は作用荷重であり、第一横軸にひずみ、第二

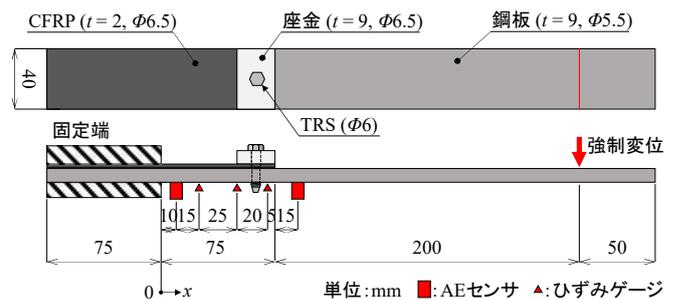


図-1 曲げ試験の概要 (A+T)

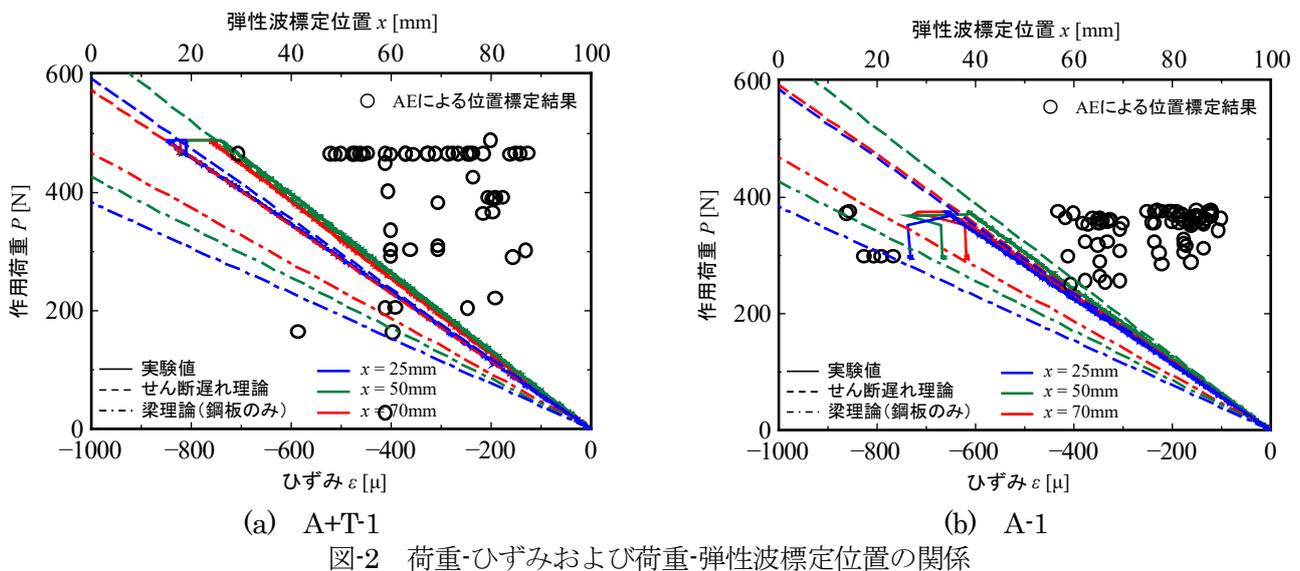
表-1 試験片の諸量およびはく離荷重

試験片	鋼板の板厚 [mm]	CFRP の板厚 [mm]	接着厚さ [mm]	はく離荷重 [N]
A+T	1	8.474	2.061	486
	2	8.468	2.062	675
A	1	8.481	2.070	375
	2	8.488	2.066	440

鋼板のヤング係数 :  $200\text{GPa}$ 、CFRP のヤング係数  $167\text{GPa}$ 、接着剤のせん断弾性係数 :  $1.0\text{GPa}$

キーワード CFRP, 接着, TRS, AE

連絡先 〒536-0014 大阪府大阪市城東区鳴野西2丁目2-21 京橋ブリッジ (株) TEL06-6961-6173



横軸に AE 波標定位置を示している。荷重-ひずみの関係および荷重-弾性波標定位置の関係についてそれぞれ考察を行った。

### (1) 荷重-ひずみの関係

図-2にはひずみゲージ設置位置におけるせん断遅れ理論および梁理論(鋼板のみ)から求めた荷重-ひずみ関係をそれぞれ破線および一点鎖線で示している。せん断遅れ理論は CFRP が接着されている状態、梁理論(鋼板のみ)は接着剤がはく離した状態を想定しており、表-1に示す部材寸法およびその下部に示した材料定数を用いて算出した。

図-2の荷重-ひずみの関係において、はく離の挙動は、荷重一定でひずみが急激に増加し、その後、荷重が低下する部分である。本研究では  $x = 70\text{mm}$  の位置のひずみゲージに着目して、はく離が生じるまでの最大荷重をはく離荷重としている。

図-2(b)の A-1 では、すべてのひずみゲージの値が上述したはく離の挙動を示し、その前後でせん断遅れ理論から梁理論(鋼板のみ)の計算値へ変化していることがわかる。一方、図-2(a)の A+T-1 では、荷重一定でひずみが急増する挙動はあるものの梁理論(鋼板)の計算値まで変化していない。このことから、A+T-1では固定端側まで完全にはく離が進展せず、部分的なはく離にとどまったと考えられる。

### (2) 荷重-弾性波標定位置の関係

図-2の荷重-弾性波標定位置の関係において、第二横軸  $x$  は図-1に示す固定端からの距離に対応する。すなわち、AE センサーの設置位置は  $x = 15, 90\text{mm}$ 、当て板端部は  $x = 75\text{mm}$  である。

図-2の弾性波標定位置では当て板端部の  $x = 75\text{mm}$  以上の位置においても弾性波を標定している。これは、AE センサーが接着剤のはく離による弾性波のほか、固定部や載荷部での試験片と治具のずれで生じる弾性波などもノイズとしてとらえていることが起因していると考えられる。また、事前に行った AE による位置標定の簡易試験では数 mm の測定誤差も確認している。

図-2の弾性波標定位置の最小値は(a)の A+T-1 では  $x = 29.5\text{mm}$ 、(b)の A-1 では  $x = 14.0\text{mm}$  であり、A+T-1では A-1 よりもはく離の進展が少ないと考えられる。

以上より、荷重-ひずみの関係および荷重-弾性波標定位置の関係において、接着のみに比べ TRS を併用することで脆性的なはく離の進展が抑制できると考えられる。なお、本研究での AE によるはく離の評価は、はく離による弾性波とノイズの分離は検討しておらず定性的な評価となることに注意されたい。

## 4. おわりに

本研究で接着接合に TRS による機械式接合を併用した状態で片持ち曲げ試験を実施した。結果として、接着のみと比較して TRS を併用することで、はく離進展の抑制効果が確認できた。また、はく離進展の分析として AE センサーによる位置標定が適用できる可能性も確認した。

## 参考文献

- 1) 土木学会：FRP 接着による構造物の補修・補強指針(案)、複合構造シリーズ 09, 2018.