

立命館大学理工学部

正 会 員 ○野阪 克義

立命館大学理工学部

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)、接着剤(住友 3M 社製 DP-460)、および鋼板(SM570；幅 50mm、厚さ 19mm)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 の変位制御で載荷、供試体の CFRP 板が剥離するまで載荷を続けた。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. 実験結果および考察

実験では、CFRP 板にプレストレスを導入する際に CFRP 板中央でのひずみ値を確認しながら目標値に近づくように調整を行ったが、多少のばらつきがあったため、その結果を表-1 に示す。鋼板の表側、裏側に接着された CFRP 板に導入されたプレストレスひずみの値およびその平均値を上から 3 行に示してある。また、これらの CFRP 板を鋼板に接着し、接着剤の硬化後にプレストレスを解放した時に鋼板の側面で計測されたひずみの値、およびその値から算出される鋼板に導入された圧縮応力の大きさを 5 行目に示している。計算値（4 行目）は CFRP 板に導入されたプレストレスひずみの平均値から理論的に求められる鋼

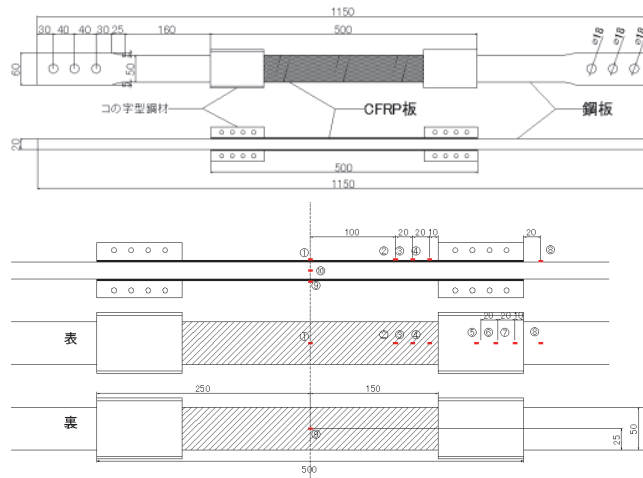


図-1 AP シリーズの寸法とひずみゲージ位置

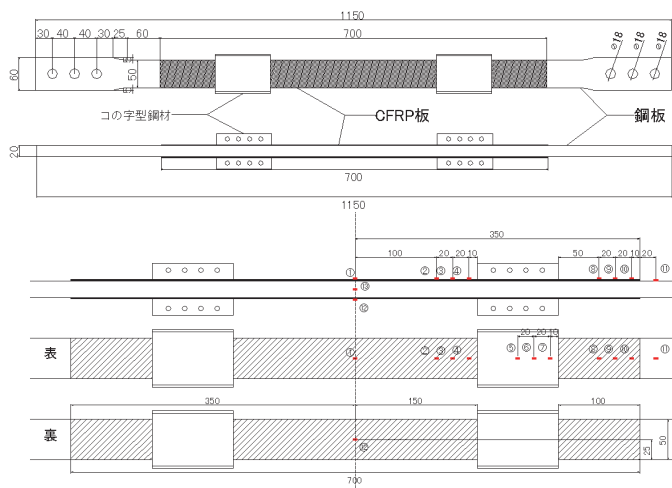


図-2 PP シリーズの寸法とひずみゲージ位置

板に導入される圧縮ひずみである。これらの結果を見ると、ばらつきが大きく目標としていた鋼板への圧縮応力 30N/mm^2 が導入されていないものもある。

これらの供試体を用いて行った引張試験結果を表-2 にまとめている。載荷試験は CFRP 板が剥離した後も続け、鋼板の降伏強度付近まで載荷したため、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。剥離の様子と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-4 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。

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は全長へのプレストレス導入よりも剥離応力増加の観点では有効であること、使用したプレストレス導入装置の有用性、が確認された。しかし、剥離応力の結果のみではばらつきが大きく、接着剤層内のせん断応力度に着目した考察を加え、部分的なプレストレス導入の有効性を数値的に示す必要がある。

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.

表-1 プレストレス導入結果要約

供試体		AP1	AP2	AP3	PP1	PP2	PP3
CFRP板	表側	609	653	620	634	625	671
	裏側	603	633	580	688	674	660
	平均値	606	643	600	661	650	666
鋼板	計算値	-136	-145	-135	-149	-146	-150
	側面	-149	-174	-116	-195	-131	-119
	応力 $[\text{N/mm}^2]$	30	35	23	39	26	24

単位: $[\times 10^{-6}]$

表-2 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 $[\text{N/mm}^2]$	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

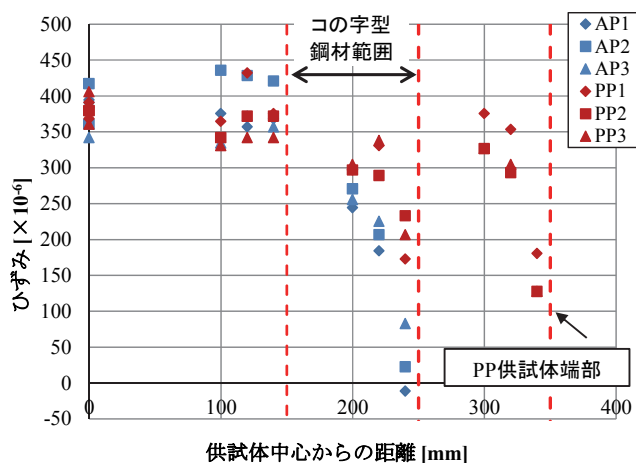


図-4 荷重 100kN 時のひずみ分布図