

温度変化時における鋼板と CFRP 板の接着特性に関する実験的検討

首都大学東京大学院 学生員○山谷佑介・学生員 姜 威
 首都大学東京 正会員 中村一史*・フェロー 前田研一
 明星大学 正会員 鈴木博之 東京鐵骨橋梁 フェロー 入部孝夫
 新日本石油 伊原啓裕

1. はじめに

炭素繊維強化樹脂板（以下，CFRP 板と呼ぶ）の接着による鋼部材の補修，補強に関する研究が行われ¹⁾，その効果と適用範囲が明らかにされつつある．それらの実用化を図る上では，実環境下あるいは供用下における接着特性や施工性などに着目して検討を行う必要がある．本研究は，構造物が受ける温度変化を想定して，鋼板と CFRP 板の接着特性を実験的に明らかにすることを目的としたものである．

2. CFRP 板の接着継手試験片と実験方法

き裂補修を想定して，図-1 に示すように，2 枚の鋼板（240×50×9）を長手方向に並べ，CFRP 板（200×50×1.2）を添接板としてエポキシ樹脂接着剤で両面に接合したものを試験片とした．表-1 に鋼板，CFRP 板およびエポキシ樹脂接着剤の機械的性質を示す．CFRP 板の接着後，気温 20℃，相対湿度 60%で 1 週間養生した．実験で考慮した温度は，道路橋示方書を参考に，基準温度を 20℃とし，基準温度に対して±30℃の範囲とした．また，相対湿度は 60%を基本とした．図-1 には，熱電対，ひずみゲージおよびクリップ型変位計の設置位置を併記している．ここでは温度変化時における接着継手の温度履歴特性と接着強度を把握するために，次の 2 つの実験を実施した．

(a) 温度履歴試験

恒温恒湿器の中に，試験片を鉛直に吊るした状態で，図-2 に示すように 24 時間で 1 サイクルとなるような温度履歴を与え，ひずみ，温度，湿度を 10 分間隔で，72 時間測定した．また，温度変化による見かけのひずみの影響を除去するため，鋼板，CFRP 板の試験片も同様に設置した．

(b) 引張せん断試験

試験温度を-10，10（室温），20，50℃の 4 ケース設定して，万能試験機により載荷速度 1mm/min で引張せん断試験を行った．実験は室温で行ったが，試験片を予め設定温度よりも高めあるいは低めに設定して，試験片が設定温度付近になった時点で引張試験を実施した．写真-1 に，-10℃での試験状況を示す．一定温度に保持するために，試験片および計測機材をウレタン断熱材で覆った．各試験温度について 3 体の引張実験を行って，その平均値で評価を行った．

3. 実験結果と考察

(a) 温度履歴試験結果

実験結果の一部として，図-3 に，基準温度 20℃に対して，±30℃変化させた時の CFRP 板と鋼板のひずみ分布を示す．CFRP 板のひずみは，上下面の平均値を，鋼板のひずみは両側面の平均値をそれぞれ示している．また，温度変化による見かけひずみの影響を除去するため，鋼板，CFRP 板単体のひずみの値を差し引いて評価している．50℃と-10℃の時では，ひずみの絶対値が等しく，その分布が逆になっていること，また，CFRP 板の方が大きなひずみを生じることが

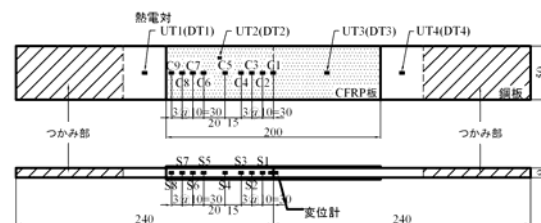


図-1 試験片図

表-1 機械的性質

	鋼板	CFRP板	エポキシ樹脂接着剤
降伏点 (MPa)	256	-	-
引張強度 (MPa)	325	2990	30
破断伸び (%)	62.3	1.9	-
弾性係数 (GPa)	206.5	165	2.3 (圧縮)

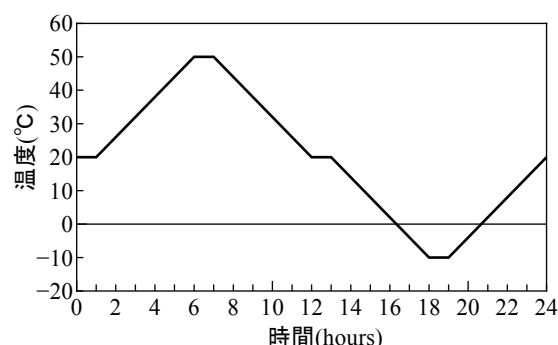


図-2 温度変化のサイクル



写真-1 -10℃における試験状況

Key Words : CFRP 板，温度変化，接着強度，層間せん断応力，エポキシ樹脂接着剤，弾性係数

連絡先* : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

解る。図-4 に、CFRP 板上の軸方向のひずみ差から算定される層間せん断力の分布図を示す。図より、継ぎ目部から端部へ向かうにしたがって層間せん断力の方向が逆転すること、端部で絶対値が最も大きくなることが解った。この層間せん断力の大きさは、後述する引張試験で計測されたものに比べてかなり小さいことを確認している。なお、図を略したが、ひずみおよび層間せん断力と温度の関係は、ほとんど線形関係であった。

(b) 引張せん断試験結果

20℃と 50℃における各 1 体は、接着が不十分であったため除外して評価した。図-5 に、引張応力と開口変位の関係を示す。図より、-10℃では、他に比べて強度がほぼ半分に低下した。また、温度が高くなるほど開口変位が増加する傾向にあることも解る。図-6 に、最大引張応力と初期剛性の比較を示す。初期剛性は荷重と開口変位の関係より、荷重が 20~40kN の範囲で算出した。図より、-10℃では急激に強度が低下すること、また、温度が低くなるほど初期剛性が高くなることが解り、低温では脆性的に破壊するといえた。

これらの結果を考察するために、温度変化に対するエポキシ樹脂接着剤の弾性係数を検討した。エポキシ樹脂接着剤で作成した片持ちはりを、減衰自由振動させ、固有周期から弾性係数を簡易的に算出した。図-7 に、算出した弾性係数を固有振動数とともに示す。図中には、圧縮試験から求められた弾性係数を併記したが、振動実験から求めた弾性係数は大きめに評価されたものの、温度変化に対する概略的な傾向としては、-10~50℃の温度変化の中で弾性係数は大きく変化するといえ、この特性が開口変位や初期剛性に影響を及ぼしていると考えられた。

4. まとめ

以上のことから、CFRP 板の接着強度は、-10℃の低温下では半減し、脆性的に破壊すること、また、50℃の高温下では接着剤の軟化により、開口変位の抑制効果が低下することが確かめられ、温度変化に伴ってエポキシ樹脂接着剤の弾性係数も大きく変化することが、その要因の一つと考えられた。

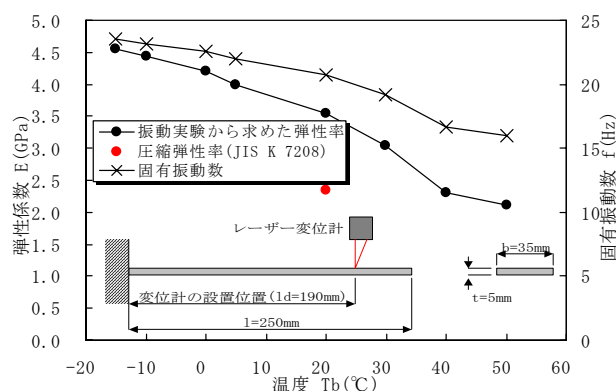


図-7 温度とエポキシ樹脂接着剤の弾性係数の関係
参考文献

1) Zhao XL and Zhangrube L.: State-of-the-art review on FRP strengthened steel structures, Engineering Structures. pp. 1808-1823, 2007.

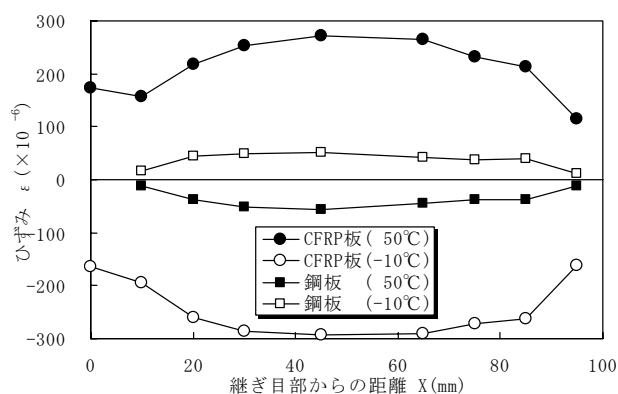


図-3 CFRP 板と鋼板のひずみ分布

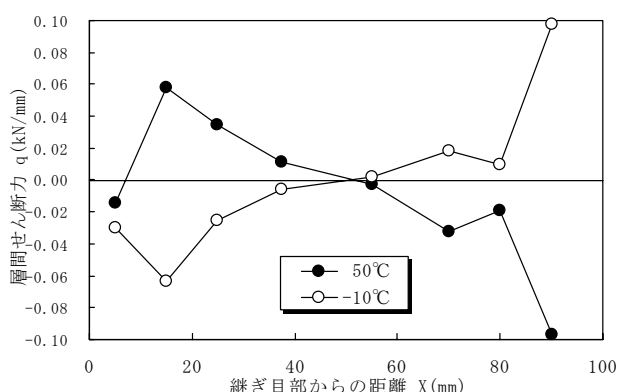


図-4 温度変化に伴う層間せん断力分布

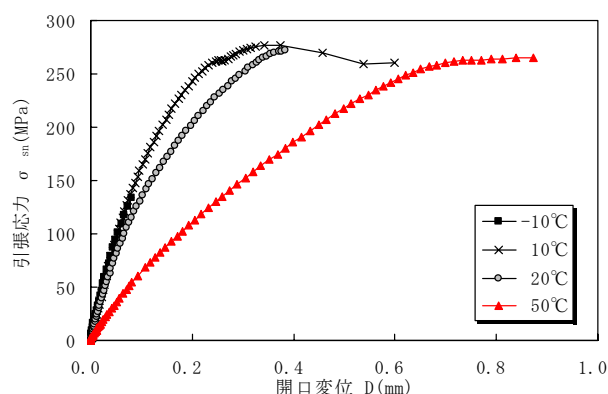


図-5 引張応力と開口変位の関係

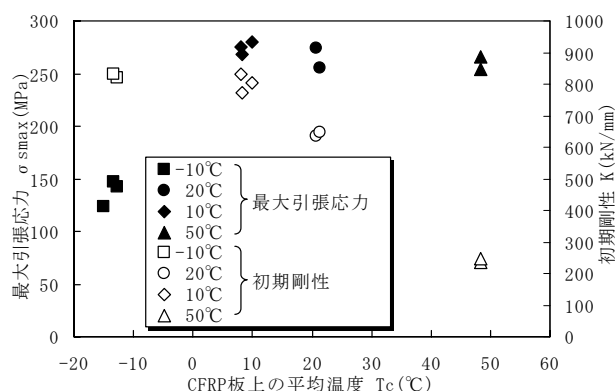


図-6 最大引張応力と初期剛性の比較