

CFRP 板を用いた鋼板へのプレストレス導入工法に関する一考察

立命館大学 正 会 員 ○野阪 克義
立命館大学 非 会 員 須山 夏樹

1. はじめに

著者らは、炭素繊維強化樹脂 (Carbon Fiber Reinforced Plastic, 以下 CFRP と記す) 板にプレストレス (引張力) を導入した状態で鋼部材に接着し、接着剤の硬化後に引張力を解放することにより、鋼構造物の亀裂の原因となる引張応力を相殺する圧縮応力を板要素に導入する方法を提案してきた¹⁾。さらに、CFRP 板全体にプレストレスを導入することで CFRP 板が鋼板から剥離する時の応力、剥離応力が低下する問題を改善するために、CFRP 板両端にプレストレスを導入しない部分を設けることも提案してきた²⁾。本研究では、この部分的にプレストレスを導入した CFRP 板接着鋼板の剥離強度実験を実施することで、この装置の実用化に必要なデータの収集を行った。

2. 実験概要

本実験の供試体は CFRP 板(幅 50mm, 厚さ 2mm, 弾性係数 $E_c=290,000\text{N/mm}^2$), 接着剤(住友 3M 社製 DP-460), および鋼板 (SM570 ; 幅 50mm, 厚さ 19mm, 弾性係数 $E_s=200,000\text{N/mm}^2$)を用いた。製作した供試体の概略図を図-1 および図-2 に示す。図中には、ひずみゲージの貼り付け位置も示してある。PP シリーズの供試体には CFRP 板接着両端部 (100mm) にプレストレスを導入しない部分を設けた。導入するプレストレス値は、鋼板に 30N/mm^2 の圧縮応力を導入できる値として、約 670×10^6 とした。

供試体の両端を万能試験機でつかみ、引張力を加えることで CFRP 板接着鋼板の剥離強度実験を行った。実験には最大引張力 2000kN の万能試験機を使用し、1.0mm/min の変位制御で荷重、供試体の CFRP 板が剥離するまで荷重を続けた。なお、ひずみと荷重データについては 0.1sec ごとに計測した。CFRP 板の剥離については目視とひずみの計測値の変化から判断した。

3. 実験結果及び考察

引張試験結果を表-1 にまとめてある。荷重試験は CFRP 板が剥離した後も続け、鋼板の降伏強度付近まで荷重したため、参考として最大荷重を示してある。剥離荷重とは、最初に剥離が確認できた時の荷重であり、その荷重を鋼板の断面積で除したものが剥離応力である。最初に剥離が確認できたゲージ番号を最初の剥離の行に示してあり、「全て」とあるのは全てのゲージで剥離が確認できたことを示す。剥離の様子には最終的に確認できた CFRP 板の様子であり、「裂ける」とは CFRP の表面が裂けるように剥離しており、接着剤層には破壊が見られなかったものである。「剥がれる」とは局所的にはあるが、接着剤層が鋼板から剥離したケースである。

結果が示すとおり、剥離荷重は大きなばらつきがあり、プレストレスを導入していない部分の効果については断言

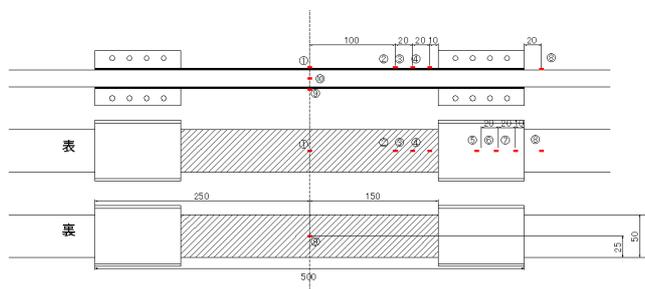


図-1 AP シリーズの寸法とひずみゲージ位置

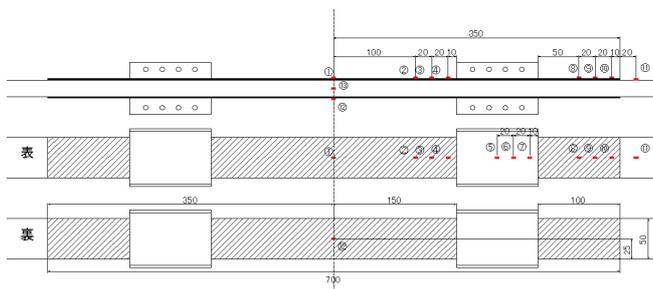


図-2 PP シリーズの寸法とひずみゲージ位置

表-1 実験結果要約

供試体	AP1	AP2	AP3	PP1	PP2	PP3
最大荷重 [kN]	429	543	544	463	556	546
剥離荷重 [kN]	429	279	208	365	556	348
剥離応力 [N/mm ²]	452	294	219	384	585	366
最初の剥離	全て	全て	CH9	全て	全て	CH12
剥離の様子	裂ける	裂ける	裂ける	裂ける	裂ける	剥がれる

キーワード : CFRP 板, プレストレス, 剥離, せん断応力

連絡先 : 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部 Tel : 077-561-3007

が難しいが、剥離応力の最低値は部分的にプレストレスを導入していない PP 供試体の方が大きいことは読み取れる。

実験によって得られたひずみの値のうち、荷重 100kN 時のひずみ分布を供試体中心からの距離を横軸にとってグラフ化したものを図-3 に示す。図より、AP, PP 供試体ともにコの字型鋼材より内側 (0~150mm) の範囲ではひずみの値が同程度であり、この範囲において差がないことが分かる。PP 供試体でコの字型鋼材の外側にプレストレスが導入されていない部分が設けられたため、コの字型鋼材表面で計測されたひずみの値が AP に比べて増加していることが分かる。これは、コの字型鋼材端部の接着剤層でのせん断応力が低減されていることを示している 2)。PP 供試体の端部付近のひずみは、300mm の位置ですでにコの字型鋼材より内側での値と同程度まで増加していることを考えると、PP 供試体でのコの字型鋼材端部でのひずみの減少はコの字型鋼材による断面積増加部分に発生したせん断遅れが主な原因であると考えられる。

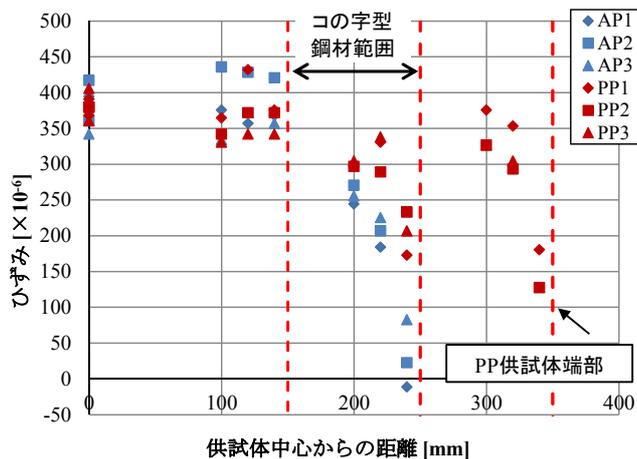


図-3 荷重 100kN 時のひずみ分布図

図-3 中のひずみ値の一部から、その間にはたらくせん断応力を求めた結果を図-3 に示す。図-2 の分布図の概形を見ると、コの字型鋼材や CFRP 板の付着端といった境界条件の変化する点の付近でひずみが大きく変化しており、隣り合う点とのひずみの差が大きいほどその間に大きいせん断応力が働くことになるので、剥離の原因となるせん断応力を小さくするにはコの字型鋼材がない状態で CFRP 板を鋼板に接着することが理想といえる。また、図-3 から分かる通り、どの供試体も剥離を起こしていない荷重 100 [kN]の時点におけるせん断応力の平均値は AP シリーズより PP シリーズの方が小さいことがほとんどであり、プレストレスを導入しなかった部分がしっかりと応力を受け持ち、その役割を果たしていたと考えられる。

項目別に考察してきた実験結果について、各パラメータの相互関係について比較・検討できるようにまとめたものを表-4 に示す。表中の赤字で示した数値は、そのパラメータ内の最大値を、青文字は最小値を意味している。表-4 を見ると、せん断応力が最も低い PP2 が剥離応力・最大荷重ともに最大値を示しており、CFRP 板と鋼板の間にはたらく応力が小さいから大きい荷重まで耐えられたという、最も理論的な結果となっている。また、剥離応力は PP2 が AP1 の約 1.3 倍になっているが、荷重 100, 200[kN]時のせん断応力に注目すると AP1 は PP2 の約 3 倍と、その差の割合が異なっている。これはせん断応力の比較をした点が AP1 では CFRP 板の付着端であるのに対して、PP2 ではコの字型鋼材の付着端ではあるが CFRP 板自体はまだ付着部分が残っていたという、比較対象の条件の違いによるものではないかと考える。最後に、導入したプレストレスひずみ値との関連を見てみるが、プレストレスひずみ値のばらつきに対してその他のパラメータへの直接的な関係性があまり見られないことから、本実験で行ったプレストレスひずみ値に近い値の範囲では、導入したプレストレスひずみ値の大きさよりも、接着剤の層の厚さ等、鋼板への貼り付け状態の方がより剥離に影響するといえる。

4. おわりに

本研究の実験結果より、CFRP 板への部分的なプレストレス導入による補修方法は、全体にプレストレスを導入するよりも有効であることが分かり、現行の装置の有用性が証明された。しかし、段階的な剥離の原因と考えられる CFRP 板へのプレストレス導入時に発生する反りと、それに起因する接着剤の層の厚さの変化が CFRP 板の剥離に及ぼす影響について今後より研究を行うべき余地があるといえる結果であった。

参考文献

1) 上田耕太郎, 野阪克義: 炭素繊維強化樹脂板を用いた鋼板亀裂補修方法に関する基礎的研究, 第 62 回土木学会年次学術講演会, I-263, 2007. 2) 野阪克義, 石川敏之, 小林朗: 部分的にプレテンションされた CFRP 板接着鋼板におけるはく離せん断応力, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.1026-1033, 2011.