

低温下における鋼と CFRP 板の接着特性に関する基礎実験

山口大学大学院 学生会員 ○糸瀬潤平
株式会社 IHI インフラシステム 正会員 津田久嗣
倉敷市 宮原明宏
三菱樹脂株式会社 正会員 久部修弘
山口大学大学院 正会員 吉武 勇

1. はじめに

CFRP 板は、軽量、高強度であり、また優れた耐久性を有している。そのため、CFRP 板は、一般的に橋梁の鋼桁の補強材として用いられることが多い。しかし、鋼と CFRP 板の線膨張係数は大きく異なり、CFRP 板の線膨張係数が $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度であるのに対し、鋼板の線膨張係数は $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度である。このような大きな線膨張係数の差異から、CFRP 板界面にせん断力が発生し、すべりやはく離が生じることが考えられる。特に、低温への温度下降過程では、界面に圧縮力が作用するため、引張部材として用いられている CFRP 板の補強効果が不明瞭になる。また、既往の研究で低温下の CFRP 板の挙動を検討したものは極めて少ない。したがって、この研究では、低温環境下における CFRP 板を接着した鋼の変形挙動を把握することを目的とする。

2. 実験概要

(1) 供試体

本研究の供試体には、平鋼と高弾性 CFRP 板を使用する。表-1 に材料の寸法を示す。平鋼と CFRP 板の線膨張係数は、予備試験より、それぞれ $12.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、 $1.43 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であった。

CFRP 板を鋼板に接着する作業は、 22°C の一定の温度下に保たれた室内環境で行った。CFRP 板を接着する前に、平鋼の表面の黒皮をグラインダーで除去した。接着には、エポキシ樹脂接着剤を使用し、 22°C の一定温度環境下で 11 日間養生した。

(2) 実験方法

図-1 に実験装置（側面図）、図-2 に実験装置（上面図）を示す。曲げ変形を受ける鋼 I 桁の下フランジ部を模擬するため、はり部材のスパン中央に 300N と 600N 載荷した。載荷後、冷凍庫内の温度を -5°C に設定した。たわみとひずみの測定は、24 時間ごとに行い、たわみの測定は、図-2 に示されている穴からデプスゲージを入れ、たわみを直接測定した。1 つの供試体ごとに 250mm 間隔で計 7 点たわみの計測点を設けている。また、平鋼と CFRP 板のスパン中央にひずみの測定点を設け、同時刻にひずみとたわみを計測した。

3. 結果と考察

300N の荷重下におけるたわみの測定結果を図-3 に示し、600N の荷重下におけるたわみの測定結果を図-4 に

表-1 材料寸法

	Dimensions	Thermal Coef.
Steel	125x1600x9mm	$12.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
CFRP strip	100x1600x2mm	$1.43 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Epoxy Ad.	<1mm thick	

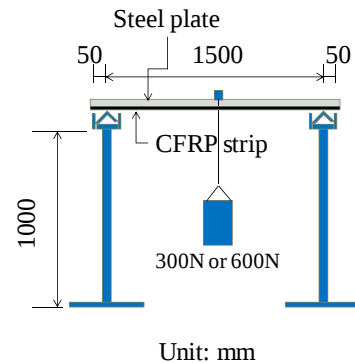


図-1 実験装置（側面図）

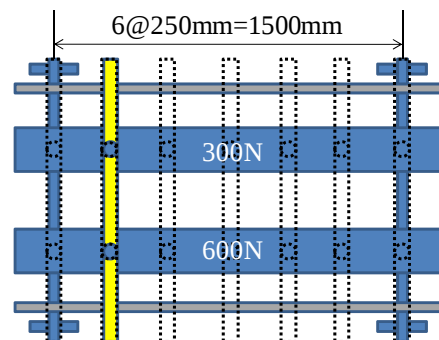


図-2 実験装置（上面図）

示す．それぞれの図中の凡例は，作用荷重，温度，载荷日数を示している．

たわみ分布の結果から，温度の低下に伴い，たわみが大幅に増加した．実験供試体は，CFRP 板（下面）と平鋼（上面）から構成されている．そのため，両者の線膨張係数の違いにより，変形（たわみ）が増加している．それぞれたわみ分布を比較すると，温度下降時のたわみの増加量は，荷重によらず，ほぼ同程度増加していた．また，測定値と理論値を比較した結果，ほぼ等しい値を示した．理論値は CFRP 板と平鋼が完全に結合していると仮定したうえで，弾性理論を用いている．測定値と概ね一致しているため，供試体にすべりやはく離が生じていないものと考えられる．

ここで，長さ 10m の鋼単純桁について考える．この場合，鋼桁のたわみの許容値は，道路橋示方書より，5mm 以内とされている．この条件から算出すると，曲率半径は 25000m である．一方，測定値から求められた曲率半径は，300N では 209m，600N では 146m となる．この結果から，供試体が大きく曲げ変形しても，CFRP 板と平鋼の間に十分な接着耐力があることがわかる．

温度とスパン中央のたわみの関係を図-5 に示す．この図からわかるように，温度とたわみは比例関係を示している．また，2 つの直線は平行であり，負の傾きをもち $-0.33\text{mm}/^{\circ}\text{C}$ であった．温度変化とたわみの関係は，荷重によらず一定の割合で変化することがわかる．300N および 600N 作用時の理論値を図中に点線で示している．理論値の負の傾きは， $-0.28\text{mm}/^{\circ}\text{C}$ であり，測定値の傾きよりも，温度に対してたわみの変動が小さい結果となった．これは，接着剤層の影響を無視して理論値を求めたため，測定値に対して若干の差異が生じたと考える．

図-6 にたわみの時系列挙動について示す．300N および 600N のたわみの最大値は，3 ヶ月の载荷期間中一定の値を示したことから，両者間のすべり・はく離が生じなかったことが窺える．

4. おわりに

- (1) たわみの測定を行った結果，供試体のたわみは，平鋼と CFRP 板の線膨張係数の差から，温度の低下に伴い比例的に増加した．
- (2) 温度と合成はりのたわみは負の勾配をもつ線形関係を示した．
- (3) 300N および 600N を与えた合成はりのたわみは 3 ヶ月の载荷期間中，一定の値を示した．また，载荷期間中に，温度変化に応じるたわみの増減のみが生じ，両者間のすべり・はく離はみられず，弾性理論と概ね一致するものであった．

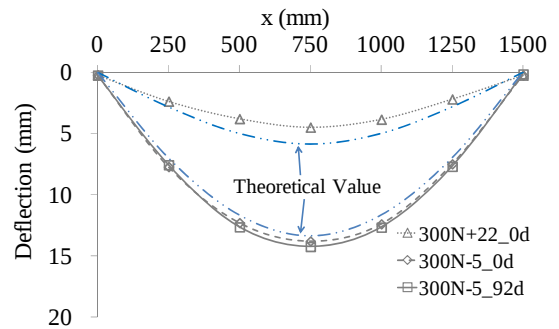


図-3 たわみ分布 (300N)

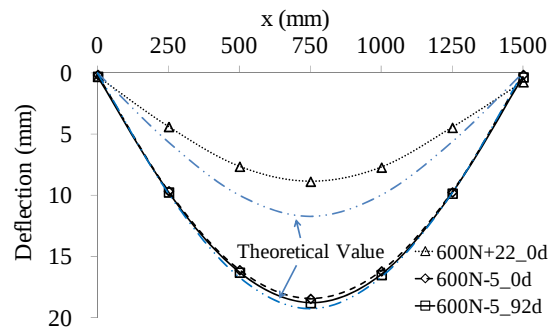


図-4 たわみ分布 (600N)

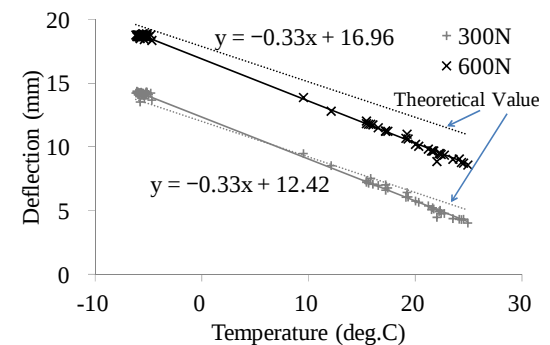


図-5 たわみおよび温度の関係

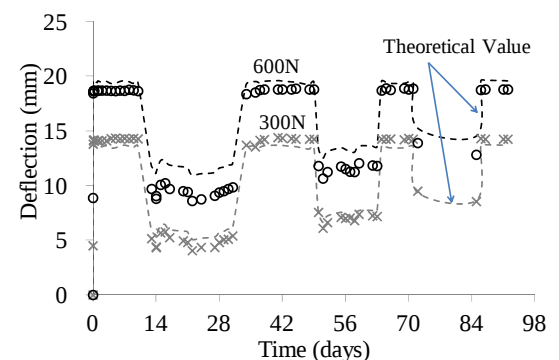


図-6 たわみの経時変化