

鋼 I 桁下フランジに貼付した高弾性 CFRP 板による補強効果および剥離現象について

明石工業高等専門学校 正会員 ○越智 内士

大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀

三菱樹脂（株） 非会員 久部 修弘

1. 目的 30 年以上経過した鋼橋の耐荷力不足および老朽化に伴う維持管理が問題となっている。鋼板の腐食による板厚減や設計活荷重の増加による耐荷力の不足には、これを補う鋼板を高力ボルトや現場溶接によって追加・設置する補強が行われている。しかし、これらの従来の補強方法では重量の大きい鋼部材を接合する必要があり、運搬や施工に重機や騒音を伴う。そこで、近年、施工性に有利な接着接合が可能 CFRP 板による鋼桁への補強が検討されている。CFRP 板には高強度タイプ（引張強度が $2,400 \text{ N/mm}^2$ ）および高弾性タイプ（ヤング係数が $4.50 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ）などがあるが、本研究では補強効率に有利な高弾性 CFRP 板を用い、鋼桁への補強効果や剥離性状に関する基本的なデータを得ることを目的として、鋼 I 桁の縮小模型を用いた載荷実験を実施している。

2. 実験供試体 実験供試体は支点間距離 2,000 mm で、CFRP 板の剥離または破断の前に座屈が生じないように H 形鋼の上フランジにカバープレート (70×7 mm) を溶接接合した H 形鋼 (H100×50×7×5 mm) であり、4 点曲げ載荷 (曲げスパンは 300 mm) により、終局状態に達するまで荷重を漸増させた。供試体の寸法は図-1 に示すとおりである。また、実験供試体の載荷点および支点部には、局部座屈を起こさないよう縦補剛材 (22.5×86×7 mm) を溶接により接合した。さらに、高弾性 CFRP 板 (26×2 mm) の貼付長を $2\ell_i+300$ (mm) (ℓ_i : 載荷点から CFRP 板の端部までの距離) とし、 ℓ_i が 800, 700, 600, 500, および 0 mm の計 5 体の実験供試体を用いた。

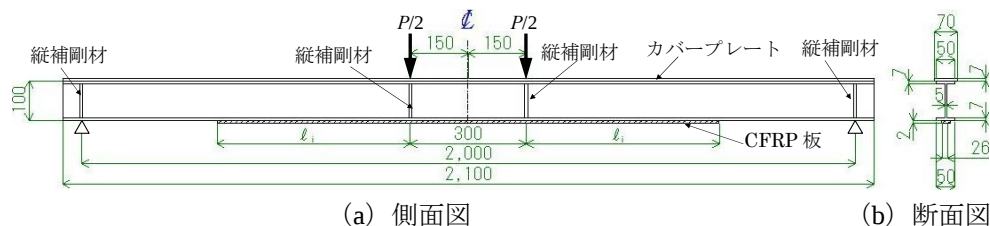


図-1 実験供試体の形状および寸法（寸法単位：mm）

表-1 鋼材の機械的性質

試験片 番号	実測板厚 (mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソ ン比	伸び率 (%)
No.1	4.66	338.0	454.5	2.05×10 ⁵	0.281	37.0
No.2	4.66	327.1	456.3	2.01×10 ⁵	0.280	38.0
No.3	4.65	326.7	452.6	2.02×10 ⁵	0.288	39.0
平均	4.66	330.6	454.5	2.03×10 ⁵	0.283	38.0

表-2 高弾性 CFRP 板の機械的性質

試験片番号	板厚 (mm)	幅 (mm)	ヤング係数 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破断ひずみ (μ)
No.1 ^{*)}	2.00	12.50	4.23×10 ⁵	837.1	1903
No.2	2.00	12.50	4.56×10 ⁵	1426.8	2978
No.3	2.00	12.55	4.69×10 ⁵	1382.5	2727
No.4	2.00	12.70	4.31×10 ⁵	1337.8	3050
No.5	2.00	12.55	4.27×10 ⁵	1306.0	2907
平均値	2.00	12.58	4.46×10 ⁵	1363.3	2916

(*)はつかみ部分がすべった試験片, 平均値には除外した.)

3. 鋼材および高弾性 CFRP 板の機械的性質 実験供試体の製作に用いた鋼材の機械的性質を調べるため、H 形鋼 (SS400 材) の腹板から JIS5 号試験片を 3 体切り出し引張試験を行った。それらの 3 体の試験結果を平均した値を表-1 に示す。また、高弾性 CFRP 板は、三菱樹脂株式会社製の炭素繊維を引抜き成形方法で板状に加工した e プレート高弾性グレード (HM520) である。また、接着剤は三菱樹脂株式会社製のエポサームパテ L-600 (冬用) を使用した。これらの CFRP 板の機械的性質を得るために、JISK7073 炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法に準拠し 5 体の引張試験片について試験を行い、高弾性 CFRP 板の機械的性質を表-2 に示している。

4. 実験結果および考察 図-2 には、曲げ載荷実験によって得られた曲げモーメント M と曲率 ϕ の関係を示す。

キーワード 高弾性 CFRP 板, 鋼 I 桁, 補強, 剥離, 実験

連絡先 〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3 明石工業高等専門学校 TEL：078-946-6173

ここで、曲率 ϕ は実験供試体のスパン中央部のカバプレートおよび腹板に貼付したひずみゲージの値より求めた。同図に示すように、高弾性 CFRP 板を貼付する場合には、補強により初期曲げ剛度の向上も期待できるが、耐力も増加できることから部材の弾性限界の拡張にも有効である。本実験結果より、鋼下フランジが降伏ひずみに到達する時の荷重は、無補強 H100_0 の場合 30.7 kN, 補強後 H100_80 および 50 の場合 36.4 および 35.2 kN となり、H100_0 と比較して H100_80 および 50 では弾性域がそれぞれ約 19% および 15% 広がった。また、図-2 より CFRP 板を貼付した供試体では、CFRP 板の破断や剥離により耐力が低下し、その後は無補強の H100_0 とほぼ同じ経路を辿る。なお、H100_80~H100_60 では CFRP 板の破断が見られ、H100_50 では CFRP 板が破断せず CFRP 板端部に剥離が生じた。それらの CFRP 板中央部の破断ひずみは、表-3 に示すように約 4400 μ であり、表-2 に示した 1 軸引張状態よりも大きい値を得た。また、表-4 には、理論値の初期曲げ剛性 $E_s I_{xs}$ (E_s : 鋼のヤング係数 (表-1), I_{xs} : CFRP 板を鋼に換算した断面の重心に関する断面二次モーメント) および実験値の初期曲げ剛度 ($M=1.0 \times 10^4$ kN $\cdot$ mm 以下における傾き) を示す。同表より、若干数値にばらつきが認められるが、実験値の理論値からの誤差は 3% 以内であり両者はほぼ一致していることがわかる。図-3 には、CFRP 板端部の同一断面位置における CFRP 板および鋼の荷重とひずみの関係を示す。同図より、CFRP 板端部では CFRP 板と鋼板間の接着剤への作用せん断ひずみが荷重の増加に伴って漸増しているのが確認できる。とりわけ、CFRP 板に端部剥離が生じた H100_50 では、他に比べて接着剤への作用せん断ひずみも大きく、CFRP 板に圧縮ひずみも計測された。すなわち、H100_50 のように貼付長が短い場合、CFRP 板端部において接着剤にはせん断力だけでなく浮き上がろうとする力が作用することがわかる。

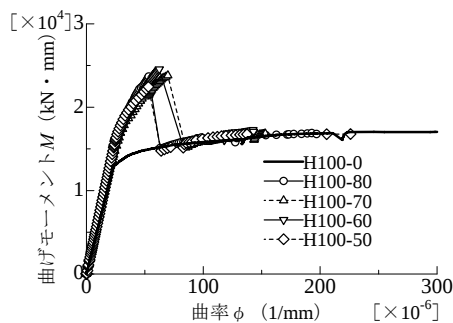


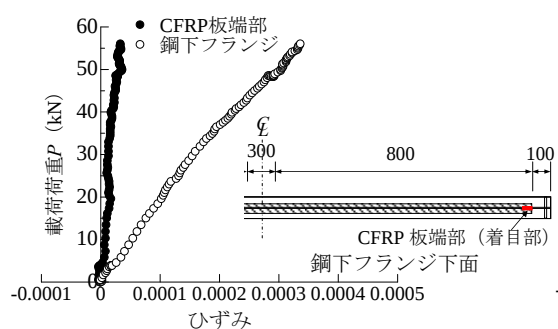
図-2 曲げモーメントー曲率関係

表-3 CFRP 板の破断ひずみ

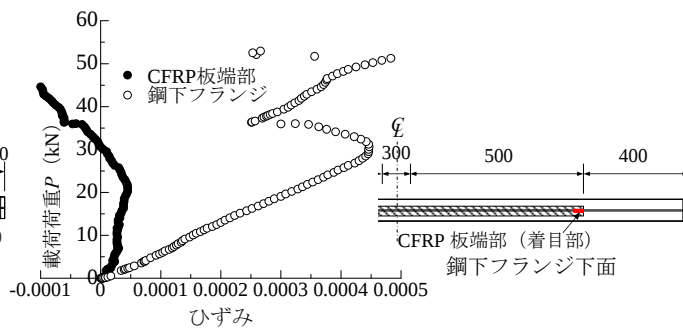
実験供試体	CFRP 板の破断ひずみ (μ)
H100_0	—
H100_80	5019
H100_70	4393
H100_60	4481
H100_50	—

表-4 初期曲げ剛性 ($\times 10^8$ kN $\cdot$ mm²)

実験供試体	弾性理論値 $E_s I_{xs}$	補強効果 (%)	実験値 M/ϕ	補強効果 (%)
H100_0	5.606	—	5.643	—
H100_80	6.606	17.8	6.738	19.4
H100_70			6.477	14.8
H100_60			6.425	13.9
H100_50			6.501	15.2



(a) H100_80



(b) H100_50

図-3 載荷荷重と CFRP 板および鋼下フランジのひずみの関係 (CFRP 板端部)

5. まとめ 鋼 I 桁の縮小模型を用いた載荷実験により、高弾性 CFRP 板を鋼 I 桁下フランジに貼付する補強効果について検討した。得られた主な結果は以下のとおりである。1) 高弾性 CFRP 板による補強によって、鋼 I 桁の弾性域が約 15%~19% 広がった。2) 補強後の鋼 I 桁の弾性域での初期曲げ剛性は、若干数値にばらつきが認められるが、実験値および理論値の両者はほぼ一致した。3) 貼付長が十分でない場合には、CFRP 板端部に圧縮ひずみが確認された。この面外方向への浮き上がりが高弾性 CFRP 板の剥離の発生原因の一つであり、この剥離を防止するため補強が必要である。参考文献：松村政秀・北田俊行・久部修弘：高弾性 CFRP 板を I 形断面鋼桁に貼付する補強効果に関する研究，構造工学論文集，土木学会，Vol. 54A，pp. 834-841，2008.3。